

計畫編號：EPA-99-U1U1-02-105

## 行政院環境保護署委辦計畫

99年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」

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：99年5月至100年3月

行政院環境保護署編印

中華民國100年3月

計畫編號：EPA-99-U1U1-02-105

## 行政院環境保護署委辦計畫

### 99年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」

#### 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：99年5月至100年3月

計畫經費：新台幣貳佰肆拾伍萬元整

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：闕斌如教授、連興隆教授

受託單位計畫執行人員：陳聖傑博士、古月萍博士、  
簡誌良、劉俊男、徐偉恩、何技恩、  
劉怡伶、游佳琪、曾能駿

行政院環境保護署編印

中華民國 100 年 3 月

**「環境奈米科技知識管理及整合計畫」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	99 年度	計畫編號	EPA-99-U1U1-02-105	
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	99年5月~100年3月			
辛、本期期間	99年5月~100年3月			
壬、本期經費	0 億 2,450 千元			
	資本支出		經常支出	
	土地建築	千元	人事費	1,180 千元
	儀器設備	千元	業務費	1,024 千元
	其 他	千元	材料費	千元
			其 他	246 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			
<b>參與計畫人力資料：</b>				
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	8	(03)5727835 cjtsai@mail.nctu.edu.tw
闕斌如	報告 4.1.4 節撰寫	國立中興大學生物醫學研究所副教授，普度大學博士	8	(04)22840896 #120 pjchueh@dragon.nchu.edu.tw
連興隆	報告 4.1.5 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
陳聖傑	報告 4.1.2 節撰寫	交大環工所博士後研究，交大環工博士	8	(03)5712121 #55550 shawn.ev90g@nctu.edu.tw
古月萍	報告 4.1.1 節撰寫	交大環工所博士後研究，台大地質博士	8	(03)5712121 #55548 d90224003@ntu.edu.tw

簡誌良	報告撰寫及整合	交大環工所博士生	8	(03)5712121#55524 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	8	(03)5712121#55524 gym1986.ev97g@nctu.edu.tw
徐偉恩	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所研究助理, 中原化學系學士	8	(03)5712121#55524 antimony0929@mail.nctu.edu.tw
何技恩	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所碩士生	8	(03)5712121 #55524 s818222kof2000.ev97g@nctu.edu.tw
劉怡伶	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所碩士生	8	(03)5712121 #55524 yilingliou.ev98g@nctu.edu.tw
游佳琪	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所碩士生	8	(03)5712121 #55524 porkilothermal@gmail.com
曾能駿	協助知識缺口文獻回顧	交大環工所碩士生	8	(03)5712121 #55524 vic.ev99g@nctu.edu.tw

## 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：  
環境奈米科技知識管理及整合計畫
- 二、英文計畫名稱：  
Knowledge management and integration of environmental nanotechnology
- 三、計畫編號：  
EPA-99-U1U1-02-105
- 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，闕斌如，連興隆
- 六、執行開始時間：  
99/05/26
- 七、執行結束時間：  
100/3/31
- 八、報告完成日期：  
100/2/25
- 九、報告總頁數：  
361
- 十、使用語文：  
中文，英文
- 十一、報告電子檔名稱：  
EPA99U1U102105.DOC
- 十二、報告電子檔格式：  
WORD 5.0
- 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

本計畫已完成"環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估"五個主題的國內研發能量缺口及執行能量缺口的報告，及ISO及OECD有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題發展趨勢及相關資訊的回顧，並經由國內專家學者的座談會作成了具體的結論及建議。本團隊協助另一計畫：「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務計畫」提供奈米技術EHS資訊，召開工作會議以檢討該計畫各項工作進度及內容，並結合勞委會及衛生署共同進一步完成"台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫"的規劃及建置工作。

本計畫參考了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、過去的研究成果及國內各單位的分工協調情況，修正了「環保署2011年負責奈米技術的策略規畫」中英文文件，並提出2011年的環境奈米計畫優先發展項目。另外本計畫回顧環保署在2003-2010年的國家型環境奈米計畫的主要成果，並已完成「環保署2011年環境奈米科技的推動方式與未來發

展」專文乙篇，可作為環保署推動環境奈米計畫的參考。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫舉辦了「2010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156人報名參加，討論十分熱烈。本計畫也於facebook成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，以強化國內奈米EHS的社群討論工作，粉絲團有4個討論區提供各界在平台上進行討論，至今加入本粉絲團的人數為88人。最後，為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米EHS研究現況，本計畫已專訪奈米EHS議題的專家學者兩名：清華大學化學系凌永健教授及國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任，訪問稿並以中英文方式呈現。

#### 十六、英文摘要：

This project has accomplished the reports on the gaps of domestic research capability and capacity in five topics in "Measurement and characterization of environmental nanoparticles and future exposure assessment", and the review of the progress and information of nanotechnology EHS issues in ISO and OECD. Concrete conclusion and suggestion have been made after review meeting with domestic experts. This research team has assisted the other project: "The enhancement of functions in Environmental Nanotechnology Knowledge Platform and its maintenance and service project" in providing nanotechnology EHS information, reviewed the progress and content of the project by regular meetings. The planning and establishment of "Taiwan nanotechnology EHS database" has been completed by integrating the efforts with Council of Labor Affairs and Department of Health.

Referring to the nanoEHS research strategy and research themes of advanced countries, considering resource constraints, previous research achievements, and research activities of other domestic agencies, the "2011 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology" has been re-written in both Chinese and English versions and four research priorities have been proposed. Major achievements of Taiwan EPA's national nanotechnology project from 2003-2010 have been revised for accomplishing the report on "Promotion and future development of Taiwan EPA's 2011 environmental nanotechnology", which can be used as a reference for Taiwan EPA to conduct environmental nanotechnology projects.

To strengthen the risk perception and communication of nanotechnology, the "2010 Environmental Nanotechnology Forum" was held and EPA's research achievements were introduced to different domestic stakeholders in the form of paper presentations. There were 156 people from industry, government, academia and research institutions registered for the forum. A fan's club entitled "Application of Taiwan Nanotechnology in Environment, Health and Safety" was established to promote the EHS discussion among different groups. There are four discussion boards which allow on-line information exchange on the platform. Up

to now, 88 people has joined the facebook. Finally, to promote the international interactions and introduce the domestic nanoEHS research status, two experts in nanoEHS issues were interviewed, including Professor Yong-Chien Ling from the Department of Chemistry of the National Tsing Hua University, and Director Chong-Shi Yang from the Center for Nanomedicine Research of the National Health Research Institutes. 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 國內有關奈米與環境及職業衛生之學術活動及計畫 .....	9
1.3 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 .....	16
1.3.1 奈米物質的毒性評估回顧 .....	17
1.3.2 美國及歐盟對奈米物質的管制近況 .....	19
1.3.3 奈米物質對水生物及環境生態的影響 .....	19
1.3.4 奈米物質的風險評估 .....	20
1.3.5 奈米物質的皮膚穿透 .....	21
1.3.6 奈米科技的生命週期評估 .....	22
1.3.7 奈米物質的暴露評估 .....	22
1.3.8 奈米物質的暴露控制分組方法 .....	23
1.3.9 奈米物質環境暴露控制與管理對策-重要資訊回顧 .....	24
1.3.10 奈米物質量測分析與暴露評估技術-重要資訊回顧 .....	24
第二章 計畫目標、內容及效益 .....	27
2.1 計畫目標 .....	27
2.2 環境奈米科技知識管理及整合 .....	27
2.3 其它應配合事項 .....	29
2.4 預期效益 .....	29
第三章 研究方法 .....	31
3.1 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 .....	31
3.2 進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全 (EHS) 議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作 .....	31
3.3 協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論 .....	39
3.4 以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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 .....	40
3.5 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 .....	43
第四章 結果與討論 .....	45
4.1 環境中奈米物質量測及特性分析技術及未來暴露評估與風險評估的知	

識缺口 .....	45
4.1.1 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 .....	45
4.1.2 工程奈米物質工作小組的國際分工 .....	81
4.1.3 奈米物質對水中生物及環境生態的影響 .....	90
4.1.4 奈米物質的毒性評估 .....	108
4.1.5 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命 .....	131
4.2 進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全 (EHS) 議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作 .....	162
4.2.1 前言 .....	162
4.2.2 已發表及發展中的 ISO TC229 標準 .....	162
4.2.3 已取得的 ISO 標準之回顧 .....	165
4.2.4 OECD 有關工作場所工程奈米物質暴露測量，與辨識奈米微粒污染源及其釋放的相關指引 .....	174
4.2.5 國內研究現況 .....	181
4.3 協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論 .....	183
4.4 以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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 .....	196
4.4.1 完成環保署現有奈米科技立場文件之更新並與國際互動 .....	196
4.4.2 舉辦論壇及實際推動學習型組織之知識建構活動 .....	196
4.4.3 持續舉辦平台上討論，做出對政府及業界有實質的影響及貢獻之建議，推廣作法及構想 .....	196
4.4.4 完成我國環境奈米科技二位研究學者或經營管理人員英文訪問報導 .....	197
4.5 協助奈米群組計畫計畫管理及績效成果彙整 .....	203
4.6 配合奈米國家型計畫辦公室，協辦年度台灣奈米科技展，代表環保署支援相關工作及支出展出經費 .....	204
第五章 結論及建議 .....	205
5.1 結論 .....	205
5.2 建議 .....	205
第六章 參考文獻 .....	207
第七章 附錄 .....	223
附錄一 評選審查委員意見回覆 .....	223
附錄二 第一次工作進度報告會議記錄 .....	227

附錄三	現階段暴露評估與風險評估之知識缺口審查意見回覆.....	228
附錄四	「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫之工作 檢討會議記錄.....	245
附錄五	「環境奈米科技知識平台」之奈米技術 EHS 知識的相關資 料.....	254
附錄六	「國際及台灣的奈米科技 EHS 資料庫」研商會議審查意見 回覆.....	273
附錄七	期中審查意見回覆.....	278
附錄八	環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫(中文版).....	283
附錄九	環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫(英文版).....	296
附錄十	「環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫」研商會議審 查意見回覆.....	311
附錄十一	「2010 環境奈米科技論壇」相關資料.....	316
附錄十二	凌永健教授英文訪問報導.....	332
附錄十三	楊重熙主任英文訪問報導.....	337
附錄十四	環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展....	340
附錄十五	「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」 研商會議審查意見回覆.....	345
附錄十六	期末審查意見回覆.....	358
附錄十七	99 年度科技計畫成果效益自評表.....	363

# 圖目錄

圖 4.1.3.1 CARS 圖-暴露於二氧化鈦奈米微粒水中的鱒魚鰓 (Johnston et al., 2010)。	93
圖 4.1.3.2 電噴散暴露系統示意圖(Wu et al., 2010)。	94
圖 4.1.3.3 奈米氧化鋅微粒 SEM 與 TEM 影像(Wu et al., 2010)。	95
圖 4.1.4.1 環境中的奈米微粒(NP)與有機物質(OM)、毒性物質(Tox A 或 B)、 壤中的離子(SI)等的結合，而增加其穩定度，並進而進入生物體中 而影響環境生態 (directly from Navarro et al., 2008a)。	109
圖 4.1.4.2 奈米微粒以進入細胞內的途徑，如被動的擴散、由接受器蛋白引導 的胞吞機制、或是由細胞膜蛋白組成的泡囊將微奈米粒帶入細胞內 (directly from Singh et al., 2009)。	110
圖 4.1.4.3 動物暴露於單壁奈米碳管下，因呼吸道進入生物體而對肺組織所造 成的主要影響為細胞毒害、發炎反應、早期肺纖維化、氧化壓力的 產生、免疫系統的抑制、被微生物感染的機會增加、致癌等 (directly from Shvedova and Kagan, 2010)。	111
圖 4.1.4.4 以人類大腸癌細胞(HCT116)、老鼠肌肉細胞 (A10)、及小鼠纖維母 細胞 (NIH3T3) 為實驗模式，奈米銀引發隨著濃度及暴露時間增加 而增加的細胞毒性。	117
圖 4.1.4.5 以原子吸收光譜來檢測(左圖) NIH3T3 及(右圖 B) HCT116 細胞內的 銀含量。	118
圖 4.1.4.6 以流式細胞儀來偵測在(左圖) NIH3T3 及(右圖 B) HCT116 細胞內的 奈米微粒的含量。	118
圖 4.1.4.7 以流式細胞儀來偵測在(左圖) NIH3T3 及(右圖 B) HCT116 細胞暴露 於奈米銀微粒所產生的活性氧物質。此實驗使用兩種不同來源的奈 米銀微粒。	119
圖 4.1.4.8 奈米微粒以間接的方式產生基因毒性。主要以產生活性氧分子及發 炎反應來造成 DNA 的損傷 (directly from Singh et al., 2009)。	121
圖 4.1.5.1 懸浮液含 TiO <sub>2</sub> 之濃度隨時間經過的變化，其中 BJ、HLJ、JX、 AH、SX、LZ、SD、HN、CD、NMG、JS 和 CQ 皆指某地方之地 名縮寫(Fang et al. 2009)。	134
圖 4.1.5.2 為懸浮粒子在 0~10 天中於各土壤懸浮液及去離子蒸餾水(DDW)中 的粒徑分布情況，f%為散色光強度 (Fang et al., 2009)。	135
圖 4.1.5.3 土壤懸浮液含(●)與不含(○)TiO <sub>2</sub> 奈米顆粒(2 mg/L)的界達電位之比較	

(Fang et al., 2009)。	135
圖 4.1.5.4 表示奈米 TiO <sub>2</sub> 粒子在各種土壤的流動性(Fang et al., 2009)。	136
圖 4.1.5.5 TiO <sub>2</sub> 在土壤管柱出流後的粒徑分布(Fang et al., 2009)。	137
圖 4.1.5.6 奈米顆粒之 TEM 或 SEM (a) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (b) ZnO (c) TiO <sub>2</sub> (5 wt%的懸浮液) (d) TiO <sub>2</sub> (粉末) (e)實驗室合成之 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Zhang et al., 2008)。	138
圖 4.1.5.7 pH 值對奈米顆粒的表面電位之影響 (Zhang et al., 2008)。	138
圖 4.1.5.8 商業級奈米顆粒在自來水之團聚粒徑 (Zhang et al., 2008)。	139
圖 4.1.5.9 電解質對奈米顆粒(10 mg/L)在純水經 1h 沉降後之去除效率 (Zhang et al., 2008)。	140
圖 4.1.5.10 混凝劑對 10 mg/L 奈米顆粒在純水的混凝與沉澱效率 (Zhang et al., 2008)。	140
圖 4.1.5.11 典型的(未含甲醇)奈米 CeO <sub>2</sub> 之 TEM (Buettner et al. 2010)。	141
圖 4.1.5.12 (A) pH 值對不同合成條件之奈米的表面電位之影響，▲顆粒合成於 100% 純水，●顆粒合成於甲醇：水 = 33%：67%，■顆粒合成於甲 醇：水= 67%：33% (B) 陽離子濃度對 CeO <sub>2</sub> 表面電位之影響 (pH = 11) (Buettner et al. 2010)。	141
圖 4.1.5.13 (A)NaCl 對 CeO <sub>2</sub> 奈米之臨界濃度，pH = 11.0 (B)CaCl <sub>2</sub> 對奈米 CeO <sub>2</sub> 臨界濃度，pH = 11.0 (Buettner et al. 2010)。	142
圖 4.1.5.14 不同 PAA 分子量與添加劑量下，NZVI (2 g/L)表面改質後之懸浮狀 況：(A) BNZVI (B) PAA1.8K (C) 2%體積之 PAA250K (D) 8%體積 之 PAA250K。	143
圖 4.1.5.15 添加 PAA250K 於不同劑量下，改質 NZVI 之懸浮情形。	144
圖 4.1.5.16 不同 pH 值下，最佳改質狀況之 PNZVI 界達電位。	144
圖 4.1.5.17 (a)BNZVI、PFNZVI 與 CNZVI 之貫穿曲線圖 (b)進流流速對於 PFNZVI 之傳輸影響圖。	145
圖 4.1.5.18 Ca <sup>2+</sup> 離子濃度對(a) PFNZVI 與(b) CNZVI 之傳輸影響圖。	146
圖 4.1.5.19 於 2.7 倍孔隙體積時間內，(a) PFNZVI 與(b) CNZVI 在不同流速與 不同 Ca <sup>2+</sup> 濃度下之回收率。	146
圖 4.1.5.20 加入 0.05% (質量分率)分散劑於不同 pH 下之界達電位 (Li et al., 2007)。	147
圖 4.1.5.21 TX-10 濃度對顆粒的界達電位之影響 (Li et al., 2007)。	148
圖 4.1.5.22 CATB 濃度對顆粒的界達電位之影響 (Li et al., 2007)。	148
圖 4.1.5.23 SDBS 濃度對顆粒的界達電位之影響 (Li et al., 2007)。	148
圖 4.1.5.24 CNTs 在水中的表面電位 (Peng et al., 2009)。	149
圖 4.1.5.25 CNTs 在 30 天的濃度變化(初始濃度為 0.1 g/L)	

(Peng et al., 2009)。	150
圖 4.1.5.26 CNTs 分別在不同鹽類(NaCl、CaCl <sub>2</sub> 和 AlCl <sub>3</sub> )濃度下的穩定度。	
(Peng et al., 2009)。	150
圖 4.1.5.27 單寧酸濃度對不同直徑之 MWCNT 吸光度之影響	
(Lin et al., 2009)。	151
圖 4.1.5.28 pH 值對含有單寧酸的 MWCNT40 穩定度之影響	
(Lin et al., 2009)。	151
圖 4.1.5.29 離子強度對 MWCNT 之影響 (Lin et al., 2009)。	152
圖 4.1.5.30 C <sub>60</sub> 在水相的分散性 (i)超純水 (ii) 1% SDS 溶液 (iii) 5 mg-C/L SRNOM 溶液 (v) 50 mg-C/L SRNOM 溶液 (a) 單相混合 (b) 雙相混合 (iv)未加 C <sub>60</sub> 之 5 mg-C/L SRNOM 溶液 (vi)未加 C <sub>60</sub> 之 50-mg-C/L SRNOM 溶液(Hyung and Kim, 2009)。	153
圖 4.1.5.31 C <sub>60</sub> 懸浮液之 UV-vis 光譜圖 (a)單相混合 (b)雙相混合 (Hyung and Kim, 2009)。	153
圖 4.1.5.32 利用不同的萃取劑之 C <sub>60</sub> 的回收率 (萃取劑初始濃度 10 mM, C <sub>60</sub> 濃度 5 mg/L, NOM 濃度 5 mg-C/L) (Hyung and Kim, 2009)。	154
圖 4.1.5.33 利用杯瓶實驗去除 1 mg/L nC <sub>60</sub> 的結果 (a)鹼度為 100 mg/L CaCO <sub>3</sub> (b) 鹼度 50 mg/L CaCO <sub>3</sub> (c) 鹼度 50 mg/L CaCO <sub>3</sub> (過濾後) (Hyung and Kim, 2009)。	155
圖 4.1.5.34 NOM 濃度對 C <sub>60</sub> 去除之影響 (C <sub>60</sub> 濃度 5 mg/L, 鹼度 100 mg/L CaCO <sub>3</sub> , 混凝劑劑量 25 mg/L) (Hyung and Kim, 2009)。	155
圖 4.1.5.35 pH 值與不同 K 離子強度對 QDs 的表面電位之影響 (Zhang et al., 2008)。	156
圖 4.1.5.36 不同陽離子濃度在 pH 5 與 pH 8 條件下, QDs 的表面電位之影響。	157
圖 4.1.5.37 QDs 在液-液相之傳輸情形 (A)有機相(正己烷)到水相(含 20 ppm HA) (B)有機相(正己烷)到水相(單純為去離子水) (Navarro et al., 2009)。	157
圖 4.1.5.38 UV-vis 吸收光譜 (A)有機溶液之水層(HA+QD) <sub>or</sub> 在相傳輸後比較 QDs 在正己烷的吸收光譜 (B)含有 20 ppm 之水層(HA+QD) <sub>aq</sub> 比較原本只含 HA 之水溶液 (Navarro et al., 2009)。	158
圖 4.2.1 同軸圓柱式 DEMC 示意圖 (ISO 15900, 2009)。	167
圖 4.2.2 使用參考 FCAE 進行校正之實驗設置圖 (ISO/WD 27891)。	168
圖 4.2.3 使用參考 CPC 進行校正之實驗設置圖 (ISO/WD 27891)。	168
圖 4.2.4 生物吸入毒性試驗及微粒特性分析試驗之實驗系統圖	

(Ji et al., 2007)。	169
圖 4.2.5 連續掉落法實驗裝置簡圖 (CEN EN15051, 2006)。	171
圖 4.2.6 旋轉腔體試驗機法實驗裝置簡圖 (CEN EN15051, 2006)。	171
圖 4.2.7 漩渦振盪法實驗架設示意圖 (Maynard et al., 2004)。	172
圖 4.2.8 動力裝置系統圖 (Boundy et al, 2006)。	173
圖 4.2.9 連續注入粉體及獨立分散系統的測試架設示意圖 (Göhler et al, 2009)。	173
圖 4.2.10 工作場所移動式微粒採樣車(Peters et al., 2006)。	177
圖 4.2.11 工程奈米物質潛在釋放污染源初始評估的策略流程圖 (ENV/JM/MONO(2009)16)。	178
圖 4.3 TaiNED 網站首頁架構畫面圖。	189
圖 4.4 TaiNED 網站國內各奈米研究機構的研究計畫上傳畫面圖。	193
圖 4.5 TaiNED 網站國內各奈米研究機構的出版文獻上傳畫面圖。	195
圖 4.6 「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團首頁。	197
圖 4.7 「2010 台灣奈米科技展」最佳展出獎頒獎。	204

# 表目錄

表 1.1 ISO/TC229 已發表的五個標準 (ISO TC 229 網站)。	2
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)。	2
表 1.3 環保署 2007–2009 年的奈米科技計畫。	14
表 3.1 OECD 的 WPMN 目前 8 個計畫及說明 ( <a href="http://www.oecd.org/env/nanosafety">www.oecd.org/env/nanosafety</a> )。	35
表 3.2 WPMN 的各計畫的部份產出(ENV/JM(2009)34)。	35
表 3.3 WPMN 於 2009–2012 的計畫時程(ENV/JM(2009)34)。	38
表 3.4 2010 環境奈米科技論壇議程。	41
表 4.1.1.1 立法目的。	57
表 4.1.1.2 法規規範的活動。	59
表 4.1.1.3 物質上市前的註冊/通知、評估和管理。	61
表 4.1.1.4 物質上市前進行註冊/通知時必須附的一般數據資料。	62
表 4.1.1.5 物質上市前進行評估時的評估考量。	63
表 4.1.1.6 物質上市前進行評估時的風險管理選擇。	64
表 4.1.1.7 物質上市前進行評估後的相關資訊為對外開放資訊或是機密。	65
表 4.1.1.8 已上市物質的註冊/通知。	67
表 4.1.1.9 已上市物質的評估。	69
表 4.1.1.10 在評估已上市物質時必須附的一般資料。	71
表 4.1.1.11 對已上市物質進行評估時的評估考量。	72
表 4.1.1.12 對已上市物質進行評估時的風險管理選擇。	73
表 4.1.1.13 對已上市物質進行評估後的相關資訊為對外開放資訊或是機密。	74
表 4.1.1.14 SNUR 或 PMN 申請書表格。	76
表 4.1.2.1 OECD 至 2008 年 12 月 3 日止的國際分工表 ( <a href="http://www.oecd.org/env/nanosafety">www.oecd.org/env/nanosafety</a> )。	85
表 4.1.2.2 二氧化鈦之物理化學特性及物質特性資料(Kuhlbusch et al., 2009)。	88
表 4.1.2.3 富勒烯之物理化學特性及物質特性資料(Shinohara et al., 2009)。	89
表 4.1.3.1 七種奈米微粒對甲殼綱生物的半致死劑量(文獻資料整理) (Kahru and Dubourguier, 2009)。	90
表 4.1.3.2 魚類組織中的氧化鋅、二氧化鈷、二氧化鈦濃度 (Johnston et al., 2010)。	92
表 4.1.3.3 奈米氧化鋅微粒的出現對生物生長抑制性和大腸桿菌的綠色螢光蛋 白產量影響 (GFP, Green Fluorescent Protein) (Wu et al., 2010)。	94



表 4.1.3.4 經濟合作發展組織物理化學特性測試標準規範。	96
表 4.1.3.5 經濟合作發展組織生態毒性測試標準規範。	97
表 4.1.3.6 終點測試項目及相對應的 OECD 標準規範。	100
表 4.1.3.7 國際評估生物降解性的標準方法。	101
表 4.1.4.1 奈米富勒烯的細胞毒性研究(directly from Lewinski et al., 2008)。	113
表 4.1.4.2 奈米單層碳管的細胞毒性研究(directly from Lewinski et al., 2008)。	114
表 4.1.4.3 奈米多層碳管的細胞毒性研究(directly from Lewinski et al., 2008)。	115
表 4.1.4.4 奈米金的細胞毒性研究(directly from Lewinski et al., 2008)。	116
表 4.1.4.5 常用的體外細胞實驗方法來檢測奈米微粒的毒性 (directly from Marquis et al., 2009)。	123
表 4.1.4.6 奈米微粒與細胞毒性檢測法間之干擾 (adapted from Kroll et al., 2009)。	123
表 4.1.4.7 OECD 提出對奈米物質毒性測試的終點指標。	128
表 4.1.5.1 奈米物質在水環境之宿命。	132
表 4.1.5.2 近三年國科會補助與奈米物質環境傳輸與宿命相關之研究計畫。	159
表 4.1.5.3 近三年環保署補助與奈米物質環境傳輸與宿命相關之研究計畫。	160
表 4.2.1 28 天的生物吸入毒性試驗中，腔體內銀奈米微粒的各項量測濃度 (Ji et al., 2007)。	170
表 4.2.2 ENV/JM/MONO(2009)15 回顧整理的文獻列表 (ENV/JM/MONO(2009)15)。	174
表 4.2.3 微粒數目濃度記錄表範例(ENV/JM/MONO(2009)16)。	179
表 4.2.4 根據微粒數目濃度估算出 TEM 銅網的採樣時間表(NIOSH NMAM Method 7402) (ENV/JM/MONO(2009)16)。	180
表 4.3 奈米科技 EHS 議題相關之知識源(廖，民國 98 年)。	185

## 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，及環保署前三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。

第二章包括環保署計畫招標時評選須知所列之計畫目標、研究的工作內容及本計畫的預期效益。

第三章為本研究針對計畫目標的研究方法，包括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、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 20 個奈米物質安全報告、如何協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論、「2010 環境奈米科技論壇」的會議規劃及擬訪問的奈米 EHS 議題之學者專家，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。

第四章為本研究的結果與討論。知識缺口回顧的主題包括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、ISO 及 OECD 有關奈米科技 EHS 議題的發展趨勢、奈米物質對水中生物及環境生態的影響、奈米物質的毒性評估及奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命。另外「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的架構規畫、環保署現有奈米科技立場文件之更新、「2010 環境奈米科技論壇」的舉辦成果、facebook 粉絲團的線上平台討論、環境奈米科技二位研究學者訪問報導等計畫執行成果，於本章中皆有詳細的說明。

第五章針對研究結果做了一些簡要的結論及建議。第六章為參考文獻，而第七章為附錄，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：環境奈米科技知識管理及整合計畫

計畫編號：EPA-99-U1U1-02-105

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，闕斌如，連興隆

計畫期程：99年5月26日起100年3月31日止

計畫經費：2,450千元

### 摘要

本計畫已完成"環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估"五個主題的國內研發能量缺口及執行能量缺口的報告，及ISO及OECD有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題發展趨勢及相關資訊的回顧，並經由國內專家學者的座談會作成了具體的結論及建議。本團隊協助另一計畫：「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務計畫」提供奈米技術EHS資訊，召開工作會議以檢討該計畫各項工作進度及內容，並結合勞委會及衛生署共同進一步完成"台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫"的規劃及建置工作。

本計畫參考了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、過去的研究成果及國內各單位的分工協調情況，修正了「環保署2011年負責任奈米技術的策略規畫」中英文文件，並提出2011年的環境奈米計畫優先發展項目。另外本計畫回顧環保署在2003 - 2010年的國家型環境奈米計畫的主要成果，並已完成「環保署2011年環境奈米科技的推動方式與未來發展」專文乙篇，可作為環保署推動環境奈米計畫的參考。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫舉辦了「2010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156人報名參加，討論十分熱烈。本計畫也於facebook成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，以強化國內奈米EHS的社群討論工作，粉絲團有4個討論區提供各界在平台上進行討論，至今加入本粉絲團的人數為88人。最後，為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米EHS研究現況，本計畫已專訪奈米EHS議題的專家學者兩名：清華大學化學系凌永健教授及國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任，訪

問稿並以中英文方式呈現。

This project has accomplished the reports on the gaps of domestic research capability and capacity in five topics in "Measurement and characterization of environmental nanoparticles and future exposure assessment", and the review of the progress and information of nanotechnology EHS issues in ISO and OECD. Concrete conclusion and suggestion have been made after review meeting with domestic experts. This research team has assisted the other project: "The enhancement of functions in Environmental Nanotechnology Knowledge Platform and its maintenance and service project" in providing nanotechnology EHS information, reviewed the progress and content of the project by regular meetings. The planning and establishment of "Taiwan nanotechnology EHS database" has been completed by integrating the efforts with Council of Labor Affairs and Department of Health.

Referring to the nanoEHS research strategy and research themes of advanced countries, considering resource constraints, previous research achievements, and research activities of other domestic agencies, the "2011 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology" has been re-written in both Chinese and English versions and four research priorities have been proposed. Major achievements of Taiwan EPA's national nanotechnology project from 2003-2010 have been revised for accomplishing the report on "Promotion and future development of Taiwan EPA's 2011 environmental nanotechnology", which can be used as a reference for Taiwan EPA to conduct environmental nanotechnology projects.

To strengthen the risk perception and communication of nanotechnology, the "2010 Environmental Nanotechnology Forum" was held and EPA's research achievements were introduced to different domestic stakeholders in the form of paper presentations. There were 156 people from industry, government, academia and research institutions registered for the forum. A fan's club entitled "Application of Taiwan Nanotechnology in Environment, Health and Safety" was established to promote the EHS discussion among different groups. There are four discussion boards which allow on-line information exchange on the platform. Up to now, 88 people has joined the facebook. Finally, to promote the international interactions and introduce the domestic nanoEHS research status, two experts in nanoEHS issues were interviewed, including Professor Yong-Chien Ling from the Department of Chemistry of the National Tsing Hua University, and Director Chong-Shi Yang from the Center for Nanomedicine Research of the National Health Research Institutes. 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、安全及環境的汙染，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 100 年 2 月為止，ISO/TC 229 已發表五個標準，研究中的標準、指引及研究群計畫則尚有 36 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 20 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，本研究篩選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、ISO 及 OECD 有關奈米科技 EHS 議題的發展趨勢、奈米物質對水中生物及環境生態的影響、奈米物質的毒性評估及奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命等 5 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。本團隊協助另一計畫：「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務計畫」提供奈米技術 EHS 資訊，召開工作會議以檢討該計畫各項工作進度及內容，並結合勞委會及衛生署共同進一步完成"台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫"的規劃及建置工作。

針對環保署 2009 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。針對環境奈米科技的推動方式與未來發展，本團隊將完成專文乙篇，文章的大綱包括：環保署在 2003 - 2010 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。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫舉辦「2010 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。本計畫也於 facebook 成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，以強化國內奈米 EHS 的社群討論工作，粉絲團有 4 個討論區提供各界在平台上進行討論，討論區的議題分別為認知風險研究—奈米微粒的毒性評估、法規政策架構—奈米科技法律資訊及奈米科技的政策與管理、優良管理實務—奈米物質 EHS 危害評估及作業人員管理，及呼吸防護具—3M N95 口罩之實用性。為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米 EHS 研究現況，本團隊規劃訪問清華大學化學系凌永健教授，及國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任。

## 結 果

根據本計畫工作內容之項次(一)針對環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估可能的國內研發能量缺口及執行能量缺口進行國內專家討論及評估，與項次(二)進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作，本團隊已舉行了國內專家座談會，並列出各主題的國內研究現況，作成了具體的結論及建議。

本團隊除已完成環保署「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。同時也擴充該平台的「奈米技術 EHS 知識」項目下科普知識、最佳控制實務、名詞解釋及常見問題的相關資料。

本計畫參考了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、過去的研究成果及國內各單位的分工協調情況，修正了「環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫」中英文文件，並提出 2011 年的環境奈米計畫優先發展項目如下：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 污染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。另外本計畫回顧環保署在 2003 - 2010 年的國家型環境奈米計畫的主要成果，並已完成「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」專文乙篇，可作為環保署推動環境奈米計畫的參考。

本計畫已舉辦「2010 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 156 人報名參加 (含政府/法人團體：58 位，學校：74 位，公司/個人：24 位)，134 人出席參與討論。

本計畫也於 facebook 成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，以強化國內奈米 EHS 的社群討論工作，粉絲團有 4 個討論區提供各界在平台上進行討論，至今加入本粉絲團的人數為 88 人。本團隊並協助環保署參展「2010 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，會後並獲得大會頒發「最佳展出獎」，與衛生署、勞研所共同分享此榮譽。

## 結 論

本研究之結論可整理成以下幾點：

1. 本研究收集整理世界上主要先進國家與組織的奈米技術 ESH 法規，結果發現 OECD 各會員大都有奈米物質的註冊、評估和管理法規，美國透過 TSCA 執行奈米物質的 PMN 及 SNUR 管制，歐盟利用 REACH 制度全面管制奈米物質及其相關產品。
2. 根據 OECD 針對現有的化學物質對生物毒性測試標準規範的文獻回顧結果可知，由於工程奈米物質的許多物理化學特性與一般化學物質不同，現有的規範需經過修改才可應用在生物毒性測試上。
3. 根據 OECD 工程奈米物質工作小組的年度報告指出，第一期計畫由 2007 年到 2008 年間的第一階段已完成 14 個代表性工程奈米物質的優先名單，以及測試終點的項目表與參與國家的分工。第二階段（2009-2012）則是執行代表性工程奈米物質的測試終點的檔案發展計畫。
4. 有些奈米物質雖然在正常的使用下，其粒徑尺寸為奈米級，但是當這些材料進入至水環境中，卻立即聚集成大顆粒，形成非奈米級顆粒。因此，未來可藉由奈米物質進入環境後之易團聚與否，來規範奈米物質之危害潛勢的等級。
5. 國內在奈米相關之研究仍集中於奈米物質、奈米生醫、奈米技術、奈米科學等實用性與基礎科學方面之研究為主，對於奈米物質在環境中流佈、傳輸與宿命等環境安全議題的研究僅佔極少數。
6. 本計劃已協助環保署將「環境奈米科技知識平台」擴充為「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，建立環保署、衛生署、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。
7. 本研究提出環保署 2011 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目規畫如下：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 污染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。
8. 本團隊已於 facebook 成立粉絲團，粉絲團名稱為「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」，未來可透過此粉絲團加強對不同利益相關者對奈米技術的認知與溝通。
9. 針對環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展，本計劃提出環境奈米科技的未來可發展的方向有：奈米物質的物理化學特性、跨部會的合作、跨領域的合作及法規架構等。



## 建議事項

建議事項如下：

1. 呼吸毒性暴露腔的奈米微粒特性分析、奈米粉體的揚塵測試、作業場所的奈米微粒污染源逸散測試、作業場所的奈米微粒暴露評估方法，奈米微粒計數器的校正及奈米技術實驗室的最佳控制實務等，均值得國內相關學術及研究單位再進行研究，以制定相關的標準及指引並加以推廣執行。
2. 奈米技術 EHS 有關的 ISO 標準及 OECD 的指引已發表很多，國內相關單位及學術單位可以多加參考，以研擬正確的研究方向及制定相關的標準及指引。



# 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，根據統計至 2010 年為止，奈米相關的消費性產品已高達 1000 項，產品涵蓋食品及飲料，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, <http://www.nanotechproject.org/inventories/>)。當奈米產品與我們的生活關係愈來愈密切的同時，奈米物質對於人體健康的可能影響也受到世人所關注，如何降低奈米物質在工作場所和環境中可能造成的污染及危害是許多政府及研究單位現階段的重點工作。

雖然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、安全及環境的汙染，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)，工作小組分別為 TG1: Measurement and characterization for EHS; JWG 1: Terminology and nomenclature; JWG 2: Measurement and characterization; WG3: Health, Safety and Environmental Aspects of Nanotechnologies; WG4: Material specifications，負責奈米物質的命名、量測、奈米的物質規範。

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 100 年 2 月為止，ISO/TC 229 已發表的五個標準分別為奈米物質的分類及歸類方法(ISO/TR 11360: 2010)、奈米技術的職業安全衛生控制實務(ISO/TR 12885)、奈米技術—奈米物件的術語及定義(ISO/TS 27687)、奈米科技 – 以體外試驗對奈米物質進行內毒素測試 – 蠶變形細胞溶解物測試(ISO 29701: 2010)，及奈米科技 – 詞彙 – 第三部分: 碳奈米物質(ISO/TS 80004-3: 2010)(表 1.1)。研究中的標準、指引及研究群計畫(PG, project group)則尚有 36 個之多，有些 PG 才剛獲得委員會同意開始執行，36 個進行中的標準及計畫的內容包括 CNT 的 TEM、SEM、

EDXA 的觀測方法，金屬奈米微粒的產生及特性測量，呼吸毒性測試腔內奈米微粒的特性測量，CNT 的 UV-Vis-NIR、IR、TGA、EGA 等測量方法，奈米微粒的測量指引，奈米 TiO<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub> 的特性及測量方法，奈米物質安全操作及處置指引，職業風險分組控制評估指引等(表 1.2)。

表 1.1 ISO/TC 229 已發表的五個標準 (ISO TC 229 網站)。

Standard and/or project	Stage	ICS	TC
1 <u>ISO/TR 11360: 2010</u> Nanotechnologies -- Methodology for the classification and categorization of nanomaterials	<u>60.60</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
2 <u>ISO/TR 12885:2008</u> Nanotechnologies -- Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies	<u>60.60</u>	<u>13.100</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
3 <u>ISO/TS 27687:2008</u> Nanotechnologies -- Terminology and definitions for nano-objects -- Nanoparticle, nanofibre and nanoplate	<u>90.92</u>	<u>07.030</u> <u>01.040.07</u>	<u>TC 229</u>
4 <u>ISO 29701:2010</u> Nanotechnologies -- Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems -- Limulus amoebocyte lysate (LAL) test	<u>60.60</u>	<u>07.030</u> <u>11.100.10</u>	<u>TC 229</u>
5 <u>ISO/TS 80004-3:2010</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 3: Carbon nano-objects	<u>60.60</u>	<u>07.030</u> <u>01.040.07</u>	<u>TC 229</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	TC
<u>ISO/WD TS 10797</u> Nanotubes -- Use of transmission electron microscopy (TEM) in walled carbon nanotubes (SWCNTs)	<u>20.99</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 10798</u>	<u>30.60</u>		<u>TC 229</u>

Standard and/or project	Stage	ICS	TC
Nanotubes -- Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray analysis (EDXA) in the characterization of single walled carbon nanotubes (SWCNTs)			
<u>ISO/DIS 10801</u> Nanotechnologies -- Generation of metal nanoparticles by evaporation/condensation method for inhalation toxicity testing	<u>40.99</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/DIS 10808</u> Nanotechnologies -- Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing	<u>40.99</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TS 10812</u> Nanotechnologies -- Use of Raman spectroscopy in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)	<u>20.00</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 10867</u> Nanotechnologies -- Characterization of single-wall carbon nanotubes using near infrared photoluminescence spectroscopy	<u>30.60</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 10868</u> Nanotubes - Use of UV-Vis-NIR absorption spectroscopy in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)	<u>30.60</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTR 10929</u> Measurement methods for the characterization of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)	<u>30.60</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 11251</u> Nanotechnologies -- Use of evolved gas analysis-gas chromatograph mass spectrometry (EGA-GCMS) in the characterization of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)	<u>30.20</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 11308</u> Nanotechnologies -- Use of thermo gravimetric analysis (TGA) in the purity evaluation of single-walled carbon nanotubes (SWCNT)	<u>30.60</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>

Standard and/or project	Stage	ICS	TC
<u>ISO/PRF TR 11360</u> Nanotechnologies -- Methodology for the classification and categorization of nanomaterials	<u>50.00</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TR 11808</u> Nanotechnologies -- Guidance on nanoparticle measurement methods and their limitations	<u>20.00</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/PRF TR 11811</u> Nanotechnologies -- Guidance on methods for nanotribology measurements	<u>50.20</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 11888</u> Determination of mesoscopic shape factors of multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs)	<u>30.60</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TS 11931-1</u> Nanotechnologies -- Nano-calcium carbonate -- Part 1: Characteristics and measurement methods	<u>20.00</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TS 11931-2</u> Nanotechnologies -- Nano-calcium carbonate -- Part 2: Specifications in selected application areas	<u>10.99</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TS 11937-1</u> Nanotechnologies -- Nano-titanium dioxide -- Part 1: Characteristics and measurement methods	<u>20.00</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TS 11937-2</u> Nanotechnologies -- Nano-titanium dioxide -- Part 2: Specifications in selected application areas	<u>10.99</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/CD 12025</u> Nanomaterials -- General framework for determining nanoparticle content in nanomaterials by generation of aerosols	<u>30.20</u>		<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTR 12802</u> Nanotechnologies -- Terminology -- Initial framework model for core concepts	<u>30.60</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TS 12805</u> Nanomaterials - Guidance on specifying	<u>20.00</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>

Standard and/or project	Stage	ICS	TC
nanomaterials			
<u>ISO/AWI TS 12901-1</u> Nanotechnologies -- Guidance on safe handling and disposal of manufactured nanomaterials	<u>20.00</u>	<u>07.030</u> <u>13.100</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TS 12901-2</u> Guidelines for occupational risk management applied to engineered nanomaterials based on a "control banding approach"	<u>10.99</u>	<u>13.100</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TR 13014</u> Nanotechnologies - Guidance on physico-chemical characterization of engineered nanoscale materials for toxicologic assessment	<u>20.00</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTR 13121</u> Nanotechnologies - Nanomaterial Risk Evaluation Framework	<u>30.20</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TS 13126</u> Artificial gratings used in nanotechnology -- Description and measurement of dimensional quality parameters	<u>10.99</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TS 13278</u> Carbon nanotubes -- Determination of metal impurities in carbon nanotubes (CNTs) using inductively coupled plasma-mass spectroscopy (ICP-MS)	<u>10.99</u>	<u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TR 13329</u> Nanomaterials -- Preparation of Material Safety Data Sheet (MSDS)	<u>10.99</u>	<u>13.100</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/FDIS 29701</u> Nanotechnologies -- Endotoxin test on nanomaterial samples for in vitro systems -- Limulus amoebocyte lysate (LAL) test	<u>50.00</u>	<u>07.030</u> <u>11.100.10</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/DTS 80004-1</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 1: Core terms	<u>30.20</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/TS 80004-3</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 3: Carbon nano-objects	<u>60.00</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>

Standard and/or project	Stage	ICS	TC
<u>ISO/AWI TS 80004-4</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 4: Nanostructured materials	<u>20.00</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TS 80004-5</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 5: Bio/nano interface	<u>20.00</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI 80004-6</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 6: Nanoscale measurement and instrumentation	<u>20.00</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/AWI TS 80004-7</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 7: Medical, health and personal care applications	<u>20.00</u>	<u>07.030</u> <u>01.040.07</u>	<u>TC 229</u>
<u>ISO/NP TS 80004-8</u> Nanotechnologies -- Vocabulary -- Part 8: Nanomanufacturing processes	<u>10.99</u>	<u>01.040.07</u> <u>07.030</u>	<u>TC 229</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(工研院量測中心, 民國 99 年)

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。

目前全球奈米產品每週不斷的增加，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术工作小組，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(工研院量測中心, 民國99年)。

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：

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，成員共9位，分別來自研究單位、學界單位及政府主管機關：

主席：楊重熙主任(國家衛生研究院奈米醫學中心)

成員：

石東生--勞工安全衛生研究所所長

阮國棟--行政院環境保護署永續發展室執行秘書

蔡春進--國立交通大學環境工程研究所教授

王德原--行政院衛生署藥物食品檢驗局第二組三科科长

林雲漢--行政院衛生署科技發展組博士

廖寶琦--成功大學微奈米科技研究中心教授

賴惠敏--工業技術研究院生技與醫藥研究所藥物資源研究室主持人

陳朝榮--工業技術研究院量測技術發展中心動態工程量測研究室室主任

第三工作組於98年9月11日召開第一次會議，結論為(1) 建議國內外關於奈米標準的相關資訊能即時同步分享，透過網路或會議召開。(2) 提議奈米產品/物質製造與處理場所之勞工安全防範與環境安全防護。相信將來TWA 3將可在奈米EHS工作上發揮更大的功能。

## OECD 的工程奈米物質工作小組(WPMN, Working Party on Manufactured Nanomaterials)

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、蘇俄、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 14 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

此外科學與科技政策委員會(Committee on Scientific and Technological Policy, 簡稱 CSTP)，於 2007 年 5 月成立奈米科技工作小組(Working Party on Nanotechnology, 簡稱 WPN)，WPN 的工作報告及重要會議決議均開放查詢，在「Reports」的子目錄下。WPN 在 2007-2008 年共推動 6 項計畫，包括：

- (1) 指標與統計 (Indicators and statistics)
- (2) 對公司與商業環境的衝擊 (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)

## 1.2 國內奈米與環境及職業衛生之學術活動及計畫

過去幾年來，在我國政府相關政策制定會議中，陸續揭櫫重要之奈米科技政策，整合國內有限之相關資源從事奈米基礎科學與應用技術的發展，期在短時間內我國奈米技術發展，可與先進國家同步甚至超越，使我們在奈米科技產業全面開展時，可以領先成為奈米科技新產品的製造國及技術的擁有者。94年9月「行政院2005年產業科技策略會議」結論更進一步指出『建置環境、健康與安全共同平台，規劃風險評估、風險管理、風險溝通，並投入資源和重點，以制定良好規範，建立管理體系』，開始重視奈米科技可能產生的環境與人體的衝擊。在行政院環保署的委託下，工研院環安中心於民國92年起曾執行多年的奈米科技與環境保護相關的研究計畫(工研院環安中心，民國94年；國立清華大學，民國96年)，這些計畫配合國內環境、健康與安全(EHS)三部門的研究計畫，期能共同打造一個負責任的奈米科技(responsible nanotechnology)研發環境，現階段由環保署負責環境中暴露風險及管理，衛生署進行奈米微粒對健康風險評估，勞委會針對職場勞工健康、製程安全進行研究。

工研院環安中心執行的研究計畫中(工研院，環安中心，民國94年；國立清華大學，民國96年)，民國92年之重點為建置奈米技術於環境應用之網頁資料庫、奈米技術對環境評估模型及建立評估基準、奈米物質之環境影響評估、環境改善應用技術開發及評估、召開奈米技術環境應用技術論壇；93年之重點為建立國內外學者專家資料庫並更新網頁、建立奈米物質的清冊資料、完成奈米技術於環境領域應用之趨勢報告、評估現有及開發奈米技術製程、建議製程作業環境操作準

則及規範，並進行去除污染物之奈米技術研發，辦理奈米環境科技國際研討會。

民國 94 年之研究內容為網頁更新、舉辦論壇、規劃”推動負責任的奈米科技研發及生產環境”、推動研發及生產環境之環境管理工作、建立國內環境奈米為例濃度值、進行三家粉體生產工廠微粒暴露研究、建立奈米微粒暴露之標準作業程序、建立奈米粉體製程控制設備之標準操作程序、人員防護具濾除奈米微粒之效率評估、研擬奈米粉體製程個人防護具標準操作程序、研究奈米粉體逸散及再釋出之可能性。95 年的計畫內容為建立大氣中奈米微粒即時監測技術，以大氣擴散模式模擬奈米粉體工廠附近地區之奈米微粒濃度分佈情形，進行大氣中奈米微粒成分分析以了解奈米微粒之成長轉換機制，將量測所得之結果進行成果推廣及技術轉移，以提供作為國內相關專家學者進行後續研究之參考。

另外，國內學者鄭福田等人曾在國科會永續會之支持下執行奈米微粒與健康風險研究計畫(行政院國科會永續發展推動委員會，民國 94 年)，探討奈米微粒的產生、量測及控制技術，以及奈米微粒的毒性；學者鄭尊仁等人則於 2005 年起執行奈米微粒健康風險評估與管理研究：以奈米氧化鋅為例，探討奈米氧化鋅微粒的毒性及動物攝取動力學，分析奈米氧化鋅微粒生物效應指標。國家奈米計畫更於 2006 年起開始執行奈米技術的 EHS 計畫：奈米碳球作業環境之暴露危害評估與控制，執行期間為 8/2006–7/2009 共三年，有 5 個子題，分別為：

1. Developing inhalatory nanoparticle exposure assessment techniques and their applications in nanocapsule manufacturing industries
2. Developing dermal nanoparticle exposure assessment techniques and their applications in nanocapsule manufacturing industries
3. Developing nanoparticle toxicity and health hazard assessing methods and their application in nanocapsule manufacturing industries
4. An epidemiological study on health-effects for workers in nanocapsule manufacturing industries: the establishment of the exposure cohorts and data analysis
5. Developing nanoparticle control techniques and their applications in nanocapsule manufacturing industries

民國 93 年起，國內開始辦理環境保護與奈米科技學術研討會，至今年為止已共辦了八屆，重點在於奈米物質於環境監測、環境污染物處理、污染場址整治、再生能源開發、奈米微粒之健康風險及環境管理等，此研討會側重於奈米技術於環境保護之應用。

我國工研院環安中心在環保署及經濟部的贊助下曾於 2003 及 2004 年主辦過

兩次國際奈米環境技術研討會(International Symposium on Environmental Nanotechnology)，多個國際知名學者曾受邀到台灣參加此研討會，如 Barbara Karn (US EPA), Mike Roco (NNI), Vicki Colivin (Rice University), Gunter Oberdörster (University of Rochester), Hinds Fissan (University of Duisburg), Wolfgang Kreyling (GSF)等人，對本國重視奈米微粒可能造成的健康危害及環境污染十分推崇。

在國際上，2004 年於英國的 Essex 市首度舉行了第一屆奈米技術與職業衛生國際研討會，共有 150 名世界各地的專家學者與會，並出版了會議的報告 (<http://www.nanosafe.org/node/194>)。第二屆於 2005 年在美国明尼蘇達州舉行，共有 410 名來自世界各地二十一個國家、從事奈米粉體、奈米製程、奈米毒物學與勞工安全衛生的學者專家及研究人員參與，共發表口頭及海報論文 120 篇左右。第二屆的會議人數比起在英國舉辦第一屆會議時的 150 人成長很多，顯見世界各國在發展奈米科技的同時，十分重視作業勞工可能的奈米微粒暴露、健康危害及控制問題。

我國對奈米科技與環境及職業安全衛生的重視受到國際的肯定，因此美國職業安全衛生研究所(NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health) Dr. Andrew Maynard 及明尼蘇達大學 Prof. David Y. H. Pui (即第二屆研討會的共同主席)乃邀請我國於 2007 年 8 月 29 日至 9 月 1 日主辦第三屆研討會，而日本也主動要求第四屆要在日本主辦。

參加 2007 年第三屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會的人士，有來自日本、韓國、大陸、澳洲及香港等亞洲學者專家約 40 人，及美國、英國、德國等歐美之專家學者 110 人，加上本國奈米科技、環境醫學、工業衛生、環工、化工、材料、氣象等領域的學者、及政府相關部門、研究單位人員約 150 人，參與的國家有 20 國，共約 300 人左右會參與此盛會，165 篇論文發表。tutorial 8 場主題如下：

1. Nanoparticle and Nanofiber Filtration: Modeling and Experiments
2. Quality of Skin as a Barrier to Percutaneous Uptake of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles from Sunscreens
3. Best Practices for Working with Engineered Nanomaterials
4. Nanotechnologies: Opportunities and Challenges
5. Health-Related Exposure Assessment of Nanoparticles
6. Investigating the Effects of Nanoparticles on the Environment
7. Nano-Bio Interaction, Applications and Safety
8. Nanoparticle Dosimetry in the Lung

Keynote speech 3 場，主題為：

1. Safe Nanotechnology - where are we now and where are we going?
2. Global Aspects of Nanotechnology Risk Governance
3. Integrated Processes for Nanomaterial Production

在所有議程結束後的座談，學者作了以下幾點結論及建議：

1. 世界各國均十分重視奈米科技的 EHS 研究，且有明顯的進展，美國環保署及勞工安全衛生研究所均已發表了奈米科技白皮書及安全奈米科技進行的方法，且投入大量的經費進行相關的奈米科技 EHS 研究；日本有一個大的 NEDO(New Energy and Industrial Technology Development Organization) 計畫 - “Evaluating Risks Associated with Manufactured Nanomaterials” 主要的研究為 TiO<sub>2</sub>, fullerenes, CNTs 的毒性、暴露評估及風險管理；美國的 PEN 計畫(Project on Emerging Nanotechnologies)，主要為奈米科技 EHS 研究需求規畫、奈米產品的統計、奈米科技風險管理、法規檢討及整理、國會作證、各種奈米 EHS 問題研討及國際合作等。
2. 國際及世界各國如 ISO, BSI, ASTM 等標準組織紛紛公佈了許多的奈米微粒的標準量測及分析方法，相關的奈米安全作業指引，ISO 也擬重新製訂奈米物質的 MSDS 表格，這些均值得我們參考並訂出國內適用的安全作業指引。
3. 美國 NIOSH 為目前最投入奈米科技 EHS 的單位，2005 年 11 月美國 NIOSH 針對二氧化鈦(TiO<sub>2</sub>)細微粒(fine particle, PM<sub>4</sub>, 指可呼吸性微粒)及超細微粒(ultrafine particle, <0.1 μm, 即奈米微粒)，發表一份「現有知識佈告欄」(Current Intelligence Bulletin, CIB)的報告書(NIOSH, 2005)，評估 TiO<sub>2</sub> 對健康可能產生的危害並提出工作場所 TiO<sub>2</sub> 微粒的暴露建議值(recommended exposure limit, REL)。NIOSH 考慮勞工每日工作 10 小時以內，一週工作 40 小時情形下建議 TiO<sub>2</sub> 的暴露時量平均濃度值(time-weighted average concentration, TWA)，對細微粒而言為 1.5 mg/m<sup>3</sup>，對超細微粒而言為 0.1 mg/m<sup>3</sup>。在此限值下，NIOSH 計算出勞工終生的致癌機率將低於千分之一。此 RELs 為目前僅有的奈米微粒的工作場所建議濃度限值，其制定過程的定量風險評估法嚴謹，將為其他奈米物質訂定暴露限值的參考依據。

研討會的論文顯示健康的皮膚不易為奈米微粒所穿透，因此經由呼吸的方式為奈米微粒侵入人體的主要管道；過濾是奈米微粒的有效控制方式，20 nm 以上的微粒均可以被有效的濾除，傳統的單纖維理論經過修正後可以用於濾材的設計；奈米物質經由機械分散過程游離至空氣中大都以聚集體方式出現成為細微粒，而非單顆的奈米微粒；體內及細胞的毒性測試均顯示奈米物質會產生呼吸的毒性，奈米微粒的表面積是一個毒性量度的基準，且有劑量-反應的關係，可用於制訂新的工作場所奈米微粒的暴露標準。

為了延續第三屆的奈米技術與職業及環境衛生研討會的精神，我國學者蔡春進教授等多人也在 2009 年參加了在芬蘭舉行的第四屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會，發表奈米 EHS 研究成果並與 OECD、日本及歐美的專家學者共同討論研究的進展。2011 年八月第五屆國際奈米技術與職業及環境衛生研討會將在美國波士頓舉行，到時本國學者將再有機會與國際專家學者交流。本計畫主持人蔡春進教授在第四及第五屆奈米技術與職業及環境衛生研討會均受邀擔任國際諮詢委員會委員，有助於本國奈米 EHS 研究的國際交流。

### **環保署的國家型奈米科技計畫(廖，民國 98 年)**

廖(民國 98 年)曾回顧我國環保署國家型奈米計畫的執行情形，並寫成環保署的奈米科技環境對策報告(Taiwan's Strategic Plan for Responsible Nanotechnology (2009-2014))，以下為執行重點摘要。我國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 萬元在奈米科技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%；另外應用奈米科技在環境保護工作類別，共 9 項，佔總經費 45%。環保署、勞委會及衛生署三部會於「95 年度各部會署奈米計畫溝通協調會議」中達成共識，在奈米國家型科技計畫進入下一階段時(2006-2008)，針對奈米科技之環境、職場、健康風險評估及管理，提出「環境、健康、安全整合型計畫(EHS 計畫)」。由環保署負責環境中暴露風險及管理，衛生署進行奈米微粒對健康風險評估，勞委會針對職場勞工健康、製程安全進行研究，共同打造一個負責任的奈米科技(responsible nanotechnology)研發環境。

在第一期前 3 年(2003-2005)奈米科技研發計畫中，環保署積極研究奈米科技應用於環境保護的技術開發，包括：奈米氧化物鑲嵌聚酯纖維複合濾材開發，並做空氣污染物吸附測試；奈米技術在高性能氧氣氣體感測器之開發，組裝成機車用感測器進行實測研究；奈米金在污染防治應用之技術開發等，在第一期後 3 年(2006-2008)，環保署以奈米科技結合傳統化工或環工技術研究，以解決環境調查與整治工作所遭遇之問題，並尋求奈米物質的突破。環保署藉由相關標準作業程序及實驗室工作指引的制定，建構負責任的奈米科技研發環境，其成果亦提供勞委會、衛生署做為第一期後 3 年(2006-2008)奈米科技對於環境、健康、安全研究之重要依據。

環保署已建置 3 年之奈米科技資料庫(2006-2008)，重點涵蓋奈米科技對於環境應用面及衝擊面等相關資訊，除持續擴建國內奈米技術領域研究機構及人才資料庫，透過網站資料庫建置，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，在後 2 年更積極將資料庫轉型為知識庫。

環保署在 2005 年度已完成環境背景監測(新竹地區)、現有產業相關污染源調

查、污染防制設備評估等研究。已建立可移動式的大氣環境奈米微粒數目濃度量測技術，針對新竹地區的住宅區、交通要道、工業區及水庫等區域進行環境背景值的實測，瞭解都會區及特殊空間(雪山隧道)移動污染源的排放情形，並改進量測監測技術。接著環保署在 2006 年度以後至今也陸續針對自然源、移動污染源及奈米粉體廠進行奈米微粒的監測及採樣分析研究，並獲致具體的採樣分析技術的改進成果，詳如下節所述。

在第二期國家型奈米科技計畫(2009–2014)規劃工作項目中，環保署參酌國際間先進國家相關領域發展報告，審視國內發展現況，在第二期六年(2009–2014)規劃中提出環保署推動奈米科技之發展內容，包括：

延續第一期計畫成果，配合環保署、勞委會、衛生署三部會 EHS 核心計畫推動，建立具有國際競爭力的奈米微粒檢測監測技術平台；發展奈米物質空間尺度—化學組成、純度及相異度特性的量測方法，以評估環境中奈米微粒暴露現況，涵括調查自然微粒背景值及其對暴露量測之影響。開發環境中奈米微粒暴露評估之方法；探討奈米微粒在環境介質中的宿命反應、傳輸動力以評估環境中奈米微粒對於生態的影響，涵括奈米物質化學組成、表面化學改質、微粒缺陷、不純物、及外來物質造成微粒聚集(分解)對於環境暴露的影響，微粒的老化影響，環境物理因素的影響以及由環境回到生物體的暴露途徑；同時研發奈米微粒環境風險評估方法以利控制及管理。透過創新育成計畫推動，研發具有環境福祉的奈米科技；鼓勵發展奈米物質生產過程污染防治及具有奈米特色的綠色科技，整合綠色化學與奈米科技研發技術應用於清潔生產。

### 環保署近三年來的奈米科技計畫

我國環保署在近三年來的奈米科技計畫(2007–2009)之名稱如表 1.3 所述。

表 1.3 環保署 2007–2009 年的奈米科技計畫。

民國 98 年

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	參考文獻
*EPA-98-U1 U1-02-103	民國 98 年	蔡春進	環境中奈米物質質量測 及特性分析技術開發	蔡, 民國 98 年
*EPA-98-U1 U1-02-105	民國 98 年	廖宜賢	環境奈米科技知識 庫之強化及推廣	廖, 民國 98 年



*EPA-98-U1 U1-02-101	民國 98 年	林一為	奈米科技之風險 感知及政策研究	林, 民國 98 年
*EPA-98-U1 U1-02-102	民國 98 年	施養信	水環境介質中奈米微 粒轉換及宿命研究	施, 民國 98 年
*EPA-98-U1 U1-02-104	民國 98 年	張章堂	環境中奈米微粒之細 胞毒性研究	張, 民國 98 年

## \*國家奈米計畫

## 民國 97 年

計畫編號	計畫 年度	計畫 主持人	計畫名稱	參考文獻
*EPA-97-U1 U1-02-106	民國 97 年	蔡春進	環境中奈米物質量測 及特性分析技術	蔡, 民國 97 年
*EPA-97-U1 U1-02-105	民國 97 年	廖宜賢	環境奈米科技知識庫 之強化及推廣	廖, 民國 97 年
*EPA-97-U1 U1-02-103	民國 97 年	鄭尊仁	奈米科技之風險認知 研究	鄭, 民國 97 年
*EPA-97-U1 U1-02-104	民國 97 年	施養信	水環境介質中奈米微 粒轉換及宿命研究	施, 民國 97 年
*EPA-97-U1 U1-02-101	民國 97 年	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)	董, 民國 97 年
*EPA-97-U1 U1-02-102	民國 97 年	陳郁文	綠色奈米技術之開發 及應用—奈米金屬改 質光觸媒於水中污染 物及揮發性有機物控 制之研究	陳, 民國 97 年
EPA-97-U1 U4-04-004	民國 97 年	林錕松	表面改質二氧化鈦奈 米管應用於環境中有	林, 民國 97 年

			機及硝酸鹽污染物去除技術之研發	
--	--	--	-----------------	--

民國 96 年

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	參考文獻
*EPA-96-U1U1-02-104	民國 96 年	蔡春進	開發環境中奈米物質量測及特性分析技術	蔡, 民國 96 年
*EPA-96-U1U1-02-101	民國 96 年	廖宜賢	建置環境友善奈米科技之知識平台	廖, 民國 96 年
*EPA-96-U1U1-02-102	民國 96 年	楊金鐘	綠色奈米技術之開發及應用：環境友善性奈米級零價鐵模擬現地整治土壤/地下水污染技術開發及應用	楊, 民國 96 年
*EPA-96-U1U1-02-103	民國 96 年	董瑞安	綠色奈米技術之開發及應用（功能性一維奈米複合材料對水體環境污染物之共處理與環境流佈宿命研究）	董, 民國 96 年
*EPA-96-U1U1-02-105	民國 96 年	謝淑惠	綠色奈米技術之開發及應用—複合材料固定化與共處理水污染物之研究	謝, 民國 96 年
EPA-96-04-005	民國 96 年	王鴻博	新型分散性奈米鐵微粒在土壤介質中傳輸之現地模場研究	王, 民國 96 年

### 1.3 奈米物質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

本研究團隊於前三年(96-98 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，並列出部份主題的國內研

究現況，且舉行了國內專家座談會，作成了具體的結論及建議(蔡春進 96-98)。報告內容可在「環境友善奈米知識平台」(<http://sta.epa.gov.tw/cooperation/nanotech/KM/main/main.aspx>)取得。根據這兩年的研究報告，及目前在 ICON 資料庫 (ICON, <http://icon.rice.edu/virtualJournal.cfm>)，Environmental Science and Technology、Nano Letters 等國際知名期刊收集的 2008–2009 年的文獻，本團隊於 98 年研究案提出的主題為：

- 一、奈米物質的毒性評估
- 二、美國及歐盟對奈米物質的管制近況
- 三、奈米物質對水生物及環境生態的影響
- 四、奈米物質的風險評估
- 五、奈米物質的皮膚穿透
- 六、奈米科技的生命週期評估
- 七、奈米物質的暴露評估
- 八、奈米物質的暴露控制分組方法
- 九、奈米物質環境暴露控制與管理對策-重要資訊回顧
- 十、奈米物質質量測分析與暴露評估技術-重要資訊回顧

本團隊在 96–98 年度的期末報告已完成以上全部十大主題的報告撰寫，國內的研發能量及研發進展也作進一步分析，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作成具體的結論及建議。根據文獻回顧的結果，也完成二篇與「奈米物質質量測分析與暴露評估技術」及「奈米物質環境暴露控制與管理對策」有關之最新資訊整理(critical review)文件。

98 年各個主題的主要結論和建議，及國內的研究現況如下：

### 1.3.1 奈米物質的毒性評估

1. 奈米物質對人類的暴露機率不同於塊材物質，它的毒理性質也有別於化學成分相似且粒度較大的微粒的毒性。
2. 在未來 1-5 年內，美國將持續透過奈米科技安全方案計畫，完成其境內主要 6 種工程奈米物質的致癌性評估。而 IARC 也預計在 2010-2014 年之間，完成奈米碳管、氧化鐵和矽氧烷的致癌性評估。
3. 在近年的奈米物質毒性研究顯示，工程奈米物質碳黑仍需仰賴長期地流病研究。以協助評估碳黑對人體健康的影響；而自然生成或由人類活動伴隨生成的碳煙，在長達 200 多年的流行病研究明確顯示，碳煙為人類致癌因子。

4. 物實驗證據顯示 CNTs 會對大鼠造成致癌性危害，長度在 15  $\mu\text{m}$  以上的 CNTs 和石棉纖維在動物體內產生的毒性效應相同。因此，CNTs 為將來最可能受到管制的奈米物質之一，國際的研究及法規進展值得我國關注。

根據 ICON 網站資料庫顯示，自 2008 年 1 月起至 2009 年 10 月上旬，奈米物質毒性測試的研究文章共有 294 篇。294 篇文章中有 7 篇為台灣學者所發表，測試的奈米物質為單壁奈米碳管、固態脂質奈米粒子、金奈米線、多孔性矽奈米粒子、氧化鐵以及奈米矽片銀(Chou et al., 2008; Huang et al., 2008; Huang et al., 2008; Kuo et al., 2008; Kuo et al., 2008; Huang et al., 2009; Su et al., 2009)。這 7 篇文章的研究內容分別簡介如下：

1. 國立台灣大學醫學院現任院長楊泮池教授以及國立中正大學生物醫學研究所的周正中助理教授於 2008 年發表一篇有關 8 週大的小鼠在其氣管灌注 5mg 單壁奈米碳管後的研究成果，研究指出被灌注單壁奈米碳管的小鼠會出現肺泡巨噬細胞活化、多種慢性炎症反應以及肉芽腫現象(Chou et al., 2008)。
2. 治療後天免疫缺乏症候群(又稱愛滋病, AIDS, acquired immunodeficiency syndrome)的重要關鍵為抗逆轉病毒類藥物(antiretroviral agents)在穿越腦血管障壁(blood-brain barrier)時的傳送效果。國立中正大學化學工程研究所的郭勇志教授在 2008 年發表一篇利用固態脂質奈米粒子(SLN, solid lipid nanoparticles)作為藥物沙奎那維(SQR, Saquinavir)(註:治療 AIDS 時使用的藥物)的傳輸載體研究，研究顯示以 SLN 作為載體時，SQR 在穿越人腦微血管內皮細胞(human brain microvascular endothelial cells)時會具有較好的穿透性。同時，這篇研究也指出 SLN 產生的細胞毒性會隨著可可脂(cacao butter)含量的增加而降低(Kuo et al., 2008)。
3. 中央研究院應用科學研究中心陳培菱副研究員以及國立交通大學材料科學與工程學系所的郭瓊雯博士於 2008 年發表一篇研究成果，研究指出胺基硫醇類改質的金奈米線(aminothiols modified gold nanowires)可作為傳輸質體脫氧核糖核酸(DNA, deoxyribonucleic acid)進入哺乳動物細胞的媒介，其轉染效能(transfection efficiency)佳且不具毒性(Kuo et al., 2008)。
4. 國家衛生研究院奈米醫學中心的黃東明博士以及國立台灣大學醫學院檢驗醫學科的陳耀昌教授於 2008 年發表一篇關於多孔性矽奈米粒子(mesoporous silica nanoparticles)作為幹細胞標定時的生物相容性以及能否成為成骨誘因(osteogenesis induction)的研究成果，其研究顯示人體間葉系幹細胞(human mesenchymal stem cells)在攝取奈米粒子之後會出現細胞蛋白反應以及成骨特性(osteogenic signals)。因此，作者們亦提出需要再仔細評估是否奈米粒子會對細胞活性產生影響(Huang et al., 2008)。
5. 醫學領域常應用超順磁氧化鐵奈米顆粒(SPIO, superparamagnetic iron oxide

nanoparticles)在細胞的成像技術上，因此，SPIO 的生物安全問題常受關注。國家衛生研究院奈米醫學中心的黃東明博士以及國立台灣大學醫學院檢驗醫學科的陳耀昌教授於 2009 年發表一篇有關鐵羧葡胺(ferucarbotran, SPIO 的一種)的研究成果，研究指出鐵羧葡胺可促進人體間葉系幹細胞(human mesenchymal stem cells)的生長且不具毒性。但是，作者們也提及這種由鐵羧葡胺促進的細胞生長對細胞本體的影響以及其生物安全問題，仍需要更多的後續研究訊息(Huang et al., 2009)。

6. 國立台灣大學化學系的劉如熹教授以及黃景弘於 2008 年發表一篇有關利用晶種成長法合成氧化鐵奈米微粒的研究成果，研究中亦利用乳腺上皮細胞以及乳腺癌細胞進行細胞毒性測試。研究成果顯示其合成的氧化鐵奈米微粒具有生物相容性且不具毒性(Huang et al., 2008)。
7. 國立台灣大學高分子科學與工程學研究所的林江珍教授以及國立中興大學生學系所的蘇鴻麟助理教授於 2009 年發表有關黏土中奈米銀(silver nanoparticles on clay)的研究成果，研究結果指出，此奈米矽片銀具有強抑菌能力且不具毒性，可有效抑制多種細菌及黴菌(Su et al., 2009)。

### 1.3.2 美國及歐盟對奈米物質的管制近況

1. US EPA 於 2008 年底，首次針對奈米物質在製造、使用以及處理過程中，對環境、健康和 safety 帶來的潛在風險，開始以毒性物質管理法規範奈米物質的風險。目前 CNTs 被規範成新化學物質，其「顯著新種使用規則」(SNUR) 的申請要求亦重新在擬定中，矽氧烷改質的奈米二氧化矽微粒和奈米氧化鋁微粒則需作 SNUR 之申請。
2. US EPA 將持續邀請業者志願參予奈米物質管理計畫 (NMSP) 至 2010 年 1 月止，以協助 US EPA 蒐集境內奈米物質資料和資訊、建立奈米物質知識庫，以及鼓勵在發展或商業化奈米物質時作適當風險管理。NMSP 蒐集的資料可協助 US EPA 在奈米科技的環境健康和 safety 問題上，作出明確的決策和妥當的管理。
3. US EPA 已於 2009 年 9 月底開始展開奈米物質研究策略 (NRS)。這些科學研究將提供有關安全使用奈米技術和產品的訊息，以支持 US EPA 對奈米物質所發布的各項安全決策。
4. 目前絕大多數的物質(含奈米物質)的管制已經被歐盟的 REACH 中規範。為了能更完善防範奈米物質風險，歐盟執行委員會承諾將在 2011 年年底之前完成歐盟條例的審查，並根據更新的科學資訊評估現行條款是否需要修訂。我國的許多奈米物質由國外進口，目前進口的許可依貨品號列而定，未特別針對奈米物質作管制，將來可遵循 REACH 之規定及作法，作適當的管制。

### 1.3.3 奈米物質對水生物及環境生態的影響

目前生態毒物學領域上針對奈米微粒或奈米物質之研究為初始階段，雖然已有許多研究指出高濃度之奈米微粒對於水中的魚類或是無脊椎動物會造成毒性影響，但是奈米微粒對於細菌、植物或是脊椎動物之相關毒性研究仍有許多知識缺口，因此相關學者可以朝此方向進行研究(Handy et. al., 2008)。此外，許多生物毒性實驗皆使用較高濃度的奈米微粒劑量進行測試，並無法有效的證實當生物長時間暴露於低濃度之奈米微粒時之毒性影響，此一部份仍須進一步的研究(Handy et. al., 2008)。

我國已有學者利用螢光基因與基因轉殖技術來研究活體斑馬魚之器官發育與病變（請參考去年的計畫報告，蔡春進等人，2008），如中央研究院細胞與個體生物學研究所吳金洌博士將螢光基因轉殖於斑馬魚體內，培養出發出螢光之斑馬魚(張志玲，2007)；陽明大學神經研究所蔡惠珍教授利用斑馬魚作為研究癌症、心血管疾病、器官發育、脊椎動物胚胎發育、神經發育與細胞凋亡之模式(<http://genome.ym.edu.tw/manuals/L12.htm>)；國家衛生研究院喻秋華博士利用斑馬魚的體外受精、胚胎透明化、體外發育、胚胎早期發育快及易得大量樣品等特性，作為研究肝癌病人之人體基因網路缺陷的動物模式([http://www.nhri.org.tw/nhri\\_org/mm/main1\\_12.htm](http://www.nhri.org.tw/nhri_org/mm/main1_12.htm))。目前在ICON網站上尚未搜尋到國內學者對於奈米微粒對生態環境與水中生物之毒性影響相關研究，建議環保署可鼓勵國內學者進行此方面研究。

毒性物理學家需瞭解奈米微粒或奈米物質之物理化學特性，如此一來此可正確的解讀生態毒物試驗之實驗數據。微粒之粒徑、形狀、表面積及奈米物質與水中其他物質產生化學變化後之副產物接會改變奈米微粒對生物之毒性影響。此外，水體之鹽度、pH值、硬度、及自然有機物值(NOM, natural organic matter)與奈米微粒對生物之毒性影響之間的關係需進一步的研究(Handy et. al., 2008)。

目前已有學者將近年來奈米微粒對水中生物之半致死濃度的研究數據作有系統的整理(Kahru and Dubourguier, 2009)。建議國內學者可利用OECD列出的代表性微粒作為測試微粒，再參考國外學者所使用的水中生物物種進行不同奈米微粒對水中生物的毒性試驗，並建立完整的資料庫，如對水中生物之半致死劑量資料庫，以做為未來國家制定水體中奈米物質容許濃度之依據。

### 1.3.4 奈米物質的風險評估

1. 為快速有效地建立奈米物質毒性資料庫，體外細胞毒性測試方法的建立是一個非常值得發展的技術。
2. 發展體外細胞毒性測試方法需要考慮的參數：(1)暴露的微粒劑量-反應關係，應考慮低暴露劑量與過量暴露劑量的問題。(2)選擇可以模擬肺部環境的細胞

株，及應考慮使用單細胞培養基或是混合細胞培養系統。(3)肺部細胞暴露於培養基及肺部流體中的微粒特性與交互反應之差別。(4)暴露反應時間(急毒性或慢性毒性)。(5) 選擇適當的危害評估毒性終點。

3. 奈米碳管的粒徑越大所誘發的細胞毒性就越嚴重，奈米碳管的長度越長越容易交纏在一起，而長度越長的奈米碳管所產生的發炎情況也較嚴重，因為長度較短的奈米碳管較容易被巨噬細胞吞。
4. 單壁奈米碳管和多壁奈米碳管皆因細胞的噬菌作用而使細胞存活率降低，但是在以質量濃度為基準的毒性評估中顯示單壁奈米碳管具有比多壁奈米碳管較高的細胞毒性。對於奈米碳管進行表面改質是否會增加其毒性，目前仍沒有一致的結論，但大致上認為毒性應是取決於表面改質的物質。
5. 國內學者曾以理論的風險評估模式模擬  $\text{TiO}_2$  奈米微粒對於製造工人的健康效應，結果發現在作業場所的  $\text{TiO}_2$  奈米微粒不會造成人體肺部上皮細胞的顯著發炎反應風險，但暴露在粒徑介於 10–30 nm 的高濃度 anatase  $\text{TiO}_2$  奈米微粒，對人體真皮細胞毒素反應有顯著的風險。此理論模式將來可以進一步結合體外與體內的毒性實驗數據作驗證。

### 1.3.5 奈米物質的皮膚穿透

1. 影響 QD 的穿透量的主要因子為皮膚的狀況以及 QD 本身的性質(如大小、表面化性)。目前的研究僅指出受 UV 損傷的皮膚較易使 QD 穿透，建議未來的研究可更進一步地量化 QD 的穿透量。
2. 尚未純化的 SWCNT 易導致自由基的產生、氧化應力、發炎反應，進而對皮膚產生毒性。由於 SWCNT 有部份聚結的特性，難以評估其對皮膚的穿透量，建議未來的研究目標為有效地評估 SWCNT 或其他類型奈米碳管對皮膚的穿透量。
3. 實驗顯示鎳、鈷、鉻微米級粉體均可穿透人體皮膚，且受損的皮膚比完整皮膚有較高的穿透量，鈷及鎳粉體的穿透性較鉻粉體來的高。受損的皮膚較易使銀奈米微粒穿透至皮膚內，但其穿透的位置只到達深層的角質層，尚未穿透至表皮層之中。
4. 以  $\text{SiO}_2$  塗敷之  $\text{TiO}_2$  奈米微粒，受 UV 光照後最不易引起光化反應，為  $\text{TiO}_2$  最適合的塗敷物質。
5. 國內的化妝品系所很多，但很少人針對化妝品中的奈米微粒的皮膚穿透及可能的危害進行研究。國內的學者曾對商用的  $\text{TiO}_2$  奈米微粒進行細胞毒性的研究，結果顯示奈米微粒的劑量很高時會抑制細胞的生長，但真正的毒性機制仍待研究，且含有奈米微粒的防晒油是否有細胞毒性也未知，另外本研究也未提及防晒油的奈米  $\text{TiO}_2$  微粒是否有  $\text{SiO}_2$  的塗敷，這些均為國內學者可以再

努力的方向。

國內的化妝品系有高雄醫學大學香粧品系，中國醫藥大學藥用化妝品學系靜宜大學化妝品科學系，嘉南藥理科技大學化妝品科技研究所及弘光科技大學化妝品應用系等，其研究大都以美容及皮膚保養為主，很少人針對化妝品中的奈米微粒的皮膚穿透及可能的危害進行研究。國內的研究學者(林等人，95年)以不同粒徑的奈米銀進行18小時的動態經皮吸收實驗，及五次貼布剝除實驗，結果發現奈米銀未有明顯的滲透現象，且能到達第10-20層之角質層(註:五次剝除實驗共剝除30-40層角質層)，此結果與國外學者Butz (2007)發現奈米微粒並無擴散現象以及奈米微粒不易穿透皮膚表層的結論相同。台大化學系劉如熹教授的研究群(Huang et al., 2009)曾針對市面上五家化妝品做成分及吸光特性分析並對商用TiO<sub>2</sub>奈米微粒做細胞毒性分析，成份分析顯示由這五家化妝品中的奈米微粒成分主要為TiO<sub>2</sub>及ZnO、重量百分濃度介於5%至20%之間，此數據顯示化妝品中含有大量的奈米微粒。吸光特性的研究顯示ZnO的吸光峰值為UVA的波長範圍，TiO<sub>2</sub>的吸光峰值為UVB的波長範圍，而UVA為主要影響人體的UV光，故該研究建議ZnO奈米微粒較適合用於防曬油的原料。商用的TiO<sub>2</sub>奈米微粒細胞毒性的研究則是以酵素免疫分析法(Enzyme-linked immunoassay, ELISA)進行分析，結果顯示奈米微粒的劑量很高時會抑制細胞的生長，但真正的毒性機制仍待研究，且含有奈米微粒的防晒油是否有細胞毒性也未知，另外本研究也未提及防晒油的奈米TiO<sub>2</sub>微粒是否有SiO<sub>2</sub>的塗敷，這些均為國內學者可以再努力的方向。

### 1.3.6 奈米科技的生命週期評估

生命週期評估(LCA)可作為以環境觀點切入並訂定生產系統的決策，主要在評估產品在生命週期中潛在的影響。為了完整結合評估物質的生命週期，首先需定義系統邊界並選擇相同影響層級，系統邊界(system boundary)指收集產品在整個生命週期的資料外，還包含外部環境與內部環境輸入與輸出的資料，而影響層級(impact level)指生產系統的環境影響評估必須建立在相同層級的環境機制上，如最終影響(end-point level)。利用IOA (Input-Output method)的方式，不僅可定義出可辨認的系統邊界且可減少LCI結果的不確定性，其方法是收集產品在生命週期中輸入-輸出 (Input and Output)的資料。

近幾年幾位學者對於不同的奈米物質進行生命週期評估案例，評估的類型大概分成搖籃至墳墓(cradle-to-grave)、搖籃至大門(cradle-to-gate)以及工廠內(gate-to-gate)三種，最常用的評估影響種類為非可再生能源使用以及全球暖化趨勢。

### 1.3.7 奈米物質的暴露評估

1. 奈米微粒各個生產階段逸散情形的監測，以微粒數目濃度的量測較質量濃度



監測靈敏。但是質量濃度在不同生產流程變化不大，奈米微粒開始生產及下降階段時微粒的總數目濃度較高，但是分佈型態在各階段維持穩定。

2. 含碳奈米物質生產期間微粒總數目濃度的增加主要是由小於 100 nm 微粒數目濃度的增加所貢獻。含奈米碳管之高等複合材料在機械加工期間奈米微粒暴露情形的改善--使用溼式切割法較乾式切割法可以抑制粉塵的產生。
3. 為減少奈米物質的暴露風險，目前勞委會及環保署均已開始調查奈米物質在作業場所及環境中的暴露濃度，將來可以繼續加強研究調查，以避免奈米物質暴露所造成的勞工危害及環境污染。
4. 目前在瑞士針對奈米物質的環境濃度的理論模擬發現，環境中奈米銀與奈米碳管危險商數預測值很低，代表它們只存在極低的風險，但是本研究仍需要以實驗作驗證。另外目前的研究並未考慮到銀離子的型態所造成的風險，奈米碳管也會因為產品的多樣性而造成逸散量的改變。
5. 水中會釋放銀，並隨著清洗的次數穩定的釋出，無論是膠體或是離子形態的銀皆會從襪子釋放出來。由模擬研究發現廢水場可用生物方法處理奈米銀的排放，但是處理廠的污泥廢棄物因銀的濃度高而無法作綠肥的使用。

國立交大環工所蔡春進教授(民國 97 年)利用一修正採樣系統的標準旋轉腔體試驗機進行細粉體(ZnO)與奈米粉體(TiO<sub>2</sub>)的揚塵特性測試，再以掃描式電移動度粒徑分析儀(SMPS)、氣動粒徑分析儀(APS)與微孔均勻衝擊採樣器(MOUDI)進行 30 分鐘的微粒數目濃度監測與質量濃度的採集。研究結果發現產生小於 100 nm 的微粒非常少，且粉體的微粒逸散量將隨著旋轉時間的增加而減少，由於腔體旋轉而釋出奈米二氧化鈦微粒因聚集的結構較為鬆散，導致微孔均勻衝擊採樣器量測的質量濃度分佈與氣動粒徑分析儀測得的數目濃度分佈以粉體顯在密度轉換成的質量濃度分佈有相當大的差異，但氧化鋅因結構較為緊實，使得 MOUDI 與 APS 測得的質量濃度分佈差異較小(Tsai et al., 2009)。另外，蔡春進教授亦著手撰寫近年來關於奈米科技的職業與環境衛生研究進展與瓶頸，主要內容為探討有關奈米科技的重要研究進展以了解奈米微粒的毒性、監測、產生、揚塵特性、過濾及奈米微粒的應用(Tsai and Pui, 2009)。

### 1.3.8 奈米物質的暴露控制分組方法

1. 奈米物質的職業暴露限值不易制訂且不易監測，控制分組方法不失為一個務實的奈米物質風險管理方法。Paik et al. (2008)使用了現今的科學知識來發展控制分組奈米工具，對於奈米物質相關作業之風險評估上提供了一種實用的工具，並可對不同奈米物質相關作業提出合適的工程控制建議。
2. 控制分組奈米工具利用奈米物質風險發生的可能性與嚴重度決定風險層級，並

提出合適的工程控制建議，實用性高。

3. 建議將來可以配合現場的奈米微粒的暴露監測，驗證控制分組方法的正確性。另外建議本國可以針對控制分組方法進一步進行研究發展，提高此模式的認知及建立標準化的模式。
4. 建議國內對於現有的控制分組模式的內容加強了解，並考慮作業場所的通風狀況，作成適合於國內使用的奈米分組控制模式。

### 1.3.9 奈米物質環境暴露控制與管理對策-重要資訊回顧

奈米物質最有可能在作業環境中造成逸散及人員的暴露，但作業人員是否會因奈米物質的暴露而造成健康的危害尚無定論。

本研究收集及整理英國、日本及美國的奈米物質作業環境控制指引，發現各國的指引差異並不太，且均建議奈米物質的生產、處理及處置應採取謹慎的態度，希望能將作業場所的奈米物質濃度降至最低合理可行的濃度。

奈米微粒在空氣中的運動行為與細微粒類似，其控制方法也與一般的細微粒類似，然因為奈米微粒可能比同一質量的細微粒潛在毒性較高，奈米產業的管理階層應特別針對奈米微粒制定風險管理計畫，在便是奈米微粒的潛在風險後，使用工業衛生常用的控制優先順序控制及預防奈米微粒的暴露，含工程控制、行政控制、及個人防護具等主要措施，和環境監測、生物偵測及健康篩檢等輔助方法。

本國目前只有粉塵危害預防標準及勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準，並無法適用於所有的奈米物質。本國的勞工安全衛生研究所正在制訂奈米物質作業控制策略指引，以提供業者參考，將來應針對與奈米微粒相關的作業人員及管理階層施以適當的教育訓練，以確保奈米微粒不會對作業人員產生健康的危害。

### 1.3.10 奈米物質量測分析與暴露評估技術-重要資訊回顧

1. 國外針對微粒的有機物質及分子指標(molecular markers)的採樣分析的研究，大都限於 PM<sub>2.5</sub> 微粒，建議國內學者及環保署能同時針對 PM<sub>2.5</sub> 及奈米微粒進行有機物質及分子指標研究，將有助於環境奈米物質的污染來源的定量。
2. 國內有關微粒中有機物質採樣分析的研究，往後應考慮濾紙吸附及微粒揮發損失的問題，以求取較正確的有機物質濃度。
3. 國內政府相關單位應協助學術機構建立 AMS 或 ATOFMS 的研究團隊，以提高國際競爭力。

國內有進大氣微粒中有機物質相關研究的團隊包括有：中央大學環境工程研究所李崇德及張木彬教授、朝陽科技大學環境工程及管理系楊錫賢教授、中山大

學環境工程研究所陳康興教授、中央大學林能暉教授、嘉南藥理科技大學蔡瀛逸教授及中研院周崇光博士等。李崇德教授在其負責的北部超級測站的研究中，使用即時儀器及手動儀器量測 PM<sub>2.5</sub> 的有機碳(OC)；張木彬教授長期投入大氣微粒中戴奧辛分析的研究，主要研究的粒徑範圍為 TSP 及 PM<sub>10</sub>；楊錫賢教授的研究則是著重在汽機車排氣中微粒的 PAHs；陳康興教授的相關研究有大氣 PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 中的 PAHs；林能暉教授研究大氣雲雨中的汞；蔡瀛逸教授對大氣 PM<sub>2.5</sub> 的含水量及有機酸成分的分析有相當好的成果；周崇光博士對都會區及背景 PM<sub>2.5</sub> 的 OC 及 EC 也有很多的文章發表。以下就李崇德及張木彬教授最近的研究作介紹。

在 97 年環保署/國科會的空汙防治科研合作計畫(環保署/國科會, 97 年)，李崇德教授利用北超的數據，進一步探討大陸沙塵暴來襲期間及民俗節慶期間，PM<sub>2.5-10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub> 的濃度及化學特性的改變，結果發現大陸沙塵暴來襲期間微粒濃度及硫酸鹽濃度明顯增加，民俗節慶期間 OC 濃度會明顯提升。另外從兩次的人工採樣(2008/5/23-28 及 2008/10/24-30)，發現 PM<sub>2.5</sub> 的組成以 OM, EC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 為主；PM<sub>2.5-10</sub> 以海鹽沙塵及 OM 為主，其中 OM=OC\*1.6。另外李教授發現以 TOR (Thermo/optical reflectance) 分析 PM<sub>2.5</sub> 的 OC/EC 濃度會與 TOT (Thermo/optical transmission) 不同，TOT 測得的 OC 比 TOR 高，而北超的即時監測儀器是使用 TOT 法分析 OC/EC，所以北超測得較高 PM<sub>2.5</sub> 的 OC 濃度。

同樣在 97 年環保署/國科會計畫中，張木彬教授整合國內大陸沙塵暴、持久性有機污染物及大氣長程傳輸模式的專家，探討北臺灣在大陸沙塵暴期間及東北季風好發期間，大氣戴奧辛、汞及其它有害空氣污染物之濃度變化，以釐清經境外長程傳輸所貢獻的濃度。研究中使用的 HV-700F 採樣器，分別以石英濾紙及 PUF 捕集固相及氣相戴奧辛；大氣汞則是依據美國環保署標準方法 USEPA IO-5，利用真空幫浦將空氣抽過表面鍍金的石英細砂管，包括氣態及微粒態的汞都會被滯留在管內，所採集的汞即為大氣總汞。結果發現東北季風事件日，北台灣大氣中戴奧辛及汞的濃度皆明顯上升。而在沙塵期間，戴奧辛濃度有明顯上升，但汞的濃度則無明顯變動。大氣戴奧辛的濃度很低，無法以直讀式儀器進行量測，需使用高流量採樣器來收集。附著於大氣氣膠的戴奧辛比氣相戴奧辛容易沉降至地表，需進一步探討其沉降通量。

以上相關研究都僅限於 TSP、PM<sub>10</sub> 或 PM<sub>2.5</sub>，很少有觸及奈米的粒徑，且採樣造成濾紙吸附氣態有機物的誤差或有機物質從微粒揮發損失的誤差，都沒有被進一步考慮，因此本報告對國內往後進行相關微粒有機物質採樣及分析，將會有幫助。

本研究團隊的成員屏東科技大學陳瑞仁及林志忠教授長期研究大氣超細微粒及奈米微粒(PM<sub>0.18</sub> 及 PM<sub>0.1</sub>)的金屬及離子成分，其研究結果已發表在國際一流期刊 Environmental Science and Technology (Lin et al., 2005) 及 Atmospheric Environment (Lin et al., 2009)，可謂國內奈米微粒中金屬及離子成分研究的前趨。另外 96-98 年交大環工所蔡春進教授實驗室與中研院環境變遷中心的劉紹臣、周崇

光、龍世俊與許世傑等教授及屏科大陳瑞仁教授合作執行環保署奈米國家型計畫，研究奈米微粒特性分析及量測技術的成果也發表於 *Aerosol Science and Technology* (Chen et al., 2010a)及 *Atmospheric Environment* (Chen et al., 2010b)期刊，內容包括交通源及森林自然原奈米微粒的特性分析、奈米微粒的密度研究及採樣分析 OC 濃度誤差的修正等。蔡春進教授團隊也積極開發準確採集奈米微粒的設備及奈米微粒 VOC denuder，研究成果預期可在奈米微粒採樣領域具高度的國際競爭力。此外目前國內尚無任何一台可即時量測次微米(70–1000 nm)粒徑分佈兼微粒成分的氣膠質譜儀 AMS 或 ATOFMS，為國內奈米微粒研究領域的能量缺口。

## 第二章 計畫目標、內容及效益

### 2.1 計畫目標

本計畫目標為：

- 一、針對環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估可能的國內研發能量缺口及執行能量缺口進行國內專家討論及評估。
- 二、進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全 (EHS) 議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作。
- 三、協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論。
- 四、以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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。
- 五、協助奈米群組計畫計畫管理及績效成果彙整。
- 六、配合奈米國家型計畫辦公室，協辦年度台灣奈米科技展。

### 2.2 環境奈米科技知識管理及整合

本研究團隊之工作內容

- 一、針對環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估可能的國內研發能量缺口及執行能量缺口進行國內專家討論及評估

以 ICON, The Virtual Journal of Nanotechnology Environmental, Health and Safety, 及 Environmental Science and Technology (ES&T) 及 Nano Letters 等知名國際 SCI 期刊的過去一年的奈米 EHS 論文收集整理成回顧論文，並作成結論建議後再供國內專家學者討論，作成彙整意見。

初步預計篩選主要先進國家與組織的奈米技術 EHS 的法規進展、工程奈米物質工作小組的國際分工、奈米物質對水中生物及環境生態的影響、奈米物質的毒性評估、奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命等 5 項主題收集背景資料，並在下半年召開產官學研等各界組成的專家座談會 1 場，邀請產官學研專家至少 10 人，就上述主題進行研商並做成書面意見彙整，並於期末報告中做成結論報告。

- 二、進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全 (EHS) 議題發展趨勢及

#### 相關資訊的追蹤工作

收集整理 ISO/TC 229 WG3 的研究群計畫 (PG) 執行報告，回顧過去環保署執行至今 (2003-2009) 的環境奈米計畫的內容及已發表的國際 SCI 期刊論文，並檢討有無合適的計畫成果及技術可協助發展 ISO 標準，以提供我國「台灣奈米標準技術諮議會 (TNSC)」第三工作分組做為出席 ISO/TC 229 WG3 會議之參考，以產生實質之國際互動及貢獻。

收集整理 OECD 的 WPMN 已發表的 20 個奈米物質安全的一系列報告，透過國際奈米 EHS 活動的參與，呈現國內的研究成果，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。

### 三、協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論

與「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫保持密切連繫，負責提供該平台之知識內容、知識分類、知識整合等工作，即時提供各界國內外最新之資訊，並定時與上述計畫召開工作檢討會議。

召開相關部會及產官學研專家研商會 1 場 (7 人)，以確認適合納入環保署知識庫的相關知識源，並完成建置工作。配合另一「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫，定時召開工作檢討會議。

結合國內環工學會、職業衛生相關的學會、化學學會、化工學會、半導體、光觸媒、工程師學會等，以研究生及業界、教師、研究單位等 100 成員以上為目標，參與奈米 EHS 的問題討論及知識交流。每季討論的主題為環境奈米物質安全，現行的指引、法規及標準，及最佳控制實務等。

### 四、以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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

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，更新修正 2009 年環保署的奈米科技環境對策報告，中英文各一份。邀請勞委員、經濟部、工研院、衛生署及學者專家等產官學研各界代表舉辦環保署立場文件研商會 1 場 (7 人)。

舉辦「環境奈米科技論壇」，並將論文內容及論壇意見回饋到知識庫。舉辦網路平台討論「認知風險研究」(perception risk study)、「優良管理實務」(good practice management) 以及「法規政策架構」(law and policy framework) 等。

訪問奈米 EHS 議題學有專精的學者二人，初步訂為清華大學化學系凌永健教

授及國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任。

五、協助奈米群組計畫計畫管理及績效成果彙整

及

六、配合奈米國家型計畫辦公室，協辦年度台灣奈米科技展，代表環保署支援相關工作及支出展出經費。

上述第五及第六項工作內容為例行性的工作，本計畫將配合環保署邀標書提出的內容執行。

### 2.3 其它應配合事項

- (一) 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。
- (二) 本計畫應明確訂定每月執行進度、預期成效及查核點。
- (三) 配合管考作業，按月提報本計畫執行摘要、進度及工作成果。
- (四) 期中、期末審查外，每季提進度報告供環保署審查。
- (五) 配合環保署業務需求，提供必要之專業技術服務。
- (六) 本計畫之研究報告、論文發表或資料收集等相關產出，應配合環保署「環境奈米知識平台」計畫提供資料上傳。

### 2.4 預期效益

本計畫工作內容執行完成之後，對於推動負責任的奈米科技發展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. 提昇國人的奈米 EHS 議題的認知並作好風險管理工作。





## 第三章 研究方法

### 3.1 環境中奈米物質質量測及特性分析以及未來暴露評估與風險評估可能的知識缺口的文獻收集

本研究團隊在 2007 年至 2009 年「環境中奈米物質質量測及特性分析技術開發」計畫中已針對 10 項議題(國內知識缺口)進行評估,2010 年工作主要以 ICON, The Virtual Journal of Nanotechnology Environmental, Health and Safety (<http://icon.rice.edu/virtualJournal.cfm>)在 2009 年 1 月至 2010 年 10 月內最新發表的報告及收錄的奈米 EHS 文章,以及 Environmental Science and Technology (ES&T) 及 Nano Letters 等知名國際 SCI 期刊的奈米 EHS 論文收集整理成回顧論文,並作成結論建議後再供國內專家學者討論,作成彙整意見交由環保署未來規劃相關工作之用。

本計畫已篩選主要先進國家與組織的奈米技術 EHS 的法規進展、工程奈米物質工作小組的國際分工、奈米物質對水中生物及環境生態的影響、奈米物質的毒性評估、奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命等 5 項主題收集背景資料,並在下半年召開產官學研等各界組成的專家座談會 1 場,邀請產官學研專家至少 10 人,就上述主題進行研商並做成書面意見彙整,並於期末報告中做成結論報告。

### 3.2 進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全 (EHS) 議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作

本計畫將收集整理 ISO/TC 229 WG3 的研究群計畫 (PG) 執行報告,回顧過去環保署執行至今 (2003-2009) 的環境奈米計畫的內容及已發表的國際 SCI 期刊論文,並檢討有無合適的計畫成果及技術可協助發展 ISO 標準,以期能提供我國「台灣奈米標準技術諮議會 (TNSC)」第三工作分組做為出席 ISO/TC 229 WG3 會議之參考,以產生實質之國際互動及貢獻。

目前為止,OECD 的 WPMN 已發表了 20 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 年及 2011 年第四及第五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。

由環保署及國內政府機構的奈米 EHS 成果初步分析,預期我國在奈米物質在

水中的分散方法，奈米物質的揚塵測試技術，奈米微粒個人採樣技術，以及將來的奈米物質毒性篩選的樣本準備及即時測試方法等，均有可能參與 OECD WPMN 的贊助研究計畫。

### OECD 有關工程奈米物質議題的國際分工活動

目前為止，OECD 的 WPMN 已發表了 20 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。這 20 個報告如下：

(1) 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.

(2) 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.

(3) 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.

(4) ENV/JM/MONO(2008)2

Manufactured Nanomaterials: Programme of Work 2006–2008.

(5) 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.

(6) ENV/JM/MONO(2008)13/REV

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

(7) 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.

- (8) ENV/JM/MONO(2009)6  
Preliminary Analysis of Exposure Measurement and Exposure Mitigation in Occupational Settings: Manufactured Nanomaterials.
- (9) ENV/JM/MONO(2009)10  
EHS Research Strategies on Manufactured Nanomaterials: Compilation of Outputs.
- (10) ENV/JM/MONO(2009)15  
Identification, Compilation and Analysis of Guidance Information for Exposure Measurement and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials.
- (11) ENV/JM/MONO(2009)16  
Emission Assessment for Identification of Sources and Release of Airborne Manufactured Nanomaterials in the Workplace: Compilation of Existing Guidance.
- (12) ENV/JM/MONO(2009)17  
Comparison of Guidance on Selection of Skin Protective Equipment and Respirators for Use in the Workplace: Manufactured Nanomaterials.
- (13) ENV/JM/MONO(2009)18  
Report of an OECD Workshop on Exposure Assessment and Exposure Mitigation: Manufactured Nanomaterials.
- (14) ENV/JM/MONO(2009)20  
Guidance Manual for the Testing of Manufactured Nanomaterials: OECD's Sponsorship Programme.
- (15) ENV/JM/MONO(2009)21  
Preliminary Review of OECD Test Guidelines for their Applicability to Manufactured Nanomaterials.
- (16) ENV/JM/MONO(2009)22  
Manufactured Nanomaterials: Work Programme 2009–2012.
- (17) ENV/JM/MONO(2009)23  
Current Developments in Delegations and other International Organisations on the Safety of Manufactured Nanomaterials- Tour de Table.
- (18) ENV/JM/MONO(2009)34

Manufactured Nanomaterials: Roadmap for Activities during 2009 and 2010.

(19) ENV/JM/MONO(2009)45

Analysis of Information Gathering Initiatives on Manufactured Nanomaterials.

(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.

OECD 的 WPMN 目前的 8 個計畫(SG1~SG8)及 OECD 的任務如下表 3.1 所示，主要強調各個參與國共同負擔這些計畫，並且在 R&D 合作，共同建立一致性的法規及測試方法。

表 3.1 OECD 的 WPMN 目前 8 個計畫及說明(www.oecd.org/env/nanosafety)。

Project	OECD Mission Element	Description
Project 1: OECD Database on Safety Research	Cooperation in R&D, Burden Sharing	Searchable, web-based database of nanotechnology environmental health and safety research under way in OECD countries and observers.
Project 2: Research Strategies on Manufactured Nanomaterials	Cooperation in R&D, Burden Sharing	Review of nanotechnology EHS research conducted by WPMN participants with an eye towards identifying gaps, potential duplication and opportunities for strengthened collaboration.
Project 3: Safety Testing of a Representative Set of Manufactured Nanomaterials	Cooperation in R&D, Burden Sharing	Exploratory testing undertaken collaboratively by member and non-member countries and industry to develop datasets covering 59 mammalian and environmental toxicity, environmental fate, materials characterization, physical-chemical property and safety endpoints.
Project 4: Manufactured Nanomaterials and Test Guidelines	Harmonization	Ensure that harmonized OECD test guidelines are available for use in the MAD program, and to provide guidance useful for members and participants in testing nanomaterials to determine their environmental health and safety implications.
Project 5: Co-operation on Voluntary Schemes and Regulatory Programmes	Harmonization	Information sharing among members to facilitate the application of consistent or harmonized approaches in voluntary or regulatory activities for reporting and risk management.
Project 6: Co-operation on Risk Assessment	Cooperation in R&D, Harmonization	Cooperation among members in exploring current risk assessment approaches and their possible application to manufactured nanomaterials; and developing recommendations for advancing the state of the science.
Project 7: Alternative Methods in Nano Toxicology	Cooperation in R&D, Harmonization	Research into the possible application of alternative test methods and how they might be used in the risk assessment of manufactured nanomaterials.
Project 8: Exposure Measurement and Exposure Mitigation	Harmonization	Information exchange and guidance development related to exposure measurement and exposure mitigation, addressing: i) exposure in occupational settings; ii) exposure to humans resulting from contact with consumer products and environmental releases of manufactured nanomaterials; and iii) exposure to biota in the environment resulting from releases of manufactured nanomaterials, including releases from consumer products containing manufactured nanomaterials.
Conference on Potential Environmental Benefits of Nanotechnology: Fostering Safe, Innovation-Led Growth	Promoting Cleaner Alternatives	Exploration into the opportunities the challenges of the use of nanotechnologies for potential environmental benefit, including how to address safety, sustainability and life cycle aspects.

WPMN 的各計畫的產出部份如表 3.2 所示(ENV/JM(2009)34)，部份的報告尚未解密，部份已完成。

表 3.2 WPMN 的各計畫的部份產出(ENV/JM(2009)34)。

Outputs/ outcomes	Date to be Completed	Target audience	How it will be made available	Where it will be made available	Need for communication material	Issues/ concerns
OECD Database on EHS research (SG1)						
OECD Database on	April 1st	Policy makers	Searchable	OECD	Guidance	Dat entry to the

Research into the Safety Manufactured Nanomaterials (Phase 1)	2009	Researchers Stakeholders	database on the internet	public website	manual that will include information relevant to end users, data providers and delegates responsible for checking data entry	database may be started June
OECD Database (Phase 2)	Not yet specified	Expected to be as for Phase 1	To be specified	To be specified	To be specified	CBI policy
OECD Research strategies on Manufactured Nanomaterials (SG2)						
Interim report for Project Two: EHS research strategies on manufactured nanomaterials	June 2008	WPMN Researchers Policy makers	Classified document	Password protected site	The document includes background information	The project includes recommendation of putting Project Two on hold until more information is available through the database
Output documents from Project Two: EHS research strategies on manufactured nanomaterials (e.g. The further categorization of research themes to identify topics appropriate for division of work among OECD-members	June 2008	WPMN Researchers Policy makers	Classified document	Password protected site		

and Sequence, priority if activities in nanoresearch)						
Output documents from Project Two: EHS research strategies on manufactured nanomaterials: including - The list of research themes relevant to EHS nanomaterials - The analysis of the frequency of entries in the list of current/completed as well as planned research projects	Published (2009)	WPMN Researchers Policy makers	declassified document	OECD public website	Introduction and background	
Safety Testing of a Representative Set of Manufactured Nanomaterials (SG3)						
Working definition of manufactured nanomaterials	Completed (open to revision, as needed)	WPMN	Classified document [Annex II of ENV/CHEM/N ANO/M(2007)1 ]	Password protected site	The document includes background information	To be reviewed, as needed. Not for declassification
Guidance Manual for the Testing of Manufactured Nanomaterials: OECD's Sponsorship Programme	Published (2009)	WPMN Sponsorship Regulatory Agencies Risk Assessors	Declassified document	OECD Public website	Introduction and background	This document is a living document and will include additions as annexes
Sponsorship Programme for the Testing of	March 2009	WPMN Regulatory Agencies	Classified documents	OECD Public website &	Introduction and background	Sponsors work towards a version of DDP

Manufactured Nanomaterials: Dossier development plans: preliminary results		Risk Assessors		database		to be declassified 6th WPMN
Sponsorship Programme for the Testing of Manufactured Nanomaterials: information document	2009	Policy makers Researchers Stakeholders Public	Declassified document	OECD public website		The secretariat will prepare a document

WPMN 於 2009–2012 的計畫時程如表 3.3 所示(ENVJM(2009)34)。

表 3.3 WPMN 於 2009–2012 的計畫時程(ENVJM(2009)34)。

	2007-2008	2009	2010	2011	2012
<b>SG1</b>	Phase 1 database development		Database maintenance/ version-up		
<b>SG2</b>	Research themes	hotspot	Analysis of research projects/ hot-spot networking		
<b>SG3</b>	Working Definition Representative set of MN, endpoints for Phase 1 programme	DDP Review	Management of SG3 Phase 2 discussion		
<b>Sponsorship Programme</b>	GMS development	Testing	Interim report	Phase 2 testing?	
	DDP development				
<b>TG-IAM</b>	Planning				
<b>SG4</b>	Preliminary-review of TGs		Identify needs of new/ revision of TG/ Priority setting		
	GSPD development		Rev-GSPD to be prepared as GD		
<b>SG7</b>	Text for GMS				
<b>SG5</b>	Info Gathering Initiative				
	Questionnaire				
	Share MN summary				
<b>SG6</b>	Draft Report of Critical Issues of Risk Assessment	Workshops inputs to the report	Supporting tools/ Gap analysis?		
<b>SG8</b>	Preliminary analysis in occupational settings	Occupational exposure			
		Consumer exposure			
		Environmental Exposure			
<b>Benefits</b>	Conference				

OECD 測試指引用於奈米物質之初步探討(OECD ENV/JM/MONO(2009)21)



OECD 共已發表 118 個測試指引，共分成 5 節：

第一節：物理-物理化學性質

第二節：生物系統的效應

第三節：降解及累積

第四節：健康效應

第五節：其他測試指引

OECD 的 WPMN 之研究計畫 4 (SG 4) 奈米物質與測試指引回顧以上的 118 個測試指引，並評估它們於奈米物質的適用性，找出是否有發展新指引或更改現有指引的必要性。結果發現現有的 22 個物理化學性質的測試指引有 4 個可適用奈米物質，有 13 個必需進一步評估及修改，有 17 項為評估奈米物質毒性時必需先測試的項目，其中部分在 ASTM, ISO, CEN 及 JIS 已訂有測試標準(如成份、揚塵特性、顆粒大小、粒徑分佈、形貌及比表面積等)，而部分尚無(如聚集狀態、濃度、表面電荷及觸媒特性等)。

對於 24 個 OECD 的生態毒性測試指引，生物效應分組的專家認為目前的樣本裝備、傳送、測量及儀器不足以測試奈米物質，並建議發展一個類似現有的 OECD “困難物質及混合物的水生物毒性測試”指引。

然而對降解及累積測試指引只能用在一些特別的條件，專家們建議 WPMN 發展一個測試奈米物質宿命及降解的指引文件。

對於健康效應的測試指引回顧方面，WPMN 的研究計畫認為大致這些指引可用於奈米物質，但是測試物質的物理化學特性(含水樣)必需要先分析，有部份指引需作修正，特別是呼吸路徑及毒物動力學的部份。

### 3.3 協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論

本計畫將與「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫保持密切聯繫，負責提供該平台之知識內容、知識分類、知識整合等工作，即時提供各界國內外最新之資訊，並定時與上述計畫召開工作檢討會議，以確保計畫之進行。國內外相關團體之奈米知識源，包括國科會國家奈米計畫與 EHS 議題相關之研究計畫與環保署環境奈米科技知識平台的 26 個奈米科技 EHS 議題相關之知識源，其中 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、OECD 網站 (Safety of Manufactured Nanomaterials, [http://www.oecd.org/about/0,3347,en\\_2649\\_37015404\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/about/0,3347,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html))、USEPA

網站 (USEPA, National Center for Environmental Research: Nanotechnology, <http://www.epa.gov/ncer/nano/>)及 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。

本計畫將於期中會議前會召開相關部會及產官學研專家研商會 1 場 (7 人)，以確認適合納入環保署知識庫的相關知識源，並完成建置工作。本計畫另外會配合另一「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫，定時召開工作檢討會議，各項工作執行進度及內容。

為了提高國內的產業界及研究單位網路意見討論的人數，本計畫將結合國內環工學會、職業衛生相關的學會、氣膠學會、化學學會、化工學會、半導體、光觸媒、工程師學會等，以研究生及業界、教師、研究單位等 100 成員以上為目標，參與奈米 EHS 的問題討論及知識交流。每季討論的主題為環境奈米物質安全，現行的指引、法規及標準，及最佳控制實務等，以進行網路意見討論，並形成共識結論。

### **3.4 以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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**

- (1) 本計畫將針對 2009 年已發佈的環保署的奈米科技環境對策報告，參考工研究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。本立場文件將邀請勞委員、經濟部、工研究、衛生署及學者專家等產官學研各界代表舉辦研商會 1 場 (7 人) 以資確認。
- (2) 本計畫將於 99 年 12 月 16 日在台大集思會議中心蘇格拉底廳舉辦「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，活動人數至少 100 人，會議時間一日，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。論壇議程表含演講議題、主講人及主持人，如以下的表 3.4 所示：

表 3.4 2010 環境奈米科技論壇議程。

時間	議題	主講人
09:00~09:30	報到	
<b>奈米科技的風險管理與感知 主持人：環保署環境檢驗所 阮所長 國棟</b>		
09:30~10:00	開幕引言 奈米科技發展風險管理評析	行政院環保署 永續發展室 劉執行秘書 宗勇 工研院 奈米科技研發中心 宋博士 清潭
10:00~10:30	奈米科技風險感知	台灣大學 職業醫學與工業衛生所 鄭教授 尊仁
10:30~11:00	休息	
<b>奈米微粒環境量測、宿命與流佈 主持人：國立交通大學環工所 蔡教授 春進</b>		
11:00~11:30	環境中奈米物質量測分析及暴露評估技術	交通大學 環境工程研究所 陳博士 聖傑
11:30~12:00	水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究	台灣大學 農業化學系 施教授 養信
12:00~13:00	午餐休息	
<b>奈米技術的安衛管理與法規進展，奈米微粒毒理 主持人：國立成功大學環醫所 蔡教授 朋枝</b>		
13:00~13:30	奈米技術實驗室的安全衛生自我管理	勞工安全衛生研究所 陳博士 春萬
13:30~14:00	主要先進國家與組織的奈米技術 EHS 的法規進展	交通大學 環境工程研究所 蔡教授 春進
14:00~14:30	即時監測環境樣品奈米微粒細胞毒性篩選技術	中興大學 生物醫學研究所 關教授 斌如
14:30~15:00	休息	
<b>奈米科技之環境應用 主持人：中山大學 環境工程研究所 楊教授 金鐘</b>		
15:00~15:30	奈米綠色化學	清華大學 化學系 凌教授 永健
15:30~16:00	奈米生醫	國衛院 奈米醫學研究中心 楊主任 重熙
16:00~16:30	台灣奈米 EHS 知識庫的使用	睿揚資訊股份有限公司 鄭經理 榮家
16:30	論壇結束	

### (3) 舉辦網路平台討論

本計畫將持續舉辦網路平台討論，議題主軸為「認知風險研究」(perception risk study)、「優良管理實務」(good practice management)以及「法規政策架構」(law and policy framework)等，並於網路討論後，做出對政府及業界有實質的影響及貢獻之建議。推廣作法及構想。

### (4) 奈米 EHS 議題的學者專家專訪

為了推廣我國相關奈米 EHS 研究成果，本計畫擬訪問國內的清華大學化學系凌永健教授及國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任，以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。

凌教授的研究主題主要在發展質譜分析技術，開發綠色化學製程，建立化學分析品保／品管系統，以解決問題、實際應用為研究導向。研究方向為環境、材料（電子和高分子）、藥物、和食品樣品之微量與微區分析，及除污、清洗等綠色化學製程之研發，並善用分析化學研究於社會公益議題。

目前楊重熙主任領導的國家衛生研究院奈米醫學研究中心發展的方向為(1) 奈米粒子於生物體之安全性評估（人體健康風險評估）；(2) 奈米科技於臨床試驗的推動；(3) 奈米科技於基礎醫學至臨床轉譯研究等。其中與奈米 EHS 有關的第一項方向其內容為：

- 1.1 奈米科技在環境、健康與安全之跨部會（環保署、衛生署、勞委會）整合研究（規範性）
- 1.2 奈米粒子於生物體之生理(physiological)機能研究
  - 1.2.1 奈米粒子生物安全性評估平台與標準化操作程序
  - 1.2.2 奈米粒子對細胞及生物體的急、慢性毒性影響
  - 1.2.3 奈米粒子於生物體內分佈及分子化學界面探討
  - 1.2.4 奈米粒子可能於生物體之吸收及代謝分解途徑

根據上述四個發展方向，奈米中心於 98 年度的研究計畫分別為：

- (1) 奈米科技在癌症診斷及治療之應用；
- (2) 奈米科技與細胞醫學及組織工程之發展應用；
- (3) 奈米科技於活體智慧型靶向傳遞系統之設計與臨床醫療之應用；
- (4) 奈米粒子的對細胞的功能基因體研究製成反應；
- (5) 有機無機奈米複合載體在生物醫學上之應用；
- (6) 分子影像在奈米醫學之應用；
- (7) 空氣中奈米粒子暴露研究；

- (8) 奈米粒子在藥物動力學與安全性評估；
- (9) 新穎性紅血球微囊奈米粒子(奈米載體)在生物醫學應用的發展；
- (10) 發光金量子點之生醫應用研究；
- (11) 放射性奈米粒子在生物醫學的應用研究；
- (12) 電子顯微鏡、原子力顯微鏡及分子影像核心設施之運轉維護。

藉由以上之整合型研究計畫，楊主任的研究團隊進一步選擇多種奈米物質(如量子點、奈米碳管、氧化鐵等等有機或無機奈米粒子)，配合在 96 年 5 月建置完成之奈米懸浮粒子暴露實驗室之隔離暴露箱，比較生物體可能接觸之多種途徑，如：靜脈注射(iv 注射)、氣管吸入(inhalation)、食入或攝入(ingestion)、周界空氣曝露(airborne)、皮膚接觸(skin contact)等，進行細胞及活體動物之急、慢毒性影響等科學性數據之產出、比對及確認，並更進一步建置奈米粒子生物安全性資料庫，探討奈米粒子在活體生物體的吸收、代謝、器官分佈及排出的情形以及這些奈米粒子對生物體之急、慢性毒性與對其基因表現的影響，及進行其他生醫有關的研究。

### 3.5 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

在計畫執行中，本工作團隊將盡力配合環保署，執行相關之行政事項。根據環保署計畫評選須知所列出之其他行政配合業務內容敘述如下：

- (1) 彙整及評析本署過去執行至今（2003-2009）的環境奈米計畫成果，並形成專文一篇。
- (2) 舉辦產官學研座談會 1 次（至少 7 人），針對環境奈米科技的推動方式與未來發展進行討論，並形成下年度奈米計畫執行之具體建議及作法。
- (3) 本計畫最終成果將撰寫成英文論文一篇，與環保署參與計畫同仁共同發表於國外研討會或投稿至國際期刊。
- (4) 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。
- (5) 明確訂定每月執行進度、預期成效及查核點。
- (6) 配合管考作業，按月提報本計畫執行摘要、進度及工作成果。
- (7) 期中、期末審查外，每季提進度報告供環保署審查。
- (8) 另外配合環保署業務需求，提供必要之專業技術服務。



## 第四章 結果與討論

根據本計畫工作內容之項次(一)針對環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估可能的國內研發能量缺口及執行能量缺口進行國內專家討論及評估，與項次(二)進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作，本團隊已於 99 年 11 月 10 日在環保署舉行了國內專家座談會，並列出各主題的國內研究現況，作成了具體的結論及建議。委員的審查意見及回覆情形如本報告附錄三所示。

### 4.1 環境中奈米物質量測及特性分析技術及未來暴露評估與風險評估的知識缺口

由於本節為文獻回顧，因此相當多的圖表為直接擷取自文獻，在此特作說明。

#### 4.1.1 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

##### 一、經濟合作與發展組織法規的進展

經濟合作與發展組織 (Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)的工程奈米物質工作小組 (Working Party on Manufactured Nanomaterials, WPMN)，執行了一項自願方案和法規程序的合作計畫，以階段方式來達成和法規制度 (regulatory regimes) 有關的兩項目標 (OECD, 2010)：(1) 確認適用的法規制度，以及這些法規制度如何詮釋對工程奈米物質的資訊需求、危害標識、暴露減量、風險評估以及風險管理標準；(2) 蒐集各國法規所提的奈米物質的資訊，以了解相關的法規活動與變化趨勢。

OECD 目前已完成 9 個國家 (jurisdictions) 的 24 種法規制度的調查分析。這 9 個國家分別為澳大利亞、加拿大、歐洲聯盟、日本、紐西蘭、瑞典、瑞士、英國和美國。24 種法規涵蓋與工業化學品、殺蟲劑、肥料、農業化合物、燃料與燃料添加劑、食品與食品添加劑以及獸醫用藥有關的各式化學物質和/或產品法規、職業健康和安全法、消費者產品法、控制重大危險事故法以及包裝與標示法。法規調查分析的項目為 (1) 法規的目的和與法規有關的活動(表 4.1.1.1 ~ 表 4.1.1.2)；(2) 奈米物質產品在上市前的註冊、通知、評估和管理(表 4.1.1.3 ~ 表 4.1.1.7)；(3) 市售奈米物質產品的註冊/通知、評估和管理(表 4.1.1.8 ~ 表 4.1.1.13)。這 24 種法規中，絕大多數的法規立法目的為消費者保護、環境保護以及/或是勞工保護。11 種法規的立法目的為市場管理，2 種法規為創新/競爭力的提升，6 種法規涵蓋資料收集和發展、保護大眾免於重大意外、工作活動時保護勞工安全、研究各種不同

測試方法以及保護人體/大眾健康。和法規有關的活動包含使用、製造、進口、商品化/市場化以及處置/廢棄。

關於法規規範的活動，以美國、歐盟、日本及瑞士為例，目前共有 14 個法規規定奈米物質上市前的通知及評估，其中有 6 個法規規定當奈米物質的量達 10-1000 kg/year 時會啟動法規(或稱 triggering quantity)，其餘的沒有啟動量的規定，各國間的規定差異很大。有 10 種法規有階段管制的規定，而其餘的沒有此規定。

針對物質上市前進行註冊/通知時必須附的一般數據資料，以美國及歐盟為例，所有的 14 個法規均要求申請者在上市前提供奈米物質的化學鑑別資訊及物理化學特性，除了一個法規外，全部的法規均要求申請者提供健康效應的資訊，12 個法規要求物質特性測試，使用方式及使用量的數據，有 11 個法規要求環境效應的資訊，8 個法規要求傳輸及宿命的資訊，7 個法規要求暴露資訊。另外，共有 12 個法規要求上市前的強制評估，11 個法規要求大眾健康及安全的評估，10 個要求環境衝擊評估，8 個要求職業安全衛生的評估。

本調查報告發現，上述 9 個國家的法規並沒有任何一條法規是特別為奈米物質擬定的，絕大多數國家指出這些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。OECD 在日後調查工作的重點為確認各國的奈米物質種類和數量，以助於了解奈米技術的商業活動趨勢和法規的變化。

## 二、美國法規的進展

美國「國家奈米科技計畫」(National Nanotechnology Initiative, NNI) 下設「國家奈米科技顧問小組」(National Nanotechnology Advisory Panel, NNAP)，由「美國總統科技顧問委員會」(President's Council of Advisors on Science and Technology, PCAST) 組成(NSTC, 2007)。PCAST 建議目前美國的聯邦計畫和政策需進行修改，以維持美國國家在未來十年內在全球奈米科技研發的領先地位(PCAST, 2010)。這些建議項目包含 (1) 為了留住美國培育的人才，對於在美國獲得奈米科學和工程學位的外國人員，將加速其取得美國公民身分的審查過程；(2) 發展一套評估奈米科技產生的經濟效益的量化度量法，例如：奈米科技增加的工作機會等；(3) 除了維持基礎研究之外，將著重奈米製造的研究 (nanomanufacturing research) 以及商品化 (commercialization)；(4) 致力於環境、健康和 safety (Environment, Health and Safety, EHS) 的研究，奈米科技標準制度 (standards for nanotechnology) 的建立；以及(5) 發展一套跨越各機構的策略性計畫，此計畫需結合環境健康安全研究成果、知識缺口以及政府和工業界的決策需要。EPA 曾執行過奈米物質的自願性管理計畫 (Agency's voluntary Nanoscale Materials Stewardship Program, NMSP)，卻僅獲得極少數工業界的回應，因此 PCAST 強烈鼓勵 NNI 利用國家和地方法規、機



構單位的強制執行方式以及大眾力量，來獲得工程奈米物質的環境、建康和安全資料。

### 美國環境保護署(US EPA)對奈米物質採取嚴格的管制措施

在 2010 年 3 月 29-31 日於美國馬里蘭州舉行的全球化學品管理法會議中 (Global Chemical Regulations Conference)，US EPA 說明它將透過毒性物質管理法 (TSCA, toxic substance control act) 對工程奈米物質 (Manufactured nanomaterials) 採取更為嚴格的管制措施，並預告和奈米物質有關的學術界、製造業和使用者應做好準備迎接一個嚴格管制的環境 (<http://www.globalchem.org>)。US EPA 針對奈米物質採取的管制措施有以下 4 項 (<http://www.epa.gov/oppt/nano/#existingmaterials>)：

(1) 針對「已存在」的奈米物質，US EPA 預計在 2010 年 12 月將根據 TSCA section 5(a)(2) 實施 SNUR- 要求製造、進口或處置此種奈米物質者，在活動開始前至少 90 天，必須向 US EPA 提出「顯著新使用通知」 (Significant New Use Notice, SNUN)。SNUR 要求業者提供 US EPA 有關奈米物質的化學鑑別、物質特性、物理化學性質、商業用途、製造量、暴露和宿命資料以及毒性資料，如表 4.1.1.14 所示。這些資料將協助 US EPA 評估奈米物質的用途，並針對可能在人體健康或環境方面產生不可預期危害的奈米物質採取禁止或是限制活動的措施。

(2) 針對「新」的奈米物質，US EPA 透過 TSCA 要求業者在製造此種化學品或是將此種化學品引進市場之前，需提出「產前通知」 (Pre-manufacture Notice, PMNs) 申請，以提供相關資訊，申請書表格與表 4.1.1.14 的 SNUR 相同。依據這些資訊，對於人體健康或環境會造成不可預期危害的化學品，US EPA 會採取進一步的措施，如限制化學品的使用、要求使用個人防護裝備、限制化學品對環境的釋放以及要求進行測試以提供和健康與環境影響有關的資料，以進一步確保化學品的危害能被有效控制。若奈米物質的暴露濃度可以被有效控制而不會產生不合理的危害時，US EPA 可同意豁免「產前通知」的申請，但此項命令或規則適用於生產量低的新奈米物質製造或是研究發展過程。

(3) 為了能更了解市面上「已存在」的奈米物質，US EPA 正依據 TSCA section 8(a) 擬定一項計畫來要求製造者提交額外資訊，包含生產量、製造方法、處理方法、暴露和排放資料以及可獲得的健康安全資料。此項計畫預計在 2010 年 12 月實施。

(4) US EPA 將根據 TSCA section 4 的要求對部份市面上「已存在」的奈米物質進行各種測試，特別是尚未被其它機構和國際組織測試過的奈米物質。

奈米碳管已於 2008 年被 US EPA 規範成新化學物質 (Federal Register, 2008a)，任何人在製造或進口 TCCA 的化學物質清單中不存在的奈米碳管時，必須在 90 天

前向 US EPA 提出 PMNS 的申請；製造商也可提出事實文件(bona fide, TSCA section 5)來確定欲製造或進口的奈米碳管已列在毒性物質管理法的化學物質清單中，而非新化學物質。目前有兩種奈米碳管（含單壁奈米碳管：PMN 號碼 P-08-328 以及多壁奈米碳管：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）需做「顯著新使用通知」（Significant New Use Notice, SNUN）之申請(Federal Register, 2008b; 2009a; 2009b; 2009c; 2010a; 2010b)。

對於上述兩種被作為電子設備和高分子合成物的特性改質劑的奈米碳管（PMN 號碼 P-08-328 和 P-08-177），US EPA 依據可呼吸性、難溶微粒以及其它奈米碳管的測試資料認為這兩種物質對肺部可能造成危害。為了防止危害，US EPA 利用 SNUR 要求工作者需使用 NIOSH 批准的有 N-100 濾罐 (cartridge) 的全面罩式呼吸防護具。此外，依據物質的物理性質，US EPA 認為此物質透過皮膚暴露的途徑可能對人體造成健康危害，為了防止危害，US EPA 利用 SNUR 要求工作者需穿戴不能滲透的手套和防護衣。這項 SNUR 指令亦禁止這類物質以預期或有意的的方式排放進美國的水域 (Federal Register, 2009b)。亦卻 US EPA 認為此兩種奈米碳管物質涉及有別於以往的製造活動，業者應於製造、進口或加工前 90 天向 US EPA 提出「顯著新使用通知」。此外，US EPA 亦提供申請者 2 種毒性測試進行的指南 (OPPTS Harmonized Test Guideline 870.3465 或 OECD 413 test guideline)，要求業者提出毒性測試數據 US EPA 認為為大鼠進行為期 90 天的呼吸毒性研究以及後續為期 3 個月的暴露後觀察，包含支氣管肺泡沖洗液分析 (Bronchoalveolar lavage fluid analysis) 以及部分物質特性的數據，能幫助了解此物質對健康的影響。而透過這項指令，申請者同意在未完成這些毒性測試之前，物質的生產量和產期需被限制。而除了這兩種奈米碳管之外，US EPA 目前正計畫對第三種奈米碳管（多壁奈米碳管 PMN 號碼 P-08-199）發布「顯著新使用規則」(Federal Register, 2009c)。

對於被作為添加劑的矽氧烷改質的奈米二氧化矽微粒和奈米氧化鋁微粒，US EPA 依據其物理性質評定工作者在吸入或皮膚接觸此類物質後，對肺部會造成潛藏危害，因此 US EPA 對其發布 SNUR，因此兩種奈米物質涉及有別於以往的製造活動，US EPA 會評估業者是否符合相關條件要求(如配戴不能滲透的手套與 APF (Assigned Protection Factor) 至少為 10 的 NIOSH 批准口罩)，否則得予以禁止或限制之(Federal Register, 2008b)。而 US EPA 亦提供毒性測試指南 (OPPTS 870.3465 test guideline)，建議業者透過為期 90 天的呼吸毒性測試結果幫助了解此物質對人體健康的影響。

除了 TSCA 之外，US EPA 的殺蟲劑計畫協調委員會 (Pesticide Program Dialogue Committee, PPDC) 在 2010 年 4 月份透過 PPDC 會議，向與會者預告殺蟲劑專案辦公室 (Office of Pesticide Program, OPP) 已擬訂一項新政策，將在聯邦公報中重新詮釋 OPP 對於聯邦除蟲劑、殺菌劑、滅鼠劑法案 (Federal Insecticide,

Fungicide, and Rodenticide Act, FIFRA) 管理條例，以正式回應環保署在 2008 年 5 月接獲的一份公民請願書--技術評鑑國際中心 (International Center for Technology Assessment, ICTA) 要求 US EPA 對美國境內未註冊的近 600 種奈米銀產品採取必要管理行動 (<http://www.epa.gov/pesticides/ppdc/2010/april2010/april2010.html>; <http://www.epa.gov/pesticides/ppdc/2010/april2010/session1-nanotec.pdf>)。OPP 將定義 FIFRA 的奈米尺度物質 (Nanoscale material) 係指一種含有顆粒的物質，其中至少有一維長度介於 1-100 nm 之間。透過 FIFRA 的授權，US EPA 將要求殺蟲劑製造者提供含有奈米尺度物質產品的奈米尺度物質資訊 (GAO report, 2010)。

### 美國食品和藥物管理局將對含奈米物質的產品採取管制措施

#### 化粧品

在過去 70 幾年，美國聯邦法令並未針對人體每天擦用、與癌症、出生缺陷、學習障礙和其他疾病有關的化學製品制訂上市前的管制措施。在 2010 年 7 月，美國國會議員提交一份化粧品安全條例草案 (H.R.5786,也稱為 SCA--Safe Cosmetics Act of 2010)，此條例將改變目前的聯邦食品、藥品和化妝品法案 (FFDCA, Federal Food, Drug and Cosmetic Act)，象徵美國國會已為聯邦法令的缺口，做好了修補的準備。根據化粧品安全條例草案內容，除了維持授權給食品和藥物管理局 (FDA, Food and Drug Administration)對攙假及標示不符的產品採取管理行動之外，此草案也利用增加化妝品章節的方式修改了 FFDCA，其中包含授權 US FDA 對含有奈米尺度物質的化妝品要求做標示，二年內列出禁用集線用的成份。而此草案也將包含毒性化學物質安全法草案 (H.R. 5820, Toxic Chemicals Safety Act of 2010)的規定，授權 US EPA 要求業者提出物質特性 (substance characteristics) 的相關報告。

#### 藥物

隸屬 US FDA 的藥物評鑑暨研究中心 (CDER, Center for Drug Evaluation and Research) 的主要任務為管制非處方和處方藥物 (over-the-counter and prescription drugs)，以確保在美國可獲得的藥物 (drugs) 係以安全且有效地方式在促進人體健康 (<http://www.fda.gov>)。在 US FDA 使用的定義裡，藥物 (drugs) 也不限於所謂的內服藥 (medicines)，例如含氟牙膏、止汗劑、頭皮屑洗髮水以及防曬霜等均被視為藥物。CDER 下設藥物科學辦公室 (OPS, Office of Pharmaceutical Science) 負責審核化學、製造和管制 (CMC, Chemistry, Manufacturing and Controls) 的相關規範活動，包含產品評估、製程設計評估、品質鑑定以及標準方法的建立和維護。2010 年 6 月 US FDA 提供一份方針和程序手冊 (Manual of Policies and Procedures) (MAPP 5015.9, 2010) 給 OPS 的 CMC 審核者，說明在 CDER 的藥物申請文件中，將開始收集彙整奈米物質藥物的資料，以供日後相關政策發展的參考。CMC 審核者須收集的藥物相關資訊包含：

- (1) 此申請件是否含有奈米物質。
- (2) 產品中存在何種奈米物質。
- (3) 奈米物質是否為已獲批准產品的重新配方。
- (4) 奈米物質為藥品(drug substance)的一部份 (例如: 有效藥劑成分)或是成品(drug product)(例如: 載體、賦形劑或包裝)。
- (5) 文件中是否提及微粒粒徑、粒徑為何(如平均粒徑、粒徑分布、團聚狀態、凝聚狀態)。
- (6) 微粒粒徑的量測技術的描述是否詳盡。
- (7) 奈米物質在水環境中可溶或不可溶。
- (8) 奈米物質的其它性質(如表面特性、表面電荷)是否被量測以及測量方法為何。

### 醫療設備

US FDA 開始關注在醫療設備中的奈米物質的安全使用相關議題，並在 2010 年 9 月份於華盛頓舉行一場專題研討會，名稱為「醫療設備和奈米科技：製造、特性量測和生物相容性專題研討會 (Medical Device and Nanotechnology: Manufacturing, Characterization, and Biocompatibility Considerations)」，目的為取得含有或利用奈米物質和奈米結構的醫療設備在製造、特性量測和生物相容性的評估資訊 (Federal Register, 2010d)。

### 美國國家職業安全衛生研究所對工作場所工程奈米物質的控制建議

美國國家職業安全衛生研究所(NIOSH, National Institute of Occupational Safety and Health)建議，管理機構可以用 5 層級的循序控制方式來降低工作場所奈米物質對工作者造成的暴露和可能的危害(NIOSH, 2009a)：(1) 變更原始設計以消除危害；(2) 以低危害物質取代高危害物質；(3) 以工程方式隔離危害物質，例如：使用局部通風系統；(4) 有效的行政管理實務，以及 (5) 使用個人防護設備，例如：呼吸防護具、實驗衣以及手套等，而呼吸防護具的選擇須謹慎參考由 NIOSH 負責更新的美國呼吸防護法規 (42 CFR Part 84)。呼吸防護具的使用，係在透過工程或行政管理的控制方式後，仍無法將工作者的暴露值控制在氣懸微粒的管限制值之下時為之，管限制值為職業暴露限值 (Occupational Exposure Limit, OEL) 或是其它已經建立的暴露限值。目前在美國尚未有氣懸工程奈米物質的暴露限值，因此使用呼吸防護具時，可參考具有相同化學組成的較大顆粒的暴露限值和相關指引，如 OSHA PELs, NIOSH RELs 或是 ACGIH TLVs (NIOSH, 2009a)。

NIOSH 預計將對奈米二氧化鈦微粒、兩種單壁奈米碳管 (純化或未純化的單

壁奈米碳管) 以及兩種多壁奈米碳管 (純化或未純化的多壁奈米碳管) 提出建議暴露限值 (Recommended Exposure Limits, RELs) (NIOSH, 2007; 2009b)。NIOSH 曾考慮對細二氧化鈦微粒和超細二氧化鈦微粒提出的建議時量平均濃度值分別為  $1.5 \text{ mg/m}^3$  以及  $0.1 \text{ mg/m}^3$  (在考量勞工每日工作 10 小時以及一週工作 40 小時的情形下) (NIOSH, 2005; 2007)，目前 NIOSH 仍在審核此 REL，並預計在 2010 年完成公告 (NIOSH, 2009b)。此外，根據 NIOSH 的健康效應研究部門 (Health Effects Laboratory Division, HELD) 的研究報告 (NIOSH, 2009b)，NIOSH 可能對兩種單壁奈米碳管 (純化或未純化的單壁奈米碳管) 以及兩種多壁奈米碳管 (純化或未純化的多壁奈米碳管)。這四種物質提出建議的 RELs，可能的值為  $10 \text{ }\mu\text{g/m}^3$  (8-hour TWA)。

### 三、歐盟對奈米物質的管制規範

在歐盟執行委員會的統籌之下，一項用來保護人類健康和環境的歐盟化學品管理條例 REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) 於 2007 年開始生效。由歐洲化學品管理署 (ECHA, European Chemicals Agency) 接受化學品的登記申請 (<http://ec.europa.eu/environment/chemicals>)。REACH 管理條例涉及的化學物質約有 3 萬種。這 3 萬種化學物質將在未來 11 年內 (即 2018 年 6 月 1 日以前)，進行化學物質註冊、評估、授權和限制之程序。

REACH 提供的法令適用於製造、上市和使用的物質，包含物質本身、製品以及成品中的物質。REACH 的規定以「預防原則 (precautionary principle)」為基礎，規範製造者、進口者以及下游使用者能確保其製造、上市或使用的物質不會嚴重影響人體健康和環境。目前的條款雖明確地指出奈米物質一詞，但是歐盟說為奈米物質已被涵蓋在 REACH 所定義的「物質 (substance)」中 (European Commission, 2008a; 2008b; 2008c)，亦即目前絕大多數的奈米物質風險已經被歐盟法令規範。為了能更完善防範奈米物質風險，歐盟執行委員會承諾將在 2 年內完成相關條例的審查，並於 2011 年提供消費者相關清單以說明上市的奈米物質的種類、用途與安全資訊 (Dimas, 2009; Schlyter, 2009)。為了讓法令能被適當的制定、修正和履行，歐盟執行委員強調奈米物質的基礎科學知識亦需要同時加強，當訊息充足時，現行法令將可能被修改 (European Commission, 2008a)。

REACH 規範製造者和進口者對於每年製造量或使用量高於 1 噸的奈米物質將需要向 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 噸的奈米物質將需要呈遞一份化學安全報告 (chemical safety report) (European Commission, 2008a; 2008b; 2008c)。ECHA 在對物質進行評估時，可以向申請人要求物質的任何資訊。而一個已經以 bulk substance 形式存在於市場的已存在化學物質 (an existing chemical substance) 被以奈米物質形式 (nanomaterial form,

nanoform)上市時，申請人必須更新註冊檔案，並敘述奈米形式的物質具有的特殊性質、奈米物質的分級和標示以及奈米物質的風險管理措施，並讓供應鏈(supply chain)中的人員獲得相關的風險管理措施以及操作條件資訊。為了了解奈米物質的特殊性質、危害和風險，申請人可能被要求對申請物質進行額外測試以及提供相關訊息。現有的測試指南(test guidelines)可能需被修改，以確定和奈米物質有關的危害，在測試指南尚未被修正之前，申請人必須依據現行的測試指南對奈米物質進行測試。對於危害性高的物質(substances of very high concern)必需先獲得許可使用以及上市的授權，對於在製造、使用或上市時會造成風險的奈米物質，則必須有管制程序以降低風險，此授權和管制之要求不受產量或上市量之限制。這些危害性高的物質包含致癌、致突變性及生殖毒物(CMR)，持久性、生物累積且具毒性物質(PBT)，持久性及生物累積性強(vPvB)，或具有相同危害性之物質。

歐盟執行委員會將會持續監督奈米物質在 REACH 的執行情形，並根據更新的科學資訊（例如奈米物質的毒性或是物理化學性質）評估現行條款是否需要修訂，例如：需要呈遞註冊檔案的物質之每年製造量或使用量的最低門檻值(thrEHSolds)、在註冊檔案中需要提供的訊息以及測試的方法。此外，勞工保護、化妝品以及環境保護管理條例也都將參考 REACH 管理條例規範下蒐集到的奈米物質資料而作修正 (European Commission, 2008a)。

### 新化粧品法規

歐盟議會與理事會在 2009 年 3 月同意將以簡單法規程序加強歐盟各國對化妝品的管理，並於同年 12 月頒布了新的化粧品法規[24]，規定 2013 年 7 月 11 日開始在歐洲經濟區(EEA, European Economic Area)市場中銷售的化粧品必須符合新法規的要求，其中部分的要求將比上述日期早開始執行。而這項新法規亦適用於化粧品中的奈米物質，如新法規要求含有奈米物質的化粧品在產品上市前的 6 個月需向委員會通報使用的奈米物質；另外，在 2013 年 1 月 11 日前上市的含有奈米物質的化粧品應在 2013 年 7 月 11 日前以電子方式向委員會通報 (notification)。每種奈米物質的通報內容包括：

- (1) 鑑別方法和名稱 (IUPAC、CAS 號碼、EINECS 或 ELINCS 號碼，非專利商品名)
- (2) 規格，包括顆粒尺寸、物理和化學特性
- (3) 估計每年上市的化粧品內所含奈米物質的數量
- (4) 毒性資料
- (5) 在相關類型化粧品中使用的奈米物質安全數據
- (6) 合理可預期的暴露情況

對於含有奈米物質的化妝品管理，新法規提供了安全評估程序，如在物質對人體健康存有危害時予以禁止使用。若委員會對某種奈米物質的安全性存在疑慮時，將會諮詢歐盟的消費者安全科學委員會(SCCS, Scientific Committee on Consumer Safety)。在產品的包裝上，則要求於成分中註明其中的何種成分屬於「奈米」。在新的化妝品法規中對奈米物質的定義係指不能溶解、具有生物持續性、人為生產，有一維或多維外部尺寸或是一個內部構造的大小介於 1-100 nm 的物質。

### 歐洲議會議員陸續對相關法令提出修改提案

#### 歐盟危害物質限用指令

2010 年 6 月歐洲議會議員(Members of the European Parliament)在修訂歐盟危害物質限用指令(Restriction of Hazardous Substances Directive) 時，曾提出在電器及電子產品禁止使用奈米銀和多壁奈米碳管的提案，同時要求含有任何奈米物質的電器及電子產品必需作標示。此提案預計在 2010 年 10 月進行投票表決 (EP Press Service, 2010)。

#### 新興食品法

2010 年 7 月歐洲議會議員(MEP)為新興食品法(Novel Food Regulation) 進行投票表決時，已同意利用新興食品法規含有奈米成份(nano-sized ingredients) 以及經由奈米技術製程製造的食品(food from nanotech processes)，並提議暫停生產含有奈米成份以及經由奈米技術製程製造的食品為止，直到風險評估顯示其能被安全食用，而通過安全驗證的奈米成份則需在食品標籤上註明 (EP Focus, 2010)。

### 歐盟將對含有奈米物質的產品採取措施以確保奈米物質和奈米科技的安全

歐盟理事會主席國 (Belgian Presidency of the Council of the European Union)在 2010 年 9 月舉行的一場有關發展奈米物質管理和資訊工具的會議中，預告了在 2011 年歐盟執行委員會將回應歐洲議會在 2009 年為管理奈米物質而提出的政策決策 (<http://www.eutrio.be>)。透過這項政策決策，歐盟執行委員會將實施多項措施，以確保奈米物質和奈米科技的安全性。另一方面，為了滿足消費者的需求以及確保消費者的安全，歐盟理事會主席國列出了 5 個主要實施方向包含：

- (1) 要求奈米產品強制標示，以使消費者了解其購買產品含有奈米物質。
- (2) 確保生產鏈的可追溯性，以能追溯奈米物質的源頭。即強制奈米物質的登記。
- (3) 確立歐盟的適當的風險管理與評估法規。
- (4) 鼓勵各國儘速自行負責建立自己的評估、管理與資訊監控作法，以因應奈

米快速發展時期的變化。

(5) 奈米產品標示項目的法制化。

#### 四、台灣的奈米科技現行法律規範

國內的學者專家曾對我國的奈米科技法律進行探討，如奈米科技缺口(李和陳，2005；陳，2005)，我國奈米科技潛在風險之法律規範(Lee and Tang, 2006)，我國奈米標示制度以及化妝品標示義務之問題(姜，2009；楊，2010)。我國目前有以下16則和奈米科技有關的現行法制法規和其內容，其名稱和其最新修正時間為：(資策會科技法律中心，<http://stlc.iii.org.tw>)

- (1) 食品衛生管理法施行細則 (2002年6月2日)
- (2) 食品衛生管理法 (2008年6月11日)
- (3) 藥事法 (2006年5月30日)
- (4) 消費者保護法施行細則 (2003年7月8日)
- (5) 消費者保護法 (2005年2月5日)
- (6) 毒性化學物質管理法施行細則 (2000年10月25日)
- (7) 毒性化學物質管理法 (2007年1月3日)
- (8) 新興重要策略性產業屬於製造業及技術服務業部份獎勵辦法第五條第一項附表 (2006年1月1日)
- (9) 新興重要策略性產業屬於製造業及技術服務業部份獎勵辦法 (2008年6月11日)
- (10) 商品檢驗法 (2006年1月1日)
- (11) 商品標示法 (2001年10月24日)
- (12) 化粧品含有醫療或毒劇藥品基準 (1985年7月23日)
- (13) 化粧品衛生管理條例 (2002年6月12日)
- (14) 勞工安全衛生法施行細則 (2009年2月26日)
- (15) 勞工安全衛生法 (2002年6月12日)
- (16) 健康食品管理法 (2006年5月17日)

這16則被列為與奈米科技相關的法規，立法目的包含市場管制、創新、環境保護、勞工保護以及消費者保護，法規規範的活動包含製造、進口、商品化和行銷以及使用，亦即可以涵蓋上市前和已上市的化學物質，但是目前這些法規均無奈米物質的特定條款，也尚未規範奈米物質和處置/廢棄活動。另外經濟部工業局



委託工業技術研究院推動奈米產品驗證體系—奈米標章，以建立一套識別標誌，方便消費者辨別此產品的奈米特性及功能，但此驗證體系並非強制的檢驗或驗證制度，只有對於積極申請者有規範效應，比較接近「產品品質保證制度」，而非「技術風險控管制度」（Lee and Tang, 2006）。

## 五、小結

世界主要先進國家的奈米技術 EHS 法規已有相當的進展，我國有許多奈米物質均由國外進口，然尚未有相關的管制法規，建議我國可以開始建立類似的法規制度。我國非 OECD 會員國，若欲達成 OECD 在法規制度訂定的第一階段目標 (OECD, 2010)，可參考下列 OECD 會員國的奈米技術法規特徵如下：

- (1) 有能力在危害等級不同時可區別不同形式奈米物質與較大粒徑物質之不同。
- (2) 對不同用途的奈米物質需有一貫的法規，如分類與標示、工業用途、殺蟲劑、農用產品或消費產品等。
- (3) 需能評估對大眾、勞工、消費者和環境的風險。
- (4) 在進口、製造、使用或是廢棄/處置活動進行前啟動評估工作。
- (5) 建立新奈米物質以及已上市奈米物質的註冊或通知、評估和管理的方式，以及資訊定期更新的方式。
- (6) 訂定或不訂定最低啟動數量(triggering quantity)下的奈米物質註冊或通知及評估工作，以涵蓋奈米物質使用量少的場合。
- (7) 針對不同的使用量、物質形式及/或物質危害程度，進行階段式的管制。
- (8) 使用特殊條款規定業者提供奈米資訊，包含物理化學性質、物質特性、健康影響、環境影響、環境宿命和行為、使用方式和暴露資訊。暴露資訊的對象包含對勞工、直接消費者、環境以及環境中消費者。
- (9) 有能力在進行評估或是風險管理評估時，要求業者提供額外資訊或是測試報告。
- (10) 有權採取控制行動，如拒絕註冊、有條件的使用、禁用、要求額外測試及報告、標籤要求與物質安全資料、性能合約、包裝要求、控制實務及指引、以及工作場所的暴露控制等。
- (11) 有權要求公司有提供相關資訊給下游供應商的義務。
- (12) 對製造及處理奈米物質的場所，提供有關預防奈米物質暴露和逸散的指引。

- (13) 制定保護商業機密的條款及審查程序，確保民眾、勞工以及供應鏈的公司能取得非保密的資訊。

表 4.1.1.1 立法目的。

國家	法規名稱	有奈米物質的特定條款	法規目的					
			市場管制	創新	環境保護	勞工保護	消費者保護	其它
美國	毒性物質管理法 (Toxic Substances Control Act)	無	◆		◆	◆	◆	◆
	職業安全衛生法 (Occupational Safety and Health Act)	無				◆		
	消費品安全法 (Consume Product Act)	無					◆	
	清潔空氣法 (Clean Air Act)	無			◆			
	全面性環境對策、賠償及責任法案 以及 資源保育及回收法 (Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act 以及 Resource Conservation and Recovery Act)	無			◆			
	聯邦食品、藥物暨化妝品法 (Federal Food, Drug, and Cosmetic Act)	無	◆				◆	
	聯邦殺蟲劑、殺菌劑、滅鼠劑法 (Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act)	無	◆		◆	◆	◆	◆
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規 (Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures)	無	◆		◆	◆	◆	
	化學品註冊、評估、許可和限制法規 (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals)	無	◆	◆	◆	◆	◆	◆
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989 (Industrial Chemicals Notification and assessment Act, 1989)	無			◆	◆	◆	

國家	法規名稱	有奈米物質的特定條款	法規目的					
			市場管制	創新	環境保護	勞工保護	消費者保護	其它
加拿大	加拿大環境保護法 1999 (Canadian Environmental Protection Act, 1999)	無			◆		◆	
	肥料法 (Fertilizers Act)	無	◆		◆	◆	◆	
	害蟲防治產品法 (Pest Control Products Act)	無		◆	◆	◆	◆	
日本	化學物質評鑑和製作管理法 (Act on the Evaluation of Chemical Substances and Regulation of their Manufacture)	無	◆		◆		◆	
	勞動安全衛生法 (Industrial Safety and Health Law)	無				◆		
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977 (Agricultural Compounds and Veterinary Medicines Act, 1977)	無	◆				◆	
	危害物質與新生物法 (Hazardous Substances and New Organisms Act, 1996)	無			◆	◆	◆	
瑞典	化工產品和生物生化條例 (Environment Code; The chemical Products and Biochemical Organisms Ordinance)	無			◆		◆	◆
瑞士	減少化學品風險條例 (Chemicals Ordinance/Ordinance and Risk Reduction related to Chemical Products)	無	◆		◆	◆	◆	
英國	危害物質健康管制法 (Control of Substances Hazardous to Health Regulations)	無				◆		

國家	法規名稱	有奈米物質的特定條款	法規目的					
			市場管制	創新	環境保護	勞工保護	消費者保護	其它
英國	化學物之危害通識及包裝供應規則 2002 (Chemicals Hazard Information and Packaging for Supply Regulations, 2002)	無	◆		◆	◆	◆	
	殺菌劑分類 98/8/EC (The Biocidal Products Directive 98/8/EC)	無	◆		◆	◆	◆	
	管理工作場所衛生和安全條例 1999 (Management of Health and Safety at Work Regulations, 1999)	無				◆		◆
	重大事故危害控法規 (Control of Major Accident Hazards Regulations, 2005)	無			◆	◆		◆

表 4.1.1.2 法規規範的活動。

國家	法規名稱	法規規範的活動				
		製造	進口	商品化和行銷	使用	處置/廢棄物
美國	毒性物質管理法	◆	◆	◆	◆	◆
	職業安全衛生法	◆	◆	◆	◆	◆
	消費品安全法				◆	
	清潔空氣法	◆	◆	◆	◆	
	全面性環境對策、賠償及責任法案 以及資源保育及復育法					◆
	聯邦食品、藥物暨化妝品法	◆	◆	◆	◆	
	聯邦殺蟲劑、殺菌劑、滅鼠劑法	◆	◆	◆	◆	◆

國家	法規名稱	法規規範的活動				
		製造	進口	商品化和行銷	使用	處置/廢棄物
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	◆	◆	◆	◆	◆
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	◆	◆	◆	◆	◆
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	◆	◆		◆	◆
加拿大	加拿大環境保護法 1999	◆	◆			
	肥料法		◆	◆		
	害蟲防治產品法	◆	◆	◆	◆	◆
日本	化學物質評鑑和製作管理法	◆	◆		◆	
	勞動安全衛生法	◆	◆		◆	
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977	◆	◆		◆	
	危害物質與新生物法	◆	◆		◆	◆
瑞典	化工產品和生物生化條例	◆	◆	◆	◆	◆
瑞士	減少化學品風險條例	◆	◆	◆	◆	
英國	危害物質健康管制法	◆			◆	◆
	化學物之危害通識及包裝供應規則 2002	◆	◆	◆	◆	
	殺菌劑分類 98/8/EC		◆	◆	◆	
	管理工作場所衛生和安全條例 1999	◆			◆	◆
	重大事故危害控法規	◆			◆	◆

表 4.1.1.3 物質上市前的註冊/通知、評估和管理。

國家	法規名稱	上市前通知	上市前評估	啟動法規生效的奈米物質數量	豁免	階段式的管制	評估期程	是否需要數據	是否可使用替代數據
美國	毒性物質管理法	是	是	無	是	無	90 天	是	是
	清潔空氣法	是	是	無	是	無	6 個月評估以及另外 6 個月要求額外測試	是	是
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	是	無	是	是	上市前完成	是	是
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是	>1 噸/年	是	是	在 2010、2013、2018 年	是	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	是	>100 公斤/年	是	是	90 天; 許可證為 14-28 天	是	是
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是	是	100-1000 公斤/年	是	是	5-75 天	是	是
	肥料法	是	是	無	是	無	195-245 天	是	是
	害蟲防治產品法	是	是	無	是	是	(尚未回覆)	是	是
日本	化學物質評估和其製造管理法	是	是	>100 公斤/年	是	是	在進口或製造之前須完成	是	無
	勞動安全衛生法	是	是	>100 公斤/年	是	是	在進口或製造之前須完成	是	無
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977	是	是	無	是	是	40 或 70 天	是	是
	危害物質與新生物法	是	是	無	是	(尚未回覆)	40 或 100 天	是	(尚未回覆)
瑞士	減少化學品風險條例	是	是	>10 公斤/年	是	是	無	是	是
英國	化學物之危害通識及包裝供應規則 2002	是	不適用	無	是	是	在上市之前	是	是

表 4.1.1.4 物質上市前進行註冊/通知時必須附的一般數據資料。

國家	法規名稱	化學鑑別	物質特性	用法和用量	暴露資訊			
					勞工	直銷消費者	環境	環境中的消費者
美國	毒性物質管理法	是	是	是	是	是	是	是
	清潔空氣法	是	是	是	無	無	無	無
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	無	無	無	無	無	無
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是	是	是	是	是	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	是	是	是	是	是	無
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是	是	是	無	是	是	是
	肥料法	是	是	是	是	是	是	是
	害蟲防治產品法	是	是	是	是	是	是	是
日本	化學物質評鑑和製作管理法	是	是	是	無	無	無	無
	勞動安全衛生法	是	是	是	是	無	無	無
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977	是	是	是	無	無	無	無
	危害物質與新生物法	是	是	是	無	無	無	無
瑞士	減少化學品風險條例	是	是	是	是	是	是	是
英國	化學物之危害通識及包裝供應規則 2002	是	無	無	無	無	無	無



表 4.1.1.5 物質上市前進行評估時的評估考量。

國家	法規名稱	評估係強制的	若非強制的，是否可逐案審理評估	包含職業健康和 safety	包含公共健康和 safety	包含環境衝擊
美國	毒性物質管理法	是	不適用	是	是	是
	清潔空氣法	是	不適用	無	是	是
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	不適用	無	無	無
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是	是	是	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	不適用	是	是	是
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是	不適用	無	是	是
	肥料法	是	是的，對於豁免的產品	是	是	是
	害蟲防治產品法	是	不適用	是	是	是
日本	化學物質評鑑和製作管理法	是	不適用	無	是	是
	勞動安全衛生法	是	不適用	是	無	無
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977	是	不適用	無	是	無
	危害物質與新生物法	無	是	是	是	是
瑞士	減少化學品風險條例	無	是	是	是	是
英國	化學物之危害通識及包裝供應規則 2002	是	不適用	無	無	無

表 4.1.1.6 物質上市前進行評估時的風險管理選擇。

國家	法規名稱	風險管理係強制的	若非強制的，是否 可逐案審理評估	適用的風險管理 工具	完成時間	要求建立新資訊
美國	毒性物質管理法	否	是	任何必要措施以防止或控制非合理危險。透過顯著新使用規則要求額外的報告	在 90 天的審核期間內	無。但可透過顯著新使用規則要求新資訊
	清潔空氣法	否	是	控制燃料或燃料添加劑	未回覆	是。除非為豁免的中小企業
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	是，當資料無法獲得時，要求進行物理性危害測試
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	不適用	分類和標示、物質安全資料表、限制	未回覆	是，在註冊時需要的任何資訊
澳大利亞	澳大利亞	否	是	危害分類、標示、包裝要求、使用限制、廢棄物的處置/排放限制	無特別說明	是，當已存在的資料不符合要求的資訊或是不符合評估後的要求時
加拿大	加拿大環境保護法 1999	否	是	條件、禁止、額外測試	30-75 天	是，當已存在資料或是替代資料不符合資訊的要求時
	肥料法	否	是		未回覆	是，當不是早已存在時
	害蟲防治產品法	是	不適用		未回覆	是，任何能支持法規的資訊
日本	化學物質評鑑和製作管理法	否	未回覆	未回覆	未回覆	無
	勞動安全衛生法	否	是	未回覆	未回覆	無
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977	是	不適用	未回覆	未回覆	是，如果評估風險時需要更多的資訊
	危害物質與新生物法	是	是	標示資訊、包裝、工作場所的暴露控制、使用限制	未回覆	無

國家	法規名稱	風險管理係強制的	若非強制的，是否 可逐案審理評估	適用的風險管理 工具	完成時間	要求建立新資訊
瑞士	減少化學品風險條例	是	不適用	在物質安全資料 表和產品包裝上 標示風險和安全的 警語	在上市時	是，取決於市場的規模以及 風險評估的結果
英國	化學物之危害通識及包裝供 應規則 2002	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	無

表 4.1.1.7 物質上市前進行評估後的相關資訊為對外開放資訊或是機密。

國家	法規名稱	係機密條款	審核機密商業資訊(CBI)案 件的標準和程序	開放註冊資訊		開放評估資訊		開放風險管理資訊	
				民眾	勞工	民眾	勞工	民眾	勞工
美國	毒性物質管理法	是	是	是，非機密商業 資訊(CBI)的 要求項目	是，非機密商 業資訊(CBI) 的要求項目	是，非機密商 業資訊(CBI) 的要求項目	是，非機密商 業資訊(CBI)的 要求項目	是，非機密商 業資訊(CBI)的 要求項目	是，非機密商 業資訊(CBI)的 要求項目
	清潔空氣法	是	是	是，非機密商業 資訊(CBI)的 要求項目	是，和民眾相 同	是，非機密商 業資訊(CBI) 的要求項目	是，和民眾相同	是，摘要和分析	是，和民眾相同
歐盟	物質及混合物分 類、標示與包裝 法規	是	是	是，在公共清單 上分類和標示	是	是，在公共清 單上分類和標 示	否	否	是，標籤標示和 物質安全資料 表
	化學品註冊、評 估、許可和限制 法規	是	是	是，非機密商業 資訊(CBI)的 項目	是	是，非機密商 業資訊(CBI) 的項目	是	是，非機密商 業資訊(CBI)的 項目	是
澳大利亞	工業化學品通報 和評估法 1989	是	是	是，非機密商業 資訊(CBI)的 項目	是	是，非機密商 業資訊(CBI) 的項目	是	是，物質安全資 料表、標籤、標 準	是，物質安全資 料表、標籤

國家	法規名稱	係機密條款	審核機密商業資訊(CBI)條件的標準和程序	開放註冊資訊		開放評估資訊		開放風險管理資訊	
				民眾	勞工	民眾	勞工	民眾	勞工
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是	是	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	是，已頒佈	是，已頒佈
	肥料法	是	是	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	能要求非機密商業資訊(CBI)以及產品標籤上的報告	能要求非機密商業資訊(CBI)以及產品標籤上的報告
	害蟲防治產品法	是	是	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目
日本	化學物質評鑑和製作管理法	是	無	是，只有名稱	是	否	未回覆	未回覆	未回覆
	勞動安全衛生法	否	無	是，只有名稱	是	否	是	否	是
紐西蘭	農業原料與獸醫醫藥法 1977	是	是	是，能要求非機密商業資訊(CBI)	是，能要求非機密商業資訊(CBI)	是，能要求非機密商業資訊(CBI)	是，能要求非機密商業資訊(CBI)	是，能要求非機密商業資訊(CBI)	是，能要求非機密商業資訊(CBI)
	危害物質與新生物法	是	是	是，申請人是被公開的	是，一經要求	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是，一經要求	是，已頒佈	是，一經要求
瑞士	減少化學品風險條例	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是	否	否	是，物質安全資料表報告	是
英國	化學物之危害通識及包裝供應規則 2002	是	是	否	否	否	否	是。物質安全資料表和產品標籤	是。物質安全資料表和產品標籤

表 4.1.1.8 已上市物質的註冊/通知。

國家	法規名稱	物質註冊條款	係強制註冊	要求註冊更新	要求提供相關資訊或進行測試	是否有市場上銷售的化學品清單	清單是否定期更新	透過清單能辨識奈米物質
美國	毒性物質管理法	無	不適用	不適用	是，在要求時	是	是，在需要時	否
	清潔空氣法	是	是	是，在通知程序改變、添加物被替代、組成改變以及新資料被建立時	是，當資料不充分時	是	是，在需要時	否
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	是，在 2010 年	是，在危險分類改變時	是，物理性危害的資訊仍無法取得時	是，危險性物質或是在 REACH 已註冊的無質	無，但若有更新需要時則需更新	是
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是，在每年進口或製造量大於 1 噸時	是，在身分、組成、產量、使用方法、資料、分類、安全使用方式、機密商業資訊改變時	是，若每年大於 1 噸	是	無，但若有更新需要時則需更新	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	無	是，新資料、有害影響、量的改變、使用方式、製造方法	是，當存有健康或環境上的利害關係時	是	是，每個月	否
加拿大	加拿大環境保護法 1999	無	不適用	不適用	是，一經要求	是	無，但目前已預備在將來會規律地做更新	否
	肥料法	是	是，每 2 年	是，每 2 年，或是在產品的法令經修正之後	是，能被要求	否	不適用	否

國家	法規名稱	物質註冊條款	係強制註冊	要求註冊更新	要求提供相關資訊或進行測試	是否有市場上銷售的化學品清單	清單是否定期更新	透過清單能辨識奈米物質
加拿大	害蟲防治產品法	是	是，適用在各種產品	是，每5年會再更新、每15年會再評估，或是在產品變更時	是，一經要求	是	是	不適用
國家	法規名稱	物質註冊條款	係強制註冊	要求註冊更新	要求提供相關資訊或進行測試	是否有市場上銷售的化學品清單	清單是否定期更新	透過清單能辨識奈米物質
日本	化學物質評鑑和製作管理法	無	無	是	無	是	是，在完成評估後的5年	否
紐西蘭	危害物質與新生物法	是	是	是，若為新的使用方法，或是在有新資訊顯示產品存在有害影響時	未回覆	是	是，報告裡無提及時間範圍	否
瑞典	化工產品和生物生化條例	是	是，若每年的進口量或是製造量大於100公斤	是，在使用量改變時，或是在危害分類裡界定的產品用量改變時	是，在危害分類被懷疑是否正確時	是	是，每年	否
瑞士	減少化學品風險條例	是	是，若被分類為危險的	是，若分類改變時	無	是	是，在需要時持續地更新	否
英國	危害物質健康管制法	無	無	無	無	無	不適用	否
	殺菌劑分類 98/8/EC	是	是，在上市前	是，有任何明顯改變時	是，已存在的和新的	無	不適用	不適用
	管理工作場所衛生和安全條例 1999	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用	不適用

表 4.1.1.9 已上市物質的評估。

國家	法規名稱	是否有評估的條款	基準數量	層級方法	評估時間	具評估責任	要求提供資料	允許使用代用資料
美國	毒性物質管理法	是，在新資料可獲得時	不適用	不適用	無	無	不適用	不適用
	清潔空氣法	是，在對健康的影響相關資料不充分時	無	無	6 個月評估，以及另外 6 月鑑識需要的資料	是	是	是
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	無	是	物質為在 2010 年以前，混合物為在 2015 年以前	無	是	是
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	每年高於 1 噸	是	非分階段化學物質為 6 個月	是	是	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是，在健康或環境上引起關注時能被優先處理	有	是，危害物、公共健康風險、環境風險、或是全面的風險評估	對於報告的草稿的預備時間無強制的規定時間，但是有規定完成評估的時間	是	是	是
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是，在人體暴露程度高、有持續或生物累積性的毒性，或是在部長頒佈優先進行評估時	不適用	是，一部份是以總量為考量依據	被歸類為首要優先進行評估的物質需在 2010 年以前完成評估，被歸類為次要優先進行評估的物質或是這 5 年內剛被放進優先物質列表的物質則須在 2020 年前完成評估	是	一部份是被要求，但同時鼓勵自願提交	是
	肥料法	是，對於再註冊的產品或是經重要改變的產品	無	無	服務標準為 65-245 天	是	是	是
	害蟲防治產品法	是，若符合害蟲防治產品法	無	是	服務標準為 24 個月，但會依各案件作調整。而過去並沒有奈米物質的註冊申請	是	是，在註冊時	是

國家	法規名稱	是否有評估的條款	基準數量	層級方法	評估時間	具評估責任	要求提供資料	允許使用代用資料
日本	化學物質評鑑和製作管理法	無，為自願性的	是，每年高於 1 噸時	已指定進口/製作的總量，因此不適用優先權	未回覆	無	無	無
紐西蘭	危害物質與新生物法	是	未回覆	未回覆	不同評估方式有不同評估時間	是	是	是
瑞典	化工產品和生物生化條例	未回覆	是，每年高於 100 公斤	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆
瑞士	減少化學品風險條例	是，若有潛藏風險或是在國際合作案中被關注的已存在物質	無	無	無	無	是	是
英國	危害物質健康管制法	是，經由雇主	未回覆	未回覆	在與危害物質有關的工作開始運作之前	不適用	不適用	不適用
	殺菌劑分類 98/8/EC	是	無	不適用	到 12 個月	是	是	未回覆
	管理工作場所衛生和安全條例 1999	是，未保護勞工和民眾而啟動的防治	未回覆	無	無	是	不適用	未回覆



表 4.1.1.10 在評估已上市物質時必須附的一般資料。

國家	法規名稱	化學身分	物質特性	用法和用量	暴露資訊				物理、化學特性	健康影響	環境影響	宿命和行為	其它
					勞工	直銷消費者	環境	環境中的消費者					
美國	清潔空氣法	是	是	是	無	無	無	無	是	是	無	無	未回覆
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	無	無	無	無	無	無	是	是	是	無	無
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	是	是	是	是	是	無	是	是	是	是	無回覆
加拿大	加拿大環境保護法 1999	無回覆	無回覆	是	無回覆	無回覆	無回覆	無回覆	無回覆	無回覆	無回覆	無回覆	是
	肥料法	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
	害蟲防治產品法	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	無回覆
紐西蘭	危害物質與新生物法	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	無回覆
瑞士	減少化學品風險條例	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	無回覆
英國	殺菌劑分類 98/8/EC	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是

表 4.1.1.11 對已上市物質進行評估時的評估考量。

國家	法規名稱	評估係強制的	包含職業健康和安全	包含公共健康和安全	包含環境衝擊
美國	毒性物質管理法	否	是	是	是
	清潔空氣法	是	否	是	是
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	否	是	是
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是	是	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	是	是	是
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是	否	是	是
	肥料法	是	是	是	是
	害蟲防治產品法	是	是	是	是
日本	化學物質評鑑和製作管理法	否	否	是	是
紐西蘭	危害物質與新生物法	是	是	是	是
瑞士	減少化學品風險條例	否	是	是	是
英國	危害物質健康管制法	是	是	是	無回覆
	殺菌劑分類 98/8/EC	是	是	是	是
	管理工作場所衛生和安全條例 1999	是	是	是	否

表 4.1.1.12 對已上市物質進行評估時的風險管理選擇。

國家	法規名稱	風險管理係強制的	適用的風險管理工具	完成時間	政府必須施行風險管理方法時的標準
美國	毒性物質管理法	否	若為非合理危害則採取措施阻止或控制危害。可要求提供資料	無。但在要求提供資料時，會提出完成的時間。	有，但無細節
	清潔空氣法	否	控制燃料或燃料添加劑	未回覆	有，若對公共健康或安全造成危害時
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	否	未回覆	未回覆	無
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	分類和標示、物質安全資料表、限制	依物質的產量和性質的不同而有所不同	有，但無細節
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	否	危害分類、標示、包裝、使用及供應限制、廢棄物處置控制或是排放控制	無	有，但無細節
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是，若為有毒的	條例、協議、實務守則、指南、公告、禁止	條例的發展和完成需 3.5 年	有，物質需符合 CEFA 第 64 節中對有毒物質的定義以及列在毒性物質列表中
	肥料法	是	標示聲明、禁止部分使用方法、拒絕登記	未回覆	有，需有安全問題
	害蟲防治產品法	是	標示要求、使用條件、拒絕註冊	未回覆	有，但無細節
日本	化學物質評鑑和製作管理法	否	未回覆 (自願評估、無管理條例)	未回覆 (自願評估、無管理條例)	未回覆 (自願評估、無管理條例)
紐西蘭	危害物質與新生物法	未回覆	標示聲明、包裝要求、工作場所暴露控制、使用限制	未回覆	有，詳見 HSNo Act
瑞士	減少化學品風險條例	是	物質安全資料表以及產品包裝上的風險和安全警語、部分物質/運用的限制	上市前	有，但無細節
英國	危害物質健康管制法	是	僱主需推出可行措施，包含訓練、監視，以保護受雇者的健康	在僱主使用前	不適用，評估是由僱主安排
	殺菌劑分類 98/8/EC	是	未回覆	未回覆	未回覆
	管理工作場所衛生和安全條例 1999	是	法規裡無特別闡述	未回覆	有，措施必須可被合理地實施和完成，除非所需費用和風險兩者明顯不成比例

表 4.1.1.13 對已上市物質進行評估後的相關資訊為對外開放資訊或是機密。

國家	法規名稱	係機密條款	審核機密商業資訊(CBI)案件的標準和程序	開放註冊資訊			開放評估資訊			開放風險管理資訊		
				民眾	勞工	供應鏈的公司	民眾	勞工	供應鏈的公司	民眾	勞工	供應鏈的公司
美國	毒性物質管理法	是	是	不適用	不適用	不適用	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是	是	是	是	是
	清潔空氣法	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是，和民眾相同	是，和民眾相同	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是，和民眾相同	是，和民眾相同	是，摘要和分析	是，和民眾相同	是，和民眾相同
歐盟	物質及混合物分類、標示與包裝法規	是	是	是，在公共清單上分類和標示	是	是	是，在公共清單上有危險物質分類	否	否	否	是，產品標籤標示	是，產品標籤標示
	化學品註冊、評估、許可和限制法規	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是，透過僱主	是	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是，透過僱主	是	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是，透過僱主	是
澳大利亞	工業化學品通報和評估法 1989	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的項目	是	是	是，物質安全資料表、標示、標準	是	是
加拿大	加拿大環境保護法 1999	是	是	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	只能要求非機密商業資訊(CBI)	是，已頒佈	是，已頒佈	是，已頒佈
	肥料法	是	是	是	是，和民眾相同	是，和民眾相同	否	否	否	否	是	是
	害蟲防治產品法	是	是	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目	是，公開註冊為非機密商業資訊的項目

國家	法規名稱	係機密條款	審核機密商業資訊(CBI)案件的標準和程序	開放註冊資訊			開放評估資訊			開放風險管理資訊		
				民眾	勞工	供應鏈的公司	民眾	勞工	供應鏈的公司	民眾	勞工	供應鏈的公司
日本	化學物質評鑑和製作管理法	是	無	是，只有總量	是	是	是，生物降解、生物累積、對健康和環境的毒性	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆
紐西蘭	危害物質與新生物法	未回覆	未回覆	是，公開註冊時提供的影響效應的摘要	是	是	未回覆	是	是	未回覆	是	是
瑞典	化工產品和生物生化條例	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆
瑞士	減少化學品風險條例	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是	是	否	否	否	是	是	是
英國	危害物質健康管制法	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	是，經由雇主	未回覆	未回覆	是，經由雇主	未回覆
	殺菌劑分類 98/8/EC	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是	是	是	是	是	是	是	是
	管理工作場所衛生和安全條例 1999	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	未回覆	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是	是	是，非機密商業資訊(CBI)的要求項目	是	是

表 4.1.1.14 SNUR 或 PMN 申請書表格(US EPA 另有 e-PMN 電子表單請參考 <http://epa.gov/oppt/newchems/epmn/epmn-index.htm>)。

<p>申報書類型 (page 1)</p> <p>保證證明 (page 2)</p> <p>第一部分: 一般資訊</p> <p>A. 申請者的資料 (page 3)</p> <p>B. 化學物質的身份資訊 (pages 4-4a)</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 非聚合物<ul style="list-style-type: none"><li>-有特定化學結構 (class 1)或無特定化學結構 (class 2)。</li><li>-化學物質名稱。</li><li>-註明此表格所列的化學物質身份資訊的鑑別方法。</li><li>-分子式。</li><li>-若為 class 1 化學物質, 提供完整且正確的化學結構圖。</li><li>-若為 class 2 化學物質, 提供正確可知的代表性或是部份的化學結構圖、先驅物質名稱、反應性質或製程的描述、化學組成成分範圍和標準組成成分。</li></ul></li><li>2. 聚合物 (pages 5-5a)<ul style="list-style-type: none"><li>-最小分子量組成成分的平均分子量。</li><li>-分子量小於 500 以及 1000 的組成成份分別占據的最大重量百分比。</li><li>-用來製造聚合物的單體或其它反應物的化學物質名稱。</li><li>-每一種單體或其它反應物在聚合物中占據的標準重量百分比。</li><li>-在聚合物被製造成商業用途時, 每一種單體或其它反應物殘存在聚合物裡的最大重量百分比。</li><li>(可額外標註哪些填寫的資訊為機密資訊, US EPA 不會對外公開。)</li><li>-標註此表格所列的化學物質身份資訊的鑑別方法。</li><li>-聚合物名稱。</li><li>-提供正確可知的代表性或是部份的化學結構圖。</li></ul></li><li>3. 雜質 (page 6)<ul style="list-style-type: none"><li>-在化學物質被製造成商業用途時, 哪些雜質可能存在於化學物質裡。</li><li>-估計每一種雜質占據的最大重量百分比。</li><li>-若有無法辨識身份的雜質, 估計這類雜質的總重量百分比。</li><li>(可額外標註哪些填寫的資訊為機密資訊, US EPA 不會對外公開。)</li></ul></li><li>4. 化學物質的別名 (page 6)</li><li>5. 貿易識別名稱 (page 6)</li><li>6. 通用化學名稱 (page 6)<ul style="list-style-type: none"><li>-若在上述列表裡, 標註填寫的化學物質身份為機密資訊, 則必須</li></ul></li></ol>
--

為其提供其通用化學名稱。

7. 副產品 (page 6)

-在製造、處理、使用或棄置此化學物質時，產生的副產品。

C. 生產、進口和使用資訊 (page 7)

(可額外標註哪些填寫的資訊為機密資訊， USEPA 則不會對外公開其填寫資訊。)

1. 生產量 (page 7)

-正式生產後，第一年(前 12 個月)的最大生產量估計值。

-正式生產後，前三年裡，每期 (12 個月為一期) 的最大生產量估計值。

2. 使用資訊 (page 7)

-使用範疇。

-依據其功用及應用類型分類。

-在前三年裡，每一種使用範疇規範的化學物質生產量，佔總生產量的百分比。

-每一種使用範疇下，在申請者控管的廠址裡，此化學物質被製造為商業用途時 (例如被規劃製作成混合物、懸浮物、乳膠、溶液或溶膠時)，此化學物質所佔的百分比估計值。

-每一種使用範疇下，預期的最大生產量。

-若列出的使用範疇包含「消費者」使用，則需描述此化學物質在消費產品裡的效用。在預期的消費產品裡，此化學物質的濃度估計值。在預期的消費產品裡，此化學物質會透過何種化學反應而流失。

-若在上述列表裡，標註所填寫的使用範疇項目為機密資訊，則需額外為機密使用範疇項目，提供一般性描述。

3. 危害資訊 (page 7)

危害資訊的告示，為一份合理據實的危害警告聲明、警告標語、物質安全資料表或是其他能提供給暴露於此化學物質者的資訊 (例如：安全處理、搬運、使用或處置此類物質時所需要的相關防護設備及作業方法。

第二部分: 人體暴露和環境釋放 (pages 8-11)

A. 申請者控制的工業廠址

(可額外標註哪些填寫的資訊為機密資訊， US EPA 不會對外公開。)

任何類型的製作、處理或使用作業，均需填寫此項表單項目。對進口商而言，若化學物質不在美國境內作業，則無須完成此項表單項目；然而，若此化學物質在被進口後，仍有進一步的工業處理或使用作業，則仍須填寫此項表單項目。

1. 作業描述 (pages 8-8a)

-作業工廠的名稱和地址

-作業類型 (製作、處理或使用)

-數量和期間

-若為批次生產，則需填寫每批作業的最大生產重量 (Max.

Kg/batch) 和作業時數 (Hours/batch) 以及每年的作業次數 (Batches/year); 若為連續生產, 則需填寫每天的最大生產重量 (Max. Kg/day) 和作業時數 (Hours/day) 以及每年的作業天數 (Days/year)。

-過程描述

-以流程圖的方式, 顯示單元操作步驟和化學轉化步驟。包含暫時儲存及運送過程裡, 使用的容器 (例如: 5 加侖桶、55 加侖桶、軌道車、油罐車等)。

-流程圖裡, 需提供每一單元操作步驟的特性、大約生產重量 (Kg/batch 或 Kg/day), 標註初始物質和原料 (包含反應物溶劑及催化劑等) 以及標註所有的產物、再循環物料及廢料。清潔劑以及清潔劑的使用頻率, 亦須被註明。

-需以數目標示化學物質在環境的釋放點, 包含微量以及間歇釋放。在同一操作步驟內, 若釋放化學物質至兩種物質時, 則需針對第二個介質再另作標示。

2. 職場暴露 (page 9)

-工作者活動的描述 (袋裝物傾倒、搬運物裝填、桶裝物卸拆、取樣、清理); 透過這些活動, 工作者可能被暴露於此類化學物質。

-保護工作者的防護設備和工業控制描述。

-描述此化學物質的物理形式 (例如: 固態、晶體、粒狀、粉末或灰); 暴露時, 此化學物質所佔比例。

-估計所有廠址裡每一種活動的最多工作人數。

-估計工作者進行此活動的最長運作時間 (Hours/day 和 days/year)。

3. 環境釋放和處理 (page 9a)

-輸入製程中的化學物質的釋放點的號碼。

-估計此物質被直接釋放進入環境的釋放量或是釋放進入控制技術的釋放量 (單位為 kg/day 或 kg/batch)。

-確認媒介物質 (煙囪空氣、逸散空氣)、表層水、現地或是非現地堆填、焚化、公設處理廠或其他釋放出此化學物質的位置。

-若使用控制技術限制此化學物質對環境的釋放, 則描述控制技術和其控制效率。若使用土地處置處理化學物質的釋放時, 則需描述此處置法的內容以及說明此處置法是否符合廢管規定。針對每一場址, 若有其他處置方法時需陳述之, 並說明此廢料是否會在現址作第二或第三次的處置。

-經由控制技術處理後, 對環境的釋放量估計值 (單位為 kg/day)。

-確認最終被排入水體的位置。

B. 其他人控制的工業廠址 (page 10-10a)

在不是申請者控制的廠址進行新化學物質的一般製程或應用時需填寫此項表單項目。對進口商而言, 若化學物質不在美國境內作業, 則無須完成此項表單項目; 然而若此化學物質在被進口後, 仍有進一步的加工製程或使用作業, 則仍須填寫此項表單項目。若同一作業會在一個以上的廠址完成時, 則需描述共同的作業內容。(可額外標註哪些填寫的資訊為機密, US EPA



不會對外公開。)

### 1. 作業描述

- 以流程圖顯示單元操作步驟和化學轉化。包含暫時儲存及運送過程裡，使用的容器 (例如：5 加侖桶、55 加侖桶、軌道車、油罐車等)。流程圖裡，標示工作者的每種活動，並簡要說明之。
- 提供每一作業步驟的特性、大約生產重量 (Kg/batch 或 Kg/day)，標註原料 (包含反應物溶劑及催化劑等) 以及標註所有的產物、再循環物料及廢料。清潔劑以及清潔劑的使用頻率亦須被註明。
- 以數值標示新化學物質在環境中的釋放點，包含微量以及間歇釋放。
- 為每一工業廠址進行編號並註明其廠址。

### 2. 工作者暴露/環境釋放

- 複寫作業描述流程圖裡工作者的每種活動。
- 估計暴露於這些工業廠址的工作人數。
- 估計每一工作者的暴露時間 (Hours/day)。
- 描述此化學物質在暴露時，其物理形式及其百分比 (若為混合物)。若有使用任何防護設備以及工程控制，請描述之。
- 依據規劃，在包裝或使用最終產品時，此化學物質在產品中所佔的百分比估計值。
- 在上述作業流程圖裡，以數字編號標示每一個釋放位置。
- 估計此物質被直接釋放進入環境的量或是透過控制技術再釋放進入環境的量 (單位為 kg/day 或 kg/batch)。
- 確認媒介物質 (煙囪空氣、逸散空氣)、表層水、現地或是非現地處置、焚化、公設處理廠或其他釋放出此化學物質的位置。若使用控制技術限制此化學物質對環境的釋放，則描述控制技術和其控制效率。
- 確認作業中產生的副產品。

### 可選擇性填寫的污染防治資訊 (pages 10a-11)

在此欄位，申請者可提供上列表單中未被報告的資訊，用來說明申請者在製造、處理、使用和處置作業時致力於降低或減小潛藏危害的資訊。污染防治相關資訊，包含源頭削減、回收活動以及較安全的處理或由此化學物質製造的較安全產品。源頭削減包含透過技術改良、處理和製程改良、產品的再規劃、原始物質的取代以及/或清單控制的方式，來降低化學廢料的產量或毒性。回收係指廢料中化學成份的再生利用；這些廢料的處理或釋放方式，可為氣體排放、水排放或土地處置。污染防治、源頭削減以及回收活動的描述，應以定性或定量方式陳述潛藏危害的降低。US EPA 對此資訊感興趣，並用來評估毒性或環境釋放量的降低以及暴露的程度降低。此外，申請者亦可提供有關此化學物質以及可能的替代物質，兩者的製造成本或是性能特性資訊。(在審視此化學物質時，申請者於此欄位提供的所有資訊，將被納入考量)。

敘述預期的淨效益，例如：對人類健康或是環境整體危害的降低、製造量的降低、廢料生成的降低 (透過再生利用或源頭削減

等方法來達成)、潛藏毒性或人類暴露和/或環境釋放的降低、產品性能的增加、生產成本的降低和作業效率的增進(藉由此化學物質和現有化學物質的比較來描述)、此化學物質能取代現有且對健康環境有較大危害之化學物質的程度。

### 第三部分: 附錄資料 (page 12)

針對這整份表格所列各項目,若表格預留篇幅不足填寫時,請於此頁之後以附件方式,開始附加延伸表格以及測試資料、其他資料(包含物理/化學性質和結構/活性資訊)以及可選擇性填寫的污染防治資訊,以確認附件資料和上列表格所列項目之間的關係。

-附件表格:

#### -物理和化學性質資料表 (page 13)

為協助 US EPA 審核申請者提出的物理和化學性質資料,請填寫下列資料表,並將此資料表放在這份通知書裡。確認所測的性質資料、標示每種性質資料在這份通知書中出現的頁面、性質資料使用的單位以及是否為機密資料。應提供純化學物質的物理資料,量測的物質特性也以純化學物質測得。若物質為混合物時,則需註明各化學物質的百分比。雖然申請者未被要求申報這份資料表,然而 US EPA 強烈建議申請者申報這份資料表,以簡化審核程序。申請者應該申報這份資料表,來補充說明申請者申報的測試資料,但無法取代測試資料。

表格所列的物理和化學性質項目包含:

- 純物質的物理形式
- 蒸氣壓 (在溫度為 °C 時)
- 密度/相對密度
- 溶解度 (在溫度為 °C 時、溶劑為 時)
- 在水中的溶解度 (在溫度為 °C 時)
- 熔融溫度
- 沸點/昇華溫度
- 光譜
- 解離常數
- 粒徑分布
- 辛醇/水分配係數
- 亨利常數
- 在水中的揮發
- 在土壤中的揮發
- pH 值 (在濃度為 時)
- 易燃性
- 爆炸性
- 吸附率/係數
- 其它

#### 4.1.2 工程奈米物質工作小組的國際分工

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 14 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 14 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 14 種代表性工程奈米物質的名單(ENV/JM/MONO(2008)B/REV)：

1. C<sub>60</sub> 富勒烯 (C<sub>60</sub> 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. 碳黑 (Carbon black)
7. 二氧化鈦 (Titanium dioxide)
8. 氧化鋁 (Aluminium oxide)
9. 氧化鈾 (Cerium oxide)
10. 氧化鋅 (Zinc oxide)
11. 二氧化矽 (Silicon dioxide)
12. 聚苯乙烯 (Polystyrene)
13. 樹狀聚合物 (Dendrimers)
14. 奈米黏土 (Nanoclays)

\* OECD 在此的意義是指” C60 could be broadened to other fullerenes as well as chemically modified varieties of C60 ”。

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，與現行的法規無關。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。第二期不必然需在第一期完成之後，也不必然由參與第一期之國家持續來進行(ENV/JM/MONO(2009)20/REV, 2009)。第一期測試終點項目於 2007 年提出後(ENV/JM/MONO(2008)B/REV, 2008)，於 2009 年再進行細部修正如下(ENV/JM/MONO(2009)20/REV, 2009)：

1. 奈米物質資訊/識別 (Nanomaterial Information/Identification)
  - (1) 奈米物質名稱 (Nanomaterial name)
  - (2) CAS 號碼 (CAS Number)
  - (3) 結構式/分子結構 (Structural formula/molecular structure)

- (4) 測試奈米物質組成(含純度、已知不純物及添加物) (Composition of nanomaterial being tested including degree of purity, known impurities or additives)
  - (5) 基本型貌 (Basic morphology)
  - (6) 表面化學描述(如塗層或修飾) (Description of surface chemistry, e.g. coating or modification)
  - (7) 主要商業用途 (Major commercial uses)
  - (8) 已知觸媒特性 (Known catalytic activity)
  - (9) 生產方法(如沉澱法及氣相法) (Method of production, e.g. precipitation, gas phase)
2. 物理化學特性及物質特性 (Physical-Chemical Properties and Material Characterization)
- (1) 聚集/聚合 (Agglomeration/aggregation)
  - (2) 水溶性/ (Water solubility/Dispersibility)
  - (3) 結晶相 (Crystalline phase)
  - (4) 揚塵性 (Dustiness)
  - (5) 結晶大小 (Crystallite size)
  - (6) 代表性 TEM 照片 (Representative TEM pictures)
  - (7) 微粒粒徑分佈-乾基或相關基質 (Particle size distribution-dry and in relevant media)
  - (8) 比表面積 (Specific surface area)
  - (9) 界達電位(表面電荷) (Zeta potential (surface charge))
  - (10) 表面化學(視需要而作測試) (Surface chemistry (where appropriate))
  - (11) 光觸媒特性 (Photocatalytic activity)
  - (12) 倒入密度 (Pour density)
  - (13) 孔隙率 (Porosity)
  - (14) 辛醇-水分配係數(若有關聯時) (Octanol–water partition coefficient, where relevant)
  - (15) 氧化還原電位 (Redox potential)
  - (16) 形成自由基潛勢 (Radical formation potential)
  - (17) 其他相關資訊 (Other relevant information (where available))
3. 環境宿命 (Environmental Fate)
- (1) 水中分散穩定度 (Dispersion stability in water)
  - (2) 生物降解性 (Biotic degradability)
    - 可生物分解性 (Ready biodegradability)
    - (Inherent biodegradability)

- 表面水中終端降解模擬測試 (Simulation testing on ultimate degradation in surface water)
  - 土壤模擬測試 (Soil simulation testing)
  - 沉積物模擬測試 (Sediment simulation testing)
  - 污泥處理模擬測試 (Sewage treatment simulation testing)
  - (Anaerobic Biodegradability of Organic Compounds in Digested Sludge)
- (8) 降解產物分析 (Identification of degradation products )
- (9) 降解產物進一步測試(若有需要時) (Further testing of degradation products as required)
- (10) 無生物降解及宿命 (Abiotic degradability and fate)
- 表面修飾的奈米物質的水解 (Hydrolysis, for surface modified nanomaterials)
- (12) 吸附-脫附 (Adsorption-desorption)
- (13) 土壤或沉積物的吸收 (Adsorption to soil or sediment)
- (14) 生物累積潛勢 (Bioaccumulation potential)
- (15) 其他相關資訊 (Other relevant information (when available))
4. 環境毒性 (Environmental Toxicology)
- (1) 對遠洋生物(長期/短期)效應 (Effects on pelagic species (short term/long term) )
- (2) 對沉積生物(長期/短期)效應 (Effects on sediment species (short term/long term) )
- (3) 對土壤生物(長期/短期)效應 (Effects on soil species (short term/long term))
- (4) 對陸生生物的效應 (Effects on terrestrial species)
- (5) 對微生物的效應 (Effects on microorganisms)
- (6) 其他相關資訊 (Other relevant information (when available) )
5. 哺乳類動物的毒性 (Mammalian Toxicology)
- (1) 藥物動力學(ADME, 吸收、分配、新陳代謝及排泄) (Pharmacokinetics (ADME) )
- (2) 急毒性(Acute toxicity)
- (3) 重覆劑量毒性 (Repeated dose toxicity)
- 若有下列資料，請提供：
- (4) 長期毒性 (Chronic toxicity)
- (5) 生育毒性 (Reproductive toxicity)
- (6) 發育毒性 (Developmental toxicity)
- (7) 基因毒性 (Genetic toxicity)

- (8) 人體暴露的歷程 (Experience with human exposure)
  - (9) 其他相關測試數據 (Other relevant test data)
6. 物質安全 (Material Safety)

若有下列資料時，請提供：

- (1) 燃燒性 (Flammability)
- (2) 爆炸性 (Explosivity)
- (3) 不相容性 (Incompatibility)

綜觀上述之測試終點項目，就環境傳輸與宿命的角度而言，很多參數(或測試終點項目)彼此之間是相關的，例如奈米物質的聚集/聚合特性是該物質在水中分散穩定度、比表面積、界達電位(表面電荷)、表面化學等參數之函數，而聚集/聚合特性又將進一步影響其吸附-脫附、土壤或沉積物的吸收、生物累積潛勢等行為。因此，如何從為數眾多的測試終點項目中釐清何為主要參數(primary parameter)、何為次要參數 secondary parameter)，以及各參數間彼此的關連性，應是重要議題。此外，就奈米物質對人體暴露的歷程而言，牽涉到奈米物質的傳輸途徑及人體接觸的方式，如奈米物質溢散空氣所可能造成的皮膚、眼部接觸與吸入等，以及奈米物質進入食物鏈所可能引起的食入風險，透過對這些過程的瞭解才可進一步提出每日允許攝入值(Recommended daily allowance)的大小。現階段，相關的資訊仍非常缺乏。

OECD 的工程奈米物質工作小組最新之報告已要求各參與國家需針對前述 14 項奈米物質之每一項測試終點項目做完全之說明(Addressed)，這些說明包括 (ENV/JM/MONO(2009)20/REV, 2009)：

- 無關(Not relevant)
- 無法量測(Not measurable)
- 分享資訊(Read-across information)
- 已提供數據(Data provided)

其中，OECD 的工程奈米物質工作小組要求有些特定的測試終點項目必須是「已提供數據」才算完成說明的，包括：奈米物質資訊/識別 (Nanomaterial Information/Identification)、水溶性/ (Water solubility/Dispersibility)、結晶相 (Crystalline phase)、微粒粒徑分佈-(Particle size distribution-dry and in relevant media)、比表面積 (Specific surface area)、界達電位(表面電荷) (Zeta potential (surface charge))、表面化學(視需要而作測試) (Surface chemistry (where appropriate)) (ENV/JM/MONO(2009)20/REV, 2009)。

由於 14 種代表性奈米物質的測試項目很多，因此 OECD 之贊助計畫針對不同的奈米物質做國際分工，每種奈米物質由主要贊助國、共同贊助國及貢獻國組成測試小組，先擬定每個奈米物質的檔案發展計畫(DDPs, dossier development plans)，敘述測試的時間、人員及地點等計畫，並包括測試物質、樣品準備及劑量等資訊。至 2008 年 12 月 3 日止的國際分工如表 4.1.2.1 所示(OECD, Sponsorship Programme for Testing of Nanomaterials)：

表 4.1.2.1 OECD 至 2008 年 12 月 3 日止的國際分工表  
([www.oecd.org/env/nanosafety](http://www.oecd.org/env/nanosafety))。

Representative Set of MN	Lead sponsor(s)	Co-sponsor(s)	Contributors
C60 Fullerenes	Japan United States		Denmark China
SWCNTs	Japan United States		Canada France Germany European Commission China BIAC
MWCNTs	Japan United States	Korea BIAC	Canada Germany France European Commission China BIAC
Silver nanoparticles	Korea United States	Australia Canada Germany Nordic Council of Ministers	France European Commission China
Iron nanoparticles	China	BIAC	Canada United States Nordic Council of Ministers
Carbon black			Denmark Germany United States

Titanium dioxide	France Germany	Austria Canada Korea Spain United States BIAC	Denmark China
Aluminium oxide			Germany United States
Cerium oxide	United States United Kingdom/BIAC	Australia Netherlands	Germany Switzerland European Commission
Zinc oxide	United Kingdom/BIAC	United States BIAC	Australia Canada
Silicon dioxide	France European Commission	Belgium Korea BIAC	Denmark
Polystyrene			Korea
Dendrimers		Spain	United States
Nanoclays			Denmark United States

根據工程奈米物質工作小組的年度報告指出，第一期計畫由 2007 年到 2008 年間的第一階段已完成了前述 14 個代表性工程奈米物質的優先名單，以及測試終點 (endpoints) 的項目表與參與國家的分工。第二階段 (2009-2012) 則是執行代表性工程奈米物質的測試終點的檔案發展計畫，至於第二期計畫預計於 2011-2012 年展開。因此，現階段 OECD 並未有正式報告說明 14 個代表性工程奈米物質的測試終點的檔案報告，預計部分奈米物質的檔案報告草稿將於 2011 年的季中公佈，第一期計畫的總結報告將更在 2011 年的季中以後才有機會完成 (ENV/JM/MONO(2010)11, 2010)。

欲實際了解各參與國家針對其所負責之代表性工程奈米物質的測試終點項目進度，唯有透過他們所召開的工作會議 (Tour de Table) 的會議報告一窺究竟。工作會議主要是參與國家進行進度說明，與該國家在奈米物質相關作為所做的廣泛性的報告。最新的第七次工程奈米物質工作小組工作會議已於今年 7 月 (2010) 於法國巴黎召開 (ENV/JM/MONO(2010)42, 2010)。由於參與國家是自願性的，因此，由會



議報告內容可以發現執行力的落差極大。例如，澳洲已發表六次工作進度報告而中國至今僅發表一次(OECD WPMN-China, 2007)；美國與日本同樣發表了四次工作進度報告，但美國的內容廣泛且未針對所負責之奈米物質(富勒烯、單壁奈米碳管與單壁奈米碳管)進行說明(OECD WPMN-United States, 2009)，而日本已完成了該三種奈米物質的風險評估報告(OECD WPMN-Japan, 2009)，雖然內容與工程奈米物質工作小組的規劃方式仍有落差，但已是少數執行力佳的參與國家了。此外，德國也對其所負責的二氧化鈦奈米物質提出了一份報告(內容雖非僅針對二氧化鈦，但已具系統性之介紹)(OECD WPMN-Germany, 2009)。本文針對日本與德國所提供的資料，說明現階段工程奈米物質工作小組分工後，對富勒烯、單壁奈米碳管、單壁奈米碳管與二氧化鈦的測試終點項目的執行現況進行回顧。此外，有鑑於現階段 OECD 的資訊有限，本文亦回顧國際期刊發表之奈米物質環境傳輸與宿命相關論文，以掌握相關研究領域之國際現況。

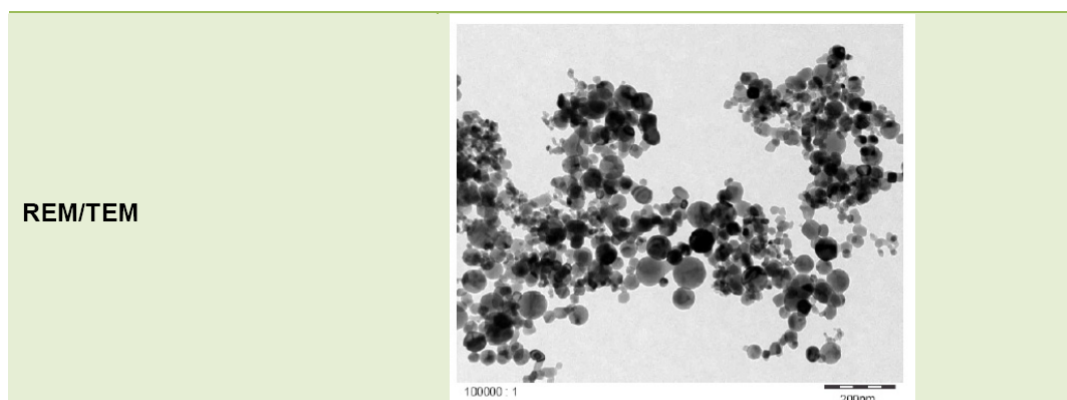
在德國的報告”NanoCare: Health related Aspects of Nanomaterials”(Kuhlbusch et al., 2009)中，主要之目的是分辨、生產、特徵化合適的奈米物質，使這些被選出的物質在後續的毒理測試、揚塵行為與作業場所濃度量測時能具備可比較性與重複性。在此原則下，本報告所篩選之奈米物質有：二氧化鈦、碳黑、氧化鋇 (Cerium oxide)、氧化鋅 (Zinc oxide)、硫酸鋇( $\text{BaSO}_4$ )、碳酸鋇 ( $\text{SrCO}_3$ )、氧化鋁 Boehmite( $\text{AlOOH}$ )，其中，二氧化鈦是德國在 OECD 工程奈米物質工作小組中主要負責之奈米物質，碳黑、氧化鋇、Boehmite( $\text{AlOOH}$ )三類物質之研究，德國則為參與之貢獻國家(contributors)。本報告是以奈米物質的毒理學研究與作業場所之暴露研究為主，對其在環境中的傳輸與宿命並未提供相關資料，然而，奈米物質之基本特性資料，也就是測試終點項目中的「物理化學特性及物質特性」部分有提供相關資料，例如，表 4.1.2.2 為二氧化鈦之資料，顯見德國已有遵循 OECD 的規範在執行。

表 4.1.2.2 二氧化鈦之物理化學特性及物質特性資料 (Kuhlbusch et al., 2009)。

Material

TiO<sub>2</sub>\_40

<b>Charge description/ NanoCare Product number</b>	CH-000696 1.3
<b>Provider</b>	Evonik Degussa GmbH
<b>Available form</b>	Powder
<b>Primary particle size [d<sub>50</sub> in nm]</b>	42.3 nm
<b>Particle size distribution</b>	
<b>pH</b>	3.42
<b>BET Surface area</b>	38 m <sup>2</sup> /g
<b>Particle morphology</b>	crystalline
<b>Crystal phase and crystallinity</b>	TiO <sub>2</sub> Tetragonal Rutile TiO <sub>2</sub> Tetragonal Anatase
<b>Stabilisation</b>	
<b>Solubility in water</b>	
<b>Purity/contamination</b>	TiO <sub>2</sub>



**Zeta potential** At pH 3.3: 49.5mV  
IEP at pH 5.8

**Surface area chemistry**

在日本的報告部分，該國負責三種奈米物質：富勒烯、單壁奈米碳管、單壁奈米碳管，因此，日本公佈二份針對富勒烯與奈米碳管的個別報告(Kobayashi et al., 2009; Shinohara et al., 2009)，此外，日本亦公佈針對二氧化鈦的風險評估報告(Hanai et al., 2009)。就奈米碳管而言，報告內容以回顧既有之文獻為主，依傳統的風險評估概念，透過劑量-反應關係、致癌性、暴露途徑等去建構奈米碳管的風險值(Kobayashi et al., 2009)。就富勒烯而言，報告內容亦以回顧既有之文獻為主，架構與奈米碳管之報告相同，不過富勒烯的報告提供出較多的資訊，例如，對於測試終點項目中的「物理化學特性及物質特性」有部份之說明(表 4.1.2.3)，另外對富勒在水中的凝聚性也有簡單提及，也就是富勒烯將從直徑大小約 0.7 nm 之分子，凝聚成大小介於 25-500 nm 之奈米顆粒(Shinohara et al., 2009)。

表 4.1.2.3 富勒烯之物理化學特性及物質特性資料 (Shinohara et al., 2009)。

	C <sub>60</sub>	C <sub>70</sub>
Molecular Weight	720.66	840.77
Mass Number	720	840
Molecular Structure [nm] <sup>a)</sup>	0.704 (Frame) 1.002 (Electron Cloud)	0.796 (Transverse Diameter) 0.712 (Conjugate Diameter)
Electron Affinity [eV]	2.65	2.72
Crystal Structure <sup>b), c)</sup>	Face-Centered Cubic Lattice (>260K) Simple Cubic Lattice (Hyphthemic Phase)	Face-Centered Cubic Lattice, Trigonal Lattice, and Hexagonal Close-Packed Lattice at Transitional Phase
Mass Density [g/cm <sup>3</sup> ] <sup>d)</sup>	1.729 (5K Calculated Value)	1.6926 (Ambient Temperature)
Molecular Density [Molecule/cm <sup>3</sup> ] <sup>d)</sup>	$1.44 \times 10^{21}$	No Data
Melting Point [°C] <sup>e)</sup>	1180	No Data
Electric Conductivity (300K) [S/cm] <sup>f), g)</sup>	$10^{-8} \sim 10^{-14}$	No Data
Sublimation Heat [kcal/mol] <sup>h), i)</sup>	40, 38	43, 45
Vapor Pressure [Torr] <sup>i)</sup>	$1.9 \times 10^{-5}$ (400 °C) $5 \times 10^{-4}$ (500 °C) $1 \times 10^{-3}$ (600 °C)	$1.4 \times 10^{-5}$ (430 °C) $2 \times 10^{-4}$ (500 °C) $7 \times 10^{-3}$ (600 °C)

由於工程奈米物質的測試終點的檔案發展計畫之內容是以建立奈米物質之物理、毒理、生化與環境特性為主，這些基礎參數原則上皆是特性參數(Characteristic property)，目前既然已有 OECD 的工程奈米物質工作小組在推動，且結果是全球共享的，最後資料的公佈只是時間的問題，因此，基於政府科研經費的有效運用前提下，此類基礎資訊的取得應非優先課題。然而，與台灣產業相關且未列入 14 個代表性工程奈米物質優先名單的奈米物質，則是政府應重視且值得研究的，例如奈米量子點。該物質與台灣高科技產業之發展關聯性強，就該物質之環境流佈、宿命與風險等議題之研究與了解應是政府需重視的。此外，國內大量進口使用之奈米物質/原料，亦須特別關注。

### 4.1.3 奈米物質對水中生物及環境生態的影響

近年來，已有許多學者研究發現工程奈米微粒會對水中生物及水中環境產生有害的影響，相關研究包括奈米微粒對水蚤的影響(Daphnia Magna) (Zhu et al., 2006; Lovern and Klaper, 2006; Lovern et al., 2007; Roberts et al., 2007; Oberdörster et al., 2006; Griffitt et al., 2008)、奈米微粒對魚類的影響：大嘴鱸魚幼苗(juvenile largemouth bass)(Oberdörster, 2004)，呆鱗魚(fathead minnow) (Zhu et al., 2006; Oberdörster et al., 2006)，鱒魚(trout) (Smith et al., 2007)，菊池氏細鯽(Oryzias latipes) (Oberdörster et al., 2006)，斑馬魚(Zebra fish) (Griffitt et al., 2008; Asharani et al., 2008; Zhu et al., 2007; Zhu et al., 2009; Ispas et al., 2009)，水中懸浮富勒烯對鱒魚之毒性影響(Blickley and Green, 2008)及奈米微粒對其他水中生物種的影響：片腳類動物(Hyalella azteca)與橈腳類動物(Harpacticoid copepod)(Oberdörster et al., 2006)。此外，Baun et al. (2008)及 Kahru and Dubourguier (2009)針對奈米微粒環境毒性與生態化學有關之文獻做了仔細的整理，並提出了他們對目前奈米微粒對水中生物毒性試驗所遭遇的瓶頸，以及未來的研究方向等見解供研究學者參考。

Kahru and Dubourguier (2009)將近年來文獻發表的奈米微粒對水中生物的半致死劑量數據整理如表 4.1.3.1 所示(以甲殼生物為例)，其中測試微粒為奈米二氧化鈦、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。Kahru and Dubourguier (2009)取各種測試物種中最低的半致死劑量作為水生生物毒性的毒性分類結果發現，奈米銀微粒及奈米氧化鋅微粒之毒性最高，半致死劑量為<0.1 mg/L，為具極端毒性之微粒(extremely toxic)；接下來是奈米富勒烯及奈米氧化銅，半致死劑量為 0.1-1 mg/L，為非常毒之微粒(very toxic)；單壁及多壁奈米碳管為毒性微粒(toxic)，半致死劑量為 1-10 mg/L；奈米二氧化鈦為有害微粒(harmful)，半致死劑量為 10-100 mg/L。在各種測試水生生物物種中，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，是上述毒性分類所依據的物種。表 4.1.3.1 也指出鋅離子及銅離子均顯現相當的毒性，奈米氧化鋅與氧化鋅塊材的毒性相當，而奈米氧化銅比氧化銅塊材的毒性高，這個現象和二種金屬氧化物的溶解度有關，因此水生生物毒性實驗時需特別注意離子態及微粒態金屬氧化物的區別。

蔡等人已於 2007、2008 及 2009 年針對奈米物質對水中生物的影響作了仔細的文獻回顧，並具體建議建立本國奈米物質對水中生物影響之標準方法，含溶解分散程序，半致死濃度，最低可測影響濃度，脂質氧化壓力等。

表 4.1.3.1 七種奈米微粒對甲殼綱生物的半致死劑量 (文獻資料整理) (Kahru and Dubourguier, 2009)。

微粒種類	暴露時間、毒性影響濃度單位	參考文獻數量	最大值	中間值	最小值	平均值	測試之生物種 (皆為不同種類之水蚤)	參考文獻
奈米微粒								
奈米二氧化鈦 (Nano TiO <sub>2</sub> )	48 h or 24 h EC50, mg-Ti/L	10	11987	41	0.90	2443	Daphnia magna (5), D. Pulex (2), Ceriodaphnia dubia, Thamnocephalus platyurus, Chydorus	Hund-Rinke and Simon , 2006; Lovern and Klaper, 2006; Warheit et al., 2007; Griffitt et al., 2008; Heinlaan et al., 2008; Velzeboer et al., 2008; Klaper et

							sphaericus	al., 2009; Zhu et al., 2009
奈米氧化鋅 (Nano ZnO)	48 h or 24 h EC50, mg Zn/L	3	2.6	0.50	0.18	1.09	D. magna (2), T. Platyurus (1)	Heinlaan et al., 2008; Zhu et al., 2009
奈米氧化銅 (Nano CuO)	48 h or 24 h EC50, mg Cu/L	2	2.6	2.15	1.70	2.15	D. magna (1), T. Platyurus (1)	Heinlaan et al., 2008
奈米銀 (Nano-Ag)	48 h LC50, mg Ag/L	1	0.04	0.04	0.04	0.04	D. pulex	Griffitt et al., 2008
單壁奈米碳管 (SWCNT)	24 h or 48 h or 96 h LC50, mg/L	3	100	15	1.31	39	D. magna (2), T. Platyurus (1)	Roberts et al., 2007; Blaise et al., 2008; Zhu et al., 2009
多壁奈米碳管 (MWCNT)	48 h EC50, mg/L	1	8.7	8.7	8.7	8.7	D. magna	Zhu et al., 2009
富樂烯 (C60)	24 or 48 h L(E)C50, mg/L	5	9344	35	5.0	1966	D. magna (3), D. pulex (1), T. platyurus (1)	Lovern and Klaper, 2006; Zhu et al., 2006; Blaise et al., 2008; Klaper et al., 2009; Zhu et al., 2009
參考測試微粒								
二氧化鈦塊材 (Bulk TiO <sub>2</sub> )	48 h or 24 h EC50, mg-Ti/L	3	11987	11987	165	8046	D. magna (2), T. Platyurus (1)	Heinlaan et al., 2008; Zhu et al., 2009
氧化鋅塊材 (Bulk ZnO)	48 h or 24 h EC50, mg-Zn/L	3	7.1	0.39	0.19	2.6	D. magna (2), T. Platyurus (1)	Heinlaan et al., 2008; Zhu et al., 2009
氧化銅塊材 (Bulk CuO)	48 h or 24 h EC50, mg-Cu/L	2	132	104	76	104	D. magna (1), T. Platyurus (1)	Heinlaan et al., 2008
鋅離子 (Zn <sup>2+</sup> )	24 h or 48 hr L(E)C50 or 21 day LC50, mg-Zn/L	4	1.4	0.192	0.13	0.479	D. magna (2), C dubia (1), T. Platyurus	Nelson and Roline, 1998; Muysen et al., 2007; Heinlaan et al., 2008
銅離子 (Cu <sup>2+</sup> )	24 h or 48 hr L(E)C50 or 21 day LC50, mg-Cu/L	8	0.58	0.029	0.0019	0.116	D. magna (2), C dubia (3), T. Platyurus (1), D. pulex (1), D. similis (1)	Nelson and Roline, 1998; de Oliveira-Filho et al., 2004; Apte et al., 2005; Muysen et al., 2007; Griffitt et al., 2008; Heinlaan et al., 2008
五氯酚 (Pentachlorophenol, PCP)	48 h LC50, mg/L	3	2.0	0.48	0.34	0.94	D. magna (2), D. pulex (1)	Canton and Adema, 1978; Kühn et al., 1989
苯胺(Aniline)	48 h LC50, mg/l	3	0.64	0.30	0.10	0.35	D. magna (2), D. pulex (1)	Canton and Adema, 1978; Kühn et al., 1989

NF:無數據

2010 年起國際上仍陸續有許多奈米物質對水中生物及環境生態影響的文獻發表，2010 年 1 月至 10 月下旬共有 45 篇(ICON 網站資料庫)，其中代表性的兩篇為 Wu et al. (2010)和 Johnston et al. (2010)，其內容敘述如后。奈米微粒可能具有環境健康危害，但因為缺乏奈米微粒在水中之宿命、行為以及生物利用度(bioavailability)的數據，所以水中生物的奈米微粒暴露狀況無法確知。由於過去的研究無法提出魚類由水體中有效攝取二氧化鈦微粒的證據，因此過去的研究結果無法與暴露濃度(exposure levels)作相關，因此 Johnston et al. (2010) 更進一步進行未修飾(unmodified) 的市售奈米金屬氧化物微粒的生物及物化特性整合研究，包含氧化鋅(ZnO)、二氧化鈾(CeO<sub>2</sub>)以及二氧化鈦(TiO<sub>2</sub>)微粒，他們利用斑馬魚(zebra fish)、鱒魚(trout)暴露於不同水體或食物濃度中得知毒性反應。

由表 4.1.3.2 可知，經由水中暴露二氧化鈾奈米微粒的斑馬魚(zebra fish)，僅在

肝中發現有鈾的蹤跡，其他的器官(鰓、腦和表皮)並未發現；暴露於氧化鋅奈米微粒後，在組織器官(鰓、肝臟、腦和腎臟)中皆未發現明顯的吸收；暴露於氧化鋅二氧化鈦奈米微粒也是一樣，在組織器官中也皆未發現明顯的吸收。相反的，而經餵食高劑量二氧化鈦介質的鱒魚(trout) 則於腸道中發現較高的鈦離子蹤跡。以上數據均以 ICP-MS 和 ICP-OES 做為分析工具。

表 4.1.3.2 魚類組織中的氧化鋅、二氧化鈾、二氧化鈦濃度(Johnston et al., 2010)。

Water Exposure					
tissue	control	500 µg/L nano	5000 µg/L nano	5000 µg/L bulk	5000 µg/L ionic
Zinc Oxide					
gill	0.45 ± 0.05	0.51 ± 0.09	0.53 ± 0.06		
liver	0.36 ± 0.07	0.36 ± 0.08	0.40 ± 0.09		
brain	0.33 ± 0.03	0.34 ± 0.04	0.39 ± 0.06		
skin	1.14 ± 0.09	1.03 ± 0.09	0.91 ± 0.08		
Cerium Oxide					
gill	nd	nd	nd		
liver	0.03 ± 0.03	1.35 ± 0.58*	1.01 ± 0.59		
brain	nd	nd	nd		
skin	nd	nd	nd		
Titanium Dioxide					
gill	nd	nd	nd	0.01 ± 0.01	0.32 ± 0.06*
liver	nd	nd	0.88 ± 0.27	nd	0.03 ± 0.02
brain	0.24 ± 0.04	0.20 ± 0.01	0.19 ± 0.04	nd	nd
skin	nd	nd	nd	nd	nd
blood					
gut	nd	0.16 ± 0.06	0.39 ± 0.08	0.10 ± 0.017	0.75 ± 0.066*
Oral Exposure					
tissue	control	low dose	high dose		
Titanium Dioxide					
gill	nd	0.02 ± 0.01	0.15 ± 0.04		
liver	nd	nd	nd		
brain	nd	nd	nd		
skin	nd	nd	nd		
blood	nd	nd	nd		
gut	0.11 ± 0.01	0.36 ± 0.03*	1.49 ± 0.14*		

<sup>a</sup> Values are given as milligrams per gram dry weight. Fish were exposed via tank water or diet to various concentrations and preparations of zinc oxide, cerium oxide, titanium dioxide NPs, and bulk particles and ionic titanium. Values represent means ± SE; an asterisk indicates a value significantly different; nd = not detected; n = 16.

Johnston et al. (2010) 首次利用同調反史托克拉曼散射顯微系統 (CARS, coherent anti-Stokes Raman scattering microscopy) 對於水中暴露二氧化鈦 (TiO<sub>2</sub>) 奈米微粒的魚鰓中的分布情況進行分析研究。CARS 顯微鏡為非侵入性、無標籤 (label-free)、可提供三維生物結構影像，此方法較穿透式電子顯微鏡 (TEM) 佳，不再局限於二維影像，並且其解析深度可高達幾百微米。由圖 4.1.3.1 可得知雖然 CARS 顯微鏡無法解析很小的奈米微粒，但是所得到的訊號足以提供奈米微粒於組織中位置資訊，並清楚指出二氧化鈦奈米微粒以聚集狀態存在上皮薄膜邊際通道 (marginal channel) 上，且魚類可吸收未修飾金屬氧化物，但是因濃度太低因此無法以分析儀器量測出來。CARS 影像顯示奈米微粒團聚方式短暫的吸附在魚鰓表面上黏液，Johnston et al. (2010) 懷疑此機制是防止奈米微粒進入體內的原因。本研究的結論為未修飾金屬氧化奈米微粒要經由水體進入魚類體內的可能性低，主要的原因為奈米微粒的聚集而降低了生物的利用率(Johnston et al., 2010)。



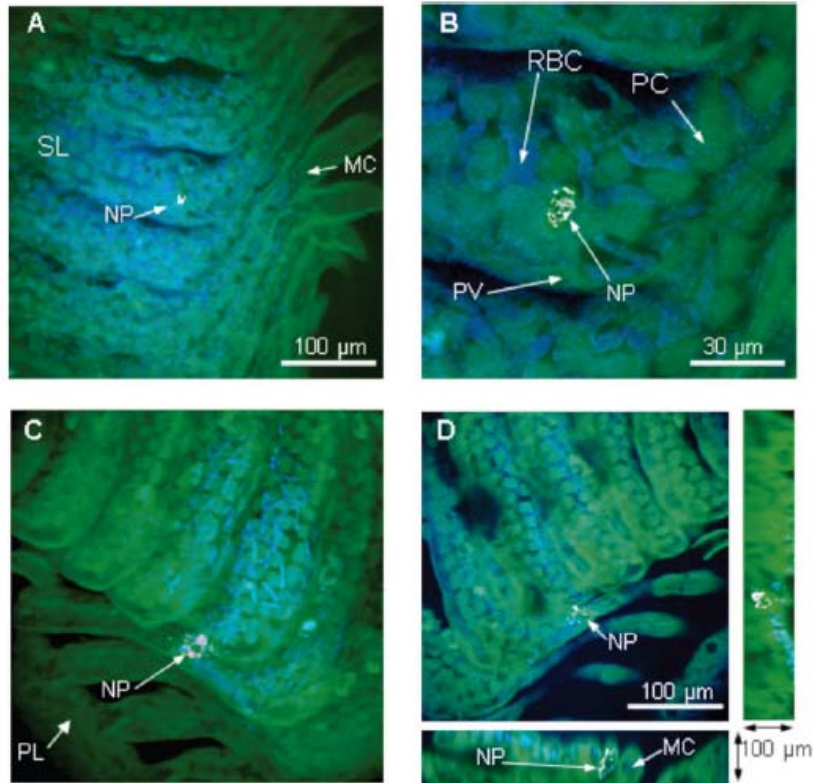


FIGURE 4.1.3.1 CARS images of gill tissue of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, following a waterborne exposure to  $\text{TiO}_2$  nanoparticles (NPs). The cellular structure of the primary (PL) and secondary (SL) gill lamellae, composed of pillar cells (PC) and pavement cells (PV), was obtained by epidetection of the  $\text{CH}_2$  vibration (shown in green). The red blood cells are effectively separated from the lamellae cells by forward detection of the  $\text{CH}_2$  vibration (shown in blue) (33). (A) Gill tissue following a 28-day exposure. An aggregate of NPs can be seen occupying the space between the pillar cells. (B) The same NP aggregate under a  $3\times$  increase in magnification. (C) Projection of a  $300 \times 100 \mu\text{m}$  3D data set of gill tissue following a 14-day exposure. A cluster of NPs can be seen in the region of the marginal channel (MC). (D) Multiplanar view of the same exposure. The two adjacent subpanels specifically locate the NPs inside the tissue near the surface of the marginal channel (MC).

圖 4.1.3.1 CARS 圖-暴露於二氧化鈦奈米微粒水中的鱒魚鰓(Johnston et al., 2010)。

Wu et al. (2010) 研究奈米氧化鋅在水中及氣膠中的抗菌能力。為了量測水體環境中奈米氧化鋅微粒的溶解度，Wu et al. (2010)對於奈米氧化鋅微粒、含奈米氧化鋅微粒細胞進行高速離心(1900 g)達 20 分鐘，再進行收集並過濾(20  $\mu\text{m}$ )，並使用 ICP-MS 檢測不同時間點的上層澄清液中  $\text{Zn}^{2+}$  離子濃度。此分析方法值得我國研究奈米氧化鋅毒性時的參考。

在水體中沙雷菌 MR-1 (*Shewanella oneidensis*)和大腸桿菌(*Escherichia coli*)可產生大量胞外聚合物(EPS, extracellular polymeric substances)，因此就算暴露在高濃度奈米氧化鋅(>40 mg/l)的水體中，其生長並不受奈米氧化鋅微粒抑制。然而若使用圖 4.1.3.2 所示的靜電噴霧(electrospray)法將奈米氧化鋅微粒直接噴散在大腸桿菌細胞表面上，此時的氣膠暴露會大幅降低細胞的存活率，例如：在與控制組對照下，電噴散 20 nm 的奈米氧化鋅微粒，可造成整體大腸桿菌存活率下降 57%，然而，電噴散較大的氧化鋅微粒(480 nm)以及不可溶的二氧化鈦奈米微粒(20 nm)，對於大腸桿菌致死率會較 20 nm 奈米氧化鋅微粒為低。

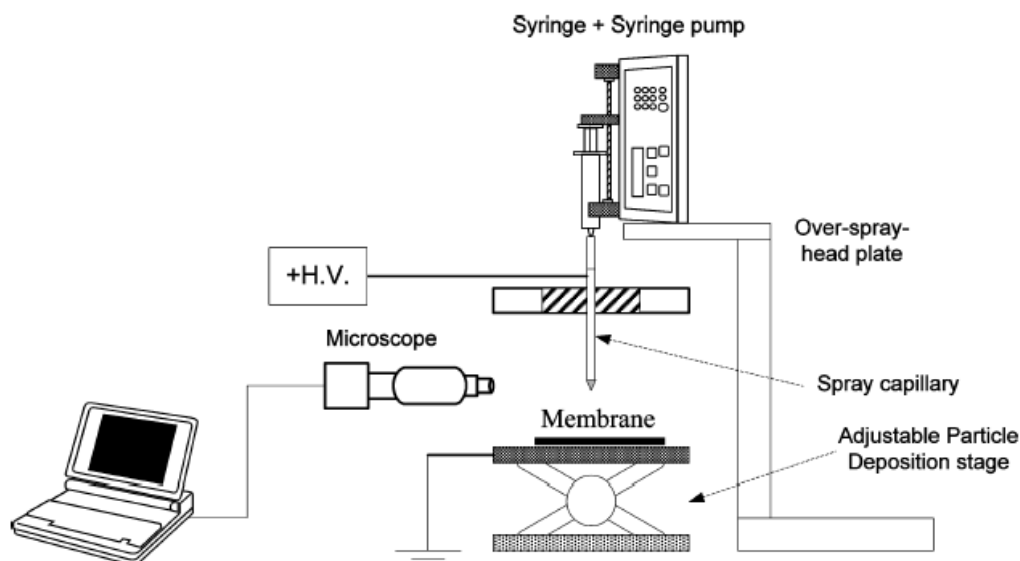


圖 4.1.3.2 電噴散暴露系統示意圖(Wu et al., 2010)。

水中20 nm 的奈米氧化鋅微粒可抑制分枝桿菌(*M. smegmatis*)與原核型聚球藻(*Cyanotheca* 51142)的生長，如表4.1.3.3所示，分枝桿菌與原核型聚球藻隨著劑量提升，生物抑制力也同時上升。Wu et al. (2010) 研究同時指出，起始菌類族群密度與對奈米微粒抵抗力關係密切，增加細胞族群可減緩奈米毒性對細胞生長的抑制。然而，40 mg/l的奈米氧化鋅微粒或16 mg/l的 $Zn^{2+}$ 並不會抑制的沙雷菌、原始型芽殖酵母菌(*S. cerevisiae*) 或大腸桿菌生長，一般而言利用水蚤(*Daphnia*)檢測 $Zn^{2+}$ 毒性，但Wu et al. (2010)發現利用分枝桿菌檢測可縮短到1-2天。

表4.1.3.3 奈米氧化鋅微粒的出現對生物生長抑制性和大腸桿菌的綠色螢光蛋白產量影響 (GFP, Green Fluorescent Protein) (Wu et al., 2010)。

TABLE 1. Inhibition to Microbial Biomass Production (initial  $OD_{600} = 0.1$ ) and GFP Production of *E. coli* in the Presece of ZnO NPs ( $n = 3$ )

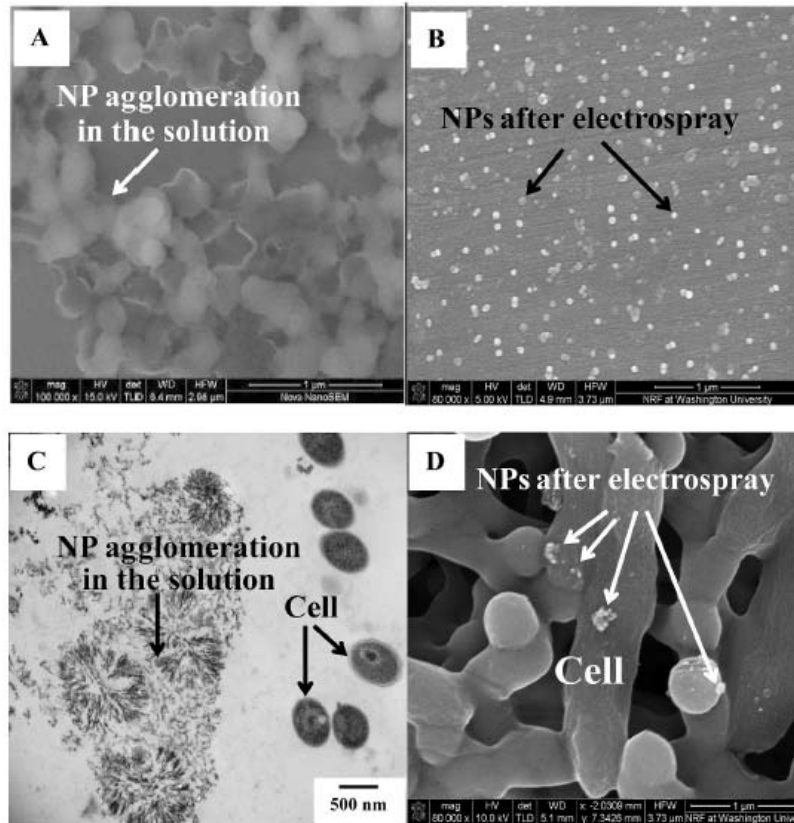
species	inhibition rates (%) in presence of ZnO NPs or $Zn^{2+}$ <sup>a</sup>				inhibition of growth in presence of ZnO NPs (20 mg/L) after adding EDTA (60 mg/L) (%)		inhibition of GFP production by ZnO NPs (%)
	NPs (mg/L)		$Zn^{2+}$ (mg/L)		EDTA only	EDTA +NPs	
	2	20	40	16			
<i>S. oneidensis</i>	9 ± 8	11 ± 6	3 ± 13	10 ± 6	16 ± 4	17 ± 5	-2 ± 3 <sup>b</sup> 10 ± 7 <sup>c</sup>
<i>M. smegmatis</i>	18 ± 11	38 ± 8	60 ± 19	48 ± 18			
<i>Cyanotheca</i> 51142	7 ± 16	69 ± 16	74 ± 19	75 ± 19			
<i>S. cerevisiae</i>	-3 ± 3	-2 ± 6	-1 ± 2	-6 ± 8			
<i>E. coli</i>	1 ± 5	6 ± 10	3 ± 6	2 ± 5			

<sup>a</sup> Inhibition rates were calculated based on the cell densities obtained from different culture conditions. The OD was measured after culturing all microbial species to the late exponential growth phase: rates(%) =  $(1 - (OD(\text{stress condition}) / (OD(\text{control condition})))) \times 100\%$ . <sup>b</sup> 20 mg/L ZnO NPs. <sup>c</sup> 60 mg/L ZnO NPs.

圖4.1.3.3(A、C)中可見奈米氧化鋅微粒在水中呈現嚴重團聚情況，此團聚現象限制顆粒被大腸桿菌吸收及交互作用降低，所以在水中暴露奈米氧化鋅微粒時，生物的主要毒性來源會變成為溶解性鋅離子而非奈米微粒本身。相反的若是經由



靜電噴霧的奈米微粒則呈均勻分布(圖4.1.3.3-B)，奈米微粒氣膠化後直接噴灑於附著大腸桿菌的生物膜上(圖4.1.3.3-D)，此時奈米氧化鋅微粒緊緊附著於細胞表面上而可能增加 $Zn^{2+}$ 通過細胞保護屏障的可能性，因此氣膠直接暴露奈米氧化鋅的抗菌性會因顆粒的奈米作用(nanoeffect)與 $Zn^{2+}$ 壓力(stress)的加乘作用(synergistic effect)而增加。



SEM and TEM images of ZnO NPs (20 nm) and ZnO NPs with bacterial cells. (A) ZnO NPs in the aquatic medium (pH 7.0); (B) ZnO NPs after electro-spray; (C) ZnO NPs (20 mg/L) with bacteria (*M. smegmatis*) in the aquatic medium; (D) electro-sprayed ZnO NPs on bacterial surfaces (*E. coli*). The details of the structure of NPs in solution might be different from those shown in the images due to artifacts arising from drying of the samples for SEM/TEM experiments.

圖 4.1.3.3 奈米氧化鋅微粒 SEM 與 TEM 影像(Wu et al., 2010)。

有鑑於國際上對於工程奈米物質對人類健康及環境安全所帶來的影響的議題日趨重視，經濟合作發展組織(OECD, Organization for Economic Cooperation and Development)針對現有的生態毒性測試標準規範進行文獻回顧，並評估這些現有的標準規範應用在工程奈米物質的物理化學特性測試、工程奈米物質的生物毒性測試及工程奈米物質的衰減及累積測試的適用性(ENV/JM/MONO, 2009, 21)。本研究將針對經濟合作發展組織文獻回顧的結果進行整理與介紹。

### 一、工程奈米物質的物理化學特性測試

經濟合作發展組織物理化學特性測試指標如表 4.1.3.4 所示，此節將這 22 個標準規範分為三個類別作為區分，分別為類別 1：可作為工程奈米微粒的物理化學特性測試指標；類別 2：某些情況下或針對某些種類的工程奈米微粒可作為物理化學

特性測試指標；類別 3：不可作為工程奈米微粒的物理化學特性測試指標。

表 4.1.3.4 經濟合作發展組織物理化學特性測試標準規範。

標準規範編號	標題	類別	標準規範編號	標題	類別
101	紫外光-可見光吸收光譜	2	112	水中游離常數	2
102	熔點/熔化範圍	1	113	熱穩定性及空氣中穩定性屏幕測試	1
103	沸點	3	114	液體黏度	3
104	蒸汽壓	2	115	溶液表面張力	2
105	水溶性	2	116	固體及液體物質之脂質溶解度	1
106	利用批次平衡法測試吸附脫附	2	117	高效能液相層析法測試分配係數（ <u>正辛醇</u> -水）	2
107	震盪法測試分配係數（ <u>正辛醇</u> -水）	2	118	利用凝膠滲透層析儀測定聚合物的數目平均分子量及分子量分佈	2
108	極譜法測試水中複合物形成能力	2	119	利用凝膠滲透層析儀測定聚合物低分子量部分的含量	2
109	溶液與固體密度	1	120	聚合物溶液及萃取物在水中的表現	2
110	微粒粒徑分佈/纖維長度與直徑分佈	2	121	利用高效能液相層析法評估物質在土壤或污泥中的吸附係數	2
111	pH 值與水解關係	2	123	利用慢速攪拌法測試分配係數（ <u>正辛醇</u> -水）	2

如表 4.1.3.4 所示，共有 4 個標準規範被歸類於類別 1，其中規範 102、109 及 113 可直接作為測試工程奈米物質物化特性的標準規範。規範 116 可用來測定工程奈米微粒的毒性影響，然而需選擇一個適合或可用的脂質進行測試。此規範主要用來測試化學物質穿透脂質薄膜的能力、累積在脂肪組織的可能性及應用在油脂性物質的製備過程中。雖有許多實驗顯示這三種化學特性可以藉由其他方法進行評估，然而不可否認的是此規範經過修改仍可作為測試工程奈米物質物化特性的標準方法。

類別 2 中規範 104 不需修改即可直接作為測試工程奈米物質物化特性的標準方法。規範 101、105-108、111-112、115、117、121 及 123 皆適用於水溶液的測試，然而當水溶液中存在聚集的懸浮微粒時，這些規範即不適用且需要修改。規範 110 包括 A 與 B 兩種方法，其中方法 B 經修改後可適用於測試奈米微粒或是奈米纖維的物化特性。規範 118-120 不需經過修改即可適用於評估聚合型工程奈米物質的物化特性。

類別 3 中規範 103 不適用於工程奈米物質，其原因為當固體奈米物質經由高溫熔化作用而由固相轉變為液相時，奈米物質的結構會遭到破壞，藉由冷卻的方

法也無法使其結構還原。對於奈米乳膠物質而言，加熱到沸點的過程也會破壞奈米物質的結構，藉由冷凝作用亦無法使其結構還原。規範 114 僅適用於液體，不適用於溶液、懸浮微粒或是奈米乳膠物質。因此若要使規範 114 適用於評估工程奈米物質的物化特性，必須在此規範中考量當液體中含有奈米物質時對於液體黏滯度的影響。

除了上述標準規範提到的工程奈米物質的物化特性，在建立工程奈米物質物理化學特性測試標準規範時，需考量下列特性：聚集、催化特性、化學組成、濃度、晶相、粉塵特性、脂溶性、結晶尺寸、水力尺寸、粒徑分佈、長度、純度、形狀、比表面積、表面電荷、表面化學、親水性及界達電位。

## 二、測試標準規範應用在“工程奈米物質的生物毒性測試”的適用性

經濟合作發展組織生態毒性測試標準規範如表 4.1.3.5 所示。此節針對這 24 個生物毒性測試標準規範進行評估，並指出這些規範當中的不適用之處及所需加強或修改的部分。

表 4.1.3.5 經濟合作發展組織生態毒性測試標準規範。

標準規範編號	測試種類	標準規範編號	測試種類
201	水藻，生長抑制測試	213	，口服急性毒測試
202	水蚤，急性活動抑制測試	214	蜜蜂，接觸急性毒測試
203	魚類，急毒性測試	215	魚類，幼魚生長測試
204	魚類，延續性毒性測試	216	土壤微生物：氮轉換測試
205	鳥類餵食急毒性測試	217	土壤微生物：碳轉換測試
206	鳥類繁殖測試	218	底泥中搖蚊毒性測試
207	蚯蚓，急毒性測試	219	水中搖蚊毒性測試
208	陸生植物測試： 幼苗出苗與生長測試	220	盆蟲繁殖測試
209	活性污泥，呼吸抑制測試	221	浮萍生長抑制測試
210	魚類，生長初期毒性測試	222	蚯蚓繁殖測試
211	水蚤繁殖測試	224	厭氧菌降低厭氧消化污泥 產氣的活性抑制測試
212	魚類，胚胎與仔魚期 短期毒性測試	227	陸生植物測試：植物活性測試

現有的標準測試規範中使用的術語如化學物質(chemical)、溶液(solution)、溶解度(solubility)、濃度(concentration)、最大有效影響濃度(EC50)、半致死劑量(LC50)、最低無抑制濃度(NOEC)及最低可測影響濃度(LOEC)等皆須經過修改。在規範測試前的準備工作時，必須將奈米物質(nanomaterials)加以定義並將其包含在化學物質裡。在建立配置奈米測試溶液的標準方法時，必須以奈米微粒懸浮試劑(suspension agents)來取代溶液(solution)的術語使用，如標準規範 204、205 及 206 先決條件的章節中提到必須先瞭解化學物質在水溶液中的溶解度(solubility)，若應用在奈米物質上，必須改為奈米物質的懸浮特性(suspension)。此外，現有的規範僅利用化學物質的濃度（如莫耳濃度、當量濃度等）來定義生物暴露的程度，並

以此作為生物產生毒性反應的衡量單位。然而對於奈米物質而言，粒徑、表面積、數目濃度及表面電荷等特性皆會造成不同的生物毒性反應，必須將這些物理特性加入標準規範中以作為衡量生物毒性反應的標準。

目前奈米物質生物毒性的測試技術仍屬於早期發展階段，因此相關領域的研究學者仍無法正確推估奈米物質在生物暴露實驗中的宿命及傳輸路徑。由於奈米微粒可能會與 DNA 或是 RNA 產生反應，因此需要針對同一物種數個世代的生物進行長時間的毒性反應測試，才能瞭解測試終點為何。由於目前現有的標準規範中化學生物毒性的測試終點無法完全的應用在奈米物質生物毒性的試驗當中，因此需要建立一個新的終點實驗規範。針對此一問題，有學者建議利用小型的甲殼綱物種和水蚤進行長時間慢性毒性終點測試，約在三個星期內可完成一次完整的生命週期測試。此外，在進行長時間測試同時，也可瞭解微粒聚集的情形，以及微粒進入生物體內後的傳輸情形(Baun et al., 2008; Handy et al., 2008)。

現有的標準規範裡利用許多不同的培養基進行生物毒性測試，包括土壤、底泥、水及食物。奈米微粒在不同的培養基當中皆會產生不同的物理化學特性。然而，目前現有的規範裡並未提及這些物理化學特性。以水為例，不同的酸鹼值或是離子強度皆會影響奈米微粒在水中的聚集程度。而在配置測試溶液的過程當中，水中的可溶性有機物質、溶液混和攪拌的方法甚至是加入稀釋溶液的速度皆會影響微粒的懸浮特性。針對測試溶液的配製方法，Oberdörster et al. (2006)建議應該利用長時間攪拌清水奈米物質水溶液的方法，來製備奈米微粒水溶液以進行水中生物毒性的實驗，比較接近實際環境的狀態。此方法是將 80 mg 的粉末狀奈米物質加入 100 ml 的去離子水中，之後水溶液利用磁石攪拌機以 500 rpm 的速度攪拌數星期，最後水溶液再利用 0.22  $\mu\text{m}$  孔徑的耐龍濾紙過濾之，並存放於陰暗處(Zhu et al., 2006; Oberdörster et al., 2006)。此方法製造的測試溶液對於水蚤及成年呆鱗魚產生的毒性相對於利用 Deguchi et al. (2001)建立的標準方法所配製出的測試溶液來的低，且較符合實際的奈米微粒在環境的狀態(蔡等人, 2007)。因此，未來的奈米物質生物毒性測試標準規範可參考上述測試溶液的配置方法以作為標準配置程序，以確認標準規範的適用性。

### 三、測試標準規範應用在工程奈米物質的衰減及累積測試的適用性

工程奈米物質在環境中的宿命，亦即奈米物質在土壤、地表、地表水、污水、飲用水及大氣中的傳輸及降解必須審慎的評估，以瞭解當奈米物質排放進入到自然環境中時，其對於人類或是其他生物所造成的衝擊。目前的標準規範仍須進一步的修改，或是建立新的標準規範來準確的評估工程奈米物質在環境中的宿命。有鑑於此，經濟合作發展組織列出許多在建立評估工程奈米物質宿命的標準規範時，必須釐清的問題。這些評估項目包括奈米物質在環境中的傳輸與沉降、降解及生物累積性。首先，在評估現有的標準規範是否適用於調查工程奈米物質在環境中的傳輸與沉降時，科學家需要瞭解下列問題：

- A. 那些物理化學特性會影響工程奈米物質在環境中的傳輸與沉降？
- B. 工程奈米微粒在環境中的傳輸行為是否與塊材物質的傳輸行為相似？我們可否藉由已知的膠狀物質傳輸模式，或是大氣中超細微粒的傳輸模式來模擬工程奈米微粒的傳輸行為？

- C. 奈米物質如何在大氣中傳輸？哪些大氣的特性或條件會影響奈米物質的傳輸？
- D. 奈米物質在土壤或地下水中移動的範圍多大？若奈米物質進入到土壤及地下水，自然界中的生物是否會因飲用這些水而使得暴露在奈米物質的風險增加？
- E. 奈米物質傳輸到粒狀物質、底泥、污泥表面或是地下水的可能性為何？
- F. 奈米物質的聚集、結塊或是吸收作用是否會影響其傳輸行為？
- G. 奈米微粒與自然界的反應是否與相同物質的塊材不同？
- H. 在多大量或是何種形式下，奈米微粒會因為自然界的因素（如下雨、日照、熱能等）、人為的利用或丟棄而傳輸的自然界中？
- I. 奈米微粒與環境及特殊的催化劑反應的可能性？
- J. 現今的測試方法是否可評估奈米物質在自然環境中的傳輸及沉降？
- K. 是否需要建立新的方法以評估奈米物質的宿命及傳輸？

在建立一個用來評估奈米物質降解的標準規範時，我們需瞭解下列問題：

- A. 特殊的奈米物質是否會持續的存在於環境中，或是會因為生物或非生物的作用而產生降解現象？奈米物質的降解與具有相同化學特性的塊材的降解過程是否相同？如果他們會降解，則降解後的生成物及特性為何？若奈米物質存在於環境中，他們是否會產生生物累積及生物放大作用？
- B. 哪些物化參數會影響有意產生的奈米物質持續存在於環境中？哪些物化參數會影響無意產生的奈米物質（如含碳物質燃燒後的產物）持續存在於環境中？
- C. 奈米物質的物化特性與生物特性如何在複雜的環境中（空氣、水及土壤）產生改變？氧化還原反應如何影響奈米物質在環境中的轉變？奈米物質在大氣中、水中或是自然環境中會產生何種程度的光反應？
- D. 奈米微粒的聚集、吸收作用及結塊如何影響微粒的轉變？
- E. 現有的測試方法能否用來測定奈米物質生物或是非生物（光轉變、水解）的降解與轉換？

在建立一個用來評估奈米物質生物累積性的標準規範時，我們需瞭解下列問題：

- A. 工程奈米微粒對於水中生物而言是否具有生物可利用性？對於塊材而言，現有的標準規範假設未溶解於水中的部分不具有生物可利用性，此假設是否也適用於工程奈米物質？
- B. 奈米物質如何累積於生物體內？奈米物質的特性是否影響他們的生物可利用性？奈米物質的生物累積程度大於或小於塊材物質？
- C. 現有的測試方法可否用於測定奈米物質的生物累積性？
- D. 具有何種物理特性的奈米物質可用來做為生物累積特性評估的測試物質（如分散狀態或是聚集結塊狀態）？可否根據環境中奈米物質的物理與化學特性來定義最差的暴露情況，並以此作為依據來設計相關的生物累積測試？
- E. 是否需建立新的測試方法來瞭解奈米物質的生物累積性？

根據上述問題，經濟合作發展組織列出了進行工程奈米物質在環境中的宿命

的評估工作時所需完成的終點測試項目及相對應的標準規範，並指出現有的標準規範的適用性及需改善的部分。終點測試項目及相對應的標準規範如表 4.1.3.6 所示。

表 4.1.3.6 終點測試項目及相對應的 OECD 標準規範。

終點測試項目	標準規範
<b>物理化學特性</b>	
聚集、結塊	N.A.
水溶性	OECD 105
分配係數 (正辛醇-水)	OECD 107、117、123
水中分散穩定性	N.A.
<b>生物降解</b>	
快速生物降解性	OECD 301、310
地表水模擬測試	OECD 309
土壤模擬測試	OECD 307
底泥模擬測試	OECD 308
污泥處理模擬測試	OECD 303
確認降解後的產物	N.A.
測試降解後的產物特性	N.A.
<b>非生物降解及宿命</b>	
水解 (奈米物質表面改質)	OECD 111
吸附/脫附	OECD 106
土壤或底泥吸附	OECD 121
土壤滲透	OECD 312
<b>生物累積可能性</b>	
由水傳遞到魚體內之生物濃度	OECD 305
底泥昆蟲的生物累積性	OECD draft 2007

#### 四、物理化學特性評估

在評估奈米物質在環境中的宿命時，首先必須先瞭解奈米物質的物理化學特性。若是某個待評估的奈米物質可溶於水，且濃度對於水中生物及生態足以產生毒性影響，則許多現有的標準規範可用來測試此奈米物質的物理化學特性。然而當這個奈米物質不溶於水時，我們就必須瞭解它是否會穩定的懸浮於空氣中或是水體中。以奈米富勒烯為例，水體中的離子強度對於許多有機污染物（如多環芳香烴）的水溶性僅有些微的影響，然而對於奈米富勒烯而言，離子強度的改變對於奈米富勒烯在水中的懸浮穩定度會產生巨大的影響。因此在使用現有的標準規範進行奈米物質環境宿命的評估時，學者需考量何種物理化學特性會影響奈米物質的傳輸及沉降。若是某個奈米物質容易吸附於土壤或底泥中，則微粒的聚集或是吸附特性為必須量測的物理化學特性。若是奈米物質在水中會形成穩定的聚集顆粒，則我們必須量測微粒的粒徑及其表面特性。針對現有的標準規範適用性評估，OECD 105、107、117 及 123 可適用於大部分的奈米物質，然而針對某些不溶於水的有機性奈米物質而言（如富勒烯），就必須利用其他方法來量測它的水溶性。

### 五、生物或非生物降解性

進行生物性降解測試時，我們可以先排除無機性奈米物質，因為它不具有生物可利用性。若是奈米物質會沈澱於底泥或是土壤表面，則我們就不需進行地表水模擬測試。針對含碳奈米物質（如富勒烯），我們可以利用 ISO 15462 標準方法來進行微生物降解測試。

在評估某個奈米物質是否具有生物降解或是非生物降解特性時，我們必須瞭解奈米物質本身的物理化學特性。假設某個奈米物質由一個具有快速生物降解性的聚合物所構成（如聚合物），則我們可以推斷此奈米物質的降解特性與非奈米物質相似(ENV/JM/MONO/(2009)21)；然而即使有一個已知具有快速生物降解性的奈米物質存在於自然環境中時，因為其本身可能會形成聚集結塊顆粒，或是與其他環境中的化學物質產生化學反應而形成另一種物質，使得我們無法確定其降解屬於生物降解或非生物降解。此時必須利用經濟合作發展組織或是其他標準規範測定奈米物質的物理化學特性，或是建立新的標準方法來量測奈米物質的聚集特性。表 4.1.3.7 為國際上評估生物降解性的標準方法，經濟合作發展組織同時指出這些標準方法運用於評估奈米物質生物降解性的適用性，以供相關研究學者參考。

表 4.1.3.7 國際評估生物降解性的標準方法。

方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
快速生物降解性測試						
OECD 301A 溶解性有機碳消滅試驗 (ISO 7827)	28 天	地表水微生物 (~10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup> cells/L)，未經加氯消毒的污水處理流出物或是活性污泥。非事先培養接種體。	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-24°C、漫射光照條件下攪拌條件下。測試物質濃度 (10-40 mg DOC/L)	溶解性有機碳移除率	測試物質具有可溶性、非揮發性、不會吸附在容器或污泥中，測試濃度下無毒性	原則上在奈米物質具不可溶性時不適用。
OECD 301B 二氧化碳排放測試 (ISO 9439, OPPTS 835.3120)	28 天	地表水微生物 (~10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup> cells/L)，未經加氯消毒的污水處理流出物或是活性污泥。非事先培養接種體。	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-24°C、漫射光照條件下攪拌條件下。測試物質濃度 (10-20 mg DOC/L)	二氧化碳產量。剩餘物質物化特性描述。	測試物質具有非揮發性，測試濃度下無毒性	適用於奈米物質，待測物質濃度需求高 (2-40 mg C/L)。需量測礦化作用。
OECD 301C 經修改之 MITI 試驗法	28 天	地表水微生物 (~10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup> cells/L)，未經加氯消毒的污水處理流出物或是活性污泥。非事先培養接種體。	在無光線中、好氧、溫度為 24-26°C 情況下攪拌。測試物質濃度 (100 mg/L)	氧氣攝取。剩餘物質物化特性描述。	測試物質在測試濃度下無毒性，需經過硝化作用干擾	原則上適用於奈米物質，濃度需求高。
OECD 301D 瓶中試驗 (ISO 10707)	28 天	地表水微生物 (10 <sup>4</sup> -10 <sup>6</sup> cells/L)，未經加	在無光線中、好氧、溫度為 20-24°C 情況下攪拌。測試物質濃	氧氣攝取。剩餘物質物化	測試物質在測試濃度下無毒性，需經	原則上適用於奈米物質



		氯消毒的污水處理流出物。非事先培養接種體。	度 (2-10 mg/L)	特性描述。	過硝化作用干擾	
OECD 301E 經修改之 OECD 屏幕試驗(ISO 7827)	28 天	未經加氯消毒的污水處理流出物裡的微生物 (~10 <sup>5</sup> cells/L)。非事先培養接種體。	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-24°C、漫射光照條件下攪拌。測試物質濃度 (10-40 mg DOC/L)	溶解性有機碳移除率	測試物質具有可溶性、非揮發性、不會吸附在容器或污泥中，測試濃度下無毒性	原則上在奈米物質具不可溶性時不適用
OECD 301F 壓力呼吸試驗(ISO 9408)	28 天	地表水微生物 (~10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup> cells/L)，未經加氯消毒的污水處理流出物或是活性污泥。非事先培養接種體。	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-24°C、漫射光照條件下攪拌。測試物質濃度 (100 mg/L)	氧氣攝取。剩餘物質物化特性描述。	測試物質在測試濃度下無毒性，需經過硝化作用干擾。	原則上適用於奈米物質，濃度需求高。
OECD 310 上部空間採樣測試 (ISO 14593)	28 天	地表水微生物 (~10 <sup>5</sup> -10 <sup>8</sup> CFU/L)，未經加氯消毒的污水處理流出物或是活性污泥。非事先培養接種體。	密閉批次培養皿內。在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-25°C、漫射光照條件下攪拌。測試物質濃度 (20-40 mg C/L)	密閉容器內二氧化碳產量	測試物質在測試濃度下無毒性	適用於奈米物質，測試物質不需具有可溶性，可使用載體。需量測礦化作用。
方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
淡水（海水）及底泥系統模擬測試						
OECD 308 水中底泥系統之好氧及厭氧轉變	小於 100 天	底泥中的微生物。非事先培養接種體。	自然界中水及底泥穩定狀態下進行測試，待測物需由非揮發性 <sup>14</sup> C 化合物進行標記。	對轉變後的產物進行化學分析或是分析 <sup>14</sup> CO <sub>2</sub> 。	只模擬懸浮底泥。測試物質需具有無毒性、非揮發性及可溶性。	適用於具有生物降解性的奈米物質。需量測被標記微粒的礦化作用。
OECD 309 地表水好氧礦化作用	批次測試 90 天	地表水（淡水及海水）中的微生物。非事先培養接種體。	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-25°C、漫射光照條件下攪拌。最佳測試物濃度為 10 µg/L。經放射性物質標記的物質濃度為 50 µCi/mg。	對轉變後的產物進行化學分析或是分析 <sup>14</sup> CO <sub>2</sub> 。		適用於奈米物質。需量測被標記微粒的礦化作用。
ISO 14592-1 (OPPTS 835.3170)	無固定測試時間	地表水樣品裡的微生物經由 100 µm 孔隙的率紙過濾後進行遠海測試 (pelagic test)。此測試可由懸浮	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 20-25°C、漫射光照條件下攪拌。測試物濃度為 1-100 µg/L。經放射性物質標記的物質濃度為	特定化學或是經放射性的物質標記的化學物質分析。	測試物質具有可溶性、非揮發性，在測試濃度下無毒性。	原則上適用於奈米物質。需要使用標記物質標記奈米物質。需量測被標記微粒的



		污泥測試取代。	15-30 Bq/ml。			礦化作用。
ISO 14592-2	小於 60 天	地表水微生物	自然漫射光	特定化學或是經放射性物質標記的化學物質分析。	測試物質具有可溶性、非揮發性，在測試濃度下無毒性。	原則上適用於奈米物質。需要使用標記物質標記奈米物質。需量測被標記微粒的礦化作用。需高濃度的待測奈米物質。
OPPTS 835.3180	小於 60 天	自然界中的微生物	底泥土壤縮模 (microcosms)。標記物 $^{14}\text{C}$ 使用濃度與自然界相當。	待測物轉變後的產物化學分析或是分析 $^{14}\text{CO}_2$ 。	測試物質具有可溶性、非揮發性，在測試濃度下無毒性。	原則上適用於奈米物質。需要使用標記物質標記奈米物質。需量測被標記微粒的礦化作用。需高濃度的待測奈米物質。
OECD 303A 好氧污泥處理：耦合單元測試。(ISO 11733)	12 週	好氧污水	由連續供料的實驗室規模的耦合污泥處理單元消除測試的化學物質 (20 mg/L DOC)。	量測溶解性有機碳移除率或化學需氧量。針對奈米物質而言只分析 $^{14}\text{CO}_2$ 。	測試物質具有可溶性、非揮發性。	僅適用於經放射性物質標記的物質。
方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
基本生物可分解性測試						
OPPTS 835.3220 多孔瓶法	21 天	家庭污水廠活性污泥	多孔平孔隙填滿接種體與 10-20 mgC/L 的測試物質	測試物質的基本生物降解量，	測試物質具有可溶性、非揮發性、不會吸附在容器或污泥中，測試濃度下無毒性	不適用於奈米物質
方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
海水模擬測試						
OECD 306 (ISO 7827、10707, OPPTS 835.3160)	搖瓶法：60 天，封閉瓶法：28 天	測試海水中的微生物，非事先培養接種體。	在無光線中攪拌，或是在好氧、溫度為 15-20°C、漫射光照條件下攪拌。搖瓶法待測物濃度：5-40 mg DOC/L。封閉瓶法待測物濃度：2-10 mg/L。	溶解性有機碳移除率，氧的攝取	在測試濃度下無毒性。具有可溶性、不會吸附在容器上。封閉瓶法需在硝化作用干擾下進行。需高濃	海水轉換封閉瓶法適用於奈米物質測試。

方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
土壤模擬測試						
OECD 307 土壤中好氧及厭氧轉換	120 天	現地土壤微生物	土壤樣品中	$^{14}\text{CO}_2$	無法進行奈米物質的物化分析	適用於礦化作用量測 ( $^{14}\text{CO}_2$ 為礦化作用後的產物)
方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
固有生物降解試驗-水						
OECD 302A 修改半連續活性污泥試驗 (OPPTS 835.3210)	120 天	澄清家庭污水及活性污泥。接種體來源為家庭污水處理廠	測試物質 (20 mgDOC/L 加入澄清家庭污水或是活性污泥 (2500 mg/L TSS)，在溫度為 20-25°C 下曝氣 23 小時。曝氣結束後使污泥沈澱並移除懸浮物質。最後再加入新鮮污水及待測物質。	溶解性有機碳移除率。密閉容器內 $\text{CO}_2$ 產量。可量測 $^{14}\text{CO}_2$ 。	待測物具有非揮發性，產生泡沫時不會減少待測物質，測試濃度下無毒性，需確定待測物有無吸收或吸附於容器的可能。	適用於礦化作用量測。
OPPTS 835.5045 修改半連續活性污泥試驗 (針對具不可溶性及揮發性之化學物質)	120 天	澄清家庭污水及活性污泥		密閉容器內 $\text{CO}_2$ 產量。可量測 $^{14}\text{CO}_2$ 。		適用於礦化作用量測。
OECD 302B 靜態試驗 (Zahn-Wellens 法)。 (ISO 9888) (OPPTS 835.3200)	28 天	接種於 200-1000 mg/L 總懸浮固體的活性污泥。非事先培養接種體。	批次培養曝氣，使用待測物質作為唯一的碳來源 (50-100 mg/L DOC)，在 20-25°C 下接種。評估最終生物降解量。	量測溶解性有機碳或是化學需氧量。量測主要的物質轉變。	待測物具有非揮發性，產生泡沫時不會損失待測物質，測試濃度下無毒性，需確定待測物有無吸收或吸附於容器的可能。	適用性受限於奈米物質是否含有溶解性有機碳
OECD 302C MITI (II)	14-28 天	好氧混和，未經改質的微生物 100 mg/L。	測試物質：30 ppm (W/V) 活性污泥：100 ppm (W/V) 測試溫度：25°C 評估最終生物降解量。	氧氣需求量及特定的化學分析。	待測物具有非揮發性，產生泡沫時不會損失待測物質，測試濃度下無毒性。	碳需求量高時不適用。
OPPTS 835.3100 好氧水中生物降解性試驗	事先接種後 28 天	事先接種體	待測物質 (10 mg/L DOC) (加入預先接種的微生物於 20-25°C、好氧情況	溶解性有機碳移除率及二氧化碳排放	測試物質具有可溶性及非揮發性。	適用性受限於奈米物質是否含有溶解性有機碳

驗			下攪拌。	量。		
OPPTS 835.5045 修改半連續 活性污泥試驗(不溶解性及揮發性物質)	40-120 天	澄清家庭污水及活性污泥。非事先培養接種體。	測試物質 (20 mgDOC/L 加入澄清家庭污水或是活性污泥 (2500 mg/L TSS)，在溫度為 20-25°C 下曝氣 23 小時。曝氣結束後使污泥沈澱並移除懸浮物質。最後再加入新鮮污水及待測物質。	溶解性有機物移除率。有機物移除 >20% 時代表固有生物降解性。有機物移除 >70% 時代表最終生物降解性。		適用性受限於奈米物質是否含有溶解性有機碳
方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
固有生物降解性試驗-土壤						
OECD 304A (ISO 14239- 生物偵測儀 系統) OPPTS 835.3300	64 天	擾動土壤-灰燼土(alfisol)、淋澱土(spodosol)、新成土(entisol)。某些特殊情況下可使用含有高含量淤泥或是黏土(30%)成分的土壤。	無光線中、溫度為 20-24°C 下進行測試。	CO <sub>2</sub> 排放量測。	需利用標籤物質標的待測物。	
方法	測試時間	接種體	測試條件	測量法	限制	奈米物質適用性
厭氧降解試驗法						
OECD 311 ISO 11734	60 天	清洗過的消化污泥 1-3 l/L, 經營養物質修正的厭氧基質。密閉容器內加裝氧化還原指示器。	批次測試, 待測物濃度 20-100 mg/L, 35 °C 下進行測試。評估最終生物降解率。	量測總氣體產量 (甲烷+二氧化碳)。	測試濃度下無毒性。	需要非常大量的待測物質。不適用於奈米物質。
OPPTS 835.3400 厭氧有機化學物質生物降解性	56 天	厭氧污泥。	測試物質濃度 50 mg/L。在 35 °C 下進行測試。	氣體產量 (甲烷+二氧化碳)。	不適用於有毒化學物質。需使用高濃度的待測物。	適用於已利用標的之奈米物質。

## 六、生物累積性

目前經濟合作發展組織僅有 OECD 305 標準測試方法可用來評估水中魚類有

毒物質生物累積性。本文將在此節介紹 OECD 305 標準規範的內容裡裡，經濟合作發展組織認為所需修改或加强的地方，並與原標準方法內容進行比較，以做為未來學者建立新的標準方法的參考依據。

在原標準方法第 3 段提到，在進行生物累積測試前，我們必須先瞭解待測物質的下列特性：

- (a) 水中溶解度
- (b) 分配係數（正辛醇-水）( $P_{ow}$ )
- (c) 水解
- (d) 水中太陽照射或是模擬太陽光照射條件下物質的光致轉化反應。
- (e) 表面張力
- (f) 蒸汽壓
- (g) 快速生物降解性

此標準方法適用於測試  $1.5 \leq \log P_{ow} \leq 6.0$  之穩定有機化學物質及  $\log P_{ow} > 6.0$  具有超親脂特性的物質。此規範利用攝取速率常數( $k_1$ )、排放速率常數( $k_2$ )及穩定狀態下生物濃度係數( $BCF = C_f / C_w$ ，其中  $C_f$  (mg/g) 為待測化學物質在魚體內的濃度， $C_w$  (mg/ml) 為待測化學物質在測試基質中的濃度。)。在此段內容當中，經濟合作發展組織認為分配係數、蒸汽壓、水解及表面張力等特性對於無機性的奈米微粒而言較不重要，快速生物降解性及光致轉化反應無法破壞無機性的奈米物質，在進行無機性奈米物質生物累積特性測試時，我們無須量測上述物化特性。

在原標準方法第 5 段提到，利用經由輻射標的物質標的之測試物質進行實驗將有助於水及魚體樣品的分析。若在實驗過程中量測輻射殘留物質，則生物濃度係數可由母體化合物、殘留代謝物及消化之碳物質來代表。母體化合物之生物濃度係數由魚體內的母體化合物濃度而定。若需同時進行合魚體新陳代謝研究及生物濃度研究，可藉由分析及測定組織內的殘留物來達成。針對此段敘述，經濟發展組織認為可加上感應耦合電漿質譜分析儀(inductively coupled plasma mass spectroscopy, ICP-MS)來測定魚體內無機奈米物質的濃度。

化合物攝取階段需測試 28 天，攝取階段的長度及到達穩定條件所需要的時間可由附件四列出的經驗公試進行計算。排放階段開始後，將魚體移到具有相同基質但不含測試物質的乾淨容器內進行測試。生物濃度參數可由計算魚體內待測物濃度與水中待測物濃度的比值而得，或是假設在一階動力模式下，計算攝取速率常數與與排放速率常數的比值。然而在進行奈米物質長時間生物累積測試時，有許多其他因素會影響攝取階段長度的評估。第一，必須考量奈米微粒在水溶液中的懸浮穩定度，若奈米微粒沈澱於培養基的底部，則奈米微粒的濃度會隨著時間的變化而產生改變。第二，當奈米微粒進入魚體內再排放到測試溶液後，生物轉變特性會使得奈米微粒產生聚集作用而使濃度降低。第三，在進行測生物累積測試時，奈米微粒會因聚集作用而改變微粒的粒徑，進而影響魚類對奈米物質的攝取作用。以上影響因素皆需要進一步的評估，並經過實驗驗證以建立新的經驗公試來評估攝取階段的長度及到達穩定條件所需要的時間。

生物濃度係數是以一個完整的魚體濕重量來表示。當魚體過大或是必須將魚體分為可食用的部分及不可食用部分時，生物濃度係數可以用某個特定組織或器

官來表示。由於許多有機化學物質的生物累積性與親油脂特性具有正相關性，在計算生物濃度係數時必須考量魚體內脂肪的含量，已降低此種測試物質的化學特性對測試結果產生的影響。然而在測試奈米物質時，科學家目前還無法確定有機或無機奈米物質是否也具有上述特性。此外，微生物的脂肪含量對於微生物對奈米微粒的攝取作用是否會產生影響，仍有待進一步的確認。

標準規範中測試條件如下所示：

1. 溫度改變小於 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
2. 水中氧溶解濃度不可小於飽和濃度的 60 %。
3. 在攝取階段測試中，腔體中物質濃度必須為平均測值的 $\pm 20\%$ 。
4. 測試完成時，死亡或其他疾病造成控制組及測試組魚類數量減少需小於 10 %。
5. 若測試時間為數週或數個月，則每個月的死亡率不可高於 5 %，累計不可超過 30 %。

針對奈米物質而言，測試條件 3 應改為懸浮微粒的濃度值，而非溶解於溶液中的濃度。

測試用的水來源為自然界的水。在稀釋測試用的水時需確定魚類沒有任何行為上的變化。在進行實驗前必須先測量測試用水的 pH 值、硬度、總固體濃度、總有機碳、氮、磷、銨度及鹽度等參數。針對奈米物質而言，進行測試前可先評估上述何種參數會影響奈米微粒的聚集並予以控制，以避免聚集微粒影響奈米累積特性的測試結果。

原標準規範中提到，配置測試溶液時，將待測物質加入稀釋水中攪拌混和配置成儲備溶液。測試溶液當中不建議加入任何的溶劑或是分散劑。在某些特殊條件下，可使用甲醇、乙醇、乙炔、乙二醇單乙醚(ethylene glycol monomethyl ether)、乙二醇二甲醚(ethylene glycol dimethyl ether)、二甲基甲醯胺(dimethylformamide)及三甘醇(triethylene glycol)；分散劑可使用 Cremophor RH40、聚氧乙烯山梨醇酐單油酸酯二(Tween 80)、甲基纖維素(methylcellulose) 0.01 %及氫化蓖麻油(HCO-40)。針對奈米物質而言，上面的敘述並不適用於無機性奈米物質。

## 七、國內研究現況

目前國內關於奈米微粒或奈米物質對水生生物的暴露風險或毒性評估等相關的研究報告仍非常有限，因此，環境奈米毒理學(environmental nanotoxicology)相關的研究具有非常大的發展潛力。舉例來說，台灣大學農業化學系的陳佩貞助理教授利用青鱗魚(Medaka, *Oryzias latipes*)為模式生物，並結合分子生物學及分析化學的技術，來探討奈米物質的毒性作用機制。其研究著重在探討奈米零價鐵(土壤及地下水污染復育的奈米物質)及多種奈米生醫物質[如中孔徑氧化矽奈米顆粒(mesoporous silica nanoparticles, MSNs)、量子點(quantum dots, QDs)及奈米鐵(nano-irons)]的生物有效性、毒性作用及對水域生態的衝擊等議題。初步結果發現不同鐵物種[奈米零價鐵(~50 nm)、奈米氧化鐵及鐵離子]對青鱗魚幼苗造成的急毒性分別為二價鐵離子>奈米零價鐵>奈米氧化鐵。奈米零價鐵(1-100 mg/L)於含氧水中急遽的氧化還原作用結果[如造成溶氧降低、二價鐵離子濃度上升及活性氧物種(reactive oxygen species)誘導的氧化壓力(oxidative stress)]應是造成青鱗魚幼苗急毒

效性的主因。此外，青鱒魚經過長時間(>4周)的MSNs溶液(10 mg/L, 10-20 nm)暴露後，MSNs似乎會累積在魚隻肝臟中。

由於環境奈米物質的種類繁多且物化特性變異極大，其進入水域環境中可能會與水中基質或其他化學物質進行交互作用，因而改變其生物毒性。因此奈米物質於自然環境中的行為、宿命及對水生生物的毒性作用機制相當複雜且難以預測，也因而使得相關的環境監測與毒性評估工作困難重重。青鱒魚為原生於亞洲的小型淡水魚種，因具有(1)體型小(成魚約3-4公分)、性成熟快(6-8週)及產卵量多(10-30顆/天);(2)整隻動物可直接進行毒性及藥效測試;(3)胚胎小、發育快，故所需藥劑量少;(4)所需的養殖及管理費用遠低於老鼠等優點，因此廣泛地被用於脊椎動物的胚胎發育、疾病研究、藥物篩選及毒物測試等研究領域。加上青鱒魚易於野外繁殖並具本土代表性，因此青鱒魚相關的奈米生態毒理之研究結果可提供台灣學術界及規範單位具有本土特性的環境毒理資訊。未來應著重在跨領域的整合型研究，目標在發展高效能的活體生物檢測系統(如以青鱒魚為模式生物)，以及瞭解新興奈米物質的毒性作用機制以開發一系列針對不同奈米物質的生物指標試驗(biomarker assays)。此類的奈米生物檢測系統及方法可有效地篩選出對環境友善的奈米物質或材料，並可協助環境奈米污染監測或奈米物質的風險評估等工作。

## 八、小結

根據經濟合作發展組織針對現有的化學物質對生物毒性測試標準規範的文獻回顧結果可知(ENV/JM/MONO, 2009, 21)，由於工程奈米物質的許多物理化學特性與一般化學物質不同，現有的規範需經過修改才可應用在生物毒性測試上。

本報告的結論及建議如下：

1. 奈米物質生物毒性的測試仍屬於發展階段，學者仍無法正確推估奈米物質在生物暴露實驗中的宿命及傳輸路徑。
2. 現有的生物降解標準測試方法僅適用於有機奈米物質。
3. 目前還尚無法確定含有純碳物質的奈米微粒是否具有生物降解特性。
4. 現有的毒性測試標準所用的化學物質特性與工程奈米物質不同。
5. 毒性測試需考量奈米物質之物理化學特性，微粒之粒徑、形狀、表面積及奈米物質與水中其他物質產生變化後會改變奈米微粒對生物之毒性影響。
6. 建議國內在制訂標準規範時需將上述影響因素加以考量並列入測試項目當中。

### 4.1.4 奈米物質的毒性評估

當物質以奈米尺寸存在時，這些奈米物質不再具有與大顆粒物質相同的性質，因為在相同質量下，奈米物質會比大微粒具有更大的表面積，這樣的特質使得奈米微粒的應用變得非常廣泛，但也伴隨對環境不良的影響，例如奈米銀會損害一些可用來處理污水的細菌，因而對環境造成危害(Navarro et al., 2008b; Benn and Westerhoff, 2008)。研究報導也顯示出，人造的奈米碳管及奈米金屬氧化物會對環境中微生物族群、植物、及水中生物等有良好的影響(Kang et al., 2009;

Navarro et al., 2008a)。圖 4.1.4.1 顯示出，奈米微粒可藉由結合自然界中的有機物質或其他毒性物質，使其更加穩定而進入生態系統，進一步的進入生物體中，在生物體中的奈米微粒則以小的奈米尺寸，透過細胞膜的孔洞進入細胞內，影響細胞的功能進而影響生物體，也造成環境生態的變化。

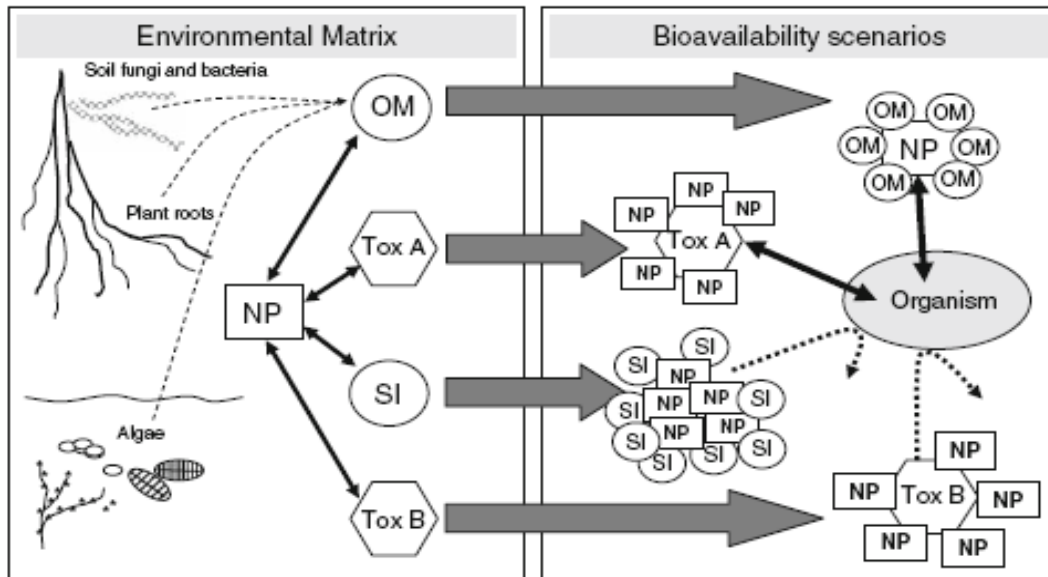


圖 4.1.4.1 環境中的奈米微粒(NP)與有機物質(OM)、毒性物質(Tox A 或 B)、土壤中的離子(SI)等的結合，而增加其穩定度，並進而進入生物體中而影響環境生態 (directly from Navarro et al., 2008a)。

在探討奈米微粒是否具健康危害的文獻曾指出：奈米物質在進入生物體後，將會發生吸收 (uptake) 與轉移 (translocation) 現象 (Oberdörster et al., 2005a; b)。其進入的途徑通常可藉由皮膚接觸、呼吸道吸入和食道食入等方式，其中皮膚對離子或粉塵具有相當封閉的阻礙，而以呼吸道進入體內則是最難防守且最容易受到傷害，因為奈米物質一旦吸入體內，將可能會產生堆積阻塞 (呼吸或血液等)、發炎、物理和化學反應。當奈米物質進入生物體後，就有可能以數種方式穿透細胞膜而進入細胞，如被動的擴散、由接受器蛋白引導的胞吞機制、或是由細胞膜蛋白組成的泡囊將奈米微粒帶入細胞內 (見圖 4.1.4.2)。而後續的研究也證實奈米微粒是會引發細胞毒性、氧化壓力及發炎反應 (Nel et al., 2006; Sayes et al., 2007; Stone et al., 2007; Xia et al., 2006)。在 Xia et al. (2006) 的研究中，使用老鼠的肺部巨噬細胞株(RAW264.7)，分別暴露於二氧化鈦( $\text{TiO}_2$ )、碳黑(carbon black)、富勒醇(fullerol,  $\text{C}_{60}(\text{OH})_m$ ,  $m=22-2$ ) 及聚苯乙烯 (polystyrene, PS) 等奈米微粒下，奈米微粒的粒徑、表面積大小及化學成分組成等因素，都可以影響其刺激生物體產生氧化壓力的能力。過量氧化壓力的產生可氧化細胞中的大分子，如蛋白質及 DNA，這些大分子的結構和功能會因過量的氧化壓力而被破壞，進而引發損害甚至死亡。



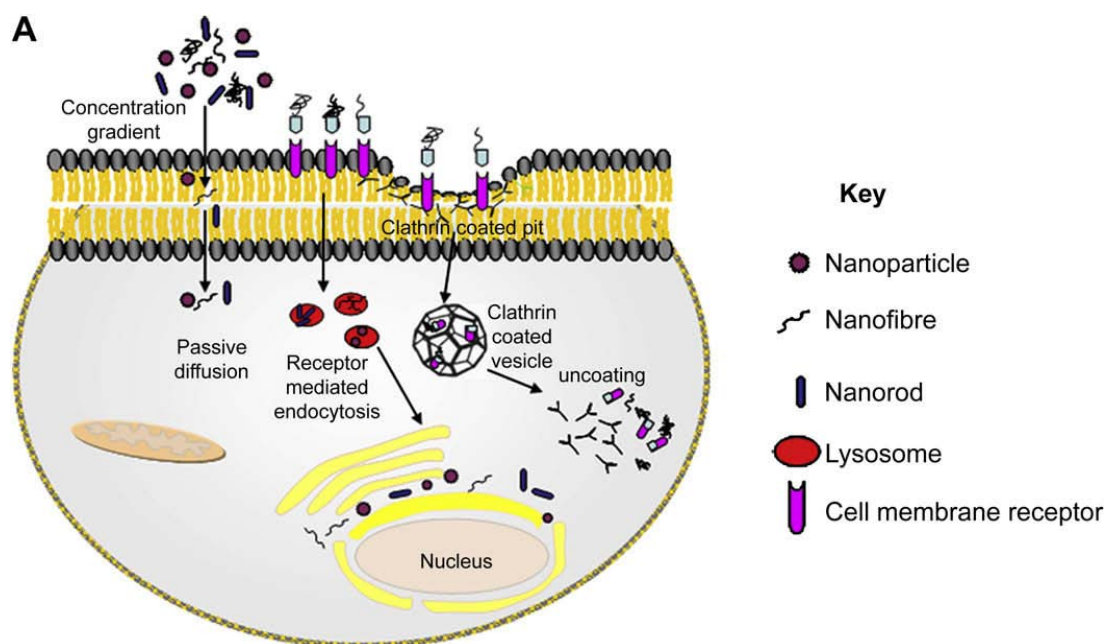


圖 4.1.4.2 奈米微粒以進入細胞內的途徑，如被動的擴散(Passive diffusion)、由接受器蛋白引導的胞吞機制 (Receptor-mediated endocytosis)、或是由細胞膜蛋白組成的泡囊(Clathrin- or caveolae-mediated endocytosis) 將奈米微粒帶入細胞內 (directly from Singh et al., 2009)。

Shvedova 於 2003 年調查指出，對於暴露於環境中含有石墨和碳材料的作業人員，已發現有皮膚疾病的發生，產生的疾病如碳纖維導致的皮膚炎、皮膚過度角質化和癌症。雖然單壁奈米碳管 (SWCNT) 的潛在毒性和反應機制尚未完全研究清楚，但在這篇研究報告中採用的細胞組織模型，模擬 SWCNT 的逆向效應對人類的表皮角質化 (HaCaT) 的影響，單壁奈米碳管可破壞細胞的完整性，以及刺激氫氧自由基的形成，因而加速氧化壓力的產生，造成細胞內抗氧化劑的耗損及過氧化物的累積。研究中明確的指出單壁奈米碳管可引起皮膚的毒性反應。進一步的在 Shvedova 與 Kagan 的文獻回顧報導 (2010) 中，再以單層奈米碳管對肺部組織的影響為重點，提出動物暴露於單壁奈米碳管(SWCNT)下，因呼吸道進入生物體而對肺組織所造成的主要影響為細胞毒害、發炎反應、早期肺纖維化、氧化壓力的產生、免疫系統的抑制、被微生物感染的機會增加、甚至導致癌症的發生等 (見圖 4.1.4.3)。



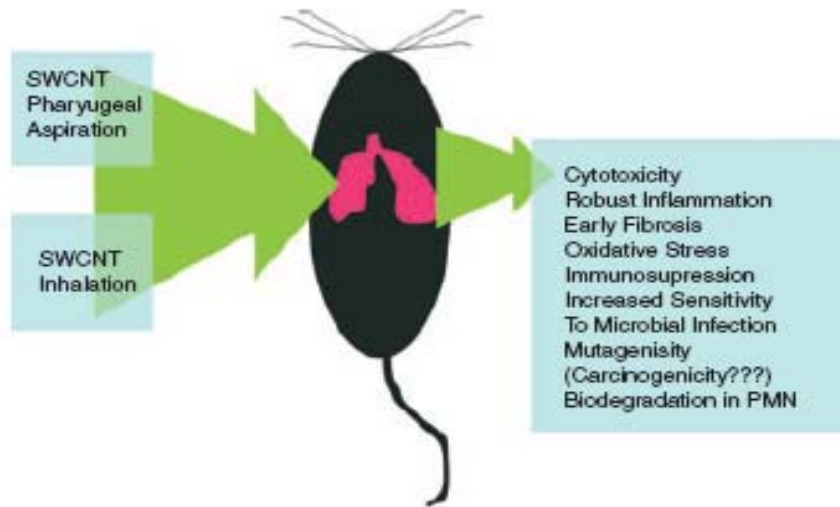


圖 4.1.4.3 動物暴露於單壁奈米碳管(SWCNT)下，因呼吸道進入生物體而對肺組織所造成的主要影響為細胞毒害(Cytotoxicity)、發炎反應 (Robust inflammation)、早期肺纖維化 (Early Fibrosis)、氧化壓力的產生 (Oxidative stress)、免疫系統的抑制 (Immunosuppression)、被微生物感染的機會增加 (Increased sensitivity to microbial infection)、致癌 (Mutagenicity) 等 (directly from Shvedova and Kagan, 2010)。

此外，在探討環境大氣中的奈米微粒對生物體影響的研究，在生物體的呼吸道可以檢測到微粒之沉積，並引發對肺部組織的毒害 (Cheng et al., 1990; Kelly and Asgharian, 2003)。更進一步的，許多動物實驗也證實，當動物個體的呼吸道暴露於奈米微粒的環境中，其肺部組織的發炎現象及氧化壓力的產生都有增加的趨勢 (Ferin et al., 1992; Warheit et al., 2004; Zhang et al., 2003)。對暴露於特定奈米微粒的動物實驗研究，證實了暴露於奈米二氧化鈦微粒下，會導致小鼠的肺部發炎及受損 (Grassian et al., 2007); 相似的結論也發現在 Trouiller et al. (2009) 的報導中，認定奈米二氧化鈦微粒會造成小鼠的 DNA 及細胞組織受損。在 Li et al. (2010) 的文獻回顧中，也以肺部毒性為題，探討奈米微粒對肺部所造成的傷害影響，如氧化壓力的增加、發炎反應、基因毒性、肺部纖維化及氣喘等。而其他許多奈米微粒也被發現可引發發炎反應 (Donaldson and Stone, 2007; Lu et al., 2009); 但要清楚明瞭這些奈米物質是如何引發生物體的種種反應，首要必須解釋奈米物質結構與其生物活性的關係，而要瞭解這些關係則需要毒理與奈米物質表面化學專家的跨領域合作，才能全面釐清這些問題，這也正是 Seaton et al. (2010) 在文獻回顧中所提的建議。

除了奈米微粒所引發的肺部毒性外，Yang et al. (2010) 也於今年回顧了奈米微粒在神經系統所引發的毒性，由於奈米微粒會穿透生物體中的細胞膜，加上其微小粒徑具有較好的移動力，因而被預期可利用單純擴散或被其它攜帶者輔助穿越血液-腦組織障礙 (Blood-brain barrier)，進到中樞神經系統。奈米銀已被證實可越過血液-腦組織障礙進入，並累積在生物體各個組織器官中 (Panyala et al., 2008)。此外也有文獻報導出，暴露於奈米物質下會影響正常的神經細胞 (Tang et al.,

2008)，甚至於導致腦部病理組織惡化 (Sharma and Sharma, 2007)。目前已有研究利用神經細胞系統來探討奈米銀、奈米氧化銅、奈米氧化鋅、奈米二氧化鈦等微粒對中樞神經系統的影響 (Liu et al., 2010; Xu et al., 2009; Zhao et al., 2009)。在動物實驗模式中，若使用靜脈注射的方式將奈米微粒 (50 nm) 送入小鼠中，微粒會出現在大腦組織中 (Kim et al., 2006)；另外一個研究中，利用 20 nm、100 nm、及 1000 nm 不同粒徑的微粒，以口腔或靜脈注射的方式送入大鼠中，結果顯示 20 nm 的球狀微粒並不會在大腦組織中出現，而 100 nm 的球狀微粒在 24 小時後會在中樞神經組織中偵測得到，但 1000 nm 的球狀微粒在 28 天後仍無法於大腦組織檢測得到 (Sarlo et al., 2009)。

而直接提出奈米微粒與人體健康危害報導，則為去年發表的報導，Song et al. (2009) 探討人員的健康因奈米微粒之暴露所受到的影響，七位在印刷廠工作的女性，暴露在奈米微粒環境五至十三個月後，皆發現有呼吸上的困難，其中兩位人員後來死亡；在這些作業人員的肺部都有發炎的現象，進一步經由電子顯微鏡下觀察後發現，其肺組織中存在有 30 nm 奈米微粒的聚集，經確認後在其工作環境中也檢測到奈米微粒。雖然此篇研究並未提出實質證據來證明，環境中的奈米微粒就是引起作業人員的疾病的唯一原因，但仍舊為奈米微粒的安全性提出了質疑。顯然的，在大氣環境中奈米微粒的暴露下，經由呼吸道可成為一個非常重要的途徑進入生物體，進而影響氧化壓力的產生並造成對細胞或生物體的危害。

以下章節將就個別的奈米微粒的毒性，以及毒性檢測方法來作探討。

#### 一、奈米碳微粒的毒性

所謂的奈米碳微粒包含數種不同的結構，如奈米富勒烯、奈米鑽石、奈米單層碳管、及奈米多層碳管等。由於其質量輕、高抗拉強度、熱穩定性、化學穩定性、及導電性，使得奈米碳具有許多應用價值。在 Lewinski et al. (2008) 的文獻回顧報導中，清楚地整理出不同的奈米碳結構對細胞所造成的毒性。因為使用的細胞株不同、不同奈米微粒的表面處理方法、不同的暴露條件及時間等因素的影響，由各個研究室發表的結果也不一樣，Lewinski et al. 認為造成奈米富勒烯的細胞毒性能力不同的最明顯的因素是所使用的細胞株。如表 4.1.4.1 所列，奈米富勒烯結構對不同細胞株則有不同程度的細胞毒性，範圍從沒有顯著的毒性，到富勒烯濃度若為 20 ppb 可引發百分之五十的細胞生長抑制 (見表 4.1.4.1)。相對於奈米富勒烯的不同毒性程度，高濃度的奈米單層碳管就被認為是具有細胞毒性的，雖然來自不同實驗室的研究報告結果也不盡相同，但追究原因可能是因為使用的細胞株不同、不同奈米微粒的表面處理方法、不同的暴露條件及時間、所使用的不同奈米微粒濃度、不同的細胞毒性測試方法等，都使得研究結果並不一致 (見表 4.1.4.2)。相同的現象也在奈米多層碳管的細胞毒性研究中可見 (見表 4.1.4.3)。而除了細胞毒性外，許多研究也將重點放在奈米多層碳管引發發炎反應的現象上 (見表 4.1.4.3)。

在動物實驗模式的研究也發現，奈米碳管會導致與肺部相關的毒性 (Lam et al., 2004; Warheit et al., 2004)。類似的報導也佐證單層壁奈米碳管 (single-walled carbon nanotubes) 的毒性，以人類胚胎腎細胞暴露於奈米碳管為實驗模式，細胞的增生、貼附性、及細胞凋亡都受到奈米碳管的影響 (Cui et al., 2005)。而在多層壁奈米碳

管 (multi-walled carbon nanotubes) 的毒性研究上，Sato et al. (2005) 發現多層壁奈米碳管可進入細胞並在細胞質內有聚集的現象。而 Bottini et al. (2006) 則報導了多層壁奈米碳管引發免疫 T-細胞的毒性。

表 4.1.4.1 奈米富勒烯的細胞毒性研究 (directly from Lewinski et al., 2008)。

Cell Line	Surface coating	Exposure conditions	NP concentration (average size)	Test	Exposure duration [h]	Toxicity	Author	Year
Human dermal fibroblasts, HDF; human liver carcinoma, HepG2	COOH, OH, Na	70% confluency	0.24–2400 ppb ( $d=100$ nm)	MTT, Live/Dead, LDH	48	LD50 = 20 ppb for bare C <sub>60</sub> on HDF; no cytotoxicity observed with C <sub>60</sub> (OH) <sub>24</sub>	Sayes [13]	2004
Guinea pig alveolar macrophages	pristine	2 × 10 <sup>5</sup> cells mL <sup>-1</sup> in 24-well plates	8.36 × 10 <sup>4</sup> NP μg <sup>-1</sup> , 1.41–226 μg cm <sup>-2</sup>	MTT	3	No significant toxicity up to 226 μg cm <sup>-2</sup>	Jia [21]	2005
Human dermal fibroblasts, HDF; human liver carcinoma, HepG2; neuronal human astrocytes, NHA	COOH, OH, Na	70% confluency	0.24–2400 ppb ( $d=100$ nm)	MTT, Live/Dead, LDH	48	Nano-C <sub>60</sub> is cytotoxic at 20 ppb level; after 30 h cells begin to have leaky membranes and lipid oxidation	Sayes [49]	2005
Monocyte-derived macrophages	pristine	3 × 10 <sup>5</sup> cells mL <sup>-1</sup>	30 and 60 μg mL <sup>-1</sup>	Nuclear Morph, PI	1, 24, 48	Did not induce damage or death of macrophages	Fiorito [6]	2006
Human monocyte macrophages	pristine	2 × 10 <sup>6</sup> cells well <sup>-1</sup> for 24-well plate, 0.5–1 × 10 <sup>6</sup> for 96-well plate	0.16–10 μg mL <sup>-1</sup> ( $d=60$ –270 nm)	Neutral red	48	No significant toxicity	Porter [62]	2006
Human epidermal keratinocytes, HEK	N-Boc-Baa	70% confluency, 96-well plate	0.00004–0.4 mg mL <sup>-1</sup>	MTT	24, 48	Cytotoxicity at 0.04 and 0.4 mg mL <sup>-1</sup> ; IL-8, IL-6, and IL-1β levels increased	Rouse [63]	2006
Human umbilical vein endothelial cells, HUVEC	C <sub>60</sub> (OH) <sub>24</sub>	90% confluency on 6-well plates	1–100 μg mL <sup>-1</sup> ( $d=7.1 ± 2.4$ nm)	LDH, WST, microarray	24	100 μg mL <sup>-1</sup> inhibit cell growth; 10 μg mL <sup>-1</sup> inhibit cell attachment	Yamawaki [50]	2006

表 4.1.4.2 奈米單層碳管的細胞毒性研究 (directly from Lewinski et al., 2008) 。

Cell line	Surface coating	Exposure conditions	NP Concentration (average size)	Test	Exposure duration [h]	Toxicity	Author	Year
3T3 cells	FITC	N/A	1–10 mM ( $d=1$ nm, $l=300$ – $1000$ nm)	flow cytometry (annexin, PI)	1	5 $\mu$ M, 90% viability, 10 $\mu$ M, 20% viability	Pantartoto [43]	2003
Immortalized human epidermal keratinocytes, HaCaT	none (w/30% Fe cat)	80% confluency on 96 well plates or 75-cm <sup>2</sup> flasks	0.06, 0.12, or 0.24 mg mL <sup>-1</sup>	Alamar blue, GSH	2, 4, 6, 8, 18	viability decreased after 4h, 0.24 mg mL <sup>-1</sup> ~ 65% viability	Shvedova [33]	2003
Mouse peritoneal macrophage-like cells, J774.1A	pristine	10 <sup>7</sup> cells	0–7.3 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> ( $d=1$ nm, $l=1$ $\mu$ m)	microscopy	4, 8, 12, 18, 24	Cells ingest NT without toxic effects	Cherukuri [68]	2004
Human embryonic kidney, HEK293	pristine	24 well plates	MTT: 0.7812–200 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> ; others: 25 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> (CAS 7782-42-5)	MTT, western blot, flow cytometry, microarray	24–120	Cytotoxicity dose- and time-dependent; 43.5% in G1 cell cycle arrest after 1 day	Cui [44]	2004
Human promyelocytic leukemia cells, HL60; Jurkat T cells	COOH, biotin, fluorescein, streptavidin	3 $\times$ 10 <sup>5</sup> cells mL <sup>-1</sup>	0.05 mg mL <sup>-1</sup> ( $d=1$ –5 nm, $l=0.1$ –1 $\mu$ m)	PI, flow cytometry	1	No significant toxicity for nonstreptavidin-modified SWNTs	Kam [45]	2004
Guinea pig alveolar macrophages	pristine	2 $\times$ 10 <sup>5</sup> cells mL <sup>-1</sup> in 24-well plates	1.41–226 $\mu$ g cm <sup>-2</sup> ( $d=1.4$ nm, $l=1$ $\mu$ m)	MTT	3	Cytotoxic effects seen at 0.38 $\mu$ g cm <sup>-2</sup> ; necrosis at 3.06 $\mu$ g cm <sup>-2</sup>	Jia [21]	2005
Human keratinocytes, HaCaT; HeLa cells; Lung carcinoma (A549, H1299) cells	pristine	5000 cells well <sup>-1</sup> , 96-well plate	0.1, 0.5, 1, 5, 10, 20 $\mu$ g mL <sup>-1</sup>	MTT, Live/Dead	72	Cytotoxic effects seen at 0.5 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> , NF $\kappa$ B pathway activated by SWNT	Manna [65]	2005
Monocyte-derived macrophages	pristine	3 $\times$ 10 <sup>5</sup> cells mL <sup>-1</sup>	30 and 60 $\mu$ g mL <sup>-1</sup>	nuclear morphology, PI	1, 24, 48	Did not induce damage and death of macrophages	Fiorito [6]	2006
Human dermal fibroblasts, HDF	phenyl-(SO <sub>3</sub> H, SO <sub>3</sub> Na, or (COOH) <sub>2</sub> ), pluronic F108	70% confluency	0.2–2000 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> ( $d=1$ nm, $l=400$ nm)	MTT, Live/Dead	24, 48	Cytotoxicity decreased w/ decreased C/phenyl-SO <sub>3</sub> H ratio; LD50 could not be obtained	Sayes [66]	2006
Human epidermal keratinocytes, HEK	pristine	5 $\times$ 10 <sup>3</sup> cells well <sup>-1</sup>	0.8–100 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> ( $d=2$ nm, $l=500$ nm)	MTT	24–120	Strongest adverse effect w/ SWNT; 100 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> gave 79%, 50% and 31% viability after 1, 3 & 5 days	Tian [23]	2006
Lung epithelial-like cells, A549	pristine	25 000 cells well <sup>-1</sup> , 96-well plate	50 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> ( $d=1.4$ nm)	MTT, WST, LDH, MMP	24-96	MTT gave different results from WST, LDH and MMP	Worle-Knirsch [69]	2006
Rat alveolar macrophage cells, NR8383; human alveolar epithelial cells, A549	pristine	10 <sup>5</sup> cells well <sup>-1</sup> in 96-well plates; 2.5 $\times$ 10 <sup>4</sup> cells well <sup>-1</sup> in 96-well plates (human)	5–100 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> ( $d=1$ –2 nm, $l=100$ nm)	MTT, WST	24–96	Cytotoxicity dose dependent; 100 $\mu$ g mL <sup>-1</sup> , 60–80% reduction	Pulskamp [64]	2007
Mesothelioma cells, MSTO-211H	pristine	3000 cells well <sup>-1</sup> in 24-well plates	7.5, 15, 30 $\mu$ g mL <sup>-1</sup>	MTT	72	Cytotoxicity dose dependent; agglomerated worse than well-dispersed	Wick [67]	2007

表 4.1.4.3 奈米多層碳管的細胞毒性研究 (directly from Lewinski et al., 2008)。

Cell Line	Surface coating	Exposure conditions	NP concentration (aver-Test age size)	Test	Exposure duration [h]	Toxicity	Author	Year
Human epidermal keratinocytes, HEK	pristine	80% confluency, 7000 cells well <sup>-1</sup> , 96-well plates	0.1, 0.2, 0.4 mg mL <sup>-1</sup>	Neutral red	1, 4, 8, 12, 24, 48	~73% viability at 0.4 mg mL <sup>-1</sup> ; IL-8 increases with MWNT conc.	Monteiro-Riviere [9]	2005
Human skin fibroblasts, HSF42; human embryonic lung fibroblasts (IMR-90)	pristine	70% confluency, 96-well plates	0.06–0.6 mg L <sup>-1</sup>	Hoechst 33342, YO-PRO 1, PI, BrdU, microarray	24, 48	Cytotoxicity dose-dependent for purified MWNT	Ding [48]	2005
Guinea pig alveolar macrophages	pristine	2 × 10 <sup>5</sup> cells mL <sup>-1</sup> in 24-well plates	1.41–226 µg cm <sup>-2</sup> ( <i>d</i> = 10–20 nm, <i>l</i> = 0.5–40 µm)	MTT	3	Necrosis seen at 3.06 µg cm <sup>-2</sup>	Jia [21]	2005
Sprague–Dawley rat peritoneal macrophages	pristine	direct lung injection	20–100 µg mL <sup>-1</sup> 0.5–2 mg rat <sup>-1</sup>	LDH	3, 15 days	LDH doubled from 20 to 100 µg mL <sup>-1</sup> ground nanotubes	Muller [17]	2005
Murine alveolar macrophages (RAW267.9)	pristine	5 × 10 <sup>5</sup> cells well <sup>-1</sup> in 96-well plates	0.005–10 µg mL <sup>-1</sup> , ( <i>d</i> = 5–30 nm, <i>l</i> = 0.03–3 µm)	MTT, ELISA	48	Cytotoxicity begins at 2.5 µg mL <sup>-1</sup> ; similar to asbestos	Mur [72]	2005
Human acute monocytic leukemia cells (THP-1) Wister male rats	pristine	5 × 10 <sup>5</sup> cells well <sup>-1</sup> in 96-well plates	5–500 ng mL <sup>-1</sup> 0.1 mg	HU TNF-α Flexia histology, microscopy	16	TNF-α production dose dependent, aggregates in several cell types	Sato [70]	2005
T lymphocytes, Jurkat T leukemia cells	Hydroxyl, carboxyl	4.4 × 10 <sup>4</sup> cells mL <sup>-1</sup>	40–400 µg mL <sup>-1</sup> ( <i>d</i> = 20–40 nm, <i>l</i> = 1–5 µm)	Trypan blue	24–24	Cell death > 80% in oxidized, < 50% in pristine at 400 µg mL <sup>-1</sup>	Bottini [11]	2006
Human osteoblastic line hFOB 1.19; Human fibroblastic line HS-5	Poly-sulfone (PS)	2 cm <sup>3</sup> cells/ 12 well plate	N/A ( <i>d</i> = 10–15 nm)	Cell titer 96	24, 48, 7 days	Small viability decrease in PS + MWNTs vs. pure PS	Chlopek [27]	2006
Human umbilical vein endothelial cells, HUVEC	pristine	6000 cells cm <sup>-2</sup> in 96-well plates	Max: A: 0.5 µg mL <sup>-1</sup> ( <i>d</i> = 1.1–3.2 nm), B: 0.64 µg mL <sup>-1</sup> ( <i>d</i> = 1.1–4.3 nm) C: 0.9 µg mL <sup>-1</sup> ( <i>d</i> = 0.7–6.3 nm)	MTT, Neutral red	24	None were cytotoxic but error bars of samples A & B below threshold	Flahaut [8]	2006
Human lung-tumor cell lines, H596, H446, and Calu-1	Carbonyl (CdO), carboxyl (COOH), hydroxyl (OH)	N/A	0.002–0.2 µg mL <sup>-1</sup> ( <i>d</i> ≈ 20 nm, aspect ratio = 80–90 nm)	MTT	24–96	Cell viability decreased 33% at 0.2 µg mL <sup>-1</sup> ; functionalized have lower survival	Magrez [22]	2006
Human neonatal HEKs	pristine	80% confluency, 6-well plates	0.4 mg mL <sup>-1</sup>	protein array	24, 48	Irritation and cell apoptosis proteins upregulated	Witzmann [71]	2006

## 二、奈米金微粒的毒性

金屬奈米粒子的毒性探討也在最近的研究中處處可見，如奈米金因為其化學性質穩定，常被應用在生物影像或藥物傳送上；在 Brandenberger et al. (2009) 的研究中指出，奈米金並不會明顯的影響人類氣管表皮細胞的發炎反應，也無顯著的氧化壓力變化，支持了其應用價值的安全性；但奈米金所引發的不同程度毒性的報導，在在也說明其安全性的顧慮是存在的，奈米金 (小於或等於 2 nm) 被證實

會引發細胞凋亡而降低細胞的存活率 (Pan et al., 2007; Tsoli et al., 2005)。其他的獨立實驗結果也支持奈米金的細胞毒性 (見表 4.1.4.4)。

表 4.1.4.4 奈米金的細胞毒性研究 (directly from Lewinski et al., 2008)。

Cell line	Surface coating	Exposure conditions	NP concentration (average size)	Test	Exposure duration	Toxicity	Author	Year
COS-7 cells	PEI2	3x10 <sup>5</sup> cells/well	N/A	MTT	6 h + 42 h	70-80% viability after transfection	Thomas [76]	2003
Human liver carcinoma, HepG2	BSA, 4 targeting peptides	85% confluency	N/A (d=20-25 nm)	LDH	12 h	Viability slightly compromised (< 5%)	Tkachenko [77]	2003
COS-1, Red blood cells, E.coli	NH <sub>3</sub> , COOH	80% confluency, 96-well plate	0.38, 0.75, 1.5, or 3 μM	MTT, Trypan blue	1, 2.5, 6, 24 h	LD50 (Cos-1): anionic ~1 μM and cationic >7.37 μM; similar for other cell types	Goodman [12]	2004
HeLa, 3T3/NIH, HepG2	BSA, 4 targeting peptides	75% confluency	150 μM (d=22 nm)	LDH	3 h	Cell viability reduced by 20% in HeLa cells, but only 5% in 3T3/NIH	Tkachenko [78]	2004
Leukemia cell line, K562	citrate, biotin, L-cysteine, glucose, CTAB	10 <sup>6</sup> cells/well	0-250 μM Au atoms (d=4, 12, 18 nm)	MTT	3 days	No apparent toxicity at 250 μM, glucose and cysteine modified not toxic up to 25 μM	Connor [24]	2005
Human breast carcinoma xenograft cells, MDA-MB-231	coumarin-PEG-thiol, mPEG-thiol (neg. control)	10 <sup>5</sup> cells/well in 96-well plates	50-200 μg mL <sup>-1</sup> (d=10 nm)	Cell Titer 96	24 h	Nanoparticles are internalized but essentially non-toxic up to 200 μg mL <sup>-1</sup>	Fu/Shenoy [28/29]	2005
RAW264.7 macrophage cells	lysine, PLL, FITC	10 <sup>5</sup> cells/well in 96-well plates	10, 25, 50, and 100 μM (d=3-8 nm)	MTT	24, 48, 72 h	100 μM - after 72 hr cell viability to decreased to 85%	Shukla [25]	2005
Human dermal fibroblasts	citrate	N/A	0-0.8 mg mL <sup>-1</sup> (d=13 ± 1 nm)	microscopy	2-6 days	Dose-dependent decrease in cell area & density; many vacuoles	Pernodet [79]	2006

### 三、奈米二氧化鈦微粒的毒性

以個別的奈米微粒的毒性來看，Bermudez et al. (2003) 針對吸入超細二氧化鈦微粒所造成的肺部反應進行動物實驗，將雌性小鼠、大鼠、倉鼠暴露於氣膠濃度 0.5、2.0 與 10 mg/m<sup>3</sup> 的超細二氧化鈦微粒中，暴露時間為 6 hrs/day、5 days/week 為期 13 週。由其實驗觀察已可發現，在每一個時間點，超細二氧化鈦微粒皆會造成肺部及淋巴結的堆積以及部分發炎反應。後續深入探討奈米尺寸的二氧化鈦 (TiO<sub>2</sub>) 微粒毒性的細胞及動物實驗中，發現暴露於奈米二氧化鈦的老鼠肺部有發炎反應，且其效應較同質量濃度下較大粒徑的二氧化鈦還來的顯著，顯示因為奈米尺寸的因素即可造成細胞或組織的傷害。近年來的研究也著重於探討奈米級二氧化鈦的細胞毒性，以神經生長因子刺激分化後來模擬大鼠的神經細胞系統 (differentiated PC12 cells)，在暴露於奈米級二氧化鈦下 24 小時後，會引發細胞產生過度的氧化壓力，進而刺激細胞凋亡造成細胞毒性 (Liu et al., 2010)。

### 四、奈米銀微粒的毒性

另一個奈米金屬的毒性的例子為奈米銀，奈米銀也因為其高穩定性及具抑制細菌生長的能力，被廣泛用在生醫產品及醫療器材上;但不可避免的，奈米銀的細胞毒性研究也陸續的被報導出來 (Hussain et al. 2005; Braydich-Stolle et al., 2005)。在我們的實驗室中，利用三種不同的細胞株作測試，也證實了奈米銀微粒的細胞毒性 (見圖 4.1.4.4)。我們利用原子吸收光譜 (Atomic absorption) 證實了在短短 1

分鐘，細胞內即有顯著的銀被分析出來，而在 8 小時後細胞內即有顯著的銀更有隨著時間增加而增加的趨勢（見圖 4.1.4.5）。Suzuki et al. (2007) 提出一個簡易的方法，利用流式細胞儀來取代傳統的原子吸收光譜檢測，其原理是利用流式細胞儀測量細胞的光散射強度，光散射的強度愈強代表細胞內的奈米微粒濃度愈高，這個方法比傳統的原子吸收光譜檢測法來得簡單又方便。我們以流式細胞儀來偵測細胞內奈米微粒，也有相同的結果（見圖 4.1.4.6），證實奈米銀微粒是會進入細胞中而引發細胞毒性；後續的結果讓我們推測，奈米銀進入細胞中引發過量的氧化壓力（見圖 4.1.4.7），氧化壓力的變化影響粒線體，並導致粒線體功能失去調控，進而引發了細胞凋亡（Hsin et al., 2008）。

然而奈米銀以膠體銀形式存在及應用已超過 100 年以上，並非最近幾年才開發應用，奈米銀未來是否應以新化學物質列管，仍要奠基於過去長期累積的科學成果進行決策（Nowack et al., 2011）。

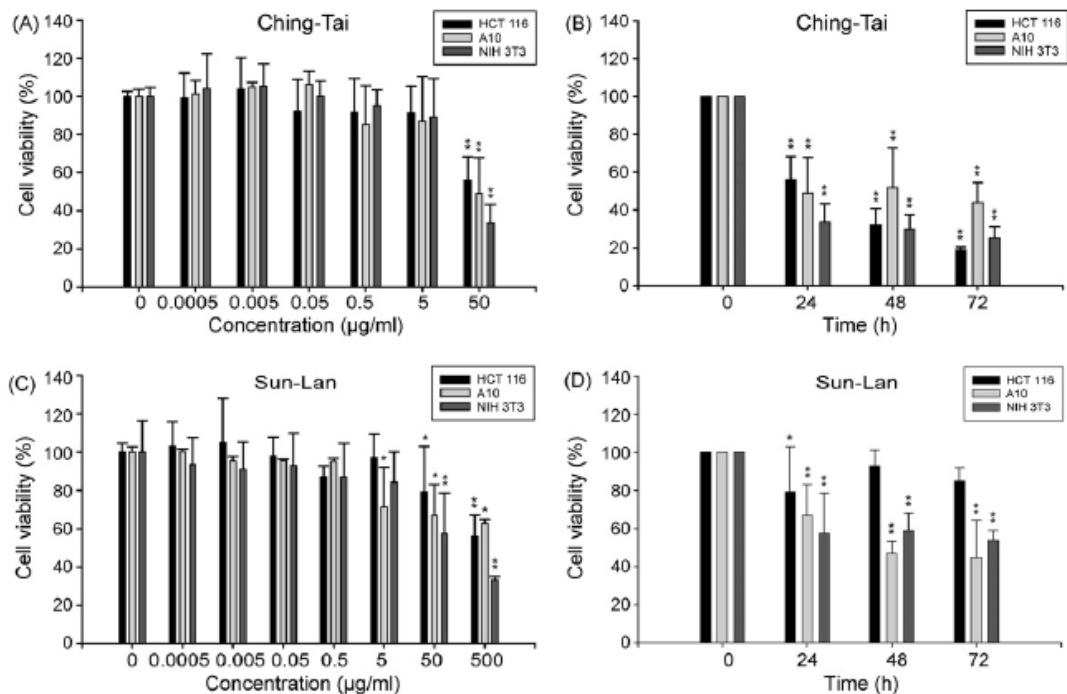


圖 4.1.4.4 以人類大腸癌細胞(HCT116)、老鼠肌肉細胞(A10)、及小鼠纖維母細胞(NIH3T3)為實驗模式，奈米銀引發隨著濃度及暴露時間增加而增加的細胞毒性。

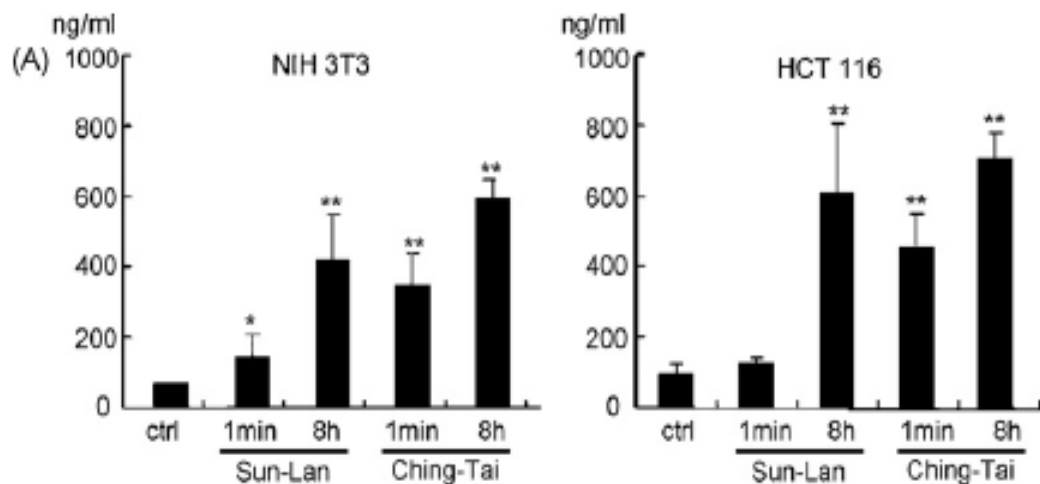


圖 4.1.4.5 以原子吸收光譜來檢測(左圖) NIH3T3 及(右圖 B) HCT116 細胞內的銀含量。

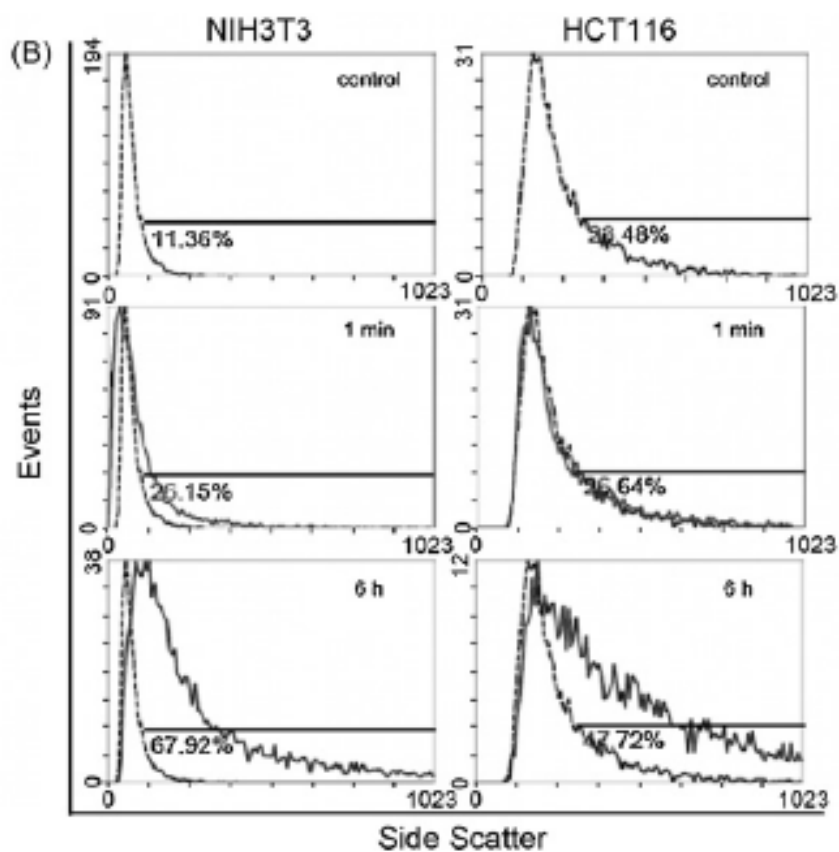


圖 4.1.4.6 以流式細胞儀來偵測在(左圖) NIH3T3 及 (右圖 B) HCT116 細胞內的奈米微粒的含量。



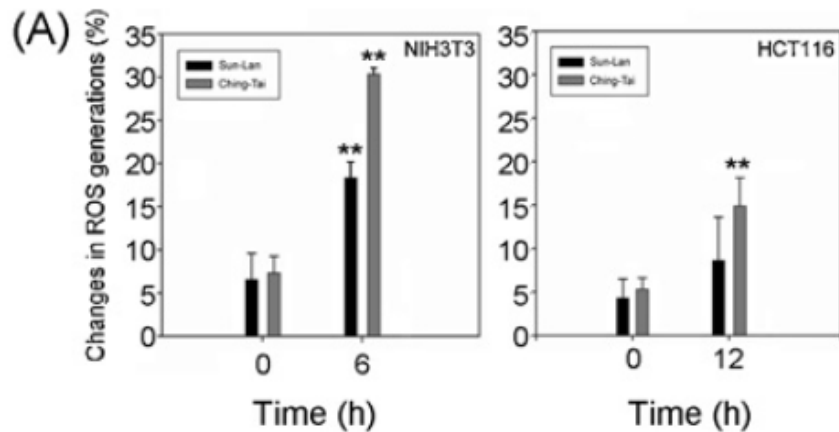


圖 4.1.4.7 以流式細胞儀來偵測在(左圖) NIH3T3 及 (右圖 B) HCT116 細胞暴露於奈米銀微粒所產生的活性氧物質。此實驗使用兩種不同來源的奈米銀微粒。

### 五、奈米氧化鋅微粒的毒性

當拜耳公司 (Bayer Corporation) 合成出第一個奈米級氧化鋅產品後，許多國家的工業界就致力於大規模的奈米級氧化鋅量產。雖然大分子氧化鋅在傳統的概念上是認為沒有毒性的，再加上奈米級的氧化鋅，在反射或散射紫外光的效果比大分子氧化鋅好，其抗菌性也高，因此其在產業界的應用極其廣泛，如用在防曬產品、化妝品、塗料及附著劑上 (Australian Academy of Science, 2008)；但目前日益發展的奈米物質毒性探討，已吸引許多研究學者對奈米級氧化鋅在健康上危害的注意。在奈米氧化鋅的急性毒性探討上，利用小鼠的動物實驗模式，以注射的方式將 20 到 120 nm 的奈米氧化鋅送入小鼠；在此研究中，奈米氧化鋅以超音波震盪的方式分散。利用檢測動物血液檢體的生化標的、體重、ICP-MS 檢測各器官奈米氧化鋅含量、及病理切片判讀等，結果發現在小鼠的肝、胰臟、心臟、脾臟及骨頭等，都是奈米氧化鋅的主要作用及受損傷的器官 (Wang et al., 2008)。

而奈米級的金屬氧化物已在多種水中生物系統被證實，如若將淡水微藻暴露於 49  $\mu\text{g/L}$  的氧化鋅下，其生長在 72 小時暴露下會被抑制到只剩下 50% (Franklin et al., 2007)。在斑馬魚的實驗模式中，也發現 1  $\text{mg/L}$  濃度的奈米氧化鋅暴露下，其死亡率明顯增加及孵化率下降 (Zhu et al., 2008)。而在探討奈米氧化鋅的慢性毒性上，Nationa et al. (2010) 則利用牛蛙卵細胞以低毒性的濃度但長期暴露於奈米氧化鋅的實驗模式，來檢測奈米氧化鋅對胚胎生長及發育的影響；在此研究中，奈米氧化鋅以超音波震盪的方式分散。結果顯示不管是卵細胞的生長及蝌蚪的發育，皆受到 2  $\text{mg/L}$  濃度的奈米氧化鋅影響而有抑制的現象。

而對於以體外細胞株實驗系統，來檢測奈米氧化鋅的毒性的研究，則有許多不一致的結果出現；一些研究指出，利用不同的細胞株系統，以不同粒徑的奈米氧化鋅 10-20  $\mu\text{g/mL}$  的濃度處理 24 小時後，細胞生長被抑制至 50%，在不同細胞株間則觀察到類似的細胞毒性，證實奈米氧化鋅微粒的粒徑大小與其細胞毒性並無相關性 (Lin et al., 2009; Deng et al., 2009; Yuan et al., 2010)。但在其他的研究中則有不同的結論，如 Reddy et al. (2007) 報導過，濃度為 400  $\mu\text{g/mL}$  的奈米氧化鋅 (粒徑為 13 nm)，仍對細胞沒有毒性；但在 400  $\mu\text{g/mL}$  的濃度時，可觀察到

57% 的細胞死亡；而這樣的細胞毒性是只限定在奈米級粒徑的氧化鋅，大分子的氧化鋅是沒有明顯的細胞毒性 (Hanley et al., 2008)。此外，也有研究指出奈米氧化鋅的形狀也會影響其毒性；如球狀就比棍棒狀的奈米氧化鋅細胞毒性低 (Lee et al., 2008)；但在 (Nair et al., 2008) 的研究中則有相反的結果，原因可能是因為兩個研究中的奈米微粒濃度計算方法有異，而且其奈米氧化鋅外層覆蓋的分子不同所造成的差異。

## 六、其他奈米微粒的毒性

除了奈米金屬外，奈米級氧化鐵的毒性也開始被探討，在 Cheng et al. (2005) 的報導指出，將非洲猴之腎細胞 (COS-7 cells) 以 250  $\mu\text{g}/\text{mL}$  奈米氧化鐵微粒處理 4 小時後，雖無明顯生長抑制的現象，但若將奈米氧化鐵微粒濃度提高至 1  $\text{mg}/\text{mL}$  時，25-50% 的細胞生長抑制的情形會在 4 小時後出現。相同的，在 Hussain et al. (2005) 的研究中，檢測奈米氧化鐵微粒對大鼠肝細胞的影響，結果發現在 24 小時暴露下，250  $\mu\text{g}/\text{mL}$  奈米氧化鐵微粒會引發 50% 的細胞生長抑制效果。

## 七、基因毒性

奈米物質可以藉由以下的途徑進入生物體，如皮膚接觸、呼吸道吸入和食道食入等方式。當奈米物質進入生物體後，就有可能以數種方式穿透細胞膜而進入細胞，如被動的擴散、由接受器蛋白引導的胞吞機制、或是由細胞膜蛋白組成的泡囊將奈米微粒帶入細胞內 (見圖 4.1.4.2)。再以直接或間接的機制來損傷細胞內的 DNA，也就是產生所謂的基因毒性。而在引發 DNA 損傷的機制中，若奈米微粒再以擴散的方式進入細胞核膜，就有機會直接與 DNA 分子結合，或是結合上與 DNA 相關的蛋白質，都可能導致 DNA 產生損傷。另外的引發 DNA 傷害的機制則為間接的方式，主要是因奈米微粒所產生過量的氧化壓力，細胞內過量的氧化壓力會導致細胞內部氧化還原狀態失去平衡，進而損傷細胞內的大分子，如 DNA、蛋白質及脂質，DNA 分子會因而斷裂、改變其組成或結構，這樣的 DNA 損傷若是無法進行修復而產生突變，細胞將走向癌化。在生物體組織受到傷害時，發炎反應也是一個非常重要的生理現象，而在發炎反應發生的同時，細胞會釋放大量的多種分子，如細胞激素 (Cytokines)、腫瘤壞死因子細胞素 (Tumor necrosis factor)、及活性氧分子 (Reactive oxygen species) 等，儘管這些分子在抵抗感染或組織損傷時，扮演防衛的角色，但這些分子也會造成 DNA 傷害及基因的斷裂，因而也造成基因毒性 (見圖 4.1.4.8)。

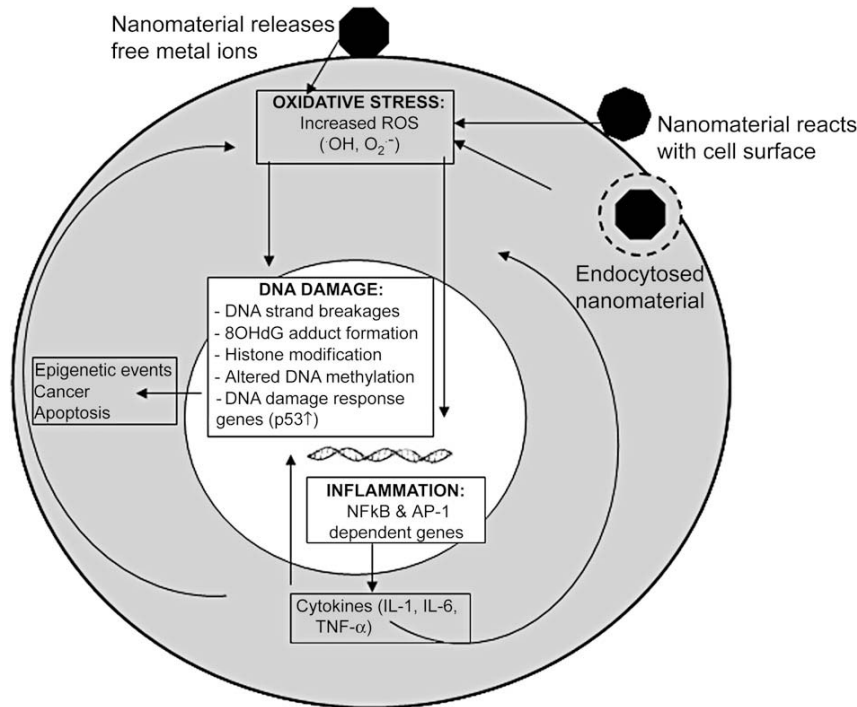


圖 4.1.4.8 奈米微粒以間接的方式產生基因毒性。主要以產生活性氧分子(Reactive oxygen species) 及發炎反應來造成 DNA 的損傷 (directly from Singh et al., 2009)。

除了細胞毒性外，愈來愈多的證據支持奈米尺寸的二氧化鈦具有傷害 DNA 的能力，進而引發基因的不穩定性，這樣的基因不穩定性在體外細胞系統及動物系統都可觀察得到 (Falck et al., 2009; Trouiller et al., 2009)。另外在我們的研究中，以體外細胞株的實驗也證實，長期暴露在低濃度的奈米二氧化鈦下的小鼠纖維母細胞，其所造成的細胞中 DNA 損傷會導致細胞趨向癌化，也就是可能會將細胞轉型為腫瘤細胞 (Huang et al., 2009)。在 Ding et al. (2005) 則在基因層次上，探討了高濃度的奈米多層碳管因調節許多與免疫及發炎相關基因的過度表現，進而引起發炎反應。近年來的一些報導也指出，奈米二氧化矽會經由產生氧化壓力而造成基因毒性 (Valko et al., 2006; Wang et al., 2007)。一般而言，奈米氧化鋅微粒被視為是沒有明顯毒性的物質，但逐漸出現的研究報導卻指出其具有引發發炎反應的能力 (Sayes et al., 2007)，甚至於產生細胞毒性 (Jeng and Swanson, 2006)。至於奈米氧化鋅可損傷 DNA 而有基因毒性的報導，至今只有非常少的數據支持 (Dufour et al., 2006)。

#### 八、比較奈米物質毒性測試方法間之優劣

全球奈米科技正在如火如荼的發展，此種新興科技雖然帶來了新的希望與憧憬，然而這些奈米結構的物質，其本身的化學性質與物理性質，都會隨著粒徑大小的不同而變化，對人體細胞的毒性危害影響也可能將有所改變，因此對於安全衛生環保亦將可能產生重大的衝擊。雖然目前已有一些關於奈米微粒毒性研究的報導，但因為每一種材質的不同，製備及測試的條件不同，造成許多不一致或互相矛盾的結論出現，再加上可能是使用不同特性、或其特性並未完整分析的奈

米微粒，抑或是使用不同的實驗條件及檢測方法。近來的文獻開始重視這些不一致的結果，並試著釐清是什麼樣的因素會導致這樣的結果；而目前普遍被認為的因素可影響奈米微粒的細胞毒性有 1) 奈米微粒濃度 (Kwon et al., 2009)， 2) 奈米微粒粒徑大小 (Kreyling et al., 2006)， 3) 奈米微粒結構 (Oberdorster et al., 2005b)， 4) 奈米微粒表面電荷 (Cho et al., 2009)， 5) 奈米微粒表面積 (Brandenberger et al., 2009) 以及 6) 暴露於奈米微粒環境所使用的培養液組成 (Herzog et al., 2009)；再加上 7) 所使用的不同的體外細胞實驗系統，及不同的生物活性分析方法或檢測方式，以及所使用的檢測方法與奈米微粒可能互有干擾 (Kroll et al., 2009)等，更大幅提高實驗的複雜度及其所衍生出來的結果無法歸納成可信的定論。

利用體外細胞株的實驗模式已成為最重要的檢測化學物質毒性的方法，與動物實驗模式比較的話，體外細胞株實驗提供簡單、快速、及花費經濟的優點；然而，體外細胞株實驗畢竟缺乏動物實驗系統或人體的複雜性及完整性 (Hayashi, 2005)，再加上許多細胞株的代謝能力的特性並沒有完整的被解釋清楚 (Cimino, 2006)，造成體外細胞株的實驗模式仍有它揭限之處及缺點。在現今研究奈米微粒毒性的報導中，我們不乏看到存在著不一致或互相矛盾的結果，原因可能是使用不同特性的奈米微粒，或是使用不同的實驗條件及檢測方法而導致的。利用體外細胞株模式來檢驗奈米微粒的毒性，已經成為最重要的實驗方法，因為跟動物實驗比較，體外細胞毒性測試所需時間較短、花費較低廉、可以有效並嚴謹的控制實驗條件、也沒有所謂道德上的顧慮 (Marquis et al., 2009)。在 Marquis et al.的報告中，歸納了目前在檢測奈米微粒的毒性的最常用體外細胞實驗方法，包括以細胞的存活為實驗終點指標 (End-point) 作為判定，而這樣的實驗法又可再細分為細胞的增生 (Proliferation)、細胞的壞死 (Necrosis)、細胞的凋亡 (Apoptosis)、及細胞之生存/死亡 (Live/Dead)等，此外也有以 DNA 損傷或檢測氧化壓力的方法來判定奈米微粒的毒性(見表 4.1.4.5)。在 Kroll et al. (2009)的文獻回顧中，則比較了幾種目前常用的毒性檢測方法與奈米微粒間受干擾的例子 (見表 4.1.4.6)。

表 4.1.4.5 常用的體外細胞實驗方法來檢測奈米微粒的毒性 (directly from Marquis et al., 2009)。

Assay type	Category	Cellular property/process probed	Assays
Viability	Proliferation	Metabolic activity	MTT, XTT, WST-1, Alamar Blue [ <sup>3</sup> H]Thymidine incorporation
		DNA synthesis Colony formation	
	Necrosis	Membrane integrity	LDH, Trypan Blue, Neutral Red, propidium iodide
		Apoptosis	
LIVE-DEAD	Membrane structure Esterase activity/membrane integrity	Annexin-V Calcein acetoxymethyl/ethidium homodimer	
Mechanistic	DNA damage	DNA fragmentation	Comet, CSE TUNEL
		DNA double-strand breakage	
	Oxidative stress	Presence of reactive oxygen species (ROS)	DCFDA, Rhodamine123  C11-BODIPY TBA assay for malondialdehyde Amplex Red DTNB Nitro blue tetrazolium Immunoblotting
		Lipid peroxidation	
		Lipid peroxidation	
		Presence of lipid hydroperoxides	
		Antioxidant depletion Superoxide dismutase (SOD) activity SOD expression	

表 4.1.4.6 奈米微粒與細胞毒性檢測法間之干擾 (adapted from Kroll et al., 2009)。

Cytotoxicity Assay 毒性檢測	Detection principle 毒性檢測法之原理	NP interference 與奈米微粒之干擾	Altered readout 所產生的不同判讀結果	Particle 奈米微粒
MTT	Colorimetric detection of mitochondrial activity 以顏色法檢測粒線體活性	Adsorption of substrate 干擾反應物之吸收	Reduced indication of cell viability 細胞存活率下降	Carbon nanoparticles 奈米碳
LDH	Colorimetric detection of LDH release 以顏色法檢測 LDH 釋放	Inhibition of LDH 干擾 LDH	Reduced indication of necrosis 細胞壞死下降	Trace metal-containing nanoparticles 含微量金屬的奈米微粒
Annexin V/ PI 染色法	Fluorimetric detection of phosphatidylserine exposure (apoptosis marker) 以螢光法檢測 PS 之暴露	Ca <sup>2+</sup> -depletion 干擾鈣離子濃度並影響細胞凋亡	Reduced indication of apoptosis 細胞凋亡下降	Chitosan nanoparticles 甲殼素奈米微粒
	Propidium iodide-staining		Reduced indication of	Carbon nanoparticles

	of DNA (necrosis marker) 以 PI 螢光染色法檢測 DNA 細胞壞死的指標	Dye adsorption 干擾染劑吸收	necrosis 細胞壞死下降	奈米碳
Neutral red 染色法	Colorimetric detection of intact lysosomes 以顏色法檢測完整的 lysosomes 胞器	Dye adsorption 干擾染劑吸收	Reduced indication of viability 細胞存活率下降	Carbon nanoparticles 奈米碳
Caspase 酵素活性	Fluorimetric detection of caspase-3 activity (apoptosis marker) 以螢光法檢測 caspase-3 活性 細胞凋亡的指標	Inhibition of caspase-3 caspase-3 活性抑制	Reduced indication of apoptosis 細胞凋亡下降	Trace metal-containing nanoparticles
Stress response 氧化壓力	Fluorimetric detection of ROS production 以螢光法檢測 ROS 產生	Fluorescence quenching 螢光強度下降	Reduced indication of oxidative stress 氧化壓力下降	Carbon nanoparticles 奈米碳
Inflammatory response 發炎反應	Colorimetric detection of cytokine secretion 以顏色法檢測細胞素分泌	Cytokine adsorption 干擾細胞素吸收	Reduced indication of cytokine concentration 細胞素分泌下降	Carbon nanoparticles 奈米碳 Metal oxide nanoparticles 奈米金屬氧化物

### 九、細胞生存/死亡的二分法或細胞壞死檢測法

目前在檢測奈米微粒毒性的研究上所使用的方法，多數還是採用的是細胞生存/死亡的二分法分析方式，對於所測試的奈米微粒毒性若是較弱，而無法導致細胞產生立即死亡的層次，很容易因為選擇的分析方法不適當而有不一致的結果出現；此外，目前常用的分析方法多為時間定點量測的方式，更容易因為時間點選擇的不適當而有結果不一致的判讀 (Kroll et al., 2009)。Monteiro-Riviere et al. (2009) 就比較了數種目前奈米微粒細胞毒性檢驗法，提出以單一的傳統細胞生存/死亡檢測的分析，其結果並不足夠到可以評斷奈米微粒的毒性，而必須輔助於其他檢測方法，才能夠斷定奈米微粒的毒性。Monteiro-Riviere et al. (2009) 在探討不同結構及不同粒徑大小的奈米碳對人類胚胎腎細胞的毒性，就以 3-amino-7-dimethyl-amino-2-methylphenazine hydrochloride (Neutral red) 染劑來分析，Neutral red 染劑是一種帶弱正電離子的染劑，它可以被活細胞以胞吞的方式進入，並在 Lysosome 胞器中累積。奈米氧化鐵微粒對人類的巨嗜細胞的毒性研究，

也採取這種方法作檢測 (Muller et al., 2007)。一般而言，活細胞才會將 Neural red 染劑以胞吞的方式攝入，而染上 Neural red 顏色的細胞就是活的細胞。另一種常用的染劑就是 Trypan blue，此染劑就只有在細胞受傷害而有細胞膜破損時，才能進入細胞中，因此染上 Trypan blue 顏色的細胞就是死的細胞。如在探討奈米二氧化鈦毒性中，用的就是 Trypan blue 染色的方法 (Huang et al., 2009; Bottini et al., 2006)。另外還可利用 Propidium iodide (PI) 對細胞核內的 DNA 作染色，進而將 DNA 定量 (Nicoletti et al., 1991)。

另一種方式則是以 Lactate dehydrogenase (LDH) 的釋放來判定奈米微粒對細胞的毒性，在細胞受傷害或死亡後會釋放 Lactate dehydrogenase 酵素，而正常細胞的 LDH 酵素活性則保留在細胞內，細胞釋放的 LDH 酵素活性可將黃色的 2-(p-iodophenyl)-3(p-nitrophenyl)-5-phenyltetrazolium chloride (INT) 轉換成紅色的 Formazan；LDH 酵素也可將反應物 tetrazolium salt 轉化成藍紫色的 formazan，再藉由光譜儀來測定 (Haslam et al., 2000)。若將細胞暴露於奈米微粒後，檢測培養基中 LDH 酵素活性，若酵素活性愈大代表死細胞的比例就愈高 (Decker and Lohmann-Mattes, 1988; Korzeniewski and Callewaert, 1983)。在 Hussain et al. (2005) 的報導中，就以這種方法檢測奈米氧化鐵微粒對大鼠肝細胞的影響，結果發現在 24 小時暴露下，250  $\mu\text{g}/\text{mL}$  奈米氧化鐵微粒會引發 50% 的抑制效果。但利用 LDH 酵素之釋放來檢測細胞壞死的方法也有其缺點，LDH 在低 pH 值的環境下會失去其酵素活性，但在高 pH 值時，所使用的反應物 INT 則會不穩定；再加上一些金屬離子，如銅離子，也被證實會干擾 LDH 酵素釋放檢測法 (Suska et al., 2005)。另一種以染劑檢測細胞存活的方法為 Neutral red 染色法。Neutral red 染劑的顏色與光強度非常容易受到 pH 值的影響 (Chen et al., 1998)；而單層奈米碳管也被報導會與 Neutral red 染劑發生反應，進而用光所有的染劑，而被誤認成染劑全都進入細胞中，造成產生的結果遠高於實驗應有的數值 (Casey et al., 2006；及表 4.1.4.6)。

## 十、MTT 檢測法

粒線體的功能及活性對細胞的生存是非常重要的，而只有在有正常功能粒線體中，才有 mitochondrial dehydrogenase 的酵素活性，此酵素活性可將黃色的反應劑 MTT，全名是 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]2, 5-diphenyltetrazolium bromide，還原成深藍色的 formazan，因此細胞若經由奈米微粒處理後，能夠產生深藍色的 formazan，則表示細胞粒線體的功能及活性是正常的，也代表此奈米微粒是沒有明顯的毒性。同樣的原理，也適用於以 XTT 或 WST-1 的反應劑來檢測細胞的生長。以 MTT 檢測法來分析奈米微粒毒性，目前已成為一項最受歡迎及廣泛利用的實驗方法，其結果也出現在大部份的研究報告之中，這個方法的優勢為下列所述，若與其他的體外細胞毒性測試法比較，MTT 檢測法所需要的細胞數及測試樣品的數量都較小、且所需要的實際操作步驟也較簡單，由於其結果以吸光值 (Optical density) 表示，因此要得到再現性高的結果較容易 (Marshall et al., 1995)。但是推論這個方法所產生出來的結果則是具有爭議性的，原因是 MTT 檢測法的原理為利用細胞內粒線體中的 mitochondrial dehydrogenase 酵素活性來還原反應物，而得到藍紫色的產物，這樣的定義前提是認定唯有活的細胞才具有粒線體 mitochondrial dehydrogenase 酵素活性；但在細胞生物學的角度來看，如此的假設並不總是成立的，因為 mitochondrial dehydrogenase 酵素活性可以在細胞死亡後的一段時間內仍然

存在(Marshall et al., 1995)。此外，培養液中的 pH 值的改變 (Jabbar et al., 1989)、或培養液中外加的一些營養物質 (Funk et al., 2007)，也被發現會影響吸光值的結果。更重要的是，許多的奈米微粒本身被發現會干擾 MTT 還原反應或其產物吸光值 (Belyanskaya et al., 2007; Pulskamp et al., 2007)，也因此在此情形下，MTT 檢測法的結果就不值得被信任，再加上 MTT 還原後的產物並不可溶，而將不可溶的產物排出細胞的過程，也容易程度不一的現象而因此造成結果不一致。在奈米氧化鐵微粒、奈米金及奈米銀等的毒性研究中，大多採取此種分析方法來判斷奈米物質的細胞毒性 (Hussain et al., 2005; Takahashi et al., 2006; Hsin et al., 2008)。

### 十一、氧化壓力檢測法

許多的研究已證實，奈米微粒可以改變細胞內氧化還原平衡的環境，進而產生氧化壓力。氧化壓力的發生主要來自過量的細胞內活性氧物質(ROS)，如過氧離子( $O_2^-$ )、氫氧根 ( $HO\cdot$ )、 $ROO\cdot$ 、過氧化氫 ( $H_2O_2$ ) 等，過量的細胞內活性氧物質可與細胞內大分子如蛋白質及 DNA 反應造成傷害，導致細胞功能的不正常(Magder, 2006; Mates, 2000)。一般最常用檢測 ROS 產量的方法為使用 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCFDA)的染劑，此不具螢光的染劑可穿越細胞膜進入細胞，在細胞質中發生去乙基反應並水解為 2',7'-dichlorofluorescein (DCF) 的螢光物質後，並可與在細胞內過氧離子 ( $O_2^-$ )、氫氧根 ( $HO\cdot$ )、 $ROO\cdot$ 、過氧化氫 ( $H_2O_2$ )等反應，是一種最普遍的檢測活性氧物質產生量的方法 (Pulskamp et al., 2007; Wagner et al., 2007)。DCF 的螢光很容易受到 pH 值的影響 (Wrona and Wardman, 2006)，再加上一些奈米微粒會抑制 DCF 的吸收光，而干擾其所得結果，因而在 Aamm and Fonnum 的文獻中(2007)，建議應該使用只有奈米微粒或只有 DCF 的控制組作校正。

### 十二、體外細胞毒性檢測法之考驗

在探討奈米微粒的毒性及健康風險時，由於奈米微粒的物理化學性質常限制了體外細胞株毒性的檢測方法，因此發展出一套不會被奈米微粒特性影響的毒性檢測方法，就成為目前的研究重點。傳統的檢測方法大多仰賴染劑或指示劑的運用，但這些染劑或指示劑經常會與受到奈米微粒的干擾，因此新的檢測方法建立，首要為去除染劑或指示劑的使用 (Kroll et al., 2009)。如可採用數位化全像攝影 (Digital holographic microscopy)，全像攝影是一項三度空間的攝影技術，可以觀察活細胞型態上的種種變化 (Marquet et al., 2005)，這可以應用在暴露於奈米微粒的細胞，以數位化全像攝影觀察細胞是否發生型態的改變或細胞凋亡等 (Kemmler et al., 2007)。也可利用細胞株的物理特性，像連線長期觀測細胞電阻的變化 (Ressler et al., 2004)，在 Ponti et al. (2006)的報告中，就指出這樣的方式較傳統體外細胞株毒性的檢測方法來得敏感。由於現今的體外細胞株毒性的檢測方法，大多會被特定的奈米微粒所干擾影響，而利用不需要使用染劑或指示劑的檢測方法，來分析細胞的生化或功能的指標，或許可以提供一個較佳的檢測方式，並用來建立奈米微粒毒性的標準曲線。



### 十三、奈米物質之健康危害及管控

由於奈米物質的極小粒徑，可以推斷其表面活性將隨著粒徑變小而增加，而各種微粒之物理-化學特性也與一般化學物質不同，再加上奈米微粒的製備方式不同、不同的暴露條件、不同的濃度處理、及不同的實驗模式等，都會影響實驗之結果，因此若要探討奈米微粒的危害機轉，其實是非常複雜的。根據 Seaton et al. (2010) 的文獻回顧中，探討奈米微粒對人類健康危害及其管控提及，目前在奈米物質毒害評估的定量法，多依據經濟合作發展組織 OECD (the organization for Economic Co-operation and Development) 制定的指導原則及歐盟列出的 REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals)，OECD 為一個跨國際政府的組織，其中包括在北美洲、歐洲、亞洲、及太平洋地區等三十一個工業國家，定期討論如何對有害物質做管控政策的制定，還有商討組織中各國家的共同利益，也會共同合作以因應國際間共同遭遇的困難。大部份 OECD 的工作由來自會員國超過 200 多名的專家學者組成的委員會及工作小組，共同商討後所得到的共識。

在 OECD 針對現有的生態毒性測試標準規範 (ENV/JM/MONO, 2009, 21) 進行文獻回顧，並評估這些現有的標準規範應用在化學物質的健康影響。目前 OECD 在化學物質的健康影響方面有 52 種不同的測試標準規範，但若要適用於奈米物質毒性測試上，則有一些奈米物質的物理化學特質需要考量的，例如在實驗過程中所用的物質或溶劑裝載奈米物質 (dosing vesicle)。所有的毒性測試標準規範，都必須再修正以確保所有被測試的奈米物質的實驗系統都被審慎的考量，包括奈米物質本身的聚集化程度。目前最重要的是根據已知的知識，用最適當的方法來製備奈米物質並做測試，其間要避免以體外實驗系統的操作誤差。

OECD 在 2010 年六月新修訂的 Guidance manual for the testing of manufactured nanomaterials: OECD's sponsorship programme; First revision (ENV/JM/MONO, 2009, 20/REV) 中提及的 Project 7: The role of Alternative Methods in Nanotoxicology，這個方案主要是研擬替代的測試方法，希望能 1) 降低在探討奈米物質危害所使用的動物數量，2) 減少在測試過程中對動物的傷害，3) 或改用非動物的其他實驗模式。這些替代的測試方法的選定有個 3R 定律為主要原則，即精緻化 (Refinement)、減少化 (Reduction)、及可替代化 (Replacement)；OECD 也建議這些替代的測試方法能用在大部份的奈米物質危害評估中，因此可以大量並快速篩選的方法也是非常重要的。因此體外細胞株毒性測試的實驗模式，就成了具潛力的動物模式的替代方法。但在這個建議指導中也指出，目前大多數的體外模式測試方法的適用性及有效性仍舊不清楚，而尋找適用性及有效性高的替代方法，首要就是強調其再現性 (Reproducibility) 及準確性 (Predictability)。

在修正案中 OECD 提出對奈米物質毒性測試的終點指標，如表 4.1.4.7 所述：

表 4.1.4.7 OECD 提出對奈米物質毒性測試的終點指標。

	特性	可能利用的方法
奈米物質資訊	正式學術名稱	
	分子結構式並包括其組成	
	基本型態	
	表面化學的描述	
	主要的商業用途	
	已知的催化活性	
	製備的方式	
奈米物質物理及化學特性	其聚集程度	以 TEM 或 SMPS 可知其粒徑
	在水中的溶解度及分散情形	OECD TG105 Water Solubility
	結晶態	X 光繞射或電子繞射
	塵化程度	EN15051:2006, DIN033897-2, 震盪法
	結晶態粒徑大小	TEM、SEM、X 光繞射或電子繞射
	TEM 之結構照片	TEM、SEM
	粒徑大小分佈	
	特定位置之表面	ISO 9277:1995
	表面帶電 (Zeta potential)	測量並計算 Zeta potential
	表面化學	
	光催化活性	
	純密度	CEN/TC 184、ISO TC 206
	多孔性	ISO 15901 Part 1、Part 2、Part 3
	辛醇-水分佈係數	OECD TG107、TG123

	特性	可能利用的方法
哺乳動物的 毒理	藥物動力學/毒理學 包括奈米物質吸收、分佈、 代謝、排泄的評估方式	
	急性毒性	OECD TG420、TG423、TG425、TG402、 TG403
	重覆劑量毒性	OECD TG407、TG410、TG411、TG412、 TG413
	慢性毒性	OECD TG451、TG452、TG422、TG453
	生殖方面之毒性	OECD TG415、TG414、TG416、TG412、 TG413
	發育方面之毒性	OECD TG414、TG421
	基因毒性	OECD TG471、TG473、TG476、TG475、 TG474、TG486
	人類暴露之經驗	
	其他相關的數據	可藉由其他替代實驗方法

在 Seaton et al. (2010) 的文章中列出四種評估奈米微粒的危害的工具：(1) Regulatory toxicology tests. 對大多數物質的毒理測試，可以依據 OECD 所制定的在對化學物質毒性測試法指導原則，這些原則中的急性吸入毒性或亞慢性吸入毒性測試法，可以適用於奈米微粒毒性的測試，但這些測試法在奈米微粒上主要的限制為，以生長抑制百分之五十 (LC<sub>50</sub>) 為毒性測試指標，並不適合於奈米微粒毒性；一般因奈米微粒的聚集也不易將其霧化而用在吸入毒性測試法；再加上需要使用到大數量的動物。OECD 目前也正在考慮使用另外的替代測試法或非吸入毒性測試法，來檢測奈米微粒毒性，已降低使用到的動物數量。(2) Quantitative structure-activity relationship. 利用結構與活性間的對應關係的模式，主要是希望可以藉由已知物質的結構所產生對生物的影響，來預估未知物質對生物所產生的可能影響，這種模式的預測結果在一般的化學物質上的危害助益很大。而面對日異漸多的工業奈米物質產品，及奈米物質已被認定會對生物體有所影響，因而建立起奈米物質的結構與活性間的對應關係，就變得更加重要以助預估未知奈米物質對生物所產生的可能影響，進而可幫助奈米物質之管控。(3) Pharmacokinetic models. 目前並無已建立的奈米物質在身體內分佈的藥物動力學模式，而傳統的計算藥物動力學傳送的公，也因奈米物質的粒徑大小不同而不適用，因此必須重新評估及建立新的參數與公式。而在奈米物質的模式中，在建立其暴露-劑量-反應影響間的相互關係將比傳統模式來得更為重要，而根據這個新的模式，可以對不同種類的生物再做外插法的方式預測奈米物質之毒性影響。(4) in vitro-in vivo extrapolation. 一般化學物質的毒性研究，利用體外細胞實驗模式 (in vitro) 可以比體內系統模式 (in vivo) 來得更有效率，但如何解讀體外細胞實驗模式所得到的實驗結果，就很困難而且是非常重要的。而劑量-反應影響間的相互關係，則不管在體外細胞實驗模式及體內系統模式的定量比較部份，以及體外細胞實驗模式研究

間不同的差異都是非常重要的。

Seaton et al. (2010) 的文獻回顧中也強調，雖然奈米物質所產生的潛在暴露及危害已經可以預見，但由於其多元的應用性及產品化，使得奈米物質的管控規範非常難以制定；歐洲議會在最近通過一個議案，希望在未來兩年內審核所有相關的法案，以確保所有奈米物質的應用，對環境及製造業勞工及商品使用者之健康影響是安全的。英國 (the Health and Safety Executive, HSE) 也積極在管控奈米碳管的的使用及應用。

#### 十四、現今國內奈米物質毒性之研究

國內中原大學詹文雄老師及其團隊，於今年發表了奈米銀對小鼠囊胚時期的毒性及凋亡引發的報導，證實奈米銀可能會對小鼠胚胎發育有毒害的影響 (Li et al., 2010)；在奈米銀的細胞毒性研究上，已分別在不同的細胞株上證實其毒害的結果，如人類子宮頸癌細胞 (HeLa)(Ahamed et al., 2010)、人類急性單核白血病細胞 (THP-1)(Foldbjerg et al., 2009)、小鼠巨嗜細胞 (RAW264.7)(Miura and Shinohara, 2009)、小鼠表皮纖維母細胞 (NIH3T3)(Hsin et al., 2008)。此外奈米超對磁性氧化鐵常被用來，做觀測細胞運送物質的工具，但其對幹細胞的生物影響則仍不清楚；因此國家衛生研究院黃東明老師，則以骨頭幹細胞的模式來探討奈米超對磁性氧化鐵 (superparamagnetic iron oxide, SPIO) 對此類細胞分化的影響，其研究結果發現當細胞以 30  $\mu\text{g/ml}$  的濃度處理時，骨頭幹細胞的分化約被抑制百分之六十，甚至可以引發細胞轉型至移動力較強的間質細胞；而在以大於 100  $\mu\text{g/ml}$  的濃度處理時，骨頭幹細胞的分化則完全被抑制 (Chen et al., 2010)。在針對奈米級 SPIO 的細胞毒性研究，臺灣大學醫學院放射科廖漢文教授及其團隊的報導指出，若以人類間質幹細胞為實驗模式，以濃度為 1  $\mu\text{g/ml}$ 、10  $\mu\text{g/ml}$ 、及 100  $\mu\text{g/ml}$  等濃度的奈米級 SPIO 處理 24 或 72 小時，分別檢測細胞大小變化、活性氧化物質的產生、粒線體膜電位的變化、或細胞的分化等，都沒有明顯的毒性影響 (Yang et al., 2010)。

在 2006 年由台灣大學的楊泮池教授領導的研究團隊，就小鼠的實驗模式探討奈米二氧化鈦的暴露所造成對生物體的影響，結果發現奈米二氧化鈦會對小鼠的肺部組織有毒害的影響，並造成肺部細胞的凋亡及發炎反應 (Chen et al., 2006)。台灣大學生物環境系統工程學系廖中明老師的研究指出，以過去收集到的資料重新分析，發現勞工在奈米二氧化鈦製造過程中，身處在的工作環境中會接受到奈米二氧化鈦的暴露，尤其空氣中的奈米二氧化鈦粒徑大小為 10-30 nm，會對勞工產生較大的細胞毒性 (Liao et al., 2009)。而奈米二氧化鈦所引發細胞毒性的分子機制，也在去年由中興大學莊秀美老師發表的文獻指出，以細胞處理長時間低濃度的奈米二氧化鈦，會導致 DNA 突變，近一步引起細胞轉型成癌化細胞 (Huang et al., 2009)。

臺北醫學大學陳建志老師及其團隊在 2010 年發表的文獻中，討論奈米 C<sub>60</sub> 衍生物對神經細胞的影響，不同的外表取代基，會有不同程度的對神經細胞存活的影响，而以 pentoxifylline (PTX) 包裹的奈米 C<sub>60</sub> 則對神經細胞會有保護的功效 (Lee et al., 2010)。國家衛生研究院林嬪嬪教授，利用八週大的小鼠的動物模式，以尾端注射的方法將奈米量子點 (Cd/Se/Te-based quantum dot) 送入小鼠體內，分別在一天、一個禮拜、兩個禮拜、四個禮拜、及十六個禮拜後，觀察奈米量子點在

小鼠體內組織的分佈，結果發現在十六個禮拜後，奈米量子點仍在小鼠體內累積，尤其是累積在腎臟中，並有游離的 Cd 由奈米量子點釋放出來，推論這樣的系統在生醫上的應用並不安全，也會增加腎臟傷害的機率 (Lin et al., 2009)。

## 十五、小結

目前國內致力於奈米物質的研究學者，在近五年中以奈米物質毒性為主題，共發表了近四十篇的文獻，大部份聚焦在奈米物質在生醫領域的應用，如生物影像、藥物傳遞、生物標記、及生物技術等；除此以外，研究學者也在探討奈米物質的生物毒性及其對環境生態的影響，貢獻極大，但是這些奈米物質毒性評估的實驗方法仍待驗證，其研究成果始具有參考價值。不容否認的是，在現今奈米科技的急速發展中，上述的各領域皆為十分重要，但我們想要強調的是在發展奈米科技應用層面的同時，其對環境生態及生物體的影響皆不容小覷。我們希望國內學者在進行相關研究時注意 OECD 指引的最新進展，據以規劃研究方向及設計研究方法，以使研究成果能和國際接軌，並提昇本國的國際影響力。

### 4.1.5 奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命

#### 一、國際研究現況

隨著科技不斷的進步，奈米科學研發到現在已經將近 20 年的時間，不少生產奈米物質的技術已經逐漸成熟，部分物質甚至開始商業化，且進入量產階段，例如奈米顆粒(TiO<sub>2</sub>、ZnO、Ag、carbon black 等)、碳 60 以及奈米碳管等，廣泛應用於塗料、化妝品、衣物、影印等方面。然而，這些奈米物質雖然方便使用，卻有可能會對環境造成一些危害。

由於，環保署近年來已透過本計畫的分階段的實施過程，針對奈米物質在大氣環境的流佈與宿命做了知識缺口的基礎資料收集，因此，本年度將重點聚焦於過往較為缺乏的水環境部分。表 4.1.5.1 為國內外針對市面上較常出現的奈米產品在進入水環境後的宿命之研究彙整，而從這些文獻可歸納出奈米物質在進入水環境(河水、湖水)中，其物質本身之穩定度與凝聚性會受到水質參數，如 pH 值、離子強度、陽離子種類以及天然有機物(natural organic matters, NOM)的影響。因此為了瞭解奈米物質對環境是否造成危害，勢必要知道奈米物質在環境的傳輸與宿命。以下則是回顧近幾年奈米物質的宿命之研究，針對最常使用之四大類奈米物質為主，分別為奈米氧化金屬、奈米金屬、奈米碳材以及奈米量子點，來探討奈米物質在環境之流佈與宿命。其中，除了奈米量子點外，其他三類皆屬於 OECD 的工程奈米物質工作小組(WPMN)所列之 14 個代表性工程奈米物質。值得注意的是，奈米量子點是與台灣高科技產業發展關聯性強之奈米物質，就該物質之環境流佈、宿命與風險等議題應是政府需重視的。

表 4.1.5.1 奈米物質在水環境之宿命。

奈米物質	備註	實驗參數	結果	資料來源
Cu	分散劑 1. TX-10 2. CATB 3. SDBS	1. pH 值對表面電位的變化 2. pH 值對吸光度的影響 3. 分散劑濃度對奈米銅穩定的影響	加入分散劑後使得顆粒的表面容易帶電荷，相對之下，顆粒容易趨於穩定狀態	Li et al., 2007
Quantum Dots (CdTe)	配位體 Thioglycolate (HS-CH <sub>2</sub> -COO <sup>-</sup> )	1. 粒徑分析 2. QDs 在不同 pH 與陽離子之穩定性 3. QDs 在三價陽離子之團聚性 4. 鈣對 QDs 的配位作用	1. pH 從 2~12，表面皆帶負電荷 2. 增加陽離子濃度會提高顆粒表面的電荷 3. 陽離子價數越高，電荷提升的程度越明顯	Zhang et al., 2008
CNTs	經過氧化後之 CNTs	1. pH 值對表面電位的變化 2. CNTs 的老化時間 3. NaCl、CaCl <sub>2</sub> 和 AlCl <sub>3</sub> 對 CNTs 表面電位的影響	1. 被氧化的 CNTs 在酸性與中性間，表面帶負電荷 2. 材料會隨時間而老化，造成容易團聚 3. 再加入鹽類後，CNT 容易產生沉澱	Peng et al., 2009
MWCNT	多壁奈米碳管直徑分別為 10, 20, 40, 60, 100 nm	1. MWCNT 的特性分析 2. 有機酸(Tannic acid, TA) 濃度與 MWCNT 直徑對穩定性的影響 3. pH 值對 MWCNT 穩定性的影響 4. 離子強度的影響	pH 範圍 2~12 1. MWCNT pH 5.5~6.5 下容易產生沉澱 2. 穩定性大小比較： MWCNT40 > MWCNT60 > MWCNT20 > MWCNT100 > MWCNT10 3. 加入 La <sup>3+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> 陽離子分別在 0.014, 0.29, 0.33, 6.9 mmol/L 濃度下會產生沉澱	Lin et al., 2009
C <sub>60</sub>	加入有機物或分散劑 1. SRNOM 2. SDS	1. C <sub>60</sub> 在水相的分散性 2. nC <sub>60</sub> 在含有 NOM 的水中之回收率 3. 傳統水處理程序去除 nC <sub>60</sub> 試驗	1. 在鹼度為 100 mg/L CaCO <sub>3</sub> 下，隨著有機質濃度提高，混凝沉澱的去除率會逐漸下降 2. 水中鹼度降低，混	Hyung and Kim, 2009

			凝沉 澱的去 除率也會隨著下 降	
Quantum Dots (CdSe)	外殼：ZnS 配位體 HO(CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> H	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. pH 與離子強度的影響</li> <li>2. 天然有機物對 CPP、N、R<sub>H</sub> 的影響</li> <li>3. microalga <i>C. kesslerii</i> 對 CPP、N、R<sub>H</sub> 的影響</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CdSe/ZnS 在 pH 5 ~ 8 且離子強度在 0.1 ~ 10 M 下會穩定的分散</li> <li>2. pH 在 4.0 顆粒數與顆粒的螢光度會明顯減少</li> <li>3. 加入腐質酸只會些許影響水力半徑、顆粒數及螢光強度。只有 0.1 M 的離子強度下，加入高濃度腐質酸(AA)會增加水力半徑，並減少顆粒數</li> </ol>	Slaveykova and Startchev, 2009

### 奈米氧化金屬在環境的傳輸與宿命

奈米氧化金屬目前以二氧化鈦、氧化鋅的產品為最常見，以二氧化鈦為例，奈米二氧化鈦可藉由光來活化光觸媒的特性，進行氧化還原的光催化反應，目前已實際應用於有機物降解、氫化反應、重金屬回收及殺菌等處理。除了這些用途外，還有使用於染料及化妝品的添加物上。而奈米氧化鋅為一種半導體材料，在太陽能電池、光電設備等應用。除此之外，奈米氧化鋅也是一種良好的紫外線遮蔽劑，因此除了化妝品外，也被廣泛被用來當防曬油的材料之一。當然奈米氧化金屬並不止有這兩種，像是還有氧化鐵、氧化鎳與氧化銻等奈米物質，所以本單元所探討的奈米物質有：二氧化鈦、三氧化二鐵、氧化鋅、氧化鎳及氧化銻等。

Fang et al. (2009) 主要研究目的是探討二氧化鈦奈米粒子懸浮的程度在不同的土壤懸浮液，並調查二氧化鈦奈米粒子可以在各種均質土壤管柱傳輸的距離。實驗方法則是將土壤通過 1 mm 的篩網，並且測量土壤有機質的含量。然後在土壤與去離子蒸餾水以 1:5(W:V)混合，之後測量 pH 值。

另外在取 500 mg 的 TiO<sub>2</sub> 和 12.5 g 的土壤混合，再加入 250 mL 的去離子蒸餾水。另外以同樣比例的 TiO<sub>2</sub> 和去離子蒸餾水的溶液(DDW)作為控制組；土壤和去離子蒸餾水的溶液做為背景組。持續攪拌 24 hr 後放置 10 天，再取上層液分析第 0 天和第 10 天的粒徑分布。同時將第 10 天的懸浮液注入土壤管柱，進行傳輸試驗。接下來在玻璃管柱(長 20 cm、內徑 25mm)均勻填滿 10 cm 的乾燥土壤，並且將去離子蒸餾水加入，讓水通過管柱使土壤達到飽和。

觀察 TiO<sub>2</sub> 在土壤中之沉澱情形(圖 4.1.5.1)，圖中 BJ、HLJ、JX、AH 和 SX 的土壤(註：英文字母為土壤來源地區之地名縮寫)，由於低離子強度和高溶解有機

碳含量使 31.1–35.8% 的  $\text{TiO}_2$  粒子在放至 24h 後還懸浮著，比  $\text{TiO}_2$  粒子在 DDW 中的 25.1% 還高。之後在剛開始的 2-4 天，懸浮的  $\text{TiO}_2$  濃度逐漸減少，並且在 5-10 天後，濃度幾乎沒有在改變。在第 10 天，殘留 1.17–2.83% 的  $\text{TiO}_2$  懸浮粒子，其相當於 23.5–56.7 mg/L 的  $\text{TiO}_2$ 。然後對於 LZ、SD、HN、CD、NMG、JS 和 CQ 土壤，因為高離子強度和低溶解有機碳，使  $\text{TiO}_2$  粒子在 24h 內快速沉澱，約有 98% 的  $\text{TiO}_2$  被沉澱，然後持續放置 5 天後，並沒有發現懸浮的  $\text{TiO}_2$  奈米粒子。而 LZ 和 SD 有最高的離子強度和最低的溶解有機碳，顯示出在放置 24h 內迅速沉澱，並且沒有殘留任何的  $\text{TiO}_2$ 。

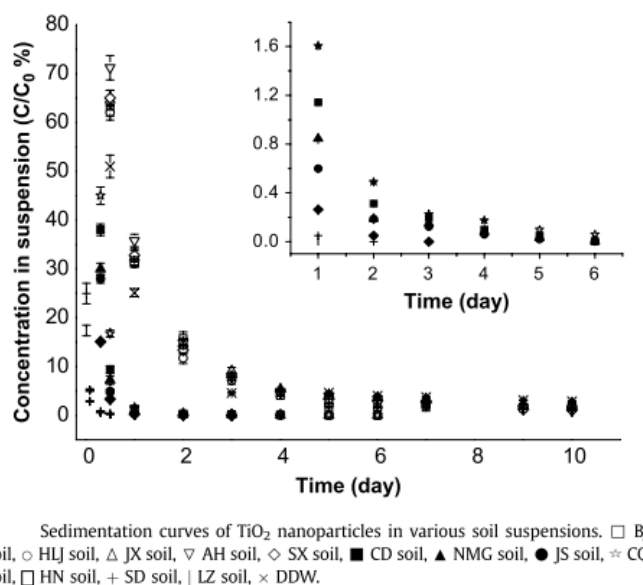


圖 4.1.5.1 懸浮液含  $\text{TiO}_2$  之濃度隨時間經過的變化，其中 BJ、HLJ、JX、AH、SX、LZ、SD、HN、CD、NMG、JS 和 CQ 皆指某地方之地名縮寫 (Fang et al. 2009)。

圖 4.1.5.2， $\text{TiO}_2$  在 DDW 中的主要分布粒徑聚集在 0.35 ~ 7.1  $\mu\text{m}$  於第 0 天。隨著時間經過，大的  $\text{TiO}_2$  優先被聚集沈積在溶液中，剩下較小的粒子被懸浮累積，以至於 10 天後  $\text{TiO}_2$  懸浮粒子只有 0.04 ~ 0.35  $\mu\text{m}$ 。然而在各個土壤懸浮液中(包含  $\text{TiO}_2$ )，於第 0 天的時候，其分布粒徑顯示出較廣的範圍，從 0.3 到幾百微米。在放置 10 天後， $\text{TiO}_2$  依然懸浮於 BJ、HLJ、JX、AH 和 SX 的土懸浮液中，觀察到有較小的  $\text{TiO}_2$  分佈粒徑為 0.03 ~ 0.58  $\mu\text{m}$ ；而其他 7 個土壤懸浮液，在 10 天後幾乎呈現透明狀。在土壤懸浮液中(不包含  $\text{TiO}_2$ )，與包含  $\text{TiO}_2$  的懸浮液做比較，發現其在第 0 天有相似的粒徑分布，並且在第 10 天，溶液幾乎透明的。

土壤群組 1(BJ、HLJ、JX、AH 和 SX)和群組 2(LZ、SD、HN、CD、NMG、JS 和 CQ)主要是基於離子強度和溶解有機碳含量來分組。然而在此實驗中， $\text{TiO}_2$  奈米粒子的 pH 零電位點在 4.5，且  $\text{TiO}_2$  奈米粒子的界達電位在 pH 6-8.5 的 DDW 中，範圍在 -20.7 到 25.8 mV 不等。而土壤的表面負電位範圍在 -16.5 到 -25.9 mV。(然而基於 DLVO 理論，高離子強度會壓縮電雙層，導致減少電雙層靜電排斥力)因此高離子強度的群組 2 土壤，可以解釋  $\text{TiO}_2$  的快速沈積原因。因為可溶性有機物為一種表面活性劑，因此高濃度 DOC 的土壤群組 1，可以解釋為何會導致  $\text{TiO}_2$



懸浮的原因。

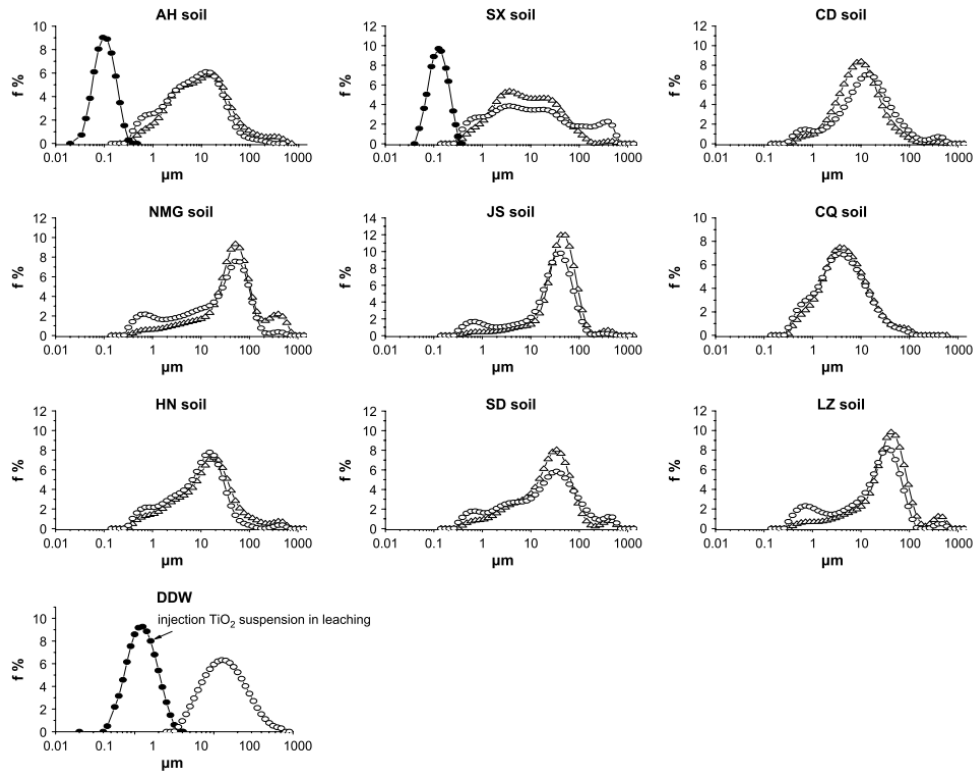


圖 4.1.5.2 為懸浮粒子在 0~10 天中於各土壤懸浮液及去離子蒸餾水(DDW)中的粒徑分布情況，f%為散色光強度 (Fang et al., 2009)。

然而從比較含與不含  $\text{TiO}_2$  的土壤之界達電位可發現(圖 4.1.5.3)，土壤群組 1(虛線下方)的表面電位(存在  $\text{TiO}_2$  奈米粒子)比土壤群組 2(虛線上方)的表面電位，有較多的負電荷；並且也比沒有  $\text{TiO}_2$  的土壤懸浮液多較多的負電荷，甚至也比在 DDW 中有較多的負電荷，於是導致群組 1 懸浮液有較穩定的懸浮  $\text{TiO}_2$  顆粒。

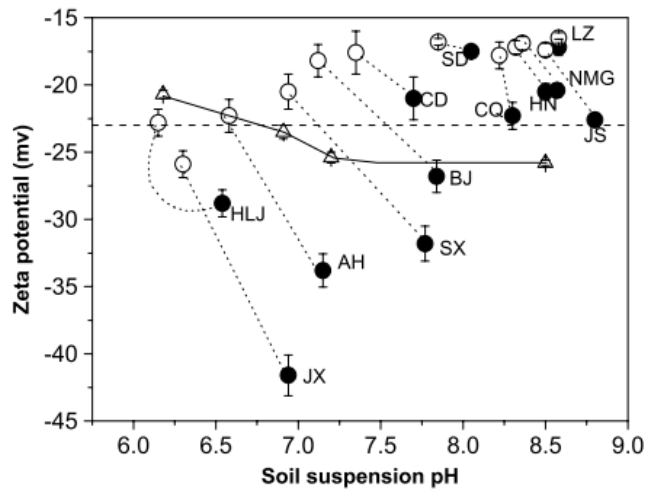
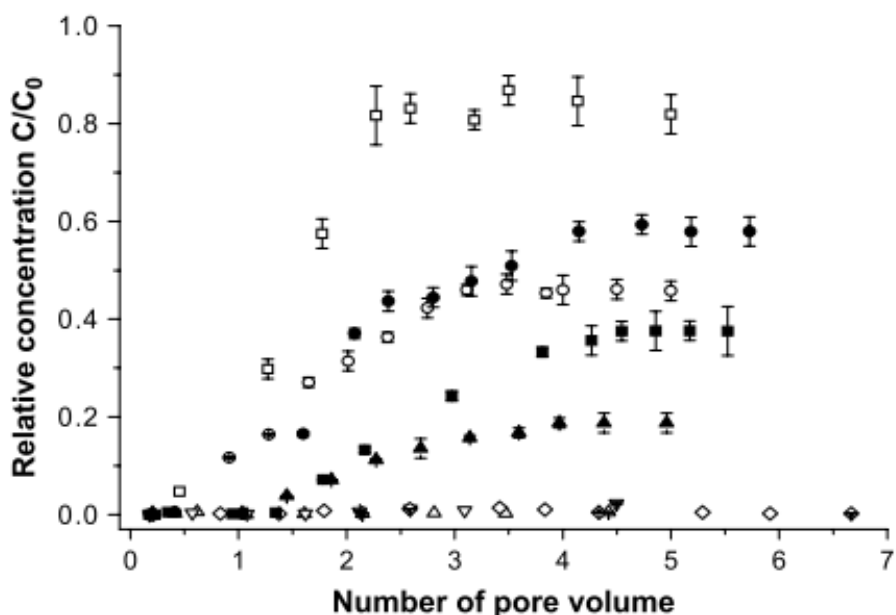


圖 4.1.5.3 土壤懸浮液含(●)與不含(○) $\text{TiO}_2$  奈米顆粒(2 mg/L)的界達電位之比較 (Fang et al., 2009)。

在圖 4.1.5.4 中，群組 1 的土壤中，TiO<sub>2</sub> 奈米粒子在第一孔隙體積通過 BJ 和 HLJ 土壤的進流濃度分別約 25%和 13%，之後在第 2、3 孔隙體積的 TiO<sub>2</sub> 相對濃度約分別提高到 83.0%和 46.0%。而其他同樣群組的土壤 JX、AH 和 SX，有大於 97% TiO<sub>2</sub> 粒子在通過管柱時被去除，即使沒有經過化學的互相作用去促進他成為膠體。此種現象表示可能有另一種機制有助於懸浮的 TiO<sub>2</sub> 奈米粒子。其極低的 Darcy velocity 可能是這另一種的因素造成 TiO<sub>2</sub> 奈米粒子沈積在土壤管柱中。

在群組 2 的土壤中，經由傳輸實驗中可以看到大的 TiO<sub>2</sub> 聚集沈積在 SD 和 LD 土壤的頂部，且也沒有發現 TiO<sub>2</sub> 通過管柱。然後在 CQ 和 HN 土壤在出流孔也沒有偵測到 TiO<sub>2</sub> 的通過。而 TiO<sub>2</sub> 粒子在 NMG、CD 和 JS 土壤傳輸過程中，C<sub>f</sub>/C<sub>0</sub> 在通過第 1 孔隙體積後呈現緩慢提高的趨勢，並在第 4 孔出現最高值且維持平穩狀態。然而在圖 4.1.5.1，TiO<sub>2</sub> 奈米粒子快速沈積在土壤懸浮液中，而在圖 5.5.4，卻可以在這些土壤管柱的出流口發現有顯著的 TiO<sub>2</sub> 相對濃度的存在，其可能的原因是這些土壤有高含量的沙土，導致 TiO<sub>2</sub> 可以穿透過去(Ko and Elimelech, 2000)。



Breakthrough curves of TiO<sub>2</sub> suspensions in various soil columns. □ BJ soil, ○ HLJ soil, △ JX soil, ▽ AH soil, ◇ SX soil, ■ CD soil, ▲ NMG soil, ● JS soil.

圖 4.1.5.4 表示奈米 TiO<sub>2</sub> 粒子在各種土壤的流動性(Fang et al., 2009)。

然而觀察圖 4.1.5.2 中 DDW 的部分，進流的懸浮 TiO<sub>2</sub> 粒徑介於 0.03 到 0.35 um，並且再比較圖 4.1.5.5 發現通過管柱後，TiO<sub>2</sub> 的粒徑有明顯的改變。通過 BJ、HLJ、CD、NMG 和 JS 土壤管柱後的出流，產生一個新的 1-10 um 的波峰，表示 TiO<sub>2</sub> 與土壤發生互相作用，導致 TiO<sub>2</sub> 顆粒的聚集。而懸浮 TiO<sub>2</sub> 流出的順序為 NMG>CD>JS>HLJ>BJ，發現其通過的順序為顛倒的現象，表示越大顆粒越難通過管柱。而出流的 TiO<sub>2</sub> 在 JX、AH 和 SX 管柱沒有測量到的原因是 TiO<sub>2</sub> 通過管柱的

濃度過低無法確定所致。

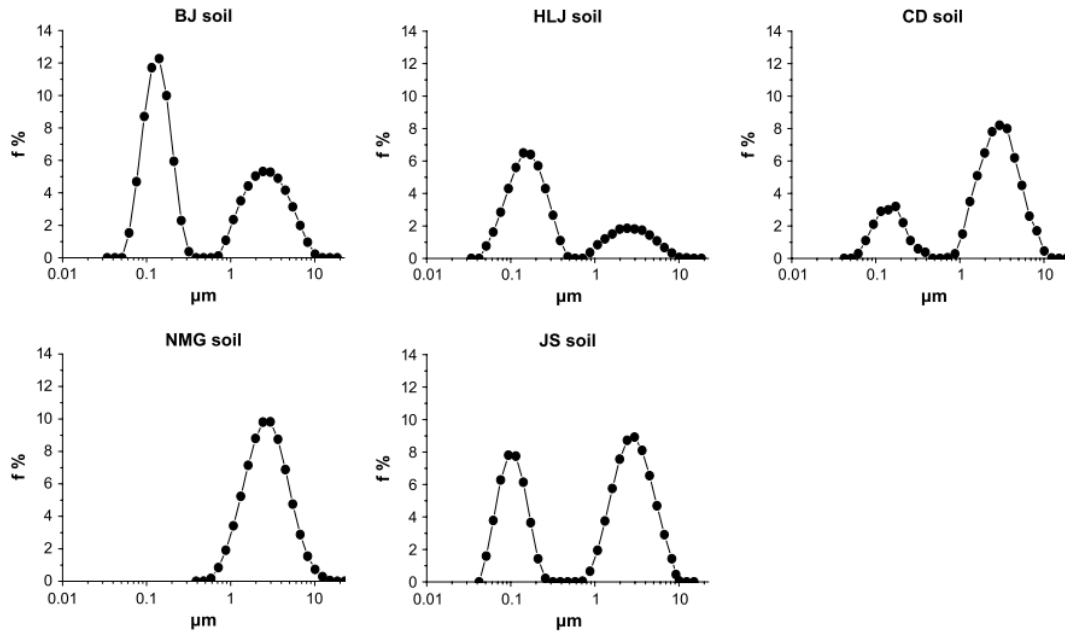


圖 4.1.5.5  $\text{TiO}_2$  在土壤管柱出流後的粒徑分布(Fang et al., 2009)。

因此經由以上實驗，可作幾點結論：(1)  $\text{TiO}_2$  的相對懸浮濃度與 DOC、泥土含量成正相關，與離子強度、pH、界達電位成負相關、(2) 高穩定度的  $\text{TiO}_2$  懸浮顆粒，會容易導致  $\text{TiO}_2$  在土壤層的有較高的流動性。

Zhang et al. (2008) 主要是探討商業金屬氧化物奈米粒子在水中的特性、分散性與穩定性，以及利用水處理程序去除商業金屬氧化物奈米粒子。並且了解經由水處理程序團聚與去除商業奈米顆粒，以方便評估它們在環境的宿命和對人類的潛在風險。主要的商業奈米物質有  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{NiO}$  與實驗室配製的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。取 1 g 的奈米粉末配製成 1 g/L 的奈米懸浮液，並且放入超音波震盪器以 20 KHz 震盪 15 分鐘後，並且在室溫( $23 \pm 2^\circ\text{C}$ )下，靜置 2 天以上，之後再進行實驗。

從圖 4.1.5.6 的(a) - (d)之 TEM 與 SEM 可發現顆粒呈現團聚現象且尺寸有超過 100 nm 之情形，但是(e)之 SEM 的顆粒仍然保持在小於 100 nm，(a) - (d)的奈米顆粒屬於商業用的材料，而(e)則是剛從實驗室配製出來進行實驗，由此可推斷奈米物質可能會因為生產出來的新鮮程度，而使顆粒有不同的尺寸大小。

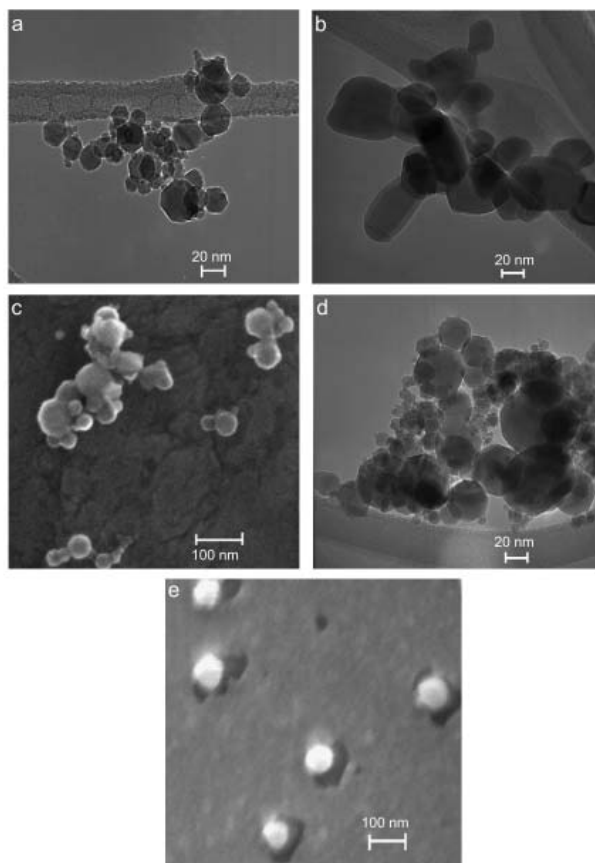


圖 4.1.5.6 奈米顆粒之 TEM 或 SEM (a)  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (b)  $\text{ZnO}$  (c)  $\text{TiO}_2$  (5 wt% 的懸浮液) (d)  $\text{TiO}_2$  (粉末) (e)實驗室合成之  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Zhang et al., 2008)。

然後對這些奈米物質測量其等電點(圖 4.1.5.7)，測量範圍從 pH 2 ~ pH 12，發現矽之等電點是小于 2，且帶負電荷，然而大部分之等電點( $\text{pH}_{\text{zpc}}$ )都在 pH 5 ~ 10，電荷範圍大致從+40 mV 到-45 mV。

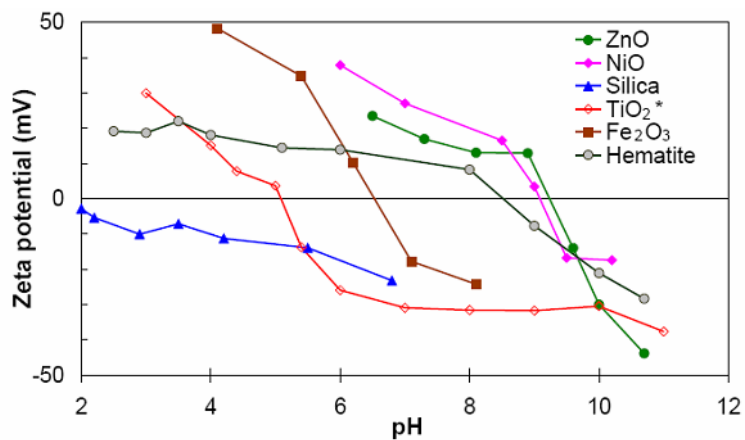


圖 4.1.5.7 pH 值對奈米顆粒的表面電位之影響 (Zhang et al., 2008)。

奈米顆粒在自來水之團聚試驗(圖 4.1.5.8)，發現  $\text{TiO}_2$  懸浮液之初始平均粒徑為 200 nm， $\text{TiO}_2$  粉末之初始平均粒徑則大於 500 nm，而其它奈米顆粒之初始平均粒徑也普遍大於 200 nm。隨著時間經過，大部分的奈米顆粒的粒徑也逐漸團聚變大，其中以  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  團聚程度最快，在 8 小時後，從 200 nm 變到 2250 nm。此一結果顯示奈米物質可受環境條件的影響，改變其粒徑大小成為非奈米顆粒。

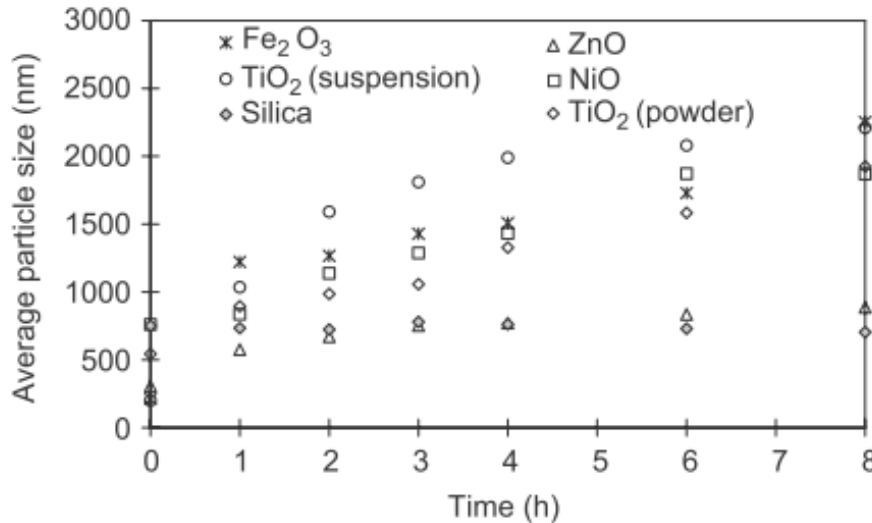


圖 4.1.5.8 商業級奈米顆粒在自來水之團聚粒徑 (Zhang et al., 2008)。

圖 4.1.5.9 為利用高濃度電解質探討使商業級奈米顆粒膠凝並去除之效果，首先將奈米懸浮液靜置 1 小時，使奈米顆粒之原質量的 5 ~ 35% 沉澱，然後再加入  $\text{MgCl}_2$  進行膠凝程序，結果顯示剛開始 30 分鐘的慢混中，只有 20 ~ 30% 的顆粒的聚集。在經過 8 小時的混合後，沉澱去除的奈米顆粒約 40 ~ 80%，繼續增加時間到 24 小時，發現仍然有 20%，甚至更多的奈米顆粒在水中，去除效率並不明顯。

除了利用高濃度電解質外，作者也利用混凝劑(鋁礬, Alum)進行混凝沉澱試驗(圖 4.1.5.10)，實驗中混凝劑的使用劑量為 20 ~ 60 mg/L，並且加入至純水中(pH  $7.7 \pm 0.2$ , 0.01 M ionic strength)。結果顯示加入 20 mg/L 的混凝劑後，除了矽以外，大部分的奈米粒子約有 30 ~ 40% 的去除效率，劑量增加到 40 mg/L 時，發現效率不明顯而且有些奈米顆粒的去除效率反而下降，劑量繼續增加到 60 mg/L，去除效果一樣不明顯。

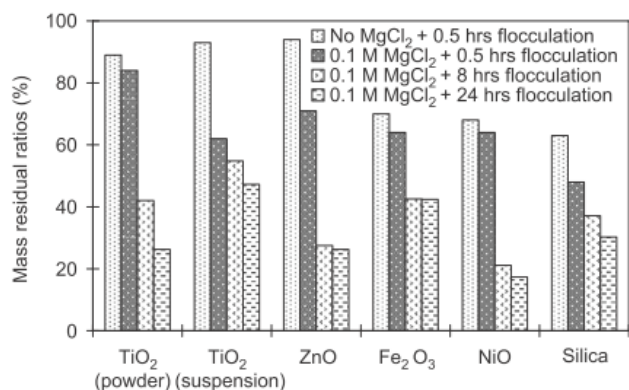


圖 4.1.5.9 電解質對奈米顆粒(10 mg/L)在純水經 1h 沉降後之去除效率 (Zhang et al., 2008)。

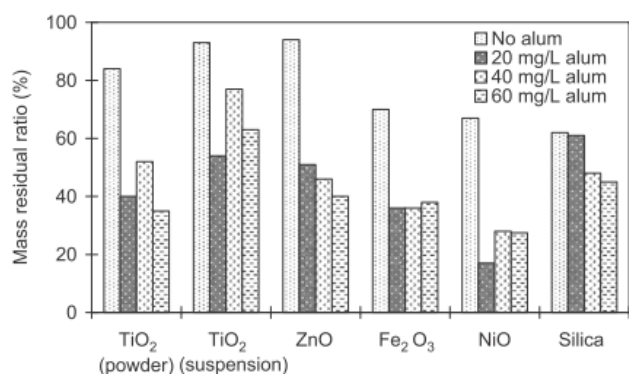


圖 4.1.5.10 混凝劑對 10 mg/L 奈米顆粒在純水的混凝與沉澱效率(Zhang et al., 2008)。

Buettner et al. (2010) 主要研究目的是決定一價( $\text{Na}^+$ )或二價( $\text{Ca}^{2+}$ )陽離子對二氧化鈾( $\text{CeO}_2$ )在水溶液穩定度之影響。在此實驗中利用硝酸鈾以三種不同水：甲醇比例配製奈米  $\text{CeO}_2$ ，分別以甲醇體積百分比為 0%、33%與 67%。配製完成的液體先加熱至  $50^\circ\text{C}$ ，之後加入 150 mL，3.0 M 之  $\text{NH}_3$  溶液，然後一直攪拌，當紫色沉澱物變成黃色時，即為  $\text{CeO}_2$  奈米顆粒。接下來將顆粒放至  $80^\circ\text{C}$  下老化，連續一星期。之後放在室溫使之冷卻，並且利用離心程序清洗，然後將上層液倒出，再用純水使之重新懸浮，重複此步驟，直到上層液導電度小於  $60 \mu\text{S}$ ，之後即可作為此實驗中之材料。

結果顯示，圖 4.1.5.11 為一個典型的  $\text{CeO}_2$  之 TEM，而其合成過程中並無甲醇存在。圖中可清楚觀察到奈米顆粒粒徑範圍在 5 nm ~ 20 nm，並且稍微聚集在一起，產生一團接近 100 nm 之奈米顆粒。

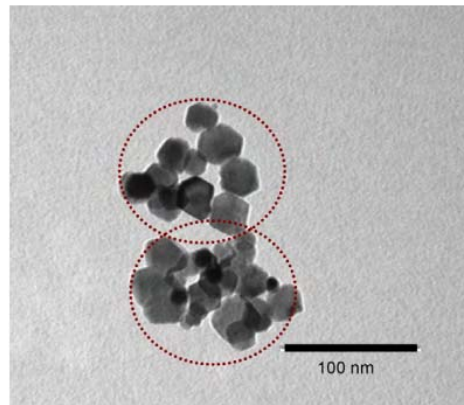


圖 4.1.5.11 典型的(未含甲醇)奈米  $\text{CeO}_2$  之 TEM (Buettner et al. 2010)。

圖 4.1.5.12A 為測量 pH 值對  $\text{CeO}_2$  影響之結果，探討三種不同合成條件之表面電位與懸浮液之 pH 值之間的關係，而這三種之  $\text{pH}_{\text{zpc}}$  分別為 5.8、7.6 與 6.5，其所對應之甲醇比例為 33%、67% 及 0%。而圖 4.1.5.12B 則是一價陽離子( $\text{Na}^+$ )濃度對  $\text{CeO}_2$  界達電位之影響，顯示出  $\text{Na}^+$  需要極高濃度表面電位才能較為接近等電點。

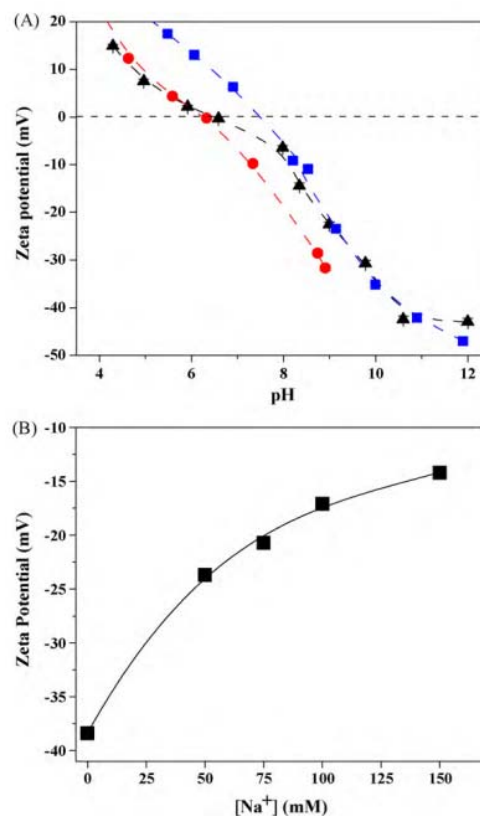


圖 4.1.5.12 (A) pH 值對不同合成條件之奈米的表面電位之影響，▲ 顆粒合成於 100% 純水，● 顆粒合成於甲醇：水 = 33%：67%，■ 顆粒合成於甲醇：水 = 67%：33% (B) 陽離子濃度對  $\text{CeO}_2$  表面電位之影響( $\text{pH} = 11$ ) (Buettner et al. 2010)。

圖 4.1.5.13 為電解質溶液對  $\text{CeO}_2$  之臨界凝滯濃度，而電解質為  $\text{NaCl}$  與  $\text{CaCl}_2$ ，並選擇 pH 值為 11.0 之穩定奈米顆粒懸浮液，實驗結果顯示  $\text{NaCl}$  與  $\text{CaCl}_2$  之臨界凝滯濃度分別約為 1.9(圖 4.1.5.13A)與 12.5(圖 4.1.5.13B)，換算後大約為 80 mM 與 16 mM。

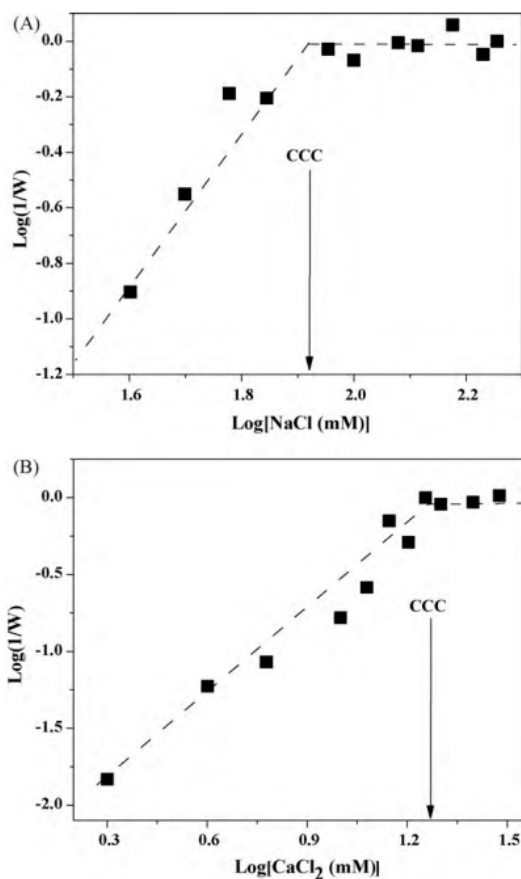


圖 4.1.5.13 (A) $\text{NaCl}$  對  $\text{CeO}_2$  奈米之臨界濃度，pH = 11.0 (B) $\text{CaCl}_2$  對奈米  $\text{CeO}_2$  臨界濃度，pH = 11.0 (Buettner et al. 2010)。

#### 奈米金屬在環境中的宿命

在奈米金屬方面，目前有不少奈米金屬已被人們使用，但其中以奈米零價鐵 (Nano Zero Valant Iron, NZVI) 為最常被使用之奈米物質，也是技術最成熟之奈米物質，因此選擇以奈米零價鐵來作回顧，此外再奈米銅之穩定性研究作介紹。所以本單元所回顧的奈米物質之宿命研究有：奈米零價鐵與奈米銅等兩種材料。

Lin et al. (2009) 主要目的是探討穩定與未穩定 NZVI 與 Pd/Fe 雙金屬之懸浮情形。在未穩定 NZVI 與 Pd/Fe 雙金屬的製備過程中，作者首先分別配製 0.09 M 氯化鐵 100 mL 之 A 液，與 0.5 M 硼氫化鈉 100 mL 之 B 液，然後將 B 液倒入反應瓶並置於冰水中，以 300 rpm 之速度進行攪拌，一邊瓶口以 3 L/min 之速率通入氮氣，另一邊則將 A 液以 5 mL/min 滴入，待反應結束後即得未穩定 NZVI，簡稱 BNZVI (Bare NZVI)。另外 Pd/Fe 雙金屬之配製，則以 NZVI 之製備為基礎，在 NZVI 之懸浮液產生後，加入 1/1000 之 NZVI 鐵重量的鈦鹽溶液後，即得 Pd/Fe 雙金屬，簡



稱 BBNZVI (Bare bimetal NZVI)。

另外在穩定 NZVI 與雙金屬之材料製備過程中，所選擇的分散劑為 PAA (poly acrylic acid)與 CMC，分散劑為 PAA 時，其製備程序與未穩定 NZVI 與雙金屬大同小異，其差別在於，在製備前之氯化鐵溶液先與改質劑進行混合，所得之奈米物質即為穩定 NZVI 與雙金屬，其簡稱為 PNZVI (PAA modified NZVI)與 PBNZVI (PAA modified bimetal NZVI)，另外 PFNZVI (PAA modified and Fine particle size NZVI)之製備與 PNZVI 極相似，差別在於，在鐵前驅鹽溶液中加入 1/1000 鐵重之鈦離子，並加入 2 mL 之濃氨水(35%)調整硼氫化鈉溶液 pH 值至 11.0，即可合成出粒徑更小且均勻穩定之 NZVI 懸浮液。而改質劑為 CMC 時，其製備方法為：配製 0.54 M 硫酸亞鐵與 1.08 M 硼氫化鈉各 10 mL，然後將硫酸亞鐵溶液與 100 mL 的 CMC 溶液混合並倒入反應瓶中，通氮氣且置於冰水中，以 230 rpm 轉速攪拌，之後將硼氫化鈉以 5 mL/min 之速率倒入，即為穩定的 NZVI，簡稱 CNZVI (CMC modified NZVI)。

將以配製好之穩定與未穩定 NZVI 與 Pd/Fe 雙金屬進行測試改質前後之懸浮狀態。實驗結果如圖 4.1.5.14 與 4.1.5.15 所示，發現未穩定之 BNZVI 在合成後，快速的聚集成鏈狀並且產生沉澱；另外圖 4.1.5.14(B)顯示利用 PAA1.8K 改質後的 NZVI 在靜置 1 小時後，有出現分層現象而上層之紅棕色顆粒為三價鐵。至於利用 PAA250K 改質之結果如圖 4.1.5.14(C)、4.1.5.14(D)與圖 4.1.5.15 所示，發現添加量為 14% 的懸浮效果較 2% 與 8% 更差，推測可能是由於添加過多的改質劑而形成架橋現象，因而破壞膠體的穩定性，造成顆粒的團聚。另外對添加量為 2% 與 8% 之懸浮液進行 UV 光的量測於圖 4.1.5.15，顯示兩者並無明顯差異，但直接靜置幾天後，觀察出 8% 的體積添加劑量比 2% 的添加劑量相對較好，可靜置 6 天仍無分層現象產生。接著，並對 8% 劑量改質的 PNZVI 進行不同 pH 值下的界達電位之測量，結果如圖 4.1.5.16 所示，改質後之 PNZVI 顆粒表面帶負電荷，並且隨 pH 值增加，表面所帶的電荷越負，表示越趨向穩定。

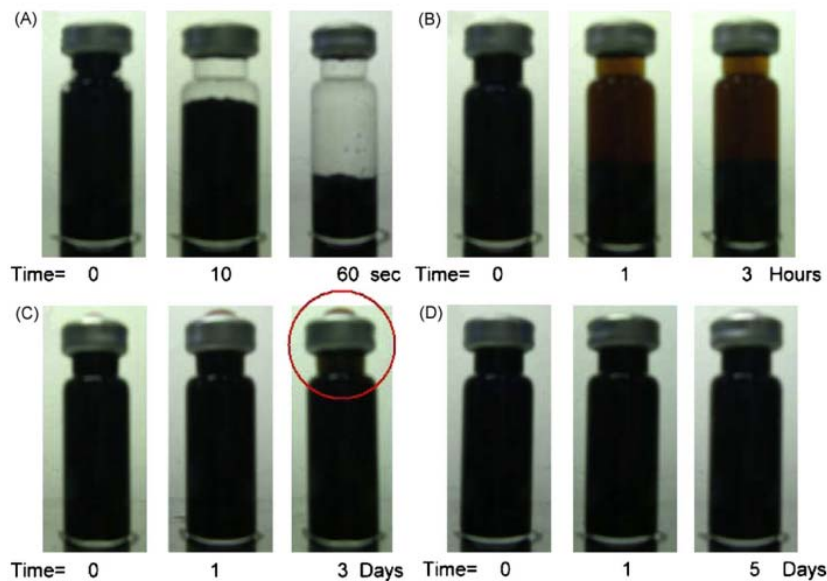


圖 4.1.5.14 不同 PAA 分子量與添加劑量下，NZVI (2 g/L) 表面改質後之懸浮狀況：(A) BBNZVI (B) PAA1.8K (C) 2% 體積之 PAA250K (D) 8% 體積之 PAA250K。

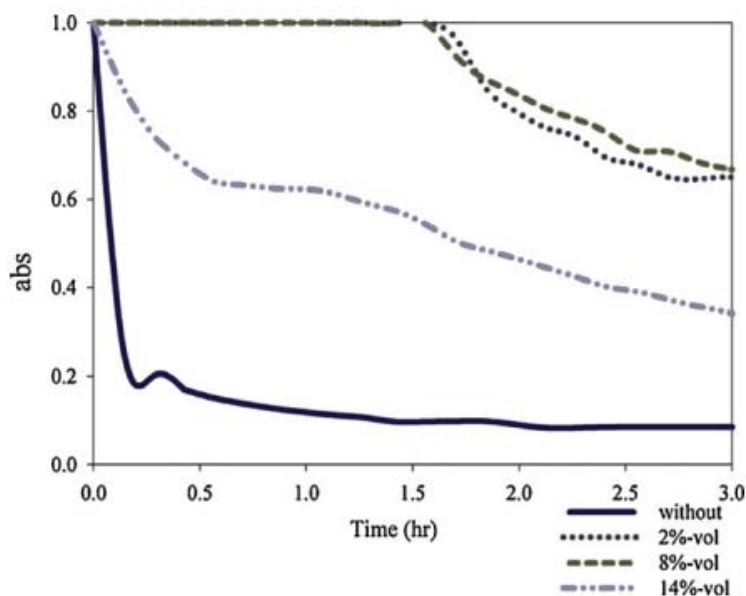


圖 4.1.5.15 添加 PAA250K 於不同劑量下，改質 NZVI 之懸浮情形。

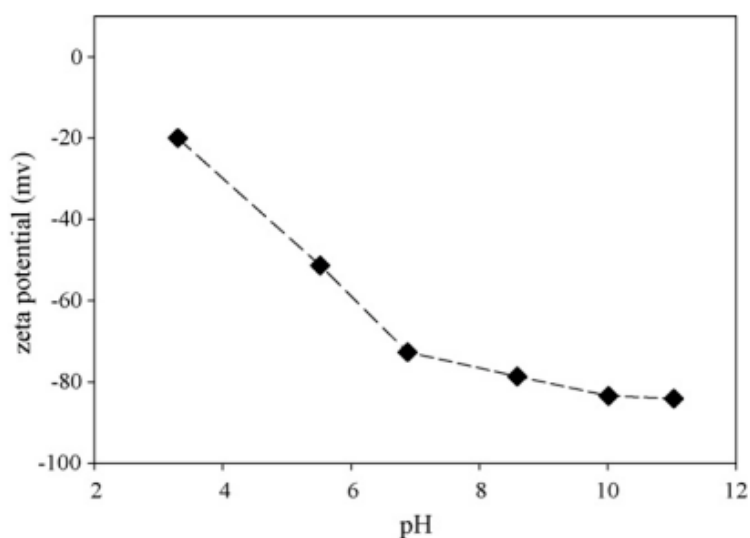


圖 4.1.5.16 不同 pH 值下，最佳改質狀況之 PNZVI 界達電位。

Lin et al. (2010) 主要目的是探討飽和含水層中，穩定與未穩定 NZVI 之移動性，然而未穩定與穩定 NZVI 之移動性主要是藉由填充石英砂之管柱試驗以模擬地下飽和含水層之孔隙狀況，並改變不同離子濃度與孔隙中水的流速，以觀察其對 NZVI 傳輸之影響。而實驗材料是以 BNZVI、PNZVI 與 CNZVI 來進行傳輸試驗。實驗方法是將一倍孔隙體積之 BNZVI、PNZVI 與 CNZVI 由下往上注入於 10 cm 長的飽和含水石英砂管柱，以觀察顆粒之移動性。然而二價離子對於 NZVI 傳輸之影響大於一價離子，且 10 mM 濃度的  $\text{Ca}^{2+}$  離子即有明顯之影響，因此，此研究探討不同  $\text{Ca}^{2+}$  離子濃度對 PNZVI 與 CNZVI 傳輸之影響。此外，又以 NZVI 之回收

率，來表示 PFNZVI 與 CNZVI 之傳輸情形。

實驗結果如圖 4.1.5.17(a)，發現 BNZVI 出流口濃度為零，是由於 BNZVI 合成後數分鐘即產生團聚，因此阻塞於入口處，導致無法傳輸。而經改質過後之穩定 NZVI，其 PFNZVI 與 CNZVI 皆於 0.9 孔隙體積時，達到濃度為  $C/C_0 = 1$ ，並且在小於 20 mM  $Ca^{2+}$  濃度下，回收率皆達 100% 左右(圖 4.1.5.19(a))，表示 PFNZVI 具有相當好的傳輸能力。然而 CNZVI 於兩種流速下皆約在 1.4 孔隙體積後，貫穿濃度開始降低，並且在 2.0 孔隙體積後出現拖尾現象，表示有沉澱現象產生，但由圖 4.1.5.19(b)發現在 2.7 孔隙體積時，其回收率尚可達 95% 以上。圖 4.1.5.17(b)則是孔隙水流速對 PFNZVI 之影響，顯示出隨著孔隙水流流速增加，PFNZVI 的拖尾現象隨之減少，而  $Ca^{2+}$  濃度對於 PFNZVI 傳輸之影響，可由圖 4.1.5.18(a)發現，隨著  $Ca^{2+}$  離子濃度的增加，貫穿時間點有延遲的現象，而 CNZVI 亦有此現象產生(圖 4.1.5.18(b))。然而，當  $Ca^{2+}$  濃度增加至 40 mM 時，PFNZVI 之貫穿值下降至 0.8，且回收率也下降至 60% 左右(圖 4.1.5.19(a))，但濃度增加對於 CNZVI 之傳輸卻無顯著影響(圖 4.1.5.19(b))。

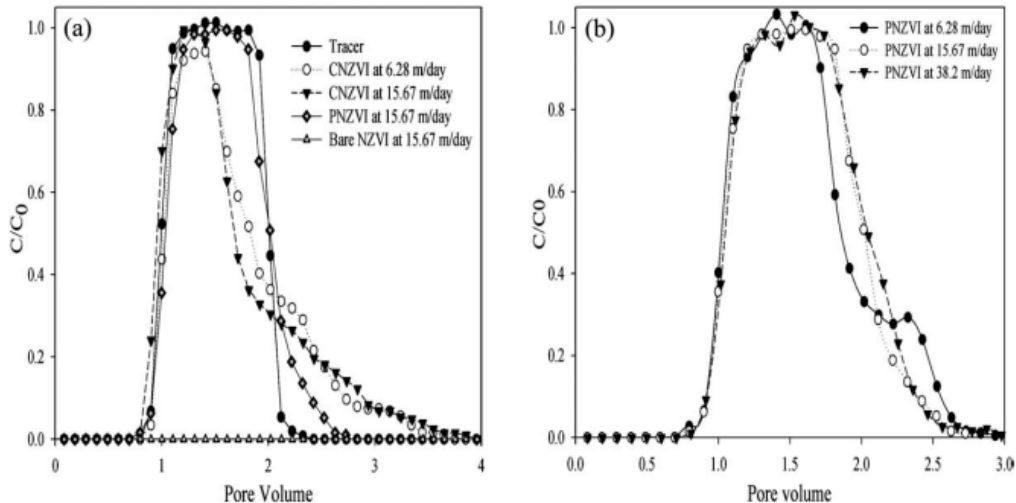


圖 4.1.5.17 (a)BNZVI、PFNZVI 與 CNZVI 之貫穿曲線圖 (b)進流流速對於 PFNZVI 之傳輸影響圖。

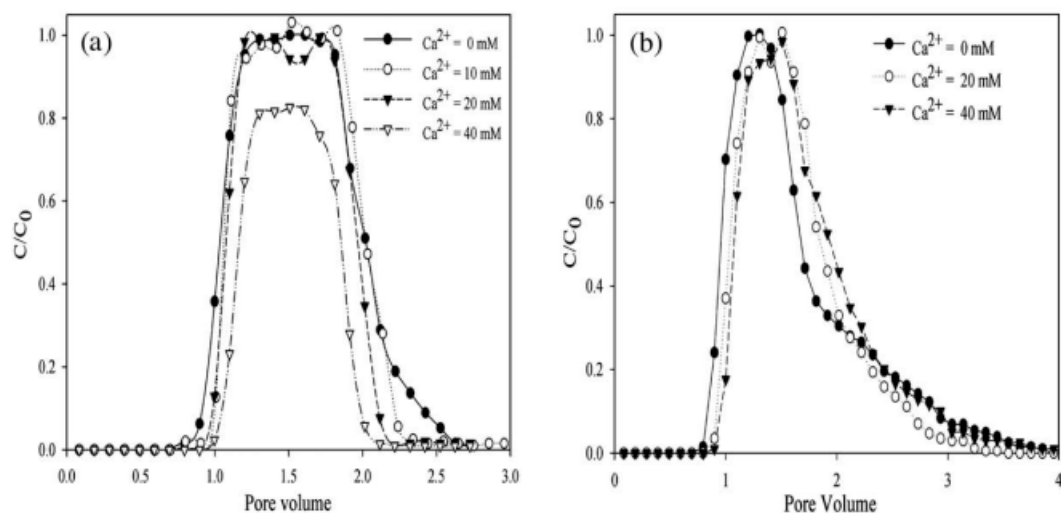


圖 4.1.5.18  $\text{Ca}^{2+}$  離子濃度對(a) PFNZVI 與(b) CNZVI 之傳輸影響圖。

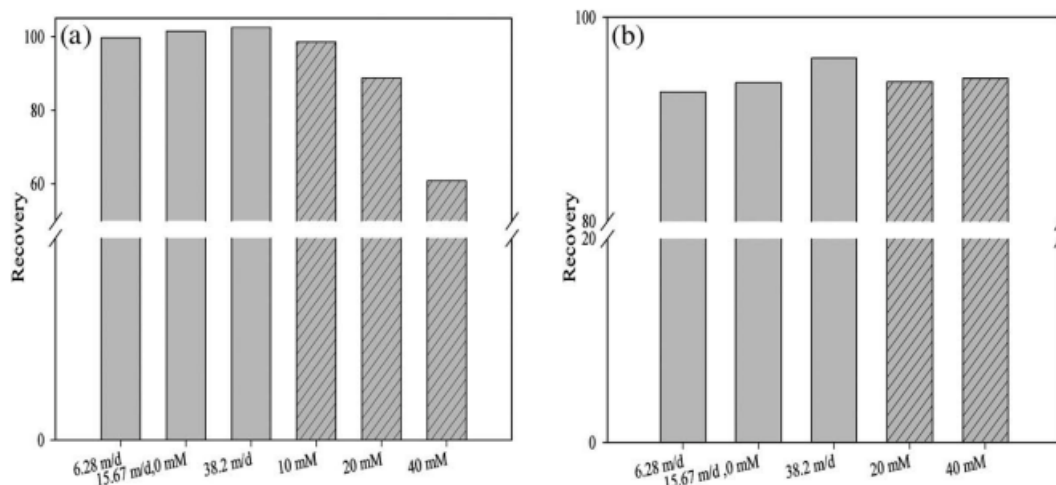


圖 4.1.5.19 於 2.7 倍孔隙體積時間內，(a) PFNZVI 與(b) CNZVI 在不同流速與不同  $\text{Ca}^{2+}$  濃度下之回收率。

Li et al., (2007) 主要探討奈米銅分別加入三種分散劑後，觀察在不同濃度與 pH 值下，奈米顆粒之穩定度，而實驗的界面活性劑分別為 TX-10、SDBS 與 CATB。首先觀察在含有分散劑和 Cu 的情況下，pH 值對奈米銅懸浮液的影響(圖 4.1.5.20)，在 pH 2 時，電位都顯得比較小，表示此時容易產生顆粒團聚現象，而隨著 pH 值的提高，顆粒的分散性也就相對提高。

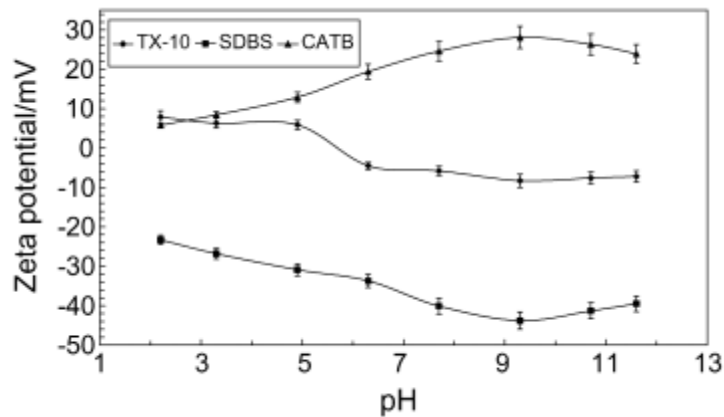


圖 4.1.5.20 加入 0.05% (質量分率) 分散劑於不同 pH 下之界達電位 (Li et al., 2007)。

不同分散劑濃度對奈米銅顆粒穩定性之影響說明如下：

#### (1) TX-10 分散劑

從圖 4.1.5.21 可觀察到，隨著 TX-10 濃度的增加，界達電位並無變化，表示 TX-10 對於改變銅粒子的表面特性沒有效果。在低濃度時，沒有足夠的表面活性劑分子完全覆蓋表面顆粒，隨著 TX-10 濃度的增加，銅粒子的表面覆蓋越來越多的分散劑分子，增加厚度雙電層，因此在 0.43% 時，產生明顯的懸浮顆粒。當越來越多的 TX-10 加入到懸浮液中，吸附在銅顆粒上的表面活性劑達到飽和的階段，TX-10 則會導致顆粒間混凝在一起，形成沉澱。

#### (2) CATB 分散劑

隨著 CATB 濃度的增加，界達電位與吸光度也有明顯增加，並在 0.05% 達到最高點，然後開始下降。當 CATB 濃度較低時，附著於銅粒子表面的分散劑較少，因此顆粒表面的電位也較低。CATB 濃度增加，吸附在顆粒表面的分散劑相對增加，而界達電位也增加，提高銅奈米粒子的分散穩定性。當 CATB 加入過量，離子強度增加，電雙層被壓縮，導致分散穩定性降低 (圖 4.1.5.22)。

#### (3) SDBS 分散劑

由圖 4.1.5.23 發現在加入 SDBS 後的銅粒子帶負電，可能是由於 SDBS 在溶液中產生苯磺酸基吸附在銅粒子，而增加了表面的淨負電荷，且提高排斥力。隨著分散劑濃度增加，在 0.07% 為分散性最佳的濃度，此時吸光度也達到最高。當 SDBS 的濃度較低時，帶負電荷的苯磺酸基脫離 SDBS，附著在表面帶正電的銅粒子，因此使銅粒子表面帶負電荷。隨著濃度增加，一方面，陰離子團推到吸附層使負電荷增多，導致粒子間排斥力增加，進而增加電雙層厚度；另一方面，大量的陰離子團在水中阻礙顆粒碰撞，提高了懸浮效率。當更多的 SDBS 加入時，鈉離子濃度隨著 SDBS 增加而增加，並且鈉離子團會進入吸附層，減少表面淨電荷，因而表面負電荷減少，導致分散性降低。

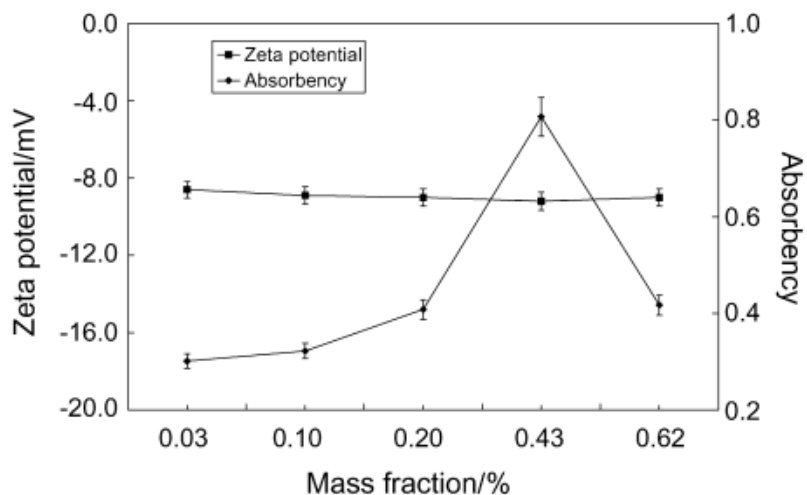


圖 4.1.5.21 TX-10 濃度對顆粒的界達電位之影響 (Li et al., 2007)。

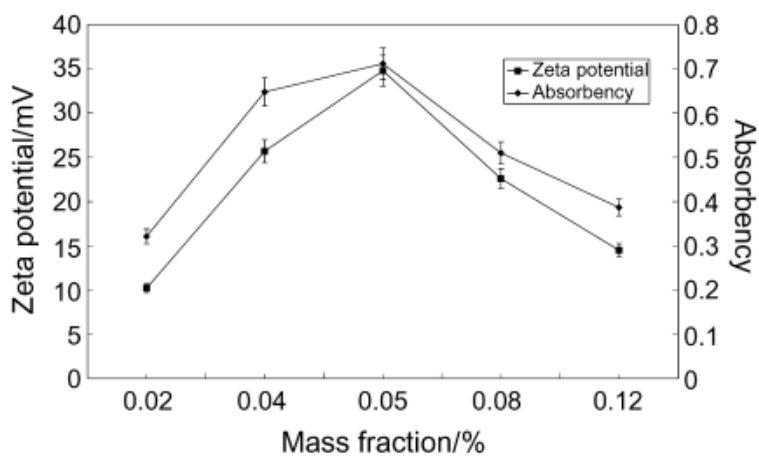


圖 4.1.5.22 CATB 濃度對顆粒的界達電位之影響 (Li et al., 2007)。

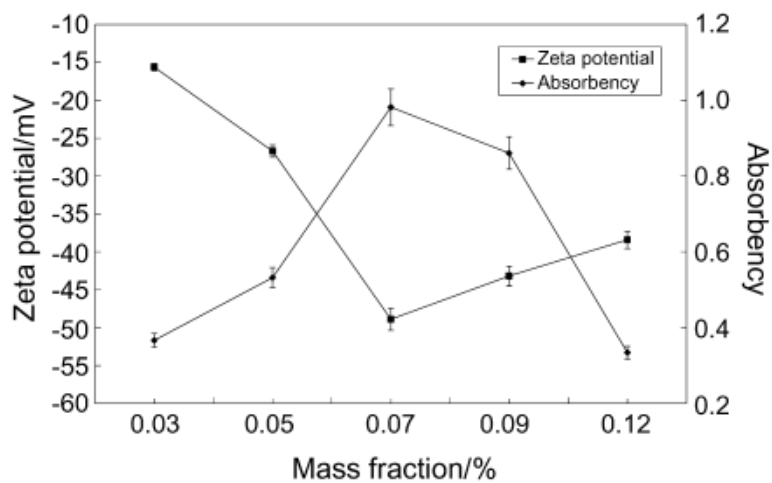


圖 4.1.5.23 SDBS 濃度對顆粒的界達電位之影響 (Li et al., 2007)。

### 奈米碳材在水環境的宿命

奈米碳材主要包含奈米碳管(Carbon Nano Tube, CNT)及 C<sub>60</sub> 富勒烯，而這些材料為目前非常熱門的奈米物質，如奈米碳管具有獨特的纖維結構以及界面化學的性質，因此除了可用於污染物的處理，更是許多工業廣泛使用的材料。然而當這些奈米物質進入至環境中，勢必會對環境造成某些影響，因此了解奈米碳材在環境的宿命是必要的。以下為國內外學者對奈米碳材在環境的宿命之研究，然而所探討的材料有：奈米碳管及 C<sub>60</sub> 富勒烯等。

在 Peng et al. (2009)中，作者將奈米碳管經過氧化後，探討奈米碳管在水中之穩定度與聚集性。實驗中，分別進行水中 pH 值、材料老化與水中鹽類(NaCl、CaCl<sub>2</sub> 和 AlCl<sub>3</sub>)濃度對奈米碳管之穩定度的影響。首先，奈米碳管在 pH 值為 2.6~6.5 的水中(圖 4.1.5.24)，其表面電位從-31.0 到-49.5 mV，因此在此條件下奈米碳管分散性良好，不易產生沉澱。另外隨著材料的新鮮度，可以發現奈米碳管在水中的穩定性隨著存放時間增加而些微下降，(圖 4.1.5.25)在第 30 天中懸浮於水中的奈米碳管濃度為 85%，表示有 15%的奈米碳管產生沉澱。

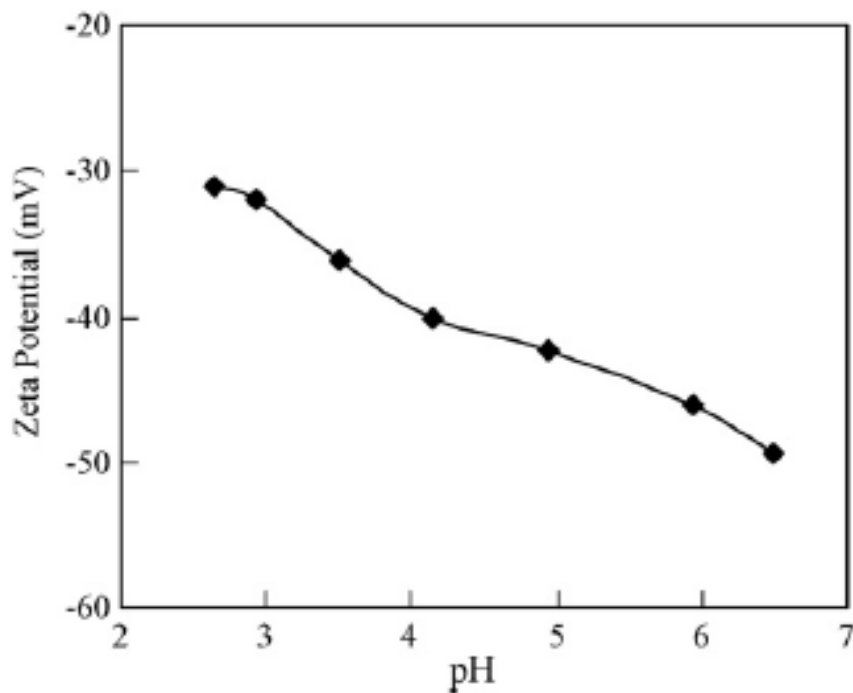


圖 4.1.5.24 CNTs 在水中的表面電位 (Peng et al., 2009)。



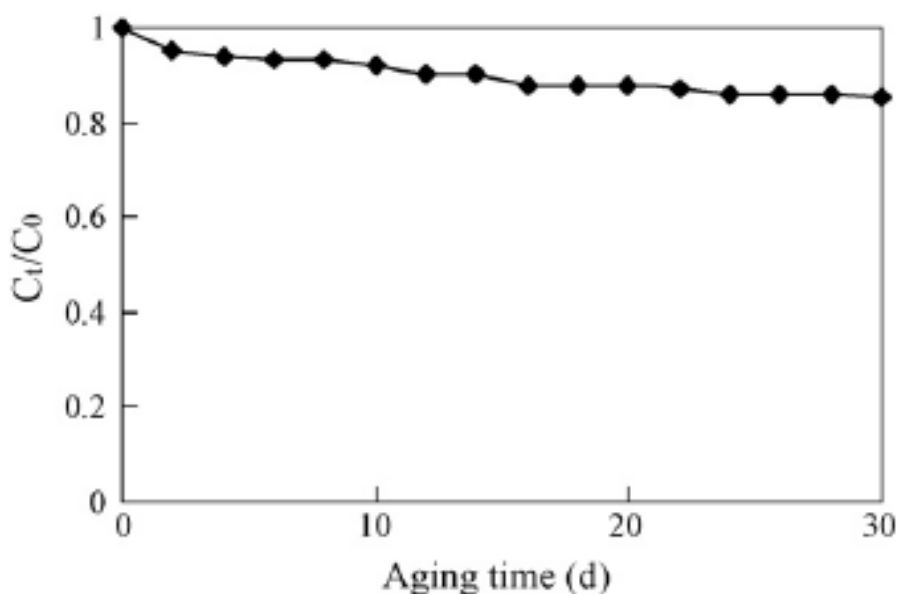


圖 4.1.5.25 CNTs 在 30 天的濃度變化(初始濃度為 0.1 g/L) (Peng et al., 2009)。

在水中添加鹽類的試驗中(圖 4.1.5.26)，顯示當 NaCl 濃度為 125 mmol/L 時，電位約為-34 mV；濃度在 300 mmol/L 時，電位約為-10 mV，而造成沉澱的劑量為 185 mmol/L。CaCl<sub>2</sub> 濃度為 0.2 mmol/L，電位約為-19 mV；濃度在 0.8 mmol/L，電位約為-4 mV，造成沉澱的劑量為 0.55 mmol/L。AlCl<sub>3</sub> 濃度為 0.025 mmol/L，電位約為-23 mV；濃度在 0.1 mmol/L，達到等電點，造成沉澱的劑量為 0.036 mmol/L。

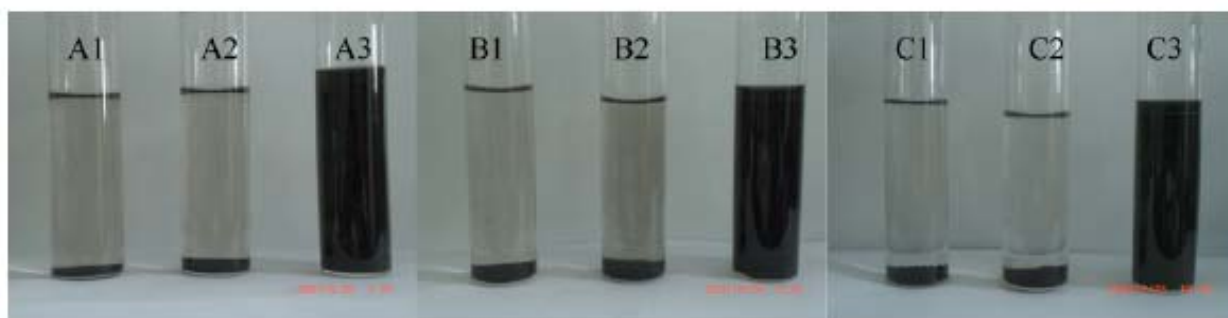


圖 4.1.5.26 CNTs 分別在不同鹽類(NaCl、CaCl<sub>2</sub> 和 AlCl<sub>3</sub>)濃度下的穩定度。(Peng et al., 2009)。

Lin et al., (2009) 探討單寧酸(Tannic acid, TA)濃度對不同直徑的多壁奈米碳管(Multi-wall Carbon Nano Tube, MWCNT)的穩定性之影響、pH 值對 MWCNT 穩定性的影響，以及離子強度 MWCNT 的影響。而研究成果顯示單寧酸對不同直徑尺寸的 MWCNT(圖 4.1.5.27)的穩定度大小排列為 MWCNT40 > MWCNT60 > MWCNT20 > MWCNT100 > MWCNT10，由此結果看起來似乎無規則性。而 pH 值對 MWCNT 穩定度，作者以 MWCNT40 作實驗(圖 4.1.5.28)顯示 pH 值為 4.8 以上



時，懸浮性良好。進一步測量不同價數之陽離子對 MWCNT40 之臨界混凝濃度 (critical coagulation concentration, CCC)，圖 4.1.5.29 顯示  $\text{Na}^+$  為 6.9 mM， $\text{Ca}^{2+}$  為 0.33 mM， $\text{Mg}^{2+}$  為 0.29 mM， $\text{La}^{3+}$  為 0.014 mM。

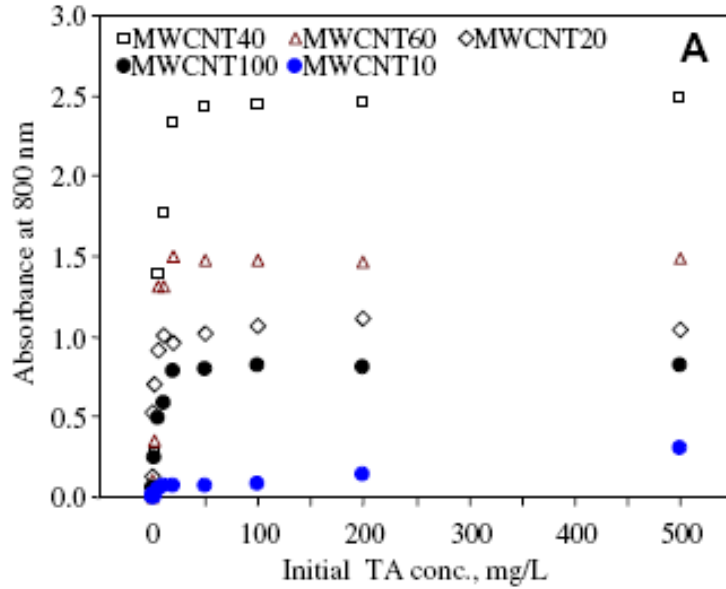


圖 4.1.5.27 單寧酸濃度對不同直徑之 MWCNT 吸光度之影響 (Lin et al., 2009)。



圖 4.1.5.28 pH 值對含有單寧酸的 MWCNT40 穩定度之影響 (Lin et al., 2009)。

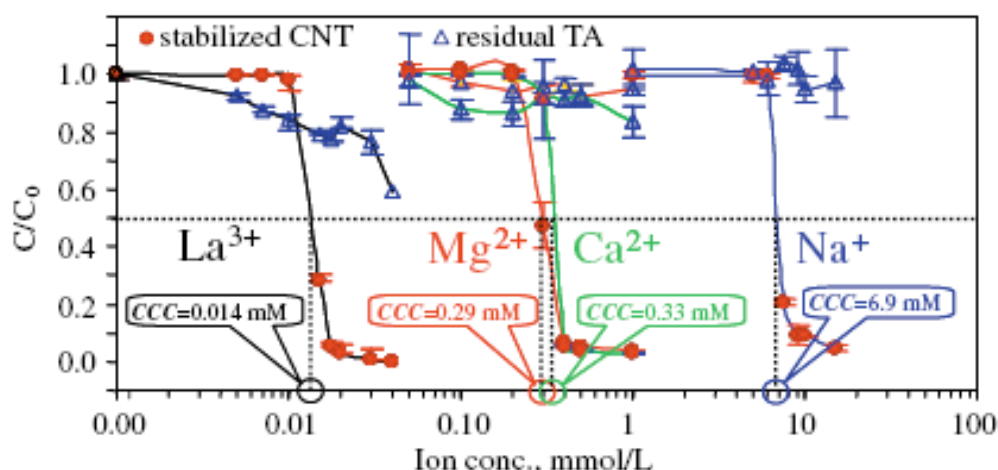


圖 4.1.5.29 離子強度對 MWCNT 之影響 (Lin et al., 2009)。

Hyung and Kim (2009) 探討  $C_{60}$  在水相的分散性、 $nC_{60}$  在含有 NOM 的水中之回收率、以及觀察利用傳統水處理程序去除  $nC_{60}$  的效果。為了瞭解  $nC_{60}$  在水相(水相與水-有機溶液相)的分散性，分別配製單相混合與雙相混合。

- (1) 單相混合：將 5 mg 固體的  $C_{60}$  分別加入到 100 ml 的超純水、5 mg-C/L SRNOM、50 mg-C/L SRNOM 及 1% 的 SDS 溶液中。用磁石攪拌機快速攪拌 4 週，之後靜置 4 天，接著取上澄液(約佔總體積的 60%)用 10  $\mu$ m 孔隙的濾紙過濾，並且利用此濾液進行下一步驟的實驗。
- (2) 雙相混合：準備乾的  $C_{60}$  在甲苯中混合 6 小時，得到 500 mg/L 的  $C_{60}$ -甲苯溶液。並將 20 mL 在有機溶劑中的  $C_{60}$  溶液等分的分別加到 125 mL 的燒杯中，而燒杯中各分別含有 100mL 溶液(超純水、5 mg-C/L SRNOM、50 mg-C/L SRNOM 及 1% SDS 溶液)並且快速攪拌 1 個星期。之後靜置 3 天使其相分離，然後取液相並用 99.9%  $N_2$  去除殘餘的甲苯。

在  $C_{60}$  於水相的分散性的結果顯示，從圖 4.1.5.30 可觀察出雙相混合的  $C_{60}$  分散性較好，並且從圖 4.1.5.31A 與 4.1.5.31B 的相較之下，可以看出圖 4.1.5.31B 的吸光度較高，因此也可證明雙相混合的  $C_{60}$  顆粒的分散性較單向混合好。

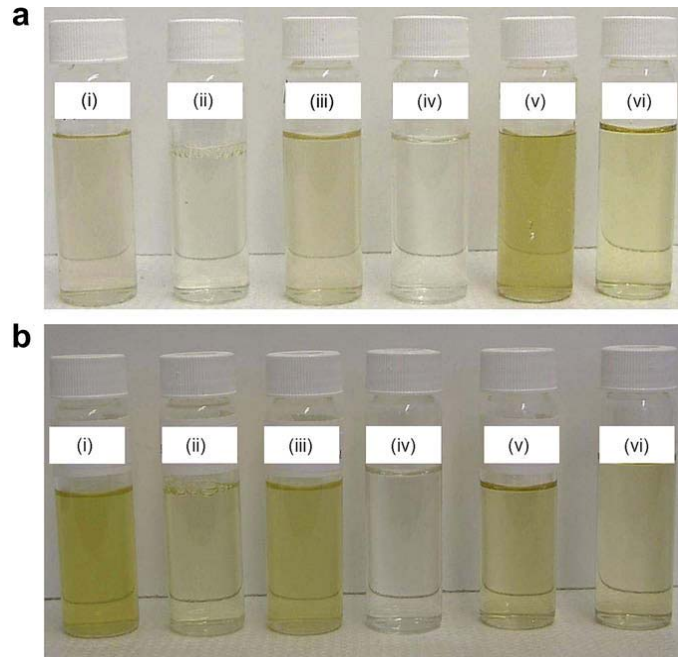


圖 4.1.5.30  $C_{60}$  在水相的分散性 (i)超純水 (ii) 1% SDS 溶液 (iii) 5 mg-C/L SRNOM 溶液 (v) 50 mg-C/L SRNOM 溶液 (a) 單相混合 (b) 雙相混合 (iv)未加  $C_{60}$  之 5 mg-C/L SRNOM 溶液 (vi)未加  $C_{60}$  之 50-mg-C/L SRNOM 溶液(Hyung and Kim, 2009)。

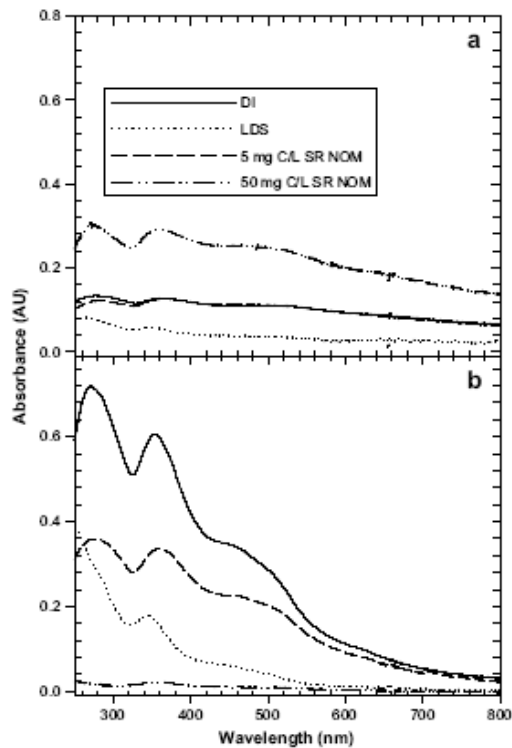


圖 4.1.5.31  $C_{60}$  懸浮液之 UV-vis 光譜圖 (a)單相混合 (b)雙相混合 (Hyung and Kim, 2009)。

然而圖 4.1.5.32 是以液-液萃取的 HPLC 來定量分析  $nC_{60}$ ，並且使用三種代表的萃取劑分別為鹽類(KCl)、柔和的氧化劑( $Mg(ClO_4)_2$ )和酸((GAA),  $CH_3COOH$ )。

圖中顯示三種化學品以  $Mg(ClO_4)_2$  萃取最快，不到 2 小時即到達 100% 回收率。KCl 的回收率則快速的達到穩定值 10%。相對較慢的  $CH_3COOH$  在 6 小時後達到 80% 回收率。

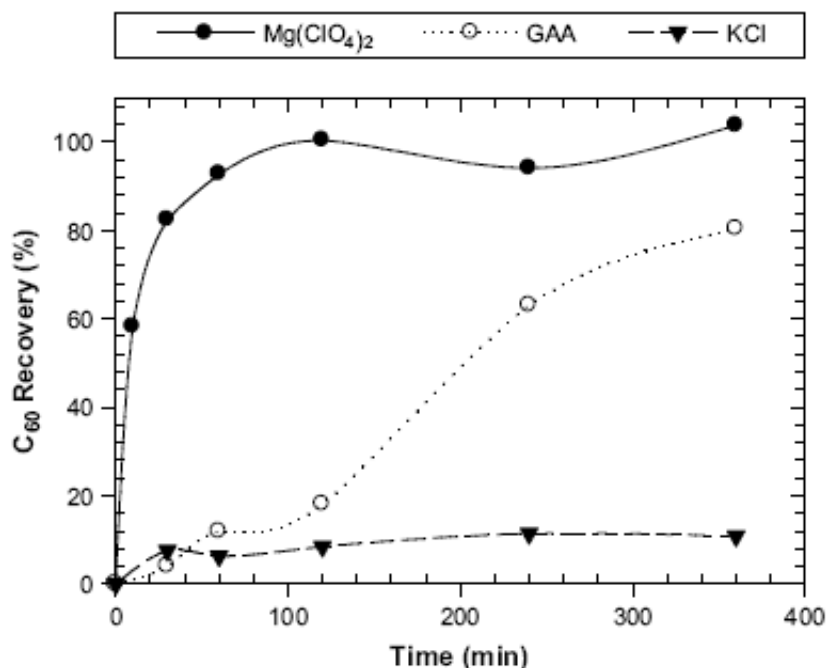


圖 4.1.5.32 利用不同的萃取劑之  $C_{60}$  的回收率 (萃取劑初始濃度 10 mM,  $C_{60}$  濃度 5 mg/L, NOM 濃度 5 mg-C/L) (Hyung and Kim, 2009)。

利用一般正常水處理程序來去除  $nC_{60}$  的實驗結果顯示，處理程序中的混凝、膠凝與沉澱可有效去除 1 mg/L 的  $C_{60}$  (圖 4.1.5.33)。然而從圖 4.1.5.33 之 b、c 中發現，當水中鹼度從 100 mg/L as  $CaCO_3$  降到 50 mg/L as  $CaCO_3$  後，Alum 混凝劑濃度在 50 mg/L 以下的，其有效去除之 pH 範圍皆有降低的情形發生。另外也發現當水中含有 NOM 時，也會影響  $C_{60}$  之去除效率 (圖 4.1.5.34)，其隨著 NOM 濃度的增加從 0 ~ 10 mg C/L，去除效率則減小，並且有效去除的範圍也大幅縮減。

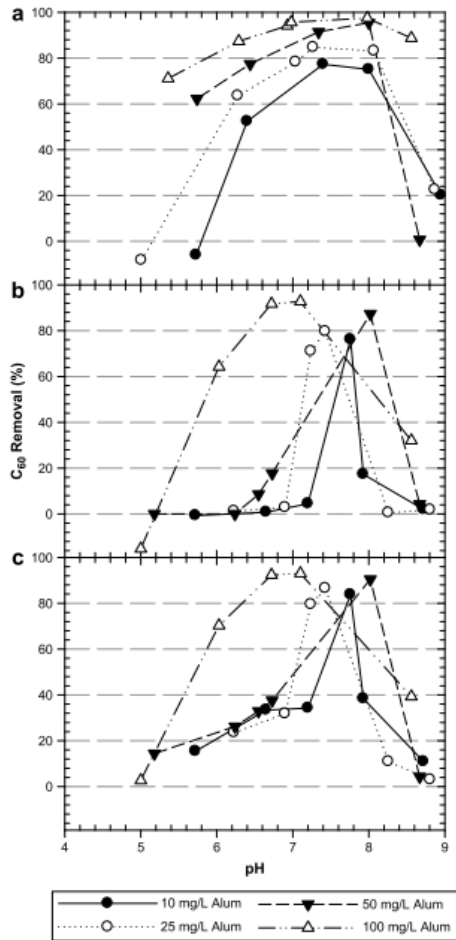


圖 4.1.5.33 利用杯瓶實驗去除 1 mg/L nC<sub>60</sub> 的結果 (a)鹼度為 100 mg/L CaCO<sub>3</sub> (b) 鹼度 50 mg/L CaCO<sub>3</sub> (c) 鹼度 50 mg/L CaCO<sub>3</sub> (過濾後) (Hyung and Kim, 2009)。

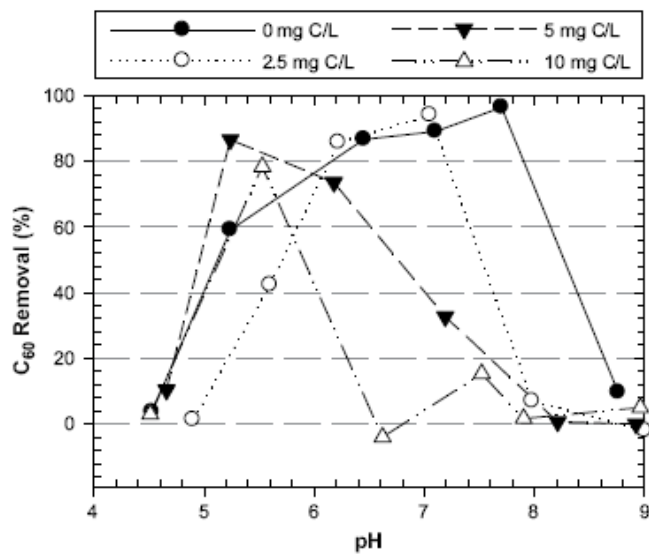


圖 4.1.5.34 NOM 濃度對 C<sub>60</sub> 去除之影響 (C<sub>60</sub> 濃度 5 mg/L，鹼度 100 mg/L CaCO<sub>3</sub>，凝劑劑量 25 mg/L) (Hyung and Kim, 2009)。

## 量子點在水環境之傳輸與宿命

量子點(Quantum Dots, QDs)為近年來的新興奈米物質，由於其特殊性質如：螢光亮度強、光穩定性佳、單一波長雷射就可激發不同粒徑的量子點發出多種波長的發射波、發射波狹窄且對稱以及可重複使用等，量子點除了應用於電機工程及其他方面外，也有部分學者發現其特殊性質，進而研究是否能應用於生醫工程方面。量子點主要以 CdSe、CdTe 較為常見，另外也有 GaAs、InAs 與 GaSb 的量子點，但是由於量子點為近幾年崛起的新興奈米物質，再加上量子點之顆粒粒徑相當微小，因此迫切需要知道量子點在環境中的流佈，以下則為最近量子點之宿命研究的回顧，而本單元所探討的量子點為 CdSe 與 CdTe 兩種材料。

Zhang et al., (2008) 探討 QDs (CdTe) 在不同 pH 值、不同陽離子之穩定性。結果顯示(圖 4.1.5.35)可得知此實驗之 QDs (CdTe) 在 pH 值為 2 以上，表面電位皆成負電荷並且在 pH 為 4 的時候，表面電荷達到穩定點，另外當 QDs 存在於鉀離子時，隨著離子濃度的增加，負電荷之電位也逐漸上升，並且在 pH 約等於 2 時，達到等電點。圖 4.1.5.36 則是比較 pH 5 與 pH 8 兩種條件下，不同濃度的陽離子，顆粒表面的變化，結果顯示當陽離子濃度增加到 50 meq/L 時，普遍達到等電點，但加入  $K^+$  離子，其表面電位上升並不明顯。然而當 pH 為 5 的條件下，陽離子為  $Al^{3+}$  時，最快達到等電點。

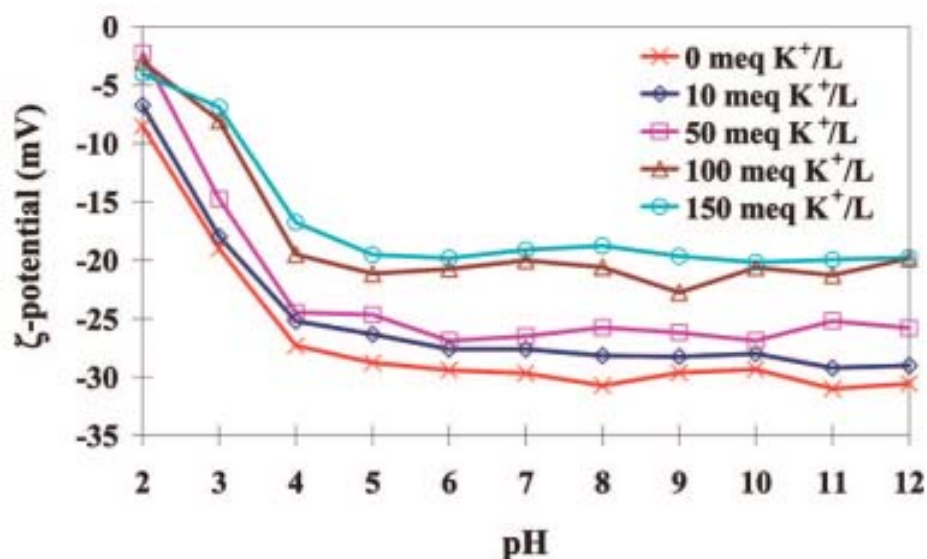


圖 4.1.5.35 pH 值與不同 K 離子強度對 QDs 的表面電位之影響 (Zhang et al., 2008)。



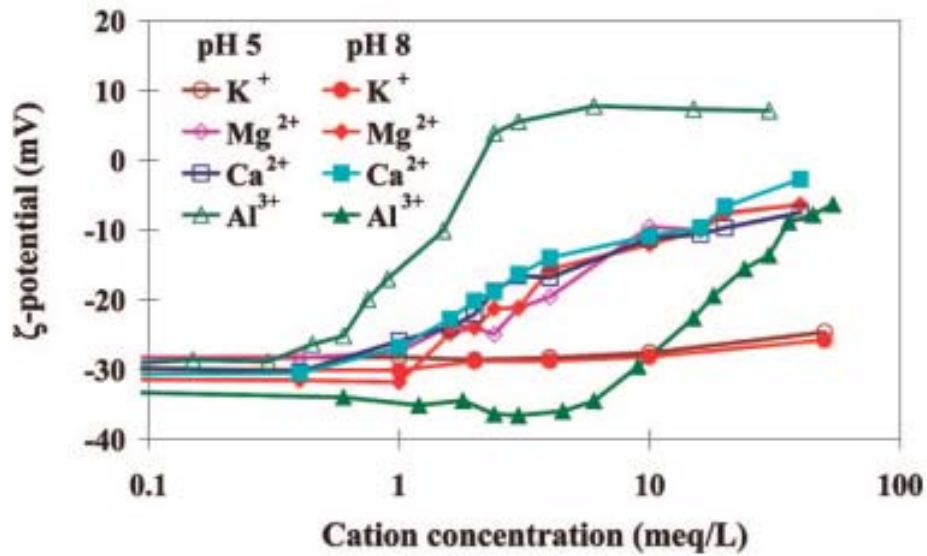


圖 4.1.5.36 不同陽離子濃度在 pH 5 與 pH 8 條件下，QDs 的表面電位之影響。

Navarro et al., (2009) 探討 QDs (CdSe) 在不同液相的傳輸情形、pH 對 QDs 的傳輸之影響。實驗過程中，利用正己烷將 5 mL 的 QDs 懸浮液溶解並且分別與 5 mL 20 ppm 的腐植酸(Humic acid, HA)、5 mL 20 ppm 的黃酸(Fulvic acid, FA)進行混合。由圖 4.1.5.37 所示，在經過 24 小時後，圖 4.1.5.37A 的 QDs 由有機液相傳輸至水相(含有 20 ppm HA)，但圖 4.1.5.37B 的 QDs 則無法從有機液相傳輸至水相(未含有 HA)。圖 4.1.5.38 為 QDs 在一個批次實驗裡不同液相的吸光度，結果顯示出當 QDs 從有機液相到 HA 水相實驗中，HA 水相的 QDs 吸光度較高，表示當 QDs 進入至含有 HA 之水相時，QDs 會有良好的分散性。然而在 pH 對 QDs 的傳輸之影響方面，文獻內容表示在 pH 等於 3 時，從有機液相到水相的傳輸效率為最快，而當 pH 介於 7~9 之間，則需較長的傳輸時間，約三天左右。

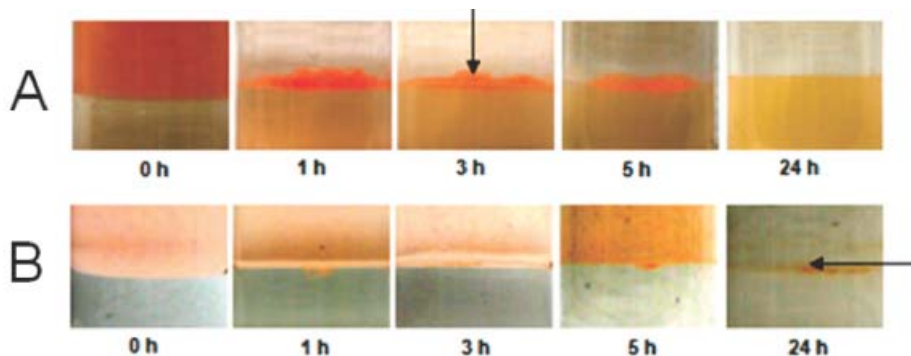


圖 4.1.5.37 QDs 在液-液相之傳輸情形 (A)有機相(正己烷)到水相(含 20 ppm HA) (B)有機相(正己烷)到水相(單純為去離子水) (Navarro et al., 2009)。

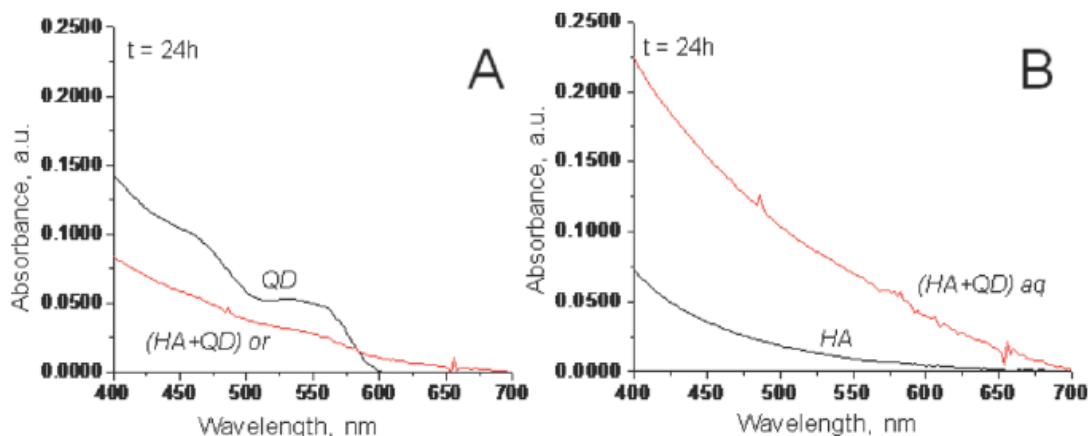


圖 4.1.5.38 UV-vis 吸收光譜 (A)有機溶液之水層(HA+QD)<sub>or</sub> 在相傳輸後比較 QDs 在正己烷的吸收光譜 (B)含有 20 ppm 之水層(HA+QD)<sub>aq</sub> 比較原本只含 HA 之水溶液 (Navarro et al., 2009)。

## 二、國內的研究現況與研發能量

國內之研究現況與研發能量之評估可由國科會歷年在特定領域之補助情形獲得一定程度的了解，此外，國內環保署的專案研究計畫的補助情形，亦可做為奈米物質在環境方面研究的參考。就國科會之專案計畫而言，以「奈米」做關鍵字查詢可發現，近三年之補助計畫數為 99 年 556 件、98 年 556 件、97 年 590 件，分別佔該年度總計畫數的 4.1%、4.1%、4.6%，比例不低，然就與環境傳輸與宿命相關之研究而言，三年總計僅 5 件計畫案(表 4.1.5.2)。環保署在此一領域近三年之補助計畫情形如表 4.1.5.3 所示，共計 4 件。顯然，整體而言，國內在奈米相關之研究仍集中於奈米物質、奈米生醫、奈米技術、奈米科學等實用性與基礎科學方面之研究為主，對於奈米物質在環境中流佈、傳輸與宿命等環境安全議題的研究僅佔極少數。究其原因可能與國內在這領域的研究人才有限有關，同時，奈米物質在環境中傳輸與宿命之研究受限於分析技術，本身就不是容易研究的課題，也可能是原因之一。然而，僅就政府所提供之研究計畫案做評估，仍有低估國內相關研究能量之可能，因此，下階段將利用 ISI Web of Knowledge 的資料庫，針對國內發表之相關 SCI 期刊進行分析，以進一步了解國內相關領域之研發能量。



表 4.1.5.2 近三年國科會補助與奈米物質環境傳輸與宿命相關之研究計畫。

99	吳先琪	國立臺灣大學環境工程學研究所	計畫名稱：重質非水相奈米顆粒懸浮液在複相多孔介質中之傳輸及活性 成果報告：未達繳交期限 執行起迄：2010/08/01~2012/07/31 總核定金額：1,702,000 元
99	王竹方	國立清華大學生醫工程與環境科學系	計畫名稱：煙道排放中奈米微粒生成機制之研究 成果報告：未達繳交期限 執行起迄：2010/08/01~2011/07/31 總核定金額：1,003,000 元
98	賴英煌	東海大學化學系	計畫名稱：散射法研究溶液中奈米金粒子與穩定劑之相互作用 成果報告：未達繳交期限 執行起迄：2009/08/01~2011/07/31 總核定金額：3,440,000 元
97	施養信	國立臺灣大學農業化學系暨研究所	計畫名稱：穩定性奈米鐵顆粒在土壤中傳輸與降解含氯有機化合物受土壤物化特性影響之研究 成果報告：未達繳交期限 執行起迄：2008/08/01~2011/07/31 總核定金額：2,856,000 元
97	蔡利局	嘉南藥理科技大學環境工程與科學系(所)	計畫名稱：提升奈米級零價鐵在地下水層孔隙間移動性之研究 執行起迄：2008/08/01~2009/07/31 總核定金額：765,000 元

表 4.1.5.3 近三年環保署補助與奈米物質環境傳輸與宿命相關之研究計畫。

計畫編號	計畫年度	計畫主持人	計畫名稱	參考文獻
EPA-98-U1 U1-02-102	民國 98 年	施養信	水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究	施, 民國 98 年
EPA-97-U1 U1-02-104	民國 97 年	施養信	水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究	施, 民國 97 年
EPA-96-U1 U1-02-103	民國 96 年	董瑞安	綠色奈米技術之開發及應用 (功能性一維奈米複合材料對水體環境污染物之共處理與環境流佈宿命研究)	董, 民國 96 年
EPA-96-04- 005	民國 96 年	王鴻博	新型分散性奈米鐵微粒在土壤介質中傳輸之現地模場研究	王, 民國 96 年

### 三、小結

本節有關奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命的實驗方法仍待驗證，其研究成果始具有參考價值。以下為本節的小結：

1. 根據 OECD 工程奈米物質工作小組的年度報告指出，第一期計畫由 2007 年到 2008 年間的第一階段已完成 14 個代表性工程奈米物質的優先名單，以及測試終點的項目表與參與國家的分工。第二階段 (2009-2012) 則是執行代表性工程奈米物質的測試終點的檔案發展計畫。
2. 欲實際了解各參與國家針對其所負責之代表性工程奈米物質的測試終點項目進度，唯有透過他們所召開的工作會議(Tour de Table)的會議報告一窺究竟。由工作會議報告內容得知，現階段僅有少數執行力佳的參與國家有提供相關進度說明，包括日本與德國所負責之富勒烯、奈米碳管與二氧化鈦的測試終點項目。
3. 由於工程奈米物質的測試終點的檔案發展計畫之內容是以建立奈米物質之物化、毒理、生化與環境特性為主，這些基礎參數原則上皆是特性參數 (Characteristic property)，不論由誰執行所得之結果應該一致。目前既然已有 OECD 的工程奈米物質工作小組在推動，且結果是全球共享的，最後資料的公佈只是時間的問題，因此，基於政府科研經費的有效運用前提下，此類基礎資訊的取得應非優先課題。然而，與台灣產業相關且未列入 14 個代表性工程奈米物質優先名單的奈米物質，則是政府應重視且值得研究的，例如奈米量子

- 點。該物質與台灣高科技產業之發展關聯性強，就該物質之環境流佈、宿命與風險等議題之研究與了解應是政府需重視的。
4. 高穩定度的奈米  $\text{TiO}_2$  懸浮液容易使  $\text{TiO}_2$  顆粒流動在土壤中。尤其土壤中若砂含量有較高的情形，容易使  $\text{TiO}_2$  流動更長遠的距離。
  5. 材料的新鮮程度會影響奈米顆粒的聚集程度。當奈米物質進入水中時，電解質的存在會影響到奈米顆粒的大小，即使是低濃度的電解質，也會使奈米物質團聚一段時間。另外也發現水處理程序利用明礬混凝劑，可去除小於 80% 的奈米粒子，而在最後階段用  $0.45 \mu\text{m}$  的濾膜過濾可提高去除效率。
  6.  $\text{CeO}_2$  的合成方式不同會稍微影響顆粒的特性，如表面電位。
  7. 奈米零價鐵經分散劑改質後，穩定性比未改質前要好。其中，以 8% 體積添加量之分散劑 PAA (poly acrylic acid) 懸浮效果為最佳，可穩定懸浮 6 天以上而不產生分層。
  8. 經 PAA 改質後之奈米零價鐵在 0.9 倍孔隙體積時，貫穿濃度  $C/C_0 = 1$ ，並且  $\text{Ca}^{2+}$  濃度小於 20 mM 時，其回收率可達 100%。
  9. 界面活性劑濃度的範圍對奈米銅的穩定性造成影響，濃度太高或太低都會造成奈米銅顆粒的不穩定而產生團聚。
  10. 奈米碳管的表面電位為負電荷，隨著 pH 值增加穩定性越高。但是材料存放的時間越長會使穩定性降低。當水中含有鹽類時，隨著濃度增加，穩定性越低，並且根據陽離子的價數越高，則所需沉澱之劑量越少。
  11. 當  $\text{C}_{60}$  被釋放到自然水體中，不論是單純只有  $\text{C}_{60}$  或是將  $\text{C}_{60}$  溶在有機溶劑裡，其進入至含有 NOM 的水中，將會呈現穩定的狀態，尤其是被有機溶劑溶解的  $\text{C}_{60}$ ，更容易穩定存在 NOM 的水體中。因此， $\text{C}_{60}$  的環境風險相對而言是較高的奈米物質。另外利用水處理程序來去除  $\text{C}_{60}$ ，其去除效率有很大的程度是取決於水質參數。
  12. 奈米量子點(CdTe)從 pH 2 ~ 12，其表面電位皆帶負電荷，此一結果顯示，奈米量子點(CdTe)若釋放於環境中，將不易為土壤所吸附。當加入高濃度  $\text{K}^+$  離子後，其  $\text{pH}_{\text{zpc}}$  約等於 2。另外在 pH 5 的條件下，利用  $\text{Al}^{3+}$  離子可容易去除量子點。
  13. 當量子點(CdSe)經過有機溶劑(正己烷)溶解後，進入至含有天然有機物的水體中時，量子點可容易地從有機溶液相傳輸到水相，並且在 pH 3 時傳輸最快，而在介於 pH 7 ~ 9 之間則傳輸最慢，需 3 天左右。
  14. 從以上文獻回顧發現目前對於奈米物質在水環境的宿命研究中，似乎沒有一個標準的實驗程序，故很難確定奈米物質在進入環境最後的去向。
  15. 目前所蒐集的有關奈米物質在環境中之宿命的文獻中發現，這些奈米物質都可藉由改變水質參數，使得奈米顆粒形成團聚，進而變成非奈米物質，以減少對環境的危害。常見的水質參數包括：pH 值、離子強度、陽離子種類以及天然有機物(natural organic matters, NOM)等。
  16. 有些奈米物質雖然在正常的使用下，其粒徑尺寸為奈米級，但是當這些材料進入至水環境中，卻立即聚集成大顆粒，形成非奈米級顆粒。因此，未來可藉由奈米物質進入環境後之易團聚與否，來規範奈米物質之危害潛勢的等級。

17. 國內在奈米相關之研究仍集中於奈米物質、奈米生醫、奈米技術、奈米科學等實用性與基礎科學方面之研究為主，對於奈米物質在環境中流佈、傳輸與宿命等環境安全議題的研究僅佔極少數。

## 4.2 進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全 (EHS) 議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作

### 4.2.1 前言

本章節之內容分為四部分，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 標準並作分類，類別包括奈米物質 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，回顧的部分著重在微粒相關的儀器量測及校正方法，呼吸毒性暴露評估測試腔中的微粒特性分析方法以及奈米粉體逸散測試方法。第二部分為 OECD 奈米科技 EHS 議題的回顧，此部分將著重在工作場所工程奈米物質暴露測量，與奈米微粒污染源及其釋放的辨識的相關指引。第三部分針對目前國內的研究現況作介紹，最後第四部分為結論及建議。

### 4.2.2 已發表及發展中的 ISO TC229 標準

ISO/TC229 已發表的標準 (ISO TC229 網站)

#### 1. 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)

該標準中包含了一項被稱為”奈米樹 (Nano-tree)”的分類系統，該系統可將廣泛的奈米物質作分類，類別有奈米物體、奈米結構以及不同物理、化學、磁性和生物特性在各種維度下的奈米複合物質。

#### 2. 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)

使用該標準內的資訊可以幫助公司單位、研究人員、工作者及其他相關人員預防在人造奈米物質的製造、處理、使用以及廢棄的過程中對健康以及安全所造成的危害。此項標準可廣泛的使用在奈米物質及其應用的領域。

#### 3. 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)

該標準列出了奈米科技領域中和粒子相關的明確術語及定義。這項標準可促進工業界及其相關的組織及個人之間的交流。

#### 4. 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)

該標準介紹以蠶變形細胞溶解物試劑對奈米物質進行生物細胞體外測試

的方法。此項測試適合用於分散在水體介質中的奈米物質樣本，如水、血清、反應介質或是和 37°C 下與奈米物質混合適當時間的培養液。此標準雖然僅限於體外試驗使用，也可使用於奈米物質以非經腸胃道(parenteral)方式進行的動物暴露實驗。

5. 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)

此標準列出了奈米科技領域內和碳奈米物質相關的術語及定義。這項標準可促進工業界及其相關組織及個人之間的交流。

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/AWI TS 12901-1

奈米科技 – 安全處理及處置人造奈米物質的指引。

2. ISO/NP TS 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。

3. ISO/DTR 13121

奈米科技 – 奈米物質風險評估的架構。

4. ISO/NP TR 13329

奈米物質 – 物質安全資料表(MSDS)的準備。

● 奈米物質的量測

1. ISO/DTS 10797

奈米管 – 以穿透式電子顯微鏡觀察單壁奈米碳管(Single Wall Carbon Nanotubes, SWCNTs)

2. ISO/DTS 10798

奈米管 – 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/FDIS 10801

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/FDIS 10808

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。

該標準提供了以近紅外線螢光光譜法對單壁奈米碳管進行特性分析的準則以及決定樣本中半導體單壁奈米碳管的對掌性指標(chiral indices)及其相對的積分螢光強度(integrated PL intensities)的方法。利用量測積分螢光強度及其螢光強度截面積的資訊，該方法可以進一步用於估算樣本中半導體單壁奈米

碳管的相對質量濃度。

6. ISO/DTS 10868  
奈米管 – 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/DTR 10929  
多壁奈米碳管特性的量測方法。
  8. ISO/PRF TS 11251  
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/DTS 11308  
奈米科技 – 以熱重分析法對單壁奈米碳管進行純度評估。
  10. ISO/PRF TR 11811  
奈米科技 – 奈米磨擦量測方法的指引。
  11. ISO/DTS 11888  
決定多壁奈米碳管的微觀形狀因子的方法。
  12. ISO/AWI TS 11931-1  
奈米科技 – 奈米碳酸鈣 – 第一部分: 特性分析及量測方法。
  13. ISO/AWI TS 11937-1  
奈米科技 – 奈米二氧化鈦 – 第一部分: 特性分析及量測方法。
  14. ISO/CD 12025  
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。
  15. ISO/AWI TR 13014  
奈米科技 – 用於毒理學評估的工程奈米物質分析準則。
  16. ISO/NP TS 13126  
用於奈米科技中的人造光柵 – 維度量參數的描述及量測。
  17. ISO/NP TS 13278  
奈米碳管 – 利用電感耦合電漿質譜法 (ICP-MS) 測定奈米碳管內的金屬雜質。
- 奈米物質的命名
1. 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  
該標準建立了一套在模式分類架構中的奈米科技之核心概念，這項標準有助於溝通並增進共識。
  2. ISO/PRF TS 80004-1  
奈米科技 – 辭彙 – 第一部分: 核心術語
  3. ISO/AWI TS 80004-4

- 奈米科技 – 辭彙 – 第四部分: 奈米結構物質
4. ISO/DTS 80004-5  
奈米科技 – 辭彙 – 第五部分: 生物/奈米的界面。
  5. ISO/AWI TS 80004-6  
奈米科技 – 辭彙 – 第六部分: 奈米尺度的量測及儀器。
  6. ISO/DTS 80004-7  
奈米科技 – 辭彙 – 第七部分: 醫療、健康及個人保養的應用。
  7. ISO/NP TS 80004-8  
奈米科技 – 辭彙 – 第八部分: 奈米製程。
- 奈米物質的規範
    1. ISO/NP TS 11931-2  
奈米科技 – 奈米碳酸鈣 – 第二部分: 特定應用領域的規範。
    2. ISO/NP TS 11937-2  
奈米科技 – 奈米二氧化鈦 – 第二部分: 特定應用領域的規範。
    3. ISO/AWI TS 12805  
奈米物質 – 規範奈米物質的指引
    4. ISO/PRF TS 13830  
人造奈米物質及其相關產品的標籤準則。

#### 4.2.3 已取得的 ISO 標準之回顧

##### *ISO 22411:2008 粒徑分析 - 動態光散射*

動態光散射法(Dynamic Light Scattering, DLS)為現今次微米微粒粒徑量測的例行性方法，此技術被廣泛使用的主要原因是它可在幾分鐘內估算出微粒的平均粒徑和粒徑分布，且容易操作。目前已發展了許多和 DLS 相關的技術，這些技術主要以下面兩種方式來分類:

1. 數據分析方法(相關性及頻度分析方法)
2. 光學設備(零差以及外差偵測光學儀器)

適當的 DLS 操作方式以及實驗數據的判讀仍需要某種程度的專業性，為了因應此需求，ISO 13321 提供了以光子相關(photon correlation)技術量測粒徑尺寸的必要操作程序，為了避免多重散射所造成之誤差，列入該標準中之儀器只限於低微粒濃度的監測，但目前市面上已有不受此限制，可在高濃度狀況下使用的儀器，因此需要制定一個量測濃度範圍較廣的 DLS 的操作程序國際標準，讓使用者能夠獲得正確且再現性高的實驗室間比對結果。

ISO 22411 確立了一套以 DLS 量測水體中次微米微粒為主的平均粒徑及分佈的標準方法，該標準中僅可使用平均粒徑以及多分散性指數兩種指標來描述微粒的粒徑分佈，原因為雖然目前還有許多方法可用來計算粒徑分佈，但是不同計算方法之間的再現性不高，以致於目前並無一套微粒分布計算方法的國際標準。

ISO 15990: 2009 (E) 微粒粒徑分佈 - 氣膠微分電移動度分析法

微分電移動度分析系統(Differential Mobility Analyzing System, DMAS)已被廣泛用於氣體中各種奈米微粒之量測，此技術在許多氣膠科學與技術領域扮演著十分重要的角色，如氣膠儀器、氣膠製程、半導體廠內污染控制、大氣氣膠科學、工程奈米微粒的特性分析等。DMAS 主要由一個用來篩選粒徑的微分電移動度篩分器(Differential Electrical Mobility Classifier, DEMC)及一個用來量測微粒數目的凝結微粒計數器(Condensation Particle Counter, CPC)所組成，可量測介於粒徑 1nm 至 1 $\mu$ m 之間的微粒粒徑分佈，也可針對帶電微粒進行電移動度篩選，以產生不同特定粒徑的單徑微粒，有助於氣膠儀器的研發及校正。

該系統在進行量測或數據逆算(data inversion)時仍有許多不確定的變數會影響結果的準確度，如滑動校正因子(slip correction factor)、離子/氣膠接觸係數(ion-aerosol attachment coefficient)、粒徑相關的帶電量分佈、電移動度分佈逆算成粒徑分佈的方法等，因此在不同量測系統之間的結果可能也會有差異存在。Helsper et al. (2008)比較 5 個不同電移動度分析儀（包含 4 組市售系統和 1 組 IfT Leipzig 的自建系統）之間的數目濃度量測結果，發現粒徑介於 40 至 350 nm 之間微粒的總數目濃度之誤差值在 12% 以內，再粒徑 20 至 200 nm 之間的數目濃度分佈誤差值小於 20%，然而當粒徑範圍大於或小於上述範圍時，誤差即會增加。該研究認為誤差主要可能來自於微粒損失的校正函數、計數統計、雙極電荷分佈及不同進口對微粒造成的損失等影響。

為了提升電移動度分徑技術的準確度，上述及另外一些參數均需審慎評估，以確保該系統可產生較一致的單徑微粒以精準地量測微粒數目濃度。ISO 15990 則提供了實驗系統內各個儀器的操作及校正方法，也介紹了 DEMC 分徑的方式、量測數據的逆算和微粒充電效率的理論等實際應用上的基本原理及計算方式，最後也列出了結果報告內需呈現的各項參數，並建議粒徑分佈結果的呈現方式可參照 ISO 9276-1。

以下為 DEMC 的原理簡介。圖 4.2.1 為同軸圓柱式的 DEMC，如圖所示該系統中央有一電極棒，用來產生圓柱壁面與中央電極棒間的電場，當帶電微粒進入 DEMC 後，微粒因電場作用而向中央電極移動，而根據不同大小的微粒具有不同電移動度的原理，僅有具特定電移動度的微粒會進入中央電極棒下方的狹縫而完成粒徑的篩選。該系統即利用控制中央電極電壓的方式進而篩選出各種不同粒徑的微粒。



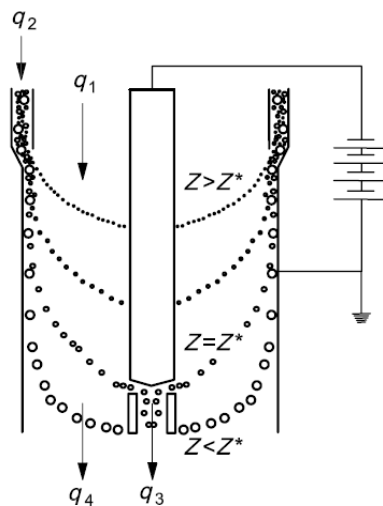


圖 4.2.1 同軸圓柱式 DEMC 示意圖 (ISO 15900, 2009)。

*ISO/WD 27891 氣膠微粒數目濃度- 凝結微粒計數器之校正(此標準尚未正式發表，現為草案階段)*

凝結微粒計數器(Condensation Particle Counter, CPC)為量測氣膠數目濃度之儀器，它利用光散射技術偵測並計數已知體積流量內的微粒。此技術和光學微粒計數器(Optical Particle Counter, OPC) 類似，兩者的主要差異在於 CPC 多了微粒凝結成長的機制，此機制讓微粒在通過偵測計數器之前被長大，使得原本因粒徑太小導致散射光線不足的微粒成長至偵測器可測得的大小，進而讓 CPC 可偵測到更小的微粒。微粒計數的原理與粒子電荷無關，可偵測到絕對的微粒數目。CPC 的精確度受到很多因素影響，如流量、高濃度的計數損失、極小微粒的凝結成長效果不佳、微粒由進口到偵測部位的傳輸損失等因素，均有可能造成量測上的誤差。因此 CPC 需定期進行校正，才能確保量測結果的準確性。

CPC 通常以法拉第杯氣膠靜電計(Faraday-cup aero sol Electrometer, FCAE)作為其校正之參考標準。在許多情況下，校正的目的是為了確認 CPC 對極小微粒的偵測極限，而會選擇 FCAE 的原因是因為它對於任何微粒粒徑偵測效率皆一致。所謂的 CPC 的偵測效率為偵測偵測同一數目的單電荷單徑微粒時，CPC 測出的濃度與參考 FACE 所偵測出的濃度比值。

ISO/WD 27891 提供了兩種 CPC 的標準校正方法：參考 FCAE (reference FACE) 及參考 CPC (reference CPC)的比對，圖 4.2.2 及圖 4.2.3 分別為兩種方法的實驗設置圖(圖中灰色虛線部分為非必要之設備，但強烈建議設置)。若採用前者的比對方法，還須對作為參考用的 FCAE 進行驗證。上述兩種作為參考驗證用的儀器對於偵測微粒數目濃度、粒徑大小以及微粒組成皆須要有標準的校正認證書，該證書必須出自於以下兩個單位其中之一：

1. 被 ISO/IEC 17025 認可的實驗室，所提供的校正種類以及範圍也需在認可的範圍之內。
2. 由國家量測機構(National Measurement Institute)所提供之相關校正服務。

CPC 所產生的誤差主要來自於多重帶電微粒(Multiply-charged particles)以及校

正時 CPC 和參考儀器的進口處的微粒濃度偏差，故 CPC 之校正程序須針對上述影響因素進行評估且須加以修正，評估及修正方法在 ISO/WD 27891 中均有詳細說明。

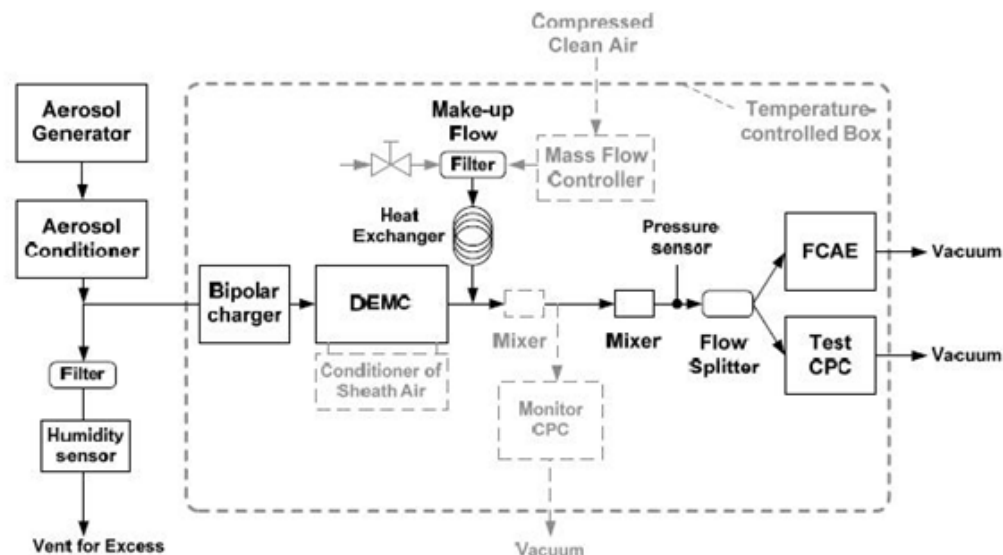


圖 4.2.2 使用參考 FCAE 進行校正之實驗設置圖 (ISO/WD 27891)。

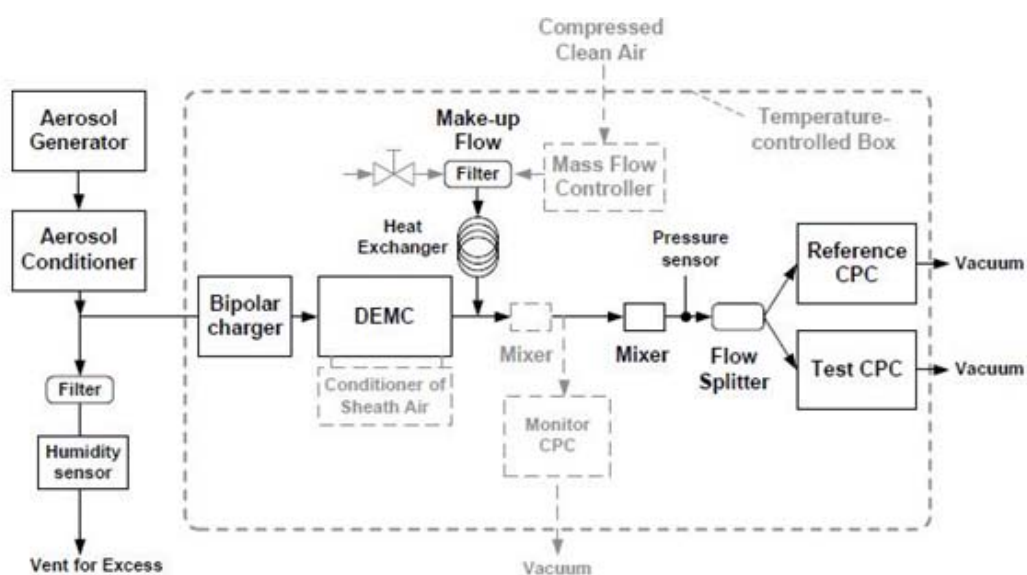


圖 4.2.3 使用參考 CPC 進行校正之實驗設置圖 (ISO/WD 27891)。

ISO/DIS 10808 奈米科技 – 呼吸毒性試驗用的暴露腔中奈米微粒的特性分析。(此標準尚未正式發表，現為草案階段)

近年來用以製造含有銀、金、碳、鋅、鈦及矽產品的奈米技術發展得十分快速，而提高了奈米基礎工廠中作業員工的健康風險，此外由產品中再揚起之奈米微粒也會對消費者的健康造成威脅。為了確保工人和消費者的健康，奈米物質的

吸入毒性測試為一項十分重要的工作，目前的奈米物質毒性吸入測試主要是以老鼠作為毒性吸入的試驗對象，再由試驗結果推估對人體的影響，但學界將來擬以直接和人體相關的測試取代這種過時的方法(Goldberg and Hartung, 2006)。

奈米微粒具有小顆粒及總表面積大等特性，除了傳統的重量濃度分析之外，微粒的總表面積及數目濃度等為更重要的參考資訊，為了能夠將這些特性也納入吸入毒性研究的考量並和吸入毒性的分析結果作相互驗證，ISO10808 建議了一套吸入毒性腔體監測系統，包含有用來量測微粒大小、數目、分佈及表面積的微分電移動度分析系統(Differential Mobility Analysis System, DMAS)，及一套由穿透式電子顯微鏡(Transmission Electron Microscopy, TEM)及能量散射 x 射線分析儀(Energy Dispersive X-ray Analyzer, EDXA)所組成可用來觀察微粒外型以及化學成分的組合儀器。若吸入毒性測試還需要其他額外的參數，該標準也包含有傳統的微粒質量劑量及其他物化監測的方法。

Ji et al. (2007) 進行了和 ISO/DIS 10808 相關之實驗，該研究群同時以銀奈米微粒進行生物吸入毒性試驗及微粒特性分析，圖 4.2.4 為其實驗系統圖。實驗方法為將四組大鼠(Sprague-Dawley Rats)分別放入四個呼吸性腔體中，並分別通入乾淨空氣(控制對照組)、低、中及高濃度的銀奈米微粒進行 28 天的生物吸入毒性試驗，其中三個通有銀奈米微粒的暴露腔體在試驗期間均會導出部分微粒樣本以 DMAS 進行特性分析，結果如表 4.2.1 所示，該研究群即利用此微粒特性分析結果和生物毒性試驗結果作相互驗證。

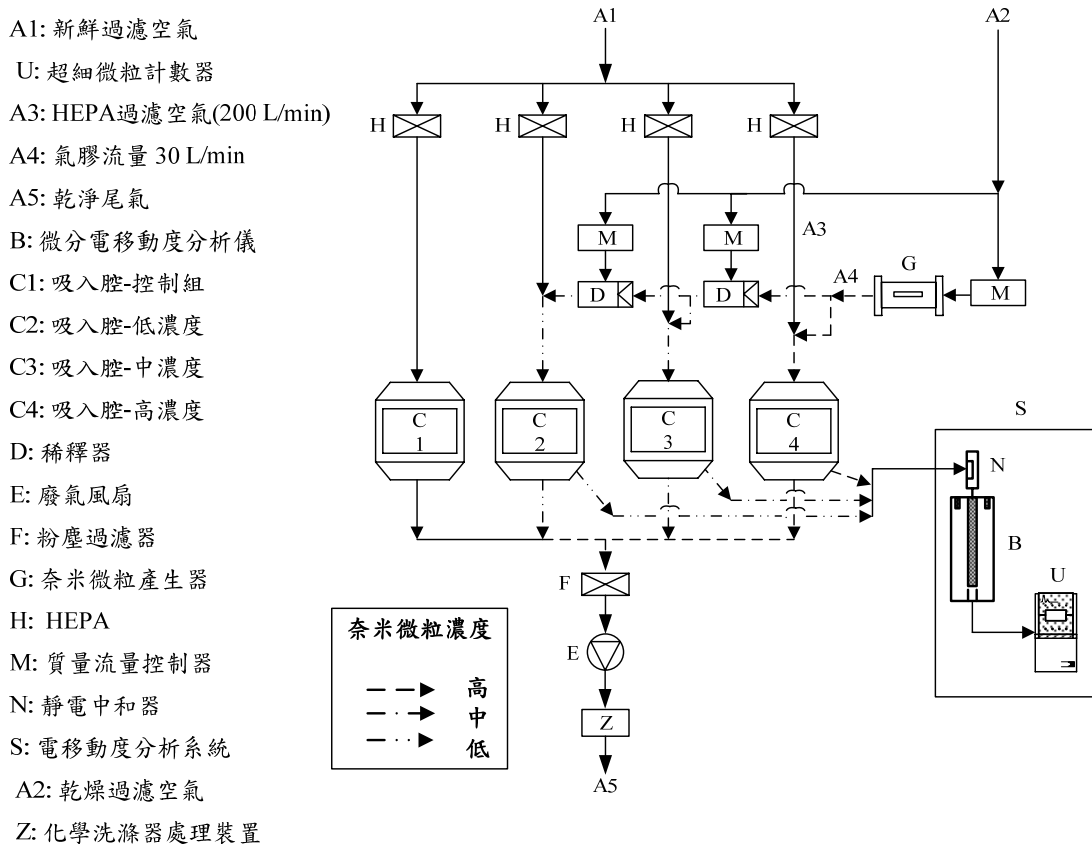


圖 4.2.4 生物吸入毒性試驗及微粒特性分析試驗之實驗系統圖(Ji et al., 2007)。

表 4.2.1 28 天的生物吸入毒性試驗中，腔體內銀奈米微粒的各項量測濃度(Ji et al., 2007)。

群組	採樣點	粒徑 (GMD,nm)	數目濃度 (particles/cm <sup>3</sup> )	表面積濃度 (nm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> )	體積濃度 (nm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	質量濃度 (μg/m <sup>3</sup> )
控制組		0	0	0	0	0
低濃度	上游 <sup>a</sup>	11.80±0.17	2.21×10 <sup>4</sup> ±1.12×10 <sup>4</sup>	1.75×10 <sup>7</sup> ±1.03×10 <sup>7</sup>	6.27×10 <sup>7</sup> ±3.95×10 <sup>7</sup>	0.65±0.41
	下游 <sup>b</sup>	12.13±0.47	1.03×10 <sup>4</sup> ±3.60×10 <sup>2</sup>	6.83×10 <sup>6</sup> ±2.72×10 <sup>5</sup>	2.18×10 <sup>7</sup> ±9.85×10 <sup>5</sup>	0.22±0.01
	總量	11.93±0.22	1.73×10 <sup>4</sup> ±6.64×10 <sup>3</sup>	1.32×10 <sup>7</sup> ±2.34×10 <sup>7</sup>	4.60×10 <sup>7</sup> ±2.34×10 <sup>7</sup>	0.48±0.25
中濃度	上游 <sup>a</sup>	12.57±0.23	1.31×10 <sup>5</sup> ±1.33×10 <sup>5</sup>	1.04×10 <sup>8</sup> ±1.65×10 <sup>7</sup>	3.72×10 <sup>8</sup> ±7.58×10 <sup>7</sup>	3.89±0.79
	下游 <sup>b</sup>	12.15±0.13	1.21×10 <sup>5</sup> ±7.23×10 <sup>3</sup>	8.60×10 <sup>7</sup> ±8.16×10 <sup>6</sup>	2.74×10 <sup>8</sup> ±2.71×10 <sup>7</sup>	2.88±0.28
	總量	12.40±0.15	1.27×10 <sup>5</sup> ±8.45×10 <sup>3</sup>	9.68×10 <sup>7</sup> ±1.04×10 <sup>7</sup>	3.33×10 <sup>8</sup> ±4.66×10 <sup>7</sup>	3.48±0.49
高濃度	上游 <sup>a</sup>	14.74±0.14	1.35×10 <sup>6</sup> ±2.58×10 <sup>4</sup>	1.43×10 <sup>9</sup> ±3.86×10 <sup>7</sup>	5.92×10 <sup>9</sup> ±1.93×10 <sup>8</sup>	62.12±2.02
	下游 <sup>b</sup>	14.82±0.18	1.28×10 <sup>6</sup> ±2.24×10 <sup>4</sup>	1.38×10 <sup>9</sup> ±4.25×10 <sup>7</sup>	5.73×10 <sup>9</sup> ±2.21×10 <sup>8</sup>	60.00±2.31
	總量	14.77±0.11	1.32×10 <sup>6</sup> ±1.79×10 <sup>4</sup>	1.41×10 <sup>9</sup> ±2.87×10 <sup>7</sup>	5.84×10 <sup>9</sup> ±1.45×10 <sup>8</sup>	61.24±1.52

ISO 12025 不同氣膠產生方式測試粉末狀奈米物質之奈米微粒逸散的架構。(此標準尚未正式發表，現為草案階段)

目前在許多工業製程的操作與設計上，奈米物質容易自空氣或溶液中逸散出奈米微粒，過多逸散的奈米微粒可能導致作業人員的健康影響與環境污染，因此獲取奈米物質的微粒逸散特性以進行控制、風險評估及降低微粒逸散為相當重要的課題。目前可利用能量造成樣品逸散奈米微粒的方法有研磨、侵蝕及粉碎等方式，用於評估不同種類粉體逸散量的方法為揚塵指數的評估。然而不同氣膠產生方式得到的結果卻鮮少互有關聯，且不同測試方法的結果難以互相比較，因此需發展一個參考方法可適用大部分粉體的揚塵特性評估。ISO 12025 這項尚在的草案階段的標準提供了一個利用實驗室自行產生微粒的方法，以評估粉末狀工程奈米物質中奈米微粒逸散情形的整體實驗架構。收錄在該草案中的揚塵測試方法有連續落下法(continuous drop)、旋轉腔體試驗機法(rotating drum)、漩渦振盪法(vortex shaker)、動力裝置法(dynamic device)以及連續定量注入粉體及獨立分散系統法(continuous dosing and independently dispersing system)。以下將一一介紹並比較不同測試方法的優缺點。

圖 4.2.5 為連續落下法實驗裝置簡圖，該方法主要用來模擬粉體裝料/卸料 (loading-unloading) 與裝袋 (bagging) 時的微粒逸散情形。產塵原理類似單一掉落法，方法為利用螺旋葉片與震動器將受測粉體從樣品槽中不斷落下並進入一密閉腔體中，樣品的落下量由螺旋葉片的轉速控制，接著進入一慢速的垂直上升氣流中，僅少部份的小微粒會被氣流帶起進入微粒採樣器中，當繼續落下的粉體掉落至腔體底部，會因慣性衝擊的力量使粉體分散並造成微粒反彈揚起，再隨著上升氣流進入採樣器中。最後由採樣器收集到的微粒質量與粉體落下量，計算得到粉體的揚塵特性質量分率(dustiness mass fraction)。此法的缺點為粉體用量甚鉅，且不適用于黏著性較高的粉體。

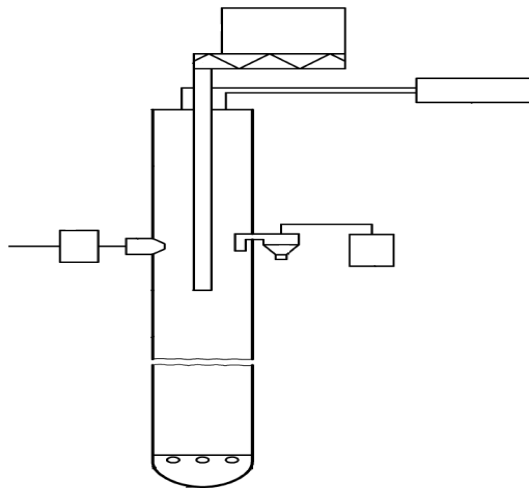


圖 4.2.5 連續掉落法實驗裝置簡圖 (CEN EN15051, 2006)。

旋轉腔體試驗機法，如圖 4.2.6 所示，其原理藉由平鋪於腔體底部的粉體連續升起、落下的過程產生揚塵，大微粒因重力往下掉落，小微粒隨低流速的水平氣流被帶至微粒採樣區，藉此模擬一般的粉體處理程序，而微粒於採樣區中因重力沉降與慣性衝擊機制，將到達採樣區的微粒依其氣動直徑分徑成可吸入性、胸腔區及可呼吸性三種粉塵粒徑，並以質量分率(mg/kg)表示之。旋轉腔體試驗機法的優點為可處理的粉體範圍相當廣泛，包含細微粒與片狀微粒，且可模擬工作場所的作業活動項目亦相當廣泛(Petavratzi et al, 2007)。Schneider and Jensen (2008)與 Jensen et al. (2009)以旋轉腔體試驗機法與單一掉落法測試數種奈米粉體與細粉體的揚塵特性，結果發現產生的揚塵隨時間的變化因不同粉體而有所差異，某些粉體的逸散大部分集中於短暫的初始揚塵(initial burst)期間，某些粉體則是隨時間穩定的逸散，某些粉體的逸散量則是隨旋轉的時間增加而減少。由此可知微粒逸散隨時間變化的類型不同，將導致旋轉腔體試驗機法與連續落下法得到的結果無法進行比較。

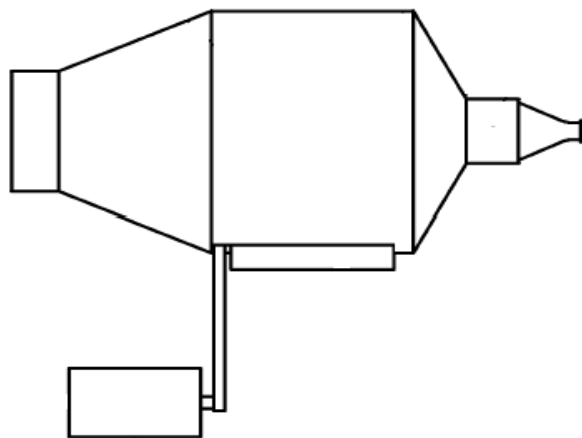


圖 4.2.6 旋轉腔體試驗機法實驗裝置簡圖 (CEN EN15051, 2006)。

漩渦振盪法為將裝有奈米粉體的玻璃試管置於漩渦振盪器上，並於試管內連續通入乾淨空氣，受到振盪而逸散的微粒由乾淨空氣攜出至量測儀器，以決定逸散微粒的粒徑分佈與濃度，其實驗系統示意圖如圖 4.2.7 所示 (Maynard et al, 2004)。此方法的優點為奈米粉體的樣品量少，僅需數毫克至數百毫克，且分散強度、微粒逸散濃度與氣體流率皆為獨自可進行調整或控制，但需有適當的粉體進料器、氣體流量控制器與震盪控制器。另外，漩渦振盪法的缺點為僅能測量數目分布與濃度，無法得知質量的比率或分佈。

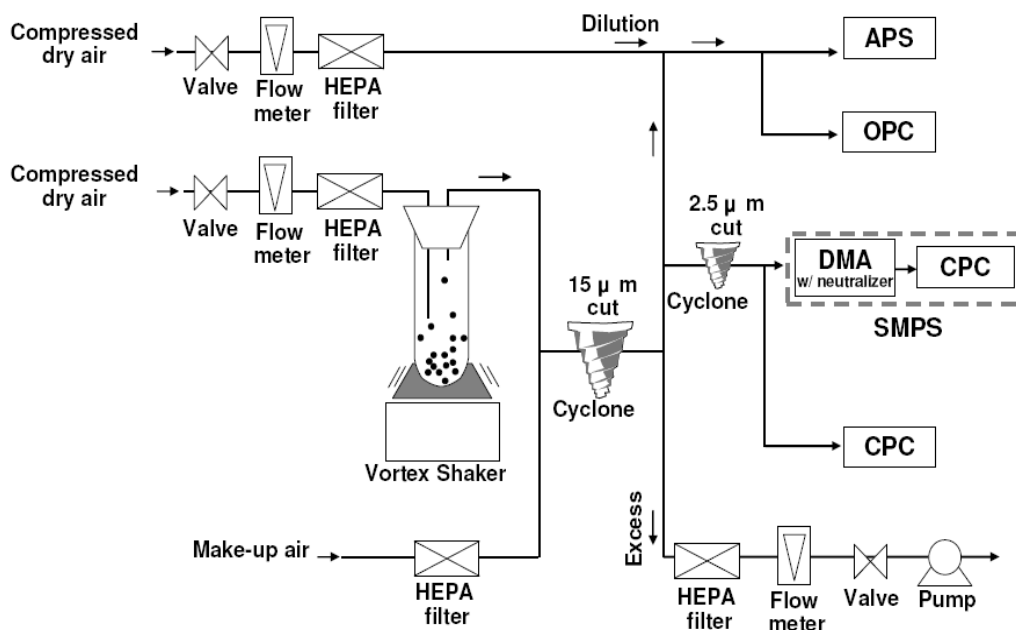


圖 4.2.7 漩渦振盪法實驗架設示意圖 (Maynard et al., 2004)。

動力裝置法(Boundy, et al., 2006)主要用來量化粉體的揚塵特性，其實驗系統示意圖如圖 4.2.8 所示。其動力裝置的測試方法有兩步驟，首先粉體利用空氣推動的分散器注入到一個 5.7 升的玻璃腔體內，此過程空氣流量與吸入時間為 53.8 L/min 與 1.5 s，再經由腔體內的總粉塵採樣器與可呼吸性粉塵採樣器採樣 4 分鐘，而這兩個步驟皆由計時器與螺線管閥控制，藉此精準的控制採樣時間與流量。此方法的優點有粉體的使用量少，一般為 10 毫克，並有測試快速及具有隔離有毒物質的好處，且動力裝置方法的能量較其它測試方法高，故將有較完整的粉體分散情況。而此法亦有其限制存在，如：奈米物質的粒徑分佈較為寬廣可能含有粗微粒，而粗微粒將可能導致粉體注入系統的堵塞、調整此系統的裝置以直接模擬工業粉體處理時的逸散情況較為困難等缺點。

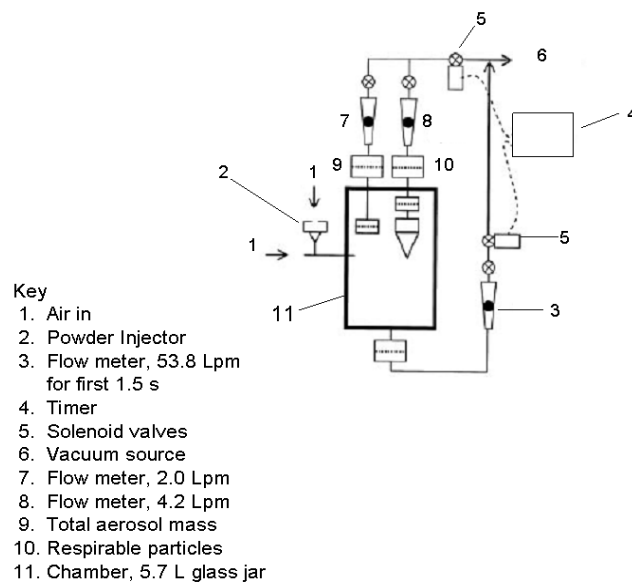


圖 4.2.8 動力裝置系統圖 (Boundy et al, 2006)。

連續定量注入粉體及獨立分散系統法，又稱為無相關的參數法(Unrelated parameter method)，此系統的架設示意圖如圖 4.2.9 所示(Göhler et al, 2009)。此揚塵測試方法可適用的粉體範圍相當廣泛，在低分散能量的輸入下，包含二氧化矽、煤灰及二氧化鈦皆適用。連續定量注入粉體系統供給粉體到一個獨立的分散系統，此分散系統由一個內徑 2 毫米的不鏽鋼毛細管所組成，由於添加粉體系統與分散系統之間是相互獨立的，因此質量流率與分散能量可以各自量測出來。基於分散的原理，必須確保實驗系統中在分散裝置內的分散能量高於其他次流程(sub-process)的能量。可使用微分電移動度分徑系統(differential mobility analyzing system, DMAS)偵測整個粒徑範圍的微粒粒徑分佈，可用光學微粒計數器(optical particle counter, OPC)量測微米範圍的微粒，另外可用靜電沉降器(electrostatic precipitator, ESP)將產生的微粒採樣收集下來，並以掃描式電子顯微鏡觀測分析。

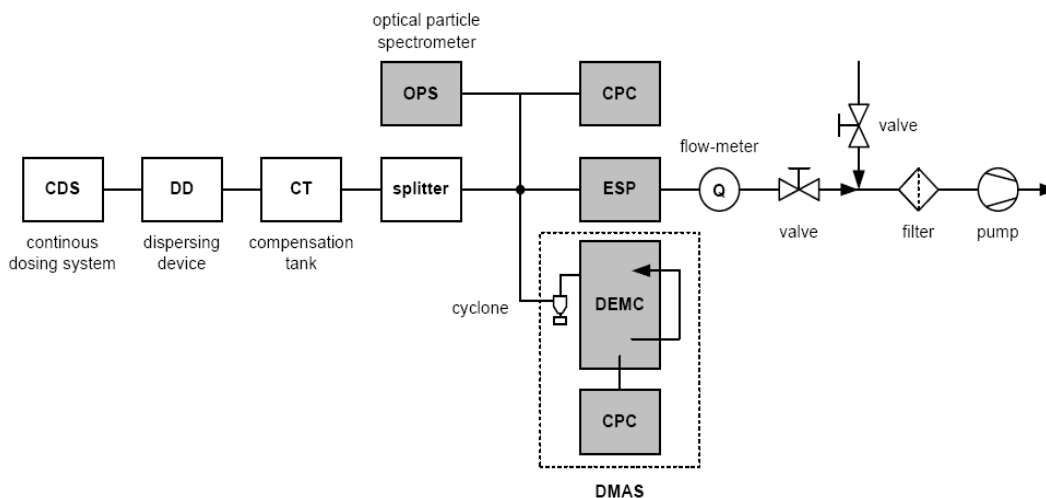


圖 4.2.9 連續注入粉體及獨立分散系統的測試架設示意圖 (Göhler et al, 2009)。

#### 4.2.4 OECD 有關工作場所工程奈米物質暴露測量，與辨識奈米微粒污染源及其釋放的相關指引

*OECD 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*

經濟合作發展組織(OECD)發表「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」的計畫報告，此計畫由荷蘭住宅、空間計畫及環境部(VROM)協助 OECD 的工程奈米物質工作小組(WPMN, Working Party on Manufactured Nanomaterials)執行，計畫目標為(ENV/JM/MONO(2009)15)：

- (1) 整理 WPMN 認可在職業環境中工程奈米物質暴露測量及暴露減輕方法的相關指引。
- (2) 收集在職業環境中與實際暴露測量相關的現有資料及進行中活動的資訊。
- (3) 分析及評估與工程奈米物質暴露測量及暴露減輕方法相關的現有指引。
- (4) 為 WPMN 下一階段的工作準備全面的報告及建議。

此計畫報告確認了 20 篇符合計畫目標的文獻，如表 4.2.2 所示，其中 16 篇可以取得。在這 16 篇中，共有 14 篇作出了具體結論。WPMN 對主要的 10 篇文獻分別作出初步結論並收錄在報告的附錄中，並針對 16 篇可取得文獻列表分析它們的研究目標、研究領域和文章種類，及另外分類成下列兩種文章：

- (1) 提供有關工程奈米物質暴露、危害、風險評估及安全使用的指引。
- (2) 以環境、健康及安全的觀點確認奈米物質的研究需求。

在屬於第一種分類的文章中，有 4 篇為國際標準組織發表(如：ASTM, BSI, ISO)，有 4 篇為政府組織/機構發表。第二種分類的文章則為美國環保署、美國勞工安全衛生研究所、歐盟組織及國際奈米科技相關組織所發表。

表 4.2.2 ENV/JM/MONO(2009)15 回顧整理的文獻列表(ENV/JM/MONO(2009)15)。

	文獻標題	可取得 是/否	已下結論 是/否
1	ISO TC 229: Technical Report entitled “Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies”	是	是
2	French good practice guide for the workplace	否	--
3	German Nanocommission: Code of Good Practice	否	--
4	Japan Ministry of Economy, Trade and Industry: preliminary survey on safe handling of nanomaterials at manufacturing sites and research laboratories	否	--
5	UK British Standards Institute: Guide to Safe Handling and Disposal of Manufactured Nanomaterials	是	否
6	US National Institute for Occupational Safety and Health: “Approaches to Safe Nanotechnology” (August, 2006)	是	是



7	Thailand National Nanotechnology Center: nanosafety guidelines	否	--
8	German Chemical Industry Association (VCI) and German Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA): best practice guideline for handling and use of nanomaterials in the workplace	是	是
9	US ORC Task Force on Nanotechnology: workplace guidelines including exposure measurements and exposure mitigation as a web-based resource	是	是
10a	International Council on Nanotechnology (ICON): Phase One Report: Current Knowledge and Practices Regarding Environmental Health and Safety in the Nanotechnology Workplace	是	是
10b	International Council on Nanotechnology (ICON): Phase Two Report: Survey of Current Practices in the Nanotechnology Workplace	是	是
11	The National Nanotechnology Initiative "Environmental, Health, and Safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials." 2006	是	否
12	Health and Safety Executive, RR513, "The Assessment of Different Metrics of the Concentration of Nano (Ultrafine) Particles in Existing and New Industries"	是	是
13	USEPA Nanotechnology White Paper, 2007	是	是
14	Weis, et al. (2005). Personalized Exposure Assessment: Promising Approaches to Human Environmental Health Research. Environmental Health Perspective, 113(7): 840-848	是	是
15	Borm PJA, Robbins D, Haubold S. et al. (2006) The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. Particle and Fibre Toxicology 3:11	是	是
16	SCENIHR (2006). The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of technologies	是	是
17	ISO TC 146 SC2WG1 TR 27628 (2007). Workplace Atmospheres – Ultrafine, nanoparticle and nanostructured aerosols – Exposure characterization and assessment	是	是
18	Department of Energy Nanoscale Science Research centers (2007). Approach to nanomaterial ES&H	是	是
19	ASTM (2006) Standard Guide for handling Unbound Engineered Nanoscale Particles in Occupational Setting (draft)	是	是
20	Japan Ministry of Health, Labour and Welfare's notification on present preventive measures for the prevention of exposure at workplaces manufacturing	否	--

	and/or handling nanomaterials		
--	-------------------------------	--	--

目前對於發展工作場所奈米物質吸入及皮膚暴露的採樣方法指引有很大的需求，ENV/JM/MONO(2009)15 建議這些採樣方法指引應包含以下三個要點：(1)選擇適當的暴露尺度；(2)選擇適當的採樣及測量策略；(3)評估測量結果的指引。關於未來工作項目或研究的優先順序，ENV/JM/MONO(2009)15 建議應遵循以下的步驟，從逐步務實的手段開始，以朝向生產及使用工程奈米微粒為出發點，建立更有科學基礎的指引：

- (1) 對於不同的作業流程或設備，所謂的優良控制實務應該被確定，這些控制實務可能為專家們已發表的現有實務，或更為理論定義的暴露情境，已確認的指引文件對於本步驟相當有幫助。
- (2) 包含控制措施的暴露情境之完整描述應以文件記錄下來。
- (3) 為識別優良實務的情境，收集和暴露有關的資料。資料應使用能夠解釋不同暴露尺度及程度的適當採樣策略及儀器來進行收集，資料的儲存應提供往後控制實務有效性的範例進行分析。
- (4) 將其他相似作業設備的情境，與優良實務的情境定量地進行標準化分析。

*OECD 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*

本指引參考了過去許多學者進行的工作場所暴露評估的研究論文，如 Peters et al. (2006)使用氣膠繪圖(aerosol mapping)的方法評估在春季及冬季時某引擎製造及組裝工廠作業過程中微粒數目及質量濃度的分佈情形，採樣方法為使用兩台各裝有 CPC (測量範圍 0.01  $\mu\text{m}$  ~ 1  $\mu\text{m}$ )與 OPC (測量範圍 0.3  $\mu\text{m}$  ~ 20  $\mu\text{m}$ )的移動式微粒採樣車測量微粒數目及質量濃度，如圖 4.2.10 所示。研究結果顯示，工廠內微粒的數目濃度遠高於戶外濃度約 15 ~ 150 倍，並與季節變化有關連。微粒數目濃度的最大值(> 1,000,000 particles/cm<sup>3</sup>)發生在冬季及質量濃度低的區域(< 100 mg/m<sup>3</sup>)，上升的微粒濃度歸因於使用直火-自然空氣式燃燒爐。研究也發現佔據大部分微粒質量的大微粒伴隨超細微粒共同出現，原因可能為金屬製造液體成份的蒸發與凝結造成。建議職業衛生學家可使用氣膠繪圖方法評估工作場所中細微粒及超細微粒在時間及空間的分佈情形。Heitbrink et al. (2007)在夏季及冬季於上述相同的工作場所除了使用裝有 CPC 與 OPC 的移動式微粒採樣車測量微粒數目及質量濃度外，另外在夏季時作業場所中的某些位置使用 ELPI 測量 0.07  $\mu\text{m}$  ~ 10  $\mu\text{m}$  的微粒粒徑分佈情形。研究結果顯示，OPC 測量結果對重量分析質量濃度的可呼吸性質量濃度的幾何平均比率為 0.66，幾何平均標準差為 1.5。然而可呼吸性質量濃度隨著季節的變化並不顯著，在良好圍封空間的可呼吸性質量濃度為 0.03 mg/m<sup>3</sup>，在不良圍封空間的濃度則為 0.12 mg/m<sup>3</sup>。研究結果發現直火-自然空氣式燃燒爐的操作會導致現場產生最大的微粒數目濃度，但可呼吸性質量濃度並無升高的現象，Heitbrink et al. (2007)認為可呼吸性質量濃度並非超細微粒暴露的合適指標，因為微粒可能來自不同的產生源。

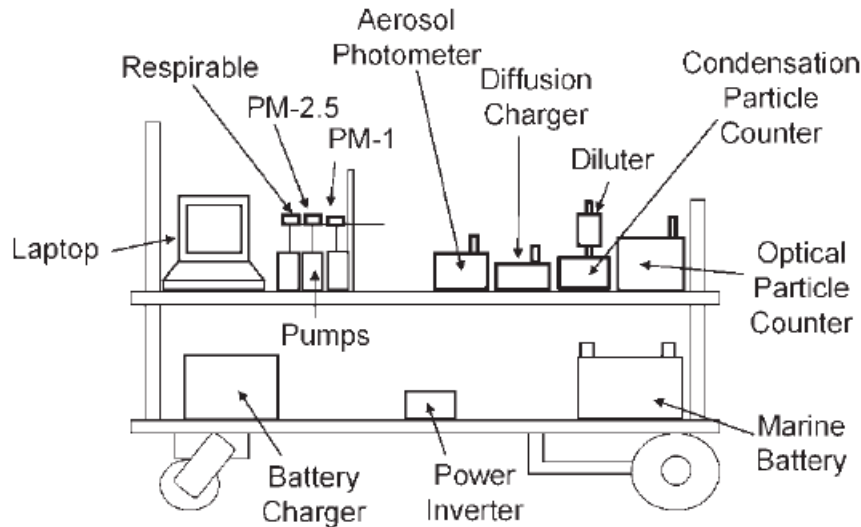


圖 4.2.10 工作場所移動式微粒採樣車(Peters et al., 2006)。

Evans et al. (2008) 亦使用氣膠繪圖方法於春、夏及冬季在某汽車灰口鐵鑄造廠測量超細微粒濃度及可呼吸性微粒質量濃度。研究結果顯示工廠內超細微粒濃度的最大值發生在冬季當外界的補充空氣用於加熱直火-自然空氣式燃燒爐，自屋頂引入的補充空氣提升了超細微粒濃度及可呼吸性微粒質量濃度並大於戶外環境的背景濃度，也暗示了鑄造廠作業中非故意發生的溢散循環。提升的可呼吸性微粒質量濃度和製程的作業形式高度相關，但不受季節變化影響。

雖然目前已有上述一些奈米技術作業場所的暴露評估數據，但尚無工程奈米物質的暴露限值，經濟合作發展組織(OECD)發表「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」以辨識工作場所釋放的懸浮工程奈米物質(ENV/JM/MONO(2009)16)。此評估方法除將污染源的微粒濃度與背景值比較外，並可判斷現有方法是否適用於控制奈米物質的逸散，或者再需要其他的控制方法。但使用此方法得到的評估結果並不代表作業人員的暴露。

奈米物質逸散評估指引(ENV/JM/MONO(2009)16)包含初始評估及選擇性採樣。初始評估半定性測量微粒數目濃度、形狀、質量濃度及相對應的粒徑，初始評估的策略流程如圖 4.2.11 所示，在潛在逸散污染源處使用直讀手提式儀器(CPC 或 OPC)測量微粒數目濃度，如果潛在污染源的疑似奈米微粒濃度高於背景值，則使用濾紙採樣方式再以 TEM 或 SEM 辨識及鑑別微粒。接著亦可使用濾紙採樣方法於作業人員呼吸區進行採樣及後續分析，個人多階衝擊器並可用於分離較大微粒。本指引提供一套簡易半定性的方法協助職業衛生安全專家辨識奈米物質的釋放，除有助於半定性估計個人暴露量之外(Koshi, 1980)，並可協助選擇合適的暴露減量技術(Wendel-de-Joode et al., 2003)。本指引建議使用以下的儀器設備組合進行初始評估工作：

- (1) 手提式 CPC。
- (2) 手提式 OPC。
- (3) 根據微粒種類及後續的分析方法（如辨識微粒型態使用 TEM 或 SEM、元素

- 分析金屬或碳成份)，選擇適當的濾紙採樣方式。
- (4) 高流量採樣幫浦(流量大於 10 L/min 以上)。
  - (5) 可使用熱沉降器及靜電沉降器收集奈米微粒，後續再使用 SEM 及 TEM 分析樣本，可提供微粒形態及化學結構的資訊。
  - (6) 採樣幫浦的流量校正設備。
  - (7) 選擇性的表面採樣方法。
  - (8) 有必要的話，可使用個人多階衝擊器或可呼吸旋風採樣器進行採樣。

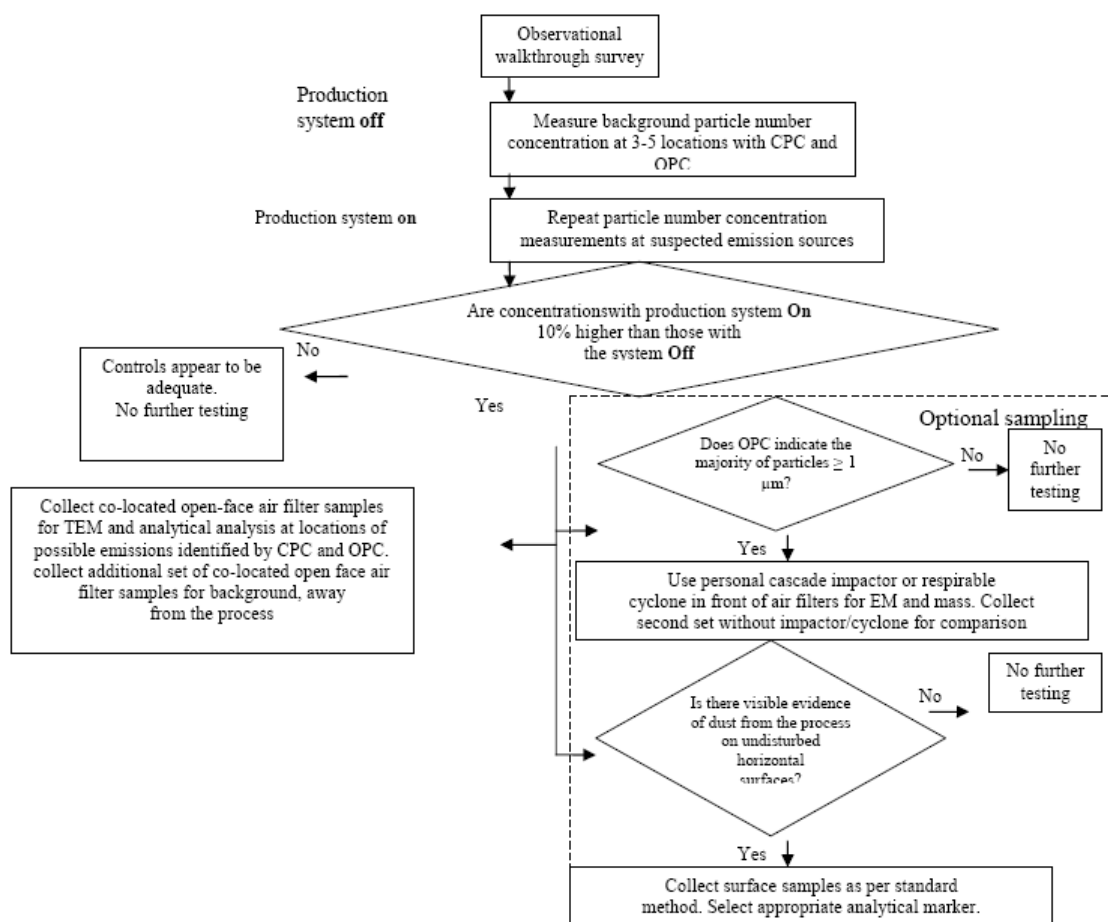


圖 4.2.11 工程奈米物質潛在釋放污染源初始評估的策略流程圖 (ENV/JM/MONO(2009)16)。

本指引建議的工程奈米物質潛在釋放的評估步驟如下：

1. 辨識潛在的逸散污染源

初始評估包括審閱製程種類、製程流量、原料的使用及排出、作業流程等，以辨識工程奈米物質的潛在污染源。一旦辨識出工作場所潛在的逸散污染源後，建議工業衛生安全學家進行下列的作為：

- (1) 執行製造區及製程的走動式的觀察調查，以鎖定奈米物質的潛在釋放污染

源。

- (2) 確認每一個生產動作的頻率及持續時間，與用於處理奈米物質的設備種類。
- (3) 辨識一般與局部排氣系統的安裝與否。
- (4) 辨識製程中的釋出行為(如打開生產系統以取出產品或清理)。

## 2. 執行微粒數目濃度的採樣

### 2.1 背景值量測

辨識來自於背景微粒濃度的貢獻之量測，是評估可能的懸浮工程奈米物質的重要步驟。在開始處理奈米物質前，建議工業/職業衛生安全學家利用表 4.2.3 記錄及使用 CPC 及 OPC 以辨識不同製程及相鄰作業區懸浮微粒的平均數目濃度。CPC 及 OPC 用於檢查非故意發生的奈米微粒釋放污染源。另外，應該也要考慮來自於建築物通風系統的戶外及循環空氣的可能背景奈米微粒來源(Peters et al., 2006)。

表 4.2.3 微粒數目濃度記錄表範例(ENV/JM/MONO(2009)16)。

日期：

作業地點：

記錄者：

地點/ 製程/ 作業	CPC 微粒數目 10-1,000 nm (P/cc)	OPC 微粒數目 0.3 $\mu\text{m}$ (P/Liter)	OPC 微粒數目 0.5 $\mu\text{m}$ (P/ Liter)	OPC 微粒數目 1.0 $\mu\text{m}$ (P/ Liter)	OPC 微粒數目 10.0 $\mu\text{m}$ (P/ Liter)	可能措施

### 2.2 作業區採樣

一旦獲得初始微粒的背景濃度，在可疑的污染源鄰近區域可同時使用 CPC 及 OPC 測量懸浮微粒的濃度及粒徑範圍，於每一種作業的前、中、後測量懸浮微粒濃度以辨識可能影響微粒濃度的因子。這些資訊將用於辨識製程、污染源及作業人員的濾紙採樣方法。

## 3. 執行作業區及個人的濾紙採樣方法

### 3.1 作業區空氣採樣

根據 CPC 及 OPC 的測量結果，在可疑的逸散污染源處採集兩組濾紙採樣的樣本。作業區空氣的濾紙採樣樣本提供更具體有關工程奈米物質的資

訊(如：粒徑、形狀、質量等)。在兩組樣本中，一組樣本用於工程奈米物質的成份分析，如辨識金屬成份(NIOSH Method 7303)、元素碳成份(NIOSH Method 5040)；另一組樣本則用於辨識微粒的大小、形狀、尺寸及膠結程度等，如使用 TEM 或 SEM 量測技術(NIOSH Methods 7402, 7404)。採樣時間要配合工程奈米物質存在作業或特定製程的潛在暴露時間，若潛在懸浮釋放奈米物質的某作業時間較短時，則需要提高採樣流量以確保適當的微粒負載於濾紙，如表 4.2.4 所示。若使用 CPC 或 OPC 測量到的微粒濃度持續維持在高濃度，則必須縮短採樣時間以避免濾紙過負載及影響微粒辨識。

表 4.2.4 根據微粒數目濃度估算出 TEM 銅網的採樣時間表(NIOSH NMAM Method 7402) (ENV/JM/MONO(2009)16)。

	TEM 銅網	開面式濾紙匣採樣器		
		25 mm	37 mm	47 mm
濾紙直徑(mm)	3.0	25.0	37.0	47.0
有效直徑(mm)	3.0	22.2	34.2	44.2
有效收集面積(mm <sup>2</sup> )	7	385	916	1531
流量(L/min)	0.3	7	7	7
需求負載(#/mm <sup>2</sup> )	1.E+06	1.E+06	1.E+06	1.E+06

空氣中濃度(#/cm <sup>3</sup> )	時間(min)			
250	282.7	220.2	523.4	874.8
500	141.4	110.1	261.7	437.4
1,000	70.7	55.0	130.8	218.7
2,000	35.3	27.5	65.4	109.4
4,000	17.7	13.8	32.7	54.7
8,000	8.8	6.9	16.4	27.3
16,000	4.4	3.4	8.2	13.7
32,000	2.2	1.7	4.1	6.8
64,000	1.1	0.9	2.0	3.4
128,000	0.6	0.4	1.0	1.7
256,000	0.3	0.2	0.5	0.9
512,000	0.1	0.1	0.3	0.4

### 3.2 個人採樣

若可能的話，建議進行作業人員個人呼吸區的採樣。若 CPC 及 OPC 的測量結果顯示奈米微粒從特定製程逸散出來時，收集到的個人採樣樣本具有參考價值。個人採樣樣本的分析方法如同作業區空氣採樣的分析方法，當作業及潛在暴露的時間較短時，可使用較高的流量來採樣。

### 3.3 選擇性採樣

#### 3.3.1 空氣採樣

當 OPC 的測量結果顯示粒徑大於 1000 nm 微粒的比率高於 50% 時，要使用個人多階衝擊器或可呼吸旋風採樣器串接濾紙匣採樣器，以去除大微粒對元素分析或 TEM/SEM 分析的干擾。如果預期微粒有靜電沉降於塑膠採樣濾紙匣側邊的傾向時，可使用具有導電整流罩(conductive cowl) 的濾紙匣以避免微粒損失及低估懸浮微粒濃度

#### 3.3.2 表面採樣

可偵測工程奈米物質存在的表面採樣並非常規初始評估的一部分，不過本方法可用於辨識表面污染物的存在。表面採樣無法提供粒徑資訊，但有助於辨識工程奈米物質是否污染非生產作業區。本方法亦可評估現有工程奈米物質暴露控制方法之有效性。建議使用遵守標準方法(NIOSH Method 9102)製備的沾溼基質收集表面採樣的擦拭樣本，再針對擦拭樣本以適當的標準方法進行化學成份分析。

### 4.2.5 國內研究現況

#### 工研院-奈米技術計量標準計畫

工研院是國內目前唯一在進行奈米技術及奈米技術EHS相關標準的研究的單位，目前正在執行民國98年至103年的六年期奈米技術計量標準計畫，該計畫其中的一目標為奈米微粒形貌、分佈及分散量測標準技術之建立，與奈米技術EHS標準有關。以下為其相關的研究成果：

#### 1. 場發射環境掃描式電子顯微技術

該計畫已購置並測試了場發射環境掃描式電子顯微鏡(Field Emission Environmental Scanning Electron Microscope, FE-ESEM)，該儀器的最佳解析度可達1 nm，且可操作於低真空模式(範圍2 Pa 至133 Pa)裨益於半導體及絕緣體之量測。

#### 2. 氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術

目前已完成氣相粒子電移動度等效粒徑量測相關技術資料搜集與研讀，並產出技術報告“氣相粒子電移動度等效粒徑理論分析”。

#### 3. 奈米粒子分散技術

目前奈米粒子分散技術已漸漸受到產業界重視，然而現有的乾式奈米粒子分散因設計上的限制，其最終分散粒徑只能到數微米，且由於在分散過程中，大量能量被導入至分散系統中而使分散系統之溫度急速上升而難以掌握，再者當乾式粒子分散之後，易發生塵爆等相關問題。因此，現今進行奈米粒子分散較可行的方式為濕式奈米粒子分散。該計畫研究透過超音波震盪分散、高壓氣流分散、以及添加分散劑等方式進行奈米粒子分散裝置。

#### 4. 另外工研院也已完成了聚苯乙烯球(PSL, polystyrene latex sphere)的標準，粒徑為100, 200, 250, 300, 450及500 nm，目前正在研製100 nm以下的粒子(銀與二氧化矽)，並進行些粒子的特性分析如表面電位、團聚現象及 pH值的影響等。

### 奈米技術實驗室的奈米微粒暴露控制手冊

行政院環保署及勞工安全衛生研究所曾執行奈米微粒的最佳控制實務相關研究計畫，2009年勞工安全衛生研究所更進一步委託國內學者完成了本國奈米技術實驗室的奈米微粒暴露控制手冊(蔡等人，2009)，提供了奈米技術實驗室在工程奈米物質的設計、合成及分析階段的環保、安全與衛生(EHS)管理指引，各實驗室可以參考本指引制定適合自己實驗室的奈米物質暴露控制方法，內容主要涵蓋奈米物質EHS危害評估及作業人員管理、奈米物質暴露評估方法、奈米物質暴露控制方法、火災及爆炸預防、奈米物質及奈米廢棄物的管理及奈米物質溢出的管理六大項議題。

### 奈米粉體揚塵測試

勞工安全衛生研究所曾委託國內學者奈米粉體揚塵測試方法的研究，ISO 也正在訂定相關的標準中。國內粉體揚塵測試的研究主要利用旋轉腔體試驗機(rotating drum dustiness tester)、漩渦振盪器(vortex shaker)和微小粉末分散器 (Small-Scale Powder Dispenser, SSPD)三種分散方法進行奈米粉體的逸散特性之研究，此研究可藉由分析分散之粉體，了解不同粉體的質量及粒徑分佈。實驗所選用的奈米粉體為奈米二氧化鈦、氧化鋅和二氧化矽，量測的儀器為掃描式電移動度粒徑分析儀(Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)、氣動微粒分析儀(Aerodynamic Particle Sizer, APS)及微孔均勻衝擊採樣器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI)，研究結果顯示以不同方式分散出微粒的質量中間氣動直徑 (Mass Median Aerodynamic Diameters, MMADs)大致均落在1~6  $\mu\text{m}$ 之間，0.1  $\mu\text{m}$ 以下的奈米微粒質量濃度很低。

SSPD 分散三種奈米粉體得到的 MMAD、NMD 與 NMAD 結果指出 SSPD 是三種方法中，粉體分散能量最高的方法。由 SSPD 和漩渦振盪法的實驗系統得到的單位粉體重之逸散微粒的總濃度，可知奈米二氧化鈦的逸散性最好，奈米氧化鋅次之，奈米二氧化矽最低。奈米粉體以 SSPD 分散後，分別將 SMPS 與 APS 所偵測到的數目濃度利用微粒的有效密度與奈米粉體的顯在密度轉換成質量濃度，發現兩者轉換的質量濃度分佈結果與 MOUDI 的量測結果相近。

將 SSPD 逸散實驗中 SMPS 和 APS 之量測數據乘上 ICRP 呼吸系統的沉積模式因子所推算出的肺部沉積表面積濃度，與 Aerotrak 9000 所量測之沉積肺部的微粒表面積濃度進行比較，可知奈米二氧化鈦具有最高的肺部沉積表面積濃度，奈米氧化鋅次之，奈米二氧化矽最低。三種奈米粉體在肺泡區及氣管與支氣管區的量測值與計算值之誤差百分比範圍分別為+10~+32 %與+7~-17 %，故在氣管與支氣管區所計算的肺部沉積表面積濃度結果較肺泡區的計算結果佳。

### 小結

1. 奈米技術 EHS 有關的 ISO 標準及 OECD 的指引已發表很多，國內相關單位及學術單位可以多加參考，以研擬正確的研究方向及制定相關的標準及指引。
2. 呼吸毒性暴露腔的奈米微粒特性分析、奈米粉體的揚塵測試、作業場所的奈米



微粒污染源逸散測試、作業場所的奈米微粒暴露評估方法，奈米微粒計數器的校正及奈米技術實驗室的最佳控制實務等，均值得國內相關學術及研究單位再進行研究，以制定相關的標準及指引並加以推廣執行。

3. ISO TC229 及次委員會正在進行的奈米技術 EHS 相關標準很多，但取得不易，因此應鼓勵學者與國際接軌，並嘗試參加 OECD 的贊助計畫，以早些取得標準及指引草案，並提供國內的研究成果作研究交流，以增加本國的國際影響力。

### 4.3 協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論

本團隊協助另一計畫：「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務計畫」提供奈米技術 EHS 資訊，召開工作會議以檢討該計畫各項工作進度及內容，開會日期為民國 99 年 8/6、9/15、9/23、10/20 及民國 100 年 1/17、1/28，檢討該計畫合約中各項工作執行進度及內容，相關的會議記錄如附錄四所示。

本團隊除已完成環保署「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。同時也擴充該平台的「奈米技術 EHS 知識」項目下科普知識、最佳控制實務、名詞解釋及常見問題的相關資料，如附錄五所示。

本研究團隊並已於 99 年 11 月 10 日召開相關部會及產官學研專家研商會 1 場，瞭解國際上 EHS 整合議題的資料庫或知識庫建置情形，以及國內可行的作法，並形成書面報告"國際及台灣的奈米科技 EHS 資料庫"乙份，以確認適合納入環保署知識庫的相關知識源。會議記錄如附錄六所示，研商會書面報告"國際及台灣的奈米科技 EHS 資料庫"的內容如下：

環保署已建置三年之奈米科技 EHS 資料庫(2006-2008)，重點涵蓋奈米科技於環境應用面及衝擊面等相關資訊，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。本年度台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫(TaiNED, Taiwan Nanotechnology EHS Database)規劃資料庫網站的建置朝向以下三大目標：

- (一) 建立環保署、衛生署、勞工安全衛生研究所的共同奈米科技環境健康安全(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，加強英文內容並與國際接軌。
- (三) 增加本國奈米 EHS 的研究成果與國際交流的機會。

#### 一、國內外奈米科技 EHS 的知識源

關於國內外奈米科技 EHS 相關團體之奈米知識源，表 4.3 所示的環保署環境奈米科技知識平台的 26 個奈米科技 EHS 議題相關之知識源(廖，民國 98 年)，本年度的工作會持續整合過去三年的成果並納入規劃，其中 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](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。

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，期刊則涵蓋 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 等重要期刊。

表 4.3 奈米科技 EHS 議題相關之知識源(廖，民國 98 年)。

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)	1.具跨國性奈米科技工作小組 2.發展長期具延續性之奈米科技 EHS 議題之研究	EHS	官
	FP7-Framing Nano (歐盟第七期架構)	1.統整全歐盟區奈米科技政策之機構 2.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)	1.國際奈米科技應用風險控管政策	EHS	官、產
政府組織	USEPA-United States Environmental Protection Agency (美國環保署)	1.提供美國具體奈米科技 EHS 議題相關之政策及研究成果 2.白皮書及具參考價值	E	官
	NNI-The National Nanotechnology Initiative (美國奈米科技辦公室)	1.統整美國所有有關奈米科技的相關研究及政策	EHS	官
	SafeNano	1.英國收錄資料最豐富的奈米科技 EHS 議題網站	EHS	官
	國家型奈米科技計畫辦公室	1.我國奈米計畫主管機關	EHS	官
	Nanotechjapan	1.日本奈米科技 EHS 相關議題最大網站 2.線上雜誌	EHS	官、學
	NIOSH-The National Institute for Occupational Safety and Health (美國國家職業衛生安全研究所)	1.提供詳細的與奈米科技有關的美國職業安全政策	SH	官、產
	NIEHS-National Institute of Environmental Health Sciences (美國國家環境健康科學研究所)	1.美國環境健康安全報導	H	官

分類	知識源名稱	特色	議題屬性	潛在受惠者
學術研究單位	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)	1.跨學科的研究群 2.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
	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)	1. USEPA 及 NSF 最新贊助之研究中心 2. 以奈米物質應用對環境之影響最為研究重心	EHS	學
	CEINT-The Center for Environmental Implications of Nanotechnology (奈米環境中心)	1. USEPA 及 NSF 最新贊助之研究中心 2. 跨領域研究群	EHS	學
	ICON-International Council on Nanotechnology	1. 全球第一個奈米科技 EHS 議題資料庫 2. 產官學研資源同步整合 3. NNI 支持	EHS	產、官、學
	UW NSEC-Nanotechnology Risk Resources (威斯康辛大學-奈米中心)	1. 有關奈米科技 EHS 議題的期刊文獻資料庫	EHS	學
	LCN-London Centre for Nanotechnology (奈米科技倫敦中心)	1. 英國新成立的奈米科技研究中心	EHS	產、學
	工研院奈米中心	1. 國內奈米科技研發中心 2. 國內奈米科技相關研究最新報導及成果	EH	產、學
	綠色化學網路資源共享網	1. 國科會及中研院支持 2. 具綠色化學資料庫及毒理資料庫	EH	學
民間機構	Woodrow Wilson International Center for Scholars/PEN	1. 美國權威智庫組織 2. 聯合國奈米科技永續發展顧問	EHS	產、官、學
	Foresight Institute	1. 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
	NanoWerk	1. 「Spotlight」專區提供最新最即時的奈米科技相關報導	EHS	學
	Nanotechnology Now	1. 奈米科技新聞報導	EHS	學
	Nanotechweb.org/IOP	1. 奈米科技新聞報導	EHS	學
	NanoToday	1. 奈米科技新聞報導	EHS	學
	EHP-Environmental Health Perspective	1. 免費學術期刊	EH	學
	Nanotechnology Law Report	1. 提供奈米科技相關議題之法律文獻、報導及服務	EHS	產、學

ICON 網站及 PEN 網站收集的論文及報告完整，且搜尋功能強大，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 63 個研究計畫的期末報告及發表的 SCI 論文、專書及專利等共 359 篇(其中 300 篇為 SCI 論刊論文)，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。然而國內環保署現有的「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。若能結合國內環保署、勞委會、衛生署及國科會的國家奈米計畫成果及發表於 SCI 期刊的論文，再參考上述國外網站的作法，則可大幅改善目前的網站實用性及提高國際化的程度。

## 二、本國的台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫(TaiNED, Taiwan Nanotechnology EHS Database)

經過參考上述國外網站，及配合本國奈米科技 EHS 相關資源，本團隊提出台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫(TaiNED, Taiwan Nanotechnology EHS Database)，網站位置為 <http://ehs.epa.gov.tw/>，網站架構如下：

- (一) 首頁 (Home)
- (二) 關於資料庫 (About)
  - (1) 任務 (Mission)
  - (2) 奈米科技白皮書 (White Paper)
  - (3) 組織架構 (Organization)
  - (4) 加入我們 (Join Us)
  - (5) 聯絡我們 (Contact Us)

- (三) 最新消息 (Newsroom)
- (四) 研究計畫 (Projects)
  - (1) 委辦機關 (Sponsor)
  - (2) 研究領域 (Research Area)
  - (3) 暴露途徑 (Exposure Pathway)
  - (4) 微粒種類 (Particle Type)
  - (5) 暴露或危害之標的 (Exposure or Hazard Target)
  - (6) 文章種類 (Article Type)
  - (7) 風險暴露群 (Risk Exposure Group)
  - (8) 讀者分類 (Target Audience)
  - (9) 產生方法 (Generation Method)
- (五) 出版文獻 (Papers)
  - (1) 委辦機關 (Sponsor)
  - (2) 研究領域 (Research Area)
  - (3) 暴露途徑 (Exposure Pathway)
  - (4) 微粒種類 (Particle Type)
  - (5) 暴露或危害之標的 (Exposure or Hazard Target)
  - (6) 文章種類 (Article Type)
  - (7) 風險暴露群 (Risk Exposure Group)
  - (8) 讀者分類 (Target Audience)
  - (9) 產生方法 (Generation Method)
- (六) 公告 (Announcement)
  - (1) 法規 (Regulation)
  - (2) 政策 (Policy)
- (七) 活動訊息 (Events)
  - (1) 研討會 (Conference)
  - (2) 問卷填寫 (Questionnaire)
- (八) 奈米 EHS 知識 (Knowledge)
  - (1) 科普 (Basic Knowledge)
  - (2) 最佳控制實務 (Best Practice)
  - (3) 名詞解釋 (Glossary)
  - (4) 專家專訪 (Expert Interview)
  - (5) 常見問題 (FAQ)
- (九) 相關資源 (Resources)
  - (1) 國際組織 (International Organization)

- (2) 政府機構 (Government Institute)
- (3) 法人組織 (Corporate Body)
- (4) 學術研究 (Academic Research)

TaiNED 網站首頁架構畫面如圖 4.3 所示。

行政院環境保護署  
環境奈米科技知識平台

站內搜尋  
註冊 (登入知識庫) (進階搜尋)

繁體中文  
English  
網站地圖

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 相關連結 HELP

公告

8月10 環境中奈米微粒之細胞毒性研究

8月5 2009年「奈米科技之風險感知及政策研究」計畫

8月2 「奈米科技政策研究」計畫二(草案修正)

more

最新消息

99.08.12 「中學科學教師奈米學科知能專業成長研習」活動

99.08.12 2010全國奈米科技應用競賽

99.08.12 Taiwan Nano Exhibition

99.08.12 【成果發表會】99年度奈米國家型科技計畫成果發表會

99.08.12 【通過名單】99年奈米國家型科技計畫

more

訂閱/取消電子報

最新知識文件 熱門知識文件

2008環境中奈米物質量測及特性分析技術現階段10大知識缺口文章集 -1.大氣奈米微粒的物理化學特性。

2008環境中奈米物質量測及特性分析技術現階段10大知識缺口文章集 -2.大氣奈米微粒的物理化學特性。

2008環境中奈米物質量測及特性分析技術現階段10大知識缺口文章集 -3.大氣奈米微粒的物理化學特性。

2008環境中奈米物質量測及特性分析技術現階段10大知識缺口文章集 -4.大氣奈米微粒的物理化學特性。

2008環境中奈米物質量測及特性分析技術現階段10大知識缺口文章集 -5.大氣奈米微粒的物理化學特性。

more

關於知識分類

為本知識庫未來架構之重要參考網站。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

- 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

more

常見問題

- 如何使用本服務網站介面?
- 如何成為本網站會員與專家級會員?
- 忘記密碼?
- 如何發佈知識文件?

more

相關連結

- 奈米國家型科技計畫辦公室
- 行政院環境保護署
- 行政院衛生署
- 行政院勞工保險局
- 國家衛生研究院

more

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

© 2010 行政院環境保護署 10042台北市中正區中華路一段82號 總機：896 2 23117722 樂高聯繫窗口  
請使用IE5.0/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/xxx系統維護

圖 4.3 TaiNED 網站首頁架構畫面圖。

未來環境安全衛生資料庫以國內的研究成果為主題，含研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉，資料庫的主要分類規劃如下：(1)委辦機關；(2)研究領域；(3)暴露途徑；(4)微粒種類；(5)暴露或危害之標的；(6)文章種類；(7)風險暴露群；(8)讀者分類；(9)產生方法。詳細的資料庫分類細項(Database Category)規劃如下：

- (1) 委辦機關 (Sponsor)：

- a. 環保署 (Taiwan EPA)
  - b. 勞研所 (Taiwan IOSH)
  - c. 衛生署 (Taiwan DOH)
  - d. 國科會 (Taiwan NSC)
  - e. 奈米國家型計畫辦公室 (National Nanoscience and Nanotechnology Program)
  - f. 工研院 (ITRI)
  - g. 其他單位 (Other)
- (2) 研究領域 (Research Area) :
- a. 奈米科技的應用 (Nanotechnology Applications)
    - a1. 整治 (Remediation)
    - a2. 感測 (Sensors)
    - a3. 處理 (Treatment)
    - a4. 綠色生產 (Green Manufacturing)
    - a5. 綠色能源 (Green Energy)
    - a6. 其他 (Other)
  - b. 奈米科技對環境的影響 (Nanotechnology Implications in Environments)
    - b1. 氣膠 (Aerosol)
    - b2. 生命週期評估 (Life Cycle Assessment)
    - b3. 生態 (Ecology)
    - b4. 毒性 (Toxicity)
    - b5. 宿命與傳輸 (Fate and Transport)
    - b6. 環境暴露及控制 (Environmental Exposure and Control)
  - c. 奈米物質職業安全衛生 (Nanomaterial Occupational Health and Safety)
    - c1. 職業暴露評估 (Occupational Exposure Assessment)
    - c2. 職業暴露控制 (Occupational Exposure Control)
    - c3. 最佳控制實務與風險管理 (Good Practices and Risk Management)
    - c4. 火災與爆炸 (Fire and Explosion)
    - c5. 個人防護器具 (Personal Protective Equipment)
  - d. 奈米物質毒性 (Nanomaterial Toxicity)
    - d1. 體外實驗 (In Vitro)
    - d2. 體內實驗 (In Vivo)
    - d3. 生物標誌 (Biomarkers)
    - d4. 藥物動力學與藥效學 (Pharmacokinetics and Pharmacodynamics)
    - d5. 劑量選擇與特徵 (Dose Selection and Characterization)
  - e. 負責任的發展 (Responsible Development)
    - e1. 倫理法律與社會影響 (Ethical, Legal and Societal Implications)
    - e2. 法規與監督 (Regulations and Oversight)



- e3. 風險認知與溝通 (Risk Perception and Communication)
  - f. 風險評估與健康檢查 (Risk Assessment and Medical Surveillance)
    - f1. 風險評估方法 (Risk Assessment Methods)
    - f2. 風險管理 (Risk Management)
    - f3. 流行病學研究 (Epidemiological Research)
    - f4. 醫療篩檢與檢查 (Medical Screening and Surveillance)
    - f5. 暴露登記 (Exposure Registries)
  - g. 評論 (Commentaries)
- (3) 暴露途徑 (Exposure Pathway) :
- a. 皮膚/黏膜 (Dermal/Mucous Membrane)
  - b. 吸入 (Inhalation)
  - c. 注射 (Injection)
  - d. 多重途徑 (Multiple)
  - e. 口服/攝取 (Oral/Ingestion)
  - f. 其他/未指定 (Other/Unspecified)
- (4) 微粒種類 (Particle Type) :
- a. 碳 (Carbon)
  - b. 金屬 (Metal)
  - c. 多重奈米物質 (Multiple)
  - d. 有機/聚合物 (Organic/Polymers)
  - e. 環境奈米物質 (Environmental Nanomaterial)
  - f. 氧化物 (Oxide)
  - g. 半導體 (Semiconductor)
  - h. 其他/未指定 (Other/Unspecified)
- (5) 暴露或危害之標的 (Exposure or Hazard Target) :
- a. 水生生態系統 (Aquatic Ecosystem)
  - b. 大氣生態系統 (Atmospheric Ecosystem)
  - c. 哺乳動物 (Mammalian)
  - d. 多重系統 (Multiple)
  - e. 土壤生態系統 (Soil Ecosystem)
  - f. 工作場所 (Workplaces)
  - g. 其他/未指定 (Other/Unspecified)
- (6) 文章種類 (Article Type) :
- a. SCI / SSCI 期刊文章 (SCI / SSCI Journal Article)
  - b. 非 SCI / SSCI 期刊文章 (Non-SCI / SSCI Journal Article)
  - c. 會議論文 (Conference Article)
  - d. 回顧文章 (Review Article)
  - e. 專利及技轉 (Patent and Technical Transfer)
  - f. 報告 (Report)
  - g. 政策 (Policy)

- h. 其他 (Other)
- (7) 風險暴露群 (Risk Exposure Group) :
  - a. 消費者 (Consumers)
  - b. 生態環境 (Ecosystem)
  - c. 一般居民 (General Population)
  - d. 工業/研究作業員 (Industrial/Research Worker)
  - e. 其他/未指定 (Other/Unspecified)
- (8) 讀者分類 (Target Audience) :
  - a. 技術研究者 (Technical Research)
  - b. 一般民眾 (General Public)
  - c. 公共政策 (Public Policy)
  - d. 其他 (Other)
- (9) 產生方法 (Generation Method) :
  - a. 工程/人造 (Engineered)
  - b. 非故意發生的 (Inadvertent)
  - c. 兩者皆是 (Both)

為方便專家及學者上傳研究成果至資料庫，及使用者利用資料庫的搜尋功能及搜尋結果的展示，以下為本團隊規劃 TaiNED 網站國內各奈米研究機構的研究計畫(Projects)上傳時的必填欄位：

1. 計畫年度 (Project year)
2. 出版日期 (Published date)
3. 委辦機關 (Sponsor institute)
4. 計畫經費屬性或來源 (Grant source)
5. 計畫經費編號 (Project number)
6. 計畫經費名稱 (Project name)
7. 計畫主持人 (PI)
8. 共同計畫主持人 (Co-PI)
9. 執行機構 (Executive institute)
10. 計畫摘要 (Project abstract)
11. 計畫報告連結 (Link of full report)
12. 資料庫分類 (Database category)
13. 發表的文獻及專利 (Published articles and patents)
14. 上傳者 (Upload by)

TaiNED 網站國內各奈米研究機構的研究計畫上傳畫面如圖 4.4 所示。

行政院環境保護署  
環境奈米科技知識平台

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 相關連結

研究計畫上傳

上傳者: 王煥文

計畫年度:

出版日期:

委辦機關: 環保署

計畫經費屬性或來源:  是  否

計畫經費帳號:

計畫經費名稱(中文):

計畫經費名稱(英文):

計畫主持人(中文):

計畫主持人(英文):

共同計畫主持人(中文):

共同計畫主持人(英文):

執行機構(中文):

執行機構(英文):

計畫摘要(中文):

計畫摘要(英文):

計畫報告連結:

計畫報告上傳:  瀏覽...

發表的文獻及專利連結:

資料庫分類

研究領域		
奈米科技的應用	奈米科技對環境的影響	奈米物質職業安全衛生
<input type="checkbox"/> 製冷 <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	<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
奈米物質毒性	風險評估與健康檢查	負責人的職業
<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"/> 管理評估與檢查 <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		
委辦機關	風險暴露群	暴露途徑
<input type="checkbox"/> 環保署 <input type="checkbox"/> 勞研所 <input type="checkbox"/> 衛生署 <input type="checkbox"/> 國科會 <input type="checkbox"/> 奈米國家型計畫辦公室 <input type="checkbox"/> 工研院 <input type="checkbox"/> 其他單位	<input type="checkbox"/> 消費者 <input type="checkbox"/> 生態環境 <input type="checkbox"/> 一般國民 <input type="checkbox"/> 工業/研究作業員 <input type="checkbox"/> 其他/未指定	<input type="checkbox"/> 皮膚/黏膜 <input type="checkbox"/> 吸入 <input type="checkbox"/> 注射 <input type="checkbox"/> 多重途徑 <input type="checkbox"/> 口服/攝取 <input type="checkbox"/> 其他/未指定
微粒種類	暴露或危害之標的	文章種類
<input type="checkbox"/> 碳 <input type="checkbox"/> 金屬 <input type="checkbox"/> 多重奈米物質 <input type="checkbox"/> 有機聚合物 <input type="checkbox"/> 環境奈米物質 <input type="checkbox"/> 氧化物 <input type="checkbox"/> 半導體 <input type="checkbox"/> 其他/未指定	<input type="checkbox"/> 水生生態系統 <input type="checkbox"/> 大氣生態系統 <input type="checkbox"/> 哺乳動物 <input type="checkbox"/> 多重系統 <input type="checkbox"/> 土壤生態系統 <input type="checkbox"/> 工作環境 <input type="checkbox"/> 其他/未指定	<input type="checkbox"/> SCI/SSCI期刊文章 <input type="checkbox"/> 非SCI/SSCI期刊文章 <input type="checkbox"/> 會議論文 <input type="checkbox"/> 回顧文章 <input type="checkbox"/> 專利及技轉 <input type="checkbox"/> 報告 <input type="checkbox"/> 政策 <input type="checkbox"/> 其他
產生方法	讀者分類	
<input type="checkbox"/> 工程/人造 <input type="checkbox"/> 非故意發生的 <input type="checkbox"/> 兩者皆是	<input type="checkbox"/> 技術研究者 <input type="checkbox"/> 一般民眾 <input type="checkbox"/> 公共政策 <input type="checkbox"/> 其他	

送出

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

© 2019 行政院環境保護署 10042台北市中正區中華路一段92號 總機：896-2-27117722 業務聯繫窗口  
請使用IE5.0/Firefox3.0以上版本，解在度1024x768螢幕解析度最佳網頁瀏覽環境/xxx系統維護

圖 4.4 TaiNED 網站國內各奈米研究機構的研究計畫上傳畫面圖。

國內各奈米研究機構的出版文獻(Papers)上傳時的必填欄位亦規劃如下：

1. 文章標題 (Article title)
2. 出版年月 (Published year/month)
3. 文獻摘要超連結 (Link of abstract)
4. 摘要 (Abstract)
5. 資料庫分類 (Database category)
6. 文章出處 (Source)
7. 作者 (Author)
8. 卷號 (Volume)
9. 頁碼 (Pages)
10. 全文超連結 (Link of full article)
11. 委辦機關 (Sponsor institute)
12. 上傳者 (Upload by)

TaiNED 網站國內各奈米研究機構的出版文獻上傳畫面如圖 4.5 所示。

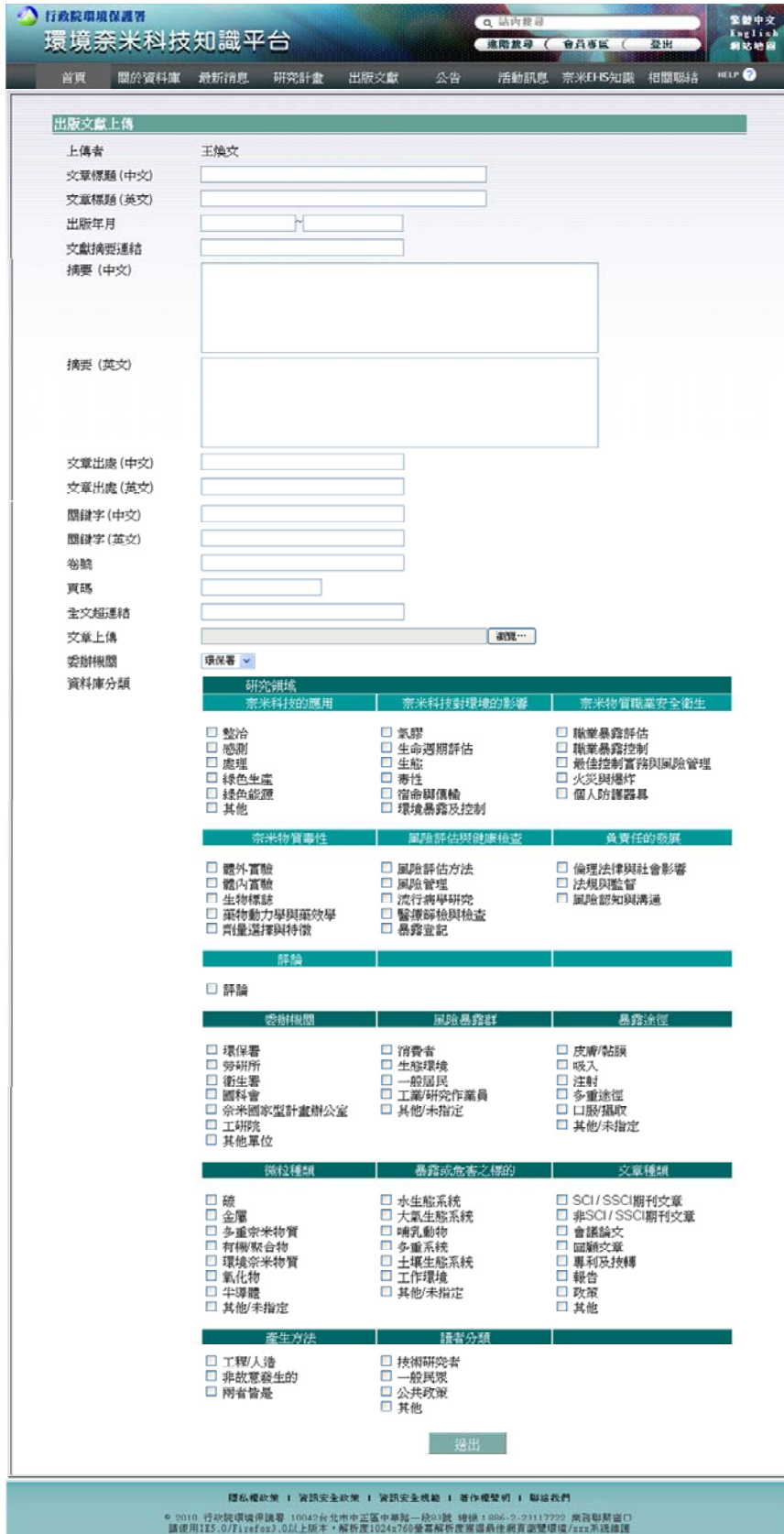


圖 4.5 TaiNED 網站國內各奈米研究機構的出版文獻上傳畫面圖。

### 三、TaiNED 網站之預期效益

本資料庫網站建置完成後，對於推動負責任的奈米科技發展將有下列幾項預期效益：

- (一) 可宣示我國各部會的負責任的奈米科技發展研究成果，供國內外利益相關者參考。
- (二) 可以促成奈米 EHS 的國際交流。
- (三) 有助於跨部會的奈米 EHS 議題合作及奈米科技風險管理。
- (四) 提昇國人的奈米 EHS 議題的認知並作好風險管理工作。

## 4.4 以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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

### 4.4.1 完成環保署現有奈米科技立場文件之更新並與國際互動

本計畫參考了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、過去的研究成果及國內各單位的分工協調情況，修正了「環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫」中英文文件(中文版如附錄八所示，英文版如附錄九所示)，大綱包括前言、世界各國及組織的奈米技術 EHS 議題發展進況、環保署環境奈米科技執行成果 - 2003~2010 年間的主要成果、環保署執行環境奈米科技立場 - 2011 年國家型奈米計畫環境議題的規畫、結語等項目，並於 100 年 1 月 28 日在環保署舉行了國內專家研商會，作成了具體的結論及建議，委員的審查意見及回覆情形如本報告附錄十所示。會後本計畫提出 2011 年的環境奈米計畫優先發展項目如下：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 汙染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。

### 4.4.2 舉辦論壇及實際推動學習型組織之知識建構活動

本計畫已於 99 年 12 月 16 日在台大集思會議中心蘇格拉底廳舉辦「2010 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，議程如表 3.4 所示。此次論壇共吸引產、官、學、研各界共 156 人報名參加(含政府/法人團體：58 位，學校：74 位，公司/個人：24 位)，134 人出席參與討論，並邀請國內產官學研各界專家學者與會口頭報告及發表論文共十篇，論文並編輯成冊提供與會貴賓參考。會議論文集已上傳至知識平台及永續發展室網頁提供大眾下載閱讀，讓不克參與論壇之各界先進也可獲得相關會議資訊。會議通知單、報名表、出席人員簽到單、會議論文集封面及目錄，詳見附錄十一。

### 4.4.3 持續舉辦平台上討論，做出對政府及業界有實質的影響及貢獻之建議，推廣作法及構想

本計畫也於 facebook 成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，如圖 4.6 所示，以強化國內奈米 EHS 的社群討論工作，至今加入本粉絲團的人數為 88 人。粉絲團有 4 個討論區提供各界在平台上進行討論，討論區的議題分別為

認知風險研究—奈米微粒的毒性評估、法規政策架構—奈米科技法律資訊及奈米科技的政策與管理、優良管理實務—奈米物質 EHS 危害評估及作業人員管理，及呼吸防護具—3M N95 口罩之實用性。本粉絲團也提供「奈米技術 EHS 知識」的科普知識、最佳控制實務、名詞解釋及常見問題的相關資料，加強奈米技術的風險認知及溝通。

The screenshot displays the Facebook interface for the group '台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用'. The top navigation bar includes 'facebook', a search bar, and links for '首頁', '個人檔案', '尋找工具', and '帳號'. The group's cover image features the NAPAL logo. Below the cover, there are tabs for '塗鴉牆', '資料', '網誌', '討論區', '相片', and '轉貼連結'. The main content area shows several posts, including a post from the National Health Research Institutes (NHRI) about a global information network, a post from NCU about nanotechnology research, and a post from SRC about nanotechnology centers. The right sidebar contains advertisements for 'Frontier Bounty', '網頁版三國志', '恐龍入侵中正紀念堂?', and '專屬寵物系統'.

圖 4.6 「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團首頁。

#### 4.4.4 完成我國環境奈米科技二位研究學者或經營管理人員英文訪問報導

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 99 年 10 月 21 日完成訪問清華大學化學系凌永健教授，及 99 年 11 月 2 日完成訪問國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任，訪問稿並以中英文方式呈現。以下為兩

位教授訪談中文整理結果。有關凌教授的英文訪問報導，請參見附錄十二。楊主任的英文訪問報導，請參見附錄十三。

## 凌永健教授訪問報導

### 一、訪問目的

凌教授係美國佛羅里達州立大學博士，現今服務於國立清華大學化學系，多年來致力於綠色化學製程發展，其領域包含奈米材料、光觸媒、材料與生物分析、環境分析以及食品與藥物分析。凌教授曾榮獲多項獎項，其中包含：2010年環檢貢獻獎、2009年學術類二等環境保護專業獎章以及1992年教育度所頒發教育部大學暨獨立學院教學特優教師，顯示凌教授不僅在於研究方面有傑出表現，教學方面業不留餘力傾囊相授。藉由本次訪問機會，希望能請教凌教授在奈米科技環境健康安全(nano-EHS)的研究進展及作意見交換。

### 二、採訪方式

面訪

### 三、採訪時間

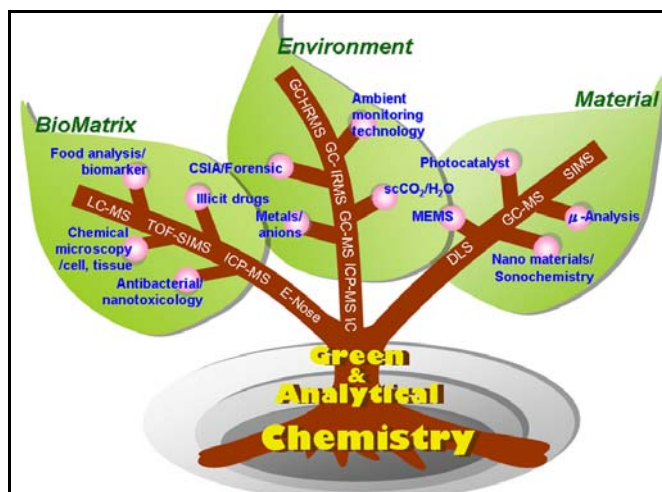
2010年10月21日

### 四、採訪內容

#### 1. 凌教授您的實驗室命名為「綠色質譜實驗室」，是否可請凌教授與讀者分享您的研究團隊近年來研究方向、研究重要成果及其影響？

「綠色質譜實驗室」(Green Chemistry and Mass Spectrometry Analytical Laboratory)以綠色化學和分析化學為基礎，應用質譜為主的分析工具，應用在生物基質、環境、和材料領域上。筆者實驗室近年來投入綠色化學領域之動機，因應管末處理環境問題，無法有效完全解決，因此投入從源頭謀求解決方案之綠色化學領域。以尖端奈米化學為主要研究對象和工具，輔以永續概念的深化，結合兩者的優點並加速擴展其研發應用，促使永續思維之"綠色化學"(對環境友好的化學過程，利用化學技術與方法，減少或排除有害物質在製作過程中的使用與產生。綠色化學之最終目的，為期能以上述之化學方法，達到人類永續生存之目標。)和仿生精製之"奈米化學"(結合構建基塊之表面、大小、形狀，和缺陷相關的屬性進行合成及自組裝化學，及其產品在化學與物理、料科學與工程、生物和醫學的相關應用。)成為可能。





綠色奈米化學(履行綠色化學原則於奈米化學，以提昇奈米化學的永續性。)研究，於 10 年前開始，早期的研究以研發綠色化學製備奈米材料，重要成果如：(1) 利用超臨界水製備碳奈米管柱(2002 年 Opening and thinning of multiwall carbon nanotubes in supercritical water)、及銀奈米粒子(2003 年 Silver nanoparticles spontaneous organize into nanowires and nanobanners in supercritical water)迄今分別被引用 26 及 25 次；(2) 簡易熱解法製備及鑑定氧化鋅奈米粒子(2003 年 Simultaneous thermogravimetric analysis and in situ thermo-Raman spectroscopic investigation of thermal decomposition of zinc acetate dihydrate forming zinc oxide nanoparticles、2004 年 In situ thermo-TOF-SIMS study of thermal decomposition of zinc acetate dihydrate) 迄今分別被引用 21 及 15 次；後續拓展到應用研究，成果如：(3) 生醫應用研究，透過國科會千里馬計畫，送博班生到美國佛羅里達大學化學系 Tan 教授實驗室製備新穎材料，以生醫應用為導向，完成金奈米棒作生物辨識研究(2005 年 Oriented assembly of Au nanorods using biorecognition system)，迄今被引用 90 次；目前研究朝向藉由表面化學修飾，結合目標生物及藥物分子至奈米級石墨烯氧化物，製備新穎的多功能奈米材料，目的為兼具診斷及治療之成像探針。(4) 奈米氧化鋅研究，起於研發波震盪法製備奈米氧化鋅抑菌紙(2006 年 Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study)，迄今被引用 33 次，為英國皇家化學會的綠色化學 (Green Chemistry) 網站 2006 年 10 大選讀論文之一，以此為基礎，與以色列巴依蘭大學化學系 Gedanken 教授進行合作交流。目前與臺北醫學大學合作著手評估氧化鋅奈米粒子對於皮膚細胞之毒性影響，透過系統性的生化、化學、材料分析，探討因果關係。(5) 磁性奈米材料之研究：主要應用於檢測監測，如在線前處理/實驗室閥系統連線感應耦合電漿質譜儀分析環境與生物樣品中微量金屬 (2009 年 Magnetic nano-adsorbent integrated with lab-on-valve system for trace analysis of multiple heavy metals)，迄今被引用 6 次，磁性氧化鐵奈米粒子及碳奈米管柱混成物作為氣體吸附劑(2010 年 Synthesis of a hybrid material consisting of magnetic iron-oxide nanoparticles and carbon nanotubes as a gas adsorbent)。目前在研發奈米級還原型石墨烯氧化物之綠色製備方法，作為移除水體中六價鉻用。實驗室迄今的研究成果，說明綠色奈米化學研究深具挑戰性，研發成果及價值豐碩，永續原則思維可以作為國內建立新興奈米科技之參考。

2. 請問以凌教授對於奈米科技環境健康安全(nano-EHS)相關領域研究之經驗了解，您對於目前國際上奈米科技環境健康安全(nano-EHS)趨勢有何看法？台灣應該如何因應？

世界先進國家在和資助推廣奈米科技的正面價值，同時也注意其潛在的負面效應。如美國德州萊斯大學之生物和環境奈米技術中心(Center for Biological and Environmental Nanotechnology)，為國家科學基金會(NSF)建立的第6個奈米科技中心，2001年起開始研究奈米微粒對環境的影響。2003年起美國國家毒理計畫(NTP)下的奈米材料研究目的之一為指導奈米材料工業確定生物相容性、毒性等關鍵參數。研究重點包括單壁奈米碳管、二氧化鈦、量子點及富勒烯，相關之皮膚暴露途徑等的慢性、一般、亞急性、和急性毒性。在同一年，美國NIOSH發表「化學工業研究與發展奈米材料規劃圖：從基礎到功能」白皮書，呼籲美國化學公司開展空前的合作與協作，以促進奈米化學工業的長期繁榮，並強調環境、健康和安全的知識是其重要的組成部分。美國環保署於2005年提出「奈米科技白皮書」，指出奈米物質之化學鑑識和特性分析、環境宿命、環境偵測和分析、潛在釋放和人體暴露、人體健康效應評估、生態效應評估、環境技術應用等相關研究，以及風險評估皆為應優先推動的重要研究課題。

歐盟之歐洲行動計畫「奈米科學與奈米科技：2005-2009」，以第7回框架方案(7th Framework Program)為基礎，大幅增加歐盟境內的相關研究、技術開發支援等奈米科技相關預算。行動相當重視奈米材料對人體健康與環境影響的研究，要求參與單位於研究時全程進行有關健康、安全、環境的風險評估。

日本於2003年推動「促進社會接納奈米科技調查研究」計畫，從科學的觀點，針對奈米科技所帶來之健康、環境影響、倫理等問題進行研究，以解除社會對新技術所感到的不安，進而促進奈米科技健全且負責任之發展，並彙整社會在接納新技術的過程中所產生的問題，提供改善方案。

我國行政院於2005年產業科技策略會議，議題壹、便利新科技中的子題三、奈米科技生活應用的策略討論題綱二：促進奈米科技健全發展，結論：由於奈米材料，對自然環境與生物體健康還有很多未知的影響，因此在機會與風險上均須取得平衡發展。為促進奈米科技健全的發展，因此必須建立奈米技術產業規範，以負責任的態度，來進行奈米科技的發展。環保署環檢所於上月(2011年1月)舉辦21週年所慶研討會時，參考美國環保署的新興污染物分類及規劃，前瞻性規劃將奈米物質新興污染物的環境檢測納入未來的工作挑戰。

國際標準組織於去年(2010年)發佈「ISO 10808:2010,奈米技術-特性分析吸入暴露容器中奈米粒子的吸入毒性測試(ISO 10808:2010, Nanotechnologies – Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing)」，目的之一為保證全世界在建立吸入毒性的測試結果之可靠性和一致性。歐盟食品安全局的科學委員會於上月(2011年1月)剛公告「食品和飼料中使用奈米科學和奈米技術產生的潛在風險之風險評估指引」(Guidance on risk assessment concerning potential risks arising from applications of nanoscience and nanotechnologies to food and feed)草案，徵詢公眾諮詢。個人以為國際上奈米科技環境健康安全(nano-EHS)議題，大體上仍藉助傳統之生命週期及風險評估等工具，檢測監測奈米材料需藉助粒徑大小、粒徑分布、微區分析、表面分析、形像分析、

物種分析等新興工具和方法，保證樣品不會聚集而得到代表性樣品之採樣方法，皆非常欠缺，各類環境中奈米材料的採樣及檢測方法是目前台灣應積極投入研究方向之一。

### 3. 對於台灣奈米環境健康安全(nano-EHS)往後相關研究及政策，凌教授有何建議？

個人非常同意環保署在國家型奈米計畫環境議題中採取之全球資源共享和以創新領先代替迎頭趕上之策略，達到建構具有知識基礎的負責任奈米技術，充分發揮奈米利基研發具有環境效益的創新應用科技。如同上述，國內相關部會開始重視奈米科技環境健康安全議題，然在追趕歐美先進國家的水準時，個人以為定期審視國內奈米科技相關產業類別、供應及需求鏈、學研單位，透過例行性座談或討論會，廣邀產官學研人員，討論原物料來源、供應、使用、中間產物/副產物、產品、排放物、廢棄物、最終處置、乃至環評等問題，有助於國內展開系統性、本土性、利基性的奈米科技環境健康安全之調查、評估與研究。奈米型國家計畫宜參考國際先進國家作法，編列一定比例如 5%的經費於 EHS 議題，並要求參與單位於研究時全程進行有關健康、安全、環境的風險管理，開始落實 nano-EHS。

### 4. 最後，請凌教授是否可以對年輕學者投入奈米科技環境安健康全(nano-EHS)研究說幾句話？

「奈米科技環境健康安全」研究範圍廣泛，學術挑戰性高，實務影響性深遠，透過跨領域多元化合作研究，較易有突破性研究成果。對於欲投入此一研究領域年輕學者，個人建議剛起步時，以自己的專業領域互補研究團隊成員專長，在相互合作學習中，可以掌握到關鍵課題，熟悉國內研究資源，再進入自己專業貢獻較多的前瞻性研究，可以早日得到優良研究成果。除此之外，從學研界出發，積極參與產官界互動，可以開啟另一視窗，進行實務性研究。

## 楊重熙主任訪問報導

### 一、訪問目的

楊主任係美國賓州州立大學博士，現今服務於國家衛生研究院奈米醫學研究中心，多年來致力於奈米科技在生物醫學的應用。藉由本次訪問機會，希望能請教楊主任在奈米科技環境健康安全 (nano-EHS) 的研究進展及作意見交換。

### 二、採訪方式

面訪

### 三、採訪時間

2010 年 11 月 2 日

### 四、採訪內容

#### 1. 是否可請楊主任與讀者分享您的研究團隊近年來研究方向、研究重要成果及其影響？

國衛院奈米醫學研究中心於 2004 年成立，主要任務為推動奈米在生醫之應用

與研究，主要研究方向為(1)奈米粒子於生物體之安全性評估；(2) 奈米科技於醫學之研究與應用；(3) 奈米科技於活體偵測與分子醫學影像之研究與應用；(4) 奈米材料智慧型複合載體的開發與在生物醫學上的應用。

首先，於奈米粒子於生物體之安全性評估領域中，規劃包括研究性及規範性兩方向。跨組研究團隊針對半導體奈米晶體 (semiconductor nanocrystal, 俗稱量子點, quantum dots, QDs) 及多款常見奈米粒子，如氧化鋅(zinc oxide), 二氧化鈦(titanium dioxide)，進行一系列細胞及活體動物毒理、基因體學、奈米安全性及藥物動力學等研究。本部份已有多項突破性之學術成果產出刊登於國際重要期刊及專書發表；如 *Environmental Health Perspectives*, *Environmental Science and Technology*, *Nanotechnology*, *Nanotoxicity*。第二部份，研究團隊完成了世界上第一部的奈米粒子暴露腔實驗系統 (nanoparticles exposure chamber system, NECS)，可模擬一般環境奈米粒子暴露參數及指標，目前已成功取得台灣/美國專利與非專屬技術授權由我國廠商嘗試小規模試量產計畫，所建立的安全性評估流程，可因應未來奈米相關產業的需求及奈米規範訂定參考。最後，奈米中心亦進行奈米科技在環境、健康與安全之跨部會 (環保署、衛生署、勞委會) 跨領域整合研究、積極參與國際奈米標準訂定組織(ISO TC229)會議與整合國內奈米標準訂定如：奈米標準技術諮議會之成立、奈米標章制定審議會等。我們期望以過去國內累積相當之學術研發能量作為未來國內奈米科技相關法規訂定之基礎，讓標準的訂定與國際同步，建構資訊分享與交流平台，促進國內奈米產業加速發展。

關於奈米科技於醫學之研究與應用領域中，規劃包括奈米科技在癌症醫學之研究與應用與奈米科技在幹細胞醫學之研究與應用兩方向。主要以奈米科技為基礎開發新型癌症醫學治療及幹細胞追蹤應用等研究，本部份亦有多篇重要學術成果刊登於國際重要期刊，未來本部份之相關研究將進一步進行完整專利佈局，進行技術轉移與規劃與推動藥物的新藥臨床研究(Investigational New Drug, IND)申請，以裨我國生醫產業發展。

最後，中心著重於奈米科技於活體偵測與分子醫學影像之研究與應用與奈米材料智慧型複合載體的開發與在生物醫學上的應用領域中。主要規劃包括(1) 研發具備多重功能(控制釋放/診斷/治療/追蹤)之新式複合型奈米劑型開發、(2)研發新型奈米粒子與開發其在生物醫學之應用。研究團隊主要利用高能量射源(微波、同步幅射、中子照射等)進行創新奈米金粒子製程開發與其在生物醫學應用。本部份亦有多篇重要學術成果刊登於國際重要期刊與多篇專利產出，未來期望進一步推向臨床試驗及轉化為產業的競爭力。

**2. 請問楊主任對於奈米科技環境健康安全(nano-EHS)相關領域研究之經驗了解，您對於目前國際上奈米科技環境健康安全(nano-EHS)趨勢有何看法?台灣應該如何因應?**

根據最近的一些估計，全球與奈米微粒有關之商業金額約達 300 億美元，而在不久的將來可能會超過 1 兆美元；目前與奈米有關之消費性商品已超過 1000 項，而自 1990 年到 2006 年，與奈米相關的專利註冊案件呈現指數上升的趨勢。奈米微粒的應用範圍非常廣泛，舉凡藥物傳遞與標的、醫學成像、材料科學、能源與照明、水與空氣過濾器、化學或生物製劑之傳感器、環境中有害化學物質之清理技術等，皆是我們日常生活中會接觸與暴露到的奈米微粒。然而這些我們生活普遍使用的奈米微粒物品，我們卻無法明確定義奈米粒子物理化學特性及鮮少

了解這些奈米微粒的長期健康效應。

國際奈米技術委員會(Technical Committee-TC229)是 2005 年新成立的 ISO 技術委員會，近 5 年來積極制定相關領域的標準規範。其中工作小組 1&2(JW1&JW2) 主要工作在奈米材料的術語及命名及量測與特性分析。工作小組 3&4(JW3&JW4) 就健康、安全、與環境與材料特性制定規範。目前已經對於八項基本特性參數達成共識，分別是組成成分(composition)、溶解度/分散度(solubility/dispersibility)、粒徑/粒徑分布(size/size distribution)、形狀(shape)、聚合/團集狀態(aggregation/agglomeration state)、表面積(specific surface area)、表面電性(surface charge) 與表面化學(surface chemistry) 的描述。而安全評估的規範也逐漸成形中。

我國的因應策略在於盡快整合政府各部會資源，以便進行協調性的架構建置。例如：我國在推動奈米風險管理的議題上，已成立台灣奈米標準技術諮議會、及推動奈米標章等。我們如能預先瞭解奈米科技的風險，訂出相關法規及標準，對奈米科技未來發展的經濟效應，將具有非常大的貢獻。參考由工研院 99 年制定之台灣奈米科技發展風險管理評析白皮書，台灣可加強於(1)奈米粉體風險管理；(2) 推動低暴露奈米材料製程環境；(3)選擇國際合作對象；(3)定期建立奈米風險國際對話；(4)奈米材料自願性申報；(5)奈米材料或相關產品標示等列為重點努力方向。

### 3. 對於台灣奈米環境健康安全(nano-EHS)往後相關研究及政策，楊主任有何建議？

在基礎建置上，國內奈米科技環境健康安全(nano-EHS) 相關研究及政策主要由勞委會-環保署-衛生署分工負責，以協助我國奈米技術相關產業與國際標準相銜接及推動國內奈米產業發展。但我們觀察國際現實狀況，歐盟及美國這兩大經濟體早已從經濟層面來處理 EHS 問題，透過奈米的 EHS 的規範來提高自己國家的經濟實力或是建立隱性的貿易障礙以提高對商品出口國的貨品品質管制，我國應該面對這個現實狀態，由經濟部及其所屬標準檢驗局主導政策建立，如此現有的 EHS 研究成果才會有真正落實應用的一天。

### 4. 最後，請楊主任是否可以對年輕學者投入奈米科技環境安健康全(nano-EHS)研究說幾句話？

奈米科技為一結合物理、化學、材料及醫學之跨領域新興科技，年輕學者可積極培養多面向的研究興趣及嘗試發揮垂直整合之能力，希望能夠在進行奈米科技的研究時顧及到整體的 EHS 觀點，共同奠定及提昇我國在奈米醫學之研究基礎與國際競爭力。

## 4.5 協助奈米群組計畫計畫管理及績效成果彙整

本計畫回顧環保署在 2003 - 2010 年的國家型環境奈米計畫的主要成果，並已完成「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」專文乙篇(如附錄十四所示)，可作為環保署推動環境奈米計畫的參考，文章的大綱包括：環保署在 2003-2010 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，並於 100 年 2 月 14 日在環保署舉行了國內專家座談會，委員的審查意見及回覆情形如本報告附錄十五所示。會中討論環境奈米科技的未來發展方向有：

(一) 奈米物質的物理化學特性，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：影響宿命、傳輸、生態毒性和體內外毒性的測試結果。

- (二) 跨部會的合作，包括 EHS 資料庫平台，法規架構、及奈米產業發展。目前勞委會進行流病調查及職場的暴露評估，衛生署、國科會及國家奈米計畫進行體外及體內的毒性測試。
- (三) 跨領域的合作，包括友善環境奈米技術—環工、化工、材料及化學等領域；毒性測試平台—環工、生物、公衛及化學等領域；監測檢測技術—環工、生物及化學等領域。
- (四) 法規架構。由於奈米法規涉及國內的各個單位，國家應投入資源，作法規的檢討與整合，包括環保署、勞委會、衛生署、國科會、工研院、工業局、教育部等。

#### 4.6 配合奈米國家型計畫辦公室，協辦年度台灣奈米科技展，代表環保署支援相關工作及支出展出經費

本團隊已於 99 年 10 月 7~9 日在台北世貿一館協助環保署參展「2010 台灣奈米科技展」，共計支援 3 天 10 人次。由本團隊支援協助現場講解工作的環保署攤位，會後並獲得大會頒發「最佳展出獎」，與衛生署、勞研所共同分享此榮譽。大會頒獎典禮照片如圖 4.7 所示。



圖 4.7 「2010 台灣奈米科技展」最佳展出獎頒獎。

## 第五章 結論及建議

本計劃的研究成果可歸納成以下幾項結論及建議。

### 5.1 結論

1. 本研究收集整理世界上主要先進國家與組織的奈米技術 ESH 法規，結果發現 OECD 各會員大都有奈米物質的註冊、評估和管理法規，美國透過 TSCA 執行奈米物質的 PMN 及 SNUR 管制，歐盟利用 REACH 制度全面管制奈米物質及其相關產品。
2. 根據 OECD 針對現有的化學物質對生物毒性測試標準規範的文獻回顧結果可知，由於工程奈米物質的許多物理化學特性與一般化學物質不同，現有的規範需經過修改才可應用在生物毒性測試上。
3. 根據 OECD 工程奈米物質工作小組的年度報告指出，第一期計畫由 2007 年到 2008 年間的第一階段已完成 14 個代表性工程奈米物質的優先名單，以及測試終點的項目表與參與國家的分工。第二階段（2009-2012）則是執行代表性工程奈米物質的測試終點的檔案發展計畫。
4. 有些奈米物質雖然在正常的使用下，其粒徑尺寸為奈米級，但是當這些材料進入至水環境中，卻立即聚集成大顆粒，形成非奈米級顆粒。因此，未來可藉由奈米物質進入環境後之易團聚與否，來規範奈米物質之危害潛勢的等級。
5. 國內在奈米相關之研究仍集中於奈米物質、奈米生醫、奈米技術、奈米科學等實用性與基礎科學方面之研究為主，對於奈米物質在環境中流佈、傳輸與宿命等環境安全議題的研究僅佔極少數。
6. 本計劃已協助環保署將「環境奈米科技知識平台」擴充為「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，建立環保署、衛生署、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。
7. 本研究提出環保署 2011 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目規畫如下：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 污染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。
8. 本團隊已於 facebook 成立粉絲團，粉絲團名稱為「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」，未來可透過此粉絲團加強對不同利益相關者對奈米技術的認知與溝通。
9. 針對環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展，本計劃提出環境奈米科技的未來可發展的方向有：奈米物質的物理化學特性、跨部會的合作、跨領域的合作及法規架構等。

### 5.2 建議

1. 呼吸毒性暴露腔的奈米微粒特性分析、奈米粉體的揚塵測試、作業場所的奈

米微粒污染源逸散測試、作業場所的奈米微粒暴露評估方法，奈米微粒計數器的校正及奈米技術實驗室的最佳控制實務等，均值得國內相關學術及研究單位再進行研究，以制定相關的標準及指引並加以推廣執行。

2. 奈米技術 EHS 有關的 ISO 標準及 OECD 的指引已發表很多，國內相關單位及學術單位可以多加參考，以研擬正確的研究方向及制定相關的標準及指引。



## 第六章 參考文獻

- Aamm, B. B., Fonnum, F. (2007). Carbon black particles increase reactive oxygen species formation in rat alveolar macrophages in vitro, *Arch. Toxicol.*, 81: 441–446.
- Ahamed, M., Posgai, R., Gorey, T. J., Nielsen, M., Hussain, S. M., Rowe, J. J. (2010). Silver nanoparticles induced heat shock protein 70 oxidative stress and apoptosis in *Drosophila melanogaster*, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 242: 263–269.
- Asharani, P. V., Wu, T. L., Gong, Z., Valiyaveetil, S. (2008). Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models, *Nanotechnology*, 19: 255102.
- Australian Academy of Science (2008). Nanotechnology-taking it to the people. Putting nanopowders to work. NOVA: Science in the News. (<http://www.science.org.au/nova/089/089box01.htm>).
- 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.
- Belyanskaya, L., Manser, P., Spohn, P., Bruinink, A., Wick, P. (2007). The reliability and limits of the MTT reduction assay for carbon nanotubes–cell interaction, *Carbon*, 45: 2643–2648.
- Benn, T. M., Westerhoff, P. (2008). Nanoparticle silver released into water from commercially available sock fabrics, *Environ Sci Technol.*, 42: 4133–4139.
- Bermudez, E., Mangum, J. B., Wong, B. A., Asgharian, B., Hext, P. M., Warheit, D. B., Everitt, J. I. (2004). Pulmonary responses of mice, rats, and hamsters to subchronic inhalation of ultrafine titanium dioxide particles, *Toxicol Sci.*, 77: 347–357.
- Blickley, T. M., Green, P. M. (2008). Toxicity of aqueous Fullerene in adult and larval, *Fundulus Heteroclitus*, 27: 1964–1971.
- Bottini, M., Bruckner, S., Nika, K., Bottini, N., Bellucci, S., Magrini, A., Bergamaschi, A., Mustelin, T. (2006). Multi-walled carbon nanotubes induce T lymphocyte apoptosis, *Toxicol Lett.*, 160: 121–126.
- Boundy, M., Leith, D., Polton, T. (2006). Method to evaluate the dustiness of pharmaceutical powders, *Ann. Occup. Hyg.*, 50, No.5.
- Brandenberger, C., Rothen-Rutishauser, B., Blank, F., Gehr, P., Muhlfeld, C. (2009). Particles induce apical plasma membrane enlargement in epithelial lung cancer cell line depending on particle surface area dose, *Respir. Res.*, 10: 22.
- Brandenberger, C., Rothen-Rutishauser, B., Muhlfeld, C., Schmid, O. Ferron, G. A., Maier, K. L., Gehr, P., Lenz, A. G. (2010). Effects and uptakes of gold nanoparticles deposited at the air-liquid interface of a human epithelial airway model, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 242: 56–65.
- Braydich-Stoll, L., Hussain, S., Schlager, J., Hofmann, M. C. (2005). In vivo cytotoxicity of nanoparticles in mammalian germline stem cells, *Toxicol. Sci.*, 88: 412–419.
- Buettner, K. M., Rinciog, C. I., Mylon, S. E. (2010). Aggregation kinetics of cerium oxide nanoparticles in monovalent and divalent electrolytes, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects.*, 366:74–79.

- Butz, T. (2007). Quality of skin as barrier to percutaneous uptake of TiO<sub>2</sub> nanoparticles from Sunscreens, tutorial course note, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health, Taipei, Taiwan, Aug. 29 to Sep. 1, 2007.
- Casey, A., Herzog, E., Davoren, M., Lyng, F. M., Byrne, H. J., Chambers, G. (2007). Spectroscopic analysis confirms the interactions between single walled carbon nanotubes and various dyes commonly used to assess cytotoxicity, *Carbon*, 45: 1425–1432.
- Chen, H. W., Su, S. F., Chien, C. T., Lin, W. H., Yu, S. L., Chou, C. C., Chen, J. J. W., Yang, P. C. (2006). Titanium dioxide nanoparticles induce emphysema-like lung injury in mice, *FASEB J.*, 20: 2393–2395.
- Chen, G., Hanson, C. L., Ebner, T. J. (1998). Optical response evoked by cerebellar surface stimulation in vivo using neutral red, *Neuroscience*, 84: 645–668.
- Chen, S. C., Tsai, C. J., Huang, C. Y., Chen, H. D., Chen, S. J., Lin, C. C., Tsai, J. H., Chou, Charles C-K, Lung, S. C., Huang, W. R., Roam, G. D., Wu, W. Y., Smolik, J., Dzumbova, L. (2010a). Chemical mass closure and chemical characteristics of ambient ultrafine particles and other PM fractions, *Aerosol Sci. Technol.*, 44: 713–723.
- Chen, S. C., Tsai, C. J., Chou, Charles C-K, Roam, G. D., Cheng, S. S., Wang, Y. N. (2010b). The effective density and size distribution of ultrafine particles at different sampling locations in Taiwan, *Atmos. Environ.*, 44: 533–540.
- Chen, Y. C., Hsiao, J. K., Liu, H. M., Lai, I. Y., Yao, M., Hsu, S. C., Ko, B. S., Che, 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. Pharmacol.*, 245: 272–279.
- Cheng, Y. S. Hansen, G. K., Su, Y. F., Yeh, H. C., Morgan, K. T. (1990). Deposition of ultrafine aerosols in rat nasal molds, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 106: 222–233.
- Cheng, F. Y., Su, C. H., Yang, Y. S., Yeh, C. S., Tsai, C. Y., Wu, C. L., Wu, M. T., Shieh, D. B. (2005). Characterization of aqueous dispersions of Fe(3)O(4) nanoparticles and their biomedical applications, *Biomaterials*, 26: 729–738.
- Cho, W. S., Cho, M., Jeong, J., Choi, M., Cho, H. Y., Han, B. S., Kim, S. H., Kim, H. O., Lim, Y. T., Chung, B. H., Jeong, J. (2009). Acute toxicity and pharmacokinetics of 13 nm-sized PEG-coated gold nanoparticles, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 236: 16–24.
- Chou, C. C., Hsiao, H. Y., Hong, Q. S., Chen, C. H., Peng, Y. W., Chen, H. W., Yang, P. C. (2008). Single-walled carbon nanotubes can induce pulmonary injury in mouse model, *Nano Lett.*, 8(2): 437–445.
- Cimino, M. C. (2006). Comparative overview of current international strategies and guidelines for genetic toxicology testing for regulatory purposes, *Environ. Mol. Mutagen.*, 47: 362–390.
- Cui, D., Tian, F., Ozkan, C., Wang, M., Gao, H. (2005). Effect of single wall carbon nanotubes on human HEK293 cells, *Toxicol Lett.*, 155: 73–85.
- Decker, T., Lohmann-Matthes M. L. (1988). A quick and simple method for the quantitation of lactate dehydrogenase release in measurements of cellular

- cytotoxicity and tumor necrosis factor (TNF) activity, *J. Immunol. Methods*, 115: 61–69.
- Deguchi, S., Alargova, R. G., Tsujii, K. (2001). Stable dispersions of fullerenes, C60 and C70, in water. Preparation and characterization, *Langmuir*, 17: 6013–6017.
- Deng, X., Luan, Q., Chen, W., Wang, Y., Wu, M., Zhang, H., Jiao, Z. (2009). Nanosized zinc oxide particles induce neural stem cell apoptosis, *Nanotechnology*, 20: 115101–115108.
- Dimas, S. (2009) Nanotechnologies...challenges for the future, Stakeholder conference on nanomaterials on the market, Brussels, 9 October 2009. Speech/09/460.
- Ding, L., Stilwell, L. J., Zhang, T., Elboudware, O., Jiang, H., Selgue, J., Cooke, P., Gray, J., Chen, F. (2005). Molecular characterization of the cytotoxic mechanism of multiwall carbon nanotubes and nano-onions on human skin fibroblast, *Nano Lett.*, 5: 2448–2464.
- Donaldson, K., Tran, C. L., Borm, P. J. A. (2007). The toxicology of inhaled particles: summing up an emerging conceptual framework, In *Particle toxicology* (eds K. Donaldson and P. Borm). pp. 413–424. Boca Raton. FL: CRC Press.
- Donaldson, K., Stone, V. (2007). Toxicological properties of nanoparticles and nanotubes. Issues in environmental science and technology, *Nanotechnol.*, 24: 81–96.
- Dufour, E. K., Kumaravel, T., Nohynek, G. J., Kirkland, D. Toutain, H. (2006). Clastogenicity, photo-clastogenicity or pseudo- photo-clastogenicity: genotoxic effects of zinc oxide in the dark, in pre-irradiated or simultaneously irradiated Chinese hamster ovary cells, *Mutat. Res.*, 607: 215–224.
- EC No 1223/2009 (2009). Regulation (EC) No 1223/2009 of the European Parliament and of the council of 30 November 2009 on cosmetic products, Official Journal of the European Union, 22/12/2009.
- EN 15051:2006, Workplace atmospheres – measurement of the dustiness of bulk materials –requirements and test methods.
- Evans, D. E., Heitbrink, W. A., Slavin, T. J. Peters, T. M. (2008). Ultrafine and respirable particles in an automotive grey iron foundry, *Ann. Occup. Hyg.*, 52(1): 9–21.
- ENV/JM/MONO(99)22, OECD, (1999). “The application of the GLP principles to field studies”, OECD Series on Principles of GLP and Compliance Monitoring Number 6 (Revised), Sep. 14, 1999.
- ENV/JM/MONO(2008)B/REV, OECD, (2008). “List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for pase one of the OECD testing programme”, Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Number 6, July 7, 2008.
- ENV/JM/MONO(2009)15, OECD, (2009). Identification, compilation and analysis of guidance information for exposure measurement and exposure mitigation: manufactured nanomaterials, June 22, 2009.
- ENV/JM/MONO(2009)16, OECD, (2009). Emmision assessment for identification of sources and release of airborne manufactured nanomaterials in the workplace: compilation of existing guidance, June 18, 2009.
- ENV/JM/MONO(2009)20/REV, OECD, (2009). Guidance manual for the testing of manufactured nanomaterials:First Revision.

- ENV/JM/MONO(2009)21, OECD, (2009). “Preliminary review of OECD test guidelines for their applicability to manufactured nanomaterials”, July 10, 2009.
- ENV/JM/MONO(2009)34, OECD, (2009). “Manufactured nanomaterials: roadmap for activities during 2009 and 2010”, series on the safety of manufactured nanomaterials number 18, Sep. 9, 2009.
- ENV/JM/MONO(2010)11, OECD, (2010). OECD Programme on the safety of manufactured nanomaterials 2009–2012: Operational plans of the projects.
- ENV/JM/MONO(2010)42, OECD, (2010). Current developments/activities on the safety of manufactured nanomaterials: Tour de Table at the 7th Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials.
- EP Focus (2010). Plenary session. European Parliament focus, Institutions, Reference No.: 20100625FCS76850.
- EP Press Service (2010). MEPs flag potentially hazardous substances in electrical and electronic equipment. European Parliament Press Service, Environment, Reference No.: 20100531IPR75278.
- European Commission (2004). Communication from the commission. Towards a European strategy for nanotechnology, Brussels, 12.5.2004. COM(2004) 338 final.
- 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.
- European Commission (2008b). Follow-up to the 6<sup>th</sup> meeting of the REACH competent authorities for the implementation of regulation (EC) 1907/2006, Brussels, 16 December 2008. Doc. CA/59/2008 rev.1.
- European Commission (2008c). Follow-up to the 6<sup>th</sup> meeting of the REACH competent authorities for the implementation of regulation (EC) 1907/2006, Brussels, 16 December 2008. Doc. CA/59/2008 rev.1.
- Falck, G. C., Lindberg, H. K., Suhonen, S., Vippola, M., Vanhala, E., Catalan, J., Savolainen, K., Norppa, H. (2009). Genotoxic effects of nanosized and fine TiO<sub>2</sub>, *Hum Exp. Toxicol.*, 28: 339–352.
- Fang, J., Shan, X. Q., Wen, B., Lin, J. M., Owens, G. (2009). Stability of titania nanoparticles in soil suspensions and transport in saturated homogeneous soil columns, *Environmental Pollution.*, 157: 1101–1109.
- Federal Register (2008a). Toxic substances control act inventory status of carbon nanotubes. Federal Register, 73(212), October 31, 2008/ Notices.
- Federal Register (2008b). Significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 73(215), November 5, 2008/ Rules and regulations.
- Federal Register (2009a). Significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 74(120), June 24, 2009/ Rules and regulations.
- Federal Register (2009b). Certain chemical substances; withdrawal of significant new use rules. Federal Register, 74(161), August 21, 2009/ Rules and regulations.
- Federal Register, 2009c, Proposed significant new use rules on certain chemical substances. Federal Register, 74(214), November 6, 2009/ Proposed Rules.
- 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.
- 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.
- Federal Register (2010c). Proposed significant new use rule for multi-walled carbon nanotubes. Federal Register, 75(22), February 3, 2010/ Proposed Rules.
- Federal Register (2010d). Public workshop on medical devices and nanotechnology: Manufacturing, characterization, and biocompatibility considerations. Federal Register, 75(162), August 23, 2010/ Notices.
- Ferin, J., Oberdorster, G., Penney, D. P. (1992). Pulmonary retention of ultrafine and fine particles in rats, *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.*, 6: 535–542.
- Foldbjerg, R., Olsen, P., Hougaard, M., Dang, D. A., Hoffmann, H. J., Autrup, H. (2009). PVP-coated silver nanoparticles and silver ions induce reactive oxygen species, apoptosis and necrosis in THP-1 monocytes, *Toxicol. Lett.*, 190: 156–162.
- Franklin, N. M., Rogers, N. J., Apte, S. C., Batley, G. E., Gadd, G. E., Casey, P. S. (2007). Comparative toxicity of nanoparticulate ZnO, bulk ZnO, and ZnCl<sub>2</sub> to a grEHSwater microalga (*Pseudokirchneriella subcapitata*): The importance of particle solubility, *Environ. Sci. Technol.*, 41: 8484–8490.
- Funk, D., Schrenk, H. H., Frei, E. (2007). Serum albumin leads to false-positive results in the XTT and the MTT assay, *BioTechniques*, 43: 178–186.
- GAO Report (2010). Nanotechnology: Nanomaterials are widely used in commerce, but EPA faces challenges in regulating risk. Report from the Government Accountability Office, GAO-10-549, May 25, 2010.
- Göhler, D., Hillemann, L., Stintz, M., Barthel, H. (2009). Nanoparticle release testing of highly disperse powders with independently adjustable parameters. TU Dresden, Report, publication in preparation.
- Goldberg, A. M., Hartung, T. (2006). Protecting more than animals, *Sci. Am.*, 294: 84–91.
- Grassian, V. H., O'shaughnessy, P. T., Adamcakova-Dodd, A., Pettibone, J. M., Thorne, P. S. (2007). Inhalation exposure study of titanium dioxide nanoparticles with a primary particle size of 2 to 5 nm, *Environ. Health Perspect*, 115: 397–402.
- Griffitt, R. J., Luo, J., Gao, J., Bonzongo, J. C., Barber, D. S. (2008). Effects of particle composition and species on toxicity of metallic nanomaterials in aquatic organisms, *Environ. Toxicol. Chem.*, 27, 1972–1978.
- Hanai, S.; Kobayashi, N.; Ema, M.; Ogura, I.; Gamo, M.; Nakanishi, J. (2009) Risk assessment of manufactured nanomaterials-Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>).
- Handy R. D., Kammer F. von der, Lead J. R., Hassellöv M., Owen R., Mark C. (2008). The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles, *Ecotoxicology*, 17: 287–314.
- Hanley, C., Layne, J., Punnoose, A., Reddy, K. M., Cooms, I., Cooms, A., Feris, K., Wingett, D. (2008). Preferential killing of cancer cells and activated human tcell using ZnO nanoparticles, *Nanotechnology*, 19: 295203.
- Haslam, G., Wyatt, D., Kitos, P. A. (2000). Estimating the number of viable animal cells in multi-well cultures based on their lactate dehydrogenase activities,

- Cytotechnology*, 32: 63–75.
- Hayashi, Y. (2005). Designing in vitro assay systems for hazard characterization. Basic strategies and related technical issues, *Exp. Toxicol. Pathol.*, 57 (Suppl. 1): 227–232.
- Heisper, C., Horn, H. G., Schneider, F., Wehner, B., Wiedensohler, A. (2008). Intercomparison of five mobility size spectrometers for measuring atmospheric submicrometer aerosol particles. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 68(2008) Nr. 11/12 (Springer-VDI, DQsseldorf), 475–481.
- Heitbrink, W. A., Evan, D. E., Peters, T. M., Slavin, T. J. (2007). The characterization and mapping of very fine particles in an engine machining and assembly facility, *J. Occup. Environ. Hyg.*, 4: 341–351.
- Herzog, E., Byrne, H. J., Davoren, M., Casey, A., Dushl, A., Oostingh, G. J. (2009). Dispersion medium modulates oxidative stress response of human lung epithelial cells upon exposure to carbon nanomaterial samples, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 236: 276–281.
- H.R. 5786 (2010). Safe cosmetics act of 2010. 111<sup>th</sup> congress 2D session, in the house of representatives, July 20, 2010.
- H.R. 5820 (2010). Toxic chemicals safety act of 2010. 111<sup>th</sup> congress 2D session, in the house of representatives, July 22, 2010.
- Hsin, Y. H., Chen, C. F., Huang, S., Shih, T. S., Lai, P. S., Chueh, P. J. (2008) The apoptotic effect of nanosilver is mediated by a ROS- and JNK-dependent mechanism involving the mitochondrial pathway in NIH3T3 cells. *Toxicol Lett.* 179, 130–139.
- 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 induce transient but not sufficient osteogenic signals in human mesenchymal stem cells, *Toxicol. appl. pharmacol.*, 231: 208–215.
- Huang, J. H., Parab, H. J., Liu, R. S., Lai, T. C., Hsiao, M., Chen, C. H., Sheu, H. S., Chen, J. M., Tsai, P. D., Hwu, Y. K. (2008). Investigation of the growth mechanism of iron oxide nanoparticles via a seed-mediated method and its cytotoxicity studies, *J. Phys. Chem. C*, 112(40): 15684–15690.
- Huang, J. H., Parab, H. J., Liu, R. S., Lai, T. C. Hsiao, M., Chen, C. H., Hwu, Y. K. (2008). Characterization of functional nanoparticles in cosmetics and its cytotoxic effects, *ICBME 2008, Proceedings*, 23: 806–809.
- 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.
- Huang, S., Chueh, P. J., Lin, Y. W., Shih, T. S., Chuang, S. M. (2009). Disturbed mitotic progression and genome segregation are involved in cell transformation mediated by nano-TiO<sub>2</sub> long-term exposure, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 241: 182–194.
- Hussain, S. M., Hess, K. L., Gearhart, J. M., Geiss, K. T., Schlager, J. J. (2005). In vitro toxicity of nanoparticles in BRL 3A rat liver cells, *Toxicol. In Vitro*, 19: 975–983.
- Hyung, H., Kim, J. H. (2009). Dispersion of C<sub>60</sub> in natural water and removal by conventional drinking water treatment processes, *Water Research.*, 43: 2467–2470.

- ICON 網站, International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/>
- ISO 13321 (1996). Particle size analysis – Photon correlation spectroscopy.
- ISO 22412 (2008). Particle size analysis – Dynamic light scattering (DLS).
- ISO 15900 (2009). Determination of particle size distribution - Differential electrical mobility analysis for aerosol particles.
- ISO/DIS 10808 (2009). Nanotechnologies — Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing.
- ISO/WD 27891 (2010). Aerosol particle number concentration — Calibration of condensation particle counters.
- ISO TC 229 網站, International Organization 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](http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983)
- Ispas, C., Andreescu, D., Patel, A., Goia, D. V., Andreescu, S., Wallace, K. N. (2009). Toxicity and developmental defects of different sizes and shape nickel nanoparticles in zebrafish, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 6349–6356.
- Jabbar, S. A., Twentyman, P. R., Watson, J. V. (1989). The MTT assay underestimates the growth inhibitory effects of interferons, *Br. J. Cancer*, 60: 523–528.
- Jeng, H. A., Swanson, J. (2006). Toxicity of metal oxide nanoparticles in mammalian cells, *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard Subst. Environ. Eng.*, 41: 2699–2711.
- Jensen, K. A., Koponen, I. K., Clausen, P. A., Schneider, T. (2009). Dustiness behaviour of loose and compacted bentonite and organoclay powders: What is the difference in exposure risk? *J. Nanopart Res.*, 11: 133–146.
- Ji, J. H., Jung, J. H., Kim, S. S., Yoon, J. U., Park, J. D., Choi, B. S., Chung, Y. H., Kwon, I. H., Jeong, J., Han, B. S., Shin, J. H., Sing, J. H., Song, K. S., Yu, I. J. (2007). Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nanoparticles in Sprague Dawley Rats, *Inhalation Toxicology*, 19(10): 857–871.
- Johnston, B. D., Scown, T. M., Moger, J., Cumberland, S. A., Baalousha, M., Linge, K., Aerle, R. V., Jarvis, K., Lead, J. R., Tyler, C. R. (2010). Bioavailability of Nanoscale Metal Oxides TiO<sub>2</sub>, CeO<sub>2</sub>, and ZnO to Fish, *Environ. Sci. Technol.*, 44: 1144–1151.
- Kang, S., Mauter, M. S., Elimelech, M. (2009). Microbial cytotoxicity of carbon-based nanomaterials: implications for river water and wastewater effluent, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 2648–2653.
- Kahru, A., Dubourguier, H.-C. (2009). From ecotoxicology to nanoecotoxicology, *Toxicology*, doi:10.1016/j.tox.2009.08.016.
- Kelly, J. T., Asgharian, B. (2003). Nasal molds as predictors of fine and coarse particle deposition in rat nasal airways, *Inhal. Toxicol.*, 15: 859–875.
- Kemmler, M., Fratz, M., Giel, D., Saum, N., Brandenburg, A., Hoffmann, C. (2007). Noninvasive time-dependent cytometry monitoring by digital holography, *J. Biomed. Opt.*, 12: 064002.
- Kim, J. S. (2006). Toxicity and tissue distribution of magnetic nanoparticles with PC-12 cells induces dopamine depletion, *Toxicol. Sci.*, 92: 456–463.
- Ko, C., Elimelech, M. (2000). The “shadow effect” in colloid transport and deposition dynamics in granular porous media: measurements and mechanisms, *Environ. Sci.*

- Technol.*, 34: 3681–3689.
- Kobayashi, N.; Ogura, I.; Gamo, M.; Kishimoto, A.; Nakanishi, J. (2009). Risk assessment of manufactured nanomaterials-carbon nanotubes(CNTs).
- Korzeniewski, C., Callewaert, D. (1983). An enzyme-release assay for natural cytotoxicity, *J. Immunol. Methods*, 64: 313–320.
- Koshi, S. (1980). Proposition for a method of evaluating the work environment with regard to air-borne toxic substances, *Ind. Health*, 18, 179–186.
- Kreyling, W. G., Semmler-behnke, M., Moller, W. (2006). Ultrafine particle-lung interactions: dose size matter? *J. Aerosol Med.*, 19: 74–83.
- Kroll, A., Pillukat, M. H., Hahn, D., Schnekenburger, J. (2009). Current in vitro methods in nanoparticle risk assessment: limitations and challenges, *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 72: 370–377.
- Kuhlbusch, T. A. J.; Krug, H. F.; Nau, K. Ed., (2009) NanoCare: Health related aspects of Nanomaterials.
- Kuo, Y. C., Kuo, C. Y. (2008). Electromagnetic interference in the permeability of saquinavir across the blood–brain barrier using nanoparticulate carriers, *Int. J. Pharm.*, 351: 271-281.
- Kuo, C. W., Lai, J. J. Wei, K. H., Chen, P. (2008). Surface modified gold nanowires for mammalian cell transfection, *Nanotechnology*, 19, doi:10.1088/0957-4484/19/02/025103.
- Kwon, Y. M., Xia, Z., Glyn-Jones, S., Beard, D., Gill, H. S., Murray, D. W. (2009). Dose-dependent cytotoxicity of clinical relevant cobalt nanoparticles and ios on macrophages in vitro, *Biomed. Mater.*, 4: 25018.
- 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, *Toxicol. Sci.*, 77: 126–134.
- Lee, S. C., Tang, S. M. (2006). The regulation of the potential risks to nanotechnology in Taiwan, *AJMHS*, 1(2), 293-308.
- Lee, C. M., Huang, S. T., Huang, S. H., Lin, H. W., Tsai, H. P., Wu, J. Y., Lin, C. M., Chen, C. T. (2010). C60 fullerene-pentoxifylline dyad nanoparticles enhance autophagy to avoid cytotoxic effects caused by the  $\beta$ -amyloid peptide, *Nanomedicine*, doi:10.1016/j.nano.2010.06.009.
- Lewinski, N., Colvin, V., Drezek, R. (2008). Cytotoxicity of nanoparticles, *Small*, 1: 26–49.
- Li, J. J., Muralikrishnan, S., Ng, C. T., Yung, L. Y., Bay, B. H. (2010). Nanoparticle-induced pulmonary toxicity, *Exp. Biol. Med.*, 235: 1025–1033.
- Li, P. W., Kuo, T. H., Chang, J. H., Yeh, J. M., chan, W. H. (2010). Induction of cytotoxicity and apoptosis in mouse blastocysts by silver nanoparticles, *Toxicol. Lett.*, 197: 82–87.
- Li, X. F., Zhu, D. S., Wang, X. J. (2007). Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 310: 456–463.
- Liao, C. M., Chiang, Y. H., Chio, C. P. (2009). Assessing the airborne titanium dioxide nanoparticle-related exposure hazard at workplace, *J. Hazard. Mater.*, 162: 57–65.



- Lin, C. C., Chen, S. J., Huang, K. L. (2005). Characteristics of metals in nano/ultrafine/fine/coarse particles collected beside a heavily trafficked road, *Environ. Sci. Technol.*, 39: 8113–8122.
- Lin, C. C., Huang, K. L., Chen, S. J., Liu, S. C., Tsai, J. H., Lin, Y. C., Lin, W. Y. (2009).  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$  in roadside and rural size-resolved particles and transformation of  $\text{NO}_2/\text{SO}_2$  to nanoparticle-bound  $\text{NO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$ , *Atmos. Environ.*, 43: 2731–2736.
- Lin, C. H., Chang, L. W., Chang, H., Yang, M. H., Yang, C. S., Lai, W. H., Chang, W. H., Lin, P. (2009). The chemical fate of the Cd/Se/Te-based quantum dot 705 in the biological system: toxicity implications, *Nanotechnology*, 20: 215101–215110.
- Lin, D. H., Liu, N., Yang, K., Zhu, L. H., Xu, Y., Xing, B. S. (2009). The effect of ionic strength and pH on the stability of tannic acid-facilitated carbon nanotube suspensions, *Carbon*, 47: 2875–2882.
- Lin, W., Xu, Y., Huang, C. C., Ma, Y., Shannon, K. B., Chen, D. R., Huang, Y. W. (2009). Toxicity of nano- and micro-sized ZnO particles in human lung epithelial cells, *J. Nanopart. Res.*, 11: 25–39.
- Lin, Y. H., Tseng, H. H., Wey, M. Y., Lin, M. D. (2009). Characteristics, morphology, and stabilization mechanism of PAA250K-stabilized bimetal nanoparticles, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 349: 137–144.
- Lin, Y. H., Tseng, H. H., Wey, M. Y., Lin, M. D. (2010). Characteristics of two types of stabilized nano zero-valent iron and transport in porous media, *Science of the Total Environment*, 408: 2260–2267.
- Liu, S., Zhang, T., Ren, G., Yang, Z. (2010). Oxidative stress and apoptosis induced by nanosized titanium dioxide in PC12 cells, *Toxicol.*, Nov 14 [Epub ahead of print].
- Lovern, S. B., Klaper, R. (2006). Daphnia magna mortality when exposed to titanium dioxide and fullerene ( $\text{C}_{60}$ ) nanoparticles, *Environ. Toxicol. Chem.*, 25: 1445–1447.
- Lovern, S. B., Strickler, J. R., Klaper, R. (2007). Behavioral and physiological changes in Daphnia magna when exposed to nanoparticle suspensions (Titanium dioxide, nano- $\text{C}_{60}$ , and  $\text{C}_{60}\text{HxC}_{70}\text{Hx}$ ), *Environ. Sci. Technol.*, 41: 4465–4470.
- Lu, S., Duffin, R., Poland, C., Daly, P., Murphy, F., Drost, E., MacNee, W., Stone, V., Donalson, K. (2009). Efficacy of simple short-term in vitro assays for predicting the potential of metal oxide nanoparticles to cause pulmonary inflammation, *Environ. Health Perspect.*, 117: 241–247.
- MAPP 5015.9 (2010). Reporting format for nanotechnology-related information in CMC review, Manual of Policies and Procedures, Office of Pharmaceutical Science, June 3, 2010.
- Marquis, B. J., Love, S. A., Bram, K. L., Haynes, C. L. (2009). Analytical methods to assess nanoparticle toxicity, *Analyst*, 134: 425–439.
- Marshall, N. J., Goodwin, C. J., Holt, S. J. (1995). A critical assessment of the use of microculture tetrazolium assays to measure cell growth and function, *Growth Regul.*, 5: 69–84.
- Maynard, A. D., Baron, P. A., Foley, M., Shvedova, A. A., Kisin, E. R., Castranova, V. (2004). Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material, *J. Toxicol. Environ. Health Part A*, 67: 87–107.

- Miura, N., Shinohara, Y. (2009). Cytotoxic effect and apoptosis induction by silver nanoparticles in HeLA cells, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 390: 733–737.
- Monteiro-Riviere, N. A., Inman, A. O., Zhang, L. W. (2009). Limitations and relative utility of screening assays to assess engineered nanoparticles toxicity in a human cell line, *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 234: 222–235.
- Muller, K., Skepper, J. N., Posfai, M., Trivedi, R., Howarth, S., Corot, C., Lancelot, E., Thompson, P. W., Brown, A. P., Gillard, J. H. (2007). Effect of ultrasmall superparamagnetic iron oxide nanoparticles (Ferumoxtran-10) on human monocyte-macrophages in vitro, *Biomaterials*, 28: 1639–1642.
- Nations, S., Long, M., Wages, M., canas, J., Maul, J. D. Theodorakis, C., Cobb, G. P. (2010). Effect of ZnO nanomaterials on *Xenopus Laevis* growth and development, Doi:10.1016/j.ecoenv.2010.07.018.
- Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N. B., Filser, J., Miao, A. J., Quigg, A., Santschi, P. H., Sigg, L. (2008a). Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi, *Ecotoxicology*, 17: 372–386.
- Navarro, E., Piccapietra, F., Wagner, B., Marconi, F., Kaegi, R., Odzak, N., Sigg, L., Behra, R. (2008b). Toxic of silver nanoparticles to *Chlamydomonas reinhardtii*, *Environ Sci Technol.*, 42: 8959–8964.
- Navarro, D. A. G., Watson, D. F., Aga, D. S., Banerjee, S. B. (2009). Natural organic matter-mediated phase transfer of quantum dots in the aquatic environment, *Environ. Sci. Technol.*, 43: 677–682.
- Nel, A., Xia, T. Madler, L., Li, N. (2006). Toxic potential of materials at the nanolevel, *Science*, 311: 622–627.
- Nicoletti, I., Migliorati, G., Pagliacci, M. C., Grignani, F., Riccardi, C. (1991). A rapid and simple method for measuring thymocyte apoptosis by propidium iodide staining and flow cytometry, *J. Immunol. Methods*, 139: 271–279.
- NIOSH (2005). NIOSH Current intelligence bulletin: Evaluation of health hazard and recommendations for occupational exposure to titanium dioxide (draft).
- NIOSH (2007). NIOSH Current intelligence bulletin: evaluation of health hazard and recommendations for occupational exposure to titanium dioxide (draft).
- NIOSH (2009a). Approaches to safe nanotechnology: Managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials, Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, March 2009.
- NIOSH (2009b). Strategic plan for NIOSH nanotechnology research and guidance: Filling the knowledge gaps. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2009.
- NIOSH 網站，NIOSH Safety and Health Topic: Nanotechnology，<http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html>
- Nowack, B., Krug, F. H., Height, M. (2011). 120 years of nanosilver history: Implication for policy maker, *Environ Sci Technol.*, 45, 1177–1183.
- NSTC (2007). National nanotechnology initiative: Strategic plan. National Science and Technology Council, December 2007, pp.45. Available at [www.nano.gov/NNI\\_Strategic\\_Plan\\_2007.pdf](http://www.nano.gov/NNI_Strategic_Plan_2007.pdf).
- Oberdörster, E. (2004). Manufactured nanomaterial (fullerenes, C<sub>60</sub>) induce oxidative

- stress in the brain of juvenile largemouth bass, *Environ. Health Perspect*, 12: 1058–1062.
- Oberdörster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J., Ausman, K., Carter, J., Karn, B., Kreyling, W., Lai, D., Olin, S., Monteiro-Riviere, N., Warheit, D., Yang, H. (2005a). Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials: elements of a screening strategy, *Particle and Fibre Toxicology*, 2: 1–35.
- Oberdörster, G., Oberdorster, E., Oberdörster, J. (2005b). Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles, *Environmental Health Perspectives*, 113: 823–839.
- Oberdörster, E., Zhu S., Blickley, T. M., McClellan-Green, P., Haasch, M. L. (2006). Ecotoxicology of carbon-based engineered nanoparticles: Effects of fullerene(C<sub>60</sub>)on aquatic organisms, *Carbon*, 44: 1112–1120.
- OECD WPMN-China (2007). Current developments in manufactured nanomaterials in China.
- OECD (2008). OECD guideline for testing of chemicals. Bioconcentration: flow-through fish test.
- OECD WPMN-Japan (2009). Current developments in manufactured nanomaterials in Japan (October 2009).
- OECD WPMN-Germany (2009). Current developments in manufactured nanomaterials in Germany (October 2009).
- OECD WPMN-United States (2009) Current developments in manufactured nanomaterials in United States (October 2009).
- OECD (2010). Report of the questionnaire on regulatory regimes for manufactured nanomaterials. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris, 2010.
- OECD 網 站 ， Safety of Manufactured Nanomaterials, [http://www.oecd.org/about/0,3347,en\\_2649\\_37015404\\_1\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/about/0,3347,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html)
- Paik, S. Y., Zalk, D. M., Swuste, P. (2008). Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures, *Ann. Occup. Hyg.*, 52: 419–428.
- Pan, Y., Neuss, S., Leifert, A., Fischler, M., Wen, F., Simon, U., Schmid, G., Bradnau, W., Jahnen-Dechent, W. (2007). Size-dependent cytotoxicity of gold nanoparticles, *Small*, 3: 1941–1949.
- Panyala, N. R., Pena-Mendez, E. M., Havel, J. (2008). Silver or silver nanoparticles: a hazardous threat to the environment and human health? *J. Appl. Biomed.*, 6: 117–129.
- PCAST (2008). The National nanotechnology initiative: Second assessment and recommendations of the national nanotechnology advisory panel. Executive Office of the President President’s Council of Advisors on Science and Technology. April 7, 2008.
- PCAST (2010). Report to the president and congress on the third assessment of the national nanotechnology initiative. Executive Office of the President President’s Council of Advisors on Science and Technology. March 12, 2010.

- PEN 網 站 , The Project on Environmental Nanotechnologies, <http://www.nanotechproject.org/>
- Peng, X. J., Jia, J. J., Gong, X. M., Luan, Z. K., Fan, B. (2009). Aqueous stability of oxidized carbon nanotubes and the precipitation by salts, *Journal of Hazardous Materials.*, 165: 1239–1242.
- Peters, T. M., Heitbrink, W. A., Evans, D. E., Slavin, T. J., Maynard, A. D. (2006). The mapping of fine and ultrafine particle concentrations in an engine machining and assembly facility, *Ann. Occup. Hyg.*, 50(3): 1–9.
- Petavratzi, E., Kingman, S. W., Lowndes, I. S. (2007). Assessment of the dustiness and the dust liberation mechanisms of limestone quarry operations, *Chem. Eng. Process.*, 46: 1412–1423.
- Ponti, J., Ceriotti, L., Munaro, B., Farina, M., Munai, A., Whelan, M., Colpo, P., Sabbioni, E., Rossi, F. (2006). Comparison of impedance-based sensors for cell adhesion monitoring and in vitro methods for detecting cytotoxicity induced by chemicals, *Altern. Lab. Anim.*, 34: 515–525.
- Pulskamp, K., Diabate, S., Krug, H. F. (2007). Carbon nanotubes show no sign of acute toxicity but induce intracellular reactive oxygen species in dependence on contaminants, *Toxicol. Lett.*, 168: 58–74.
- Reddy, K. M., Ferris, 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: 213902.
- Ressler, J., Grothe, H., Motrescu, E., Wolf, B. (2004). New concepts for chip-supported multi-well-plates: realization of a 24-well-plate with integrated impedance-sensors for functional cellular screening applications and automated microscope aided cell-based assays, *Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, 3: 2074–2077.
- Roberts, A. P., Moun,t A. S., Seda, B., Souther, J., Qiao, R., Lin, S. J., Ke, P. C., Rao, A. M., Klaine, S. J. (2007). In vivo biomodification of lipid-coated carbon nanotubes by *Daphnia magna*, *Environ. Sci. Technol.*, 41: 3025–3029.
- Sarlo, K. (2009). Tissues distribution of 20 nm, 100 nm and 1000 nm fluorescent polystyrene latex nanosphere following acute systemic or acute and repeat airway exposure in the rat, *Toxicology*, 263: 117–126.
- Sato, Y., Yokoyama, A., Shibata, K., Akimoto, Y., Ogino, S., Nodasaka, Y., Kohgo, T., Tamura, K., Akasaka, T., Uo, M., Motomiya, K., Jeyadevan, B., Ishiguro, M., Hatakeyama, R., Watari, F., Tohji, K. (2005). Influence of length on cytotoxicity of multi-walled carbon nanotubes against human acute monocytic leukemia cell line THP-1 in vitro and subcutaneous tissue of rats in vivo, *Mol. Biosyst.*, 1: 176–82.
- Sayes, C. M., Reed, K. L., Warheit, D. B. (2007). Assessing toxicity of fine and nanoparticles: comparing in vitro measurements to in vivo pulmonary toxicity profiles, *Toxicol. Sci.*, 97: 163–180.
- Schlyter, C. (2009). Follow-up to the European Parliament resolution on regulatory aspects of nanomaterials, adopted by the Commission on 14 July 2009. EP reference number: A6-0255/2009 / P6\_TA-PROV(2009)0328.
- Schneider, T., Jensen, K. A. (2008). Combined single-drop and rotating drum dustiness test of fine to nanosize powders using a small drum, *Ann. Occup. Hyg.*, 52: 23–34.
- Seaton, A., Tran, L., Aitken, R., Donaldson, K. (2010). Nanoparticles, human health

- hazard and regulation, *J. R., Soc. Interface*, 7: S119–S129.
- Service, R. V. (2003). American Chemistry Society meeting. Nanomaterials show signs of toxicity, *Science* (New York, NY), 300: 243.
- Sharma, H. S., Sharma, A. (2007). Nanoparticles aggravate heat stress induced cognitive deficits, blood-brain barrier disruption, edema formation and brain pathology, *Prog. Brain Res.*, 162: 245–273.
- Shinohara, N.; Gamo, M; Nakanishi, J. (2009). Risk assessment of manufactured nanomaterials-Fullerene (C<sub>60</sub>).
- Shvedova, A. A., Castranova, V., Kisin, E. R., Schwegler-Berry, D., Murray, A. R., Gandelsman, V.Z., Maynard, A., Baron, P. (2003). Exposure to carbon nanotube material: Assessment of nanotube cytotoxicity using human keratinocyte cells, *J. Toxicol. Environ. Health A*, 66: 1909–1926.
- Shvedova, A. A., Kagan, V. E. (2010). The role of nanotoxicology in realizing the “helping without harm“ paradigm of nanomedicine: lessons from studies of pulmonary effects of single-walled carbon nanotubes, *J. Intern. Med.*, 267: 106–118.
- Singh, N., Manshian, B., Jenkins, G. J. S., Griffiths, S. M., Williams, P. M., Maffei, T. G. G., Wright, C. J., Doak, S. H. (2009). Nanogenotoxicology: the DNA damaging potential of engineered nanomaterials, *Biomaterials*, 30: 3891–3914.
- Smith, C. J., Shaw, B. J., Handy, S. R. D. (2007). Toxicity of single walled carbon nanotubes to rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*):Respiratory toxicity, organ pathologies, and other physiological effects, *Aquat. Toxicol.*, 82: 94–109.
- Song, Y., Li, X., Du, X. (2009). Exposure to nanoparticles is related to pleural effusion, pulmonary fibrosis and granuloma, *Eur. Respir. J.*, 34: 559–567.
- Stone, V., Kinloch, I. A., Clift, M., Fernandes, T. F., Ford, A. T., Christofi, N. et al. (2007). Nanoparticle toxicology and ecotoxicology –interactions of nanomaterials with biological systems, American Scientific Publishers.
- Su, H. L., Chou, C. C., Hung, D. J., Lin, S. H., Pao, I. C., Lin, J. H., Huang, F. L., Dong, R. X., Lin, J. J. (2009). The disruption of bacterial membrane integrity through ROS generation induced by nanohybrids of silver and clay, *Biomaterials*, 30: 5979–5987.
- Suska, F., Gretzer, C., Esposito, M., Tengvall, P., Thomsen, P. (2005). Monocyte viability on titanium and copper coated titanium, *Biomaterials*, 26: 5942–5950.
- Suzuki, H., Toyooka, T., Ibuki, Y. (2007). Simple and easy metho to evaluate uptake potential of nanoparticles in mammalian cells using a flow cytometric light scatter analysis, *Environ. Sci. Technol.*, 41: 3018–3024.
- Takahashi, H., Niidome, Y., Niidome, T., Kaneko, K., Kawasaki, H., Yamada, S. (2006). Modification of gold nanorods using phosphatidylcholine to reduce cytotoxicity, *Langmuir*, 22: 2–5.
- Tang, M., Xing, T., Zeng, J., Wang, H., Li, C., Yin, S., Yan, D., Deng, H., Liu, J., Wang, M., Chen, J., Ruan, D. Y. (2008). Unmodified CdSe quantum dots induce elevation of cytoplasmic calcium levels and impairment of functional properties of sodium channels in rat primary cultured hippocampal neurons, *Environ. Health Perspect.*, 116: 915–922.

- Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P., Schiestl, R. H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice, *Cancer Res.*, 69: 8784–8789.
- 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.
- Tsai, C. J., Pui, D. Y. H. (2009). Recent advances and new challenges of occupational and environmental health of nanotechnology, *J. Nanopart. Res.*, 11: 1–4.
- Tsoli, M., Kuhn, H., Brandau, W., Esche, H., Schimid, G. (2005). Cellular uptake and toxicity of Au<sub>55</sub> clusters, *Small*, 1: 841–844.
- USEPA 網站, National Center for Environmental Research: Nanotechnology, <http://www.epa.gov/ncer/nano/>
- Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer, *Chem. Biol. Interact.*, 160: 1–40.
- Wagner, A. J., Bleckmann, C. A., Murdock, R. C., Schrand, A. M., Schlager, J. J., Hussain, S. M. (2007). Cellular interaction of different forms of aluminum nanoparticles in rat alveolar macrophages, *J. Phys. Chem. B.*, 111: 7353–7359.
- Wang, B., Feng, W. Y., Wang, M., Wang, T., Gu, Y., Zhu, M., Ouyang, H., Shi, J., Zhang, F., Zhao, Y., Chai, Z., Wang, H., Wang, J. (2008). Acute toxicological impact of nano- and submicro-scaled zinc oxide powder on healthy adult mice, *J. Nanopart. Res.*, 10: 263–276.
- Wang, J. J., Sanderson, B. J. S., Wang, H. E. (2007). Cytotoxicity and genotoxicity of ultrafine crystalline SiO<sub>2</sub> particles in cultured human lymphoblastoid cells, *Environ. Mol. Mutagen.*, 48: 151–157.
- 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, *Toxicol. Sci.*, 77: 117–125.
- Wendel-de-Joode, B. van, Brouwer, D. H., Vermeulen, R., van Hemmen, J. J., Heederik, D., Kromhout, H. (2003). DREAM: A method for semi-quantitative dermal exposure assessment, *Ann. Occ. Hyg.*, 47: 71–87.
- Wrona, M., Wardman, P. (2006). Properties of the radical intermediate obtained on oxidation of 2',7'-dichlorofluorescein, a probe for oxidative stress, *Free Radic. Biol. Med.*, 41: 657–667.
- Wu, B., Wang, Y., Lee, Y. H., Horst, A., Wang, Z., Chen, D. R., Skumar, R., Tang, Y. J. (2010). Comparative eco-Toxicities of nano-ZnO particles under aquatic and aerosol exposure modes, *Environ. Sci. Technol.*, 44: 1484–1489.
- Xia, T., Kovoichich, M., Brant, J., Hotze, M., Sempt, J., Oberley, T. et al. (2006). Comparison of the abilities of ambient and manufactured nanoparticles to induce cellular toxicity according to an oxidative stress paradigm, *Nano Lett.*, 6: 1794–1807.
- Xu, L. J., Zhao, J. X., Zhang, T., Ren, G. G., Yang, Z. (2009). In vitro study on influence of nano particles of CuO on CA1 pyramidal neurons of rat hippocampou potassium currents, *Environ. Toxicol.*, 24: 211–217.

- Yang, C. Y., Hsiao, J. K., Tai, M. F., Chen, S. T., Cheng, H. Y., Wang, J. L., Liu, H. M. (2010). Direct labeling of hMSC with SPIO: the long-term influence on toxicity, chondrogenic differentiation capacity, and intracellular distribution, *Mol. Imag. Biol.*, Doi:10.1007/s11307-010-0360-7.
- Yang, Z., Liu, Z. W., Allaker, R. P., Reip, P., Oxford, J., Ahmad, Z., Ren, G. (2010). A review of nanoparticle functionality and toxicity on the central nervous system, *J. R. Soc. Interface*, 7: S411-S422.
- Yuan, J. H., Chen, Y., Zha, H. X., Song, L. J., Li, C. Y., Li, J. Q., Xia, X. H. (2010). Determination, characterization and cytotoxicity on HELF cells of ZnO nanoparticles, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76: 145–150.
- Zhang, Q., Kusaka, Y., Zhu, X., Sato, K., Mo, Y., Kluz, T., Donaldson, K. (2003). Comparative toxicity of standard nickel and ultrafine nickel in lung after intratracheal instillation, *J. Occup. Health*, 45: 23–30.
- Zhang, Y., Chen, Y. S., Westerhoff, P., Crittenden, J. C. (2008). Stability and removal of water soluble CdTe quantum dots in water, *Environ. Sci. Technol.*, 42: 321–325.
- Zhang, Y., Chen, Y. S., Westerhoff, P., Crittenden, J. C., Hristovski K. (2008). Stability of commercial metal oxide nanoparticles in water, *Water Research.*, 42: 2204–2212.
- Zhao, J., Xu, L., Zhang, T., Ren, G., Yang, Z. (2009). Influences of nanoparticle zinc oxide on acutely isolated rat hippocampal CA3 pyramidal neurons, *Neurotoxicology*, 30: 220–230.
- Zhu, S., Oberdörster, E., Haasch, M. L. (2006). Toxicity of an engineered nanoparticle (Fullerene, C<sub>60</sub>) in two aquatic species, Daphnia and fathead minnow, *Mar. Environ. Research*, 62: 5–9.
- Zhu, X., Zhu, L., Li, Y., Duan, Z. H., Chen, W., Alvarez, P. J. J. (2007). Developmental toxicity in zebrafish (*Danio rerio*) embryos after exposure to manufactured nanomaterials: Buckminster fullerene aggregates (nC(60)) and fullerol, *Environ. Toxicol. Chem.*, 26: 976–979.
- Zhu, X., Zhu, L., Duan, Z., Qi, R., Li, Y., Lang, Y. (2008). Comparative toxicity of several metal oxide nanoparticle aqueous suspensions to Zebrafish (*Danio rerio*) early developmental stage, *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.*, 43: 278–284.
- Zhu, X., Zhu, L., Yongsheng C, Tian, S. (2009). Acute toxicities of six manufactured nanomaterial suspensions to *Daphnia magna*, *J. Nanopart. Res.*, 11: 67–75.
- 李昂杰和陳郁庭 (2005). 奈米科技對於健康之危害及法律對策—以我國既有法規之檢視與調適為中心。科技法律透析, 17(12), 第 20–39 頁。
- 陳郁庭 (2005). 奈米科技的美麗與哀愁—談潛在的健康風險及法律管制。科技法律透析, 17(8), 第 31–49 頁。
- 姜百珊 (2009). 奈米標示制度—以製造階段與消費階段而論。國立清華大學科技法律研究所碩士學位論文, 共 114 頁。
- 楊順琇 (2010). 化妝品標示義務問題之研究。中興大學社會科學暨管理學院科技法律研究所碩士學位論文, 共 168 頁。
- 工研院環安中心, 行政院環境保護署「推動負責任的奈米科技研發及生產環境」

- 計畫期末報告，民國 94 年。
- 工研院量測中心，奈米技術計量標準計畫(1/6)，98-1403-36-辛-01-00-00-00-24，98 年度奈米國家型計畫執行報告，民國 99 年。
- 行政院國科會永續發展推動委員會，2005 永續發展科技與政策研討會論文集，pp. 61-76，民國九十四年十二月，國立台灣大學。
- 林維炤、張火炎、方嘉良，奈米微粒皮膚暴露評估技術探討，勞工安全衛生研究所委託研究報告，IOSH95-H103，民國95年。
- 國立清華大學，行政院環境保護署「大氣中奈米微粒濃度監測與成分分析計畫」期末報告，民國 96 年。
- 鄭尊仁，97 年度「奈米科技之風險認知研究」，期末報告，EPA-97-U1U1-02-103，民國 97 年。
- 施養信，97 年度「水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究」，期末報告，EPA-97-U1U1-02-104，民國 97 年。
- 施養信，98 年度「水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究」，期末報告，EPA-98-U1U1-02-102，民國 98 年。
- 林一為，98 年度「奈米科技之風險感知及政策研究」，期末報告，EPA-98-U1U1-02-101，民國 98 年。
- 張章堂，98 年度「環境中奈米微粒之細胞毒性研究」，期末報告，EPA-98-U1U1-02-104，民國 98 年。
- 蔡春進，96 年度「開發環境中奈米物質量測及特性分析技術」，期末報告，EPA-96-U1U1-02-104，民國 96 年。
- 蔡春進，97 年度「環境中奈米物質量測及特性分析技術」，期末報告，EPA-97-U1U1-02-106，民國 97 年。
- 蔡春進，98 年度「環境中奈米物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。
- 蔡春進，2009，奈米技術實驗室暴露與控制狀況測定及編撰奈米技術實驗室暴露控制手冊，勞工安全衛生研究所期末報告，IOSH98-H324。
- 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。
- 廖宜賢，97 年度「環境奈米科技知識庫之強化及推廣」，期末報告，EPA-97-U1U1-02-105，民國 97 年。
- 廖宜賢，96 年度「建置環境友善奈米科技之知識庫平台」，期末報告，EPA-96-U1U1-02-101，民國 96 年。
- 鄭師安，奈米生醫之法制政策問題初探，科技法律透析，pp. 7-13，2006 年 11 月。
- 行政院環保署/國科會，空汙防治科研合作計畫期末報告，pp 3-7, pp 81-89，民國 97 年。
- 環保署，台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫，<http://ehs.epa.gov.tw/>





**委員意見回覆對照表**

委員意見	廠商意見回覆（交通大學）
<p><b>委員一意見</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 環境奈米科技論壇所規劃項目甚多，是否有合適之主講人選？</li> <li>2. 由於本計畫屬前瞻性及負有政策內涵，署內相關專業人力不足，工作內容極大部分可能會成為署的政策與立場，執行過程之查核應與環保署充分協商。</li> <li>3. 計畫為何是跨年度執行？</li> </ol>	<p><b>委員一意見回覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計畫書中規劃之主講人選為初步暫訂。簽約後本團隊會提報正式主講人選經環保署同意再行邀請。</li> <li>2. 執行過程中本團隊會與環保署密切配合，以達成本研究案的目標。</li> <li>3. 計畫履約期限為環保署招標時所制訂的。</li> </ol>
<p><b>委員二意見</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 這個計畫今年度的重點目標（國外）應是 OECD 及 ISO，工作流程則為如何結合其他 6 個計畫去達到參與 OECD 及 ISO 的目標，此工作流程可深入思考。</li> <li>2. 國內重點還是在國科會長官，EHS 立法管制等意見溝通，避免以為國外都有管理而國內沒有。</li> </ol>	<p><b>委員二意見回覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員的指教，本計畫將與其他計畫保持密切連續，以達成參與 OECD 及 ISO 的目標。</li> <li>2. 在國外，有許多奈米技術 EHS 議題仍處於研究階段，本計畫會將相關的研究進展作切實的整理。</li> </ol>
<p><b>委員三意見</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 如何與其他 6 個計畫進行橫向連絡，強化各計畫之研究成果，以有效的將成果國際化，增加國際能見度？</li> <li>2. 經費編列可再詳細分列，人事費部分與投入人力不甚符合。</li> </ol>	<p><b>委員三意見回覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本團隊會配合環保署提出的邀標書內容執行，本計畫將與其他計畫保持密切連續，以達成參與 OECD 及 ISO 的目標。本團隊計畫主持人已受邀參加歐盟 NANODEVICE members of the Annual Forum for Nanosafety，透過相關國際研討會的參與，可以呈獻國內的研究成果，</li> <li>2. 協助本計畫的關副教授、連副教授及他們的學生的人事費會以顧問費及兼任助理費的方式給付。</li> </ol>

委員意見	廠商意見回覆（交通大學）
<p>3. 目前國內研究成果部分為其他部會的投入，導致成果無法國際化，是否可於未來研究過程進行初步整合或提出未來的建議，以利未來跨部分的整合與推動，並有利於環保署的成果展現。</p> <p><b>委員四意見</b></p> <p>1. 本計畫團隊過去在環境奈米科技之國內外文獻回顧與整理有相當深入的涉入，主持人也從事相關研究，對於本研究案之要求有能力達成。</p> <p>2. 本計畫書對於國內勞研所執行的相關研究及成果（如國內廠商資料及暴露評估資料等）建議彙整，並在本計畫建立與其他部會研究與政策的網絡。</p> <p><b>委員五意見</b></p> <p>1. 奈米 EHS 之論文收集可再增加廣度，目前之目標期刊 (Nano Letter, ES&amp;T) 有關奈米 EHS 較少？</p> <p>2. ICON 之虛擬期刊僅有摘要，是否能獲得預期資料？可考量最新研討會、論壇之論文收集？</p> <p>3. 環境奈米物質質量測及特性分析等，並評估國內研發/執行能量缺口，建議增</p>	<p>3. 謝謝委員的指教。本計畫在研究過程會依照委員建議的方向努力，加強與其他的部會連繫，並在環境奈米知識庫內與各部會奈米 EHS 成果網頁作連結。</p> <p><b>委員四意見回覆</b></p> <p>1. 謝謝委員的肯定。</p> <p>2. 謝謝委員的指教。本計畫在研究過程中會依照委員建議的方向執行，加強與其他的部會連繫，並在環境奈米知識庫內與各部會奈米 EHS 成果網頁作連結。。</p> <p><b>委員五意見回覆</b></p> <p>1. 奈米 EHS 相關的期刊甚多但水準不一，計畫書除了以 Nano Letter, ES&amp;T 二種奈米科技領域的國際 SCI 尖端期刊為例作論文的統計，也說明了國際上仍有許多優良的奈米 EHS 期刊，如 Nanotoxicology, Toxicology, Journal of Nanoparticle Research, Environmental Health Perspectives, Journal of American Chemical Society, Particle and Fibre Toxicology, Toxicology Letters, Journal of Applied Toxicology 等重要期刊，本研究均會加以回顧。</p> <p>2. 謝謝委員的指教。ICON 之虛擬期刊僅有摘要，全文需要在電子期刊中獲得。另外，本團隊將會出席國內外 EHS 相關的研討會並攜回最新之研討會論文，彙整於後續的研究報告中。</p> <p>3. 謝謝委員的指教。目前實場(廠)之相關文獻目前的確較少，會在後續研究中</p>

委員意見	廠商意見回覆 (交通大學)
<p>加實場 (廠) 文獻之收集，非僅限於學術性或實驗室測試等。</p> <p>4. 如何整合國內各單位 (跨部會，例如勞委會、衛生署)之成果，並進行國際交流，可提出建議做法。</p>	<p>加強收集。</p> <p>4. 委員的建議會納入未來的工作。本計畫會加強與其他的部會連繫，並在環境奈米知識庫內與各部會奈米 EHS 成果網頁作連結。</p>





委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
<p><b>勞工安全衛生研究所 汪博士禧年</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 有 9 個 OECD 會員國已經訂定 24 種法規，針對這些法規，是否都有相關檢測方法？建議優先引入檢測方法完備之法規。</li> <li>2. 國外奈米物質上市前，評估是如何進行？建議在報告中更詳細說明，供相關單位參考。</li> <li>3. 建議在報告中列出國內應該優先考慮建立的奈米檢測相關技術。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. OECD 的測試指引適用於一般的毒性化學物質，對於奈米物質的適用性正在評估中，有些適用，有些需作進一步的測試及研究，可參考期中報告定稿本中的 4.1.3.1~4.1.3.6，4.1.4.13 及 4.1.5.1 節。</li> <li>2. 以美國 EPA 為例，業者需提供奈米物質的資料，作業場所暴露及控制環境釋放及棄置等資料(可參考 4.1.1.2)。</li> <li>3. 空氣中奈米微粒的採樣分析技術較土壤及水體中先進很多，唯欠缺作業人員的個人暴露評估技術，國內可優先研究作業環境個人暴露評估，發展自然水體中的奈米物質採樣分析技術。</li> </ol>
<p><b>環保署環境檢驗所 莊組長士群</b></p> <p>ISO 及 OECD 有關奈米科技 EHS 議題：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建議將國際之相關檢測方法，命名規類方法，責一機關如經濟部標準局，仿 ISO1400 精神，將其翻譯，使成本土資訊。</li> <li>2. 建議將” characteristic” 由特徵分析改成特性測定。</li> <li>3. 建議期末報告中有各領域(EHS)實驗室應建立之基本檢測項目，檢測儀器設備之建議以利後續規範之擬定。</li> </ol> <p>先進國家法規進展議題：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由有機氯化物先核准使用，發現對人類及生態產生極大傷害，紛紛禁用</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因國內人力及資源有限，翻譯先進國家投入很多資源作出的標準及指引，研究其在國內的適用性，及使之成為本土化標準及指引，有必要性。</li> <li>2. 同意此項修正，報告全文的特徵分析已全部修正成特性分析。</li> <li>3. 根據 OECD 的化學物質測試指引，奈米物質需測定的項目很多，但是若以檢測是否有奈米物質逸散而言，手提式的 CPC(凝結微粒計數器)，進一步的採樣及分析可參考勞委會的奈米技術實驗室暴露控制手冊。</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同意此看法。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>之經驗，建議所有奈米物質均規納為全新化學物質，甚至以”毒性化學物質”管理。</p> <p>2. 訂定一套管理規範及去列管的標準。</p> <p>3. 修訂相關法規包括毒管法、食品衛生法及勞工安全衛生法，增加奈米管理法規之規定。</p> <p><b>工業技術研究院 張研究員敏超</b></p> <p>1. 資料中所提供的歐美等地區之相關法規變化及發展分析、簡單、扼要而豐富，可以看出兩個地區之相異性及相似性。由於亞洲地區正處於新興經濟地區，中國大陸及日本是否該進一步以類似方式揭析其國內相關法規規定進展。</p> <p>2. 於台灣國內許多業界，常以”奈米物質”為其廣告，包括奈米銀、光觸媒及藥物品等。歐美已準備禁用奈米銀於電器、電子產品等。EPA 是否根據蔡教授的這個計畫成果，建請國內相關單位開始正視奈米物質安全性及限制一些商業化廣告宣傳。</p> <p>3. 就如同報告中所述國內的法規無奈米物質特定條款(我的了解應是如此)。EPA 應催促成立以蔡春進教授為首的專家顧問委員會，仿照歐美開始修正或判定相關相關法規。</p> <p>4. 請問蔡教授或其它國內教授有否參考工研院等單位有關奈米物質所EHS 相關計量標準計畫。若無，是否須有相關部門整合產官學等專案，做好這項工作。</p> <p><b>國立台灣大學化工系 吳教授紀聖</b></p> <p>1. 由於法規尚未建立，世界都一樣，建</p>	<p>意見回覆</p> <p>2. 可建議相關單位檢討及修訂現行國內的法規制度。</p> <p>3. 可建議相關單位檢討及修訂現行法規，以符合管制奈米物質的需要。</p> <p>1. 目前亞洲地區的日本是以類似粉塵作業的「奈米物質製造及處理作業環境暴露預防策略」作管理，其他的日本法規請參考期中報告定稿本中的4.1.1.1 節 OECD 會員國的法規整理報告。中國大陸目前的法規尚未完備。</p> <p>2. 同意此看法，可以加強奈米商品的安全性測試及管理。</p> <p>3. 奈米法規涉及國內的各個單位，國家應投入資源，作法規的檢討與整合。</p> <p>4. 本計畫已參考工研院量測中心有關奈米物質的標準制定計畫，請參考期中報告定稿本中的 4.1.2.1~4.1.2.3 節。</p> <p>1. 同意此看法，建議奈米標章產品之廠</p>



委員意見	意見回覆
<p>議國內可以從經濟部工業局的“奈米標章推動小組”開始，對於標章審查，需納入“顯著新使用通知”類似的表格，由申請者自行填寫申報，建立國內奈米產品的資料庫。</p> <p>2. 在“法規進展”報告中(修訂版)，P 15 倒數 5-6 行，有誤。P.16，第 4 行，(6). 8 語意不明，請修正。</p> <p>3. 除了奈米物質本身的風險研究外，對於奈米顆粒表面可能攜帶的危害物質，可能也要注意及未來的研究發展。</p> <p><b>中國科技大學 謝教授子陽</b></p> <p>1. 國內法規建置是否依照國外，由原有法規進行修訂、增補，還是建置新法規，(或是兩種方法合併採用)須考量國內檢測能力及方法。</p> <p>2. 另外管制的優先順序，須考量先管制原料端(製造或進口端)，或使用端，可建議適切性及切入容易性。</p> <p>3. 對於國內奈米物質的選定(對象)可能須配合關稅總局的參與及量大小、使用頻繁性及產業應用的因素，例如碳黑、奈米碳管、二氧化矽等。</p>	<p>商配合國內奈米物質之法規修訂，並進行產品安全性測試。</p> <p>2. 已修正於期中報告定稿本第 65 頁。</p> <p>3. 奈米物質有可能與其他的顆粒物團聚，因此以 TEM 及 SEM 觀察，且作化學分析有其必要性。</p> <p>1. 國外法規如美國 EPA 與歐盟的 REACH 均較完備，本國可以據以參考並修訂本國法規。</p> <p>2. 進口端的管制很重要，因本國有許多的奈米物質為直接進口。</p> <p>3. 本計畫已統計一些可能含有奈米物質的粉體數量及金額如下，可供政府修訂法規時之參考：</p> <p>(a) 碳黑，進口數量：46,667 MT，金額：1,703 million NT。</p> <p>(b) 氧化鋁，進口數量：41,599 MT，金額：1,315 million NT。</p> <p>(c) 二氧化鈦，進口數量：37,703 MT，金額：2,623 million NT。</p> <p>(d) 二氧化矽，進口數量：13,080 MT，金額：1,298 million NT。</p> <p>(e) 氧化鐵，進口數量：8,640 MT，金額：311 million NT。</p> <p>(f) 氧化鋅，進口數量：3,777 MT，金額：221 million NT。</p>

委員意見	意見回覆
<p><b>中技社 鄒主任倫</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 資料整理相當完整，值得肯定。</li> <li>2. 現行法規中毒管法較合適作為環境領域中管理奈米技術應用之法源</li> <li>3. 建議訂定毒管法中管理奈米之單章草案，採下列原則：               <ol style="list-style-type: none"> <li>(1)國防接軌，引進</li> <li>(2)國內相容，互補</li> <li>(3)規範先易(如登錄)後難</li> </ol>               (前述如非本計畫工作，建議由署內協調毒管處協助)             </li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 同意此看法。</li> <li>3. 建議環保署內部作協調。</li> </ol>
<p><b>國立清華大學生醫工程與環境科學系 董教授瑞安</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 奈米物質的量測與分析技術的發展中，量測技術的標準化及相關法規的建立與明確化是相當重要的。ISO 與 OCED 目前的進展與經驗可考慮與國內現有奈米相關計畫研究成果結合，以建立國內量測技術的標準化。</li> <li>2. 奈米物質的形貌及物化特性均不盡相同，在現階段的確可以考慮進行階段性的管制，在第一階段也許可以氧化鋅及二氧化鈦為標的物。</li> <li>3. 國內有部分單位進行暴露評估與風險評估工作，如能結合此部分研究能量及現行法規加以修訂，對奈米物質的管制會比較符合國內現況。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同意此看法。目前環保署的奈米計畫已經要求執行單位參考 ISO 及 OECD 之標準。</li> <li>2. 可參考目前本計畫已掌握的可能含有奈米物質的清單。</li> <li>3. 本計畫將與勞工安全衛生研究所及衛生署加強聯繫。</li> </ol>
<p><b>國立台灣大學職業醫學與工業衛生研究所 鄭教授尊仁</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 奈米物質使用之規範，美國及歐盟已漸形成中，本文獻探討收集詳細，對世界趨勢有詳細描述。</li> <li>2. 奈米法規及 EHS 資料很多，如何整理容易讓讀者了解，請考慮列出整體架構方便讀者的進入及參考。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> <li>2. 本計畫期中報告定稿本的結果與討論第四章節已作大幅修正，已較容易閱讀。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>3. 因應世界對奈米物質之規範，台灣應開始啟動，基本的步驟是了解目前奈米物質使用及製造情況，如何應用目前已有的法規對奈米物質進行規範，值得進一步研究，特別是毒管法。</p> <p><b>國立台灣大學化學系 張教授哲政</b></p> <p>1. 奈米科技及產業之發展，應有國家級的策略和政策。美國調查趨勢，在 2001 年已創立 National Nanotechnology Initiative (NNI)，並於 2003 年 12 月 3 日通過法令，成立 National Nanotechnology Advisory Panel (NNAP)，直屬總統，且於 2004 年 7 月 23 日正式由 President's Council of Advisors on Science and Technology 承擔 NNAP 職責。反觀國內，最高科技權責單位為科技顧問組，隸屬行政院。科技顧問組之下，設六小組，並無奈米科技專責的小組。對奈米科技在經濟、國防、環境、健康、社會和生活的因應，其權責單位幾乎缺如，更遑論其高度和廣度明顯不足。</p> <p>2. 行政院近十年來之科技顧問會議之籌劃，似乎並未對奈米科技之衝擊有深刻之覺醒，而在歷次會議中，未將奈米產業列為單一議題。最接近此議題者，可能為 2007 年第二十七次科技顧問會議中之「我國科技發展系統方向與策略之檢視」和「我國科技決策與管理之檢視」。在該二議題之報告案和討論案中，僅前議題之 44 頁報告案中的第 43 頁，將奈米科技列為 23 項新興科技之一與 9 年佈局產業之一產業，及後議題中提及「奈米」為七項優先推動的國家型科技計畫。產、官、學、研之學者專家，在國家奈米科技與產業發展之一提的集</p>	<p>3. 同意毒管法為目前最有能力管制奈米物質之法規之一，可以先作檢討。</p> <p>1. 奈米 EHS 議題在政府部會間之協調整合工作已經開始，成效正在顯現當中。</p> <p>2. 同意此看法，國內應謹慎的因應世界潮流。</p>

委員意見	意見回覆
<p>思與討論，明顯不足。應類似去年第二十九屆科技顧問會議以專一議題報告並討論綠能產業(議題五)和生技產業(議題六)一樣，嚴謹討論奈米科技對國內產業及生活之影響，並從長規畫與規範。</p> <p>3. 有關奈米科技之環境安全與衛生的規範，我國目前雖有 16 則相關的法規，但並沒有奈米相關的認證標準。建議優先設立類似美國之 American National Standards Institute 之 Nanotechnology Standards Panel (ANSI-NSP)，做為有關奈米研發和生產之協調組織，以助奈米科技和產業之名詞、材料特性、測試過程、性質鑑定和分析方法之標準化，使相關法規之內容有所依循，方得啟動奈米 EHS 之控管。</p> <p>4. 上述標準化的制定，可考慮依奈米物質或場所之致癌性、致突發性、持久性、累積性、…，進行分級，並依其不同等級，規畫適宜之時程的階段性修正納管，始奈米製造、使用、廢棄物處理、產品進口、商品包裝和行銷等，得適當孕育，有清楚之規範與合宜的時程做調整，以鼓勵並推動奈米產業之提升。</p> <p>5. 目前已知的化學品有千萬種，而單一化學品因其奈米粒子之大小、形狀、表面光滑性之差異，其材料特性、物理化學性質、產品用途、毒性和宿命資料便會有所不同，故”奈米”化學品目前之知識庫的缺口甚大，其 MSDS 之完整性有賴環保署及相關政府單位長期鼓勵各領域之學者專家投入研究和資料整理，方能落實法規之精神與人員環境的保護。</p>	<p>3. 國內奈米 EHS 的標準化工作已經展開，但受限於人力及物力，有許多標準需仰賴國外已制定之標準。</p> <p>4. 此項工作也已展開之中。</p> <p>5. 世界各國對奈米物質的 MSDS 仍在研議之中。</p>

委員意見	意見回覆
<p>6. 有關氣膠微粒數目濃度之量測，光學顯微計數器一般無法量測微粒大小低於 50-100 nm，且其測量值亦因微粒之形狀與折射率而異。凝結微粒計數器則因將 vapor(例如：alcohol)凝結於微粒，而可量測微粒大小低至 10 nm 左右。但 vapor 凝結能力與微粒化學組成有關，且 vapor 凝結致使 particle number concentration 的 traceability 更差，故在非極小奈米微粒或高濃度時，可考慮上述二計數器之資訊為互補。</p> <p>7. 目前 Univ. of Manchester 之 Center of Atmospheric Science 使用二套 Differential Mobility Particle Sizers 組合而成的微粒計數器，量測氣膠微粒數目濃度，其中，每套 sizer 乃由一套 Differential Mobility Analysis System 和一套凝結微粒計數器所組成。該中心聲稱其計數器可於每時分中提供微粒數目濃度在 2.5-900 nm 範圍的分佈狀況。類似系統似乎值得在國內研發，有利量測儀器在國內之普及，以落實法規之執行。</p>	<p>6. 現階段 OPC(Optical Particle Counter) 與 CPC(Condensation Particle Counter) 常用於奈米物質之逸散測定，其中 CPC 的 ISO 標準制定也正在展開。</p> <p>7. 美國 TSI 公司對 SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)系統有長期之研發與銷售經驗，此系統也是研究奈米微粒粒徑分佈時使用最多的，詳請參考本研究團隊的過去研究報告。</p>
<p><b>勞工安全衛生研究所 陳博士春萬</b></p> <p>1. 台灣對於申報資料過去常引用國際上之資料(如毒性、控制、防護措施)，若未來國際或先進國家有要求時，而台灣有新開發之奈米物質時，若無這些資料建立技術，會不會變成一種市場化障礙。(政府)應要投入這些方法之開發與建立，應要投入支持人力維護參與或收集最新發展資料。</p> <p>2. 推行之做法，現階段已開始有申報作法，對於特定法規，可能要回歸現有的法規之「指定」或「調整」。</p>	<p>1. 建議本國加緊奈米物質法規之檢討與制定，以協助本國奈米產業之永續發展。</p> <p>2. 同意此看法。</p>

會議名稱：「環境中奈米物質量測及特性分析技術及未來暴露評估與風險評估的知識缺口」研商會議(二)

**會議記錄**

一、時間：99年11月10日(星期三)下午1時30分

二、地點：本署4樓第3會議室

三、主席：曹顧問賜卿

記錄：簡誌良

四、出(列)席單位及人員：如簽到單

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：詳委員意見表

八、散會：下午3時40分

## 委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
<p>國立台灣大學生化分生所 詹教授迺立</p> <p>參與本計畫的三位教授對現行國際間對奈米物質的界定、規範與現行研究做了非常詳盡的回顧與評析，也特別針對國內在此領域的「知識缺口」進行檢討。由於我個人從事基礎生化研究，因此僅就以下探討奈米物質與生物體間交互作用的方面提出幾點想法。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由文獻回顧中並未提及生物體對奈米毒性物質的抗性分析，也許藉由抗性生物的篩選可以促成新的對於抗性機制的了解。</li> <li>2. 設計毒性測試實驗時應考量測試對象的代表性，以及測試是否涵蓋各主要物種(如植物、細菌、無脊椎、以及脊椎動物等…)。</li> <li>3. 毒性物質的環境宿命是非常複雜的議題，且會隨著許多環境因子的改變呈現顯著的波動。雖然如此，是否仍可藉由實驗設計(如分為single/multiple/continuous treatment)去觀察 nanoparticles 對不同生物的影響。</li> </ol> <p>國立台灣大學公共衛生系 吳教授章甫 毒性評估部分</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員意見。目前僅知少數細菌株具有對奈米微粒的抗性，因此在生物技術上用來做為生產奈米微粒的系統，此外並無太多文獻報導生物體對奈米毒性物質的抗性。</li> <li>2. 本計畫文獻回顧的部份，在奈米微粒之毒性上，主要重點為以動物模式及體外細胞株模式實驗所產生的結果。本報告另有專章討論奈米物質對水生生物及環境生態的影響。</li> <li>3. 如委員所述，奈米物質受環境因子影響很大，因此本計畫在奈米物質之環境宿命的知識缺口的研析上，主要專注於環境因子對奈米物質”型態”(form)的影響。透過奈米物質在環境中最終的型態(仍為奈米或變為非奈米物質)，來判斷後續的奈米風險問題。換言之，相同的概念亦可適用於奈米物質對生物的影響(包含毒性)，當經過環境因子的作用之後仍為奈米物質者，是有可能利用委員所提之實驗設計概念進一步了解對生物之影響。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>1. 建議可由 whole animal studies 之角度加以討論，以區隔與 cell lines 研究方法之不同。</p> <p>2. 建議針對 4.14 文獻搜尋方式加以說明。</p> <p>環境傳輸轉化部份</p> <p>1. 建議可對”大氣環境”中之傳輸與宿命加以說明。</p> <p>2. 建議可對人體暴露歷程” OECD 4.(8)”加以說明。</p> <p>環保署環境檢驗所 阮所長國棟</p> <p>1. 毒性物質(傳輸重金屬及環境污染物)在空氣、水、土壤中的暴露評估或風險評估在環保署現行業務中出現的(例如環評、土污、水中生物檢定、PM<sub>10</sub> 及 PM<sub>2.5</sub>、環境衛生用藥等)，仍然有許多知識缺口，所以要探討奈米物質的暴露評估可能仍屬於嬰兒期的階段，離成熟應用還有相當大的距離(因此，目前的策略還是依賴 OECD 及 ISO 等的國際團隊有系統的分工合作)。</p> <p>2. 環保署在嬰兒期重點投入在量測技</p>	<p>1. 本章節分別就不同的奈米物質的毒性做文獻回顧，其中已包含了以動物實驗模式得到的數據。由於以動物實驗模式得到的奈米物質的毒性報導，多只是報導現象，並為提供其毒理的機制，而細胞株模式則提供較多毒理機制之探討，因而決定不將兩種系統區隔而做整理。</p> <p>2. 此為期中報告定稿本中的 4.1.4.14 節。針對此節的文獻搜尋方式，採取目前以 NCBI PubMed 公開系統中，可以搜集到的國內研究學者在奈米微粒毒理探討方面的文章；雖然國內研究學者在其他領域，如奈米微粒在生醫材料及醫藥應用上也有多數文章被發表，但因不屬於奈米微粒毒理探討，因而未列入。</p> <p>1. 大氣中奈米物質之傳輸與轉化複雜，本研究團隊過去已執行的報告中已有許多文獻回顧，可供參考。</p> <p>2. 謝謝委員的建議。此為期中報告定稿本中的 4.1.5.1 節，已依建議增修奈米物質的人體暴露歷程說明。</p> <p>1. 因國內人力及資源受限，應多參考 OECD 及 ISO 之標準及指引，並尋求合作機會。</p> <p>2. 同意此看法。</p>



委員意見	意見回覆
<p>術開發，方向是正確的，要堅持下去。暴露評估所需的資料遠小於國際評估，可以先聚集在暴露評估，方向也是正確的。</p> <p>3. 知識缺口與國內能量缺口範疇有些不同，能量缺口為國內實況探討，以過去 PM<sub>2.5</sub> 監測工作為例，雖然環保署支援經費，建置超級測站並取得數據及推展到健康風險評估，其實認真檢討起來，其中知識缺口仍存在甚多，要將 PM<sub>2.5</sub> 列入正式管制工作，各縣市及中央的執行能力可能還是一個問題(最近監資處在檢討 PM<sub>2.5</sub> 的過去及未來工作)，環檢所設置量測 PM<sub>2.5</sub> 的精密天秤室，必須控制濕度、溫度等，操作費用甚高，將來要測 PM<sub>0.1</sub>，其投資應更可觀。所以本計畫屬性尚屬早期探索(國際上也一樣)，離實務還有一段距離，所以整體前瞻研判等均不宜太樂觀，太簡約，要不斷重申國際的科學的狀況。</p> <p><b>國立成功大學醫學院公共衛生研究所 李教授中一</b></p> <p>1. 研究團隊目前 review 的文獻大多為 risk identification 及 dose-response relationship 的範圍主題，這是未來進行風險評估之基礎。</p> <p>2. 對於未來的流行病學研究來說：  (1) 奈米顆粒進入人體的路徑(portal of entry)。  (2) 奈米顆粒的標的器官或相關疾病。  (3) 人類使用奈米科技產品與實際奈米顆粒之暴露量。  等三項訊息非常重要，這也是暴露評估之重要內涵。</p> <p>3. 職業流行病學研究與民眾使用奈米顆粒之健康流行病學研究對於健康</p>	<p>意見回覆</p> <p>3. PM<sub>2.5</sub> 中有很多是次微米微粒，奈米微粒的大氣環境濃度並不高，但仍有深入研究之必要，尤其是數佰奈米微粒的部份，國際上的研究進展也很多，值得我們密切觀察。</p> <p>1. 同意此看法。</p> <p>2. 同意此看法，目前國內外的研究論文很多與第(1)、(2)項有關，第(3)項的論文較少，尚需努力。</p> <p>3. 目前勞委會及國衛院已經開始執行職業暴露族群的健康危害調查。</p>

委員意見	意見回覆
<p>險評估是很重要的訊息，其中職業流行病學的優先性應較高，因為如果奈米顆粒有不良健康效應的話，那應該在職業族群中會比較容易看到。</p> <p><b>國立台灣海洋大學水產養殖學系 龔教授紘毅</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 現有生物毒性的測試終點的標準不適用在奈米物質，除利用小型的甲殼綱物種和水蚤進行長時間慢性毒性終點測試，建議應加入脊椎動物模式物種，水中生物以斑馬魚或青鱈魚為模式，陸上生物以小鼠為模式，兼具世代週期短(三個月)的特性，甚或納入重要養殖魚種吳郭魚為模式。</li> <li>2. OECD 建議奈米物質替代性檢測方法以 cell lines 為主，而不建議用 animal models 考量原因為何？動物模式做為毒理測試應為主流發展趨勢，如奈米物質與 DNA interaction 造成突變，成為 mutagen 產生世代間 generation to generation 遺傳改變，此亦為 cell lines 無法提供數據之處，後者也無法對生殖系統的影響作評估。</li> <li>3. 奈米生物毒性測試應考慮包含改變組織器官基因表現，以了解其作用分子機制，建立檢測 marker genes 基因毒性及遺傳評估。</li> </ol>	<p><b>意見回覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同意此看法，魚類的模式對奈米物質耐受性較水蚤和藻類高很多，十分值得國內學者長期投入此研究。</li> <li>2. OECD 建議研擬替代的測試方法，其理由為希望能 1) 降低在探討奈米物質危害所使用的動物數量，2) 減少在測試過程中對動物的傷害，3) 或改用非動物的其他實驗模式。這些替代的測試方法的的選定有個 3R 定律為主要原則，即精緻化 (Refinement)、減少化 (Reduction)、及可替代化 (Replacement)；OECD 也建議這些替代的測試方法能用在大部份的奈米物質危害評估中，因此可以大量並快速篩選的方法也是非常重要的。詳見期中報告定稿本中的 4.1.4.13 節。</li> <li>3. 謝謝委員意見。將在日後研究以此為方向做探討。</li> </ol>
<p><b>工業技術研究院 許研究員心蘭</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫應是提供一個領域的全貌，並從文獻中整理出該全貌中有哪些拼圖區塊，尚缺少哪些區塊，至於技術的細節不必要講太多，像 chap.5 有超過一半的篇幅在講實驗及其結果，雖</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 此為期中報告定稿本中的 4.1.5 節。此節的各小節均已歸納出國內外的研究現況並作出具體建議。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>然內容很有趣，但對於本計畫的主題來說，略嫌瑣碎了點。</p> <p>2. 我覺得你們文獻看了不少，但呈現的方式沒有給出一個 picture，建議以圖跟表的方式做總整理，再以文字敘述做說明。以奈米鐵為例，使用圖說描述其主要進入環境的途徑是在使用上注入含水層(路徑 1)，與其他的後續路徑 2、3 等。根據各不同路徑再列表說明每一路徑及其相關的研究議題，建議是講大方向。以路徑 1 為例，研究主要是穿透性及反應性半衰期，所以你們能整理成題目、主要內容及參考文獻。若能再加入一些重要但很少或無人研究的題目更好。</p> <p>3. 我認為此份 report 應以知識缺口為重點，所以不必限於國內有哪些人在做。此外，研發能量缺口也不是問題所在，因為這些可以靠國際合作來補足的，最重要的還是找到知識的缺口，讓大家知道哪些課題需要多一點投入。</p>	<p>2. 各種奈米物質的環境宿命不同，有時會因研究方法不同而產生不同的觀察結果，這是近年來 ISO 及 OECD 投入各種研究計畫，制定測試標準及指引的原因，也是本年度的計畫內容重點。奈米鐵過去的研究很多，今後會再加強整理。</p> <p>3. 這是本計畫努力的目標，國際合作十分重要，應該重視及加強。</p>
<p><b>傑智環境科技股份有限公司 簡博士 弘民</b></p> <p>1. 水中生物毒性測試的規範應該考量的重點包括奈米物質的物化特性轉變(比表面積、粒徑大小、離子態等)以及水中環境參數的影響。</p> <p>2. 奈米物質的毒性評估所引用的 Sarlo et al., 2009 的研究成果，顯示 20 nm 的 PSL 微粒並不會在大腦組織中出現，這是否與過去認知的血腦屏障 80 nm 的孔隙有差異?</p> <p>3. 奈米微粒(二氧化鈦、氧化鋅、銀等)應用於功能性紡織品，但是與人體接觸的安全考量需列為最優先用顯議題，國際上知名廠商(Nike, LV, etc.</p>	<p>1. 這些參數均需考慮在生物毒性測試過程中，詳請參考期中報告定稿本中的 4.1.3.1~4.1.3.2 節。</p> <p>2. 在 Sarlo et al., 2009 的研究成果，20 nm PSL 微粒並不會在大腦組織中出現之原因，可能是因其可自由通過血腦屏障，因而並不會在腦中累積。</p> <p>3. 奈米產品的安全評估報告較少，將來會加強收集與研究。</p>

委員意見	意見回覆
<p>)均會申請 Blue sign 認證，未來可建議此項風險評估。</p> <p><b>國立清華大學材料科學工程學系 李教授紫原</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 報告中收集了許多文獻探討奈米物質與生物體之間的關聯，然許多報告中僅列出奈米物質的濃度，對奈米物質的大小，反而較少著力，在此沒有明確標示大小的情況下，會造成各種報告的成果並不一致的。</li> <li>2. 在報告也發現，氧化鋅的毒性，並非微粒本身，而是溶解性鋅離子，因此，可知微粒的毒性來源不一，當然微粒的溶解度較大是原因之一。</li> <li>3. 另外，奈米物質的表面特性也是影響其毒性的重要因子。報導奈米物質時，應明白標示奈米物質的表面特性。</li> <li>4. In 5, page 1.1 富勒烯{Fullerenes(C<sub>60</sub>)} 富勒烯包括 C<sub>60</sub>，而非僅 C<sub>60</sub>。</li> <li>5. OECD 所列之 14 種奈米物質有否大小的資訊。</li> <li>6. 量子點的材料本身就是具有毒性，微小化之後其毒性可預期，因此並被 OECD 列入。</li> <li>7. 奈米物質是全然的負面嗎？是否有奈米物質是對生物體是好的。</li> </ol>	<p><b>意見回覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因奈米物質為至少有一尺寸小於 100 nm 時稱之，現在發展的 ISO 及 OECD 測試標準要求粒徑、團聚大小等均要先作測試，目前文獻上的數據有些並未有此數據，導致毒性測試結果差異很大。</li> <li>2. 各種奈米物質及其離子的毒性各不同，因此水中奈米物質的物化特性測試十分重要。</li> <li>3. 同上。</li> <li>4. 全文已作修正，改成 C<sub>60</sub> 富勒烯，而不使用富勒烯(C<sub>60</sub>)。</li> <li>5. 14 種奈米物質的負責國家，會注意大小、溶解度、團聚及表面特性的數據影響毒性測試結果的問題。</li> <li>6. 是的，可能是一量子點已具有毒性，才未被 OECD 列入。</li> <li>7. 尚未有相關的文獻報告出現過。</li> </ol>
<p><b>國立成功大學醫學院工業衛生學科暨環境醫學研究所 蔡教授朋枝</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 水生物毒性測試，為模擬奈米物質在水中之實態，或許可考量 Oberdöster (2006) 之長時間清水攪拌法，但對最後之水溶液內之奈米物質仍需從事</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前此方法似乎是最具代表性的奈米物質樣品溶液之製備方法。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>其物化特性之量測。</p> <p>2. 現有生物毒性測試終點對奈米物質恐有不適用之情形，小型甲殼綱物種和水蚤長時間慢毒性終點測試亦值得參採。</p> <p>3. 奈米物質毒性測試方法，以體外細胞測是較具發展性，唯就 End-point 而言，仍需持續收集及累積研究成果。</p> <p>4. 奈米物質之毒性危害，未來亦可加入流行病學研究成果。</p> <p>5. 奈米物質在環境中傳輸、轉化及宿命，與國內產業概況有關。又由於 OECD 之 WPMN 已選擇了 14 種之奈米物質，在我國方面或許以留意其進展為主。對於國內在此部分研究則考慮與高科技產業有關之奈米物質為主，如奈米量子點，或依據進口量及產業來決定我國之工作重點。</p> <p>6. 奈米物質即使沉降後，仍需留意其傳輸、轉畫及宿命，有關其相關之實驗計畫仍需留意國際之發展。</p>	<p>2. 同意此看法。</p> <p>3. 謝謝委員意見。將持續就體外細胞株系統之毒性做收集及累積研究成果。</p> <p>4. 同意此看法，勞研所及國衛院正朝此方向努力。</p> <p>5. 建議我國政府參考進口量大的奈米物質作為將來研究之重點。</p> <p>6. 將來會注意此方向的發展。</p>
<p><b>義守大學生物醫學工程系 張教授慧柔</b></p> <p>1. 在奈米物質的毒性評估中，收集國內外文獻研究，發現奈米化學毒性物質確實對人體的傷害，但因奈米化學物質通常本身就具有化學毒性，因此本人建議應要收集同一種化學物質包括化學物質本身形成的毒性與奈米型態形成的毒性做比較，較能顯出是因奈米型態化學物質產生的毒性，而不是化學物質本身產生的毒性。在此建議收集的化學物質以 14 個具代表性工程奈米物質為主，以表格做比較陳列較合適。</p>	<p>1. 謝謝委員意見。目前最常被報導的奈米物質毒性為奈米碳，已知因其不同結構、不同粒徑、不同製備方法、不同毒性檢測方法等皆會產生不同毒性結果。而文獻中所報導的其他種種奈米物質毒性，也有不同的數據解讀，因此目前仍不易將現有的結果做整理比較其與化學物質本身之毒性。</p>

委員意見	意見回覆
<p>2. 在 3.5 生物或非生物降解性，內容第 2 段第 2 至第 4 行提及假設某個奈米物質由一個具有快速生物降解性的聚合物所構成，則我們可以推斷此奈米物質的降解特性與非奈米物質相似，此段假設應要有研究文獻輔助。</p> <p>3. 奈米物質對環境生態的影響內容中，3.5 生物或非生物降解性，3.6 生物累積性，在國內外研究文獻的收集不足。</p>	<p>2. 此部份的假設出自 OECD ENV/JM/MONO(2009)21 的文獻，我們在期中報告定稿本中的 4.1.3.5 節(第 140 頁)已加入參考文獻。</p> <p>3. 此部份為期中報告定稿本中的 4.1.3.5 及 4.1.3.6 節，內容均為 OECD ENV/JM/MONO(2009)21 之檢討報告，其根據為現行的化學物質測試指引，因而有許多的內容並未根據研究文獻。將來我們會加強國內外此方面文獻之探討。</p>

## 附錄四 「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫之工作檢討會議記錄

### 會議記錄一

一、時間：99年8月6日（星期五）上午10時00分

二、地點：國立交通大學環境工程研究所會議室

三、出席單位及人員：

叡揚資訊股份有限公司：鄭榮家、王煥文、陳盈旭、林凱鴻

國立交通大學環境工程研究所：蔡春進教授、簡誌良、游佳琪

記錄：游佳琪

四、會議目的：

討論「環境奈米科技知識平台」未來的架構

五、會議討論內容：

1. 目前的環境奈米科技知識平台，以環保署過去的計畫報告為主，並未  
有其他相關報告，且無英文報告及期刊論文資料。
2. 國內各政府部會的奈米技術 EHS 網頁現況：
  - (1) 環保署：過去之研究報告均為中文，進行中的計畫以中文摘要為  
主，均未做分類，且無延伸 SCI 期刊論文之資料。
  - (2) 勞研所：奈米 EHS 研究論文未特別列出，以中文為主，無 SCI  
期刊論文之資料。
  - (3) 衛生署國家奈米生醫中心：以國外 SCI 論文為主，奈米技術 EHS  
論文未獨立列出。
3. 國外的美國環保署奈米技術網站詳列各委辦計畫之報告及衍生之論  
文，美國勞工衛生安全研究所奈米技術網站詳列所內自行研究及委  
託研究計畫現況，成果報告及論文，ICON virtual journal 網站將奈米  
技術 EHS 之 SCI 論文做仔細分類，便於搜尋。

4. 建議事項：

- (1) 將現有的「環境奈米科技知識平台」名稱改為「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，並納入環保署、勞工安全衛生研究所及衛生署等單位之研究成果，含報告及延伸的 SCI 論文。
- (2) 報告和論文均應分類，以便於搜尋、統計研究成果、趨勢及作者，為將來網頁改進之依據。今年度報告繳交時，即須做分類。
- (3) 使用者應分類，以便於了解奈米技術 EHS 之研究需求，有助於國際溝通。
- (4) 資料庫網站英文化是目前最需要努力方向，將逐年完成。

六、散會：中午 12 時 00 分



## 會議記錄二

一、時間：99年9月15日（星期三）下午3時30分

二、地點：環保署4樓第3會議室

三、出席單位及人員：

環保署：張宣武博士、蘇鈺珊技士

叡揚資訊股份有限公司：鄭榮家、王煥文

國立交通大學環境工程研究所：蔡春進教授、簡誌良

記錄：簡誌良

四、會議目的：

討論「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的網站架構雛型

五、會議討論內容：

叡揚資訊提出的網站架構雛型草案，無法滿足交大團隊規劃未來「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」之網站內容及架構的需求。交大團隊將於下週提出建議的網站架構雛型草案，再與環保署及叡揚資訊討論交大團隊所提草案之可行性。

六、散會：下午4時00分

### 會議記錄三

一、時間：99年9月23日（星期四）上午9時30分

二、地點：環保署9樓會議室

三、出席單位及人員：

環保署：張宣武博士、蘇鈺珊技士

叡揚資訊股份有限公司：鄭榮家、王煥文

國立交通大學環境工程研究所：簡誌良

記錄：簡誌良

四、會議目的：

討論「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的網站架構雛型

五、會議討論內容：

1. 張宣武博士建議資料庫的英文縮寫可改為 TaiNED，以方便國外訪客辨識及發音。
2. 註冊者的身份分為專家及一般民眾，只有專家才具有上傳/上稿的權限。由交大團隊負責專家註冊時身份的審核。
3. 關於研究計畫的上傳欄位--計畫經費屬性或來源(Grant source)，建議格式為 ” 勾選本計畫是否屬於奈米國家型計畫”。
4. 資料庫進階搜尋的介面建議可採用叡揚資訊規劃的介面，其功能較多。
5. 由於政府招標公告的公告日期和開標日期之間的時間短，考量時效性與即時性，資料庫網站上放一個即將到期的公告，意義不大。另外本項工作也需要專人負責上稿的工作，若太晚上稿會增加使用者的困擾。故建議移除公告中的分類--招標。
6. 關於活動訊息的部份，建議不要分類(研討會議、其他活動)。因為當活動時間過期後，系統會自動移除此則活動，點進去活動訊息後會變成空的(無內容)。

7. 關於最新消息(新聞)的部分，建議不要分類。本項若進行分類(環境、健康、安全)，需要有專人負責分類的判別工作，當消息多時，工作量龐大；又當系統擷取到的消息同時屬於兩種或三種分類，亦增加困擾。故建議最新消息(新聞)的部份只以月份排序，由專人不定時檢查系統所擷取到的消息是否符合網站的規劃範疇。
8. 關於最新消息(新聞)，消息來源為設定系統自動擷取特定的外部網站，由叻揚資訊提供舊資料庫擷取外部網站的清單，經過交大團隊審閱後，現有擷取外部網站的清單可以保留。

六、散會：上午 11 時 30 分

#### 會議記錄四

一、時間：99 年 10 月 20 日（星期三）上午 10 時 00 分

二、地點：環保署 4 樓第 3 會議室

三、出席單位及人員：

環保署：蘇鈺珊技士

叡揚資訊股份有限公司：鄭榮家、王煥文、林凱鴻

國立交通大學環境工程研究所：蔡春進教授、簡誌良

記錄：簡誌良

四、會議目的：

討論「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的網站架構雛型

五、會議討論內容：

1. 首頁左下方的知識分類，中文版以研究計畫為主，英文版則以出版文獻為主。
2. 網站的組織架構請環保署提供文章內容。
3. 關於最新消息，英文網站擷取的資料要放在中、英文版，中文網站擷取的資料只放在中文網站。
4. 研究計畫及出版文獻以先上傳環保署的產出成果為優先(每年約 6 篇)，由叡揚資訊於 11 月初提供上傳程式介面，由交大團隊上傳到系統，11 月底叡揚資訊提供編輯介面。
5. 上傳頁面，以中英文欄位同在一個頁面輸入，欄位再由叡揚資訊跟交大團隊確認。
6. 系統以瀏覽器語言來導出中、英文版。
7. 活動訊息下的「課程活動」改為「研討會」。
8. 首頁的問卷列表，加上問卷活動期間。
9. 問與答(Q&A)改為常見問題(FAQ)。
10. 上傳文件時每一項分類至少要勾一項。

11. 英文版”Announcement”改為”Policy”，”Publications”改為”Papers”。
12. 上稿系統的html 編輯器改為純文字編輯器，專家專訪例外。
13. 叻揚資訊於11月初開放上傳介面功能。
14. 叻揚資訊於11月初開放編輯介面功能。

六、散會：中午12時00分

### 會議記錄五

一、時間：100 年 1 月 17 日（星期一）下午 2 時 00 分

二、地點：環保署 4 樓第 3 會議室

三、出席單位及人員：

環保署：張宣武博士、蘇鈺珊技士

叡揚資訊股份有限公司：鄭榮家、王煥文、林凱鴻

國立交通大學環境工程研究所：簡誌良

記錄：簡誌良

四、會議目的：

討論「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的使用者驗證測試前展示及後續時程討論

五、會議討論內容：

叡揚公司展示及交付測試版網站，由環保署及交大團隊進行網站的驗證測試。若測試項目出現異常訊息，簡易說明異常狀況後回報叡揚公司進行修正。

六、散會：下午 5 時 30 分

### 會議記錄六

一、時間：100年1月28日（星期五）下午3時30分

二、地點：環保署4樓第3會議室

三、出席單位及人員：

環保署：張宣武博士、蘇鈺珊技士

叡揚資訊股份有限公司：鄭榮家、王煥文、林凱鴻

國立交通大學環境工程研究所：蔡春進教授、簡誌良

記錄：簡誌良

四、會議目的：

討論「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的使用者驗證測試結果及修正

五、會議討論內容：

叡揚公司展示修正後的測試版網站，針對環保署及交大團隊新提出的需求及網站美工進行修正。

六、散會：下午4時30分

## 附錄五 「環境奈米科技知識平台」之奈米技術 EHS 知識的相關資料

### 一、科普知識

#### 1. 何謂奈米物質？

物質結構在三度空間中至少有一維處於奈米尺度，或由奈米結構單元構成的，且具有特殊性質的物質，涵蓋奈米物體 (nano-object) 與奈米結構物質 (nanostructured material)。(ISO/TS 27687:2008，交大環工所修正)

#### 2. 奈米技術的用途。

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 1000 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(PEN, <http://www.nanotechproject.org/inventories/>)。常見者有化粧品、防暈油、塑膠強化劑、防菌塗層、自淨的建材及防臭含奈米銀的袜子等不勝枚舉。當奈米產品與我們的生活關係愈來愈密切的同時，奈米物質對於人體健康的可能影響也受到世人所關注，如何降低奈米物質在工作場所和環境中可能造成的污染及危害是許多政府及研究單位現階段的重點工作。

#### 3. 奈米技術之環境應用。

國內外已積極利用奈米科技於環境保護領域，以提高污染物監測性能及處理的效率，如以奈米零價鐵取代過去所使用的鐵粉，注入地下含水層以整治受三氯乙烯污染的地下水，經過約 2 年的長期觀察，三氯乙烯濃度下降約 89% (McElroy et al., 2003)；利用奈米結晶 MgO 吸附淨化揮發性乙醛污染物的應用技術，發現具高表面積的奈米結構型 MgO 氣凝膠，對乙醛吸附移除率達 85%，這是因氣凝膠與固態合成的奈米結晶型 MgO 容易與乙醛分子進行化學性吸附，並引起大量乙醛分子在 MgO 表面形成多層分解性吸附作用，大幅增加其吸附量；利用平均直徑為 27 nm 的 ZnO 奈米微粒作成的薄膜可以當成水中氯酚(如四氯鄰二苯酚)的感測器，並且在 UV 光照射之下，奈米的 ZnO 薄膜可以產生觸媒反應處理水中氯酚 (Kamat et al., 2002)；利用含有金(Au)奈米微粒附著在奈米的 TiO<sub>2</sub> 奈米膜上，結果發現對於水中的含氮染料的光觸媒反應的速率會增加，同時不僅對 UV 光有反應，對於可見光也有相當的效果，可以增加實用性；利用奈米氧化鈾(cerium oxide) 添加於柴油中可以減少柴油引擎的排放並增加燃料的燃燒效率(USEPA, 2007)。

#### 參考文獻

- Kamat, P. V. (2002). Photophysical, photochemical and photocatalytic aspects of metal nanoparticles, *J. Phys. Chem.*, 106: 7729–7744.
- McElroy, B., Keith, A., Glasgow, J., Dasappa, S. (2003). The use of Zero-Valent iron injection to remediate groundwater: Results of a pilot test at marshall space flight center, *Remediation Journal*, 13: 145–153.



USEPA (2007). Nanotechnology White Paper.

#### 4. 奈米物質侵入人體之路徑。

奈米物質侵入人體之路徑主要可分為吸入暴露及皮膚穿透。吸入暴露為作業所勞工最容易暴露於奈米物質的路徑。針對皮膚穿透的侵入路徑，人體皮膚的構造由外而內依次為表皮、真皮及皮下組織。根據文獻指出，健康的表皮足以提供很好的保護來防止奈米微粒的穿透，除非皮膚有受傷或是身體常彎曲的部位，奈米微粒才有可能穿透表皮進入人體循環系統。亦即大多數的情況，個人保養品中的奈米微粒物質對人體沒有健康上的影響。

其他詳細內容請參閱環保署 96 年度委辦計畫「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)第 5.8.2 節，及 98 年度委辦計畫「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)第 5.1.2、5.5 節。

#### 參考文獻

NIOSH (2009). Approaches to safe nanotechnology: Managing the health and safety concerns associated with engineered nanomaterials: Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, March 2009.

#### 5. 奈米微粒的呼吸防護。

呼吸防護具的功能目的為避免吸進有害性物質，主要是提供乾淨空氣或利用濾材將有害物清除，分為供氣式(air-supplying)和淨氣式(air-purifying)，供氣式乃以清淨空氣源供給配戴者所需之呼吸空氣。淨氣式呼吸防護具又可分為無動力與動力兩種。無動力呼吸防護具完全依靠配戴者自己的肺力提供呼吸所需的空氣；而動力呼吸防護具則是以攜帶型送風機等裝備提供呼吸氣流。無動力淨氣式呼吸防護具分成防塵口罩(dust mask)及防塵面具(dust respirator)，空氣經由濾材或吸收罐進入面體。防塵口罩具價格低廉、構造簡單、對作業活動妨礙較少、易於維修保養，因此在事業單位使用最為普遍(Willeke et al., 1996; Huang et al., 1998; Mark, 2004)。目前大部分的防塵口罩須具備高效率與低阻抗的特性，一般纖維性濾材的最易穿透粒徑約略在 $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$ 之間，有許多因素會影響到最易穿透粒徑的大小，其中包括：纖維的大小、帶電量、充填密度、表面風速等(陳, 2001; Martin, 2000)。

理論上，由於奈米微粒具有較大的擴散係數，因此很容易被收集效率良好的口罩(如N95口罩)所捕集(Mark, 2004)，其捕集效率會隨著粒徑減小而增加。在實際應用時，防塵口罩要能夠真正達到保護配戴者的目的除了口罩本身必須具備高過濾效率之外，其與臉部間之密合度也是重要的影響因素。因此，當口罩與臉部之間若不密合時，需注意其對於奈米微粒之防護效果的影響。

其他詳細內容請參閱環保署 96 年度委辦計畫「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)第 5.2.2 節。

#### 參考文獻

Huang, C., Willeke, K., Qian, Y., Grinshpun, S., Ulevicius, V. (1998). Method for measuring the spatial variability of aerosol penetration through respirator filters, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 59: 461-465.

- Mark, D. NANOMATERIALS – a risk to health at work?, Report of Presentations at Plenary and Workshop Sessions and Summary of Conclusions, Derbyshire, UK, 2004.
- Martin, S. B. Jr., and Moyer, E. S. (2000). Electrostatic respirator filter media: filter efficiency and most penetrating particle size effects, *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, 15: 609–17.
- Willeke, K., Qian, Y., Donnelly, J., Grinshpun, S., and Ulevicius, V. (1996). Penetration of airborne microorganisms through a surgical mask and a dust/mist respirator, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 57: 348–355.
- 陳春萬 (2001). 防塵口罩防護效能探討, 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所計畫, IOSH89-H308。

## 二、最佳控制實務知識

奈米技術實驗室奈米物體暴露控制手冊(行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所提供)。

## 三、奈米 EHS 相關名詞解釋

以下奈米ESH名詞解釋若未加註出處時,係引用自環保署93年度「奈米科技發展國際主要環境議題研析及因應」期末報告(計畫編號:EPA-93-U1U1-02-105),並由交大環工所作部份修正及補充;另外,我國已發行奈米材料詞彙的中華民國國家標準 CNS no. 14975,可以在以下網頁預覽或付費下載:  
<http://www.cnsonline.com.tw/search/standard.jsp>

### (一) 一般概念

- agglomeration  
團聚、聚集(作用)。由於表面活性或凡德瓦力吸引,懸浮於液體中或空氣中的微粒會結合或聚集成為較大尺寸的聚集體。(交大環工所修正)
- aggregate  
聚集。聚集的微粒因為部份融合而形成結合較為緊密的團粒,又稱硬聚集體。(交大環工所修正)
- aggregation  
聚合(作用)。聚集的微粒因為部份融合而形成結合較為緊密團粒的現象。(交大環工所修正)
- agglomerate  
團粒,聚集體。由於表面活性或凡得瓦力吸引而使顆粒聚在一起,形成尺寸較大的團聚體。(中華民國國家標準 CNS no. 14975)
- atom cluster  
原子團簇。由幾個到幾百個原子的聚集體。
- bamboo charcoal  
竹炭(台灣特有)。
- bottom-up nanofabrication

由下而上的奈米結構製造。

- free radical  
自由基。
- nano  
 $10^{-9}$ 。
- nanocluster  
奈米團簇。
- nanocore  
奈米核心。
- nanodevice  
奈米元件。利用奈米材料和奈米技術製造出具有特殊功能的器件。
- nanohorn  
奈米角。
- nanomaterial  
奈米物質。物質結構在三度空間中至少有一維處於奈米尺度，或由奈米結構單元構成的，且具有特殊性質的物質，涵蓋奈米物體 (nano-object)與奈米結構物質 (nanostructured material)。(ISO/TS 27687:2008) (交大環工所修正)
- nano-object  
奈米物體，涵蓋奈米微粒 (nanoparticle)、奈米板 (nanoplate)與奈米纖維 (nanofiber)。(ISO/TS 27687:2008) (交大環工所補充)
- nanomedicine  
奈米醫學。定義為奈米技術於醫學上的應用和相關研究。
- nanometer  
奈米。長度單位，1 奈米(nm)相當於 $10^{-9}$ 公尺。
- nanoonion  
奈米洋蔥。
- nanoscale  
奈米尺度。奈米結構材料在1 nm 至100 nm 範圍內的尺度。
- nanoscience  
奈米科學。奈米科學為研究物質在原子、分子及大分子尺度時之現象與操控；在此等尺寸，這類物質之特性與其大尺寸者有顯著之不同。
- nanosensor  
奈米感應器。
- nano-sized particles  
奈米級微粒。
- nanostructure assembling system  
奈米組裝體系。利用物理和化學的方法，以人工方式將奈米結構單元在一維、二維和三維空間組裝排列，成具有奈米結構和特定功能的系統。
- nanostructure system  
奈米結構體系。以奈米結構單元為基礎，按照一定規則排列而成的結構體系。
- nanostructure unit

奈米結構單元。具有奈米尺度結構特徵的物質單元，包括穩定的團簇或是人造原子團簇、奈米晶、奈米微粒、奈米管、奈米棒、奈米線、奈米單層膜及奈米孔等。

- nanostructure  
奈米結構。
- nanostructured surface  
奈米結構表面。奈米結構表面係由某種基質(substrate)開始，利用諸如照相平版技術(photolithography)、掃描探針法(scanning probe)和軟性石版印刷術(lithography)等技術，在表面創造奈米級之特性。
- nanotechnology  
奈米技術。研究奈米尺度範圍物質的結構、特性和相互作用，以及利用這些特性製造具有特定功能產品的技術。
- particle surface area  
微粒表面積。
- quantum device  
量子元件
- quantum wire  
量子線
- top-down nanofabrication  
由上至下的奈米結構製造。
- ultrafine particle  
超細微粒。

## (二) 奈米材料的種類

- acicular particle  
針狀微粒。
- BuckyBall  
布克球、巴基球。奈米微粒(nanoparticle)、奈米管(nanotube)與碳奈米結晶(carbon nano crystal)通稱布克球，取自Buckminster Fuller。
- bulk nanoparticle  
散裝奈米微粒。
- carbon black  
碳黑。由碳奈米微粒之鎌狀聚集體所組成，主要用於輪胎之填充劑。
- carbon nanocapsule  
奈米碳球
- carbon nanotube (CNT)  
碳奈米管、奈米碳管。由碳原子主要以SP<sup>2</sup> 雜化方式相互連接形成的單層或多層石墨片，捲曲成同軸嵌套中空的准一維管狀奈米碳材料，管的外徑為奈米量級。
- core-shell nanoparticle  
核殼奈米微粒。

- dendrimer supermolecules  
樹枝狀超級分子。
- dendrimer  
樹枝狀高分子。
- dendritic particle  
樹狀微粒。
- engineered nanoparticle  
工程奈米微粒，人工所刻意製造之奈米微粒。(交大環工所修正)
- FIR Charcoal  
奈納碳。經過攝氏1200 度高溫煅燒的孟宗竹炭，形成結晶相，具有消臭及放射遠紅外線功能(台灣特有)。
- free nanoparticle  
自由奈米微粒。自由奈米微粒可進入人體，並於人體內移動；在某些目標器官(target organ)具生物累積性(bioaccumulation)，或在環境中可擴散。
- fullerene  
富勒烯。一種碳的型式，由60個(C60)或更多碳原子連結成的大分子，為球形粒，又名buckyballs。富勒烯可形成水溶液之懸浮膠體粒子(以nC60 表示之)，一旦蒸發後，就呈懸浮狀態。
- functional nanomaterial  
功能性奈米材料。通過對材料的奈米化或摻雜複合，使其物理與化學功能如光、電、聲、磁、熱以及耐蝕等特性獲得顯著改善的功能性材料。
- hybrid nanomaterial  
混合奈米材料。
- incidental nanoparticles  
偶發的奈米微粒，非人工製造的奈米微粒，如高溫燃燒產生的奈米微粒即屬於偶發的奈米微粒。(交大環工所修正)
- inorganic nanotube  
無機奈米管。
- inorganic non-metallic nanomaterial  
無機非金屬奈米材料。以無機非金屬材料為主要組成的奈米材料。
- metallic nanomaterial  
金屬奈米材料。以金屬與合金為主要成分的奈米材料。
- milled powder  
研磨粉末。
- molecularly imprinted polymers  
高分子拓印技術。
- multi-walled nanotube (MWNT)  
多壁式奈米管、多壁奈米管。
- nanoamorphous material  
奈米非晶材料。由非晶態奈米微粒組成的材料。
- nanobiomaterial

奈米生物材料。能夠替代生物器官、組織或增強其功能以達到治療目的，且具有生物相容性的材料。

- nanobulk  
奈米塊體。是將奈米粉末高壓成型或控制金屬液結晶而得到的奈米晶粒材料，主要用途為超高強度材料、智能金屬材料。
- nanoclay  
奈米黏土、奈米層矽酸鹽(nano-layer silicate)，使用於聚合物之填充劑，以改善阻絕性能（例如氣體緊密性）；或作為火燄遲緩劑或作為機械加強物。
- nanocomposite material  
奈米複合材料。詳見nanocomposites。
- nanocomposites  
奈米複合材料。奈米微粒與奈米纖維常被作為其他材料（例如聚合物、陶器(ceramic)或金屬）之加強物，而成為具特殊性質上之奈米複合材料。
- nanocrystal  
奈米晶。
- nanocrystalline material  
奈米晶材料。由奈米級晶粒組成的材料。
- nanocrystalline  
奈米結晶體。
- nanodot  
奈米點。由均勻材料所構成之奈米微粒，特別是那些在外形上幾乎呈球形或者立方體型者。
- nanofiber  
奈米纖維。直徑處於奈米級的線(管)的管狀材料。
- nanofilm  
奈米薄膜、奈米膜。有顆粒膜與緻密膜;顆粒膜是指由奈米顆粒粘在一起，中間有極細小間隙的薄膜，而緻密膜係指膜層緻密但晶粒粒徑屬奈米級尺度之薄膜。兩類之厚度為奈米尺度並具有特殊性能的薄膜。
- nanopore  
奈米孔隙。在工業應用上，其孔徑為奈米尺度的孔隙，由於其獨特的特性可使得材料可絕熱且可控制材料於化學與填料上的應用。孔徑為奈米尺度的孔隙。
- nanopowder  
奈米粉末。離散奈米微粒的集合體。
- nano-resin  
奈米樹脂。
- nanoribbon  
奈米帶。
- nanorod  
奈米棍、奈米桿。
- nanorope  
奈米繩。

- nanostructural material  
奈米結構材料。通過對材料的奈米化或摻雜複合，使其強度、韌性、耐磨性、耐候性等的一項或多項性能獲得顯著改善的材料。
- nanotube  
奈米管。
- nanowire  
奈米線、奈米桿，特別指能傳導電的奈米線之另一個稱呼。
- particle size  
微粒尺寸。
- polymer nanomaterial  
高分子奈米材料。以高分子化合物為主要組成的奈米材料。
- primary particle  
一次微粒。
- quantum dot  
量子點。小得足以在視覺或者電處理裡特異行為的粗略球形或者立方形狀的奈米結構。
- secondary particle  
二次微粒。
- single-walled nanotube (SWNT)  
單壁式奈米管、單壁奈米管。

### (三) 奈米材料的特性

- adsorption surface area  
吸附表面積。
- aggregation, orthokinetic  
聚合，正動力學的。(交大環工所補充)
- aggregation, perikinetic  
聚合，反動力學的。(交大環工所補充)
- aspect ratio  
長度/直徑比、縱橫比、長徑比。指長度/直徑之比例。
- attrition  
磨損。
- Average Agglomeration Number (AAN)  
平均團聚數目。(交大環工所修正)
- BET(Brunauer、Emmett、Teller) surface area  
BET比表面積。
- electrokinetic phenomena  
動電現象、電動現象。
- Electrical Double Layer (EDL)  
電雙層。
- Fuchs surface area

富克斯表面積。

- granulation  
使成粒狀。
- hamaker constant  
哈梅克常數。
- Macroscopic Quantum Tunneling Effect (MQT)  
宏觀量子隧道效應。奈米微粒的一些宏觀量(如微粒的磁化強度，量子相關器件中的磁通量等)，具有穿越宏觀系統的障礙而產生變化的現象。
- Point of Zero Charge (PZC)  
零電荷點。
- quantum size effect  
量子尺寸效應。奈米微粒尺寸下降到一定值時，費米能級附近的電子能級由準連續能級變為離散能級，並使能隙變寬的現象。(在熱平衡的情況下，能帶隙中間有一能量形成障礙，使得電子與電洞不能逾越能帶隙而維持在平衡狀態，此維持平衡的能量稱為費米能級(Fermi Level))。
- small size effect  
小尺寸效應。當奈米結構單元的尺寸與某些物理特徵尺寸相當或更小時，使得材料產生出新的特殊性質的現象。
- specific surface area  
比表面積。單位質量之表面積。
- surface effect  
表面效應。奈米微粒表面原子數與總原子數之比隨粒徑變小而急遽增大後，引起材料性質發生顯著變化的現象。
- zeta potential  
界達電位、齊他位。

#### (四) 奈米材料的製備方法

- Chemical Vapor Deposition (CVD)  
化學氣相沉積。
- crystallization of amorphous solid  
非晶性固體晶化法。通過控制非晶態固體晶化動力學過程，使其結晶且晶粒為奈米尺度之製備金屬奈米晶材料的方法。
- exfoliation  
去層化。
- heterocoagulation  
異相膠結。
- homogenous nucleation  
同質成核。
- homogenous suspension  
均相懸浮物、均和懸浮、均相成核。
- hydrothermal synthesis



水熱合成(法)。是一種製備奈米粉末的方法，在一定的溫度和壓力條件下，先在水溶液或水蒸氣等流體中合成，再經分離和熱處理。

- inert gas deposition  
惰性氣體沉積。是一種製備奈米粉末的方法，在低壓惰性氣體情況或高真空中，利用激光(雷射)、等離子、高頻感應等方法使原料蒸發氣化、冷凝。
- in-situ composite  
原位複合(法)。在基體內原位反應生成一種或數種穩定的奈米增強體(奈米微粒、晶須、纖維)，來製備奈米材料的方法。
- intercalation hybrid  
插層複合(法)、插成混式(法)、差層混成(法)。採用層狀無機物做為主體，有機單體做為客體插入主體的夾層間，製備有機/無機奈米複合材料的方法。
- Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)  
金屬有機化學氣相沉積。
- micro emulsion  
微乳化(法)。兩種互不相溶的液體在表面活性劑的作用下，形成一個均勻的微乳液，從微乳液中析出固相，經熱處理後製備奈米粉末的方法。
- nanofabrication  
奈米結構的製造或準備、奈米製造。
- nanophase  
奈米相。
- Physical Vapor Deposition (PVD)  
物理氣相沉積製程。
- rapid solidification  
快速固化法。將金屬或合金熔化後注入金屬模具中，通過模具快速熱傳導提高成核速率，並抑制晶粒長大，來製備金屬奈米晶材料的方法。
- Self-Assembled Monolayer (SAM)  
自組裝單層膜。
- self-assembly  
自組裝。利用分子之間的相互作用，如靜電力、氫鍵、疏水性締合等，組裝成有序奈米材料的方法。
- sol-gel process  
溶膠-凝膠法。化合物經溶液、溶膠、凝膠而固化，再經熱處理，製備氧化物或其他化合物奈米粉末的方法。
- solvothermal reaction  
溶劑熱反應。
- sonication  
聲裂法、音波(振動)處理。
- sonochemistry  
超音波化學、音波化學。
- strong plastic deformation  
強烈塑性變形(法)。在準靜態壓力作用下，利用強烈塑性變形使金屬或合金

的晶粒逐漸碎化成奈米晶，製備奈米塊體材料的方法。

- template synthesis  
模板合成（法）。在含有高密度奈米孔洞的模板上，利用物理、化學或生物化學方法向其中填充各種金屬、非金屬或半導體材料，進行奈米材料合成的方法。

#### (五) 奈米材料的處理方法

- anneal  
退火。
- calcination  
鍛燒。
- electro-explosion  
電爆。
- electrospinning  
電紡。
- flame pyrolysis  
火焰熱解法。
- gas phase synthesis  
氣相合成。
- passivating treatment  
鈍化處理。為了防止奈米粉末發生變化或在大氣中自燃，在初始微粒表面生成鈍化薄膜等的處理。
- surface decoration  
表面修飾。對奈米材料表面進行物理、化學或生物化學處理，使其具有特定的性質。

#### (六) 奈米材料的結構分析方法

- Atomic Force Microscopy (AFM)  
原子力顯微鏡。利用一個固定在顯微臂上針尖，對樣品表面進行掃描，通過測量針尖在樣品表面滑動或垂直方向移動的作用力的變化，獲得樣品表面微區的三維結構、化學成份和物理性能的分析技術。
- Auger Electron Spectroscopy (AES)  
螺旋電子光譜、歐傑電子能譜儀。
- BET adsorption method  
利用吸附氮氣與BET 法計算出比表面積與奈米微粒密度。根據壓力和吸附量的關係，用BET方程式計算出粉末表面氣體單分子層的吸附量，進而求得比表面積的方法。
- Differential Mobility Analyzer (DMA)  
微分電移動度分析儀。(交大環工所修正)
- Electron Energy Loss Spectroscopy (EELS)  
電子能量損失光譜儀、電子能量損失能譜儀。
- Electron Probe MicroAnalysis (EPMA)

電子探針微量分析、電子探針微分析。

- Glow Discharge Mass Spectrometry (GDMS)  
光釋放質量光譜儀、光暈光放電質譜儀。
- Infrared Absorption Spectroscopy  
紅外吸收光譜法。研究紅外輻射與試樣分子振動和(或)轉動能級相互作用。利用紅外吸收光譜帶的波長位置和吸收強度，來測定樣品組成、分子結構等的分析方法。
- Magnetic Force Microscopy (MFM)  
磁力顯微鏡。透過測量掃描探針與樣品表面間磁力的變化信號，來觀察樣品表面微區形貌和磁特性的分析技術。
- malvern multisizer  
顆粒表面電位測定儀。(交大環工所修正)
- mercury porosimetry  
壓汞儀法。對水銀加壓力，滲入多孔材料中，根據水銀壓入的孔半徑與壓力成反比的關係，求得多孔材料孔徑分佈的方法。
- mossbauer spectrometry  
穆斯堡爾譜法。利用物質中特定原子核對於 $\gamma$ 射線共振吸收，測量原子核與其核外環境(核外電子、近鄰電子及晶體結構等)之間的相互作用，從而得到核外電子、近鄰原子及晶體結構等信息的分析方法。
- Photoluminescence (PL)  
螢光。
- Photon Correlation Spectroscopy (PCS)  
光子相關譜法、光子關聯光譜法。用一單色相干的激光光束照射分散於液體中的顆粒，在某一角度(通常為 $90^\circ$ )連續紀錄被顆粒散射的光，並傳送到相關器，應用散射光強度自相關函數計算出顆粒的平均粒度和粒度分佈寬度的分析方法。
- Raman spectrometry  
拉曼光譜法。以單色光照射試樣，有一小部分入射光與樣品分子碰撞後，產生非彈性散射，由於此譜線的產生往往涉及分子的振動能級的變化。該方法已被普遍應用於測定試樣的組成、分子結構等。
- Scanning Electron Microscope (SEM)  
掃描電子顯微鏡。為檢測微粒大小、形狀、架構與膠凝作用技術之一。利用掃描入射電子束與樣品表面相互作用所產生的各種信號(如二次電子、X射線譜等)，採用不同的信號檢測器來觀察樣品表面形貌和化學組成的分析技術。
- Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)  
掃描式電移動度微粒分析儀、掃描漂移動微粒分析儀、掃描移動微粒分析。可以準確量測微粒之粒徑(0.005~1.0  $\mu\text{m}$ )分佈及數目濃度。
- Scanning Near-Field Optical Microscopy (SNOM)  
掃描近場光學顯微鏡。利用孔欄限制的光纖掃描探針，在距離樣品表面一個波長以內探測樣品表面的光學特性變化，將光信號的變化轉換成圖像，獲得樣品表面結構及光學特性的分析技術。
- Scanning Probe Microscopy (SPM)

掃描探針顯微鏡。利用測量掃描探針與樣品表面相互作用所產生的信號，在奈米級或原子級的水平上研究物質表面的原子和分子的幾何結構及相關物理、化學性質的分析技術。

- Scanning Thermal Microscopy (STHM)  
掃描熱顯微鏡。透過控制、調節表面蓋有鍍層的鎢絲探針針尖與樣品間距，進行恆溫掃描，觀察樣品表面微區形貌的分析技術。
- Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM)  
掃描穿透電子顯微鏡。
- Scanning Tunneling Microscopy (STM)  
掃描隧道顯微鏡、掃描穿隧顯微鏡。利用曲率半徑為原子尺度的金屬針尖，在導體或半導體樣品表面掃描，在針尖與樣品間加一定電壓，利用「量子隧道效應」來獲得反映樣品表面微區形貌及電子態圖像的分析技術。所謂隧道效應係指粒子可穿過比本身總能量高的能量障礙。
- scanning-probe instrument  
掃描探針儀器。
- Small Angle X-Ray Scattering (SAXS)  
X射線小角散射法、小角度X光散射法、小角度X-射線散射法。利用X射線在倒易點降原點(000 結點)附近的相關散射現象，來測定長週期結構和奈米粉末粒度分佈的分析方法。
- Transmission Electron Microscopy (TEM)  
穿透式電子顯微鏡。為檢測微粒大小、形狀、架構與膠凝作用技術之一；以透射電子為成像信號，透過電子光學系統的放大成像觀察樣品的微觀組織和形貌的分析技術。
- transmission electron microscopy-image analysis  
透射電鏡-圖像分析法、穿透電子顯微鏡-對像分析。利用電子顯微鏡成像結合圖像分析系統，測量奈米粉末的形貌和粒度分佈的分析方法。
- Ultrafine Condensation Particle Counter (UCPC)  
超細凝結微粒計數器。(交大環工所修正)
- X-Ray Absorption Near Edge Spectroscopy (XANES)  
X光吸收邊緣結構光譜。
- X-Ray Diffractometry Line Broadening Method (XRD-LB)  
X射線衍射線寬化法、X射線繞射線置化法。根據晶粒奈米化和/或晶格畸變所引起的衍射線寬化現象來測定晶粒尺寸和晶格畸變的分析方法。
- X-Ray Diffractometry (XRD)  
X射線衍射法、X光繞射法、X射線繞射法。根據物質的X-射線衍射圖譜特徵，對其物相和結構等進行測定的分析方法。
- X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)  
X光光電子能譜儀。

#### (七) 奈米材料環境風險及環境應用

- bioaccumulation

- 生物累積性。
- biocompatibility  
生物相容性。
- biodegradability  
生物可分解性。
- biological activity  
生物活性。
- biopersistence  
生物頑抗性、生物持續性。
- Blood Brain Barrier (BBB)  
血腦障壁。位於微血管壁。
- dose-response  
劑量-效應。
- ecotoxicity  
生態毒性。
- ecotoxicology  
生態毒理學。
- inflammatory potential  
發炎潛勢。
- nanobiocatalysis  
奈米生化觸媒。
- nanobiomechanics  
奈米生物力學。
- nanobiotechnology  
奈米生物技術。
- nanotoxicology  
奈米毒理學。定義為針對工程所製造的奈米結構(nanostructures)和奈米元件(nanodevices)的安全評估。
- translocation  
易位。

(八) 水生物毒性 (國立交通大學環工所提供)

- amphiascus tenuiremis  
橈足亞綱生物。
- ascorbic acid  
抗壞血酸。一種具有抗氧化劑特性的醣酸。
- alveolar Lipoproteinosis  
肺泡脂蛋白沈積病。
- arthropoda  
節足動物門。
- carbonyl moiety

- 羧基脂肪鹽。
- chorion  
絨毛膜。在母體懷孕時，一種介於胎兒與母體間的薄膜。
- copepod  
橈腳類動物。
- C<sub>60</sub>H<sub>x</sub>C<sub>70</sub>H<sub>x</sub>  
氫化富勒烯。
- crustacean  
甲殼綱。
- daphnia magna  
水蚤。
- elliptio complanata  
貽貝。
- EC<sub>50</sub>  
半最大有效影響濃度。
- fathead minnow  
呆鱒魚。
- fry  
魚苗。
- nC<sub>60</sub> Fullerene  
奈米 C<sub>60</sub> 富勒烯。
- fundulus Heteroclitus  
一種生長於海水中的鱒魚。
- gammaridae  
鉤蝦亞目。
- granulomas  
肉牙腫。在病理學上的定義為群聚的巨嗜細胞。
- GFP, green fluorescent protein  
一種綠色螢光蛋白。
- GSH (glutathione)  
麩胱氨酸。一種抗氧化劑。
- guinea pigs  
天竺鼠。
- hyalella azteca  
片腳類動物。
- harpacticoid copepod  
橈腳類動物。
- in situ  
進行於原發生位置的試驗（而不是將其移入特殊培養基中）。
- intratracheal  
氣管內的。

- juvenile largemouth bass  
大嘴鱸魚幼苗。
- larvae (larva 複數)  
幼蟲。
- LC50, median lethal dose  
半致死劑量。
- LOEC, lowest-observable-effect concentration  
最低可測影響濃度。
- LPO (lipid peroxidation)  
脂質過氧化。
- LPC-SWNTs, lysophosphatidylcholine-single walled carbon nanotubes  
血溶性磷酸脂醯膽鹼塗敷單壁奈米碳管。
- lumbriculus variegates  
寡足綱生物。
- MDA (malondialdehyde)  
丙二醛。
- major histocompatibility complex, MHC  
主要組織相容性複合體，又稱主組織相容性複合基因，是存在於大部分脊椎動物基因組中的一個基因家族，與免疫系統密切相關。
- necrosis  
壞疽，細胞受傷害、感染、發炎而提早死亡。(http://en.wikipedia.org/wiki/Necrosis)
- NOEC, no-observable-effect concentration  
無可測影響濃度，表示污染物對於生物體沒有毒害的濃度。
- oryzias latipes (Medaca)  
菊池氏細鯽。
- TBARS (thiobarbituric acid)  
硫代巴比妥酸。
- plankton  
浮游生物。
- phenanthrene  
菲。
- phylum  
門(生物)。
- protein oxidation  
蛋白質氧化。
- P450  
酵素。P450包含CYP2M1及CYPK1兩種酵素，可氫氧化生物體內的異物質如富勒烯並使其毒性降低，進而代謝之。
- PMP70  
酵素。當生物體內的PMP70改變時，代表細胞內的脂質有被代謝的現象。
- ROS, reactive oxidation species

活性氧化物質。

- reconstituted hard water  
重組硬水。
- SDS, sodium dodecyl sulphate  
十二烷基磺酸鈉，一種界面活性劑。
- THF, tetrahydrofuran  
四氫呋喃。
- DNPH, 2,4-dinitrophenylhydrazine  
2,4-二硝基苯肼。
- 5,5'-dithiobis(2-nitrobenzoic acid)  
5,5'-二硫代(2-硝基苯甲酸, DTNB)。

#### (九) 其他

- aerosol  
氣膠為氣相中之固體或液體微粒，其大小由分子到100 μm。
- cementation  
膠接。
- coagulation  
膠結(空氣中)，或混凝(水中)。
- coalescence  
融合。(交大環工所修正)
- deflocculation  
反膠凝作用。
- flocculation  
膠凝作用。(交大環工所修正)
- precipitation  
沉澱(法)。通過化學反應生成的沉澱物，再經過濾、洗滌、乾燥或加熱分解，製備奈米粉末的方法。

#### 四、常見問題

##### 1. 何謂奈米物質？

物質結構在三度空間中至少有一維處於奈米尺度，或由奈米結構單元構成的，且具有特殊性質的物質，涵蓋奈米物體 (nano-object)與奈米結構物質 (nanostructured material)。(ISO/TS 27687:2008，交大環工所修正)

##### 2. 奈米技術的用途。

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 1000 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。常見者有化粧品、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袜子等不勝枚舉。



### 3. 奈米技術之環境應用。

國內外已積極利用奈米科技於環境保護領域，以提高污染物監測性能及處理的效率，如以奈米零價鐵整治污染的地下水、以奈米光觸媒去除水中及空氣中的污染物，及利用奈米氧化鈾添加於柴油中可以減少柴油引擎的排放並增加燃料的燃燒效率。

### 4. 奈米技術在職業安全與衛生的應用。

工程奈米物質可支持發展高效能的濾材、面具、噪音吸收材料的填充物、火災阻燃劑、礦場的通風控制扇、削減排放的觸媒及污染物的清潔劑等。

### 5. 作業人員之奈米微粒的可能暴露途徑？

奈米微粒可經由吸入、皮膚接觸及食入而進入人體。會產生懸浮奈米微粒、呼吸性奈米結構微粒及奈米物質液滴的製程，為作業人員潛在吸入暴露的來源。

### 6. 奈米微粒是否會穿透人體皮膚？

奈米物質不易透人體的皮膚。人體皮膚的構造由外而內依次為表皮、真皮及皮下組織。根據文獻指出，健康的表皮足以提供很好的保護來防止奈米微粒的穿透，除非皮膚有受傷或是身體常彎曲的部位，奈米微粒才有可能穿透表皮進入人體循環系統

### 7. 奈米微粒的呼吸防護。

由於奈米微粒具有較大的擴散係數，因此很容易被收集效率良好的口罩(如 N95 口罩)所捕集，其捕集效率會隨著粒徑減小而增加，亦即奈米微粒的粒徑愈小，捕集效率愈高。

### 8. 奈米物質會對作業人員的健康造成那些危害？

目前沒有確切的證據可完整地回答此關鍵問題。以下為回答此問題所需研究，為世界各國努力的方向：(1) 在製造及使用過程中，作業人員以何種方式暴露於奈米物質；(2) 在上述暴露方式中，奈米物質以何種路徑侵入人體；(3) 一旦侵入人體，奈米物質會經歷人體那些部位，及它們如何與人體系統進行生理與化學交互作用等。

### 9. 應如何測量工作場所奈米物質的暴露？

簡易的奈米微粒逸散量測可使用手提式凝結微粒計數器(CPC, condensation particle counter)。目前的研究指出，微粒粒徑、團聚狀態、成份、形貌、表面積和表面化學(活性)等為測量奈米物質時的最重要參數，世界各國的科學家正努力發展測量懸浮奈米物質暴露的可能方法及技術。

### 10. 我國跨部會的奈米技術 EHS 預防風險管理工作。

環保署與勞委會及衛生署三部會已共同促成跨部會的奈米技術 EHS 預防風險

管理工作，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，衛生署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，共同打造我國負責任的奈米技術產業環境。

#### **11. 台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫。**

環保署與勞委會及衛生署合作，建置「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，網站位置為 [http://sta.epa.gov.tw/portal\\_sgs/index.aspx](http://sta.epa.gov.tw/portal_sgs/index.aspx)，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。

## 附錄六 「國際及台灣的奈米科技 EHS 資料庫」研商會議審查意見回覆

會議名稱：「國際及台灣的奈米科技 EHS 資料庫」研商會議

### 會議記錄

一、時間：99 年 11 月 10 日（星期三）上午 9 時 00 分

二、地點：本署 4 樓第 3 會議室

三、主席：曹顧問賜卿

記錄：簡誌良

四、出（列）席單位及人員：如簽到單

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：詳委員意見表

八、散會：上午 10 時 20 分

**委員意見回覆對照表**

委員意見	意見回覆
<p><b>勞工安全衛生研究所 汪博士禧年</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 國外目前相關網站有其特色，包括檢測方法、安全衛生或其他等，現在建構的網站之定位，可在明確訂定？是否收費作網頁維護基金？</li> <li>2. 資料收集、網頁維護之機制，建議應有長期規劃，俾使網頁永續存在。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本網站定位為以國內的奈米技術 EHS 研究報告及論文為主，並加強國外網站之連結，及最新論文與報告之分析，將來建議以長期的研究計畫維護此網站。</li> <li>2. 目前 EHS 資料庫之建立及維護以年度計畫執行，會有空窗期，建議計畫改成多年期(如三年)，以使計畫有延續性並產生衝擊。</li> </ol>
<p><b>環保署環境檢驗所 莊組長士群</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 如果本資料庫屬全國性者，建議將「環境奈米科技知識平台」名稱更名為「國際與台灣的奈米科技 EHS 資料庫」以增加本資料庫的可讀性。</li> <li>2. 據此，建議增設其他政府機關，民間機構及國際知名各網站包括國家機構之連結平台。</li> <li>3. 請確定維護機關(構)為環保署或其他(即確定館主)，因將來會涉及(1)電腦容量(2)維護與管理(3)增修訂經費編列等之問題。</li> <li>4. 資料庫中缺環境監測、檢測之議題平台，將來國際檢測中文化可藉此議題平台溝通，建議增加 10 則以上”Highlight” 資訊，版面(類似 ICON 虛擬論文之功能)，以增讀者興趣。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 將再與環保署協商名稱的問題。</li> <li>2. 已加入衛生署、勞委會及國科會等相關單位之連絡。</li> <li>3. 建議環保署考慮將來維護問題。</li> <li>4. 同意此看法，會再做整體考量。</li> </ol>
<p><b>工業技術研究院 張研究員敏超</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 網站建置朝國內研究報告之論文等為主，值得稱許。除了交換資訊外，國內產業界的利用率也會提高。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員肯定。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>2. 網站建立後，應透過研討會方式或其他方式，讓業者、學生及相關研究學者專家，可利用此網站作為資訊來源及交換平台。</p> <p>3. 我期待網站盡早建置完成，依細項規劃內容來看，令我期待。曾經有醫學院教授詢問我相關資料，我發現網站規劃內容可符合該教授期待。</p> <p>4. 關於網站長久設置，建議可與清華大學「清蔚園」網站連繫。(此網站由清大黃一農院士建議設置)。</p>	<p>2. 已於 2010 年 12 月 16 日環境奈米科技論壇中報告此網站的建立。</p> <p>3. 謝謝委員肯定。</p> <p>4. 會查詢清大的「清蔚園」網站，進一步連繫。</p>
<p><b>國立台灣大學化工系 吳教授紀聖</b></p>	
<p>1. 曾經用網站，發現仍有多處點入沒有內容，例如”關於資料庫” 2-4 沒有內容。</p> <p>2. 加入會員部分，應有安全機制，例如密碼應不在畫面顯示輸入文字。有些欄位必項加”X”，有些欄位是可以選填。</p> <p>3. "九"相關資源之下，沒有連結國外網站。</p> <p>4. P.10 (9)產生方法之下，(b)非故意發生是甚麼意思？</p>	<p>1. 目前仍在建立資料檔中，預計 2011 年 1~3 月間開放此網站。</p> <p>2. 將來會有加密的功能。</p> <p>3. 目前仍在建立資料檔中，預計 2011 年 1~3 月間開放此網站。</p> <p>4. 為了與故意發生的工程奈米微粒作區別，而有此"非故意發生"的來源，如汽機車排放所造成的奈米微粒。</p>
<p><b>中國科技大學 謝教授子陽</b></p>	
<p>該計畫由蔡教授的研發團隊執行，以貴團隊研發能量定能讓本計畫發光發亮，僅就計畫的內容求教於團隊</p>	
<p>1. 資料庫的計畫以執行三年(過去以環保署內容為主)，如何與前面廖博士計畫內容銜接，達到永續經營。</p> <p>2. 在研究計畫上傳部分，署內計畫資料提供，但其餘部會或重要文件如何鼓勵或有誘因讓所有研究計畫得以上</p>	<p>謝謝委員肯定。</p> <p>1. 將檢討過去廖宜賢博士建立的資料，作適度的修正。</p> <p>2. 等目前資料及論文上傳之後，會再鼓勵國內研究學者上傳自己的研究成果。</p>

委員意見	意見回覆
<p>傳。</p> <p>3. 計畫目的主要為結合並翻譯國外資料或國內資料彙整成二者結合，是否使用線上翻譯軟體或翻譯好摘要上傳，應先思考本網站的定位點(全民使用，科普概念或專業人士為主)，結構應有不同。</p> <p><b>中技社 鄒主任倫</b></p> <p>1. 網站內容計畫非常完整，實用性高，值得肯定。</p> <p>2. 未來網站維護機制非常重要，建議先有一些構想。</p> <p>3. 為增加網頁的使用率，可主動 e-mail 給有興趣者告知此網站之功能。</p> <p>4. 配合未來環資部成立，可先行評估相關影響。</p> <p><b>國立清華大學生醫工程與環境科學系 董教授瑞安</b></p> <p>1. 本工作欲延伸環保署已建置三年的「環境奈米科技知識平台」為「台灣奈米技術環境安全衛生資料庫」(TaiNED)，結合國際與國內 EHS 相關資料，構想相當可行，研究團隊的執行力相當好，在英文網頁及國際化提升會有相當大的幫助。</p> <p>2. 目前在網路搜尋引擎中並無法找到 TaiNED 相關字樣的網頁，建議應加以註冊登記，以方便一般民眾的搜尋。</p> <p>3. 目前「環境奈米科技知識平台」的內容規劃雖不錯，但後續資料的維護與檔案管理部份的工作宜先加以律訂規劃。</p>	<p>3. 本網站設有科普、專有名詞及最佳控制實務等，可供一般大眾使用。</p> <p>1. 謝謝委員肯定。</p> <p>2. 建議環保署以長期委辦計畫維護此網站。</p> <p>3. 2011 年初我們會主動以 e-mail 通知大家使用本網站。</p> <p>4. 請環保署作考量。</p> <p>1. 謝謝委員肯定。</p> <p>2. 網站內容仍在建立中，會進行網站註冊登記事宜。</p> <p>3. 同意此看法，建議以長期計畫支持本網站之維護管理工作。</p>

委員意見	意見回覆
<p>4. 目前資料庫中部分資料尚未建置完全，相關連結部份只有台灣地區的相關資料，且完整性不夠，此部分在後續維護管理時可以加強。</p> <p>5. 資料庫中可以考慮建置瀏覽人數的統計資料。</p>	<p>4. 尚在建立資料中，預計 2011 年 1~3 月間開放。</p> <p>5. 同意加入瀏覽人數。</p>

## 附錄七 期中審查意見回覆

會議名稱：99 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」期中審查會議  
**會議記錄**

一、時間：99 年 11 月 26 日（星期五）下午 2 時 30 分

二、地點：本署 4 樓第 2 會議室

三、主席：張組長宣武代

記錄：蘇鈺珊技士

四、出（列）席單位及人員：如簽到單

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：詳委員意見表

八、結論：本計畫期中報告請執行單位參採委員意見進行修正，委員意見請列表參採修正並於報告中註明修正後之頁數，修正後之定稿本請於文到二週內函送本室確認審查通過後，再行檢據辦理後續撥款事宜。

九、散會：下午 4 時 20 分



## 委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
<p><b>元培科技大學環衛系 陳委員文欽</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本報告針對國內、外奈米相關技術、管理與法規等資料有極多且深入的整理與探討，極具參考之價值。</li> <li>2. 國內研發能量及知識缺口部分，以國科會補助計畫案件方面多達 500 件以上，建議如何協助重點整理提供環保署瞭解國內研發狀況，不足部分亦可藉由國際合作補足，以利整體技術發展與合作機制形成。</li> <li>3. 建議整體報告章節與格式可調整為研究報告的型式，並確認工作內容與進度之表現方式，以利報告的完整性及審查，並可符合環保署對本計畫的需求。</li> <li>4. 第五項工作項目協助奈米計畫之橫向整合，如何進行？對鼓勵平台資料上傳，以充實知識庫內容之作法，亦可於期末報告中提出。</li> <li>5. 建議修正摘要內容、進度甘特圖，並增加期初審查意見表。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員的肯定。</li> <li>2. 國內環工界在奈米相關之研究以奈米物質處理環境污染物為主，對於奈米物質在環境中流佈、傳輸、宿命及環境安全議題的研究僅佔極少數，將建議國內學者多投入此方面的研究。</li> <li>3. 謝謝委員的意見。我們將於期末報告調整報告的撰寫及編排方式。期中報告初稿的第二章部分內容已刪除，請參閱期中報告定稿 page 32 ~ 35；期中報告初稿的第五章已合併於第四章，請參閱期中報告定稿 page 51 ~ 233。</li> <li>4. 除了請環保署要求奈米計畫的主持人在計畫結案前必須將期末報告上傳至資料庫網站外，我們將盡力將資料庫網站建置好，充實其內容並使其具有可讀性，希望能增加國內外的使用者閱讀及分享上傳研究成果的意願。</li> <li>5. 謝謝委員的意見。我們將於期末報告修正摘要內容。我們已修正進度甘特圖，請參閱期中報告定稿 page 256 ~ 257；已增加評選審查委員意見回覆表及第一次工作進度報告會議記錄，請參閱期中報告定稿 page 263 ~ 267。</li> </ol>
<p><b>台北醫學大學公衛系 陳委員歡瑜</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫屬於知識領域的管理及整合</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員的肯定。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>計畫，除屬新興科技之外，跨越許多領域以及部會，實屬不易。計畫執行團隊已有多年奈米相關研究經驗，在文獻資料之收集和整理的的能力值得肯定。</p> <p>2. 我國已成立奈米標準技術諮議會，其中 TWA3 工作組與本計畫有關，此諮議會的開會頻率如何，它將如何發揮對奈米科技中稍加描述。</p> <p>3. 國外的法規與研究非常豐富，國內無法於短時間追上，蔡教授可否建議各主管機關應在短時間建立的法規與技術。</p> <p>4. 期待本計畫能發揮媒合相關跨領域研究的能量。</p> <p>5. 期末報告時，format 可以再調整使之更易閱讀。</p>	<p>2. 我國根據 ISO TC 229 之分工成立的 TWA3 工作組，成立後過會不多。</p> <p>3. 同意委員意見。此為政府相關部門應重視的問題，目前國內僅有工研院量測中心投入微粒標準的制定，將來會再進行 CPC 儀器標準的研究，建議政府衡量人力物力，從奈米物質的法規及管制著手。</p> <p>4. 謝謝委員指教。</p> <p>5. 謝謝委員的意見。我們將於期末報告調整報告的撰寫及編排方式。期中報告初稿的第二章部分內容已刪除，請參閱期中報告定稿 page 32 ~ 35；期中報告初稿的第五章已合併於第四章，請參閱期中報告定稿 page 51 ~ 233。</p>
<p><b>國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 林委員啟文</b></p> <p>1. 蒐集我國在「奈米物質對水中生物及環境生態的影響」、「奈米物質的毒性評估」、「奈米物質在環境中之傳輸-轉化及宿命」於國際上之論文發表數，並分析其與 ISO、OECD 國家（會員）之差距？解析我國之優劣勢及努力方向？。</p> <p>2. 目前我國在奈米知識缺口、能量缺口（現況）極大，宜評估各項缺口，並依各項指標（例如：技術門檻、法規</p>	<p>1. 目前國內此三主題相關的研究成果不多，落後其他先進國家。我們將再加強收集國內已發表的論文，並提出具體的建議。</p> <p>2. 同意委員意見。建議政府相關部門增加奈米環境安全衛生議題的研究，委託更多學者進行深入的研究，本研究</p>

委員意見	意見回覆
<p>完備性、投注經費、人力等)，訂定補足缺口之先後次序？</p> <p>3. 宜有具體策略或行動方案，以落實促成奈米 EHS 國際交流之預期效益？例如：英文網站？</p> <p>4. 建議可於知識平台強化，與一般民眾之互動（例如：科普版或一般民眾版），以補充奈米知識之缺口？</p> <p><b>工業技術研究院 張研究員敏超</b></p> <p>1. 本計畫工作及內容品質皆佳，且積極規劃許多相關推廣工作： （1）如舉辦「環境奈米科技論壇」，（2）於 facebook 成立粉絲團，（3）協助環保署參加「2010 台灣奈米科技展」，值得敬佩與其他 EPA 計畫學習與仿效。</p> <p>2. 環保署應仿照善用 EPA 出版專書的方式，將本計畫之期末報告，以專書的方式出版，贈送給相關研究學者或專家，也可以在網站（以 PDF 檔）供需要者 download（因具學術與應用參考價值）。</p> <p>3. 有關奈米物質毒性評估，國內教授的研究，醫學院教授如楊泮池教授、黃東明博士等認為會出現發炎症狀及細胞蛋白反應，但是非醫學相關教授的研究結論為不具毒性，該相信誰？（P.21）。</p> <p>4. 碳黑與碳煙有毒性上之差別？（P.20）。</p>	<p>也將持續分析及整理國外資料及相關標準指引，供國內參考。</p> <p>3. 本計畫已規劃資料庫網站提供英文內容，未來網站會辨識使用者瀏覽器所在的地區，自動導入中文或英文首頁。</p> <p>4. 本計畫考量一般民眾亦為資料庫網站的使用者，已規劃網站的架構包含奈米 EHS 知識，分別為(1)科普；(2)最佳控制實務；(3)名詞解釋；(4)專家專訪；(5)常見問題。</p> <p>1. 謝謝委員的肯定。</p> <p>2. 此建議可提供環保署參考。</p> <p>3. 同意此意見，國內應進行跨領域之合作才有可能克服此困難的研究議題。</p> <p>4. 碳黑為 carbon black。碳煙為 soot，柴油引擎與工業是碳煙的主要來源，會產生碳煙其他的活動為燃燒木材、動物糞便與生質燃料等。</p>

委員意見	意見回覆
5. 我的了解：含有鐵離子成分之石綿纖維，才會致癌，像碳煙或 CNT 的致癌性，是否還與組成份(微量)有關?(P.20)	5. CNT 的毒性為其物理特徵--長度所決定。當 CNT 大於 10 微米以上，其行為類似石綿，不易為巨噬細胞吞噬消化。
6. 嚴格來說，Graphene 與 CNT 屬於同類，請問國際上有人研究 Graphene 的毒性？	6. 此議題可規劃為將來的研究方向。
7. 本計畫期末報告，若有出書，應有附件（簡稱與原文對照表）。	7. 此建議可提供環保署參考。
8. 奈米粒的毒性探討，是否需要列入分子生物技術（非動物性毒性測試），就像病毒或重金屬一樣，很多分子生物學家，從基因的觀點來研究，有的病毒在某類人會致病，某類人感染後不會致病，奈米粒是否有此情況？蔡教授是否可與中研院分子生物研究所、基因體研究中心或國衛院共同作這方面之前瞻性研究？	8. 以分子生物技術探討奈米微粒的毒性為一可行方向。此意見可提供政府相關部門參考，挹注研究經費投入此議題的研究。
9. 本部分除了資料收集完整外，有對未來國內相關資料交流的諸多建議，是一個很好的期中報告。	9. 謝謝委員的肯定。
10. 從提供「環境奈米科技知識平台」的觀點來看，本計畫期中報告的內容廣度與深度是符合計畫目標及預期效益，可讀性也高。	10. 謝謝委員的肯定。

## 附錄八 環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫(中文版)

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，環保署將持續與勞委會、衛生署合作，確保負責任的國家型奈米計畫之永續發展。基於已擬定的奈米技術EHS的12個發展重點項目，本年度環保署參考了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，提出了2011年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目的規畫。

### 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 1000 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<sup>1</sup>。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。

本策略規畫將回顧先進國家與國際組織在奈米技術環境、健康與安全 (EHS, Environmental, Health and Safety) 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)前兩年的進度，最後再介紹更新自前一版本(2009)<sup>2-4</sup>的環保署 2011 年策略規畫，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 2010 年間有關 EHS 全球同儕審查的期刊文章，發現共已發表了 3361 篇，其中與人造奈米微粒有關者就佔了 89.6% (3013 篇)<sup>5</sup>，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。

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<sup>6-9</sup>。水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(LC<sub>50</sub>)，經常作為生態毒性分類的依據。學者發現奈米銀微粒及奈米氧化鋅微粒之毒性最高，最小的半致死劑量<0.1

mg/L，為具極端毒性之微粒(extremely toxic)；接下來是奈米富勒烯及奈米氧化銅，半致死劑量為 0.1-1 mg/L，為非常毒之微粒(very toxic)；單壁及多壁奈米碳管為毒性微粒(toxic)，半致死劑量為 1-10 mg/L；奈米二氧化鈦為有害微粒(harmful)，半致死劑量為 10-100 mg/L<sup>10-11</sup>。過去的研究也指出銀離子或銅離子均分別比同一質量濃度的奈米銀或奈米氧化銅的毒性高，而奈米銀或奈米氧化銅也分別比其較大的微粒毒性高；但是鋅離子與同一質量濃度的奈米氧化鋅及氧化鋅塊材的毒性相當，這個現象和氧化鋅易溶解於水而奈米銀及奈米銅不易溶於水有關。因此除了微粒的分散特性之外，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<sup>10-11</sup>。

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作業場所建議暴露限值(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<sup>12</sup>，且比相同重量的碳奈米微粒和石英具有更大的毒性<sup>13-16</sup>；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<sup>17</sup>，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<sup>18</sup>。

### 法規、標準及指引

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<sup>9</sup>。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)最近提出奈米碳管及奈米碳纖維中的元素碳(EC)的 REL 為 7 μg/m<sup>3</sup> (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<sup>19</sup>。另外，NIOSH<sup>20</sup>曾考慮對細二氧化鈦微粒和超細二氧化鈦微粒提出的 8 小時時量平均 RELs 濃度值分別為 1.5 mg/m<sup>3</sup> 以及 0.1 mg/m<sup>3</sup>，目前此 RELs 仍在審核中，預計在不久的將來會完成公告<sup>21</sup>。

經濟合作與發展組織(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)各會員大都有奈米物質的註冊、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。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<sup>22</sup>。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 99 年 12 月為止，ISO/TC229 已發表的五個標準分別為奈米物質的分類及歸類方法(ISO/TR 11360: 2010)、奈米技術的職業安全衛生控制實務(ISO/TR 12885)、奈米技術-奈米物件的術語及定義(ISO/TS 27687)、奈米技術-以體外試驗對奈米物質進行內毒素測試-蠶變形細胞溶解物測試(ISO 29701: 2010)，及奈米技術-詞彙-第三部分：碳奈米物質(ISO/TS 80004-3: 2010)。研究中的標準、指引及研究群計畫(PG, project group)則尚有 36 個之多，有些 PG 才剛獲得委員會同意開始執行，36 個進行中的標準及計畫的內容包括 CNT 的 TEM、SEM、EDXA 的觀測方法，金屬奈米微粒的產生及特性測量方法，呼吸毒性測試腔內奈米微粒的特性測量，CNT 的 UV-Vis-NIR、IR、TGA、EGA 等測量方法，奈米微粒的測量指引，奈米 TiO<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub> 的特性及測量方法，奈米物質安全操作及處置指引，職業風險分組控制評估指引等。

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 14 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 14 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 14 種代表性工程奈米物質的名單(ENV/JM/MONO(2008)B/REV)<sup>23</sup>：

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. 碳黑 (Carbon black)
7. 二氧化鈦 (Titanium dioxide)
8. 氧化鋁 (Aluminium oxide)
9. 氧化鈾 (Cerium oxide)
10. 氧化鋅 (Zinc oxide)
11. 二氧化矽 (Silicon dioxide)
12. 聚苯乙烯 (Polystyrene)
13. 樹狀聚合物 (Dendrimers)

## 14. 奈米黏土 (Nanoclays)

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畫的所有項目，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。

### 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<sup>24</sup>：

#### (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，EPA 應進行案例研究以鑑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。

最近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" 草案以供大眾評論<sup>25</sup>，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、研究規畫及大眾溝通所需要的科學資訊。草案中的五個章節指出奈米 EHS 的五大核心需求，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。另有一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。草案的最後一章為促進即時、有效達成 NNI 奈米 EHS 策略目標的方法。在新的 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，其中美國環保署在 2009 年的投資為 1110 萬美金，約佔 NNI 總經費的 10.7%，在 2010 年預估美國環保署的經費為 1710 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"<sup>26</sup>，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<sup>26</sup>：

- (1) 汙染源、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量測、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。

### 3. 環保署環境奈米科技執行成果—2003~2010 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)的前二年(2009-2010)，環保署共投入 13 項計畫，總經費為 2807 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 2 項研究計畫，總經費共 260 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究。環保署在 2003-2010 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生署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，衛生署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。2009 年 11 月並獲經濟部採納，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，為我國及國際之創舉。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<sup>27</sup>；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<sup>28</sup>，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，發表同儕審查制度的期刊論文，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鋯電解質薄膜，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 $\alpha$ -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TiO<sub>2</sub>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等。

#### (五) 推動奈米技術研究實驗室及作業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，與勞委會及衛生署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。

#### (六) 環境奈米科技知識平台的建置

環保署持續蒐集國內外相關研究資訊，建構"環境奈米科技知識平台" ([http://sta.epa.gov.tw/portal\\_sgs/index.aspx](http://sta.epa.gov.tw/portal_sgs/index.aspx))，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，重點涵蓋奈米技術對於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。透過此網站平台的建置，持續累積及擴充研究資源，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。目前環保署更進一步與勞委會及衛生署合作，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。

#### (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、作業場所、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，以達化學質量完封；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；奈米物質的濕式靜電濃縮及液中電泳沈降方法；奈米物質的液相分散及特性量測方法，及影響參數的研究等，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) 建立環境及作業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，及奈米粉體作業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作業場所。目前也已開始利用濕式靜電濃縮及液相中電泳沈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。

#### (九) 倫理、法律及社會影響的研究

在過去三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。

#### 4. 環保署執行環境奈米科技立場-2011 年國家型奈米計畫環境議題的規畫

國家型奈米計畫第二期共六年(2009-2014)，目前已執行二年。環保署在2008年的"國家型奈米計畫環境議題第二期六年研發規畫"<sup>3-4</sup>，係參酌2006年至2008歐美國家對未來之規畫架構，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，其中配合衛生署、勞委會三部會共同執行之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2011年策略規畫係根據環保署在2008年提出的"國家型奈米計畫環境議題第二期六年研發規畫報告"<sup>3</sup>、"我國環境奈米科技第二期規畫藍圖"<sup>4</sup> 及2011年NNI的策略規畫作進一步的修正。

##### 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、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

各發展重點項目之內容說明如下：

1. 汙染源、宿命、傳輸和暴露

環保署將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

環保署在有限的資源條件下或為了實施較完整的暴露評估研究，將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。

3. 生態影響

環保署將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

環保署將致力於整合跨領域專家，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

環保署將致力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. 知識庫平台建置

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。目前環保署更進一步與勞委會及衛生署合作，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. 檢測監測技術平台

環保署將致力於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(材料)，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、純度及相異度(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

環保署過去曾推動工作場所優良操作實務及環境暴露控制；未來將致力於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

環保署將透過優良實務及法規進行風險管理工作，並致力於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

環保署將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

環保署將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

環保署將繼續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。

環保署參考了美國奈米科技辦公室所發表"2011年NNI環境、健康、安全研究策略"草案中的五大核心需求，和美國環保署在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生署已執行或正在執行的研究項目，環保署提出2011年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目規畫如下：

1. 知識庫平台建置
2. 檢測監測技術平台
3. 汙染源、宿命、傳輸和暴露
4. 政府法規架構研究

其餘的發展重點項目的執行，則需視環保署的預算，及與國科會、國家奈米計畫辦公室、工研院、勞委會及衛生署的分工協調結果而定。

## 5. 結語

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、衛生署合作，確保負責任的國家型奈米計畫之永續發展。為繼續完成國家型奈米計畫第二期的工作，環保署已擬定了奈米技術 EHS 的 12 個發展重點項目。本年度則參考了美國奈米科技辦公室所發表"2011 年 NNI 環境、健康、安全研究策略"草案中的五大核心需求，和美國環保署在 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，並考量過去的研究成果及配合勞委會及衛生署已執行或正在執行的研究項目，環保署規畫了 2011 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目為：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 汙染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。

## 參考資料

1. The Project on Emerging Nanotechnology, <http://207.58.186.238/inventories/> (accessed on Jan. 22, 2011)
2. 廖宜賢，奈米科技環境議題對策報告(2009 版)，「環境奈米科技知識庫之強化及推廣」計畫，行政院環境保護署期末報告，EPA-98-U1U1-02-105。
3. 吳婉怡，陳怡萱，曹賜卿，阮國棟 (2008). 國家型奈米計畫環境議題第二期六年研發規畫，環境奈米科技論壇論文集，97 年 1 月 11 日，台北市。
4. 吳婉怡，阮國棟 (2008). 我國環境奈米科技第二期六年規畫藍圖，環境奈米科技論壇論文集，97 年 11 月 4 日，台北市。
5. International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/virtualjournal.cfm/> (accessed on Jan. 22, 2011)
6. 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」，行政院環境保護署期末報告，EPA-96-U1U1-02-104，2007。
7. 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。
8. 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。
9. 蔡春進，「環境奈米科技知識管理及整合計畫」，行政院環保署期中報告，EPA-99-U1U1-02-105，2010。
10. 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.
11. Kahru, A., Dubourguier, H.-C. (2009). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, doi:10.1016/j.tox.2009.08.016.

12. 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(1), 5-22.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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(5), L698-708.
17. 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.
18. 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.
19. NIOSH (2010). Draft current intelligence bulletin of occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2010.
20. NIOSH (2005) Draft current intelligence bulletin evaluation of health hazard and recommendations for occupational exposure to titanium dioxide. (<http://www.cdc.gov/niosh/review/public/TiO2/default.html>)
21. NIOSH (2009). Strategic plan for NIOSH nanotechnology research and guidance: Filling the knowledge gaps. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2009.
22. 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](http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983)
23. ENV/JM/MONO(2008)B/REV, OECD (2008). "List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the OECD testing programme", Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Number 6, July 7, 2008.
24. USEPA (2007). Nanotechnology White Paper, EPA 100/B-07/001, <http://www.epa.gov/ord/lrp/pdfs/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>
25. NNI (2010). National Nanotechnology Initiative, 2011 Environmental, Health, and Safety Strategy (draft), <http://strategy.nano.gov/>



26. USEPA (2007). Nanomaterial Research Strategy, Office of Research and Development, June 2009.
27. Roco, M. C. (2005). Environmentally responsible development of nanotechnology, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (5), 106A–112A.
28. 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](http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB_nanoFINAL2_2_.pdf)

## 附錄九 環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫(英文版)

### **Taiwan EPA's 2011 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology**

In recent years, significant progress in dealing with nanotechnology Environmental, Health and Safety (EHS) issues has been made in developed countries and international organizations. The Taiwan EPA (Environmental Protection Administration) has joined both the first phase (2003-2008) and the 2nd phase (2009-2014) of the National Nanotechnology Program (NNP) 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 NNP, 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 Department of Health (DOH) 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 the strategic plan and research themes of developed countries, considered resource constraints and previous research achievements, and leveraged the research activities of the CLA and DOH, four prioritized researches in “2011 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology” were proposed.

#### **1. Introduction**

Nanotechnology leads to technology advances in many diverse application areas such as energy, electronics, medicine, environmental remediation, security and space. Over 1000 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 garden<sup>1</sup>. 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 Nanotechnology Program (NNP, 2003-2008) and the first two years of the 2nd phase of the NNP (2009-2014) will be followed. Finally the Taiwan EPA's 2011 strategic plan updated from the previous 2009 version<sup>2-4</sup> will then 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 2010 there are 3361 published nanotechnology EHS articles in the peer-review journals in which 89.6% of them (3013 articles) are related to engineered nanoparticles<sup>5</sup>. 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.

Taking the aquatic species for an example, many researchers have found harmful effects of nanomaterials on the aquatic species which is influenced substantially by the dissolution and dispersion of nanomaterials<sup>6-9</sup>. Nano-TiO<sub>2</sub>, nano-ZnO, nano-CuO nano-silver, SWCNT (single-walled carbon nanotube), MWCNT and fullerene 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 LC<sub>50</sub> (50 % lethal concentration). The LC<sub>50</sub> of these two species are often used to classify the eco-toxicity of nanomaterials. Researchers found that nano-silver and nano-ZnO had the highest toxicity, classified as extremely toxic with the smallest the LC<sub>50</sub> of less than 0.1 mg/L in the literature; nano-fullerene and nano-CuO were classified as very toxic with the LC<sub>50</sub> between 0.1-1 mg/L; SWCNT and MWCNT were classified as toxic with the LC<sub>50</sub> between 1.0-10 mg/L; nano-TiO<sub>2</sub> was classified as harmful with the LC<sub>50</sub> between 10-100 mg/L<sup>10-11</sup>. Previous researches also indicated that silver ions or copper ions had higher toxicity than the corresponding nano-silver or nano-CuO of the same mass concentration, and the toxicity of nano-silver or nano-CuO was higher than the corresponding particles of larger size. In comparison, the toxicity of Zn ion was similar to that of nano-ZnO and larger ZnO particles of the same mass concentration. These differences were attributed to high solubility of ZnO in water compared to the relative insoluble properties of nano-silver and nano-CuO in water. Therefore, 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 tests<sup>10-11</sup>.

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 (carbon nanotubes) for an example, studies found that they could stimulate mesenchymal cell growth and cause granuloma formation and fibrogenesis<sup>12</sup>, and showed more adverse effects than NP carbon and quartz of the same mass concentration<sup>13-16</sup>. 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 asbestos<sup>17</sup>. This is because the macrophage can't extend itself sufficiently to enclose 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 mesothelioma<sup>18</sup>.

## Regulations, standards and guidelines

Significant progress has been made in developed countries and organizations around the world in the aspects of regulations, standards and guidelines for nanotechnology EHS<sup>9</sup>. Because of the unusual toxicity of CNT and CNF, NIOSH is recommending a REL of 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  elemental carbon (EC) as an 8-hr TWA (time-weighted average) respirable mass airborne concentration. This REL is set at the lowest detection limit of 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 level<sup>19</sup>. In addition, NIOSH has considered to propose the 8-h TWA RELs for fine  $\text{TiO}_2$  and nano- $\text{TiO}_2$  as 1.5  $\text{mg}/\text{m}^3$  and 0.1  $\text{mg}/\text{m}^3$ , respectively<sup>20</sup>. These RELs are still under evaluation and expected to appear in the near future<sup>21</sup>.

Most of the members of the OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) have regulations for registration, assessment and control of nanomaterials; US EPA adopted PMN (Pre-manufacture Notice) and SNUR (Significant New Use Rule) for nanomaterials under TSCA (toxic substance control act); European Union considers nanomaterials as chemical substances and uses REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) system to regulate nanomaterials and their related products.

ISO (International Organization for Standardization) created TC 229 technical committee to develop standards for nanomaterials in 2005<sup>22</sup>. 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 December 2010, ISO/TC 229 has published 5 standards: Nanotechnologies--Methodology for the classification and categorization of nanomaterials (ISO/TR 11360: 2010), Nanotechnologies--Health and safety practices in occupational settings relevant to nanotechnologies (ISO/TR 12885:2008), Nanotechnologies--Terminology and definitions for nano-objects--Nanoparticle, nanofiber and nanoplate (ISO/TS 27687:2008), Nanotechnologies--Endotoxin test on nanomaterials samples for in vitro systems--Limulus amoebocyte lysate (LAL) test (ISO 29701:2010), and Nanotechnologies--Vocabulary--Part 3: Carbon nano-objects (ISO/TS 80004-3:2010). The number of standards under development and project groups is 36. These 36 standards and/or project groups are TEM, SEM, and EDXA in the characterization of single walled carbon nanotubes (SWCNTs); generation and characterization of metallic nanoparticles; characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing; use of UV-Vis-NIR, IR, TGA, EGA in the characterization of carbon nanotubes; guidance on nanoparticle measurement

methods and their limitations; characteristics and measurement methods of nano-TiO<sub>2</sub> and nano-CaCO<sub>3</sub>; guidance on safe handling and disposal of nanomaterials; and guidelines for occupational risk management, etc.

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 14 representative manufactured nanomaterials and specific endpoints relevant to human health and environmental safety. The 14 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(2008)B/REV)<sup>23</sup> :

1. C60 Fullerenes
2. SWCNTs, Single-walled carbon nanotubes
3. MWCNTs, Multi-walled carbon nanotubes
4. Silver nanoparticles
5. Iron nanoparticles
6. Carbon black
7. Titanium dioxide
8. Aluminium oxide
9. Cerium oxide
10. Zinc oxide
11. Silicon dioxide
12. Polystyrene
13. Dendrimers
14. Nanoclays

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.

### **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, including<sup>24</sup>:

#### **(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 comments<sup>25</sup>. 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 five core nanoEHS research categories in five chapters: (1) Nanomaterial measurement infrastructure, (2) Human exposure assessment, (3) Human health, (4) the environment, and (5) Risk assessment and management methods. 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%). In 2010, the US EPA investments were estimated as 17,100 K USD.

According to "Nanomaterial Research Strategy"<sup>26</sup> 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 areas<sup>26</sup>:

- (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.

### **3. Major Achievements of the Taiwan EPA from 2003 to 2010**

The Taiwan EPA had joined the 1st phase (2003-2008) of the NNP 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 2 years of the 2nd phase of the NNP (2009-2014), all 13 projects with a total budget of NT 28.07 millions were funded for the researches on environmental implication of nanotechnology. Besides these national nanotechnology projects, the Taiwan EPA also funded 10 projects with a total of NT 16.75 millions in 2003-2008 and 2 projects with a total of NT 2.60 millions in 2009-2010, through " Research and Development of Environmental Innovative Technologies projects", for conducting researches on environmental applications of nanotechnology. The major achievements are as follows:

#### **(1) Promoted Inter-agency Precautionary Risk Management on Nanotechnology EHS**

The Taiwan EPA joined with the Council of Labor Affair and the Department of Health 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 Department of Health takes charge of health risk assessment of nanomaterials, while the Council of Labor Affair 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. These guidelines were carefully checked and adopted in 2009/11 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 products based on precautionary principle. The Taiwan EPA continues to work closely with other



government agencies in developing and applying similar "best practices" for nanomaterials and other nanotechnology 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 attention<sup>26</sup>. 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 dialogue<sup>27</sup>. 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 forum, publication of peer-reviewed journal papers, the Taiwan EPA collaborates closely with international and domestic communities.

### (4) Developed environmental 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  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 TiO<sub>2</sub> sol and various metals were added as the co-catalysts. 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 etc.

### (5) Implemented risk management in nanotechnology research laboratories and workplaces

By collaborating with the CLA and DOH, the Taiwan EPA implemented risk management through the setting of standard operation procedures (SOPs) and safe working guidelines for research laboratories and workplaces.

### (6) Established Environmental Nanotechnology Knowledge Platform

The Taiwan EPA has continued gathering nanotechnology relevant information for establishing the "Environmental Nanotechnology Knowledge Platform" ([http://sta.epa.gov.tw/portal\\_sgs/index.aspx](http://sta.epa.gov.tw/portal_sgs/index.aspx)) 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 resources to eventually form a learning type knowledge platform for all stakeholders to understand and participate in environmental nanotechnology. Recently, this platform was further expanded into the "Taiwan nanotechnology EHS database" with the joint efforts of the Taiwan EPA, CLA and DOH. The achievements of the domestic nanotechnology EHS projects are presented in the new platform to further foster the international exchanges and collaborations.

(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); wet electrostatic precipitation and concentration, and electrophoretic precipitation of nanomaterials in liquid; dispersion and characterization methods of nanomaterials in liquid phase, and the studies of the influencing parameters 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-SiO<sub>2</sub>, nano-CaCO<sub>3</sub>, nano-carbon, fine-TiO<sub>2</sub> and fine-ZnO. Wet electrostatic collection, concentration, and electrophoretic precipitation techniques are also being used to test the in-vitro toxicity of engineered nanomaterials and environmental nanoparticles.

(9) Researches on ELSI (ethical, legal, and societal implications)

In the past three years, 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.

#### **4. The Planning of Taiwan EPA's 2011 National Nanotechnology Program in Environmental Issues**

The second phase (2008-2014) of the NNP has been executed for two years. In 2008, The Taiwan EPA's "The Planning of the second phase of national nanotechnology program in environmental issues" <sup>3-4</sup> 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 NNP. Executive Yuan approved the funding of NT\$ 100,000,000 for Taiwan EPA for environmental nanotechnology projects in the next six years in which 60% was allocated for the EPA/CLA/DOH 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 2011 strategic plan is modified based on "The Planning of the second phase of national nanotechnology program in environmental issues" <sup>3-4</sup> in 2008 and the NNI's 2011 strategic plan<sup>25</sup>.

##### **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 and exposure
- (2) Human health
- (3) Ecological effects
- (4) Risk assessment

- (5) Life cycle assessment
- (6) Knowledge-base platform
- (7) Sampling, analysis and monitoring 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 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.

(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) Knowledge-base platform

The database platform was setup and well utilized in the 1st phase of the NNP, which was transformed into the knowledge-base platform in 2007. Recently, this platform was further expanded into the "Taiwan nanotechnology EHS database" with the joint efforts of the Taiwan EPA, CLA and DOH. 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 and monitoring 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 DOH 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 Taiwan EPA has referred to the five core nanoEHS research needs in “2011 Environmental, Health, and Safety Strategy (draft)” 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 DOH, the prioritized researches in “2011 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology” were proposed as

1. Knowledge-base platform
2. Sampling, analysis and monitoring technology platform
3. Sources, fate, transport and exposure
4. Research on the governmental regulation framework

Implementation of the rest of other research focal items depends on the EPA’s budget constraints and the collaboration/coordination of National Science Council (NSC), National Nanoscience and Nanotechnology Program Office, Industrial Technology Research Institute, CLA and DOH.

## 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 DOH to ensure the sustainable development of nation's responsible nanotechnology program. For accomplishing the 2nd phase of the NNP, the Taiwan EPA has drafted 12 focal items for nanotechnology EHS researches. This year, the Taiwan EPA has referred to the five core nanoEHS research needs in “2011 Environmental, Health, and Safety Strategy (draft)” 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 DOH, the prioritized researches in “2011 Strategic Plan for Responsible Nanotechnology” were proposed as (1) Knowledge-base platform; (2) Sampling, analysis and monitoring technology platform; (3) Sources, fate, transport and exposure; (4) Research on the governmental regulation framework.

---

## References

1. The Project on Emerging Nanotechnology, <http://207.58.186.238/inventories/> (accessed on Jan. 22, 2011)
2. Liao, Y. H. (2009). Taiwan's strategic plan for responsible nanotechnology (2009-2014), The Consolidation and spread of environmental nanotechnology platform, final report, Taiwan EPA, project no. EPA-98-U1U1-02-105. (in Chinese)
3. 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)
4. 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)
5. International Council on Nanotechnology, <http://icon.rice.edu/virtualjournal.cfm/> (accessed on Jan. 22, 2011)
6. 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)
7. 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)
8. 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)
9. Tsai, C. J. (2010). Knowledge management and integration of environmental nanotechnology, mid-term report, Taiwan EPA, project no. EPA-99-U1U1-02-105. (in Chinese)
10. 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.
11. Kahru, A., Dubourguier, H.-C. (2009). From ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*, doi:10.1016/j.tox.2009.08.016.
12. 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(1), 5-22.
13. 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.
14. 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.

15. 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.
16. 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(5), L698-708.
17. 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.
18. 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.
19. NIOSH (2010). Draft current intelligence bulletin of occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2010.
20. NIOSH (2005) Draft current intelligence bulletin evaluation of health hazard and recommendations for occupational exposure to titanium dioxide. (<http://www.cdc.gov/niosh/review/public/TiO2/default.html>)
21. NIOSH (2009). Strategic plan for NIOSH nanotechnology research and guidance: Filling the knowledge gaps. Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, November 2009.
22. ISO TC 229 website, 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](http://www.iso.org/iso/standards_development/technical_committees/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=381983)
23. ENV/JM/MONO(2008)B/REV, OECD (2008). "List of manufactured nanomaterials and list of endpoints for phase one of the OECD testing programme", Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Number 6, July 7, 2008.
24. USEPA (2007). Nanotechnology White Paper, EPA 100/B-07/001, <http://www.epa.gov/ord/lrp/pdfs/epa-nanotechnology-whitepaper-0207.pdf>
25. NNI (2010). National Nanotechnology Initiative, 2011 Environmental, Health, and Safety Strategy (draft), <http://strategy.nano.gov/>
26. Roco, M. C. (2005). Environmentally responsible development of nanotechnology, *Environ. Sci. Technol.*, 39 (5), 106A-112A.
27. 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](http://www.irgc.org/IMG/pdf/PB_nanoFINAL2_2_.pdf)



附錄十 「環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫」研商會議審查意見回覆

會議名稱：「環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫」研商會議  
**會議記錄**

一、時間：100 年 1 月 28 日（星期五）下午 1 時 30 分

二、地點：本署 4 樓第 3 會議室

三、主席：劉執秘宗勇

記錄：簡誌良

四、出（列）席單位及人員：如簽到單

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：詳委員意見表

八、散會：下午 3 時 30 分

委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
<p><b>國立清華大學化學系 凌教授永健</b></p> <p>1. 本規畫整合國際間主要組織和先進國家的策略，作為國內規畫的依據，嚴謹完整。建議可納入台灣獨特之優點和經驗，以落實資源共享和創新領先策略，如本土性的台灣針對高科技產業和工安事件的經驗。</p> <p><b>國立中山大學環工所 楊教授金鐘</b></p> <p>中文版</p> <p>1. 「規畫」及「規劃」、「奈米物質」及「奈米物質」、「奈米技術」及「奈米科技」等建議名詞統一。</p> <p>2. 第 2 頁：「溶解分散程序」應修正為「溶解及分散性」較佳。</p> <p>3. 第 10 頁之「發展重點」應與第 11-12 頁之「發展重點」一致。</p> <p>4. 第 11 頁：”Aggregation”之中譯名似乎與「聚合」之意義不同，建議修正。</p> <p>5. 針對未來之綠色奈米技術相關研究發展，建議評估比照 OECD 之作法透過系統性之分工進行多年期之研究的可能性，並配合「策略二」之「創新領先」進行聚焦式的研究。</p> <p>6. 「奈米碳黑」建議修改為「碳黑」。</p> <p>英文版</p> <p>1. 第 1 頁，最後一段，第 1 句：文法與文意有待確認與修正。</p>	<p>1. 謝謝委員指教。建議未來環保署可將此建議納入規畫。</p> <p>1. 謝謝委員意見。除國家型奈米科技計畫、奈米科技白皮書、美國奈米科技辦公室、環境奈米科技知識平台、環境奈米科技論壇等名詞未修改外，此三個名詞在全文中已統一修正為規畫、奈米物質及奈米技術。</p> <p>2. 已依委員意見修正。請參考期末報告定稿本第 283 頁。</p> <p>3. 已依委員意見修正。請參考期末報告定稿本第 292 頁。</p> <p>4. 已修正為「聚集」。請參考期末報告定稿本第 292 頁。</p> <p>5. 同意此看法。</p> <p>6. 已依委員意見修正。請參考期末報告定稿本第 285 頁。</p> <p>1. 已修正成 In this strategic plan, the advances of nanotechnology EHS</p>

委員意見	意見回覆
<p>2. 第 8 頁，最後一段，最後 1 句：似乎不宜用”will”表示。</p> <p>3. 「清潔生產」中之”clean”似乎較宜採用”cleaner”。</p> <p>4. 第 11 頁，倒數 2~3 行：”...Hsueh - Shan Tunnel for vehicle pollution.”之寫法可能會有語意不清之處。</p>	<p>(Environmental, Safety and Health) in the developed countries and international organizations will be reviewed.</p> <p>2. 已修正成 The EPA is responsible for the exposure assessment and risk management of nanomaterials in the environment, the Department of Health takes charge of health risk assessment of nanomaterials, while the Council of Labor Affair focuses its efforts on ensuring healthy workplaces and safe processes.</p> <p>3. 已依委員意見修正。請參考期末報告定稿本第 296 頁。</p> <p>4. 已修正成 Exposure assessment sites include traffic pollutant sources in Hsueh-Shan Tunnel and urban areas, forest nature sources at Shi-Tou and Lu-Lin Mountain.....</p>
<p><b>環保署環境檢驗所 阮所長國棟</b></p> <p>1. 整體及全球策略上：以小博大在奈米技術也許有機會，回饋或與國際交流。例如 PM<sub>0.1</sub> 的量測以及毒物介面的突破。(與 OECD 及 ISO，以及瑞士地區的 Risk governance 機構...等) 在技術應用面，與生物技術結合的奈米技術應用在低濃度環境污染物的偵測及去除，亦可有創新迎頭趕上的可能。</p> <p>2. 本計畫執行單位已完成相當好的初稿，每年優先執行的項目不宜太多，要界定更少的項目。(這也就是 6 年第 2 期之之後還必須逐年去做策略規畫的原因)，目前的策略規畫為可能 4~6 年同時進行一連貫的主題，也可能是可行的作法。</p>	<p>1. 同意此看法。因受限於國內人力及資源，應多參考 OECD 及 ISO 之標準及指引，發展具有競爭力的技術，並尋求跨部會及國際合作的機會。</p> <p>2. 本年度的策略規畫參考了美國奈米科技辦公室所發表"2011 年 NNI 環境、健康、安全研究策略"草案中的五大核心需求，和美國環保署在 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，考量過去的研究成果及配合勞委會及衛生署已執行或正在執行的研究</p>

委員意見	意見回覆
<p>3. 國內國家型奈米計畫有 68%用在產業發展，大部分則在工研院實驗研發，現有風險管理準則是否落實，則工研院加上奈米標章的工廠，則接近 90%以上的風險可得以掌握。</p> <p><b>中國科技大學 謝教授子陽</b> 本研究資料（中、英文）對環保署未來參與「國家奈米計畫」的貢獻度極大，是極佳參考資料值得肯定。僅提出個人淺見，請參考：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 前言部分（P1）對於環保署為何參與國家奈米計畫的初衷（可參考環保署的科技顧問室的發表文件），建議參考並加以著墨本規畫的目的及目標。（簡報中略述）</li> <li>2. 第 3 及第 4 章節部分建議能列表說明（列如過去重要研究方向）將更簡潔化，也更能吸引閱讀者目光，並彰顯本規畫文件的重要性及貢獻。因策略規畫極為重要，為未來工作的藍圖，宜建議未來環保署（或環境資源部）重點研究方向。</li> <li>3. 謹提供歷史文件乙篇，供執行團對參考：Peralta – Videá et al., Nanomaterials and environment: A review for the biennium 2008 – 2010, Journal of Hazardous Materials (2010)。可參考奈米物質目前整理資料及研究方向。</li> </ol> <p><b>中技社 鄒主任倫</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 策略一：資源及資料共享，非常重要</li> </ol>	<p>項目，提出的環保署 2011 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目規畫為：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 污染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. 同意此看法。建議經由跨部會的合作及協調，朝此方向努力。</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本團隊已參酌委員的建議修正前言部分。請參考期末報告定稿本第 283 頁。</li> <li>2. 因第 3 及第 4 章中各項目的說明內容甚多，以條列方式較能作完整的敘述。本策略規畫已建議未來環保署的重點研究方向。</li> <li>3. 謝謝委員提供的資料。</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 這是環保署長期以來努力的目標，國</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>，在與各國交流上是否有困難或方法，可比較完整評估，檢討及論述。</p> <p>2. 策略二：研究方向如何聚焦，可參考 USEPA 之研究主題（因環保署及 USEPA 之 Mission 類似）。</p> <p>3. 奈米物質及空氣污染物之毒性測試及管理，是個別執行或結合成一套，宜有較明確的方向。</p> <p><b>勞工安全衛生研究所 陳博士春萬</b></p> <p>1. 環境奈米物質的特性分析，特別是液體中特性、量測奈米物質或離子、釐清奈米物質或離子影響危害、產品或廢棄物脫落等因素，應持續關注（宿命、傳輸、暴露）。</p> <p>2. 主動提供國際組織資料，支持參與國外主要網站之論壇。</p> <p>3. EHS 合作也納入策略中說明，不然 12 項發展重點 EPA 似乎很難聚焦。</p>	<p>際合作十分重要，應該重視及加強。</p> <p>2. 本策略規畫已參考美國環保署的「2009 年奈米物質研究略規畫」。經 99 年 1 月 28 日的專家研商會討論後，2011 年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目已聚焦為：(1) 知識庫平台建置；(2) 檢測監測技術平台；(3) 汙染源、宿命、傳輸和暴露；(4) 政府法規架構研究。</p> <p>3. 謝謝委員指教。因奈米物質受環境因子影響很大，又毒性物質的環境宿命是非常複雜的議題，建議宜個別執行。</p> <p>1. 同意委員看法。</p> <p>2. 這是環保署長期以來努力的目標，國際合作十分重要，應該重視及加強。</p> <p>3. 謝謝委員建議。在本策略規畫中已提及應與國科會、國家奈米計畫辦公室、工研院、勞委會及衛生署分工協調，以避免環保署的發展重點與其他部會重覆。</p>

## 附錄十一 「2010 環境奈米科技論壇」相關資料

### 2010 環境奈米科技論壇

為促進國內環境奈米科技知識交流，環保署自民國 92 年起舉辦奈米科技環境領域應用論壇，迄今已經 7 年，共計辦理 12 場論壇。本次論壇議題將以奈米科技的環境挑戰與負責任發展為主軸，議程同時涵括環保署在 99 年度環境奈米科技相關計畫執行成果發表，包括：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；水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究；奈米科技之風險感知及政策研究；環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務；環境奈米科技知識管理及整合計畫；以及配合即時監測環境樣品奈米微粒細胞毒性篩選技術等。期望透過環境奈米科技論壇的舉辦，與國內各界進行技術交流及計畫成果分享。

#### 會議資訊

- 一、主辦單位：行政院環保署永續發展室、國立交通大學環工所
- 二、時間：99 年 12 月 16 日（星期四）9：00～16：30
- 三、地點：台大集思會議中心蘇格拉底廳（台北市羅斯福路 4 段 85 號 B1）
- 四、參加對象：產官學研有興趣之人員
- 五、費用：免費（會中提供午餐）
- 六、公務人員可核發學習時數（上午 3 小時，下午 3 小時，出席全日 6 小時）
- 七、報名方式：（報名截止日：99 年 12 月 10 日，請任選一種報名方式）
  - （一）傳真報名：請填寫報名表並傳真至（03）572-5958
  - （二）電郵報名：請將報名表電郵至 [clchien.ev91g@nctu.edu.tw](mailto:clchien.ev91g@nctu.edu.tw)
  - （三）郵寄報名：請填寫報名表並郵寄至  
300 新竹市大學路 1001 號 交通大學環工所 簡誌良 先生
- 八、本案聯絡人：交通大學環工所 簡誌良 先生  
電話：（03）571-2121 分機 55524  
傳真：（03）572-5958

## 2010 環境奈米科技論壇 報名表

姓 名		性 別	
服務單位		職 稱	
聯絡地址	□□□		
聯絡電話	(公司) _____ (手機) _____		
傳真號碼	_____		
E - M a i l			
用 餐	<input type="checkbox"/> 12月16日午餐 <input type="checkbox"/> 素 <input type="checkbox"/> 不用餐		

★ 報名方式

1. 傳真報名：(03) 572-5958 簡誌良 先生
2. 電郵報名：請回傳至電郵信箱 [clchien.ev91g@nctu.edu.tw](mailto:clchien.ev91g@nctu.edu.tw)
3. 郵寄報名：請郵寄至 300 新竹市大學路 1001 號 交通大學環工所 簡誌良 先生

★ 會議洽詢：(03) 571-2121 分機 55524 簡誌良 先生

- ★ 注意事項：1. 報名額滿為止，基本資料請務必填寫完整，本單位將在會議前，以 e-mail 方式寄發會議通知給您。
2. 公教人員全程參與，可獲得研習時數 6 小時。

★ 交通方式：

1. 捷運新店線 公館站二號出口 (步行 2 分鐘)
2. 詳細交通方式請上網查詢：<http://www.meeting.com.tw/location.html>

2010 環境奈米科技論壇 貴賓簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	備註
1	行政院環保署 環境檢驗所	阮國棟 所長	阮國棟	
2	行政院環保署 永續發展室	劉宗勇 執秘	劉宗勇	
3	工研院 奈米科技研發中心	宋清潭 博士	宋清潭	
4	台灣大學 職業醫 學與工業衛生所	鄭尊仁 教授	鄭尊仁	
5	國立交通大學 環境工程研究所	蔡春進 教授	蔡春進	
6	國立交通大學 環境工程研究所	陳聖傑 博士	陳聖傑	
7	國立台灣大學 農業化學系	施養信 教授	施養信	
8	國立成功大學 環醫所	蔡朋枝 教授	蔡朋枝	
9	勞委會 勞工安全 衛生研究所	陳春萬 博士	陳春萬	
10	國立中興大學 生物醫學研究所	關斌如 教授	關斌如	
11	國立中山大學 環境工程研究所	楊金鐘 教授	楊金鐘	
12	國立清華大學 化學系	凌永健 教授	凌永健	
13	國衛院 奈米醫學 研究中心	楊重熙 主任	楊重熙	
14	睿揚資訊股份有 限公司	鄭榮家 經理	鄭榮家	



2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
1	行政院環保署 環境檢驗所	吳婉怡	吳婉怡				不用
2	行政院環保署 環境檢驗所	楊喜男	楊喜男		楊喜男	楊喜男	
3	行政院環保署 環境檢驗所	鄭先佑	鄭先佑		鄭先佑	鄭先佑	
4	行政院環保署 永續發展室	張宣武					
5	行政院環保署 永續發展室	蘇鈺珊	蘇鈺珊				不用
6	行政院環保署 毒管處	施雯玲	施雯玲		施雯玲	施雯玲	素食
7	行政院環保署 廢管處	李鴻源					拿資料
8	行政院環保署 廢管處	連振廷	連振廷		連振廷	連振廷	
9	行政院環保署	何宗穎	何宗穎		何宗穎	何宗穎	
10	中區環境督察 大隊	黃麗玫	黃麗玫		黃麗玫	黃麗玫	
11	南區環境督察 大隊	陳勇村					
12	南區環境督察 大隊	楊定恭					
13	台北縣政府環 保局	陳彥文					不用餐
14	宜蘭縣政府環 保局	劉俊迪					不用餐

2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
15	新竹市環保局	劉碧娥	劉碧娥		✓	劉碧娥	素食
16	屏東縣政府環保局	沈雪麗	沈雪麗		沈雪麗	沈雪麗	
17	工研院量測中心	劉有台	劉有台				
18	工研院量測中心	黃仁光	黃仁光				
19	工研院量測中心	陳朝榮	陳朝榮				
20	工研院量測中心	潘善鵬	潘善鵬				
21	工研院奈米中心	鄒華中	鄒華中				
22	工研院電光所	羅兆君	羅兆君				
23	工研院	潘恩郁	潘恩郁				
24	經濟部標準檢驗局新竹分局	周欣穎	周欣穎		周欣穎	周欣穎	
25	勞工安全衛生研究所	熊映美	熊映美		熊映美	熊映美	
26	勞工安全衛生研究所	林洺秀	林洺秀		林洺秀	林洺秀	
27	勞工安全衛生研究所	李世詮					
28	國家衛生研究院學術發展處	張素芝	張素芝				

2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
29	國家衛生研究院	林家驊	林家驊		✓		
30	國家衛生研究院環職組	黃鈺芳	黃鈺芳				
31	國家衛生研究院奈米中心	李瑞萍	李瑞萍		Ⓧ	李瑞萍	
32	國家衛生研究院奈米中心	陳佳華	陳佳華			陳佳華	
33	中央研究院物理所表面組	林柏彥	林柏彥				
34	中央研究院	許芳袖					
35	中央研究院	陳維峰					
36	財團法人安全衛生技術中心	李政憲	李政憲				
37	財團法人安全衛生技術中心	林綉娟	林綉娟				素食
38	財團法人安全衛生技術中心	鍾昇恆					素食
39	紡織產業綜合研究所	林煜登					
40	紡織產業綜合研究所	陳威宏	陳威宏				
41	紡織產業綜合研究所	陳泰佑	陳泰佑				
42	壽豐鄉公所	王士誠	王士誠				

2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
43	中部科學工業 園區管理局	劉志虔	劉志虔		劉志虔		
44	國科會	劉錦龍	劉錦龍				素食
45	國立台灣大學 職醫所	吳亭亭	吳亭亭				
46	國立台灣大學 職醫所	林映君	林映君				
47	國立台灣大學 職醫所	阮泓慈	阮泓慈				
48	國立台灣大學 職醫所	胡靜君	胡靜君				
49	國立台灣大學 職醫所	謝安琪	謝安琪				
50	國立台灣大學 公衛學院	陳志傑	陳志傑				不用餐
51	國立台灣大學 環工所	駱尚廉	駱尚廉				
52	國立台灣大學 環工所	唐先進	唐先進				
53	國立台灣大學 農業化學系	陳佩貞	陳佩貞				
54	國立台灣大學 農業化學系	覃世偉	覃世偉				
55	國立台灣大學 農業化學系	吳宛霖	吳宛霖				
56	國立台灣大學 農業化學系	江峻蔚	江峻蔚				

## 2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
57	國立台灣大學 農業化學系	王明光	王明光				
58	國立台灣大學 農業化學系	曹崇銘	曹崇銘				
59	國立台灣大學 農業化學系	陳岳民	陳岳民				
60	國立台灣大學 農業化學系	陳炎輝	陳炎輝				
61	國立台灣大學 農業化學系	黃堂益	黃堂益				
62	國立台灣大學 農業化學系	藍雅惠	藍雅惠				素食
63	台灣大學石油 化學工業中心	余敏芝					
64	國立中央大學 環工所	蕭大智	蕭大智				
65	國立中興大學 獸醫系	何素鵬	何素鵬				不用餐
66	國立中山大學 環工所	宋文婷	宋文婷				
67	國立中山大學 環工所	沈宛瑩	沈宛瑩				
68	高雄第一科技 大學環安系	許德仁	許德仁				×
69	高雄應用科技 大學化材系	蔡政賢	蔡政賢				<del>不用餐</del>
70	國立暨南國際 大學	楊智其	楊智其				

2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
71	雲林科技大學 工程科技所	王勇勝	王勇勝				
72	國立宜蘭大學 環境工程學系	謝哲隆	謝哲隆				
73	國立宜蘭大學 環境工程學系	李秋璇	李秋璇				
74	國立宜蘭大學 環境工程學系	蔡靜宜	蔡靜宜				
75	國立交通大學 環工所	簡誌良	簡誌良				
76	國立交通大學 環工所	劉俊男	劉俊男				
77	國立交通大學 環工所	羅瑞格	羅瑞格				
78	國立交通大學 環工所	王秉才	王秉才		✓	✓	
79	國立交通大學 環工所	徐偉恩	徐偉恩				
80	國立交通大學 環工所	何技恩	何技恩		✓	✓	
81	國立交通大學 環工所	洪紹銘	洪紹銘		✓	✓	
82	國立交通大學 環工所	陳信佑	陳信佑				
83	國立交通大學 環工所	林芸伊	林芸伊				
84	國立交通大學 環工所	吳栢森	吳栢森		✓	✓	

2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
85	國立交通大學 環工所	洪毅弘	洪毅弘		✓	✓	
86	國立交通大學 環工所	劉怡伶	劉怡伶		✓	✓	
87	台北市立教育 大學環教所	李祈慷	李祈慷				素食
88	中原大學生物 環境工程學系	王雅玢	王雅玢				
89	中原大學生物 環境工程學系	林俊德	林俊德				
90	東吳大學微生 物學系	張怡塘	張怡塘				
91	東吳大學微生 物學系	江承哲	江承哲				
92	東南科大環安 系	華梅英	華梅英				素食
93	東南科大環安 系	蔡景松	蔡景松				
94	東南科大環安 系	馮宇柔	馮宇柔				
95	東南科大環安 系	陳俐伶	陳俐伶				
96	東南科大環安 系	吳柏緯					
97	東南科大環安 系	李忠倫	李忠倫				
98	東南科大環安 系	卓思好					

2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
99	東南科大	林定鼎	林定鼎				
100	萬能科技大學 環境工程系	李中光					
101	大同大學	黃士峪	黃士峪				素食
102	宸昶企業有限 公司	歐陽國	歐陽國榮				
103	宸昶企業有限 公司	歐陽洸	歐陽洸南				
104	昇儀股份有限 公司	翁肇鴻					
105	台灣日光燈公 司竹東廠	馮玉民					
106	高發科技有限 公司	周瑞法					素食
107	惠民實業股份 有限公司	楊致一					
108	台灣中油公司	紀佳雄	紀佳雄				
109	台積電	許芳銘	許芳銘				
110	台積電	林若婷	林若婷				
111	環科工程顧問 股份有限公司	王立祥	王立祥				
112	祥勝綠色科技 股份有限公司	林正祥					



2010 環境奈米科技論壇 出席簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
113	寬騰材料科技 股份有限公司	黃榮鑫					
114	友達公司風險 暨環安管理處	魏憶琳	魏憶琳				
115	台大奈米科技 有限公司	吳健璋	吳健璋		是	是	素食
116	大安社區大學	賴文隆	賴文隆				
117	塑膠工業技術 發展中心	溫筱宛					
118	台中市環保局	歐昆霖	歐昆霖		歐昆霖	歐昆霖	
119	友達光電	謝彩惠	謝彩惠				
120	<del>理</del> 真實大學	鄧鴻源	鄧鴻源		鄧鴻源	鄧鴻源	
121	國家衛生研究 院	劉紹興	劉紹興				不用餐
122	國家衛生研究 院	李維津	李維津				
123	台北市立教育 大學環資所	張育傑	張育傑				不用餐
124							
125							
126							

2010 環境奈米科技論壇 現場報名簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
1	淡江大學 化學系	陳世輝	陳世輝				
2	東南科大 理管系	徐元國	徐元國				不用
3	台大奈米科	柳志明	柳志明		柳志明	柳志明	
4	信濟中環	李悅強	李悅強				李
5	屏科大	蔡文田	蔡文田				
6	蟻農事科投	郭玉梅	郭玉梅				
7	台大物理系	黃智毅	黃智毅				
8	勞研所	徐俊偉	徐俊偉				
9	環保署	林燕	林燕				不用
10	科耳	邱一琴	邱一琴				不用
11	中研院	李國	李國				李
12	淡江大學	鄧余培	鄧余培				
13	中研院	何承江	何承江				
14	九七	張玟	張玟				

2010 環境奈米科技論壇 現場報名簽到單

編號	機關單位	姓名	簽名處	公務員研習時數			備註
				身分證字號	上午場 簽退	下午場 簽退	
15	鑛務局	鍾國揚	鍾國揚				
16	陳政忠	新理 科技	陳政忠				
17	陳梅桂	台大農化	陳梅桂				
18	環保署	涂鈞達	涂鈞達				
19	環保署	王喬立	王喬立				
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							



行政院環境保護署

## 2010 環境奈米科技論壇

### 論文集

主辦單位：行政院環境保護署永續發展室

國立交通大學環工所

台北市台大集思會議中心

中華民國 99 年 12 月 16 日

---

## 目錄

一、奈米科技發展風險管理評析.....	1
二、奈米科技風險感知研究 .....	11
三、環境中奈米物質量測分析及暴露評估技術 .....	20
四、商用穩定性二氧化鈦奈米微粒在水環境介質中之轉變 .....	40
五、奈米技術實驗室的安全衛生自我管理.....	62
六、主要先進國家與組織的奈米技術 EHS 的法規進展 .....	71
七、即時監測環境樣品奈米微粒毒性篩選技術 .....	113
八、綠色奈米化學 .....	123
九、中子活化後之放射性奈米氧化鋅粒子在生物體內的定量分析研究	131
十、台灣奈米 EHS 知識庫的使用.....	143

## 附錄十二 凌永健教授英文訪問報導

### An Interview with Professor Yong-Chien Ling



#### 1. Purpose of interview

Professor Ling received his Ph. D. from the University of Florida, and now is the professor in the Department of Chemistry of the National Tsing Hua University. In the past years, he has devoted his efforts to the development of green chemistry process in the fields of nanomaterial, photo-catalyst, biological analysis, environmental analysis, and food and medicine analysis. He received many awards including Environmental Analysis Contribution Award (2010), Environmental Protection Professional Award in Academia (2009), and Ministry of Education Excellence in Teaching Award (1992), which shows his great contribution both to research and education. This review is aimed at understanding his nanotechnology-EHS research advances and exchanging ideas and information with him.

#### 2. Interview method

In-person interview

#### 3. Interview date

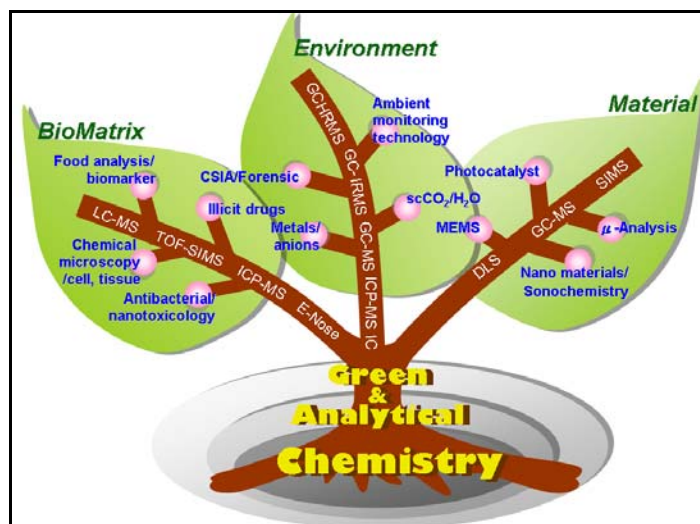
Oct. 21, 2010.

#### 4. Content of the interview

**(1) Your laboratory is named as "Green Chemistry and Mass Spectrometry Analytical Laboratory". Would you share with the readers the direction, important achievements and the impacts of your research teams?**

Based on green chemistry and analytical chemistry, "Green Chemistry and Mass Spectrometry Analytical Laboratory" mainly applies mass spectrometry as an analytical tool in the field of biological matrix, environment, and material. The motivation that my laboratory has devoted to green chemistry in recent years is that end-of-pipe technique is unable to solve environmental problems effectively. Therefore, we have been trying to seek for the solution from green chemistry. Targeting at developing and applying cutting edge nano-chemistry technique with sustainable concept in mind, application-oriented researches have been accelerated. This makes sustainable green chemistry and bionic nano-chemistry possible, in which Green chemistry is using chemical techniques and methods with environmental friendly chemical process to

reduce or remove the use and production of hazardous materials during manufacturing. The final goal of green chemistry is to achieve human sustainable survival by these chemical methods. Nano-chemistry is combining the surface, size, shape, and defects of matrix properties and self-assembly chemistry to make products to apply in chemistry, physics, material science, engineering, biology, and medical science areas.



The study of green nano-chemistry (to implement green chemistry principle of nano-chemistry and enhance the sustainability of nano-chemistry) was started about 10 years ago. The major work in the early stage was to develop green chemistry to prepare nanomaterials. The important achievements are: (1) Opening and thinning of multiwall carbon nanotubes in supercritical water in 2000 (26 citations) and Silver nanoparticles spontaneously organize into nanowires and nanobanners in supercritical water in 2003 (25 citations); (2) Simultaneous thermo-gravimetric analysis and in situ thermo-Raman spectroscopic investigation of thermal decomposition of zinc acetate dihydrate forming zinc oxide nanoparticles in 2003 (21 citations) and In situ thermo-TOF-SIMS study of thermal decomposition of zinc acetate dihydrate in 2004 (15 citations). Later on, research was extended to applications: (3) Oriented assembly of Au nanorods using bio-recognition system in 2005 (90 citations). This bio-medical application study was sponsored by Graduate Student Study Abroad Program (GSSAP) of NSC and we sent one doctoral student to Professor Tan's laboratory in the Department of Chemistry of the University of Florida to learn how to prepare novel materials. By surface chemical modification, current research direction is combining target organisms and drug molecules to nano-scale graphene oxide to prepare multi-function nanomaterials for the development of imaging probe with functions of diagnosis and treatment. (4) Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study in 2006 (33 citations). This paper was one of "10 selected articles in 2006" of Green Chemistry website of British Royal Society of Chemistry. On this basis, my laboratory collaborates with Professor Gedanken of the Department of Chemistry of Bar-Ilan University in Israel. Now my laboratory collaborates with Taipei Medical University for the evaluation of the toxic effect of nano-ZnO on skin cells and discusses the causal relationship by systematic biochemical, chemical, and material analysis. (5) Magnetic nano-adsorbent integrated with lab-on-valve system for trace analysis of

multiple heavy metals in 2009 (6 citations) and Synthesis of a hybrid material consisting of magnetic iron-oxide nanoparticles and carbon nanotubes as a gas adsorbent in 2010. The green preparation method of reduced nano-scale graphene oxide is currently being developed to remove hexavalent chromium in water. All achievements indicate that green nano-chemistry is challenging but achievements are valuable. This sustainable principle can be applied to establish the domestic emerging nanotechnology.

**(2) What are the recent international advances and trend in nano-EHS based on your research experience in this area? How to catch up with these advances in Taiwan?**

Advanced countries not only sponsor and promote the positive benefit of nanotechnology but also pay attention to its potential negative effects. For example, Center for Biological and Environmental Nanotechnology of Rice University in Texas, which is one of the six nanotechnology centers established by National Science Foundation (NSF), has started to study the effect of nanoparticles on environment from 2001. From 2003, under National Toxicology Program (NTP) one of the nanomaterial researches objectives was to instruct the nanomaterial industry to identify key parameters such as bio-compatibility and toxicity. Research focus included chronic, general, sub-acute, and acute toxicity of single-wall carbon nanotubes, titanium dioxide, quantum dots, fullerenes, and skin exposure pathways. In the same year, NIOSH announced a white paper entitled "Plan of chemical engineering research and nanomaterials: from basis to function" and made an appeal to American chemical companies to start collaborating on promoting long-term prosperous chemical engineering industry with the emphasis on EHS knowledge as the most important component. In 2005, "Nanotechnology White Paper" proposed by US EPA indicated that chemical identification and characterization, environmental fate, environmental detection and analysis, potential release, human exposure, assessment of human health effect, assessment of ecological effects, application of environmental techniques, and risk assessment were important research priorities.

Based on the 7th Framework Program, European Action Plan "Nanoscience and nanotechnology: 2005-2009" increased the budget substantially for nanotechnology-related researches and technology development in European Union. Action plans emphasized the researches on the effects of nanomaterials on human health and environment, and requested that all participating institutions should conduct EHS risk management during the study period.

In 2003, Japan initiated a project entitled "promote the society to accept nanotechnology investigation research" in scientific point of view to study health, environmental, and ethic problems from nanotechnology. The project was aimed at the relief of unease feelings among the society from new technology and promotion of the development of healthy and responsible nanotechnology. During acceptance of new technology, the project collected problems from society and provided solutions.

In the meeting of industry technology strategy held by Executive Yuan in 2005, the conclusion for the sub-topic "promoting healthy development of nanotechnology" of the nanotechnology life application strategy was the balanced development of opportunity and risk was necessary because of the unknown effect of nanomaterials on natural environment and organism health. In order to promote healthy development of nanotechnology, it was necessary to establish the standard for the nanotechnology



industry to develop nanotechnology with responsible attitude. In the workshop for 21st anniversary of Environmental Analysis Laboratory, Taiwan EPA on January 2011, the environmental analysis of emerging nanomaterial contaminants was foresightedly planned for the future challenge by referring to US EPA's category and plan of emerging contaminants.

In 2010, ISO (International Organization for Standardization) published a standard: Nanotechnologies – Characterization of nanoparticles in inhalation exposure chambers for inhalation toxicity testing (ISO 10808:2010). The objective of this standard is to establish the global reliability and consistency for the test results of inhalation toxicity. By January 2011, the scientific committee of European Food Safety Authority (EFSA) published a draft document entitled "Guidance on risk assessment concerning potential risks arising from applications of nanoscience and nanotechnologies to food and feed" for public comments. For the international nano-EHS issues, I think currently the traditional life cycle and risk assessment tools are still being used. The detection and monitoring of nanomaterials require the use of emerging tools and techniques such as particle size and distribution, microanalysis, surface analysis, image analysis, species analysis, and sampling method to obtain representative samples without agglomeration. The above tools and techniques are currently insufficient. Taiwan academia should actively make efforts to study the sampling and analysis methods of nanomaterials in environment.

**(3) What are your suggestion to future researches and policy in nano-EHS in Taiwan?**

I agree with Taiwan EPA on adopting the strategies of "global resource-sharing" and "innovation to lead rather than just to catch up" in environmental issues of national nanotechnology program to develop a knowledge-based responsible nanotechnology and convert nanoscience-based cutting-edge researches into benign and innovative environmental technologies. As mentioned above, the government has started to pay attention to nanotechnology EHS issues. When trying to catch up with the progress of advanced countries, it is necessary to review the category of nanotechnology industry periodically, supply and demand chains, and progress in academic institutions. By inviting people from industry, government, and academia in the routine meetings or workshops to discuss the sources of raw materials, supply, usage, intermediate/side products, products, emissions, waste, final disposal, and even environmental impact assessment, will be helpful to develop systematic, domestic, and niche survey, evaluation and researches for nanotechnology EHS. National nanotechnology program should refer to advanced countries and fix a certain percentage of total budgets (for example, 5%) for EHS issues and demand that all research institutions should conduct EHS risk management so that nano-EHS issues are treated properly.

**(4) Dr. Ling, could you please give few words to our young researchers who are devoted to nano-EHS researches?**

The range of nanotechnology EHS researches is comprehensive with strong academic challenges and far-reaching practical influences. Breakthrough results can only be obtained via interdisciplinary collaborated research. For young researchers who are devoted to this field, my suggestion is to use your own expertise to supplement team

members' professional specialties as a first step. By learning from each other, the key issues can be grasped and domestic research resources can be utilized more efficiently. After that, you can contribute your professional expertise to more advanced researches to achieve excellent results. In addition, another opportunity will be open for you to conduct useful and practical researches when you, as a member from academia, start to interact with industry and government actively.

## 附錄十三 楊重熙主任英文訪問報導

## An Interview with Director Chung-Shi Yang

**1. Purpose of interview**

Director Yang received his Ph. D. from the Pennsylvania State University and now is serving in the Center for Nanomedicine Research of the National Health Research Institutes (Taiwan). He has devoted his efforts in the bio-medical applications of nanotechnology in the past years. This review is aimed at understanding the nanotechnology-EHS research advances in the center and exchanging ideas and information.

**2. Interview method**

In-person interview.

**3. Interview date**

Nov. 2, 2010.

**4. Content of the interview****(1) Please share with the readers the direction, important achievements and the impacts of your research teams.**

The Center for Nanomedicine Research of the National Health Research Institutes was founded in 2004. Its purpose is to promote the applications and researches in nano-biomedical areas, including (a) Safety assessment of nanoparticles in biotas; (b) Nanotechnology application in medical researches and applications; (c) Applications and researches of in vivo detection and molecular medical imaging; (d) Development of intelligent nanotechnology carrier compounds and the applications in biomedical areas.

First, there are two directions in the area of the safety assessment of nanoparticles in biota: researches and regulations. The interdisciplinary research team has targeted at semiconductor nanocrystal (or quantum dots, QDs) and many other common nanoparticles, such as zinc oxide, titanium dioxide to conduct a series of researches in cellular and animal toxicity, genomics, nanosafety and medicine dynamics. Many break-through academic achievements have been published in important international journals and books, including *Environmental Health Perspectives*, *Environmental Science and Technology*, *Nanotechnology*, *Nanotoxicity*. Secondly, the research team has also completed the first NECS (nanoparticles exposure chamber system) in the world to simulate the general environmental nanoparticles and different parameters. The NECS has won the Taiwan/US patents and the system has been transferred to a domestic

company to start manufacturing in small quantities. The safety assessment procedure developed in the center is able to meet the needs of the relevant nanotechnology industry and be used as the reference in drafting the nano-standards. Lastly, the nano-medicine center also actively engages in the interdisciplinary cross-agency (EPA, DOH and CLA) EHS researches, involves in the workshops of the international nanotechnology standards (ISO TC229), and integrates domestic nanotechnology standards: establishment of nanotechnology advisory board, review meeting of nano-mark system. It is hoped that accumulated academic capacity in the past can be used as the basis for the future domestic nanotechnology regulations, such that the standards established in Taiwan are in pace with the international standards, and the platform of information sharing and exchanging setup by the center enables the rapid progress of the domestic nanotechnology industry.

In the aspect of nanotechnology researches and applications in medical area, the research directions include nanotechnology researches and applications in cancer medicine, and researches and applications in stem cells. The development of novel cancer medical therapy and application of stem cells is mainly based on nanotechnology. There are many important academic papers published in international renowned journals in this area. A complete series of patent applications and technical transfers will further be pursued in the future, and IND (Investigational New Drug) application will be implemented to facilitate the development of national bio-medical industry.

Finally, the center also focuses in the researches and applications of biota detection and molecular medical imaging using nanotechnology, and development of intelligent nanotechnology carrier compound and application in bio-medical areas. The main planned researches include (a) Development of novel compounded nanomedicine with multiple functions (control release/diagnosis/therapy/trace) (b) Development of new nanoparticles and the bio-medical applications. The research team makes use of high-energy sources (such as microwave, synchrotrone, neutron activation etc) to develop innovative processes to synthesize gold nanoparticles which are applied them in biomedical areas. There are many important research achievements published in renowned international journals and many patents have been granted. The clinical trials will further be conducted to eventually enhance the competitiveness of the domestic bio-medical industry.

**(2) What are the recent international advances and trend in nano-EHS based on your research experience in this area? How to catch up with these advances in Taiwan?**

According to recent statistics, the global nanoparticle related commerce is estimated to value around 30 billion USD, the value is expected to rise to 1000 billion USD in the near future. The nanotechnology-related consumer products exceed 1000 items and a sharp exponential increase in patent filing cases from 1990 to 2006. There is a wide range of application areas of nanoparticles, including drug delivery and targeting, medical imaging, material science, energy and lighting, water and air filters, chemical and biomedical sensors, cleaning technologies for environmental hazardous chemicals etc. We may expose to or contact with many of these nanoparticles in our daily lives. However, it is hard to define the chemical and physical characteristics of these nanoparticles and their long term health effect is barely understood.

ISO-TC229 is a newly founded technical committee in 2005, which has since

actively involved in establishing relevant standards for nanotechnology. The working groups 1 and 2 (JW1 and JW2) mainly concern with nanomaterial terminology, nomenclature, measurement and characterization. The working groups 3 and 4 (JW3 and JW4) mainly focus on health, safety, and environment, and performance criteria of material properties. Currently, the committee members have reached an agreement on defining eight basic characterizing parameters: composition, solubility/dispersibility, size/size distribution, shape, aggregation/agglomeration state, specific surface area, surface charge, surface chemistry. The ensuing guideline for safety assessment based on these parameters will be established as well.

The national strategy to respond to the global activities is to integrate inter-agency resources and construct a collaborative framework. For example, to promote the nanotechnology risk management, the Taiwan nanotechnology standard advisory board has been setup and nano-mark system has been implemented. If we are able to understand and prevent nanotechnology risks, establish regulations and standards, a substantial contribution to national economy due to future nanotechnology development is expected. Referring to “2010 Position Paper on Taiwan Nanotechnology Risk Management” by ITRI, our nation can focus on (a) risk management of nanopowders (b) promote manufacturing process with low nanomaterial exposure (c) international collaboration (d) regular international dialogue on nano-risks (e) voluntary reporting of nanomaterials (f) labeling of nanomaterial or relevant products.

### **(3) What are your suggestion to future researches and policy in nano-EHS in Taiwan?**

In Taiwan, three agencies, CLA, EPA and DOH collaborate on the infrastructure of nano-EHS researches and policy to assist the domestic industry to meet the international standards and promote the development of nanotechnology industry. However, the main economic entities such as European Union and the United State handle the EHS issues based on economic consideration. The economic power is enhanced in their countries through the establishment of the EHS standards, and implicit trade barrier is built up to control the product quality in other exporting countries. This is the reality that we have to face. Our Department of Economic Affairs and its affiliated Bureau of Standard have to directly involve in the national policy to deal with these issues such that the domestic EHS research achievements can be utilized in real industrial applications.

### **(4) Director Young, could you please give few words to our young researchers who are devoted to nano-EHS researches?**

Nanotechnology is an interdisciplinary emerging technology which combines physical, chemical, material and medical science and technology. The young researchers must raise multi-facet interests and integrate different research capacities actively. The EHS points of view must be taken into account when conducting nanotechnology researches to promote out nation’s basic researches and international competitiveness in nano-medical areas.

## 附錄十四 環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展

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)的前二年(2009-2010)，環保署共投入 13 項計畫，總經費為 2807 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 2 項研究計畫，總經費共 260 萬元，應用奈米技術於環境保護的研究。環保署 2003-2010 年的奈米科技計畫統計表如附錄所示，所有計畫的期末報告全文均可在「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」網頁中下載。

### 一、環保署在 2003–2010 年的國家型環境奈米計畫的主要成果

#### (一) 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鋁電解質薄膜，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 $\alpha$ -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TiO<sub>2</sub>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等。

#### (二) 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、作業場所、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，以達化學質量完封；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；奈米物質的濕式靜電濃縮及液中電泳沈降方法；奈米物質的液相分散及特性量測方法，及影響參數的研究等，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。

環保署研究環境奈米微粒特性分析及量測技術的成果已發表於知名的國際期刊(Chen et al., 2010a, 2010b; Zhu et al., 2010; Chen et al., 2011)，內容包括交通源及

森林自然原奈米微粒的特性分析、奈米微粒的密度研究及採樣分析有機碳濃度誤差的修正等。目前也正積極開發可準確採集奈米微粒的設備及方法，以及細微粒和奈米微粒 VOC denuder (固氣分離器)，研究成果預期在奈米微粒採樣領域會具有高度的國際競爭力。

### (三) 建立環境及作業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，及奈米粉體作業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(成果可參考 Chen et al., 2010a, 2010b; Zhu et al., 2010; Chen et al., 2011)；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作業場所，研究的成果也已投稿於國際期刊 (Tsai et al., 2011)。目前也已開始利用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細胞毒性。

### (四) 環境奈米科技知識平台的建置

環保署持續蒐集國內外相關研究資訊，建構「環境奈米科技知識平台」，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，重點涵蓋奈米技術對於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。透過此網站平台的建置，持續累積及擴充研究資源，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。目前環保署更進一步與勞委會及衛生署合作，將此平台擴充為「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，網站位置為 [http://sta.epa.gov.tw/portal\\_sgs/index.aspx](http://sta.epa.gov.tw/portal_sgs/index.aspx)，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。

### (五) 奈米微粒環境量測、宿命與流佈

環保署致力於奈米微粒於環境中的宿命與轉化研究。如環保署的國家奈米計畫利用三種奈米級氧化金屬粉末(ZnO、TiO<sub>2</sub>及SiO<sub>2</sub>)在水溶液中進行實驗，探討奈米微粒在水環境中的轉換及宿命(施等人，2008)。研究發現三種奈米氧化金屬粉末在水溶液中大於3 μm之團粒的比例皆超過95%，此現象將會影響奈米微粒物化特性，如降低表面積等，對生態、環境和人體健康的衝擊，將小於原本奈米級之奈米微粒。研究結果也發現超音波震盪無法分散奈米微粒，以磁石攪拌再加過濾方式可以分散TiO<sub>2</sub>及SiO<sub>2</sub>形成奈米顆粒懸浮液，但無法有效分散ZnO粉體，主要因為ZnO溶在水中造成鋅離子濃度高，使得顆粒團聚變大而沈澱。另外水質參數pH值、離子強度及腐植酸濃度均會對奈米微粒穩定度參生影響，當水體環境pH值接近奈米微粒的等電位點時(pH<sub>ZPC</sub>)，會有明顯的粒徑增加而產生聚集沉降現象；水溶液中離子強度增加時會壓縮奈米奈米微粒表面的電雙層，進而促使奈米顆粒聚集沉降(施等人，2010)。建議將來可以將此研究成果應用於環境污染現場的調查及水生物毒性的評估工作上，並與污染物的傳輸、宿命及轉化機制結合。

### (六) 倫理、法律及社會影響的研究

在過去三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。

環保署委託林等人(2010)的研究發現台灣一般民眾(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，則受消費者對科技的態度、奈米科技的知識，以及對相關機構的社會信任所影響。若消費者對科技的正面態度增加，對奈米科技所感知的風險也增加，亦即對不熟悉、可能有不明長期副作用的科技，會使人們感到更危險。林等人在2010年的研究也比較民眾、大學生、職安人員與風險及公衛專家對奈米科技的風險及利益感知，之前的研究(鄭等人，2008)也有類似的發現，亦即專家較關切奈米微粒吸入與環境污染的風險，而民眾、大學生與職安人員則更關切食入與皮膚接觸的風險。

#### (七) 奈米技術 EHS 的風險管理

環保署每年均辦理「環境奈米科技論壇」，廣邀專家學者及不同利益相關者參與，增加奈米科技利益及可能風險的認知，並藉由此論壇增加彼此溝通的機會，以進一步降低奈米科技的潛在風險。環保署與勞委會及衛生署三部會共同促成跨部會的奈米技術 EHS 預防風險管理工作，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，共同創造負責任的奈米技術的永續發展。

此外，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」，將來會持續針對國家型奈米計畫的經費投入在促進產業發展的工研院研發實驗室和具有奈米標章的工廠進行風險管理，以確保奈米產品的安全。未來環保署也將研議奈米物質的法規架構，以做好奈米物質的風險管理。

## 二、環境奈米科技的推動方式

### (一) 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生署三部會已共同促成跨部會的奈米技術 EHS 預防風險管理工作，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，衛生署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。同時環保署參與奈米標章的審議工作，奈米技術實驗室的最佳控制實務的推動，與將來法規架構的研議與推動，領導及發揮跨部會的協調整合功能。

### (二) 台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫

環保署即將建置完成「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」(TaiNED, Taiwan Nanotechnology EHS database)，與勞委會及衛生署合作，共同分享奈米技術 EHS 資訊及知識交流。此資料庫會以國內的研究報告、期刊論文、會議論文、專利及技轉為主體，加強英文內容並與國際接軌，可增加本國奈米技術 EHS 的研究成果與國際交流的機會。另外 TaiNED 提供本國奈米 EHS 研究規劃的協調與整合契機，各單位可以透過它相互支援研究成果，以提高資源的使用效率。

### (三) 國際交流與合作

環保署曾舉辦國際研討會，並提出我國因應對策報告；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)，也曾正式公布台灣是全球正式回應並呈現完整調查資料的12國之一。環保署將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，發表同儕審查制度的期刊論文，積極加強與國內及國際組織的合作關係。

### 三、環境奈米科技的未來發展方向

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、衛生署合作，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. 汙染源、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

基於上述的發展重點項目，本年度環保署參考美國奈米科技辦公室所發表"2011年NNI環境、健康、安全研究策略"草案中的核心需求，和美國環保署在2009年的"奈米物質研究策略報告"中的聚焦研究主題，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2011年國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目的規畫如下(蔡，2011)：

1. 知識庫平台建置
2. 檢測監測技術平台
3. 汙染源、宿命、傳輸和暴露
4. 政府法規架構研究

### 參考資料

1. Sheng-Chieh Chen, Chuen-Jinn Tsai, Cheng-Yu Huang, Hong-Dar Chen, Shui-Jen Chen, Chih-Chung Lin, Tsai, J. H., Charles C-K Chou, Shih-Chun Lung, Huang, W.

- R., Gwo-Dong Roam, Wan-Yi Wu, Jiri Smolik, Lucie Ondrackova (2010a). Chemical mass closure and chemical characteristics of ambient ultrafine particles and other PM fractions, *Aerosol Science and Technology*, Vol. 44, pp. 713-723.
2. Sheng-Chieh Chen, Chuen-Jinn Tsai, Gwo-Dong Roam, Ya-Nan Wang (2010b). Ultrafine particles at different sampling locations in Taiwan, *Atmospheric Environment*. Vol. 44, pp. 533-540.
3. Sheng-Chieh Chen, Chuen-Jinn Tsai, Cheng-Yu Huang, Hong-Dar Chen (2011). The influence of relative humidity on nanoparticle concentration and particle mass distribution measurements by the MOUDI, *Aerosol Science and Technology*, Vol. 45, issue 5, 596-603.
4. Chuen-Jinn Tsai, Cheng-Yu Huang, Sheng-Chieh Chen, Chi-En Ho, Cheng-Hsiung Huang, Chun-Wan Chen, Cheng-Ping Chang, Su-Jung (Candace) Tsai, Michael J. Ellenbecker (2011). Exposure assessment of nano-sized and respirable particles at different workplaces, *Journal of Nanoparticle Research* (submitted)
5. Chong-Shu Zhu, Cheng-Chieh Chen, Jun-Ji Cao, Chuen-Jinn Tsai, Charles C-K Chou, Shaw-Chen Liu, Gwo-Dong Roam (2010). Characterization of carbon fractions for atmospheric fine particles and nanoparticles in a highway tunnel, *Atmospheric Environment*, Vol. 44, pp. 2668-2673.
6. 鄭尊仁，林宜平，周桂田 (2008). 奈米科技之風險認知研究，行政院環境保護署期末報告(EPA-97-U1U1-02-103)。
7. 施養信，吳先琪，董瑞安 (2008). 水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究，行政院環境保護署期末報告(EPA-97-U1U1-02-104)。
8. 林宜平，陳美芳，吳亭亭，鄭尊仁 (2010). 奈米科技風險感知研究，環境奈米科技論壇論文集，99年12月16日，台北市。
9. 施養信，劉維斯，林承翰，曾勇銘，吳先琪，董瑞安 (2010). 商用穩定性二氧化鈦奈米微粒在水環境介質中之轉變，環境奈米科技論壇論文集，99年12月16日，台北市。
10. 蔡春進 (2011). 環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫，奈米科技環境議題對策報告研商會議，100年1月28日，台北市。

---

附錄十五 「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」研商會議  
審查意見回覆

會議名稱：「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」研商會議  
**會議記錄**

一、時間：100 年 2 月 14 日（星期五）下午 2 時 00 分

二、地點：本署 4 樓第 4 會議室

三、主席：劉執秘宗勇

記錄：簡誌良

四、出（列）席單位及人員：如簽到單

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：詳委員意見表

八、散會：下午 3 時 30 分

委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
<p><b>國立高雄大學土環系 連教授興隆</b> 環保署在環境奈米科技未來發展方向之規畫建議之篩選原則說明如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 規畫主題與國際研究具差異化或可合作性。差異化，例如：人種健康研究、社群組成不同(ELSI)。可合作性，例如：因人種、社群不同所衍生之合作計畫。</li> <li>2. 規畫主題與關鍵技術開發有關者，例如：檢測技術的開發。</li> <li>3. 另外，知識庫平台建置，考慮其目的為國際合作或本土使用為主。建議以後者為主，前者為輔。若以後者為主時，該多考慮本土研究成果之整理(國內之研討會等)與翻譯國外資訊。</li> <li>4. 建議將具本土特色(如實場測試)之奈米技術納入未來優先發展重點項目。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員建議。建議環保署未來可將此建議納入規畫，加強研究計畫的科學性成果及與國際合作的可能性。</li> <li>2. 同意此看法。本年度環保署預計將持續投入經費在奈米物質在不同介質如空氣與水體中的檢測技術的開發。</li> <li>3. 本年度「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」的建置已規劃朝向以下三大目標：                     <ol style="list-style-type: none"> <li>(一) 建立環保署、衛生署、勞工安全衛生研究所的共同奈米科技環境健康安全 (EHS)資訊及知識交流之平台。</li> <li>(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，加強英文內容並與國際接軌。</li> <li>(三) 增加本國奈米 EHS 的研究成果與國際交流的機會。</li> </ol> </li> <li>4. 謝謝委員建議。建議環保署可依經費的考量，各單位的配合協調情形，作奈米技術的環境整治應用的實場測試研究。</li> </ol>
<p><b>國家衛生研究院 林研究員嬪嬪</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 環保署提出 2011 年國家型奈米計畫環境議題，以四項為主，方向明確，而且已有前幾年的成果，唯第四項政府法規架構研究的方向應更明確。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 奈米法規涉及國內的各個單位，國家應投入資源，作法規的檢討與整合。環保署與勞委會目前均在修訂毒性物質管理法，在修訂過程中可考慮將奈米物質納為化學物質，並作跨部會的法規架構之檢討。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>2. 因為期望這些研究成果能應用於將來的風險評估，尤其是第二、三項的成果更應該能提供將來評估風險。</p> <p>3. 將來是否應該確定研究的對象是環境奈米或工程奈米為主。甚至是否要訂定研究奈米的種類，例如成份。</p> <p>4. 除了對人類健康的影響，對生態的影響應該也要重視。</p> <p>5. 推動方式：以整合型計畫，mission-oriented 的方式 call for proposal，以未來可作為風險評估的參數為目的。另外，建議應以特定奈米物質為研究對象。</p>	<p>2. 同意此看法，奈米物質的研究應能提供正確的暴露評估數據，與劑量反應數據，才能與風險評估作結合。</p> <p>3. 以工程奈米物質的環境影響為主，以其他環境奈米微粒的研究為輔。奈米物質種類很多，可以考量鎖定在國內生產量較大或常用者，另外也要考量經費的限制及國際在 14 項奈米物質的研究進展等。</p> <p>4. 同意此看法，將來可結合物理化學特徵的研究成果，進行生態影響之研究。</p> <p>5. 委員所提有關推動方式及研究對象的建議很重要，將來可以透過三個部會的定期協調作進一步的分工。</p>
<p><b>環保署環境檢驗所 阮所長國棟</b></p> <p>1. 題目有二個，文字不同，宜定為一個。似乎以「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」文字較佳，但須與合約中的文字契合。</p> <p>2. 2003-2010 年成果回顧部分，無論使用那一個題目文字，成果回顧都一樣。草稿文字強調技術成果，但過去(2003-2010) 政策成果更豐碩，例如環保署促成 EHS 成立、知識庫的建立、最早與國際團體文流(例如 IRGC, OECD 等)，均有文章記載。</p> <p>3. 至於未來發展方向則可依據上次會議決議四大方向，亦已確認。</p> <p>4. 本文件是否要有英譯文字？若須英文，則呈現成果方面或許中英文思維表達方式不同，要用不同方式。</p>	<p>1. 已依委員建議將題目修正為「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」。</p> <p>2. 已加入「二、環境奈米科技的推動方式」的專章，並描述環保署過去的環境奈米政策成果。請參考期末報告定稿本第 342~343 頁。</p> <p>3. 未來發展方向已依據上次會議決議的四大方向。</p> <p>4. 依計畫的合約要求，本文件不需有英譯文字。</p>

委員意見	意見回覆
<p>5. 清大凌永健教授建議，中科環評的執行單位，可能是中興工程顧問公司，若能提供環保署知識庫的資訊給中興工程公司，加強他們的辯証能力。</p> <p>6. 60%與40%的分配係原先規劃第二期六年的原則，但演變下來，目前(2010年或2011年)實際上執行的幾乎100%用在EHS方面，由於經費逐年審查，並未完全能如當初原則之理想額度。</p>	<p>5. 建議環保署可通知中興工程顧問公司知識庫的網址，及邀請他們參加每年舉辦的環境奈米科技論壇。</p> <p>6. 此問題主要是由於經費的限制及奈米技術的環境應用面較為困難所致，國科會環工學門也已投入相當多的經費於奈米技術的環境應用面。</p>
<p><b>臺灣永光化學(股)份公司 周副總經理 德綱</b></p> <p>1. 建議針對友善環境奈米技術，即環保署擬定奈米技術EHS的12個發展重點項目的第11項"奈米技術應用於清潔生產，永續發展之技術"，可與國科會或工業局、技術處合作，發展產業清潔生產所需的奈米的技術。如：汙染料的處理效率、重金屬離子吸附等。</p>	<p>1. 謝謝委員建議。建議環保署未來可將業界的奈米技術應用需求納入規畫。</p>
<p><b>國立台灣大學職業醫學與工業衛生研究所 鄭教授尊仁</b></p> <p>1. 策略規畫針對國內狀況及國外重要機構的重點項目有完整的回顧，對策略規畫有很大幫助。建議針對EHS之部會目前分工狀況也做簡單描述，讀者比較容易了解其精神及合理性。</p> <p>2. 許多計畫是延續性計畫，如知識庫、監測平台、汙染的傳輸等值得繼續進行，比較可惜的是經費限制、能新增的項目較少，法規架構有必要，特別是跨部會的合作(2011年或近期)。</p> <p>3. 風險管理除了法規，對於風險溝通應定期加以追蹤及進行、風險評估的劑量反應關係及暴露評估應於三部會加以分工，提供法規及風險管理，特</p>	<p>1. 已加入「二、環境奈米科技的推動方式」的專章描述各部會目前分工狀況。請參考期末報告定稿本第342~343頁。</p> <p>2. 同意此看法。建議環保署需要開始投入經費於法規架構的研究。</p> <p>3. 建議環保署於三部會的定期會議中分工協調這些工作。</p>

委員意見	意見回覆
<p>別是動物實驗劑量反應關係(長期)。</p> <p><b>勞工安全衛生研究所 汪博士禧年</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>目前工廠煙道排放中的污染防治設備對於環境奈米之捕集效率，建議收集資料並擬提升效率。</li> <li>工業區周界環境中，環境奈米或工程奈米之背景值資料建議建立。</li> <li>OECD 列出的 14 種代表性工程奈米物質，建議建立檢測方法，並收集國內產業使用情形作為研究重點。</li> <li>EHS 奈米技術資料庫及檢測監測技術平台，建議投入更多人力收集相關資料。</li> </ol> <p><b>國立台灣大學農化系 陳教授佩貞</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>環保署於第一期國家型奈米科技計畫(2003-2010)期間投入相當的研究經費及團隊，致力於執行多項奈米技術於環境相關議題之研究發展計畫，尤其在開發環境友善的奈米技術、發展環境奈米物質的量測及特性分析方法、建立環境及作業場所的奈米物質的暴露及危害數據庫、環境奈米科技知識平台的建置、奈米微粒環境</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>建議可開始著手收集相關的文獻。</li> <li>根據過去的研究顯示，工業區周界環境中環境奈米或工程奈米之背景質量濃度較低。</li> <li>同意委員看法。本計畫已統計一些可能含有奈米物質的粉體數量及金額如下，可供政府修訂法規時之參考： <ol style="list-style-type: none"> <li>碳黑，進口數量：46,667 MT，金額：1,703 million NT。</li> <li>氧化鋁，進口數量：41,599 MT，金額：1,315 million NT。</li> <li>二氧化鈦，進口數量：37,703 MT，金額：2,623 million NT。</li> <li>二氧化矽，進口數量：13,080 MT，金額：1,298 million NT。</li> <li>氧化鐵，進口數量：8,640 MT，金額：311 million NT。</li> <li>氧化鋅，進口數量：3,777 MT，金額：221 million NT。</li> </ol> </li> <li>這是環保署長期以來努力的目標。</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>謝謝委員建議。建議環保署未來可提高奈米物質對人體健康及生態影響的研究補助比例。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>量測、宿命與流佈、倫理、法律及社會影響的研究及奈米技術 EHS 的風險管理等研究領域已有豐碩的成果。環保署目前更擬定了 12 個發展重點項目做為國家型奈米計畫第二期(2009-2014)的未來推動方向，其中除了延續部分第一期計畫之研究工作外，更加入奈米物質對人體健康、生態影響、風險或生命週期評估及風險管理等項目。然而，目前的規畫對於奈米物質對人體健康及生態影響的研究計畫補助似乎比重偏低，建議提升國內此部分之相關研究團隊的研究能量(如將其列為優先發展項目或提高計畫補助比例)。</p> <p>2. 奈米物質對人體健康及生態安全之毒性(或危害)評估已被國外學術界及規範單外列為重要及優先發展的研究項目，然而，目前國內投入此相關領域的研究團隊非常有限。建議環保署應積極鼓勵相關研究單位開發系統性之生物毒性檢測平台，並建立一套具有本土意義及價值的生態毒理研究策略，以用於評估目前商業化之奈米產品的使用對人類健康及環境生態可能的衝擊。此生物毒性測試平台的建立並可應用於將來奈米污染事件發生時之危害程度評估方法，其結果可提供污染現況評估及污染復育之相關因應策略，以降低成本(建議以水生物為模式生物)。</p> <p>3. 由於新興奈米物質的種類、數目及應用繁多，生物毒性檢測平台的建立可有效地提高環境友善之新興奈米物質、產品及技術的開發效率，建議奈米產品的研發工作與毒性(安全性)篩選及評估工作同時進行。</p> <p>4. 建議加強各項研究計畫之間的連結</p>	<p>意見回覆</p> <p>2. 同意此看法。建議環保署可開始投入經費於這些研究。</p> <p>3. 同意此看法。建議環保署可開始投入經費於這些研究。</p> <p>4. 此項工作為環保署長期以來努力的</p>



---

委員意見	意見回覆
及整合性，並積極鼓勵建立團隊合作關係，以發揮最高之執行成效，以及達到奈米技術永續發展的目標。	工作重點。

附錄：環保署2003-2010年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 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-U1U1-02-103	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-U1U1-02-102	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-U1U1-02-101	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-U1U1-02-106	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-U1U1-02-105	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-U1U1-02-104	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-U1U4-04-006	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

民國 97 年(國家奈米計畫總經費 1460 萬元,環保創新科技研發計畫補助總經費 133 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-97-U1U1-02-106	民國 97 年	蔡春進	環境中奈米物質量測及特性分析技術	1	394 萬元
*EPA-97-U1U1-02-105	民國 97 年	廖宜賢	環境奈米科技知識庫之強化及推廣	1	350 萬元

*EPA-97-U1U1-02-103	民國97年	鄭尊仁	奈米科技之風險認知研究	1	178 萬元
*EPA-97-U1U1-02-104	民國97年	施養信	水環境介質中奈米微粒轉換及宿命研究	1	170 萬元
*EPA-97-U1U1-02-101	民國97年	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）	2	182 萬元
*EPA-97-U1U1-02-102	民國97年	陳郁文	綠色奈米技術之開發及應用－奈米金屬改質光觸媒於水中污染物及揮發性有機物控制之研究	2	186 萬元
EPA-97-U1U4-04-004	民國97年	林錕松	表面改質二氧化鈦奈米管應用於環境中有機及硝酸鹽污染物去除技術之研發	2	133 萬元

民國96年(國家奈米計畫總經費1381萬元,環保創新科技研發計畫補助總經費115萬元)

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-96-U1U1-02-104	民國96年	蔡春進	開發環境中奈米物質量測及特性分析技術	1	615 萬元
*EPA-96-U1U1-02-101	民國96年	廖宜賢	建置環境友善奈米科技之知識平台	1	200 萬元
*EPA-96-U1U1-02-102	民國96年	楊金鐘	綠色奈米技術之開發及應用：環境友善性奈米級零價鐵模擬現	2	195 萬元

			地整治土壤/地下水 污染技術開發及應用		
*EPA-96- U1U1-02-1 03	民國 96 年	董瑞安	綠色奈米技術之開發 及應用(功能性一維 奈米複合材料對水體 環境污染物之共處理 與環境流佈宿命研 究)	2	181 萬元
*EPA-96- U1U1-02-1 05	民國 96 年	謝淑惠	綠色奈米技術之開發 及應用(複合材料固 定化與共處理水污 染物之研究)	2	190 萬元
EPA-96-04 -005	民國 96 年	王鴻博	新型分散性奈米鐵微 粒在土壤介質中傳輸 之現地模場研究	2	115 萬元

民國 95 年(國家奈米計畫總經費 385 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 455 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-95- B016	民國 95 年	王竹方	大氣中奈米微粒濃度 監測與成分分析計畫	1	385 萬元
EPA-95-U 1U4-002	民國 95 年	林錕松	利用奈米零價鐵粉體 及地電阻顯影儀現址 處理地下水污染之技 術研發	2	115 萬元
EPA-95-U 1U4-010	民國 95 年	張幼珍	奈米微粒感應器	2	170 萬元
EPA-95-U 1U4-012	民國 95 年	顧洋	應用光觸媒於二氧化 碳減量及揮發性有機 物去除之技術開發	2	170 萬元

民國 94 年(國家奈米計畫總經費 940 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 438 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-94-U1U1-02-101	民國 94 年	簡弘民	推動負責任的奈米科技研發及生產環境計畫	1	422 萬元
*EPA-94-U1U1-02-103	民國 94 年	徐禮業	前瞻奈米科技相關環境議題研究	1	103 萬元
*EPA-93-U1U1-02-105	民國 94 年	陳康興	奈米科技發展國際主要環境議題研析及因應	1	140 萬元
*EPA-93-U1U1-02-106	民國 94 年	方冠榮	奈米技術在高性能氧氣氣體感測器應用之研究專案研究	2	140 萬元
*EPA-93-U1U1-03-107	民國 94 年	張裕釗	奈米金在污染防治應用上的潛力評估	2	135 萬元
EPA-94-U1U1-04-005	民國 94 年	陳孝行	鍍鎳製程整合奈米薄膜／電透析程序回收有價金屬之研發	2	165 萬元
EPA-94-U1U1-04-007	民國 94 年	賴俊吉	廢麥粕合成奈米孔徑吸附劑之技術開發與應用	2	273 萬元

民國 93 年(國家奈米計畫總經費 720 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 394 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-93-U1U1-02-101	民國 93 年	簡弘民	奈米技術於環保領域之應用計畫	2	720 萬元

EPA-93-U 1U4-04-00 3	民國 93 年	林志高	奈米微氣泡浮除技術 於半導體工業化學機 械研磨廢水回收之實 廠應用	2	194 萬元
EPA-93-U 1U4-04-00 5	民國 93 年	顧洋	奈米溶液型二氧化鈦 光觸媒披覆技術開發 與應用	2	200 萬元

民國 92 年(國家奈米計畫總經費 566 萬元，環保創新科技研發計畫補助總經費 100 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-92-0 10-02-102	民國 92 年	簡弘民	奈米技術於環保領域 之應用計畫	2	566 萬元
EPA-92-E1 U4-04-003	民國 92 年	林志高	奈米微氣泡浮除技術 於半導體工業化學機 械研磨廢水	2	100 萬元

## 附錄十六 期末審查意見回覆

會議名稱：99 年度「環境奈米科技知識管理及整合計畫」期末審查會議  
**會議記錄**

一、時間：100 年 3 月 8 日（星期二）下午 1 時 30 分

二、地點：本署 4 樓第 4 會議室

三、主席：劉執祕宗勇

記錄：蘇鈺珊技士

四、出（列）席單位及人員：如簽到單

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：詳委員意見表

八、結論：（一）期末報告原則審查通過，計畫執行單位請參採委員意見修正，並將參採情形納入期末報告作詳實回應。

（二）期末報告撰寫請務必參考期末報告撰寫要求（請參考契約書附件）。

（三）請計畫執行單位依契約書規定，於期限內繳交期末報告書修正稿 1 份至本室確認，俟確認核可後再製作定稿本及辦理後續結案等相關事宜。

九、散會：下午 3 時 00 分



## 委員意見回覆對照表

委員意見	意見回覆
<p><b>環保署環境檢驗所 阮所長國棟</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 整體而言，計畫執行良好，總報告撰寫品質亦屬上乘。</li> <li>2. 4.1.4 節(奈米物質的毒性評估)收集充分文獻，整理完整，但反面思維的文獻不多，最近發表的「奈米銀 120 年歷史對決策者之意涵」( Bernd Nowack, et al., 120 Years of Nanosilver History: Implications for Policy Maker, ES&amp;T, 2011, 45(4), pp. 1177-1183)，有精闢的論敘，值得參考。(中文摘要可上環檢所網站「檢驗之窗」專欄)。</li> <li>3. 4.1.4.14 (現今國內奈米物質毒性之研究)，列出許多作者及結果，但方法是否驗證，如何驗證，才是今後毒性評估的首要工作，在 4.1.4.15 (結論與建議)中宜強調，在總報告結論中似乎也要有一段文字。</li> <li>4. 4.1.5 節 (奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命)，文獻整理亦相當充分，同樣重點在方法是否經過驗證，使用穩定性同位素或其他放射性同位素辨識方法可能是較好的方式，在醫藥研究已很普遍，在環境研究尚待起步。基於此一嚴格標準，4.1.5.4 (結論與建議)共列文獻上多數並未嚴格驗證方法做出的結論歸納，是否適宜做為本總報告的結論(共 17 項)，似值商榷。</li> <li>5. 未來無論是毒性評估或傳輸宿命等研究，方法是否經過驗證很重要，宜做為計畫工作之前提。例如：極微量存在時，儀器或方法的極限就很重要</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員的肯定。</li> <li>2. 謝謝委員的建議。已依建議參考此篇文獻，增修有關「奈米銀是否應以新化學物質列管？」的反面思維論述在期末報告定稿本 4.1.4 節中。請參考期末報告定稿本第 117 頁。</li> <li>3. 謝謝委員的建議。已依建議加入"但是這些奈米物質毒性評估的實驗方法仍待驗證，其研究成果始具有參考價值"的說明，在期末報告定稿本 4.1.4 節的小結中。請參考期末報告定稿本第 131 頁。</li> <li>4. 謝謝委員的建議。已依建議加入"本節有關奈米物質在環境中的傳輸、轉化及宿命的實驗方法仍待驗證，其研究成果始具有參考價值"的說明，在期末報告定稿本 4.1.5 節的小結中。請參考期末報告定稿本第 160 頁。</li> <li>5. 同意此看法。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>◦ Fullerenes 要定量可能要用到 LC-MS-MS (Tzu-Chiao, et al., Characterization and Liquid Chromatography-MS-MS Based Quantification of Hydroxylated Fullerenes, Anal. Chem., 2011, 83(5), pp. 1777-1787), 即為一例。</p> <p><b>台北醫學大學公衛系 陳委員歡瑜</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫對於奈米 EHS 的國際趨勢、國內研究與政策有相當的參考價值，也符合工作內容。</li> <li>2. 國內在奈米相關研究與規範等相較先進國家不足，本計畫的成果(網頁、專訪等)如何透過各種管道加強宣導(如將文章置於國科會、國衛院通訊及網頁等)，可以吸引更多有興趣的人才參與。</li> <li>3. 國內奈米 EHS 的計畫彙整，國科會部分可否考量彙入？</li> <li>4. 本報告 format 可再整理(例如 reference 可以合併)。</li> <li>5. 參與會議人員的身分證字號請刪掉。</li> </ol>	<p><b>意見回覆</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝委員的肯定。</li> <li>2. 等現有的研究計畫報告及論文上傳之後，會再鼓勵國內研究學者上傳自己的研究成果，並以 e-mail 通知國內奈米 EHS 的研究學者使用本網站。</li> <li>3. 資料庫的分類已包含國科會，將來可以將國科會及國家奈米計畫的成果納入彙整。</li> <li>4. 已將參考文獻合併於期末報告定稿本的第六章中。</li> <li>5. 已刪除參與會議人員的身分證字號。</li> </ol>
<p><b>國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 林委員啟文</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 所建置之「台灣奈米 EHS 資料庫」，後續如何擴充內容(例如資料上傳)、增加能見度及國際之訊息交流與互動等，宜有建議之落實方案。</li> <li>2. 如何讓奈米產品之製造端或進口端充分了解奈米材料 EHS，督促其加強</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 除了請環保署要求奈米計畫的主持人在計畫結案前必須將期末報告上傳至資料庫網站外，我們已充實其內容並使其具有可讀性，希望能增加國內外的使用者閱讀及分享上傳研究成果的意願。</li> <li>2. 請詳閱 4.1.1 節小結中 OECD 會員國的奈米技術法規特徵。</li> </ol>

委員意見	意見回覆
<p>產品之規範(例如警語)? 可再補述國外相關做法?</p> <p>3. 各執行項目之細部結論應再經由廣泛討論、專家會議等方式,以獲得「整合性」之結論為宜。</p> <p>4. 有關「實務輔導」活動,宜呈現預期成效之達標情形? 例如:圖片或活動之呈現、點閱率等?</p>	<p>3. 本計畫已依照招標規範的要求,針對工作項目的各個知識缺口主題及國際間奈米 EHS 議題的發展趨勢,舉行相對應的國內專家座談會,並作成具體的結論及建議。</p> <p>4. 我們已在「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團成立四個討論區,目前討論情形尚不踴躍,將來等網頁內容充實後,會加強此項討論工作,以期能對不同利益相關者有實際的"輔導"功能。</p>
<p><b>國立台灣大學生環工程學系 張委員尊國</b></p> <p>1. 報告內容豐富,文獻收集完整。</p> <p>2. 計畫重點轉而關注「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」取代「環境奈米科技知識平台」較能符合環保署之業務分工。</p> <p>3. 報告第四章名稱為「結果與討論」是否合適應考量加以調整,對各別研究之探討不需太詳盡,而是收集不同角度之許多文獻綜合研析。</p> <p>4. 對於未來在議題之優先發展項目宜建議給予短、中、長期之規畫更為妥切。</p>	<p>1. 謝謝委員的肯定。</p> <p>2. 同意此看法,本計畫執行過程即以此目標為努力方向。</p> <p>3. 本報告係依據環保署的期末報告撰寫要求,進行內容的編排。</p> <p>4. 環保署國家型奈米計畫環境議題的優先發展項目係依據經費限制及各部會分工執行之情形來規畫。其餘的發展重點項目的執行,則需視環保署的預算,及與國科會、國家奈米計畫辦公室、工研院、勞委會及衛生署的分工協調結果而定。</p>
<p><b>中華大學土木工程學系 黃委員思尊</b></p> <p>1. 個人認為撰寫格式可以做修正:(1)採縱橫切割方式,即從第三章開始從 project tasks 的名稱做為標題;(2)目前章節標題名稱不像標題比較像文</p>	<p>1. (1) 本報告係依據環保署的期末報告撰寫要求,進行內容的編排;(2) 本報告的章節標題名稱係對應環保署邀標書中的各個工作項目,以利工作</p>

委員意見	意見回覆
<p>句，請修正；(3)整本計畫內容欠缺邏輯架構圖，很難理解第四章4.1的內容分割方式。4-1-3與4-1-4如何分割。EHS內容的切割也不清楚。</p> <p>2. 建議部分，是否也說明那些是環保署或是這個計畫未來可以做。例如：訓練課程，EPA輔助討論計畫出租設備，環檢所出借設備。</p> <p>3. 在各知識內容是否以 Roadmap 彙整各技術發展的階段，那些 field 我國卻還在 Lab 階段，困難性是什麼。</p> <p>4. 沒有看到交大白教授及盧教授發表的奈米文章回顧，是否涵蓋國科會。</p> <p>5. 不建議全篇翻譯從 Fang et al (2009) 佔了 P165~169。每篇文章應有一個重點，或 highlights 3~5 個 Bulletpoint 而已，全文太過於詳細，以原文呈現比較好。</p> <p>6. 請說明平台所做的知識盤點成果為何，gap 多深？</p>	<p>執行情形的查核及期末驗收；(3) 4.1 節的分割方式為本計畫所篩選的知識缺口 5 項主題，而奈米 EHS 為一綜合性研究議題，進行此研究時不可只考量單一面向，國際間亦如此。</p> <p>2. 請參閱本報告第五章的建議事項。</p> <p>3. 國內目前奈米 EHS 相關議題仍在研究階段，大部份相關的研究主題尚未完成。</p> <p>4. 本報告的奈米 EHS 文獻回顧工作係根據篩選的知識缺口 5 項主題進行，將來可以將國科會及國家奈米計畫的成果納入彙整。</p> <p>5. 本報告 4.1 節中的各小節均已歸納出各個知識缺口主題國內外的研究現況並做出具體建議。</p> <p>6. 國內目前奈米 EHS 相關議題仍在研究階段，大部份相關的研究主題尚未完成。</p>

## 附錄十七 99 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 『環境奈米科技知識管理及整合計畫』審議編號 EPA-99-U1U1-02-105計畫期程 99 年 5 月至 100 年 3 月全程經費          億 2450 千元 99 年度經費          億 2450 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）

本計畫的主要目標為：1. 針對環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估可能的國內研發能量缺口及執行能量缺口進行國內專家討論及評估；2. 進行 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全（EHS）議題發展趨勢及相關資訊的追蹤工作；3. 協助環保署「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫資訊提供整合及知識交流討論；4. 以知識庫為平台，舉辦論壇、社群討論、實務輔導等活動，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；5. 協助奈米群組計畫計畫管理及績效成果彙整；6. 配合奈米國家型計畫辦公室，協辦年度台灣奈米科技展。

本計畫已完成"環境中奈米物質量測及特性分析以及未來暴露評估"五個主題的國內研發能量缺口及執行能量缺口的報告，及 ISO 及 OECD 有關奈米科技環境、健康、安全(EHS)議題發展趨勢及相關資訊的回顧，並經由國內專家學者的座談會作成了具體的結論及建議。本團隊協助另一計畫：「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務計畫」提供奈米技術 EHS 資訊，召開工作會議以檢討該計畫各項工作進度及內容，並結合勞委會及衛生署共同進一步完成"台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫"的規劃及建置工作。

本計畫參考了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、過去的研究成果及國內各單位的分工協調情況，修正了「環保署 2011 年負責任奈米技術的策略規畫」中英文文件，並提出 2011 年的環境奈米計畫優先發展項目。另外本計畫回顧環保署在 2003 - 2010 年的國家型環境奈米計畫的主要成果，並已完成「環保署 2011 年環境奈米科技的推動方式與未來發展」專文乙篇，可作為環保署推動環境奈米計畫的參考。

為了加強奈米技術的風險認知及溝通，本計畫舉辦了「2010 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 156 人報名參加，討論十分熱烈。本計畫也於 facebook 成立「台灣奈米技術在環境安全衛生上之應用」粉絲團，以強化國內奈米 EHS 的社群討論工作，粉絲團有 4 個討論區提供各界在平台上進行討論，至今加入本粉絲團的人數為 88 人。最後，為了加強與國際的互動及介紹台灣奈米 EHS 研究現況，本計畫已專訪奈米 EHS 議題的專家學者兩名：清華大學化學系凌永健教授及國家衛生研究院奈米醫學研究中心楊重熙主任，訪問稿並以中英文方式呈現。及環境奈米科技的推動方式與未來發展。執行內容及所得成果與執行目標相當符合。

參、計畫已獲得之主要成就與成果

本計畫發表 1 篇國內期刊論文：

1. 蔡春進，古月萍，劉宗勇，張宣武，蘇鈺珊 (2011) 主要先進國家與組織的奈米技術環境、安全與衛生(ESH)的法規進展，台灣奈米會刊，第 24 期。(付印中)

本計畫編纂「2010 環境奈米科技論壇」論文集共發表研討會論文 10 篇：

1. 宋清潭，潘恩郁 (2010) 奈米科技發展風險管理評析，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 1-10 頁，民國 99 年 12 月。
2. 林宜平，陳美芳，吳亭亭，鄭尊仁 (2010) 奈米科技風險感知研究，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 11-19 頁，民國 99 年 12 月。
3. 蔡春進，陳聖傑，游佳琪 (2010) 環境中奈米物質量測分析及暴露評估技術，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 20-39 頁，民國 99 年 12 月。
4. 施養信，劉維斯，林承翰，曾勇銘，吳先琪，董瑞安 (2010) 商用穩定性二氧化鈦奈米微粒在水環境介質中之轉變，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 40-61 頁，民國 99 年 12 月。
3. 陳春萬，曹智超，蔡春進 (2010) 奈米技術實驗室的安全衛生自我管理，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 62-70 頁，民國 99 年 12 月。
4. 蔡春進，古月萍 (2010) 主要先進國家與組織的奈米技術 ESH 的法規進展，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 71-112 頁，民國 99 年 12 月。
5. 闕斌如，蘇盈甄 (2010) 即時監測環境樣品奈米微粒毒性篩選技術，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 113-122 頁，民國 99 年 12 月。
6. 凌永健，李佩玲，孫碧芸，黃建宗，鐘志韓 (2010) 綠色奈米化學，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 123-130 頁，民國 99 年 12 月。
7. Jen-Kun Chen, Mei-Hui Shih, Jinn-Jer Peir, Chih-Hui Liu, Fong-In Chou, Wan-Hau Lai, Louis W. Chang, Pinpin Lin, Mei-Ya Wang, Mo-Hsiung Yang, Chung-Shi Yang (2010) 中子活化後之放射性奈米氧化鋅粒子在生物體內的定量分析研究，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 131-142 頁，民國 99 年 12 月。
8. 鄭榮家 (2010) 台灣奈米 ESH 知識庫的使用，2010 環境奈米科技論壇論文集，第 143-158 頁，民國 99 年 12 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 篇國內期刊論文，及編纂「2010 環境奈米科技論壇」論文集共發表研討會論文 10 篇，規劃的「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，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

本計畫配合環保署另一「環境奈米科技知識庫之功能強化及維運服務」計畫，定時召開工作檢討會議，將現有「環境奈米科技知識平台」擴充為「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」，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。

#### 陸、計畫經費的適足性與人力運用的適善性

本計畫總經費 2450 千元，主要各項經費為：48.1 %人事費、41.7 %業務費、10.1 %管理費、18.5 %耗材費，共有 2 位博士後研究員、2 位博士班研究生、4 位碩士班研究生及 1 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

「台灣奈米技術的環境安全衛生資料庫」建置完成正式公開後，未來應著重於資料庫的推廣及維護工作，如：增加網頁的使用率、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，促成奈米技術 EHS 資訊的國際交流。

#### 捌、檢討與建議

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，政府應要投入奈米物質檢測監測技術之開發與資料的建立。此議題所影響的國家經濟效益甚大。

政府應參考先進國家的法規制度，開始檢討及制定相關法規，並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

主管部會評估意見：

本計畫已就環境奈米知能建構一良好平台，並提供EHS  
資訊整合、分享、溝通功能及國內奈米科技發展趨勢，在  
此基礎上，將有助於環境奈米科技之持續推動。

劉三勇



統一編號：EPA084990061

- \*本報告僅係受託單位或個人之研究意見，僅供行政院環境保護署施政之參考
- \*本報告之著作財產權屬行政院環境保護署所有，非經行政院環境保護署同意，任何人均不得重製、仿製或為其他之侵害