

計畫編號：EPA-102-U1U1-02-101

行政院環境保護署委辦計畫

102年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」

期末報告(定稿)

委託單位：行政院環境保護署

執行單位：國立交通大學環境工程研究所

執行期間：102年2月至102年12月

行政院環境保護署編印

中華民國102年12月

計畫編號：EPA-102-U1U1-02-101

行政院環境保護署委辦計畫

102年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」

期末報告(定稿)

計畫委託單位：行政院環境保護署

計畫執行期間：102年2月至102年12月

計畫經費：新台幣貳佰零肆萬元整

計畫執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人：蔡春進教授

協同主持人：連興隆教授

受託單位計畫執行人員：林冠宇、簡誌良、劉俊男、
劉佳芬、郭欣惠、張瑞喬、
林思帆、廖伯熙、危涵

行政院環境保護署編印

中華民國 102 年 12 月

「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」基本資料表

甲、委辦單位	行政院環境保護署永續發展室			
乙、執行單位	國立交通大學環境工程研究所			
丙、年 度	102 年度	計畫編號	EPA-102-U1U1-02-101	
丁、研究性質	<input type="checkbox"/> 基礎研究	<input type="checkbox"/> 應用研究	<input checked="" type="checkbox"/> 技術發展	
戊、研究領域	環境工程			
己、計畫屬性	<input checked="" type="checkbox"/> 科技類		<input type="checkbox"/> 非科技類	
庚、全程期間	102 年 2 月 ~ 102 年 12 月			
辛、本期期間	102 年 3 月 ~ 102 年 12 月			
壬、本期經費	0 億 2,040 千元			
	資本支出		經常支出	
	土地建築_____千元		人事費 1181 千元	
	儀器設備_____千元		業務費 655 千元	
	其 他_____千元		材料費_____千元	
癸、摘要關鍵詞 (中英文各三則)				
奈米技術, nanotechnology				
環境健康安全, EHS				
白皮書, white paper				
參與計畫人力資料：				
參與計畫人員姓名	工作要項或撰稿章節	現職與簡要學經歷	參與時間(人月)	聯絡電話及 e-mail 帳號
蔡春進	工作事項之規劃、執行與進度掌握及本報告之整合，本團隊之國際合作事務	交大環工所教授，明尼蘇達大學機械博士	10	(03)5727835 cjtsai@mail.nctu.edu.tw
連興隆	報告 3.1.2 及 3.1.5 節撰寫	國立高雄大學土木與環境工程學系教授，理海大學工學博士	8	(07)5919221 lien.sam@nuk.edu.tw
林冠宇	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所博士後研究員	6	(03)5712121#55549 sam.ev95g@nctu.edu.tw
簡誌良	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所博士後研究員	10	(03)5712121#55550 clchien.ev91g@nctu.edu.tw
劉俊男	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所博士生	10	(03)5712121#55524 gym1986.ev97g@nctu.edu.tw
廖伯熙	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所博士生	10	(03)5712121 #55524 B96522003@mail.ntou.edu.tw

危涵	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所碩士生	6	(03)5712121 #55524 pcsh310512@hotmail.com
林思帆	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所碩士生	10	(03)5712121 #55524 sflin.ev00g@nctu.edu.tw
劉佳芬	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所研究助理，交大機械所碩士	10	(03)5712121 #55547 meowfujio@gmail.com
葉芳竹	協助知識缺口文獻回顧；報告撰寫及整合	交大環工所研究助理，交大工工所碩士	4	(03)5712121#55548 fenny.yeh.ie@gmail.com
郭欣惠	協助知識缺口文獻回顧；報告撰寫及整合	交大環工所研究助理，輔大日文所碩士	6	(03)5712121#55548 annyta.kuo@gmail.com

行政院環境保護署計畫成果中英文摘要（簡要版）

- 一、中文計畫名稱：
推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫
- 二、英文計畫名稱：
The Promotion of Taiwan Nanotechnology EHS Database and the integration of knowledge
- 三、計畫編號：
EPA-102-U1U1-02-101
- 四、執行單位：
國立交通大學環境工程研究所
- 五、計畫主持人(包括共同主持人)：
蔡春進，連興隆
- 六、執行開始時間：
102/02/06
- 七、執行結束時間：
102/12/31
- 八、報告完成日期：
102/12/23
- 九、報告總頁數：
460
- 十、使用語文：
中文，英文
- 十一、報告電子檔名稱：
EPA-102-U1U1-02-101.DOCX
- 十二、報告電子檔格式：
WORD 2007
- 十三、中文摘要關鍵詞：
奈米技術，環境健康安全，白皮書，策略規畫，知識平台
- 十四、英文摘要關鍵詞：
Nanotechnology, EHS, white paper, strategic plan, database
- 十五、中文摘要

本計畫的目標主要為維護及管理環保署「環境奈米科技知識平台」網站(Taiwan Nanotechnology EHS Database, 網址<http://ehs.epa.gov.tw/>)，依國內外的奈米EHS的研究成果充實其內容，及更新環境奈米的知識文件等工作。目前已整理並完成上傳的國內研究報告及出版文獻篇數為：中文版網站—研究報告全文共174篇(新增65篇)、出版文獻連結699篇(新增162篇)；英文版網站—研究報告摘要149篇(新增49篇)、SCI論文連結523篇(新增222篇)(統計日期：2013年11月25日)。在SCI論文的分類方面，研究領域以奈米科技的應用為主、微粒種類以氧化物為主、暴露或危害標的以其他/未指定為主、風險暴露群以其他/未指定為主、產生方法以工程奈米微粒為主。目前已完成五項主題的奈米知識文件的蒐集、整理及更新工作，並整理ISO及OECD有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題的發展趨勢。

本年度已發行知識平台的電子報四期上傳至知識平台，並以e-mail方式通知訂閱者最新的nano-EHS消息，nano-EHS知識，近期活動及下期預告，用戶可以下載及瀏覽文件，過去的歷史文件也可以在平台的e-paper專區找

到。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為525人，2011年以來的瀏覽人數為69,328次。本計畫依據環保署102年提出奈米國家型計畫環境議題優先發展項目規劃，並參考美國環保署在2009年的"奈米物質研究策略報告"中的四個聚焦研究主題，提出環保署未來重點發展項目規劃並修正「2014年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文文件，並已舉辦研商會1場。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫已於102年10月21日在台大集思會議中心舉辦「102年環境奈米科技論壇」，首先邀請勞委會、環保署、衛福部、工研院及學界等產官學研專家舉行圓桌會議，討論了本國的nano-EHS的政策、法規、標準及研究進展，環保署過去一年的研究成果也以論文發表及討論方式介紹給國內相關人士。論壇共吸引了產、官、學、研各界147人報名，實際有101人參加，充分達到了nano-EHS知識傳播及風險溝通的目的。最後，為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米EHS研究現況，本計畫專訪了奈米EHS議題的二位專家學者，分別為國立成功大學環境工程學系王鴻博教授及國立清華大學動力機械工程系李國賓教授，訪問稿並以中英文方式呈現。

十六、英文摘要：

The goal of this project is to maintain the website of "Taiwan nanotechnology EHS database"(<http://ehs.epa.gov.tw/>) and provide data and information by integrating the international and domestic research achievements on nano-EHS related issues. Up to now, 174 full articles for research reports (increased by 65 articles) and 699 research papers in abstract (increased by 162 papers) have been uploaded in the Chinese website. In addition, 149 abstracts for research reports (increased by 49 articles) and 523 SCI papers (increased by 222 papers) with the links to the publishers' websites have been uploaded in the English website, which demonstrates fruitful results in the nanotechnology EHS area in Taiwan (The statistics date is Nov. 25, 2013). Regarding the category analysis of SCI papers, nanotechnology applications, oxide, other exposure or hazard target, other risk exposure group, and engineered are the main subjects in the research area, particle type, exposure or hazard target, risk exposure group, and generation method, respectively. Recent advances on nano-EHS related issues in five topical areas and in ISO and OECD were also reviewed, compiled and updated in the web page.

Four issues of e-papers were issued. Members can receive the latest nano-EHS news, nano-EHS knowledge, recent activities and the announcement of the next issue through e-mails, retrieve and read the fulltexts and track the historical files at the exclusive e-paper zone in the website. The numbers of members and visitors continue to increase this year. So far, the number of subscription of e-paper is 525. The number of visiting to the website is increased to 69,328.

Referring to the nano-EHS research strategies and research themes of USEPA, considering domestic resource constraint, previous research achievements, and the research activities of other domestic agencies, the "Global Strategic Plan for Responsible Nanotechnology in 2014" was re-written in both Chinese and English versions and the the review meeting was held with domestic experts.

To strengthen the risk perception and the communication of nanotechnology, the "2013 Environmental Nanotechnology Forum" was held on October 21, 2013 at GIS NTU conference center, Taipei. At the beginning, experts from Council of Labor Affairs, Environmental Protection Bureau, Department of Health, Industrial Technology Research Institute and universities representing industry, government, academia and research sectors were invited hold the round table forum to discuss the domestic progress on nano-EHS policy, regulation, standards, guidelines and research achievements. and EPA's research achievements in the past year were presented to different domestic stakeholders through paper presentations and discussion. From industry, government, academia and research institutions, there were 147 people registered and 101 people actually attended the forum for fruitful knowledge dissemination and risk communication on nano-EHS issues. Finally, to promote the international interactions and introduce the domestic nano-EHS research achievements, two experts in the nano-EHS field were interviewed, including Professor Hung-Po Wang from the Department of Environmental Engineering, National Cheng Kung University, and Professor Gwo-Bin Lee from the Department of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hua University. The interview reports were prepared in both Chinese and English.

目 錄

第一章 前言	1
1.1 緣起與背景說明	1
1.2 環境奈米 EHS 知識文件回顧	15
第二章 計畫目標與工作內容	21
2.1 計畫目標	21
2.2 維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊	21
2.3 持續於平台收集國內外相關團體及部會 EHS 議題相關知識，並發行「環境奈米科技知識平台電子報」，以利資訊整合及推廣奈米知識分享	22
2.4 舉辦「環境奈米科技論壇」1 場，達成風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構的研擬等實質效益	30
2.5 配合 ISO 及 OECD 等國際趨勢，提出「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告，並蒐集更新環境奈米相關主題知識文件	32
第三章 環境奈米 EHS 知識文件及 ISO/OECD EHS 議題.....	39
3.1 環境奈米 EHS 知識文件	39
3.1.1 奈米科技的法規與政策	39
3.1.2 奈米物質的應用	77
3.1.3 空氣中奈米微粒的自動監測方法	116
3.1.4 奈米產品中的奈米物質對環境的影響	142
3.1.5 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命	161
3.2 ISO / OECD 奈米科技 EHS 議題.....	196
3.2.1 已發表及發展中的 ISO TC229 標準草案	196
3.2.2 已取得的 ISO 標準之回顧	202
3.2.3 OECD 有關工程奈米物質議題的發展趨勢.....	216
第四章 環境奈米科技知識整合及交流	219
4.1 環境奈米科技知識平台	219
4.2 風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構	245
4.2.1 舉辦環境奈米科技論壇	245
4.2.2 我國環境奈米科技學者的訪問	246
4.2.3 推廣奈米相關科普教育	254
4.3 其他配合事項	255
第五章 結論與建議	261
參考文獻	271
附錄	287

附錄一 評選審查委員意見回覆	287
附錄二 第一次工作進度報告會議記錄	292
附錄三 期中報告審查會議記錄	293
附錄四 環境奈米科技知識平台電子報共四期	300
附錄五 英文版網站收錄國內學者發表 SCI 論文的學者清單	343
附錄六 英文版網站以國內學者英文姓名縮寫搜尋出版文獻的範例	345
附錄七 102 年環境奈米科技論壇活動	362
附錄八 兩位專家專訪的英文稿	377
附錄九 「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告	386
附錄十 「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」研商會議紀錄 ..	432
附錄十一 知識平台系統維護工作紀錄	436
附錄十二 期末報告審查會議紀錄	452
附錄十三 102 年度科技計畫成果效益自評表	458

圖目錄

圖 3.1.2.1 大腸桿菌之 SEM 影像(a)抗菌測試之前;(b)使用 2% 奈米氧化鋅溶液測試 5 小時 (Seil et al. 2012)	80
圖 3.1.2.2 (A)奈米銀微粒之 TEM 影像; (B) 控制組大腸桿菌之 SEM 影像; (C)液體培養基中大腸桿菌暴露在 50 µg/mL 奈米銀微粒下四小時之 SEM 影像; (D)大腸桿菌暴露在 50 µg/mL 奈米銀微粒下一小時之低倍率 SEM 影像; (E)大腸桿菌暴露在 50 µg/mL 奈米銀微粒下一小時之高倍率 SEM 影像 (Seil et al. 2012)	82
圖 3.1.2.3 以冷凍凝膠對細菌降解的能力 (Loo et al. 2013).....	84
圖 3.1.2.4 利用(a)比奇洛茶(Bigelow)(b) Folgers 咖啡(c)立頓茶(d)Sanka 咖啡(e)星巴克咖啡萃取物合成銀奈米微粒之 TEM 影像，於室溫下單步驟反應，沒有利用到任何有害的還原化學物質或非分解性封存劑 (Hebbalalu et al. 2013).....	85
圖 3.1.2.5 用於合成奈米微粒的芙蓉葉 (Hebbalalu et al. 2013)	86
圖 3.1.2.6 利用芙蓉葉合成的銀奈米微粒 TEM 之影像 (Hebbalalu et al. 2013)	87
圖 3.1.2.7 瓊脂平板上加入不同濃度氧化鐵奈米微粒形成的抑菌圈，(a)加入 10 µL; (b)加入 20 µL; (c)加入 30 µL 和(d)加入 40 µL (Senthil et al. 2012)	89
圖 3.1.2.8 HBPs 利用 SEM 及 EDS 的分析結果，每列圖從左至右分別含有濃度 10、20 及 30% 的氫氧化鎂奈米微粒，第一列圖為比例尺 5 mm 之 SEM 分析結果(1800x); 第二列圖為分析沿第一列圖上所示之直線上的氫氧化鎂奈米微粒的訊號，x 軸為直線上的位置; 第三列圖為 20000x 放大倍率的 SEM 影像，氫氧化鎂奈米微粒均勻分布其中，圖上的比例尺為 1 mm (Knight et al. 2013)	90
圖 3.1.2.9 混合式巴克紙和氫氧化鎂奈米微粒的熱解重量分析曲線，(a)重量損失; (b)差分重量損失。1.HBPs MWCNT; 2.HBP MWCNT—10%Mg(OH) ₂ ; 3.HBP MWCNT—20%Mg(OH) ₂ ; 4.HBP MWCNT—30%Mg(OH) ₂ ; 5.Mg(OH) ₂ (Knight et al. 2013)	90
圖 3.1.2.10 (a)及(b):不同放大倍率下含奈米金微粒在未漂白牛皮紙纖維上的向後散射式 SEM 影像 (c):(b)圖之能量散射 X 光分析(Energy dispersive X-ray analysis)結果，顯示出奈米金的分布情況 (Johnston et al. 2010).....	92
圖 3.1.2.11 奈米銀微粒在未漂白牛皮紙纖維上的向後散射式 SEM 影像，圖(b)中亮紅色的部分表示含有高濃度的奈米銀 (Johnston et al. 2010).....	92
圖 3.1.2.12 於金奈米微粒表面，以還原汞離子取代染料分子為根據的汞離子偵測原則之圖示 (Li et al. 2013).....	93
圖 3.1.2.13 金奈米顆粒暴露於汞蒸氣中之圖示 (James et al. 2012).....	95

圖 3.1.2.14 (A)金奈米微粒的 TEM 影像(B)複合奈米纖維的 SEM 影像；插圖：奈米纖維之 TEM 影像 (Wu et al. 2013)	95
圖 3.1.2.15 一維及二維碳奈米結構之簡圖：(a)石墨烯平面的蜂窩狀結構圖。單壁奈米碳管(SWCNTs)可由此烯平面沿著網格向量摺疊所形成。最基本的 2 個向量 a_1, a_2 如圖所示，而(b)手扶椅形狀(c)蜿蜒型(d)掌型的奈米碳管結構分別是由沿著(8.8)(8.0)(10.-2)方向摺疊所形成 (Iqbal et al. 2013)..	96
圖 3.1.2.16 (a)所使用的儀器設備整體圖(b)應用負電壓於離子溶液之剖面圖 (Kiga et al. 2012).....	98
圖 3.1.2.17 (a)鉑電極上，經由「界電電泳法」沉積的奈米碳管之 SEM 影像 (b)奈米碳管偵測器於室溫下對 100ppb 二氧化氮的時序相關反應 (Iqbal et al. 2013).....	98
圖 3.1.2.18 石墨烯對於化學參雜的敏感度(a)單層石墨烯暴露於不同濃度的二氧化氮。左上方插圖為儀器之掃描微電子圖(虛擬顏色對應到可見光的部分)(b)石墨烯暴露於不同的稀釋氣體(稀釋至 1ppm)所產生的”零場電阻”變化，圖中正極/負極表示電洞摻雜。區塊 1：暴露之前處於真空狀態下的儀器；區塊 2：暴露於 5 公升體積下的稀釋化學氣體；區塊 3：將實驗設施抽真空；區塊 5：於 150 度 C 下鑄煉 (Iqbal et al. 2013) ..	100
圖 3.1.2.19 透過不同流程所製備之石墨烯薄膜：透過「微波等離子體輔助 CVD 法」製造的石墨烯薄膜之(a)TEM 與(b)HRTEM 影像(c)化學衍生時石墨烯薄片於感測器表面之 SEM 影像(d)由化學還原之石墨烯氧化物(此連接了比鄰的金電極)組成之感測儀器之 SEM 影像 (Iqbal et al. 2013).....	101
圖 3.1.2.20 樹狀高分子世代增長示意圖 (Jain et al. 2010).....	102
圖 3.1.2.21 樹狀高分子結構示意圖 (Jain et al. 2010).....	102
圖 3.1.2.22 AEPE 修飾磁性顆粒(MPs)示意圖 (Jainae et al. 2010)	104
圖 3.1.2.23 硫脲結構示意圖 (Lin and Lien 2013)	106
圖 3.1.2.24 合成硫脲修飾之奈米磁性鐵顆粒(MNP-Tu)之示意圖 (Lin and Lien 2013).....	106
圖 3.1.2.25 奈米零價鐵之殼核結構 TEM 分析；奈米零價鐵去除六價鈾之示意圖 (Gray et al. 2012)	110
圖 3.1.2.26 不同合成方法製備之奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒的 TEM 圖，(a)是利用鍛燒法合成，CNT/Ti = 1/99 (w/w)，(b)是水熱法合成，CNT/Ti = 1/99 (w/w)，(c)是利用鍛燒法合成，CNT/Ti = 10/99 (w/w) (Hung et al. 2013).....	110
圖 3.1.2.27 奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒的光催化機制示意圖 (Zhang et al. 2010)	111
圖 3.1.2.28 TiO ₂ -PAN 奈米纖維的穿透式電子顯微影像圖。(A) TiO ₂ 奈米微粒嵌入部分的選區電子繞射圖(SAED)，(B) 圖中箭頭所指及圈起部分為 TiO ₂ 奈米微粒	112

圖 3.1.2.29 (a) 合成 GO 膜步驟；(b) 聚多巴胺(polydopamine)與 TMC 間反應機制，以及(c) GO 及 TMC 間反應機制示意圖 (Hu and Mi 2013).....	114
圖 3.1.2.30 GO 膜成效：(a) 不同數量的 GO 層水通量；(b) 不同數量的 GO 層對鹽類及有機染料排斥，及(c)15 層 GO 膜對鹽類排斥效果。數據為 0 層的膜為聚多巴胺(polydopamine)塗覆膜。所有通量及排斥測試壓力以 50 磅/平方英寸(0.34 兆帕)為上限。(b)以 20nM 氯化鈉，10 mM 硫酸鈉，7.5 mg/L 亞甲基藍(MB)，及 7.5 mg/L 若丹明(Rhodamine-WT)溶液進行排斥測試 (Hu and Mi 2013).....	114
圖 3.1.2.31 HZO-201 強化氣的吸附之示意圖(Pan et al. 2013)	115
圖 3.1.2.32 在 298K 與 pH 3.5 環境下酸性廢水的含氯濃度與填充床體積之 HZO-201 吸附關係圖，再生 HZO-201 的空床接觸時間(empty bed contact time, EBCT)為 120 分鐘，再生劑為 5 wt % NaOH 溶液 (Pan et al. 2013).....	116
圖 3.1.3.1 SPAMS 與大氣採樣器對大氣氣膠採集結果比較.....	117
圖 3.1.3.2 生質燃燒微粒典型圖譜	118
圖 3.1.3.3 重金屬微粒典型圖譜	118
圖 3.1.3.4 單顆粒氣膠質譜儀 (LAAPTOF, AeroMegt GmbH).....	119
圖 3.1.3.5 微型擴散粒徑篩選儀(左)外殼、(右)內部.真實圖片，(a)空氣入口、(b)高電壓組件、(c)單極充電器、(d)過濾濾材、(e)電池和(f)馬達 (Fiertz et al. 2011).....	122
圖 3.1.3.6 奈米追蹤計(nanotracer)的示意圖 (Marra et al. 2010)	123
圖 3.1.3.7 奈米偵測器(nanoCheck)的真實圖片(取自 Eco Analytics AG 網站).....	123
圖 3.1.3.8 Aerotrak 9000 的真實圖片(圖片來源：www.tsi.com)	124
圖 3.1.3.9 手提式 CPC 的真實圖片(圖片來源：www.tsi.com)	125
圖 3.1.3.10 以 FMPS 量測 NaCl、DEHS 和碳煙微粒的粒徑分佈 (Asbach et al. 2012)	126
圖 3.1.3.11 CPC1 與 CPC2-CPC6 測得的總數目濃度的比較 (左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙) (Asbach et al. 2012)	127
圖 3.1.3.12 兩台微型擴散粒徑篩選儀 (miniDisc 1、miniDisc 2)與 CPC1 分別測量左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙的比較結果 (Asbach et al. 2012)...	128
圖 3.1.3.13 三台奈米追蹤計(nanoTracer 1、nanoTracer 2、nanoTracer 3)與 CPC1 分別測量左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙的結果(每筆數據的測量時間：16 s，在量測 NaCl 微粒時，nanoTracer 3 架設於混合腔體的壁面上，因而影響了量測結果) (Asbach et al. 2012)	129
圖 3.1.3.14 nanoCheck 與 CPC 1 分別量測左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙的結果 (nanoCheck 每 10 秒量測一筆數據、CPC 1 的數據採用 10 秒的平均數值) (Asbach et al. 2012)	129

圖 3.1.3.15 miniDisc 1、miniDiscs 2、Aerotrak 量測(左)NaCl、(中)DEHS、(右)碳煙的微粒在肺部沉降的表面積(LDSA)，並與轉換 FMPS 量測的結果比較 (Asbach et al. 2012).....	130
圖 3.1.3.16 三種型號分別為 TSI 3781、3783 及 3785(每種型號各三台)之 WCPC 以一分鐘平均的數據進行在高速公路的(a)下風處、(b)上風處及(c)其他風向下相互比對的結果 (Lee et al. 2013).....	133
圖 3.1.3.17 三種型號分別為 TSI 3781、3783 及 3785 之 WCPC 在低濃度(a - c，濃度範圍: 103 - 104 #/cm ³)、一般濃度(d - f，濃度範圍: 104 - 105 #/cm ³)及高濃度(g - i，濃度範圍: 105 - 3 × 105 #/cm ³)下，數目濃度測值相互比對的結果(15 分鐘的平均數據) (Lee et al. 2013)	135
圖 3.1.3.18 腔體實驗系統圖 (Joshi et al. 2012)	137
圖 3.1.3.19 G-SMPS 及 T-SMPS 量測粒徑為(a) 299 nm 及(b) 499 nm 之 PSL 微粒時的粒徑分佈圖 (Joshi et al.2012)	137
圖 3.1.3.20 G-SMPS 及 T-SMPS 量測(a) NaCl 及(b) (NH ₄) ₂ SO ₄ 微粒時所測得之粒徑分佈(Joshi et al.2012)	138
圖 3.1.3.21 T-SMPS 與 G-SMPS 於(a)2011 年 2 月 4-5 日及(b)2011 年 7 月 19 日同時量測大氣中微粒粒徑分佈的比對結果 (Joshi et al. 2012)	139
圖 3.1.3.22 各種濃度比值和微粒濃度間的關係圖。(a) G-SMPS 或 T-SMPS 所用之 CPC 所測得微粒濃度和 T-CPC 所測得微粒濃度的比值；(b) G-SMPS 測得濃度和 T-SMPS 測得濃度的比值 (Joshi et al. 2012).....	140
圖 3.1.3.23 (a)使用及(b)未使用包覆氣流乾燥器 SMPS 所測得之 NaCl 微粒的粒徑分佈 (Joshi et al. 2012)	141
圖 3.1.3.24 (a)使用及(b)未使用包覆氣流乾燥器 SMPS 所測得之(NH ₄) ₂ SO ₄ 微粒的粒徑分佈 (Joshi et al. 2012)	141
圖 3.1.4.1 工程奈米物質的分類。未經加工的 ENM (pristine ENM)、產品改質的 ENM (product-modified ENM)、產品劣化釋放出的 ENM (product-weathered ENM)和環境轉化後的 ENM (environmentally transformed ENM) (Nowack et al. 2012).....	143
圖 3.1.4.2 (a)使用 SMPS 量測所得粒徑分布(13-573 nm)；(b)使用 APS 量測所得粒徑分布(0.54-19.81μm) (Schlagenhauf et al. 2012).....	145
圖 3.1.4.3 利用超細粒子計數器(P-Trak)量測奈米複合材料在絞碎回收時的微粒濃度。(a) 未經摻雜的樹脂合成板；(b)摻雜滑石的樹脂合成板；(c)摻雜奈米黏土的樹脂合成板 R 區段為設備室打開時 P-Trak 量測到的設備室微粒背景數目濃度。A 區段為關閉設備室，僅啟動絞碎機但未放置合成板時 P-Trak 測得的設備室微粒數目濃度。S 區段為關閉設備室並啟動絞碎機絞碎合成板時 P-Trak 測得的微粒數目濃度 (Raynor et al. 2012).....	146
圖 3.1.4.4 工作臺試驗(bench test)示意圖(Golanski et al. 2012).....	147

圖 3.1.4.5 含奈米碳管(0.8%wt)之環氧樹脂的穿透式電子顯微影像 (a)奈米碳管均勻分散於環氧樹脂中 (b)奈米碳管不均勻的分散於環氧樹脂中 (Golanski et al. 2012).....	147
圖 3.1.4.6 工程奈米微粒在環境傳輸過程中從不同產品釋放的流程概念圖(此處以紡織品釋出奈米銀為例)，圖中的數字依序代表：(1)光化學轉化、(2)氧化、(3)還原、(4)溶解與沉澱、(5)吸附與脫附、(6)燃燒、(7)生物轉化與生物降解及(8)表面磨損(Nowack et al. 2012).....	150
圖 3.1.4.7 成人穿著添有 Ag 及 Ti 功能性紡織品之潛在暴露劑量(von Goetz et al., 2013).....	153
圖 3.1.4.8 比較垃圾滲出水在加入奈米微粒前後的溶解金屬濃度(粒徑比例 < 1.0 nm) (中齡型垃圾滲出水: D,E;成熟型垃圾滲出水: B,C,F) (Bolyard et al. 2013).....	157
圖 3.1.4.9 不同因素導致有機光伏太陽能電池(OPVs)的物質衰減及釋放危險物質到環境中(Zimmermann et al. 2012).....	160
圖 3.1.5.1 2017 年中國大陸奈米物質釋放於環境中的估計情形(Gao et al. 2013)...	162
圖 3.1.5.2 奈米物質的轉化作用是影響奈米物質交互作用的關鍵程序。轉化作用包括：物理、化學、生物作用以及奈米物質和(生物性)巨大分子間之交互作用等 (Lowry et al. 2013).....	163
圖 3.1.5.3 (a)奈米零價銀的化學轉化作用與(b)奈米微粒在環境中的團聚作用 (Lowry et al. 2013).....	164
圖 3.1.5.4 奈米銀微粒經由靜電吸引固定在沉積聚合薄膜表面之示意圖 (Sekine et al. 2013).....	166
圖 3.1.5.5 H ₂ -AgNPs 與 Citrate-AgNPs 在三種不同填充材質的管柱貫穿實驗 (El Badawy et al. 2013).....	169
圖 3.1.5.6 PVP-AgNPs 在三種不同填充材質的管柱貫穿實驗 (El Badawy et al. 2013).....	169
圖 3.1.5.7 BPEI-AgNPs 在三種不同填充材質的管柱貫穿實驗 (El Badawy et al. 2013).....	170
圖 3.1.5.8 不同奈米物質特性對水中生物造成之影響 (Zhu et al. 2013).....	174
圖 3.1.5.9 疑似由奈米金顆粒與大分子 NOM 形成的奈米微粒-NOM 的簇群 (clusters) (Louie et al. 2013).....	176
圖 3.1.5.10 實驗合成的奈米纖維素之從搖籃到墳墓生命週期評估流程圖(虛線內)(Li et al.2013).....	195
圖 3.2.2.1 使用 TEM 分析單壁奈米碳管的一般程序示意圖.....	206
圖 3.2.2.2 處理 NOAAs 風險的流程圖.....	212
圖 4.1.1 環境奈米知識平台首頁.....	219
圖 4.1.2 電子報專區.....	220

圖 4.1.3 電子報圖樣.....	221
圖 4.1.4 電子報之全文圖樣.....	222
圖 4.1.5 英文版網站提供研究報告摘要及部分文章之全文下載.....	223
圖 4.1.6 英文版網站提供 SCI 論文連結.....	224
圖 4.1.7 活動訊息專區-研討會訊息.....	225
圖 4.1.8 活動訊息專區-環境奈米科技展.....	225
圖 4.1.9 活動訊息專區-環境奈米科技論壇(活動簡介、照片總覽、論文精華、統計 分析).....	226
圖 4.1.10 專家專訪專區.....	226
圖 4.1.11 搜尋引擎-簡易版(中英文版).....	227
圖 4.1.12 搜尋引擎-進階版(中英文版).....	228
圖 4.1.13 Nessus 掃瞄結果圖.....	230
圖 4.1.14 A+無障礙檢測報告圖.....	231
圖 4.1.15 網頁檢視人數統計圖.....	232
圖 4.1.16 網站內容點閱統計圖.....	233
圖 4.1.17 新舊訪客總覽圖.....	233
圖 4.1.18 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的造訪頻率及回訪率的趨勢圖.....	234
圖 4.1.19 今年(2013/7/1~2013/10/31)的造訪頻率及回訪率的趨勢圖.....	234
圖 4.1.20 訪客地理位置-全球.....	235
圖 4.1.21 訪客地理位置-台灣.....	236
圖 4.1.22 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的訪客地理位置圖.....	237
圖 4.1.23 今年(2013/7/1~2013/10/31)的訪客地理位置圖.....	237
圖 4.1.24 今年(2012/11/1~2013/10/31)的參與度統計圖.....	238
圖 4.1.25 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的參與度統計圖.....	238
圖 4.1.26 今年(2013/7/1~2013/10/31)的參與度統計圖.....	238
圖 4.1.27 網頁活動分析圖.....	239
圖 4.1.28 今年(2012/11/1~2013/10/31)的行動裝置瀏覽統計圖.....	240
圖 4.1.29 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的行動裝置瀏覽統計圖.....	240
圖 4.1.30 今年(2012/11/1~2013/10/31)的行動裝置瀏覽統計圖.....	241
圖 4.1.31 ICON 網站與環境奈米科技知識平台收錄之奈米技術 EHS 論文的資料庫 分類比較圖.....	244
圖 4.1.32 環境奈米科技知識平台收錄之 SCI 論文分析圖.....	245

圖 4.2.2.1 102 年環境奈米科技論壇活動花絮	246
圖 4.2.3.1 2013 台灣奈米科技展科普海報	255
圖 4.3.1 2013 台灣國際奈米週活動花絮	256
圖 4.3.2 2013 奈米展問卷	257
圖 4.3.3 2013 奈米展問卷調查結果	259

表目錄

表 1.1 ISO/TC 229 已發表的 36 個標準 (ISO TC 229 網站).....	3
表 1.2 ISO/TC229 研究中的標準、指引及進行中的計畫 (ISO TC 229 網站)	6
表 1.3 環保署的奈米科技計畫統計表	13
表 2.1 奈米科技 EHS 議題相關之知識源(蔡，102 年)	24
表 2.2 環境奈米科技知識平台與國外重要奈米科技 EHS 知識源的架構比較表	28
表 2.3 2013 年環境奈米科技論壇議程表	31
表 3.1.1.1 依照檔案類型列出每年註冊化學物質之數量 (歐盟執委會報告)	47
表 3.1.1.2 2013 年歐盟執委會奈米安全研究群計畫(EU Nanosafety Cluster 網站)..	51
表 3.1.1.3 NonoPolyTox 工作計畫 (NanoPolyTox 網站).....	55
表 3.1.1.4 NANODECIVE 新型儀器開發 (NANODECIVE 網站).....	57
表 3.1.1.5 已通過奈米產品驗證規範的產品類別	71
表 3.1.1.6 已通過的奈米產品驗證規範	72
表 3.1.2.1 與奈米微粒抗菌效果有關的研究結果整理(Seil and Webster 2012).....	78
表 3.1.2.2 使用原子吸收光譜儀量測化妝品中貴金屬的濃度，其中鉑的濃度低於偵測極限(15ppm) (Chernousova et al. 2013)	83
表 3.1.2.3 奈米物質於消費產品的使用 (Suresh et al. 2013).....	83
表 3.1.2.4 以奈米碳管製成的感測器性質簡介 (Iqbal et al. 2013)	97
表 3.1.2.5 利用石墨烯的電子感測器之性質 (Iqbal et al. 2013)	99
表 3.1.2.6 不同吸附劑對 Pd(II)飽和吸附量之比較 (Lin and Lien 2013).....	105
表 3.1.2.7 不同吸附劑對吸附貴重金屬之綜合比較(Zhou et al. 2009)	108
表 3.1.3.1 線上即時氣膠質譜儀規格(SPAM 0515, SPIMS-1000 series)	117
表 3.1.3.2 離線及線上即時監測儀器 (Bzdek et al. 2012).....	119
表 3.1.3.3 儀器製造商對三部 WCPC 所提供的相關資訊 (Lee et al. 2013).....	132
表 3.1.3.4 各粒徑範圍內 NaCl 及(NH ₄) ₂ SO ₄ 微粒的相對濃度因子 (Joshi et al. 2012)	138
表 3.1.4.1 功能性紡織品詳細資料 (von Goetz et al., 2013)	151
表 3.1.4.2 每克紡織品浸漬於 120 ml 汗水歷經 30 分鐘後 Ag 及 TiO ₂ 之釋出量(von Goetz et al., 2013).....	152
表 3.1.4.3 含有 1 wt% 奈米物質之總 PAH 排放因子(emission factors)與其塊材(bulk form)比較 (Vejerano et al. 2013)	156

表 3.1.4.4 SWCNT 之分散傳輸實驗情況與結果(Khan et al. 2013).....	159
表 3.1.4.5 在假設某些條件下，以計算的方法預測有機光伏太陽能電池內各種成分 每年製造及報廢的最大數量(Zimmermann et al. 2012).....	160
表 3.1.5.1 以不同分散劑修飾奈米銀懸浮液的特徵 (El Badawy et al. 2013).....	168
表 3.1.5.2 以模糊網紋蚤(Ceriodaphnia dubia)暴露於氧化銅奈米球與奈米圓柱體 中，做暴露 24 小時與 48 小時之毒性測試 (Kennedy et al. 2013).....	171
表 3.1.5.3 奈米物質通用性的特性參數建議表 (Westerhoof and Nowack 2013)....	172
表 3.1.5.4 工程奈米物質在環境中的估計濃度與預測的無害濃度 (Batley et al. 2013).....	175
表 3.1.5.5 奈米二氧化鈦在水環境中的穩定與團聚作用研究之彙整 (Liu et al. 2013)	177
表 3.1.5.6 奈米二氧化鈦在水環境中的沉降與傳輸作用研究之彙整 (Liu et al. 2013)	182
表 3.1.5.7 奈米碳管在水環境中的穩定與團聚作用研究之彙整 (Liu et al. 2013) ...	186
表 3.1.5.8 奈米碳管在水環境中的沉降與傳輸作用研究之彙整 (Liu et al. 2013) ...	191
表 3.1.5.9 含 CNT 開關之手機的數目及 EOL 管理選項(Management Option) 的上 下限假設值(Dahlben et al. 2013).....	194
表 3.2.2.1 基本特性與相對應的量測方法	208
表 3.2.2.2 GHS 的健康及環境危害分類的管制值/濃度極限.....	214
表 4.1.1 已上傳知識平台的研究報告及出版文獻篇數統計 (102.11.25).....	223
表 4.1.2 無障礙自我檢測紀錄表	230
表 5.1 工作進度表	261
表 5.2 查核點說明	263

報告大綱

本報告第一章為前言，內容包括研究緣起及相關文獻回顧，說明國內有關奈米與環境及職業衛生之學術活動及計畫，及環保署前五年的計畫針對奈米物質量測及特性分析技術現階段暴露與風險評估的知識缺口文獻回顧。

第二章為本計畫的計畫目標與工作內容，包括維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊；持續於平台收集國內外相關團體及部會 EHS 議題相關知識，並發行四期「環境奈米科技知識平台電子報」，以利資訊整合及推廣奈米知識分享、舉辦「102 年環境奈米科技論壇」，達成風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構的研擬等實質效益及訪問兩位奈米 EHS 議題之學者專家；並配合 ISO 及 OECD 等國際趨勢，提出「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告，並蒐集更新環境奈米相關主題知識文件。最後為協助奈米群組計畫計畫管理及績效成果彙整及其它應配合事項。

第三章為本計畫的重點工作之一，包括環境奈米 EHS 知識文件的更新，及 ISO/OECD 有關奈米科技環境、健康、安全議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作，本團隊已針對五大主題的進行整理，包括奈米科技的法規與政策、奈米物質的應用、空氣中奈米微粒的自動監測方法、奈米產品中的奈米物質對環境的影響及奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命等，討論各主題的國內外研究現況，並作成具體的結論及建議，本章中皆有詳細的說明。

第四章為環境奈米科技知識整合及交流。包括環境奈米科技知識平台的維護與更新工作，整合國內之研究成果，目前知識平台網站共收錄中文版研究報告 174 篇、出版文獻摘要 699 篇、英文版研究報告摘要 149 篇及 SCI 論文摘要與連結 523 篇。為進行風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構，本計畫並舉辦「102 年環境奈米科技論壇」及修正「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」的中英文文件。

第五章針對研究結果依產、官、學、研領域提出建議與結論。附錄包含審查會議委員的意見及回覆情形、環保署負責任奈米技術的策略規畫文件(中英文版)、專家的英文訪問報導、各期環境奈米科技知識平台電子報、英文版網站收錄國內學者發表 SCI 論文的學者清單及 102 年環境奈米科技論壇活動花絮與網站維護工作報告等。

行政院環境保護署委託研究計畫成果報告摘要（詳細版）

計畫名稱：推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫

計畫編號：EPA-102-U1U1-02-101

計畫執行單位：國立交通大學環境工程研究所

計畫主持人(包括協同主持人)：蔡春進，連興隆

計畫期程：102 年 2 月 6 日起 102 年 12 月 31 日止

計畫經費：2,040 千元

摘 要

本計畫的目標主要為維護及管理環保署「環境奈米科技知識平台」網站 (Taiwan Nanotechnology EHS Database, 網址 <http://ehs.epa.gov.tw/>)，依國內外的奈米 EHS 的研究成果充實其內容，及更新環境奈米的知識文件等工作。目前已整理並完成上傳的國內研究報告及出版文獻篇數為：中文版網站—研究報告全文共 174 篇(新增 65 篇)、出版文獻連結 699 篇(新增 162 篇)；英文版網站—研究報告摘要 149 篇(新增 49 篇)、SCI 論文連結 523 篇(新增 222 篇)(統計日期：2013 年 11 月 25 日)。在 SCI 論文的分類方面，研究領域以奈米科技的應用為主、微粒種類以氧化物為主、暴露或危害標的以其他/未指定為主、風險暴露群以其他/未指定為主、產生方法以工程奈米微粒為主。目前已完成五項主題的奈米知識文件的蒐集、整理及更新工作，並整理 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題的發展趨勢。

本年度已發行知識平台的電子報四期上傳至知識平台，並以 e-mail 方式通知訂閱者最新的 nano-EHS 消息，nano-EHS 知識，近期活動及下期預告，用戶可以下載及瀏覽文件，過去的歷史文件也可以在平台的 e-paper 專區找到。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為 525 人，2011 年以來的瀏覽人數為 69,328 次。本計畫依據環保署 102 年提出奈米國家型計畫環境議題優先發展項目規劃，並參考美國環保署在 2009 年的"奈米物質研究策略報告"中的四個聚焦研究主題，修正環保署未來的「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」

中英文文件，並已舉辦研商會 1 場。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫已於 102 年 10 月 21 日在台大集思會議中心舉辦「102 年環境奈米科技論壇」，首先邀請勞委會、環保署、衛福部、工研院及學界等產官學研專家舉行圓桌會議，討論了本國的 nano-EHS 的政策、法規、標準及研究進展，環保署過去一年的研究成果也以論文發表及討論方式介紹給國內相關人士。論壇共吸引了產、官、學、研各界 147 人報名，實際有 101 人參加，充分達到了 nano-EHS 知識傳播及風險溝通的目的。最後，為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米 EHS 研究現況，本計畫專訪了奈米 EHS 議題的二位專家學者，分別為國立成功大學環境工程學系王鴻博教授及國立清華大學動力機械工程系李國賓教授，訪問稿並以中英文方式呈現。

The goal of this project is to maintain the website of "Taiwan nanotechnology EHS database"(<http://ehs.epa.gov.tw/>) and provide data and information by integrating the international and domestic research achievements on nano-EHS related issues. Up to now, 174 full articles for research reports (increased by 65 articles) and 699 research papers in abstract (increased by 162 papers) have been uploaded in the Chinese website. In addition, 149 abstracts for research reports (increased by 49 articles) and 523 SCI papers (increased by 222 papers) with the links to the publishers' websites have been uploaded in the English website, which demonstrates fruitful results in the nanotechnology EHS area in Taiwan (The statistics date is Nov. 25, 2013). Regarding the category analysis of SCI papers, nanotechnology applications, oxide, other exposure or hazard target, other risk exposure group, and engineered are the main subjects in the research area, particle type, exposure or hazard target, risk exposure group, and generation method, respectively. Recent advances on nano-EHS related issues in five topical areas and in ISO and OECD were also reviewed, compiled and updated in the web page.

Four issues of e-papers were issued. Members can receive the latest nano-EHS news, nano-EHS knowledge, recent activities and the announcement of the next issue through e-mails, retrieve and read the fulltexts and track the historical files at the exclusive e-paper zone in the website. The numbers of members and visitors continue to increase this year. So far, the number of subscription of e-paper is 525. The number of visiting to the website is increased to 69,328.

Referring to the nano-EHS research strategies and research themes of USEPA, considering domestic resource constraint, previous research

achievements, and the research activities of other domestic agencies, the "Global Strategic Plan for Responsible Nanotechnology in 2014" was re-written in both Chinese and English versions and the review meeting was held with domestic experts.

To strengthen the risk perception and the communication of nanotechnology, the "2013 Environmental Nanotechnology Forum" was held on October 21, 2013 at GIS NTU conference center, Taipei. At the beginning, experts from Council of Labor Affairs, Environmental Protection Bureau, Department of Health, Industrial Technology Research Institute and universities representing industry, government, academia and research sectors were invited hold the round table forum to discuss the domestic progress on nano-EHS policy, regulation, standards, guidelines and research achievements. and EPA's research achievements in the past year were presented to different domestic stakeholders through paper presentations and discussion. From industry, government, academia and research institutions, there were 147 people registered and 101 people actually attended the forum for fruitful knowledge dissemination and risk communication on nano-EHS issues. Finally, to promote the international interactions and introduce the domestic nano-EHS research achievements, two experts in the nano-EHS field were interviewed, including Professor Hung-Po Wang from the Department of Environmental Engineering, National Cheng Kung University, and Professor Gwo-Bin Lee from the Department of Power Mechanical Engineering, National Tsing Hua University. The interview reports were prepared in both Chinese and English.

前 言

奈米技術在環境及各個領域均有很大的運用潛能，但是也可能會產生新的環境及人體健康危害的問題。奈米微粒的監測與控制技術，以及對於環境及人體健康的影響，國際間仍處於研究階段，相關的奈米 EHS 知識、標準及指引仍在累積之中。為了讓奈米技術可蓬勃發展的同時，並不影響人體健康、安全及環境的污染，ISO (International Organization for Standardization) 在 2005 年成立 ISO TC 229 技術委員會，負責奈米物質標準的制定 (ISO TC 229 網站)，共有 4 個工作小組，其中與奈米 EHS 有關的工作小組為 ISO/TC 229 WG3，至民國 102 年 11 月為止，ISO/TC 229 已發表 36 個標準，研究中的標準、指引及研究群計畫則尚有 24 個之多。

在 2006 年，經濟合作發展組織(OECD)的化學委員會同意一個奈

米物質的工作計畫，由 OECD 議會成立工程奈米物質工作小組(WPMN)執行此工作計畫。WPMN 執行的工作包括：建立人體健康及環境安全(EHS)研究的資料庫、工程奈米物質的 EHS 研究策略、代表性工程奈米物質的安全測試、工程奈米物質測試指引、自願方案及法規程序的合作、風險評估合作、奈米毒性替代測試方法、暴露測量及減輕暴露的合作等，以發展適合的方法及策略，確保人體健康及環境安全。目前為止，OECD 的 WPMN 已發表了 39 個奈米物質安全的一系列報告，包括研究及活動的路標、目前的奈米物質安全及發展活動、奈米物質工作計畫、OECD 測試指引於奈米物質的適用性初步評估等。由此可知近年來先進國家與國際組織對奈米技術在環境、健康、安全議題的發展趨勢已有顯著進展。

環保署參與第一期六年(2003-2008)及第二期六年(2009-2014)國家型奈米科技計畫，並成功地應用奈米技術在環境整治及檢測；此外環保署也投入環境奈米微粒及奈米物質的風險評估及風險管理的研究，以避免潛在的風險。為完成國家型奈米計畫第二期的工作，持續推動負責任的奈米科技發展，本計畫的完成將有下列幾項預期效益：

1. 可宣示環保署的環境奈米科技政策。
2. 可呈現環保署的負責任的奈米科技發展研究成果，供國內外利害相關者參考。
3. 可以促成奈米 EHS 的國際交流。
4. 有助於跨部會的奈米 EHS 議題合作及奈米科技風險管理。
5. 提昇國內外利害關係人的奈米 EHS 議題的認知並作好風險管理工作。

研究方法

針對環境中奈米物質量測及特性分析及未來暴露評估與風險評估可能的知識缺口的文獻收集，本計畫篩選奈米科技的法規與政策、工程奈米物質工作小組的國際分工、奈米物質對環境和健康的影響、奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命、奈米物質對水生生物及環境生態的影響、奈米物質在環境中的應用、奈米參考物質、空氣中奈米微粒的自動監測方法、空氣中奈米微粒的採樣分析技術及水環境及其他介質中奈米物質的檢測方法等十項主題收集背景資料。並收集整理 ISO/TC 229 WG3 的研究群計畫 (PG) 執行報告以及 OECD 的奈米物質工作小組發表的奈米物質安全報告。

針對環保署 2014 年環境奈米科技立場文件之更新，本計畫參考先進國家的奈米技術 EHS 策略規劃及研究主題，並考量經費限制、過去的研究成果及各單位的分工協調情況後，予以更新修正，同時邀請產官學研各界代表舉辦研商會 1 場以資確認本立場文件。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫舉辦「102 年環境奈米科技論壇」，將環保署過去一年的研究成果以論文發表方式引介給國內相關人士。為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米 EHS 研究現況，本團隊已於 102 年 6 月 10 日完成訪問成功大學環境工程學系-王鴻博博士，並於 102 年 9 月 17 日完成訪問清華大學動力機械工程系-李國賓教授，訪問稿並以中英文方式呈現。

結 果

本計畫工作內容之一為環境奈米 EHS 知識文件的更新，及 ISO/OECD 有關奈米科技環境、健康、安全議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作，本團隊已針對五大主題的進行整理，包括奈米科技的法規與政策、奈米物質的應用、空氣中奈米微粒的自動監測方法、奈米產品中的奈米物質對環境的影響及奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命等，討論各主題的國內外研究現況，以作成具體的結論及建議。

本團隊除已完成「環境奈米科技知識平台」現有舊資料的整理及重新分類，並蒐集過去由環保署、國科會、衛福部及勞委會委辦或自行研究的奈米技術 EHS 計畫所發表之國際期刊 SCI 論文共 523 篇，上傳至該平台。並完成寄發電子報四則，及於平台規劃電子報專區，提供使用者查詢歷史資料，同時充實研討會等活動通知及專家訪談報告等。

依據環保署 102 年提出奈米國家型計畫環境議題優先發展項目規劃如下：(1) 環境中奈米物質量測及特性分析技術開發；(2) 奈米微粒對細胞毒性篩選技術及驗證；(3) 水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究；(4) 奈米科技之風險感知及政策研究；(5) 環境奈米科技知識管理及整合；(6) 綠色奈米技術之開發及應用。各分項計畫將視預算額度、業務需求及執行成果，排定執行順序，本計畫參考美國環保署在 2009 年的"奈米物質研究策略報告"中的四個聚焦研究主題，考量過去環保署的研究成果及配合勞委會及衛福部已執行或正在執行的研究項目，並因應奈米國家型計畫於 2014 年底結束前需進行為期三年的退場規劃，提出未來重點發展項目規劃如下：(1) 知識平台維護；(2) 檢測及監測技術平台，亞慢性及慢性毒性測試平台；(3) 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露；(4) 友善環境奈米技術。有關重點項目的執行，則需視環

保署的預算、實際業務需求推動。

本計畫已舉辦「102年環境奈米科技論壇」，將環保署過去一年的研究成果以論文發表方式介紹給不同國內利害相關者，此次論壇共吸引產、官、學、研各界共147人報名參加(含政府/法人團體：43位，學校：74位，公司/個人：30位)，101人出席參與討論。

本團隊並協助環保署參展「2013台灣奈米科技展」，由本團隊支援協助現場講解工作的環保署攤位，推廣「環境奈米科技知識平台」網站，含網站功能解說、邀請參觀民眾加入會員及訂閱電子報等，並於現場解說環保署在國家型奈米科技計畫環境議題的計畫執行成果，3天展期中安排工作人員3人次負責會場解說及紀錄等事務。

結 論

本報告收集國內外奈米技術EHS議題的最新進展和研究現況之總結如下：

法規與政策：

1. 針對奈米碳管的工作場所建議暴露限值，NIOSH於2013年提出奈米碳管和奈米碳纖維中元素碳的REL為 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ (以8小時可呼吸性TWA質量濃度計)；歐盟執委會(EC)於2010年提出奈米碳管的衍生無效應劑量值(DNEL)為 $0.7 - 30\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；日本的新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)在2011年亦提出奈米碳管的職業暴露限值為 $30\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；拜耳公司和Nanocyl公司也自行訂出MWCNT的職業暴露限值分別為50和 $2.5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
2. OSHA發佈「奈米物質安全使用的概要」，建議工人暴露在可吸入性的奈米碳管和奈米碳纖維，以8小時的時間加權平均計算不得超過 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；暴露在二氧化鈦的奈米微粒時不得超過 $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ ，而二氧化鈦(微粒粒徑大於100nm)的REL為 $2.4\text{mg}/\text{m}^3$ 。
3. 歐盟方面，歐盟執委會完成REACH的審查，並將進行各相關法規方案的影響評估，特別是要針對REACH附件作修訂，以確保在註冊建檔時，奈米物質有清楚的闡述。
4. 奈米碳管的毒性仍為世界各國研究的重點，建置亞慢性及慢性毒性測試平台，將危害分級以分析風險推導出職業暴露限值。
5. Taquahashi et al.提出的乾式單纖維多壁奈米碳管分散方法，將有助於人體暴露相關吸入毒性研究的進行。
6. 毒性化學物質管理法部分條文已於2013年11月修正通過，對國內製造或輸入之化學物質要求登錄，經審查完成使得製造或輸入；職業安全衛生法已修法通過並於2013年7月公告，當中的第十三條納

入新化學物質源頭管理之架構，未來法規上路後針對奈米物質化學物質之管理，預計將規劃指定類別特殊表單，針對奈米特有的辨識資訊進行收集。

奈米物質的應用：

1. 在迅速發展的奈米技術領域中，有不少奈米物質被驗證當其應用到各項產品時，確實具有抗菌效果。本報告探討了氧化鋅奈米微粒、奈米銀微粒、奈米銅微粒與奈米氧化鐵之產品應用及其抑菌能力。
2. 奈米物質在電化學的應用上具有優良的性能，而金奈米微粒具有高度催化活性及優良的電子移轉加速性能，而被廣泛應用固定蛋白質與建立電化學感測器。
3. 奈米碳管具有極佳的結構及物理性質，如良好導電性、高比表面積、強度及穩定性，可應用於化學及生物感測器。
4. 奈米物質在環境中的應用已非常廣泛，本報告回顧奈米物質在吸附應用、地下水復育與光觸媒降解去污等方面的研究現況，包括奈米零價鐵去除放射性核種與奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒等，希望對我國在奈米物質的環境應用上有所助益。

空氣中奈米微粒的自動監測方法：

1. 本報告整理了幾款線上即時監測儀器之規格與功能簡介，提供環保署作未來採購質譜儀時的參考，期能提升本國空氣品質監測的準確度及技術。
2. 本研究團隊回顧了五種可攜帶式奈米微粒暴露監測儀，並互相比較其量測結果間的差異。每種儀器都有其使用上的優缺點，選擇儀器時，必須將微粒粒徑、濃度和準確性列入考慮。
3. 掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS)是目前最常被用來量測空氣中奈米微粒粒徑分佈的儀器。本報告蒐集了 GRIMM 與 TSI 兩間公司生產之 SMPS，對大氣及實驗室環境下的奈米微粒粒徑分布進行量測所得的研究結果，藉以探討兩部儀器量測結果間的一致性。

奈米產品中的奈米物質對環境的影響

1. 奈米物質的磨損磨耗、奈米銀製品、奈米噴霧型產品、焚化奈米物質皆會是造成奈米物質釋放至環境中的原因。評估工程奈米物質(ENMs)暴露風險時，也需考量產品改質的 ENMs、產品劣化釋放出的 ENMs 和環境轉化後的 ENMs 對環境造成的影響。
2. 觀察垃圾掩埋場滲出水中的奈米微粒行為及固體廢棄物釋出的單壁奈米碳管之傳輸可評估廢置奈米產品對環境造成的影響。

奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命

1. 奈米物質在環境中的傳輸、宿命與風險直接與奈米物質的產量有

- 關，由奈米微粒的產量與使用情形，可了解奈米科技的市場現況。
2. 奈米物質對環境和人類健康的影響評估，需要了解其潛在的暴露途徑和毒性作用，急性和慢性接觸。至目前為止，主要研究的重點在於確定未經加工的奈米物質的宿命、傳輸和毒性特性的屬性。
 3. 奈米微粒的穩定機制(靜電力穩定及空間阻隔穩定)與表面改質劑是主要影響奈米微粒在環境中傳輸的因子。
 4. 在奈米物質的環境宿命研究中，最具代表性的環境膠體是天然有機質(NOM)，包含腐植酸與黃酸。由於天然有機質屬巨大分子，對奈米微粒的穩定性有提升效果，因 NOM 提供了空間阻隔效應或靜電力效應。

ISO 及 OECD :

1. 本報告今年度回顧的 ISO/TC929 標準為 ISO/TS 10797、ISO/TS 11937、ISO/TS 12901-1 與 ISO/TR 13329 共 4 篇。
2. 本年度選定回顧 OECD WPMN 的 1 份報告為：ENV/JM/MONO(2012)14，對急性吸入毒性試驗與工程奈米物質安全測試的樣本準備及計量學兩項指引手冊，提出修正建議。
3. 國際法規的架構自 2008 年起大致類似，並沒有任何一條法規是特別為奈米物質而擬定，多數國家的現行法規已有管理奈米物質和含有奈米物質產品的授權權力。

其他：

1. 本計畫已協助環保署「環境奈米科技知識平台」之內容豐富化及國際化，建立環保署、衛福部、勞工安全衛生研究所的共同奈米技術 EHS 資訊及知識交流之平台，加強國內的奈米技術 EHS 研究計畫成果的展現，並促進國際交流與合作。
2. 提出環保署 2014 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目規劃如下：(1) 環境中奈米物質量測及特性分析技術開發；(2) 奈米微粒對細胞毒性篩選技術及驗證；(3) 水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究；(4) 奈米科技之風險感知及政策研究；(5) 環境奈米科技知識管理及整合；(6) 綠色奈米技術之開發及應用。各分項計畫將視預算額度、業務需求及執行成果，排定執行順序。

建議事項

建議事項如下：

1. 歐盟規定從 2013 年 7 月 11 日開始銷售含有奈米物質的化妝品時，廠商需於上市前 6 個月向執委會通報使用的奈米物質；從 2014 年

12月13日起食品內含工程奈米物質者，也須於成分表上明確標示「奈米」兩字，我國外銷添加奈米物質的產品時，若未遵守相關之規定，將造成貿易上的障礙，因此要注意國際間的法規動態。

2. 我國奈米物質的管理已有一些進展，職業安全衛生法第13條已先行修法通過並於2013年7月公告，條文中納入了新化學物質源頭管理之架構，未來法規上路後針對奈米物質化學物質之管理，將規劃指定類別特殊表單，針對奈米特有的辨識資訊進行收集；而毒性化學物質管理法也已於2013年11月修正通過部分條文，建立化學物質登錄機制，加強管理危害人體健康之虞毒性化學物質。建議我國未來應邀集各界人士就化學物質的製造或輸入情形、物理、化學、毒理、暴露及危害評估等問題進行充分討論後，訂定登錄管理之辦法。
3. 奈米物質應用於商業產品與環境處理的研究已有許多進展，研究指出不同型式的奈米物質可應用於抗菌、織物與感測器，另外高分子奈米複合材料則被廣泛應用於水資源的永續利用上。這些應用仍有許多限制因子如處理效率、操作方法、能源需求及經濟效益，且奈米物質的釋出對環境影響也值得考量。
4. 研究奈米產品的同時，也須評估從產品中釋放出的奈米物質對環境造成的影響。可利用生命週期評估(LCA)進行產品或製程的環境績效評估。
5. 建議環保署可參考本報告整理的線上即時氣膠質譜儀相關文獻，作為未來採購質譜儀時的參考，以提升本國空氣品質監測的準確度及技術。
6. 繼續增加知識平台上英文的文獻及研究報告等內容，並完成國內學者研究計畫英文版的分類，宣揚國內研究學者之研究成果，並增加網站的使用率、提升讀者閱讀與加入討論的意願。
7. 因近來智慧型手機日漸普及，資料庫數據顯示利用手機造訪知識平台的比例有增加的現象，建議新增「手機版網頁」，以方便使用者利用行動裝置瀏覽知識平台的內容。

第一章 前言

1.1 緣起與背景說明

奈米技術在各個產業的應用越來越重要，商業化奈米產品愈來愈多(NIOSH 2009; Tsai and Pui 2009; PEN 2013)。根據統計至 2013 年 11 月為止，奈米相關的消費性產品已高達 1628 項，涵蓋食品及飲料，家庭及園藝，健康、衣物及美容，汽車，電子及電腦，工具，小孩用品及其它(PEN 2013)，其中較常見產品有化粧品、防晒油、塑膠強化劑、防菌塗層、自淨的建材及防臭含奈米銀的襪子等不勝枚舉。當奈米產品為我們的生活帶來便利的同時，其在製造的過程中，工人是否會暴露在有奈米物質逸散的環境下？或產品使用時是否會釋出奈米物質，造成一般大眾的暴露？這些議題是許多政府及研究單位現階段正在進行的重點研究。美國萊斯大學 International Council on Nanotechnology (ICON) 資料庫 nanoEHS Virtual Journal 統計 2000 到 2013 年間有關 EHS 全球同儕審查的期刊文章，發現共已發表了 7092 篇，其中與人造奈米微粒有關者就佔了 94% (6647 篇) (International Council on Nanotechnology 網站)，且呈逐年大幅成長的趨勢。可見世界各國無不投入大量的資源，研究奈米技術 EHS 的問題。

在奈米技術 EHS 的法規及標準指引方面，世界上主要先進國家與組織已有許多進展(蔡，101 年)。因為奈米碳管及奈米碳纖維的異常毒性，美國勞工安全衛生研究所 NIOSH(National Institute of Occupational Safety and Health)提出奈米碳管及奈米碳纖維中的元素碳(EC)的 REL 為 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (以 8-小時可呼吸性 TWA (time-weighted average)質量濃度計)，此值為 NIOSH 5040 元素碳分析方法的最低偵測下限，NIOSH 呼籲作業場所的濃度應儘可能將降至此 REL 以下，因為在 REL 以下時人體肺部仍會有不良的健康影響(NIOSH 2013)。另外，NIOSH 已公告細二氧化鈦微粒和超細二氧化鈦微粒的 8 小時時量平均 RELs 濃度值分別為 $2.4 \text{ mg}/\text{m}^3$ 以及 $0.3 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。美國環保署(US EPA)至 2013 年止共要求兩種奈米碳管 (含單壁奈米碳管—PMN 號碼 P-08-328，多壁奈米碳管—PMN 號碼 P-08-177)，以及經由矽氧烷改質的奈米二氧化矽微粒 (PMN 號碼 P-05-673) 和奈米氧化鋁微粒 (PMN

號碼 P-05-687) 申請「顯著新使用通知」(Significant New Use Notice, SNUN) (Federal Register, 2008, 2009a-c and 2010 a-b)。US EPA 目前已經完成超過 130 件以上的奈米物質的新化學物質使用申請的審查(Bergeson 2013)，在 2013 年 US EPA 已針對 16 種的新奈米物質提出顯著新使用規則(SNURs)的申請要求(Federal Register, 2013 a-b)，包括 2 種多壁奈米碳管(PMN 號碼 P-08-392、P-09-257)、1 種表面官能基化的多壁奈米碳管(PMN 號碼 P-12-44)、1 種碳化物合成的奈米碳(Carbide derived nanocarbon) (PMN 號碼 P-11-290)，及 12 種奈米碳纖維(PMN 號碼 P-10-115、P-10-116、P-10-117、P-10-118、P-10-119、P-10-120、P-10-121、P-10-122、P-10-123、P-10-124、P-10-125、P-10-126)。歐盟化學品管理條例 REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)規範製造者和進口者對於每年製造量或使用量高於 1 噸的物質將需要向 ECHA 呈遞一份物質的註冊檔案(registration dossier)，對於每年製造量或使用量高於 10 噸的物質將需要呈遞一份化學安全報告(chemical safety report)(European Commission, 2008a-c)。

ISO (國際標準組織, *International Organization for Standardization*)

ISO 在 2005 年成立 ISO TC 229 技術委員會，負責奈米物質標準的制訂(ISO TC229 網站)。TC 229 下設四個工作小組分別為 JWG 1: Terminology and nomenclature，負責奈米物質的術語及命名；JWG 2: Measurement and characterization，負責奈米物質的量測及特性分析；WG3: Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies，負責奈米物質的 EHS；WG4: Material specifications，負責的奈米物質規範。

其中與奈米 EHS 有關的工作小組為 ISO/TC 229 WG3，其工作重點如下：

1. 控制奈米物質職場暴露的標準方法
2. 決定奈米物質相對毒性/危害性潛勢的標準方法
3. 奈米物質毒性篩選的標準方法
4. 判定奈米物質環境友善使用的標準方法
5. 確保奈米產品之產品安全的標準方法

至民國 102 年 11 月為止，ISO/TC 229 已發表的 36 個標準(表 1.1)，研究中的標準、指引及研究群計畫(PG, project group)則尚有 24 個之多，有些 PG 才剛獲得

委員會同意開始執行 (表 1.2)。本團隊於 99-101 年度的計畫中，已回顧的 ISO 標準共 13 個，99 年度(蔡，100 年)回顧 ISO/TR 22412: 2008 (TC 24/SC4 發表)、ISO 15900: 2009 (TC 24/SC 4 發表)、ISO 12025 及 ISO/DIS 10808；100 年度(蔡，100 年)回顧 ISO/WD 27891 (TC 24/SC 4 發表)、ISO 10801:2010 及 ISO TR 13121:2011；101 年度(蔡，101 年)回顧 ISO/TR 10929:2012、ISO/TS 10798:2011、ISO/TS 10868:2011、ISO/TS 11888:2011、ISO/TS 13278:2011 及 ISO/TR 13014:2012。今年度本計畫則針對 ISO/TS 10797:2012、ISO/TS 11937:2012、ISO/TS 12901-1:2012 及 ISO/TR 13329:2012 等 4 篇標準作回顧。

表 1.1 ISO/TC 229 已發表的 36 個標準 (ISO TC 229 網站)

(*表示 99-101 年已回顧，**表示今年回顧)

Standard and/or project	Stage	ICS
** <u>ISO/TS 10797:2012</u> Nanotechnologies -- Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO/TS 10798:2011</u> Nanotechnologies -- Characterization of single-wall carbon nanotubes using scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry analysis	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO 10801:2010</u> Nanotechnologies -- Generation of metal nanoparticles for inhalation toxicity testing using the evaporation/condensation method	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO 10808:2010</u> Nanotechnologies -- Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 10867:2010</u> Nanotechnologies -- Characterization of single-wall carbon nanotubes using near infrared photoluminescence spectroscopy	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO/TS 10868:2011</u> Nanotechnologies -- Characterization of single-wall carbon nanotubes using ultraviolet-visible-near infrared (UV-Vis-NIR) absorption spectroscopy	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO/TR 10929:2012</u> Nanotechnologies -- Characterization of multiwall carbon nanotube (MWCNT) samples	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>

<u>ISO/TS 11251:2010</u> Nanotechnologies -- Characterization of volatile components in single-wall carbon nanotube samples using evolved gas analysis/gas chromatograph-mass spectrometry	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 11308:2011</u> Nanotechnologies -- Characterization of single-wall carbon nanotubes using thermogravimetric analysis	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TR 11360:2010</u> Nanotechnologies -- Methodology for the classification and categorization of nanomaterials	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TR 11811:2012</u> Nanotechnologies -- Guidance on methods for nano- and microtribology measurements	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO/TS 11888:2011</u> Nanotechnologies -- Characterization of multiwall carbon nanotubes -- Mesoscopic shape factors	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO/TS 11931:2012</u> Nanotechnologies -- Nanoscale calcium carbonate in powder form -- Characteristics and measurement	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
** <u>ISO/TS 11937:2012</u> Nanotechnologies -- Nanoscale titanium dioxide in powder form -- Characteristics and measurement	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 12025:2012</u> Nanomaterials -- Quantification of nano-object release from powders by generation of aerosols	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TR 12802:2010</u> Nanotechnologies -- Model taxonomic framework for use in developing vocabularies -- Core concepts	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/TS 12805:2011</u> Nanotechnologies -- Materials specifications -- Guidance on specifying nano-objects	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TR 12885:2008</u> Nanotechnologies -- Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>13.1</u>
** <u>ISO/TS 12901-1:2012</u> Nanotechnologies -- Occupational risk management applied to engineered nanomaterials -- Part 1: Principles and approaches	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>13.1</u>
* <u>ISO/TR 13014:2012</u> Nanotechnologies -- Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TR 13014:2012/Cor 1:2012</u>	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
* <u>ISO/TR 13121:2011</u> Nanotechnologies -- Nanomaterial risk evaluation	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>

<u>*ISO/TS 13278:2011</u> Nanotechnologies -- Determination of elemental impurities in samples of carbon nanotubes using inductively coupled plasma mass spectrometry	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>**ISO/TR 13329:2012</u> Nanomaterials -- Preparation of material safety data sheet (MSDS)	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>13.1</u>
<u>ISO/TS 14101:2012</u> Surface characterization of gold nanoparticles for nanomaterial specific toxicity screening: FT-IR method	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 16195:2013</u> Nanotechnologies -- Guidance for developing representative test materials consisting of nano-objects in dry powder form	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 17200:2013</u> Nanotechnology -- Nanoparticles in powder form -- Characteristics and measurements	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 27687:2008</u> Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects -- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate	<u>90.92</u>	<u>01.040.07</u> <u>7.03</u>
<u>ISO 29701:2010</u> Nanotechnologies -- Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems -- Limulus amoebocyte lysate (LAL) test	<u>60.6</u>	<u>11.100.10</u> <u>7.03</u>
<u>IEC/TS 62622:2012</u> Artificial gratings used in nanotechnology -- Description and measurement of dimensional quality parameters	<u>60.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 80004-1:2010</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 1: Core terms	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/TS 80004-3:2010</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 3: Carbon nano-objects	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/TS 80004-4:2011</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 4: Nanostructured materials	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/TS 80004-5:2011</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 5: Nano/bio interface	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/TS 80004-6:2013</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 6: Nano-object characterization	<u>60.6</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/TS 80004-7:2011</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 7: Diagnostics and therapeutics for healthcare	<u>60.6</u>	<u>01.040.07</u> <u>7.03</u>

表 1.2 ISO/TC229 研究中的標準、指引及進行中的計畫 (ISO TC 229 網站)

Standard and/or project	Stage	ICS
<u>ISO/NP TS 12901-2</u> Nanotechnologies - Occupational risk management applied to engineered nanomaterials -- Part 2: Use of the control banding approach	<u>30.6</u>	<u>7.03</u> <u>13.1</u>
<u>ISO/PRF TS 13830.2</u> Nanotechnologies -- Guidance on voluntary labelling for consumer products containing manufactured nano-objects	<u>50.20</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/AWI TR 14786</u> Nanotechnologies -- Framework for nomenclature models for nano-objects	<u>30.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/NP TR 16196</u> Nanotechnologies - Guidance on sample preparation methods and dosimetry considerations for manufactured nanomaterials	<u>10.99</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/NP TR 16197</u> Nanotechnologies - Guidance on toxicological screening methods for manufactured nanomaterials	<u>10.99</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/NP TS 16550</u> Nanoparticles - Determination of muramic acid as a biomarker for silver nanoparticles activity	<u>10.99</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/NP TR 17302</u> Nanotechnologies -- Framework for identifying vocabulary development for nanotechnology applications in human healthcare	<u>10.99</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/NP TS 17466</u> Use of UV-Vis absorption spectroscopy in the characterization of cadmium chalcogenide semiconductor -- Nanoparticles (Quantum dots)	<u>10.99</u>	
<u>ISO/NP TS 18110</u> Nanotechnologies -- Vocabularies for science, technology and innovation Indicators	<u>10.99</u>	
<u>ISO/AWI TR 18196</u> Nanotechnologies -- Measurement method matrix for nano-objects	<u>20.0</u>	
<u>ISO/AWI TR 18401</u> Nanotechnology – Plain language guide to vocabulary	<u>20.0</u>	
<u>ISO/AWI TR 18637</u> General framework for the development of occupational exposure limits for nano-objects and their aggregates and agglomerates	<u>20.0</u>	
<u>ISO/AWI TS 18827</u> Nanotechnologies – Comparing the toxic mechanism of synthesized zinc oxide nanomaterials by physicochemical characterization and reactive oxygen species properties	<u>20.0</u>	
<u>ISO/AWI 19006</u> Effects of nanoparticles on cell oxidative stress	<u>20.0</u>	

<u>ISO/AWI 19007</u> Effects of nanoparticles on cell viability (MTS assay)	<u>20.0</u>	
<u>ISO/NP TR 19057</u> The use and suitability of In Vitro Tests and Methodologies to assess Nanomaterial Biodurability	<u>10.99</u>	
<u>IEC/CD TS 62607-2-1</u> Nanomanufacturing - key control characteristics for CNT film applications - Resistivity	<u>30.6</u>	<u>7.03</u>
<u>ISO/TS 80004-1:2010/AWI Amd 1</u>	<u>20.0</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>IEC/NP TS 80004-2</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 2: Nano-objects: Nanoparticle, nanofibre and nanoplate	<u>10.99</u>	<u>01.040.07</u> <u>7.03</u>
<u>ISO/DTS 80004-6</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 6: Nano-object characterization	<u>30.99</u>	<u>7.03</u> <u>01.040.07</u>
<u>ISO/AWI TS 80004-9</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 9: Nano-enabled electrotechnical products and systems	<u>20.0</u>	
<u>ISO/AWI TS 80004-10</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 10: Nano-enabled photonic components and systems	<u>20.0</u>	
<u>ISO/WD TS 80004-11</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 11: Nanolayer, nanocoating, nanofilm, and related terms	<u>20.0</u>	
<u>ISO/WD TS 80004-12</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 12: Quantum phenomena in nanotechnology	<u>20.0</u>	

WG3 底下的研究群主導國家包括：日本所主導的奈米物質內毒素體外測試系統(PG2, project group 2)；韓國主導的毒性測試用的奈米微粒之產生(PG3)及奈米微粒在吸入性測試腔之觀測(PG4)；美國主導毒性評估用之奈米物質物化特性的指引(PG5)；英國主導人造奈米物質運送、丟棄的安全指引(PG6)；美國主導奈米物質風險評估的架構(PG7)；法國主導根據控制策略指引的工程奈米物質職業風險管理(PG8)；奈米物質的物質安全資料表 MSDS (PG9)。WG3 可能的研究計畫(NWIP, New work item proposal)包括：人造奈米物質毒性篩檢的指引及人造奈米物質毒性測試樣品製備的指引。

台灣奈米標準技術諮議會

2009 年台灣奈米標準技術諮議會(Taiwan Nanotechnology Standard Council, TNSC)由奈米國家型科技計畫辦公室及經濟部標準檢驗局指導設立，並委由工研院量測技術發展中心擔任秘書處，協助奈米標準技術諮議會之運作。未來我國奈米標準的制訂，將參照國內外需求，由國內專家學者組成技術工作組，起草制訂相關奈米標準，並藉諮議會作為與國際標準協調平台的運作，讓奈米標準的訂定與國際同步，同時讓台灣新興的奈米產品與科技產業獲得通行全球的保證。

目前全球奈米產品不斷的增加，全球相關產業未來 10 年估計提供 200 萬個工作機會、產值將達一兆美元，2009 年全球奈米產品銷售額達 10 億美元，相關標準制定有強烈需求，因此台灣更應積極參與奈米國際標準制定。台灣過去儘管在產品研發、製造能力深具優勢，但因非聯合國會員，無法藉由參與國際標準組織(ISO)、國際電工委員會(IEC, The International Electrotechnical Commission)等國際性標準組織活動，主導相關國際標準制定，連帶影響國內業者商機。台灣目前為亞太奈米聯盟(ANF, Asia Nano Forum) 15 個會員經濟體之一，因此可藉由台灣奈米標準技術諮議會在國內成立的技術工作小組，透過 ANF 向 ISO、IEC 提案、提供意見、提供技術內容等方式，參與、影響對台有利的國際標準制定。

奈米標準技術諮議會成立宗旨，在支持國內積極發展奈米技術相關標準，建構資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。奈米標準技術諮議會更可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步。藉著協調並整合由國際組織認可之具與會代表性的國內各對應單位代表之意見，主動參與奈米國際標準之協同規劃、開發及制定，促進台灣的奈米量測標準與檢測技術，以及奈米產品性能檢驗標準技術的標準化工作能夠等同一致地與奈米國際標準接軌，掌握開創與拓展市場先機，因而可強化全球貿易之推展，讓台灣廠商的產品全球暢行無阻。目前諮議會根據 ISO TC 229 之分工，設有四個技術工作群組(Working group, 簡稱 WG1, WG2, WG3, WG4)分別為(台灣奈米諮議會資訊網網站, 2013)：

TWA1：Terminology and Nomenclature

TWA2：Measurement and Characterization

TWA3 : Health, Safety and Environ Issues

TWA4 : Material Specifications

奈米標準技術第三工作組(TWA 3) 的任務為負責 Health, Safety & Environmental issues 技術規劃、制訂活動之辦理，成員分別來自研究單位、學界單位及政府主管機關，定期召開會議，探討內外的奈米標準、法規及指引，並規劃國內的奈米 EHS 工作。

OECD(經濟合作與發展組織, *Organization for Economic Cooperation and Development*)

OECD 各會員大都已有奈米物質的註冊、評估和管理法規；美國環保署透過毒性物質管理法(toxic substance control act, TSCA)執行奈米物質的產前通知(Pre-manufacture Notice, PMN)及顯著新使用通知(Significant New Use Rule, SNUR)以管制奈米物質；歐盟將奈米物質視為化學物質，並利用化學品管理條例(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH) 制度全面管制奈米物質及其相關產品。

在 2006 年，OECD 的化學委員會同意一個奈米物質的工作計畫，由 OECD 議會成立工程奈米物質工作小組(WPMN, Working Party on Manufactured Nanomaterials)執行此工作計畫。WPMN 於 2009 年的第 5 次會議中準備了 2009-2012 年的各種活動的路標圖，作為 WPMN 規畫將來的活動及產出之用(ENV/JM(MONO)(99)22)。

WPMN 的 100 個以上的專家來自(i) OECD 的 30 個會員國 (ii) 非會員國經濟體，如中國、巴西、俄羅斯、新加坡及泰國 (iii) 觀察員及邀請專家，如 UNEP, WHO, ISO, BIAC, TUAC 及環境相關 NGO。我國不是 OECD 會員國，目前只能以觀察員及邀請專家身份參與各項會議，將來若能積極進行奈米 EHS 相關的研究計畫，或許可以變成以非會員國經濟體之身份贊助並參與 13 種代表性奈米物質中的一些奈米物質的終點測試。

WPMN 執行以下的 8 項工作，發展適合的方法及策略，以確保人體健康及環境安全 (ENV/JM/MONO(2009)34)：

- (i) 建立人體健康及環境安全(EHS)研究的資料庫
- (ii) 工程奈米物質的 EHS 研究策略
- (iii) 代表性工程奈米物質的安全測試
- (iv) 工程奈米物質測試指引
- (v) 自願方案及法規程序的合作
- (vi) 風險評估合作
- (vii) 奈米毒性替代測試方法
- (viii) 暴露測量及減輕暴露的合作

WPN 在 2007-2008 年共推動 6 項計畫，包括：

- (1) 指標與統計 (Indicators and statistics)
- (2) 公司與商業環境 (Companies and the business environment)
- (3) 國際調查合作 (International scientific co-operation)
- (4) 拓展與公眾承諾 (Outreach and public engagement)
- (5) 政策對話 (Policy dialogue)
- (6) 全球性挑戰-水 (Global challenges)

從 2009 年起至 2010 年，WPN 依據上述 6 項專案計畫，提出 2 年期的延續計畫，分別是：

- (1) 奈米科技的統計架構 (Statistical framework for nanotechnology)
- (2) 奈米科技發展的監管與標竿(Monitoring and benchmarking nanotechnology developments)
- (3) 提出奈米科技商業化環境之相關挑戰(Addressing challenges in the business environment specific to nanotechnology)
- (4) 強化奈米科技發展面對全球性挑戰(Fostering nanotechnology to address global challenges)
- (5) 強化奈米科技之國際科學合作(Fostering international scientific co-operation in nanotechnology)
- (6) 有關奈米科技重要議題之政策圓桌會議(Policy roundtables on key policy issues related to nanotechnology)

目前為止，OECD 的 WPMN 已發表了 39 個奈米物質安全的一系列報告，包

括研究及活動的路標、目前的奈米物質安全及發展活動、奈米物質工作計畫、OECD 測試指引於奈米物質的適用性初步評估等。本團隊在 99-101 年度已回顧了十項 OECD 的相關指引，包括：

1. ENV/JM/MONO(2008)13/REV--OECD 贊助計畫第一期代表性工程奈米物質的優先名單及測試終點的項目表。
2. ENV/JM/MONO(2009)15--確認、整理及分析與工程奈米物質暴露測量及暴露減輕方法的相關指引。
3. ENV/JM/MONO(2009)16--工作場所懸浮工程奈米物質污染源及其釋放的辨識的評估方法。
4. ENV/JM/MONO(2009)20--測試工程奈米物質的指引手冊。
5. ENV/JM/MONO(2010)25--工程奈米物質安全測試的樣本準備及計量學的指引手冊。
6. ENV/JM/MONO(2011)12--工程奈米物質安全性的近期發展及活動。
7. ENV/JM/MONO(2011)52--奈米物質的法規進展：2006-2009。
8. ENV/JM/MONO (2011)53--奈米物質的市場現況調查。
9. ENV/JM/MONO(2011)54--奈米物質生命週期評估的各國活動。
10. ENV/JM/MONO(2012)8--工程奈米物質風險評估的重要議題。

環保署的國家奈米科技計畫

我國環保署配合國科會奈米國家型辦公室，與勞工安全衛生研究所、衛福部跨部會合作共同推動奈米科技 EHS 計畫。環保署的主要工作為開發環境中奈米微粒暴露評估暨風險評估之方法，並透過創新育成計畫的推動，發展具有環境福祉的奈米科技。勞工安全衛生研究所致力於工作場所工程奈米微粒的暴露評估與控制、及流行病學之研究，而衛福部的工作重點為奈米物質的毒性及健康相關之研究。環保署在第一期國家型奈米科技計畫(2003-2008)，共投入總經費 5452 萬元在奈米技術環境相關議題之研究發展計畫 19 項，其中推動負責任奈米研發及產業環境類別，共 10 項，佔總經費 55%；另外應用奈米技術在環境保護工作類別，共 9 項，佔總經費 45%；除了國家奈米計畫外，環保署另外在"環保創新科技研發計畫

"中投入了 10 項研究計畫，總經費共 1675 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究。

在第二期國家型奈米科技計畫的前五年(2009-2013)，環保署共投入 26 項計畫，總經費為 6618.4 萬元，全部用於奈米技術環境相關議題之研究發展，以推動負責任奈米研發及產業環境；在應用奈米技術於環境保護的研究方面，環保署除了於"環保創新科技研發計畫"中，投入共 5 項，總經費共 718.8 萬元之計畫案外，環保署並於 2013 年新增"新世代環境檢測發展計畫"，投入 2 項研究計畫，總經費共 280 萬元。

為完成國家型奈米計畫第二期的工作，環保署將持續與勞委會、衛福部合作，確保負責任的國家型奈米計畫之永續發展。為了達成既定的目標，環保署已擬定了奈米技術 EHS 的 12 個發展重點項目為：1. 污染源、宿命、傳輸和暴露；2. 人體健康；3. 生態影響；4. 風險評估；5. 生命週期評估；6. 知識庫平台建置；7. 檢測監測技術平台；8. 透過工程及技術進行風險管理；9. 透過優良實務及法規進行風險管理；10. 奈米技術應用於環境監測及整治技術；11. 奈米技術應用於清潔生產、永續發展之技術；12. 倫理、法律及社會影響的研究。

基於環保署過去已擬定的 12 個奈米技術 EHS 的發展重點項目，參考國內外的奈米技術 EHS 策略規劃及研究主題，並考量經費限制、過去的研究成果及各單位的分工協調情況，提出了 2013 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目的規劃如下 (蔡，101 年)：

1. 知識庫平台建置
2. 檢測監測及毒性測試技術平台
3. 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露
4. 友善環境奈米技術
5. 環境奈米科技知識管理及整合
6. 綠色奈米技術之開發及應用

環保署在近五年來的奈米科技計畫(2009-2013)之名稱如表 1.3 所述。

表 1.3 環保署的奈米科技計畫統計表

(計畫屬性：1.推動負責任奈米研發及產業環境，2.應用奈米科技在環境保護工作)。
民國 102 年(國家奈米計畫總經費 1133.9 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 150 萬元，新世代環境檢測發展計畫 280 萬元)

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	計畫屬性	計畫經費
*EPA-102-U1 U1-02-101	民國 102 年	蔡春進	102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫	1	204 萬元
*EPA-102-U1 U1-02-100	民國 102 年	鄭尊仁	102 年奈米科技之風險感知及政策研究	1	150 萬元
*EPA-102-16 05-02-01	民國 102 年	闕斌如	102 年奈米金微粒對細胞毒性檢測技術及生物標記之篩選建立	1	270 萬元
*EPA-102-16 02-02-01	民國 102 年	蔡春進	102 年環境中奈米物質量測及特性分析技術開發	1	362 萬元
*EPA-102-16 03-02-01	民國 102 年	施養信	102 年水環境中無機性奈米微粒量測技術開發研究	1	147.9 萬元
EPA-102-U1 U4-04-001	民國 102 年	陳中庸	量子點奈米基因指紋鑑定系統應用於環境微生物之分析	2	150 萬元
EPA-102-E3S 3-02-01	民國 102 年	秦靜如	奈米碳管修飾電極進行環境水質分析之先期研究 (1/4)	2	137 萬元
EPA-102-E3S 4-02-02	民國 102 年	林俊德	環境奈米檢測技術開發 (1/4) — 水中奈米微粒富勒烯分離技術先期研究	2	143 萬元

*國家奈米計畫

民國 101 年(國家奈米計畫總經費 1392.5 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 145 萬元)

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	計畫屬性	計畫經費
*EPA-101-U1 U1-02-101	民國 101 年	連興隆	綠色奈米技術之開發及應用計畫—沼氣脫硫奈米零價鐵濾床技術之開發與應用	2	269 萬元
*EPA-101-U1 U1-02-105	民國 101 年	蔡春進	推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫	1	240 萬元
*EPA-101-16 02-02-08	民國 101 年	蔡春進	環境中奈米物質量測及特性分析技術開發	1	411.6 萬元
*EPA-101-16 05-02-01	民國 101 年	闕斌如	奈米微粒對細胞毒性及生物標記之篩選技術建立	1	310 萬元
*EPA-101-16 03-02-01	民國 101 年	施養信	水環境介質中奈米微粒量測、轉換及宿命研究	1	161.9 萬元

102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫

EPA-101-U1 U4-04-001	民國 101 年	陳中庸	奈米生物晶片應用於環境領域—基因量子點奈米系統應用於環境致病性微生物之檢測	2	145 萬元
-------------------------	-------------	-----	---------------------------------------	---	-----------

*國家奈米計畫

民國 100 年(國家奈米計畫總經費 1285 萬元,環保創新科技研發計畫補助總經費 163.8 萬元)

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	計畫屬性	計畫經費
*EPA-100-16 05-02-01	民國 100 年	闕斌如	奈米微粒對細胞毒性篩選技術及驗證方法	1	245 萬元
*EPA-100-16 02-02-01	民國 100 年	蔡春進	環境中奈米物質量測及特性分析技術開發	1	480 萬元
*EPA-100-U 1U1-02-102	民國 100 年	施養信	水環境介質中奈米微粒量測、轉換及宿命研究	1	180 萬元
*EPA-100-U 1U1-02-105	民國 100 年	蔡春進	環境奈米科技知識管理及整合計畫	1	200 萬元
*EPA-100-U 1L1-02-101	民國 100 年	董瑞安	綠色奈米技術之開發及運用	2	180 萬元
EPA-100-U1 U4-04-001	民國 100 年	陳中庸	開發奈米物質量子點應用於環境致病性微生物之生物晶片	2	163.8 萬元

*國家奈米計畫

民國 99 年(國家奈米計畫總經費 1507 萬元,環保創新科技研發計畫補助總經費 120 萬元)

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	計畫屬性	計畫經費
*EPA-99-U 1U1-02-103	民國 99 年	蔡春進	環境中奈米物質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發	1	510 萬元
*EPA-99-U 1U1-02-102	民國 99 年	施養信	水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究	1	182 萬元
*EPA-99-U 1U1-02-101	民國 99 年	鄭尊仁	奈米科技之風險感知及政策研究	1	180 萬元
*EPA-99-U 1U1-02-106	民國 99 年	鄭榮家	環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務	1	170 萬元
*EPA-99-U 1U1-02-105	民國 99 年	蔡春進	環境奈米科技知識管理及整合計畫	1	245 萬元
*EPA-99-U 1U1-02-104	民國 99 年	闕斌如	配合即時監測環境樣品奈米微粒細胞毒性篩選技術	1	220 萬元
EPA-99-U1 U4-04-006	民國 99 年	林錕松	利用奈米草酸鹽分解/礦化高科技產業含鹵素有害污染物之研發	2	120 萬元

*國家奈米計畫

民國 98 年(國家奈米計畫總經費 1300 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 140 萬元)

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	計畫屬性	計畫經費
*EPA-98-U1U1-02-103	民國 98 年	蔡春進	環境中奈米物質量測及特性分析技術開發	1	515 萬元
*EPA-98-U1U1-02-105	民國 98 年	廖宜賢	環境奈米科技知識庫之強化及推廣	1	250 萬元
*EPA-98-U1U1-02-101	民國 98 年	林一為	奈米科技之風險感知及政策研究	1	170 萬元
*EPA-98-U1U1-02-102	民國 98 年	施養信	水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究	1	180 萬元
*EPA-98-U1U1-02-104	民國 98 年	張章堂	環境中奈米微粒之細胞毒性研究	1	185 萬元
EPA-98-U1U4-04-003	民國 98 年	顧洋	以選擇性光催化還原程序處理固定污染源之氮氧化物排放	2	140 萬元

*國家奈米計畫

1.2 環境奈米 EHS 知識文件回顧

本研究團隊於前五年(96-101 年)的研究計畫中曾針對環境中奈米物質未來暴露評估與風險評估可能的知識缺口進行文獻收集及整理，並列出國內研究現況，作成了具體的結論及建議。報告內容可在「環境奈米科技知識平台」取得。

101 年度已探討的五個主題如下：

1. 奈米科技的法規與政策
2. 奈米物質在環境的應用
3. 水環境和其他介質中奈米物質的檢測方法
4. 奈米物質對水中生物及環境生態的影響
5. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命

101 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」計畫的研究成果可歸納成以下幾項結論：

法規與政策：

1. 美國 EPA 建議針對 17 項產前通知的 PMN 奈米物質進行重大新使用規定 SNUR 的管制，其中 15 項化學物質受到 TSCA 同意令的管制，NIOSH 也發布「實驗室工程奈米物質的一般性安全實務」指引。
2. 歐盟方面，歐洲委員會聯合研究中心 JRC 針對奈米微粒的法規及風險評估發行總結報告。
3. 世界衛生組織則發佈「保護工人免於奈米物質之風險」的報告，其它還有奈米塗層農產品貿易的國際標準等。
4. 我國開始修法將奈米物質列入化學物質管理法中，修訂的化學物質源頭登錄法源(勞工安全衛生法第 12 條及毒性化學物質管理法第 7-1 條)，目前仍在立法程序中。
5. 經濟部工業局主導推動的「奈米標章驗證體系」。
6. 勞工安全衛生研究所(IOSH)：去年公佈「奈米技術實驗室奈米物質暴露控制手冊」，供國內奈米產業擬訂奈米物質暴露及控制策略參考，並委託國內學術單位輔導。

環境應用：

1. 國內外奈米物質應用於廢水/廢氣處理的研究已有許多進展，這些應用仍有許多限制因子如處理效率、操作方法、能源需求及經濟效益，且奈米物質的釋出對環境影響也值得考量，因此有許多技術仍處於研究階段。
2. 國際間已有大量的奈米 TiO_2 研究，本報告回顧奈米 TiO_2 在光催化、太陽能電池、奈米結構設計及表面等方面的研究現況，其中有許多奈米結構的設計及奈米物質基礎物化性質研究結果，希望有助於我國將來奈米物質的環境應用。
3. TiO_2 對於空氣中污染物的礦化非常有效，但是運用 TiO_2 於廢水化學污染物的處理仍然是一大難題。目前面臨的挑戰為如何提升 TiO_2 在可見光下的光催化反應。

檢測方法：

1. 單一奈米微粒的分析技術已有很多進展。如單一微粒感應耦合電漿質譜儀 (SP-ICP-MS)，及以 ICP-TOF-MS 製成的流式細胞質譜儀 (CyTOF mass

spectrometer)。

2. 目前已有許多聯用技術用於分析奈米微粒，其中場流分離技術(FFF)為最常與 ICP-MS 結合的分離技術。

環境生態影響：

1. 許多生物毒性研究發現，奈米碳管被生物攝入或是直接與生物表皮接觸後會對生物體內一些非直接接觸奈米碳管的組織產生毒性影響。
2. 奈米碳管在水中的濃度值為數個 ppm 時，即會對水中生物產生毒性。若奈米碳管進入水中生態環境後直接沈澱或由底泥吸收，則其對水中生物產生的毒性影響會降低。

ISO 及 OECD：

1. 至民國 101 年 11 月為止，ISO/TC 229 已發表的 30 個標準，本計畫從 99 年至今的環境奈米科技計畫共已回顧 ISO 標準共 13 個，101 年度回顧的標準為 ISO/TR 10929:2012、ISO/TS 10798:2011、ISO/TS 10868:2011、ISO/TS 11888:2011、ISO/TS 13278:2011 及 ISO/TR 13014:2012 等六篇。
2. 目前為止，OECD 的 WPMN 已發表了 35 個奈米物質安全的一系列報告，本計畫從 99 年至今共已回顧了 10 項 OECD 的相關指引及報告，101 年度回顧的 4 份報告為 ENV/JM/MONO (2011)53、ENV/JM/MONO(2011)52、ENV/JM/MONO(2011)54、ENV/JM/MONO(2012)8。
3. OECD 已完成奈米物質的使用調查，其中二氧化鈦是被最多 OECD 國家使用的，氧化鋅其次，奈米銀再其次。
4. 國際法規的概況自 2008 年起大致維持不變。
5. OECD 各國對奈米物質的 LCA 議題的研究仍屬初步階段。

以下數項為我國將來在奈米EHS議題上可努力之方向：

政府機關方面：

1. 我國有許多奈米物質由國外進口，添加奈米物質的產品外銷時若未遵守相關之規定，將造成貿易上的障礙，因此要注意國際間的法規動態。
2. 我國化學物質源頭登錄法源依據，至目前為止仍在修法及立法程序中。未來我國將逐步將奈米運作納入管理，並適當檢討相關法規對於奈米危害安全管

理的必要性與可行作法。

3. 為了加強作業場所的奈米物質管制工作，建議工業局也可將奈米技術的 EHS 問題列入工廠輔導計畫中，以協助業者確保奈米產品的安全。

研究、學術單位方面：

1. 國內外奈米物質應用於廢水/廢氣處理的研究已有許多進展，研究指出許多不同型式的奈米物質及高分子奈米複合材料可應用於偵測及處理地下水、工業廢水、氣體及土壤中的污染物及生物體。這些應用仍有許多限制因子如處理效率、操作方法、能源需求及經濟效益，且奈米物質的釋出對環境影響也值得考量。
2. TiO_2 對於空氣中污染物的礦化非常有效，且已被使用在許多商業產品中，但是運用 TiO_2 於廢水化學污染物的處理仍然是一大難題，主要因為在水中產生的不良觸媒毒化作用。目前面臨的挑戰為如何提升 TiO_2 在可見光下的光催化反應，儘管使用碳、氮、硫和過渡金屬離子摻雜 TiO_2 的研究很多，在可見光的範圍內所產生的光催化活性還是太低，增加可見光之光催化活性學為將來可努力之方向。
3. 國內的學者將奈米技術應用在生物感測器的研究上已有一些進展，部份的感測器應用到奈米微粒，但實際應用於環境奈米物質的監測較少，為將來可努力之方向。
4. ISO/TR13014建議奈米物質毒理測試時應量測的物化特性為(1) 微粒大小與粒徑分布；(2) 微粒在介質中聚集/團聚的情形；(3) 微粒形貌；(4) 微粒的表面積、質量比表面積或是體積比表面積；(5) 成分；(6) 表面化學特性；(7) 表面電荷；(8) 溶解度/分散度，建議本國將來的奈米物質毒理測試應先測定這些參數。

其他：

1. 建議進一步改善知識平台以英文搜尋時所需的資料庫，例如英文作者姓名改以"姓及名(縮寫)"的方式呈現，如Tsai CJ (而非Chuen-Jinn Tsai)，並持續改善文獻的分類，以利於搜尋，此工作目前已部分完成。

過去三年(98-100年度)所探討的主題整理如下：

- 100 年度已探討的十個主題如下：
 1. 奈米科技的法規與政策
 2. OECD 的指引現況(2010-2011)
 3. 奈米物質對環境和健康的影響
 4. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命
 5. 奈米物質對水生生物及環境生態的影響
 6. 奈米物質在環境中的應用
 7. 奈米參考物質
 8. 空氣中奈米微粒的自動監測方法
 9. 空氣中奈米微粒的採樣分析技術
 10. 水環境及其他介質中奈米物質的檢測方法
- 99 年度已探討的五個主題：
 1. 主要先進國家與組織的奈米技術環境、健康與安全 (EHS)的法規進展
 2. 工程奈米物質工作小組的國際分工
 3. 奈米物質對水中生物及環境生態的影響
 4. 奈米物質的毒性評估
 5. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命
- 98 年度已探討的十個主題：
 1. 奈米物質的毒性評估回顧
 2. 美國及歐盟對奈米物質的管制近況
 3. 奈米物質對水生物及環境生態的影響
 4. 奈米物質的風險評估
 5. 奈米物質的皮膚穿透
 6. 奈米科技的生命週期評估

7. 奈米物質的暴露評估
8. 奈米物質的暴露控制分組方法
9. 奈米物質環境暴露控制與管理對策-重要資訊回顧
10. 奈米物質質量測分析與暴露評估技術-重要資訊回顧

第二章 計畫目標與工作內容

2.1 計畫目標

本計畫根據環保署「102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」研究案評選須知，列出以下目標：

- 一、維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊。
- 二、持續於平台蒐集國內外相關團體及部會 EHS 議題相關知識，並發行「環境奈米科技知識平台電子報」，以利資訊整合及推廣奈米知識分享。
- 三、舉辦「環境奈米科技論壇」1 場，達成風險認知溝通、分享優良管理實務及法規政策架構等實質效益。
- 四、配合 ISO 及 OECD 等國際趨勢，提出「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告，並蒐集更新環境奈米相關主題知識文件。
- 五、配合奈米國家型計畫辦公室，協助台灣奈米週參展事宜，展示環保署奈米科技研發成果。
- 六、協助環保署奈米群組計畫管理及績效成果彙整。

2.2 維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊

本團隊協助維護環保署「環境奈米科技知識平台」(<http://ehs.epa.gov.tw/>)網站正常運作，並配合環保署網頁檢核，定期維護更新中英文網頁資料、於網頁紀錄更新日期、更新科普知識與補充常見問題(Q&A)內容、後台上稿等維護工作，並依據平台瀏覽人數、來源等資訊進行統計評析，同時維護平台資訊安全。

本年度的工作內容，主要為提供網站運作之順暢度、搜尋引擎功能提昇及管理便利度等，依環保署及招標須知的要求維護，如：

1. 維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊。
2. 維護「奈米科技論壇」專區與「奈米科技展」專區，擺放歷年活動花絮。
3. 配合環保署網頁檢核，於網頁新增紀錄更新日期等。
4. 定期更新科普知識與補充常見問題(Q&A)內容等。
5. 改善知識平台以英文搜尋時所需的資料庫，例如英文作者姓名改以"姓及名(縮寫)"的方式呈現，如 Tsai CJ (而非 Chuen-Jinn Tsai)，並完成文獻分類，以利於搜尋。
6. 完成知識平台與 ICON 網站的奈米技術 EHS 的 SCI 期刊論文分類分析。

2.3 持續於平台收集國內外相關團體及部會 EHS 議題相關知識，並發行「環境奈米科技知識平台電子報」，以利資訊整合及推廣奈米知識分享

本團隊過去規劃「環境奈米科技知識平台」(TaiNED, Taiwan Nanotechnology EHS Database)網站，有以下四大目標：

- (一) 建立環保署、勞工安全衛生研究所、衛福部的共同奈米科技環境安全健康(EHS)資訊及知識交流之平台。
- (二) 以國內的研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉為主體，加強英文內容，以增加本國奈米 EHS 的研究成果與國際交流的機會。
- (三) 定期擷取奈米相關知識源，使國人獲得最新國內外奈米環境、健康、安全相關資訊，並建立產官學研各界進行奈米科技環境健康安全 (EHS)知識交流之平台。
- (四) 提供電子報訂閱機制，定期發行電子報主動通知訂閱者，以分享奈米知識。

環保署過去的工作除了擴建國內奈米技術領域研究機構及人才資料庫，更透過以上資料庫網站建置，持續累積及擴充研究資源，以建構學習型組織之知識庫，提供各界深入瞭解及參與。本年度本團隊持續蒐集過去由環保署、國科會及勞委會委辦或自行研究的奈米技術 EHS 計畫所發表之國際期刊 SCI 論文，上傳至該平台。國外奈米科技 EHS 相關團體之奈米知識源過去已持續新的知識源至 33

個(表 2.1)。國外的知識源中 ICON 網站(International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/>)、PEN 網站(The Project on Environmental Nanotechnologies, <http://www.nanotechproject.org/>)、ISO TC 229 網站、經濟合作發展組織 OECD 網站 (Safety of Manufactured Nanomaterials, http://www.oecd.org/about/0,3347,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html)、美國環保署 USEPA 網站 (USEPA, National Center for Environmental Research: Nanotechnology, <http://www.epa.gov/ncer/nano/>)及美國職業安全衛生研究所 NIOSH 網站 (NIOSH Safety and Health Topic: Nanotechnology, <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html>)等內容豐富，為重要的環境奈米科技知識源。

以上的知識源中以 ICON 網站收集的論文及報告完整，且搜尋功能強大，ICON 的虛擬期刊 (The Virtual Journal) 網站收錄目前全世界最完整的奈米技術 EHS 的期刊摘要(含作者名稱及期刊名稱)，為本計畫之重要參考知識源，它的內容涵蓋奈米物質的環境應用及合成方法，奈米物質的毒性評估、對水生物及環境生態的影響、暴露評估、暴露控制、皮膚穿透、環境中的傳輸、轉化及宿命、生命週期評估、奈米物質的風險評估等。OECD 網站上則以各會員國的研究活動、研究報告及指引的收錄最為完整，且指引及報告的全文均為免費，最具參考價值。

美國環保署的網站則收錄了過去數年間它所贊助的 84 個研究計畫的期末報告及發表的 SCI 論文、專書及專利等共 792 篇，內容以奈米技術用於環境污染物的整治、環境污染物的監測及奈米物質的環境轉變及宿命等為主，十分值得國人參考。本知識平台另外參考國外的知名期刊發行電子報，如 Environmental Science and Technology (ES&T), Nano Letters, Nanotoxicology, Toxicology, Journal of Nanoparticle Research, Environmental Health Perspectives, Journal of American Chemical Society, Particle and Fibre Toxicology, Toxicology Letters, Journal of Applied Toxicology 等。先前環保署的「環境奈米科技知識平台」以國內的報告為主，發表於國際期刊的研究成果較少，且英文的部份較需加強。101 年度本團隊結合國內環保署、勞委會、衛福部及國科會的國家奈米計劃成果及發表於 SCI 期刊的論文，再參考上述國外網站的作法，已大幅改善目前的網站實用性及提高國

際化的程度，今年度將持續的加強國內奈米 EHS 成果的上網及與國際人士分享。另外，本團隊也列出「環境奈米科技知識平台」與國外重要的奈米科技 EHS 知識源的架構比較表(如表 2.2 所示)。

表 2.1 奈米科技 EHS 議題相關之知識源(蔡，102 年)

(*表示今年度增加)

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受患者
國際組織	OECD-Working Party on Nanotechnology (經濟合作發展組織-奈米科技工作小組)(http://www.oecd.org)	<ul style="list-style-type: none"> 具跨國性奈米科技工作小組 發展長期具延續性之奈米科技 EHS 議題之研究 	EHS	官
	EU NanoSafety Cluster (http://www.nanosafetycluster.eu/)	<ul style="list-style-type: none"> 具跨國性奈米科技工作小組 	EHS	官、產
	FP7-Framing Nano (歐盟第七期架構)(http://cordis.europa.eu/fp7/home_en.html)	<ul style="list-style-type: none"> 統整全歐盟區奈米科技政策之機構 發展長期具延續性之奈米科技 EHS 議題之研究 	EHS	官
	IRGC-International Risk Governance Council (國際風險控管委員會)(http://www.irgc.org/)	<ul style="list-style-type: none"> 國際奈米科技應用風險控管政策 	EHS	官、產
	ISO TC 229 Nanotechnologies (國際標準組織 技術委員會 229 奈米技術) http://www.iso.org/iso/home/standards_development/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983	<ul style="list-style-type: none"> 制訂國際奈米科技 EHS 相關標準的國際組織 	EHS	官
政府組織	BfR-Bundesinstitut für Risikobewertung (聯邦風險評估研究所)(http://www.bfr.bund.de/en/home.html)	<ul style="list-style-type: none"> 德國負責奈米安全的三大機構之一 	S	官
	US EPA-United States Environmental Protection Agency (美國環保署)(http://www.epa.gov/)	<ul style="list-style-type: none"> 提供美國具體奈米科技 EHS 議題相關之政策及研究成果 白皮書極具參考價值 	E	官
	NNI-The National Nanotechnology Initiative (美國奈米科技辦公室)(http://www.nano.gov/)	<ul style="list-style-type: none"> 統整美國所有有關奈米科技的相關研究及政策 	EHS	官

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受患者
	SafeNano (http://www.safenano.org/)	<ul style="list-style-type: none"> 英國收錄資料最豐富的奈米科技EHS議題網站 	EHS	官
	奈米國家型科技計畫辦公室 (http://www.twnpnt.org/)	<ul style="list-style-type: none"> 我國奈米計畫主管機關 	EHS	官
	NIOSH-The National Institute for Occupational Safety and Health (美國國家職業衛生安全研究所) (http://www.cdc.gov/niosh/)	<ul style="list-style-type: none"> 提供詳細的與奈米科技有關的美國職業安全政策及報告 	SH	官、產
	NIEHS-National Institute of Environmental Health Sciences (美國國家環境健康科學研究所) (http://www.niehs.nih.gov/)	<ul style="list-style-type: none"> 美國環境健康安全報導 	H	官
	NIA-Nanotechnology Industries Association (奈米技術產業協會) (http://www.nanotechia.org/)	<ul style="list-style-type: none"> 負責工業的奈米技術的供應鏈 	EHS	官、產
	CNS-UCSB-The Center for Nanotechnology in Society-University of California, Santa Barbara (社會奈米科技中心-加州大學聖塔芭芭拉分校)(http://www.cns.ucsb.edu/)	<ul style="list-style-type: none"> 跨學科的研究群 將社會科學之研究法應用在於奈米科技EHS相關議題的研究上 	EHS	學
	National Institute of Occupational Safety and Health, Japan (JNIOSH) (http://www.jniosh.go.jp/joho/nano/index_e.html)	<ul style="list-style-type: none"> 日本工作場所奈米安全衛生研究 	HS	官
學術研究單位	CEIN-UC-The Center for Environmental Implications of Nanotechnology- The University of California, Los Angeles (奈米環境中心-加州大學) (http://www.cein.ucla.edu/)	<ul style="list-style-type: none"> USEPA 及 NSF 最新贊助之研究中心 以奈米物質應用對環境之影響為研究重心 	EHS	學
	*DaNa2.0 (德國聯邦教育及研究部(BMBF)贊助的奈米物質知識庫) (http://www.nanopartikel.info)	<ul style="list-style-type: none"> 具有科學深度並易於了解的奈米物質對人體和環境之影響的知識庫 	EHS	官、學、研
	CEINT-The Center for Environmental Implications of Nanotechnology (奈米環境中心)(http://ceint.duke.edu/)	<ul style="list-style-type: none"> USEPA 及 NSF 最新贊助之研究中心 跨領域研究群 	EHS	學

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受惠者
	ICON-International Council on Nanotechnology (http://icon.rice.edu/)	<ul style="list-style-type: none"> 全球第一個奈米科技 EHS 議題資料庫 產官學研資源同步整合 NNI 支持 	EHS	產、官、學
	LCN-London Centre for Nanotechnology (奈米科技倫敦中心) (http://www.london-nano.com/)	<ul style="list-style-type: none"> 英國新成立的奈米科技研究中心 	EHS	產、學
	綠色化學網路資源共享網 (http://gc.chem.sinica.edu.tw/)	<ul style="list-style-type: none"> 國科會及中研院支持 具綠色化學資料庫及毒理資料庫 	EH	學
	PEN (http://www.nanotechproject.org/)	<ul style="list-style-type: none"> 美國權威智庫組織 聯合國奈米科技永續發展顧問 	EHS	產、官、學
	Research Institute of Science for Safety and Sustainability National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (http://www.aist-riss.jp/projects/nedo-nanorisk/index_e.html)	<ul style="list-style-type: none"> 奈米微粒特性量測的方法研究發展 	HS	研
	Public Engagement with Nano-based Emerging Technologies (PEN) Newsletter Nanosystem Research Institute National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (http://unit.aist.go.jp/nri/nano-plan/index.html)	<ul style="list-style-type: none"> 奈米新興技術的公共參與 	HS	研
	*National Institute for Environmental Studie, Japan http://www.nies.go.jp/index.html	<ul style="list-style-type: none"> 日本國家環境研究所 研究奈米物質之應用對環境的影響 	EHS	研、學
	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, French National Institute for Industrial Environment and Risks(INERIS)* (法國國家工業環境及風險研究所) (www.ineris.fr)	<ul style="list-style-type: none"> 奈米的工業環境與風險研究 	EHS	研
	Foresight Institute (http://www.foresight.org/)	<ul style="list-style-type: none"> 提供奈米科技 EHS 議題的藍圖 	EHS	官、學

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受惠者
民間機構	NanoWerk (http://www.nanowerk.com/)	• 「Spotlight」專區提供最新最即時的奈米科技相關報導	EHS	學
	Nanotechnology Now (http://www.nanotech-now.com/)	• 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nanotechweb.org/IOP (http://nanotechweb.org/)	• 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nano Today http://www.journals.elsevier.com/nano-today/	• 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nanotechnology Law Report (http://www.nanolawreport.com/)	• 提供奈米科技相關議題之法律文獻、報導及服務	EHS	產、學
	NanoReg News (http://www.nanoregnews.com/)	• 奈米科技新聞報導	EHS	產、學
	Nanotechnology Law Blog (http://nanotech.lawbc.com/)	• 奈米科技新聞報導	EHS	產、學

表 2.2 環境奈米科技知識平台與國外重要奈米科技 EHS 知識源的架構比較表

ICON 網站	美國環保署網站	美國勞工安全衛生研究所網站	環境奈米科技知識平台
1. 加入我們 <ul style="list-style-type: none"> • 為什麼要加入我們 2. 關於資料庫 <ul style="list-style-type: none"> • 任務和策略 • 背景 • 組織架構 • 贊助單位 • 參與人士 • 聯絡我們 3. 最新消息 <ul style="list-style-type: none"> • ICON 發佈 • 最新消息 • 媒體通知 • RSS 訂閱 4. 工作小組 <ul style="list-style-type: none"> • 管理組 • 知識組 • 最佳實務組 • 溝通組 5. 計畫 <ul style="list-style-type: none"> • GoodNanoGuide • 奈米 EHS 的研究需求 • 現行實務的調查 6. 線上資源 <ul style="list-style-type: none"> • 虛擬期刊 • 資料庫分析 • GoodNanoGuide • ICON 報告 • ICON 背景 • 名詞解釋 • 政策報告 • 相關連結 7. 虛擬期刊 <ul style="list-style-type: none"> • 虛擬期刊 • 資料庫分析 8. 活動訊息	1. 委外科技研究計畫的首頁 2. 奈米技術和奈米物質的研究 <ul style="list-style-type: none"> • 暴露和奈米物質的特性 • 風險評估 • 生命週期評估 • 永續發展 • 合作的研究成果 • 委外研究經費的申請 3. 委外奈米科技研究計畫 4. 徵求計畫書 5. 計畫清單 6. 出版文獻 7. 會議訊息	1. 指引和出版文獻 2. 10 項重要的研究領域 3. 常見問題 4. 合作夥伴 5. 現場研究的成果 6. 最新消息和活動 7. 相關連結	1. 首頁 2. 關於資料庫 <ul style="list-style-type: none"> • 任務 • 奈米科技白皮書 • 組織架構 • 聯絡我們 3. 最新消息 <ul style="list-style-type: none"> • 最新消息 • 國外最新消息 • 電子報 • 奈米風險快訊 4. 研究計畫 <ul style="list-style-type: none"> • 委辦機關 • 研究領域 • 暴露途徑 • 微粒種類 • 暴露或危害之標的 • 文章種類 • 風險暴露群 • 讀者分類 • 產生方法 5. 出版文獻 <ul style="list-style-type: none"> • 委辦機關 • 研究領域 • 暴露途徑 • 微粒種類 • 暴露或危害之標的 • 文章種類 • 風險暴露群 • 讀者分類 • 產生方法 6. 公告 <ul style="list-style-type: none"> • 法規 • 政策 7. 活動訊息 <ul style="list-style-type: none"> • 研討會

- 協會活動
- 其他活動

- 問卷調查
- 環境奈米科技展
- 環境奈米科技論壇活動花絮

8. 奈米 EHS 知識

- 科普知識
- 最佳控制實務
- 名詞解釋
- 專家專訪
- 常見問題

9. 相關連結

- 國際組織
- 政府機構
- 法人組織
- 學術研究

10. 社群討論

本團隊協助環保署「環境奈米科技知識平台」之網站管理、內容更新等後台管理工作，每兩個月發行電子報 1 則(總共至少 4 則)，並上傳至該平台，以供歷史資料流覽。為持續蒐集環保署「環境奈米科技知識平台」所需之相關資料，本團隊收集國內國科會、國家衛生研究院、勞研所等單位 2013 年至今所出版奈米技術 EHS 相關的研究報告及論文，徵求計畫主持人或出版作者同意後，上傳至「環境奈米科技知識平台」，以充實網站的內容及增加可讀性。

為加強與國際互動，本計畫訪問我國奈米科技 2 位研究學者或經營管理人員，今年度之受訪者為國立成功大學環境工程學系的王鴻博教授及國立清華大學動力機械工程系的李國賓教授，訪問稿並將以中英文稿呈現，以帶出我國相關議題研究現況，及介紹他們的優異研究成果及針對奈米 EHS 各議題的看法，並將訪問內容以中英文方式在知識庫具名發表。

王鴻博教授為美國猶他大學化學(燃料)工程博士，其研究領域包含分子/奈米環境科學、潔淨能源技術、資源回收工程、超臨界流體技術等，研究成果傑出，曾參與及主持多項固體廢棄物處理、土壤污染及廢水處理方面的研究計畫。

李國賓教授係美國加州大學洛杉磯分校機械及航空工程博士，研究領域為微

機電系統、微感測器、微流體系統、生醫晶片、奈米生物技術與醫療器材之研發等，奈米技術相關的研究成果傑出。

2.4 舉辦「環境奈米科技論壇」1 場，達成風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構的研擬等實質效益

本計畫已於 102 年 10 月 21 日在台大集思會議中心蘇格拉底廳舉辦「102 年環境奈米科技論壇」，將環保署過去一年的研究成果以論文發表方式介紹給不同國內利害相關者，本次議程如表 2.3 所示。此次論壇共吸引產、官、學、研各界共 147 人報名參加 (含政府/法人團體 43 位、學校 74 位及公司/個人 30 位)，101 人出席參與討論。

表 2.3 2013 年環境奈米科技論壇議程表

09:00~09:20	報到
09:20~09:30	開幕引言
主持人：國家衛生研究院 環境衛生與職業醫學研究組 林嬭嬭研究員	
09:30~10:00	奈米科技之風險感知及政策研究 主講人：台灣大學職業醫學與工業衛生研究所 鄭尊仁教授
10:00~10:30	異核金-磁鐵礦奈米材料對硝基酚化合物的分解轉換 主講人：清華大學生醫工程與環境科學系 董瑞安教授
10:30~10:40	茶敘 Tea break
主持人：中央大學環境工程研究所 張木彬教授	
10:40~11:10	水環境中無機性奈米微粒量測技術開發研究 主講人：台灣大學農業化學系 施養信副教授
11:10~11:40	環境中奈米物質量測及特性分析技術開發 主講人：交通大學環境工程研究所 蔡春進教授
11:40~12:10	奈米碳管修飾電極進行環境水質分析 主講人：中央大學環境工程研究所 秦靜如副教授
12:10~13:10	午餐
主持人：台灣大學職業醫學與工業衛生研究所 陳志傑教授	
13:10~13:40	水中奈米微粒富勒烯分離技術 主講人：交通大學防災與水環境研究中心 林俊德博士
13:40~14:10	新穎奈米量子點檢測系統應用於環境微生物之偵測 主講人：中原大學生物科技學系 陳中庸副教授
14:10~14:40	奈米金微粒對細胞毒性檢測技術及生物標記之篩選建立 主講人：中興大學生物醫學研究所 闕斌如教授
14:40~14:50	茶敘 Tea break
主持人：行政院環保署永續發展室 劉宗勇執行秘書	
14:50~16:40	圓桌會議 與談人：勞工安全衛生研究所 陳秋蓉副所長 衛生福利部科技發展組 郭士維博士 財團法人安全衛生技術中心 李政憲處長 工研院量測中心 何信佳博士 成功大學醫學、科技與社會研究中心 翁裕峰博士 清華大學生醫工程與環境科學系 董瑞安教授
16:40~17:00	綜合討論
17:00	賦歸

2.5 配合 ISO 及 OECD 等國際趨勢，提出「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告，並蒐集更新環境奈米相關主題知識文件

本計畫針對 2012 年已發佈的環保署的奈米科技環境對策報告，參考工研院的奈米科技白皮書及奈米技術國家標準的執行情形，勞工安全衛生研究所奈米技術實驗室的安全衛生實務推動情形，奈米標章的優良操作規範及國內學者的研究現況，重新檢視最近 1 年國際 ISO TC 229、OECD、美國 EPA 的標準、法規及研究現況，予以更新修正，並提出綜合成果一篇，以展示環保署之立場，作為立場文件，中英文各一份。上述立場文件將包括前言、環保署環境奈米科技執行成果、環保署執行環境奈米科技立場、結語等項目。本計畫已邀請勞委會、經濟部、工研院、衛福部及學者專家等產官學研各界代表舉辦研商會 1 場(5 人)，以資確認該立場文件。

目前為止，OECD 的 WPMN 已發表了 39 個奈米物質安全的一系列報告，包括研究及活動的路標、目前的奈米物質安全及發展活動、奈米物質工作計畫、OECD 測試指引於奈米物質的適用性初步評估等。本團隊將配合國際趨勢，提出「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告各一篇，說明世界各國及組織的奈米技術發展、國際法規、標準及指引發展情形、國際奈米研究策略趨勢。環保署 2003~2013 年間奈米研究成果展現、未來環境議題奈米發展重點及環保署優先發展、結語等項目，以展示環保署之立場。並於下半年邀集 5 位產官學研各界代表舉辦研商會議 1 場以資確認。

本計畫的主持人曾主持過 2007 年第三屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會，擔任 2009、2011 及 2013 年第四至六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會的國際諮詢委員，且已受邀參加 2009-2012 年歐盟 NANODEVICE members of the Annual Forum for Nanosafety，相信將來透過國際奈米 EHS 活動的參與，可以呈現國內的研究成果，希望進一步能參與 OECD WPMN 的贊助研究計畫，與 OECD 國家作研究的分工。

OECD 有關工程奈米物質議題的國際分工活動

至民國 102 年 11 月為止，經濟合作發展組織(OECD)的奈米物質工作小組

(WPMN)已發表了 39 個奈米物質安全的一系列報告，包括研究及活動的路標、目前的奈米物質安全及發展活動、奈米物質工作計畫、OECD 測試指引於奈米物質的適用性初步評估等。本團隊於 99 - 101 年度的研究計畫(蔡，100 年；蔡，101 年)已回顧 OECD 發表的 39 份報告中的 10 份重要報告：

1. ENV/JM/MONO(2008)13/REV--OECD 贊助計畫第一期代表性工程奈米物質的優先名單及測試終點的項目表。
2. ENV/JM/MONO(2009)15--確認、整理及分析與工程奈米物質暴露測量及暴露減輕方法的相關指引。
3. ENV/JM/MONO(2009)16--工作場所懸浮工程奈米物質污染源及其釋放的辨識的評估方法。
4. ENV/JM/MONO(2009)20--測試工程奈米物質的指引手冊。
5. ENV/JM/MONO(2010)25--工程奈米物質安全測試的樣本準備及計量學的指引手冊。
6. ENV/JM/MONO(2011)12--工程奈米物質安全性的近期發展及活動。
7. ENV/JM/MONO(2011)52--奈米物質的法規進展：2006-2009。
8. ENV/JM/MONO (2011)53--奈米物質的市場現況調查。
9. ENV/JM/MONO(2011)54--奈米物質生命週期評估的各國活動。
10. ENV/JM/MONO(2012)8--工程奈米物質風險評估的重要議題。

本年度選定回顧 OECD WPMN 的 1 份報告為：ENV/JM/MONO(2012)14--奈米物質吸入性毒性測試指引的專家會議紀錄，了解 OECD 的贊助計畫 SG3 針對過去已發表的奈米物質吸入性毒性測試指引所提出的修正建議。後續如果有最新且值得回顧的報告發表時，本團隊會再納入。OECD 的 39 個報告如下：

(*表示 99-101 年已回顧，**表示今年回顧)

1. ENV/JM/MONO(2013)17
Environmentally Sustainable Use of Manufactured Nanomaterials - Workshop held on 14 September 2011 in Rome, Italy.
2. ENV/JM/MONO(2013)18
Co-Operation on Risk Assessment: Prioritisation of Important Issues on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials - Final Report.

3. ENV/JM/MONO(2013)2
Current Developments on the Safety of Manufactured Nanomaterials - Tour de Table at the 10th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials.
4. ENV/JM/MONO(2012)40
Guidance on Sample Preparation and Dosimetry for the Safety Testing of Manufactured Nanomaterials.
5. **ENV/JM/MONO(2012)14
Inhalation Toxicity Testing: Expert Meeting on Potential Revisions to OECD Test Guidelines and Guidance Document.
6. ENV/JM/MONO(2012)13
Current Developments on the Safety of Manufactured Nanomaterials - Tour de Table.
7. *ENV/JM/MONO(2012)8
Important Issues on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials.
8. *ENV/JM/MONO(2011)54
National Activities on Life Cycle Assessment of Nanomaterials.
9. *ENV/JM/MONO(2011)53
Information Gathering Schemes on Nanomaterials: Lessons Learned and Reported Information.
10. *ENV/JM/MONO(2011)52
Regulated Nanomaterials: 2006-2009.
11. *ENV/JM/MONO(2011)12
Current Developments/Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials.
12. ENV/JM/MONO(2010)47
Compilation and Comparison of Guidelines Related to Exposure to Nanomaterials in Laboratories.
13. ENV/JM/MONO(2010)46
List of Manufactured Nanomaterials and List of Endpoints for Phase One of the Sponsorship Programme for the Testing of Manufactured Nanomaterials: Revision.

14. ENV/JM/MONO(2010)42
Current Developments/Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials, Tour de Table at the 7th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials.
15. ENV/JM/MONO(2009)20/REV
Guidance Manual for the Testing of Manufactured Nanomaterials: OECD Sponsorship Programme: First Revision.
16. *ENV/JM/MONO(2010)25
Preliminary Guidance Notes on Sample Preparation and Dosimetry for the Safety Testing of Manufactured Nanomaterials.
17. ENV/JM/MONO(2010)12
Report of the Questionnaire on Regulatory Regimes for Manufactured Nanomaterials (2010).
18. ENV/JM/MONO(2010)11
OECD Programme on the Safety of Manufactured Nanomaterials 2009-2012 Operational Plans of the Projects.
19. ENV/JM/MONO(2010)10
Report of the Workshop on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials in a regulatory context, held on 16-18 September 2009, in Washington D.C., United States.
20. ENV/JM/MONO(2010)4
Current Developments/Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de Table at the 6th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 28–30 October 2009.
21. ENV/JM/MONO(2009)45
Analysis of Information Gathering Initiatives on Manufactured Nanomaterials.
22. ENV/JM/MONO(2009)34
Manufactured Nanomaterials: Roadmap for Activities during 2009 and 2010.
23. ENV/JM/MONO(2009)23
Current Developments in Delegations and other International Organisations on the Safety of Manufactured Nanomaterials- Tour de Table.
24. ENV/JM/MONO(2009)22

- Manufactured Nanomaterials: Work Programme 2009–2012.
25. ENV/JM/MONO(2009)21
Preliminary Review of OECD Test Guidelines for their Applicability to Manufactured Nanomaterials.
 26. *ENV/JM/MONO(2009)20
Guidance Manual for the Testing of Manufactured Nanomaterials: OECD's Sponsorship Programme.
 27. ENV/JM/MONO(2009)18
Report of an OECD Workshop on Exposure Assessment and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials.
 28. ENV/JM/MONO(2009)17
Comparison of Guidance on Selection of Skin Protective Equipment and Respirators for Use in the Workplace: Manufactured Nanomaterials.
 29. *ENV/JM/MONO(2009)16
Emission Assessment for Identification of Sources and Release of Airborne Manufactured Nanomaterials in the Workplace: Compilation of Existing Guidance.
 30. *ENV/JM/MONO(2009)15
Identification, Compilation and Analysis of Guidance Information for Exposure Measurement and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials.
 31. ENV/JM/MONO(2009)10
EHS Research Strategies on Manufactured Nanomaterials: Compilation of Outputs.
 32. ENV/JM/MONO(2009)6
Preliminary Analysis of Exposure Measurement and Exposure Mitigation in Occupational Settings: Manufactured Nanomaterials.
 33. ENV/JM/MONO(2008)29
Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de Table at the 4th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 11–13 June 2008.
 34. *ENV/JM/MONO(2008)13/REV

List of Manufactured Nanomaterials and List of Endpoints for Phase One of the OECD Testing Programme.

35. ENV/JM/MONO(2008)7

Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de Table at the 3rd Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 28–30 November 2007.

36. ENV/JM/MONO(2008)2

Manufactured Nanomaterials: Programme of Work 2006–2008.

37. ENV/JM/MONO(2007)16

Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de table at the 2nd Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 25–27 April 2007.

38. ENV/JM/MONO(2006)35

Current Developments/ Activities on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Tour de table at the 1st Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, 26–27 October 2006.

39. ENV/JM/MONO(2006)19

Report of the OECD Workshop on the Safety of Manufactured Nanomaterials: Building Co-operation, Co-ordination and Communication, 7–8 December 2005.

第三章 環境奈米 EHS 知識文件及 ISO/OECD EHS 議題

本計畫工作內容之一為環境奈米 EHS 知識文件的更新，及 ISO/OECD 有關奈米科技環境、健康、安全議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作，本團隊正針對五大主題進行整理，包括奈米科技的法規與政策、奈米物質的應用、空氣中奈米微粒的自動監測方法、奈米產品中的奈米物質對環境的影響及奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命等，討論各主題的國內外研究現況，以作成具體的結論及建議。以下的 4.1 節為各主題的詳細內容。

3.1 環境奈米 EHS 知識文件

3.1.1 奈米科技的法規與政策

本團隊在 101 年度已探討了世界各先進國家奈米物質註冊、評估和管理法規，已完成、進行中的與計劃中的工作項目，如美國依據 TSCA 執行奈米物質的 PMN 及 SNUR 管制與歐盟利用 REACH 制度全面管制奈米物質及其相關產品，針對世界各國的奈米 EHS 法規及政策，本團隊收集了最新發表的研究報告及文獻根據文獻及報告整理成本節的內容，以提供國內相關機構參考，期能有助於架構奈米技術相關的 EHS 法規與政策。

一、美國法規的進展

1. 美國環境保護署(US EPA)

US EPA 目前已經完成超過 130 件以上的奈米物質的新化學物質使用申請的審查，US EPA 也同意部份奈米物質在限制條件下進行生產而核予產前通知(PMN)號碼(Bergeson 2013)。為了進一步要求業者提供奈米物質的特性及毒性測試數據，在 2013 年 US EPA 已針對 16 種的新奈米物質提出顯著新使用規則(SNURs)的申請要求(Federal Register, 2013 a-b)，包括 2 種多壁奈米碳管(PMN 號碼 P-08-392、P-09-257)、1 種表面官能基化的多壁奈米碳管(PMN 號碼 P-12-44)、1 種碳化物合成的奈米碳(Carbide derived nanocarbon) (PMN 號碼 P-11-290)，及 12 種奈米碳纖維(PMN 號碼 P-10-115、P-10-116、P-10-117、P-10-118、P-10-119、P-10-120、

P-10-121、P-10-122、P-10-123、P-10-124、P-0-125、P-10-126)，但因部份申請者已提出商業機密的宣告，因此 US EPA 無法公開每件 SNUR 奈米物質的資訊。任何有意製造、進口或處理上述特定化學物質的人士將受到約束，且必須依據規則在活動開始前至少 90 天，向 EPA 提出 SNURs 的申請。US EPA 未來將繼續針對新的奈米物質發行 SNURs 和同意令(OECD ENV/JM/MONO (2011)12)。

2. 美國職業安全衛生研究所(NIOSH)

NIOSH 發表職場中奈米碳管和奈米碳纖維的暴露的最新研究報告

奈米科技係指長度介於 1-100 nm 的工程物質和結構的設計方法、組成、特性以及應用。目前已有許多含工程奈米微粒的第一代奈米產品已急速成長，所使用的奈米微粒包含金屬氧化物、奈米碳管(carbon nanotubes, CNT)、奈米線、量子點和富勒烯(buckyballs)等。

然而，美國勞工安全衛生研究所(NIOSH)認為運用於奈米產品使其有吸引性的奈米尺寸，也可能引起比同材質的塊材更大的健康危害。此外，奈米微粒的不同形貌、粒徑和化學成分造成人體的健康危害的效應，仍需要進一步研究證實。近年來的動物實驗結果顯示，奈米碳管(CNT)與奈米碳纖維(carbon nanofibers, CNF)可能造成呼吸管危害。此外職場中的奈米碳管和奈米碳纖維的暴露不只發生在製造過程中，也同樣會發生將其摻入於其他產品時和產品應用階段。

有許多的研究結果顯示齧齒動物在暴露低劑量的 CNT 和 CNF 後，肺部會有發炎、快速發展、持續性纖維化等不良反應的症狀。NIOSH 指出，雖然目前尚無法釐清人體在暴露 CNT 和 CNF 後是否會對健康造成危害，但由動物實驗的結果可知未來需盡量降低工作人員的暴露。

Castranova et al. (2013) 發表了一個關於老鼠暴露於多壁奈米碳管的新研究成果。研究結果顯示若老鼠暴露在一種已知的致癌物，再暴露於奈米管後，會增加罹癌的危害。NIOSH 稱奈米碳管為“癌症的促進劑”，但也強調若老鼠只暴露於奈米碳管是不會造成癌症的發生。

Mohamed et al. (2012) 研究指出老鼠與人體細胞在暴露奈米微粒後會導致部分的細胞變化，導致自身免疫功能失調的危害。

NIOSH 職場中奈米碳管和奈米碳纖維暴露的最新研究報告的四大內容為：

- (1) 進行奈米碳管和奈米纖維對動物和其他毒性測試的文獻回顧。
- (2) 根據動物劑量反應資料提供定量危害評估。
- (3) 建議在 8-小時可呼吸性 TWA (time-weighted average) 的元素碳質量濃度 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為建議暴露限值。
- (4) 描述工作場所暴露控制策略和執行一項醫療監視計畫。

3. 美國職業安全與衛生局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)

美國職業安全與衛生局發佈職業的奈米物質安全使用的概要

美國職業安全與衛生局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA) 最近出版了「奈米物質安全使用的概要」，其中指出工人在奈米技術研究或奈米物質生產過程中可能透過吸入、皮膚接觸或食入的途徑，暴露在奈米物質環境中。隨著奈米科技技術發展快速，OSHA 擬藉此概要，提供雇主奈米科技可能產生之奈米物質暴露及危害資訊，以及工作場所奈米物質的暴露控制措施，內容包括：

- 辨別雇主使用的奈米物質及工人所接觸的奈米生產過程
- 工作場所相關暴露評估結果
- 工程、管理控制及個人防護裝備(personal protective equipment, PPE)認識，以降低奈米物質的可能暴露
- 個人防護裝備的使用限度
- 奈米物質溢出或釋放時所採取的緊急措施

OSHA 聲明很少有特定奈米物質的職業暴露限值。OSHA 表示，即使是相同物質，某些奈米微粒可能會比大顆粒的物質更危險；現有對於相同奈米物質的職業暴露限值可能無法提供足夠的保護。OSHA 建議以下特定暴露限值：

- 根據美國勞工安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)提出的建議暴露限值(Recommended Exposure Limit, REL)，OSHA 表示工人暴露在可吸入性的奈米碳管和奈米碳纖維，以 8 小時的時間加權平均計算不得超過 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

- 根據 NIOSH，OSHA 建議工人暴露在二氧化鈦的奈米微粒時不得超過 0.3 mg/m^3 ，而二氧化鈦(微粒粒徑大於 100 nm)的 REL 為 2.4 mg/m^3 。

OSHA 提出因為尚未存在其他奈米物質的暴露限值，雇主應善用本摘要中提及的暴露控制措施和概要，以降低工人對於奈米物質的暴露。

4. 美國國家科學研究委員會(National Research Council, NRC)

NRC 公佈工程奈米物質在環境健康安全議題的研究進展報告

美國國家學院(The National Academies)所屬 NRC 在 2013 年公佈了工程奈米物質在環境健康安全(EHS)議題的研究進展報告(以下簡稱研究進展報告)，這份報告根據奈米技術產業的研究成果和變化趨勢，評估目前的研究進展，更新研究優先發展順序，及預估研究資源。研究進展報告延續了 2012 年出版的工程奈米物質在 EHS 議題的研究策略報告，提出發展科學和研究基礎的策略方法，用於處理工程奈米物質對 EHS 造成潛在風險的不確定性。2013 年出版的研究進展報告檢視了奈米技術研究的現況、審視市場和法規的狀況及它們對研究優先發展項目的影響，並考量工程奈米物質在 EHS 議題的研究進展的評估標準。

美國在奈米物質生命週期的法規監管缺口

工程奈米物質(ENMs)為現代社會帶來許多益處，然而我們對於奈米物質的潛在風險及法規最佳實務的研究仍屬剛起步階段。Beaudrie et al. (2013) 使用生命週期架構分析美國與環境、健康和 safety(EHS)有關的聯邦法規，評估在對於 ENMs 的適用性，以找出新興奈米物質從生產到使用壽命終端可能的法規缺口。在高度的科學不確定性、缺乏 EHS 和產品的數據、不適當設計的豁免和門檻及有限的管理資源等情況下，對目前法規的實用性和適用性都均是挑戰。研究結果顯示部分形式的 ENMs 在一個或更多個生命週期的階段可能會避開聯邦政府的監管與嚴格的風險審查，最大的缺口出現在上市後的階段和 ENMs 在環境中的釋放。Beaudrie et al. (2013) 建議可透過下列方法進行 ENMs 法規監管的改善：(1) 關注懸而未決的法規改革、(2) 增加環境中與使用壽命終端釋放的 ENMs 的監測、(3) 控制和分

析技術的研發、(4) 採用 ENMs 的定期再評估與加強由下而上的管理方式，以達成對 ENMs 風險的負責任管理。

確保奈米技術永續發展的新興治理架構

Bergeson (2013)回顧了現行的奈米物質治理監管架構、評估有關奈米物質潛在風險的法規制度，作出綠色奈米科技需要在法規及私部門的自主管理中深植及提倡的結論，以確保奈米技術的永續發展。美國環保署透過毒性物質管理法(Toxic Substances Control Act, TSCA)與聯邦除蟲劑、殺菌劑、滅鼠劑法(Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, FIFRA)等兩種和化學品相關的法規以確保化學物質使用的安全性。Bergeson (2013)提出加入及積極支持非營利的永續奈米技術組織(Sustainable Nanotechnology Organization, SNO)是利益相關者實現永續奈米技術目標的之一方法，因 SNO 存在的主要目標即為提倡及達成永續奈米技術。

鑑於對奈米物質的毒性和生態影響了解不足，成為管理機關監督奈米技術的商業化活動的挑戰，政府組織和利益相關者已採取各種行動來謹慎地管理這些活動。Bergeson (2013)整理了現有奈米技術的新興治理架構，包括現有的法規機構的充足性、聯邦的法規制度、州和地方政府的法規制度、制定標準的重要組織及重要私部門的自主管理等，以下僅針對重要私部門的自主管理作介紹。

在 2007 年 6 月環境保護基金會(Environment Defense Fund, EDF)與杜邦公司正式宣佈他們的合作成果—奈米風險評估架構(Nano Risk Framework)，此架構正快速地成為奈米產業衡量最佳管理實務的標準。奈米風險評估架構確立了一個有系統及紀律的流程，用於識別、管理和減少工程奈米物質在產品生命週期的各個階段之環境、健康與安全(EHS)的潛在風險，包括製造、使用、棄置或再循環及最終宿命等階段。

在 2005 年 9 月 EDF 和杜邦公司啟動開發奈米風險評估架構合作夥伴關係，接著於 2007 年 2 月發表架構的草案，並收到來自不同利益相關者的意見，包括政府、學術界、公益團體及大型和小型企業。除了考量不同的意見外，EDF 和杜邦公司也執行了相關先導研究(網址：nanoriskframework.com)，包括表面處理及高金

紅石相(high-rutile phase)的二氧化鈦、單壁和多壁奈米碳管及奈米零價鐵等，以確保架構的彈性、實用性、經濟性及有效性。

EDF 和杜邦公司相信這個針對大量使用奈米物質和開發相關產品與應用的私人及公共組織的架構，將可協助使用者組織和評估現有的資訊，評估、優先處理和指出數據需求，以及清楚地溝通如何降低風險。最後 EDF 和杜邦公司相信採用此架構可促進奈米技術產品的負責任發展、提升民眾的接受度，及支持形成奈米科技安全的合理政府政策的實用模式。

另一個私部門的自主管理為 GoodNanoGuide(網址：www.goodnanoguide.org)，它是一提昇專家交換奈米物質職業安全問題意見而設計的合作平台。GoodNanoGuide 的贊助者為美國勞工安全衛生研究所、奈米科技 EHS 議題整合型資料庫 ICON、Nano Alberta、Nano Quebec、加拿大衛生部及加拿大羅伯索維職業健康與安全研究中心(Institut de recherche Robert-Sauve en sante et en securite du travail, IRSST)。GoodNanoGuide 網站的目標為：(1)開發和啟動一個使用維基軟體平台，以討論奈米物質安全處理的職業安全實務的網站；(2)提供讓國際社群內不同的利益相關者貢獻、分享及討論奈米物質職業安全問題的相關資訊；(3)建立提供即時資訊並隨新實務的發展更新的最新互動式平台。GoodNanoGuide 已開放給各界進行評論。為了確保最佳實務報導的可靠性，GoodNanoGuide 為一個受保護的網站，僅限已註冊的會員才能在網站貢獻意見。

Bergeson (2013)最後建議利益相關者關心並提倡以下八個議題：發展適用於綠色奈米產品的生命週期評估、建立綠色奈米技術的效能及驗證規範、對發明者提供稅賦和相關商業的優惠政策以鼓勵綠色奈米技術的應用、延長綠色奈米技術的專利保護期限、在環境化設計方案(DfE)建立綠色奈米的分類、增加綠色奈米技術研究的補助經費、召開論壇以有系統地發展和實施綠色奈米原則，以及在法規和私部門的自主管理活動中積極地提倡綠色奈米，以促進綠色奈米技術的發展。

二、歐盟對奈米物質的管制規範

歐盟執委會完成 REACH 的審查，且將評估奈米物質的各法規方案

歐盟執委會(EC)2013 年 2 月 5 日宣布完成五年一度的化學品註冊、評估、授

權和限制(REACH)法規的審查。EC 的預發佈版本提到，EC 將進行各相關法規方案的影響評估，特別是修訂 REACH 附件內容，以確保在註冊建檔時，奈米物質有清楚的資料及物質的安全性。委員會預計於 2013 年 12 月提出執行草案。預發布版本中特別說明，如果因「其他因素」需要修改時，應特別考量到「奈米物質定義的提出應符合 EC 針對奈米物質定義(Recommendation 2011/696/EU)的建議」(歐盟執委會報告)。

REACH 中的 R 代表註冊(Registration)，為法規核心機制之一。一般而言，公司每年生產或進口的物質大於或等於一噸以上就需註冊。「註冊」將物質使用安全的責任由管理機關轉移到業者身上。註冊的義務(registration obligation)傳達了委員會白皮書第 58 頁中提及的憂慮：歐盟市場中有 99% 的化學品缺乏相關資訊，製造商或進口商若未註冊將不能合法生產和/或進口物質。註冊檔案(registration dossier)中需證明物質在其生命週期中的風險受到控制，註冊所需的資訊將隨著物質生產和/或進口量而增加。

當註冊之物質達 1 噸或以上時，製造及進口商需提交一份技術檔案(technical dossier)，其內容包含以下資訊：(一) 物質之物理化學、毒物學及生態毒理特性；(二) 物質用途；(三) 物質分類及(四) 物質安全使用指南。每年註冊量達 10 噸或以上時，該技術檔案還需附上包含物質化學安全評估(chemical safety assessment, CSA)的化學品安全報告(chemical safety report, CSR)。

針對符合持久性、生物累積性及毒性(persistent, bioaccumulative and toxic, PBT)或高持久性和高生物蓄積性(very persistent and very bioaccumulative, vPvB)等特定類別的危害物質(REACH 附件 13)，CSA 涵蓋物質生產及其用途之暴露評估(exposure assessment)及風險特性分析(risk characterization)。歐盟對於已上市的「逐步管制」(phase-in)物質，依據個別製造/進口商每年生產/進口之數量(噸)提出以下的期限(第 23 條)：

- 2010 年 11 月 30 日前：
 - (1) 生產或進口量超過 1000 噸/年(含)之化學品；
 - (2) 生產或進口量超過 1 噸/年(含)屬於致癌性、致突變性或對生殖系統有毒害

(carcinogenic, mutagenic or toxic to reproduction, CMR)之第 1 或第 2 級化學品(67/548/EEC 指令)；

(3) 生產或進口量超過 100 噸/年(含)有高毒害性之 R50/53 化學品(67/548/EEC 指令)。

- 2013 年 5 月 31 日前：

生產或進口量超過 100 噸/年(含)。

- 2018 年 5 月 31 日前：

生產或進口量超過 1 噸/年(含)。

一般來說，只有當公司預先註冊並聲明他們打算到 2008 年 6 月 1 日和 12 月 1 日間在歐盟化學品管理局(European Chemicals Agency, ECHA)註冊，才能夠享有這些延後的最後期限。預註冊有利於形成「物質資訊交換論壇」(Substance Information Exchange Forums, SIEF)，不僅可增加註冊制度之效率、降低成本、避免重複試驗(尤其是對脊椎動物的試驗)、使下游使用者能追蹤他們所用的相關化學物質是否可能會被註冊，亦使 ECHA 得以先行估算註冊量。

預註冊(Pre-registration)

ECHA 報告，在 146,000 種逐步管制化學物質(phase-in substances)中，目前已收到 270 萬件預註冊申請，比預期的預註冊數量高 15 倍。然而由於目前預註冊不收費，很多廠商在確定該物質是否需要註冊前，都先預註冊該物質(換言之，廠商抱有以防萬一的心態)。ECHA 指出 82%的預註冊廠商為中小企業(SMEs)；除此之外，有 2 萬間廠商表示將在第一個截止日前註冊(其中包括約 25 萬件預註冊)。儘管如此，ECHA 表示在 2010 年截止日前，僅有 10%的預註冊廠商如期完成註冊。大量的預註冊物質產生供應鏈是否真正需要註冊的混淆，及使下游使用者擔心斷料。但執委會第一個截止日後，並未發現任何支持此憂慮之證據。

註冊

截至 2011 年底，如表 3.1.1.1 所示，ECHA 已收到 27,418 份完整的註冊檔案，

涵蓋 3,676 種逐步管制化學物質及 1,670 種非逐步管制化學物質，共 5,346 種化學物質。

表 3.1.1.1 依照檔案類型列出每年註冊化學物質之數量 (歐盟執委會報告)

完成的檔案	2008	2009	2010	2011	小計
現址生產的獨立中間物質的註冊	12	85	1373	2394	3864
進出口的獨立中間物質的註冊	46	196	3426	546	4214
所有註冊檔案	10	217	18969	144	19340
註冊總數	68	498	23768	3084	27418

1-10 噸物質的註冊要求審查

歐盟執委會已審查每年製造/進口商出產/進口之 1-10 噸物質的註冊要求，評估重點為該要求是否有能力識別物質對人類健康及環境之危害，以及對歐盟市場創新和競爭力的影響。根據化學物質與混合物的分類標示包裝法(Classification, labelling, and packaging of chemical substances and mixtures, CLP)的分類，評估內容包括人類健康之識別或環境分類終點之考量，尤其是 CMR 終點及潛在 PBT / vPvB 物質之識別。

ECHA 已著手建立符合註冊要求的各種替代方案，以反映 1-10 噸物質註冊要求之增加及減少。減少要求的包括現址之中間物質之要求考量；限制附件 7 僅提供的資訊為目前可用資訊或可由替代方案估計者(包括物質之分組與延伸(read-across)及定量結構活性關係分析(Quantitative structure - activity relationship, QSAR)。增加要求的部分包括與 C, M, R, P, B 特性相關之特定附錄 8 列出的終點，及採行 10-100 噸物質的註冊要求(有/無 CSA/CSR 的附錄 8)。

歐盟執委會已回顧預註冊及第一階段註冊之經驗，這些流程對於 REACH 下的所有利益相關者是全新的。業界和主管機關(尤其是 ECHA)於截止日前大量投資於建置工具和分配資源，以迎接第一階段註冊期限日的挑戰。第一階段註冊收到了大量的檔案，其成功反映了所有參與者的良好的合作關係和善意。REACH 有效

處理了第一階段的註冊，由註冊檔案之準時提交，可見業者遵守註冊義務，並已建立註冊準備的正確工具；ECHA 的 IT 系統收到大量的申請且運作良好，成功地處理了第一次註冊期限。儘管如此，下次註冊截止日前的準備，與業界(如透過 DCG)仍有共同進步的空間。

此報告第二部份的一個小節介紹了如何利用註冊制度來達成 REACH 的目標。為確保安全使用化學品，REACH 中規定化學物質之註冊需包括危害和暴露數據的收集、產生和評估，風險評估和風險管理措施的鑑別，特別為以下用以控制和減少對人類健康和環境有害的要素：

- (1) 具危害性物質化學安全性評估(Cheical Safety Assessments, CSAs)報告，藉由減少的不安全使用應產生效益。
- (2) 系統化數據收集，並在需要時產生新(測試)數據應有助於化學資訊的強化，化學品分類的可靠性，從而增進物質安全使用和處理的資訊，同時應可改善其他法規的實施及執行之資料庫。
- (3) CSA 中實施PBT評估的要求，應可確保潛在的高度關注物質(Substances of Very High Concern, SVHC)的識別，並可對其進行更詳細的評估、授權和限制。
- (4) 物質註冊要求應可為人類健康和環境創造效益，若具危害性的物質且無合適的替代品而不被註冊者支持時，將在市場中消失。

REACH 所做的工作亦有助於 71 種物質子集(sub-set)之研究，該研究為 REACH 基線研究(baseline study)的一部分，由 REACH 產生的物質資訊，導致物質分類的改變，大多數的分類變得更為嚴格，特別是在急性毒性、致敏性、生殖毒性和水生生物毒性等終點。總體而言，在物質註冊之後的所有終點的分類比率增加。隨著更多及完善的物質特性資訊的產生，與註冊者對分類有一致性，分類因而變得更為可靠。這些發現是重要的，因為分類能驅動 CSA 中暴露情境發展的需求，針對這些暴露情境，註冊者可在其擴展的安全數據表(extended safety data sheets, eSDS)中提出風險管理措施。然而目前仍有一些尚待解決的問題，如多重自主分類的繼續存在對業者會造成困擾，但是這些問題會隨註冊之物質數量的增加而逐漸減少。

關於準備 CSA 的義務，調查結果證實了由於註冊者對下游供應鏈建議了新的或更嚴格的風險管理措施，CSA 的準備工作會引導廠商更安全地使用化學品，並有益於工人、環境(藉由減少排放)及降低一般民眾的環境暴露風險，特別在生產和/或進口量每年低於 1000 噸的物質在進行註冊的時候。而關於物質的撤銷，已有證據顯示物質會由於其特性(尤其是 CMRs)，或因授權及註冊造成的潛在成本，而從市場撤出或未註冊。物質撤銷的情形也可能因為產品組合合理化而發生，在 REACH 執行的現階段，我們尚不清楚有那些已撤銷的物質會被較為無危害的物質所取代，但這個議題未來仍值得研究，以避免對人體健康和環境沒有額外益處之非必要的物質撤銷。

此報告的第三部份介紹了 CLP 的法令，CLP 法規依據歐盟的標準訂出化學物質和混合物的分類、標示和包裝規則，其目標係藉由危害分類及統一標準符號、警示語和包裝條件，告知物質或混合物的使用者危害的存在。CLP 法規引用了聯合國的化學品分類及標示的全球調和制度(Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS)，取代原有的化學品分類、標示和包裝相關規定。CLP 法規使化學品的有效管理能達到保護人類健康與環境之目的，並促進化學品在歐盟內部及國際間的貿易活動。

CLP 法規已於 2009 年 1 月 20 日開始執行，此法的基本原則為廠商需負責將化學物質和混合物分類及標示，有關分類與標示的執行期限，化學物質要在 2010 年 12 月 1 日前根據 CLP 法規來進行，混合物則從 2015 年 6 月 1 日開始。針對極具危害性的化學物質，國家主管部門或企業要提出調和的分類，ECHA 的風險評估委員會會對此分類提供意見。根據這些意見，若委員會認為合適，即把調和的分類納入 CLP 法規中的附件六，使其具有強制性。當一化學物質或混合物被歸入一個或多個危害分類時，相關資訊應透過產品標籤上的特定標示訊息和安全數據表，傳達給供應鏈中包括消費者的其他成員。根據 CLP 規定，對於 2010 年 12 月後才上市的物質，製造商和進口商都有義務向 ECHA 完成通報作業。在 ECHA 的分類及標示目錄中，被管制的化學物質已超過 115,000 種，相關資訊可在 ECHA 網站取得。

另外，歐盟的化妝品法規(EC No 1223/2009)規定從 2013 年 7 月 11 日開始銷

售含有奈米物質的化妝品時，廠商須在上市前 6 個月向執委會通報使用的奈米物質。另外歐盟在 2011 年 10 月通過的食品法規(EU No 1169/2011)，規定從 2014 年 12 月 13 日起食品內含有工程奈米物質者，需於成分表上明確標示「奈米」兩字。

歐盟提交奈米食物標示相關建議法規給世界貿易組織

歐盟執委會(European Commission)於 2013 年 9 月 11 日提交一份法規(1169/2011)修訂案給世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)，其內容為提供存在於食物中的工程奈米物質(engineered nanomaterials, ENMs)之定義資訊給消費者。由於原法規中針對的是 ENMs，而非一般的奈米物質，因此自然產生或非故意製造的奈米物質皆不應該包括在法規所定義的奈米物質中，因此在建議的修正法規中表示，「工程奈米物質的定義與故意製造的物質做連絡才是適當的，且需明確定義」。

建議法規包涵以下的敘述：

1. 列於歐盟法規 EU NO. 1129/2011 及 EU NO. 1130/2011 清單中的若干食品添加物能以工程奈米物質的形態添加於食物成品中，但這些食品添加物已被使用數十年，在成分表中冠上"奈米"字樣，會令消費者感到混淆不清。
2. 考慮到消費者對食品添加物帶來的潛在風險抱有疑慮，法規 EU NO.1129/ 2011 及 EU NO.1130/ 2011 中，歐盟清單所列作為食品添加物的原物料不應再強制以"奈米"作定性描述，而且不應存在於工程奈米物質的定義下。用於添加物的奈米標示需求，應於評估計劃中再討論。如果有必要，奈米標籤的使用條件可於法規 EC NO.1333/ 2008 的附件 II 中做修正。此外，法規 EU NO. 231/ 202115 則對添加物的規範有所描述。
3. 因為測定及量化方法的技術發展，且為了確保消費者之健康及安全性，數目濃度的粒徑分佈(非質量分佈)門檻應由原 50% (及粒徑 1~100 nm 的微粒占總數目的 50%) 應改為 1% 至 50% 。

2013 年版的歐盟奈米安全研究群計畫

歐盟執行委員會於 2013 年 2 月公佈 2013 年版的奈米安全研究群計畫概要 (Compendium of Projects in the European NanoSafety Cluster) 2013 版 (<http://www.nanosafetycluster.eu/>)。歐盟自發行奈米安全研究群的概要手冊第一版以來，著重於整合毒性研究及暴露監測的新技術。過去十年內有多個重大的報告和研究指出奈米技術的人體健康及環境安全之研究需求，因此第二版的概要手冊發行的主要目的為協調研究人員的研究工作，建立研究人員於實際研究期間的聯絡和溝通管道，讓不同研究計畫目標能互相溝通，研究目標及方法能更加廣泛，及加強人員能力及實驗室基礎建設，支持具有共同目標的計畫間的合作關係，但以不犧牲出版權及智慧財產權為前提(EU NanoSafety Cluster 網站)。

歐盟至 2013 年為止的 9 年內，共執行 50 個大型奈米 EHS 計畫，研究經費高達 1 億 3 仟 7 佰萬歐元(約 54 億台幣)，每個計畫執行年限自 2 年至 5 年不等，平均計畫經費為 1.1 億台幣。

2013 年版的歐盟執委會奈米安全研究群計畫概要，共列出 33 個計畫之執行概要，其清單如表 3.1.1.2 所示。歐盟的這些大型研究計畫著重於整合毒性研究及暴露監測的新技術，過去十年已發表了許多的研究報告及指引文件，並指出奈米技術的人體健康及環境安全之研究需求。此概要手冊發行的主要目的為協調研究人員的研究工作，建立研究人員於實際研究期間的聯絡和溝通管道，讓不同研究計畫目標能互相溝通，研究目標及方法能更加廣泛，及加強人員能力及實驗室基礎建設，支持具有共同目標的計畫間的合作關係，但以不犧牲出版權及智慧財產權為前提(EU NanoSafety Cluster 網站)。

表 3.1.1.2 2013 年歐盟執委會奈米安全研究群計畫(EU Nanosafety Cluster 網站)

計畫名稱	計畫內容	執行期限
ENNSATOX	工程奈米微粒對水環境的影響：結構、活性和毒理學	2009-2010
ENPRA	工程奈米微粒的風險評估	2009-2012
ENRHES	工程奈米微粒：健康與環境安全的回顧	2008-至今
HINAMOX	工程金屬和金屬氧化物奈米微粒對健康的影	2009-2012

計畫名稱	計畫內容	執行期限
	響：在細胞與身體層次的反應、生物成像及分佈	
InLiveTox	腸、肝和內皮的奈米微粒毒性—發展和評估一個高通量數據產生的創新工具	2009-2013
MARINA	奈米物質的風險管理	2011-2015
ModNanoTox	奈米微粒毒性的模擬：原理、方法、創新方法	2011-2015
NANEX	發展人造奈米物質的暴露情境	2009-2010
NANODEVICE	利用新穎的概念、方法與科技製造便於攜帶及易使用的儀器以測量及分析工作場所中的懸浮工程奈米微粒	2009-2013
NanoFATE	奈米微粒的宿命評估及其在環境中的毒性	2010-2014
NANO futures	歐盟推動奈米科技之永續發展	2010-至今
NanoHouse	用於家庭塗料的奈米微粒產品之生命週期	2010-2013
NanoImpactNet	奈米物質對歐洲系統所造成的健康和環境影響	2008-2012
NanoLyse	食品中的奈米微粒—檢測和特性量測的分析方法	2010-2012
NANOMEGA	模擬肺部暴露於奈米微粒的新穎毒性測試法-- ω -3 脂肪酸(omega-3 acids)的可能保護效應	2010-至今
NanoMILE	工程奈米物質與生物系統及環境的互動機制：一項安全奈米科技的全球性架構	2013-至今
NANOMMUNE	工程奈米物質對免疫系統的危害影響廣泛評估	2008-2011
NanoPolyTox	在各種工業應用中聚合奈米複合材料的加工、老化產生的奈米物質的毒性衝擊	2010-2013
NanoReTox	工程奈米微粒的反應性和毒性—對環境和人體健康的風險	2008-2010
nanoSTAIR	建立一套程序及平台以支持奈米科技的標準化	2012-至今
NanoSustain	以危害特性量測和生命週期評估為基礎發展奈米科技產品的永續解決方法	2010-2013
NanoTEST	發展可評估奈米微粒用於醫療診斷時的毒性數據之替代測試方案	2008-至今
NANOTHER	整合用於各種癌症之治療與診斷的奈米微粒新穎技術	2008-2012
NanoToes	奈米科技：安全專家之培訓	2010-至今

計畫名稱	計畫內容	執行期限
NanoTransKinetics	奈米微粒與細胞交互作用和傳輸時的基礎與動力學模擬	2011-2014
NanoValid	發展工程奈米物質之危害辨識、風險評估和生命週期評估的參考方法	2011-2014
NHECD	建立一個奈米微粒對健康、安全和環境影響的關鍵性與評斷性資料庫	2008-2012
NEPHH	在奈米物質的生命週期中與其相關的環境污染與健康危害	2009-2012
NeuroNano	奈米微粒是否會誘發神經退化性疾病? 了解奈米微粒的存在造成活性氧化物種類的起源和蛋白質團聚與錯誤折疊的現象	2009-2012
QualityNano	奈米物質安全測試品管的泛歐盟科研架構	2011-2015
Scaffold	營造業對工程奈米物質之職業風險管理的創新策略、方法與工具	2012-至今
SmartNano	工程奈米微粒的靈敏測量、偵測與辨識	2012-至今
SIINN	創新奈米科學和奈米技術的安全應用	2011-2014

以上這些計畫的目的、執行人員、聯絡方式、計畫成果或預期成果等，均可在 2013 版的奈米安全研究群計畫概要手冊中獲得 (<http://www.nanosafetycluster.eu/home/european-nanosafety-cluster-compendium.html>)。

本團隊過去已於 100 年度的報告(蔡, 100 年)回顧了 NANODEVICE 及 NanoFATE 計畫, 今年度則回顧 InLiveTox, NanoPolyTox, NANODEVICE 新增部分, NanoREG, NanoHouse 及 NEHPP 等 6 個計畫。

***InLiveTox* 計畫**

過去已有許多文獻發表不同奈米微粒的體外及體內的毒性研究結果, 然而目前仍然缺乏工程奈米微粒是否會對「人體健康」及「產生環境風險」的資訊, 奈米微粒的物化特性對免疫系統造成影響的研究仍在研究中, 可分成兩個類別: (a) 對奈米微粒的出現進行調控以刺激免疫系統的反應; (b) 奈米微粒所造成的不良副

作用。

過去三年由歐盟贊助的 InLiveTox 計畫顯著提升了奈米微粒的體外試驗研究能力，此計畫著重於探討奈米微粒的暴露對腸道、心血管系統及肝臟的影響，由於奈米微粒已大量應用在食品、食品包裝及口服用藥，透過攝取的暴露路徑與此計畫特別相關。

這個計畫開發出一套流體式的新型體外試驗系統，可用於模擬組織對攝取的奈米微粒之反應，利用此體外試驗系統獲得的結果已經過奈米微粒的生物動力學體內研究與老鼠食入的毒性研究之驗證。取自於這些動物的組織並用於探討腸道、心血管系統及肝臟的毒性反應，接著再把這些數據與其他相似微粒但不同暴露路徑(如吸入)的生物動力學研究結果進行比較，另外，經由注射和攝取造成暴露的體內研究結果也和標準的靜態單細胞試驗的數據進行比較。新開發的體外試驗系統呈現出令人激賞的差異性和相似性成果，特別是發炎反應的研究。

InLiveTox 計畫的研究成果可能具有改變藥物、化學、化妝品及食品等領域之潛力，改良後的方法可能帶來可觀的經濟效益，與減少動物實驗的支出成本，而且將較安全的產品快速導入市場販售同時也符合 REACH 法規。

InLiveTox 計畫由跨領域的研究團隊執行，成員包含歐盟的奈米毒理學、藥物學及工程技術類的專家，並與來自美國羅徹斯特大學的主要研究團隊共同合作，計畫的研究經費由歐盟科研架構計畫(計畫編號：FP7-NMP-2008-1.3-2)提供。

InLiveTox 計畫所開發的技術，可用來作為新化學物質的毒理學和藥理學的測試和研究工具。從許多面向看來，InLiveTox 計畫的研究成果，提供具有潛力來加強體外試驗領域中新產品開發之基礎的創新技術。以宏觀的角度來說，這個計畫確認了歐盟的研究組織在體外試驗的快速發展領域擁有國際級的競爭地位。

***NanoPolyTox* 計畫**

NanoPolyTox為歐盟第七期科研架構計畫中，NMP-2009-1.3-1主題下的一項中小型合作計劃。該活動旨在發展出一套合宜處置奈米科技產品相關使用、回收及/或最終處理之辦法。

NanoPolyTox計畫包含監控奈米物質的物化特性及其在合成、製程、老化、回

收至生命周期結束(廢置)期間，轉移及/或釋放到環境中的毒性。NanoPolyTox計畫期間所得到的物化特性和毒物數據，將是建立奈米物質之生物及環境宿命的考量依據。此數據理論分析，亦可作為奈米物質對人體健康與環境之影響預測模型的開發依據。再者，將針對奈米物質做LCA分析，以評估其對人類健康及環境造成的影響。

另外，本計畫研究三項回收策略以提供有害及無害奈米物質的處置解決方案。為此將發展一套詳盡的評估機制，包含選擇合適萃取消化法(digestion and extraction methods)，以從聚合物基體中分離出奈米物質。

回收過程之建議方法如下:奈米複合材料的直接機器回收；透過特製奈米纖維作成的奈米薄膜(nanofiltration)的奈米過濾法的新型化學分離技術，回收奈米物質及聚合物；聚合物的回收與有毒奈米物質於惰性基質中之固定化。

NanoPolyTox 的工作計畫分成七項技術性工作項目(work package, WP)，分述於表 3.1.1.3。

表 3.1.1.3 NonoPolyTox 工作計畫 (NanoPolyTox 網站)

工作項目	工作內容
WP1: 奈米物質原料的合成與特性分析	NanoPolyTox 研究中所選的三項奈米物質為:多壁奈米碳管(MWCNT)、金屬氧化奈米微粒(TiO ₂ , ZnO 與 SiO ₂)及奈米黏土(小尺寸和大尺寸)。此工作項目進行的研究包括合成奈米物質的完整特性分析。
WP2: 發展高分子奈米複合材料	WP2 的目標是生成高分子奈米複合材料，包括以特殊工業製程如擠壓(extrusion)與射出成型(injection)技術生成 WP1 中的奈米物質。
WP3: 高分子奈米複合材料的劣化	WP3 的主要目標是模擬高分子奈米複合材料之戶外使用，以評估聚合物於外在環境(模擬陽光與氣候)下的降解。利用和 WP1 及 WP2 相同技術來分析劣化後的奈米物質與奈米複合材料，以獲得比對數據。
WP4: 發展非破壞性的分離技術，奈米物質回收與處理技術之概念驗證	此工作計畫中，聚合物基體內的奈米物質回收之執行步驟如下：首先，以非破壞性技術溶解高分子奈米複合材料，接著過濾膠體物質，以回收奈米物質。收集過濾後的奈米物質特性，以 WP1 中所述之分析方法作評估。所得之數據將可做為奈米物質在生命週期過程中物化特性演變的參考資料。

工作項目	工作內容
WP5: 奈米物質於生命週期各階段之毒理及生態毒理評估	蒐集樣本的體內、體外毒理學實驗數據，以評估奈米物質從生產、使用到廢置階段之風險。
WP6: 理論性研究與生命週期評估分析	此工作項目主要目的為分析奈米物質在整個生命週期中，物化及毒理特性的相關數據，並使用該數據做理論模型，以預測奈米物質對人體健康與環境造成之影響。
WP7: 聚合物基體內奈米物質的回收與處理之技術方法	NanoPolyTox 計畫對高分子奈米複合材料中奈米物質的回收部分提出 2 項，處置部分提出 1 項方案，分別是： <ul style="list-style-type: none"> ● 奈米複合材料的機器直接回收後之新應用。 ● 利用 WP4 中所研發的過濾奈米物質的特製奈米纖維過濾器，過濾及分離聚合物主體內之無毒奈米物質。 ● 過濾、分離、惰化玻璃基質內之有毒奈米物質。

NANODEVICE 計畫

NANODEVICE 為歐盟執行委員會第七期科研架構計畫下之子計畫(計畫編號: FFP7 211464), 自 2009 年 4 月啟動, 執行期間至 2013 年 4 月止。NANODEVICE 的研究動機起源於大量使用的工程奈米微粒(engineered nanoparticles, ENP)之健康效應目前仍存在知識缺口, 及缺乏具有現址可用及經濟有效的方法(特別在即時量測), 以確實評估工作場所空氣中 ENP 的暴露程度。

由於 ENP 的特殊性質, 特別是表面活性造成健康方面的疑慮, 因而促成了科學家、執法者及工業界尋找安全生產和使用不同 ENP 時的標準程度。除了粒徑分佈之外, 懸浮 ENP 安全評估的不確定性來自於物理化學特性及暴露程度的知識缺口。監測 ENP 的挑戰包括如何分辨在背景奈米微粒中不同來源的 ENP。

NANODEVICE 的主要目標為利用工作場所的新型、可攜帶式及易於操作的儀器, 發展創新概念與可信賴的方法, 以分析工作場所空氣中 ENP 的特性。NANODEVICE 除了可提供 ENP 在物理化學特性與毒性的新資訊外, 同時也將發展新的量測儀器以評估工作場所空氣中 ENP 暴露的情形。

NANODEVICE 的其他研究目標為: (1) 辨識懸浮 ENP 的相關物理化學特性及尺度, 並建立參考物質; (2) 探究 ENP 物理化學特性與毒性之間的相關性; (3)

分析工作場所空氣中來自於工業製程產生的 ENP；(4) 發展在真實及模擬暴露情境下校正及測試新型儀器的方法；(5) 透過指引、標準規範及教育來宣傳研究成果以提倡 ENP 的安全使用，並達成 ENP 生產與處理的安全目標，及利用舉辦國際奈米安全論壇的方式以提倡與奈米安全相關的合作。

NANODEVICE 目前在儀器開發方面已獲得的初步成果，包括 4 大類別的 17 款新型儀器(如表 3.1.1.4 所示)，以及 3 項可行性評估研究。

表 3.1.1.4 NANODEVICE 新型儀器開發 (NANODEVICE 網站)

儀器種類	儀器介紹
即時監測總或特定粒徑的數目-表面積-質量	德國 GRIMM 公司研發出測量微粒粒徑分佈、總濃度、表面積和體積分佈、總表面積和總質量分率的原型機、芬蘭 DEKATI 公司和坦佩雷理工大學(TUT)研發出測量微粒粒徑分佈的原型機，及德國研究機構 IUTA 研發出測量微粒粒徑分佈的標準設備。
即時或準即時的特定物質監測儀	英國 NANEUM 公司研發出的奈米碳管監測儀，及德國卡爾斯魯厄理工學院(KIT)研發出的催化活性氣膠監測儀。
採樣後(off-line)再分析微粒成份的採樣器	瑞典隆德大學(University of LUND)研發的氣體交換區(GE 模組)的前置分離器，及外胸腔區(extra-thoracic region)(ET1 模組)的前置分離器。
測量與人體呼吸道相關的粒徑分率的前置分離器模組	德國弗勞恩霍夫製造技術與自動化研究所(Fraunhofer IPA)研發的奈米碳管採樣器。

NANODEVICE 在其他研究目標獲得的初步成果如下：

1. 辨識懸浮 ENP 的相關物理化學特性及尺度，並建立參考物質

NANODEVICE 已設計及建立可產生多壁奈米碳管氣膠的多壁奈米碳管浮動式催化劑合成反應器，也完成可產生奈米微粒的金屬氧化物火焰反應器，此反應器正在運轉中，並收集了產生的粉塵進行後續的分析。

2. 探究 ENP 物理化學特性與毒性之間的相關性

NANODEVICE 研究 ENP 的細胞毒性、基因毒性及免疫毒性，並建立研究成果的資料庫，成果已發表在國際期刊及國際學術研討會。

3. 分析工作場所空氣中來自於工業製程產生的 ENP

NANODEVICE 已進行污染源的特性分析、ENP 的團聚現象及通風的實驗，也完成了數據分析的工作，同時並利用計算流體力學模式建立並模擬逸散的情境。

4. 發展在真實及模擬暴露情境下校正及測試新型儀器的方法

儀器開發者已廣泛地使用校正工具"測量奈米微粒的氣膠儀器特性(CAIMAN)"。NANODEVICE 並利用現有的氣膠測量技術驗證奈米測試的設備(nanotest facility)，也使用已知氣膠完成第一部原型機的測試，此項工作已在真實條件下的第二次大規模的比對試驗中完成。儀器開發者已廣泛地使用奈米測試的設備，研究人員尚會再進行第三次也是最後一次的比對試驗，並提供儀器開發者模廠之測試結果。

5. 計畫成果的宣傳

本計畫利用官方網站與網路社群溝通，並已精心製作計畫的簡介手冊分送至各界，同時也在許多的國際研討會及專家會議以海報的形式發表計畫的成果。NANODEVICE 計畫成果的宣傳在 2012 年 10 月於芬蘭舉辦的 SENN2012 研討會達到高峰。

NANoREG 計畫

對奈米技術環境健康安全(EHS)議題了解的不足可能威脅到未來工程奈米物質的創新和經濟潛力。科學家不斷地研究毒性風險數據，然而這些數據與管理機關之間的關連性通常不夠明確或未經證實。由於新的工程奈米物質從研發到上市前之間的時間短，使得管理機關必須立即採取行動。藉由數據和測試方法的科學評估的連結，NANoREG 計畫成為歐盟第七期科研架構計畫中，第一個可提供管理機關和立法機關在 EHS 議題答案的計畫。

根據管理和立法機關提供的問題和需求，NANoREG 計畫的目標為：(1) 根據現有的數據輔以新知識以提供答案和解決方案；(2) 提供用於風險評估、特性分析、毒性測試和工程奈米物質暴露量測等相關方法的工具箱；(3) 長期發展適用於

創新需求的新穎測試策略；(4) 建立管理機關、業界和學界之間的合作關係，以產出有效且實用的工程奈米物質和含有奈米物質的產品之風險管理措施。

透過管理機關、業界和學界等三個主要利益相關者的跨領域研究，將可降低工業及消費性產品中工程奈米物質造成的風險。

NANoREG 計畫從分析工程奈米物質工作小組(WPMN)、歐盟第七期科研架構計畫(FP7)和其他計畫產出的現有知識開始，結合管理機關的需求和填補缺口的新知識，增加已驗證的工具箱的內容和資料庫，及符合歐盟的國際標準化學品資訊(IUCLID)的資料庫結構。

為了回覆法規方面的問題和需求，NANoREG 計畫與主要國家包括美國、加拿大、澳洲、日本和俄羅斯等國，建立計畫參與國管理和立法機關之間的橫向聯繫。(歐盟 NANoREG 網站)

NanoHouse 計畫

NanoHouse 為歐盟執委會(European Commission)第七期科研架構計畫下之子計畫(計畫編號：NMP-2009-1.3-1 及 ENV2009.3.1.3.2)，發展奈米科技產品之應用、回收及最終處理的適當解決方法。NanoHouse 計畫自 2010 年 1 月啟動，執行期間為 42 個月(至 2013 年 6 月止)，總預算為 310 萬歐元。該計畫旨在以生命週期思考模式(Life cycle thinking)，推動建築業的奈米物質負責任及永續發展。

在永續發展方面奈米物質可帶給建築業很大的利益。奈米微粒不僅可減緩建材(特別是油漆和塗層)的老化(紫外線照射、機械應力等)，並可取代有毒的有機殺菌劑，在空氣淨化、保溫及自淨等也有很好的應用。然而，只有在人類的安全和環境問題獲得解決時，奈米物質在上述經濟領域的發展才可蓬勃成長。就人類長期暴露的問題而言，焦點必須放在人們住所安全議題之解決與奈米產品的接受度上。由此看來，建築物和民宅就成了關鍵點，因為它們是已開發國家居民的主要環境構成要件。這些議題為 NanoHouse 計畫的重點。

透過不同形式工程奈米微粒(ENP)的使用，如二氧化矽(silica)(硬化劑，抗反射效果)、氧化鋅(zinc oxide)、二氧化鈦(titanium dioxide)、氧化鈾(cerium oxide)(抗

UV)和銀(殺菌劑)，奈米科技已被運用於建材中，包括混凝土、玻璃窗、金屬塗層、防刮痕地板塗料、水泥牆或木製牆面塗料、裝飾塗漆和醫療用抗菌塗層及塑膠製品。

NanoHouse 計畫的主要成果為(歐盟 NanoHouse 網站)：

1. 評估 ENP 使用於住宅材料上的相關風險。
2. 減少 ENP 之釋放，以改善含有 ENP 的油漆及塗料在住宅及其他應用之永續性。
3. 考量實際釋放的 ENP 特殊性，提出一個奈米產品群組通用的風險評估方法來做測試。
4. 藉由提出奈米產品生命週期的具體建議，與首度執行奈米產品的生命週期評估 (Life cycle assessment, LCA)，以支持風險評估的相關法規。
5. 參與驗證奈米產品於建築或其他應用方面的釋放測試標準化。
6. 改善目前奈米產品最終處置的技術解決方法。
7. 提供製造商一個具永續、競爭力之創新，及作為奈米風險管理之決策工具。
8. 提升奈米產品的社會接受度。

NEPHH 計畫

NEPHH (Nanomaterials Related Environmental Pollution and Health Hazards，奈米物質造成的環境污染與健康危害)是一個中等規模的合作計畫，部分經費源自歐盟執委會，計畫編號為 NMP-2008-1.3.2，旨在探討工程奈米微粒對健康與環境的影響。

NEPHH 計畫旨在辨別及評定高分子奈米複合材料於生命週期中相關活動產生之環境污染及健康危害因子的主要型態，並提出可降低或消除這些影響的方法。NEPHH 計畫的結果將是有效管理與降低風險等必要措施的建立準則，同時也有助於社會大眾認同奈米科技，確保奈米產品的市場安全性及永續性。

計畫的具體目標如下：

1. 在奈米物質的選擇與排序方面，發展有系統及持續性的實務經驗，以評估其對安全、環境、人體健康的影響。
2. 預期現行研究使用的物化採樣方法，本計畫將致力於奈米物質的測試方法與架構的標準化與驗證。
3. 收集奈米複合材料樣品，包括實驗室和工業用矽基材料。這些標的材料代表一種新穎的材料選擇以填補現行科學研究並為未來研究建立基礎。
4. 為了更了解所選之奈米物質對健康的影響，已建立體外測試方法，以符合奈米科技產品的安全評估法規需求。
5. 根據 ISO 14.040: 2006 與 ISO 14.044: 2006 標準方法，評估標的奈米物質於生命週期間(合成與製造階段)的人類與環境暴露。
6. 評估奈米物質對環境(或透過環境對人體健康)產生破壞的可能性。
7. 選擇與推廣最佳實務(主要為製造與棄置過程)，及利用工人暴露的操作指引，以安全、經濟的方式儘量減少工人暴露的機會。這包括工程奈米物質相關安全議題的知識產生與傳遞，並支持其研究與法規。
8. 促成「負責任奈米科技研究行為準則」，以確保奈米技術的開發安全。此目標與歐盟執委會方向一致，旨在強化支持毒性與生態毒性的合作研究，探討奈米技術對人體和環境的潛在影響。
9. 有助於法規架構的建立使其適用於奈米物質(含化學品、勞工保護、環境法規與產品相關法規等)，並將測試方法與風險評估(危害與暴露)方法兩項重要因素視為法規執行、行政決策、廠商或雇主義務的基礎。

奈米技術為最具發展遠景的科技，它突破了現今巨型分子材料本身結構的極限而限制的持續進展。發展 NEPHH 計畫期間得到的經驗有助於以奈米尺度理解、處理及操控大分子結構/功能，以協助建構奈米物質的毒理學與生態毒理學基礎。

另外，計畫得到的結果也有助於發展一套合宜的生命週期方法來測試奈米物質對人體毒理與生態毒理造成的影響。NEPHH 計畫結果有助於理解奈米物質與分子、細胞與器官間的互動機制，將對歐盟甚至全世界產生巨大影響及附加價值。

發展體外試驗法預測人類暴露於奈米物質下的反應，也有助於奈米技術產品的安全評估。

此外，在科學界的潛在影響層面，NEPHH 計畫提供了奈米物質毒理與生態毒理方面有用的量化數據，可作為符合管制需求的基礎。計畫相關數據不僅可填補目前研究文獻的知識缺口，也可為未來的研究立下基礎。因此，NEPHH 計畫在奈米物質於生命週期間的健康與環境評估具之進展。(歐盟 NEPHH 網站)

三、國際間的法規與政策進展

德國政府機關發布奈米物質的健康及安全相關性報告

2013 年 3 月 20 日，德國五所政府機關聯合發表了一份名為「奈米科技--奈米物質之健康與環境風險」的報告，並針對將來奈米物質安全性評估做出具體的建議。聯合研究策略始於 2007 年，審查了超過 80 項奈米物質之研究。本報告做出以下五點建議(NOEECT Blog 網站)：

- 發展足夠用於風險評估的量測方法。
- 發展暴露評估的參考物質，並研究奈米物質對人體及環境之影響。
- 以國內及國際的層次，驗證與協調測試及評估策略，以利研究結果的比較。
- 於物質開發初期進行有害健康與環境風險之篩選試驗。
- 發展標記單一奈米物質的方法，且將奈米物質依特性分類，以減少複雜的單一物質的調查。

德國 NanoGEM 計畫

德國教育與研究部(BMBF)的 NanoGEM 計畫進行已達三年，研究主題包含奈米微粒在人體中的吸收與分佈狀況，且奈米微粒之粒徑、結構與表面特性影響很大。研究人員在過去幾年，對 16 種物質進行檢測，研究奈米微粒被吸入或攝取至人體時之反應。研究物質包括油漆塗料內，用來抗刮傷的二氧化矽(SiO₂)及二氧化鋯(ZrO₂)，與太陽能科技產業會使用到的奈米銀油墨。這次測試項目不光是純奈米微粒，也包含了表面官能化的奈米微粒，經由有機分子在微粒表面的結合，能改善產品的可加工性、可溶性與穩定性。研究發現，原本微粒之生物效應，經常因

其表面的官能化而弱化，因而降低了毒性。這是因為微粒表面的潛在反應被官能基所遮蔽，而且有些微粒變得更容易被排出體外。這些研究結果能幫助專家們對其他奈米物質進行風險評估。將來進行安全評估時，就不需要逐一檢查官能基化的某一種物質的奈米微粒，只需將不同的奈米物質分組即可，這樣就能發展出更簡單且快速地可靠風險評估方法，此方法仍需進一步研究證實。(nanowerk 網站)

澳洲公布奈米技術工作健康和安全管理問題的研究報告

2013 年 3 月 18 日澳洲工作安全委員會 (Safe Work Australia, SWA) 公布兩份研究報告，分別是複合物與其他固體物質於加工過程中，奈米物質釋放量之調查，及使用工程奈米物質時，可能產生之危害物質的評估。藉由這兩份報告來探討奈米科技作業的健康與安全議題。SWA 指出奈米物質具有已知的安全風險，且澳洲政府在國家技術策略中對奈米物質所採取的預防措施。雖然奈米物質及其應用對人體健康與安全的風險低，但有些奈米物質(如奈米碳管)可能具有潛在的風險。在有足夠數據可以排除奈米物質之危害物前，仍需儘量減少工人暴露於奈米物質工作場所的機會。研究報告並顯示，如果傳統工程控制方法設計得宜且維護妥當的話，將可大幅減少奈米物質暴露的機會。(NOECT Blog 網站)

奈米碳管的工作場所職業暴露限值

日本的單壁奈米碳管融合新材料研究開發機構(Technology Research Association for Single Wall Carbon Nanotubes, TASC)及產業技術綜合研究所(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST)在 2013 年 10 月共同發表"測量工作場所懸浮奈米碳管的指引"，此指引整理了文獻上奈米碳管(CNT)的工作場所職業暴露限值(Occupational Exposure Limit, OEL)。

美國勞工安全衛生研究所(NIOSH)在 2013 年提出 CNT 及奈米碳纖維中的元素碳的工作場所建議暴露限值(Recommended Exposure Limit, REL)為 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；歐盟執委會(European Commission)在 2010 年發表的"回顧工程奈米微粒的健康和環境安全議題"的計畫報告中，提出 CNT 的衍生無效應劑量值(Derived No-Effect Level, DNEL)為 $0.7\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而日本的新能源產業技術綜合開發機構(New Energy

and Industrial Technology Development Organization, NEDO)在 2011 年發表的"工程奈米物質的風險評估：奈米碳管"的計畫報告中，亦提出 CNT 的職業暴露限值為 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (此值為假設工人亞慢性暴露每天 8 小時、每週 5 天為期 15 年)。另外拜耳公司和 Nanocyl 公司也自行訂出多壁奈米碳管的職業暴露限值分別為 50 和 $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

奈米碳管的毒性評估

在 2013 年 10 月於日本舉辦的第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會上，奈米碳管的毒性仍為世界各國研究的重點。Kanno et al. (2013) 指出，部份多壁奈米碳管的長度為 10-20 μm ，在含有 p53 異質基因(heterozygous)的小鼠身上使用腹腔注射法時會產生劑量-反應關係的間皮瘤病變；從低劑量和使用分散性良好的樣本的研究結果發現，非肉芽腫的慢性發炎微損傷主要與不尋常的間皮滋生的誘發有關，在不同的器官包括腎小球和眼球脈絡叢也會發現單纖維碳管的存在，此似乎與吞噬細胞會吞噬次微米的團粒並將它們帶到網狀內皮系統有關，這樣的全身性和網狀內皮系統的轉移產生的毒性並不清楚，仍待進一步研究。一般來說，利用急性動物模式進行生物持久性的奈米微粒研究，並不是一個好的慢性毒性預測模式，Kanno et al. (2013)表示應該研究慢性反應的病理。Oberdörster (2013)亦指出儘管多壁奈米碳管(MWCNT)的三個月亞慢性多重劑量的小鼠吸入性研究的結果並未顯示出致癌性，但是非生理性的高劑量大量注射實驗仍會產生小鼠的發炎、肉芽腫及間皮瘤，因而引起纖維狀奈米物質會產生類似石棉之長期毒性和致癌性之疑慮。進一步被吸入奈米碳管轉移到胸腔組織和其他肺部外的定量研究證據獲得證實，因而 Oberdörster (2013)呼籲需要進行長期慢性吸入毒性研究。儘管目前缺少長期的吸入毒性測試結果，Oberdörster (2013)發現纖維狀奈米碳微粒的三個月亞慢性吸入性的研究結果，可用於驗證以正負控制物質為基礎的奈米物質比較性風險評估法(comparative risk assessment method)。此方法使用全暴露-劑量-反應關係，利用不同的測量尺度找出危害並將之分級，分析風險以推導出職業暴露限值。

一般奈米物質呈現團粒或團聚狀，如 Mitsui 公司生產的多壁奈米碳管產品

MWNT-7，為一種分散良好的單纖維(佔質量 5%)和團粒(佔質量 95%)的混合物，在老鼠內注入此 MWCNT 混合物會以團粒方式在肺部細支氣管中誘發發炎損害。然而對於人類而言，到達肺泡的單一分散纖維所誘導的肺部毒性為一個重要的研究課題，因此吸入毒性研究需要一個不會改變長度及直徑的單纖維的氣膠產生方法。

Taquahashi et al. (2013)提出一個乾式單纖維 MWCNT 分散方法，能有效去除團粒，不必使用分散劑，並可維持纖維長度及直徑。這方法有兩個主要概念：細微粒的液相過濾，及利用表面張力避免再團聚的臨界點乾燥方法。將 MWNT-7 懸浮在三丁醇中冷凍與解凍後，藉由震盪 25 μm 金屬篩網過濾，再以液態氮快速冷凍，最後再真空昇華。Taquahashi et al. (2013)利用此方法發展出一個能夠在吸入腔中產生良好分散氣膠的新直接注入系統，且可在暴露在氣膠的老鼠的肺部中發現和原始及 Taquann 處理過的樣品具有相似長度分布的單一纖維。Taquann 方法利用在生物實驗室中容易取得的低價材料及設備，製備出良好分散的乾式氣膠。此方法和具有直接注入系統的暴露腔，將有助於人體暴露更相關的吸入毒性研究的進行。

Kanno et al.和 Oberdörster 的論點支持了 Nel et al. (2013)所建立的平台，此平台用於探討發生在奈米/生物交界面的可能地無數生物、物理化學交互作用，體內實驗的結果用於驗證和改善體外的高通量篩選(high-throughput screening, HTS)技術，並藉由體內和體外試驗的適當組合，建立結構-活性反應(structure-activity relationships, SARs)關係，使危害分級和模擬成為可能之方法。

OECD 成員國提出人造奈米物質安全的建議

OECD 建議其成員國運用目前國內外化學品的法規架構，控管人造奈米物質相關風險。核准這項建議的 OECD 執委會指出這些架構與其他管理系統可能需視人造奈米物質的特性做調整。

人造奈米物質為奈米尺度下顯現出異於同物質的新特性化學微粒。這些新特性可提供新商業用途的可能性，如使用矽奈米結晶體的太陽能電池以獲得更高效

能。同時，人造奈米物質對人體和環境亦有潛在風險。例如，新人造奈米物質的應用跨足防曬霜及化妝品，因此必須仔細評估與管理其可能對消費者產生的潛在暴露風險。

建議報告提出化學品安全測試(Safety Testing of Chemicals)的 OECD 測試指引(OECD Test Guidelines)的重要性，結論是很多現有的指引亦適用於奈米物質的安全評估。同時，建議報告也承認部分指引需根據奈米物質的特性進行調整。OECD 將繼續努力以達成此目標。

這份建議報告的一項重要成果為蒐集到的奈米物質安全評估數據，多數將屬於 OECD 化學品評估的相互認可數據(Mutual Acceptance of Data, MAD)之範圍。OECD 相互認可數據系統是一項多方協定，允許化學品和化學產品的各種非臨床安全實驗結果，如工業化學品、農藥及現在的奈米物質，於 OECD 及其他會員國間共享，能替政府與化學品製造商每年省下約 1.5 億歐元。

MAD 的範圍延伸至奈米物質，將大幅減少各國間行銷人造奈米物質及含奈米物質產品之非關稅貿易障礙，並可分擔各國檢測、評估市面上奈米物質的工作量。OECD 將於三年內審查此建議報告，評估成員國與合作關係國之執行成效。

從多方利害關係者觀點看奈米物質安全評估之替代測試方案

相較於傳統毒理學高度依賴動物的實驗方式，產生毒理學數據的新方法已可用於化學品的安全評估，包括高通量篩選(high-throughput screening, HTS)及高含量篩選(high-content screening, HCS)。毒理學相關研究概念進展至對生物分子與機制分析如何協助危害辨認與改善風險評估有更深更完整的了解。

隨著奈米科技的興起，利用科學方法便於迅速且高效率地篩檢人體與環境中的工程奈米物質(Engineered nanomaterials, ENMs)安全。在化學試驗方面，採用替代測試方案(alternative test strategies, ATS)為一具有潛力的 ENMs 毒理學典範，透過體外(in vitro)或電腦模擬(in silico)方法，如 HTS、HCS 與計算機模擬，以減少對動物實驗的依賴。

此外，此方法能對大量 ENMs 進行比較分析，並於產品開發過程及生命週期中的不同階段實行危害評估。洛杉磯加州大學舉辦了以奈米碳管為案例的研討

會，聚集來自國內外政府、產業和學術界的領導人士，討論用於 ENMs 決策制訂分析之 ATS 成效，與會者普遍認同 ATS 的使用。

1. 利用 ATS 研究 ENMs 危害性，及列出 ENMs 額外毒性測試、風險評估、產品開發的優先順序，為廣泛認同之目標。
2. 使用 ATS 於法規管制目的的任何架構皆需透明化，且利害關係群均能參與其流程，並需以科學及法律的穩健驗證程序為前提。使用 ATS 作為管制相關決策依據時，需要進一步討論科學現況及適用的法規架構。如何及篩選與危害辨識的新科學平台仍需研究，以便做為日後管制決策之討論平台。
3. 經由快速且經驗證的 HCS、HTS 分析，ENMs 預測毒理學方法的發展提供使用 ATS 於化學品的機會。CNT 安全評估的預測毒理學方法對危害等級排名、動物試驗優先順序、依危害類別、毒性途徑分類物質、結構活性關係(structure-activity relationships, SARs)及毒性作分類，有潛在助益。這個方法對使用於特定作用機制(mechanism of action, MOA)之化學品篩選也有幫助。
4. 毒性途徑的使用與理解、SARs 的建立、奈米物質分類與 ENMs 安全評估決策工具等，一旦被認可，就可協助法規相關決策、調適目前的法規流程，及有助於替代性分析(alternatives analysis)、分級管理(control banding)與職場風險評估程序，建立建議暴露現值。
5. ATS 及奈米碳管(CNT)與金屬氧化物(Metal oxides, MOx)預測毒理學典範之建立，可用來建立危害種類與物質分類，作為第一層測試，進一步列出動物研究中的奈米物質優先順序。物質選用之優先順序及建立物質分類皆能減低動物在毒性試驗中的需求數量。第二層中短期動物研究與體內危害排名，可用來規劃昂貴且長期之第三層吸入研究(inhalation studies)，以得到較為量化的全面性風險評估。此架構可用以協助職業衛生與法規相關決策。
6. 危害排名、物質分類與 SARs 之發展為新產品開發不可或缺的一部分，可協助產業開發更安全的 ENMs。
7. 主要的是要考量劑量反應(dose-response)之外推(extrapolation)與暴露情境，以連接細胞內機制與預測毒性評估至劑量尺度(dose metric)，以了解體內暴露劑量反應的關係，包括其與現實生活中暴露之關聯性。除此之外，了解劑量反應關係

時也應考量 ENMs 與化學品的攝入、分布與清除。

由於 ATS 可提供有用數據填補 ENMs 潛在危險特性的知識缺口，想要使用 ATS 作為職場之暴露控制決策指引的人越來越多。無論是在實驗室、模廠試驗設施、製造或產品應用上使用或製造 ENMs，NIOSH 都需要相關資訊來制定工程控制及其他作業場所實務的風險管理建議指引，以減少危害勞工健康的風險。

藉由體外試驗與動物有限吸氣團暴露研究(非吸入性暴露)的 ATS 可協助 NIOSH、OSHA 及美國以外的職業安全與健康管理機關提出 ENMs 的職業安全與健康相關建議。例如利用分層方法，以組織培養皿和肺部(啮齒動物與人類)間的驗證分析結果做劑量反應外推，結合現有吸入微粒與纖維的文獻研究，以提出懸浮 ENMs 對職業健康與安全的建議。NIOSH 也利用 ATS 辨識毒理學研究中的生物標誌，作為暴露和早期生物影響的標記，並用於勞工族群輔助健康保護措施的生物偵測。

US EPA 支持並提供資金發展評估 ENMs 環境健康與安全系統。於此背景下，ATS 可作為建立各種 ENMs 分類與評估工具之方法，並用於風險評估與綠色或友善設計上。廣泛來說，ATS 可用來加強並協助決策，降低法規管制的的不確定性，並作為法規管制的知識基礎。

奈米農藥的知識現況、環境宿命與暴露模擬

Kah et al. (2013)提出，奈米農藥係指任何的農藥配方：(1)含有故意添加奈米尺寸的物質(最大至 1000 nm)，(2)被冠上「奈米」字眼(如奈米混合材料(nanohybrid)、奈米複合物(nanocomposite))，和/或(3)聲稱尺寸小且具有新功能。

「奈米農藥(nanopesticide)」並非單一類別產品，利用奈米配方(nanoformulations)結合表面活性劑、聚合物或奈米尺寸的金屬奈米微粒。添加奈米配方的目的係為了增加難溶活性成分的顯在溶解度(apparent solubility)，以釋放活性成分，並防止成分提早降解。因此奈米配方預期(1)對活性成分的宿命有顯著影響(2)使用未確知的新成分(如奈米銀)。因此對奈米農藥而言，進行暴露評估方法是必要的。Kah et al. (2013)介紹有關未來研究的優先順序，以達成研析奈米農藥風險評估工作。

為了提高農藥活性，同時降低對環境的影響，核准之活性成分的應用與供應

的優化工作比以往更加積極，歐洲針對農藥登記的法規修正案減少了高達 15% 的可用活性成分(active ingredients, a.i.)。

過去 10 年間奈米科技對農作具有革命性的改造潛力，像是仍在開發初期的精密農作設備之發展(如奈米感知器)或基因改造農作物(利用奈米微粒、奈米纖維或奈米膠囊作為 DNA 載體)。奈米配方已廣泛應用於製藥和個人保養產品(Anton and Vandamme 2011, Thassu et al. 2006, Torchilin 2006)。相較之下，農業方面的應用才剛興起，未來幾年預測將迅速發展。過去 10 年，奈米農藥的相關研究，已提交超過 3000 項專利申請，發表了 60 篇經過審查的論文與 25 篇報導評論(Kah et al. 2013)。

奈米微粒應用於農作，可能導致工程奈米微粒釋放至環境中，可預期的是新型、活性增強的奈米農藥勢必對人類和環境健康產生新的風險與效益。現有的管制架構是否足以評估新產品，仍有待進一步研究。研究目標為(1) 探討農藥配方中奈米科技應用的可能性(2) 找出對環境宿命的可能影響，與(3) 分析目前的暴露評估程序是否適用於具有新穎特性之物質。

奈米配方包含多種產品，根據成分與環境宿命作區分是必需的，以便充分調整所需之暴露評估程序。大部分的奈米農藥不像一般工程奈米微粒，會表現出類似於量子效應的特性變化。當評估複雜配方時，必須確認現有的實驗與模擬準則的假設適用性。有些奈米農藥含有新穎活性成分(如奈米銀)，或會影響化學性質的活性成分如奈米分散液(nanodispersion)，增加固有溶解速度與水溶性差的活性成分之飽和溶解度。這類產品現有的環境風險評估程序尚有不足的。目前 REACH 法規下，對奈米金屬的評估仍有爭議。Kah et al. (2013)提出的建議案可作為現有農藥管理法規之修法基礎。新農藥法規可能會淘汰部分已註冊的活性成分(EC 1107/2009, 2011 年 6 月生效)。大部分奈米農藥宣稱有更高功效能減少活性成分的使用，因此，也可能對非目標生物產生毒性風險，導致有害的結果。

Kah et al. (2013)提出目前的知識文獻不足，評估奈米農藥之優缺點的先決條件是，係發展奈米農藥的量化與特性分析之分析方法，以減少不確定性，同時也需進一步研究環境宿命與其如何在實際農作環境下隨時間演化，以完成更穩健的奈米農藥風險評估。

四、台灣的奈米科技現行法律規範

化學物質管理

我國在化學物質之管理方面，訂有「毒性化學物質管理法」來加以規範，部分條文已於 2013 年 11 月三讀通過。而民間團體為了讓「毒性化學物質管理法」的規章更臻完備，落實事前把關、善盡審慎評估之責，在修法過程中提出民間版本供立法院修法參考。民間團體的訴求如下：

1. 將奈米物質加入毒性化學物質管理法，同化學物質進行管理。奈米物質與非奈米物質，即使分子式相同，亦為不同物質，應該另外登錄。
2. 將化學品登錄資料，除已申請之工商機密外，全部上網公開。特別是可能嚴重危害人體健康及環境安全之化學物質，及有關化學物質之毒理與安全相關資料。
3. 環保署辦理毒化物管理相關之人力僅 3.5 人，現在列管 298 種毒性化學物質已經力有未逮，未來實行化學品全面登錄制度後，恐怕沒能力從龐大的資料庫中篩選必須儘速評估其毒性與管理措施的既有化學物質。毒管法民間修訂版提出中央主管機關得將化學物質登錄、每年申報、資訊公開及其他相關業務，委託中央主管機關捐助成立之法人機構或相關團體辦理，費用由中央主管機關與各目的事業主管機關共同承擔。

「毒性化學物質管理法」的部分條文已於 2013 年 11 月修正通過，規定製造或輸入每年達一定數量既有化學物質者，應向中央主管機關申請登錄化學物質資料；製造或輸入新化學物質者，應於製造或輸入前 90 天向中央主管機關申請登錄化學物質資料。上述兩種化學物質都應經核准登錄後，才能製造或輸入。登錄資料應包括製造或輸入情況、毒理、暴露及危害評估等資料。立法院並通過附帶決議，要求環保署訂定登錄管理規定時，應納入奈米物質定義與登錄規定，並要求「奈米化學物質與非奈米化學物質，即使分子式相同，也是不同物質，應該分開登錄」。非奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公噸以上，奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公斤以上。

奈米標章

奈米技術產品市場日益增多，為提升奈米技術產品之品質與形象，保障民眾

消費權益，進而促成國內奈米產業之健全發展，經濟部主導推動「奈米標章驗證體系」，以促進奈米科技發展及推廣奈米產品應用。由奈米標章專業執行機構邀國內相關學者專家，組成工作小組，起草制定產品規範草案，作為奈米標章產品檢測確認及審查的依據。依產品規範的試驗方法，將業者申請的產品，交由檢測機構確認其測試結果是否符合產品規範。奈米標章使用期限為三年，期限屆滿自動失效。奈米標章驗證合約書期限屆滿前二至六個月，廠商應申請續約驗證。經濟部工業局得不定期對奈米標章產品實施實地查證或產品抽驗等追蹤管理，獲得奈米標章產品驗證之廠商不得無故規避、妨礙或拒絕。

目前已通過申請的有效奈米標章廠商共計 39 家，通過奈米產品驗證規範的產品分類如表 3.1.1.5 所示，共有 37 種類別(102 年新增 4 種)，計 1410 項(102 年新增 260 項)產品。已開放奈米標章產品驗證規範項目如表 3.1.1.6 所示共 49 項(102 年新增 8 項)，具有奈米標章認證資格的實驗室共 14 家(102 年新增 2 家)，此奈米標章制度為國際首創，制度設計領先全球。

表 3.1.1.5 已通過奈米產品驗證規範的產品類別

序號	認可產品類別	序號	認可產品類別
1	奈米光觸媒脫臭塗料	20	奈米礦物遠紅外線紡織品
2	奈米光觸媒抗菌陶瓷面磚	21	奈米鍍膜紫外線防護家飾用紡織品
3	奈米光觸媒抗菌燈管	22	奈米銀抗菌衣著用紡織品
4	奈米光觸媒抗污陶瓷面磚	23	奈米礦物抗 UV/IR 衣著用紡織品
5	奈米光觸媒抗污塗料	24	奈米表面塗裝高耐候鋁型材
6	奈米改質耐磨耗 PU 合成皮革	25	奈米光觸媒自我潔淨聚碳酸酯建材
7	奈米改質耐磨耗合成皮革用 PU 樹脂	26	奈米抗縮耐熱發泡被覆材料
8	奈米表面處理抗污衛生陶瓷器	27	奈米改質瞬間涼感紡織品
9	奈米光觸媒空氣靜化燈	28	奈米結構雙疏防污建築塗料
10	奈米光觸媒空氣清淨濾網	29	奈米金屬氧化物抗菌木質板
11	奈米光觸媒空氣清淨機	30	奈米銀抗菌消費性電子產品外殼
12	奈米表面處理抗污金屬隔板	31	奈米金屬氧化物透明隔熱膜
13	奈米銀抗菌家飾用紡織品	32	奈米銀抗菌衛生陶瓷器
14	奈米銀抗菌大理石	33	奈米銀抗菌塑膠馬桶蓋
15	奈米銀抗菌襪	34	奈米銀抗菌馬桶用水箱塑膠零件
16	奈米表面處理防蝕金屬扣件	35	奈米光觸媒抗菌塗料
17	奈米銀抗菌工業用塑膠容器	36	奈米表面處理抗污陶瓷面磚

序號	認可產品類別	序號	認可產品類別
18	奈米改質耐磨耗合成皮自行車座墊	37	奈米銀抗菌室內裝修用水性塗料
19	奈米木質用防火塗料		

表 3.1.1.6 已通過的奈米產品驗證規範

序號	奈米產品驗證規範
1	TN-001 奈米光觸媒脫臭塗料驗證規範
2	TN-002 奈米光觸媒抗菌陶瓷面磚驗證規範
3	TN-003 奈米光觸媒抗菌燈管驗證規範
4	TN-004 奈米光觸媒抗污陶瓷面磚驗證規範
5	TN-005 奈米光觸媒抗污塗料驗證規範
6	TN-006 奈米改質耐磨耗 PU 合成皮革驗證規範
7	TN-007 奈米改質耐磨耗合成皮革用 PU 樹脂驗證規範
8	TN-008 奈米表面處理抗污衛生陶瓷器驗證規範
9	TN-009 奈米光觸媒空氣淨化燈驗證規範
10	TN-010 奈米光觸媒空氣清淨濾網驗證規範
11	TN-011 奈米光觸媒空氣清淨機驗證規範
12	TN-012 奈米表面處理抗污金屬隔板驗證規範
13	TN-013 奈米銀抗菌家飾用紡織品驗證規範
14	TN-014 奈米表面處理抗油污排油煙機驗證規範
15	TN-015 奈米撥水易潔汽車蠟驗證規範
16	TN-016 奈米銀抗菌大理石驗證規範
17	TN-017 奈米銀抗菌襪驗證規範
18	TN-018 奈米表面處理防蝕金屬扣件驗證規範
19	TN-019 奈米銀抗菌工業用塑膠容器驗證規範
20	TN-020 奈米改質耐磨耗合成皮自行車座墊驗證規範
21	TN-021 奈米木質用防火塗料驗證規範
22	TN-022 奈米礦物遠紅外線紡織品驗證規範
23	TN-023 奈米鍍膜紫外線防護家飾用紡織品驗證規範
24	TN-024 奈米銀抗菌衣著用紡織品驗證規範
25	TN-025 奈米礦物抗 UV/IR 衣著用紡織品驗證規範
26	TN-026 奈米表面塗裝高耐候鋁型材驗證規範
27	TN-027 奈米光觸媒自我潔淨聚碳酸酯建材驗證規範
28	TN-028 奈米抗縮耐熱發泡被覆材驗證規範
29	TN-029 奈米改質瞬間涼感紡織品驗證規範
30	TN-030 奈米結構雙疏防污建築塗料驗證規範
31	TN-031 奈米光觸媒自我潔淨塗料驗證規範
32	TN-032 奈米金屬氧化物抗菌木質板驗證規範
33	TN-033 奈米銀抗菌消費性電子產品外殼驗證規範

序號	奈米產品驗證規範
34	TN-034 奈米金屬氧化物透明隔熱膜驗證規範
35	TN-035 奈米銀抗菌衛生陶瓷器驗證規範
36	TN-036 奈米銀抗菌塑膠馬桶蓋驗證規範
37	TN-037 奈米金屬氧化物保暖衣著用紡織品驗證規範
38	TN-038 奈米銀抗菌馬桶用水箱塑膠零件驗證規範
39	TN-039 奈米銀抗菌室內裝修用水性塗料驗證規範
40	TN-040 奈米光觸媒抗菌塗料驗證規範
41	TN-041 奈米表面處理抗污陶瓷面磚驗證規範
42	TN-042 奈米銀抗菌塑膠浴缸驗證規範
43	TN-043 奈米銀抗菌熱可塑性彈性體驗證規範
44	TN-044 奈米表面處理隔熱玻璃驗證規範
45	TN-045 奈米多孔碳工業用水除氯濾心驗證規範
46	TN-046 奈米金屬複合物抗菌室內牆面用陶瓷面磚驗證規範
47	TN-047 奈米銀抗菌工程用塑膠網管驗證規範
48	TN-048 奈米金屬氧化物抗菌家具板驗證規範
49	TN-049 奈米耐磨耗潤滑油品驗證規範

(經濟部工業局: 奈米標章網站)

職業安全衛生法

立法院於 102 年 6 月 18 日三讀通過「勞工安全衛生法」修正案，為強化工作者職業災害預防及安全健康保護，擴大適用範圍，將此法更名為「職業安全衛生法」，並於 102 年 7 月 3 日經總統令公布。「職業安全衛生法」條文中，為強化化學品源頭管理，增列化學品於製造、輸入、供應與事業單位或自營作業前，應予標示及提供安全資料表；異動時亦同(第十條)。另，有鑑於化學品種類繁多，具有 GHS(Global Harmonized System, 化學品全球調和制度)健康危害者達 1900 種(勞工安全衛生法修正條文說明)，為降低勞工危害暴露風險，雇主對於化學品應依其健康危害、散布狀況及使用量等情形，評估風險等級，並採取分級管理措施(第十一條)。在新化學物質的源頭管理機制方面，新增製造者或輸入者對於中央主管機關公告之化學物質清單以外之新化學物質，未向中央主管機關繳交化學物質安全評估報告，並經核准登記前，不得製造或輸入含有該物質之化學品。前項評估報告，中央主管機關為防止危害工作者安全及健康，於審查後得予公開。前二項化學物質清單之公告、新化學物質之登記、評估報告內容、審查程序、資料公開及

其他應遵行事項之辦法，由中央主管機關定之(第十三條)。因奈米物質未被列入既有化學物質清單內，可視為新化學物質，職業安全衛生法第十三條或許可作為奈米物質源頭登記管理之法源依據。

衛福部已積極研擬法規來管理含有奈米物質之化妝品及保養品；環保署也促成我國開始修訂「毒性化學物質管理法」，將奈米物質列入化學物質管理法，此法部分條文已於2013年11月修正通過；勞委會研擬的「職業安全衛生法」則已修法通過並於2013年7月公告。建議我國未來應邀集各界人士就化學物質的製造或輸入情形、物理、化學、毒理、暴露及危害評估等問題進行充分討論後，再訂定登錄管理之辦法。

另外，在與不同的利害相關團體溝通方面，本計畫主持人曾參與「奈米科技風險溝通平民論壇籌備工作坊」，此工作坊是國科會補助之奈米風險治理研究計畫的一部分，計畫主持人為成功大學科技與社會研究中心翁裕峰博士。該計畫自2010年8月執行以來，已整理出美、日、英及歐盟關於奈米科技研究與發展之公眾參與模式。該工作坊於102年6月5日假台大公衛學院舉辦一場論壇，主講者為本計畫主持人交通大學環工所蔡春進教授，講題為「奈米物質之污染控制及管理」，與會者計有綠色陣線協會、看守台灣、台灣勞工陣線協會、台灣勞動與社會政策研究協會等民間環保團體。論壇中除了介紹奈米微粒之形成、種類、暴露風險外，也詳述台灣的奈米科技法規與政策，包括經濟部「奈米標章驗證體系」及勞工安全衛生研究所公佈「奈米技術實驗室奈米物質暴露控制手冊」，法規部分有立法院正在審查之「毒性化學物質管理法」。雙方討論的重點如下：

1. 奈米微粒對健康危害的風險，目前的科學研究是以動物或細胞為主，進行高劑量的暴露發現會造成危害，然對於人類的健康危害仍無具體的結論。
2. OECD 各國針對 13 種奈米物質作研究的分工，含毒性測試、生態影響等，其中並未包括碳黑。
3. 奈米微粒在水體中容易團聚而造成不穩定，因而減少其生態之毒性。但是奈米微粒團聚後，還是有可能會水解成小微粒而造成影響。
4. 奈米微粒在空氣中會擴散並附著於環境中的其他物質上，濃度高時也容易團聚成較大的微粒。

5. 奈米微粒區分為故意製造(商業性)的工程奈米微粒和非故意製造的奈米微粒，前者是目前國際上(美國與歐盟)毒物管制的對象。人們暴露於焊接煙及汽機車排氣中非故意製造的奈米微粒的機會很多，工程奈米微粒以奈米作業場所的工人暴露機會較大。
6. 我國目前被大量使用的奈米微粒以二氧化矽、二氧化鈦粉體及奈米銀等為主，前者供給半導體產業作為封裝及 CMP(化學機械研磨)之材料，作業場所的工人易於暴露。
7. 台灣自製的奈米微粒少，多數是從國外進口，例如二氧化矽大都來自德國及日本，但是目前並無法規要求進口許可之申請。
8. 目前工作環境偵測的資料發現，環境中有意製造(商業性)的奈米微粒的濃度低，反而有時非故意製造的奈米微粒濃度比較高(如柴油堆高機所產生者)。
9. 台灣的尚未制定管制奈米的法令。應該比照歐盟和美國，將奈米微粒當成是新的化學物質，就生產與使用的源頭進行管制，主要應由環保署負責。廠商需要就使用的奈米微粒提供毒性資料，可以是動物實驗，也可以是書面研究資料的回顧整理。這些工作應該由第三人進行，不是由廠商自己執行與填寫。針對上述建議，台灣已於 2013 年 7 月和 11 月分別修法通過毒性物質管理法部分條文與職業安全衛生法。毒性物質管理法除將新化學物質納入管理外，也建立既有化學物質和新化學物質的強制登錄機制，立法院也通過附帶決議，要求「奈米化學物質與非奈米化學物質，即使分子式相同，也是不同物質，應該分開登錄。非奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公噸以上，奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公斤以上。」職業安全衛生法在新化學物質的源頭管理機制方面，新增製造者或輸入者對於新化學物質，未向中央主管機關繳交安全評估報告，並經核准登記前，不得製造或輸入含有該物質之化學品。因奈米物質未被列入既有化學物質清單內，可視為新化學物質，職業安全衛生法第十三條或許可作為奈米物質源頭登記管理之法源依據。
10. 奈米物質的流向應再透過工業局、勞委會、衛福部等單位進行追蹤。
11. 衛福部已積極對含有奈米物質之化粧品及保養品等相關產品進行管理法規之研擬。

12. 勞委會目前有奈米作業場所自主管理規範手冊供廠商參考，但是不具強制性。

以下幾點為雙方會後的結論與建議：

1. 監督毒管法第七條之一修法，將奈米微粒視為新的化學物質，建立以使用量為基礎的通報制度。針對此項建議，2013 年 11 月修法通過的毒性物質管理法部分條文之附帶決議，要求「奈米化學物質與非奈米化學物質，即使分子式相同，也是不同物質，應該分開登錄。非奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公噸以上，奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公斤以上。」
2. 監督落實奈米物質處理規範作業手冊之內容。
3. 我國投入的奈米研究的經費規模無法明顯增加的情況下，管制方式可以先採預歐美的設計，並依照台灣的現況做修改。
4. 繼續辦理工作坊，邀請業者、勞研所、環檢所來談他們對奈米物質的看法，增加對業界使用奈米物質進行生產，以及現有研究者對奈米微粒之研究的了解。

五、小結

目前國際間主要國家的奈米科技的政策與法規有些進展，如美國 NIOSH 發表的最新研究報告，建議在 8-小時可呼吸性 TWA (time-weighted average) 的元素碳質量濃度 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為建議暴露限值；OSHA 希望藉最近出版的「奈米物質安全使用的概要」，提供雇主奈米科技可能產生的奈米物質暴露及危害資訊，以及工作場所奈米物質的暴露控制做施。同時學者們也呼籲必須對工程奈米物質(ENMS) 進行定期性評估，並加強由下而上的管理方式，以達成對 ENMS 風險的負責任管理。在歐盟方面，歐盟執委會將針對 REACH 附件做修訂，以確保註冊建檔時，奈米物質有被清楚闡述；歐盟執委會並提交有關奈米食物標示的建議法規給世界貿易組織；奈米碳管的毒性仍舊是國際間的研究重點。我國在奈米科技的法規亦有進展，毒性化學物質管理法部分條文已修正通過，將建立化學物質登錄機制，加強管理危害人體健康之虞毒性化學物質。建議我國可開始選定幾項使用量較大的奈米物質，如奈米銀、奈米二氧化鈦及奈米碳管等，加強管理和與不同利害相關者溝通。職業安全衛生法已三讀通過，成為我國化學品與新化學物質源頭管理的法源依據，對既有化學物質清單、新化學物質管理、危害通識、化學品分級管

理、暴露預防措施等，均詳加規範。職業安全衛生法也明確規定需公開新化學物質的危害及安全使用資訊，以確保勞工之安全與健康。

3.1.2 奈米物質的應用

奈米物質除了被大量添加在許多商業產品中，在環境的應用上也有許多的進展。本節區分為奈米物質於抗菌的應用、奈米物質於織物的應用、奈米物質於感測器的應用及奈米物質在環境工程之應用等四個主題，於下面各小節分別闡述。

一、奈米物質於抗菌的應用

目前已有許多不同奈米微粒結構產生不同抗菌特性的研究，在了解這些奈米結構的抗菌特性的過程中，最重要的就是要認識一些金屬如鋅、銀及銅會在塊材型態(bulk form)下顯示其抗菌機制，但其他材料如氧化鐵不會在塊材形態而是會在奈米微粒的型式(nanoparticulate form)下顯示其抗菌特性。

抗菌機制會隨奈米微粒的不同而改變，目前對於各種奈米微粒的抗菌機制尚未完全了解，有些機制會與奈米微粒的物理結構有關(例如細胞膜破壞的研磨性)，有些與奈米微粒表面抗菌金屬離子釋出量的增加有關。單位劑量奈米微粒的表面積會隨著微粒粒徑的減少而增加，因為較大的表面積可增加材料與環境的交互作用，所以增加一些本質具有抗菌效果的材料如鋅和銀的表面積體積比可增強其抗菌效果。因此，一個本質具有抗菌能力的材料製成的奈米微粒可能含有多種抗菌機制，例如從微粒表面釋放抗菌金屬離子，以及與奈米微粒抗菌物理特性有關的細胞壁滲透或膜破壞(Seil and Webster 2012)。

經由許多研究結果的比較，可得到與理想抗菌微粒相關程度最高的奈米微粒參數，包含化學特性、微粒大小、微粒形狀及界達(zeta)電位等，都會與抗菌活性息息相關，如表 3.1.2.1 所示(Seil and Webster 2012)。

表 3.1.2.1 與奈米微粒抗菌效果有關的研究結果整理(Seil and Webster 2012)

化學成分	微粒大小 (平均)	zeta 電位	有機體測試	最小抑菌濃度	模擬機制	參考文獻
氧化鋅	13 nm	未知	金黃色葡萄球菌	80 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 95 %	抑制活性氧	Reddy et al. (2007)
氧化鋅	60 nm	未知	金黃色葡萄球菌	400 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 80 %	抑制活性氧	Jones et al. (2008)
氧化鋅	40 nm	正電位 (值未知)	金黃色葡萄球菌、大腸桿菌	兩種細菌皆在 400 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 99 %	細胞膜破壞	Nair et al. (2009)
氧化鋅	12 nm	未知	大腸桿菌	400 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 90 %	微粒磨蝕造成的膜破壞	Padmavathy et al. (2008)
銀	21 nm	未知	大腸桿菌、霍亂弧菌、傷寒沙門氏菌、綠膿桿菌	在 75 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 100 %	膜破壞、銀離子干擾 DNA 複製	Morones et al. (2005)
銀	三角形 (50 nm)	正電位 (值未知, 陽離子表面活性劑)	大腸桿菌	在瓊脂表面加入 0.1 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 99 %	膜破壞、銀離子干擾 DNA 複製	Pal et al. (2007)
銀	12 nm	負電位 (值未知)	大腸桿菌	在瓊脂中加入 10 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 70 %	膜破壞、銀離子干擾	Sondi et al. (2004)
銀	13.5 nm	-0.33 mV	大腸桿菌、金黃色葡萄球菌	加在瓊脂表面, 抑制濃度分別為 3.65 和 0.365 $\mu\text{g/L}$ 時減少 99 %	膜破壞、銀離子干擾	Kim et al. (2007)
銅	100 nm	未知	大腸桿菌、枯草芽孢桿菌	分別加入 33.40 和 28.20 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 90 %	經過硫醇基相互作用的蛋白質去活性	Yoon et al. (2007)
四氧化三鐵	9 nm	-19.09 mV	金黃色葡萄球菌	3 $\mu\text{g/mL}$ 死亡細胞增加	活性氧、膜破壞	Tran et al. (2010)
四氧化三鐵	8 nm	未知	表皮葡萄球菌	2 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 65 %	活性氧、膜破壞	Taylor et al. (2009)

氧化鋁	11 nm	120 mV	大腸桿菌	分別加入 10、100 和 500 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 35、70 和 68 %	劑量依賴的活性氧、微粒滲透	Simon-Deckers et al. (2009)
氧化鋁	60 nm	30 mV	大腸桿菌、枯草芽孢桿菌、螢光假單胞菌	加入 20 $\mu\text{g/mL}$ 時分別減少 36、57 和 70 %	絮凝劑	Jiang et al. (2009)
二氧化鈦	17 nm	12 mV	大腸桿菌	分別加入 10、100 和 500 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 0、35 和 80 %	膜破壞	Simon-Deckers et al. (2009)
二氧化矽	20 nm	35 mV	大腸桿菌、枯草芽孢桿菌、螢光假單胞菌	加入 20 $\mu\text{g/mL}$ 時分別減少 58、40 和 70 %	絮凝劑、膜破壞	Jiang et al. (2009)
甲殼素	40 nm	51 mV	金黃色葡萄球菌、大腸桿菌	分別加入 4 和 8 $\mu\text{g/mL}$ 時減少 100 %	絮凝劑、膜破壞	Qi et al. (2004)

奈米氧化鋅微粒

氧化鋅已被證實在不使用抗生素的情況下可自然地減少大部分的細菌（主要是革蘭氏陽性菌），而奈米技術的使用更進一步強化氧化鋅的抗菌效果。例如 Jiang et al. (2009) 使用微粒添加在細胞懸浮液中，並觀察微米或奈米尺度之氧化鋅微粒有無較佳的抗菌效果，結果顯示奈米微粒的抗菌效果較好。Jiang et al. (2009) 的作法是在含有細菌的懸浮液中加入濃度 20 $\mu\text{g/mL}$ 之奈米氧化鋅微粒（平均粒徑為 60 nm，實驗狀態下量測的界達電位為 -5 mV）及微米微粒，待反應兩小時後，將其置於瓊脂平板上以計算有效之菌落。微米氧化鋅微粒分別可減少 100%、75% 及 50% 的枯草芽孢桿菌、大腸桿菌及螢光假單胞菌，而奈米氧化鋅微粒對此三種細菌的抗菌作用均為 100%。將微米級和奈米級氧化鋅微粒與其他同等大小微粒進行化學測試（例如氧化鋁或氧化矽），結果發現氧化鋅能對所有細菌種類產生較大的毒性。Mirhosseini et al. (2013) 探討氧化鋅對於革蘭氏陰性菌（大腸桿菌）和革蘭氏陽性菌（金黃色葡萄球菌）的抗菌活性，結果顯示其對於革蘭氏陽性菌的抗菌效果較明顯。

奈米氧化鋅微粒也在牛奶中表現出對於大腸桿菌和金黃色葡萄球菌較佳的抑制效果。此研究說明了奈米氧化鋅微粒在食品系統或醫學的應用中作為抗菌劑時，可有效抑制某些病原菌。

奈米氧化鋅微粒的抗菌機制十分複雜，到目前為止仍未被完全了解。Seil et al. (2012)認為氧化鋅離子可以抑制細菌細胞內的多種活動，例如糖解作用、跨膜質子轉移及耐酸性。與奈米氧化鋅微粒相比，鋅離子可能只能抑制細菌的增殖(bacteriostatic)，無法殺菌(bactericidal)，活性氧物質的產生和奈米氧化鋅微粒造成之膜破壞(圖 3.1.2.1)才可能是殺菌的機制。然而 Dimkpa et al. (2011)發現雖然奈米氧化鋅微粒的存在導致活性氧物質依奈米氧化鋅的劑量增加而增加，但活性氧物質的增加對螢光假單孢菌 O6 有很小的抗菌活性。根據這些文獻可得知，氧化鋅的抗菌特性取決於多種機制。對於在體外懸浮液中生長的細菌，在相同的化學條件下，直徑較小的微粒比大微粒更能有效的減少細菌活性。

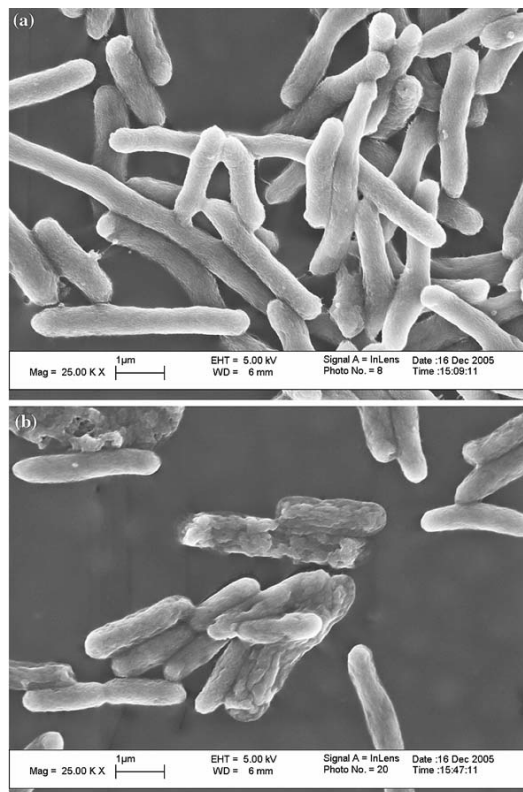


圖 3.1.2.1 大腸桿菌之 SEM 影像(a)抗菌測試之前;(b)使用 2% 奈米氧化鋅溶液測試 5 小時 (Seil et al. 2012)

奈米銀微粒

在過去歷史上，銀常用於當作抗菌劑，很自然的奈米銀也漸漸的被人使用為抗菌劑。銀為具有天然抗菌力的金屬，而奈米銀微粒則具有多種抗菌機制。Morones et al. (2005) 指出平均粒徑為 21 nm 之奈米銀微粒在濃度 75 $\mu\text{g/mL}$ 時加在瓊脂平板上可抑制革蘭氏陰性菌(大腸桿菌、霍亂弧菌、傷寒沙門氏菌及綠膿桿菌)，此殺菌效果歸因於多種機制。首先，Morones et al.發現大量的奈米微粒存在細菌中，顯示細胞膜滲透為影響奈米銀殺菌效果非常重要的機制。銀微粒與細菌細胞膜，和細菌內蛋白質特別是含硫的細胞膜蛋白質和含磷的 DNA 的交互作用，會干擾細胞分裂造成細胞死亡。另外 Morones et al.也證實奈米微粒表面會釋放出殺菌的銀離子，細菌一旦暴露在銀離子中，其 DNA 會有集聚防衛機制以抵抗四周有毒的環境，但是這樣也抑制了細菌複製增生的能力。因此細菌對於銀離子和奈米銀微粒的反應是不同的，此兩種反應機制對於完整了解奈米銀微粒的抗菌行為十分重要。

Seil et al. (2012)為了測試奈米銀微粒濃是否影響瓊脂平板上細菌生長的能力，於瓊脂洋菜平板上加入平均粒徑 12 nm 濃度 10-100 $\mu\text{g/mL}$ 之奈米銀微粒，以及生菌密度為 105 CFUs 之大腸桿菌，實驗結果發現加入 10 $\mu\text{g/mL}$ 奈米銀微粒濃度與沒添加奈米銀微粒之平板相比減少 70%的生菌數，顯示出奈米銀微粒濃度與抑制細菌生長的能力有很大的關聯，當奈米銀微粒超過濃度 50 $\mu\text{g/mL}$ 時可完全抑制大腸桿菌的生長。在另一個實驗中，Seil et al.發現相同奈米銀微粒濃度下繁殖密度較低的細菌容易被抑制，而繁殖密度較高的細菌則否。當奈米微粒濃度增加時，細菌會有生長延遲的現象，Seil et al.認為此抑菌現象與先前其他學者提出的相同，包含膜干擾現象(圖 3.1.2.2)，當奈米銀微粒附著在細菌的細胞壁上時，帶正電荷的微粒與帶負電荷的微粒相比會產生較少的交互作用。

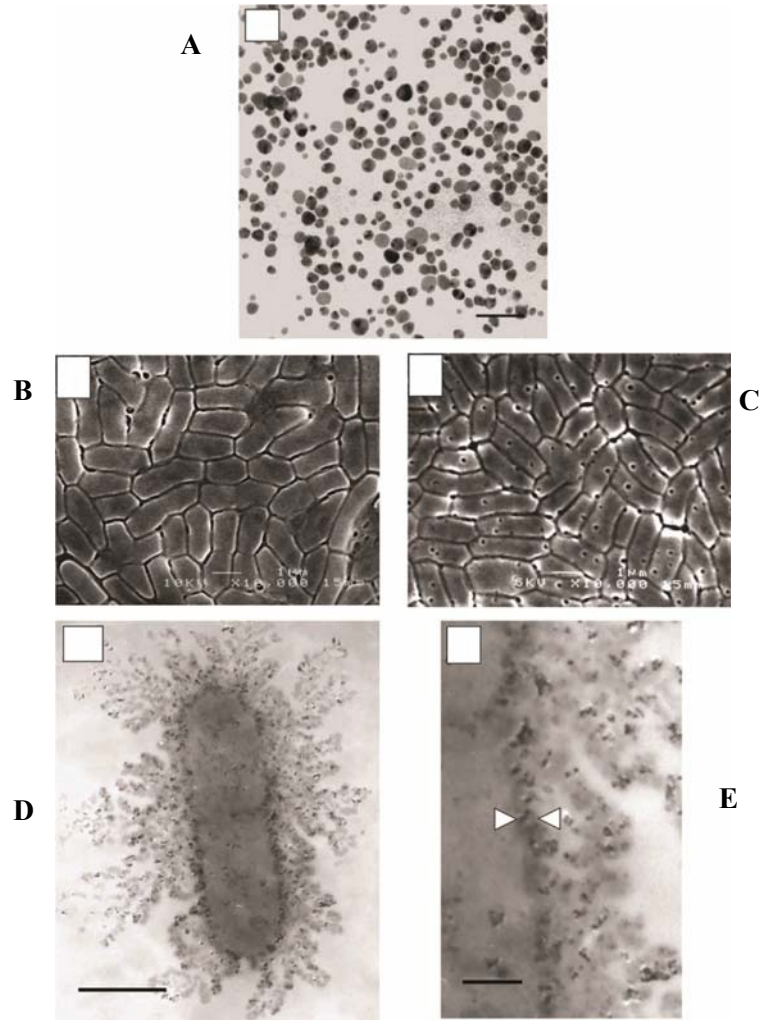


圖 3.1.2.2 (A)奈米銀微粒之 TEM 影像; (B) 控制組大腸桿菌之 SEM 影像; (C)液體培養基中大腸桿菌暴露在 50 µg/mL 奈米銀微粒下四小時之 SEM 影像; (D)大腸桿菌暴露在 50 µg/mL 奈米銀微粒下一小時之低倍率 SEM 影像; (E)大腸桿菌暴露在 50 µg/mL 奈米銀微粒下一小時之高倍率 SEM 影像 (Seil et al. 2012)

奈米銀在消費產品上的應用已相當普遍(Chernousova et al. 2013)，例如冰箱、行動電話、衣物、牙膏、牙刷及化妝品都加入銀來達到抗菌效果。Chernousova et al.利用原子吸收光譜儀量測化妝品中貴金屬的含量，發現銀的濃度範圍橫跨三個數量級之多(表3.1.2.2)，這也衍生出使用這些銀濃度的醫學證據為何的問題。在給定純度的情況下，歐盟已批准化妝品中金屬銀的使用，但目前還沒有在法規中關於奈米銀微粒的確切聲明，雖然法規指出有必要對於奈米產品做詳細的特性分析。常見奈米物質於消費產品的應用如表3.1.2.3所示，目前含有奈米物質的消費

產品數量保守估計超過1000項，並且正快速增加中。

表 3.1.2.2 使用原子吸收光譜儀量測化妝品中貴金屬的濃度，其中鉑的濃度低於偵測極限(15ppm) (Chernousova et al. 2013)

樣本	貴金屬濃度(ppm)	包裝容量(mL)	每單位包裝所含貴金屬(mg)
含銀牙膏	0.1	75	0.0075
含銀沐浴精	2.7	200	0.54
含銀護手霜	2700	75	202.5
含銀除臭劑	950	50	47.5
含金晚霜	2.4	50	0.12
含鉑抗皺霜	<15	50	<0.75

表 3.1.2.3 奈米物質於消費產品的使用 (Suresh et al. 2013)

奈米物質	產品
Ag、CuO	抗菌劑、醫療器材、褲子、塑料、衣物、家電用品
TiO ₂ 、ZnO、CuO、Ni	油漆、陶瓷、防曬油、化妝品、觸媒、電池
CeO ₂	汽車
奈米碳管	電子產品、潤滑油、化妝品
Fe ₃ O ₄	醫療器材、生物化學分析、水過濾器
Fe/Pt、Fe/Ni、SiO ₂	有毒元素處理、太陽能電池、電子產品
Pt和Pd	觸媒
Al ₂ O ₃	塑料、陶瓷、拋光劑

Loo et al. (2013)介紹一套可作為水消毒物質的製備方法，利用奈米銀微粒修飾聚丙烯酸酯鈉(polysodium acrylate, PSA)製造冷凍凝膠。PSA 冷凍凝膠的製備方法:PSA 冷凍凝膠的合成方法是將過硫酸銨(ammonium persulfate, APS, 純度98%)和N,N,N',N'-四甲基乙二胺(tetramethylethylenediamine, TEMED, ≥99%)加入

經過脫氣、冰浴過含有丙烯酸鈉(SA, 97%)和N,N'-亞甲基雙(丙烯酰胺)(MBA, 99%)的反應混合物中。當達到最終反應時, APS和TEMED的濃度分別為1.75 mM和0.125 % (v/v); 由SA和MBA混合而成的單體濃度為8 %, 網狀連結的比例為0.05(莫耳MBA/莫耳SA)。再將反應混合物移至幾根以聚丙烯為材質的注射器中(注射器內徑(ID)為9 mm、容量為3 mL), 並放入溫度-20°C、以乙二醇/Milli-Q水1:1混合的水浴中, 置於超低溫冷凍機(EUTRA EDFU4100)中培養24小時。培養完後再以Milli-Q水徹底清洗PSA冷凍凝膠, 另以2-甲基丙-2-醇使其脫水後, 再放入-45°C的冷凍乾燥機中乾燥(Alpha 1-4LD)。PSA/銀冷凍凝膠的製備方法: 使用基質間的合成方法(intermatrix synthesis method)製備PSA/銀冷凍凝膠。首先將1 g的乾燥PSA冷凍凝膠置於250 mL且濃度為1、5或10 mM的硝酸銀溶液($\geq 98\%$)內, 待其膨脹後置於每分鐘120轉的迴轉式震盪器(orbital shaker)震盪24小時。震盪結束後再浸置於250 mL的硼氫化鈉溶液中(硼氫化鈉: 硝酸銀的莫耳比為10:1)以形成奈米銀微粒。之後將合成的奈米複合材料浸在Milli-Q水沖洗, 再以真空過濾將水去除。反覆進行3次清洗後, 將奈米複合材料以PSA冷凍凝膠相同之程序進行乾燥。

Loo et al. (2013)評估該種凝膠的抗菌能力, 如圖3.1.2.3所示, 利用大腸桿菌(*E. coli*)和枯草芽孢桿菌(*B. subtilis*)測試消毒效率。

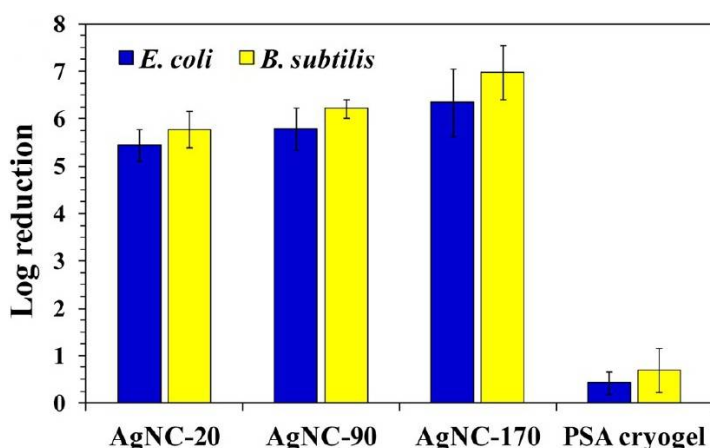


圖 3.1.2.3 以冷凍凝膠對細菌降解的能力 (Loo et al. 2013)

結果顯示, 當凝膠與菌類接觸短暫的15秒後, 菌落數減少將近3個數量級, 表

示該凝膠的抗菌能力甚佳，且在重複使用超過5次後，其抗菌效率依舊沒有顯著差異。Loo et al. (2013)推測，PSA/銀冷凍凝膠殺菌的主要機制為細菌細胞與凝膠介面的表面直接接觸之表面-控制機制(surface-controlled mechanisms)，PSA與銀冷凍凝膠結合了PSA的高孔隙率(high porosity)、優異的機械性能和吸水性，及凝膠孔洞表面奈米銀的均勻分散，使其具有快速消毒的功能且Ag的釋放率低($< 100 \mu\text{g L}^{-1}$)。在某一個程序的用途上，PSA/銀冷凍凝膠在吸收水份後，可稍微將之擠壓即釋放出水來。

此製程製備的PSA/銀冷凍凝膠的重量輕且容易攜帶，為未來用於緊急情況下飲用水消毒的簡便方法。

奈米銀微粒合成之綠能科技

由於奈米銀具有抗菌特性，使得奈米銀微粒的應用日益普及。傳統合成奈米銀微粒的方法需要利用化學品及大量的能量(熱)，並生成具危害性的副產物。植物萃取物是既經濟又環保的材料，利用植物及相關萃取物應用於合成金屬奈米微粒，因為其內部的抗氧化物可作為還原劑，植物的所有部位皆含有抗氧化劑或醣類，包括葉子、水果、根部、種子皆能應用於奈米微粒合成的過程，可替代潛在危害化學物質如氫硼化鈉(NaBH_4)。圖3.1.2.4為以不同濃度的兒茶素與茶葉的萃取物所製造的銀奈米微粒影像。

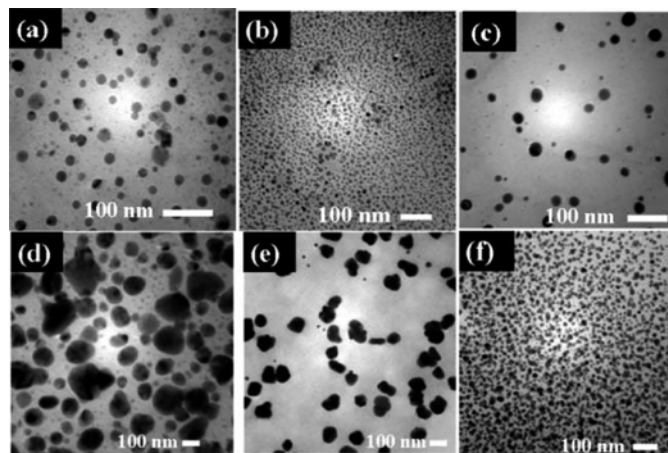


圖 3.1.2.4 利用(a)比奇洛茶(Bigelow)(b) Folgers 咖啡(c)立頓茶(d)Sanka 咖啡(e)星巴克咖啡萃取物合成銀奈米微粒之 TEM 影像，於室溫下單步驟反應，沒有利用到任何有害的還原化學物質或非分解性封存劑 (Hebbalalu et al. 2013)

根據電子掃描顯微鏡以及X光散射分析，Hebbalalu et al. (2013)合成了立方體及六方體結構的奈米銀微粒，大小介於10-50奈米之間。利用不同的萃取物，可合成更準確的微粒尺寸，例如利用蘆薈葉子的萃取物，形成的奈米銀微粒尺寸介於 15.2 ± 4.2 奈米之間。Jayaseelan et al. (2013)研究應用綠能合成之奈米銀微粒於抗蟲(pediculocidal)及抗蚊(larvicidal)的活性，他以常出現於印度及斯里蘭卡的青牛膽茜草(*Tinospora cordifolia* Miers)做為還原劑，所製造出的奈米銀微粒可有效地治療頭蝨(head lice)。葉片是最常應用於綠色合成奈米銀微粒的植物萃取物，種子、根、莖之萃取物也有許多探討。Hebbalalu et al. (2013)研究顯示含有抗氧化劑 *Trianthema decandra*植物根部之萃取物，可用於對抗疾病，如人體的動脈粥狀硬化。傳統奈米銀微粒的合成方法需要於 80°C 的恆溫油浴中進行5小時的還原反應，由於需要大量加熱及冗長的反應時間，因此最好使用更多生態友善的奈米銀微粒合成方法比較好。利用不同植物的葉子所合成的銀奈米微粒性質也會不同，例如圖3.1.2.5所示的羅莎冬蟲夏草，可用於合成銀奈米微粒，如圖3.1.2.6所示。

總結來說，相較於以傳統奈米銀微粒合成方法產生的環境問題，利用綠色合成奈米銀微粒的替代方法為合適且具經濟效益之潛力。



圖 3.1.2.5 用於合成奈米微粒的芙蓉葉 (Hebbalalu et al. 2013)

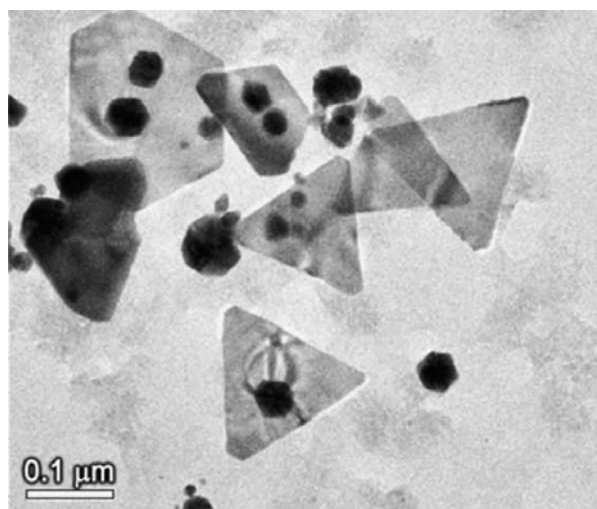


圖 3.1.2.6 利用芙蓉葉合成的銀奈米微粒 TEM 之影像 (Hebbalalu et al. 2013)

奈米銅微粒

銅和銀都具有抗菌特性。奈米銅微粒由於有高表面體積比，透過不同的機制如細胞膜破壞、阻斷細胞生化途徑、蛋白質錯合物的形成和DNA的損壞，而對許多細菌和真菌產生毒性。然而銅極易與氧結合形成氧化奈米銅微粒，因此需利用基質結合微粒使其不易氧化。Bagchi et al. (2012) 利用奈米銅微粒懸浮溶液的吸附法製成含有富鋁紅柱石(mullite)的陶瓷抗菌複合材料，並利用X光衍射儀(X-ray diffraction)及場發射電子顯微鏡(Field emission scanning electron microscopy)分析其物化特性，結果顯示奈米銅微粒表面為均勻分布的結晶。在抗菌研究的實驗中，利用平板計數法發現菌種培育24小時後，所有菌種的死亡率>99%。人類癌症細胞的生物相容性研究指出，複合材料中銅含量小於100 μg/mL時，其毒性可以忽略不計。因此該複合材料可適用於開發抗菌陶瓷製品並應用於生物治療，例如各種微生物感染的治療。

Mallick et al. (2012) 發表一個由奈米銅微粒和甲殼素(chitosan, CS)組成的新複合材料，可在碘分子存在的情況下保持穩定，且具有高抗菌活性。此新的複合材料可由CuSO₄水溶液在CS的存在下和聯氨(hydrazine)混合而得。複合材料中的奈米銅微粒平均直徑大約8±4 nm，在一般大氣環境下會因不穩定而產生氧化銅，若在介質中加入碘分子可使合成後的奈米微粒穩定。Mallick et al.利用革蘭氏陰性菌

(大腸桿菌)及革蘭氏陽性菌(蠟狀芽孢桿菌)進行實驗，含有21.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的奈米銅微粒的碘複合材料對大腸桿菌的最小抑菌濃度為130.8 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。界達電位的量測提供了碘化CS-Cu奈米複合材料和細菌間吸引交互作用的證據。電子顯微鏡及流式細胞儀顯示碘化CS-Cu奈米複合材料會附著在細菌的細胞壁上，對細胞膜產生不可逆的損傷，最後導致細胞死亡。

奈米氧化鐵

雖然在傳統觀念上認為氧化鐵不具有抗菌特性，但目前已經有一些研究觀察到氧化鐵的抑菌活性，例如Tran et al. (2010)發現長100-200 nm鏈狀結構的氧化鐵奈米微粒(平均粒徑=9 nm，實驗狀態下的界達電位=-19.09 mV)可減少金黃色葡萄球菌的細胞存活率。與不加入奈米微粒或奈米微粒濃度較低時相比，濃度3 mg/mL的氧化鐵奈米微粒已證實在與細胞接觸4、12及24小時後可降低細胞存活率，其抗菌機制與奈米微粒滲入細胞並產生活性氧物種的能力有關，而奈米微粒的負zeta電位及陰性菌表面負電荷的少量靜電交互作用，可能可解釋欲達抗菌效果需要高濃度奈米氧化鐵微粒的原因。

Senthil et al. (2012)進行氧化鐵奈米微粒對綠膿桿菌(*Pseudomonas aeruginosa*)的抗菌實驗，研究其對於革蘭氏陰性菌的抗菌效果。Senthil et al. 在瓊脂平板上的馬鈴薯葡萄糖瓊脂(Potato Dextrose Agar, PDA)的培養基進行實驗，並加入不同濃度的氧化鐵奈米微粒，最後利用X光衍射儀、掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscopy, SEM)、紫外-可見光吸收光譜儀(UV-VIS absorption)及霍氏轉換紅外光譜儀(Fourier-transform infrared spectroscopy)分析氧化鐵奈米微粒。圖3.1.2.7顯示瓊脂平板上加入不同濃度氧化鐵奈米微粒形成的抑菌圈，分別為a(10 μL)、b(20 μL)、c(30 μL)和d(40 μL)，隨著氧化鐵奈米微粒濃度的增加，抑制細菌增長的影響也漸增，研究結果顯示氧化鐵奈米微粒可作為對綠膿桿菌的抗菌劑。

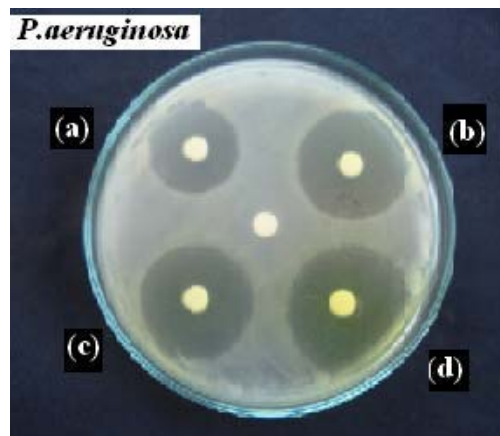


圖 3.1.2.7 瓊脂平板上加入不同濃度氧化鐵奈米微粒形成的抑菌圈，(a)加入 10 μL ；(b)加入 20 μL ；(c)加入 30 μL 和(d)加入 40 μL (Senthil et al. 2012)

二、奈米物質於織物的應用

Knight et al. (2013)利用混合式巴克紙(Hybrid bucky papers, HBP)的阻燃機制發展出強效耐火材料，而HBP的製備為使用多壁奈米碳管(multiwalled carbon nanotubes, MWCNTs)和氫氧化鎂($\text{Mg}(\text{OH})_2$)，由掃描式電子顯微鏡及X光能量散射光譜儀(Energy Dispersive X-ray spectroscopy, EDS)分析得知，氫氧化鎂奈米微粒均勻分布在奈米碳管交織之網絡中，如圖 3.1.2.8 所示。熱解重量分析(Thermogravimetric analysis)及熱微差分掃描分析儀(differential scanning calorimetry, DSC)均證實在高熱下氫氧化鎂會在HBPs中分解並且在高溫有熱吸收現象，如圖3.1.2.9所示。因此，若以HBPs作為環氧樹脂碳纖維材料的表面塗層可顯著提高其阻燃性能。

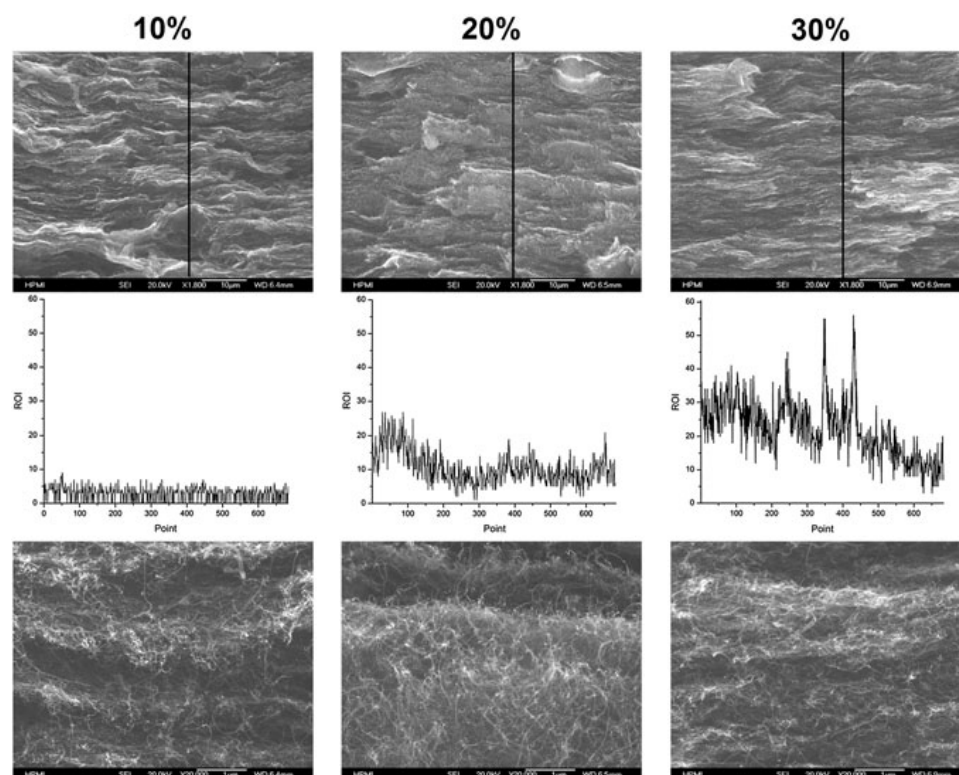


圖 3.1.2.8 HBP 利用 SEM 及 EDS 的分析結果，每列圖從左至右分別含有濃度 10%、20 及 30% 的氫氧化鎂奈米微粒，第一列圖為比例尺 5 mm 之 SEM 分析結果(1800x)；第二列圖為分析沿第一列圖上所示之直線上的氫氧化鎂奈米微粒的訊號，x 軸為直線上的位置；第三列圖為 20000x 放大倍率的 SEM 影像，氫氧化鎂奈米微粒均勻分布其中，圖上的比例尺為 1 mm (Knight et al. 2013)

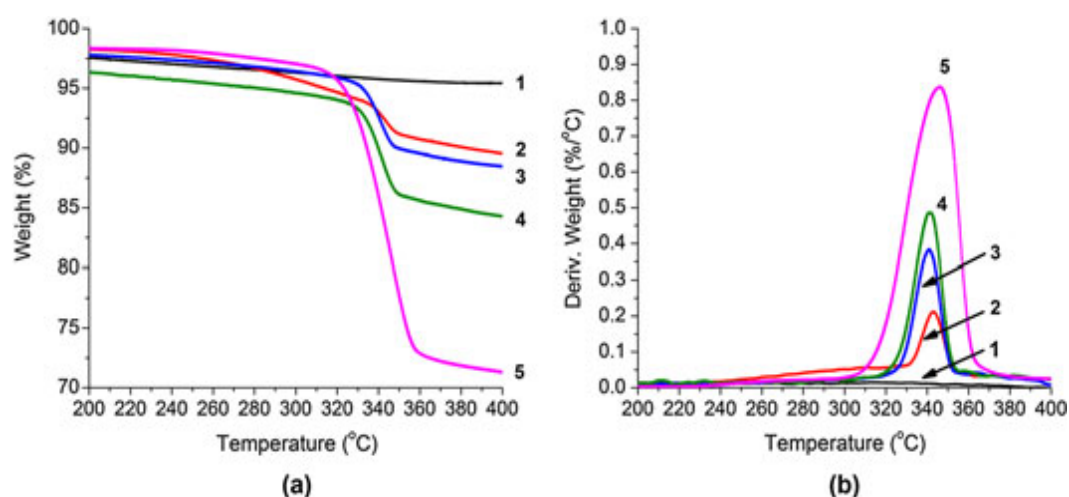


圖 3.1.2.9 混合式巴克紙和氫氧化鎂奈米微粒的熱解重量分析曲線，(a)重量損失；(b)差分重量損失。1.HBP MWCNT；2.HBP MWCNT—10%Mg(OH)₂；3.HBP MWCNT—20%Mg(OH)₂；4.HBP MWCNT—30%Mg(OH)₂；5.Mg(OH)₂ (Knight et al. 2013)

Mehdinia et al. (2013) 利用奈米物質如碳、聚合物、矽或金屬奈米微粒製成固相微萃取塗層(solid-phase microextraction, SPME)，碳奈米物質的特性(例如多孔和豐富的p電子結構，良好的熱穩定性和化學穩定性)使其成為良好的固相微萃取塗層材料。大多數的情況下，碳奈米物質比一般商業化的固相微萃取纖維具有較高的分析性能。聚合物的共價鍵主鏈及多孔結構使含有導電聚合物的奈米結構塗料同樣具有較高的熱穩定性和萃取效率。靜電纖維同樣顯示出比一般商業SPME好的熱穩定性，而較佳的萃取效率是由於其多孔聚合物結構。化學官能化的二氧化矽奈米微粒，以及由其製成之聚合物/二氧化矽奈米複合材料可擴展SPME塗層的使用範圍。堅固的多孔陽極線為另一種替代的塗層，同樣表現出較高的熱穩定性及萃取效率。

Johnston et al. (2010)使用奈米金及奈米銀顆粒加入羊毛纖維中,提供新型不退色的染劑以及額外的抗菌和催化特性。James et al. (2012)指出奈米金和奈米銀可直接形成並結合到未漂白的木質素紙張纖維上，不須利用外部的連結分子，木質素扮演著相當重要的角色，因此Johnston et al. (2010)提出的方法僅適用於未漂白的牛皮紙纖維和機械紙漿的形式。苯酚以及可能是木質素的甲氧基芳香族會使 Au^{3+} 還原為 Au^0 、 Ag^+ 還原為 Ag^0 ，並將奈米金及奈米銀結合至纖維表面。SEM及紫外-可見光譜儀可確認在纖維表面上形成的奈米金(圖3.1.2.10)和奈米銀微粒(圖3.1.2.11)，未漂白牛皮紙纖維生成之奈米金微粒為紫色，而奈米銀微粒則由於奈米金與奈米銀表面電漿共振效應使其呈現黃色，含奈米金及奈米銀的未漂白牛皮紙纖維分別在金濃度較低和銀濃度非常低的情況下，都具有良好的抗菌特性。

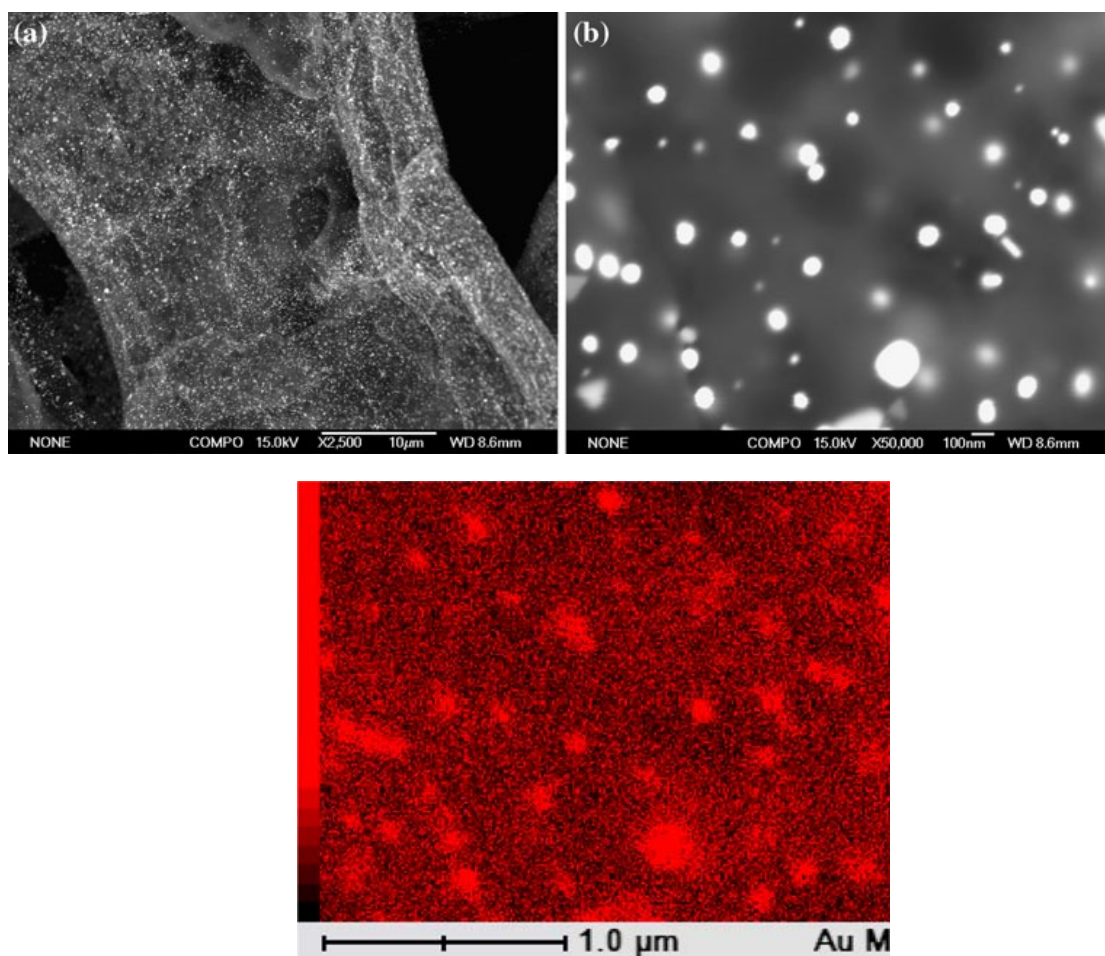


圖 3.1.2.10 (a)及(b):不同放大倍率下含奈米金微粒在未漂白牛皮紙纖維上的向後散射式 SEM 影像 (c):(b)圖之能量散射 X 光分析(Energy dispersive X-ray analysis) 結果，顯示出奈米金的分布情況 (Johnston et al. 2010)

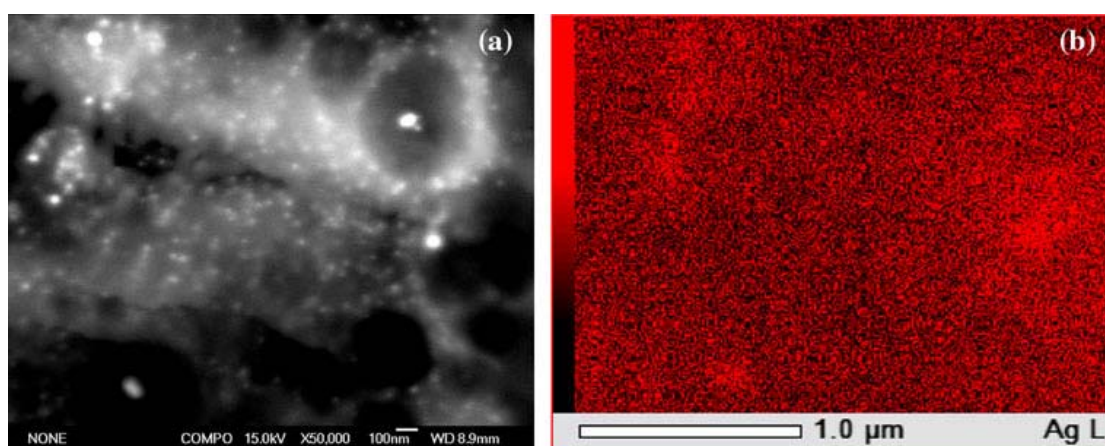


圖 3.1.2.11 奈米銀微粒在未漂白牛皮紙纖維上的向後散射式 SEM 影像，圖(b)中亮紅色的部分表示含有高濃度的奈米銀 (Johnston et al. 2010)

Imaizumi et al. (2012) 提出一種新式離子交換碳奈米物質，其表面磺化碳奈米纖維(surface sulfonated carbon nanofiber, S-CNF)可提高表面積、離子交換和吸附能力。Imaizumi et al.利用靜電紡絲的連續碳化和磺化製備附有SO₃H的S-CNF，最後觀察到由於奈米尺度的效應，其表面積、離子交換和吸附能力會隨著纖維直徑的減少而增加。本研究所使用的織物含直徑80 nm的細孔，總細孔表面積為32.2 m² g⁻¹，離子交換容量為2.94 mmol g⁻¹，甲基藍的吸附容量為943.1 mg g⁻¹，其吸附效果為一般商業活性碳的兩倍以上。此結果強調以離子團將表面官能化的CNF纖維布為具有高容量離子交換潛力的材料。

三、奈米物質於感測器的應用

重金屬污染是最嚴重的環境問題之一，許多人投入發展適合偵測環境中重金屬的感測器，結合奈米材料及奈米結構物於感測器中能顯著改善儀器的性能，如靈敏度、選擇性、多功能偵測能力及可攜帶性。此外，利用小分子物質如 DNA、蛋白質、細菌結合非有機物質，以選擇性的吸附重金屬作成「分子辨識探針」。Li et al. (2013)於本文中報導光學、電化學、場效電晶體之重金屬感測器的最新進展。

光學感測器著重於比色、螢光、表面增強拉曼散射以及表面等離子共振設備。此外，Li et al. (2013)也探討結合微流體晶片之光學元件製成的光流體設備，並針對利用奈米微粒修飾之電極、微電極(或奈米電極)陣列以及微流體電化學感測器作整理說明。Cho et al.結合液滴的微流控制系統與傳感器來偵測汞離子，如圖 3.1.2.12 所示。

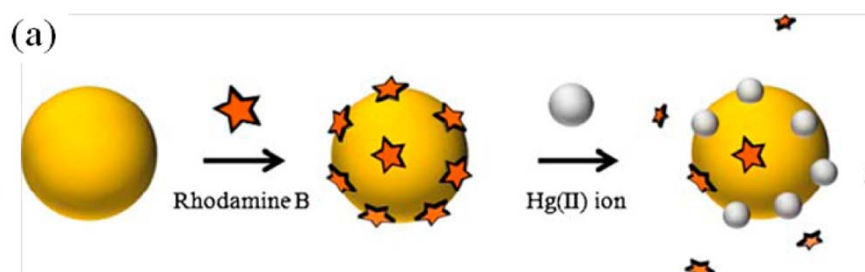


圖 3.1.2.12 於金奈米微粒表面，以還原汞離子取代染料分子為根據的汞離子偵測原則之圖示 (Li et al. 2013)

過去科學家們致力於開發重金屬感測器之許多面向包括：(1)開發不同的傳感機制，產生了光學、電化學、場效電晶體感測器；(2)利用或是發展不一樣的分子辨識探針，包括小分子有機物質、DNA、適配體、蛋白質、細菌以及金屬。然而，大部分的研究工作只限於概念型的感測器，只能檢測於緩衝溶液或人工基質中的重金屬。奈米微粒修飾電極具有較大的表面積、較快的電子傳遞速率、快速的質量傳遞速率、較低的溶液阻抗以及較高的訊號/雜訊比。

奈米金微粒已被應用於修飾塊材電極，Li et al. (2013)研究顯示奈米金微粒修飾的玻璃碳電極能夠減少記憶效應以及來自介金屬的離子干擾。此外，奈米金修飾玻璃碳電極能夠大幅降低 Hg^{2+} 汞離子的偵測極限。除奈米金之外，碳奈米物質如奈米碳管、奈米碳纖維以及石墨烯已被開發成為偵測重金屬的電極材料。對於電化學感測器的應用，奈米碳管及石墨烯有許多優點，包括大表面積、小尺寸、優良的電子傳導能力以及表面修飾較為容易。此外，奈米碳管為重金屬的優良吸附劑，能夠同時收集與偵測到多種重金屬離子。因此利用奈米碳管或石墨烯修飾電極所製造的電化學感測器用於偵測重金屬離子是極具潛力的。

金奈米微粒於感測器上的應用

James et al. (2012) 表示將金奈米微粒作為獨立、價格低廉且靈敏的汞偵測器。金奈米微粒藉由其局部表面等離子共振(Localized surface plasmon resonance, LSPR)來吸收可見光，而且其吸附情形會因汞與金奈米微粒的結合而改變，其吸附的峰值與金奈米微粒之表面積與體積之比值成正比。當金奈米微粒吸附了 15 個汞原子時，其 LSPR 的波長會產生 1 nm 的移位。欲利用 LSPR 來偵測汞，需選擇選擇性吸附較佳且最具靈敏的反應材料。金材質是一個穩定的汞吸附材料，且金奈米微粒可以製作成各種不同的形狀及粒徑大小，James et al.從不同的顆粒形狀及大小當中，決定出最靈敏且穩定的金奈米微粒。粒徑約為 5 nm 的球體具有最大的表面積-體積之比值，且在合成的薄膜中仍然具有吸附可觀測的峰值。圖 3.1.2.13 為一個感測器簡圖。球體有最小的表面積-體積比值，但是相對於其他更複雜的幾何圖形相比，可合成更小的尺寸。最小的表面積-體積比也可作為維持旋轉球體顆粒形狀穩定性的優點。James et al.藉由降低表面壓力至 8 毫牛頓/平方米，能夠降

低堆積密度以及製造共振吸收波長為 520 nm 的薄膜。除了提供選擇性吸附樣品採集外，金顆粒在許多測量技術中可做為汞的感測器。

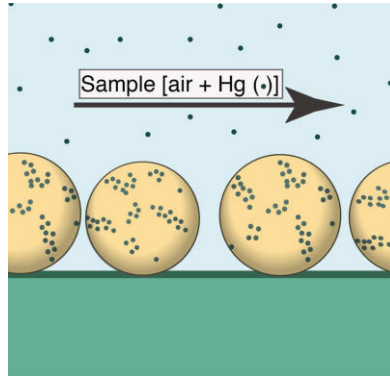


圖 3.1.2.13 金奈米顆粒暴露於汞蒸氣中之圖示 (James et al. 2012)

目前，奈米物質在電化學的應用上具有優良的性能，而金奈米微粒具有高度催化活性及優良的電子移轉加速性能，而被廣泛應用固定蛋白質與建立電化學感測器。Wu et al. (2013)利用金奈米粒子透過電紡技術，結合奈米微粒及奈米纖維的優點來修飾電極。相對於其他方法，此法所紡織出的奈米纖維具有大的表面積 - 體積比、可調孔隙度和高化學惰性。酵素固定的多寡會受到靜電奈米纖維的表面-體積比值以及孔隙率等形態所影響。金奈米微粒及靜電樣本的 SEM 影像顯示其顆粒大小約為 16 nm(圖3.1.2.14A)。這些金奈米微粒均勻分布於幾近均勻的奈米纖維薄膜(圖3.1.2.14B插圖)，纖維粒徑從 200 到 500 nm 不等，且呈隨機分布 (圖 3.1.2.14B)。

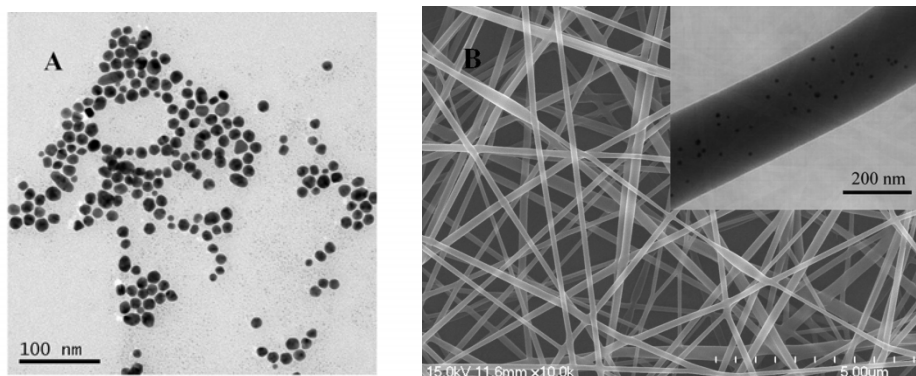


圖 3.1.2.14 (A)金奈米微粒的 TEM 影像(B)複合奈米纖維的 SEM 影像；插圖：奈米纖維之 TEM 影像 (Wu et al. 2013)

奈米碳管(Carbon nanotubes, CNT)於感測器上之應用

碳原子之間可以藉著不同類別的鍵長及鍵強來形成鍵結，這使的碳原子之間存在各種不同的幾何型態並對應到不同的同素異型體。不久前，奈米碳管 (CNT) 和石墨烯仍然是最有用和最被廣泛研究的奈米物質。奈米碳管與石墨烯分別為碳和碳原子之間不同的空間排列，所形成的一維與二維之同素異形體。一維與二維的碳奈米結構(即奈米碳管與石墨烯)由於其獨特的結構與原子排列而具有良好的物理性質。

愈來愈多利用奈米物質製作感測器、光電和電子設備。而奈米碳管因具有良好的電器、機械及熱性能與化學穩定性，而使它成為獨一無二的材料。近年來發現，奈米碳管具有極佳的結構及物理性質，如良好導電性、高比表面積(1500平方公尺/克)、強度及穩定性，可應用於化學及生物感測器。奈米碳管是石墨碳原子的一維六角形網格所捲成的圓柱體。單壁奈米碳管是由單層石墨烯於平面上沿著網格方向所捲成的圓柱，如圖3.1.2.15所示(Iqbal et al. 2013)。因此，根據捲動的平面數量，奈米碳管可異分成單壁、雙壁或多壁奈米碳管。

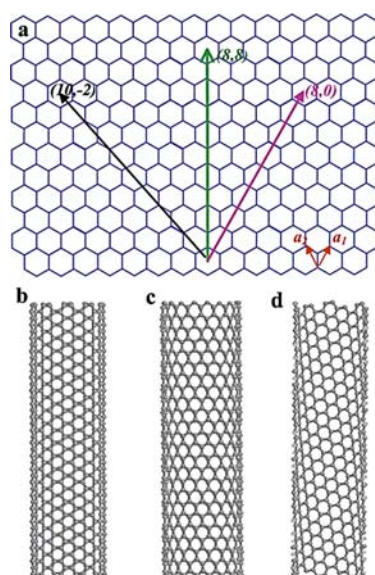


圖 3.1.2.15 一維及二維碳奈米結構之簡圖：(a)石墨烯平面的蜂窩狀結構圖。單壁奈米碳管(SWCNTs)可由此烯平面沿著網格向量摺疊所形成。最基本的 2 個向量 a_1, a_2 如圖所示，而(b)手扶椅形狀(c)蜿蜒型(d)掌型的奈米碳管結構分別是由沿著 $(8,8)(8,0)(10,-2)$ 方向摺疊所形成 (Iqbal et al. 2013)

單壁奈米碳管(SWCNT)是由單層具有 π 鍵結的原子層所形成，其導電性對於追蹤分子以及吸附於表面的離子極度靈敏。奈米碳管對於未來的電晶體發展具有巨大潛力，且其可用來合成電路並發展高靈敏度、低耗能的氣體感測系統。用於測定於氧化氮氣體(NO_x)反應的設備如化學電阻或場效電晶體(FETs)可由奈米碳管來製備。Iqbal et al. (2013)整理以奈米碳管製成的感測器之性質如表 3.1.2.4。

表 3.1.2.4 以奈米碳管製成的感測器性質簡介 (Iqbal et al. 2013)

材料	儀器種類	偵測極限 (ppm)	目標分析物	反應時間 (s)
單壁奈米碳管	場效電晶體	2	NO_2	<600 at 200 °C
多壁奈米碳管	場效電晶體	50	NO_2	~500
奈米碳管	電阻	0.01	NO_2	~3600 at 165 °C
奈米碳管列	電阻	10	NO_2	-
單壁奈米碳管	電阻	3	NO_2	720 at RT
雙壁/多壁奈米碳管	電阻	0.1	NO_2	7200
奈米碳管列	電阻	2	NO_x (NO and NO_2)	-
沉積之單壁奈米碳管	電阻	2	NO_2	46 at 300 °C
經甲醇浸泡之單壁奈米碳管	電阻	2	NO_2	20 at 300 °C
單壁奈米碳管	電阻	0.044	NO_2	<600
多壁奈米碳管	電阻	1	NO_2	-

近年來，有許多各種不同的氣體感測器的研究。氣體感測器用於吸附特定氣體非常重要。圖3.1.2.16(a)為CNT-FET的設備簡圖，Kiga et al.(2012) 設定了位於CNT兩端的源/匯電極，以及位於源/匯電極兩邊之IL-閘門電極。圖3.1.2.16 (b)顯示為應用負電壓於IL-閘門的剖面圖。此外，碳奈米結構對於周圍的大氣氣體變化極度靈敏，意即奈米碳管的導電性或電阻會因為其所吸附、脫附的氣體分子(如氮氧化物 NO_x)而有劇烈的變化。Iqbal et al.(2013)等人回顧了利用一維或二維碳奈米結構以及氣體靈敏性合成材料之合成的一氧化氮感測器，在他們論文中同時也概述了這些儀器設備的潛力及未來的發展。一則關於「利用界電方法製造出的奈米碳管偵測於50ppb的二氧化氮氣體」的報導指出，於鉑電極所沉積的奈米碳管具高靈敏性，而經由控制「Schottky 勢能屏障」而改善的「偏置電壓調製」之感測器表現，

如圖3.1.2.17所示。

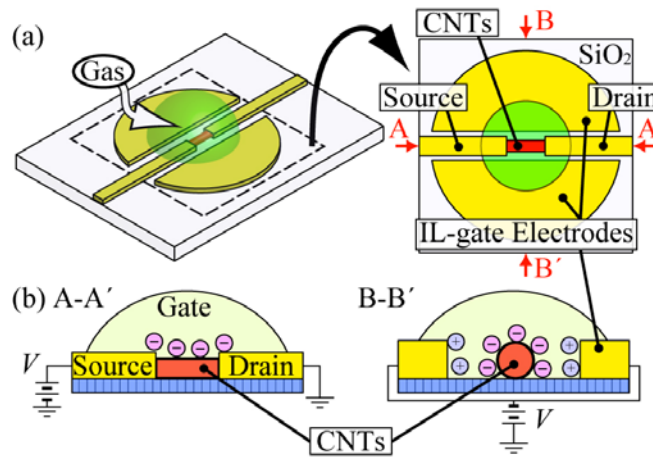


圖 3.1.2.16 (a)所使用的儀器設備整體圖(b)應用負電壓於離子溶液之剖面圖 (Kiga et al. 2012)

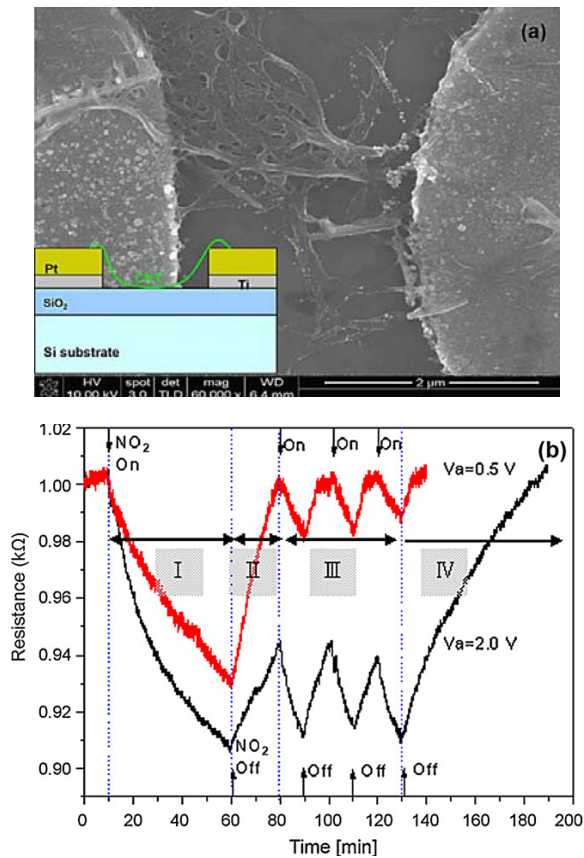


圖 3.1.2.17 (a)鉑電極上，經由「界電電泳法」沉積的奈米碳管之 SEM 影像 (b)奈米碳管偵測器於室溫下對 100ppb 二氧化氮的時序相關反應 (Iqbal et al. 2013)

石墨烯於感測器之應用

石墨烯是由碳原子之間以 2 維 sp_2 鍵結密集堆疊於蜂窩狀的晶格，由於其單原子厚度的結構，本質上有高表面積-體積的比值的優點。表 3.1.2.5 列出了利用石墨烯的電子感測器的性質，這些感測器能應用於氮氧化物(NO_x)的偵測。

表 3.1.2.5 利用石墨烯的電子感測器之性質 (Iqbal et al. 2013)

材料	儀器操作模式	目標分析物	偵測極限 (ppm)	反應時間(s)
機械剝離石墨烯	阻抗	NO_2	~0.001	~6
機械剝離石墨烯奈米結構	電導及表面工作功能	NO_2	0.06	<12
利用水合聯氨還原之石墨烯氧化物	電阻	NO_2	<5	<600 at RT-150 °C
低溫熱還原石墨烯氧化物	電流	NO_2	~2	>600 at RT
石墨烯薄膜與微波色帶	電阻	NO_2	<100	>600 at RT-200 °C
外延生長之均勻石墨薄膜	電導	NO_2	<0.01	50-100 at RT-250 °C
天然石墨化學剝離之石墨烯	電阻	NO_2	<0.35	<600 at RT

石墨烯微感測器，能夠在氣體分子接觸其表面或從其表面分離時，偵測個別分子。由微機械剝離的石墨所裝配之石墨烯儀器，其偵測極限可低於 1 ppb 濃度，這歸因於利用石墨烯之儀器具有極低的雜訊水準。圖 3.1.2.18 (a)顯示了關於當石墨烯感測器暴露於不同濃度的二氧化氮時儀器的反應，圖 3.1.2.18 (b)顯示石墨烯對於不同氣體的反應。

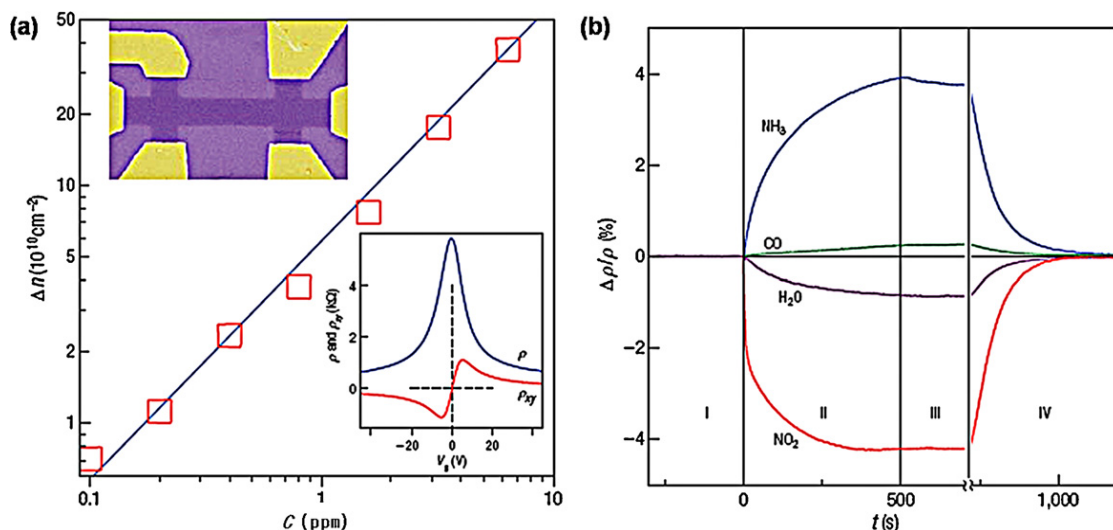


圖 3.1.2.18 石墨烯對於化學參雜的敏感度(a)單層石墨烯暴露於不同濃度的二氧化氮。左上方插圖為儀器之掃描微電子圖(虛擬顏色對應到可見光的部分)(b)石墨烯暴露於不同的稀釋氣體(稀釋至 1ppm)所產生的”零場電阻”變化,圖中正極/負極表示電洞參雜。區塊 1:暴露之前處於真空狀態下的儀器;區塊 2:暴露於 5 公升體積下的稀釋化學氣體;區塊 3:將實驗設施抽真空;區塊 5:於 150 度 C 下鑄煉 (Iqbal et al. 2013)

事實上，氣體分子的吸附會改變石墨烯的局部帶電荷濃度，導致電阻改變。單層或多層石墨烯可以以不同方式製備，例如透過石墨微機械劈裂、液體溶劑中的石墨層剝離、化學蒸氣沉澱(CVD)，以及結晶成長等。於結晶成長的石墨烯層對於二氧化氮氣體呈現了高靈敏度。Pearce et al. 製作了以「結晶成長之單層及多層石墨烯合成的碳化矽(SiC)」製成之簡易電阻儀器，並測試其對於二氧化氮氣體的反應。

如圖 3.1.2.19(a)及(b)，石墨烯薄膜呈現較高的氣體反應及較好的反應動力，這歸因於薄膜較優良之固有導電性。化學參雜之石墨與二氧化氮分子因帶電荷轉移機制而改變石墨烯層的導電性。感測器對於 100 ppm 之二氧化氮氣體呈現 9% 之氣體反應，同時具有良好的再生性，但脫附時間較久為其缺點。

利用石墨烯製成之電子感測器於短時間內顯示出特殊的氣體反應，然而大規模的製造及處理此感測器仍然是個挑戰。如上述所提及的方法為低產量、昂貴或是牽涉到高溫低壓條件的方法。利用石墨烯氧化物(GO)可大量製造石墨烯。透過石墨的化學剝離及後續在水中的分散來合成。位在基底平面及邊緣的含氧官能機

的存在，可使 GO 溶於水，使 GO 具有親水性但有電絕緣性。

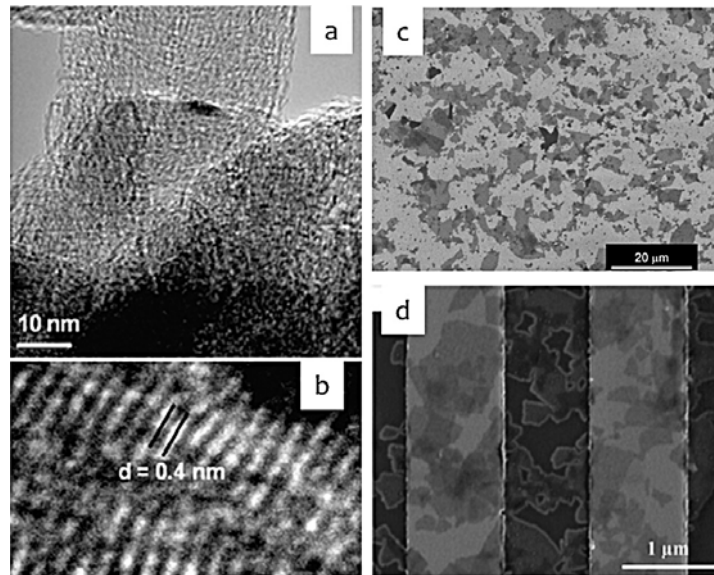


圖 3.1.2.19 透過不同流程所製備之石墨烯薄膜：透過「微波等離子體輔助 CVD 法」製造的石墨烯薄膜之(a)TEM 與(b)HRTEM 影像(c)化學衍生時石墨烯薄片於感測器表面之 SEM 影像(d)由化學還原之石墨烯氧化物(此連接了比鄰的金電極)組成之感測儀器之 SEM 影像 (Iqbal et al. 2013)

四、奈米物質在環境工程之應用

奈米物質在環境中的應用已非常廣泛，特別是在水資源之永續利用上，主要包括：吸附、感測器與觀測器之開發、消毒去污、地下水復育、薄膜科技之應用等(Qu et al. 2013)。以下將就奈米物質在吸附應用、地下水復育、光觸媒降解去污等應用作介紹。

奈米樹狀高分子(Dendrimer)

奈米樹狀高分子(Dendrimer)最早是於 1985 年時由美國 Dow 化學公司的科學家 Tomalia 博士所製成，其結構類似樹枝，會不斷生長出新的分枝，依此循環持續生長到最後會形成立體圓球的形狀，如圖 3.1.2.20 所示。Dendrimer 是一種尺寸小，並且具有多孔性的奈米級高分子材料，相較於傳統的線型高分子，其具有可精確控制的結構，目前國內外的研究著重於材料以及生物醫療方面的研究。

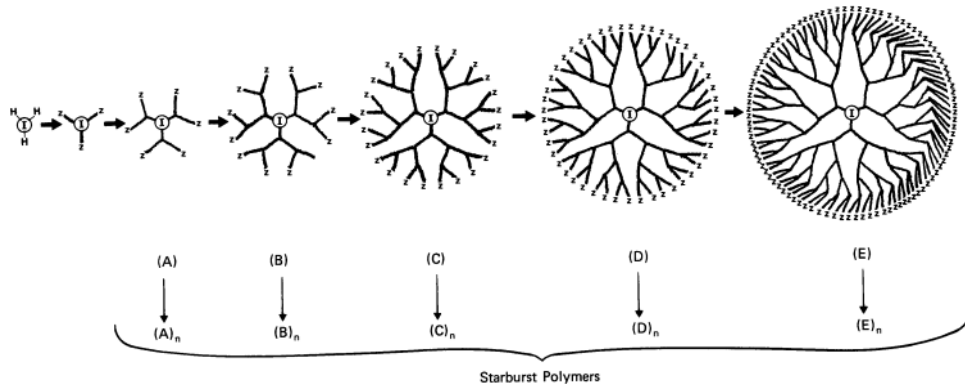


圖 3.1.2.20 樹狀高分子世代增長示意圖 (Jain et al. 2010)

Dendrimer 的結構主要是由核心(core)、重覆單元(repeating unit)、末端單元(terminal unit)所構成，如圖 3.1.2.21 所示，其他還包含分岔連接點 (branch juncture)、末端位置(terminal site)、空隙體積(void volume)等(Jain et al. 2010)。其樹枝狀分枝具有均一性，分歧到一定程度後會形成球狀，且具有許多末端官能基可以吸附污染物。Dendrimer 對金屬離子的吸附具有多重機制，包括有(1)螯合作用、(2)表面靜電吸引力、(3) 內部空隙體積之空間捕捉效應。

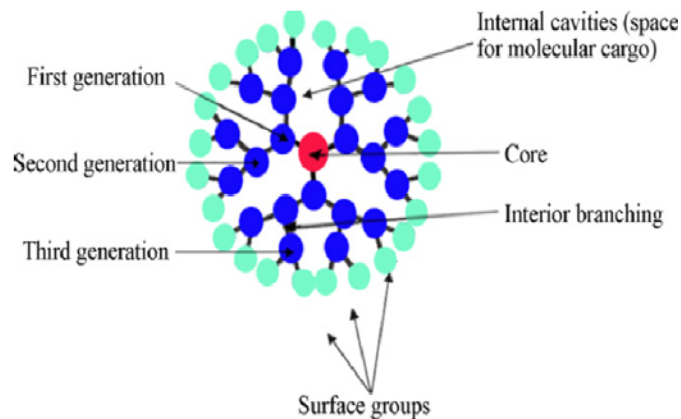


圖 3.1.2.21 樹狀高分子結構示意圖 (Jain et al. 2010)

Xu and Zhao (2005)以不同世代和不同末端官能基之高分子進行受污染土壤中金屬銅的回收，結果發現，當改變 Dendrimer 世代、濃度、pH、末端官能基種類時，皆會對去除率產生影響，同時也發現當使用 Dendrimer G4.5-COOH，在 pH=6

時，最高去除率可達 90%，證實高分子材料可以吸附鍵結銅離子，達到去除的效果，文獻中也提到，如果 Dendriemr 相同劑量情況下，較低世代的高分子材料會去除較多的金屬；同時也發現，利用不同類型的樹狀高分子材料在酸性($\text{pH} < 3$)環境時，可有效將金屬脫附；反之，當 $\text{pH} > 5$ 時將會提高吸附鍵結的能力。Xu and Zhao (2005)於試驗中發現，世代越高會對鍵結能力造成相當影響，以動力學觀點來看，顆粒較小的物質(世代低)相較於顆粒大的材料(世代高)所受到阻力較小。當高分子世代較小時($n < 3$)，雖然表面官能基群較少，但是表面較易和銅離子進行鍵結；而當高分子世代較高時($n \geq 3$)，表面官能基數量雖提昇，形狀更接近立體球形，但是表面官能基群過度密集，反而不易和銅離子進行鍵結反應。而 Qu et al. (2008)以 SiO_2 為核心複合上 Dendrimer 形成 $\text{SiO}_2\text{-Gn}$ 並以此 0-4 世代吸附二價鈹離子，針對不同世代的飽和吸附量與脫附情形進行試驗，結果顯示， $\text{SiO}_2\text{-G3}$ 吸脫附效果最好，並且在相同的劑量下，當超過 3 世代時，其效果反而沒有提升，Qu et al. (2008)認為，表面的官能基過多，會造成末端官能基過度擁擠、交錯，反而會抑制其吸附能力，降低吸附效率。

Diallo et al. (2005)使用三種不同世代的 Gn-NH_2 ($n=3、4、5$) 高分子進行試驗，改變不同 pH 值，觀測其吸附銅離子變化，結果發現當 pH 於酸性偏中性($\text{pH} 5.9\sim 6.1$)時效果最好，而且在同劑量條件下，世代越高其吸附鍵結效果越好；當 pH 值過酸或是過鹼時其鍵結效率極低，文獻中解釋是因為過酸或是過鹼會造成溶液中的氫離子或是氫氧根離子濃度劇增，導致 Dendrimer 末端官能基與氫離子或氫氧根離子形成質子配位基，佔據原本可以吸附重金屬的位置；另一方面，文獻中也提到過酸的環境下會增加 Dendrimer 的脫附效果，由此可以發現 pH 值對於 Dendrimer 的末端官能基會造成相當影響。Rether and Schuster (2003)提出，試驗使用 PAMAM polymers 鍵結(Dendrimer ligand) 去除重金屬 Co(II) 、 Cu(II) 、 Hg(II) 、 Ni(II) 、 Pb(II) 和 Zn(II) 。結果顯示，當 $\text{pH}=9$ 時， Cu(II) 和 Hg(II) 會穩定鍵結於 Dendrimer 上，且可以藉由降低 pH 值回收重金屬、將高分子材料重複再利用。以三世代樹狀高分子複合上磁性奈米微粒，以此來吸附水溶液中的貴金屬(Pd^{4+} 、 Au^{3+} 、 Pd^{2+} 、 Ag^+)，結果發現在 $\text{pH}=6$ 時對 Pd^{4+} 、 Au^{3+} 、 Pd^{2+} 的吸附效率可達 60%，而 Ag^+ 僅有約 40%。

磁性奈米微粒(Magnetic Nanoparticles, MNPs)

磁性奈米微粒具有可回收再利用的特性，在許多領域被廣泛地做為載體使用，例如，使用磁性顆粒為載體，再將硫脲修飾後的 Chitosan 與磁性顆粒複合，用來吸附 Ag(I) 和 Au(III)，或以奈米級磁性顆粒為載體複合三世代的樹狀高分子(Dendrimer)(MNP-G3)，再於吸附系統中添加 EDTA，以有效提升 MNP-G3 對貴金屬(Pd^{4+} 、 Au^{3+} 、 Pd^{2+} 、 Ag^+)的吸附能力。Jainae et al. (2010)則以 AEPE 修飾 MNPs 表面官能基，如圖 3.1.2.22 所示，當溶液中含有 Ag(I)、Au(III)、Cu(II)、Zn(II) 和 Ni(II)時，會針對 Au 和 Ag 進行吸附。

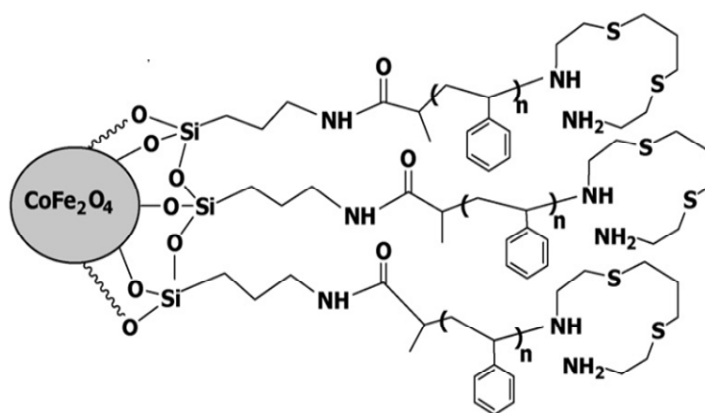


圖 3.1.2.22 AEPE 修飾磁性顆粒(MPs)示意圖 (Jainae et al. 2010)

磁性奈米微粒具有比表面積大以及官能基團密度高等特性，研究顯示四氧化三鐵磁性奈米微粒(Magnetic nano- Fe_3O_4 , MN- Fe_3O_4)的等電位點約為 5.7，所以当 $\text{pH} < 5.7$ 時，其表面帶負電荷。國內已有文獻使用 Fe_3O_4 磁性奈米微粒做為吸附劑，探討其對兩種酸性染料(New coccine 和 Indigo carmine)的吸附行為，討論 MN- Fe_3O_4 處理酸性的化學機械研磨(Chemical mechanical polishing, CMP)廢水之可行性。不具磁性之物質與本身具有磁性之材料結合，便可以輕易的操控其至某處或者某種狀態，即為磁性載體技術。近幾年來許多文獻利用 MNP 本身帶有磁性的特性，使用不同物質修飾其表面官能基，使其具有不同之功能性。藥物傳遞技術便是利用 MNP 作為藥物載體(Drug carriers)，注射入生物體內後，再於體外施加磁場，導航控制攜帶藥物之 MNP 在生物體內移動，使攜帶藥物之 MNP 在病灶聚集並釋放藥物，減少健康組織的藥物暴露量，達到治療之目的(Gupta and Gupta 2005)。Chou and

Lien (2011)也以樹狀高分子複合 MNP，以此材料來移除水溶液中的重金屬，最後也利用 MNP 本身所具有之磁性，以磁力對材料進行回收。

以不同物質對材料進行改質會影響材料本身對金屬離子的吸附能力以及吸附行為。表 3.1.2.6 統整了各種吸附劑對 Pd²⁺ 的飽和吸附量，由表中可以發現單純以 Fe₃O₄ 磁性奈米微粒來吸附 Pd²⁺ 的飽和吸附量相當的低，只有 10.96 mg/g，以三世代樹狀高分子複合上 Fe₃O₄ 磁性奈米微粒來對 Pd²⁺ 進行吸附，提升了 Fe₃O₄ 磁性奈米微粒對的 Pd²⁺ 飽和吸附量，但與其他吸附劑相比並不顯著。在這些吸附劑中，對 Pd²⁺ 有顯著的飽和吸附量的四個吸附劑都是經過不同化合物改質的 Chitosan，包括了含硫衍生物(Sulfur-derivatives)、甘胺酸(Glycine)、硫脲(Thiourea)和賴胺酸(L-lysine)，而這些改質劑本身都具有 S 或 N 的官能基。

表 3.1.2.6 不同吸附劑對 Pd(II)飽和吸附量之比較 (Lin and Lien 2013)

Adsorbent	Adsorption capacity (mg/g)
Fe ₃ O ₄ nanoparticles	10.96
PA-Lignin1	40.43
EN-Lignin2	22.66
Amberlite XAD-16	33.56
Amberlite IRC 718	40.43
MNP-G3	27.55
Sulfur-derivatives of chitosan	213
Glycine modified chitosan	120.39
Thiourea modified Chitosan microspheres	112.36
L-lysine modified chitosan resin	109.47

1. Dimethyl formamide modified Lignin

2. Dimethyl sulfoxide modified Lignin

硫脲(Thiourea)又被稱做硫化尿素，是尿素中的氧原子被硫取代後所形成的有機化合物，儘管結構相似，其性質卻與尿素大不相同，屬於硫代醯胺(RC(S)NR₂, R: 烴基)，其單體結構如圖 3.1.2.23 所示，目前主要作為樹脂工業的原料、染料、醫藥工業以及複印紙的生產。

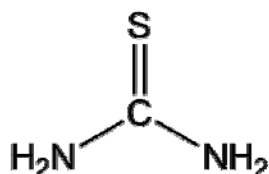


圖 3.1.2.23 硫脲結構示意圖 (Lin and Lien 2013)

螯合劑擁有硫或氮來當作電子提供者的配位基(Ligands)對過渡金屬會具有高度的選擇性，且不與鹼土族及鹼金族金屬產生反應。屬於軟鹼性的硫脲與屬於軟酸性的貴金屬(Pt⁴⁺, Pd²⁺, Au³⁺, Ag⁺)容易產生鍵結反應，且鍵結強度強。目前已知含硫官能基可和 Hg、Pt、Ag 以及 Au 形成穩定的錯合物(Ritchie et al. 2001)。因此，不論以何種物質為載體，作為修飾劑的化合物其化學結構中帶有 S 或 N 官能基時，對 Ag(I)、Au(III)、Pt(IV)、Pd(II)等貴金屬會具有高度選擇性。

以硫脲修飾之奈米磁性鐵顆粒(MNP-Tu)具備極佳的貴重金屬的回收效率。奈米磁性鐵顆粒先與矽烷胺基(3-Aminopropyl-trimethoxysilane purum, APTS)反應，之後再將硫脲利用戊二醛溶劑固定於奈米磁性鐵顆粒表面合成 MNP-Tu (圖 3.1.2.24)。

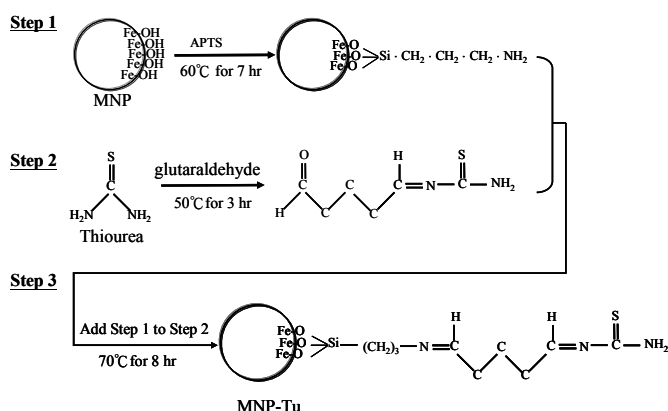


圖 3.1.2.24 合成硫脲修飾之奈米磁性鐵顆粒(MNP-Tu)之示意圖 (Lin and Lien 2013)

研究發現，MNP-Tu 在 pH=2 時，對 Pt(IV)、Au(III)和 Pd(II)等貴金屬有最佳的吸附效率，隨著 pH 值的提升，其吸附率也逐漸下降，顯示出此材料在酸性環境下(pH<4)可以有效回收水中的貴金屬離子。MNP-Tu 帶有 NH₂ 官能基，在酸性條件下容易被質子化(protonation)，使 MNP-Tu 表面帶正電荷，促進了靜電吸引力。動力學分析的結果，MNP-Tu 吸附 Pt(IV)、Au(III)和 Pd(II)的行為較符合擬二階動力模式，這一結果顯示，MNP-Tu 的吸附機制至少同時存在二種以上的機制控制吸附行為，可能存在的吸附機制為靜電吸引力和錯合作用。Langmuir 等溫模式在室溫下(25°C)MNP-Tu 對 Pt(IV)、Au(III)和 Pd(II)的飽和吸附量(q_{max})分別為 43.34 mg/L、118.46 mg/L 和 111.58 mg/L。競爭吸附與選擇性實驗中，系統中存在 Cu(II)時，MNP-Tu 仍可針對貴金屬(Pt(IV)、Au(III)、Pd(II))進行吸附，但 Cu(II)的存在還是會影響 MNP-Tu 對 Pt(IV)和 Pd(II)的吸附能力，Au(III)則是完全不受 Cu(II)的影響，顯示 MNP-Tu 對 Au(III)有高的選擇性(selectivity)。針對 Au(III)進行脫附實驗發現，最佳的脫附劑是 0.7 M Thiourea 與 2% HCl 混合液，脫附率可達 100%。重覆再利用實驗中顯示，只需 10 mL 的脫附劑，便可有效地將貴金屬從 MNP-Tu 中脫附出來，吸、脫附程序至少可重複 10 次，平均吸附率為 96%以上，而平均回收率為 90%以上。

硫脲修飾奈米磁性顆粒(MNP-Tu)之優勢除了在貴重金屬回收的效益上之外，它更具備較其他材料更加之環境友善性。表 3.1.2.7 列出了幾種含 S 或 N 官能團吸附劑與本研究中所使用之 MNP-Tu 的合成所需的時間和藥劑，以及對 Pt(IV)、Au(III)和 Pd(II)的飽和吸附量、脫附時間和重複使用次數。結果顯示，MNP-Tu 與其他吸附劑相比，雖然飽和吸附量差距不大，但合成時間大幅降低，省去了將近 2~4 倍的時間，同時合成所需的藥劑與溶劑也相對較少，Zhou et al. (2009)以硫脲修飾幾丁聚醣微球(Chitosan microspheres)，所需的合成時間大約是 MNP-Tu 的 2 倍，其飽和吸附量與 MNP-Tu 相比，Pt(IV)的相當的好 Pd(II)則無差別，需要的藥劑和溶劑的數量為 5 種，與 MNP-Tu 差不多。但其所使用藥劑中的環氧氯丙烷(Epichlorohydrin)為毒性化學物質，屬於環保署公告第二類毒性化學物質，為慢性物質，吸入及皮膚吸收有毒，刺激性強烈，有致癌的可能性，在空氣中容許量為百萬分之二。在使用上不方便，同時對人體以及環境的危害程度大。各種吸附

劑的脫附時間相比，MNP-Tu 所需的時間為其他吸附劑的四分之一，而且可重複使用的次數高達 10 次，為其他吸附劑重複使用次數的 2 倍。綜合以上結果可知，MNP-Tu 比起其他改質的吸附劑，飽和吸附量差距不大，但可減少合成時間以及藥品的使用，所使用的藥品對環境和人體造成的傷害相對較低，使用過後僅需以磁選回收 MNP-Tu，無須再以濾紙對材料進行回收，減少操作成本，並且可重複使用的次數高，具有低污染、省資源、可再生利用、可回收等特性。

表 3.1.2.7 不同吸附劑對吸附貴重金屬之綜合比較(Zhou et al. 2009)

吸附劑	合成時間	合成試劑	飽和吸附量(mg/g)			脫附時間	重複使用次數
			Pt(IV)	Au(III)	Pd(II)		
Glycine modified chitosan resin	72 hr	glyoxylic, DCC, HOBt, DMF, N-methylmorpholine, glycine methyl ester, methanol, dichloromethane	122.47	169.98	120.39	4 hr	5
Thiourea modified chitosan microspheres	34 hr	epichlorohydrin, acetone, Thiourea, NaOH, methanol	129.87		112.36	4 hr	5
L-lysine modified chitosan resin	73 hr	Glyoxylic, DMF, DCC, HOBt, l-lysine methyl ester hydrochloride, n-methyl morpholine methanol, NaOH, Dichloromethane	129.26	70.34	109.47	4 hr	5
MNP-Tu	18 hr	ATPS, 戊二醛, acetone, Thiourea, NaOH, methanol	43.34	118.46	111.58	1 hr	10

奈米零價鐵技術去除放射性核種污染

放射性核種(radionuclide)的處理隨著核能的使用與安全問題，成為全球日益重

視的環境議題。其中，鈾(Uranium)是最常用的放射性物質之一，濃縮鈾(3%鈾 235 同位素)被使用於一般商用核能發電廠產生電力。由於對鈾燃料的需求，大量的開採已造成鈾成為最主要污染環境的放射性核物種。目前開採的技術需要使用大量的酸液，在這過程中地下水很容易遭受酸性高濃度的鈾污染。在天然環境下，鈾具有兩種離子態，四價鈾(U(IV))與六價鈾(U(VI))，在酸性條件下，六價鈾以離子態的氧化鈾(UO_2^{2+})形式存在，在水中的移動性很高。鈾 238($^{238}\text{U}_{92}$)的半衰期非常長(4.7 億年)，他的化學毒性與放射性使它的危害性極高。世界衛生組織(WHO)將六價鈾歸類為人體致癌物質，建議之飲用水標準為不超過 15mg/L。相對於高移動性的六價鈾，四價鈾在環境中則以不溶於水的氧化鈾(UO_2)形式存在，因此，如能將六價鈾還原成四價鈾，將有助於處理鈾污染對環境所造成的危害。

奈米零價鐵金屬(nanoscale zero-valent iron)應用於土壤與地下水整治，是眾多的奈米技術中最早研究及最為成熟的技術之一。奈米零價鐵金屬粒徑大小約 10-100 nm，比表面積約 $35 \text{ m}^2/\text{g}$ ，具有殼核結構(core-shell)。其外殼為具吸附能力之氧化鐵(FeOOH)，內層為具還原能力之零價鐵，透過零價鐵的還原作用，奈米零價鐵已被成功的應用於去除地下水中各樣的污染物，包括：含鹵素有機類、無機鹽類、重金屬類等三大項。含鹵素有機類的去除主要是以鐵做為還原劑；重金屬的去除則是利用鐵表面的多樣吸附機制，固定化重金屬污染物。

同時結合還原作用與表面吸附能力的優勢，奈米零價鐵具備了成為去除放射性核種的合適除污劑。Gray et al. (2012)指出，如圖 3.1.2.25 所示，六價鈾會被奈米零價鐵還原成四價不溶於水的氧化鈾(UO_2)，與同時形成的鐵氧化物氫氧化鐵($\text{Fe}(\text{OH})_3$)透過共沉澱作用，生成鈾氧-鐵氧金屬錯合物(uranyl-ferric metal complexes)固定於零價鐵表面，達到去除放射性鈾核種的目的。進一步的研究發現，在厭氧環境下，奈米零價鐵對六價鈾的去除效果較好氧條件下好，另一方面，環境中常見的天然有機物質如腐植酸(Humic acid, HA)，對增強奈米零價鐵去除六價鈾的能力有顯著的效果，可提高奈米零價鐵吸附能力達 5 倍以上。



圖 3.1.2.25 奈米零價鐵之殼核結構 TEM 分析；奈米零價鐵去除六價鈾之示意圖 (Gray et al. 2012)

奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒(carbon nanotube/TiO₂ nanocomposites)

奈米碳管與奈米二氧化鈦皆是被廣泛研究與應用的奈米物質，前者具有極佳的電傳導特性，後者是常見的光催化劑。利用奈米碳管作為載體(support)將二氧化鈦固定於碳管上，以達分散奈米微粒的效果，成為新一代的奈米複合材料的代表性物質。奈米碳管作為吸附劑或分散穩定劑之功能，讓二氧化鈦分布於奈米碳管上，避免顆粒的團聚發生。圖 3.1.2.26 為利用不同合成方法製備之奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒的 TEM 結果，(a)是利用鍛燒法合成，CNT/Ti = 1/99 (w/w)，(b)是水熱法合成，CNT/Ti = 1/99 (w/w)，(c)是利用鍛燒法合成，CNT/Ti = 10/99 (w/w)。當 CNT/Ti 比例高達 1/99 (w/w)時，明顯二氧化鈦過量。

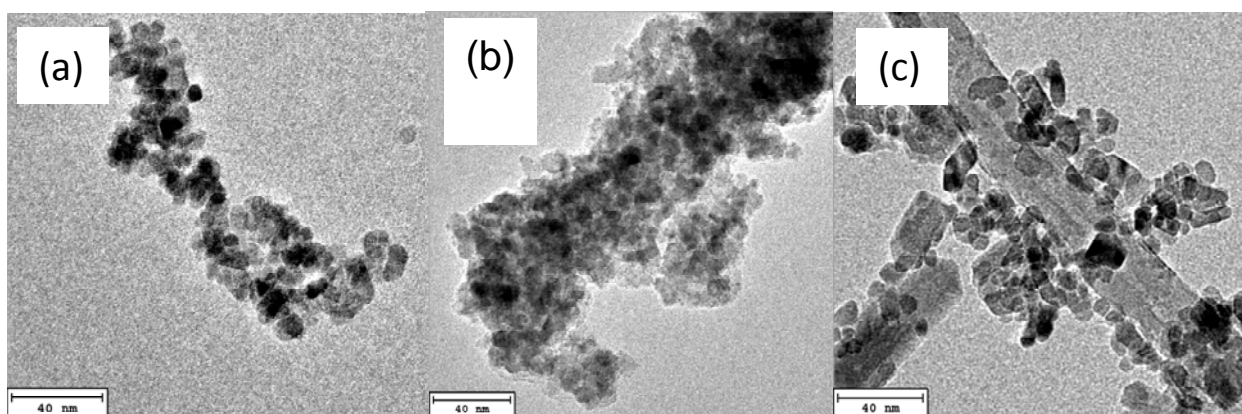


圖 3.1.2.26 不同合成方法製備之奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒的 TEM 圖，(a)是利用鍛燒法合成，CNT/Ti = 1/99 (w/w)，(b)是水熱法合成，CNT/Ti = 1/99 (w/w)，(c)是利用鍛燒法合成，CNT/Ti = 10/99 (w/w) (Hung et al. 2013)

利用奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒已被證實可在紫外光條件下，加速汙染物

的去除，例如環境賀爾蒙雙酚 A 的降解，較單獨之奈米二氧化鈦為佳。其原理是利用紫外光激發二氧化鈦造成電子躍遷，形成電子-電動對，在一般只有二氧化鈦的情況下，電子-電動對的再結合作用(recombination)往往成為光催化效率低的主因，然而，透過奈米碳管的極佳導電性，可將電子轉移至奈米碳管上，減少電子-電動對再結合作用(recombination)的發生，因此提高了光降解的效率，如圖 3.1.2.27(A)所示。

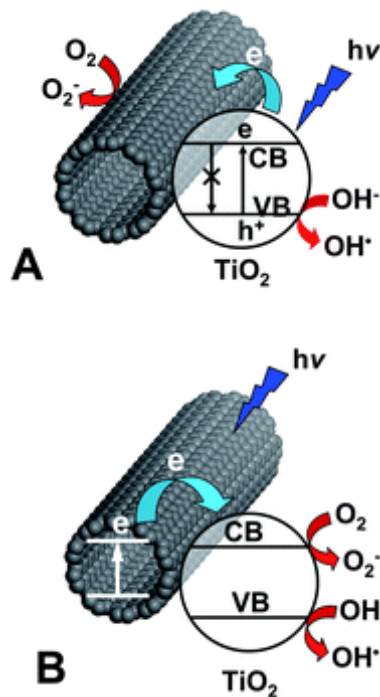


圖 3.1.2.27 奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒的光催化機制示意圖 (Zhang et al. 2010)

另一種較為人忽略的奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒的光催化機制是由奈米碳管啟動，由於奈米碳管可作為光敏物質，可避開激發二氧化鈦電子躍遷所需的較高能障(3.2 eV)，因此，這個機制僅需使用可見光即可。經光線激發之電子轉移至二氧化鈦之傳導帶，將吸附於表面之氧分子轉化成超氧自由基(superoxide radical)，而帶正電之電洞則轉移到二氧化鈦之價帶，將氫氧離子轉化成氫氧自由基，如圖 3.1.2.27(B)所示。這樣一個作用發生的原因經 XPS 分析，推測與合成鍛燒過程中，生成 Ti-C 與 Ti-O-C 鍵結有關，由於存在 TiO_2-xCx 的單元體，使

其光催化活性提升，確定之證據仍需進一步研究。

另外，Su et al. (2013) 經由靜電紡絲耦合和水熱法成功地將 TiO_2 奈米微粒製造在靜電紡絲聚丙烯腈(PAN)奈米纖維上，如圖 3.1.2.28 所示， TiO_2 -PAN 光觸媒的直接的光催化氧化程序可同時進行煙道氣體的脫硫及脫氮。Su et al. (2013) 也探討了重要操作參數對 SO_2 及 NO 去除效率的影響，如觸媒的鈦負載量，煙道氣體濕度，煙道氣體流量，以及進口煙道氣體溫度等參數。

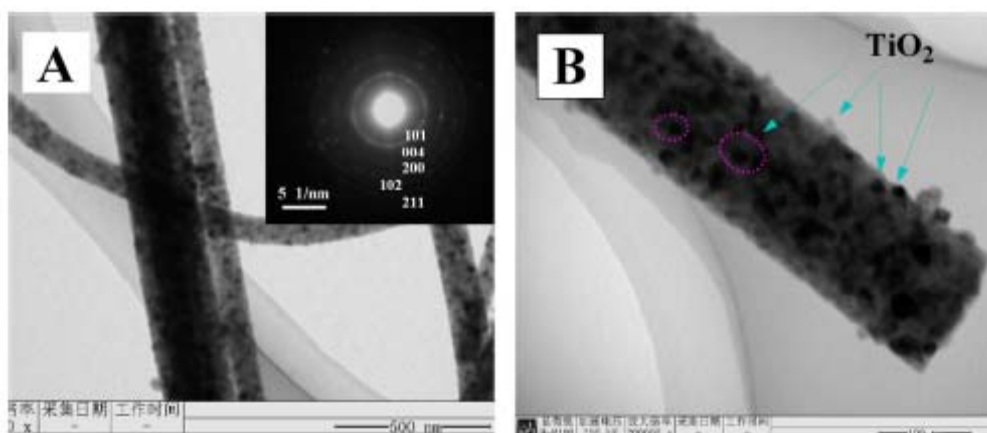


圖 3.1.2.28 TiO_2 -PAN 奈米纖維的穿透式電子顯微影像圖。(A) TiO_2 奈米微粒嵌入部分的選區電子繞射圖(SAED)，(B) 圖中箭頭所指及圈起部分為 TiO_2 奈米微粒

研究結果顯示，在最佳實驗條件下：鈦負載量—6.78 At% (原子百分比)，氣體流量—200 mL/min，煙道氣體濕度—5%，進口煙道氣體溫度—40 °C， SO_2 去除效率可達 99.3%， NO 去除效率可達 71.2%。此研究並提出了以 TiO_2 -PAN 光觸媒在紫外光下去除 SO_2 和 NO 的可能反應機制。

石墨烯於水方面的應用

近來新興的石墨烯基奈米物質性能，如金屬與有機染料的吸附作用、抗菌性以及有機分子的光催化降解等為大部份令人關注之特性。氧化石墨烯(Graphene oxide, GO)奈米薄片—氧化的石墨烯薄片帶有羧基(carboxyl)、氫氧根(hydroxyl)及環氧(epoxide)官能基團(functional groups)—特別有助於產生具高化學穩定性、高親水性及高防污性的奈米複合物質；這些性能都將有助於水淨化過程。目前為止，

石墨烯在水方面的應用，大部分著重於其吸附及光催化特性。

Hu and Mi (2013)採用另一種方法—堆疊 GO 奈米薄片作為水分離膜。使用此法是由於 GO 奈米薄片為單一原子厚度且側面高度幾十微米，使其堆疊容易。GO 奈米薄片堆疊產生的二度空間流道能使水通過並過濾不需要的溶質，此與傳統薄膜結構上的膜孔運作機制相似。經分子模擬測試，石墨烯表面流過的水滑移長度很大(即摩擦力小)，因此平面石墨烯奈米流道的水量極高。此特性確保了堆疊 GO 奈米薄片之高水通量。除此之外，GO 奈米薄片可藉由化學氧化及超音波石墨剝落法大量製造；因此，大量減少了製造成本且有助於增加膜之合成。另外，GO 奈米薄片中的官能基團(尤其是羧基(carboxyl)官能基團)為進一步的官能化提供合宜場所，加強其帶電及對水污染之特定交互作用等性能。GO 的性能使其成為理想的高效能水分離膜素材。

Hu and Mi (2013)發表製作水分離膜新程序—以 GO 奈米薄片合成的水分離膜，使水通過 GO 層間的奈米流道時，以大小排斥及電荷效應過濾不需要的溶質。如圖 3.1.2.29 所示，GO 膜由層層 GO 奈米薄片沉積組成，GO 奈米薄片支撐於聚砜(polysulfone)上而與 1,3,5-苯三酰三氯(1,3,5-benzenetricarbonyl trichloride)交聯結合，此交聯結構使 GO 奈米薄片疊層擁有必須的穩定性，以克服 GO 奈米薄片本身於水中易分散特性，並且微調 GO 奈米薄片的電荷、官能及空隔。Hu and Mi (2013)試驗以不同數量 GO 層合成的膜，驗證其水分離成效。如圖 3.1.2.30 所示，研究結果指出 GO 膜的通量介於 80 至 276 LMH/MPa (LMH 即 Liters per square Meter per Hour) 之間；成效約為大部分商業水分離的四至十倍。儘管現階段發展的 GO 膜對於一價、二價的離子具相對低的排斥性(6-46%)，其對於亞甲基藍 (Methylene blue) 呈現中度排斥(46-66%)、對於若丹明 (Rhodamine-WT) 則呈現高度排斥(93-95%)。Hu and Mi (2013) 認為 GO 膜的簡易合成善用了價格不高的 GO 材料，並能改善其物理化學特性；在水分離應用中，GO 膜將成為下個世代，具經濟效益，亦可作為聚酰胺(polyamide)複合薄膜的永續替代品。

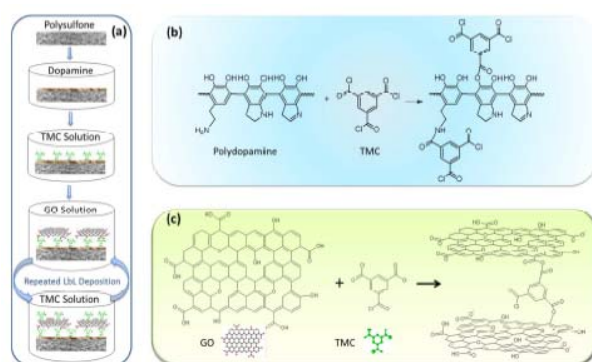


圖 3.1.2.29 (a) 合成 GO 膜步驟；(b) 聚多巴胺(polydopamine)與 TMC 間反應機制，以及(c) GO 及 TMC 間反應機制示意圖 (Hu and Mi 2013)

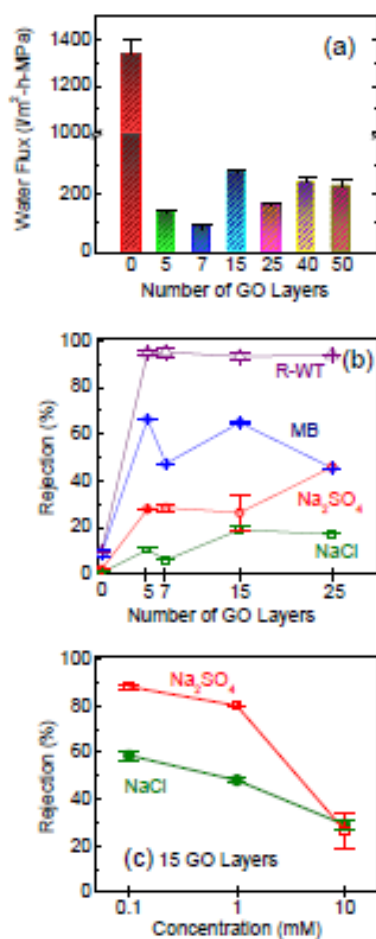


圖 3.1.2.30 GO 膜成效：(a) 不同數量的 GO 層水通量；(b) 不同數量的 GO 層對鹽類及有機染料排斥，及(c)15 層 GO 膜對鹽類排斥效果。數據為 0 層的膜為聚多巴胺(polydopamine)塗覆膜。所有通量及排斥測試壓力以 50 磅/平方英寸(0.34 兆帕)為上限。(b)以 20nM 氯化鈉, 10 mM 硫酸鈉, 7.5 mg/L 亞甲基藍(MB), 及 7.5 mg/L 若丹明(Rhodamine-WT)溶液進行排斥測試 (Hu and Mi 2013)

水合奈米氧化鋯用於去氟處理

Pan et al. (2013)將水合奈米氧化鋯(HZO)封入一個商業化的多孔聚苯乙烯陰離子交換器 D201 中，合成出一種新的奈米複合材料 HZO-201，如圖 3.1.2.31 所示，以提高水中的氟去除效率。與較高濃度的競爭性陰離子（氯化物、硫酸鹽、硝酸鹽及碳酸氫鹽）共存時，HZO-201 對於氟的去除效率較氧化鋁及 D201 高。

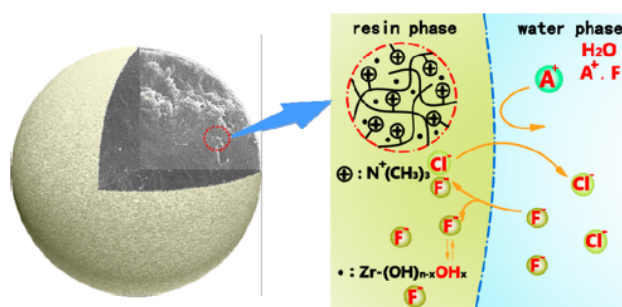


圖 3.1.2.31 HZO-201 強化氟的吸附之示意圖(Pan et al. 2013)

固定管柱的吸附結果指出，注入液、合成液或是地下水，用 HZO-201 的有效處理體積大約是 D201 的 7-14 倍。除此之外，如圖 3.1.2.32 所示，HZO-201 在 pH 3.5 的環境下可以處理 >3000 BV (bed volume, BV，填充床體積) 的酸性放流水（大約 3.5 mg F-/L），而 D201 只能處理 ~4 BV。用完的 HZO-201 可用 NaOH 溶液再生以重複使用。HZO-201 的吸引特性來自它特殊的結構，根據 Donnan 原理，陰離子交換器 D201 有助於氟離子在聚合物內預濃縮，而被封入的奈米 HZO 經由特定交互作用顯現出選擇性的氟化物螯合作用。

Pan et al. (2013)並探討溶液的 pH 值、競爭性陰離子以及接觸時間對去氟效率的影響，研究結果指出 HZO-201 對地下水及礦場酸性廢水的有效去氟處理具研究潛力。

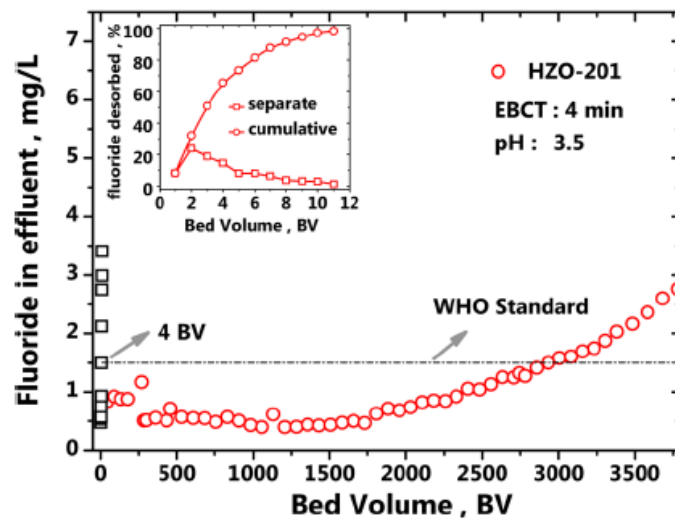


圖 3.1.2.32 在 298K 與 pH 3.5 環境下酸性廢水的含氟濃度與填充床體積之 HZO-201 吸附關係圖，再生 HZO-201 的空床接觸時間(empty bed contact time, EBCT)為 120 分鐘，再生劑為 5 wt % NaOH 溶液 (Pan et al. 2013)

3.1.3 空氣中奈米微粒的自動監測方法

一、線上即時氣膠質譜儀

近年來有許多學者開發出線上即時氣膠質譜儀以用來監測大氣氣膠的物理化學特性，除了上一年度本研究所整理多顆微粒氣膠質譜儀(Aerodyne AMS)及單顆微粒質譜儀(氣膠飛行時間質譜儀，ATOFMS)外，目前國際上還有中國禾信集團開發的線上單顆氣膠質譜儀(SPAM 0515)、線上揮發性有機物質譜儀(SPIMS-1000 series)兩種質譜儀，及 AeroMegt GmbH 公司生產的單顆粒氣膠質譜儀(LAAPTof)其規格如表 3.1.3.1 所示。

表 3.1.3.1 線上即時氣膠質譜儀規格(SPAM 0515, SPIMS-1000 series)

游離方法	名稱	微粒 粒徑	分析微 粒種類	數據傳 輸數率	樣本流量	顆粒化學成 分檢測速度	尺寸/重量	代表性參考文 獻
光游離法	線上揮發性 有機物質譜 儀 (SPIMS 1000)	NA	揮發性 有機氣 膠	<20 s	0.1~1 L/min	5圖譜/s	NA	Online Volatile Organic Compounds Mass Spectrometer,S PIMS-1000 series, user manual
雷射脫附 游離法 (Nd:YAG, 266 nm)	單顆粒氣膠 質譜儀 (SPAMS 0515)	200-3 000 nm	重 金 屬、有 機物、 無機物	<30 min	75 mL/min	5圖譜/s	1200×780×149 0 mm ³ , 300 kg	Online Aerosol Mass Spectrometer, Series SPAMS 0515, user manual
雷射脫附 游離法 ArF excimer gas (193 nm)	單顆粒氣膠 質譜儀 (LAAPTOF)	200-2 500 nm	重 金 屬、有 機物、 無機物	<2 min	100 mL/min	100圖譜/s	800 x 760 x 760, 130 kg	http://www.aeromegt.com/English.html

圖 3.1.3.1 為線上單顆氣膠質譜儀與大氣採樣器(Andersen)在中國廣東省鶴山市對 PM1 進行大氣環境監測的結果比較。如圖所示，兩種採樣器採集到大氣氣膠的濃度變化趨勢有相當好的相關性。

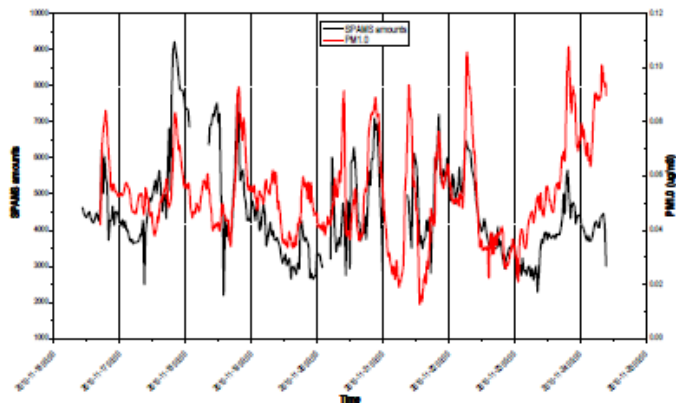


圖 3.1.3.1 SPAMS 與大氣採樣器對大氣氣膠採集結果比較

根據線上單顆氣膠質譜儀所偵測到的微粒圖譜特徵，可將微粒分為七大類：

1. 含碳微粒: a. 元素碳, 其圖譜特徵為正圖譜中有離子 $39K^+$, 負圖譜中有 Cn^- ; b. 有機碳正離子圖譜中有 C^+ 、 $^{27}C_2H_3^+$ 、 $^{36}C_3^+$ 、 $^{37}C_3H^+$ 、 $^{43}CH_3CO^+/CHNO^+$, 負圖譜中有硝酸和硫酸。
2. 生質燃燒微粒: 典型圖譜含有 $^{39}K^+$ 、 $^{113,115}KCl^+$ 、 $^{26}CN^-$ 及正圖譜中一些含碳化合物, 如圖 3.1.3.2 所示。
3. 重金屬微粒: 圖譜含有重金屬離子峰 Fe^+ 、 Cu^+ 、 Ba^+ 、 Pb^+ , 如圖 3.1.3.3 所示。
4. 塵土微粒: 圖譜以 Ca^+ 、 Al^+ 、 Mg^+ 、 Fe^+ 為主。
5. 海鹽微粒: 圖譜具有 Na^+ 、 Cl^- 、 Na_2Cl^+ 。
6. 富鉀微粒: K^+ 。
7. 含鈉鉀微粒: Na^+ 、 K^+ 。

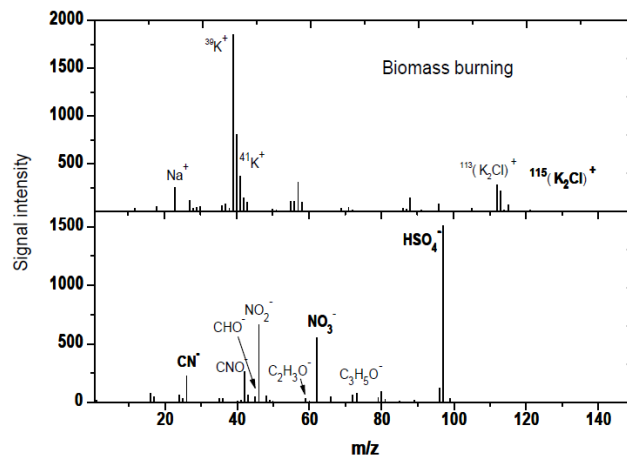


圖 3.1.3.2 生質燃燒微粒典型圖譜

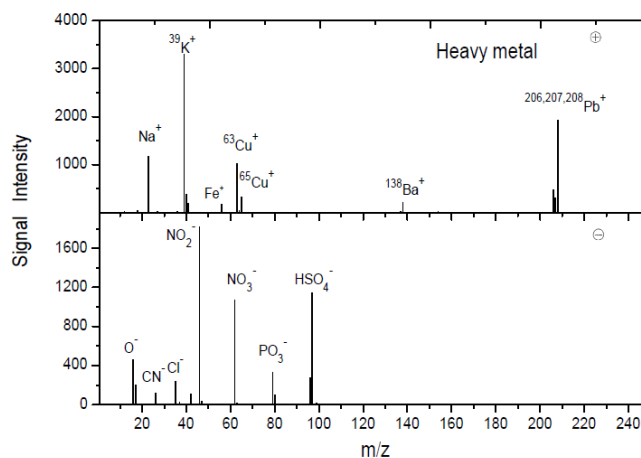


圖 3.1.3.3 重金屬微粒典型圖譜

圖 3.1.3.4 為 AeroMegt GmbH 公司生產的單顆粒氣膠質譜儀(LAAPTOF)示意圖。此質譜儀為 Achim Trimborn 博士及其研發團隊共同研發。此質譜儀利用準分子氣體、波長為 193 nm 的 ArF 將微粒氣化。ArF 可有效地將硝酸銨及硫酸鹽消熔並準確分析。此外，微粒進入 LAAPTOF 中，經過散射光照射測定其粒徑後立即藉由準分子氣體進行消熔，此設計可增加總微粒打擊率，有效測定每顆微粒。此儀器可同時完成線上大氣氣膠濃度監測及化學成分分析。

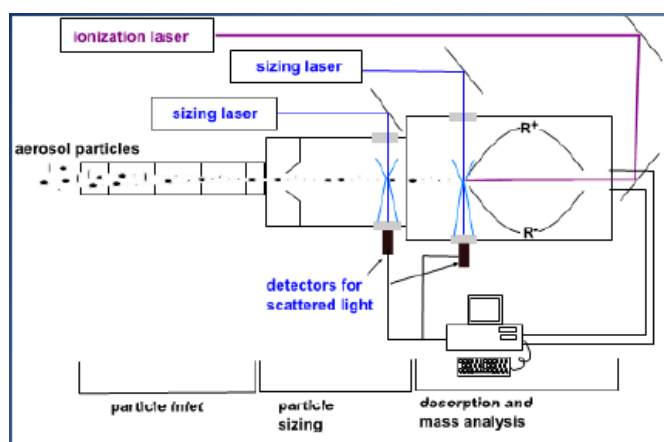


圖 3.1.3.4 單顆粒氣膠質譜儀 (LAAPTOF, AeroMegt GmbH)

目前 SPAM 0515 及 LAAPTOF 兩種儀器無法針對小於 200 nm 以下的微粒進行偵測。針對奈米微粒（即微粒粒徑 ≤ 100 nm）的化學成分及其型態的監測，Bzdek et al. (2012)整理了一些線上即時監測儀器，如表 3.1.3.2 所示。

表 3.1.3.2 離線及線上即時監測儀器 (Bzdek et al. 2012)

儀器名稱	微粒偵測範圍 (nm)	可測定的微粒特性	參考文獻
*穿透式電子顯微鏡-分散型 X 光光譜 (Transmission Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, TEM-EDS))	5~100	粒徑，型態，金屬。	Makela et al. (2002)
快速單顆微粒質譜儀 (Rapid Single Particle Mass Spectrometer, RSMS)	30~100	氣動直徑，金屬，分子資訊。	Mallina et al. (2000)
超細微粒飛行時間質譜儀 (Ultrafine Aerosol Time-of-Flight Mass)	50~100	光學氣動直徑，金屬，分	Su et al. (2004)

Spectrometer, UF-ATOFMS)		子資訊。	
單顆微粒雷射燒蝕飛行時間質譜儀 (Single Particle Laser Ablation Time-of-Flight Mass Spectrometer, SPLAT)	50~100	光學氣動直徑，金屬，分子資訊。	Zelenyuk and Imre (2005)
奈米氣膠質譜儀(Nano Aerosol Mass Spectrometer, NAMS)	10~30	電移動直徑，元素分析。	Wang et al. (2006)

*離線即時監測儀器

上表所列的線上奈米微粒質譜儀當中，最早研發的是快速單顆微粒質譜儀(Rapid Single Particle Mass Spectrometer, RSMS)(Lake et al. 2003, Phares et al. 2003, Rhoads et al. 2003, Bein et al. 2005)。RSMS 利用動力聚焦入口篩選出小範圍粒徑或單徑分佈的微粒進入質譜儀(Mallina et al. 2000, Phares et al. 2002)，之後再利用臨界流孔板決定微粒的粒徑。在一般的大氣量測中，RSMS 連續掃瞄五到六個不同粒徑的微粒後會記錄某個特定粒徑微粒的質譜。此質譜儀利用波長為 193 nm 的準分子氣體消融微粒，可分析 ≥ 30 nm 的微粒。RSMS 的優點在於不需藉由散射光照射即可分析 ≤ 100 nm 微粒的粒徑及化學組成，缺點為準分子雷射消融微粒的時間與微粒到達時間無法配合，使其解析時間較長。

超細微粒飛行時間質譜儀(Ultrafine Aerosol Time-of-Flight Mass Spectrometer, UF-ATOFMS)為較新型的超細微粒質譜儀(Su et al. 2004)。此質譜儀將光學與電子技術升級以提升散射光偵測微粒的敏感度，藉以改善單顆微粒質譜儀無法偵測奈米微粒的缺點。Zauscher et al. (2011)進一步在超細微粒飛行時間質譜儀前端設置一根微粒水凝結成長管(water-based growth tube, GT)做成微粒水凝結成長管-超細微粒飛行時間質譜儀(GT-UF-ATOFMS)，此質譜儀可分析 ≥ 38 nm 的微粒，且解析時間比 RSMS 短。

另一個利用光散射偵測微粒化學成分及粒徑的質譜儀為單顆微粒雷射消融飛行時間質譜儀(Single Particle Laser Ablation Time-of-Flight Mass Spectrometer, SPLAT)(Zelenyuk and Imre 2005, Zelenyuk et al. 2009)。與上述兩種質譜儀不同處，在於 SPLAT 利用兩個脈衝雷射將微粒離子化。首先，微粒中的化學成分會藉由紅

外線雷射脈衝光(二氧化碳雷射, 10.6 μm)脫附, 之後再利用子外光雷射脈衝(準分子雷射, 193 nm)將脫附之化學物質離子化。最近 Vaden et al. (2011)進一步將 SPLAT 與氣體動力鏡結合以分析超細微粒。

奈米氣膠質譜儀(Nano Aerosol Mass Spectrometer, NAMS)利用電移動技術將微粒聚集成束並偵測微粒的粒徑, 再進行皆下來的微粒化學成分分析。在進入 NAMS 前, 微粒會藉由單極微粒充電器使其帶電。進入質譜儀後, 動力及電子動力聚焦元件將微粒導入離子捕捉器進行粒徑篩選, 之後在以雷射(Nd:YAG, 532 nm)將微粒離子化。NAMS 的優點在於可分析 10-30 nm 的微粒。

建議國內環保署可參考上述整理的文獻, 作為未來採購質譜儀時的參考, 以提升本國空氣品質監測的準確度及技術。

二、可攜帶式的奈米微粒暴露監測儀器

Asbach et al. (2012)共使用五種可攜帶式奈米微粒暴露監測儀, 並互相比較之間量測結果的差異, 其中四種是以靜電擴散充電(electrical diffusion charging)的方法量測大氣中微粒的數目濃度或量測可沉降於人體肺部的微粒表面積濃度(Lung deposited surface area, LDSA), 四種中的三種又可同時量測微粒的平均粒徑。第五種儀器為手持式核凝微粒計數器(CPC, condensation particle counter), 此儀器被用來與三種以對數常態分佈(log-normal)呈現粒徑分佈的儀器比較, 比較用的測試氣膠為眾數粒徑介於30-180 nm的粒徑分佈, 且微粒的濃度與型貌均不相同。

1. 微型擴散粒徑篩選儀 (miniDiSC, Miniature diffusion size classifier)

Fiertz et al. (2011)共使用兩台由瑞士西北大學應用科學系(Applied Science in North-Western Switzerland)研發及製造的擴散粒徑篩選儀, 如圖3.1.3.5所示, 該篩選儀的氣膠入口流量為1 L/min且設有一個可去除粒徑大於700 nm的衝擊器。未被去除的氣膠微粒經單極擴散充電器充電後, 會沉降於兩個連續且有不同微粒沉積效率的收集板(size dependent particle deposition efficiencies)。藉由測量收集板上微粒電荷, 並在log-normal粒徑分佈的假設下, 推斷微粒總數目濃度、沉降於肺泡的微粒表面積濃度和平均微粒直徑。

擴散粒徑篩選儀的時間解析度(時間解析度：量測一筆數據所需時間)為1秒，可偵測的微粒眾數粒徑(mode diameter)及濃度範圍分別為10-300 nm和 10^3 - 10^6 #/cm³，準確度(accuracy)則介於±30%之間。



圖 3.1.3.5 微型擴散粒徑篩選儀(左)外殼、(右)內部.真實圖片，(a)空氣入口、(b)高電壓組件、(c)單極充電器、(d)過濾濾材、(e)電池和(f)馬達 (Fiertz et al. 2011)

2. 奈米追蹤計(nanoTracer)

奈米追蹤計(Philips Aerasense, Eindhoven, the Netherlands)是由Marra等人於2010年研發(Marra et al. 2010)。如圖3.1.3.6所示，該追蹤計主要是利用單極擴散充電的方式使微粒被充電，粒徑分佈則由一個低效率的靜電除塵器(ESP, electrostatic precipitator)操控，其操作方法是使用低電壓將離子去除，再使用較高的電壓操控粒徑分佈。而離開ESP的帶電微粒，將由後端的法拉第杯電流計量測微粒的帶電量。

總微粒數目濃度與平均粒徑是在假設粒徑分佈為log-normal的條件下，由不同電壓下的兩個時段測得的電流值轉換而成。此追蹤計可偵測的微粒數目濃度上限為 10^6 #/cm³，可量測的眾數粒徑介於20-120 nm之間，時間解析度為16 s。

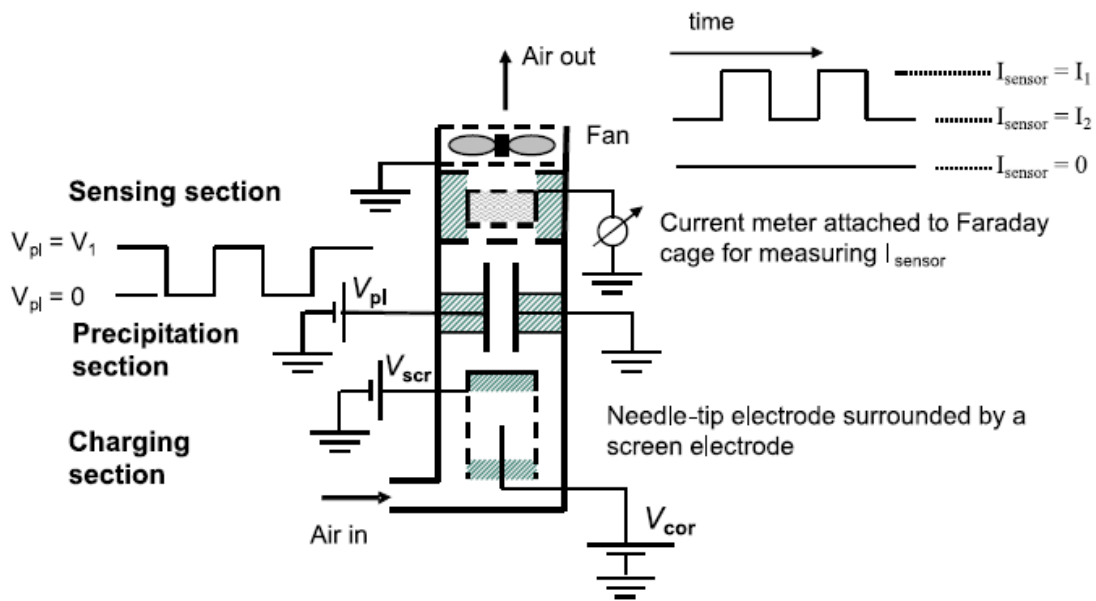


圖 3.1.3.6 奈米追蹤計(nanotracer)的示意圖 (Marra et al. 2010)

3. 奈米偵測器(nanoCheck)

奈米偵測器(nanoCheck, model 1.320, Grimm Aerosoltechnik, Ainring, Germany)如圖3.1.3.7所示，其測量微粒的電荷與奈米追蹤計(nanoTracer)相同，操作流量為1.2 L/min，可量測的粒徑與濃度範圍分別為25-300 nm和 5×10^2 to 5×10^5 #/cm³，時間解析度為10 s，準確度(accuracy)則介於±5%之間。另外，nanoCheck也可與Grimm氣膠光譜儀串接使用(Grimm aerosol spectrometer)，使其粒徑量測範圍可延伸至320 nm。



圖 3.1.3.7 奈米偵測器(nanoCheck)的真實圖片(取自 Eco Analytics AG 網站)

4. Aerotrak 9000

Aerotrak 9000(如圖3.1.3.8所示) (TSI, Shoreview, MN, USA)是一款可攜帶式且以內建電池供給其電源的奈米微粒表面積監測儀(NSAM, TSI model 3550)，它可測量進入人體肺泡(alveolar)或支氣管(tracheobronchial)微粒的表面積濃度。

Aerotrak 9000的氣膠入口流量為2.5 L/min，入口處置有一個可去除粒徑大於1 μm 以上微粒的的前置旋風器(cyclone pre-separator)。當氣膠進入Aerotrak 9000後會分為兩道，一道為1.5 L/min的氣膠流體，另一道則是在通過濾材去除微粒後，導入電暈針(corona needle)並將針上產生的高濃度離子帶至混合腔體中，並與氣膠流體混合後進入離子阱(Ion trap)。透過調整離子阱的電壓(100 V-200 V)，可操縱量測的粒徑分佈。

量測的電流會分別與沉積於肺泡或支氣管的微粒表面積濃度的比例成正比，而Aerotrak對於支氣管和肺泡區的微粒所能監測的表面積濃度的範圍分別為0–2500 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ 和0–10000 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^3$ 。可量測的微粒粒徑介於10-1000nm，時間解析度為1 s，準確度(accuracy)則介於 $\pm 20\%$ 之間。

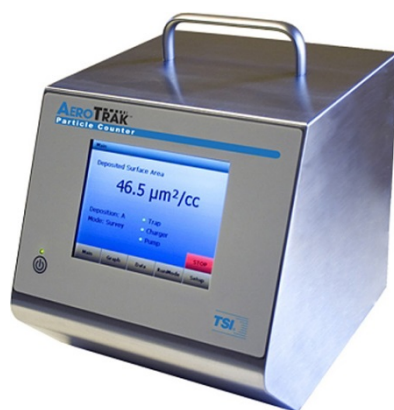


圖 3.1.3.8 Aerotrak 9000 的真實圖片(圖片來源：www.tsi.com)

5. 手持式 CPC

該實驗共使用六台手持式CPC(model 3007, TSI, Shoreview, MN, USA)，分別編號為CPC1-CPC6。CPC如圖3.1.3.9所示，氣膠入口處流量為0.7L/min，僅0.1 L/min是用來測量微粒濃度使用，其餘均由旁通管過濾後排出。微粒進入CPC後，會先

通過一個充滿過飽和正丁醇蒸氣(isopropyl alcohol vapor)的飽和區，使蒸氣包覆於微粒外層，之後再透過冷凝的方式使微粒成長至光學可測量的大小，再由光學區測量微粒的數目濃度。

手持式CPC可量測的粒徑範圍為10 nm至1000 nm，時間解析度為1 s。此外，CPC1有經過TSI原廠校正，因此在此研究中，其測量的數值即作為參考值(reference value)。



圖 3.1.3.9 手提式 CPC 的真實圖片(圖片來源：www.tsi.com)

實驗方法：

實驗測試地點是位於德國多特蒙德毒性物質研究所的奈米測試中心(NanoTest-Center at the Institute for the Research on Hazardous Substances (IGF) in Dortmund, Germany)。測試的微粒共有三種，分別為氯化鈉(NaCl)、二乙基己基癸二酸酯(di-ethyl-hexyl-sebacate, DEHS, C₂₆H₅₀O₄)和碳煙(soot)。NaCl與DEHS都是由定量霧化器(model ATM 226, Topas GmbH, Dresden, Germany)產生，並由自製的矽膠乾燥劑將產生的微粒相對濕度降至30%以下；碳煙則是由火花產生器(spark generator, GFG 3000, Palas GmbH, Karlsruhe, Germany)和石墨電子棒(graphite electrodes)產生。NaCl為正方體的微粒，平均粒徑為50 nm；DEHS則為平均粒徑200nm的圓球微粒；碳煙則是平均粒徑30nm的不規則形狀的微粒。藉由以上三種微粒，可探討不同的儀器對微粒的粒徑和形貌量測時的反應。

微粒產生後，即導入一個長20公尺、直徑0.7公尺的風洞中(wind tunnel)，並加

入一道200-1000 m³/hr的乾淨稀釋氣體(風洞內的空氣流速為0.44-2.2 m/s)以得到預先確定(predefine)的微粒濃度，之後會再導入一個體積20 m³的混合腔體中

在進行量測時，所有的設備都同時置於混合腔體內且擺放的高度均相似，此外為避免微粒擴散損失的情況發生，所有儀器在測量時都不使用管線將微粒導入儀器的入口處。而儀器之間的距離也均足夠以避免儀器間的互相干擾。

另外，在進行各種儀器之間測量的比較前，會先以快速電移動度粒徑分析儀(FMPS, Fast Mobility Particle Sizer)量測各種微粒的粒徑分佈，結果如圖3.1.3.10所示。

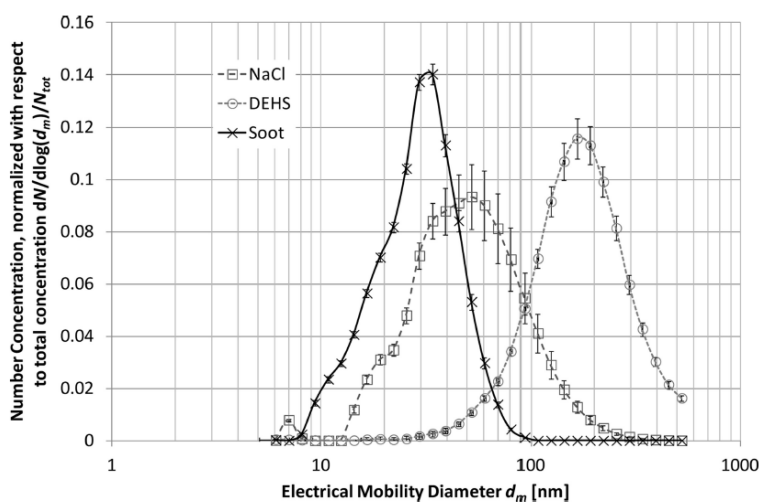


圖 3.1.3.10 以 FMPS 量測 NaCl、DEHS 和碳煙微粒的粒徑分佈 (Asbach et al. 2012)

圖3.1.3.11為CPC1與CPC2-CPC6量測的總數目濃度的比較結果，圖中的黑線代表1:1線、灰線是代表擬合曲線(fitted curve)，另外也標示了擬合曲線的方程式和相關係數(R^2 , correlation coefficients)。如圖所示，所有的相關係數(R^2)均大於0.99，表示CPC量測的數值與微粒的材質和粒徑分佈無關。

此外，不同台手持式CPC之間的量測結果的誤差較製造商宣稱的低($\pm 20\%$ 準確性)，且CPC2-CPC6中，僅CPC3的量測結果與CPC1的誤差較大為18%，造成的原因為氣膠入口的流量不正確導致，不過此值仍在 $\pm 20\%$ 準確性的範圍內。

雖然手持式CPC的量測結果很準確，但仍有一些使用上缺點，除了量測極限

為 $100\,000\text{ cm}^{-3}$ 之外，尚需要以正丁醇為其工作液體(working liquid)，且正丁醇每幾個小時就必須補充一次，因此在此研究中不能以CPC進行長時間的量測。

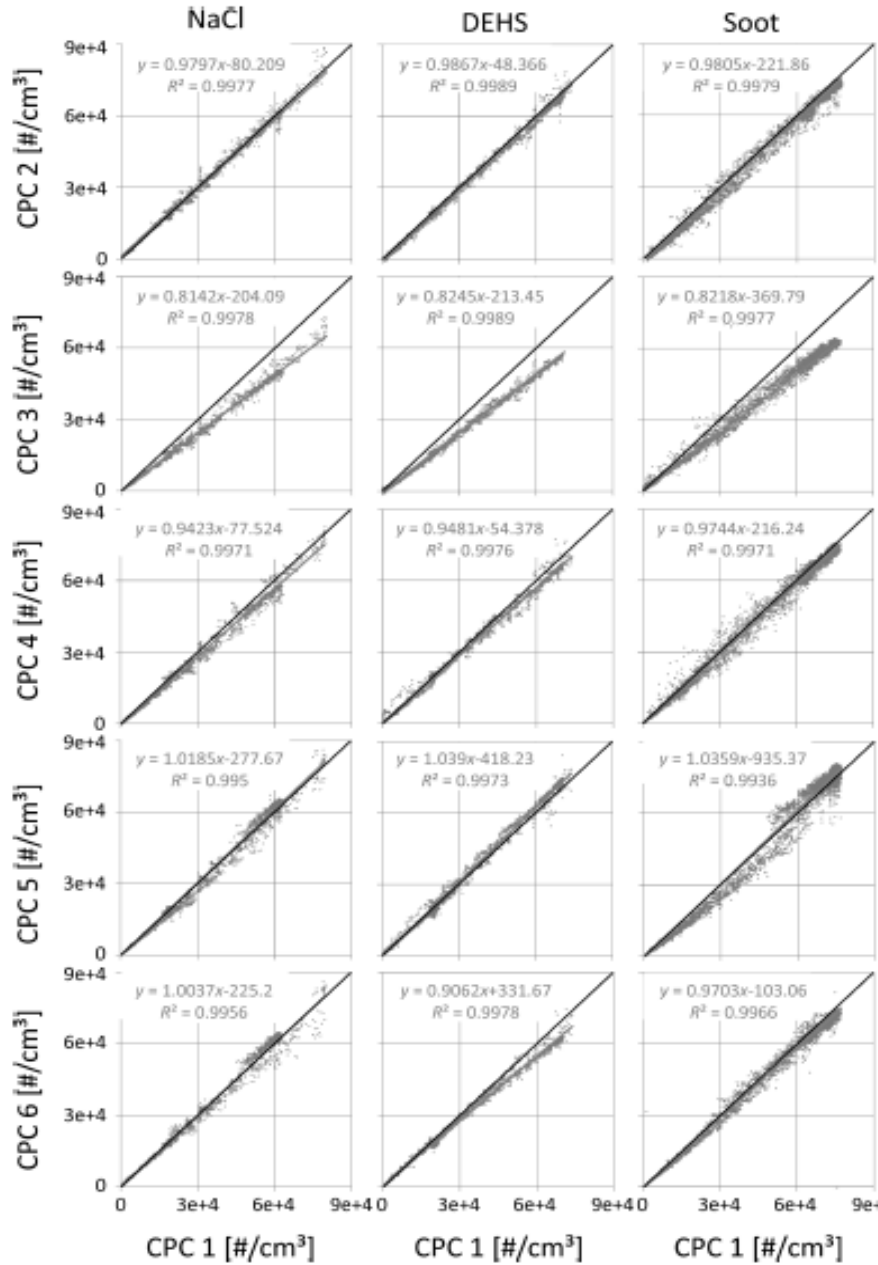


圖 3.1.3.11 CPC1 與 CPC2-CPC6 測得的總數目濃度的比較 (左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙) (Asbach et al. 2012)

圖3.1.3.12為兩台miniDisc(miniDisc 1、miniDisc 2)與CPC1測量三種不同微粒的結果，結果顯示相關性非常高，相關係數(R^2)約為0.99。當使用高濃度的NaCl

微粒進行測試時，miniDisc 1、miniDisc 2測量的微粒數目濃度與CPC1的差異分別為25%和17%；使用碳煙微粒時則為17%和25%；但使用DEHS微粒，則會發現兩台miniDisc所測得的微粒數目濃度約低於CPC1 8%。由上述結果可知，miniDiSC的量測結果與微粒粒徑較有關，與微粒的形貌較無關，因為NaCl和碳煙有類似的量測結果，但兩者的形貌卻十分不同。

比較兩台miniDiscs與利用計算FMPS粒徑分佈得到的平均粒徑的結果顯示，miniDiSC測得的平均微粒粒徑較FMPS準確。

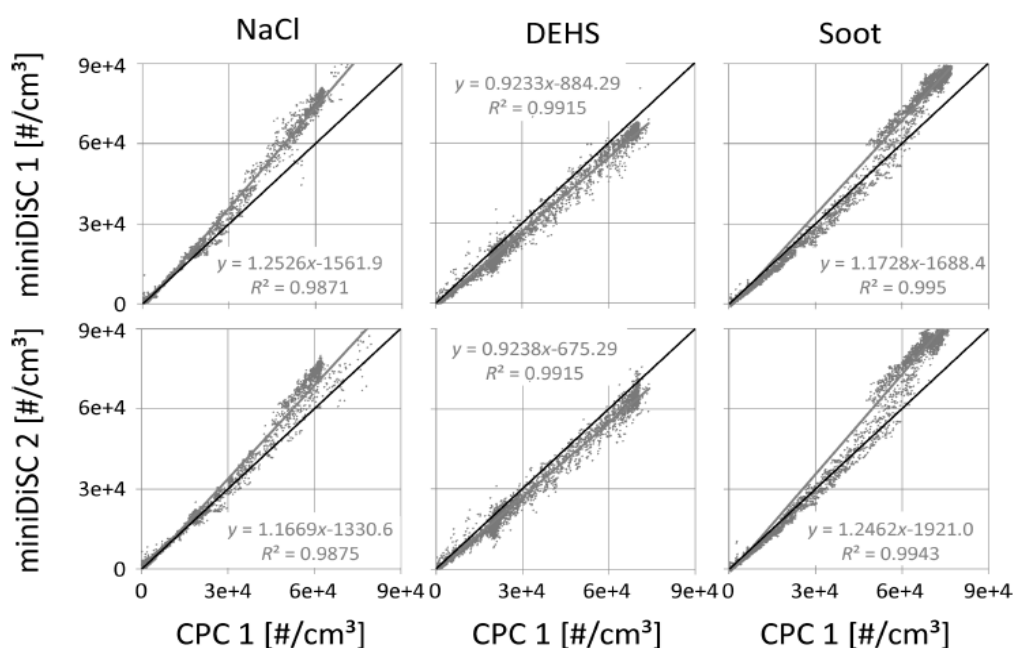


圖 3.1.3.12 兩台微型擴散粒徑篩選儀 (miniDisc 1、miniDisc 2)與 CPC1 分別測量左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙的比較結果 (Asbach et al. 2012)

圖3.1.3.13為三台奈米追蹤計與CPC1分別量測NaCl、DEHS和碳煙的結果，如圖所示，當測試微粒為NaCl和碳煙時，nanoTracer測得的微粒數目濃度與CPC1呈現高相關性($R^2 = 0.97$)，量測誤差介於0-19%之間。

不過當使用DEHS微粒時，三台追蹤計測得的濃度則會高於CPC1，差異達250-594%之間，造成的原因有二個，第一為DEHS微粒的峰值超過追蹤計可量測的範圍；第二則是大微粒的濃度坡降較大。

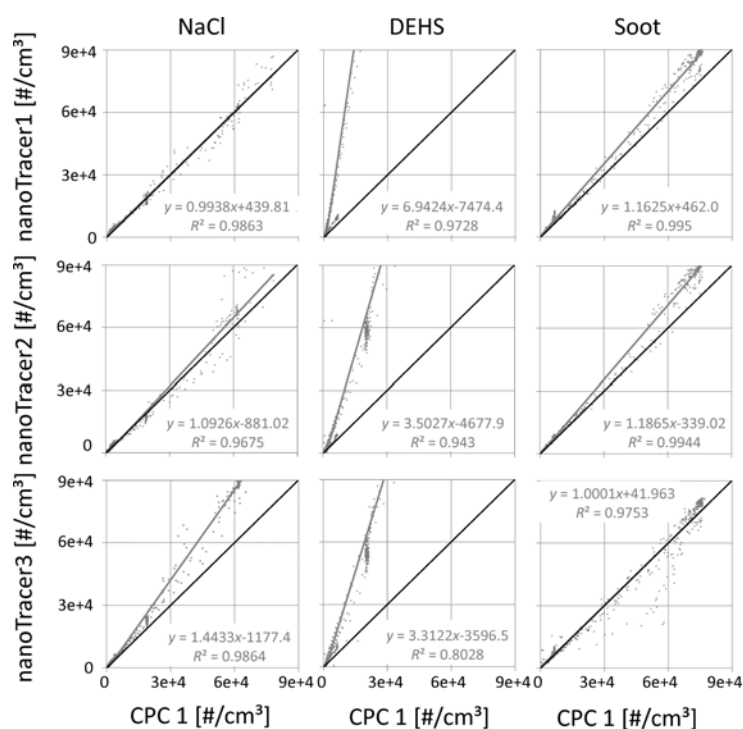


圖 3.1.3.13 三台奈米追蹤計(nanoTracer 1、nanoTracer 2、nanoTracer 3)與CPC1 分別測量左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙的結果(每筆數據的測量時間：16 s，在量測 NaCl 微粒時，nanoTracer 3 架設於混合腔體的壁面上，因而影響了量測結果) (Asbach et al. 2012)

圖3.1.3.14為nanoCheck與CPC1量測NaCl、DEHS和碳煙的結果，結果顯示，使用nanoCheck量測NaCl和DEHS微粒的數目濃度，其濃度分別高於和低於CPC1的19%；但若為碳煙微粒，則nanoCheck量測的數值將會低於CPC1達58%，此原因為碳煙的粒徑小於nanoCheck可測量的極限。而使用NaCl和DEHS微粒進行微粒粒徑準確度的量測結果顯示，nanoCheck測得的粒徑分別低於FMPS 2%和6.2%。

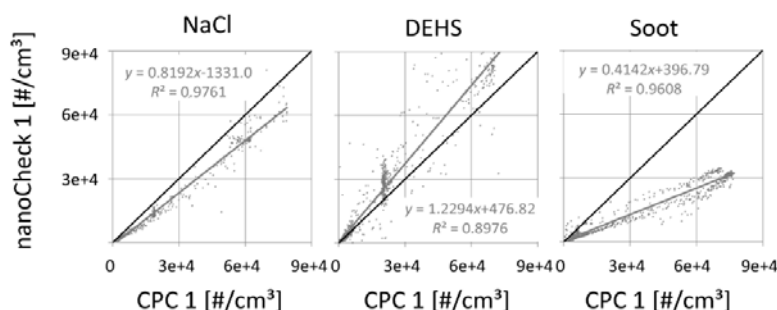


圖 3.1.3.14 nanoCheck 與 CPC 1 分別量測左：NaCl、中：DEHS、右：碳煙的結果 (nanoCheck 每 10 秒量測一筆數據、CPC 1 的數據採用 10 秒的平均數值) (Asbach et al. 2012)

圖3.1.3.15為 miniDisc 1、miniDiscs 2、Aerotrak量測(左)NaCl、(中)DEHS、(右)碳煙的微粒在肺部沉降的表面積(LDSA)，並與轉換FMPS量測的結果比較。結果顯示，使用眾數直徑大於100 nm的NaCl和碳煙作為測試微粒時，miniDiscs量測的LDSA濃度與FMPS的數據相符，不過若使用粒徑大於400 nm的DEHS微粒，miniDiscs量測的濃度較FMPS低39%及48%。

Aerotrak量測NaCl和碳煙微粒的LDSA濃度與FMPS相近，高於1.6%和10.2%。但若用DEHS微粒，則會低於25%。

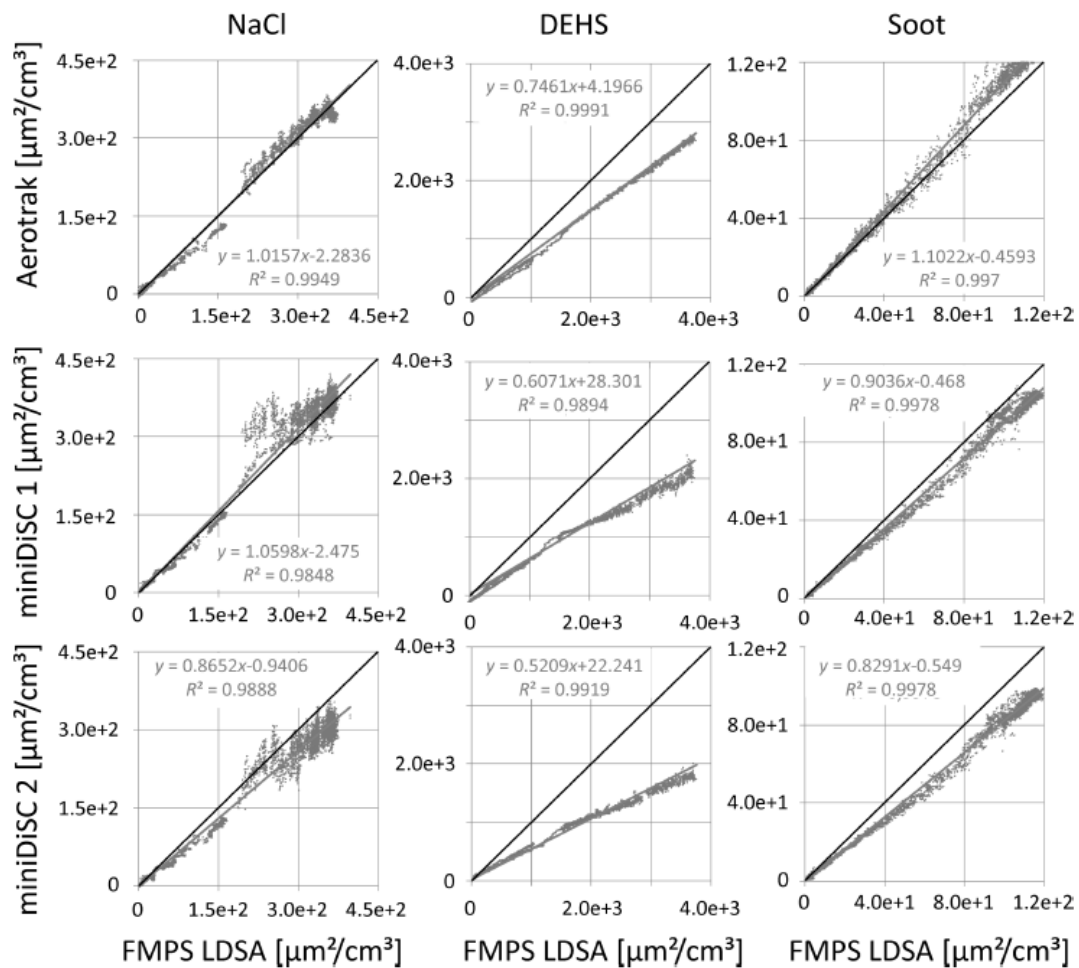


圖 3.1.3.15 miniDisc 1、miniDiscs 2、Aerotrak 量測(左)NaCl、(中)DEHS、(右)碳煙的微粒在肺部沉降的表面積(LDSA)，並與轉換 FMPS 量測的結果比較 (Asbach et al. 2012)

小結

在上述的量測儀器中，手持式CPC的量測準確性最佳，但操作上仍有缺點，例如需定時添加工作液體(working fluid)。可藉由使用操作上較方便的擴散充電器(DC)解決這個問題，但其缺點為準確性較差(誤差介於±30%)。

各種儀器對於不同的氣膠的反應均不相同，例如奈米追蹤計對粒徑較大的微粒的量測誤差較大；nanoCheck則是對小微粒的量測誤差較大；miniDiSC則沒有這類的問題存在。

DCs可準確測量LDSA濃度，但其前題為待測氣膠含有400 nm以上微粒的表面積比較少，此時Aerotrak 9000和miniDiSC量測的LDSA濃度將與FMPS計算得到的濃度相符。

上述的研究結果也顯示，微粒的形貌並不是影響儀器量測準確度的主要原因。不過每種儀器都有其使用上的優缺點，因此在選擇儀器時，必須將微粒粒徑、濃度和準確性都列入考慮。

三、水核凝微粒計數器

Lee et al. (2013)於許多大馬力柴油車行經的主要高速公路旁(距離約 15 公尺)，放置了一批均由 TSI 公司所生產但不同型號的水核凝微粒計數器(water-based condensation particle counter, WCPC)，進行連續一個月量測大氣中超細微粒的數目濃度，藉此探討不同 WCPC 之間量測結果差異。該研究測試的 WCPC 之型號分別為 TSI 3781、TSI 3783 以及 TSI 3785，而每個型號各使用三台，故共有九台 WCPC 進行比對。

表 3.1.3.3 為 TSI 公司所提供關於三部 WCPC 的相關資訊。TSI 3785 為 TSI 公司最早生產(2003 年)的 WCPC，該儀器會以 1 L/min 的流量將微粒導入一個濕壁管柱內，之後再將氣流加熱使微粒達到過飽和狀態，此時便會將小粒徑的微粒成長至可利用光學偵測到之超微米級的液滴，此微粒成長模式即為層流水核凝技術(Hering and Stolzenburg 2005, Hering et al. 2005)。在低濃度的狀況下，TSI 3785 會以個別計數的方式來量測成長過後微粒的數目，同時也會進行無感測時間

(dead-time)的修正。當微粒濃度高於 $3 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$ 時，TSI 3785 則會進入光度模式(photometric mode)。在該模式下，微粒的濃度則是由儀器內部的感應腔體所偵測到的液滴團(cloud of droplets)的光散率所推算出。TSI 3781 為 TSI 公司於 2005 年所生產一部體積較小的 WCPC，其氣膠流量僅 0.12 L/min。該儀器和 TSI 3785 相同，均使用相同的水核凝微粒成長技術以及相同的操作溫度，唯一不同的地方在於 TSI 3781 並無光度模式，所有濃度條件下的微粒數目均以個別計數配合無感測時間修正的方式加以量測。TSI 3783 則是 TSI 公司於 2011 年所生產第一部下一代機種的 WCPC，該儀器內部裝有新型的微粒核凝管柱，改善了 WCPC 在高微粒濃度時的量測效果。TSI 3783 和 TSI 3781 具有相同的氣膠流量，但是操作溫度不同。此外，TSI 3783 量測模式也和 TSI 3781 一樣並無光度模式，而是以個別計數配合無感測時間修正的方式來量測微粒數目。

表 3.1.3.3 儀器製造商對三部 WCPC 所提供的相關資訊 (Lee et al. 2013)

比對資訊	Model 3781	Model 3783	Model 3785
生產年份	2005	2011	2003
個別微粒計數配合無感測時間修正的量測範圍	所有微粒濃度範圍	所有微粒濃度範圍	濃度 $< 3 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$
光度模式量測範圍	無	無	濃度 $> 3 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$
可量測之粒徑範圍	6 nm - 3 μ m	7 nm - 3 μ m	5 nm - 3 μ m
可量測之最大微粒濃度	$5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$	$1 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$	$1 \times 10^7 \text{ \#/cm}^3$
微粒計數誤差	$\pm 10 \%$ (當微粒濃度為 $5 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$)	$\pm 10 \%$ (當微粒濃度為 $1 \times 10^6 \text{ \#/cm}^3$)	$\pm 10 \%$ (當微粒濃度為 $2 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$)
氣膠流量 (L/min)	0.12 ± 0.012	0.12 ± 0.012	1.0 ± 0.1
儀器進口流量 (L/min)	0.6 ± 0.12	3 ± 0.3	1.035

Lee et al. (2013) 首先以一分鐘平均的數據來探討相同型號以及不同型號的 WCPC 之間的量測差異，比對結果如圖 3.1.3.16 所示，顯示當儀器位於高速公路之上風處的情況下(低微粒數目濃度，濃度範圍： 10^3 - 10^4 \#/cm^3)，9 部儀器所測得的數目濃度都大約在 8000 \#/cm^3 附近，看不出相同型號及不同型號 WCPC 之間的

誤差。但當儀器位於高速公路下風處時(高微粒數目濃度，濃度範圍： $> 10^4 \text{ #/cm}^3$)，同型號儀器之間的量測差異則會變得較為顯著。如圖 3.1.3.16 (a)中的箭頭所示，TSI 3781c 所測得的濃度會較其他兩部同型號的測值低，而 TSI 3783a 及 TSI 3785c 所量測的濃度則會較其他兩不同型號的測值高。不同型號 WCPC 在下風處的測值也可發現差異，TSI 3781、TSI 3783 及 TSI 3785 所測到的平均濃度分別為 69000、90000 及 80000 #/cm^3 ，其中以 TSI 3781 和其他兩型號之 WCPC 的測值差異較多。

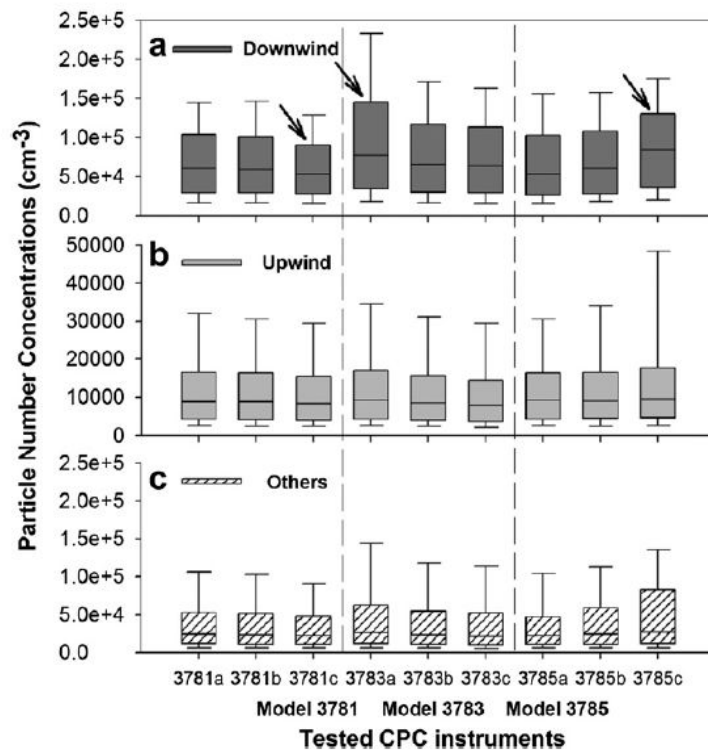


圖 3.1.3.16 三種型號分別為 TSI 3781、3783 及 3785(每種型號各三台)之 WCPC 以一分鐘平均的數據進行在高速公路的(a)下風處、(b)上風處及(c)其他風向下相互比對的結果 (Lee et al. 2013)

Lee et al. (2013)也針對上述在高速公路下風處，不同型號 WCPC 之測值間的差異做進一步地探討。首先，該研究在不考慮風向的情況之下，探討不同型號之 WCPC 在不同平均時間的數據之間的差異。結果顯示當以 1 分鐘的平均數據進行比對時，結果會較為分散，相關係數(R^2)在三部不同型號儀器之間交叉比對的結果分別為 0.77 (TSI 3781 vs TSI 3783)、0.83 (TSI 3783 vs TSI 3785)及 0.79 (TSI 3785 vs

TSI 3781)，但若使用 15 分鐘的平均數據進行比對時，比對結果的相關性則會提升，上述相對應的 R^2 會分別提升至 0.96、0.97 及 0.97。有鑑於此，Lee et al. (2013) 即使用 15 分鐘的平均數據針對儀器間的誤差作後續的 WCPC 測值差異探討。

圖 3.1.3.17 為三種型號分別為 TSI 3781、TSI 3783 及 TSI 3785 之 WCPC 在低濃度(a - c，濃度範圍： $10^3 - 10^4 \text{ \#/cm}^3$)、一般濃度(d - f，濃度範圍： $10^4 - 10^5 \text{ \#/cm}^3$)及高濃度(g - i，濃度範圍： $10^5 - 3 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$)下，數目濃度測值相互比對的結果。結果顯示各儀器間的比對結果差異會隨著量測濃度的高低而不同。在低濃度的情況下，三種型號之儀器的測值均相當接近。當微粒濃度高於 10^4 \#/cm^3 時，TSI 3783 會較其他兩型號之 WCPC 所測得的濃度高，三者之測值高低排序分別為，TSI 3783 > TSI 3785 > TSI 3781。此外，TSI 3783 和其他兩型號之 WCPC 間的測值差距也會隨著量測濃度的提高而增加。而在高濃度的情況下，三部 TSI 3781 的量測結果平均皆較 TSI 3783 及 TSI 3785 的測值低了約 26 及 12%。而 Lee et al. (2013) 也指出造成此結果的主因為 TSI 3781 相較於其他兩型號之 WCPC 較不易量測到數目中間直徑(count median diameter, CMD)小於 45 nm 以下的微粒所致。TSI 3783 和 TSI 3785 兩者的量測結果則是在微粒濃度低於 10^5 \#/cm^3 時較為接近，但當濃度高於 10^5 \#/cm^3 時兩者之間量測差異即會變得較為顯著。另外，Lee et al. (2013) 也發現 TSI 3781 並無法量測到儀器製造商所宣稱的儀器量測濃度上限 $5 \times 10^5 \text{ \#/cm}^3$ 。由圖 3.1.3.17(g)及圖 3.1.3.17(i)可看出，TSI 3781 可測到的微粒濃度上限僅達 2×10^5 ，然而其他兩部型號之 WCPC 可測到的濃度上限均可達到 5×10^5 。因此該研究也建議未來在使用 TSI 3781 量測高微粒濃度環境下如燃燒源旁的微粒數目濃度時，須注意其測值上限的問題。

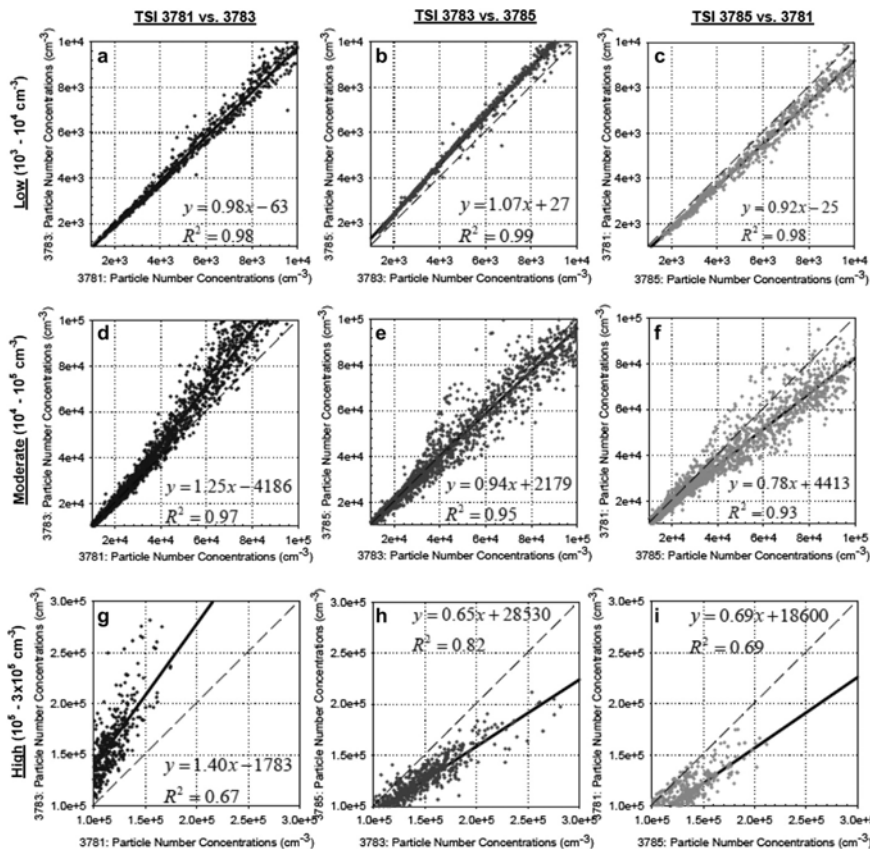


圖 3.1.3.17 三種型號分別為 TSI 3781、3783 及 3785 之 WCPC 在低濃度(a - c，濃度範圍: 103 - 104 #/cm³)、一般濃度(d - f，濃度範圍: 104 - 105 #/cm³)及高濃度(g - i，濃度範圍: 105 - 3 × 10⁵ #/cm³)下，數目濃度測值相互比對的結果(15 分鐘的平均數據) (Lee et al. 2013)

Lee et al. (2013)觀察了一個月的量測數據之後也發現，TSI 3783 在長時間的監測之下，相較於其他兩種型號之 WCPC，其提供的量測數據較為穩定，且微粒數目量測結果對於微粒粒徑大小的敏感度較低。為了降低不同型號 WCPC 之間量測差異，該研究也利用了這一個月的監測數據提出了兩個修正公式，分別將 TSI 3781(NWCPC3781)及 TSI 3785(NWCPC3785)的測值修正成 TSI 3783(NWCPC3783)的數據，修正公式如下所示：

$$N_{\text{WCPC3783}} = 3.754 \times 10^5 \cdot \exp(3.094 \times 10^{-6} \cdot N_{\text{WCPC3781}}) - 3.780 \times 10^5 \quad 3.1.3.1$$

$$N_{\text{WCPC3783}} = 3.248 \times 10^5 \cdot \exp(2.369 \times 10^{-6} \cdot N_{\text{WCPC3785}}) - 3.248 \times 10^5 \quad 3.1.3.2$$

上述修正公式對於該研究在此高速公路旁連續一個月以不同型號之 WCPC 進

行量測的數據提供了相當好的擬合結果，但對於其他環境下的擬合效果仍待評估。另外，由於 TSI 3783 和 TSI 3781 的量測結果在濃度低於 $1.5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$ 的情況下會相當接近，因此式(1)僅適用於濃度大於 $1.5 \times 10^4 \text{ \#/cm}^3$ 的情況。

四、掃描式電移動度粒徑分析儀

近年來，使用各種儀器來量測奈米微粒的研究逐漸興起，然而這些儀器量測技術或原理並不盡相同，且由不同廠商所生產，因此探討這些儀器量測結果的一致性相當重要。掃描式電移動度粒徑分析儀(Scanning mobility particle sizer, SMPS)是目前最常被用來量測空氣中奈米微粒粒徑分佈的儀器。有鑑於此，Joshi et al. (2012)這篇研究即採用目前市面上分別由 GRIMM (Model 5.403C, CPC: Butanol based GRIMM, 後續以 G-SMPS 稱之)及 TSI (EC 3080 with CPC 3775: Butanol based, TSI 後續以 T-SMPS 稱之)兩間公司所生產之 SMPS，來量測大氣及實驗室環境下的奈米微粒粒徑分布，藉以探討兩部儀器量測結果間的一致性。在比對同時，該研究也另外放置一部核凝微粒計數器(condensation particle counter, CPC, Model 3776, TSI)，作為微粒總數目濃度的參考依據。

為了在實驗室內自行產生微粒以供兩部 SMPS 進行比對測試，Joshi et al. (2012)建置了一個用來混合微粒、容量為 40 L 且內部具有風扇的一個混合腔體。如圖 3.1.3.18 所示，該腔體的底部連接了一部用來產生氯化鈉及硫酸銨微粒的噴霧器(atomizer, Model 3079, TSI)以及一個用來將噴出微粒除溼的矽膠擴散乾燥器(silica bead diffusion dryer)。而腔體的上部則是連接了一個分流閥，分別將微粒導入 G-SMPS、T-SMPS 及 T-CPC 內進行同步量測。三部儀器之操作流量分別均為 0.3 L/min，而兩部 SMPS 的包覆氣流流量則為 3 L/min。大氣環境的比對實驗則是選在印度的坎普爾(Kanpur, India)進行，實驗時間為 2011 年 2 月 4 至 5 號的半夜及 2011 年 7 月 19 號的白天。

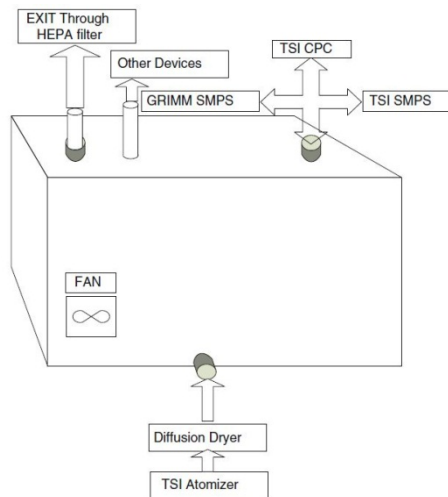


圖 3.1.3.18 腔體實驗系統圖 (Joshi et al. 2012)

為了檢測 G-SMPS 及 T-SMPS 量測粒徑大小的準確性，Joshi et al. (2012)也將兩種粒徑分別為 299 nm 及 499 nm 的標準聚苯乙烯乳膠微粒(Polystyrene Latex, PSL)導入上述腔體混合後，再讓兩部 SPMS 進行量測，量測結果如圖 3.1.3.19 所示。由該圖可看出，在量測 299 nm 之 PSL 微粒時，G-SMPS 及 T-SMPS 所測得的粒徑分布峰值會分別高估了 2.68 及 4.01%，而在量測 499 nm 的 PSL 微粒時，兩者則會分別高估了 4.41 及 1.2%。

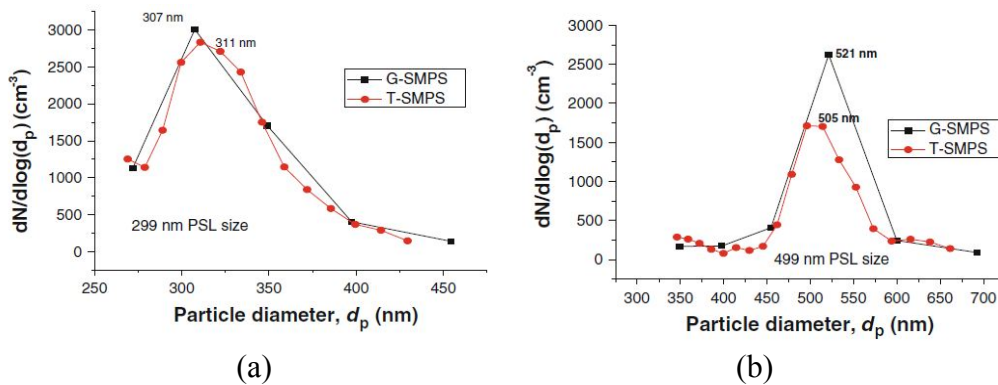


圖 3.1.3.19 G-SMPS 及 T-SMPS 量測粒徑為(a) 299 nm 及(b) 499 nm 之 PSL 微粒時的粒徑分佈圖 (Joshi et al.2012)

圖3.1.3.20為G-SMPS與T-SMPS量測實驗室內自行產生之NaCl及(NH₄)₂SO₄微粒在粒徑分布達到穩定之後的粒徑分佈圖。由圖3.1.3.18(a)可看出T-SMPS與

G-SMPS所測得NaCl微粒之幾何平均粒徑分別為64與53 nm，然而兩者所測得之粒徑分佈的幾何標準差卻相當接近，分別為1.88及1.87。另外G-SMPS量測 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 微粒粒徑分佈之幾何平均則是較T-SMPS的量測結果低了約10.3%。

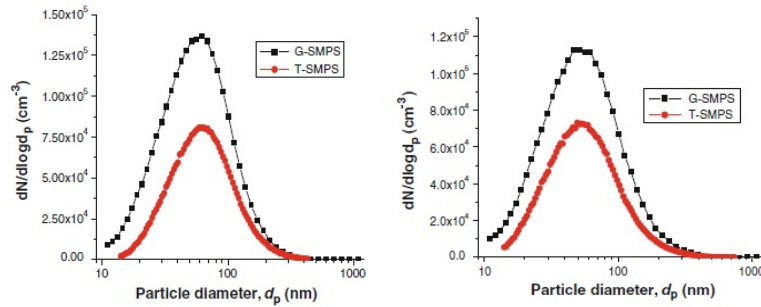


圖 3.1.3.20 G-SMPS 及 T-SMPS 量測(a) NaCl 及(b) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 微粒時所測得之粒徑分佈(Joshi et al.2012)

該研究也定義了一個相對濃度因子(relative concentration factor, RCF)來進一步分析比對的結果，該因子可以式4.1.3.1表之：

$$\text{RCF} = \{C_G - C_T\} / C_T \quad 3.1.3.3$$

其中 C_G 及 C_T 分別為 G-SMPS 與 T-SMPS 量測微粒之濃度。表 3.1.3.3 為各個粒徑範圍之下，NaCl 及 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 的 RCF。由該表可看出在粒徑較小的情況(13-30 nm) 之下，NaCl 及 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 微粒會具有較大的 RCF 值，分別為 4.33 及 1.70。

表 3.1.3.4 各粒徑範圍內 NaCl 及 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 微粒的相對濃度因子 (Joshi et al. 2012)

粒徑範圍(mm)	相對濃度因子	
	NaCl	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
13-20	4.33	1.70
20-30	2.13	1.16
30-50	0.67	0.39
50-70	1.00	0.85
70-100	0.37	0.36
100-150	0.79	0.98
150-200	0.84	1.11
200-300	0.26	0.55
300-400	1.10	1.50

圖 3.1.3.21(a) 為 Joshi et al. (2012) 於 2011 年 2 月 4-5 日這段期間內，同時以 T-SMPS 與 G-SMPS 量測大氣中微粒粒徑分布的比對結果。結果顯示 G-SMPS 所測得之幾何平均粒徑為 122 nm，較 T-SMPS 的量測結果低了約 10.2%，但兩者之幾何標準差幾乎相同，兩者量測結果之間的差異約為 2.4%。為了進一步對實驗結果進行再現性的確認，Joshi et al. (2012) 也於 2011 年 7 月 19 日再次進行相同的比對實驗，結果如圖 3.1.3.19(b) 所示。由圖可看出 G-SMPS 和 T-SMPS 所測得之微粒粒徑分布的 GSD 相當接近，且相較於 T-SMPS，G-SMPS 所測得的總微粒濃度高出 T-SMPS 約 1.161 ± 0.321 倍，但 G-SMPS 所測得之平均粒徑卻較 T-SMPS 低了約 10.2%。

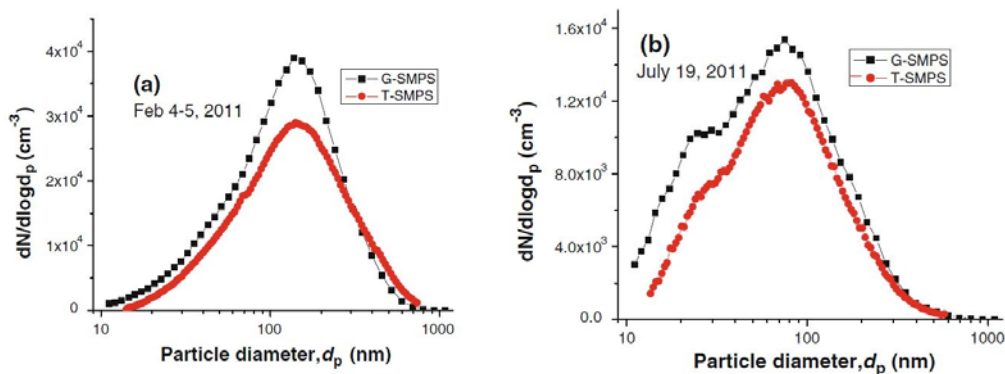


圖 3.1.3.21 T-SMPS 與 G-SMPS 於(a)2011 年 2 月 4-5 日及(b)2011 年 7 月 19 日同時量測大氣中微粒粒徑分布的比對結果 (Joshi et al. 2012)

圖 3.1.3.22(a) 為 G-SMPS 及 T-SMPS 所用的 CPC 所測得之微粒濃度和 T-CPC 之量測結果的比值和微粒濃度之間的關係圖。由圖可看出在微粒濃度範圍介於 $10000-40000 \text{ cm}^{-3}$ 的情況下，T-SMPS 之 CPC 測值和 T-CPC 測值的比值隨著微粒濃度而增加的情況有趨於穩定的現象，但 G-SMPS 測值和 T-CPC 測值的比值卻呈現隨著微粒濃度增加而一直提升的趨勢。圖 3.1.3.22(b) 則為 G-SMPS 之 CPC 測值和 T-SMPS 之 CPC 測值的比值和微粒濃度之間的關係圖。結果顯示該比值也有隨濃度增加而提升的趨勢。

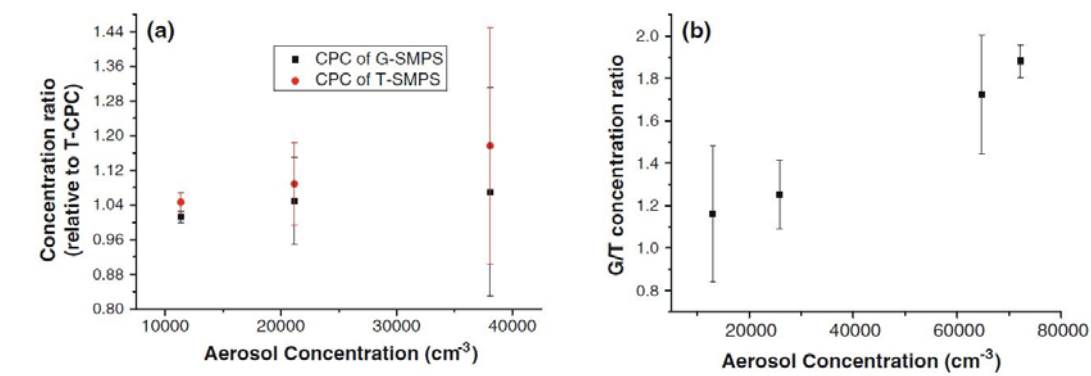


圖 3.1.3.22 各種濃度比值和微粒濃度間的關係圖。(a) G-SMPS 或 T-SMPS 所用之 CPC 所測得微粒濃度和 T-CPC 所測得微粒濃度的比值；(b) G-SMPS 測得濃度和 T-SMPS 測得濃度的比值 (Joshi et al. 2012)

該研究另一重點為探討擴散乾燥器及包覆氣流乾燥器對儀器量測到之微粒大小的影響。由於水氣可能影響微分電移動度篩分儀(Differential Mobility Analyzer, DMA)內部雙極電荷的平衡，且為了要控制DMA內部相對濕度(relative humidity, RH)的變化情形，過去即有學者建議除了在靜電微粒篩分儀(Electrostatic Classifier, EC)的採樣進口端加裝一個擴散乾燥器之外，也需利用熱交換器將DMA內部的包覆氣流(sheath air)加以除濕(Wiedensohler et al. 2012)。為了進一步探究RH對SMPS量測結果的影響，Joshi et al. (2012)持續進行了儀器比對的實驗，以探討下列兩個研究主題。

第一個主題為藉由分析EC進口端有無加裝擴散乾燥器對於SMPS所測得之粒徑大小的影響，來量測大氣微粒在高濕度情況下的吸濕成長效應(hygroscopic growth)。過去曾有Shamjad et al. (2012)以T-SMPS量測大氣微粒的粒徑分佈，並同時以進口端裝有擴散乾燥器之G-SMPS量測微粒經除濕過後的粒徑分佈，其研究結果顯示，當大氣RH由59.3增至76.5 %時，微粒的吸溼成長因子(hygroscopic growth factor, G-SMPS所測得之眾數粒徑的比值所算出)會由1.02提高至1.18 %。

第二個主題則是探討將包覆氣流除濕過後對於SMPS量測結果的影響。Joshi et al. (2012)利用SMPS量測自行在實驗室中以自動噴霧器產生之微粒來進行濕度影響評估的實驗。實驗時產生NaCl及(NH₄)₂SO₄微粒，並將其導入混合腔體中，再同時以一部無加裝任何乾燥器之T-SMPS以及一部在包覆氣流管線上裝有二氧化矽

擴散乾燥器之G-SMPS同時連接該腔體，同步進行微粒粒徑分布量測。由圖3.1.3.23可看出裝有包覆氣流乾燥器之G-SMPS量測平均粒徑為32 nm而T-SMPS量測之平均粒徑為58 nm，兩者間的量測差異為44.8 %。當兩組SMPS皆無加裝包覆氣流乾燥器再重覆進行實驗時，G-SMPS及T-SMPS所測得之平均粒徑則分別為54及64 nm，兩者間的量測差異降低至15.6 %。利用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 微粒進行實驗也會得到類似的結果，如圖3.1.3.24所示。結果顯示，在當把G-SMPS的包覆氣流所加裝之乾燥器移除後，其和T-SMPS之測值間的差異會由24.4降至10.3 %。上述結果及反映出包覆氣流的相對溼度確實會影響SMPS量測微粒粒徑分布的結果，尤其是對於那些較濕的微粒。

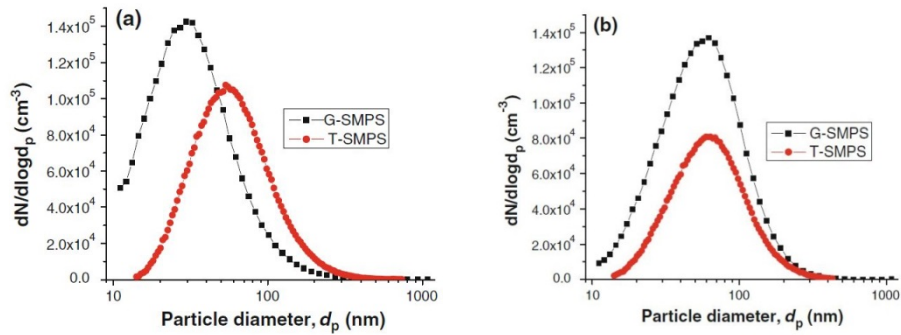


圖 3.1.3.23 (a)使用及(b)未使用包覆氣流乾燥器 SMPS 所測得之 NaCl 微粒的粒徑分佈 (Joshi et al. 2012)

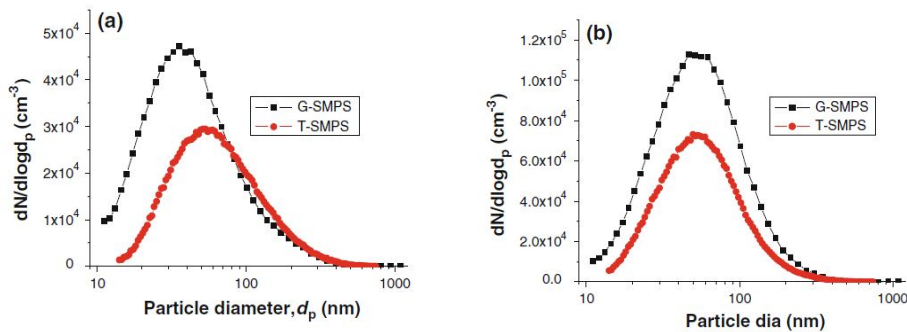


圖 3.1.3.24 (a)使用及(b)未使用包覆氣流乾燥器 SMPS 所測得之 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 微粒的粒徑分佈 (Joshi et al. 2012)

Joshi et al. (2012)於各實驗後歸納出以下幾點結論，在量測大氣環境時G-SMPS的量測之微粒濃度比起T-SMPS高1.16-1.25倍，且兩者量測粒徑分佈之GSD相當接近，唯獨G-SMPS量測之平均粒徑比起T-SMPS小10%。在量測實驗所製之微粒時，粒徑分佈之GSD及平均粒徑皆與大氣環境下量測結果相近，但微粒濃度差異增大至1.7-1.9倍。

G-SMPS及T-SMPS量測大氣微粒數目濃度結果與獨立之CPC比較結果顯示，G-SMPS量測結果較接近獨立CPC。當氣膠濃度增大時，各CPC及SMPS量測結果差異隨著增大，原因在於各CPC在量測高濃度微粒時轉換至光度模式(photometric mode)的門檻不同導致計數上的差異，而量測低濃度微粒時CPC皆以單一微粒計數模式(single counting measurements)來運作，故其結果較有一致性。而各SMPS量測結果的差異可能由於高濃度微粒條件下EC內部的靜電中和器無法有效的運作所造成，但仍需進一步研究證明。

另外Joshi et al. (2012)發現於其中任何一部SMPS的入口端使用擴散乾燥器可以用於觀測大氣氣膠的吸濕成長效應，包覆氣流乾燥器的使用或者在包覆氣流管線上使用類似乾燥器的裝置會導致平均粒徑變小。

3.1.4 奈米產品中的奈米物質對環境的影響

工程奈米物質(engineered nanomaterials, ENM)的暴露風險有一部份取決於控制它們在環境中轉化及宿命的過程，這些過程不僅作用在直接逸散至環境中的ENM，也可能作用在從消費性產品中所釋放出的ENM。在不同的釋放過程下ENM在環境中的轉化及宿命亦有顯著的差異。源自於直接使用而造成逸散或含有奈米物質產品中所釋放出的ENM，比未經加工的(pristine) ENM 在生態毒性研究及風險評估更具有相關性。釋放出的 ENM 對環境的衝擊可能高於或低於原本奈米物質所造成的衝擊，目前缺乏針對釋放出及轉化的 ENM 的環境行為及作用之研究，Nowack et al. (2012)探討上述問題以了解釋放及轉化的過程是否會產生類似或更多種類的 ENM，及這些過程如何影響環境行為。該研究提出四種假設案例進行探討，包括(1) 防曬品及化妝品中的二氧化鈦、(2) 紡織品中的奈米銀、(3) 含有奈米碳管的複合結構及(4) 含有氧化鈾之燃料在柴油引擎中的燃燒過程等，這些案例涵蓋了多種 ENM、直接使用 ENM 或應用於產品及它們在環境中可能的宿命，並

提出應該採用更明確的 ENM 分類以反映 ENM 的表面條件，完整的分類應包含未經加工的 ENM (pristine ENM)、產品改質的 ENM (product-modified ENM)、產品劣化釋放出的 ENM (product-weathered ENM) 和環境轉化後的 ENM (environmentally transformed ENM) (如圖 3.1.4.1 所示)。最後，Nowack et al. (2012) 認為評估使用 ENM 時的風險不能只探討初始製造的 ENM，必須也考慮 ENM 改變及轉化的過程。

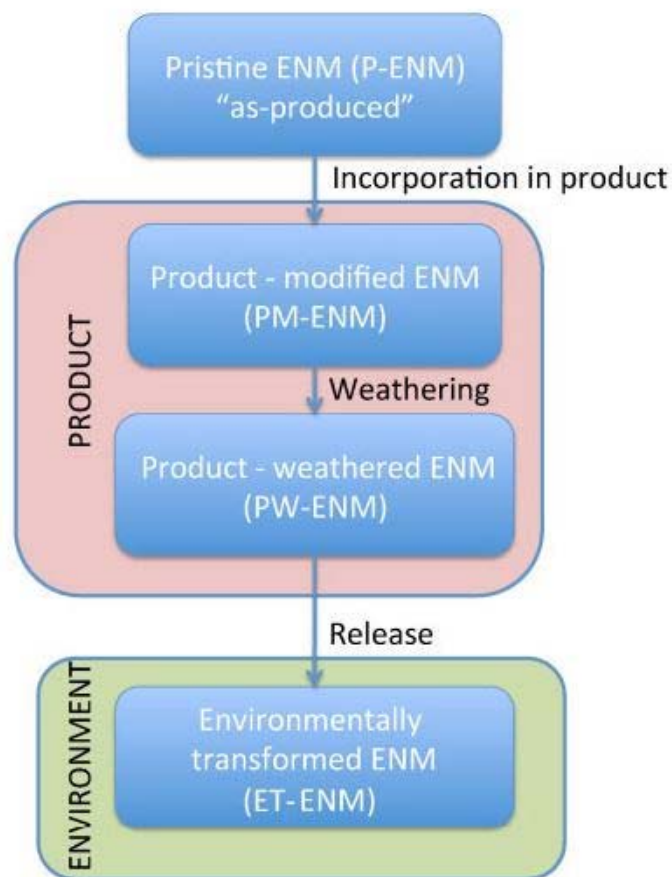


圖 3.1.4.1 工程奈米物質的分類。未經加工的 ENM (pristine ENM)、產品改質的 ENM (product-modified ENM)、產品劣化釋放出的 ENM (product-weathered ENM) 和環境轉化後的 ENM (environmentally transformed ENM) (Nowack et al. 2012)

以永續發展的觀點來看，使用工程奈米微粒除了提供許多優點之外也造成了許多負面的影響。為了能夠在既有的優勢之下建立克服負面影響的方法，及早認

知上述影響是相當重要的。利用生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)評估產品或製程之環境績效(environmental performance)，但目前將LCA應用於奈米科技領域的相關研究仍相當缺乏。

Hischier et al. (2012)認為在LCA的架構中，有許多議題需要進一步被確立，進而使其可應用於奈米科技。這些議題包括：選擇適合的系統邊界及功能單元(functional unit)，讓使用者能對這些相等的功能做比對；對工程奈米物質充分且廣泛的生命週期資料庫數據為對分析資料庫等級的關鍵、影響評估(impact assessment)步驟需明確的定義出奈米微粒的排放程度。

但目前現有的在奈米科技領域內和LCA相關之研究才剛開始朝上述的這些方向起步而已，因此為了改善現況，Hischier et al. (2012)也主張LCA內每個環節的進行均需和科學發展的步調一致。

以資料庫模擬(inventory modeling)為例，對於那些最重要的工程奈米物質，相關研究人員應收集綜合的、透明紀錄且品質受過認證的數據，並將這些數據以可被廣泛接受的格式提供給資訊使用者。而在奈米微粒排放的部分，須儘可能地收集工程奈米物質在生產、使用及廢棄階段的相關參數。最後在影響評估的程度方面，研究人員需確認相關的物理特性以供奈米微粒毒性評估之用，且在有限且足夠數量的前提之下，對於到底有多少會影響毒性之獨立參數需被收集這個議題，需要有共識。

以下就可能造成產品中奈米物質釋放至環境中的原因作介紹：

一、因磨損/磨耗造成的奈米物質釋放

有許多的改質或轉化過程會作用於奈米產品及 ENM，包括光化學轉化、氧化/還原反應、溶解、吸附/脫附、燃燒、生物轉化/生物降解及磨損/磨耗，其中當紊流流體沖刷或固體物質強力碰撞材料任一部份的物理過程稱為磨損/磨耗。磨損/磨耗會破壞原本材料之結構，並可能造成從奈米產品中釋放出不同形狀和粒徑的 ENM 或含有 ENM 的微粒，剪應力的估計值可能可以代表經過磨損/磨耗後從奈米產品中釋放之 ENM 的最終形狀和粒徑。

Schlagenhauf et al. (2012)探討環氧樹脂/奈米碳管的奈米複合材料之磨損/磨耗行為，利用實驗系統同時進行了磨損/磨耗、微粒的測量及收集，並利用粒徑分佈及電子顯微鏡對磨損/磨耗出的微粒進行特性分析。磨損/磨耗的實驗以泰伯磨擦試驗儀(Taber abraser)進行，逸散微粒收集於一導電矽膠管內用於後續分析。微粒粒徑分佈係利用掃描式電移動度分析儀(SMPS)及氣動粒徑分析儀(APS)測得，結果顯示所有的樣本具有四個微粒數目的峰值(如圖 3.1.4.2 所示)。由 SMPS 得到的峰值所對應的最小粒徑介於 300–400 nm，並觀察到隨著奈米填充料成份的增加粒徑也會隨之增加；由 APS 所得到的三個峰值則介於 0.6–2.5 μm 。另外，SMPS 測得的微粒數目濃度介於 8,000–20,000 particles/cm³，APS 測得的微粒數目濃度介於 1,000–3,000 particles/cm³，穿透式電子顯微鏡的影像顯示獨立存在(free-standing individual)的個別奈米碳管及團粒會在磨損/磨耗過程中逸散出來。Schlagenhauf et al. (2012)認為在環氧樹脂/奈米碳管的奈米複合材料之機械研磨過程中，只要磨損/磨耗出的微粒之毒性效應未被排除，就必須使用高標準來減少作業人員的暴露。面對處理未知毒性的物質時，這是最安全也是最保守的措施，此研究並建議使用安全抽氣櫃或以濕式作業方式進行。

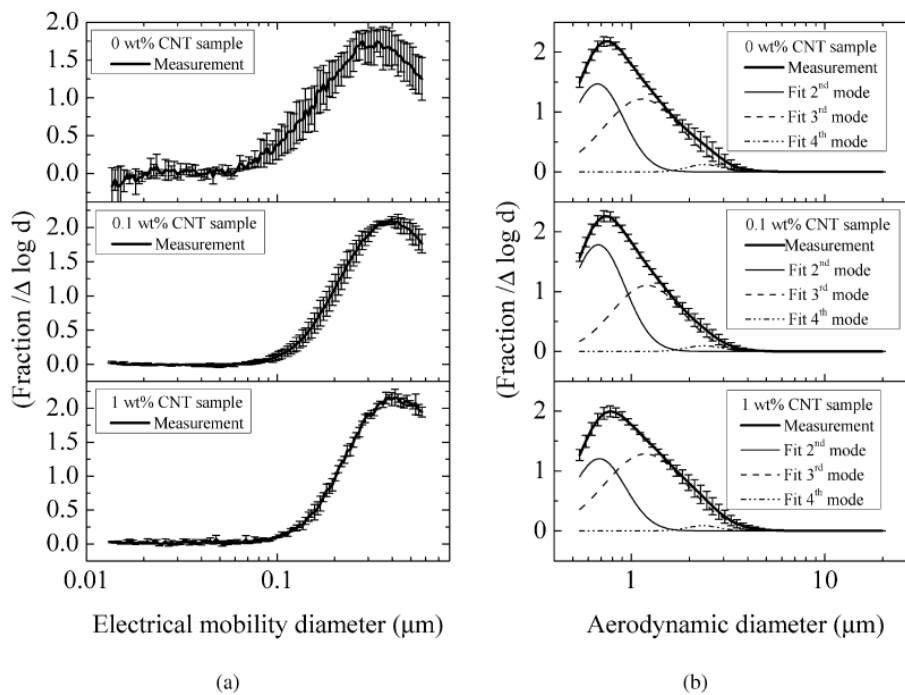


圖 3.1.4.2 (a)使用 SMPS 量測所得粒徑分佈(13-573 nm)；(b)使用 APS 量測所得粒徑分佈(0.54-19.81 μm) (Schlagenhauf et al. 2012)

Raynor et al. (2012) 探討奈米複合材料在絞碎回收時是否會釋放出 ENM，實驗利用絞碎機絞碎摻雜了蒙脫石奈米黏土或滑石的聚丙烯樹脂及未經摻雜的聚丙烯樹脂製成的合成板，並即時測量絞碎時產生的微粒之數目、比表面積、質量濃度及粒徑分佈。實驗結果顯示絞碎滑石填充的合成板時會觀察到最低的微粒濃度，而絞碎奈米複合材料的合成板比絞碎未經摻雜的樹脂合成板會產生較低濃度的奈米微粒，例如分別絞碎摻雜滑石的樹脂合成板、摻雜奈米黏土的樹脂合成板及未經摻雜的樹脂合成板所產生的微粒平均濃度分別為 1300、4280 及 12,600 particles/cm³ (如圖 3.1.4.3 所示)，肺泡區之微粒表面積濃度則分別為 4.0、8.5 及 26 μm²/cm³。絞碎上述三種材料後所測得的中位數粒徑接近 10 nm，此值低於摻雜奈米物質應有的大小。研究結果並指出相較於回收傳統塑膠的過程，回收摻雜奈米黏土的塑膠的過程並不會對工作人員的健康造成較大的風險。

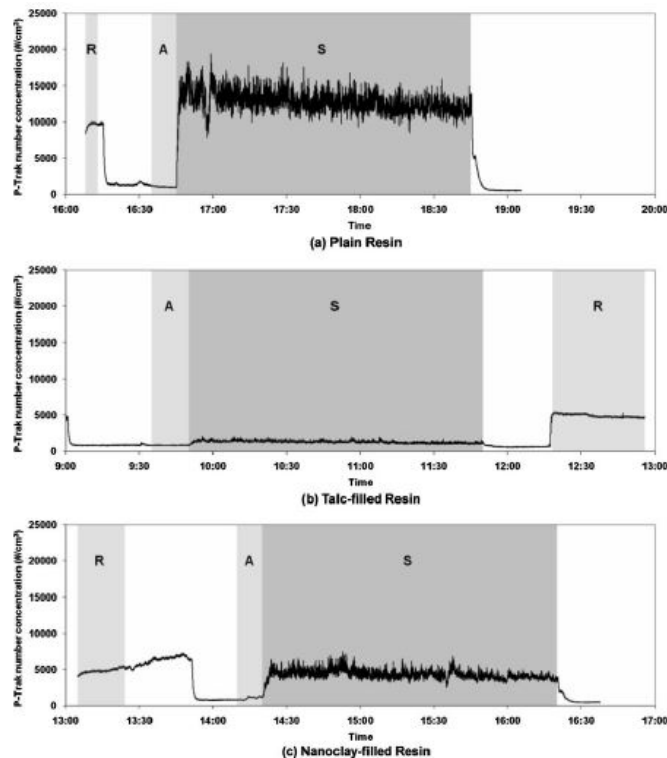


圖 3.1.4.3 利用超細粒子計數器(P-Trak)量測奈米複合材料在絞碎回收時的微粒濃度。(a) 未經摻雜的樹脂合成板; (b) 摻雜滑石的樹脂合成板; (c) 摻雜奈米黏土的樹脂合成板 R 區段為設備室打開時 P-Trak 量測到的設備室微粒背景數目濃度。A 區段為關閉設備室，僅啟動絞碎機但未放置合成板時 P-Trak 測得的設備室微粒數目濃度。S 區段為關閉設備室並啟動絞碎機絞碎合成板時 P-Trak 測得的微粒數目濃度 (Raynor et al. 2012)

Golanski et al. (2012)藉由模擬不同的機械應力(磨損、抓及機械衝擊)作用於奈米物質的情況(重量百分小於4%的聚合物，聚碳酸酯、環氧樹脂和PA11聚合物)，並與標準泰伯磨耗試驗技術(standard Taber abrasion technique)相比較，以評估這些作用於奈米物質上的應力產生奈米微粒的效率。該研究發展出可產生比凡德瓦爾力(Van Der Waals forces)更大應力的工具，包含金屬耙子、金屬刷子及雕刻筆各一種，並首先使用這些工具來測試含有奈米碳管的環氧聚合物(實驗設計如圖3.1.4.4所示)。而聚合物中奈米碳管分散情況，如均勻分散(good dispersion)與不均勻分散(bad dispersion)(圖3.1.4.5所示)，則使用掃描式電移動度微粒分析儀(Scanning Mobility Particle Analyzer, SMPS)與帶電低壓衝擊器監測儀(Electrical Low Pressure Impactor, ELPI)量測釋放的奈米微粒之粒徑分佈。

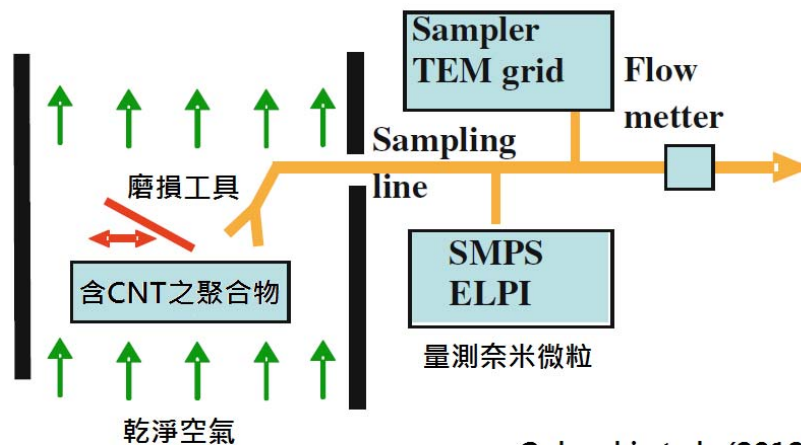


圖 3.1.4.4 工作臺試驗(bench test)示意圖(Golanski et al. 2012)

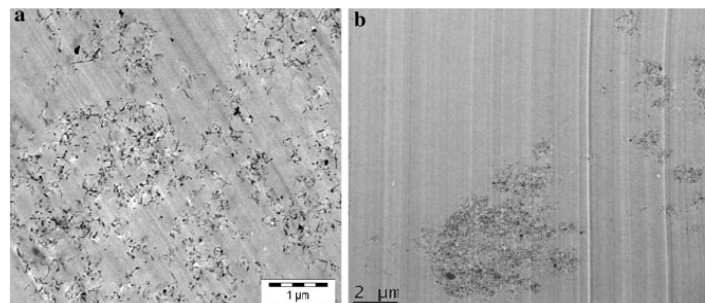


圖 3.1.4.5 含奈米碳管(0.8%wt)之環氧樹脂的穿透式電子顯微影像 (a)奈米碳管均勻分散於環氧樹脂中 (b)奈米碳管不均勻的分散於環氧樹脂中 (Golanski et al. 2012)

Golanski et al. (2012)的研究提供了一種有效的方法來量化奈米物質在受到不同機械應力下是否會釋出奈米微粒，並研究何種作用機制容易釋放出奈米微粒。結果顯示，在機械衝擊與猛烈的磨擦下，只有當奈米碳管未均勻地分散於環氧樹脂時才會釋放出奈米微粒；在相同的測試情況下，會均勻地分散於環氧樹脂中時則無奈米微粒被釋放。此外，使用標準旋轉式泰伯磨損工具對含二氧化矽奈米微粒(重量百分比 35%以下)的油漆塗料進行猛烈地磨耗時，發現二氧化矽奈米微粒會釋出，主要粒徑約為 12 nm 左右，使用金屬耙子亦能有效的從不織布奈米纖維材料中釋放出奈米微粒。

二、含奈米物質的紡織品

奈米銀微粒(奈米銀)為目前消費產品越來越常使用的添加劑(Marambio-Jones and Hoek 2010, Majestic et al. 2010)。同時，銀也為目前廣受矚目的工程奈米物質(Engineered nanomaterials, ENMs)之一，有越來越多的研究在探討奈米銀對人體與環境所造成的影響及危害(Blaser et al. 2008, Wijnhoven et al. 2009, Johnston et al. 2010, Marambio-Jones and Hoek 2010, Scheringer et al. 2010, Tolaymat et al. 2010, Nowack et al. 2011)。銀和奈米銀常被用於許多不同的消費產品中，如添加在紡織品中可以產生抗菌與防臭的功能(Dastjerdi and Montazer 2010)。目前市面上已有許多含有奈米銀的產品，但卻很少人知道奈米銀吸入性暴露的潛勢。在一些奈米技術的產品，如噴霧器、增濕器與吹風機等的正常使用，可能會產生工程奈米微粒的吸入性暴露，但目前對於風險評估相當重要的氣膠逸散速率與特性量測的資訊目前仍相當不完善。

過去的研究已證實了奈米微粒的吸入與不良的健康效應有關(Quadros and Marr 2010, Oberdorster et al. 2005)，並且近年來的研究更加深了奈米銀的暴露的疑慮。Soto et al. (2005)發現細胞暴露於奈米銀所造成的細胞毒性會比其奈米他材料所造成的毒性大(如二氧化鈦，氧化鐵)。Sung et al. (2009)在大鼠的暴露實驗中，發現長期的暴露於氣懸銀微粒下，大鼠會罹患慢性肺泡炎，而銀累積的主要器官為肺及肝。即使許多研究已指出銀微粒僅會造成微量的毒性，Stebounova et al. (2011)仍認為長期暴露於奈米銀還是會造成慢性的不良危害。目前對於銀粉塵與煙

煙的吸入性暴露指標，都是以質量濃度為法規制定的基準。如美國政府工業衛生師協會(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)建議金屬銀與可溶性銀化合物的閾限值(threshold limit value, TLV)分別為0.1與0.01 mgm^{-3} ；美國職業安全與健康管理局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)也制定了金屬銀與可溶性銀化合物的允許暴露值(permissible exposure limit, PEL)皆為0.01 mgm^{-3} ；美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)並沒有特別管制吸入的銀濃度，但是有規定食入的參考劑量為0.005 $\text{mg kg}^{-1}\text{day}^{-1}$ 。

近來的研究亦顯示清洗紡織品的過程會釋放大量的奈米銀至清洗的水體中(Geranio et al. 2009, Benn and Westerhoff 2008, Benn et al. 2010)。根據模擬的環境濃度，這些由紡織品所釋放出的奈米銀在進入廢水處理廠後主要會與生物固體結合(Gottschalk et al. 2009, Blaser et al. 2008)，但當廢水處理的程序不當時，那些濃度高至可對水中生物產生危害的奈米銀即可能被排放至接受水體中(receiving waters)(Blaser et al. 2008)。類似的情況也可能發生在使用生物固體作為土壤改良劑的農業區域及在城鎮廢水下游的接收水體中。

最近許多針對奈米銀在紡織品清洗過程(如攪拌、去污及漂白)中之宿命進行評估的研究顯示，這些奈米銀會產生相當程度的變化。目前學界廣泛地認為天然水體中的奈米銀之主要的宿命是被解離成 Ag^+ 離子。然而 Impellitteri et al (2009)卻指出，以洗滌劑清洗的奈米襪所釋放出的奈米銀中，有超過 50% 的量會形成不溶於水的氯化銀(AgCl)。而 Geranio et al. (2009)也觀察到銀在典型清洗紡織品的高 pH 值的水體中具有些微的溶解度，且這些釋放出的奈米銀主要係受清洗過程的機械應力而釋出且粒徑大於 450 nm 的微粒。

Lorenz et al. (2012)研究八種不同的銀紡織品，包括三種含奈米銀的紡織品、一種使用金屬銀線與四種含有未經宣告的銀成分，在經過清洗或漂洗而產生的銀釋放的情形。此外，該研究團隊也測試了紡織品在清洗前後的抑菌能力。

該研究團隊使用顯微鏡分析各種不同產品的清洗水溶液中的釋出微粒，分別發現了Ti/Si-AgCl奈米複合物、AgCl奈米微粒、團聚的AgCl奈米微粒、奈米銀硫化物與金屬奈米銀，而且奈米微粒主要都以高度的團聚形式存在。經驗證微奈米

銀的抗菌能力最好，但是含金屬銀線與含銀成分最低的紡織品卻不具任何的抗菌能力。研究結果也顯示了不同的銀紡織品在經過清洗時，會釋放出不同型式的銀，而在清洗水中最常見的化學成分為AgCl。

奈米銀一旦釋放至水體環境中，其轉化的特性、毒性或溶解出的物質特性會與許多物化參數息息相關，包括包括濃度、溶解性有機物的形式、pH 值、離子強度、氧化還原環境及無機配位基(inorganic ligands)(Gao et al. 2009, Choi et al. 2009)。

因此，Nowack et al. (2012)指出影響由紡織品所釋放之奈米銀在環境中分布的主要宿命過程包括表面磨損(abrasion)、氧化、溶解與沉澱、吸附與脫附及生物轉化，以及一些可能在清洗織物、廢水處理廠處理廢水及在受體環境(農業土壤及表面水體)內所釋放的過程(如圖 3.1.4.6 所示)。

然而，含奈米銀的生物固體也可能會沉積在掩埋場，所以透過溶解、隔離與轉化過程也許能支配它們於環境中的宿命。最後，生物固體也有可能是可燃的，因此可以透過燃燒過程控制奈米銀進入大氣環境。

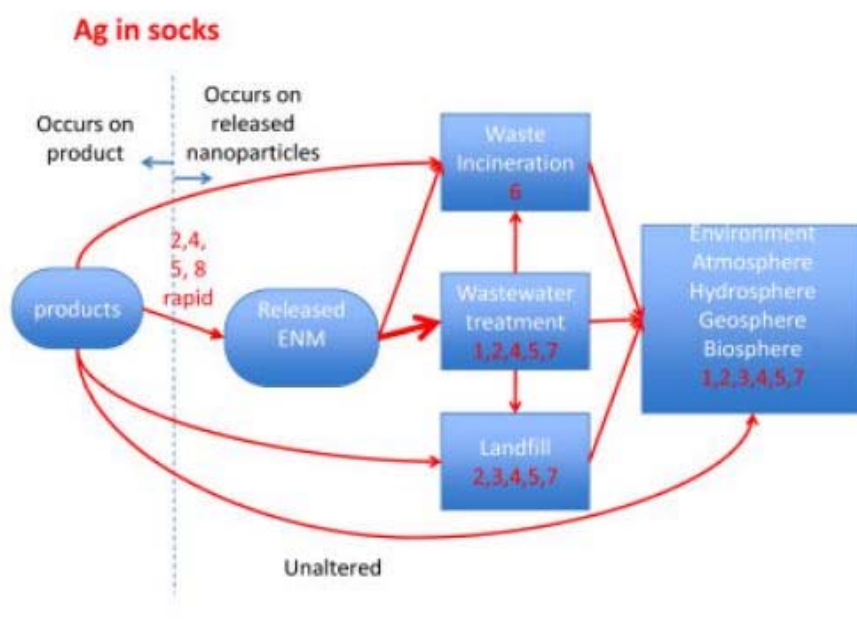


圖 3.1.4.6 工程奈米微粒在環境傳輸過程中從不同產品釋放的流程概念圖(此處以紡織品釋出奈米銀為例)，圖中的數字依序代表：(1)光化學轉化、(2)氧化、(3)還原、(4)溶解與沉澱、(5)吸附與脫附、(6)燃燒、(7)生物轉化與生物降解及(8)表面磨損(Nowack et al. 2012)

另外，研究指出工程奈米微粒自紡織衣移轉至人體汗水中會使皮膚暴露於奈米體及其聚集體及團粒(nanoobjects and their aggregates and agglomerates, NOAA)中。有鑑於此，von Goetz et al. (2013)利用一實驗系統模擬人體運動時衣物的磨耗及拉伸，以評估NOAA自市售紡織衣物移轉至人造汗水的情形。該實驗結合物理應力及將紡織物樣本浸漬在鹼性或酸性的人造汗水溶液過程，模擬運動時最壞的暴露情境。待測樣本共九件，其中三件僅含有Ag、五件含有TiO₂，另外一件同時具有Ag及TiO₂，詳細資料如3.1.4.1所示。

表 3.1.4.1 功能性紡織品詳細資料 (von Goetz et al., 2013)

編號	種類	產品特性		產品各項參數		
		布料組成	產品標籤	紡織品重(g)	Ag 含量 (mg Ag/kg 紡織品)	Ti 含量 (mg Ti/kg 紡織品)
1	襪子	41% 聚丙烯, 31% 聚醯胺, 18% 棉, 10% 羊毛	聚醯胺纖維摻入銀	42(每雙)	18± 2	
2	襯衫	83% 聚酯, 17% 羊毛	奈米銀微粒	89	183± 10	2153± 35
3	襯衫	100% 聚酯	銀離子	71	45± 8	
4	短褲	93% 聚酯, 7% elasthane	AgCl 奈米微粒(200-400 nm)	345	41± 0	
5	襯衫	80%聚醯胺, 20% 聚酯	具有奈米 TiO ₂	203		7149± 725
6	孩童長褲	82%聚醯胺, 18% 萊卡	具有奈米 TiO ₂	68		6772± 112
7	長袖襯衫	46% Lenzing ModalSun, 46% 棉, 8% 彈性纖維	具有奈米 TiO ₂ (防曬功能)	176		2983± 11
8	孩童長袖襯衫	91% 聚醯胺, 9% 彈性纖維	具有奈米 TiO ₂	187		8543± 32
9	孩童長袖襯衫	53% 聚酯, 47% 聚丁烯對苯二甲酸酯	具有奈米 TiO ₂	183		4482± 98

實驗的架設參考國際標準化組織(International Organization for Standardization, ISO)針對家庭及商業式洗衣店，洗衣後衣物顏色穩定度所建立的方法(105-C06)，另外使用一部稱為"Washtex-P Roaches"的洗滌機器針對8克重的紡織品樣本於室

溫下做檢測。人造汗水溶液則參考色彩對ISO 105-E04製程方法(顏色對汗水的穩定度試驗)所配製，溶液酸鹼度則藉由添加當量0.1的NaOH來調整至pH值5.5或8.0。在Ag及Ti微粒遷移至人造汗水後，該研究使用硝化纖維薄膜(0.45 μm , Sartorius Stedim Biotech)來過濾存於汗水中的微粒，過濾後的濾液以HNO₃(65%, Fluka)酸化，並使用感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(Inductively Couple Plasma Optical Emission Spectroscopy, ICP-OES, Perkin-Elmer, OPTIMA 3000)分析濾液中的物質。為了測定Ag及Ti在人造汗水中的溶解態，濾液再經由一部管制大小為30 kDa的離心分離機(Vivaspin 6, 30000 MWCO, polyether sulfone, centrifugation for 10 min at 13 500 rpm)來進一步測定。

實驗結果如表3.1.4.2所示，於檢測樣本中一件襯衫及一條長褲被檢測出有粒徑小於450 nm且濃度23-74 $\mu\text{g/g/L}$ 的Ag釋出入造汗水溶液中，而添有TiO₂的抗UV紡織物則未明顯有粒徑小於450 nm的TiO₂釋出，一件標榜具有抗菌能力的圓領衫則被驗出有粒徑小於450 nm的Ag及TiO₂的釋出。釋出至人造汗水中的Ag又分為溶解態及微粒態兩種。

表 3.1.4.2 每克紡織品浸漬於 120 ml 汗水歷經 30 分鐘後 Ag 及 TiO₂ 之釋放量(von Goetz et al., 2013)

編號	種類	元素分析	物質釋出至酸性汗水($\mu\text{g/g/L}$)			物質釋出至鹼性汗水($\mu\text{g/g/L}$)		
			溶解態	微粒態 <450 nm	微粒態>450 nm	溶解態	微粒態 <450 nm	微粒態>450 nm
1	襪子	Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd
2	襯衫	Ag	43± 1	31± 5	30± 0	31± 0	34± 5	11± 1
3	襯衫	Ag	nd	nd	nd	nd	nd	nd
4	長褲	Ag	45± 5	nd	nd	25± 5	23± 0	nd
2	襯衫	Ti	nd	63± 13	725± 30	nd	38± 13	188± 213
5-9	詳見表 4.1.4.1	Ti	nd	nd	nd	nd	nd	nd

nd: 低於量測極限, Ti 為 12.5 $\mu\text{g/g/L}$, Ag 粒徑大於 450 nm 的為 6.25 $\mu\text{g/g/L}$

圖3.1.4.7為該研究藉由實驗模型模擬人體穿著具Ag及Ti的功能性紡織物時，

暴露於溶解態及粒徑小於450 nm微粒態的狀況下，人體所承受的潛在計量。由實驗發現Ag最大總劑量為17.1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，其中 < 450 nm微粒態之最大劑量為8.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，而微粒態的TiO₂最大劑量為11.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。以上假設工程奈米微粒釋出後會立即沉積於人體皮膚上，經實驗發現部分Ag會重新沉積於紡織物上，導致實驗所測得之劑量被高估。衣物的潮濕至乾燥過程可以減少汗水的釋出，因而降低了Ag之暴露；同樣的運動結束後立即淋浴會清洗沉積在皮膚上的Ag/TiO₂，因而大幅減少暴露NOAA的機會。

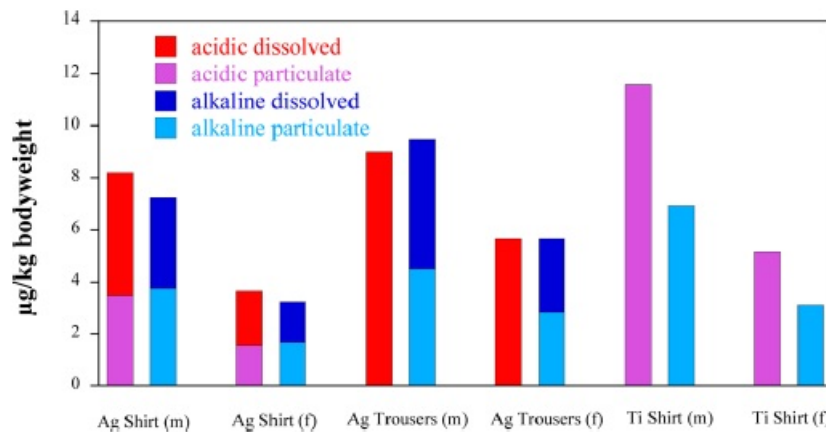


圖 3.1.4.7 成人穿著添有 Ag 及 Ti 功能性紡織品之潛在暴露劑量(von Goetz et al., 2013)

三、 奈米噴霧形產品

奈米科技對健康與環境影響的評估需要微粒在產品的生命週期中逸散的正確描述。在產品的使用過程中，逸散出的奈米微粒的形式不一定與其添加至產品中的形式相同。除了工程奈米微粒之外，奈米科技的產品可能也含有其他成分都會與微粒進行交互作用，如介面活性劑、穩定劑或增味劑。因此，噴霧形成的奈米微粒的物化特性可能會不同於未經加工的奈米物質。最後，Quadros and Marr (2012) 建議微粒的逸散速度與粒徑分布將可用於風險評估的模式輸入條件。結果可以用來指引在奈米毒性測試所需的相關微粒的度量選擇，同時也可以預測由奈米科技產品逸散出來的微粒暴露量，最後則可提供定法規制定的依據，以確保消費者

的安全。

在消費產品中使用奈米物質已經成為普遍的工業實務(Chuangkrerkkul and Sangsuk 2008, Gleiche et al. 2006, Lloyd's 2007, Mihranyan et al. 2012)，如化妝品或其他產品都廣泛的應用了奈米物質(Fender 2008, Mihranyan et al. 2012, Mu and Sprando 2010, Nohynek et al. 2008)。目前已經證實在使用某些產品時可能會對人體造成奈米物質的暴露(Benn et al. 2010, Donaldson et al. 1998, Hagendorfer et al. 2010, Nazarenko et al. 2011, 2012)，但是暴露的強度與相關的風險仍然未知且需要更深入的研究(Bradford et al. 2009, Keenan et al. 2009, Liyo et al. 2010)。純奈米物質的毒理學在數年內已經成為研究的主題(Ostrowski et al. 2009)。然而，針對奈米科技的產品時，研究界仍無法對相關健康危害潛勢下定論。

當人在使用化妝粉或噴霧產品時，產生的氣懸膠微粒將會進入人體呼吸系統。如果是奈米技術的產品，此時人體吸入的氣懸微粒很有可能攜帶了奈米物質，其形式可能為自由的奈米微粒、團粒以及附著或結合成較大的奈米微粒。在人體呼吸系統中，沉積微粒的尺寸大小與沉積部位的資訊非常重要，因為相同成分的物质會根據其尺寸大小、結構狀態以及吸入後沉積部位不同而有完全不同的毒性、及連帶生物與健康效應(Brunekreef and Holgate 2002, Lee 2011, Nel et al. 2006, Oberdorster et al. 2005, Tsuji et al. 2009, Wardak et al. 2008)。

在Nazarenko et al. (2012)的研究中，作者量化了由含奈米物質的化妝粉所造成的氣懸膠微粒暴露(粒徑範圍由14 nm-20 μm)，並且將三種含奈米物質的化妝粉與三種一般的化妝粉實際的塗抹在人體模特兒的臉上，並同時量測吸入氣膠微粒的濃度與粒徑分布。根據量測的數據，作者計算出最高的吸入性微粒質量發生在粗微粒(2.5-10 μm)的部分，而粒徑小於100 nm的微粒僅貢獻了微量的質量。在所有測試的粉體中，大約有85-93%的氣膠微粒會沉積在頭部區，<10%沉積在肺泡區，<5%的則沉積在氣管與支氣管區。因此奈米微粒對健康效應的研究不僅要考慮肺泡區，還需要考慮其大量奈米物質沉積的呼吸系統區域。

在Quadros and Marr (2012)的研究中，作者量測由含有奈米銀微粒或銀離子的消費性產品所逸散出的氣懸銀微粒的特性，並且建立逸散與產品溶液的關係，最後評估在產品使用過程中的銀吸入性暴露的潛勢。作者建立了一套實驗系統，以

量測三種不同的市售奈米噴霧產品(包括兩瓶 Hunters 生產的除臭劑、AgION 生產的表面消毒劑與 Source Naturals 生產的噴喉劑)所噴出銀微粒的特性。

Quadros and Marr (2012)指出噴霧所產生出的氣膠微粒包含了水、溶質、固體，而部分的水會蒸發直到與氣膠微粒達到平衡，平衡的條件則會與初始微粒粒徑、環境濕度及溶質濃度有關。作者提及產品的液體特性與瓶子的噴霧機制都會影響噴出來的總氣膠粒徑分布，並且從噴霧產品所噴射出銀膠的粒徑與在液相中銀的粒徑分布也不盡相同。由TEM、SEM發現銀膠微粒的呈圓球狀並且非常多樣化，粒徑範圍由13 nm至400 nm不等，但大多數的粒徑都小於100 nm。所有粒徑大於100 nm的微粒都是由數個100 nm左右的微粒團聚而成。根據EDS的分析結果，一些微粒的成分除了銀以外也含有氯的成分。

四、 焚化奈米物質產生之空氣污染

日前為止研究奈米物質於生命週期中製造(production)及戴奧辛使用階段(Dioxins use phase)逸散至環境之相關學說甚多，但在其廢棄處理階段(disposal phase)卻少有人關注。隨著奈米科技廣泛應用，奈米物質無可避免地將進入廢物流(waste stream)。在美國，至少13%的都市固體廢棄物(municipal solid waste)以焚化處理，而比例在一些歐洲國家中更高。如大眾所知，焚化會產生多環芳香烴化合物(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)及多氯二聯苯呋喃(polychlorinated-dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans, PCDD/Fs, 簡稱戴奧辛)等具危險性燃燒副產品。

含氯廢棄物(Chlorinecontaining solids)如塑膠中之聚氯乙烯(poly(vinyl chloride) (PVC))等則占7 wt%之都市固體廢棄物(municipal solid waste)，為形成PCDD/F結構之前驅物。焚化爐的空氣汙染控制系統類型不盡相同，一些燃燒副產品可能以氣體或／和微粒相(gaseous and/or particulate phase)逸散於大氣中。PCDD/Fs於陸地及海洋生態系統會留存(persist)及生物累積(bioaccumulate)。此研究目的為了解焚化廢料中奈米物質對PAH及PCDD/F形成之影響。

利用「焚化」處理含奈米物質之廢料；在高溫、氧化環境下燃燒奈米物質生

成的副產物仍有待研究。該研究報告含二氧化鈦(titania)、氧化鎳(nickel oxide)、銀(silver)、鈾土(Ceria)、氧化鐵(iron oxide)、量子點(quantum dots)及富勒烯(C60-fullerene)等奈米物質之紙張、塑膠廢料，以實驗室規模燃的燒爐(furnace)焚化時產生之 PAHs 及 PCDD/Fs。依廢料類型，廢物流(waste stream)中之奈米物質，多呈現較高濃度 PAH 及其他低濃度逸散物質。產生之主要 PAH 為菲(phenanthrene)及蒽(anthracene)，其逸散受廢料中奈米物質數量影響。一般而言，於廢料中加入奈米物質時，較多 PAH 排放因子(emission factors)並無重大改變。含奈米物質廢料之 PAH 排放因子(emission factors)為其塊材(bulk counterparts)之六倍(如表 3.1.4.3 所示)。聚氯乙烯(Polyvinyl chloride, PVC)廢料中之氯化戴奧辛(chlorinated dioxins)逸散未被檢測出。然而，高濃度之氯化呋喃(chlorinated furans)產生於含銀(silver)及二氧化鈦(titania)奈米物質之廢料中；其中 2,3,4,7,8-五氯二苯並呋喃(2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofuran)為其毒性來源。結合高表面積(high specific surface area)及催化劑(包括電催化(electrocatalytic))兩件特性的結合，奈米物質很可能為影響焚化中生成毒性汙染物之原因之一。

表 3.1.4.3 含有 1 wt% 奈米物質之總 PAH 排放因子(emission factors)與其塊材(bulk form)比較 (Vejerano et al. 2013)

NM	emission factor (mg g ⁻¹ of SW)		ratio of NM/bulk emission factor	specific surface area (SSA) (m ² g ⁻¹)		ratio of NM/bulk SSA	emission factor normalized to surface area (mg m ⁻²)		ratio of NM/bulk emission factor normalized to surface area
	NM	bulk		NM	bulk		NM	bulk	
Ag	7.0	1.0	7.0	7.5	1.0	7.5	0.93	1.0	0.93
NiO	8.3	1.9	4.4	65	0.97	67	0.13	2.0	0.065
TiO ₂	4.5	2.8	1.6	210	11	19	0.02	0.26	0.077
Ceria	7.6	1.4	5.4	40	4.0	10	0.19	0.39	0.49

五、從垃圾掩埋場釋放之奈米物質

滲出水中的工程奈米微粒

Bolyard et al. (2013) 研究工程奈米微粒與垃圾掩埋場滲出水成分的交互作用，以了解工程奈米微粒於滲出水中的行為。研究焦點為 ZnO, TiO₂ 和 Ag 奈米微

粒對生物掩埋過程的影響，及添加奈米微粒後 Zn、Ti 和 Ag 的形態。

滲出水中的奈米微粒之行為，可由鋅、鈦、銀水溶液濃度明顯上升超過背景值的現象得知，主要因為滲出水成份與奈米微粒塗層在相互作用後，導致奈米微粒的分散、溶解/解離或團聚。

研究結果顯示，在滲出水中添加或不添加有塗層的奈米微粒，五天的生化需氧量(BOD₅)與生化甲烷之產率差異不大，表示有塗層的奈米微粒並不影響生物程序，主要原因與滲出水成份交互作用產生的溶解金屬游離離子濃度低所致。

模擬預測化學成份顯示滲出水中的溶解鋅主要與溶解性有機物質結合；鈦則與氫氧化物結合；銀則與硫化氫和氨結合；小於 1 % 的溶解 Zn 和 Ag 以自由離子形式存在，且自由離子的鈦和銀的濃度可忽略不計。

Bolyard et al. (2013)的結論為如圖 3.1.4.8 所示，奈米微粒的特性分析、滲出水粒徑分徑法、BOD₅ 和 BMP 測試和化學成份模擬等提供了垃圾滲出水中奈米微粒的流動性和垃圾掩埋場對生物過程影響。由於加入的奈米微粒與滲出水成分之交互作用，穩定水溶液中的奈米微粒，使液相濃度增加，提升分散性和奈米微粒之溶解性。然而，當滲出水流經掩埋場，大多數液相奈米微粒會團聚成大顆粒且保留在固體廢棄物中。由於垃圾掩埋場滲出水的異質性和奈米微粒特性的變化，在預測垃圾掩埋場奈米微粒的流動性之研究仍有相當的挑戰性。

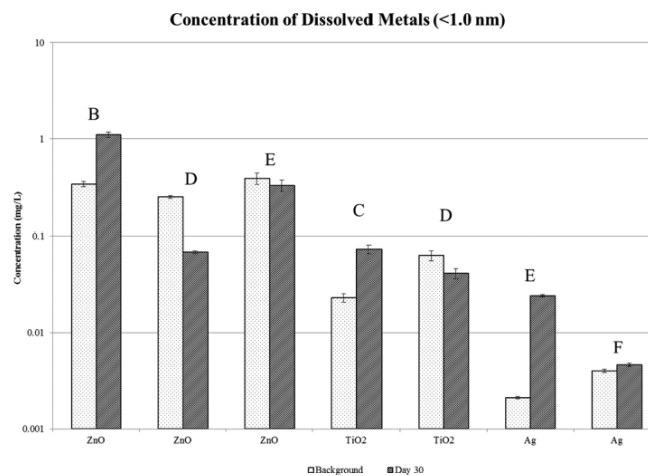


圖 3.1.4.8 比較垃圾滲出水在加入奈米微粒前後的溶解金屬濃度(粒徑比例 < 1.0 nm) (中齡型垃圾滲出水: D,E;成熟型垃圾滲出水: B,C,F) (Bolyard et al. 2013)

固體廢棄物中的奈米碳管

在消費產品業及研究領域上，單壁奈米碳管(Single-walled carbon nanotubes, SWCNT)及其衍生產品已興起為商業價值及技術性高的工程奈米物質(engineered nanomaterials, ENMs)之一。因為其獨特物化特性而具有分子操控(molecular level manipulation)之能力，使其廣泛運用於多種常見的消費產品，如運動用品(網球拍、腳踏車零件等)、光碟、廚具、濾水器及塑膠製品。當這些產品進入其使用壽命終點時，很可能隨家庭垃圾被棄置於都市固體廢棄物(municipal solid waste, MSW)垃圾掩埋場中，此時奈米物質很可能會由棄置的過程中釋出。生命週期評估(life cycle assessment)研究估計約 40%到 78%的 CNT 產品最終會被棄置於 MSW 垃圾掩埋場。垃圾掩埋場中潛在的 SWCNT 釋出對於環境之影響不容小覷。SWCNT 對於環境的危害衝擊為人熟知，水中有機體攝取(aquatic organismal uptake)及毒性研究已指出 SWCNT 會降低細菌生存能力(bacterial viability)。目前固體廢棄物環境中的 SWCNT 傳輸資訊尚有不足，此關鍵性的資料缺口(data gap)尚待縝密評估。

Khan et al. (2013)使用都市垃圾填充的填充床，系統性的評估在垃圾掩埋相關情況下，有機物質種類及濃度對於 SWCNT 傳輸之影響，個別廢棄物質對於 SWCNT 沉積之影響亦屬本次評估範圍。以飽和廢棄物充填管柱(saturated waste-containing column) 模擬晚期及早期滲出水(leachate)一系列的傳輸實驗結果顯示，SWCNT 傳輸於陳腐廢棄物環境十分重要，隨腐植酸濃度(humic acid concentration)降低而降低流動性。乙酸(acetic acid)存在時，SWCNT 的流動性會受到抑制，顯示 SWCNT 於掩埋初期之流動性並不高。SWCNT 的傳輸與介質有關，於玻璃介質中表現最佳，而紙類中為最差，如表 3.1.4.4 所示。本研究首次呈現了廢棄物成分(waste composition)及滲出水如何隨時間影響垃圾掩埋中 SWCNT 的流動性。

表 3.1.4.4 SWCNT 之分散傳輸實驗情況與結果(Khan et al. 2013)

Experiment no.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Porous media	Mixed MSW	Mixed MSW	Mixed MSW	Mixed MSW	Mixed MSW	Paper	Metal	Plastic	Glass
Organic	HA	HA	HA	HA	AA	HA	HA	HA	HA
Organic conc. (mg TOC/L)	400	200	50	10	400	50	50	50	50
Ionic strength (mM NaCl)	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Dispersion EPM ($10^{-8} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$)	-2.95 ± 0.54	-2.64 ± 0.44	-2.94 ± 0.56	-2.93 ± 0.54	-1.81 ± 0.39	-2.66 ± 0.41	-2.72 ± 0.39	-2.67 ± 0.42	-2.63 ± 0.40
Packed length (cm)	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02
SWNT conc added (mg/L)	22.20	22.13	21.80	21.73	22.33	21.73	23.53	21.07	21.60
Column pore volume (mL)	11.40	11.40	11.40	11.40	11.40	11.20	35.40	20.10	19.00
Porosity	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.90	0.51	0.48
Avg. travel time (h)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.59	0.34	0.32
Pore velocity (m/h)	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.43	0.14	0.24	0.25
SWNT introduced (PV)	7.89	7.89	7.89	7.89	7.89	8.04	2.54	4.48	4.74
Effluent SWNT recovery (% wt)	69.46	62.62	49.39	8.19	5.75	19.51	76.67	87.65	92.61
SWNT retained (% wt) ^a	30.54	37.38	50.61	91.81	94.25	80.49	23.33	12.35	7.39
SWNT release (Step C) (% wt. of eluted particles) ^b	BDL	BDL	0.15	18.57	6.30	4.73	BDL	BDL	4.47

^aCalculated based on effluent and influent SWNT mass; ^brelease is based on recovery; BDL=below detection limit; HA=humic acid; AA=acetic acid; TOC=total organic carbon.

六、其他可能釋放奈米物質的產品

Zimmermann et al. (2012)指出有機光伏太陽能電池(OPVs)為具發展潛力之再生能源，其生產過程低耗能，資源使用量低，且在使用期間不會排放溫室氣體。與矽作為主要材料的太陽能電池相比，有機光伏太陽能電池重量較輕、具半透明性及機械柔韌性等優點。為了探討有機光伏太陽能電池在使用階段(例如：紫外線光和生物降解特性)和生命週期終點(例如：焚化和廢物處理)釋放物質到環境中的可能性，該研究彙整了生物利用度、生物累積性、生物降解性及環境毒性等領域的資料(圖 3.1.4.9)，結果發現，目前仍缺乏有機光電流太陽能電池主要元件及其降解/轉化產物之宿命、行為及潛在環境毒性等的相關知識。到目前為止，尚無證據顯示有機光伏太陽能電池的風險，也尚未有任何關於回收有機光伏太陽能電池的政策和程序在推動。但是當大規模使用有機光伏太陽能電池時，在其生命週期末端若未經妥當處理，可能會對環境造成不良影響。

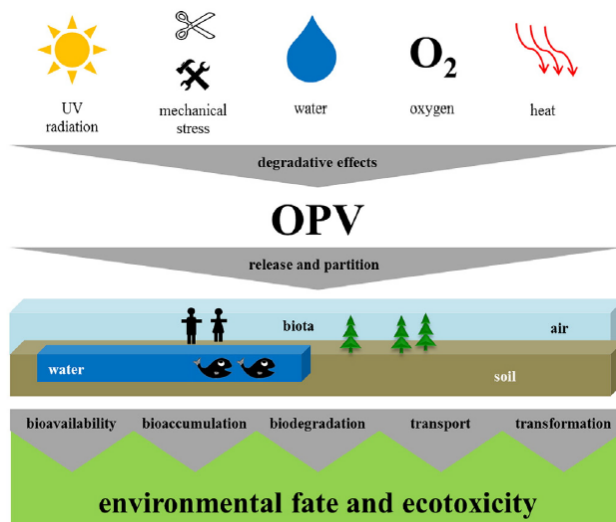


圖 3.1.4.9 不同因素導致有機光伏太陽能電池(OPVs)的物質衰減及釋放危險物質到環境中(Zimmermann et al. 2012)

在該研究中所討論的典型有機光伏太陽能電池，都是使用奈米級的氧化銦和氧化錫(indium oxide and tin oxide, ITO)、(6,6)苯基 C61 丁酸甲酯((6,6)-phenyl C61 butyric acid methyl ester,PCBM)、氧化鋅(ZnO)及二氧化鈦(TiO₂)等微粒作為其組成之成分。表 3.1.4.5 中為該研究在假設某些條件下，計算 OPV 電池中各種成分每年的最大生產量及報廢量。有鑑於此，許多學者已針對 OPV 使用時釋出的奈米微粒，在廢水及廢水污泥中進行研究(Brar et al. 2010, Kiser et al. 2009, Musee 2010, Westerhoff et al. 2011)，但結果顯示尚無有效的方法可處理此類奈米廢棄物。此外也仍缺乏 ITO 宿命及毒性資訊的相關知識。

表 3.1.4.5 在假設某些條件下，以計算的方法預測有機光伏太陽能電池內各種成分每年製造及報廢的最大數量(Zimmermann et al. 2012)

OPV component	Layer thickness [nm] ^a	Mass per m ² [g] ^b	Mass per 400 km ² [t]
PET (front and back layer)	175,000 (2×)	245 (2×)	98,000 (2×)
ITO	120	0.8544	341.8
PEDOT:PSS	40	0.0400	16.0
P3HT (1:1 blend with PCBM)	220 (0.5×)	0.1265	50.6
PCBM (1:1 blend with P3HT)	220 (0.5×)	0.1375	55.0
ZnO	39	0.2188	87.5
TiO ₂	30	0.1272	50.9
Al	100	0.2700	108.0

計算時，OPV電池中各組成成分厚度的假設值及其參考文獻：

(1)PET層厚度 (Krebs et al. 2009)；(2) ITO, PEDOT:PSS, PCBM, P3HT, Al層厚度 (Galagan et al. 2011)；(3)ZnO層厚度 (Gilot et al. 2007)；(4)TiO₂層厚度 (Kim et al. 2006)。

3.1.5 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命

奈米物質的生產與釋出環境量

奈米物質在環境中的傳輸、宿命與風險直接與奈米物質的產量有關，因為由過去人工合成化學物質的生產與對環境的衝擊經驗發現，產品的生產量與該產品被釋放進入環境中的量成強烈正比。去年度，本團隊針對經濟合作發展組織(OECD)的奈米物質工作小組(WPMN)的報告，了解世界各國對奈米物質奈米物質的市場現況調查的情形(ENV/JM/MONO (2011)53--奈米物質的市場現況調查)，是目前全球最具規模與代表性的奈米物質現況資訊，對於了解奈米物質的產出具有參考價值。然而因屬自願性質的參與，該問卷調查各國之回應率除捷克與日本外，普遍皆偏低，也影響其代表性。

Gao et al. (2013)整理了大陸自 2000 年以來的 10 年中，奈米金屬微粒(metallic nanoparticles)的生產與消耗情形。奈米物質是奈米科技的基石，由奈米微粒的產量與使用情形，可一窺中國的奈米科技的市場現況。

中國投資金額超過 100 億美元的奈米物質製造工廠有超過 800 間，然而投資金額低於 8 千萬美元的奈米物質製造工廠卻很少，僅約略超過 100 間。主要生產的奈米金屬微粒是：二氧化鈦(TiO₂)、氧化鋅(ZnO)、氧化鋁(Al₂O₃)、氧化鋇(ZrO₂)與奈米銀。

Gao. et al. (2013)指出，在 2000-2010 年間，每年有超過 2250 萬噸的奈米金屬微粒被以廢水的形式排放到環境中，其中，超過 90%是工業排放；以粉塵形式排放的每年皆小於 10 噸。

根據中國方面估計，在 2017 年，如圖 3.1.5.1 所示，工業界使用奈米物質的消耗金額為 1,000 億美元，預計伴隨產生 1184 萬噸(65.61%)的產量隨工業廢水排

出。此外，還有 615 萬噸(34.12%)隨一般生活污水排出，以生活廢棄粉塵排出占 0.18%，而工業廢棄粉塵排出僅占 0.09%。隨著中國將 PM_{2.5} 的污染納入國家環境標準，未來奈米微粒粉塵的排放將會更受重視。隨著奈米科技的快速發展，可以預見中國大陸的奈米污染問題，未來將面臨更嚴峻的挑戰。

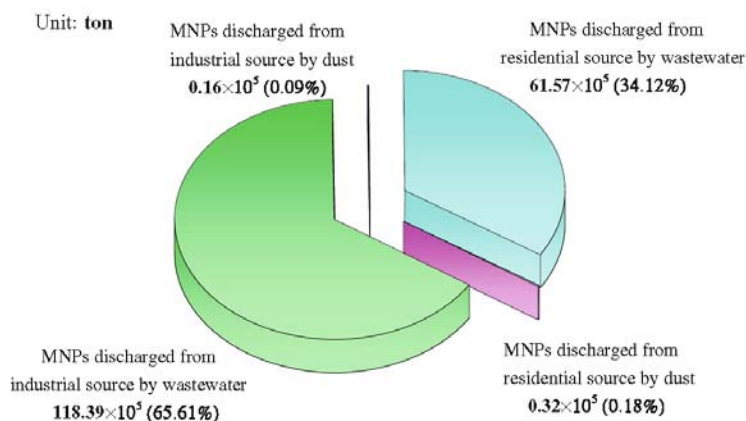


圖 3.1.5.1 2017 年中國大陸奈米物質釋放於環境中的估計情形 (Gao et al. 2013)

奈米物質在環境中的轉化(transformation)

由於奈米技術領域的持續快速增長並轉化為商業產品，越來越多的奈米物質出現於生物圈中。工程奈米物質的製造包括至少有一個尺寸是奈米級尺度（約 1-100 奈米）。自然發生的奈米物質也普遍存在於環境中，其產生包括了自然的過程和人為的影響（如絮凝，奈米級的金屬氧化物的酸性礦山排水等）。奈米物質對環境和人類健康的影響評估，需要了解其潛在的暴露途徑和毒性作用，急性和慢性接觸。至目前為止，主要研究的重點在於確定未經加工的奈米物質的宿命、傳輸和毒性特性的屬性。美國國家研究委員會(U.S. National Research Council)最近提出一個有關奈米環境健康與安全(nano EHS)研究的新架構，建議相關之研究應聚焦於了解「奈米物質交互作用的關鍵元素」，這些關鍵元素包含了會影響奈米物質最終耐受度、生物有效性、反應性與毒性等之物理、化學與生物轉化作用，如圖 3.1.5.2 所示。奈米物質一般需要有表面包覆劑(capping agent)或穩定劑(stabilizer)以避免顆粒的團聚維持奈米狀態，通常是小的陰離子或聚合物，包含生物性或非生物性的物質，可生物分解或不易生物非解的穩定劑皆有。因此，在討論奈米物

質的環境議題時，這些表面修飾劑的影響是需要被納入的。

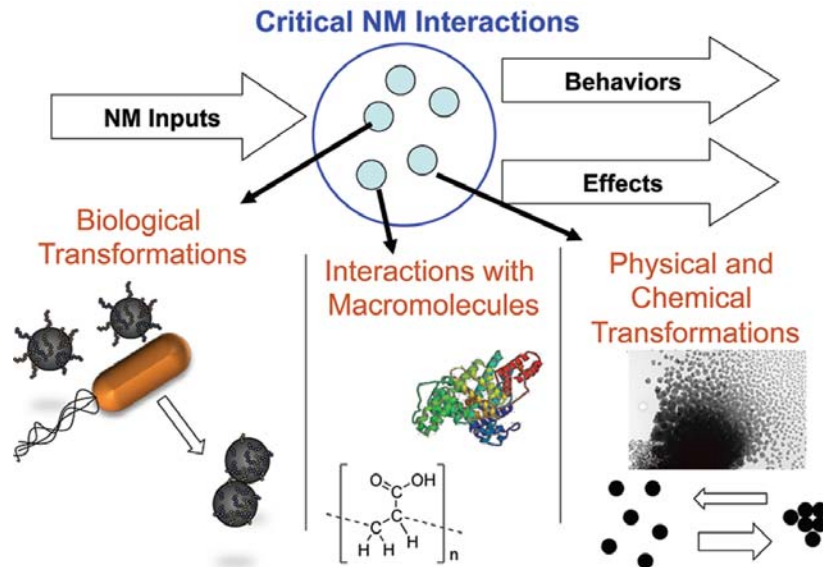


圖 3.1.5.2 奈米物質的轉化作用是影響奈米物質交互作用的關鍵程序。轉化作用包括：物理、化學、生物作用以及奈米物質和(生物性)巨大分子間之交互作用等 (Lowry et al. 2013)

在奈米物質轉換的化學程序上，自然系統中的氧化和還原過程牽涉電子的轉移是最重要的化學程序之一。零價金屬、氧化性金屬、量子點可被氧化或還原或溶解於水中生成離子或反應性氧物種(reactive oxygen species, ROS)，富勒烯能被光解作用、臭氧等氧化成過氧化富勒烯或羥基化富勒烯，CNT 則可被催化氧化。這些反應對奈米物質的降解有關係，也因此了解其反應動力學有助於了解這些材料在環境中的宿命。某些情況下，氧化可能會導致相對性不溶物在奈米微粒表面的累積而減少氧化，還具有高容量結合離子的金屬氧化物相。在其他情況下，例如，銀粒子，將零價銀氧化成氧化銀需要溶解和釋放殺菌性的銀離子。陽光催化氧化還原反應（光氧化和光還原）可能被證明是影響奈米物質塗料非常重要的轉化過程，氧化狀態產生的活性氧（ROS）。許多奈米物質將成為天然的光敏性（例如，氧化鈦和奈米碳管），當暴露在陽光下有可能產生活性氧。溶解和硫化是影響奈米微粒表面性能的重要流程。從 B 類的軟金屬陽離子（例如，銀，鋅，銅）製成的奈米物質，因為它們形成部分可溶的金屬氧化物，以及它們與無機和有機硫化物

配體具有很強的親和力。大分子或有機和無機配體的奈米物質表面吸附可以顯著地影響其表面的化學在生物和環境系統產生的行為。例如，吸附的聚合物塗層對奈米微粒通常會降低其附著於矽表面，意味著更大的流動性會降低飲用水的處理。如圖 3.1.5.3(a)所示，表面以阿拉伯膠(gum arabic)修飾穩定之奈米銀可因光分解作用而使阿拉伯膠被分解導致粒子的團聚作用發生，另外，氧化作用也會使其釋出具殺菌效果之銀離子，並在表面形成氧化銀之殼核結構。由於銀與硫的化學鍵結力強，當奈米銀排放至環境中，很容易與硫形成硫化銀之奈米科之奈米科顆粒，這些都是透過氧化還原之化學作用造成。

在物理轉化作用方面，奈米微粒的團聚(aggregation)會降低的表面積和體積的反應性，是最主要的物理性作用，由於顆粒總體規模的增加，影響他們在多孔介質中的傳輸、沉澱、反應、吸收的有機體和毒性。團聚現象包含兩種形式：均相團聚(homoaggregation)與異相團聚(heteroaggregation)，前者是同類奈米微粒的聚集，後者是奈米微粒與環境中其它顆粒的聚集。一般而言，在環境中，異相團聚發生的機會較高，除了會造成顆粒粒徑的增加與移動性的降低外，也會使奈米微粒的行為傾向於較大顆粒(如黏土)的行為。由於團聚作用會造成有效表面積的下降，因此將降低顆粒的反應性，進而降低其毒性，不過由於團聚顆粒的保護效果較佳，故使顆粒在環境中的存留耐受性提高。團聚使奈米微粒的生物可利用性造成影響，因為顆粒變大，使的它不在容易進出細胞膜，不在容易被生物體所吸收。圖 3.1.5.3(b)顯示，奈米微粒的均相團聚使顆粒粒徑增加，原有之光化學作用能力將降低；透過異相團聚使奈米微粒與較大顆粒結合，固定於環境介質表面，或在其表面形成團聚現象。

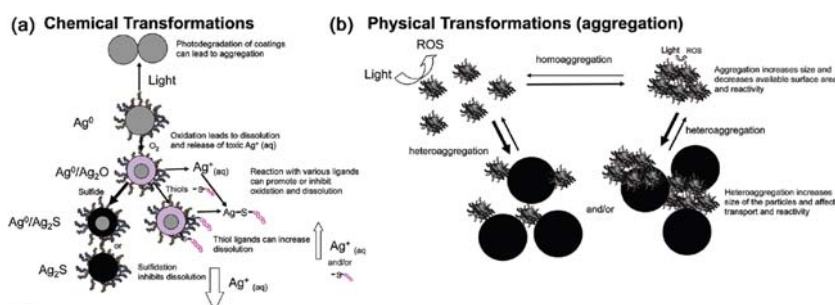


圖 3.1.5.3 (a)奈米零價銀的化學轉化作用與(b)奈米微粒在環境中的團聚作用 (Lowry et al. 2013)

生物媒介的反應皆與氧化還原反應(redox)有關。Lowry et al. (2012)指出，細菌與自然界自行生長的奈米氧化鐵的氧化還原反應已被研究的相當清楚。地桿菌屬(Geobacter)和希瓦氏菌屬(Shewanella)這類目前研究最系統的鐵呼吸菌屬，已被證實可在溶液中還原銀離子生成奈米銀微粒。奈米物質的內核與表面修飾物的生物媒介轉化作用是可能的，且這些可能的轉化會影響奈米物質的行為，包括：表面電荷、團聚狀態、反應性等，最終會影響它的傳輸、生物有效性與毒性。透過生物系統的辣根過氧化酶(Horseradish peroxidase；HRP)生成氫氧自由基，已被證實可氧化或羧基化(carboxylation)奈米碳管。這類的氧化作用可增加奈米碳管的表面電荷，穩定奈米碳管使其不致團聚，同時降低其疏水性。

應用於生物醫療的高分子表面修飾奈米物質的生物轉化作用也是可能發生的。例如以聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG)為表面修飾劑的奈米物質是具備生物有效性的，聚乙二醇的生物轉化作用會造成奈米材料團聚。然而，奈米物質的最關鍵的生物轉化作用，或許是生物性巨大分子(biomacromolecules)吸附在材料表面。

環境中有各式各樣的生物性巨大分子，包括：蛋白質、天然有機物(Natural Organic Matters, NOM)等。當這些生物性巨大分子附著於奈米物質表面時，這些分子可能與奈米物質的表面發生轉化作用。很多蛋白質與其他巨大分子會有效地且不可逆地吸附在奈米物質上，也因此決定了部分的奈米物質的「特性」(如尺寸、電泳能力、表面組成等)以及後續在環境中的行為與生物反應。這類的生物性巨大分子也提供了奈米物質一個進入細胞的途徑。另外，生物性巨大分子會影響奈米物質的溶解速率、反應性氧物種(ROS)的生成量與決定它在生物體內的宿命。

當奈米物質被排放到環境後，它們會與自然界的生物性巨大分子或地質性巨大分子(geomacromolecules)包括：蛋白質、多醣體(polysaccharides)、腐植質進行反應。因為自然界的 NOM 濃度比奈米物質的濃度高出了很多的數量級，因此很有可能改變工程奈米物質的特性與行為。大部分關於「奈米物質—天然有機質交互作用」的研究，主要是利用腐植質來進行。它們可以單層(薄的)或多層(厚的)的型態結合。他們之間的結合性及厚度大小，會與顆粒的性質及環境條件(酸鹼度、離子強度等)有關。NOM 在這當中扮演著複雜的角色，可能透過電荷穩定或

立體空間的穩定，達到奈米物質的穩定效果；另一方面，也可能透過架橋作用造成去穩定的膠凝的效果。

NOM 附著於奈米物質表面會影響奈米物質與環境介質表面的吸附關係，這樣的結果可能會造成奈米物質間的同質性團聚(homoaggregation)或是奈米物質與環境介質間的異質性團聚(heteroaggregation)。然而，關於這方面的研究並不容易。此外，奈米物質(如奈米銀、奈米鐵及富勒烯)與 NOM 的交互作用被證實會降低短期的細菌毒性，同時增加在生物膜的生物累積性。其原因可能與這些巨大分子的遮蔽效應(masking)有關，或許是表面吸附或許是減少顆粒的溶解。NOM 已被證實可改變材料的表面化學特性如氧化還原電位，進而影響材料的毒性或作用機制。

工程奈米物質(Engineered Nanomaterials, ENMs)獨特的工程特性可能對環境產生潛在影響，因此其轉化及環境宿命為熱門研究焦點。目前已有許多方法應用於研究工程奈米物質在水體及陸地環境所產生的複雜交互作用與轉化過程。

然而從環境基質中檢測、分離及分析工程奈米物質仍存在許多挑戰。Sekine et al. (2013)介紹一項工程奈米物質現址研究的新穎技術，如圖 3.1.5.4 所示。此方法藉由表面改質的奈米銀微粒(AgNPs)及電漿沉積聚合薄膜(plasma-deposited polymer films)之間的官能交互作用，固定奈米銀微粒的固體載體可佈置於現場採樣並取回實驗室作分析。

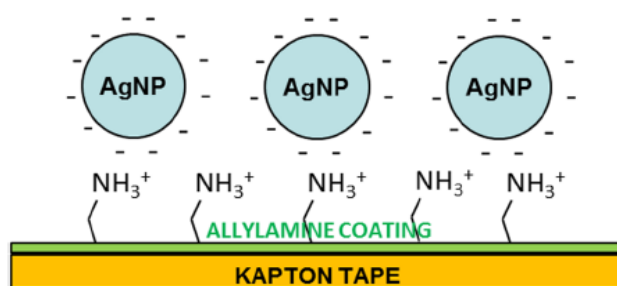


圖 3.1.5.4 奈米銀微粒經由靜電吸引固定在沉積聚合薄膜表面之示意圖 (Sekine et al. 2013)

此研究在澳洲南方地區選擇兩個地點佈置固定化奈米銀微粒的檢測設備，分別是阿德雷德北部郊區附近的湖泊，及鄰接聖文森特灣的碼頭防波堤。該研究利

用帶負電的檸檬酸或聚乙二醇，或是帶正電的聚乙烯亞胺架接奈米銀微粒檢測器，佈置在上述兩個標準生態毒性介質的湖泊及碼頭，及在原下水污泥中 48 小時。

透過 X 光吸收光譜(XAS)及掃描式電子顯微鏡/元素分析(SEM/EDX)可直接分析奈米銀微粒在不同環境下暴露後的化學及物理轉化。Sekine et al. (2013)指出胱氨酸或穀胱甘肽鍵結的銀為銀工程奈米物質轉化後的主要形態，但在不同的暴露條件及表面帶電量下可觀察到不同程度的轉化。

這些結果成功地展示了使用固定工程奈米物質檢驗在現址真實環境中可能的轉換之可行性，並提出奈米銀微粒短期環境宿命的進一步見解。

奈米物質的穩定與傳輸

奈米微粒的穩定機制(靜電力穩定及空間阻隔穩定)與表面改質劑(capping agents)是主要影響奈米微粒在環境中傳輸的因子。學者利用不同的表面改質劑去修飾奈米銀，使其穩定性可被區隔為靜電力穩定性奈米銀及空間阻隔穩定性奈米銀等兩大類(如表 3.1.5.1 所示)，其中，H₂-AgNPs 為未經表面修飾的奈米銀、Citrate-AgNPs 是以檸檬酸修飾之奈米銀、PVP-AgNPs 是以 PVP 修飾之奈米銀、BPEI-AgNPs 是以具分支狀 PEI 修飾之奈米銀。同時，利用不同填充介質去測試這些奈米銀在管柱中的傳輸行為的差異，使用之填充介質包括：石英砂、以含水氧化鐵(Fe₂O₃•0.5H₂O, ferrihydrite)塗佈之砂子、以高嶺土塗佈之砂子(kaolin coated sand)，在實驗的條件上都控制在近似範圍，唯一的差異是表面的電性，以含水氧化鐵(Fe₂O₃•0.5H₂O)塗佈之砂子的界達電位是+4.7mV，而以高嶺土塗佈之砂子(kaolin coated sand)的界達電位是-37.0mV，因為前者具有 Fe-OH⁺的官能基，而高嶺土本身即帶負電荷。此外，石英砂的界達電位是-39.5mV。在水力特性上，三種管柱的傳輸皆為傳流作用(advection)所控制。

表 3.1.5.1 以不同分散劑修飾奈米銀懸浮液的特徵 (El Badawy et al. 2013)

AgNPs	stabilization mechanism	SPR wavelength (nm)	properties	
			HDD (nm)	ζ (mV)
H ₂ -AgNPs	electrostatic	417	11.8 ± 1.2	-30.0 ± 0.2
Citrate-AgNPs	electrostatic	420	10.6 ± 1.3	-37.0 ± 0.4
PVP-AgNPs	steric	405	12.3 ± 0.50	-10.0 ± 0.8
BPEI-AgNPs	electrosteric	403	9.70 ± 1.0	+42.0 ± 4.0

^a10 mg L⁻¹, pH 7.0, I = 5 mM NaNO₃.

當奈米微粒在分散穩定的條件下，在不考慮填充材質的化學特性影響，奈米微粒能否在管柱中順利傳輸與水力條件、孔隙大小、顆粒粒徑等有直接關係。本實驗的孔隙小約大 56000nm，而奈米微粒的平均粒徑約 10nm，換言之，應可順利通過管柱。本實驗透過填充介質的表面塗佈處理，使填充物具有不同的電性，奈米微粒與填充介質的電性差異也會成為影響奈米微粒傳輸行為的因素。例如，理論上當奈米微粒表面帶負電而填充介質也帶負電性時，由於電斥力的關係，應該有助於奈米微粒在管柱中的移動性。然而，研究發現，結果之複雜性遠超過預期。

H₂-AgNPs 與 Citrate-AgNPs 的管柱實驗中，如同預期，帶負電的奈米微粒在同樣是帶負電的填充介質管柱中的移動速度較快，在帶正電的含水氧化鐵 (Fe₂O₃•0.5H₂O) 塗佈砂管柱的移動速度最慢，然而，兩種奈米銀顆粒在高嶺土塗佈砂管柱中都發生阻塞現象，以至於貫穿曲線的出流濃度偏低(如圖 3.1.5.5 所示)。分析其原因發現，出流顆粒的粒徑增加了約 10 倍，造成顆粒於通過填充介質過程中透過篩除作用(straining)被過濾在管柱中，而奈米微粒的團聚原因可能與高嶺土表面氧化鋁層的電荷屏蔽效應(charge screening)降低顆粒的帶電性有關。

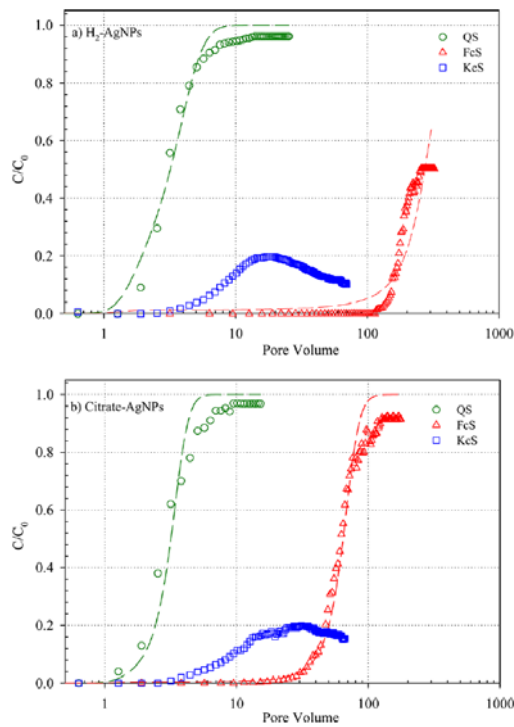


圖 3.1.5.5 H_2 -AgNPs 與 Citrate-AgNPs 在三種不同填充材質的管柱貫穿實驗 (El Badawy et al. 2013)

PVP-AgNPs(空間阻隔穩定，帶負電)在管柱中的傳輸行為與前兩者明顯不同，在表面同樣帶負電的高嶺土管柱中的移動速度最慢，在表面帶正電的含水氧化鐵塗佈砂管柱的移動次之(如圖 3.1.5.6)，此一結果與預期明顯不同，原因應與修飾之分散劑 PVP 對高嶺土有高的親和性有關，遲滯了奈米微粒的移動性。

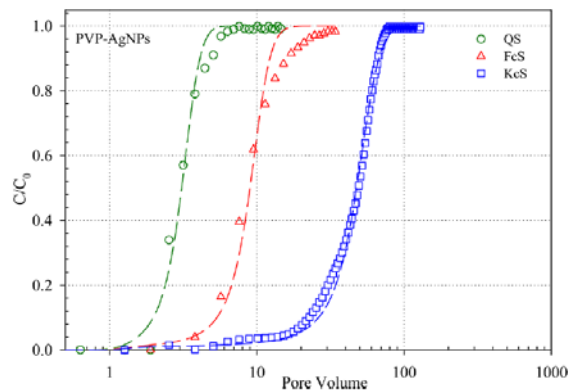


圖 3.1.5.6 PVP-AgNPs 在三種不同填充材質的管柱貫穿實驗 (El Badawy et al. 2013)

BPEI-AgNPs(靜電力穩定，帶正電)在管柱中的傳輸行為與前述之結果完全不同，不論是哪一種填充材質，BPEI-AgNPs 在管柱中的傳輸行為幾乎一致(如圖 3.1.5.7 所示)。其原因可能與表面分散劑 PEI 與填充材質的交互作用有關，PEI 能以靜電作用力吸附於黏土或氧化鐵表面，因此，有可能是 BPEI-AgNPs 在通過管柱的過程中，透過 PEI 的吸附，於填充介質表面形成了一個單層的帶正電的 BPEI-AgNPs 膜，所以當奈米銀顆粒在管柱中的傳輸過程中，皆以彼此的斥力互相排斥，因此能快速的通過管柱中。

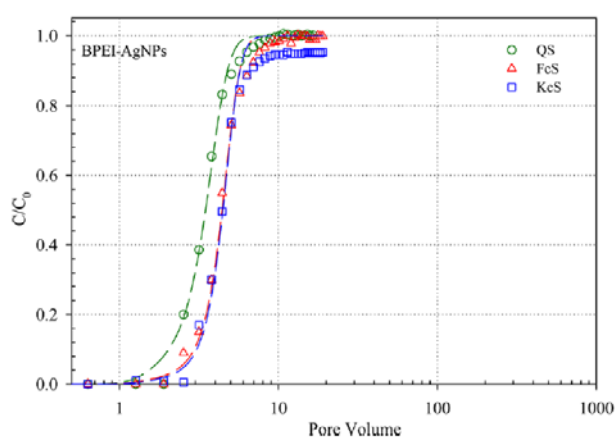


圖 3.1.5.7 BPEI-AgNPs 在三種不同填充材質的管柱貫穿實驗 (El Badawy et al. 2013)

另外，由一維的模式分析發現，在顆粒通過管柱的過程中，擴散作用是主要的控制機制，重力沉降(gravitational sedimentation)與截流作用(interception)皆可忽略。

發展奈米技術的同時，也須量化奈米微粒對環境健康和 safety (EHS) 造成的影響。然而，大部分 EHS 的研究只評估游離奈米微粒的潛在影響，可能無法直接適用於奈米產品中奈米微粒的安全性。Kennedy et al. (2013)評估用於改善燃燒效率的氧化銅奈米球對水中生物的毒性影響，並與氧化銅奈米圓柱體的毒性做比較。

Kennedy et al. (2013)在燃燒情況下，對氧化銅微粒在原始粉體形式(as-received form)下與其粉體含有氧化銅/鋁奈米鋁熱的條件下進行測試。結果顯示，氧化銅奈米球在水體中較穩定且只會緩慢地釋放出離子，而高比表面積的氧化銅奈米圓柱

體起初會釋放較多的離子，且毒性較高，但通常較不穩定。經燃燒後的奈米銅微粒會燒結形成微米級的團聚微粒，在進入水體後沉積於水體底部且與有機質錯合形成沉澱物，因此降低其生物利用度，所以對遠洋生物的毒性潛力較小。

由於較大的奈米鋁熱劑殘渣沉降速度快，在水體中的停留時間較短，因此，具可釋放出較高濃度的溶解性銅離子之潛力，利用模糊網紋蚤(*Ceriodaphnia dubia*)進行毒性測試時，可發現其產生的毒性較同材質的奈米圓柱體和奈米球高(如表 3.1.5.2 所示)。這項研究顯示奈米微粒的宿命和毒理學的重要性，與他們使用中的應用程序有關。

表 3.1.5.2 以模糊網紋蚤(*Ceriodaphnia dubia*)暴露於氧化銅奈米球與奈米圓柱體中，做暴露 24 小時與 48 小時之毒性測試 (Kennedy et al. 2013)

material	total Cu ($\mu\text{g/L}$)	0 mg/L EDTA	35 mg/L EDTA	70 mg/L EDTA	140 mg/L EDTA
(a) After 24-h Exposure					
control (no copper)	<1	93 \pm 12	100 \pm 0	47 \pm 12	0 \pm 0
Cu as CuSO ₄	43	0 \pm 0*	100 \pm 0	73 \pm 12	0 \pm 0
Cu as CuSO ₄	253	0 \pm 0*	100 \pm 0	67 \pm 23	0 \pm 0
CuO nanorod	209	0 \pm 0*	80 \pm 0*	53 \pm 12	0 \pm 0
CuO nanorod	317	0 \pm 0*	33 \pm 23*	93 \pm 12*	67 \pm 12*
CuO nanosphere	488	27 \pm 23	0 \pm 0*	87 \pm 12*	100 \pm 0*
(b) After 48-h Exposure					
control (no copper)	<1	93 \pm 12	93 \pm 12	0 \pm 0	0 \pm 0
Cu as CuSO ₄	43	0 \pm 0*	80 \pm 20	13 \pm 23	0 \pm 0
Cu as CuSO ₄	253	0 \pm 0*	93 \pm 12	0 \pm 0	0 \pm 0
CuO nanorod	209	0 \pm 0*	0 \pm 0*	7 \pm 12	0 \pm 0
CuO nanorod	317	0 \pm 0*	0 \pm 0*	0 \pm 0	20 \pm 20
CuO nanosphere	488	7 \pm 12*	0 \pm 0*	73 \pm 12*	87 \pm 12*

*All concentrations are based on total measurable copper. Asterisks denote statistical significance relative to the control.

Kennedy et al. (2013)的研究提供了進一步證據顯示，金屬奈米微粒產生的生物毒性比相關離子低。而其殘渣基本上不太穩定，且尺寸較大，在水體中的停留時間較短，燃燒後可釋放更多的溶解銅離子。而殘餘物懸浮液中含有較高的離子成分，使得它具較高毒性。儘管如此，大部分殘留物質的粒徑都比較大，所以可預期其移動性較低。

奈米物質的通用性的特性參數(global descriptors)

描述一般化學物質的特徵，通常會使用物質的特性參數如亨利定律常數、蒸氣壓、溶解度、正辛醇-水分配係數(Kow, octanol /water partition coefficients)、吸附

常數等等，這些參數反映出化學物質的主要特性，因此具備可預測性，透過對這些特性參數的了解，可以進一步推測這些化學物質在環境中的傳輸與宿命。然而，對於奈米物質，是否存在這類具通用性的特性參數(global descriptors)可供參考呢？這一直是研究奈米物質在環境宿命中所關注的議題之一。Westerhoof and Nowack (2013) 提出如表 3.1.5.3 所建議，正辛醇-水分配係數(Kow)、固相與水的分配係數(Kd)、附著係數(attachment coefficients)及速率常數包含—溶解、沉澱、降解。

表 3.1.5.3 奈米物質通用性的特性參數建議表 (Westerhoof and Nowack 2013)

測試方法	範例	潛在的宿命與傳輸結果	通用性特性參數 (global descriptors)
溶劑交換 (Solvent exchange)	測量奈米物質在水中的分布量與在溶劑中量的比例	單一係數，指出奈米物質與疏水相物質如土壤、脂肪等之交互作用	Kow
表面親和力	利用填充不同表面塗佈材質的管柱動態實驗	單一係數，介於 0-1，指出奈米物質與不同環境介質表面之交互作用的趨勢	αD (stickiness coefficient)
吸附	離子或 NOM 與奈米物質的交互作用	受界達電位，吸附量因子等改變	Freundlich isotherm $K 1/n$
底泥停留 (sediment retention)	量測奈米物質從水中在土壤或底泥中的停留情形	單一係數，指出奈米物質與環境介質表面之交互作用的趨勢	Kd 或 Kr (retention coefficient)
自我團聚 (self-aggregation)	量測奈米物質在水中存在不同離子組成或 NOM 情況下的團聚動力學	單一係數，介於 0-1，指出水的組成對奈米物質團聚成大顆粒，造成在管柱中沉降的趨勢	αD
靜電斥力	以量測界達電位做為顆粒穩定之指標	界達電位可做為顆粒穩定或團聚的判準	ENET (淨能量障礙)
溶解動力學	量測奈米金屬溶解性隨溶氧、pH、ORP 改變之情形	熱力學條件穩定係數及與表面積相關之動力學速率常數、溶解度限制	K dissolution (溶解速率常數)
風化	模擬光解、溶解、生物分解對奈米微粒之影響	受粒徑、界達電位、組成、表面塗佈等改變	Ki (不同“i”機制下之多重速率常數)

正辛醇-水分配係數

式 3.1.5.1 是用來了解有機化學物質在環境中的宿命最基本的參數。

$$K_{ow} = C_o / C_w \quad (3.1.5.1)$$

碳 60(C60) 富勒烯的正辛醇-水分配係數非常高， $\log K_{ow} = 6.67$ ，另外，Westerhoof and Nowack (2013)指出表面修飾後的富勒烯的 $\log k_{ow}$ 介於-1 到 >2。多壁奈米碳管的 $\log K_{ow}$ 約在 3 左右，然而，腐植酸修飾過之單壁奈米碳管則無法溶於正辛醇中。最近有報告指出，人造奈米物質會受水中 pH 影響，分配於正辛醇與水的介面之間，形成第三層。例如，奈米氧化鐵($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)在 pH 9.7 時，在水、正辛醇、介面間之分配分別為：18%、19%、68%；在 pH 11.1 時，在水、正辛醇、介面間之分配則分別為：42%、44%、12%。此一第三層介面的現象讓傳統的正辛醇-水分配係數在奈米物質的應用上變得複雜。

固相與水的分配係數(Kd)

式 3.1.5.2 為傳統上對固體與水的分配係數。

$$K_d = M_s / M_{aq} \quad (3.1.5.2)$$

固體物可以是土壤、污泥、底泥等， K_d 越大，代表該物質越喜歡吸附於固相上。傳統上， K_d 值與 K_{ow} 值的差異可由有機碳比率(foc)來校正。人造奈米物質的固相與水分配係數與溶解性化學物質的表現不同，Westerhoof and Nowack (2013)利用顆粒的大小、表面電荷、表面修飾等特性來解釋兩者的差異。

溶解度 (solubility)

奈米碳管或富勒烯屬疏水性奈米物質，基本上不溶解於中性水中(富勒烯對水的溶解度為 10-18 M)。大部分金屬類奈米微粒是親水性的，通常具有一定的溶解性，但多屬低溶解度。由細胞毒性的研究發現，一般而言，奈米物質溶解出的離子往往是造成細胞死亡的主因。例如，一般認為屬於不溶性的氧化鋅，在奈米狀態下可於 6 小時內快速溶解出鋅離子濃度達 6 mg/L (pH 7.5)，對大部分水中生物而言，鋅離子濃度超過 5mg/L 便會造成危害。硒化鎘(CdSe)半導體量子點已被證實由於

硒的氧化作用會導致鎘離子的釋出；奈米銀比微米銀的毒性更高，其原因便是奈米銀更容易溶解出銀離子。

如圖 3.1.5.8 所示，奈米物質可分成：生物可分解性類(例如，可生物分解聚合物)、可溶解性類(氧化鋅、氧化鐵、銅、銀等)、不生物可分解不可溶解性類(CNTs、石墨烯、金)。可生物分解聚合物如聚乳酸(polyactide)可被生物分解產生乳酸的等代謝產物。可溶解性的奈米物質其溶解度受水中條件影響如 pH、離子強度、濃度等，也與微生物的不同部位對材料的反應差異有關，因此屬動態的程序。由奈米物質所溶解出的自由離子常常是造成細胞毒性(cytotoxicity)的主因。對於不生物可分解不可溶解性的奈米物質則透過累積作用影響微生物的體內代謝，導致細胞的死亡。

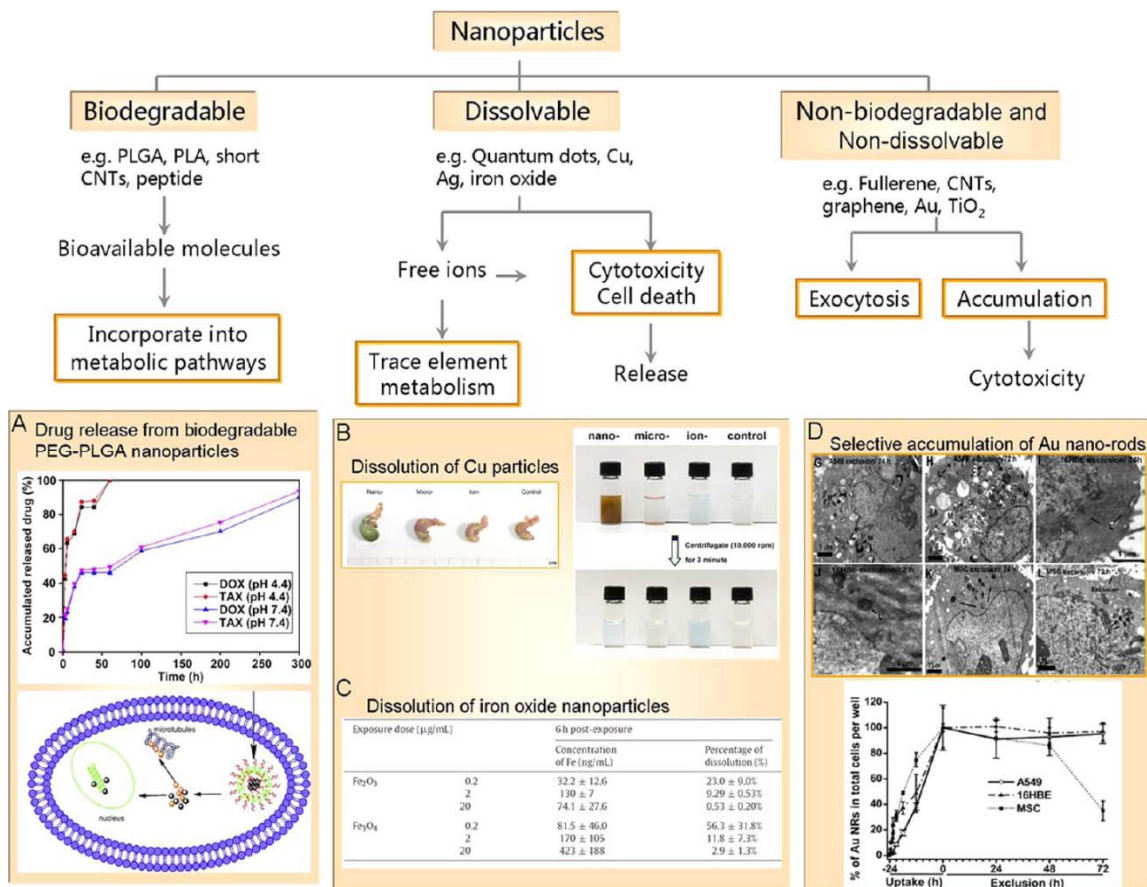


圖 3.1.5.8 不同奈米物質特性對水中生物造成之影響 (Zhu et al. 2013)

奈米物質的團聚作用分為均相團聚 (homo-aggregation)與異相團聚作用

(hetero-aggregation)兩類，前者是奈米物質本身所造成的團聚，後者為奈米物質與環境中其他介質的交互作用所形成的團聚。目前多數的研究多集中在均相團聚，然而，模擬的結果顯示：奈米 TiO₂ 在環境中的團聚現象將以異相團聚為主，均相團聚僅具次要的影響。目前對工程奈米物質在環境中的濃度的一般預期是低於 20 µg/L，表 3.1.5.4 彙整了多種不同的工程奈米物質在不同的水體中的濃度，而天然的膠體濃度在淡水中則約介於 1-20 mg/L，遠遠高於工程奈米物質，在土壤中的濃度更高，在海水中則顯著降低。因此，工程奈米物質與天然膠體的異相團聚作用對工程奈米物質於環境中的宿命便扮演重要角色；然而，由於對工程奈米物質穩定性的實際需要，目前奈米物質的團聚作用研究多集中在均相團聚上，目的是透過合適的分散劑使奈米物質穩定分散於特定溶劑中。

表 3.1.5.4 工程奈米物質在環境中的估計濃度與預測的無害濃度 (Batley et al. 2013)

奈米物質	估計濃度 (µg/L)	水體	預測的無害濃度 (µg/L)
TiO ₂	0.7-16	淡水	40
	< 5-15	廢水處理廠放流水	50
	1-10	淡水	
	< 8	瑞士河川	
n-C ₆₀	0.0005-19	廢水處理廠放流水	7.9
CNT	0.0005-0.0008	淡水	
Ag	0.03-0.08	淡水	40
	0.04-0.32	淡水	1
	< 0.3	瑞士河川	
CeO ₂	0.1-1	淡水	3000

在奈米物質的環境宿命研究中，最具代表性的環境膠體是天然有機質(Natural organic matter, NOM)，包含腐植酸(humic acid)與黃酸(fulvic acid)。由於天然有機質屬巨大分子，很多研究發現在存在 NOM 時，對奈米微粒的穩定性有提升效果，原因是 NOM 提供了空間阻隔效應(steric effect)或靜電力效應(electrostatic effect)。Lowry et al. (2013)發現，分子量較大的 NOM 反而造成奈米微粒的團聚現象。Lowry et al. (2013)說明了奈米物質在環境中宿命的複雜性，富勒烯與腐植酸同時存在時，可有效的分散於水中，然而，當溶液中加入高濃度的氯化鈣時(> 10 mM)，反

而造成富勒烯的團聚。這現象的解釋是鈣離子與腐植酸形成錯合作用，造成「巨大」腐植酸的形成，而這巨大的腐植酸與富勒烯透過架橋作用(bridging effect)，造成混凝現象使富勒烯團聚。

Louie et al. (2013)利用層析技術將 NOM 分離出兩組不同分子量的組成：(A)含有約~1.8 wt %分子量大於 100,000 g/mol (平均分子量 691,000 g/mol)與(B)含有約 98 wt % (平均分子量 12,800 g/mol)的 NOM，比較不同分子量大小的 NOM 對奈米金顆粒團聚之影響。結果發現，大分子量 NOM 對奈米金的穩定作用遠高於低分子量 NOM，原因即是空間阻隔效應的影響。這個研究的重要性是證實即使只有極低的濃度，大分子量的 NOM 在奈米微粒的穩定上有著關鍵的重要性。

在自然環境中，NOM 與奈米物質的比例將高於 10:1，換句話說，與其說是 NOM 吸附於奈米微粒表面，不如說是奈米微粒吸附於 NOM 形成奈米微粒-NOM 的簇群(clusters)或聚合體(aggregate)(如圖 3.1.5.9 所示)。這些討論都是在淡水低離子強度的環境下的研究，在海水中，大部分的奈米物質都將會形成團聚，除非經過特別的表面修飾。

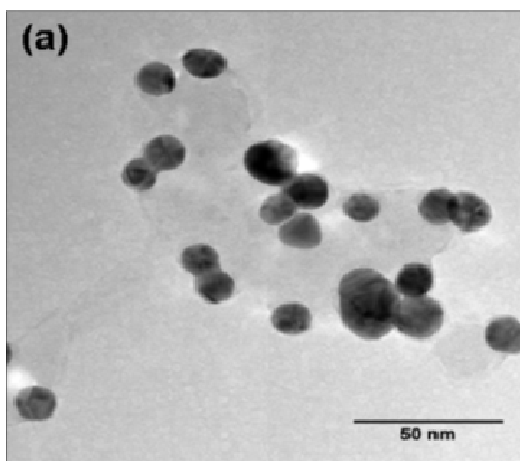


圖 3.1.5.9 疑似由奈米金顆粒與大分子 NOM 形成的奈米微粒-NOM 的簇群 (clusters) (Louie et al. 2013)

奈米二氧化鈦與奈米碳管在水環境中宿命的文獻彙整

奈米二氧化碳與奈米碳管的製造商及製造方法的差異對他們在水環境中的宿命包括：穩定性、團聚作用、沉降性與傳輸能力等，是否會造成影響，Liu et al. (2013)

已針對此議題進行廣泛的文獻回顧。研究發現，球型與長寬比(aspect ratio)低於 1:4 之奈米二氧化碳具有良好之分散性，且在缺乏有機巨大分子時，其團聚作用符合 DLVO 理論。當奈米二氧化碳含有矽與磷的不純物時，其穩定性更加，在孔隙介質的貫穿能力更好。如果存在有機巨大分子或二價/三價陽離子時，將使系統的團聚與沉降作用更形複雜化。

奈米碳管由於高的長寬比，使其在使用 DLVO 理論或過濾理論預測其環境宿命時遭遇更多的挑戰。很多問題尚待釐清，相關之研究成果之文獻整理如下。

表 3.1.5.5 奈米二氧化鈦在水環境中的穩定與團聚作用研究之彙整 (Liu et al. 2013)

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
水解乙醇鈦	原生粒度約 150 nm，晶粒尺寸的順序為 10 nm，DH：270-330 nm (> 90%)	At pH 6.3, 6.7 and 8.4.	IEP: pH 6.1	如果使用一個有效的互動半徑的 DLVO 理論和實驗之間可以得到合理的解釋；此相對應在合成過程中形成的表面晶體尺寸。
控制水解	銳鈦礦 70-100% 與一些板鈦礦和金紅石，銳鈦礦結晶直徑為 5-12nm	At pH 1, 3, 7, 10, and 12	PZC 3.6 nm particles = 4.8, PZC 8.1 nm particles = 6.2	TiO ₂ 的 PZC 奈米晶體大小的變化，尺寸較小，表現出較低的 PZC。因此，pH 值為主的 NP 與表面電位和總和大小彼此相互作用。
溶膠-凝膠法	銳鈦礦 (63.3%) /鈦 (36.7%)，晶粒尺寸：銳鈦礦 5.5 nm 板鈦礦 4.4nm。	At pH 4.5, in NaCl	PZC = 6.8.	二價陽離子可提高奈米 TiO ₂ 聚集在土壤和地表水。包含分支在內的大小為直徑 1-10 μm。
Gaosida Nanomaterial (China)	銳鈦礦，純度：99.9% SSA：32.5 m ² /g，平均粒徑：35 nm	Twelve surface soils from China, at circumneutral pH	PZC: 4.5, potential: -2.0.7 to -25.8 mV at pH 7-9	二氧化鈦在土壤懸液的穩定性和 DOC 及土壤泥土含量呈正相關，但與 pH 值和 z 的電位潛能呈負相關。

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
Sigma-Aldrich	尺寸：15 nm	In 0.01 M KCl, 110 mg/L NOM, pH 7.8	DH: 530 nm, potential:-37 mV	0.01 米氯化鉀誘導的聚集，在 2 小時內，衛生署增加超過 1500 奈米。在 1 mg/L 的 NOM 的存在，二氧化鈦 2 h 內保持穩定，因為 NOM 傳授二氧化鈦表面負電荷。
Aldrich	金紅石和銳鈦，大小：<100 nm (BET)，純度：99.9%	In 20 mg/L SRNOM, TOC: 10mg C/L, IS: 7.5mM NaCl	IEP: pH 4.5	根據 pH 值和 TiO ₂ 負載，NOM 的吸附控制可用二價陽離子或預臭氧化的 NOM。非 XDLVO 分子橋接 Ca ²⁺ 可能是有影響力的。
Sigma-Aldrich, #634662 (StLouis, USA)	將銳鈦礦和金紅石，純度：99.9%，球形和多分散性，TEM 直徑：15-350 nm，19.6 m ² /g	在細胞培養基(RPMI)，含有低含量的氨基酸，維生素，和葡萄糖	Z potential: -16 mV at pH 7.4, DH: 793 nm (5 mg/L) in RPMI media, IEP: pH 2.9	二氧化鈦的聚集率和沉澱率與 NP 濃度增加。 牛胎兒血清 (FBS) 與人血清白蛋白 (HAS) 的存在下二氧化鈦奈米微粒在懸浮液中的穩定性明顯增強。
Nano-Structured & Amorphous Materials, Inc., (Houston, TX)	銳鈦礦正常尺寸為 5 nm	In 1.0 mg/L SRFA, IS = 0.01 M NaNO ₃ , pH 4.0	EPM: 2.2 μm cm/V*s	
Nano-Structured & Amorphous Materials, Inc., (Houston, TX)	銳鈦礦正常尺寸為 5 nm	在 pH 值 2-8, IS= 0.01 M 氯化鈉，SRFA：1-5 毫克/升	PZC: 4.5-5.2	導致 Ca ²⁺ 的二氧化鈦 nm 粒子聚集，即使在存在 SRFA。磷的吸附導致二氧化鈦的不穩定，但僅在 SRFA 濃度低的時候。
Nano-Structured &	銳鈦礦主要大小為 5 nm，SSA：	In 100 mM 檸檬酸，at	PZC: 4.2, 9.7-3.1	檸檬酸的表面覆蓋度是 pH 值的函數，

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
Amorphous Materials, Inc., (Houston, TX)	219 m ² /g	pH 2.0, 4.0, 6.0, and 7.5, IS _{1/4} 0.03 M NaCl	*10 ¹³ citric acid molecules cm ⁻² at pH 2.0–7.5	並隨著 pH 值的增加而減小。平衡後，完全去質子化的檸檬酸根離子存在表面上，與高度酸性溶液的 pH 值無關。
Nano-Structured & Amorphous Materials, Inc., (Houston, TX)	5, 10, 和 50 nm 的銳鈦礦, 10X40 nm, and 30X40 nm 金紅石	In NaCl or CaCl ₂ solutions, pH 7	IEP: 6.0 (5 和 10 nm 的銳鈦礦), 4.4 (10*40 nm 的金紅石), 4.7 (30*40 nm 的金紅石), 和 2.7 (50 nm 的銳鈦礦)	主導二氧化鈦穩定性的因素為結晶度和形態。化學成分，或 Si 和 P 的雜質含量，是主導材料的屬性，該屬性確定二氧化鈦在水環境中的聚集和沉澱。
(1) NanoAmor, (Houston, TX); (2) Alfa Aesar (Ward Hill, MA)	(1) 5 nm 的銳鈦礦 (100%), SSA: 219 m ² /g; (2) 32nm 銳鈦型 (99.9%), SSA: 41 m ² /g	在 pH 值 2 (0.01 N 鹽酸) pH 值 5.5 和 6.5 (25mM 的 MES 和 HEPES 緩衝液)	SSA 加載的基礎上有機酸的吸附量差異極小	5 nm 的二氧化鈦可以聚合程度大於 32 nm 的銳鈦礦的顆粒，和有機酸的存在下，二氧化鈦懸浮液的穩定性不減。
Degussa P25 and Hombikat UV-100	Primary diameter: -21/ <10 nm, SSA BET: 50/>250 m ² g ⁻¹ , for P25 Evonik/UV-100, respectively.	In 1–10 mg/L NOM, 1–5 mM Na ₄ P ₂ O ₇ , 0.1–100 mM NaCl, at 0.01–10 mM CaCl ₂ at pH 3.5–6.5	DH: 293/302 nm, z potential: 20/19.1 mV, PZC: 5.6/4.8, for P25 Evonik/UV-100, respectively	
Evonik Degussa Corp. (#416 8063098, US)	銳鈦礦型 (82%) 和金紅石 (18%), 主要大小: 27 nm。形態: 半	應用不同的環境水域	IEP: 6.2, EPM in 1 mM KCl: 2.37 mm cm V ⁻¹ s ⁻¹),	EPM 的金屬氧化物奈米顆粒以 NOM 和離子強度為主。在許多情況 NOM 吸附於

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
	球, 純度: 98.03, 比表面積: 51.5 m ² /g		particle size in DI: 194 ± 7 nm	奈米顆粒顯著的減少聚集。過渡反應擴散限制聚集發生在一個 EPM 2-0.8 μm cm V ⁻¹ s ⁻¹
Evonik Degussa Corp.(#416 8063098,U S)	銳鈦型(82%)和金紅石(18%), 主尺寸: 30 nm, 形態: 半球, 純度: 98.03, 表面積: 51.5 m ² /g	在氯化鈉或氯化鈣溶液中, IS= 1, 10 和 100mM, 在 pH 值 5, 6, 7, 8 和 9, 10 mg / L 的 SRHA	在氯化鈉或氯化鈣溶液中, IS= 1, 10, 和 100 mM, pH 為 5, 6, 7, 8, 9 和 10 mg/L SRHA	CCC 認證的[Ca ²⁺] / CCC 的[Na ⁺]比值分別為比例係數 z ^{-7.2} 和 z ^{-5.6} 中缺乏和存在 SRHA 的分別。在大多數情況下, SRHA 大幅增加二氧化鈦奈米微粒的穩定性。
Evonik P25 (Evonik Industries, Germany)	銳鈦礦和金紅石(12%)(88%), 純度: 99.9% 主要尺寸: 19.8 nm, SSA(BET): 57 m ² /g 密度: 3.8gc/m ³ , pH 值(40 克/升): 3.6	氯化鈉, 氯化鈣, NOM, 滴定 HCl 或 NaHCO ₃ , 七大天然水樣中的應用	IEP 計劃轉移隨著氯化鈉 pH=5.0 升至 pH=6.5 從 0.1 到 500 M	二價離子的濃度, 聚集行為 pH 值和 DOC 的濃度將是, 影響力最強的參數。
Evonik P25 (Germany)	銳鈦礦(81%)和金紅石(19%), 主 20-30nm (TEM), 尺寸: SSA : 51.5m ² /g (BET), 純度: 98.03%	細胞培養基, 在 50-270 毫米, 與 Na ⁺ , K ⁺ 和 Ca ²⁺ , Mg ²⁺ 的, PO ₄ ³⁺ , SO ₄ ²⁺ 和 Cl ⁻	在 DI, Z 潛力: 30.2 毫伏, DH: 209 nm; 在細胞培養介質, DH : 770-1052nm, Z 潛力: 10 nV	牛血清白蛋白(BSA)的穩定性提高了二氧化鈦在細胞培養介質, 和磷酸鹽的關鍵因素之一。胎牛血清(FBS), 是由於它的多種蛋白質的協同效果的有效藥物。
P25, Evonik Degussa GmbH (Germany)	正常主要尺寸: 21 nm	新鮮的 (pH 值 5.0 和 6.1) 和鹹水 (pH 值 8) 自然水域, TOC: 4.1-6.1mg/L 1, 10 和 100mg/L NP	DH: 200 nm in brackish water	在鹹淡水域的聚集率明顯高於初始濃度較高的二氧化鈦。(100 毫克/升)。聚集 NP 濃度, 離子含量, 有機物質和 pH 的影響。

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
P25, Degussa, Germany	非多孔球體, 直徑 30nm, SSA: 35-45 m ² /g	SRFA, IS= 5 mM 氯化鈉, 在 pH4, 6, 和 8。	At 0/1.5 mg L ⁻¹ SRFA, z potential I: 19.2/ -35.0, -28.8 /-42.7, And -31.4/-45.6 at pH 4, 6, and 8, respectively	由於正電荷增加鐵(III)穩定二氧化鈦奈米微粒在 pH 值為 4, 但在 pH 為 6 和 8, 由於橋接不穩定而聚集。SRFA 增強聚合在 pH=4, 在 SRFA 與 Fe(III) 的存在下較高的 pH 值能穩定奈米顆粒。
P25, Evonik Degussa (USA)	銳鈦和金紅石(18%)(82%), 主要尺寸: 27 nm, SSA: 51.5 m ² /g, 純度: 98.03	At pH 6.3, C: 100 mg/L in NanoPure water	DH: 250 -300nm, EPM: 2.37*10 ⁻⁸ m ² /V/1, IEP: pH值 6.2	陽光與超音波可能部分破壞 TiO ₂ 簇群的團聚。溫度改變的循環在加熱程序中會破壞壓密簇群的團聚, 在冷卻程序中會使顆粒再團聚成較鬆散的結構。
P25, Evonik Degussa (USA)	銳鈦和金紅石(18%)(82%), 主要尺寸: 27 奈米, SSA: 51.5 m ² /g, 純度: 98.03	In NaNO ₃ , pH =4, and 8	DH: slightly >200 nm, IEP: pH 6, CCC: 25 mM (pH 4), 10 mM (pH 8)	在 pH 為 4, montmorillonite 降低兩個帶正電荷的二氧化鈦奈米顆粒的穩定性。這種強化混凝只發生在中間的 IS 範圍。
Degussa P25, Evonik	銳鈦礦(86.9%)和金紅石(13.1%), 主面積: 20-30 nm (XRD 或 SEM)	水楊酸濃度: 5-10 ppm 時, pH 值: 11	DH: 100 -130 nm (pH 值: 11), IEP: pH 值 5.7 和 5 (有/無水楊酸)	水楊酸被證明能夠抑制二氧化鈦奈米微粒的聚集。以 DLS 測定雲母表面上的聚集體的尺寸小於流體動力學尺寸。

表 3.1.5.6 奈米二氧化鈦在水環境中的沉降與傳輸作用研究之彙整 (Liu et al. 2013)

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態, 組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
控制水解	主要是銳鈦礦(70 - 100%)與一些板鈦礦和金紅石, 銳鈦礦結晶直徑為 5-12 nm	pH 1, 3, 7, 10, and 12	PZC 3.6 nm particles = 4.8, PZC 8.1 nm particles = 6.2	pH 值、表面電位和團聚粒徑, 主宰 NP 表面上相互作用。
Altair Nanomaterials Inc. (Reno NV)	銳鈦礦主要尺寸 40 nm	300-425 毫米的球形矽玻璃珠 (Particle Technology Ltd., Hatton, UK), : 0.01 M, pH 值 7.0	PCS size: 198 nm, EPM: $-0.27 * 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, PZC: 6.1	觀察到二氧化鈦奈米微粒/聚集的運輸速度的函數, 這與預測的粒子沉積是一致的, 在粒子輸運理論和恆定附件效率因素的基礎上。
Anatase, Gaosida Nanomaterial (China)	純度: 99.9%, SSA: $32.5 \text{ m}^2/\text{g}$, 平均粒徑: 35 nm	Twelve surface soils from China, at circumneutral pH	PZC: 4.5, z potential: 20.7 to 25.8 mV at pH 7-9	TiO ₂ 的一個重要部分 (18.8-83.0%) 通過土柱, 其中包含大尺寸的土壤顆粒在低 IS。較高的粘土含量和鹽度的土壤可讓二氧化鈦明顯保持住。
Alfa-Aesar 39953, 在 pH=2.5, 用 HCl 酸化, 上清液取樣。	主要是銳鈦礦與 trace quantity of rutile, 主要尺寸: 32 nm, 面積: $47.6 \text{ m}^2/\text{g}$	在 pH 值為 4, 6 或 8 位; IS=1, 10, 40, 和 100mM NaCl 的石英砂 (natural sand of Mios, France)	IEP: pH 5.5, z potential: -40 to -12 mV (at pH 8, IS: 10^{-4} to 1 M)	
NanoAmor (Nanostructured & Amorphous Materials, Inc.)	正常尺寸: 5 nm	IS ? 1-100 mM NaNO ₃	DH: 350-750 nm, (depending on IS and pH), DFCS: 7-189nm, DAFM/TE M: 30 nm, PZC: 5	由 QCM-D 測量頻率和斜率, 二氧化鈦沉積到二氧化矽行為, 有良好的定性與經典的 DLVO 理論一致在 pH 3 和 9。

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態,組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. (Houston, TX)	銳鈦礦, 正常尺寸:10 nm	羧甲基纖維素鈉(CMC) (重量比: CMC/TiO ₂ :100), 石英砂(290 毫米, 美砂膠, IL), 孔隙度:0.32	IEP: pH 5.6 to 2 upon addition of CMC, DH: 162/239 nm in 1/10 mg L ⁻¹ TiO ₂	CMC-二氧化鈦的流動性是由非晶形的 Fe、Al 氫氧化物、Na ⁺ 和 Ca ²⁺ 而延緩。膠體化學的相互作用如化學錯合, 配位體交換最重要的因素。
Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. (Houston, TX)	金紅石正常尺寸:10、40 nm	在 pH 值 6.0, 氯化鈉或氯化鈣。渥太華砂(二氧化矽) 250-300 毫米大小, 在 12 N HCl 浸泡在 800 度	z potential: 47.5 to 28.5 mV at 0.003-1.00 mM IS (in NaCl), or 29.9 to 20.3 mV at 0.015-0.06 mM IS (in CaCl ₂)	
Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. (Houston, TX)	金紅石正常尺寸:10、40 nm SSA: 155.11 m ² /g	IS: 3-200 mM NaCl, SRHA: 0-10 mg/L, at pH 5.7 and 9.0	Uptake of SRHA: 0.042-0.575 mg m ⁻² at 3-100 mM IS, 1-10 mg/L SRHA at pH 5.7. At pH 9.0, very small adsorption of HA even at IS > 60 mM	在 pH5.7 二氧化鈦的運輸顯著增強, 甚至 1mg/L HA。相比之下, 這個增強的傳輸性被限制在 pH 9.0, 由於 HA 可以忽略吸附。NOM 和 pH 可能是支配二氧化鈦在自然的環境中出現的穩定性和流動性的關鍵因素。
(1) Nanostructured & Amorphous Materials, Inc. (2)Vive Nano	(1) 銳鈦礦型, 5 nm (TEM), 純度: 99%, (2) 聚丙烯酸塗層, 為 3~4 nm (TEM), 純度: 84%	In NaNO ₃ with IS of 0.1-1000 mM, or in 1-10 mM CaCl ₂ , at pH 7 (by 1 mM MOPS).	(1) DH: 128-1001 nm, DNTA: 155-316 nm, EPM: 1.60 to 0.954 108 m ² /V ⁻¹ s ⁻¹	純二氧化鈦奈米微粒表現出較高的保留飽和基質在低 IS 0.1mM 硝酸鈉和顯示動態行為。相比之下, 聚合物塗層的二氧化鈦奈米微粒幾

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態,組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
		Quartz sand with a d50 of 256 mm (Sigma-Aldrich)	at IS of 0.1–100 mM; (2) DH: 18–214 nm, DNTA: 100– 108 nm, EPM: 2.38 to 1.48 108 m ² V ⁻¹ s ⁻¹ at IS of 0.1–1000 mM, pH 7	乎都匯集,並表現出顯著的運輸潛力高達 100 mM 硝酸鈉或 3 mM 氯化鈣。
(1) Synthesized by an acidic peptization process; (2) Aeroxide P 25 (Evonik Degussa Corp. Parsippany, NJ)	合成二氧化鈦:非晶型, P25: 銳鈦礦 (86.5%), 金紅石 (13.5%), 球形, 主要尺寸: 20 nm (兩者)	In 0.9 mM NaCl at pH 6.0 and 10.0. Ottawa #12 Flint silica sand, d50: 529 mm (U.S.Silica), porosity: 0.36	DH, synthesized: 60 nm; DH, P25: 446 nm in DI, at pH 6.0. IEP: pH 6.6 and 6.7 for synthesized and P25 TiO ₂ , respectively	合成的二氧化鈦是更穩定的 P25 二氧化鈦相比, P25 二氧化鈦沉積在 streambed 用比合成的二氧化鈦更快的速率。
Aeroxide P 25 from Evonik Degussa Corp. (Parsippany, NJ)	銳鈦礦型 (80%) /金紅石 (20%), 純度: > 99.5%, 密度: 3.8 克厘米 ³ , SSA (BET): 50 平方米克, 粒徑為 21 nm	At pH 7 and 9, in Triton X-100 and/or DSBS	At pH 7/9, z potential: 20.0/16.8, 21.2/17.6, and 11.6 /19.2 mV for no surfactant, in Triton X-100, and in SDBS, respectively	靜電和立體排斥作用與二氧化鈦聚集體的大小和流速的影響二氧化鈦在 pH 為 7 和 9 的輸送距離。
Aeroxide P 25 from Evonik Degussa Corp. (NJ)	主尺寸: 21 nm (供應商), 透射電子顯微鏡 (TEM) 尺寸: 5–45 nm, 大部分在 10–25nm 範圍內, 球形形狀	IS: 1–20 mM KCl, pH 5, and 7. NP conc.: 100–800 mg/L. Ultra-pure Iota quartz of	IEP: pH 6.2	組合機制, 包括拉緊, 阻斷和 DLVO 型力量的參與範圍有溶液化學和 NP 濃度測試。

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態，組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
		275 mm (Unimin Corp., NC), flow rate: 1.9, and 9.5 X 10 ⁴ m/s		
Aeroxide P 25 from Evonik Degussa Corp. (NJ)	異硫氰酸螢光素異構體，主尺寸：17.7 nm 的奈米微粒標記	NP: 10 mg /L, injection: 0.47 m/h, in 10 mM KCl and CaCl ₂ at pH 5, and 7, SRHA: 1 mg/L, Iota quartz	EPM: 1.18, and 1.37x10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ at pH 5 and 7 in 10 mM KCl. PM: 2.78 , and 2.54 10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ at pH 5 and 7 in 10 mM KCl + SRHA.	TiO ₂ 的 NP 沉積的程度如下：無 NOM 或無細菌 > 細菌 > NOM > 合併細菌和 NOM。鈣離子的相互作用中發揮了重大的作用，促進形成大群體。
TiO ₂ labeled with fluorescein isothiocyanate (FITC)	主要大小：17.7nm，70% NP 介於 10 – 20 nm	IS: 1–100 mM KCl, at pH 5, and 7, in a parallel plate (PP) system	IEP: pH 5.6. EPM: 2.19 10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ in 1mM KCl at pH 5	沉積在玻璃表面的二氧化鈦奈米微粒在 PP 系統控制 DLVO 和非 DLVO 力量，剪切速率，聚集狀態，引力的組合。
Aeroxide P-25 (Degussa Corp., Germany)	正常尺寸: 21 nm	IS: 0.2 mM NaCl, pH 10	PZC: 6.2, z potential: 26.4 mV, DH: 123.2 nm, porosity: 0.37	保留二氧化鈦增加飽和度下降，排水速率較慢對應更好保持在一個給定的飽和。
Aeroxide P-25 (Degussa Corp., Germany)	正常尺寸: 21 nm	IS: 0.2 mM NaCl, pH 5, 7, and 10, in 0.5 mm spherical glass beads (Scientific Industries Inc., NY), porosity: 0.37	z potential: 29.9, 6.1, and 36.5 at pH 5, 7, and 10	在飽和時運輸，，在 pH 為 5 變化非常強至 pH=10 沒有可測量。不管作用機制，由飽和的或不飽和的介質釋放的 TiO ₂ 是難以實現的。

來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
Evonik Degussa Corp. (#41680630 98, US)	銳鈦礦(82%)和金紅石(18%)，主尺寸：30 nm，形態：半球，純度：98.03，比表面積：51.5 m ² /g	In NaCl or CaCl ₂ solutions, IS ¼ 1, 10, and 100 mM, at pH 5, 6, 7, 8 and 9; 10 mg L 1 SRHA	z potential: 20/50 mV at pH 4, and 9 in 1 mM NaCl	Z 電位可以用來預測實驗中的奈米微粒與奈米微粒或 QCM-D 表面的相互作用。SRHA 會大大阻礙了二氧化鈦奈米顆粒沉積到矽膠傳感器當 QCM-D 有高 IS。
(1) Evonik Degussa Aeroxide P25; (2) Sachtleben Hombikat UV100	(1) P25: 80% 銳鈦礦和 20% 的金紅石型，(2) UV-100: 10 nm 的銳鈦礦型，比表面積：250 m ² /g	Natural surface water: IS: 3.47 mM (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NO ₃ ³⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻)	(1) P25: DH: 1283 nm, z potential: 18.9 mV (2) UV-100: DH: 1085 nm, z potential: 20.2 mV	去除速率超過(一階)的指數衰減，這是由於大量聚集造成重力沉降。生物膜減少旅行長度。
Hombikat TiO ₂ , Sigma-Aldrich	DH: 40 nm	污水及污泥在批處理實驗廢水回收設施在美國，1 mM 的碳酸氫鈉，pH 7.2 時	IEP: pH 5.2	只有 12% 的 Ti 通過 SBR 上清液中，而 88% 是與生物固體部分接觸。

表 3.1.5.7 奈米碳管在水環境中的穩定與團聚作用研究之彙整 (Liu et al. 2013)

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性(結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性(EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
單壁奈米碳管	碳奈米技術公司，在 70% 的硝酸中，加熱回流 1 小時，HNO ₃ -H ₂ SO ₃ 3 小時	Purity: 93%	In Triton X-100 (0.2 T)	捆綁厚度為 15-30 nm	酸性處理使碳管更易團聚。Triton X-100 的吸附導致排斥和分散性增加。
單壁奈米	Cheap Tubes Inc.	直徑：0.8-1.6 nm，長度為 5-30 μm	TOC：2.5 mg/L LB，SRHA，BSA 和海	EPM: 1.24 to 0.46 mm cm V ⁻¹ s ⁻¹ at 1-55 mM	生物大分子存在明顯阻礙了聚集率的單壁奈米碳管。BSA 蛋白質

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
碳管			藻酸鈉，在 pH=6.0 的氯化鈉或氯化鈣裡面	NaCl; G/D (Raman) ratio decreased after sonication (0.90/0.83); relatively pure (by TGA)	分子是最有效的，其次是 SRHA, LB, 和藻酸鹽。
單壁奈米碳管	Cheap Tubes Inc.	平均外徑：1.1 nm，純度：90 %	At pH 7.3+-0.2 in 0.001+-0.1 % SDS	Dh: 164-197 nm, EPM: 3.49 to 4.10 mm cm V ⁻¹ s ⁻¹	
奈米碳管	便宜管公司 (VT)，一些奈米碳管在 30% 的硝酸在 80 度下 6 小時重度氧化。	純度：>95%，長 10-30 μm，外徑：10-30 nm。	In Milli-Q filtered water, moderately hard reconstituted freshwater (MHRW), or MHRW containing HA and 20% seawater.	Effective diameter and z potential: 208-223 nm and 22.7 to 24.6 mV (MWNTs), 181-187 nm and 23.0 to 23.6 mV (MWNT-OH), 181-185 nm and 19.7 to 23.2 mV (MWNT-COOH), 187-196 nm and 21.7 to 25.1 mV (oxidized MWNTs).	原始奈米碳管比炭黑和活性炭顆粒結算更迅速。官能基的存在放緩沉降，多壁奈米碳管的穩定性順序：OH>COOH>原料，尤其是在結合 NOM。
奈米碳管	MER Corporation (Tucson, AZ), by CVD method	外徑：140 +-30 奈米，長度：75+-2μm，純度：>90%	In 1% SDS, 100 mg C per L SRNOM	N/A	基於碳奈米材料的擴散，可能會出現意想不到的程度。
奈	Nano	直徑 20-40	At pH 6.0 in	EPM from	CCC as 25 mM

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
米碳管	TechLabs, Inc.	nm, 長度: 50 μ m	NaCl, CaCl ₂ or MgCl ₂ , and 5 mg/L SRHA	0.28 to 3.75 mm cm V ⁻¹ s ⁻¹ at pH 3-11 in 1 mM NaCl	NaCl, 2.6 mM CaCl ₂ , and 1.5 mM MgCl ₂ . 由於空間斥力 SRHA 增強奈米碳管穩定性。
O 型奈米碳管	NanoLab Inc., 50 % HNO ₃ 回流 1.5 小時在 140 度	外徑: 15+5 nm, 長 5-20 毫米, 雜質: <5 % (鐵或鎳)	各種電解質在 pH6 的時候	EPM: 1.7 to 3.2 mm cm V ⁻¹ s ⁻¹ at pH 3-5, pH 值高於 6 變化不大	觀察到膠體性質, 及 CCCs 在 pH6 分別為 93 毫米氯化鈉, 氯化鎂, 1.8 毫米和氯化鈣 1.2 毫米。
O 型奈米碳管	酸洗處理 0-70 % 硝酸 140°C, 過錳酸鉀在 150°C, 或硫酸-硝酸 (3:1) 在 70°C	純度: >95% 碳 (HF /HCL 處理除去大部分由廠商的剩餘催化劑), 直徑: 15+5 nm, 長 5-20 μ m	At pH 6 and 8 in NaCl	表面 O 濃度為 6.1 %, 10.8%、9.0 % 並分別回流用硫酸硝酸混合微波, 過錳酸鉀氧化。	CCC 認證, 總 O 濃度, 表面電荷 OMWCTs 之間存在線性相關, 八甲基環四矽氧烷。EPM 沒有被證明是一個有用的穩定性指標。官能團 Ocontaining 分佈的影響穩定性, 與 COOH 基團起最重要的作用。
奈米碳管	NanoLab (PD30L5-20)	直徑: 30+30nm, 長 5-20 μ m	在中性 pH 值, OM 或表面活性劑可穩定奈米碳管在各種凝劑中	N/A	高進水濃度的高嶺土和海藻酸鈉改進的奈米碳管去除, 而 OM 阻礙凝血。
奈米碳管	(PD15L5-20) 98 % H ₂ SO ₄ 和 69 % 硝酸 (3:1) 在 70°C 下進行 8 小時回流	外徑: 15+5 nm, 長 5-20 μ m, 總氧量: 10.6% 和 6.3% (高度氧化多壁奈米碳管、低氧化多壁奈米碳管)	含氧官能團組成的 C = O, COOH 和 OH 組	在 pH 值 7.1 \pm 0.2 (0.15 mM 碳酸氫鈉緩衝)	CCC (210mM) 和 CDC(330 mM) HOMWNTs 的是高於 CCC (53 mM) 和 CDC(150 mM) 的 LO-奈米碳管在 NaCl 裡。類似的 CCC 和 CDC 為 HO 和 LO 多壁奈米碳管, 在

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
					氯化鈣裡獲得。
奈米碳管	(PD15L5-20) 98 % H ₂ SO ₄ , 69% HNO ₃ (3:1) 在 70 °C 為 8 小時回流	平均長度：376 nm，表面氧含量：10.3% (羧基70%，羰基和羥基的，15%和10%)	在 pH =5.2+-0.2 赤鐵礦奈米微粒懸浮液或 HA 解決方案	Dh: 109.8 nm, EPM: 2.09x10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ (for CNTs), Dh: 80.7 nm, EPM: 1.79x10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ (for HemNPs)	
奈米碳管	CVD CH ₄ /H ₂ 在 700 °C 使用 鎳 催化劑，混合硝酸和硫酸純化	5種多壁奈米碳管的外徑<10，10-20,20-40, 40-60，和60 - 100 nm，長度為1-2 μm	在 20mg/L 丹寧酸	PZC: 4.7-6.4	
奈米碳管	CVD CH ₄ /H ₂ 在 700 °C 使用 鎳 催化劑，混合硝酸和硫酸純化	外徑：28 nm，長度1-2 μm	在 pH 6 CTAB 十六烷基三甲基溴化銨，TX100，SDBS 十二烷基苯磺酸鈉	PZC4.8 (原始)，5.3(超聲波處理)，9.9 (CTAB MWNTs) 和 <2 (TX1000-SDBS-奈米碳管)	蒙脫石和高嶺石對於 CTAB 奈米碳管可以有效的暫停沉積。蒙脫石部分存入 TX-100 的懸浮奈米碳管，或是粘土礦物，可以改變 SDBS 的奈米碳管的穩定性
O 型奈米碳管	臭氧及超音波處理24h	TOC of 92 ppm for OSWNT suspension (100 ppm)	在 pH 值 3.2，氯化鈉，氯化鈣，或三氯化鋁	HA 的吸附沒有改變 O 型單壁奈米碳管的 Z 電位很大。	CCC 氯化鈉，氯化鈣，和 AlCl ₃ 分別 160，4.2 和 0.054mM。pH 值 (3-8) 聚集不敏感。HA 在 NaCl 增強的穩定性，勝過在氯化鈣，或三氯化鋁。
奈米碳管	Nanostructured & Amorphous Materials Inc., USA	(1) 10-30 nm diameter, 5-20 mm length; (2) 20- 200 nm; (3) 240-500 nm, length unknown	In 1% SDS, 21 mg/L DOC of SR NOM, or BR NOM, at pH 6.8	N/A	在 SDS 1，5，21 和 29%，5 小時後為 10- 30，20-200 和 240-500 nm 的奈米碳管，奈米碳

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
					管懸浮。但反向的趨勢觀察 SR 或 BR NOM 溶液。
奈米碳管	CVD 法在 750 °C 下進行 1 小時使用乙炔和二茂鐵 $\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$ ，在 25，60 和 80 °C 與羧化的硫酸和硝酸混合	Diameter: 20–30 nm, length: 1 mm	At pH 1–13 in HCl, HCOOH, or CH_3COOH	酸處理生成的 COOH 基和 OH 基團，並造成損壞的結構 (TEM, TGA)	酸處理具有更負的 z 潛力和改善分散性
奈米碳管	Chengdu Organic Chemistry Co. Ltd, Chinese Academy of Sciences	Purity: >95%, length: 0.5–2 mm, diameter: 5–10 nm.	In 10 mg/L HA, FeCl_3 : 0–0.3 mM, pH: 7.0	N/A	干預 HA-多壁奈米碳管，增加聚合程度和所產生的水合氧化鐵的粒徑。通過凝沉澱的奈米碳管被證明有效封存。
奈米碳管	Chengdu Organic Materials Co. Ltd., Chinese Academy of Sciences. 純化使用硝酸硫酸	Purity: >95%, pristine (P) and COOH–MWCTs (C) with outer diameters of <8, 20–30, and >50 nm	在 pH 值 6.6–7.0，10mg/L，1HA	z potential: 32.1/ 13.7 mV for P30 (pristine, with OD of 30 nm) and 33.6/ 11.8 mV for C30, before/after sonication. More negatively charged in HA.	原始的和羧基奈米碳管懸浮表面積濃度其次順序 OD8> OD30> OD50
單壁奈米	Chengdu Organic Chemistry Co. Ltd., Chinese	外徑：2 和 5 nm，長度：1–3 mm 0.5–2 mm，自來水密	在 40 mg / L 的十二烷基苯磺酸鈉，在 pH 為	IEP: <pH 3 for SDBS prepared CNTs	CCC 氯化鈉分別為 90 和 120 mM 的 SDBS 製備單壁奈米碳管和多

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
碳管 & 奈米碳管	Academy of Sciences. CVD使用鎳催化劑CH ₄ /H ₂ 在700°C	度：0.14和0.27 g/mm ³ ，分別為單壁奈米碳管和多壁奈米碳管。	6.3, 1, 5, 和 20 mg/L 的 HA		壁奈米碳管, CCC 氯化鈣分別為 0.82 和 2.6 mM。在 1, 5, 20 mg/L 的 HA, CCC 氯化鈉為多壁奈米碳管, 增加到 130, 160, 和 240 mM, 由於空間位阻效應的影響, 而在氯化鈣溶液中可以忽略不計。

表 3.1.5.8 奈米碳管在水環境中的沉降與傳輸作用研究之彙整 (Liu et al. 2013)

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
單壁及多壁奈米碳管	SWNTs by HiPCO from Tubes@Rice, MWNTs by CVD	單壁奈米碳管的直徑：1.4 nm 奈米碳管的直徑：35 nm	In HA of <25 mg/L, at IS of 0.10 mM	Negative z potential of HA coated NTs	和自然土壤膠體相比, 奈米碳管表現出相當高的突破和較低的沉積速率, 表明多孔介質內的流動性較高。
單壁奈米碳管	HiPCO synthesized at the Richard Smalley Institute at Rice University	Diameter: 0.8 nm, length: 400 nm 原子力顯微鏡	在 1% 的十二烷基苯磺酸鈉, 細到粗砂載體	z potential: 42.84 mV in 1% SDBS	SDBS-dispersed 的單壁奈米碳管是高度流動。薄膜使用只發生在非常低的水分含量。
COH-單壁	Cheap Tubes Inc.	Diameter: 0.9–1.6 nm	在 pH 值 7.0 的 (0.1 MM 碳酸氫鉀): 0.1- 55 mM 氯化鉀, 石英砂 (from	Relative defect level (Raman), EPM of 2.68 to 2.08 mm cm V ⁻¹ s ⁻¹ at IS 0.1– 55 mM	理化過濾和緊張發揮作用在低 IS, 而在更高的 IS 以過濾為主。CDC 為 10 毫米氯化鉀。

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
奈米碳管			Fisher, sonicated in conc. HCl)		
COH-單壁奈米碳管	Cheap Tubes Inc.	Diameter: 0.9–1.6 nm, length: 0.6–8 mm	At pH 5.5–5.8 in natural soils	G/D 比 (拉曼) 超聲波處裡後下降 BET: 407 m ² / g	物理使用支配單壁奈米碳管在土柱運輸, 由於其長徑比大, 高度捆綁的聚集狀態和異質性的土壤顆粒。
單壁奈米碳管	Cheap Tubes Inc., via CCVD and acid purification	純度: 90%, 用微量的 Al (0.08%), 氯 (0.41%), 鈷 (2.91%), 和 S (0.29%)。D: 1.2 nm, 長度為 5-30 μm, 比表面積: 407 平方米/克	滲濾液由 20-800 毫克 C / L? HA, IS: 50 ~ 400 mM 氯化鈉, pH 值: 6, 7, 和 8, 緩衝 25 – 50 mM 的 P 緩衝液中。渥太華砂為 0.32 mm	EPM: 4 x10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ in 20–800 mg/L HA at pH 6–8	高分子量的有機物, 例如 HA 和 IS 用來穩定奈米碳管在滲濾液中。奈米碳管可能會移動通過固體廢物。
COH-單壁奈米碳管及多壁	通過 CVD 合成奈米碳管 鎳和鎂催化 氧化硫酸:硝酸 (3:1)	N/A	在 pH 為 5.6, 8.0 和 10 為 0.5-0.6 毫米, 孔隙度為 0.40 的石英砂。部分砂烘烤在 550 度	PZC: 2.9 和 2.4 為單壁奈米碳管和多壁奈米碳管。EPM: 2.71, 2.69, 2.75x10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ 單壁奈米碳管, 2.99, 2.82, 2.89x10 ⁻⁸ m ² V ⁻¹ s ⁻¹ , 在	奈米碳管在 acidcleaned 砂流動性很強, 但只有輕微運輸自然和烤砂。保持力降低, 當 pH 值的升高, 這表明奈米碳管和金屬氫氧化物在砂表面上的雜質和官能基之間的靜電和氫鍵結的引力。

型態	來源、生產或配製方法	材料屬性 (結晶、形態、組成)	溶液的化學組成	特性 (EPM, 總尺寸)	主要發現和結論
奈米碳管				pH 為 5.6, 8 和 10, 在多壁奈米碳管。	
單壁奈米碳管	官能化硫酸: 硝酸 (3:1)	Outer diameters: 36+-11 nm, length: 540 340 nm (by SEM) and 10-20 mm by vendor	在 pH 值 7.5, 是 0.1 和 7.5 mm, 石英砂, 50, 80, 175 和 476 mm, 速度: 0.42 和 4.2 m/天	催化劑雜質: 0.8% (TGA), O: 6.2+-1.4% (XPS)	
多壁奈米碳管	與 Ni 和 Mg 催化劑 CVD 法, 純化用鹽酸和硫酸-硝酸官能基化 (3:1)	碳含量: 99.6-99.9%, 直徑: 7-70 nm, 平均長度為 407 nm	IS: 10 mM	EPM: $3.80 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ at pH 10	孔隙水流速的強烈影響奈米碳管運輸, 機動性高的孔隙水速度大於 4.0 米/天
多壁奈米碳管	改進的化學氣相沉積, 純化, 用鹽酸, 超聲波處理在濃度硫酸-硝酸 (3:1)	SSA: 111-118 m^2/g 1 (BET), length: 100-300 nm, O: 7.5-8.6%	Canadian peat with 47.5% of TOC, pH 5.7	PZC: 1.57, z potential: 29.7, 20.3, and 12.0 mV in 0, 4, and 40 mM Na^+ , respectively	奈米碳管聚集的 $\text{Na}^+ > 4.0$ 毫米或在 pH 值 4.0。DOM 從泥煤穩定奈米碳管。互動變得很明顯在高 IS
多壁奈米碳管	改進的化學氣相沉積, 純化, 用鹽酸, 超聲波處理在濃度硫酸-硝酸 (3:1)	SSA: 111 m^2/g (BET), purity: 99.7% (TGA), length: 353 +-452 nm, O: 7.4% (XPS)	Soil minerals of kaolinite (16.2 m^2/g), smectite (240 m^2/g) and shale (6.60 m^2/g); Na^+ : 0.4-40 mM	N/A	去除奈米碳管與土壤礦物的表面電勢和疏水性的趨勢, 去除可以解釋為 DLVO 擴展為高嶺石和蒙脫石。

奈米物質的生命週期評估

奈米碳管改質的半導體元件

奈米碳管(CNT)為奈米大小圓柱狀之石墨同素異形體，常使用於電子元件的研究、發展及製造，在半導體產業中之應用尤其廣泛，常作為記憶體元件、互連、電晶體元件。然而文獻指出許多 CNT 對健康影響、化學反應、生態影響、環境宿命(environmental fate)及傳輸的變異性及不確定性。在 CNT 潛在風險為前提下考量 CNT 的廣泛技術潛力，應於發展過程中評估 CNT 產品之環境影響(environmental implication)，以辨識及控制於產品的每一生命週期階段可能發生的潛在風險。

Dahlben et al. (2013)研究評估 CNT 開關(switch)於手機快閃記憶體(flash memory)方面的潛在應用，利用生命週期評估(Life cycle assessment, LCA)方法在其製造(fabrication)、預期使用(expected use)及使用壽命終點(end-of-life, EOL)階段，追蹤非揮發性雙穩態(bistable electromechanical)電子機械 CNT 開關對環境之影響。評估結果涵蓋環境影響分類(environmental impact categories)，包括懸浮無機物、土地利用及石化燃料，其中煉金過程(gold refining process)及發電具有最大貢獻。儘管 CNT 可能於目前 EOL 期間釋放，使用及 EOL 階段的初步預測結果指出，CNT 開關有助於減少使用階段產生之環境負擔。Dahlben et al. (2013)研究中估計的 CNT 用量上下限假設值如表 3.1.5.9 所示。

表 3.1.5.9 含 CNT 開關之手機的數目及 EOL 管理選項(Management Option) 的上下限假設值(Dahlben et al. 2013)

假設的案例	奈米碳管的質量 (g)			
	上限	下限	上限	下限
含 CNT 開關的退役手機數目	80%	20%		
使用壽命終點管理選項				
再利用/儲存	20%	50%		
回收	5%	15%		
直接處理-掩埋	45%	20%	28.6	3.2
直接處理-焚化	30%	15%	19.1	2.4
直接處理的總數			47.7	5.6

奈米纖維素

奈米纖維素具有許多優良的性質以及廣泛的應用潛力，是一種新興且具有潛力的材料。由於可利用奈米纖維素製造獨特且具功能性的材料，商業化的試驗性規模(pilot-scale)實驗已經開始，為了解其環境衝擊，包括奈米纖維素的總生命週期，成為長期永續發展的基礎。Li et al.的研究當中，採用生態指標 99 方法(Eco-Indicator 99 method)，以搖籃到墳墓的生命週期評估方式，進行 4 種比較性的實驗規模奈米纖維製造流程評估。結果指出，針對化學-機械製作流程而言，大部分奈米纖維素合成所造成的環境衝擊，是由化學改質與所選擇的機械處理流程所決定。奈米纖維素生命週期評估之流程圖如圖 3.1.5.10 所示：

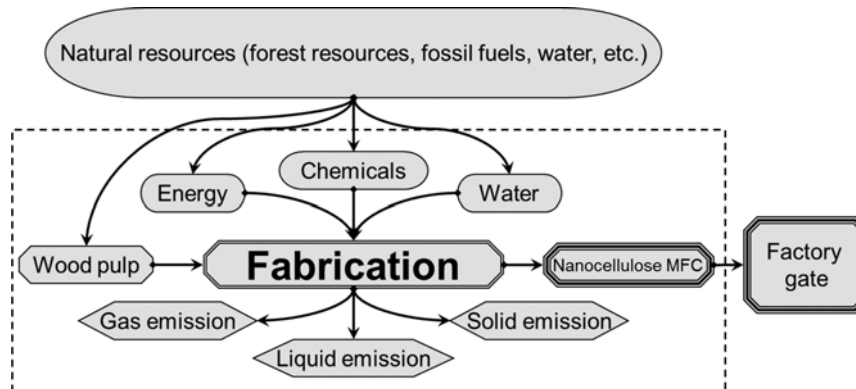


圖 3.1.5.10 實驗合成的奈米纖維素之從搖籃到墳墓生命週期評估流程圖(虛線內)(Li et al.2013)

以超聲波處理來說，化學改質法較機械處理顯得失色。單位質量生產最佳的作法是先將四甲基哌啶氧化物(2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl (TEMPO))氧化再均質化，因 TEMPO 氧化相對於羧甲基化反應(carboxymethylation)所產生的衝擊比較小，即使奈米纖維素的合成過程中相對於原始物質萃取過程(硫酸鹽法製漿 kraft pulping)，呈現較大的環境碳足跡，但是 TEMPO 之氧化物比其他奈米材料如奈米碳管，仍具環境優勢。此研究模擬奈米纖維素生產之”搖籃到墳墓生命週期評估”，利用總累積能量需求、全球暖化潛力與生態指標 99 衝擊評估等方法，評估 4 種製作流程(此流程由 2 種可互換的化學與機械方法組合而成)，將所得之環境影響量化並互相比較。本次生命週期評估的結果同時進行硫酸鹽法製漿流程與單壁奈米碳管合成之方法比較。

3.2 ISO / OECD 奈米科技 EHS 議題

本章節之內容分為兩部分，第一部分為目前 ISO 發展之趨勢，此部分先探討已發表及正在發展中的 ISO TC229 標準，各種標準可分為奈米物質 EHS、奈米物質的量測、奈米物質的命名及奈米物質的規範等四大類，之後再針對已取得、國內可能可以發展的 ISO 標準作進一步的回顧。第二部分為 OECD 奈米科技 EHS 議題的回顧，今年度的報告回顧了一份奈米物質吸入性毒性測試指引的專家會議紀錄。

3.2.1 已發表及發展中的 ISO TC229 標準草案

ISO 在 2005 年成立 ISO TC 229 技術委員會，負責奈米物質標準的制(ISO TC229 網站)。TC 229 下設四個工作小組分別為 JWG 1: Terminology and nomenclature，負責奈米物質的術語及命名；JWG 2: Measurement and characterization，負責奈米物質的量測及特性分析；WG3: Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies，負責奈米物質的 EHS；WG4: Material specifications，負責的奈米物質規範。

其中與奈米 EHS 有關的工作小組為 ISO/TC 229 WG3，其工作重點如下：

1. 控制奈米物質職場暴露的標準方法
2. 決定奈米物質相對毒性/危害性潛勢的標準方法
3. 奈米物質毒性篩選的標準方法
4. 判定奈米物質環境友善使用的標準方法
5. 確保奈米產品之產品安全的標準方法

至民國 102 年 11 月為止，ISO/TC 229 已發表的 36 個標準，研究中的標準、指引及研究群計畫(PG, project group)則尚有 24 個之多，有些 PG 才剛獲得委員會同意開始執行。本團隊於 99-101 年度的計畫中，已回顧的 ISO 標準共 13 個，99 年度(蔡，100 年)回顧 ISO/TR 22412:2008 (TC 24/SC 4 發表)、ISO 15900:2009 (TC 24/SC 4 發表)、ISO 12025 及 ISO/DIS 10808；100 年度(蔡，100 年)回顧 ISO/WD 27891 (TC 24/SC 4 發表)、ISO 10801:2010 及 ISO TR 13121:2011；101 年度(蔡，101 年)回顧 ISO/TR 10929:2012、ISO/TS 10798:2011、ISO/TS 10868:2011、ISO/TS

11888:2011、ISO/TS 13278:2011 及 ISO/TR 13014:2012。今年度本計畫則針對 ISO/TS 10797:2012、ISO/TS 11937:2012、ISO/TS 12901-1:2012 及 ISO/TR 13329:2012 等 4 篇標準作回顧。

ISO TC229 已發表及發展中的 36 個標準如下：

ISO/TC229 已發表的標準 (ISO TC229 網站)

(*表示 99-101 年已回顧，**表示 102 年回顧)

1. **ISO/TS 10797:2012
奈米科技 – 以穿透式電子顯微鏡觀察單壁奈米碳管。
2. * ISO/TS 10798:2011
奈米科技 – 以掃描式電子顯微鏡結合能量分散式 X 射線分析儀 (Energy Dispersive X-ray Analysis, EDXA)對單壁奈米碳管進行特性分析。
3. * ISO 10801:2010
奈米科技 – 以蒸發/核凝法產生金屬奈米微粒作為呼吸吸入毒性測試之用。
4. * ISO 10808:2010
奈米科技 – 呼吸毒性試驗用的暴露腔中的奈米微粒的特性分析。
5. ISO/TS 10867:2010
奈米科技 – 以近紅外線螢光光譜法 (near infrared photoluminescence spectroscopy) 對單壁奈米碳管進行特性分析。
6. * ISO/TS 10868:2011
奈米科技 – 利用紫外-可見-近紅外線吸光光譜法對單壁奈米碳管進行特性分析。
7. * ISO/TR 10929:2012
奈米科技 – 多壁奈米碳管樣本特性的分析方法。
8. ISO/TS 11251:2010
奈米科技 – 以生成氣體分析法/氣相層析-質譜儀測定法對單壁奈米碳管中的揮發性成分進行特性分析。

9. ISO/TS 11308:2011
奈米科技 – 以熱重分析法量測單壁奈米碳管進行純度評估。
10. ISO/TR 11360:2010
奈米科技 – 奈米物質的分類及歸類方法。(奈米物質的規範)
11. ISO/ TR 11811:2012
奈米科技 – 奈米磨擦量測方法的指引。
12. * ISO/TS 11888:2011
奈米科技 – 決定多壁奈米碳管的介觀形狀因子的方法。
13. ISO/TS 11931:2012
奈米科技 – 奈米碳酸鈣。
14. **ISO/TS 11937:2012
奈米科技 – 奈米二氧化鈦。
15. * ISO/TS 12025:2012
奈米物質 – 利用氣膠產生法自粉體中逸散奈米物質的量化方法。
16. ISO/TR 12802:2010
奈米科技 – 發展專有辭彙的模式分類架構 – 核心概念。
17. ISO/TS 12805:2011
奈米科技 – 奈米物質規範 – 奈米體(nano-objects)規範指引。
18. ISO/TR 12885:2008
奈米科技 – 奈米科技相關作業場所內的安全及健康實務。(奈米物質 EHS)
19. **ISO/TS 12901-1:2012
奈米科技-應用於工程奈米物質的職業風險管理。
20. * ISO/TR 13014:2012
奈米科技 – 用於毒理學評估的工程奈米物質物化分析指引。
21. ISO/TR 13014:2012/Cor 1:2012
22. * ISO/TR 13121:2011

奈米科技 – 奈米物質風險評估的架構。

23. * ISO/TS 13278:2011

奈米科技 – 利用電感耦合電漿質譜法 (ICP-MS) 測定奈米碳管樣本的元素雜質。

24. **ISO/TR 13329:2012

奈米物質 – 物質安全資料表(MSDS)的準備。

25. ISO/TS 14101:2012

利用特定毒性篩選：傅立葉轉換紅外線光譜分析奈米金微粒的表面特性。

26. ISO/TS 16195:2013

奈米科技 – 發展特性測試、性能測試與安全測試的奈米微粒及奈米纖維粉末的參考物質之通用需求。

27. ISO/TS 17200:2013

奈米科技 – 奈米微粒粉末 – 分析與量測。

28. ISO/TS 27687:2008

奈米科技 – 奈米物質的命名及定義 – 奈米微粒、奈米纖維及奈米片。(奈米物質的命名)

29. ISO 29701:2010

奈米科技 – 以體外試驗對奈米物質進行內毒素(Endotoxin)測試 – 蠶變形細胞溶解物(Limulus amoebocyte lysate, LAL)測試。(奈米物質的量測)

30. IEC/TS 62622:2012

人工光柵用於奈米科技 – 空間品質特性 (Dimensional quality parameters)的敘述與量測。

31. ISO/TS 80004-1:2010

奈米科技 – 辭彙 – 第一部分：核心術語。(奈米物質的命名)

32. ISO/TS 80004-3:2010

奈米科技 – 詞彙 – 第三部分：碳奈米物質。(奈米物質的命名)

33. ISO/TS 80004-4:2011

奈米科技 – 辭彙 – 第四部分：奈米結構物質。

34. ISO/TS 80004-5:2011

奈米科技 – 辭彙 – 第五部分：生物/奈米的界面。

35. ISO/TS 80004-6:2013

奈米科技 – 辭彙 – 第六部分：奈米體的量測及儀器。

36. ISO/TS 80004-7:2011

奈米科技 – 辭彙 – 第七部分：醫療、健康及個人保養的應用。

ISO/TC229 研究中的標準、指引及進行中的計畫 (ISO TC229 網站)

● 奈米物質 EHS

1. ISO/DTS 12901-2

基於「分組控制方法」工程奈米物質的職業風險管理的準則。

2. ISO/NP TR 16196

奈米科技 – 工程奈米物質樣品製備方法與適當的劑量度量的指引。

3. ISO/AWI TR 18637

研究奈米體及其聚集體和團聚體的職業暴露限值的架構。

● 奈米物質的量測

1. ISO/NP TR 16197

工程奈米物質毒性篩選方法的指引。

2. ISO/NP 16550

奈米微粒 – 用於奈米銀微粒行為以胞壁酸 (muramic acid)作為生物標靶的決定。

3. ISO/NP TS 17466

利用 UV-Vis 吸收光譜對含鎘半導體進行特性分析 – 奈米微粒(量子點)。

4. ISO/AWI TR 18196
奈米科技 – 奈米體的測量方法。
 5. ISO/AWI TS 18827
奈米科技 – 利用物化特性分析和活性氧類的性質比較合成的氧化鋅奈米物質的毒性機制。
 6. ISO/AWI 19006
奈米物質對細胞氧化壓力的影響。
 7. ISO/AWI 19007
奈米物質對細胞存活的影响。(MTS 檢測法)
 8. ISO/NP TR 19057
利用體外實驗方法評估奈米物質生物穩定性的合適性
 9. IEC/CD TS 62607-2-1
奈米物質製程 – 單壁奈米碳管 (CNT)的關鍵控制特性- 抵抗力。
- 奈米物質的命名
1. ISO/DTR 14786
奈米科技 – 奈米物質命名模式的架構。
 2. ISO/NP TR 17302
奈米科技 – 確認用於人體保健中奈米科技應用的詞彙發展之框架。
 3. ISO/NP TS 18110
奈米科技 – 用於科學、技術及創新指標的字彙。
 4. ISO/AWI TR 18196
奈米科技 – 奈米物體的測量方法(Nanotechnologies -- Measurement method matrix for nano-objects)
 5. ISO/AWI TR 18401
奈米科技 – 用在字彙的簡明語言指引。

6. ISO/TS 80004-1:2010/AWI Amd 1
奈米科技 – 辭彙 – 第一部分：核心術語。(增修)
 7. IEC/NP TS 80004-2
奈米科技 – 辭彙 – 第二部分：奈米體 - 奈米微粒、奈米纖維及奈米片。
 8. ISO/DTS 80004-8
奈米科技 – 辭彙 – 第八部分：奈米製程。
 9. ISO/AWI TS 80004-9
奈米科技 – 辭彙 – 第九部分：奈米技術的電工產品和系統。
 10. ISO/AWI TS 80004-10
奈米科技 – 辭彙 – 第十部分：奈米技術的光電元件和系統。
 11. ISO/WD TS 80004-11
奈米科技 – 辭彙 – 第十一部分：奈米層、奈米塗佈、奈米薄膜和相關術語。
 12. ISO/WD TS 80004-12
奈米科技 – 辭彙 – 第十二部分：奈米技術中的量子現象。
- 奈米物質的規範
 1. ISO/PRF TS 13830
人造奈米物質及其相關產品的標籤準則。

3.2.2 已取得的 ISO 標準之回顧

本團隊今年針對 ISO/TC229 已發表的標準，精要地回顧四篇已購買取得之技術規範，包含 ISO/TS 10797:2012 奈米科技 – 以穿透式電子顯微鏡分析單壁奈米碳管、ISO/TS 11937 奈米科技 - 奈米二氧化鈦的特性及測量方法、ISO/TS 12901-1:2012 奈米科技-應用於工程奈米物質的職業風險管理及 ISO/TR 13329:2012 奈米物質 – 物質安全資料表(MSDS)的準備等規範，已完成回顧的 ISO 標準已整理如下。

一、ISO/TS 10797:2012 奈米科技 – 以穿透式電子顯微鏡分析單壁奈米碳管

ISO/TS 10797 技術規範建立了以穿透式電子顯微鏡與能量分散式 X 光分析儀 (Energy Dispersive X-ray Spectrometry, EDS)，分析單壁奈米碳管的形態，以及鑑定單壁奈米碳管樣本中其他物質的元素成份的方法。

奈米碳管是由同心層狀石墨薄片所組成的奈米物質，其石墨層沿纖維縱軸方向以圓柱管的型態排列，而單壁奈米碳管則是由僅僅單一層蜂巢晶格狀石墨原子層所構成的無縫管柱。穿透式電子顯微鏡 (Transmission Electron Microscope, TEM) 或高解析度穿透式電子顯微鏡 (High-Resolution version, HRTEM) 是第一台可用於顯現單壁奈米碳管獨特結構的儀器，TEM/HRTEM 在奈米碳管材料的研究與發展過程中扮演了不可或缺的角色，此儀器的直接量測技術可避免不合理的物理或數學假設，同時也提供了各式各樣的實驗結果以及具充沛資訊的影像，使各種樣本的分析變為可能。TEM 除了造像外，配合 ISO 10797 技術規範所提供的技術，亦可用於單壁奈米碳管樣本的定性純度評估；此外，TEM 也可顯現奈米碳管詳細的型態與結構特色，例如石墨層結構、缺陷、直徑、長度、碳管束的大小與方向，以及出現在樣本中的其他物質或奈米微粒 (ISO/TS 27687:2008)。在其它的操作模式中，TEM 也可用於研究單一奈米管的不對稱性、熱力性質與機械特性。為了使用 TEM 來獲得有關含單壁奈米碳管樣本的可靠、詳細資訊，發展一套系統性的協議 (protocol) 是重要的。

穿透式電子顯微鏡的基本運作原理與光學顯微鏡類似，不同之處在於前者運用的是電子而非光線。電子束會被聚焦在一個薄且電子可穿透的樣本上，使一個放大版的影像出現在螢光幕上 (例如：一層攝影底片或對電子敏感的陣列偵測器)。最新的儀器具有與電腦連線的數位影像系統，可記錄即時影像。

HRTEM 的相位對比影像 (因散射穿透薄樣本的電子波的相位差所形成的影像) 可用於研究晶體結構。雖然 TEM 的解析度受限於球面像差與色差，但新一代具備高階電子光學管柱的設備已可大幅降低這些影響，而球面像差的軟體修正也已使數百萬放大倍率的影像具有足夠的解析度。此外，由於 HRTEM 具備測定材料中原子位置的能力，HRTEM 已成為奈米科技研究與發展的重要工具。

穿透式電子顯微鏡造像與分析

TEM 的價值在於高解析度照像，以及可用於分析奈米碳管、其他形式的碳或單壁奈米碳管樣本中其他雜質的特性。單壁奈米碳管的直徑短則少於 1 奈米，長則大於 5 奈米以上，而它們的長度變化很大，最長可超過 10 毫米以上。由於碳管彼此間的吸引力，單壁奈米碳管樣本為糾結狀態，亦即大量的單壁奈米碳管可形成束狀或繩狀的碳，而束的直徑與長度皆遠大於個別碳管的直徑或長度。TEM 可用於測量奈米碳管的細微結構，如直徑、碳層的數目、不對稱性、缺陷、方向性 (orientation)、形貌與碳束的詳細結構，而長度的量測則較不適合以 TEM 分析。

TEM 的另一項功能是可與能量分散式 X 光分析儀 (Energy-Dispersive Spectrometry, EDS) 組成 TEM/EDS 量測系統，可以奈米級尺度測定單壁奈米碳管樣本的非碳成份之元素組成。所有新型的 TEM/EDS 系統皆可靈敏地偵測碳或其他雜質，可用於鑑定不同的成份，以及比較單壁奈米碳管樣本時所必需進行的半定量分析。此外 TEM 的分析樣本較小，而 TEM/EDS 系統的峰值與背景值的比值明顯地比掃描式電子顯微鏡 (SEM)/EDS 的比值好很多，這些優點使 TEM/EDS 更適合用於分辨樣本的差異，以及廣泛地進行點、線、面的半定量元素分析。

TEM 的功用除了造像與 TEM/EDS 系統分析外，亦有其他以 TEM 為基礎的造像與分析技術可用於尋找或分析單壁奈米碳管樣本中的各種成份，可提供元素組成、晶格結構、化學鍵結與添加物、電子狀態以及奈米碳管中的材料成份等資訊，這些技術包含選區電子繞射圖譜 (selected area electron diffraction) 與電子能量損失圖譜 (electron energy loss spectroscopy) 等等。隨著奈米碳管應用的發展，預期這些技術將更加地被廣泛應用。

樣本的準備

由於奈米碳管可能是有害物質 (hazardous materials)，因此當控制、準備、使用與處理單壁奈米碳管材料及其樣本時，遵循恰當的安全處理步驟是十分重要的，建議惟有受過專業科學訓練的人員才可操作奈米碳管材料，並配帶適當的個人防護裝備，包含拋棄式手套、護目鏡、實驗衣、過濾式口罩等等。樣本的準備也應當在裝有適當空氣濾網的通風櫃或手套箱中進行，以避免吸入單壁奈米碳管。此

外，為了得到可靠且具重現性的分析與量測結果，以及建立一致的量測值比較基準，採用適當的樣本準備方法是必要的。奈米碳管的製造、處理與樣本的準備方法可能會顯著地改變奈米碳管的物理特性，因此應盡量採用對樣本材料影響最小的準備方法。

由於電子穿透固體的深度很淺，使得穿透式電子顯微鏡的測量僅適用於非常細薄的樣本(由其是在高解析度的操作模式與採用低電子能時)。理想的樣本厚度與材料本身的特性及影像的解析度有關，通常介於10至150奈米之間。

商業化的單壁奈米碳管樣本通常以乾燥粉末或懸浮於液體中的型態存在，而準備單壁奈米碳管的TEM樣本則是一項特別的挑戰，因為奈米碳管通常是呈束狀，所以很難將之分散成個別的奈米碳管。雖然超音波處理可將其分散，但同時卻也會損壞碳管的結構，造成碳管的長度縮短與改變其巨觀型貌特性，因此在準備細薄的奈米碳管樣本時，通常會盡量避免使用機械式的處理。此外，一般而言不建議使用諸如離子研磨法(ion milling)、電子拋光(electro-polishing)、摺疊/萃取(replication/extraction)與優選化學蝕刻法產生電子透明薄膜(electron-transparent films)等方法來製備單壁奈米碳管樣本。此外，應詳細的記錄與報告奈米碳管樣本的準備程序，包含超音波處理的狀態與時間，以及任何單壁奈米碳管的前處理與預洗程序等。多種奈米碳管的TEM分析樣本準備方法可參考相關文件(Anderson and Walck 1997, Mansfield et al. 2009, Decker et al. 2009)。

此份技術規範亦詳細提到TEM格網的選擇、粉狀與薄末狀單壁奈米碳管TEM樣本的準備方法、液態懸浮液奈米碳管TEM樣本的準備方法以及複合式樣本的準備方法(將奈米碳管嵌入環氧樹脂或塑膠基質中，然後使用奈米切片設備將之切成薄片狀。此方法可能會損毀或移除一些單壁奈米碳管，但仍可保留某些可供研究的重要特性)，以及使用TEM及EDS分析單壁奈米碳管的步驟。

樣本分析的基本程序

使用TEM分析單壁奈米碳管的基本步驟如圖3.2.2.1所示，首先從低放大倍率(例如五千倍)開始分析樣本，然後逐漸增加放大倍率至超過四十萬倍以上。束狀的單壁奈米碳管的纖維應以平行等距的直線成像。此外，在低放大倍率時，也應分

析樣本的雜質(如催化劑載體(catalyst support)與大顆金屬微粒),因為這些分析需要寬廣的視野。另外在此分析階段,亦可使用EDS與電子能量損失能譜(Electron Energy Loss Spectrum, EELS)來獲得更多廣泛且定量的雜質資訊。至於在高放大倍率的情況下,則可鑑定單壁奈米碳管、可能出現的非晶碳(amorphous carbon)與其它碳材料,

最後,選區電子繞射提供了進一步分析待測物的可能性,如果以低放大倍率攝影時發現單壁奈米碳管以外的成份,應採用EDS及EELS來做細查,如果在高放大倍率的情況下又發現這些成份的話,除了EDS與EELS分析外,暗視野成像(dark-field imaging)亦有助於探測或測量所有的成份。如果只看到乾淨的單壁奈米碳管(無其它雜質),則只需選擇性地以影像分析適當數量的奈米碳管即可分析單壁奈米碳管樣本。

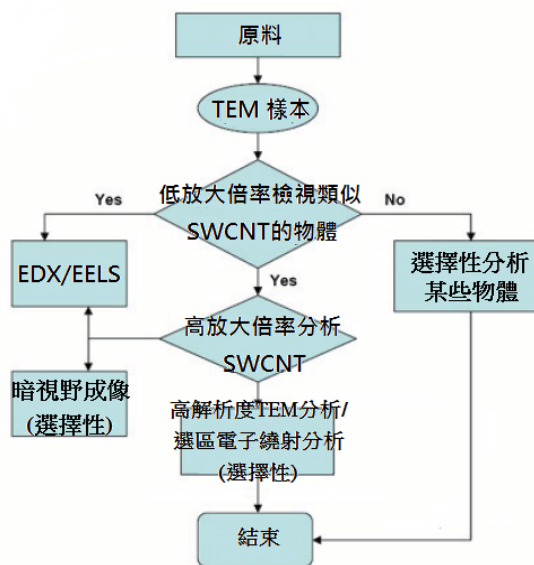


圖 3.2.2.1 使用 TEM 分析單壁奈米碳管的一般程序示意圖

二、ISO/TS 11937:2012 奈米科技 - 奈米級二氧化鈦粉體的特性分析與量測

二氧化鈦具有散射可見光的能力,已被廣泛用於白色顏料、油漆、塑料、印刷油墨和其他產品中。近年來,奈米二氧化鈦不只白色顏料,更可使用在防曬乳或催化劑中以提高散射光的能力。有鑑於此,必須更嚴謹的定義能提供不同功能的奈米物質之特性。該規範提供了評估銳鈦礦與金紅石二氧化鈦的質量分率的方

法，以及四個常用量測表示奈米物質特性的關鍵參數（晶體結構、平均晶體粒徑、平均原始微粒粒徑以及比表面積）的方法。

大多數的奈米二氧化鈦是經由硫酸法、氯化法或溶膠凝膠法合成，所合成的奈米二氧化鈦的晶體結構幾乎都是金紅石和銳鈦礦。因此，板鈦礦和非結晶型式的奈米二氧化鈦將不包括在此技術規範中。一般而言，某些奈米二氧化鈦產品由二氧化矽或是三氧化二鋁所披覆以使用在特殊應用上；或者為了其他特殊用途，有些奈米二氧化鈦產品也可能會在其晶體中參雜另一種金屬。因此，買、賣方和執法機構都應該清楚的知道二氧化鈦是否含有任何披覆材料。本規範指定的 X 光繞射（XRD）與電子穿透式顯微鏡(TEM)將會分別用於量測晶體尺寸與原始微粒尺寸/形貌，BET 方法用於量測比表面積。隨著奈米技術發展不斷推陳出新，因此，本規範的使用者應注意法律規定及環境健康與安全相關的最新進展。本文件的使用者責任包括以下內容：賣方有義務提供買方法律所規定的環境健康與安全資訊。如果買、賣方希望評估材料的環境、安全或健康風險，可參照 ISO/TR 12885:2008 當作進一步的指引。本文件可由 ISO 或是其他標準組織發展出的應用上的特別標準參照使用。

概述

此規範提出描述在奈米技術相關應用中，二氧化鈦粉體的基本特性的要求，詳列其材料規範。此規範中的奈米二氧化鈦限為乾粉，不包含分散或懸浮於水體或溶劑的材料；且不包含與健康與安全議題相關的二氧化鈦特性特性，特殊應用上或表面改質的特性。

標準的參考文獻

使用本規範時，下列的參考文獻都是不可或缺的。

ISO 591-1 用於油漆的二氧化鈦顏料 – 第一部分：規範與測試方法。

ISO 9277:2010 以 BET 利用氣體吸附方式測定固體的比表面積。

ISO 13322-1 微粒尺寸分析 – 影像分析法 – 第一部分：靜態影像分析法。

ISO 14887 樣品前處理 – 粉體於液體中的分散程序。

ISO 14488 微粒材料 – 測定微粒特性的採樣與樣品分離方法。

ISO/TS 27687 奈米科技 – 奈米物質的專有名詞與定義 – 奈米微粒、奈米纖維與奈米板。

ISO 80004-1 奈米科技 – 詞彙 – 第一部分：基礎專有名詞。

專有名詞與定義

1. 穿透式電子顯微鏡(TEM)

以電子束穿過樣品並與其交互作用，產生樣品放大的影像或離射圖案的儀器。

2. X 光散射(XRD)

入射光為 X 光束的散色稱之。在一系統中，原子的電子雲所產生的 X 光彈性散射提供晶體結構資訊的離射圖譜。

3. 比表面積

樣品的絕對表面積除以樣品質量

4. 晶體結構

三維空間內原子規則且重複的排列，原子間有固定的相對位置。

5. 原始微粒

非由更小微粒集合而成之微粒。此專有名詞通常指微粒以蒸氣核化且在膠結發生前形成之微粒。

基本特性與量測方法

符合此規範的二氧化鈦粉體的基本特性需要被量測與報告，必要的特性與對應的量測方法列於表 3.2.2.1。量測特性的種類應由合作的雙方同意後決定之，測試結果的報告應符合第六章的要求。

表 3.2.2.1 基本特性與相對應的量測方法

特性	單位	量測方法
二氧化鈦的質量分率	% (kg/kg)	鋁還原法/ 二氯化鉻還原法(ISO 591-1)或其他化學分析方法
晶相比例	%	X光散射
平均晶體尺寸	nm	X光散射(Scherrer 公式)
平均原始微粒尺寸	nm	穿透式電子顯微鏡
比表面積	m ² /g	比表面積分析儀(BET)

注 1：這組基本特性可表示粉體狀奈米二氧化鈦的奈米尺度與其主要組成要素。

注 2：特殊應用的其他相關特性取決於預期的應用和其他相關的國際標準。

注 3：在此技術規範中並未提及量測方法的詳細程序。合作雙方為了得到約定的量測結果，須在一個良好的品管系統的管理下，使用適當的量測方法而得。

採樣

以 ISO 14488 方法採集一個測試產品的代表性樣品。

報告

測試報告應至少包含下列資訊：

- 1 參考本技術規範，亦即 ISO/TS 11937。
- 2 測試材料的辨識（產品名、化學名）。
- 3 樣品描述（奈米級二氧化鈦的製造商、批次號、原產國）。
- 4 實驗室（測試實驗室的名稱）。
- 5 結果
 - 5.1 基本特性的量測結果與列於表 3.2.2.1 的量測方法(在 TEM 的分析方法中，須報告用於決定平均尺寸與標準偏差所分析的微粒數目，及量測方法之詳細內容)
 - 5.2 量測不確定性(視使用者、供應商與執法機構間的協議而定)
- 6 附加資訊

三、ISO/TS 12901-1:2012 奈米科技-應用於工程奈米物質的職業風險管理

名詞解釋

工程奈米物質(Engineered nanomaterial)：

設計應用於特定目的或用途的奈米物質。

聚集體(Aggregate)：

由強鍵結或熔融的微粒結合所形成的顆粒，其外表面區域可能遠小於個別微粒之表面積總和。

團粒(Agglomerate)：

由弱鍵結微粒或聚集體或是二者混合所形成的集合體，其外表面積約等於個別成分物質之表面積總和。

NOAA (nanoobjects and their agglomerates and aggregates)：

奈米體及團粒或聚集體之總稱。

個人防護設備(Personal protective equipment ,PPE)

個人防護是最後的選擇或者是補充的選擇以加強其餘暴露控制的方法

1. 暴露吸入的保護：經過認證的口罩可提供 NOAAs 的防護。適合的個人防護設備(PPE)類型包括丟棄式過濾面罩，半罩與全罩式口罩以及一系列的動力式(供給空氣)頭套、頭盔、褲子與工作服。個人防護設備中，特別是呼吸防護，如果是要用來提供理想的防護水準，需要許多投資來進行研發、監控與維護。錯誤的選擇、密合度不佳或是口罩不足會導致其無法發揮其原有的效率。
2. 皮膚暴露的防護：風險的評估意味著須要配備保護手套、防護眼鏡以及防護衣物。Golanski et al. (2012)經過一系列的測試後，發現奈米微粒無法穿透一些類型的手套(用於空氣物質)。然而，Golanski et al. (2012)發現這些經過試驗的手套對氬氣來說孔隙仍過大，且孔隙率隨著手套的種類而異，同時一些其他的文獻也指出最好使用 2 層手套來增加防護效率。關於防護衣，Golanski et al.表示：針對防護性衣物，非編織型的氣密織布比起棉質布，似乎能夠更有效率的保護工人防止奈米微粒的侵入。Packham(2012)強調幾個關於手套防護考慮的關鍵要素，包括評估作業、暴露背景、手套材質的選擇、人體工學、環安訓練(包括勞方與資方)、監測與儲存、維護與棄置等。

奈米物質危害與風險

NOAAs 具有比同質量的大微粒還要大的表面積，在一定程度上，表面積是毒性的驅動因子，這意味著潛在增加的毒性影響。例如在職業場所中，暴露於煤灰與肺部疾病的發病有明顯的關連性，如塵肺症以及慢性阻塞性肺病(COPD)，以及暴露於於石綿中易導致石綿肺、間皮瘤與肺癌。在環境中，研究已顯示微粒空氣污染與增加的呼吸道及心血管的發病率與死亡率之間具有關連性。

吸入性潛在健康危害

一些生物持久性纖維微粒因可被吸入並進入肺的肺泡區，而導致疾病，且不容易排除因為(1)纖維微粒的物理尺寸意味著其無法被肺的清除機制排掉，以及(2)纖維微粒的強韌性導致其無法溶解於肺表面的液體，因此纖維微粒在肺中維持很長一段時間，導致發炎而最終造成疾病。石綿就是一個生物持久性纖維的例子。

皮膚暴露的健康潛在風險

研究指出，外用防曬油中，來自 ZnO 微粒的微量 Zn 會經由人體皮膚所吸收，受測者使用了二種防曬油產品，一種是含有 19nm 微粒之奈米防曬油，另種是含有粒徑大於 100 nm 微粒之防曬油。利用穩定的同位素追蹤鋅離子，結果顯示血液與尿液當中偵測到些微過量的鋅。然而，並不知道是鋅 68 以氧化鋅微粒或是溶解性的鋅離子形式或是兩種形式皆被人體所吸收。

NOAAs 的火災以及爆炸風險

一般來說，NOAAs 的爆炸性大致上類似於傳統細微粉末，因此，NOAAs 的大表面積/體積比較微米尺度下的同一材料，並不會產生更劇烈的爆炸。影響粉塵雲點火敏感度與爆炸強度的主要因素是微粒尺寸或是比表面積(意即：塵埃雲每單位體積或單位重量之總表面積)。當微粒尺寸減小時，比表面積增加。濕度同時也是影響點火敏感度與爆炸強度的因素，高濕度有較低的爆炸特性。

處理 NOAAs 風險的一般流程

英國的健康危害物質控制條例(COSHH)，是根據風險評估方法，提供評估與處理 NOAAs 的潛在危害的架構，此架構包含 8 個主要步驟：

- (a)辨識危害與評估風險
- (b)決定需要何種預防措施
- (c)預防或是充分控制暴露
- (d)確認使用與維持控制措施
- (e)監測暴露

- (f) 執行適當的健康檢查
- (g) 準備計畫與流程來處理意外事件與緊急事故
- (h) 確保員工已適當被告知、受訓練以及監督

ISO/TS 12901 所建議的方法密切根據這項架構，此方針處理來自 NOAAs 的風險所採用的方法描繪如圖 3.2.2.2，該圖也是 ISO/TS 12901 其餘部分的方針：

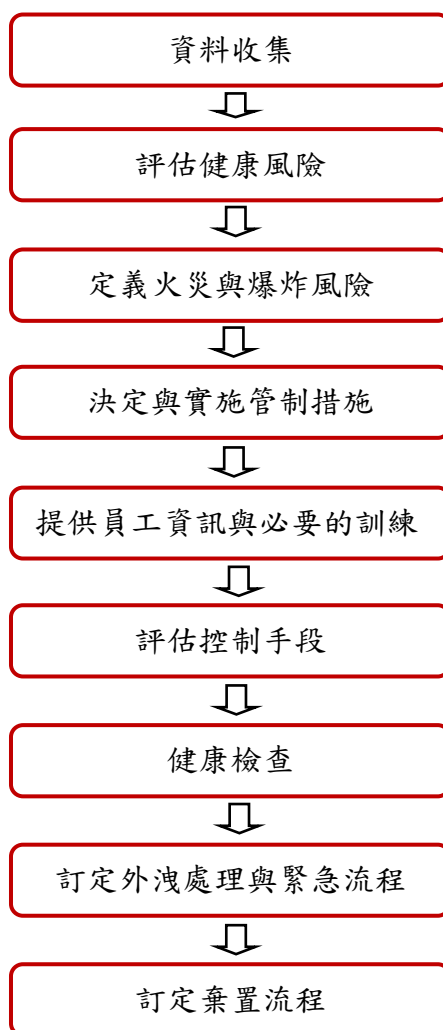


圖 3.2.2.2 處理 NOAAs 風險的流程圖

Health risk evaluation 健康風險評價

對於大部分會懸浮與被人體吸入的微粒物質，特別是難溶解的微粒物，最主要的健康問題來自於呼吸的暴露，對於任何工業製造或利用的奈米物質，這應該列為優先考量。然而，同時也應該要考量其他的暴露途徑，例如皮膚接觸或是經由攝入，以及其他潛在危害，例如火災與爆炸。對於暴露的描述應包括：

- (a)目的、範圍、細節與評估方法的說明
- (b)評估個人以及群體(勞工群體)每一個相關途徑的暴露
- (c)評估品質的評價暴露預測的信賴程度以及推導出的結論，包括來源與不確定的程度

四、ISO/TR 13329:2012 奈米物質 - 物質安全資料表(MSDS)的準備

我國關注的奈米物質的物質安全資料表(MSDS)制定，已於 ISO/TR 13329 發表，此報告為奈米物質及含有奈米物質的混合物之物質安全資料表的制定指引，報告整理了全世界 97 個奈米物質相關的 MSDS，結果發現大部份的 MSDS 的安全資訊不足，如毒性及物化特性，主要的原因為(i) 缺少毒性及物化特性數據；(ii) 缺少傳統暴露控制方法之效率；(iii) 缺少緊急應變及消防措施；(iv) 不了解現行法規對奈米物質的適用性。本報告建議將來應該按照混合物中奈米物質的毒性及有關風險的預防性方法，制定奈米物質的物質安全資料表。ISO/TR 13329 的主要建議之一為納入額外的物理化學特性，包括微粒粒徑(平均和範圍)、粒徑分佈、聚合/團聚的狀態、形狀和縱橫比、結晶性，比表面積、分散性和揚塵特性等可以協助從非奈米尺度的物質分辨出奈米物質的特性。以下為 ISO/TR 13329 的重點摘要。

管制值/濃度限值(Cut-off values/concentration limits)

物質安全資料表(SDS)：提供關於有害化學物質性質資訊的文件，及這些物質是如何影響作業環境中的健康與安全，以及如何管理作業環境中的危害化學物質。

物質安全資料表應描述工程奈米物質是否為純物質、其他材料或產品中的其中一項成分。對混合物來說，須認定奈米物質與其濃度、濃度範圍或是化學品全球調和制度(Globally Harmonized System, GHS)具危害性成分的濃度比例範圍，以及濃度是否比管制濃度還高。若混合物中奈米物質之濃度高於表 3.2.2.2 所列之管制濃度/極限濃度時，則應依本指引製備混合物的 MSDS。若奈米物質之濃度低於表列之管制值仍會造成危害時，仍應製備混合物的 MSDS。

表 3.2.2.2 GHS 的健康及環境危害分類的管制值/濃度極限

危害等級	管制值/濃度極限值
劇毒性	≥ 1.0 %
皮膚腐蝕/刺激	≥ 1.0 %
嚴重眼睛傷害/眼睛刺激	≥ 1.0 %
呼吸/皮膚敏感化	≥ 0.1 %
生殖細胞突變(類型1)	≥ 0.1 %
生殖細胞突變(類型2)	≥ 1.0 %
致癌性	≥ 0.1 %
生殖毒性	≥ 0.1 %
特定目標器官毒害(單次暴露)	≥ 1.0 %
特定目標器官毒害(重複暴露)	≥ 1.0 %
吸入危害(類型1)	≥ 10 % 類型1的成分及動黏度 ≤ 20.5 mm ² /s at 40°C
吸入危害(類型2)	≥ 10 % 類型2的成分及動黏度 ≤ 14 mm ² /s at 40 °C
水體環境危害	≥ 1.0 %

*若混合物中含有超過管制值之工程奈米物質，則混合物的物質安全資料表應依本報告的建議來製備。

危害辨識(Hazard identification)

物質安全資料表應描述所有伴隨著工程奈米物質或混合物所產生的危害，假如混和物沒有全盤測試，這些已認定具有危害的工程奈米物質與所有組成成分的一般名稱，或是濃度大於等於如上表描述的管制值的奈米物質，都應該要列出。假如混合物的成分含有是屬於危害分類的工程奈米物質，濃度高於上表列的相關危害等級的管制值，則這些混合物的物質安全資料表應依本報告來製備。假如混和物濃度低於表中的管制值但被認定具有危害影響，則這些混合物的物質安全資料表也應該要具備。

危害物成分組成與相關的資訊

假如奈米物質與塊材(奈米尺度)物質具有相同的 CAS 編碼 (Chemical

Abstracts Service)，則採用該物質的 CAS 編碼，且同時也要註明此工程奈米物質是根據 ISO 或是其他應用文獻定義(例如：二氧化鈦銳鈦礦，CAS 編碼為 1317-70-0，奈米形式)。奈米物質的化學組成資訊應該包括所有的成分。針對表面狀態的一般資訊，例如表面帶電與表面化學、風險評估以及職業健康與安全措施的建立，假如可行的話，溶解度資訊應該要包含在內，來決定相關的危害指紋 (hazard profiles)。

消防措施

一般認為含有工程奈米微粒的粉末的最大爆炸壓力、壓力上升率與等效粉塵閃燃指數(KSt)性質類似於傳統微米粉末，其原因是因為奈米微粒的團聚作用。然而，假如微粒更有效地分散，那麼粉塵閃燃指數與最大爆炸壓力(Pmax)可能會比這些微米粉末還要大。奈米物質已認定具有無法單獨由化學組成來預測的反應性，降低可燃性材料的微粒尺寸可能會減低最小點火能量與增加燃燒勢 (combustion potential)與速率。

意外洩漏措施

針對工程奈米微粒可能的清潔方法包括：

- (a) 利用專用高效率真空吸塵器(HEPA)，此吸塵器用於工業與實驗室的環境
- (b) 溼式擦拭
- (c) 其他不使用乾式清掃或壓縮空氣吹除方法但機台設備容許的方法

利用專用的 HEPA 真空吸塵器，例如用於危害粉塵的 H 型的工業真空吸塵器，可避免廢棄奈米物質與其他廢棄物混合，因此可減少廢棄奈米物質的數量，以避免廢棄奈米物質與其他廢棄物的潛在污染，以及減少奈米物質無意間的排放。針對含有工程奈米物質液體的傾洩，建議以溼式擦拭法清潔。為了避免在清潔期間，含有懸浮工程奈米微粒逸散出去，建議管制到達傾洩區域的通道，當傾洩區域清潔乾燥完畢之後，可同時使用專用於清潔工程奈米物質的 HEPA 真空吸塵器來清潔殘餘的奈米物質。

暴露控制與個人防護

評估職業暴露風險時，需考量的情形如下：

- (1) 工作場所有奈米物質存放於液態介質中，假如發生傾洩、混合或是攪動的情形，則會提高吸入性液滴生成的可能性
- (2) 於非封閉系統生產氣相奈米微粒以及處理奈米結構粉末，會增加工作場所中氣膠微粒釋放的機會
- (3) 粉塵的生成，或是奈米物體例如奈米微粒或奈米纖維(包括持久性奈米纖維或是纖維結構)釋放到空氣中，將會導致潛在吸入或是皮膚與眼睛的暴露
- (4) 工作場所使用到粉末形式的工程奈米物質時，有氧化、自燃、火災或爆炸的風險(例如：可氧化的金屬粉末)

附註：原始奈米微粒有可能在工作場所的空氣中團聚或膠凝，而生成吸入性非奈米微粒，假如有這種情形，原始奈米微粒的職業暴露限值(若存在時)應該要記錄於物質安全資料表中，以作為工程控制需求的依據

3.2.3 OECD 有關工程奈米物質議題的發展趨勢

至民國 102 年 10 月為止，經濟合作發展組織(OECD)的奈米物質工作小組(WPMN)已發表了 39 個奈米物質安全(如 3.4 節所列)的一系列報告，包括研究及活動的路標、目前的奈米物質安全及發展活動、奈米物質工作計畫、OECD 測試指引於奈米物質的適用性初步評估等。

本團隊於 99 - 101 年度的研究計畫(蔡，100 年；蔡，101 年)已回顧 OECD 發表的 39 份報告中的 10 份重要報告：

1. ENV/JM/MONO(2008)13/REV--OECD 贊助計畫第一期代表性工程奈米物質的優先名單
及測試終點的項目表。
2. ENV/JM/MONO(2009)15--確認、整理及分析與工程奈米物質暴露測量及暴露減輕方法的相關指引。
3. ENV/JM/MONO(2009)16--工作場所懸浮工程奈米物質污染源及其釋放的辨識的評估方法。
4. ENV/JM/MONO(2009)20--測試工程奈米物質的指引手冊。

5. ENV/JM/MONO(2010)25--工程奈米物質安全測試的樣本準備及計量學的指引手冊。
6. ENV/JM/MONO(2011)12--工程奈米物質安全性的近期發展及活動。
7. ENV/JM/MONO(2011)52--奈米物質的法規進展：2006-2009。
8. ENV/JM/MONO (2011)53--奈米物質的市場現況調查。
9. ENV/JM/MONO(2011)54--奈米物質生命週期評估的各國活動。
10. ENV/JM/MONO(2012)8--工程奈米物質風險評估的重要議題。

本年度選定回顧 OECD WPMN 的 1 份報告為：ENV/JM/MONO(2012)14--奈米物質吸入性毒性測試指引的專家會議紀錄，了解 OECD 的贊助計畫 SG3 針對過去已發表的奈米物質吸入性毒性測試指引所提出的修正建議。

ENV/JM/MONO(2012)14--奈米物質吸入性毒性測試指引的專家會議紀錄

此報告為奈米物質吸入性毒性測試的專家會議紀錄，該會議於 2011 年 10 月 19 - 20 日於荷蘭召開，共有 50 位專家與會，針對下列 OECD 過去已發表的測試指引提出修正建議：(1) OECD 測試指引 (TGs 403, TG412, TG413 和 TG436)；(2) 急性吸入毒性試驗的指引手冊 (ENV/JM/MONO(2009)28)；(3) 工程奈米物質安全測試的樣本準備及計量學的指引手冊 (ENV/JM/MONO(2010)25)。

此次會議討論的三個主題為：(1) 基於 SG3 計畫獲得的成果或吸入性毒性試驗/評估領域的新進展，討論樣本準備及計量學的指引手冊是否需要更新；(2) 找出是否有奈米物質吸入性毒性試驗的特定指引或文件的需求，或修訂現有的指引文件；(3) 討論是否需要更新現有 OECD 吸入性試驗的指引或發展新指引，假如有需要進行更新工作，再討論需要那些改變或研發工作與下一階段的工作。

此報告彙整了會議中各講員的演說重點、演說完畢後與會者的討論情形，及測試指引和指引手冊的建議修改內容，這些建議根據毒性測試方法的使用情形，考慮要如何產生包含奈米物質的待測空氣。儘管奈米微粒的團粒或團聚體之吸入性毒性測試似乎能滿足粉體處理作業的風險評估，但仍應使用含有許多單一奈米微粒構成的氣膠進行吸入性毒性測試，使生產階段的奈米微粒的風險評估更有代表性。特別注意在高質量濃度時，由於團聚/聚集作用為時間和微粒數目濃度的函

數，粒徑分佈將朝較大微粒的粒徑偏移。報告中針對現有奈米物質吸入性毒性測試指引及指引文件的修改提出了建議，包括刪除了較低的管制粒徑範圍與最低質量濃度，專家們並特別提到要加入周延的氣膠產生和特性分析的需求，大部分的專家並明確地贊成將生物動力學的應用納入指引，與腦部和其他中樞神經系統部位之詳細的病理，而肺泡沖洗液的分析也應該要包括在內成為一個強制的規範項目。

以報告編號 ENV/JM/MONO(2010)25 的部分建議修改內容為例，專家們建議在”D.4.1 節--呼吸道暴露”增修以下的內容：

進行下列奈米微粒吸入性毒性的研究：

1. 待測空氣的特性分析：在粒徑範圍 1-3 μm 的氣膠毒性通常以質量濃度表示(如 mg/m^3)，在大部份的案例中，由包含奈米微粒的粉體所產生的待測空氣將包括奈米微粒的團粒或團聚體，因此常用的儀器可用於分析這類氣膠，例如多階衝擊器或其他利用質量及慣性力的量測儀器。但針對奈米微粒的毒性，以質量濃度報告的劑量度量可能不是最佳的表示方式，改用微粒數目濃度和總表面積等單位來表示可能會與微粒的毒性更有相關性。因奈米微粒的重量極輕，所以質量量測儀器對奈米微粒的偵測靈敏度不足，因此若預期測量過程會出現單獨的奈米微粒，則使用可測量濃度和粒徑分佈的質量量測儀器時應搭配微粒計數儀器，從微粒的粒徑數目分佈可以推估濃度和表面積粒徑分佈。另外也要有不同的儀器來評估呼吸系統中沉積微粒的表面積，BET 比表面積僅適用於粉體，未必適用於分析產生的氣膠。
2. 假如產生帶有單一奈米微粒的待測空氣，因為奈米微粒的重量極輕，所以通常無法準確地量測奈米物質的使用情形，因此我們可能無法推估標稱濃度 (nominal concentration)，即待測物質的質量除以待測空氣的體積。

第四章 環境奈米科技知識整合及交流

4.1 環境奈米科技知識平台

本團隊於 99 年度建置完成環境奈米科技知識平台(Taiwan Nanotechnology EHS Database)，如圖 4.1.1，網址為 <http://ehs.epa.gov.tw/>，今年的工作重點則在網站管理、資訊提供及整合，整合國內之研究成果，含研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉，並公開於平台上。環境奈米科技知識平台電子報從 100 年 7 月 8 日創刊至今，共發行 12 期(今年度發行之電子報可參閱附錄四)。本計畫已在平台上開闢新專區，讀者可瀏覽電子報的歷史資料(如圖 4.1.2)，圖 4.1.3 為電子報第十二期(本年度之第四則)發行內容，用戶可以即時透過 Email 收到電子報發布奈米 EHS 新知、奈米 EHS 知識、活動快訊及下期內容預告等，或連結至平台上閱覽各文，也能透過平台於專區內下載 PDF 檔全文收藏(如圖 4.1.4)。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為 525 人，且瀏覽人數已大幅增加至 69,328 次(統計日期：2013 年 11 月 25 日)。

圖 4.1.1 環境奈米知識平台首頁

The screenshot shows the website interface for the 'Environment Nanotechnology Knowledge Platform'. At the top, there is a header with the logo of the Executive Yuan Environmental Protection Agency and the title '環境奈米科技知識平台'. A search bar and a 'Manager Login' button are also present. Below the header is a navigation menu with links for 'Home', 'About Database', 'Latest News', 'Research Projects', 'Published Documents', 'Announcements', 'Activity News', 'Nanotechnology EHS Knowledge', 'Related Links', 'Community Discussion', and 'HELP'. The main content area is titled '電子報' (Electronic News) and features a list of articles with columns for 'Date' and 'Title'. The articles are listed in descending order of date, from 2013/11/22 to 2011/10/28. A pagination control shows '1' and '2' with arrows. At the bottom right of the content area, there is a 'Go Up' button. The footer contains a 'Barrier-free' icon and links for 'Privacy Policy', 'Information Security Policy', 'Information Security Regulations', 'Copyright Statement', and 'Contact Us'. The page update date is noted as 2013/01/12.

日期	標題
2013/11/22	環境奈米科技知識平台電子報第十二期
2013/09/26	環境奈米科技知識平台電子報第十一期
2013/07/04	環境奈米科技知識平台電子報第十期
2013/03/27	環境奈米科技知識平台電子報第九期
2012/11/29	環境奈米科技知識平台電子報第八期
2012/10/30	環境奈米科技知識平台電子報第七期
2012/08/07	環境奈米科技知識平台電子報第六期
2012/05/16	環境奈米科技知識平台電子報第五期
2011/11/29	環境奈米科技知識平台電子報第四期
2011/10/28	環境奈米科技知識平台電子報第三期

圖 4.1.2 電子報專區

行政院環境保護署

環境奈米科技知識平台電子報

第十二期 | 出報日：2013/11/26
平台網址：<http://ehs.epa.gov.tw/>
 發行單位：行政院環境保護署
 執行單位：國立交通大學環境工程研究所

訂閱電子報



前言

近年來先進國家與國際組織在奈米技術在環境、健康、安全(EHS)議題的發展已有顯著進展。為因應國際趨勢，環保署參與第二期六年(2009-2014)奈米國家型科技計畫，擬定12個奈米技術EHS的發展重點項目，並持續與勞委會、衛生署合作，以確保負責任的國家型奈米技術之永續發展。過去數年來，環保署建置了環境奈米科技知識平台(ehs.epa.gov.tw)，提供產官學研各界奈米科技環境、健康與安全(EHS)議題的即時資訊和進行知識交流，並自2011年起定期發行電子報。

本期為第12期電子報，針對奈米科技的法規與政策、奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命、奈米微粒的量測方法、奈米物質的應用及奈米物質的生命週期評估等議題做最新進版的介紹。首先在奈米科技的法規與政策方面，有奈米物質的工作場所職業暴露限額報告、美國國家毒理計畫(NTP)將奈米鏽列為致癌物、OECD成員國對人造奈米物質的安全提出建議、美國國家科學研究委員會(NRC)公佈工程奈米物質在環境健康安全(EHS)議題的研究進展報告、歐盟提交有關奈米食物標示的建議法規給世界貿易組織、及歐奈米安全研究群NanoHouse計畫與NEPHH (Nanomaterials Related Environmental Pollution and Health Hazards, 奈米物質造成的環境污染與健康危害)計畫的介紹；在奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命方面，將報導都市固體廢棄物垃圾掩埋下之單離奈米磁管傳輸、及奈米磁熱之氧化銅奈米圓柱與奈米磁熱產生的毒性與宿命；奈米微粒的量測方法中將回顧ISO/TS 11937:2012 奈米級二氧化鈦粉體的特性分析與量測規範；另外在奈米物質的應用上將介紹奈米級二氧化鈦粉體在環境與模型表面的吸附作用、與TiO₂-聚丙稀奈米纖維在煙道氣體的同步脫硫及脫氮的光催化裂解等研究重點；在奈米物質的生命週期評估方面，介紹奈米纖維素與奈米磁管改質的半導體元件之環境生命週期評估；最後是奈米物質的毒性評估，報導第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會上針對奈米磁管毒性發表的論文重點摘要。更多精彩的報導都在本期的「環境奈米科技知識平台電子報」。



奈米EHS
新知介紹

1. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命
 - [典型都市固體廢棄物垃圾掩埋下之單離奈米磁管傳輸](#)
 - [用於路/氧化銅的奈米磁熱之氧化銅奈米圓柱及氧化銅奈米球，燃燒前後產生的毒性與宿命](#)
2. 奈米物質的生命週期評估
 - [奈米纖維素之生命週期評估](#)
 - [由奈米磁管改質的半導體元件之環境生命週期評估](#)
3. 奈米物質的毒性評估
 - [奈米磁管的毒性評估](#)
4. 奈米物質的應用
 - [奈米級二氧化鈦粉體在環境與模型表面的吸附作用](#)
 - [TiO₂-聚丙稀奈米纖維在煙道氣體的同步脫硫及脫氮的光催化裂解](#)
5. 奈米科技的法規與政策
 - [工程奈米物質在環境健康安全議題的研究進展報告](#)
 - [奈米磁管的工作場所職業暴露限額](#)
 - [奈米鏽列為致癌物報告的優選物質](#)
 - [OECD成員國提出人造奈米物質安全的建議](#)
 - [歐盟提交有關奈米食物標示的建議法規給世界貿易組織](#)
 - [美國環保署建議與同意登記奈米磁管抗菌防腐劑產品](#)
 - [歐盟奈米安全研究群NanoHouse計畫探討家庭塗料內奈米磁管產品之生命週期](#)
 - [歐奈米安全研究群NEPHH計畫探討奈米物質造成的環境污染與健康危害](#)
6. 奈米微粒的量測方法
 - [ISO/TS 11937:2012 奈米級二氧化鈦粉體的特性分析與量測](#)



活動快訊

1. [Conference on Aerosol Technology 2014](#)
 - 舉行時間：2014/06/16 08:00~2014/06/18 17:00
 - 與會地點：Karlsruhe, Germany.
 - 主辦單位：Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF)
2. [第十屆國際奈米毒理研討會\(NANOTOX 2014, 7th International Nanotoxicology Congress\)](#)
 - 舉行時間：2014/04/23 08:00~2014/04/26 17:00
 - 與會地點：土耳其安塔利亞(Antalya)
 - 主辦單位：-
3. 下期內容預告

| 免費/取消訂閱 | | 聯絡我們
 Copyright © 2013 行政院環境保護署 All rights reserved.

圖 4.1.3 電子報圖樣



圖 4.1.4 電子報之全文圖樣

本報告同時整合國內外相關團體之奈米知識源，包括國科會與 EHS 議題相關之研究計畫、歐盟網站知識源等均已納入環境奈米科技知識平台。目前已整理並完成上傳的研究報告及出版文獻篇數統計如下表 4.1.1 所示，其中中文版網站研究報告全文共 174 篇(新增 65 篇)、出版文獻摘要 699 篇(新增 162 篇)及英文版網站研究報告摘要 149 篇(新增 49 篇)、SCI 論文摘要及連結 523 篇(新增 222 篇)(統計日期：2013 年 11 月 25 日)。附錄四為英文版網站收錄國內學者發表 SCI 論文的學者清單，附錄五則為英文版網站以國內學者的英文姓名縮寫搜尋出版文獻的結果範例，本年度已完成英文版網站 SCI 論文重新正確分類的工作，以利於搜尋。

表 4.1.1 已上傳知識平台的研究報告及出版文獻篇數統計 (102.11.25)

委辦機關	中文版網站 研究報告全文	英文版網站 研究報告摘要	中文版網站 出版文獻連結	英文版網站 SCI 論文連結
環保署	54	54	195	13
勞研所	51	51	7	17
衛生福利部	7	0	62	64
國科會	62	44	396	428
奈米國家型計畫辦公室	0	0	0	0
工研院	0	0	33	1
環檢所	0	0	6	0
其他委辦機關	0	0	0	0
總計	174	149	699	523

研究報告及出版文獻於網站上之呈現，可見圖 4.1.5 至圖 4.1.6 所示如下：

The screenshot displays the 'Taiwan Nanotechnology EHS Database' website. The page is titled 'Projects' and features a navigation menu with options like Home, About, Newsroom, Projects, Papers, Policy, Events, Knowledge, and Resources. The main content area shows details for a specific project:

- Project name:** Photoelectrocatalytic Oxidation and Reduction of Pollutants by Using Nanosized Photocatalyst Electrodes
- Project number:** 97-2221-E-011-025
- Published Year/Month:** 2011/11
- Sponsor institute:** Taiwan DOH
- PI:** Yang Ku
- Executive institute:** Department of Chemical Engineering, National Taiwan University of Science and Technology

The project abstract describes the application of bias potential to the photocatalytic decomposition of aniline in aqueous solution, studying various light intensities, sintering temperatures, pH, and electrolyte concentrations. It notes that the decomposition rate is enhanced with bias potential but inhibited by recombination of electron-hole pairs. Higher bias potentials (above 1.0V) show improved decomposition in acidic solutions compared to alkaline ones. In alkaline solutions, decomposition increases with potassium chloride concentration but decreases with excessive potassium chloride due to competitive adsorption.

Additional information includes database categories (Taiwan NSC - Treatment - Toxicity - Good Practices and Risk Management - Multiple - Report - Organic / Polymers - Oxide - Multiple - Ecosystem - General Population - Technical Research - Engineered/Inadvertent) and a download link for the PDF file: [97-2221-E-011-025.pdf](#). The page also features social media sharing options and a 'TOP' button.

At the bottom, the website footer includes the date 'Latest Update : 2013/01/12' and contact information for the Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan).

圖 4.1.5 英文版網站提供研究報告摘要及部分文章之全文下載

The screenshot displays the 'Taiwan Nanotechnology EHS Database' website. The page features a navigation menu with options like Home, About, Newsroom, Projects, Papers, Policy, Events, Knowledge, and Resources. The main content area is titled 'Papers' and shows a list of articles. The selected article is titled 'Differences in 24-h average PM2.5 concentrations between the beta attenuation monitor (BAM) and the dichotomous sampler (Dichot)'. The article details include the publication date (2013/08), sponsor (Taiwan EPA), source (Atmospheric Environment), and authors (Chun-Nan Liu, Amit Awasthi, Yi-Hung Hung, Belakrishnalah Gugamsetty, Chuen-Jinn Tsai, Yue-Chuen Wu, Chung-Fang Chen). The abstract discusses the measurement of PM2.5 concentrations using different methods and the resulting overestimation. A link to the abstract is provided: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013003269>. The page also includes a 'Share the article to' section with social media icons and a 'Latest Update: 2013/01/11' notice.

圖 4.1.6 英文版網站提供 SCI 論文連結

有關國際及國內研討會、論壇等活動訊息，也可透過平台的活動訊息專區發佈，目前已有 24 筆訊息發佈(如圖 4.1.7)，另外也有環境奈米科技展專區(如圖 4.1.8)與環境奈米科技論壇活動花絮專區(如圖 4.1.9)，供使用者瀏覽。為了推廣我國相關奈米 EHS 研究成果，本團隊規劃訪問國內的專家學者，以介紹他們的優異研究成果及針對奈米 EHS 各議題的看法，訪問內容以中英文方式在本平台規劃之專家專訪專區內具名發表(如圖 4.1.10)。本年度已提升原搜尋引擎之功能(如圖 4.1.11)，並新增進階版的搜尋引擎(如圖 4.1.12)，以使網站使用者能精確取得所需之文獻或報告的資訊。



圖 4.1.7 活動訊息專區-研討會訊息



圖 4.1.8 活動訊息專區-環境奈米科技展

The screenshot shows the website interface for the Environmental Nanotechnology Knowledge Platform. The main navigation bar includes links for Home, Database, Latest News, Research Projects, Publications, Announcements, Activity Information, Nanotechnology EHS Knowledge, Related Links, and Social Discussion. The current page is 'Activity Information' for the '102nd Environmental Nanotechnology Forum'. A sidebar on the left features a photo of hands typing on a laptop. The main content area displays the forum's agenda for 2013.

Time	Topic
09:00~09:30	報到
09:30~10:00	開幕引言
主持人：國家衛生研究院環境衛生與職業醫學研究組林煥瑛研究員	
09:30~10:00	奈米科技之風險感知及政策研究 主講人：台灣大學職業醫學與工業衛生研究所鄭尊仁教授
10:00~10:30	結構性奈米材料於生物及環境樣品的檢測技術開發 主講人：清華大學生醫工程與環境科學系董瑞安教授
10:30~10:40	茶敘 Tea break
主持人：中央大學環境工程研究所張木彬教授	
10:40~11:10	水環境中無機性奈米微粒量測技術開發研究 主講人：台灣大學農業化學系施養信副教授
11:10~11:40	環境中奈米物質的量測技術與暴露評估 主講人：交通大學環境工程研究所蔡春進教授
11:40~12:10	利用奈米破管修飾電極進行環境水質分析 主講人：中央大學環境工程研究所蔡靜如副教授
12:10~13:10	午餐

圖 4.1.9 活動訊息專區-環境奈米科技論壇(活動簡介、照片總覽、論文精華、統計分析)

The screenshot shows the 'Nanotechnology EHS Knowledge' section of the website. It features a list of 10 expert interview topics. The interface includes a search bar, navigation menu, and a sidebar with a photo of an open book.

共 10 筆相關資料

項目	專家專訪主題
1	專訪國立交通大學環境工程研究所-蔡春進教授
2	專訪國立清華大學生醫工程與環境科學系-董瑞安教授
3	專訪國立清華大學化學系-凌永健教授
4	專訪國家衛生研究院奈米醫學研究中心-楊重熙主任
5	專訪國立台灣大學職業醫學與工業衛生研究所-鄭尊仁教授
6	專訪行政院環境保護署環境檢驗所-阮國棟所長
7	專訪國衛院環境衛生與職業醫學研究組-劉紹興組主任
8	專訪工研院奈米中心-宋清潭特別助理/正研究員
9	專訪國立成功大學環境工程學系-王鴻博教授
10	專訪國立清華大學動力機械工程學系-李國賓教授

網頁更新日期：2013/01/12

圖 4.1.10 專家專訪專區

The screenshot shows the Chinese version of the search engine. At the top, it features the logo of the Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan) and the title '環境奈米科技知識平台'. A search bar is located in the top right corner. Below the header is a navigation menu with items like '首頁', '關於資料庫', '最新消息', '研究計畫', '出版文獻', '公告', '活動訊息', '奈米EHS知識', and '相關連結'. The main content area is titled '請輸入以下欄位' and includes a search form with fields for '查詢字串', '知識類型', '分類', '作者', '出版年月', and '排序結果'. There are also buttons for '送出' and '重填'. A footer section contains copyright information and accessibility icons.

The screenshot shows the English version of the search engine. At the top, it features the logo of the Environmental Protection Administration, R.O.C. (Taiwan) and the title 'Taiwan Nanotechnology EHS Database'. A search bar is located in the top right corner. Below the header is a navigation menu with items like 'Home', 'About', 'Newsroom', 'Projects', 'Papers', 'Policy', 'Events', 'Knowledge', and 'Resources'. The main content area is titled 'Please Enter The Following Fields' and includes a search form with fields for 'Keyword', 'Type', 'Category', 'Author', 'Published Date', and 'Sort By'. There are also buttons for 'Submit' and 'Reset'. A footer section contains copyright information and accessibility icons.

圖 4.1.11 搜尋引擎-簡易版(中英文版)

The screenshot shows the Chinese version of the search engine. At the top, it features the logo of the Environmental Protection Administration (EPA) and the title '環境奈米科技知識平台' (Environment Nanotechnology Knowledge Platform). The navigation bar includes links for '首頁' (Home), '關於資料庫' (About Database), '最新消息' (Latest News), '研究計畫' (Projects), '出版文獻' (Published Literature), '公告' (Announcements), '活動訊息' (Activity Information), '奈米EHS知識' (Nanotechnology EHS Knowledge), and '相關連結' (Related Links). The main search area is titled '請輸入以下欄位' (Please enter the following fields) and includes a '簡易查詢模式' (Simple Search Mode) button. The search criteria include: '知識類型' (Knowledge Type) set to '研究計畫' (Projects); '查詢字串' (Search String) with a text input field; '分類' (Category) set to '委辦機關' (Sponsor); '計畫名稱' (Project Name), '計畫編號' (Project Number), '計畫主持人/共同主持人' (Project PI/Joint PI), and '委辦機關/執行機關' (Sponsor/Executive Institute) each with a text input field and an 'AND' dropdown; '出版年月' (Published Date) with a date range selector; and '排序結果' (Sort Results) set to '相似度' (Similarity). There are '送出' (Submit) and '重填' (Reset) buttons at the bottom of the search area.

The screenshot shows the English version of the search engine. At the top, it features the logo of the Environmental Protection Administration (EPA) and the title 'Taiwan Nanotechnology EHS Database'. The navigation bar includes links for 'Home', 'About', 'Newsroom', 'Projects', 'Papers', 'Policy', 'Events', 'Knowledge', 'Resources', and 'HELP'. The main search area is titled 'Please Enter The Following Fields' and includes a 'Simple Search Mode' button. The search criteria include: 'Type' set to 'Projects'; 'Keyword' with a text input field and a dropdown menu for 'Word(s) in the Title' and 'Authors'; 'Category' set to 'Sponsor'; 'Project name', 'Project number', 'PI/CO-PI', and 'Sponsor institute/Executive institute' each with a text input field and an 'AND' dropdown; 'Published Date' with a date range selector; and 'Sort By' set to 'Similarity'. There are 'Submit' and 'Reset' buttons at the bottom of the search area. The footer includes the text 'Latest Update : 2013/05/02' and contact information for the EPA.

圖 4.1.12 搜尋引擎-進階版(中英文版)

本團隊將繼續協環保署進行 102 年度奈米計畫子計畫之橫向管理與整合等作業，並聯繫及追蹤各子計畫之計畫主持人，即時將研究成果及相關資料等上傳環保署「環境奈米科技知識平台」，及配合知識平台發行電子報，整合奈米 EHS 相關資訊。為蒐集環保署「環境奈米科技知識平台」所需之相關資料，本團隊已完成收集國內國科會、國家衛生研究院、勞工安全衛生研究所等單位過去所出版奈米技術 EHS 相關的研究報告及論文，部分已徵求計畫主持人或出版作者同意的報告將陸續上傳至「環境奈米科技知識平台」，以充實網站的內容及增加可讀性。

本年度除了提升網站功能的操作便利性、資料豐富性外，更針對資訊安全執行網站弱點分析掃瞄及網站流量的統計。

弱點掃描 (Vulnerability Assessment) 的用意在於協助資訊人員提早察覺存在的已知漏洞，這包含系統弱點找尋、系統內部惡意程式的發現、系統整體強度的檢查、資訊安全政策設定是否有問題…等等。當目標主機的組態(Configuration)有變更時，即進行安全評估及檢測，本團隊以『Nessus 弱點偵測軟體』針對目標主機進行安全評估及檢測。而檢測報告包含以下項目：

- 是否具有安全弱點或安全漏洞之訊息
- 弱點統計(依等級統計)
- 弱點清單
- 提供安全弱點、安全漏洞之說明連結

掃瞄策略為在期中時，先進行 Microsoft Patches 掃瞄，而在期末時，則針對主機所開放的 port 來進行掃瞄。

在此腳本掃瞄中，主機所開放的 port 共有 20 個，經偵測軟體逐一掃瞄，結果為無任何弱點存在，相關報告請見圖 4.1.13。

114.34.180.151

Scan time :

Start time : Fri Nov 8 10:22:43 2013

End time : Fri Nov 8 12:11:16 2013

Number of vulnerabilities :

Open ports : 20

Low : 0

Medium : 0

High : 0

Information about the remote host :

Operating system : (unknown)

NetBIOS name : (unknown)

DNS name : (unknown)

圖 4.1.13 Nessus 掃瞄結果圖

本團隊也不定期監視無障礙網頁規範(A+)的審查情況，自審查通過日到現在，只要有網頁內容更新，則本團隊必自我檢測後，才放到網站主機內；目前已針對網站進行五次無障礙自我檢測，記錄如表 4.1.2 所示。

表 4.1.2 無障礙自我檢測紀錄表

自我檢測日期	檢測結果
2013/07/01	符合 A+規範
2013/08/09	符合 A+規範
2013/09/30	符合 A+規範
2013/10/31	符合 A+規範
2013/11/15	符合 A+規範

目前整個網站仍是符合無障礙網頁規範；相關報告請見圖 4.1.14。

● 無障礙網路服務-標章資訊

機關代碼	355000000I_行政院環境保護署
標章管理權機關代碼	355000000I_行政院環境保護署
承辦人	--
網站名稱	環境奈米科技知識平台
網址	http://ehs.epa.gov.tw/
標章等級	A+
最近檢測日期	2011.12.02
修正日期	2011.12.06
登錄日期	2011.11.21
備註	<p>http://ehs.epa.gov.tw/NewRoom/F_News_Detail/ http://ehs.epa.gov.tw/NewRoom/EN_F_News_Detail/ 二個目錄為轉址目錄，謝謝</p>
連結路徑	< a href = "http://www.webguide.nat.gov.tw/enable.jsp?category=20111121114554" title = "無障礙網站"> < img src = "(設定連結至您自行下載的無障礙標章圖檔位置)" border = "0" width = "88" height = "31" alt = "通過A+優先等級無障礙網頁檢測">
標章狀態	此標章啟用中

檢測記錄	檢測日期	檢測狀態	檢測類別
檢視報告	2011.12.02	2011.12.06修正	機器/人工
檢視報告	2011.11.29	2011.12.01修正	機器/人工
檢視報告	2011.11.21	--	機器/機器

圖 4.1.14 A+無障礙檢測報告圖

統計網站流量的分析方面，本團隊在網站內導入 Google Analytics(分析)之解決方案來讓系統管理者可以進一步瞭解網站流量和網頁功能使用成效，不僅提供了具有彈性又容易使用的強大功能，更可透過全新的方式查看並分析流量資料。

以下列出幾類較常查詢使用的流量統計報表，讓系統管理者可以更廣面的去了解點閱民眾的習性及頻率(如圖 4.1.15 所示)：

- 網頁檢視人數統計圖：在特定時間區間內，統計出造訪次數、網頁檢視數、平均網站停留時間…等數值。而相關數值解讀如下：

- 數據查詢區間：2012/11/1~2013/10/31，共有 7754 次(不重覆訪客)造訪過本網站
- 曲線圖為：各月的訪客人數
- 造訪：指在查詢區間內的總覽網站人數，含重覆到訪人數
- 不重覆訪客：指在查詢區間內的不重覆到訪人數
- 瀏覽量：指查詢區間內的總瀏覽頁數
- 單次造訪頁數：指查詢區間內單人造訪的頁數，亦『總瀏覽頁數/造訪數』
- 平均造訪停留時間：指查詢區間內單人造訪的停留網站內時間
- 跳出率：指只瀏覽一頁就離開的造訪數/造訪次數

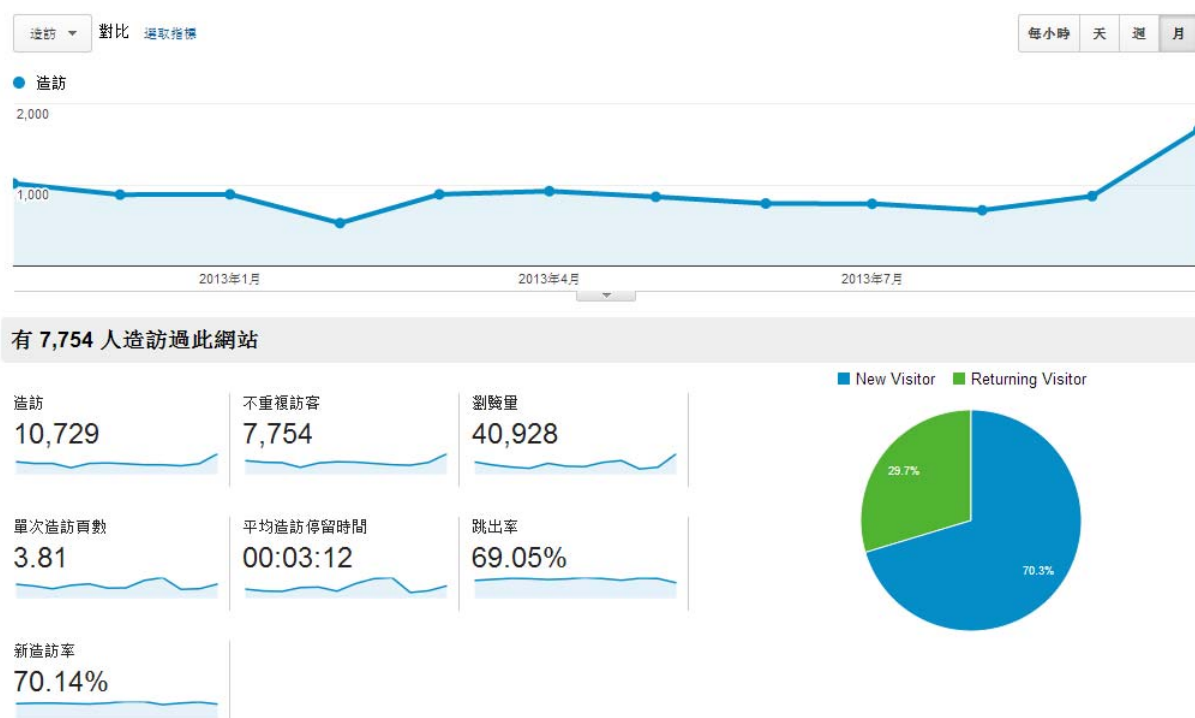


圖 4.1.15 網頁檢視人數統計圖

網站內容點閱統計圖：在特定時間區間內，觀察出使用者常用的功能單元，進而增加功能資料內容或加強網站查詢效率，讓使用者在使用該功能時，能有更好的使用體驗。

如圖 4.1.16 所示，所有造訪人次中，最常看到的功能排名，其中以『出版文獻』，『電子報』及『研究計畫』為最多造訪人次中的前三名熱門功能。

網頁路徑層級 ?	瀏覽量 ?	不重複瀏覽量 ?	平均網頁停留時間 ?	跳出率 ?	離開百分比 ?
	40,928 % 總計: 100.00% (40,928)	29,151 % 總計: 100.00% (29,151)	00:01:08 網站平均值: 00:01:08 (0.00%)	69.05% 網站平均值: 69.05% (0.00%)	26.21% 網站平均值: 26.21% (0.00%)
1. <input type="checkbox"/> /Publications/ 出版文獻	6,531	4,897	00:01:15	83.94%	26.78%
2. <input type="checkbox"/> /Newsletter/ 電子報	5,152	4,590	00:01:59	80.23%	52.91%
3. <input type="checkbox"/> /Projects/ 研究計畫	5,127	3,760	00:01:07	81.56%	22.78%
4. <input type="checkbox"/> / 首頁	3,674	2,485	00:02:33	37.90%	30.02%
5. <input type="checkbox"/> /Conference/ 環境奈米科技展	2,630	1,897	00:01:03	64.58%	29.58%
6. <input type="checkbox"/> /DocList/ 文件清單	2,245	988	00:00:31	42.86%	3.96%
7. <input type="checkbox"/> /Admin/ 後台管理	2,024	679	00:00:38	17.54%	3.75%
8. <input type="checkbox"/> /Aplus/ 研究計畫主頁	1,510	1,073	00:00:15	11.54%	4.77%
9. <input type="checkbox"/> /ExpertInterview/ 專家專訪	1,435	1,180	00:01:49	82.00%	56.72%
10. <input type="checkbox"/> /GeneralkM/ 科普知識	1,280	847	00:00:43	61.90%	12.89%

圖 4.1.16 網站內容點閱統計圖

新舊訪客總覽圖：在特定時間區間內，觀察上線使用者的新舊分佈比率。可在下圖中看出查詢區間的訪客性質，New Vistor 代表為首次進到本網站的人次，而 Returning Vistor 代表第二次(含以上)到訪本網站人次。如圖 4.1.17 所示，新訪客持續成長中，而舊訪客的回訪比例逐漸上升，佔比為 30%，這也代表著本網站的資訊參考性愈來愈重。

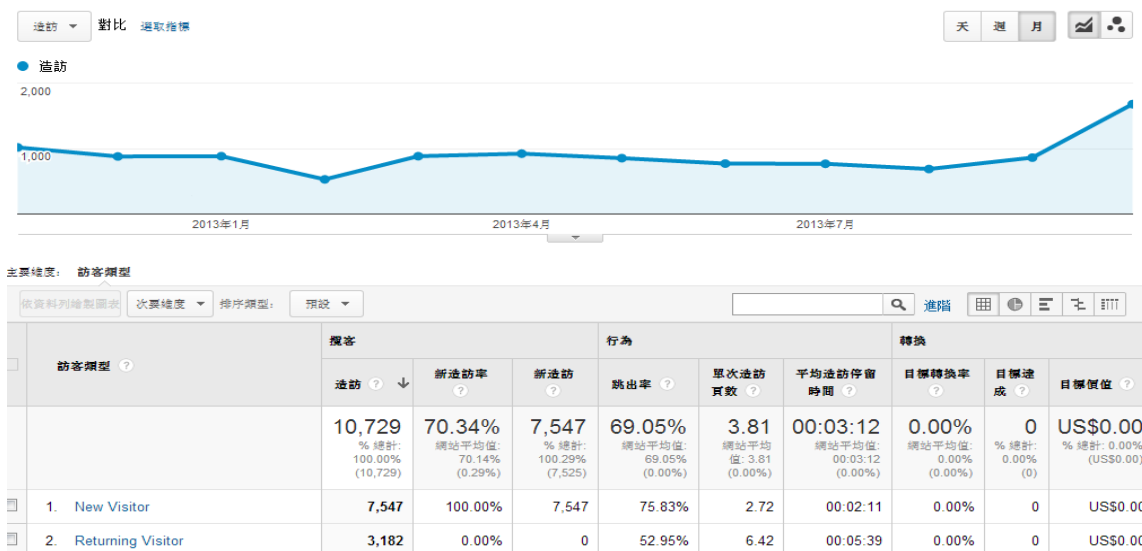


圖 4.1.17 新舊訪客總覽圖

本網站於 2012 年 7 月開始對本網站進行流量資料蒐集，故同期比較區間只能從 2012 年 7 月開始做比較。再以今年(2013/7/1~2013/10/31)跟去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的造訪頻率及回訪率如圖 4.1.18 與圖 4.1.19 所示，可以看出本網站所呈現的資料漸漸成為重度使用者(造訪次數 50 次以上)查閱奈米知識的重點平台之一。



圖 4.1.18 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的造訪頻率及回訪率的趨勢圖

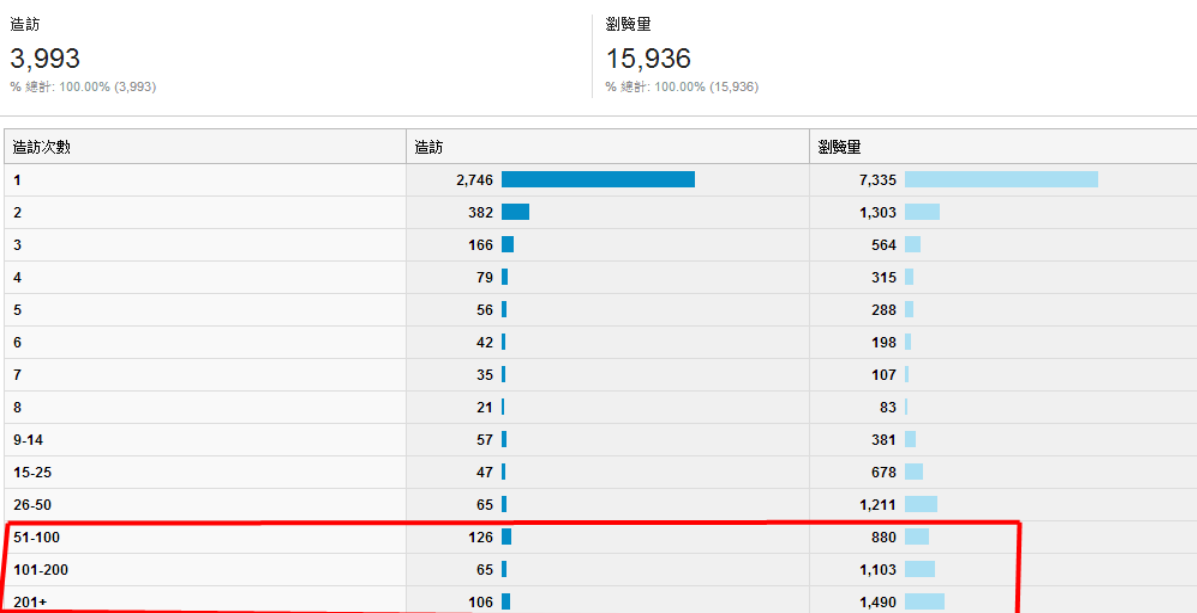


圖 4.1.19 今年(2013/7/1~2013/10/31)的造訪頻率及回訪率的趨勢圖

訪客地理位置圖：在特定時間區間內，可統計出訪客地理位置比例，藉以系統使用者的分佈情形。綠色區域代表是訪客分布的國家分佈，其中以『台灣』，『美國』及『德國』為最多的訪客國家來源。(如圖 4.1.20 及圖 4.1.21)

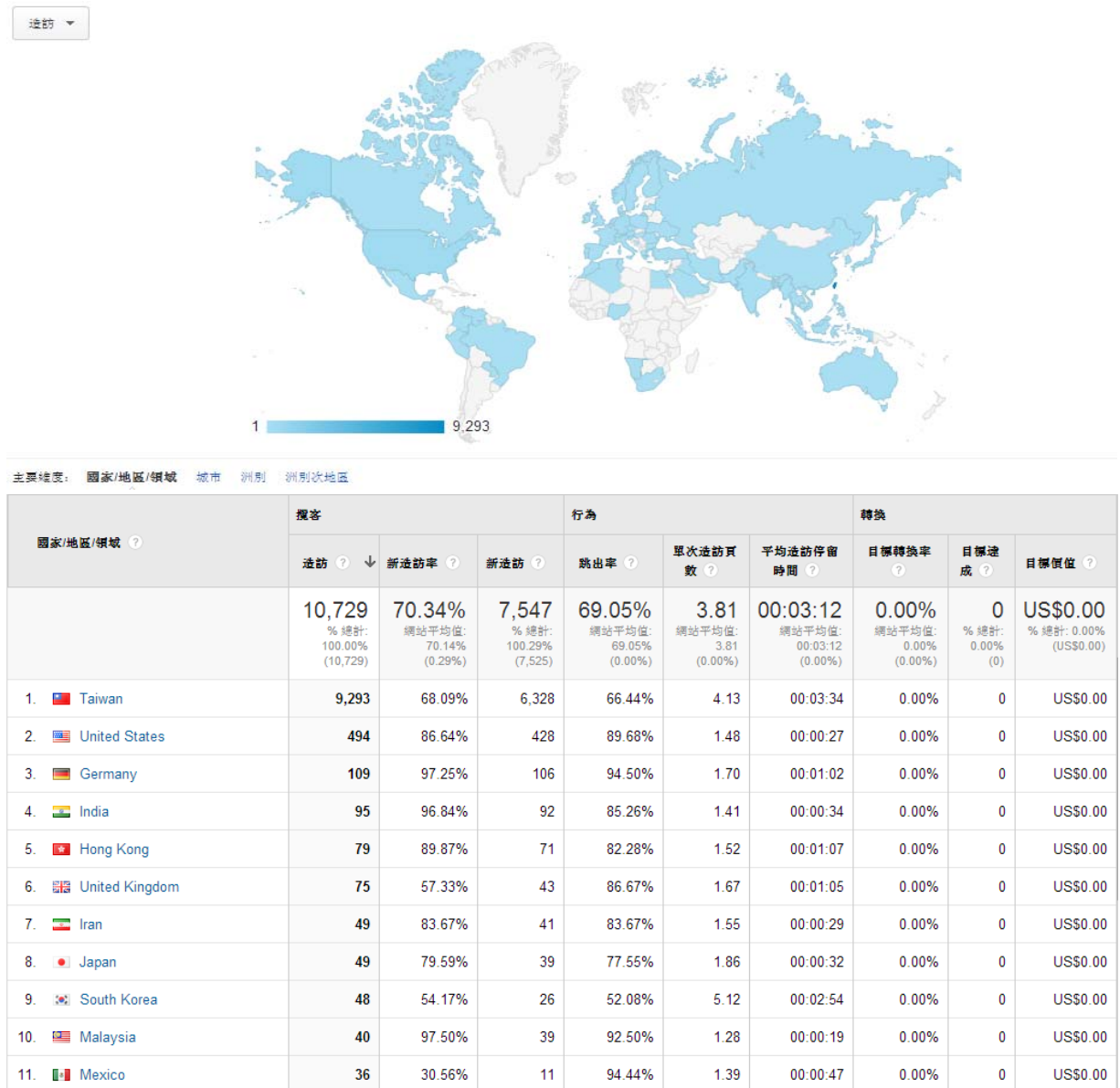
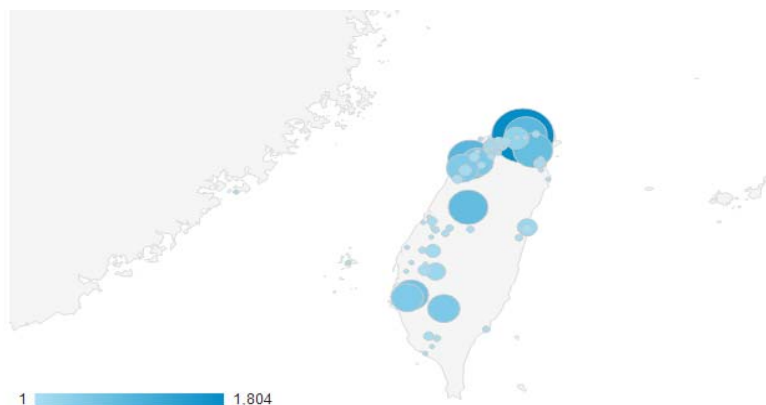


圖 4.1.20 訪客地理位置-全球



城市 ?	遊客			行為			轉換		
	造訪 ? ↓	新造訪率 ?	新造訪 ?	跳出率 ?	單次造訪頁數 ?	平均造訪停留時間 ?	目標轉換率 ?	目標達成 ?	目標價值 ?
	9,293 % 總計: 86.62% (10,729)	68.09% 網站平均值: 70.14% (-2.91%)	6,328 % 總計: 84.09% (7,525)	66.44% 網站平均值: 69.05% (-3.78%)	4.13 網站平均值: 3.81 (8.27%)	00:03:34 網站平均值: 00:03:12 (11.36%)	0.00% 網站平均值: 0.00% (0.00%)	0 % 總計: 0.00% (0)	US\$0.00 % 總計: 0.00% (US\$0.00)
1. Taipei City	1,804	69.01%	1,245	65.80%	3.32	00:02:26	0.00%	0	US\$0.00
2. Tainan City	1,036	73.46%	761	72.01%	3.42	00:02:27	0.00%	0	US\$0.00
3. Hsinchu City	880	44.20%	389	45.80%	10.67	00:10:23	0.00%	0	US\$0.00
4. Neihu District	846	65.01%	550	64.66%	4.74	00:02:59	0.00%	0	US\$0.00
5. Taichung City	768	79.69%	612	72.92%	2.44	00:01:41	0.00%	0	US\$0.00
6. New Taipei City	732	67.35%	493	66.53%	3.66	00:07:29	0.00%	0	US\$0.00
7. Kaohsiung City	494	74.29%	367	71.26%	3.41	00:02:08	0.00%	0	US\$0.00
8. Zhudong Township	493	45.03%	222	64.71%	5.02	00:03:15	0.00%	0	US\$0.00
9. Zhunan Township	451	76.72%	346	69.62%	3.00	00:02:35	0.00%	0	US\$0.00
10. Zhongli City	290	84.48%	245	76.90%	2.68	00:01:18	0.00%	0	US\$0.00

圖 4.1.21 訪客地理位置-台灣

再以今年(2013/7/1~2013/10/31)跟去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的訪客比較，各國的訪客都明顯增加許多，特別是德國及英國訪客成長最多(如圖 4.1.22 與圖 4.1.23 所示)。

國家/地區/領域 ?	覆客			行為			轉換		
	造訪 ? ↓	新造訪率 ?	新造訪 ?	跳出率 ?	單次造訪頁數 ?	平均造訪停留時間 ?	目標轉換率 ?	目標達成 ?	目標價值 ?
	2,636 % 總計: 100.00% (2,636)	66.01% 網站平均值: 65.97% (0.06%)	1,740 % 總計: 100.06% (1,739)	63.35% 網站平均值: 63.35% (0.00%)	3.79 網站平均值: 3.79 (0.00%)	00:02:47 網站平均值: 00:02:47 (0.00%)	0.00% 網站平均值: 0.00% (0.00%)	0 % 總計: 0.00% (0)	US\$0.00 % 總計: 0.00% (US\$0.00)
1. Taiwan	2,285	62.98%	1,439	59.87%	4.11	00:03:05	0.00%	0	US\$0.00
2. United States	176	83.52%	147	88.07%	1.60	00:00:39	0.00%	0	US\$0.00
3. India	23	91.30%	21	95.65%	1.04	00:00:27	0.00%	0	US\$0.00
4. Japan	13	92.31%	12	76.92%	1.69	00:00:13	0.00%	0	US\$0.00
5. Hong Kong	12	91.67%	11	66.67%	3.25	00:05:48	0.00%	0	US\$0.00
6. Iran	11	100.00%	11	100.00%	1.00	00:00:00	0.00%	0	US\$0.00
7. Germany	10	50.00%	5	100.00%	1.00	00:00:00	0.00%	0	US\$0.00
8. France	10	70.00%	7	90.00%	1.70	00:01:58	0.00%	0	US\$0.00
9. United Kingdom	8	75.00%	6	100.00%	1.00	00:00:00	0.00%	0	US\$0.00
10. Australia	7	100.00%	7	71.43%	1.29	00:00:09	0.00%	0	US\$0.00

圖 4.1.22 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的訪客地理位置圖

國家/地區/領域 ?	覆客			行為			轉換		
	造訪 ? ↓	新造訪率 ?	新造訪 ?	跳出率 ?	單次造訪頁數 ?	平均造訪停留時間 ?	目標轉換率 ?	目標達成 ?	目標價值 ?
	3,993 % 總計: 100.00% (3,993)	68.77% 網站平均值: 68.62% (0.22%)	2,746 % 總計: 100.22% (2,740)	65.24% 網站平均值: 65.24% (0.00%)	3.99 網站平均值: 3.99 (0.00%)	00:03:26 網站平均值: 00:03:28 (0.00%)	0.00% 網站平均值: 0.00% (0.00%)	0 % 總計: 0.00% (0)	US\$0.00 % 總計: 0.00% (US\$0.00)
1. Taiwan	3,554	66.74%	2,372	62.69%	4.30	00:03:45	0.00%	0	US\$0.00
2. Germany	93	100.00%	93	98.92%	1.04	00:00:04	0.00%	0	US\$0.00
3. United States	74	81.08%	60	81.08%	1.36	00:00:38	0.00%	0	US\$0.00
4. United Kingdom	48	43.75%	21	85.42%	1.29	00:00:57	0.00%	0	US\$0.00
5. Hong Kong	27	96.30%	26	81.48%	1.52	00:01:59	0.00%	0	US\$0.00
6. India	25	92.00%	23	88.00%	1.20	00:00:59	0.00%	0	US\$0.00
7. Japan	21	76.19%	16	85.71%	1.19	00:00:05	0.00%	0	US\$0.00
8. Malaysia	18	100.00%	18	83.33%	1.61	00:00:42	0.00%	0	US\$0.00
9. Iran	9	100.00%	9	77.78%	2.78	00:01:12	0.00%	0	US\$0.00
10. Singapore	9	77.78%	7	66.67%	3.00	00:02:30	0.00%	0	US\$0.00

圖 4.1.23 今年(2013/7/1~2013/10/31)的訪客地理位置圖

參與度統計圖：在特定時間區間內，可統計出訪客在網站造訪停留時間，藉以了解訪客在本網站中的資訊是否足夠吸引訪客長時間的駐足(圖 4.1.24)。

102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫

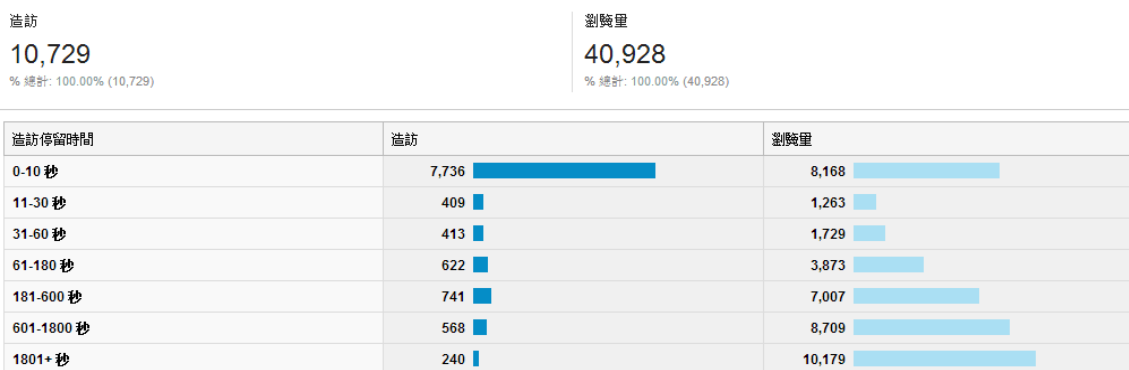


圖 4.1.24 今年(2012/11/1~2013/10/31)的參與度統計圖

再以今年(2013/7/1~2013/10/31)跟去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的訪客參與度比較，停留時間在 180-600 秒成長以上了 134%，601-1800 秒成長以上了 56%，1800+秒成長以上了 184%(如圖 4.1.25 與圖 4.1.26 所示)。



圖 4.1.25 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的參與度統計圖

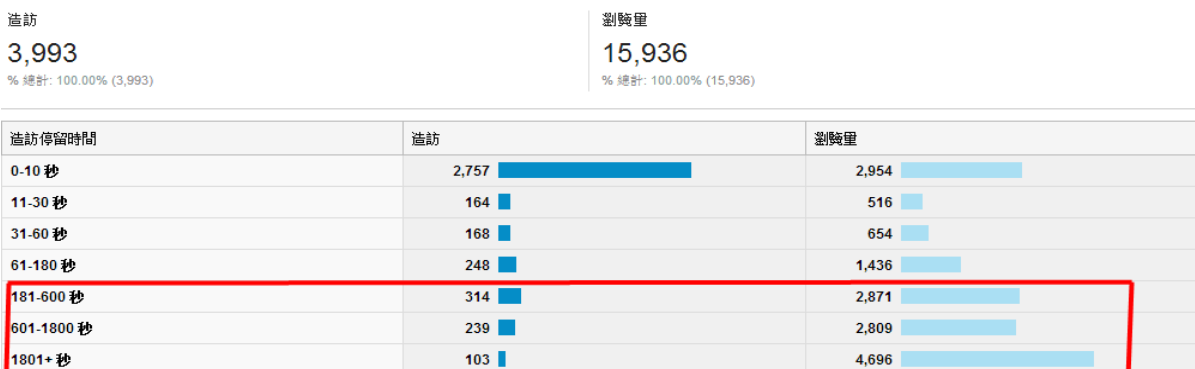


圖 4.1.26 今年(2013/7/1~2013/10/31)的參與度統計圖

網頁活動分析圖：在特定時間區間內，可讓管理者透過視覺化方式來評估使用者與網頁的互動方式，並協助了解下列問題：

- 版面配置成效如何？是否能順利引導使用者完成預期的動作？
- 使用者是否真的看到了網站想要呈現的內容？
- 使用者是否順利在網頁上找到所需的資訊？
- 使用者按下了哪些連結？

如圖 4.1.27 所示，『常見問題』區域被點選的比例較其他區域高，所以此區域在首頁的配置上，應可以往上位置調整，以讓使用者更順利找到所需的資訊。



圖 4.1.27 網頁活動分析圖

行動裝置瀏覽統計圖：在特定時間區間內，可統計出訪客在網站造訪時，所使用的資訊閱讀載具，藉以了解訪客所使用的載具趨勢，以便提前規劃並接軌趨勢，如圖 4.1.28 所示。

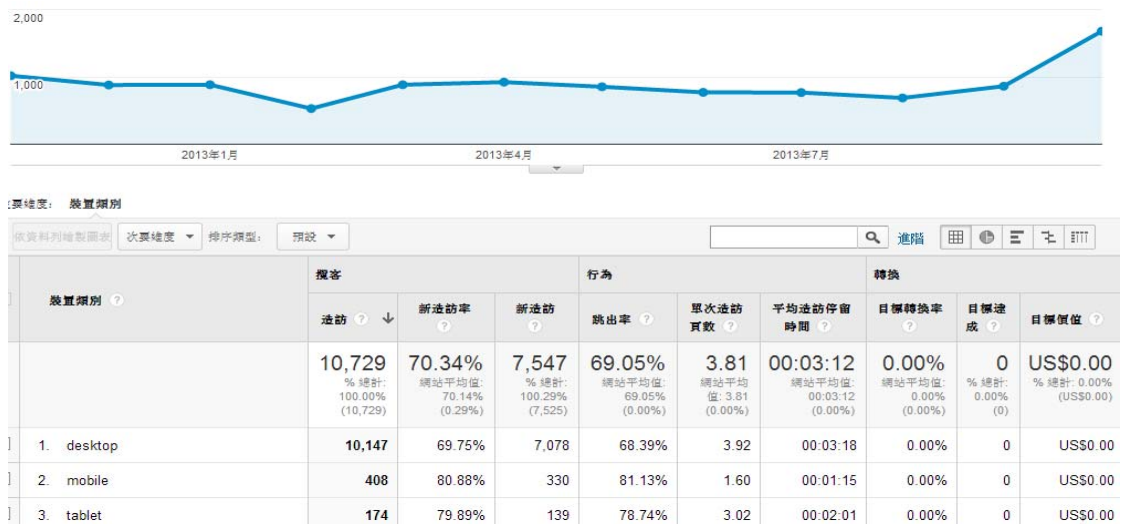


圖 4.1.28 今年(2012/11/1~2013/10/31)的行動裝置瀏覽統計圖

從今年的統計數據中可看出，使用一般電腦為 94%，智慧型手機為 6%，所以目前本網站還是以一般電腦主流。再以今年(2013/7/1~2013/10/31)跟去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的訪客行動裝置瀏覽比較，智慧型手機(mobile+tablet)的使用比例成長 264%，代表愈來愈多使用者使用智慧型手機來進行本網站的資訊取得(圖 4.1.29 與圖 4.1.30)。

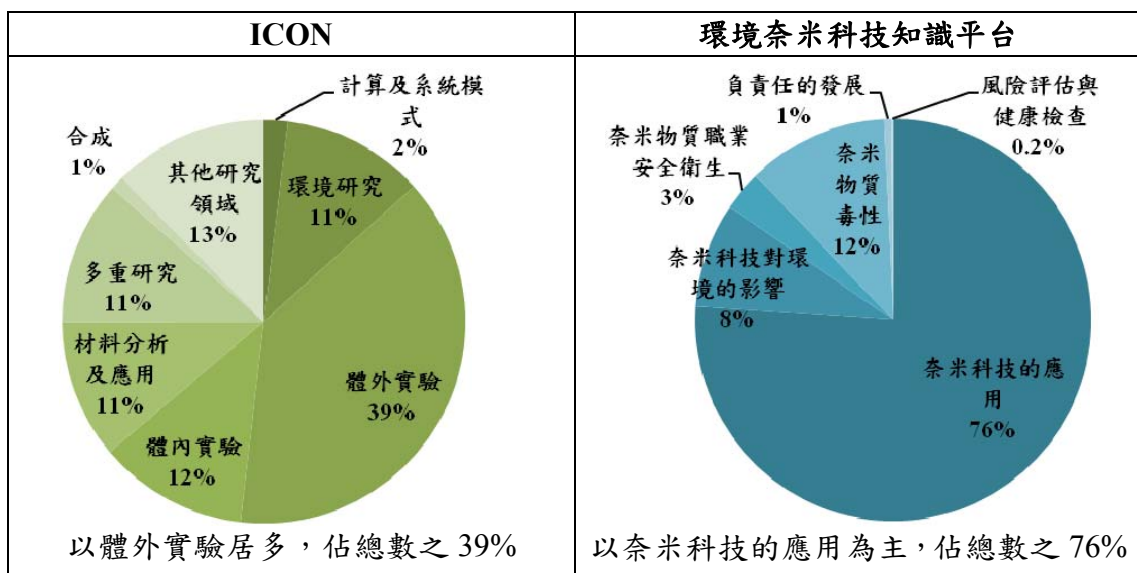
裝置類別	搜尋			行為			轉換		
	造訪	新造訪率	新造訪	跳出率	單次造訪頁數	平均造訪停留時間	目標轉換率	目標達成	目標價值
	2,636 % 總計: 100.00% (2,636)	66.01% 網站平均值: 65.97% (0.06%)	1,740 % 總計: 100.06% (1,739)	63.35% 網站平均值: 63.35% (0.00%)	3.79 網站平均值: 3.79 (0.00%)	00:02:47 網站平均值: 00:02:47 (0.00%)	0.00% 網站平均值: 0.00% (0.00%)	0 % 總計: 0.00% (0)	US\$0.00 % 總計: 0.00% (US\$0.00)
1. desktop	2,530	66.05%	1,671	63.40%	3.81	00:02:46	0.00%	0	US\$0.00
2. mobile	73	61.64%	45	68.49%	2.34	00:02:42	0.00%	0	US\$0.00
3. tablet	33	72.73%	24	48.48%	5.21	00:03:27	0.00%	0	US\$0.00

圖 4.1.29 去年同期(2012/7/1~2012/10/31)的行動裝置瀏覽統計圖

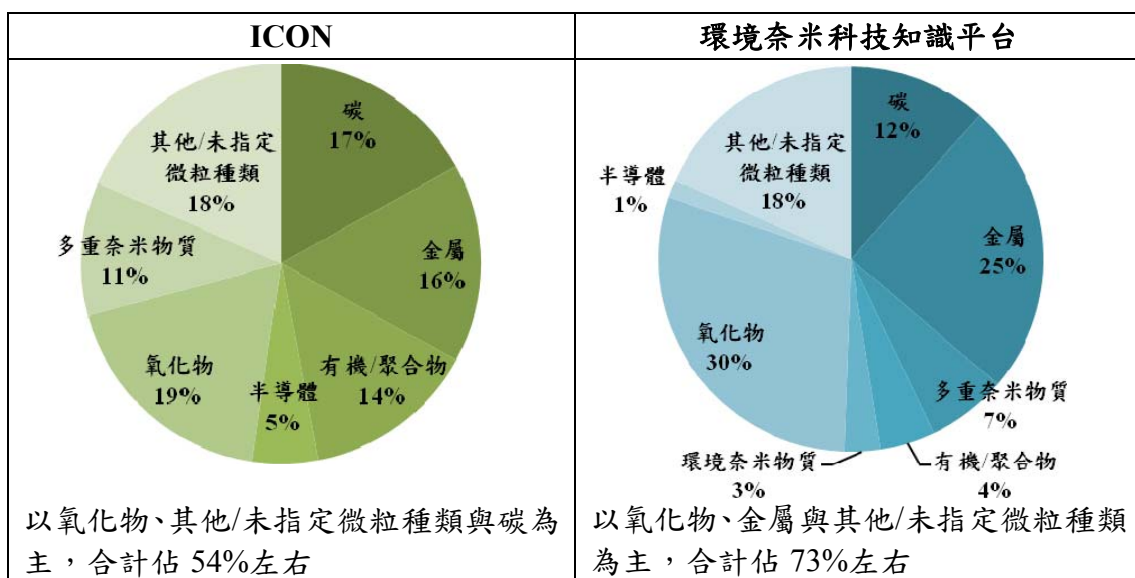
裝置類別 ?	覆客			行為			轉換		
	造訪 ? ↓	新造訪率 ?	新造訪 ?	跳出率 ?	單次造訪頁數 ?	平均造訪停留時間 ?	目標轉換率 ?	目標達成 ?	目標價值 ?
	3,993 % 總計: 100.00% (3,993)	68.77% 網站平均值: 68.62% (0.22%)	2,746 % 總計: 100.22% (2,740)	65.24% 網站平均值: 65.24% (0.00%)	3.99 網站平均值: 3.99 (0.00%)	00:03:26 網站平均值: 00:03:26 (0.00%)	0.00% 網站平均值: 0.00% (0.00%)	0 % 總計: 0.00% (0)	US\$0.00 % 總計: 0.00% (US\$0.00)
1. desktop	3,713	67.84%	2,519	64.10%	4.15	00:03:34	0.00%	0	US\$0.00
2. mobile	190	83.16%	158	82.11%	1.67	00:01:24	0.00%	0	US\$0.00
3. tablet	90	76.67%	69	76.67%	2.47	00:01:59	0.00%	0	US\$0.00

圖 4.1.30 今年(2012/11/1~2013/10/31)的行動裝置瀏覽統計圖

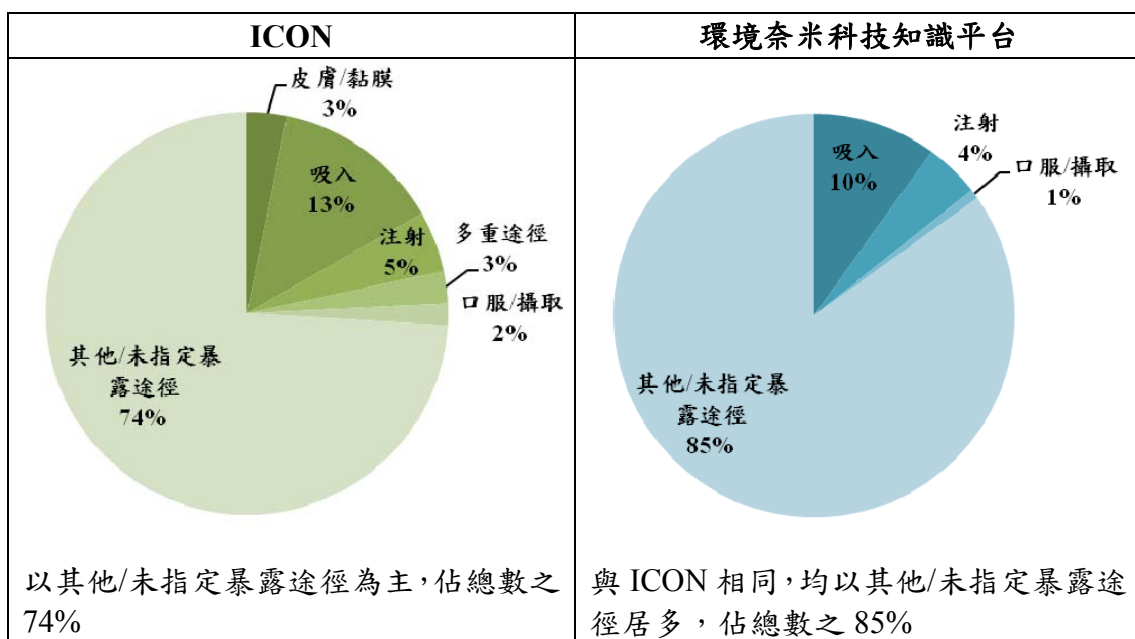
ICON 網站收錄目前全世界最完整的奈米技術 EHS 期刊摘要，為環境奈米科技知識平台的重要參考知識源及網站架構之參考依據。ICON 網站收錄 2000 年到 2013 年 10 月間有關奈米技術 EHS 全球同儕審查的期刊文章共 7037 篇，環境奈米科技知識平台已收錄國內學者發表的 SCI 論文共 523 篇。如圖 4.1.31 所示，本研究將 ICON 網站與知識平台收錄之奈米技術 EHS 論文，依研究領域、微粒類型、暴露途徑、暴露或危害標的等項目分類，比較分析兩資料庫所收錄文獻的分類，藉此了解國內外學者在奈米技術 EHS 的研究方向，作為本國未來發展奈米技術 EHS 相關研究的參考。



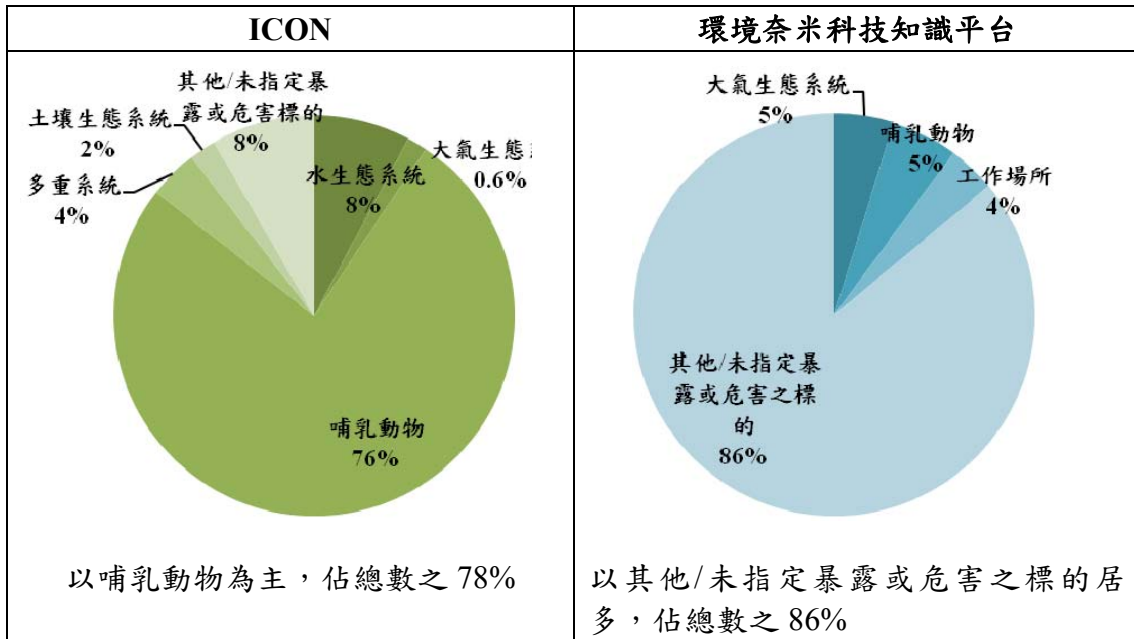
(a) 研究領域



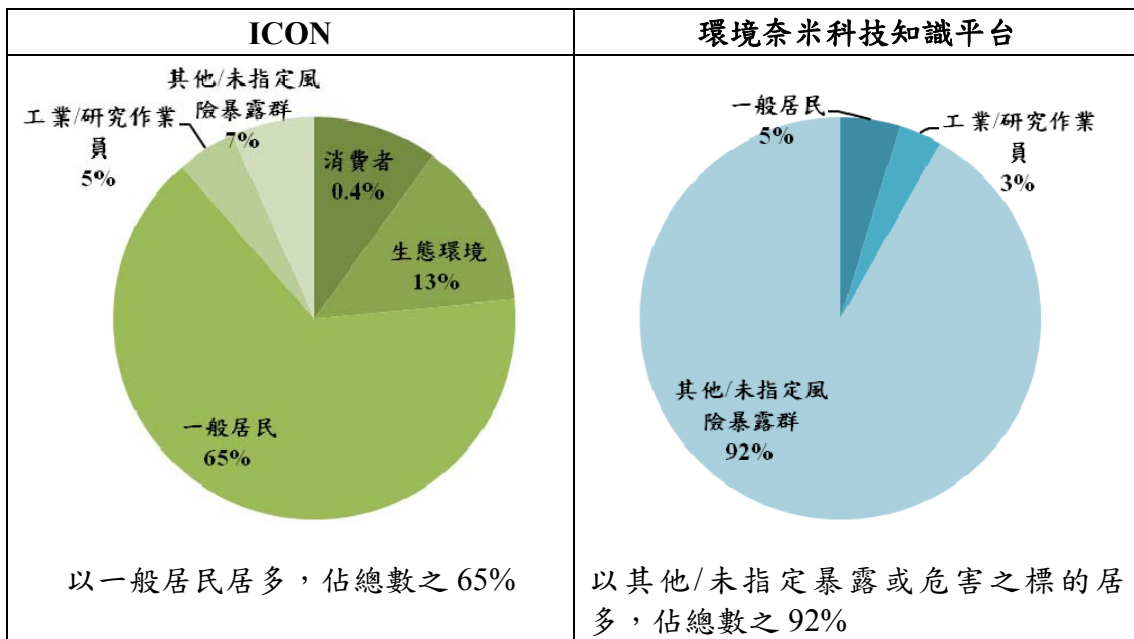
(b) 微粒種類



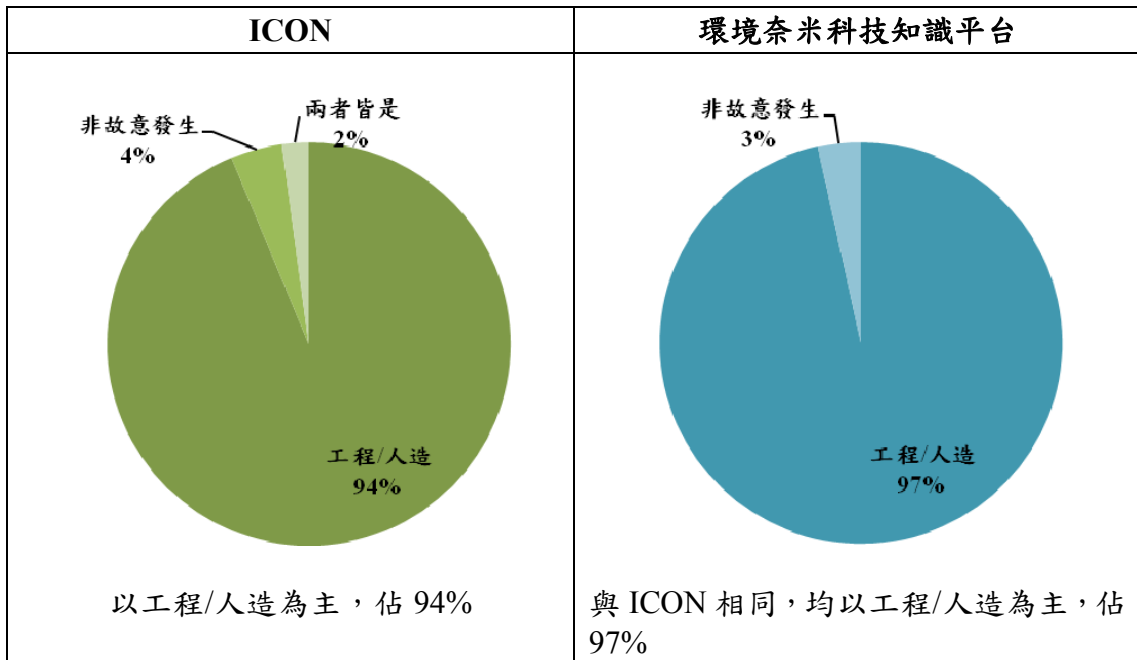
(c) 暴露途徑



(d) 暴露或危害標的



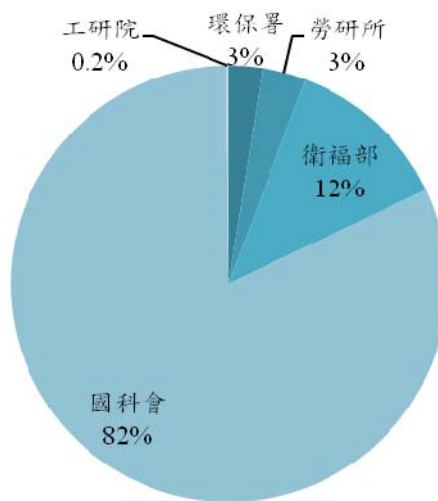
(e) 風險暴露群



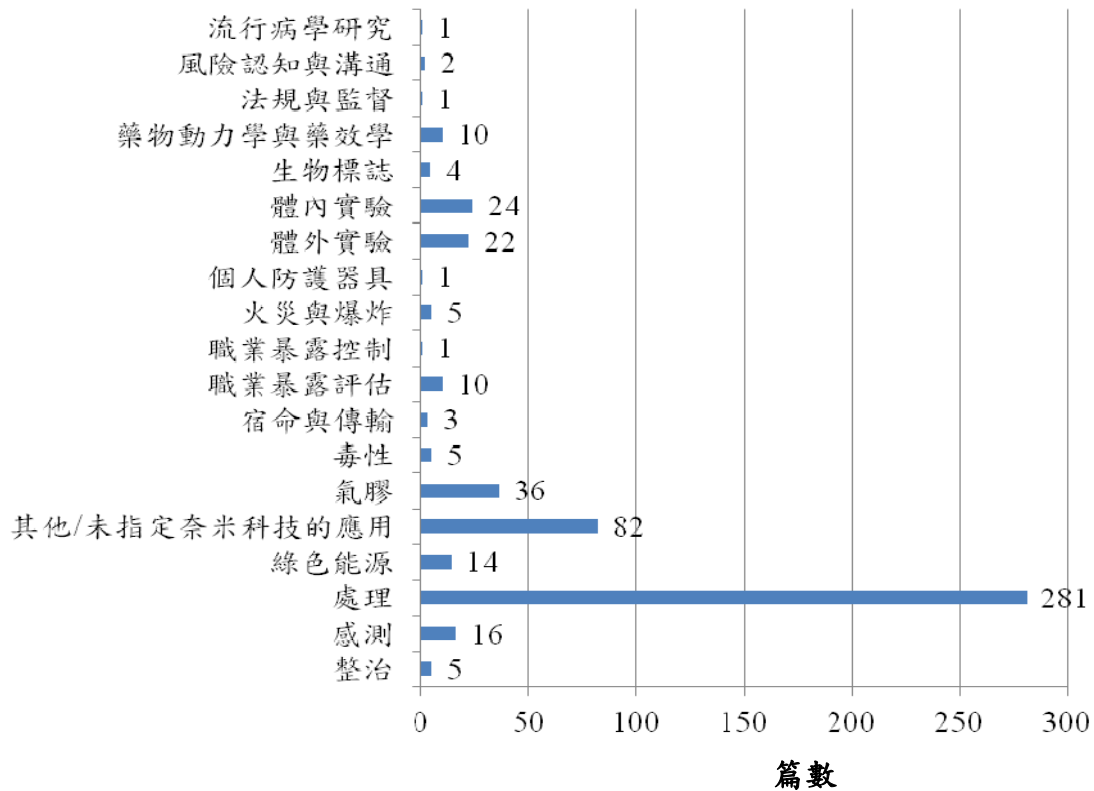
(f) 產生方法

圖 4.1.31 ICON 網站與環境奈米科技知識平台收錄之奈米技術 EHS 論文的資料庫分類比較圖

本計畫整理環境奈米科技知識平台內收錄之 SCI 論文，分析委辦機關和研究領域項下的細項分類，如圖 4.1.32 所示，知識平台收錄的 SCI 論文的委辦機關以國科會為主，佔了 82%；研究領域方面則是以處理的研究論文最多，共計 281 篇，佔論文總數(523 篇)的 54%。



(a) 委辦機關



(b) 研究領域

圖 4.1.32 環境奈米科技知識平台收錄之 SCI 論文分析圖

4.2 風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構

4.2.1 舉辦環境奈米科技論壇

本計畫已於 102 年 10 月 21 日在台大集思會議中心蘇格拉底廳舉辦「102 年環境奈米科技論壇」，將環保署過去一年的研究成果以論文發表方式介紹給不同國內利害相關者，本次議程如表 2.3 所示。此次論壇共吸引產、官、學、研各界共 147 人報名參加（含政府/法人團體 43 位、學校 74 位及公司/個人 30 位），101 人出席參與討論。會議論文集已上傳至知識平台提供大眾下載閱讀，讓不克參與論壇之各界先進也可獲得相關會議資訊，當日的活動照片如下圖 4.2.1.1 所示，其他活動花絮及現場提問與回答如附錄七所示。



圖 4.2.2.1 102 年環境奈米科技論壇活動花絮

4.2.2 我國環境奈米科技學者的訪問

為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米 EHS 研究現況，本團隊已於 102 年 6 月 10 日完成訪問國立成功大學環境工程學系王鴻博教授，並於 102 年 9 月 17 日完成訪問清華大學動力機械工程系李國賓教授，訪問稿並以中英文方式呈現。以

下為兩位專家的訪談整理結果，兩位專家的英文訪問報導，請參考本報告附錄八。

王鴻博 教授訪問稿

一、訪問目的

王鴻博教授為美國猶他大學化學(燃料)工程博士，現服務於國立成功大學環境工程學系，主持先進能源、分子環境及奈米科技研究實驗室。其研究領域包含分子/奈米環境科學、潔淨能源技術、資源回收工程、超臨界流體技術等，並曾參與及主持多項固體廢棄物處理、土壤污染及廢水處理方面的研究計畫。王教授曾獲得李國鼎榮譽學者獎(2013)、日月光集團優良學者獎(2013)、中國工程師學會傑出工程教授獎(2013)、侯金堆傑出榮譽獎(2012)；兩度獲得國科會傑出研究獎(2002~2005、2009~2012)、國科會傑出學者研究計畫(2008~2011)、成功大學工學院研究優良教授(2002~2003)、國科會發明獎(1999~2003)、世界專利發明競賽金牌獎(1998)與中華民國發明金頭腦獎(1996)。王教授並曾任國科會工程科技通訊副總編輯(1999~2002)、環境保護月刊副總編輯(2003)、中國環境工程學刊副總編輯(2004~2006)、以及 *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 副主編(2006~)、以及 *Sustainable Environment Research* 總編輯(2011~)。本研究團隊希望藉由此次訪問機會，針對奈米科技環境健康安全(nano-EHS)資訊與王教授進行交流。

二、採訪方式

面訪

三、採訪時間

2013年6月10日

四、採訪問題

1. 是否可請王博士與讀者分享您的團隊近年來在奈米技術之應用及 nano-EHS 的重要研究成果及其影響？

發展資源物的回收與再利用技術是本團隊在奈米技術的環境應用上，最為重視也鑽研最多的部分。協助產業解決半導體廢料回收及稀有金屬分離純化的問題，並利用回收物創造出低成本、高效率之新型材料，進而提升其附加價值，是

我們這幾年一直在努力的重點。在此列舉幾項主要的研究成果：

一、可調粒徑奈米核殼物質的合成及應用：針對高科技產業廢物水中有價金屬的分離回收，我們利用醣化合物捕捉化學機械研磨(chemical mechanical polishing, CMP)廢水中的銅離子形成錯合物，碳化生成奈米 Cu@C 核殼粒子，此方法也可用於合成不同金屬及雙金屬或合金的奈米核殼粒子。我們利用調整醣與金屬離子之莫耳比例，合成可調粒徑大小(7~40 nm)之核殼粒子，其外層碳膜(約 3~5 nm)可以避免奈米金屬核氧化或團聚，有助於分析核殼粒子的物化特性，例如：熔點、熱傳導性或電傳導性等。與尺度相關之奈米金屬基本物理性質也已被發現，例如：Cu@C 及 Ag@C 奈米核殼粒子之熔點會隨著粒徑的減小而降低。合成之可調粒徑奈米金屬及雙金屬或合金核殼粒子也可應用於光電與生醫領域，如設計出適用於 LED 散熱的奈米銅毛細管超薄均勻熱板、合成奈米多層/多金屬合金材料及熱獵殺惡性腫瘤之可行性研究等，這些研究成果可商業化並具有技術移轉價值。

二、以綠色溶劑--離子液體選擇性回收有害廢棄物中之有價金屬：傳統的空氣污染控制程序無法有效地去除奈米微粒，我們在拆解電視、螢幕或 FEDs (場發射型顯示器)之空氣污染控制設備之濾袋式集塵器收集之螢光粉中，發現奈米和次微米的微粒。實驗結果顯示，在非常短的接觸時間內，超過 90%的奈米螢光粉微粒可被室溫離子液體(room temperature ionic liquids, RTILs)所吸收。在兩分鐘內，以離子液體萃取 CMP 廢水之奈米銅或者吸附於 MCM-41 中的銅及奈米銅，富集效率為 80~95%。當調整液體之 pH 值小於 4 時，可回收離子液體中的銅，回收效率可達 91%。

2. 請問以王博士對於 nano-EHS 相關領域研究之經驗了解，您對於目前國際上 nano-EHS 趨勢有何看法？台灣應該如何因應？

美國對奈米物質方面的研究已逾十多年，應用技術上的發展相當快速並已經逐漸成熟。我個人比較關心被釋放到環境中的奈米物質，例如空氣中懸浮著各種不同粒徑的微粒，肉眼看不到的奈米物質當然也存在。我們過去曾利用離子液體偵測空氣中的懸浮奈米物質，離子液體可由不同種類之正負離子組成，在離子液體中分子之間的間距適合奈米物質通過，透過量測離子液體電阻的變化，能有效

地感測出懸浮奈米物質的存在。另外，在半導體製程中會摻雜元素表上第三族及第五族金屬的高毒性化合物如鉀、銻、砷等，當業界致力於開發半導體奈米製程的同時，也應該注意奈米物質對人體及環境所造成的危害。因奈米化學物質通常本身就具有化學毒性，奈米物質的表面特性和反應性也是影響其毒性的重要因素，了解並比較化學物質本身之毒性和奈米型態產生的毒性為一項重要的研究課題。最後，監測及分析空氣中的奈米物質，是我認為很重要且必要做的事。

3. 對於台灣 nano-EHS 往後相關研究及政策，王博士有何建議？

因奈米物質的反應性極高，從事奈米技術的製造及研究人員，應該要採取控制與防護的措施以降低奈米物質的暴露，並要教育這些人員儲存奈米物質時必須保存在液態裡，避免其釋放到空氣中。我國的勞工安全衛生研究所已公佈「奈米技術實驗室奈米物體暴露控制手冊」，此手冊亦可於本平台查詢瀏覽，供奈米技術研發單位及事業單位參考。因奈米物質對人體健康造成的危害，其潛伏期可能長達 10 至 20 年，我的學生在實驗室進行乾式奈米物質作業時，我都會要求他們在氣罩內進行，同時配戴合格的職業衛生防塵口罩(N95)，並將奈米物質保存於液態內，減少其釋放到空氣中的機會。

4. 最後，請王博士是否可以對於年輕學者投入 nano-EHS 研究說幾句話？

未來奈米物質的商業應用依然是相當廣泛，我希望年輕學者在開發奈米技術的同時，應該也要重視奈米物質對環境及人體健康造成的負面影響。奈米技術的研究人員對各種貴重分析儀器的使用操作應已非常熟練，當奈米技術的開發速度漸緩時，不妨可利用現有設備進行奈米物質毒性的相關研究，便能進一步針對奈米物質對環境和人體健康所產生的風險進行評估。

李國賓 教授訪問稿

一、訪問目的

李國賓教授為美國加州大學洛杉磯分校機械及航空工程研究所博士，現服務於國立清華大學動力機械工程學系，主持微流體生醫晶片實驗室，其研究領域包

含微機電系統、微感測器、微流體系統、生醫晶片及奈米生物技術之設計、製作與自動化之應用。李教授曾獲得美國機械工程學會會士(2013)、清華大學智財商化績優教師(2013)、奈米國家型科技計畫生醫領域績優計畫獎(2012)、三次國家新創獎、中華民國力學學會第六屆會士(2011)、國際傑出發明學術終身成就獎(2011)、李國鼎榮譽學者獎(2009)、中國工程師學會傑出工程教授獎(2009)、中國電機工程學會傑出電機工程教授獎(2007)、中華民國第四十五屆十大傑出青年(2007)、中國機械工程學會傑出工程教授獎(2006)及全國優秀青年獎章(2006)等榮譽，兩度榮獲國科會傑出研究獎(2007~2009、2010~2012)，並被湯森路透(台灣)選為論文高被引用作者(2012)。李教授曾擔任工研院醫療器材中心副主任(2008~2010)、國際期刊 *Micro and Nano Letters* 總編輯(2013)、*Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics* 編輯(2013)、國際期刊 *IET Nanobiotechnology* 編輯(2006~)，並獲邀擔任奈米國家型科技計畫部會計畫聯絡及人才培育分項召集人(2011~)。本研究團隊希望藉由此次訪問機會，針對奈米科技環境健康安全(nano-EHS)資訊與李教授進行交流。

二、採訪方式

面訪

三、採訪時間

2013 年 9 月 17 日

四、採訪問題

1. 是否可請李教授與讀者分享您的團隊近年來利用微奈米機電系統技術應用在 nano-EHS 的重要研究成果及其影響？

本研究團隊利用微奈米機電系統技術，並結合微奈米流體技術以開發微流體生醫晶片，主要應用於生醫檢測與環境監測。生醫感測的範圍非常廣泛，本實驗室一般常做的是傳染性疾病，如 SARS、H1N1、流感及上呼吸道感染等。如何在短時間內偵測出這些常見的病毒或細菌，對防疫或個人健康管理而言非常重要。奈微流體技術係指處理微量檢體之關鍵技術，我們實驗室利用微機電系統加工技

術將傳統生化分析中所需之裝置及系統微型化後，並整合於一微流體生物晶片上，只需微量檢體或試劑，即可進行疾病快速檢測。

另外，利用微奈米技術合成之奈米磁性微粒，可做蒐集取樣或樣本前處理作業，粒子奈米化後，微粒表面積增大，可抓取環境中更多的病毒或細菌，用於免疫分析或分子診斷。本實驗室結合這兩項技術開發之生物晶片，可將取樣、樣品前處理、樣品分離、偵測等程序集中於一晶片上作業。

第三是奈米化學(Nanochemistry)部分，很多的化學反應是在大型系統(如燒杯或反應器)裡進行，我們將之微型化，做成微奈米反應器，可以更精確控制各項反應條件，如奈米微粒之形狀、尺寸與物化特性等，更重要是可減少合成過程中產生的有害物質。利用微奈米處理器合成出的奈米微粒不僅可提升微粒效能，更能降低對環境的毒性衝擊。

2. 請問以李教授過去在產學合作的豐富經驗，對於促進國內奈米技術的產學互動以提高研發成果的價值，李教授有何建議？

我們實驗室執行的產學合作計畫，主要有兩大類，一是國科會的產學計畫，主要經費來源為國科會，廠商付部分配合款，並同時投入人力與資源，共同開發技術或產品；二是與廠商共同進行之合作計畫，廠商委託我們進行相關技術上的開發。除此之外，我也在經濟部技術處與經濟部工業局擔任醫療器材領域主審，並於 2008-2010 年，借調到工研院醫療器材中心擔任副主任期間，執行工業局內大型廠商輔導計畫，計畫經費每年 4-5000 萬，一年輔導約 40 家廠商並主辦各式研討會，所以我對國內醫療器材產業非常熟悉。

奈米技術相關部分的產學互動，我們從 102 年 2 月份開始成立「微流體產學技術聯盟」，這是屬於國科會產學小聯盟之計畫，預計執行三年，效果良好的話可做兩期六年。我認為要促進產學互動，最主要的有幾種方式，第一是垂直整合，任何產業都有上中下游，我們在聯盟裡頭，希望可以找到各種不同廠商，完成上中下游的互動與連結。在我們的聯盟裡，有 20 位學界會員與 10 家產業會員。產業界有奈米微粒、晶片製造、生醫感測等不同廠商；學界則有 20 間實驗室，主要在清大，部分在台大，進行各項研究，我希望可以把學界和產業界作上中下游的

垂直整合。第二是產學間橫向互動，聯盟本年度已舉辦過三場技術說明會，以往學界許多優秀研究成果，僅侷限於論文發表，我的實驗室除發表論文外，也取得 120 項專利，其中有 6、7 項已做技術轉移。除了發表論文和申請專利外，研究成果應用於產業上這樣不夠的，不僅要與廠商共同開發技術與產品，還要讓廠商了解學界研究。所以我們藉由舉辦各式說明會，增加橫向之間的互動，我們請 20 位老師，每位做 5-10 分鐘的說明，並將資料放在網頁上，形成可技轉之技術，包含專利部分，並發行季刊寄給會員。橫向的溝通，除了能讓產業界知道學界的研究外，也能讓學界知道產業界的需求，我們的技術說明會也提供產業界技術諮詢及人才媒合。

從產業鏈的觀點來看，學界是站在上游，中間是法人學研單位，下游是廠商，台灣目前面臨的問題是科技研發過程中，上中下游無法有效整合，希望藉由彰顯研發成果的價值以縮小整合缺口。目前國家科技政策已有所改變，國科會要轉型成科技部，強調科技產業的發展，雖仍有部分比例經費做基礎研究，但會將重心放在技術開發與產學合作。我在奈米國家型計畫擔任分項召集人，奈米型國家計畫到明年底結束，總共做了 12 年，前九年絕大部分在做基礎研發，後三年國科會給的任務就是要提高產業價值，資源重置、提高誘因、創造互動平台，讓學界跟產業界在特定平台完成上中下游的整合。

3. 請問以李教授對於 nano-EHS 相關領域研究之經驗了解，您對於目前國際上 nano-EHS 趨勢有何看法？台灣應該如何因應？

研發奈米科技，除了強調奈米技術的優點外，也需進行奈米風險的管理。12 年前規劃奈米國家型計畫時，奈米 EHS 已被列入計畫項目內。而且台灣一直在這一塊做得很不錯，我其實是在兩年半前才接這個分項，台灣有三個部會署負責奈米 EHS，環境部分由環保署負責，健康部分由衛生福利部負責，安全部份由勞委會主導。環保署規劃綠色奈米科技，研究水、空氣、土壤中，奈米物質的分布並分析其毒性等，國際上也大致朝這方向進行；衛生福利部專責國人的身體健康，所屬之食品藥物管理署(TFDA)負責藥品、醫療器材、食品、化妝品之法規管理，其中有許多奈米生醫的技術，故委託國家衛生研究院(NHRI)，成立奈米醫學中心以進行相關研究，另由財團法人醫藥品查驗中心(CDE)做廠商相關查驗登記的輔

導，奈米法規上的管理，可說是衛生福利部的重點項目；勞委會則是關心勞工安全，分為兩種，一種是作業環境過程產生之奈米物質是否會引起立即性之危險，如爆炸或攝入性傷害，第二則是慢性之流病分析，暴露於奈米物質之工作環境中，雖無急性危險產生，假以時日，是否造成病源等。

奈米科技產生的奈米物質，不管是製造、使用或儲存，會對人的身體健康產生什麼影響，包含慢性之流病影響，是世界各國持續進行的研究。我在今年一月份去參加東京奈米展，ANF (Asia Nano Forum)裡有 Nanosafe 相關組織，所有加入 ANF 的國家，必須有 nanosafe 的相關研究，每年定期進行報告。促進產業發展的同時，也需告知勞工或消費者奈米科技可能帶來的各項影響。

世界各國裡，歐盟對法規部分是比較積極的，2009 年公布化妝品含奈米物質的相關法規，並於 2013 年 7 月 11 日強制執行奈米物質之化妝品標示，舉凡化妝品輸出或輸入歐盟，均需標示所含奈米物質之成份、組成與比例。再來是食品，歐盟於 2011 年公布含奈米物質之食品的管制法規，2014 年 12 月 13 日就要強制標示食品所含奈米物質。另外在藥品與醫療器材部分，目前尚無法規，因原來之法規規範已經非常嚴格，不會因加入奈米，就減輕法規上的要求。明年，奈米國家型計畫退場前，必須研擬草案及指引並將之法規化。目前世界各國，如美國、日本，對強制執行法規相對保守，怕貿然標示奈米物質，會引起大眾恐慌，希望先擬定草案，多方徵詢外界意見與廠商回饋後，再制訂法規。在台灣，我們希望採用輔導方式，蒐集完各國相關法規資料後，制訂草案與指引，輔導國內廠商提早做出因應，特別是有化妝品或食品要輸入歐盟的廠商。

4. 李教授目前擔任奈米國家型科技計畫部會計畫聯絡的召集人，對於台灣 nano-EHS 往後相關研究及政策，李教授有何建議？

奈米國家型科技計畫將於明年底結束，國家型計畫的指導委員明確指示會有三年的退場機制，而與國人健康有關的環境安全衛生議題，將額外編列預算持續進行。各部會延續目前執行之計畫，如奈米物質的檢驗與量測、奈米標準的建立、奈米法規之落實與流病分析等，這些都需要長期投入資源，永續經營。

5. 最後，請李教授是否可以對於年輕學者投入 nano-EHS 研究說幾句話？

EHS 是範圍廣泛的學門，就我熟悉的奈米醫學與奈米生物科技而言，屬高度競爭激烈的領域。針對年輕學者想在這領域有好的研究成果，我提出幾項建議：第一要敢於與別人合作。我的實驗室一個月要開近 20 個跨實驗室會議，因我們有 10-20 個跨領域研究在進行，必須與學生或其他實驗室合作。跨實驗室、跨校、跨國的跨領域研究，非常重要，跨領域研究，說是容易，做起來並不簡單，除了專精自己的領域知識外還要跨至其他領域學習新事物，要能善用自己的核心技術去解決他領域內具挑戰性的問題。第二是慎選題目，學術生涯有限，選錯題目就很難提出突破性研究成果，要能由跨領域合作找出新的研究方向。像我的研究裡，很早就有人做流體研究，但當流體與微機電整合在一起，就變成微流體系統，再跟奈米結合，就成為奈微米流體技術，與生醫整合，就成為生醫檢測晶片。若每天都有新題目產生，都有新事物可學習，就會非常有趣。第三則是毅力，依個人過去經驗，投入研究 5 年後才可能有成果雛型出現，雖然研究初階段的回報不成正比，但持之以恆，假以時日，研究成果將成倍數成長。台灣在 nano-EHS 領域的表現很不錯，依國科會的科資中心統計，奈米國家型計畫投入 10 年後，台灣在奈米科技研究產出，包含專利及 SCI 期刊論文的產量，排名世界前五名。雖然台灣是個小國家，投入的奈米資源並不多，可是因為這些學者與學生的努力，台灣在這領域呈現出豐富的研究成果。

4.2.3 推廣奈米相關科普教育

近年來隨著奈米科技的進步，生活周遭隨處可見標榜「奈米」兩字的產品。為了讓民眾了解何謂奈米物質，奈米科技為生活帶來什麼改變，本團隊於 2013 年台灣奈米科技展中展出兩張奈米技術 EHS 科普知識的海報(如圖 4.2.3.1 所示)，宣導環保署的環境奈米科技政策。



圖 4.2.3.1 2013 台灣奈米科技展科普海報

4.3 其他配合事項

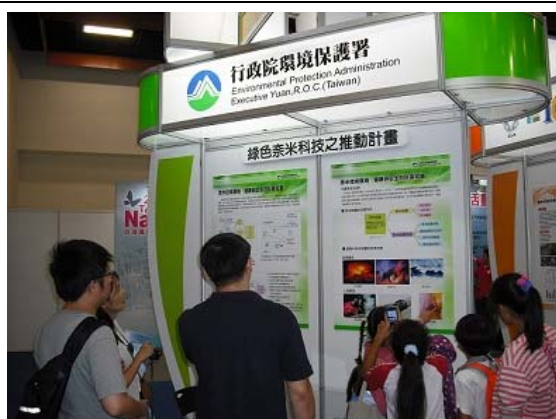
本團隊已於 102 年 10 月 2~4 日協助「2013 年台灣國際奈米週」活動，在台北世貿一館協助環保署參展「台灣奈米科技展」，推廣「環境奈米科技知識平台」網站，含網站功能解說、邀請參觀民眾訂閱電子報等，並於現場解說環保署在國家型奈米科技計畫環境議題的計畫執行成果，3 天展期中安排工作人員 3 人次負責會場解說及紀錄等事務。2013 年台灣國際奈米週活動花絮如圖 4.3.1 所示。另外為了解民眾對環境奈米科技應用的認知，今年度新增問卷調查。問卷樣本如圖 4.3.2 所示，共回收有效問卷 36 份，問卷調查結果如圖 4.3.3 所示。



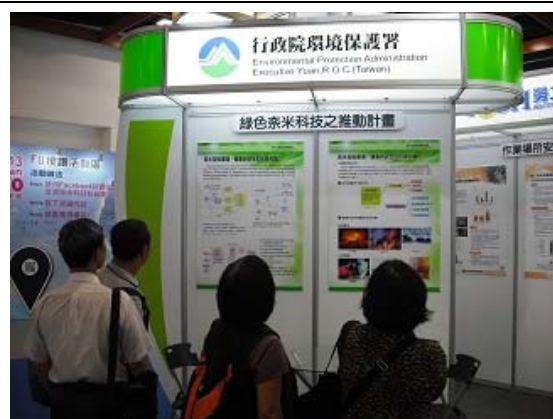
台灣奈米 EHS 主題館



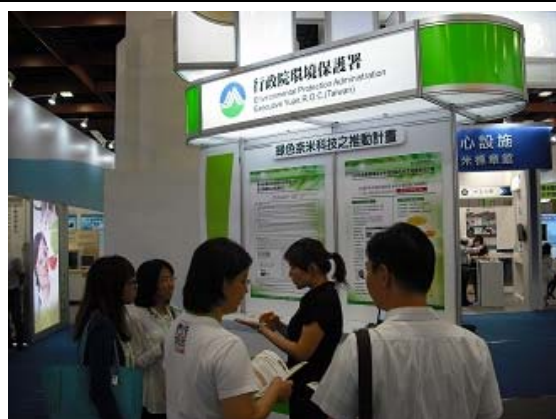
現場工作人員解說環境奈米科技知識平台



民眾參觀計畫之海報



民眾參觀計畫之海報



現場工作人員解說計畫之海報



現場工作人員解說計畫之海報

圖 4.3.1 2013 台灣國際奈米週活動花絮

2013 年台灣奈米科技展-EHS 主題館調查問卷

您好，非常感謝您參與「2013 年台灣奈米科技展-EHS 主題館」，希望藉由這份問卷來了解民眾對環境奈米科技應用的認知。本問卷僅為政策評估之參考，十分感謝您的合作。

環保署永續發展室、交通大學環工所

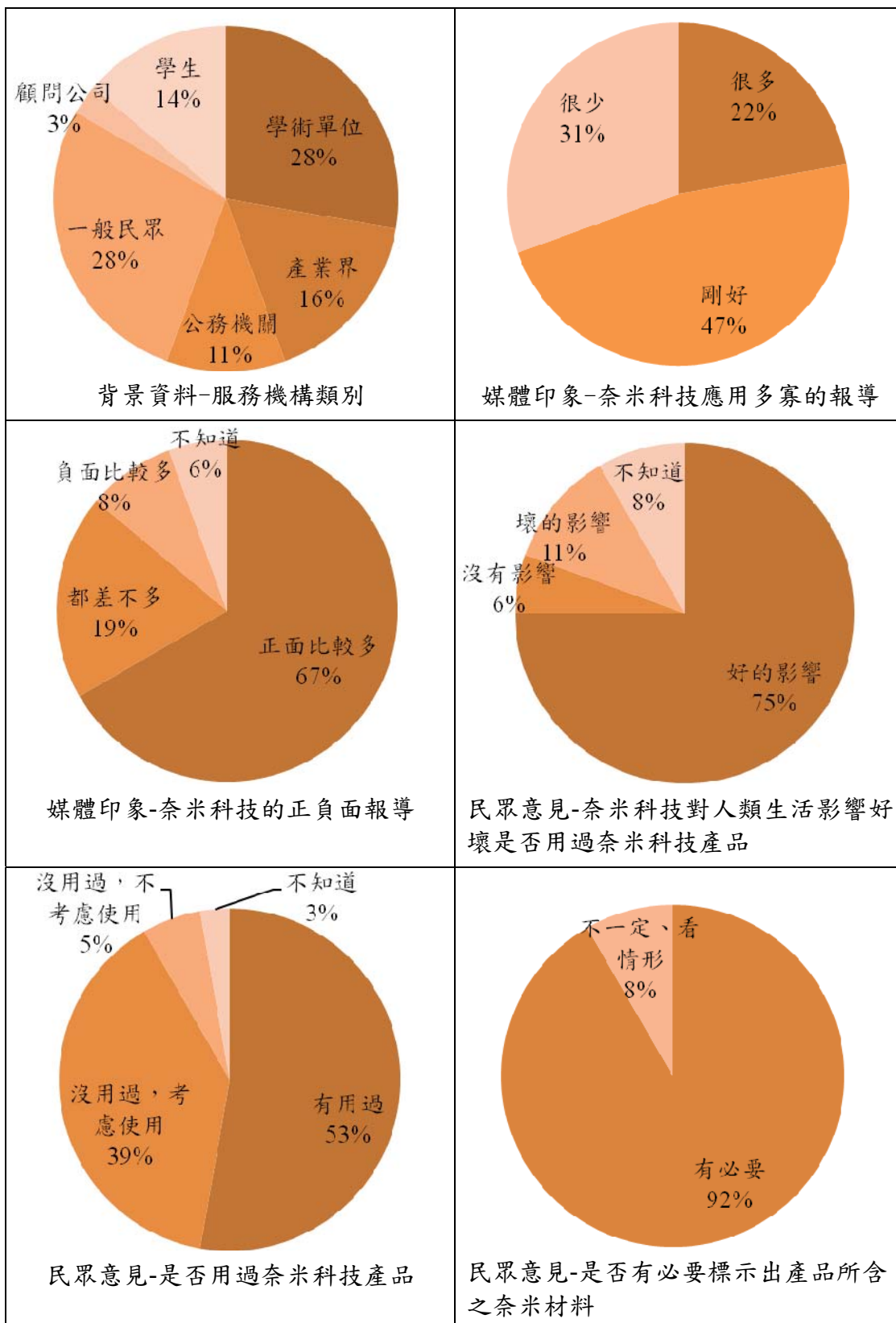
奈米是測量長度的單位，一奈米大概是一根頭髮的十萬分之一那麼細。奈米科技產品就是應用奈米材料或技術製造的產品，有很多方面都運用到奈米科技。

1. 在您印象裡，目前媒體對奈米科技應用的報導，是多或是少？
很多 剛好 很少 沒印象
2. 那您認為媒體對於奈米科技的報導，是正面比較多、或是負面比較多？
正面比較多 都差不多 負面比較多 不知道
3. 整體來講，您認為未來二十年裡，奈米科技對人類生活會有好的影響、壞的影響，或是沒有影響？
好的影響 沒有影響 壞的影響 不知道
4. 請問在您印象裡，您有沒有使用過奈米科技的產品？
有用過 沒有用過，會考慮使用 沒有用過，不會考慮使用 不知道
5. 您認為如果產品含有奈米材料，在產品上有沒有必要標示出來？
有必要 不一定、看情形 沒有必要 不知道
6. 請問您對奈米科技廠商提供的產品訊息，通常相不相信？
相信 不一定、看情形 不相信 不知道
7. 有人說奈米科技可以製造更好的產品讓生活更舒適，也有人說奈米科技可能會威脅健康和環境。正面和反面說法都有，那您贊不贊成發展奈米科技？
贊成 不一定、看情形 不贊成 不知道
8. 請問您的服務機構類別
學術單位 產業界 公務機關 一般民眾 顧問公司 學生

～ 感謝您撥冗填寫，請將填妥之問卷交還給工作人員 ～

圖 4.3.2 2013 奈米展問卷

有效問卷 36 份



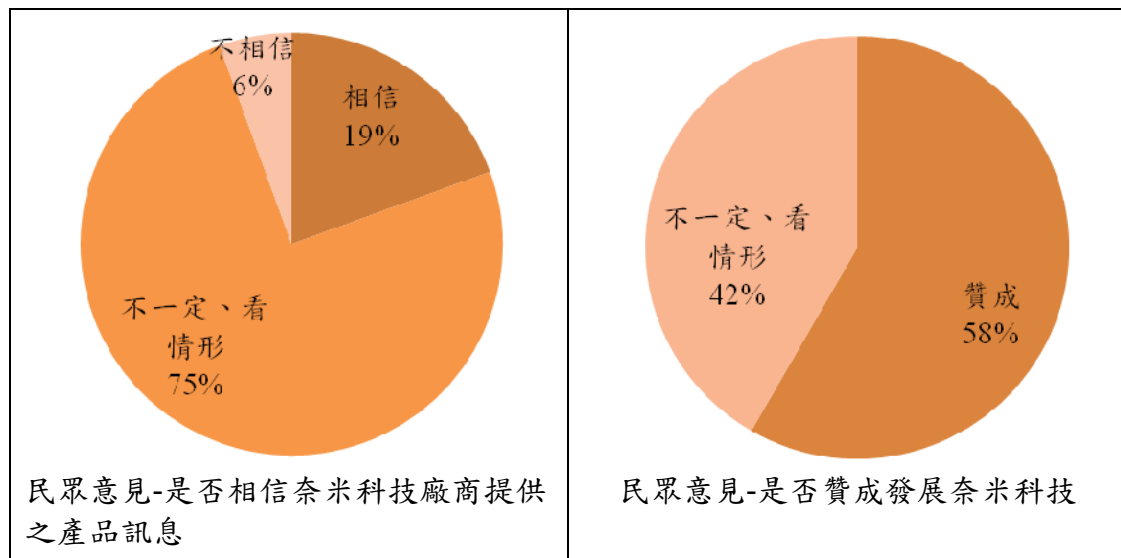


圖 4.3.3 2013 奈米展問卷調查結果

本計畫已彙整及評析環保署過去執行至今(2003-2013)的國家型環境奈米計畫之主要成果，並完成「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告各一篇，可作為環保署推動環境奈米計畫的參考，文章的大綱包括：環保署的 2013 年國家奈米科技計畫成果、環保署在 2003-2013 年的國家型環境奈米計畫的主要成果、環境奈米科技的推動方式、環境奈米科技的未來發展方向等如附錄九。

第五章 結論與建議

本計畫之工作進度如表 5.1 所示，根據環保署評選須知中詳列的計畫工作內容與本研究執行的成果，本團隊已完成本計畫之目標達 100%。

表 5.1 工作進度表

期程 \ 工作項目	102 年										
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
一、維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊			(1)				(2)			(3)	
			4/2				8/14			11/29	
預定完成進度(%)	0%	5%	10%	25%	35%	45%	55%	70%	85%	95%	100%
實際完成進度(%)	0%	5%	15%	30%	40%	50%	55%	70%	85%	100%	
二、持續於平台收集國內外相關團體及部會 EHS 議題相關知識，並發行「環境奈米科技知識平台電子報」，以利資訊整合及推廣奈米知識分享			(4)				(5)			(6)	
			4/2				8/14			11/29	
預定完成進度(%)	0%	5%	10%	25%	35%	45%	50%	70%	85%	95%	100%
實際完成進度(%)	0%	5%	10%	25%	30%	40%	50%	75%	90%	100%	
三、舉辦「環境奈米科技論壇」1 場，達成風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構的研擬等實質效益							(7)		(8)	(9)	
							8/14		10/21	11/29	
預定完成進度(%)	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%	70%	85%	95%	100%
實際完成進度(%)	0%	0%	0%	10%	10%	10%	10%	85%	95%	100%	

102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫

期程 \ 工作項目	102 年										
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
四、配合 ISO 及 OECD 等國際趨勢，提出「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告，並蒐集更新環境奈米相關主題知識文件			(10)				(11)			(12) (13)	
			4/2				8/14			11/15 11/29	
預定完成進度(%)	0%	10%	20%	35%	40%	50%	60%	70%	85%	95%	100%
實際完成進度(%)	0%	10%	20%	35%	40%	50%	60%	75%	90%	100%	
五、配合奈米國家型計畫辦公室，協辦台灣奈米週參展事宜			(14)				(15)		(16)	(17)	
			4/2				8/14		10/4	11/29	
預定完成進度(%)	0%	0%	0%	20%	20%	30%	30%	50%	95%	100%	100%
實際完成進度(%)	0%	0%	0%	20%	20%	30%	30%	50%	100%		
六、協助環保署奈米群組計畫管理及績效成果彙整			(18)				(19)			(20)	
			4/2				8/14			11/29	
預定完成進度(%)	0%	5%	15%	30%	40%	40%	50%	65%	75%	95%	100%
實際完成進度(%)	0%	5%	15%	30%	40%	40%	50%	65%	85%	100%	
七、其它事務性達成項目			(21)				(22)			(23)	
			4/2				8/14			11/29	
預定完成進度(%)	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	75%	95%	100%
實際完成進度(%)	0%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	75%	95%	100%
第一次進度報告			(24) 4/2								
預定完成進度(%)	0%	0%	100%								
實際完成進度(%)	0%	0%	100%								
期中報告							(25) 8/14				
預定完成進度(%)	0%	0%	10%	30%	50%	70%	100%				
實際完成進度(%)	0%	0%	10%	30%	50%	70%	100%				
期末報告										(26) 11/17	
預定完成進度(%)	0%	0%	5%	30%	40%	50%	60%	70%	85%	100%	

期程 \ 工作項目	102 年											
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	
實際完成進度(%)	0%	0%	5%	30%	40%	50%	60%	70%	85%	100%		

各工作進度之查核點說明如表 5.2 所示。

表 5.2 查核點說明

查核點	查核內容
(1)-(3)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 協助維護環保署「環境奈米科技知識平台」網站正常運作。 ➢ 配合環保署網頁檢核，定期維護網頁資料、紀錄更新日期、更新科普知識及補充常見問題內容。 ➢ 網站維護、網站相關統計評析及確保平台資訊安全。 <p>(1) 已於 102 年 4 月 2 日提出計畫之細部執行規劃內容。</p> <p>(2) 已於 102 年 8 月 14 日於期中報告中，提出進度說明。</p> <p>(3) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。</p>
(4)-(6)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 整合蒐集國內外奈米知識源，並納入知識平台。 ➢ 完成我國奈米科技 2 位專家專訪，於期末報告整理中英文訪問報導，並發表於知識平台。 ➢ 發行知識平台會員電子報 4 期，內容需經環保署核定，並上傳知識平台。 <p>(4) 已於 102 年 4 月 2 日提出計畫之細部執行規劃內容。</p> <p>(5) 已於 102 年 8 月 14 日於期中報告中，提出進度說明。</p> <p>(6) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。</p>
(7)-(9)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 舉辦圓桌會議，邀請產官學研領域人員至少 5 名與談。 ➢ 舉辦「102 年環境科技論壇」1 場，議題至少包含 3 類主題及發表至少 8 篇論文，並上傳知識平台。 ➢ 論壇問卷研擬且經環保署同意，納入總報告中專章分析並檢討。 <p>(7) 已於 102 年 8 月 14 日提出計畫之細部執行規劃內容。</p> <p>(8) 已於 102 年 10 月 21 日舉辦「環境奈米科技論壇」</p> <p>(9) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。</p>
(10)-(13)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告各一篇，並於下半年邀集 5 位產官學研各界代表，舉辦研商會議。

查核點	查核內容
	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 更新 5 項環境奈米相關主題的知識文件，並於總報告中專章評析。 (10) 已於 102 年 4 月 2 日提出計畫之細部執行規劃內容， (11) 已於 102 年 8 月 14 日於期中報告中，提出 ISO 及 OECD 有關 EHS 議題發展趨勢初步之追蹤工作。 (12) 已於 102 年 11 月 15 日舉辦產官學研各界代表舉辦研商會，確認環保署「全球負責任奈米技術的回顧與展望」文件。 (13) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。
(14)-(17)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 代表環保署支援參展工作及支出展出經費。 ➢ 協助環保署於奈米週展覽期間工作事宜。 (14) 已於 102 年 4 月 2 日提出計畫之細部執行規劃內容。 (15) 已於 102 年 8 月 14 日提出期中報告。 (16) 已於 102 年 10 月 2 日~4 日支援奈米週展覽活動 (17) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。
(18)-(20)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 協助環保署 102 年度奈米計畫子計畫之橫向管理與整合等作業，並聯繫及追蹤各子計畫之計畫主持人。 ➢ 配合奈米國家型計畫辦公室作業要求，彙整及撰寫奈米成果效益報告及相關績效彙整等。 (18) 已於 102 年 4 月 2 日提出計畫之細部執行規劃內容。 (19) 已於 102 年 8 月 14 日提出期中報告。 (20) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。
(21)-(23)	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 完成其他事務性達成項目。 ➢ 國家型計畫辦公室要求之評鑑或期末審查報告等，必須依照要求提報。 (21) 已於 102 年 4 月 2 日完成前述計畫要求之內容。 (22) 已於 102 年 8 月 14 日提出期中報告。 (23) 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿。
(24)	<ul style="list-style-type: none"> ● 已於 102 年 4 月 2 日進行第一次進度報告，提出口頭報告，報告計畫之細部執行規劃內容，於取得 貴署同意後據以施行。
(25)	<ul style="list-style-type: none"> ● 已於 102 年 8 月 14 日提出期中研究報告 10 份及期中報告摘要 10 份。
(26)	<ul style="list-style-type: none"> ● 已於 102 年 11 月 29 日提出期末報告初稿 10 份

本計畫的目標主要為維護及管理環保署「環境奈米科技知識平台」網站，依國內外的奈米 EHS 的研究成果充實其內容，並進行 ISO 及 OECD 的趨勢分析，及更新環境奈米的知識文件等工作。

目前已完成「奈米科技的法規與政策」、「奈米物質的應用」、「空氣中奈米微粒的自動監測方法」、「奈米產品中的奈米物質對環境的影響」及「奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命」等五項主題的奈米知識文件的蒐集、整理及更新工作，並整理ISO及OECD有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題的發展趨勢。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為525人，共計已上傳中文版網站研究報告全文共174篇(新增65篇)、英文版網站研究報告摘要共149篇(新增49篇)、中文版網站出版文獻連結共566篇(新增29篇)及英文版網站SCI論文連結共394篇(新增93篇)(統計日期：2013年11月25日)。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫已於10月21日舉辦「102年環境奈米科技論壇」，將環保署過去一年的研究成果以論文發表方式介紹給不同國內利害相關者，並辦理圓桌論壇及進行問卷調查，活動報名人數含產官學界共147人，與會人數共101人。論文內容及收集到的論壇意見將回饋到知識庫，以做為環保署未來研究計畫規劃之參考。最後，為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米EHS研究現況，本團隊已專訪成功大學環境工程學系王鴻博教授及清華大學動力機械工程系李國賓教授，訪問稿並以中英文方式呈現於期末報告中。本計畫並已完成發行電子報4期。本團隊另已於102年10月2~4日在台北世貿一館協助環保署參展「2013台灣奈米科技展」，推廣「環境奈米科技知識平台」網站，含網站功能解說、邀請民眾訂閱電子報等，並於現場解說環保署在國家型奈米科技計畫環境議題的計畫執行成果，3天展其中安排工作人員3人次負責會場解說及紀錄等事務。最後本計畫已修正「2014年環保署的全球負責奈米技術的回顧與展望」的中英文文件，並提出2014年的環境奈米計畫優先發展項目。

本報告收集國內外奈米技術 EHS 議題的最新進展和研究現況之總結如下：

法規與政策：

1. 針對奈米碳管的工作場所建議暴露限值，NIOSH 於 2013 年提出奈米碳管和奈米碳纖維中元素碳的 REL 為 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (以 8-小時可呼吸性 TWA 質量濃度計)；歐盟執委會(EC)於 2010 年提出奈米碳管的衍生無效應劑量值(DNEL)為 $0.7 - 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；日本的新能源產業技術綜合開發機構(NEDO)在 2011 年亦提出奈米碳管的職業暴露限值為 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；拜耳公司和 Nanocyl 公司也自行訂出 MWCNT 的

職業暴露限值分別為 50 和 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

2. OSHA 發佈「奈米物質安全使用的概要」，建議工人暴露在可吸入性的奈米碳管和奈米碳纖維，以 8 小時的時間加權平均計算不得超過 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；暴露在二氧化鈦的奈米微粒時不得超過 0.3 mg/m^3 ，而二氧化鈦(微粒粒徑大於 100 nm)的 REL 為 2.4 mg/m^3 。
3. 歐盟方面，歐盟執委會完成 REACH 的審查，並將進行各相關法規方案的影響評估，特別是要針對 REACH 附件作修訂，以確保在註冊建檔時，奈米物質有清楚的闡述。
4. 奈米碳管的毒性仍為世界各國研究的重點，建置亞慢性及慢性毒性測試平台，將危害分級以分析風險推導出職業暴露限值。
5. Taquahashi et al.提出的乾式單纖維多壁奈米碳管分散方法，將有助於人體暴露相關吸入毒性研究的進行。
6. 毒性化學物質管理法部分條文已修正通過，對國內製造或輸入之化學物質要求登錄，經審查完成使得製造或輸入；職業安全衛生法已修法通過並於 2013 年 7 月公告，當中的第十三條納入新化學物質源頭管理之架構，未來法規上路後針對奈米物質化學物質之管理，預計將規劃指定類別特殊表單，針對奈米特有的辨識資訊進行收集。

奈米物質的應用：

1. 在迅速發展的奈米技術領域中，有不少奈米物質被驗證當其應用到各項產品時，確實具有抗菌效果。本報告探討了氧化鋅奈米微粒、奈米銀微粒、奈米銅微粒與奈米氧化鐵之產品應用及其抑菌能力。
2. 奈米物質在電化學的應用上具有優良的性能，而金奈米微粒具有高度催化活性及優良的電子移轉加速性能，而被廣泛應用固定蛋白質與建立電化學感測器。
3. 奈米碳管具有極佳的結構及物理性質，如良好導電性、高比表面積、強度及穩定性，可應用於化學及生物感測器。
4. 奈米物質在環境中的應用已非常廣泛，本報告回顧奈米物質在吸附應用、地下水復育與光觸媒降解去污等方面的研究現況，包括奈米零價鐵去除放射性核種與奈米碳管/二氧化鈦複合光觸媒等，希望對我國在奈米物質的環境應用上有所

助益。

空氣中奈米微粒的自動監測方法：

1. 本報告整理了幾款線上即時監測儀器之規格與功能簡介，提供環保署作未來採購質譜儀時的參考，期能提升本國空氣品質監測的準確度及技術。
2. 本研究團隊回顧了五種可攜帶式奈米微粒暴露監測儀，並互相比較其量測結果間的差異。每種儀器都有其使用上的優缺點，選擇儀器時，必須將微粒粒徑、濃度和準確性列入考慮。
3. 掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS)是目前最常被用來量測空氣中奈米微粒粒徑分佈的儀器。本報告蒐集了 GRIMM 與 TSI 兩間公司生產之 SMPS，對大氣及實驗室環境下的奈米微粒粒徑分布進行量測所得的研究結果，藉以探討兩部儀器量測結果間的一致性。

奈米產品中的奈米物質對環境的影響

1. 奈米物質的磨損磨耗、奈米銀製品、奈米噴霧型產品、焚化奈米物質皆會是造成奈米物質釋放至環境中的原因。評估工程奈米物質(ENMs)暴露風險時，也需考量產品改質的 ENMs、產品劣化釋放出的 ENMs 和環境轉化後的 ENMs 對環境造成的影響。
2. 觀察垃圾掩埋場滲出水中的奈米微粒行為及固體廢棄物釋出的單壁奈米碳管之傳輸可評估廢置奈米產品對環境造成的影響。

奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命

1. 奈米物質在環境中的傳輸、宿命與風險直接與奈米物質的產量有關，由奈米微粒的產量與使用情形，可了解奈米科技的市場現況。
2. 奈米物質對環境和人類健康的影響評估，需要了解其潛在的暴露途徑和毒性作用，急性和慢性接觸。至目前為止，主要研究的重點在於確定未經加工的奈米物質的宿命、傳輸和毒性特性的屬性。
3. 奈米微粒的穩定機制(靜電力穩定及空間阻隔穩定)與表面改質劑是主要影響奈米微粒在環境中傳輸的因子。
4. 在奈米物質的環境宿命研究中，最具代表性的環境膠體是天然有機質(NOM)，包含腐植酸與黃酸。由於天然有機質屬巨大分子，對奈米微粒的穩定性有提升

效果，因 NOM 提供了空間阻隔效應或靜電力效應。

ISO 及 OECD :

1. 本報告今年度回顧的 ISO/TC929 標準為 ISO/TS 10797、ISO/TS 11937、ISO/TS 12901-1 與 ISO/TR 13329 共 4 篇。
2. 本年度選定回顧 OECD WPMN 的 1 份報告為：ENV/JM/MONO(2012)14，對急性吸入毒性試驗與工程奈米物質安全測試的樣本準備及計量學兩項指引手冊，提出修正建議。
3. 國際法規的架構自 2008 年起大致類似，並沒有任何一條法規是特別為奈米物質而擬定，多數國家的現行法規已有管理奈米物質和含有奈米物質產品的授權權力。

以下為我國將來在奈米 EHS 議題上可努力之方向：

政府機關方面：

1. 歐盟規定從 2013 年 7 月 11 日開始銷售含有奈米物質的化妝品時，廠商需於上市前 6 個月向執委會通報使用的奈米物質；從 2014 年 12 月 13 日起食品內含工程奈米物質者，也須於成分表上明確標示「奈米」兩字，我國外銷添加奈米物質的產品時，若未遵守相關之規定，將造成貿易上的障礙，因此要注意國際間的法規動態。
2. 我國奈米物質的管理已有一些進展，職業安全衛生法第 13 條已先行修法通過並於 2013 年 7 月公告，條文中納入了新化學物質源頭管理之架構，未來法規上路後針對奈米物質化學物質之管理，將規劃指定類別特殊表單，針對奈米特有的辨識資訊進行收集；而毒性化學物質管理法也已於 2013 年 11 月修正通過部分條文，建立化學物質登錄機制，加強管理危害人體健康之虞毒性化學物質。建議我國未來應邀集各界人士就化學物質的製造或輸入情形、物理、化學、毒理、暴露及危害評估等問題進行充分討論後，訂定登錄管理之辦法。

研究、學術單位方面：

1. 奈米物質應用於商業產品與環境處理的研究已有許多進展，研究指出不同型式的奈米物質可應用於抗菌、織物與感測器；高分子奈米複合材料則被廣泛應用

於水資源的永續利用上，如吸附應用、光觸媒降解去污及地下水復育等。

2. 研究奈米產品的同時，也須評估從產品中釋放出的奈米物質對環境造成的影響。可利用生命週期評估(LCA)做產品或製程的環境績效評估。
3. 監測空氣中奈米微粒的儀器眾多，每種儀器都有其使用上的優缺點，選擇儀器時必須將微粒粒徑、濃度和準確性都列入考慮。

其他：

1. 繼續增加知識平台上英文的文獻及研究報告等內容，並完成國內學者研究計畫英文版的分類，宣揚國內研究學者之研究成果，並增加網站的使用率、提升讀者閱讀與加入討論的意願。
2. 因近來智慧型手機日漸普及，資料庫數據顯示利用手機造訪知識平台的比例有增加的現象，建議新增「手機版網頁」，以方便使用者利用行動裝置瀏覽知識平台的內容。

參考文獻

1. Bernhardt, E. S., Colman, B. P., Hochella, M. F., Cardinale, B. J., Nisbet, R. M., Richardson, C. J., Yin, L. Y. (2010). An ecological perspective on nanomaterial impacts in the environment, *J. Environ. Qual.*, 39: 1954–1965.
2. Bergeson, L. L. (2013). Sustainable nanomaterials: Emerging governance systems, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 1:724–730.
3. Blaise, C., Gagné, F., Ferard, J. F., Eullaffroy, P. (2008). Ecotoxicity of selected nano-materials to aquatic organisms, *Environ. Toxicol.*, 23: 591–598.
4. Bokare, A. D., Choi, W. (2009). Zero-valent aluminum for oxidative degradation of aqueous organic pollutants, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 7130–7135.
5. CDC, Current Intelligence Bulletin 65: Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/>
6. European Commission (2008a). Communication from the commission to the European Parliament, The Council and European economic and social committee. Regulatory aspects of nanomaterials. [SEC(2008) 2036]. Commission of the European Communities, Brussels, 17.6.2008 COM(2008) 366 final.
7. European Commission (2008b). Follow-up to the 6th meeting of the REACH competent authorities for the implementation of regulation (EC) 1907/2006, Brussels, 16 December 2008. Doc. CA/59/2008 rev.1.
8. European Commission (2008c). Follow-up to the 6th meeting of the REACH competent authorities for the implementation of regulation (EC) 1907/2006, Brussels, 16 December 2008. Doc. CA/59/2008 rev.1.
9. Federal Register (2008). Significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 73(215), November 5, 2008/ Rules and regulations.
10. Federal Register (2009a). Significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 74(120), June 24, 2009/ Rules and regulations.
11. Federal Register (2009b). Certain chemical substances; withdrawal of significant new use rules. Federal Register, 74(161), August 21, 2009/ Rules and regulations.
12. Federal Register, 2009c, Proposed significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 74(214), November 6, 2009/ Proposed Rules.
13. Federal Register, (2010a), Proposed significant new use rules on certain chemical substances: Reopening of comment period. Federal Register, 75(5), January 8, 2010/ Proposed Rules.
14. Federal Register, (2010b), Multi-walled carbon nanotubes and single-walled carbon nanotubes; significant new use rules. Federal Register, 75(180), September 17, 2010/ Rules and Regulations.
15. Federal Register (2013a). Proposed significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 78(37), Feb. 25, 2013/ Rules and regulations.
16. Federal Register (2013b). Significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 78(90), May 9, 2013/ Rules and regulations.
17. Fabrega, J., Fawcett, S. R., Renshaw, J. C., Lead, J. R. (2009). Silver nanoparticle impact on bacterial growth: effect of pH, concentration, and organic matter, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 7285–7290.
18. Fabrega, J., Luoma, S. N., Tyler, C. R., Galloway, T. S., Lead, J. R. (2011). Silver nanoparticles: behaviour and effects in the aquatic environment, *Environ. Int.*, 37:

- 517–531.
19. Gottschalk, F., Sonderer, T., Scholz, R. W., Nowack, B. (2009). Modeled environmental concentrations of engineered nanomaterials (TiO₂, ZnO, Ag, CNT, fullerenes) for different regions, *Environ Sci Technol.*, 43: 9216–9622.
 20. Grieger, K. D., Fjordboge, A., Hartmann, N. B., Eriksson, E., Bjerg, P. L., Baun, A. (2010). Environmental benefits and risks of zero-valent iron nanoparticles (nZVI) for in situ remediation: risk mitigation or trade-off, *J. Contam. Hydrol.*, 118: 165–183.
 21. Lee, J., Mahendra, S., Alvarez, P. J. J. (2010). Nanomaterials in the construction industry: A review of their applications and environmental health and safety considerations, *ACS Nano*, 4: 3580–3590.
 22. OECD ENV/JM/MONO(2010)25, Preliminary guidance notes on sample preparation and dosimetry for the safety testing of manufactured nanomaterials.
 23. Poynton, H. C., Lazorchak, J. M., Impellitteri, C. A., Smith, M. E., Rogers, K., Patra, M., Hammer, K. A., Allen, H. J., Vulpe, C. D. (2011). Differential gene expression in *Daphnia magna* suggests distinct modes of action and bioavailability for ZnO nanoparticles and Zn ions, *Environ. Sci. Technol.*, 45: 762–768.
 24. Shaw, B. J., Handy R. D. (2011). Physiological effects of nanoparticles on fish: A comparison of nanometals versus metal ions, *Environ. Int.*, 37: 1083–1097.
 25. Thomas, C. R., George, S., Horst, A. M., Ji, Z. X., Miller, R. J., Peralta-Videa, J. R., Xia, T. A., Pokhrel, S., Madler, L., Gardea-Torresdey, J. L., Holden, P. A., Keller, A. A., Lenihan, H. S., Nel, A. E., Zink, J. I. (2011). Nanomaterials in the environment: from materials to high-throughput screening to organisms, *ACS Nano*, 5: 13–20.
 26. ICON 網站, International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/>
 27. ISO TC 229 網站, International Organization for Standard for Standardization, Technical Committee 229, accessed on April 22, 2010, http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983
 28. NIOSH 網站, NIOSH Safety and Health Topic: Nanotechnology, <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html>
 29. OECD 網站, Safety of Manufactured Nanomaterials, http://www.oecd.org/about/0,3347,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html
 30. PEN 網站, The Project on Environmental Nanotechnologies, <http://www.nanotechproject.org/>
 31. 台灣奈米諮議會資訊網, <http://www.tnsc.org.tw/>
 32. 蔡春進, 96 年度「開發環境中奈米物質質量測及特性分析技術」, 期末報告, EPA-96-U1U1-02-104, 民國 96 年。
 33. 蔡春進, 97 年度「環境中奈米物質質量測及特性分析技術」, 期末報告, EPA-97-U1U1-02-106, 民國 97 年。
 34. 蔡春進, 98 年度「環境中奈米物質質量測及特性分析技術開發」, 期末報告, EPA-98-U1U1-02-103, 民國 98 年。
 35. 蔡春進, 99 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」, 期末報告, EPA-99-U1U1-02-105, 民國 100 年。
 36. 蔡春進, 100 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」, 期末報告, EPA-100-U1U1-02-105, 民國 100 年。
 37. 蔡春進, 101 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」, 期末報告,

- EPA-101-U1U1-02-105，民國 101 年。
38. 廖宜賢，98 年度「環境奈米科技知識庫之強化及推廣」，期末報告，EPA-98-U1U1-02-105，民國 98 年。

奈米科技的法規與政策

1. Beaudrie, C. E. H., Kandlikar, M., Satterfield, T. (2013). From cradle-to-grave at the nanoscale: Gaps in U.S. regulatory oversight along the nanomaterial life cycle, *Environ. Sci. Technol.*, 47:5524–5534.
2. Bergeson, L. L. (2013). Sustainable nanomaterials: Emerging governance systems, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 1: 724–730.
3. CDC, Current Intelligence Bulletin 65: Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers, <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/>
4. CDC, New Findings on Lung Tumor Formation in Laboratory Mice Exposed to Multi-Walled Carbon Nanotubes, <http://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2013/03/11/mwcnt/>
5. Federal Register (2013). Significant New Use Rules on Certain Chemical Substances.
6. Federal Register, 76(90), May 9, 2013 / Rules and Regulations
7. Guide to measuring airborne carbon nanotubes in workplaces, Technology Research Association for Single Wall Carbon Nanotubes (TASC) and Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Oct. 2013.
8. Kah, M., Beulke, S., Tiede K., Hofmann T. (2013). Nanopesticides: State of knowledge, environmental fate, and exposure modeling, *Crit. Rev. Env. Sci Tec.*, 43: 1823-1867.
9. Kano, J., Taquahashi, Y., Takagi, A., Tsuji, M., Morita, K., Ogawa, Y. (2013). Nanotoxicology-its chronic aspects, Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.
10. Mohamed, B. M., Verma, N. K., Davies, A. M., McGowan, A., Crosbie-Staunton, K., Prina-Mello, A., Kelleher, D., Botting, C. H., Causey, C. P., Thompson, P. R., Pruijn, G. J. M., Kisin, E. R., Tkach, A. V., Shvedova, A. A., Volkov, Y. (2012). Citrullination of proteins: a common post-translational modification pathway induced by different nanoparticles in vitro and in vivo, *Nanomedicine*, 7: 1181-1195
11. Nano and Other Emerging Chemical Technologies Blog, Agencies publish report and recommendations concerning health and safety of nanomaterials, http://nanotech.lawbc.com/2013/03/articles/international/agencies-publish-report-and-recommendations-concerning-health-and-safety-of-nanomaterials/?utm_source=feedly
12. Nano and Other Emerging Chemical Technologies Blog, Australia releases research reports on nanotechnology work health and safety issues, <http://nanotech.lawbc.com/2013/03/articles/international/australia-releases-research-reports-on-nanotechnology-work-health-and-safety-issues/>
13. Nano and Other Emerging Chemical Technologies Blog, EC Submits Proposed Nano Food Labeling Regulation to WTO, <http://nanotech.lawbc.com/2013/09/articles/international/ec-submits-proposed-nano-food-labeling-regulation-to-wto/>

14. NanoHouse 網站，<http://www-nanohouse.cea.fr>
15. NanoPolyTox 網站，<http://www.nanopolytox.eu>
16. Nanowerk 網站，BASF participates in further research on effects of nanomaterials, <http://www.nanowerk.com/news2/newsid=30865.php#ixzz2agHuobmS><http://www.nanowerk.com/news2/newsid=30865.php>
17. National Research Council (NRC) (2013). Research progress on environmental, health, and safety aspects of engineered nanomaterials, *The National Academies*.
18. Nel et al. (2013). Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: Use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening, *Acc. Chem. Res.*, 46: 607 – 621.
19. NEPHH 網站，<http://www.nephh-fp7.eu/>
20. Oberdörster, G. (2013). Comparative risk assessment of airborne nanomaterials: Analyzing exposure-does-response relationships, proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.
21. OECD 網站，OECD countries address the safety of manufactured nanomaterials, <http://www.oecd.org/newsroom/oecd-countries-address-the-safety-of-manufactured-nanomaterials.htm>
22. OSHA, http://www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3634.pdf
23. Safenano 網站，EU considers amendment to REACH regulation to better cover nanosubstances, <http://www.safenano.org/KnowledgeBase/CurrentAwareness/ArticleView/tabid/168/ArticleId/328/EU-considers-amendment-to-REACH-regulation-to-better-cover-nanosubstances.aspx>
24. Taquahashi, Y., Ogawa, Y., Takagi, A., Tsuji, M., Moritaand, K., Kanno, J. (2013). An improved dispersion method of multi-wall carbon nanotube for inhalation toxicity studies of experimental animals, *J. Toxicol. Sci.*, 38: 619–618.
25. 歐 盟 CORDIS 報 告
http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=EN_NEWS&ACTION=D&RCN=35512
26. 歐 盟 執 行 委 員 會 報 告
http://ec.europa.eu/environment/chemicals/reach/pdf/swd_2013_en.pdf

奈米物質的應用

1. Bagchi, B., Dey, S., Bhandary, S., Das, S., Bhattacharya, A., Basu, R., Nandy, P. (2012). Antimicrobial efficacy and biocompatibility study of copper nanoparticle adsorbed mullite aggregates., *Mat. Sci. Eng. C*, 32: 1897-1905.
2. Cai, X., Gao, X., Wang, L., Wu, Q., Lin, X. (2013). A layer-by-layer assembled and carbon nanotubes/gold nanoparticles-based bienzyme biosensor for cholesterol detection, *Sensor. Actuat. B-Chem.*, 181:575-583.
3. Chernousova, S., Epple, M. (2013). Silver as Antibacterial Agent: Ion, Nanoparticle, and Metal, *Angew. Chem.*, 52: 1636-1653.
4. Diallo, M. S., Christie, S., Swaminathan, P., Johnson, Jr. J. H., Goddard, W.A. (2005). Dendrimer enhanced ultrafiltration. 1. Recovery of Cu (II) from aqueous solutions using PAMAM dendrimers with ethylene diamine core and terminal NH₂ groups, *Environ. Sci. Technol.*, 39: 1366-1377.
5. Dimkpa, C. O., Calder, A., Britt, D. W., McLean, J. E., Anderson, A. J. (2011). Responses of a soil bacterium, *Pseudomonas chlororaphis* O6 to commercial metal

- oxide nanoparticles compared with responses to metal ions. *Environ Pollut.* 159(7):1749–1756.
6. Gray, H., Thacher, R., Ravindran, V., Pirbazari, M. (2012). Removal of radioactive uranium from groundwater using nanoparticle technology and bioremediation strategies, 12AIChE, 2012 Annual Meeting.
 7. Gray, H., Yokota-Joshi, A., Pirbazari, M., Ravindran, V., Thacher, R., Tsai, K. H., Hernandez, E. (2012). Removal of radioactive uranium from groundwater using nanoparticle technology, University of Southern California Undergraduate Research Symposium for Creative and Scholarly Work.
 8. Gupta, A. K., Gupta, M. (2005). Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications. *Biomaterials*, 26: 3995-4021.
 9. Hebbalalu, D., Lalley J., Nadagouda M. N., Varma R. S. (2013). Greener techniques for the synthesis of silver nanoparticles using plant extracts, enzymes, bacteria, biodegradable polymers, and microwaves, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 703-712.
 10. Hu, M., Mi, B. (2013). Enabling graphene oxide nanosheets as water separation membranes, *Environ. Sci. Technol.*, 47:3715–3723.
 11. Hung, C. H., Chuang, B. C., Lien, H. L., Yuan, C. (2013). Photocatalytic degradation of bisphenol A using TiO₂/CNTs nanocomposites under UV irradiation. In ACS books: "Interactions of nanomaterials with emerging environmental contaminants", *In press*.
 12. Imaizumi, S., Matsumoto, H., Ashizawa, M., Minagawa, M., Tanioka, A. (2012). Nanosize effects of sulfonated carbon nanofiber fabrics for high capacity ion-exchanger. *RSC Adv.*, 2: 3109–3114.
 13. Iqbal, N., Afzal A., Cioffi, N., Sabbatini L., Torsi L. (2013). NO_x sensing one- and two-dimensional carbon nanostructures and nanohybrids: Progress and perspectives. *Sensor Actuator. B*, 181:9-21.
 14. Jainae, K., Sanuwong, K., Nuangjamnong, J., Sukpirom, N., Unob, F. (2010). Extraction and recovery of precious metal ions in wastewater by polystyrene-coated magnetic particles functionalized with 2-(3-(2-aminoethylthio)propylthio) ethanamine, *Chem. Eng. J.*, 160: 586–593.
 15. Jain, K., Kesharwani, P., Gupta U., Jain, N. K. (2010). Dendrimer toxicity: Let's meet the challenge, *Int. J. Pharm.* 394: 122-142.
 16. Jiang, W., Mashayekhi, H., Xing, B. (2009) Bacterial toxicity comparison between nano- and micro-scaled oxide particles. *Environ Pollut.* 157(5):1619–1625.
 17. James J.Z., Lucas D., Koshland C.P. (2012). Gold Nanoparticle Films As Sensitive and Reusable Elemental Mercury Sensors. *Environ. Sci. Technol.*, 46:9557-9562.
 18. Johnston, J. H., Nilsson, T. (2012). Nanogold and nanosilver composites with lignin-containing cellulose fibres. *J. Mater. Sci.*, 47:1103–1112.
 19. Jones, N., Ray, B., Ranjit, K. T., Manna, A. C. (2008). Antibacterial activity of ZnO nanoparticle suspensions on a broad spectrum of microorganisms., *FEMS Microbiol Lett.* 279(1):71–76.
 20. Li M., Gou H., Al-Ogaidi I., Wu N. (2013). Nanostructured sensors for detection of heavy metals: A review, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 1: 713–723.
 21. Kiga, N. Takei, Y., Inaba, A., Takahashi, H., Matsumoto, K., Shimoyama, I. (2012). CNT-FET gas sensor using a functionalized ionic liquid as gate.
 22. Kim, J. S., Kuk, E., Yu, K. N., (2007). Antimicrobial effects of silver nanoparticles, *Nanomedicine.* 3(1):95–101.

23. Knight, C. C., Ip F., Zeng C., Zhang, C., Wang, B. (2013). A highly efficient fire-retardant nanomaterial based on carbon nanotubes and magnesium hydroxide, *Fire Mater.*, 37:91–99.
24. Lin, T. L., Lien, H. L. (2013). Effective and selective recovery of precious metals by thiourea modified magnetic nanoparticles. *Int. J. Mol. Sci.*, 14: 9834–9847.
25. Liu, Y., Zhang, Y., Dokmeci, M. R., Wang, M. L. (2012). Wireless Sensor Array based on DNA Decorated Single-Walled Carbon Nanotubes for Gas Monitoring.
26. Loo, S. L., Fane, A. G., Lim, T. T., Krantz, W. B., Liang, Y. N., Liu, X., Hu, X. (2013). Superabsorbent cryogels decorated with silver nanoparticles as a novel water technology for point-of-use disinfection, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9363–9371.
27. Mallick, S., Sharma, S., Banerjee M., Ghosh, S. S., Chattopadhyay, A., Paul, A. (2012). Iodine-Stabilized Cu Nanoparticle Chitosan Composite for Antibacterial Applications., *Appl. Mater. Interfaces*, 4: 1313-1323.
28. Mehdinia, A., Aziz-Zanjani, M. O. (2013). Recent advances in nanomaterials utilized in fiber coatings for solid-phase microextraction. *Trac-Trend. Anal. Chem.*, 42: 205-215.
29. Mirhosseini, M., and Firouzabadi, F. B. (2013). Antibacterial activity of zinc oxide nanoparticle suspensions on food-borne pathogens. *Int. J. Dairy Technol.*, 66: 291-295.
30. Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 16:2346–2353.
31. Nair, S., Sasidharan, A., Divya Rani, V. V. (2009). Role of size scale of ZnO nanoparticles and microparticles on toxicity toward bacteria and osteoblast cancer cells. *J Mater Sci Mater Med*. 1: S235–S241.
32. Padmavathy, N., Vijayaraghavan, R., (2008). Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles – an antimicrobial study. *Sci Technol Adv Mat*. 9:35004–35010.
33. Pal, S., Tak, Y. K., Song, J. M., (2007). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the Gram-negative bacterium *Escherichia coli*. *Appl Environ Microbiol*. 73:1712–1720.
34. Pan, B., Xu, J. S., Wu, B., Li, Z. G., Liu, X. T. (2013). Enhanced removal of fluoride by polystyrene anion exchanger supported hydrous zirconium oxide nanoparticles, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9347–9354.
35. Pearce, P., Iakimov, T., Anderson, M., Hultman, L., Spetz, A. L., Yakimova, R. (2011). Epitaxially grown graphene based gas sensors for ultra-sensitive NO₂ detection, *Sensor. Actuat. B*, 155:451–455.
36. Putzbach, W., Ronkainen, N. J. (2013). Immobilization Techniques in the Fabrication of Nanomaterial-Based Electrochemical Biosensors: A Review. *Sensors*, 13:4811-4840
37. Qi, L., Xu, Z., Jiang, X., Hu, C., Zou, X. (2004). Preparation and antibacterial activity of chitosan nanoparticles. *Carbohydr Res*. 339:2693–2700.
38. Qu, X., Brame, J., Li, Q., Alvarez, P. J. J. (2013). Nanotechnology for a safe and sustainable water supply: Enabling integrated water treatment and reuse. *Accounts Chem. Res.*, 46: 834-843.
39. Rajabzade, H. Daneshgar, P., Tazikeh, E., Mehrabian, R. Z. (2012). Functionalized Carbon Nanotubes with Gold Nanoparticles to Fabricate a Sensor for Hydrogen Peroxide Determination. *E-J. Chem.*, 9:2540-2549.
40. Reddy, K. M., Feris, K., Bell, J., Wingett, D. G., Hanley, C., Punnoose, A. (2007).

- Selective toxicity of zinc oxide nanoparticles to prokaryotic and eukaryotic systems. *Appl Phys Lett*. 90:2139021–2139023.
41. Rether, A., Schuster, M. (2003). Selective separation and recovery of heavy metal ions using water-soluble N-benzoylthiourea modified PAMAM polymers. *React. Funct. Polym.*, 57: 13-21.
 42. Seil, J. T., Webster, T. J. (2012). Antimicrobial applications of nanotechnology: methods and literature, *Int. J. Nanomed.*, 7:2767–2781.
 43. Senthil, M., Ramesh, C. (2012). Biogenic synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles using *Tridax procumbens* leaf extract and its antibacterial activity on *Pseudomonas aeruginosa*. *Dig. J. Nanomater. Bios.*, 7:1655–1661.
 44. Simon-Deckers, A., Loo, S., Mayne-L'hermite, M., (2009). Size-, composition- and shape-dependent toxicological impact of metal oxide nanoparticles and carbon nanotubes toward bacteria. *Environ Sci Technol*. 43:8423–8429.
 45. Sondi, I. and Salopek-Sondi, B. (2004). Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J Colloid Interf Sci.*, 275:177–182.
 46. Suresh, A. K., Pelletier, D. A., Doktycz, M. J. (2013). Relating nanomaterial properties and microbial toxicity., *Nanoscale*, 5: 463-474.
 47. Taylor, E. N., Webster, T. J. (2009). The use of superparamagnetic nanoparticles for prosthetic biofilm prevention. *Int J Nanomedicine*. 4:145–152.
 48. Tran, N., Mir, A., Mallik, D., Sinha, A., Nayar, A., Webster, T. J. (2010). Bactericidal effect of iron oxide nanoparticles on *Staphylococcus aureus*. *Int J Nanomedicine*. 5:277–283.
 49. von Goetz, N., Lorenz, C., Windler, L., Nowack, B., Heuberger, M. and Hungerbühler, K. (2013). Migration of Ag- and TiO₂- (Nano)particles from textiles into artificial sweat under physical stress: experiments and exposure modeling, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9979-9987.
 50. Wu, J. P., Yin, F. (2013). Novel hydrogen peroxide biosensor based on hemoglobin combined with electrospinning composite nanofibers. *Anal. Lett.*, 46:818-830.
 51. Xu, Y., Zhao, D. (2005). Removal of copper from contaminated soil by use of poly (amidoamine) dendrimers, *Environ. Sci. Technol.*, 39: 2369-2375.
 52. Yoon, K. Y., Hoon, J., Park, J. H., Hwang, J. (2007). Susceptibility constants of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to silver and copper nanoparticles. *Sci Total Environ*. 373:572–575.
 53. Zhang, W. D., Xu, B., Jiang, L. C. (2010). Functional hybrid materials based on carbon nanotubes and metal oxides. *J. Mater. Chem.*, 20: 6383–6391.
 54. Zhou, L., Liu, J., Liu, Z. (2009). Adsorption of platinum(IV) and palladium(II) from aqueous solution by thiourea-modified chitosan microspheres, *J. Hazard. Mater.*, 172: 439-446.

空氣中奈米微粒的自動監測方法

1. Asbach, C., Kaminski, H., Von Barany, D., Kuhlbsch, T. A. J., Monz, C., Dziurawitz, N., Pelzer, J., Vossen, K., Berlin, K., Dietrich, S., Gotz, U., Kiesling, H. J., Schierl, R., Dahmann, D. (2012). Comparability of portable nanoparticle exposure monitors, *Ann. Occup. Hyg.*, 56: 606–621.
2. Bzdek B. R., Pennington M. R., Johnston M. V. (2012). Single particle chemical analysis of ambient ultrafine aerosol: A review, *J. Aerosol Sci.*, 52:109-120.

3. Chung, A., Lall, A. A., Paulson, S. E. (2008). Particulate emissions by a small non-road diesel engine: Biodiesel and diesel characterization and mass measurements using the extended idealized aggregates theory, *Atmos. Environ.*, 42: 2129–2140.
4. Fierz, M., Houle, C., Steigmeier, P., Burtscher, H. (2011). Design, calibration, and field performance of a miniature diffusion size classifier, *Aerosol Sci. Technol.*, 45: 1–10.
5. Hering, S. V., Stolzenburg, M. R. (2005). A method for particle size amplification by water condensation in a laminar, thermally diffusive flow, *Aerosol Sci. Technol.*, 39: 428–436.
6. Hering, S. V., Stolzenburg, M. R., Quant, F. R., Oberreit, D. R., Keady, P. B. (2005). A laminar-flow, water-based condensation particle counter (WCPC), *Aerosol Sci. Technol.*, 39: 659–672.
7. Joshi, M., Sapra, B. K., Khan, A., Tripathi, S. N., Shamjad, P. M., Gupta, T. Mayya, Y. S. (2012). Harmonisation of nanoparticle concentration measurements using GRIMM and TSI scanning mobility particle sizers, *J. Nanopart. Res.*, 14: 1268.
8. Li, M., Gou, H., Al-Ogaidi, I., Wu, N. (2013). Nanostructured sensors for detection of heavy metals: A review, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 713–723.
9. Liu, Z., Swanson, J., Kittelson, D. B., Pui, D. Y. H. (2012). Comparison of methods for online measurement of diesel particulate matter, *Environ. Sci. Technol.*, 46: 6127–6133.
10. Lee, E. S., Polidori, A., Koch, M., Fine, P. M., Mehadi, A., Hammond, D., Wright, J. N., Miguel, A. H., Ayala, A., Zhu, Y. (2013). Water-based condensation particle counters comparison near a major freeway with significant heavy-duty diesel traffic, *Atmos. Environ.*, 68: 151–161.
11. Makela, J. M., Hoffmann, T., Holzke, C., Vakeva, M., Suni, T., Mattila, T., Aalto, P. P., Tapper, U., Kauppinen, E. I., O'Dowd, C. D. (2002). Biogenic iodine emissions and identification of end-products in coastal ultrafine particles during nucleation bursts, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 107:8110.
12. Mallina, R. V., Wexler, A. S., Rhoads, K. P., Johnston, M. V. (2000). High speed particle beam generation: adynamic focusing mechanism for selecting ultrafine particles, *Aerosp. Sci. Technol.*, 33:87–104.
13. Marra, J., Voetz, M., Kiesling H. J. (2010). Monitor for detecting and assessing exposure to airborne nanoparticles, *J. Nanopart. Res.*, 12: 21–37.
14. McMurry, P. H., Ghimire, A., Ahn, H. K., Sakurai, H., Moore, K., Stolzenburg, M., Smith, J. N. (2009). Sampling nanoparticles for chemical analysis by low resolution electrical mobility classification, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 4653–4658.
15. Park, K., Kittelson, D. B., McMurry, P. H. A. (2003). Closure study of aerosol mass concentration measurements: Comparison of values obtained with filters and by direct measurements of mass distributions, *Atmos. Environ.*, 37: 1223–1230.
16. Phares, D. J., Rhoads, K. P., Wexler, A. S. (2002). Performance of a single ultrafine particle mass spectrometer, *Aerosp. Sci. Technol.*, 36: 583–592.
17. Su, Y. X., Sipin, M. F., Furutani, H., Prather, K.A. (2004). Development and characterization of an aerosol time-of-flight mass spectrometer with increased detection efficiency, *Anal. Chem.*, 76: 712–719.
18. Wang, S. Y., Johnston, M. V. (2006). Air borne nanoparticle characterization with a

- digital ion trap-reflectron time of flight mass spectrometer, *Int. J. Mass Spectrom.*, 258: 50–57.
19. Zauscher, M. D., Moore, M. J. K., Lewis, G. S., Hering, S. V., Prather, K. A. (2011). Approach for measuring the chemistry of individual particles in the size range critical for cloud formation, *Anal. Chem.*, 83: 2271–2278.
 20. Zelenyuk, A., Imre, D. (2005). Single particle laser ablation time-of-flight mass spectrometer: an introduction to SPLAT, *Aerosp. Sci. Technol.*, 39: 554–568.
 21. Zelenyuk, A., Yang, J., Choi, E., Imre, D. (2009). SPLAT II: an air craft compatible, ultra-sensitive, high precision instrument for in-situ characterization of the size and composition of fine and ultrafine particles, *Aerosp. Sci. Technol.*, 43: 411–424.

奈米產品中的奈米物質對環境的影響

1. Auffan, M., Pedeutour, M., Rose, J., Masion, A., Ziarelli, F., Borschneck, D., Chaneac, C., Botta, C., Chaurand, P., Labille, J., Bottero, J. Y. (2010). Structural degradation at the surface of a TiO₂-based nanomaterial used in cosmetics, *Environ. Sci. Technol.*, 44: 2689–2694.
2. Bello, D., Wardle, B. L., Yamamoto, N., deVilloria, R. G., Garcia, E. J., Hart, A. J., Ahn, K., Ellenbecker, M. J., Hallock, M. (2009). Exposure to nanoscale particles and fibers during machining of hybrid advanced composites containing carbon nanotubes, *J. Nanopart. Res.*, 11: 231–249.
3. Benn, T., Cavanagh, B., Hristovski, K., Posner, J. D., Westerhoff, P. (2010). The release of nanosilver from consumer products used in the home, *J. Environ. Qual.*, 39: 1875–1882.
4. Blaser, S. A., Scheringer M., MacLeod, M., Hungerbuhler, K. (2008). Estimation of cumulative aquatic exposure and risk due to silver: contribution of nanofunctionalized plastics and textiles, *Sci. Total Environ.*, 390: 396–409.
5. Botta, C., Labille, J., Auffan, M., Borschneck, D., Miche, H., Cabie, M., Masion, A., Rose, J., Bottero, J. Y. (2011). TiO₂-based nanoparticles released in water from commercialized sunscreens in a life-cycle perspective: Structures and quantities, *Environ. Pollut.*, 159: 1543–1548.
6. Bradford, A., Handy, R. D., Readman, J. W., Atfield, A., Muñhling, M. (2009). Impact of silver nanoparticle contamination on the genetic diversity of natural bacterial assemblages in estuarine sediments, *Environ Sci Technol.*, 43: 4530–4536.
7. Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y., (2010). Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge — evidence and impacts, *Waste Manage.*, 30: 504–520.
8. Brunekreef, B., Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health, *Lancet*, 360: 1233–12.
9. Cena, L. G., Peters, T. M. (2011). Characterization and control of airborne particles emitted during production of epoxy/carbon nanotube nanocomposites, *J. Occup. Environ. Hyg.*, 8: 86–92.
10. Chuankrerkkul, N., Sangsuk, S. (2008). Current status of nanotechnology consumer products and nano-safety issues, *J. Miner. Met. Mater. Soc.*, 18: 75–79.
11. Dastjerdi, R., Montazer, M. (2010). A review on the application of inorganic nanostructured materials in the modification of textiles: focus on anti-microbial properties, *Colloid., Surface. B.*, 79: 5–18.

12. Donaldson, K., Li, X. Y., MacNee, W. (1998). Ultrafine (nanometre) particle mediated lung injury, *J. Aerosol. Sci.*, 29: 553–560.
13. Fender, J. K. (2008). The FDA and nano: Big problems with tiny technology, *Chic. Kent Law Rev.* 83: 1063–1095.
14. Galagan, Y., Rubingh, J. E. J. M., Andriessen, R., Fan, C. C., Blom, P. W. M., Veenstra, S. C. (2011). ITO-free flexible organic solar cells with printed current collecting grids, *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, 95: 1339–1343.
15. Gilot, J., Barbu, I., Wienk, M. M., Janssen, R. A. J. (2007). The use of ZnO as optical spacer in polymer solar cells: theoretical and experimental study, *Appl. Phys. Lett.*, 91: 1–3.
16. Gleiche, M., Hoffschulz, H., Lenhert, S. (2006). Nanotechnology in consumer products, Düsseldorf, Germany.
17. Gohler, D., Stintz, M., Hillemann, L., Vorbau, M. (2010). Characterization of nanoparticle release from surface coatings by the simulation of a sanding process, *Ann. Occup. Hyg.*, 54: 615–624.
18. Golanski, L., Guiot, A., Pras, M., Malarde, M., Tardif, F. (2012). Release-ability of nano fillers from different nanomaterials (toward the acceptability of nanoprodukt), *J. Nanopart. Res.*, 14, article number 962.
19. Gottschalk, F., Nowack, B. (2011). The release of engineered nanomaterials to the environment, *J. Environ. Monitor.*, 13: 1145–1155.
20. Guiot, A., Golanski, L., Tardif, F. (2008). Measurement of nanoparticle removal by abrasion, *Nanosafe2008*, 11: 3–7.
21. Hagendorfer, H., Lorenz, C., Kaegi, R., Sinnet, B., Gehrig, R., Goetz, N. V., Scheringer, M., Ludwig, C., Ulrich, A. (2010). Size-fractionated characterization and quantification of nanoparticle release rates from a consumer spray product containing engineered nanoparticles, *J. Nanopart. Res.*, 12:2481–2494.
22. Hischer, R.; Walser, T. (2012). Life cycle assessment of engineered nanomaterials: State of the art and strategies to overcome existing gaps, *Sci. Total Environ.*, 425: 271–282.
23. Hsu, L. Y., Chein, H. M. (2007). Evaluation of nanoparticle emission for TiO₂ nanopowder coating materials, *J. Nanopart. Res.*, 9: 157–163.
24. Huang, G. N., Park, J. H., Cena, L. G., Shelton, B. L., Peters, T. M. (2012). Evaluation of airborne particle emissions from commercial products containing carbon nanotubes, *J. Nanopart. Res.*, 14, article number 1231.
25. Johnston, H. J., Hutchison, G., Christensen, F. M., Peters, S., Hankin, S., Stone, V. (2010). A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: particle attributes and biological mechanisms responsible for the observed toxicity. *Crit. Rev. Toxicol.*, 40: 328–346.
26. Kaegi, R., Sinnet, B., Zuleeg, S., Hagendorfer, H., Mueller, E., Vonbank, R., Boller, M., Burkhardt, M. (2010). Release of silver nanoparticles from outdoor facades, *Environ. Pollut.*, 158: 2900–2905.
27. Keenan, C. R., Goth-Goldstein, R., Lucas, D., Sedlak, D. L. (2009). Oxidative stress induced by zero-valent iron nanoparticles and Fe(II) in human bronchial epithelial cells, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 4555–4560.
28. Khan, I. A., Berge, N. D., Sabo-Attwood, T., Ferguson, P. L., Saleh, N. B. (2013). Single-walled carbon nanotube transport in representative municipal solid waste

- landfill conditions, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 8425–8433.
29. Kim, J. Y., Kim, S. H., Lee, H. H., Lee, K., Ma, W. L., Gong, X. (2006). New architecture for high-efficiency polymer photovoltaic cells using solution-based titanium oxide as an optical spacer, *Adv. Mater.*, 18: 572–576.
 30. Kiser, M. A., Westerhoff, P., Benn, T., Wang, Y., Pérez-Rivera, J., Hristovski, K. (2009). Titanium nanomaterial removal and release from wastewater treatment plants, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 6757–4763.
 31. Koponen, I. K., Jensen, K. A., Schneider, T. (2009). Sanding dust from nanoparticle-containing paints: physical characterization, *J. Phys. C Series*, 151: 1–9.
 32. Koponen, I. K., Jensen, K. A., Schneider, T. (2011). Comparison of dust released from sanding conventional and nanoparticle-doped wall and wood coatings, *J. Expo. Sci. Env. Epid.*, 21: 408–418.
 33. Krebs F. C. (2009). All solution roll-to-roll processed polymer solar cells free from indium, *Org. Electron.*, 10: 761–768.
 34. Kulthong, K., Srisung, S., Boonpavanitchakul, K., Kangwansupamonkon, W., Maniratanachote, R. (2010). Determination of silver nanoparticle release from antibacterial fabrics into artificial sweat, *Part. Fibre. Toxicol.*, 7, article number 8.
 35. Lee S. B. (2011). Nanotoxicology: toxicity and biological effects of nanoparticles for new evaluation standards, *Nanomedicine-UK*, 6: 759–761.
 36. Lioy, P. J., Nazarenko, Y., Han, T. W., Lioy, M. J., Mainelis, G. (2010). Nanotechnology and exposure science: what is needed to fill the research and data gaps for consumer products, *Int. J. Occup. Environ. Health.*, 16: 376–385.
 37. Trevor, M., Baxter, D. (2007). Nanotechnology recent developments, risks and opportunities, *Lloyd's*, 12: 36
 38. Lorenz, C., Hagendorfer, H., von Goetz, N., Kaegi, R., Gehrig, R., Ulrich, A., Scheringer, M., Hungerbuhler, K. (2011). Nanosized aerosols from consumer sprays: experimental analysis and exposure modeling for four commercial products, *J. Nanopart. Res.*, 13: 3377–3391.
 39. Lorenz, C., Windler, L., von Goetz, N., Lehmann, R. P., Schuppler, M., Hungerbuhler, K., Heuberger, M., Nowack, B. (2012). Characterization of silver release from commercially available functional (nano)textiles, *Chemosphere*, 89:817–824.
 40. Majestic, B. J., Erdakos, G. B., Lewandowski, M., Oliver, K. D., Willis, R. D., Kleindienst, T. E., Bhave, P. V. (2010). A review of selected engineered nanoparticles in the atmosphere, sources, transformations, and techniques for sampling and analysis, *Int. J. Occup. Environ. Health*, 16: 488–507.
 41. Marambio-Jones, C., Hoek, E. M. V. (2010). A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment, *J. Nanopart. Res.*, 12: 1531–1551.
 42. Mihranyan, A., Ferraz, N., Strømme, M. (2012). Current status and future prospects of nanotechnology in cosmetics, *Prog. Mater. Sci.* 57: 875–910.
 43. Mu, L., Sprando, R. (2010). Application of nanotechnology in cosmetics, *Pharm. Res.*, 27: 1746–1749.
 44. Musee, N. (2010). Nanotechnology risk assessment from a waste management perspective: Are the current tools adequate? *Hum. Exp. Toxicol.*, 30: 820–835.

45. Nazarenko, Y., Han, T. W., Liroy, P. J., Mainelis, G. (2011). Potential for exposure to engineered nanoparticles from nanotechnology- based consumer spray products, *J. Expo. Sci. Environ. Epidermol.* 21: 515–528.
46. Nazarenko, Y., Zhen, H. J., Han, T. W., Liroy, P. J., Mainelis, G. (2012). Nanomaterial inhalation exposure from nanotechnology-based cosmetic powders: a quantitative assessment, *J. Nanopart. Res.*, 14, article number 1229.
47. Nazarenko, Y., Zhen, H. J., Han, T. W., Liroy, P. J., Mainelis, G. (2012). Potential for inhalation exposure to engineered nanoparticles from nanotechnology-based cosmetic powders, *Environ. Health Persp.*, 120: 885–892.
48. Nel, A., Xia, T., Mañdler, L., Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel, *Science*, 311: 622–627.
49. Nohynek, G. J., Dufour, E. K., Roberts, M. S. (2008). Nanotechnology, cosmetics and the skin: is there a health risk? *Skin Pharmacol. Physi.*, 21: 136–149.
50. Nowack, B., Krug, H. F., Height, M. (2011). 120 years of nanosilver history: implications for policy makers, *Environ. Sci. Technol.*, 45 :1177–1183.
51. Nowack, B., Ranville, J. F., Diamond, S., Gallego-Urrea, J. A., Metcalfe, C., Rose, J., Horne, N., Koelmans, A. A., Klaine, S. J. (2011). Potential scenarios for nanomaterial release and subsequent alteration in the environment, *Environ. Toxicol. Chem.*, 31: 50–59.
52. Oberdorster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K. (2005). Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy, *Part. Fibre. Toxicol.*, 2: 1–35.
53. Oberdorster, G., Oberdorster, E., Oberdorster, J. (2005). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles, *Environ. Health Persp.*, 113: 823-839.
54. Ostrowski, A. D., Martin, T., Conti, J., Hurt, I., Harthorn, B. H. (2009). Nanotoxicology: characterizing the scientific literature, 2000–2007, *J. Nanopart. Res.*, 11: 251–257
55. Quadros, M. E., Marr, L. C. (2010). Environmental and human health risks of aerosolized silver nanoparticles, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 60: 770-781.
56. Quadros, M. E., Marr, L. C. (2011). Silver nanoparticles and total aerosols emitted by nanotechnology-related consumer spray products, *Environ. Sci. Technol.*, 45:10713–10719.
57. Raynor, P. C., Cebula, J. I., Spangenberg, J. S., Olson, B. A., Dasch, J. M., D'Arcy, J. B. (2012). Assessing potential nanoparticle release during nanocomposite shredding using direct-reading instruments, *J. Occup. Environ. Hyg.*, 9: 1–13.
58. Scheringer, M., MacLeod, M., Behra, T., Sigg, L., Hungerbuhler, K. (2011). Environmental risks associated with nanoparticulate silver used as biocide. *H&PC Today*, 6: 27–29.
59. Schlagenhauf, L., Chu, B. T. T., Buha, J., Nuesch, F., Wang, J. (2012). Release of carbon nanotubes from an epoxy-based nanocomposite during an abrasion process, *Environ. Sci. Technol.*, 46: 7366–7372.
60. Soto, K. F., Carrasco, A., Powell, T. G., Garza, K. M., Murr, L. E. (2005). Comparative in vitro cytotoxicity assessment of some manufactured nanoparticulate materials characterized by transmission electron microscopy, *J. Nanopart. Res.*, 7:

- 145–169.
61. Stebounova, L. V., Adamcakova-Dodd, A., Kim, J. S., Park, H., O’Shaughnessy, P. T., Grassian, V. H., Thorne, P. S. (2011). Nanosilver induces minimal lung toxicity or inflammation in a subacute murine inhalation model, *Particle and Fibre Toxicology*, 8: 1-12.
 62. Sung, J. H., Ji, J. H., Park, J. D., Yoon, J. U., Kim, D. S., Jeon, K. S., Song, M. Y., Jeong, J., Han, B. S., Han, J. H., Chung, Y. H., Chang, H. K., Lee, J. H., Cho, M. H., Kelman, B. J., Yu, I. J. (2009). Subchronic inhalation toxicity of silver nanoparticles, *Toxicol. Sci.*, 108: 452-461.
 63. Tolaymat, T. M., El Badawy, A. M., Genaidy, A., Scheckel, K. G., Luxton, T. P., Suidan, M. (2010). An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: a systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers, *Sci. Total Environ.*, 408: 999–1006.
 64. Tsuji, J. S., Mowat, F. S., Donthu, S., Reitman, M., Sahu, S. C., Casciano, D. A. (2009). Application of toxicology studies in assessing the health risks of nanomaterials in consumer products. *Nanotoxicity.*, 25: 543–580.
 65. Wagner, M., Oehlmann, J. (2011). Endocrine disruptors in bottled mineral water: estrogenic activity in the E-Screen, *J. Steroid. Biochem. Mol. Biol.*, 127: 128–35.
 66. Walser, T., Demou, E., Lang, D. J., Hellweg, S. (2011). Prospective environmental life cycle assessment of nanosilver T-shirts, *Environ. Sci. Technol.*, 45: 4570–4578.
 67. Wardak, A., Gorman, M. E., Swami, N., Deshpande, S. (2008). Identification of risks in the life cycle of nanotechnology-based products, *J. Ind. Ecol.*, 12: 435–448.
 68. Wijnhoven, S. W. P., Peijnenburg, W. J. G. M., Herberts, C. A., Hagens, W. I., Oomen, A. G., Heugens, E. H. W., Roszek, B., Bisschops, J., Gosens, I., Van De Meent, D., Dekkers, S., De Jong, W. H., van Zijverden, M., Sips, A. J. A. M., Geertsma, R. E. (2009). Nanosilver-a review of available data and knowledge gaps in human and environmental risk assessment, *Nanotoxicology*, 3: 109–138.
 69. Zimmermann, Y. S., Schaffer, A., Hugi, C., Fent, K., Corvini, P. F. X., Lenz, M. (2012). Organic photovoltaics: Potential fate and effects in the environment, *Environ. Int.*, 49: 128–140.

奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命

1. Badawy, A. M. E., Hassan, A. A., Scheckel, K. G., Suidan, M. T., Tolaymat, T. M. (2013). Key factors controlling the transport of silver nanoparticles in porous media, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 4039–4045.
2. Batley, G. E., Kirby, J. K., McLaughlin, M. J. (2013). Fate and risks of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments, *Accounts Chem. Res.*, 46: 854–862.
3. Bolyard, S. C., Reinhart, D. R., Santra, S. S. (2013). Behavior of engineered nanoparticles in landfill leachate, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 8114–8122.
4. Chou, C. M., Lien, H. L. (2011). Dendrimer-conjugated magnetic nanoparticles for removal of zinc(II) from aqueous solutions, *J. Nanopart. Res.*, 13: 2099–2107.
5. Dahlben, L. J., Eckelman, M. J., Hakimian, A., Somu, S., Isaacs, J. A. (2013). Environmental life cycle assessment of a carbon nanotube-enabled semiconductor device, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 8471–8478.
6. Gao, Y., Luo, Z., He, N., Wang, M. K. (2013). Metallic nanoparticle production and

- consumption in China between 2000 and 2010 and associative aquatic environmental risk assessment, *J. Nanopart. Res.*, 15: 1681.
7. Li, Q., McGinnis, S., Sydnor, C., Wong, A., Rennecker, S. (2013). Nanocellulose life cycle assessment, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 11: 919–928.
 8. Liu, X., Chen, G. Keller, A. A., Su, C. (2013). Effects of dominant material properties on the stability and transport of TiO₂ nanoparticles and carbon nanotubes in aquatic environments: from synthesis to fate, *Environ. Sci.*, 15: 169–189.
 9. Lowry, G.V., Gregory, K.B., Apte, S.C., Lead, J.R. (2012). Transformations of nanomaterials in the environment, *Environ. Sci. Technol.*, 46: 6893–6899.
 10. Louie, S. M., Tilton, R. D., Lowry, G. V. (2013). Effects of molecular weight distribution and chemical properties of natural organic matter on gold nanoparticle aggregation, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 4245–4254.
 11. Qu, R., Niu, Y., Liu, J., Sun, C., Zhang, Y., Chen, H., Ji, C. (2008). Adsorption and desorption behaviors of Pd(II) on silica-gel functionalized with ester- and amino-terminated dendrimer-like polyamidoamine polymers, *React. Funct. Polym.*, 68: 1272–1280.
 12. Sekine, R., Khaksar, M., Brunetti, G., Donner, E., Scheckel, K. G., Lombi, E., Vasilev, K. (2013). Surface immobilization of engineered nanomaterials for in situ study of their environmental transformations and fate, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9308-9316.
 13. Westerhoof, P., Nowack, B. (2013). Searching for global descriptors of engineered nanomaterial fate and transport in the environment, *Accounts Chem. Res.*, 46: 844-853.
 14. Zhu, M., Nie, G., Meng, H., Xia, T., Nel, A., Zhao, Y. (2013). Physicochemical properties determine nanomaterial cellular uptake, transport, and fate, *Accounts Chem. Res.*, 46: 622-631.

ISO

1. A document about Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibres is available from the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) of the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) of the United States of America
2. Anderson, R. M., Walck, S. D. (1997). Specimen preparation for transmission electron microscopy of materials IV, *Mat. Res. Soc.*
3. ISO/TR 12885 (2008) Nanotechnologies — Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies
4. ISO/TS 10797 (2012) Nanotechnologies — Characterization of single-wall carbon nanotubes using transmission electron microscopy
5. Jakubek, Z. J., Kingston, C., Makar, J., Mansfield, E., Postek, M. T., Simard, B., Sturgeon, R., Wise, S., Vladár, A. E., Yang, L., Zeisler, R. (2009). Sample preparation protocols for realization of reproducible characterization of single-walled carbon nanotubes, *Metrologia*, 46: 682-692.
6. Mansfield, E., Geiss, R., Fagan, J. A. (2009). Methods for TEM analysis of NIST's single-walled carbon nanotube standard reference material, *Proc. Spie.*, 7405: 74050A.
7. ISO/TS 11937 (2012) Nanotechnologies — Nanoscale titanium dioxide in powder

- form — Characteristics and measurement.
8. ISO/TS 12901-1 (2012) Nanotechnologies — Occupational risk management applied to engineered nanomaterials.
 9. ISO/TR 13329 (2012) Nanomaterials — Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS).

OECD

1. ENV/JM/MONO(2012)14, Inhalation Toxicity Testing: Expert Meeting on Potential Revisions to OECD Test Guidelines and Guidance Document. <http://www.oecd.org/env/ehs/nanosafety/publicationsintheseriesonthesafetyofmanufacturednanomaterials.htm>

行政院環保署 102 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」評選會議
回復意見表

出席委員：張委員俊陽、吳委員瑞琦、朱委員惠中、曹委員賜卿

投標單位：交通大學環工所

委員意見回覆對照表

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>(一)張委員俊陽意見</p> <p>1. 建議加強說明與國外相關平台，如：ICON 網站之特性差異以突顯本平台之特色，及避免資源浪費。是否分眾依需求而有差異？</p> <p>2. P.15~P.16 主題分類的依據為何？與國內發展相關性？為何 98→99→100 年均不同？論文選擇依據？</p> <p>3. P.19 報告名稱與內容是否相稱，例如：我國的成果與扮演的角色。</p>	<p>1. 謝謝委員建議。ICON 的虛擬期刊網站收錄目前全世界最完整的奈米技術 EHS 的期刊摘要，並即時更新各國的最新進展及研究成果，知識平台電子報的資料來源大部份亦從 ICON 網站擷取。環境奈米知識平台的定位為以國內的奈米技術 EHS 研究報告及論文為主，其使用對象設定為奈米技術 EHS 專業人士，平台另設有科普、專有名詞、最佳控制實務及常見問題等專區，可供一般大眾使用。</p> <p>2. 謝謝委員意見。本團隊每年所探討之主題，係篩選自環保署評選須知的要求，並由計畫主持人挑選出近幾年在國際間與台灣具有重大進展的其他議題，進行文獻收集與回顧。</p> <p>3. 此報告的名稱係環保署制定，內容係回顧及參考國內外的奈米技術 EHS 策略規劃及研究主題，並</p>

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>4. 李國賓老師 P.21 (清大) P.30 (成大) 請一致化!</p>	<p>考量經費限制、過去的研究成果及各單位的分工協調情況，提出明年度國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目，將包含我國的成果與扮演的角色。</p> <p>4. 謝謝委員意見，李國賓教授現任職於國立清華大學動力機械工程學系，本團隊已更正於服務建議書第 24 及 35 頁。</p>
<p>5. P.33 論壇的主題為何？表列論文是邀稿或投稿？題目已確定？</p> <p>6. 計畫結果與環保署及其他計畫的相關性 (P.10)</p>	<p>5. 計畫書中的論壇議程表為暫定。論壇主題的篩選將依據本年度環保署環境奈米科技計畫，及勞研所、國衛院等單位的奈米 EHS 計畫的最新研究成果來決定，並以邀稿的形式進行，簽約後本團隊會提報圓桌論壇及論文發表的主題及講員經環保署同意後再行邀請。</p> <p>6. 本計畫的工作內容包含協助環保署管理奈米科技計畫及彙整績效成果，並即時將研究成果及相關資料上傳環境奈米科技知識平台。</p>
<p>(二)吳委員瑞琦意見</p> <p>1. 宜對本專案計畫平台之軟硬體架構做介紹。</p> <p>2. 知識平台維運再分包之範圍為何？(全數委外還是部分?)工作組織圖中(P.71)負責此部分人員之角色為何？</p>	<p>1. 謝謝委員意見，本團隊已補充於服務建議書第 28-29 頁。</p> <p>2. 關於知識平台維運的外包範圍，本團隊僅將系統維護、資訊安全與網站功能提升等工作委外由專業廠商負責，而工作組織圖中所</p>

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>3. P.91 經費需求中之其他直接費用第 2 項有關論壇、圓桌會議、專家座談等費用，可再做細項分析。</p>	<p>列人員為負責審核平台會員資格、瀏覽權限及後台上稿等維護工作，並統計分析平台的瀏覽人數、訪客來源及瀏覽行為等資訊，以了解使用者的點閱習性及頻率。</p> <p>3. 謝謝委員意見，此項目的細項分析已補充於服務建議書第 97 頁。</p>
<p>(三)朱委員惠中意見</p> <p>1. 建議書第 33 頁表 3-2 有關論壇初步議程表內「綜合討論」部份，建議於加入討論主題及各主題之引言人，以免討論題目過於發散，無法聚焦。</p> <p>2. 建議書第 25 頁之 3.1 節之主題包括有「確保資訊安全」乙項，惟在內容敘述方面未見相關之著墨，建議略為敘述。</p> <p>3. 建議書第 30 及 31 頁中，有關李國賓教授服務單位有所出入，建議確定以符文件一致性之期待。</p>	<p>1. 謝謝委員建議，本團隊已在綜合討論的議程加入討論主題及引言人，請參閱服務建議書第 37 頁。</p> <p>2. 謝謝委員建議，本團隊已補充於服務建議書第 28-29 頁。</p> <p>3. 謝謝委員意見，李國賓教授現任職於國立清華大學動力機械工程學系，本團隊已更正於服務建議書第 24 及 35 頁。</p>
<p>(四)曹委員賜卿意見</p> <p>1. 環境奈米科技知識平台宜加強與使用者間之互動，除下載外，亦應有上傳(upload)之功能，讓知識平台更活潑實用。</p> <p>2. 本計畫係持續性工作，宜將前三年</p>	<p>1. 謝謝委員意見。平台的專家會員已具有上傳知識文件來分享研究成果的權限，針對一般民眾知識平台去年度已新增社群討論專區，增加使用者間的互動。</p> <p>2. 謝謝委員意見。本團隊於每年度</p>

委員意見	回覆意見(交通大學)
工作做檢討，以讓 102 年計畫工作更有功效。	的期末報告中均整理近 3-5 年的計畫成果，請參閱 99-101 年度的期末報告，今年度會持續執行此項工作。

附錄三 期中報告審查會議記錄

會議名稱：「102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」期中報告審查會議紀錄

會議記錄

- 一、時間：102 年 8 月 14 日（星期三）14 時 0 分
- 二、地點：本署 4 樓第 6 會議室
- 三、主席：劉執行秘書宗勇
紀錄：蘇鈺珊
- 四、出(列)席單位及人員：如會議簽名單
- 五、執行單位簡報：交通大學(略)
- 六、主席致詞：(略)
- 七、委員意見：詳如審查意見表。
- 八、結論：本計畫期中報告審查通過，請參採委員所提意見納入後續工作及期末報告書中，另請執行單位檢據俾憑辦理第 2 期款撥款事宜。
- 九、散會：15 時 15 分。

行政院環保署「102 年推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」

期中報告審查意見回覆

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>(一) 張委員俊陽</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 內容充實，進度掌控符合計畫進度！ 2. 建議利用一張彙總表分析 P.27 國外相關的知識源與本計畫平台之相關及相異點，據以突顯本計畫的優點（是否擷取各家之精華）。 3. 知識整合方面：建議把重點放在多研究的比較與歸納上，而非單一研究的重點摘要，建議針對每一類的研究作量化的趨勢比較及質化的內容分析說明。 4. 專家訪談及圓桌會議的題目可以事先給受訪者，並將相關的資料提供，以免受訪或討論時，議題無法廣泛而深入。 5. 網站統計分析的意涵及後續採取的行動為何？可以看數字、圖表的結果而引述。 6. 網站是否可以加入 web2.0 的功能，例如：由使用者上傳建議的 paper 或 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員建議。已在期末報告加入知識平台網站與國外重要的環境奈米科技知識源 ICON 網站、US EPA 網站及 NIOSH 網站的架構比較表，請參閱期末報告第 28 頁。 3. 感謝委員建議。本團隊已針對 ICON 資料庫及知識平台所收錄的期刊文獻進行資料庫分類的分析比較，請參閱期末報告第 225 頁。 4. 感謝委員意見。本計畫在邀請專家進行訪談前，已先擬好訪問的題目，並將前三年數位已受訪專家之訪問稿，一併寄給今年受訪的專家作為參考；在邀請圓桌會議的講員時，本團隊均附上今年的議程表和去年的論文集，提供講員參考。 5. 感謝委員意見。本計畫已針對網站統計分析之數字、圖表，進行文字補充說明，並加入同期比較資訊。請參閱期末報告第 213 頁。 6. 感謝委員建議。知識平台資料庫的定位為以國內的奈米技術 EHS 研究報

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>文章，以達到知識分享的目標。</p>	<p>告及論文為主，使用對象設定為奈米技術 EHS 專業人士，使用者可通知管理者審核並上傳符合本平台定位的文章。另外為提升與利害關係者之互動，本團隊在 99 年度的計畫已於 facebook 成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，作為奈米 EHS 知識交流的平台，並在粉絲團開設討論區提供各界進行討論。另外，網站加入其他更多 web 2.0 互動功能，則待與環保署討論協商後再實施。</p>
<p>(二) 吳委員瑞琦</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 發行電子報，是否收集、保有個人資料，其個資防護措施為何？ 2. 知識平台維運的相關工作紀錄，宜再著墨。 3. P.161 定期執行無障礙網頁之自我檢測，惟 P.162 圖 5.1.13 最近之檢測日期卻為 2011/12/02？圖示宜採用最近之檢測日期。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 環保署及本團隊已參考個人資料保護法之規定，修正知識平台的隱私權宣告，並針對已蒐集的會員資料進行必要性之維護，僅保留用以辨識會員的基本資料，如姓名、電子郵件信箱等。 2. 感謝委員意見。知識平台系統的維護紀錄如期末報告附錄 11 所示，請參閱期末報告第 412 頁。 3. 感謝委員意見。無障礙檢測網站會不定期對網頁作檢測，如果被檢測出問題，將會取消網頁的無障礙標章，本知識平台從 2011/12/02 開始，至今仍保有無障礙標章，即表示通過檢測並符合無障礙檢驗標準。目前已針對網站進行五次無障礙自我檢測，請參閱

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>(三)朱委員惠中</p> <p>1. 期中報告內第 160 頁(倒數第 8 行)提及本年度的工作重點有三項，分別為(1) 提升網站功能的操作便利性、資料豐富性；(2) 執行網站弱點分析掃描；及(3) 網站流量的統計等三項工作；惟在期中報告中僅見前述第二項弱點分析掃描結果及第三項網站流量的統計結果，而第一項(提升網站功能的操作便利性、資料豐富性)工作的執行狀況及結果未見著墨，建議補強之，另期中報告內第 161 頁之圖 5.1.12 已列出掃描結果圖，建議比照網站流量的統計的呈現方式(162~16 頁)，以一段文字略加說明之，以提升期中報告之可讀性。</p> <p>2. 有關網站弱點分析掃描之執行方法，執行團隊規劃「不定期針對目標主機進行安全評估及檢測」，建議比照無障礙網頁規範(A+)的精神(期中報告內第 161 頁倒數第 1~3 行所述)，修正為「當目標主機的組態(Configuration)有變更時，即進行安全評估及檢測」。</p>	<p>期末報告第 214 頁。</p> <p>1. 感謝委員意見。本團隊已將工研院出版的奈米風險快訊及知識平台電子報，整合至網頁左上方的最新消息處，使用者只要點選該處連結，即可瀏覽奈米技術 EHS 的最新消息報導。另外，本團隊的工作重點之執行情況，請參閱期末報告附錄 11 第 412 頁；弱點掃描章節的文字說明部分，請參閱期末報告第 213 頁。</p> <p>2. 感謝委員意見，本團隊已依循委員建議於當目標主機的組態(Configuration)有變更時，即進行安全評估及檢測。而區間若無組態變更時，本團隊亦進行例行檢測作業，請參閱期末報告第 213 頁。</p>

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>3. 本案已規劃辦理「環境奈米科技論壇」乙場，相關議程、主題及講員均已安排妥當，惟參加單位及人員數，建議亦宜預做規劃及安排，以利達成風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構的研擬等實質效益，特別是優良管理實務及法規政策架構的研擬等面向。</p> <p>4. 本案有關環境奈米科技知識平台會員數、瀏覽人數、上傳研究報告篇數、出版文獻摘要篇數、英文版網站研究報告摘要篇數、SCI 論文摘要及連接篇數等量化指標之統計日期(現為 2013 年 7 月 31 日)，建議與工作進度表內的時程一致，均為 2013 年 8 月 14 日。</p>	<p>3. 感謝委員建議。本計畫寄發論壇邀請函的對象為奈米技術 EHS 相關之學會、公民團體、奈米展的參觀民眾、科學園區產業工會及奈米技術產業發展協會等公司團體。</p> <p>4. 因環保署規定需在期中審查會議一周前繳交期中報告紙本，故報告中各項量化指標的統計日期，均會比審查會議的日期提早約兩周左右。</p>
<p>(四) 宋委員清潭</p> <p>1. 奈米知識平台整合計畫工作進度符合原先規劃。</p> <p>2. 平台收集國內相關知識源，在國內資訊已有充足的收集，在國外包括 OECD、ISO、USEPA、EU 奈米安全計畫等之最新資訊與分析。</p> <p>3. 國際間的法規與政策進展分析較缺乏，是否與各國法規制定較少有關，建議可多收集各國在政策形成前的奈米物質安全資訊與看法。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員肯定。</p> <p>3. 感謝委員建議。本團隊過去三年計畫的期末報告均已整理各國奈米技術 EHS 法規的進展，並對於發展較快的美國和歐盟作深入的探討，今年度也會持續進行此項工作。</p>

委員意見	回覆意見(交通大學)
<p>4. 奈米物質健康危害已有整理目前一些相關的研究期刊報導及文獻分析等資料，往往學術研究成果與實際政策參考或執行有很大的 gap，建議可針對 USEPA 或 EU 獨立的 Scientific Committees 等政策形成之智庫分析內容，放在知識平台供一般大眾了解並做為署內重要的政策參考。</p>	<p>4. 感謝委員建議。本團隊在每期的電子報除了報導最新發表的奈米 EHS 期刊論文，並適時更新各國的法規進展。建議環保署可投入經費，翻譯及整理先進國家投入很多資源所出版的標準和指引，研究其在國內的適用性，以作為相關單位檢討及修訂現行國內法規制度的參考。</p>
<p>(五) 袁委員中新</p> <p>1. 整體而言，本計畫期中報告資料蒐集完整、內容亦頗豐富，甚具參考價值，值得肯定。</p> <p>2. 建議將本計畫工作進度以甘梯圖方式呈現。</p> <p>3. 英文資料搜尋除了針對題目外，亦應針對 Keywords 搜尋，以求其完整性，並避免遺漏。</p> <p>4. 部分奈米紡織品、消毒劑、噴灑劑之成效似有被誇大之嫌，多半著重於其優點，卻忽略其缺點。本計畫在資料蒐集及彙整時，亦宜留意此可能誤導。</p> <p>5. 請補充「配合奈米國家型計畫辦公室，協辦台灣奈米週參展事宜」的相關籌備規劃內容及進度。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 工作進度表的格式係遵照環保署契約書的規範要求。</p> <p>3. 本團隊主要利用 ISI 及 ICON 網站蒐集知識缺口的文獻，過程中便已利用關鍵字進行搜尋。</p> <p>4. 同意委員看法。本報告的 3.1.4 節“奈米產品中的奈米物質對環境的影響”即針對此議題進行探討，建議明年可持續將此主題納入知識缺口的文獻回顧工作。</p> <p>5. 本團隊已於 8/22 完成台灣奈米科技展的參展攤位租借，9/25 完成參展海報的製作，包括介紹本計畫的中英文海報各一張，與供一般民眾閱覽的奈米技術 EHS 科普知識的海報兩張，並在展期中安排工作人員 3 人次負責</p>

委員意見	回覆意見(交通大學)
	會場解說及紀錄等事務，請參閱期末報告第 239 頁。
<p>(六) 永續發展室</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告格式請依契約書本署期中（末）研究報告撰寫要求及紙本印製格式撰寫。 2. 有關歐盟含奈米成分化妝品需標示 nano 字樣部分，涉及 EHS 議題，請加入報告中敘述。 3. P.56、57 工作坊內容，建議補充各環保團體之意見。 4. P70 奈米碳管、P71 一些以奈米…、P93 本研究…、P102、儀器型號、P172 本計「戶」、P178 結論之編號等內容請修正錯字及文字敘述。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已依報告撰寫規定修正。 2. 已於期末報告內加入歐盟在 2009 年頒布的新化妝品法規，請參閱期末報告第 49-50 頁。 3. 期中報告第 56-57 頁敘述之內容，為工作坊邀請本計畫主持人演講之重點摘要，至於各環保團體之意見，詳見期中報告第 55 頁所述，環保團體針對「毒性化學物質管理法」的修法提出民間修訂版，對於化學物質的定義、登錄、毒性審查及政府對毒化物管理之相關人力配置，均有建議。 4. 已修正錯字及文字敘述。

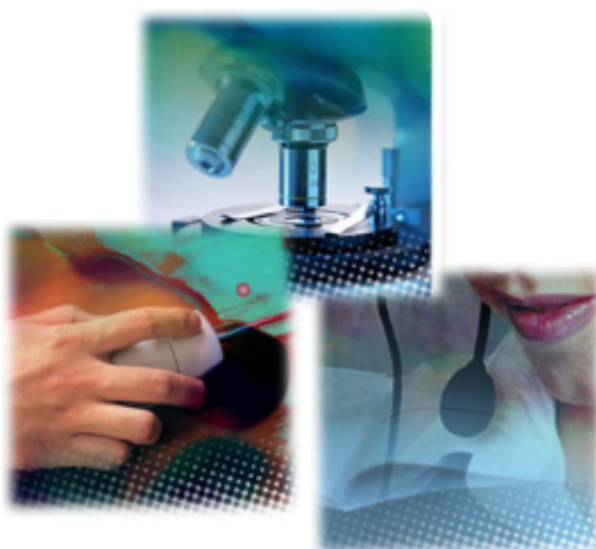
附錄四 環境奈米科技知識平台電子報共四期



行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan)

環境奈米科技知識平台電子報

第 9 期



發行日期: 2013/3/27

平台網址: <http://ehs.epa.gov.tw/>

發行單位: [行政院環境保護署](#)

執行單位: [國立交通大學環境工程研究所](#)

前言

近年來先進國家與國際組織在奈米技術在環境、健康、安全(EHS)議題的發展已有顯著的進展。為因應國際趨勢，環保署參與第二期六年(2009-2014) 奈米國家型科技計畫，擬定 12 個奈米技術 EHS 的發展重點項目，並持續與勞委會、衛福部合作，以確保負責任的國家型奈米技術之永續發展。過去數年來，環保署建置環境奈米科技知識平台(ehs.epa.gov.tw)提供產官學研各界奈米科技環境健康安全(EHS)議題的即時資訊並進行知識交流，並自 2011 年起定期發行電子報。

電子報第 9 期內容包括：奈米科技的法規與政策、奈米微粒的量測方法、奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命、奈米物質的應用等議題之最新進展，如美國職業安全與衛生局發佈職業的奈米物質安全使用概要、歐盟執行委員會對 REACH 的審查做出結論及 ASTM 國際奈米微粒委員會批准微粒追蹤與量測標準等。在奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命議題方面，美國國家研究委員會建議 nano-EHS 相關之研究應聚焦於「奈米物質交互作用的關鍵元素」，包含會影響奈米物質最終耐受度、生物有效性、反應性與毒性等之物理、化學與生物轉化作用等，本期電子報已整理了化學性與物理性轉化作用，下期電子報將繼續報導及整理其它關鍵轉化作用的重要性與扮演之角色等。另外在奈米物質的應用方面，探討紡織品中的抗菌劑比較、不同型態奈米銀微粒的抗菌反應及二氧化鈦奈米微粒運用在食品及保健食品等焦點報導。

下期電子報內容將會專訪成功大學環工所王鴻博教授，王教授研究專長為分子、奈米環境科學、潔淨能源技術、資源回收工程、超臨界流體技術等，目前主持先進科技、分子環境及奈米科技研究實驗室，更多 EHS 精彩報導都在「環境奈米科技知識平台電子報」。

本期內容

1 奈米科技的法規與政策

- ITS-奈米邀請利益相關者討論奈米的智慧型測試策略
- 美國職業安全與衛生局發佈職業的奈米物質安全使用的概要
- 歐盟奈米安全研究群 InLiveTox 計畫探討奈米微粒對免疫系統的影響
- 歐盟執行委員會對 REACH 的審查做出結論：將評估奈米物質的各法規方案

2 奈米微粒的量測方法

- ASTM 國際奈米微粒委員會批准微粒追蹤與量測標準
- 於船舶上量測裝有選擇性觸媒還原設備之柴油引擎所排放之奈米微粒的研究

3 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

- 奈米物質在環境中的傳輸(上篇)

4 奈米物質的應用

- 紡織品中抗菌劑的比較評估
- 奈米零價鐵技術去除放射性核種污染
- 不同型態的奈米銀微粒顯現不同的抗菌反應
- 運用在食品和個人保健產品中的奈米二氧化鈦微粒
- 單壁奈米碳管複合氧化抗菌化學物質對炭疽桿菌孢子的抑制

5 活動訊息

- 第十屆環境保護與奈米科技學術研討會
- 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health

本期全文

1. 奈米科技的法規與政策

● ITS-Nano 邀請利益相關者討論奈米的智慧型測試策略

FP7 計畫之一的 ITS-Nano 已於 2013 年 3 月舉辦一場研討會，討論奈米物質的智慧型測試策略。

TIS-Nano 是由歐盟執行委員會(European Commission, EC)第七期科研架構計畫(FP7)所資助的泛歐洲計畫，旨在找到可作為評估工程奈米物質暴露、危害及潛在風險之智慧型測試策略(Intelligent Testing Strategy, ITS)。該計畫已匯集多方資訊，以找出此方面的知識和研究缺口，並建立未來相關的「智慧型」策略。此 ITS 計畫主要發展方向為整合各階段的利益相關者(包括工業、管理機構和科學家)，以確保 ITS 計畫滿足其需求，並提出具有共識的策略。

2013 年 3 月 21-22 日已在威尼斯 NH Laguna Palace 酒店舉辦研討會，討論智慧型測試策略並集結主要利益相關者做最後決策。討論的議題包括：

- 根據物化特性及生物性影響，將奈米物質分群
- 研究策略的細節及達成目標的工作
- 在現有及將來管理架構下實施該策略
- 21 世紀毒理學
- 策略的宣導
- 邀請有興趣之利益相關者上計畫官網報名

ITS-NANO 在策略及技術兩層面皆以「智慧型」為目標：在策略層面，根據利益相關者的需求擬定研究議程，以減少研究缺口(research gaps)；而技術層面則希望符合經濟效益及道德倫理(意即遵守 3R 原則)。該計畫提出了一項架構，以使工程奈米物質依照化學、物理、生物特性，以及其暴露途徑及生物性影響分群；以明智地設計出符合下一世代的奈米安全及風險評估策略。

資料來源：ITS-Nano 報告
<http://www.its-nano.eu/wp-content/uploads/2013/02/Draft-programme.pdf>

● 美國職業安全與衛生局發佈職業的奈米物質安全使用的概要

美國職業安全與衛生局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)最近出版了「奈米物質安全使用的概要」，OSHA 指出，工人在奈米技術研究或奈米物質生產過程

中可能透過吸入、皮膚接觸或食入，暴露在奈米物質中。隨著奈米科技技術發展快速，OSHA 擬藉此概要，提供主雇奈米科技可能產生之奈米物質暴露及危害資訊，以及工作場所奈米物質的暴露控制措施。根據概要，提供工人的資訊及培訓應包括：

- 辨別雇主使用的奈米物質及工人所接觸的奈米生產過程
- 工作場所相關暴露評估結果
- 工程、管理控制及個人防護裝備(personal protective equipment, PPE)認識，以降低奈米物質的可能暴露
- 個人防護裝備的使用限度
- 奈米物質溢出或釋放時所採取的緊急措施

OSHA 聲明很少有特定奈米物質的職業暴露限值。OSHA 表示，即使是相同物質，某些奈米微粒可能會比大顆粒的物質更危險；現有對於相同奈米物質的奈米微粒職業暴露限值可能無法提供足夠的保護。OSHA 提出以下特定暴露限值：

- 根據美國勞工安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)提出的建議暴露限值(Recommended Exposure Limit, REL)，OSHA 表示工人暴露在可吸入性的奈米碳管和奈米碳纖維，以 8 小時的時間加權平均計算不得超過每立方米 1 微克($\mu\text{g}/\text{m}^3$)。
- 根據 NIOSH，OSHA 提出工人暴露在二氧化鈦的奈米微粒時不得超過每立方米 0.3 毫克(mg/m^3)，相反地二氧化鈦(微粒尺寸大於 100 奈米)的 REL 為每立方米 2.4 毫克(mg/m^3)。

OSHA 提出因為尚未存在其他奈米物質的暴露限值，雇主應善用本摘要中提及的暴露控制措施和概要，以降低工人對於奈米物質的暴露。

資料來源：美國職業安全與衛生局報告
http://www.osha.gov/Publications/OSHA_FS-3634.pdf

● 歐盟執行委員會對 REACH 的審查做出結論：將評估奈米物質的合法規方案

歐盟執行委員會(EC) 2013 年 2 月 5 日宣布完成五年一度的化學品註冊、評估、授權和限制(REACH)法規的審查。EC 的預發布版本提到，EC 將進行各相關法規方案的影響評估，特別是可能要針對 REACH 附件作修訂，以確保在註冊建檔時，奈米物質有清楚的闡述；且

展現出其安全性。如果合適的話，委員會將於 2013 年 12 月提出執行草案。預發布版本中特別說明，如果因「其他因素」需要修改時，應特別考量到「奈米物質定義的提出應符合 EC 針對奈米物質定義 (Recommendation 2011/696/EU) 的建議。」

資料來源：歐盟執行委員會報告
http://ec.europa.eu/energy/environment/chemicals/reach/pdf/swd_2013_en.pdf

● 歐盟奈米安全研究群 InLiveTox 計畫探討奈米微粒對免疫系統的影響

過去已有許多文獻發表不同奈米微粒的體外及體內的毒性研究結果，然而目前仍然缺乏工程奈米微粒是否會對人體健康及環境產生風險的資訊，奈米微粒的物化特性對免疫系統造成影響的研究仍在進行中，這些研究大致可分成兩個類別：(a) 對奈米微粒的出現進行調控以刺激免疫系統的反應；(b) 奈米微粒所造成的不良副作用。

過去三年由歐盟贊助的 InLiveTox 計畫顯著提升了奈米微粒的體外試驗研究能力，此計畫著重於探討奈米微粒的暴露對腸道、心血管系統及肝臟的影響，由於奈米微粒已大量應用在食品、食品包裝及口服用藥，透過攝取的暴露路徑與此計畫特別相關。

這個計畫開發出一套流體式的新體外試驗系統，可用於模擬組織對攝取的奈米微粒之反應，利用此體外試驗系統獲得的結果已經過奈米微粒的生物動力學體內研究與老鼠食入的毒性研究之驗證。取自於這些動物的組織並用於探討腸道、心血管系統及肝臟的毒性反應，吾人接著再把這些數據與其他相似微粒但不同暴露路徑(如吸入)的生物動力學研究結果進行比較，另外，經由注射和攝取造成暴露的體內研究結果也和標準的靜態單細胞試驗的數據進行比較。新開發的體外試驗系統呈現出令人激賞的差異性和相似性成果，特別是發炎反應的研究。

InLiveTox 計畫的研究成果可能具有潛力改變藥物、化學、化妝品及食品等領域在測試新物質的安全性和效率時所使用的方法，改良後的方法並可能會帶來可觀的經濟效益，與使用動物模式相較不但可以減少實驗的支出成本，而且將較安全的產品導入市場販售的速度亦快於使用現有的方法同時也符合 REACH 法規。

InLiveTox 計畫所開發的技術可對早期採用者提供一個具有明顯競爭力的優勢，它可用來作為針對任何新化學物質的毒理學和藥理學

的測試和研究工具。從許多面向看來，InLiveTox 計畫的研究成果早已超出預期目標，並提供了一個具有潛力來加強體外試驗領域中新產品開發之基礎的創新技術。以宏觀的角度來說，這個計畫確認了歐盟的研究組織在體外試驗的快速發展領域擁有國際級的競爭地位。

InLiveTox 計畫由跨領域的研究團隊執行，成員包含歐盟的奈米毒理學、藥物學及工程技術類的專家，並與來自美國羅徹斯特大學的主要研究團隊共同合作，計畫的研究經費由歐盟科研架構計畫(計畫編號：FP7-NMP-2008-1.3-2)提供。

資料來源：歐盟 CORDIS 報告
http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=EN_NEWS&ACTION=D&RCN=35512

2. 奈米微粒的量測方法

● ASTM 國際奈米微粒委員會批准微粒追蹤與量測標準

標準組織 ASTM E56 奈米技術委員會所發展的兩項新標準(ASTM E2834 與 ASTM E2859)將有助於奈米物質的量測，前者為奈米顆粒追蹤分析(Nanoparticle Tracking Analysis, NTA)測量懸浮液中奈米物質的粒徑分佈的指引，後者為原子力顯微鏡(Atomic Force Microscopy, AFM)測量奈米顆粒大小的指引，兩項標準皆由 E56.02 物化特性分析小組委員會所管轄。

奈米顆粒追蹤分析

ASTM E2834 描述奈米顆粒追蹤分析技術，這是一項新穎的量測技術，可直接且即時地分析與可視化液體中的奈米微粒。量測時，聚焦雷射光束會照射懸浮液中的微粒，然後藉數位相機的光學儀器偵測微粒散射光測量微粒之粒徑分佈。

ASTM E2834 討論奈米顆粒追蹤分析技術的科學基礎、顆粒大小的限制、濃度範圍、採樣與樣本製備的注意事項、調理與分析選擇、數據解讀以及和其他技術的比較。

E56 的成員 Duncan Griffiths 表示，NTA 是一項新技術，因考量基礎理論可能的變動，此技術已刻意的簡單化與大眾化；同時也是 NanoSight USA 事業發展經理的 Griggiths 說，”很多相關的軟硬體技術細節發展快速，因此這項標準在未來可能會有些擴充或調整。短期內，特定樣本類型的試驗方法預期會採用這份基本文件。”

Griffiths 指出 NTA 可應用在很多奈米物質上，以及不同生物科技與藥物樣本，包含藥物傳輸(drug delivery)、病毒與蛋白質團粒。這項標準的主要使用單位為受到食品藥物管理局

與環保署規範的工業，以作為一個參考 NTA 基準的方法。

奈米微粒的粒徑量測

根據研究化學家與美國國家標準技術研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 材料量測科學部門計畫主持人 Vince Hackley 的說法，ASTM E2859 提供 AFM 的使用指引，包含相關的樣本製備、量測與結果分析。AFM 是一項照相、量測與操控奈米物質的技術。這項標準指引描述一個以高度量測 (height measurements) 方法測定沉積於平坦基質的奈米微粒的大小的方法。AFM 量測技術已在奈米科技界被廣泛採用，為一項可視化與量化奈米結構的重要工具。

ASTM E2859 提供實用且符合度量衡學的指引，應用 AFM 測量基質上的奈米微粒的大小，包含：

將奈米微粒分散於不同表面的步驟，使微粒在 AFM 的間歇式接觸模式下，能適當地成像及量測高度；

一般的 AFM 校正與操作指引；以及數據分析與報告程序。

「我們相信 ASTM E2859 是第一個以 AMF 為基礎的奈米尺度微粒大小量測的國際標準」，同為 ASTM E56 成員的 Hackley 如此說道，雖然此標準是個指引，但以後很有可能轉變成一項試驗方法。E56.02 小組致力於發展奈米科技界中具有實用且立即性影響的奈米微粒特性分析的標準。

E56 邀請所有來自工業界、規管機構以及其他對於奈米科技的安全商業化感興趣的利害相關者，一同參與此項標準的發展。

資料來源：ASTM 網站
http://enterprise.astm.org/filtrexx40.cgi?+REDLINE_PAGES/E2834.htm

● 於船舶上量測裝有選擇性觸媒還原設備之柴油引擎所排放之奈米微粒的研究

目前全世界的海洋運輸量佔全球貿易量約 80%，且此運量在未來預期還會持續增長。雖然航運具有較高的燃料效率，但船隻在運轉時會排放出大量的 NO_x 、 SO_2 及懸浮微粒 (particulate matter, PM) 等污染物。相較於陸地上的交通排放源微粒在近年來受到控制而逐漸降低，海洋運輸所排放之微粒在近十年來卻呈增加之趨勢。微粒的排放量主要會受到燃料中之硫含量的影響，當使用品質較高之燃料時也可能改變此排放量。

然而目前燃料對於微粒排放的影響程度

仍是個尚未明瞭的議題，須要進一步的研究。除此之外，某些用來還原引擎排放出之氮氧化物之技術，如使用尿素進行選擇性觸媒還原 (selective catalytic reduction, SCR)，也可能影響微粒的排放量。過去一些在船舶上直接量測其排放出微粒之特性的相關研究，僅針對粒徑大於 30 nm 以上之微粒的數目濃度做量測，Hallquist et al. (2013) 則是首次針對一部航行中之客輪所排放出之微粒的數目、粒徑及揮發性等特性作探討。

Hallquist et al. (2013) 以引擎廢氣微粒電移動度粒徑分析儀 (Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer, EEPs, TSI Model 3090) 量測由一個四行程船舶引擎所排放的微粒粒徑分布，其量測範圍為 5.6 至 560 nm。該研究也利用單位密度將所測得之微粒數目分布轉換成質量分布。微粒的熱學特性則是以串聯微分移動度揮發性分析儀系統 (volatility tandem differential mobility analyzer system, VTDMA) 進行分析。受測微粒所使用的稀釋比例為 450-520 倍，此稀釋倍率和引擎廢氣排放至大氣時的稀釋情況類似。受測的船隻共有四個 12600 千瓦的中速柴油引擎並配有 3 個輔助式引擎。為了降低廢氣中氮氧化物的含量，主引擎皆裝有添加尿素的選擇性觸媒還原系統以減少五氧化二釩還原觸媒上所產生的氮氧化物。

研究結果顯示，當引擎在 75% 的最大負荷量下運轉時，所排放出微粒的數目分布會呈現雙峰分布，主要峰值以及較小的峰值分別出在約 10 及 30-40 nm 附近。而質量分布的峰值則出現在 20 及 50-60 nm 附近。該研究也量測了微粒數目濃度的排放因子 (emission factor, EFPN, kg-fuel^{-1})，結果顯示引擎在 75% 的最大負荷量下運轉時的 EFPN 為 $10.4 \pm 1.6 \times 10^{16}$ ，其中佔總數目約 50% 的微粒在 250 °C 的情況仍具有非揮發性的微粒核心。該研究也發現粒徑為 20 nm 的微粒中，約含有 40% (體積比率) 的非揮發性物質，然而當微粒粒徑小於 10 nm 以下時，大部分的微粒在 130-150 °C 時均完全揮發。另外，該研究也量測了引擎在 75% 的最大負荷量下運轉時 NO_x 、CO 及 CO_2 等氣體污染物的排放因子，分別為 $4.06 \pm 0.3 \text{ g (kg fuel)}^{-1}$ 、 $2.15 \pm 0.06 \text{ g (kg fuel)}^{-1}$ 及 $3.23 \pm 0.08 \text{ g (kg fuel)}^{-1}$ 。

參考文獻：

Hallquist, Å. M., Fridell, E., Westerlund, J., Hallquist, M. (2013). Onboard Measurements of Nanoparticles from a SCR-Equipped Marine Diesel Engine, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 773-780.

3. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

● 奈米物質在環境中的傳輸(上篇)

由於奈米技術領域的持續快速增長並轉化為商業產品，越來越多的奈米物質出現於生物圈中。工程奈米物質的製造包括至少有一個尺寸是奈米級尺度(約 1-100 奈米)。自然發生的奈米物質也普遍存在於環境中，其產生包括了自然的過程和人為的影響(如絮凝，奈米級的金屬氧化物的酸性礦山排水等)。奈米物質對環境和人類健康的影響評估，需要了解其潛在的暴露途徑和毒性作用，急性和慢性接觸。至目前為止，主要研究的重點在於確定原始的或“剛製造出的”奈米物質的宿命、傳輸和毒性特性的屬性。美國國家研究委員會(U.S. National Research Council)最近提出一個有關奈米環境健康與安全(nano EHS)研究的新架構，建議相關之研究應聚焦於了解“奈米物質交互作用的關鍵元素”，這些關鍵元素包含了會影響奈米物質最終耐受度、生物有效性、反應性與毒性等之物理、化學與生物轉化作用。奈米物質一般需要有表面包覆劑(capping agent)或穩定劑(stabilizer)以避免顆粒的團聚維持奈米狀態，通常是小的陰離子或聚合物，包含生物性或非生物性的物質，可生物分解或不易生物非解的穩定劑皆有。因此，在討論奈米物質的環境議題時，這些表面修飾劑的影響是需要被納入的。

本文將以系列式的報導，分別說明這些關鍵轉化作用對奈米物質在奈米環境健康與安全議題上的重要性與扮演的角色，本期先就化學性與物理性轉化作用做一介紹。

在奈米物質轉換的化學程序上，自然系統中的氧化和還原過程牽涉電子的轉移是最重要的化學程序之一。某些情況下，氧化可能會導致相對性不溶物在奈米顆粒表面的累積而減少氧化，還具有大容量結合離子的金屬氧化物相。在其他情況下，例如，銀粒子，將零價銀氧化成氧化銀需要溶解和釋放殺菌性的銀離子。陽光催化氧化還原反應(光氧化和光還原)可能被證明是影響奈米物質塗料非常重要的轉化過程，氧化狀態產生的活性氧(ROS)。許多奈米物質將成為天然的光敏性(例如，氧化鈦和奈米碳管)，當暴露在陽光下有可能產生活性氧。溶解和硫化是影響奈米顆粒表面性能的重要流程。從 B 類的軟金屬陽離子(例如，銀，鋅，銅)製成的奈米物質，因為它們形成部分可溶的金屬氧化物，以及它們與無機和有機硫化物配體具有很強的親和力。大分子或有機和無機配體的奈米物質表面吸附可以顯著地影響其表面的化學在生物和環境系統產生的行為。例如，

吸附的聚合物塗層對奈米微粒通常會降低其附著於矽表面，意味著更大的流動性會降低飲用水的處理。表面以阿拉伯膠(gum arabic)修飾穩定之奈米銀可因光分解作用而使阿拉伯膠被分解導致科力的團聚作用發生，另外，氧化作用也會使其釋出具殺菌效果之銀離子，並在表面形成氧化銀之殼核結構。由於銀與硫的化學鍵結力強，當奈米銀排放至環境中，很容易與硫形成硫化銀之奈米科之奈米科顆粒，這些都是透過氧化還原之化學作用造成。

在物理轉化作用方面，奈米微粒的團聚(aggregation)會降低的表面積和體積的反應性，是最主要的物理性作用，由於顆粒總體規模的增加，影響他們在多孔介質中的傳輸、沉澱、反應、吸收的有機體和毒性。團聚現象包含兩種形式：均相團聚(homoaggregation)與異相團聚(heteroaggregation)，前者是同類奈米顆粒的聚集，後者是奈米顆粒與環境中其它顆粒的聚集。一般而言，在環境中，異相團聚發生的機會較高，除了會造成顆粒粒徑的增加與移動性的降低外，也會使奈米顆粒的行為傾向於較大顆粒(如黏土)的行為。由於團聚作用會造成有效表面積的下降，因此將降低顆粒的反應性，進而降低其毒性，不過由於團聚顆粒的保護效果較佳，故使顆粒在環境中的存留耐受性提高。團聚使奈米顆粒的生物可利用性造成影響，因為顆粒變大，使的它不在容易進出細胞膜，不在容易被生物體所吸收。奈米顆粒的均相團聚使顆粒粒徑增加，原有之光化學作用能力將降低；透過異相團聚使奈米顆粒與較大顆粒結合，固定於環境介質表面，或在其表面形成團聚現象。

參考文獻：

Lowry, G. V., Gregory, K. B., Apte, S. C., Lead, J. R. (2012). Transformations of Nanomaterials in the Environment, *Environ. Sci. Technol.*, 46: 6893-6899.

4. 奈米物質的應用

● 紡織品中抗菌劑的比較評估

許多的抗菌技術可用於紡織品，這些技術可用在多種不同的紡織應用上，如防止微生物的生長。由於抗菌化合物的生物活性，其安全評估仍是一個需要持續研究和法規控管的議題。根據許多科學期刊、市場資料以及法規文件的評估，Windler et al. (2012)研究抗菌劑對環境及人體的潛在影響，也考慮了其生命週期的觀點。

三氯羥基二苯醚、矽烷季銨鹽化合物、吡啶硫酮鋅及含銀化合物為用於紡織品的主要抗菌劑，其中以合成的有機化合物在抗菌市場中

佔了最高的比例(以質量為基準)。在技術層面, 抗菌處理的持久性會對釋放潛勢與後續環境的衝擊有嚴重的影響。在環境標準方面, 所有的化合物在廢水處理程序中均可有效的被去除。

目前, 各種抗菌化合物已發佈的環境行為資訊的程度都不盡相同, 因而限制了對不同抗菌劑的紡織相關參數的深入比較的可能性。然而, 比較評估的結果顯示每種抗菌技術就會有特定的風險及效益, 因此在評估不同抗菌劑的適用性時, 應將其納入考量。研究結果也指出在紡織品中即使含有少量奈米級的銀與氯化銀也可達到抗菌的效益。紡織品定期的清洗會消耗大量的資源(如水、能量與化學藥品等), 具抗菌能力的紡織品可減少清洗的頻率與強度, 以達到節省資源與降低對環境衝擊的目地。

參考文獻：

Windler, L., Height, M., Nowack, B. (2012). Comparative evaluation of antimicrobials for textile applications, *Environ. Int.*, 53: 62-73.

● 奈米零價鐵技術去除放射性核種污染

放射性核種(radionuclide)的處理隨著核能的使用與安全問題, 成為全球日益重視的環境議題。其中, 鈾(Uranium)是最常用的放射性物質之一, 濃縮鈾(3%鈾 235 同位素) 被使用於一般商用核能發電廠產生電力。由於對鈾燃料的需求, 大量的開採已造成鈾成為最主要污染環境的放射性核物種。目前開採的技術需要使用大量的酸液, 在這過程中地下水很容易遭受酸性高濃度的鈾污染。在天然環境下, 鈾具有兩種離子態, 四價鈾(U(IV))與六價鈾(U(VI)), 在酸性條件下, 六價鈾以離子態的氧化鈾(UO_2^{2+})形式存在, 在水中的移動性很高。鈾 238($^{238}U_{92}$)的半衰期非常長(4.7 億年), 他的化學毒性與放射性使它的危害性極高。世界衛生組織(WHO)將六價鈾歸類為人體致癌物質, 建議之飲用水標準為不超過 15 mg/L。相對於高移動性的六價鈾, 四價鈾在環境中則以不溶於水的氧化鈾(UO_2)形式存在, 因此, 如能將六價鈾還原成四價鈾, 將有助於處理鈾污染對環境所造成的危害。

奈米零價鐵金屬(nanoscale zero-valent iron)應用於土壤與地下水整治, 是眾多的奈米技術中最早研究及最為成熟的技術之一。奈米零價鐵金屬粒徑大小約 10-100 nm, 比表面積約 35 m^2/g , 具有殼核結構(core-shell)。其外殼為具吸附能力之氧化鐵($FeOOH$), 內層為具還原能力之零價鐵, 透過零價鐵的還原作用, 奈

米零價鐵已被成功的應用於去除地下水中各樣的污染物, 包括: 含鹵素有機類、無機鹽類、重金屬類等三大項。含鹵素有機類主要有脂肪族含氯有機物如四氯化碳、三氯乙烯、氯乙烯等, 與芳香族含氯有機物如氯苯類、PCBs, 以及農藥。無機鹽類污染物有硝酸鹽與過氯酸鹽, 重金屬類包含: 砷、鉛、鎳、鎘、汞、鋅等。含鹵素有機類的去除主要是以鐵做為還原劑; 重金屬的去除則是利用鐵表面的多樣吸附機制, 固定化重金屬污染物。

同時結合還原作用與表面吸附能力的優勢, 奈米零價鐵具備了成為去除放射性核種的合適除污劑。研究指出, 六價鈾會被奈米零價鐵還原成四價不溶於水的氧化鈾(UO_2), 與同時形成的鐵氧化物氫氧化鐵($Fe(OH)_3$)透過共沉澱作用, 生成鈾氧-鐵氧金屬錯合物(uranyl-ferric metal complexes)固定於零價鐵表面, 達到去除放射性核種的目的。進一步的研究發現, 在厭氧環境下, 奈米零價鐵對六價鈾的去除效果較好氧條件下好, 另一方面, 環境中常見的天然有機物質如腐植酸(Humic acid, HA), 對增強奈米零價鐵去除六價鈾的能力有顯著的效果, 文獻指出可提高奈米零價鐵吸附能力達 5 倍以上。

參考文獻：

Gray, H., Yokota-Joshi, A., Pirbazari, M., Ravindran, V., Thacher, R., Tsai, K. H., Hernandez, E. (2012). Removal of Radioactive Uranium from Groundwater using Nanoparticle Technology, University of Southern California Undergraduate Research Symposium for Creative and Scholarly Work.

Gray, H., Thacher, R., Ravindran, V., Pirbazari, M. (2012). Removal of Radioactive Uranium From Groundwater Using Nanoparticle Technology and Bioremediation Strategies, 12AICHe, 2012 Annual Meeting.

● 不同型態的奈米銀微粒顯現不同的抗菌反應

Islamic Azad 大學與德黑蘭醫學大學的研究員與加州大學的研究員共同發現不同類型的奈米銀微粒對於細菌具有不同的影響及抗菌特性。

每個人都知道銀具有抗微生物及抗菌特性。然而, 許多文獻針對奈米銀微粒對細菌的抗菌影響提出了矛盾的結果, 結果包括奈米銀微粒與不同類型的細菌反應時所產生的潛在毒性。

大家都知道, 當奈米物質與活細胞接觸時, 蛋白質會立即覆蓋奈米物質表面, 形成蛋

白質冠冕(protein corona)，在生物介質上產生一個新的生物體(biological identity)，因而決定了其與生物細胞或組織的反應。

該研究探討圓形、線形、正方體及三角形等不同形狀的奈米銀微粒對大腸桿菌(*E. coli*)、枯草芽孢菌(*Bacillus subtilis*)及金黃色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)的抗菌特性，實驗結果證實細菌對於奈米微粒的表現具有重要的影響。此研究利用相同劑量的各類型奈米微粒對不同的細菌進行毒性測試，結果顯示每種細菌對於不同形狀的奈米微粒都有不同的反應。研究人員指出菌種的細胞膜成分差異是造成奈米微粒對細菌產生不同毒性的原因。

該研究最後對奈米微粒表面的蛋白質冠冕成分進行研究，結果顯示與奈米微粒之平面相較，蛋白質較傾向與奈米微粒的尖銳表面進行結合。此外也發現，不論高分子量或低分子量的蛋白質，皆傾向於與奈米微粒尖銳表面結合，而非球形或線形微粒。

研究結果已於2012年5月發表於*Chemical Research in Toxicology*期刊中，如需要更多相關資訊及研究細節可參考該期刊。

參考文獻：

Ashkarran, A. A., Ghavami, M., Aghaverdi, H., Stroeve, P., Mahmoudi, M. (2012). Bacterial Effects and Protein Corona Evaluations: Crucial Ignored Factors in the Prediction of Bio-Efficacy of Various Forms of Silver Nanoparticles, *Chem. Res. Toxicol.*, 25: 1231-1242.

● 運用在食品和個人保健產品中的奈米二氧化鈦微粒

由於TiO₂塊材本身的亮度(brightness)、高折射率(high refractive index)和耐變色(resistance to discoloration)等特性，所以主要運用於油漆之白色染料，但其也可運用在釉料、搪瓷、塑料、紙張、纖維、食品藥品、化妝品和牙膏等物品的顏料上(ICIS, 2011)。除了作為顏料的功能之外，TiO₂亦可運用於抗菌、空氣和水的淨化、醫藥和能源儲存等領域。不過因為TiO₂的大量使用，可能使人體和環境(水、空氣或土壤)暴露於奈米級TiO₂ (nanoscale TiO₂)。有鑑於此，Weir等人嘗試定量食品中二氧化鈦的添加量，推導人體因飲食攝入的奈米TiO₂估計量和探討奈米TiO₂進入環境後對環境的影響，以填補一般對於普遍使用的TiO₂造成釋放源的知識缺口(Weir et al., 2012)。

測試用材料

用來定量TiO₂含量的材料包含89種消費性產品(consumer products)、合成的TiO₂(synthetic TiO₂)和食用級TiO₂(food-grade TiO₂，

簡稱為E171)。消費性產品，例如食品、塗料、個人保健產品(PCPs, personal care products)和黏著劑等是由美國亞利桑那(Arizona, USA)購買。合成的P25 TiO₂是由Evonik Degussa公司取得，其原始粒徑為24 nm，由81%銳鈦礦和19%金紅石組成(Ohno, 2001)。E171則是由義大利的供應商(Fiorio Colori Spa)提供，它是歐盟認可用來作為食品中白色添加物使用，其他地方稱為白色食用色素6號(CI 77891)。

食品中Ti的含量

分析的結果顯示，在89種食品中，以Dickinson's椰子凝乳含Ti的濃度最高，為3.59 μg/mg，其餘的食品則是每毫克中含有0.00077-210 μg Ti。而Ti含量最高的前20種食品中，以甜點和糖果為主，包含口香糖、巧克力、含有白色糖霜或表面灑有糖粉的食品。此外這些大多數食品中，每一份均含有0.01-1 mg的Ti，但僅有少數會在包裝上標示出Ti成份。

該研究共測試了五種口香糖的Ti含量，結果顯示，五種口香糖的Ti含量均排在Ti含量最高的前20種的食品中，且每毫克的口香糖中的Ti均高於0.12 μg，其中外層有著白色塗料的肉桂口香糖Ti含量最高，紅色塗料的則最低。更重要的，每種口香糖的外層均有一個相較其中心較硬的披覆層，分析結果顯示90%以上的Ti都存在於披覆層中。糖果類如M&Ms、含有花生的M&Ms和Good and Plenty等含有披覆層的食品所含的Ti濃度多排在Ti含量最高的前10名中，若再加入口香糖和糖果類，則硬披覆層的糖果佔了Ti含量最高前20種中的其中八種。

模擬人體因攝取食品而暴露於Ti的結果顯示，美國和英國10歲以下的小孩平均每日TiO₂的攝取量分別為1-2 mg/kgbw(單位公斤體重比)和2-3mg/kgbw，其餘的消費族群則分別是0.2-0.7mg/kgbw和1mg/kgbw。

個人保健產品中的Ti含量

除此之外，Weir等人的研究也選擇8種牙膏和24種個人保健產品(PCPs, personal care products)作為定量其Ti含量的樣品，24種保健產品包含1種唇膏、1種刮鬍泡、3種除臭劑、6種洗髮精和13種太陽眼鏡[2]。結果顯示，太陽眼鏡中的Ti含量為最高，介於14-90 μg/mg間，且僅有3種在包裝上有標示出TiO₂為其製造原料；牙膏的Ti含量介於0.7-5.6 μg/mg，大約佔了該產品0.1-0.5%的重量；洗髮精、除臭劑和刮鬍泡的Ti含量為最低(<0.01 μg/mg)(Weir et al., 2012)。

上述的研究結果顯示，小孩由於食入的甜點較成年人多，所以每單位公斤體重(kgbw)攝

入的TiO₂大概是一般成人的2-4倍。市面上雖然有許多的以Ti為製作原料的產品，但僅有少部份會將此原料標示在包裝上。某些產品的Ti含量雖然很低(<0.01 μg/mg)，但因它們的廣泛使用，而大量經由家庭廢水排出而最終進入污水處理廠(WWTPs)的Ti卻值得吾人所關注。

參考文獻：

ICIS Titanium Dioxide Uses and Market <http://www.icis.com/Articles/2007/11/07/9076546/titanium-dioxide-tio2-uses-andmarket-data.html> (June 1st, 2011).

Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K., Goetz, N. V. (2012). Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products, *Environ. Sci. Technol.* 46: 2242-2250.

Ohno, T., Sarukawa, K., Tokieda, K., Matsumura, M. (2001). Morphology of a TiO₂ photocatalyst (Degussa, P-25) consisting of anatase and rutile crystalline phases, *J. Catal.* 203: 82-86.

● 單壁奈米碳管複合氧化抗菌化學物質對炭疽桿菌孢子的抑制

炭疽桿菌孢子(B. anthracis spores)的抑制在環境安全與公共衛生領域已受到很大的關注。然而，由於孢子具有高防護性的外殼，在使用化學消毒劑及物理處理時比植物細胞(vegetative cell)更具抵抗力，且已有研究指出炭疽桿菌孢子特別對部分氧化抗菌試劑有很好的抵抗力，如過氧化氫(H₂O₂)。

在迅速發展的奈米技術領域中，有許多天然與人造奈米物質在環境應用當中展現極佳的抗菌特性，特別是奈米碳管(Carbon nanotubes, CNTs)中的單壁奈米碳管(single-walled CNTs, SWCNTs)。近期的研究報告裡指出，SWCNTs可做為許多菌種的強效抗菌劑。許多研究學者已提出CNTs的抗菌機制，分別是細胞膜擾動(perturbation)、細胞成分的直接氧化，及活性氧(reactive oxygen)對細胞脂雙層的二次氧化，其中細胞膜擾動與氧化壓力(oxidative stress)是兩種普遍較能被接受的抗菌機制。

Lilly et al. (2012) 研究 SWCNTs 與 SWCNTs 複合氧化抗菌化學物質(如 H₂O₂ 與 NaOCl) 對炭疽桿菌孢子(Bacillus anthracis spores)的殺孢子效應(sporicidal effects)。研究結果指出，單獨用 SWCNTs 處理炭疽桿菌孢子僅得到輕微的殺孢子效果；而單獨以 H₂O₂ 或 NaOCl 消毒則顯示中等殺孢子效果。相較於單獨使用 H₂O₂ 或 NaOCl 處理炭疽桿菌孢子，100μg/mL SWCNTs 不論搭配 1.5% H₂O₂ 或 0.25% NaOCl，其殺孢子效應表現更佳(減少樣本中約 98% 的存活孢子數量)。殺孢子效應的增

強歸因於 SWCNTs 與氧化抗菌化學物質的協同效應(synergistic effect)。SWCNTs 與 H₂O₂ 或 NaOCl 有順序的串接式處理(ordered sequential treatment)顯示，SWCNTs 在提高孢子對化學試劑的滲透性與敏感性方面，扮演極關鍵角色。Lilly et al. (2012) 的研究表示 SWCNTs 與氧化抗菌試劑的合併處理可做為高效率的殺孢子試劑與方法，極具發展潛力。

參考文獻：

Lilly, M., Dong, X., McCoy, E., Yang, L. (2012). Inactivation of Bacillus anthracis Spores by Single-Walled Carbon Nanotubes Coupled with Oxidizing Antimicrobial Chemicals, *Environ. Sci. Technol.*, 46: 13417-13424.

5. 活動訊息

● 第十屆環境保護與奈米科技學術研討會

活動時間：2013/05/17

與會地點：國立交通大學電子資訊研究大樓(研究單位)

主辦單位：國立交通大學

聯絡人：瞿佑任/曾楷勳

聯絡電話：03-5712121 Ext.55546

● 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health

活動時間：2013/10/28

與會地點：Nagoya Congress Center, Nagoya, Japan

主辦單位：Japan Committee for the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health

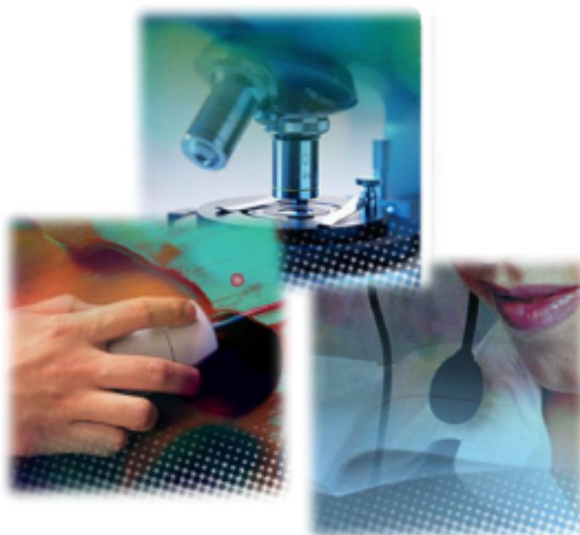
聯絡電話：+81-52-744-2123

更多活動訊息請參閱環境奈米科技知識平台：
http://ehs.epa.gov.tw/Conference/F_Events_Index



行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan)

環境奈米科技知識平台電子報 第 10 期



發行日期: 2013/7/4
平台網址: <http://ehs.epa.gov.tw/>
發行單位: [行政院環境保護署](#)
執行單位: [國立交通大學環境工程研究所](#)

前言

近年來先進國家與國際組織在奈米技術在環境、健康、安全(EHS)議題的發展已有顯著進展。為因應國際趨勢，環保署參與第二期六年(2009-2014) 奈米國家型科技計畫，擬定12個奈米技術EHS的發展重點項目，並持續與勞委會、衛福部合作，以確保負責任的國家型奈米技術之永續發展。過去數年來，環保署建置環境奈米科技知識平台(ehs.epa.gov.tw)提供產官學研各界奈米科技環境健康安全(EHS)議題的即時資訊和進行知識交流，並自2011年起定期發行電子報。

本期電子報為第10期，首先介紹奈米科技的法規與政策、奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命與奈米物質的應用等議題之最新進展，如美國在奈米物質生命週期的法規監管缺口、美國勞工安全衛生研究所(NIOSH)發表職場中奈米碳管及奈米碳纖維暴露的最新研究報告及奈米金屬微粒對中國大陸環境造成之衝擊等。奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命議題方面，上期電子報整理化學性與物理性轉化作用，本期繼續報導奈米物質的生物媒介反應。另外在奈米物質的應用方面，報導氧化鈾微粒對稻米的影響、奈米銀微粒於高級抗菌處理與除磷的應用及史丹佛大學研究團隊開發的奈米清潔劑開闢淨水處理技術的新時代等研究重點的報導。最後為奈米 EHS 議題的學者專家專訪，本期專訪了成功大學環工所王鴻博教授。王教授為美國猶他大學化學(燃料)工程博士，其研究領域包含分子/奈米環境科學、潔淨能源技術、資源回收工程、超臨界流體技術等，研究成果傑出，曾參與及主持多項固體廢棄物處理、土壤污染及廢水處理方面的研究計畫。

下期電子報將專訪清華大學動力機械工程系李國賓教授，李教授係美國加州大學洛杉磯分校機械及航空工程博士，研究領域為微機電系統、微感測器、微流體系統、生醫晶片、奈米生物技術與醫療器材之研發等，奈米技術相關的研究成果傑出，更多精彩報導都在「環境奈米科技知識平台電子報」。

本期內容

1. 奈米科技的法規與政策

- 職場中奈米碳管和奈米碳纖維的暴露
- 美國在奈米物質生命週期的法規監管缺口
- 丹麥環保署委辦一項評估奈米物質環境風險的計畫
- 奈米金屬微粒在中國大陸近十年的發展與環境衝擊趨勢

2. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

- 奈米物質在環境中的傳輸(下篇)

3. 奈米物質的應用

- 利用水膠做奈米微粒的生物效應之測試
- 氯化物對於奈米銀微粒溶解度及大腸桿菌毒性的影響
- 不同晶相的一維二氧化錳奈米物質在催化降解苯酚的優越性
- 史丹佛大學研究團隊開發的奈米清潔劑開闢了淨水處理技術的新時代
- 具空氣穩定性的磁性雙金屬鐵-奈米銀微粒於高級抗菌處理與除磷的應用
- 氧化銻微粒對稻米的影響:有關抗氧化防禦系統及在活體螢光影像方面之研究

4. 奈米 EHS 議題的學者專家專訪

- 成功大學環境工程學系-王鴻博教授訪問稿

5. 活動訊息

- 2013 台灣奈米科技展，展出地點：台北世貿一館
- 第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會(6th International Symposium on Nanotechnology Occupational and Environmental Health)，會議地點：日本名古屋

本期全文

1. 奈米科技的法規與政策

● NIOSH 發表職場中奈米碳管和奈米碳纖維的暴露的最新研究報告 (NIOSH Current Intelligence Bulletin 65) :

奈米科技通常是指長度介於 1-100 nm 的工程物質和結構的設計方法、組成、特性以及應用。目前已有許多含工程奈米微粒的第一代奈米產品已急速成長，所使用的奈米微粒包含金屬氧化物、奈米碳管(carbon nanotubes, CNT)、奈米線、量子點和富勒烯(buckyballs)等。

然而，美國勞工安全衛生研究所(NIOSH)指出：「運用於奈米產品使其有吸引性的奈米尺寸，也可能引起比同材質的塊材更大的健康危害。此外，奈米微粒的不同形貌、粒徑和化學成分造成人體的健康危害的效應，需要進一步研究證實。」近年來的動物實驗結果顯示，奈米碳管(CNT)與奈米碳纖維(carbon nanofibers, CNF)可能造成呼吸管危害。此外職場中的奈米碳管和奈米碳纖維的暴露不只發生在製造過程中，也同樣會發生將其摻入於其他產品時和產品應用階段。

有許多的研究結果顯示齧齒動物在暴露低劑量的CNT和CNF後，肺部會有發炎、快速發展、持續性纖維化等不良反應的症狀。NIOSH指出：「雖然目前尚無法釐清人體在暴露CNT和CNF後是否會對健康造成危害，但由動物實驗的結果可知未來需盡量降低工作人員的暴露」。

在發佈新報告的前幾個星期，NIOSH發表了一個關於老鼠暴露於多壁奈米碳管的新研究成果。研究結果顯示若老鼠暴露在一種已知的致癌物，再暴露於奈米管後，會增加罹癌的危險。NIOSH稱奈米碳管為“癌症的促進劑”，但也強調若老鼠只暴露於奈米碳管是不會造成癌症的發生。

不過另一個於2012年八月發表在同儕評審的“醫學未來”的期刊中，NIOSH研究結果指出老鼠與人體細胞在暴露奈米微粒後會導致部分的細胞變化，導致自身免疫功能失調的危險。

NIOSH 職場中奈米碳管和奈米碳纖維暴露的最新研究報告的四大內容為：

1. 進行奈米碳管和奈米纖維對動物和其他毒性測試的文獻回顧。
2. 根據動物劑量反應資料提供定量危害評估。
3. 建議在 8- 小時可呼吸性 TWA (time-weighted average)的元素碳質量濃度 1 µg/m³，為建議暴露限值。
4. 描述工作場所暴露控制策略和執行一項醫療監視計畫。

資料來源：

CDC 網站, NIOSH 報告:

Current Intelligence Bulletin 65: Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers
<http://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/>

● 從搖籃至墳墓的奈米技術：美國在奈米物質生命週期的法規監管缺口

工程奈米物質(ENMs)為現代社會帶來莫大的好處，然而我們對於奈米物質的潛在風險及法規最佳實務的了解仍剛起步。為了有助於最佳實務的建立，Beaudrie et al. (2013) 使用生命週期架構分析美國與環境、健康和 safety(EHS)有關的聯邦法規，評估了這些法規對於 ENMs 的適用性，以找出新興奈米物質從生產到使用壽命終端可能的法規缺口。高度的科學不確定性、缺乏 EHS 和產品的數據、不適當設計的豁免和門檻及有限的管理資源等，對目前法規的實用性和適用性都是一種挑戰。研究結果顯示部分形式的 ENMs 在一個或更多個生命週期的階段可能會避開聯邦政府的監管與嚴格的風險審查，最大的缺口出現在上市後的階段和 ENMs 在環境中的釋放。Beaudrie et al. (2013) 建議可透過下列方法進行 ENMs 法規監管的改善：關注懸而未決的法規改革、增加環境中與使用壽命終端釋放的 ENMs 的監測、控制和分析技術的研發、採用 ENMs 的定期再評估與加強由下而上的管理方式，以達成對 ENMs 風險的負責任管理。

參考文獻：

Beaudrie, C. E. H., Kandlikar, M., Satterfield, T. (2013). From cradle-to-grave at the nanoscale: Gaps in U.S. regulatory oversight along the nanomaterial life cycle, *Environ. Sci. Technol.*, 47:5524-5534.

● 丹麥環保署委辦一項評估奈米物質環境風險的計畫

丹麥 COWI 工程顧問公司於 2013 年 5 月

14 日宣佈，丹麥環保署委託他們評估奈米物質對丹麥環境造成的影響。COWI 公司表示，他們會針對十種不同的奈米物質進行詳細的風險評估，包含奈米二氧化鈦、奈米銀、奈米銅及奈米碳管等。COWI 公司指出，他們將製作奈米物質的生命週期圖表，並調查在各個階段那些物質會被釋放至環境中。COWI 公司將外推其調查結果，提供奈米物質對環境造成的整體性風險進行評估報告。此調查結果最後可做為決定降低風險新措施時的需求。但 COWI 公司表示，他們不負責對立法做建議。

資料來源：

Nano and Other Emerging Chemical Technologies Blog, <http://nanotech.lawbc.com/2013/05/articles/international/danish-epa-commissions-project-to-assess-environmental-risks-of-nanomaterials/>

● 奈米金屬微粒在中國大陸近十年的發展與環境衝擊趨勢

知名期刊 *Journal of Nanoparticle Research* 在最新一期(15:1681, 2013)的內容中，刊登了中國自 2000 年以來的 10 年內，奈米金屬微粒(metallic nanoparticles)的生產與消耗情形。奈米物質是奈米科技的基石，由奈米微粒的產量與使用情形，可一窺中國的奈米科技的市場現況。

根據最新資料顯示，中國投資金額超過 100 億美元的奈米物質製造工廠有超過 800 間，然而投資金額低於 8 千萬美元的奈米物質製造工廠卻很少，僅約略超過 100 間。主要生產的奈米金屬微粒是：二氧化鈦(TiO₂)、氧化鋅(ZnO)、氧化鋁(Al₂O₃)、氧化鋯(ZrO₂)與奈米銀。

報告中指出，在 2000-2010 年間，每年有超過 2250 萬噸的奈米金屬微粒被以廢水的形式排放到環境中，其中，超過 90% 是工業排放；以粉塵形式排放的每年皆小於 10 噸。

根據中國方面估計，在 2017 年工業界使用奈米物質的消耗金額為 1,000 億美元，預計伴隨產生 1184 萬噸(65.61%)的產量隨工業廢水排出。此外，還有 615 萬噸(34.12%)隨一般生活污水排出，以生活廢棄粉塵排出占 0.18%，而工業廢棄粉塵排出僅占 0.09%。隨著中國將 PM2.5 的污染納入國家環境標準，未來奈米微粒粉塵的排放將會更受重視。隨著奈米科技的快速發展，可以預見中國大陸的奈米污染問題，未來將面臨更嚴峻的挑戰。

參考文獻：

Gao, Y., Luo, Z. N., He, N. P., Wang, M. K. (2013). Metallic nanoparticle production and consumption in China between 2000 and 2010 and associative aquatic environmental risk assessment, *J. Nanopart. Res.* 15:1681.

2. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

● 奈米物質在環境中的傳輸 (下篇)

生物媒介的反應皆與氧化還原反應(redox)有關。文獻指出，細菌與自然界自行生成的奈米氧化鐵的氧化還原反應已被研究的相當清楚。目前最有系統地研究的鐵呼吸菌屬有地桿菌屬(Geobacter) 和希瓦氏菌屬(Shewanella)，均已被證實可在溶液中還原銀離子生成奈米銀微粒。奈米物質的內核與表面修飾物的生物媒介轉化作用是可能的，且這些轉化會影響奈米物質的行為，包括：表面電荷、團聚狀態、反應性等，最終會影響它的傳輸、生物有效性與毒性。透過生物系統的辣根過氧化酶(Horseradish peroxidase, HRP)生成氫氧自由基，已被證實可氧化或羧基化(carboxylation) 奈米碳管。這類的氧化作用可增加奈米碳管的表面電荷，穩定奈米碳管使其不致團聚，同時降低其疏水性。

應用於生物醫療的高分子表面修飾奈米物質的生物轉化作用。例如以聚乙二醇(polyethylene glycol, PEG) 為表面修飾劑的奈米物質是具備生物有效性的，聚乙二醇的生物轉化作用(biological transformation)會造成奈米物質團聚。然而，奈米物質的最關鍵的生物轉化作用，或許是生物性巨大分子(biomacromolecules)吸附在物質表面。

環境中有各式各樣的生物性巨大分子，包括：蛋白質、天然有機物(Natural Organic Matters, NOM)等。當這些生物性巨大分子附著於奈米物質表面時，這些分子可能與奈米物質的表面發生轉化作用。很多蛋白質與其他巨大分子會有效地且不可逆地吸附在奈米物質上，也因此決定了部分的奈米物質的“特性”(如尺寸、電泳能力、表面組成等)以及後續在環境中的行為與生物反應。這類的生物性巨大分子也提供了奈米物質一個進入細胞的途徑。另外，生物性巨大分子會影響奈米物質的溶解速率、反應性氧物種(ROS)的生成量與決定它在生物體內的宿命。

當奈米物質被排放到環境後，它們會與自然界的生物性巨大分子或地質性巨大分子(geomacromolecules)包括：蛋白質、多醣體(polysaccharides)、腐植質進行反應。因為自然界的 NOM 濃度比奈米物質的濃度高出了數千甚至數萬倍以上，因此很有可能改變工程奈米物質的特性與行為。大部分關於“奈米物質—天然有機質交互作用”的研究，主要是利用腐植質來進行。它們可以單層(薄的)或多層(厚的)的型態結合。他們之間的結合性及厚度大小，會與顆粒的性質及環境條件(酸鹼度、離子強度

等)有關。NOM 在這當中扮演著複雜的角色，可能透過電荷穩定或立體空間的穩定，達到奈米物質的穩定效果；另一方面，也可能透過架橋作用造成去穩定的膠凝效果。

NOM 附著於奈米物質表面會影響奈米物質與環境介質表面的吸附關係，這樣的結果可能會造成奈米物質間的同質性團聚(homoaggregation)或是奈米物質與環境介質間的異質性團聚(heteroaggregation)。然而，關於這方面的研究並不容易。此外，奈米物質(如奈米銀、奈米鐵及富勒烯)與 NOM 的交互作用被證實會降低短期的細菌毒性，同時增加在生物膜的生物累積性。其原因可能與這些巨大分子的遮蔽效應(masking)有關，或許是表面吸附或許是減少顆粒的溶解。NOM 已被證實可改變物質的表面化學特性如氧化還原電位，進而影響物質的毒性或作用機制。

參考文獻：

Lowry, G. V., Gregory, K. B., Apte, S. C., Lead, J. R. (2012). Transformations of nanomaterials in the environment, *Environ. Sci. Technol.*, 46:6893–6899.

3. 奈米物質的應用

● 利用水膠做奈米微粒的生物效應之測試

美國國家標準技術研究所(NIST)科學家的新研究證實，以細胞與稱為水膠(hydrogels)的支撐材料所構成的立體支架可做為仿生量測平台，以用於評估微小的工程材料(engineered materials)與細胞及生物組織之間的交互影響。這項概念性研究指出水膠組織支架可做為現今實驗室測試與動物模式測試之間的重要橋梁。

此 NIST 研究的首席研究員、分析化學家 Elisabeth Mansfield 解釋，目前奈米微粒的實驗室測試通常需要將一個二維細胞層暴露於待測材料；此外，利用代替生物體內組織與器官所構成的複雜細胞結構有疑問的替代物作測試，將產生矛盾的測試結果。Elisabeth Mansfield 表示：「我們的研究顯示，以水膠為基材的組織工程支架(tissue engineering scaffold)可提供更真實的環境，以研究受到奈米微粒影響的細胞生物學的長期效應。」NIST 的研究顯示，使用這個支架的研究不需要將細胞暴露在超過正常暴露劑量的條件下便可進行實驗。

水膠是由絲狀且分岔的聚合物分子網絡所組成，其分子的末端會抓著水分子，因此一個水膠中百分之九十九點九的成分可能都是水，根據網目大小(mesh size)與其他因素，水膠能支撐並促進細胞族群的生長與分化。雖然水膠

可以自然產生(軟骨為其中一例)，NIST 研究團隊選擇自行合成以期能控制其所製造出的支架的網目大小。

研究小組使用一種常用於保濕乳霜、牙膏、潤滑劑等等的聚乙二醇(polyethylene glycol)來產生三種不同網目大小的水膠，於其中一組水膠中植入含有超小半導體材料量子點(quantum dots)的大鼠細胞，當暴露於光線下時，量子點會發出強烈的螢光訊號，使研究者得以追蹤在合成支架中處理後的細胞宿命。NIST 的研究者將其實驗結果與生長於基質上的受處理過的單層細胞結果相比(類似於標準的實驗室毒性測試)，發現細胞擴散通過水膠支架，形成一個頑固的薄層結構，細胞膜附著的量子點會隨著時間而被吸收進入細胞裡。立體支架常被用於為期數周的細胞測試實驗，NIST 的研究員也發現在支架內的量子點在四天或更多天後仍可被偵測到。重要的是，植入於水膠支架內的細胞暴露於低濃度的量子點，產生了評估生物效應的較代表性情境。

NIST 研究小組對此研究的結論是，與傳統的細胞培養相比，水膠支架提供了更真實、壽命較長的生物環境，可作為研究人造奈米微粒與細胞之間交互影響的量測平台。此外，此支架將適合探討這些交互影響如何隨時間而變化，及奈米微粒的物理特性如何改變等研究。

參考文獻：
Mansfield, E., Oreskovic, T. L., Rentz, N. S., Jeerage, K. M. (2013). Three-dimensional hydrogel constructs for exposing cells to nanoparticles, *Nanotoxicology*, DOI:10.3109/17435390.2013.790998.

● 氯化物對於奈米銀微粒溶解度及大腸桿菌毒性的影響

純奈米銀微粒(silver nanoparticles, AgNPs)在環境中並不穩定，並且當銀氧化後會與無機配體如硫化物和氯化物發生強烈反應。了解特定無機配體存在下奈米銀微粒的環境轉換對於其宿命和毒性是相當重要的。氯離子(Cl⁻)為普遍存在且對氧化銀具有較強親和力的配體，經常存在於天然水體或細菌生長的介質中。雖然氯離子可以明顯改變奈米銀微粒毒性測試的結果，但是一般很少考慮他們的交互作用。因為大多數可溶性或固體Ag-Cl物種能否形成主要取決於Cl/Ag的比值，是一個很大的研究挑戰，所以氯離子存在下的奈米銀微粒的穩定度和溶解動力學目前仍有待研究。

Levard et al. (2013) 研究在含有氯離子的系統中奈米銀微粒的溶解情況，並探討氯離子對於銀毒性抑制大腸桿菌成長 (ATCC 33876)

的影響。首先決定聚乙烯基吡咯烷酮塗敷 (polyvinylpyrrolidone-coated) 的奈米銀微粒，在不同 Cl/Ag 比 (總氯離子濃度/懸浮銀微粒濃度) 溶液中的溶解率，接著再了解奈米銀微粒在模擬自然界不同氯離子濃度中 (0.5、0.1 及 0.01 M NaCl 及去離子水) 對於大腸桿菌的毒性。經由溶液中不同的 Cl/Ag 比的實驗，可以推論出奈米銀微粒的溶解率和產生的毒性會與氯離子存在下的銀型態有關，例如隨著 Cl/Ag 比值的增加，奈米銀微粒的溶解率會以指數函數型態急劇上升，然而 AgCl 固體的量會以指數函數型態急劇下降。

結果顯示銀的溶解動力學取決於 Cl/Ag 的比值，並且可以用氯離子存在下熱力學預期的銀型態來解釋。研究結果並顯示在不同的氯離子濃度中，奈米銀微粒對大腸桿菌的毒性取決於溶解的 $\text{AgCl}_x^{(x-1)-}$ 的離子量，表示奈米銀微粒的毒性主要來自於溶出的銀離子，因為奈米銀在水溶液中的溶解度很低，大量溶出的銀離子主導了奈米銀微粒的毒性。

參考文獻：

Levard, C., Mitra, S., Yang, T., Jew, A. D., Badireddy, A. R., Lowry, G. V., Brown, G. E. (2013). Effect of chloride on the dissolution rate of silver nanoparticles and toxicity to *E. coli*, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 5738-5745.

● 不同晶相的一維二氧化錳奈米物質在催化降解苯酚的優越性

有機化合物是水中重要的污染物，他們來自各種來源包括自然過程、家庭和工業廢棄物的排放。這些有機化合物通常對環境和人類有毒並應從水中去除。目前已發展了一些技術將有機污染物自水中去除，其廢水中有機污染物的氧化降解是水處理中的重點之一。在過去的幾十年，高級氧化過程 (advanced oxidation processes, AOPs) 已成為降低許多不同水中有機化合物之實用技術。目前大多數 AOPs 仍利用活性很高的物種如氫氧根 ($\cdot\text{OH}$)，以快速且無選擇性的氧化大部分的污染物。除了氫氧根以外，近來同樣重要且在發展中的是硫酸自由基。

本研究合成三種一維二氧化錳奈米微粒使其分別具有 α -、 β -、和 γ -等三種晶相，並測試在水溶液中的苯酚降解過程中的過硫酸氫鉀之異質活化。 α -、 β -、和 γ - MnO_2 的奈米結構分別為奈米線、奈米棒及奈米纖維等形態。研究發現過硫酸氫鉀活化成硫酸根自由基並降解苯酚的活性取決於表面積和晶相結構的不同。形態為奈米線的 α - MnO_2 表現出最高的活性，並能在 60 分鐘內降解濃度範圍在 25-100 mg/L 的苯酚， α - MnO_2 降解苯酚遵循一次反應

動力且其活化能為 21.9 kJ/mol。實操作參數如 MnO_2 和過硫酸氫鉀的負荷量、苯酚的濃度和溫度皆會影響苯酚的降解效率。研究甚至發現 α - MnO_2 在循環試驗中表現出較高的穩定性且不會失去活性，顯示 α - MnO_2 是一個優於有毒的 Co_3O_4 和 Co^{2+} 的異質催化劑。

參考文獻：

Saputra, E., Muhammad, S., Sun, H., Ang, H. M., Tadé, M. O., Wang, S. (2013). Different crystallographic one-dimensional MnO_2 nanomaterials and their superior performance in catalytic phenol degradation, *Environ. Sci. Technol.*, 47:5882-5887.

● 史丹佛大學研究團隊開發的奈米清潔劑 (nanoscavengers) 開闢了一個淨水處理技術的新時代，新型合成奈米微粒可對污水發揮消毒、去污與去鹽功用，並利用磁力將污染物去除

在許多材料當中，銀具有抗菌性，二氧化鈦可處理某些重金屬及污染物質，我們亦可利用其他不同的物質處理特定的污染物。近年來，環境工程師企圖利用上述活性奈米微粒對污水進行消毒、去污及去鹽，工程師稱這些活性奈米微粒為奈米清潔劑。然而，由技術觀點來看，應用這項技術的障礙在於我們幾乎無法回收這些置入水中的奈米清潔劑。

在 2013 年 5 月 14 號“自然通訊期刊”上所發表的一篇論文當中提到，史丹佛大學一個跨領域的團隊宣布他們研發了一種新的奈米清潔劑，其具有一個對磁力具有超感應性的合成核心，可使工程師簡單且有效的回收每一個奈米清潔劑。

此研究的第一作者、材料科學與工程系及電子工程系教授 Shan Wang 說：「將奈米清潔劑散佈在污水中時，它們會隨意碰撞或殺死細菌，或使它們自己附著在分子污染物質上，當污染物質黏附在奈米清潔劑上或死亡時，工程師再利用磁鐵回收這些奈米清潔劑。」

利用磁力回收奈米清潔劑並不是一個新的技術。目前有以具有活性物質包圍磁氧化鐵製成的核心，但此方法並不完美。氧化鐵並非完全感磁，使得這類清潔劑無法由磁選法完全去除而殘留在水中，使用上仍有疑慮。

史丹佛大學研究團隊進一步利用合成物質取代氧化鐵，使其核心不是單一物質而是多層的原板，由合成物質的磁鐵外層在鈦中心兩側包覆纏繞。材料科學與工程的博士後研究員、此研究的共同第一作者 Mingliang Zhang 提到：「清潔劑的上層及下層具有相反的磁性，可有

效地消除物質的磁性。」

此新型奈米清潔劑在自然狀態下不會被其他磁鐵物質吸引。然而，當此複合圓片狀物質暴露在強磁場環境下，兩個反向磁場的磁力會排成一直線，使清潔劑變得具有磁性，且有加強作用。

藉由上述方法，科學家可製造出具有超磁反應性的奈米清潔劑，其磁反應性遠高於現今使用的氧化鐵。史丹佛團隊將此清潔劑取了一個矛盾的名稱，名為“合成反磁鐵核心”(synthetic antiferromagnetic cores)，其字首anti-代表反向磁場，而不是非磁性。

成功的合成此核心後，史丹佛研究團隊在此核心的表面覆蓋上銀、二氧化鈦或是其他活性物質以去除目標污染物。實驗結果發現，當研究人員利用合成奈米清潔劑覆蓋銀來去除水中大腸桿菌時，有99.9%的大腸桿菌在20分鐘內可被含有17 ppb銀含量的奈米清潔劑殺死。史丹佛研究團隊可在5分鐘內利用永久性磁鐵移除水中全部的奈米清潔劑，另外測試具有氧化鐵核心的奈米清潔劑的磁反應性，結果發現前5分鐘內有20%的奈米清潔劑可迅速被永久性磁鐵收集，然而20分鐘後，仍有80%的清劑殘留於水中。

在原型產品經測試後，研究團隊正在研發多種具有不同反應表面，其上乘載許多不同類的反應物質，

以去除某些特定污染物質及一種較大尺寸的奈米清潔劑。作者Xing Xie提到：「本研究希望研發出一種單一清潔劑以處理水中所有的污染物，此種清潔技術在一些目前面臨水質與水量問題的開發中國家或是乾旱地區的水回收十分有用。」

參考文獻：

Zhang, M. L., Xie, X., Tang, M., Criddle, C. S., Chi, Y., Wang, S. X. (2013). Magnetically ultrasensitive nanoscavengers for next-generation water purification systems, *Nature Communications*, Article number: 1866, doi:10.1038/ncomms2892.

● 具空氣穩定性的磁性雙金屬鐵-奈米銀微粒於高級抗菌處理與除磷的應用

奈米零價鐵(Zero-valent iron nanoparticles, nZVI)為成本效益高且具環境親和力的活性物質，在污染物去除的應用上，nZVI是最受廣泛研究的奈米物質。然而，由於具備極高反應活性與高比表面積，nZVI傾向和周遭介質反應並自發性的團聚，造成nZVI的反應活性顯著降低。

克服這些問題並維持nZVI高反應活性的其中一個策略是製備成雙金屬奈米微粒，尤其是用鈮、鉑、鎳、銅或銀金屬(即金屬催化劑)部分覆蓋nZVI，可提高nZVI在不同領域應用，如無機污染物或人為有機物移除的處理效率。

Markova et al. (2013) 利用市售的奈米零價鐵直接還原銀離子，成功製造一新型磁性雙金屬鐵-奈米銀微粒，且測試結果顯示各種微生物(包括引起疾病的病原體、細菌及真菌)的抗菌及抗微能力極佳，同時除磷效率高及持續時間長。

使用一特定程序時，一般nZVI對磷酸的去除率在30分鐘內可達95%以上，而使用此雙金屬鐵-奈米銀微粒則表現出長效的除磷能力。Markova et al. (2013) 亦發現在磷酸的去除過程中，因為銀對磷酸並無顯著的作用，且雙金屬奈米微粒表面的AgNPs會導致nZVI鈍化(passivation)，使得雙金屬奈米微粒對磷酸的去除能力會隨著表面Ag含量的增加而降低。另外，在過去的研究顯示nZVI與AgNPs均為有效的抗菌劑，最低抗菌濃度測定值(minimum inhibitory concentration, MIC)的測試結果顯示，磁性雙金屬鐵-奈米銀微粒能有效地抑制細菌生長。與參考組的nZVI比較，Markova et al. (2013) 發現具有同一 α -Fe相(60%)的磁性雙金屬鐵-奈米銀微粒的抗菌能力主要來自於AgNPs。

Markova et al. (2013) 透過穿透式電子顯微鏡(transmission electron microscopy)、掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscopy)與電子繞射光譜(electron diffraction spectroscopy)的觀察，與X光繞射(X-ray diffraction)與梅思堡光譜(Mössbauer spectroscopy)的相分析發現， $\text{Fe}^3\text{O}_4/\gamma\text{-FeOOH}$ 在氧化還原反應活躍的nZVI表面形成的雙殼結構，可能是使磁性雙金屬鐵-奈米銀微粒儲存在空氣中時具高穩定性的原因。

另外，因為可使用磁力作nZVI的有效分離，因此Markova et al. (2013) 認為新型雙金屬鐵-奈米銀微粒在高級抗菌與還原水處理技術上極具發展潛力。

參考文獻：

Marková, Z., Šisková, K. M., Filip, J., Čuda, J., Kolár, M., Šafářová, K., Medrik, I., Zboril, R. (2013). Air stable magnetic bimetallic Fe-Ag nanoparticles for advanced antimicrobial treatment and phosphorus removal, *Environ. Sci. Technol.*, 47:5285-5293.

● 氧化鈾微粒對稻米的影響:有關抗氧化防禦系統及在活體螢光影像

方面之研究

工程奈米微粒(Engineered nanoparticles, ENPs)的使用使得工業、醫學及農作物上的科技應用更多樣化。由於奈米微粒可能具有毒性風險，一但有大量的工程奈米微粒釋放於生態系統中則會對於活體生物產生影響，尤其對植物影響最大。Rico et al. (2013)研究氧化鈾對於稻米種子發芽期間氧化壓力及抗氧化防禦系統的影響。實驗過程中將稻米種子置於濃度 62.5、125、250 及 500mg/L 的氧化鈾懸浮液中生長 10 天，植物的組織在 1 比 4 比例的濃硝酸及過氧化氫的混和液中於微波加速反應系統(CEM Corp, Mathews, NC)中消化，鈾的含量則經由感應耦合電漿光學放射光譜儀分析。除此之外 Rico et al. (2013)使用 2,7-二氯螢光劑(2,7-dichlorofluorescein diacetate, DCF-DA)使過氧化氫活體影像成像。

Rico et al. (2013)研究結果指出，在稻米組織裡的鈾隨著 $n\text{CeO}_2$ 濃度的增加而增加但無明顯毒性，根部組織比幼芽的組織的鈾含量多，這是由於根部直接暴露於氧化鈾懸浮液的關係。活性氧自由基(Reactive oxygen species, ROS)被視為植物中的天然細胞副產物，植物主要藉由維持ROS的製造及去除的平衡來避免氧化壓力。但是當植物製造過量的ROS則會造成脂質過氧化，促進氧化壓力產生。透過生化檢驗以及過氧化氫活體影像顯示，當氧化鈾濃度控制在 62.5 及 125 mg/L 時，幼芽及根部產生的過氧化氫的產量明顯地較少。在濃度為 500 mg/L 氧化鈾環境生長的幼芽中可發現電解質滲漏且脂質過氧化增強現象，除此之外 Rico et al. (2013)也發現在濃度為 500 mg/L 溶液下幼芽產生異常的酵素活性、抗壞血酸及自由硫醇溶液導致薄膜的破壞，造成光合作用的應力。上述這些發現證明了發芽期間稻米種子的氧化壓力及抗氧化防禦系統與氧化鈾濃度相關。

參考文獻：

Rico, C. M., Hong, J., Morales, M. I., Zhao, L., Barrios, A. C., Zhang, J. Y., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, J. L. (2013). Effect of cerium oxide nanoparticles on rice: A study involving the antioxidant defense system and in vivo fluorescence imaging, *Environ. Sci. Technol.*, 47:5635–5642.

4. 奈米 EHS 議題的學者專家專訪

● 成功大學環境工程學系-王鴻博教授訪問稿



一、訪問目的

王鴻博教授為美國猶他大學化學(燃料)工程博士，現服務於國立成功大學環境工程學系，主持先進能源、分子環境及奈米科技研究實驗室。其研究領域包含分子/奈米環境科學、潔淨能源技術、資源回收工程、超臨界流體技術等，並曾參與及主持多項固體廢棄物處理、土壤污染及廢水處理方面的研究計畫。王教授曾獲得李國鼎榮譽學者獎、日月光集團優良學者獎、中國工程師學會傑出工程教授獎(2013)；侯金堆傑出榮譽獎(2012)；兩度獲得國科會傑出研究獎(2002~2005、2009~2012)；國科會傑出學者研究計畫(2008~2011)；成功大學工學院研究優良教授(2002~2003)、國科會發明獎(1999~2003)；世界專利發明競賽金牌獎(1998)與中華民國發明金頭腦獎(1996)。王教授並曾任國科會工程科技通訊副總編輯(1999~2002)、環境保護月刊副總編輯(2003)、中國環境工程學刊副總編輯(2004~2006)、以及 *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 副主編(2006~)、以及 *Sustainable Environment Research* 總編輯(2011~)。本研究團隊希望藉由此次訪問機會，針對奈米科技環境健康安全(nano-EHS)資訊與王教授進行交流。

二、採訪方式

面訪

三、採訪時間

2013 年 6 月 10 日

四、採訪問題

1. 是否可請王博士與讀者分享您的團隊近年來在奈米技術之應用及 nano-EHS 的重要研究成果及其影響？

發展資源物的回收與再利用技術是本團隊在奈米技術的環境應用上，最為重視也鑽研最多的部分。協助產業解決半導體廢料回收及稀有金屬分離純化的問題，並利用回收物創造出低成本、高效率之新型材料，進而提升其附加價值，是我們這幾年一直在努力的重點。在此列舉幾項主要的研究成果：

一、可調粒徑奈米核殼物質的合成及應用：針對高科技產業廢物水中有價金屬的分離回收，我們利用醱化合物捕捉化學機械研磨

(chemical mechanical polishing, CMP)廢水中的銅離子形成錯合物，碳化生成奈米 Cu@C 核殼粒子，此方法也可用於合成不同金屬及雙金屬或合金的奈米核殼粒子。我們利用調整醃與金屬離子之莫耳比例，合成可調粒徑大小(7~40 nm)之核殼粒子，其外層碳膜(約 3~5 nm)可以避免奈米金屬核氧化或團聚，有助於分析核殼粒子的物化特性，例如：熔點、熱傳導性或電傳導性等。與尺度相關之奈米金屬基本物理性質也已被發現，例如：Cu@C 及 Ag@C 奈米核殼粒子之熔點會隨著粒徑的減小而降低。合成之可調粒徑奈米金屬及雙金屬或合金核殼粒子也可應用於光電與生醫領域，如設計出適用於 LED 散熱的奈米銅毛細管超薄均勻熱板、合成奈米多層/多金屬合金材料及熱獵殺惡性腫瘤之可行性研究等，這些研究成果可商業化並具有技術移轉價值。

二、以綠色溶劑--離子液體選擇性回收有害廢棄物中之有價金屬：傳統的空氣污染控制程序無法有效地去除奈米微粒，我們在拆解電視、螢幕或 FEDs (場發射型顯示器)之空氣污染控制設備之濾袋式集塵器收集之螢光粉中，發現奈米和次微米的微粒。實驗結果顯示，在非常短的接觸時間內，超過 90% 的奈米螢光粉微粒可被室溫離子液體(room temperature ionic liquids, RTILs)所吸收。在兩分鐘內，以離子液體萃取 CMP 廢水之奈米銅或者吸附於 MCM-41 中的銅及奈米銅，富集效率為 80~95%。當調整液體之 pH 值小於 4 時，可回收離子液體中的銅，回收效率可達 91%。

2. 請問以王博士對於 nano-EHS 相關領域研究之經驗了解，您對於目前國際上 nano-EHS 趨勢有何看法？台灣應該如何因應？

美國對奈米物質方面的研究已逾十多年，應用技術上的發展相當快速並已經逐漸成熟。我個人比較關心被釋放到環境中的奈米物質，例如空氣中懸浮著各種不同粒徑的微粒，肉眼看不到的奈米物質當然也存在。我們過去曾利用離子液體偵測空氣中的懸浮奈米物質，離子液體可由不同種類之正負離子組成，在離子液體中分子之間的間距適合奈米物質通過，透過量測離子液體電阻的變化，能有效地感測出懸浮奈米物質的存在。另外，在半導體製程中會摻雜元素表上第三族及第五族金屬的高毒性化合物如鉀、銻、砷等，當業界致力於開發半導體奈米製程的同時，也應該注意奈米物質對人體及環境所造成的危害。因奈米化學物質通常本身就具有化學毒性，奈米物質的表面特性和反應性也是影響其毒性的重要因子，了解並比較化學物質本身之毒性和奈米型態產生的毒性

為一項重要的研究課題。最後，監測及分析空氣中的奈米物質，是我認為很重要且必要做的事。

3. 對於台灣 nano-EHS 往後相關研究及政策，王博士有何建議？

因奈米物質的反應性極高，從事奈米技術的製造及研究人員，應該要採取控制與防護的措施以降低奈米物質的暴露，並要教育這些人員儲存奈米物質時必須保存在液態裡，避免其釋放到空氣中。我國的勞工安全衛生研究所已公佈「奈米技術實驗室奈米物體暴露控制手冊」，此手冊亦可於本平台查詢瀏覽，供奈米技術研發單位及事業單位參考。因奈米物質對人體健康造成的危害，其潛伏期可能長達 10 至 20 年，我的學生在實驗室進行乾式奈米物質作業時，我都會要求他們在氣罩內進行，同時配戴合格的職業衛生防塵口罩(N95)，並將奈米物質保存於液態內，減少其釋放到空氣中的機會。

4. 最後，請王博士是否可以對於年輕學者投入 nano-EHS 研究說幾句話？

未來奈米物質的商業應用依然是相當廣泛，我希望年輕學者在開發奈米技術的同時，應該也要重視奈米物質對環境及人體健康造成的負面影響。奈米技術的研究人員對各種貴重分析儀器的使用操作應已非常熟練，當奈米技術的開發速度漸緩時，不妨可利用現有設備進行奈米物質毒性的相關研究，便能進一步針對奈米物質對環境和人體健康所產生的風險進行評估。

資料來源：本團隊整理

5. 活動訊息

● 2013 台灣奈米科技展

活動時間：2013/10/2~2013/10/4

展出地點：台北世貿一館 A 區

主辦單位：奈米國家型科技計畫辦公室

網址：<http://nano.tca.org.tw/>

● 第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會(6th International Symposium on Nanotechnology Occupational and Environmental Health)

活動時間：2013/10/28~2013/10/31

會議地點：日本名古屋

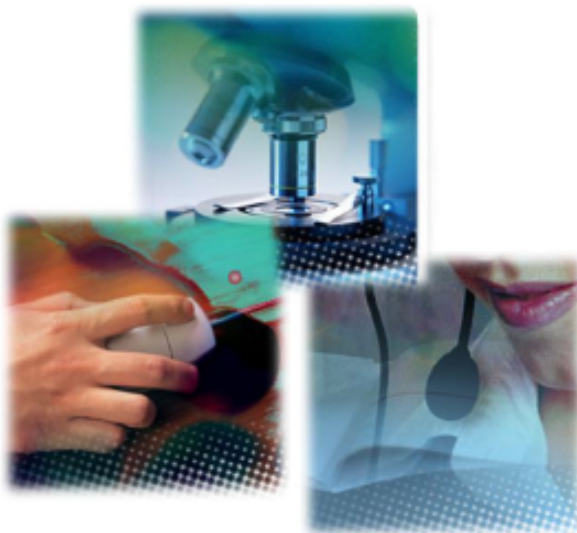
主辦單位：Japan Committee for the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health

網址：<http://square.umin.ac.jp/nanoeh6/>



行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan)

環境奈米科技知識平台電子報 第 11 期



發行日期: 2013/9/26
平台網址: <http://ehs.epa.gov.tw/>
發行單位: 行政院環境保護署
執行單位: [國立交通大學環境工程研究所](#)

前言

近年來先進國家與國際組織在奈米技術在環境、健康、安全(EHS)議題的發展已有顯著進展。為因應國際趨勢，環保署參與第二期六年(2009-2014) 奈米國家型科技計畫，擬定12個奈米技術EHS的發展重點項目，並持續與勞委會、衛福部合作，以確保負責任的國家型奈米技術之永續發展。過去數年來，環保署建置了環境奈米科技知識平台(ehs.epa.gov.tw)，提供產官學研各界奈米科技環境、健康與安全(EHS)議題的即時資訊和進行知識交流，並自2011年起定期發行電子報。

本期為第 11 期電子報，首先介紹奈米科技的法規與政策、奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命、奈米微粒的量測方法及奈米物質的應用等議題之最新進展。在奈米科技的法規與政策方面，有奈米技術永續發展的新興治理架構，提倡綠色奈米概念，確保奈米技術的永續發展，及歐盟奈米安全研究群 NANoREG 計畫的介紹；奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命方面，將報導奈米農藥的知識現況、環境宿命與暴露模擬與工程奈米物質的表面固定化用於現址之環境轉化及宿命研究；奈米微粒的量測方法中將回顧偵測重金屬之奈米結構感測器與奈米物質安全評估之替代測試方案；另外在奈米物質的應用上將介紹奈米技術產品釋出的銀對兒童之影響、垃圾掩埋場滲出水中的工程奈米微粒行為、銀及二氧化鈦奈米微粒因物理應力由紡織物移至人體汗水之研究及使用奈米銀微粒修飾超高吸水性冷凍凝膠作為新型現址式消毒技術等研究重點。最後為奈米 EHS 議題的學者專家專訪，本期專訪了清華大學動力機械工程系李國賓教授。李教授為美國加州大學洛杉磯分校機械及航空工程博士，其研究領域包含微機電系統、微感測器、微流體系統、生醫晶片及奈米生物技術之設計、製作與自動化之應用等，研究成果傑出，同時李教授也擔任奈米國家型科技計畫部會計畫連絡及人才培育分項召集人，並有豐富的產學合作經驗，更多精彩的報導都在本期的「環境奈米科技知識平台電子報」。

本期內容

1. 奈米科技的法規與政策

- 確保奈米技術永續發展的新興治理架構
- 歐盟奈米安全研究群 NANoREG 計畫：探討工程奈米物質的法規性測試

2. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

- 奈米農藥的知識現況、環境宿命與暴露模擬
- 工程奈米物質的表面固定化用於現址之環境轉化及宿命研究

3. 奈米微粒的量測方法

- 偵測重金屬之奈米結構感測器回顧
- 從多方利害關係者觀點看奈米物質安全評估之替代測試方案

4. 奈米物質的應用

- 奈米技術產品釋出的銀對兒童之影響
- 垃圾掩埋場滲出水中的工程奈米微粒行為
- 銀及二氧化鈦奈米微粒因物理應力由紡織物移至人體汗水之研究
- 使用奈米銀微粒修飾超高吸水性冷凍凝膠作為新型現址式消毒技術
- 以聚苯乙烯陰離子交換器為載體的水合奈米氧化鋁微粒來提高氟的去除率
- 利用植物萃取物、酵素、細菌、可生物分解之聚合物及微波技術，用於奈米銀微粒合成之綠能科技

5. 奈米 EHS 議題的學者專家專訪

- 清華大學動力機械工程系—李國賓教授訪問稿

6. 活動訊息

- 2013 台灣奈米科技展，展出地點：台北世貿一館
- 102 年環境奈米科技論壇，論壇地點：集思台大會議中心蘇格拉底廳
- 第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會 (6th International Symposium on Nanotechnology Occupational and Environmental Health)，會議地點：日本名古屋

本期全文

1. 奈米科技的法規與政策

● 確保奈米技術永續發展的新興治理架構

Bergeson (2013)回顧了現行的奈米物質治理監管架構、評估有關奈米物質潛在風險的法規制度，作出綠色奈米科技需要在法規及私部門的自主管理中深植及提倡的結論，以確保奈米技術的永續發展。美國環保署透過毒性物質管理法(Toxic Substances Control Act, TSCA)與聯邦除蟲劑、殺菌劑、滅鼠劑法(Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act, FIFRA)等兩種和化學品相關的法規以確保化學物質使用的安全性。Bergeson (2013)提出加入及積極支持非營利的永續奈米技術組織(Sustainable Nanotechnology Organization, SNO)是利益相關者實現永續奈米技術目標的之一方法，因SNO存在的主要目標即為提倡及達成永續奈米技術。

鑑於對奈米物質的毒性和生態影響了解的不足，成為管理機關監督奈米技術的商業化活動的挑戰，政府組織和利益相關者已採取各種行動來謹慎地管理這些活動。Bergeson (2013)整理了現有奈米技術的新興治理架構，包括現有的法規機構的充足性、聯邦的法規制度、州和地方政府法規制度、制定標準的重要組織及重要私部門的自主管理等，以下僅針對重要私部門的自主管理作介紹。

在2007年6月環境保護基金會(Environment Defense Fund, EDF)與杜邦公司正式宣佈他們的合作成果—奈米風險評估架構(Nano Risk Framework)，此架構正快速地成為奈米產業衡量最佳管理實務的標準。奈米風險評估架構確立了一個有系統及紀律的流程，用於識別、管理和減少工程奈米物質在產品生命週期的各個階段之環境、健康與安全(EHS)的潛在風險，包括製造、使用、棄置或再循環及最終宿命等階段。

在2005年9月EDF和杜邦公司啟動開發奈米風險評估架構合作夥伴關係，接著於2007年2月發表架構的草案，並收到來自不同利益相關者的意見，包括政府、學術界、公益團體及大型和小型企業。除了考量不同的意見外，EDF和杜邦公司也執行了相關先導研究(網址：nanoriskframework.com)，包括表面處理及高金紅石相(high-rutile phase)的二氧化鈦、單壁和多壁奈米碳管及奈米零價鐵等，以確保架構的彈性、實用性、經濟性及有效性。

EDF和杜邦公司相信這個針對大量使用奈米物質和開發相關產品與應用的私人及公共組織的架構，將可協助使用者組織和評估現有的資訊，評估、優先處理和指出數據需求，以及清楚地溝通如何降低風險。最後EDF和杜邦公司相信採用此架構可促進奈米技術產品的負責任發展、提升民眾的接受度，及支持形成奈米科技安全的合理政府政策的實用模式。

另一個私部門的自主管理為GoodNanoGuide(網址：www.goodnanoguide.org)，它是一提昇專家交換奈米物質職業安全問題意見而設計的合作平台。GoodNanoGuide的贊助者為美國勞工安全衛生研究所、奈米科技EHS議題整合型資料庫ICON、Nano Alberta、Nano Quebec、加拿大衛生部及加拿大羅伯索維職業健康與安全研究中心(Institut de recherche Robert-Sauve en sante et en securite du travail, IRSST)。GoodNanoGuide網站的目標為：(1)開發和啟動一個使用維基軟體平台，以討論奈米物質安全處理的職業安全實務的網站；(2)提供讓國際社群內不同的利益相關者貢獻、分享及討論奈米物質職業安全問題的相關資訊；(3)建立提供即時資訊並隨新實務的發展更新的最新互動式平台。GoodNanoGuide已開放給各界進行評論。為了確保最佳實務報導的可靠性，GoodNanoGuide為一個受保護的網站，僅限已註冊的會員才能在網站貢獻意見。

Bergeson (2013)最後建議利益相關者關心並提倡以下八個議題：發展適用於綠色奈米產品的生命週期評估、建立綠色奈米技術的效能及驗證規範、對發明者提供稅賦和相關商業的優惠政策以鼓勵綠色奈米技術的應用、延長綠色奈米技術的專利保護期限、在環境化設計方案(DfE)建立綠色奈米的分類、增加綠色奈米技術研究的補助經費、召開論壇以有系統地發展和實施綠色奈米原則，以及在法規和私部門的自主管理活動中積極地提倡綠色奈米，以促進綠色奈米技術的發展。

參考文獻：

Bergeson, L. L. (2013). Sustainable nanomaterials: Emerging governance systems, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 1: 724–730.

● 歐盟奈米安全研究群 NANoREG 計畫—歐盟對工程奈米物質的法規性測試

對奈米技術環境健康安全(EHS)議題了解的不足可能威脅到未來工程奈米物質的創新和經濟潛力。科學家不斷地研究毒性風險數據，

然而這些數據與管理機關之間的關連性通常不夠明確或未經證實。由於新的工程奈米物質從研發到上市前之間的時間短，使得管理機關必須立即採取行動。藉由數據和測試方法的科學評估的連結，NANoREG計畫成為歐盟第七期科研架構計畫中，第一個可提供管理機關和立法機關在EHS議題答案的計畫。

根據管理和立法機關提供的問題和需求，NANoREG計畫的目標為：(1) 根據現有的數據輔以新知識以提供答案和解決方案；(2) 提供用於風險評估、特性分析、毒性測試和工程奈米物質暴露量測等相關方法的工具箱；(3) 長期發展適用於創新需求的新穎測試策略；(4) 建立管理機關、業界和學界之間的合作關係，以產出有效且實用的工程奈米物質和含有奈米物質的產品之風險管理措施。

透過管理機關、業界和學界等三個主要利益相關者的跨領域研究，將可降低工業及消費性產品中工程奈米物質造成的風險。

NANoREG計畫從分析工程奈米物質工作小組(WPMN)、歐盟第七期科研架構計畫(FP7)和其他計畫產出的現有知識開始，結合管理機關的需求和填補缺口的知識，增加已驗證的工具箱的內容和資料庫，及符合歐盟的國際標準化學品資訊(IUCLID)的資料庫結構。

為了回覆法規方面的問題和需求，NANoREG計畫與主要國家包括美國、加拿大、澳洲、日本和俄羅斯等國，建立計畫參與國管理和立法機關之間的橫向聯繫。

資料來源：

歐盟 NANoREG 網站 <http://nanoreg.eu>

2. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

● 奈米農藥的知識現況、環境宿命與暴露模擬

Kah et al. (2013)提出，奈米農藥係指任何的農藥配方：(1)含有故意添加奈米尺寸的物質(最大至 1000nm)，(2)被冠上「奈米」字眼(如奈米混合材料(nanohybrid)、奈米複合物(nanocomposite))，和/或(3)聲稱尺寸小且具有新功能。

「奈米農藥(nanopesticide)」並非單一類別產品，利用奈米配方(nanoformulations)結合表面活性劑、聚合物或奈米尺寸的金屬奈米微粒。添加奈米配方的目的係為了增加難溶活性成分的溶解度(apparent solubility)，以釋放活性成分，並防止成分提早降解。因此奈米配方預期(1)對活性成分的宿命有顯著影響(2)使用未確知的新成分(如奈米銀)。因此對奈米農藥而

言，進行暴露評估方法是必要的。本文介紹有關未來研究的優先順序，以達成研析奈米農藥風險評估工作。

為了提高農藥活性，同時降低對環境的影響，核准之活性成分的應用與供應的優化工作比以往更加積極，歐洲針對農藥登記的法規修正案減少了高達 15%的可用活性成分(active ingredients, a.i.)。

過去 10 年間奈米科技對農作具有革命性的改造潛力，像是仍在開發初期的精密農作設備之發展(如奈米感知器)或基因改造農作物(利用奈米微粒、奈米纖維或奈米膠囊作為 DNA 載體)。奈米配方已廣泛應用於製藥和個人保養產品(Anton and Vandamme 2011, Thassu et al. 2006, Torchilin 2006)。相較之下，農業方面的應用才剛興起，未來幾年預測將迅速發展。過去 10 年，奈米農藥的相關研究，已提交超過 3000 項專利申請，發表了 60 篇經過審查的論文與 25 篇報導評論(Kah et al. 2013)。

奈米微粒應用於農作，可能導致工程奈米微粒釋放至環境中，可預期的是新型、活性增強的奈米農藥勢必對人類和環境健康產生新的風險與效益。現有的管制架構是否足以評估新產品，仍有待進一步研究。研究目標為(1)探討農藥配方中奈米科技應用的可能性(2)找出對環境宿命的可能影響，與(3)分析目前的暴露評估程序是否適用於具有新穎特性之物質。

奈米配方包含多種產品，根據成分與環境宿命作區分是必需的，以便充分調整所需之暴露評估程序。大部分的奈米農藥不像一般工程奈米微粒，會表現出類似於量子效應的特性變化。當評估複雜配方時，必須確認現有的實驗與模擬準則的假設適用性。有些奈米農藥含有新穎活性成分(如奈米銀)，或會影響化學性質的活性成分如奈米分散液(nanodispersion)，增加固有溶解速度與水溶性差的活性成分之飽和溶解度。這類產品現有的環境風險評估程序尚有不足的。目前 REACH 法規下，對奈米金屬的評估仍有爭議。本報導提出的建議案可作為現有農藥管理法規之修法基礎。新農藥法規可能會淘汰部分已註冊的活性成分(EC 1107/2009, 2011 年 6 月生效)。

大部分奈米農藥宣稱有更高功效能減少活性成分的使用，因此，也可能對非目標生物產生毒性風險，導致有害的結果。

Kah et al. (2013)提出目前的知識文獻不足，評估奈米農藥之優缺點的先決條件是，係發展奈米農藥的量化與特性分析之分析方法，以減少不確定性，同時也需進一步研究環境宿命與其如何在實際農作環境下隨時間演化，以完成更穩健的奈米農藥風險評估。

參考文獻：

Kah, M., Beulke, S., Tiede K., Hofmann T. (2013). Nanopesticides: State of knowledge, environmental fate, and exposure modeling, *Crit. Rev. Env. Sci Tec.*, 43: 1823-1867.

● 工程奈米物質的表面固定化用於現址的環境轉化及宿命研究

由於工程奈米物質 (Engineered Nanomaterials, ENMs) 獨特的工程特性可能對環境產生潛在影響，因此其轉化及環境宿命為熱門研究的焦點。目前已有許多方法應用於研究工程奈米物質在水體及陸地環境所產生的複雜交互作用與轉化過程。

然而從環境基質中檢測、分離及分析工程奈米物質仍存在許多挑戰。Sekine et al. (2013) 介紹一項工程奈米物質現址研究的新穎技術。此方法藉由表面改質的奈米銀微粒 (AgNPs) 及電漿沉積聚合薄膜 (plasma-deposited polymer films) 之間的官能交互作用，固定奈米銀微粒的固體載體可佈置於現場採樣並取回實驗室作分析。

此研究在澳洲南方地區選擇兩個地點佈置固定化奈米銀微粒的檢測設備，分別是阿德雷德北部郊區附近的湖泊，及鄰接聖文森特灣的碼頭防波堤。該研究利用帶負電的檸檬酸或聚乙二醇，或是帶正電的聚乙烯亞胺架接奈米銀微粒檢測器，佈置在上述兩個標準生態毒性介質的湖泊及碼頭，及在原下水污泥中48小時。

透過X光吸收光譜 (XAS) 及掃描式電子顯微鏡/元素分析 (SEM/EDX) 可直接分析奈米銀微粒在不同環境下暴露後的化學及物理轉化。Sekine et al. (2013) 指出胱氨酸或穀胱甘肽鍵結的銀為銀工程奈米物質轉化後的主要形態，但在不同的暴露條件及表面帶電量下可觀察到不同程度的轉化。

這些結果成功地展示了使用固定工程奈米物質檢驗在現址真實環境中可能的轉換之可行性，並提出奈米銀微粒短期環境宿命的進一步見解。

參考文獻：

Sekine, R., Khaksar, M., Brunetti, G., Donner, E., Scheckel, K. G., Lombi, E., Vasilev, K. (2013). Surface immobilization of engineered nanomaterials for in situ study of their environmental transformations and fate, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9308-9316.

3. 奈米微粒的量測方法

● 偵測重金屬之奈米結構感測器回顧

重金屬污染是嚴重的環境問題之一，許多人投入發展適合偵測環境中重金屬的感測器，結合奈米物質及奈米結構物於感測器中能顯著改善儀器的性能，如靈敏度、選擇性、多功能偵測能力及可攜帶性。此外，利用小分子物質如 DNA、蛋白質、細菌結合非有機物質，以選擇性的吸附重金屬作成「分子辨識探針」。Li et al. (2013) 於本文中報導光學、電化學、場效電晶體之重金屬感測器的最新進展。光學感測器著重於比色、螢光、表面增強拉曼散射以及表面等離子共振設備。此外，Li et al. (2013) 也探討結合微流體晶片之光學元件製成的光流體設備，並針對利用奈米微粒修飾之電極、微電極 (或奈米電極) 陣列及微流體電化學感測器作整理說明。

過去科學家們致力於開發重金屬感測器之許多面向包括：(1) 開發不同的傳感機制，產生了光學、電化學、場效電晶體感測器 (2) 利用或是發展不一樣的分子辨識探針，包括小分子有機物質、DNA、適配體、蛋白質、細菌以及金屬。然而，大部分的研究工作只限於概念型的感測器，僅能檢測於緩衝溶液或人工基質中的重金屬。奈米微粒修飾電極具有較大的表面積、較快的電子傳遞速率、快速的質量傳遞速率、較低的溶液阻抗及較高的訊號比。

奈米金微粒已被應用於修飾塊材電極，Li et al. (2013) 研究顯示奈米金微粒修飾的玻璃碳電極能夠減少記憶效應以及來自介金屬的離子干擾。此外，奈米金修飾玻璃碳電極能夠大幅降低 Hg^{2+} 汞離子的偵測極限。除奈米金之外，碳奈米物質如奈米碳管、奈米碳纖維以及石墨烯已被開發成為偵測重金屬的電極材料。對於電化學感測器的應用，奈米碳管及石墨烯有許多優點，包括大表面積、小尺寸、優良的電子傳導能力以及表面修飾較為容易。此外，奈米碳管為重金屬的優良吸附劑，能夠同時收集與偵測到多種重金屬離子。因此，利用奈米碳管或石墨烯修飾電極所製造的電化學感測器用於偵測重金屬離子的發展是極具潛力的。

參考文獻：

Li, M., Gou, H., Al-Ogaidi, I., Wu, N. (2013). Nanostructured sensors for detection of heavy metals: A Review, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 1: 713-723.

● 從多方利害關係者觀點看奈米物質安全評估之替代測試方案

相較於傳統毒理學高度依賴動物的實驗方

式，產生毒理學數據的新方法已可用於化學品的安全評估，包括高通量篩選(high-throughput screening, HTS)及高含量篩選(high-content screening, HCS)。毒理學相關研究概念進展至對生物分子與機制分析如何協助危害辨認與改善風險評估有更深更完整的了解。

隨著奈米科技的興起，利用科學方法便於迅速且高效率地篩檢人體與環境中的工程奈米物質(Engineered nanomaterials, ENM)安全。在化學試驗方面，採用替代測試方案(alternative test strategies, ATS)為一具有潛力的 ENM 毒理學典範，透過體外(in vitro)或電腦模擬(in silico)方法，如 HTS、HCS 與計算機模擬，以減少對動物實驗的依賴。

此外，此方法能對大量 ENM 進行比較分析，並於產品開發過程及生命週期中的不同階段實行危害評估。洛杉磯加州大學舉辦了以奈米碳管為案例的研討會，聚集來自國內外政府、產業和學術界的領導人士，討論用於 ENM 決策制訂分析之 ATS 成效，與會者普遍認同 ATS 的使用。

1. 利用 ATS 研究 ENM 危害性，及列出 ENM 額外毒性測試、風險評估、產品開發的優先順序，為廣泛認同之目標。
2. 使用 ATS 於法規管制目的的任何架構皆需透明化，且利害關係群均能參與其流程，並需以科學及法律的穩健驗證程序為前提。使用 ATS 作為管制相關決策依據時，需要進一步討論科學現況及適用的法規架構。如何及篩選與危害辨識的新科學平台仍需研究，以便做為日後管制決策之討論平台。
3. 經由快速且經驗證的 HCS、HTS 分析，ENM 預測毒理學方法的發展提供使用 ATS 於化學品的機會。CNT 安全評估的預測毒理學方法對危害等級排名、動物試驗優先順序、依危害類別、毒性途徑分類物質、結構活性關係(structure-activity relationships, SARs)及毒性作分類，有潛在助益。這個方法對使用於特定作用機制(mechanism of action, MOA)之化學品篩選也有幫助。
4. 毒性途徑的使用與理解、SARs 的建立、奈米物質分類與 ENM 安全評估決策工具等，一旦被認可，就可協助法規相關決策、調適目前的法規流程，及有助於替代性分析(alternatives analysis)、分級管理(control banding)與職場風險評估程序，建立建議暴露現值。
5. ATS 及奈米碳管(CNTs)與金屬氧化物(Metal oxides, MOx)預測毒理學典範之建

立，可用來建立危害種類與物質分類，作為第一層測試，進一步列出動物研究中的奈米物質優先順序。物質選用之優先順序及建立物質分類皆能減低動物在毒性試驗中的需求數量。第二層中短期動物研究與體內危害排名，可用來規劃昂貴且長期之第三層吸入研究(inhalation studies)，以得到較為量化的全面性風險評估。此架構可用以協助職業衛生與法規相關決策。

6. 危害排名、物質分類與 SARs 之發展為新產品開發不可或缺的一部分，可協助產業開發更安全的 ENM。
7. 主要的是要考量劑量反應(dose-response)之外推(extrapolation)與暴露情境，以連接細胞內機制與預測毒性評估至劑量尺度(dose metric)，以了解體內暴露劑量反應的關係，包括其與現實生活中暴露之關聯性。除此之外，了解劑量反應關係時也應考量 ENM 與化學品的攝入、分布與清除。

由於 ATS 可提供有用數據填補 ENM 潛在危險特性的知識缺口，想要使用 ATS 作為職場之暴露控制決策指引的人越來越多。無論是在實驗室、模廠試驗設施、製造或產品應用上使用或製造 ENM，NIOSH 都需要相關資訊來制定工程控制及其他作業場所實務的風險管理建議指引，以減少危害勞工健康的風險。

藉由體外試驗與動物有限吸氣團暴露研究(非吸入性暴露)的 ATS 可協助 NIOSH、OSHA 及美國以外的職業安全與健康管理機關提出 ENM 的職業安全與健康相關建議。例如利用分層方法，以組織培養皿和肺部(啮齒動物與人類)間的驗證分析結果做劑量反應外推，結合現有吸入微粒與纖維的文獻研究，以提出懸浮 ENM 對職業健康與安全的建議。NIOSH 也利用 ATS 辨識毒理學研究中的生物標誌，作為暴露和早期生物影響的標記，並用於勞工族群輔助健康保護措施的生物偵測。

US EPA 支持並提供資金發展評估 ENM 環境健康與安全系統。於此背景下，ATS 可作為建立各種 ENM 分類與評估工具之方法，並用於風險評估與綠色或友善設計上。廣泛來說，ATS 可用來加強並協助決策，降低法規管制的的不確定性，並作為法規管制的知識基礎。

參考文獻：

Nel, A. E., Nasser, E., Godwin, H., Avery, D., Bahadori, T., Bergeson, L., Beryt, E., Bonner, J. C., Boverhof, D., Carter, J., Castranova, V., DeShazo, J. R., Hussain, S. M., Kane, A. B., Klaessig, F., Kuempel, E., Lafranconi, M., Landsiedel, R., Malloy, T., Miller, M. B., Morris, J., Moss, K., Oberdorster, G., Pinkerton, K., Pleus,

R. C., Shatkin, J. A., Thomas, R., Tolaymat, T., Wang, A., Wong, J. (2013). A multi-stakeholder perspective on the use of alternative test strategies for nanomaterial safety assessment, *ACS nano*, 7: 6422–6433.

4. 奈米物質的應用

● 奈米技術產品釋出的銀對兒童之影響

奈米銀微粒(nanosilver)具有抗菌特性，目前已應用在許多消費產品中。Quadros et al. (2013)探討在兒童所使用奈米產品(如絨毛玩具、布織產品、母乳儲存袋、鴨嘴杯、清潔產品、加濕器及加濕器配件)時，可能會暴露在生物可利用銀(bioavailable silver)環境。該研究量測奈米產品釋出銀離子及銀微粒於水、柳橙汁、牛奶配方產品、合成唾液、汗及尿液(以1等分奈米產品：50等分液體質量稀釋)、在空氣中及人體皮膚表層擦拭紙的量。結果顯示，在液體介質中，奈米產品在汗及尿液會有最高的銀釋出質量，且釋出的銀占產品中銀含量高達38%，而在自來水中的銀釋出比例最低，其比例小於1.5%。擦拭紙上，銀從產品中的釋放量介於0.3-23 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 之間，產品在使用時氣膠態的銀微粒濃度並未明顯升高。其中，布織產品、絨毛玩具及清潔產品最有可能釋出銀。

相較於成人，兒童有較高的暴露風險在銀的環境下，造成的可能原因有：(1)兒童有較高的代謝率及表面積-質量比；(2)兒童的器官及身體組織仍在生長中；(3)兒童年紀小，較有可能長期暴露在新興材料當中，導致健康危害；(4)兒童容易將手及物品放置在嘴巴中。

Quadros et al. (2013)認為銀的釋出主要經由溶解，且在高鹽度的情況下會促進銀釋出。正常使用奈米產品的情況下，兒童可能暴露的銀質量濃度預期非常低，且預期生物利用銀是以銀離子的形式存在，而非銀微粒。

參考文獻：

Quadros, M. E., Pierson, R., IV, Tulve, N. S., Willis, R., Rogers, K., Thomas, T. A., Marr, L. C. (2013). Release of silver from nanotechnology-based consumer products for children, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 8894–8901.

● 垃圾掩埋場滲出水中的工程奈米微粒行為

Bolyard et al. (2013)研究工程奈米微粒與垃圾掩埋場滲出水成分的交互作用，以了解工程奈米微粒於滲出水中的行為。研究焦點為ZnO, TiO₂和Ag奈米微粒對生物掩埋過程的影

響，及添加奈米微粒後Zn、Ti和Ag的形態。

滲出水中的奈米微粒之行為，可由鋅、鈦、銀水溶液濃度明顯上升超過背景值的現象得知，主要原因為滲出水成份與奈米微粒塗層在相互作用後，導致奈米微粒的分散、溶解/解離或團聚。

研究結果顯示，在滲出水中添加或不添加有塗層的奈米微粒，五天的生化需氧量(BOD₅)與生化甲烷之產率差異不大，表示有塗層的奈米微粒並不影響生物程序，主要原因與滲出水成份交互作用產生的溶解金屬游離離子濃度低所致。

模擬預測化學成份顯示滲出水中的溶解鋅主要與溶解性有機物質結合；鈦則與氫氧化物結合；銀則與硫化氫和氨結合；小於1%的溶解Zn和Ag以自由離子形式存在，且自由離子的鈦和銀的濃度可忽略不計。

Bolyard et al. (2013)的結論為，奈米微粒的特性分析、滲出水粒徑分徑法、BOD₅和BMP測試和化學成份模擬等提供了垃圾滲出水中奈米微粒的流動性和垃圾掩埋場對生物過程影響。由於加入的奈米微粒與滲出水成分之交互作用，穩定水溶液中的奈米微粒，使液相濃度增加，提升分散性和奈米微粒之溶解性。然而，當滲出水流經掩埋場，大多數液相奈米微粒會團聚成大顆粒且保留在固體廢棄物中。由於垃圾掩埋場滲出水的異質性和奈米微粒特性的變化，在預測垃圾掩埋場奈米微粒的流動性之研究仍有相當的挑戰性。

參考文獻：

Bolyard, S. C., Reinhart, D. R., Santra, S. S. (2013). Behavior of engineered nanoparticles in landfill leachate, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 8114–8122.

● 銀及二氧化鈦奈米微粒因物理應力由紡織物移轉至人體汗水之研究：實驗及暴露的模擬

工程奈米微粒(Engineered nanoparticles, ENP)逐漸應用於功能性紡織品上，如添加奈米銀微粒可使紡織物有抗菌特性，或者添加二氧化鈦微粒使衣物可吸收陽光中之紫外線。有研究指出工程奈米微粒自紡織物移轉至人體汗水中會使皮膚暴露於奈米體及其聚集體與團粒(nanoobjects and their aggregates and agglomerates, NOAA)中。

有鑑於此，von Goetz等人(2013)利用一實驗系統模擬人體運動時衣物的磨耗及拉伸，以評估NOAA自市售紡織衣物移轉至人造汗水的情形。該實驗結合物理應力及將紡織物樣本

浸漬在鹼性或酸性的人造汗水溶液過程，模擬運動時最壞的暴露情境。待測樣本共九件，其中三件僅含有Ag、五件含有TiO₂，另外一件同時具有Ag及TiO₂。

實驗結果顯示，於檢測樣本中一件圓領衫及一條長褲被檢測出有粒徑小於450 nm且濃度23-74 µg/g/L的Ag釋出至人造汗水溶液中，而添有TiO₂的抗UV紡織物則未明顯有粒徑小於450 nm的TiO₂釋出，一件標榜具有抗菌能力的圓領衫則被驗出有粒徑小於450 nm的Ag及TiO₂釋出。人造汗水的Ag有溶解態及微粒態兩種。該研究亦藉由實驗計算成人男、女使用一次功能性紡織衣物時，發現Ag最大總劑量為17.1 µg/kg，其中< 450 nm微粒態之最大劑量為8.2 µg/kg，而微粒態的TiO₂最大劑量為11.6 µg/kg。以上假設工程奈米微粒釋出後會立即沉積於人體皮膚上，經實驗發現部分Ag會重新沉積於紡織物上，導致實驗所測得之劑量被高估。

衣物的潮濕至乾燥過程可以減少汗水的含量，因而降低了Ag之暴露；同樣的運動結束後立即淋浴能清洗沉積在皮膚上的Ag/TiO₂，因而大幅減少暴露NOAA的機會。

參考文獻：

von Goetz, N., Lorenz, C., Windler, L., Nowack, B., Heuberger, M. and Hungerbühler, K. (2013). Migration of Ag- and TiO₂- (nano)particles from textiles into artificial sweat under physical stress: experiments and exposure modeling. *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9979-9987.

● 使用奈米銀微粒修飾超高吸水性冷凍凝膠作為新型現址式消毒技術

Loo et al. (2013)介紹一套可作為水消毒物質的製備方法，利用奈米銀微粒修飾聚丙烯酸酯鈉(polysodium acrylate, PSA)製造冷凍凝膠。PSA 冷凍凝膠的製備方法：PSA 冷凍凝膠的合成方法是將過硫酸銨(ammonium persulfate, APS, 純度98%)和N, N, N', N'-四甲基乙二胺(tetramethylethylenediamine, TEMED, ≥99%)加入經過脫氣、冰浴過含有丙烯酸鈉(SA, 97%)和N, N'-亞甲基雙(丙烯酰胺)(MBA, 99%)的反應混合物中。當達到最終反應時，APS和TEMED的濃度分別為1.75 mM和0.125% (v/v)；由SA和MBA混合而成的單體濃度為8%，網狀連結的比例為0.05(莫耳MBA/莫耳SA)。再將反應混合物移至幾根以聚丙烯為材質的注射器中(注射器內徑(ID)為9 mm、容量為3 mL)，並放入溫度-20°C、以乙二醇/Milli-Q水1:1混合的水浴中，置於超低溫冷凍機(EUTRA EDFU4100)中培養24小時。培養完

後再以Milli-Q水徹底清洗PSA冷凍凝膠，另以2-甲基丙-2-醇使其脫水後，再放入-45°C的冷凍乾燥機中乾燥(Alpha 1-4LD)。PSA/銀冷凍凝膠的製備方法：使用基質間的合成方法(intermatrix synthesis method)製備PSA/銀冷凍凝膠。首先將1 g的乾燥PSA冷凍凝膠置於250 mL且濃度為1、5或10 mM的硝酸銀溶液(≥98%)內，待其膨脹後置於每分鐘120轉的迴轉式震盪器(orbital shaker)震盪24小時。震盪結束後再浸置於250 mL的硼氫化鈉溶液中(硼氫化鈉：硝酸銀的莫耳比為10:1)以形成奈米銀微粒。之後將合成的奈米複合材料浸在Milli-Q水沖洗，再以真空過濾將水去除。反覆進行3次清洗後，將奈米複合材料以PSA冷凍凝膠相同之程序進行乾燥。

Loo et al. (2013)評估該種凝膠的抗菌能力，利用大腸桿菌(*E. coli*)和枯草芽孢桿菌(*B. subtilis*)測試消毒效率。結果顯示，當凝膠與菌類接觸短暫的15秒後，菌落數減少將近3個數量級，表示該凝膠的抗菌能力甚佳，且在重複使用超過5次後，其抗菌效率依舊沒有顯著差異。該團隊推測，PSA/銀冷凍凝膠殺菌的主要機制為細菌細胞與凝膠介面的表面直接接觸之表面-控制機制(surface-controlled mechanisms)，PSA與銀冷凍凝膠結合了PSA的高孔隙率(high porosity)、優異的機械性能和吸水性，及凝膠孔洞表面奈米銀的均勻分散，使其具有快速消毒的功能且Ag的釋放率低(< 100 µg L⁻¹)。在某一個程序的用途上，PSA/銀冷凍凝膠在吸收水份後，可稍微將之擠壓即釋放出水來。

此製程製備的PSA/銀冷凍凝膠的重量輕且容易攜帶，為未來用於緊急情況下飲用水消毒的簡便方法。

參考文獻：

Loo, S. L., Fane, A. G., Lim, T. T., Krantz, W. B., Liang, Y. N., Liu, X., Hu, X. (2013). Superabsorbent cryogels decorated with silver nanoparticles as a novel water technology for point-of-use disinfection. *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9363-9371.

● 以聚苯乙烯陰離子交換器為載體的水合奈米氧化鋅微粒來提高氟的去除率

Pan et al. (2013)將水合奈米氧化鋅(HZO)封入一個商業化的多孔聚苯乙烯陰離子交換器D201中，合成出一種新的奈米複合材料HZO-201，以提高水中的氟去除效率。與較高濃度的競爭性陰離子(氯化物、硫酸鹽、硝酸鹽及碳酸氫鹽)共存時，HZO-201對於氟的去除效率較氧化鋁及D201高。

固定管柱的吸附結果指出，注入液、合成液或是地下水，用HZO-201的有效處理體積大約是D201的7-14倍。除此之外，HZO-201在pH 3.5的環境下可以處理>3000 BV (bed volume, BV, 填充床體積)的酸性放流水(大約3.5 mg F/L)，而D201只能處理~4 BV。用完的HZO-201可用NaOH溶液再生以重複使用。

HZO-201的吸引入特性來自它特殊的結構，根據Donnan原理，陰離子交換器D201有助於氟離子在聚合物內預濃縮，而被封入的奈米HZO經由特定交互作用顯現出選擇性的氟化物螯合作用。

Pan et al. (2013)並探討溶液的pH值、競爭性陰離子以及接觸時間對去氟效率的影響，研究結果指出HZO-201對地下水及礦場酸性廢水的有效去氟處理具研究潛力。

參考文獻：

Pan, B., Xu, J. S., Wu, B., Li, Z. G., Liu, X. T. (2013). Enhanced removal of fluoride by polystyrene anion exchanger supported hydrous zirconium oxide nanoparticles, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 9347-9354.

● 利用植物萃取物、酵素、細菌、可生物分解之聚合物及微波技術，用於奈米銀微粒合成之綠能科技

由於奈米銀具有抗菌特性，使得奈米銀微粒的應用日益普及。傳統合成奈米銀微粒的方法需要利用化學品及大量的能量(熱)，並生成具危害性的副產物。植物萃取物是既經濟又環保的材料，利用植物及相關萃取物應用於合成金屬奈米微粒，因為其內部的抗氧化劑可作為還原劑，植物的所有部位皆含有抗氧化劑或醣類，包括葉子、水果、根部、種子皆能應用於奈米微粒合成的過程，可替代潛在危害化學物質如氫硼化鈉(NaBH₄)。

根據電子掃描顯微鏡及X光散射分析，Hebbalalu et al. (2013)合成了立方體及六方體結構的奈米銀微粒，大小介於10-50奈米之間。利用不同的萃取物，可合成更準確的微粒尺寸，例如使用蘆薈葉子的萃取物，形成的奈米銀微粒尺寸介於15.2±4.2奈米之間。Jayaseelan et al.(2013)研究應用綠能合成之奈米銀微粒於抗蟲(pediculocidal)及抗蚊(larvicidal)的活性，他以常出現於印度及斯里蘭卡的青牛膽茜草(*Tinospora cordifolia* Miers)做為還原劑，製造出的奈米銀微粒可有效地治療頭蝨(head lice)。葉片是最常應用於綠色合成奈米銀微粒的植物萃取物，種子、根、莖之萃取物也有許多探討。

Hebbalalu et al (2013)研究顯示含有抗氧化劑的 *Trianthema decandra*植物根部之萃取物，可用於對抗疾病，如人體的動脈粥狀硬化。傳統奈米銀微粒的合成方法需要於80°C的恆溫油浴中進行5小時的還原反應，由於需要大量加熱及冗長的反應時間。

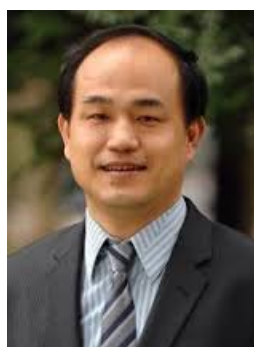
總結來說，相較於以傳統奈米銀微粒合成方法產生的環境問題，利用綠色合成奈米銀微粒的替代方法為合適且具經濟效益之潛力。

參考文獻：

Hebbalalu, D., Lalley, J., Nadagouda, M. N., Varma, R. S. (2013). Greener techniques for the synthesis of silver nanoparticles using plant extracts, enzymes, bacteria, biodegradable polymers, and microwaves, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 1: 703-712.

5. 奈米 EHS 議題的學者專家專訪

● 清華大學動力機械工程學系-李國賓教授訪問稿



一、訪問目的

李國賓教授為美國加州大學洛杉磯分校機械及航空工程研究所博士，現服務於國立清華大學動力機械工程學系，主持微流體生醫晶片實驗室，其研究領域包含微機電系統、微感測器、微流體系統、生醫晶片及奈米生物技術之設計、製作與自動化之應用。李教授曾獲得美國機械工程學會會士(2013)、清華大學智財商化績優教師(2013)、奈米國家型科技計畫生醫領域績優計畫獎(2012)、三次國家新創獎、中華民國力學學會第六屆會士(2011)、國際傑出發明學術終身成就獎(2011)、李國鼎榮譽學者獎(2009)、中國工程師學會傑出工程教授獎(2009)、中國電機工程學會傑出電機工程教授獎(2007)、中華民國第四十五屆十大傑出青年(2007)、中國機械工程學會傑出工程教授獎(2006)及全國優秀青年獎章(2006)等榮譽，兩度榮獲國科會傑出研究獎(2007~2009、2010~2012)，並被湯森路透(台灣)選為論文高被引用作者(2012)。李教授曾擔任工研院醫療器材中心副主任(2008~2010)、國際期刊 *Micro and Nano Letters* 總編輯(2013)、*Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics* 編輯(2013)、國際期刊 *IET Nanobiotechnology* 編輯(2006~)，並獲邀擔任奈

米國家型科技計畫部會計畫聯絡及人才培育分項召集人(2011~)。本研究團隊希望藉由此訪問機會，針對奈米科技環境健康安全(nano-EHS)資訊與李教授進行交流。

二、採訪方式

面訪

三、採訪時間

2013 年 9 月 17 日

四、採訪問題

1. 是否可請李教授與讀者分享您的團隊近年來利用微奈米機電系統技術應用在 nano-EHS 的重要研究成果及其影響？

本研究團隊利用微奈米機電系統技術，並結合微奈米流體技術以開發微流體生醫晶片，主要應用於生醫檢測與環境監測。生醫感測的範圍非常廣泛，本實驗室一般常做的是傳染性疾病，如 SARS、H1N1、流感及上呼吸道感染等。如何在短時間內偵測出這些常見的病毒或細菌，對防疫或個人健康管理而言非常重要。奈米流體技術係指處理微量檢體之關鍵技術，我們實驗室利用微機電系統加工技術將傳統生化分析中所需之裝置及系統微型化後，並整合於一微流體生物晶片上，只需微量檢體或試劑，即可進行疾病快速檢測。

另外，利用微奈米技術合成之奈米磁性微粒，可做蒐集取樣或樣品前處理作業，粒子奈米化後，微粒表面積增大，可抓取環境中更多的病毒或細菌，用於免疫分析或分子診斷。本實驗室結合這兩項技術開發之生物晶片，可將取樣、樣品前處理、樣品分離、偵測等程序集中於一晶片上作業。

第三是奈米化學(Nanochemistry)部分，很多的化學反應是在大型系統(如燒杯或反應器)裡進行，我們將之微型化，做成微奈米反應器，可以更精確控制各項反應條件，如奈米微粒之形狀、尺寸與物化特性等，更重要是可減少合成過程中產生的有害物質。利用微奈米處理器合成出的奈米微粒不僅可提升微粒效能，更能降低對環境的毒性衝擊。

2. 請問以李教授過去在產學合作的豐富經驗，對於促進國內奈米技術的產學互動以提高研發成果的價值，李教授有何建議？

我們實驗室執行的產學合作計畫，主要有兩大類，一是國科會的產學計畫，主要經費來源為國科會，廠商付部分配合款，並同時投入人力與資源，共同開發技術或產品；二是與廠商共同進行之合作計畫，廠商委託我們進行相關技術上的開發。除此之外，我也在經濟部技

術處與經濟部工業局擔任醫療器材領域主審，並於 2008-2010 年，借調到工研院醫療器材中心擔任副主任期間，執行工業局內大型廠商輔導計畫，計畫經費每年 4-5000 萬，一年輔導約 40 家廠商並主辦各式研討會，所以我對國內醫療器材產業非常熟悉。

奈米技術相關部分的產學互動，我們從 102 年 2 月份開始成立「微流體產學技術聯盟」，這是屬於國科會產學小聯盟之計畫，預計執行三年，效果良好的話可做兩期六年。我認為要促進產學互動，最主要的有幾種方式，第一是垂直整合，任何產業都有上中下游，我們在聯盟裡頭，希望可以找到各種不同廠商，完成上中下游的互動與連結。在我們的聯盟裡，有 20 位學界會員與 10 家產業會員。產業界有奈米微粒、晶片製造、生醫感測等不同廠商；學界則有 20 間實驗室，主要在清大，部分在台大，進行各項研究，我希望可以把學界和產業界作上中下游的垂直整合。第二是產學間橫向互動，聯盟本年度已舉辦過三場技術說明會，以往學界許多優秀研究成果，僅侷限於論文發表，我的實驗室除發表論文外，也取得 120 項專利，其中有 6、7 項已做技術轉移。除了發表論文和申請專利外，研究成果應用於產業上這樣不夠的，不僅要與廠商共同開發技術與產品，還要讓廠商了解學界研究。所以我們藉由舉辦各式說明會，增加橫向之間的互動，我們請 20 位老師，每位做 5-10 分鐘的說明，並將資料放在網頁上，形成可技轉之技術，包含專利部分，並發行季刊寄給會員。橫向的溝通，除了能讓產業界知道學界的研究外，也能讓學界知道產業界的需求，我們的技術說明會也提供產業界技術諮詢及人才媒合。

從產業鏈的觀點來看，學界是站在上游，中間是法人學研單位，下游是廠商，台灣目前面臨的問題是科技研發過程中，上中下游無法有效整合，希望藉由彰顯研發成果的價值以縮小整合缺口。目前國家科技政策已有所改變，國科會要轉型成科技部，強調科技產業的發展，雖仍有部分比例經費做基礎研究，但會將重心放在技術開發與產學合作。我在奈米國家型計畫擔任分項召集人，奈米型國家計畫到明年底結束，總共做了 12 年，前九年絕大部分在做基礎研發，後三年國科會給的任務就是要提高產業價值，資源重置、提高誘因、創造互動平台，讓學界跟產業界在特定平台完成上中下游的整合。

3. 請問以李教授對於 nano-EHS 相關領域研究之經驗了解，您對於目前國際上 nano-EHS 趨勢有何看法？台灣應該如何因應？

研發奈米科技，除了強調奈米技術的優點外，也需進行奈米風險的管理。12年前規劃奈米國家型計畫時，奈米 EHS 已被列入計畫項目內。而且台灣一直在這一塊做得很不錯，我其實是在兩年半前才接這個分項，台灣有三個部會負責奈米 EHS，環境部分由環保署負責，健康部分由衛生福利部負責，安全部份由勞委會主導。環保署規劃綠色奈米科技，研究水、空氣、土壤中，奈米物質的分布並分析其毒性等，國際上也大致朝這方向進行；衛生福利部專責國人的身體健康，所屬之食品藥物管理署 (TFDA) 負責藥品、醫療器材、食品、化妝品之法規管理，其中有許多奈米生醫的技術，故委託國家衛生研究院 (NHRI)，成立奈米醫學中心以進行相關研究，另由財團法人醫藥品查驗中心 (CDE) 做廠商相關查驗登記的輔導，奈米法規上的管理，可說是衛生福利部的重點項目；勞委會則是關心勞工安全，分為兩種，一種是作業環境過程產生之奈米物質是否會引起立即性之危險，如爆炸或攝入性傷害，第二則是慢性之流病分析，暴露於奈米物質之工作環境中，雖無急性危險產生，假以時日，是否造成病源等。

奈米科技產生的奈米物質，不管是製造、使用或儲存，會對人的身體健康產生什麼影響，包含慢性之流病影響，是世界各國持續進行的研究。我在今年一月份去參加東京奈米展，ANF (Asia Nano Forum) 裡有 Nanosafe 相關組織，所有加入 ANF 的國家，必須有 nanosafe 的相關研究，每年定期進行報告。促進產業發展的同時，也需告知勞工或消費者奈米科技可能帶來的各項影響。

世界各國裡，歐盟對法規部分是比較積極的，2009 年公布化妝品含奈米物質的相關法規，並於 2013 年 7 月 11 日強制執行奈米物質之化妝品標示，舉凡化妝品輸出或輸入歐盟，均需標示所含奈米物質之成份、組成與比例。再來是食品，歐盟於 2011 年公布含奈米物質之食品的管制法規，2014 年 12 月 13 日就要強制標示食品所含奈米物質。另外在藥品與醫療器材部分，目前尚無法規，因原來之法規規範已經非常嚴格，不會因加入奈米，就減輕法規上的要求。明年，奈米國家型計畫退場前，必須研擬草案及指引並將之法規化。目前世界各國，如美國、日本，對強制執行法規相對保守，怕貿然標示奈米物質，會引起大眾恐慌，希望先擬定草案，多方徵詢外界意見與廠商回饋後，再制訂法規。在台灣，我們希望採用輔導方式，蒐集完各國相關法規資料後，制訂草案與指引，輔導國內廠商提早做出因應，特別是

有化妝品或食品要輸入歐盟的廠商。

4. 李教授目前擔任奈米國家型科技計畫部會計畫聯絡的召集人，對於台灣 nano-EHS 往後相關研究及政策，李教授有何建議？

奈米國家型科技計畫將於明年底結束，國家型計畫的指導委員明確指示會有三年的退場機制，而與國人健康有關的環境安全衛生議題，將額外編列預算持續進行。各部會延續目前執行之計畫，如奈米物質的檢驗與量測、奈米標準的建立、奈米法規之落實與流病分析等，這些都需要長期投入資源，永續經營。

5. 最後，請李教授是否可以對於年輕學者投入 nano-EHS 研究說幾句話？

EHS 是範圍廣泛的學門，就我熟悉的奈米醫學與奈米生物科技而言，屬高度競爭激烈的領域。針對年輕學者想在這領域有好的研究成果，我提出幾項建議：第一要敢於與別人合作。我的實驗室一個月要開近 20 個跨實驗室會議，因我們有 10-20 個跨領域研究在進行，必須與學生或其他實驗室合作。跨實驗室、跨校、跨國的跨領域研究，非常重要，跨領域研究，說是容易，做起來並不簡單，除了專精自己的領域知識外還要跨至其他領域學習新事物，要能善用自己的核心技術去解決他領域內具挑戰性的問題。第二是慎選題目，學徒生涯有限，選錯題目就很難提出突破性研究成果，要能由跨領域合作找出新的研究方向。像我的研究裡，很早就有人做流體研究，但當流體與微機電整合在一起，就變成微流體系統，再跟奈米結合，就成為奈微米流體技術，與生醫整合，就成為生醫檢測晶片，每天都有新題目產生，都有新事物可學習，非常有趣。第三則是毅力，依個人過去經驗，投入研究 5 年後才可能有成果雛型出現，雖然研究初階段的回報不成正比，但持之以恆，假以時日，研究成果將成倍數成長。台灣在 nano-EHS 領域的表現很不錯，依國科會的科資中心統計，奈米國家型計畫投入 10 年後，台灣在奈米科技研究產出，包含專利及 SCI 期刊論文的產量，排名世界前五名，雖然台灣是個小國家，投入的奈米資源並不多，可是因為這些學者與學生的努力，台灣在這領域呈現出豐富的研究成果。

資料來源：本團隊整理

6. 活動訊息

● 2013 台灣奈米科技展

活動時間：2013/10/2~2013/10/4

展出地點：台北世貿一館 A 區

主辦單位：奈米國家型科技計畫辦公室

網址：<http://nano.tca.org.tw/>

● **102 年環境奈米科技論壇**

活動時間：2013/10/21

論壇地點：集思台大會議中心蘇格拉底廳

主辦單位：行政院環保署

網址：
http://ehs.epa.gov.tw/Conference/F_Events_Detail/40

● **第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會(6th International Symposium on Nanotechnology Occupational and Environmental Health)**

活動時間：2013/10/28~2013/10/31

會議地點：日本名古屋

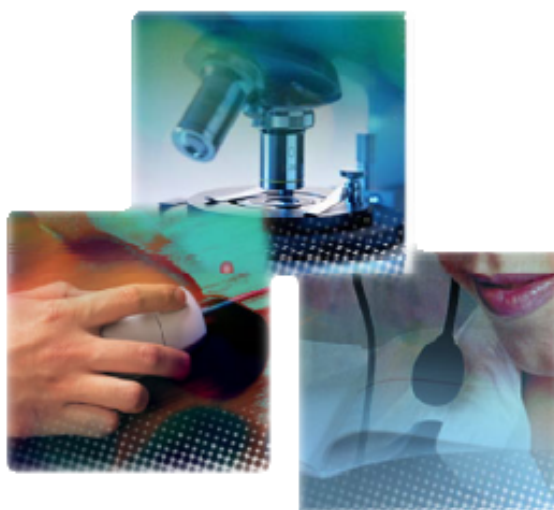
主辦單位：Japan Committee for the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health

網址：<http://square.umin.ac.jp/nanoeh6/>



行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C.(Taiwan)

環境奈米科技知識平台電子報 第 12 期



發行日期: 2013/11/26
平台網址: <http://ehs.epa.gov.tw/>
發行單位: [行政院環境保護署](#)
執行單位: [國立交通大學環境工程研究所](#)

前言

近年來先進國家與國際組織在奈米技術在環境、健康、安全(EHS)議題的發展已有顯著進展。為因應國際趨勢，環保署參與第二期六年(2009-2014) 奈米國家型科技計畫，擬定12個奈米技術EHS的發展重點項目，並持續與勞委會、衛生署合作，以確保負責任的國家型奈米技術之永續發展。過去數年來，環保署建置了環境奈米科技知識平台(ehs.epa.gov.tw)，提供產官學研各界奈米科技環境、健康與安全(EHS)議題的即時資訊和進行知識交流，並自2011年起定期發行電子報。

本期為第 12 期電子報，針對奈米科技的法規與政策、奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命、奈米微粒的量測方法、奈米物質的應用及奈米物質的生命週期評估等議題做最新進展的介紹。首先在奈米科技的法規與政策方面，有奈米碳管的工作場所職業暴露限值報告、美國國家毒理計畫(NTP)將奈米鎳列為致癌檢討物質、OECD 成員國對人造奈米物質的安全提出建議、美國國家科學研究委員會(NRC)公佈工程奈米物質在環境健康安全(EHS)議題的研究進展報告、歐盟提交有關奈米食物標籤的建議法規給世界貿易組織、及歐盟奈米安全研究群 NanoHouse 計畫與 NEPHH (Nanomaterials Related Environmental Pollution and Health Hazards, 奈米物質造成的環境污染與健康危害)計畫的介紹；在奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命方面，將報導都市固體廢棄物垃圾掩埋下之單壁奈米碳管傳輸、及奈米鋁熱之氧化銅奈米圓柱與奈米球燃燒產生的毒性與宿命；奈米微粒的量測方法中將回顧 ISO/TS 11937:2012 奈米級二氧化鈦粉體的特性分析與量測規範；另外在奈米物質的應用上將介紹奈米銀微粒在環境與模型表面的吸附作用、與 TiO₂-聚丙烯腈奈米纖維在煙道氣體的不同步脫硫及脫氮的光催化製程等研究重點；在奈米物質的生命週期評估方面，介紹奈米纖維素與奈米碳管改質的半導體元件之環境生命週期評估；最後是奈米物質的毒性評估，報導第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會上針對奈米碳管毒性發表的論文重點摘要。更多精彩的報導都在本期的「環境奈米科技知識平台電子報」。

本期內容

1. 奈米科技的法規與政策

- 奈米碳管的工作場所職業暴露限值
- 奈米鎳列為致癌物報告的候選物質
- OECD 成員國提出人造奈米物質安全的建議
- 工程奈米物質在環境健康安全議題的研究進展報告
- 歐盟提交有關奈米食物標示的建議法規給世界貿易組織
- 美國環保署建議擬同意登記塗敷奈米銀抗菌殺蟲劑產品
- 歐盟奈米安全研究群 NanoHouse 計畫探討家庭塗料內奈米微粒之生命週期
- 歐盟奈米安全研究群 NEPHH 計畫探討奈米物質造成的環境污染與健康危害

2. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

- 典型都市固體廢棄物垃圾掩埋下之單壁奈米碳管傳輸
- 奈米鋁熱之氧化銅奈米圓柱及氧化銅奈米球，燃燒前後產生的毒性與宿命

3. 奈米微粒的量測方法

- 奈米級二氧化鈦粉體的特性分析與量測

4. 奈米物質的應用

- 奈米銀微粒在環境與模型表面的吸附作用
- TiO₂-聚丙烯腈奈米纖維在煙道氣體的同步脫硫及脫氮的光催化製程

5. 奈米物質的生命週期評估

- 奈米纖維素之生命週期評估
- 由奈米碳管改質的半導體元件之環境生命週期評估

6. 奈米物質的毒性評估

- 奈米碳管之毒性評估

7. 活動訊息

- AEROSOL TECHNOLOGY 2014，會議地點：德國卡爾斯魯厄 (Karlsruhe)。
- 第七屆國際奈米毒性研討會 (NANOTOX 2014, 7th International Nanotoxicology Congress)，會議地點：土耳其安塔利亞 (Antalya)

本期全文

1. 奈米科技的法規與政策

● 奈米碳管的工作場所職業暴露限值

日本的單壁奈米碳管融合新材料研究開發機構 (Technology Research Association for Single Wall Carbon Nanotubes, TASC) 及產業技術綜合研究所 (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, AIST) 在 2013 年 10 月共同發表「測量工作場所懸浮奈米碳管的指引」，此指引整理了文獻上奈米碳管 (CNT) 的工作場所職業暴露限值 (Occupational Exposure Limit, OEL)。美國勞工安全衛生研究所 (NIOSH) 在 2013 年提出 CNT 及奈米碳纖維中的元素碳的工作場所建議暴露限值 (Recommended Exposure Limit, REL) 為 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；歐盟執委會 (European Commission) 在 2010 年發表的「回顧工程奈米微粒的健康和環境安全議題」的計畫報告中，提出 CNT 的衍生無效應劑量值 (Derived No-Effect Level, DNEL) 為 $0.7\text{--}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。而日本的新能源產業技術綜合開發機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO) 在 2011 年發表的「工程奈米物質的風險評估：奈米碳管」的計畫報告中，亦提出 CNT 的職業暴露限值为 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (此值为假設工人亞慢性暴露每天 8 小時、每週 5 天為期 15 年)。另外拜耳公司和 Nanocyl 公司也自行訂出多壁奈米碳管的職業暴露限值分別為 50 和 $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

參考文獻：

Guide to measuring airborne carbon nanotubes in workplaces, Technology Research Association for Single Wall Carbon Nanotubes (TASC) and Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Oct. 2013.

● 奈米鎳列為致癌物報告的候選物質

美國國家毒理計畫 (National Toxicology Program, NTP) 於 2013 年 9 月發表一則要求 20 種物質、混合物和暴露情況資訊的聯邦法規通告，其中包含奈米鎳，這些候選物質可能在下期的致癌物報告 (Report on Carcinogens, RoC) 中被列為檢討對象。

NTP 要求的資訊包含：

- (1) 目前的生產、使用模式及人體的暴露數據
- (2) 已發表、研究中或計劃研究的致癌相關資訊
- (3) 評估物質致癌性的重要科學議題

(4) 具有致癌物的專業或知識的科學家

第 12 版致癌物質報告將鎳化合物歸類為「已知的人體致癌物質」，金屬鎳則被歸類在「合理的預期為人體致癌物質」。

資料來源：

<http://nanotech.lawbc.com/2013/09/articles/united-states/federal/nickel-nanoparticles-nominated-for-listing-in-report-on-carcinogens/>

● OECD 成員國提出人造奈米物質安全的建議

OECD 建議其成員國運用目前國內外化學品的法規架構，控管人造奈米物質相關風險。核准這項建議的 OECD 執委會指出這些架構與其他管理系統可能需視人造奈米物質的特性做調整。

人造奈米物質為奈米尺度下顯現出異於同物質的新特性化學微粒。這些新特性可提供新商業用途的可能性，如使用矽奈米結晶體的太陽能電池以獲得更高效能。同時，人造奈米物質對人體和環境亦有潛在風險。例如新人造奈米物質的應用跨足防曬霜及化妝品，因此必須仔細評估與管理其可能對消費者產生的潛在暴露風險。

建議報告提出化學品安全測試 (Safety Testing of Chemicals) 的 OECD 測試指引 (OECD Test Guidelines) 的重要性，結論是很多現有的指引亦適用於奈米物質的安全評估。同時，建議報告也承認部分指引需根據奈米物質的特性進行調整。OECD 將繼續努力以達成此目標。

這份建議報告的一項重要成果為蒐集到的奈米物質安全評估數據，多數將屬於 OECD 化學品評估的相互認可數據 (Mutual Acceptance of Data, MAD) 之範圍。OECD 相互認可數據系統是一項多方協定，允許化學品和化學產品的各種非臨床安全實驗結果，如工業化學品、農藥及現在的奈米物質，於 OECD 及其他會員國間共享，能替政府與化學品製造商每年省下約 1.5 億歐元。

MAD 的範圍延伸至奈米物質，將大幅減少各國間行銷人造奈米物質及含奈米物質產品之非關稅貿易障礙，並可分擔各國檢測、評估市面上奈米物質的工作量。OECD 將於三年內審查此建議報告，評估成員國與合作關係國之執行成效。

資料來源：

<http://www.oecd.org/newsroom/oecd-countries-address-the-safety-of-manufactured-nanomaterials.htm>

● 工程奈米物質在環境健康安全議

題的研究進展報告

美國國家學院(The National Academies)所屬的美國國家科學研究委員會(National Research Council, NRC)在2013年公佈了工程奈米物質在環境健康安全(EHS)議題的研究進展報告(以下簡稱研究進展報告),這份報告根據奈米技術產業的研究成果和變化趨勢,評估目前的研究進展,更新研究優先發展順序,及預估研究資源。研究進展報告延續了2012年出版的工程奈米物質在EHS議題的研究策略報告,提出發展科學和研究基礎的策略方法,用於處理工程奈米物質對EHS造成潛在風險的不確定性。2013年出版的研究進展報告檢視了奈米技術研究的現況、審視市場和法規的狀況及它們對研究優先發展項目的影響,並考量工程奈米物質在EHS議題的研究進展的評估標準。

參考文獻:

National Research Council (NRC) (2013). Research progress on environmental, health, and safety aspects of engineered nanomaterials, *The National Academies*.

● 歐盟提交有關奈米食物標示的建議法規給世界貿易組織

歐盟執委會(European Commission)於2013年9月11日提交一份法規(1169/2011)修訂案給世界貿易組織(World Trade Organization, WTO),其內容為提供存在於食物中的工程奈米物質(engineered nanomaterials, ENMs)之定義資訊給消費者。由於原法規中針對的是ENMs,而非一般的奈米物質,因此自然產生或非故意製造的奈米物質皆不應該包括在法規所定義的奈米物質中,因此在建議的修正法規中表示,「工程奈米物質的定義與故意製造的物質做連絡才是適當的,且需明確的定義」。

建議法規包涵以下的敘述:

1. 列於歐盟法規EU NO. 1129/2011及EU NO. 1130/2011清單中的若干食品添加物能以工程奈米物質的形態添加於食物成品中,但這些食品添加物已被使用數十年,在成分表中冠上"奈米"字樣,會令消費者感到混淆不清。
2. 考慮到消費者對食品添加物帶來的潛在風險抱有疑慮,法規EU NO.1129/ 2011及EU NO.1130/ 2011中,歐盟清單所列作為食品添加物的原物料不應再強制以"奈米"作定性描述,而且不應存在於工程奈米物質的定義下。用於添加物的奈米標示需求,應於評估計劃中再討論。如果有必要,奈米標籤的使用條件可於法規EC NO.1333/ 2008的附件II

中做修正。此外,法規EU NO. 231/ 202115則對添加物的規範有所描述。

3. 因為測定及量化方法的技術發展,且為了確保消費者之健康及安全性,數目濃度的粒徑分佈(非質量分佈)門檻應由原50 % (及粒徑1~100 nm的微粒占總數目的50 %) 應改為1 % 至50 %。

資料來源:

<http://nanotech.lawbc.com/2013/09/articles/international/ec-submits-proposed-nano-food-labeling-regulation-to-wto/>

● 美國環保署建議擬同意登記塗敷奈米銀抗菌殺蟲劑產品

在2013年8月27日,美國環保署(US EPA)擬同意「Nanosilva」登記為塗敷奈米銀抗菌殺蟲劑產品。US EPA指出,Nanosilva是一個銀產品,用在非食物接觸的保存劑以防止塑膠及紡織品(例如:居家用品、電子產品、運動裝備、醫療設備、衛浴燈具及飾品)產生異味或產生污點之細菌、黴菌等。

US EPA表示,評估Nanosilva的奈米銀暴露所得數據顯示,塑膠及紡織品產品會釋放極少量的銀。US EPA也審閱申請者之資訊及科學文獻數據資料來評估奈米銀的危害,根據評估結果,US EPA認為Nanosilva並不會對人(包含孩童)或環境造成不合理的不良危害。US EPA希望申請的公司可以產生收集更多的額外數據做為登記的條件。

資料來源:

<http://nanotech.lawbc.com/2013/08/articles/united-states/federal/epa-announces-proposed-decision-to-register-nanosilver-pesticide-product/>

● 歐盟奈米安全研究群 NanoHouse 計畫探討家庭塗料內奈米微粒產品之生命週期

NanoHouse計畫自2010年1月啟動,執行期間為42個月(至2013年6月止),總預算為310萬歐元。該計畫旨在以生命週期思考模式(Life cycle thinking),推動建築業的奈米物質負責任及永續發展。

在永續發展方面奈米物質可帶給建築業很大的利益。奈米微粒不僅可減緩建材(特別是油漆和塗層)的老化(紫外線照射、機械應力等),並可取代有毒的有機殺菌劑,在空氣淨化、保溫及自淨等也有很好的應用。然而,只有在人類的安全和環境問題獲得解決時,奈米物質在上述經濟領域的發展才可蓬勃成長。就人類長期暴露的問題而言,焦點必須放在人們

住所安全議題之解決與奈米產品的接受度上。由此看來，建築物和民宅就成了關鍵點，因為它們是已開發國家居民的主要環境構成要件。這些議題為 NanoHouse 計畫的重點。

透過不同形式工程奈米微粒(ENPs)的使用，如二氧化矽(silica)(硬化劑，抗反射效果)、氧化鋅(zinc oxide)、二氧化鈦(titanium dioxide)、氧化鈷(antimony oxide)(抗UV)和銀(殺菌劑)，奈米科技已被運用於建材中，包括混凝土、玻璃窗、金屬塗層、防刮痕地板塗料、水泥牆或木製牆面塗料、裝飾塗漆和醫療用抗菌塗層及塑膠製品。

NanoHouse 計畫的主要成果有：(1) 評估 ENPs 使用於住宅材料上的相關風險；(2) 減少 ENPs 之釋放，以改善含有 ENPs 的油漆及塗料在住宅及其他應用之永續性；(3) 考量實際釋放的 ENPs 特殊性，提出一個奈米產品群組通用的風險評估方法來做測試；(4) 藉由提出奈米產品生命週期的具體建議，與首度執行奈米產品的生命週期評估(Life cycle assessment, LCA)，以支持風險評估的相關法規；(5) 參與驗證奈米產品於建築或其他應用方面的釋放測試標準化；(6) 改善目前奈米產品最終處置的技術解決方法；(7) 提供製造商一個具永續、競爭力之創新，及作為奈米風險管理之決策工具；(8) 提升奈米產品的社會接受度。

資料來源：

<http://www.nanohouse.cea.fr>

● 歐盟奈米安全研究群 NEPHH 計畫探討奈米物質造成的環境污染與健康危害

NEPHH(Nanomaterials Related Environmental Pollution and Health Hazards, 奈米物質造成的環境污染與健康危害)是一個中等規模的合作計畫，部分經費源自歐盟執委會，計畫編號為 NMP-2008-1.3.2，旨在探討工程奈米微粒對健康與環境的影響。

NEPHH 計畫旨在辨別及評定高分子奈米複合材料於生命週期中相關活動產生之環境污染及健康危害因子的主要型態，並提出可降低或消除這些影響的方法。NEPHH 計畫的結果將是有效管理與降低風險等必要措施的建立準則，同時也有助於社會大眾認同奈米科技，確保奈米產品的市場安全性及永續性。

計畫的具體目標如下：

1. 在奈米物質的選擇與排序方面，發展有系統及持續性的實務經驗，以評估其對安全、環境、人體健康的影響。
2. 預期現行研究使用的物化採樣方法，本計畫將致力於奈米物質的測試方法與架構的

標準化與驗證。

3. 收集奈米複合材料樣品，包括實驗室和工業用矽基材料。這些標的材料代表一種新穎的材料選擇以填補現行科學研究並為未來研究建立基礎。
4. 為了更了解所選之奈米物質對健康的影響，已建立體外測試方法，以符合奈米科技產品的安全評估法規需求。
5. 根據 ISO 14.040: 2006 與 ISO 14.044: 2006 標準方法，評估標的奈米物質於生命週期間(合成與製造階段)的人類與環境暴露。
6. 評估奈米物質對環境(或透過環境對人體健康)產生破壞的可能性。
7. 選擇與推廣最佳實務(主要為製造與棄置過程)，及利用工人暴露的操作指引，以安全、經濟的方式儘量減少工人暴露的機會。這包括工程奈米物質相關安全議題的知識產生與傳遞，並支持其研究與法規。
8. 促成「負責任奈米科技研究行為準則」，以確保奈米技術的開發安全。此目標與歐盟執委會方向一致，旨在強化支持毒性與生態毒性的合作研究，探討奈米技術對人體和環境的潛在影響。
9. 有助於法規架構的建立使其適用於奈米物質(含化學品、勞工保護、環境法規與產品相關法規等)，並將測試方法與風險評估(危害與暴露)方法兩項重要因素視為法規執行、行政決策、廠商或雇主義務的基礎。

奈米技術為最具發展遠景的科技，它突破了現今巨型分子材料本身結構的極限而限制的持續進展。發展 NEPHH 計畫期間得到的經驗有助於以奈米尺度理解、處理及操控大分子結構/功能，以協助建構奈米物質的毒理學與生態毒理學基礎。

另外，計畫得到的結果也有助於發展一套合宜的生命週期方法來測試奈米物質對人體毒理與生態毒理造成的影響。NEPHH 計畫結果有助於理解奈米物質與分子、細胞與器官間的互動機制，將對歐盟甚至全世界產生巨大影響及附加價值。發展體外試驗法預測人類暴露於奈米物質下的反應，也有助於奈米技術產品的安全評估。

此外，在科學界的潛在影響層面，NEPHH 計畫提供了奈米物質毒理與生態毒理方面有用的量化數據，可作為符合管制需求的基礎。計畫相關數據不僅可填補目前研究文獻的知識缺口，也可為未來的研究立下基礎。因此，NEPHH 計畫在奈米物質於生命週期間的健康與環境評估具實質之進展。

參考文獻：

<http://www.nephh-fp7.eu/>

2. 奈米物質在環境中的傳輸、轉化與宿命

● 典型都市固體廢棄物垃圾掩埋下之單壁奈米碳管傳輸

在消費產品業及研究領域上，單壁奈米碳管(Single-walled carbon nanotubes, SWCNT)及其衍生產品已興起為商業價值及技術性高的工程奈米物質(engineered nanomaterials, ENMs)之一。因為其獨特物化特性而具有分子操控(molecular level manipulation)之能力，使其廣泛運用於多種常見的消費產品，如運動用品(網球拍、腳踏車零件等)、光碟、廚具、濾水器及塑膠製品。當這些產品進入其使用壽命終點時，很可能隨家庭垃圾被棄置於都市固體廢棄物(municipal solid waste, MSW)垃圾掩埋場中，此時奈米物質很可能會由棄置的過程中釋出。生命週期評估(life cycle assessment)研究估計約40%到78%的CNT產品最終會被棄置於MSW垃圾掩埋場。垃圾掩埋場中潛在的SWCNT釋出對於環境之影響不容小覷。SWCNT對於環境的危害衝擊為人熟知，水中有機體攝取(aquatic organismal uptake)及毒性研究已指出SWCNT會降低細菌生存能力(bacterial viability)。目前固體廢棄物環境中的SWCNT傳輸資訊尚有不足，此關鍵性的資料缺口(data gap)尚待縝密評估。

Khan et al. (2013)使用都市垃圾填充的填充床，系統性的評估在垃圾掩埋相關情況下，有機物質種類及濃度對於SWCNT傳輸之影響，個別廢棄物質對於SWCNT沉積之影響亦屬本次評估範圍。以飽和廢棄物充填管柱(saturated waste-containing column)模擬晚期及早期滲出水(leachate)一系列的傳輸實驗結果顯示，SWCNT傳輸於陳腐廢棄物環境十分重要，隨腐植酸濃度(humic acid concentration)降低而降低流動性。乙酸(acetic acid)存在時，SWCNT的流動性會受到抑制，顯示SWCNT於掩埋初期之流動性並不高。SWCNT的傳輸與介質有關，於玻璃介質中表現最佳，而紙類中為最差。本研究首次呈現了廢棄物成分(waste composition)及滲出水如何隨時間影響垃圾掩埋中SWCNT的流動性。

參考文獻：

Khan, I. A., Berge, N. D., Sabo-Attwood, T., Ferguson, P. L., Saleh, N. B. (2013). Single-walled carbon nanotube transport in representative municipal solid waste landfill conditions, *Environ. Sci. Tec.*, 47: 8425–8433.

● 用於鋁/氧化銅的奈米鋁熱之氧化銅奈米圓柱及氧化銅奈米球，燃燒前後產生的毒性與宿命

發展奈米技術的同時，也須量化奈米微粒對環境健康和安(EHS)造成的影響。然而，大部分EHS的研究只評估游離奈米微粒的潛在影響，但可能無法直接適用於奈米產品中奈米微粒的安全性。Kennedy et al. (2013)評估用於改善燃燒效率的氧化銅奈米球對水中生物的毒性影響，並與氧化銅奈米圓柱體的毒性做比較。

Kennedy et al. (2013)在燃燒情況下，對氧化銅微粒在原始粉體形式(as-received form)下與其粉體含有氧化銅/鋁奈米鋁熱的條件下進行測試。結果顯示，氧化銅奈米球在水體中較穩定且只會緩慢地釋放出離子，而高比表面積的氧化銅奈米圓柱體起初會釋放較多的離子，且毒性較高，但通常較不穩定。經燃燒後的奈米銅微粒會燒結形成微米級的團聚微粒，在進入水體後沉積於水體底部且與有機質錯合形成沉澱物，因此降低其生物利用度，所以對遠洋生物的毒性潛力較小。

由於較大的奈米鋁熱殘渣沉降速度快，在水體中的停留時間較短，因此，讓具可釋放出較高濃度的溶解性銅離子之潛力，利用模糊網紋蚤(Ceriodaphnia dubia)進行毒性測試時，可發現其產生的毒性較同材質的奈米圓柱體和奈米球高。這項研究顯示奈米微粒的宿命和毒理學的重要性，與使用中的應用程序有關。

Kennedy et al. (2013)的研究提供了進一步證據顯示，金屬奈米微粒產生的生物毒性比相關離子低。而其殘渣基本上不太穩定，且尺寸較大，在水體中的停留時間較短，燃燒後可釋放更多的溶解銅離子。而殘餘物懸浮液中含有較高的離子成分，使得它具較高毒性。儘管如此，大部分的殘留物質的粒徑都是比較大的，所以可預期其移動性較低。

參考文獻：

Kennedy, A. J., Melby, N. L., Moser, R. D., Bednar, A. J., Son, S. F., Lounds, C. D., Laird, J. G., Nellums, R. R., Johnson, D. R., Steevens, J. A. (2013). Fate and toxicity of CuO nanospheres and nanorods used in Al/CuO nanothermites before and after combustion, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 11258–11267.

3. 奈米微粒的量測方法

● ISO/TS 11937:2012 奈米級二氧化鈦粉體的特性分析與量測

二氧化鈦具有散射可見光的能力，已被廣

泛用於白色顏料、油漆、塑料、印刷油墨和其他產品中。近年來，奈米二氧化鈦不只當作白色顏料，更可使用在如防曬乳或催化劑中以提高散射光的能力。有鑑於此，該研究認為有必要更嚴謹的定義能提供不同功能的奈米材料之特性。該規範提供了評估銳鈦礦與金紅石二氧化鈦的質量分率的方法，以及四個常用量測表示奈米材料特性的關鍵參數(晶體結構、平均晶體粒徑、平均原始微粒粒徑以及比表面積)的方法。

大多數的奈米二氧化鈦是經由硫酸法、氯化法或溶膠凝膠法合成，所合成的奈米二氧化鈦的晶體結構幾乎都是金紅石和銳鈦礦。因此，板鈦礦和非結晶型式的奈米二氧化鈦將不包括在此技術規範中。

一般而言，某些奈米二氧化鈦產品由二氧化矽或是三氧化二鋁所披覆以使用在特殊應用上；或者為了其他特殊用途，有些奈米二氧化鈦產品也可能會在其晶體中參雜另一種金屬。因此，買、賣方和執法機構都應該清楚的知道二氧化鈦是否含有任何披覆材料。本規範指定的 X 光繞射(XRD)與電子穿透式顯微鏡(TEM)將會分別用於量測晶體尺寸與原始微粒尺寸/形貌，BET 方法用於量測比表面積。

隨著奈米技術發展不斷推陳出新，因此，本規範的使用者應注意法律規定及環境健康與安全相關的最新進展。本文件的使用者責任包括以下內容：賣方有義務提供買方法律所規定的環境健康與安全資訊。如果買、賣方希望評估材料的環境、安全或健康風險，可參照 ISO/TR 12885:2008 當作進一步的指引。本文件可由 ISO 或是其他標準組織發展出的應用上的特別標準參照使用。

參考文獻：

ISO/TS 11937 (2012) Nanotechnologies — Nanoscale titanium dioxide in powder form — Characteristics and measurement.

4. 奈米物質的應用

● 奈米銀微粒在環境與模型表面的吸附作用

工程無機奈米微粒(Engineered inorganic nanoparticles, EINPs)因具有獨特的抗菌性、電性、光學性及結構強度，在應用層面極具潛力。EINPs 一般係指至少有一維度之長度介於 1-100 nm 的微粒，這特點使得 EINPs 展現出不同於其他具有相同化學組成之塊材的特性。另外，亦有研究指出奈米銀微粒(nAg)具有抗菌性，因而被廣泛應用於布料、塗料、個人保養品、濾水器等產品。

不過，工程奈米微粒在環境系統中的宿命受制於膠體穩定性的變化及其與不同環境表面的交互作用。等溫吸附曲線(sorption isotherms)是探討吸附物與吸附劑間的交互作用的有用方法，在準平衡(quasi-equilibrium)狀態下，根據等溫吸附曲線，所得的奈米微粒的表面交互作用尚待研究。Abrabam et al. (2013)測試工程奈米銀微粒(nAg)具有從穩定及不穩定的懸浮物吸附至擁有特殊化學官能基的受體及環境表面(如葉子及沙粒)的情況，是否可使用傳統的等溫吸附曲線描述。該研究利用原子力顯微鏡(Atomic force microscopy, AFM)及掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscopy, SEM)進行定性及定量的分析，以評估覆蓋的表面(covered surfaces)之型態及奈米機械參數(nanomechanical parameters)。

研究結果顯示，穩定懸浮中的奈米銀微粒的吸附呈非線性關係，且可用 Langmuir 等溫吸附模式解釋。此外，Abrabam et al. (2013)亦發現 Langmuir 係數會因吸附劑的表面化學性質而改變。對於非穩定懸浮液中的奈米銀微粒的吸附，等溫吸附曲線不遵循任何傳統的吸附模式，這結果說明了團聚與吸附互有關聯。另外，Langmuir 等溫吸附曲線的有效性顯示該吸附作用為單層吸附，此情況可由個別奈米微粒間的靜電排斥作用造成的阻擋效果(blocking effect)來解釋。在非穩定懸浮物方面，懸浮微粒則可能發生三種現象：先團聚後吸附、直接吸附或是兩種情況同時發生。

Abrabam et al. (2013)的研究結果有助於瞭解在準平衡狀態的等溫吸附曲線下，及穩定懸浮液中微粒與表面的交互作用，有助於評估環境中穩態懸浮奈米微粒的宿命。為了能對 EINPs 在環境系統的宿命有更多的了解，Abrabam et al. (2013)認為須研究更多塗敷不同材質的奈米微粒在穩定與不穩定懸浮液狀態下的交互作用。

參考文獻：

Abraham P. M., Barnikol S., Baumann T., Kuehn M., Ivleva N. P., Schaumann G. E. (2013). Sorption of Silver Nanoparticles to Environmental and Model Surfaces, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 5083-5091.

● TiO₂-聚丙烯腈奈米纖維在煙道氣體的同步脫硫及脫氮的光催化製程

Su et al. (2013) 經由靜電紡絲耦合和水熱法成功地將 TiO₂ 奈米微粒製造在靜電紡絲聚丙烯腈(PAN)奈米纖維上，TiO₂-PAN 光觸媒的

直接的光催化氧化程序可同時進行煙道氣體的脫硫及脫氮。

此研究結果顯示，在最佳實驗條件下：鈦負載量—6.78 At % (原子百分比)，氣體流量—200 mL/min，煙道氣體濕度—5 %，進口煙道氣體溫度—40 °C，SO₂ 去除效率可達 99.3 %，NO 去除效率可達 71.2 %。此研究並提出了以 TiO₂-PAN 光觸媒在紫外光下去除 SO₂ 和 NO 的可能反應機制。

參考文獻：

Su, C., Ran, X., Hu, J., Shao, C. (2013). Photocatalytic process of simultaneous desulfurization and denitrification of flue Gas by TiO₂-Polyacrylonitrile nanofibers, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 11562-11568.

5. 奈米物質的生命週期評估

● 奈米纖維素之生命週期評估

奈米纖維素具有許多優良的性質及廣泛的應用潛力，是一種新興且具潛力的材料。由於可利用奈米纖維素製造獨特且具功能性的材料，商業化的試驗性規模(pilot-scale)實驗已經開始，為了解其環境衝擊，包括奈米纖維素的總生命週期，成為長期永續發展的基礎。Li et al. (2013)的研究當中，採用生態指標 99 方法(Eco-Indicator 99 method)，以搖籃到墳墓的生命週期評估方式，來進行 4 種比較性的實驗規模奈米纖維製造流程評估。結果指出，針對化學-機械製作流程而言，大部分奈米纖維素合成所造成的環境衝擊，是由化學改質與所選擇的機械處理流程所決定。

以超聲波處理來說，化學改質法較機械處理顯得失色。單位質量生產最佳的作法是先將四甲基哌啶氧化物(2,2,6,6-tetramethylpiperidine-1-oxyl (TEMPO))氧化再均質化，因 TEMPO 氧化相對於羧甲基化反應(carboxymethylation)所產生的衝擊比較小，即使奈米纖維素的合成過程中相對於原始物質萃取過程(硫酸鹽法製漿 kraft pulping)，呈現較大的環境碳足跡，但是 TEMPO 之氧化物比其他奈米材料如奈米碳管，仍具環境優勢。此研究模擬奈米纖維素生產之「搖籃到墳墓生命週期評估」，利用總累積能量需求、全球暖化潛力與生態指標 99 衝擊評估等方法，評估 4 種製作流程(此流程由 2 種可互換的化學與機械方法組合而成)，將所得之環境影響量化並互相比較。本次生命週期評估的結果同時進行硫酸鹽法製漿流程與單壁奈米碳管合成方法之比較。

參考文獻：

Li Q., McGinnis S., Sydnor C., Wong A., Rennecker S.(2013).Nanocellulose Life Cycle Assessment, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 11: 919-928.

● 由奈米碳管改質的半導體元件之環境生命週期評估

奈米碳管(CNT)為奈米大小圓柱狀之石墨同素異形體，常使用於電子元件的研究、發展及製造，在半導體產業中之應用尤其廣泛，常作為記憶體元件、互連、電晶體元件。然而文獻指出許多 CNT 對健康影響、化學反應、生態影響、環境宿命(environmental fate)及傳輸的變異性及不確定性。在 CNT 潛在風險為前提下考量 CNT 的廣泛技術潛力，應於發展過程中評估 CNT 產品之環境影響 (environmental implication)，以辨識及控制於產品的每一生命週期階段可能發生的潛在風險。

Dahlben et al. (2013)研究評估 CNT 開關 (switch)於手機快閃記憶體(flash memory)方面的潛在應用，利用生命週期評估(Life cycle assessment, LCA)方法在其製造(fabrication)、預期使用(expected use)及使用壽命終點(end-of-life, EOL)階段，追蹤非揮發性雙穩態(bistable electromechanical)電子機械 CNT 開關對環境之影響。評估結果涵蓋環境影響分類(environmental impact categories)，包括懸浮無機物、土地利用及石化燃料，其中煉金過程(gold refining process)及發電具有最大貢獻。儘管 CNT 可能於目前 EOL 期間釋放，使用及 EOL 階段的初步預測結果顯示，CNT 開關有助於減少使用階段產生之環境負擔。

參考文獻：

Dahlben, L. J., Eckelman, M. J., Hakimian, A., Somu, S., Isaacs, J. A. (2013). Environmental life cycle assessment of a carbon nanotube-enabled semiconductor device, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 8471-8478.

6. 奈米物質的毒性評估

● 奈米碳管的毒性評估

在 2013 年 10 月於日本舉辦的第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會上，奈米碳管的毒性仍為世界各國研究的重點。Kanno et al. (2013)指出，部份多壁奈米碳管的長度為 10-20 μm，在含有 p53 異質基因(heterozygous)的小鼠身上使用腹腔注射法時，會產生劑量-反應關係的間皮瘤病變；從低劑量和使用分散性良好的樣本的研究結果發現，非肉芽腫的慢性發炎微損傷主要與不尋常的間皮滋生的誘發有關，在不同的器官包括腎小球和眼球脈絡叢

也會發現單纖維碳管的存在，此似乎與吞噬細胞會吞噬次微米的團粒並將它們帶到網狀內皮系統有關，這樣的全身性和網狀內皮系統的轉移產生的毒性並不清楚，仍待進一步研究。一般來說，利用急性動物模式進行生物持久性的奈米微粒研究，並不是一個好的慢性毒性預測模式，該研究表示應該以研究慢性反應的病理。Oberdörster (2013)亦指出儘管多壁奈米碳管(MWCNT)的三個月亞慢性多重劑量的小鼠吸入性研究的結果並未顯示出致癌性，但是非生理性的高劑量大量注射實驗仍會產生小鼠的發炎、肉芽腫及間皮瘤，因而引起纖維狀奈米物質會產生類似石棉之長期毒性和致癌性之疑慮。進一步被吸入奈米碳管轉移到胸腔組織和其他肺部外的定量研究證據獲得證實，因而該研究呼籲需要進行長期慢性吸入毒性研究。儘管目前缺少長期的吸入毒性測試結果，Oberdörster 發現纖維狀奈米碳微粒的三個月亞慢性吸入性的研究結果，可用於驗證以正負控制物質為基礎的奈米物質比較性風險評估法(comparative risk assessment method)。此方法使用全暴露-劑量-反應關係，利用不同的測量尺度找出危害並將之分級，分析風險以推導出職業暴露限值。

一般奈米物質呈現團粒或團聚狀，如 Mitsui 公司生產多壁奈米碳管產品 MWNT-7，為一種分散良好的單纖維(佔質量 5%)和團粒(佔質量 95%)的混合物，在老鼠內注入此 MWCNT 混合物會以團粒方式在肺部細支氣管中誘發發炎損害。然而對於人類而言，到達肺泡的單一分散纖維所誘導的肺部毒性為一個重要的研究課題，因此吸入毒性研究需要一個不會改變長度及直徑的單纖維的氣膠產生方法。

Taquahashi et al. 提出一個乾式單纖維 MWCNT 分散方法，能有效去除團粒，不必使用分散劑，並可維持纖維長度及直徑。這方法有兩個主要概念：細微粒的液相過濾，及利用表面張力避免再團聚的臨界點乾燥方法。將 MWNT-7 懸浮在三丁醇中冷凍與解凍後，藉由震盪 25 μm 金屬篩網過濾，再以液態氮快速冷凍，最後再真空昇華。Taquahashi et al. 利用此方法發展出一個能夠在吸入腔中產生良好分散氣膠的新直接注入系統，且可在暴露在氣膠的老鼠的肺部中發現和原始及 Taquann 處理過的樣品具有相似長度分布的單一纖維。Taquann 方法利用在生物實驗室中容易取得的低價材料及設備，製備出良好分散的乾式氣膠。此方法和具有直接注入系統的暴露腔，將有助於人體暴露更相關的吸入毒性研究的進行。

Kanno et al. 和 Oberdörster 的論點支持了 Nel et al. (2013) 所建立的平台，此平台用於探討發生在奈米/生物交界面的可能地無數生物、物理化學交互作用，體內實驗的結果用於驗證和改善體外的高通量篩選(high-throughput screening, HTS)技術，並藉由體內和體外試驗的適當組合，建立結構-活性反應(structure-activity relationships, SARs)關係，使危害分級和模擬成為可能之方法。

參考文獻：

1. Kanno et al. (2013). Nanotoxicology-its chronic aspects, Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.
2. Nel et al. (2013). Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: Use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening, *Acc. Chem. Res.*, 46, 607-621.
3. Oberdörster, G. (2013). Comparative risk assessment of airborne nanomaterials: Analyzing exposure-does-response relationships, Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.
4. Taquahashi et al. (2013). An improved dispersion method of multi-wall carbon nanotube for inhalation toxicity studies of experimental animals, *J. Toxicol. Sci.*, 38: 619-618.

7. 活動訊息

- 第七屆國際奈米毒性研討會 (NANOTOX 2014, 7th International Nanotoxicology Congress)
活動時間：2014/04/23 ~ 2014/04/26
會議地點：土耳其安塔利亞(Antalya)
網址：
<http://www.nanotox2014.org/index.html>
- AEROSOL TECHNOLOGY 2014
活動時間：2014/06/16 ~ 2014/06/18
會議地點：德國卡爾斯魯厄(Karlsruhe)
主辦單位：Gesellschaft für Aerosolforschung (GAeF)
網址：<http://www.gaef.de/AT2014>

附錄五 英文版網站收錄國內學者發表 SCI 論文的學者清單(共 62 位)

專家	任職單位
楊重熙	國家衛生研究院奈米醫學研究中心
黃東明	國家衛生研究院奈米醫學研究中心
陳仁焜	國家衛生研究院奈米醫學研究中心
林嬪嬪	國家衛生研究院環境衛生與職業醫學研究組
劉紹興	國家衛生研究院環境衛生與職業醫學研究組
陳春萬	勞工安全衛生研究所
吳鴻鈞	勞工安全衛生研究所
汪禧年	勞工安全衛生研究所
蔡春進	交通大學環境工程研究所
白曠綾	交通大學環境工程研究所
林志高	交通大學環境工程研究所
黃志彬	交通大學環境工程研究所
張淑閩	交通大學環境工程研究所
袁如馨	交通大學水環境研究中心
黃國華	交通大學材料科學與工程學系
施養信	台灣大學農業化學系
陳志傑	台灣大學職業醫學與工業衛生研究所
鄭尊仁	台灣大學職業醫學與工業衛生研究所
吳先琪	台灣大學環境工程學研究所
李國賓	清華大學動力機械工程學系
凌永健	清華大學化學系
董瑞安	清華大學生醫工程與環境科學系
黃鈺軫	清華大學生醫工程與環境科學系
秦靜如	中央大學環境工程研究所
盧重興	中興大學環境工程學系
張書奇	中興大學環境工程學系
樓基中	中山大學環境工程研究所
楊金鍾	中山大學環境工程研究所
余國賓	陽明大學環境與職業衛生研究所
王鴻博	成功大學環境工程學系
連興隆	高雄大學土木與環境工程學系
吳忠信	高雄應用科技大學化學工程與材料工程系

林怡利	高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系
顧 洋	台灣科技大學化學工程系
王建文	中華醫事科技大學環境與安全衛生工程系
林錕松	元智大學化學工程與材料科學學系
曾惠馨	中山醫學大學職業安全衛生學系
侯嘉洪	東海大學環境科學與工程學系
張瓊芬	東海大學環境科學與工程學系
蔡勇斌	暨南國際大學土木工程學系
謝哲隆	宜蘭大學環境工程學系
張章堂	宜蘭大學環境工程學系
鄭文伯	聯合大學環境與安全衛生工程學系
官文惠	明志科技大學環境與安全衛生工程系
劉宗宏	明志科技大學化學工程系
吳紹榮	明志科技大學化學工程系
江金龍	弘光科技大學環境工程研究所
方國權	弘光科技大學環境與安全衛生工程系
范煥榮	弘光科技大學環境與安全衛生工程系
蘇弘毅	弘光科技大學環境與安全衛生工程系
張明琴	弘光科技大學環境與安全衛生工程系
黃政雄	元培科技大學健康學院環境工程衛生系
陳瑞仁	屏東科技大學環境工程與科學系
黃武章	屏東科技大學環境工程與科學系
王文裕	朝陽科技大學環境工程與管理系
莊連春	萬能科技大學環境工程系
李中光	萬能科技大學環境工程系
郭昭吟	雲林科技大學環境與安全衛生工程系
余光昌	嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所
蔡瀛逸	嘉南藥理科技大學環境工程與科學系
盧明俊	嘉南藥理科技大學環境資源管理系
洪彰懋	永達技術學院機械工程系

附錄六 英文版網站以國內學者的英文姓名縮寫搜尋出版文獻的搜尋結果範例

國立交通大學環境工程研究所 蔡春進教授(Tsai CJ)，計 29 篇

1. Aliat, A., **Tsai, C. J.**, Hung C. T., Wu, J. S. (2008). Effect of free electrons on nanoparticle charging in a negative direct current corona charger, *Appl. Phys. Lett.*, 93: 154103.
2. **Tsai, C. J.**, Chen, S. C., Chen, H. L., Chein, H. M., Wu, C. H., Chen, T. M. (2008). Study of a nanoparticle charger containing multiple discharging wires in a tube, *Sep. Sci. Technol.*, 43: 3476–3493.
3. Aliat, A., Hung C. T., **Tsai, C. J.**, Wu, J. S. (2009). Implementation of Fuchs' model of ion diffusion charging of nanoparticles considering the electron contribution in DC–corona chargers in high charge densities, *J. Phys. D Appl. Phys.*, 42: 125206.
4. **Tsai, C. J.**, Pui, D. Y. H. (2009). Editorial: Recent advances and new challenges of occupational and environmental health of nanotechnology, *J. Nanopart. Res.*, 11:1–4.
5. **Tsai, C. J.**, Wu, C. H., Leu, M. L., Chen, S. C., Huang, C. Y., Tsai, P. J., Ko, F. H. (2009). Dustiness test of nanopowders using a standard rotating drum with a modified sampling train, *J. Nanopart. Res.*, 11: 121–131.
6. Chen, S. C., **Tsai, C. J.**, Chou, C. C. K., Roam, G. D., Cheng, S. S., Wang, Y. N. (2010). Ultrafine particles at three different sampling locations in Taiwan, *Atmos. Environ.*, 44: 530–540.
7. Chen, S. C., **Tsai, C. J.**, Huang, C. Y., Chen, H. D., Chen, S. J., Lin, C. C., Tsai, J. H., Chou, C. C. K., Lung, S. C. C., Huang, W. R., Roam, G. D., Wu, W. Y., Smolik, J., Dzumbova, L. (2010). Chemical mass closure and chemical characteristics of ambient ultrafine particles and other PM fractions, *Aerosol Sci. Technol.*, 44: 713–723.
8. Huang, C. H., Tai, C. Y., Huang, C. Y., **Tsai, C. J.**, Chen, C. W., Chang, C. P., Shih, T. S. (2010). Measurements of respirable dust and nanoparticle concentrations in a titanium dioxide pigment production factory, *J. Environ. Sci. Heal. A*, 45: 1227–1233.
9. Lin, G. Y., **Tsai, C. J.** (2010). Numerical modeling of nanoparticle collection efficiency of single–stage wire–in–plate electrostatic precipitators, *Aerosol Sci. Technol.*, 44: 1122–1130.
10. Lin, G. Y., **Tsai, C. J.**, Chen, S. C., Chen, T. M., Li, S. N. (2010). An efficient single–stage wet electrostatic precipitator for fine and nanosized particle control, *Aerosol Sci. Technol.*, 44:38–45.
11. **Tsai, C. J.**, Lin, G. Y., Chen, H. L., Huang, C. H., Alonso, M. (2010). Enhancement of extrinsic charging efficiency of nanoparticle charger with multiple discharging wires, *Aerosol Sci. Technol.*, 44: 807–816.
12. Zhu, C. S., Chen, C. C., Cao, J. J., **Tsai, C. J.**, Chou, C. C. K., Liu, S. C., Roam, G. D. (2010). Characterization of carbon fractions for atmospheric fine particles and nanoparticles in a highway tunnel, *Atmos. Environ.*, 44: 2668–2673.
13. Chen, S. C., **Tsai, C. J.**, Chen, H. D., Huang, C. Y., Roam, G. D. (2011). The influence of relative humidity on nanoparticle concentration and particle mass distribution measurements by the MOUDI, *Aerosol Sci. Technol.*, 45: 596–603.
14. Chien, C. L., **Tsai, C. J.**, Chen, H. L., Lin, G. Y., Wu, J. S. (2011). Modeling and validation of nanoparticle charging efficiency of a single–wire corona unipolar charger, *Aerosol Sci. Technol.*, 45: 1468–1479.
15. **Tsai, C. J.**, Huang, C. Y., Chen, S. C., Ho, C. E., Huang, C. H., Chen, C. W., Chang, C. P., Tsai, C. S. J., Ellenbecker, M. J. (2011). Exposure assessment of nano–sized and respirable particles at different workplaces, *J. Nanopart. Res.*, 13: 4161–4172.
16. **Tsai, C. J.**, Huang, C. Y., Chen, S. C., Ho, C. E., Huang, C. H., Chen, C. W., Chang, C. P., Tsai, C. S. J., Ellenbecker, M. J. (2011). Exposure assessment of nano–sized and respirable particles at different workplaces, 2011 Workshop on Health and Safety Aspects of working with Engineered Nanoparticles, 1: 181–196.
17. Gugamsetty, B., Wei, H., Liu, C. N., Awasthi, A., Hsu, S. C., **Tsai, C. J.**, Roam, G. D., Wu, Y. C., Chen, C. F. (2012). Source characterization and apportionment of PM10, PM2.5, PM0.1 using positive matrix factorization, *Aerosol Air Qual. Res.*, 12: 472–491.
18. Gugamsetty, B., Wei, H., Liu, C. N., Awasthi, A., **Tsai, C. J.** (2012). Source apportionment of PM10, PM2.5 and PM0.1 by positive matrix, *The 9th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology*, 1: 1–8.
19. Hsu, S. C., Huh, C. A., Lin, C. Y., Chen, W. N., Mahowald, N. M., Liu, S. C., Chou, C. C. K., Liang, M. C., **Tsai, C. J.**, Lin, F. J., Chen, J. P., Huang, Y. T. (2012). Dust transport from non–East Asian

- sources to the north Pacific, *Geophysical Research Letters*, 39: L12804.
20. Lin, G. Y., Chen, T. M., **Tsai, C. J.** (2012). A modified Deutsch–Anderson equation for predicting nanoparticle efficiency by electrostatic precipitators, *Aerosol Air Qual. Res.*, 12: 697–706.
 21. **Tsai, C. J.**, Liu, C. N., Hung, S. M., Chen, S. C., Uang, S. N., Cheng, Y. S., Zhou, Y. (2012). Novel active personal nanoparticle sampler (PENS) for the exposure assessment of nanoparticles in workplaces, *Environ. Sci. Technol.*, 46: 4546–4552.
 22. **Tsai, C. J.**, Lin, G. Y., Liu, C. N., He, C. E., Chen, C. W. (2012). Characteristic of nanoparticles generated from different nanopowders by using different dispersion methods, *J. Nanopart. Res.*, 14: 777.
 23. **Tsai, C. J.**, White, D., Rodriguez, H., Munoz, C. E., Huang, C. Y., Tsai, C. J., Barry, C., Ellenbecker, M. J. (2012). Exposure assessment and engineering control strategies for airborne nanoparticles: An application to emissions from nanocomposite compounding processes, *J. Nanopart. Res.*, 14: 989.
 24. Zhu, C. S., **Tsai, C. J.**, Chen, S. C., Cao, J. J., Roam, G. D. (2012). Positive sampling artifacts of organic carbon fractions for fine particles and nanoparticles in a tunnel environment, *Atmos. Environ.*, 54: 225–230.
 25. Chien, C. L., **Tsai, C. J.** (2013). Improvement of the nanoparticle charging efficiency of a single-wire corona unipolar charger by using radial sheath air flow: numerical study, *Aerosol Sci. Technol.*, 47: 417–426.
 26. Liu, C. N., Awasthi, A., Hung, Y. H., Gugamsetty, B., **Tsai, C. J.**, Wu, Y. C., Chen, C. F. (2013). Differences in PM2.5 concentrations between the beta attenuation monitor (BAM) and dichotomous sampler, *Atmos. Environ.*, 75: 314–347.
 27. Liu, C. N., Awasthi, A., **Tsai, C. J.** (2013). Collection efficiency and interstage loss of nanoparticles in micro-orifice-based cascade impactors, *Atmos. Environ.*, 69: 325–333.
 28. Lin, G. Y., Cuc, L. T., Lu, W., **Tsai, C. J.**, Chein, H. M., Chang, F. T. (2013). High-efficiency wet electrocyclone for removing fine and nanosized particles, *Separ. Purif. Technol.*, 114: 99–107.
 29. Young, L. H., Lin, Y. H., Lin, T. H., Tsai, P. J., Wang, Y. F., Hung, S. M., **Tsai, C. J.**, Chen, C. W. (2013). Field application of a newly developed personal nanoparticle sampler to selected metalworking operations, *Aerosol Air Qual. Res.*, 13: 849–861.

國立高雄大學土木與環境工程學系 連興隆教授(Lien HL)，計 17 篇

1. Zhang, W. X., Wang, C.B., **Lien, H. L.** (1998). Treatment of chlorinated organic contaminants with nanoscale bimetallic particles, *Catal. Today*, 40: 387–395.
2. **Lien, H. L.**, Zhang, W. X. (1999). Transformation of chlorinated methanes by nanoscale iron particles, *J. Environ. Eng.*, 125: 1042–1047.
3. **Lien, H. L.**, Zhang, W. X. (2001). Nanoscale iron particles for complete reduction of chlorinated ethenes, *Colloid. Surface. A.*, 191: 97–105.
4. **Lien, H. L.**, Wilkin, R. T. (2004). High-level arsenite removal from groundwater by zero-valent iron, *Chemosphere*, 59: 377–386.
5. **Lien, H. L.** (2005). Transformation of chlorinated methanes by zero-valent aluminum coupled with Pd/Al₂O₃, *Environ. Technol.*, 26: 663–672.
6. **Lien, H. L.**, Zhang, W. X. (2005). Hydrodechlorination of chlorinated ethanes by nanoscale Pd/Fe bimetallic particles, *J. Environ. Eng.*, 131: 4–10.
7. **Lien, H. L.** (2006). Oxidative and reductive degradation of mixed contaminants by bifunctional aluminum, *Pract. Period. Hazard. Toxic Radioact. Waste Manage.*, 10: 41–45.
8. **Lien, H. L.**, Jhuo, Y. S., Chen, L. H. (2006). Effect of heavy metals on dechlorination of carbon tetrachloride by iron nanoparticles, *Environ. Eng. Sci.*, 24: 21–30.
9. Yuan, C., **Lien, H. L.** (2006). Removal of arsenate from aqueous solution using nanoscale iron particles, *Water Qual. Res. J. Can.*, 41: 210–215.
10. **Lien, H. L.**, Jhuo, Y. S., Chen, L. H. (2007). Effect of heavy metals on dechlorination of carbon tetrachloride by iron nanoparticles, *Environ. Eng. Sci.*, 24: 21–30.
11. **Lien, H. L.**, Zhang, W. X. (2007). Nanoscale Pd/Fe bimetallic particles: Catalytic effects of palladium on hydrodechlorination, *Appl. Catal. B–Environ.*, 77: 110–116.
12. Wei, Y. T., Wu, S. C., Chou, C. M., Che, C. H., Tsai, S. M., **Lien, H. L.** (2010). Influence of nanoscale zero-valent iron on geochemical properties of groundwater and vinyl chloride degradation: A field case study, *Water Res.*, 44: 131–140.
13. Chou, C. M., **Lien, H. L.** (2011). Dendrimer-conjugated magnetic nanoparticles for removal of zinc (II) from aqueous solutions, *J. Nanopart. Res.*, 13: 2099–2107.
14. Huang, C. C., Lo, S. L., Tsai, S. M., **Lien, H. L.** (2011). Catalytic hydrodechlorination of

- 1,2-dichloroethane using copper nanoparticles under reduction conditions of sodium borohydride, *J. Environ. Monitor.*, 13: 2406–2412.
15. Wei, Y. T., Wu, S. C., Yang, S. W., Che, C. H., **Lien, H. L.**, Huang, D. H. (2012). Biodegradable surfactant stabilized nanoscale zero-valent iron for in situ treatment of vinyl chloride and 1,2-dichloroethane, *J. Hazard. Mater.*, 211: 373–380.
 16. Fang, H. C., Hsu, K. N., Lin, C. C., **Lien, H. L.** (2013). Sulfide removal from anaerobically digested biogas by activated carbon supported nanoscale zero-valent iron, *The 10th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology*, 1.
 17. Lin, T. L., **Lien, H. L.** (2013). Effective and selective recovery of precious metals by thiourea modified magnetic nanoparticles, *Int. J. Mol. Sci.*, 14: 9834–9847.

國立交通大學 環境工程研究所 白曠綾教授(Bai HL)，計 11 篇

1. Chen, C. C., **Bai, H. L.**, Chang, C. L. (2007). Effect of plasma processing gas composition on the nitrogen-doping status and visible light photocatalysis of TiO₂, *J. Phys. Chem. C.*, 111: 15228–15235.
2. Chen, C. C., **Bai, H. L.**, Chang, S. M., Chang, C. L., Den, W. (2007). Preparation of N-doped TiO₂ photocatalyst by atmospheric pressure plasma process for VOCs decomposition under UV and visible light sources, *J. Nanopart. Res.*, 9: 365–375.
3. Lu, C. S., **Bai, H. L.**, Wu, B. L., Su, F. S., Hwang, J. F. (2008). Comparative study of CO₂ capture by carbon nanotubes, activated carbons, and zeolites, *Energ. Fuel.*, 22: 3050–3056.
4. Hung, C. T., **Bai, H. L.**, Karthik, M. (2009). Ordered mesoporous silica particles and Si-MCM-41 for the adsorption of acetone: A comparative study, *Sep. Purif. Technol.*, 64: 265–272.
5. Karthik, M., Lin, L. Y., **Bai, H. L.** (2009). Bifunctional mesoporous Cu-Al-MCM-41 materials for the simultaneous catalytic abatement of NO_x and VOCs, *Micropor. Mesopor. Mat.*, 117: 153–160.
6. Lu, C. S., Su, F. S., Hsu, S. C., Chen, W. F., **Bai, H. L.**, Hwang, J. F., Lee, H. H. (2009). Thermodynamics and regeneration of CO₂ adsorption on mesoporous spherical-silica particles, *Fuel Process. Technol.*, 90: 1543–1549.
7. Su, F. S., Lu, C. S., Chen, W. F., **Bai, H. L.**, Hwang, J. F. (2009). Capture of CO₂ from flue gas via multiwalled carbon nanotubes, *Sci. Total Environ.*, 407: 3017–3023.
8. Lin, L. Y., **Bai, H. L.** (2010). Continuous generation of mesoporous silica particles via the use of sodium metasilicate precursor and their potential for CO₂ capture, *Micropor. Mesopor. Mat.*, 136: 25–32.
9. Wang, C. Y., **Bai, H. L.** (2010). Aerosol processing of mesoporous silica supported bimetallic catalysts for low temperature acetone oxidation, *Catal. Today*, 171: 70–78.
10. Li, C. C., Lin, L. Y., **Bai, H. L.** (2011). Recovery of photonic waste powder for the production of nano-porous silica material and the application of CO₂ capture, *The 8th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology in Taiwan*, 1: 119–122.
11. Lin, L. Y., **Bai, H. L.** (2013). Mesostructured silicas derived from opto-electronic industrial waste powder and their application for CO₂ capture, *The 10th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology*, 1.

國立宜蘭大學環境工程學系 張章堂教授(Chang CT)，計 2 篇

1. Chang, S. M., Lo, P. H., **Chang, C. T.** (2009). Photocatalytic behavior of TOPO-capped TiO₂ nanocrystals for degradation of endocrine disrupting chemicals, *Appl. Catal. B-Environ.*, 91: 619–627.
2. Shie, J. L., Lee, C. H., Chiou, C. S., **Chang, C. T.**, Chang, C. C., Chang, C. Y. (2008). Photodegradation kinetics of formaldehyde using light sources of UVA, UVC and UVLED in the presence of composed silver titanium oxide photocatalyst, *J. Hazard. Mater.*, 155: 164–172.

國立交通大學 環境工程研究所 張淑閔副教授(Chang SM)，計 7 篇

1. Doong, R. A., Chen, C. H., Maithreepala, R. A., **Chang, S. M.** (2001). The influence of pH and cadmium sulfide on the photocatalytic degradation of 2-chlorophenol in titanium dioxide suspensions, *Water Res.*, 35: 2873–2880.
2. Chen, C. C., Bai, H. L., **Chang, S. M.**, Chang, C. L., Den, W. (2007). Preparation of N-doped TiO₂ photocatalyst by atmospheric pressure plasma process for VOCs decomposition under UV and visible light sources, *J. Nanopart. Res.*, 9: 365–375.
3. Huang, C. P., Hsieh, W. P., Pan, J. R., **Chang, S. M.** (2007). Characteristic of an innovative

- TiO₂/Fe-0 composite for treatment of azo dye, *Sep. Purif. Technol.*, 58: 152–158.
4. **Chang, S. M.**, Lo, P. H., Chang, C.T. (2009). Photocatalytic behavior of TOPO-capped TiO₂ nanocrystals for degradation of endocrine disrupting chemicals, *Appl. Catal. B-Environ.*, 91: 619–627.
 5. **Chang, S. M.**, Hsu, Y. Y., Chan, T. S. (2011). Chemical capture of phosphine by a sol-gel-derived Cu/TiO₂ adsorbent - interaction mechanisms, *J. Phys. Chem. C.*, 115: 2005–2013.
 6. **Chang, S. M.**, Liu, W. S. (2011). Surface doping is more beneficial than bulk doping to the photocatalytic activity of vanadium-doped TiO₂, *Appl. Catal. B-Environ.*, 101: 333–342.
 7. Doong, R. A., Tsai, C. W., **Chang, S. M.** (2013) Enhanced photoactivity of Cu-deposited titanate nanotubes for removal of bisphenol A, *Appl. Catal. B-Environ.*, 129: 48–55.

國立台灣大學公共衛生學院職業醫學與工業衛生研究所 陳志傑教授(Chen CC)，計 12 篇

1. **Chen, C. C.**, Fan, H. J., Jang, C.Y., Jan, J. L., Lin, H. D., Lu, C. S. (2006). Photooxidative N-de-methylation of crystal violet dye in aqueous nano-TiO₂ dispersions under visible light irradiation, *J. Photoch. Photobio. A.* 184: 147–154.
2. **Chen, C. C.**, Bai, H. L., Chang, C. L. (2007). Effect of plasma processing gas composition on the nitrogen-doping status and visible light photocatalysis of TiO₂, *J. Phys. Chem. C.*, 111: 15228–15235.
3. **Chen, C. C.**, Bai, H. L., Chang, S. M., Chang, C. L., Den, W. (2007). Preparation of N-doped TiO₂ photocatalyst by atmospheric pressure plasma process for VOCs decomposition under UV and visible light sources, *J. Nanopart. Res.*, 9: 365–375.
4. **Chen, C. C.**, Fan, H. J., Jan, J. L. (2008). Degradation pathways and efficiencies of acid blue 1 by photocatalytic reaction with ZnO nanopowder, *J. Phys. Chem. C.*, 112: 11962–11972.
5. **Chen, C. C.**, Lu, C. S., Fan, H. J., Chung, W. H., Jan, J. L., Lin, H. D., Lin, W. Y. (2008). Photocatalyzed N-de-ethylation and degradation of brilliant green in TiO₂ dispersions under UV irradiation, *Desalination*, 219: 89–100.
6. Mai, F. D., Lee, W. L., Chang, J. L., Liu, S. C., Wu, C.W., **Chen, C. C.** (2010). Fabrication of porous TiO₂ film on Ti foil by hydrothermal process and its photocatalytic efficiency and mechanisms with ethyl violet dye, *J. Hazard. Mater.*, 177: 864–875.
7. Shu, H. Y., Chang, M. C., **Chen, C. C.**, Chen, P. E. (2010). Using resin supported nano zero-valent iron particles for decoloration of Acid Blue 113 azo dye solution, *J. Hazard. Mater.*, 184: 499–505.
8. Zhu, C. S., **Chen, C. C.**, Cao, J. J., Tsai, C. J., Chou, C.K., Liu, S. C., Roam, G. D. (2010). Characterization of carbon fractions for atmospheric fine particles and nanoparticles in a highway tunnel, *Atmos. Environ.*, 44: 2668–2673.
9. **Chen, C. C.**, Chen, W. C., Chiou, M. R., Chen, S. W., Chen, Y. Y., Fan, H. J. (2011). Degradation of crystal violet by an FeGAC/H₂O₂ process, *J. Hazard. Mater.*, 196: 420–425.
10. Fan, H. J., Lu, C. S., Lee, W. L., Chiou, M. R., **Chen, C. C.** (2011). Mechanistic pathways differences between P25-TiO₂ and Pt-TiO₂ mediated CV photodegradation, *J. Hazard. Mater.*, 185: 227–235
11. Huang, S. H., Chen, C. W., Chang, C. P., Lai, C. Y., **Chen, C. C.** (2011). Penetration of 4.5 nm to 10 μm aerosol particles through fibrous filters, *J. Aerosol Sci.*, 38: 719–727.
12. Wu, S. C., Wei, Y. T., **Chen, C. C.**, Liu, F. L. (2013). Modelling the transport of nano-scale particles in water-saturated porous media with the consideration of interactive forces between particles and the collecting matrixes, *The 10th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology*, 1.

勞工安全衛生研究所 陳春萬研究員(Chen CW)，計 7 篇

1. Huang, C. H., Tai, C. Y., Huang, C. Y., Tsai, C. J., **Chen, C. W.**, Chang, C. P., Shih, T. S. (2010). Measurements of respirable dust and nanoparticle concentrations in a titanium dioxide pigment production factory, *J. Environ. Sci. Heal. A.*, 45: 1227–1233.
2. Tsai, C. J., Huang, C. Y., Chen, S. C., Ho, C. E., Huang, C. H., **Chen, C. W.**, Chang, C. P., Tsai, S. J., Ellenbecker, M. J. (2010). Exposure assessment of nano-sized and respirable particles at different workplaces, *J. Nanopart. Res.*, DOI 10.1007/s11051-011-0361-8.
3. Wang, Y. F., Tsai, P. J., **Chen, C. W.**, Chen, D. R., Hsu, D. J. (2010). Using a modified electrical aerosol detector to predict nanoparticle exposures to different regions of the respiratory tract for workers in a carbon black manufacturing industry, *Environ. Sci. Technol.*, 44: 6767–6774.
4. Huang, S. H., **Chen, C. W.**, Chang, C. P., Lai, C. Y., Chen, C. C. (2011). Penetration of 4.5 nm to 10 μm aerosol particles through fibrous filters, *J. Aerosol Sci.*, 38: 719–727.
5. Tsai, C. J., Huang, C. Y., Chen, S. C., Ho, C. E., Huang, C. H., **Chen, C. W.**, Chang, C. P., Tsai, S. J.,

- Ellenbecker, M. J. (2011). Exposure assessment of nano-sized and respirable particles at different workplaces, *2011 Workshop on Health and Safety Aspects of working with Engineered Nanoparticles*, 1: 181–196.
6. Tsai, C. J., Lin, G. Y., Liu, C. N., He, C. E., **Chen, C. W.** (2012). Characteristic of nanoparticles generated from different nano-powders by using different dispersion methods, *J. Nanopart. Res.*, 14: 777–789.
 7. Young, L. H., Lin, Y. H., Lin, T. H., Tsai, P. J., Wnag, Y. F., Hung, S. M., Tsai, C. J., **Chen, C. W.** (2013). Field application of a newly developed personal nanoparticle sampler to selected metalworking operations, *Aerosol. Air. Qualres.*, 13: 849–861.

國家衛生研究院奈米醫學研究中心 陳仁焜博士(Chen JK)，計 4 篇

1. **Chen, J. K.**, Shih, M. H., Peir, J. J., Liu, C. H., Chou, F. I., Lai, W. H., Chang, L. W., Lin, P. P., Wang, M. Y., Yang, M. H., Yang, C. S. (2010). The use of radioactive zinc oxide nanopaticles in determination of their tissue concentrations following intravenous administration in mice, *Analyst*, 135: 1742-1746.
2. Tai, L. A., Kang, Y. T., Chen, Y. C., Wang, Y. C., Wang, Y. J., Wu, Y. T., Liu, K. L., Wang, C. Y., Ko, Y. F., Chen, C. Y., Huang, N. C., **Chen, J. K.**, Hsieh, Y. F., Yew, T. R., Yang, C. S. (2012). Quantitative characterization of nanoparticles in blood by TEM with a window type microchip nanopipet, *Anal. Chem.*, 84: 6312-6316.
3. Yeh, T. K., **Chen, J. K.**, Lin, C. H., Yang, M. H., Yang, C. S., Chou, F. I., Peir, J. J., Wang, M. Y., Chang, W. H., Tsai, M. H., Tsai, H. T., Lin, P. P. (2012). Kinetics and tissue distribution of neutron-activated zinc oxide nanoparticles and zinc in mice: effects of size and particulate nature, *Nanotechnology*, 23: Article Number 085102.
4. Wang, Y. J., Wu, Y. T., Lin, J. Y., Chu, C. H., Huang, H. Y., Wang, Y. C., **Chen, J. K.**, Yang, C. S. (2012). Rapid quantitative analysis of clarithromycin in rat plasma by UPLC-MS/MS after intravenous injection of the clarithromycin-loaded ultrafine PLGA nanoparticles, *J. Chromatogr. B*, 895: 178-181.

台灣大學職業醫學與工業衛生研究所 鄭尊仁教授(Cheng TJ)，計 5 篇

1. Tso, T. C., Yeh, S. C., Tsai, F. Y., Lin, H. J., **Cheng, T. J.**, Chao, H. R., Tai, L. A. (2010). Zinc oxide particles induce inflammatory responses in vascular endothelial cells via NF- κ B signaling, *J. Hazard. Mater.*, 183: 182 – 188.
2. Chen, M. F., Lin, Y. P., **Cheng, T. J.** (2011). Public attitudes toward nanotechnology applications in Taiwan, *Technovation*, 33: 88-96.
3. Ho, M., Wu, K. Y., Chein, H. M., Chen, L. C., **Cheng, T. J.** (2011). Pulmonary toxicity of inhaled nanoscale and fine zinc oxide particles: Mass and surface area as an exposure metric, *Inhal. Toxicol.*, 23: 947-956.
4. Kao, Y. Y., **Cheng, T. J.**, Yang, D. M., Wang, C. T., Chiung, Y. M., Liu, P. S. (2012). Demonstration of an olfactory bulb – brain translocation pathway for ZnO nanoparticles in rodent cells in vitro and in vivo, *J. Mol. Neurosci.*, 48: 464-471.
5. Kao, Y. Y., Chen, Y. C., **Cheng, T. J.**, Chiung, Y. M., Liu, P. S. (2012). Zinc oxide nanoparticles interfere with zinc ion homeostasis to cause cytotoxicity, *Toxicol. Sci.*, 125: 462-472.

國立中央大學環境工程研究所 秦靜如副教授(Chin CJ)，計 2 篇

1. **Chin, C. J.**, Shih, L. C., Tsai, H. J., Liu, T. K. (2007). Adsorption of o-xylene and p-xylene from water by SWCNTs, *Carbon*, 45: 1254–1260.
2. **Chin, C. J.**, Shih, M. W., Tsai, H. J. (2010). Adsorption of nonpolar benzene derivatives on single-walled carbon nanotubes, *Appl. Surf. Sci.*, 256: 6035–6039.

國立清華大學 生醫工程與環境科學系 董瑞安教授(Doong RA)，計 14 篇

1. **Doong, R. A.**, Chen C. H., Maithreepala R. A., Chang, S. M. (2001). The influence of pH and cadmium sulfide on the photocatalytic degradation of 2-chlorophenol in titanium dioxide suspensions, *Water Res.*, 35: 2873–2880.
2. **Doong, R. A.**, Chiang L. F. (2008). Coupled removal of organic compounds and heavy metals by titanate/carbon nanotube composites, *Water Sci. Technol.*, 10: 1985–1992.
3. **Doong, R. A.**, Kao, I. L. (2008). Fabrication and characterization of nanostructured titanate materials

- by the hydrothermal treatment method, *Recent Patents on Nanotechnology*, 2: 84–102.
4. Parshetti, G. K., **Doong, R. A.** (2008). Immobilization of bimetallic nanoparticles on microfiltration membranes for trichloroethylene dechlorination, *Water Sci. Technol.*, 58: 1629–1636.
 5. **Doong, R. A.**, Chang, P. Y., Huang, C. H. (2009). Microstructural and photocatalytic properties of sol-gel-derived vanadium-doped mesoporous titanium dioxide nanoparticles, *J. Non-cryst. Solids*, 355: 2302–2308.
 6. Parshetti, G. K., **Doong, R. A.** (2009). Dechlorination of trichloroethylene by Ni/Fe nanoparticles immobilized in PEG/PVDF and PEG/nylon 66 membranes, *Water Res.*, 43: 3086–3094.
 7. **Doong, R. A.**, Hsieh, T. C., Huang, C. P. (2010). Photoassisted reduction of metal ions and organic dye by titanium dioxide nanoparticles in aqueous solution under anoxic conditions, *Sci. Total Environ.*, 408: 3334–3341.
 8. Lee, C. C., **Doong, R. A.** (2010). Concentration effect of copper loading on the reductive dechlorination of tetrachloroethylene by zerovalent silicon, *Water Sci. Technol.*, 62: 28–35.
 9. Parshetti, G. K., **Doong, R. A.** (2010). Dechlorination and photodegradation of trichloroethylene by Fe/TiO₂ nanocomposites in the presence of nickel ions under anoxic conditions, *Appl. Catal. B-Environ.*, 100: 116–123.
 10. Tso, C. P., Zhun C. M., Shih, Y. H., Tseng, Y. M., Wu, S. C., **Doong, R. A.** (2010). Stability of metal oxide nanoparticles in aqueous solutions, *Water Sci. Technol.*, 61: 127–133.
 11. Lee, C. C., **Doong, R. A.** (2011). Enhanced dechlorination of tetrachloroethylene by zero-valent silicon in the presence of polyethylene glycol under anoxic conditions, *Environ. Sci. Technol.*, 45: 2301–2307.
 12. **Doong, R. A.**, Tsai, C. W., Liao, C. I. (2012). Coupled removal of bisphenol A and copper ion by titanate nanotubes fabricated at different calcination temperatures, *Sep. Purif. Technol.*, 91: 81–88.
 13. Parshetti, G. K., **Doong, R. A.** (2012). Dechlorination of chlorinated hydrocarbons by bimetallic Ni/Fe immobilized on polyethylene glycol-grafted microfiltration membranes under anoxic conditions, *Chemosphere*, 86: 392–399.
 14. **Doong, R. A.**, Tsai, C. W., Chang, S. M. (2013) Enhanced photoactivity of Cu-deposited titanate nanotubes for removal of bisphenol A, *Appl. Catal. B-Environ.*, 129: 48–55.

國立交通大學 環境工程研究所 黃志彬教授(Huang CP), 計 14 篇

1. Den, W., **Huang, C. P.** (2005). Electrocoagulation for removal of silica nano-particles from chemical-mechanical-planarization wastewater, *Colloid. Surface. A.*, 254: 81–89.
2. Pan, J. R., **Huang, C. P.**, Jiang, W., Chen, C. S. (2005). Treatment of wastewater containing nano-scale silica particles by dead-end microfiltration: evaluation of pretreatment methods, *Desalination*, 179: 31–40.
3. Den, W., **Huang, C. P.** (2006). Parameter optimization and design aspect for electrocoagulation of silica nano-particles in wafer polishing wastewater, *Water Sci. Technol.*, 53: 187–194.
4. Den, W., **Huang, C. P.**, Ke, H. C. (2006). Mechanistic study on the continuous flow electrocoagulation of silica nanoparticles from polishing wastewater, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45: 3644–3651.
5. **Huang, C. P.**, Hsieh, W. P., Pan, J. R., Chang, S. M. (2007). Characteristic of an innovative TiO₂/Fe-0 composite for treatment of azo dye, *Sep. Purif. Technol.*, 58: 152–158.
6. Horng, R. Y., **Huang, C. P.**, Chang, M. C., Shao, H., Shiau, B. L., Hu, Y. J. (2009). Application of TiO₂ photocatalytic oxidation and non-woven membrane filtration hybrid system for degradation of 4-chlorophenol, *Desalination*, 245: 169–182.
7. Yang, H. L., Lin, C. T., **Huang, C. P.** (2009). Application of nanosilver surface modification to RO membrane and spacer for mitigating biofouling in seawater desalination, *Water Res.*, 43: 3777–3786.
8. Doong, R. A., Hsieh, T. C., **Huang, C. P.** (2010). Photoassisted reduction of metal ions and organic dye by titanium dioxide nanoparticles in aqueous solution under anoxic conditions, *Sci. Total Environ.*, 408: 3334–3341.
9. Hsieh, W. P., Pan, J. R., **Huang, C. P.**, Su, Y. C., Juang, Y. J. (2010). Enhance the photocatalytic activity for the degradation of organic contaminants in water by incorporating TiO₂ with zero-valent iron, *Sci. Total Environ.*, 408: 672–679.
10. Chang, E. E., Yang, S. Y., **Huang, C. P.**, Liang, C. H., Chiang, P. C. (2011). Assessing the fouling mechanisms of high-pressure nanofiltration membrane using the modified hermia model and the resistance-in-series model, *Sep. Purif. Technol.*, 79: 329–336.
11. Su, Y. C., **Huang, C. P.**, Pan, J. R., Hsieh, W. P., Chu, M. C. (2011). Fouling mitigation by TiO₂ composite membrane in membrane bioreactors, *J. Environ. Eng.*, 138: 344–350.

12. Wang, D. S., Wang, S. F., **Huang, C. P.**, Chow, W. K. (2011). Hydrolyzed Al(III) clusters: Speciation stability of nano-Al-13, *J. Environ. Sci.*, 705–710.
13. Chang, M. C., **Huang, C. P.**, Shu, H. Y., Chang, Y. C. (2012). A new photocatalytic system using steel mesh and cold cathode fluorescent light for the decolorization of azo dye orange G, *Int. J. Photoenergy*, 2012: Article ID 303961.
14. Pan, J. R., **Huang, C. P.**, Hsieh, W. P., Wu, B. J. (2012). Reductive catalysis of novel TiO₂/Fe-0 composite under UV irradiation for nitrate removal from aqueous solution, *Sep. Purif. Technol.*, 84: 52–55.

國家衛生研究院奈米醫學研究中心 黃東明副研究員(**Huang DM**)，計 12 篇

1. **Huang, D. M.**, Hung, Y., Ko, B. S., Hsu, S. C., Chen, W. H., Chien, C. L., Tsai, C. P., Kuo, C. T., Kang, J. C., Yang, C. S., Mou, C. Y., Chen, Y. C. (2005). Highly efficient cellular labeling of mesoporous nanoparticles in the human mesenchymal stem cells: implication for stem cell tracking, *Faseb J.*, 19: 2014-2016.
2. Lin, Y. S., Tsai, C. P., Huang, H. Y., Kuo, C. T., Hung, Y., **Huang, D. M.**, Chen, Y. C., Mou, C. Y. (2005). Well-ordered mesoporous silica nanoparticles as cell markers, *Chem. Mater.*, 17: 4570-4573.
3. Chung, T. H., Wu, S. H., Yao, M., Lu, C. W., Lin, Y. S., Hung, Y., Mou, C. Y., Chen, Y. C., **Huang, D. M.** (2007). The effect of surface charge on the uptake and biological function of mesoporous silica nanoparticles in 3T3-L1 cells and human mesenchymal stem cells, *Biomaterials*, 28: 2959-2966.
4. Lu, C. W., Hung, Y., Hsiao, J. K., Yao, M., Chung, T. H., Lin, Y. S., Wu, S. H., Hsu, S. C., Liu, H. M., Mou, C. Y., Yang, C. S., **Huang, D. M.**, Chen, Y. C. (2007). Bifunctional Magnetic Silica Nanoparticles for Highly Efficient Human Stem Cell Labeling, *Nano Lett.*, 7: 194-154.
5. Hsiao, J. K., Tsai, C. P., Chung, T. H., Hung, Y., Yao, M., Liu, H. M., Mou, C. Y., Yang, C. S., Chen, Y. C., **Huang, D. M.** (2008). Mesoporous silica nanoparticles as a delivery system of gadolinium for effective human stem cell tracking, *Small*, 4: 1445-1452.
6. **Huang, D. M.**, Chung, T. H., Hung, Y., Lu, F., Wu, S. H., Mou, C. Y., Yao, M., Chen, Y. C. (2008). Internalization of mesoporous silica nanoparticles induces transient but not sufficient osteogenic signals in human mesenchymal stem cells, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 231: 208-215.
7. Liu, H. M., Wu, S. H., Lu, C. W., Yao, M., Hsiao, J. K., Hung, Y., Lin, Y. S., Mou, C. Y., Yang, C. S., **Huang, D. M.**, Chen, Y. C. (2008). Mesoporous silica nanoparticles improve magnetic labeling efficiency in human stem cells, *Small*, 4: 619–626.
8. Lu, C. W., Hun, Y., Hsiao, J. K., Yao, M., Chung, T. H., Lin, Y. S., Wu, S. H., Hsu, S. C., Liu, H. M., Mou, C. Y., Yang, C. S., Tsai, C. P., Hung, Y., Chou, Y. H., **Huang, D. M.**, Hsiao, J. K., Chang, C., Chen, Y. C. (2008). High-contrast paramagnetic fluorescent mesoporous silica nanorods as a multifunctional cell-imaging probe, *Small*, 4: 186–191.
9. **Huang, D. M.**, Hsiao, J. K., Chen, Y. C., Chien, L. Y., Yao, M., Chen, Y. K., Ko, B. S., Hsu, S. C., Tai, L. A., Cheng, H. Y., Wang, S. W., Yang, C. S., Chen, Y. C. (2009). The promotion of human mesenchymal stem cell proliferation by superparamagnetic iron oxide nanoparticles, *Biomaterials*, 30: 3645–3651.
10. Chang, M., Hsiao, J. K., Yao, M., Chien, L. Y., Hsu, S. C., Ko, B. S., Chen, S. T., Liu, H. M., Chen, Y. C., Yang, C. S., **Huang, D. M.** (2010). Homologous RBC-derived vesicles as ultrasmall carriers of iron oxide for magnetic resonance imaging of stem cells, *Nanotechnology*, 21: Article Number: 235103.
11. Chen, Y. C., Hsiao, J. K., Liu, H. M., Lai, I. Y., Yao, M., Hsu, S. C., Ko, B. S., Chen, Y. C., Yang, C. S., **Huang, D. M.** (2010). The inhibitory effect of superparamagnetic iron oxide nanoparticle (Ferucarbotran) on osteogenic differentiation and its signaling mechanism in human mesenchymal stem cells, *Toxicol. Appl. Pharm.*, 245: 272-279.
12. Chang, M., Yang, C. S., **Huang, D. M.** (2011). Aptamer-conjugated DNA icosahedral nanoparticles as a carrier of doxorubicin for cancer therapy, *ACS nano*, 5: 6156–6163.

國立交通大學 材料科學與工程學系所 黃國華教授(**Huang, GS**)，計 15 篇

1. **Huang, G. S.**, Chen, Y. S., Yeh, H. W. (2006). Measuring the flexibility of immunoglobulin by gold nanoparticles, *Nano Lett.*, 6: 2467–2471.
2. Chen, Y. S., Hung, Y. C., Chen, K. C., **Huang, G. S.** (2008). Detection of gold nanoparticles using immunoglobulin-coated piezoelectric sensor, *Nanotechnology*, 19: Article Number: 495502.
3. Chen, Y. S., Hung, Y. C., Liao, I. A., **Huang, G. S.** (2009). Assessment of the in vivo toxicity of gold nanoparticles, *Nanoscale Res. Lett.*, 4: 858-864.

4. Pan, H. A., Hung, Y. C., Su, C. W., Tai, S. M., Chen, C. H., Ko, F. H., **Huang, G. S.** (2009). Nanotopography modulates cell adhesion and induces apoptosis-like abnormality in NIH-3T3 cells, *Nanoscale Res. Lett.*, 4: 903-912.
5. Chen, Y. S., Hung, Y. C., Chiou, J. C., Wang, H. L., Huang, H. S., Huang, L. C., **Huang, G. S.** (2010). Ultrasensitive detection of cymbidium mosaic potexvirus using a single-wall carbon nanotube-functionalized quartz crystal microbalance, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 49: Article Number: 105103.
6. Chen, Y. S., Hung, Y. C., Lin, L. W., Liao, I. A., Hong, M. Y., **Huang, G. S.** (2010). Size-dependent impairment of cognition in mice caused by the injection of gold nanoparticles, *Nanotechnology*, 21: Article Number: 485102.
7. Chen, Y. S., Hung, Y. C., Lin, W. H., **Huang, G. S.** (2010). Assessment of gold nanoparticles as a size-dependent vaccine carrier for enhancing the antibody response against synthetic foot-and-mouth disease virus peptide, *Nanotechnology*, 21: Article Number: 195101.
8. Hung, Y. C., Pan, H. A., Tai, S. M., **Huang, G. S.** (2010). A nanodevice for rapid modulation of proliferation, apoptosis, invasive ability, and cytoskeletal reorganization in cultured cells, *Lab Chip*, 10: 1189-1198.
9. Chen, Y. S., Hung, N., Chou, L. J., Chiou, J. C., Hong, M. Y., **Huang, G. S.** (2011). Self-assembly of an antireflective moth-like structure using antibody-functionalized nanowires and nanopore arrays, *Nanotechnology*, 22: Article Number: 475601.
10. Pan, H. A., Hung, Y. C., Sui, Y. P., **Huang, G. S.** (2011). Topographic control of the growth and function of cardiomyoblast H9c2 cells using nanodot arrays, *Biomaterials*, 33: 20-28.
11. Chen, Y. S., Hong, M. Y., **Huang, G. S.** (2012). A protein transistor made of an antibody molecule and two gold nanoparticles, *Nat. Nanotechnol.*, 7: 197-203.
12. Chen, Y. S., Hung, Y. C., Hong, M. Y., Onischuk, A. A., Chiou, J. C., Sorokina, I. V., Tolstikova, T., **Huang, G. S.** (2012). Control of in vivo transport and toxicity of nanoparticles by tea melanin, *J. Nanomater.*, 2012: Article Number: 746960.
13. Mohiuddin, M., Pan, H. A., Hung, Y. C., **Huang, G. S.** (2012). Control of growth and inflammatory response of macrophages and foam cells with nanotopography, *Nanoscale Res. Lett.*, 7: 1-9.
14. Pan, H. A., Hung, Y. C., Chiou, J. C., Tai, S. M., Chen, H. H., **Huang, G. S.** (2012). Nanosurface design of dental implants for improved cell growth and function, *Nanotechnology*, 23: Article Number: 335703.
15. Pan, H. A., Liang, J. Y., Hung, Y. C., Lee, C. H., Chiou, J. C., **Huang, G. S.** (2013). The spatial and temporal control of cell migration by nanoporous surfaces through the regulation of ERK and integrins in fibroblasts, *Biomaterials*, 34: 841-853.

國立台灣科技大學化學工程學系 顧洋教授(Ku Y)，計 20 篇

1. **Ku, Y.**, Hsieh, C. B. (1992). Photocatalytic decomposition of 2, 4-dichlorophenol in aqueous TiO₂ suspensions, *Water Res.*, 26: 1451-1456.
2. **Ku, Y.**, Leu, R. M., Lee, K. C. (1996). Decomposition of 2-chlorophenol in aqueous solution by UV irradiation with the presence of titanium dioxide, *Water Res.*, 30: 2569-2578.
3. **Ku, Y.**, Jung, I. L. (2001). Photocatalytic reduction of Cr(VI) in aqueous solutions by UV irradiation with the presence of titanium dioxide, *Water Res.*, 35: 135-142.
4. **Ku, Y.**, Ma, C. M., Shen, Y. S. (2001). Decomposition of gaseous trichloroethylene in a photoreactor with TiO₂-coated nonwoven fiber textile, *Appl. Catal. B-Environ.*, 34: 181-190.
5. Wang, W., Chiang, L. W., **Ku, Y.** (2003). Decomposition of benzene in air streams by UV/ TiO₂ process, *J. Hazard. Mater.*, 101: 133-146.
6. **Ku, Y.**, Lee, W. H., Wang, W. Y. (2004). Photocatalytic reduction of carbonate in aqueous solution by UV/ TiO₂ process, *J. Mol. Catal. A-Chem.*, 212: 191-196.
7. **Ku, Y.**, Chen, S. W., Wang, W. Y. (2005). Effect of solution composition on the removal of copper ions by nanofiltration, *Sep. Purif. Technol.*, 43: 135-142.
8. **Ku, Y.**, Lee, P. L., Wang, W. Y. (2005). Removal of acidic dyestuffs in aqueous solution by nanofiltration, *J. Membrane Sci.*, 15: 159-165.
9. **Ku, Y.**, Tseng, K. Y., Wang, W. Y. (2005). Decomposition of gaseous acetone in an annular photoreactor coated with TiO₂ thin film, *Water Air Soil Poll.*, 168: 313-323.
10. **Ku, Y.**, Lee, Y. C., Wang, W. Y. (2006). Photocatalytic decomposition of 2-chlorophenol in aqueous solution by UV/ TiO₂ process with applied external bias voltage, *J. Hazard. Mater.*, 138: 350-356.
11. Wang, W. Y., **Ku, Y.** (2006). Effects of solution pH and UV irradiation on the streaming potential of the titanium dioxide membranes, *J. Membrane Sci.*, 282: 342-350.

12. Chen, H. W., **Ku, Y.**, Kuo, Y. L. (2007). Effect of Pt/ TiO₂ characteristics on temporal behavior of o-cresol decomposition by visible light-induced photocatalysis, *Water Res.*, 41: 2069–2078.
13. Wang, W. Y., **Ku, Y.** (2007). Effect of solution pH on the adsorption and photocatalytic reaction behaviors of dyes using TiO₂ and Nafion-coated TiO₂, *Colloid. Surface. A.*, 302: 261–268.
14. Wang, W. Y., Irawanb A., **Ku, Y.** (2008). Photocatalytic degradation of acid red 4 using a titanium dioxide membrane supported on a porous ceramic tube, *Water Res.*, 42: 4725–4732.
15. **Ku, Y.**, Chiu, P. C., Chou, Y. C. (2010). Decomposition of aniline in aqueous solution by UV/ TiO₂ process with applying bias potential, *J. Hazard. Mater.*, 183: 16–21.
16. **Ku, Y.**, Fan, Z. R., Chou, Y. C., Wang, W. Y. (2010). Effects of TiO₂ nanotube array dimension and annealing temperature on the acid red 4 degradation in aqueous solution by photocatalytic process, *Water Sci. Technol.*, 61: 2943–2949.
17. **Ku, Y.**, Fan, Z. R., Chou, Y. C., Wang, W. Y. (2010). Characterization and induced photocurrent of TiO₂ nanotube arrays fabricated by anodization, *J. Electrochem. Soc.*, 157: 671–H675.
18. **Ku, Y.**, Lin, C. N., Hou, W. M. (2011). Characterization of coupled NiO/ TiO₂ photocatalyst for the photocatalytic reduction of Cr(VI) in aqueous solution, *J. Mol. Catal. A-Chem.*, 349: 20–27.
19. **Ku, Y.**, Chen, Y. S., Hou, W. M., Chou, Y. C. (2012). Effect of NH₄F concentration in electrolyte on the fabrication of TiO₂ nanotube arrays prepared by anodisation, *Micro Nano Lett.*, 7: 939–942.
20. **Ku, Y.**, Lin, C. N., Hou, W. M. (2012). Photocatalytic reduction of Cr(VI) in aqueous solution using TiO₂ nanoparticles prepared with various alcohols as solvent, *Water Sci. Technol.*, 66: 1333–1339.

國立清華大學動力機械工程學系 李國賓教授(Lee GB)，計 13 篇

1. Chen, S. H., Sung, W. C., **Lee, G. B.**, Lin, Z. Y., Chen, P. W., Liao, P. C. (2001). A disposable poly(methylmethacrylate)-based microfluidic module for protein identification by nanoelectrospray ionization-tandem mass spectrometry, *Electrophoresis*, 22: 3972 – 3977.
2. Chiou, C. H., Chang, S. J., **Lee, G. B.**, Lee, H. H. (2006). Design, fabrication and characterization of micro probes integrated with micro heaters and their applications on nano-machining, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 45: 208-214.
3. Weng, C. H., Huang, C. C., Yeh, C. S., Lei, H. Y., **Lee, G. B.** (2008). Synthesis of hexagonal gold nanoparticles using microfluidic reaction system, *J. Micromech. Microeng.*, 18: Article Number: 35019.
4. Lee, W. B., Weng, C. H., Cheng, F. Y., Yeh, C. S., Lei, H. Y., **Lee, G. B.** (2009). Biomedical microdevices synthesis of iron oxide nanoparticles using a microfluidic system, *Biomed. Microdevices*, 11: 161-171.
5. Tseng, H. Y., **Lee, G. B.**, Lee, C. Y., Shih, Y. H., Lin, X.Z. (2009). Localized heating of tumor cells utilizing injectable magnetic nanoparticles for hyperthermia cancer therapy, *Iet Nanobiotechnol.*, 3: 46-54.
6. Weng, C. H., Huang, C. C., Yeh, C. S., Lei, H. Y., **Lee, G. B.** (2009). Synthesis of hollow Fe/Ga-based Oxide magnetic nanospheres by using a bubble templating method in the microfluidic system, *Microfluid. Nanofluid.*, 7: 841-848.
7. Lee, M. W., Lin, Y. H., **Lee, G. B.** (2010). Manipulation and patterning of carbon nanotubes utilizing optically induced dielectrophoretic forces, *Microfluid. Nanofluid.*, 8: 609-617.
8. Poornesh, K. K., Cho, C. D., **Lee, G. B.**, Tak, Y. S. (2010). Gradation of mechanical properties in gas diffusion electrode. Part 1: Influence of nano-scale heterogeneity in catalyst layer on interfacial strength between catalyst layer and membrane, *J. Power Sources*, 195: 2709-2717.
9. Yang, S. Y., Cheng, F. Y., Yeh, C. S., **Lee, G. B.** (2010). Size-controlled synthesis of gold nanoparticles using a micro-mixing system, *Microfluid. Nanofluid.*, 8: 303-311.
10. **Lee, G. B.**, Wang, J. H. (2011). Special Issue for the 6th IEEE international conference on nano/micro engineered and molecular systems, *Iet Nanobiotechnol.*, 5: 107-107.
11. Tsai, C. Y., Lu, S. L., Yeh, C. S., **Lee, G. B.**, Lei, H. Y. (2012). Size-dependent attenuation of TLR9 signaling by gold nanoparticles binding to HMGB-1 in macrophages, *J. Immunol.*, 188: 68-76.
12. Liang, W. F., Liu, N., Dong, Z. L., Liu, L. Q., Mai, J. D., **Lee, G. B.**, Li, W. J. (2013). Simultaneous separation and concentration of micro- and nano-particles by optically induced electrokinetics, *Sensor Actuat. A-Phys.*, 193: 103–111.

國立交通大學 環境工程研究所 林志高教授(Lin JG)，計 1 篇

1. Tsai, J. C., Kumar, M., Chen, S. Y., **Lin, J. G.** (2007). Nano-bubble flotation technology with coagulation process for the cost-effective treatment of chemical mechanical polishing wastewater,

Sep. Purif. Technol., 58: 61~67

元智大學化學工程與材料科學學系 林銳松副教授(Lin KS)，計 8 篇

1. Lee, C. K., Liu, S. S., Juang, L. C., Wang C. C., **Lin, K. S.**, Lyu, M. D. (2007). Application of MCM-41 for dyes removal from wastewater, *J. Hazard. Mater.*, 147: 997-1005.
2. **Lin, K. S.**, Chowdhury, S. (2010). Synthesis, characterization, and application of 1-D cerium Oxide nanomaterials: A review, *Int. J. Mol. Sci.*, 11: 3226-3251.
3. Chowdhury, S., **Lin, K. S.** (2011). Synthesis and characterization of 1D ceria nanomaterials for CO oxidation and steam reforming of methanol, *J. Nanomater.*, 2011: Article ID 157690.
4. Dehvari, K., **Lin, K. S.** (2012). Synthesis, characterization and potential applications of multifunctional PEO-PPO-PEO-magnetic drug delivery system, *Curr. Med. Chem.*, 19: 5199-5204.
5. **Lin, K. S.**, Adhikari, A. K., Dehvari, K., Yang, J. H., Shu, C. W. (2012). Fine structural characterization of zinc and iron atoms in zinc ferrite nanocatalysts for CO₂ decomposition using XANES/EXAFS, *Chinese J. Phys.*, 50: 271-282.
6. **Lin, K. S.**, Adhikari, A. K., Su, Y. H., Shu, C. W., Chan, H. Y. (2012). Structural characterization of chromium atoms in MIL-101 metal organic frameworks using XANES/EXAFS spectroscopy, *Chinese J. Phys.*, 50: 322-331.
7. **Lin, K. S.**, Adhikari, A. K., Su, Y. H., Shu, C. W., Chan, H. Y. (2012). Synthesis, characterization, and hydrogen storage study by hydrogen spillover of MIL-101 metal organic frameworks, *Adsorption*, 18: 483-491.
8. Dehvari, K., **Lin, K. S.**, Liu, Y. J., Hsu, P. J. (2013). Synthesis and characterization of porous zero-valent iron nanoparticles for remediation of chromium-contaminated wastewater, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 13: 2675-2681.

國家衛生研究院環境衛生與職業醫學研究組 林嬪嬪研究員(Lin PP)，計 13 篇

1. Yang, R. H., Chang, L. W., Wu, J. P., Tsai, M. H., Wang, H. J., Kuo, Y. C., Yeh, T. K., Yang, C. S., **Lin, P. P.** (2007). Persistent tissue kinetics and redistribution of nanoparticles, quantum dot 705, in mice: ICP-MS quantitative assessment, *Environ. Health Persp.*, 115: 1339-1343.
2. **Lin, P. P.**, Chen, J. W., Chang, L. W., Wu, J. P., Redding, L., Chang, H., Yeh, T. K., Yang, C. S., Tsai, M. H., Wang, H. J., Kuo, Y. C., Yang, R. S. H. (2008). Computational and ultrastructural toxicology of a nanoparticle, quantum dot 705, in mice, *Environ. Sci. Technol.*, 42: 6264-6270.
3. Lin, C. H., Chang, L. W., Chang, H., Yang, M. H., Yang, C. S., Lai, W. H., Chang W. H., **Lin, P. P.** (2009). The chemical fate of the Cd/Se/Te-based quantum dot 705 in the biological system: toxicity implications, *Nanotechnology*, 20: 215101-215109.
4. Yang, R. S. H., Chang, L. W., Yang, C. S., **Lin, P. P.** (2010). Pharmacokinetics and physiologically-based pharmacokinetic modeling of nanoparticles, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 10: 8482-8490.
5. Liou, S. H., Lin, M. H., Hsu, C. H., Tsou, C. J., Li, H. L., Li, W. F., **Lin, P. P.**, Li, L. A. (2011). The pilot study of specific biomarkers in health effects among engineered nanoparticles manufacturing workers, *Epidemiology*, 22: 254-255.
6. Yeh, T. K., Wu, J. P., Chang, L. W., Tsai, M. H., Chang W. H., Tsai, H. T., Yang, C. S., **Lin, P. P.** (2010). Comparative tissue distributions of cadmium chloride and cadmium-based quantum dot 705 in mice: Safety implications and applications, *Nanotechnology*, 5: 91-97.
7. Lin, C. H., Yang, M. H., Chang, L. W., Yang, C. S., **Lin, P. P.** (2011). Cd/Se/Te-based quantum dot 705 modulated redox homeostasis with hepatotoxicity in mice, *Nanotechnology*, 5: 650-663.
8. Lin, C. H., Yang, M. H., Chang, L. W., Yang, C. S., **Lin, P. P.** (2011). Cd/Se/Te-based quantum dot 705 modulated redox homeostasis with hepatotoxicity in mice, *The 8th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology in Taiwan*, 1: 1-6.
9. Liou, S. H., Tsou, T. C., Wang, S. L., Li, L. A., Chiang, H. C., Li, W. F., **Lin, P. P.**, Lai, C. H., Lee, H. L., Lin, M. H., Hsu, J. H., Chen, C. R., Shih, T. S., Liao, H. Y., Chung, Y. T. (2012). Epidemiological study of health hazards among workers handling engineered nanomaterials, *J. Nanopart. Res.*, 14: 878-893.
10. Yeh, T. K., Chen, J. K., Lin, C. H., Yang, M. H., Yang, C. S., Chou, F. I., Peir, J. J., Wang, M. Y., Chang, W. H., Tsai, M. H., Tsai, H. T., **Lin, P. P.** (2012). Kinetics and tissue distribution of neutron-activated zinc oxide nanoparticles and zinc in mice: effects of size and particulate nature, *Nanotechnology*, 23: Article Number 085102.
11. Chang, H., Ho, C. C., Yang, C. S., Chang, W. H., Tsai, M. H., Tsai, H. T., **Lin, P. P.** (2013). Involvement of MyD88 in zinc oxide nanoparticle-induced lung inflammation, *Exp. Toxicol. Pathol.*,

- 65: 887-896.
12. Ho, C. C., Chang, H., Tsai, H. T., Tsai, M. H., Yang, C. S., Ling, Y. C., **Lin, P. P.** (2013). Quantum dot 705, a cadmium-based nanoparticle, induces persistent inflammation and granuloma formation in the mouse lung, *Nanotoxicology*, 7: 105-115.
 13. Ho, C. C., Chang, H., Tsai, H. T., Tsai, M. H., **Yang, C. S.**, Ling, Y. C., Lin, P. P. (2013). Quantum dot 705, a cadmium-based nanoparticle, induces persistent inflammation and granuloma formation in the mouse lung, *Nanotoxicology*, 7: 105-115.

國立清華大學化學系 凌永健教授(Ling YC)，計 18 篇

1. Ghule, K., Ghule, A. V., Chen, B. J., **Ling, Y. C.** (2006). Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study, *Green Chem.*, 8: 1034-1041.
2. Ghule, A. V., Ghule, K., Tzing, S. H., **Ling, Y. C.** (2007). Synthesis and characterization of silver-nanoparticle-deposited alpha-Bi₂Mo₃O₁₂ nanorods, *Eur. J. Inorg. Chem.* 21: 3342-3349.
3. Ghule, A. V., Kathir, K. M., Kumar, T. K. S., Tzing, S. H., Chang, J. Y., Yu, C., **Ling, Y. C.** (2007). Carbon nanotubes prevent 2,2,2 trifluoroethanol induced aggregation of protein, *Carbon*, 45: 1586-1589.
4. Shulga, Y. M., Tien, T. C., Huang, C. C., Lo, S. C., Muradyan, V. E., Polyakova, N.V., **Ling, Y. C.**, Loutfy, R.O., Moravsky, A.P. (2007). XPS study of fluorinated carbon multi-walled nanotubes, *J. Electron Spectrosc.*, 160: 22-28.
5. Chen, B. J., Yin, Y. S., **Ling, Y. C.** (2008). ToF-SIMS study of growth behavior in all-nanoparticle multilayer films using a novel indicator layer, *Appl. Surf. Sci.*, 255: 977-980.
6. Chen, B. J., Yin, Y. S., **Ling, Y. C.** (2008). ToF-SIMS study of chemical composition and formation of all-nanoparticle multilayer films, *Appl. Surf. Sci.*, 255: 981-983.
7. Perkas, N., Amirian, G., Applerot, G., Efendiev, E., Kaganovskii, Y., Ghule, A. V., Chen, B. J., **Ling, Y. C.**, Gedanken, A. (2008). Depositing silver nanoparticles on/in a glass slide by the sonochemical method, *Nanotechnology*, 19: Article Number: 435604.
8. Ghule, A. V., Ghule, K., Tzing, S. H., Punde, T. H., Chang, H., **Ling, Y. C.** (2009). Thermo-Raman spectroscopy in situ monitoring study of solid-state synthesis of NiO-Al₂O₃ nanoparticles and its characterization, *J. Solid State Chem.*, 182: **3406-3411**.
9. **Irzh, A., Genish, I., Chen, L.**, Ling, Y. C., Klein, L., Gedanken, A. (2009). Deposition of air-stable zinc nanoparticles on glass slides by the solvent-assisted deposition in lasma (SADIP) method, *J. Phys. Chem. C*, 113: 14097-14101.
10. Lee, P. L., Sun, Y. C., **Ling, Y. C.** (2009). Magnetic nano-adsorbent integrated with lab-on-valve system for trace analysis of multiple heavy metals, *J. Anal. At. Spectrom.*, 34: 320-327.
11. Chen, W. Y., Ghule, A. V., Chang, J. Y., **Ling, Y. C.** (2010). Morphology and dopant influence electrical properties and stability of multiwalled carbon nanotube-polyaniline composites, *Curr. Nanosci.*, 6: 59-68.
12. Ghule, A. V., Ghule, K., Punde, T., Liu, J. Y., Tzing, S. H., Chang, J. Y., Chang, H., **Ling, Y. C.** (2010). In situ monitoring of NiO-Al₂O₃ nanoparticles synthesis by thermo-Raman spectroscopy, *Mater. Chem. Phys.*, 119: 86-92.
13. Lee, P. L., Chiu, Y. K., Sun, Y. C., **Ling, Y. C.** (2010). Synthesis of a hybrid material consisting of magnetic iron-oxide nanoparticles and carbon nanotubes as a gas adsorbent, *Carbon*, 48: 1397-1404.
14. Lei, S. L., Yin, Y. S., Lee, P. L., **Ling, Y. C.** (2010). ZnO nanoparticles enhancing secondary ion signals of Escherichia coli analyzed by ToF-SIMS, *Surf. Interface Anal.*, 43: 310-312.
15. Truong, Q. D., Le, T. H., Liu, J. Y., Chung, C. C., **Ling, Y. C.** (2011). Synthesis of TiO₂ nanoparticles using novel titanium oxalate complex towards visible light-driven photocatalytic reduction of CO₂ to CH₃OH, *Appl. Catal. A-Gen.*, 437: 28-35.
16. Deokar, A. R., Lin, L. Y., Chang, C. C., **Ling, Y. C.** (2013). Single-walled carbon nanotube coated antibacterial paper: preparation and mechanistic study, *J. Mater. Chem. B*, 1: 2639-2646.
17. Ho, C. C., Chang, H., Tsai, H. T., Tsai, M. H., Yang, C. S., **Ling, Y. C.**, Lin, P. P. (2013). Quantum dot 705, a cadmium-based nanoparticle, induces persistent inflammation and granuloma formation in the mouse lung, *Nanotoxicology*, 7: 105-115.
18. Le, T. H., Truong, Q. D., Kimura, T., Li, H. H., Guo, C. S., Yin, S., Sato, T., **Ling, Y. C.** (2013). Construction of 3D hierarchical SnO₂ microspheres from porous nanosheets towards NO decomposition, *Soild State Sci.*, 15: 29-35.

國家衛生研究院環境衛生與職業醫學研究組 劉紹興研究員(Liou SH)，計 3 篇

1. **Liou, S. H.**, Lin, M. H., Hsu, C. H., Tsou, C. J., Li, H. L., Li, W. F., Lin, P. P., Li, L. A. (2011). The pilot study of specific biomarkers in health effects among engineered nanoparticles manufacturing workers, *Epidemiology*, 22: 254-255.
2. **Liou, S. H.**, Tsou, T. C., Wang, S. L., Li, L. A., Chiang, H. C., Li, W. F., Lin, P. P., Lai, C. H., Lee, H. L., Lin, M. H., Hsu, J. H., Chen, C. R., Shih, T. S., Liao, H. Y., Chung, Y. T. (2012). Epidemiological study of health hazards among workers handling engineered nanomaterials, *J. Nanopart. Res.*, 14: 878-893.
3. Riediker, M., Schubauer-Berigan, M. K., Bergamaschi, E., Brouwer, D. H., Clark, K. A., Frijns, E., Ho, S. F., Hoeck, J., Koppen, G., **Liou, S. H.**, Nelissen, I., Gibson, R. (2012). A road map toward a globally harmonized approach for occupational health surveillance and epidemiology in nanomaterial workers, *J. Occup. Environ. Med.*, 54: 1214-1223.

國立中興大學環境工程學系 盧重興教授(Lu CS)，計 18 篇

1. **Lu, C. S.**, Chung, Y. L., Chang, K. F. (2005). Adsorption of trihalomethanes from water with carbon nanotubes, *Water Res.*, 39: 1183-1189.
2. Chen, C. C., Fan, H. J., Jang, C. Y., Jan, J. L., Lin, H. D., **Lu, C. S.** (2006). Photooxidative N-de-methylation of crystal violet dye in aqueous nano-TiO₂ dispersions under visible light irradiation, *J. Photoch. Photobio. A*, 184: 147-154.
3. **Lu, C. S.**, Chiu, H. T. (2006). Adsorption of zinc (II) from water with purified carbon nanotubes, *Chem. Eng. Sci.*, 61: 1138-1145.
4. **Lu, C. S.**, Chung, Y. L., Chang, K. F. (2006). Adsorption thermodynamic and kinetic studies of trihalomethanes on multiwalled carbon nanotubes, *J. Hazard. Mater.*, 138: 304-310.
5. **Lu, C. S.**, Chiu, H. S., Liu, C. T. (2006). Removal of zinc (II) from aqueous solution by purified carbon nanotubes: Kinetics and equilibrium studies, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 45: 2850-2855.
6. **Lu, C. S.**, Liu, C. T. (2006). Removal of nickel (II) from aqueous solution by carbon nanotubes, *J. Chem. Technol. Biot.*, 81: 1932-1940.
7. Rao, G. P., **Lu, C. S.**, Su, F. S. (2007). Sorption of divalent metal ions from aqueous solution by carbon nanotubes: A review, *Sep. Purif. Technol.*, 58: 224-231.
8. Chen, C. C., **Lu, C. S.**, Fan, H. J., Chung, W. H., Jan, J. L., Lin, H. D., Lin, W. Y. (2008). Photocatalyzed N-de-ethylation and degradation of brilliant green in TiO₂ dispersions under UV irradiation, *Desalination*, 219: 89-100.
9. **Lu, C. S.**, Bai, H. L., Wu, B. L., Su, F. S., Hwang, J. F. (2008). Comparative study of CO₂ capture by carbon nanotubes, activated carbons, and zeolites, *Energ. Fuel.*, 22: 3050-3056.
10. **Lu, C. S.**, Chiu, H. T. (2008). Chemical modification of multiwalled carbon nanotubes for sorption of Zn²⁺ from aqueous solution, *Chem. Eng. J.*, 139: 462-468.
11. **Lu, C. S.**, Liu, C. T., Rao, G. P. (2008). Comparisons of sorbent cost for the removal of Ni²⁺ from aqueous solution by carbon nanotubes and granular activated carbon, *J. Hazard. Mater.*, 151: 239-246.
12. **Lu, C. S.**, Su, F. S., Hu, S. K. (2008). Surface modification of carbon nanotubes for enhancing BTEX adsorption from aqueous solutions, *Appl. Surf. Sci.*, 254: 7035-7041.
13. **Lu, C. S.**, Su, F. S., Hsu, S. C., Chen, W. F., Bai, H. L., Hwang, J. F., Lee, H. H. (2009). Thermodynamics and regeneration of CO₂ adsorption on mesoporous spherical-silica particles, *Fuel Process. Technol.*, 90: 1543-1549.
14. Su, F. S., **Lu, C. S.**, Hu, S. K. (2010). Adsorption of benzene, toluene, ethylbenzene and p-xylene by NaOCl-oxidized carbon nanotubes, *Colloid. Surface. A.*, 353: 83-91.
15. Fan, H. J., **Lu, C. S.**, Lee, W. L., Chiou, M. R., Chen, C. C. (2011). Mechanistic pathways differences between P25-TiO₂ and Pt-TiO₂ mediated CV photodegradation, *J. Hazard. Mater.*, 185: 227-235.
16. Su, F. S., **Lu, C. S.**, Chen, H. S. (2011). Adsorption, desorption, and thermodynamic studies of CO₂ with high-amine-loaded multiwalled carbon nanotubes, *Langmuir*, 27: 8090-8098.
17. Su, F. S., **Lu, C. S.**, Chen, H. S. (2011). Thermodynamic and regeneration studies on capture of CO₂ by amine-grafted carbon nanotubes, *The 8th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology in Taiwan*, 1: 1-5.
18. **Lu, C. S.**, Su, F. S. (2012). Adsorption of natural organic matter by carbon nanotubes, *Sep. Purif. Technol.*, 58: 113-121.

國立臺灣大學農業化學系 施養信副教授(Shih YH)，計 6 篇

1. **Shih, Y. H.**, Li, M. S. (2008). Adsorption of selected volatile organic vapors on multiwall carbon nanotubes, *J. Hazard. Mater.*, 154: 21-28

2. **Shih, Y. H.**, Chen, Y. C., Chen, M. Y., Tai, Y. T., Tso, C. P. (2009). Dechlorination of hexachlorobenzene by using nanoscale Fe and nanoscale Pd/Fe bimetallic particles, *Colloid. Surface. A.*, 332: 84–89.
3. Tso, C. P., Zhun C. M., **Shih, Y. H.**, Tseng, Y. M., Wu, S. C., Doong, R. A. (2010). Stability of metal oxide nanoparticles in aqueous solutions, *Water Sci. Technol.*, 61: 127–133.
4. **Shih, Y. H.**, Tai, Y. T. (2010). Reaction of decabrominated diphenyl ether by zerovalent iron nanoparticles, *Chemosphere*, 78: 1200–1206.
5. **Shih, Y. H.**, Chen, M. Y., Su, Y. F. (2011). Pentachlorophenol reduction by Pd/Fe bimetallic nanoparticles: Effects of copper, nickel, and ferric cations, *Appl. Catal. B–Environ.*, 105: 24–29.
6. Su, Y. F., Tso, C. P., Peng, Y. H., Chen, M. Y., Tai, Y. T., Hsu, C. Y., Chen Y. C., Chou, H. L., **Shih, Y. H.** (2013). Application of zerovalent iron particles on the removal of some recalcitrant aromatic contaminants, *The 10th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology*, 1.

國立成功大學環境工程學系 王鴻博教授(Wang HP), 計 27 篇

1. Chen, C. Y., **Wang, H. P.**, Wei, Y. L., Jou, C. J. G., Huang, Y. C. (2006). Observation of nano copper in waste heat boiler fly ashes, *Radiat. Phys. Chem.*, 75: 1913–1915.
2. Hsiung, T. L., **Wang, H. P.**, Wang, H.C. (2006). XANES studies of photocatalytic active species in nano TiO₂-SiO₂, *Radiat. Phys. Chem.*, 75: 2042-2045.
3. Hsu, H. H., Huang, J. H., **Wang, H. P.**, Jou, C. J. G. (2006). Speciation of zinc in nano phosphor particulars abstracted in an ionic liquid, *Radiat. Phys. Chem.*, 75: 1930-1933.
4. Huang, H. L., **Wang, H. P.**, Wei, G. T., Sun, I. W., Huang, J. F., Yang, Y. W. (2006). Extraction of nanosize copper pollutants with an ionic liquid, *Environ. Sci. Technol.*, 40: 4761-4764.
5. Peng, C. Y., **Wang, H. P.**, Huang, C. H., Wei, Y. L. (2006). Abstraction of nano copper in a room temperature ionic liquid, *AIP Conf. Proc.*, 882: 789-791.
6. Sun, Y. P., Li, X. Q., Cao, J. S., Zhang, W. X., **Wang, H. P.** (2006). Characterization of zero-valent iron nanoparticles, *Adv. Colloid Interfac.*, 120: 47-56.
7. Huang, C. H., **Wang, H. P.**, Huang, H. L., Hsiung, T. L., Tang, F. C. (2007). Enhanced dissolution of nanosize CuO in the presence of meso- and micro-pores, *J. Electron Spectrosc.*, 156: 217-219.
8. Sun, Y. P., La, X. Q., Zhang, W. X., **Wang, H. P.** (2007). A method for the preparation of stable dispersion of zero-valent iron nanoparticles, *Colloid. Surface. A*, 308: 60-66.
9. Hsiung, T. L., **Wang H. P.**, Lin, H. P. (2008). Chemical structure of photocatalytic active sites in nanosize TiO₂, *J. Phys. Chem. Solids*, 69: 383-385.
10. Hsu, Y. Y., Hsiung, T. L., **Wang, H. P.**, Fukushima, Y., Wei, Y. L., Chang, J. E. (2008). Photocatalytic degradation of spill oils on TiO₂ nanotube thin films, *Mar. Pollut. Bull.*, 57: 873-876.
11. Huang, H. L., **Wang, H.P.**, Wei, Y.L., Hsiung, T.L. (2008). Chemical structure of nanosize copper wires in MCM-41, *Adv. Mat. Res.*, 47: 1125-1128.
12. Kuo, G. H., **Wang, H. P.**, Hsu, H. H., Jou, C. J. G., Chiu, Y. M., Chen, F. L. (2008). Sensing of ethanol with nanosize FeZnO thin films, *Adv. Mat. Res.*, 47: 1117-1120.
13. Chen, F. L., Sun, I. W., **Wang, H. P.**, Huang, C. H. (2009). Nanosize copper dispersed ionic liquids as an electrolyte of new dye-sensitized solar cells, *J. Nanomater.*, 2009: Article Number: 472950.
14. Huang, C. H., **Wang, H. P.**, Chang, J. E., Eyring, E. M. (2009). Synthesis of nanosize-controllable copper and its alloys in carbon shells, *Chem. Commun.*, 31: 4663-4665.
15. Huang, H. L., **Wang, H. P.**, Eyring, E. M., Chang, J. E., (2009). Recovery of nanosize zinc from phosphor wastes with an ionic liquid, *Environ. Chem.*, 6: 268-272.
16. Kuo, G. H., **Wang, H. P.**, Hsu, H. H., Wang, J., Chiu, Y. M., Jou, C. J. G., Hsu, T. F., Chen, F. L. (2009). Sensing of ethanol with nanosize Fe-ZnO thin films, *J. Nanomater.*, 2009: Article Number: 316035.
17. Liao, C. Y., **Wang, H. P.**, Chen, F. L., Huang, C. H., Fukushima, Y. (2009). Applications of Cu@C Nanoparticles in new dye-sensitized solar cells, *J. Nanomater.*, 2009: Article Number: 698501.
18. Chen, F. L., Letortu, A., Liao, C. Y., Tsai, C. K., Huang, H. L., Sun, I. W., Wei, Y. L., **Wang, H. P.** (2010). Cu@C nanoparticles dispersed RTILs used in the DSSC electrolyte, *Nucl. Instrum. Meth. A*, 619: 112–114.
19. Huang, C. H., **Wang, H. P.**, Liao, C. Y. (2010). Nanosize copper encapsulated carbon thin films on a dye-sensitized solar cell cathode, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 10: 4782-4785.
20. Wei, Y. L., Chen, K. W., Peng, Y. S., **Wang, H. P.** (2010). Molecular environment of Ni after its use for removal of CMP nanoparticle, *Nucl. Instrum. Meth. A*, 619: 105-107.
21. Wei, Y. L., Chen, K. W., **Wang, H. P.** (2010). Study of chromium modified TiO₂ nano catalyst under

- visible light irradiation, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 10: 5456-5460.
22. Hong, C. I., Kang, H. Y., **Wang, H. P.**, Lin, W. K., Jeng, U. S., Su, C. H. (2011). Cu-ZnO@C nanoreactors studied by in situ synchrotron SAXS spectroscopy, *J. Electron. Spectrosc.*, 184: 301-303.
 23. Kang, H. Y., **Wang, H. P.**, Lin, W. K., Sun, I. W., Jou, C. J. G., Jeng, U. S., Chang, S. G. (2012). Growth of nano Co encapsulated in carbon-shell, *J. Electron Spectrosc.*, 185: 567-572.
 24. Simamora, A. J., Hsiung, T. L., Chang, F. C., Yang, T. C., Liao, C. Y., **Wang, H. P.** (2012). Photocatalytic splitting of seawater and degradation of methylene blue on CuO/nano TiO₂, *Int. J. Hydrogen Energ.*, 37: 13855-13858.
 25. Tsai, C. K., Kang, H. Y., Hong, C. I., Huang, C. H., Chang, F. C., **Wang, H. P.** (2012). Preparation of hollow spherical carbon nanocages, *J. Nanopart. Res.*, 14: Article Number: 1315.
 26. Kang, H. Y., **Wang, H. P.** (2013). Preparation of magnetic recoverable nanosize Cu-Fe₂O₃/Fe photocatalysts, *Environ. Sci. Technol.*, 47: 7380-7387.
 27. Liao, C. Y., **Wang, H. P.**, Lin, H. P. (2013). Chemical structure of TiO₂ nanotube photocatalysts promoted by copper and iron, *Int. J. Photoenergy*, 2013: Article Number: 243160.

勞工安全衛生研究所 吳鴻鈞研究員(Wu HC)，計 5 篇

1. Kuo, Y. C., Huang, H. K., **Wu, H. C.** (2008). Thermal characteristics of aluminum nanoparticles and oilcloths, *J. Hazard. Mater.*, 152: 1002-1010.
2. **Wu, H. C.**, Chang, R. C., Hsiao, H. C. (2009). Research of minimum ignition energy for nano titanium powder and nano Iron powder, *J. Loss Prevent. Proc.*, 22: 21-24.
3. **Wu, H. C.**, Ou, H. J., Hsiao, H. C., Shih, T. S. (2009). Explosion characteristics of aluminum nanopowders, *Aerosol. Air Qual. Res.* 10: 38-42.
4. **Wu, H. C.**, Kuo, Y. C., Wang, Y. H., Wu, C. W., Hsiao, H. C. (2010). Study on safe air transporting velocity of nanograde aluminum, iron, and titanium, *J. Loss Prevent. Proc.*, 23: 308-311.
5. **Wu, H. C.**, Kuo, Y. C., Wang, Y. H., Wu, C. W., Hsiao, H. C. (2011). Study on safe air transporting velocity of nanograde aluminum, iron, and titanium, *2011 Workshop on Health and Safety Aspects of working with Engineered Nanoparticles*, 1: 257-267.

國家衛生研究院奈米醫學研究中心 楊重熙主任(Yang CS)，計 56 篇

1. **Yang, C. S.**, Chang, C. H., Tsai, P. J., Chen, W. Y., Tseng, F. G., Lo, L. W. (2004). Nanoparticle-based in vivo investigation on blood-brain barrier permeability following ischemia and reperfusion, *Anal. Chem.*, 76: 4465-4471.
2. Huang, D. M., Hung, Y., Ko, B. S., Hsu, S. C., Chen, W. H., Chien, C. L., Tsai, C. P., Kuo, C. T., Kang, J. C., **Yang, C. S.**, Mou, C. Y., Chen, Y. C. (2005). Highly efficient cellular labeling of mesoporous nanoparticles in the human mesenchymal stem cells: implication for stem cell tracking, *Faseb J.*, 19: 2014-2016.
3. Lo, L. W., Tsai, P. J., Huang, H. Y., Chen, W. Y., Wang, Y. T., Chang, C. H., **Yang, C. S.** (2005). In vivo monitoring of fluorescent nanosphere delivery in anesthetized rats using an implantable fiber-optic microprobe, *Anal. Chem.*, 77: 1125-1131.
4. Lu, C. W., Hung, Y., Hsiao, J. K., Yao, M., Chung, T. H., Lin, Y. S., Wu, S. H., Hsu, S. C., Liu, H. M., Mou, C. Y., **Yang, C. S.**, Huang, D. M., Chen, Y. C. (2007). Bifunctional Magnetic Silica Nanoparticles for Highly Efficient Human Stem Cell Labeling, *Nano Lett.*, 7: 194-154.
5. Wang, C. H., Chien, C. C., Yu, Y. L., Liu, C. J., Lee, C. F., Chen, C. H., Hwu, Y., **Yang, C. S.**, Je, J. H., Margaritondo, G. (2007). Structural properties of "naked" gold nanoparticles formed by synchrotron X-ray irradiation, *J. Synchrotron Radiat.*, 14: 477-482.
6. Yang, R. H., Chang, L. W., Wu, J. P., Tsai, M. H., Wang, H. J., Kuo, Y. C., Yeh, T. K., **Yang, C. S.**, Lin, P. P. (2007). Persistent tissue kinetics and redistribution of nanoparticles, quantum dot 705, in mice: ICP-MS quantitative assessment, *Environ. Health Persp.*, 115: 1339-1343.
7. Chang, C. J., **Yang, C. S.**, Chuang, Y. J., Khoo, H. S., Tseng, F. G. (2008). Micro-patternable nanoporous polymer integrated with microstructures for molecular filtration, *Nanotechnology*, 19: Article Number: 365301.
8. Hsiao, J. K., Tsai, C. P., Chung, T. H., Hung, Y., Yao, M., Liu, H. M., Mou, C. Y., **Yang, C. S.**, Chen, Y. C., Huang, D. M. (2008). Mesoporous silica nanoparticles as a delivery system of gadolinium for effective human stem cell tracking, *Small*, 4: 1445-1452.
9. Lee, C. H., Lo, L. W., Mou, C. Y., **Yang, C. S.** (2008). Synthesis and characterization of positive-charge functionalized mesoporous silica nanoparticles for the controlled release of anionic molecules, *Adv. Funct. Mater.*, 18: 3283-3292.

10. Lin, P. P., Chen, J. W., Chang, L. W., Wu, J. P., Redding, L., Chang, H., Yeh, T. K., **Yang, C. S.**, Tsai, M. H., Wang, H. J., Kuo, Y. C., Yang, R. S. H. (2008). Computational and ultrastructural toxicology of a nanoparticle, quantum dot 705, in mice, *Environ. Sci. Technol.*, 42: 6264–6270.
11. Liu, C. J., Wang, C. H., Chien, C. C., Yang, T. Y., Chen, S. T., Leng, W. H., Lee, C. F., Lee, K. H., Hwu, Y., Lee, Y. C., Cheng, C. L., **Yang, C. S.**, Chen, Y. J., Je, J. H., Margaritondo, G. (2008). Enhanced X-ray irradiation induced cancer cell damage by gold nanoparticles treated by a new synthesis method of polyethylene glycol (PEG) modification, *Nanotechnology*, 19: Article Number: 295104.
12. Lu, C. W., Hun, Y., Hsiao, J. K., Yao, M., Chung, T. H., Lin, Y. S., Wu, S. H., Hsu, S. C., Liu, H. M., Mou, C. Y., **Yang, C. S.**, Tsai, C. P., Hung, Y., Chou, Y. H., Huang, D. M., Hsiao, J. K., Chang, C., Chen, Y. C. (2008). High-contrast paramagnetic fluorescent mesoporous silica nanorods as a multifunctional cell-imaging probe, *Small*, 4: 186–191.
13. Tseng, Y. T., Wu, Y. C., **Yang, C. S.**, Wang, M. C., Tseng, F. G. (2008). Gold nanoparticle enhanced in-situ immunosensor based on fiber optical fabry-perot interferometry, *Nanotechnology*, 19: Article Number: 345501.
14. Wang, C. H., Liu, C. J., Wang, C. L., Hua, T. E., Obliosca, J. M., Le, K. H., Hwu, Y., **Yang, C. S.**, Liu, R. S., Lin, H. M., Je, J. H., Margaritondo, G. (2008). Optimizing the size and surface properties of polyethylene glycol (PEG) - gold nanoparticles by intense x-ray irradiation, *J. Phys. D Appl. Phys.*, 41: Article Number: 195301.
15. Wang, Y. C., Wu, Y. T., Huang, H. Y., Lin, H. I., Lo, L. W., Tzeng, S. F., **Yang, C. S.** (2008). Sustained intraspinal delivery of neurotrophic factor encapsulated in biodegradable nanoparticles following contusive spinal cord injury, *Biomaterials*, 29: 4546–4553.
16. Cheng, S. H., Lee, C. H., **Yang, C. S.**, Tseng, F. G., Moud, C. Y., Lo, L. W. (2009). Mesoporous silica nanoparticles functionalized with oxygen-sensing probe for cell photo-therapy as potential cancer theranostics, *J. Mater. Chem.*, 19: 1252–1257.
17. Lee, C. H., Cheng, S. H., Wang, Y. J., Chen, Y. C., Chen, N. T., Souris, J., Chen, C. T., Mou, C. Y., **Yang, C. S.**, Lo, L. W. (2009). Near-infrared mesoporous silica nanoparticles for optical imaging: characterization and in vivo biodistribution, *Adv. Funct. Mater.*, 19: 215–222.
18. Lin, C. H., Chang, L. W., Chang, H., Yang, M. H., **Yang, C. S.**, Lai, W. H., Chang W. H., Lin, P. P. (2009). The chemical fate of the Cd/Se/Te-based quantum dot 705 in the biological system: toxicity implications, *Nanotechnology*, 20: 215101–215109.
19. Huang, D. M., Hsiao, J. K., Chen, Y. C., Chien, L. Y., Yao, M., Chen, Y. K., Ko, B. S., Hsu, S. C., Tai, L. A., Cheng, H. Y., Wang, S. W., **Yang, C. S.**, Chen, Y. C. (2009). The promotion of human mesenchymal stem cell proliferation by superparamagnetic iron oxide nanoparticles, *Biomaterials*, 30: 3645–3651.
20. Tai, L. A., Tsai, P. J., Wang, Y. C., Wang, Y. J., Lo, L. W., **Yang, C. S.** (2009). Controllable drug released from thermosensitive liposomes entrapping iron oxide nanoparticles, *Nanotechnology*, 20: Article Number: 135101.
21. Tseng, Y. T., **Yang, C. S.**, Tseng, F. G. (2009). A perfusion-based in-situ micro- immunosensor by gold-nanoparticle enhanced fiber-optic interferometry, *Lab Chip*, 9: 2673–2682.
22. Wang, C. H., Liu, C. J., Wang, C. L., Chien, C. C., Hwu, Y., Liu, R. S., **Yang, C. S.**, Je, J. H., Lin, H. M., Margaritondo, G. (2009). Intense X-ray induced formation of silver nanoparticles stabilized by biocompatible polymers, *Appl. Phys. A-Mater.*, 97: 295–300.
23. Wu, R. G., **Yang, C. S.**, Lian, C. K., Cheing, C. C., Tseng, F. G. (2009). Dual-asymmetry electrokinetic flow (DAEKF) focusing for pre-concentration and analysis of catecholamines in CEEC nano-channels, *Electrophoresis*, 30: 2523–2531.
24. Wu, R. G., **Yang, C. S.**, Wang, P. C., Tseng, F. G. (2009). Nanostructured pillars consist of vertically aligned carbon nanotubes as a stationary phase in microcapillary electrochromatography, *Electrophoresis*, 30: 2025–2031.
25. Cai, X. Q., Wang, C. L., Chen, H. H., Chien, C. C., Lai, S. F., Chen, Y. Y., Hua, T. E., Kempson, I. M., Hwu, Y., **Yang, C. S.**, Margaritondo, G. (2010). Tailored Au nanorods: optimizing functionality, controlling the aspect ratio and increasing biocompatibility, *Nanotechnology*, 21: Article Number: 330504.
26. Chang, M., Hsiao, J. K., Yao, M., Chien, L. Y., Hsu, S. C., Ko, B. S., Chen, S. T., Liu, H. M., Chen, Y. C., **Yang, C. S.**, Huang, D. M. (2010). Homologous RBC-derived vesicles as ultrasmall carriers of iron oxide for magnetic resonance imaging of stem cells, *Nanotechnology*, 21: Article Number: 235103.

27. Chen, L. C., Wei, C. W., Souris, J. S., Cheng, S. H., Chen, C. T., **Yang, C. S.**, Li, P. C., Lo, L. W. (2010). Enhanced photoacoustic stability of gold nanorods by silica matrix confinement, *J. Biomed. Opt.*, 15: Article Number: 016010.
28. Chen, Y. C., Hsiao, J. K., Liu, H. M., Lai, I. Y., Yao, M., Hsu, S. C., Ko, B. S., Chen, Y. C., **Yang, C. S.**, Huang, D. M. (2010). The inhibitory effect of superparamagnetic iron oxide nanoparticle (Ferucarbotran) on osteogenic differentiation and its signaling mechanism in human mesenchymal stem cells, *Toxicol. Appl. Pharm.*, 245: 272-279.
29. Cheng, S. H., Lee, C. H., Chen, M. C., Souris, J. S., Tseng, F. G., **Yang, C. S.**, Mou, C. Y., Chen, C. T., Lo, L. W. (2010). Tri-functionalization of mesoporous silica nanoparticles for the traceable, targeted delivery of cancer therapeutic, *J. Mater. Chem.*, 20: 6149-6157.
30. Chien, C. C., Wang, C. H., Wang, C. L., Li, E. R., Lee, K. H., Hwu, Y., Lin, C. Y., Chang, S. J., **Yang, C. S.**, Petibois, C., Margaritondo, G. (2010). Synchrotron microangiography studies angiogenesis in mice with microemulsions and gold nanoparticles, *Anal. Bioanal. Chem.*, 397: 2109-2116.
31. Chu, C. H., Wang, Y. C., Tai, L. A., Wu, L. C., **Yang, C. S.** (2010). Surface deformation of gold nanorod-loaded poly(DL-lactide-co-glycolide) nanoparticles after near infrared irradiation: an active and controllable drug release system, *J. Mater. Chem.*, 20: 3260-3264.
32. Huang, F. K., Chen, W. C., Lai, S. F., Liu, C. J., Wang, C. L., Wang, C. H., Chen, H. H., Hua, T. E., Cheng, Y. Y., Wu, M. K., Hwu, Y., **Yang, C. S.**, Margaritondo, G. (2010). Enhancement of irradiation effects on cancer cells by cross-linked dextran-coated iron oxide (CLIO) nanoparticles, *Phys. Med. Bio.*, 55: 469-482.
33. Lin, S. Y., Chen, N. T., Sun, S. P., Chang, J. C., Wang, Y. C., **Yang, C. S.**, Lo, L. W. (2010). The protease-mediated nucleus shuttles of sub-nanometer gold quantum dots for real-time monitoring of apoptotic cell death, *J. Am. Chem. Soc.*, 132: 8309-8315.
34. Souris, J. S., Lee, C. H., Cheng, S. H., Chen, C. T., **Yang, C. S.**, Ho, J. A., Mou, C. Y., Lo, L. W. (2010). Surface charge-mediated rapid hepatobiliary excretion of mesoporous silica nanoparticles, *Biomaterials*, 31: 5564-5574.
35. Tai, L. A., Wang, Y. C., **Yang, C. S.** (2010). Heat-activated sustaining nitric oxide release from zwitterionic diazeniumdiolate loading in thermo-sensitive liposomes, *Nitric. Oxide-Biol. Ch.*, 23: 60-64.
36. Yang, R. S. H., Chang, L. W., **Yang, C. S.**, Lin, P. P. (2010). Pharmacokinetics and physiologically-based pharmacokinetic modeling of nanoparticles, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, 10: 8482-8490.
37. Yeh, T. K., Wu, J. P., Chang, L. W., Tsai, M. H., Chang, W. H., Tsai, H. T., **Yang, C. S.**, Lin, P. P. (2010). Comparative tissue distributions of cadmium chloride and cadmium-based quantum dot 705 in mice: Safety implications and applications, *Nanotechnology*, 5: 91-97.
38. Cai, X. Q., Chen, H. H., Wang, C. L., Chen, S. T., Lai, S. F., Chien, C. C., Chen, Y. Y., Kempson, I. M., Hwu, Y. K., **Yang, C. S.**, Margaritondo, G. (2011). Imaging the cellular uptake of tiopronin-modified gold nanoparticles, *Anal. Bioanal. Chem.*, 401: 809-816.
39. Cheng, S. H., Chen, N. T., Wu, C. Y., Chung, C. Y., Hwu, Y. K., Mou, C. Y., **Yang, C. S.**, Lo, L. W. (2011). Recent advances in dynamic monitoring of drug release of nanoparticle using Förster resonance energy transfer and fluorescence lifetime imaging, *J. Chin. Chem. Soc-Taipei*, 58: 798-804.
40. Chang, M., **Yang, C. S.**, Huang, D. M. (2011). Aptamer-conjugated DNA icosahedral nanoparticles as a carrier of doxorubicin for cancer therapy, *ACS nano*, 5: 6156-6163.
41. Cheng, S. H., Hsieh, C. C., Chen, N. T., Chu, C. H., Huang, C. M., Chou, P. T., Tseng, F. G., **Yang, C. S.**, Mou, C. Y., Lo, L. W. (2011). Well-defined mesoporous nanostructure modulates three-dimensional interface energy transfer for two-photon activated photodynamic therapy, *Nano Today*, 6: 552-563.
42. Chu, C. H., Wang, Y. C., Huang, H. Y., Wu, L. C., **Yang, C. S.** (2011). Synthesis of ultrafine PEG-coated poly(lactic-co-glycolic acid) nanoparticles formulated by hydrophobic surfactant-assisted one-pot synthesis for biomedical application, *Nanotechnology*, 22: Article Number: 185061.
43. Chu, C. H., Wang, Y. C., Wu, L. C., **Yang, C. S.** (2011). Size separation of ultrafine PEG-coated polycaprolactone nanoparticle and morphological studies by AFM, *OAM-RC.*, 5: 969-972.
44. Huang, I. P., Sun, S. P., Cheng, S. H.; Lee, C. H., Wu, C. Y., **Yang, C. S.**, Lo, L. W., Lai, Y. K. (2011). Enhanced chemotherapy of cancer using pH-sensitive mesoporous silica nanoparticles to antagonize p-glycoprotein-mediated drug resistance, *Mol. Cancer Ther.*, 10: 761-769.
45. Jeng, C. C., Cheng, S. H., Ho, J. A., Huang, H. Y., Chang, J. C., Tsai, P. J., **Yang, C. S.**, Lo, L. W. (2011). Dynamic probing of nanoparticle stability in vivo: a liposomal model assessed using in situ


- microdialysis and optical imaging, *J. Nanomater.*, 2011: Article Number: 932719.
46. Lai, S. F., Chen, W. C., Wang, C. L., Chen, H. H., Chen, S. T., Chien, C. C., Chen, Y. Y., Hung, W. T., Cai, X. Q., Li, E. R., Kempson, I. M., Hwu, Y., **Yang, C. S.**, Tok, E. S., Tan, H. R., Lin, M., Margaritondo, G. (2011). One pot tuning of au nucleation and growth: from nanoclusters to nanoparticles, *Langmuir*, 27: 8424-8429.
 47. Lin, C. H., Yang, M. H., Chang, L. W., **Yang, C. S.**, Lin, P. P. (2011). Cd/Se/Te-based quantum dot 705 modulated redox homeostasis with hepatotoxicity in mice, *Nanotechnology*, 5: 650–663.
 48. Lin, C. H., Yang, M. H., Chang, L. W., **Yang, C. S.**, Lin, P. P. (2011). Cd/Se/Te-based quantum dot 705 modulated redox homeostasis with hepatotoxicity in mice, *The 8th Conference on Environmental Protection and Nanotechnology in Taiwan*, 1: 1–6.
 49. Wang, C. H., Liu, C. J., Chien, C. C., Chen, H. T., Hua, T. E., Leng, W. H., Chen, H. H., Kempson, I. M., Hwu, Y., Hsiao, M., Lai, T. C., Wang, J. L., **Yang, C. S.**, Lin, H. M., Chen, Y. J., Margari, G. (2011). X-ray synthesized PEGylated (polyethylene glycol coated) gold nanoparticles in mice strongly accumulate in tumors, *Mater. Chem. Phys.*, 126: 352–356.
 50. Cheng, S. H., Li, F. C., Souris, J. S., **Yang, C. S.**, Tseng, F. G., Lee, H. S., Chen, C. T., Dong, C. Y., Lo, L. W. (2012). Visualizing dynamics of sub-hepatic distribution of nanoparticles using intravital multiphoton fluorescence microscopy, *Acs Nano*, 6: 4122-4131.
 51. Huang, C. M., Cheng, S. H., Jeng, U. S., **Yang, C. S.**, Lo, L. W. (2012). CdSe/CdS/ZnS-Au/SiO₂ dual-yolk/shell nanostructures through a trojan-type inside-out etching strategy, *Nano Research*, 5: 654-666.
 52. Tai, L. A., Kang, Y. T., Chen, Y. C., Wang, Y. C., Wang, Y. J., Wu, Y. T., Liu, K. L., Wang, C. Y., Ko, Y. F., Chen, C. Y., Huang, N. C., Chen, J. K., Hsieh, Y. F., Yew, T. R., **Yang, C. S.** (2012). Quantitative characterization of nanoparticles in blood by TEM with a window type microchip nanopipet, *Anal. Chem.*, 84: 6312-6316.
 53. Yeh, T. K., Chen, J. K., Lin, C. H., Yang, M. H., **Yang, C. S.**, Chou, F. I., Peir, J. J., Wang, M. Y., Chang, W. H., Tsai, M. H., Tsai, H. T., Lin, P. P. (2012). Kinetics and tissue distribution of neutron-activated zinc oxide nanoparticles and zinc in mice: effects of size and particulate nature, *Nanotechnology*, 23: Article Number 085102.
 54. Wang, Y. J., Wu, Y. T., Lin, J. Y., Chu, C. H., Huang, H. Y., Wang, Y. C., Chen, J. K., **Yang, C. S.** (2012). Rapid quantitative analysis of clarithromycin in rat plasma by UPLC-MS/MS after intravenous injection of the clarithromycin-loaded ultrafine PLGA nanoparticles, *J. Chromatogr. B*, 895: 178-181.
 55. Chang, H., Ho, C. C., **Yang, C. S.**, Chang, W. H., Tsai, M. H., Tsai, H. T., Lin, P. P. (2013). Involvement of MyD88 in zinc oxide nanoparticle-induced lung inflammation, *Exp. Toxicol. Pathol.*, 65: 887-896.
 56. Ho, C. C., Chang, H., Tsai, H. T., Tsai, M. H., **Yang, C. S.**, Ling, Y. C., Lin, P. P. (2013). Quantum dot 705, a cadmium-based nanoparticle, induces persistent inflammation and granuloma formation in the mouse lung, *Nanotoxicology*, 7: 105-115.

附錄七 102 年環境奈米科技論壇活動

● 問卷調查共兩頁

102 年環境奈米科技論壇

論壇調查問卷

各位貴賓，您好： 非常感謝您參與本次「102 年環境奈米科技論壇」，希望此次論壇能讓您有豐富之收穫。為使未來論壇的內容規劃及服務品質更加完善，請您依本次參與的感受，提供寶貴的意見與建議。 環保署永續發展室、交通大學環工所	
項目	內容
背景資料	服務機構類別 <input type="checkbox"/> 學術單位 <input type="checkbox"/> 產業界 <input type="checkbox"/> 公務機關 <input type="checkbox"/> 一般民眾
	如何得知論壇參加資訊 <input type="checkbox"/> Email <input type="checkbox"/> 公文 <input type="checkbox"/> 環保署內部訊息 <input type="checkbox"/> 環境奈米科技知識平台網站訊息 <input type="checkbox"/> 奈米展攤位 <input type="checkbox"/> 朋友告知 <input type="checkbox"/> 其他 _____
	參加論壇的動機(可複選) <input type="checkbox"/> 取得認證時數 <input type="checkbox"/> 自我學習成長 <input type="checkbox"/> 被指派參加 <input type="checkbox"/> 與業務相關 <input type="checkbox"/> 被議題或論文名稱吸引 <input type="checkbox"/> 期望與各界菁英進行交流 <input type="checkbox"/> 其他 _____
	過去是否曾參加過本論壇 <input type="checkbox"/> 是(___ 次) <input type="checkbox"/> 否
論文內容	整體論壇議題深淺度 <input type="checkbox"/> 非常恰當 <input type="checkbox"/> 恰當 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 艱澀難懂(如: _____)
	圓桌會議安排 <input type="checkbox"/> 非常滿意 <input type="checkbox"/> 滿意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不滿意 <input type="checkbox"/> 非常不滿意
	論文進行的方式 <input type="checkbox"/> 非常滿意 <input type="checkbox"/> 滿意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不滿意 <input type="checkbox"/> 非常不滿意
	課程時間上的安排 <input type="checkbox"/> 過長 <input type="checkbox"/> 適中 <input type="checkbox"/> 過短 <input type="checkbox"/> 沒意見(建議: _____)
行政服務	主講人演說清楚且易於了解 <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 非常不同意
	論壇整體的安排情況(包括: 會議場地設備、午餐安排、服務人員態度...等) <input type="checkbox"/> 非常滿意 <input type="checkbox"/> 滿意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不滿意(_____) <input type="checkbox"/> 非常不滿意(_____)
實際成效	QR Code 可掃描下載論文集方式是否讓您感到便利  ←QR code <input type="checkbox"/> 非常同意 <input type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 沒意見 <input type="checkbox"/> 不同意 <input type="checkbox"/> 非常不同意
	您認為論壇內容對於您的學習是否有助益(包括: 提昇專業能力、解決工作問題...等) <input type="checkbox"/> 很有效益 <input type="checkbox"/> 有些效益 <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 沒效益
意願	<input type="checkbox"/> 我不願意 <input type="checkbox"/> 我願意 收到明年論壇的相關資訊
	<input type="checkbox"/> 我不願意 <input type="checkbox"/> 我願意 收到電子報 E-mail: _____
針對本次論壇議題內容，您的寶貴建議或意見：	

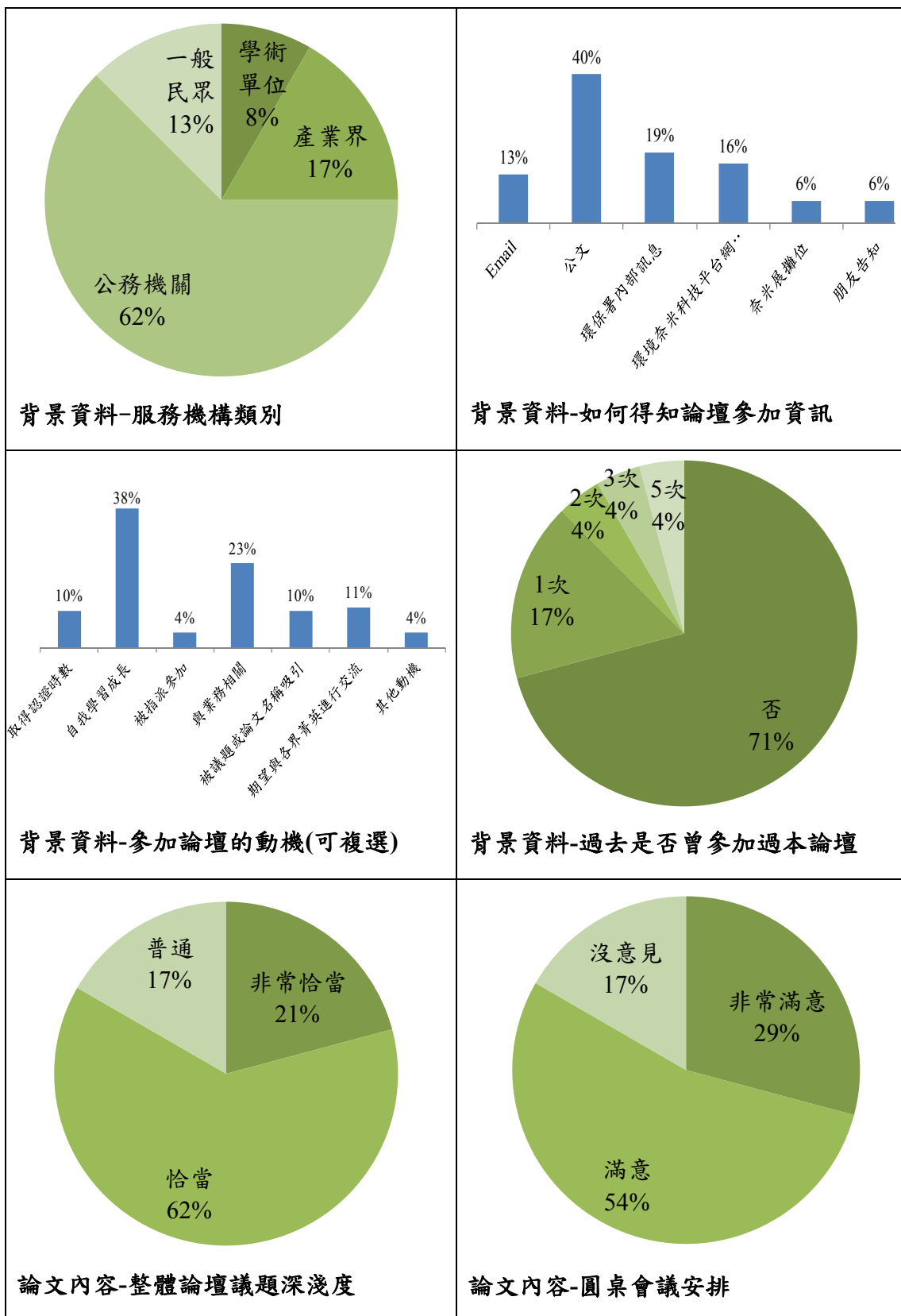
(請續填背面)

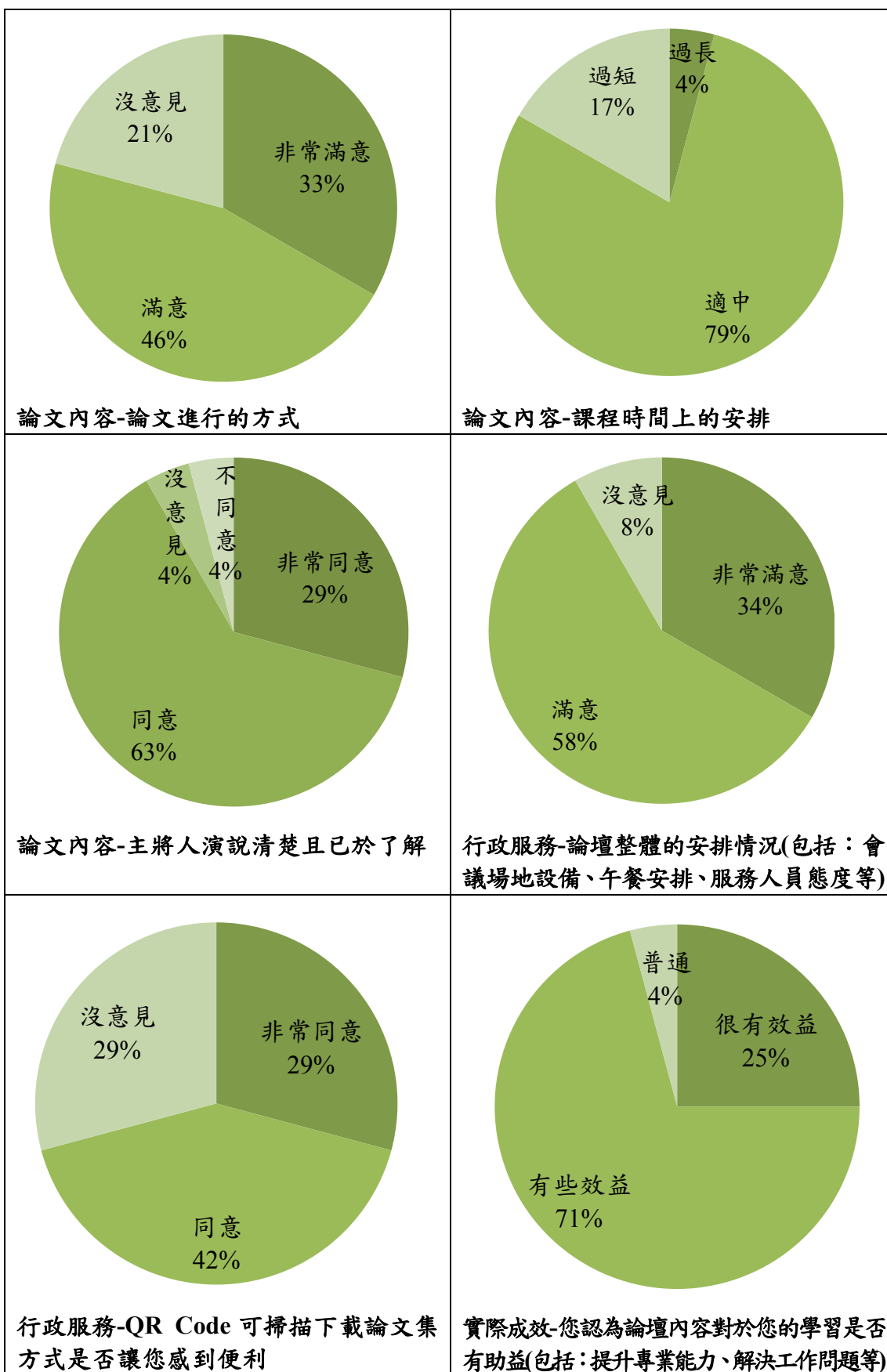
除了本次論壇的議題外，您還想瞭解哪些議題內容：

~~ 問卷到此為止，感謝您撥冗填寫，請將填妥之問卷交還給工作人員 ~~

~~非常感謝~~

● 問卷調查結果(有效問卷共 24 份)





● 論文精華整理

論文共八篇及圓桌會議共六篇

議題：奈米科技之風險感知及政策研究

主講人：鄭尊仁 教授 (國立台灣大學公共衛生學院執業醫學與工業衛生研究所)

演講內容精華：

奈米科技的健康風險目前仍然不確定，瞭解民眾對此新興科技的風險感知，有助於健康風險溝通與管理。本計畫收集及回顧國內外有關奈米風險感知與管理的研究，並參考 99 年環保署委託計畫的問卷分析結果，修正並設計一套關於奈米科技感知的核心問卷。本計畫以此核心問卷為基礎，透過電話及網路調查訪問一般民眾對奈米科技的風險感知。另外，本計畫也詢問受訪者的媒體使用狀況，來瞭解媒體對台灣民眾奈米科技態度的影響。

目前本計畫已完成電話及網路調查，電話調查的初步資料分析顯示近九成的民眾 (87.4%) 有聽過奈米科技，且約有三分之二的民眾 (66.4%) 認為奈米科技未來對人類生活會有正面影響。然而，大多數民眾 (91.6%) 也認為，如果產品使用奈米科技，應該要有所標示。更有四分之三的民眾 (74.5%) 不相信政府管理奈米產品的能力。在風險感知方面，民眾對奈米科技可能侵犯隱私的在意程度，遠高於此科技可能對健康、環境或傳統產業造成的負面影響。值得注意的是，雖然健康與環境風險在社會上經常受到關注，但民眾對此二風險的不確定感仍相當高。

議題：結構性奈米材料於生物及環境樣品的檢測技術開發

主講人：董瑞安 教授 (國立清華大學生醫工程與環境科學系)

演講內容精華：

奈米技術的發展與應用近年來已成為新穎科技發展與產業升級重要的關鍵技術之一，環境奈米科技之所以受到如此大的重視，有部分的原因在於可引進綠色奈米科技的觀念及新穎作法來提昇污染防治技術處理效能，將使得以往無法解決的環境污染問題將會有新的考量和新的思維，對難分解污染物(recalcitrant pollutants)的處理效能及污染物的即時監測將會有所提昇，再藉由奈米材料特殊物化特性與強大的催化能力與特殊的光、電、磁效應，可在低材料使用量、低廢棄物產生量及低能源使用的情況下，達到綠色科技及環境的永續發展。

因應環境永續與綠色科技的發展，近年來奈米材料的開發已逐漸由單一成分結構材料衍化為多成份及多功能性複合粒子的開發與應用，主要著眼於單一成分奈米粒子受限於其單一性質，無法滿足各種新穎及延伸應用，因此，結合其他材料以增加材料新穎性與功能性的複合奈米顆粒的製備與鑑定技術遂因應而生。

本研究的主要目的在於開發結構性奈米材料合成不同材質之核殼複合奈米粒子及異核結構材料，以作為奈米感測系統與奈米吸附劑的基材，並利用表面改質技術將感測元件鍵結於核殼奈米顆粒表面，製作出兼具監測分析與吸附能力的奈米材料，使其能在短時間內即可進行小量與微量樣品的快速分析與吸附微量有機物。在本文中，共介紹 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{Au}$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{分子拓印高分子(MIP)}$ 核殼複合粒子及 $\text{Au}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ 異質結構的製備及其物化特性，同時討論結構性奈米材料應用於環境污染物感測與標的分子檢測分析應用的未來發展。

雖然目前結構性奈米材料的環境應用多為實驗室層級，對於催化及環境的實際應用仍有許多的限制和挑戰，但藉由磁性顆粒的添加及奈米粒子特性的調控可

有效解決回收及毒化問題，更可藉由表面改質技術的最佳化來增加奈米材料在環境中的容忍度與穩定性，因此，利用結構性複合粒子於環境催化及檢測分析的應用前景是令人期待的。

議題：水環境中無機性奈米微粒量測技術開發研究

主講人：施養信 教授 (國立台灣大學農業化學系)

演講內容精華：

奈米材料在日常生活的應用快速增加，在製造過程中、使用及後續處理時，不可避免地會使奈米微粒釋放到水環境中，因此水環境中奈米微粒對生態環境及對人類的影響受到矚目。當奈米材料釋放至水體後，須了解如何分析環境中奈米顆粒即是一項非常重要的奈米分析技術課題。另外，為了瞭解水環境中奈米微粒的轉變與其可能之影響，探討奈米材料在水環境中的流佈與宿命也是相當重要的議題。

本研究旨在研究探討可分析水環境中無機性奈米微粒之量測技術，選用奈米銀作為本次研究之無機性奈米材料，因奈米銀之抗菌特性目前已被廣泛應用於紡織業、塑膠材料及醫療用品等，且相較其他奈米材料，其在環境中較為穩定，對環境影響亦大，有助於建立量測系統的開發研究，並作為量測其他類型之無機性奈米微粒方法之參考。由於一般奈米材料於水中皆不穩定，所以首先須針對奈米銀在量測與保存過程之穩定性作測試，並也以去除大部分顆粒之實際廢水作為模擬廢水基質進行試驗，並分析奈米銀基本性質，由實驗結果可知奈米銀相當穩定。利用環境中常見之二氧化矽作為顆粒干擾，探討不同分離方法，建議可以低速離心方式，去除干擾 DLS 量測的大顆粒。針對離心所不能分離的較小尺度的顆粒，則可使用流力層析(hydrodynamic chromatography, HDC)分離。目前以 HDC 方式可分離出不同標準粒徑之奈米銀，由滯留時間與粒徑關係圖，可估計出顆粒粒徑大小。後續將以模擬廢水基質與實際廢水進行試驗，建立可測量水體環境中奈米微粒之技術。

議題：環境中奈米物質的量測技術與暴露評估

主講人：蔡春進 教授 (國立交通大學環境工程研究所)

演講內容精華：

奈米銀微粒(奈米銀)為目前常添加在產品中的工程奈米微粒之一，市售產品中也已經可以發現有大量的奈米銀的抗菌產品，如添加在奈米銀抗菌襪/衣物等，其優點為減少汗水中因細菌滋生所釋放的臭味，以及降低因捕捉纖維中的微生物所造成的皮膚過敏反應(Dastjerdi and Montazer, 2010)。台灣經濟部所認證的奈米標章產品的 34 家製造廠商中，即有 6 家在生產奈米銀紡織品。本研究利用轉動滾筒測試機(rotating drum)，測試市面上的奈米銀紡織商品經滾動所釋放出的氣懸微粒逸散特性，並以迴轉式震盪器模擬清洗過程，最後清洗水樣則利用雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀(LA-ICP-MS)分析釋於清洗水中的金屬含量，以探討奈米技術產品經使用及清洗後所逸散出的微粒特性，期望對日後的風險評估有所助益。經測試結果發現具有奈米標章的襪子逸散出的氣懸微粒數目濃度最低，經二次清洗後，測試的三雙襪子逸散出的微粒成分以鈦、矽與鋅為主，皆無銀成分。

清洗水樣的金屬含量分析結果顯示，鈉的含量非常高，占了將近 80-90%，其中廠商添加的奈米材料如鈦、鋅與銀的釋出比例皆不到 1%。隨著清洗次數提高，清洗水樣的金屬含量都有明顯降低的趨勢，其中以鈉含量降低的趨勢最為明顯，降低了 50-70%之多。此結果的原因為廠商在襪子染色程序(由白色染成黑色)所添加的染料經清洗而褪色所造成。當清洗第二次後，清洗水樣中的鈉含量已明顯降低，而清洗水樣的顏色也已經由原本的黑灰色逐漸變成半透明色。

本研究並探討世界各先進國家奈米物質註冊、評估和管理法規，如美國 NIOSH 發表的最新研究報告，建議在 8-小時可呼吸性 TWA (time-weighted average) 的元素碳質量濃度 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，為建議暴露限值；OSHA 希望藉最近出版的「奈米物質安全使用的概要」，提供雇主奈米科技可能產生的奈米物質暴露及危害資訊，以及工作場所奈米物質的暴露控制措施。在歐盟方面，根據新頒布的新化妝品及新食品法規均要求須強制標示奈米產品，使消費者了解其購買之產品含有奈米物質。我國即將對「毒性化學物質管理法」進行修法，將仿 REACH 建立化學品登錄制度。

本研究於新莊、中山及竹東三個空品測站採集 $\text{PM}_{0.1}$ 、 $\text{PM}_{2.5}$ 及 PM_{10} 的微粒樣本，以探討奈米微粒、細微粒及粗微粒的質量及特性，含微粒的質量濃度、水溶性離子成分、金屬成分、PM 季節變化及污染物來源。結果顯示，各測站 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度的變化趨勢相近，顯示粗微粒($\text{PM}_{2.5-10}$)在的季節性變化並不明顯。各測站 $\text{PM}_{0.1}$ 濃度在夏季主要受光化反應影響較大，其他季節則受到交通排放或通風不良所影響。PMF 分析的結果顯示，新莊及中山測站的 $\text{PM}_{0.1}$ 及 $\text{PM}_{2.5}$ 均主要是來自汽機車排放物與二次氣膠，而 PM_{10} 則是來自於地表揚塵及工業排放。竹東測站之 $\text{PM}_{0.1}$ 及 $\text{PM}_{2.5}$ 以光化學作用產生的二次氣膠為其主要之污染源，而 PM_{10} 的來源則是以路面揚塵為大宗。

本研究也探討了空品測站貝他計(Beta attenuation monitor, BAM, Model 1020, Met One Instruments Inc., Washington, USA)測值高估手動採樣結果的原因，發現 BAM 所使用的玻璃纖維濾紙吸附酸氣進而造成正向干擾為主要的高估原因。因此，本研究除了建議環保署須更換為已獲 FEM 認證之相關監測儀器之外，對於已獲 FEM 認證之 BAM-1020，本研究也建議可將 BAM-1020 所使用的玻璃纖維濾紙更換成塗敷鐵氟龍的玻璃纖維濾紙或是由其他較不易吸附酸性氣體之材料所製成的濾紙，以根本解決濾紙吸附酸性氣體形成正向干擾進而造成 BAM-1020 測值高估的問題。

議題：利用奈米碳管修飾電極進行環境水質分析

主講人：秦靜如 教授 (國立中央大學環境工程研究所)

演講內容精華：

面對變動的廢水水質及環境保護需求，許多重要的水質項目，如化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 等，生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD)，氮氮等的線上即時監測的技術日趨重要。COD 線上即時監測設備雖已有光學式的商品可使用，但由於 COD 並非由單一物種組成，因此其準確度是否隨污染物的形態在處理過程中產生變化而改變實有待商榷。另一方面，由於 COD 實為有機物被氧化之氧當量，因此運用電化學法進行 COD 分析逐漸受到重視。奈米碳管可做為一良好的感測器，且其複合材料有更好的電導性質，運用奈米碳管修飾電極進行氣體分析以及生化感測器之研究相當豐碩，但其運用在環境水質分析則十分有限，因此本研究就奈米碳管之官能基引入或化合物結合、電極特性、奈米

碳管複合材料修飾電極、以及環境水質電化學分析等文獻資料進行彙整，以做為開發奈米碳管修飾電極進行環境水質分析技術之參考依據。

雖然利用奈米碳管進行生化感測的研究相當豐富，但利用奈米碳管進行環境水質分析之相關研究則寥寥無幾。同時，近年來以電化學法分析水中 COD 逐漸受到重視，因此為開發以奈米碳管為電極進行水中 COD 分析，本研究旨在彙整奈米碳管電極與環境水質電化學分析相關文獻，以供後續技術發展之參考，並進行初步試驗。試驗結果顯示，在 MWCNTs 表面批覆 TiO_2 後，的確能夠增加電流強度，唯批覆 TiO_2 後所增加之氧化峰其成因為何，電流強度與 COD 濃度之相關性，以及實際廢水所可能產生之訊號為何，仍有待確認與瞭解。

議題：水環境中富勒烯奈米微粒之分離

主講人：林俊德 博士 (國立交通大學防災與水環境研究中心)

演講內容精華：

有機類奈米材料被應用在商業化產品，常見的有富勒烯(fullerene)、奈米碳管(CNT) 與石墨烯等，這些奈米顆粒潛在的生物毒性及其在環境中的流佈受到廣泛重視。本計畫針對水環境中有機類奈米微粒—富勒烯之分離進行研究，探討水中奈米微粒富勒烯分離及定性、定量檢測技術，架構水環境有機類奈米物質之分析技術，並蒐集整理目前國內人造碳系奈米材料使用情況及國外相關分析技術發展趨勢。

富勒烯之新應用研發與商業產品正在不斷地增加中，未來若欲對水環境中有機類奈米物質進行監測與管制，首先，需要了解市面上包含碳系奈米粒子產品之種類與數量、可能來源及可能釋放途徑。第二，由於奈米粒子會因各種環境因子(如溫度、光照、水質等)產生聚集、反應、或沉澱等變化，進而影響其尺寸及表面結構，甚至是物理、化學特性及生物(態)毒性，所以其環境宿命、傳輸及反應在監測中均應了解並掌握。第三，需要建立相關之分析技術，包括樣品之前處理方法、分離技術及定量儀器等完整之分析流程，並對分析系統與條件進行最佳化研究，以檢驗在各種不同環境水體下之再現性、精密度及回收率。

議題：新穎奈米量子點檢測系統應用於環境微生物之偵測

主講人：陳中庸 教授 (中原大學生物科技系)

演講內容精華：

環境致病性微生物中退伍軍人菌一直是公衛的重點，因為像醫院、旅館、室內商場、辦公大樓、三溫暖等大型建築物的水塔均是可能的汙染源。然而退伍軍人症的臨床檢驗採細菌培養，費時且易錯失治療的黃金時機，因此發展一套精確、快速的基因檢測方法有其重要性與必要性。本研究開發設計一套全新技術來偵測退伍軍人菌株，此技術是利用量子點(Quantum Dots)的特性配合微珠嵌連之專一性單股核酸探針，來同時解決定性、定量與標定問題，並簡化檢體製備流程，且同時保有專一性與敏感度。期望此研究提供一全新技術解決傳統檢驗的缺點。

本研究發現微珠為 Poly-methyl methacrylate (PMMA) 材質將優於 polystyrene、silica-carboxy 及 silica-streptavidin 等材質來接上專一性單股核酸序列。本研究完成開發完成利用 Click 反應將量子點與 DNA 探針結合的新技術，接合效率比傳統方發強化了 5 倍而偵測效率強化了 7 倍。此技術在偵測八種退伍軍

人菌株達到 100% 專一性，無偽陽性；100% 敏感性達，無偽陰性；定量標準曲線， $R^2=0.994$ ；偵測極限達 0.1ng。且可單一反應同步偵測八種退伍軍人菌株之專一性定性、定量。為了實測，本研究完成採集桃園中壢地區的環境樣品共 26 例及 10 例退伍軍人菌株之檢測，並確認此微珠-量子點檢測系統可直接由水樣檢出，無須 PCR 將基因放大，定性結果顯示檢出菌種無誤，定量後的水樣菌數與傳統方法無統計上差異，但成本預估比定量 PCR 省 50%而檢驗時程與定量 PCR 相同。

議題：奈米金微粒對細胞毒性檢測技術及生物標記之篩選建立

主講人：闕斌如 教授 (國立中興大學生物醫學研究所)

演講內容精華：

在過去的幾年中，奈米微粒所引發的對人體健康及環境的危害已漸漸的受到重視，如在 Service (2003) 的報告提及奈米材料是具有毒性的；因奈米微粒的小體積，加上其特殊的物理-化學性質都可能在生物體中產生不良的影響，而這些特殊小尺寸的奈米物質對人體及環境造成什麼樣的危害，以及如何產生危害，也就成為目前最重要的研究課題。

本團隊選擇至少 2 種以上非癌化細胞株進行細胞電阻檢測奈米金之細胞毒性，以即時電子式細胞偵測分析儀，做為不同粒徑奈米金微粒細胞毒性監測的篩選平台，此外也希望篩選出在不同粒徑奈米金暴露下，同一種細胞株所產生相似表現反應之分子標記，進行基因及其蛋白之即時定量 PCR (Real-time PCR) 及免疫轉漬法 (immunoblotting) 確認試驗，以找出具代表性之分子標記，未來將可用於奈米金微粒暴露時生物體產生細胞傷害之危險評估。我們也利用西方墨點法，在蛋白表現層次上，分析相關之重要蛋白與訊號傳的分子的活化，這些數據將做交叉比對，以期找出最適切的奈米金暴露之生物標記。

議題：奈米製程職場安全健康

主講人：勞工安全衛生研究所 陳秋蓉副所長 (勞研所 陳春萬研究員代為報告)

演講內容精華：

建立奈米製程職場安全健康初期著重於初步控制防護技術的建立，以掌握奈米微粒之操作安全。研究方向包括(1)職場奈米微粒暴露評估技術：開發暴露評估技術，生物偵測技術，勞工健康流行病學；(2)職場奈米微粒控制防護技術：火災爆炸預防，控制防護性能；(3)職場奈米微粒危害認知與規範建立：提供相關規範或法規，事業單位自主管理技術指引，應用暴露評估技術及規範宣導。目標為(1)營造安全健康職場，保護奈米科技從業人員之健康；(2)配合政策，發展永續發展之奈米科技，探討奈米微粒可能造成之影響，研發奈米暴露評估及控制技術；(3)依據行政院 2005 年產業科技策略會議(SRB)議題結論報告，應建置奈米環境、健康與安全共同平台，規劃進行風險評估、風險管理、風險溝通。

執行之主要成果及價值如下：

1. 領先國際進行奈米微粒火災爆炸相關研究，獲得各界重視並獲邀演講。
2. 奈米作業場所流行病學研究獲得歐美研究單位並尋求合作之可行性。
3. 奈米微粒個人採樣器取得專利，辦理技術移轉，應用於奈米微粒作業場所。
4. 奈米微粒逸散與作業環境測定透過論文發表，獲得國際重視且獲邀演講，並納入國際規範參考。

奈米微粒可能之暴露與風險的評估，仍未有一個定論，勞研所將持續發展有效的評估技術與評估指標，掌握奈米微粒環境暴露與風險狀況，提出更明確危害預防措施。為因應產業發展，降低奈米微粒可能造成之健康安全衝擊，盡量減少不必要之奈米微粒暴露並避免其造成安全風險。現階段研究發現，可採取適當測定方式評估是否有奈米微粒洩漏，應可採用已知有效之控制防護措施來避免奈米微粒暴露。另外，勞研所也將持續建構追蹤奈米製程勞工流行病學資料，配合法規發展，提供事業單位安全衛生自主管理的技術指引。

議題：衛生福利部於奈米 EHS 議題中所扮演之角色：奈米在生醫之應用與法規管理

主講人：衛生福利部科技發展組 郭士維博士

演講內容精華：

衛生福利部於奈米國家型科技計畫，EHS 跨部會合作中負責探討並釐清奈米產品對人體健康安全造成之影響。民國 101~103 年的奈米風險管理架構，將奈米產品分成食品、藥品、化妝品、醫療器材四大類，分別對其進行法規研究、安全風險與檢驗技術之研究。

奈米產品管理的考量因素有(1)各國管理發展趨勢：調查各國對奈米產品管理上的相關規範；(2)產品安全性：蒐集產品的安全評估資訊；(3)現有法規可否有效管理；(4)檢驗技術：發展檢驗技術進行後市場調查，目前的檢驗技術有奈米裡子暴露腔系統、微晶片電子顯微鏡樣品槽技術平台與微晶片電子顯微鏡樣品槽技術平台。

衛生福利部奈米國家型計畫規劃從民國 104 年~106 年進行退場機制，醫藥品查驗中心將進行產業諮詢輔導、國家衛生研究院則是建置國際規範以銜接國際準則，食品藥物管理署則將研擬標示管理規範，三方合作以持續推廣法規制定；在安全風險之確定方面，國家衛生研究院將繼續進行產品安全性評估與奈米物質之風險管理；檢驗技術之提升方面，食品藥物管理署將建立檢驗項目及方法、進行奈米微粒物化特性之檢驗，國家衛生研究院則是調查市售產品之品質。

議題：我國奈米材料物質源頭登錄發展

主講人：財團法人安全衛生技術中心 李政憲處長

演講內容精華：

國際間對奈米物質源頭登錄管理如下所列：歐盟於 2011 年 10 月已通過採用奈米材料的定義並於 REACH 中註冊奈米物質，執委會計畫將在 2013 年 12 月提出奈米材料執行法案的草案；美國在 2010.10 公布奈米碳管為新化學物質，須進行產製前 90 天申報，2011 年發佈重大新用途規則 (SNUR)、奈米材料測試指引及資料蒐集的規範強制要求廠商提交危害資訊；法國則是頒佈奈米申報法令，要求廠商 2013 年 5 月前須回報奈米產品於 2012 年間生產、進口和經銷的奈米材料，另外任何生產、經銷及輸入 100 公克以上的奈米材料都須通報等。

我國方面，2013 年 6 月職業安全衛生法三讀通過，並於 7 月總統公告，條文中納入對於新化學物質源頭管理之架構，而毒性化學物質管理法已持續在進行修法當中。另外，2012 年 4 月 18 日行政院勞工委員會發佈之「既有化學物質增補提報作業指引」附錄六中也對奈米物質做出詳細定義。

我國職業安全法已成為新化學物源頭管理之法源依據，未來法規上路後針對奈米材料化學物質之管理，預計將規劃指定類別特殊表單，主要針對奈米特有的辨識資訊進行收集，初步規劃奈米表單應繳交之資訊有：(1)登記者資料 (2)奈米物質資訊 (3)年度使用量 (4)可能用途 (5)下游使用者資訊

我國職業安全衛生法已納入源頭登錄管理相關條文，毒性化學物質管理法(草案)立法程序中，初步建議規劃奈米運作基本資料表單，為後續管理做準備，並適當檢討相關法規對於奈米危害安全管理的必要性與可行作法。建議依 precautionary 精神，持續制定相關奈米作業操作指引手冊，提升利害相關者對奈米可能潛在危害的重視，推動自主安全管理/分級管理(Control Banding)。

議題：奈米計量與標準在環境、健康和安全的發展趨勢

主講人：工研院量測中心 何信佳博士

演講內容精華：

美國國家標準技術研究所(NIST)的科技研究中，隨著技術進步，研究的微粒尺度已進展至奈米尺度，奈米標準與檢測發展趨勢重點在於能源、環境、安全及製造。NML/ CMS 開發出奈米微粒的本質參數校正系統，包括粒徑、粒徑分布、形狀和氣膠濃度。本系統提供商業化奈米產品所需之校正。未來 NML/ CMS 將依照 ISO TR13014，建立工程奈米物質的物化特性測量方法，包括表面積，表面電位，組成與表面化學。為協調國與國，儀器與儀器間的量測結果，NML/ CMS 也舉辦了兩項比對活動，APEC 經濟體間實驗室比對與 APMP(Asia Pacific Metrology Programme)國家計量機構間的比對。

國家度量衡標準實驗室應加速建立新的計量方法和標準，及時地因應 EHS 檢測需求，例如表面電位、溶解度、團聚態等。環境、健康和安全的法規基礎是架構在量測能力，然而量測方法之不確定性分析仍然充滿挑戰。奈米技術計量標準計畫將持續在支持國內政策、訂定標準、和計量研究上努力，積極地與國際接軌、進行比對協調。而國際貿易與 EHS 議題緊扣，亦將是未來趨勢。

議題：教育與奈米科技：大學學程之未來展望

主講人：國立成功大學醫學、科技與社會研究中心 翁裕峰博士

演講內容精華：

美國的奈米科技教育研究觀察結果有三：(1) 美國將「社會意涵」一詞建立在國際風險治理的基礎架構上；(2) 美國在奈米科技發展的經費預算上試圖平衡「產業發展」與「社會意涵」之比重；(3) 美國將非科學素養納入奈米科技發展計劃內，並承認相關教學活動。台灣方面則是(1) 台灣在「社會意涵」的部分僅停留在概念層次；(2) 台灣在奈米科技發展的經費預算上，「產業發展」比重過重以致於壓縮到「社會意涵」相關之研究經費分配；(3) 學術領域的升等制度的偏頗，使得教育方面缺少積極的投入。

因此，在奈米科技教育研究方面，對台灣的未來展望為：

1. 台灣雖有 EHS 的探討但乃分項在行政院環保署項下另行設立之[環境奈米科技知識平台]，非於國家型計畫內，建議有一個整合性的 EHS 及 ELSI 議題探討空間。相較於美國，台灣關於 EHS 及 ELSI 部分並沒有明確定義與說明，即使在後來計劃執行期間也未加以補充。

2. 建議對人才培育的規劃，能有一個整合科技研究及社會意涵的視野，以打造有能力應用前端科技與面對發展風險的理性社會。人才培育部分著重科技研究人才為主，完全看不到對於科技發展外其他面向之人才培育方案以及預算實質編列。
3. 若能在升等制度上將優良課程、教材製作、工作坊等納入評鑑，使優秀人才可以投入在教學資源的創立設計上，才可使奈米國家型計劃及國科會所挹注之人才培育計畫資源有效發揮應用。教授升等制度的偏頗使得研究人才多以研究論文發表導向，而不願投力太多心力在推廣的教學活動及教材編撰上。

議題：複合奈米材料的水處理技術應用

主講人：國立清華大學生醫工程與環境科學系 董瑞安教授

演講內容精華：

未來 50 年人類將面臨到的 10 大問題當中一項就是水。全球性的水資源問題包含水資源短缺、水源安全、水清潔處理與氣候變化。其中與奈米科技息息相關的就是水源安全與水清潔處理。NNI 各領域的研發經費上，奈米材料、基本現象與程序及奈米設備與系統三大領域占經費的 70%，EHS 部分約佔 5-6%，由 2006 年的 3 千 7 百萬美元逐步增加到 2013 年 1 億 5 百萬。2000 年至 2010 年在奈米科技論文在數量部分增加了近 6 倍，而環境奈米科技相關文章增加的幅度則遠大於奈米科技文章的發表速度。

US EPA 認為奈米科技用於水處理技術的主要技術包含下列三大項：奈米吸附劑 (Nanosorbents)、奈米觸媒 (Nanocatalysts) 與結構性材料。結合不同的奈米物質做應用已經成為一種趨勢，學者們致力研究新穎的多功能奈米結構於各項應用開發上，研究的複合奈米材料包括多孔結構、核殼結構、異核結構、蛋黃蛋殼奈米結構與複合結構材料，其應用範圍涵蓋環境、化學與生醫應用。

水處理技術應用未來的研究方向為設計開發多功能奈米複合物質，使其能同時處理/淨化污水中的污染物，使水源恢復清潔，能夠安全用水。

論壇現場提問與回答

1. Q：請問教授，在您的論文「奈米風險感知」題組，有統計受訪民眾是否在意奈米科技侵犯個人隱私權的問題，請問奈米風險感知與個人隱私間的關聯性為何？

A：當 3C 電子零件奈米化時，就能製造出小型監視設備，歐盟與美國很早就注意到該項問題，故認為個人隱私問題也歸屬奈米風險的範圍之一。

2. Q：在您的論文結論中有提到四分之三(74.5%)的民眾不相信政府管理奈米產品的能力，但在您的調查數據內，提到民眾對政府提供的奈米科技訊息多抱持還算相信的態度(44.2%)，您覺得為何會產生這樣的落差？

A：本團隊以電話詢問民眾對媒體、廠商與政府提供之奈米資訊的信任程度，但電話無法詳細且深入詢問，故有不少民眾僅憑印象回答還算信任。當談到對政府管理能力的信任感時，因民眾對政府會有較高的期待，以高規格標準衡量政府的行政能力，故回答不相信的數據反而增加了。

3. Q：市面上被檢測到雙氧水過量殘留品項最多的就是豆腐、豆乾等製品，可否請董教授簡短說明如何利用奈米複合材料研發出的試劑，有效且快速地檢測出豆類製品中的雙氧水殘留量？
A：只要將豆腐浸泡於滴了試劑的水中經過 30 分左右，即可測出是否有雙氧水殘留。
4. Q：請問教授該試劑是否可能商品化，讓民眾能在家自行檢測，降低買到雙氧水殘留過量的豆類製品疑慮。
A：如果僅作為個人或廠商間的簡易測試，那是沒問題的。但若要拿測試結果報告約束廠商，使其具法令效果的話，就必須將檢測技術標準化並通過政府的評估程序，這部分可能就要花費較多時間來進行。
另外，我可以將該項技術轉移給廠商，但廠商將之商品化後，為了銷售成績，可能會誇大產品之功效，這可能會產生罰則。學者研發出的新穎奈米產品，如果無法得到國家檢測認證，確保產品銷售無風險的話，廠商沒有意願量產，這也是奈米物質商品化的困難之處。
5. Q：是否有機會進行奈米銀襪子含銀比例之先行分析，確定奈米襪本身纖維即含有奈米銀，而不是由清洗後釋出之結果來判斷。
A：本團隊在襪子清洗前用 ICP-MS 在襪子不同部位進行分析，分析的結果已表列在論文中，結果發現號稱含奈米銀的襪子，在其腳趾、腳背和腳跟部位，襪子纖維內確實含有奈米銀成分。
6. Q：根據 ABC 三雙奈米銀襪的清洗實驗數據顯示，經過第 1 次、第 2 次清洗，B 襪和 C 襪沒有奈米銀溶出，A 襪卻是第 2 次清洗時的奈米銀溶出量比第 1 次清洗時還多，可以請您解釋該實驗結果嗎？
A：有可能是第二次清洗的較為徹底。A 襪的纖維奈米銀含量聚集於腳趾處，可能是紡織混合品，奈米銀較易因清洗而釋出。該項清洗實驗預計進行 20 次，觀察奈米銀含量是否會隨著清洗次數的增加而遞減。
7. Q：翁老師提到的希望大學教育在奈米科技部份能納入社會意涵，以本人的自身經驗，工程科系老師比較會留意到這部分的教學，但人文科學老師可能連奈米技術都無法解釋清楚，更遑論其可能帶來之風險等社會意涵層面，但工程科系教授要兼顧研究及教學，就時間上來講，實在很難分配平均。
A：我之所以希望大學教育能納入奈米科技之社會意涵，主要是希望專家、廠商與社會大眾對奈米物質資訊之掌握能處在對等狀態。奈米科技的研究學者對奈米物質的毒性或環境影響等訊息的掌握比一般民眾清楚。因此我們希望從教育做起，當學生畢業進入社會後，自然雙方訊息就能對等，民眾也可以逐漸了解到奈米物質的益處與其可能產生的負面影響。
8. Q：衛福部提到對含奈米的產品，需加強法規查核，我個人認為學校教育很重要，希望教授要提醒學生，各項實驗數據都不能作假，將來出了社會，進行各項檢測實驗時，不會造假數據。另外，教授們研發出來的技術，需要與政府各部會間如何配合才能將之產業化？如勞研所開發的個人奈米粉塵採樣器，將其技術

移轉給美國 TSI 公司，請問是國內法規限制，導致無法移轉給國內廠商，抑或是國內廠商不願意承接這項技術，才導致要轉移至國外？

A：針對數據作假部分，政府部門必須將法規制定清楚，一旦遇到作假事件時，才能及時作出罰則處理。奈米產品最重要的是成分內是否含有奈米物質，如果標示不實，政府部門沒有進行處理，就會讓投機廠商有機可趁，牟取暴利。因此政府部門首先要製訂標準檢驗技術，讓廠商知道如何檢驗自家之奈米產品，需要提供哪些檢驗報告給政府，才可將產品上市，再加上與國際接軌的配套法規，即可杜絕不肖廠商販售不實之奈米產品來欺騙消費者。

另外，提到如何將學界研發之技術產品化，國家型計畫以推動技術產業化為出發點，去年衛福部曾舉辦奈米產業化課程，邀請產官學研各界人士參加，希望藉此讓學者們知道業界與創投人員的需求；同時也讓學者將自己的研發成果解釋給產業人士明瞭，拉近彼此間的距離。在技轉方面，學界擁有不少優秀的研發技術，但國內廠商評估商機不夠時，就不願意接受技轉將之商品化，導致這些技術只能被束之高閣。隸屬衛福部的醫藥品查驗中心，負責業務之一就是輔導國內研發人員及業者在新藥及醫療器材研發過程中之相關法規諮詢服務，讓產品可順利上市。

● 低碳標章



● 環保低碳活動登錄

附錄八 兩位專家專訪的英文稿

• 國立成功大學環境工程學系-王鴻博教授 An interview with Professor Hung-Po Wang



1. Purpose of interview

Professor Wang received his Ph. D. from the Department of Chemical and Fuels Engineering, University of Utah, USA. Now he is a professor of the Department of Environmental Engineering of the National Cheng Kung University (NCKU) as well as a principal investigator of the Advanced Energy, Molecular Environmental, and Nanotechnology Research Laboratory. His fields of expertise include molecular/nano environmental science, green energy, recycling engineering, and supercritical fluid technique. He is also the principal investigator of many research projects in the fields of solid waste treatment, soil pollution, and sewage treatment. He received many awards including Honorary Scholar in Kwoh-Ting Li Technology and Literature Lectureship (2013), Outstanding Scholar of the Advanced Semiconductor Engineering, Inc. (2013), Outstanding Engineering Professor in the Chinese Institute of Engineers (2013), Outstanding Honorary Award of the Chin-Tui Ho Education Foundation (2012), National Science Council (NSC) Outstanding Research Awards (2002–2005, 2009–2012), NSC Outstanding Research Project (2008–2011), Outstanding Research Professor Award in the College of Engineering, NCKU (2002–2003), NSC Innovation Award (1999–2003), Golden Medal Award in the International Patent Competition (1998), and Golden Brain Award of the Intellectual Property Office, Ministry of Economic Affairs (1996). In addition, he served as the associate editor-in-chief of Engineering Science and Technology Bulletin of NSC (1999–2002), Environmental Protection Monthly (2003), Journal of the Chinese Institute of Environmental Engineering (2004–2006) and Critical Reviews in Environmental Science and Technology (2006–present) as well as the editor-in-chief of Sustainable Environment Research (2011–present). This interview is aimed at understanding his nanotechnology-EHS (Environmental, Health and Safety) research advances and exchanging ideas with him.

2. Interview method

In-person interview.

3. Interview date

June 10, 2013.

4. Content of the interview

(1) Please share with the readers the important achievements and the impacts of your research team in nanotechnology application and nano-EHS issues.

In my laboratory, the development of techniques for recycling and reusing recyclable

materials is the focal research subject in the application of nanotechnology in environment. In the past several years, we have devoted our efforts to provide a solution to the problem of recycling of solid wastes and separation and purification of trace metals in semiconductor industry. In addition, the recyclable materials have been used to synthesize low-cost, high-efficiency and value-added innovative materials. The important achievements are:

1. Synthesis and application of size-controllable core-shell nanomaterials: For the purpose of separating and recycling valuable metals from solid wastes and wastewater in high-tech industry, copper ions in chemical mechanical polishing (CMP) wastewater have been chelated with saccharides for the formation of complexes to synthesize core-shell Cu@C nanoparticles by carbonization. This method can also be used to synthesize various metallic, bimetallic or alloy core-shell nanoparticles. By adjusting the molar ratios of saccharides to metal ions, size-controllable core-shell particles ranging from 7 to 40 nm in diameter have been synthesized. The carbon shell ranging from 3 to 5 nm in thickness can prevent the nano-sized metal core from oxidation or aggregation to further facilitate the characterization of the physicochemical properties of core-shell particles, such as melting point, thermal conductivity and electrical conductivity. The basic physical properties of metal nanoparticles related to size were also found. For example, the melting points of Cu@C and Ag@C core-shell nanoparticle decrease with a decreasing particle diameter. Furthermore, metallic, bimetallic or alloy size-controllable core-shell nanoparticles can be applied in the fields of optoelectronics and biomedicine, such as nano-sized copper capillary pumped thin plate for the enhancement of the thermal dissipation of LED, synthesis of multi-layers/multi-metallic alloys nanomaterials and thermal therapy of eradicated malignant tumors. These achievements can be transferred to patents with substantial commercial potential.
2. Selective recycling of valuable metals in hazardous wastes by using green solvent--Room Temperature Ionic Liquids (RTILs): Traditional air pollution control process can not effectively remove nanoparticles. Phosphor fly ashes from the disassembling processes of television, monitor or field emission displays (FEDs) are typically in nano to sub-micron size range. Experimental results showed that more than 90% nano-sized phosphor particles were absorbed by the RTILs in a very short period of contact time. Within 2 minutes, the enrichment efficiency was 80~95% by using the RTILs to extract copper nanoparticles in CMP wastewater or copper particles and nanoparticles adsorbed in MCM-41. When the pH value was adjusted less than 4, copper particles in the RTILs can be recovered of 91% efficiency.

(2) What are the recent international advances and trend in nano-EHS based on your research experience in this field? How to catch up with these advances in Taiwan?

In USA, nanomaterial-related studies have been conducted for more than 10 years during which the applied technology is developed rapidly to be a mature science. The most important issue to me is nanomaterials released to environment, such as particles

of different diameters suspended in the air including invisible nanomaterials. In the past, airborne nanomaterials were detected by using the RTILs consisting of different positive and negative ions. In the RTILs, the distance between the molecules is suitable for nanomaterials to pass through. By measuring the variation of electric resistance in the RTILs, the existence of airborne nanomaterials can be efficiently detected. In addition, high-toxicity compounds consisting of group 3 and 5 elements in the periodic table, such as potassium, indium, and arsenic are typically used to dope silicon during the semiconductor manufacturing process. When semiconductor industry is devoted to the development of nanofabrication technology, it is also necessary to pay attention to the potential risks of engineered nanomaterials to human health and the environment. Because nanomaterial toxicity may be due to chemical properties, surface characteristics and reactivity of nanomaterials are the key parameters to evaluate its toxicity. To understand the toxicity due to chemical properties or nanoscale properties is an important research subject. Finally, measurement and analysis of airborne nanomaterials should be the first priority for our government.

(3) What are your suggestion to future researches and policy in nano-EHS in Taiwan?

Because of highly reactivity of nanomaterials, the workers engaged in manufacturing and handling nanomaterials should take control and protection measures to reduce potential health hazard posed by the exposure to nanomaterials. Those workers also have to be educated to store engineered nanomaterials in liquid phase to prevent accidental release to the air. The best practice for handing nanomaterials in nanotechnology research laboratories, which is also available in the Taiwan Nanotechnology EHS Database, has been published by the Institute of Occupational Safety and Health for nanotechnology industry and laboratories. The potential health hazard posed by the exposure to nanomaterials may persist for 10 to 20 years. In my laboratory, during handling of dry nanomaterials students are requested to conduct the experiments in a hood and wear certified face masks (N95) as well as storing nanomaterials in liquid phase to reduce the opportunity of accidental release to the air.

(4) Prof. Wang, could you please give few words to our young researchers who are devoted to nano-EHS researches?

In the future, there is a wide range of application using nanomaterials. The adverse effects of nanomaterials on human health and the environment must be taken into account for young researchers when conducting nanotechnology researches. Nanotechnology researchers are already acquainted with the operation of various valuable analytical instruments. When the progress in the development of nanotechnology seems to slow down, one could take this opportunity to utilize the existing instruments to investigate the toxicity of nanomaterials. Therefore, potential impact of nanomaterials on human health and the environment can be assessed properly.

• 國立清華大學動力機械工程系-李國賓教授

An interview with Professor Gwo-Bin Lee



1. Purpose of interview

Professor Lee received his Ph.-D. from the Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California, Los Angeles, USA in 1998. Now he is a Distinguished Professor of the Department of Power Mechanical Engineering of the National Tsing Hua University (NTHU), Taiwan as well as a principal investigator of the Microfluidic Biochips Laboratory at NTHU.

His fields of expertise include micro-electro-mechanical-systems (MEMS), microsensors, microfluidic systems, and designs, fabrication and automation of biomedical chips and nanobiotechnology. He received many awards including American Society of Mechanical Engineers Fellow Award (2013), NTHU Excellence in Intellectual Property Commercialization (2013), Excellent Project in Biomedical Science in National Program on Nanotechnology (NPNT) (2012), National Innovation Award (three times), Society of Theoretical and Applied Mechanics of the Republic of China Fellow Award (2011), International Inventor Prize (2011), Honorary Scholar in Kwoh-Ting Li Technology and Literature Lectureship (2009), Outstanding Engineering Professor in the Chinese Institute of Engineers (2009), Outstanding Electrical Engineering Professor in the Chinese Institute of Electrical Engineering (2007), 45th Ten Outstanding Young Persons Award in Taiwan (2007), Outstanding Engineering Professor in the Chinese Mechanical Engineering Society (2006), and the Medal of the National Outstanding Young Persons (2006). He won two National Science Council (NSC) Outstanding Research Awards (2007–2009, 2010–2012) and was selected as one of the highly cited researchers by Thomson Reuters (Taiwan) in 2012. In addition, he served as a deputy director in the Medical Device Center in the Industrial Technology Research Institute (ITRI) (2008–2010), the editor-in-chief of Micro and Nano Letters (2013), the section editor of Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics (2013) and the editor of IET Nanobiotechnology (2006–present). He was also invited to serve as a convener of the inter-departmental projects and the Nanotechnology Education and Training Project in NPNT (2011–present). This interview is aimed at understanding his nanotechnology-EHS (Environmental, Health and Safety) research advances and exchanging ideas with him.

2. Interview method

In-person interview

3. Interview date

Sep. 17, 2013.

4. Content of the interview

(1) Please share with the readers the important achievements and the impacts of your research team on nano/microelectromechanical systems applied to nano-EHS issues.

My research team has developed microfluidic biochips using nano/micro-electro-mechanical-systems with nano/microfluidics technologies in the fields of biomedical detection and environmental monitoring. Biomedical sensing enables a broad range of applications, among which infectious diseases, such as SARS, H1N1(influenza), and upper respiratory tract bacterial infections are the main research subjects in my laboratory. How to detect these common virus and bacteria in a short period of time is important to disease quarantine and personal health management. Nano/microfluidic technology is a critical technique to deal with the trace samples. In my laboratory, a microfluidic bio-chip integrated with microfabricated devices for traditional biochemical analysis has been designed and fabricated by using the MEMS technology for fast disease diagnosis using only minute amount of samples or reagents.

In addition, magnetic nanoparticles have been synthesized for sample collection and pretreatment by nano/microtechnology. As particle size decreases to the nano-size range, surface area of magnetic particles increases. As a result, it is possible to sample a larger amount of viruses or bacteria in the environment for immunoassays or molecular diagnostics. Therefore, the bio-chips developed using the above two techniques can integrate the processes of sampling, sample pretreatment and separation, and detection into one chip.

The third part of our nano-EHS related studies is nanochemistry. Many chemical reactions occur in the large system such as beakers and reactors. By miniaturizing the reaction areas, a nano/microreactor has been developed to precisely control the reaction conditions, such as the shape, size, and physicochemical properties of nanoparticles, which is important for reducing the hazardous substances generated from the synthesis process. Nanoparticles synthesized by the nano/microreactor can not only improve the particle performance but also reduce the toxic impacts on the environment.

(2) As an experienced principal investigator of many industry-academia collaboration projects, what are your suggestions on the promotion of industry-academia interaction in nanotechnology to add values to the achievements of research and development in Taiwan?

We implemented two kinds of industry-academia collaboration projects. One is the industry-academia collaboration project of National Science Council (NSC) which was mainly sponsored by NSC and partially by industry (matching fund). Both industry and my laboratory invested labor and resources in the development of the techniques or products. The other is the collaboration project solely sponsored by industry to develop techniques. In addition, I was also invited to serve as a principal reviewer in the field of medical devices by the Department of Industrial Technology and the Industrial Development Bureau (IDB), the Ministry of Economic Affairs. During 2008–2010, I had served in the Medical Device Center in ITRI as a deputy director to implement the large-scale industrial projects of IDB with the grant amount of 40–50 million NTD per year. Around 40 companies received assistance per year and various workshops were

held during the project period. Therefore, I am very familiar with the medical device industry in Taiwan.

Regarding the industry-academia interaction in nanotechnology, “Microfluidics Technology Industry-academia Consortium” sponsored by the industry-academia small-size-consortium project of NSC was established in February, 2013. The project lasts for 3 years, which will be extended for another 3 years in the 2nd phase if the project is successful. In my view, there are several approaches to promote the industry-academia interactions. The first is vertical integration. Industry is usually divided into the upstream, midstream, and downstream sectors. In the consortium, we hope to find out different companies to promote interactions and collaborations within the three sectors. Currently, there are 20 members from academia and 10 members from industry, respectively. In industry, the business scopes include nanoparticle manufacturing, chip manufacturing, and biomedical sensing, while in academia there are 20 laboratories mainly from NTHU and some from the National Taiwan University. I hope to complete the vertical integration of three sectors between industry and academia. The second is that academia should work closely with industry. Two workshops were held by the consortium this year. In the past, most excellent researches were only limited to paper publications. However, in addition to publishing papers, I own 120 patents among which 6–7 patents have been transferred to industry. Except for the paper publication and patent application, it is not enough to just apply the research results to industry. Not only should the professors collaborate with the company to develop the techniques and products but also it is important for the industry to understand academic researches. The interaction between industry and academia can be achieved by holding the workshops. In the workshop, 20 professors were invited to deliver a talk within 5~10 minutes. The proceedings with the transferable patents and techniques were uploaded in the web page. The quarterlies were also issued for the members. Through the communication, industry can understand the research progress in academia and academia can understand the needs from industry as well. The workshop also provides the platform for the technical consultation and human resource matching for industry.

In the viewpoint of supply chain, academia, research institutes, and companies are in the position of upstream, midstream, and downstream, respectively. A problem facing Taiwan is that the three sectors can not be effectively integrated during the process of research and development. We hope to minimize the integration gap by adding values to the achievements of research and development. The national policy on technology development has been revised recently. The NSC will be transformed to the Ministry of Science and Technology to emphasize the development of technological industry. Although some budget will be allocated in basic researches, the government will emphasize more on the development of technology and industry-academia collaboration. I serve as a coordinator of the inter-departmental projects in NPNT, which will end next year after 12-year implementation. The first nine years of NPNT were aimed at the basic research and development. The mission for the last three years of NPNT assigned by the NSC is to add values to industry. Resource reallocation, incentive improvement, and development of interactive platform can allow the

integration of the three sectors between industry and academia.

(3) What are the recent international advances and trend in nano-EHS based on your research experience in this field? How to catch up with these advances in Taiwan?

In addition to emphasizing the advantages of nanotechnology, risk management of nanotechnology should be taken into account along with nanotechnology development. In the planning phase of NPNT about 12 years ago, nano-EHS issues were included in the project list. As far as I know, nano-EHS related studies in Taiwan are always well-conducted. I was invited to serve as a coordinator of the inter-departmental projects of nano-EHS in NPNT about two and half years ago. In Taiwan, three agencies, the Environmental Protection Administration (EPA), Ministry of Health and Welfare (MOHW) and Institute of Occupational Safety and Health (IOSH) collaborate in nano-EHS researches and policies. One of the focal items for nano-EHS researches of EPA is green nanotechnology which investigates the distribution and toxicity of nanomaterials in water, air, and soil. This also follows the international trends in nano-EHS issues. The mission of MOHW is to promote the human health. The Taiwan Food and Drug Administration (TFDA), one of the subordinate units of MOHW, is responsible for regulatory governance on drug, medical devices, food, and cosmetics in which understanding the issues related to nanomedicine is necessary. The National Health Research Institute (NHRI) is therefore commissioned to establish the Center for Nanomedicine Research to explore the nanotechnology to medical applications. The Center for Drug Evaluation (CDE) offers consultation services to pharmaceutical industry for the registration and evaluation of drug. Regulatory governance on nanotechnology is the main mission of MOHW. The IOSH is concerned with occupational safety in workplaces including imminent danger to engineered nanomaterials (ENMs) (e.g. explosion or inhalation injury) and epidemiology studies and exposure assessment of ENMs. Although there is no acute danger currently, the results will help identify pathogen responsible for future disease outbreak.

The effects of manufacturing, use and storage of ENMs on human health, including chronic epidemiological impact, are the subjects of the current international ongoing researches. I attended Nano Tech 2013 in Tokyo this January. There was a Nanosafe-related organization in the Asia Nano Forum (ANF). The official member country in ANF has to implement Nanosafe-related researches and submits a regular report every year. While promoting nanotechnology industry, it is also necessary to notify the workers or consumers of the potential risks of nanotechnology.

Compared to other countries, European Union (EU) is relatively active on the regulation of nanotechnology-based products. In 2009, European Commission promulgated the regulation on cosmetic products containing nanomaterials. Cosmetic products containing nanomaterials placed on the market shall be clearly labeled with the list of ingredients, composition, and percentage of nanomaterials on the packaging by July 11, 2013. For food, in 2011 European Commission also announced that all ingredients present in the form of ENMs shall be clearly labeled by December 13, 2014. The names of such ingredients shall be followed by the word “nano” in brackets. In

addition, no legislation is specific to medicine and medical devices containing nanomaterials. The authority to regulate medicine and medical devices containing nanomaterials already exists in the current legislation. There will be no amendment to existing legislative framework to reduce the regulatory burden. In Taiwan, a post-project mechanism including proposing the drafts of regulation and guidelines has to be adopted before NPNT end up by the end of next year. Many countries around the world, such as USA and Japan are relatively conservative on enforced regulation on nanomaterials, which are afraid that labeling nanomaterials may create panic among the general public. These countries always ask for comments from stakeholders by proposing the drafts first before making legislation. In Taiwan, counseling approaches are adopted to gather information on the ENMs regulations in various countries, followed by drafting our own regulations and guidelines. The domestic companies therefore can response in advance especially for those companies exporting cosmetics and food to EU region.

(4) As a coordinator of the inter-departmental projects in National Program on Nanotechnology, what are your suggestions to future researches and policy in nano-EHS in Taiwan?

The NPNT will be completed by the end of next year. There will be a 3-year post-project period clearly suggested by the advisory committee members of the NPNT during which an extra budget will be allocated to nano-EHS issues. Current projects implemented by the government departments, such as detection and measurement of nanomaterials, establishment of the standard of nanotechnology, implementing the regulation on nanotechnology and nanomaterial epidemiology studies will be continued. Long-term investments in the above issues are needed for the development of sustainable nanotechnology.

(5) Prof. Lee, could you please give few words to our young researchers who are devoted to nano-EHS researches?

The range of nano-EHS researches is extensive. For example, nanomedicine and nanobiotechnology for which I am familiar are highly competitive fields. I have following suggestion for young researchers who want to obtain breakthrough achievements. The first is to actively collaborate with the other people. There are around 20 inter-laboratory meetings in my laboratory every month. Because of 10–20 ongoing interdisciplinary studies, it is necessary to cooperate with different students or laboratories. Inter-laboratory, inter-university, and international interdisciplinary researches are very important but difficult to conduct. In addition to specialize in your own expertise, learning new knowledge from other fields is also necessary. Young researchers should utilize their core techniques to solve the challenging problems in the other fields. The second is to study the core themes. Because academic period is limited, breakthrough achievements are difficult to obtain for the wrong themes. New research directions can be formed via interdisciplinary research collaboration. Taking me as an example, fluid mechanics is a mature science. However, when fluid mechanics is integrated with the MEMS technology, microfluidic system can be fabricated.

Microfluidic system can be further integrated with nanotechnology to become nano/microfluidic technology. Based on nano/microfluidic technology, biomedical detection chip can be fabricated by integration with biomedicine. One feels interesting if every day comes with a new subject and new knowledge to learn. The third is perseverance. In my experience, preliminary achievements may only be obtained after involving in at least 5-year study. Although reward is not in proportion to effort spent in the early stage, achievement will grow exponentially through continuous perseverance. The performance in nano-EHS issues in Taiwan is excellent. According to the statistic analysis published by the Science and Technology Policy Research and Information Center of NSC, the number of publication including patents and SCI journal papers in nanotechnology in Taiwan is within the top 5 ranking in the world, after implementing NPNT for 10 years. Although Taiwan is a small country with a limited investment in nanotechnology, excellent research results have been achieved because of the collaborative efforts devoted by scholars and students.

附錄九 「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告

2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望

近年來我國與先進國家及國際組織在奈米技術的環境、健康、安全議題上已有顯著進展。我國環保署參與第一期六年(2003-2008)及第二期六年(2009-2014)國家型奈米科技計畫，成功地應用奈米技術在環境整治及檢測，並投入環境奈米微粒及奈米物質的風險評估及管理的研究，以避免潛在的風險發生。為完成奈米國家型計畫第二期的工作，環保署持續與勞委會、衛福部合作，確保負責任的奈米技術之永續發展。本回顧與展望基於過去已擬定的12個奈米技術EHS的發展重點項目，參考國內外的奈米技術EHS策略規劃及研究主題，並考量經費限制、過去的研究成果及各單位的分工協調情況，提出了2014年奈米國家型計畫環境議題的優先發展項目的規劃，以及四個未來重點發展項目：(1) 知識平台維護；(2) 檢測及監測技術平台，亞慢性及慢性毒性測試技術平台；(3) 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露；(4) 友善環境奈米技術。

1. 前言

奈米技術引領科技發展應用在許多不同領域，例如能源、電子、醫學、環境整治、安全及太空。市場上目前奈米技術相關的消費性產品已超過1,628項，涵蓋設備、汽車、電子及電腦、工具、食品及飲料、小孩用品、健康及健身、家庭及園藝等¹。以機械、電子及熱力學特性均優異的奈米碳管為例，先進國家無不極力發展其在奈米複合材料、能源儲存、能源轉換系統、感測器、場發射顯示器、奈米元件、微驅動器及探針等的應用。然而當愈來愈多含有奈米物質的產品被製造出時，環境奈米微粒及奈米物質對人體健康及環境也將造成潛在衝擊。環保署有責任了解及降低這些風險，保護國民健康及環境。此外環保署致力於利用奈米技術偵測、預防及移除污染物，也幫助產業界設計更清潔的製程及環境友善的產品。

本報告將回顧先進國家與國際組織在奈米技術環境、健康與安全(Environmental, Health and Safety, EHS)議題的進展，接著說明環保署在第一期(2003-2008)國家型奈米科技計畫及第二期(2009-2014)前五年的進度及去年的策略規劃²，最後再介紹環保署的2014年策略規劃，期能確保國家奈米技術的永續發展。

2. 世界各國及組織的奈米技術 EHS 議題發展進況

近年來世界各國已針對奈米技術對環境與健康的潛在危害，廣泛進行研究。美國萊斯大學 International Council on Nanotechnology (ICON) 資料庫 nanoEHS Virtual Journal 統計 2000 到 2013 年間有關 EHS 全球同儕審查的期刊文章，發現共已發表了 7,132 篇，其中與工程奈米微粒有關者就佔了 93.3 % (6,686 篇)³，且呈逐年大幅成長的趨勢。可見世界各國無不投入大量的資源，研究奈米技術 EHS 的問題。

奈米物質的毒性研究

以水中生物的影響為例，許多學者發現工程奈米物質會對水中生物產生有害的影響，且奈米物質在水中的溶解及分散性對毒性的測試數據會有很大的影響⁴⁻⁶。水生生物毒性的測試物質一般使用奈米二氧化鈦、奈米氧化鋅、奈米氧化銅、

奈米銀、單壁奈米碳管、多壁奈米碳管及富勒烯，測試物種為甲殼綱動物(以水蚤為代表)、細菌、水藻、魚類、纖毛蟲、線蟲類及酵母菌，其中以水蚤及水藻為最容易受到奈米微粒危害之生物，半致死劑量最低(LC₅₀)，經常作為生態毒性分類的依據。除了微粒的分散特性之外，進行水態毒性實驗時也需注意離子態與不同大小的微粒態的區別⁷⁻⁸。然而有些材料如奈米銀、奈米二氧化鈦等已在市面上使用很久，但並未發現在人體及環境造成重大不良影響。以奈米銀為例，Nowack et al.⁹指出在美國奈米銀以銀膠形式使用已有 120 年的歷史，且自 1954 年即已在美國環保署註冊成殺菌劑，其中 53 % 都有含奈米銀，且文獻上奈米銀對人體的健康危害僅限於銀質沈著症的案例，對環境生態的影響也因奈米銀在環境中的傳輸與轉化作用仍存有許多不確定性。

在奈米物質的健康影響方面，目前已有許多文獻發表奈米物質的體外(細胞)和體內(動物)的毒性研究結果，以及一些奈米物質的工作場所建議暴露限值(Recommended Exposure Limits, RELs)已被制定。以奈米碳管為例，文獻指出它會促進間葉細胞的成長，並導致肉芽腫瘤及纖維化¹⁰，且比相同重量的碳奈米微粒和石英具有更大的毒性¹¹⁻¹⁴；最近的動物毒性實驗更指出小鼠體內的 10-20 μm 長奈米碳管和長的石綿纖維具有相同的毒性¹⁵，主要因為纖維長度超出巨噬細胞能包覆的長度，而讓細胞吞噬作用失效造成發炎；最近另有學者進一步推論因為有部份長的奈米碳管會在肺腔壁肋膜(pleural)上的氣孔入口累積，導致無法被巨噬細胞吞噬而引發發炎反應及間皮瘤等肋膜病變¹⁶。

奈米碳管的毒性評估

由於奈米碳管之使用日益普及，在 2013 年 10 月在日本舉辦的第六屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會上，奈米碳管的毒性仍為世界各國研究的重點。Kanno et al.¹⁷指出，部份多壁奈米碳管的長度為 10-20 μm，使用腹腔注射法在含有 p53 異質基因(heterozygous)的小鼠身上時會產生劑量-反應關係的間皮瘤病變；從低劑量和使用分散性良好的樣本的研究結果發現，非肉芽腫的慢性發炎微損傷主要與不尋常的間皮滋生的誘發有關，在不同的器官包括腎小球和眼球脈絡叢也會發現單纖維碳管的存在，此似乎與吞噬細胞會吞噬次微米的團粒並將它們帶到網狀內皮系統有關，這樣的全身性和網狀內皮系統的轉移產生的毒性並不清楚，還需要作進一步的研究。一般來說，急性動物模式對生物持久性的奈米微粒而言並不是一個好的慢性毒性預測模式，學者們應該研究慢性反應的病理。Oberdörster¹⁸亦指出儘管多壁奈米碳管(MWCNT)的三個月亞慢性多重劑量的小鼠吸入性研究的結果並未顯示出致癌性，但是非生理性的高劑量大量注射實驗會產生小鼠的發炎、肉芽腫及間皮瘤，因而引起大家對於纖維狀奈米物質會產生類似石棉之長期毒性和致癌性的極大疑慮。此疑慮進一步被吸入奈米碳管轉移到胸腔組織和其他肺部外的定量研究證據所証實，因而學者呼籲需要進行長期慢性吸入毒性研究。儘管目前缺少長期的吸入毒性測試結果，Oberdörster¹⁸發現纖維狀奈米碳微粒的三個月亞慢性吸入毒性的研究結果，可用於驗證以正負控制物質為基礎的奈米物質比較性風險評估法(comparative risk assessment method)。此方法使用全暴露-劑量-反應關係，利用不同的測量尺度找出危害並將之分級，分析風險以推導出職業暴露限值。

一般奈米物質為團粒或團聚狀，如 Mitsui 公司生產的一個多壁奈米碳管產品 MWNT-7，為一種分散良好的單纖維(佔質量 5%)和團粒(佔質量 95%)的混合物，在老鼠內注入此 MWCNT 混合物會以團粒方式在肺部細支氣管中誘發發炎損害。

然而對於人類而言，到達肺泡的單一分散纖維所誘導的肺部毒性為一個重要的研究課題，因此吸入毒性研究需要一個不會改變長度及直徑的單纖維的氣膠產生方法。

Taquahashi et al.¹⁹ 提出一個乾式單纖維 MWCNT 分散方法，能有效去除團粒，不必使用分散劑，並可維持纖維長度及直徑。這方法有兩個主要概念：細微粒的液相過濾，及利用表面張力避免再團聚的臨界點乾燥方法。將 MWNT-7 懸浮在三丁醇中冷凍與解凍後，藉由震盪 25 μm 金屬篩網過濾，再以液態氮快速冷凍，最後在真空昇華。Taquahashi et al.¹⁹ 利用此方法發展出一個能夠在吸入腔中產生良好分散氣膠的新直接注入系統，且可在暴露在氣膠的老鼠的肺部中發現和原始及 Taquann 處理過的樣品具有相似長度分布的單一纖維。Taquann 方法利用在生物實驗室中容易取得的低價材料及設備，製備出良好分散的乾式氣膠。此方法具有直接注入系統的暴露腔，將有助於人體暴露更相關的吸入毒性研究的進行。

Kanno et al.和Oberdörster的論點支持了Nel et al.²⁰所建立的平台，此平台用於探討發生在奈米/生物交界面的可能地無數生物、物理化學交互作用，體內實驗的結果用於驗證和改善體外的高通量篩選(high-throughput screening, HTS)技術，並藉由體內和體外試驗的適當組合，建立結構-活性反應(structure-activity relationships, SARs)關係，使危害分級和模擬成為可能。

法規、標準及指引

世界主要先進國家的奈米技術 EHS 法規持續有相當的進展。美國環保署(US EPA)透過毒性物質管理法(Toxic Substance Control Act, TSCA)執行奈米物質的產前申報 (Pre-manufacture Notice, PMN)及顯著新使用規則(Significant New Use Rule, SNUR)以管制奈米物質。US EPA 持續發佈奈米物質的顯著新使用規則，要求業者提出額外的測試數據，目前已完成超過 130 件以上的奈米物質的新化學物質使用申請的審查。為了進一步要求業者提供奈米物質的特性及毒性測試數據，在 2013 年 US EPA 已針對 16 種的新奈米物質提出 SNUR 的申請要求，包括 2 種多壁奈米碳管、1 種表面官能基化的多壁奈米碳管、1 種碳化物合成的奈米碳，及 12 種奈米碳纖維。因為奈米碳管及奈米碳纖維的異常毒性，美國勞工安全衛生研究所 (National Institute of Occupational Safety and Health, NIOSH)在 2013 年提出奈米碳管及奈米碳纖維中的元素碳的 REL 為 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (以 8-小時可呼吸性 TWA (time-weighted average)質量濃度計)，此值為 NIOSH 5040 元素碳(EC)分析方法的最低偵測下限，NIOSH 呼籲工作場所的濃度應儘可能將降至此 REL 以下，因為在 REL 以下時人體肺部仍會有不良的健康影響²¹。NIOSH 並已公告細二氧化鈦微粒和超細二氧化鈦微粒的 8 小時時量平均 RELs 濃度值分別為 2.4 mg/m^3 以及 0.3 mg/m^3 ²²。美國職業安全與衛生局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)在 2013 年出版「奈米物質安全使用的概要」，要求雇主應提供奈米科技使用的奈米物質的暴露及危害資訊，及工作場所奈米物質的暴露控制措施，並遵守 NIOSH 提出的奈米碳管、奈米碳纖維、細二氧化鈦微粒和超細二氧化鈦微粒的 REL²³。為了提高奈米碳管的檢測準確度，Ono-Ogasawara²⁴ 針對以 EC 的測量定量 MWCNT 的方法作進一步研究，他們在 OC/EC 分析儀中以三種不同的爐溫進行樣本的逐步加熱，定量出之 EC 稱為 EC1 (550 °C)、EC2 (700 °C) 及 EC3 (920 °C)，結果發現 MWCNT 以 EC2 及 EC3 為主，且存在微米範圍居多。

針對奈米碳管的工作場所建議暴露限值，歐盟執委會(European Commission)在 2010 年發表的"回顧工程奈米微粒的健康和環境安全議題"的計畫報告中，提出

奈米碳管的衍生無效應劑量值(Derived No-Effect Level, DNEL)為 0.7–30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ²⁵。而日本的新能源產業技術綜合開發機構(New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO)在 2011 年發表的"工程奈米物質的風險評估：奈米碳管"的計畫報告中，亦提出奈米碳管的職業暴露限值為 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (此值為假設工人亞慢性暴露每天 8 小時、每週 5 天為期 15 年)²⁶。另外拜耳公司²⁷和 Nanocyl 公司²⁸也自行訂出 MWCNT 的職業暴露限值分別為 50 和 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

經濟合作與發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)各會員大都已有奈米物質的註冊、評估和管理法規。除了瑞士的危險物質和其製備的保護條例、加拿大新制定的食品與藥物法及奈米物質定義的一部分進展，國際法規的概況自 2008 年起大致維持不變。部分國家在奈米物質定義的發展已有些許進步，預期在不久的將來其他國家也會跟進。在 2006-2009 年間只有兩個國家(加拿大、美國)的法規針對奈米物質有明確的定義，為尺寸分佈在 1–100 nm 之間。

歐盟將奈米物質視為化學物質，並利用化學品管理條例(Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals, REACH)制度全面管制奈米物質及其相關產品，但 REACH 無法考慮到奈米物質的四個特殊問題：(1) 奈米物質的鑑定；(2) 列為逐步管制(phase-in)的奈米物質；(3) 噸數門檻及奈米物質；(4) 風險評估的條例，奈米物質的 REACH 實施計畫(RIPoN 1, 2 and 3)，即是為了解決上述的問題。其中 RIPoN 1 的目的是為了調適物質定義的規則(定義技術指引文件(Technical Guidance Document, TGD))以釐清 REACH 法規在奈米物質上實施的適用性，將奈米物質視為(1)已定義完整的物質或為(2)特定化學成分和額外標識的物質。國際環境法中心針對現行 REACH 對奈米物質的管制議題持續作探討，並建議發展一套獨立的法規，明定 REACH 的工具和法規如何適用於奈米物質，列出奈米物質管理的一般性原則，所有的條款與 REACH 定義的一致，並使用執委會的建議定義奈米物質。

歐洲議會(European Parliament, EP)於 2011 年 12 月於歐盟 2007-2012 年的"工作場所健康和安全的策略"期中審查會上通過決議，要求立法以確保奈米物質將受到目前歐洲的職業健康和安法法規監管，並要求新技術和有害物質的潛在風險必須進行評估，以保護工人的健康及安全。執委會於 2011 年 12 月要求"新興和新發現的健康風險科學委員會"(Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR)針對奈米銀提供安全、健康和環境影響和抗菌性作用的科學意見。執委會認為最新的文獻顯示奈米銀可能不會危害人體，但數據尚不足以進行全面性的風險評估，執委會並要求 SCENIHR 評估奈米銀的使用是否會比傳統的銀產生額外的風險，特別是在醫療照護和消費電子產品方面，並評估用於抗菌的奈米銀是否會造成微生物對銀的抗藥性。

歐盟執委會並在 2013 年 2 月 5 日宣布完成五年一度的化學品註冊、評估、授權和限制(REACH)法規的審查。執委會的預發佈版本提到，執委會將進行各相關法規方案的影響評估，特別是要針對 REACH 附件作修訂，以確保在註冊建檔時，奈米物質有清楚的闡述，且展現出奈米物質的安全性。如果合適的話，執委會將於 2013 年 12 月提出執行草案。預發布版本中特別說明，如果因「其他因素」需要修改時，應特別考量到「奈米物質定義的提出應符合執委會針對奈米物質定義的建議」。

另外，歐盟的化妝品法規(EC No 1223/2009)規定從 2013 年 7 月 11 日開始銷售含有奈米物質的化妝品時，廠商須在上市前 6 個月向執委會通報使用的奈米物

質。另外歐盟在 2011 年 10 月通過的食品法規(EU No 1169/2011)，規定從 2014 年 12 月 13 日起食品內含有工程奈米物質者，需於成分表上明確標示「奈米」兩字。

ISO (International Organization for Standardization)在 2005 年成立 ISO TC 229 技術委員會，負責奈米物質標準的制定²⁹。TC 229 下設四個工作小組分別為 JWG 1: Terminology and nomenclature，負責奈米物質的術語及命名；JWG 2: Measurement and characterization，負責奈米物質的量測及特性分析；WG3: Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies，負責奈米物質的 EHS；WG4: Material specifications，負責的奈米物質規範。

其中與奈米 EHS 有關的工作小組為 ISO/TC 229 WG3，其工作重點如下：

1. 控制奈米物質職場暴露的標準方法
2. 決定奈米物質相對毒性/危害性潛勢的標準方法
3. 奈米物質毒性篩選的標準方法
4. 判定奈米物質環境友善使用的標準方法
5. 確保奈米產品之產品安全的標準方法

至 2013 年 11 月為止，ISO/TC229 已發表 36 個標準，研究中的標準、指引及研究群計畫(project group, PG)則尚有 24 個之多，有些 PG 才剛獲得委員會同意開始執行，24 個進行中的標準及計畫的內容，包括奈米物質職業風險分組控制評估指引、工程奈米物體及含有工程奈米物體之產品的標示指引、奈米物體的命名架構、工程奈米物質的樣本製備方法及計量指引、工程奈米物質的毒性篩選方法指引、測定胞壁酸作為奈米銀微粒活性的生物標誌、粉末狀奈米微粒的特性分析與測量等。我國關注的奈米物質的物質安全資料表(MSDS)制定，已於 ISO/TR 13329 發表，此報告為奈米物質及含有奈米物質的混合物之物質安全資料表的制定指引，報告整理了全世界 97 個奈米物質相關的 MSDS，結果發現大部份的 MSDS 的安全資訊不足如毒性及物化特性，主要的原因為(i) 缺少毒性及物化特性數據；(ii) 缺少傳統暴露控制方法之效率；(iii) 缺少緊急應變及消防措施；(iv) 不了解現行法規對奈米物質的適用性。本報告建議將來應該按照混合物中奈米物質的毒性及有關風險的預防性方法，制定奈米物質的物質安全資料表。ISO/TR 13329 的主要建議之一為納入額外的物理化學特性，包括微粒粒徑(平均和範圍)、粒徑分佈、聚合/團聚的狀態、形狀和縱橫比、結晶性，比表面積、分散性和揚塵特性等可以協助從非奈米尺度的物質分辨出奈米物質的特性³⁰。

奈米參考物質

美國國家標準與技術研究院(NIST)發表世界上第一個單壁奈米碳管碳煙的參考物質 SRM 2483。NIST 的新參考物質提供企業及研究人員亟需的均勻和物化特性量測清楚的奈米碳管碳煙，以進行物質比對與化學及毒性分析。NIST 認證的單壁奈米碳管參考物質將直接解決可比較性的問題，它可能是世界上唯一可保證單位間樣本一致性的均質、已分析成份的單壁奈米碳管碳煙最大供應源。NIST 認證的每一單位 SRM 2483 裝有 250 mg 碳煙，對數種的常見污染物的質量分率包含銀、銻、氯、鈷、鎘、鎘、鎘、鉛、鎘、鎘和鈾具有驗證值，且提供額外七種元素的參考值(此值正確，但未達 NIST 驗證所需的水準)。NIST 也提供對奈米碳管分析有用的額外參考數據，包括熱重分析和拉曼光譜資料、紫外光-可見光-近紅外光吸收光譜、近紅外螢光光譜、拉曼散射光譜及掃描式電子顯微鏡圖像。有了以上的

資訊，認證參考物質的購買者應該能夠將他們的測量結果與 NIST 和供應商提供的參考值作比較，以確保有一致的比較基準點。

OECD 的工程奈米物質工作小組(WPMN, Working Party on Manufactured Nanomaterials) 於 2007 年 11 月啟動了一個贊助計畫，這個計畫主要由 OECD 的會員國、非會員國經濟體及其他利害相關者的專家參與，並共同支助特別的工程奈米物質的安全測試計畫。WPMN 已同意這個贊助計畫下的 13 個代表性工程奈米物質的優先名單，以及測試終點 (endpoints) 的項目表。這 13 個代表性的奈米物質均為已上市或即將上市的奈米物質，可視為奈米物質測量、毒性及風險評估的參考物質，以下為這 13 種代表性工程奈米物質的名單(ENV/JM/MONO(2010)46)³¹：

1. C60 富勒烯 (C60 Fullerenes)
2. 單壁奈米碳管 (SWCNTs, Single-walled carbon nanotubes)
3. 多壁奈米碳管 (MWCNTs, Multi-walled carbon nanotubes)
4. 銀奈米微粒 (Silver nanoparticles)
5. 鐵奈米微粒 (Iron nanoparticles)
6. 二氧化鈦 (Titanium dioxide)
7. 氧化鋁 (Aluminium oxide)
8. 氧化鈾 (Cerium oxide)
9. 氧化鋅 (Zinc oxide)
10. 二氧化矽 (Silicon dioxide)
11. 樹狀聚合物 (Dendrimers)
12. 奈米黏土 (Nanoclays)
13. 奈米金微粒 (Gold nanoparticles)

制定測試終點項目表的目的是在於確保不同的奈米物質測試方法的一致性，並據以建立每一特定奈米物質的基本特性、宿命、生態毒性及哺乳動物毒性資料檔。整個計畫為動態且持續性，第一期(Phase 1)的計畫目標是完成測試終點所規劃的所有項目，純以探索性及科學性為出發點，而不影響現行的法規。第二期(Phase 2)則是針對第一期執行過程中所累積之資訊，決定其他有助於使資料檔更完善之合適測試方法，以及再針對有助於了解奈米物質有害潛勢的其他測試終點進行探討。OECD 在 2011 年對奈米物質的市場現況進行調查，結果發現奈米銀或奈米鐵因為生產成本相對低廉，且找到應用端市場(如奈米銀具有殺菌功能)，其用量有逐漸由研發尺度的需求量轉換到商品化的需求量(ENV/JM/MONO(2011)53)³²。

我國在奈米物質管理的進展

我國的奈米物質的管理已有一些進展，職業安全衛生法第 13 條已先行修法通過並於 2013 年 7 月公告，相關的施行細則及辦法頒佈後會正式實施，而毒性化學物質管理法部分條文已於 2013 年 11 月修正通過，建立化學物質登錄機制，並加強管理危害人體健康之虞毒性化學物質。立法院並通過附帶決議，要求環保署訂定登錄管理規定時，應納入奈米物質定義與登錄規定，奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公斤以上。職業安全衛生法第十三條規定，製造者或輸入者對於中央主管機關公告之化學物質清單以外之新化學物質，未向中央主管機關繳交化學物質安全評估報告，並經核准登記前，不得製造或輸入含有該物質之化學品。但其他法律已規定或經中央主管機關公告不適用者，不在此限。職業安全衛生法

第 13 條條文中納入了新化學物質源頭管理之架構，未來法規上路後針對奈米材料化學物質之管理，預計將規劃指定類別特殊表單，主要針對奈米特有的辨識資訊進行收集。

由經濟部工業局主導推動的「奈米標章驗證體系」已邀國內相關學者專家組成工作小組，起草制定產品規範草案，除一般測試外，也要求進行動物的皮膚刺激性試驗及口服急性毒性試驗，以確保產品對人體健康及環境安全無潛在的傷害。勞工安全衛生研究所已於 2011 年 1 月 26 日公佈「奈米技術實驗室奈米物質暴露控制手冊」³³，提供國內奈米產業擬訂奈米物質暴露及控制策略參考，並委託國內學術單位輔導奈米技術實驗室奈米物質暴露控制管理。

研究策略

在奈米技術的 EHS 研究方向上，美國環保署在 2007 年至今所發表的奈米科技白皮書曾提出六大建議包括³⁴：

(1) 奈米技術的環境應用研究

美國環保署須持續進行、合作及支持研究，以了解及使用奈米物質於環境的應用上。

(2) 風險評估研究

美國環保署須持續進行、合作及支持研究，以了解奈米物質的化學及物理鑑別及特性、環境中的宿命、環境中的偵測及分析、可能的逸散及人體暴露、人體健康影響的評估及生態上影響的評估。為確保這些研究有助於美國環保署的決策，美國環保署應進行案例研究以識別奈米物質特有的風險評估考量。

(3) 污染預防、督導和永續發展

美國環保署應鼓勵、支持和發展方法以提升污染預防、永續再利用，作好產品從製造、使用和使用終點的奈米物質生命週期管理，並利用下個世代的奈米技術以找出對環境有益的技术，如綠色能源，綠色設計、綠色化學和綠色製造。

(4) 合作與領導

美國環保署應持續擴大奈米物質應用及人體健康危害和環境影響的合作研究。

(5) 署內工作小組

美國環保署應該成立內部常設的工作小組以促進奈米的科學與政策議題的資訊分享。

(6) 訓練

美國環保署須持續並擴大對科學家和經理人進行奈米技術訓練活動。

美國奈米科技辦公室下的次委員會「奈米科學工程技術組」發表"2011 年 NNI 環境、健康、安全研究策略"以供大眾評論³⁵，這份文件取代 2008 年 NNI 的奈米 EHS 研究策略，提供指引給各聯邦機構以確保負責任的奈米技術發展，這些聯邦機構的工作為產出風險管理、法規制定、產品使用、研究規劃及大眾溝通所需要的科學資訊。策略中的六個章節指出奈米 EHS 的六大核心需求，分別為：(1) 奈米物質測量架構；(2) 人體暴露評估；(3) 人體健康；(4) 環境與 (5) 風險評估與管理方法；(6) 資訊學與模擬。資訊學的專章以管理日益擴大的奈米 EHS 知識，並描述支援奈米 EHS 研究、風險管理所需的高階模式和模擬能力。最後一章為促進即時、有效達成 NNI 奈米 EHS 策略目標的方法。在 2011 年 NNI EHS 研究策略中所有章節中都包含了 ELSI (倫理、法律及社會影響)，NNI 希望透過大眾認知、

預期效益的了解、預期風險和安全的研​​究；科學會議和論壇的舉辦；大眾參與等方式以產生 ELSI 的知識及見解。

NNI 在奈米 EHS 的研​​究已投入大量的資源。以 2009 年為例，7 個 NNI 的機構投入在"奈米物質測量架構"的研發經費為 1128.1 萬美金(共 42 個計畫)，在"人體暴露評估"為 329.8 萬美金(共 14 個計畫)，在"人體健康"為 4161 萬美金(共 117 個計畫)，在"環境"為 4368.2 萬美金(共 54 個計畫)，在"風險評估與管理方法"為 353.4 萬美金(共 21 個計畫)，總經費為 10340.5 萬美金。若僅看美國環保署的研​​究經費，則 2009 年的投資為 1110 萬美金，約佔 NNI 總經費的 10.7%，在 2010、2011、2012 及 2013 年美國環保署的經費分別為 1710 萬、1740 萬、1750 萬及 1750 萬美金，在 2014 年預估經費為 1720 萬美金。根據美國環保署研​​究發展辦公室在 2009 年發表的"奈米物質研​​究策略報告"³⁶，選定奈米物質 EHS 研​​究優先順序的原則為：

- (1) 研​​究是否能支持環保署保護人體健康及環境的使命。
- (2) 研​​究是否對環保署的奈米物質法規決策有重要性。
- (3) 在 NNI 的 EHS 研​​究策略下，環保署在該研​​究議題下所扮演的領導/協調角色。
- (4) 研​​究是否為國際合作研​​究協議的一部份。
- (5) 研​​究是否有助於環保署的風險評估及管理工作。
- (6) 如何結合聯邦、學術界及工業界的研​​究人員以提升研​​究工作。

根據以上原則，美國環保署在奈米技術的研​​究選定聚焦在以下四個研​​究主題，分別為³⁶：

- (1) 污染源、宿命、傳輸和暴露。
- (2) 有助於風險評估的人體健康和生態效應的研​​究，及其測試方法。
- (3) 風險評估方法及案例研​​究。
- (4) 風險的預防及管理。

因為奈米物質的物理化學特性、及在環境中的傳輸和轉化不易定量及了解，奈米物質對人體健康及環境的影響仍存在許多不確定性。因此 NNI 的研​​究聚焦在奈米物質測量、環境和人體健康，反應在此三個領域的龐大計畫數目與經費，而投入在風險評估及管理的經費則較少，主要是由於這些不確定性及暴露與危害資料庫的不足。

領導美國奈米技術發展的 Roco 等人曾於 2010 年提出奈米 EHS 的未來 10 年願景³⁷，他們的報告指出，由於奈米技術的快速發展及其大量的應用，人類、動物和生態系已經發生顯著的暴露，因此有必要發展一個整合性、經過驗證的危險、暴露和風險評估的科學平台。將來會出現高通量和多功能的篩選平台，可以同時平行檢驗許多批不同的奈米物質，而不是每次只針對一種奈米物質作篩選。在未來 10 年的願景包括工程奈米物質特性與活性關係的發現和發展、高容量的數據集，以及用於建立知識庫、風險模擬和奈米資訊學功能的計算方法，以協助可靠決策之用。此資訊需要整合到預測科學和風險管理平台，以對特定奈米物質及其特性與危險、宿命、傳輸、暴露和疾病作連結。為確保在未來十年能安全的使用奈米技術，尚需發展全新和敏感的分析方法、工具和準則，以篩選、檢測、量測特性和監測工程奈米物質在工作場所、實驗室、家庭和環境的暴露。另外，吾人尚需制定有效的監管(monitoring)、圍封(containment)、和廢棄物清除方法的奈米物質處置系統。新的數據和知識的收集將可促成更安全的設計和綠色製造，可使奈米技術成為一個永續發展的基石。

美國國家學院(The National Academies)所屬的美國國家科學研究委員會(National Research Council, NRC)在 2013 年公佈了工程奈米物質在 EHS 議題的研究進展報告(以下簡稱研究進展報告)³⁸,這份報告根據奈米技術產業的研究成果和變化趨勢,評估目前的研究進展,更新研究優先發展順序,及預估研究資源。研究進展報告延續了 2012 年出版的工程奈米物質在 EHS 議題的研究策略報告,提出發展科學和研究基礎的策略方法,用於處理工程奈米物質對 EHS 造成潛在風險的不確定性。2013 年出版的研究進展報告檢視了奈米技術研究的現況、審視市場和法規的狀況及它們對研究優先發展項目的影響,並考量工程奈米物質在環境健康安全議題的研究進展的評估標準。

私部門的自主管理

Bergeson³⁹認為綠色奈米科技的概念需要在法規及私部門的自主管理中深植及提倡,以確保奈米技術的永續發展。關於重要的私部門自主管理,在 2007 年 6 月環境保護基金會(Environment Defense Fund, EDF)與杜邦公司正式宣佈他們的合作成果—奈米風險評估架構(Nano Risk Framework),此架構正快速地成為奈米產業衡量最佳管理實務的標準。奈米風險評估架構確立了一個有系統及紀律的流程,用於識別、管理和減少工程奈米物質在產品生命週期的各個階段之環境、健康與安全的潛在風險,從開始的源頭到製造、使用、棄置或再循環及最終宿命。EDF 和杜邦公司於 2007 年 2 月發表了架構的草案,並收到來自不同利益相關者的意見,包括政府、學術界、公益團體及大型和小型企業。EDF 和杜邦公司相信這個針對大量使用奈米物質和開發相關產品與應用的私人及公共組織的架構,將可協助使用者組織和評估現有的資訊,評估、優先處理和指出數據需求,以及清楚地溝通如何降低風險。最後 EDF 和杜邦公司相信採用此架構可促進奈米技術產品的負責任發展、提升民眾的接受度,及支持形成一個奈米科技安全的合理政府政策的實用模式。另一個重要的私部門自主管理為 GoodNanoGuide (網址: www.goodnanoguide.org),它是一個為了提昇專家交換奈米物質職業安全問題意見而設計的合作平台。GoodNanoGuide 的三個目標為:開發和啟動一個使用維基軟體平台,以討論奈米物質安全處理的職業安全實務的網站;制定一套流程讓國際社群內不同的利益相關者貢獻、分享及討論奈米物質職業安全問題的相關資訊;及建立一個提供即時資訊並隨新實務的發展更新的最新互動式平台。

為了促進綠色奈米技術的發展,Bergeson³⁹建議利益相關者關心並提倡以下八個議題:發展適用於綠色奈米產品的生命週期評估、建立綠色奈米技術的效能及驗證規範、對發明者提供稅賦和相關商業的優惠政策以鼓勵綠色奈米技術的應用、延長綠色奈米技術的專利保護期限、在環境化設計方案(DfE)建立綠色奈米的分類、增加綠色奈米技術研究的補助經費、召開論壇以有系統地發展和實施綠色奈米原則,以及在法規和私部門的自主管理活動中積極地提倡綠色奈米。

歐盟奈米安全研究群計畫

歐盟至 2013 年為止的 9 年內,共執行奈米 EHS 大型計畫 50 個,研究經費高達 1 億 3 仟 7 佰萬歐元(約 54 億台幣),每個計畫執行年限自 2 年至 5 年,平均計畫經費為 1.1 億台幣。2013 年版的歐盟執行委員會奈米安全研究群計畫概要(Compendium of Projects in the European NanoSafety Cluster) (<http://www.nanosafetycluster.eu/>) 共列出其中的 33 個計畫之執行概要。歐盟的這些大型研究計畫著重於整合毒性研究及暴露監測的新技術,過去十年已發表了許

多的研究報告及指引文件，並指出奈米技術的人體健康及環境安全之研究需求。此概要手冊發行的主要目的為協調研究人員的研究工作，建立研究人員於實際研究期間的聯絡和溝通管道，讓不同研究計畫目標能互相溝通，研究目標及方法能更加廣泛，及加強人員能力及實驗室基礎建設，支持具有共同目標的計畫間的合作關係，但並不犧牲出版權及智慧財產權為前提(EU NanoSafety Cluster 網站)⁴⁰。

台灣奈米科技發展風險管理分析

國內工業技術研究院奈米科技研發中心有鑑於國際社會對奈米風險管理的逐漸重視，並因應國內未來產業需求，於 2011 年提出了"台灣奈米科技發展風險管理分析"報告⁴¹，作成了七項具體建議，包括成立奈米風險管理的權責單位、聚焦奈米粉體風險管理、奈米技術產品的生命週期風險評估、推動低暴露奈米材料製程環境、奈米物質申報、選擇國際合作對象、建立國際對話管道及倫理、法律與社會意涵。

3. 環保署環境奈米科技執行成果 - 2003 ~ 2013 年間的主要成果

在第一期國家型奈米科技計畫(2003-2008)，環保署共投入總經費 5452 萬元在奈米技術環境相關議題之研究發展計畫 19 項，其中推動負責任奈米研發及產業環境類別，共 10 項，佔總經費 55 %；另外應用奈米技術在環境保護工作類別，共 9 項，佔總經費 45 %。除了國家奈米計畫外，環保署另外在"環保創新科技研發計畫"中投入了 10 項研究計畫，總經費共 1675 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究。在第二期國家型奈米科技計畫(2009-2014)的前五年(2009-2013)，環保署共投入 26 項計畫，總經費為 6618.4 萬元，全部用於奈米技術環境相關議題之研究發展，以推動負責任奈米研發及產業環境；在"環保創新科技研發計畫"中，環保署另外投入了 5 項研究計畫，總經費共 718.8 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究；環保署並於 2013 年新增"新世代環境檢測發展計畫"，投入 2 項研究計畫，總經費共 280 萬元。環保署在 2013 年的奈米技術環境相關議題的 5 項研究計畫包括「奈米金微粒對細胞毒性檢測技術及生物標記之篩選建立」、「環境中奈米物質質量測及特性分析技術開發」、「水環境中無機性奈米微粒量測技術開發研究」、「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」及「奈米科技之風險感知及政策研究」；在"環保創新科技研發計畫"的 1 項研究計畫為「量子點奈米基因指紋鑑定系統應用於環境微生物之分析」；在"新世代環境檢測發展計畫"的 2 項研究計畫分別為「奈米碳管修飾電極進行環境水質分析之先期研究」及「環境奈米檢測技術開發—水中奈米微粒富勒烯分離技術先期研究」。環保署在 2003-2013 年間獲致之重要成果臚列如下：

(一) 促成跨部會的奈米技術 EHS 預防風險管理工作

環保署與勞委會及衛福部三部會共同促成跨部會的奈米技術 EHS 預防風險管理工作，在「95 年度各部會署奈米計畫溝通協調會議」中達成共識，在第一期國家型奈米科技計畫進入下一階段時(2006-2008)，針對奈米技術之環境、職場、健康風險評估及管理，提出「環境、衛生、安全整合型計畫(EHS 計畫)」，由環保署負責環境中奈米物質暴露評估及風險管理，衛福部進行奈米物質的健康風險評估，而勞委會則負責職場勞工健康及製程安全的工作。目前三個部會定期召開奈米技術 EHS 工作協調會議，加強了部會間的緊密合作關係，共同創造了負責任的奈米技術的永續發展。

(二) 確保奈米技術產品的安全

環保署透過文獻回顧及專家討論，提出光觸媒產品在環境應用之限制條件以及必要條件，逐一檢核及驗證光觸媒產品是否應用得宜，並提供經濟部奈米標章做為管理依據，確保奈米技術民生應用之安全。我國推動奈米標章制度，目前已通過申請的有效奈米標章廠商共計 39 家，通過奈米產品驗證規範的產品分類共有 37 種，共計 1410 項產品，此制度為國際上之創舉。2009 年 11 月獲經濟部採納，將依預防原則制訂「優良操作規範」，透過奈米標章的審議及現勘機制納入執行，在產品設計、製造及使用時實施風險管理以確保奈米技術產品的安全，除一般產品的功能測試外，也要求進行動物的皮膚刺激性試驗及口服急性毒性試驗，及產品的安全性測試，以確保產品對人體健康及環境安全無潛在的危害。為了加強工作場所的奈米物質管制工作，建議工業局也可將奈米技術的 EHS 問題列入工廠輔導計畫中，以協助業者確保奈米產品的安全。環保署持續與其他部會合作，發展及執行奈米物質及奈米技術產品的"最佳控制實務"。

(三) 國際交流與合作

針對全球關注的負責任奈米技術議題，環保署與工研院等單位邀請國內外專家分別於 2003 及 2004 年舉辦兩次大型國際研討會，並提出我國因應對策報告，內容包括：奈米科技名詞中文化，並針對重要名詞加以註釋，以為法規精確定義之依據；確定風險評估之架構並提出建議；文獻蒐集、分析及檢討奈米微粒可能之危害特性；歸納奈米科技環境應用潛勢。

環保署在第一期國家型奈米科技計畫的若干成果已引起國際注意，公開表示台灣在奈米技術 EHS 議題與世界同步⁴²；瑞士日內瓦的國際風險管理委員會(International Risk Governance Council, IRGC)下設的奈米技術工作小組(Working group on nanotechnology)，於 2006 年 2 月正式公布全球問卷結果也顯示⁴³，台灣是全球正式回應並呈現完整資料的 12 國之一。環保署持續參與台灣奈米標準技術諮議會的奈米標準技術第三工作組(TWA 3-Health, Safety and Environmental issues)的標準制定工作，使國內的研究工作能與國際接軌，並透過舉辦及參加國際研討會，每年定期舉辦環境奈米科技論壇⁴⁴⁻⁴⁹，發表同儕審查制度的期刊論文(如 Doong and Chiang 2008; Chen et al. 2009; Chen et al. 2010; Tso et al. 2010; Zhu et al. 2010; Chen et al. 2011; Hsu et al. 2012; Zhu et al. 2012; Chen et al. 2013; Liu et al. 2013a; Liu et al. 2013b)⁵⁰⁻⁶⁰，積極加強與國內及國際組織的合作關係。

(四) 開發環境友善的奈米技術

環保署致力於開發環境友善的奈米技術，以接受國內迫切的環境挑戰及解決污染問題，包括以奈米粉體電泳沈積法製備高緻密度的氧化鋅電解質薄膜，作為機動車輛的高性能氧氣感測器；採用生物可分解之水溶性澱粉當作分散劑製成奈米鐵懸浮液，以有效降解模擬的土壤/地下水污染中的三氯乙烯污染物；以不同比例的奈米碳管及鈦酸鹽奈米管配製成具有高面向比與高比表面積的功能性一維奈米複合材料，使用於共處理受污環境中的難分解有機污染物與重金屬；製備均勻固定奈米鐵及鎳於微米 α -氧化鋁粉體及多壁奈米碳管以用於三氯乙烯的有效催化及廢水中混合污染物的處理；以溶膠凝膠法製備TiO₂溶膠、添加奈米金屬之光觸媒及以模板法合成各種中孔型複合光觸媒，以提高紫外光及太陽光下的催化活性，增加廢水、廢氣處中污染物的處理效率，及產生自潔與殺菌效果；藉由金與磁鐵礦奈米材料的製備與合成，配製成具有高催化特性及回收再利用的多功能性Au-Fe₃O₄異核結構奈米複合材料，並將之應用於水體環境中的難分解有機污染物催化處理⁶¹⁻⁶²；利用奈米零價鐵金屬對硫化氫的去除能力，將奈米零價鐵固定於化學濾網上，應用於養豬畜產業之廢水沼氣硫化氫的去除⁴⁸；利用奈米碳管修飾

電極進行環境水質分析⁴⁹；利用新穎奈米量子點檢測系統應用於環境微生物之偵測⁴⁹等。

(五) 推動奈米技術研究實驗室及工作場所的風險管理工作

環保署藉由相關標準作業程序及實驗室安全工作指引的制定，與勞委會及衛福部合作推動風險管理工作，以建構負責任的奈米技術研發及製造環境。與勞工安全衛生研究所合作於 2011 年公佈「奈米技術實驗室奈米物質暴露控制手冊」，提供國內奈米產業擬訂奈米物質暴露及控制策略參考，並輔導從事奈米技術實驗室奈米物質暴露控制管理。環保署促成我國開始修法將奈米物質列入化學物質管理法中，職業安全衛生法第 13 條已先行修法通過並於 2013 年 7 月公告，相關的施行細則及辦法頒佈後會正式實施，而毒性化學物質管理法部分條文已修正通過，建立化學物質登錄機制，並加強管理危害人體健康之虞毒性化學物質。立法院並通過附帶決議，要求環保署訂定登錄管理規定時，應納入奈米物質定義與登錄規定，奈米化學物質登錄門檻不得高於年運作量 1 公斤以上。

(六) 環境奈米科技知識平台的建置

環保署蒐集國內外相關研究資訊，建構了"環境奈米科技知識平台"，網址為 <http://ehs.epa.gov.tw>，以作為環境奈米技術的參考資料庫及利害關係者的溝通平台，內容涵蓋奈米技術在環境應用面及衝擊面等相關國內外資訊，及國內奈米技術領域研究機構及人才資料庫等。此平台持續累積及擴充研究資料，以建構學習型之知識平台，提供各界深入瞭解及參與環境奈米技術。環保署於 2010 年起更進一步與勞委會及衛福部合作，將此平台擴充為奈米技術的 EHS 資料庫，並以中英文方式呈現，以加強國內的奈米技術 EHS 研究計畫成果的展現，並促進國際交流與合作。目前已整理並完成上傳的國內的研究報告及出版文獻篇數為：中文版網站--研究報告全文 174 篇、出版文獻連結 537 篇；英文版網站--研究報告摘要 149 篇、SCI 論文連結 523 篇，顯見國內對奈米 EHS 的研究成果豐碩。目前環境奈米科技知識平台的電子報訂閱人數為 525 人，2011 年至今瀏覽人數亦大幅增加至 60,890 次。

(七) 發展環境奈米物質的量測及特性分析方法

環保署致力於研發環境奈米物質的量測及特性分析方法，並用於大氣環境、工作場所、環境背景奈米微粒及工程奈米物質的暴露及危害評估，發展的技術包括改良的奈米微粒多階衝擊器 MOUDI(Micro-orifice Uniform Deposit Cascade Impactor)，及正確收集環境奈米微粒的方法；避免有機氣體導致異常生成物的奈米微粒的採樣及分析方法，以達化學質量閉合(chemical mass closure)；以 MOUDI 及 ELPI(Electrical Low Pressure Impactor, 電氣低壓衝擊器)收集奈米微粒並配合 LA-ICP-MS (雷射剝蝕感應耦合電漿質譜儀)作定量分析的方法；以正矩陣因子化法(PMF, positive matrix factorization)結合測站的採樣分析結果推估環境細微粒及奈米微粒的污染源貢獻量⁴⁸⁻⁴⁹；研究大氣氣膠含水量、玻璃纖維濾紙吸附酸性氣體及採樣入口粒徑分徑器造成自動監測站 PM_{2.5} 貝他計測值高估的問題⁴⁸⁻⁴⁹；開發奈米物質的濕式靜電濃縮及液中電泳沈降方法⁶³；研究液相中奈米物質因水化學特性(等電點、鹽類與水中腐植酸濃度)而影響奈米物質穩定性的情形，有助於了解奈米物質在水環境中之傳輸與宿命⁴⁸⁻⁴⁹。均為前瞻的環境奈米物質物化特性量測技術發展，可作為暴露評估、生態影響及體內外毒性測試的有效工具。

(八) 建立環境及工作場所的奈米物質的暴露及危害數據庫

環保署已完成大氣及背景環境的奈米微粒監測及特性測量，及奈米粉體工作場所的工程奈米物質污染調查，建立奈米物質的粒徑分布、質量濃度分布及化學

成份特性等暴露資料。暴露評估的地點包括雪山隧道及都會區的交通污染源，溪頭及鹿林山的森林自然排放源，碳黑、奈米二氧化矽、奈米碳酸鈣、奈米碳微粒、細二氧化鈦及細氧化鋅等工程奈米物質的工作場所。目前也已完成濕式靜電濃縮及液相中電泳沉降方法測試工程奈米物質及環境奈米微粒的體外細胞毒性，及利用細胞連續生長分析儀分析奈米微粒所產生的細胞毒性，以建立新型細胞毒性測試方法，來取代傳統方法費時及一般染色法的微粒干擾問題⁴⁸⁻⁴⁹。

(九) 倫理、法律及社會影響的研究

在 2008-2010 及 2013 年環保署使用問卷調查的方式，研究不同利益相關者對奈米技術利益及風險的感知，並研究世界各國或國際組織的奈米技術相關政策，加強對不同利益相關者對奈米技術的認知與溝通。研究結果發現台灣一般民眾(消費者)對奈米科技應用的態度，取決於消費者對奈米科技的利益與風險感知，而消費者對奈米科技的利益與風險感知，則受消費者對奈米科技的態度、奈米科技的知識及對相關機構的社會信任所影響。研究並發現專家較關切奈米微粒吸入與環境污染的風險，而民眾、大學生及職安人員則更關切攝入與皮膚接觸的風險。

4. 環保署執行環境奈米科技立場 - 2014 年奈米國家型計畫環境議題的規劃

奈米國家型計畫第二期共六年(2009—2014)，目前已執行五年。環保署在 2008 年的"奈米國家型計畫環境議題第二期六年研發規劃"⁶⁴⁻⁶⁵，係參酌 2006 至 2008 年歐美國家對未來之規劃架構，以及妥適銜接第一期六年環保署已經完成之工作。行政院已核定環保署未來六年環境奈米技術研發計畫的總經費約新台幣一億元，其中配合勞委會及衛福部三部會共同執行之 EHS 核心計畫佔 60% (重點包括：環境檢測監測及技術開發、暴露評估、風險管理及知識庫建置等)；環保署重點計畫佔 40% (包括：應用奈米技術在環境檢測、整治、預防及追求永續發展的技術開發)。以下的 2014 年策略規劃，係根據環保署在 2012 年提出的"環保署 2013 年負責任奈米技術的策略規劃"² 及 2011 年 NNI 的策略規劃作進一步的修正。

目標及策略

目標一：延續之前的研發成果以發展一個具有知識基礎的負責任奈米技術。

目標二：充分發揮奈米利基研發具有環境效益的創新應用技術。

策略一：以全球資源共享為前提，與世界各國分工合作，發展奈米技術相關 EHS 的知識及技術，並將成果回饋至國際社會。

策略二：以創新領先代替迎頭趕上，開發具有永續發展、能解決國內及國際環境問題、及提昇人類生活福祉的核心及實用技術。

為了達成以上的目標，環保署擬定了奈米技術 EHS 的 12 個發展重點項目為：

1. 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露
2. 人體健康
3. 生態影響
4. 風險評估
5. 生命週期評估
6. 知識庫平台維護
7. 檢測監測及毒性測試技術平台

8. 透過工程及技術進行風險管理
9. 透過優良實務及法規進行風險管理
10. 奈米技術應用於環境監測及整治技術
11. 奈米技術應用於清潔生產、永續發展之技術
12. 倫理、法律及社會影響的研究

各發展重點項目之內容說明如下：

1. 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露

致力於了解影響環境傳輸及轉化的主要奈米物質物理化學特性，包括團聚態/聚集、成份、粒徑大小/粒徑分佈、形貌、溶解度/分散性、表面積、表面化學、表面電荷密度；了解奈米物質在不同環境條件下的轉化；了解個體環境暴露的途徑、主要暴露源以及工程奈米物質對環境非生物影響的評估；確定易暴露於奈米物質的環境；建立奈米物質的主要物化特性與經由吸入、食入或皮膚、眼睛等暴露的關係。

2. 人體健康

在有限的資源條件下或為了實施較完整的暴露評估研究，進行奈米物質在生物體的毒性測試研究；發展具公信力之毒理測試方法以連結上述主要的物化特性與健康的關係；了解奈米物質在人體中的吸收、分布、代謝及排泄。國際上的研究學者指出即時傳達新奈米物質或奈米產品的慢性毒性的資訊給製造者，對維持奈米科技的良好發展和使用者及環境的安全性是極為重要的。我國學者目前進行的奈米物質的體外及體內毒性研究劑量較高，然由於奈米碳管在動物實驗的結果顯示出全身性移轉及慢性毒性機制，本國也應投入經費進行奈米物質的慢性毒性研究，且體外或體內實驗都要同時進行，方能符合國際的研究趨勢。

3. 生態影響

致力於環境狀態的定義、測試方法的確認、探討生態影響機制、主要的物化特性對生態毒性的影響、由環境到生物體的暴露途徑。

4. 風險評估

整合跨領域專家，包括環境、公衛、生物及化學領域專家，以基礎科學觀點，了解環境與奈米物質間的交互作用。並在風險評估過程中考慮倫理、法律及社會影響。

5. 生命週期評估

應用生命週期評估法於奈米產品的衝擊評估標準程序的訂定；在既有生命週期評估法的ISO架構(ISO 14040:2006)持續累積相關物質流及衝擊的資訊；評估奈米產品的潛在風險及環境衝擊；發展符合生態設計之篩選工具；以生命週期法協助評估綠色奈米技術產品，並避免不必要的意外。美國權威智庫威爾遜國際學者中心提出之「以生命週期評估法為基礎之風險評估法」已成為國際間之主流方法，值得參考。

6. 知識庫平台維護

環保署在第一期計畫以來已建置了資料庫平台並廣為使用。資料庫平台於2007年轉型為知識庫。環保署於2010年起更進一步與勞委會及衛福部合作，將此平台擴充為奈米技術的EHS資料庫，加強國內的奈米技術EHS研究計畫成果的展現，並促進國際交流與合作。環保署將致力於強化知識平台資訊探勘功能、知識管理工具建置及相關權益團體互動。透過Web 2.0資訊平台，即時引進國際最新資訊；建立有關奈米技術環境考量及政策，作為資訊交換以及國內各階層權益關係

人參與溝通、知識分享及國際對話之平台，以進行實質性的資訊蒐集與交換；未來可從不同觀點來看奈米物質對於環境、健康及安全之影響，鑑別知識缺口，以追求產業界、勞工、消費者及環境皆贏的目標。

7. 檢測監測及毒性測試技術平台

發展奈米物質在環境的偵測方法；了解奈米物質表面物理化學修飾對檢測之影響；針對團聚態/聚集、成份、粒徑大小/粒徑分佈、形貌、溶解度/分散性、表面積、表面化學、表面電荷密度等發展一套標準化評估方法；開發認證的參考物質，用來做為奈米物質的化學、物理定量之用；發展奈米物質空間尺度—化學組成、純度及異質性(heterogeneity)的特性量測方法；調查自然微粒背景值及其對暴露量測、環境宿命之影響。

8. 透過工程及技術進行風險管理

檢視產品或材料之生命週期，及早進行風險降低措施；開發風險鑑別方法並收集相關資訊；與三部會合作聚焦風險管理工作，經ELSI的研究發展專門的風險溝通方法。

9. 透過優良實務及法規進行風險管理

透過優良實務及法規進行風險管理工作，並提供產業界自我管理的工具；邀請法規制定者參與計畫；在既有法規架構下，研議未來奈米產業的環境立法規範。

10. 奈米技術應用於環境監測及整治技術

促成綠色奈米技術相關研究發展、奈米物質生產過程的污染防治及具有奈米特色的綠色科技。

11. 奈米技術應用於清潔生產、永續發展之技術

與工業界及學術界合作，研發可以促進永續經濟發展的綠色奈米技術。

12. 倫理、法律及社會影響的研究

研究不同利益相關者對奈米技術利益及風險的感知，加強不同利益相關者對奈米技術的認知與溝通。

環保署提出2014年奈米國家型計畫環境議題的優先發展項目的規劃如下：(1) 環境中奈米物質量測及特性分析技術開發；(2) 奈米微粒對細胞毒性篩選技術及驗證；(3) 水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究；(4) 奈米科技之風險感知及政策研究；(5) 環境奈米科技知識管理及整合；(6) 綠色奈米技術之開發及應用。環保署參考了美國環保署在2009年的"奈米物質研究策略報告"中的四個聚焦研究主題，在經費限制下，並考量過去環保署的研究成果及配合勞委會及衛福部已執行或正在執行的研究項目，並因應奈米國家型計畫於2014年底結束前需進行為期三年的退場規劃，提出未來重點發展項目的規劃如下：(1) 知識平台維護；(2) 檢測及監測技術平台，亞慢性及慢性毒性測試技術平台；(3) 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露；(4) 友善環境奈米技術。有關重點項目的執行，則視環保署的預算及實際業務需求進行推動。

5. 結語

近年來先進國家與國際組織在奈米技術在環境、健康、安全議題上已有顯著進展。環保署持續應用奈米技術在環境整治及檢測，研究環境奈米微粒及奈米物質的危害並進行暴露評估，以避免潛在的風險，同時持續與勞委會、衛福部合作，確保負責任的奈米國家型計畫之永續發展。為繼續完成奈米國家型計畫第二期的工作，環保署已擬定了奈米技術 EHS 的 12 個發展重點項目。在經費限制下，並

考量過去的研究成果及配合勞委會及衛福部已執行或正在執行的研究項目，並因應奈米國家型計畫於 2014 年底結束前需進行為期三年的退場規劃，環保署提出 2014 年奈米國家型計畫環境議題的四個未來重點發展項目。

參考資料

1. The Project on Emerging Nanotechnology, <http://207.58.186.238/inventories/> (accessed on Nov. 12, 2013)。
2. 蔡春進，「環境奈米科技知識管理及整合計畫」，行政院環保署期末報告，EPA-101-U1U1-02-105，2012。
3. International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/virtualjournal.cfm/> (accessed on Nov. 12, 2013)。
4. 蔡春進，陳瑞仁，周崇光，「開發環境中奈米物質量測及特性分析技術」，行政院環保署期末報告，EPA-96-U1U1-02-104，2007。
5. 蔡春進，陳瑞仁，王亞男，周崇光，龍士俊，「環境中奈米物質量測及特性分析技術」，行政院環保署期末報告，EPA-97-U1U1-02-106，2008。
6. 蔡春進，劉紹臣，周崇光，許世傑，「環境中奈米物質量測及特性分析技術開發」，行政院環保署期末報告，EPA-98-U1U1-02-103，2009。
7. Baun, A., Hartmann, N. B., Grieger, K., Kusk, K. O. (2008). Ecotoxicity of engineered nanoparticles to aquatic invertebrates: a brief review and recommendations for future toxicity testing. *Ecotoxicology*, 17, 387–395.
8. Kahru, A., Dubourguier, H.-C. (2010). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*. 269, 105–119.
9. Nowack, B., Krug, H. F., Height, M. (2011). 120 Years of nanosilver history: Implications for policy makers. *Environ. Sci. Technol.*, 45, 1177–1183.
10. Donaldson, K., Aitken, R., Tran, L., Stone, V., Duffin, R., Forrest, G., Alexander, A. (2006). Carbon nanotubes: A review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety. *J. Toxicol. Sci.*, 92, 5–22.
11. Lam, C. W., James, J. T., McCluskey, R., Hunter, R. L. (2004). Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. *J. Toxicol. Sci.*, 77, 126–134.
12. Warheit, D. B., Laurence, B. R., Reed, K. L., Roach, D. H., Reynolds, G. A., Webb, T. R. (2004). Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *J. Toxicol. Sci.*, 77, 117–125.
13. Muller, J., Huaux, F., Moreau, N., Misson, P., Heilier, J. F., Delos, M., Arras, M., Fonseca, A., Nagy, J. B., Lison, D. (2005). Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes. *J. Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 207, 221–231.
14. Shvedova, A. A., Kisin, E. R., Mercer, R., Murray, A. R., Johnson, V. J., Potapovich, A. I., Tyurina, Y. Y., Gorelik, O., Arepalli, S., Schwegler-Berry, D. (2005). Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single walled carbon nanotubes in mice. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.*, 289, L698-708.
15. Poland, C. A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W. A. H., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W., Donaldson, K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3, 423–428.

16. Donaldson, K., Murphy, F. A., Duffin, R., Poland, C. A. (2010). Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fiber retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. *Part. Fibre Toxicol.*, 7, 5.
17. Kano, J., Taquahashi, Y., Takagi, A., Tsuji, M., Morita, K., Ogawa, Y. (2013). Nanotoxicology-its chronic aspects, *Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.*
18. Oberdörster, G. (2013). Comparative risk assessment of airborne nanomaterials: Analyzing Exposure-does-response relationships, *Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.*
19. Taquahashi, Y., Ogawa, Y., Takagi, A., Tsuji, M., Moritaand, K., Kanno, J. (2013). An improved dispersion method of multi-wall carbon nanotube for inhalation toxicity studies of experimental animals, *J. Toxicol. Sci.*, 38, 619–618.
20. Nel, A., Xia, T., Meng, H., Wang, X., Lin, S., Ji, Z., Zhang, H. (2013). Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: Use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening, *Acc. Chem. Res.*, 46, 607–621.
21. NIOSH (2013). *Current Intelligence Bulletin 65: Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, April 2013.
22. NIOSH (2011). *Current Intelligence Bulletin 63: Occupational Exposure to Titanium Dioxide*, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, April 2011.
23. OSHA (2013). *OSHA Fact Sheet-Working Safely with Nanomaterials*, Occupational Safety and Health Administration.
24. Ono-Ogasawara, M. (2013). Striving for exposure assessment of MWCNTs by particle size and oxidation temperature of EC, *Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.*
25. European Commission (2010). *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, project final report.
26. Nakanishi, J. (2011). *Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials: Carbon Nanotubes*, final report issued on August 17, 2011. NEDO project (P06041) *Research and Development of Nanoparticle Characterization Methods.*
27. Pauluhn, J. (2010). Multi-walled carbon nanotubes (Baytubes): Approach for derivation of occupational exposure limit, *Regul. Toxicol. Pharm.*, 57, 79–89.
28. Luizi, F. (2009). Responsible case and nanomaterials-Case study Nanocyl, *European Responsible Care Conference, Prague, Oct. 21-23, 2009.*
29. ISO TC 229 網站, International Organization for Standard for Standardization, Technical Committee 229, accessed on Nov. 12, 2013, http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983

30. Lee, J. H., Yu, I. J. (2013). ISO TR 13329: Preparation of nanomaterial safety data sheet (SDS), Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.
31. ENV/JM/MONO(2010)46, List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the sponsorship programme for the testing of manufactured nanomaterials: Revision.
32. ENV/JM/MONO(2011)53, Information gathering schemes on nanomaterials: lessons learned and reported information.
33. 勞工安全衛生研究所 (2011). 奈米技術實驗室奈米物質暴露控制手冊。
<http://www.iosh.gov.tw/Publish.aspx?cnid=597>
34. USEPA (2007). Nanotechnology White Paper, EPA 100/B-07/001,
<http://www.epa.gov/ord/lrp/pdfs/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>
35. NNI (2011). National Nanotechnology Initiative, 2011 Environmental, Health, and Safety Research Strategy, <http://strategy.nano.gov/>
36. USEPA (2009). Nanomaterial Research Strategy, Office of Research and Development, June 2009.
37. Roco, M. C., Mirkin, C. A., Hersam, M. C. (2010). Nanotechnology research directions for societal needs in 2020—Retrospective and outlook, Springer Publishing Company.
38. NRC (2013). Research progress on environmental, health, and safety aspects of engineered nanomaterials, The National Academies.
39. Bergeson, L. L. (2013). Sustainable nanomaterials: Emerging governance systems, ACS Sustain. Chem. Eng., 1, 724–730.
40. EU NanoSafety Cluster 網站, European NanoSafety Cluster Compendium
<http://www.nanosafetycluster.eu/home/european-nanosafety-cluster-compendium.html> (2013年11月12日瀏覽)。
41. 宋清潭, 潘恩郁, 蘇宗榮 (2011). 台灣奈米科技發展風險管理分析, 工業技術研究院奈米科技研發中心,
http://ehs.epa.gov.tw/Publications/F_Publish_Detail/3547?c=23&p=9
42. Roco, M. C. (2005). Environmentally Responsible Development of Nanotechnology, Environ. Sci. Technol., 39, 106A–112A.
43. International Risk Governance Council (IRGC) (2007). Nanotechnology Risk Governance: Recommendations for a global, coordinated approach to the governance of potential risks.
http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB_nanoFINAL2_2_.pdf
44. 行政院環保署, 2008年環境奈米科技論壇論文集, 97年11月4日, 台北市。
45. 行政院環保署, 2009年環境奈米科技論壇論文集, 98年10月23日, 台北市。
46. 行政院環保署, 2010年環境奈米科技論壇論文集, 99年12月16日, 台北市。
47. 行政院環保署, 2011年環境奈米科技論壇論文集, 100年10月24日, 台北市。
48. 行政院環保署, 101年環境奈米科技論壇論文集, 101年10月19日, 台北市。
49. 行政院環保署, 102年環境奈米科技論壇論文集, 102年10月21日, 台北市。
50. Doong, R. A., Chiang, L. F. (2008). Coupled removal of organic compounds and heavy metals by titanate/carbon nanotube composites. Water Sci. Technol., 44, 1985–1992.

51. Chen, S. C., Tsai, C. J., Huang, C. Y., Chen, H. D., Chen, S. J., Lin, C. C., Tsai, J. H., Chou, C. C. K., Lung, S. C. C., Huang, W. R., Roam, G. D., Wu, W. Y., Smolik, J., Dzumbova, L. (2009). Chemical mass closure and chemical characteristics of ambient ultrafine particles and other PM fractions. *Aerosol Sci. Technol.*, 44, 713–723.
52. Chen, S. C., Tsai, C. J., Chou, C. C. K., Roam, G. D., Cheng, S. S., Wang, Y. N. (2010). Ultrafine particles at three different sampling locations in Taiwan. *Atmos. Environ.*, 44, 533–540.
53. Tso, C. P., Zhung, C. M., Shih, Y. H., Tseng, Y. M., Wu, S. C., Doong, R. A. (2010). Stability of metal oxide nanoparticles in aqueous solutions. *Water Sci. Technol.*, 61, 127–133.
54. Zhu, C. S., Chen, C. C., Cao, J. J., Tsai, C. J., Chou, C. C. K., Liu, S. C., Roam, G. D. (2010). Characterization of carbon fractions for atmospheric fine particles and nanoparticles in a highway tunnel. *Atmos. Environ.*, 44, 2668–2673.
55. Chen, S. C., Tsai, C. J., Chen, H. D., Huang, C. Y., Roam, G. D. (2011). The influence of relative humidity on nanoparticle concentration and particle mass distribution measurements by the MOUDI. *Aerosol Sci. Technol.*, 45, 596–603.
56. Hsu, S. C., Huh, C. A., Lin, C. Y., Chen, W. N., Mahowald, N. M., Liu, S. C., Chou, C. C. K., Liang, M. C., Tsai, C. J., Lin, F. J., Chen, J. P., Huang, Y. T. (2012). Dust transport from non–East Asian sources to the north Pacific, *Geophysical Research Letters*, 39, L12804.
57. Zhu, C. S., Tsai, C. J., Chen, S. C., Cao, J. J., Roam, G. D. (2012). Positive sampling artifacts of organic carbon fractions for fine particles and nanoparticles in a tunnel environment, *Atmos. Environ.*, 54, 225–230.
58. Chen, M. F., Lin, Y. P., Cheng, T. J. (2013). Public attitudes toward nanotechnology applications in Taiwan, *Technovation*, 33, 88–96.
59. Liu, C. N., Awasthi, A., Hung, Y. H., Gugamsetty, B., Tsai, C. J., Wu, Y. C., Chen, C. F. (2013a). Differences in PM_{2.5} concentrations between the beta attenuation monitor (BAM) and dichotomous sampler, *Atmos. Environ.*, 75, 314–347.
60. Liu, C. N., Awasthi, A., Tsai, C. J. (2013b). Collection efficiency and interstage loss of nanoparticles in micro–orifice–based cascade impactors, *Atmos. Environ.*, 69, 325–333.
61. 董瑞安，「綠色奈米技術之開發及應用(核殼複合材料對新興污染物及重金屬之監測與吸附處理技術開發應用)」，行政院環保署期末報告，EPA-97-U1U1-02-101，2008。
62. 董瑞安，「綠色奈米技術之開發及應用計畫(金-磁鐵礦異核奈米結構對有機毒化物處理技術平台開發應用)」，行政院環保署期末報告，EPA-100-U1L1-02-101，2011。
63. 蔡春進，許世傑，楊錫賢，「環境中奈米物質質量測、特性分析及即時毒性測試平台技術開發」，行政院環保署期末報告，EPA-100-1062-02-01，2011。
64. 吳婉怡，陳怡萱，曹賜卿，阮國棟 (2008). 奈米國家型計畫環境議題第二期六年研發規劃，環境奈米科技論壇論文集，97年1月11日，台北市。
65. 吳婉怡，阮國棟 (2008). 我國環境奈米科技第二期六年規劃藍圖，環境奈米科技論壇論文集，97年11月4日，台北市。

Retrospect and Prospect of Taiwan EPA's Global Responsible Nanotechnology in 2014

In recent years, significant progress in dealing with nanotechnology Environmental, Health and Safety (EHS) issues has been made in developed countries and international organizations as well as in Taiwan. The Taiwan Environmental Protection Administration (EPA) has joined both the first phase (2003-2008) and the 2nd phase (2009-2014) of the National Program on Nanotechnology (NPNT) and applied nanotechnology successfully in environmental cleaning and pollutant monitoring. In addition, risk assessment and risk management of environmental nanoparticles and nanomaterials have also been conducted to prevent potential risks. For accomplishing the 2nd phase of the NPNT, the Taiwan EPA will continue its efforts to collaborate with the Institute of Occupational Safety and Health of the Council of Labor Affairs (IOSH of CLA) and the Ministry of Health and Welfare (MOHW) to ensure the sustainable development of nation's responsible nanotechnology program. Based on the 12 focal items for nanotechnology EHS researches, this year the Taiwan EPA has referred to both domestic and foreign strategic plans and research themes, considered resource constraints and previous research achievements, and leveraged the research activities of the CLA and MOHW, four focal items in “Global Strategic Plan for Responsible Nanotechnology in 2014” were proposed as (1) Maintenance of knowledge-base platform; (2) Sampling, analysis, and monitoring technology platform as well as for the subchronic and chronic toxicities; (3) Sources, fate, transport, convert and exposure; (4) Environmentally benign nanotechnology.

1. Introduction

Nanotechnology leads to technology advances in many diverse application areas such as energy, electronics, medicine, environmental remediation, security and space. Over 1,628 manufacturer-identified nanotechnology-based consumer products are currently on the market in the categories of appliances, automotive, electronics and computers, cross cutting, food and beverage, goods for children, health and fitness, home and garden¹. Taking carbon nanotubes (CNT) as an example, owing to the extraordinary mechanical, electrical and thermal properties, developed countries have devoted their efforts to the development of the application using CNT in nanocomposite materials, energy storage, energy transformation system, sensor, field emission display, nano device, microactuator, and probe. As more products containing nanomaterials are being produced, there are potential impacts of nanomaterials and nanoproducts on human health and the environment. The Taiwan EPA has the obligation to understand and minimize these risks so that human health and the environment are well protected. In addition, the Taiwan EPA is also devoted to make use of nanotechnology to detect, prevent and remove pollutants, as well as help the industry design cleaner processes and environmental-benign products.

In this strategic plan, the advances of nanotechnology EHS (Environmental, Safety and Health) in the developed countries and international organizations will be reviewed. The progress made by the Taiwan EPA in the first phase of the National Program on Nanotechnology (NPNT, 2003-2008) and the first five years of the 2nd phase of the

NPNT (2009-2014) and the 2013 strategic plan² will be followed. Finally, the Taiwan EPA's 2014 strategic plan will be introduced, hoping to ensure the sustainable development of the nation's nanotechnology.

2. Recent Advances in Nanotechnology EHS Issues in International Countries and Organizations

In recent years, potential environmental and health risks of nanotechnology have been studied extensively worldwide. According to the nanoEHS Virtual Journal of the ICON (International Council on Nanotechnology) database at Rice University, from 2000 to 2013 there are 7,132 published nanotechnology EHS articles in the peer-review journals in which 93.3 % of them (6,686 articles) are related to engineered nanoparticles³. The number of papers increases substantially every year. That is, lots of resources have been invested by nations around the world to deal with nanotechnology EHS issues.

Toxicity of Nanomaterials

Taking the aquatic species for an example, many researchers have found harmful effects of manufactured nanomaterials on the aquatic species which is influenced substantially by the dissolution and dispersion of nanomaterials⁴⁻⁶. Nano-TiO₂, nano-ZnO, nano-CuO nano-silver, SWCNT (single-walled carbon nanotubes), MWCNT (multi-walled carbon nanotubes) and fullerence are the commonly tested nanomaterials. Crustaceans, bacteria, algae, fish, ciliates, nematodes and yeast are often used as tested species, in which algae and daphnia magna (a type of crustaceans) are the most sensitive species with the lowest LC₅₀ (50 % lethal concentration). The LC₅₀ of these two species are often used to classify the eco-toxicity of nanomaterials. In addition to the dispersed properties, it is also very important to distinguish the differences between the ionic state and the state of different particle sizes when conducting the eco-toxicity tests⁷⁻⁸. However, some materials such as nanosilver and nano-TiO₂ have been used in the market for a long period of time, but the significant adverse effects of nanomaterials on human health and the environment were not found. Nowack et al.⁹ pointed out that nanosilver in the form of colloidal silver has been used for 120 years and has been registered as a biocidal material in the United States since 1954. Fifty-three percent of the EPA-registered biocidal silver products likely contain nanosilver. Argyria is a condition characterized by a bluish-gray discoloration of the skin that is an only case for human health harm was documented. The impacts for environment and ecology are uncertain.

In the aspect of health effects, extensive literature on the in-vitro and in-vivo test results of nanomaterials has been published, and the RELs (Recommended Exposure Limits) of some nanomaterials have been specified. Taking CNT as an example, studies found that they could stimulate mesenchymal cell growth and cause granuloma formation and fibrogenesis¹⁰, and showed more adverse effects than NP carbon and quartz of the same mass concentration¹¹⁻¹⁴. Animal studies revealed that carbon nanotubes in the form of long fibers (10-20 μm) showed a similar propensity to produce inflammation and fibrosis to that produced by long asbestos¹⁴. This is because the

macrophage can't extend itself sufficiently to engulf long nanotubes, resulting in incomplete phagocytosis which leads to inflammation. Recent study further suggested that a fraction of all deposited particles reached the pleura, and accumulated around the entry of the stomata on the parietal pleura, in which long fibers in the deposited particles could not be engulfed by macrophages and eventually led to inflammation and pleural pathology including mesothelioma¹⁶.

Evaluation of the Toxicity of Carbon Nanotubes

Because there is a wide range of applications using CNT, the toxicity of CNT remains as one of the focal research subjects in the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health held in Japan in October 2013. Kanno et al.¹⁷ pointed out that some MWCNT of 10–20 μm in length induces mesothelioma in a dose-dependent manner when administered intraperitoneally to p53 heterozygous. Findings from the low dose groups and from an additional study using well-dispersed sample suggested that non-granulomatous chronic inflammatory microlesions are primarily related to the induction of atypical mesothelial proliferation. Singular fiber are also found in various organs including renal glomeruli and choroid plexus. Phagocytic cells seem to digested the aggregates down to sub-micrometer granules and bring them to reticuloendothelial system (RES). Toxic effects of such systemic translocation and/or to RES are unclear and needs further observation. In general, acute response is not a predictor of chronic toxicity of biopersistent nanoparticles. Pathology of chronic effects should be studied at least for a while. Oberdörster¹⁸ also pointed out that although three-month subchronic multi-dose rat inhalation studied with MWCNT did not induce carcinogenicity, inflammatory, granulomatous and mesotheliogenic effects of MWCNT were found in mice following unphysiologic high-dosing injection in mice. This caused great concern about asbestos-like long-term toxicity and carcinogenicity of fiber-shaped nanomaterials. This concern is substantiated by new evidence quantitating translocation of inhaled MWCNT to pleural tissues and to other extrapulmonary sites, which raised the need for a long-term chronic inhalation study. Lacking respective results, Oberdörster¹⁸ found that data of three-month subchronic inhalation studies of fibrous carbon nanoparticles can serve to demonstrate a concept of assessing nanomaterial safety based on a comparison to results of positive and negative benchmark materials observed in subchronic inhalation studies. The comparative risk assessment concept emphasizes the importance of using full exposure-dose-response relationship and using different dosimetrics for identifying and ranking a hazard and characterizing risks for deriving occupational exposure level.

Most of nanomaterials exist as agglomerates and aggregates. For example, a MWCNT product Mitsui MWNT-7 is a mixture of dispersed single fibers and their agglomerates/aggregates. In rodents, installation of such mixture induces inflammatory lesions triggered predominantly by the aggregates/agglomerates at the level of terminal bronchiole of the lungs. In human, however, pulmonary toxicity induced by dispersed single fibers that reached the lung alveoli is most important to assess. Therefore, a

method to generate aerosol predominantly consisting of dispersed single fibers without changing their length and width is needed for inhalation studies.

Taquahashi et al.¹⁹ reported a method (designated as Taquann method) to effectively remove the aggregate/agglomerates and enrich the well-dispersed single fibers in dry state without dispersant and without changing the length and width distribution of the single fibers. This method is based on two major concepts; liquid-phase fine filtration and critical point drying to avoid re-aggregation by surface tension. MWNT-7 was suspended in tert-butyl alcohol, freeze-and-thawed, filtered by a vibrating 25 μm Mesh Metallic Sieve, snap-frozen by liquid nitrogen, and vacuum-sublimated (an alternative method to carbon dioxide critical point drying). A newly designed direct injection system generated well-dispersed aerosol in an inhalation chamber. The lung of mice exposed to the aerosol contained single fibers with a length distribution similar to the original and the Taquann-treated sample. Taquann method utilizes inexpensive materials and equipments mostly found in common biological laboratories, and prepares dry powder ready to make well-dispersed aerosol. This method and the chamber with direct injection system would facilitate the inhalation toxicity studies more relevant to human exposure.

Kanno et al. and Oberdörster both support a platform developed by Nel et al.²⁰ which is used to investigate the potentially endless number of biophysicochemical interactions at the nano/bio interface. The *in vivo* results are used to validate and improve the *in vitro* high-throughput screening (HTS) and to establish structure-activity relationships (SARs) that allow hazard ranking and modeling by an appropriate combination of *in vitro* and *in vivo* testing.

Regulations, standards and guidelines

Advanced countries around the world have continued to make considerable progress in nanotechnology-EHS laws and regulations. The US EPA adopted PMN (Pre-manufacture Notice) and SNUR (Significant New Use Rule) for nanomaterials under TSCA (toxic substance control act). The US EPA continues to issue SNURs for nanomaterials and requests for additional test data. The US EPA has reviewed over 130 new chemical applications involving nanomaterials. In 2013, the US EPA has issued SNURs for 16 new nanomaterials including 2 MWCNTs, 1 functionalized MWCNT, 1 carbide derived nanocarbon and 12 carbon nanofibers (CNF). Because of the unusual toxicity of CNT and CNF, in 2013 NIOSH is recommending a REL of 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ elemental carbon as an 8-hr TWA (time-weighted average) respirable mass airborne concentration. This REL is set at the lowest detection limit of elemental carbon (EC) in airborne CNT and CNF by the NIOSH 5040 method. Efforts should be made to reduce airborne concentrations of CNT and CNF as low as possible below the REL because an excess risk of adverse lung effects is predicted below this level²¹. The NIOSH announced "Current Intelligence Bulletin: Occupational Exposure to Titanium Dioxide" in April, 2011, in which the literature of the toxicity of TiO_2 nanoparticles was reviewed and quantitative risk assessment was performed. The recommended occupational exposure limits (RELs) for fine and ultrafine TiO_2 was proposed by the NIOSH 2.4 mg/m^3 and 0.3 mg/m^3 , respectively, as time-weighted average (TWA)

concentrations for up to 10 hr/day during a 40-hour work week. These recommendations represent levels that the risk of lung cancer is reduced below 1 in 1,000 over a working lifetime²². In 2013, the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) published a guideline for working safely with nanomaterials in which employers are requested to check with manufacturers of chemicals and materials used in their workplace to determine if unbound engineered nanomaterials (ENM) are present. Employers should take appropriate measures to control worker exposure. The exposure limits for CNT, CNF, fine and ultrafine TiO₂ recommended by the OSHA are based on NIOSH proposed RELs²³. Recently, Ono-Ogasawara²⁴ proposed a method to accurately determine the size distribution and oxidation temperature of EC in MWCNT. In this method, EC is gradually oxidized at three steps of oven temperature. Each oxidation fraction was assigned EC1 (550 °C), EC2 (700 °C) and EC3 (920 °C). Generally, MWCNT are observed as EC2 and EC3 and observed as micron size particles.

Recommended occupational exposure limits (OEL) for CNT in workplace have been suggested by several organizations and companies. Derived No-Effect Level (DNEL) for CNT was 0.7–30 µg/m³ in “Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety” project report published by European Commission in 2012²⁵, while the OEL for CNT was 30 µg/m³ in “Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials: Caron Nanotubes” project report published by New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) in 2011 (This value assumes subchronic exposure 8 hr/day for 5 days/week over 15 years)²⁶. In addition, Bayer²⁷ and Nanocyl²⁸ company also proposed the OEL for CNT were 50 and 2.5 µg/m³, respectively.

Most of the members of the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) have regulations for registration, assessment and control of nanomaterials. The international regulatory landscape has remained fairly consistent since 2008 with the exception of the Protection against Dangerous Substances and Preparations in Switzerland, the Food and Drugs Act in Canada and several advancements regarding definitions for nanomaterials. However, there has been some advancement in the development of definitions for nanomaterials in several jurisdictions and it is anticipated that additional jurisdictions will be following suit in the near future. Of the two jurisdictions (Canada and US) that reported having a definition for nanomaterials during the period of 2006-2009, a commonality lies in the 1-100 nm size range distinction as defining criteria.

In Europe, European Union (EU) considers nanomaterials as chemical substances and uses the REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) system to regulate nanomaterials and their related products. However, REACH's registration provisions fail to account for the specificities of nanomaterials: (1) Identifying nanomaterials; (2) Phase-in status of nanomaterials; (3) Tonnage thresholds and nanomaterials; (4) Risk assessment provisions. Several REACH Implementation Projects on Nanomaterials (RIPoN 1, 2 and 3) were designed to address these concerns without modifying the text of the regulation. RIPoN 1, in particular, aimed at adapting the substance identification rules (defined in a Technical

Guidance Document (TGD)) to clarify the implementation of REACH to nanomaterials, which addresses nanomaterials as (1) Well-defined substances or as (2) Substances of defined chemical composition and additional identifiers.

The effects of new technologies on health must be assessed and nanomaterials must be covered by current EU health and safety rules passed on a mid-term review of the EU's 2007-2012 health and safety at work strategy by the European Parliament in December 2011. The potential risks of new technologies and harmful substances must be assessed to ensure that nanomaterials are covered by the current European Occupational Health and Safety regulation. Furthermore, in December 2011 the European Commission requested that the Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) prepare a scientific opinion on the safety, health, and environmental effects and role in antimicrobial resistance of nanosilver. According to the European Commission, while recent review papers suggest that nanosilver may not be hazardous to humans, data are insufficient to carry out a full risk assessment. The European Commission requests SCENIHR to assess whether the use of nanosilver, in particular in medical care and in consumer products could result in additional risks compared to more traditional uses of silver, and to assess whether the use of nanosilver to control bacterial growth could result in resistance of micro-organisms.

The European Commission announced on February 5, 2013, that it completed its five-year review of the REACH regulation. The pre-publication version of the report states that the European Commission will make an impact assessment of relevant regulatory options, in particular possible amendments of REACH Annexes, to ensure further clarity on how nanomaterials are addressed and safety demonstrated in registration dossiers. If appropriate the Commission will come forward with a draft implementing act by December 2013. The pre-publication version of the staff working paper specifically recommends that if REACH needs amending for other reasons, then consideration should be given to the introduction of the definition of a nanomaterial in line with recommendation.

In 2009, European Commission promulgated the regulation on cosmetic products containing nanomaterials. Cosmetic products containing nanomaterials placed on the market shall be clearly labeled with the list of ingredients, composition, and percentage of nanomaterials on the packaging by July 11, 2013. For food, in 2011 European Commission also announced that all ingredients present in the form of engineered nanomaterials shall be clearly labeled by December 13, 2014. The names of such ingredients shall be followed by the word “nano” in brackets.

ISO (International Organization for Standardization) created TC 229 technical committee to develop standards for nanomaterials in 2005²⁹. The working groups of TC 229 include JWG 1: Terminology and nomenclature; JWG 2: Measurement and characterization; WG3: Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies; WG4: Material specifications. Major tasks of ISO/TC 229 WG3, which are relevant to “Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies” are:

1. Standard Guide for Controlling Occupational Exposures to Nanomaterials.

2. Standard Methods for Determining Relative Toxicity/Hazard Potential of Nanomaterials.
3. Standard Methods for Toxicological Screening of Nanomaterials.
4. Standard Methods to Determine Environmental Friendly Use of Nanomaterials.
5. Product Safety Standards for Consumer Products Containing Nanomaterials.

By November 2013, ISO/TC 229 has published 36 standards. The number of standards under development and project groups is 24. These 24 standards and/or project groups are guidelines for occupational risk management, guidance on the labelling of manufactured nano-objects and products containing manufactured nano-objects, framework for nomenclature models for nano-objects, guidance on sample preparation methods and dosimetry considerations for manufactured nanomaterials, guidance on toxicological screening methods for manufactured nanomaterials, determination of muramic acid as a biomarker for silver nanoparticles activity, and characteristics and measurements for nanoparticles in powder form, etc. Furthermore, ISO ISO/TR 13329 “Preparation of nanomaterial safety data sheet (MSDS)” which we concerns has been developed in the ISO TC 229. A guidance for the nanomaterial-specific MSDS including both nanomaterials and mixtures of nanomaterials with conventional non-nanoscale materials was proposed. The report evaluated the information provided in 97 nanomaterial-related MSDSs according to the criteria set by the Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) and found that most of the MSDSs did not include sufficient information on the safety of nanomaterials, such as their toxicity and physicochemical properties. The reasons for this lack of information in the nanomaterial MSDSs can mainly be attributed to (1) a lack of toxicity and physicochemical property information on nanomaterials, (2) unawareness of the effectiveness of conventional exposure controls, (3) a lack of information on emergency and firefighting measures and (4) a lack of knowledge on how existing regulation apply to nanomaterials. The report recommends that nanomaterial-related MSDSs should be prepared based on a precautionary approach in terms of the toxicity and other risks associated with the nanomaterial content within the mixture in question. One of the key recommendations in the ISO/TR 13329 is to include additional physicochemical properties, including the particle size (average and range), size distribution, aggregation/agglomeration state, shape and aspect ratio, crystallinity, specific surface area, dispersibility and dustiness, which help to distinguish the characteristics of nanomaterials from those of non-nanosacle materials³⁰.

Reference Nanomaterial

The National Institute of Standards and Technology (NIST) has issued the world’s first reference material SRM 2483 for single-wall carbon nanotube soot. The new NIST material offers companies and researchers a badly needed source of uniform and well-characterized carbon nanotube soot for material comparisons, as well as chemical and toxicity analysis. The new NIST product, Standard Reference Material (SRM) 2483, will directly address the issue of comparability. It is possibly the world's single

largest supply of homogeneous, chemically analyzed, carbon nanotube soot where the uniformity of the samples from unit to unit is assured. Each unit of SRM 2483, a glass vial containing 250 milligrams of soot, is certified by NIST for the mass fraction values of several common contaminants: barium, cerium, chlorine, cobalt, dysprosium, europium, gadolinium, lanthanum, molybdenum and samarium. Reference values (values believed to be accurate, but not rising to the level of confidence that NIST certifies) are provided for an additional seven elements. NIST also provides additional reference data useful for nanotube analysis, including thermal gravimetric and Raman data, as well as informational values for ultraviolet-visible-near-infrared absorbance spectra, near-infrared fluorescence spectra, Raman scattering spectra and scanning electron microscopy images. With these sets of information, purchasers of the material should be able to compare their results against the NIST values and against those from suppliers, ensuring a consistent point of comparison.

The Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN) of OECD launched a sponsored project in November 2007. The delegations of this project, including member countries, non-member economies and other stakeholders, agreed to fund and manage the testing of 13 representative manufactured nanomaterials and specific endpoints relevant to human health and environmental safety. The 13 representative manufactured nanomaterials listed below, which are on the market or available soon, are regarded as the reference material of nanomaterials measurement and evaluation of toxicity and risk (ENV/JM/MONO(2010)46)³¹ :

1. C₆₀ Fullerenes
2. SWCNTs, Single-walled carbon nanotubes
3. MWCNTs, Multi-walled carbon nanotubes
4. Silver nanoparticles
5. Iron nanoparticles
6. Titanium dioxide
7. Aluminium oxide
8. Cerium oxide
9. Zinc oxide
10. Silicon dioxide
11. Dendrimers
12. Nanoclays
13. Gold nanoparticles

The purpose of setting the list of endpoints is to ensure consistency between the various tests to be carried out on specific nanomaterials. It should also lead to the development of dossiers for each nanomaterials describing basic characterization, environmental fate, environmental toxicity and mammalian toxicity information. Phase one testing is expected to be of an exploratory nature, science-based and without any consequences for existing regulatory datasets. Based on the results of phase one testing, phase two testing is to determine better testing methods to bring the dossiers to completion and study the other endpoints for better understanding potential risks of nanomaterials. In 2011, OECD launched a project to gather non-confidential business

information on nanomaterials to provide insight on global market activity. Results show that the volume of silver or iron nanoparticles was increased from research and development purposes to industrial and consumer uses because of its relatively cheaper manufacturing costs as well as the application market (e.g. antibacterial characteristic of silver nanoparticles) (ENV/JM/MONO(2011)53)³².

Recent Advances in the Development of the Management of Nanomaterials in Taiwan

In Taiwan, the Amendment of Articles 13 in "Taiwan Occupational Safety and Health Act" was approved in July 2013 to strengthen the labeling, MSDS and management of toxic substances to protect workers from potential hazard due to exposure to the substances. Nanomaterials are chemical substances likely to be regulated in the amendment. In addition, the amendment of "Taiwan Toxic chemical substance control act" was also approved in November 2013. The amendment mandates the registry of chemical substances and strengthens the management of toxic chemical substances that may pose adverse health effects on human beings. The additional resolution of the amendment mandates the Taiwan EPA to include nanomaterials when the registry management of chemical substances commences within one year from the approval of the amendment. The triggering quantity for registry requirement for nanomaterials is below 1 kg.

The Industrial Development Bureau (IDB), Ministry of Economic Affairs (MOEA) promotes the nanoMark certification system which invites experts to form a national working group for drafting the product specifications. The certification system not only requires performance testing, but also animal skin irritation and acute oral toxicity tests to ensure human health, environment safety and no potential hazards. On January 26, 2011, the Taiwan IOSH (Institute for Occupational Safety and Health) published a guideline of "Nanomaterial exposure control manual for the nanotechnology laboratory"³³ that provides domestic nanotechnology industry a reference for drafting the strategic plan for nanomaterials exposure and control. Several projects were conducted by domestic academic institutes to help nanotechnology laboratories with exposure assessment and control of nanomaterials.

Research Strategy

For the nanotechnology EHS research directions, there are six key recommendations in the US EPA's Nanotechnology White Paper published in 2007 until now, including³⁴.

(1) Environmental Applications Research

The Agency should continue to undertake, collaborate on, and support research to better understand and apply information regarding environmental applications of nanomaterials.

(2) Risk Assessment Research

The Agency should continue to undertake, collaborate on, and support research to better understand and apply information regarding nanomaterials':

--chemical and physical identification and characterization,

- environmental fate,
- environmental detection and analysis,
- potential releases and human exposures,
- human health effects assessment, and
- ecological effects assessment.

To ensure that research best supports Agency decision making, EPA should conduct case studies to further identify unique risk assessment considerations for nanomaterials.

(3) Pollution Prevention, Stewardship, and Sustainability

The Agency should engage resources and expertise to encourage, support, and develop approaches that promote pollution prevention, sustainable resource use, and good product stewardship in the production, use and end of life management of nanomaterials. Additionally, the Agency should draw on new, “next generation” nanotechnologies to identify ways to support environmentally beneficial approaches such as green energy, green design, green chemistry, and green manufacturing.

(4) Collaboration and Leadership

The Agency should continue and expand its collaborations regarding nanomaterials applications and potential human health and environmental implications.

(5) Intra-Agency Workgroup

The Agency should convene a standing intra-Agency group to foster information sharing on nanotechnology science and policy issues.

(6) Training

The Agency should continue and expand its nanotechnology training activities for scientists and managers.

Recently, the subcommittee on Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET) of the US NNI (National Nanotechnology Initiative) published a draft document entitled "2011 NNI Environmental, Health, and Safety Research Strategy", for public comments³⁵. This document replaces the 2008 NNI EHS research strategy and aims to ensure the responsible development of nanotechnology by providing guidance to the Federal agencies that produce the scientific information for risk management, regulatory decision making, product use, research planning, and public outreach. Research needs are identified and organized in six core nanoEHS research categories in six chapters: (1) Nanomaterial measurement infrastructure, (2) Human exposure assessment, (3) Human health, (4) the environment, (5) Risk assessment and management methods and (6) Informatics and simulation. The document also covers a chapter on the critical role of informatics in organizing the expanding nanoEHS knowledge base, and the needs for advanced modeling and simulation capabilities to support nanoEHS researches and risk management. Another chapter on methods to promote timely and effective achievement of strategic NNI nanoEHS goals is included in the last part of the document. Also new in the 2011 NNI EHS research strategy is the inclusion of ELSI (ethical, legal, and societal implications) throughout all research chapters. The NNI seeks to generate ELSI knowledge and insights through research in the areas of public perception and understanding of expected benefits, anticipated risks,

and safety; scientific meetings and workshops; and public engagement activities.

The NNI has invested considerable amount of resources in nanoEHS researches. For example in year 2009, the total R&D funding of 7 NNI agencies was 11,281 K USD (42 projects) in "Nanomaterial Measurement Infrastructure" category, 3,298 K USD (14 projects) in "Human Exposure Assessment" category, 41,610 K USD (117 projects) in "Human Health" category, 43,682 K USD (54 projects) in "Environment" category, 3,534 K USD (21 projects) in "Risk Assessment and Management Methods" category. Total NNI investments in nanoEHS researches in 2009 were 103,405 K USD, in which the US EPA investments accounted for 11,100 K USD (10.7%). The US EPA investment was 17,100 K, 17,400 K, 17,500 K, and 17,500 K USD in 2010, 2011, 2012, and 2013, respectively. In 2014, the US EPA investment is estimated to be 17,200 K USD. According to "Nanomaterial Research Strategy"³⁶ of the Office of Research and Development (ORD) of the US EPA, there were several questions to be considered for establishing research priorities:

1. Does the research support EPA's mission to protect human health and the environment?
2. Is the research important to support EPA regulatory decisions on nanomaterials?
3. What role does EPA play in leading/coordinating this research topic under the NNI EHS strategy (2008)?
4. Is the research part of an international agreement to collaborate and leverage research activities?
5. What research is important to support Agency risk assessment and management activities?
6. How do partnerships with federal, academic and industry researchers enhance research activities?

Based on the above principles, the US EPA has focused its nanotechnology research program on the following four areas³⁶:

- (1) Sources, fate, transport, and exposure.
- (2) Human health and ecological effects research to inform risk assessments and test methods.
- (3) Developing risk assessment methods.
- (4) Preventing and managing risks.

Because it is hard to quantify and understand the physical and chemical properties, the transport and transformation of nanomaterials in the environment, lots of uncertainties exist in the effects of nanomaterials on human health and the environment. Therefore the NNI's researches have been focused in nanomaterial measurement, environment and human health which were reflected in large number of projects and funding in these areas. Less funding was allocated in the areas of risk assessment and management because of these uncertainties and inadequate exposure and hazard database.

Michael Roco, who is leading the development of nanotechnologies in U.S., presented a comprehensive perspective on the global scientific, technological, and

societal impact of nanotechnology since 2000, and proposed the opportunities and research directions for the next decade³⁷. Due to the rapid pace at which nanotechnology is expanding into society via its many applications, as well as to the likelihood that significant human, animal, and ecosystem exposures are already occurring, it is necessary to develop an integrated, validated scientific platform for assessment of hazards, exposures, and risks at a scale commensurate with the growth of this technology.

Instead of performing the nano-EHS exercise one material at a time, rapid-throughput and high-content screening platforms will emerge to survey large batches of nano-phased materials in parallel. Thus, the vision for the next 10 years includes the discovery and development of ENM property– activity relationships, high-volume data sets, and computational methods used to establish knowledge domains, risk modeling, and nano-informatics capabilities to reliably assist decision making. This information needs to be integrated into predictive science and risk management platforms that relate specific materials and ENM properties to hazard, fate and transport, exposure, and disease outcomes. In addition, ensuring safe implementation of nanotechnology over the next decade also requires the development of new, sensitive analytical methodologies, tools, and accepted protocols for screening, detection, characterization, and monitoring of ENM exposure in the workplace, laboratory, home, and the environment.

“Research Progress on Environmental, Health, and Safety Aspects of Nanomaterials” published by the National Research Council (NRC), National Academies evaluated research progress and updates research priorities and resource estimates on the basis of results of studies and emerging trends in the nanotechnology industry. This report follows up the 2012 report “A Research Strategy for Environmental, Health, and Safety Aspects of Engineered Nanomaterials”, which presented a strategic approach for developing the science and research infrastructure needed to address uncertainties regarding the potential environmental, health, and safety risks posed by ENM. This new report looks at the state of nanotechnology research, examines market and regulatory conditions and their effect on research priorities, and considers the criteria for evaluating research progress on the environmental, health, and safety aspects of nanotechnology³⁸.

Private-Sector Stewardship Initiatives

Bergeson³⁹ concluded that green nanotechnology is a concept that needs to be embedded and promoted in regulatory and voluntary initiatives to ensure nanotechnology’s sustainable development. Regarding the key private-sector stewardship initiatives, In June 2007, the Environment Defense Fund (EDF) and DuPont formally announced the release of their joint effort, the Nano Risk Framework. The Framework is rapidly becoming the standard for measuring best management practices in the nano industry. The Framework defines “a systematic and disciplined process for identifying, managing, and reducing potential environmental, health, and safety risks of engineered nanomaterials across all stages of a product’s lifecycle its full life from initial sourcing through manufacture, use, disposal or recycling, and ultimate

fate”. EDF and DuPont began their collaborative effort to develop the Framework in September 2005. They released a draft version to the public on February 26, 2007, and received comments from a diverse array of stakeholders—government, academia, public interest groups, and both large and small companies. EDF and DuPont believe that the Framework, aimed primarily at organizations, both private and public, that are actively working with nanomaterials and developing associated products and applications, will help users organize and evaluate currently available information; assess, prioritize, and address data needs; and communicate clearly how risks are being mitigated. Ultimately, EDF and DuPont “believe that the adoption of the Framework can promote responsible development of nanotechnology products, facilitate public acceptance, and support the formulation of a practical model for reasonable government policy on nanotechnology safety”. Another private sector initiative is the GoodNanoGuide (URL: www.goodnanoguide.org), a collaboration platform designed to enhance the ability of experts to exchange ideas on how best to manage nanomaterials in occupational settings. The Good-NanoGuide has three goals: develop and launch a protected Internet site on occupational practices for the safe handling of nanomaterials using a Wiki-software platform; create a process wherein multiple stakeholders within the international community contribute, share, and discuss information related to occupational safety; and establish a modern, interactive forum that fills the need for up-to-date information and remains current as new practices develop.

To foster the development of green nanotechnology, specific actions stakeholders should consider embracing and promoting were suggested by Bergeson³⁹: (1) develop a life-cycle assessment appropriate for green nanoproducts, (2) establish performance and branding standards for green nanotechnology, (3) provide tax and related business incentives to innovators to encourage application of green nanotechnology, (4) increase patent term protection for green nanoproducts, (5) establish a DfE green nano category, (6) provide greater funding for green nano research, (7) convene a forum to develop and implement green nano principles in a systematic way and (8) actively promote green nano in regulatory and voluntary initiatives.

European NanoSafety Cluster

In Europe, 50 projects have either been completed or still on-going which represent a total RTD investment of 137M € (about NTD 5.4 billions) for the past 9 years until 2013. Each project period runs from 2 years to 5 years with the average funding of about NTD 110 million. The executive summary of 33 projects is listed in the Compendium of Projects in the European NanoSafety Cluster – 2013 edition. Since the first edition, a number of important initiatives have been launched as large scale projects targeting at the integration of research infrastructure and new technology for toxicity studies and exposure monitoring. The demand for researches in the areas of human health and environmental safety management of nanotechnologies is present since a decade and identified by several landmark reports and studies. Several guidance documents have been published. The intention of the compendium is to bring together researchers, create synergy in their work, and establish links and communication

between them mainly during the actual research phase before publication of results. Towards this purpose, the emphasis is to communication of projects strategic aims, extensive coverage of specific work objectives and of methods used in research, strengthening human capacities and laboratories infrastructure, supporting collaboration for common goals and joint elaboration of future plans, without compromising scientific publication potential or IP Rights ⁴⁰.

Taiwan's Position on Nano Risk Governance

Because of the concern over nanotechnology-EHS issues, the Nano Technology Research Center of Industrial Technology Research Institute (ITRI) published a report in 2011 on "Taiwan's Position on Nano Risk Governance" ⁴¹ to meet the demand of domestic industry. This report makes specific recommendations to government policy makers, including: (1) Establishing an empowered nanotechnology risk management unit; (2) Focusing on nanopowder risk management; (3) Life cycle risk assessment of nanotechnology products; (4) Promoting occupational exposure limits for nanomaterials; (5) Reporting of nanomaterials; (6) Selection of international partners, and establishment of international dialog channels; and (7) Ethical, legal, and social implications.

3. Major Achievements of the Taiwan EPA from 2003 to 2013

The Taiwan EPA had joined the 1st phase (2003-2008) of the NPNT for six years. A total of NT 54.52 millions was allocated to execute 19 research projects which aimed at ensuring the development of responsible nanotechnology and industrial environment, and the application of nanotechnology in environmental protection. In the 19 projects, 10 projects with 55 % budget share were categorized as environmental implication of nanotechnology while the other 9 projects with 45% budget share were devoted to environmental applications of nanotechnology. In the first 5 years of the 2nd phase of the NPNT (2009-2014), all 26 projects with a total budget of NT 66.184 millions were funded for the researches on environmental implication of nanotechnology. Besides these national nanotechnology projects, the Taiwan EPA also funded 5 projects with a total of NT 7.188 millions, through "Research and Development of Environmental Innovative Technologies projects", for conducting researches on environmental applications of nanotechnology. In addition, in 2013 the Taiwan EPA funded 2 projects with a total of NT 2.8 millions, through "Development of the Next-generation Detection Method in Environment projects". In 2013, the Taiwan EPA funded five projects, including "Establishment of in vitro cytotoxicity assessment and molecular signature of gold nanoparticle", "Developing analytical tools for measuring and characterizing nanomaterials in the environment", "Development of the measurement of inorganic nanoparticles in water environmental media", "The promotion of Taiwan Nanotechnology EHS database and the integration of knowledge" and "The Risk Perceptions about Nanotechnology and policy research". In addition, one project entitled "Development of nano-gene-quantum dots fingerprinting identification system for the analysis of environmental microorganism" was funded under "Research and Development of Environmental Innovative Technologies projects." Two projects

entitled “A pilot study on the carbon nanotube modified electrode for the analysis of water quality” and “A pilot study on the separation technology for fullerene nanoparticles suspended in water” were funded under “Development of the Next-generation Detection Method in Environment projects.” So far, the major achievements of the Taiwan EPA are summarized as follows:

(1) Promoted Inter-agency Precautionary Risk Management on Nanotechnology EHS

The Taiwan EPA joined with the Council of Labor Affairs and the Ministry of Health and Welfare to promote inter-agency collaborations on precautionary risk management of nanotechnology. The three agencies had reached an agreement in 2006 to collaboratively propose a nanotechnology EHS (Environment, Health and Safety) integration project focusing on the risk assessment and management of nanotechnology in the environment and workplaces for the next stage of the 1st phase projects (2006-2008). The EPA is responsible for the exposure assessment and risk management of nanomaterials in the environment, the Ministry of Health and Welfare takes charge of health risk assessment of nanomaterials, while the Council of Labor Affairs focuses its efforts on ensuring healthy workplaces and safe processes. Through regular meetings on nanotechnology EHS issues, close collaboration between agencies is strengthened. These interagency efforts have resulted in the sustainable development of responsible nanotechnology in Taiwan.

(2) Ensured Safe Nanotechnology products

The Taiwan EPA makes efforts to ensure the safe applications of nanotechnology related consumer products by providing regulation framework within the Nano mark for the Ministry of Economic Affairs. Through literature review and panel discussions, the Taiwan EPA has drafted guidelines for the requirements and constraints for photocatalyst products in environmental applications. So far, 39 companies were certified with valid status and 37 categories of nanotechnology-based consumer products covering 1,410 types were certified as Nano mark. These guidelines were carefully checked and adopted in November 2009 by the Ministry of Economic Affairs as the requirement for the Nano mark application, review, field survey and certification processes. This is the first applicable “good working practice” case that enables risk management during product design, manufacturing and use, and ensures safety of nanotechnology-based products based on precautionary principle. In addition to the functional test of general products, the skin irritation and the acute oral toxicity tests and the safety test of products were also required to ensure products with no potential hazard to human health and environmental safety. To enhance the control of nanomaterials in the workplaces, it is suggested that Industrial Development Bureau could include the nanotechnology EHS issues into the factory counseling program to help manufacturer ensure the safety of nanotechnology-based products. The Taiwan EPA continues to work closely with other government agencies in developing and applying similar “best practices” for nanomaterials and other nanotechnology-based products.

(3) International exchanges and collaborations

In 2003 and 2004, the Taiwan EPA collaborated with Industrial Technology Research Institute to convene two international symposia on several global concerned issues on

responsible nanotechnology. A paper entitled “*Good Governance or Grey Goovernance? Taiwan EPA’s Approaches in Responsible Nanotechnology*” was presented as an international dialogue on responsible nanotechnology. The content included standardization of nomenclature for regulation use; proposed framework for risk assessment; literature survey and analysis of human and ecological risks of nanoparticles; literature survey and analysis of environmental benefits of nanotechnology. The Taiwan EPA's efforts had drawn international attention⁴². In addition, the February 2006 survey results of the working group on nanotechnology of International Risk Governance Council (IRGC) also announced that Taiwan was one of the twelve countries worldwide which provided well prepared information for international dialogue⁴³. The Taiwan EPA has joined the standard development in the TWA working group 3 under the Taiwan nanotechnology standard council to ensure that the domestic researches are in line with international standards. Through the hosting and participation of international conferences, convening annual environmental nanotechnology forum⁴⁴⁻⁴⁹, publication of peer-reviewed journal papers (such as Doong and Chiang 2008; Chen et al. 2009; Chen et al. 2010; Tso et al. 2010; Zhu et al. 2010; Chen et al. 2011; Hsu et al. 2012; Zhu et al. 2012; Chen et al. 2013; Liu et al. 2013a; Liu et al. 2013b)⁵⁰⁻⁶⁰, the Taiwan EPA collaborates closely with international and domestic communities.

(4) Developed environmentally benign nanotechnology

The Taiwan EPA is devoted to developing environmental benign nanotechnology to meet the local urgent environmental challenges and resolve pollution issues, including a fully densified zirconia thin film deposited on a porous substrate using electrophoretic deposition method was developed for use as an oxygen sensor with high performance for vehicles; environmentally benign nanoscale zero-valent iron using a soluble starch as a dispersant was prepared and applied for remediation of Trichloroethylene (TCE) in simulated soil/groundwater; one-dimensional nanocomposite materials composed of various ratios of carbon nanotubes (CNT) and titanate nanotubes (TNT) (CNT/TNT) with high aspect ratios and specific surface areas were fabricated for the coupled degradation of refractory organic compounds and heavy metals; new nanomaterials were produced by fixing nano-iron/nickel on micron-sized α -Al₂O₃ powders and MWCNT for the effective catalysis of TCE and the removal of mixed pollutants in waste water; the sol gel method was used to prepare TiO₂ sol and various metals were added as the co-catalysts and various mesoporous composite catalysts were also synthesized by the template method. These catalysts were used to enhance the photo-catalytic activity of both UV and sun lights, improve the treatment efficiency of pollutants in waste water and air streams, and enhance the effects of self-cleaning and disinfection; synthesis of monodisperse Au-Fe₃O₄ heterostructures with excellent catalytic properties, recyclability and reusability using gold-magnetite heterostructures for effective decomposition of emerging pollutants in the environment⁶¹⁻⁶²; development of nanoscale zero-valent iron coated filter as a novel dry desulfurization technology to remove the hydrogen sulfide from the biogas⁴⁸; development of the carbon nanotube modified electrode for the analysis of water quality⁴⁹; development of nano-gene-quantum dots fingerprinting identification system for the analysis of

environmental microorganism⁴⁹ etc.

(5) Implemented risk management in nanotechnology research laboratories and workplaces

By collaborating with the CLA and MOHW, the Taiwan EPA implemented risk management through the setting of standard operation procedures (SOPs) and safe working guidelines for research laboratories and workplaces. With the assistance by the Taiwan EPA, the Taiwan IOSH published a guideline of “Nanomaterial exposure control manual for the nanotechnology laboratory” that provides domestic nanotechnology industry a reference for drafting the strategic plan for nanomaterials exposure and control to further help nanotechnology laboratory with exposure assessment and control of nanomaterials. In addition, the Amendment of Articles 13 in "Taiwan Occupational Safety and Health Act" was approved in July 2013 to strengthen the labeling, MSDS and management of toxic substances to protect workers from potential hazard due to exposure to the substances. Nanomaterials are chemical substances likely to be regulated in the amendment. In addition, the amendment of "Taiwan Toxic chemical substance control act" was also approved in November 2013. The amendment mandates the registry of chemical substances and strengthens the management of toxic chemical substances that may pose adverse health effects on human beings. The additional resolution of the amendment mandates the Taiwan EPA to include nanomaterials when the registry management of chemical substances commences within one year from the approval of the amendment. The triggering quantity for registry requirement for nanomaterials is below 1 kg.

(6) Established Environmental Nanotechnology Knowledge Platform

The Taiwan EPA has gathered nanotechnology relevant information and established the "Environmental Nanotechnology Knowledge Platform" at URL <http://ehs.epa.gov.tw> as the reference database for environmental nanotechnology and the outreach platform for different stakeholders. The content includes the domestic and international information on environmental applications and implications of nanotechnology, domestic institutions and talents of environmental nanotechnology researches etc. Through this platform, the Taiwan EPA continues to accumulate and expand research materials to eventually form a learning-type knowledge platform for all stakeholders to understand and participate in environmental nanotechnology. From 2010, this platform was further expanded into the "Taiwan nanotechnology EHS database" with the joint efforts of the Taiwan EPA, CLA and MOHW. The achievements of the domestic nanotechnology EHS projects are presented in the new platform to further foster the international exchanges and collaborations. Up to now, 149 abstracts for research reports and 523 SCI papers with the links to the publishers' websites have been uploaded, which demonstrates fruitful results in the nanotechnology EHS area in Taiwan. So far, the number of subscription of e-paper is 525. The number of visiting to the website has been increased to 60,890 since 2011.

(7) Developed measurement and characterization methods for environmental nanomaterials

The Taiwan EPA has devoted to develop measurement and characterization methods for environmental nanomaterials, and applied in the exposure and hazard assessments

of ambient air environment, workplaces and background nanoparticles, and environmental nanomaterials. The techniques include the improved MOUDI (Micro-orifice Uniform Deposit Cascade Impactor) and the methods for accurate size-classifying sampling of environmental nanoparticles; sampling and analysis methods of environmental nanoparticles to avoid artifacts due to organic gases and achieve the chemical mass closure; the collection of environmental nanoparticles by using the MOUDI and the real-time particle size spectrometer ELPI (Electrical Low Pressure Impactor) and quantitative analysis by the LA-ICP-MS (Laser ablation in conjunction with inductively coupled plasma-mass spectrometry); estimating the source contribution of fine particle and nanoparticles by combining the positive matrix factorization with sampling results in stations⁴⁸⁻⁴⁹; the effect of aerosol water content, acid gas absorbed by the glass fiber filter and size selective inlet on the overestimation of PM_{2.5} monitoring data by the beta-gauge monitor⁴⁸⁻⁴⁹; development of wet electrostatic precipitation and concentration, and electrophoretic precipitation of nanomaterials in liquid⁶³; the study for the effect of aqueous chemistry characteristics (e.g. the point of zero-zeta potential, salts and concentration of humic acid) on the stability of nanomaterials in aqueous phase for understanding the transport and fate of nanomaterials in aqueous media⁴⁸⁻⁴⁹ etc. These advanced technology developments for characterizing the physical and chemical properties of environmental nanoparticles can be used as critical tools for exposure assessment, ecological effects, in-vitro and in-vivo toxicity testing.

(8) Established the database of exposure and hazard of environmental and workplace nanomaterials

The Taiwan EPA has completed the monitoring and characterization of nanoparticles in ambient and background environments, as well as the investigation of engineered nanomaterial pollution in nanopowder workplaces. The exposure data such as size distributions, mass concentration distributions, and chemical characteristic have been established. Exposure assessment sites include traffic pollutant sources in Hsueh-Shan Tunnel and urban areas, forest nature sources at Shi-Tou and Lu-Lin Mountain, and engineered nanomaterial workplaces which produce nano-carbon black, nano-SiO₂, nano-CaCO₃, nano-carbon, fine-TiO₂ and fine-ZnO. Wet electrostatic collection, concentration, and electrophoretic precipitation techniques are being used to test the in-vitro toxicity of engineered nanomaterials and environmental nanoparticles. A fast screening platform to evaluate the cytotoxicity of nanoparticles is also being used to replace traditional in vitro tests with faster screening and avoid particle interference by the dyeing methods for cytotoxicity assay⁴⁸⁻⁴⁹.

(9) Researches on ELSI (ethical, legal, and societal implications)

During 2008-2010 and 2013, the Taiwan EPA has conducted the survey of the nanotechnology benefit and risk perception of different stakeholders. Regulatory policies of nanotechnology in many countries around the world and international organizations were also reviewed to enhance the perception and foster the communication with different stakeholders of nanotechnology. The results indicated that attitude to nanotechnology of the general public (consumers) was decided by the risk and benefit perception of nanotechnology. The risk and benefit perception of

nanotechnology, on the other hand, was determined by the attitude to technology, knowledge of nanotechnology, and social trust of related agencies. It was also found that the experts in Taiwan were more concerned about the inhalation and environmental pollution of nanoparticles, while the general public, college students and occupational hygienists were more concerned about the ingestion and dermal contact of nanoparticles.

4. The Planning of Taiwan EPA's 2014 National Program on Nanotechnology in Environmental Issues

The second phase (2008-2014) of the NPNT has been executed for 5 years. In 2008, The Taiwan EPA's "The Planning of the second phase of national nanotechnology program in environmental issues" ⁶⁴⁻⁶⁵ was based on the 2006-2008 planning of the EU and US, and to continue Taiwan EPA's accomplishments in the first phase of the NPNT. Executive Yuan approved the funding of NT\$ 100,000,000 for the Taiwan EPA for environmental nanotechnology projects in the next six years in which 60% was allocated for the EPA/CLA/MOHWS EHS core projects (including measurement, monitoring, and technology development, exposure assessment, risk management, and database establishment etc.) and 40% was for the Taiwan EPA's focal projects (including application nanotechnology in environmental monitoring, remediation, prevention, and technology advancement for sustainable development). The following 2014 strategic plan is modified based on "Taiwan EPA's 2013 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology" ² in 2012 and the NNI's 2011 strategic plan.

Objective and Strategy

Objective 1: Carrying on the achievements in the past to develop a knowledge-based responsible nanotechnology.

Objective 2: Converting nanoscience-based cutting-edge researches into benign and innovative environmental technologies.

Strategy 1: Collaborate with all nations around the world on the premise of global resource-sharing to develop nanotechnology-related EHS knowledge and technologies, and feedback the results to the international community.

Strategy 2: Innovation to lead rather than just to catch up so that sustainable cutting-edge technologies that enable the resolution of domestic and international environmental problems and promote the welfare of human beings can be developed.

To accomplish the above objectives, the Taiwan EPA has proposed the following 12 focal items for nanotechnology EHS researches as:

- (1) Sources, fate, transport, convert and exposure
- (2) Human health
- (3) Ecological effects
- (4) Risk assessment
- (5) Life cycle assessment

- (6) Maintenance of knowledge-base platform
- (7) Sampling, analysis, monitoring and cytotoxicity assay technology platform
- (8) Risk management via engineering and technology
- (9) Risk management via best practice and regulation
- (10) Application of nanotechnology in environmental monitoring and remediation techniques.
- (11) Application of nanotechnology in cleaner manufacturing and sustainable development techniques.
- (12) Researches on ELSI (ethical, legal, and societal implications).

The content of each research focal item is explained below.

- (1) Sources, fate, transport, convert and exposure

This research is aimed at understanding key physical and chemical properties that influence the environmental transport and transformation of nanomaterials, including agglomeration state/aggregation, composition, particle size/size distribution, shape, solubility/dispersibility, surface area, surface chemistry and surface charge density; the transformation of nanomaterials under different environmental conditions; exposure routes, major exposure sources and the effects on non-biotic system; vulnerable environments accessible to nanomaterials; the relationship between key physical and chemical properties of nanomaterial with the exposure via inhalation, oral or dermal routes.

- (2) Human health

The toxicity testing of nanomaterials in the biotic system will be conducted within the constraint of limited resources or for the sake of completing the exposure assessment; to develop trustworthy toxicity testing methods which link the above key nanomaterial physical and chemical properties to human health; to understand the absorption, distribution, metabolism, and excretion of nanomaterials in the human body. Timely transfer of information on the chronic toxicity of the new nanomaterials or the nanoproducts to the manufacturers would be of great importance to keep sound development of nanotechnology and safety of users and environment. The unphysiologic dosing at very high concentrations was used at in vivo and in vitro testing of nanomaterials in Taiwan. However, the results of animal study of CNT indicate the effects of systemic translocation and the chronic toxicity. An extra budget should be allocated to the study of the chronic toxicity of nanomaterials both of in vivo and in vitro testing to catch up with the international trend.

- (3) Ecological effects:

The following researches are to be carried out by the Taiwan EPA: the definition of environmental status; the validation of testing methods; the mechanism of ecological effects; the effects of key nanomaterial properties on eco-toxicity; the exposure route from environment to biotic system.

- (4) Risk assessment

The experts from different disciplines, including environment, public health, biology and chemistry, will be integrated to investigate the interactions of nanomaterials and the environment from the fundamental scientific points of view. ELSI will be included

in the risk assessment process.

(5) Life cycle assessment (LCA)

LCA will be used to develop standard impact assessment procedures for nanoproducts; The Taiwan EPA will continue to gather data for nanomaterials flow and its impacts based on the existing ISO framework (ISO14040: 2006) for LCA; to assess potential risks and environmental impacts of nanoproducts; to develop screening tools for ecology compatible designs; to assist in assessing green nanotechnology products based on LCA and avoiding unforeseeable accidents. "Risk assessment based LCA" proposed by Woodrow Wilson International Center for Scholars is the main stream approach which is worth adopting.

(6) Maintenance of knowledge-base platform

The database platform was setup and well utilized in the 1st phase of the NPNT, which was transformed into the knowledge-base platform in 2007. From 2010, this platform was further expanded into the "Taiwan nanotechnology EHS database" with the joint efforts of the Taiwan EPA, CLA and MOHW. The achievements of the domestic nanotechnology EHS projects are presented in the new platform to further foster the international exchanges and collaborations. The Taiwan EPA will further promote the knowledge-base platform by strengthening data mining capability, building knowledge managing tools and interacting with different stakeholders. The Web 2.0 information platform will be utilized to import the most updated international information. Incorporating all aspects environmental issues and policy of nanotechnology, the platform serves for information exchange and communication, knowledge sharing and international dialogue with different stakeholders. It is expected that different views on the effects of nanomaterials on environment, health and safety will be treated with respect and balanced, and knowledge gaps can be identified. In the end, it is hoped that win-win situation is attained for the industry, the work force, consumers and the environment.

(7) Sampling, analysis, monitoring and cytotoxicity assay technology platform

The Taiwan EPA will be devoted to the development of environmental detection technique for nanomaterials; understanding the effect of surface physicochemical modification on the detection method; development of the standardized evaluation method for the key physical and chemical properties; development of the certificated reference materials for the quantitative analysis of chemical and physical properties of nanomaterials; development of the nano-scale chemical composition, purity, and heterogeneity characterization measurement methods for nanomaterials; investigation of background level of nanoparticles from nature sources and the influence on the exposure measurement and environmental fate.

(8) Risk management via engineering and technology

The Taiwan EPA was devoted to the best practice and the control of nanoparticle exposure in the workplace. In the future, the efforts will be made to survey the life cycle of nanoproducts and nanomaterials and implement the measures to avoid risks at early stage; to develop the risk identification methods and collect related information; and collaborate with CLA and MOHW on the risk management and the development of the risk communication method by conducting ELSI researches.

(9) Risk management via best practice and regulation

The Taiwan EPA will be devoted to provide tools for self-management by the industry; to invite the regulatory decision makers to engage in the projects; to discuss the future environmental legislation for nanotechnology industry under the existing regulation framework.

(10) Application of nanotechnology in environmental monitoring and remediation

The Taiwan EPA will promote the development of green nanotechnology, pollution prevention during nanomaterial production, and green technology with nano-feature.

(11) Application of nanotechnology in clean manufacturing and sustainable development

The Taiwan EPA will collaborate with the industry and academia to promote green nanotechnology for sustainable economic development.

(12) Researches on ELSI (ethical, legal, and societal implications)

The Taiwan EPA will continue the survey of the nanotechnology benefit and risk perception of different stakeholders, and enhance the perception and foster the communication with different stakeholders of nanotechnology.

The prioritized researches in “Strategic Plan for Responsible Nanotechnology in 2014” were proposed as (1) Developing measurement and characterization methods for environmental nanomaterials; (2) Evaluation of in vitro cytotoxicity assessment of nanoparticles in environmental samples; (3) The fate and transformation of nanoparticles in water environmental media; (4) The risk perceptions and policy researches of nanotechnology; (5) Knowledge management and integration of environmental nanotechnology; (6) Development and application of green nanotechnology. The Taiwan EPA has referred to the five core nano-EHS research needs in “2011 Environmental, Health, and Safety Strategy” of the NNI and four research themes in the US EPA “Nanomaterial Research Strategy” of the US EPA. Under the resource constraints, considering previous research achievement and leveraging research activities of the CLA and MOHW with the response to a 3-year post-project period after the NPNT being completed by the end of next year, four focal items in “Strategic Plan for Responsible Nanotechnology in 2014” were proposed as (1) Maintenance of knowledge-base platform; (2) Sampling, analysis, and monitoring technology platform as well as for the subchronic and chronic toxicities; (3) Sources, fate, transport, convert and exposure; (4) Environmentally benign nanotechnology. Each focal item will be executed in sequence depending on the Taiwan EPA’s budget constraints and demands.

5. Conclusion :

In recent years, significant progress in dealing with nanotechnology EHS issues has been made in developed countries and international organizations. The Taiwan EPA has continuously applied nanotechnology in environmental cleaning and pollutant monitoring and studied hazard and exposure of environmental nanoparticles and nanomaterials to prevent potential risks. The Taiwan EPA will continue its efforts to collaborate with the CLA and MOHW to ensure the sustainable development of

nation's responsible nanotechnology program. For accomplishing the 2nd phase of the NPNT, the Taiwan EPA has drafted 12 focal items for nanotechnology EHS researches. Under the resource constraints, considering previous research achievement and leveraging research activities of the CLA and MOHW with the response to a 3-year post-project period after the NPNT being completed by the end of next year, four focal items in “Strategic Plan for Responsible Nanotechnology in 2014” were proposed.

References

1. The Project on Emerging Nanotechnology, <http://207.58.186.238/inventories/> (accessed on Nov. 12, 2013).
2. Tsai, C. J. (2012). Knowledge management and integration of environmental nanotechnology, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-101-U1U1-02-105. (in Chinese)
3. International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/virtualjournal.cfm/> (accessed on Nov. 12, 2013).
4. Tsai, C. J., Chen, S. J., Chou, C. C.-K. (2007). Developing analytical tools for measuring and characterizing nanomaterials in the environment, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-96-U1U1-02-104. (in Chinese)
5. Tsai, C. J., Chen, S. J., Wang, Y. N., Chou, C. C.-K., Lung, S.-C. C. (2008). Analytical tools for measuring and characterizing nanomaterials in the environment, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-97-U1U1-02-106. (in Chinese)
6. Tsai, C. J., Liu, S. C., Chou, C. C.-K., Hsu, S. C. (2009). Analytical tools for measuring and characterizing nanomaterials in the environment, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-98-U1U1-02-103. (in Chinese)
7. Baun, A., Hartmann, N. B., Grieger, K., Kusk, K. O. (2008). Ecotoxicity of engineered nanoparticles to aquatic invertebrates: a brief review and recommendations for future toxicity testing. *Ecotoxicology*, 17, 387-395.
8. Kahru, A., Dubourguier, H.-C. (2010). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, 269, 105-119.
9. Nowack, B., Krug, H. F., Height, M. (2011). 120 Years of nanosilver history: Implications for policy makers. *Environ. Sci. Technol.*, 45, 1177-1183.
10. Donaldson, K., Aitken, R., Tran, L., Stone, V., Duffin, R., Forrest, G., Alexander, A. (2006). Carbon nanotubes: A review of their properties in relation to pulmonary toxicology and workplace safety. *J. Toxicol. Sci.*, 92, 5-22.
11. Lam, C. W., James, J. T., McCluskey, R., Hunter, R. L. (2004). Pulmonary toxicity of single-wall carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. *J. Toxicol. Sci.*, 77, 126-134.
12. Warheit, D. B., Laurence, B. R., Reed, K. L., Roach, D. H., Reynolds, G. A., Webb, T. R. (2004). Comparative pulmonary toxicity assessment of single-wall carbon nanotubes in rats. *J. Toxicol. Sci.*, 77, 117-125.
13. Muller, J., Huaux, F., Moreau, N., Misson, P., Heilier, J. F., Delos, M., Arras, M., Fonseca, A., Nagy, J. B., Lison, D. (2005). Respiratory toxicity of multi-wall carbon nanotubes. *J. Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 207, 221-231.

14. Shvedova, A. A., Kisin, E. R., Mercer, R., Murray, A. R., Johnson, V. J., Potapovich, A. I., Tyurina, Y. Y., Gorelik, O., Arepalli, S., Schwegler-Berry, D. (2005). Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single walled carbon nanotubes in mice. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.*, 289, L698-708.
15. Poland, C. A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W. A. H., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W., Donaldson, K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3, 423-428.
16. Donaldson, K., Murphy, F. A., Duffin, R., Poland, C. A. (2010). Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. *Part. Fibre Toxicol.*, 7, 5.
17. Kano, J., Taquahashi, Y., Takagi, A., Tsuji, M., Morita, K., Ogawa, Y. (2013). Nanotoxicology-its chronic aspects, *Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.*
18. Oberdörster, G. (2013). Comparative risk assessment of airborne nanomaterials: Analyzing Exposure-does-response relationships, *Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.*
19. Taquahashi, Y., Ogawa, Y., Takagi, A., Tsuji, M., Moritaand, K., Kanno, J. (2013). An improved dispersion method of multi-wall carbon nanotube for inhalation toxicity studies of experimental animals, *J. Toxicol. Sci.*, 38, 619–618.
20. Nel, A., Xia, T., Meng, H., Wang, X., Lin, S., Ji, Z., Zhang, H. (2013). Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: Use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening, *Acc. Chem. Res.*, 46, 607–621.
21. NIOSH (2013). *Current Intelligence Bulletin 65: Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, April 2013.
22. NIOSH (2011). *Current Intelligence Bulletin 63: Occupational Exposure to Titanium Dioxide*, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, April 2011.
23. OSHA (2013). *OSHA Fact Sheet-Working Safely with Nanomaterials*, Occupational Safety and Health Administration.
24. Ono-Ogasawara, M. (2013). Striving for exposure assessment of MWCNTs by particle size and oxidation temperature of EC, *Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.*
25. European Commission (2010). *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, project final report.
26. Nakanishi, J. (2011). *Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials: Carbon Nanotubes*, final report issued on August 17, 2011. NEDO project (P06041) *Research and Development of Nanoparticle Characterization Methods.*

27. Pauluhn, J. (2010). Multi-walled carbon nanotubes (Baytubes): Approach for derivation of occupational exposure limit, *Regul. Toxicol. Pharm.*, 57, 79–89.
28. Luizi, F. (2009). Responsible case and nanomaterials-Case study Nanocyl, European Responsible Care Conference, Prague, Oct. 21-23, 2009.
29. ISO TC 229 (Website), International Organization for Standardization, Technical Committee 229, accessed on November 12, 2013, http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983
30. Lee, J. H., Yu, I. J. (2013). ISO TR 13329: Preparation of nanomaterial safety data sheet (SDS), Proceeding of the 6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Nagoya, Japan, Oct. 28-31, 2013.
31. ENV/JM/MONO(2010)46, List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the sponsorship programme for the testing of manufactured nanomaterials: Revision.
32. ENV/JM/MONO(2011)53, Information gathering schemes on nanomaterials: lessons learned and reported information.
33. Taiwan IOSH (2011). Nanomaterial exposure control manual for the nanotechnology laboratory, <http://www.iosh.gov.tw/Publish.aspx?cnid=597>
34. USEPA (2007). Nanotechnology White Paper, EPA 100/B-07/001, <http://www.epa.gov/ord/lrp/pdfs/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>
35. NNI (2011). National Nanotechnology Initiative, 2011 Environmental, Health, and Safety Strategy, <http://strategy.nano.gov/>
36. USEPA (2009). Nanomaterial Research Strategy, Office of Research and Development, June 2009.
37. Roco, M. C., Mirkin, C. A., Hersam, M. C. (2010). Nanotechnology research directions for societal needs in 2020—Retrospective and outlook, Springer Publishing Company.
38. National Research Council (NRC) (2013). Research progress on environmental, health, and safety aspects of engineered nanomaterials, The National Academies.
39. Bergeson, L. L. (2013). Sustainable nanomaterials: Emerging governance systems, *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 1, 724–730.
40. EU NanoSafety Cluster (Website), European NanoSafety Cluster Compendium <http://www.nanosafetycluster.eu/home/european-nanosafety-cluster-compendium.html> (accessed on Nov. 12, 2013)
41. Song, T. T., Pan E. Y., Su, T. T. (2011). Nano Technology Research Center of Industrial Technology Research Institute, ITRI, Taiwan's Position on Nano Risk Governance, http://ehs.epa.gov.tw/Publications/F_Publish_Detail/3547?c=23&p=9
42. Roco, M. C. (2005). Environmentally Responsible Development of Nanotechnology, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (5), 106A–112A.
43. IRGC, International Risk Governance Council, (2007). Nanotechnology Risk Governance: Recommendations for a global, coordinated approach to the governance of potential risks. http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB_nanoFINAL2_2_.pdf
44. Taiwan EPA, The proceedings of 2008 Environmental Nanotechnology Forum,

- Nov. 4, 2008, Taipei. (in Chinese)
45. Taiwan EPA, The proceedings of 2009 Environmental Nanotechnology Forum, Oct. 23, 2009, Taipei. (in Chinese)
 46. Taiwan EPA, The proceedings of 2010 Environmental Nanotechnology Forum, Dec. 12, 2010, Taipei. (in Chinese)
 47. Taiwan EPA, The proceedings of 2011 Environmental Nanotechnology Forum, Oct. 24, 2011, Taipei. (in Chinese)
 48. Taiwan EPA, The proceedings of 2012 Environmental Nanotechnology Forum, Oct. 19, 2012, Taipei. (in Chinese)
 49. Taiwan EPA, The proceedings of 2013 Environmental Nanotechnology Forum, Oct. 21, 2013, Taipei. (in Chinese)
 50. Doong, R. A., Chiang, L. F. (2008). Coupled removal of organic compounds and heavy metals by titanate/carbon nanotube composites. *Water Sci. Technol.*, 44, 1985-1992.
 51. Chen, S. C., Tsai, C. J., Huang, C. Y., Chen, H. D., Chen, S. J., Lin, C. C., Tsai, J. H., Chou, C. C. K., Lung, S. C. C., Huang, W. R., Roam, G. D., Wu, W. Y., Smolik, J., Dzumbova, L. (2009). Chemical mass closure and chemical characteristics of ambient ultrafine particles and other PM fractions. *Aerosol Sci. Technol.*, 44, 713-723.
 52. Chen, S. C., Tsai, C. J., Chou, C. C. K., Roam, G. D., Cheng, S. S., Wang, Y. N. (2010). Ultrafine particles at three different sampling locations in Taiwan. *Atmos. Environ.*, 44, 533-540.
 53. Tso, C. P., Zhung, C. M., Shih, Y. H., Tseng, Y. M., Wu, S. C., Doong, R. A. (2010). Stability of metal oxide nanoparticles in aqueous solutions. *Water Sci. Technol.*, 61, 127-133.
 54. Zhu, C. S., Chen, C. C., Cao, J. J., Tsai, C. J., Chou, C. C. K., Liu, S. C., Roam, G. D. (2010). Characterization of carbon fractions for atmospheric fine particles and nanoparticles in a highway tunnel. *Atmos. Environ.*, 44, 2668-2673.
 55. Chen, S. C., Tsai, C. J., Chen, H. D., Huang, C. Y., Roam, G. D. (2011). The influence of relative humidity on nanoparticle concentration and particle mass distribution measurements by the MOUDI. *Aerosol Sci. Technol.*, 45, 596-603.
 56. Hsu, S. C., Huh, C. A., Lin, C. Y., Chen, W. N., Mahowald, N. M., Liu, S. C., Chou, C. C. K., Liang, M. C., Tsai, C. J., Lin, F. J., Chen, J. P., Huang, Y. T. (2012). Dust transport from non-East Asian sources to the north Pacific, *Geophysical Research Letters*, 39, L12804.
 57. Zhu, C. S., Tsai, C. J., Chen, S. C., Cao, J. J., Roam, G. D. (2012). Positive sampling artifacts of organic carbon fractions for fine particles and nanoparticles in a tunnel environment, *Atmos. Environ.*, 54, 225-230.
 58. Chen, M. F., Lin, Y. P., Cheng, T. J. (2013). Public attitudes toward nanotechnology applications in Taiwan, *Technovation*, 33, 88-96.
 59. Liu, C. N., Awasthi, A., Hung, Y. H., Gugamsetty, B., Tsai, C. J., Wu, Y. C., Chen, C. F. (2013a). Differences in PM_{2.5} concentrations between the beta attenuation monitor (BAM) and dichotomous sampler, *Atmos. Environ.*, 75, 314-347.
 60. Liu, C. N., Awasthi, A., Tsai, C. J. (2013b). Collection efficiency and interstage

-
- loss of nanoparticles in micro-orifice-based cascade impactors, *Atmos. Environ.*, 69, 325–333.
61. Doong, R. A. (2008). Detection and adsorption of heavy metal and emerging pollutants using core-shell nanomaterials, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-97-U1U1-02-101. (in Chinese)
 62. Doong, R. A. (2011). Degradation of organically toxic chemicals using gold-magnetite heterostructures, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-100-U1L1-02-101. (in Chinese)
 63. Tsai, C. J., Hsu, S. C., Yang, H. H. (2011). Developing measurement, characterization and cellular toxicity testing platform techniques for environmental nanomaterials, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-100-1062-02-01. (in Chinese)
 64. Wu, W. Y., Chen, Y. H., Tsao, T. C. Roam, G. D. (2008). Plan for the second phase of the Taiwan EPA's National Nanotechnology Program in environmental issues, The Proceeding of Environmental Nanotechnology Forum, Jan. 11, 2008, Taipei. (in Chinese)
 65. Wu, W. Y., Roam, G. D. (2008). Planning roadmap for the second phase of the Taiwan EPA's National Nanotechnology Program in environmental nanotechnology, The Proceeding of Environmental Nanotechnology Forum, Nov. 4, 2008, Taipei. (in Chinese)

**「環保署 2014 年全球負責任奈米技術的回顧與展望」 研商會議
委員意見回覆對照表**


委員意見	意見回覆
<p>工研院量測技術發展中心 彭國勝委員</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 建議 EHS 議題的研究，和標檢局的奈米標準計畫、工業局的奈米標章計畫，能相互支援，共同聚焦重點項目，如奈米微粒的安全及其應用。 2. 建議推動奈米產品的標示，以利產業的發展並降低其對 EHS 的衝擊。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議環保署未來執行計畫時可先與標檢局和工業局協調後，再作進一步的分工。 2. 同意委員看法。奈米產品標示的議題涉及國內的各個單位，國家應投入資源進行跨部會的法規架構之檢討。
<p>工研院材化所 宋清潭博士</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Nano EHS 相關議題廣泛包括物質測量、暴露評估人體健康、環境風險等，建議在資訊收集評估時可集中去深入了解 EU、USA 在環境相關議題的現況與未來規劃資訊提供署內參考。 2. 2014 以後發展重點在經費有限下，建議朝全球目前政策性導向的規劃分析做深入探討，個別奈米粒子的暴露、毒性；檢測技術的研究在本計畫下執行較難產生對整體規劃環境政策有用的參考。 3. 未來除知識平台維護外，各國物質化學品管制現況 MSDS，奈米粒子排出對環境與土壤影響，國外主要執行成果(環境議題)與未來規劃等議題與方向可參考做為主要議題研究，將國外發展議題與國內現況整合分析，做為政策推動參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫執行過程即以此目標為努力方向，本計畫之主持人今年已參加多個國際性的研討會，帶回相關的國際最新資訊。 2. 同意委員看法。建議環保署可提高委員建議的工作項目之經費補助比例，重視體內研究；檢測技術對於奈米物質之物化特性及毒性影響仍有其重要性。 3. 建議環保署明年可持續將委員建議的主題納入知識缺口的文獻回顧工作。
<p>勞工安全衛生研究所 陳春萬博士</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 職業安全衛生法係 2013 年 7 月公布，仍未實施，將俟實行細則及辦法後(1 年內)實施，p.8。 2. 暴露評估奈米產業正發展中，不容 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員建議。此段文字已修正為"職業安全衛生法第 13 條已先行修法通過並於 2013 年 7 月公告，相關的施行細則及辦法頒佈後會正式實施"，請參閱期末報告第 367 頁。 2. 感謝委員建議。計畫主持人過去已成功研發及技轉的奈米微粒個人採樣

委員意見	意見回覆
<p>易進行於實際現場，建立檢測平台是一個適當方向，也許適合發展適當檢測技術於實驗室釐清相關影響因素，如有機會再於現場應用。</p> <p>3. 毒性測試需要很大經費，特別是亞慢性及慢性毒性測試，建議先建立技術，先 SDS、REACH，再向國科會或產業界爭取更大範圍之測試。</p> <p>4. 奈米標章負責任廠商值得肯定推廣。</p>	<p>器，可佩戴在勞工身上直接量測作業勞工的奈米微粒暴露量，這些數據將可作為奈米物質暴露風險的管理參考。未來仍有待累積更多的現場數據作為奈米作業場所暴露環境之工程改善的參考。</p> <p>3. 同意委員看法。我國仍需進行跨部會的合作並投入經費於奈米物質的亞慢性及慢性毒性研究，方能符合國際的研究趨勢。</p> <p>4. 謝謝委員建議。建議環保署可與經濟部工業局合作研擬相關辦法以推廣負責任的奈米標章廠商，除了一般產品的功能測試外，亦可將奈米技術的 EHS 問題列入工廠輔導計畫中，以協助業者確保奈米產品的安全。</p>
<p>成功大學環境醫學研究所 張志欽副教授</p> <p>1. 奈米技術產品(奈米標章)通過認證之產品不到一半，也因此品質不良，有不常磨耗導致釋放奈米物質到環境，危害生態及健康。建議跨部會進行追蹤研究。</p> <p>2. 慢性毒性測試平台，因尚未確認奈米物質所產生疾病的種類(除奈米碳管外)，建議採用不同暴露模式(包括 Inhalation 及 nasopharyngeal aspirate)，以研究可能的長期暴露所造成的病態生理變化，並得據以發展奈米毒理測試平台。</p>	<p>1. 同意委員看法。期末報告的 3.1.4 節“奈米產品中的奈米物質對環境的影響”即針對此議題進行探討，建議環保署明年可持續將此主題納入知識缺口的文獻回顧工作，並開始投入經費於此主題的研究。</p> <p>2. 感謝委員建議。目前國內有奈米國家型計畫、國科會永續計畫、衛福部及勞委會等單位可執行環境毒理和暴露模式的研究，建議政府相關部門加強協調工作，挹注經費執行多年期的計畫，投入此議題之研究。</p>
<p>前環保署環境檢驗所 阮國棟博士</p> <p>1. 「回顧與展望」文件詳盡完整，內容把過去 12 年的工作及成果均有涵蓋，並追蹤最新的國際趨勢，重點掌握良好。</p> <p>2. 內容資訊很多，建議在格式上，能</p>	<p>1. 謝謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議，請參閱下列各項的意</p>

委員意見	意見回覆
<p>增加：</p> <p>(1) 半頁左右的摘要，把過去 TEPA 的策略、工作成果及 2014 預期工作做一個我國的(或至少環保署的)position paper 的類似摘要總結。</p> <p>(2) 增加一些與「法規、標準及指引」、「研究策略」等同階的小標題，以利閱讀。</p> <p>3. 在結論中可否點出(甚至在摘要重現)</p> <p>(1) 國際上在過去 12 年中，有無重大進步(在 EHS 方面)，例如：NIST 已有少數認證參考物質等、零價奈米鐵在污染整治之應用。</p> <p>(2) 我國在過去 12 年中，在 EHS 有無重大進步，例如：奈米標章、實驗室安全等。</p> <p>(3) 我國環保署在過去 12 年中，在 EHS 主題下有無重大進步，例如：PM_{0.1} 及 PM_{2.5} 量測技術實務、知識庫及感知認知調查研究等。</p> <p>4. 本文定位為 Taiwan EPA 的 progress report？還是 outlook？或二者均有？反應在題目(中文)的文字是否予以調整？</p>	<p>見回覆。</p> <p>(1) 環保署過去在環境奈米科技的執行成果已在「回顧與展望」文件中的第三節詳細列出，本團隊僅於摘要中增加環保署在 2014 年奈米國家型計畫環境議題的四個未來重點發展項目，請參閱期末報告第 362 頁。</p> <p>(2) 已在文件中增加數個小標題以利閱讀。</p> <p>3. 感謝委員建議，請參閱下列各項的意見回覆。</p> <p>(1) 國際間奈米技術 EHS 議題的發展近況在「回顧與展望」文件中的第二節已有詳細的敘述。</p> <p>(2) 我國奈米標章的推動成果可參閱文件中第三節的(二)確保奈米技術產品的安全，實驗室安全的議題在(五)推動奈米技術研究實驗室及工作場所的風險管理工作已有詳細敘述。</p> <p>(3) 環保署在 2003~2013 年間的主要成果在文件中的第三節已有詳細敘述，參考文獻中亦列出一部份已發表的同儕審查制度的期刊論文共 11 篇，包括 PM_{0.1} 及 PM_{2.5} 量測技術實務及感知認知調查等研究。</p> <p>4. 已將題目修改為「2014 年環保署的全球負責任奈米技術的回顧與展望」。</p>

附錄十一 知識平台系統維護工作紀錄

案例編號	EHS1301001		
通報日期	2013/01/13	結案日期	2013/01/14
維護原因	● 調整前台網頁之『網頁更新日期』位置		
解決方式	<p>修改網頁內容，修正後為：</p> <p>附件：無 在水中發現到的先前未偵測到的化學物質，或是在非預期的偵測等級下發現的化學物質，因存在、出現的頻率或是來源是否會對人體健康與環境造成危害尚未明瞭，這類化學物質通常作“新興污染物(Contaminants of Emerging Concern, CECs)”。</p> <p>地球上的所有大洲都有面臨到缺水的問題，約有12億人口生活在缺水的地區，5億的人口瀕臨窘境。而目前已在許多的環境媒介中(包含水環境)發現到多種新興污染物。此外，高科技工：導體、薄膜電晶體-液晶顯示器(TFT-LCD)等等]需要非常大量的超純水(ultrapure water 其他的工業也需要 ...[顯示全文]</p> <p style="text-align: center;">< 1 2 3 ></p> <p style="text-align: center;">::: 無障礙  隱私權政策 資訊安全政策 資訊安全規範 著作權聲明 聯絡我們 A+ accessibility</p> <p style="text-align: center;">013 行政院環境保護署 10042台北市中正區中華路一段93號 總機：☎ 886-2-23117722 業務聯繫窗口 請使用IE7.0/Firefox3.0以上版本，解析度1024x768螢幕解析度獲得最佳網頁瀏覽環境</p> <p style="text-align: center;">網頁更新日期：2013/01/25</p>		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1301002		
通報日期	2013/01/25	結案日期	2013/02/06
維護原因	<p>若無『附件』，則顯示『無』</p> <p style="text-align: right;">請選擇年份 2012 ▾ 請選擇主題 <input type="text"/> 論文精華</p> <p style="text-align: center;">環境奈米科技論壇 活動花絮</p>  <p>2012 環境奈米科技論壇 為促進國內環境奈米科技知識交流，環保署 經9年，共計辦理14場論壇。
本 議程同時涵括環保署在101年度環境奈米 特性分析及即時毒性測試平台技術開發； 奈米微粒量測、轉換及宿命研究；環境奈米 期望透過環境奈米科技論壇的舉辦，與國</p> <p>相關檔案：101 年環境奈米科技論壇議程</p> <p>論文精華</p> <p>主講人：勞工安全衛生研究所 林進基所長 題目：2012年環境奈米科技論壇</p> <p>附件： 依據行政院產業科技策略會議(SRB)議題 劃進行風險評估、風險管理、風險溝通；並 造成之健康影響，研究奈米製程控制與防護 奈米國家型科技計畫應健全發展，需要包</p>		
解決方式	<p>修改網頁內容，修正後為：</p> <p style="text-align: center;">相關檔案：101 年環境奈米科技論壇議程_final.pdf</p> <p style="text-align: center;">論文精華</p> <p>主講人：勞工安全衛生研究所 林進基所長 題目：2012年環境奈米科技論壇 附件：無 依據行政院產業科技策略會議(SRB)議題結 劃進行風險評估、風險管理、風險溝通；並 造成之健康影響，研究奈米製程控制與防 奈米國家型科技計畫應健全發展，需要包</p>		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1302001		
通報日期	2013/02/19	結案日期	2013/02/22
維護原因	網站修正右上角的字為”正體中文”		
解決方式	修改網頁內容，修正後為： 		
結案狀態	已結案		


案例編號	EHS1303001		
通報日期	2013/03/05	結案日期	2013/03/12
維護原因	英文姓名，資料庫更新未完全，有的仍未顯示出來		
解決方式	原因： 資料庫未完全是因為部分資料更新至舊版本的CUID，以 Document_ID='7744'資料為例，資料庫「TVERSION」最新的CUID為10506與EXCEL中記錄的CUID為8748不同。 重新匯入資料庫，以解決未完全更新問題。		
結案狀態	已結案		

<p>案例編號</p>	<p>EHS1304001</p>		
<p>通報日期</p>	<p>2013/04/01</p>	<p>結案日期</p>	<p>2013/05/02</p>
<p>維護原因</p>	<p>以分類搜尋時，發現無法細分內容。 因此該處應修改為選完大分類後，中分類只秀出針對該項大分類的選項，若無小分類，則小分類反灰(使用者不可點選)</p> 		
<p>解決方式</p>	<p>修正分類程式：</p> 		
<p>結案狀態</p>	<p>已結案</p>		

案例編號	EHS1304002																							
通報日期	2013/04/12	結案日期	2013/05/02																					
維護原因	<p>研究領域為必選，但 a~g 只能被選一類</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #008080; color: white;">研究領域</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #008080; color: white;">a 奈米科技的應用</td> <td style="background-color: #008080; color: white;">b 奈米科技對環境的影響</td> <td style="background-color: #008080; color: white;">c 奈米物質職業安全衛生</td> </tr> <tr> <td> <input type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 感測 <input type="checkbox"/> 處理 <input type="checkbox"/> 綠色生產 <input type="checkbox"/> 綠色能源 <input type="checkbox"/> 其他奈米科技應用 </td> <td> <input type="checkbox"/> 氣膠 <input type="checkbox"/> 生命週期評估 <input type="checkbox"/> 生態 <input type="checkbox"/> 毒性 <input type="checkbox"/> 宿命與傳輸 <input type="checkbox"/> 環境暴露及控制 </td> <td> <input type="checkbox"/> 職業暴露評估 <input type="checkbox"/> 職業暴露控制 <input type="checkbox"/> 最佳控制實務與風險管理 <input type="checkbox"/> 火災與爆炸 <input type="checkbox"/> 個人防護器具 </td> </tr> <tr> <th style="background-color: #008080; color: white;">d 奈米物質毒性</th> <th style="background-color: #008080; color: white;">e 風險評估與健康檢查</th> <th style="background-color: #008080; color: white;">f 負責任的發展</th> </tr> <tr> <td> <input type="checkbox"/> 體外實驗 <input type="checkbox"/> 體內實驗 <input type="checkbox"/> 生物標誌 <input type="checkbox"/> 藥物動力學與藥效學 <input type="checkbox"/> 劑量選擇與特徵 </td> <td> <input type="checkbox"/> 風險評估方法 <input type="checkbox"/> 風險管理 <input type="checkbox"/> 流行病學研究 <input type="checkbox"/> 醫療篩檢與檢查 <input type="checkbox"/> 暴露登記 </td> <td> <input type="checkbox"/> 倫理法律與社會影響 <input type="checkbox"/> 法規與監督 <input type="checkbox"/> 風險認知與溝通 </td> </tr> <tr> <th colspan="3" style="background-color: #008080; color: white;">評論</th> </tr> <tr> <td colspan="3"> <input type="checkbox"/> 評論 </td> </tr> </tbody> </table>			研究領域			a 奈米科技的應用	b 奈米科技對環境的影響	c 奈米物質職業安全衛生	<input type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 感測 <input type="checkbox"/> 處理 <input type="checkbox"/> 綠色生產 <input type="checkbox"/> 綠色能源 <input type="checkbox"/> 其他奈米科技應用	<input type="checkbox"/> 氣膠 <input type="checkbox"/> 生命週期評估 <input type="checkbox"/> 生態 <input type="checkbox"/> 毒性 <input type="checkbox"/> 宿命與傳輸 <input type="checkbox"/> 環境暴露及控制	<input type="checkbox"/> 職業暴露評估 <input type="checkbox"/> 職業暴露控制 <input type="checkbox"/> 最佳控制實務與風險管理 <input type="checkbox"/> 火災與爆炸 <input type="checkbox"/> 個人防護器具	d 奈米物質毒性	e 風險評估與健康檢查	f 負責任的發展	<input type="checkbox"/> 體外實驗 <input type="checkbox"/> 體內實驗 <input type="checkbox"/> 生物標誌 <input type="checkbox"/> 藥物動力學與藥效學 <input type="checkbox"/> 劑量選擇與特徵	<input type="checkbox"/> 風險評估方法 <input type="checkbox"/> 風險管理 <input type="checkbox"/> 流行病學研究 <input type="checkbox"/> 醫療篩檢與檢查 <input type="checkbox"/> 暴露登記	<input type="checkbox"/> 倫理法律與社會影響 <input type="checkbox"/> 法規與監督 <input type="checkbox"/> 風險認知與溝通	評論			<input type="checkbox"/> 評論		
研究領域																								
a 奈米科技的應用	b 奈米科技對環境的影響	c 奈米物質職業安全衛生																						
<input type="checkbox"/> 整治 <input type="checkbox"/> 感測 <input type="checkbox"/> 處理 <input type="checkbox"/> 綠色生產 <input type="checkbox"/> 綠色能源 <input type="checkbox"/> 其他奈米科技應用	<input type="checkbox"/> 氣膠 <input type="checkbox"/> 生命週期評估 <input type="checkbox"/> 生態 <input type="checkbox"/> 毒性 <input type="checkbox"/> 宿命與傳輸 <input type="checkbox"/> 環境暴露及控制	<input type="checkbox"/> 職業暴露評估 <input type="checkbox"/> 職業暴露控制 <input type="checkbox"/> 最佳控制實務與風險管理 <input type="checkbox"/> 火災與爆炸 <input type="checkbox"/> 個人防護器具																						
d 奈米物質毒性	e 風險評估與健康檢查	f 負責任的發展																						
<input type="checkbox"/> 體外實驗 <input type="checkbox"/> 體內實驗 <input type="checkbox"/> 生物標誌 <input type="checkbox"/> 藥物動力學與藥效學 <input type="checkbox"/> 劑量選擇與特徵	<input type="checkbox"/> 風險評估方法 <input type="checkbox"/> 風險管理 <input type="checkbox"/> 流行病學研究 <input type="checkbox"/> 醫療篩檢與檢查 <input type="checkbox"/> 暴露登記	<input type="checkbox"/> 倫理法律與社會影響 <input type="checkbox"/> 法規與監督 <input type="checkbox"/> 風險認知與溝通																						
評論																								
<input type="checkbox"/> 評論																								
解決方式	修正選取程式																							
結案狀態	已結案																							

案例編號	EHS1304003		
通報日期	2013/04/18	結案日期	2013/05/02
維護原因	<p>環保署內的監資處進行網頁檢視時發現有 2 個問題，</p> <p>1. 網頁更新日期部分, 建議更新於每個網頁的內容下方。</p> <p>2. 縱使網頁內容未進行更新, 更新日期必須在一年之內, 代表有定期檢視網頁內容準確性</p>		
解決方式	依問題修正。		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1306001		
通報日期	2013/06/06	結案日期	2013/08/06
維護原因	<p>最新知識文件這欄，文章排序並非依照文章上傳的時間先後來排的，舊文章跑到新文章前頭了。</p> <p>能否修改成最新發表文章在前，依日期後先依序排下來。</p> 		
解決方式	依問題修正。		
結案狀態	已結案		

<p>案例編號</p>	<p>EHS1307001</p>		
<p>通報日期</p>	<p>2013/07/02</p>	<p>結案日期</p>	<p>2013/08/06</p>
<p>維護原因</p>	<p>下圖英文版網站搜尋的結果，無論是查詢 projects 或 papers Sponsor Institute 和 Database categories 秀出的結果不一致 (在上傳勾選的時候兩個都會選一樣的)，修改後的結果以 Database categories 勾選的為準</p> 		
<p>解決方式</p>	<p>依問題修正。</p>		
<p>結案狀態</p>	<p>已結案</p>		

案例編號	EHS1308001		
通報日期	2013/08/15	結案日期	2013/08/27
維護原因	<ul style="list-style-type: none"> ● 前台網頁之資料庫搜尋：Type 的預設的搜尋種類請設定為 project ● 中英文網站搜尋結果的呈現原本預設以相似度(similarity)排列，請改為預設以出版日期(Published date)排列 		
解決方式	<p>修改網頁內容，修正後為：</p>   		
結案狀態	已結案		

<p>案例編號</p>	<p>EHS1308002</p>		
<p>通報日期</p>	<p>2013/08/19</p>	<p>結案日期</p>	<p>2013/08/27</p>
<p>維護原因</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 知識庫無法登入  ● 知識庫取消加入會員制度   ● 發九月電子報時，要加入民眾回連功能(開信讀的比例)，屆時需統計回連數量 		

<p>解決方式</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 知識庫密碼變更後，已可正常 login 使用。 ● 修改網頁內容，修正後為：  <p>The screenshot shows the website's announcement section with a list of notices from 2011 to 2013. Below this is a table titled '電子報上傳管理' (Electronic Report Upload Management) with the following data:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項目</th> <th>發佈日期</th> <th>標題</th> <th>PDF檔案</th> <th>開啟數</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2013/11/22</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第十二期</td> <td></td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2013/09/26</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第十一期</td> <td>2013102_71f9bd38.pdf</td> <td>337</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>2013/07/04</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第十期</td> <td>201374_c86e325b.pdf</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>2013/03/27</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第九期</td> <td>2013911_f0e2aab0.pdf</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>2012/11/29</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第八期</td> <td>20121130_a7beda23.pdf</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>2012/10/30</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第七期</td> <td>20121127_6da97fd7.pdf</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>2012/08/07</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第六期</td> <td>2012810_26831ce0.pdf</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>2012/05/16</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第五期</td> <td>2012516_01c3e8cb.pdf</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>2011/11/29</td> <td>環境奈米科技知識平台電子報第四期</td> <td>2011125_bedee4d2.pdf</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	項目	發佈日期	標題	PDF檔案	開啟數	1	2013/11/22	環境奈米科技知識平台電子報第十二期		0	2	2013/09/26	環境奈米科技知識平台電子報第十一期	2013102_71f9bd38.pdf	337	3	2013/07/04	環境奈米科技知識平台電子報第十期	201374_c86e325b.pdf	0	4	2013/03/27	環境奈米科技知識平台電子報第九期	2013911_f0e2aab0.pdf	0	5	2012/11/29	環境奈米科技知識平台電子報第八期	20121130_a7beda23.pdf	0	6	2012/10/30	環境奈米科技知識平台電子報第七期	20121127_6da97fd7.pdf	0	7	2012/08/07	環境奈米科技知識平台電子報第六期	2012810_26831ce0.pdf	0	8	2012/05/16	環境奈米科技知識平台電子報第五期	2012516_01c3e8cb.pdf	0	9	2011/11/29	環境奈米科技知識平台電子報第四期	2011125_bedee4d2.pdf	0
項目	發佈日期	標題	PDF檔案	開啟數																																															
1	2013/11/22	環境奈米科技知識平台電子報第十二期		0																																															
2	2013/09/26	環境奈米科技知識平台電子報第十一期	2013102_71f9bd38.pdf	337																																															
3	2013/07/04	環境奈米科技知識平台電子報第十期	201374_c86e325b.pdf	0																																															
4	2013/03/27	環境奈米科技知識平台電子報第九期	2013911_f0e2aab0.pdf	0																																															
5	2012/11/29	環境奈米科技知識平台電子報第八期	20121130_a7beda23.pdf	0																																															
6	2012/10/30	環境奈米科技知識平台電子報第七期	20121127_6da97fd7.pdf	0																																															
7	2012/08/07	環境奈米科技知識平台電子報第六期	2012810_26831ce0.pdf	0																																															
8	2012/05/16	環境奈米科技知識平台電子報第五期	2012516_01c3e8cb.pdf	0																																															
9	2011/11/29	環境奈米科技知識平台電子報第四期	2011125_bedee4d2.pdf	0																																															
<p>結案狀態</p>	<p>已結案</p>																																																		

案例編號	EHS1308003		
通報日期	2013/08/27	結案日期	2013/08/27
維護原因	聯絡我們這個連結，必須是連到環保署的環保 e 言堂 (http://forum.epa.gov.tw/EPASPS/SPSB/SPSB01001.aspx)		
解決方式	修改網頁內容，修正後為： 		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1309001		
通報日期		結案日期	2013/09/17
維護原因	9 月 30 日以前通過 IPV6 檢核		
解決方式	<p>IPv6 設定：</p>  <p>IPv6 檢測： hinet IPv6 網站檢測系統(http://www.ipv6.hinet.net/server_test.html)</p>		



IPv6 檢測二：

台灣 NGN IPv6 移轉技術入口網 - IPv6 站台測試網頁
<http://6check.rd.ipv6.org.tw/>

台灣NGN IPv6移轉技術入口網 - IPv6 站台測試網頁

測試結果 | 測試方法與結果說明 | 網域環境測試 | 網站測試 | 系統資訊 | 全球五百大網站檢測 | 特別感謝

本測試會測試您輸入的網域是否提供 IPv6 存取服務。系統會根據您所輸入的網域試著去針對您的 web server 進行測試。如果測試成功就會顯示「SUCCESS」的字眼，反之則顯示「FAIL」的字眼。另外，針對 WWW 測試時，系統會主動告知你伺服器 的IPv4與IPv6位址。

<請注意:請允許網站使用Wget存取, 否則可能會造成判斷上的錯誤! >

輸入 domain name 即可測試。

範例:
 請輸入你的網站, 例如 www.rd.ipv6.org.tw


請輸入您想要測試的網址:

站台	ehs.epa.gov.tw	
WWW 測試	SUCCESS (ehs.epa.gov.tw)	這個服務有提供 IPv6 access。
網頁主機IPv4位址	117.56.10.17	
網頁主機IPv6位址	2001:4420:7602:112::2	

測試結果的說明請參考「測試方法與結果說明」

	<p>測試待測網站的三種網路服務：</p> <ul style="list-style-type: none"> • WWW <ul style="list-style-type: none"> ○ 測試說明： 系統會自動根據 RFC 的建議 \$domain、www.\$domain、ipv6.\$domain、www.ipv6.\$domain 來偵測待測網域是否提供 IPv6 的服務。 ○ 測試方法： 本系統以 wget -6 的指令透過 http 來取得網頁內容，避免因為使用 ping 被 firewall 阻擋而造成誤判。 * 本測試只測試 80 port ○ 結果說明： 系統測試成功的話會出現「SUCCESS」的字眼，反之則出現「FAIL」的字眼。 而底下括弧中就是代表系統測試成功的 \$sub domain。 • DNS <ul style="list-style-type: none"> ○ 測試說明： 透過 DNS 查詢是否網段內有 IPv6 的 NS 紀錄。 針對查詢到的 IPv6 NS 紀錄進行測試。 ○ 測試方法： 使用 nslookup -type=NS 去取得 \$domain 下所有的 dns server。 針對上述的所有 dns server 去使用 nslookup -type=AAAA 測試是否有 IPv6 支援。 針對上述得到的 IPv6-enable dns server 去測試是否在待測 \$domain 中 ○ 結果說明： (X/Y/Z) 三個數字分別代表為 (X：在自己網域內支援 IPv6 的 dns server 數量/Y：所有支援 IPv6 的 dns server 數量/Z：所有 dns server 的數量) • SMTP <ul style="list-style-type: none"> ○ 測試說明： 透過 DNS 查詢是否網段內有 IPv6 的 MX 紀錄。 針對查詢到的 IPv6 MX 紀錄進行測試。 ○ 測試方法： 使用 telnet -6 去取得 \$domain 是否有 SMTP server 的回應。 * 本測試只測試 25 port ○ 結果說明： 系統測試成功的話會出現「SUCCESS」的字眼，反之則出現「FAIL」的字眼。
結案狀態	已結案

案例編號	EHS1309002		
通報日期	2013/09/26	結案日期	2013/09/26
維護原因	附上今年與去年度奈米科技論壇議程表，請幫忙協助產生 QR code		
解決方式	已在電話中告知產生方式。		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1310001		
通報日期	2013/10/03	結案日期	2013/10/07
維護原因	電子報的頁首部分，因現在取消[加入會員],所請其將改成[訂閱電子報]，連結為 http://ehs.epa.gov.tw/Subscribe/F_Home_Subscribe 並將加入會員的連結關起來 http://ehs.epa.gov.tw/Register/F_Home_Register		
解決方式	修正  <p>The screenshot shows the header of the '行政院環境保護署 環境奈米科技知識平台' (Executive Yuan Environmental Protection Agency Nanotechnology Knowledge Platform). It displays '第十二期 出報日：2013/11/22' (Issue 12 Publication Date: 2013/11/22) and a prominent orange button labeled '訂閱電子報' (Subscribe to E-newsletter). At the bottom, there are links for '免費/取消訂閱' (Free/Unsubscribe) and '聯絡我們' (Contact Us), along with a copyright notice: 'Copyright © 2013 行政院環境保護署. All rights reserved.'</p>		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1310002		
通報日期	2013/10/08	結案日期	2013/11/14
維護原因	修改知識平台首頁圖片，將衛生署改成衛福部，如下所示		
解決方式	依問題修正。		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1310003		
通報日期	2013/10/23	結案日期	2013/11/14
維護原因	奈米展海報希望像科技論壇，再開個專區放入每年資料		
解決方式	依問題修正。		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1310004		
通報日期	2013/10/28	結案日期	2013/11/14
維護原因	<ul style="list-style-type: none"> ● 專家專訪大頭照放不上去 ● 議程圖片放到論壇花絮內，活動內容單元 		
解決方式	依問題修正。 		
結案狀態	已結案		

案例編號	EHS1311001		
通報日期	2013/11/01	結案日期	2013/11/14
維護原因	上傳站片至奈米論壇花絮時，發現以下幾個問題點，麻煩確認後修正： <ol style="list-style-type: none"> 1. 分析結果，請拿掉這部分。 2. 上傳了2013年的照片後，發現2012年照片與2013年照片相衝突，當點閱2012年照片時，只會出現第一頁，欲點選第2或3頁時，會自動跳出2013年的照片。 3. 論壇花絮的影音專區請拿掉 		
解決方式	依問題修正。		
結案狀態	已結案		

附錄十二 期末報告審查會議紀錄

會議名稱：102 年度「推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」期末報告審查會議紀錄

一、時間：102 年 12 月 17 日（星期二）14 時 0 分

二、地點：本署 4 樓第 2 會議室

三、主席：劉執行秘書宗勇

紀錄：蘇鈺珊

四、出(列)席單位及人員：如會議簽名單

五、執行單位簡報：交通大學環境工程研究所(略)

六、主席致詞：(略)

七、委員意見：詳如審查意見表。

八、結論：

（一）本計畫期末報告審查修正通過。

（二）請執行團隊參採委員意見納入總報告修正（註明修正後頁數），報告書撰寫格式請依契約規定辦理。

（三）請依契約書第十一條第一項之規定，於接獲修正意見後 15 日內提送修正稿，俟本署核可後辦理後續結案等相關事宜。

九、散會：15 時 30 分。

行政院環保署「102 年度推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫」
 期末報告審查意見回覆

委員意見	意見回覆
<p>經濟部工業局 吳瑞琦委員</p> <p>1. 期末報告書結論與建議中，建議新增知識平台「手機版網頁」，立意很好。惟仍宜考量平板、notebook 等行動裝置之使用性，故可考量使用 HTML5 的行動版網頁，或 ios、Android、windows phone 等支援性，以全方位便利使用者使用各種行動裝置。</p> <p>2. p267-268 評選會議回覆意見，所提「統計分析平台的瀏覽人數、訪客來源及瀏覽行為等資訊，以了解使用者的點閱習性及頻率」，可再說明之。</p>	<p>1. 感謝委員建議，此建議可提供環保署未來規劃手機版網頁的參考。</p> <p>2. 平台的瀏覽人數、訪客來源及瀏覽行為等資訊，詳請參閱期末報告 4.1 節中，圖 4.1.15~4.1.30 的說明。</p>
<p>工研院材化所 宋清潭博士</p> <p>1. 本計畫目標之一收集 nano-EHS 相關資訊、法規範圍廣泛，建議可針對與 EPA 有直接政策參考做一 summary 提供署內參考。</p> <p>2. 報告內容分別針對法規與政策、環境應用、檢測方法、環境生態影響及 ISO/OECD 等現況做研究結論並提出建議。有關結論部份例如環境應用、檢測或環境生態，大部份均只說明現況、應用特性例如：材料的殺菌特性、sensor 應用等建議，可以增加其對環境可能的影響或考慮是否值得做為結論。</p>	<p>1. 本報告已整理各國的奈米技術 EHS 議題的進展，並針對發展較快速的美國和歐盟有較深入的探討，請參閱期末報告 3.1.1 節。</p> <p>2. 感謝委員意見。本團隊已修正結論中的文字為：本報告收集國內外奈米技術 EHS 議題的最新進展和研究現況之總結如下。請參閱期末報告修正稿第 265 頁。</p>

委員意見	意見回覆
<p>3. 結論之一有關「國際法規的概況自 2008 年起大致維持不變」，建議再收集近 5 年有新法規資訊進一步修正或修正結論用詞。</p> <p>4. 各國 EPA 與國內 EPA 相關業務也許不同，但建議有一各國 EPA 政策進展的 summary 以做為參考。</p>	<p>3. 感謝委員意見。本團隊已修正此段文字為：國際法規的架構自 2008 年起大致類似，並沒有任何一條法規是特別為奈米物質而擬定，多數國家的現行法規已有管理奈米物質和含有奈米物質產品的授權權力。請參閱期末報告修正稿第 268 頁。</p> <p>4. 感謝委員意見。除了主要先進國家與組織中的美國和歐盟外，本報告也整理了其他國家的法規與政策進展，如德國、澳洲及日本等。請參閱期末報告 3.1 節中「三、國際間的法規與政策進展」的說明</p>
<p>前環保署環境檢驗所 阮國棟博士</p> <p>1. 本計畫符合原訂規格，執行品質良好。對國際上各領域論文之中文譯註節要等工作，原為高難度之事情，本計畫產出均能精準以對，實屬不易。</p> <p>2. 中英文摘要中佔 30%、76%、86%、92% 等文字，加起來總合超過 100%，易引起誤解，可能要修正表達的真正意思。</p> <p>3. 四期電子報及中英文專訪效果很好，每次發送 5000 份以上，並推動國際 7000 多名對象，影響逐漸擴大。</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員意見。摘要中此段文字的百分比為各項主分類中，佔比最大的子分類之百分比。為避免讀者誤解，本團隊已刪除百分比的數字，但在本文中，讀者仍可看出各主分類中，各子分類所佔的百分比。</p> <p>3. 感謝委員肯定。建議環保署未來執行計畫時應持續發行知識平台電子報及進行專家專訪。</p>

委員意見	意見回覆
<p>4. 正向工作：國際上 ISO、OECD、USEPA 及本計畫新增的知識源(表 2.1)(德國 DaNa2.0 及日本 nies. go 等)，本計畫追蹤工作亦能逐年擴充。</p> <p>5. 負面工作：國際間反對奈米科技的團體，其反對訴求及反對聲浪有無修正或變化，有無足以代表性的資訊？未來若繼續進行此等計畫，是否可建議納入探討。</p> <p>6. 基本觀念：固體廢棄物中的奈米碳管 (p.158)，文獻上提及估計約 40%~78%的 CNT 產品最終被棄置於掩埋場，但不是奈米碳管(CNT 與 CNT 產品)被棄置在掩埋場。其他觀念例如「高分子奈米複合材料」這些產品已經都不是奈米物質，而又常用「奈米產品」，但事實上要再逆向分解生成奈米原料可能性不高，此等產品與「一般產品」並無兩樣。這些觀念在 EHS 議題上如何釐清，在國際上亦無定論。</p>	<p>4. 感謝委員肯定。</p> <p>5. 建議環保署明年可將委員建議反對奈米物質團體的意見之整理列為計畫工作項目之一。</p> <p>6. 根據國際標準組織 ISO/WD TS 80004-5(2009)之定義，奈米物質分成奈米物體(nano-object)及奈米結構材料(nanostructured material)，委員所提的高分子奈米複合材料(nanocomposites)歸類為奈米結構材料的一種。本報告 3.1.4 節所述的奈米產品泛指為含有奈米物質的產品，Nowack et al. (2012)已指出應採用更明確的工程奈米物質分類以反映工程奈米物質的表面條件，完整的分類應包含未經加工的、產品改質的、產品劣化釋放出的和環境轉化後的工程奈米物質。</p>
<p>中山大學環境工程研究所 袁中新教授</p> <p>1. 本計畫執行成果豐富，具參考價值，值得肯定。</p> <p>2. 「環境奈米科技論壇」內容，建議增列 Q&A 及圓桌會議討論議題，並說</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員建議。本團隊已新增環境奈米科技論壇的現場提問與回答，請參</p>

委員意見	意見回覆
<p>明質化成效。</p> <p>3. 請補充說明協助環保署參展台灣奈米週之執行成效。</p> <p>4. 期末報告部份表格請翻譯為中文(如 p.178)；另表 3.1.5.5 之表頭請修正；表 3.1.5.4 中參考文獻的編號請修正。</p> <p>5. 期末報告部份翻譯內容有誤，請修正。</p> <p>(1) P.177 奈米物質的生命週期評估。</p> <p>(2) P.149 倒數第 2 行，「大顆的」AgCl 奈米微粒，建議改為「團聚的」。</p> <p>(3) P.156 第 9 行，聚氯乙烯的英文錯誤。</p> <p>(4) P.153 倒數第 5 行，噴霧「型」成的奈米微粒…，應改為「形」。</p> <p>6. 本計畫執行成果應加強與 EHS 相關政策關聯性的說明。譬如：那些產業或製程要特別注意，並訂定法規標準；又未來奈米徵求的法規標準採用數目濃度或質量濃度較適當。奈米產品是否及如何標示?…等。</p>	<p>閱期末報告修正稿第 373 頁。質化成效如附錄七論壇活動的問卷調查結果所示。</p> <p>3. 關於參展台灣奈米週之執行成效，本團隊已整理參觀攤位民眾填寫的問卷調查結果，請參閱期末報告修正稿第 258 頁。</p> <p>4. 感謝委員意見。表 3.1.5.4 已翻譯為中文並刪除參考文獻的編號，第 178 頁的表 3.1.5.5 已翻譯為中文。請參閱期末報告修正稿第 175 頁和第 194 頁。</p> <p>5. 感謝委員意見。已修正翻譯和繕打錯誤處，請參閱期末報告修正稿第 194、149、156、153 頁。</p> <p>6. 根據經濟合作發展組織發表的工程奈米物質的法規進展調查報告，法規規範的活動包括製造、進口、商品化和行銷、使用、處置/廢棄等，各國法規並無針對特定產業或製程進行規範。關於奈米物質的測試方法和法規標準，由於奈米物質具有單一、團粒或聚集體等不同形貌，對於應採用</p>

委員意見	意見回覆
	<p>數目濃度、質量濃度或總表面積等單位的議題，仍為各國科學家研究的重點。有關奈米產品的標示，目前僅有歐盟的食品法規(EU No 1169/2011)規定從 2014 年 12 月 13 日起食品內含有工程奈米物質者，需於成分表上明確標示「奈米」兩字，其他詳請參閱期末報告修正稿第 50 頁中「歐盟提交奈米食物標示相關建議法規給世界貿易組織」的回顧。</p>
<p>永續發展室</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. P.41 提供主雇奈米科技可能是否修正為”雇主”、P.225 第 2 行請修正為 2000”年”。 2. 請補充奈米展發放之問卷分析結果。 3. 期中審查有委員提到以甘特圖呈現工作進度，請補充以利檢視工作完成。 4. 報告格式請依契約書本署期中(末)研究報告撰寫要求及紙本印製格式修正。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已修正繕打錯誤處，請參閱期末報告第 41 頁和第 241 頁。 2. 本團隊已整理參觀攤位民眾填寫的問卷調查結果，請參閱期末報告修正稿第 258 頁。 3. 已加入工作進度的甘特圖，請參閱期末報告修正稿第 261 頁。 4. 已依報告撰寫規定修正。

附錄十三 102 年度科技計畫成果效益自評表

(請由計畫主持人、執行人填寫，再由主管部會署初核)

壹、計畫基本資料

領域別：環境保護計畫主持人 蔡春進計畫名稱『推廣環境奈米科技知識平台及知識整合計畫』審議編號 EPA-102-U1U1-02-101計畫期程 102 年 2 月至 102 年 12 月全程經費 0 億 2,040 千元 102 年度經費 0 億 2,040 千元執行機構 國立交通大學環境工程研究所

貳、計畫目標與執行內容是否符合(如有差異,請說明)

本計畫的目標為：(1) 維護環保署「環境奈米科技知識平台」功能正常運作、網站管理、系統維護及確保資訊安全，並統計分析平台瀏覽資訊；(2) 持續於平台蒐集國內外相關團體及部會 EHS 議題相關知識，並發行「環境奈米科技知識平台電子報」，以利資訊整合及推廣奈米知識分享；(3) 舉辦「環境奈米科技論壇」1 場，達成風險認知溝通、優良管理實務及法規政策架構的研擬等實質效益；(4) 配合 ISO 及 OECD 等國際趨勢，提出「全球負責任奈米技術的回顧與展望」中英文報告，並蒐集更新環境奈米相關主題知識文件；(5) 配合奈米國家型計畫辦公室，協助台灣奈米週參展事宜，展示環保署奈米科技研發成果；(6) 協助環保署奈米群組計畫管理及績效成果彙整。

本計畫已完成「奈米科技的法規與政策」、「奈米物質的應用」、「空氣中奈米微粒的自動監測方法」、「奈米產品中的奈米物質對環境的影響」及「奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命」等五項主題的奈米知識文件的蒐集、整理及更新工作，並整理 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題的發展趨勢，並經由國內專家學者的座談會作成了具體的結論及建議。

依據環保署 103 年提出奈米國家型計畫環境議題優先發展項目規劃如下：(1) 環境中奈米物質量測及特性分析技術開發；(2) 奈米微粒對細胞毒性篩選技術及驗證；(3) 水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究；(4) 奈米科技之風險感知及政策研究；(5) 環境奈米科技知識管理及整合；(6) 綠色奈米技術之開發及應用。各分項計畫將視預算額度、業務需求及執行成果，排定執行順序，本計畫參考美國環保署在 2009 年的"奈米物質研究策略報告"中的四個聚焦研究主題，考量過去環保署的研究成果及配合勞委會及衛福部已執行或正在執行的研究項目，提出環保署未來重點發展項目規劃如下：(1) 知識庫平台維護；(2) 檢測及監測技術平台，亞慢性及慢性毒性測試技術平台；(3) 污染源、傳輸、轉化、宿命和暴露；(4) 友善環境奈米技術。有關重點項目的執行，則需視環保署的預算、實際業務需求推動。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫舉辦了「102 年環境奈米科技論壇」，將環保署過去一年的研究成果以論文發表方式介紹給不同國內利害相關者。此次論壇共吸引產、官、學、研各界共 147 人報名，實際參與人數為 101 人，討論十分熱烈。為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米 EHS 研究現況，本計畫

已專訪奈米 EHS 議題的專家學者兩名：成功大學環境工程學系王鴻博教授及清華大學動力機械工程學系李國賓教授，訪問稿並以中英文方式呈現。

參、計畫已獲得之主要成就與成果

1. 本計畫發表 1 篇國內研討會論文如下：

- 蔡春進、劉宗勇、張宣武、蘇鈺珊、簡誌良、葉芳竹 (2013) 主要先進國家與組織的奈米技術環境、健康與安全(EHS)的法規進展，第十屆環境保護與奈米科技學術研討會海報論文，民國 102 年 5 月。

2. 本計畫舉行「102 年環境奈米科技論壇」，共發表論文 8 篇如下：

- 鄭尊仁、林宜平、施琮仁、黃曼青、林映君 (2013) 奈米科技之風險感知及政策研究，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 1-15 頁，民國 102 年 10 月。
- 董瑞安、林芳新、李世惠 (2013) 結構性奈米材料於生物及環境樣品的檢測技術開發，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 16-34 頁，民國 102 年 10 月。
- 施養信、蘇昱帆、李孟潔 (2013) 水環境中無機性奈米微粒量測技術開發研究，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 35-49 頁，民國 102 年 10 月。
- 蔡春進、簡誌良、劉俊男、洪毅弘、曾能駿、林思帆、郭欣惠、李國瑞 (2013) 環境中奈米物質的量測技術與暴露評估，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 50-104 頁，民國 102 年 10 月。
- 秦靜如、黃韻寧、莊惠婷 (2013) 利用奈米碳管修飾電極進行環境水質分析，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 105-116 頁，民國 102 年 10 月。
- 林俊德、蔡欣庭、凌旌凱 (2013) 水環境中富勒烯奈米微粒之分離，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 117-128 頁，民國 102 年 10 月。
- 陳中庸、吳宗遠 (2013) 新穎奈米量子點檢測系統應用於環境微生物之偵測，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 129-140 頁，民國 102 年 10 月。
- 闕斌如、莊秀美、李怡慧、梁瑞岳 (2013) 奈米金微粒對細胞毒性檢測技術及生物標記之篩選建立，102 年環境奈米科技論壇論文集，第 141-152 頁，民國 102 年 10 月。

肆、計畫主要成就與成果之價值與貢獻度 (output)

本研究發表 1 篇國內研討會論文及舉行「102 年環境奈米科技論壇」，編纂論文集共 8 篇研討會論文發表，以「環境奈米科技知識平台」整合台灣奈米技術 EHS 的研究成果，資料庫分類完整且涵蓋面廣，可有效提高各界人士的利用率。本研究同時建議政府應要投入奈米物質管制資料建立與管制，以避免市場化的障礙。本研究的成果可提昇國人的奈米 EHS 議題的認知並作好風險管理工作，建議政府建立環境奈米科技管理策略。另外，本研究所整理現階段國內、外針對奈米物質的研究方法、法規及行政上的管制現況之比較表，可作為政府相關部門科技政策管理之參考。

伍、與相關計畫之配合程度

無

陸、計畫經費的適足性與人力運用的適善性

本計畫總經費 2,040 千元，主要各項經費為：58 % 人事費、32 % 業務費、10 % 管理費，共有 2 位博士後研究員、1 位博士班研究生、5 位碩士班研究生及 2 位專案工程師投注於此計畫中，在經費與人力上，均能相當適切的運用，完成此計畫之預期目標與成果。

柒、後續工作構想及重點之妥適性

「環境奈米科技知識平台」建置完成後，著重於資料庫的推廣及維護工作，今年度已完成知識平台以英文搜尋時所需的資料庫，例如英文作者姓名改以"姓及名(縮寫)"的方式呈現，如 Tsai CJ (而非 Chuen-Jinn Tsai)，並建立 SCI 期刊文獻分類，以利於搜尋。未來可再繼續增加英文的文獻及研究報告等內容，並陸續完成國內學者研究計畫英文版的分類，宣揚國內研究學者之研究成果，並增加網站的使用率、提升讀者閱讀與加入討論的意願、鼓勵國內研究學者上傳自己的研究成果、使用情形的統計及分析、吸引國際專家參與等，將該知識平台推向國際，促成奈米技術 EHS 資訊的國際交流。

另外，因近來智慧型手機日漸普及，資料庫數據顯示利用手機造訪知識平台的比例有增加的現象，建議新增「手機版網頁」，以方便使用者利用行動裝置瀏覽網頁內容。

捌、檢討會與建議

若未來先進國家要求而台灣若無奈米物質管制資料，可能會變成一種市場化障礙，有鑑於此，我國於 2013 年 7 月修法通過職業安全衛生法，其中第 13 條文納入了新化學物質源頭管理之架構，未來法規上路後針對奈米材料化學物質之管理，預計將規劃指定類別特殊表單，主要針對奈米特有的辨識資訊進行收集；而毒性化學物質管理法部分條文也已於 2013 年 11 月修正通過，建立化學物質登錄機制，並加強管理危害人體健康之虞毒性化學物質。

建議我國可開始選定幾項使用量較大的奈米物質，如奈米銀、奈米二氧化鈦及奈米碳管等，加強管理和與不同利害相關者溝通，建立環境奈米科技管理策略，以維繫本國奈米技術的永續發展。

本報告之定稿本除寄送本署永續發展室、政府相關機關及學術單位圖書館作為學術參考及往後政策制定之用。

計畫主持人簽名：_____ 蔡春進 _____

填表人：_____ 蔡春進 _____ 聯絡電話：_____ 03-5731880 _____

統一編號：EPA084102002

*本報告僅係受託單位或個人之研究意見，僅供環保署施政之參考，不代表本署立場
*本報告之著作財產權屬環保署所有，非經環保署同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害