



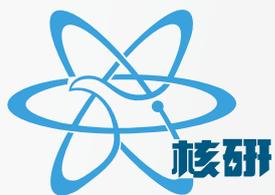
ISSN: 1812-3295



行政院原子能委員會 核能研究所

102年年報 中華民國103年4月出版

2013 Annual Report



行政院原子能委員會

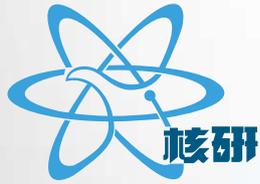
核能研究所 102年年報

Institute of Nuclear Energy Research
Atomic Energy Council, Executive Yuan

2013 Annual Report

行政院原子能委員會核能研究所 編印

中華民國103年4月出版



行政院原子能委員會 核能研究所

102年年報

2013 Annual Report



目錄 Contents

壹、序言	4
貳、人力與經費	6
參、重要大事報導	8
肆、研發專題報導	16
一、核能安全科技研究	17
1.核反應器結構與組件行為研究	18
2.核電能源系統生命週期之放射性廢棄物管理技術發展與應用	20
3.執行老舊核設施清理作業	26
4.核能技術產業化平台之建構	29
二、環境與能源科技研究	31
1.電漿在綠色節能環境之開發與應用	32
2.太陽光發電系統技術發展	36
3.高溫燃料電池發電技術與系統發展及應用	40
4.淨碳技術發展	44
5.分散式電力能源與風能系統工程技術發展	47
6.纖維酒精量產技術研發	50
7.我國能源科技及產業政策評估能力建置	54
三、輻射應用科技研究	57
1.輻射生物醫學研發與推廣應用	58
2.放射奈米癌症診療及其他應用技術之發展	69
3.本土好發性疾病輻射應用及分子影像技術平台	72
4.銻-188 MN-16ET/利比多肝癌治療新藥之開發與應用研究	74
伍、附錄	79
■ 榮譽報導	80
■ 專利	85



壹、序言

新的起跑點、新的使命

— 融圓的「核能研究所」

核能研究所成立於民國57年，是我國從事原子能、能源開發與輻射應用的專責機構，願景為針對國家能源安全、環境保護及國民健康，提供完整的技術解決方案。近年來配合國家能源政策發展需求，逐年擴展研發能量至新能源、再生能源與節能減碳等領域，並參與能源經濟政策研究，相關成果獲國家及民眾肯定。

我們配合政府組織改造，即將轉型改隸「經濟及能源部」，並更名為「能源研究所」，持續協助落實我國能源政策—「確保核安、穩健減核」、「打造綠能低碳環境」及「逐步邁向非核家園」。轉型改隸對我們是新的起跑點、新的assignment (使命或任務)，更要不斷精進專業能力、創新務實、熱誠服務，發揮智慧，以融合圓滿解決問題為目標，為國家人民、以至於全地球的永續發展盡最大的努力。

我們在全體同仁共同努力之下，除致力於核能相關技術研發與應用外，近年來在新能源、再生能源及輻射應用領域之研發成果與產業應用成效大幅提升，略舉具體成效如下：

在2011、2012、2013台北國際發明暨技術交易展成果豐碩：2011~2013年台北國際發明暨技術交易展中，合計3年內共榮獲1鉑金、13金、3銀、12銅共29面獎項肯定，另完成2項技術授權、19項合作開發、4項技術服務、10項合作意願書、1項技術移轉及2項先期參與共38項技術簽約，歷年研發績效持續長足進步。



Preface

有三項核醫藥物及一項醫材研發，分別榮獲第九、十屆國家新創獎：「銻-188微脂體體內放射治療藥物」、「血清素轉運體造影劑[¹²³I]ADAM開發及其憂鬱症之臨床應用」榮獲第九屆，以及「核研肝受體造影劑」、「高階影像醫療器材－乳房專用正子攝影儀開發」榮獲2013第十屆。在2013國家發明創作獎部分，我們的「固態氧化物燃料電池及其製作方法」榮獲銀牌殊榮。

另在產業應用方面：我們與陶瓷基板大廠簽訂「固態氧化物燃料電池(SOFC)陶瓷基板支撐型單元電池製作技術」授權合約，將此先端技術轉入產業應用。預期在半年內達到量產規範，再由第三方產品認證，將可在國際SOFC產業鏈上占有一席之地。我們建立了亞洲地區唯一可工程放大及驗證之生質酒精多元進料前處理技術(稻稈、蔗渣)，較原製程節省材料及設置成本，具商業推廣潛力。我們開發的聚光型太陽電池模組為國際第一個經UL體系認證，同時獲得IEC 62108：2007產品合格證書與UL8703產品安規合格證書兩種證書之產品，協助我國相關產品認證進軍國際。垂直軸風機分析技術已列入兩岸CNS(臺灣)與GB(大陸)標準公告實施，完成兩岸垂直軸風機共通標準，日本方面亦列入其小型風機標準JSWTA0001參考。

我們全方位考量國家需求與配合政府政策方向，具體落實在堅實的系統整合研發經驗，我們已累積相當之能源技術能力與能源策略研析經驗。改隸後融圓的核能研究所，更將以能源經濟之政策研究，導引科技之發展方向，並落實於產業經濟與民生福祉，共同再為「針對國家的能源安全、環境保護、國民健康，成為能夠提供完整的策略與技術解決方案之研發機構」的願景而努力。

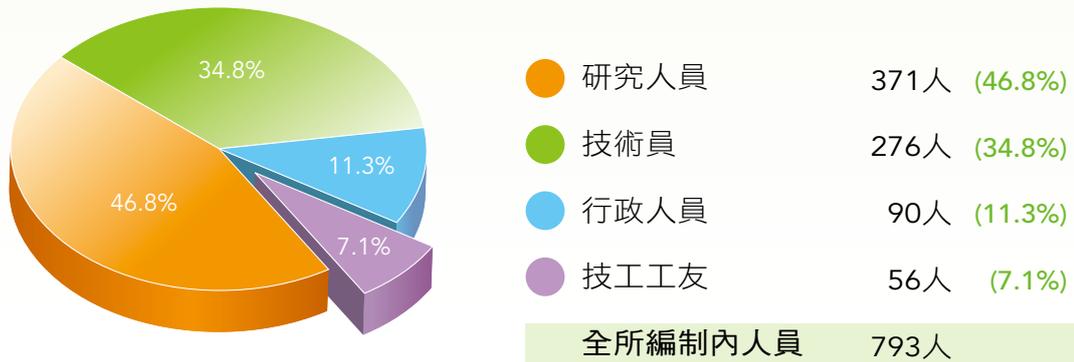
核能研究所 所長

馬殷邦

貳、人力與經費

(資料時間：102年12月)

102年度 核研所編制人力分配圖

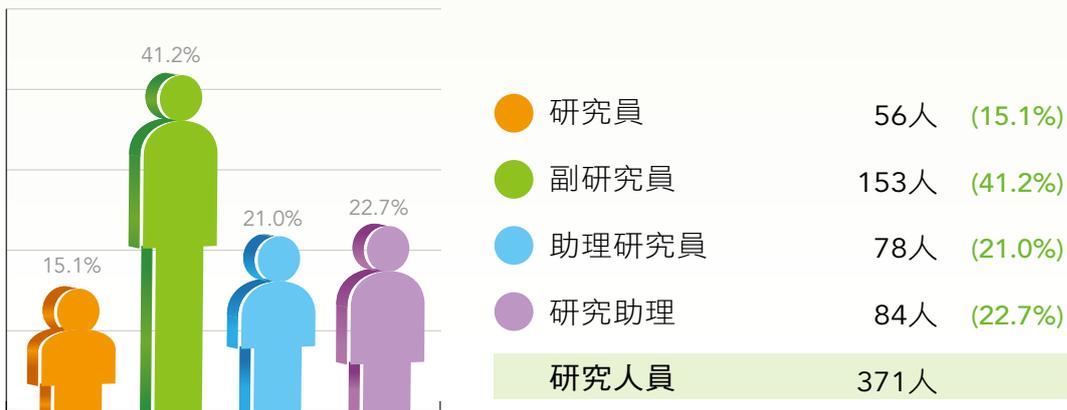


102年度 研究人員學歷統計圖



Human Resources and Budgets

102年度 研究人員職稱分類統計圖



102年度經費支用概況

單位：千元

項次	決算數	百分比
一般行政	1,250,714	56.28%
核能科技計畫管考、設施運轉維護及安全	104,622	4.71%
核能科技研發計畫	728,896	32.80%
■ 核能安全科技研究	165,427	7.44%
■ 環境與能源科技研究	362,166	16.30%
■ 輻射應用科技研究	201,303	9.06%
推廣核能技術應用	137,970	6.21%
合計	2,222,202	100.00%



參、重要大事報導

Events of the Year



3-1 能源經濟及策略研究中心簡介與亮點成果

為因應全球能源議題的多元與日益複雜化，政府希望國內相關機構在能源經濟研究方面除須加強中、長期的分析規劃及厚植研究能量外，亦應持續進行能源經濟研究、專業人才的培育工作。為此原子能委員會核能研究所於103年1月將原有的「能源系統與經濟研究室」，擴編為「能源經濟及策略研究中心」(以下簡稱本中心)。新組織架構包括能源系統、能源經濟、能源策略及能源資訊統計等四個分組；成員專長涵蓋理、工、商、社會等領域，共計24位。研究目標如下：

- 一、能源政策與策略之研究
- 二、能源產業技術地圖研擬規劃
- 三、能源資料庫平台及國家級3E (Energy, Economy, Environment) 整合評估模型建置與維護

在102年裡為配合政府推動『確保核安、穩健減核、打造綠能低碳環境、逐步邁向非核家園』政策議題討論，本中心秉持專業研析，共計完成29份簡評或分析報告；提供給行政院高層參議。主題涵蓋：(1) 有關我國中長期電能最適規劃議題，完成「我國中長期電力供需趨勢及情境分析」、「替代能源情境組合分析」、「核四商轉之供給評估分析」等報告。(2) 完成「IEA估算之2010年發電技術均化成本說明」報告。(3) 協助確認行政院文宣品內容並提供相關參考資料。(4) 協助行政院回覆民眾提出之問題。以上報告之論述重點在議量不同能源配比與政策選項下，呈現整體社會的成本效益變化，以供決策者進行多元評估與交叉驗證。

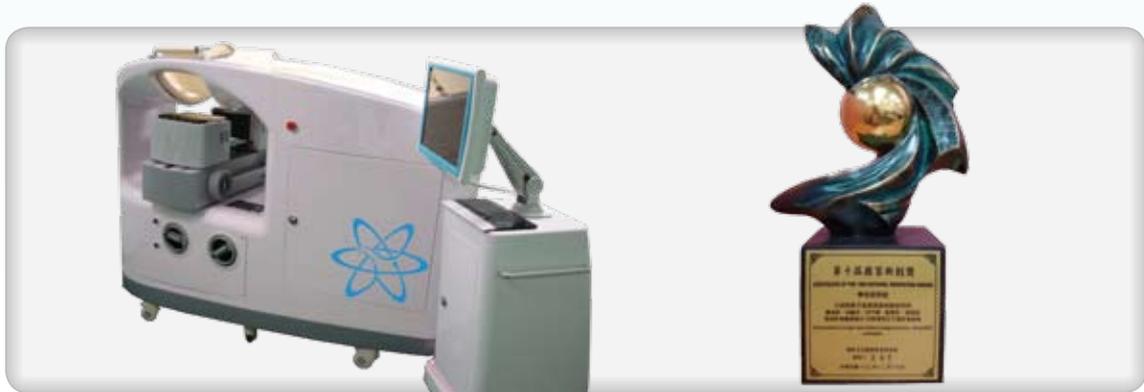
此外，有關我國用電零成長之電力規劃與減碳分析研究方面，本中心以MARKet ALlocation-Elastic Demand Model (MARKAL-ED)能源系統工程模型，在用電零成長且不發展碳捕捉封存技術為前提下，估算不同情境的發電成本與排碳量，提供政府達成減量政策目標之參議。研究結果顯示，我國現階段的溫室氣體減量目標過於本土資源條件，除了可能造成經濟衝擊外，電力基礎設施在規劃上亦有相當困難，建議政府應適時修訂碳排放減量目標。若要維持既定之溫室氣體減量目標，則必須藉由設置更多的再生能源、發展碳捕捉封存技術、使用核能以及用電負成長才能達成目標。

另一方面，由於能源服務需求價格彈性為MARKAL-ED模型之關鍵參數，唯過去台灣相關單位僅沿用國外模型設定值，然而能源服務需求價格彈性設定，對一國能源政策分析結果影響甚大，高估會對需求面管理過於樂觀，低估則會產生大量無謂投資。為使模擬結果更趨於實際，本中心從2012年起，針對台灣能源服務需求價格彈性參數進行一系列的盤點更新，現已完成住商、工業、運輸等部門重要技術之推估。

展望未來，配合政府組織改造進程，核能研究所將改隸經濟及能源部，並更名為能源研究所，因應業務職掌的改變，本中心對於相關領域專業人才之需求與新研究方法的引進將更為急迫。具體工作為將目前MARKAL模型升級至可與國際接軌之TIMES模型，同時亦將更深化Computable General Equilibrium Model (CGE)等經濟模型的自主性，以利後續的研究精進與提升政策研擬能力。

3-2 榮獲第十屆國家新創獎－核能研究所乳房專用正子攝影儀高階醫療器材開發

「讓新創被看見，讓新創改變世界」，本所設計開發高階影像醫療器材－乳房專用正子攝影儀，產品研發方向明確，通過相關醫材法規驗證與實際進行人體臨床試驗，並獲得多項專利，具新創價值與市場競爭力，榮獲國家生技醫療產業策進會主辦之第十屆國家新創獎，為我國生技醫藥技術創新研發的最高榮譽。



▲核能研究所開發乳房專用正子攝影儀榮獲第十屆國家新創獎

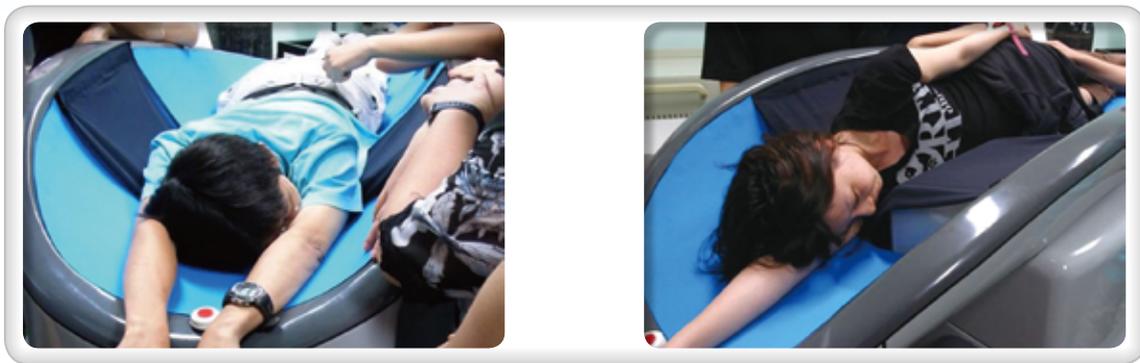
■ 乳房專用正子攝影儀高階醫療器材開發

過去癌被視為歐美女性較易發生的癌症，但根據國民健康署最新統計，近20年來台灣女性乳癌的發生率增加了4.8倍，位居亞洲第二，僅次於新加坡。目前乳癌發生率及死亡率均高居我國女性癌症第一位，且有年輕化趨勢。國人年輕女性乳癌發生率比年長者高，乳癌好發年齡介於41至50歲間，較歐美平均年輕了10歲。隨著台灣青壯年女性乳癌發生率「超英趕美」，此族群女性的乳房檢查與乳癌防治是不容忽視的議題。乳癌若能及早發現提早治療，治癒機率相當高，但目前X光乳房攝影對於緻密型乳房較難發現存在的病變，而東方女性及年輕女性乳房緻密度通常較高，影像更不易判讀。而超音波適用 >0.5 cm以上腫瘤，較倚賴操作人員的經驗，早期乳癌容易誤診。核磁共振對於乳癌檢查的敏感度高，但價格昂貴，檢查時間較久，且因其過於敏感，偽陽性也偏高，不是惡性腫瘤的病灶也會顯影。在美國現行乳癌檢查有86%偽陽性，造成每年24.5億美元的健保系統資源耗費。核研所開發乳房專用正子攝影儀可望提供上述問題解決方案，其高解析度和可分辨良惡性腫瘤的特性，提升了早期乳癌檢測能力，可輔助現行乳房攝影的不足並應用於治療前評估及治療後療效追蹤。

醫學影像2012年全球整體市場達380億美元，其中以放射影像類產品占52%為最大，核能研究所以多年輻射偵測、放射成像經驗為基礎，切入輻射民生應用，以日益獲得重視之婦女健康照護(Women healthcare)議題為主軸，利用我國資通訊優勢技術，設計開發東方女性適用之INER BreastPET。INER BreastPET因應未來個人化醫學需求及市場考量，以特定部位專用型儀器概念導入，避開與國際大廠競爭，更適合小而美的公司投入，為台灣廠商開闢生技藍海。

在本屆國家新創獎競賽中，以具新創價值與市場競爭力獲評審青睞的INER BreastPET，整機系統國人自主設計，至103年2月底前已獲美、日等國內外9件發明專利，8件專利申請中。INER BreastPET核心專利如獲多國專利之特殊有限角度二維造影三維成像技術，僅需來自兩個不旋轉之偵檢探頭偵測數據，充分利用斜角度數據成像獲得三維斷層影像，再配合精確物理模型與加速技術，可利用少量有限偵測數據，兼顧高準確性與運算效率，創造最佳的系統性能。該方法102年獲台北國際發明暨技術交易展之發明競賽區金牌獎。

INER BreastPET造影病患以趴姿進行乳房檢測，特殊專利設計可有效減小胸壁(chest wall)檢測死角並增大偵檢範圍，提升儀器的乳癌偵檢能力；檢測時乳房自然下垂不擠壓，無疼痛與不適感，而腋下淋巴偵測模式可探知乳癌轉移可能性。其他如效率校正、改良式幾何模型等專利，有效提升INER BreastPET影像品質，降低背景雜訊，為系統優化和未來產品性價比提升之重要技術，整體專利組合亦為提高廠商承接關鍵。



▲INER BreastPET之趴式與腋下檢測方式

INER BreastPET於101年技術移轉國內資通訊大廠，達成研發技術產業第二棒交接任務，為維護國人健康與產業經濟需求開拓新的道路，未來本所更將戮力結合產業能量，共同打造醫療電子新未來。

■ 初步臨床試驗表現亮眼

INER BreastPET於台大醫院進行首例人體試驗前，利用高解析度假體先進行造影驗證並與全身正子造影儀比較，如圖顯示INER BreastPET有相當好的解析能力。INER BreastPET自102年8月起在台大醫院由核醫部曾凱元主任和乳房外科暨乳房醫學中心主任黃俊升教授主持人體造影試驗。相較傳統X光乳房攝影、超音波和正子斷層掃描(PET/CT)檢查，由迄今累積之21例統計，可多偵測出11.5%的小腫瘤，對婦女乳癌診療已展現初步影響力，有助於手術前及治療評估，為乳癌診斷治療新利器。如圖顯示，一位72歲女性之左乳，以PET/CT、超音波造影只能發現1顆約1.9 cm腫瘤，而於INER BreastPET則另發現一顆其他造影儀器遺漏之約0.5 cm腫瘤。這顆腫瘤經病理切片證實存在且為惡性。而此例之小顆腫瘤所在位置接近胸壁，這亦證明特殊專利機台設計可有效檢測胸壁死角。

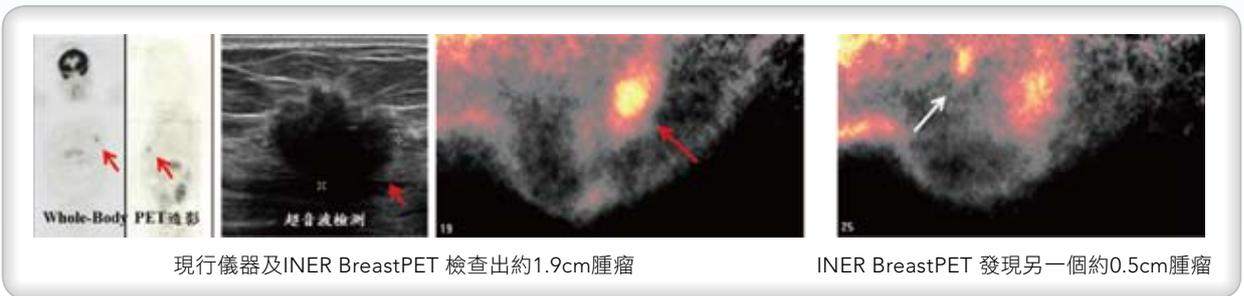


Derenzo假體照片

GE Discovery ST-16 造影結果

INER BreastPET 造影結果

▲台大醫院高解析度假體造影實驗



現行儀器及INER BreastPET 檢查出約1.9cm腫瘤

INER BreastPET 發現另一個約0.5cm腫瘤

▲INER BreastPET人體造影功效驗證

■ INER BreastPET開發過程及重要紀事

- 98年研發團隊在經濟部經費補助下完成雛型儀系統開發，之後繼續推展系統優化與臨床前測試如動物實驗、系統效能實驗等。
- 100年INER BreastPET經台灣電子檢驗中心檢驗，通過醫療器材IEC電性安全驗證，獲IEC 60601-1電性安全、IEC 60601-1-2電磁相容檢驗合格證書，為台灣高階大型醫療器材獲證首例。
- 101年INER BreastPET與國內資通訊大廠簽署技術移轉合約，該公司成立醫療器材專責公司執行商品化上市業務。
- 101年本所與台大醫院合作，INER BreastPET臨床試驗計畫通過衛生署食品藥物管理局(TFDA)與台大醫院人體試驗委員會(IRB)審查。



▲INER BreastPET電性安全及電磁相容檢驗合格證書



▲臨床試驗計畫通過衛生署及台大醫院審查

- 102年8月7日INER BreastPET於台大醫院由核醫部曾凱元主任和乳房外科暨乳房醫學中心主任黃俊升教授主持進行首例人體造影試驗，初步顯示可多發現11.5%超音波和PET/CT未檢出的小腫瘤，降低乳癌檢測偽陽率，有助於手術治療評估。

本所以累積40餘年的輻射研發能量應用於INER BreastPET之開發，由基礎技術至系統整合，一步步從雛型機、臨床前安全驗證走向人體試驗，後續將輔導技轉商落實政府研發成果商品化上市，嘉惠東方婦女。同時期望能蓬勃台灣生技醫療產業發展，創造資通訊產業的第二春。

參考資料：

- 衛生福利部國民健康署 2013
- 康健雜誌120期2008/11
- Frost & Sullivan 2011
- Globocan 2008
- TriMark Publications 2006

3-3 電漿鍍膜在智慧節能生活應用研發

為配合國家綠色環保及住商節能發展策略，本所以核心電漿環保製程技術朝輕、薄、可撓曲的全固態薄膜太陽能電池、薄膜電致變色、薄膜隔熱及薄膜光熱轉換等關鍵節能元件組成的整合系統開發，運用於民生節能產品及零碳排放建築等，開創國內下世代綠色能源節能新產業。102年重要研發成果如下：

(1) 高性能低輻射(Low Emissivity, Low-E)隔熱節能膜

本所的Low-E隔熱節能膜，整體技術從上游薄膜元件機制設計模擬，中游量產製程及系統設備整合開發至下游成捲成品產出，一氣呵成，完全本土化，自立自主。於2013年台北國際發明展中，分別以貼合成80 cm × 120 cm玻璃節能窗組及封裝懸浮於雙層玻璃中間之40 cm × 160 cm懸膜節能窗組展現，讓民眾實際體會高清晰透視下仍呈現高隔熱效果。核研所目前已與國內最大隔熱膜生產廠商，簽訂可撓式高階節能膜先期參與合作案，對高門檻之捲揚式電漿鍍膜技術推廣至高性質節能膜產業邁出一大步。



- ▶ Low-E 40 cm × 160 cm懸膜節能窗及120 cm × 80 cm貼膜節能窗組

(2) 電致變色節能膜

本所以核心電漿製程技術開發電致變色節能薄膜元件，完成電漿濺鍍 $30 \times 30 \text{ cm}^2$ 電致變色 WO_3 及 NiO 薄膜模組單元，並以2.4 V電壓進行模組驅動，電致變色模組光學變化率為40%(穿透率變化範圍介於70%~30%)，並以此6片模組單元組裝成 $80 \times 100 \text{ cm}^2$ 電致變色節能窗模組，搭配居家節能窗應用實境提供民眾實質體驗，使節能技術有效融入日常生活，於2013台北國際發明暨技術交易展中展出，相關專利獲得發明銅牌獎，並與科技公司簽訂電致變色模組開發合作研究案，及與光電大廠簽訂電致變色模組技術服務案。



▲80cmx100cm電致變色節能窗模組



▲150cmx90cm可撓式薄膜太陽能電池模組

(3) 可撓式太陽能電池模組

本所以自行開發捲揚式電漿製程技術發展低成本可撓式薄膜太陽能電池，除有效降低太陽能電池製作成本外，並與居家應用搭配如窗戶、百葉窗、陽台及室內照明等，提供居家節能的實質效益體驗，加速再生能源於節能應用的推廣。102年完成於 135°C 封裝單片可撓式太陽電池，並以24片 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 可撓式太陽電池組成 $120 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$ ，25 W可撓式太陽能電池模組，和以18片 $25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}$ 可撓式薄膜太陽能電池組成 $900 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$ ，21 W可撓式薄膜太陽能電池模組)。以室內LED燈投射即可產生電力，展現輕薄可撓曲且具室內照明光資源回收節能概念，於2013年台北國際發明展展出。

電漿鍍膜技術升級於高性能節能應用，已具成效，102年針對輕薄可撓之節能元件作特定優質性能開發，初期個別元件功能以家居智慧節能之應用例公開展示，並尋求產業參與精進，朝實用節能產品進一步開發。其次個別元件間之一體化整合如可撓式薄膜太陽電池與可撓式電致變色整合成一體，前者電力直接驅動後者，使具智慧調節光穿透之功能；亦可與可撓式薄膜蓄電池整合成一體薄型移動式電源，提供下世代可撓式3C產品之應用利基，這些規劃均是未來綠色能源節能新產業發展之方向。

3-4 開啟纖維酒精產業化之門

本所在配合國家生質燃料推動政策下，以不與人爭糧之生質物為料源，在逐步降低對石油之依賴、降低二氧化碳排放及打造新興低碳產業等目標下，長期致力於纖維酒精技術研發，近期更在本所導入積極彈性的產業化策略後，在落實科技研發成果產業化的目標上亦有了相當重大的進展，促成本所纖維酒精技術展露產業化的曙光。

目前本所開發之纖維酒精製程技術已具備國際競爭力，但生質料源的取得仍視為現階段纖維酒精產業化的關鍵瓶頸。面對國內生質酒精政策仍在研議階段，大宗農業廢棄物的集運技術與經驗亦有待建立，因此在產業化推動策略方面，本年度積極採用與既有工廠共構建置纖維酒精廠及利用該工廠衍生之富含纖維的廢棄物為料源的策略進行產業化推廣，打造解決廢棄物處理需求、展現廢棄物新價值及降低纖維料源集運成本的三贏營運模式，據此目前已陸續與化工業、合板業、造紙業、油品業等不同類型產業洽談合作及技術授權，並已成功促成1家合板產業與本所合作，期運用國內自行開發之技術將該廠的板材剩餘物轉化為酒精及化學品，於3~5年內在東南亞地區建立具指標性的纖維酒精商轉廠。

另一方面，在上述與既有設施共構的思維下，本年度亦拓展了非糧生質料源的運用空間。鑒於國內現階段缺乏可大量處理的廚餘再利用方法，台北市環保局內湖焚化廠即委託本所進行廚餘酒精試辦作業研究，協助其建立廚餘轉化酒精技術，以尋求具創新性及加值化的方法，協助國內解決環保問題。據此本所已充分運用纖維酒精核心技術的研發經驗，協助北市建立廚餘轉化酒精處理流程及其多元化再利用展示平台，相關成果不僅促使台北市環保局規劃於103年起建置中規模廚餘酒精示範廠，作為未來廚餘再利用於生產酒精的政策研擬基礎，並已陸續獲得多家媒體重視，天下雜誌更於102年10月533期刊載介紹有關北市自本所取得廚餘酒精技術，同時刊載本所持續發展廚餘酒精及纖維酒精技術，並不遺餘力測試各種料源，致力於推動生質酒精產業化的成果，進一步彰顯本所執行之纖維酒精研發之應用價值與潛力。

由上述可知，本所於纖維酒精技術產業化已有重大的突破，後續除了將持續進行降低生產成本及建立關鍵設備工程放大技術，協助產業單位建立纖維酒精商轉廠，近期並規劃拓展纖維酒精核心技術的應用範疇，建立可併同生產生質燃料、生質化學品及生質電力的多元纖維料源轉化製程，協助國內打造兼具低碳及高值化特徵的生質精煉產業。



核研

核能研究所 102年年報

肆、研發專題報導

Current Major R&D Activities



一、核能安全科技研究

總統於100年11月3日公布國家新能源政策，宣示「確保核安，穩健減核」，主張核四廠必須確保安全才進行商轉；既有核電廠不延役，並依規定展開核電廠除役計畫。

本所向為國內最大從事核能技術研究的國家級研究所，提供支援核安管制和核電營運方面應具備的技術與評估，開發核電生命週期各個階段多種技術，並推廣應用。本所遵循國家新能源政策，以務實穩健的態度，持續致力核能安全技術研發，協助維護國內核能電廠安全，並積極開發核後端技術，期能有效解決核廢問題。逐步邁向非核家園，達成三贏的政策目標—能源安全、環境保護、經濟發展。

核能安全科技領域在本(102)年度的研究工作，仍延續過去三年的計畫主軸：成立核安技術研究中心，完善核能安全與輻射防護管制技術，提供有效可信的技術支援與評估分析，確保核能安全；研擬設立核後端研究中心，研究核後端營運管理與核設施清理、除役相關技術，建立本土化放射性廢棄物處理與處置能力，努力邁向穩健減核目標；開發核能專業技術，掌握自主關鍵能力，推廣應用於國內核電，提升核能發電績效。本年度之重要研發成果說明如下：

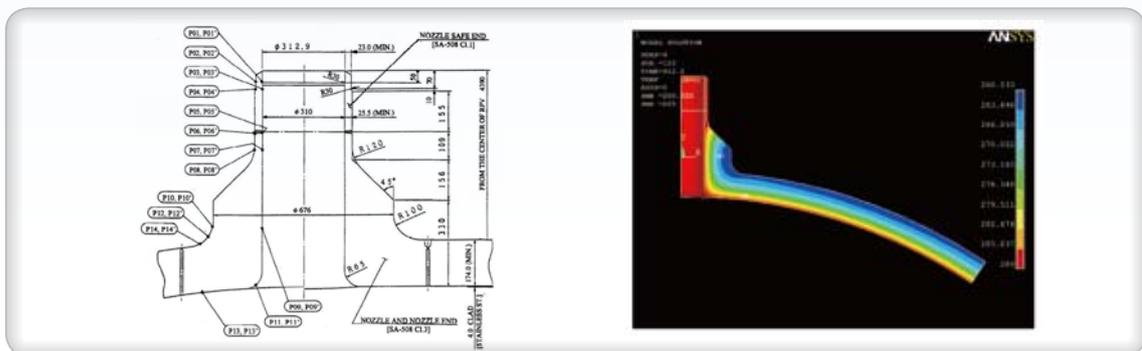
- (一) **核安管制技術研究**：發展三維應力有限元素分析技術、開發 BWR環境對核電廠組件疲勞壽命的影響評估技術、完成龍門電廠土壤結構互制分析，提高核電廠結構地震分析精確度。
- (二) **放射性廢棄物管理技術發展與應用**：完成燃料池水淨化處理單元建置、完成鈾粉安定化處理程序驗證、完成難處理放射性廢液處理熱測試、精進最終處置技術。
- (三) **執行老舊核設施清理作業**：建立高活度廢樹脂清理技術，研發濃縮廢液固化技術，建立高活度廢樹脂遙控吸取再包裝設備，完成TRR爐體廢棄物拆裝廠房設施十年再評估。
- (四) **核能技術產業化平台建構**：推廣功率提昇技術應用，協助核二廠完成功率提昇申請；完成核電廠覆銲技術自主開發，建立本土化核能管路覆銲維修團隊；核能級儀控認證技術獲得國際等級SIL-3認證；協助核二廠獲得用過核子燃料乾式貯存安全分析審查核備。

1 核反應器結構與組件行為研究

■ 執行情形

本研究為進行核反應器結構與組件行為研究，包括核反應器結構組件完整性評估與高燃耗燃料護套性質研究兩項重點工作。旨在建立核反應器結構完整性評估技術與標準評估流程，並研究燃料護套的機械性質，以作為我國核安相關單位管制決策之參考。重要技術工作內容如下：

- (1) 依實際龍門電廠管嘴組件的尺寸與設計負荷，完成三維有限元素分析模型建置，並利用有限元素分析軟體ANSYS進行結構應力分析，發展組件三維應力分析技術。

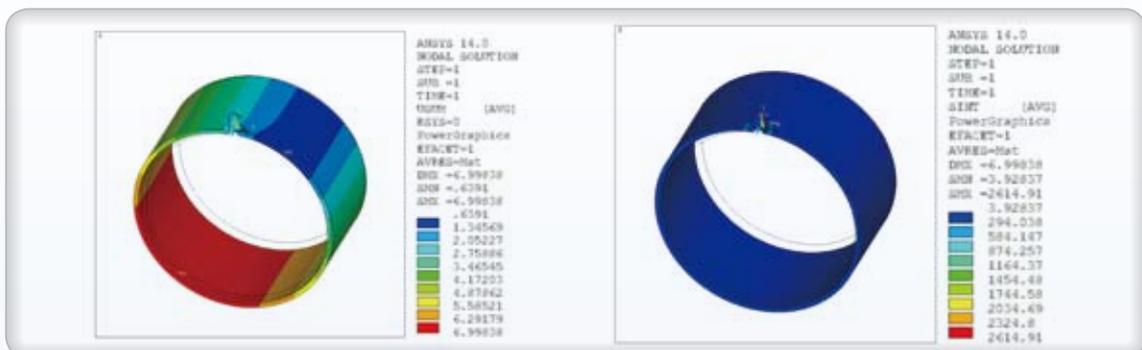


▲核能組件(管嘴)設計圖與組件熱暫態分析

- (2) 依據ASME設計規章，NB-3200章節相關應力檢核規定，檢核核能組件之結構強度及計算其累計疲勞使用因子，以確保該組件在核電廠運轉期間之安全性。
- (3) 完成核能組件在輕水式壓力槽環境下之環境效應對組件疲勞壽命的影響評估技術。
- (4) 發展龍門電廠有限元素模型（Detailed Model），以SASSI軟體進行核電廠土壤結構互制分析，提高電廠結構地震分析精確度。
- (5) 執行鈾合金燃料護套不同氫化物含量量測及熱處理後的破壞韌性測試。

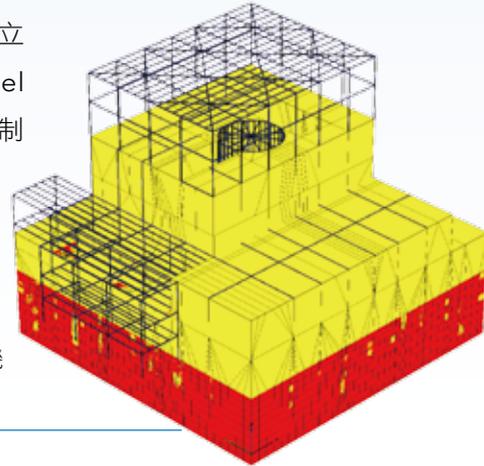
■ 研發成果效益及展望

- (1) 組件完整的三維模型較傳統的二維模型更能正確的模擬組件的行為，本研究已成功地應用三維應力分析技術於龍門核能電廠反應器壓力槽中密封排放管嘴的分析，分析結果顯示，組件的結構應力在安全範圍之內。本項工作建立的標準分析程序可提昇分析效率並用以培訓人才。



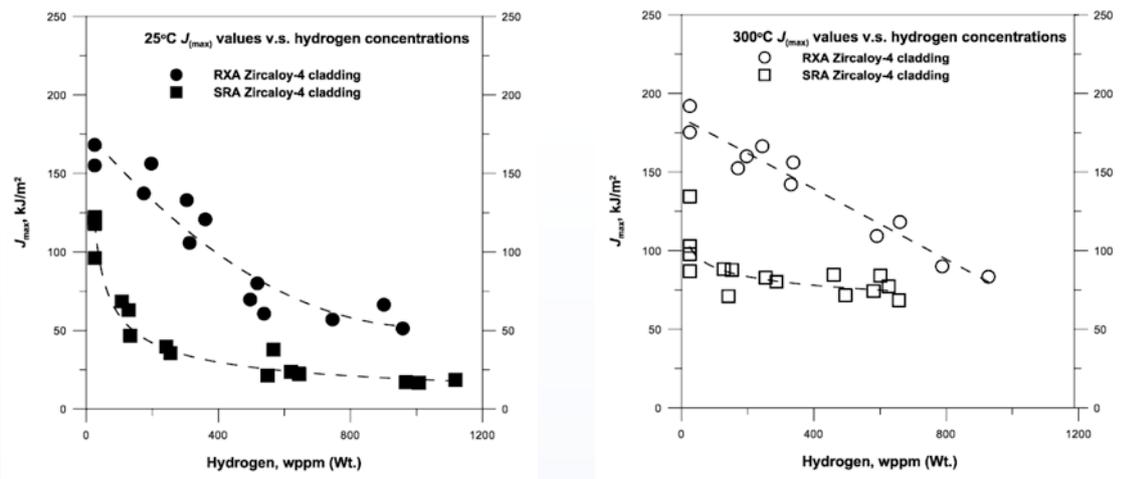
▲全模型分析-變形量分佈圖（左）與應力分佈圖（右）

- (2) 本研究建立的組件環境疲勞評估技術，已經成功地應用在龍門核能電廠反應器壓力槽中飼水管嘴組件的環境疲勞壽命評估，評估時考慮了四項環境評估參數：環境溫度、爐水溶氧量、材料硫含量和材料應變率。評估結果顯示，飼水管嘴在60年設計壽命下，其最大環境累計疲勞使用因子為0.3326，小於ASME設計規章NB-3200章節內的疲勞限值1.0，這確立了飼水管嘴在輕水式反應器爐水環境下的結構安全，並確保核反應器的結構完整性。
- (3) 土壤結構互制分析方面，目前之科技已可以建立完整的Detailed Model，較傳統的Stick Model更能有效的模擬結構物，日後分析土壤結構互制效應宜採用Detailed Model。



► SASSI分析模型示意圖—龍門電廠一號機 Detailed Model

- (4) 含氫化鋯析出物之核燃料Zircaloy-4合金護套經過退火再結晶熱處理(Recrystallization Annealed, RXA)之後，材料的破裂韌性隨著氫含量(150~800 wppm)增加而降低。此外不論是處於25°C或300°C之高溫測試環境下，經RXA熱處理的Zircaloy-4合金材料皆比相同測試條件下的應力消除退火(Stress Relief Annealed, SRA) Zircaloy-4護套材料有著較佳的破壞韌性。研究結果顯示材料經過熱處理，可以增強Zircaloy-4合金的材料破裂韌性。由於其機械性質提升，故可部分消除氫化鋯析出物所造成的劣化效應，增強護套的使用壽命。



▲不同氫含量之應力消除退火(SRA)與退火再結晶(RXA)鋯四合金燃料護套分別在25°C與300°C下測試所得到的破壞韌性數值。

2 核電能源系統生命週期之放射性廢棄物管理技術發展與應用

核能相關使用者有廢棄物減量及安定化的社會責任，良好的廢棄物管理亦可增進核能使用安全，及消除大眾對廢棄物污染生活環境之疑慮。

本計畫之目標為透過處理本所既存核設施經驗，建立放射性廢棄物處理相關技術，以解決廢棄物減量與安定化需求，並將相關技能應用於國內核能電廠運轉與除役時之廢棄物管理。本年度執行「除役拆除廢棄物減量技術研究」、「特殊放射性廢液安定化處理技術研究」及「放射性廢棄物最終處置技術研發與應用」等三個分項計畫。研發工作所獲致的成果對後續計畫的推動將顯有助益。

2-1 除役拆除廢棄物減量技術研究

本計畫目標在建立核設施除役廢棄物減量技術能力，應用於本所研究用反應器設施清理，並貢獻於未來核電廠除役之技術需求。102年完成TRR爐體廢棄物拆裝廠房設施十年再評估；完成燃料池池水淨化處理單元建置及運轉測試；完成鈾粉安定化處理試作與驗證程序建立；完成舉辦解除管制量測能力試驗等。所獲各項成果，對後續技術研發與應用均有助益。

■ 利用無機凝集沉降試劑去除TRR燃料池水中懸浮固體

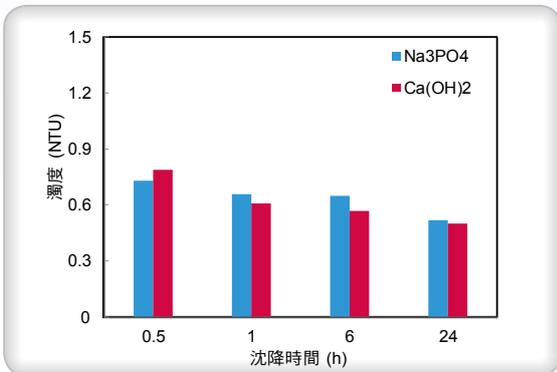
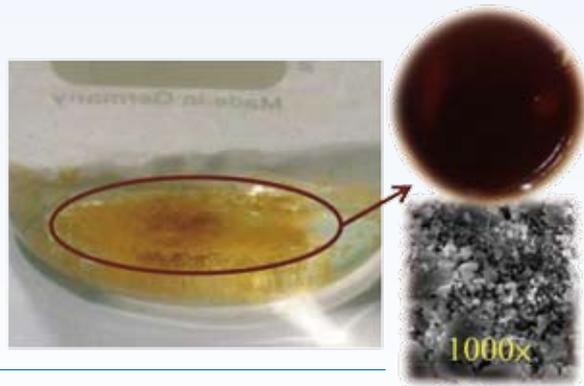
TRR燃料池在除役階段進行多項廢棄物清理工作，在這些過程中池水遭污染導致輻射劑量率增加與水下能見度降低。這些污染物質包括Cs-137、Sr-90、銻系元素等放射性核種，及一些活度較低的懸浮固體。傳統水質處理技術常使用有機材料如濾芯、離子交換樹脂及高分子助凝劑等作為淨化媒，但這些材料一旦曝露於強游離輻射環境會發生裂解使其結構不穩定，故有機放射性廢棄物通常需要進一步的安定化處理。因此，抗輻射的無機淨化媒在放射性液體淨化處理上的應用相當受到青睞。過去的研究發現矽藻土陶瓷濾芯及矽鋁酸物類沸石可有效應用於水中放射性物質的去除，並已進一步設計適用單元處理池水。

由於直接利用過濾程序移除池水中的懸浮固體，會導致濾芯堵塞，增加反洗操作頻率，並大幅降低濾芯的使用壽命。因此開發應用一種無機凝集劑—聚合硫酸鐵(PFS, polyferric sulfate)使其與鹼液作用後即可去除池水中的懸浮固體，不需要額外添加高分子助凝劑。實驗結果顯示當PFS與磷酸鈉或石灰作用後，可有效將原水濁度由139 NTU降至低於0.6 NTU；接續利用適量之PFS與石灰配比處理200公升TRR燃料池池水，可有效使原始濁度由5.0 NTU降至低於0.6 NTU。另一方面，評估池水經凝集沉降後其上清液可能含有鐵與鈣等陽離子是否影響吸附劑的效率，遂比較吸附劑在池水、上清液及污泥漿系統中對放射性離子之吸附速率是否有差異，結果證實此加藥程序對於吸附並無明顯負面影響。

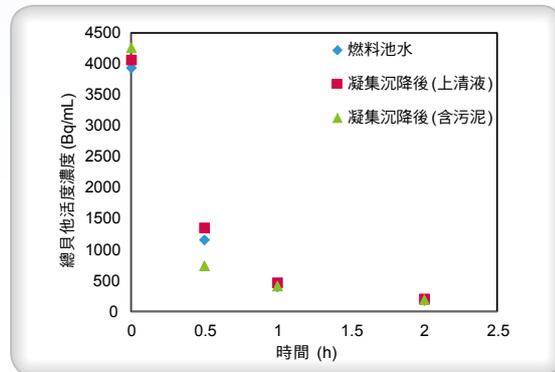
經研究結果顯示，所開發之無機凝集沉降試劑可有效去除水中大部分之懸浮固體，故可延長過濾單元之使用壽命減少廢棄濾芯之產量；而經凝集沉降處理後的產物對於吸附劑

的影響極低，故可與現有單元完全相容。未來將持續研究污泥除水與減容技術，以達二次廢棄物減量與安全貯存之目標。

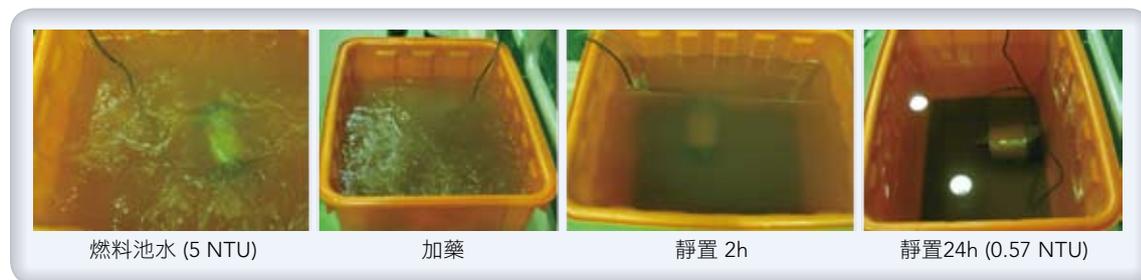
▶ PFS+Ca(OH)₂ 處理懸浮固體後凝集
沈降污泥之外觀及表面型態



▲以不同鹼液與PFS作用對濁度去除的影響
(起始濁度139 NTU，pH 6.5~7.0)



▲凝集沈降試劑處理前後對吸附劑吸附水中貝他核種的影響比較



▲利用PFS+Ca(OH)₂ 凝集沈降試劑去除TRR燃料池水中懸浮固體

■ 解除管制試樣量測分析之能力試驗

依據國外的經驗，核設施例行運轉或除役產生之廢棄物，絕大部分在經過一定品保程序的解除管制量測驗證程序確認後，可以解除管制而外釋或資源回收再利用。為有效解決放射性廢棄物暫貯場及未來低放處置場的倉貯壓力，上述的極低微放射性廢棄物可依據原子能委員會之「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」進行解除管制而予以外釋。為確保放射性廢棄物解除管制量測實驗室量測結果的準確性，並可追溯至我國國家標準，參考「放射性廢棄物解除管制量測技術規範」(TAF-CNLA-T12)，與國家游離輻射標準實驗室合作執行本次解除管制量測儀器能力試驗。

受測儀器的量測類型分為箱型及桶型，偵檢器種類包括塑膠閃爍體偵檢器及純鍺偵檢器，測試樣的密度約 1.0 g/cm^3 、比活度濃度範圍箱型為 $0.01 \text{ Bq/g} \sim 1.0 \text{ Bq/g}$ 、桶型為 $1.0 \text{ Bq/g} \sim 2.0 \text{ Bq/g}$ ，測試核種有Co-60及Cs-137，測試箱尺寸為長34 cm、寬34 cm、高36cm及厚0.2 cm不銹鋼容器；而測試桶尺寸為內徑高86 cm、直徑56 cm及厚0.2 cm鐵容器；標準測試件製作後進行均勻度測試，其參考活度不確定度評估追溯至國家標準可達到Co-60 $\leq 0.50\%$ ($k=1$)、Cs-137 $\leq 0.75\%$ ($k=1$)，顯示配置能力良好。

本次放射性廢棄物解除管制量測能力試驗通過判定準則：

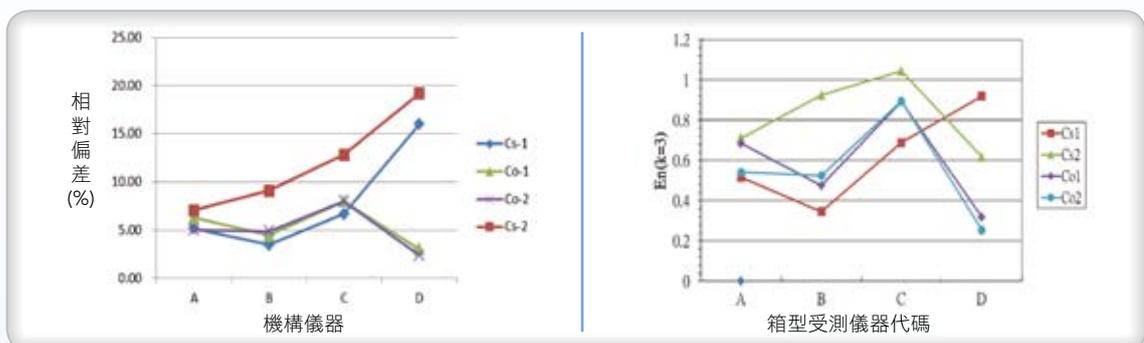
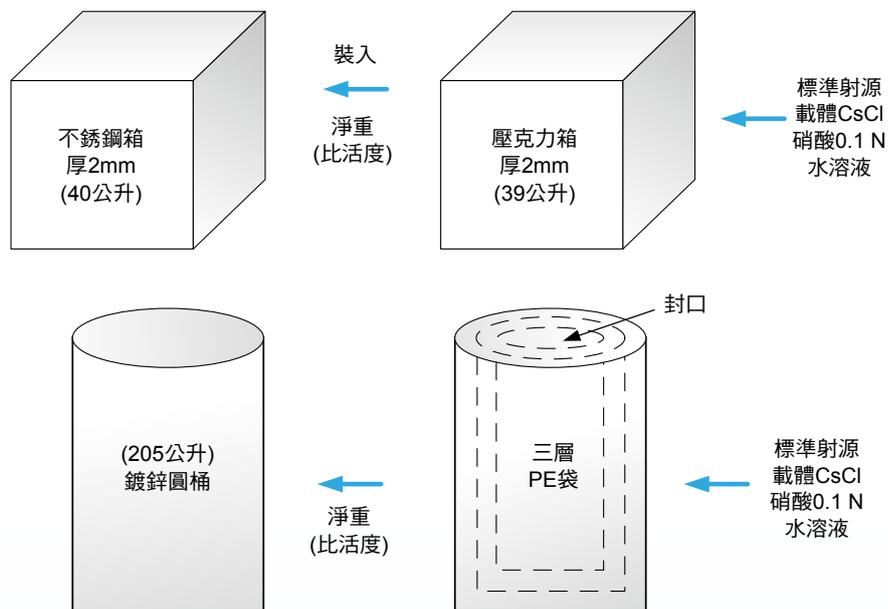
1. B_i : $-0.25 \sim +0.50$, 2. $E_n \leq 1$, $U_{ci} \leq 20\%$, 3. 秤重 $\leq 10\%$

* 相對標準值偏差率 $B_i = (V_{lab} - V_{ref}) / V_{ref}$

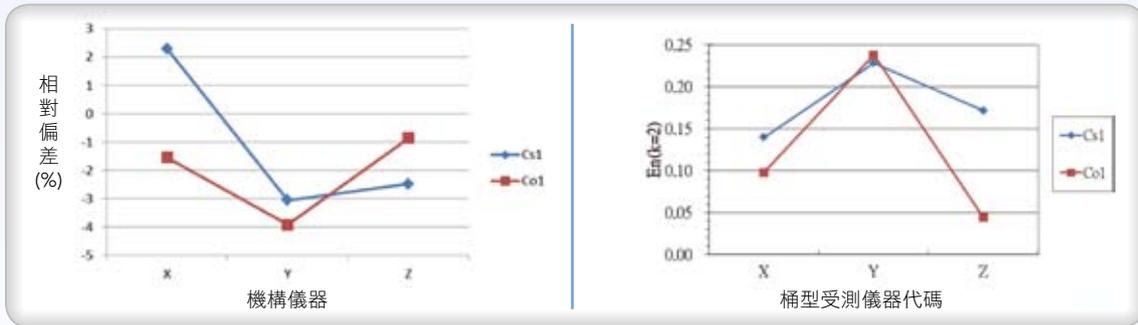
* $E_n = (V_{lab} - V_{ref}) / 3 \times (U_{lab}^2 + U_{ref}^2)^{1/2}$

* 測試組合不確定度(涵蓋因子 $k=2$) U_{ci}

本次能力試驗，共有3家實驗室總計7部量測儀器參加；能力試驗結果顯示，單一密度及2個核種試樣的比活度量測結果均能符合要求；而各量測系統對核種Co-60及Cs-137之最低可測活度，皆可符合低於IAEA之外釋限值(0.1 Bq/g)。



▲箱型受測儀器



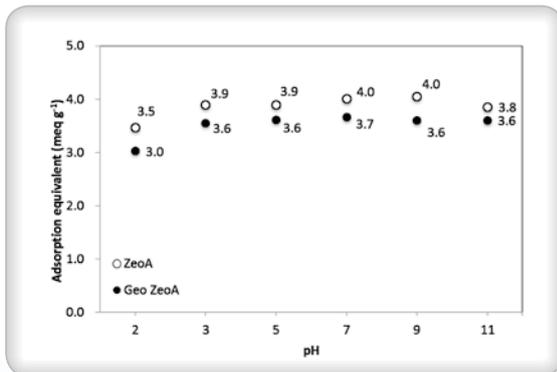
▲桶型受測儀器

2-2 特殊放射性廢液安定化處理技術研究

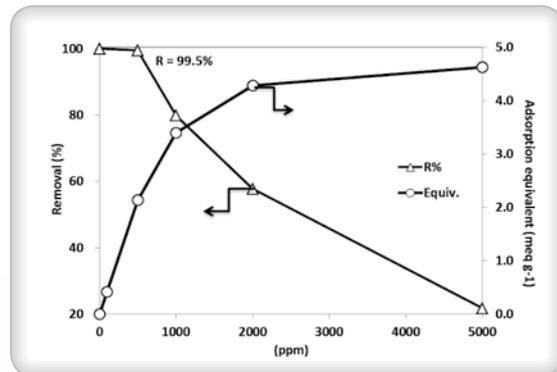
針對台灣各研究機構或核能相關設施所產生之難處理放射性廢液，本所已發展完成許多有效處理技術與程序，例如AC-GA無機吸附劑、太陽熱能供應熱源之蒸發器、和輔助燃料焚化處理程序。這些發展完成之技術已進行實際放射性廢液測試並確認其處理效果，進一步將應用於本所相關廢棄物的處理。

■ 對鋇有高選擇性之無機吸附劑發展

本研究使用本所研發之高選擇性無機吸附劑(AC-GA)，測試在水溶液中去除 Sr^{2+} 的適用性，實驗結果顯示在廣泛pH範圍下有穩定的吸附能力(pH 3-11)，對於鋇之去除效率高於99.5%，吸附容量可達 4.3 meqg^{-1} 。利用管柱實驗處理實際放射性洗滌廢液(22.96 Bq ml^{-1})，顯示對Sr-90放射性核種去除效率為99.9%，可符合廢水排放限值。



▲AC-GA之吸附當量與pH值之關係



▲AC-GA於管柱實驗之監測結果

■ 實驗型高導電度廢液蒸發處理設備熱試運轉

利用太陽熱能供應熱源之實驗型蒸發設備已建置完成，且順利完成熱試運轉，並經本所職業安全衛生委員會同意備查(會安字第1020000153號)，將利用來處理015B液體場積貯之高導電度含氫廢液。熱試車結果顯示，除氫水核種外，蒸發餾出液之水質符合法規排放管制限度，主要核種Cs-137、Sr-90活度均低於分析儀器最低可測值；蒸汽分離槽最高溫度約達120°C；餾出液產量約20 L/h；總熱效率約24%；經訓練合格操作人員，操作處理設備

之運轉正常，功能皆能符合設計需求；無工安及輻射安全事件。熱試運轉報告併同未來修訂之「O15B低放射性廢液處理場最新版安全分析報告」送請主管機關核准後，本處理設備將正式納入本所液體場運轉。



▲實驗型太陽能蒸發器蒸發設備



▲U型真空管集熱器

■ 放射性有機廢水處理研究

放射性有機廢液經長時間的儲存後通常會分離產生水層與有機溶劑層，有機層佔24%總體積，水層佔76%總體積。由於有機層之廢溶劑可與柴油混合互溶且熱值相近，可以被用作放射性固體焚化爐的輔助燃料，預期此處理方法能有效節省焚燒燃料柴油之損耗，同時可妥善解決此類廢液。經燃燒試驗測試，顯示具良好處理成效，樣品可完全焚燒分解。透過輔助燃燒系統，使用有機層溶劑作為輔助燃料已成功完成1,000公升低放射性有機溶劑處理，測試結果順利且焚化爐廢氣排放值遠低於法規限值。



▲有機廢液輔助燃燒系統

2-3 放射性廢棄物最終處置技術研發與應用

為配合國內低放射性廢棄物最終處置作業需求，本所擬建立一套廢棄物桶整備之作業平台，以符合研擬中之處置場廢棄物接收標準；另計畫亦建立廢棄物特性鑑定技術與改良現有核種分析技術，並發展防堵核種外釋措施以阻絕污染擴散之技術，以維護環境輻射安全，達到安全管理放射性廢棄物，維護環境生態品質及確保民眾健康，消除社會大眾對核電產生放射性廢棄物管理安全疑慮。

本年度主要工作為完成設置整備作業平台之機械設備，提供整備作業所需之外觀檢驗、抽氣通風及檢測影像攝錄等功能。在廢棄物特性鑑定技術發展方面，完成發展自動化固相萃取(SPE)樣品前處理技術，以及以ISOCS建立高活度廢射源與廢棄物之核種鑑定技術，使用SRM 4359 (Standard Reference Materials)進行建立的SPE Tc-99與TRU自動化系統驗證，精進難測核種之分離效果，並提供放射性廢棄物相同活度的快速量測方法。而在發展防堵核種外釋措施以阻絕污染擴散之技術方面，進行降雨與地下水監控及抽灌作業系統技術之最適化改良，據以評估如何有效降低地下水活度。

整備作業平台機械設備的試運作結果顯示，可正常檢視與補強廢棄物固化桶的外觀功能，並將整備過程攝錄存證。對於核種之檢測成果，完成以Cs-137以及Sr-90相對gross β 活度之比例因素推估方法。主要藉由量測Cs-137與gross β 活度推算Sr-90活度，研究發現gross β 與(Cs-137 + Sr-90)有著正相關性，因此可藉由Gross β 以及Cs-137快速推估Sr-90活度之範圍。另由地下水的水流與抽灌處理地下水溶質濃度的研究發現，降雨量及入滲前之土壤初始含水量皆會影響地表水入滲時間，進而影響地下水抽灌處理的效果。後續將持續觀測降雨量及土壤含水量剖面變化量，分析探討入滲到達非侷限含水層地下水位面所需之稽延時間以及相對應之水位增量。



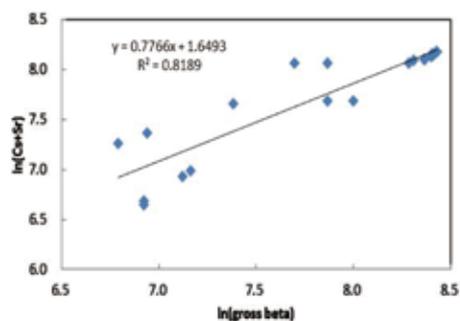
▲ 建立整備作業平台廢棄物外觀檢設備



▲ 整備作業平台之廢棄物桶性能檢測



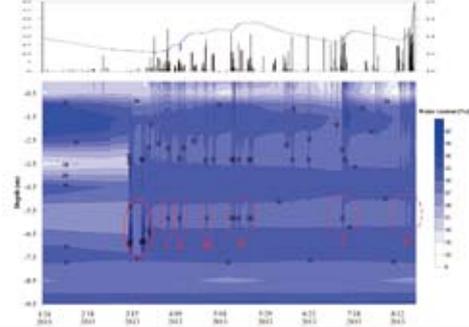
▲ 建立TRR高活度乏燃料外套管之55加侖桶核種鑑定技術



▲ Gross β 與(Cs-137+Sr-90)之相關性曲線



▲設置抽水-處理-灌注最適化改良處理地下水溶質傳輸



▲土壤含水量剖面與降雨量時變圖

高活度廢棄物處理技術建立已具先導設備測試經驗，將於接續年度開始執行運轉測試，進行實務操作並改進相關缺失，以確立相關處理技術之完善性與可操作性，並解決本所燃料池池水潛在之貯存風險。特殊廢液處理技術，配合廢棄物處理廠實際運作，逐步處理既存之有機廢液，並驗證自行研發選擇性無機吸附劑之實廠應用性，以利本所自用及技術推廣至核能工業界。相關廢棄物處置整備技術，繼續完成廢棄物桶相關交運資料之建立規劃與所需軟硬體設備，並積極驗證核設施場址地下水文監測技術與相關污染復育技術。

3 執行老舊核設施清理作業

國際間主要核能應用國家均已建立普遍共識，基於防止輻射污染擴散之安全需求，以及廠房與場址再利用之需要，在核能設施生命週期結束後必須加以清理，以符合輻射安全防護規定，獲取經濟效益，並善盡設施經營者之社會責任。以我國核能科技發展而言，本所是最早面臨核設施屆齡問題的機構，過去因國家研發任務所需而建構的核設施，多已面臨除役及清理的階段需求。因此，配合政府之核安政策，以科技計畫發展設施清理及廢棄物處理技術，並擬訂計畫逐步進行清理。102年計畫工作範圍包含(1)核子反應器及相關設施清理改善作業，主要目標在使台灣研究用反應器(TRR)等設施清理後達到資源再利用，並消除輻射污染擴散疑慮，以確保環境安全；(2)放射性廢棄物減量處理及安全貯存作業，主要目標為配合清理工作執行減廢減容作業，一方面緩和廢棄物倉儲壓力，同時降低未來廢棄物處理處置之成本。執行成果分述於後：

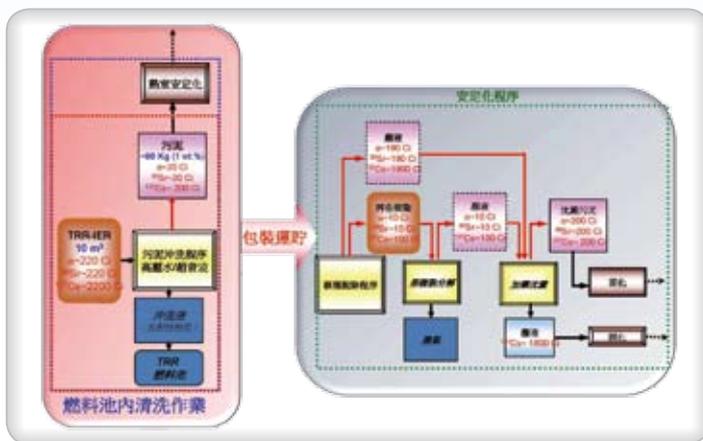
3-1 核子反應器及相關設施清理改善

在執行核子反應器及相關設施清理方面，102年建立了TRR燃料池內高活度廢樹脂清理技術，申請獲得超C類廢棄物盛裝容器使用許可，以供後續燃料池清理之需；完成TRR爐體廢棄物拆裝廠房結構監測系統建置，提昇TRR爐體廢棄物之貯存安全；本年度各項作業所獲成果，對後續核設施清理工作均有正面助益。

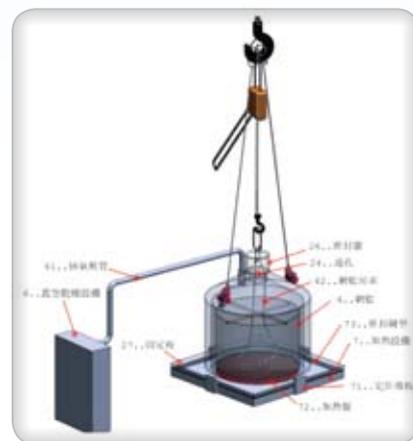
■ 高活度廢樹脂清理技術建立

燃料池之清理為TRR除設計畫重要之工作項目，燃料池內現有之各種放射性廢棄物均須依規劃時程清理，以符合法規規定，其中廢樹脂具有高活度、有機及超C類廢棄物之特性，且安定化處理程序仍待發展，因此需建立清理技術，將其移出燃料池並安全暫貯，以利除設計畫順利進行。

規劃完成廢樹脂整體清理架構，並依本所超鈾廢棄物接收標準，發展建立廢樹脂清理最佳化工法，包含建置高活度超C類廢棄物乾燥程序及設備，已成功發展「高輻射強度廢棄物之乾燥方法及其裝置」國內外專利申請。另開發超C類盛裝容器，已獲主管機關核給許可。利用此容器並配合清理技術實際應用於TRR燃料池廢樹脂清理作業，順利將池內廢樹脂乾燥及包裝，估計103年可完全將燃料池內廢樹脂包裝移出，並運送本所一貯庫暫貯。



▲廢樹脂清理架構



▲高輻射強度廢棄物乾燥方法及裝置

■ 拆裝廠房結構監測系統

為提昇爐體廢棄物貯存安全，102年完成「TRR爐體廢棄物拆裝廠房設施十年再評估」並提送報告經主管機關同意備查。另規劃並建置「拆裝廠房結構監測系統」，整合先前設置的TRR爐體廢棄物安全監測系統，以對TRR爐體廢棄物及拆裝廠房的貯存狀態作全時間的監測。拆裝廠房結構監測系統新增之監測設備為結構傾斜儀、三軸型應變計、單軸應變計等，針對拆裝廠房進行結構物垂直度及鋼構應力監測作業，藉由上述測量結果以檢視拆裝廠房結構安全。本系統整合完成後可即時監測爐體位移及廠房結構，提早預知危害並加強安全措施與防範，確保TRR爐體廢棄物於拆裝廠房內安全貯存。



▲廠房結構傾斜儀



▲廠房結構記錄器

3-2 放射性廢棄物減量處理及安全貯存

在放射性廢棄物減量處理及安全貯存方面，102年除依規劃目標完成之可燃廢棄物減量焚化處理，有效支援計畫執行核設施清理工作及減低廢棄物倉貯壓力外，另為改善放射性廢棄物貯存環境，提高廢棄物貯存安全，並完成研發建立地下貯存高活度廢樹脂遙控吸取再包裝設備，及蒸發濃縮廢液固化研究之二項工作，分別說明如下。

■ 地下貯存高活度廢樹脂遙控吸取再包裝設備之建置

為清理本所廢樹脂地下庫內既存高活度廢樹脂，101年已研發建立地下貯存高活度廢樹脂遙控吸取再包裝設備，主要為組合旋風集塵器、中滯箱及絕對過濾器組，係利用負壓安全吸取原理，以進行地下貯存高活度廢樹脂之取出及包裝。而接續先前設備之建立及冷測試後，102年執行此高活度廢樹脂遙控吸取再包裝設備之熱測試工作，並實際以低活度廢樹脂於地下完成熱測試工作。未來本所將利用本設備實際執行廢樹脂地下庫內既存高活度廢樹脂之清理，以提高該類廢棄物之貯存安全。



▲高活度廢樹脂遙控吸取再包裝設備

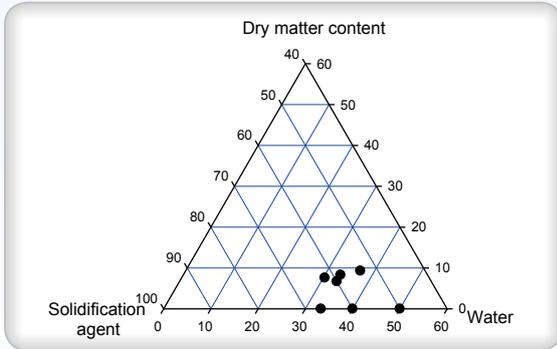


▲以低活度廢樹脂於地下測試吸取功能

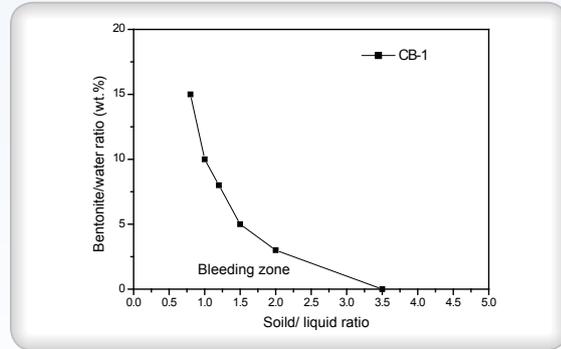
■ 蒸發濃縮廢液固化之研究

蒸發濃縮法具高減容比及高除污因子，為處理無機廢液的重要方法之一，處理後餾出液可回收再利用，惟其濃縮廢液需進一步安定化。水泥固化廣泛使用於中低活度廢液之安定化，另膨潤土可使用於緩衝材料，價格低，且具高結合水性質，可解決固化體之泌水問題。本實驗之固化劑種類可分為CB類(波特蘭水泥添加適量膨潤土)、CBFS類(50 wt%波特蘭水泥/膨潤土、30 wt%飛灰、20 wt%爐石)、CBF類(70wt%波特蘭水泥/膨潤土、30wt%飛灰)、CBS類(60wt%波特蘭水泥/膨潤土、40wt%爐石)等。模擬廢液分為純水、3.23 M鈉鹽溶液、4.03 M鈉鹽溶液，分別以代號1、2、3表示(以CB-3為例，係表示模擬廢液為4.03 M鈉鹽溶液，且固化劑為波特蘭水泥添加膨潤土)。考量減容比及固化體品質，純水模擬廢液固化之最佳配比為固液比1、膨潤土添加量為含水量10 wt%，養生28日後之抗壓強度為71 kg/cm²，耐候性之抗壓強度為84 kg/cm²，耐水性之抗壓強度為92 kg/cm²；4.03 M鈉鹽模擬廢液固化之最佳配比為固液比2、膨潤土添加量為含水量25 wt%，養生28日後之抗壓強度為230 kg/cm²，耐候性之抗壓強度為245 kg/cm²，耐水性之抗壓強度為280 kg/cm²，均

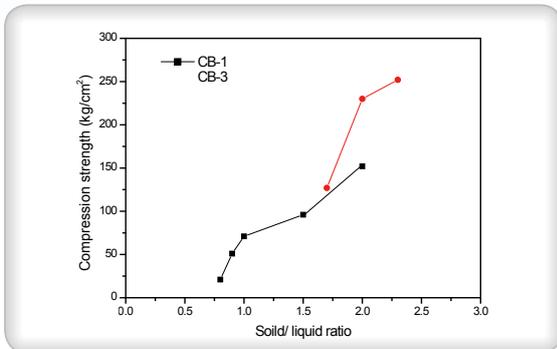
符合法規現值 15 kg/cm^2 。本固化配比具有較高固化減容比、無泌水現象及固化體耐水性佳等優點。



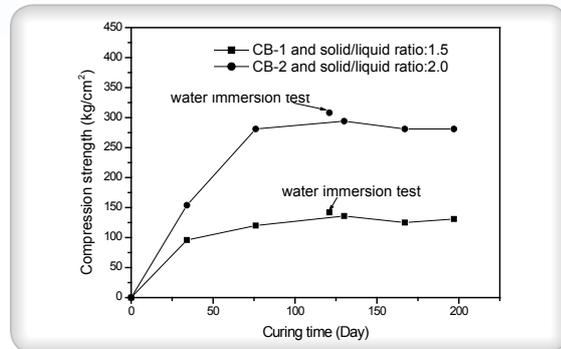
▲ 固化配比之三成份圖



▲ CB-1 配比固化時，不同固液比與臨界膨潤土添加量之關係圖



▲ CB-1 及 CB-3 配比固化時，不同固液比與抗壓強度關係圖



▲ CB-1 及 CB-2 配比固化時，不同養生時間與抗壓強度關係圖

在本所長期研發建立的核設施除役與放射性廢棄物管理技術基礎之上，本計畫在符合安全及環境保護要求下，做好核能設施清理與放射性廢棄物管理，並使核設施在經過清理、除污、復原等作業程序後，其土地、廠房及設施均可規劃再利用，徹底消除對環境潛在的衝擊。本計畫以解決國內實際問題為目標，執行同時亦期許達到技術驗證、精進與培植核能除役人才之目標，未來可應用於核能電廠除役產業。

4 核能技術產業化平台之建構

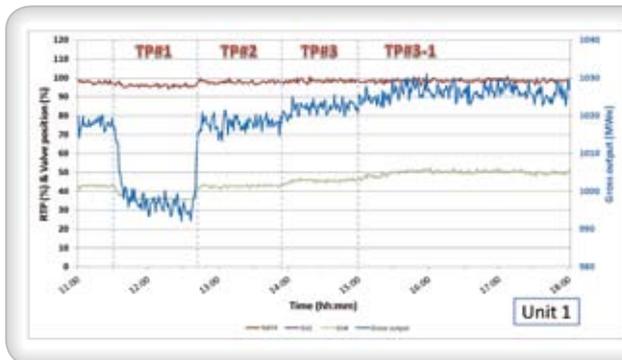
核能技術產業化平台之建構目標，在精進本土化之安全評估與運轉維修技術，除提升國內核電廠營運安全與績效外，並避免國外技術在商業上的壟斷。計畫主要之工作內容在增進現有核電廠之運轉安全與效益，其中包括：機組功率提昇、大型組件更換、水化學等核能安全議題，和開發核能級儀控及零組件產業認證技術、高容量用過核子燃料乾式貯存系統與護箱屏蔽分析技術。102年重要成果如下：

- (1) 協助台電公司核二廠中幅度功率提昇計畫設計變更申請案，電廠額定熱功率可由2943 MWt提昇至3001 MWt (2%的功率)，預估完成後每年增加3.0億度的電力輸出。以此

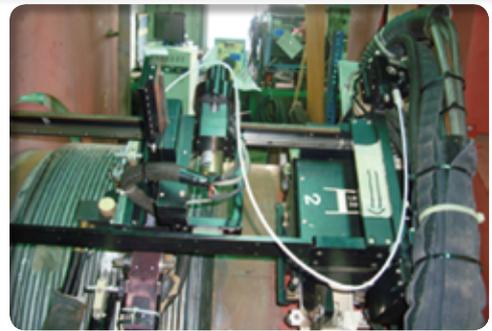
推算可節省替代石化燃料成本8.6億元，及替代燃料產生之CO₂約25.2萬噸/年，有效的達到節能省碳之目標。

- (2) 完成核電廠的覆銲技術研發，建立核電廠管路覆銲團隊，不僅解決電廠大型組件更換與維修的時效性問題與安全性，亦催生本土化維修產業發展。
- (3) 建立核能級儀控認證技術，依據國際功能安全標準IEC 61508:2010，與德國TÜV Rheinland公司合作，完成SCS-2000安全控制系統之功能安全整合認證作業，並獲得SIL-3高可靠度等級之安全控制器國際認證。
- (4) 建立國內本土的乾貯系統設計、分析技術，並完成在國內乾式貯存系統的製造與安裝，提供核電廠用過核燃料的貯存裝置與輻射量測分析技術。

自日本福島發生嚴重核災以來，世界各國紛紛對其核能政策展開檢討。馬總統發表之最新能源政策，在不限電、維持合理電價及達成國際減碳承諾三原則下穩定減核。據此，本計畫配合執行核電營運安全領域關鍵技術發展綱要計畫，即是期望達到：(1)維護現有核電廠在設計年限內之營運與安全，確保自產能源供應的穩定性。(2)強化核電廠原有設施的安全度與自我防禦能力，避免複合式核災的發生。(3)研擬核子災變之輻防應變措施，降低核災對環境的衝擊。



▲核二廠一號機中幅度功率提昇測試歷程



▲熱端管路銲接設備架設於實體模型進行功能測試



▲台灣核能儀控系統(TNICS)之SCS-2000安全控制系統產品及技術發表會



▲護箱度量模擬作業與背景量測

二、環境與能源科技研究

伴隨化石燃料大量使用，有害物質與二氧化碳排放造成環境污染與全球暖化問題日益嚴重，在環境保護及減少對化石燃料依賴的雙重考量下，新能源、再生能源與節能技術發展已是刻不容緩的議題。本所除從事核能相關科技研究外，亦積極投入新能源、再生能源與節能科技之研究與發展，研發內容包括環境電漿、太陽光發電系統、高溫燃料電池(SOFC)、淨碳、微型電網、風能、纖維酒精量產以及能源科技產業政策評估等項目。近年來，本所在環境與能源科技相關研發上，已累積相當豐碩的成果，並為我國綠能產業技術發展提供實質之助益。

綜整102年度主要研發特色與成果，在環境電漿技術方面，已應用本所核心電漿製程技術，成功開發低輻射率節能膜、智慧調光電致變色膜及可撓式薄膜太陽電池等，可分別運用於節能及民生應用產品。在太陽光發電技術領域方面，研發完成的微型化聚光模組與高分子太陽電池之能量轉換效率分別達34.43%及9.6%，已臻國際水準。此外，應用蒸鍍法製作之銅鋅錫硫(CZTS)薄膜太陽電池效率已達5%，另接受中油公司委託進行CZTS太陽電池濺鍍製程技術開發。高溫燃料電池技術係本所極具特色的研發項目，本所首次應用自製電池片製作的電池堆功率達384.3 W；陶瓷基板單元電池製作技術已專利授權予九豪公司；於中鋼公司建置的kW級SOFC發電系統已完成500小時運轉測試，各熱工組件性能正常。淨碳技術研發之重點為實驗級淨碳示範系統建立，以展現二氧化碳捕獲技術之實務化能量，並持續發展高效能、低成本之二氧化碳捕獲技術。在微型電網技術方面，除建置「百瓦級微電網試驗場」外，亦積極開發電力系統工程整合技術、能源電力電子技術及智慧控制與能源管理技術，以提升區域電網的供電品質、穩定度與可靠度，進而達成自主式微型電網控制技術能量建立的目標。本所之風能技術已透過技術移轉與技術服務方式，輔導國內小型風力機廠商建立設計評估技術能力，有效協助國內廠商之產品通過國外驗證，有益於我國小型風力機產品之國際化。應用蔗渣所開發之纖維酒精量產製程，每噸乾蔗渣約可生產220~250公升酒精，此成果已與國際水準相當。在我國能源科技及產業政策評估能力建置方面，主要工作重點為應用MARKAL-ED能源系統工程模型，模擬不同的電力供給組合情境，分析各情境發電成本與排碳量，提供再生能源發展與減碳措施的相關建議，協助政府達成減碳政策目標。

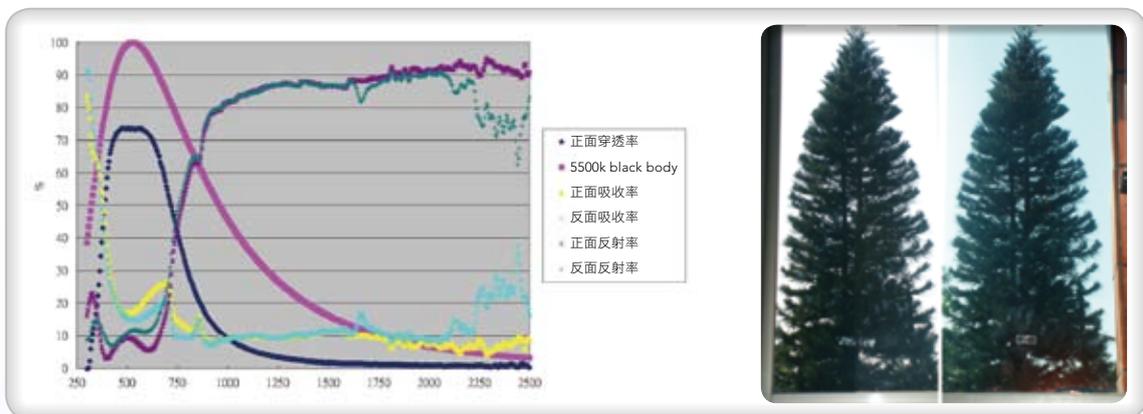
1 電漿在綠色節能環境之開發與應用

以綠色節能環境概念為主軸，持續提升核心電漿技術，並運用開發一系列輕薄可繞曲之節能薄膜，包括低輻射率隔熱膜、可調控光穿透性之電致變色膜、可低照度發電之無晶矽光伏薄膜，以及薄膜聚熱傳導應用之關鍵組件，有效運用於綠色節能民生應用產品，開創下世代綠色節能新產業。精選幾項重要的成果如下：

1-1 高清晰低熱輻射率節能膜

根據美國能源局統計，低效能窗戶占建築物耗能25~35%，因此改善現有建築窗戶就可達到節能效果，最簡單的方法就是直接在玻璃上黏貼一層隔熱膜。一般隔熱膜阻擋了熱也阻擋了視野，於是一種性能較佳之奈米粒子型隔熱膜應運而生，有較佳之光穿透性，但熱能大部分被膜層吸收升溫後，再以輻射熱形式釋放至室內，減損了隔熱效能。頂級高階隔熱膜，除了保有高透視外，直接將紅外光熱反射至室外取代吸收，避免了二次熱輻射。目前國內窗用高階隔熱膜商品主要仰賴進口且價格昂貴，因此本所自立發展了卷對卷式電漿鍍膜整體解決方案，在幅寬60cm PET捲材上鍍製可繞曲之高階低輻射率(Low-E)隔熱膜，光學性能極佳，可見光穿透率高於70%時，紅外光反射率亦高達80%，對應之熱輻射率低至0.15，太陽熱能獲得係數(SHGC)達0.35，肉眼可清晰透視戶外且有效阻擋太陽熱源，極適合居家及辦公室隔熱窗運用。

所開發之Low-E隔熱節能膜實際在80cm×120cm玻璃貼合成節能窗及40cm×160cm雙層玻璃中間夾層懸膜之節能窗組等商品化式樣驗證，並於2013台北國際發明展中展出，讓民眾體驗了高透視隔熱膜實際效果，亦與國內最大隔熱膜生產商簽訂可撻式高階節能膜先期參與合作案，對高門檻之卷對卷式電漿鍍膜技術推廣至高性質節能膜產業邁出一大步。

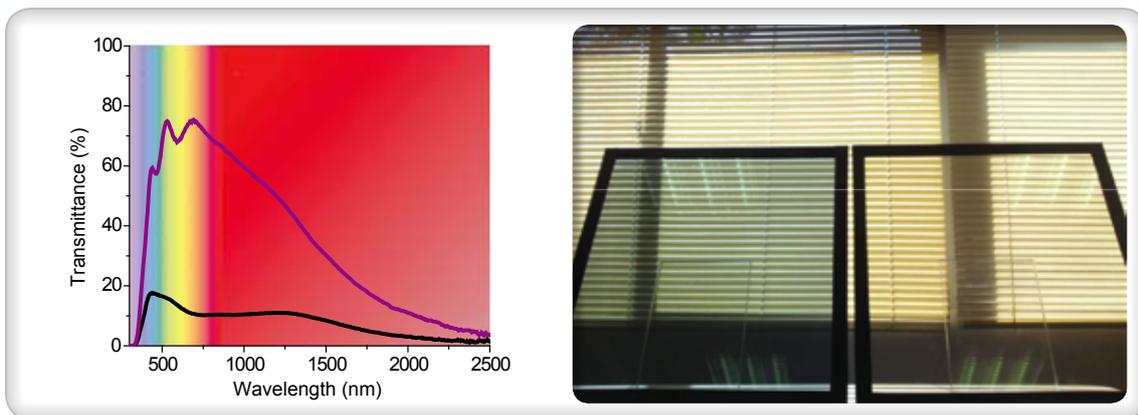


▲ 高效能Low-E 膜光譜圖

▲ Low-E貼膜窗對照圖

1-2 智慧調光電致變色膜

窗戶一直是建築物設計的重點，其可貴之處不僅傳遞了光線，更扮演了視界的橋樑，但也提供熱能穿透的管道。空調及燈光為建築物主要的能源消耗，一般均藉由窗簾、外部遮陽板或其他特殊結構系統等來阻止光線及熱能進入以節省能源消耗，但也間接造成建築設計的複雜化以及窗戶視野的限制。因此，本所以核心電漿製程技術開發一種電致變色節能薄膜元件，具有的調光功用，因此可控制光線及熱能進入建築物的總量。目前已完成電漿濺鍍30cm×30cm電致變色WO₃及NiO薄膜模組單元，並以2.4伏特電壓進行模組驅動，可見光穿透最大變化率達40%(變化範圍介於70%~30%)。此電致變色薄膜模組若能大規模運用，評估可減少23%尖峰時段的冷氣負載及20%能源消耗外，間接也促成了空調系統規模的縮減以及降低整體建築運作所需的成本。因此，電致變色薄膜是一項兼具居家舒適與節能的智慧型建材。

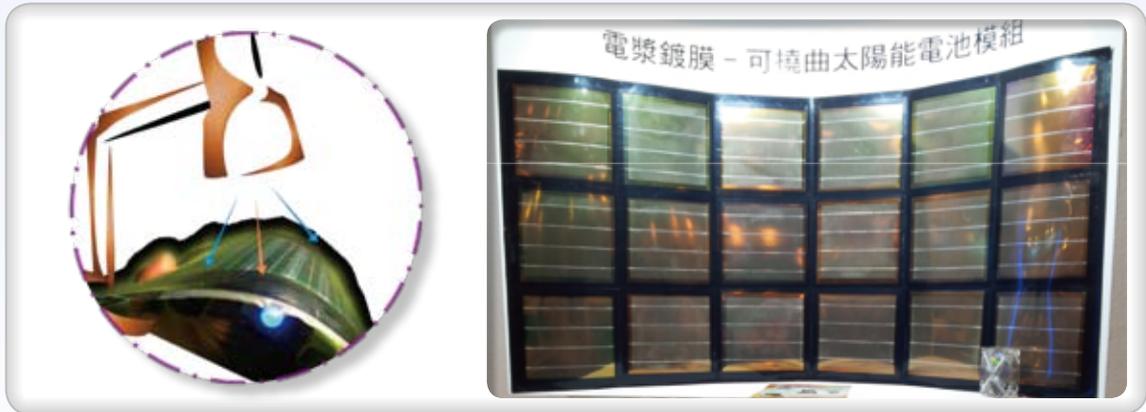


▲ 電致變色模組光學穿透度特性圖

▲ 電致變色模組可依需求在著色及退色態間進行變換

1-3 低照度發電之可撓式薄膜太陽能電池

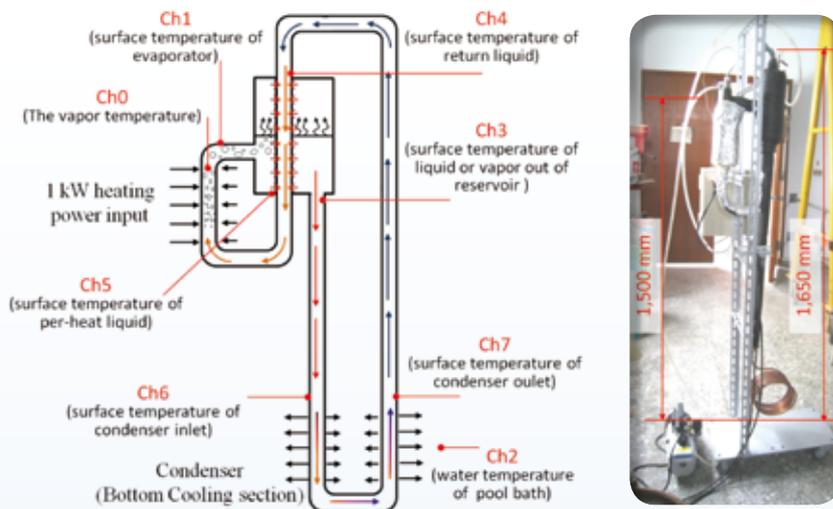
日常生活中，人們總是在不同形式的光源下進行活動，而太陽能電池元件能收集在人們周遭環境的既有能量(如光線)轉換為電力，達能源回收之節能功效。最常見的非晶矽薄膜太陽能電池以玻璃基板為基材，因堅硬笨重，本所進一步發展以輕、軟、薄型不銹鋼基板為基礎之可撓式薄膜太陽能電池，藉由多種材料的組合以及製程的調變，針對在較弱的光源下也能提供電力的相關技術進行研發，並藉由卷對卷式高功能電漿鍍膜製程技術，發展了適合BIPV (Building- Integrated Photovoltaics)應用之模組，典型之實例如1,500mm x 900mm 21瓦可撓式太陽能電池建材模組，在 50瓦白光LED燈照射下即可產生電力驅動小型風扇，充分展現具室內照明光資源回收之節能概念。由於兼具有輕、薄、可撓曲及光入射角度低依存等特性，容易與居家建築所使用的建材進行結合，進一步擴展為兼具節能、發電、及美觀等三元素於一體且符合居家生活氛圍的節能建材，提供多樣化居家節能之應用。



▲輕薄可撓曲且具室內照明光資源回收節能概念示意圖及1,500mm x 900mm 21瓦實際可撓式太陽能電池模組展示。

1-4 新穎雙向傳熱的兩相熱虹吸迴路

熱虹吸熱管又稱重力熱管，內壁無毛細結構，由於構造簡單，成本低廉，所以常被設計成各種型式加以應用，以自然循環的方式所進行的熱傳遞，簡化傳統循環泵產生強迫對流的複雜性，應用領域包括廢熱回收、儲熱系統、太陽能集熱器、空調製冷、核子反應爐散熱和電子散熱等。兩相熱虹吸迴路，其蒸發端內的液體吸熱達沸點而蒸發，因高溫氣體密度較低，所產生的浮力導致高溫氣泡向上流動，產生對流。當高溫氣泡向上移動時，連帶的將熱量向上傳遞，周圍低溫的液體向下流動並進行補充。然而，傳統的兩相熱虹吸迴路只能將熱源的熱能向上方傳遞，而無法向下方傳遞，因此用途受到限制。例如，傳統熱虹吸太陽能集熱器，儲熱水槽位置須高於集熱器，致使照射集熱器的太陽光束被儲熱水槽遮蔽，日間受熱時間縮短；另外，工業部門耗能較高的設備如鍋爐和窯爐等，具有大量的排氣廢熱，由於排氣管均位於爐體上方，因此，需要電動泵熱水循環迴路或風車熱風迴路予以換熱，故效率較低且成本較高。因此，本所開發一種雙向傳熱裝置，稱為逆流熱虹吸



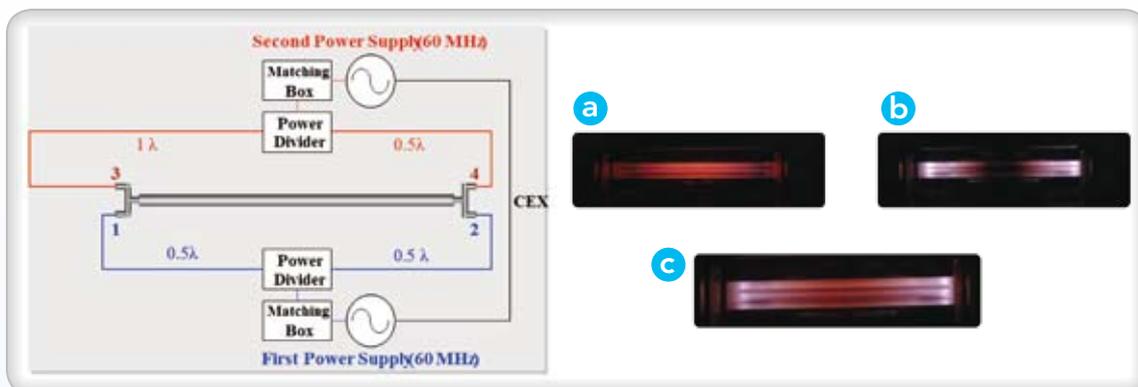
▲兩相逆流熱虹吸迴路之示意圖及原型照片

迴路，不但可以向上傳熱，亦可以向下傳熱。逆流熱虹吸迴路是一種封閉迴路，包含散熱裝置、緩衝槽、內部換熱管路、加熱管路、出口管路、下段管路、入口管路和隔熱層等元件，內部充填傳熱流體。當加熱管路內的液態傳熱流體吸熱而蒸發，飽和蒸氣便積聚於緩衝槽並形成壓力差驅動工作流體循環流動，因此能自發性的向下傳熱，不需額外循環泵，適用於熱源端在上方，而散熱端在下方的場合。目前逆流熱虹吸迴路實驗原型，內部充填甲醇，當熱源功率為1kW，熱源端的蒸汽溫度可達106°C，熱阻為0.009°C/W，向下傳熱距離約1.5公尺。

1-5 新穎大面積VHF電漿源

VHF (Very High Frequency)電漿源由於具可同時增加矽薄膜鍍膜速率與提升薄膜品質之雙重優點，因此對於HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin Layer) 和矽薄膜等太陽能電池皆為不可或缺之製程設備。但為增進製程產率，電漿源的大面積化對於工業量產而言亦為必經之道，然高電源頻率和大電極面積的組合將使駐波效應更加顯著，進而造成鍍膜不均勻之現象。

為解決上述問題，提出一種新穎結構，可同時疊加空間和時間相位差皆為90°的兩駐波之創新法來消除駐波效應，並已成功利用數值模擬與實驗測試等方式驗證該創新法之可行性，且模式與實驗在許多重要結果上皆呈現一致性，代表所採用的模式可有效應用於反應器設計。實驗所採用的電漿反應器屬雙面放電之型式，和電源連結之電極為一金屬棒，該電極兩端配置有適當數目之電源饋入點如圖所示。所測試的電源頻率為60 MHz，壓力和功率密度分別介於0.1~5 Torr和 0.1~0.8 W/cm²，電漿氣體則為Ar。依圖(a)和(b)顯示，當二組電源分別輸入時，各生成相位差90°之駐波，電漿皆呈現極度不均勻之分布，經Langmuir Probe所量測之離子飽和電流所計算的非均勻度皆>50%；然一旦兩電源同時施加時，所呈現的放電分布如圖(c)所示，圖(c)為圖(a)和(b)之疊加結果。此外，不同區域之放電強度將由不同駐波之功率所控制，藉由調控各組駐波放電功率之方式，可將非均勻度由僅施加單一駐波>50%之結果有效改善至<10%，該值已可符合主要產業應用—矽薄膜太陽能電池之需求。



▲VHF電漿放電情形，(a). First Power Supply單組電源輸入時電漿放電駐波現象，(b). Second Power Supply單組電源輸入電漿放電駐波現象，(c). (a)及(b)疊加後均勻電漿放電現象

配合產業需求，兼具高性能、大面積、高頻率及高均勻度電漿反應器，雖有初步突破，但更大面積搭配更高頻率技術層次更高，繼續努力中。至於各式節能膜應用朝整合於一體之方向努力，如非晶矽光伏薄膜與電致變色膜結合成一體可繞曲薄膜元件，前者驅動後者，特別適合兼顧舒適之居家節能性。至於低輻射率膜量產，必備搭配捲揚式多層奈米膜電漿製程系統，門檻極高，全球有此能力者，屈指可數，本所已具此能量，快速精進驗證成功，為本土產業自主化做出貢獻。

2 太陽光發電系統技術發展

「太陽光發電系統技術發展」計畫致力於太陽光發電科技研發，以開發高效率、低成本的太陽電池/太陽光發電系統為目標，並協助建立具國際競爭力之產業；包含：(1)高聚光太陽光發電系統技術發展，(2)高分子太陽電池技術發展，(3)提純冶金級矽太陽電池技術開發，及(4)銅鋅錫硫(CZTS)系薄膜型太陽電池技術開發等四個分項工作。

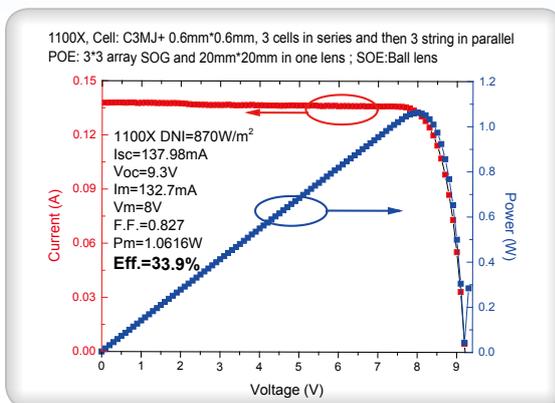
2-1 高聚光太陽光發電系統技術發展

本所自92年起積極開發高聚光太陽光發電(High Concentration Photovoltaic, HCPV)系統技術，建立III-V族太陽電池磊晶與製程、聚光型模組製程、太陽光追蹤器製作、系統監控整合建置，及模組驗證等技術。至102年底已獲得91件專利，完成14件技術移轉案、46件技術服務案，結合HCPV產業界上中下游能量，降低系統建置成本，及促進HCPV產業化。至102年底，HCPV技術研發情形如下：

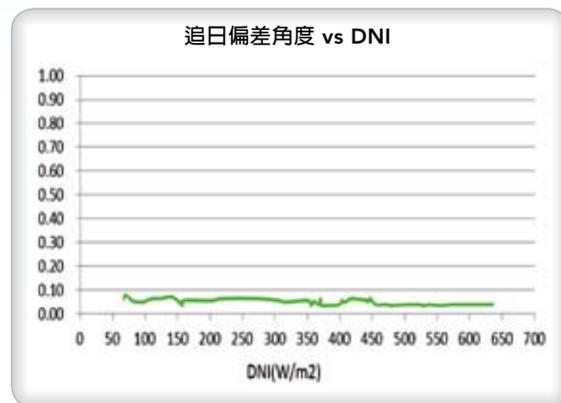
- (1) III-V族化合物半導體太陽電池計畫於102年度已陸續完成變形砷化銦鎵、變形砷化銦鎵鋁、變形磷化銦鎵及變形磷化銦鎵鋁磊晶技術的建立；以及變形砷化銦鎵/鎳雙界面太陽電池、變形砷化銦鎵鋁/鎳雙界面太陽電池、變形磷化銦鎵/鎳雙界面太陽電池、變形磷化銦鎵鋁/鎳雙界面太陽電池及變形磷化銦鎵/砷化銦鎵/鎳三界面太陽電池的磊晶結構生長與太陽電池製作。所完成的變形磷化銦鎵/砷化銦鎵/鎳三界面太陽電池在131倍聚光條件，能量轉換效率最高可達40.6%。
- (2) 完成微型化聚光模組設計與原型製作，目前主流聚光型模組高度大於200mm，核研所使用面積0.6mm×0.6mm之太陽電池，搭配20mm×20mm平凸透鏡，模組高度縮小為60~80mm。戶外測試結果，能量轉換效率達33.9%，室內模擬器測試結果為34.43%。(目前世界最佳紀錄為Sempruis公司2013年發布之室內量測效率35.5%)
- (3) 完成開發影像式追日技術，包含影像式太陽位置感測器、影像處理軟體，以及追蹤控制器，主要用於高聚光太陽光追蹤器，不論天晴或雲層遮日時，影像式太陽位置感測器，經由影像處理之辨識，仍可獲得精準的太陽位置，使追蹤控制器得以控制太陽光追蹤器，不但提高追蹤精度至小於±0.1度，更有效增進高聚光太陽光追蹤器於低日

照下之追蹤精度。實驗數據顯示追日偏差角度在直射照度(DNI)低到 $66\text{W}/\text{m}^2$ 附近，仍能準確到小於 ± 0.1 度。對於HCPV之發電效能，可有效增強。

- (4) 建置整合性監測中心，透過所內區域網路、虛擬私人網路(Virtual Private Network, VPN)、防火牆及網際網路等網路環境以及設備，將所內及所外HCPV系統之網域加以整合，再利用資料庫同步方式將路竹示範場、本所太陽能應用展示與驗證場以及核三廠南展館1.2 kW HCPV展示系統等三處之資料庫，整合於所內整合性監測中心資料庫伺服器，除了能以整合性HCPV中央監測網頁程式即時監測各系統外，並具備異地資料庫備援之功能，降低資料流失風險。
- (5) 因應美國UL公司需求，執行「CPV&PV模組發電系統長期戶外老化測試」技術服務案，完成高雄路竹示範場及本所於台東大學日照監測站所建置HCPV測試點之戶外測試平台架設作業，並執行CPV及PV模組戶外曝曬測試。



▲ 微型化模組戶外測試結果



▲ 追日偏差角度與DNI關係

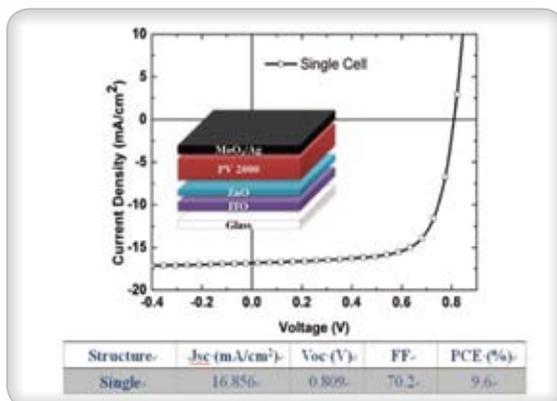
2-2 高分子太陽電池技術發展

本計畫之研發成果主要分為兩項：(1)高效率高分子太陽電池元件開發研究與製作，與(2)高分子太陽電池商用大面積製程技術研發。

在高效率高分子太陽電池元件研究方面，目前單電池之高分子太陽電池效率可達9.6%，相較於目前國際同型之最高效率約為9.2%，顯示出本所已具備世界一流之高分子太陽電池製備技術能力。

開發商用製程技術，推廣高分子太陽電池於業界，為計畫之主要目標。此部分成果分為五大項，首先開發商用卷對卷量產連續式製程技術，並應用於軟性高分子太陽電池上；目前以狹縫塗佈技術製作反式P3HT混摻PCBM(C60)高分子太陽電池，太陽電池效率達2.8%；第二部分為開發超音波噴塗技術，噴塗製備導電高分子P3HT混摻ICBA之太陽電池，此技術利用超音波震盪之方式來霧化主動層溶液，使其均勻的散佈至基材表面，目前噴塗面積可達 100cm^2 ，製備之太陽電池效率可達4%；第三部分為開發噴墨印刷技術，製作ITO free之高分子太陽電池，以降低成本。利用噴墨印刷設備噴印銀網輔助電極，配合高導

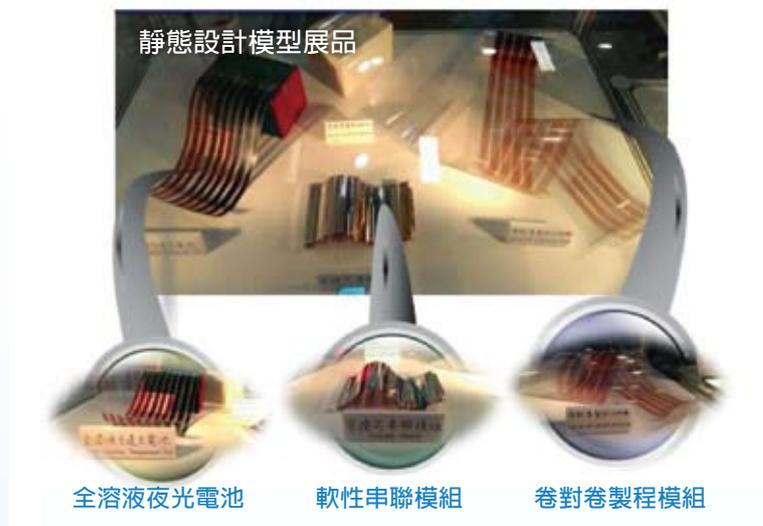
電度PEDOT:PSS取代ITO作為透光電極(透光度達82%，片電阻達83.9ohm/sq)，使用大面積噴塗技術製作P3HT混摻PCBM(C60)之ITO free太陽電池，於4cm²大小之效率達2.6% (目前國際上於相同電極面積4cm²下，發表之最佳值為1.54%)；第四部分為全溶液可透光之高分子太陽電池技術開發，以高導電度之導電高分子PEDOT:PSS，取代習用之上層蒸鍍金屬電極，進行全溶液可透光高分子太陽電池製程技術開發，其效率可達2.9%，與蒸鍍金屬電極之同型效率相當。利用非真空、全溶液可印刷製程取代真空製程，可有效降低高分子太陽電池製程成本；最後在改善高分子太陽電池穩定性方面，製備反式高分子太陽電池元件，於ITO電極上以氧化鋅取代習用之酸性PEDOT:PSS，避免PEDOT:PSS腐蝕ITO造成效率衰減，並以高功函數之金屬電極(如銀)取代易氧化之低功函數金屬電極(如鋁)，可有效增進元件壽命。反式高分子太陽電池元件在未封裝下，其效率在8000小時後，仍可保有原來之70%以上。以上商用製程技術成果配合未來產品應用，已於102年度PV Taiwan光電展覽會及國科會成果展進行動態及靜態展出，展出期間廠商與民眾的反應熱烈。



▲PV2000製備之高分子太陽電池電流電壓曲線圖



▲太陽電池模型屋動態展示，包含軟性太陽電池模組、透光遮陽棚、節能發電窗、陽光屋頂等應用



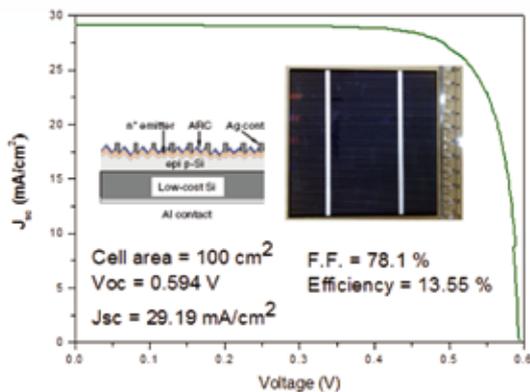
▲商用卷對卷連續狹縫式塗佈製程製作軟性高分子太陽電池

2-3 提純冶金級矽太陽電池技術開發

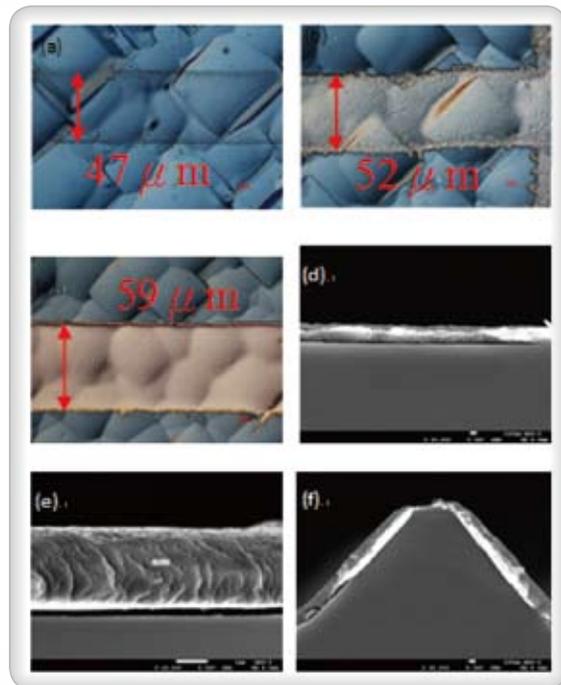
提純冶金級矽太陽電池技術發展，主要為開發薄膜磊晶矽太陽電池技術，此技術亦是低成本、低效率之薄膜太陽電池與高成本、高效率之矽晶太陽電池的另一種最佳選擇。

目前已建立薄膜磊晶矽之關鍵技術及衍生技術。主要的研發成果如下：

- (1) 利用常壓化學氣相沉積系統在純度 $<5N$ 之提純冶金級矽基板上沉積厚度約 $20\ \mu\text{m}$ 之高品質磊晶矽薄膜，並成功開發大面積(100cm^2)薄膜磊晶矽太陽電池，目前最佳之能量轉換效率為13.55%。
- (2) 本所目前已開發一種創新的電鍍鎳銅電極之圖案化方法，以非晶矽薄膜做為後續光致鍍鎳製程中之電鍍阻擋層，並利用雷射對非晶矽薄膜進行局部性加熱動作，經過加熱之圖案區域會再結晶形成多晶矽，此多晶矽則可於光致鍍鎳製程中析鍍出鎳金屬薄膜，而產生圖案化電極。由目前太陽電池元件最高填充因子(FF)達73.8%，已證明此技術是可行的。



▲薄膜磊晶矽太陽電池元件之 I -V 曲線



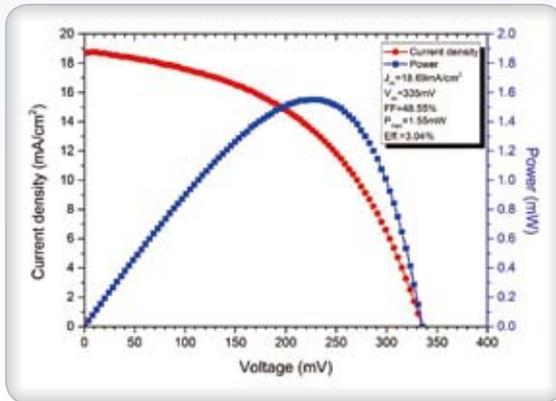
- ▶ 鍍鎳銅之OM及SEM圖；(a)在非晶矽層上進行雷射加熱並轉化為多晶矽之OM圖，(b)在多晶矽(亦即雷射加熱區)進行光致鍍鎳之OM圖，(c)在鎳上面電鍍銅之OM圖，(d)鎳矽界面之SEM圖，(e)電鍍銅之SEM截面圖，(f)在結構化表面之鎳矽界面SEM圖

2-4 銅鋅錫硫系薄膜太陽電池技術開發

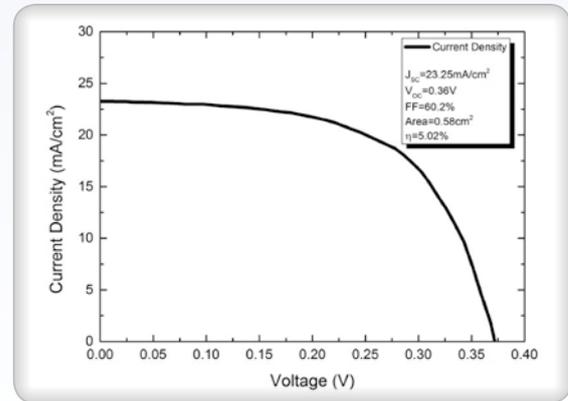
102年度進行之銅鋅錫硫太陽電池技術開發計畫，上半年度針對真空及非真空製程進行前驅物製程研究，並於下半年硒化爐設備建置完成後，針對吸收層最核心之硒化製程進行研究。至102年底具體發展成果如下：

- (1) 真空製程方面，利用電子束蒸鍍製作前驅物，再進行硒化，完成元件後續製程，能量轉換效率達5%；而前驅物以濺鍍方法製備之元件，能量轉換效率達3%。共蒸鍍法製備之元件，能量轉換效率達1.6%。

- (2) 非真空製程係以溶膠凝膠法製作前驅物再硒化，完成元件後續製程，能量轉換效率達3%。以電鍍法製備之元件，能量轉換效率為0.5%。
- (3) 在技術推廣與促進產業發展方面，接受中油公司綠能所委託，開發真空法CZTS太陽電池製備技術。



▲以溶膠凝膠法製作CZTS前驅物之元件I-V特性圖



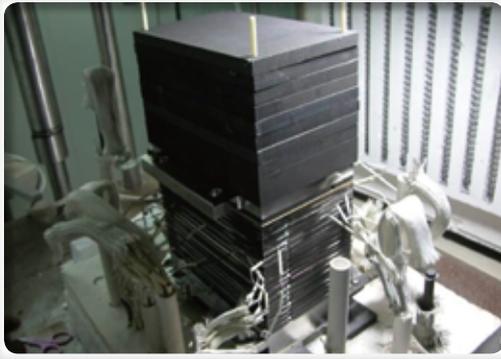
▲以電子束蒸鍍製作CZTS前驅物之元件I-V特性圖

本計畫未來將積極投入高效率、低成本的聚光型太陽電池/太陽光發電系統相關技術開發與產業技術能力建立；也將持續精進高分子太陽電池製程技術，並進行電池之串、並聯製作及各式應用產品之開發。提純冶金級矽太陽電池後續之發展重點為加強光致鍍鎳及金屬圖案化方法等研發成果之推廣；銅鋅錫硫太陽電池未來的規劃將以簡單、便宜及無毒的製程作為技術開發之重點。總之，藉由本計畫研發成果之推廣實施，預期為我國太陽電池技術發展提供有效的助益，協助建立國內太陽能相關產業。

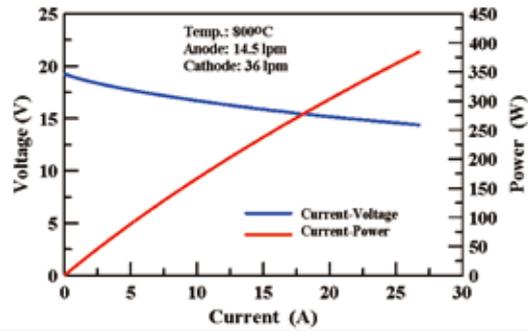
3 高溫燃料電池發電技術與系統發展及應用

配合政府潔淨能源技術發展與應用，促進節能減碳之政策，本計畫致力於高溫燃料電池發電技術與系統發展及應用，以建立固態氧化物燃料電池之關鍵技術。102年度為本分支計畫之第四年，計畫目標為 (1)電池堆量產製程設計及1 kW熱電結合系統元件測試；(2)精進陶瓷基板支撐型及電漿噴塗金屬支撐型電池元件之電性表現；(3)提昇燃料重組器氣體轉化率及加強重組觸媒之耐久性。年度成果分述如下：

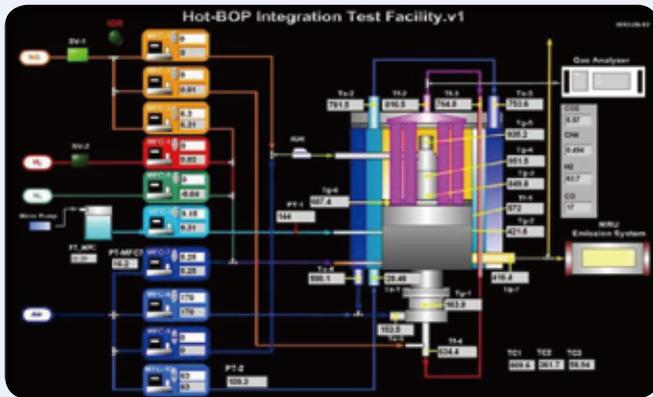
- 以本所自製陶瓷基板支撐型電池片進行18片裝電池堆測試，開路電壓19.23 V (1.068 V/cell)，在電壓於14.39 V下，電池堆功率為384.3 W。此為首次使用本所自製陶瓷基板支撐型電池片進行長電池堆組裝，其密封材料亦為本所自行開發之玻璃膠。
- 燃燒器、重組器及熱交換器整合為單一元件—熱工元件整合裝置，經由實體測試，天然氣重組率達97.5%以上，並可將陰極空氣加熱至760°C以上，同時滿足陰陽極溫度及重組器所需熱能及重組之需求。
- 於中鋼公司建置kW級SOFC發電系統，完成持續運轉500小時，運轉過程中，功率輸出約730 W，各熱工組件性能正常，重組器之天然氣重組率達98%以上。



▲以自製陶瓷基板支撐型電池片組裝之18片裝電池堆



▲以自製陶瓷基板支撐型電池片組裝之18片裝電池堆效能

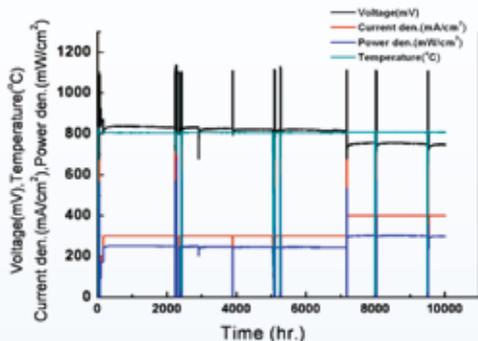


▲SOFC熱工元件整合裝置重組氣體成份及陰陽極氣體溫度

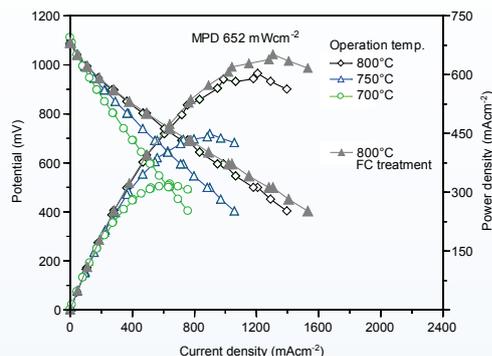


▲建置於中鋼公司之kW級SOFC發電系統

■ 完成高溫型陶瓷基板支撐型電池片製程精進，良率近達100%，並小型量產共計86片（面積 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ），供電池堆組裝測試，第一組18片裝電池堆測試結果良好，每一單元電池功率密度約為21 W。電池片電性耐久度測試超過10,000小時，電性衰減率小於1%/khr。完成新穎陰極材料SSC與SBSC粉體製備，成功使用於中溫型陶瓷基板支撐型電池片，已完成輸出功率測試，在 800°C 發電功率可達 652 mW/cm^2 。102年度本計畫與九豪公司進行陶瓷基板單元電池製作技術專利授權事宜，並於103年1月16日完成簽約，進入實質專利授權階段。



▲電池單元長期耐久性試驗

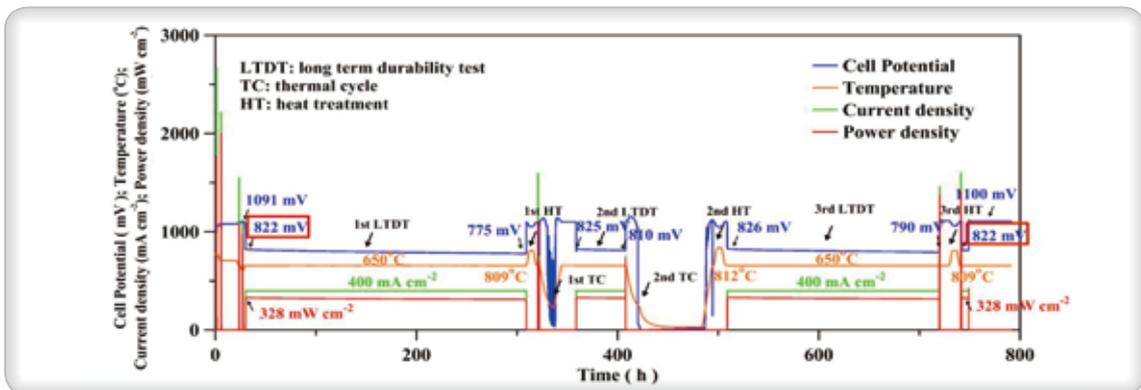


▲中溫型電池單元之效能測試

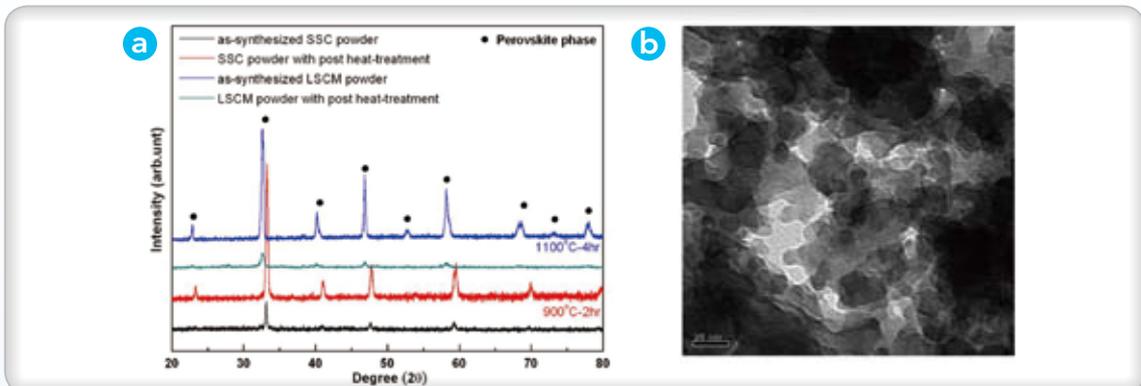


核研所與九豪公司電池單元製作技術授權簽約

- 以大氣電漿噴塗法(APS)製備的金屬支撐型固態氧化物燃料電池片(MS-SOFC)，經過適切的熱處理後，在長時量測試驗中具有效能可回復的特性。如經適當熱處理後的電池片電壓可以維持與測試初期相同。以感應耦合電漿合成法(induction coupled plasma synthesized method)製備具有奈米/微米尺寸之關鍵性固態氧化物燃料電池粉末開發上，已成功掌握製程參數，所製備之SSC與LSCM粉末具有準確及高結晶純度的組成。所開發的「固態氧化物燃料電池及其製作方法」專利，榮獲經濟部主辦的「102年度國家發明創作獎」之「發明獎銀牌」殊榮。該年度之發明競賽經評選後共有464件合格參賽作品，分成6大專業領域，計頒發6面發明獎金牌與28面發明獎銀牌，獲獎實屬不易。



MS-SOFC電池片的長時電性、熱循環與熱處理實驗結果。



(a)以感應耦合電漿合成法製備之SSC與LSCM粉末在初合成與熱處理後之結晶結構分析結果，(b)初合成之LSCM粉末之高解析電子顯微鏡觀察結果。



▲ (a)本計畫獲得之102年度國家發明創作獎之發明獎銀牌獎盃，(b)經濟部主辦的國家發明創作獎頒獎典禮。

- 開發新型的觸媒及找尋最佳的實驗操作條件，使其能夠有效控制甲烷水蒸氣重組反應過程，以實現熱平衡，減少觸媒表面積碳，提高電池效率與壽命，是高溫燃料電池甲烷水蒸氣催化反應的重點研究方向。本所成功開發固態氧化物燃料電池發電系統所需之燃料重組觸媒，以耐高溫且硬度較高之 α -氧化鋁 (α - Al_2O_3) 做為擔體，製備成 $\text{Pt}/\text{CeO}_2/\alpha$ - Al_2O_3 觸媒，其產氫氣濃度可達68%左右，對天然氣產氫有顯著之效能，轉化率大於99%以上，並具有4,000小時以上不粉化之耐久性與抗積碳能力之優點。本研究所開發之新式SOFC用天然氣重組觸媒製程，可應用於未來大規模發電使用。



本年度計畫持續進行系統及元件之技術精進，後續將以本所自製之電池單元組裝電池堆提供系統進行整合測試。目前熱工元件整合裝置已測試成功，無電熱發電系統之體積縮減將於第二代系統中呈現。

未來將著重關鍵技術點的突破，特別在零組件及材料之開發，如電池單元、封裝材料、鍍膜材料、重組觸媒等之開發及製程等均為重點工作項目。另就專利佈局不足處進行補強，將專利及技術再做聚焦。同時積極與國內業者進行技轉與合作開發，俾利於國內產業平台之建構，創造新興能源產業。

4 淨碳技術發展

行政院於97年6月5日通過「永續能源政策綱領」，強調發展以「高效率」、「高價值」、「低排放」、「低依賴」四原則為基礎之「低碳經濟」，並兼顧經濟發展、環境保護及社會正義。國科會接續自98年起推動「能源國家型科技計畫」，進行能源科技策略、能源技術、節能減碳及人才培育研究。本研究係一整合型計畫，旨在逐步建構出前瞻性的淨碳系統工程技術與先進製程研究規劃。

本計畫項下工作主要區分為兩大方向：(1)籌建一實驗級淨碳示範系統，包含氣化技術、氣體處置技術、以及整廠設計與最佳化等核心技術，藉以展現燃燒前二氧化碳捕獲技術之實務化能量；(2)發展二氧化碳捕獲與再利用之技術，除持續發展高效能、低成本之二氧化碳捕獲技術外，未來更將經由再利用途徑以創造更高價值產品。

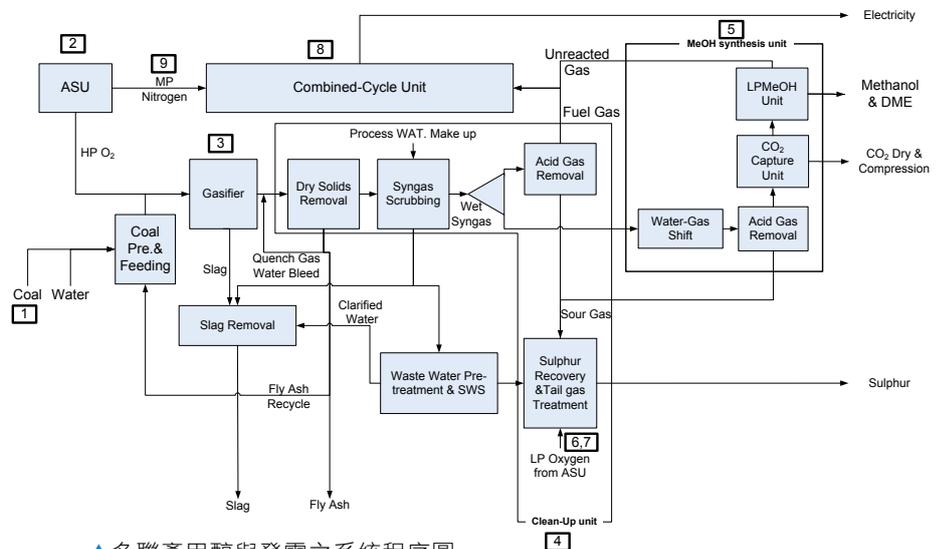
4-1 氣化技術與合成氣應用程序開發

完成氣化爐主體與周邊建置，並於操作溫度為900°C條件下，進行系統操作。接續並增設氣體成分量測系統，正進行出口合成氣中CO、CO₂、H₂及O₂之濃度值偵測調校，後續將針對操作溫度變動對於出口合成氣組成之分析。

其次，針對不同形式燃氣渦輪機結合甲醇多聯產之性能進行系統分析。於相同合成氣流量設定條件下，採用MHI M501G燃氣渦輪機之多聯產系統電力輸出較大，其用於發電之合成氣比例達69%，系統效率為43.5%(HHV)，整廠CO₂排放為366 t/h；而採用GE 7FB燃氣渦輪機之多聯產系統僅需50%之合成氣用於發電，較高比例之合成氣可用於產製甲醇，由於製程須捕獲CO₂，因此其整廠CO₂排放較MHI M501G案例為低，其值為265 t/h。



▲氣化系統設施圖



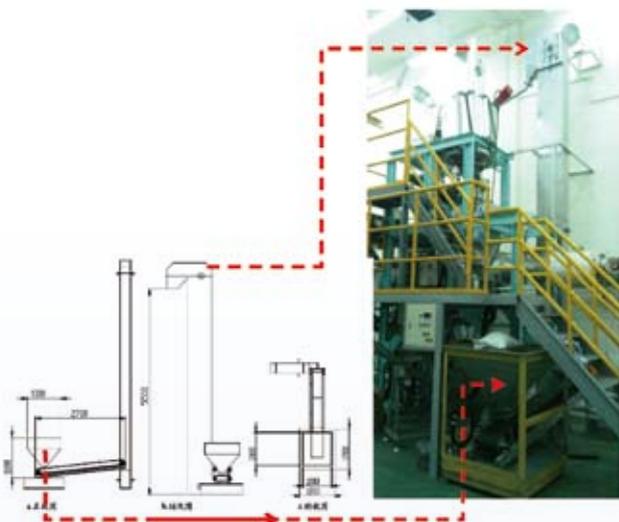
▲多聯產甲醇與發電之系統程序圖

4-2 中高溫氣體淨化技術開發

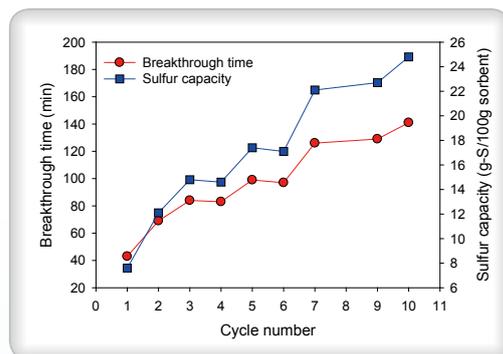
中高溫淨化程序係將典型低溫氣體處理程序由室溫提升至中高溫層級，藉由氣體處理溫度的增高，可降低因溫度變化所導致之可用能量減損，進而提升系統之整體效能。本項技術主要涵蓋兩大領域，茲分述於後。首先為流動式顆粒床過濾器 (Moving Granular Bed Filter, MGBF) 氣體淨化技術，其原生技術為一可應用於中高溫之粉塵過濾裝置，目標將建置可於500°C環境運轉之MGBF除塵測試系統。本年度計畫完成之工作為過濾器等熱模系統周邊設備的建置(濾材輸送裝置)，該系統已可於500°C以下進行運轉。

其次，以多孔金屬氧化物進行中高溫脫硫為具有前瞻性的氣體減排技術之一。在初期研究中，先針對 Fe_2O_3 、 ZnO 、 CuO 和 Mn_2O_3 幾種金屬氧化物進行硫捕獲能力的篩選。由於氧化鐵系脫硫劑展現最佳的捕獲效能，因此被選為進行後續研究的目標。在本年度，計畫完成之工作為氧化鐵系脫硫劑進行十次連續循環反應。結果顯示該脫硫劑反應後的硫載量尚能維持在起始值80%以上。

未來在中高溫淨化技術將進行整合測試，透過兩段式過濾顆粒床技術，可於第一段過濾層中放置除塵之顆粒濾材，而第二段過濾層則置入脫硫劑，當含有粉塵微粒及硫化物之氣體進入過濾程序時，先被除塵之顆粒濾材阻擋，而含有硫化物之氣體則會通過第一段過濾層持續往第二段過濾層移動，此時合成氣中硫化物成份會被該層脫硫劑所形成的過濾層所吸附。藉由發展兩段過濾的模式可衍生到去除多項污染物，將可提升我國淨化技術之國產研發能力。除此之外，相關技術可應用於觸媒/貴金屬回收、廢棄物燃燒系統、流體化床燃燒系統、氣化系統、高溫融熔、觸媒裂解/精煉工廠、空氣污染防治控制、半導體產業、化學製程工業等相關產業上。



▲濾材輸送裝置設備圖



▲鐵系脫硫劑再生循環效能表現

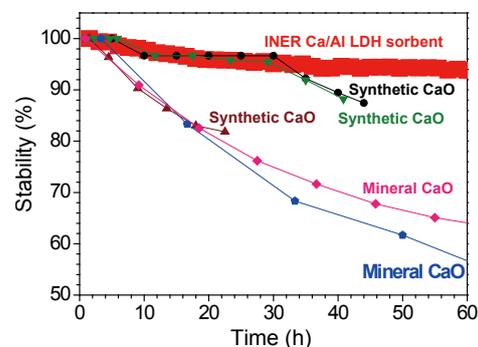
4-3 中高溫碳捕捉技術開發

本研究的主要目的為研發適用於中高溫範圍(600~800°C)的含氧化鈣捕碳劑，相較於傳統技術，其具有適用溫度廣、高捕碳量(>50 wt%)、環保及低能耗等優點。本研究先前已成功合成出具備高穩定性的層狀結構捕碳劑Ca/Al LDH (Layered-double hydroxides) (INER-Ca/Al-CO₃ LDH)，其表現明顯優於市售的氧化鈣與石灰石礦物。本年度則將此種捕碳劑進行量產，將產量從實驗室的克級提升至公斤級，並在捕碳反應器中測試成品的表現。本所自行建置的公斤級捕碳劑製造系統，其包含了原料加熱與混和單元、過濾單元、擠壓單元、乾燥與輸送單元。

以此製造系統所生產的Ca/Al LDH捕碳劑與其他國際文獻上的捕碳劑進行60小時(40迴路)穩定性比較。從圖中可以發現，本研究所生產的捕碳劑60小時後仍具有93%的穩定性，亦即與第一迴路相比仍具有93%的捕獲能力，明顯優於文獻上其他合成氧化鈣的88% (~42小時)以及含氧化鈣礦物的56-64%。利用此設施能夠生產不同類型以及100微米至5毫米粒徑的捕碳劑，提供一種簡便且能夠降低捕碳劑製造成本的方法。未來將會利用此技術所生產的各式捕碳劑應用到固定床或是流體床反應器，測試捕碳劑在反應器中的捕獲能力與穩定性表現，逐步建立中高溫CO₂捕獲關鍵技術，為未來的技術轉移奠定基礎。



▲自行建置的公斤級捕碳劑製造系統



▲本研究所量產的捕碳劑與文獻上的捕碳劑的60小時穩定性比較

本所從94年開始，即依據國內相關政策發展淨碳技術之研究，以冀望達到減碳政策目標與推廣商用化應用，為減緩溫室氣體排放的後續工作進行努力。展望本世紀，化石燃料仍將是人類社會能源供應之主流；因此，碳基燃料之潔淨利用乃為國內兼顧減碳、環保、能源安全之關鍵選項。在策略面向，本計畫除了研發關鍵技術，並將推動工業區能源整合應用實廠示範，藉此近程方案切入技術產業化進程，進一步提升國內產業之競爭力，並開創新興能源產業之產值。

5 分散式電力能源與風能系統工程技術發展

傳統電力系統為集中發電模式，而新世代的電力系統為小型且分散式再生能源發電之供電方式，由於再生能源為間歇性能源，若大量的併入區域電網，將造成電壓浮動的現象，對電力系統運轉產生衝擊。本計畫發展分散式發電及自主式微型電網控制技術為其解決方案之一，藉此技術發展，將可有效控制微電網之再生能源發電滲透率達20%，提昇國家能源安全、開發新興國家市場與加入先進國家市場供應鏈，同時創造綠色就業機會及能源新興產業的契機。本所進行分散式能源電力控制與管理技術發展已完成：

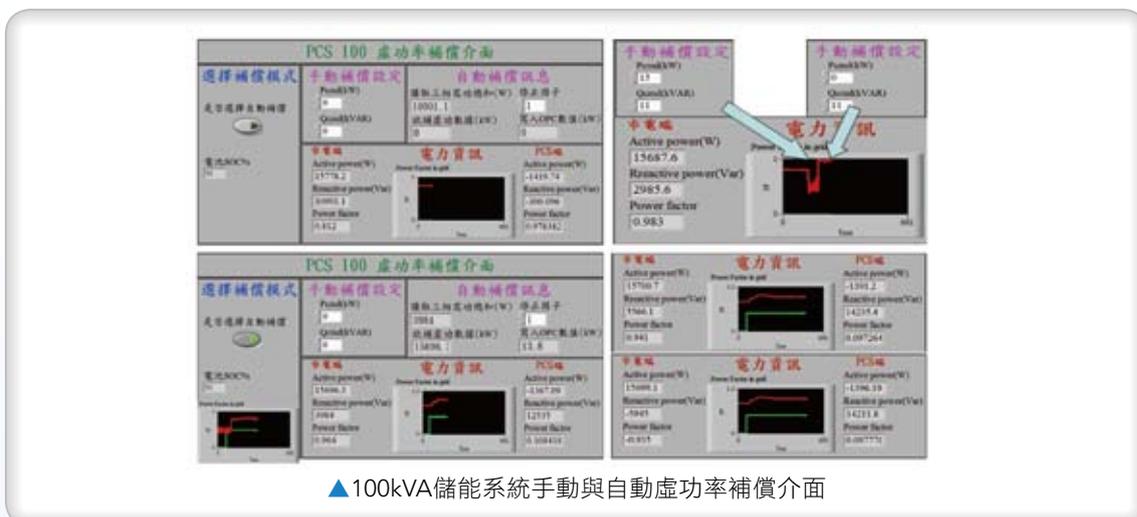
5-1 電力系統工程整合技術

建置國內首座「百瓩級微電網試驗場」及開發微電網三個區域(Zone 1~Zone 3)監控介面與即時量測系統，可以即時顯示微電網所有電表資訊，並載取量測波形資料，並將試驗場內各區域訊號進行同步與記錄於資料庫系統中。完成微電網多段負載同步啟停控制設計，開發具有權重設定之多段負載控制介面程式，可針對三區域電阻性、電感性、整流性與馬達性負載等共計150 kW進行動態負載調節，完成負載自動卸載/解聯等控制技術建置。此外，完成100kVA儲能系統之電能管理控制功能規劃，開發具遠端手動與自動虛功率控制介面，可於各類負載下進行虛功率補償，有效提升微電網的功率因數。



▲微電網監控介面與即時量測系統

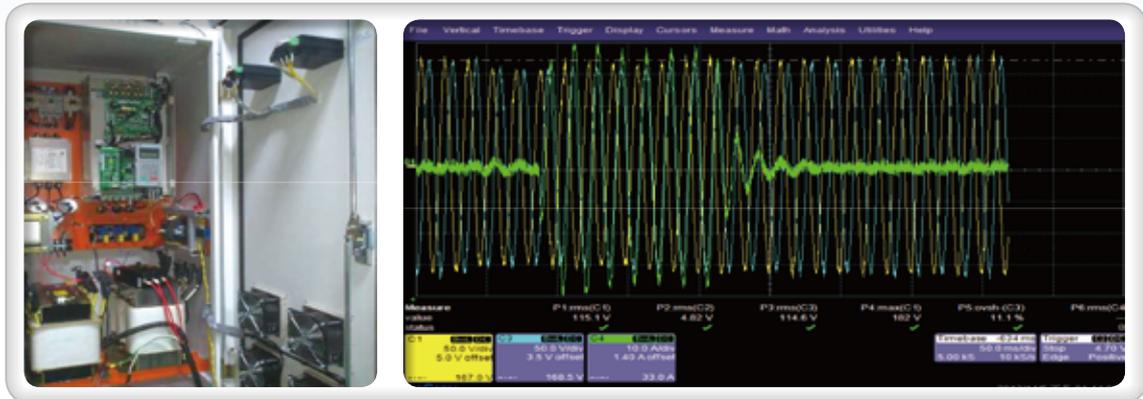
▲具權重之多段負載控制介面



▲100kVA儲能系統手動與自動虛功率補償介面

5-2 能源電力電子技術

研製具有電壓/頻率垂降功能之換流器硬體雛型，藉由換流器之電壓/頻率基準值與垂降係數的設定，達成微電網負載功率之分配控制，完成再生能源發電電壓/頻率垂降控制技術開發。此外，完成具CanBus通訊模組與低電壓穿越功能之三相15 kW市電併聯電力轉換器研製，並開發具能量均衡之電池管理系統，且藉由微電網市電併聯轉換至孤島運轉試驗，於轉換期間進行實虛功率補償控制，大幅改善微電網系統電壓下降幅度至最低電壓190V，且微電網系統電壓降可於4個週期內快速完成恢復。



▲具CanBus通訊與低電壓穿越之三相15 kW電力轉換器

▲三相電力轉換器實虛功率補償控制

5-3 智慧控制與能源管理技術

為將微電網技術推廣與應用於家庭用電管理，本所建置家庭微電網能源管理系統，可展示每分鐘家庭電能使用趨勢，以及預測下一5分鐘之再生能源發電量，並搭配5 kW雙向換流器與20 kWh電池，依據電池電壓計算電池充放電狀態(State of Charge, SOC)，可設定換流器之充/放電自動與手動模式、充/放電率及SOC上下限值，使換流器進行雙向充/放電控制，完成家庭微電網之電能管理與負載平穩控制。未來將考量時間電價機制，進一步針對市電、負載、儲能系統與再生能源，開發符合最佳經濟效益之即時電力調度技術。



▲家庭微電網能源管理系統

▲電能管理與負載平穩控制

藉由微電網技術的發展，可增加再生能源於電力系統中的占比，提升區域電網的供電品質、穩定度與可靠度，未來更可將相關技術實際應用於離島、偏遠社區或中小型鄉鎮區域。在短期效益方面，希冀藉由將微電網與台電饋線連接，並結合產、官、學、研的力量，完成微電網實證示範場域的建置，開發微電網創新產品與扶植國內相關產業發展。在中長期效益方面，包括推廣微電網商業運行與應用、提升微電網內自主能源、確保穩定能源供應及降低碳排放量等。

5-4 小型風力機設計評估實驗室

各國政府近幾年來已開始重視小型風力發電系統之應用，並推行各種補助措施與訂定相關小型風力機標準，而國內標準檢驗局亦於102年修訂台灣小型風力機標準CNS 15176-2與CNS 15176-2-1，其中CNS 15176-2-1為專門針對小型垂直軸風力機所制定之標準。

本所於94年起投入中小型風力機相關研究，目前已成功研發中小型風機25 kW及150 kW機型，具有中小型風機整體系統設計與整合能力。自97年起投入風機驗證分析技術之開發，並且於99年完成符合IEC 61400-1與 IEC 61400-2規範之設計驗證技術開發，101年本所成立小型風力機設計評估實驗室(Small Wind Turbine Design Evaluation Laboratory, SWTDEL)，經過財團法人全國認證基金會(TAF)之審查與評鑑，於 102年7月通過實驗室認證。此外，透過技術移轉與技術服務方式，輔導國內小型風力機廠商如新高能源科技股份有限公司、台達電子股份有限公司等建立小型風力機設計評估技術，其中新高能源科技股份有限公司之垂直軸風力機產品，藉由本實驗室之協助，於101完成設計評估報告，並且送交日本小型風力機協會審查，經過主要審查單位ClassNK之認可，順利於102年6月通過日本小型風力機產品型式驗證，此為日本第一部通過驗證之外國小型風力機產品。

本實驗室未來將協助標準檢驗局進行國內小型風力機自主性產品驗證，並積極技轉小型風力機設計評估技術於國內小型風力機廠商，同時以現有小型風力機設計評估技術為基礎，建立大型風力機與離岸風力機設計評估技術以提昇本所風力機相關研發能量。



▲小型風力機設計評估實驗室
認證證書

▲新高能源公司DS3000產品通過
日本產品形式驗證證書

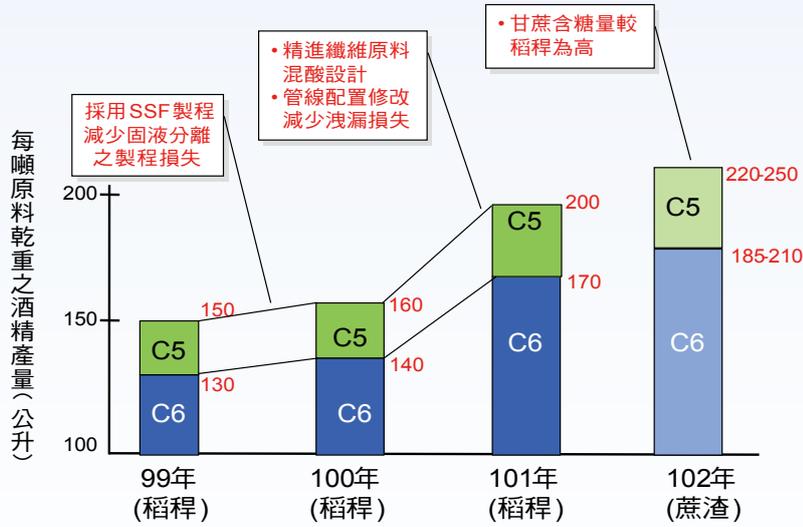
6 纖維酒精量產技術研發

本計畫之目的係配合國家生質酒精推動政策，開發自主生產纖維酒精之技術能力，協助國內發展纖維酒精及其衍生相關產業。鑒於纖維酒精技術為新興的生質能源轉換技術，因此在產業化的過程中，有必要建置測試廠規模之大型研究平台，進行量產製程運轉之驗證，以消除技術商轉應用之風險性。本所於98年底首先完成日進料1噸之纖維酒精測試廠之建立，並自99年起開始進行測試運轉。目前此測試廠已成為國內發展纖維酒精技術之重要平台，可提供量產技術可行性驗證、國內外生物資源測試、人員訓練與教育推廣、產業與國際合作等功能。期藉由本計畫之執行，建立可商轉應用之纖維酒精量產技術，以農、林業剩餘資材為原料，生產纖維酒精為交通運輸用燃料，據此達到促進低碳產業發展、能源多元化及二氧化碳減量之效益。



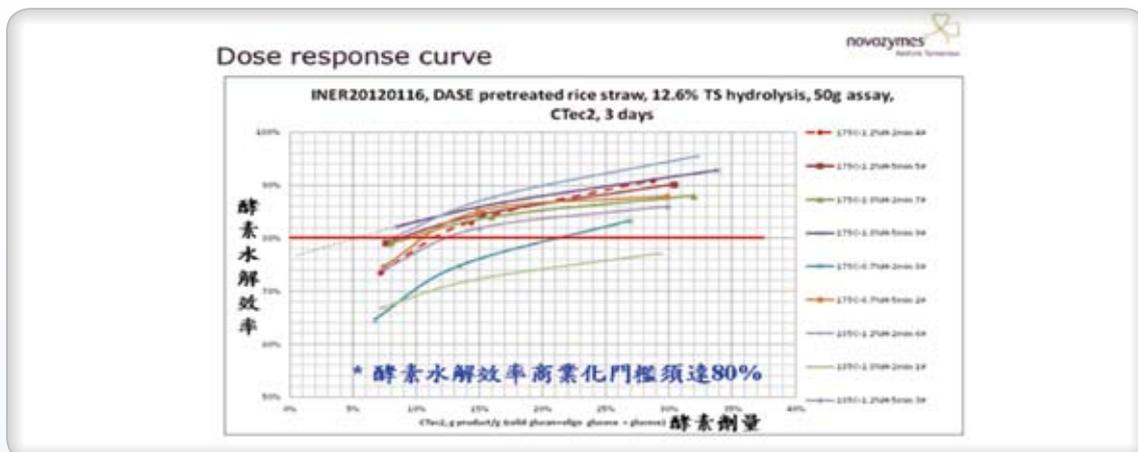
▲本所日進料1噸之纖維酒精測試廠設施

日進料1噸之纖維酒精廠歷經99～102年來的測試運轉，已累積相當之運轉操作經驗與測試數據，其主要成果包括(1)建立整廠設備穩定運轉能力：噸級廠目前可進行連續全程2週以上之運轉操作，主要採行同步水解及發酵(SSF)生化程序進行運轉，亦可採同步水解及共發酵(SSCF)程序；(2)建立具國際競爭力及特色之纖維轉化酒精製程：本計畫為國際上少數專注於以全球產量最豐之木質纖維素原料-稻稈轉化纖維酒精的量產製程開發，亦同時開發以亞熱帶地區相當豐富的甘蔗所產出之蔗渣轉化纖維酒精的生產技術，經由持續對主要單元系統設備與周邊設施進行檢討精進，目前估算每噸乾稻稈轉化酒精量已由初期約150公升提升達原設計目標200公升，每噸乾蔗渣則可生產約220～250公升酒精，此成果已與國際水準在伯仲之間；(3)完成以SSF程序為基準之噸級規模測試廠的廠區合理化配置設計與整廠3D模型建立，並估算噸級廠纖維酒精製程之淨能源比(net energy ratio)至少可達2.0以上，據此可建立具能源效益之纖維酒精量產製程；(4)根據噸級廠運轉成果與上述合理化配置之成果，規劃工廠設備配置與生產排程，建立日進料30噸稻稈之驗證廠基本設計方案，完成其能源效益及成本分析，並據此推估廠房土地及設備設施需求、能資源使用量等建廠所需之設計資訊，將可作為驗證廠建置之細部設計或放大至日進料1,000噸商轉廠的基本設計參考依據。



▲計畫各年度之酒精產量提升情形

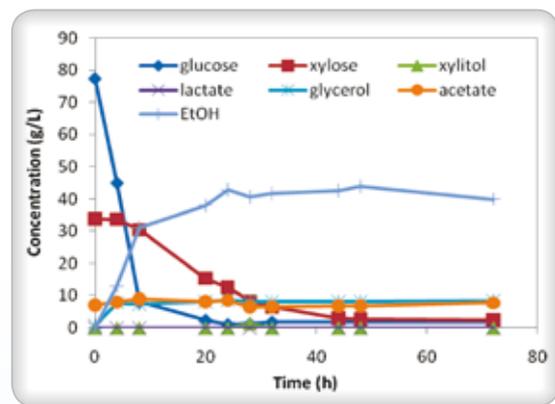
本計畫所開發酸催化蒸汽爆裂前處理系統之核心技術包括(1)特殊纖維原料連續進出料輸送設計，可阻隔反應器內外壓力，使纖維原料能由常壓送入高溫高壓反應器內並可連續出料；(2)特殊螺旋葉片設計，可輸送纖維原料並與酸液充分混合；(3)可連續進料、預熱、高溫高壓下定量注(酸)液、混合及連續瞬間爆裂洩料與固液分離之完整系統。雖然本計畫應用之酸催化蒸汽爆裂的原理與國外相關技術類似，但其輸送系統及連續操作之閥件係以輕、蓬鬆易架橋、柔軟韌性高之稻稈為開發對象，此與國外以玉米稈(如NREL)、麥稈(如Inbicon、Süd-Chemie)及蔗渣(如M&G/Chemtex)等原料所開發之技術有很大的差異，亦為本計畫開發之前處理技術的重要特色。且此系統已驗證可連續處理各種纖維原料如蔗渣、孟宗竹、麻竹及木片等原料。此外，由測試廠前處理系統所生產之稻稈前處理固渣經由國際知名酵素生產諾維信(Novozymes)公司進行酵素水解效能測試後，顯示絕大多數操作條件製備之固渣皆能符合酵素水解效率 80 % 的商業化門檻。本計畫由預/前處理技術開發所衍生之專利技術，已取得5項中華民國專利 (I340192, I346723, I369944, I364427, I392544)及1項美國專利(8,080,128B2)，並有4項中華民國專利及9項東南亞專利申請中。



▲Novozymes評估核研所稻稈前處理固渣結果

生化程序設計研發之特色與成果包括(1)可根據原料組成評估生化程序適用性：SSF程序和SSCF程序皆可應用於纖維轉化酒精，可依原料組成特性決定程序應用選擇，如稻稈或蔗渣的木糖含量約為20~25%和纖維素含量約30~40%，依前處理程序可轉出木糖濃度40~50 g/L，其可適用於SSCF程序；由於木片的木糖含量約為10~15%，纖維素含量約50~60%，其可轉出木糖濃度有限，故建議可選擇SSF製程；(2)建立SSF及HSSF量產製程：每噸乾稻稈約可轉化200 L酒精，酒精生成率可維持65%以上(亦即酵素水解效率>70%；葡萄糖發酵之酒精生成率>90%)。其中酵素劑量為選擇Hybrid SSF、SSCF或是傳統SSF、SSCF的主要考量，將可視當時的酵素成本而定，基本上結合預水解後的Hybrid程序操作，將可較傳統程序減少1/3的酵素用量，但相對上需要較高的發酵菌接菌量，反應時間可能需要較長。

發酵菌株開發之特色與成果包括(1)本計畫將開發之共發酵菌於經酸催化前處理之不同纖維原料(稻稈、蔗渣、白楊木、玉米稈、玉米芯、狼尾草等)水解液進行發酵測試，結果顯示木糖利用速率可維持在1.0 g/L/h以上，木糖轉化酒精產率在0.33~0.4 g/g。此結果說明本計畫開發之共發酵菌株能適用於不同原料來源之水解液，並能維持高酒精發酵效率；(2)已有國外公司提供前處理水解液給本研究團隊進行合作測試，藉此了解共發酵菌Y15之發酵能力，測試結果如圖顯示菌株發酵能力達國際領先水準；(3)共發酵菌應用於SSCF程序之放大研究測試：因應後續將以噸級廠設施進行SSCF製程之驗證測試，本計畫分別以5L及100L發酵槽，交互進行scale-up及scale-down之實驗。在5L發酵槽實驗研究方面，分別針對接菌量、通氣量、酵素添加時間及纖維原料前處理後固液分離之需求等進行評估。實驗結果顯示為克服水解液抑制物的影響，接菌量必須在每公升1 g細胞乾重以上能獲得較佳效果，通氣量約控制在0.03~0.05 vvm，而纖維原料前處理後固液分離再進行去毒化之酒精發酵效率較固液不分離時要高，同時延緩酵素添加時間也對菌株發酵能力有幫助。本計畫以5L、100L及噸級規模發酵設備進行scale-up測試共發酵菌於真實水解液的發酵能力，其結果顯示總糖(木糖+葡萄糖)轉化酒精效率可穩定地維持在80~90%，總糖利用速率亦能維持在2.6~2.9 g/l/h，此顯示本計畫開發之共發酵菌在噸級發酵設備亦能維持高發酵能力，同時亦顯示本計畫已成功開發發酵規模放大平台。此結果亦可作為後續共發酵菌應用於SSCF程序scale-up研究之基礎。



▲玉米稈水解液共發酵測試(國際合作測試)

廠內酵素生產研發成果：目前自行生產之酵素活性可達20 FPU/mL，與相關學術期刊所公佈的資料比較，已達國際領先水準，且以稻稈為誘導碳源生產酵素亦具有新穎性，亦已獲得中華民國發明專利(第I408231號)。102年建立具有技轉潛力之公噸級廠內酵素生產技術，提升酵素粗萃液活性，並進而降低纖維酒精量產之酵素成本，同時盤點酵素試產之操作參數及使用物料，建立廠內酵素生產技術之成本推估方法。評估結果顯示，自行生產酵素成本約8.4 NT\$/L，已具相當競爭力，但酵素組成中的 β -glucosidase活性仍有待提升，且酵素生產之工程放大技術亦有待精進。

能資源整合探討為配合測試廠實際運轉結果，輔以模擬與分析技術，所建立之基礎資料，因此其結果具有相當可行性，主要成果包括(1)纖維酒精製程之質能平衡計算平台建立：配合計畫的研究開發，SSF與SSCF兩種生化程序的質能平衡已一併完成，並建構完整酒精廠的質能平衡計算模式，採用文獻上的數據，將酒精製程產生的廢水進行厭氣處理、同時結合渣料(木質素)進行汽電共生、回收能量，並合併前兩年的製程模式。現今已將整個模式移植到商業軟體上建置，並在不影響準確性的前提下移除微量物質，增加運算效能。此平台現正用於商轉驗證廠基本設計的質能平衡計算。爾後，也可以依照新製程的研究開發或是產業需要而修改，即時地做為比較評估或設計使用；(2)節能措施與驗證廠熱整合規劃：纖維酒精製程在能量平衡上必須符合能源效益，得到的產品能量需大於製程運轉的能量(即NER>1)。99~100年進行單元內熱整合工程的規劃與施工，包括蒸汽用量最大的前處理與蒸餾系統，實施以廢熱來預熱進料的熱整合工程後，能各自節省10%與8%的蒸汽。101年起開發饋料SSF程序，使水解發酵時間由60 h縮減為48 h，減少水解發酵的電力消耗達20%。102年應用依熱整合狹點分析技術進行整廠的節能設計，其節能措施包括：(a)前處理蒸汽爆裂和蒸餾再沸器等耗能設備的熱回收，預計可減少總蒸汽用量約20%；(b) 發酵槽曝氣改採鼓風機，使壓縮機減量省電15%；(c) 製程產生之生質廢棄物用於汽電共生；(d) 採用吸收式冰水機減少所需的電力等。以稻稈為原料製程的NER概算，在未實施節能措施時為0.43，實施蒸汽熱回收僅提高為0.56，將木質素(固體廢棄物)用於汽電共生則NER可大於1，高至1.24，進一步結合蒸餾塔底液、木糖液等液體廢棄物生產沼氣用於汽電共生，則NER可提高達4.61，以蔗渣為原料估計NER將達5以上。

SSF程序實施各種節能措施下之淨能源比(NER)

原料	熱整合與CHP措施	程序消耗		CHP產生		淨輸入(MJ)	輸出(酒精)(MJ)	NER
		電力(kWh)	蒸汽(kg)	電力(kWh)	蒸汽(kg)			
稻稈	無措施	902.0	2350.8	0	0	9288.9	3986.1	0.43
	程序整合	902.0	1524	0	0	7164.0	3986.1	0.56
	以木質素CHP	902.0	1524	-127	-1358	3216.8	3986.1	1.24
	廢液加木質素CHP	902.0	1524	-662	-1524	864.2	3986.1	4.61
蔗渣	無措施	902.0	2350.8	0	0	9288.9	4453.3	0.48
	程序整合	902.0	1524	0	0	7164.0	4453.3	0.62
	以木質素CHP	902.0	1524	-127	-1358	3216.8	4453.3	1.38
	廢液加木質素CHP	902.0	1524	-662	-1524	864.2	4453.3	5.15

纖維酒精技術之研發已進入商轉前階段，現階段推動與既有相關產業以共構模式建立纖維酒精廠，為優先建議推動產業化發展之策略。後續工程化放大技術為技術產業化之發展瓶頸，目前日進料規模可達100噸以上之前處理技術方能符合纖維酒精商轉廠之需求，而大型水解槽之工程設計、發酵菌株於發酵規模放大後之穩健性亦為後續重要的研發項目，因此後續應朝纖維酒精工程放大技術積極研發，協助產業跨越技術產業化之死亡之谷，建立具指標性之纖維酒精商轉廠。

7 我國能源科技及產業政策評估能力建置

7-1 我國用電零成長之電力規劃與減碳分析

因應國際低碳趨勢，政府訂定嚴格的溫室氣體減量政策目標，如總統政見及行政院民國97年6月5日通過之「永續能源政策綱領」，即114年回到89年碳排放量水準，139年回到89年碳排放量50%的水準。102年度以MARKAL-ED能源系統工程模型，在用電成長率為0%（用電零成長）且不發展碳捕捉封存(Carbon Capture and Storage, CCS)技術為前提下，模擬不同的再生能源發展、電力供給組合情境，分析各情境發電成本與排碳量，提供決策者再生能源與減量措施規劃的相關建議，協助政府達成減碳政策目標。

研究結果顯示，就短期(114年)而言，使用核能可降低發電成本，亦可減少碳排放量。若大量使用再生能源，會因技術成本過高，使發電成本增加14%，相對僅減少6.2%的排碳量，成本效益並不顯著。長期(139年)而言，因再生能源成本下降，大量使用再生能源可減少19.8%的排碳量，發電成本則與使用化石燃料情況相當，成本效益顯著。因此，在電力系統由化石燃料為主，轉換成高再生能源占比的過渡期間，建議選擇核能、天然氣等低碳燃料，填補電力缺口。另一方面，模型分析結果顯示，即使在用電零成長、再生能源裝置容量達到政府政策目標、既有核電廠延役及核四商轉、使用大量天然氣等假設同時存在下，亦無法達成政府既定之114年、139年減碳政策目標，減碳缺口依然存在。此外，用電零成長、發展再生能源、發電結構調整等減碳措施，仍面臨許多挑戰。

綜合而言，政府訂定的溫室氣體減量目標過於嚴格，除了會造成經濟衝擊外，以用電零成長與本研究所採用之發電技術組合仍無法達成減碳目標，建議政府適時修訂碳排放減量目標，使其具實務可行性。若要維持既定之溫室氣體減量目標，則可能需藉由使用更多的再生能源、發展碳捕捉封存技術、使用核能、或用電負成長，才能達成目標。

7-2 台灣能源服務需求價格彈性推估

能源服務需求價格彈性(the price elasticity of energy-service demand)係指能源服務需求量對能源服務價格(成本)改變之反應程度。由於能源服務需求價格彈性為MARKAL-ED模型之關鍵參數，唯過去台灣研究單位僅沿用國外模型設定值(如 UK MARKAL 模型)，而國外相關研究亦未詳述此彈性設定值之推估方法與過程。然而，能源服務需求價格彈性設定對政策分析結果影響甚大，若高估能源服務需求價格彈性，可能高估政府價格政策效果(如能源稅政策)，將過於樂觀看待需求面所貢獻之溫室氣體減量效果。反之，若低估能源服務需求價格彈性，則可能低估能源需求面政策之貢獻，將政策導向以能源供給面為主的發展方向(如電廠興建、碳捕捉與封存技術導入等)，故能源服務需求價格彈性設定應符合當地國情才較為合理。有鑑於此，本研究首度嘗試以台灣本土化能源統計資料進行能源服務需求價格彈性估計，除可將MARKAL-ED模型更趨於本土化外，亦可使其評估結果更符合實際國情。

實證結果發現若直接採用UK MARKAL參數將可能高估或低估價格政策效果，參考附表所示，住宅部門其它設備類彈性推估值(-0.12)明顯較低於UK MARKAL參數設定值(-0.32)，則可能對住宅其他設備節能效果之推論過於樂觀；運輸部門之機車的彈性估計結果(0.09)與UK MARKAL設定值(-0.41)亦呈現顯著差異，此結果反映台灣機車使用具季芬財之特性；工業部門則因產品主要為出口導向，與英國內需導向不同，因此以本土化推估之能源服務需求彈性值相對UK MARKAL設定值普遍為低。如上述所言，本研究推估之本土化能源服務需求價格彈性仍相對UK MARKAL模型參數設定值更符合台灣現況，因此若以本研究推估之彈性參數導入MARKAL-ED模型，將可使其評估結果更符合台灣實情，亦可使其評估之價格政策效果更合理。

各情境之發電成本與排碳量比較

情境	2025年		2050年	
	發電成本 (2010新台幣/度)	相較於2010年 排碳量之變化(%)	發電成本 (2010新台幣/度)	相較於2010年 排碳量之變化(%)
N ₀ R ₁	3.05	-5.5	3.79	-52.3
N ₁ R ₁	2.81	-9.8	3.44	-56.5
N ₂ R ₁	2.45	-16.8	3.42	-56.7
N ₀ R ₂	2.60	+9.2	3.75	-31.9
N ₁ R ₂	2.40	+3.5	3.50	-36.9
N ₂ R ₂	2.15	-10.6	3.49	-36.9

註：[1] N₀ (既有核電廠皆不延役，核四廠不商轉)

N₁ (既有核電廠皆不延役，核四廠如期商轉)

N₂ (既有核電廠皆延役，且核四廠如期商轉)

R₁ (再生能源裝置容量達成台灣政策目標，且以核能、燃氣電廠為優先選擇)

R₂ (再生能源裝置容量維持2010年的規模，且不再新建燃煤電廠)

[2] 2050年時，既有核電廠皆已除役(既有電廠延役亦只運轉至2045年)，核能發電對成本與排碳量的影響，僅在於核四是否商轉。

能源服務需求價格彈性推估結果與MARKAL模型設定值比較

部門別	需求別/產業別	本研究推估值		UCL (2010)	UKERC (2009)	本研究 建議值
		短期	長期			
住宅	照明	-0.33	-0.51	-0.31	-0.31(電器)	-0.33
	空調(冷)	-0.39	-0.71	-0.31	-0.31(電器)	-0.39
	冰箱	-0.30	-0.53	-0.31	-0.31(電器)	-0.30
	烹調	-0.28	-0.45	-0.33	N/A	-0.28
	熱水	-0.39	-0.53	-0.34	-0.34	-0.39
	其它	-0.12	-0.12	-0.31	-0.31(電器)	-0.12
服務業	空調	-0.38	-0.38	-0.32	-0.32	-0.38
	照明	-0.42	-0.55	-0.32	-0.32	-0.42
	其它	-0.42	-0.65	-0.32	-0.32	-0.42
運輸	小客車	-0.01	-0.34	-0.54	-0.54	-0.34
	大客車	-0.05	-0.18	-0.38	-0.38	-0.18
	大貨車	-0.31	-0.52	-0.61	-0.61	-0.52
	小貨車	-0.19	-0.32	-0.61	-0.61	-0.32
	軌道運輸	-0.04	-0.45	-0.24	-0.24	-0.45
	機車	-0.04	0.09	-0.41	-0.41	0.09
	航空	0.51	-0.36	-0.38	-0.38	-0.36
	海運	-0.42	-1.29	-0.18	-0.18	-0.42
工業	鋼鐵	0	-0.14	-0.35	-0.44	-0.137
	水泥/非鐵金屬	-0.11	-0.15	-0.35	-0.44	-0.154
	石化	-0.2	-0.38	-0.50	-0.49	-0.380
	造紙	-0.21	-0.22	-0.15	-0.37	-0.224
	電子電機	0	-0.14	-0.15	-0.32	-0.144
	工業其他用電	0	-0.15			-0.153
	工業其他用熱	-0.19	-0.24			-0.239
非能源使用	非能源使用	-0.25	-0.25	-0.15	N/A	-0.254
農業	農業	-0.12	-0.62	-0.32	-0.32	-0.122

■資料來源：Willian and Neil(2010)；Anandarajah et al. (2009)；核研所整理

三、輻射應用科技研究

本所輻射應用於醫療領域之研發，102年聚焦於：

1. 診斷用核醫藥物：(1)氟-18FDGalactose：成功開發塔羅糖之放射氟化反應製程方法，已達到毫居里級氟-18-Gal之放射活度。(2)建構正子發生器技術：完成核醫藥物注射劑自動化製程參數及其評估方法建立，可望提升藥物標誌自動化技術。(3)大腸癌造影與治療雙功能試劑：新穎奈米微粒載體，提高藥物聚積腫瘤部位，增加造影效果與抑制腫瘤生長。(4)建立PLGA生物可分解性微粒研製技術，使診斷或治療藥物可有效聚積於腫瘤部位。(5)腫瘤造影藥物：已成功開發具潛力的碘-123 InerTA細胞增生腫瘤造影劑。(6)建立電腦分子模擬運算平台，成功應用於中樞神經系統診斷試劑前驅物虛擬藥物篩選。
2. 標靶治療用核醫藥物：(1)被動標靶治療藥物：「銻-188微脂體」已在台北榮總進行第零期臨床試驗，評估轉移性癌症病人使用微劑量治療之安全性，完成14例試驗，檢驗受試者之生理狀況與生化檢驗，證明其安全性。(2)主動標靶治療藥物：證實結合放化療物¹⁸⁸Re-liposome-Fcy-hEGF/5-FC更具治療EGFR過度表現腫瘤細胞潛力。(3)栓塞治療藥物：銻-188-MN-16ET/利比多肝癌治療新藥已經由肝癌動物模式已證實其肝癌之療效。
3. 分子造影平台服務：本平台主建構與提供輻射技術與分子影像技術服務，協同生技醫藥國家型計畫，共同開發早期診療或輔助診療之藥物，協助加速進入臨床試驗。
4. 新穎體外檢驗試劑：利用Co-60照射改質之EB病毒臨床體外免疫診斷試劑，具有迅速、方便使用以及低偵測極限的特性。已與馬偕醫院完成50個健康受試者檢體分析，驗證本所開發的試劑與檢測方法效能。
5. 高階醫療器材與植入骨材：開發具輕薄、低耗能、抗強干擾之核醫成像裝置，協助本土產業建立具競爭力之關鍵組件，以及利用Co-60照射改質奈米複合水膠之植入骨材，獲得生物相容性之驗證。

102年研發成果包括專利34件，國外期刊33篇，國際會議4篇，研究報告85篇，成果豐碩，本領域致力於我國核醫產業技術之建立，核醫藥物本土化，維護國人健康為目標。

本所輻射應用於醫療領域之新藥研發團隊於新藥研發策略，以benchtop to bedside研究端到臨床應用端思維，腦力激盪、專業整合，共同開發具產業潛力與價值的藥物。本年度聚焦在肝臟、肺臟、腫瘤、神經母細胞瘤與神經疾病診斷藥物開發為主軸，未來研發方向積極推動各項藥物臨床應用外，更延伸觸角朝向獨步全球創新藥物開發邁進。

醫療領域之醫療器材研發團隊則著重於半導體光電元件成像偵檢器、影像系統物理模型演算法、生技醫材輻射改質等具產業價值輻射應用之實用技術開發。建立之可專利技術與建置自主核心技術之高階醫材開發平台，未來可望結合國內已有或發展中之產業鏈，落實研發成果商品化。

無論是新藥開發或醫療器材開發，輻射領域各項研發最終目標在於提升我國生技醫藥與核醫產業技術之建立，以維護國人健康為宗旨，落實與提升原子能應用於民生用途。更重要的是將核醫藥物本土化與躍上國際競爭平台，讓台灣本土之生技醫藥研製水準可與世界並駕齊驅。

1 輻射生物醫學研發與推廣應用

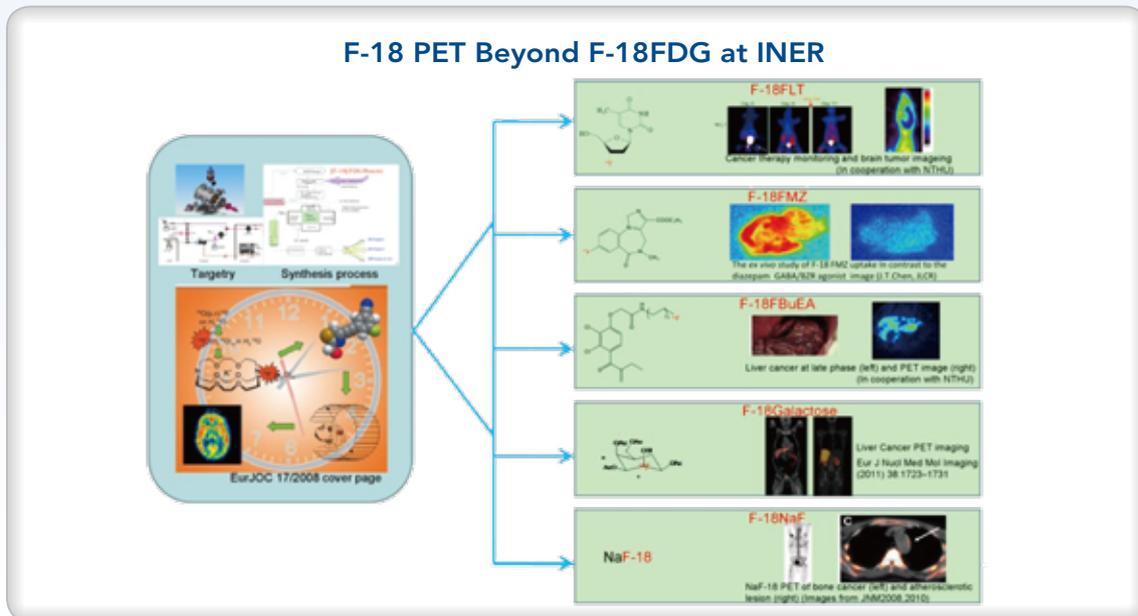
本分支計畫包含「醫用加速器同位素製程開發與應用研究」、「開發新型癌症診療用核醫藥物與應用研究」、「輻射生物及造影技術開發」三個分項計畫，本計畫以全面開發新藥、高階醫療器材與其它技術為主要目標，包括自主開發放射性同位素、核種發生器、新藥前驅物合成、標誌、細胞試驗、動物試驗等技術到臨床試驗應用。102年之重要執行成果：分項計畫一：「成功研製正子造影新分子」、「建構正子發生器技術」、「開發單光子核苷造影新分子」。分項計畫二：「開發大腸癌造影與治療雙功能試劑」、「建立PLGA新型生物可分解性微粒研製技術」、「建立電腦分子模擬運算平台」、「新型缺氧組織造影劑標幟前驅物合成研究」。分項計畫三：「高取樣率晶體穿透校正，提升核醫影像定量精確度」、「建置半導體成像偵檢器技術」與「驗證奈米複合水膠骨材之生物特性」。說明如下：

1-1 醫用加速器同位素製程開發與應用研究

本計畫主要將放射性同位素技術應用於生物醫學研究領域，以做為核醫藥物研發與應用推廣之研究先驅。研究工作重點包括「加速器高能質子射束研製同位素之延伸技術與應用研究」、「放射性核醫藥物自動化製程與模組技術之研發」、「單光子造影分子探針之開發」三個領域。102年之重要執行成果：分項計畫一：「成功研製正子造影新分子」、「建構正子發生器技術」、「開發單光子核苷造影新分子」。

■ 正子造影新分子研究

應用中型迴旋加速器產製正子放射性同位素來開發新的正子放射分子，成為新的候選藥物。本所加速器是具備國內最高質子劑量的迴旋加速器，為擴展加速器應用於生醫之研究用途，計畫研究工作中將質子射束線延伸，增加研製正子放射性同位素之質子照射站，並與原來已經開發完成之照射靶技術結合，產製之正子放射同位素氟-18離子，應用於新放射分子之研發。本計畫過去已取得藥品許可證的正子造影核醫藥物，計有核研去氧葡萄糖[氟-18]注射劑和核研[氟-18]氟化鈉注射劑兩項，氟-18正子新放射分子主以葡萄糖磷酸化酵素、鈣離子、半乳糖磷酸化酵素、酪胺酸酵素、胸苷酵素、GST酵素、半乳糖受體以及Tau蛋白作用有關。



■ 102年之重要執行成果

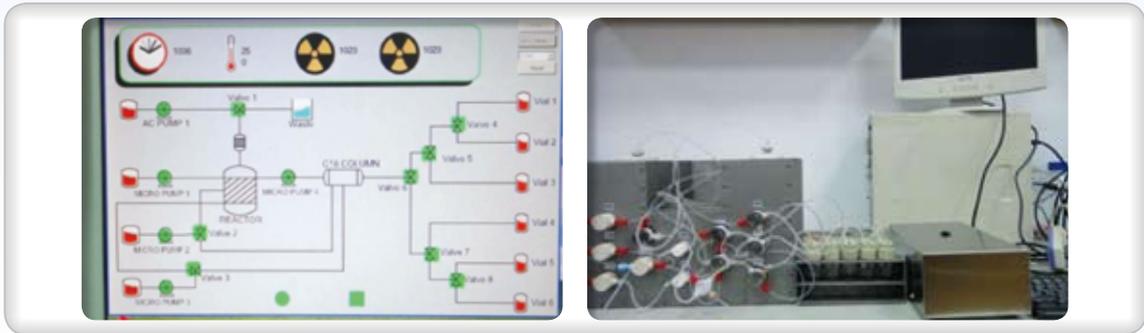
- (1) 正子腫瘤造影劑之研究開發：近年來，肝臟造影的分子氟-18FDGalactose最受國內學研界矚目，氟-18FDGalactose在體內會受到半乳糖磷酸化酵素的作用，轉變成磷酸化的氟-18FDGalactose，此磷酸化反應之速率可藉由氟-18之正子造影評估。歐洲人體臨床試驗結果，偵測肝癌之靈敏度可達96%，特異性達100%，因此對於此國人好發之疾病診療，有明顯助益。本年度以自製靶系統所生成之氟-18離子與具保護基與離去基之塔羅糖反應，生成放射氟化之半乳糖，已達到毫居里級氟-18-Gal之放射活度，紮根於新穎之肝腫瘤造影分子之技術基礎。
- (2) 單光子腫瘤造影劑之研究開發：與學界合作完成具與第二型環氧酵素（COX-2；cyclooxygenase-2）作用之單光子造影新分子碘-123IOFA，並藉由醫界提供之動物模式，證實該分子之腫瘤攝取能力，研究成果已發表於著名的國際期刊，若改為與碘-124鍵結，則為正子造影新分子。

■ 一種核醫藥物注射劑自動化製程參數及其評估方法

生技醫藥產業之藥物研發中，製程自動化與增加產率，是相當重要的關鍵環節之一。本計畫主要著重於建置自動化製程評估參數與系統，藉此評估系統可提高產品品質與生產效率。放射性核種原料含不純物，因其半衰期較短，故會造成有效放射性劑量值偏移，致使藥物達到校正期時，劑量不足。針對此問題同樣可藉由本專利之評估系統與評估方法而得以解決，其二可調節pH值，減少局部刺激及副作用的產生。

先前技術：抽取放射性核種之劑量(DOSE)體積後，以放射活度量測儀量測活度後，在經生理食鹽水或注射用水直接調劑，但並未考慮注射液劑之pH值及液劑之等張性。

本方法主以評估放射性核種原料，含不純物計算、調節pH值與調節滲透壓為主。(1)放射性核種原料含不純物，因其半衰期較短，故會造成有效的放射性劑量值偏移，致使藥物達到校正期時，劑量不足。針對此問題，同樣可藉由本專利之評估系統與評估方法而得以解決，(2)調節pH值，減少局部刺激及副作用的產生。本評估系統有其新穎性與產業可利用性。



▲Ga-68藥物自動化控制電腦介面

▲Ga-68藥物自動化模組

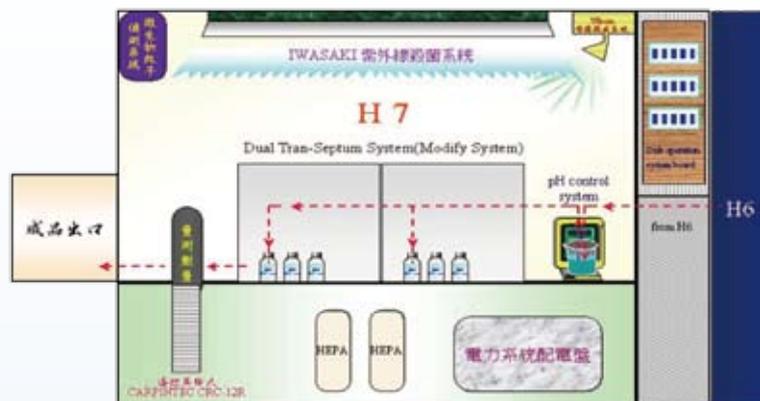


▲核醫藥物自動分裝成品

▲核醫藥物成品之鉛罐

應用實例：以TICI [TI-201]為例，以往未曾有相關評估系統。本參數評估系統可計算出氯化亞鉈[鉈-201]注射劑(6mL)產品，藥劑在等張及pH值6.5之品質穩定、品質均一、而且符合其應有之物理及化學性質。藥劑調劑分裝完成後，計算其於校正期時，其相對標準偏差(RSD%) $\leq 1\%$ 。 $X = \text{EXP}(\text{LN}(2)/73.5) * (T_c - T_m)$ ， T_c =校正時間(collaboration time)

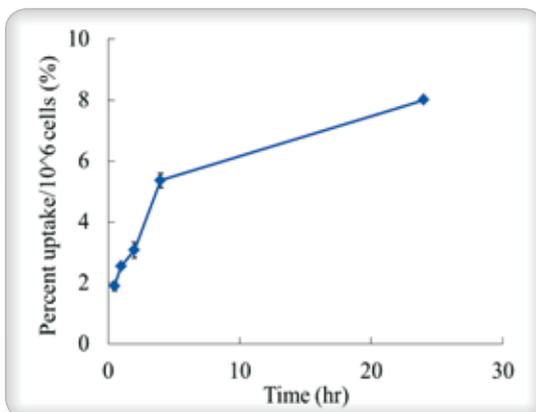
T_m =校正時間(measurement time)。



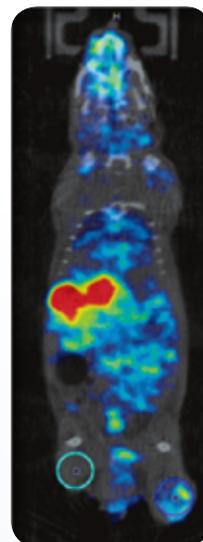
▲核醫藥物放射性針劑生產區配備圖

■ 放射性碘化核苷類似物InerTA在人類肺癌小鼠模式中作為細胞增生探針之評估

肺癌已經成為世界上癌症死因的第一名，現代醫學中已發展出多種不同的科技來對人體的結構及功能進行造影，例如電腦斷層、磁振造影、超音波、正子及單光子放射斷層造影。而每項造影技術都有其優點與限制。電腦斷層及磁振造影對解剖結構有高解析度，但由於偵測敏感度的限制，對初期的小病灶的偵測較為困難。此限制能夠利用正子或單光子放射斷層造影來改善，這兩種造影技術經常用於腫瘤的功能性及分子造影，並提供腫瘤細胞的代謝率、增生率、接受器密度等生物特性資訊。惡性腫瘤的其中一項重要特性是不受控制的細胞增生速率。準確的增生速率資訊有助於了解治療效果及獲得最佳的醫療處置。分子影像技術結合細胞增生造影劑能夠對腫瘤偵測，尤其是療效評估提供十分有價值的資訊。放射性標識之核苷酸類似物結合正子放射斷層造影（PET）或單光子放射斷層掃描（SPECT），可協助臨床偵測腫瘤病灶。本研究目的在於評估一新型放射性碘化核苷酸類似物—*InerTA於A549肺癌小鼠動物模式中作為腫瘤造影探針的潛力。*InerTA標誌上碘-123/碘-131，並且具有高標誌效率（>85%）及高放射化學純度（>95%）。體外生物特性實驗評估包括血清穩定度試驗、細胞攝取試驗及單光子放射斷層掃描造影。實驗結果顯示*InerTA在小鼠血清中24小時後仍然有90%為原始藥物，顯示*InerTA在良好的體外穩定度。細胞攝取試驗中，*InerTA在A549肺癌細胞的積聚隨時間增加，每百萬細胞攝取比（% uptake/ 10^6 cells）經過24小時培養到達 8.01 ± 0.02 。單光子放射斷層掃描造影影像顯示*InerTA明顯積聚於腫瘤，腫瘤-肌肉比（T/M ratio）注射後1小時為2.79。在本研究中，*InerTA的製備能夠具高標誌效率及高放射化學純度，並且明顯積聚於腫瘤，顯示*InerTA是一個有潛力的臨床腫瘤造影劑。



▲ A549肺癌細胞之 ^{123}I -InerTA攝取試驗。



◀ A549肺癌（深藍圓圈）小鼠動物在注射 ^{123}I -InerTA後之單光子放射斷層掃描造影影像。

1-2 開發新型癌症診療用核醫藥物與應用研究

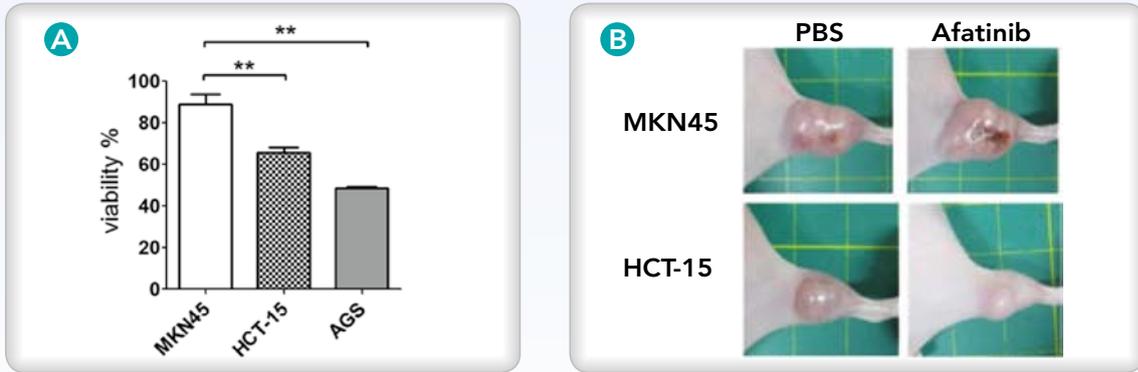
癌症是國人十大死因之首，發展新的治療方法是治療醫學科技發展當務之急，亦是原子能科技醫學應用的重要課題。奈米微粒(micelles)具有高穿透與聚集效應 (EPR effect)之特質，本年度我們利用奈米微粒作為藥物載體，應用於癌症之診斷或治療。我們使用奈米微粒包埋afatinib進行大腸癌小鼠的治療，以及使用奈米微粒包埋螢光試劑進行大腸癌動物的腫瘤位置的螢光訊號比對，實驗結果顯示包埋afatinib和螢光物質的奈米微粒，可作為大腸癌腫瘤造影與治療雙功能試劑，具未來之可應用性。我們亦發展生物可分解性多功能微粒 (Microspheres)，標誌放射性同位素In-111而得In-111PLGA microsphere，經肝癌核醫藥物肝動脈栓塞測試，確認其生體分佈數據亦顯示腫瘤區域有最高之放射活性分佈，且至少穩定維持72小時，初步實驗結果顯示具腫瘤治療之潛力，將進一步開發為放射近接治療用核醫藥物。

本年度我們進行新型缺氧組織造影劑標幟前驅物BANI及DANI合成反應，此系列化合物具有N2S2配位子可與鎢或銻產生親水性的陰離子錯合物，將可應用於癌症缺氧組織之診斷潛力。我們以電腦模擬運算方法，建構多巴胺、血清素、正腎上腺素等轉運體蛋白之立體模型，由資料庫篩選化合物之分子結構與中樞神經致病機轉中關鍵蛋白立體構型的適切性，選擇具潛力之藥物進行試管試驗，本法將可大幅提高發現先導藥物的機率，降低藥物開發之成本與縮短期程。

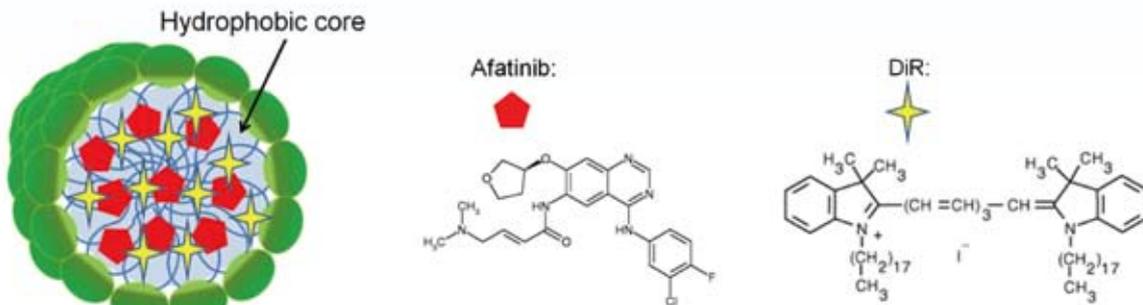
■ 大腸癌造影與治療雙功能試劑：HER2活性抑制之afatinib奈米微粒

近年來，聚合奈米粒子例如微脂粒 (liposomes)、奈米金 (nanogold particles)、樹狀聚合物 (dendrimers)、及微粒 (micelles) 可透過奈米高穿透與聚集效應 (the effects of high permeability and retention) 作為藥物載體用於癌症診斷或治療以促進藥物進入癌組織效果。並且研究指出具生物相容性之奈米粒子可延長藥物於動物體內之停留半衰期，減緩注射藥物被網狀內皮細胞 (reticuloendothelial system) 清除影響。因此，奈米粒子包埋螢光劑或治療藥物將可提供腫瘤位置之影像並增加抗癌藥物之治療效果。

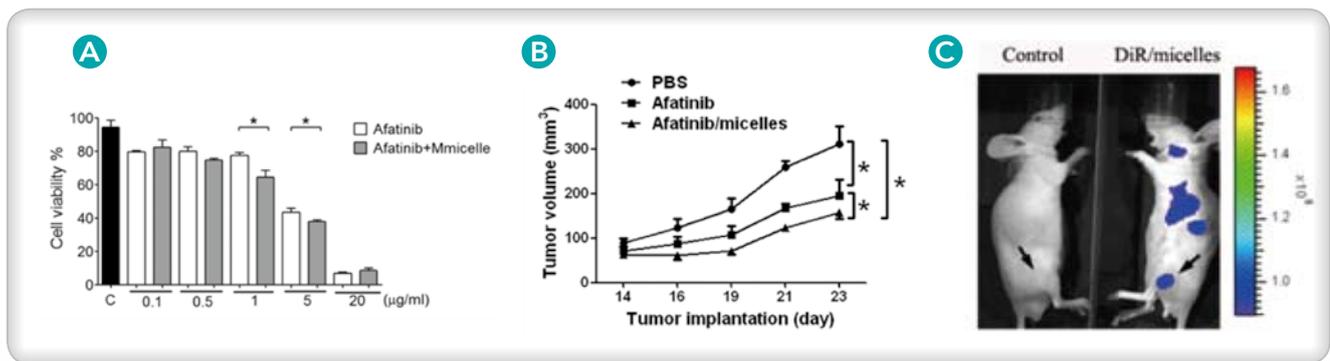
人類上皮細胞生長因子2 (HER2) 會參與腫瘤的增生作用。研究顯示，afatinib藥物可抑制HER2的活性而降低腫瘤增生。另外，奈米微粒 (micelles) 可作為攜帶疏水性藥物的載體，並透過腫瘤的高通透性與高滯留效應特性，而累積在腫瘤位置以增加抗腫瘤藥物的效力。首先，我們評估afatinib對於HER2高表現的大腸癌細胞或腫瘤組織有無毒殺效果。結果顯示，afatinib有顯著抑制HER2高表現的大腸癌細胞與組織生長。接著，我們使用奈米微粒包埋afatinib進行大腸癌小鼠的治療。實驗結果顯示，奈米微粒包埋的afatinib治療效果比單獨給予afatinib有更好的腫瘤生長抑制效果。另外，也使用奈米微粒包埋螢光試劑 (DiR)，進行大腸癌腫瘤位置的分析。由結果顯示，大腸癌動物的腫瘤位置的螢光訊號明顯比對照組高。綜合上述結果說明，afatinib可以針對HER2高表現的大腸癌細胞或組織做治療。包埋afatinib和螢光物質的奈米微粒，可作為大腸癌腫瘤造影與治療雙功能試劑，提升臨床之可應用性。



▲ Afatinib可抑制HER2高表現的癌細胞與腫瘤組織的生長。(A) Afatinib對不同HER2表現量之腫瘤細胞毒殺分析。大腸癌 (HCT-15)、胃癌 (AGS) 屬於HER2高表現之腫瘤細胞。胃癌 (MKN45) 屬於HER2低表現之腫瘤細胞。結果顯示，afatinib可顯著抑制HER2高表現的腫瘤細胞生長。(B) Afatinib對於 HER2高表現與HER2低表現的動物腫瘤組織之生長抑制效果。結果顯示，afatinib可顯著抑制HER2高表現的大腸癌小鼠腫瘤組織之生長。 $**p < 0.05$, 比MKN45。



▲ 腸癌治療與造影雙功能試劑之示意圖

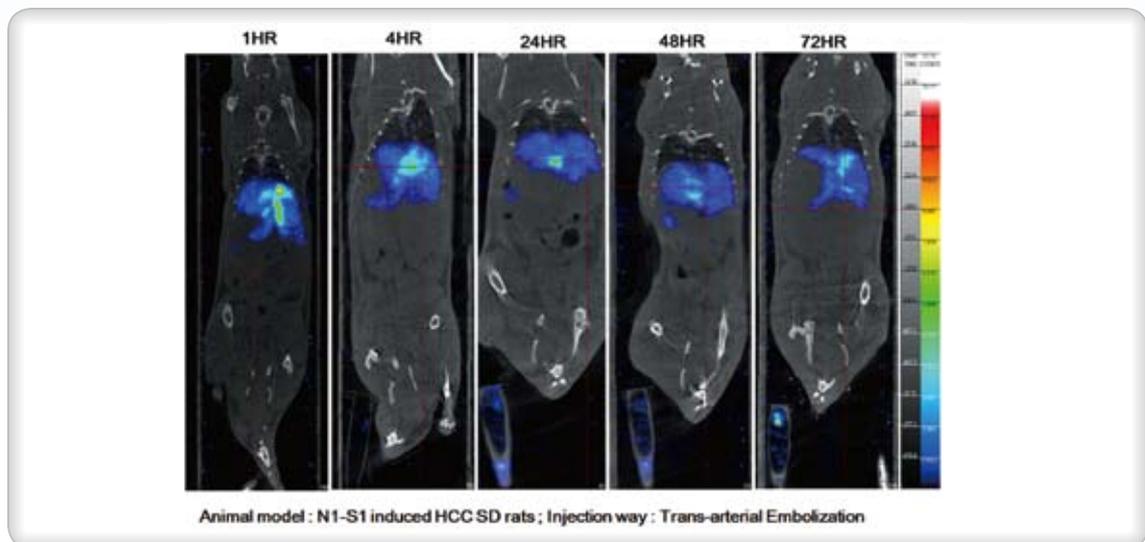


▲ 包埋afatinib及DiR之奈米微粒可提升HER2高表現之大腸癌腫瘤治療效果及腫瘤位置影像。(A) 利用細胞毒殺試驗結果顯示，包埋afatinib奈米微粒抑制細胞生長的能力比單獨處理afatinib有更好的效果。(B) 動物實驗證實，包埋afatinib之奈米微粒可有效的降低HER2高表現的大腸癌腫瘤之生長。(C) HER2高表現大腸癌腫瘤位置影像分析，結果顯示，包埋DiR螢光物質之奈米微粒，明顯的累積在腫瘤的位置。箭頭是指腫瘤位置。 $*p < 0.05$ 。

■ 開發新型生物可分解性微粒之研製技術與生體分佈探討

聚乳酸-甘醇酸複合物 (poly (lactic-co-glycolic acid), PLGA) 是一種具有無毒性、生物可降解性 (Biodegradable) 及生物相容性 (Biocompatible) 的高分子材料，我們以此材料發展生物可分解性多功能微粒 (Microspheres)，建立放射性同位素In-111(銻-111)之標幟技術，評估其生體分佈，確認在腫瘤部位具有穩定滯留之特性。102年，我們建立

PLGA-microspheres之研製技術，粒徑大小界於 $15 \pm 5 \mu\text{m}$ ~ $47 \pm 5 \mu\text{m}$ 之間。經由FTIR方法分析，顯示製備好的PLGA-microspheres表面帶有NH₂官能基。我們並建立¹¹¹In標幟PLGA-microspheres之技術，產品的放射化學純度（RCP）亦可維持在90%以上。¹¹¹In-PLGA-microspheres之生物分佈研究，植有N1S1肝癌細胞之SD大鼠經由肝動脈栓塞(TAE)手術方式，投予¹¹¹In-PLGA-microspheres藥物後，以Nano-SPECT/CT進行SD大鼠造影，造影結果圖，顯示¹¹¹In-PLGA-microspheres大多累積於肝腫瘤和肝組織，其生體分佈數據亦顯示腫瘤區域有最高之放射活性分佈，且至少穩定維持72小時。我們同步分析血液中之放射活性，可檢測到的放射性小於0.01%（ID%/g）。由上述實驗結果，我們認為¹¹¹In-PLGA-microspheres具有肝癌治療之應用潛力。未來，我們將建立PLGA標誌放射性同位素Y-90之技術，並評估⁹⁰Y-PLGA-microspheres在肝癌動物模式的組織分佈、藥物動力學分析及抗腫瘤效果，以建立較佳之治療模式。



▲ 打入¹¹¹In-PLGA-Microspheres後SD大鼠Nano-SPECT/CT影像造影結果

■ 建立電腦分子模擬運算應用於中樞神經系統診斷試劑前驅物虛擬藥物篩選平台

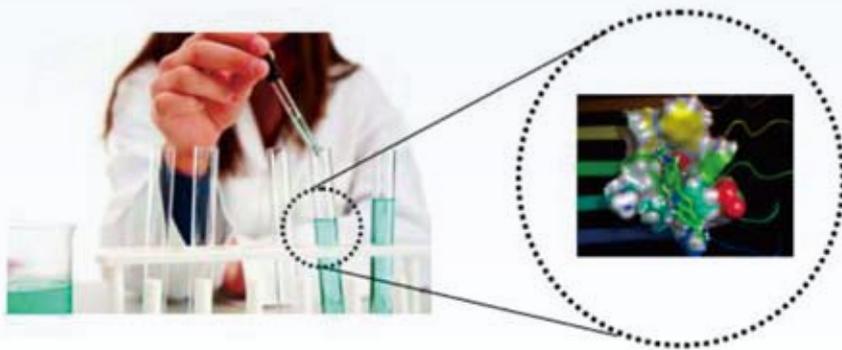
2013年諾貝爾化學獎頒給電腦模擬化學反應的學者，主要原因是發展電腦運算方法以模擬分子結構及相互間作用關係。對了解化學反應而言，電腦模擬與試管反應一般重要，因為電腦運算可讓人們從螢幕觀察原子、分子尺度的化學反應可行性及預測結果。

現今社會由於老年化及生活壓力，罹患中樞神經系統相關疾病，包括憂鬱症、帕金森氏症等人口數已不容忽視。這些疾病起因於中樞神經傳導物質如多巴胺、血清素、正腎上腺素等含量調控異常。為準確及早期診斷中樞神經系統疾病，需要發展具專一性的與上述神經傳導物質調控蛋白結合之新型單光子放射斷層掃描(SPECT)或正子放射斷層掃描(PET)造影示蹤劑。我們以電腦模擬運算方法，由蛋白質資源數據庫(UniProt website: <http://www.uniprot.org>)中蛋白胺基酸序列，以生物分子模擬軟體Discovery Studio (DS)建構多巴胺、血清素、正腎上腺素等轉運體蛋白之立體模型後，大量篩選化合物資料庫(西藥、天然物)中藥物分子結構與中樞神經致病機轉中關鍵蛋白立體構型的適切性：計算藥物分子與

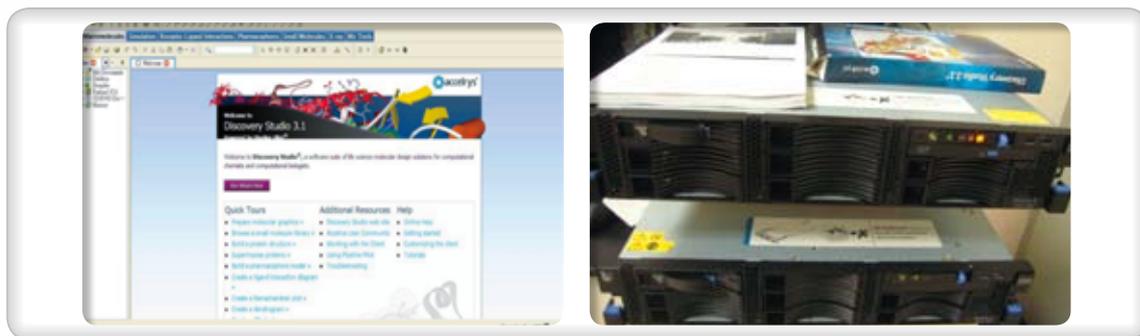
標的蛋白構型間結合程度、錯合體之親和力、靜電性、立體障礙、氫鍵、凡得瓦作用力、 $\pi - \pi$ 作用力等，評估藥物分子ThT及BTA-1與標的蛋白間結合安定性。選擇與關鍵蛋白具高潛在結合能力之藥物進行試管試驗，將可大幅提高發現先導藥物的機率，降低藥物開發之成本與縮短期程。

試管巨觀化學反應實驗

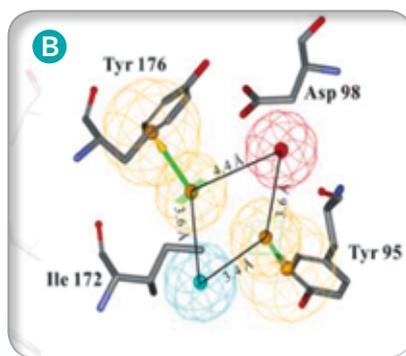
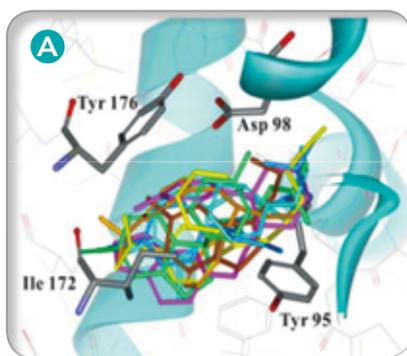
電腦模擬微觀分子反應



◀ 以電腦運算方法模擬藥物分子與標的蛋白之作用、預測巨觀反應趨勢



▲ 電腦分子模擬運算應用於診斷試劑前驅物虛擬藥物篩選平台之軟體與硬體



◀ (A)已知血清素轉運體抑制劑與血清素轉運體活性中心內的結合模式
(B)由結合模式歸納之藥效基團性質與空間位置

■ 新型缺氧組織造影劑標幟前驅物BANI及DANI之合成研究

本研究係進行新型缺氧組織造影劑標幟前驅物BANI及DANI合成反應，探究其在缺氧組織之核醫造影劑領域的用途。BANI及DANI均含有一個羧酸及一組由二醯胺二硫醇所構成之 N_2S_2 配位子。羧酸可以用以鍵結含氨基之化合物， N_2S_2 配位子可與鎘或銻產生親水性的陰離子錯合物，此二種功能使BANI及DANI皆適用於核醫藥物之製備研究。

研發成果效益及展望：BANI部分始於將DL-2,3-Diaminopropionic acid monohydrochloride 與thionyl chloride在甲醇中進行一連串的酯化、醯胺化及水解反應，再搭配硫醇官能基保護及去保護反應生成最終產物BANI。DANI部分則源於將6-Amino-1-hexanol與第三丁基碳酸酯進行多步驟之氨基保護、取代、醯胺化及氫化還原反應，再輔以去保護及兩架構接合反應得到最終產物DANI。兩產物均經由紅外線及核磁共振光譜分析數據確認。應用本文所提出的合成方法，藉由在充入氮氣，隔絕水氣的環境下，可避免產物被水解，大幅提昇合成的總產率。此兩種雙官能基化合物應用於核醫藥物領域，一方面擁有硝基咪唑，具有滯留於缺氧組織及親脂性高之特性；另一方面可以鍵結 TcO^{3+} ，可應用於製備銻標幟的核醫藥物，協助相關疾病之正確診斷，應用為新型且有效之缺氧組織造影劑。

1-3 輻射生物及造影技術開發

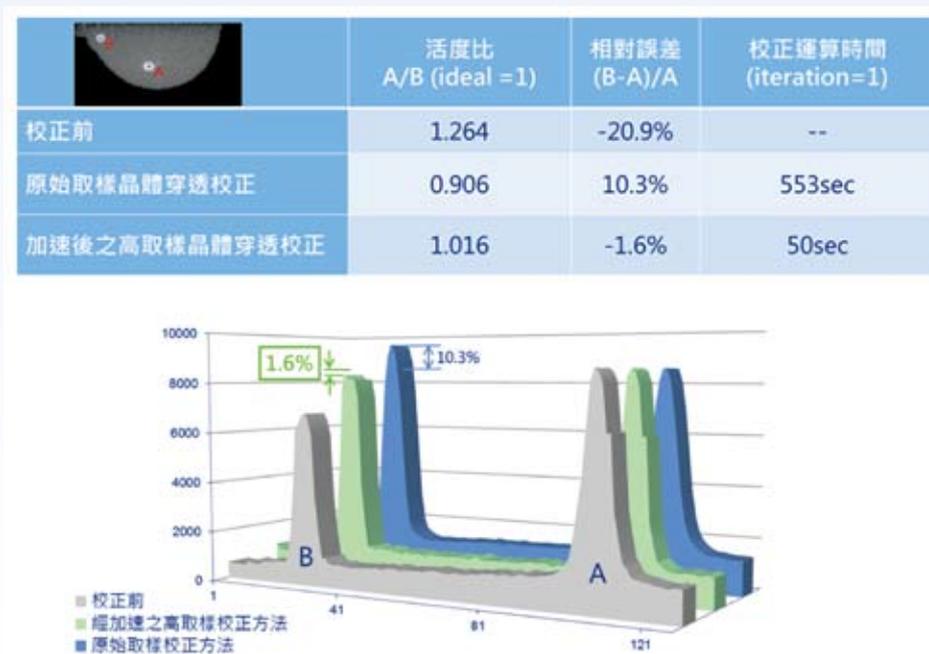
本分項包含「前瞻醫學影像處理技術開發與應用研究」、「先進半導體輻射成像探頭技術開發」、「高能輻射方法應用於醫材與生醫工程技術之研究」三個子項計畫，以本所原子能技術為基礎，配合國家生技政策及我國電子資訊產業之發展需求，發揮輻射技術應用醫療器材民生用途。計畫發展具產業價值輻射應用之實用技術，例如半導體光電元件成像偵檢器、影像系統物理模型演算法、生技醫材輻射改質等。建立之可專利技術與建置自主核心技術之高階醫材開發平台，未來可望結合國內已有或發展中之產業鏈，落實研發成果商品化。102年之重要執行成果「提升核醫影像定量精確度—高取樣率晶體穿透校正研究」、「具競爭力之半導體成像偵檢器技術成功奠基」與「奈米複合水膠骨材之生物相容及動物實驗研究」說明如下：

■ 提升核醫影像定量精確度—高取樣率晶體穿透校正研究

核醫影像定量無論於診斷病灶的惡性程度或評估治療效果，甚至於核醫體內治療，都扮演重要的角色。經過物理模型的校正已證實可有效提升核醫影像的定量準確度。本研究團隊將應用於核醫乳房造影系統之迭代式晶體穿透校正方法改良為高取樣率模型，以提昇影像中腫瘤活度之正確性，並克服運算複雜度提昇所導致的耗時問題，成功地兼具影像結果準確性與運算效能。

透過模擬實驗進行校正方法的驗證，結果顯示在影像定量精確度有明顯提升，採用高取樣率校正方法使得乳房中央與邊緣腫瘤活度間誤差由10.3%縮減為1.6%。而高取樣率之晶體穿透校正運算時間亦大幅縮減，加速約11倍。

上述研究僅是本研究團隊致力於核醫影像定量精確度提升的一項例子，未來將持續深耕於成像物理模型的研究與高效能運算技術的建立，以達高影像品質與符合實用性之臨床需求。



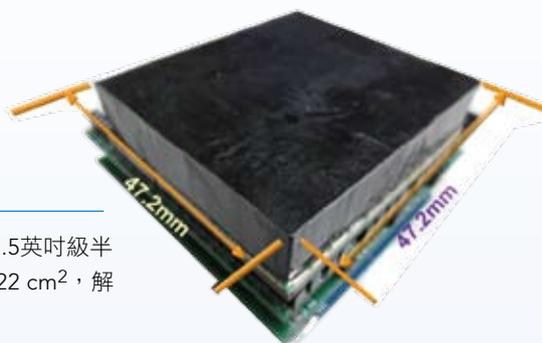
▲校正前與校正加速前後，中央、邊緣腫瘤Profile，經過加速的高取樣率校正方法可將運算時間大幅縮減，且相對誤差縮短為1.6%，有效地提昇校正效果。

■ 具競爭力之半導體成像偵檢器技術成功奠基

核醫分子影像醫材具有強大的市場發展潛力，欲令新一代產品具備產業競爭力，需倚賴新式的成像偵檢核心，以半導體光電元件為基礎的成像偵檢技術，具有輕薄、低耗能、抗強磁干擾的優點，是成功建立產品競爭力的關鍵。本計畫整合固有成熟技術與新元件之基礎研究，建立應用此種光電元件，取代傳統的光電管，成功掌握實用化成像裝置開發的關鍵技術基礎。

本計畫於本年度(102)主要成果為小規模擴展有效影像區域成功、建立專用之初級類比處理器技術，並完成二者的整合與連結，已成功建立一144通道之1.5英吋級(有效偵測面積為22平方公分，大於1.5×1.5平方英吋)半導體光電成像偵檢器，以後發之勢追平國際水準[Kim et al., 2013]。本年度的成果，包括成像偵檢器製作與光電信號類比操作等技術能力，已確保本團隊在半導體光電基礎的新一代成像裝置開發目標上，具備了成功的基礎。

本年度的成果展現了本團隊於半導體光電元件的操作與信號處理上，掌握了成熟應用的基礎技術與能力；為達商品應用的技術成熟化，後續仍需進一步精進晶陣光學操作技術，並研發多通道平行處理之電子技術，以期達到產業化應用的工程要件，包括大單體面積、無縫拼接、與高效專用電子，以此技術為核心，將有能力聯合業者開發具市場競爭力的新式核醫分子影像醫材，落實高階影像醫材產業促進。



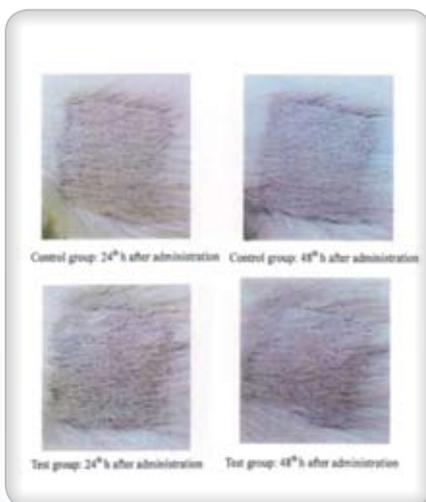
- ▶ 整合成像偵檢與初級類比處理技術，建立1.5英吋級半導體光電成像偵檢器單體(有效偵測面積為22 cm²，解析力達1.8 mm)，已具國際水準。

■ 高能輻射方法應用於醫材與生醫工程技術之研究

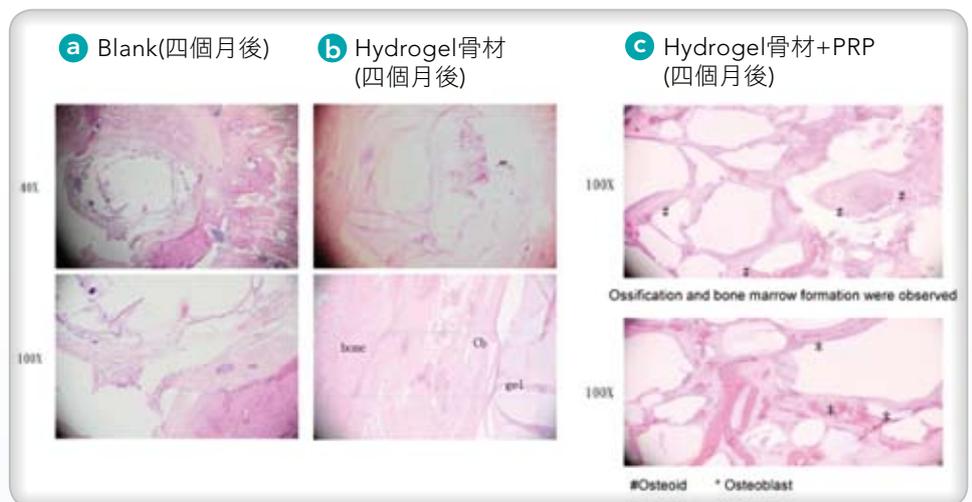
近年來國內外因傷者嚴重骨缺陷或急性骨髓炎等損傷，使得人工骨材需求量大幅增加，故本計畫乃採用具良好生物相容性材料以 γ -射線和UV光照射改質製成複合水膠骨材，它具有水膠特性、高機械強度及甚佳黏彈性，可應用於修補損壞骨組織所需要之支架及藥物釋放系統，且此種輻射技術可縮短反應時間和簡化製程，且其方法較簡易和具有環保功效等優點；之前我們已證實此骨材不具有細胞毒性且具有良好生物相容性。

本研究持續將此骨材進行更進一步的動物實驗，利用天竺鼠進行皮膚敏感性試驗以及實驗小鼠進行骨材急性毒性試驗，實驗結果更進一步顯示，此骨材不會引起動物過敏反應及毒性反應，適合作為骨損傷填補的材料。而骨損傷動物實驗則是利用已建立的紐西蘭大白兔顱骨損傷動物模式進行，以實驗鼠於顱骨處手術打開一骨缺口，以模擬骨損傷情況，再將骨材混合血小板血漿（Platelet Rich Plasma, PRP）填補入骨損傷傷口處填補。手術後四個月再犧牲白兔，取出顱骨部位進行病理組織分析，結果顯示，此骨材有幫助骨損傷區域骨質新生的效果，能讓造骨細胞貼附並加速骨損傷修復的速度。此外，在兔子鼻竇骨增生的實驗中，將骨材同樣與PRP混合後，填入兔子鼻竇骨空腔中，同樣能夠使造骨細胞在鼻竇骨處進行骨生成，有利於醫美上作為鼻竇增高術使用，實驗結果在植入後一和三個月，取下鼻竇骨以CT掃描，發現相較於對照組，填入骨材的鼻竇有出現新生骨，因此更確立此骨材對成骨之效果。

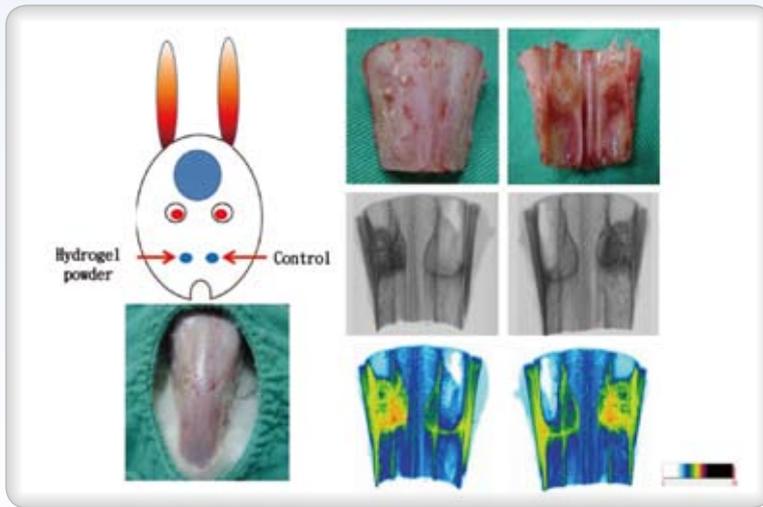
綜上結果，指出此骨材除具有良好的生物相容性之外，在白鼠及兔子骨缺損動物模式及鼻竇增高實驗中，都顯示能有效幫助骨修補或骨生成，因此此骨材確具有良好的醫療價值，此外本骨材製作成本低，製程簡易快速，免添加催化劑等又兼具節能環保效益，實為一具有潛力發展之骨材，未來希望能進行技術轉移或合作。



▲ 醫用骨材於天竺鼠之皮膚敏感性試驗觀察結果，顯示並無過敏反應產生。



▲ (a) 控制組及(b)醫用複合骨材組植入大白兔顱骨損傷處4個月後骨組織形態和新生情形(c)骨材與PRP混合後植入顱骨損傷結果。



◀ 以CT影像進行複合骨材植入鼻竇增高術一個月之骨再生分析

2 放射奈米癌症診療及其他應用技術之發展

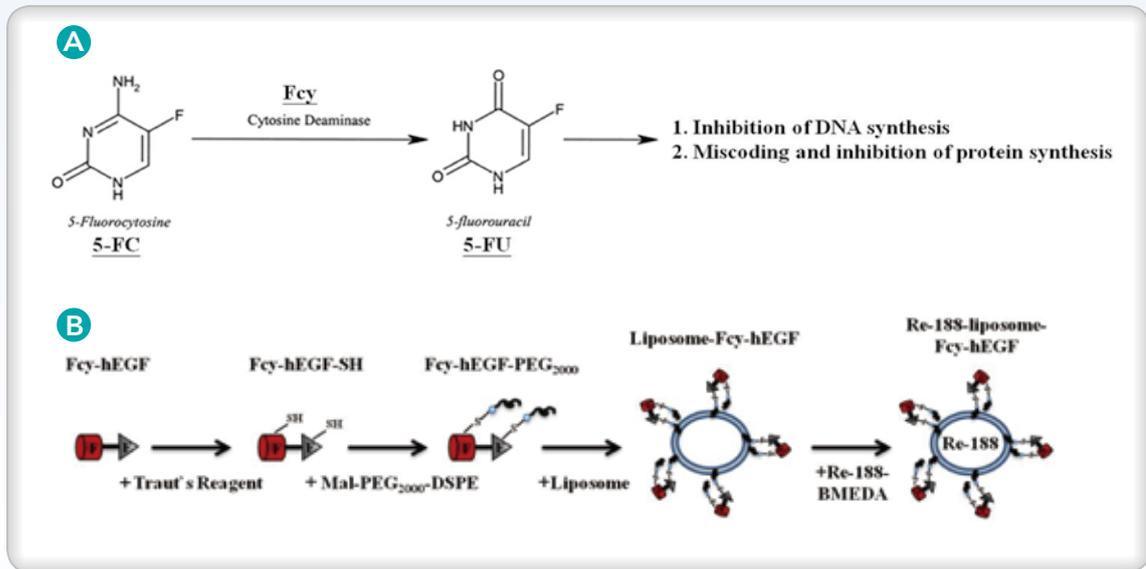
放射奈米癌症診療及其他應用技術之發展計畫之研發內容涵括診斷用奈米核醫藥物研製與應用研究、治療用奈米核醫藥物研製與應用研究、奈米生物碳珠診斷技術之前瞻與應用研究等三個分項工作。計畫目標旨在利用核能研究所之核醫造影設備(microPET/CT、microSPECT/CT、Autoradiography)專業人才與經驗，並與國內生醫產業結合，發展放射奈米癌症診斷醫學。

2-1 放射奈米診療藥物¹⁸⁸Re-liposome-Fcy-hEGF之開發及活性分析

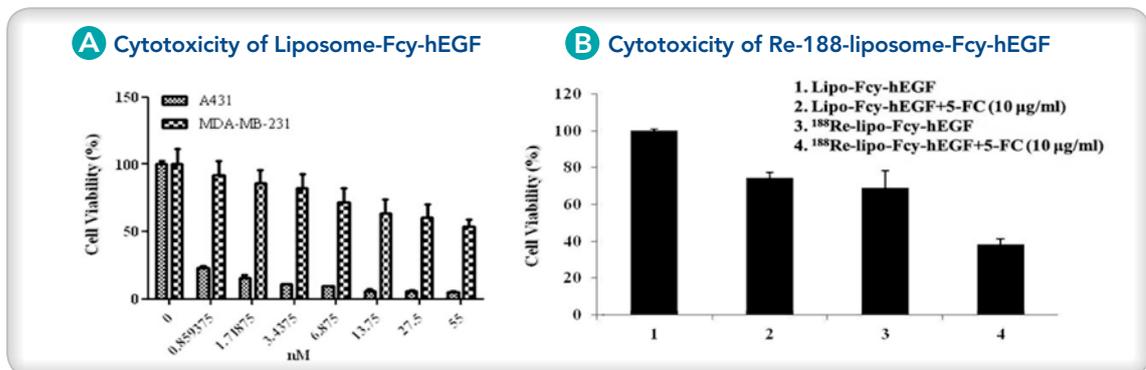
表皮生長因子(EGF)及其受體(EGFR)在癌細胞的增殖、生存、轉移和血管新生扮演非常重要的角色。表皮生長因子及其受體之訊號傳導路徑已被證實為一重要的抗癌藥物靶標。之前研究發現，表皮生長因子及酵母菌胞嘧啶脫氨酶之融合蛋白質(Fcy-hEGF)可以抑制表皮生長因子受體過度表現腫瘤的生長，是靠著酵母菌胞嘧啶脫氨酶(Fcy)轉變 5-氟胞嘧啶(5-fluorocytosine, 5-FC)前驅藥物(prodrug)成為具1000倍毒性之5-氟尿嘧啶(5-fluorouracil, 5-FU)而毒殺腫瘤細胞。

此研究之目的在於製備及評估新型結合放射療法(Re-188)及化學療法(Fcy-hEGF/5-FC)之放射奈米靶標微脂體藥物¹⁸⁸Re-liposome-Fcy-hEGF，探討其在EGFR過度表現腫瘤之診療藥物開發。

目前已成功將Fcy-hEGF蛋白質接合至微脂體表面。並藉由毒殺試驗證實Fcy-hEGF能有效的轉換 5-氟胞嘧啶(5-FC) 成為5-氟尿嘧啶(5-FU)，並且liposome-Fcy-hEGF/5-FC可以有效地毒殺EGFR過度表現的A431腫瘤細胞。進一步的實驗證明，結合化療及放療(¹⁸⁸Re-liposome-Fcy-hEGF/5-FC)對EGFR過度表現腫瘤細胞的毒殺更勝於單獨只有放療(¹⁸⁸Re-liposome-Fcy-hEGF)或單獨只有化療(liposome-Fcy-hEGF/5-FC)之藥物。因此，我們已成功地篩選出有潛力能治療EGFR過度表現之腫瘤細胞的新藥，後續進一步進行臨床前的動物試驗。



▲ ¹⁸⁸Re-Liposome-Fcy-hEGF之製備: (A) 酵母菌胞嘧啶脫氨酶(Fcy)轉變 5-氟胞嘧啶(5-fluorocytosine, 5-FC)前驅藥物(prodru)成為具1000倍毒性之5-氟尿嘧啶(5-fluorouracil, 5-FU)，可藉由抑制DNA及蛋白質合成而毒殺腫瘤細胞。(B) 微脂體接合Fcy-hEGF蛋白質與放射核種Re-188之製備方法:先將Fcy-hEGF蛋白質分子硫化，再和脂質(Maleimide-PEG₂₀₀₀-DSPE)做接合，帶有脂質的Fcy-hEGF-PEG₂₀₀₀再插入微脂體(liposome)，最後，BMEDA接合之Re-188，再包埋進liposome-Fcy-hEGF裡。



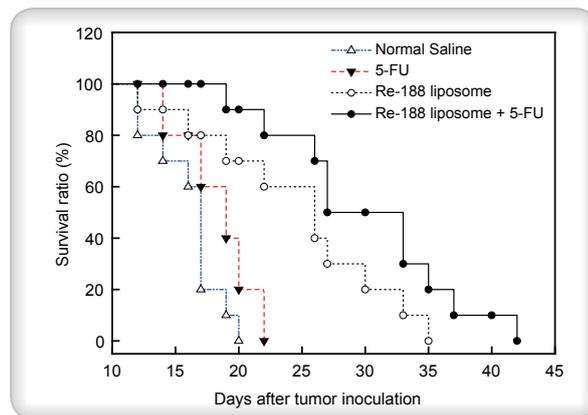
▲ Liposome-Fcy-hEGF及¹⁸⁸Re-Liposome-Fcy-hEGF之細胞毒殺試驗：(A)利用高表現EGFR的A431及中度表現EGFR的MDA-MB-231細胞株，進行細胞毒殺試驗，Liposome-Fcy-hEGF仍然保有轉換 5-氟胞嘧啶(5-FC)前驅藥物成為具高毒性之5-氟尿嘧啶(5-FU)之能力，可觀察到Liposome-Fcy-hEGF/5-FC毒殺A431的強度遠高於MDA-MB-231細胞株。(B) ¹⁸⁸Re-Liposome-Fcy-hEGF仍然保有轉換 5-FC前驅藥物成為具高倍毒性之5-FU之能力，可觀察到具放療及化療之¹⁸⁸Re-Liposome-Fcy-hEGF (100 µCi) /5-FC (10 µg/ml)毒殺MDA-MB-231的強度遠高於¹⁸⁸Re-Liposome-Fcy-hEGF (100 µCi)及Liposome-Fcy-hEGF/5-FC (10 µg/ml)單獨治療。

2-2 銻-188-微脂體在癌症治療的臨床前及臨床應用現況

奈米微脂體目前已被廣泛設計為包覆藥物之載體，其透過「促進性滲透與滯留效應」可有效的聚積在腫瘤位置，達到癌症治療的效果。銻-188-微脂體的生物分布、藥物動力學與劑量學在大腸直腸癌腹腔轉移小鼠模式的研究已發表。由於5-FU在過去研究以及臨床應用上，除了被視為抗腫瘤的藥物之外，也有輻射增敏劑之應用。因此本試驗將探討「銻-188-微脂體」搭配5-FU進行組合性治療，推測在大腸直腸癌腹腔轉移小鼠模式下將

會增進治療的效果。經由腹腔注射，組合性治療為5-FU在給予銻-188-微脂體的前兩天投藥，並與分別給予5-FU和銻-188-微脂體的實驗組進行比較。結果顯示，銻-188-微脂體搭配5-FU進行組合性治療，經由腹腔注射後，顯著延長大腸直腸癌腹腔轉移小鼠之存活時間，並且優於單獨進行銻-188-微脂體治療以及5-FU治療的其他兩組。臨床前試驗的結果第一次證明搭配5-FU後，可增進銻-188-微脂體在大腸直腸癌腹腔轉移小鼠模式的療效。這些資訊將提供銻-188-微脂體在臨床應用的策略上重要的參考依據。除此，本計畫之銻-188-微脂體第零期臨床試驗研究已於台北榮民總醫院進行，主要目的在於評估罹患轉移性癌症卻對現行可用治療成效不佳之患者身上使用微劑量銻-188-微脂體治療之安全性。每位受試者將接受微劑量低於3毫居里之銻-188-微脂體靜脈滴注。注射藥物1、4、8、24以及48小時後分別進行單光子放射電腦斷層掃描，提供銻-188-微脂體人體內分佈狀況以及劑量測定資訊。同樣地，於每次進行單光子放射電腦斷層掃描前將採集血液和尿液檢體進行放射性分析。給予單一劑量之銻-188-微脂體，於給藥後1、4、8、24、48、72小時進行planar和SPECT造影。2012年6月至2013年12月，第零期臨床試驗共計完成14位轉移性癌症病患。受試者接受銻-188-微脂體後並無任何不良反應，臨床檢查及血液生化學檢驗亦無任何異常變化。從第零期臨床試驗結果，可證明銻-188-微脂體於人體使用的安全性無虞，這些結果將成為後續推展進一步臨床試驗時的寶貴資訊。

▶ 小鼠C26大腸癌腹腔轉移模式於腹腔給藥後的生存曲線。



2-3 核研所EB病毒臨床體外免疫診斷試劑之開發與應用

隨著生醫技術的日新月異，現代醫學已朝向可以早期檢測疾病病徵，進而預測和評估疾病預後的狀況或藥物治療後的成效等…功能的發展方向。體外檢驗試劑(In Vitro Diagnostics; IVD)的開發也隨著現代醫學的進步而突飛猛進，藉由非侵入性的方式獲得檢測數據，縮短檢驗時間與相關風險。核能研究所藉著多年來持續改良的輻射照射技術搭配新型奈米材料，開發出可以檢測EB病毒(EBV)或鼻咽癌(NPC)的奈米體外檢驗試劑。使用本所內照射廠的Co-60射源對奈米碳管進行照射改質後以作為基材，搭配檢測技術製作整組體外的分析套組，有別於一般市售以96孔塑膠盤做為基材的檢測試劑，具有迅速、方便使用以及低偵測極限的特性。本年度成果包含獲得國內外專利(中華民國專利：以游離輻射製備磁性奈米碳材之方法、固體材料表面官能基定量方法，美國專利：固體材料表面官能基定量方法)以及相關研究報告以外，民國100~102年已與台北馬偕醫院耳鼻喉科、病理科和血液腫瘤科合作，並通過馬偕醫院人體試驗委員會(IRB)同意(編號：11MMHIS089)，進行體外試驗。由馬偕醫院收集病患與健康受試者檢體(本年度已收完新增的50個健康受試者檢

體)後,再由本所進行檢測方法之效能測試,試驗資料蒐集與評估後,已初步得到本所開發的試劑與檢測方法之效能,完整資訊將於民國103年公布。另外,邀請普生公司出席2013台北國際發明展暨技術交易展並於簽約典禮中與普生公司簽立MOU。本計畫為提供國內醫院臨床應用、照顧國人健康與相關疾病早期發現早期治療,以提昇民眾生活品質為目的。預期將此檢驗方法作為一平台,期能開發更多樣化更全面性的檢驗試劑。



▲2013台北國際發明展暨技術交易展簽約典禮,簽約代表:
核研所馬殷邦所長,普生公司劉明山總經理

本計畫開發放射奈米藥物是從實驗室到臨床為目標,目前體內放射治療藥物「銻-188-微脂體」與「EB病毒臨床體外免疫診斷試劑」皆已進行至臨床試驗階段,其中「銻-188-微脂體」為全世界第一個進入臨床試驗的放射奈米標靶藥物,在臨床上可應用於體內放射治療大腸直腸癌轉移性病患,目前已完成Phase 0進行人體臨床試驗。後續將持續進行體內放射治療藥物「銻-188-微脂體」、「EB病毒臨床體外免疫診斷試劑」的臨床研究與技術商品化的推動,除可維護大眾醫療健康,對國人醫療照顧貢獻乙份力量外,期能使我國的新藥研發能量可以達成產業化的目標與創造市場價值。

3 本土好發性疾病輻射應用及分子影像技術平台

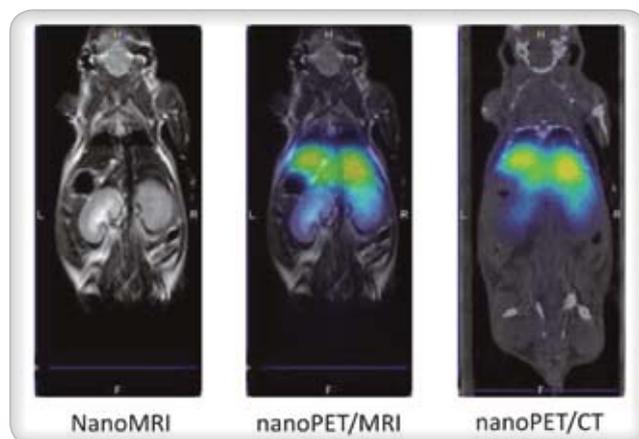
本計畫總目標在建構與提供輻射技術與分子影像技術平台,協同生技醫藥國家型計畫,共同開發本土好發性疾病早期診療或輔助診療之藥物,包括同位素、輻射照射與藥物生產、肝標靶傳輸與癌分子標靶輻射技術與分子影像平台、腦神經功能評估技術平台、藥物管分析與小分子與螯合劑技術平台。

本年度重要成果:(1)完成動物磁振造影掃描儀(1.5 Tesla)採購,包括周邊電力系統與冷卻裝置;並完成相關3Q確效驗證報告以及NanoSPECT/PET/CT/MRI融合系統建置。MRI可配合既有的SPECT/PET/CT進行影像融合,具有取代傳統自體放射顯影術的潛力,由於自動放射顯影術的成本十分昂貴,且必須犧牲動物,實驗的時間相當長,建置磁振造影

設備後，可以在短時間內以活體重複造影，達到省時省力與節省成本，且因為是相同個體造影，可以做不同給藥方式之比較，或治療前後之比較，提升實驗準確度與精確度。(2) 獲得SCI論文6篇；與使用者共同發表論文榮獲2013年中華民國核醫學年會暨國際研討會壁報論文獎第一、二名及口頭論文獎第二名等。(3) 獲得中華民國專利7件、美國專利3件，完成專利申請4件。(4) 參加2013台北國際發明暨技術交易展，發表「對聚合醣鏈進行放射標誌以作為肝受體造影劑之方法」研究成果，榮獲金牌獎。(5) 研發成果「一種定量肝殘餘功能的檢驗方法與其新穎肝受體造影檢驗藥劑」榮獲第十屆國家新創獎。(6) 接受產學界委託進行核醫應用與分子影像技術服務，共完成20件委託案(含6件NRPB user)；其中完成工研院本土自製骨材藥物動力學與生物體分布試驗，協助該委託案之藥物進入臨床試驗申請階段。另外完成國家實驗研究院奈米元件實驗室委託抗癌胜肽生物體分布試驗，佐證經修飾後之抗癌胜肽具肺癌腫瘤細胞標靶性，但對肝等器官毒性低，該研究榮獲第十屆國家新創獎。(7) 完成InerTA2細胞增生造影劑癌症應用評估，利用nanoPET/CT於實驗動物可偵測到體積 0.7mm^3 的原位肺腫瘤與直徑5 mm的原位肝腫瘤，有助癌症治療藥物之研發及篩選。以多種RGD血管新生衍生物造影劑應用於原位與EGFR突變肺癌鼠，完成新穎血管新生造影應用於肺癌腫瘤偵測之評估。

本平台隸屬生技醫藥國家型計畫，將積極透過上中下游合作與整合來強化國際競爭力，並協助可能進入臨床的計畫以最短的時間，將利基化合物開發成藥物，通過TFDA的查核，進入臨床，同時鎖定亞洲區域性好發之重大疾病為目標，成為全球分子影像技術與藥物開發的領導者。

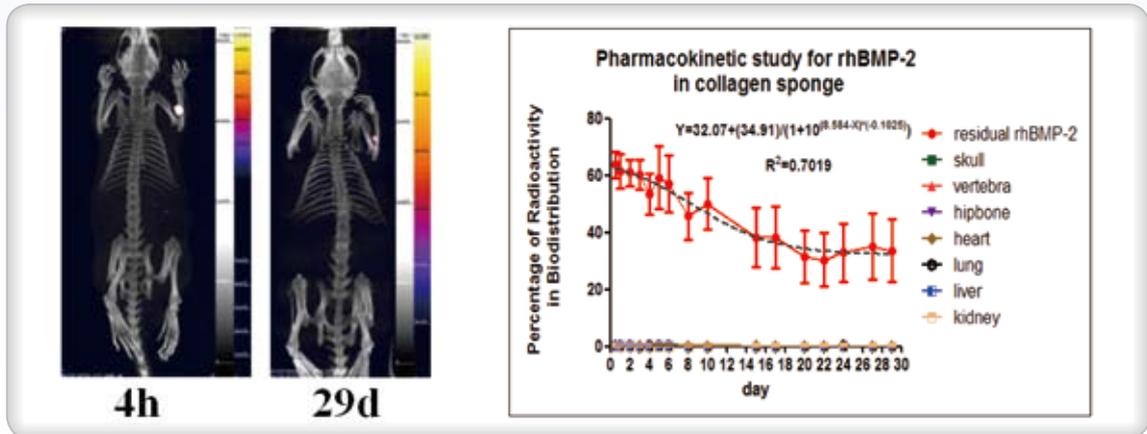
▶ NanoMRI、nanoPET/MRI與nanoPET/CT的比較；有了nanoMRI器官影像清楚，有利造影活度定量圈選。



■ 碘-131-重組人類造骨蛋白-2/可吸收膠原蛋白海綿於大鼠之生物分佈及單光子斷層掃描造影

重組人類造骨蛋白-2 (Recombinant human Bone Morphogenetic Protein-2, rhBMP-2) 為一個在骨骼與軟骨發展中重要的蛋白。可吸收性膠原蛋白海綿 (absorbable collagen sponge, ACS) 為一能夠作為rhBMP-2的載體之可植入基質。本研究目的為利用nanoSPECT/CT評估碘-131標誌rhBMP-2在rhBMP-2/ACS植入大鼠後之藥物動力學情形。方法：利用標準Iodogen方法對rhBMP-2進行碘-131標誌。在原位動物模式中，一段右側橈骨從大鼠去除，並以 I-131-rhBMP-2/ACS植入。一個月內共進行16次造影。計算植入處及其他主要器官的放射活性。

結果：I-131-rhBMP-2的放射化學純度 $\geq 95\%$ ，I-131-rhBMP-2/ACS於nanoSPECT/CT造影結果顯示，絕大部分活性都集中於植入處，其他器官與組織並無明顯活性。在植入後29天，仍然有約43%的原始活性保留在植入處。結論：本研究成功製備I-131-rhBMP-2，並建立I-131-rhBMP-2/ACS植入橈骨動物模式，與完成其藥物動力學試驗。結果顯示I-131-rhBMP-2能以理想的速率從ACS釋放出來，血液半生期約14天；在橈骨植入處長達一個月都仍有I-131-rhBMP-2存在ACS中，顯示rhBMP-2/ACS為一優異長效骨骼再生藥劑。



▲本技術平台利用放射性標誌骨材藥物，並在植入實驗動物後，使用SPECT/CT造影儀，可在不犧牲動物的情況下，長期追蹤及監測骨材藥物在動物體內之分佈及代謝情形。左圖為放射性骨材藥物植入實驗動物後第4小時及29天之SPECT/CT影像，圖中可清楚觀察到骨材藥物的位置(紅色亮點處)。右圖為利用SPECT/CT影像分析放射性骨材藥物植入實驗動物後活度變化之結果。

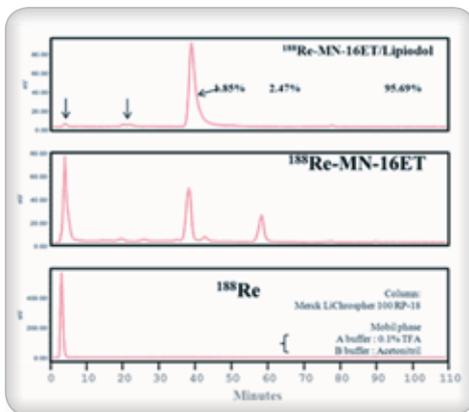
4 銻-188-MN-16ET/利比多肝癌治療新藥之開發與應用研究

肝癌在亞洲地區及非洲部份地區肝癌為國十大症死因之前二名，核研銻必妥注射劑使用本所自行研發之配位子H3MN-16ET與銻-188螯合，再利用利比多(Lipiodol)萃取調劑而得到銻-188 MN-16ET/利比多製劑，應用利比多的栓塞作用將銻-188穩定滯留於腫瘤部位，使其近距離釋出貝它射線而達腫瘤治療之效果，經肝癌動物模式已證實其療效。102年度，我們已完成核醫藥物製程之精進，建立提昇萃取效果之方法，並完成製程精進與半自動化設計，提昇產品穩定性，可減少工作人員之輻射劑量。本年度我們應用銻-188 MN-16ET/利比多之藥物動數據，完成體內劑量評估，可作為藥物安全性評估以及未來臨床使用劑量衡量之指標。我們亦建立高效液相層析儀(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)連結流動式放射偵檢器(radio detector)及串聯質譜儀(tandem mass spectrometry)多重偵測系統，經應用於動物檢體如肝組織、血液、尿液及糞便等實驗檢體中 ^{188}Re -MN-16ET結構鑑定與含量分析，以探討藥物在生物檢體中分佈與排除速率、藥物代謝途徑等。期待共同努力以完成臨床前之安全與有效性數據，以作為未檢臨床試驗申請之必要資料。

4-1 銻-188 MN-16ET/利比多之研製與臨床前研究

臨床上使用核醫藥物治療肝癌患者已行之有年，本研究選擇使用銻-188 (^{188}Re)放射性同位素作為藥物標誌核種，銻-188可以釋出2.12 MeV之貝它粒子及155 keV加馬射線(15%)，且其半衰期適中(16.9小時)，對於醫生而言較容易掌控治療療程，對於患者則可避免過量的輻射暴露。銻-188可自鎢-188/銻-188($^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$)發生器而產製，鎢-188的半衰期為69.4天，發生器可使用長達半年以上，銻-188為兼具有診斷與治療雙效功能，且相當具經濟效益之核種。

核研銻必妥注射劑使用本所自行研發之配位子H3MN-16ET與銻-188螯合再與利比多(Lipiodol)混和調劑而成銻-188 MN-16ET/利比多製劑，應用利比多的栓塞作用將銻-188穩定滯留於腫瘤部位，使其近距離釋出貝它射線而達腫瘤治療之效果，經肝癌動物模式已證實其療效。我們在102年度已完成核醫藥物製程之精進，建立提昇萃取效果之方法，並完成製程精進與半自動化設計，提昇產品穩定性，可減少工作人員之輻射劑量。我們亦建立由藥物(TAA)毒性誘發之肝癌動物模式，以更符合臨床不同病灶的藥理評估。本年度我們完成核研銻必妥之體內劑量評估，可作為藥物安全性評估以及未來臨床使用劑量衡量之指標。為未來執行臨床試驗，我們邀請台大醫師團隊做為我們的臨床諮詢委員，針對核研銻必妥注射劑及市場上現有之肝癌治療用核醫藥物做SWOT分析，期望藉由臨床醫師之角度，為我們臨床前研究資料給予建議，加以補充強化。



▲銻必妥注射劑純度分析技術建立



▲核研銻必妥注射劑半自動製程

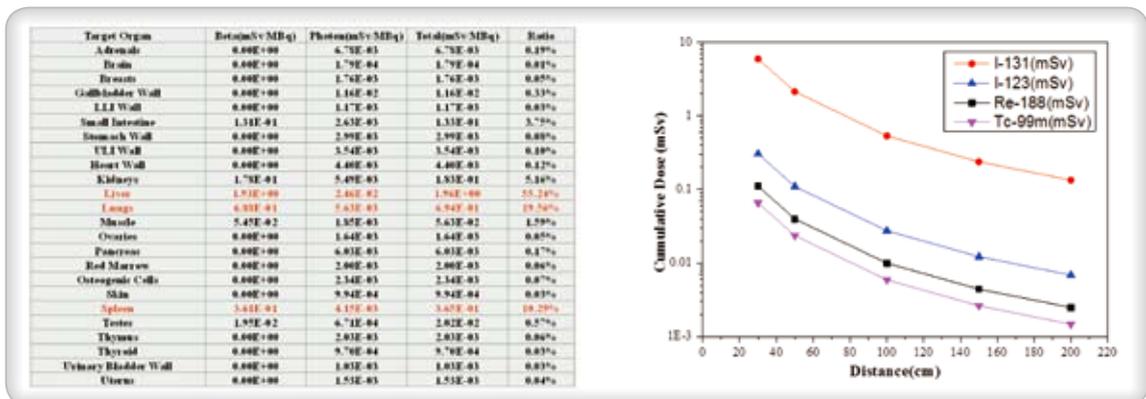


▲左圖為經由餵食0.3%TAA飲用水所誘導產生的瀰散性肝腫瘤；右圖為經由肝臟直接注射N1-S1細胞株所產生的單一肝腫瘤。

4-2 銻-188核醫藥物體內劑量評估技術開發

針對Re-188肝癌治療藥物之體內劑量評估，本研究依據美國核醫學會(MIRD)之建議，採用經美國FDA認可之OLINDA/EXM程式進行體內劑量計算。計算程序為：(1)根據動物實驗資料，等比例修正單位質量器官注射百分比(%ID/g)至人體，提供藥物在人體分布之動力學資訊；(2)根據OLINDA/EXM程式內建功能，計算包括個別器官平均滯留時間、藥物活度衰變曲線等必要參數；(3)選擇OLINDA/EXM程式內建之計算假體，並透過事先即計算完成的個別假體S值，累計各源器官、靶器官造成之體內輻射劑量。

另一方面，則建立本土化治療計劃系統開發基礎。首先完成建置美國FDA認可之OSIRIS影像處理工作站；並利用蒙地卡羅程式MCNPX，完成成年男性、成年女性之體素假體建立，計算光子能量由10keV至4MeV區間之重要器官S值，獲得與國際文獻<3%之計算誤差，藉此驗證Re-188藥物體內劑量計算結果。此外，利用美國核管會RG. 8.39報告建議方式，進行Re-188藥物體外輻射劑量影響評估計算，作為醫療從業人員、患者家屬與可能接近民眾之輻射曝露劑量估算，以進行輻射安全管制與病患外釋返家相關管制議題探討；並將其結果與常用核醫藥物(如I-131、I-123與Tc-99m、進行比較分析，提供主管機關法規擬定之參考)。



▲以OLINDA程式進行Re-188核醫藥物成年男性劑量評估結果

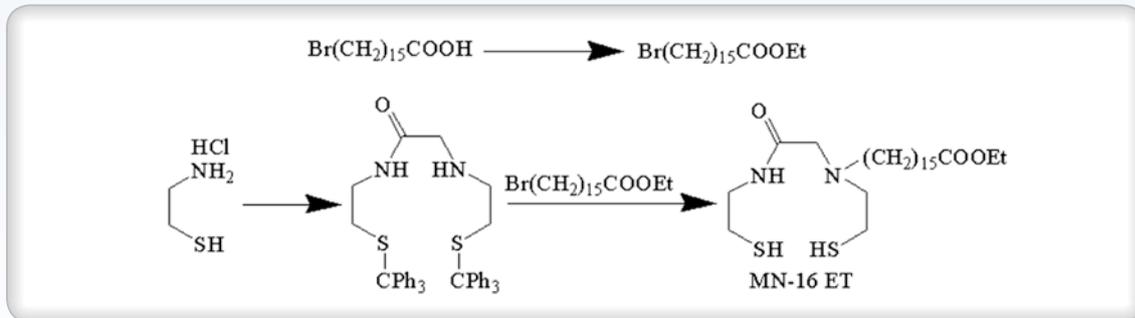
▲常用核醫診療藥物累積劑量隨距離變化情形

4-3 肝癌治療劑標幟前驅物MN-16ET之合成研究

利比多(Lipiodol)是一種碘化的罌粟子油，多項研究均顯示肝癌組織對利比多有顯著的攝取量；放射性同位素銻-188可由發生器(Generator)獲得，且其放射能量與半化期均適用於疾病之診斷與治療，是一種十分有發展潛力之醫用同位素，尤其在腫瘤的體內放射治療法上，預期將會有極為重要的表現。因此，載有銻-188之利比多，可能是體內放射治療肝癌的有效治療劑。

本研究為合成含長烷基之二氮二硫有機配位子MN-16 ET，長烷基的部分為將16-Bromohexadecanoic acid酯化為Ethyl 16-bromohexadecanoate；二氮二硫結構部分起始於2-mercaptoethyl hydrochloride，歷經接保護基、醯氯化及接合反應得含二氮二硫結構之N-[2-((Triphenylmethyl)thio)ethyl] [2-((triphenylmethyl)thio) ethylamino]acetamide。兩者

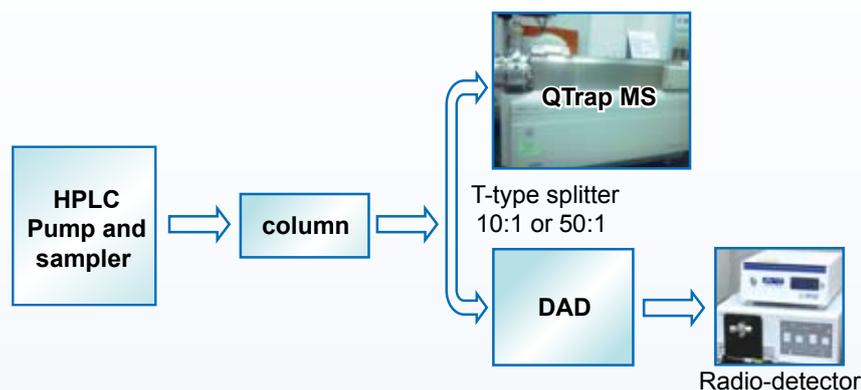
經接合及去保護基反應可得最終產物MN-16 ET，其能與銻形成穩定且易溶於利比多之錯合物，適合體內放射治療肝癌之應用研究。



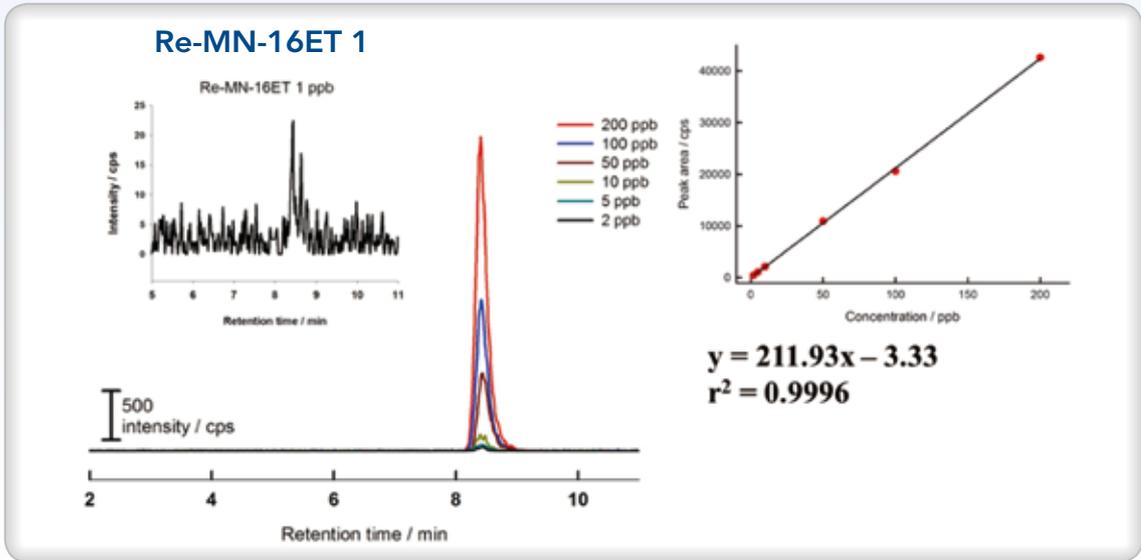
▲MN-16ET之合成程序

4-4 發展放射及質譜多重偵測層析系統於生物基質中核醫藥物分析之應用

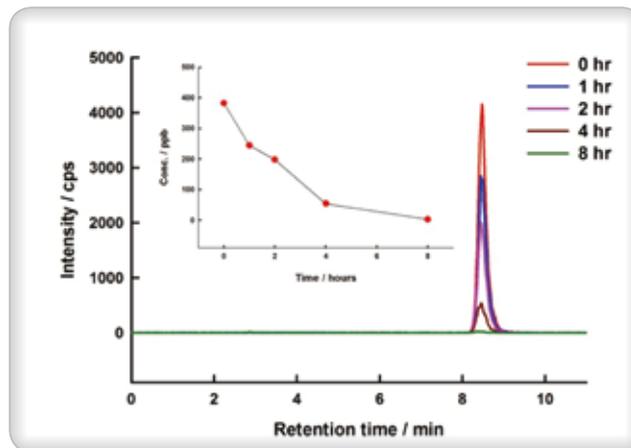
核醫藥物研發歷程中，需建立藥物含量分析與結構鑑定方法，應用於藥物配方，及臨床前或臨床試驗確認藥物在試驗對象體內分佈及代謝之研究。我們將動物檢體如肝組織、血液、尿液及糞便等前處理，以分離、濃縮肝癌栓塞治療核醫藥物 ^{188}Re -MN-16ET，經高效液相層析儀(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)分離樣品中複雜成分，分流後連結流動式放射偵檢器(radio detector)及串聯質譜儀(tandem mass spectrometry)多重偵測系統，應用於實驗檢體中 ^{188}Re -MN-16ET結構鑑定與含量分析，研究生物複雜機質中微量藥物含量及藥物經生物轉換之結構，以探討藥物在生物檢體中分佈與排除速率、藥物代謝途徑等。研究結果顯示：本系統可對製劑中 ^{188}Re -MN-16ET及其合成前驅物，分別鑑定身分與定量；及用於動物實驗檢體中 ^{188}Re -MN-16ET含量分析與串聯質譜法鑑定代謝物結構解析，濃度偵測靈敏度可達1 ppb (如圖)；對大鼠生物基質如肝臟、血液及糞便檢體中含量分析回收率為72~98%。大鼠肝臟體外代謝速率試驗顯示： ^{188}Re -MN-16ET約經2小時後含量降為50%。 ^{188}Re -MN-16ET/lipiodol可由本研究之方法將其前驅物分離，並以radio-detector建立活度檢量線，其偵測靈敏度可達到1 μCi 活度。本分析系統期廣泛應用於生物檢體之核醫藥物分佈、代謝速率及代謝物結構鑑定等研究。



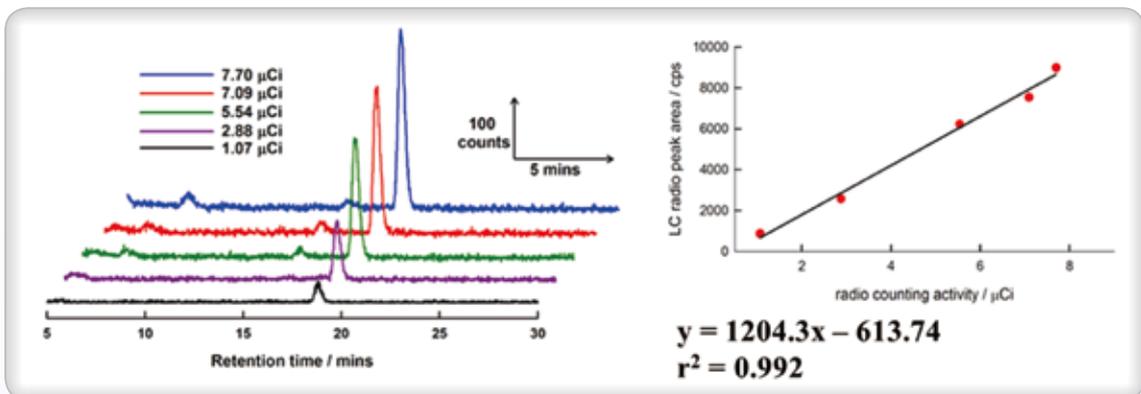
▲多重偵測層析系統裝置示意圖



▲ Re-MN-16ET液相層析串聯質譜多重反應監測模式分析圖譜及檢量線



▲ 大鼠肝臟均質液對Re-MN-16ET體外代謝速率試驗結果



▲ ¹⁸⁸Re-MN-16ET/lipiodol之HPLC-radio圖譜及其活度檢量線

伍、附錄
Appendices



榮譽報導

本所組織發展為避免受制於自我主觀認定而故步自封，故鼓勵本所各單位勇於接受外界評鑑，以建立追求進步的組織文化。茲就本年度本所參與上級機關或外部之組織或設施評鑑與獲獎等事蹟，舉其要者簡述如下：

一、組織績效再獲肯定：

本所已連續十年獲得國防部國防工業訓儲制度與內政部研發替代役「績優」用人單位殊榮，是唯一公務機關。



二、優良品質制度通過認證：

- (一) 本所聚光型太陽電池模組分別於101年10月11與102年10月16日獲得IEC 62108：2007 產品合格證書與UL8703產品安規合格證書，為國際第一個經UL體系認證，同時獲得兩種證書之產品，有助於相關產業廠商進軍國際市場。
- (二) 102年1月北美小型風力機驗證協會(Small Wind Certification Council, SWCC)將本所列入Small Wind Design Consultants名單，小型風力機設計評估實驗室並於102年7月通過TAF認證。



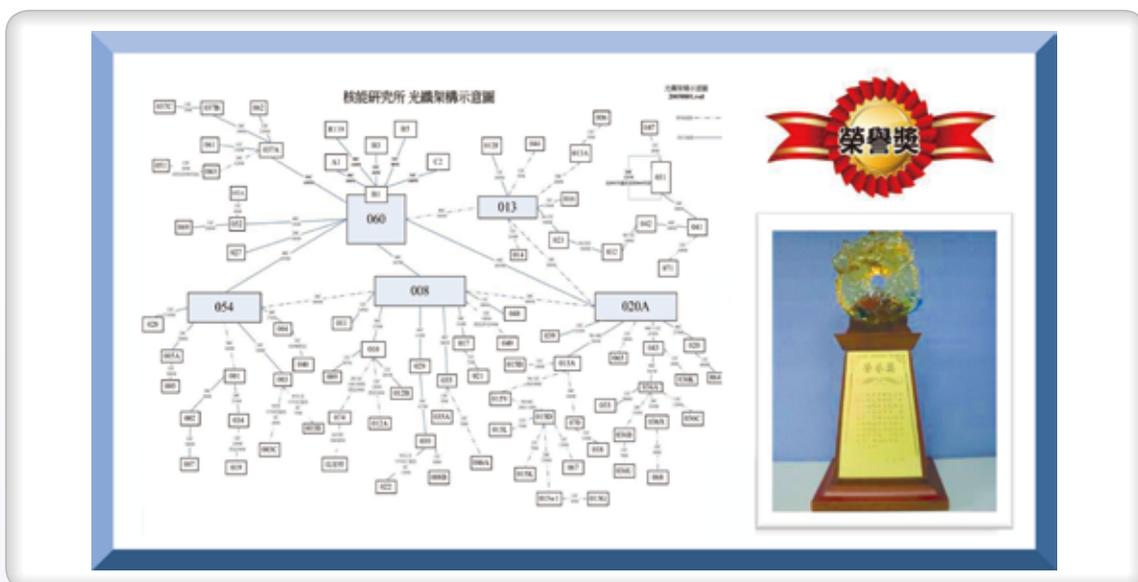
三、 協助產業拓展市場：

- (一) 與國內陶瓷基板大廠九豪公司簽訂「固態氧化物燃料電池 (SOFC) 陶瓷基板支撐型單元電池製作技術」授權合約，將此先端技術轉入產業應用。預期在半年內達到量產規範，再由第三方產品認證，將可在國際SOFC產業鏈上占有一席之地。
- (二) 協助新高公司DS3000通過日本小型風機驗證，目前日本僅有三台風機通過驗證，本所輔導之新高產品為日本第一台通過驗證之垂直軸風力機，以及第一台國外廠商產品。
- (三) 技術授權馬來西亞木業公司合作建置纖維化學品生產廠，對於能源國家型科技計畫推動生質能源產業化具有指標性意義。
- (四) 技術授權國內鋼鐵業龍頭中鋼公司建置國內第一套kW級SOFC發電系統，並吸引十餘廠家參與SOFC新能源推動產業聯盟。
- (五) 中東地區Mr.Charbel Bou Maroun(advanced Medical Support)訂購本所TRODAT-1Kit及ECD Kit，再度成功開發國際市場商機。

四、 研發技術獲獎與積極推廣：

(一) 參與及建議制度建議案「榮譽獎」：

本所提案「私有雲端儲存系統在協調合作上的應用」，榮獲101年度行政院與所屬中央及地方各機關建立參與及建議制度建議案「創新經濟與科技發展」類組一榮譽獎。



(二) 2013台北國際發明暨技術交易展獲發明獎與簽訂技轉合約：

獲得7金1銀4銅共計12面獎牌。於參展期間並與21家廠商簽訂合計22份「技術授權與合作開發」及「合作意願書與共同研究合約書」，充分展現研究機構支撐產業發展之努力。

1. 近三年(100-102)發明暨技術交易展獲獎數

年度	總計	鉑金	金	銀	銅
100年	5	-	2	0	3
101年	12	1	4	2	5
102年	12	0	7	1	4

2. 「2013年台北國際發明暨交易展」獲獎明細表

獲獎類別	專利名稱
金牌獎	(1) 固態氧化物燃料電池熱工元件整合裝置
	(2) 高功率脈衝磁控濺射鍍膜裝置與表面處理裝置
	(3) 多氣式混合器與電漿火炬的混合氣供氣裝置
	(4) 二維平面造影呈現三維影像的影像重建方法
	(5) 用以減少功率元件切換時功率損失之電路架構
	(6) 對聚合醣鏈進行放射標記以作為肝受體造影劑之方法
	(7) 一種二氧化碳能源轉化循環方法及其裝置
銀牌獎	(1) 陽極處理程序以提升固態氧化物燃料電池之膜電極組輸出電功率密度
銅牌獎	(1) 電致變色薄膜之製造方法
	(2) 放射性污染金屬表面之除污方法
	(3) 一種核醫藥物注射劑自動化製程參數及其評估方法
	(4) 製造雙功能與雙效奈米靶向性免疫微脂體之套組及微脂體之製造方法



▲ 2013技術交易展馬所長為經濟部卓士昭次長(右)介紹本所主題館



3. 「2013年台北國際發明暨交易展」簽約廠家明細表

項次	公司	簽約名稱	種類
1	新茂木業股份有限公司	非糧生質原料解聚糖化關鍵技術研發計畫	技術授權
2	七福工業股份有限公司	非糧生質原料解聚糖化關鍵技術研發	先期參與
3	遠東新世紀股份有限公司	非糧生質原料解聚糖化關鍵技術研發	先期參與
4	遠東新世紀股份有限公司	纖維酒精量產技術研發	技術服務
5	東聯光訊玻璃股份有限公司	「微型化聚光型太陽電池模組之陣列式透鏡」	先期參與 合作意願書
6	永豐興科技股份有限公司	「微型化聚光型太陽電池模組之陣列式矽膠玻璃透鏡」	先期參與
7	躍欣生技醫藥股份有限公司	生物可分解性多功能微米顆粒在肝癌近接治療之研製與應用研究	合作開發
8	秀傳醫療社團法人秀傳紀念醫院	碘-123 MIBG於心臟衰竭疾病運用之整合型研究計畫	合作開發
9	漢泰科技股份有限公司	建立以大氣電漿噴塗法製備固態氧化物燃料電池金屬連接板之LSM保護膜技術及性能分析	合作開發
10	台灣騰協生技股份有限公司	錐形射束電腦斷層三維影像重建技術	合作開發
11	台灣奧斯特股份有限公司	半導體光電偵檢核心之局部重大器官 PET 顯像系統	合作開發
12	嘉頡金屬股份有限公司	化煉鋁爐渣為高級耐火材料	合作開發
13	睿嘉生物科技股份有限公司	快速檢驗試劑開發計畫	合作開發
14	加樂生醫股份有限公司	體外細胞藥物動力學分析之三維細胞支架技術開發	合作開發
15	普生股份有限公司	體外診斷試劑開發	合作開發
16	盛貿科技股份有限公司	電致變色模組開發	合作開發
17	崇越科技股份有限公司新能源事業群	水面浮動太陽能發電系統技術開發與應用推廣	合作開發
18	李長榮集團全利能源實業股份有限公司	水面浮動太陽能發電系統技術開發與應用推廣	合作開發
19	旭晶能源科技股份有限公司創新研發中心	電漿浸入離子佈植方法類單晶矽太陽電池之技術開發與應用推廣	合作開發
20	綠源科技股份有限公司	太陽位置感測技術授權與合作開發	合作開發
21	裕隆電能股份有限公司	微電網與電動車能源調配之系統及管理技術應用	合作開發
22	九豪精密陶瓷股份有限公司	固態氧化物燃料電池陶瓷基板支撐型單元電池製作技術	合作開發



(三) 第十屆國家新創獎：

「一種定量肝殘餘功能的檢驗方法與其新穎肝受體造影檢驗藥劑」及「高階影像醫療器材－乳房專用正子攝影儀開發」獲社團法人國家生技醫療產業策進會(生策會)頒給「第十屆國家新創獎－學研組」。



(四) 國家發明創作獎：

發明專利『固態氧化物燃料電池及其製作方法』，榮獲經濟部主辦之國家發明創作獎銀牌及獎金20萬。



(五) 放射性物料安全營運績優暨研究發展傑出貢獻獎

1. 安全營運績優獎(團體獎)：本所微功率反應器(ZPRL)除役規劃團隊。
2. 研究發展傑出貢獻獎(個人獎)：本所張國源副研究員。
3. 研究發展傑出貢獻獎(團體獎)：本所濕式貯存設施內高活度放射性污染去除技術研發團隊。

專 利

1. 羅彩月、陳建文、唐一中、許桂綸、吳裕隆、劉清楨、樑德生、林金陣、盛昌茂、許志道，幾丁聚糖之抑癌放射性物質及其製備方法，中華民國，發明第I375569號，101.11.01-117.09.15。
2. 唐一中、羅彩月、吳裕隆、鄭善云、葉雲漢、盛昌茂、劉秀雯、林武智，抑制及診斷癌症之放射性物質及其製備方法，中華民國，發明第I378801號，101.12.11-117.07.25。
3. 郭鴻達，輻射偵檢取樣裝置，中華民國，發明第I381187號，102.01.01-117.08.28。
4. 吳錦裕、梁文龍、蔡明瑞、詹德均、謝政昌、魏新武、李佳誠、艾啟峰，高功率脈衝磁控濺射鍍膜裝置與表面處理裝置，中華民國，發明第I381063號，102.01.01-117.09.23。
5. 李振弘、蘇水華、袁明程、陳英鑒，屏蔽式低散射之輻射量測儀器校正設備，中華民國，發明第I381186號，102.01.01-118.10.12。
6. 黃增德、蘇水華、陳英鑒、袁明程，游離腔夾具結構，中華民國，發明第I382441號，102.01.11-118.10.01。
7. 陳朝鈺、廖啟宏、黃慶村、張清土，以蛭石為載體之一氧化碳選擇性氧化觸媒，日本，特許第5154887號，96.10.19-101.11.14。
8. 張揚狀、李茂傳、王俊修、林泰男、高維欣，一種奈米級電解質懸浮體配方與製程與其應用於製備具氣密/全緻密電解質層之高性能固態氧化物燃料電池之膜電極組合元件(SOFC-MEA)之程序，歐盟，EP2166602A1，97.09.11-117.09.10。
9. 李銘忻、林武智、王信二、吳駿一，氟-18-ACETATE合成方法及自動化裝置，中華民國，發明第I382008號，102.01.11-118.05.13。
10. 鍾人傑、曾育貞、劉玉章、呂永方，金屬/二氧化鈦漿料以及光觸媒物質之製造方法，中華民國，發明第I382958號，102.01.21-117.10.23。
11. 黃森榮、呂建興、陳振宗、林武智、蔡英敏，放射性同位素鈾-201之分離裝置，中華民國，發明第I382427號，102.01.11-118.06.17。
12. 薛天翔、吳敏文、艾啟峰，高分子材料之大氣電漿撥水與撥油改質結構及其改質方法，中華民國，發明第I381078號，102.01.01-117.10.08。
13. 黃瓊芳、陳威希、林鼎翔、陳文恆、郭家倫、黃文松，提升纖維水解液生產五碳糖醇之酵母菌培養方法，中華民國，發明第I382092號，102.01.11-118.10.29。
14. 李銘忻，核醫藥物自動分裝裝置，美國，US8,347,925B2，98.08.19-118.08.18。
15. 趙椿長、陳孟琪，進步型沸水式核能電廠儀控流程之故障樹分析系統方法，美國，US8,352,236B2，97.10.16-117.10.15。
16. 劉懋鑫、林崇智、林國楨，具旋轉台設計之桶輻射活度檢測裝置，美國，US8,304,741B2，101.11.06-120.05.30。
17. 王文樺，用過核子燃料乾式貯存系統密封鋼筒之表面附著輻射污染擦拭取樣裝置，美國，US8,225,680B2，98.01.05-118.01.04。
18. 王俊修、李茂傳、林泰男、張揚狀、高維欣、林立夫，陽極處理程序以提升固態氧化物燃料電池之膜電極組輸出電功率密度，日本，特許第5166080號，97.03.12-117.03.11。

19. 歐庭嘉，微電網儲能備用電源之網絡連結方式與調度方法，中華民國，發明第I384719號，102.02.01-118.10.29。
20. 張烈誌、李灝銘、曾錦清，連續式定量進料裝置及方法，美國，US8,353,394B2，100.02.09-120.02.08。
21. 邱耀平、徐毅理、蕭述三、張家維、黃大慶，緊緻型兩段式流動顆粒床過濾裝置，美國，US8,343,430B2，102.01.01-120.08.25。
22. 蔡禹擎、洪文堂、王宏瑜、李瑞益、黃維屏，低污染節能型燃料電池堆測試裝置，美國，US8,333,125B2，99.01.19-119.01.18。
23. 呂咨賢、吳志宏、劉庚昇、歐陽文炳，金屬氮氧化物薄膜結構之製作方法，日本，特許第5170788號，99.02.12-119.02.11。
24. 張茂雄、陳道祺、褚國源、黃炳焰、陳振宗、杜定賢、林武智，靶物質傳送系統，日本，特許第5179142號，96.10.24-116.10.23。
25. 顏志明、陳永枝、陳孝輝、楊明松、黃孟涵，一種氣液混合之常壓電漿廢水處理裝置，中華民國，發明第I383957號，102.02.01-118.2.04。
26. 徐獻星、李春林、孫士文、李昭德，家用負載之直流電力裝置，中華民國，發明第I384720號，102.02.01-118.07.16。
27. 李天作、胡中興、黃耀南，沸水式核電廠反應爐爐心放置有裂痕控制棒位置之搜尋方法，中華民國，發明第I384490號，102.02.01-117.05.22。
28. 楊村農，自外部去除雜質以提純冶金級矽材料之製備方法，中華民國，發明第I384558號，102.02.01-118.04.15。
29. 彭俊華、葉宏易、李政達，百葉窗式聯動桿裝置，中華民國，發明第I384193號，102.02.01-119.10.13。
30. 黃宏彰、郭家倫、黃文松、王嘉寶、魏聰揚，提升纖維素轉化酒精效率之方法，中華民國，發明第I384074號，102.02.01-118.10.29。
31. 陳志豪、劉鎮洋、楊玉堂、楊慶威、程貴仁，用於重物翻轉與穩定之裝置，中華民國，發明第I384491號，102.02.01-118.06.24。
32. 洪慧芬、李岳穆、蔡尚育、郭成聰，太陽能電池元件結構，中華民國，新型第M446418號，102.02.01-108.03.5。
33. 趙椿長、陳孟琪、黃清添、張達恩，進步型沸水式核能電廠鄰近民眾定量健康指標評估方法，中華民國，發明第I384489號，102.02.01-116.10.30。
34. 曾慶沛、李佳誠、謝政昌、林登連、艾啟峰，射頻中空陰極電漿源產生裝置，中華民國，發明第I386112號，102.02.11-117.08.20。
35. 辛華煜、邱烘盛、陳俊亦、郭弘仁、陳盈汝、黃憶雅、郭成聰，聚光型太陽能模組框架結構改良，中華民國，新型第M445158號，102.01.11-109.01.14。
36. 黃振興、蔡俊煌、孫念祖、余任豐，多氣式混合器與電漿火炬的混合氣供氣裝置，中華民國，發明第I385042號，102.02.11-118.06.25。
37. 黃振興、蔡俊煌、孫念祖、余任豐，固態氧化物燃料電池及其製作方法，中華民國，發明第I385851號，102.02.11-118.07.02。

-
38. 李文鎮、喬凌寰，MTR片狀燃料提把水底切割裝置，中華民國，發明第I384492號，102.02.01-118.06.08。
-
39. 王敏全、楊昌翰、陳恩仕、詹德均、艾啟峰，一種太陽能發電裝置及其製程方法，中華民國，發明第I387118號，102.02.21-119.06.21。
-
40. 黃振興、蔡俊煌、孫念祖、余任豐，多氣式混合器與電漿火炬的混合氣供氣裝置，美國，US8,362,388B2，102.01.29-120.06.26。
-
41. 葉俊賢、袁明程，金屬體射源校正假體及其校正方法，美國，US8,378,291B2，102.02.19-120.07.15。
-
42. 余冬帝、程永能、李瑞益，高溫燃料電池熱能管理系統，中華民國，發明第I388083號，102.03.01-118.10.22。
-
43. 王美惠、林武智、簡傳益、于鴻文、李玲子、李遠川，對聚合醣鏈進行放射標誌以作為肝受體造影劑之方法，中華民國，發明第I388338號，102.03.11-118.10.25。
-
44. 徐維荃、李德偉、游佳瑜、張志賢、張翠容，製造雙功能與雙效奈米靶向性免疫微脂體之套組及微脂體之製造方法，中華民國，發明第I388339號，102.03.11-118.10.26。
-
45. 劉懋、林崇智，具旋轉台設計之桶輻射活度檢測裝置，中華民國，發明第I388875號，102.03.11-118.08.20。
-
46. 高維欣、李茂傳、林泰男、王俊修、張揚狀、林立夫，高性能固態氧化物燃料電池組合元件（單元電池）中全緻密電解質層之創新製作程序，日本，特許第5198908號，97.03.11-117.03.11。
-
47. 王多美、葛明德、侯光煦、孫金星、李文成、楊昇府、曾錦清，製備熔岩纖維摩擦材料之方法，中華民國，發明第I388655號，102.03.11-118.06.17。
-
48. 游原昌、曾懋升、黃揮文、鄭宗杰，多樣性與深度防禦分析模擬裝置，中華民國，發明第I389141號，102.03.11--118.06.17。
-
49. 李世瑛、張剛璋、陳家杰，多巴胺D2受體核醫造影劑碘-123-Epidopride之標幟方法，中華民國，發明第I388337號，102.03.11-119.08.04。
-
50. 廖本錦、游原昌、黃揮文、鄭宗杰、陳明輝，特殊安全設施儀控系統自動測試裝置，美國，US8,380,477B2，99.01.08-119.01.07。
-
51. 徐燕謀、黃憶雅、辛華煜、朱宜修，高聚光太陽能聚光透鏡及其製造方法，美國，US8,358,476B2，99.11.23-2031.04.22。
-
52. 蔡源順、李綉偉，可增加檢測便利性之空氣過濾系統，中華民國，發明第I385353號，102.02.11-118.12.16。
-
53. 程永能、李瑞益、邱耀平、林金福，平板型固態氧化物燃料電池之電池堆流道，日本，特許第5213014號，96.08.02-116.08.01。
-
54. 林泰男、李茂傳、高維欣、張揚狀、王俊修、林立夫，高性能固態氧化物燃料電池膜電極組合元件（單元電池）中全緻密之濺鍍電解質層之創新製作程序，日本，特許第5231080號，97.04.30-117.04.29。
-
55. 林弘翔、李瑞益、程永能，易組裝及抽換之平板型固態氧化物燃料電池電池堆結構，美國，US8,399,143B2，100.06.27-120.06.26。

-
56. 詹振旻、張永瑞，用於多相式電力轉換器之數位變頻控制裝置，中華民國，發明第I390380號，102.03.21-118.09.23。
-
57. 吳志宏，太陽能電池元件，中華民國，發明第I390746號，102.03.21-118.05.06。
-
58. 羅國原、張永瑞，用於風力發電機之充電裝置，中華民國，發明第I390819號，102.03.21-118.09.23。
-
59. 王美惠、林武智、簡傳益、于鴻文、李玲子、李遠川，一種定量肝殘餘功能的檢驗方法與其新穎肝受體造影檢驗藥劑，中華民國，發明第I391144號，102.04.01-118.10.25。
-
60. 李瀛生、李定一、楊玉堂、張偉清、邱文通、劉清士、陳勝裕，隔離式放射性污染廢金屬熔鑄裝置，中華民國，發明第I391950號，102.04.01-117.08.18。
-
61. 劉秀雯、林正憲、林次郎、徐成芳、張瑜，N-甲基-3-(2-三丁基錫苯氧基)-3-苯丙胺之製備方法及其用途，中華民國，發明第I392510號，102.04.11-119.06.21。
-
62. 王美惠、林武智、于鴻文、簡傳益、王屏燕，肝受體造影用注射劑其調劑方法及其醫藥組合物，中華民國，發明第I392511號，102.04.11-119.10.28。
-
63. 劉秀雯、林正憲、林次郎、徐成芳，肝癌治療劑標幟前驅物H3LMN系列及其製造方法，美國，US8,329,879B2，98.09.14-120.01.09。
-
64. 羅彩月、陳建文、唐一中、許桂綸、吳裕隆、劉清楨、樑德生、林金陣、盛昌茂、許志道，幾丁聚醣之抑癌放射性物質及其製備方法，美國，US8,367,811B2，97.11.03-119.01.12。
-
65. 陳文華、蔡嘉晉、任天熹、黃文松、王嘉寶，纖維原料活塞式壓差進料裝置，中華民國，發明第I392544號，102.04.11-119.06.16。
-
66. 陳文福、葉宏易、李政達，可調式感測器支撐架結構，中華民國，發明第I392823號，102.04.11-119.08.18。
-
67. 許怡儒、歐陽啟能、林聰得、徐耀東，太陽能電池模組端子強度測試機台，中華民國，發明第I392868號，102.04.11-118.06.10。
-
68. 蔡振鐸、梁國隆、吳江纘、李中新，超鈾儲存設施之拆除裝置及其方法，美國，US8,420,880B2，97.09.26-117.09.26。
-
69. 李崙暉、黃培祥、黃志中，水平舉昇鬆動裝置，美國，US8,424,938B1，100.10.13-120.10.13。
-
70. 鍾人傑、劉公典、陳敏男、麥富德、張君照，用以顯影或治療用之胜肽磁流體，中華民國，發明第I394585號，102.05.01-117.07.24。
-
71. 王信二、林智遠、郭瑋迪、陳傳霖、王美惠、于鴻文、翁茂琦、張瑜、林武智，放射性標幟之核苷酸類似物製備方法及其用途，中華民國，發明第I394587號，102.05.01-120.01.06。
-
72. 李茂傳、高維欣、林泰男、吳思翰、程永能、張揚狀、李瑞益、王俊修，固態氧化物燃料電池堆在封裝製程中元件間最佳接觸壓力量測方法及其量測裝置，中華民國，發明第I395366號，102.05.01-119.03.11。
-
73. 林世維、陳長盈、黃智麟，一種燃料電池系統的控制方法及其使用該控制方法的燃料電池系統，中華民國，發明第I395368號，102.05.01-119.07.27。
-
74. 黃瓊芳、姜義峰、林鼎翔、郭家倫、黃文松、王嘉寶，一種未去毒性纖維原料水解液生產木糖醇的方法，美國，US8,409,835B2，102.04.02-119.05.07。

-
75. 張慧良、張榕修，具滾動轉子之連續塗敷方法及其裝置，美國，US8,414,975B2，98.12.14-118.12.13。
-
76. 薛天翔、吳敏文、艾啟峰，高分子材料之大氣電漿撥水與撥油改質結構及其改質方法，美國，US8414980B2，98.08.21-118.08.20。
-
77. 黃慶村、張清土，廢酸液之固化與安定之方法，美國，US8,430,803B2，96.10.24-120.08.14。
-
78. 陳衍昌、陳家杰、陳冠因、劉學絢、林彬、李孟洲、郭明朝、黃文松、傅應凱、林武智、沈立漢，海藻固定方法，歐盟，EP1878336B1，95.07.14-115.07.13。
-
79. 何元祥、張永瑞、賴生日，用以減少功率元件切換時功率損失之電路架構，中華民國，發明第I394359號，102.04.21-118.09.09。
-
80. 杜定賢、林武智、陳振宗、黃立元、王信二、陳博霖、張文議、高顯文，氟-18標幟單半乳糖衍生物¹⁸F-galactose，中華民國，發明第I394586號，102.05.01-119.10.13。
-
81. 余慶聰、邱耀平、陳三元、吳智祥，中高溫捕碳劑之吸碳奈米微層狀材料Ca-Al-CO₃及其製造與使用方法，中華民國，發明第I394612號，102.05.01-119.03.26。
-
82. 余慶聰、王啟鴻、邱耀平，奈米層狀碳酸鹽之中高溫捕碳劑，中華民國，發明第I394611號，102.05.01-119.03.03。
-
83. 劉玉章、鍾人傑、魏聰揚、呂永方、曾育貞、鄭俊才，光電化學產氫反應器之光觸媒電極及其製作方法，中華民國，發明第I394868號，102.05.01-118.09.30。
-
84. 歐庭嘉，HCPV演算法結合BIPV於直流電力系統之應用裝置，中華民國，發明第I396064號，102.05.11-118.09.23。
-
85. 簡俊清、邱顯都、林素賢、黃婉敏、許寧逸，氣體反應裝置，中華民國，發明第I396590號，102.05.21-118.10.29。
-
86. 李茂傳、高維欣、林泰男、吳思翰、程永能、張揚狀、李瑞益、王俊修，固態氧化物燃料電池堆在封裝製程中元件間最佳接觸壓力量測方法及其量測裝置，美國，US8,427,174B2，102.04.23-120.08.23。
-
87. 鍾人傑、林國明、吳明興，廢水處理方法與系統，美國，US8,444,928B2，102.05.21-121.03.08。
-
88. 李茂傳、張揚狀、林泰男、高維欣、王俊修、林立夫，具特定孔隙率與氣體透過率之固態氧化物燃料電池之電極層製備方法，日本，特許第5275679號，97.05.14-117.05.14。
-
89. 俞鍾山、張茂雄、陳振宗、林武智、姜豐武、黃鶴聯、顧雨軒、陳珈融、杜衍宏，氟-18FBuEA之前驅物及其製備方法，中華民國，發明第I398429號，102.06.11-118.08.25。
-
90. 曾繁斌、詹美齡，閃爍偵檢器之晶體位置感測訊號識別與排序方法，中華民國，發明第I398664號，102.06.11-118.10.29。
-
91. 李德偉、張雅珍、陳亮丞、游佳瑜、邱淑珮、陳淑玲、張志賢、羅彩月、丁幹，製作放射藥物與化學治療藥物組合式奈米標靶套組之醫藥用途，中華民國，發明第I399222號，102.06.21-116.03.22。
-
92. 李恆毅、李灝銘、曾錦清，利用低階熱能產生電力及冷凍之裝置與方法，中華民國，發明第I399512號，102.06.21-119.10.27。

-
93. 曹正熙、余明昇、曾怡仁、吳秀珠、鍾翠芸、張華紋、曾宦雄、簡俊清，儲氫結構形成方法，中華民國，發明第I400195號，102.07.01-119.01.07。
-
94. 蔡典修、詹美齡、倪于晴，決定晶體穿透效應與偵檢效率以及偵檢效率校正之方法，中華民國，發明第I400470號，102.07.01-119.10.29。
-
95. 王美惠、林武智、簡傳益、于鴻文、李玲子、李遠川，一種定量肝殘餘功能的檢驗方法與其新穎肝受體造影檢驗藥劑，美國，US8,435,491B2，102.05.07-119.10.09。
-
96. 顏志明、陳永枝、楊明松、陳孝輝、黃孟涵，一種雙模式工作之電漿反應器裝置，美國，US8,440,142B2，97.03.14-117.03.13。
-
97. 梁國超、李灝銘、曾錦清，提升漿態床反應器產率之方法，美國，US8,440,728B2，100.03.10-120.03.09。
-
98. 陳怡昌、李崙暉，一種區分不同方向劑量的量測方法，美國，US8,442,803B2，99.10.21-119.10.20。
-
99. 楊村農，三氧化二鋁薄膜製備方法，美國，US8,450,219B2，100.09.29-120.09.28。
-
100. 蔡禹擎、顏子翔、洪文堂、黃正男、王宏瑜、黃維屏、李堅雄，應用於高溫燃料電池之多孔性介質燃燒器，美國，US8,454,355B2，99.03.09-119.03.08。
-
101. 龍安靖、張志賢、李德偉，分子影像精確定量輔助系統及其方法，美國，US8,467,588B2，102.06.18-121.01.02。
-
102. 郭柏修、倪于晴、詹美齡，醫用偵檢裝置，美國，US8,464,378B2，102.06.18-120.08.02。
-
103. 楊村農，提純冶金級矽基板矽奈米線太陽電池元件之製備方法，中華民國，發明第I400352號，102.07.01-119.07.28。
-
104. 程貴仁、楊玉堂、陳忠生，用於用過核燃料乾式貯存容器之吊掛輔助穩定裝置，中華民國，發明第I400716號，102.07.01-119.09.01。
-
105. 程貴仁、楊錦緞、楊玉堂，用於縮短用過核燃料乾式貯存容器乾燥作業時間之裝置，中華民國，發明第I400717號，102.07.01-119.09.15。
-
106. 蔡宗諺、魏華洲、翁堉翔，一種提升酒精溶液脫水效率之方法，中華民國，發明第I397519號，102.06.01-119.09.29。
-
107. 吳明興、林國明，放射性廢棄物之儲存桶傾倒裝置及放射性廢棄物處理方法，中華民國，發明第I401700號，102.07.11-119.07.21。
-
108. 董成祥、余明昇、吳秀珠、曾宦雄，動態儲氫的裝置及其方法，中華民國，發明第I401208號，102.07.11-119.10.25。
-
109. 羅彩月、林金陣、許志道、葉忠興、李中新、卓家賓、杜定賢、林武智、沈立漢，自錄製程廢液獲取高純度銅-64同位素之方法，中華民國，發明第I401212號，102.07.11-119.05.20。
-
110. 王宏瑜、蔡禹擎、洪文堂、顏子翔、黃正男、黃維屏，燃料電池自動化測試程序之監控裝置，中華民國，發明第I401456號，102.07.11-117.10.29。
-
111. 程永能、李瑞益、林弘翔，平板型燃料電池之線上高度量測系統，美國，US8,486,576B2，97.12.02-117.12.01。

112. 辛華煜、徐燕謀、陳俊亦、郭弘仁、黃憶雅，矽膠玻璃聚光透鏡製程改良，中華民國，發明第I399284號，102.06.21-119.01.14。
113. 施圳豪、洪慧芬，太陽電池元件散熱效率量測系統與其方法，中華民國，發明第I400763號，102.07.01-119.01.07。
114. 任天熹、馮上燭，可快速操作及減少傳送阻力之罐蓋機構，中華民國，發明第I402859號，102.07.21-117.06.05。
115. 蔡文發、廖炯峰、陳彥瑜、劉致為、艾啟峰，鈍化修補太陽能電池缺陷之方法，中華民國，發明第I402898號，102.07.21-118.09.02。
116. 蘇煒年、洪振義、張欽然，應用尾翼尾桿彎折控制輸出功率之風力發電機，中華民國，發明第I402419號，102.07.21-116.10.04。
117. 方新發、謝明崇、陳俊良、袁明程、曹正熙、彭康能，電腦化繪圖記錄裝置，美國，US8,488,167B2，99.09.27-120.09.14。
118. 徐燕謀、黃憶雅、辛華煜、朱宜修，高聚光太陽能聚光透鏡及其製造方法，中華民國，發明第I402994號，102.07.21-119.10.20。
119. 范勝淵、王士珍、蔡智明，用於沸水式反應爐之水位決定方法，中華民國，發明第I403700號，102.08.01-119.11.03。
120. 柯學超、鐘正邦、歐陽啟能、徐耀東，聚光型太陽能電池檢測裝置，美國，US8,476,914B2，102.07.02-121.02.03。
121. 李茂傳、張揚狀、林泰男、高維欣、王俊修、林立夫，具特定孔隙率與氣體透過率之固態氧化物燃料電池之電極層製備方法，中華民國，發明第I405363號，102.08.11-116.11.29。
122. 鍾人傑、林國明、吳明興，廢水處理方法與系統，中華民國，發明第I405724號，102.08.21-118.04.27。
123. 柯學超、鐘正邦、歐陽啟能、徐耀東，聚光型太陽能電池檢測裝置，中華民國，發明第I404950號，102.08.11-119.10.25。
124. 甘金相、魏聰揚、林國明，放射性污染金屬自動化機械除污方法，中華民國，發明第I404080號，102.08.01-118.07.01。
125. 王俊修、李茂傳、林泰男、張揚狀、高維欣，一種粉體收集化學反應器應用於胺基乙酸-硝酸鹽燃燒法製備奈米或次微米級的精密陶瓷粉體程序，中華民國，發明第I405609號，102.08.21-118.08.11。
126. 李銘忻、林金陣、丁澤錚、戴以禮，銻-68放射性同位素產生裝置及其方法，中華民國，發明第I397421號，102.06.01-119.07.13。
127. 呂咨賢、吳志宏、劉庚昇、歐陽文炳，金屬氮氧化物薄膜結構之製作方法，中華民國，發明第I404811號，102.08.11-119.01.13。
128. 張家榮、陳宗立、廖美秀、沈立漢，放射性藥物自動夾取量測充填升降裝置，中華民國，新型第M458983號，102.08.11-109.08.25。
129. 黃瓊芳、林鼎翔、陳文恆、郭家倫、許登傑、周聖忻、陳文華、陳盛燮、黃文松、門立中、王嘉寶，未去毒性纖維原料水解液之木糖發酵方法，中華民國，發明第I405852號，102.08.21-117.08.20。

130. 曾毓翔、葉宏易、李政達，太陽追蹤控制系統高精度感測太陽追蹤器位置的方法，中華民國，發明第I405942號，102.08.21-119.10.20。
131. 游原昌、葉宏易、黃揮文、陳明輝，數位儀控軟體失效模擬測試裝置，中華民國，發明第I407452號，102.09.01-116.05.16。
132. 溫冬珍、許寧逸，核電廠鋼材檢測裝置，中華民國，發明第I407453號，102.09.01-119.08.11。
133. 蔡振鐸、梁國隆、吳江纘、李中新，超鈾儲存設施之拆除裝置及其方法，中華民國，發明第I407455號，102.09.01-117.07.24。
134. 陳俊亦、辛華煜、邱烘盛，聚光型太陽能模組之排水外框結構，美國，US8,438,797B2，98.12.25-120.07.06。
135. 馬國興、黃文盛、陳家杰、沈立漢，雙同位素核醫造影方法，美國，US8,491,867B2，99.06.25-119.06.24。
136. 傅孟鈞、陳冠因、陳家杰，固體材料表面官能基定量方法，美國，US8,492,161B2，100.08.25-120.08.24。
137. 蔡雨利、吳志宏、侯杰利，用於光電元件之基板的剝離結構，美國，US8,467,421B2，102.07.30-120.11.11。
138. 李振弘、蘇水華、袁明程，屏蔽式低散射之輻射量測儀器校正設備，美國，US8,502,134B2，102.08.06-121.02.24。
139. 梁鑫京，可提供三維事件位置資訊之加馬平面成像探頭裝置及其成像單元之事件位置辨識方法，美國，US8,507,842B2，102.08.13-121.06.13。
140. 羅彩月、羅靄人、謝柏滄、黃增忠、劉清楨、林武智，濃縮鎘-99m過鎘酸溶液之裝置及其方法，歐盟，EP1870906B1，95.06.20-115.06.19。
141. 方新發、謝明崇、陳俊良、袁明程、曹正熙、彭康能，電腦化繪圖記錄裝置，中華民國，發明第I406168號，102.08.21-118.10.29。
142. 柯學超、歐陽啟能、彭武豪、徐耀東，液位計檢測裝置及其檢測方法，中華民國，發明第I407084號，102.09.01-119.09.23。
143. 郭柏修、詹美齡，醫用檢測裝置，中華民國，發明第I407940號，102.09.11-117.10.02。
144. 李銘忻、杜定賢、林武智，鎘(Ga)-68/鎘(Ge)-68發生器固體靶製程參數評估方法，中華民國，發明第I408700號，102.09.11-118.08.31。
145. 陳一順、邱耀平、陳柏壯、蕭述三、許嘉仁，移動式顆粒床及其氣體導引系統，美國，US8,491,711B2，102.07.23-120.10.05。
146. 吳景輝，可供核能電廠快速風險量化分析之頂端邏輯評估方法，中華民國，發明第I410884號，102.10.01-119.03.18。
147. 劉秀雯、林正憲、林次郎、徐成芳、張瑜，含氨基及二氮二硫(N₂S₂)配位子之雙官能基化合物及其製備方法，中華民國，發明第I410398號，102.10.01-119.07.12。
148. 黃振興、蔡俊煌、余任豐、張鈞量、林君孟、程世偉，一種用於固態氧化物燃料電池之雙層陽極—金屬基板結構及其製作方法，中華民國，發明第I411154號，102.10.01-119.07.22。

149. 陳又嘉、劉政成、王浩宇、許登傑、郭家倫、黃文松、王嘉寶，一種纖維素水解酵素及其基因，美國，US8,518,687B2，102.08.27-121.03.20。
150. 蔡源順、李綉偉，可增加檢測便利性之空氣過濾系統，美國，US8,518,166B2，99.09.13-120.09.06。
151. 傅孟鈞、陳冠因、林彬、曾玉琴、蔡青彥、陳家杰，以游離輻射製備磁性奈米碳材之方法，中華民國，發明第I408102號，102.09.11-119.08.18。
152. 周聖炘、李文翔、郭家倫、黃文松、王嘉寶，稻稈纖維水解質酵素之生產方法，中華民國，發明第I408231號，102.09.11-118.10.29。
153. 程貴仁、楊玉堂、黃金城，用於用過核燃料乾式貯存之裝置，中華民國，發明第I410984號，102.10.01-117.11.19。
154. 吳志宏，含銀金屬歐姆接觸電極，日本，特許第5366134號，98.05.01-118.04.30。
155. 傅孟鈞、陳冠因、陳家杰，固體材料表面官能基定量方法，中華民國，發明第I411577號，102.10.11-120.08.10。
156. 李大正、程永能、吳思翰、林弘翔，一種固態氧化物燃料電池之高溫爐，中華民國，發明第I412714號，102.10.21-120.01.13。
157. 林彥廷、邱柏雄，史特靈循環式乾式貯存容器之冷卻裝置，美國，US8,555,641B2，100.11.09-120.11.08。
158. 朱信忠，放射性廢棄物深層地質處置安全評估系統，美國，US8,521,432B2，102.08.27-119.06.30。
159. 楊昇府、葉俊彥、張彥華、王多美、李文成、孫金星、曾錦清，煉鋁爐渣耐火材料之製造方法，美國，US8,540,910B2，100.05.12-120.05.11。
160. 李灝銘，一種觸媒製備方法，中華民國，發明第I412406號，102.10.21-119.04.01。
161. 黃宏彰、王嘉寶、王清輝、郭家倫、周聖炘、黃文松，攪拌機構及具有該攪拌機構之同步糖化發酵反應裝置，中華民國，發明第I413545號，102.11.01-120.01.10。
162. 鍾人傑、吳明興、劉玉章，具有階梯式加熱破壞槽之廢水處理裝置及方法，中華民國，發明第I413616號，102.11.01-118.09.24。
163. 劉秀雯、林正憲、林次郎、徐成芳、張瑜，N,N-雙(2-硫氫乙基)-N',N'-二乙基乙烯二胺基氫氯化物之製備方法及其應用，中華民國，發明第I413635號，102.11.01-119.06.28。
164. 陳怡昌、李崙暉，一種區分不同方向劑量的量測方法，中華民國，發明第I413793號，102.11.01-119.09.29。
165. 李茂傳、王俊修、張揚狀、高維欣、林泰男、張仁禎、楊榮澤、李凌嵩，一種二氧化碳使用於固態氧化物燃料電池—二氧化碳能源轉化循環方法及其裝置，中華民國，發明第I414101號，102.11.01-119.11.08。
166. 許登傑、林鼎翔、馬天陽、郭家倫、黃文松、王嘉寶，提升木質纖維素轉化酒精濃度之方法，中華民國，發明第I414606號，102.11.11-118.10.29。
167. 彭康能、劉清士、黃康琳，磁隙式渦電流探頭，中華民國，發明第I414788號，102.11.11-118.07.15。

-
168. 王敏全、黎禹辰、梁文龍、詹德均、艾啟峰，一種薄膜光伏裝置及其製造方法，中華民國，發明第I415275號，102.11.11-118.10.08。
-
169. 楊村農，矽量子點薄層平板聚光型太陽電池之製備方法，中華民國，發明第I415282號，102.11.11-117.10.01。
-
170. 徐渝昌，奧瑪電動閥驅動器之轉接控制器，中華民國，新型第M465501號，102.11.11-108.07.29。
-
171. 李崙暉、黃培祥、黃志中，水平舉昇鬆動裝置，中華民國，發明第I415784號，102.11.21-120.09.25。
-
172. 葉俊賢、袁明程，金屬體射源校正假體及其校正方法，中華民國，發明第I416155號，102.11.21-119.06.24。
-
173. 邱淑珮、李德偉、游佳瑜、陳夙容、何宗澧、徐維荃、張雅珍，一種利用一鍋法合成可應用於癌症診斷造影與標靶治療的多功能微脂體之方法，中華民國，發明第I415627號，102.11.21-118.12.29。
-
174. 黃振興、蔡俊煌、余任豐、張鈞量、林君孟、程世偉，固態氧化物燃料電池之多孔金屬基板結構及其之製作方法，中華民國，發明第I416787號，102.11.21-119.07.22。
-
175. 曾士誠、謝政昌、楊明忠、詹德均、艾啟峰，一種具有新式電路設計的電漿產生裝置，中華民國，發明第I416999號，102.11.21-118.08.20。
-
176. 李茂傳、王俊修、張揚狀、高維欣、林泰男、張仁禎、楊榮澤、李凌嵩，一種二氧化碳使用於固態氧化物燃料電池—二氧化碳能源轉化循環方法及其裝置，歐盟，EP2450994B1，99.12.20-119.12.20。
-
177. 洪文堂、黃正男、蔡禹擎、譚學怡、羅世坤、林明達、賴振坡、程永能、李瑞益，應用於燃料電池發電系統之燃燒重組器，日本，特許第5376384號，101.03.13-121.03.12。
-
178. 林登連、曾錦清，直流蒸氣電漿火炬裝置及其電極熔蝕抑低方法，美國，US8,530,780B2，101.07.13-121.07.12。
-
179. 程俊嘉、李瑞成，利用偵測人類嗜中性白血球胜肽1-3以診斷胃癌之方法，美國，US8,551,735B2，99.11.09-119.11.08。
-
180. 傅孟鈞、余秉弘、蔡青彥、陳冠因、陳家杰，96孔盤格式運用於放射免疫分析之方法，美國，US8,569,075B2，100.09.14-120.09.13。
-
181. 倪于晴、徐湘綾、詹美齡，醫學造影系統用之擬人假體，日本，特許第5398812號，100.11.24-120.11.24。
-
182. 劉秀雯、林正憲、林次郎、徐成芳，含氨基與二醯胺二硫醇配位子之雙官能基化合物及其製造方法，中華民國，發明第I414312號，102.11.11-118.07.13。
-
183. 許寧逸、方傑、曾華源、蔡振鐸、溫冬珍，核電廠管路鈍化注鹼裝置，中華民國，發明第I416541號，102.11.21-120.05.12。
-
184. 楊村農，利用磊晶矽薄膜降低提純冶金級矽晶片內金屬雜質之製備方法，中華民國，發明第I416598號，102.11.21-119.06.30。
-
185. 王美惠、林武智、李瑞成、沈立漢、陳浩然，檢測肝殘餘功能之醣質醫學影像分子造影劑，中華民國，發明第I417110號，102.12.01-116.11.29。

-
186. 張烈誌、李灝銘、曾錦清，連續式定量進料裝置及方法，中華民國，發明第I417235號，102.12.01-119.10.27。
-
187. 謝政廷、李灝銘、梁國超、曾錦清，以反應蒸餾產製二甲醚之方法，中華民國，發明第I417275號，102.12.01-119.08.25。
-
188. 陳又嘉、劉政成、王浩宇、許登傑、郭家倫、黃文松、王嘉寶，一種纖維素水解酵素及其基因，中華民國，發明第I417384號，102.12.01-120.10.24。
-
189. 吳敏文、蔡丁貴、張慧良、林登連、謝政昌、艾啟峰，無電極與薄膜污染之大面積大氣電漿鍍膜裝置，中華民國，發明第I417417號，102.12.01-119.09.15。
-
190. 熊惟甲、劉建國、吳思翰、楊朋、李堅雄，固態氧化物燃料電池堆模組結構，中華民國，發明第I419403號，102.12.11-120.04.28。
-
191. 邱耀平、徐毅理、蕭述三、張家維、黃大慶，緊緻型兩段式流動顆粒床過濾裝置，中華民國，發明第I419732號，102.12.21-120.02.21。
-
192. 詹德均、羅仕守、林真瑜，具均一尺寸單層摻鋁氧化鋅奈米微球之薄膜製作，美國，US8,497,199B1，101.08.08-121.08.08。
-
193. 劉秀雯、林正憲、林次郎、徐成芳、張瑜，含單醣與二氮二硫(N₂S₂)配位子之雙官能基化合物、製備方法及其用途，美國，US8,551,447B2，100.04.15-121.10.17。
-
194. 李玲子、李遠川、王美惠、林武智，新穎肝標靶藥劑與合成方法，美國，US8,552,163B2，99.09.27-120.04.11。
-
195. 李恆毅、李灝銘、曾錦清，利用低階熱能產生電力及冷凍之裝置與方法，美國，US8,572,973B2，100.04.11-120.04.10。
-
196. 蔡雨利、吳志宏、侯杰利、黃兆輝、楊敏德，光電元件之基板剝離方法及其結構，美國，US8,575,004B2，100.10.14-121.01.19。
-
197. 許寧逸、簡俊清，固態氧化物燃料電池發電系統用之燃料重組觸媒製作方法，美國，US8,575,060B2，100.09.22-120.09.21。
-
198. 吳景輝、呂祖琪，一種關鍵基礎設施安全防護風險預警燈號評估之故障樹方法，美國，US8,595,180B2，100.09.23-121.06.08。
-
199. 陳雅頌，接線端子螺母起子及其使用方法，美國，US8,596,171B2，99.12.30-120.03.01。
-
200. 董成祥、余明昇、吳秀珠、曾宦雄，動態儲氫的裝置及其方法，美國，US8,597,410B2，100.06.23-121.02.15。



書名：行政院原子能委員會核能研究所102年年報

編著者：行政院原子能委員會核能研究所

出版機關：行政院原子能委員會核能研究所

電話：(02) 8231-7717 (03) 471-1400

地址：32546 桃園縣龍潭鄉佳安村文化路1000號

傳真：(03) 471-1064

網址：<http://www.iner.gov.tw/>

出版年月：中華民國103年4月

創刊年月：中華民國82年6月

定價：NT\$ 800元

GPN：2008200098

ISSN：1812-3295 (平裝)

刊期頻率：年報

展售門市：■ 國家書店松江門市 10485 台北市中山區松江路209號1樓
TEL: 02-25180207

■ 五南文化廣場 40642 台中市北屯區軍福七路600號
TEL: 04-24378010

◎ 本書同時登載於核能研究所網站之「出版品\年報」，網址為：<http://www.iner.gov.tw/>

◎ 本書保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求著作財產權人行政院原子能委員會核能研究所同意或書面授權。請洽行政院原子能委員會核能研究所，電話：03-4711400分機：3209。

2013 Annual Report



行政院原子能委員會
核能研究所

地址:桃園縣龍潭鄉佳安村文化路1000號
電話:(02)8231-7717 • (03)471-1400
傳真:(03)471-1064
網址:<http://www.iner.gov.tw>
E-mail: iner@iner.gov.tw

ISSN 1812-329-5



GPN:2008200098
定價: NT\$ 800元