

# 本文章已註冊DOI數位物件識別碼

## ▶ 打造科技、打造人：後進實驗室的追趕實作文化與人材培育

Making Technoscience and its Practitioner: The "Fast Following" Culture of Practice and the Trainees of a Late-Comer Laboratory

doi:10.6752/JCS.201309\_(17).0006

文化研究, (17), 2013

Router: A Journal of Cultural Studies, (17), 2013

作者/Author：林文源(Wen-Yuan Lin)

頁數/Page：159-214

出版日期/Publication Date：2013/09

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

[http://dx.doi.org/10.6752/JCS.201309\\_\(17\).0006](http://dx.doi.org/10.6752/JCS.201309_(17).0006)



*DOI Enhanced*

DOI是數位物件識別碼 (Digital Object Identifier, DOI) 的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



## Making Technoscience and its Practitioner: The “Fast Following” Culture of Practice and the Trainees of a Late-Comer Laboratory

Wen-Yuan Lin

### 打造科技、打造人： 後進實驗室的追趕實作文化與人材培育

林文源

本文源自國科會人文處(97-2410-H-007-017-MY2; 99-2410-H-007-047-MY3)與工程處(匿名緣故不列出計畫名稱)研究計畫, 首先, 感謝國科會的支持。其次, 感謝合作團隊與受訪者慷慨地接受訪問與觀察。我也希望感謝歷年與我一同參與研發研究的各團隊成員; 尤其是與本文直接相關的吳映青、韓采燕、李容慈、江順楠、陳紫婷、洪薇嵐、陳群典、曾柏嘉與林巍漢等人, 在各階段的田野、行政、資料處理與圖表呈現上的協助。最後, 本文曾發表於台灣科技與社會研究學會年會, 也曾獲得陳瑞麟、王文基、朱元鴻等師友的建議與協助; 目前版本則根據《文化研究》劉紀蕙主編與編委會、兩位匿名審查人, 以及陳惠敏執編的建議與協助所完成。謹此感謝諸位提供的寶貴意見, 協助我釐清這些問題。

林文源, 清華大學通識教育中心副教授  
電子信箱: [wylin1@mx.nthu.edu.tw](mailto:wylin1@mx.nthu.edu.tw)

# airiti

## 摘要

本文探討台灣當前「人才危機論」中，被忽略的研發教育。本研究以科技與社會研究的實驗室民族誌方法，將社會學界對台灣科技產業研究，教育學界對高等教育的討論，延伸到大學中的實驗室訓練。本文指出所謂人才危機，不只與科技產業有關，更是與後進研發教育的追趕訓練過程密切相關。

本文提問，大學的實驗室打造科技的過程，使學生成為哪種科技人？理論上，本研究以科技後進處境出發，帶入科技與社會研究的實作取徑，提出適合思考本地實驗室的架構。本文的「追趕型」實驗室案例顯示，其實作文化使學生成為高度服從團隊、自我規訓，致力於複製技術、解決被給定問題，卻不善創新的「能作」科技人。據此，要解決台灣的人才危機，除了深入檢討台灣產業發展，還必須同步檢視研發訓練過程，以促成研發體制的轉型。最後，本文也藉此討論社會文化研究對相關議題、實務參與，及「後進」的問題性與限制。

關鍵詞：實驗室、後進、研發、追趕、實作文化

### Abstract

This paper explores the neglected late-comer's R&D education and tries to response to the 'crisis of talent shortage' in Taiwan. This study uses the ethnography approach from science and technology studies to examine the fast-following training in an university laboratory team. In contrast to industrial sociology's focus on industrial and policy regimes and the education studies' normative perspective, this paper argues that such an on-site approach of laboratory studies can offer alternative implication.

This paper explores what kinds of talent are made in the training process. Based on the concern of the late-comer situation in Taiwan this study constructs a framework for locating these late-comer laboratory practices. In contrast to the others, the 'fast-following' culture of training and practice makes students team-obeying and self-disciplinary practitioners, who are good at industrious replication rather than innovative exploration. Accordingly, in order to tackle the crisis we also have to transform the research and educational regime. This paper concludes with the reflection on the research agenda, practical implication and the politics of 'latecomer' framing for social and cultural studies.

**Keywords:** laboratory studies, late-comer, Science and Technology Studies(STS), fast-following, culture of practice

# airiti

## 一、前言：人才在哪裡？

2012年8月6、7日，行政院國家科學委員會召開「科學技術諮議會會議」，診斷台灣科技產業衰退與研發危機。相較於社會輿論指出產業結構、政策、學術制度等問題，此會議主軸集中在人力面向（台灣立報 2012/08/07；郭庚儒 2012/08/07；鄭紹鈺 2012/08/10）。

除了宏碁電腦創辦人認為，當今社會沒有提供舞台給年輕人，也不願投資，把舞台越做越小，自責「今天一代不如一代，是我們的責任」外，與會衆人多關注「科技人才斷層」。國科會主委指出四大因素為：出國留學人數變少、來台的外籍人士多是藍領勞工、台灣的社會環境沒有新加坡等國際化，以及新加坡和中國大陸、香港都積極吸引台灣人才。一位政務委員認為，台灣當前培育出的人才高不成低不就，若再不解決人才斷層問題，三、五年後就會變成三流國家。而改善方案則是改革現行技職教育問題，縮小學、訓、用，三方面的落差等。台積電董事長說，台灣不缺台清交成的碩博士生，也不缺基層人才，但缺乏「有創意、會創新」的中階人才，更缺少把科技轉換為經濟價值的人才。總統更親上火線，提出開放境外學生就業等想法。最終，經建會則提出放寬移民限制以吸引外籍人才、讓技職教育產學合作、外國大學來台設大學、並讓碩士班分流，發展就業為導向、無須寫論文的碩士訓練等建議（王鼎鈞 2012/08/07；自由時報 2012/08/06；沈明川 2012/10/11；郭玫君、張博亭 2011/11/01；楊雨青 2011/06/15；韓啓賢 2012/08/06）。

這些診斷大多忽略高等教育機制與學生處境。台灣近年高等教育擴張，每年有約三十萬的大專以上畢業生，其中約半數是與科技產業直接相關的理工科系。為何如此多的學生反而形成人才斷層？為何這些學生成為政策規劃者口中「高不成低不就」的人力，更非業者眼中「有創意、會創新」的人才？

本地對高科技產業的研究豐富<sup>1</sup>，也經常提到高等教育及研發訓

---

1 議題包括產業組織網絡（夏鑄九 2000；陳東升 2001、2003）、政策與產

airiti

練的重要性。瞿宛文與安士敦分析台灣過去的後起者優勢時，特別指出在機械業與電子業中，工研院的技術擴散、市場轉型引起海外技術人才回流，以及高等教育高比例的工科學生提供園區人力等三大優勢，尤其是後者，成為電子業得天獨厚的條件之一。(2003: 124-149)。陳東升探討提升台灣作為後進國家的技術機會時，更明確指出教育訓練制度是三大關鍵之一，因為「透過碩博士研究人力的大量培育，強化台灣技術學習與研發能力，是非常重要的技術育成機制。」(2003: 283)王振寰則更深入地定位大學對超越技術追趕的重要性。他指出政府角色應該由發展型國家、鑲嵌自主型國家，轉變為平台型國家。在此新國家創新體系中，除了研發體制、產業結構與金融制度，他認為應創造大學角色轉化，著重基礎科學與人文教育，並釋放研發能量至產業。儘管王振寰並未深入討論研發教育，但卻也點出大學體系不只要傳播知識，更要調整架構，強調研究與論文發表創造知識，甚至要將知識轉化為市場化產品的方向(2010: 31-37, 340, 355)。

人才議題對台灣科技發展如此重要，但目前研究卻多著重探討產業與創業網絡（徐進鈺 1999、2000）。大學的教育與研發訓練上，只有安士敦(Alice Amsden)與詹(Ted Tschang)(2003)曾進一步指出，台灣過去快速跟隨的創新，只是以工程技術開發與跟隨先進國，缺乏培養根本的科學研究與人文關懷，造成技術提升困難外，多數僅止於指出科技學生數量增加有助於產業追趕，對於教育過程與訓練內容卻甚少著墨。

同樣地，在教育研究上，科技教育也是教育學與工程教育的重要主題。既有工程教育與教育學研究的文獻，有不少強調科技教育，也關注實作過程，也有對工程專業文化的討論，但其中的研究問題意識，往往是如何改善既有學制與課程、教學方法與教材安排的規範式討論，並未探討訓練體制面向，也未關注實際實作過程與體制的關連

---

業發展（周素卿 1998；張維安、高承恕 2001；潘美玲 2008）、商品與價值鍊（洪世章 2001；潘美玲 2001）、全球與區域比較（Amsden 2001；Dicken 2007；王振寰 2010；王振寰、高士欽 2000）、產業升級與創新等（王振寰 2010；徐進鈺 2001；瞿宛文、安士敦 2003）。

(Bot et al. 2005; De Graaff and Ravesteijn 2001; Downey and Lucena 1997; El-Sayed et al. 2006; Lucena, Downey and Amery 2006; Rompelman and De Vries 2002)。

目前只有少數從科技與社會研究 (Science and technology Studies 與 Science, technology and society studies, STS) 取徑, 探討本地大學實驗室技術定位與發展、技術導向的研發觀點與形成機制、性別互動與陽剛氣質形塑的研究 (Lin 2009; 韓采燕 2012; 顧彩璇 2003)。本文跟隨此取徑, 以大學實驗室硕士生研發訓練中的技術追趕案例, 補充當前文獻空白, 並回應當前的人才問題。理論上, 本文在當前台灣後進追趕的脈絡中, 帶入 STS 的實作分析取徑, 提出定位後進實驗室研發實作的架構。經驗上, 本文藉由此案例, 釐清「人才危機」的根源。本文指出, 在後進實驗室的研發, 存在一種「追趕型」實作文化, 其重點不在於培育創新與摸索的能力, 而是使學生成為實現文獻而高度服從、自我規訓, 以複製技術、解決被給定問題的「能作」科技人。這種文化隱然契合台灣科技產業現場的趕工需求。因此, 本研究建議應將「人才危機」視為要求產業與研發教育轉型的徵兆。其治本之道, 並不在個人層次, 應該深入檢討台灣產業與高等教育政策, 調整產業與教育體制的關係。由此案例對既有文獻與先後進分析架構的反省, 本文亦檢討「後進」問題性, 並提出社會人文研究自我後進化的問題。

## 二、正視「後進」實驗室

相較於產業社會學、教育學、工程教育研究, STS 關注實作與體制的關連。不同於以投資金額、人力數量, 或是產業與技術網絡的分析, 或是教育實作上的改良與規範性討論, STS 研究者以民族誌等田野方式追蹤研發實作。除了報導實驗室活動, 此取徑藉由反思實驗室實作, 進而檢視既有知識、政治與社會預設 (Woolgar 1982)。STS 實驗室研究有多種類型與不同重點, 根據杜因 (Park Doing, 2008) 的區分,

早期著重在指出科技<sup>2</sup>事實如何被生產的過程，藉此指出科技事實並非永恆真理，具有因緣際會(contingency)的建構性質(Collins and Pinch 1982; Knorr-Cetina 1981; Latour and Woolgar 1986; Pinch 1986)；後續研究，則擴大探討知識生產體制中，伴隨著各種認同、論述、物質、政治性的生產與影響(Collins 1982a; Collins 1982b; Doing 2004; Guston 2000; Hanson 1993; Knorr-Cetina 1999; Law 1994; Lynch 2002; Lynch and Cetina 1997; Mody 2001; Sims 2005; Traweek 1988; Webster 2005)。

### (一) 分析架構：對稱化研發實作類型

然而，STS卻未探討後進實驗室的案例。相較於STS經典實驗室研究多是位於西歐北美科技「先進」區域的尖端實驗室案例，探討後進國研發與創新的研究，卻往往不強調實驗室。這來自批判與經驗上的轉向，如史陶登梅爾(John Staudenmaier, 1985)與艾吉頓(David Edgerton, 1999)所說，科技創新不只發生在以理論研究為主、創新為目的的實驗室，非西方（「後進」、第三世界國家）的科技創新往往不是源自實驗室。本地研究者也指出，集中於「先進」研發的研究，無法涵蓋到「後進」地區並非為追求理論創新、並非實驗室內的研究者，如未受過高等教育的黑手、農作師傅、木工工匠、中小企業家，在車間、田野或施作現場發展的另類創新（吳泉源、林宗德 2000；林崇熙 2001；楊弘任 2012；鄭力軒 2011）。

然而，在這種批判與分工下，既有文獻分布上，隱含著「先進」等於「實驗室」，「後進」等於「另類研發」的二分，其中「後進實驗室」<sup>3</sup>顯然被忽略了。但如上述產業研究指出，高等科技教育是科技轉型的基礎，因此，後進實驗室的經驗，對定位後起者科技發展過程是不可忽略的。換句話說，這是尚未被充分檢視的後進科技研發關

---

2 根據STS與技術史的研究，科學與技術本非知識與應用、思考與實作的二分，所有知識都帶有實作性質，而所有技術也包含知識的創新。因此，稱之為科技(technoscience)(Latour 1987; Staudenmaier 1985)。

3 在此，本文核心為「後進」實驗室，而非「後進國」實驗室。後進國實驗室牽涉到更廣泛的科技政策、社會體制、學者生涯、學術環境等研發體制問題，是本研究的重要背景，但非主題。關於後進的問題性請見結論討論。

鍵與特殊性之一，支持台灣園區產業的許多實驗室研發也是如此。

為釐清這項理論空缺，在此建立分析性類型學，並定位本文後進實驗室的實作。我以研發對象為「擬自然 / 物」或「限定自然 / 物」、產出目標為「理論」（知識）或「實務」（實體裝置）的操作性指標，區分表1的四種理念型。

表 1：研發實作類型

| 基礎 \ 目標  | 理論                                | 實務                                    |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| 擬自然 / 物  | <b>探索</b><br>領先探索、開創未知現象與技術       | <b>驗證</b><br>建構在地複製技術條件（裝置），驗證尚未穩定的創新 |
| 限定自然 / 物 | <b>追趕</b><br>在地複製既有科技事實，在地實現已知之技術 | <b>務實</b><br>依照在地條件與需求，拆解與重組既有技術（物）   |

這個理念型是以雙重對稱性思考所建立的。首先，因為多數研發都不限於實驗場所範圍內，也不只有知識活動。多數實驗都包含樣本採集與培育、田野試驗、行政事務、設備製作、資料後製與分析等場域。相對地，儘管後進研發有些偏重實物拼裝(bricolage)，但也會牽涉到逆向工程與試誤、理論推導、抽象規劃與設計，甚至也有國際的產業、專利問題。因此，我們不以擁有實驗室與否作為分類，而是以其實作產出，是偏向累積抽象化學理、參數的理論知識，或是偏向建置技術物、裝置或其他實務問題為區分。為避免預設實驗室與另類研發的不對稱關係，在此對稱地將實驗室與其他場域的研發，通稱為研發實作，並使用「理論」與「實務」作為其成果的連續光譜兩端。

其次，本研究以研發的給定條件，取代先進與後進區分，避免隱含外在決定的不對稱評價。在發展型國家(developmental state)與產業研究中，被視為客觀既定事實的先進與後進、中心與邊陲區分所隱含的規範性政治意涵，已受到許多反省。既有研究指出後進國

的脈絡性拼裝技術與追趕，是更爲「適用」當地的科技(appropriate technology)，而非落後科技(De Laet and Mol 2000)。後殖民STS研究者，也嘗試避免這種描述性概念帶來的線性發展歷程、優劣評價、單一世界想像等規範性暴力，並保留批判宰制關係的敏感度(Anderson 2002; Chakrabarty 2000; Fan 2007; Fu 2007)。本地學者中，傅大爲反省台灣STS定位時，區分三種立場：區域研究加科技擴散主義式、後殖民反一切中心主義式，以及他所採取的反對區域研究、反對擴散主義，但策略地保留「邊緣、中心」區分作爲分析宰制關係。楊弘任則試圖以「技術物的時間差」架構化解此問題(2012: 91-93)。

我認爲從研發實作的角度出發，不應將先後進視爲單純技術事實。本文仿效拉圖爾(Bruno Latour, 1993)以可變式本體論(variable ontology)挑戰現代性的主客體二分：所謂「先進」研發者面對的自然與物，看似真實，卻是早已混雜人造概念與介入的「擬自然」(quasi nature)或「擬自然物」。而後進研發者所面對的，則是進一步已在其他先進研發中被實現、限縮可能性的擬自然（例如，論文所報導的研究方向與成果），因此稱之爲「限定自然」(limited nature)或「限定物」。探索型研發者面對的是看似充滿諸多可能性的擬自然，而跟隨、追趕型研發者則是以已被指認、穩定後的限定自然爲基礎。在此，擬自然與限定自然的區別不在於先後進、天然或人造、科學或工程技術（應用科學），而是以實作爲核心，區分中介的方式與此中介被意識到的程度差異（Latour 2004；林文源 2007）。<sup>4</sup>

以研發目標爲理論或實務，而研發基礎爲擬自然或限定自然，此架構區分出探索、驗證、務實、追趕等研發實作理念型。首先是探索型，這些是著重探索（建構）未知現象的前瞻研發，如夏平(Steven Shapin)與沙佛爾(Simon Scaffer)(1985)對波以耳(Robert Boyle)真空

---

4 海德格(Heidegger 2010)稱之爲對自然的座架(framing)，而楊弘任(2012)觀察到行動者意識到這種被給定的技術物，而稱之爲第二自然。前者預設有原真(authentic)自然，後者以先後定位，但本文認爲都是中介，差別在於被限定的狀態。既有STS討論中，孔恩(Thomas Kuhn)的典範、技術建構論(SCOT)的技術框架(technological frame)都是類似說法。

實驗的研究、拉圖爾與伍爾加(Steve Woolgar)(1986)對古勒明(Roger Guillemin)的TRH賀爾蒙實驗室的研究、拉圖爾(1988)的巴斯德(Louis Pasteur)微生物研究實驗的研究等。例如夏平與沙佛爾(1985)討論環繞著空氣幫浦(air pump)製造的真空現象，引發霍布斯(Thomas Hobbes)與波以耳間的知識—政治爭論。波以耳的探索型工作，便是以其創新的實驗綱領、實驗室工作、科技物（空氣幫浦）中介一個創新擬自然：真空。波以耳必須結合社會與政治技術而穩定其不穩定本體地位：空氣幫浦所實現的真空論，挑戰與其對立的普滿論，及不同宇宙論背後的知識—政治觀點的形上學與政治效果。在此案例中，實驗實作結果（真空）的形上學意涵，實驗者專業權威牽扯的君主權威與專業分權問題等，與實驗室實作中聚合的器物、文本、社群，中介出的多重實驗、知識、社會、場域與政治問題，層層交疊且相互滲透。這種探索型實驗面對的是未定事物，而嘗試以多元技術穩定這個未知知識物與新世界，而其最終成果完成後，則是某種擬自然的科學事實與知識：彷彿真空原本便是獨立存在一般。

其次是驗證型，這常見於彼此競爭中的尖端研發，過去在STS被稱為複製或爭議研究，包括柯林斯(Harry Collins, 1982a; 1982b)的雷射與引力波(gravitation wave)、品奇(Trevor Pinch, 1986)的太陽中子、皮克林(Andrew Pickering, 1993)的高能物理夸克爭議等。本文認為這些參與爭議的核心事實為：是否能於在地複製實物裝置驗證或否認其他實驗室提出的擬自然，因此稱為驗證。以柯林斯的研究為例，他指出前瞻實驗室在驗證尖端成果時，著重的仍是實務研究情境與技術能力。在引力波研究中，他探討科學實驗如何認定成功複製的文化情境(cultural milieu)。關鍵在於，一方面被實驗的對象物或實驗的現象本身必須被視為是相同的，另一方面，在於不同實驗也必須被視為是「相同的」。而在既有已成功被建制化的科學領域中，如何將實驗對象物（本文的擬自然）等同於實驗本身，通常由「現在者中心」(ethnocentrism of present)觀點的合理解釋，取得共識。然而，正在形成中的引力輻射領域中，對於當前僅有的一個實驗成果，其他相關實驗室的態度，卻顯示對於對象物認定、實驗本身成功的認定，都

airiti

存在不確定性。據此，柯林斯指出，一般被視為可以數理模型表達的科學知識現象與相關實驗方法背後，存在（隱微的）文化協商面向。如果在對象物與成功實驗的文化情境尚未完成前，成功的複製無法被肯定，而科學現象的客觀性（擬自然）也無法確立。在TEA雷射（Transversely Excited Atmosphere Pressure CO<sub>2</sub> Laser）技術的傳布過程中，柯林斯又強調此文化情境的賦體(embodied)與實作面向。不同科學社群或典範的重點之一，在於不同社群對於同樣的字詞、文件或知識的隱微掌握能力。因為科技實作能力的養成，並不是取決於獲得資訊的能力，而是取決於類似習得語言能力的過程。因此，建構雷射的知識與技能，並非是藉由文獻發表，而是由人員間往來、通訊、既有交情等知識外的隱微面向，傳布建構雷射的可用知識(useable knowledge)。

第三是務實型。這往往是面對限定自然與技術物時，研發者針對務實問題，發展技藝掌握在地脈絡與隱微實體感的務實創新。包括德萊特(Marianne De Laet)與莫(Annemarie Mol)(2000)的辛巴威叢林幫浦、克萊恩(Ronald Kline)與品奇(Trevor Pinch)(1996)的美國農夫改造福特T1車、林登立(2002)的1980年代早期台灣電腦製造的仿冒與逆向工程、林崇熙(2001)的拼裝車、楊弘任(2003; 2012)的黑珍珠改良與川流發電，以及張國暉(2011)的高鐵案例也有部分相關性。以楊弘任(2012)的川流發電研發研究為例，小學學歷的研發者劉正獅沒有實驗室，其研發方式也不是以理論、抽象化知識為主。他以鐘錶技師訓練背景，從老爺鐘銅錘重力的機械實體中，體會機械驅動原理，而發明「高地落差重力式水力發電」。他更在觀摩台灣農田水圳設施時，發現既有完善渠道可大幅降低發電設備成本，進而發想以川流推動的「低水頭川流發電」。因此，在他的創新中，研發不是從基礎知識發展的，而是在「市場競爭潛能下，以實體感演練出哪些材料、多少廢料如何再利用、哪些設計、哪些既有設施條件下，新的技術物需要多少營建成本、營運成本，如何調節出有競爭力的創新系統。」(2012: 75)這些來自長期接觸實體科技物等限定自然，楊弘任稱為「準自然的技術物」（本文的限定自然物），而發展的「地方工業知識」，並

非如探索型無中生有，也非為驗證既有創新，而是不受限既有技術典範，結合在地環境與脈絡的務實創新。儘管對此類型的討論，既有研究多集中在非實驗室案例，但事實上，據筆者觀察許多技職、科大體系的實驗室訓練，也是屬於此類型。

最後一類是追趕型。這類研發者同樣面對限定自然，嘗試於在地研發情境中複製技術，期望拉近技術落差，但目標是偏向抽象理論、標準製程(SOP)或參數等新知識。本地案例有工研院CMOS積體電路製程的技術移轉、吳泉源(2002)的電腦輔助射出成型、林登立(2002)的1980年代晚期電腦製造、李宜澤(2012)的生質能源試驗，以及張國暉(2011)的高鐵建造與技術轉移等。本研究的實驗室屬於此類型。

## (二) 分析單元：實作中介的科技情境

BC團隊是一個標準的後進追趕案例：他／她們以複製英文文獻既有技術為目標，改善自身條件。這種以有限基礎努力追趕，產出在地知識與技術的處境，是後進研發者的命運。瞭解這些實驗室的實作，對理解本地人才培育問題有根本重要性。

社會學界很早就有從實作體制面，關注學習文化、訓練過程與結果的實作研究經典。威利斯(Paul Willis, 1981)對勞動階級青少年(the lads)的研究指出，要瞭解社會機制的作用，在官方意識型態之外，我們必須看實作與文化層次。他認為階級複製不是結構決定，而是在文化中型塑。叛逆青少年間日常互動中形成的反學校文化，雖能穿透權威與學校教育的普遍性與個人式平等假象，但卻因為與父權文化、種族歧視的連結（例如，將學習等同於娘娘腔），限縮其反抗力量。最後，這種反學校文化卻弔詭地與無技術與低技術的勞動文化結合，使這些青少年成功進入這些勞動工作。

貝克(Howard Becker)等人對醫學生的研究，則根據醫學生訓練生涯的各階段與關鍵情境，描述醫學生養成的集體文化(Becker et al. 1977)。他們強調學生文化並非靜態，而是在各階段視野浮現：從新鮮人一直到實習、住院訓練，學生不斷在集體活動過程中，調整對於從醫的想法與態度。因此，這種過程中實現的學生文化，是來自

「學生將他們的每日問題與其長期目標連結，在實作中實現的視野」(Becker et al. 1977: 435)。這兩份研究的共同處在於，提出非決定性、個人式的取徑，探討集體實作型塑過程（兩者皆稱之為文化）對學習者發展與視野的引導作用，如何成為從業者心態。

STS有更豐富的實作體制與文化研究。瑞伯格(Hans-Jorg Rheinberger, 1997)的蛋白質合成歷史研究，指出實驗過程是由包含區域、技術、儀器、社會、認識面向所組成的實驗系統(experimental system)。此系統影響原本地位模糊的物在實作中歷經認識論位移，被附加概念特質成為論述一物(discourse-object)，最終穩定為認識物(epistemic object)的動態過程。勞斯(Joseph Rouse)則指出在實驗室創生新現象時，實驗室成為一個微世界(micro-world)。除了理論的進展脈絡，還必須帶入器物與實驗者秩序化、理解微世界的實作脈絡。勞斯指出，實驗室微世界是在特定焦點脈絡中，以實作詮釋理解儀器、物、人、知識的某種可能性。他說：

詮釋所發生的脈絡是對已經被重構的儀器、人（已經占有特定社會角色），與物理環境……。這種重構並非只是事物的聚集，而是已經具有焦點與方向——已經朝向某些可能性——的環境。(Rouse 1987: 65)

這些研究共同指出的分析方向是，實驗室實作並非只有知識發展，也非只關於技術發展。他／她們將實驗室實作視為在重構、穩定多樣條件的中介(mediation)下，以發展朝向特定理解的實作。也就是說，特定技術與知識是多重實作中介的結果：每個階段的中介狀態成為當時的技術發展的有限可能性，也成為當時實作者面對的所處的技術參考架構(frame of reference)與實作處境（Latour 2000；林文源 2007）。

此外，克諾爾－塞蒂娜(Karine Knorr-Cetina, 1999)特別不同於中介架構的多樣共構過程。她指出不同學科實驗室實作，因其研究對象、研究方式，與組織方式的差異，形成不同認識文化(epistemic culture)。她更剖析實作中的研究者必須成為意指性、類比性、社會情境、文獻、象徵的實作理解者，才能推動研究(Knorr-Cetina 1981)。她說：

實驗室過程藉由創造與特定時空中的行動者相關，被重構的、能作用的客體，而連結自然與社會秩序。而且實驗室還建制被重新形構的科學家，使其成為能適合這些客體，或能共同運作。在實驗室中，客體的對應並非「科學家」，而是以各種方式被強化，以適合特定浮現秩序的代理者(agents)。(Knorr-Cetina 1999: 29)

特拉維克(Sharon Traweek, 1988)則以日本與美國高能物理差異、實驗團隊與分析團隊、不同加速器實驗團隊的自然與社會秩序差異指出，在這些秩序化過程中，實作者甚至會因為技術物的差異而形成不同認同方式。因此實作文化會因社群、案例、技術物的差異而凸顯不同面向。

本研究長期觀察中，如以下討論，追趕的技術參考架構 / 實作處境牽涉的關鍵秩序化面向為：「資源」，包括資金、儀器與文獻等；「社群」，包括研發社群的組織型態、分佈範圍與互動機制等；「規範」，包括訓練、實驗、研發相關的制度與規範等。最後，在實驗室研發各階段實作秩序中，總是有特定的產出與技術期望，因此，還有朝向某種可能性的「研發方向」。這些分析性面向在具體實作過程中有不同交互影響。為簡化複雜性，如圖1所示，本文以三角形代表由資源、社群、論述等面向實作所中介的技術處境與能力。為顯示技術追趕的方向，在三角形的右邊，我們加上一個箭頭代表（期望）發展方向。

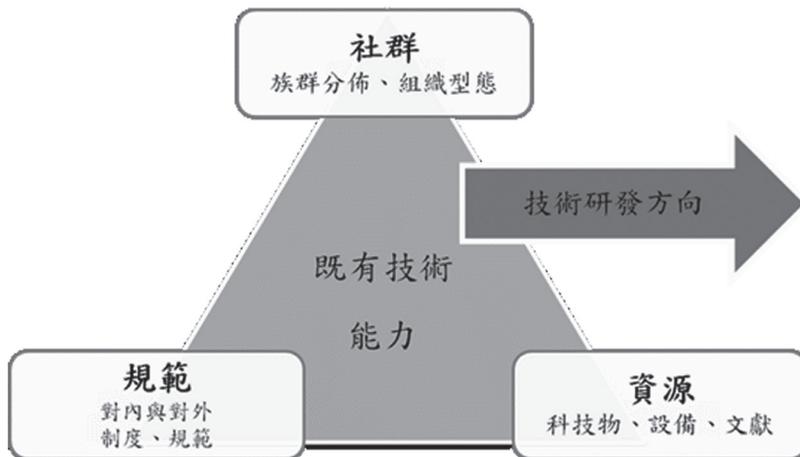


圖 1：實作中介的技術狀態

這個以實作中介定位技術狀態的分析架構，有助於釐清上述研發實作類型。探索型的研發往往涉及新研究社群、規範與資源的摸索與生成，而在多數為未知的狀態下，研發方向往往是如何穩定相對開放的擬自然。驗證型研發，則是在浮現中的新社群與規範下，藉由建構在地複製技術條件與資源，參與社群並驗證尚未完全穩定的創新，因此研發方向是驗證成形中的擬自然。而務實型研發，有兩種極端，一方面是在截然不同的社群、規範脈絡下，依照在地條件，拆解與重組既有資源（限定自然），發展為不同的新技術（物）；另一方面是完全務實地依照既有社群、規範，但依在地條件，解決問題。但無論何者其研發方向往往是已被限定的自然（物），解決迫切問題。

而追趕型研發，則往往是在已經穩定的社群、規範、資源架構下，以已經存在的限定自然為基礎與目標，於在地實現既有科技事實與現有技術。在本文案例中，因為整個研發過程是朝向縮短本身團隊與文獻已有技術的距離，因此，是追趕型。這個過程所構成的秩序，如克諾爾－塞蒂娜(1999: 26-45)所說，會因為階段、對象、目標不同，而有不同秩序化的重點。為理解技術追趕中的處境，以下介紹案例再進入各階段的實作情境。

### 三、案例、研究方法與資料

本文資料來自電機、化工、資訊、法律，及社會學團隊組成的跨領域研發計畫A中，電機領域的BC團隊發展微重量感測技術的過程。

#### （一）從晶片製程到微重量感測系統

BC團隊是某大學某工科實驗室中的一組，主要發展生物晶片(bio chip)技術。該大學為教育部連續兩期邁向頂尖大學計畫補助學校之一。該實驗室由一位助理教授主持。2006年時實驗室人力有博士生三人、碩士生十人。其中分為三組團隊，BC團隊有一名博士生、三名碩士生。本實驗室每年參與執行二到四項國科會或產學計畫。技術建立前，本實驗室每年約發表一篇SCI或EI論文，技術建立後，本組成

為實驗室主力，每年發表三篇左右跨實驗室合作論文。這些數據顯示此案例為這類大學實驗室之典型。

BC團隊從2004年開始發展生物晶片，之後逐漸建立微重量感測系統。這項系統是在國外已有的技術，但在國內較少相關研究。此系統核心是由壓電感測晶片與感測電路兩部分組成的微致動元件。晶片部分是利用鋇鈦酸鉛(PZT)的壓電特性結合矽基材，製成壓電感測器（piezoelectric sensors，圖2右圖右下角）。製程技術包括建立溶液合成、薄膜燒結、薄膜蝕刻、電極製作等。另一部分為感測電路，用於輸出在晶片上施加不同重量後，將元件承受的機械能轉為電能而產生的訊號，進而以高頻共振電路（圖2右圖電路板）處理雜訊，放大共振頻率訊號（圖2左圖），作為判讀重量的依據。相關技術包括量測、轉換與讀取這些訊號的電路設計與建置。

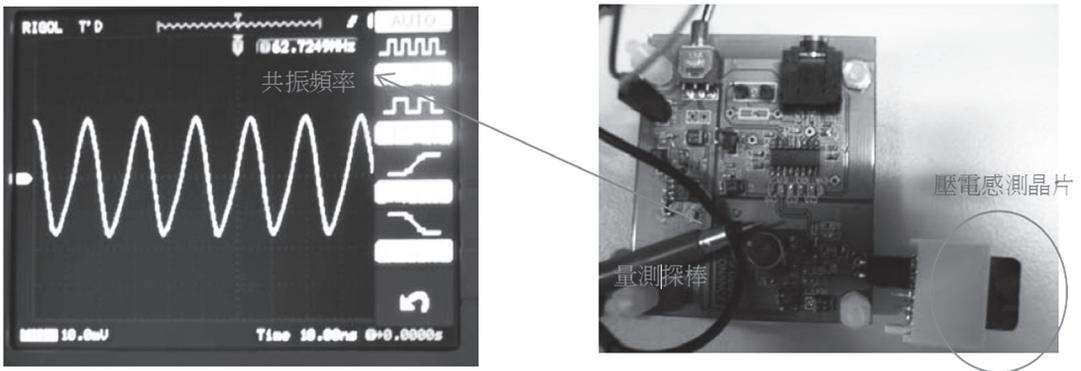


圖 2：壓電感測晶片與電路及產生之訊號（引自阿凱碩士論文）

本技術由博士生欣潔（人物組織皆為匿名）帶領數代碩士生完成（圖3）：包括利傑所建立的矽晶片製程技術與應用電路(application circuit)、小鵬所完成的PZT壓電式感測晶片、承功試圖建立卻失敗的薄膜震盪(resonant thin film)晶片與微製程(microfabrication)技術，而這項技術最後在阿凱手中完成。而原本要傳承此技術的小杜後來離開。2010年欣潔以此系統撰寫之畢業論文，獲得該校傑出研究獎。



圖 3：微重量感測技術傳承過程

## (二) 研究方法與資料

本文之觀察田野建立在2007年一月到2010年一月的A計畫合作。實作資料蒐集從2006年六月參與計畫提案開始，到2010年七月為止，其他體制資訊蒐集到2013年十月為止。從合作開始，作者對團隊闡明將同時進行研發實作研究。在各計畫主持人與成員同意下，作者團隊深入參與並運用半結構式個訪與集訪、實驗記錄簿訪談、實作觀察、錄影與訪談、文獻蒐集，與參與觀察紀錄等方法，蒐集會議、實驗室與受訪者的研究檔案、文件、訪談影音與田野筆記等資料，其他體制資訊為之後蒐集。訪談規劃如表2。

| 年               | 第一年           |    |                                     |    | 第二年             |    |              |    | 第三年          |    |          |    | 第四年 |    |     |    |
|-----------------|---------------|----|-------------------------------------|----|-----------------|----|--------------|----|--------------|----|----------|----|-----|----|-----|----|
| 學期              | 上學期           |    | 下學期                                 |    | 上學期             |    | 下學期          |    | 上學期          |    | 下學期      |    | 上學期 |    | 下學期 |    |
| 季別              | Q1            | Q2 | Q3                                  | Q4 | Q1              | Q2 | Q3           | Q4 | Q1           | Q2 | Q3       | Q4 | Q1  | Q2 | Q3  | Q4 |
| 碩士班<br>歷程       | 收集受訪者<br>基本資料 |    | 觀察實驗技術與<br>實作特質                     |    |                 |    | 實驗記錄簿<br>與技術 |    | 觀察並訪談延畢生     |    |          |    |     |    |     |    |
|                 |               |    | 觀察並訪談<br>專題生                        |    | 觀察技術傳承          |    |              |    |              |    |          |    |     |    |     |    |
|                 |               |    | 收集受訪者<br>基本資料                       |    | 觀察實驗技術與<br>實作特質 |    |              |    | 實驗記錄簿<br>與技術 |    | 觀察並訪談延畢生 |    |     |    |     |    |
|                 |               |    | 觀察並訪談<br>專題生                        |    | 觀察技術傳承          |    |              |    |              |    |          |    |     |    |     |    |
| 博士班<br>歷程       | 收集受訪者<br>基本資料 |    | 觀察實驗技術與實作特質、畢業策略與帶領學弟妹              |    |                 |    |              |    |              |    |          |    |     |    |     |    |
| 博士後<br>與<br>主持人 | 收集受訪者<br>基本資料 |    | 研究生涯與技術發展、研究規劃與實驗室管理、研究網絡、科研發展與教育觀點 |    |                 |    |              |    |              |    |          |    |     |    |     |    |

表 2：訪談進度

## 四、打造科技

以下描繪BC團隊各階段傳承者所處的技术情境變化，描述微重量感測器技術的建立過程。

### (一) 技術起步：外援階段

利傑是第一代研究者。利傑的目標是從建立已經相當普遍，但該團隊尚未擁有的生物晶片與量測技術開始。目標為製造梳狀電極陣列結構的晶片，希望未來能將單股DNA固定在電極上，利用待檢測DNA與晶片上固定的DNA雜交反應後，量測產生的電容變化訊號，用來檢測待測的DNA序列是否存在。技術內容包括：以矽晶片製成微陣列梳狀電極晶片、晶片表面改質以固定DNA，以及製作輸出訊號的感測電路三部分。當時實驗室只有電路製作技術，因此利傑研究所需的晶片製程是由專長為半導體製程的C實驗室合作指導。

利傑在兩年內順利地完成研究，但他的技術並未成功傳承。主要原因是未交接。一方面，他的下一屆小鵬於2006年五月進入實驗室，但利傑在七月即完成口試並畢業。在小鵬尚未完成基本訓練，且兩人間只有兩個月交集時間的情形下，無法傳承。另一方面，後來成為負責本技術的博士生欣潔在2006年三月才進入實驗室，但欣潔的原本專長是奈米高分子，當時對利傑的研究也不甚瞭解。因此，利傑所留給實驗室的除了實體晶片與電路外（圖4），就只有無法複製成果的論文。

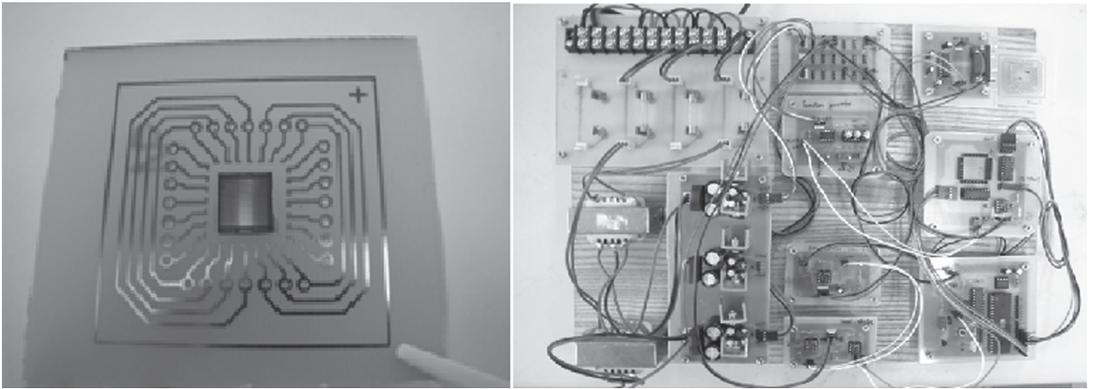


圖4：利傑的晶片與電路

從實作中介的角度來說，利傑當時所擁有的技術是來自C實驗室的矽晶片製程技術，以及BC實驗室所擁有的簡單電路技術基礎。而他所被期望完成的是製作梳狀電極的微陣列晶片技術。此時利傑所面臨的論述與規範有以下幾個特質：規範上，當時該實驗室不但沒有博士生，也沒有團隊區隔，連BC實驗室的主除人也是剛接觸晶片研究，因此，如利傑所說「都是他自己試出來的。」社群上，利傑的處境也是單向接受外援。利傑為此實驗室第一位發展此技術者，因此，此技術的初步發展，是依附在其他實驗室團隊的支援與教學網絡為主。同理，在資源層面，因為當時在起步階段的BC團隊既無經驗也無相關設備，所以，利傑只能努力搜尋國際相關電極製作的期刊論文，且大多在C實驗室進行實驗。簡而言之，利傑在單槍匹馬，前途不明的狀態，藉由其他實驗室的基礎，摸索著完成梳狀電極的研究。

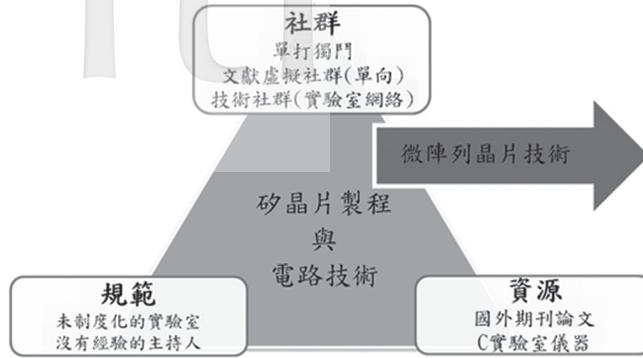


圖5：利傑的技術情境

## (二) 重新起步：技術在地化

當利傑即將畢業前，小鵬進入實驗室。小鵬說當時利傑「要教不教的」，而且因為當時實驗室主持人尚未定下交接的規定，因此利傑並未留下任何關於研究過程的原始數據。

當小鵬一年後開始進行晶片製作時，如何林斯(1982a)所說，發現利傑論文中的製程根本無法複製。在缺乏完整原始數據的情形下，小鵬與欣潔完全不瞭解利傑的設計與製程。小鵬嘗試聯絡他時，利傑表示，當初自己也是這樣試出來的，要他們自己試。因此，小鵬幾乎從頭重新開始。

不僅技術上如此，研究方向上也是。小鵬的研究目標是以PZT取代石英（目前一般使用的材料）作為感測晶片的材料。因為PZT晶片輸出訊號更微小，因此需要改進訊號輸出電路。小鵬表示，這題目源自於當時是欣潔在另一大學聽一場關於石英微平衡分析儀(quartz crystal microbalance)演講後，有了以用其他材料改良系統的構想，後來在國外文獻中發現PZT。因此定下這個題目，這是BC實驗室重新建立晶片研究的起源。

由小鵬的實驗紀錄簿的詳細紀錄與訪談（圖6）顯示，從開始以PZT嘗試晶片製作起，小鵬多方詢問汲取經驗，並歷經不同材料（塊

狀、粉末或膠狀)處理、材料特性、儀器差異、晶片製程(光罩、蝕刻、燒結、退火、下電極等)的嘗試錯誤與累積心得。小鵬逐步掌握膠狀PZT特性,並在2006年八月找到晶片製作最佳參數的標準製程(standard operation procedure, SOP)。

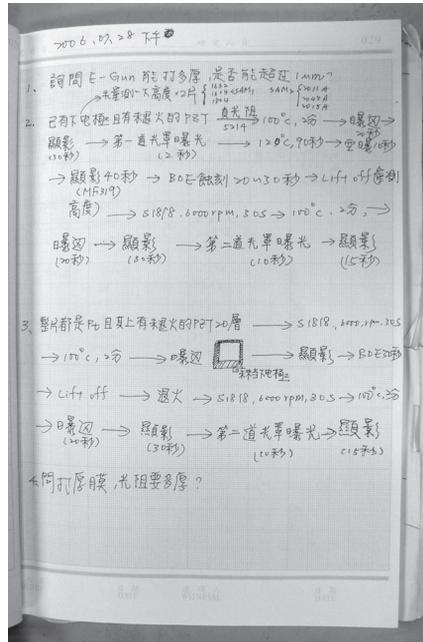


圖 6：小鵬的實驗紀錄簿記錄的錯誤與心得

訪談時,小鵬表示,其實一路走來並沒有信心會成功。唯一把握是知道文獻上的成功案例。但是由於實驗室設備與技術起點都不同,無法以同樣條件仿製。甚至,他認為即使一切相同,仿製也不見得會成功(這一點在以下承功的經驗獲得證實)。在過程中,小鵬除了參考大量文獻,以及仰賴原有合作關係的C實驗室協助外,還四處尋求台大、成大、中央、義守等大學的相關實驗室,以及包括當時在半導體公司工作的大學學長,甚至是儀器與材料廠商的協助。一切都是在他不斷問、不斷摸索的情形下逐漸找到可行的方向。例如圖6的實驗紀錄簿中,便有許多當時實作中發現待詢問問題的紀錄。

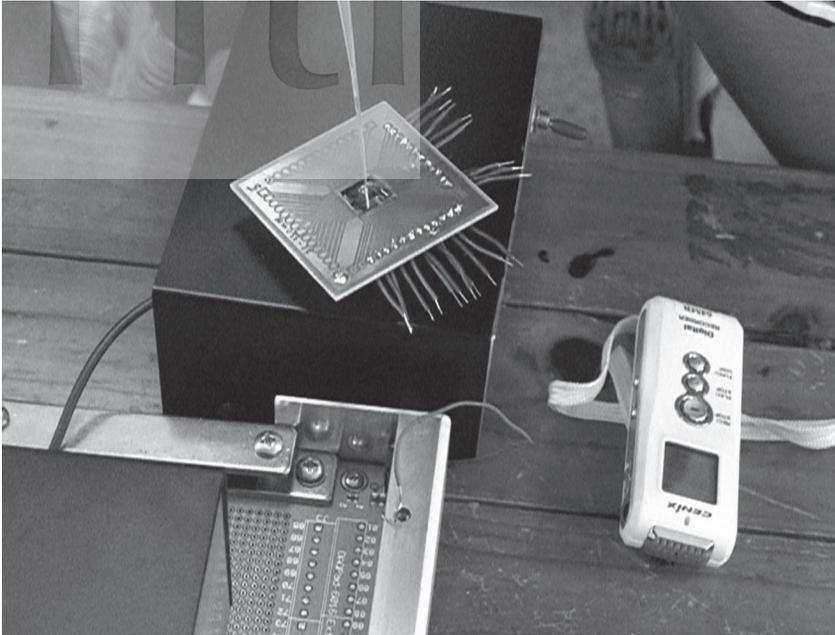


圖 7：小鵬完成的晶片系統

在2006年八月掌握晶片製作後，直到2007年四月，小鵬才大致解決電路佈線、焊接角度、雜訊干擾，與量測問題，PZT壓電式感測器雛形（圖7，電路與供電系統在中央上方的盒子內，晶片在盒子上的電路版中央）與系統架構（圖8）終於成形。在過程中欣潔、小鵬與易迪三人建立深厚革命情誼，小鵬也相當認同欣潔的指導與團隊信念。他除了曾表示很佩服欣潔的研究態度，以及建立傳承的堅持外，在談到為期一年多的摸索過程時，他表示在一切都不確定的狀況下，唯一的信心是來自對欣潔的信心。過程中，小鵬與同組的易迪都表示，欣潔對發展技術有相當貢獻。由於欣潔在大學時曾與其剛回國的專題指導老師，從零開始設立實驗室，因此相當重視建立實驗室團隊。她表示2005年什麼都沒有，因此努力為晶片組的兩位碩士生規劃修課與實驗進度、建立定期開會與檢討制度、落實傳承，逐漸累積團隊的晶片製作技術。小鵬說：「因為她做過實驗，研究上有問題比較能夠找到可行的判斷與方向」。

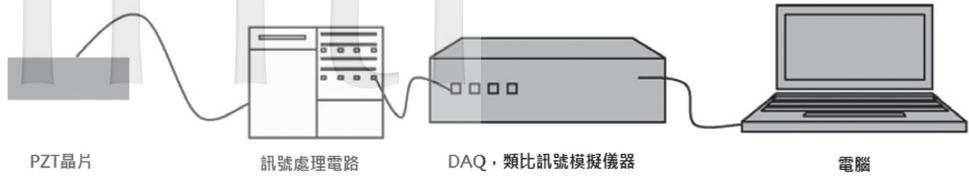
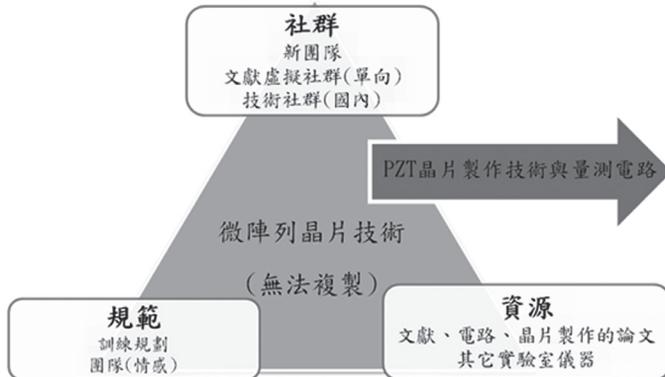


圖 8：小鵬的晶片系統架構（引自小鵬碩士論文）

在此，小鵬的技術基礎是無法複製的微陣列晶片技術，而其方向是發展PZT晶片製作與量測電路技術。實作過程使情境有以下轉變（圖9）：首先，資源上，此時BC團隊開始有能力添購設備，不再完全仰賴其他實驗室。但是，因為無法複製利傑的技術，因此，就像既有的文獻資源一樣，這項技術倒退為資源。其次，在規範面向，藉由欣潔與小鵬帶進的私人研究網絡，以及其他廠商及機構關係，小鵬的資訊來源大為拓展。也因為欣潔憑藉先前建立實驗室的經驗，為小鵬、易迪定下學習與訓練規劃，並因為利傑的失傳經驗，也開始構思傳承制度。其中，值得注意的是欣潔與小鵬、易迪間的規範關係。雖然實驗室主持人明確地要求欣潔負責領導BC團隊，但是根據訪談，她們的關係並不是來自博士生與碩士生的制度關係，而是來自欣潔的團隊經營技巧，所凝聚的向心力。這在她們間展現為同舟共濟、一起打拼的情感。因此，不同於單槍匹馬的利傑，小鵬是在一個剛成形、充滿向心力的團隊進行研究。但是，畢竟此時團隊仍在摸索階段，因此，在文獻社群及技術社群上，是單向地接受各研究網絡資訊與支援為主。

圖 9：小鵬的技術情境



### （三）技術喪失：體制重整

承功是小鵬的下一屆學弟，於2006年6月進入BC實驗室。在欣潔的規劃下，年底小鵬帶他完成晶片製作訓練，從2007年承功就開始傳承並幫忙製作晶片。原本的規劃有三個部分：首先，承功要在小鵬的基礎上，將系統微小化，並改良系統靈敏度與晶片架構。具體工作上，在晶片方面為蝕刻矽基版，讓晶片變薄，以便在負載重量時產生震盪，讓小鵬原本設計的壓電感訊號被放大。其次，訊號處理方面，為量測更細微訊號，則改為測量共振頻率變化的阻抗分析。最後，欣潔也希望承功設計一個微流道系統，讓經過晶片偵測區域的物質更少，量測可以更精確。

這個技術演進的第一個難關在於薄膜震盪晶片蝕刻。蝕刻的基本方法是擋住要保留的部分，然後將晶片泡進蝕刻液中，想辦法找到最佳化的均勻蝕刻厚度與條件，以提升成品訊號輸出幅度與穩定度。這一切要靠不斷調整阻擋方式、蝕刻時間、溫度、攪拌方式、攪拌速率等，找到最佳SOP，才能大量製造晶片，進行下一步的訊號處理與量測。

此過程充滿坎坷。2007年6月承功開始進行蝕刻研究後，出現許多問題：單純浸泡，蝕刻時間過長；攪拌溶液雖能加速蝕刻，但蝕刻結果卻容易不均勻；甚至有時造成反應過快，晶片會被蝕穿。圖10為承功以掃瞄式電子顯微鏡(SEM)攝影，比較蝕刻結果的進度報告。左邊三個圖顯示蝕刻過薄。右邊兩圖顯示震盪器攪拌的蝕刻不均勻。承功花了相當時間，嘗試找廠商製作阻擋裝置，希望控制蝕刻均勻程度，但也不成功。後來，承功終於找到最佳蝕刻溶液，攪拌方式也由過於激烈的超音波震盪器，改為特地購買、較緩和的旋轉葉片攪拌棒，改善了蝕刻不均問題。

但當承功掌握均勻蝕刻技術後，卻在震盪量測時，無法找到基準頻率。因此他無法確認蝕刻是否成功，或是均勻地蝕刻PZT晶片是否有任何意義。當量測問題一直無法解決時，承功逐漸又發現後來製作的晶片，每一批，甚至是同一批在同樣蝕刻SOP下，蝕刻的結果居然都不一致。這意味著承功完全不知道哪裡出問題了。

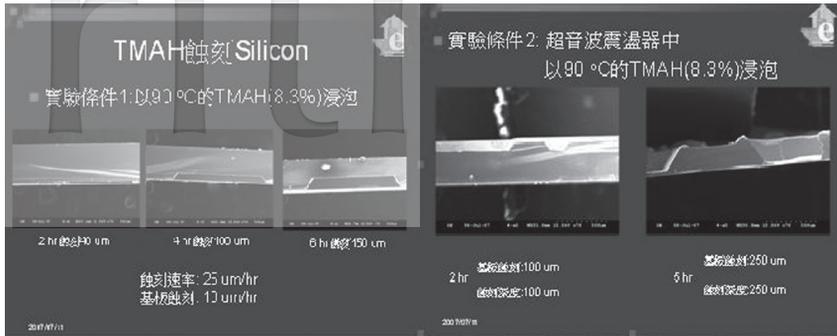


圖 10：蝕刻成果比較

這種實驗者俗稱的「鬼打牆」狀態持續數個月，讓承功非常苦惱與恐慌。欣潔要他回頭探討晶片製作SOP，同時嘗試其他解決方法。但此時發現更大的問題。跟著小鵬學習時，承功認為晶片製作他已學會，而且小鵬畢業前的晶片也都是他幫忙製做，都沒問題。因此他沒有自己的筆記，都是照小鵬的實驗紀錄簿做。而當他與欣潔討論時，也都是直接拿他認為較佳的實驗結果做成的投影片報告。所以，他並沒有系統性紀錄自己的原始實作紀錄與數據。所以，當現有已知參數與流程無法成功時，唯一的方法便是重新建立SOP。

這裡再次出現研究資源與技術，擬自然與限定自然的轉換。如瑞伯格的認識物位移說法，在研發實作的推展過程，不但會出現不同的組織工作，其中的各項單元也可能會發生轉變。加芬克爾(Harold Garfinkel)等人的研究也指出，當研究有新突破出現時，會發生一種雙重歷程。一方面，研究者將一些現象特質與儀器活動剝離(detach)，另一方面，將這些現象附加(attach)到尚未成形的自然客體上，使其逐漸成形(Garfinkel, Lynch and Livingston 1981)。但若發生在此的技術失落時，那些客體的認識地位也會隨之瓦解。原本對承功而言，PZT已經是一種被附加特定知識與技術的穩定認識物（限定自然物），然而，當他的研究出問題，甚至後來發現無法複製小鵬的晶片時，對BC團隊而言，PZT技術又瓦解，這個認識物又倒退為性質不明、難以處理的材料（擬自然物）。

過程中，承功與欣潔的關係也不斷惡化。承功認為欣潔只是要他

盲目嘗試。欣潔則認為承功不夠積極。從2008年1月起，承功越來越消極，不但很少出現在實驗室，6月時更數度向預備傳承這項技術的阿凱抱怨蝕刻根本行不通。結果，加上後來身體不適，承功無法於7月順利畢業。從實驗室消失一陣子後，承功在9月又嘗試了一批晶片又失敗，10月便換了研究題目。

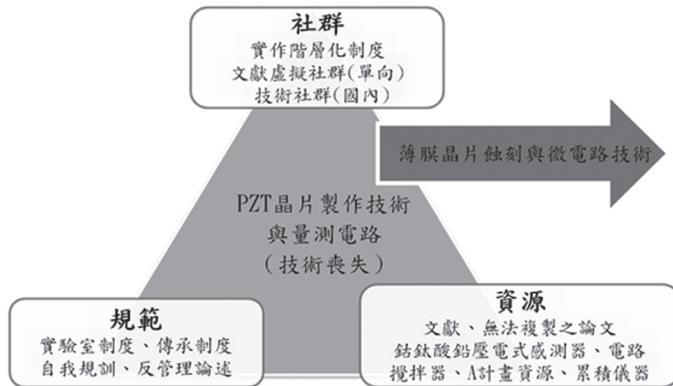


圖 11：承功的技術情境

2009年7月承功受訪時，歸納這段經驗表示，他懷疑當時是做實驗的無塵室晶片製作機台受到污染，或是某些設定被更動，但問題太多無法找到原因。他也抱怨是因為學校沒有蝕刻機台，都要用手工製作品片，才會導致這種結果。他更不滿欣潔沒經驗、帶領方式不對、規劃方向有問題，只是不斷要他嘗試，卻都徒勞無功，他才無法順利完成實驗。而欣潔、小鵬、阿凱和實驗室其他人則認為承功本身的態度與自我管理才是問題根源。

這一階段研發，因為喪失技術基礎，而歷經重整過程（圖11）。資源面向，除了小鵬留下的晶片、裝置與無法複製的SOP，BC團隊此時因為有更多計畫，以及其他巧合（接收其他實驗室淘汰的儀器），持續累積儀器。其中，承功也購置了攪拌器專為解決蝕刻問題。規範上，在欣潔領導下，實驗室此時的基本傳承、訓練制度都逐漸建立。但因為承功的緣故，在過程中，團隊中更明確浮現關於自我規劃的

重要性（見下一節）。當時BC團隊的氣氛，不但受到承功態度的影響，更因為他屢屢嘗試反駁逐漸穩定的制度而更僵。這種想法在阿凱以及同屆阿保間一度受到認同，發展出反抗欣潔管理的風氣與態度。

這種反抗，還與此時社群變化有關。在對外關係上，團隊此時仍處於接受協助與單向吸收文獻資訊的狀態。但是在內部社群上，因為團隊的方向已經建立，以及各項制度開始實施，到承功這一屆已經形成明確階層化與分工。實驗室主持人將本技術全權交給欣潔，負責為碩士生訂進度與檢視成果，以及決定團隊大小事，再跟主持人討論。因此，之前共同奮鬥的狀況消失：當小鵬在研究生二年級上學期時，身為新進一年級的承功便是由小鵬負責教技術。而當小鵬在二年級下學期趕論文的階段，此時承功已經完成訓練，便負責製造小鵬所需的晶片。過程中，欣潔轉為負責規劃與要求進度的監督角色，很少接觸第一線實作。這種團隊階層化的狀態，是承功與阿凱抱怨主題之一：「學姐自己不做，爲了自己發paper要求我們做。」他們甚至有時用「壓榨」這種強烈用語。這與小鵬對欣潔的高度肯定，形成極大的落差。

#### （四）技術重建與改良：多方嘗試

承功試圖建立、但卻失敗的晶片震盪技術，最後是在阿凱手中完成。阿凱是承功下一屆的學弟，2007年6月阿凱入學後的訓練就從PZT晶片製作開始，也參與承功對欣潔的進度報告。

除了承功未完成的薄膜化技術，阿凱的主要挑戰還有兩項：一是欣潔希望嘗試改變晶片製作的方式，不但改用濃度較濃的PZT，也改以較省時與均勻的噴鍍機台(sputter)，而非較費時且完全仰賴人工技巧的旋鍍的方式，因此要重新建立製程SOP。二是因為晶片微小化，以及後來發現他們無法複製小鵬的量測結果，因此也必須發展新的量測方式。阿凱一開始相當痛苦。他表示，他原本也跟著承功，不斷抱怨工作量與欣潔的要求。例如，旋鍍製程需要排隊等候共用實驗室的旋鍍機，加上晶片需要旋鍍與烤乾十數次，所以製作一批晶片都要每天工作十幾小時，耗時數天才完成。

後來，阿凱看到承功逐漸惡化的狀況，開始改變態度，11月起主動向欣潔表示要跟承功分開討論。但這項轉變也使阿凱與欣潔形成緊張關係。因為當時阿凱才接觸這項技術不久，很多基本訓練尚未完成，也沒有太多實作經驗，便直接單獨面對欣潔，承受報告文獻、整理實驗，彙整研究進度的壓力，加上此時欣潔正在發表小鵬的研究成果，需要的部分資料也由阿凱生產。

此外，阿凱的不滿還包括欣潔的態度。當時阿凱認為欣潔不能同理瞭解他們的工作負荷，只是為了自己的畢業成果而不斷要求他們。當時實驗室的一項新規定更惡化這個情形。過去幾年這一組都沒有發表成果，主持人因此規定從阿凱這一屆起，碩士生必須投稿一篇期刊論文後才能畢業。一開始，這項規定讓當時與阿凱同屆的數位學生人心惶惶，包括阿凱在內大多考慮離開實驗室，經過兩三個月的考慮，最後只有一位離開。過程中，阿凱原本受承功影響很大，也很想走，但是後來態度逐漸轉變。他當時表示，觀察承功的狀況，他也認為問題很大部分出在自律不足。後來他認為自己當過兵，因此不應該抱怨也不願意輕易逃避。最後一次訪談回顧時，他認為他是想磨練自己而留下來。

從2007年11月，阿凱獨立研究以來，致力於改良PZT製程。但後來噴鍍機故障，而維持手工旋鍍。加上發展新的量測方式，這些工作直到2009年1月才完成。之後不久，微流道的設計也在承功留下的基礎上，順利完成。而在阿凱與欣潔尋覓如何進一步推進技術時，鑑於承功在2008年6月就宣稱蝕刻根本不可行，欣潔曾建議阿凱將蝕刻部分委由廠商代工，但是2009年2月廠商嘗試兩次電漿蝕刻，結果還是失敗：蝕刻後的矽基版過薄且容易有孔洞，後續製作會破裂，且無法使PZT壓電薄膜結晶。

然而，在3月時，阿凱在文獻上找到以磷酸去除氧化層的新方向，解決了去除蝕刻保護層問題，也順利使PZT薄膜結晶。為此，他並特地學了新儀器原子力顯微鏡(atomic force microscope)，以確認蝕刻成品表面。最後，阿凱出奇順利地在4月底完成蝕刻技術的最佳製

程，完成系統雛形，並量測到更穩定的訊號，在2009年8月畢業。

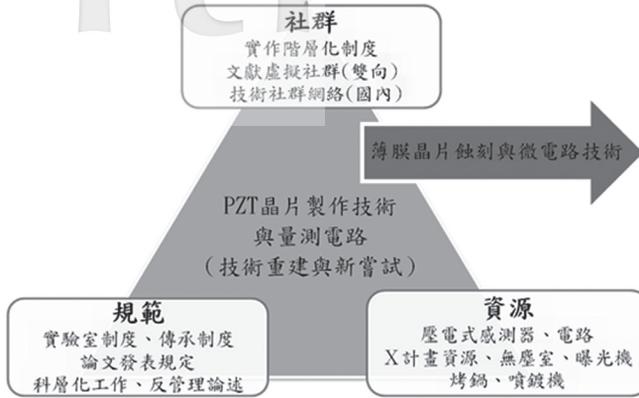


圖 12：阿凱的技術情境

此階段的技術情境有以下改變（圖12）。資源上，除了阿凱努力尋找新文獻，突破困境外，一方面，因為BC的實驗室此時有了新的X晶片計畫的需要，因此欣潔便在實驗室規劃、建造一座小型無塵室，這讓部分實驗不用到另一棟大樓、需要換證管制的公用無塵室進行，對節省實驗時間頗有幫助。另一方面，也因為經費較為充裕，加上承功的失敗經驗，因此，欣潔鼓勵阿凱可以盡量設想節省人力的方式改變製程，所以阿凱嘗試過使用膏狀PZT、請廠商代工蝕刻，並購買烤鍋烤晶片，減少使用公用無塵室儀器等方式。

規範面向，此階段最重要的改變是，發表期刊論文的制度使阿凱他們逐漸認同科層化分工的正當性。儘管一開始有反彈，但顯然由實驗室主持人出面要求學生發表論文，反而有助於解除欣潔的尷尬處境也進一步促成社群關係變化。小鵬那一屆，欣潔是與他們奮鬥的伙伴。到了承功那一屆，因為欣潔整理小鵬的論文發表需要承功與阿凱補資料，因此出現「學姐爲了討好老師，壓榨我們」等怨言。但此時，由主持人直接要求碩士生投稿論文，欣潔的訓練與要求，反而成爲學生完成這項規定的助力。他們轉而認同團隊的階層化。對他們而言，此時的分工：主持人爭取計畫，發表結果；博士生規劃，整理結果；碩士生做實驗、生產數據，反而成爲有助於他們畢業的安排。

社群上，除了更為穩定的團隊階層化，此時有另一項重要凝聚向心力的事件：BC團隊出國參加研討會發表論文，對阿凱等人有相當激勵作用。除了實驗室其他團隊沒有這項機會外，阿凱表示，在準備海報、用英文報告自己的成果，以及跟國外學者交流獲得正面回饋等過程，讓他覺得自己有很大的成長，也讓他更認同平日欣潔對他們的要求與訓練。除了對BC團隊的內部凝聚影響外，BC團隊出國報告壓電晶片等技術，也代表此技術已經開始與國際社群有雙向交流，不再只限於單向的文獻吸收。

### （五）技術停滯與尋找新方向

至此，微重量感測系統已經實現。然而，2010年後卻沒有進一步發展。主要原因是缺乏傳承者。阿凱的下一屆新生小杜，在2008年八月進入BC，當時欣潔尚未決定要讓小杜承接何種技術，便先將他交給阿凱訓練，並要求小杜參與文獻報告。一開始，欣潔與阿凱認為一切進行順利，但是後來，因為小杜聽到實驗室的學生有延遲畢業的情形，加上因為欣潔反省到科層制問題，嘗試恢復當年與小鵬一同奮鬥的方式，有幾次便要求小杜一同熬夜討論。孰料過去這種能培養出深厚認同的方式，卻讓小杜卻步。他與實驗室幾位學生討論過後，2009年1月離開。離開前，小杜曾表示，這不是他希望的生活。

之後，2009年9月欣潔利用教育部擴大就業方案為阿凱申請一年專任助理，執行當時BC與B實驗室及X公司的另一項晶片製作技術合作計畫。而在2009年7月有兩位新成員進入BC，負責發展另一項生物晶片技術，其中的晶片製程訓練也由阿凱負責。迄2010年7月田野結束時，這兩位還在訓練階段。而欣潔從2009年開始嘗試將微重量感測系統發展為臨床應用系統，最後也因為不具臨床價值而宣告失敗。

然而，正當後繼無人時，這微重量感測晶片技術卻開始引起注意。小鵬的研究成果在2009年末於感測器領域的英文期刊發表後，立即收到迴響。有英國NU大學的實驗室來信請益，詢問是否可以協助研製PZT製程的設備。任教於日本TUS大學，同時為產業界進行PZT研究的一位美籍教授，也在2009年底專程到BC的實驗室觀摩，並討論未來交換學生合作的可能性。欣潔表示這是因為PZT製程在國際間

已經很少人做，且有十餘年沒有新發表，因此她們的成果受到重視。進一步，2010年5月欣潔以相關技術提出的博士學位論文，獲得該校傑出研究獎。之後她留在實驗室作博士後，更在年底前往日本進行交流研究。阿凱此時已經結束助理工作離開實驗室。一位新進碩士生8月起則開始接續此技術。

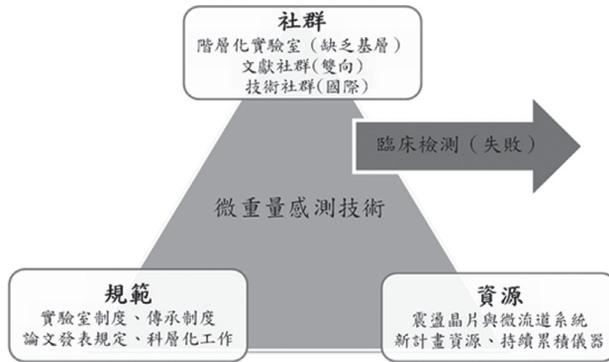


圖 13：2010年BC團隊的技術情境

這個階段的技術情境如圖13，在各向度的發展各有不同。在既有的技術基礎上期望發展的臨床檢測因為實用性問題失敗，因此，技術面向的發展暫時受到阻礙。但資源面向顯然日益蓬勃，不斷進入的資源，使實驗室購入各種新儀器。規範面向，顯然此時BC實驗室已經相當穩定。但是此時欣潔打破份明確的階層，再次站上第一線共同奮鬥的嘗試，卻嚇走新生。這除了是小杜的個人選擇外，多少顯示實驗室階層化的成功之處：在碩士生眼中，欣潔已經無法改變她身為團隊管理者與監督者的角色。

社群組織則呈現喜憂參半的狀況。喜是因為隨著技術成熟與發表，BC團隊在嶄露頭角受到肯定：國外實驗室的交流與來訪，更顯示其成果已有國際能見度；欣潔獲得該校傑出研究獎，更顯示國內社群對此團隊的肯定。但令人擔憂的是，複製成功的技術缺乏傳承，會不會再流失。也因此，在國外學者來訪後，實驗室主持人一度考慮自己學習製程，也希望欣潔畢業後，能繼續幫助實驗室。

## 五、打造科技人

在上述技術追趕的情境變化對實作者的影響是什麼呢？既有文獻已經累積許多關於科技實作如何型塑科技人的討論，但缺少對後進技術追趕者的討論。除了上述克諾爾－塞蒂娜、柯林斯的討論，包括夏平與沙佛爾(1985)探討真空幫浦案例時，指出波以耳建構、拓展可靠見證者社群的社群實作、特拉維克(1988)比較高能物理研究中，美國的SLAC與日本KEK研究社群的差異，更指出不同加速器實驗室形成不同團隊的研究策略與認同。羅(John Law, 1994)則以不同秩序化模式，指出不同實驗室管理階層的類型。本地研究則偏向務實類型者，吳泉源與林宗德(2000)討論的中小企業黑手運用既有碳纖維材料，土法煉鋼地發展滾筒纏繞與吹氣熱壓技術，所發展的網球拍製造技術，反而更能較電腦模擬與學理分析，更能符合產業快速變動的需求；林崇熙(2001)指出從二次戰後迄今，黑手如何結合各種脈絡性情境，組裝二手零件為拼裝車，而能詭抗去脈絡化的公司車與國家的污名化權力；楊弘任(2003; 2012)在黑手發明家、黑珍珠培育農業師傅的案例中，顯示這些師傅以銘刻於身體的實作，掌握自然界複雜性的「實體學」，發展出各種創新川流發電科技及看不見的蓮霧修剪、催花等培育技術。

以下根據上述實作文化的三個面向，探討四種實作，分別為：資源面的文獻實作，社群面的凝聚團隊與自我規訓，及規範面的管理，藉此描繪其追趕文化與科技人型態。

### (一) 文獻實作

文獻一直是BC團隊技術追趕的重要資源。儘管在一般研究中，搜尋文獻確定既有研究成果、由其中找到解決問題的方向與資源，發表時更以文獻回顧界定研究與凸顯研究獨特性，是一般常見的程序。然而，在實驗室技術追趕中，文獻具有關鍵指導地位，但這不同於克諾爾－塞蒂娜(1981: 94-113)、拉圖爾(1987)等人對研發中的文獻實作一般特質討論，也不像柯林斯(1982a; 1982b)研究的先進實驗室有能力挑戰文獻。

對後進實驗室與研發訓練，如前所述，追趕必須從文獻開始，甚至文獻就是目標。在此，文獻所呈現的世界，正是後進實驗室希望擠身進入的限定自然。要進入這個世界，包括以下四方面：吸收文獻、轉化文獻、落實技術與趨近文獻。在此過程中，文獻逐漸由一項資源，成為具有指導性地位的規範性存在，主導研究者思考與探索。

如同上述的技術變遷過程，BC團隊從晶片製作開始，都是藉由向外尋求技術與文獻支援建立。微重量感測器技術，一開始的想法是來自一場演講，其後的發展與技術選擇，多數來自參考已發表的國外文獻。因此，其追趕基礎來自吸收文獻的能力。因此，在欣潔的規劃中，研一進實驗室，除了修課、學儀器考照之外，最重要的就是跟著研究團隊開進度會議，然後，開始學習報告文獻。欣潔表示閱讀與消化文獻是訓練研究者的最基本工作，她說：

一個碩士班來說，……找文獻跟閱讀文獻這些可能比較基本……paper上的那個明白的程度，我們是有要求的，……我們就push，……這個能力是很基本的。

身為蝕刻技術創始的小鵬，則提供具體作法的佐證，他說：

一開始自己接觸一定是沒有頭緒嘛，……第一個我們就是先去參考別人怎麼做的，也就是我們會去找paper，然後看人家大概都怎麼做的，然後用的方法，用的條件是怎樣，然後…實際地去做一次……看我們遇到的情況，……如果不一樣的話，我們再去探討原因，然後再去改進，……改良到我們想要的結果。

其次，在汲取外來經驗後，必須以在地實驗室既有處境，轉化文獻。這也是欣潔認為的訓練重點。當阿凱剛開始獨自與欣潔討論進度時，欣潔一直要他畫表格規劃實驗，我們詢問她的用意，欣潔說：

教他們比較困難的是學習的方法，就是做研究的方法，比如說像是阿凱那個表格，他報完之後被我釘得一塌糊塗，因為他不知道怎麼去整理他的data，或者是說他要切入一個實驗，要去try這些東西的時候，怎麼切進去，他不曉得，所以他就亂槍打鳥，如果我今天高興try這個我就try這個，明天高興就try別的，可是實驗不是這樣做的啊……浪費錢、浪費時間、浪費人力。

這種整理、規劃實驗的技術，是爲了讓先前「吸收文獻」真正有效，也是讓文獻落實爲本實驗室研究者技術的過程。她說：

paper給你很多information，比如說加溫高一點之後，你可能可以讓晶格強一點，比如說熱分解溫度…時間久一點，你可以讓那個晶格變在對的位置，可是當這些東西你都還沒有抓到的時候，你到底要先try你的晶格比較明顯，還是try你到對的位置了沒，……因此就需要做實驗設計，實驗設計就必須畫表格，然後去分析這個表格的輕重…那我就要去分析這個格子的輕重緩急給他們。我畫出來的時候，比較傻的學生就從第一個開始做，做到最後一個，可是做完都天黑了。

他還必須要有一個sense才行，……怎麼去分析它的輕重緩急，然後用消去法去除掉比較離譜的那些參數…，這個就是實驗的邏輯，你實驗要怎麼設計，怎麼取決，用最短的時間做最有效率的事情，就是變成一個實驗方法。

進一步，如小鵬說，吸收文獻後，必須要落實在自己的團隊的條件中才有意義，也就是落實技術。也是一般實驗室稱之爲「cooking recipe」：發展出本團隊獨特技術與參數的過程。欣潔認爲：

那比較困難的知識就是，我覺得是經驗值……。這個很難傳承，除非你願意花時間，不然這個..因爲（人）不是機器，one touch它出來就一定會長那樣。

這牽涉到需要將文獻上的知識與在地的技術支援網絡，尤其是實驗室的人力物力結合，才能落實。技術追趕中，最爲困難的便是設法在在地實驗室匯集資源、克服差異的複製過程。例如承功的蝕刻經驗是：

蝕刻的這個數據別人（按：文獻）是有，用KOH（氫氧化鉀），然後可能要……蝕刻大概一小時大概蝕刻掉幾mi（按：micrometer的簡稱）的深度。……這個都有，然後加這幾度，……我們照著它做，其實也都還滿OK的。可是我因爲有蝕刻模具…我的氟氣會堵住那個洞口。……這個狀況……可能是別篇paper沒有的…因爲他們沒有放模具，所以東西不會積在那邊嘛。

最後，是生產文獻。所有研究者都提到，研究的意義在於做出來的數據要和既有文獻比較、代進既有公式確認，甚至當已經有技術基礎時，其成果往往在追趕的氛圍下，不斷受到既有文獻、成果的制約。這也是限定自然的關鍵意義。研究者在量測過程時，訪問阿凱與阿保關於量測誤差時，兩人的對話生動顯示這個氛圍。

阿凱：我每次量都是一樣的啊。

阿保：你和學長量又不一樣。對啊，為什麼會有這個差異？

阿凱：不知道誰比較好。所以我就說可能是晶片的問題啊。所以我現在重做，再量一次啊。

研究者問：所以有差異時……

阿凱：我就只能重做再來一次而已。

阿保：你只能再重做，OK？（音調上揚調侃阿凱）

阿凱（對研究者說）：就重做，量一次晶片的特性，就確定學長量的對不對，那我量的對不對這樣。

研究者問：那漂亮的數據意思是什麼？

阿凱：漂亮就是，像我們有量很多數據，然後就是其中一個是阻抗跟相位，然後電路學上就有一個標準的圖形，然後我們當然是越像那個圖型越好，就有個依據這樣。

研究者：就是要符合那個標準圖？

阿凱：就像我的東西嘛，PZT它為什麼會伸縮，那為什麼，它有個公式在，由你這公式去說你是怎麼伸縮的，……然後你再去用一個什麼等效電路去fitting這樣，等效電路fi出來的時候你……就開始要、要想說R（按：公式中的變數）為什麼會這樣？C為什麼會這樣？啊到底是哪個C去影響到它的整個主幹不一樣？

從既有文獻線索，到以文獻與既有成果規劃各種實驗，再到結合團隊資源實現成果後，最後以既有文獻的一致與差異性，定位實驗數據與定位成果。這是後進實驗室不斷面對的實現文獻、累積技術的過程。此過程追求的，正如上述訪談所說的，是文獻所報導、其他實驗室作出的「限定自然」，甚至更是以符合既有典範篩檢成果為依歸。在此意義下，這些實驗，並非創新或探索，而有強烈複製色彩。

## （二）凝聚團隊

BC團隊技術追趕的基礎，除了文獻面向，其餘的實作重點幾乎都與人有關。正如幾位實驗室主持人都提過：「實驗室你努力做不一定會有成果，但是你不做就一定不會有成果。」研究，都是需要研究社群一同完成的。研究社群的實作與分工，不但能夠形成不同集體認同、成為衝突根源，甚至，影響不同研究發展的自由度(Doing 2004; Law 1973; Traweek 1988)。在訪談時經常聽到「多與人為善」、「互

相幫忙」等說法，可看出建立團隊是研究的核心。不但實驗室新成員必須融入團隊，在後進技術狀態下，為快速學習儀器、汲取新知、進行實驗等，更必須拓展合作。

在此，我們聚焦在身為指導者的欣潔的社交實作。BC團隊的技術實作體制變化中，從一開始與小鵬那屆的革命情感、承功那屆形成階層，到阿凱那屆原本對階層化安排反感，然後又重新肯定此制度。這一路的變化顯示，欣潔除了要規劃與教導實驗技術，還要一路學習凝聚團隊。這兩者是密不可分的。

欣潔的指導能力並非憑空出現。欣潔在碩士班曾參與創設實驗室，她的研究與訓練方式，都是跟過去老師學的。但面對不同成員，卻仍需要逐漸摸索凝聚團隊的技巧。早期訪談時，她說：

我發現我帶小鵬和易迪（小鵬同一屆的另一組學生）兩人……我們曾經互相有磨擦過……就是「我不想理你了！隨便你啦！放棄了！」……後來我們還是會去磨合、去找方法。後來發現，我應該要去付出多一點……。現在下一屆進來，兩個又跟他們完全不一樣。

之後，欣潔在幾次訪談過程中，指出凝聚團隊的幾個面向，首先是藉由培養關係引發研究興趣：

我必須要去引起你的興趣，我才能夠讓你自己去做。變成是我必須去引起學弟他們的興趣，就要跟他們去培養一個好的關係，然後去講他們願意接受的話。

其次是因材施教。因成員的差異，而有不同領導方式：

小鵬的個性比較直，舉例來講他的個性比較像張飛啊，那種武夫，他就很直。可是他的能力很好，他就是可以以一擋百，那這種比較直的人你就不用跟他拐彎抹角了。比如說他今天做錯一件事情，你也不用跟他說：「你為什麼做錯啊……。」不用，你就直接罵他就對了，然後直接告訴他你下次應該要怎麼樣，那他就可以接受。像易迪的個性就是比較敏感一點，你不可以去直接告訴他，……妳要慢慢地用引導的方式，讓他自己想明白為什麼這樣是錯的，或者是你要讓他自己先try過。比如他說：「這樣做好不好？」你就讓他去做，等他做了他覺得不對，他就會回來跟你講說：「學姐我覺得這樣做是不對的。」

甚至，欣潔在規劃整個技術發展時，也必須因應既有人力性格與能力，作團隊的搭配。在承功研究出問題前，欣潔說：

我發現承功可能大有問題，所以我那時候就跟小鵬說，……我要把承功丟給你跟易迪，他來做你們兩個PZT繼續接下去的工作，那時候小鵬就非常恨我，因為……承功就要跟他在那邊盧（按：抗拒）很久，那時候（按：選擇發展方向）就是這樣，有一點是因為人的關係。

最後，是以激勵推進研究。她認為在熟悉每個人的性格時，就可以用不同方式激勵對方，推動研究。她舉例說：

思源（承功同屆）是屬於比較敏感的那種，他的得失心又很重，所以他做錯的時候你不可以跟他講說：「你怎麼這樣！」那他就會覺得：「我真的很爛！」你要跟他講說：「不會啊，你這樣做也不錯啊……」你如果怎麼樣會再更好，你要去促使他有成就感，他就會做得更起勁，我們要讓一個人發揮到百分之百的效能就是要花一點技巧。

這也在上述阿凱一度對欣潔抱怨的反例中，得知激勵拿捏的重要性。同樣，由反例來看，例如之前提到小杜、承功的例子：欣潔在反省承功的狀況後，尚未瞭解小杜的想法，便驟然開始要與他同甘共苦，而嚇走小杜，也是欣潔認為失敗之處。這也顯示凝聚團隊的重要性。

### （三）自我規訓

進一步，上述團隊凝聚的基礎，並非偶然的，如同技術累積也不只是盲目地試誤，兩者都是在小心經營中培養的。正如欣潔的凝聚實作不見得每次有效，而團隊基礎在於個人，小鵬、承功等人，他們也必須主動成為能與這些技術、客體協調運作的主體(technical subject of the object)(Law 2000)。除了在欣潔身為管理者這一端對學生的訓練，研究者必須同時對自我進行改造，也就是研究者對自我的技術。對於各個學生而言，他們也體驗到、展現出成為一個研究者的自我轉變過程，借用傅柯(Michel Foucault, 1988)的說法，這是實作者的自我規訓。

然而，這種研究者的自我規訓，並不是為了一般教育研究的品格問題或是學習方式，也不是成為克諾爾－塞蒂娜(1981)討論的一般實作特性。這種規訓是環繞著成為能重現限定自然的技術主體。在上述為複製、落實技術的過程中，研究者不是在中多重未知可能與發揮創意

間探索，而是在文獻已知、有限的技術方向下，忍耐可能的風險、枯燥的重複工作、長時間的操作等心理與體力負荷，根本、全面地改變身心安排，以實現技術。

小鵬對此有深刻體會。首先，他認為欣潔律己甚嚴，他們深受感召，他說：

欣潔很辛苦，……電機這個領域女生少來唸啦，如果要唸的話就是比較辛苦，因為它要學的東西很多又很雜，……女生體力沒男生那麼好……再加上學姐她又要管錢、又要管實驗室的事務、又要做自己的實驗、又要看我們的實驗。其實她一個人就當兩三個人用，甚至更多。……她常可以爲了做好一件事而不睡覺，她就是一直看一直看到完，看到早上天亮。然後可能研究完這個東西，隔天就倒了，這是她的精神。……我們看到的時候就是會學，該有的精神是這樣，就是無形中啦。

這種自我要求顯然成爲團隊的重要榜樣，也是欣潔能嚴格要求小鵬等人的基礎。其中一個根本面向，就是這裡指出的時間上必須調整爲以研究爲重心。以身爲壓力最大的第一代技術建立者的小鵬爲例：

教授也不管你修課怎麼樣啊，你就是要要有進度。……大部分的老師都會說「修課是你家的事啊、考試是你家的事啊！可是你要有進度給我。」……學儀器要時間，看學長操作一次就兩個小時，然後修課三個小時，做作業兩個小時，你實驗怎麼辦？……就看你時間怎麼管理啊。……就是時間劃分要很好。不過就要看個人想不想去學。……有時候常常是個人的關係。

進一步，正如小鵬認爲，這種基本的時間管理，是相當個人的事。這些自我規訓也都是關於這種「個人」的轉變，尤其是面對實驗負荷、面對失敗的態度。小鵬認爲必須達成幾種個人態度轉變。首先是從生活中全面地改變做事態度。

剛進來，她當時就帶我們怎麼找paper啊、怎麼討論數據啊、怎麼去做實驗啊。主要是教態度。例如……實驗就是一次把它做完，做到一個階段，不要放著明天做……然後要怎麼找資料啊，不是隨便找……其實很多都是日常生活中的……不是她要跟我們講，是我們要看她怎麼做。

其次，讓自己轉爲積極、帶有熱情，且具抗壓性的態度去面對研究。他說研究所學習最多的是：

心態吧，其實一開始進來的時候覺得很辛苦……後來一些東西懂了之後、慢慢上手之後，你會覺得說很不錯，有時候觀念轉變之後就會變得很好，因為變成說，當你學到很累的時候你可能就不想學了，……當你要學多一點你會覺得很累，……你要有興趣，還有加上有熱情。

……因為我們是屬於跨領域的，所以很多東西很多時候都會受到衝擊（按：這跟BC在實現新技術的後進處境有關）。……學一學然後被打一巴掌，學一學然後再被打一巴掌，……我後來的心態是覺得說這樣學還滿不錯的啦，就是積極點。……OK，大家都這麼辛苦，我也可以。抗壓性有慢慢在增加。

當然，這種過程包括學習如何控制情緒與學習溝通態度。除了小鵬展現的正面的案例外，也有反面的案例。例如，在阿凱承接承功未完成的工作時，也有一度非常不順利。他認為當時欣潔對他常常用「噓」（諷刺、挖苦）的方式，無助於研究。但反而讓他學習到情緒管理的重要。

她就說（按：模仿挑釁態度），這個我一個禮拜就做完了。……我根本不care開玩笑的口氣，我care的是……她情緒性的發言，就是會讓我不高興，就是她都不會將心比心嘛！她不會想人家背後做了這些data做了多久，可能是太多太瑣碎了。可是她說妳要好好講說你改一下，你把的data改一下，改一下就可以用了，我不會改嗎？我一定會改，所以跟她們我就學到很多相處方式的問題，還有待人的問題。

因為推動實驗需要仰賴團隊接力地自發、長時間投入，因此，每一代研究者的在時間、態度與情緒上的規訓成敗，深深影響技術推動順利與否。承功、阿凱的案例提供很好的對照。阿凱回顧承功在面對研究不斷失敗時，一直抱怨卻未改變自己的壞習慣，影響整個團隊。阿凱說：

他抱怨他做的事那麼多，然後根本做不完，……反正就一直在抱怨就對了啦，就一直抱怨，9月、10月就一直在抱怨。抱怨學姊的態度啦。他跟學姊的meeting就等於在吵架。……承功的壞習慣就是，他的power point是當天才做，就是你可能12點要meeting的話他可能11點才開始做……，因為整個（實驗室）呈現在complain中。後來我就覺得這樣不對啊，因為我覺得這樣下去生活就覺得越來越奇怪，覺得也不快樂，就是對，就不快樂，就是給承功帶，……只是覺得因為一直聽complain，然後跟學姊學長越來越疏遠。

後來，如上所述阿凱轉變自己的作法。他提到他轉變考量的關鍵是，除了他不想無法準時畢業外，最重要的是他覺得自己當過兵應當

要更成熟，而積極轉變態度。在這些相反與轉變案例中，我們同樣看到自我規訓的重要性。

#### （四）管理實作

實驗室的基本管理包含了空間、時間、儀器與資源。空間、時間與儀器管理，往往與場地與儀器的使用與維持有關。很多實驗室都有特定儀器或空間負責人，負責最基本的管理。而較為重要的區域與機台，例如無塵室與貴重設備，則有更嚴格的換證、考儀器使用執照等規定。資源管理則牽涉到研究資金與獎助學金。因為實驗需要耗材、而學生需要生活支援，甚至，實驗室在累積技術的同時也需要購置各種獨特設備與機台等。從過程面來看，這些管理都是環繞技術發展實作，尤其是進度與產出的管理。如同威利斯、貝克等人闡述學習者面對不同情境發展的文化與視野，羅(1994)也指出，不同類型秩序化實驗室的方式，隱含著不同類型的管理風格，也就是不同科技人。因此，上述的文獻、團隊、自我相關實作，都在研究與訓練規劃、進度會議、分工、傳承的管理中，不斷操演與改進型塑科技人。

首先是研究訓練規劃。新生進入實驗室後，接受相當密集的研究與訓練規劃。根據訪談彙整，BC團隊的管理有兩個重點：首先，因為工程的研究是沒有止境的，因此，只能定下階段性目標，然後持續往目標前進。其次，研究過程需要好幾代學生的累積，而要順利累積，就需要管理與規劃。因此，欣潔根據經驗，在BC團隊為碩士生複製了一套規劃管理方式。規劃的兩階段重點是：複製與創造。

首先是每一代學生的進度管理，如圖14。在這種規劃中，大約每年3月碩士班甄試與考試後（甚至更早，例如大四專題生），陸續就有學生與實驗室主持人面談，然後在5到8月間進實驗室。其間持續學儀器，參與實驗室或分組會議，練習閱讀與報告文獻，一直到正式註冊後再正式修課。儀器執照考完後，大約在研一下，便可協助畢業學生的研究。此時也是藉此練習加入研究，完成技術傳承的相關訓練。同時，學生也開始確認研究題目，在技術追趕的實驗室，如BC一樣，這往往有明確目標。研二上學期便開始尋找更精確的文獻與匯聚資訊，有時還要學習新的儀器與技術，此時也是大量實驗，產出研究

成果的階段。到研二下，若順利，便開始進入研究收尾的工作，通常已經縮小實驗範圍、補足數據，並進行論文寫作。順利者，一般約在7、8月完成口試，做完交接，畢業離開實驗室。

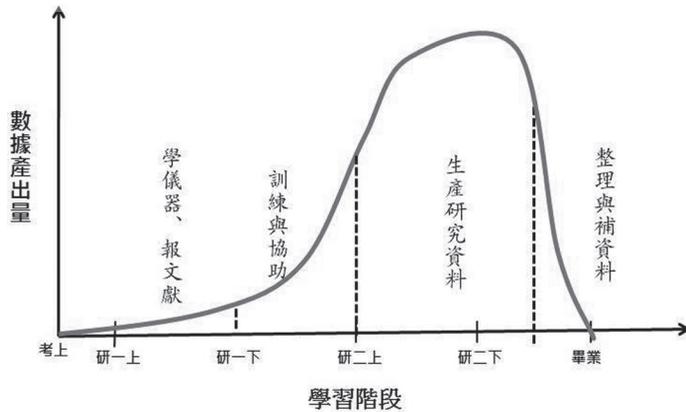


圖 14：訓練規劃圖<sup>5</sup>

在每一代學生管理週期之內，有短時間的進度管理規劃，這與計畫進度密切相關。在BC團隊中，這種進度會議有幾個層次與週期。首先是計畫會議。A計畫成員固定每兩週開會一次，所有實驗室主持人與學生都會參與，每次由六個子計畫中的兩個子計畫報告。因此，每團隊六週輪一次報告。在這些會議中，BC團隊由當時主要負責此技術的碩士生報告進度。在這些會議之前，欣潔通常會為報告者進行會前會演練與教導，同時，傳承此技術的學弟則在一旁觀摩。

其次是每週的研究進度會議。根據欣潔為每位學生訂定的進度與目標，每週同一技術組的學生會個別或集體，向欣潔報告文獻、進度或檢討數據。在其他實驗室，通常是由實驗室主持人主持這種會議，而博士生也需要報告。另外，每兩週欣潔會向實驗室主持人與另一位共同主持人，報告研究進度與未來工作目標。除了固定的週期外，還

有些因應研究相關事件的進度會議。例如，包括計畫成果的展示會前會、出國報告的會前會等等。這些會議成員則不固定。

進度會議必須有技術進度，也必須被公開詢問。也因此，這些場合是學生最緊張的過程。許多學生在開始獨自報告進度時，都會緊張得熬夜準備。根據觀察與訪談，總計畫會議最正式且場面最大，要面對六團隊主持人與成員共二、三十人，儘管表面上最緊張，例如初次報告的學生說話有時會緊張地發抖，但場面較為平和。因為若是碩士生報告不好，博士生會支援。團隊的內部會議較不正式但學生壓力最大。因為此時欣潔或學長會用各種方式「逼」學弟說出想法與指出錯誤，有時場面充滿火藥味。小杜便是在參與過幾次報文獻的討論，跟過幾次阿凱的進度會議後，便發現團隊風格不合期望，而離開實驗室。

這種緊湊的訓練規劃與進度會議，也具體反映在組織結構上。訓練規劃與進度會議中呈現的研發實作，有明確的分工關係。在BC這種以碩士生為主力的實驗室分工上，新生與大學專題生往往負責實驗室雜務、幫忙畢業學生執行基本實驗生產數據，而二年級學生則忙著完成自己的論文，其論文也是實驗數據的主要產出。博士班學生則要負責管理碩士生進度，以及將原始實驗結果作進一步分析與整理，寫成投稿論文初稿。高年級碩士生與博士生也必須撰寫研究計畫初稿。實驗室主持人則負責與其他實驗室討論合作方向、找資源，確認研究結果，並為最後成果把關。BC團隊在技術發展中，同步建立這種常見於其他實驗室的組織管理。

在此我們清楚見到階層化過程與影響。欣潔在實驗室學生與研究方向較少時，還親自與小鵬等人一起做實驗，但此時已經有階層化分工雛型。當時，小鵬描述團隊的運作如下：

我們老師是老闆嘛，欣潔是主管，我們就是她這個部門下面的員工。她不可能什麼都做。講細一點，欣潔是主管，我是她下面的一個成員，我下面的學弟就好像作業員。因為不可能一個人什麼事都做，要把權力放下去啊。

這些管理方式，在欣潔與第一代學生共同奮鬥的過程中，被視為是一種「分工層級」，各層級有各自的權力。但是，在第二代學生之

後，這種科層制分工規劃就開始被視為是為產出成果的要求，被視為是一種「權力階層」，在其中，學生呈現被迫、被動的反應。不但承功認為欣潔「奴役」他們。阿凱也認為，是因為實驗室主持人將所有權力放給欣潔，才會讓她完全成為監督者。他們比較其他實驗室的狀況，說：

我覺得可能是掌權的關係……，要是學姊沒掌這個權，她自己也要做實驗的話，就不可能這樣啦，對啊，因為樓下的學長他自己也要做實驗啊，大家有問題也是問他，他自己有自己的時間在，而學姊他比較不一樣的是，她畢業的東西是靠我們耶。所以，就這樣，所以我覺得學長跟學姊的態度比較有大的不同，學長他就是說，可能他有事情他會盡量幫你推掉，他也不會用很強制的命令你啦。

事實上，從旁觀者角度來看，若非有強而有力的管理者，每代學生很難在一年訓練，一年發展的密集時間內，累積技術。

以上的管理都是針對每代學生的重複工作。但是，發展技術需要靠數代的累積，因此，如同上述訓練規劃中顯示的，如何讓下一代能夠接續上一代的研究是重點，也就是實驗室的傳承管理。欣潔在2008年訪談，談到發展中的微重量感測技術時，說：

這個技術的本身其實……很rough。……技術本身常常別人實驗室可能也有啊，為什麼他們沒辦法繼續作下去？下面所support的東西就是傳承，知識的傳承、技術的傳承、設備的傳承、knowledge這些，如果就是沒有把這些盯緊的話，……就會遇到一些問題。那所以我覺得當然壓電的感測技術跟阻抗感測的技術，是我們目前可能可以handle的一個助力，可是相對這兩個助力之下，也是因為我們有還不錯的team，就是可以去延續這件事情，所以讓這件事情是越來越好的，而不是中斷或者是越來越差的。

但同樣管理方式會產生不同效果，這與學生當時所處的技術情境有相當關連。例如參與創設技術基礎的小鵬相當認同這些管理的重要性，並將這種必要性連結到要讓實驗室強大。小鵬說：

因為博士生她有很多的經驗，跟她走過很多不好的路，這些路都是要傳承下去的。……當一個實驗室裡面沒有博班只有碩班的時候，碩班學生其實要花很多時間去摸索。第一個電路可能你搞兩個月、三個月，但有個博士班在帶你可能一個禮拜就OK……當實驗室沒有博班的時候，學生會很辛苦。

然而，對小鵬之後的學生，我們觀察到他們便比較認為這是一個權力階層體制，是他們被動地被剝削跟壓迫問題。例如，承功與阿凱則經常在訪談中以「老大」、「Boss」指涉對監督、要求他們的工作進度的欣潔。而相較於小鵬對欣潔的認同，承功在幾次訪談過程，都對這種進度規劃、分工的管理方式，發展一種反管理論述，其中也指出密集的管理造成的研發問題。他認為：

都是學姐在訂我們的题目的啦，那這一方面我，我是不太清楚她怎樣訂啦！對啊，那可能她有自己的方向，就是說她可能有自己的目標或什麼，她可能自己也想要畢業或是什麼，訂的比較……比較多一點。……我們那麼少人，可是你要做那麼多東西，有時候，我會覺得效果不會那麼好，……常常會出錯啊！因為你沒有辦法把一個東西做得很深入，很仔細。

除了在心態與論述上的對抗，在實作過程中，學生們也發展一些反管理實作。<sup>6</sup>為了應付進度管理與希望如期畢業，常見的狀況是學生會隱藏超前的進度與數據，以便留待下一次進度報告時使用，以免努力工作，進度超前反而會被逼得更緊；不提出沒有把握的問題、有問題的數據，以及畢業前不提出問題，以免被質疑研究的可靠程度，或是被留下來補數據。事實上，小鵬複製利傑、承功與阿凱在複製小鵬的實驗時，都發現數據不合理，後來以不同製程才克服。但必須強調的是，這一切反管理實作，也都是「為了畢業的前提下」，面對既有管理實作而被動發展的。

儘管上述機制與影響因個人或技術而略有出入，但在作者長期觀察其他實驗室運作時，卻可見是許多實驗室共享的基本樣態，它們使打造科技與打造人合而為一。對實驗室，這一切的安排是為了吸收、轉化、落實與趨近文獻的技術追趕。對於學生，為在實驗室完成研究取得學位，無論情願與否，他／她們在這些穩定而反覆操演的訓練規

---

6 不但各校都有關於實驗室評價的傳言，甚至網路上還出現分享全台教授指導經驗的反管理資訊平台，內容包括：學位（博或碩班）、自身畢業狀況、是否容易溝通、研究方向自由度、教授外務與學生的額外負荷、月薪及推薦與否等。請見：<http://www.ragic.com/AdvisoRating/forms/1>。

劃、進度會議、分工與傳承的實作中，不斷自我規訓、調整身心狀態與生活安排以融入團隊。<sup>7</sup>

小鵬、阿凱，甚至包括欣潔自己的經驗，以及承功、小杜的反例顯示，這個實作文化使個人必須從被動接受進而主動融入，從毫無能力到使命必達，從一無所知到能複製文獻。最後，完成歷程的學生成為高度服從團隊、自我規訓，致力於複製技術、解決被給定問題的「能作」科技人。

## 六、結論：後進實驗室研發與人才培育

本研究結合社會學視野與STS取徑，釐清研發實作類型，並以一個大學實驗室團隊為例，探討其技術追趕的實作文化，希望有助瞭解與後進國產業轉型密切相關的人才培育過程，補充產業社會學與教育研究的不足。本研究深入剖析後進實驗室技術追趕過程，釐清其中機制如何影響其中的研發者。希望這種結合社會學的體制提問與STS深入實作過程的討論，有助於面對當前問題，發展跨領域對話，提出解決方案。

在此基礎上，我們釐清本研究相關議題以定位其貢獻：首先，本研究的焦點為後進實驗室的追趕。儘管一開始的文獻分析與圖1類型學架構指出，既有STS實驗室研究集中在西歐北美的尖端實驗室，而本地研究往往強調產業追趕或非實驗室另類研發。但是，如同本研究避免將先進等於實驗室、後進等於追趕、另類研發的二分。就一個常態科學的發展而言，任何先進國家都有後進實驗室也有另類研發，而部分後進國家，如台灣，也有尖端研發與團隊。這是研究網絡的拓展、連結與比例問題，與地域沒有必然關係。

以此案例出發，將有助於定位台灣科技研發的特殊性。本地有豐

---

7 這是包括私生活的全面融入，請見韓采燕(2012)探討的實驗室陽剛化文化。

富另類非實驗室研發的經驗，但台灣研發的整體面貌或許必須在更大體制面定位，這包括大學與產業的實驗室研發。根據研究者參與數個工程研究團隊研發過程，其中包括一個超過百餘個研究團隊的大型合作案的長期觀察，本研究討論的個案經驗與其中實作機制，相當普遍存在當前研究型大學的一般工程研究團隊。更精確地說，本文的研究案例常見於研究導向的公私立大學，尤其是接受頂尖大學計畫補助、以追趕國際學術發展為目標的實驗室間。當然，這些大學中也有探索型實驗室，已超越追趕階段，參與國際前瞻研發。更進一步，根據觀察與訪問，在這些大學之外，至少有另一種更普遍的類型，是同樣以限定自然為基礎，但是以務實訓練為目標，例如科技大學實驗室的實作重點直接放在培養學生實作能力為主，而非追趕或探索前瞻技術。釐清這些不同類型實驗室如何構成台灣的大學研發體制，以及包括另類研發在內，這些研發各自與在地或全球產業研發的關連，將有助於定位台灣科技研發的生態與特殊性。

其次，延續本研究的類型學思考，是反身性地思考後進的問題性。既有先後進的問題性如同思考上的魔咒，不但如限定自然般局限著研發者，也緊緊地牽引本地社會與文化研究者的思考框架。這有兩種主要模式。一方面在產業研究上，直接以先後進的落差，提出後進、後進追趕、追趕極限現象為基本思考框架，定位本地產業與研發，另一方面，在另類研發上，以另一種先後進的差異區隔「高科技／大學（公司）／實驗室」與「黑手／常民／另類實作場域」的二分，並以做中學、拼裝、實體學等架構轉向強調非實驗室、另類研發的特殊性。然而，無間是直接套用這種二分或轉向另類，都可能讓我們忽略更顯而易見、介於兩者之間的本地事實與重要現象，例如本文的研發訓練體制如何培育追趕產業的人力。單向追隨或逃避先後進框架卻忽略正視現實，這何嘗不是一種人文社會版本的自我後進處境。<sup>8</sup>

---

8 原指醫療專業明知「先進知識」的問題，卻利用一般普遍接受新後進架構而忽視問題、套用先進知識，卻在本地造成新問題（林文源 2012）。在此，指產業研究在直接以先後進二分架構將本地研發等同後進、或是STS

airiti

最後，正視後進實驗室提供一個凸顯各種研發體制連結的起點。雖然本研究觸及跨國追趕等問題，但這不等同於後進國處境，也不能宣稱這代表所有後進類型研發。從本研究超越二分法的類型學出發，若有機會進行更廣泛的跨國研發體制發展與比較，尤其是當前全球科技急速競爭、合作與移轉的現實處境下，包括各種另類研發在內的各類型研發連結與技轉、大學與產業體制在跨國與本地科技研發網絡的關連與差異，將有助於定位後進研發類型與地位。

本文成果對這些問題性有三項回應。首先，源自西歐北美的實驗室研究主要探討先進實驗室的探索型、驗證型研發，旨在揭示科技研發建構「擬自然」過程的普遍性特質。不同於一般STS的尖端實驗室與實作文化，從中介技術發展過程，本文討論後進追趕實作文化中，落實文獻、凝聚團隊、自我規訓與管理實作，使學生逐漸成爲「能作」科技人。本研究補充後進實驗室處境，希望有助於從在地不同現狀出發，讓研究者正視常見於本地實驗室的研發現狀與在地問題。

其次，台灣既有科技產業與研發研究中，往往著重務實創新，集中探討國際機會、研發結構、產業規模與制度條件如何影響科技產業轉型，雖然多數承認高等科技人才培育是其中關鍵，但並未深入討論。而許多源自後進區域（包括先進國內）的務實創新，往往揭示無須經由實驗室，另類地挪用、改造的創新。本地研究已指出「做中學」與「爲做而學」（吳泉源 2002；吳泉源、林宗德 2000；林登立 2002）、「拆解、還原，跳脫既有技術框架」（楊弘任 2012：92）等，以「限定自然」爲基礎，實務爲目標的另類研發。這兩大文獻群面對台灣顯著的科技代工產業體制與困境，卻甚少討論其中的科技人如何養成。本研究補充，經常被提到卻甚少討論的高等教育研發訓練過程。希望這有助於凸顯先後進、國外與本地、高科技與另類二分限制與反省自我後進的問題，積極看見更多研發類型。

最後，本研究擴充後進技術發展中的實作文化與科技人樣貌，以

---

研究將先進等同實驗室、後進（本地）等同另類研發的二分，而忽略在地其他現實的狀況。

airitu

回應當前的人材斷層問題。本地常見針對非實驗室的另類研發研究，同樣凸顯其中科技人樣貌。這些師傅、黑手、中小企業實作者展現作中學、身體化、脈絡化、掌握後進技術物時間差等特質，都與轉變提問與實作方向有關：因為不受既有學科限制，在挪用與拼裝的「如何做」問題前，實作者必須先問「為何如此」、「為何需要」的務實問題，而較容易跳脫既有典範與學理。因此，這些研發者敏銳地，關注當下需求與可用資源。

相較於此，同樣面對既有先進理論與典範的限定自然，以落實既有理論為目標的大學實驗室實作，偏重追趕。其中善於複製、解決被給定問題、自我規訓與服從團隊的科技人，似乎只關心「如何做出」既有文獻中的限定自然。如威利斯觀察到反學校文化與勞動階層職場文化的相似，這種追趕文化與台灣園區科技產業界內的「趕工文化」也高度相似。<sup>9</sup>在此意義上，本研究認為要理解後進國追趕的極限與當前人才問題，後進產業與實驗室的追趕實作與文化是癥結之一。

實驗室與產業兩者高度相似的文化如何相互影響有待進一步檢證，但台灣近十餘年增設相關理工系所支持園區產業擴張需求，而我們的田野中，也經常聽到學生自嘲在實驗室被操是為了未來要到園區「爆肝」的職前訓練，卻也都是事實。本文對此提供初步基礎。從這種角度觀察，便能理解為何高等教育所訓練的學生，在過去是重要支柱，但在人才危機中卻被視而不見。因為，過去代工產業蓬勃發展時，理工科系擴充，而追趕體制大量供應能複製、能作的科技人。然而，今日面臨科技轉型與產業危機，需要創新人才時，追趕訓練失靈。這些擅長複製追趕，卻不習慣探索與創新的學生頓時成為過時人力。在此意義下，有問題的並不是這些學生，而是這個追趕體制。要找人才，除了持續改變產業體制，還需同步推動教育體制的轉型。

---

9 根據曾聖文(2008)對台灣IC設計產業研究指出，以員工分紅的激勵制度為基礎，加上彈性配合顧客的決策方式，發展出重視開發技術不重視尖端技術研究、重視新技術快速學習與解決問題、重視產品快速開發不重視技術文件傳承的工匠傳統，建構出快速追趕與學習卻不利於創新的制度環境。

那麼，社會與文化研究者對此能有何貢獻呢？本文謹此提供三點建議。首先，研究上，所有實作文化有其體制基礎，大學實驗室亦然。本研究個案，處在以下制度所構成的體制中，例如：學術上，國科會計畫的短期績效導向、「邁向頂尖大學計畫」以論文為基礎的績效競爭；教育上，學生修業、實驗室訓練、生涯輔導等相關制度、以及校方重研究輕教學的心態；社會上，產業間接透過政策對學校產生影響；業界、社會與學生對與「高科技」產業、工程師生涯的認知等。這些制度與追趕文化的連結，部分在文中已有線索。但其整體場域變遷樣貌與作用機制，亟有待釐清。

其次，在理論架構上，要擺脫先後進的單一思考架構，以及此架構形成自我後進化的束縛。除了需要在工程技術領域需要積極開放創新，社會文化研究者也需要協助探索不同可能。反省到在研究上複製、逃避先後進與追趕命題的危險，本研究嘗試提出類型學以及技術情境的中介架構作為定位多種研發的方法，希望有助於協助未來本地研究者更對稱地思考多元實作與文化類型，以及其關連性。

最後，實務上，既有經驗顯示追趕型教育與代工產業為台灣社會帶來諸多問題。對此，社會與文化研究者已經在勞動人權、社會與環境成本，多元價值上提出反省與批判。若能在不同環節投入反思的能量，或許有助於轉變研發體制與產業的實作文化、促成更具開放性的研發與創新。這或許更需要社會與文化學者的批判式參與。希望本研究有助於拋磚引玉，累積討論。

## 引用書目

### 一、中文書目

- 王振寰。2010。《追趕的極限：台灣的經濟轉型與創新》。台北：巨流。
- 王振寰、高士欽。2000。〈全球化與在地化：新竹與台中的學習型區域比較〉，《臺灣社會學刊》第二十四期，頁179-237。

- 吳泉源。2002。〈從黑手到電腦輔助工程：社會階層、專業意識形態、與技術典範轉移〉，收錄於《科技、醫療與社會學術研討會論文集》，王玉豐、江淑芳編，頁35-58。高雄：國立高雄科學工藝博物館。
- 吳泉源、林宗德。2000。〈從網球拍到半導體：台灣產業技術特質的探討〉，收錄於《臺灣產業技術發展史研究學術研討會論文集》，國立科學工藝博物館主辦，教育廣播電臺協辦，頁50-99。高雄：國立高雄科學工藝博物館。
- 李宜澤。2012。〈漂浮的技術地景：台灣生質能源計畫的技術選擇與規模的三重邊界〉，《科技、醫療與社會》第十五期，頁187-252。
- 周素卿。1998。〈科學園區的另一種發展版本：台南科學園區〉，《臺灣社會研究季刊》第三十二期，頁125-163。
- 林文源。2007。〈論ANT的行動本體論及其政治性〉，《科技、醫療與社會》第四期，頁65-108。
- 。2012。〈醫療化理論的後進國批判〉，《臺灣社會學》第二十四期，頁1-53。
- 林崇熙。2001。〈脈絡性技術——頑頑國家的拼裝車〉，《新史學》第十二卷第四期，頁75-120。
- 林登立。2002。〈技術追趕的社會經濟根源：1980年代後期的台灣電腦工業個案研究〉，《科技、醫療與社會》第二期，頁59-119。
- 洪世章。2001。〈社會結構與國家競爭力：台灣個人電腦工業之價值鏈分析〉，收錄於《台灣的企業組織結構與競爭力》，張維安編，頁93-118。台北：聯經。
- 夏鑄九。2000。〈全球經濟中之跨界資本——台灣電子工業之生產網絡〉，《城市與設計學報》第十一、十二期，頁1-37。
- 徐進鈺。1999。〈流動的鑲嵌：新竹科學工業園區的勞動力市場與高科技發展〉，《臺灣社會研究季刊》第三十五期，頁75-118。
- 。2000。〈台灣半導體產業技術發展歷程——國家干預、跨國社會網絡與高科技發展〉，收錄於《臺灣產業技術發展史研究學術研討會論文集》，國立科學工藝博物館主辦，教育廣播電臺協辦，頁101-132。高雄：國立高雄科學工藝博物館。

- 。2001。〈廠商的時空策略與動態學習：新竹科學園區積體電路工業為例〉，《城市與設計》第十一、十二期，頁67-96。
- 張國暉。2011。〈追尋主體性的工程設計：威權政治轉型下的台灣高鐵土木設計〉，《臺灣社會研究季刊》第八十五期，頁157-200。
- 張維安、高承恕。2001。〈政府與企業：台灣半導體產業發展的分析〉，收錄於《台灣的企業組織結構與競爭力》，張維安編，頁57-92。台北：聯經。
- 陳東升。2001。〈積體電路產業組織網絡的形式及其形成的制度基礎〉，收錄於《台灣的企業組織結構與競爭力》，張維安編，頁1-56。台北：聯經。
- 。2003。《積體網路：台灣高科技產業的社會學分析》。台北：群學。
- 傅大為。2012。〈SCOT的新發展與何謂「區域研究」——針對第十三期張國暉文獻評述的兩點意見與澄清〉，《科技、醫療與社會》第十五期，頁285-289。
- 曾聖文。2008。《快速跟隨、產業聚落與社會鑲嵌：以台灣IC設計產業為例》。國立政治大學國家發展研究所博士論文，未出版。
- 楊弘任。2002。〈看不見的技术——「蓮霧變成黑珍珠」的技术發展史〉，《科技、醫療與社會》第二期，頁1-56。
- 。2012。〈行動中的川流發電：小水力綠能技術創新的行動者網絡分析〉，《臺灣社會學》第二十三期，頁51-99。
- 潘美玲。2001。〈技術、社會網絡與全球商品鍊：台灣製造業部門間生產組織的差異〉，收錄於《台灣的企業組織結構與競爭力》，張維安編，頁187-222。台北：聯經。
- 。2008。〈從經濟奇蹟到後進發展：台灣二十年來國家機器與產業發展〉，收錄於《跨戒：流動與堅持的台灣社會》，王宏仁、李廣均、龔宜君主編，頁149-162。台北：群學。
- 鄭力軒。2011。〈彈性專業化作為產業轉型途徑：以台灣遊艇製造業為例〉，《臺灣社會學》第二十二期，頁157-196。
- 韓采燕。2012。〈工程實驗室的陽剛化及穩定機制〉，《科技、醫療與社會》第十四期，頁169-226。
- 瞿宛文、Alice H. Amsden（安士敦）合著，朱道凱譯。2003。《超越後進

發展：臺灣的產業升級策略》(Beyond late development: Taiwan's upgrading policies)。台北：聯經。

顧彩璇。2003。《探針的生命史：一個關於工具、社群與認同建立的故事清華大學奈米物性探測實驗室的田野考察》。國立清華大學歷史研究所碩士論文，未出版。

## 二、英文書目

- Amsden, Alice. 2001. *The Rise of "The Rest": Challenges to the West from Late-Industrializing Economies*. New York: Oxford University Press.
- Amsden, Alice and Ted Tschang. 2003. "A New Approach to Analyzing the Level of R&D (with examples from Singapore)," *Research Policy* 32(4): 553-572.
- Anderson, Warwick. 2002. "Introduction: Postcolonial Technoscience," *Social Studies of Science* 32(5/6): 643-658.
- Becker, Howard, Blanche Geer, Everett Hughes and Anselm Strauss. 1977. *Boys in White: Student Culture in Medical School*. New Brunswick, New York: Transaction Books.
- Bot, Ludovic, Pol-Bernard Gossiaux, Carl-Philippe Rauch and Safouana Tabiou. 2005. "Learning by Doing: A Teaching Method for Active Learning in Scientific Graduate Education," *European Journal of Engineering Education* 30(1): 105-119.
- Chakrabarty, Dipesh. 2000. *Provincializing Europe: Postcolonial Thought and Historical Difference*. Princeton and Oxford: Princeton University Press.
- Collins, Harry M. and Trevor. J. Pinch. 1982. *Frames of Meaning: The Social Construction of Extraordinary Science*. London ; Boston, Mass.: Routledge & K. Paul.
- Collins, Harry M. 1982a. "The Replication of Experiments in Physics," in *Science in Context*, edited by Barry Barnes and David Edge. Milton Keynes: The Open University Press.
- . 1982b. "Tacit Knowledge and Scientific Networks," in *Science in Context: Reading in the Sociology of Science*, edited by Barry Barnes and David Edge. Milton Keynes: The Open University Press.
- De Graaff, Erik and Wim Ravesteijn. 2001. "Title: Training Complete Engineers:

Global Enterprise and Engineering Education," *European Journal of Engineering Education* 26(4): 419-427.

De Laet, Marianne and Annemarie Mol. 2000. "The Zimbabwe Bush Pump: Mechanics of a Fluid Technology," *Social Studies of Science* 30: 225-263.

Dicken, Peter. 2007. *Global Shift: Mapping the Changing Contours of the World Economy*(5th edition). London: Sage.

Doing, Park. 2004. "'Lab Hands' and the 'Scarlet O': Epistemic Politics and (scientific) labor," *Social Studies of Science* 34(3): 299-323.

———. 2008. "Give Me a Laboratory and I Will Raise a Discipline: The Past, Present and Future Politics of Laboratory Studies in STS," in *The Handbook of Science and Technology Studies*, edited by Edward J. Hackett, Olga Amsterdamska, Michael Lynch and Judy Wajcman, pp. 279-296. Cambridge: The MIT Press.

Downey, Gary Lee and Juan C. Lucena. 1997. "Engineering Selves: Hiring in to a Contested Field of Education," in *Cyborgs and Citadels: Anthropological Interventions in Emerging Sciences and Technologies*, edited by Gary Lee Downey and Joseph Dumit, pp. 117-142. Santa Fe: School of American Research Press.

Edgerton, David. 1999. "From Innovation to Use: Ten Elcetic Theses on the Historiography of Technology," *History and Technology* 16: 111-136.

El-Sayed, Osman Lotfy, Juan C. Lucena and Gary Lee Downey. 2006. "Engineering and Engineering Education in Egypt," *IEEE Technology and Society* 25(2): 17-24.

Fan, Fati. 2007. "East Asian STS: Fox or Hedgehog?," *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal* 1(2): 243-247.

Foucault, Michel. 1988. "The Technology of the Self," in *Technology of the Self*, edited by L. H. Martin and P. Hutton Gutman, pp.16-49. London: Travistock Publication.

Fu, Daiwie. 2007. "How Far Can East Asian STS Go?," *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal* 1(1): 1-14.

Garfinkel, Harold, Michael Lynch and Eric Livingston. 1981. "The Work of a Discovering Science Construed with Materials from the Opically

- Discovered Pulsar,” *Philosophy of the Social Sciences* 11(2): 131-158.
- Guston, David H. 2000. *Between Politics and Science: Assuring the Integrity and Productivity of Research*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press.
- Hanson, Barbara Gail. 1993. “Living Laboratories: Women and Reproductive Technologies(Book),” *American Journal of Sociology* 99(3): 833.
- Heidegger, Martin. 2010. “The Question Concerning Technology,” in *Technology and Values: Essential Readings*, edited by Craig Hanks, pp. 99-113. Chichester, West Sussex, U.K: Wiley-Blackwell.
- Kline, Ronald and Trevor Pinch. 1996. “Users as Agents of Technological Change: The Social Construction of the Automobile in the Rural United States,” *Technology and Culture* 37(4): 763-795.
- Knorr-Cetina, Karin. 1981. *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford ; New York: Pergamon Press.
- . 1999. *Epistemic Cultures: How the Sciences Make Knowledge*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Latour, Bruno and Steve Woolgar. 1986. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. Princeton, New York: Princeton University Press.
- Latour, Bruno. 1987. *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- . 1988. *Pasteurization of France*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- . 1993. *We Have Never Been Modern*. Harlow, England: Longman.
- . 1996. *Aramis or the Love of Technology*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- . 2000. *Pandora’s Hope*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- . 2004. *Politics of Nature: How to Bring Sciences into Democracy*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Law, John. 1973. “The Development of Speciality in Science: The case of X-Ray Protein Crystallography,” *Science Studies* 3: 275-303.

- . 1994. *Organizing Modernity*. Oxford UK and Cambridge USA: Blackwell.
- . 2000. "On the Subject of the Object: Narrative, Technology and Interpellation," *Configurations* 8: 1-29.
- Lin, Wen-yuan. 2009. "Problematizing the Experts: The One-Dimensional Engineering Understanding of the Users and its Contextual Frameworks," *East Asian Science, Technology and Society: An International Journal* 3(1): 73-90.
- Lucena, Juan C., Gary Lee Downey and Hussein A. Amery. 2006. "From Region to Countries: Engineers and Engineering Education in Bahrain, Egypt, and Turkey," *IEEE Technology and Society* 25(2): 3-10.
- Lynch, Michael. 2002. "Protocols, Practices, and the Reproduction of Technique in Molecular Biology," *British Journal of Sociology* 53(2): 203-220.
- Lynch, Michael and Karin Knorr Cetina. 1997. "Deconstruction in a 'Thinking' Science: Theoretical Physicists at Work," *Social Studies of Science* 27(1): 73-111.
- Mody, Cyrus C. M. 2001. "A Little Dirt Never Hurt Anyone: Knowledge-Making and Contamination in Materials Science," *Social Studies of Science* 31(1): 7-36.
- Pickering, Andrew. 1993. "The Mangle of Practice: Agency and Emergence in the Sociology of Science," *The American Journal of Sociology* 99(3): 559-589.
- Pinch, T. J. 1986. *Confronting Nature: The Sociology of Solar-Neutrino Detection*. Dordrecht, Holland ; Boston Higham, MA, U.S.A.: D. Reidel Pub. Co; Sold and distributed in the U.S.A. and Canada by Kluwer Academic Publishers.
- Rheinberger, Hans-Jorg. 1997. *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube*. Stanford: Stanford University Press.
- Rompelman, Otto and Jan De Vries. 2002. "Practical Training and Internships in Engineering Education: Educational Goals and Assessment," *European Journal of Engineering Education* 27(2): 173-180.
- Rouse, Joseph. 1987. *Knowledge and Power: Toward a Political Philosophy of Science*. Ithaca and London: Cornell University Press.
- Shapin, Steven and Simon Scaffer. 1985. *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes,*

Boyle, and the *Experimental Life*. Princeton: Princeton University Press.

Sims, Benjamin. 2005. "Safe Science: Material and Social Order in Laboratory Work," *Social Studies of Science* 35(3): 333-366.

Staudenmaier, John M. 1985. *Technology's Storytellers: Reweaving the Human Fabric* by. Cambridge, MA: MIT Press.

Traweek, Sharon. 1988. *Beamtimes and Lifetimes: the World of High Energy Physicists*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Webster, Andrew. 2005. "Social Science and a Post-Genomic Future: Alternative Readings of Genomic Agency," *New Genetics & Society* 24(2): 227-238.

Willis, Paul E. 1981. *Learning to Labor: How Working Class Kids Get Working Class Jobs*. New York: Columbia University Press.

Woolgar, Steve. 1982. "Laboratory Studies: A Comment on the State of the Art," *Social Studies of Science* 12(4): 481-498.

### 三、報刊資料

王鼎鈞。2012/08/07。〈管中閔：台灣人才斷層，三、五年後成三流國家！〉，《NOW NEWS 今日新聞》。[http://www.nownews.com/2012/08/07/301-2842597\\_1.htm](http://www.nownews.com/2012/08/07/301-2842597_1.htm)。（2012/08/07瀏覽）

台灣立報。2012/08/07。〈社論：問題不在人才，而是產業〉，《台灣立報》。<http://tw.news.yahoo.com/社論-問題不在人才-而是產業-113816736.html>。（2012/08/13瀏覽）

自由時報。2012/08/06。〈朱敬一：台灣人才斷層 情況將慘不忍睹〉，《自由時報》。<http://iservice.libertytimes.com.tw/liveNews/news.php?no=676784&type>。（2012/08/06瀏覽）

沈明川。2012/10/11。〈人才因應5大亮點 尹啓銘下午向總統報告〉，《聯合晚報》。

楊雨青。2011/06/15。〈人才荒馬：未來可能適度開放境外學生就業〉，《中央廣播電臺》。<http://n.yam.com/rti/politics/201106/20110615155717.html>轉載（2011/06/15瀏覽）

郭庚儒。2012/08/07。〈人才為何斷層？學者：政府領導無能〉，《台灣醒報》。

郭政君、張博亭。2011/11/01。〈馬英九：台灣要更多創新人才〉，  
《聯合晚報》。http://www.yzu.edu.tw/index.php/component/  
option,com\_alphacontent/section,2/task,view/id,5252/Itemid,236/  
lang,tw/ 轉載（2011/11/01瀏覽）

韓啓賢。2012/08/06。〈人才危機 朱敬一：留學人數減少等因素  
所致〉，《中央廣播電臺》。http://news.rti.org.tw/index\_  
newsContent.aspx?nid=369881。（2012/08/06瀏覽）

鄭紹鈺。2012/08/10。〈科技大佬：爲什麼臺灣沒有人才！我：爲什  
麼我臉書的925位好友不是人！〉。http://woundero.wordpress.  
com/2012/08/10/where-are-my-friends/。（2012/08/10瀏覽）