

# 25

# 國研科技

January 2010 / NARL Quarterly

National Applied Research Laboratories



■ 專題企劃

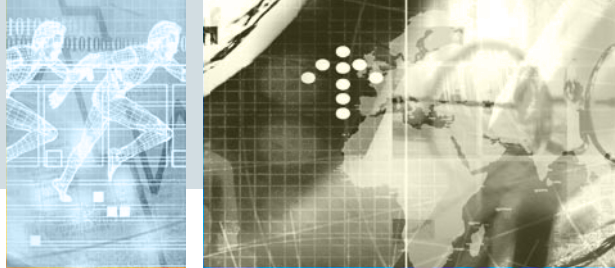
## 莫拉克之後 災害防救科技面臨的挑戰



- 淹水災害預警技術
- 坡地災害整合警戒研判自動化技術
- 莫拉克颱風勘災機制之規劃
- 台灣氣候變遷趨勢
- 綜合流域治理推動芻議
- 氣候變遷社會脆弱性的發展及其可能應用



## 編輯室報告



- 2009年8月的「莫拉克風災」帶來狂風豪雨衝擊中南部地區，超過3,000毫米的暴雨不僅重創了土地，也帶走超過700條無辜生命。莫拉克風災，在台灣災害史上留下了悲慘的一頁。因此，本刊「專題企劃」單元，特別邀請本院國家災害防救科技中心以「莫拉克之後 – 災害防治科技面臨的挑戰」為題，介紹目前科技應用在颱風災害防救的工作現況，以期與本刊讀者分享災害防救經驗，並探討其面臨的課題與挑戰。
- 本期「人物專訪」單元介紹本院奈米元件實驗室楊富量主任，該中心研發團隊在他的率領下完成全球第一顆「十六奈米製程技術研發的靜態隨機存取記憶體（SRAM）」，達到世界頂尖水準。本篇專訪分享他進入本院時的特殊趣事，以及他的人生觀 – 「一個人有能力又有機會的時候，就不該逃避服務的責任」。
- 本期「美藝鑑賞」單元展出為攝影作品 – 「兒女成群」，攝影者為國家太空中心張斯倩小姐。作品描述台南鄉下養鴨人家，千百隻黃澄澄小鴨流滿一地，與主人扔來的三隻大鴨的互動。小鴨隊伍散開又聚合，形成圈圈將大鴨團團圍住，煞是可愛。
- 感謝同仁踴躍投稿，本刊才得以呈現多元、豐富的內容。再次謝謝您的支持與鼓勵，如有任何建議，尚請不吝來函指正。



## 院長的話

National Applied  
Research Laboratories



歲序更新，揮別收穫滿盈的2009，國研院正式邁入第七個年頭。

去年，在全院同仁共同努力下，本院之研發已逐漸展露成效，如16奈米半導體製程，福衛二號衛星勘災、救災與觀測，福衛三號地球氣候觀測，儀器創新發明，生物感測系統平台及全國校舍耐震補強等共21項研發成果，深受國內外重視，共有109篇報導。在服務及人才培育綜效上亦有豐碩成果，例如協助學術界晶片設計2,054件，培養產業所需半導體科技人才6,219人次，提供高品質無特定病原實驗鼠135,599隻，完成高中職及國中小老舊校舍補強設計與技術審查1,413場，亦透過全國學術電子資訊資源共享聯盟（CONCERT），提供全國文獻傳遞服務（NDDS），成功嘉惠400餘個圖書單位。

策勵未來，本院將持續制度興革，並同步落實績效管理與管考作業，使評鑑內化為自我要求的驅動力。我們正召開各中心之諮詢委員會會議，以確認各中心之核心技術、標竿對象、績效指標及發展策略等，期能配合國家科技發展，為台灣社會創造最大價值。另一方面，我們也將妥善規畫預算作業流程、提升人力運作效率，同時輔以全院e化資訊共用系統，使追求卓越系統化。

邁向全新的2010年，本院將積極參與「新竹生醫園區」以及「中興新村高等研究園區」之發展，以協助生技及綠能產業之提升。本人深切期盼在同仁精實淬鍊之共同努力下，得以突破制度困局，發揮財團法人的彈性與效率，為國研院再展新頁。

院長



## 封面故事 NO.25

2008年辛樂克颱風重創中部地區，其中廬山地區綺麗飯店倒塌、后豐大橋斷橋畫面令人震撼，當大家還籠罩在這震撼畫面時，2009年莫拉克颱風，再度降下破紀錄雨量，飯店倒塌、斷橋的場景移到知本的金帥飯店與雙園大橋，尤有甚者，小林村遭土石掩埋。面對未來極端的天氣，我們必須謹慎思考下一場災害的因應對策。

## 院長的話

## 專利上架

- 磁矩校準方法 – 在激磁環境下的衛星星上殘餘磁偶補償方法 ..... 4  
 — 張浩基、鄭竣吉、葉志輝

## 專題企劃

### 莫拉克之後 – 災害防治科技面臨的挑戰

- 災害預警現況與未來因應策略 ..... 12  
 — 國家災害防治中心
- 淹水災害預警技術 ..... 15  
 — 傅金城、張駿暉、葉森海、黃成甲、謝龍生、游保杉、葉克家、許銘熙
- 坡地災害整合警戒研判自動化技術 ..... 28  
 — 林聖琪、柯明淳、陳韻如、陳聯光、周憲德
- 莫拉克颱風勘災機制之規劃 ..... 34  
 — 陳亮全、謝龍生、李欣輯、黃俊宏
- 台灣氣候變遷趨勢 ..... 40  
 — 吳宜昭、陳永明、朱容練
- 綜合流域治理推動芻議 ..... 47  
 — 江申、謝龍生
- 氣候變遷社會脆弱性的發展及其可能應用 ..... 53  
 — 李香潔、盧鏡臣

## 尖端科技

- 新型奈米碳管三維結構表面加工技術 ..... 62  
 — 蘇旺甲、方維倫
- 感測器IP與CMOS微機電系統平台 ..... 74  
 — 吳伯昌

## 科技交流

- 自主發展微衛星電力控制與分配單元之電力分配模組設計 ..... 88  
 — 黃哲政、葉嘉靖
- 二十一世紀重要的檢測科技-即時聚合酶連鎖反應偵測定量系統 ..... 97  
 — 李思元
- 基礎研究績效評估指標之結構性分析（上） ..... 103  
 — 洪長春



高速計算在設計多巴胺D2受體拮抗劑上之應用 — 王焰增、謝昌煥	107
------------------------------------	-----

## 人物專訪

「要做，就要做到最好！」 專訪國家奈米元件實驗室楊富量主任 — 國家實驗研究院	114
---	-----

## 科技小百科

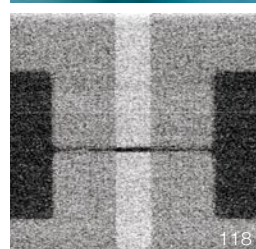
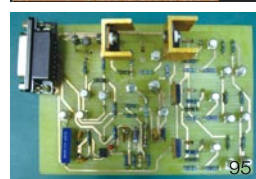
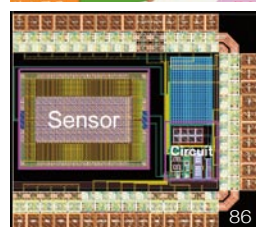
什麼是生物感測器？ — 蔡娟美	116
--------------------	-----

## 活動報導

創新發明 奪金秀實力! 2009台北國際發明暨技術交易展 國研院成果亮眼 — 國家實驗研究院	120
國研院儀科中心於紐倫堡國際發明展再創佳績 — 魏子軒	125

## 各實驗室動態

國家實驗研究院	126
國家奈米元件實驗室	126
國家實驗動物中心	127
國家地震工程研究中心	127
國家太空中心	128
國家高速網路與計算中心	128
國家晶片系統設計中心	129
儀器科技研究中心	129
科技政策研究與資訊中心	130
國家災害防救科技中心	130
台灣海洋科技研究中心	131
颱風洪水研究中心籌備處	131





# 專利上架 Patent Showcase

## 磁矩校準方法 - 在激磁環境下的衛星星上殘餘磁偶補償方法

文/ 圖 張浩基、鄭竣吉、葉志輝 國家太空中心

國研院改制財團法人後，研發成果之推廣亦益形重要，本專欄將定期報導本院最新研發成果資訊與內容，以期建構本院與國內各界技術媒合平台，落實本院研發成果之應用及商品化。  
對本專欄之專刊技術有興趣者，請連絡國研院業務推廣室-蔡智華小姐 [chtsai@narl.org.tw](mailto:chtsai@narl.org.tw)。

適當的殘餘磁偶（Residual Magnetic Dipole）的管控能減少對姿態控制系統性能的衝擊、特別是姿態控制能力較薄弱的微衛星。在各種衛星星上元件所累積的殘餘磁矩中，永久性的殘餘磁矩（Permanent Residual Dipole）或稱硬磁矩（Hard Dipole）的控制通常可以在衛星整測最後階段透過黏貼補償磁鐵的方式來進行管控，但是在補償的過程中卻會額外激發星上其他元件的磁矩、使補償過程不可預期。特別是在空間與維護便利性有限的微衛星中，補償磁矩只能配置在某個特定的位置因而激發其區域附近衛星元件的磁矩。以福衛三號的硬磁矩補償為例，降低衛星硬磁矩的補償磁鐵僅能被放在衛星電池和磁力棒附近，而這兩個衛星元件正是引起感應磁矩（Induced Magnetic Dipole）或軟磁矩（Soft Dipole）的來源。我們針對此問題提出一套方法，並實際使用在衛星磁矩的補償中，成功的完成五顆福衛三號星系衛星磁矩的補償。

### 簡介

衛星元件一般來說多少帶有殘餘的磁矩，而殘餘的磁矩特性一般可以被分類成永久磁矩（硬磁矩），感應磁矩（軟磁矩）以及電流回路所造成的磁矩。這些星上殘餘磁矩的向量和與地球磁場相互作用後將變成擾動力矩、因而影響姿態控制性能。為了削減殘餘磁矩所造成的擾動力矩，過去NASA在其文獻中曾提出了一些方法來降低衛星的殘餘磁矩<sup>[1,2]</sup>。這些方法基本上是希望藉由衛星元件的選擇、配置、配線以及隔離的方式來消除元件的殘餘磁矩，但是這些方式僅能在設計階段針對元件選用及配置部份進行預防，而卻無法應付衛星組裝完成後才進行殘餘磁矩消除的現實情況、尤其是須要調整到符合規範的嚴苛需求。

因應整合與測試完成後才能進行補償的情況、對於星上的電流回路和感應磁矩（軟磁矩）這兩種干擾來說，我們只能在確認其擾動的範圍後透

過姿控軟體進行前置補償或直接壓制，而唯一可以被直接補償殘餘磁矩就是衛星的永久磁矩（硬磁矩）。一般常見的方式就是使用額外黏貼的補償磁鐵來創造反相抵消之磁矩、使星上殘餘磁矩總和符合規範。福衛三號也是應用同樣的方式進行殘餘磁矩管控，但這種簡易的想法在真實校正過程卻會因為所貼入磁鐵的磁場引發感應磁矩、使補償過程不確定性提高，不僅耗費人力物力、更嚴重影響衛星的整測時程。事實上，本中心第一次針對福衛三號Flight Model 2（FM 2）執行殘餘磁矩補償測試時就遭遇這個問題，整個測試經過3次補償仍無法滿足 $0.12\text{Am}^2$ 的規範，一直到運用新的挑選方式進行第四次補償時才成功降至 $0.077\text{Am}^2$ ，符合規範。整個過程以及理論推導將在後續文章中完整討論。

## 微衛星的磁力校正

因為微衛星的星上電力有限，一般而言無法在各軸均使用反應輪進行姿態控制而須以磁力棒或線圈為致動器，使其姿態控制力矩相對有限。由於殘餘磁矩會造成干擾力矩，故磁矩補償對於微衛星姿控性能來說變得相對重要。基本上，補償的處理方式完全倚賴整測後期硬磁矩的量測與計算、補償磁鐵的安裝以及重新量測與計算的過程。以下是硬磁矩補償的細節：

### 殘餘硬磁的計算

執行硬磁矩補償的第一步就是量測衛星的等效硬磁矩的大小。而衛星的磁矩並無法直接獲得，我們僅能在確認可能的殘磁矩來源的位置與方向後，透過量測數據的後分析來獲得衛星的等效硬磁矩。此部分的數值分析方法、理論均可以在文獻中取得<sup>[3,4]</sup>。

## 測試設備

前面提到的測量數據，實際上，可能被環境磁場所引起的感應磁矩所影響。感應磁矩的主要的來源是鐵磁性材料，常見於磁力棒和 $\text{NiH}_2$ 電池等元件。為了在量測過程中排除其他環境磁場影響量測結果，本中心建立一個4米立方的Helmholtz線圈（圖1）磁力校正艙、可包含整個衛星、產生均勻度良好的磁場或零磁場環境，再透過一台三軸磁力計量測衛星硬磁矩所影響的磁場值，進而計算衛星的硬磁矩。

## 測試環境要求

因為衛星已經完成組裝及測試，磁矩補償須全程在本中心潔淨室中進行。因此從衛星昇舉、安裝到木製實驗台、展開天線到磁場測量上總共花費超過一個小時（見圖2），過程中我們透過另一台放在外部的三軸磁力計監控周遭的磁場變化，這些數據在計算的過程也需要被考慮。雖然環境磁場在計算的過程中會被消除，但為了得到較精準的測試結果，環境磁場變動大於 $10\text{nT}$ 時，測試將宣佈無效並中止。由於本中心一天中磁場相對安靜的時間大多在午夜1~3點間，測試若中止後只能等待隔天午夜才有機會再重行測試。而磁力校正艙中的木製實驗台、所有人員隨身物件包含眼鏡等均不能有任何金屬物質來保證艙中的磁場潔淨度。

## 測試過程

原測試流程如圖3所示，迭代補償停止的條件是計算衛星的殘餘矩均方根值小於衛星規範需求（ $0.12\text{Am}^2$ ），而重複補償的原因主要在於外加的補償磁鐵所產生的磁場會感應周遭具軟磁矩的材料而產生額外的磁矩使補償結果無法預期。





圖1 磁矩補償含磁力計校正設備。

一般來說，我們會透過改變補償磁矩的大小以及變換補償磁矩的位置來降低其效應，但是真實測試過程中內部空間的大小限制了補償磁鐵裝置位置的選擇而無法遠離鐵磁性的元件，而補償磁鐵在狹小空間中距離鐵磁性的元件較近、所感應之磁矩也較強烈而使問題更加嚴重。另外吾人對衛星內部感應磁矩模型一無所悉也會導致補償不易達成目標，而測試結果不如預期則會大量損耗人力物力以及衝擊整個福衛星系整測時程。

### 補償磁鐵分析方法 - 專利部分

圖3是一般常見的磁矩補償過程。根據上述原因，圖3的測試流程只不過是反覆錯誤嘗試的試驗，無法預言其測試的費用、時程和人力。尤其是進行由六顆衛星所組成的福衛三號星系的磁矩補償，其整測時程可能會受到嚴重的影響。事

實上，在福衛三號第二顆衛星（FM2）的經驗中，我們經歷3次迭代嘗試（4個夜間測試與4個白天的資料分析支援），硬磁特性的殘磁矩仍無法收斂到符合測試需求的 $0.12\text{Am}^2$ 。因此解決這些不確定問題的需要是存在和清楚的。幸好，NSPO磁矩校正校準隊提出一種分析的方法確定補償磁鐵的大小<sup>[5]</sup>。理論上，這樣的一種方法可以保證殘餘的偶極在4次迭代之後將滿足要求。而實際上，因為福衛三號衛星是扁平設計、在Z軸引起的殘磁矩幾乎很小，故可減少1次迭代的次數。

### 理論背景

假設衛星元件感應磁矩的產生是在線性的變動範圍內並忽略一些非線性磁滯現象、或將磁滯現象所產生的差異視為模型簡化所產生的誤差，其



圖2 磁矩補償含磁力計校正測試過程（由左至右，由上至下）。

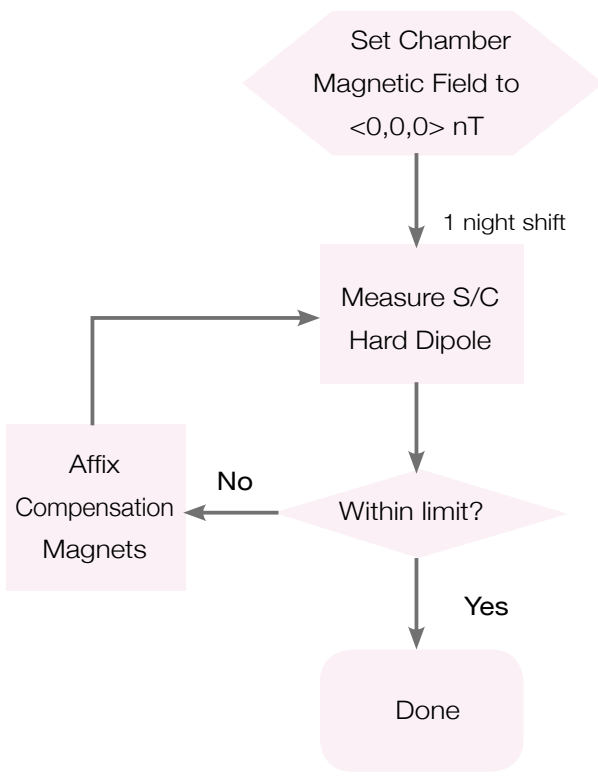


圖3 一個無法預測迭代次數的硬磁矩補償流程。

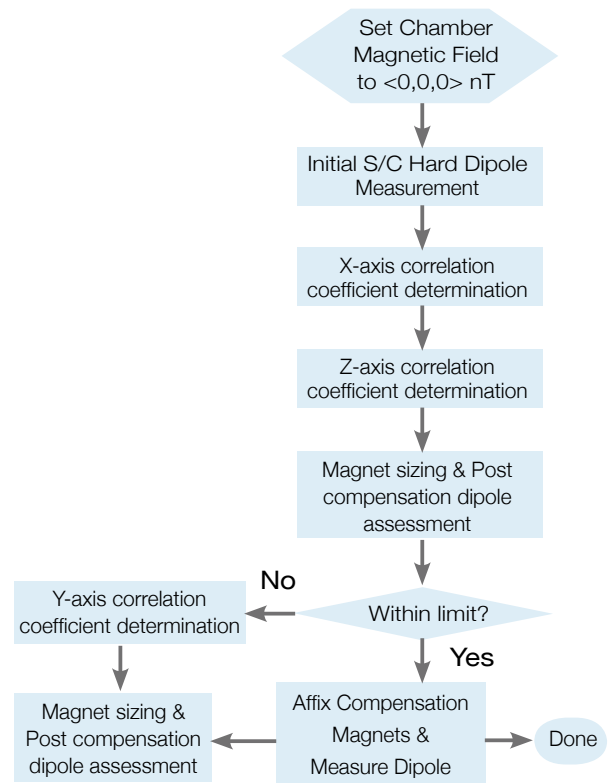


圖4 專利-磁矩補償流程。

最後的合成磁矩  $M_{x/y/z}^{\text{Resultant}}$ 、也就是感應磁矩與補償磁矩向量和將可被表示成

$$\begin{bmatrix} M_x^{\text{Resultant}} \\ M_y^{\text{Resultant}} \\ M_z^{\text{Resultant}} \end{bmatrix} = A_{cor} \begin{bmatrix} M_x^{\text{Comp}} \\ M_y^{\text{Comp}} \\ M_z^{\text{Comp}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中

$$A_{cor} = \begin{bmatrix} a_{xx} & a_{xy} & a_{xz} \\ a_{yx} & a_{yy} & a_{yz} \\ a_{zx} & a_{zy} & a_{zz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

而(2)式中 $3 \times 3$ 的矩陣表示了合成磁矩與感應磁矩與補償磁矩和的關係，根據這個關係式，我們如果得到了  $A_{cor}$ ，則所需之補償磁矩  $M_{x/y/z}^{\text{Comp}}$  則可被算出。值得注意的是矩陣  $A_{cor}$  背後所隱含的物理意義其實就是整個專利的重點：在學理上，補償磁矩所產生的磁場是與磁矩距離及補償磁矩向量大小的函式，而所產生的磁場與鐵磁性物質感應後所衍生的磁場就可視為是鐵磁性磁矩所產生的磁場。由於過程中所黏貼的補償磁鐵位置及方向均不變，因此鐵磁性物質與補償磁鐵距離即為定值，也就是鐵磁性物質所感受到補償磁鐵的磁場僅與補償磁鐵矩向量大小呈現正向線性相關。另外假設鐵磁性物質因磁場所激發之磁矩在線性範圍內，則所激發之磁矩與所在磁場之間亦呈現線性相關。由以上解析，吾人可得到激發磁矩與置入之補償磁矩呈現正向線性相關的結論。當然，(1)式中左手邊的合成磁矩包含了

補償磁矩本身的向量大小使(2)式中 $3 \times 3$ 的矩陣可同時含括鐵磁性物質被激發之磁矩特性及補償磁矩本身。嚴格來說，(2)式是空間位置相關的，應被看成是描述置入之補償磁矩激發鐵磁性物質磁矩間介質特性之張量，但因為距離為定值、(2)式可簡化為 $3 \times 3$ 的矩陣。另外距離為定值的假設正符合補償磁矩在微衛星有限空間中補償磁鐵裝置位置選擇有限的現實，使此種作法極為適合微衛星磁矩補償。

### 係數的決定與定義

從式(1)關係式中我們可以發現，其關係係數可以在依序安裝任單軸向磁鐵時可同時發現。舉例來說與X軸相關的係數  $a_{xx}$ ， $a_{yx}$ 與 $a_{zx}$ 為

$$a_{xx} = \frac{M_x^{\text{Resultant}}}{M_x^{\text{Comp}}}, \quad a_{yx} = \frac{M_y^{\text{Resultant}}}{M_x^{\text{Comp}}} \quad (3)$$

$$\text{and } a_{zx} = \frac{M_z^{\text{Resultant}}}{M_x^{\text{Comp}}},$$

當我們先暫時安裝X軸方向任意大小的補償磁鐵後，從  $M_x^{\text{Comp}}$  及量測到的三軸合成磁矩  $M_{x/y/z}^{\text{Resultant}}$  我們可以由(3)的關係式解出相關的係數  $a_{xx}$ ， $a_{yx}$ 與 $a_{zx}$ 。需注意的是三軸合成磁矩  $M_{x/y/z}^{\text{Resultant}}$  需先扣除已經置入的補償磁矩。以此類推，Y軸和Z軸的係數能分別透過安裝Y軸方向與Z軸方向的補償磁矩後的量測結果所得出，但須注意一次只置入一軸的補償磁矩才可解出係數。



## 補償磁鐵大小的計算

當關係矩陣  $A_{cor}$  被計算出後，補償磁矩的大小  $M_{x/y/z}^{Comp}$  將能被

$$\begin{bmatrix} M_x^{Comp} \\ M_y^{Comp} \\ M_z^{Comp} \end{bmatrix} = A_{cor}^{-1} \begin{bmatrix} M_x^{Residual} \\ M_y^{Residual} \\ M_z^{Residual} \end{bmatrix} \quad (4)$$

所決定，其中  $M_{x/y/z}^{Residual}$  是衛星殘餘磁矩的補償目標。顯而易見的是，這個方法解決了傳統補償方式的迭代次數無法預測的問題，將先前的流程轉為有步驟與方法的補償方式，這個方法在補償磁矩的擺放位置選擇有限時更能顯示出他的優點。此方法完整流程請參考圖4。

## 殘餘磁矩補償實例

福衛三號衛星直徑約為1.2米，重量約60公斤，外部以隔熱材料MLI包覆著。因為空間的限制，其附著的補償磁矩相當接近含鐵磁性材料的衛星元件、例如磁力棒和NiH<sub>2</sub>電池，所以引發的磁矩是相當顯著的。而這些引發的磁矩也確實妨礙了原有簡易的補償流程的執行（圖3）、發生歷經數次迭代仍無法收斂至可接受範圍的情況。新方法提出後在首先藉由FM2先前三次失敗的迭代測試所產生的量測資料預測補償磁矩的大小。式（1-4）的數學模型在FM2驗證成功後開始在FM4上以新方法及流程進行完整測試。

在FM4正式測試中X，Y和Z軸原有殘餘磁矩是（0.1937Am<sup>2</sup>，0.0969Am<sup>2</sup>，0.2517Am<sup>2</sup>），

殘餘磁矩的均方根值是0.3321Am<sup>2</sup>。從殘餘磁矩最大的Z軸開始進行測試，將0.1304Am<sup>2</sup>的補償磁矩配置在-Z方向以藉此改變衛星的殘餘磁矩。根據測試結果找到關係式（3）中的係數，其中  $a_{xz}=-0.6831$ 、 $a_{yz}=-0.08147$ 、 $a_{zz}=1.231074$ 。下一步我們沿著X軸安裝0.2630Am<sup>2</sup>的補償磁矩後，也根據測試結果順利找到係數  $a_{xx}=2.0241$ 、 $a_{yx}=0.1573$ 、 $a_{zx}=-0.26057$ 。根據係數，吾人可自表1選擇合適的磁鐵組成最接近需求之磁矩來補償。

## 補償磁鐵計算實例

我們從關係式中發現  $a_{yx}=0.1573$  以及  $a_{yz}=-0.08147$  此兩個參數相對的小，這暗示著在X軸和Z軸的補償磁矩與Y軸之相依性並不高。另一方面，由於Y軸的殘餘磁矩較小也引發我們想要忽略補償Y軸殘餘磁矩的想法。假設Y軸的殘餘磁矩為零（或相對小到可以忽略），則關係式所需要的3x3矩陣可減少到2x2矩陣

$$\begin{bmatrix} M_x^{Comp} \\ M_z^{Comp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.0241 & -0.6831 \\ -0.26057 & 1.231074 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} M_x^{Residual} = -0.19372Am^2 \\ M_z^{Residual} = -0.25172Am^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中補償磁矩值可被找到（ $M_x^{Comp} = -0.1774Am^2$ ， $M_z^{Comp} = -0.242Am^2$ ）。由於補償磁矩的大小只能以現有的磁鐵組成，並非可以依據測試結果進行調配，因此我們使用的補償磁矩為（ $M_x^{Comp} = -0.1772Am^2/26DRE1616$ ， $M_z^{Comp} = -0.1955Am^2/26DRE1608$  plus 26DRE1613）。表中所列的補償磁矩大小為設計值，與實際結果有些微的差異，但是我們必須在安裝前進行量測加以確認。

表1 補償磁鐵規格及尺寸大小

ITEM NUMBER	GRADE	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	DIPOLE MOMENT (AM <sup>2</sup> )
18DRE0606	18	0.1	0.1	0.0076
18DRE0707	18	0.118	0.118	0.0125
18DRE1606	18	0.25	0.1	0.0477
18DRE1608	18	0.25	0.125	0.0596
26DRE1608	26	0.25	0.125	0.0752
18DRE1613	18	0.25	0.2	0.0954
26DRE1613	26	0.25	0.2	0.1203
26DRE1616	26	0.25	0.25	0.1504
26BDRE2424	26	0.375	0.375	0.5077
18DRE3208	18	0.5	0.125	0.2384
26DRE3208	26	0.5	0.125	0.3009
18DRE3216	18	0.5	0.25	0.4769
26DRE3216	26	0.5	0.25	0.6017

根據 (1) 式找到的 可進一步簡化為

$$\begin{bmatrix} -0.2251 \text{Am}^2 \\ -0.0119 \text{Am}^2 \\ -0.1945 \text{Am}^2 \end{bmatrix}^{\text{Resultant}} \quad (6)$$

$$= \begin{bmatrix} 2.0241 & -0.6831 \\ 0.1573 & -0.0815 \\ -0.2606 & 1.2311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.1772 \text{Am}^2 \\ -0.1955 \text{Am}^2 \end{bmatrix}^{\text{Comp}}$$

我們根據這個方程式可以找適合的補償磁矩，也可以根據這個結果，預測補償後的衛星磁矩值。

$$\begin{bmatrix} -0.0314 \text{Am}^2 \\ 0.0849 \text{Am}^2 \\ 0.0572 \text{Am}^2 \end{bmatrix}^{\text{Predicted}} \quad (7)$$

$$= \begin{bmatrix} -0.2251 \text{Am}^2 \\ -0.0119 \text{Am}^2 \\ -0.1945 \text{Am}^2 \end{bmatrix}^{\text{Resultant}} + \begin{bmatrix} 0.1937 \text{Am}^2 \\ 0.0969 \text{Am}^2 \\ 0.2517 \text{Am}^2 \end{bmatrix}^{\text{Residual}}$$

因為殘餘磁矩預估的均方根值為0.1071 Am<sup>2</sup>，低於測試需求，故測試團隊決定使用這些補償磁矩並進行測試。最後衛星所量測到的衛星殘餘磁矩為(0.0088Am<sup>2</sup>, 0.045Am<sup>2</sup>, 0.0474Am<sup>2</sup>) 均方根植為0.066Am<sup>2</sup>，我們也因此可以不需要再進行Y軸的補償。估計與實地測試結果有些許誤差，來源可能包括測試設備及非線性之磁滯現象。

## 結論

在表2補償前後比較中可以看到我們所提出新的磁矩補償方法與流程是有效且適用於微衛星的磁矩補償中，尤其是面對補償磁矩在空間選擇有限的現實中。這也提供測試團隊在選擇有限的補償磁鐵(如表1)時，我們可以得到的選用組合。同時，我們也可以根據測試結果來預估我們是否可以忽略某個軸向的補償。就測試效率方

表2 福衛三號衛星殘餘硬磁矩補償結果

S/C	FM2		FM3		FM4		FM5		FM6	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
X	-0.1156	0.0585	0.1298	0.0505	0.1937	0.0088	0.0320	0.0358	-0.1676	-0.0207
Y	-0.4893	-0.0333	-0.4330	0.0650	0.0969	0.0450	-0.6868	0.0926	-0.7648	-0.0233
Z	0.0296	-0.0383	0.0704	-0.0125	0.2517	0.0470	0.0983	0.0206	0.0410	-0.0268
RSS	0.536	0.0775	0.4575	0.0833	0.3321	0.0660	0.6946	0.1014	0.7840	0.0411

面，我們從傳統未知迭代次數的測試流程（圖3）中轉變為一系列可預期的評估步驟（圖4），除節省測試次數與人力，也減少測試不確定性對於衛星計畫執行的風險。

**參考資料**

1. Assessment and Control of Spacecraft Magnetic Fields, NASA SPACE VEHICLE DESIGN CRITERIA (Environment), NASA SP-8037, NASA (Washington, DC, United States), Sept. 1970, pp. 30, (71N13078).
2. Spacecraft magnetic torques, NASA SPACE VEHICLE DESIGN CRITERIA (Environment), NASA SP-8018, NASA (Washington, DC, United States), NASA Electronics Research Center (Cambridge, MA, United States), March 1969, pp. 55, (69N30339).
3. N. Roy Thomas, Spacecraft Magnetic Field Modeling, IEEE Transactions on Magnetism; Volume Mag.-13, No.1, Jan 1977 Page (s) : 914 – 919.
4. K. Mehlem, Multiple magnetic dipole modeling and field prediction of satellites, Magnetics, IEEE Transactions on Volume 14, Issue 5, Sep 1978 Page (s) : 1064 – 1071.
5. H.-C. Chang, C.-C. Cheng, C.-H. Yeh, J.-R. Tsai, H.-P. Pan, C. Hisao, Residual magnetic dipole compensation under the presence of induced magnetism, 24th Aerospace Testing Seminar, Manhattan Beach Marriott in Manhattan Beach, California, 2008.





## 災害預警現況與未來因應策略

文 國家災害防救科技中心

有人說災害像一本歷史，在去年（2009），當積極策劃台灣紀念八七水災50周年與921地震10周年的同時，老天也「認真」喚醒大家的記憶。莫拉克颱風像是頭肆虐的猛獸鋪天蓋地，狂風豪雨衝擊中南部地區，超過3,000毫米的暴雨不僅重創了土地，也帶走超過700餘名的無辜生命。重大損失讓全國難以接受，政府在救災告一階段後重新改組，災區更有龐大的復原重建工作等待進行，莫拉克風災暨八八水災，在台灣災害史上留下了新的一頁。

根據本次災害統計，最大累積降雨3,059毫米歷年第一，颱風死亡及失蹤人數769人也是自八七水災後的歷史第一，加上災區劃定共11縣市173鄉鎮，影響範圍也超過921地震的規模。因此，當災後生活逐漸步上軌道後，更重要的是檢討面對這種「大規模颱風災害」，未來是否已做

好準備？這個答案的背後相當複雜，我們目前只能由災害防治的科技面進行檢視，其他有關體系與操作面的問題不在本文的討論範圍。

因此，本次《國研科技》專題企劃，由本院國家災害防救科技中心（災防中心）以「莫拉克之後－災害防治科技面臨的挑戰」為題，介紹目前科技應用在颱風災害防救的工作現況，包括：淹水、坡地災害預警；勘災技術發展與推動作業等，並探討其面臨的課題與挑戰。另外，由於台灣氣候、環境、社會有逐漸變遷的趨勢，如何同時考量這些因子，進行脆弱性分析並減輕災害衝擊，也提出災害防治科技面的見解，包括：氣候變遷趨勢、綜合流域治理概念與氣候變遷之社會脆弱性等，期提供讀者分享並經驗交流，以了解災害防治科技現況與未來的挑戰與機會。

以下將各子題之重點簡述如下：

## 淹水災害預警技術

淹水預警所需考量的致災因子眾多且複雜，災防中心目前先建立不同導致淹水災害的預警技術，包括：降雨\_水位\_淹水預報、淹水潛勢資料擴充與加值應用、鄉鎮淹水降雨警戒值分析、淹水預警風險分析等。未來研究方向將以災害風險觀念整合不同的淹水預警資訊，提供各地區的淹水機率，以提昇颱風應變作業時淹水災害預警判釋之可信度。在莫拉克颱風後有以下建議：在淹水災害預警模式方面，因為預警精度受限於基本資料的貧乏、監測資料不健全、預警模式未整合及操作資料的缺失等因素，建議中央政府應委由一權責單位進行整合，以利災害決策應變系統的建立。

## 坡地災害整合警戒研判自動化技術

過去災防中心所訂定坡地災害警戒基準方式，係利用實際降雨值來發布警戒資訊。在這樣的基礎下，利用1989~2008年颱風降雨資料持續更新資料製作「颱風坡地災害累積雨量等雨量圖」，將颱風坡地災害累積雨量門檻依據各縣市鄉鎮分區，以平均值為坡地災害紅色警戒值，負一個標準差區間作為黃色警戒值。配合氣象資料包含累積降雨與降雨趨勢預估，以作為坡地災害預警資訊應用。

坡地災害經常造成嚴重損失，為降低其損失情況，針對山區坡地災害潛勢高，且人口密度高的區域需加強災害整備作為。因此，利用坡地災點資料庫、坡地災害地文敏感圖、人口密度分布、建物分布及道路資訊進行分析，以瞭解那些村里

是屬於高風險區，並藉由劃定坡地災害衝擊範圍的方式，評估是否有建物在危險範圍內，以提出相關的整治或是改善方案，降低坡地災害對人民與建物衝擊的風險。

## 颱風災害之勘災機制規劃，以莫拉克為例

災防中心發展之「災害勘查資訊系統」主要之目的為當災害發生之後，完整收集災害資訊，並即時建立資料庫，其應用模組可以分為：勘災人才資料庫、現地勘查電子表單、資料建檔保存、減災研究及加值分析。該系統自2005年陸續開發功能，並因應莫拉克颱風之後，勘查電子表單由原本2大類3項，擴增至9大類18項，包括：淹水災害、坡地災害、橋梁災害、道路災害、水利設施災害、維生管線、學校及公共設施、社會經濟項目及非公共設施等。因應此次莫拉克風災透過各地大學協力機構組成勘災團隊，含普查團隊及重點勘察團隊，並進行為期約半年之地毯式資料蒐集、災害現象分析、災因探討、專家座談等步驟進行，綜整報告將於近期完成。

## 台灣氣候變遷趨勢

為了探討氣候變遷未來可能對台灣造成之衝擊，本文彙整氣候變遷相關研究，以瞭解台灣過去之氣候變遷特性。台灣過去平均氣溫和海平面的上升速度，超越全球變化的速率，足見氣候變遷對台灣氣候的影響已經很顯著；全台平均季節降雨強度有增加趨勢；雖然全台年平均降雨量長期變化不明顯，但北部地區降水量逐年增加，而南部地區則略為減少，故乾旱有北輕南重的趨勢。和淹水、坡地等災害有密切相關的極端降雨，以中央山脈為分界，以西地區的極端降雨

強度近年來偏強，以東地區變化不明顯或甚至偏弱。伴隨颱風的極端強降水是颱風來襲時造成災害的主因，過去十年來具有此特性的颱風發生頻率較之前三十年增加一倍以上。

根據跨政府氣候變遷小組（Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC）第四次評估報告對未來的推估，全球大多數地區豪大雨事件的頻率將上升；西北太平洋強颱風的比例可能升高，伴隨颱風的極端風、雨強度也可能增加；東亞地區乾旱日數可能變多。如何因應這些極端天氣頻率或強度的逐年增加，將是台灣防災科技面對未來最大的挑戰。

### 綜合流域治理推動芻議

流域從源頭、上游、中游、下游到河口，跨越中央及地方各級政府主管機關，各區段所衍生的課題是互相關聯且交叉影響，其間如何有效整合政府功能、建置跨部會溝通平台，常為困難之處。同時流域治理牽涉的法規廣泛，現階段缺乏整合性之法律架構，實有必要跳脫傳統思維，建立整合式流域治理通用體制與機構，以達成良善的流域治理。災防中心在研擬「綜合流域治理指導方針」提出以國土規劃為上位指導方向，以流域為單元，提昇河川水災防治，成為綜合性之流域水治理。

在目前氣候變遷之環境下，外力危害之不確定性將更形提高，然可經由土地利用之限制或政策等方式降低災害潛勢之規畫面對策，在流域治理上將扮演更重要角色。另外在國土規劃未落實前，災防中心提出各種脆弱度地圖（淹水、氣候、地層下陷、社經及人口等）之調適策略作為

指導原則，並研擬各項調適策略，作為流域治理、開發以及災害管理之指導原則。根據不同脆弱度區域考量不同調適策略之方法，以脆弱度指標地圖作為綜合流域治理之上位指導原則。

### 氣候變遷社會脆弱性的發展及其可能應用

除了未來氣候狀況，人和社會也應是氣候變遷相關討論的主體。而人和社會，並不單是被動地受氣候所影響，社會本身有其變化趨勢，一方面可能足以影響氣候，另一方面，可能和氣候趨勢形成競合關係，加深或改善因為氣候變化而產生的危害程度。國際上重要的氣候變遷衝擊報告，如IPCC（2007）、美國環境變遷研究計畫（2009）皆已指出，社會變遷的影響，可能更甚於氣候變遷的影響，不過，台灣氣候變遷相關研究或政府計畫，甚少將社會變遷因子納入考量，更遑論具有一個較全面的視野。緣此，災防中心於2009年，始將社會變遷概念納入「因應氣候與環境變遷之防災調適策略」專案。

本院災防中心目前進行的工作包括，藉由檢視國際重要的氣候變遷衝擊報告，輔以國內相關研究，以擬定社會脆弱性面向（人口結構、都市化、貧窮人口、經濟資產、農林漁牧等）；蒐集相關政府統計數據、製作圖層，以系統性整理或視覺化方法，呈現台灣現階段的脆弱性；利用相關資料以決定具有社會變遷概念的台灣關鍵社會脆弱性。未來工作規劃，包含回復力討論、建立未來社經情境、評估不同情境下之災害脆弱性，並針對最不利或較可能發生的情境研擬對策。



# 淹水災害預警技術

文/圖 傅金城、張駿暉、葉森海、黃成甲、謝龍生、游保杉、葉克家、許銘熙  
國家災害防救科技中心

## 摘要

台灣受到自然環境因素的影響，降雨時、空間分布極不均勻，加上坡度極為陡峻，每逢颱風挾帶豪雨來襲，常造成下游坡度平緩地區嚴重水患，導致人民生命財產之嚴重損失。若能事前對可能淹水地區發出警報，將可以減少洪災損失。但淹水預警所需考量的致災因子眾多且複雜，因此，本文目前先建立不同導致淹水災害的預警技術，包括：降雨\_水位\_淹水預報、淹水潛勢資料擴充與加值應用、鄉鎮淹水降雨警戒值分析、淹水預警風險分析等。未來研究方向將以災害風險觀念整合不同的淹水預警資訊，提供各地區的淹水機率，以提昇颱風應變作業時淹水災害預警判釋之可信度。本文以台中縣市及嘉義縣市為研究區域，並配合2008~2009年的颱風事件進行測試。由分析結果顯示，本文所建立的淹水災害預警技術，確實能提供更多的淹水預警研判資訊。此外，以上淹水預警模式經由莫拉克颱風測試後有以下幾點建議：1.在淹水災害預警模式方面，因為預警精度受限於基本資料的貧乏、監測資料不健全、預警模式未整合及操作資料的缺失等因素，建議中央政府應委由一權責單位進行整合，以利災害決策應變系統的建立。2.在政策方面，此次莫拉克颱風因沒有預留足夠蓄洪與疏洪空

間，加上未來面對氣候及環境變遷，因此建議治水工作應涵蓋水、土、林、人，應朝向兼顧災害管理與國土利用之流域綜合治理為目標，經由有效的土地管理，抑制流域的出流量，並限制災害高潛勢地區之土地使用。3.政府對防災工作的強化與重視，以及民眾防災意識的提升，將可大量減少災害造成的損失。

## 前言

台灣每年5~6月間有梅雨，7~10月間則有颱風，全年之平均降雨量約2,500毫米，但降雨之時間與空間分布極不均勻，加上集水區上游山區之坡度極為陡峻及水土保持不良，因此每逢颱風挾帶豪雨來襲，常引發山區匯集而下之洪流，造成下游坡度平緩地區嚴重水患；此外，都會區之局部地區，亦可能因豪雨之雨量超過排水設施之設計標準，而有淹水情形，導致人民生命財產之嚴重損失。故若能事前瞭解及掌握颱風氣象預報以及洪水動態，對可能淹水地區發出警報，使地方防災應變單位及居民能預作警戒及防護準備，將可以減少洪災損失。

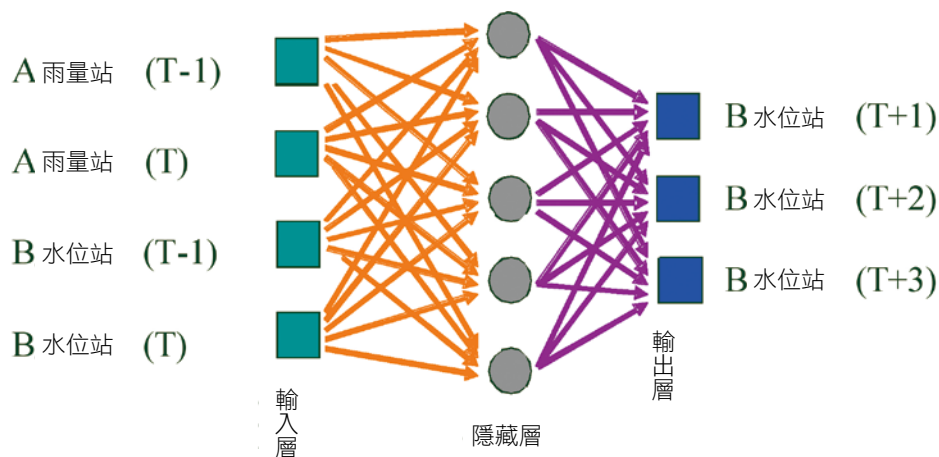


圖1 倒傳遞類神經網路。

然而，淹水預警所需考量的致災因子眾多且複雜，目前颱風應變作業的淹水預警作法，大多是在汛期前先以淹水模式進行各種不同降雨條件之境況模擬，將模擬結果建立淹水資料庫，再建立降雨條件與淹水潛勢圖之關聯機制，於颱風應變期間，依據中央氣象局之即時降雨監測系統配合關聯機制優選適當之淹水潛勢圖，提供中央災害應變中心進行決策下達的參考。但由於颱風時期實際發生之降雨條件跟建置淹水資料庫採用之條件有所差異，因此局部地區還是未能事先掌握其淹水情形。

因此，本文擬配合導致淹水災害因子的探討，如雨量的時、空間分佈及水位等，建立不同導致淹水災害的預警技術，包括：降雨\_水位\_淹水預報、淹水潛勢資料擴充與加值應用、鄉鎮淹水降雨警戒值分析、淹水預警風險分析等四種預警模式。各預警模式在颱風應變作業時將會提供更多可能的淹水預警資訊，因此，如何的以災害風險觀念整合不同的預警資訊，並提供出行政區域的淹水機率，以提昇災害預警判釋之可信度，則是本文持續的研究方向。

## 分析方法

本文所建立的淹水預警技術包括降雨\_水位\_淹水預報、淹水預警資料加值應用、鄉鎮淹水降雨警戒值分析及淹水預警風險分析。以下將分別概述其理論：

### 降雨\_水位\_淹水預報

本文主要研究目的是希望能針對因河川水位高漲造成的淹水災害發出預警訊息。先利用倒傳遞類神經網路（Back-Propagation Neural Network；簡稱BPN）建立一個簡單快速之降雨\_水位預報模式，進行未來1~6小時之河川水位預測，然後再以預報的河川水位配合經濟部水利署的中央管河川警戒水位及河川超過警戒水位緊急通報計畫表，進行水位\_淹水預報模式之建立。

降雨\_水位預報模式可以經由倒傳遞類神經網路（BPN）用輸入值的加權乘積和函數來表示：

$$T = f\left(\sum WI - \theta\right) \quad (1)$$

式中， $T$ 為模仿生物神經元的模型輸出訊號； $f$ 為模仿生物神經元模型的轉換函數（transfer function），用以處理輸入值之加權乘積和轉換成輸出值的數學公式； $W$ 為模仿生物神經元模型的神經節強度，又稱連結加權值； $I$ 為模仿生物神經元模型的輸入訊號； $\theta$ 為模仿生物神經元模型的閾值（偏權值）。

倒傳遞類神經網路演算法的學習過程，是由正向傳播與負向傳播所組成（如圖1），在正向傳播過程中，輸入訊息從輸入層經由隱藏層加權運算，透過活化函數轉換處理後，再傳向輸出層計算出網路輸出值，每一層神經元的狀態只影響下一層神經元的狀態；若在輸出層不能得到期望的輸出值時，則轉為反向傳播，將誤差訊號沿原來的連接通路回傳，透過修改各層神經元的權重與偏權值，期能使誤差函數值達到容忍誤差範圍之內而停止。

至於，本文在水位-淹水預報模式的研發方面，主要是先藉由水利署與地方政府所共同完成的「水災危險潛勢地區保全計畫」，摘錄其河川超過警戒水位時緊急通報可能淹水地區計畫表之成果，並與經由倒傳遞類神經網路所完成式（1）的水位預報模式進行銜接。

### 淹水潛勢資料擴充與加值應用

進行淹水潛勢資料建置時，上游山區因地勢高坡度陡，降雨產生之逕流量會快速流入中、下游盆地地區，故使用山區逕流模式計算上游地區逕流量。下游平原地區勢平坦，暴雨漫地流會形成淹水，採用二維漫地流淹水模式進行模擬。山區逕流量計算採用美國陸軍工兵團所發展的

HEC-1模式，配合山區集水區面積、形狀、坡度及水路長度等地文特性及設計降雨量推估之，並作為二維漫地流淹水模式之上游側入流邊界條件。二維漫地流計算乃以二維零慣性波（non-inertia wave）傳遞理論為基礎，利用二維交替方向顯式（ADE）差分法建立二維地表漫地流數值模式，以模擬地表漫地流之水流動態、淹水範圍及淹水深度。模式銜接之流程係以山區逕流模式先行演算山區逕流量，求得山區逕流歷線；其次二維漫地流淹水模式計算地表淹水情形。

目前淹水潛勢圖之製作，是以數值格網式之淹水模擬結果為主，該圖雖可合理顯示淹水情況，但是無法有效提供水災防救所需之淹水警戒區域，如鄉、鎮或市等行政區界。為達成提供淹水預警資訊之需求，經由淹水潛勢資料之淹水深度與淹水範圍，配合鄉、鎮或市等行政區邊界資料，經運用地理資訊系統之空間分析功能，可繪製不同降雨條件之淹水預警圖，為能更符合颱風應變之需求，目前已建置十個降雨條件（即150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600毫米/日）之淹水預警圖，以期能提供更符合實際降雨條件之淹水警戒資訊。

### 鄉鎮淹水降雨警戒值分析

本文設定鄉鎮淹水降雨警戒值之方法，主要是以各縣市歷年颱風豪雨淹水之村里數，配合實際降雨量進行分析。首先參考經濟部水利署2005至2009年颱風豪雨淹水調查資料，經統計分析可得各縣市歷年颱風豪雨淹水之村里數。嘉義縣市民國2005至2009年颱風豪雨淹水村里數如表1所示。實際降雨量之估計，則是以徐昇氏法進行各鄉鎮之降雨量計算，嘉義縣市各鄉鎮徐昇網劃分如圖2所示。

表1 嘉義縣市民國94至98年颱風豪雨淹水村里數

鄉鎮區	颱風豪雨事件												
	940612	海棠	泰利	950609	碧利斯	960809	聖帕	柯羅莎	卡玫基	鳳凰	辛樂克	蕃蜜	莫拉克
東石鄉 (23)	23	3	5	23	0	0	6	0	0	6	0	0	12
布袋鎮 (23)	23	6	9	23	0	0	1	0	0	3	0	0	22
義竹鄉 (22)	13	1	3	4	0	0	0	0	0	2	0	0	13
六腳鄉 (25)	9	0	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	8
太保市 (18)	6	0	0	3	0	0	0	0	2	1	0	0	10
朴子市 (27)	12	0	0	6	0	0	0	0	1	2	0	0	20
鹿草鄉 (15)	12	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	9
新港鄉 (23)	2	0	0	23	0	0	0	0	5	0	0	0	4
溪口鄉 (14)	4	0	0	1	0	0	5	0	4	3	5	0	7
民雄鄉 (28)	3	1	1	4	0	0	1	1	3	2	1	0	4
水上鄉 (26)	1	0	1	1	0	0	1	0	2	1	0	0	6
中埔鄉 (22)	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	3
大林鎮 (21)	3	0	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0	2
竹崎鄉 (24)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
阿里山鄉 (12)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
大埔鄉 (5)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
番路鄉 (11)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
梅山鄉 (18)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
東區 (53)	2	0	0	2	0	0	0	0	3	3	0	0	12
西區 (55)	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4

以嘉義縣東石鄉為例，依徐昇網劃分結果顯示，鰲鼓及朴子二雨量站所佔之權重分別為77%及23%，故東石鄉之雨量計算將依上述權重分配計算。圖3左上方表格為嘉義縣東石鄉民國94至98年颱風豪雨事件之1、3及6小時累積最大降雨量，其它三張圖則分別為1、3及6小時

累積最大降雨量與淹水村里數之關係圖，其中淹水村里數為0之事件原則上不列入圖中迴歸分析，除非其降雨量大於有淹水事件之最小降雨量。以960809事件為例，其1小時最大降雨量為43毫米，大於聖帕颱風之1小時最大降雨量32毫米，故將其列入圖3中迴歸分析。

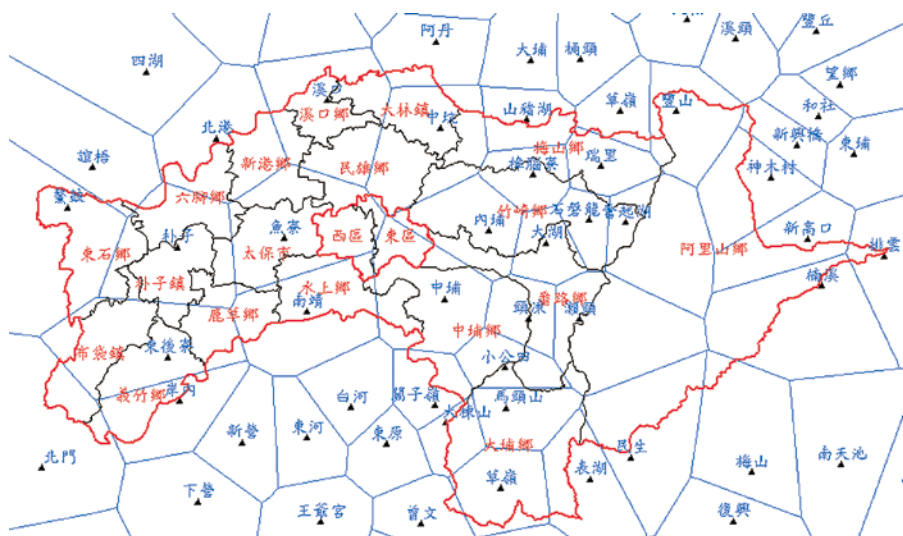


圖2 嘉義縣各市鄉鎮徐昇網劃分圖。



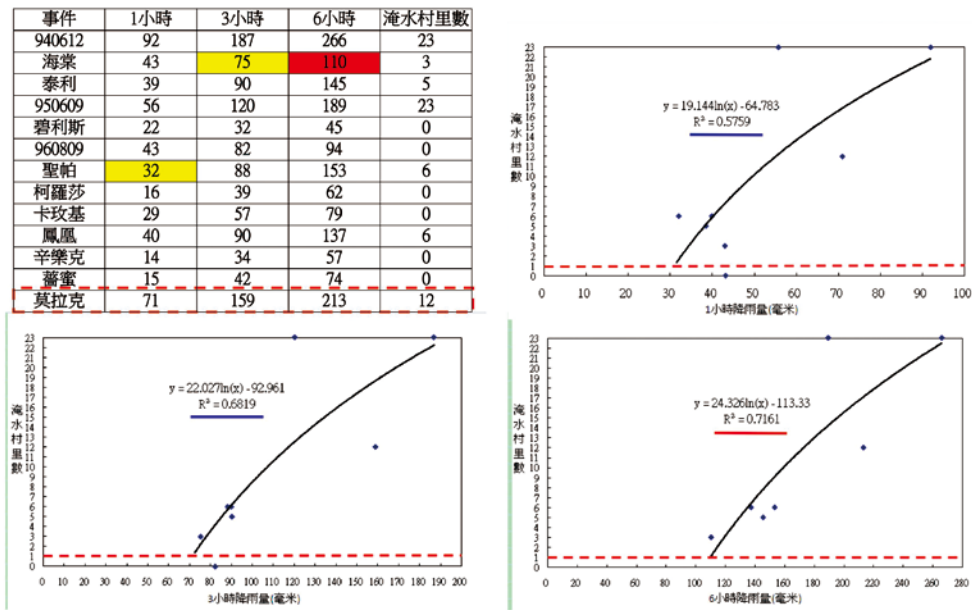


圖3 嘉義縣東石鄉淹水降雨警戒值分析。

分析比較1、3及6小時累積最大降雨量與淹水村里數之關係圖，由對數趨勢線之R平方值可知6小時延時之結果最好，且6小時延時圖中，未有淹水村里數為0之事件其降雨量大於有淹水事件最小降雨量之情況，由此可推論東石鄉其淹水村里數與6小時延時降雨量之相關性較高。另外，東石鄉之淹水降雨警戒值則以淹水事件各延時累積最大降雨量之包絡線訂定，故東石鄉之1、3及6小時淹水降雨警戒值分別為32、75及110毫米。

### 淹水預警風險分析

Haynes於1895年將風險（Risk）定義為損失發生的可能性，包含了損失強度（Severity）及損失發生之機率（Probability）。然而更精確的來說，風險乃建立在人類的未知上，乃人類嘗試以某些特定方法預測實際結果所產生之不確定性，因此Williams及Heins（1985）將風險定義為預測與實際結果的差異，差異越大則風險越大。

國內有關淹水損失的強度的推估以淹水模擬模式為主，已發展多年並有豐碩成果，相關文獻可參考Hsu et al.（2000）、Chen et al.（2005），然而實際在應用上，淹水模式通常消耗大量電腦運算時間，無法於颱風豪雨期間即時演算，因此於實際使用上，乃於降雨發生前，事先建立不同降雨情境下之淹水潛勢資料庫，再於應變期間，根據即時之24小時最大預測降雨量，內插求取淹水模擬面積。在淹水發生機率的相關研究部分，可參考張駿暉等（2008），其以淹水風險指標的概念，結合淹水潛勢與即時降雨量，可於颱風期間即時推估嘉義縣各村里之淹水機率，其發展之淹水機率模式如下：

$$R_F = \frac{\exp(\beta A_{30} - \alpha)}{1 + \exp(\beta A_{30} - \alpha)} \quad (2)$$

表2 嘉義縣市水位預報RMSE結果一覽

時間	卡玫基	鳳凰	辛樂克	薔蜜	莫拉克
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17
1	0.40	0.61	0.35	0.50	0.51
2	0.77	1.28	0.68	0.95	0.83
3	1.15	1.99	1.03	1.37	1.16
4	1.54	2.77	1.41	1.78	1.52
5	1.91	3.54	1.81	2.16	1.82
6	2.32	4.30	2.24	2.58	2.12

其中 $R_F$ 為村里淹水機率； $A_{30}$ 為村里效淹水面積（淹水深度30公分以上），其乃透過淹水模式求取； $\alpha = -0.965$ 及 $\beta = 1.59$ 為透過歷史淹水事件迴歸求得之參數。

表3 嘉義縣市水位-淹水預報結果一覽

河川別	水位站名	位置 (縣市、鄉鎮)	一級警戒 水位 (公尺)	堤頂高 (公尺)	警戒區域 (鄉鎮市 或 村里區)	970717卡玫基颱風			970728鳳凰颱風			970912辛樂克颱風			970927薔蜜颱風			980805莫拉克颱風		
						淹水 鄉鎮村里	最高 水位	預警 精度	淹水 鄉鎮村里	最高 水位	預警 精度	淹水 鄉鎮村里	最高 水位	預警 精度	淹水 鄉鎮村里	最高 水位	預警 精度	淹水 鄉鎮村里	最高 水位	預警 精度
北港溪	溪口站	溪口鄉	17.7	20.62	大埤鄉、元長鄉、北港鎮、大林鎮、溪口鄉、新港鄉	大埤鄉、元長鄉、北港鎮、溪口鄉、新港鄉	16.8	0.00	元長鄉、溪口鄉	15.6	0.00	溪口鄉	15.98	0.00	元長鄉	15.48	0.00	大埤鄉、元長鄉、北港鎮、溪口鄉、新港鄉	16.8	0.00
			15.2																	
			12.3																	
			12.3																	
北港溪	土庫大橋站	虎尾鎮	21.5	24.54	斗南鎮、大埤鄉、虎尾鎮、土庫鎮、斗六市、刺桐鄉	大埤鄉、虎尾鎮、土庫鎮	21.74	0.50		20.63	1.00	20.44	1.00	土庫鎮	20.02	0.00	斗南鎮、大埤鄉、虎尾鎮、土庫鎮、斗六市、刺桐鄉	21.19	0.00	
			20.0																	
北港溪	北港大橋站 (北港(2))	北港鎮	10.5	12.26	北港鎮、水林鄉、口湖鄉、新港鄉、六腳鄉、東石鄉	北港鎮、水林鄉、口湖鄉	9.17	0.00	水林鄉、口湖鄉	6.78	0.00	7.1	1.00	水林鄉、口湖鄉	7.24	0.00	北港鎮、水林鄉、口湖鄉、新港鄉、六腳鄉、東石鄉	8.89	0.00	
			9.50																	
北港溪	大湖口溪橋	斗南鎮	30.5	33.7	斗南鎮、大埤鄉	大埤鄉	32.45	0.50		31.17	0.00	28.11	1.00	31.1	0.00	斗南鎮、大埤鄉	32.19	1.00		
			29.7																	
北港溪	大湖口溪橋	斗南鎮	28.9	33.7	斗南鎮、大埤鄉	大埤鄉	32.45	0.50		31.17	0.00	28.11	1.00	31.1	0.00	斗南鎮、大埤鄉	32.19	1.00		
			28.9																	
朴子溪	華興橋站	嘉義市	21.3	25	嘉義市、民雄鄉、竹崎鄉、新港鄉、太保市	民雄鄉、太保市	23.17	0.40	民雄鄉、太保市	21.19	0.00	民雄鄉	22.28	0.20	21.84	0.00	民雄鄉、新港鄉、太保市	23.91	0.60	
			19.0																	
朴子溪	灣內站 (灣內橋)	六腳鄉	11.4	13.77	太保市、六腳鄉、朴子市、東石鄉	太保市、朴子市、東石鄉	10.96	0.00	太保市、朴子市、東石鄉	8.93	0.00	9.73	1.00	10.06	1.00	10.06	1.00	太保市、六腳鄉、朴子市、東石鄉	12.49	1.00
			9.5																	
朴子溪	灣內站 (灣內橋)	六腳鄉	7.0	13.77	太保市、六腳鄉、朴子市、東石鄉	太保市、朴子市、東石鄉	10.96	0.00	太保市、朴子市、東石鄉	8.93	0.00	9.73	1.00	10.06	1.00	10.06	1.00	太保市、六腳鄉、朴子市、東石鄉	12.49	1.00
			7.0																	
八掌溪	觸口站	番路鄉	228.8	250	番路鄉、中埔鄉		225.51	1.00		225.71	1.00	223.03	1.00	222.19	1.00	222.19	1.00	中埔鄉	228.25	0.00
			227.0																	
八掌溪	軍輝橋站	嘉義市	29.0	35	嘉義市、水上鄉、鹿草鄉、中埔鄉、白河鎮	水上鄉	30.70	0.20	鹿草鄉	27.52	0.00	28.61	1.00	29.14	0.00	29.14	0.00	水上鄉、鹿草鄉、中埔鄉、白河鎮	31.22	0.80
			28.0																	
八掌溪	軍輝橋站	嘉義市	27.5	35	嘉義市、水上鄉、鹿草鄉、中埔鄉、白河鎮	水上鄉	30.70	0.20	鹿草鄉	27.52	0.00	28.61	1.00	29.14	0.00	29.14	0.00	水上鄉、鹿草鄉、中埔鄉、白河鎮	31.22	0.80
			27.5																	
八掌溪	縱貫公路 (八掌溪橋)	白河鎮	16.0	19.99	白河鎮、後壁鄉、水上鄉、鹿草鄉、義竹鄉、鹽水鎮	後壁鄉、水上鄉	19.65	0.33	後壁鄉、鹿草鄉	16.95	0.33	後壁鄉	17.58	0.17	後壁鄉	18.45	0.17	白河鎮、後壁鄉、水上鄉、鹿草鄉、義竹鄉、鹽水鎮	19.99	1.00
			15.0																	
八掌溪	縱貫公路 (八掌溪橋)	白河鎮	12.4	19.99	白河鎮、後壁鄉、水上鄉、鹿草鄉、義竹鄉、鹽水鎮	後壁鄉、水上鄉	19.65	0.33	後壁鄉、鹿草鄉	16.95	0.33	後壁鄉	17.58	0.17	後壁鄉	18.45	0.17	白河鎮、後壁鄉、水上鄉、鹿草鄉、義竹鄉、鹽水鎮	19.99	1.00
			12.4																	
八掌溪	義竹站	義竹鄉	8.0	11.81	義竹鄉、布袋鎮、鹽水鎮、學甲鎮、北門鄉		8.61	0.00	北門鄉	7.02	0.00	7.55	1.00	學甲鎮、北門鄉	7.88	0.00	義竹鄉、布袋鎮、鹽水鎮、學甲鎮、北門鄉	9.65	0.83	
			7.5																	
八掌溪	義竹站	義竹鄉	4.9	11.81	義竹鄉、布袋鎮、鹽水鎮、學甲鎮、北門鄉		8.61	0.00	北門鄉	7.02	0.00	7.55	1.00	學甲鎮、北門鄉	7.88	0.00	義竹鄉、布袋鎮、鹽水鎮、學甲鎮、北門鄉	9.65	0.83	
			4.9																	
八掌溪	常盤橋站	水上鄉	23.2	26.69	水上鄉、中埔鄉	水上鄉	26.69	0.50		25.30	0.00	24.82	0.00	25.3	0.00	25.3	0.00	水上鄉	26.58	0.50
			22.0																	
八掌溪	常盤橋站	水上鄉	21.5	26.69	水上鄉、中埔鄉	水上鄉	26.69	0.50		25.30	0.00	24.82	0.00	25.3	0.00	25.3	0.00	水上鄉	26.58	0.50
			21.5																	

## 研究區域概述

為驗證模式的合適性，本文以嘉義縣市和台中縣市為研究區域。台中縣市位於台灣中部，北臨苗栗縣，南界彰化縣及南投縣，東連中央山脈，西面台灣海峽。面積2,214平方公里，人口總數為236萬人。地勢東高西低，山區均在縣境東側，故河川均呈由東向西之走向，從北至南依序為大安溪、大甲溪及烏溪。嘉義縣市位於台灣西南部嘉南平原，北臨北港溪，南界八掌溪，東連中央山脈，西面台灣海峽，面積1,951平方公里，人口總數為82萬人。地勢東高西低，山區均在縣境東側，故河川均呈由東向西走向，從北至南依序為北港溪、朴子溪、八掌溪及急水溪。

## 結果與討論

本文以嘉義縣市、台中縣市與2008~2009年的颱風事件進行模式測試，其測試的結果與討論如下。

### 降雨-水位-淹水預報結果

為驗證模式的合適性，以下分別依研究區域嘉義縣市及台中縣市概述其預報成果。嘉義縣市之北港溪、朴子溪、八掌溪流域各水位預報之平均結果如表2，淹水預警精度如表3所示。由表2中顯示出水位預報趨勢在1~6時與觀測水位十分接近，且其誤差約可在1.00公尺以內，可見使用倒傳遞類神經網路的水位預報結果尚可。再從表3檢核三個流域的淹水預警結果則可以發現莫拉克和辛樂克颱風的預警精度最佳，其次為卡玫基、薔蜜及鳳凰。這顯示出當颱風災害達一定規模時，將會引起各界的高度關切，也同時會啟動較

表4 台中縣市水位預報RMSE結果一覽

時間	卡玫基	鳳凰*	辛樂克	薔蜜	莫拉克
0	0.00		0.00	0.00	0.00
1	0.04		0.13	0.20	0.35
2	0.06		0.17	0.36	0.54
3	0.07		0.23	0.55	0.72
4	0.09		0.32	0.72	0.89
5	0.11		0.37	0.88	1.08
6	0.13		0.44	1.01	1.29

註：\*無監測資料

仔細的勘災調查，對於模式的比較與驗證較能有所助益。

台中縣市之大安溪、大甲溪、烏溪流域各水位預報之平均結果如表4，淹水預警精度如表5所示。由表4中顯示出水位預報趨勢在1~3時與觀測水位十分接近，且其誤差約可在1.00公尺以內，但若超過3小時以上的預報則有相當大的誤差結果產生，主要是水位傳輸系統穩定度的不確定連帶的影響預報。再從表5檢核三個流域的淹水預警結果則可以發現淹水預警與水位的關係不太能連結。

### 淹水預警資料加值應用結果

淹水預警資訊研判之優劣，取決於颱風路徑預報、即時降雨觀測資料及未來降雨潛勢資料，針對每一場颱風事件，淹水預警研判之作業方式乃利用中央氣象局對未來24小時全台各地之風雨預報單及過去降雨觀測資料，研判未來全台各地較高淹水潛勢地區，以提供中央災害應變中心進駐人員與其他單位進行分析研判作業，並由雨量站之降雨量，以淹水預警圖與降雨量之間的關聯機制挑選出適當之淹水預警圖進行淹水預警資訊研判之參考，莫拉克颱風期間，以實際降雨量及氣



表5 台中縣市水位\_淹水預報結果一覽

河川別	水位站名	位置(縣市、鄉鎮)	一級警戒水位(公尺)	堤頂高(公尺)	警戒區域(鄉鎮市或村里區)	970717卡玫基颱風			970728鳳凰颱風			970912辛樂克颱風			970927薔蜜颱風			980805莫拉克颱風			
						淹水鄉鎮村里	最高水位	預警精度	淹水鄉鎮村里	最高水位	預警精度	淹水鄉鎮村里	最高水位	預警精度	淹水鄉鎮村里	最高水位	預警精度	淹水鄉鎮村里	最高水位	預警精度	
大安溪	卓蘭	苗栗縣卓蘭鎮	327.4 326.2 325.4		卓蘭鎮																
大安溪	義里	台中縣后里鄉	194.3 193.5 192.7		后里鄉		191.33	1.00		191.35	1.00		193.33	1.00		192.64	1.00		201.22	0.00	
烏溪	乾峰橋	南投縣國姓鄉	230.2 228.2 227.0		國姓鄉																
烏溪	烏溪橋	南投縣草屯鎮	94.8 93.3 92.5		草屯鎮		90.51	1.00		90.29	1.00	草屯鎮	89.65	0.00		89.93	1.00		92.01	1.00	
烏溪(大里溪)	溪南橋	台中縣烏日鄉	33.4 31.2 30.6		烏日鄉		24.81	1.00		24.06	1.00		23.76	1.00		23.68	1.00		29.02	1.00	
烏溪	大肚橋	台中縣烏日鄉	21.3 18.3 17.9		烏日鄉																
烏溪(貓羅溪)	南崗橋	南投縣南投市	85.1 83.0 82.1		南投市							南投市							南投市	83.31	0.00

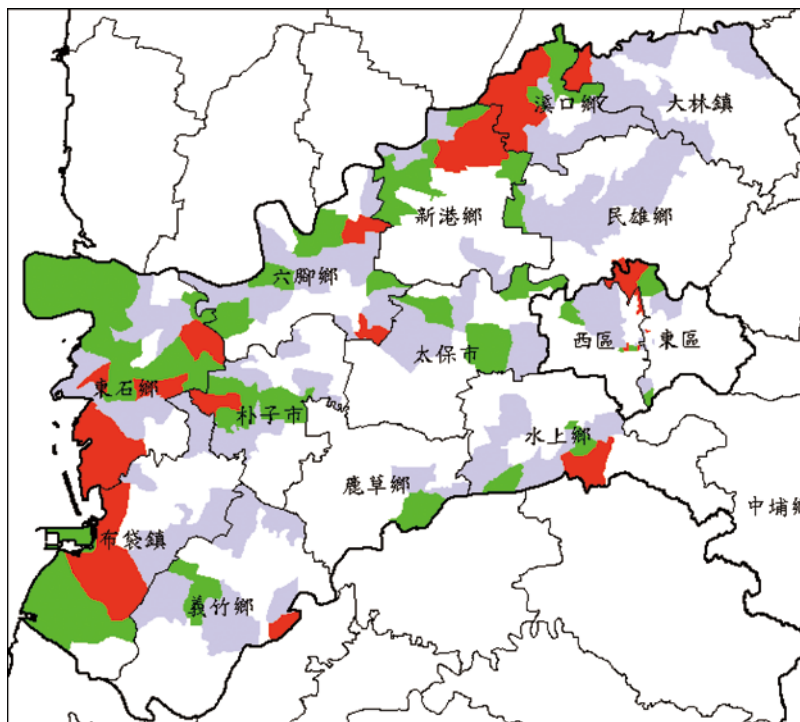


圖4 嘉義縣市淹水預警圖(600毫米/24小時)。



表6 台中縣市民國94至98年颱風豪雨淹水村里數

鄉鎮區	颱風豪雨事件							
	960809	聖帕	柯羅莎	卡玫基	鳳凰	辛樂克	薔蜜	莫拉克
南屯區 (25)	2	0	3	0	0	1	0	>1
西屯區 (39)	1	0	2	1	0	1	0	>1
南區 (22)	0	0	0	1	0	0	0	0
西區 (25)	0	0	0	1	0	0	0	0
北屯區 (42)	0	0	0	0	1	0	0	>1
清水鎮 (32)	1	0	0	0	0	0	0	1
東勢鎮 (25)	0	0	0	0	0	1	0	3
沙鹿鎮 (21)	4	0	0	0	0	0	0	0
太平市 (39)	0	0	0	2	0	1	0	5
烏日鄉 (16)	0	0	0	3	0	0	0	4
大里市 (27)	0	0	0	4	0	1	0	7
霧峰鄉 (20)	0	0	0	4	0	0	0	4
大肚鄉 (17)	0	0	0	0	0	0	0	1
大安鄉 (12)	0	0	0	0	0	0	0	1
外埔鄉 (11)	0	0	0	0	0	0	0	1
新社鄉 (13)	0	0	0	0	0	0	0	2
大雅鄉 (15)	0	0	0	0	0	0	0	1
潭子鄉 (16)	0	0	0	0	0	0	0	1
神岡鄉 (16)	0	0	0	0	0	0	0	1
后里鄉 (18)	0	0	0	0	0	0	0	1
大甲鎮 (29)	0	0	0	0	0	0	0	1
豐原市 (36)	0	0	0	0	0	0	0	8

表7 嘉義縣市各鄉鎮淹水降雨警戒值

鄉鎮名稱	淹水降雨警戒值 / 莫拉克降雨量		
	毫米/1小時	毫米/3小時	毫米/6小時
東石鄉	32 / 71	75 / 159	110 / 213
布袋鎮	33 / 69	56 / 155	93 / 211
義竹鄉	34 / 66	55 / 143	91 / 191
六腳鄉	27 / 52	66 / 102	101 / 176
太保市	48 / 62	115 / 132	200 / 191
朴子市	34 / 63	78 / 122	105 / 195
鹿草鄉	31 / 46	85 / 125	118 / 181
新港鄉	29 / 38	81 / 92	127 / 149
溪口鄉	14 / 22	34 / 52	66 / 74
民雄鄉	18 / 37	51 / 85	86 / 130
水上鄉	30 / 45	53 / 103	86 / 146
中埔鄉	39 / 58	89 / 149	145 / 240
大林鎮	41 / 35	100 / 81	133 / 127
竹崎鄉	* / 98	* / 199	* / 285
阿里山鄉	* / 73	* / 203	* / 325
大埔鄉	* / 83	* / 226	* / 352
番路鎮	* / 77	* / 189	* / 295
梅山鄉	* / 69	* / 170	* / 246
東區	36 / 64	97 / 141	143 / 198
西區	34 / 56	93 / 128	138 / 181

表8 台中縣市各鄉鎮淹水降雨警戒值

鄉鎮名稱	淹水降雨警戒值 / 莫拉克降雨量		
	毫米/1小時	毫米/3小時	毫米/6小時
南屯區	27 / 48	63 / 68	104 / 118
西屯區	18 / 24	45 / 35	75 / 63
南區	70 / 31	191 / 65	295 / 94
西區	105 / 26	225 / 57	343 / 76
北屯區	25 / 33	66 / 67	85 / 92
清水鎮	28 / 27	56 / 43	74 / 80
東勢鎮	41 / 46	110 / 95	172 / 132
沙鹿鎮	29 / 40	74 / 60	122 / 106
太平市	54 / 46	104 / 80	153 / 107
烏日鄉	69 / 45	197 / 94	269 / 123
大里市	62 / 61	93 / 110	144 / 140
霧峰鄉	71 / 58	189 / 113	238 / 141
大肚鄉	* / 46	* / 65	* / 116
大安鄉	* / 17	* / 36	* / 64
外埔鄉	* / 17	* / 36	* / 64
新社鄉	* / 67	* / 117	* / 168
大雅鄉	* / 11	* / 17	* / 31
潭子鄉	* / 22	* / 46	* / 62
神岡鄉	* / 7	* / 11	* / 19
后里鄉	* / 44	* / 67	* / 115
大甲鎮	* / 16	* / 36	* / 61
豐原市	* / 51	* / 80	* / 124



降雨量，選取適當之淹水潛勢模擬結果，帶入式(2)可求得嘉義縣各村里之淹水機率。其各村里淹水機率預測如圖6所示。表11為預警的精度分析，結果發現漏報率約為2成、虛報率約為四成，顯示本模式在預報上有相當的參考價值。

### 結論與建議

本文在配合雨量的時、空間分佈及水位等因子的考量下，分別建立導致淹水災害的預警技術，並以嘉義縣市、台中縣市與2008~2009年的颱風事件進行測試，其測試的結論與建議如下：

1. 降雨\_水位預報模式在1~3小時內的預報精度尚稱可以，若超過3小時以上之4~6小時則受

限於水位傳輸系統的穩定性。至於水位\_淹水預警方面，或許是造成淹水的原因眾多以及災害調查的不足，單從水位較難顯示出淹水地點。

2. 此次莫拉克颱風在嘉義縣市有多處淹水為河川溢堤造成，由於淹水預警圖無法反應此淹水情形，未來除將以平行演算方式縮短演算時間外，將加快開發快速淹水模式，以提高颱風期間淹水預警之準確度。

3. 各鄉鎮淹水降雨警戒值，因雨量站分布不均及不足、降雨時空分布不均、歷史淹水事件資料不足等因素造成誤差，未來應根據調查淹水地區及實際降雨資料進行降雨警戒值之修正，期能提高淹水預警之準確度。

4. 本文以淹水深度超過30公分之有效淹水

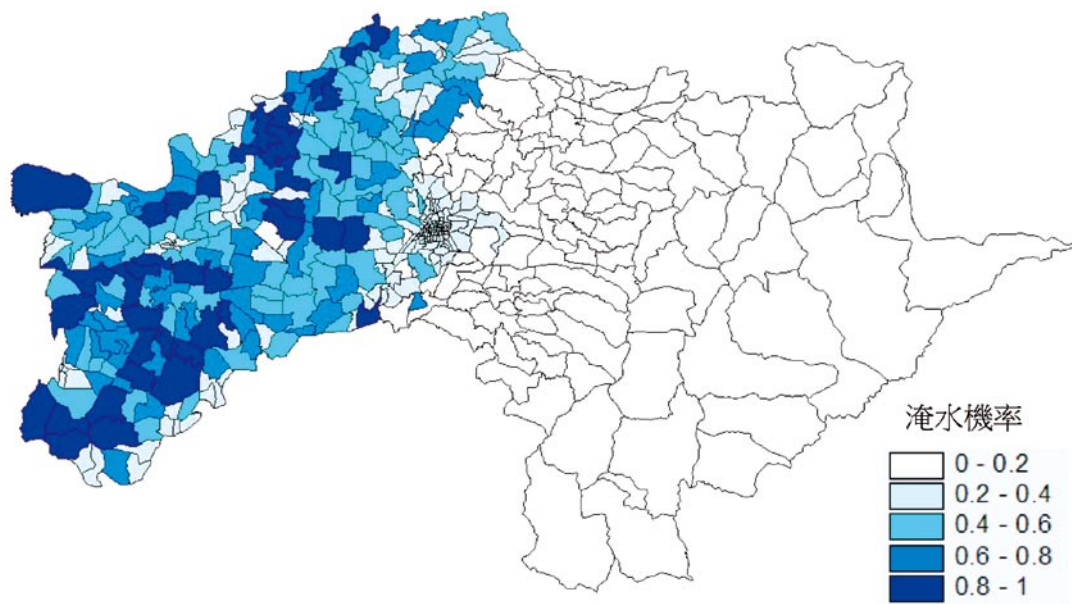


圖6 莫拉克颱風嘉義村里淹水機率。

表9 嘉義縣市各鄉鎮淹水村里數與各延時降雨量趨勢線之R平方值

鄉鎮名稱	R平方值		
	1小時	3小時	6小時
東石鄉	0.5795	0.6819	0.7161
布袋鎮	X	0.1942	0.0935
義竹鄉	0.2177	0.3848	0.1782
六腳鄉	0.3715	0.3375	0.2224
太保市	X	X	X
朴子市	0.3851	0.4909	0.2980
鹿草鄉	0.6266	0.4730	0.2496
新港鄉	0.1208	0.0029	0.0604
溪口鄉	0.000004	0.0120	X
民雄鄉	0.6237	0.5273	0.6974
水上鄉	0.3714	0.2519	0.4855
中埔鄉	0.0007	0.0569	0.1979
大林鎮	0.0007	0.0157	0.0247
東區	0.2445	X	X
西區	X	X	X

表10 莫拉克颱風嘉義縣各雨量站累積雨量值

雨量站	1小時 (mm)	時刻	3小時 (mm)	時刻	6小時 (mm)	時刻	12小時 (mm)	時刻	24小時 (mm)	時刻
鰲鼓	94.5	8/9 12:30	189	8/9 13:30	232.5	8/9 13:50	269	8/9 13:50	415	8/9 13:45
南靖	41	8/9 10:10	91.5	8/9 10:50	122	8/9 13:20	202.5	8/9 11:30	309	8/9 13:50
中坑	80	8/30 16:20	127.5	9/15 17:30	165.5	8/9 13:35	298.5	8/9 11:35	496	8/9 13:05
中埔	82	8/9 10:30	158	8/9 10:30	243.5	8/9 02:45	437.5	8/9 10:30	727.5	8/9 11:20
內埔	139.5	8/9 02:10	235.5	8/9 02:20	322	8/9 02:40	495.5	8/9 04:00	792	8/9 11:30
北港	63	8/9 12:00	129.5	8/9 13:50	167	8/9 13:55	214	8/9 13:50	313.5	8/9 13:45
北門	74.5	8/9 10:10	135.5	8/9 10:20	190.5	8/9 12:05	279.5	8/9 10:55	435	8/9 10:40
岸內	57.5	8/9 10:10	106	8/9 10:30	141	8/9 13:00	207	8/9 11:00	338	8/9 10:55
阿丹	50	8/6 22:40	80.5	8/9 13:50	121.5	8/9 14:00	191.5	8/9 14:10	281	8/9 13:45
溪口	22.5	8/9 12:20	55	8/9 13:50	75	8/9 14:00	111.5	8/9 14:10	163.5	8/9 13:50
朴子	66	8/9 11:30	124.5	8/9 11:20	195.5	8/9 13:30	281.5	8/9 12:00	456.5	8/9 12:10
魚寮	64	8/9 09:20	137.5	8/9 11:00	193	8/9 13:30	306	8/9 11:50	463.5	8/9 12:20
東後寮	79	8/9 10:00	185.5	8/9 10:50	229.5	8/9 13:00	318.5	8/9 11:20	473	8/9 12:05

資料來源：水利署。

表11 模式預報精度分析

實際淹水狀態	預測淹水狀態		Percentage Correct
	0	1	
	0	211	122
1	5	20	80.00
Overall Percentage			64.53

面積，作為評估淹水危害度之指標，經由 Logistic 迴歸統計，可歸納出淹水面積與淹水機率之關係，建立淹水機率模式。若以淹水機率 50% 為預警門檻值，預測莫拉克颱風事件中嘉義縣各村里之淹水機率，可有效降低漏報率至 2 成左右。

5. 在淹水災害預警精度方面，因為預警精度受限於基本資料的貧乏（如防災設施地點不明確、屬性資料不詳、逐年量測缺乏等）；監測資料的不健全（包括點位不足、即時傳輸不穩、各系統整合不足等）；預警模式的不整合（包括短期定量降雨預報的不足、跨領域整合不足、資料同化功能缺乏）及操作資料的缺失（包括即時災情系統缺乏、災後調查機制不統一等）等，建議中央政府應委由一權責單位進行整合，以利災害決策應變系統的建立。
6. 在政策方面，此次莫拉克颱風因國土過度利用，沒有預留足夠蓄洪與疏洪空間，加上未來面對氣候及環境變遷，水利業務將面臨更大的威脅與挑戰。因此建議，治水工作應涵蓋水、土、林、人，是跨部會以及跨中央與地方之業務。治水工作應朝向以兼顧災害管理與國土利用之流域綜合治理為目標，經由有效的土地管理，抑制流域的出流量，並限制災害高潛勢地區之土地使用。
7. 政府對防災工作的強化與重視，以及民眾防災意識的提升，將可大量減少災害造成的損失。

## 誌謝

感謝經濟部水利署及交通部中央氣象局提供資料，使本文得以完成。

## 參考資料

1. Jin-Cheng Fu, Ming-Hsi Hsu, Peng-Hao Huang, 2008.08, The Influence of 1-hr ahead leading rainfall on the Accuracy of River Stage Forecasting, 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK.
2. J. H. Jang, (2008), 「Inundation Impact Index for Disaster Risk Assessment」 IAHR, JAPAN.
3. Chen, A.S., Hsu, M.H., Chen, T.S. And Chang, T.J. (2005), 「An Integrated Inundation Model for Highly Developed Urban Areas」, Water Science and Technology, Vol. 51, No. 2, pp. 2321-229.
4. Haynes, J. (1895), 「Risk as an Economic Factor」, The Quarterly Journal of Economics, pp.409-449.
5. Williams, C.A., Jr., Heins, R.M. (1985), Risk Management and Insurance, 5th ed., McGraw-Hill, New York.
6. 張駿暉等，(2008)，「淹水機率模式於預警之應用」，第十七屆水利工程研討會。
7. 葉森海等，(2008)，「淹水預警技術之探討」，2008 台灣災害管理研討會。
8. 謝龍生等，(2008)，「卡玫基與鳳凰颱風災情綜合評估報告」，國家災害防救科技中心。
9. 謝龍生等，(2008)，「辛樂克與薔蜜颱風災情綜合評估報告」，國家災害防救科技中心。
10. 王藝峰，(2009)，「淹水預警系統建置」，98 年中央災害應變中心颱風災害分析研判作業研習會。



## 坡地災害整合警戒研判自動化技術

文/圖 林聖琪、柯明淳、陳韻如、陳聯光、周憲德 國家災害防救科技中心

本院國家災害防救科技中心（災防中心）支援政府於颱風期間進行災害潛勢研判作業，整合氣象局、水利署、水保局及公路總局等相關部署，進行颱風降雨潛勢、淹水潛勢、坡地災害潛勢之分析研判，提供指揮官進行疏散避難決策之參考。為建立適當的因應與防治措施，必須具備正確的災害風險評估，風險程度的評估結果能幫助提供有關於減災及整備的訊息，包括劃定潛勢範圍，規劃避難場所、設計緊急疏散路線及在緊急狀況之下分配提供物資。此外，降低災害的衝擊更可藉由警報系統的設置、防治工程配置、構造物耐災設計、政策的修訂、以及土地使用發展的管理等手段來達成。

自2001年桃芝颱風過後，在各部會署的共同努力下，由於適當應用災害潛勢科技資訊，整合相關防救災資源，由被動災後搶救改為主動災前提出災害潛勢資訊及疏散避難作為，人員傷亡確實降低。然而，2009年面對莫拉克颱風侵襲，南部地區遭受前所未有的社會經濟損失，及700多人傷亡，該數據確實打擊政府信心。然而，比對莫拉克颱風致災影響範圍與規模，倘若沒有過去減災、整備及災害潛勢之應變作業，其傷亡人數應是更為驚人。因此，主動提出災害潛勢資

訊及疏散避難之策略，確實可降低損傷。然而，以科技研發緩慢速度如何面對災害規模的快速上升，政府是需將所有設計標準無限上綱提高，還是以風險管理政策來面對災害發生，確實是未來重要的課題之一。

### 坡地災害發生機制

坡地災害的發生原因非常多，國科會在坡地災害發生機制研究已有多年，大致可歸納為邊坡自身的穩定性以及外在觸發因子。近幾年因風險觀念納入坡地災害管理，包括坡地災害發生之潛勢、災害發生之機率、災害影響範圍、災害社會經濟損失等等。然而這些科研成果，多以事件發生後進行驗證，部分成果確實有較精準之預報能力，但由於這些模式所需之待定參數以及模擬耗時較長，對於災害應變需在極短時間內有所反應，確實難以應用。水保局對於土石流災害應變技術較為成熟，採用雨量門檻值進行土石流災害潛勢判斷，並配合溪流監測儀器輔助判斷，但因水保局業務主管範圍僅針對土石流潛勢溪流的災害監控，對於全面性坡地災害研判是缺乏的。國外對於坡地災害發生機制與警戒發佈方式研究大致與國內相同，主要

表1 坡地災害潛勢因子彙整表

坡地災害影響條件	相關影響因子
地形	坡度、坡向、曲率、順向坡、標高、全坡長、坡寬、全坡高、地形區、臨界坡度、地形起伏、蝕溝指數
地質	岩性、岩性差異、節理組數、節理持續性、節理位態、距構造線或構造面距離、節理/不連續面密度或岩體破碎程度、線形/地形構造長度或密度、地層傾角、葉理位態、劈理彎曲程度、侵蝕時期、風化程度、岩土交界、土壤種類、土壤深度
環境	土地利用或植生種類、植生密度、集水面積、水系分佈形狀、水系密度、坡面滲水情形、邊坡區位、河流距、道路距、邊坡與道路之位態

以監控觀測降雨是否超過警戒值作為發布的依據。然而，國外在應變作為上，以設定監測降雨是否超過雨量門檻值，當超過門檻值時即全省、全縣大範圍面積發布警戒，各地方政府再依警戒發布進行後續處置作為。

本院災防中心坡地災害防治組自支援中央災害應變中心進行災害潛勢提報開始，致力於坡地災害警戒方法與時機研究，過去在坡地災害預警研判參考資訊，多半採取地面觀測降雨值是否達到或超過雨量門檻值，而坡地災害門檻值設定是以歷史坡地災害之雨量訂定。然而，引致坡地災害的發生並非由降雨單一因子來決定，地質構造破碎、岩體強度較低或者易風化之岩層，或經過大地應力擾動，例如集集地震後中部地區造成多處不穩定邊坡，不需豐沛之雨量即可觸發坡地災害發生。雖然坡地災害雨量門檻值可反應出地區之地質條件或邊坡狀況，但進行坡地災害預警工作，需主動瞭解坡地災害潛在發生區域，亦即需決定邊坡之坡地災害之地文潛勢。因此，坡地災害發生機制可繪製如圖1所示，除了坡地內在的崩塌發生潛勢之外，外在觸發坡地災害發生之降雨因子，皆為坡地災害發生機制所要考量的量大主要因子。

### 地文災害敏感參考指標

地文災害敏感圖乃透過地形與地質因子建構而來，國內外針對坡地災害潛勢分析選用因子共有57項，如表1所示，由於因子基本資料取得不易且解析度不同，因此首先選用國內外文獻認為相關性高且目前資料已取得之地質與地形因子，地質因子以岩體工程強度及地形因子則以坡度進行地文災害敏感分析，其結果如圖2所示。

另外，根據災防技中心歷年坡地災害資料庫與中央地質調查所崩場地圈劃結果，進行坡地災害熱點集中分析，如圖3所示，除可藉由熱點集中區域瞭解台灣坡地災害發生集中區位，並可反應災害區位與其他因子的相關性。由於全台坡地災害發生位置與人類活動範圍有關，以地質或地形



圖1 坡地災害發生及警戒概念圖。

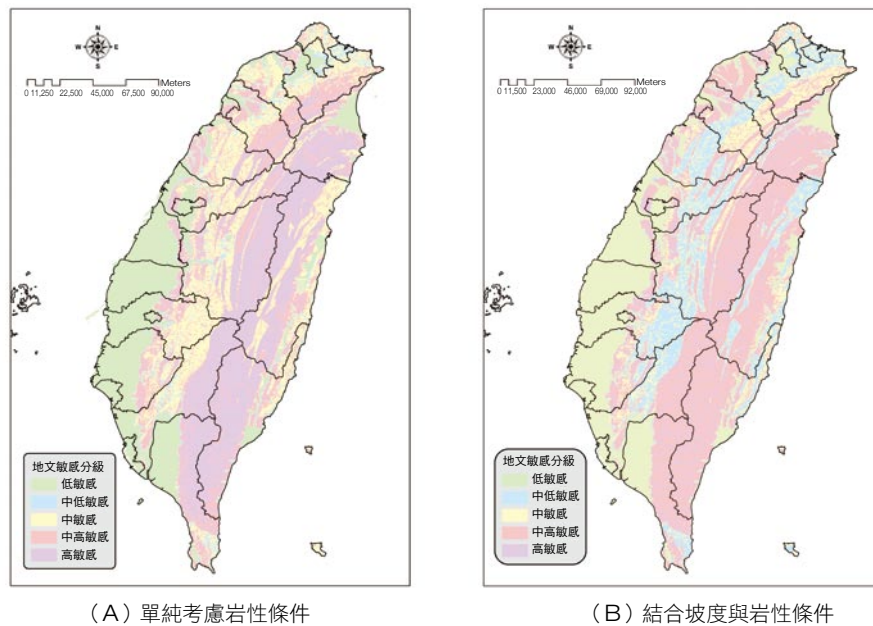


圖2 地文災害敏感圖。

靜態因子分析結果，部分都會邊緣山區無法反應出坡地災害集中關係，因此可藉由熱點分析結果修正坡地災害敏感圖。坡地災害熱點集中區域 ( $Z \geq 1.65$ ) 位於高地文敏感的網格分別佔了49.8%、48.4%以及46.8%的比率；同時，以2009年莫拉克颱風造成之坡地災害地點進行驗證，坡地災害事件有90.8%皆落於中敏感地文災害區。

### 坡地災害雨量警戒參考指標

對於過去災防中心（2003）所訂定坡地災害警戒基準方式，如圖4所示，乃利用實際降雨值才發布警戒資訊，對於坡地災害應變時間較為壓縮，無法在颱風登陸前進行整備；另外，針對縣市區域性之降雨警戒方式訂定，礙於歷史崩塌事件之發生時間難以確定，以及災害地點與規模資料彙整難度較高之下，因此採用災防中心氣象組

發展之颱風降雨氣候模式概念，發展颱風未登陸前之鄉鎮坡地災害區域警戒基準。

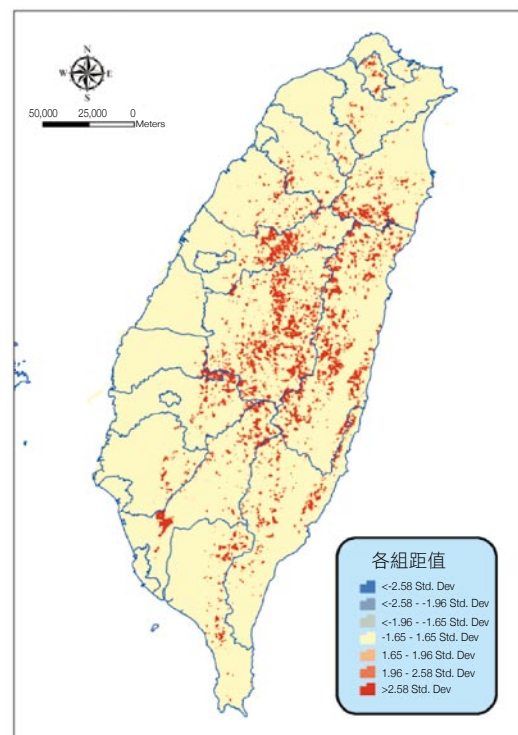


圖3 坡地災害熱點集中區域圖。



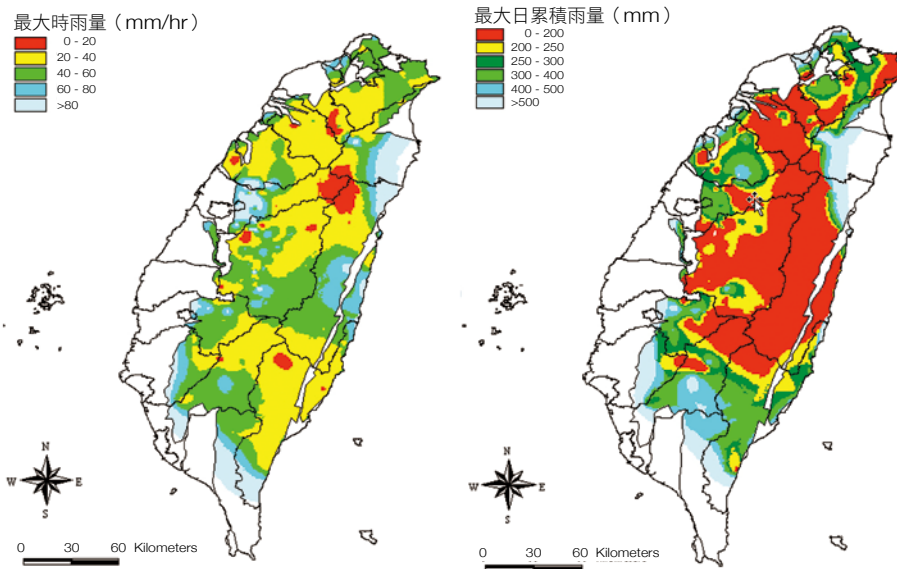


圖4 國家災害防救科技中心（2003）訂定坡地災害警戒雨量基準（左圖為最大時雨量等雨量線圖；右圖為最大日累積雨量等雨量線圖）。

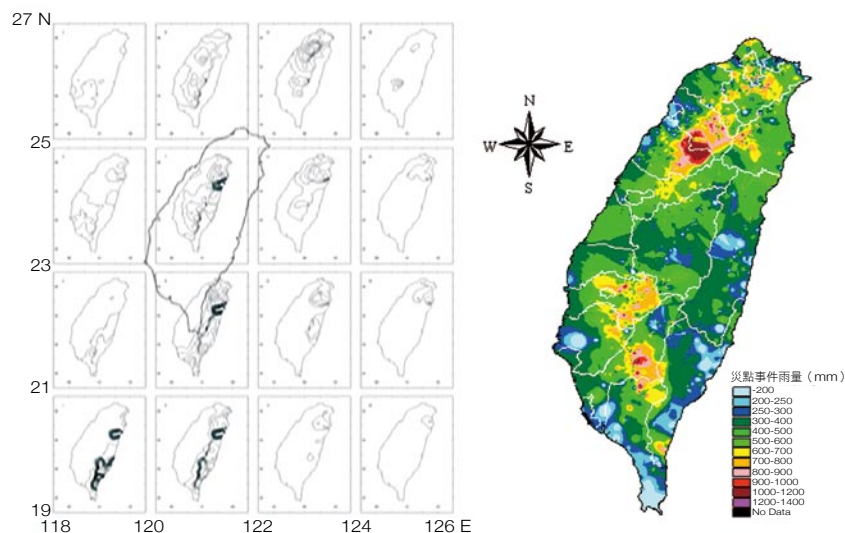


圖5 颱風氣候降雨模式與颱風坡地災害累積雨量等雨量圖（左圖為颱風位置與台灣降雨趨勢圖；右圖為坡地災害於颱風期間總累積雨量所繪製等雨量線圖）。

首先，利用1989~2008年颱風經過東經118度至126度，北緯19度至27度之分析範圍時間內全台各雨量站之累積降雨量，以IDW內插方法求取全台之颱風累積降雨分布，各事件之坡地災害點位擷取其位置於此次颱風之累積降雨量，而繪製而成之「颱風坡地災害累積雨量等雨量圖」，如圖5所示。另外，將颱風坡地災害累積雨量門檻依據各縣市鄉鎮分區訂定，如圖6為嘉

義縣市坡地災害之颱風總累積雨量分布，以平均值為650mm為坡地災害紅色警戒發布值，負一個標準差區間450mm作為黃色警戒發布值。同時，配合中央氣象局提供之風雨報單之雨量預報資訊，依據各時間的颱風推估雨量及實際觀測降雨，考量未來之颱風發展及降雨趨勢，提早進行相關應變措施作為。



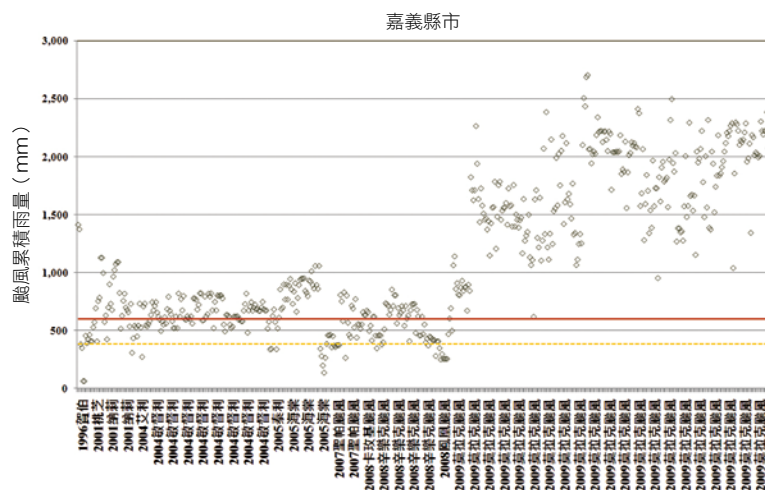


圖6 嘉義縣市坡地災害之颱風總累積雨量分布。

## 坡地災害整合警戒研判自動化模型

國外部分災害應變中心是以雨量站觀測降雨是否超過警戒值進行警戒資訊發布（日本土砂災害警戒發布亦以此法進行），然而根據台灣過去災害經驗而言，尤其在颱風期間降雨分布有極大的差異，例如2009年莫拉克颱風造成南部地區超過3,000mm總累積雨量已超過歷年降雨；芭瑪颱風甚至未發布陸上颱風警報，卻在宜蘭縣降下破千雨量。另外，台北市水磨坑溪曾發生土石流災害，因降雨鋒面影響，北投地區降雨而大台北地區卻是陽光普照。因此，以單一雨量站作為警戒雨量參考站確實是不足的。

有鑑於此，災防中心所研發之坡地災害整合警戒研判自動化模型，有別於國內外過去各種警戒模型，係以空間警戒資訊突破傳統之坡地災害潛勢研判，如圖7所示。利用QPESUMS空間降雨估計1.25km×1.25km解析度網格，套入全省四百多個地面觀測降雨資訊，以空間統計分析雨量分布結果。因此每一個網格資料皆每10分鐘將有一筆降雨資訊進行分析研判。另外，

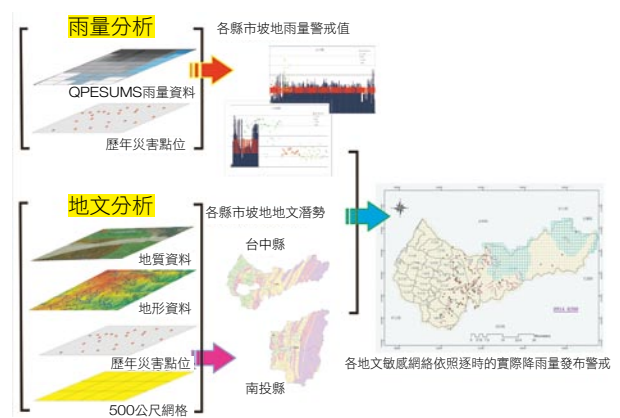


圖7 整合坡地災害空間預警流程圖。

地文災害敏感圖是以500m×500m解析度納入1.25km×1.25km分析研判網格，每一個網格皆有配合地文災害敏感之降雨門檻值屬性資料。依據每10分鐘之觀測降雨及預測雨量，即可快速進行坡地災害分析研判。該方法確實有別傳統之單點災害推估，以空間及短時研判的方法，全程以自動化方式進行研判，如圖8與圖9為2008年辛樂克颱風某一時間自動研判結果。

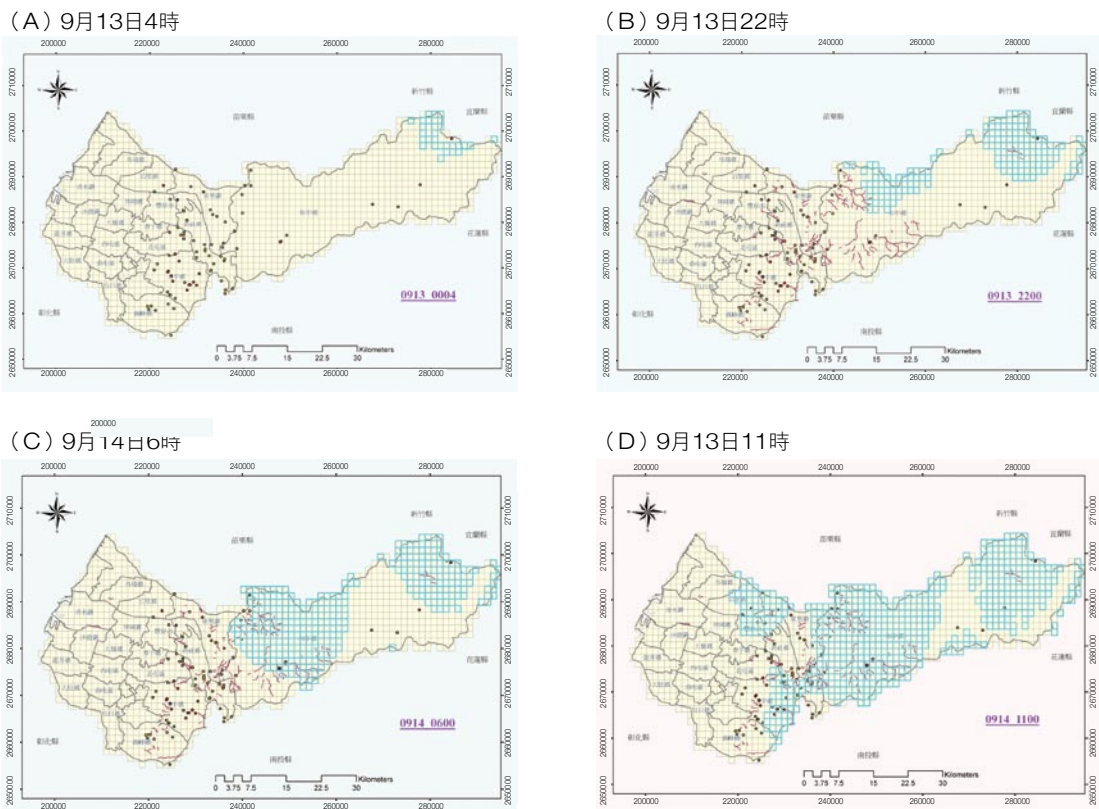


圖8 台中縣於辛樂克颱風期間坡地災害警戒自動化研判結果。

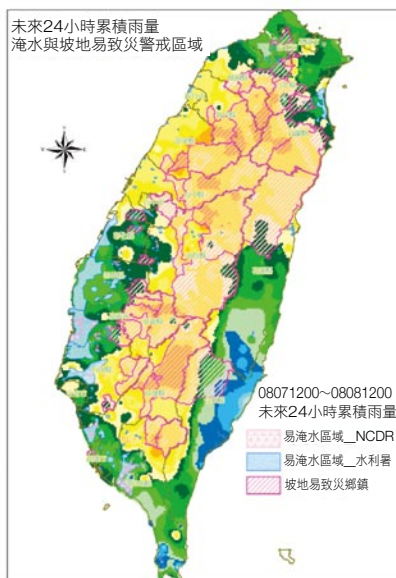


圖9 自動化災害研判結果與應用。

另外，由於空間資訊可納入各部會署的資料，可改變過去各部會各自為陣的研判不易整合。因此，坡地災害整合警戒研判自動化模型，可將中央氣象局雨量站地面觀測值與

QPESUMS空間推估雨量、水土保持局土石流警戒觀測、公路總局道路通阻監測及中央地質調查所環境地質敏感圖與岩體工程性質，帶入坡地災害防治組的崩塌災害之水文與地文參考指標模組，除了每10分鐘的監測雨量、每個網格自動分析研判是否超過警戒參考指標之外，並可將各部會如地調所、水保局、公路總局各項監測資訊，通阻事件一併顯示於空間模型上，自動化研判可能之災害發生區位，並未來可能之受衝擊之山區部落，以利於未來中央災害應變中心指揮官作為相關之決策參考。

## 致謝

本研究期間行政院農業委員會水土保持局、交通部公路總局、中央地質地質調查所提供必要的協助及寶貴的資料，謹誌謝忱。

# 莫拉克颱風勘災機制之規劃

文/圖 陳亮全、謝龍生、李欣輯、黃俊宏 國家災害防救科技中心

## 前言

莫拉克颱風從2009年8月6日開始侵襲台灣，造成之災情比50年前之「八七水災」更加慘烈，各項氣象水文觀測資料皆打破過去最高紀錄，三天之內降下超過台灣整年之平均降雨量2,500毫米，例如嘉義縣阿里山鄉阿里山雨量站累積雨量達3,059毫米（統計6日0時至11日10時止），如此巨大降雨量造成嚴重災情，受災範圍與規模超過921集集大地震之災情，主要災情涵蓋台東、屏東、高雄、台南、嘉義、雲林、彰化、台中、南投、苗栗、新竹及桃園等縣市，主要災害類別包含有水災、土石流、坡地崩塌、橋樑斷裂、河海堤損毀、交通中斷及農業災情等。截至中央災害應變中心災情處置報告（第74報），此次颱風事件已造成693人死亡（含尚未確認身份者）、76人失蹤，農業損失將近200億元，若再加上其他如坡地災害、重要防洪設施與民眾財物之等災情，損失不止如此。

由於此颱風事件帶來之災害規模相當廣泛，已可列入台灣災害史的重大事件，因此有必要對此災害事件進行詳實調查分析，作為未來減災工作之參考依據。因此災後一個星期內，行政院國家科學委員會即委請本院國家災害防救科技中心

（災防中心）針對莫拉克颱風災情規劃勘查之行動，進行全面性災情普查，以了解此次災情之種類、數量及規模。勘查重點將包含氣象分析、水災及崩塌災害分析、應變體制及防救災資源調度等方面，例如此颱風之降雨機制，致災原因、中央與地方之雙方互動機制及救災疏散之時機等問題，在此事件皆已突顯，因此有必要進行深入瞭解與檢討，以供未來各項防災工作之參考。

## 災害勘查作業系統

為使災害勘查資料得以有效保存及查閱，並於災害發生後讓災害勘查人員更有效地收集相關資料，自2005年起本院災防中心陸續開發災害勘查資訊系統。2008年更將災害勘查資訊系統依據功能、系統目的再細分為五大模組：

1. 籌組災害勘查團隊之災害勘查人才資料庫。
2. 現地調查系統之災害勘查電子表單系統。
3. 負責資料儲存之重大天然災害勘查資訊系統。
4. 災後減災調查之易致災調查資訊系統。
5. 歷史颱風災害資訊之分析系統。

上述各項應用系統依據災害勘查時程與應用需求陸續開發，使用時機與流程如圖1所示。





圖1 災害調查資訊系統五大模組使用時機與流程示意圖。

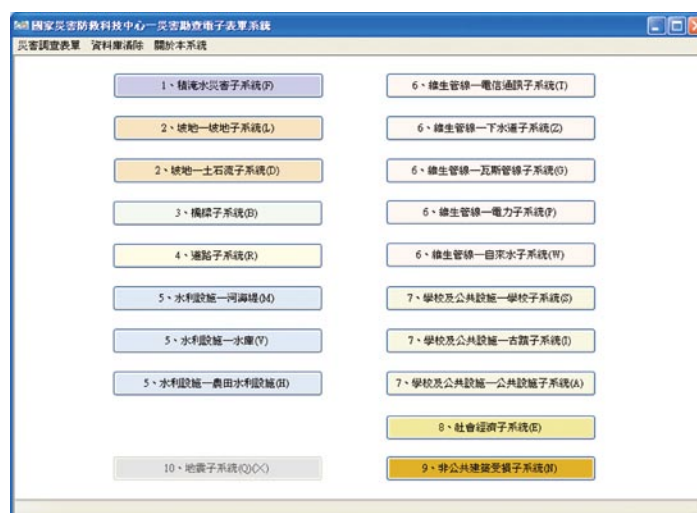


圖2 災害調查電子表單系統入口示意圖。

其中，災害調查之電子表單系統是為了節省勘災團隊輸入建檔時間而開發的，運用簡便之平版電腦、數位相機及衛星定位系統，透過網際網路技術將勘查記錄輸出後以FTP方式回傳至災防中心後端系統，達到快速記錄、節省資料彙整作業時間之目的。98年因應莫拉克颱風勘災作業，災害調查電子表單項目由原本的2大類3項擴增至9大類18項（圖2所示），包含：

1. 淹水災害類：積淹水子系統。

2. 坡地災害類：坡地、土石流子系統。

3. 橋樑災害類：橋樑子系統。

4. 道路災害類：道路子系統。

5. 水利設施災害類：河海堤、水庫、農田水利設施子系統。

6. 維生管線類：電信通訊、下水道、瓦斯管線、電力、自來水子系統。

7. 學校及公共設施類：學校、古蹟、公共設施子系統。



圖3 社會經濟子系統。



圖4 坡地災情查詢功能。

8. 社經調查類：社會經濟子系統。(圖3所示)

9. 非公共設施類：非公共設施子系統。

此外，當勘災團隊完成災害勘查電子表單之後，災防中心會將所有勘查資料（九大類調查）數化成地理圖資，最後製作成查詢網頁及地理資訊網頁，供外界查詢。每個查詢功能，除了提供災情資訊及其屬性資料外，並將災點標定在 Google map 上，運用圖文查詢模式，提供使用者便捷的空間資訊。如圖4及圖5所示。

## 受災區勘查行政作業流程

### 每日勘災作業流程

為使勘查作業機制能常態性建立，因此本計畫研訂各災害分區勘災團隊於每日之勘災作業流程，說明如下：

1. 勘災團隊應於每日上午7時至指定地點集合（建議於地方政府開設應變中心之場所）。
2. 檢查個人防護安全裝備及勘災時所需攜行之裝備。



圖5 受災學校災情查詢功能。

3. 勘查團召集人說明當日勘查工作時間、重點及應注意事項。
4. 出發至現場進行勘災。本計畫研訂現地調查表（如附表1至附表9），以利於現地勘查資料之彙整及資料庫建置。
5. 每日下午7時勘查團隊返回指定地點集合，並召開進度會議，討論當日蒐集資料與致災分析研判及翌日勘查計畫。於會中各勘查小組提報分組工作執行情形、重要發現、所遭遇之問題、後續工作計畫與作業所需資源；並透過跨領域綜整分析研判方式，能使致災原因更能詳實呈現，且注意各專業分組間是否有調查介面之盲點及協調等問題。
6. 將進度會議做成會議紀錄，連同當日調查表格交由科技中心人員彙整。

### 現地勘查作業流程

1. 災害勘查點說明：當抵達災害勘查地點時，應首先由地方政府、鄉鎮公所等災害權責單位相關業務主管人員進行說明受災情況。
2. 訪談：勘查團成員為了解勘查點狀況，可訪談地方政府、鄉鎮公所等災害權責單位相關

業務主管人員、民間團體及當地居民，交叉比對以了解現地狀況。討論後，瞭解實際致災原因及歷程，並初步研訂可能具體方案，亦可以問卷調查之方式進行調查。

3. 災因分析討論：經訪談後，可現地討論其實際致災原因及歷程，並初步研訂可能具體方案。
4. 測量、定位及拍照：利用GPS定位系統進行災害勘查地點座標定位，每個災害勘查點均需拍10張含以上之照片。
5. 勘查表格填寫：各組於現地勘查作業中確實填寫相關作業表格，以利後續彙整與分析作業。
6. 地圖點繪：將災情範圍點繪於所規定之圖資上。
7. 相關資料之蒐集：詢問受災權屬機關是否有相關之資料提供。

### 勘查期程及工作重點

此次勘查之主要目的為針對莫拉克颱風所引致之災情，進行全面普查工作，以掌握災情數量及規模；進一步瞭解災害發生原因及其可能潛在之危險地區，如水災、水利設施、土石流、橋樑、

崩場地、道路交通及農業損失等。最後針對調查、分析與檢討之結果，提出短期及中長期之因應措施，供行政決策者參考。依據上述目的急迫性與完整性，災防中心將勘災的工作分成四個階段（如圖6）。

第一階段為資料蒐集，第二階段現象分析，第三階段為初步災因分析，最後階段為成因分析及報告撰寫。茲將各階段之勘查重點說明如下：

- 1.資料蒐集階段：此階段之勘查重點主要包含現地災情之勘查，部會、部會署資料蒐集、各類基本圖資蒐整，以瞭解災害規模及範圍。
- 2.現象分析階段：此階段之勘查重點主要包含彙整所有災情資訊進行統計分析、即時監測與觀測資料之分析及災情時序分析。
- 3.初步災因分析：此階段之勘查重點是利用現勘資料初步進行災因分析，並藉以提出預防二次災害之緊急應變措施。
- 4.成因分析及報告撰寫：召開專家學者座談，進行調查結果討論，完成勘災調查報告最後

之修訂工作，並配合分析之結果提出中長期改善措施建議。

## 勘查團隊之籌組

災防中心過去為協助地方政府強化各項災害防救業務效能及協助災害預警之工作，分別於各地區由大專院校防災研究中心成立協力機構，由於各協力機構之組織架構係由洪旱、坡地、資訊、社經及體系等領域之學者組成，因此對於此次颱風災情之勘災工作，即利用協力機構具有跨領域整合之特點，委由各協力機構籌組災害分區之勘查團方式進行勘災工作，對於整個災害勘查團之成員包含如下：

- 1.科技中心協力團隊之專業學者，包含水利、大地、橋樑結構、維生系統、地質、社經、資訊、重建復原及國土規劃等方面。
- 2.各災害主管於各轄分區之專業技術人員。
- 3.地方政府災害主管機關業務相關人員。
- 4.國家災害防救科技中心及主協辦單位行政與技術人員。



圖6 各階段勘查工作之重點。

對於每一災害分區勘查團由協力機構主持人擔認為團長，並由國家災害防救科技中心陳主任亮全擔任此次颱風災情整個勘查工作之總團長。整個細部勘查團之架構如下圖7所示。

此次颱風主要災情區域涵蓋台東縣、屏東縣、高雄縣市、台南縣市、嘉義縣市、雲林縣、彰化縣、台中縣及南投縣等縣市，因此對於勘災責任區域劃分之原則，即以災防中心各協力機構所協助之縣市政府為調查區域範圍，劃分結果說明如下：

1. 國立屏東科技大學防災中心：台東縣、屏東縣。
2. 國立成功大學防災中心：高雄縣市及台南縣市。
3. 國立雲林科技大學防災中心：嘉義縣市、雲林縣。
4. 國立中興大學防災中心：南投縣、台中縣及彰化縣。

針對每一分區勘查團隊，擬更細分成幾個功能分組，共有淹水水災、水利設施、橋樑災害、坡地災害、道路災害、維生系統、社會經濟、學校與公共設施及受損建物等共九項調查工作。

### 結語

莫拉克颱風災害是台灣五十年來罕見的災例，帶來的各項災害衝擊及影響定是未來防災工作之重要參考，所以各類災害資料的蒐整與保存相當重要。為確保勘災調查的品質及因應部會署後續應用之需求，本計劃未來將邀請學者專家及部會署代表舉行協商與討論會議，使勘災成果所研提之方案與復原措施更具實值效益。另外，勘災工作的推動除了為這罕見災害作紀錄之外，未來亦會將莫拉克風災調查成果對外開放，運用GIS圖層套繪功能，提供使用者多元化查詢，提昇本計劃的應用價值。

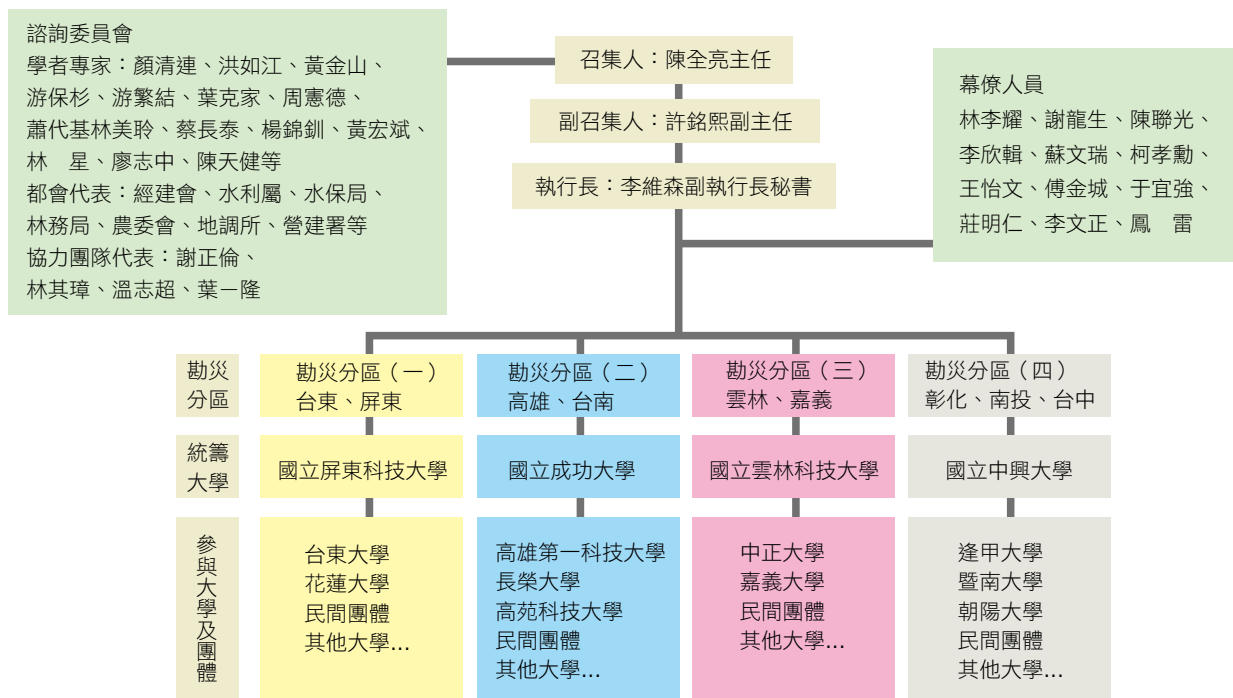


圖7 勘災團之組織架構。



## 台灣氣候變遷趨勢

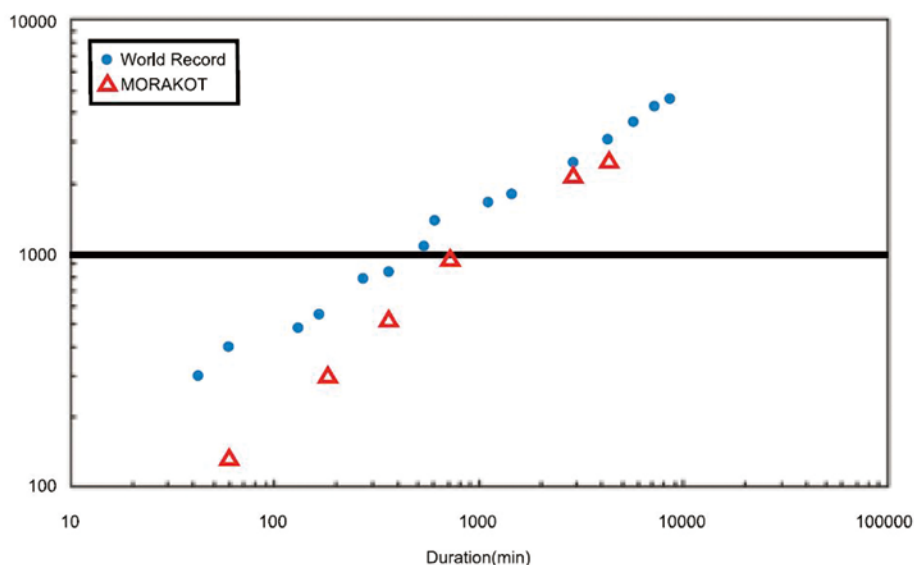
文/圖 吳宜昭、陳永明、朱容練 國家災害防救科技中心

### 摘要

為了探討氣候變遷未來可能對台灣造成之衝擊，本文彙整氣候變遷相關研究，以瞭解台灣過去之氣候變遷特性。台灣過去平均氣溫和海平面的上升速度，超越全球變化的速率，足見氣候變遷對台灣氣候的影響已經很顯著；全台平均季節降雨強度有增加趨勢；年平均降雨量增加趨勢不明顯，而北部較南部有明顯逐年增加的趨勢。全台不降雨日數逐年增加；和淹水、坡地等災害有密切相關的極端降雨，以中央山脈為分界，以西地區的極端降雨強度近年來偏強，以東地區變化

不明顯或甚至偏弱。伴隨颱風的極端強降水是颱風來襲時造成災害的主因，過去十年來具有此特性的颱風發生頻率較之前三十年增加一倍以上。

根據跨政府氣候變遷小組（Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC）第四次評估報告對未來的推估，全球大多數地區豪大雨事件的頻率將上升；西北太平洋強颱風的比例可能升高，伴隨颱風的極端風、雨強度也可能增加；東亞地區乾旱日數可能變多。如何因應這



資料及圖來源：經濟部水利署水文技術組。

圖1 比較莫拉克颱風來襲時（紅三角形）和世界紀錄（藍點）隨著時間增加，累積雨量的變化。

## 極端強降雨颱風發生頻率統計 (1970~2009年排名前30名強降雨颱風)

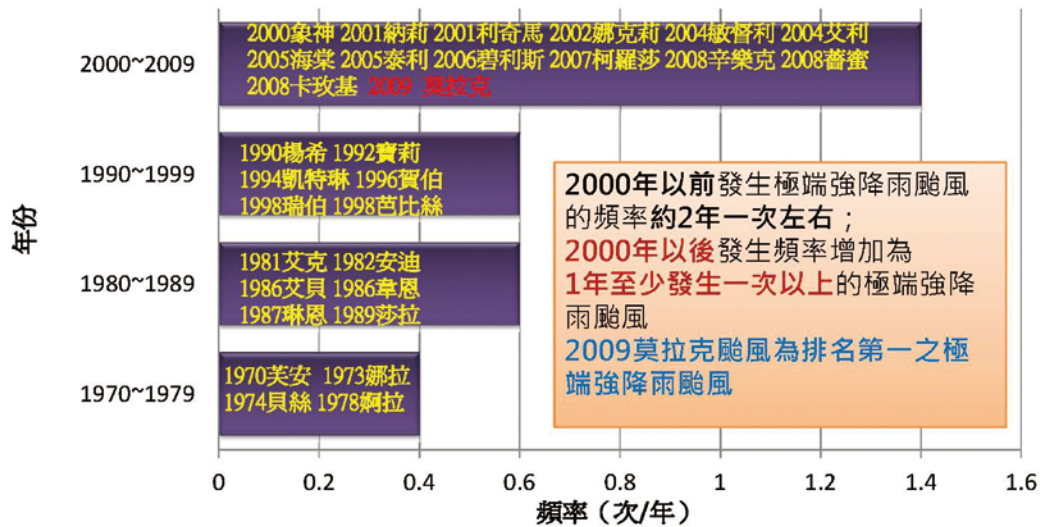


圖2 侵台颱風中極端強降雨颱風個數每十年的變化。

些極端天氣頻率或強度的逐年增加，將是台灣防災科技面對未來最大的挑戰。

### 前言

2009年8月莫拉克颱風來襲，在南台灣造成土石流、山地崩塌、淹水等災害，也造成有紀錄以來最慘重的人命傷亡及經濟損失。其前所未有的累積雨量是莫拉克釀成巨災的主因，莫拉克颱風來襲時連續三日降下的累積雨量直逼世界紀錄（圖1）；在南台灣山區的雨量尤其驚人，以莫拉克來襲期間累積雨量最大的阿里山測站為例，自約登陸前一日起的四天連續累積降雨量就佔了該地平均年總降雨量的76%強，在其他嘉義、高雄、屏東等地的山區測站也同樣降下了約70%的降雨。

莫拉克颱風釀成巨災，不論學者專家或升斗小民，紛紛將這世紀大颶和氣候變遷聯想在一起。的確，莫拉克是否是氣候變遷下的產物，並不易找出強有力的證據證明來者之間的直接關聯，然而若比較莫拉克的超大降雨特性和過去十年來侵台颱風特性的變化，可發現兩者有一定的共通性。圖2所示為過去四十年來威脅到台灣的極端強降雨颱風頻率每十年的變化（詳細內容見後「侵台颱風的氣候變化」一節），以2000年為分界點，2000年之前發生極端強降水颱風的頻率約每兩年一次，之後增加為一年至少一次。因此莫拉克並非意外，而是近十年來侵台颱風特性氣候變異中一個極端的例子。它反應的可能只是台灣氣候變遷冰山中的一角，其餘氣象因子的氣候變化趨勢也需要深入探討。

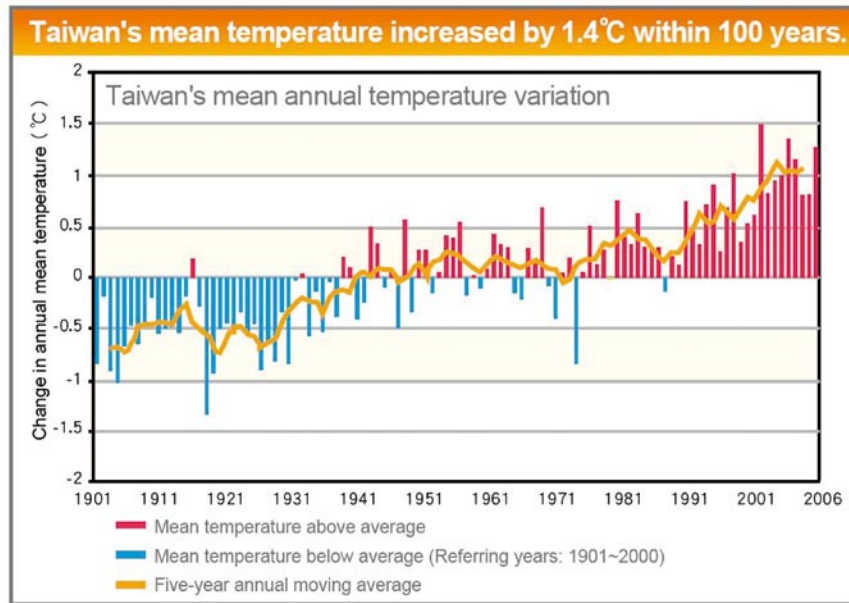


圖3 台灣五代表性測站（台北、台中、台南、花蓮、台東）平均溫度百年來的變化。

氣候變遷的問題與影響已是世界各國極為關注的議題之一。IPCC也已經對於世界各地持續進行氣候變遷影響的評估與對未來的推估。然而，IPCC目前主要針對大範圍（如東亞地區、非洲、美洲……等）地區進行情境分析和推估，其粗時、空間解析度資訊無法滿足局部地區（如台灣）的需求。為了分析氣候變遷未來可能對台灣造成之衝擊，瞭解台灣過去之氣候變遷特性是必須的。以下首先闡述台灣過去氣候平均狀態如溫度、降雨量以及附近海域環境之變遷，再針對和災害有密切相關的氣象因子如劇烈降雨及颱風特性的過去變化描述，最後簡介本中心對於研究台灣氣候變遷近期的規劃。

### 台灣過去氣候變化的特性

平均氣溫的長期變化直接顯示了氣候變遷對台灣區域的影響。歷史觀測資料顯示，台灣百年

來各個季節的氣溫都有上升的趨勢，其中又以春季的上升幅度最為明顯；近三十年的氣溫變化趨勢則以冬季氣溫的上升趨勢最為顯著。在空間分佈上，台灣各地測站均觀測到氣溫上升的趨勢。平均來說，過去100年全台灣的平均氣溫上升約0.8度（中央氣象局，2009），超越過去百年全球平均溫度上升的兩倍。尤其最近10年上升的速度最快其中五代表性測站（台北、台中、台南、花蓮、台東）的上升速度約1.4度（圖3）。

極端溫度事件的變化趨勢對公共衛生、農林漁牧及影響產業與生活的能源議題等，有明顯的影響。若定義日最高溫度超過35°C者為高溫日數，最低溫度低於10°C者為低溫日數，從1950至2008年每日觀測顯示，全台平均高溫發生日數有增加趨勢，低溫日數則呈減少的趨勢。在地區差異上，台北過去近六十年來年高溫日數呈現

明顯年代際尺度（週期約10-20年）變化，長期的線性趨勢為隨時間增加，近六十年來平均每年高溫日達22日，近十年平均更高達32日；其餘台中、高雄、花蓮年平均高溫日數均只有個位數；低溫日數方面，台北、台中過去近六十年平均每年出現10至20天低溫日，但近二十年來明顯減少，年平均低溫日減為個位數；高雄、花蓮的年低溫日數維持個位數，無明顯趨勢。

降雨方面，台灣地區降水型態空間與時間分佈並不平均，終年受到東亞季風的影響很大。平均來說，台灣大部分地區夏季降水較冬季多。夏季時，西南季風夾帶旺盛溼熱水汽由南海輸送至台灣，造成各地降雨，其中又以迎風面的台灣西

南部最為明顯。冬季時，受到東北季風的吹拂，迎風面的東北部易降雨。然而，由於此時空氣特性較偏冷乾，因此位於背風面的台灣西南部地區較無明顯降水。此外，台灣地形對於降水的影響上亦扮演重要角色，平均而言，高山地區降水較多，平地相對較少。舉例來說，台灣中部玉山和阿里山平均年降水大約3,000mm至4,000mm左右，北部陽明山鞍部則是4,900mm，而平地則是介於1,000~2,000mm之間。

在平均降雨趨勢方面，1950至2008年台灣年平均降雨只有近七十公釐的增加，比變化量（即標準差，約401公釐/年）小很多，顯示台灣地區整體降水無顯著增加趨勢。但若分地區來

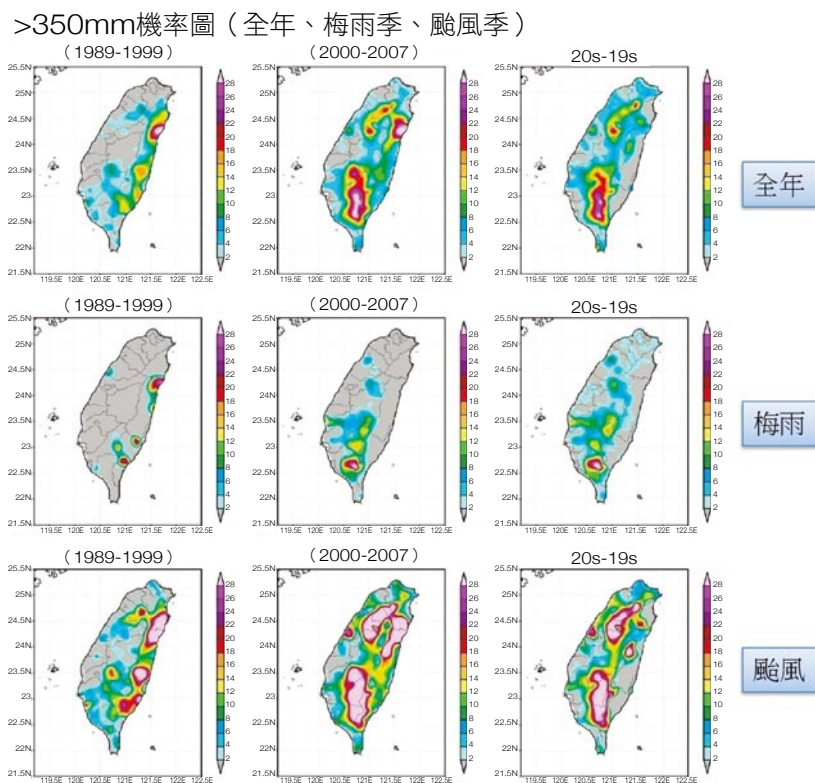


圖4 (上) 年平均超大豪雨（日雨量>350公釐）事件機率變化的空間分佈，由左至右分別為2000年之前（1989年至1999年）、2000年之後（2000年至2007年）以及兩個時期的差別。（中）同（上），只是分析月份針對梅雨季（5-6月）。（下）同（上），只是分析月份針對颱風季（7-10月）。  
機率定義為超大豪雨降雨次數和所有降雨（日雨量>5公釐）次數的比值。



分析，北區降水逐年增加，而東部、南部地區趨勢較不明顯。此外，近六十年來，全台不降雨日數逐漸增加，乾旱事件的發生的頻率較高，推測除了與全球氣候暖化影響有關之外，也同時可能和東亞地區空氣污染惡化以及太平洋周圍含硫量高的火山噴發活動有關（汪，2006）。在地區的差異上，台灣北、東部地區的乾旱趨勢較不明確，中部及南部地區的乾旱隨時間有加重趨勢。（Wang et al., 1994；許等人，2006；游保杉，2007）。

另就年平均降水強度長期變化而言，台灣地區年平均降雨量的長期趨勢不明顯，但全年各季節降雨日數均呈現減少趨勢（陳雲蘭，2008），尤其是春季降雨日數減少較明顯，顯示平均季節降雨強度有增加趨勢。

在海水位變化方面，根據於2002年「國家通訊」內文中指出（行政院，2002），從國內14座驗潮站長期海平面資料分析發現，近九十年來，基隆、竹圍、塹港、將軍、安平、高雄及梗訪等地之海平面有上升之趨勢；而台中、富岡、蘇澳等之海平面則是有逐年下降的情形。此外，利用現場潮位資料與衛星觀測資料分析台灣附近海域海平面變動情形（Tseng et al., 2009），發現近五十年來，台灣附近之海平面上升速度約2.4mm/yr，為同時期全球平均海平面上升速度的1.3倍；其中西南沿海地層下陷區之海平面上升速率甚至高達約7.89mm/yr，可見台灣附近海平面上升趨勢極為顯著。

綜合以上分析，和全球相比，台灣過去氣候變異的趨勢也很明顯。在全球氣候變遷背景下，未來台灣的氣候變異及其衝擊不容小覷。下一節將討論和洪災、坡地災害更直接相關的氣象因子的氣候變異。

## 和災害相關重要氣象因子的氣候變化特性

由於容易致災的降雨多屬於強度很大的極端降雨，如時雨量大於70-80mm的極端降水容易造成洪災；而即使短延時降水強度並不特別強，但降雨時間夠長，累積雨量過多時容易導致崩塌或土石流等坡地災害，以下就台灣的劇烈降雨及歷年來侵台颱風的氣候變異進行討論。

### 劇烈降雨的氣候變化

liu等人（2008）分析自1961至2005年來時雨量的長期變化，發現四十多年來降雨時數漸減，平均時雨量強度漸增。例如，以時雨量7mm為界，小雨的降雨量漸減，大雨的降雨量逐漸增加；和1961-1969年時期相比，2000年後時雨量<2mm的小雨減少幅度達30%，而大雨（時雨量>20mm）大幅增加了200%。同樣的，若以降雨日數來看，時雨量<2mm的降雨日數明顯較1961-1969年時期減少了約30%，而時雨量>10mm的大雨則增加約50%—80%不等。顯示短延時降雨強度，近年來顯著增強；亦即近年來較不易降雨，但一旦發生降雨，降雨量將會比以往來得要多。

日累積雨量方面，過去1951至2007年來，日

雨量大於50公釐（近似中央氣象局定義的大雨）的降雨日數佔總降雨日數的比例，除了東部平地（除了台東）及南部的台南，均呈現上升趨勢（陳雲蘭，2008）。類似的結果也可從一日暴雨的長期變異看出。陳和游（2009）探討全台67個雨量站1960年至2008年歷年最大一日降雨值的長期變異，結論為近十年來，除了東區的蘭陽平原及花蓮沿海地區，全台大多數地區的年最大一日降雨量均呈現增加現象，西南部及中央山脈山區的增加尤其顯著。

當然，日雨量大於350公釐的超大豪雨事件可能對坡地災害有更顯著影響。1996年之後，全台年平均超大豪雨事件的頻率較前四十年增加許多（陳雲蘭，2008）。空間分佈方面，如圖4所示，為1989年至1999年時期（以下稱為2000年之前）和2000年至2007年時期（以下稱為2000年之後）平均超大豪雨事件機率變化的空間分佈。圖4（a）三圖分別顯示2000年之前、之後以及兩個時期的差別，可看出，以年平均來看，除了蘭陽平原和花東縱谷為減少，中央山脈以西地區2000年之後發生超大豪雨的機率普遍較2000年之前增加，機率增加明顯的地區一為跨嘉義縣、高雄縣、屏東縣的中央山脈南部山區西側，另一為跨桃園、新竹、苗栗、台中各縣的雪山山脈西北側。因台灣11月至翌年4月的降水較少，為相對乾季，對於前述的變化，我們可以將焦點放在梅雨季（5-6月）和颱風季（7-10月）的變化。圖4（b）、圖4（c）與圖4（a）類似，只是分析時期特別限制在梅雨季和颱風季。可看出雪山山脈西北側的變化來自颱風季變化的貢獻較

多，而中央山脈南部山區西側的變化則是來自梅雨季和颱風季兩者的貢獻都有。前者可能與侵台颱風路徑改變有關，後者可能與夏季西南氣流水氣供應增加有關，惟需進一步的研究確認。

綜合以上所述，不論以時雨量或日累積雨量來分析，以中央山脈為分界，以西地區的極端降雨強度近年來偏強，以東地區則變化不明顯或甚至偏弱。

### 侵台颱風的氣候變化

颱風是對台灣威脅最大的自然災害之一，以氣象局是否發布颱風警報為依據，台灣過去四十年來平均每年受4至5個颱風的威脅。一般常以颱風的近中心最大風速來描述颱風的強度及據以分類颱風，然而，伴隨颱風的強烈降雨才是造成災害的主因。為了解過去侵台颱風的強烈降水特性的長期變化，針對每個侵台颱風來襲時，綜合考量六種描述颱風整體或極端降雨特性（包括全部累積降雨、日平均降雨強度、不同時間長度下累積之短研時降雨等）的指標，來評估此颱風的強烈降水特性。最後，將過去四十年來每一個侵台颱風的指標值定義出之後，再根據指標值排序，挑選出名列前茅的颱風（圖2中挑選出的為前三十名的颱風），分析這些颱風在過去四十年間隨時間的分佈。

如前言所提（圖2），以2000年為分界點，過去四十年來侵台颱風極端強降雨特性有明顯的變化，2000年之前發生極端強降水颱風的頻率約每兩年一次，之後增加為至少一年一次。有趣的是，若以風速來分類與分析，2000年後侵台颱風

個數較2000年之前明顯增多，其中增多的是中度颱風，強烈颱風反而減少，顯示侵台颱風降雨量（降雨強度）與颱風強度（風速）不一定呈現一致的變化。以今年的莫拉克為例，最強時莫拉克也只達中度颱風的規模。就災害防治角度上，颱風極端強降水特性的變化更值得長期關注。

根據IPCC第四次評估報告對未來的推估，全球颱風的生成頻率可能減少，但最強的颱風數量比例可能增加，伴隨颱風的最大風風速和降水也可能增加。由於影響侵台颱風的氣候變化因素錯綜複雜，加上對未來的推估有一定不確定性，面對未來的變化，我們必須戰戰兢兢，謹慎以對積極規劃面對未來的因應措施。

## 結語

從近年來的災害資料發現，氣候變遷對於台灣的衝擊逐漸浮現。如前所述，氣候變遷目前在台灣造成的變化已經很明顯，部分氣象因子如氣溫和海平面的上升更超越全球變化的速率，可見台灣受到氣候變遷影響的程度已很明顯；隨著氣候變化，極端天氣的強度和頻率劇增，強降水颱風的來襲越來越頻繁，若加上地層下陷、都市排水系統不良、山坡地水土保持不當、水庫淤積等因素，將加重災害的規模及增加對社會、經濟的衝擊，台灣未來所面臨的是極為艱鉅的挑戰。

在全球積極投入氣候變遷衝擊評估研究及調適策略研擬制定時，身為國際社會的一員，台灣不能置身事外，必須以積極的態度面對。國家災害防救中心為國家整體防災課題研發推動與落實應用的專責單位，為減低氣候變遷對台灣的衝擊，持續規劃及推動相關專案研究，目前已經建立了

以本地氣候變化特性為主的災害風險地圖，也已歸納、整理出氣候變遷下台灣天災風險調適之關鍵議題。另外，自2009年起開始執行「台灣氣候變遷情境推估與資訊平台建置」，預計整合國內相關研究成果、彙整相關部會投入資源、扮演政府與學術單位間的溝通平台，並將尋求國際合作，引入IPCC及日本的氣候模式模擬資料，預期以氣象專業降尺度技術，應用在這些模擬上來產製高時、空間解析的資料，以了解過去的變化趨勢及推估未來的氣候情境，並建立台灣氣候變遷背景下未來的災害情境，這些都將是未來國家在因應氣候變遷時研擬國土規劃、防減災治理、關鍵基礎設施、產業政策、人口政策等重大決策之參考依據。

## 參考資料

- 1.行政院，2002：聯合國氣候變化綱要公約，中華民國台灣「國家通訊」。
- 2.汪中和，2006：氣候暖化對台灣水文環境的衝擊。東苑理工學院學報，第13卷第4期，74-79。
- 3.許晃雄，柯文雄，許武榮，商文義，2006：氣候降尺度預報技術發展。中央氣象局委託研究計畫期中報告。
- 4.游保杉，2007：「台灣地區乾旱變異趨勢與辨識研究(1)」，國家科學委員會研究計畫報告。
- 5.陳雲蘭，2008：由極端氣候指標看台灣氣候變化，2008台灣氣候變遷研討會。
- 6.陳憲宗，游保杉，2009：氣候變遷與台灣極端降雨變異趨勢，水資源管理會刊，12月號。
- 7.中央氣象局，2009：1897-2008台灣氣候變化統計報告，77頁。
- 8.Liu, S.-C., C.-J. Shiu, J.-P. Chen, and C. B. Fu, 2008: Changes of Precipitation Intensity in East Asia, 2008台灣氣候變遷研討會。
- 9.Tseng, Y.H., Breaker, L.C., and Chang, Emmy T.-Y., 2009: Sea Level Variations in the Regional Seas around Taiwan, *Journal of Oceanography*. In press.
- 10.Wang C. H., L. A. Li and W. C. Liu, 1994, Some characteristics of the precipitation in Taiwan., *Biodiversity and Terrestrial Ecosystem*, Institute of Botany, Academia Sinica Monograph Series No. 14, 343-354.

## 綜合流域治理推動芻議

文/圖 江申、謝龍生 國家災害防救科技中心

流域治理一直是台灣政府長久以來的重大議題之一，政府投注以高度的研發能量與治理經費；然而流域治理區域涵蓋範圍廣泛，面向包含災害治理、水資源管理、環境永續發展等，如何整體性地進行綜合治理，為世界各國面臨的重要課題。而近年來，隨著國家經貿發展與高度都市化，更加提升了流域綜合治理的挑戰性。

流域從源頭、上游、中游、下游到河口，跨越中央及地方各級政府主管機關，各區段所衍生的課題是互相關聯且交叉影響，其間如何有效整合政府功能、建置跨部會溝通平台，常為困難之處。此外，流域治理牽涉的法規廣泛，現階段缺乏整合性之法律架構，實有必要跳脫傳統思維，建立整合式流域治理通用體制與機構，以達成良善的流域治理。

台灣於過去邀請許多外國學者、專家來台進行技術交流，期能參考美、日諸國在災害防救、國土規劃與環境保育等方面之經驗與政策，提供流域綜合治理之政策參考，以期適切地規劃符合本土現況之防災對策，經由政策推動與觀念提昇，結合公私部門之能力與能量，減少災害經濟損失，有效運用洪旱治理經費、結合國土城鄉規劃

與全方位水資源管理等目標，對今後短、中長期之流域治理工作，提出完整的流域治理概念。本文中將說明目前本院災防中心參考國內外綜合流域治理作法後所提出之建議。

### 前言

由於台灣地理位置相當特殊，每年遭受洪水、旱災及地震等天然災害侵襲之機率相當高，尤其是颱風災害之頻率更頻繁，世界氣象組織之減災部已將台灣列為全世界最容易致災區域，災害除導致相當嚴重之經濟損失外，對於居住於台灣民眾生命安全更是一大威脅。為提升台灣在國際上之經濟競爭力，以保障民眾之生活安全，因此國土災害防治一直是台灣政府施政之重點議題，長久以來政府投注高度的研發能量與治理經費進行流域綜合治理，例如近期所推動之8年1160億元「易淹水地區水患治理綱要計畫」，其目的係以為系統性治理全國主要河川、區域排水及海堤，改善地層下陷區、低窪區及都市計畫等地區之淹水問題。

然而流域治理區域涵蓋範圍相當廣泛，包含行政組織架構之一元化、災害工程治理上下游整



合、水資源調度與經營管理、環境永續發展等面向，如何整體性進行流域綜合治理，為世界各國面臨之重要課題。而近年來，隨著國家經貿發展、氣候變遷與高度都市化，更加提升了流域綜合治理的挑戰性。

流域從水源、上游、中游、下游到河口，跨越中央及地方各級政府主管機關，各區段所衍生的課題是互相關聯且交叉影響，其間如何有效整合政府業務功能、建置跨部會溝通平台，實為困難之處。此外，流域治理牽涉的法律廣泛，現今我國與流域工程治理、行政管理及土地開發等相關之法例，計有「水利法」、「森林法」、「河川管理辦法」、「水土保持法」、「水污染防治法」、「地方自治法」、「都計法」、「水患治理特別條例」及「基隆河流域整治特別條例」等，因缺乏整合性之法律架構，且法與法之間互相衝突與牽制，造成管理與治理介面問題產生，實有必要跳脫傳統思維，建立整合式流域治理通用體制與機構，以達成縱向與橫向一元化之流域治理。

2008年台灣遭受卡玫基、鳳凰、辛樂克與薔蜜等颱風之侵襲後，行政院提出「易淹水地區水患治理計畫檢討報告」，其後提出淡水河、大甲溪、濁水溪及高屏溪等四大流域之流域綜合性治理構想，同時指示國家災害防救科技中心協助建立及編製綜合流域治理方法及步驟之操作手冊，以作為未來流域管理局或相關部會在進行綜合流域治理時之指導方針。爰此，本院國家災害防救科技中心（災防中心）指派專業研究人員組成「國家災害防救科技中

心綜合流域治理專案小組」，進行美日等先進國家治水對策及經驗之蒐集，並研議適合台灣之綜合流域治理手冊內容。

專案小組除收集國內外之相關技術文件以及流域治理案例，並於2008年12月16及17日召開「綜合流域治理國際研討會（International Workshop on Comprehensive River Basin Management）」，邀請美、日先進國家之學者及政府官員提供其國家在流域治理、環境與防災、國土規劃與保育等方面之政策思維與推動經驗，以做為災防中心綜合流域治理專案小組編纂流域綜合治水手冊之參考。研討會中除邀請美、日等先進國家之總合治水相關學者及政府官員參與，並邀請國內治水相關政府官員進行互相討論，研討會參加人數共計約160人，會議之全部討論內容均已以文字及影像紀錄並提出技術報告，此技術報告亦列入本手冊之附錄以提供手冊使用者進行流域綜合治理規劃時之參考。高橋裕教授在此次研討會當中，對於日本治水之歷史作了詳細之介紹，並在其後之討論時間以及圓桌會議討論中，說明都市開發部門需與防災部門以及都市計畫配合之重要性。

而由專案小組在彙整國內外綜合流域治理相關技術文件並研讀分析後，發現其實台灣在綜合流域治理之議題，就技術面而言，經濟部水利署之水利規劃試驗所於2006年所完成之「河川治理及環境營造規劃參考手冊」與「區域排水整治及環境營造規劃參考手冊」，即已規劃整理大部份之技術面課題；而經濟部水利署委託中興工程顧

問股份有限公司於2008年執行之「水利建造物工程設計基準之檢討」計畫，此研究報告針對綜合治水議題，除整理目前世界各國之綜合治水政策、架構及策略外，亦將經濟部水利署目前執行之綜合治水案例進行整理，並提出台灣地區實施流域綜合治水之研究及建議。專案小組從上述國內治水主管機關之研究報告進行分析探討認為國內綜合治水之關鍵問題在於規畫面而非設計面，因此專案小組在現況問題分析研究後，提出以國土計畫為指導原則之綜合流域治理構想。但目前台灣對於國土計畫並未付之研擬與推動實施，因此本專案小組另提出以災害脆弱度指標方式界定流域內各行政區域之脆弱度分佈，分析集水區經過土地開發利用後水文逕流之變異增加量，針對此逕流增加量研擬各種可能之滯水減洪措施，從

而進行綜合流域治理之流量分配試算。

### 流域水患發生之機制及綜合治理之對應方向

流域治理之關鍵問題可粗分直接處理流域面對外力衝擊之硬體部份以及可間接減少外力衝擊之軟體兩大部份。流域治理上面對之衝擊即為災害，此災害之發生可以如圖1之流程表示。

外力若大於流域之處理能力，而流域硬體（堤防或防洪設施）及軟體（災害應變）若無法有效降低災害之規模，則災害損失將產生。災損可以如下之函數表示：

$$D=f(S,F,F_0)$$

■ 流域水患發生機制及綜合治理之對應方向：

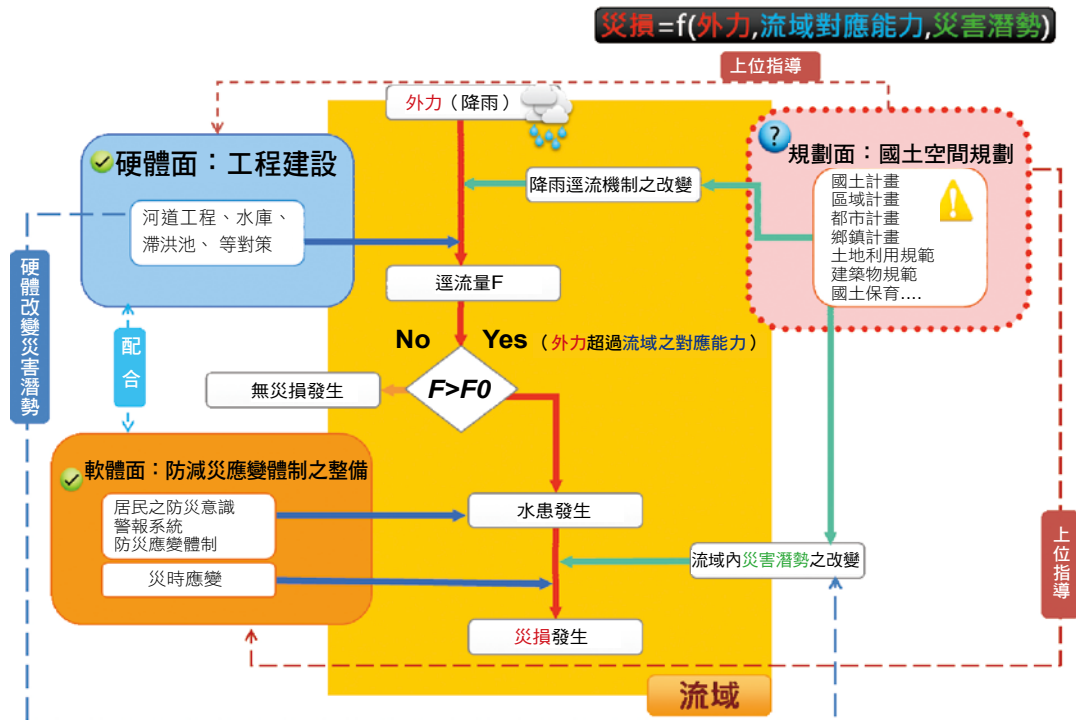


圖1 流域治理上面對之衝擊即為災害，此災害發生之流程。

其中:D表災損規模；S為災害潛勢（淹水潛勢、土石流潛勢等）；F為外力之規模，如:降雨量、流量等； $F_0$ 為流域對於外力之處理能力，如:河川將降雨輸流至下游之流量、流域在降雨中之自然保水能力、水工結構物之效能等。由此災損函數可知，災損之規模與流域面對之外力以及流域之災害潛勢成正比，而與流域對於外力之處理能力成反比。

就工程觀點視之， $F_0$ 規模之決定係由統計之方式計算外力F之發生頻率，在可能之預算下進行流域內之硬體建設，在此限度下保護流域內居民及其生命財產之安全。在目前氣候變遷之環境下，外力F之不確定性將更形提高，可經由土地利用之限制或政策等方式降低災害潛勢S之規畫面對策，在流域治理上將扮演更重要角色。

### 綜合流域治理之規劃原則

過去台灣治水之思維係以「快速向外排水」為基本策略，因此經常造成流域中下游洪水排放量超過防洪工程設計量而造成水災，專案小組參考美、日之綜合治水經驗及2008年12月「綜合流域治理國際研討會」之決議，研擬「綜合流域治理指導方針」係以國土規劃為上位指導方向，以流域為單元，運用各種工程與非工程手段，採取流量分擔之管理方式，同時配合土地利用之規劃與管制，並視需要訂定或修訂相關法規，適時公佈水情資訊並納入地方居民及意見團體之意見，達到流域永續發展之全方位治理方式。「流域綜合治理指導方針」之方向、目標面原則及執行面原則如下：

綜合流域治理之方向: 提昇河川水災防治，成

為綜合性之流域水治理。

### 綜合流域治理之目標面原則

- 1.以降低風險、分散風險替代抵抗風險、圍堵風險，亦即重視、強化減災，以減少風險負擔的作為。
- 2.不僅以過去、現今的災害致災條件、因子做為防治基準，而且必須考量未來可能增加或升高的災害風險（氣候變遷、都市化增加）。
- 3.不僅考量非日常性的災害防救，更應提昇成為日常性與長期性之環境整備。

### 綜合流域治理之執行面原則

- 1.除工程手法外，須充分納入非工程治理手法。
- 2.需跨領域與多面向的進行流域水治理之手法及科技研發與應用。
- 3.應強化不同業務單位、層級機關、公私部門之協調與整合。

以上所述綜合流域治理之方向、目標面原則及執行面原則可透過流域整體性治理計畫及推動機制落實、以達成治理目標。

### 國土規劃之重要依據-脆弱度調適策略

理想狀態下，都市發展初期即應結合都計開發與防災部門一起研議城鄉發展方向，依此方向思考，以國土規劃為上位指導原則之綜合流域治理當可貫徹此種概念。但由於國土規劃為各方政治角力之結果，現況下無法落實執行，在國土規劃未落實前，災防中心提出之替代方案為以脆弱度調適策略作為指導原則，脆弱度調適策略係指以



圖2 流域治理、開發以及災害管理指導原則之架構。

各種脆弱度地圖（淹水、氣候、地層下陷、社經及人口等）辨識流域單元中之脆弱部份，並研擬各項調適策略，以此方式，作為流域治理、開發以及災害管理之指導原則，其架構如圖2所示。

係以規畫面（脆弱度指標地圖）結合硬體面（流域硬體建設）以及軟體面（防減災體制）之綜合流域治理概念。

但脆弱度地圖之製作需投入大量之人力及時間，在使用上由於無法反應國家政策發展以及產

業調整方向，在應用上需協調政府不同部門以確定規劃後於執行時之順利。

脆弱度地圖之製作需收集大量基礎資料及各種災害之潛勢計算，疊合各種圖層後以綜合的方式決定各特定地區之脆弱度調適策略。圖3為脆弱度地圖應用之示意。

其實際應用時之流量管理策略試算流程如圖4所示。

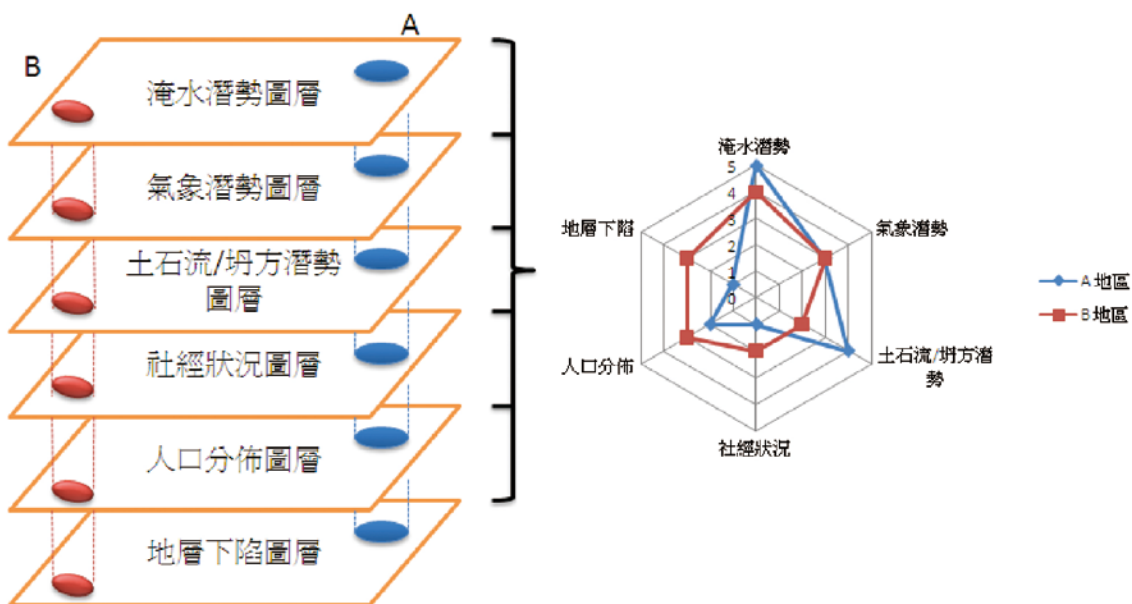


圖3 脆弱度地圖應用之示意。



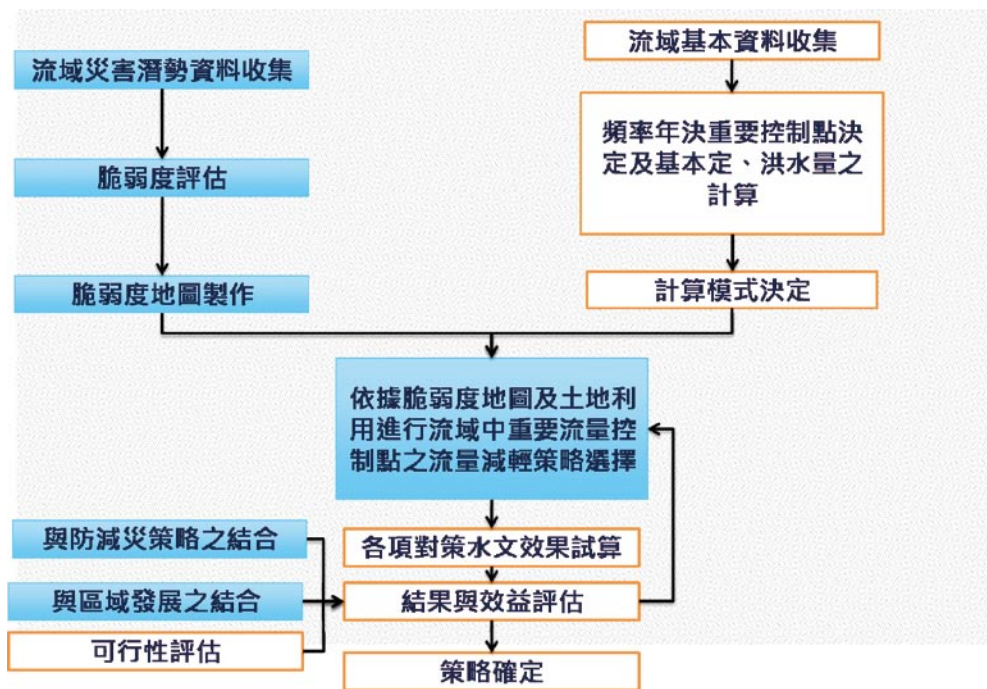


圖4 實際應用時之流量管理策略試算流程。

圖4中白色部份為傳統河川治理規劃時之基本流程，結合藍色部份之脆弱度地圖製作以及根據不同脆弱度區域考量不同調適策略之方法，以脆弱度指標地圖作為綜合流域治理之上位指導原則。具體之進行，將透過與治理相關部會署進一步研議及協商後開始實施。

## 結論及建議

本院災防中心所提之綜合流域治理，係由國土脆弱度為規劃指導原則，以流域為單元，運用各種工程與非工程手段，採取流量分擔之管理方式，同時配合土地利用之規劃與管制，視需要訂定相關法規，公佈水情資訊並納入地方居民及意見團體之意見，達到流域永續發展之目標。以下為綜合流域治理於施行之數點建議注意事項：

1. 建立治理區國土脆弱度地圖，作為治理規劃參考，脆弱度地圖需建立共識。

2. 規劃階段需建立整合機制，利害關係人意見，政府機關、地方政府、大型公共事業法人與地方意見團體應充分溝通。
3. 流域治理綱要計畫之擬定，需考量不同河段、不同單位間的介面問題。
4. 河川水位流量相關之監測、警報的軟硬體設施與法規體制，宜整合規劃建置。
5. 規劃階段即應配合民眾宣導與防災教育。
6. 綜合流域治理係由規畫面之國土脆弱度地圖、硬體面之流域硬體工程以及軟體面之防減災體制組合而成，推動機制之界面整合平台已由經建會提出。
7. 流量分配之規畫進行，應配合流域之整體永續發展以及各項脆弱度進行分配，並由流域綜合管理單位決議之。
8. 須以土地開發管理體制進行流量分配之落實。

# 氣候變遷社會脆弱性的發展及其可能應用

文/圖 李香潔、盧鏡臣 國家災害防救科技中心

## 前言

許多人將莫拉克颱風災害視為台灣第一個反應氣候變遷現象的災害事件。雖然多方置關心重點於危害度，如降雨量、降雨強度，或是工程技術，如堤防的牢固程度，但是，此次災害也顯現了許多和人或制度有關的社會脆弱性議題，例如，中央或地方體系運作的有效性、需要遷村的居民是否有辦法付擔相關經費、遷村後是否有能力再就業。亦即，災害的形成與程度，不只反應自然的危害或工程上的因應能力，也和社會面向的脆弱性因子有關。

台灣針對氣候變遷衝擊的討論，尚在一個初步發展的階段，更遑論與其相關的社會議題討論。事實上，國際間，如IPCC（2007）和美國環境變遷研究計畫（2009）皆已指出，不應將氣候變遷相關討論置於社會議題和社會變遷之外，因為後者的影響常大於前者。緣此，本院國家災害防救科技中心（災防中心）於2009年，在其「因應氣候與環境變遷之防災調適策略」小組進行研擬的氣候變遷關鍵議題報告書中，納入社會變遷此一章節，並將之定位於與氣候因子等同位置，而非如同一些國際報告書，僅將之置於最末章節。本文簡述此小組擬

定重要社會變遷議題的方法，並探討未來發展及應用方向。

## 台灣氣候變遷社會脆弱性發展架構

災防中心之「因應氣候與環境變遷之防災調適策略」小組將台灣氣候變遷關鍵社會脆弱性定義如下：

台灣氣候變遷關鍵社會脆弱性 = f（全球氣候變遷關鍵社會衝擊，台灣現階段災害的社會脆弱性，台灣社會變遷趨勢）

圖1為本小組於2009年根據以上定義，完成的階段性任務：

- 第一步驟：檢視國際上重要的氣候變遷衝擊報告，以擬定相關社會脆弱性因子。台灣氣候變遷相關的社會科學研究貧乏；再者，國際間已有許多報告，針對氣候變遷的社會影響，提出較為全面的視野。在本土經驗不足的狀況下，本小組先行參考國外的研究成果，作為初擬台灣重要社會脆弱性面向之依據。

- 第二步驟：輔以台灣社會變遷等相關資料，以初步決定本土關鍵社會脆弱性。
- 第三步驟：脆弱性呈現方法。收集政府相關統計，以縣市或鄉鎮為單位，呈現台灣現階段脆弱性的空間分布；另外，囿於未來社會趨勢難以推估，僅以台灣整體為單位，指出可能變遷趨勢。

### 擬定氣候變遷相關社會脆弱性 (第一步驟)

本小組整理重要國際氣候變遷衝擊報告如下：

- 聯合國Intergovernmental Panel on Climate Change, The Fourth Assessment Report (2007) -簡稱IPCC AR4。
- 聯合國和挪威UNEP/GRID-Arendal, Climate Change Vulnerability in Africa (2002) -簡稱GRID2002。
- 荷蘭The Effect of Climate Change in the Netherlands (2005) -簡稱Netherlands2005。

- UNDP, Human Development Report 2007/2008 Fighting Climate Change (2008) -簡稱UNDP2008。
- 英國The Impact of Global Temperature Rise of 4°C (2009) -簡稱UK2009。
- 美國Global Change Research Program, Global Climate Change Impacts in the United States (2009) -簡稱US2009。
- 美國World Resources Institute, The Climate Analysis Indicators Tool (CAIT V&A) (2009) -簡稱WRI2009。

表1前二欄為本小組針對以上氣候變遷衝擊報告的整理結果。各報告所提出之社會衝擊不外乎以下構面：糧食安全、健康（和與之相關的老幼人口、都市化產生之熱島效應或疾病相關問題）、貧窮人口的災害整備或回復力、水資源、居住安全（如沿海地區）、經濟損失（基礎建設、產業）。表1最末欄則為本小組提出之相對應政府統計指標。

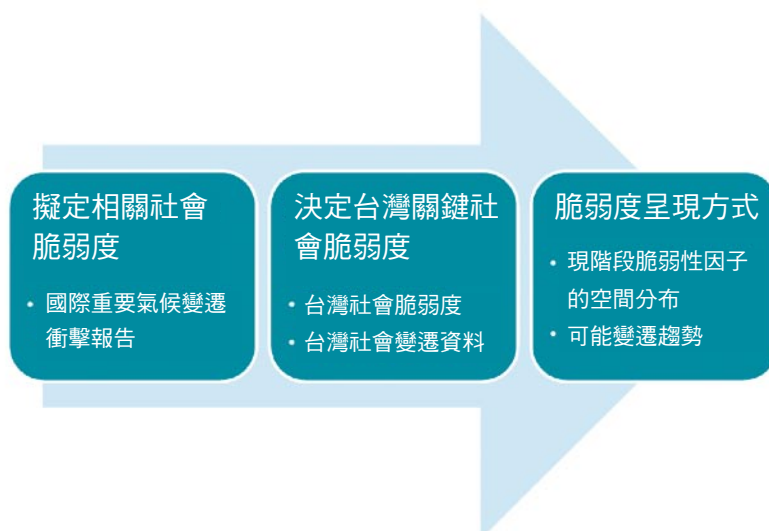


圖1 災防中心發展台灣氣候變遷社會脆弱性之2009年階段性工作。

表1 各氣候變遷衝擊報告整理

氣候變遷危害因子與其社會衝擊 (斜體字為危害；底線者為社會衝擊)	報告簡稱	對應之政府統計指標 (本小組提出)
波浪對漁業(產業、糧食安全)的衝擊	GRID2002	漁業人口 漁業產值或面積
海平面上升、水災對沿海地區住民、基礎建設、產業的威脅	IPCC AR4、GRID2002、Netherlands2005、UNDP2008、UK2009、US2009、WRI2009	沿海居民人口 基礎建設 產業
暴風雨使得需要撤離的機會更為頻繁、亦對基礎設施造成威脅	UK2009	老、少、病者(撤離問題) 基礎建設
強降雨對農業收成(產業、糧食安全)的影響	(UNDP2008提及降雨)、US2009	農業人口 農業產值或面積
降雨型態的改變,影響水資源、相關(商業化)農業	GRID2002、UNDP2008、UK2009	農業人口 農業產值或面積
乾旱對農業收成(產業、糧食安全)或當地整體經濟的影響	GRID2002、WRI2009、US2009	農業人口及脆弱性 農業產值或面積 當地經濟力
溫度上升對生產成本的影響(如:工作生產力下降、電力成本增加)或農業收成的影響	(UNDP2008提及溫度)、UK2009、US2009	特定產業人口 特定產業產值或面積
極端溫度對健康的影響(如:因熱浪而死亡的人數),尤其是有空氣污染的都市地區	Netherlands2005、UK2009、US2009、WRI2009	老、病、窮者 都市化程度
極端溫度對基礎設施、畜牧業的影響	US2009	基礎設施 畜牧業
病媒問題對農、牧業的影響	Netherlands2005、US2009、WRI2009	畜牧業人口 畜牧業產值或面積
病媒問題對健康的影響	US2009	老、病、窮者
二氧化碳濃度影響土壤品質,牧草品質下降進而影響畜牧業	US2009	畜牧業人口 畜牧業產值或面積

## 決定台灣關鍵脆弱性(第二步驟)

本步驟之工作項目與目的如圖2所示。本工作利用台灣有限的氣候變遷或災害社會學研究,檢視是否有國際氣候變遷報告所沒有處理的面向,

適用於本土經驗(找出新面向);或者,是否已有本土研究,說明某些適用於他國的面向,並不適用於本土經驗(過濾面向)。



如前所述，本土相關研究非常有限。氣候變遷方面，主要集中於與高齡人口相關之健康議題（王玉純等，2005）、健康相關經濟成本（吳偉鳴，2008、Tseng et al., 2009）、產業（張靜貞，1997；張靜貞、林依瑩，1996）。其所指出之健康和產業二面向皆已包含於國際重要報告當中，也尚未有研究指出，是否有某些被國際報告視為重要的面向，不適用於本土經驗。是故，現有本土研究關心面向和國際報告所提出的面向，並無衝突之處。當然，本土研究的主要貢獻，在於提出量性資訊，佐證特定面向對於台灣社會之重要性。

至於台灣災害社會脆弱性的研究，目前多在較微觀的層級（李欣輯等，2008、林文苑等，2008、張金鶚等，2001、鍾宜庭、林文苑，2009）；其提出之面向，不同於國際報告者，包含社會網絡、風險知覺等。不過，一方面實證研究成果並不多，另一方面，這些面向尚未有可靠的政府統計資料，只能以定性或質性的方式詮釋。如同台灣的氣候變遷相關研究，台灣災害社會脆弱性研究並無法幫助本小組指出不適用於本土經驗的面向。

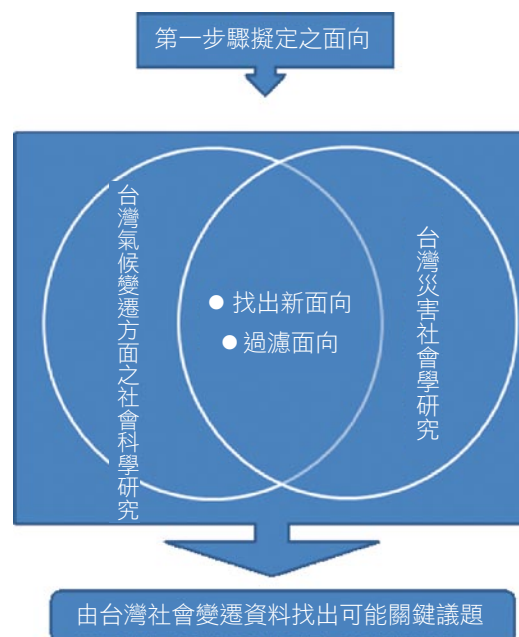


圖2 NCDR發展台灣氣候變遷社會脆弱性方法之第二步驟。

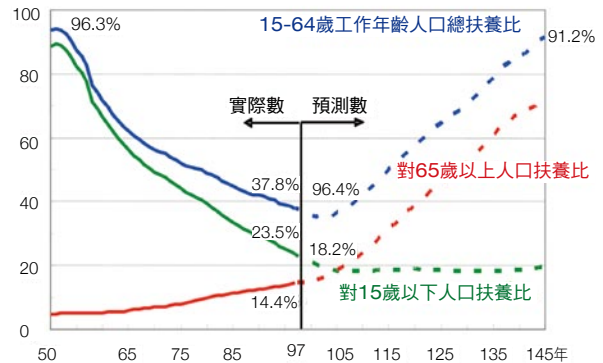
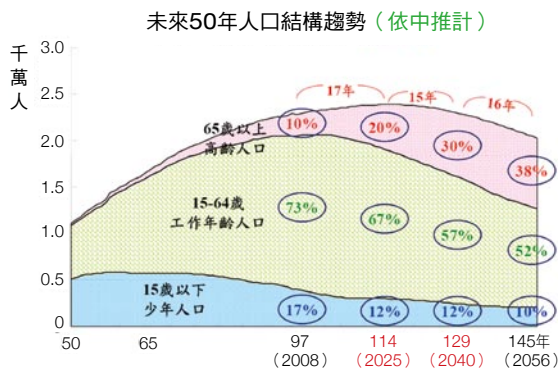
圖2程序之最後階段，將找出之脆弱性面向，與台灣相關社會變遷資料進行比對，找出可能指向未來意義的關鍵議題。台灣相關社會變遷資料包含政府統計趨勢、中央研究院之台灣社會變遷全記錄、社會變遷相關研究等等。

### 脆弱性呈現方法（第三步驟）

本小組所擬定之關鍵報告，針對本文第二節所提之對應變項，如老幼人口、都市化程度、貧窮人口、產業等，皆有所討論。因為篇幅有限，

表2 老幼人口結構相關災害脆弱性之政府統計指標整理

政府現有脆弱性指標	數據較高之前三名	資料來源
較多的老幼（65歲以上和15歲以下）人口數	台北縣板橋市（130,518人）、桃園縣桃園市和中壢市	內政部戶政司民國97年資料
較高的老幼人數占總人口比率	台中市中區（37%）、苗栗縣獅潭鄉、新竹縣峨眉鄉	內政部戶政司民國97年資料



圖表來源：行政院經濟建設委員會中華民國台灣97年至145年人口推估簡報。

圖3 行政院經濟建設委員會之人口推估結果。

本節僅以老幼人口以及高齡者居住安排為例，介紹本關鍵報告之脆弱性討論與呈現方法。各面向之討論，主要包含二部分，第一個部分除了以國內、外研究簡述各面向之脆弱性原因，主要以相關政府統計整理、國內研究發現，以及可得脆弱性地圖檢視現階段之脆弱性；第二部分，則介紹可能的變遷趨勢。此表述方法，期以全面且易懂的方式，成為政府相關單位的工具書，並提供給欲了解氣候變遷相關社會議題者一入門參考。

### 老幼人口及高齡社會的形成

- 脆弱性原因：老幼人口之體力或健康狀況等，較可能比青壯人口衰弱。

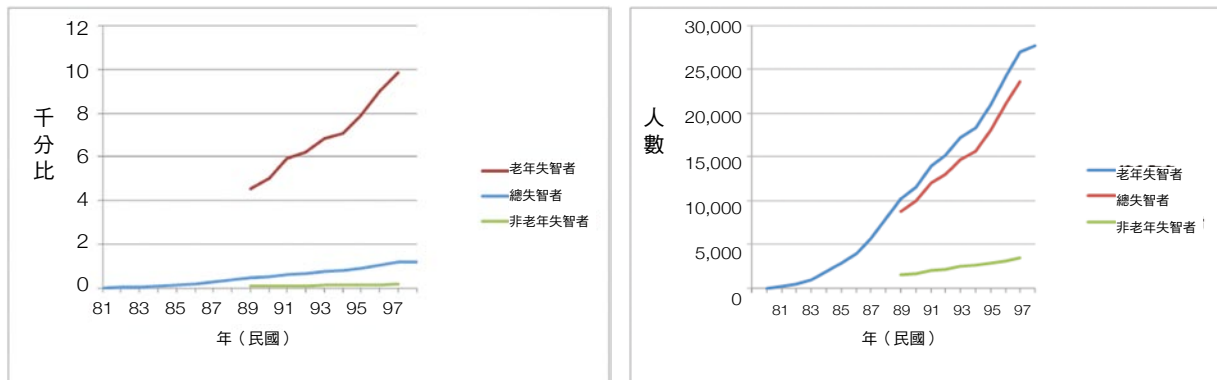
表2為老幼人口相關之政府統計資料整理。研究指出，高齡、幼少人口在災害發生時，因其體力或智識的關係，較難以進行災害預防或復原的工作；在災害發生時，亦較無自保能力（Ngo，2001）。另外，高高齡人口較容易產生失智，以及有心血管疾病等問題，在防、減災規劃上，或在極端氣候情境下，更需他人協助與照顧。因

此，一地有較多的老幼人口，或是較高的老幼人口比率，此地常被視具有較高的災害脆弱性。

- 重要社會變遷：高齡及超高齡社會的形成。

依據經建會的人口推估報告（經建會，2008），台灣65歲以上之高齡人口占總人口比率，民國97年為10.4%；民國107年將到達14%，進入高齡社會；民國115年將至20.1%，進入超高齡社會；民國145年則將增至37.5%。參見圖3之75歲以上之高高齡人口占高齡人口的比率，於民國97年為43.1%，民國145年約為60%。另外，雖然15歲以下之幼年人口比率呈現下降趨勢，因為老年人口急速增加，老幼人口之於青壯人口的比率，至民國145年，上升至91.2%。亦即，在假設青壯人口為防、減災工作主體的前提下，每一個青壯人口需要負責0.912個老幼人口（亦即圖3所言之扶養比）。

空間分佈方面，現階段的高齡人口傾向聚集於城市中心或鄉村邊遠地帶。但隨著高齡人口增



資料來源：內政部社會司。/ 製圖：國家災害防救科技中心。

圖4 高齡與非高齡者失智狀況比較。

加，未來高齡人口之空間分佈將日漸隨機（謝純瑩、周國屏，2002）。

高齡人口之健康議題方面，主要為氣候變遷相關的心血管、腦血管疾病和失智問題。研究指出，年齡和心血管、腦血管疾病發生率成正相關（王玉純等，2005；蘇慧貞、林乾坤及陳培詩，2008）。失智人口方面，圖4顯示，高齡者的失智率，以及其於近年之增加速度，遠高於非高齡者；以人口數來看，則高齡失智者總數近幾年也急速上升。目前內政部社會司釋出的資料並沒有將高齡者再作區分（如：失智年青高齡者、失智高高齡者等）。但由於國人健康狀況較過去良好，在未來防、減災規劃，

以及政府相關統計蒐整上，本小組建議可再將高齡者作區分，並將健康的年青高齡者納入防、減災主力。

### 高齡者居住安排

- 脆弱性原因：居住安排關乎高齡者是否有社會網路可協助其防、減災。

表3為高齡者居住安排相關政府統計指標整理。高齡者若獨立居住、無其他社會網路在急難時刻提供支持，將加深其災害脆弱程度。而社會司之列冊獨居高齡者，為更需要被關注的一群。若分析其民國97年資料，可發現具有高比率列冊獨居高齡家戶的鄉鎮，和坡地易致災位置有多處

表3 高齡居住安排相關災害脆弱性之政府統計指標整理

政府現有脆弱性指標	數據較高之前三名	資料來源
較多的列冊獨居高齡戶	台北縣萬華市（1,032戶）、高雄縣鳳山市、桃園縣中壢市	內政部社會司民國97年資料
較高的列冊獨居高齡戶比率	台東縣達仁鄉（5.14%）、東河鄉，以及苗栗縣獅潭鄉有最高比率的列冊獨居高齡戶	內政部社會司民國97年資料
較多的高齡者居住於安養機構	台北縣（5,855人）、台北市、高雄市	內政部社會司民國97年資料

重疊-多位於原鄉（參見圖5）。如，根據歷史災點分佈頻率，仁愛鄉屬坡地災害脆弱最高等級，而其列冊獨老戶比率亦高。其他需要關注者包含信義鄉、阿里山鄉等。不過，聚落內之列冊獨居高齡者，或比居住在散村之列冊獨居高齡者更有可能藉由既有的社會網路而獲得扶助，本小組建議相關單位可由此觀點切入，鼓勵基礎研究，並規劃防、減災機制。

間分佈方面，現階段有郊區化的現象（李梅英，2008），對於建立高齡者災時的社會支持網絡極為不利。此外，相關單位應注意這些郊區的老人住宅區和災害潛勢區的關係。

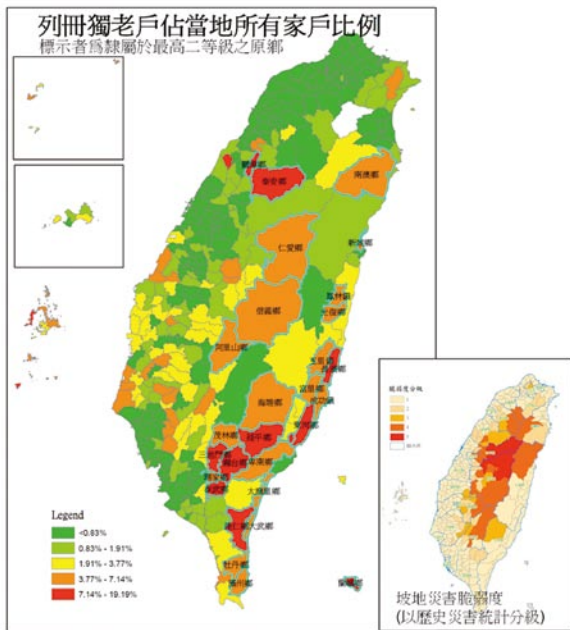
- 重要社會變遷：獨居與居住機構的高齡者可能增加。

楊靜利和董宜禎（2007）利用多維家戶推計模型進行推估，發現高齡者當中，未來無論是女性或男性，居住機構的比率皆有上升的趨勢（粗估男性現階段約為3.85%，2050年約為4.96%；粗估女性現階段約為3.02%，2050年約為4.48%）。另外，未婚率和離婚率的增加，未來高齡者因此而獨居的比率也逐年增加（粗估男性現階段約為6.62%，2050年約為12.54%；粗估女性現階段約為0.68%，2050年約為6.86%）。此意謂著，針對獨居高齡者和居住於機構高齡者的防、減災機智規劃將日形重要。居住機構的空間分佈方面，長照制度的推動，若能將安養機構郊區化的現象轉成社區化，有助於加強高齡者的社會支持與社會網絡，進而減低其災害脆弱性。

如前所述，本節因篇幅受限，僅以老幼人口和高齡者居住安排為例。本小組另外處理的面向包含都市化程度、貧窮人口、產業等。

### 指出關鍵議題

本小組根據上述工作步驟進行資料分析，指出三項關鍵議題：



資料來源：內政部社會司。  
製圖：國家災害防救科技中心。坡地災害脆弱度圖亦發表於2009年災害管理研討會（林又青、張志新，2009）。  
圖5 列冊獨居老人分佈圖。

另外，安養機構由於為高齡者群聚之地，若防、減災機制設計或運作不良，將形成群聚式的災害損傷，2000年基隆百福社區某老人安養中心14名高齡者淹死即是一例。氣候變遷情境下，對於安養機構因應極端氣候的設施或制度應要有所規範。在安養機構或老人社區的空



- 氣候變遷與高齡人口：台灣已是高齡化社會，也難以扭轉邁入高齡社會之趨勢，氣候變遷情境下，相關單位需要注意與高齡人口相關之健康、居住等問題。
- 災害與經濟弱勢人口：台灣五分位組之最低收入組，其經濟力有下降的趨勢。外加近貧與新貧人口的形成，台灣應要正視貧窮人口之災害整備或回復力。
- 經濟發展與氣候正義（Climate Justice）：國內氣候變遷討論，較少觸及與氣候正義相關的文化價值問題。事實上，國外之政府報告亦顯少將其所關心的經濟發展或能源使用議題緊扣相關文化價值。不過，國外社會學界以及國內民間單位皆已開始此類討論。議題包含：人口成長、能源分配不公、經濟發展主宰之文化價值，何者才是碳排放量之主要肇因？沿海經濟發展的必要性及其他可能選擇？主體受利者／受害者為何？這些來自國外學界與國內、外民間單位的不同聲音，有助於政府發展更完善、更全盤性的國土規劃邏輯。

本小組必須強調，以上關鍵議題之提出，根基於有限的資料，僅能列舉最重要之議題，而不著眼於全面性地盤點與氣候變遷相關的社會脆弱性。國內氣候變遷方面的研究，也急需更多的社會科學研究參與。良好的基礎研究，可幫助政府作較為合適的政策規劃。政府應更積極推動、獎勵相關社會科學研究。

## 關鍵議題之未來發展與應用

國際上氣候變遷研究的重要工作之一，為擬定未來社經情境，以計算溫室氣體排放量。NCDR的定位，使本小組更關心不同社經情境下之災害脆弱性。換言之，建立社經情境後的下一階段工作，是評估與不同情境相關的災害脆弱性，並將評估成果視為進行風險溝通的有效工具。風險溝通的對象不僅可以是政府相關人員，政府亦可利用此評估成果，結合友善的溝通介面，對民眾進行風險溝通與防、減災教育。

由於未來社經狀況有其不確定性，若僅以單一方法進行推估，有其侷限。因此，本小組將運用不同假設或推估方法，設定多種未來社經情境，並針對最不利者或較可能發生者研擬對策。在未來人口結構及高齡社會面臨議題上，本小組於今年（2009）已開始採用專家合作和專家諮詢的方法，並已取得初步成果。本小組將繼續相關合作與諮詢，以評估台灣未來的社經情境，相關脆弱性（包含回復力），並據以建議調適策略。

## 參考資料

1. 王玉純、吳俊霖、莊淳宇、章珍珍、宋鴻樟、柳中明（2005）。台灣都會區心血管及呼吸道疾病死亡率與氣象因子之相關分析。全球變遷通訊雜誌，46。
2. 行政院經濟建設委員會（2008）。中華民國台灣97年至145年人口推計，p. 82。
3. 吳偉鳴（2008）。氣候變遷對心血管疾病之經濟影響—以台灣地區為例。中興大學應用經濟學系所碩士論文。
4. 李欣輯、楊惠萱、廖楷民（2008）。水災社會脆弱性綜合指標之建立。2008年台灣災害管理研討會。
5. 李梅英（2008）。趨勢？商機？福利？—台灣老人住宅發展趨勢之系統分析。東吳大學社會學系碩士論文。

6. 林又青、張志新（2009）。淹水風險地圖製作之地層下陷指標分級，2009台灣災害管理研討會。
7. 林文苑、莊睦雄、鍾宜庭（2008）。天然災害老人弱勢族群社經脆弱度評估指標之建立。2008年台灣災害管理研討會論文集。
8. 張金鵲、彭建文、張定煊（2001）。九二一震災後建物毀損責任釐清與重建機制探討。安全永續的國土發展與災區重建—九二一震災週年紀念研討會實錄，pp. 75-102。
9. 張靜貞（1997）。開徵碳稅對台灣農業部門之影響。因應溫室效應之經濟工具及其經濟影響研討會論文集，pp. 121-140。
10. 張靜貞、林依瑩（1997）。溫室氣體排放減量對台灣農業部門之影響。1996年台灣經濟學會年會論文集。
11. 楊靜利、董宜禎（2007）。台灣的家戶組成變遷：1990-2050。台灣社會學刊，38：pp. 135-173。
12. 謝純瑩、周國屏（2002）。應用空間自相關分析於人口老化時空變遷之研究。人口學刊，25，pp. 91-119。
13. 鍾宜庭、林文苑（2009）。由老人脆弱人口之需求探討村里防救災資源初探—以桃園縣桃園市為例。銘傳大學2009國際學術研討會。
14. 蘇慧貞、林乾坤、陳培詩（2008）。氣候變遷對公共衛生的衝擊，行政院國家科學委員會科學發展月刊，421：pp.12-17。
15. Global Change Research Program（2009）。Global Climate Change Impacts in the United States.
16. Global Humanitarian Forum（2009）。The Anatomy of a Silent Crisis.
17. IPCC（2007）。The Fourth Assessment Report（AR4）。
18. Ngo, E. B.（2001）。When Disasters and Age Collide: Reviewing Vulnerability of the Elderly. Natural Hazards Review, 2（2），pp. 80-89.
19. The Netherlands Environmental Assessment Agency（2005）。The Effect of Climate Change in the Netherlands.
20. The UK government（2009）。The Impact of Global Temperature Rise of 4°C.
21. Tseng, W.C., C.C. Chen, C.C. Chang, and Y.H. Chu（2009）Estimating the Economic Impacts of Climate Change on Infectious Diseases: A Case Study on Dengue Fever in Taiwan. Climatic Change 92, pp. 123-140.
22. UNDP（2007）。Human Development Report 2007/2008 - Fighting Climate Change: Human Solidarity in a Divided World. New York, the USA: United Nations Development Programme.
23. UNEP/GRID-Arendal（2002）。Climate Change Vulnerability in Africa.
24. World Resources Institute（2009）。The Climate Analysis Indicators Tool（CAIT V&A）。

# 尖端科技 State-of-the-art Science and Technology

## 新型奈米碳管三維結構表面加工技術

文/圖 蘇旺申<sup>[1]</sup>、方維倫<sup>[1,2]</sup> <sup>[1]</sup>國家奈米元件實驗室、<sup>[2]</sup>國立清華大學

### 摘要

在本文中，我們提出一個新型奈米碳管三維結構表面加工技術，於結構深度落差大的三維結構表面進行圖案定義與奈米碳管（Carbon Nanotubes，CNTs）成長。奈米碳管三維結構表面加工技術，主要是整合三項關鍵技術來達成三維結構表面之圖案定義與奈米碳管成長。此三項關鍵技術分別為，電漿處理技術（Plasma Treatment Technology）、單分子自組裝技術（Self Assembled Monolayer，SAM）與無電鍍接觸置換技術（Contact Displacement Electroless Plating，CDE Plating）。本文利用奈米碳管三維結構表面加工技術，在不同深度（50-150  $\mu\text{m}$ ）與不同側壁角度（54.7-90°）的矽凹槽上，成功的完成奈米碳管結構圖案陣列定義與成長。並且在具有懸

浮微懸臂樑結構的矽凹槽表面上，成功的定義圖案與成長奈米碳管。特別的是，在懸浮微結構底下被遮蓋住的矽凹槽表面，亦能成功的定義與成長奈米碳管。另外，本文成功的開發出奈米碳管「正片」（Positive）與「負片」（Negative）圖案轉移技術於三維結構表面，並且在具有懸浮微懸臂樑結構的矽凹槽表面上，亦能達到此正負片圖案轉移效果。最後，本文將奈米碳管三維結構表面加工技術整合於可撓性高分子材料上，完成三維圖案定義之奈米碳管可撓性元件。

### 前言

奈米碳管（Carbon Nanotubes，CNTs）具有不錯的化學、機械及電子特性，並且其可整合於電子元件或微機電元件<sup>[1]</sup>中。例如，Li與

Su等人<sup>[1-2]</sup>將奈米碳管陣列製作於電子元件或微機電元件中，使其元件能有極佳的特性。另外，奈米碳管亦可整合於其他功能性元件，如感測器（Sensors）<sup>[3-4]</sup>、致動器（Actuators）<sup>[5-6]</sup>、電機共振器（Electromechanical Oscillators）<sup>[7]</sup>甚至可整合成奈米碳管收音機（CNTs radio）<sup>[8]</sup>。除此之外，奈米碳管懸臂樑（CNT Cantilever）也有很多應用，如奈米攝夾（Nanotweezers）<sup>[9]</sup>、掃描探針顯微鏡探針（Scanning Probe Microscope Tip）<sup>[10]</sup>、切換器（Switches）<sup>[11-12]</sup>。由此可知，整合奈米碳管與微機電系統（Micro-Electro-Mechanical System, MEMS）技術，將可開創出許多不同的應用。所以，如何整合奈米碳管於現今的微加工製程（Micro Fabrication Process）中，來開發不同的應用將會是一個關鍵的議題。

目前，整合奈米碳管陣列的方法，主要還是利用組裝技術（Assembly Techniques）。另外，也可利用一般傳統的批式製程，如曝光、顯影及蝕刻等方法來定義圖案並成長奈米碳管於平面的基材上，但此方法需要在平面基材才能進行製作的物理限制<sup>[13-16]</sup>。在微機電系統元件上，常常會有複雜表面形貌與起伏過大的結構，如矽凹槽（Cavity）、晶片蝕穿（Through-Wafer）、凸塊（Mesas）、懸浮結構（Suspensions）等。這些複雜表面形貌與起伏過大的結構將造成奈米碳管於微機電系統元件上的應用限制。因此，許多研究人員朝著此方向進行研究。例如，Karp等人<sup>[17]</sup>嘗試將懸浮奈米碳管整合於微機電系統元件中。近年來，三維結構表面加工技術漸漸的受到注目，有許多的

研究團隊試著開發不同製程技術，來達到高深寬比三維結構表面上的加工。如利用改良式旋轉塗佈技術（Modify Spin Coating）<sup>[18]</sup>、電沈積技術（Electrodeposited, ED）<sup>[19-25]</sup>及噴霧塗佈技術（Spray Coating）<sup>[24-27]</sup>等方法。即便如此，整合奈米碳管結構於高寬比三維結構表面，目前仍然遺留下來一個很大的困難點。

本文提出一個新型加工技術，由原本只能在平面定義奈米碳管圖案的限制，擴展至能夠在三維結構平面定義三維奈米碳管圖案，並且本文還將此三維奈米碳管圖案進一步整合於懸浮微機電元件結構上。本文主要是整合三項關鍵技術來達成三維結構表面之圖案定義與奈米碳管成長。包含電漿處理技術（Plasma Treatment Technology）<sup>[28-30]</sup>、單分子自組裝技術（Self Assembled Monolayer, SAM）與無電鍍接觸置換技術（Contact Displacement Electroless Plating, CDE Plating）<sup>[1, 31-32]</sup>。利用本文所提出的新型奈米碳管三維結構表面加工技術，將可達到（1）三維奈米碳管圖案定義於深度落差大的三維結構表面，如圖1（a）-（b）所示；（2）進一步的整合三維奈米碳管圖案與懸浮微機電元件結構，如圖1（c）所示；（3）轉移此三維奈米碳管圖案於可撓性高分子三維結構基材表面，如圖1（d）所示。

## 實驗

在實驗部份將分別介紹奈米碳管三維結構表面加工技術之概念與步驟、無電鍍接觸置換技術相關的理論與機制、奈米碳管三維結構表面加工觀察與分析，以及奈米碳管特性分析檢測。



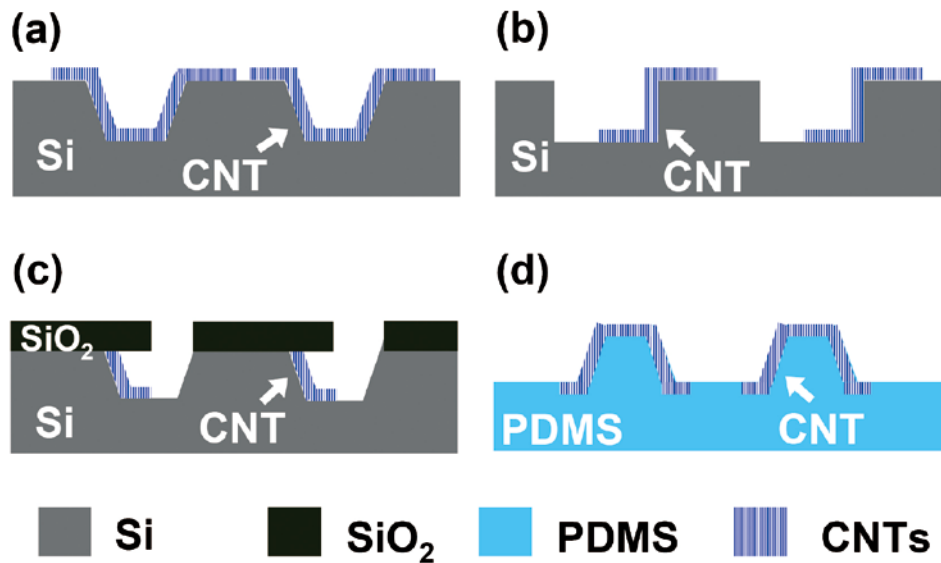


圖1 奈米碳管於矽/高分子三維結構表面加工技術概念圖。

### 奈米碳管三維結構表面加工技術步驟

首先利用體型微加工技術 (Bulk Micro-machining) 製備三維結構試片，其中包含有 $54.7^\circ$  及 $90^\circ$  矽凹槽結構 ( $50\text{-}150\ \mu\text{m}$ ) 以及具有二氧化矽微懸臂樑結構的矽凹槽結構，如圖2 (a1) - (a4) 所示。接著將試片分別置於氧及氫電漿下分別作非準直性電漿 (Uncollimated Plasma) 預處理，其中以氧電漿預處理的試片為圖2 (a1-a2)，氫電漿預處理的試片為圖2 (a3-a4)。經過氧電漿與氫電漿預處理後的試片，在處理過後的矽基材表面上，會分別產生Si-O與Si-H化學鍵結結構。電漿預處理實驗是利用集結式電漿輔助化學氣相沈積系統 (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD) 來完成，其電漿處理參數為： $250^\circ\text{C}/500\text{mTorr}/300\text{W}/30\text{min}$ 。在預處理完氧電漿的試片中，進一步的在氮氣的環境下，置於1vol. %十八基三氯矽烷 (Octad

ecyltrichlorosilane,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{SiCl}_3$ , OTS) 自組裝單分子之無水甲苯溶液下靜置一小時。在此步驟中，OTS自組裝單分子將均勻的接合在三維結構的矽基材表面，即使矽表面形貌複雜 (例如： $50\text{-}150\ \mu\text{m}$ 深的矽凹槽、具有二氧化矽微懸臂樑結構的矽凹槽) 亦能均勻接合。OTS 自組裝單分子 (圖2 (a1-a2)) 及 Si-H化學鍵結 (圖2 (a3-a4))，將作為接下來的三維結構圖案定義轉換層 (即類似光阻的角色)。接著利用矽晶片遮罩 (Shadow Mask) (圖2 (a1-a3)) 與懸浮結構本身形狀 (圖2 (a2-a4)) 來作為三維結構圖案定義的物理遮罩，並配合具準直性 (Collimated) 的氧電漿 (即類似黃光微影中的曝光角色) 來進行圖案轉移。其中矽晶片遮罩是利用雷射加工 (Laser Micromachining) 方式來製作。藉由雷射加工的方法，若使用 $500\ \mu\text{m}$ 厚的晶片其最小線寬

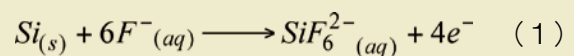
為 $100\ \mu\text{m}$ ，使用 $250\ \mu\text{m}$ 厚的晶片其最小線寬將可達到 $50\ \mu\text{m}$ 。如果利用深反應式離子蝕刻（Deep Reactive Ion Etching, DRIE）的方法來製作 $250\ \mu\text{m}$ 厚的矽晶片遮罩，可將最小線寬縮小至 $20\ \mu\text{m}$ 。另外，準直性的氧電漿方面，則是利用高密度活性離子蝕刻系統（High Density Plasma Reactive Ion Etching, HDP-RIE）來作為定義OTS 自組裝單分子及Si-H化學鍵結之來源。經過準直性的氧電漿定義圖案，其OTS 自組裝單分子未被矽晶片遮罩或懸浮結構遮擋的地方將會被氧電漿轟擊，而選擇性的曝露出Si-O鍵結區域於晶片表面，如圖2（b1）及圖2（b2）所示。相同的，其Si-H鍵結區域未被矽晶片遮罩或懸浮結構遮擋的地方亦會被氧電漿轟擊，而選擇性的形成Si-H/Si-O鍵結於晶片表面，如圖2（b3）及圖2（b4）所示。由於利用晶片遮罩或懸浮結構來定義圖案於凹槽高度落差在 $50\text{-}150\ \mu\text{m}$ 的表面上，其圖案尺寸變化將隨著凹槽高度落差增加而產生偏差。因此在準直性的氧電漿來定義圖案的過程中，將受到物理極限的影響，而造成圖案尺寸產生偏移。所以本文亦將進一步的利用電漿轟擊製程的參數控制，如ICP RF power與dc bias來作調控，來控制圖案轉移尺寸的偏差。

接著將利用無電鍍接觸置換技術（Contact Displacement Electroless Plating, CDE Plating）<sup>[1, 31-32]</sup>來對已定義出圖案的區域進行選擇性置換鎳金屬觸媒（Ni）於此三維結構試片表面。無電鍍接觸置換技術為一選擇性金屬沈積的製程，其主要包括先產生的活化層（Activation Layer）金屬的接觸置換法，如圖2（c）所示；以及後續成長觸媒金屬的無電

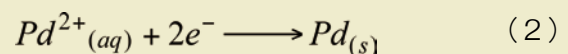
鍍製程，如圖2（d）所示。在活化層接觸置換部份，其主要是利用具有較高的標準氧化電位（Standard Oxidation Potentials）之金屬（例如，鈦、金、銅），較易產生氧化還原反應而產生自發性的化學置換。在本文中則是利用鈦金屬（Pd）來作為活化層。而後續成長鎳觸媒金屬的製程，則是利用商用磷酸系列的無電鍍鎳溶液進行。

在鈦活化層接觸置換部份，主要是藉由矽原子與鈦離子在BOE溶液中，所產生電化學氧化還原反應（Electrochemical Redox），而使矽基材表面被置換成鈦活化層。在接觸置換法中的電化學氧化還原反應式如下所示：

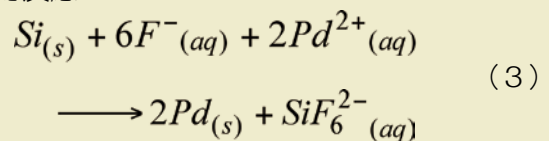
陽極



陰極

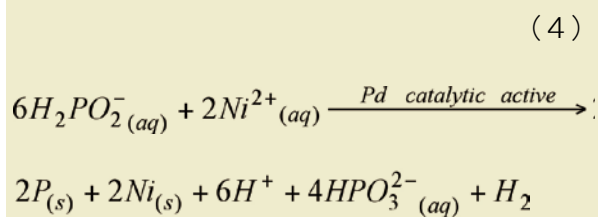


總反應



鈦活化層接觸置換的概念為利用 $\text{Si}^0$ 與 $\text{Pd}^{2+}$ 藉由 $\text{F}^{-}$ 產生氧化還原反應，而使 $\text{Si}^0$ 被置換成 $\text{Pd}^0$ 。首先氟離子將 $\text{Si}^0$ 氧化並釋放出電子，如化學式（1）所示。此時 $\text{Pd}^{2+}$ 會取代其電子而還原成 $\text{Pd}^0$ ，如化學式（2）所示。所以在化學式（3）的總反應中，6個 $\text{F}^{-}$ 將氧化1個 $\text{Si}^0$ 並釋放出4個電子，被氧化後的 $\text{Si}^0$ 將形成穩定的 $\text{SiF}_6^{2-}$ 離子。此時，2個 $\text{Pd}^{2+}$ 將取代被釋放出來的4個電子而形成2個 $\text{Pd}^0$ 。

在化學式 (3) 的總反應中，其只會發生於當圖2 (b) 中的Si-O鍵結被BOE移除時，才會開始產生鈀活化層接觸置換。而在Si-O鍵上覆蓋有OTS自組裝單分子層的區域則不會被BOE蝕刻移除，因此在其底下的矽原子則不會被置換成鈀金屬。所以鈀活化層則可以被選擇性的被置換於沒有OTS自組裝單分子層覆蓋的三維結構試片表面區域上，如圖2 (c1) 及圖2 (c2) 所示。另外，BOE蝕刻Si-H鍵結的速率是高於Si-H/Si-O鍵結，而使鈀活化層接觸置換過程能產生區域上的選擇性。所以會使鈀活化層只選擇性的置換於Si-H鍵結的區域，如圖2 (c3) 及圖2 (c4) 所示。接著，利用NiSO<sub>4</sub>-NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>無電鍍溶液<sup>[33-34]</sup>來選擇性成長鎳觸媒金屬於具有鈀活化層的區域。其化學反應如下所示：



其中，鎳觸媒金屬將會選擇性成長於沒有覆蓋OTS自組裝單分子層的區域，如圖2 (d1) 及圖2 (d2) 所示。另外，鎳觸媒金屬將會選擇性成長於只有Si-H鍵結的區域，如圖2 (d3) 及圖2 (d4) 所示。

在圖2 (d) 中的鎳金屬是作為後續成長奈米碳管的觸媒。奈米碳管的成長是利用乙炔熱裂解法 (Acetylene Pyrolysis) 於800°C下來進行成長，其使用的氣體包含：Ar、NH<sub>3</sub>及C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>如圖2 (d) 所示。另外，將利用翻模製程 (Molding Process) 來轉移三維結構基材上的奈米碳管圖案至可撓性的聚二甲基矽氧烷高分子

基材 (Polydimethylsiloxane, PDMS) 上，如圖2 (f) 及圖2 (g) 所示。將PDMS高分子 (SYLGARD 184, 主劑：固化劑=10:1) 倒入具有奈米碳管圖案的三維結構基材上，並將其抽真空來移除在凹槽內的氣泡，接著在100°C下加熱1小時使其固化，如圖2 (f1) 及圖2 (f3) 所示。最後，將PDMS基材與底下的三維結構矽基材分離，而形成具有奈米碳管圖案的三維結構撓性基材，如圖2 (g1) 及圖2 (g3) 所示。

在圖2 (b) 中，本文利用氧電漿微影技術 (O<sub>2</sub> Plasma Lithography Technology) 並透過晶片遮罩 (圖2 (b1) 及圖2 (b3)) 或懸浮結構 (圖2 (b2) 及圖2 (b4))，來進行圖案轉移於結構深度落差大的三維結構上表面。其中，以懸浮結構來作為圖案定義之結構，將不會有圖案對準的問題於整個過程中。另外，以OTS自組裝單分子層來作為圖案定義轉換層的媒介 (圖2 (b1-e1))，其奈米碳管會成長於被氧電漿轟擊過的地方。而以Si-H鍵結來作為圖案定義轉換層的媒介 (圖2 (b3-e3))，其奈米碳管不會成長於被氧電漿轟擊過的地方。換句話說，在本文所開發的氧電漿微影技術中，OTS自組裝單分子層及Si-H鍵結分別是作為「正片」 (Positive) 與「負片」 (Negative) 圖案轉移的轉換層媒介。

本文提出一新型奈米碳管三維結構表面加工技術，整合 (1) 電漿處理技術 (2) 單分子自組裝技術 (3) 無電鍍接觸置換法技術，來實現三維結構表面之圖案定義與奈米碳管成長。其中OTS自組裝單分子及Si-H鍵結在準直性的氧電漿下，於結構深度落差大的三維結構表面定義圖

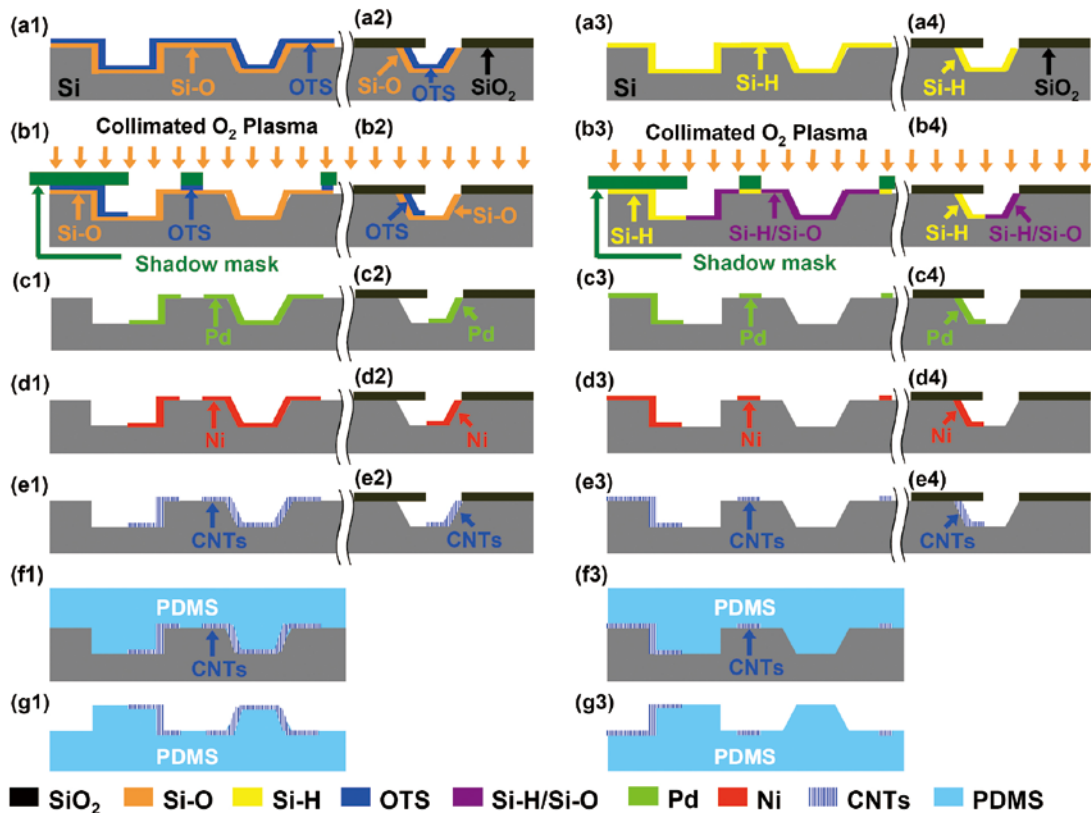


圖2 奈米碳管三維結構表面加工技術製程流程圖。

案轉移區域，提供了後續選擇性無電鍍接觸置換與奈米碳管成長。本文將利用掃描式電子顯微鏡 (Scanning Electron Microscope)、光學顯微鏡儀 (Optical Microscope)、穿透式電子顯微鏡 (Transmission Electron Microscopy)、拉曼光譜儀 (Raman Spectroscopy) 及電性量測儀器來觀察三維結構表面上的奈米碳管圖案，並量測其特性。

## 結果與討論

本文利用新型奈米碳管三維結構表面加工技術 (圖2實驗步驟 (a1) ~ (e1))，成功的將奈米碳管圖案定義於深度落差大的三維結構表面 (50-100  $\mu\text{m}$ )，如圖3所示。圖3 (a) 的電子顯微鏡照片為奈米碳管圖案陣列 (線寬為

100  $\mu\text{m}$ ) 橫越過數個三維非等向性蝕刻的矽凹槽 (Cavity) 表面 (深度為100  $\mu\text{m}$ )。這些 (111) 晶格面側壁與基材夾角為 $54.7^\circ$  的矽凹槽，是利用體型微加工技術中的氫氧化四甲基銨 (Tetramethylammonium hydroxide, TMAH) 非等向性化學蝕刻製程來製作。圖3 (b) 的電子顯微鏡照片為奈米碳管由矽基材上表面的 (100) 晶格面橫越過側壁 (111) 晶格面，到達矽基材下表面的 (100) 晶格面。圖3 (c) 的電子顯微鏡照片為本文進一步將奈米碳管圖案陣列定義在側壁接近 $90^\circ$  的矽凹槽表面 (深度為50  $\mu\text{m}$ )。此側壁接近 $90^\circ$  的矽凹槽為利用等向性深反應式離子蝕刻 (DRIE) 方法所製作。由圖3 (d) 的電子顯微鏡照片可清楚的看出矽凹槽之側壁接近 $90^\circ$ 。在目前文獻上<sup>[12-15]</sup>,



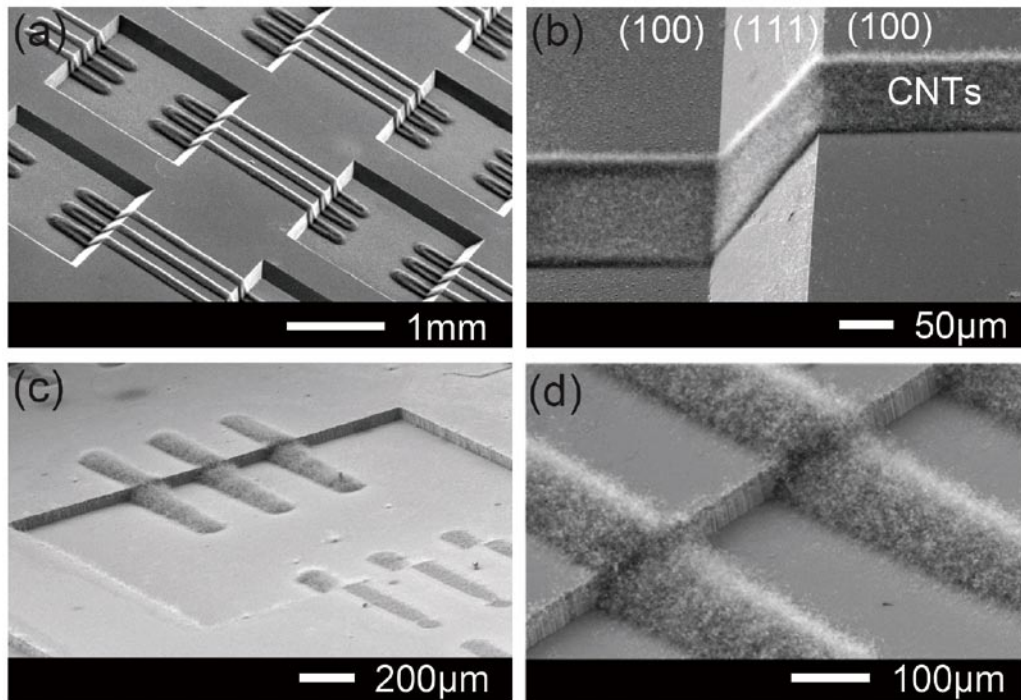


圖3 奈米碳管三維結構表面加工於 (a) (b) 側壁夾角為 $54.7^\circ$  且具有 (111) 晶格面的矽凹槽與 (c) (d) 側壁夾角為 $90^\circ$  矽凹槽之SEM照片。

<sup>17-26]</sup> 的三維表面加工技術，仍無法達到在 $90^\circ$  側壁上進行光阻塗佈與光學微影，即使利用特殊與昂貴的投影式微影系統也無法成功。原因在於 $90^\circ$  側壁上的光阻曝光厚度將等於三維結構本身的深度，當從上方進行光學微影時需要將Z軸方向的光阻全部曝光，但此時其他地方的線寬已造成過曝現象，因此很難利用現階段文獻上的技術來實現。然而，以本文所開發出來的新型奈米碳管三維結構表面加工技術，則可容易就達成。因為關鍵在於本文利用數奈米厚的自組裝單分子作為光阻的角色，當準直性的氧電漿進行圖案轉移時可輕易的達到定義，即便是垂直的 $90^\circ$  側壁亦能成功。

圖4的電子顯微鏡照片是利用相同一塊矽晶片遮罩，所同時定義出不同的橢圓形奈米碳管正負片 (Positive and Negative) 圖案。圖4

(a) 的電子顯微鏡照片為一矽基材上具有一個 $100\mu\text{m}$ 深的體型微加工矽凹槽。在圖4 (a) 中，在其矽基材表面上有許多實心橢圓形奈米碳管圖案，分佈於矽凹槽的上下表面。圖4 (b) 的電子顯微鏡照片為放大後之實心橢圓形奈米碳管圖案。此結果為利用矽晶片遮罩方式，來實現奈米碳管「正片」圖案轉移技術於三維結構表面 (即「沒有遮擋」的區域能定義出圖案並成長出奈米碳管)。此正片圖案轉移技術為利用圖2 (a1) - (e1) 之實驗步驟來完成。另外，圖4 (c) 的電子顯微鏡照片亦為一矽基材上具有一個 $100\mu\text{m}$ 深的體型微加工矽凹槽。在圖4 (c) 中，在其矽基材表面上有許多空心橢圓形奈米碳管圖案，分佈於矽凹槽的上下表面。圖4 (d) 的電子顯微鏡照片為放大後之空心橢圓形奈米碳管圖案。此結果為利用矽晶片遮罩方式，來實現奈米碳管「負片」圖案轉移技術於三維結構表

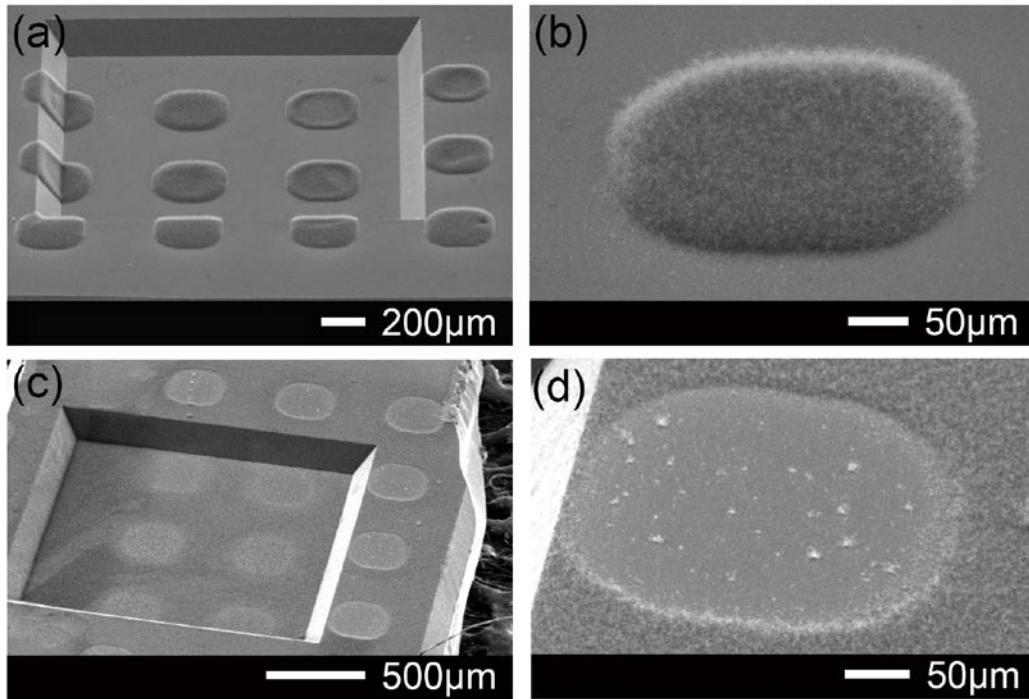


圖4 奈米碳管三維結構表面加工於側壁夾角為 $54.7^\circ$  的矽凹槽表面之SEM照片。(a) (b) 利用矽晶片遮罩「正片」圖案轉移方法，(c) (d) 利用矽晶片遮罩「負片」圖案轉移方法。

面（即「有遮擋」的區域能定義出圖案並成長出奈米碳管）。此負片圖案轉移技術為利用圖2 (a3) - (e3) 之實驗步驟來完成。

在圖5的電子顯微鏡照片中，為本文利用懸浮微懸臂樑結構來作為物理遮罩，並將奈米碳管圖案轉移於同時具有懸浮微懸臂樑結構的三維結構表面之結果。圖5 (a) 的電子顯微鏡照片為利用TMAH非等向性化學蝕刻製程所製作出的二氧化矽懸浮微懸臂樑陣列。由圖5 (b) 的電子顯微鏡照片中，可清楚看出奈米碳管選擇性成長於具有懸浮微懸臂樑結構的 $150\mu\text{m}$ 深矽凹槽表面。此結果為利用「正片」圖案轉移的方法，將奈米碳管選擇性成長於「沒有被懸浮微懸臂樑結構遮擋」的矽凹槽表面區域。圖5 (c) 的電子顯微鏡照片亦為利用TMAH非等向性化學蝕刻製程所製作出的二氧化矽懸浮微懸臂樑陣列。由圖5 (d)

的電子顯微鏡照片中，亦可清楚看出奈米碳管選擇性成長於具有懸浮微懸臂樑結構的 $150\mu\text{m}$ 深矽凹槽表面。此結果為利用「負片」圖案轉移的方法，將奈米碳管選擇性成長於「有被懸浮微懸臂樑結構遮擋」的矽凹槽表面區域。以目前文獻上光阻噴霧塗佈<sup>[24-27]</sup>方法，仍然無法達到在具有微懸浮結構的矽凹槽上進行光阻塗佈，更別說後續的圖案定義及奈米碳管成長。而光阻電沈積<sup>[19-25]</sup>方法，也許是唯一可在矽凹槽與具導電性的懸浮結構上進行塗佈。但在非導電性的二氧化矽懸浮微懸臂樑結構上，依舊無法達成光阻塗佈。因此本文所提出之正負片圖案轉移方法，應用於具有懸浮微懸臂樑結構矽凹槽表面之概念及實驗結果為現今文獻上<sup>[13-16, 18-27]</sup>仍然無法達到的目標。因此，本文成功的藉由矽晶片遮罩與懸浮微懸臂樑結構來實現，奈米碳管正片及負片圖案轉移技術於深度落差大的三維結構表面。

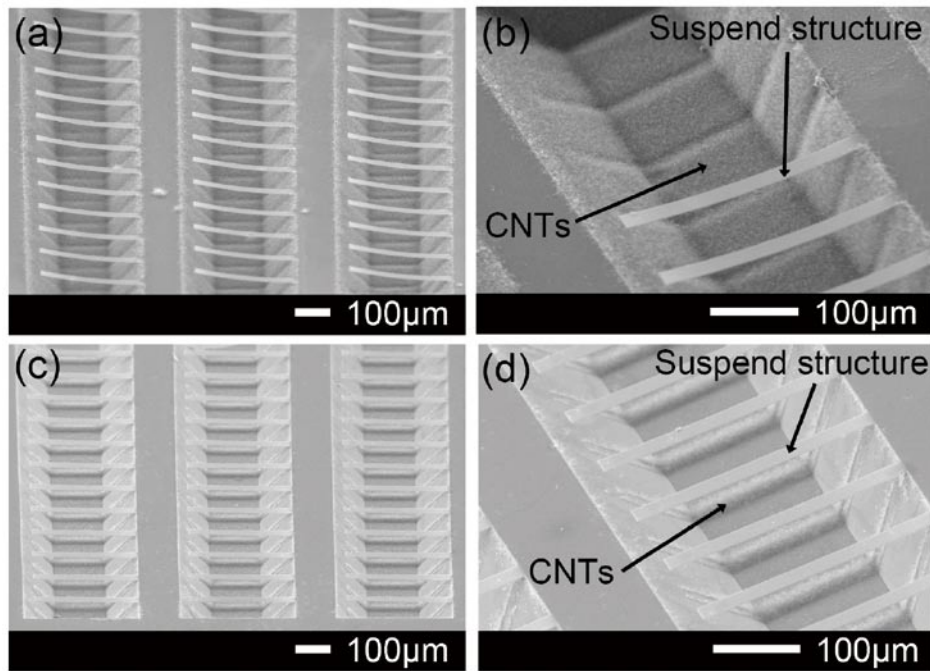


圖5 奈米碳管三維結構表面加工於具有懸浮微懸臂樑結構之三維結構矽凹槽表面之SEM照片，(a) (b) 利用懸浮微懸臂樑結構「正片」圖案轉移方法，(c) (d) 利用懸浮微懸臂樑結構「負片」圖案轉移方法。

用懸浮微懸臂樑結構「正片」圖案轉移方法，(c) (d) 利用懸浮微懸臂樑結構「負片」圖案轉移方法。

在圖6 (a) 的光學顯微鏡照片中，可清楚看出本文成功的將三維奈米碳管圖案陣列結構（黑色部份）透過翻模製程（圖2 (f) - (g)）轉移至PDMS可撓性基材上（透光部份），而形成三維奈米碳管可撓性感測元件。圖6 (b) 的光學顯微鏡照片為將此三維奈米碳管可撓性感測元件作彎曲測試之結果，由圖可看出奈米碳管整合於PDMS基材上亦具有優良的可撓特性。在圖7 (a) 的電子顯微鏡照片中，為本文利用Ni觸媒所成長出來的奈米碳管結構。利用穿透式電子顯微鏡來作觀察，可看出此奈米碳管為多壁奈米碳管（Multi-walled Carbon Nanotubes），並具有竹結狀結構（Bamboo-like Structure），

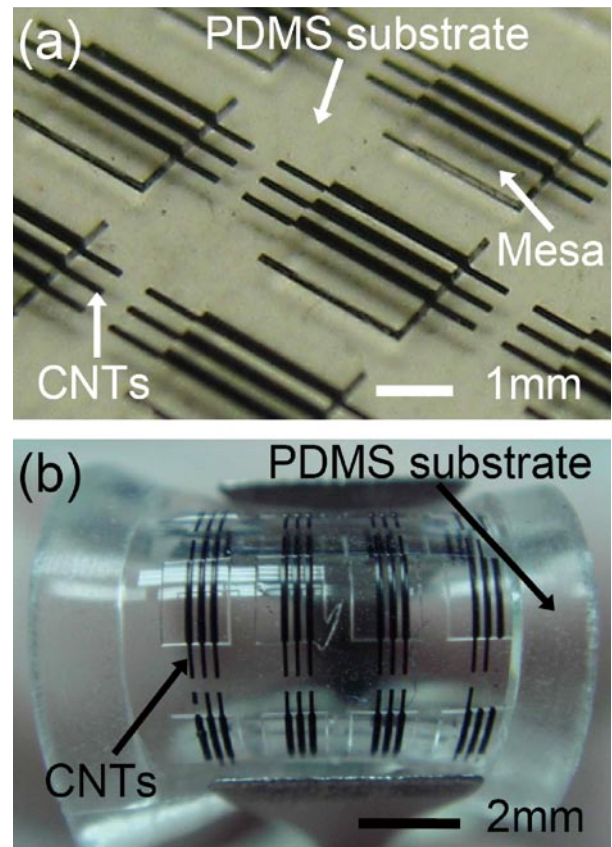


圖6 利用翻模技術將奈米碳管陣列轉移至PDMS可撓性高分子基材的三維奈米碳管可撓性感測元件之光學顯微鏡照片。



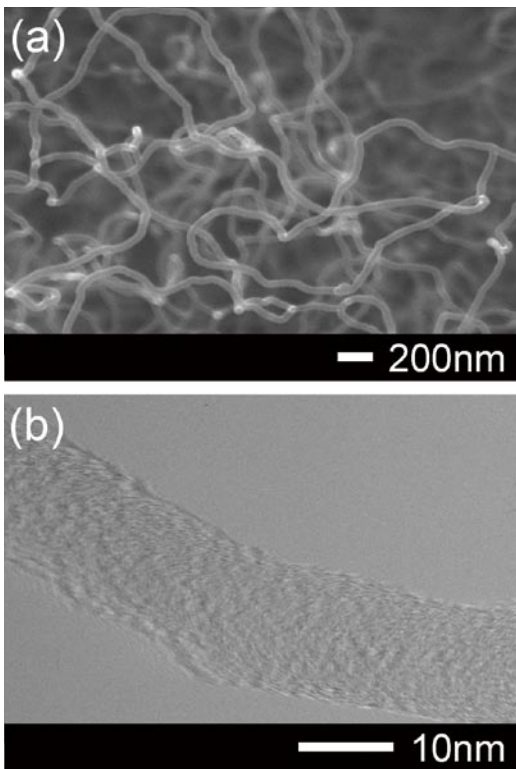


圖7 奈米碳管之 (a) 電子顯微鏡照片及 (b) 電子穿透式電子顯微鏡照片。

如圖7 (b) 所示。本文所成長出來的奈米碳管平均管徑為20-50nm。由拉曼光譜來進一步檢測奈米碳管之特性，其結果如圖8所示。圖8中顯示二個光譜訊號，分別為~1335cm<sup>-1</sup>

(D-band) 及~1580cm<sup>-1</sup> (G-band)。本文所成長的奈米碳管D-band與G-band強度比值 (ID/IG) 為1.6。在電性方面，圖9為量測奈米碳管之電流-電壓曲線 (I-V Curve)。由其結果可看出，此奈米碳管具有優良的歐姆特性 (Ohmic Characteristic)，其電阻值為0.85kΩ。

### 結論

本文利用新型奈米碳管三維結構表面加工技術，成功地在不同深度 (50-150 μm) 與側壁角度 (54.7-90°) 的矽凹槽表面進行圖案轉移與奈米碳管成長。即使在有懸浮微結構存在時，亦可功的進行加工，不論是在懸浮結構的週遭表面或是直接在其底部表面，皆可成功完成加工。藉由電漿處理與單分子自組裝技術來達成三維結構表面的圖案轉移。利用氧電漿及氫電漿來進行矽基材上表面改質，使後續的無電鍍接觸置換來完成三維結構表面鎳觸媒圖案沈積，最後於具有選擇性鎳觸媒圖案區域完成奈米碳管成長。因

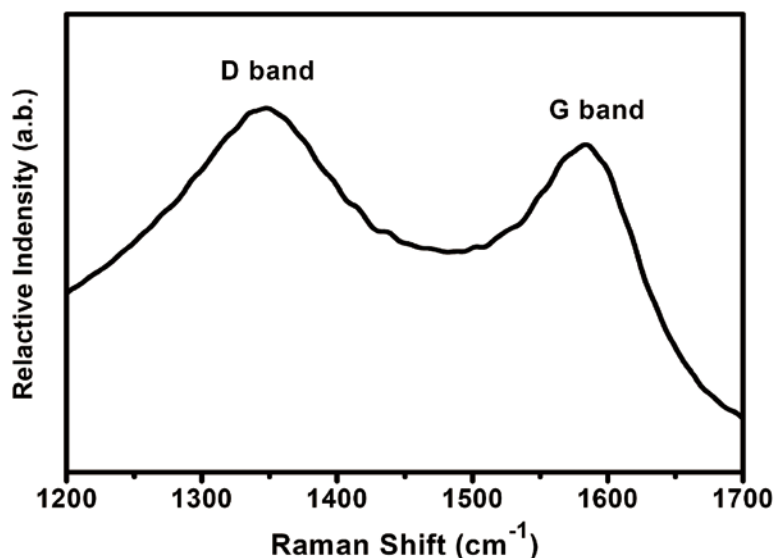


圖8 奈米碳管之拉曼光譜分析結果。



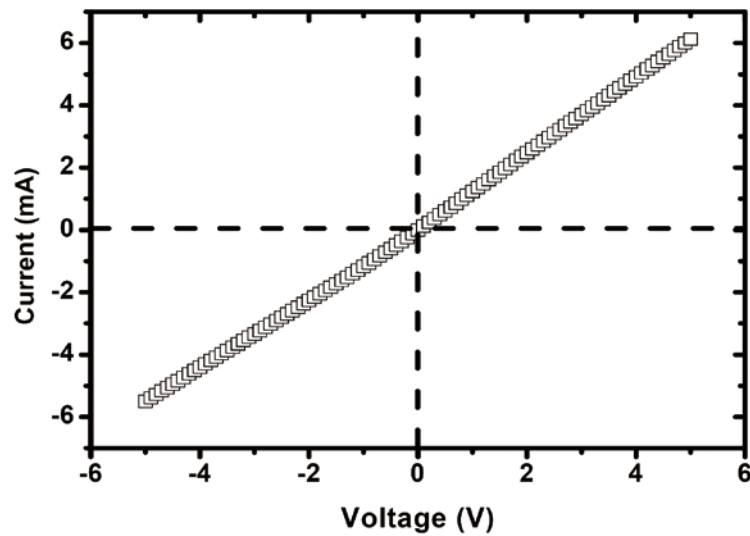


圖9 奈米碳管之電流-電壓量測結果。

此，本文成功的藉由矽晶片遮罩與懸浮微懸臂樑結構，並配合氧電漿與氫電漿的矽基材表面改質來實現，奈米碳管正片及負片圖案轉移技術於深度落差大的三維結構表面。本文亦成功的將奈米碳管三維結構表面加工技術整合於可撓性PDMS高分子材料上，完成三維圖案定義之奈米碳管可撓性元件。利用本文所提出的新型奈米碳管三維結構表面加工技術，將可整合於微機電系統元件、半導體元件及可撓性高分子元件上，來進一步的作其更複雜的應用與開發。

#### 參考資料

1. Su W S, Lin C M, Chen T H, and Fang W 2009 Patterning and growth of carbon nanotubes on a highly structured 3D substrate surface *J. Micromech. Microeng* 19 105009
2. Li J, Papadopoulos C, Xu J M and Moskovits M 1999 Highly ordered carbon nanotube arrays for electronics applications *Appl. Phys. Lett.* 75 367-69
3. Kong J, Franklin N R, Zhou C, Chapline M G, Peng S, Cho K and Dai H 2000 Nanotube molecular wires as chemical sensors *Science* 287 622-25
4. Stampfer C, Helbling T, Oberfell D, Schöberle B, Tripp M K, Jungen A, Roth S, Bright V M and Hierold C 2006 Fabrication of single walled carbon nanotube based pressure sensors *Nano Lett.* 6 233-37
5. Fennimore A M, Yuzvinsky T D, Han W Q, Fuhrer M S, Cumings J and Zettl A 2003 Rotational actuators based on carbon nanotubes *Nature* 424 408-10
6. Hayamizu Y, Yamada T, Mizuno K, Davis R C, Futaba D N, Yumura M and Hata K 2008 Integrated three-dimensional microelectromechanical devices from processable carbon nanotube wafers *Nat. Nanotechnol.* 3 289-94
7. Sazonova V, Yaish Y, Üstünel H, Roundy D, Arias T A and McEuen P L 2004 A tunable carbon nanotube electromechanical oscillator *Nature* 431 284-87
8. Jensen K, Weldon J, Garcia H, and Zettl A 2007 Nanotube radio *Nano Lett.* 7 3508-11
9. Kim P and Lieber C M 1999 Nanotube nanotweezers *Science* 286 2148-50
10. Dai H, Hafner J H, Rinzler A G, Colbert D T and Smalley R E 1996 Nanotubes as nanoprobe in scanning probe microscopy *Nature* 384, 147-50
11. Deshpande V V, Chiu H Y, Postma H W Ch, Mikó C, Forró L and Bockrath M 2006 Carbon nanotube linear bearing nanoswitches *Nano Lett.* 6 1092-95
12. Jang J E, Cha S N, Choi Y J, Kang D J, Butler T P, Hasko D G, Jung J E, Kim J M and Amaratinga G A J 2008 Nanoscale memory cell based on a nanoelectromechanical switched capacitor *Nat. Nanotechnol.* 3 26-30
13. Fan S, Chapline M G, Franklin N R, Tomblor T W,

- Cassell A M and Dai H 1999 Self oriented regular arrays of carbon nanotubes and their field emission properties *Science* 283 512-14
14. Wei B Q, Vajtai R, Jung Y, Ward J, Zhang Y, Ramanath G and Ajayan P M, 2002 Organized assembly of carbon nanotubes *Nature* 416 495-96
  15. Gu G, Philipp G, Wu X, Burghard M, Bittner A M and Roth S 2001 Growth of single walled carbon nanotubes from microcontact printed catalyst patterns on thin Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> membranes *Adv. Funct. Mater.* 11 295-98
  16. Sohn J I, Lee S, Song Y, Choi S, Cho K and Nam K 2001 Patterned selective growth of carbon nanotubes and large field emission from vertically well aligned carbon nanotube field emitter arrays *Appl. Phys. Lett.* 78 901-03
  17. Karp G A, Ya' akobovitz A, David-Pur M, Ioffe Z, Cheshnovsky O, Krylov S and Hanein Y 2009 Integration of suspended carbon nanotubes into micro-fabricated devices *J. Micromech. Microeng.* 19 085021
  18. Kutchoukov V G, Shikida M, Mollinger J R and Bossche A 2004 Through wafer interconnect technology for silicon *J. Micromech. Microeng.* 14 1029-36
  19. Larsson M P and Syms R R A 2004 Self aligning MEMS in-line separable electrical connector *J. Microelectromech. Syst.* 13 365-76
  20. Pham N P, Boellaard E, Wien W, van den Brekel L D M, Burghartz J N and Sarro P M 2004 Metal patterning on high topography surface for 3D RF devices fabrication *Sens. Actuator A-Phys.* 115 557-62
  21. Richard Å, Rangsten P, Strandman C and Bäcklund Y 1999 Decreasing the optical path length in an optoelectronic module using silicon micromachining *J. Micromech. Microeng.* 9 127-29
  22. Loechel B 2000 Thick-layer resists for surface micromachining *J. Micromech. Microeng.* 10 108-15
  23. O' Brien J, Hughes P J, Brunet M, O' Neill B, Alderman J, Lane B, O' Riordan A and O' Driscoll C 2001 Advanced photoresist technologies for microsystems *J. Micromech. Microeng.* 11 353-58
  24. Pham N P, Boellaard E, Burghartz J N and Sarro P M 2004 Photoresist coating methods for the integration of novel 3-D RF microstructures *J. Microelectromech. Syst.* 13 491-99
  25. Pham N P, Tezcan D S, Ruythooren W, Moor P De, Majeed B, Baert K and Swinnen B 2008 Photoresist coating and patterning for through-silicon via technology *J. Micromech. Microeng.* 18 125008
  26. Singh V K, Sasaki M, Hane K, Watanabe Y, Takamatsu H, Kawakita M and Hayashi H 2005 Deposition of thin and uniform photoresist on three-dimensional structures using fast flow in spray coating *J. Micromech. Microeng.* 15 2339-45
  27. Pham N P, Burghartz J N and Sarro P M 2005 Spray coating of photoresist for pattern transfer on high topography surfaces *J. Micromech. Microeng.* 15 691-97
  28. Su W S, Lee S T, Lin C Y, Yip M C, Tsai M S and Fang W 2006 Tuning the shape and curvature of micromachined cantilever using multiple plasma treatments technology *Sens. Actuator A-Phys.* 130-131 553-59
  29. Su W S, Lee S T, Lin C Y, Yip M C, Tsai M S and Fang W 2006 Control the shape of buckling micromachined beam using plasma chemistry bonding technology *Jpn. J. Appl. Phys.* 45 8479-83
  30. Su W S, Huang H Y and Fang W 2008 Modification of the mechanical properties of SiO<sub>2</sub> thin film using plasma treatments for micro-electro-mechanical systems applications *Jpn. J. Appl. Phys.* 47 5242-47
  31. Lee Y P, Tsai M S, Hu T C, Dai B T and Feng M S 2001 Selective copper metallization by electrochemical contact displacement with amorphous silicon film *Electrochem. Solid State Lett.* 4 C47-49
  32. Su W S, Tsai M S and Fang W 2007 A Three dimensional microfabrication technology on highly structured surfaces *Electrochem. Solid State Lett.* 10 H16-19
  33. Salvago G and Cavlotti P L 1972 Characteristics of the chemical reduction of nickel alloys with hypophosphite *Plating* 59 665-71
  34. van den Meerakker J E A M 1981 On the mechanism of electroless plating, II. one mechanism for different reductants *J. Appl. Electrochem.* 11 395-400

# 感測器IP與CMOS微機電系統平台

文/圖 吳伯昌 國家晶片系統設計中心

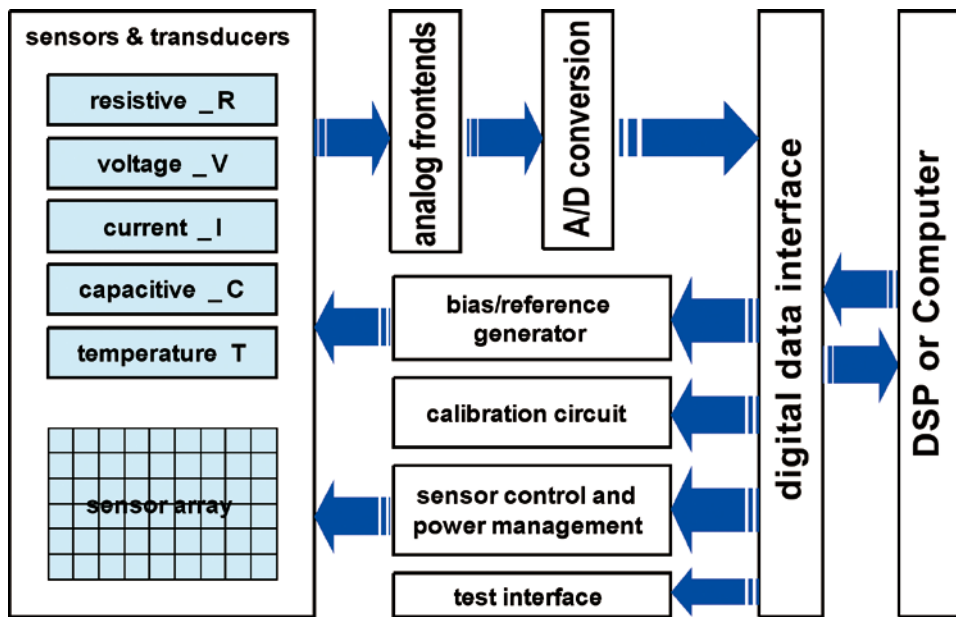
## 前言

微機電系統（Micro Electro Mechanical Systems，MEMS）技術可結合光學、半導體、機械、材料、控制、生醫、化學等多重技術，整合形成一個微小化的感測系統，目前已經廣泛地應用在半導體、通訊、消費性電子、國防工業、汽車工業、生物醫學、環保工安、太空航太等產業之中，甚至在土木營建、環境保護以及農林漁牧亦可見到微機電系統的身影。舊有的產品也可以因微機電技術而提升其性能、品質、可靠度、可攜性以及更大的附加價值，是目前極具發展潛力和前瞻性的研究領域。在歐、美、日等國家，大學或研究單位均投入了相當大的人力和資源從事相關技術的研發工作。

然而，客製化MEMS製程的開發需要大筆資金投入與很長的開發時程，傳統上約需5~10年的時間，才能在商業市場中獲得成功，例如德州儀器（TI）的數位光處理器（DLP）即為一例<sup>[1]</sup>。因此，感測元件所需專屬的製程限制了傳統MEMS技術的發展，但隨著製程技術的演進，直接在標準的CMOS半導體材料內建構MEMS結構已逐漸成熟，而在台灣豐富的CMOS IC晶圓代工資源和先進的製程技術不僅能改善

MEMS產品的規模經濟，更能有助於縮短產品進入市場的時間。雖然一直有一些質疑的聲音，由於MEMS的特殊性質，適合多種產品的單一通用製程平台可能永遠不會出現<sup>[2]</sup>，然而利用二至三種標準的CMOS MEMS製程互相搭配，已能滿足大部分在3C應用感測元件的需求。

無晶圓廠（Fabless）IC設計公司在整個IC產業扮演著舉足輕重的角色，主要得力於製程的標準化以及晶圓代工業的蓬勃發展，此一模式之出現打破了早期IC設計及製造均由整合元件製造廠（IDM）壟斷之局面，IC設計公司得以專注在晶片的設計而不是製造上，而後更出現了所謂的矽智財（IP-Intellectual Property）模式，IC設計走向可重複使用進而縮短開發時程，而消費者可以享用到較低價且更多功能之IC產品。為了複製IC產業成功的經驗，Sensor IP概念主張結合CMOS MEMS製程，在同一晶片上整合機、電、生醫等元件，並可重複提供給不同需求及應用之使用者使用。Fabless的MEMS設計公司可以專注在設計感測器及其讀取電路上，只要遵循晶圓代工廠所提供之CMOS MEMS製程之規範，而製造和先進MEMS製程開發之問題



資料來源：[3]

圖1 微機電系統示意圖。

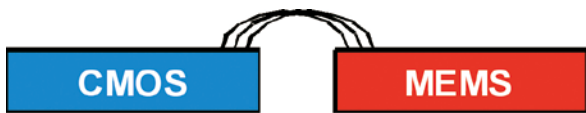
則交由晶圓代工廠來解決，藉助半導體產業的規模效益此一模式具有快速量產及低製造成本之優勢。此外，由於此Sensor IP已經整合感測電路以及在標準之CMOS MEMS製程上驗證過，任何其他使用者只要透過授權，皆可以將此一感測元件整合到其欲開發的其他CMOS產品上。雖然目前在單一晶片上整合機械元件和訊號處理電路仍存在一些問題，包含製程的相容性、電路的特性、晶片封裝以及成本效益等考量都和以往不同，並非所有的MEMS都具有這些優勢。在本篇文章中，其主要的內容主要著重在嵌入式的感測應用與CMOS MEMS平台的結合，並以G-Sensor為設計範例來更進一步說明由上而下（top-down）的Sensor IP設計流程。

### 感測讀取電路與感測系統發展之趨勢

感測電路將感測器所產生的微小物理量變化轉換成電氣訊號的變化，以供後端訊號解析之用。而感測器所產生的物理量可以是電阻、電流或是

電荷等等，端看感測器之設計以及所欲搭配之感測電路（如圖1所示）。在感測電路之設計上，一般而言須將轉換器（Transducer）之類比訊號轉換成數位訊號以供後端作訊號處理或解析，因此放大電路（OPAMP）以及類比數位轉換器（Analog-to-Digital Converter, ADC）在感測電路的應用上是非常地普遍。此外，由於感測電路大多屬於類比或是混合類比及數位電路，如何提供一個穩定的偏壓或是參考源是必須的，故偏壓電路如傳統的電流鏡（Current Mirror）方式或是能階差參考電壓產生電路（Bandgap Reference Generator）亦是非常重要的電路方塊。校正電路（Calibration Circuit）可以利用一些類比或數位電路技巧來校正因溫度、製程或是電壓飄移所產生之誤差，可以在較小面積或是較小之耗電量之下，提供相同或更佳之硬體效能。而成熟的數位電路或是數位訊號處理器（DSP Processor）則可提供後端訊號之解析。





Hybrid Approach of MEMS and CMOS Circuit



Monolithic Integration of MEMS and CMOS Circuit

圖2 微機械和電路整合示意圖。

結合感測器和感測電路所構成之感測系統，在以往的設計，感測器和感測電路是分開在不同的晶片之上，感測電路亦是許多晶片所組合而成。此一方式可以單獨針對個別的方塊作最佳化之設計，亦具有較短之設計週期及較低之花費。在接下來的篇幅裡，我們會嘗試以感測電路為出發點來探討未來感測系統發展之趨勢。

### 機電整合

如圖2所示，早期感測器和感測電路是分開在不同的晶片之上（Hybrid Approach），然後在電路板上將這些晶片加以連線，雖可以單獨針對個別的方塊作最佳化之設計，也具有較短之設計週期及較低之花費。但是晶片封裝的費用會隨著晶片個數以及腳位的增加而增加不少。此外，每一個輸出腳位均需要較大耗電量的輸出緩衝器（Output Buffer）去驅動下一級的晶片輸入，在電路板上又須特別考量各個訊號之間的雜散效應以及交聯干擾，因此分離式的設計有著較高耗電、較高成本、較高干擾以及較差之操作速度的問題存在。此一問題在CMOSO影像感測器（CMOS Image Sensor）更顯得重要，對於陣列式的感測器而言，眾多的輸出腳位大大地提高了封裝以及電路板的製造費用，同時也增加了額外的耗電以及干擾，因此現今感測器和感測電路的整合是無可避免的一個趨勢。

而在整合平台的選擇上，有許多不同的解決方案，其中採用CMOS製程是最為被廣泛採納的一個方案。其理由如下：

- 成熟且快速的數位電路設計支援：隨著先進製程的演進，數位電路的發展可以說是一日千里，越快越複雜但是越省電的數位電路逐漸取代傳統純類比式的電路。對感測電路而言亦是如此，數位電路能提供複雜的校正方式大大地減低類比元件因為匹配所需要的元件面積以及提供整合式的即時後段資料處理能力。
- 成熟的CMOS製程：CMOS製程是目前最為成熟且最多人採用，利用此一成熟之製程技術可以獲得完整的技術支援、縮短感測器開發的時間，同時亦可以在同一個晶片上將成熟的CMOS電路整合在一起。
- 眾多的CMOS製程代工廠（Foundry）：隨著半導體分工的演進，出現了所謂的專業晶圓代工產業，其並不是IC設計公司但是可以接受本身沒有晶圓廠的IC設計公司（Fabless）之下線生產（Tape Out）。晶圓代工的出現是推動半導體蓬勃發展的一大主因，藉由明確的分工，晶片的成本大幅地降低、產品更新週期（Cycle Time）更短、小資本額的IC設計公司能更靈活地設

計出成本跟效能都不輸大廠之晶片。此一模式已經在台灣的半導體業得到成功的驗證。如圖三所示，在全世界的專業晶圓代工廠之中，台灣的總產值占了60%之強。對微機電整合而言，亦可以複製此一成功模式。

## 智慧型感測器

感測器本身僅具備感測環境參數變化的能力，並不具資料處理功能，通常還必須經類比數位轉換後搭配後端的處理器將擷取的訊號處理過後才能產生具有意義的資料。智慧型感測器（Smart Sensor）的概念，即是將感測訊號擷取、處理及控制的功能設計在單一感測元件上，其功能包含有自我監測、訊號處理、感測器特性校正等功能，倘若再把通訊功能加入感測器內，則智慧型感測器可藉由通訊網路相互連結而成為智慧型感測網路。

現今在日常生活中，無論是汽車電子、醫療器材、數位家電或是互動遊戲，智慧型感測器都扮演著相當重要之角色，例如監視交通狀況、空氣中有害氣體濃度或磁場等環境狀態，或應用於醫療上用來監測人體各項生理數據，如脈搏、血壓等。這些智慧型感測器內所內建之數位電路在現今CMOS製程上已經發展得非常成熟且具有低成本高效能之優勢，而CMOS MEMS技術正是以原有CMOS製程為基礎，以實現感測器SOC化來達到多功能、高品質及低成本之競爭優勢。

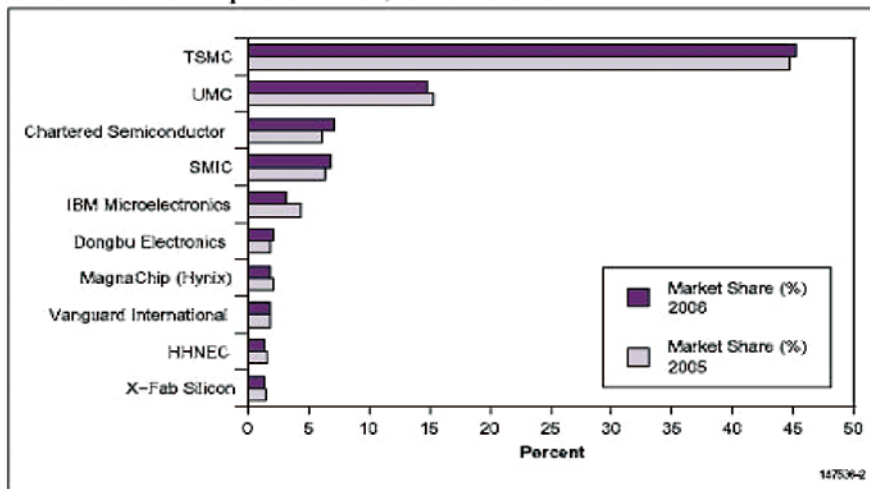
## 異質整合與多感測器

異質整合（Heterogeneous Integration）晶片的概念泛指將電子電路、光學、微機電與生物科技等多重領域的技術透過晶圓級或晶片

級封裝技術整合在一起。由於電子產品走向愈趨輕、薄、短、小之際，如何在越小的體積內塞入越多的功能是一大挑戰，而其所應用到的技術有二：「製程微縮」和「系統整合」。「摩爾定律（Moore's Law）」為製程微縮在半導體產業下了一個非常貼切的注解，如圖4所示，每隔18個月製程技術就會挺進一個世代；而系統整合目前有三大技術：「系統級封裝（SiP）」、「系統級晶片（SoC: System-on-Chip）」與「3D IC」，若以異質整合的角度來看，SiP最具備異質整合特性，被廣泛應用在各種微小化需求上，讓IC在輕薄短小之餘，仍可擁有更強大效能，同時SiP還具有開發時程短，適合Time to Market的消費電子產品等特性。而SOC整合電路的發展，感測器與相對應的讀取電路都整合到同一晶片上，如前面所述，整合感測器與電路有一些優點：包含較高信噪比（SNR），透過自動校正電路或是採用適當的反饋方式可以提高感測器的準確性或改善感測器的響應頻率。相對於SiP，SoC需要投入大量的開發時間和資源，往往開發過程中的一些失誤都有可能造成一切過程都需重來，但若以整體性能及量產價格來看，SoC會比SiP更有競爭力。故對於設計公司來說，往往必須斟酌其產品開發成本、開發時程、性能及價格等因素來選擇所需採用之整合技術。

整合多個和（或）多種不同感測器的也是未來的趨勢，例如壓力、溫度、濕度、聲音、電流電壓等。舉例來說，大多數人經常接觸到的數位相機或錄影機就是一種相當標準的智慧型多感測系統之應用，其內含的CCD/CMOS影像感測器為一個光學感測元件，而在長焦距（10X）光學

Market Shares of Top 10 Foundries, 2005 and 2006



Source: Gartner Dataquest (February 2007)

資料來源：Infineon corporate center。

圖3 前十大晶圓代工廠市佔圖。

放大相機和攝像機上所裝備的光學防手震系統，其核心則是利用雙軸或三軸的微加速度計或微陀螺儀來監測機身的位移量，並計算成鏡頭的各軸向位偏移量，進而驅動鏡頭中可變角度透鏡的移動，使光學系統的折射光路保持穩定。因此，我們常見的數位相機光學感測模組，幾乎可以說是一種結合了包含加速度計、光學感測以及可針對環境自行做出補償動作的智慧型邏輯核心之智慧型多感測器系統。

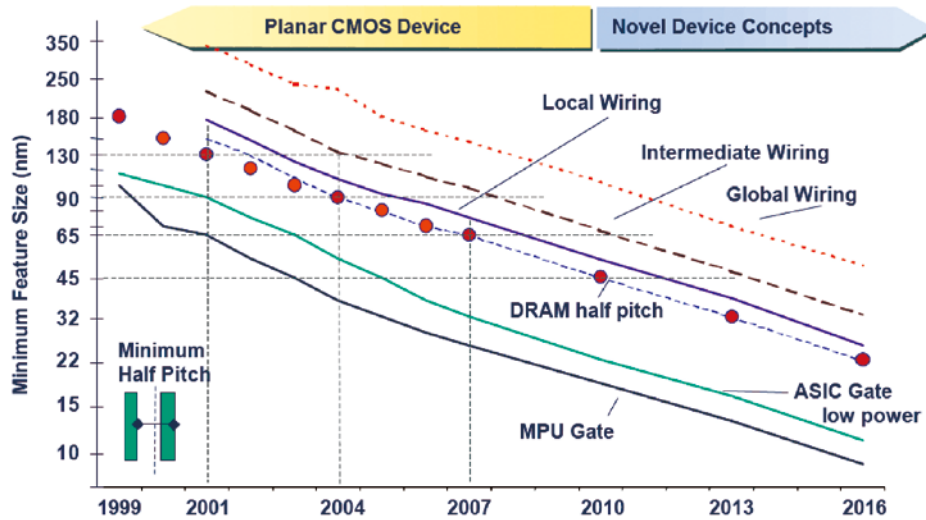
單一感測元件或能力已經不能滿足目前或未來智慧型感測器的發展，針對應用，整合各種不同的感測元件與邏輯，並得以輸出具實用價值的訊號，並且自動根據這些訊號進行狀態判斷以及系統反應，將是未來智慧型感測器的發展必備條件。

## Sensor IP與CMOS MEMS平台

CMOS MEMS乃是採用傳統CMOS製程技術來製造MEMS產品，其與客製化之MEMS製

程技術最大差別點在於CMOS MEMS所做出的成本較低，且由於過去半導體產業之發展大多都是著重在CMOS製程，因此一旦MEMS產品採用CMOS MEMS製程技術製造，也會讓半導體產業上中下游之供應鏈快速進入MEMS市場，進而更有效地加速MEMS產品之量產與降低成本。

對於產品的開發上，大量重複使用既有的IP，可以大幅減少開發產品的流程而且掌握市場時效，在IC產業裡，IP扮演著舉足輕重的腳色，許多設計公司並不以販賣IC產品為主要收入來源而是藉由出售IP給其他設計公司藉以收取權利金，其中最著名的例子當屬ARM這間專門販賣嵌入式微控制器的公司<sup>[4]</sup>。而IP要能夠通行無阻，有兩個重要的因素即是標準化製程和晶圓代工模式，有了標準化製程，IP使用者才能將買來的IP跟自家的設計直接兜在一起，而有了標準化製程和晶圓代工廠，則可以大幅降低生產成本，提升產品之競爭力。



資料來源：Infineon corporate center。

圖4 CMOS製程之演進。

## CMOS MEMS的優勢

現階段對於MEMS廠商來說，除了在設計一項MEMS產品上已有相當大的困難外，更重要且更為困難的地方在於製程，原因在於幾乎所有MEMS客戶在量產時，都需要有不同的製程去支援，現階段不可能用一套標準製程同時讓不同客戶投產，因此現行的純MEMS晶圓代工廠並無法在產能上取得優勢。客製化MEMS製程的開發需要大筆資金投入與很長的開發期，但若直接在標準的CMOS半導體材料內建構MEMS結構的話，以台灣世界第一的CMOS IC晶圓代工業（圖3）跟先進的製程技術不僅能改善MEMS產品的規模經濟，更能有助於縮短產品進入市場的時間，重複使用現有製程能大幅縮短開發時程並降低製造成本，而感測器成本降低之後，就會導引出更多的應用，進而大幅提升整個感測器的市場規模。在眾多感測器產品之中，嵌入式應用即是一個成長潛力不可忽視的一個市場，以手機晶片整合加速度器為例，以手機晶片組一年十幾億組的

銷售量，加速度器未來的市場規模將會是現在的百倍以上。對嵌入式應用最重要的關鍵在於晶片成本和單一晶片整合，而CMOS MEMS能夠提供低製造成本以及跟後端讀取及處理電路的高度整合，實為嵌入式感測應用最佳的平台。基於這趨勢，在全球MEMS晶圓代工這部分，到目前為止已有多家廠商介入，台灣目前從事MEMS晶圓代工大廠包含了台積電、聯電、亞太優勢、探微等，而其中台積電與聯電是過去專注於CMOS標準製程代工大廠，近來也逐步擴大在MEMS晶圓代工產能。目前全球各大MEMS的IDM廠多數MEMS產品還是傾向於自己內部製造，僅有少部分的IDM大廠已開始將MEMS產品外包，像是日前已將產品外包的ADI，已將旗下的MEMS產品外包給台積電替其代工。有鑑於未來消費性電子產品採用MEMS產品的比重將與日俱增，一般預料晶圓代工廠承接MEMS代工比例也將快速增加。



## Sensor設計IP化

IP是一種事先定義、經過驗證並可以重複使用的功能組塊<sup>[5]</sup>，如果將IC設計比喻為堆積木，那麼IP就是各種造型的積木，因此，IC設計業者可運用功能元件資料庫中的IP，做適當的組合而成為一顆IC。在早期，IC設計業者是使用電路細胞元資料庫（Cell Library）中的電路細胞元加以組合而設計出一顆完整的IC。不過隨著IC內部的電晶體集積度越來越龐大，線路越來越複雜，使IC設計越來越困難，因而有IP的出現。IP可以說是將各種電路細胞元組合在一起，而能達到某些特定功能的組塊，當IC設計需要用到這項功能時，不須從最基本的電路元件開始設計起<sup>[3]</sup>，可直接使用這項功能元件組塊。對嵌入式感測器的設計來說，現有的IC設計公司也可以藉由購買其他MEMS設計公司設計好的Sensor IP，即可以快速地擴充現有產品之功能及應用，而不須從最基本的結構和讀取電路開始設計。

對於發展Sensor IP而言，其最基本應包含兩大部分，其一是感測微結構本身，另一個即是讀取電路。由於對感測器讀取電路其具有相對於其他如數位/類比轉換器不一樣之跨領域之需求，要同時找到又懂得MEMS製程，又懂機械設計與類比及數位電路設計的人相對不多，因而對非Sensor IP之設計公司而言，要獨自設計感測器之讀取電路會遇到瓶頸。除此之外，異質整合時的設計跟模擬經驗也不是傳統IC設計公司之專長。此外，往往對一個最佳化的感測器設計而言，感測器特性往往需要後端電路以予修正或甚至是操作在閉迴路狀態，而也只有Sensor IP設計公司才能解決。故對於Sensor IP而言，最佳的解決方案是Sensor IP同時包含了感測微結構

跟讀取電路，其輸出訊號已是處理過的類比或甚至是數位訊號。

## 模擬軟體支援

在感測器跟讀取電路的設計上，由於其橫跨了不同物理量，如何有效正確地做共同模擬（co-simulation），對EDA軟體公司來說一直是一個挑戰。除此之外，設計好的IP如何加以包裝以提供使用者能夠去評估跟模擬此一Sensor IP而又不會洩露整個設計的細節，對IP提供者來說也是一個重要的課題，一般都會以一個行為描述的模型來取代真實的設計檔案，而用來描述感測器行為的語言還必須兼顧後端電路模擬軟體的相容性。在後面的設計範例中，我們採用由上而下的設計方法以有效率地實現設計階段的模擬，並用Verilog-AMS來模擬整個G-Sensor IP的動作。Verilog-AMS是一種廣泛被很多EDA軟體所支援的一種行為描述語言，我們用來描述G-Sensor機械運動的結果以及類比電路的動作，此一模型可以提供給後段設計者跟他們的電路設計軟體作鏈結以方便作整個系統模擬。

## CIC CMOS MEMS製程<sup>[6]</sup>

結合微感測功能之電子應用已成為未來產品趨勢，為達到低成本及縮小化目的，整合成熟IC製程技術來發展可應用於微感測系統之CMOS MEMS平台技術，是未來微感測系統（Micro-sensing System）之關鍵。CIC已開發0.35um/0.18um CMOS MEMS及0.35um CMOS BioMEMS技術平台，並提供包含參考準則、製程描述檔、材料參數、微機電系統參考設計考設計等檔案及文件。而一高效能之微感測系統晶片，除了包含環境、生理之感測單元，另

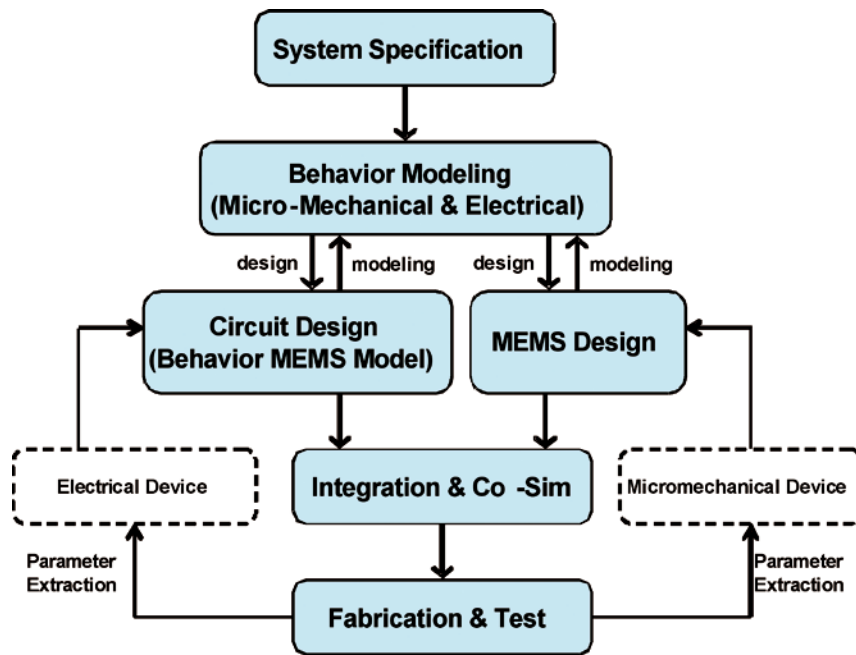


圖5 Sensor IP設計流程。

需整合ASIC、RF front-end及DSP/MCU等類比、數位位運算單元，如圖5所示，完整設計流程須能包含MEMS結構、感測器元件、ASIC 電路及系統分析等四個層面，而此設計流程亦將含蓋CMOS製程、MEMS後製程及SiP三項製程技術。CIC自2002年底開始提供0.35um CMOS MEMS整合型製程平台，並於2006年底進一步提供0.18um CMOS MEMS整合型製程平台，此CMOS MEMS平台技術已經驗證電路整合之可靠度，結合金層並完成生物相容驗證之0.35um CMOS BioMEMS也已經過驗證並於2008年底開放申請使用。

### Sensor IP設計流程

一個感測系統之設計是從訂定系統規格開始的，當然在訂定規格之前還必須針對市場規模、競爭者之優劣點、設計成本、設計時間等作一個詳細之評估。訂定完規格之後必須針對感測器及

感測電路做行為描述與模擬，此一步驟乃是確定所訂之系統規格能夠在現有之製程及電路能力下以合理之設計成本加以實現，並且設計出來之模型還可以提供給各個設計單元在進行設計時作共同模擬驗證之用。而在設計階段可粗分為感測結構和讀取電路兩大部分，其所使用之設計/模擬軟體也不盡相同，但在設計過程中，仍必須依據設計之結果或發現適時地修正行為模型之架構或參數。當各個設計單元完成設計之後，接下來是設計整合與系統模擬，不過現今EDA軟體對機電整合模擬的支援尚未很完整，因此若要降低整個感測系統之設計風險，能須仰賴嚴謹之行為描述模型與設計共同模擬之正確性。最後，為了讓模擬時所用之模型參數更具真實性，製造時所用之製程之電性與材料參數之萃取與模型參數之修正也是一個非常重要的課題。詳細之Sensor IP設計流程如圖5所示。

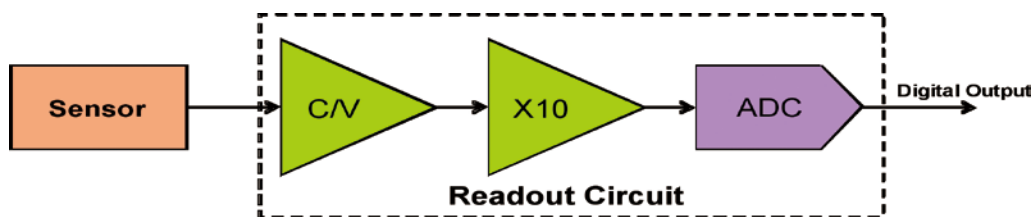


圖6 加速度感測器功能方塊圖。

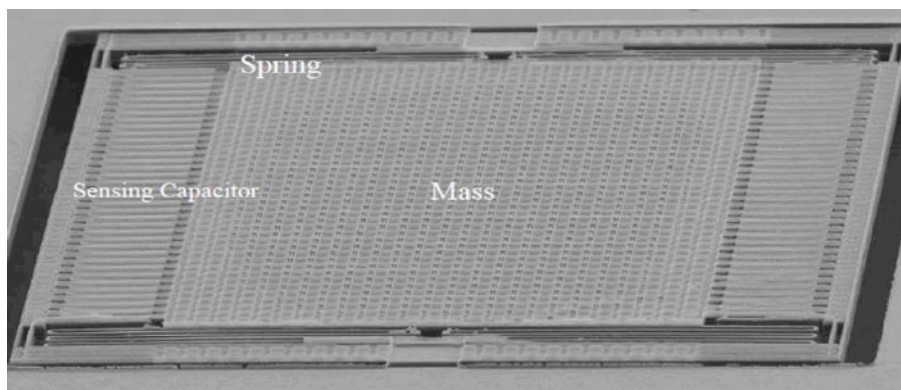


圖7 電容式加速度感測器元件。

## 加速度感測器IP設計範例

在此一章節中，我們會以一個加速度器（G-sensor）IP為設計範例，來說明整個Sensor IP的設計流程。

### G-Sensor功能方塊

如圖6所示，一個簡單的電容式加速度感測器包含兩大部分：機械結構跟讀取電路。而機械結構部份是由一個質量塊（Mass）、彈簧（Spring）跟電容（Sensing Capacitor）所構成（圖7），質量塊跟彈簧是用來對於當物體產生加速度運動時做出相對應的位移運動所需，而指叉狀電容結構會隨質量塊之運動而有不一樣交連面積因而產生電容值變化。讀取電路部份的話，其最主要的功能即是去擷取並放大指叉狀電容產生的微小電容值變化量，並以電壓的形式為輸出以供下一級的類比/數位轉換器輸入之用。

### G-Sensor IP行為描述模型

#### G-Sensor結構之行為模型

如圖7所示，加速度感測器之機械結構由質量塊、彈簧跟指叉狀電容所構成，我們可以用以下所示之模型來表示感測器之運動方程式，其中F代表因家速度所產生之力量，m是質量塊之質量，a是加速度，k是彈簧彈性系數，D是結構的阻尼係數（damper），A是電極板總面積，x是位移量，d是位移量， $\epsilon$ 是材質的介電係數，C是感測電容變化量，I跟V則是則分別是電流跟端點電壓，我們藉由此一I-V關係式以Verilog-AMS來描述感測器電容之特性，以供後端讀取電路模擬之用（採用I-V關係式描述電容特性之原因為後端電路模擬軟體通常只能接受電壓跟電流相關之物理量，力學相關之物理量如位移量或加速度等則無法跟電路模擬軟體相容）。

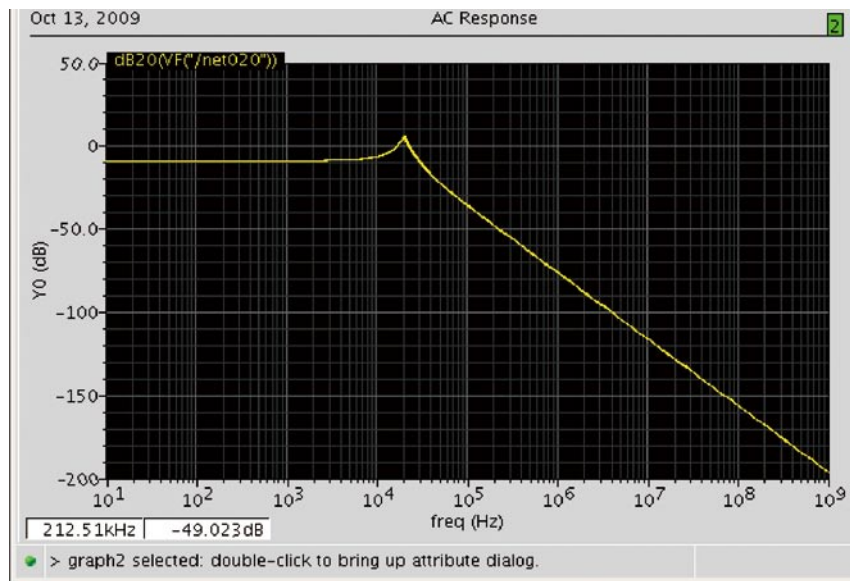


圖8 電容式加速度感測器共振頻模擬圖。

質量塊： $F = m * a$ ，質量塊提供加速度力造成結構形變。

彈簧： $F = \frac{d^2x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + kx$ ，設計彈簧彈性系數在的加速度規格內，得到可感測的位移量。

感測電容： $C = \epsilon \frac{A}{d}$ ，由位移量推得相對電容改變量。

節點電流： $I = C \frac{dV}{dt}$ ，節點電流描述方程式。

在加速度器中還有一個很重要之參數—共振頻，在此我們可以用類似像電路系統中之二階頻率響應來描述，如圖8所示，最後將以上之公式用Verilog-AMS加以實現並連結即可以實現G-Sensor結構之行為模型。

### 讀取電路之行為模型

如圖6所示，讀取電路主要由一個C-V轉換電路和後端之放大電路所構成<sup>[12]</sup>（在此範例中我們

假設類比輸出並忽略ADC），詳細之C-V轉換電路架構如圖9所示，細分其電路基本構成單元可分為開關、轉導放大器（OTA）及電容。利用Verilog-AMS的cross指令即可以很快建構出開關之模型，而OTA則是可以參考Verilog-AMS裡的文件<sup>[15]</sup>關於OPAMP的部份加以修改，加入slewing和settling等非理想效應即可，而電路中電容的部份參考手冊上之模型即可，最後再加入不同相位之控制訊號即可以模擬整個讀取電路之操作，模擬結果如圖10所示。

### G-Sensor結構設計

G-Sensor的設計基本上分為兩大部分：結構設計和致動器（Transducer）設計。

#### 結構設計<sup>[6]</sup>

對G-Sensor結構設計而言，要採用top-down之設計方法需要知道結構之材料參數，才能模擬設計出來之感測結構的形變特性與薄膜內部應力造成的結構變形。然而，傳統CMOS製程重視的是電



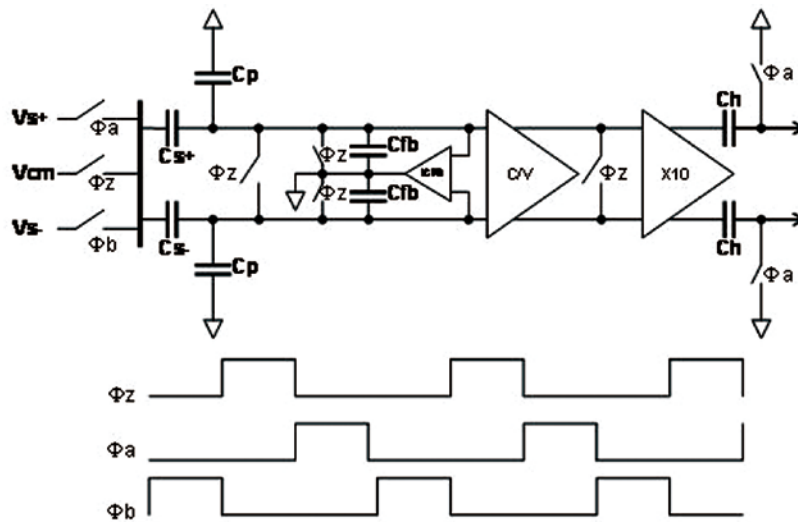


圖9 C-V轉換電路架構。



圖10 C-V轉換電路行為模型模擬結果。

晶體元件之電性與電路元件的模型而非材料參數，無法取得相關材料參數一直是讓MEMS設計者感到困擾的因素之一，然而結構之型態往往決定最後電路系統之可用性。而MEMS結構設計之相關機械材料參數包含了：

楊氏係數：提供使用者在MEMS結構剛性與共振頻率設計上的考量。

殘餘應力：提供使用者在MEMS結構懸浮後，評估因薄膜內部應力造成MEMS結構平面方向的形變與長度變化。

CIC針對十組使用金屬/氧化層所堆疊形成的MEMS結構，完成以上三種CMOS MEMS常用的機械材料參數，藉由CIC所提供之上述三項機械材料參數進行FEM相關的模擬，以得到較接近實際完成的MEMS結構機械動態特性與薄膜應力影響下造成變形後之結構外型。

### 致動器設計<sup>[6]</sup>

致動器將質量塊運動之位移量轉換成電氣訊號，其可分為三類：電阻式、電容式及電磁式。電阻式可利用複晶矽或金屬的壓阻或熱阻變化特性來設計致動器。其原理為透過元件上受到不同

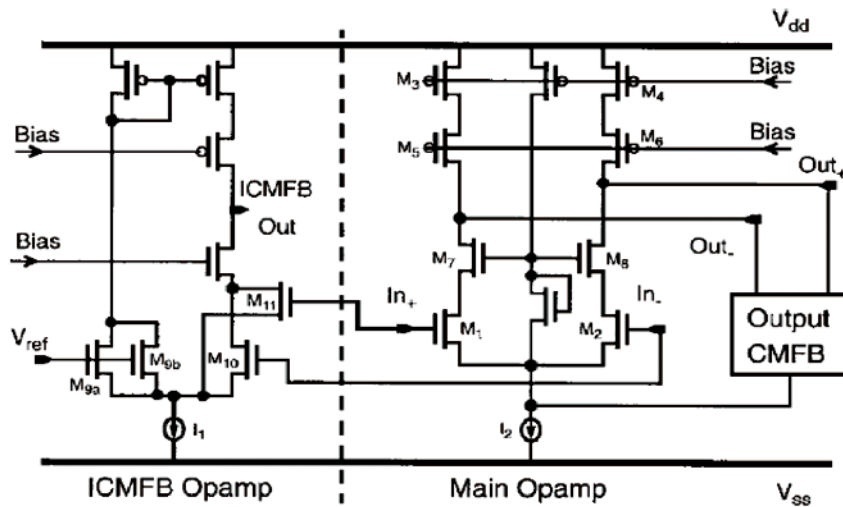


圖 11 C-V轉換器之OTA電路圖<sup>[12]</sup>。

的受熱或壓力，藉由電阻變化得到不同的電壓輸出，其優點為製作結構及讀取電路為簡單，但電阻值受溫度影響大，需要有額外的校正電路。電容式乃利用上下金屬層間或同層金屬側壁的耦合電容，其優點為受溫度影響小、動態範圍可以較大且功率消耗低，但易受寄生電容的影響並且讀取電路較為複雜，因此設計者必須針對感測器特性做最佳化的設計。電磁式是利用金屬層設計而成的電感來偵測電磁場的變化。此種致動器的優點為受溫度影響小且控制電路不會太複雜，不過結構及封裝較為複雜。

在此範例中所採用的是電容式的致動器設計，以TSMC 0.18um CMOS製程為平台，元件主體材料為半導體製程中的表面層（Surface Layer），包含了繞線用的六層金屬，以及金屬與金屬間隔絕電性的介電層，結構在電晶體製程中堆疊完畢後，最後搭配MEMS的後製程將主體懸浮。系統設計初期，以CoventorWare軟體預估系統規格，同時搭配Cadence環境、HSPICE與Spectre整合在

標準化的積體電路製作流程，以CIC所提供之CMOS MEMS設計流程<sup>[6]</sup>，完成整合微機電系統的設計、製作與驗證。

## 讀取電路設計

### 電容轉電壓電路設計

在此一範例中，我們採用的是交換電容式的讀取電路，並結合相關雙取樣電路來消除一些放大器的輸入位移跟低頻雜訊，如圖11所示，此電路架構的第一級是一個電容轉電壓（C-to-V Converter）的電路，將感測器微小之電容變化轉換成電壓變化。由於感測器之靜態電容（Cs）在CMOS MEMS製程上一般不會太大（大約0.1PF），為避免因採用交換電容式電路而使得其因開關以及感測器之靜態電容造成之KT/Cs雜訊影響了整個系統之信噪比（Signal-to-Noise Ratio, SNR），本架構將相關雙取樣電路之取樣電容（Ch，設計值可以遠大於Cs）移到後級放大器之輸出，並搭配較高之取樣頻率以及輸入共模電路，則此交換電容式讀取電路之KT/Cs雜訊會減少為KT/Ch，Ch為設計

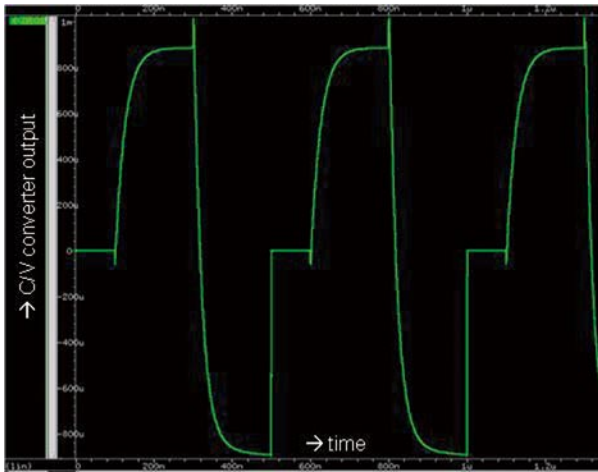


圖12 感測讀取電路。

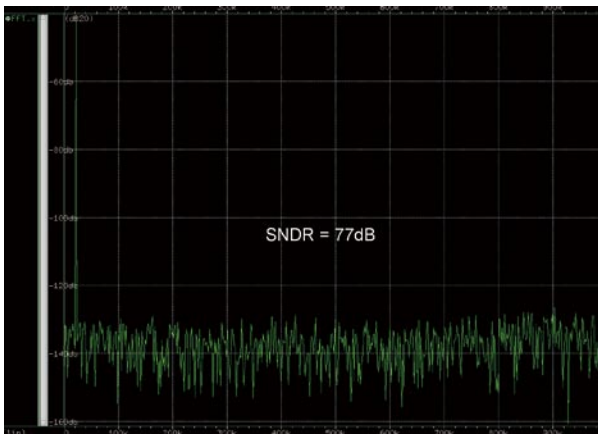


圖13 感測讀取電路線性度模擬圖。

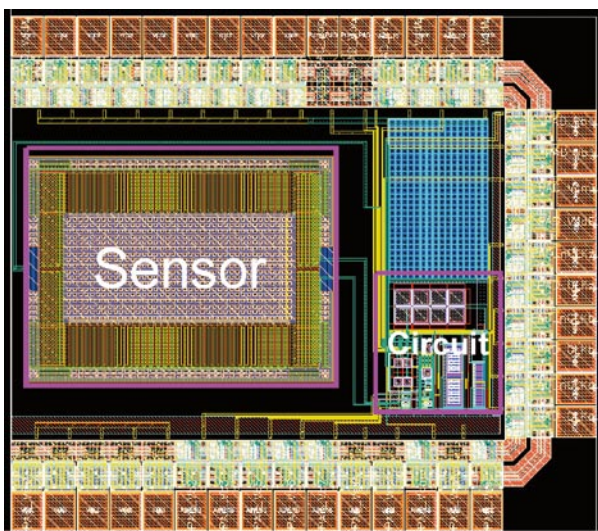


圖14 G-Sensor IP佈局圖。

值且不受感測器結構限制，可以依解析度和操作速度之要求而得到適當之值。完整之C/V轉換電路輸入共模電路如圖11所示而實際電路模擬結果如圖12所示。

### 低雜訊放大器設計

經前級C/V轉換之後的微小電壓變化量會經過後二級之低雜訊放大器放大之後才輸出，其在設計上採用較高之有效電壓（ $V_{eff}$ ）以及偽差動（Pseudo-Differential）輸入架構<sup>[14][16]</sup>，此架構具有較高之線性度以及較大之輸出擺幅，但佈局時須注意匹配之問題<sup>[17]</sup>，否則會有較高之二次諧波失真。

在整個讀取電路的設計上，我們採用由前面所提及之Verilog-AMS所建構之感測器模型來模擬真實感測器之輸出電容變化已提供讀取電路驗證之用。感測電路之模擬結果以及其線性度如圖13所示，其在接近最大輸入界線時，輸出仍具有12+位元（77dB）線性度以上之輸出能力。

整個依循Sensor IP設計流程之G-Sensor感測器整合佈局檔如圖14所示。

### 結論

整合了光學、半導體、機械、光學、生醫、化學等異質技術之微感測結構及其讀取電路，採用CMOS MEMS製程平台能夠減少客製化MEMS製程的開發需求、搭配使用二至三種標準的CMOS MEMS製程技術、更能藉由現今半導體產業的規模效益創造快速量產及低製造成本之優勢；此外，此一設計跟製造分工之模式所引申出來的Sensor IP概念，可重複使用之優勢更

可以降低設計成本、縮短開發時間、增加原有產品之附加價值，其結合或整合微控制器及通訊網路所建構出之智慧型感測網路將會在未來大大地影響每個人的生活方式。

Sensor IP化除了代表設計出的感測元件可以重複使用之外，在設計之階段往往需面臨異質整合設計/模擬環境建置的問題，現今EDA軟體的支援仍不完整，設計者往往必須自行解決這問題。以電路設計者的角度來看，Verilog-AMS提供了整合不同物理量模擬於同一個環境之能力，感測器設計者只要描述好感測器之行為模式，IC設計人員即可以透過Verilog-AMS跟設計檔案做連結，採用由上而下之設計方法來有效率地驗證後段電路之功能。

#### 參考資料

1. <http://www.ti.com.tw/articles/detail.asp?sno=18>
2. [http://www.eettaiwan.com/ART\\_8800377448\\_4802\\_02\\_NT\\_a5ddbdfdb.HTM](http://www.eettaiwan.com/ART_8800377448_4802_02_NT_a5ddbdfdb.HTM)
3. O. Brand and G. K. Fedder, "Advanced Micro & Nanosystems Vol. 2. CMOS-MEMS", Wiley, 2005.
4. <http://www.arm.com/>
5. <http://www.funddj.com/KMDJ/Wiki/wikiViewer.aspx?keyid=cb6b7553-fada-4abb-839f-32d57804481d>
6. The CIC CMOS MEMS Design Platform for Heterogeneous Integration, Chip Implementation Center, CIC, Taiwan, Document no. CIC-CISD-RD-08-01, 2008.
7. F. Y. Xiao, Y. Z. Juang, C. F. Chiu, C. Y. Lee, P. Z. Chang, C. H. Tu, and R. L. Wang, "Improved CMOS MEMS Process and CMOS Compatibility Test", Symposium of Design, Test, Integration, and Package of MEMS/MOEMS), pp. 339-342, 2004.
8. S. H. Tseng, F. Y. Xiao, Y. Z. Juang, C. F. Chiu, and M. C. Cheng, "Solutions for Dicing Released CMOS-MEMS Multi-Project Wafer", Symposium of Design, Test, Integration, and Package of MEMS/MOEMS, pp. 55-59, 2004.
9. 曾聖翔, 蕭富元, 莊英宗, 邱進峯, 割已釋出互補 氧半微機電系統的多計畫晶圓的方法/ Method For dicing a released CMOS-MEMS multi-project wafer, Patent Taiwan, No. I291725, 2007.
10. 曾聖翔, 蕭富元, 莊英宗, 邱進峯, Methods for dicing a released CMOS-MEMS multi-project wafer, Patent US7,435,663
11. 蕭富元, 莊英宗, 邱進峯, 互補金氧半-微機電系統的製程 / CMOS-MEMS PROCESS, Patent Taiwan, No. 200633075
12. 蕭富元, 莊英宗, 邱進峯, 互補金氧半-微機電系統的製程 / CMOS-MEMS PROCESS, Patent US010,554,3A1
13. M. Lemkin, and B. E Boser, "A Three-Axis Micromachined Accelerometer with a CMOS Position-Sense Interface and Digital Offset-Trim Electronics", IEEE J. Solid-State Circuits, vol, 34, NO. 4, pp. 456-468, APR. 1999.
14. Willy M. C. Sansen, "Analog Design Essential", Springer, Netherlands, 2006.
15. "Verilog-AMS Language Reference Manual", <http://www.vhdl.org/verilog-ams/htmlpages/public-docs/lrm/2.3/VAMS-LRM-2-3.pdf>
16. Piert Wanbacq and Willy Sansen, "Distortion Analysis of Analog Integrated Circuits", Kluwer, 1998.
17. M. J. M. Pelgrom, A. C. J. Duinmaijer, and A. P. G. Welbers, "Matching Properties of MOS Transistors", IEEE J. Solid-State Circuits, vol, 24, pp. 1433-1439, Oct. 1989.
18. W. Klingenstein, Infineon Corporate Center, "Technology Roadmap for Semiconductors", [http://broadband02.ici.ro/program/klingenstein\\_3d.pdf](http://broadband02.ici.ro/program/klingenstein_3d.pdf)





## 自主發展微衛星電力控制與分配單元之 電力分配模組設計

文/圖 黃哲政、葉嘉靖 國家太空中心

### 簡介

太空科技之發展，乃一個國家整體科技與工業實力的展現，其範疇涵蓋系統工程、電機、機械、材料、通訊、遙測、導航、推進、控制及資訊等尖端科技，對民生及國防工業之推進具有重大正面之影響。而以人造衛星從事的太空研究對國家的研究與應用，對國家的提升，大型計畫系統的整合，製造和管理的培養，長期經濟效益的衍生，及科技教育水準的增強，均有莫大的助益。

「自主發展微衛星計畫」係依據國科會「第二期國家太空科技發展長程計畫」之規劃而來，計畫規劃研發低成本、模組化、適用於多種任務的自主微衛星，微衛星的本體及酬載系統優先採用台灣自製為主。

計畫主要的目的包含：

- 建立國內自主發展衛星完整的能力
- 掌握未來微衛星發展的先機
- 未來衛星計畫的先導性衛星
- 國產元件發展的實驗平台
- 酬載儀器發展的實驗平台

在經過縝密的技術評估之後，自主微衛星酬載系統由國內大學自主研發，衛星本體由太空中心自主研發，首先選擇已具福衛五號經驗的衛星電力控制與分配單元（Power Control and Distribution Unit, PCDU）作改良，簡化電路、增加電路利用性，以期達到微小化設計並支援微衛星之主要目標。

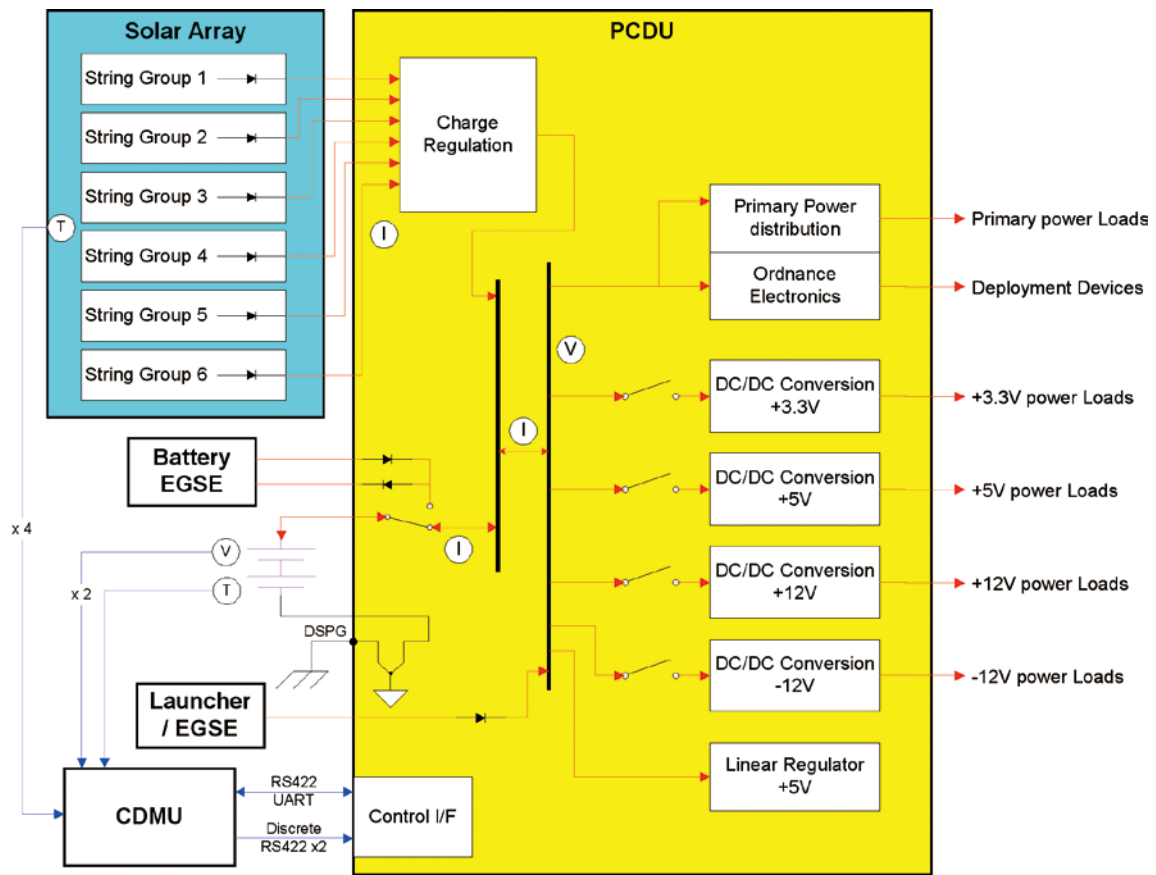


圖1 衛星電力控制與分配單元 (PCDU) 電路系統。

## 衛星電力控制與分配單元

為落實自主研發之目標，太空中心著手進行自主發展微衛星計畫之衛星電力控制與分配單元 (PCDU) 自主研發之工作。衛星電力控制與分配單元包含幾個主要的功能，包括電力控制介面電路、充電調節電路、直流電源電路、背板介面電路以及電力分配模組電路；各電路之研發目前已有階段性之初步成果，其目的需符合衛星電力控制與分配單元在體積及功能上的需求，設計出可靠度高且成本較低、空間小之電路，並應用於自主發展微衛星計畫之上。

## 電力分配模組

微衛星計畫裡電力控制與分配單元的一子系統：電力分配模組 (Power Distribution, PD) 主要的功能是提供微衛星酬載裡各個分項系統所需的額定電壓與電流，並透過元件可編程邏輯閘陣列控制晶片 (Field Programmable Gate Array, FPGA) 來決定並控制電流的輸出與否，達到微衛星所需的功能操作。電力分配模組依據功能可將電路分成四個部分：

1. 電流輸出切換電路 (On/Off Output Current Circuit)
2. 電流感測電路 (Current Sensing Circuit)
3. 史密特觸發器 (Schmitt Trigger circuit)
4. 限流保護電路 (Latch Current Limit, LCL)

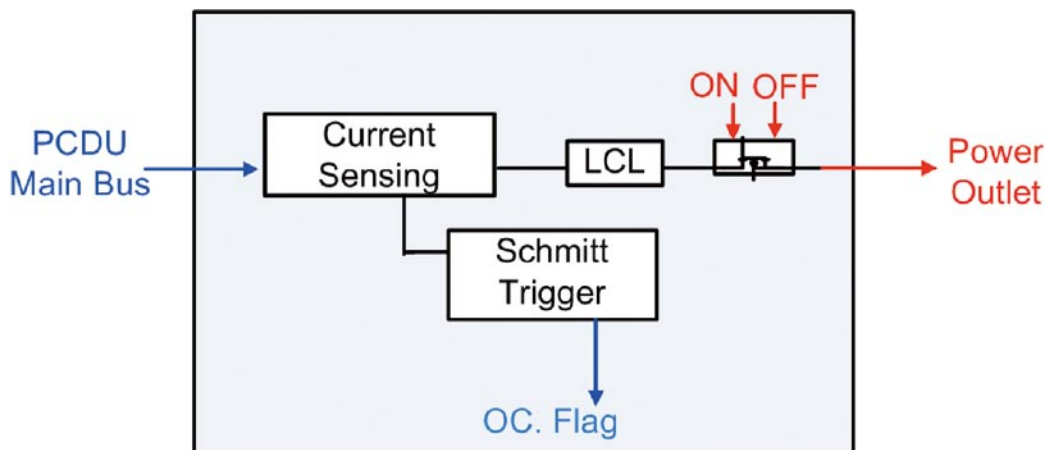


圖2 電力分配模組電路系統架構圖。

其架構如圖2所示，本文主要內容即針對電力分配模組的設計作詳盡的說明與講解。

## 電流輸出切換電路

### ( On/Off Output Current Circuit )

電力分配模組每一組電源分項系統均有一電流輸出切換電路來作為電流輸出與否的控制，此電路主要是藉由FPGA來控制系統中的功率電晶體（Power MOSFET）以作為開關使用，此功率電晶體的選擇需考慮到最大耐壓、耐電流、和切換速度，才能滿足使用上的需求，其架構圖如圖3所示。

## 電流感測電路

### ( Current Sensing Circuit )

根據微衛星計畫中的需求，電力分配模組系統規格的设计如表1所示。

依據衛星酬載裡各個分項系統所需的額定電壓，可將PD上的電流感測電路分成兩種设计的方案（A）使用OP放大器之電流感測電路，（B）使用Current Mirror之電流感測電路。

### ( A ) OP放大器之電流感測電路

OP放大器之電流感測電路主要的架構是使用Operational Amplifier與電晶體所組成的電流感測電路系統，其電路圖如圖4所示。此電路的工作原理主要是當輸出至負載的電流流經感測電阻（Sensing Resistor）時，電阻兩側的電壓差將使得OP放大器正負輸入端產生電壓的差異，OP放大器於輸出端進而產生一特定電壓以啟動電晶體，此時流經電晶體射極電阻的電流將產生出相對應的電壓輸出。

不同的負載輸出電流於電晶體射極電阻將產生不同的電壓值，所以當負載電流超過所設計的Trip-off current時，相對應的感測電壓將大於比較器上的參考電壓，使OP放大器輸出一電流旗標（Over Current Flag，OC Flag），控制系統在得到此過電流的旗標後，即刻啟動保護系統。

此電路之優點為電路架構簡單、電路調整參數少，若電路異常時，也能減少電路除錯時間。缺點主要是由於運算放大器的特性，所以此電路僅能使用在Bus電源電壓比運算放大器輸

表1 衛星計畫之電力控制單元 (PCDU) 電路系統PD Board設計規格

User	Power-on Default	Current/Switch/OC Monitor	Over Current Protection	Max Load		Trip-off current	Trip-off time	Switching		Command		Int. Timer	Nominal Power	Remark
				Max Power	Current			Capability		Serial	HPC			
								On	Off					
CDMU N1	On	+	LCL	13.5W	4.09A	6.41A	10ms	+	-	+	-	-	+3.3V	±5%
CDMU N2	Off	+	-	11.5W	2.3A	3.45A	10ms	+	-	+	-	-	+5V	±5%
CDMU N3	Off	+	-	7W	0.58A	0.88A	10ms	+	-	+	-	-	+12V	±5%
CDMU N4	Off	+	-	7W	0.58A	0.88A	10ms	+	-	+	-	-	-12V	±5%
CDMU O1	Off	+	-	2W	0.61A	0.91A	10ms	+	+	+	-	-	+3.3V	±5%
CDMU O2	Off	+	-	2W	0.4A	0.60A	10ms	+	+	+	-	-	+5V	±5%
Mission PL	Off	+	-	10.5W	0.88A	1.31A	10ms	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
Science PL 1	Off	+	-	10W	0.83A	1.25A	10ms	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
S-Band Receiver	On	+	-	20W	0.42A	0.63A	10ms	Auto	+	+	-	-	12~16.8V	-
S-Band Transmitter	Off	+	-	20W	1.67A	2.50A	10ms	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
RW	Off	+	-	3W	0.5A	0.75A	10ms	Auto	+	+	-	-	12~16.8V	-
Gyro1~3	Off	+	-	2.3W	0.46A	0.69A	10ms	+	+	+	-	-	+5V	±2%
GPS Receiver	Off	+	-	1W	0.19A	0.29A	10ms	+	+	+	-	-	+5V	±2%
Heater1~5	Off	+	-	10W	0.83A	-	-	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
Heater6~8	Off	SW	-	20W	1.67A	-	-	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
Pyro1A~4A	Off	SW	-	-	6A	-	-	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
Pyro1B~4B	Off	SW	-	-	6A	-	-	+	+	+	-	-	12~16.8V	-
Ordnance Fire A~B	Off	+	-	6W	0.46A	9.00A	10ms	+	+	+	-	-	12~16.8V	-

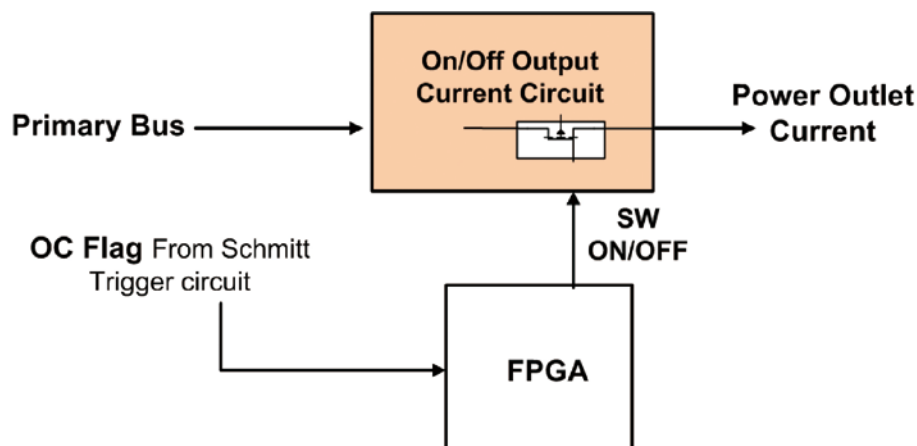


圖3 電流輸出切換電路架構圖。



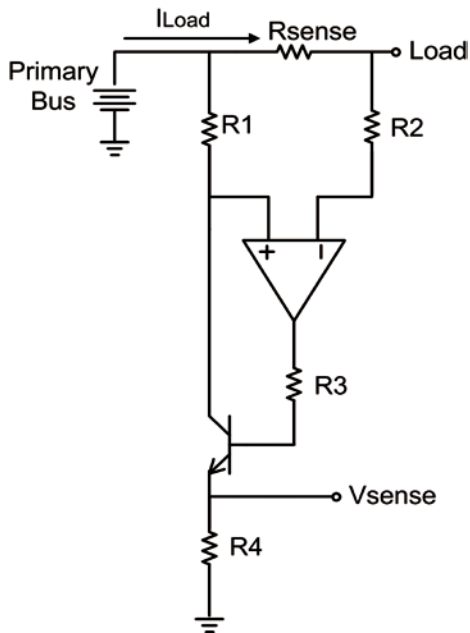


圖4 OPA電流感測電路。

入電壓還低的狀況下，不然電路將無法正常工作。因此將輸出至CDMU N1、CDMU N2、CDMU O1、CDMU O2、Gyro1~3、GPS Receiver、DSS...等系統的電流感測電路利用此方式來設計。

### (B) Current Mirror之電流感測電路

Current Mirror之電流感測電路主要的架構是使用Current Mirror與電壓隨耦器所組成的電流感測電路系統，其電路圖如圖5所示，此電路主要是利用電流鏡電路的特性，將負載電流於感測電阻上所產生的差動電壓轉成單點對地電壓，後利用電晶體放大電路將此感測電壓作放大，並串接電壓隨耦器以防止後面電路之負載效應。

### 史密特觸發器

#### (Schmitt Trigger circuit)

電流感測電路裡利用電阻將電流所轉換成的輸出電壓，可經由一比較器作電位準位的比

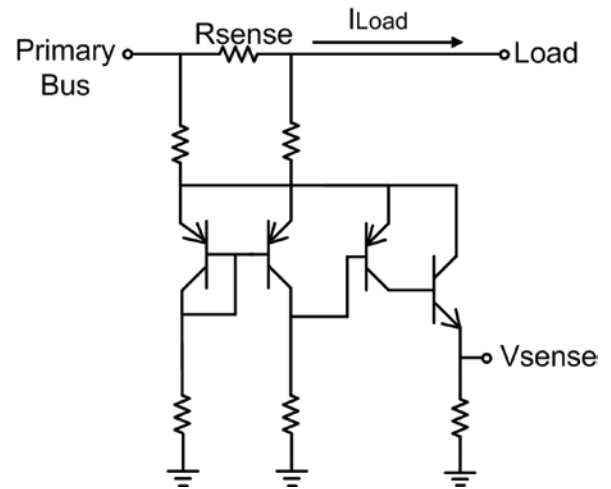


圖5 Current Mirror電流感測電路。

較，只要輸入電壓 $V_{in}$ 比 $V_{REF}$ 小，輸出電壓即被推至負的最大值。當輸入電壓比參考電壓大時，輸出即為正的最大值，利用此特性當電流轉換成的輸出電壓大於參考電壓時，比較器立即輸出一過電流旗標至可編程邏輯閘陣列控制晶片，由它來關閉電力分配模組系統，以達到保護作用。

實際工作時，往往有若干雜訊出現在輸入端，這些雜訊疊加在輸入信號上，當輸入電壓等於參考電壓時，這些雜訊即會影響電壓的辨別，而發生不穩定的狀況，使輸出產生閃爍不定的狀態。為消除此現象，可使用磁滯技術來解決此問題。

磁滯技術乃使輸入信號由小變大時，相對於參考電壓需有較大值，才能輸出一觸發信號至FPGA；當輸入信號由大變小時，需相對於參考電壓有較小值才能由高電位輸出轉態至低

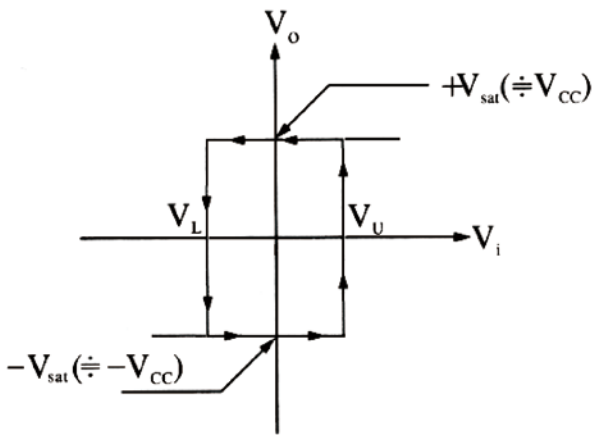


圖6 磁滯技術工作曲線圖。

電位。此兩個高低之參考電壓分別稱為上激發點 (Upper Trigger Point,  $V_U$ ) 與下激發點 (Lower Trigger Point,  $V_L$ )。

磁滯技術可由史密特觸發器 (Schmitt Trigger circuit) 電路的正回授網路來實現。圖7 即為史密特觸發器的電路架構，圖中一固定電壓輸入至比較器的負輸入端，而輸入信號由電阻分壓而得之正回授信號接至正輸入端。

### 限流保護電路

#### (Latch Current Limit, LCL)

電力分配模組每一組電源分項系統均有一限流保護電路 (Latch Current Limit, LCL)。主要功能乃是當負載發生異常短路或電流超載時，能提供及時保護，利用此保護系統將輸入電流限制在負載設計所能接受的最大輸入值內，使得負載各個分項系統不會因為過電流而造成毀損。

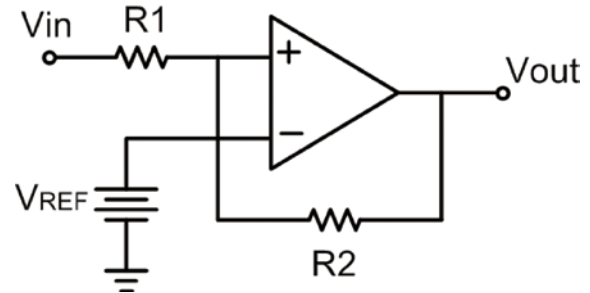


圖7 史密特觸發器正回授網路電路架構。

LCL 電路的工作原理主要當FPGA在接收到史密特觸發器所發出的OC Flag訊號後，立即控制LCL電路的電流輸出，將電流限制在所設定的最大輸出，直到OC Flag訊號結束為止，其架構圖如圖8所示。

### 模組測試結果

依據衛星酬載裡各個分項系統所需的額定電壓，將電力分配模組分成兩種設計方案作實際電路的設計與量測。

#### 電流感測電路使用OP放大器設計之電力分配模組

電力分配模組裡使用OP放大器設計電流感測電路的各個電源輸出分項，雖然在輸出電壓與額定電流上均不相同，但在電路的設計上卻是完全一樣的，因此選擇CDMU\_O2 Power Outlet的需求規格，作為此架構的模擬分析。CDMU\_O2之Trip-off Current為0.6A，故此將0.6A所

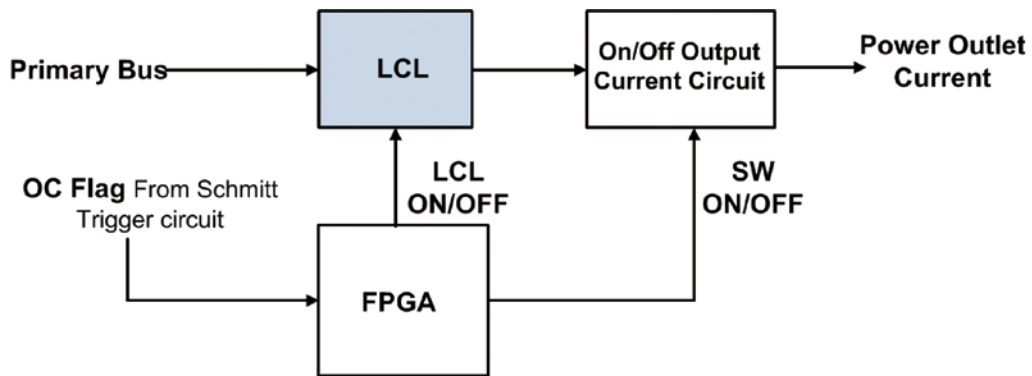


圖8 LCL 電路工作原理架構圖。

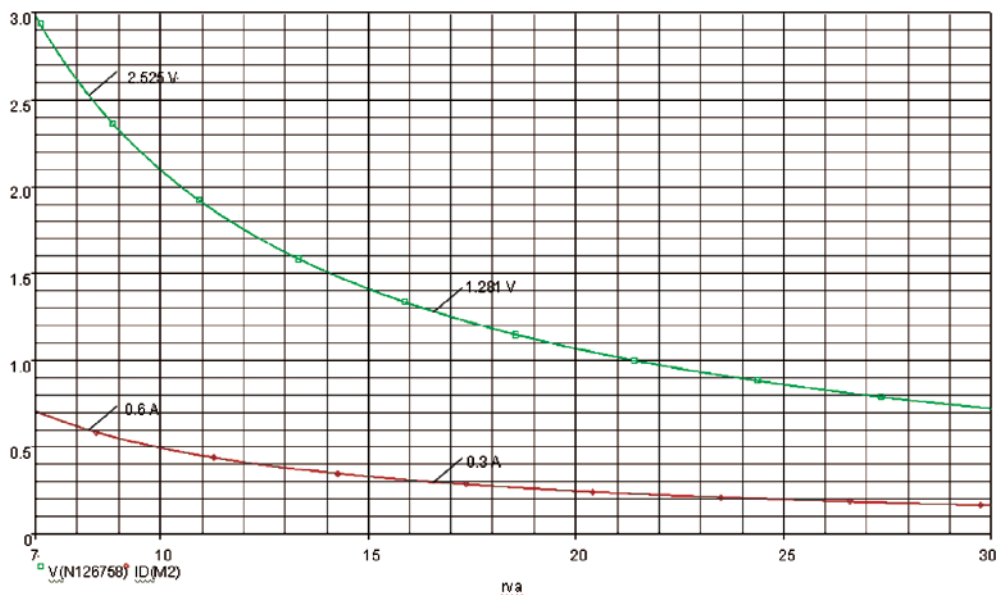


圖9 OPA 電流感測電路模擬結果。

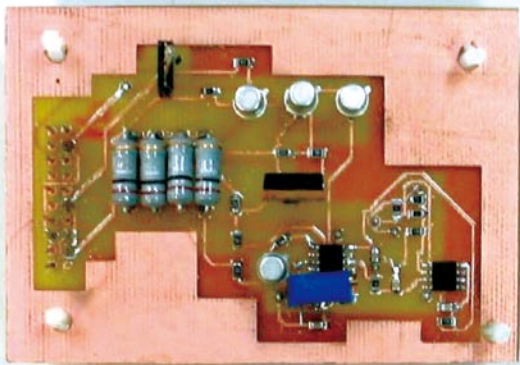


圖10 OPA 電流感測電路實作。

轉換之感測電壓，設定為2.5V。圖9為此電路之模擬結果當0.6A時，輸出電壓為2.525V。而0.302A時，輸出電壓為1.2885V，其模擬結果也算是線性。

圖10為此設計方案之實作電路與OC Flag及電流輸出切換電路。圖11為OPA電流感測電路實測結果。實測結果當電流為0.58A時，感測電壓為

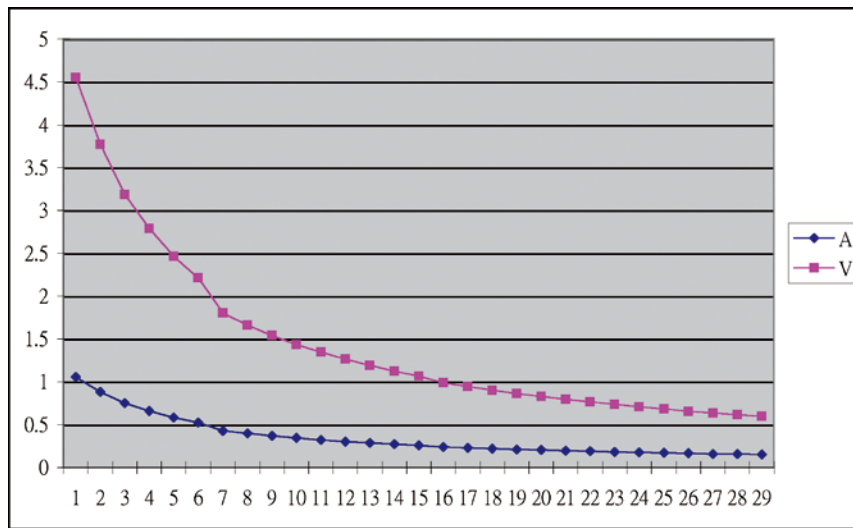


圖11 OPA電流感測電路實測結果。

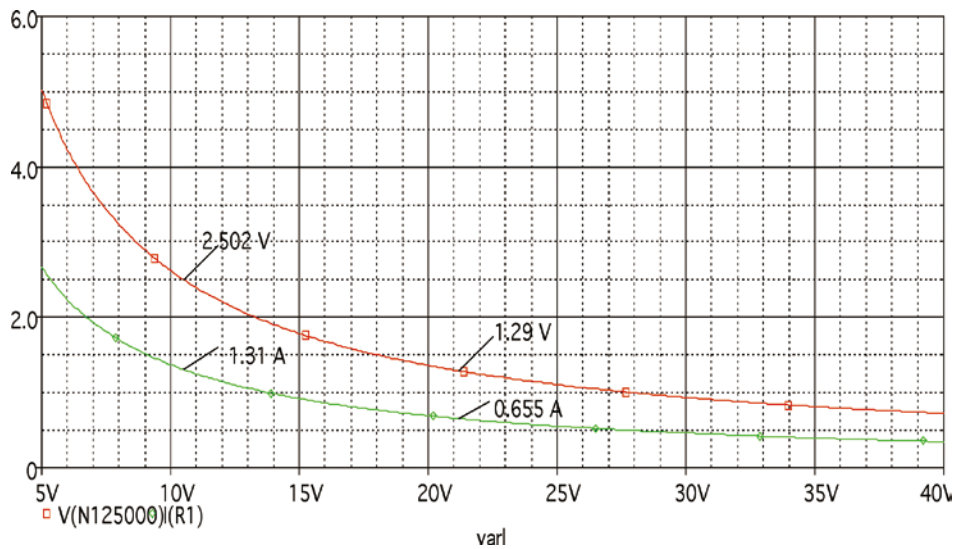


圖12 Current Mirror電流感測電路模擬結果。

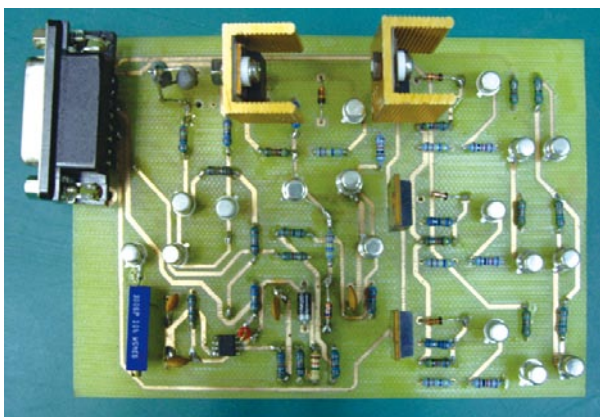


圖13 Current Mirror電流感測電路實作。

2.462V, 0.302A時，電壓為1.285V。若不考慮溫度對電路之精確度影響，其準確度在1%之內。

### 電流感測電路使用Current Mirror設計之電力分配模組

利用Mission PL Power Outlet之需求規格，用此架構進行模擬分析。Mission PL之Trip-off Current為1.31A，故此將1.31A所轉換之感測



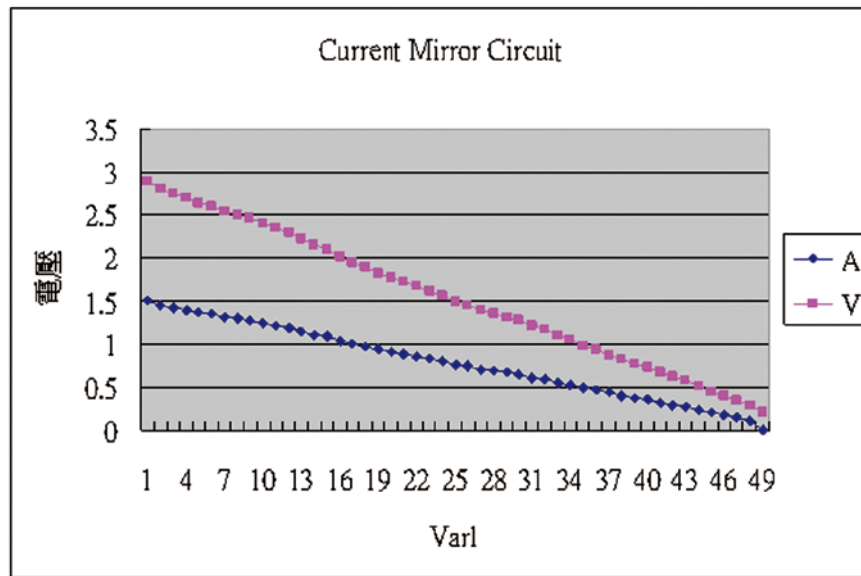


圖14 Current Mirror電流感測電路實測結果。

電壓，設定為2.5 V。圖12為此電路之模擬結果當1.31 A時，輸出電壓為2.502 V。而0.655A時，輸出電壓為1.29V，其模擬結果在低電流時就沒有那麼線性了。

圖13為Current Mirror電流感測電路實作。圖14為Current Mirror電流感測電路實測結果，在1.31A時，輸出電壓為2.526V。在0.653A時，輸出電壓為1.286V，其準確度在1%左右。

## 結語

電力分配模組在微衛星電力控制與分配單元所扮演的角色是非常的重要，其所提供的電壓與電流的穩定性，關係著整個微衛星的功能運作是否能正常。因此在設計上必需考量到元件的耐電壓與耐電流限制、電子元件材質的壽命、以及電晶體和OP放大器對不同溫度下的放大係數。當電流抽載時，瞬間所產生的電流下降是否能在合理範圍也需考慮。在電流切換時，所產生的電磁波

干擾（Electromagnetic Interference, EMI）也需要能符合在太空上的規範。在成本及空間上，需同時兼具考量微衛星上的設計。

現階段電力分配模組之研發工作，目前已有階段性之初步成果，有效將原本運用在500公斤級小衛星上的電力分配模組設計並縮小體積及重量，又不失去原有的功能與性能。待微衛星電力控制與分配單元其他模組完成後，便能實際在功能與穩定性上作測試與驗證，以落實微衛星電力控制與分配單元自主研發之目標。

## 參考資料

1. <http://www.nspo.org.tw/2008c/projects/project6/intro.htm>
2. <http://www.phy.fju.edu.tw/Teacher/elab/L7.pdf>
3. S. Sedra, Kenneth C. Smith, "Microelectronic Circuits" 4<sup>th</sup> ed., Oxford University Press, New York (2004).
4. Behzad Razavi "Design of analog CMOS integrated circuits" McGraw-Hill, Boston MA (2001).

## 二十一世紀重要的檢測科技- 即時聚合酶連鎖反應偵測定量系統

文/圖 李思元 科技政策研究與資訊中心

隨著分子生物學的蓬勃發展，核酸檢測技術亦有大幅度的突破。在核酸的檢測流程中，增幅（amplification）是一個很重要的步驟，不論是訊號增幅或是核酸增幅，其目的都在於使得後端的偵測系統能有效擷取訊號，達成檢測的目標。而核酸增幅的概念源起1983年Mullis提出的「聚合酶連鎖反應」（Polymerase Chain Reaction, PCR），透過溫度循環的操作，反覆進行變性（denaturation：94°C）、配對（annealing：50~60°C）及延長反應（extension：72°C），將目標核酸片段增幅至足以被偵測的含量；1986年首度運用PCR於法醫鑑識科技上，進行人類HLA分類鑑定；1990年科學家開始探究同時進行核酸增幅與偵測的可行性，並於1993年達成此目標；至1996年整合了核酸增幅化學反應與光學即時偵測儀器的「即時聚合酶連鎖反應偵測定量系統」（real-time PCR）正式誕生，樹立核酸檢測的重要里程碑，也開啟了核酸即時偵測與定量的時代<sup>[1]</sup>。

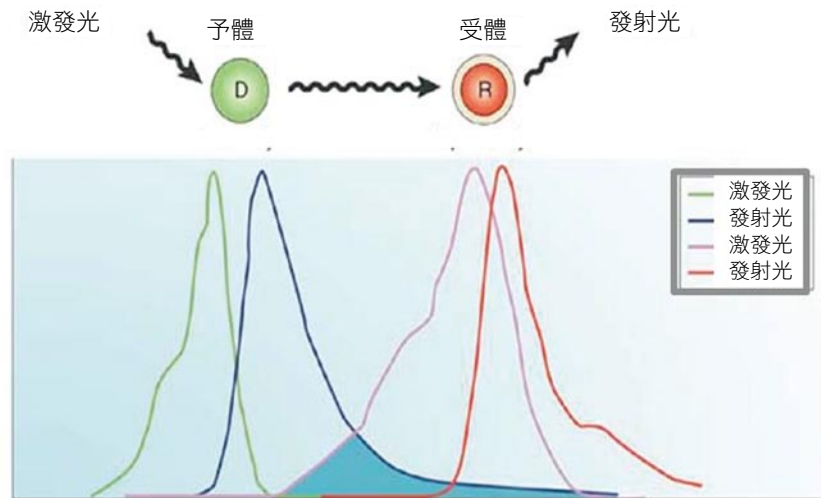
現今應用於real-time PCR的核酸增幅化學反應，多植基於PCR反應，並經過各式原理的改良與設計，搭配螢光分子的使用，在給予特定波長的激發光下，可測得另一特定波長的發射光，

以提升偵測敏感度。此外，整合「螢光共振能量移轉」（Fluorescence Resonance-Energy-Transfer, FRET）原理，在予體（donor）與受體（receptor）兩個螢光分子的距離極為接近的情況下（10~100Å），利用予體的發射光譜與受體的激發光譜重疊時，發生能量的移轉（圖1），藉由偵測螢光訊號的累積，達成即時偵測之目的<sup>[2][3]</sup>。而在real-time PCR的光學即時偵測儀器設計方面，透過溫控系统與光學系統的整合，使得溫度循環更有效率，且能同時進行核酸增幅與偵測，大幅降低耗損與污染的風險，再配合標準曲線的建立，即可達到精確定量的目標。目前，此方法廣泛應用於各式臨床診斷與檢測，包含：微生物鑑別、基因分型、核酸定量、單一核苷酸變異性分析（single nucleotide poly-morphism, SNP）、法醫學與刑事鑑定等。本文將簡介核酸增幅化學反應之各式設計原理與特性，說明五種廣泛使用的類型及一種新發展的方法。

### 雙股核酸嵌合螢光分子

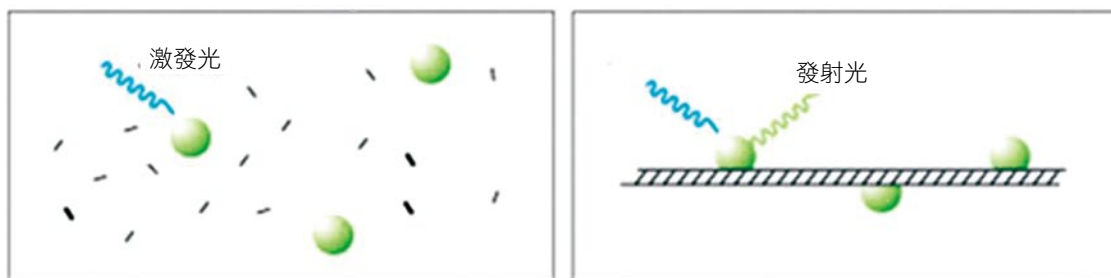
#### （double strand DNA-binding fluorophores）

在PCR增幅反應的試劑中，加入不具有核酸特異性的「雙股核酸嵌合螢光分子」（如：



資料來源：Walter H. Koch. (2004). Technology platforms for pharmacogenomic diagnostic assays. *Nature Reviews Drug Discovery*, 3, 749-761. 本文整理。

圖1 螢光共振能量移轉原理示意圖。



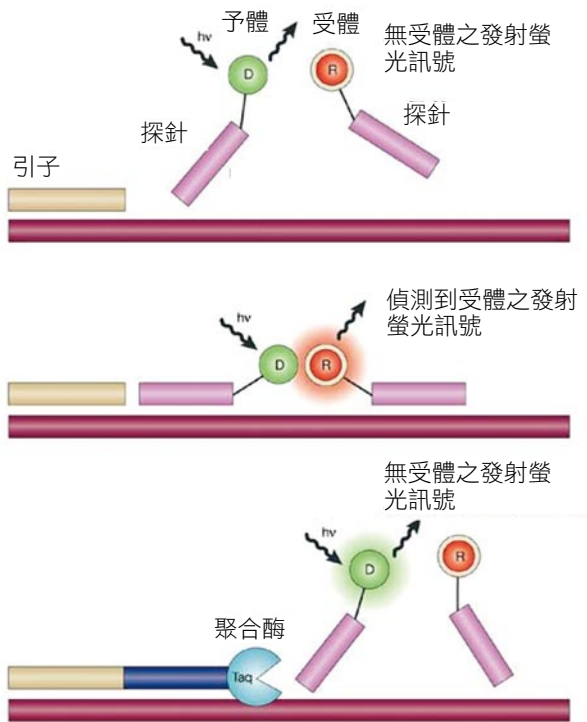
資料來源：M. M. Parida. (2008). Rapid and real-time detection technologies for emerging viruses of biomedical importance. *Journal of Biosciences* 33 (4), 617-628. 本文整理。

圖2 「雙股核酸嵌合螢光分子」反應原理示意圖。

ethidium bromide, SYBR Green I 等)，當 PCR 開始進行增幅後，此螢光分子即可與增幅過程所產生的雙股核酸發生嵌合，在給予適當之激發光後，偵測特定發射光波長之螢光訊號（圖2）。因此，可偵測到螢光訊號的強度隨核酸增幅量增加而上升，配合標準曲線的建立，達到定量檢測的目標，唯須注意此類螢光分子不具有核酸特異性，若 PCR 反應使用的引子對（primers）產生雙股核酸複合體（dimer），則會干擾定量之準確度，目前可加做熔融溫度曲線（melting curve），以進行修正<sup>[4][5]</sup>。

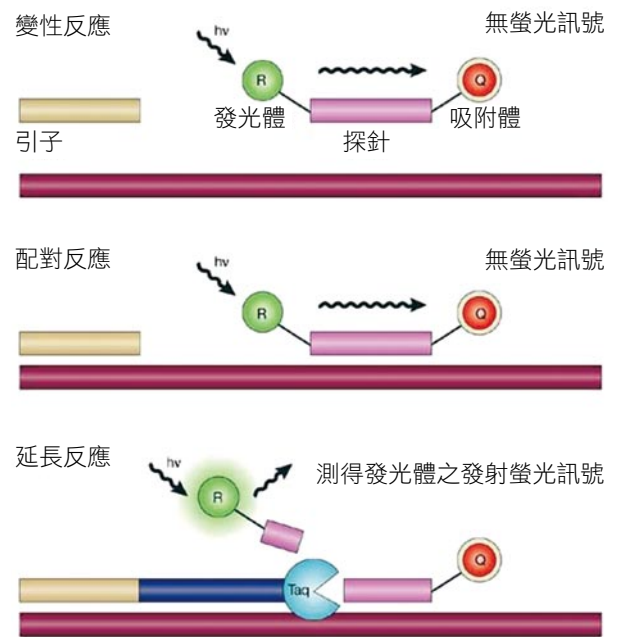
### 直線型寡核苷酸探針 (linear oligoprobes)

在欲進行 PCR 增幅的目標核酸片段中，設計兩段分別帶有予體螢光分子與受體螢光分子的直線型寡核苷酸探針。反應初期僅可測得予體的發射光譜，於 PCR 反應的配對過程中，探針與引子對同時與模板股配對，此時發生螢光共振能量移轉，則測得受體的發射光譜，爾後藉由聚合酶的特性，於 PCR 延長反應時，將此兩段探針剔除，使得予體與受體的距離增加，而再次測得予體的螢光訊號（圖3）<sup>[3][4]</sup>。目



資料來源：Walter H. Koch. (2004). Technology platforms for pharmacogenomic diagnostic assays. Nature Reviews Drug Discovery, 3, 749-761. 本文整理。

圖3 「直線型寡核苷酸探針」反應原理示意圖。



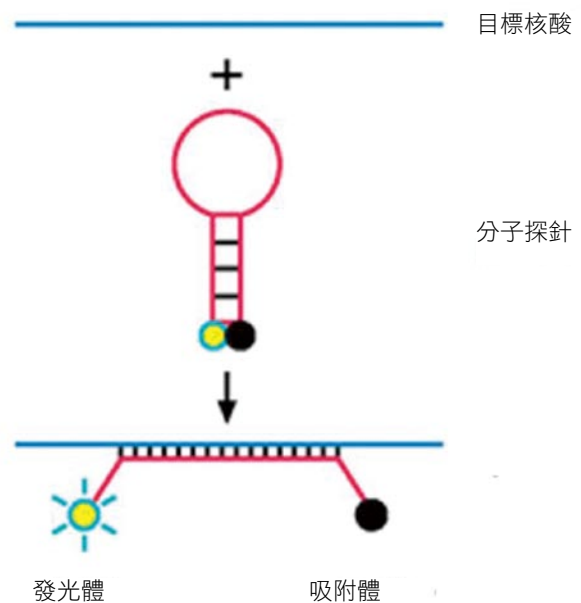
資料來源：Walter H. Koch. (2004). Technology platforms for pharmacogenomic diagnostic assays. Nature Reviews Drug Discovery, 3, 749-761. 本文整理。

圖4 「核酸切除型寡核苷酸探針」反應原理示意圖。

前已有羅氏藥廠整合此核酸增幅反應與光學即時偵測系統，開發名為LightCycler™的定量偵測系統。

### 核苷酸切除型寡核苷酸探針 (nuclease oligoprobes)

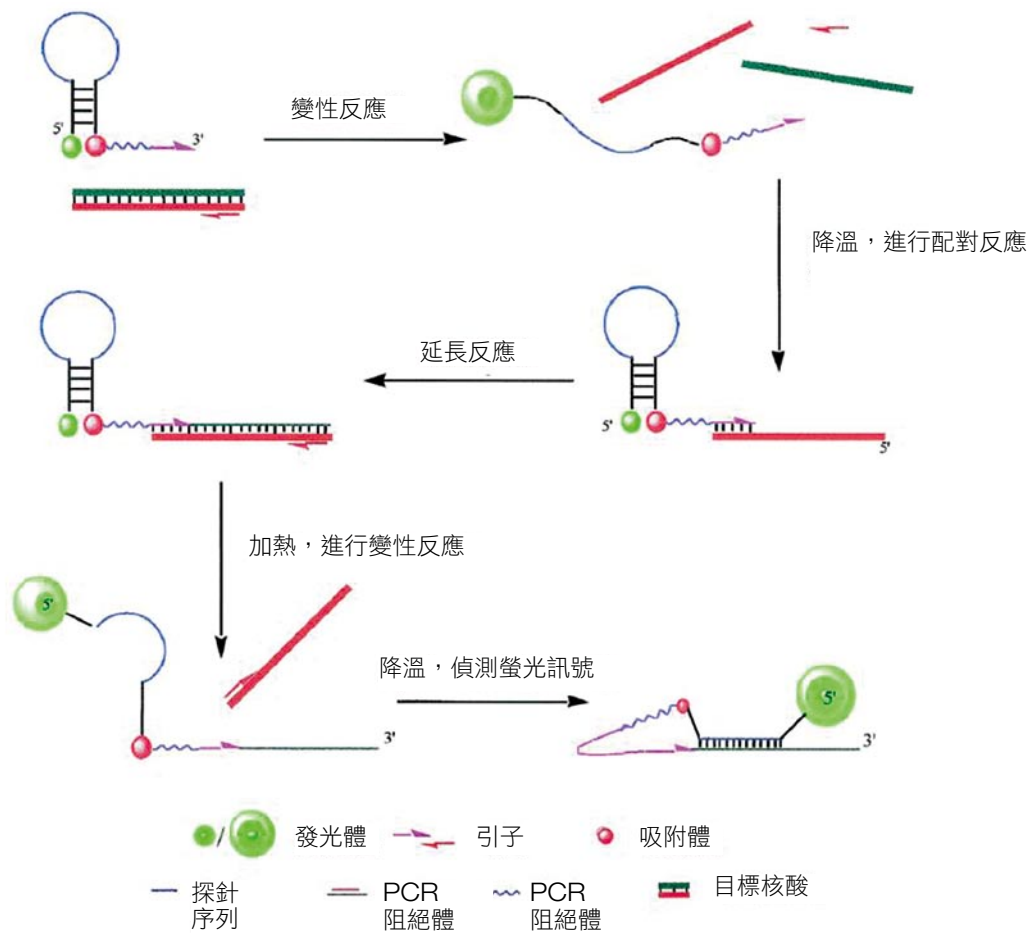
在欲進行PCR增幅的目標核酸片段中，設計一段帶有螢光發光體 (reporter dye) 與螢光吸附體 (quencher dye) 的直線型寡核苷酸探針，由於兩者距離很近，藉由螢光共振能量移轉原理的應用，使得發光體的螢光發射光譜皆被吸附體吸收，於PCR反應初期，無螢光訊號產生。而後於PCR反應的配對過程中，探針與引子對同時與模板股配對，並藉由聚合酶的核苷酸



資料來源：[http://www.ebiotrade.com/buyf/products/qiagen/custom\\_oligonucleotides\\_stock\\_primers.htm](http://www.ebiotrade.com/buyf/products/qiagen/custom_oligonucleotides_stock_primers.htm)，本文整理。

圖5 「髮夾型寡核苷酸探針」反應原理示意圖。





資料來源：Thelwell N. et al., (2000). Mode of action and application of Scorpion primers to mutation detection. *Nucleic Acids Res.* 28 (19):3752-61. 本文整理。

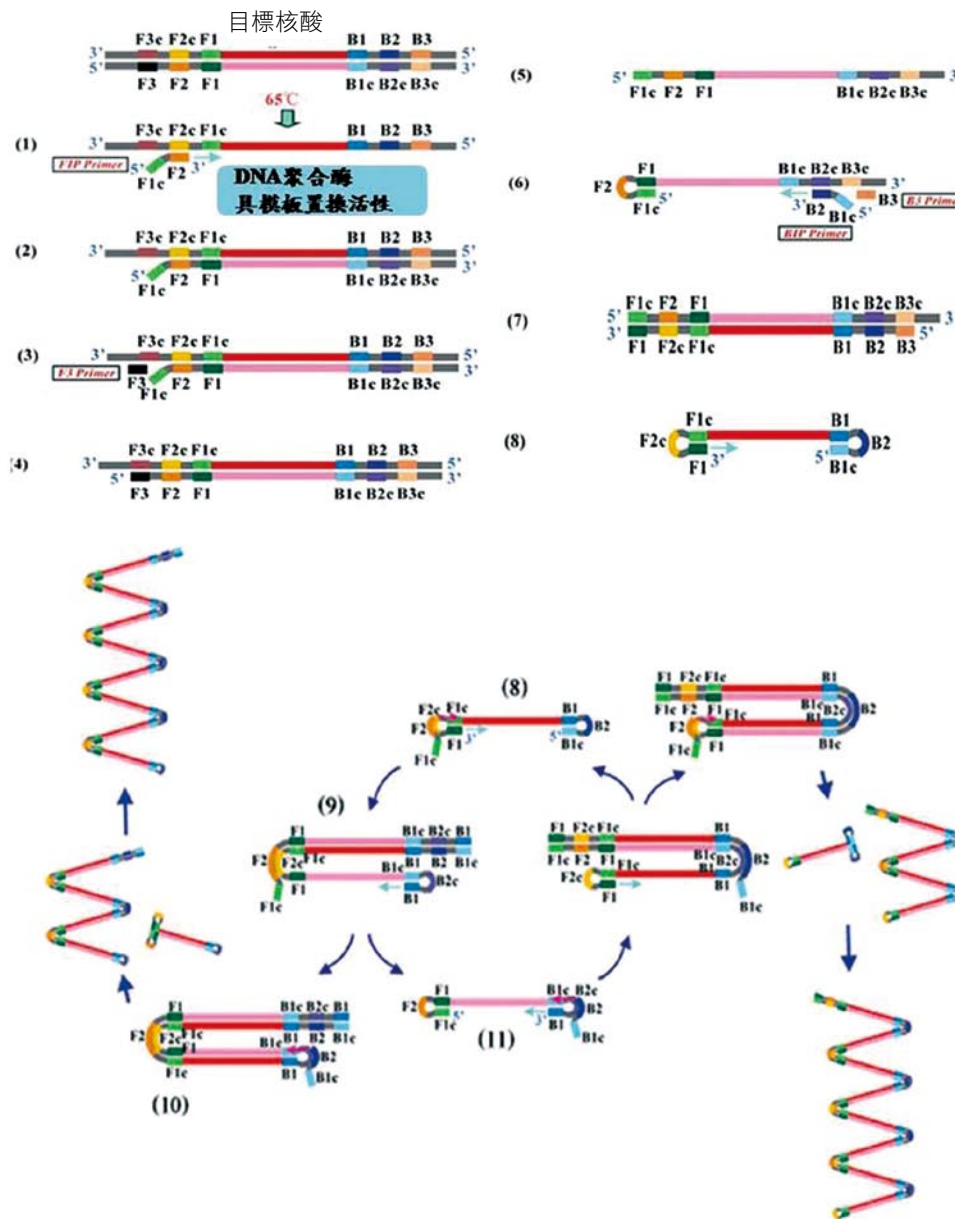
圖6 「自我黏合型寡核苷酸探針」反應原理示意圖。

切除特性，於PCR進行延長反應時，將此段探針逐步切除，使得螢光發光體與螢光吸附體的距離增加，無法產生吸附作用，因而偵測到發光體的螢光訊號（圖4）<sup>[3][4]</sup>。目前美商生命應用系統公司發展的「TaqMan<sup>®</sup> probe」，即運用此原理。

### 髮夾型寡核苷酸探針 (hairpin oligoprobes)

此方法一般名為分子信號探針（Molecular beacons），此寡核苷酸探針之設計，於寡核

苷酸之兩端點設置螢光發光體與螢光吸附體，兩股相互配對，形成髮夾結構，由於其距離接近，藉由螢光共振能量移轉原理，使得發光體的螢光皆被吸附體吸收，於PCR反應初期，無法測得螢光訊號；隨著PCR變性反應的發生，雙股配對結構分離為單股結構，於PCR進行配對過程中，探針與引子對同時與模板股配對，使得螢光發光體與吸附體的距離增加，而無法繼續產生吸附作用，因而偵測到發光體的螢光訊號（圖5）<sup>[2][4]</sup>。



資料來源：Tsgunori Notomi et al., (2000). Loop-mediated isothermal amplification of DNA. *Nucleic Acids Research*, 28, No. 12, E63-e63. 本文整理。

圖7 「環狀迴路恆溫增幅反應」原理示意圖。

## 自我黏合型寡核苷酸探針 (self-prime oligoprobes)

此方法其計的探針結構近似於上述的分子信號探針，唯其附加了一段引子序列與PCR阻絕體，所設計環型結構處的核酸序列，可於PCR配對過程中，以自我黏合 (self-prime) 的方式與模板股配對，使得螢光發光體與吸附體的

距離被拉開，無法產生吸附作用，而測得螢光訊號 (圖6) [4][6]。由於此設計會產生自我黏合的現象，比先前各式探針的游離式配對更為有效效率，且其黏合的過程狀似蠍子的尾巴，因而名為「Scorpion」。

## 環狀迴路恆溫增幅反應

### (loop-mediated amplification method, LAMP)

此法為目前新發展的恆溫核酸增幅方法之一，於2000年Notomi [7]等人提出，可快速達成目標基因之增幅。其原理乃依靠能分別辨認多段不同核酸序列之特殊設計引子對與具有模板置換 (strand displacement) 特性之聚合酶 (Bst DNA polymerase large fragment)，並藉由引子對濃度的不同與熔融溫度 (melting temperature, Tm) 值的高低調控，使得引子對依序與模板黏合，進而自我黏合以形成環狀迴路 (loop) 結構，如此不斷反覆，一小時內於單一溫度 (65°C) 下，快速增幅目標序列 (圖7)，並結合螢光染劑與光學即時偵測系統的使用，達成即時核酸定量偵測的目標。此外，由於此方法之生化反應特性，於反應過程中同時產生大量白色的焦磷酸鎂鹽類沉澱<sup>[8]</sup>，亦可直接經由目測或配合簡易光學儀器進行定性或定量偵測<sup>[9]</sup>，適合用於各式快速病原體檢測使用，是一項極具發展潛力的新興技術<sup>[10]</sup>。

「生物科技」為一門高度跨領域整合型的學門，進入二十一世紀後，隨著生物醫學知識的累積與物理、化學等工程技術發展，醫學與工程領域相互激盪與融合，使得各式檢測技術蓬勃發展，此「即時聚合酶連鎖反應偵測定量系統」，其應用範圍廣泛，且兼具高敏感度、高特異度與進行即時偵測定量的特性，無疑成為現今基礎研究與臨床檢測的最佳利器。

## 參考資料

1. H.D. VanGuilder, K.E. Vrana, W.M. Freeman, "Twenty-five years of quantitative PCR for gene expression analysis," *BioTechniques*, vol. 44, 2008, P. 619.
2. V.V. Didenko, "DNA probes using fluorescence resonance energy transfer (FRET): designs and applications," *Biotechniques*, vol. 31, 2001, P. 1106–1121.
3. W.H. Koch, "Technology platforms for pharmacogenomic diagnostic assays," *Nature Reviews Drug Discovery*, vol. 3, 2004, P. 749–761.
4. I.M. Mackay, K.E. Arden, A. Nitsche, "Real-time PCR in virology," *Nucleic Acids Research*, vol. 30, 2002, P. 1292.
5. M.M. Parida, "Rapid and real-time detection technologies for emerging viruses of biomedical importance," *Journal of Biosciences*, vol. 33, 2008, P. 617–628.
6. N. Thelwell, S. Millington, A. Solinas, J. Booth, T. Brown, "Mode of action and application of Scorpion primers to mutation detection," *Nucleic Acids Research*, vol. 28, 2000, P. 3752.
7. T. Notomi, H. Okayama, H. Masubuchi, T. Yonekawa, K. Watanabe, N. Amino, T. Hase, "Loop-mediated isothermal amplification of DNA," *Nucleic Acids Research*, vol. 28, 2000, P. e63.
8. S.Y. Lee, C.N. Lee, H. Mark, D.R. Meldrum, C.W. Lin, "Efficient, specific, compact hepatitis B diagnostic device: Optical detection of the hepatitis B virus by isothermal amplification," *Sensors & Actuators: B. Chemical*, vol. 127, 2007, P. 598–605.
9. S.Y. Lee, J.G. Huang, T.L. Chuang, J.C. Sheu, Y.K. Chuang, M. Holl, D.R. Meldrum, C.N. Lee, C.W. Lin, "Compact optical diagnostic device for isothermal nucleic acids amplification," *Sensors & Actuators: B. Chemical*, vol. 133, 2008, P. 493–501.
10. Y. Mori, T. Notomi, "Loop-mediated isothermal amplification (LAMP): a rapid, accurate, and cost-effective diagnostic method for infectious diseases," *Journal of Infection and Chemotherapy*, vol. 15, 2009, P. 62–69.

# 基礎研究績效評估指標之結構性分析(上)

## Structural Analysis of Impact Assessment Indicators on Basic Research

文/圖 洪長春 科技政策研究與資訊中心

科學是現代社會重要的一部份，其所產生的效益及影響對國家發展扮演著重要角色，各國都積極投入科學的基礎研究，尤其是大學及研究機構更是科技發展的搖籃，這些單位的主要任務是提供領導性科學用於服務社會，因此從研究效益評估（impact assessment）的角度來看，評估的功能是要產出資訊做為研究決策的參考依據。由於科學的影響層面相當多元，加上不同目的的績效評估，須要用不同型態的評估方法，當新的社會需求產生於基礎研究的影響資訊時，現存的評估方法並不適合採用，例如：以技術發展計畫之評估方法套用於基礎研究計畫之評估並不是很適合，因為從基礎研究創造效益之評估會面臨的主要挑戰有：

1. 時間延遲性（Time lag）：基礎研究何時應該作效益評估，評估結果可能無法及時產生回饋效果之問題；
2. 歸屬性（attribution）：對於觀察到的效益，研究貢獻的重要性是甚麼，難以歸屬於特定研究計畫；
3. 適當性（appropriability）：從研究貢獻中誰獲得助益，有時難於界定相關利益使用者；
4. 複雜性（complexities）：透過何種機制，效益可以產生等問題。

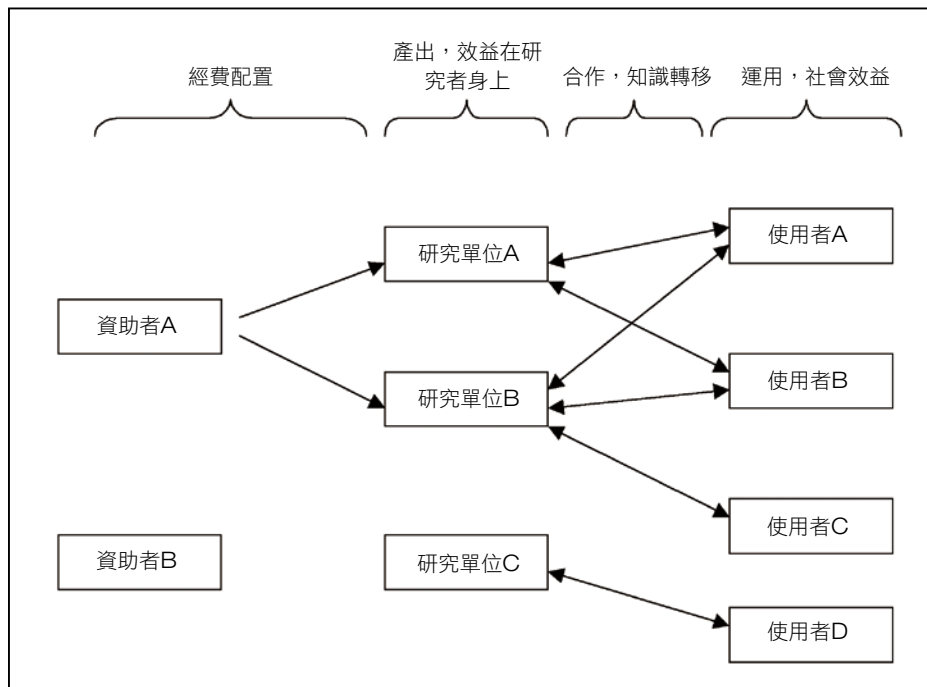
本文參考2006年芬蘭科學院蒐集各國績效評估計畫及相關文獻，從基礎研究投

入到效益產出，以概念性架構說明所有參與者（actors）及可能管道、機制之指標，列舉12個評估計畫說明各項指標之內涵，並選擇其中2個評估計畫所發展的方法論簡要說明，冀望可提供國內研究主管機關做為未來研發投資之評估資訊。

### 結構性績效評估及方法

以結構性分析為基礎提供概念性架構有助於評估計畫之分析，通常此架構在評估計畫分析之前還未發展出來，不過透過個別資助計畫的資料收集，以主題式領域做基礎，此架構雛型應會浮現，因此概念性架構是一種主題式的效益評估，大致上可區分為4個階段：（1）研究經費配置（research funding allocation）對研究機構運作之影響；（2）透過經費資助所引導的研究活動對科學、研究者及廣大科學團體之影響；（3）經費資助對研究機構（大學）與其它型態機構（企業、政府單位等）之間互動與知識轉移之影響；（4）經費資助透過研究成果在社會應用之影響。此概念性架構如圖一所示，可以確認有3種型態之參與者，包括研究資助者（research funder）、研究執行者（performer）及研究的使用者（user），由於





資料來源：Sami Kanninen, Tarmo Lemola (2006)，本研究整理。

圖1 基礎研究計畫績效評估之概念性架構圖。

研究成果運用於社會是目前各種評估計畫所強調的議題，因此須要進一步區分研究效益對領域科學、科學團體及其它科學團體外部領域之影響。

基礎研究績效評估的方法，從特定領域較正確的定量分析到提供豐富、詳盡描述的定性方法都有，包括：同儕評鑑 (peer-review method)、文獻計量 (bibliometric method)、問卷調查 (survey method) 及個案研究 (case study method) 等方法。不同匯集 (aggregation) 等級的數據之研究計畫，評估所應用的方法會有所不同，例如：有些方法必須能夠產出國家層次，甚至是國際間研究成效之資訊，有些方法則是能夠產出詳細瞭解單一位研究者或研究計畫之貢獻，值得一提是所有用於資訊收集的方法，都必須藉由專家的判斷才能確保評估方法的品質，以下簡單介紹上述所提到的評估方法：

1.同儕評鑑 (peer-review method)：此方法是許多資助機構用於評估研究的主要方法，大部份用於評估科學的研究品質，且都使用於社會-經濟效益研究的事後評估，另一種是修正過同儕評鑑 (modified peer-review method)，此方法之評鑑座談 (review panel) 成員必須是能夠評估適切性及評估對潛在使用者及社會有研究價值之專家。當評估科學領域以外的研究效益時，同儕評鑑方式通常會與其它評估方法互補使用，提供有關研究效益的背景資訊做參考。

2.文獻計量 (bibliometric method)：此方法是基礎研究效益評估最常用的方法，方法涵蓋不同計量方式，例如：出版品/文獻數量、引用分析、共現字分析 (co-word analyses) 及專利分析。巨觀尺度的文獻計量可表現於國家 (國際) 層次的科學領域，例如：由OECD及美國NSF所

表1 12個績效評估計畫

計畫名稱	資助機構	執行評估	資助對象	資助措施
1.Evaluation FWF: Impact Analysis	Austrian Science Fund (FWF)	Joanneum Research, 2004	大學、研究機構 (奧地利)	大型基礎計畫 (project-base program) (個人補助除外)
2. The Impact of the EU Framework Programmes (FP) in the UK	Office of Science and Technology (OST), DTI	Technopolis Ltd.	歐盟執委會官方計畫參與者 (英國)	歐盟大型科技計畫 (目標導向)
3.Funding Ranking 2003: Institutions-Regions-Networks	German Research Foundation (DFG)	DAAD KOWI AvH	大學、研究機構 (德國)	個別計畫 合作研究 科學基盤及科學交流計畫
4.A Wealth of Knowledge: The Return on Investment from ARC-Funded Research	Australian Research Council (ARC)	The Allen Consulting Group	大學 (澳洲)	個別基礎研究計畫
5.Economic Impact Assessment at the National Institute of Standards and Technology (NIST)	Commerce Department's Technology Administration	NIST	NIST實驗室 (美國)	標準/測量/品質/先進科技 (ATP) 之交流合作計畫
6.Career Paths of 1988-1990 Prize Student Cohort	Wellcome Trust	Wellcome Trust	博士班學生 (英國)	獎助學金計畫
7.Assessing Research Impact on on-Academic Audiences	Economic and Social Research Council (ESRC)	Science and Technology Research Unit (SPRU)	研究中心 (英國)	大型之社會及經濟科學研究計畫
8.Composite Performance Rating System (CPRS) for the Advanced Technology Program (ATP)	NIST	ATP manager Rosalie Ruegg, TIA Consulting	產業界及研究機構 (美國)	大型或跨領域研發計畫
9.Outcome Indicators at the Foundation for Research, Science and Technology (FRST)	FRST	Ministry of Research, Science and Technology	研究機構 (紐西蘭)	大型基礎及應用研究計畫
10.Standard Evaluation Protocol 2003-2009 For Public Research Organisations	--	Dutch universities NWO KNAW	研究機構 (荷蘭)	研究計畫
11.Public Service Agreement (PSA) Target Metrics 2004	國家創新系統及績效報告	OST (UK), Evidence Ltd.	(英國)	--
12.The Advisory Council on Science and Technology (ACST), Taking Stock of University & College Commercialization Efforts	國家創新系統及績效報告	ACST	大學、聯邦實驗室 (加拿大)	---

資料來源：Sami Kanninen, Tarmo Lemola (2006)，本研究自行整理。

發展出來的科技指標 (S & T indicator)，可在國際間取得相較之數據，微觀尺度的文獻計量可瞭解研究經費與科學品質之間的關係，科學及技術與研究知識擴散之間的影响等，但這些指標強調研究過程之輸入，而非產出等之資訊。

3.問卷調查 (survey method)：從大批被調查者 (informant) 直接收集資訊的方法，數據可從已接受公部門經費之研究計畫的機構或個人，或研究成果的潛在使用者調查收集。調查的缺點是產生社會效益影響之瞭解仍維持片段，有時必須採用統計研究方法來抽取出調查數據，另一種抽取調查數據的方法是成本/效益分析 (cost-benefit) 有時可提升調查的可信度。

4.個案研究 (case study method)：根據較多定性資訊研究的效益評估，個案研究方法是在研究效益的瞭解不足且只有一些因果關係知識的情況下特別有好處，缺點是評估後可發現的通則不足，缺乏研究計畫或資助計畫總體效益之瞭解。

### 各種類型績效評估計畫

公部門經費資助的基礎研究成果，其影響可從科學、文化及社會層面來探討，但根據文獻回顧資料 (Martin, 1996)，基礎研究對經濟層面之影響已確認的如下：(1) 增加有用知識的庫存 (stock)；(2) 訓練有技能的畢業生；(3) 創造新的科學儀器設備及方法；(4) 形成網絡及刺激社會互動；(5) 增加科學及技術解決問題之能力；(6) 創造新公司等，其它層面，例如：文化、社會或政治的影響則是更加複雜，因為過程中涉及到許多不同層次社會的運作及多元

目標的特性有關，因此對於基礎研究的效益評估是無法用單一最好的方法來評估。本文選擇12個績效評估計畫 (表一)，其評估方法可表現出上述各項之效益指標，篩選的原則：(1) 集中於基礎而非應用研究；(2) 強調是最近的評估計畫；(3) 新的方法，特別強調在成果指標；(4) 強調評估計畫是學術界很少有的先備知識 (prior knowledge)；(5) 地域涵蓋較廣等特性之評估計畫。

12個績效評估計畫中，大部份計畫是由研究資助機構發起，從事事後 (ex-post) 研究效益之評估，評估的動機是要達到研究機構 (institute) 任務之權責相符性 (accountability)、信任性 (credibility)、合法性及運作過程的透明性 (transparency) 等，其中有3個評估計畫主要目的是發展研究效益面之評估方法 (第5、7及8個)，12個評估計畫有4個計畫其所用方法之數據是有規則性的收集，以提供績效變化之分析，有2個計畫是每年的績效引導報告 (第4及9個)，有2個計畫之數據收集及評估則是每3年一次 (第11及12個)。若大致歸類此12個評估計畫，初步可分為三類：第一類為個別計畫，用於衡量研究效益 (5個)；第二類為個別計畫，用於評比及發展評估方法 (3個)；第三類為報告，描述評估系統或以一組指標提供國家層次之研究績效評估 (4個)。若依分析層次隨計畫目的不同而異，有4個計畫在分析資助機構經費配置之效益問題 (第1、2、3及9個)，有4個計畫鎖定在個別大型計畫 (program) 或資助計畫，有2個計畫鎖定在國家層級 (第11及12個)，有1個計畫鎖定在研究機構評估 (第10個)，有1個計畫在分析個別計畫 (第4個)。(下期待續)

# 高速計算在設計多巴胺D2受體拮抗劑上之應用

文/圖 王焰增、謝昌煥 國家高速網路與計算中心

生物學的研究發現，主要引發精神分裂症的原因是來自於大腦中的神經傳導物質有關，當大腦中的神經傳導物質，例如多巴胺（Dopamin）、血清促進素（Serotonin）等不平衡時就容易引發該症狀。俄勒岡科學和健康大學醫學院的David K. Grandy<sup>[1]</sup> 博士發現了多巴胺過敏作用與一種具有高親和力的多巴胺受體大量增加之間存在的聯繫。多巴胺是人類大腦中的一種神經傳導物質，此物質在運動控制、動機等相關的行為調控中起到重要作用，而且多巴胺系統被認為對由藥物濫用（尤其是鴉片和成癮性藥物等）引起的大腦反應至關重要。大約70%的精神分裂症患者的多巴胺過於表現，引起對安非它命和其他引發大腦中多巴胺釋放的藥物的低耐受性。新的發現可能促進開發出一些能臨時使精神有問題的人們回復到一種更加正常、低敏感狀態的藥物，並使他們更好地應安定藥治療。這些發現還可能幫助研究人員找到降低多巴胺D2受體活性的方法，多巴胺D2受體已經成為治療精神分裂症的主要藥物設計靶標。

目前尚無X-ray 或是NMR儀器所解析出多巴胺D2受體三維結構，故本文使用已知多巴胺D2受體蛋白質序列與同源模擬方法（Homology

Modeling）建立多巴胺D2受體三維結構，並使用Nvidia CUDA GPU計算技術、分子動力學方法（Molecular Dynamics）、分子接合法（Dock）、溶解作用法（Solvated interaction energies method）分析一系列tetralindiol derivatives對多巴胺D2受體結合自由能變化分析（Binding Free Energy）。

## 方法與材料

### 同源模擬多巴胺D2受體三維結構

多巴胺D2受體蛋白質序列資料來自美國生物科技資訊中心（National Center for Biotechnology Information：NCBI）蛋白質資料庫中，編號：NP\_000786<sup>[2]</sup> 並使用NCBI BLAST SEVER分析與NP\_000786序列上有相似且具三維結構的蛋白質，作為建構多巴胺D2受體蛋白質三維結構的模板，模板分析結果如表1所示。

將蛋白質結構模版與NP\_000786蛋白質序列送入Modeler<sup>[7]</sup>同源結構模擬軟體進行多巴胺D2受體蛋白三維結構建立，後將建立好的三維多巴胺結構送入NAMD CUDA版分子動力學軟體以Amber F99分子動力學力場與水進行2



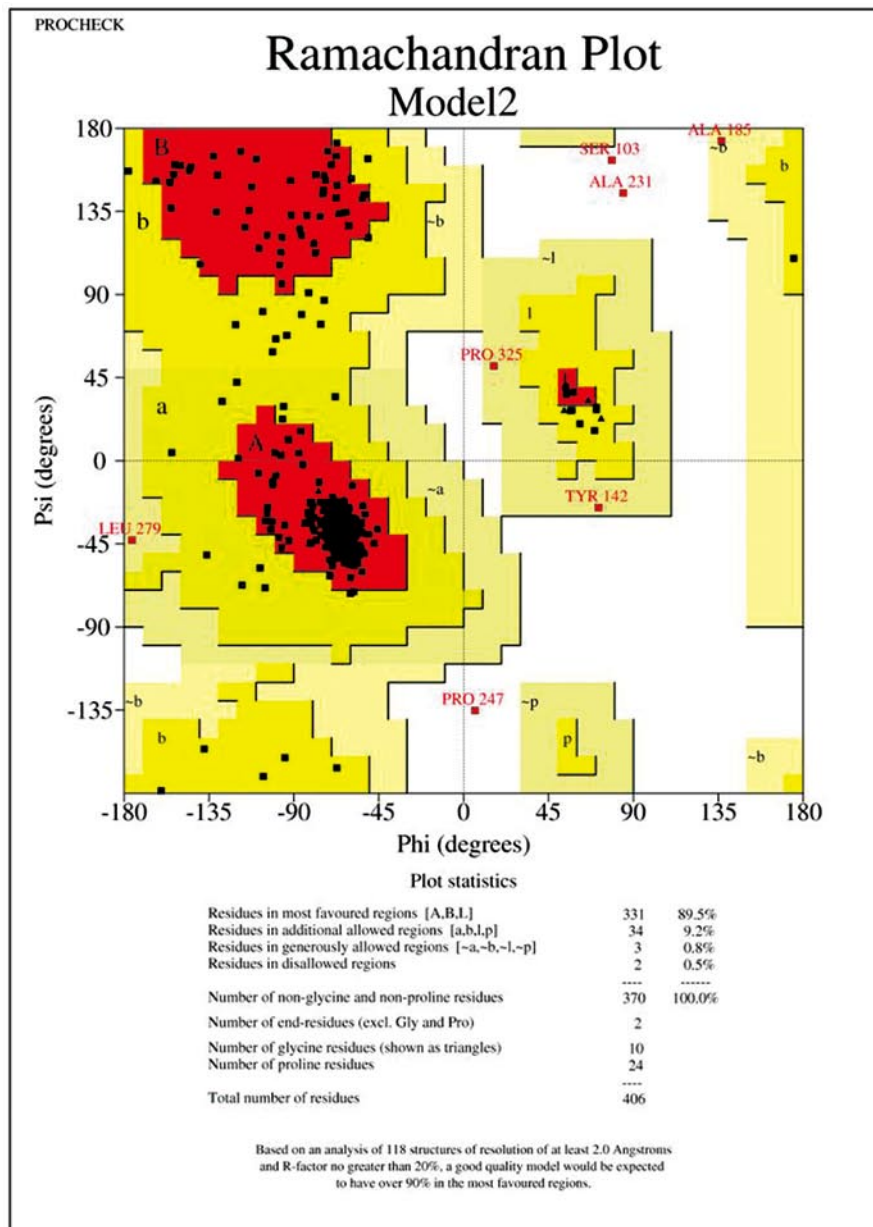


圖1 多巴胺D2受體胺基酸結構雙面角 (Ramachandran plot) 分析。

奈秒 (nanosecond,  $10^{-9}$ sec) 結構優化計算，其後將優化的結構送入PROCHECK軟體分析模擬出來的多巴胺D2受體結構是否合理，其結果如圖1所示。

因多巴胺受體屬於膜蛋白，故使用VMD軟體將模擬好的多巴胺D2受體結構嵌入dilauryl-phosphatidyl-ethanol-amine (DLPE) 的人

工細胞膜模型中，之後再將結果與多巴胺D2拮抗劑一起進行分子接合計算。

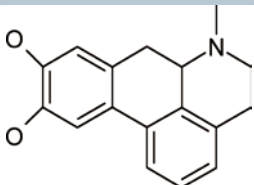
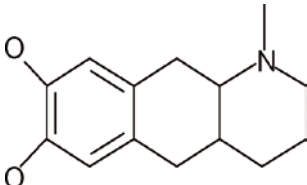
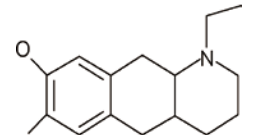
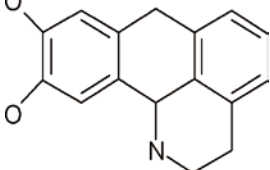
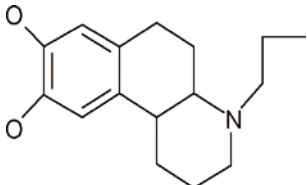
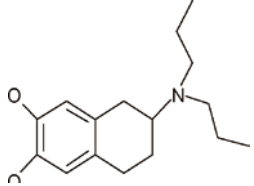
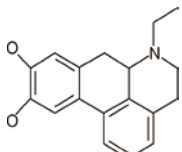
### 分子接合計算、複合體動力學計算與溶解作用法分析

將七種tetralindiol derivatives的多巴胺D2拮抗劑 (表2) 以分子接合軟體GOLD嵌入以建立好的多巴胺D2受體中，如圖2所示。將接合後

表1 同源模擬多巴胺D2受體模板

Protein name	PDB ID	Identity	Resolution	Reference
Human Beta2 Adrenergic Receptor	3D4S	28%	2.8 Å	3
Human B2-Adrenergic G Protein-Coupled Receptor	2RH1	28%	2.4 Å	4
Human B2-Adrenergic G Protein-Coupled Receptor	3EML	28%	2.6 Å	5
Human Beta2 Adrenoceptor Receptor	2R4S	33%	3.4 Å	6

表2 Tetralindiol derivatives多巴胺D2受體拮抗劑

Compound Structure	Molecular Weight	pIC50 (μM)
I 	C17H17NO2, 267	4.73
II 	C14H19NO2, 233	4.47
III 	C16H23NO2, 261	4.77
IV 	C16H15NO2, 253	6.00
V 	C16H23NO2, 261	5.97
VI 	C16H25NO2, 263	7.39
VII 	C19H21NO2, 295	9.1

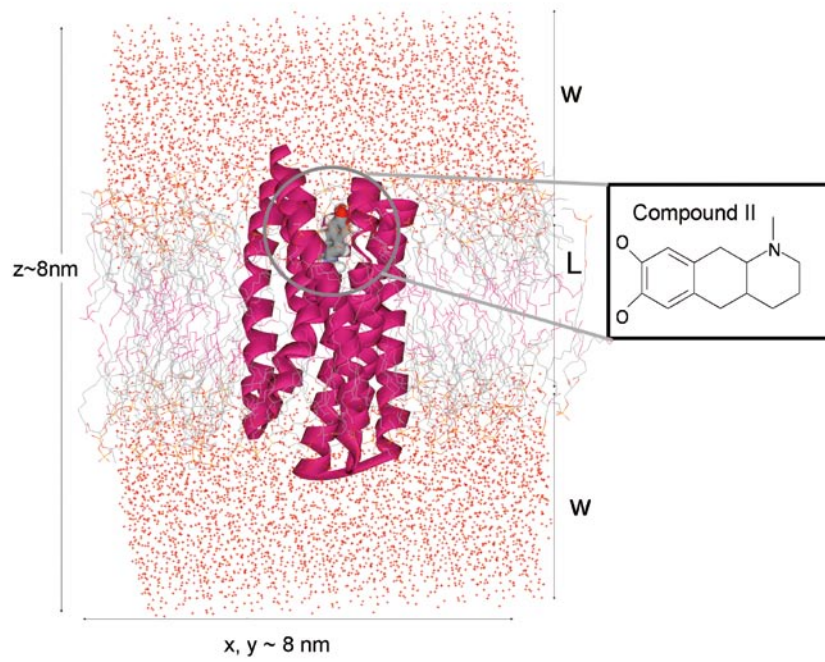


圖2 多巴胺D2拮抗劑 (Compound II) -多巴胺D2受體蛋白質結構示意圖。

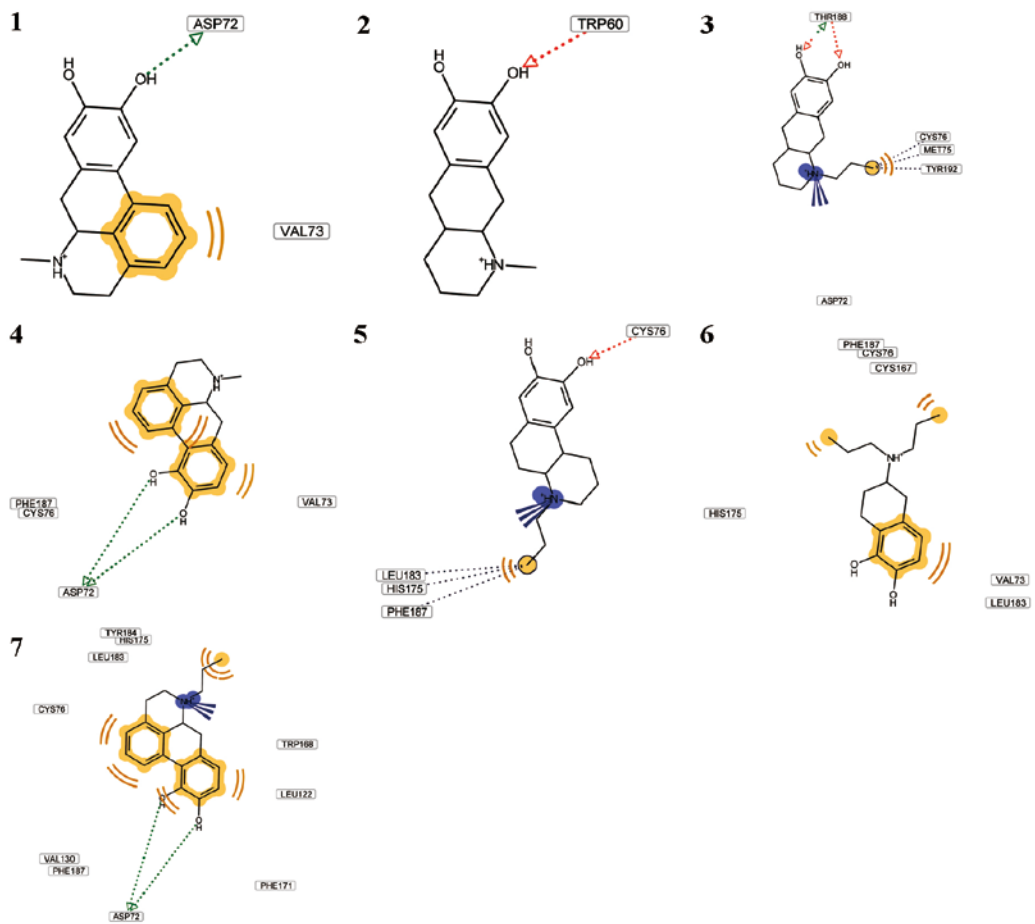


圖3 多巴胺D2受體-多巴胺拮抗劑複合模擬結構鍵結型態分析。

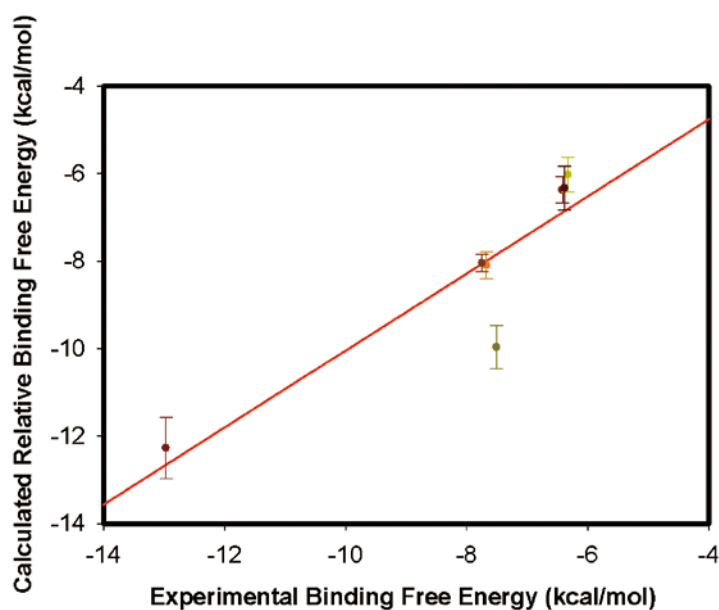


圖4 模擬之結合自由能與實驗之結合自由能有著高度的線性相關性，分析其相關性參數 $R^2 = 0.815$ 。

的多巴胺D2-多巴胺拮抗劑複合體送入NAMDCUDA 版動力學軟體進行5奈秒模擬計算。

後將結果送入溶解作用法 (Solvated interaction energies method) [8]分析一系列 tetralindiol derivatives對多巴胺D2受體結合自由能變化分析 (Binding Free Energy) 與分析每一個多巴胺-多巴胺拮抗劑複合模擬結構鍵結型態 (Binding Models)。

### CUDA版NAMDCUDA與非CUDA版NAMDCUDA效能分析

將多巴胺-多巴胺拮抗劑複合體 (~31000 atoms) 送入NAMDCUDA (單一TESLA C1006 GPU晶片) 版與非CUDA版的NAMDCUDA (單一Intel Xeon CPU) 進行200 picosecond 計算，並分析其效能。

## 結果與討論

### 多巴胺D2受體-多巴胺拮抗劑複合模擬結構鍵結型態分析

結果如表3與圖3所示，由結果分析Compound I與Asp72, Val73有強烈的作用、Compound II與Trp60有強烈的作用、Compound III與Thr188、Cys76、Met75、Tyr192有強烈的作用、Compound IV與Asp72、Val73、Cys76、Phe187有強烈的作用、Compound V與Cys76、His175、Leu183、Phe187有強烈的作用、Compound VI與Val73、Cys76、Cys167、His175、Leu183、Phe187有強烈的作用、Compound VII與Asp72、Cys76、Leu122、Val130、Trp168、Phe171、His175、Leu183、Phe187有強烈的作用。



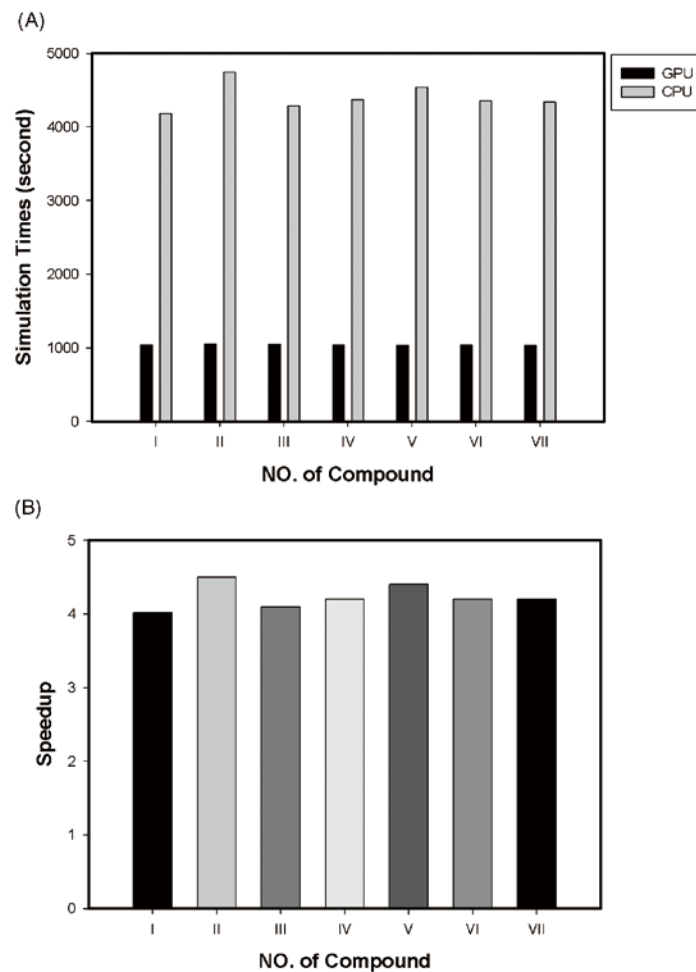


圖5 (A) 多巴胺D2受體-多巴胺拮抗劑複合模擬200 picosecond模擬時間，GPU與CPU所相對花的計算時間。(B) 使用GPU計算提高效率，平均約4.5倍。

## 多巴胺D2受體-多巴胺拮抗劑複合結合自由能分析

溶解作用法分析七種多巴胺D2受體拮抗劑—多巴胺D2受體蛋白結合自由能 ( $\Delta G_{\text{bind}}$ ) 結果如圖4與表4所示，由結果分析模擬之結合自由能與實驗之結合自由能有著高度的線性相關性，分析其相關性參數  $R^2 = 0.815$ 。

## CUDA版NAMD與非CUDA版NAMD效能分析

多巴胺D2拮抗劑—多巴胺D2受體蛋白動力學計算分析，具有CUDA加速度大約是非CUDA技術的4.2倍快，結果如圖5所示。

## 結論

NAMD分子動學軟體使用GPU技術可以加快約4.2倍的計算速度，另外有文獻提到NAMD商業版ACEMD動力學軟體可以增加30倍以上的計算速度，可見GPU計算技術將成為當今高速計算重要使用工具，在於生化模擬計算的應用上有機會可以進行到微秒 ( $10^{-6}$ ) 甚至於到毫秒 ( $10^{-3}$ ) 的生化反應的時間尺度，將對於計算生物的應用性有極大的影響；本文的計算分析可得多巴胺D2受體上五各胺基酸 (Asp72, Val73, Cys76, Leu183, and Phe187) 與tetralindiol derivatives多巴胺拮抗劑有重要的作用性。

表3 多巴胺D2受體-多巴胺拮抗劑複合模擬結構鍵結型態

Compound	Hydrogen bonding-related residues	Non-bonding contact-related residues
I	Asp72	Val73
II	Trp60	Null
III	Thr188	Cys76, Met75, Tyr192
IV	Asp72	Val73, Cys76, Phe187
V	Cys76	His175, Leu183, Phe187
VI	Null	Val73, Cys76, Cys167, His175, Leu183, Phe187,
VII	Asp72	Cys76, Leu122, Val130, Trp168, Phe171, His175, Leu183, Phe187

表4 七種多巴胺D2拮抗劑-多巴胺D2受體蛋白結合自由能之計算值及實驗值

Compound	Energy (kcal/mol)					
	$E_C$	$E_{vwd}$	$\Delta MSA$	$\Delta G_{bind}^R$	$\Delta G_{bind}$ (SIE)	$\Delta G_{bind}$ (Experiment)
I	-18.7	-9.45	10.42	-5.68	-6.42±0.3	-6.38
II	-26.25	-0.57	5.62	-6.07	-6.32±0.4	-6.03
III	-26.68	-0.24	6.87	-6.51	-6.38±0.5	-6.34
IV	-20.68	-18.90	15.66	-6.29	-7.67±0.3	-8.10
V	-34.20	-3.65	7.32	-8.58	-7.74±0.2	-8.05
VI	-35.19	-0.31	5.70	-8.65	-7.50±0.5	-9.97
VII	-40.40	-27.67	1.86	-28.13	-12.96±0.7	-12.28

參考資料

- 1.Kruzich, P. J.; Grandy D. K. Dopamine D2 receptors mediate two-odor discrimination and reversal learning in C57BL/6 mice. BMC Neuroscience 2004, 5, 1471-1480.
- 2.Marti-Renom, M. A.; Stuart, A.; Fiser, A.; Snchez, R.; Melo, F.; Sali. A. Comparative protein structure modeling of genes and genomes. Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct. 2000, 29, 291-325.
- 3.Chidester, C. G.; Lin, C. H.; Lahti, R. A.; Haadsma-Svensson, S. R.; Smith, M. W. Comparison of 5-HT1A and dopamine D2 pharmacophores. X-ray structures and affinities of conformationally constrained ligands. J. Med. Chem. 1993, 36, 1301-1315.
- 4.Johansson, A. M.; Karlen, A.; Grol, C. J.; Sundell, S.; Kenne, L.; Hacksell, U. J. Dopaminergic 2-aminotetralins: affinities for dopamine D2-receptors, molecular structures, and conformational preferences. Mol. Pharmacol. 1986, 30, 258-269.
- 5.Grözinger, M.; Dragicevic, A.; Hiemke, C.; Shams, M.; Müller, M. J.; Härtter, S. Melperone is an inhibitor

- of the CYP2D6 catalyzed O-demethylation of venlafaxine. Pharmacopsychiatry 2003, 36, 3-6.
- 6.Szarfman, A.; Tønning, J. M.; Levine, J. G.; Doraiswamy, P. M. Atypical antipsychotics and pituitary tumors: a pharmacovigilance study. Pharmacotherapy. 2006, 26, 748-58.
- 7.Sali, A.; Blundell, T. L. Comparative protein modelling by satisfaction of spatial restraints. J. Mol. Biol. 1993, 234, 779-815.
- 8.Purisima, E. O. Fast Summation Boundary Element Method for Calculating Solvation Free Energies of Macromolecules. J. Comput. Chem. 1998, 19, 1494-1504.

附註

國網中心提供學術界GPU計算服務測試使用平台，GPU計算器包含Telsa C1006等高階圖形計算處理器，申請與使用方式請先洽詢許升耀先生 (snyao@nchc.org.tw)。

# 人物專訪 Feature Person

## 「要做，就要做到最好！」

專訪國家奈米元件實驗室  
楊富量主任

文/圖 國家實驗研究院



「國家實驗研究院國家奈米元件實驗室領先各國，開發出全球第一顆以十六奈米製程技術研發的靜態隨機存取記憶體（SRAM）。」…該實驗室楊富量主任於2009年12月率領研發團隊在國際電子元件會議（IEDM）發表這項突破性研發成果，引起全球矚目，美日等國媒體亦競相報導。

（摘自2009年12月16日中國時報）

2008年8月接任本院國家奈米元件實驗室（以下簡稱奈米實驗室）主任的楊富量博士出生並成長於台南，高中畢業後，順利進入以理工見長的清華大學，在四年薰陶下，奠定良好的科學知識基礎。退伍後進入英國劍橋大學攻讀博士學位，這三年的學習生涯，對楊主任影響很大。他表示，英國的博士教育沿襲傳統的師徒制，他的指導教授像十九世紀僧侶，沒結婚，教授課業外也很照顧學生，師生間情誼深厚。此外，他的指導教授也會刻意改變自己特有的英國腔調，用比

較接近國際學生的英語來溝通。關於這一點，楊主任認為英國人不喜歡讓人覺得困窘，會屈就他人，所以他現在在工作上，也希望能站在指導者的角色，儘量去包容人、體會別人的困難。

1994年回台灣隨即進入世界先進積體電路股份有限公司服務，2000年初調回母公司--台灣積體電路製造股份有限公司（以下簡稱台積電），直至2008年8月要離開台積電時，楊主任



（左起）國研院院長陳文華、施敏院士、國科會副主委陳力俊、國研院奈米元件實驗室主任楊富量，於記者發表會中共同見證台灣奈米元件技術研發的歷史新頁。

已累積了15年的豐富資歷，離開台積電令他依依不捨。說到楊主任為什麼會來國研院的原因時，有段有趣的小插曲。當他被通知獲聘為奈米實驗室主任時，覺得不可思議，他心想說：國研院都是學校來的教授，與來自業界的他應該是格格不入，竟然敢用他，好，那他就來。而本院莊前院長在其佈達典禮致詞時也曾提及：業界來的膽子很大，既然敢來，一定有兩把刷子，於是就聘用楊主任。就這樣，原本工作上與奈米實驗室偶有接觸的楊主任，在伯樂明識千里馬之下，從此成為國研院大家庭的一份子。

國家實驗研究院以服務學研界為主要任務，由於奈米實驗室服務量多且大，故楊主任甫上任後，就對相關服務制度進行改革。舉例而言，他將原先上午八點至九點的彈性上班的時間改為八點至八點半，拉長了每日實驗室服務的時間；鑑於儀器設備昂貴並會產生特殊氣體，為了提升服務能量與顧及使用者的安全，於2009年初起規定奈米實驗室的工廠星期六要由同仁及其主管共同值班。現在，台灣約有六分之一做微電子的研究人員，都會使用奈米實驗室的設備。奈米實驗室的整體工作效益，在楊主任的帶領之下，成長至少達20%。楊主任於專訪中再三強調，非常感謝奈米實驗室同仁的配合與支持，才有今天這番亮麗的表現。

楊主任平日最大的休閒就是在野外宿營一夜，享受大自然的靜謐與美好，但在公務繁忙之下，其實是不可多得的，即便是星期六、日在辦公室處理業務仍是家常便飯。經營模具工廠的父親，對他影響甚鉅。幾年前他父親退休時只保留20%的股份，其餘都免費分給當時僅有的五名

員工。他的父親教導他：若太在乎金錢的回報，是沒有辦法服務大眾的。楊主任認為並且堅信：「一個人有能力又有機會的時候，就不應該逃避服務的責任。」就是這股信念，讓楊主任堅定地由人人稱羨的大公司轉任於國研院，擔負起這份服務全國學研界的重責大任。同時，他也認為國家奈米元件實驗室是國家級的機構，出了國門就是代表台灣，而代表台灣就是要拿第一。以此次十六奈米製程技術的研發為例，從構想到完成，一氣呵成，達到世界頂尖的水準。他說：「要不就不做；要做，就要做到最好。」

「十六奈米製程技術研發的靜態隨機存取記憶體（SRAM）單位晶胞」此一研發成果已在2009年12月9日於美國巴爾地摩舉行的電子元件最重要的國際會議IEDM正式發表，更被大會選為5篇即時論文之一，並被國外專業電子媒體EE Times、IEEE Spectrum與日經BP（Nikkei Business Publications）列為重點報導。即便研發成果高度受到國際間肯定與重視，專訪中楊主任仍誠懇、謙虛地說，自己常思考：別人在他的位置會不會做得比他好？答案是：會！所以他要更加的戰戰兢兢。「因著特殊機緣來到國研院國家奈米元件實驗室，也正是他可以回饋社會有所貢獻的時機」，這個話同時也為他的人生觀--「一個人有能力又有機會的時候，就不應該逃避服務的責任」，做出最好的詮釋。



楊主任（左）與陳主任於本刊專訪完後合影留念。



# 科技小百科 Mini-Encyclopedia of NARL

## 什麼是生物感測器？

文/圖 蔡娟美 國家奈米元件實驗室

生物感測器 (biosensor) 是利用待測生物分子與偵測器反應產生之訊號，經物理、化學方法偵測其變化幅度之裝置。一般生物感測器主要由以下兩部分組成<sup>[1]</sup>：

- 生物材料：包含待測物與偵測物兩類，他們可以是細菌、病毒、蛋白質、酶、抗體、核酸等，生物衍生材料或者類生物材料等等。
- 訊號轉換裝置：偵測物理、化學等訊號如質量、化學、光學、電流、電壓、電阻、電化學等等，將受測物與生物元件間的反應訊號轉換為容易判讀與量化之訊號，以便檢測與定量。

### 生物感測器之種類

依其檢測原理之差異可區分為下列數種生物感測器：

#### 電化學感測

電化學生物感測器包括三個電極一個參考電極、一個動作電極和一個對應電極。其中最廣泛應用的是血糖儀。動作電極上固定一層葡萄糖氧化酶以氧化血糖，檢測過程中，參考電極的電位需維持固定，固定電壓差施加在對應電極與動作電極上，偵測動作電極上的電流變化。在葡萄糖氧化過程中，2個電子轉移到FAD上再轉移到動作電極上，由測得的電流可以測量血糖的濃度。在此例中，電極是訊號轉換裝置而葡萄糖氧化酶是生物反應材料。目前血糖儀售價約40-100美元，每次檢測僅需不到1美元。（圖1）



圖1 血糖儀<sup>[2]</sup>。

## 光學檢測

運用表面電漿共振與漸逝波現象的光學生物感測器，運用附著於玻璃表面的金膜吸收入射光，並在金膜表面產生電子波，即表面電漿。若待分析物附着在金膜上，表面電漿共振波受到改變，與對照組產生光折射率之差異訊號，感受器就可以顯示反應分子的濃度變化。BIAcore生物分子交互作用分析儀即是此例<sup>[4]</sup>，不需任何標定物的狀態下可即時監視蛋白質、核酸、小分子藥物、糖類等任何兩種生物分子間相互結合、解離的情形<sup>[3-5]</sup>。(圖2)

## 其它的光學感測

主要是基於偵測特定螢光分子標示的生物分子的反應後的螢光變化。Affymetrix的gene array與Illumina的3微米矽珠陣列序列分析即為此例，目前市面上的全基因組分析需要10-100萬美元，但Illumina公司表示今年將可達到全基因組分析僅需5,000美元目標。對於遺傳與疾病檢測將是近年來最重大的突破。美國「X Prize」基金會表示，經審核，台灣工業技術研究院資助的「Cracker」團隊入圍該基金會舉辦的人類基因體定序競賽「Archon X Prize for

Genomics」，是亞洲第一支獲參賽資格的團隊。Cracker團隊如能勝出，將獲得首獎1,000萬美元(約新台幣3.2億元)<sup>[6]</sup>。

## 質量感測

利用振盪器表面與生物材料連接後質量之增加可導致振盪頻率下降之特性，檢測生物反應物。振盪頻率取決於晶體的結構與表面特性，晶體上附著一層生物識別物質，當待測物與感受器連接在一起的時候就帶來共振頻率的變化，從而得到待測定物質的信號。石英晶體微振盪器QCM即為此例。 $\Delta F = K \Delta m/A$ ，藉頻率衰減量( $\Delta F$ )計算出質量變化( $\Delta m$ )。可求得濃度與頻率衰減之對應關係作為定量使用。信號解析度約0.1Hz，靈敏度約1ng/ml<sup>[7]</sup>。(圖3)

## 電性感測

在導體材料表面連接一層生物反應物，當待測物與反應層連接時，兩電極間之dielectric增強使得電容增強，從而測得待測定物質的信號。Capacitance= area x dielectric / distance.則為電性感測<sup>[8]</sup>。另外還有以矽奈

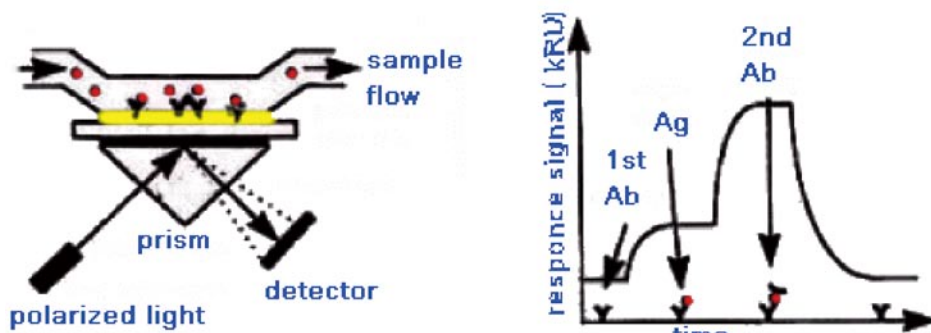


圖2 表面電漿共振感測技術。

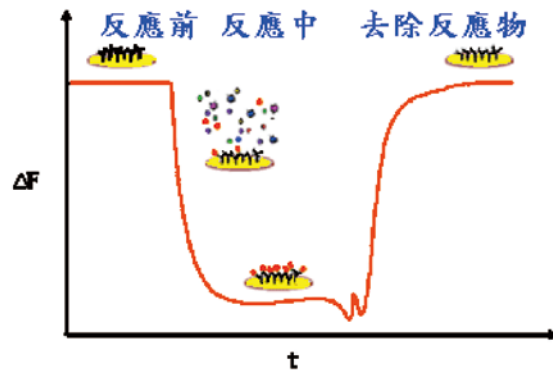
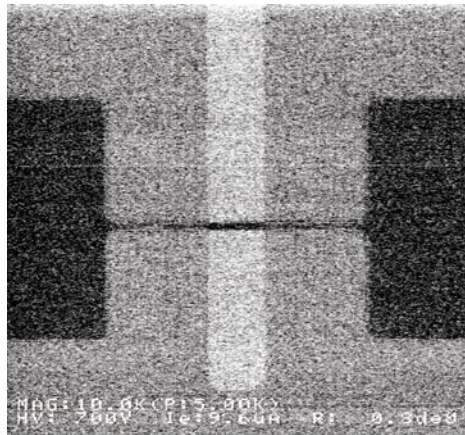
圖3 微振盪器振盪頻率變化<sup>[7]</sup>。

圖4 90nm奈米線及元件結構。

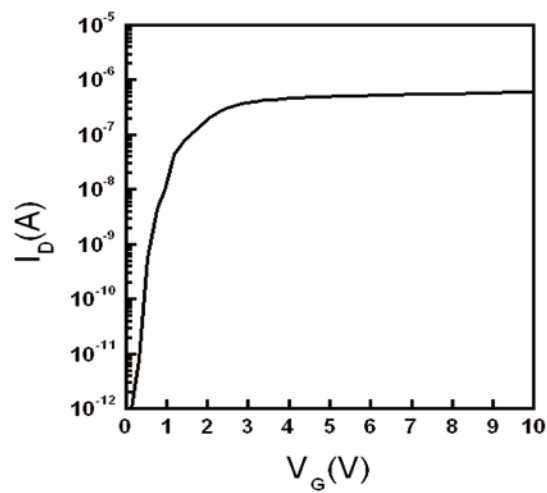


圖5 18.8nm奈米線元件電流變化。

米線做為感應生物分子反應的電流改變的感測器。因為奈米線的反應面積與奈米線體積比較大，數個生物分子的電荷就可造成電流的強烈變化，因此感測靈敏度高。哈佛大學Lieber第一個使用奈米線作為病毒感測元件。國家實驗研究院與交通大學共同研發的矽奈米線場效電晶體（NW FET）即為此例<sup>[9]</sup>。（圖4～圖5）

## 結論

生物感測器中最廣泛應用的是血糖儀。學研單位研究生物或藥物分子間交互作用最方便的工具是光學生物感測器或質量感測器，然而這些方式因適用範圍有限，或者檢測過程技術門檻較高僅能供學術研究之用。近年來微機電與半導體製程精進，所有元件逐漸奈米化，靈敏度也隨之提升到可以感測生物分子所帶的電荷，牛津大學奈米科技研究發現生物的核酸密碼DNA流經奈米孔時可以被分辨出來<sup>[10]</sup>，就在2009年10月半導體大廠IBM也宣佈投入奈米洞基因序列分析技術之開發<sup>[11]</sup>，藉由感測通過奈米洞的基因分子所帶的電荷以分析基因序列，雖然目前尚無可量產之相關商品，但電子科技的發展一日千里，相信不久的將來生物感測器就可用來提升健檢效率，如同手機與電腦之發展般給人類的生活品質大大的提升。

## 參考資料

1. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biosensor>
2. <http://www.apexbio.com.tw/>
3. [http://www.ym.edu.tw/ymirc/list\\_other.htm](http://www.ym.edu.tw/ymirc/list_other.htm)
4. [http://www.biacore.com/lifesciences/technology/introduction/data\\_interaction/index.html](http://www.biacore.com/lifesciences/technology/introduction/data_interaction/index.html)
5. <http://www.owls-sensors.com/label-free-biosensor.aspx>
6. [http://www.illumina.com/technology/beadArray\\_technology.ilmn](http://www.illumina.com/technology/beadArray_technology.ilmn)
7. [http://www.isfet.com.tw/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4:antq300&catid=1:qcm-biosensor-system-&Itemid=15](http://www.isfet.com.tw/index.php?option=com_content&view=article&id=4:antq300&catid=1:qcm-biosensor-system-&Itemid=15)
8. <http://www.lionprecision.com/tech-library/technotes/cap-0020-sensor-theory.html>
9. [http://www.ndl.org.tw/web/research/mems\\_result.html](http://www.ndl.org.tw/web/research/mems_result.html)
10. <http://pubs.acs.org/cen/science/87/8710sci2.html>
11. <http://www.genomeweb.com/sequencing/ibm-enter-dna-sequencing-field-nanopore-technology>





## 創新發明 奪金秀實力!

### 2009台北國際發明暨技術交易展 國研院成果亮眼

文/圖 國家實驗研究院

國研院之專利研發，今年再度榮獲兩面金牌與一面銅牌的好成績!(圖1)

「2009年台北國際發明暨技術交易展」發明競賽，國研院由儀科中心之三項發明代表參賽，以創新與實用兼備的研發實力，成功從12個國家、695件作品中脫穎而出；並連續4年獲得肯定，已累計達11面金牌，成果斐然。本屆勇奪金牌之作品分別為：「發光體檢測裝置及其方法」與「不可見光之發光元件其輸出光束之檢測裝置」兩項發明；「液體鏡頭模組之檢測裝置」則獲得銅牌肯定。

#### 發明驚豔韓籍評審

摘下金牌的「發光體檢測方法與裝置」(圖2)，是針對大尺寸背光模組線上快速全檢所研發之技術，主要特色為受測之大尺寸背光模組無

需精密定位，不僅可大幅縮短檢測時間與節省人力、降低生產成本，且因具備能協助企業適時淘汰瑕疵品、提高產品良率的優勢，備受韓籍評審矚目，該評審更力邀儀科中心赴韓展示此項專利，與韓國廠商做近距離的互動交流。

另一件榮獲金牌的發明為「一種不可見光之發光元件其輸出光束檢測裝置」(圖3)，是利用



圖1 國研院發明獲金牌肯定。



圖2 發光體檢測方法與裝置。

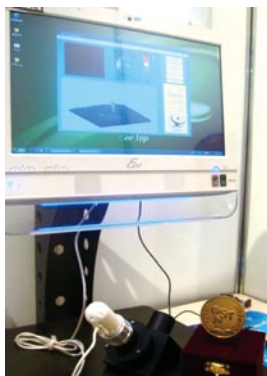


圖3 一種不可見光之發光元件其輸出光束檢測裝置。



圖4 液體鏡頭模組檢測裝置。

紅外感光化合物轉換成螢光，再經由可見光影像感測器與人機介面軟體設計所完成的低成本檢測裝置，可協助LED廠適時淘汰瑕疵品，提高產品良率。

獲得銅牌的「液體鏡頭模組檢測裝置」（圖4），則適用於手機相機模組與消費型數位相機，可協助企業解決液體鏡頭相機模組之製造與檢測方面的問題。



圖5 2009台北國際發明暨技術交易展會場。



圖6 國科會專館開幕典禮。

## 創新技術 勾勒智慧安全的未來生活

「2009台北國際發明暨技術交易展（Taipei INST）」（圖5）由經濟部、行政院國科會（圖6）、行政院農委會、教育部及國防部共同主辦，於2009年9月24至27日，在台北世貿中心舉行，今年共有16國近600家企業廠商、發明人或研發單位參展，展出895個攤位，總計近2000項專利技術及創新發明在會場展出。

國研院亦藉此平台展出多項創新技術與發明（圖7至10），向國內外專家和民眾解說各領域的創新科技，如何勾勒智慧又安全的未來生活，同時為台灣的創新競爭實力加分。

「地貌及結構監測系統、該系統之感壓器及其製造方法」（圖11），由本院國震中心所研發，此項專利主要利用埋在橋墩土壤中的感測器，監





圖7 國研院展示攤位。



圖8 國研院展示攤位。

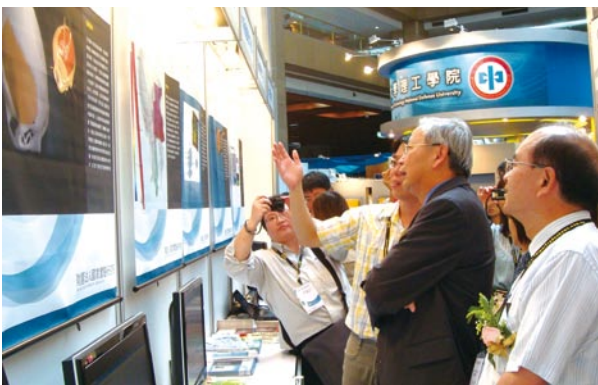


圖9 國科會副主委張文昌蒞臨指導。

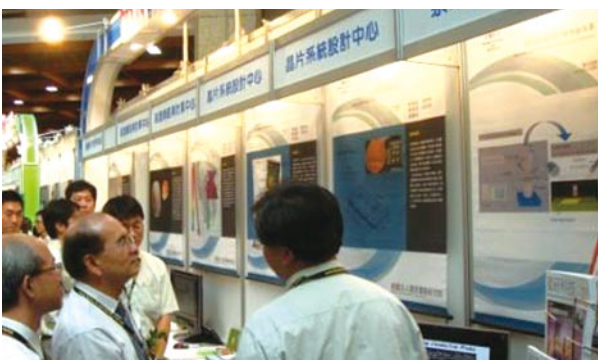


圖10 國研院院長陳文華到場關心奈米研發成果。



圖11 「地貌及結構監測系統、該系統之感壓器及其製造方法」之展示模型，吸引許多參觀民眾前來體驗。

測土石在平時與被洪水冲刷或遭受地震時行為的不同，以建構橋梁監測預警系統，即時評估橋梁於地震與冲刷時之安全，提供工程單位或橋梁管理相關單位做為防災應變之參考，以減少民眾生命財產損失。

### 醫療計算 為嚴重顱骨破損、睡眠呼吸中止症患者添福音

「顱骨破損之補骨製作虛擬手術平台」（圖12），主要由國網中心與長庚大學醫療擴增實境研究中心合作開發，是以完好的顱骨幾何外形影像為基礎，提供在植入物製作過程中因嚴重顱骨破損而遺漏的顱骨幾何輪廓特徵，以此為基礎來構建「嚴重顱骨破損病患」植入物外形，再整合3D雕刻機等輸出設備，可得到客製化之顱骨填補植入物的元件，加快顱骨修補手術時間及術後美觀。目前已提供長庚醫院神經外科使用，並成功替病患進行顱骨修補手術。

「睡眠呼吸中止症影像診斷平台」（圖13）亦是國網中心團隊結合醫學影像、臨床數據和計算模擬所研製的影像診斷平台，具備了省時、低成本與易技術轉移的優點。尤其在時間節省上可降低醫療院所在醫事相關工作上的成本支出；另隨著斷層掃描技術的普及與影像診斷平台易學、易

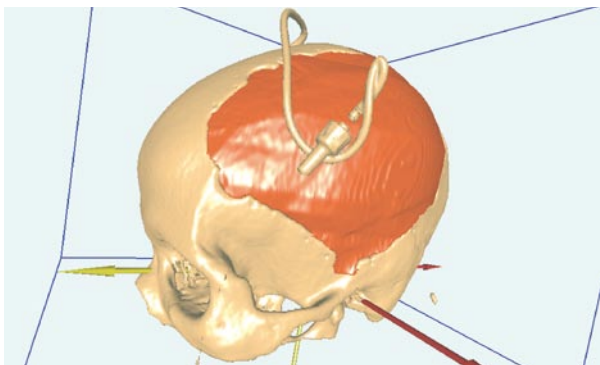


圖12 顱骨破損之補骨製作虛擬手術平台。

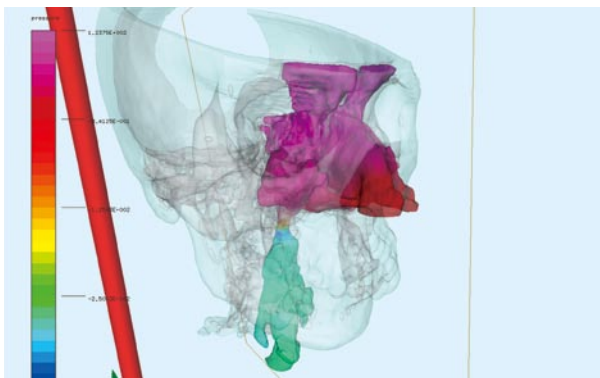


圖13 睡眠呼吸中止症影像診斷平台。



圖14 透鏡偏心與傾斜之干涉儀量測方法與裝置。



圖15 「變焦裝置」發明人向國研院陳文華院長解說該項技術之創意。

操作的特點，將可使此項診斷流程易於移轉至一般放射醫事人員，提高可行性與普及性。

## 光學儀器科技有助精確量測、節約成本

隨著射出成形與玻璃模造所生產之非球面鏡片大量使用，以及光學系統品質要求愈來愈高，對於透鏡的品質的要求也隨之升高。為提昇透鏡良率與品質，於製程中了解透鏡偏差來源並透過調整以消除偏差相形重要。由儀科中心所研製之「透鏡偏心與傾斜之干涉儀量測方法與裝置」（圖14），可將透鏡偏心與傾斜兩個偏差量分離開來，對於了解製程問題有很大幫助，極具市場潛力。

「變焦裝置」（圖15）則是儀科中心為因應變焦鏡頭微小化的趨勢所提出之創新概念，以減少機構傳動件之設計與製作的方式，縮小光機架構

的尺寸，成功讓小型取像裝置（如手機相機、筆記型電腦、PDA以及視訊裝置等）也能實現對焦或變焦的功能。此方法除可以連動方式獲得較大的變焦倍率之外，亦可拓展成為透鏡陣列用來改變LED照明系統的光路。不僅可應用於中大型取像裝置的對焦與變焦模組上，更可透過壓電材料驅動，應用在小型取像裝置上。

## 晶片設計平台新概念 提升研發競爭力

「多計畫系統單晶片平台及其設計方法」（圖16），是晶片中心所研發之多計畫系統單晶片（Multi-Project System-on-Chip，簡稱MP-SoC）原型化用的平台，可將多個SoC計畫整合進一顆單晶片中，藉此新概念，系統單晶片平台（通常包括微處理器、晶片匯流排架構、記憶體、周邊裝置及輸出/入埠等）將可被不同SoC計畫共用，因此能顯著地降低單一SoC計畫所需



的矽面積和製程成本。此項發明更提出多計畫系統單晶片原型化用之平台的設計方法，以協助設計者在每一設計流程層級，有效管理現有設計，並建置流程中所需之驗證環境。

同樣由晶片中心所提出之專利「具客製化介面之系統晶片」（圖17），主要運用半客製化（Semi-Custom）的系統晶片模組設計概念，將大多數系統應用中的共用部份電路大量生產，以提供不同系統開發者作為基本架構，如此開發者只需專注系統功能擴充（一般使用於SoC的設計稱硬體加速器）的設計、製造與驗證，便可大幅縮短系統開發時間及測試流程，降低設計錯誤機率，從而減少晶片開發成本，讓國家/公司資源做更有效的利用，進而大幅提升晶片設計之產品競爭力。

台北國際發明暨技術交易展，今年邁入第5屆，已成為亞太地區展示創新發明的重要平台，深受產學研各界的重視與支持，參展的作品不論在質與量上皆有大幅提升。此項展出最受各界稱許之處，就是研發者的「創意」。這場發明家薈萃的盛宴，國研院不僅參與其中（圖18），更連續四年從眾多優秀發明作品中脫穎而出，屢獲金

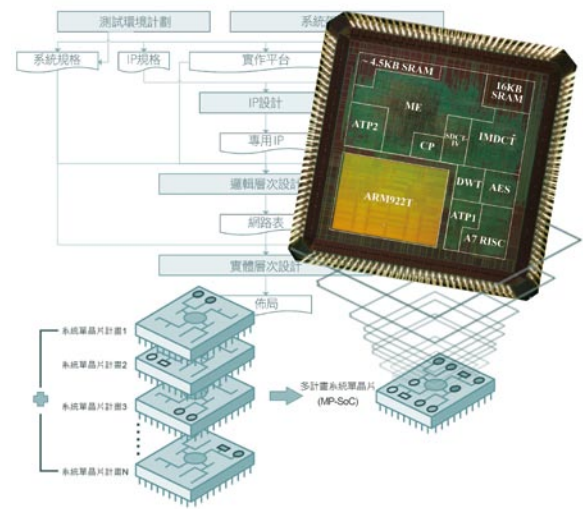


圖16 多計畫系統單晶片平台及其設計方法。

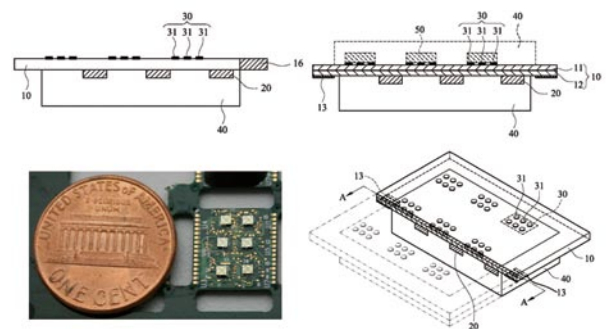


圖17 具客製化介面之系統晶片。

獎肯定，充分展現全院研發團隊的創新實力與豐厚的研發能量；國研院亦期許持續將創新能量挹注學術研發並接軌產業，共同為永續創意人才和台灣的科技競爭力盡一份心力。



圖18 國研院參展花絮與團隊合影。

## 國研院儀科中心於紐倫堡國際發明展再創佳績

文/圖 魏子軒 國家儀器科技研究中心

德國紐倫堡國際發明展是全球第一個也是規模最大的發明展，與瑞士日內瓦發明展、美國匹茲堡發明展並稱「全球三大發明展」。紐倫堡發明展的參展作品領域甚廣，包括能源、機械、材料科學、建築藝術、醫藥科技、通訊技術、甚至農林等，展覽期間各展覽館聚集世界各地的研發人員與工商貿易人士。今年共有30多國800多件專利參展，來自不同國家的評審，以創新、實用、市場性及對環境的貢獻性等準則進行評審。此次大展我國參展團隊一共獲得26面金牌、26面銀牌和15面銅牌，一舉拿下團體總冠軍，締造了世界矚目的顯赫佳績。

國家實驗研究院儀器科技研究中心多年來參與德國紐倫堡國際發明展，屢獲佳績，今年再度以「晶片瑕疵檢測裝置及其檢測方法」與「透鏡量測裝置及其量測方法」兩項作品獲得兩面金牌。

儀科中心的「晶片瑕疵檢測裝置及其檢測方法」係以自行開發的數值判斷模式取代一般瑕疵檢測的方法，大幅縮短檢測時間。該專利為接受國內知名設備廠商均豪精密工業公司委託研究案之衍生專利，目的為整合自動光學檢測功能，縮短現有晶粒篩選時間與步驟，提升廠商產品競爭能力；此亦為儀科中心利用自有技術協助國內廠

商技術升級的具體事例。

「透鏡量測裝置及其量測方法」係儀科中心與台灣大學機械系馬劍清教授共同合作，採極化光學原理，利用自動化光學檢測與影像處理技術，提供透鏡偏心與傾斜誤差線上快速檢測，可應用於高產能之塑膠射出與玻璃模造透鏡。

儀科中心近年來配合國家科技政策，推動前瞻科技研發，致力提升我國學術研究水準與高科技產業技術。為提高成果可見度，展示我國科技實力，積極參與國際活動，所獲得之輝煌成績，不僅突顯儀科研發成果獲國際肯定，也展現儀科中心在支援前瞻學術研究與高科技產業發展上的具體貢獻。

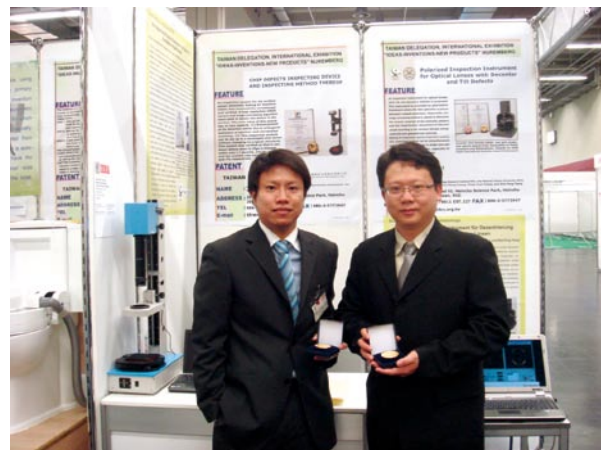
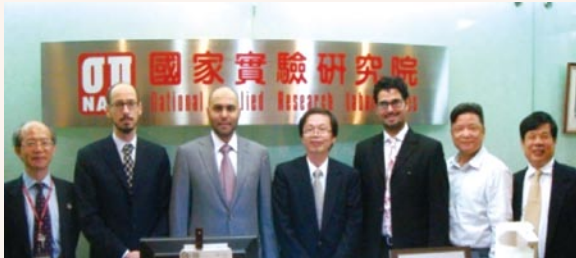


圖1 儀科中心榮獲德國紐倫堡國際發明展金牌獎得獎人魏子軒（左）及曾釋鋒（右）。



# 各實驗室動態

## 國家實驗研究院院本部



阿布達比科技委員會主委Ahmed Al Calily等訪問院本部。

阿拉伯聯合大公國阿布達比「科技發展委員會」(Technology Development Committee) 主委 Ahmed Al Calily, 於2009年11月4日率代表拜會本院院本部, 雙方針對發展高科技以及建置優質研發環境交換心得。該委員會隸屬政府部門, 於制訂相關科技法令與建構產業投資環境方面扮演重要角色, 此次訪台亦特別安排參訪本院設於竹科之國家奈米元件實驗室及位於中科的國家高速網路與計算中心分部, 藉此機會取經全球學習典範的科學園區管理群聚成功經驗。

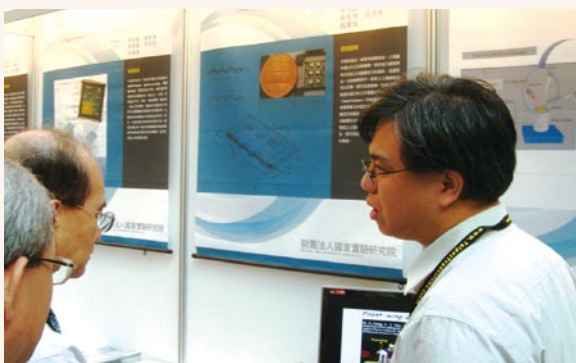
## 院本部國際交流花絮



NIA總裁及IWA主任訪問院本部。

2009年12月7-11日美國國家太空研究所 (National Institute of Astronautics, NIA) 總裁兼行政主任 Robert E. Lindberg, 以「Latest news about the U.S. Civil Space Program」為題分別於國立成功大學及本院國家太空中心進行演說。德國海德堡大學跨學科科學計算研究中心 (IWR) Hans Georg Bock, 則以「Building bridges between disciplines-scientific computing in science, technology and the humanities」為題於成大及本院國網中心發表演講, 二位學者亦拜會院本部洽談跨國合作事宜。

## 國家奈米元件實驗室



2009台北國際發明暨技術交易展。

為提供智慧財產與技術交易交流平台, 促進我國智慧財產與技術商品化及國際化、活絡國內外智慧財產及技術交易投資商機、展示我國產官學研發創新成果, 增進社會大眾對技術創新之認知並讓全球「認識台灣、走進台灣、投資台灣」, 由經濟部、國防部、教育部、行政院國家科學委員會、行政院農業委員會共同主辦, 於2009年9月24至27日假台

## 2009台北國際發明暨技術交易展-「電性掃描探針顯微鏡裝置」技術

北世界貿易中心舉辦2009台北國際發明暨技術交易展。

本次國研院轄下5個中心共10件專利參與此屆的技術交易展, 其中奈米元件實驗室以美國專利「電性掃描探針顯微鏡裝置」技術參展。本發明提供一種電性掃描探針顯微鏡裝置, 利用長波長雷射光源做為表面成像架構以取得表面形貌影像, 並利用電性掃描偵測感測裝置, 以同步取得對應表面形貌影像之二維電性影像, 避免一般電性掃描探針顯微鏡系統的光學干擾現象, 且僅更改原子力顯微鏡的成像模組, 並未更動成像機制, 極易整合於目前的商用系統架構中, 可取代目前商用的電性掃描探針顯微鏡系統。

今年的技術交易展除國內政府機構、學術/研究機構、績優研發廠商、相關獎項得獎廠商、發明人及相關團體、智慧財產技術服務業者及創業者外, 共有16國發明團體及600家廠商、發明人或研發單位展出創意產品近2,000項專利技術及發明品。4天的展期, 在創5年來新高的近10萬人次參觀下劃下圓滿的句點。

# Laboratories

## 國家實驗動物中心

## 國科會50科學之旅-全國最大實驗動物六星級Animal Hotel大探索



學員聚精會神的聆聽「隔離操作箱 Isolator」的介紹；並在課堂上與講師熱烈互動。

為了慶祝國科會成立50周年，本院動物中心分別於2009年7月16日及11月26日配合辦理50科學之旅系列活動「全國最大實驗動物六星級Animal Hotel大探索」，兩梯次共計吸引了超過百位學員參加。

本次活動內容包括課程及親身體驗兩部份，在第一部份的課程中，同仁以深入淺出的方式，將實驗鼠的居住環境、飼養方式及特殊習性透過生動有趣的內容鋪陳及師生互動，傳達了實驗鼠對人類醫學發展所扮演的重要角色。在享用了美味的午餐後，即安排學員開始第二部份親身體驗的活動。下午的活動以設施導覽展開序幕，學員不僅實地參觀平時難窺其貌的各項動物照護設施，最後在中心同仁的協助下以分組方式親手打造了實驗鼠的高級套房。

經由這一系列精心設計的課程，不僅扭轉了一般人對鼠類藏污納垢的刻板印象，且讓社會大眾對於實驗鼠的角色能有初步的概念並了解實驗鼠對生物科技發展之貢獻，在生動又有趣的活動中達到科教普及的目的。

## 國家地震工程研究中心

## 鋼結構與隔減震技術研討會



鋼結構與隔減震技術研討會全體講員合照。

本院國家地震工程研究中心與中華民國地震工程學會於2009年10月9日，假台大應力所國際會議廳共同舉辦「鋼結構與隔減震技術研討會」。會中由國震中心蔡克銓主任與日本東京工業大學和田章教授等人，向近150名來自工程界與學術界先進，與國內大專院校學生，分享近年來在國內與日

本在鋼結構與隔減震技術方面的研究成果與工程經驗。

研討會中分別由日本和田章教授介紹「結構工學的科學-塑性變形與鋼結構建築之耐震設計」；蔡克銓主任介紹本院國震中心近年來在鋼結構耐震技術方面的研發與推廣應用狀況；新日鐵株式會社白井貴志室長，介紹日本特殊鋼骨結構物的製作及現場工程實例；傑聯國際工程顧問公司張敬禮董事長，介紹目前國內鋼結構設計之垂直載重系統與側向載重系統之設計原理及實例；日本中澤昭伸先生說明日本隔制震結構的設計實例；台大土木系張國鎮主任介紹隔震建築在中間層隔震結構議題之近期研究與應用；台科大營建系黃震興教授介紹建築結構黏性阻尼器阻尼係數分配法；最後由科建聯合結構技師事務所劉紹魁協理介紹中間層隔震結構的實際設計案例。

藉由本次研討會的舉辦，將目前國內與日本之鋼結構耐震設計與施工，及隔減震技術研發與應用介紹給國內工程界，以提供更多元的結構設計選擇，及提升國內建築工程的耐震與隔減震技術。



# 各實驗室動態

## 國家太空中心



影像展照片集錦。

古稱「月牙島」的東沙環礁神秘模樣、或古稱「竹塹」的新竹科技文化花園城，你想從890公里太空向下俯看嗎？新竹市政府與國家太空中心舉辦「福爾摩沙衛星影像展在新竹」，邀民眾從另一角度俯瞰世界，開拓全新的視野。本展覽自2009年11月4日至12月13日在新竹市風城願景館展出。

## 福爾摩沙衛星影像展在新竹

新竹市以全球科技重鎮聞名，尤以近年來，林政則市長更加強建設新竹市為科技文化花園城市。本院國家太空中心成功發射福爾摩沙衛星一號、二號及三號8枚衛星在太空運行，不僅為國人所稱道，且為世界所公認。多年來在國際上防災救災及許多促進民生福祉方面做出重大貢獻，如南亞海嘯、四川大地震、南北極冰川、氣候變遷等，無遠弗屆。此次新竹市政府與國家太空中心將衛星影像的各項應用，以不同主題對外界說明新竹、台灣及世界之著名美景，並透過衛星影像及都市發展模型介紹地方發展概況。

林政則市長及都發處陳章賢副處長蒞臨參加11月4日的開幕典禮，林市長對於衛星影像提供救災、都市計畫的協助，贊揚國家太空中心融入大眾生活的工作方針，讓民眾更瞭解周遭環境與變化。國家太空中心苗君易主任亦表達將陸續至台灣各地區展覽，推廣太空教育。

林政則市長及都發處陳章賢副處長蒞臨參加11月4日的開幕典禮，林市長對於衛星影像提供救災、都市計畫的協助，贊揚國家太空中心融入大眾生活的工作方針，讓民眾更瞭解周遭環境與變化。國家太空中心苗君易主任亦表達將陸續至台灣各地區展覽，推廣太空教育。

## 國家高速網路與計算中心



國網中心於第七屆黃金企鵝獎、與開放原始碼創新應用大賽獲佳績。

2009年，本院國家高速網路與計算中心技術開發團隊參加國內自由軟體大賽屢獲佳績。

首先是格網應用組所開發的MonitorGrid，為一即時視訊處理與多方播放之系統，其研究主要基於國網中心發展之

## 第七屆黃金企鵝獎、2009開放原始碼創新應用開發大賽獲佳績

網路與即時串流等技術，並以自由軟體所開發。此應用研發於日前經濟部工業局所主辦的「第七屆Linux黃金企鵝獎」中，榮獲黃金企鵝獎研發創新獎項。

另由經濟部工業局特舉辦的2009開放原始碼創新應用開發大賽，其主要目的為鼓勵開發者投入自由軟體相關研究，促進國內開放原始碼軟體的豐富應用。國網中心兩專案報名參賽，於此競賽中分別獲得優等與佳作獎項。其兩項專案分別為「高速計算與電子商務網站開發平台」、「Tux2live:泛用型可攜式Linux 之客制化工具」。

相關專案網址：

高速計算與電子商務網站開發平台網址：

<http://sourceforge.net/projects/hpc-portal/>

<http://of.openfoundry.org/projects/1037>

Tux2live專案網址：

<https://tux.nchc.org.tw/trac/tux2live/>

<https://sourceforge.net/projects/tux2live/>

# Laboratories

## 國家晶片系統設計中心

## 沈文仁教授紀念圖書室揭幕活動報導



來訪貴賓與沈教授夫人於圖書室內合影。

本院國家晶片系統設計中心（CIC）為感念中心的催生者沈文仁教授生前對國內積體電路設計研究的貢獻，決議於2009年初將中心原有圖書室改建成為「沈文仁教授紀念圖書室」，改建工程已於2009年11月中旬完工。晶片中心於11月20日舉行紀念圖書室揭幕儀式暨歡迎茶會，特別邀請

沈教授夫人王德粹老師及多位貴賓前來進行揭幕儀式，由中心魏慶隆主任主持，宣揚沈教授熱誠奉獻的教育精神。

歡迎茶會除了由該中心魏慶隆主任致歡迎詞及感謝詞外，也邀請交通大學吳重雨校長、周世傑系主任、黃遠東教授、清華大學林永隆教授、任建葳教授等人，上台與眾嘉賓一同分享及緬懷沈教授生前的點滴，現場溫馨感人，沈夫人一度感動落淚，對於眾嘉賓的誠心祝福也致上感謝之意。揭幕儀式後，由魏主任帶領眾嘉賓參觀紀念圖書室，當陳列於圖書室中心的沈教授生前教學手稿出現在眾人眼前時，也立刻勾起嘉賓們對沈教授教學時的回憶，熱烈的討論氣氛使得現場宛如一場歡樂的同學會。

紀念圖書室除維持原有閱覽區域外，並規劃有中心大事紀展示牆、文宣刊物展示區、中心成果展示區、以及沈文仁教授簡介及手稿展示區，以供後進緬懷沈教授之貢獻，同時也為中心成立至今各項重大活動及成果，作了完整且具體的展示。

## 儀器科技研究中心

## 鏡頭視力檢查我最行-國研院儀科中心光學鏡頭檢測平台成果發表會



國研院陳文華院長主持儀科中心光學鏡頭檢測平台成果發表會。

2009年11月17日本院儀科中心於國研院本部舉行「鏡頭視力檢查我最行-國研院儀科中心光學鏡頭檢測平台成果發表會」，發表鏡頭品質檢測與自行研發機台之具體成果。記者會由陳文華院長主持，多家媒體記者出席，且有多篇精彩報導。

陳院長致詞時表示，本院儀科中心以光學技術著稱，此次發表「光學鏡頭檢測平台」成果，展現儀科中心在鏡頭

品質檢測的能力。蔡主任亦表示，儀科中心向以前瞻儀器科技發展與提升我國儀器技術水準為目標，此發表會除展現儀科中心努力的成果，也展現儀科中心承接衛星酬載研發的能力。

成果發表會藉由簡報與短片，深入淺出地向社會大眾宣傳鏡頭檢測如同眼睛的視力檢查一樣重要。儀科中心在鏡頭品質檢測已建立豐厚技術能量，為提升國內光學鏡頭品質檢測能力，依據國際標準規範，建立全國唯一的鏡頭品質檢測服務平台，除提供產學界高精度鏡頭品質測服務，亦可針對客戶需求客製化數位相機或照相機鏡頭檢測機台。

隨著照相機及數位相機的普及，利用影像進行溝通已為現代人生活方式，高畫素的照相機更需搭配高品質鏡頭，才能得到高畫質影像。儀科中心光學鏡頭檢測平台與客製化檢測機台，可協助由學校到工廠等各應用層面的光學鏡頭品質檢測，對於國內光學鏡頭品質提升具有重要且實質貢獻。



# 各實驗室動態

## 科技政策研究與資訊中心

## 舉辦「學術研究績效評估研討會」



行政院國家科學委員會陳力俊副主任委員蒞臨致詞。

為增進學術研究人員對評估研發計畫意義與實質內涵的瞭解，以提升國內學術研究品質，本院科技政策中心在行政院國家科學委員會的指導下，於98年10月21日假國立台灣

科技大學舉辦「學術研究績效評估研討會」，邀請美、澳、日、泰及我國學者，分別就研究計畫規劃、研發指標設定、評估系統設計與建置等主題發表專論介紹，總計共168名國內學研人員與會聆聽。

21世紀是知識經濟時代，科技發展是各國競爭優勢來源和永續發展的基石，但國家科技實力的提升並非無中生有，必須倚賴廣泛與厚實的學術研究，有好的學術研究成果，才能回饋產業與社會的需求，促進經濟的成長，進而奠定國家長期穩定的發展。研發計畫評估機制的建立，目的在篩選研發計畫與檢視研究的成果，藉此提升研發工作的品質與效率，使國家資源的運用能更具效益。因此，建構良好的研發計畫評估系統與機制，是追求優質研究成果與提升效率的必要條件。此外，為達成國家永續發展的目標，也需要所有的研究人員共同建立學術研究成果應回饋社會的信念，以及對評估系統的認知與瞭解，方能大步的邁向前進。

## 國家災害防救科技中心

## APEC減災長期能力建構架構研討會 Workshop on the Framework of Long-Term Capacity Building for Disaster Risk Reduction in APEC



2009 APEC減災長期能力建構架構研討會會議紀實。

本院國家災害防救科技中心於2009年11月30日至12月1日辦理「APEC減災長期建構架構研討會（Workshop on the Framework of Long-Term Capacity Building for Disaster Risk Reduction in APEC）」，此研討會議

題主軸為回顧2009年在亞太地區各APEC會員體之重大天然災害，藉由在APEC平台上建立長期減災之技術分享，因此除了主辦會員體外，共計有14個APEC會員體報名與會或擔任會議講者，共計約有150人次參與此次研討會。

為期兩天「APEC減災長期能力架構」研討會中達成結論及未來努力方向為：促進有關氣候相關之自然災害長期區域性合作；持續加強支援遭受災害侵襲之APEC會員體；與APEC會員體下各專門的防減災中心建立聯絡管道提供具有系統性及完整性的災害防救工作，最後期望在緊急應變任務小組下可有更多不同會員體及跨領域之討論及合作。透過會議上討論及建議，對亞太地區長期減災能力架構之建構具有實質貢獻。並藉由我國多年來災害防救之各項經驗累積，有效整合各方資源，使各會員體皆能減少災害帶來的損失並做到事前的預防工作。

# Laboratories

## 台灣海洋科技研究中心

### 2009台灣海洋產業專區建構論壇



與會貴賓們一同主持開幕啟動儀式（左起：國研院吳副院長、遊艇公會呂嘉揚理事長、高雄海洋科技大學周熙仁校長、成功大學黃煌輝副校長、高雄縣楊秋興縣長、海洋中心邱逢琛主任、中山大學海科院劉金源院長）。

本院海洋中心與高雄縣政府、成大水工所、中山大學海科院、高雄海洋科技大學以及遊艇公會於2009年12月18日在高雄縣共同舉辦一場「台灣海洋產業專區建構論壇」研

討會，由高雄縣楊秋興縣長、慶富造船公司陳慶男董事長、國研院吳副院長、以及海洋中心邱逢琛主任擔任開幕式的致詞貴賓，與會的專家學者超過百位，針對四大主題「遊艇製造」、「漁業生技」、「海洋科技」與「遊憩休閒」進行熱烈的討論，希望藉由這場結合產、官、學的海洋論壇的舉辦，喚起政府積極推展海洋產業的升級與發展。

為分享國內外海洋科技學術與相關產業推動經驗，研討會以四大領域為主題進行，探討並建議海洋產業未來發展。台灣是海洋國家，海洋資源豐富，尤其是南台灣的海洋產業結構有很大的成長空間，有漁港、商港，漁業興盛，產業繁盛，適合發展海洋科技、休憩相關產業，加上高雄縣政府積極推動遊艇法，若能設置遊艇專區，將能讓民眾更親近海洋，帶動海洋休閒產業發展。與會人士幾乎一致同意並希望政府能對於國內的海洋產業投入更多的經費資源，而未來由於海洋中心將進駐興達港，不僅有助於南台灣研究能量的提升，同時對南部經濟、產業、或就業機會，都將有莫大助益。

## 颱風洪水研究中心籌備處

### 地表下有限元素水流、熱傳與生物物傳輸及擴散模式訓練課程



2009「HYDROGEOCHEM & BIOGEOCHEM模式訓練」國內外講者與學員合影集錦。

本院颱風中心籌備處於2009年11月9~12日在國網中心中部事業群，與中央大學水文與海洋科學研究所合作舉辦「地表下有限元素水流、熱傳與生物物傳輸及擴散模式教育訓練」。由本院颱風籌備處特聘研究員葉高次教授所發

展在二維及三維次表面上結合流體流動、熱傳輸、水力傳輸、和生物地質化學反應的模式-HYDROGEOCHEM & BIOGEOCHEM，可應用於飽和及不飽和地質上多物質與多成分的化學傳輸。曾在美國賓州大學等學術單位開授訓練，許多歐美研究者均曾學習應用於工業與農業污染務傳輸之化學反應、放射性物質之擴散行為研究。

報名參加訓練者將近50名，包含許多政府機關研究單位與大學教授、研究生前來研習。此次訓練課程由葉高次教授主講，並邀請美國Sandia國家實驗室Malcolm Siegel博士、中央大學水文與海洋科學研究所李明旭教授、台灣大學生物環境系統工程學系劉振宇教授擔任特別講師。藉由此模式的介紹以及線上操作工作坊的方式訓練，教授學員在模式應用過程中所可能遭遇的困難與瓶頸，進而追求突破，而且也希望將此模式，參考國外經驗，對台灣進行土地復育、水文模式發展、及生化傳輸模式發展的研究者，乃至核能環境現地評估等學術研究及實務應用，有所助益。



## 國研科技 徵稿 啟示

**主要目的**：增進本院各實驗研究單位間之互相了解與交流、對外提昇本院知名度與形象

**徵稿內容**：與本院任務相關之通識性科技文章或活動報導

**徵稿對象**：國研院同仁及參與本院計畫人員，文章刊登後依本院「稿酬給付辦法」致贈稿酬

**出 版**：每年1月、4月、7月、10月出刊，每季截稿日期為出刊前二個月

**聯絡人**：稿件請以電子檔寄至院本部蔡智華小姐 [chtsai@narl.org.tw](mailto:chtsai@narl.org.tw)

**敬請支持、踴躍投稿**

國研科技  January 2010 No. 25  
NARL Quarterly

**榮譽發行人**：李羅權

**發行人**：陳文華

**副發行人**：王永和、吳光鐘

**編審委員**：邱逢琛、李穎昀、余憲政、林博文、苗君易、陳亮全、  
梁善居、陸璟萍、葉俊雄、楊富量、楊龍杰、蔡克銓、  
蔡定平、蔡俊輝、蔡深浩、蔡惠峰、魏慶隆

**總編輯**：陳明智

**執行編輯**：蔡智華

**編輯小組**：王頌雯、杜佳穎、吳佳穎、何鳳珍、吳靜文、邵守麗、  
施美合、黃心寧、張嘉修、謝家平、魏孟秋

**設計印刷**：肯迪思創意有限公司

**發行所**：財團法人國家實驗研究院

**地 址**：台北市（106）和平東路二段106號3樓

**電 話**：02-2737-8000

**傳 真**：02-2737-8044

**網 址**：<http://www.narl.org.tw>

## 美 藝 鑑 賞

### 兒女成群

相 機 / CANON 40D

CANON EF 24-105 f/4L USM

**作品簡介 /** 台南鄉下的養鴨人家，千百隻黃澄澄的小鴨吱吱嘎嘎流滿一地，身處其中，需要小心翼翼移動，才不會枉踩任何一條小生命。主人扔來三隻大鴨，隊伍散開又合聚，形成圈圈將大鴨團團圍住，煞是可愛。

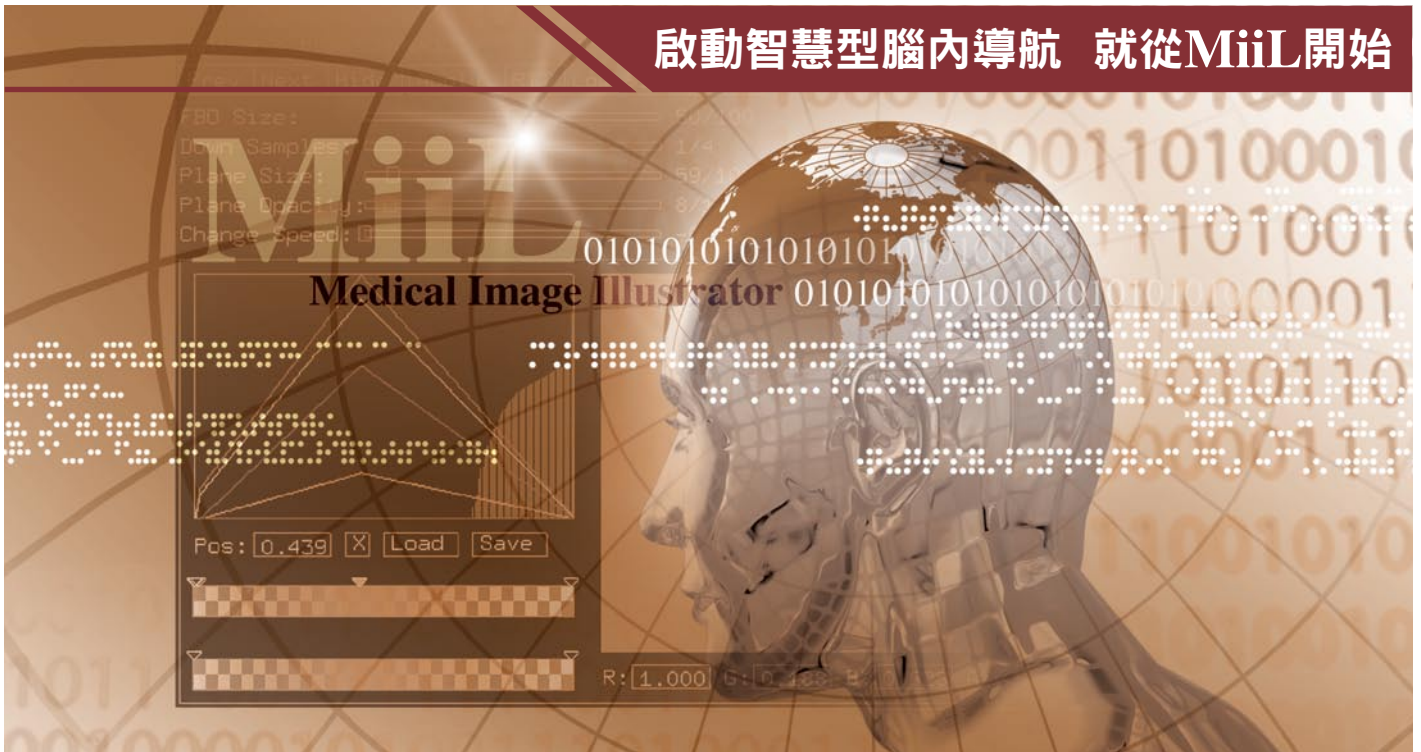
**作者簡介 /** 張斯倩小姐為本院國家太空中心管理師。



# MiiL 醫療影像處理軟體

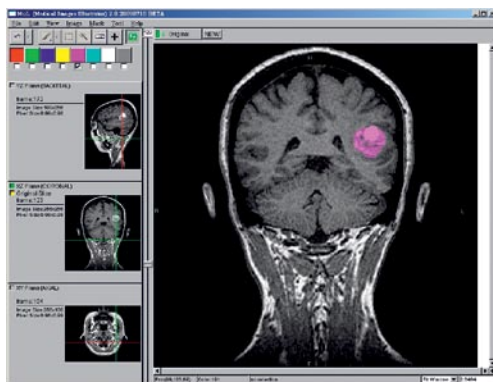
Medical Image Illustrator

啟動智慧型腦內導航 就從MiiL開始

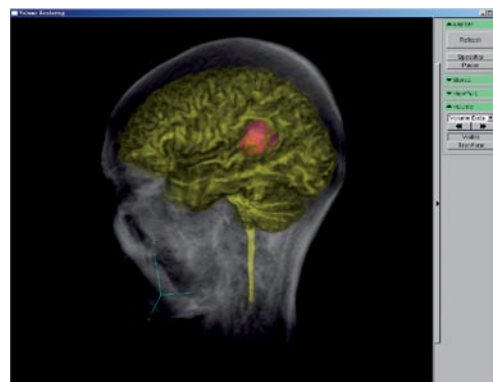


國研院國網中心科學視算實驗室基於多年高速計算與視算模擬的核心技術，所開發的Medical Image Illustrator(簡稱MiiL)，是專為醫療研究人員所設計開發的醫療影像處理軟體，針對不同情況的療影像特性、與觀測目的，提供多樣影像處理及3D即時呈現功能，此外，並有援所有醫療影像格式、巨量資料處理、4D資料處理、及立體播放等領先業界的特點。透過MiiL，您能自由地觀測病患的三維影像與任意的截面影像，即時瞭解最真實的情況，作出最佳的診斷與手術規劃。

想要探索人體的奧妙，就從最視覺化的3D醫療影像處理軟體**MiiL**開始！



功能強大而操作簡便的使用者介面



大腦神經纖維束與腫瘤整合顯示

瞭解更多關於MiiL的資訊 [viml.nchc.org.tw](http://viml.nchc.org.tw) 國家高速網路與計算中心 [www.nchc.org.tw](http://www.nchc.org.tw)