

奈米科技之人文意涵

► 環保署科技顧問室 梁永芳

未來奈米科技可能與生物科技、資訊科技及認知科學（cognitive science）相互聚焦（convergence），對人類發展將造成史無前例之劇烈影響。一旦聚焦科技（convergent technology）夢想成真，人類發展所涉及之各層面，包括人文社會之衝擊勢必無法避免，如何未雨綢繆，將直接挑戰人類之智慧。

前言

近年來，奈米科技如雨後春筍般地蓬勃發展，舉凡奈米衣服、奈米鞋襪、奈米陶瓷、奈米食品、奈米藥物、奈米保養品、奈米化妝品等林林總總，為現代人生活帶來空前之方便與享受。據估計，全球奈米產品市場於2015年將高達2兆美元，奈米科技所引發之龐大商機，使得許多國家競相投入奈米科技研發之工作。

不過，奈米微粒細小到可能透過皮膚吸收而進入人體，可能經由呼吸道進入肺部，可能穿透血管進入血液中，可能自肺部轉移到腦部，對人體健康可能造成潛在之危害。除了健康隱憂之外，一般對於奈米科技應用之疑慮，涉及其可能之自行複製（self-

replication）、自行裝配（self-assembly）等特異功能。美國知名作家Michael Crichton於2002年出版之小說Prey，乃充分發揮奈米裝置自行複製能力之想像空間，透過小說虛構情節，探討不負責任之奈米科技對人類文明與生態環境可能產生之嚴重負面衝擊。

國際發展現況

美國於2001年投入約5億美元推動「國家奈米科技創新計畫（National Nanotechnology Initiative, NNI）」。布希總統於2003年底簽署「21世紀奈米科技研發法（21st Century Nanotechnology Research and Development Act）」。該法授權聯邦政府於2005-2008四年間編列必



要之預算以持續推動奈米科技研發工作。

美國環保署官員Dr. Barbara Karn於2003年12月11日召開之「環境奈米技術國際研討會」（由我國環保署與工研院環安中心共同舉辦）中發表「Environmental Aspects of Nanotechnology」，經分析、

整合美國近年來相關資訊，奈米科技研發議題可歸納為環境安全、健康意涵、環境量測、永續材料與資源、永續製程、社會意涵等6類領域，每一領域各含5-8項議題，共計36項議題詳如表一。

美國近年來均編列預算進行奈米科技對

表一 奈米科技研發領域與議題內容

領域	議題
一、環境安全 (Environmental Safety)	1. 環境改善及清潔生產技術發展，包括污染預防、工業減廢、污染物清除處理、污染場址整治、環境友善產品及設備。 2. 污染物之光觸媒降解。 3. 環境污染物感測器 (sensors) 之開發與應用。 4. 自然環境中奈米微粒之研究，瞭解大氣中奈米微粒如何產生，發展大氣中奈米微粒之採樣與分析方法。 5. 預測奈米技術微粒及奈米材料對環境之潛在衝擊。 6. 奈米微粒及奈米材料之宿命、傳輸及技術。 7. 建置奈米材料清冊 (inventory)。 8. 整合及最佳化環境永續性與奈米技術
二、健康意涵 (Health Implications)	9. 奈米微粒毒性研究，強調毒性評估方法及中毒機制，藉以預測奈米材料之生物性。 10. 奈米材料暴露評估 (包括：醫藥、職場、環境及意外釋放)，以瞭解對人體健康可能造成之風險，提供奈米微管制標準及奈米材料管制規範研訂之參考。 11. 探討奈米材料與生物細胞相互作用 (interaction) 之反應，評估奈米材料或標的藥物之生物宿命、傳輸、持續及轉換。 12. 開發高敏感度奈米偵測器以檢查、診斷疾病。 13. 研擬奈米材料操作、使用之安全衛生環保作業準則。 14. 建置奈米技術相關環境安全與健康資料庫。
三、環境量測 (Environmental Measurement)	15. 開發生物感測器技術，強調可供現址 (in-situ) 及連續性生態系統監測。 16. 發展可同時多種潛在待測物之陣列式 (array) 檢測技術。 17. 探討奈米微粒之化學組成、轉換過程、量測技術。 18. 一般奈米尺寸組合裝配方法。 19. 開發奈米技術所需之工具與設備，改善質譜儀器偵測技術。
四、永續材料與資源 (Sustainable Materials and Resources)	20. 藉由光能 (photovoltaics) 及光生物燃料 (photo-biofuel) 電池發展永續能源。 21. 藉由去鹽化及純化技術，確保飲用淡水資源供應。 22. 綠色車輛及智慧型運輸系統發。 23. 藉由原子結構設計，開發去材料化技術，減少原料消耗，提昇能源使用效率。 24. 藉由減重技術、鑲嵌系統以節約能源，改善轉換技術以提昇能源效率。 25. 提昇農藥及肥料之效力並降低其對環境之危害，以推廣永續農業。
五、永續製程 (Sustainable Processes)	26. 應用奈米技術於化學工業減廢，發展性能更佳觸媒，更有效分離薄膜。 27. 以工業生態觀點檢視鉑系金屬物流變化，探討觸媒轉化器使用非鉑奈米觸媒之可行性。 28. 透過替代品或無溶劑製程，最佳化環境友善材料之使用。 29. 藉由感測器有效控制製造程序，減少瑕疵，確保產品品質。 30. 利用多功能、高穩定性觸媒及感測器，控制選擇性製程並提昇效率。 31. 整合奈米技術與生物製程，例如利用酵素等生物分子增加選擇性。
六、社會意涵 (Societal implications)	32. 奈米技術之社會與倫理尺度 33. 奈米技術發展之倫理與信仰 34. 奈米研究之哲學與社會尺度 35. 利用經濟計量 (econometric) 方法評估奈米科技對公司生產力、社會公平、國家經濟成長、生活水準及競爭力之影響。 36. 奈米科技對生命品質之意涵 (包括倫理、歷史、管轄、風險、不確定性等)。

社會影響之探討，研究範疇涵蓋倫理、宗教、哲學、教育、歷史、經濟等多面向社會與人文意涵，研究重點強調各層面議題間之橫向整合。在金額投入方面，2000年編列1,500萬美元，2001年增加為2,800萬美元，顯示美國對此類議題領域之重視。2003年納入教育層面，社會人文課程教學從大學、研究所向下延伸至中、小學教育階段。英國經濟與社會研究委員會（Economic & Social Research Council）於2003年發表「奈米科技之社會與經濟挑戰」，就對於社會可能造成之正負面影響、如何克服技術發展之障礙、如何獲得一般民眾之接受、對於人類與環境所產生之不確定性等議題提供建言。

英國皇家社會與工程學院（The Society & The Royal Academy of Engineering）於2004年7月出版「奈米科技之機會與不確定性」，其探討主題包括：奈米製造與奈米科技之應用；對健康、環境及安全可能之負面衝擊；社會與倫理議題；利害關係人與民眾之對話；法規議題等。

在社會與倫理衝擊方面，該份報告提出奈米科技之機會與威脅常源自於同樣特性之觀點。例如藉由奈米科技與資訊科技之聚焦，可聯結遙測裝置與電腦能力，用於增進個人安全與醫療照顧。但相同之聚焦科技亦可作為非法監視之犯罪工具。因此，當遙測與監視技術進一步發展之際，有必要檢討現行法規制度是否足以保障個人隱私與社會安全。

國內現況

近幾年來，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，如八十九年十二月行政院科技顧問會議與九十

一年一月全國科技會議結論皆指出奈米科技為我國未來產業發展重點領域的方向。故在九十一年由國科會、行政院科技顧問組、中研院、教育部、工研院、經濟部、原子能委員會及環保署等單位二十五位代表，組成【奈米國家型科技計畫工作小組】，於九十一年六月行政院國家科學委員會第157次委員會中通過奈米國家型科技計畫，九月成立【奈米國家型科技計畫】辦公室，並於九十二年一月開始推動，冀盼藉由計畫辦公室整合產學研力量，建立我國發展學術和相關應用產業所需要之奈米平台技術，同時加速培育奈米科技所需人才，奠定我國奈米科技厚實之基礎；並且利用奈米科技帶來之創新和我國在高科技製造業累積之優勢，以及在學/研機構長期建立之研發能量，著重創新前瞻之研究，開創我國以技術創新、智權創造為核心之高附加價值知識型產業。並因為奈米科技之注入，帶來新的機會，使我們得以在奈米科技產業全面發展之時，將奈米科技的特性，轉成實際應用進而產生具體經濟成效。

為積極投入奈米科技研發工作，奈米國家型科技計畫於92年至97年之六年間，以每三年為一期，總共編列212億元經費，平均每年投入35億元。截至目前為止，共有經濟部技術處、經濟部工業局、經濟部能源局、經濟部標檢局、國科會、教育部、原能會、環保署、衛生署等政府部門加入奈米國家型科技計畫研究行列。各單位經費編列情形詳如表二。

2002年8月，奈米國家型科技計畫所推動之「奈米科技人才培育」分項計畫，希望能及時提供我國發展奈米國家科技計畫所需之各類跨領域人才，並從大學往下紮根至中、小學，以期培育下世代奈米種子尖兵。



表一 奈米國家型科技計畫經費編列情形（經費單位千元）

	92年	93年	94年	95年	96年	97年	總計
經濟部技術處	1,855,456	2,171,883	2,248,858	2,635,000	2,830,000	3,028,000	14,769,197
經濟部工業局	19,400	25,173	40,000	100,000	120,000	144,000	448,573
經濟部能源局	26,523	40,000	40,000	40,000	40,000	40,000	226,523
經濟部 標準檢驗局	30,794	32,468	43,795	53,938	62,445	72,082	295,522
國科會	641,882	644,461	718,229	977,535	727,536	437,050	4,146,693
教育部	21,895	50,000	72,000	80,000	80,000	80,000	383,895
原子能委員會	19,308	31,386	72,000	90,000	99,000	99,000	410,694
環保署	5,660	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	45,660
衛生署	0	5,000	63,000	90,000	100,800	120,960	419,760
計畫辦公室	15,376	15,478	18,000	18,000	18,000	18,000	102,854
總計	2,636,294	3,063,849	3,3123,882	4,092,473	4,085,781	4,047,092	21,249,371

註：92-94年為第一期計畫，95-97年為第二期計畫，第二期計畫經費均為暫估數

在計畫執行過程中，藉由編撰一系列奈米相關教材及舉辦教師研習營，透過國小、國中及高中教師，將奈米科技轉化成淺顯易懂之知識，以激發學生之學習興趣，系統化將奈米科技人才培育向下延伸至K-12教育階段。

【奈米科技交響曲】此套書即為計畫產出，由參與計畫之知名高中教師執筆，範圍涵括物理、化學、生物三大領域，深入淺出介紹奈米材料、奈米觸媒、奈米生物科技等新知，更利用實際操作及與學校師生之互動，發展出簡易奈米科技實驗，期能激起社會大眾及學生探討奈米科技奧秘之興趣。

結語

儘管奈米科技之發展可謂一日千里，但目前仍難以預測未來走向以及何種時間尺度

將會有特殊狀況發生，至於何種情境會引起社會或人文之關切更是莫測高深。為了消弭民眾疑慮，下列二個基本問題“誰負責控管奈米科技之使用？”及“誰因奈米科技之使用而獲利？”必須詳加探討。

有鑑於奈米科技發展可能導致社會與人文層面之衝擊，該等議題值得重視。由於社會與人文意涵涉及甚廣，跨領域之整合性研究應予優先考量。我國奈米國家型科技計畫正在如火如荼推動之際，如能投入適當經費探討其對社會與人文層面之可能影響，並提出未雨綢繆之因應策略，將可兼顧科技發展與人文關懷之雙贏目標，同時可具體實現「科技來自人性」之理想呼喚。GO