



105年度
行政院原子能委員會暨所屬機關
研究計畫成果彙編

行政院原子能委員會 編印

中華民國106年5月出版



105年度
行政院原子能委員會暨所屬機關
研究計畫成果彙編

2



2016
Atomic Energy
Council,
Executive Yuan

發刊說明	4
序言(主委)	5
研發計畫成果	6
一、核能安全與災害應變	8
1. 運轉中核能電廠安全管制技術與後福島核安管制法規研究	9
2. 核電廠機械材料安全管制技術及老化管理評估與相關法規研究	11
3. 核電廠地震反應與土木結構安全分析管制技術研究	13
4. 輻射災害防救與應變技術之研究發展	15
5. 輕水式反應器運轉安全強化下安全保障之研發	18
6. 核電廠圍阻體嚴重事故安全分析	20
7. 用過燃料池冷卻能力安全分析精進	22
8. 前瞻核能安全技術研究暨國際合作	24
9. 後福島時代全球核安管制法制之發展新趨勢	26
二、電廠除役與廢棄物管理	28
1. 核電廠除役之審查與驗證技術研究	29
2. 核設施除役之輻射安全與人員生物劑量評估之技術研究	31
3. 放射性廢棄物貯存與處置安全管制技術發展	33
4. 核電營運安全領域關鍵技術發展綱要計畫	35
5. 核設施除役產生放射性廢棄物處理與處置技術研發	37
6. 依法執行核設施清理作業	39
三、潔淨能源與永續發展	42
1. 太陽光電技術發展與應用	43
2. 高效率固態氧化物燃料電池技術開發暨產業化平台建構	45
3. 自主式分散型區域電力控管技術發展與應用	47
4. 纖維酒精產業推廣平台及加值化生質精煉技術之研發	49
5. 我國能源風險評估系統化研究能力建置	51
6. 風能系統工程技術開發與研究	53
7. 智慧熱管餘熱回收節能關鍵技術開發	55
8. 電漿在綠色節能環境之開發與應用	57
9. 碳基能源永續潔淨利用技術發展	59
四、輻射安全及其民生應用	62
1. 強化輻射安全與輻射醫療品質技術之研究	63
2. 台灣地區住宅氬氣活度量測與劑量評估調查研究計畫	66
3. 加速肝功能量化正子造影劑之產業化	68
4. 銻-188-MN-16ET/利比多肝癌治療新藥之開發與應用研究	69
5. 次世代醫用3D放射造影儀技術開發及應用	71
6. 核子醫藥及醫材與儀器之應用研究	73
7. 本土好發性疾病輻射應用及分子影像技術平台	75

105年度行政院原子能委員會暨所屬機關 研究計畫成果彙編

行政院原子能委員會(以下簡稱本會)為我國核能及輻射安全主管機關兼顧原子能科技發展，於105年度規劃「嚴格執行核能安全管制」、「落實核安資訊公開，積極培訓核安管制人才」、「強化輻射災害應變量能」、及「提升輻射醫療品質，確保民眾健康及安全」為施政重點與策略目標，並藉由各類型計畫執行逐步達成。

於105年度計編列24項個案計畫，總經費達885,774千元；本彙編即以105年度所有個案計畫成果為藍本，以計畫性質概分為4個領域，並區分31項目，分別就其目標、重要成果，以及未來展望敘述執行成果。

105年度各項計畫績效評核作業，分為內部以及委託具學術專業之人員共同參與評核作業之外部專業評估意見，並結合實地查證，以充分審視計畫執行效益。自本年度起將綜整年度研究計畫成果，並撰成彙編，同時整理分析年度研究計畫執行情形，期能提升研究成果運用及推廣。

本彙編之編撰，由原能會相關單位組成編輯小組，彙整原計畫及其相關研究報告，除感謝各計畫單位協助撰寫外，本會綜合計畫處、核能研究所綜合計畫組亦協助編輯出刊，特此誌明，以表謝意。



序言(主委)

行政院原子能委員會為國家原子能科技政策推動機構之一，配合國家政策及研發施政目標，同時因應全球暖化、節能減碳及全民健康照顧等環境與民生議題，結合由原子能到新能源技術之研發能量，全力推動年度中各項科技計畫，研究範疇涵蓋當前政府與公眾關心之核能安全與災害應變、電廠除役與廢棄物管理、潔淨能源與永續發展、輻射安全及其民生應用等領域，輔助達成嚴格監督輻安核安、強化核災應變機制及核廢安全管理、加強社會民眾溝通、推動科研與創新等施政主軸。此外，應用多年累積原子能科技技術，延伸應用以研發新及再生能源、核醫診斷治療藥物與高階醫療器材等原子能和平用途，對應達成「推展潔淨能源技術，促進節能減碳」、「提升輻射醫療品質，確保民眾健康及安全」施政目標。

在研究同仁的全心投入，與會外研究機構的攜手協力下，105年度已展現多項亮麗的研發成果，並在這本彙編中摘要呈現，對於投身於其中的每一份心力，在此表示謝意外，並期許透過圖文內容，讓外界更多人瞭解我們在工作崗位上，投注於科技發展的創新，以及踏實執行與堅實的成果。

原能會 主任委員

謝曉星 謹識

106年5月20日



105年度
行政院原子能委員會暨所屬機關

研發計畫成果

- 一、核能安全與災害應變
- 二、電廠除役與廢棄物管理
- 三、潔淨能源與永續發展
- 四、輻射安全及其民生應用

2016
Atomic Energy Council,
Executive Yuan





研發計畫成果

一、核能安全與災害應變

1. 運轉中核能電廠安全管制技術與後福島核安管制法規研究

計畫單位：核能管制處

(一) 計畫目標

本計畫之總目標為確保政府組改過程達到核安管制技術的「無縫接軌」，持續提昇核能安全管制能力，並因應核安管制新近與未來議題與趨勢，及早完成管制所需技術之開發。

執行本分支計畫之主要目的為精進運轉中機組之管制技術及視察審查能力，研析國際上後福島核安管制法規沿革，參與相關國際合作計畫，並強化核能電廠應付超越設計基準事故的能力。

(二) 重要成果

105年度為本計畫4年期程的第1年，計畫整體主要成就及成果之價值與貢獻度說明如後。

1. 學術成就方面，共發表國內外研討會及期刊論文8篇、研究報告16篇、技術報告11篇。
2. 引進日本原子力規制委員會新規制基準有關火山及海嘯安全審查相關技術資料，進行關鍵內容彙整與研析，提升管制技術與能力。
3. 引進美國核管會認可之軸封洩漏模式，建立壓水式電廠全黑之事故序列並進行評估，發展相關領域之管制審查技術。
4. 蒐集研析國際核安資訊，提供管制建議，針對核能電廠特定核管案件審查與查證，進行相關安全分析並提供技術支援。
5. 參與美國核管會 CAMP、CSARP國際合作計畫，透過與各核能先進國家交流，提升我國管制技術能力，並提供管制建議，目前我國在CAMP計畫下，刊登於NUREG/IA之報告總數量，與西班牙並列第一。
6. 針對核安管制紅綠燈制度所需之管制程式進行維護更新，藉由核電廠對安全相關系統及設備之表現績效，調整管制措施，落實風險告知視察、審查與評估作業，提昇核能電廠運轉安全。

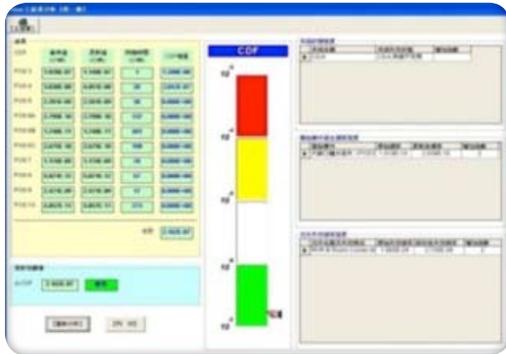


圖1、核一廠之TRACE/SNAP熱水流安全分析模式示意圖

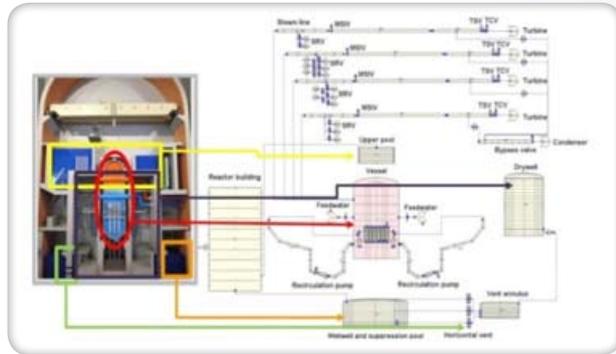


圖2、風險告知視察工具操作介面

(三) 展 望

由於科技日新月異，核安管制相關技術亦同，本計畫除持續加強國內運轉中機組管制技術及提升視察審查作業之技術基礎外，也將持續關注國際核能安全管制領域相關技術及議題的最新發展，並配合政府非核家園政策，後續將逐步朝除役相關議題進行研究。

2. 核電廠機械材料安全管制技術及老化管理 評估與相關法規研究

計畫單位：核能管制處

(一) 計畫目標

本計畫之總目標為確保政府組改過程達到核安管制技術的「無縫接軌」，持續提昇核能安全管制能力，並因應核安管制新近與未來議題與趨勢，及早完成管制所需技術之開發。

執行本分支計畫之主要目的為針對核能電廠運轉中各機組的組件材料劣化問題，進行管制技術研究，並參與相關國際合作計畫，解決管制實務問題，最終確保能達成維護公眾安全的使命。

(二) 重要成果

105年度為本計畫4年期程的第1年，計畫整體主要成就及成果之價值與貢獻度說明如後。

1. 學術成就方面，共發表國內外研討會及期刊論文5篇、研究報告8篇。
2. 進行材料劣化機制之長期研究，提供管制技術基準，減少電廠組件失效或破壞肇因發生之機率，相關成果包括：
 - (1) 探討核能電廠常用之低合金鋼和不銹鋼之異材銲接件特性，建立52M鎳基合金銲道之疲勞應力-壽命線、平均應力修正方式及瞭解疲勞損壞機制，掌握異材銲接組件疲勞壽命之影響因素。
 - (2) 針對不同時效不同肥粒鐵含量鑄造不銹鋼應力腐蝕裂縫生長速率量測研究，發現高肥粒鐵含量對腐蝕裂縫生長較時效之效應嚴重，乃因於肥粒鐵與沃斯田鐵介面時效弱化，導致高肥粒鐵鑄造不銹鋼裂縫生長加速。
3. 根據美國最新的核能組件老化和環境疲勞評估規範，建立評估程序和相關技術，並驗證國內核能電廠的組件設計；組件劣化資訊的收集解析則可提供電廠組件失效或破壞之及時預警或預防，確保核能機組安全。

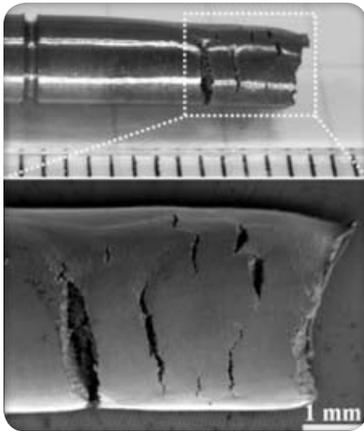


圖1、CF8A銲件在300°C水化學環境中進行慢速率拉伸試驗後，其斷裂面旁二次裂縫的巨觀形貌

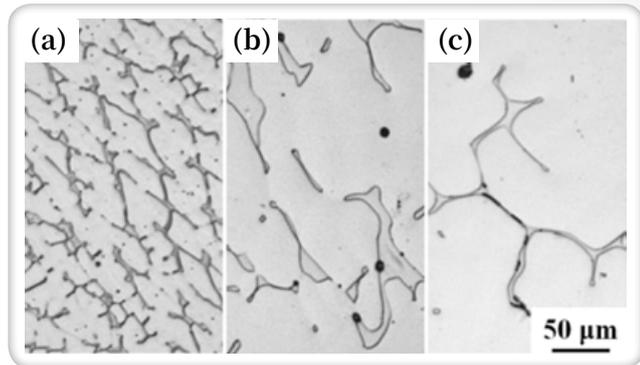


圖2、CF8A銲件橫截面顯微組織 (a) 銲道 (b) 熱影響區 (c) 母材

(三) 展 望

本計畫後續除將持續針對運轉中電廠組件材料劣化問題進行研究外，亦將配合政府非核家園政策，逐步朝除役相關議題發展，蒐集世界先進國家對核能電廠於除役期間停機過渡階段相關管制法規及文獻資料，並加以彙整研析，以提供國內管制措施作為參考依據。



3 核電廠地震反應與土木結構安全分析 管制技術研究

計畫單位：核能管制處

(一) 計畫目標

本計畫之總目標為確保政府組改過程達到核安管制技術的「無縫接軌」，持續提昇核能安全管制能力，並因應核安管制新近與未來議題與趨勢，及早完成管制所需技術之開發。

執行本分支計畫之主要目的包括：發展與建立國內各核能電廠反應器廠房土壤結構互制分析模型與技術，藉以評估核電廠地震反應；並建立對於機率式地震危害度分析、機率式斷層位移危害度分析、機率式地震風險評估之審查能力，確實評估國內核電廠之海嘯牆設計；同時汲取美國與日本核電廠經歷超過設計地震後重啟動之安全分析經驗，以發展我國電廠經歷超過設計地震後重啟動所需具備之分析技術。

(二) 重要成果

105年度為本計畫4年期程的第1年，計畫整體主要成就及成果之價值與貢獻度說明如後。

1. 學術成就方面，共發表國內外研討會及期刊論文3篇、研究報告5篇。
2. 針對地動預估方程式提出判斷標準，做為機率式地震危害度分析所採用的地動預估方程式管制審查之參考；提出之放大海溝型海嘯之地震參數的方法，模擬三座核能電廠達設計海嘯+6米的情境條件。
3. 建立一整合環境，藉由Flow-3D架構，模擬海底大規模山崩或土體滑移時引發之海嘯傳播，並採用完整三維紊流Navier-Stokes理論模擬海嘯波傳過程與陸地區的溯升高和溢淹範圍。
4. 經由過去日本2007年KKNPP及2011年美國NAPS等核能電廠經歷超越安全停機地震後重新啟動的寶貴經驗，建立核能電廠經歷超越超越安全停機地震後重啟動程序之實務面與學理依據的關聯。
5. 提出土壤二次非線性分析(近域效應)執行之方法與步驟，針對強震作用下核能電廠土壤及結構所產生非線性反應進行研究，釐清安全管制技術要項，進而提升公眾對核能安全管制之信心。

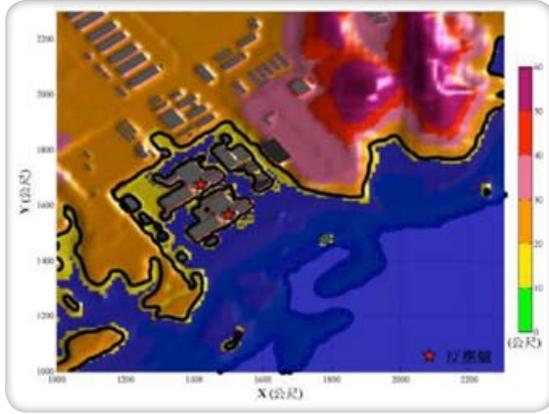


圖1、核三廠曼寧係數分析及模擬溢淹型

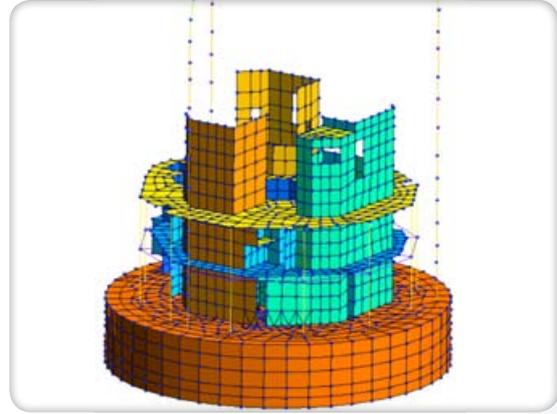


圖2、核三廠圍阻體廠房內部結構分割模

(三) 展 望

台灣電力公司針對國內幾座核能電廠持續進行機率式地震危害度分析、機率式斷層位移危害度分析、機率式地震風險評估、和海嘯牆設計，基於管制審查之需求，必須持續發展管制技術，提升技術分析結果之審查能力。台灣位於環太平洋地震帶，對於核能電廠因地震停機與相關的重啟動問題，需要持續地進行深入的研究，以發展出適合台灣地區的準則，在確保國民生命健康安全為前提下，降低對社會與經濟之衝擊。



4. 輻射災害防救與應變技術之研究發展

計畫單位：核能技術處

(一) 計畫目標

本會是核能安全及輻射管制的主管機關，而緊急應變是核能及輻射安全的最後一道管制防線，其目的在保障民眾和環境之安全，提升輻災應變作業能力，增進民眾對輻射應用之信心。本計畫為105年至108年之中程計畫，本會透過輻射災害鑑識分析能力之建立及輻射災害防救實務調查與減災對策之研究，強化我國在輻射災害應變的能力與能量，最終目標為：1.建立備援實驗室，增強整體輻射檢測能力及能量；2.檢視國際經驗，研訂與國際接軌又符合我國國情之輻災應變與整備相關作業規定及準則，確保輻災應變作業之品質及效能。

(二) 重要成果

本計畫係屬災害防救相關之基礎研究，其核心價值為維護及確保社會安全，降低災害對社會的整體影響。本計畫從105年至108年，分四年期逐步建構輻災應變與整備相關技術及作業，並透過「輻射災害鑑識分析能力建立」及「輻射災害防救與應變相關技術研究」等兩個子計畫來執行。

1. 子計畫一：輻射災害鑑識分析能力建立

本子計畫分四年期在南部地區逐步建置輻射災害偵測分析備援實驗室，協助輻射背景調查作業與緊急事故支援任務，提昇我國整體防救能量。105年第一年度之重點工作為「辦理備援實驗室建置先期規劃作業」及「建立備援實驗室加馬能譜分析基本技術能力」。

本分項工作由本會輻射偵測中心辦理輻射鑑識分析資料蒐集及備援實驗室設置規劃建置作業，並透過委託研究方式與「國立屏東科技大學」合作新增建置1間輻射災害放射性分析備援實驗室。「國立屏東科技大學」於105年度完成備援實驗室初步空間規劃整建工作(圖1)，並採購1台碘化鈉加馬核種能譜分析系統(圖2)及2台手提式輻射偵檢器等檢測分析所需儀器，並透過辦理儀器操作實務訓練及輻射相關訓練，建構實驗室人員初步放射性核種能譜分析能力，已完成階段性目標及量化目標，相關成果除彙整成技術報告(輻射災害放射性分析備援實驗室建置案)外，並於105年食品衛生檢驗科技研討會進行海報論文發表(105年台灣地區日本食品中放射性檢測調查)。



2. 子計畫二：輻射災害防救與應變相關技術研究

本子計畫同樣以四年期逐步建構輻災應變與整備相關技術及作業，在提昇整體防救能量的同時，也進一步確保輻災應變作業之品質及效能。105年度之重點工作為規劃輻射應變技術隊之成立，以及辦理「輻災防救實務調查與減災對策」與「核子保安風險管理與危機處置」之研究。

(1) 「輻災防救實務調查與減災對策」研究

透過蒐集國際間輻射事故(災害案例)與日本福島核子事故之救災檢討及後續復原作業，精進輻射災害之各項防救措施，健全輻射災害防救體系，強化災害之整備。

105年重點工作為針對國際輻射災害初期民眾防護措施採行基準、第一線應變人員應變實務以及除役中核能電廠通用之緊急應變法規與實務作法等議題進行資料蒐集、翻譯、研析與彙整，並參考我國國情研訂輻射災害風險管理與應變溝通策略；而為了讓救災人員能夠熟悉輻射的特性及掌握輻射事故救災處理技巧，本會於105年辦理了1場次國際輻射災害管理訓練講習(圖3)及4場次地方政府輻射災害應變作業講習，共計291人次參加。「輻射災害第一線應變人員手冊(草案)」為本研究於105年所產出之技術導則，本會參考國際原子能總署(IAEA)之「輻射緊急事件第一線應變人員行動手冊」、紐約市警局之「輻射恐怖主義基本準則」以及日本消防廳之「Start! RI119-消防人員專用之放射性物質事故應變基礎知識」等輻災應變手冊，同時納入重要國際輻射災害救災案例研訂而成，將於106年正式出版並提供地方政府實際參與救災業務承辦人使用。

(2) 「核子保安風險管理與危機處置」之研究

參考國際原子能總署保安文件及美國核能管制委員會核子保安管制實務與法規並進行綜整研析，訂定符合我國國情之核子保安作業要點及保安計畫審查導則等相關規範。

105年重點工作為完成國際上對核物料和放射性物質及相關設施與活動之核子保安規定及輻射災害案例與防救實務等資料之資料蒐集、翻譯、研析與彙整，並參考我國國情進行核子保安作業要點之研訂；105年辦理了1場次之輻射犯罪現場鑑識研習會(圖4)，並完成相關專業教材之製作，共計86名輻射應變相關人員參與訓練，另也完成「核子反應器設施核子保安作業要點草案」技術導則之訂定。

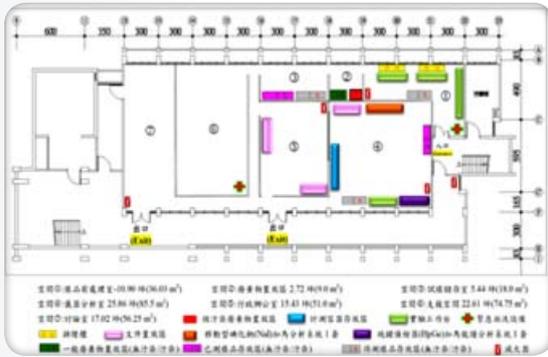


圖1、備援實驗室空間規劃圖



圖2、援實驗室之碘化鈉偵檢器



圖3、國際輻射災害管理訓練講習



圖4、輻射犯罪現場鑑識研習會

(三) 展 望

輻射災害及輻射污染事故的鑑別需要專業的儀器設備，更需要專業的人員進行操作。鑑於南部地區較為欠缺輻射檢測能量，由本計畫著手規劃建置備援實驗室，除平衡南北在輻射事故檢測、偵檢及分析化驗實驗能力外，也可增強我國整體在因應核子事故發生時，突發性大量增加之輻射檢測備援能量。惟除了建置之備援實驗室需投入相當時間及物力，備援實驗室之後續運維亦須投入相關資源。



5. 輕水式反應器運轉安全強化下安全保障之研發

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

本分項計畫主要針對國內輕水式反應器之運轉安全及事故緊急處置等，研擬了五個子項研究主題，包括優質之運轉水化學及組件完整性管控；事故監測，分類，及舒緩決策輔助系統之研發；遭受地震對運轉安全與熱流穩定性之影響研究；斷然處置措施爐心安全及審查技術研究；反應器爐槽壓熱震問題之實驗與分析精進。透過本研究的深入探討與完整分析，期能提升國內輕水式反應器安全保障，並可作為輕水式反應器核安管制與反應器安全諮詢之參考。

(二) 重要成果

1. 建立國內核三廠熱水流分析模式，並比較不同模式評估結果與系統程式差異性。研究成果證明斷然處置措施在應對於類福島事故時，在分析電廠長期喪失交流電(ELAP)事故下的成功準則是確保冷卻水覆蓋爐心燃料而避免燃料發生裸露。能有效地維持電廠安全狀況。
2. 建立平行沸騰通道遭受外加震動之理論模式與分析能力及建立絕熱平行通道水平振動實驗能力，以分析沸水式反應器遭受可能的地震對運轉安全與熱流穩定性之影響研究。研究發現在正常運轉點遭受到外部震動並不會誘發強烈的共振振盪；即使在如921強震條件下，對輕水式反應器的自然循環點與強制循環正常運轉點造成的振盪振幅仍侷限在一定的範圍內，表示電廠的正常運轉點與自然循環點在此地震波下仍相當安全。
3. 於104年已先將初步的辨識系統架構建立起來，於105年透過比較各種特徵萃取器與分類器的演算法，並建置未訓事件類別辨識演算法，使核能電廠事故辨識系統的準確度提高，功能也更臻完善，相較於104年度的初步系統架構，辨識率已從82.14%提升至88.39%，提升了將近6%的辨識率。
4. 建置LWR水化學分析程式，進行不同功率運轉下的水化學分析，在反應器啟動過程中，氧化劑濃度雖然不是非常高的數值，可使組件的電化學腐蝕電位維持在正電位的範圍內，從316L不銹鋼試片之慢應變速率拉伸實驗中，溫度也是材料對於應力腐蝕龜裂敏感性的重要影響因素。
5. 建立實驗環路探討在雙相流T型管實驗環路的雙相流，探討氣泡流時的流動特性與其物理現象。本實驗亦可校驗CFD分析模式，同時輔以高速攝影機進行交互驗證，以增加實驗價值與可信度。

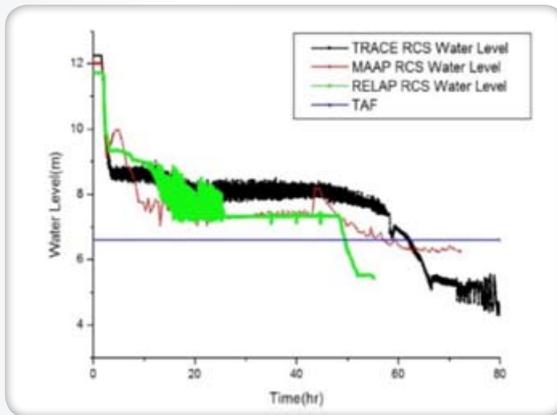


圖1、模擬核三廠ELAP事件無處置之爐心水位圖

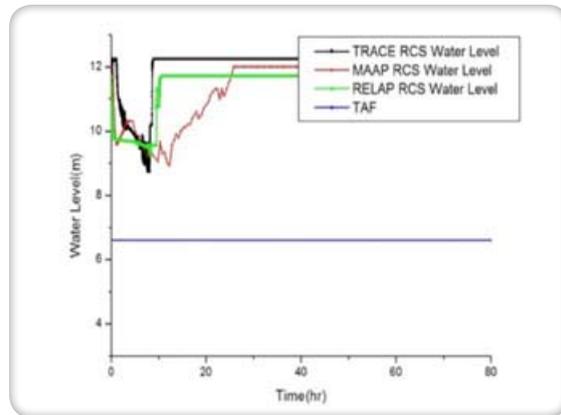


圖2、模擬核三廠ELAP斷然處置之爐心水位圖

(三) 展 望

本研究採用系統安全分析程式模擬長期喪失交流電事故下的評估結果可供運轉單位及管制單位參考，進而提升國內核電廠之運轉安全。本計畫的研究成果可提升輕水式核能電廠之安全操作與管理，除了可確保電廠安全，更可作為邁向非核家園過程中扮演橋接腳色。設計汽液雙相流與沸騰雙相流之各種方向震動測試設備，針對地震震動對於輕水式反應器之爐心流體之影響，做一完整之穩定性分析。輕水式反應器水化學分析技術及適用材料之腐蝕行為研究，分析結果涵蓋額定運轉及啟動過程水化學之分析，強化自主分析能力，提升常態運轉安全。雙相流T型管實驗環路組裝與試運轉皆已完成，下一現階段乃進行實驗數據之蒐集與分析。除了所測得之空泡分率外，其結果尚須輔以高速攝影機進行交互驗證，以增加實驗價值與可信度，這也是下一階段需進行的研究。



6. 核電廠圍阻體嚴重事故安全分析

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

本分項計畫吸取日本311核災經驗，以核二廠(MARK III)為研究對象，探討國內核電廠氫氣爆炸對圍阻體完整性之衝擊危害程度分析，藉以提供國內核能電廠強化其圍阻體耐壓強度及評估氫氣爆炸之危害影響，以提升核能安全。

(二) 重要成果

1. 假設核二廠發生電廠全黑事故(SBO)，可採用斷然處置措施，防止爐心熔毀，避免產生氫氣；若未採取斷然處置措施，RPV約於400分鐘失效，圍阻體發生數次氫氣燃燒，並可能發生爆轟現象。

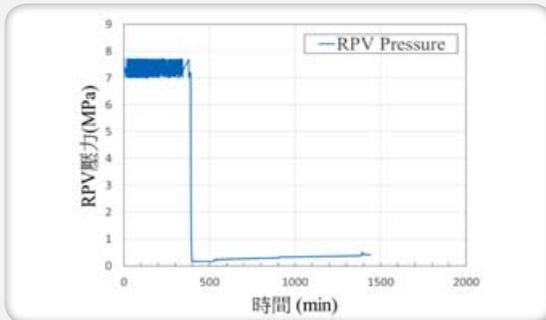


圖1、RPV失效時間評估

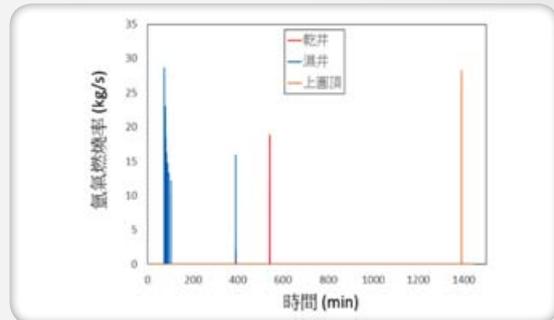


圖2、圍阻體內氫氣燃燒率評估

2. 考慮深度防禦，設置PAR作為斷然處置的後備措施，可將氫氣濃度抑制在爆轟範圍以下。

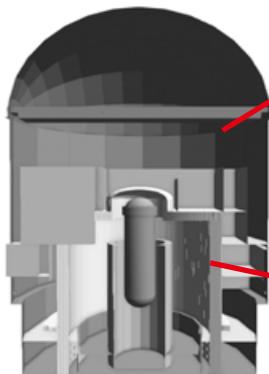


圖3、圍阻體內有/無安裝PAR之氫氣濃度評估結果 (圍阻體頂部及乾井)

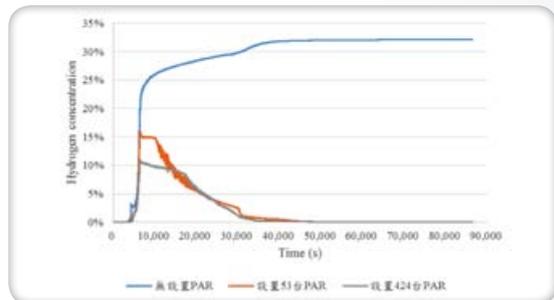


圖4、氫氣濃度比對(圍阻體頂部)

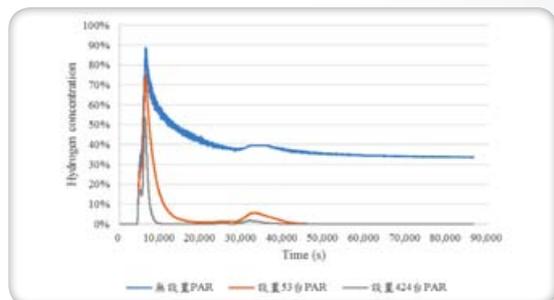


圖5、氫氣濃度比對(乾井部份)

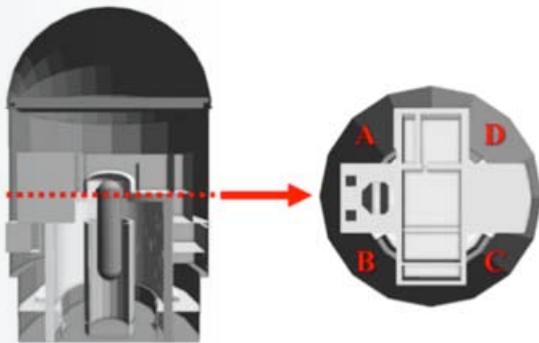


圖6、圍阻體內有/無安裝PAR之氫氣濃度比對結果(圍阻體下半部)

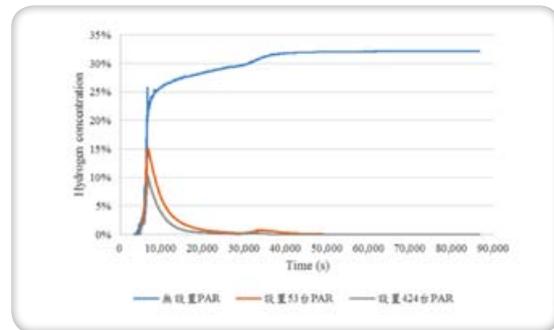


圖7、包封容器內之氫氣濃度(左圖A點位置)

3. 考慮深度防禦，設置FCVS作為斷然處置的後備措施，可在有效過濾放射性物質的情況下，早期洩壓，確保圍阻體的完整性。

(三) 展 望

國內核能電廠的圍阻體包含BWR MARK I、MARK III以及PWR LARGE DRY等型式，本計畫在104年度針對BWR的MARK I圍阻體研究，已有相當程度之成果，並累積各評估軟體的建模與操作經驗，對於105年度針對BWR的MARK III圍阻體的相關研究，有明顯助益。

105年度已針對核二廠(MARK III圍阻體)被動圍阻體洩壓過濾系統(Filtered Containment Venting System, FCVS)及被動式氫氣再結合器(Passive Autocatalytic Recombiner, PAR)在嚴重事故中的效用，完成深度評估；而在PWR方面，其FCVS及PAR的使用上，以及與電廠系統的連動對核能安全的影響，與BWR仍有相當大的差異，因此，需要藉由後續的研究計畫作更深入之瞭解，以完整涵蓋國內核電廠的圍阻體型式，提供核能管制單位及電廠更全面之參考。後續將進行下列工作：

1. 核三廠PWR圍阻體於類福島事故下之氫氣產生率分析工作。
2. 核三廠PWR圍阻體內之氫氣遷移分析。
3. 核三廠PWR圍阻體內被動式觸媒氫氣再結合器與排氣過濾系統之分析驗證。
4. 核三廠PWR圍阻體內氫氣排放策略研究。



7. 用過燃料池冷卻能力安全分析精進

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

本分項計畫之主軸為用過燃料池冷卻能力安全分析精進，福島事故之後，早先較不被重視的用過燃料池安全分析議題逐漸浮上檯面，而用過燃料之除役亦為台灣後幾十年非常重要之議題。本研究之目標為依照國際上提供之燃料池應變措施，如NEI-06-12，來強化用過燃料池事故之安全分析方法，透過多重面向之程式結合，用以強化國內核二廠用過燃料池之安全性，包含熱水流分析程式TRACE、CFD；護套完整性分析程式FRAPCON/FRAPTRAN。嚴重事故分析程式MAAP、MELCOR；再臨界分析程式SCALE/TRITON，本研究強調程式間的平行運算及整理，全面向加強用過燃料池之安全分析能力，也使往後使用者在進行相關分析時，可以有相關的參考依據。

(二) 重要成果

本研究完成核二廠用過燃料池之安全分析強化精進，並由各程式的分析得出了以下成果：TRACE以及CFD分析結果可提供熱水流計算給電廠，加強事故下救援措施之時間餘裕判定，以及護套溫度之預測。TRACE分析結果顯示燃料池在全爐退出的保守情形下，水位會在第四天因為失去冷卻循環而下降至燃料頂端，故此時電廠有充足時間修復設備或者尋找替代電源及水源；在噴灑補救措施的分析部分，TRACE分析結果顯示NEI-06-12報告提供之200GPM注水量可有效降低事故下的護套溫度。

透過與FRAPTRAN護套完整性分析結合，可以分析注水救援措施對於燃料護套之安全性是否有影響，更加提升救援措施之安全性分析。結果顯示雖然在1/2燃料高度才進行注水，會使護套溫度上升至800K，但氧化層厚度及環應力並沒有超過限值。

MELCOR及MAAP程式可提供在嚴重事故下燃料池之氫氣產生及放射產物釋出等計算，若真有此極端現象發生，也可以提前做出應變。MELCOR與TRACE在喪失冷卻循環事故下的結果相當接近，與此同時MELCOR可以提供氫氣產生量以及氧化速率等結果，多方面的強化相關分析結果。

核二廠建立用過燃料池臨界分析模式結果顯示：CSAS6之計算結果， $k_{eff} = 0.71327 \pm 0.00022$ 。其 k_{eff} 遠小於NUREG-0800中所建議之0.95安全接受準則。

透過TRACE、CFD、FRAPTRAN、MELCOR、MAAP、再臨界分析的結合，本研究成功建立一套多面向的用過燃料池安全分析方法，可以有效提升用過燃料池使用之安全性。

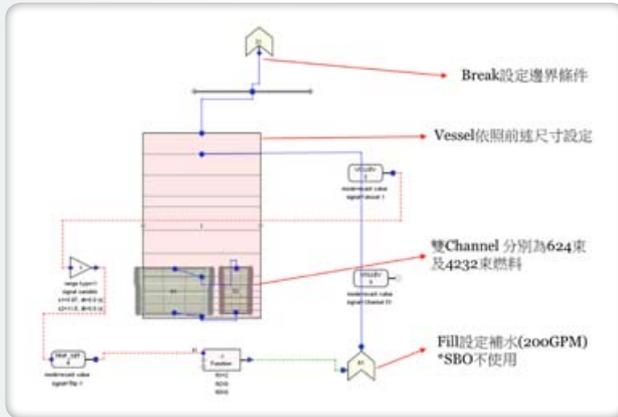


圖1、TRACE用過燃料池模式

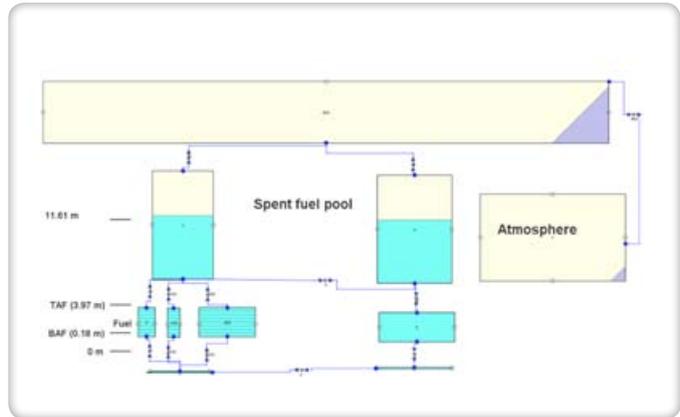


圖2、MELCOR用過燃料池模式

(三) 展 望

台灣核能電廠已經規劃走向除役之路，用過燃料池之安全分析就更顯重要。本研究之分析除證明用過燃料池擁有非常高的安全性外，也強化了極端事故下的應變措施之可行性。透過本研究之多程式平行運算及驗證，將用過燃料池安全分析的面向整合，同時強化了臨界分析、熱水流分析、燃料棒分析、嚴重事故分析等，使往後用過燃料池之運轉，可安全無虞。





8. 前瞻核能安全技術研究暨國際合作

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

本分項計畫進行前瞻核能安全技術研究暨國際合作，主要針對先進核能安全之整體技術進行前瞻性研究評估，涵蓋爐心物理、熱流安全及結構材料三大領域之研究。目標為藉由先進核能安全技術及結構材料之設計，以確保無爐心融毀事故、無需緊急應變計畫、減少放射性廢棄物產量，藉由共同研究開發前瞻核能安全技術，提升我國在此一領域的研發能力與國際地位，同時培育核能專業技術人才，為我國提供更安全之核能發電發展策略。

(二) 重要成果

1. 中子物理安全技術應用計畫養成爐心中子物理計算平台與應用之研究團隊，以精進國內中子物理的關鍵知識與經驗，有利於人才培育與計畫長遠目標的完成。
2. 在熱流實驗環路測試與安全分析研究中，參與雙相介面作用力的研究。傳統上雙相介面作用力分為阻力(Drag)、昇力(Lift)、壁面潤滑力(Wall lubrication)以及紊流消散力(Turbulence Dispersion)，這些介面作用力皆為雙相流模式中的closure relation。雙相流的closure relation亦被美國NRC大型計畫Advanced Simulation of Light Water Reactors (CASL)視為10個重大挑戰之一。
3. 在模擬熔融物質落於反應爐底部之殘餘冷卻水的多相流研究，本研究以銅顆粒作為模擬的熔融物質，並以去離子水及海水兩種不同的冷卻溶液進行高溫熔融物質的淬冷，同時，也改變冷卻水的次冷度來觀察溫度對於熔融物質淬冷的影響。以海水做為冷卻水，其氣液介面的蒸氣膜比去離子水為冷卻水有更明顯的波紋。在不同次冷度淬冷的研究，次冷度越低，其熔融銅液的固體碎片會更趨近於球狀。
4. 核能材料安全性評估分析應用計畫之相關成果，養成了電子顯微鏡、鍍膜、離子輻照、金屬腐蝕、高溫氧化、材料機械性質量測之研究團隊，以精進國內材料分析技術。

(三) 展 望

1. 前瞻中子物理安全技術

- (1) 為了建立一套完整的爐心物理計算平台，105年計畫已成功自行開發直角與六角形燃料組件之爐心節點計算程式。未來可以從這方面著手進一步改良程式。此外，本研究所完成的程式皆為二維，未來應該拓展到三維，得以更廣泛的應用。

- (2) 接續105年計畫的成果，於106年完成自行開發之爐心節點擴散法程式與通用型燃料束截面計算程式進行連結，107年將建立爐心中子物理計算與熱水流分析程式計算的連結。

2. 前瞻熱流實驗環路測試與安全分析

本計畫在實驗條件的規劃方面，進氣端的流量範圍設定為1.5 L/min至15 L/min，進水端的範圍設定為15 L/min至115 L/min。在CFD雙相模式上，目前現有的模型雖可以粗略地重現實驗情況。但細部情況與準確模擬，還需要針對介面作用力模型做進一步的研究，並於後續配合實驗進行完整性量化分析。

3. 前瞻核能材料安全性評估分析

- (1) 碳化矽材料在高溫下離子輻照，主要觀察材料缺陷，並利用單晶結果與多晶結果相比較，可知晶界確實在高溫情況下有抗輻照引致空泡生成之功效。
- (2) 研究其薄膜破壞機制方可對於薄膜的選用有更進一步的了解，在後續研究，尚須針對更高溫的環境、不同的氣氛、中子輻照等條件進行篩選的實驗。
- (3) 在不同溫度區間可使用不同的材料，以達到經濟效益，為了有利於未來材料上的選用並針對選用材料的銲接處理進行修正，考慮進行異種銲接熱影響區的抗蝕性。以評估最佳的銲接條件，有利於未來VHTR現場管件接合的技術。

4. 熔融物質於冷卻水之淬冷模擬研究

- (1) 因各類不鏽鋼加熱管件加熱到1100度以上均會產生嚴重的氧化，導致其表面氧化層會不斷剝落，未來將尋找合適的加熱管件材料。
- (2) 目前模擬熔融物質所使用的金屬為銅，而初步判斷因銅的黏度較大，故從影像中難以觀察到有銅顆粒從熔融流體撥離出來，故未來的研究需再尋找更合適的模擬物質。
- (3) 目前的作動方式對於加熱管件有逐步損害的趨勢，未來將改善實驗作動方式，使高溫熔融物質落下的方式能更為精準。
- (4) 為確保爐心熔融物不再熔穿爐穴下方地基，未來將於冷卻水槽裝設一冷卻系統以利熱移除。



9 後福島時代全球核安管制法制之發展新趨勢

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

本計畫共分成兩部分，首先為了使本會施政與國際主流規範接軌，本會為配合「行政院所屬各機關多邊國際條約及協定國內法化作業要點」，使本會施政與國際主流規範接軌，提報國際原子能總署（International Atomic Energy Agency, IAEA）核能安全公約列為優先國內法化之國際公約，檢視我國核安管制法規體系是否與核能安全公約等相互對應情形；而另一部分為了維護民眾對於核能安全與資訊知的權益，評估建立我國「核能安全與資訊公開透明法」專法之研究。

(二) 重要成果

本計畫已進行檢視我國核安管制法規及放射性物料管理法規等與IAEA「核能安全公約」及相關「同儕審查所加強之安全基準」相互對應情形，大致皆符合對應公約之框架要求，並建議本會於辦理多邊國際條約及協定國內法化程序時，應有之準備工作，包括：

1. 蒐集分析多邊國際條約及協定之發展與締結過程相關資料。
2. 精確掌握多邊國際條約及協定之宗旨與內涵。
3. 彙整並研析多邊國際條約及協定之實施情形。
4. 完整評估採行多邊國際條約及協定對國內各界產生之影響與衝擊及我國參與之可行性。

另外，辦理1場次國際核能安全法制研討會，邀請法國馬賽大學榮譽教授Jean-Marie Pontier專題演講「核安法制程序之透明性」及相互討論，透過法國制度之介紹，可以瞭解核能安全性之確保條件之一在於資訊之透明，並彙集專家與學者觀點所提出之意見；讓我國核能安全管制法規體系能與國際接軌，讓民眾安全更充分保障。

另一方面，對於核能資訊透明方面，以現有資訊公開相關法規之基礎，研析並充實核安資訊應有公開透明之規定，透過各國（法、日、美）相關法規內容之比較，評估訂定我國「核能資訊透明法規」之必要性與可行性，完成制定我國「核安與資訊公開透明法(草案)及總說明」，並附各條立法理由供本會制訂法案參考。



圖1、國際核安法制研討會現況



圖2、國際核安法制研討會合照

(三) 展 望

本會已將檢視我國核安管制法規與核能安全公約相互對應情形供行政院參考，有助於順利核能安全公約國內法化修法作業之推動，讓國內之法規能與國際主流規範接軌。

另外，核安透明專法研究上，建議制定類似法國核能安全和透明性法專法，劃分資訊公開範圍，以低度立法方式，雖是概括抽象的宣示性條文，卻能彈性應變未來狀況；未來將依法務部正研擬「政府資訊公開法修正草案」、「行政程序法修正草案」修訂方向與影響，評估朝向是否制定專法或修改本會各作用法。



研發計畫成果

二、電廠除役與廢棄物管理

1. 核電廠除役之審查與驗證技術研究

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

本計畫主要對核電廠除役作業相關之審查與驗證技術進行多項研究，範圍包括：除役核電廠用過核子燃料之貯存安全、放射性物質核種及存量分析、廢棄物減量分析與管理、廠址特性調查與環境監測之取樣與偵測、以及核電廠除役作業之安全評估與應變方案等五個子研究項目，俾深入掌握核電廠除役計畫相關文件審查與除役作業分析工作，強化核能主管機關對核電廠除役之管制基礎。

(二) 重要成果

105年度為本計畫4年期程之第2年進度，本年度計畫項下涵括5項子計畫，各子計畫之主要研究成果與貢獻如下說明。

1. 除役核電廠用過核子燃料貯存安全與審查技術研究：彙整分析美國除役核電廠Crystal River unit 3、San Onofre、Trojan、Rancho Seco、Vermont Yankee等用過核子燃料貯存設施設置案例，瞭解美國核電廠除役期程、用過核子燃料乾貯系統的類別、傳送方式、用過核子燃料貯存量、受損燃料的貯存方式等重要技術，並由美國用過核子燃料貯存MAGNASTOR安全評估報告，掌握受損核燃料貯存技術規範，探討貯存護箱內新增受損燃料罐的貯存對原有吊裝、裝填、運送等各項作業之影響，提供核電廠進行除役時重要管制參考。
2. 除役電廠放射性物質核種及存量分析之驗證研究：評估生物屏蔽體及管件活化條件，運用國際認可中子活化分析程式，評估放射性物質核種及存量分析結果，強化除役工作的效益。主要成果包括(1) 反應器拆除、解體過程時，中子活化產物主要可區分為兩大類：(i) 反應器內部結構活化，以及周邊設備內含中子活化產物 (ii) 由管線及機器內部附著的輻射腐蝕生成物或核分裂產物的表面污染物質；(2) 爐心側板以及頂部燃料導架所含的Ni-59、Ni-63及Nb-94之高活化產物，一般均超過C類最大限值，應歸屬為超C類；反應器內部組件不銹鋼因存在高含量Nb-93，導致產生長半衰期Nb-94，對於長時間的拆除廠房階段，是造成人員曝露劑量的主要貢獻者；(3) 初估核電廠除役之中子活化產物，可能須考慮到26種元素，其中主要元素為Fe-55、Co-60、和Cs-137，建議核電廠實際進行輻射特性調查時，須針對此部分進行詳細調查及審查。



3. 除役核電廠廢棄物減量分析與管理之審查技術研究：掌握目前國際間除役核能電廠廢棄物處理與規劃技術，探討國際除役廢棄物管制規範及各國除役廢棄物管制執行情形，除說明IAEA對除役廢棄物管制規範的基本方針，也彙整美國、英國、法國、加拿大、日本等國家對除役及低放射性廢棄物的管制情形，作為審查除役計畫的參考。建議放射性廢棄物減容與減量的策略需考量：減容效率、技術成熟度、二次廢棄物產量、除役現場空間及放廢暫貯容量、放廢運送及最終處置，提供除役作業安全管制之重點。
4. 除役核電廠廠址特性調查與環境監測之取樣與偵測審查技術分析：研析除役廠址之物料與設備的處置措施與調查策略，並針對廠址特性調查之環境取樣與偵測作業實務，藉此強化管制機關在此項作業的審查及管制能量。主要成果包括，執行廠址特性調查作業之環境輻射污染偵測時，使用者必須依據偵測型式、輻射及核種的種類、劑量率範圍、儀器靈敏度、定性或定量分析、成本等考量來選擇適當的輻射偵測儀器；規劃發展熱區之取樣與偵測技術；建立難測量核種分析技術；採用MARSAME手冊作為除役核電廠之物料與設備 (M&E) 處置調查作業的準則參考。
5. 除役核電廠安全評估與應變方案之審查技術研究：本研究主要參考美國核能管制委員會(NRC)規範，輔以歐洲、日本等國之管制要求，對於除役核電廠安全評估與應變方案方面，主要成果包括(1) 詳細分析廠址歷史地震紀錄，並根據分析結果強化建築物結構體；(2) 海嘯防護分析考慮海嘯產生因素、不同海嘯位置所造成區域淹沒之差異性，提出有效防範措施；(3) 洪水防護與安全需考慮設計標準承受洪水侵襲強度，並評估外部障礙物阻擋洪水侵襲程度；(4) 確保除役期間之設備安全無虞，作業場所出口與疏散通道保持順暢；(5) 火災分析考慮所有潛在風險，並詳細說明可能發生火災之地區、起火條件及所有配置；(6) 分析除役作業時可能發生之意外事故與演變，評估事故對作業人員、民眾與環境可能造成之危害，預擬妥善事故應變計畫並預防意外事故發生。

(三) 展 望

針對國內核電廠除役計畫規劃時程及審查技術驗證需求，對於有關核電廠除役之建物與廠址解除管制、除役後廠址環境輻射偵測報告、廠址下表層污染特性評估及其計算模型建構與驗證、除役準備與過渡階段之國際經驗資訊、輻射特性調查評估等關鍵審查技術，探討相關管制重點和注意事項，進一步研擬除役安全審查要點及管制建議，襄助除役計畫如期如質執行，並於預定期程內妥善完成除役工作，圓滿達成國家能源政策規劃目標。



2. 核設施除役之輻射安全與人員生物劑量評估之技術研究

計畫單位：輻射防護處

(一) 計畫目標

配合行政院「2025非核家園」政策，我國核電廠即將陸續停止運轉，考量國內尚無核電廠除役管制經驗，故透過本計畫蒐集國際相關法令規範進行研析，制定我國核電廠除役輻射偵測與管制審查規範，並建置國家級輻射生物劑量實驗室，強化我國人員生物劑量評估技術，俾迅速重建輻射意外事故時人員之意外曝露劑量，作為提供後續醫療照護措施之參考。

(二) 重要成果

本計畫分為2個分項計畫，重要成果摘述如下：

1. 量化成果：

本計畫總計發表論文2篇（詳如附錄）、研究報告3篇、技術報告2篇、建構資料庫1個。

2. 質化成果：

(1) 核設施除役之輻射安全技術研究

- I. 參考美國核管會NUREG-1501號報告，探討以背景輻射劑量作為場址除役清潔標準之適切性（廠址釋出再利用示意圖 如圖1），並以美國Humboldt Bay核電廠為參考範例，利用場址內土壤殘餘輻射劑量評估程式（RESRAD-ONSITE），完成22個關鍵核種之參數靈敏度分析研究。
- II. 完成核能研究所輻射度量儀器校正實驗室104年常用手提式輻射偵檢器校正統計，研究結果可作為相關單位環境輻射劑量偵檢器汰換、維護、校正、讀數修正等之參考。
- III. 完成稻米、乳品環境核種分析儀器校正用參考物質製備，並依據ISO Guide34、35之技術需求，完成樣品均勻度測試及添加核種不確定度評估，確保量測環境試樣加馬核種活度之準確性及可追溯性。



圖1、除役場址之釋出再利用（來源：NUREG 1501號報告）



(2) 人員生物劑量評估技術研究

- I. 通過ISO17025實驗室認證（如圖2），據以確保人員生物劑量實驗室之品質及技術水準。
- II. 通過103及104年加拿大衛生部舉辦的國際能力試驗，藉此參與國際技術合作及國際間相互支持與互助體系，據以驗證實驗室之技術能力。
- III. 完成105年度國人背景值與反應曲線分析，擴充我國生物劑量背景值與劑量反應資料，賡續精進歷年研究成果之代表性。



圖2、人員生物劑量實驗室之ISO 17025認證證書

(三) 展 望

我國核能電廠除役在即，本會希冀藉由本計畫之執行成果，逐步建全核電廠除役之輻防管制規範，以維護民眾、工作人員及環境之輻射安全，此外，我國有逾5萬名輻射工作人員，無論是除役期間或其他輻射工作，均有可能發生輻射意外事故，如何迅速重建輻射意外事故時人員之意外曝露劑量，作為提供後續醫療照護措施之參考至關重要。爰此，本會未來將持續精進除役輻防法規、人員生物與環境劑量評估及儀器檢校相關技術，確保工作人員輻射安全，並朝向增進民眾輻防管制信心之目標邁進。



3. 放射性廢棄物貯存與處置安全管制技術發展

計畫單位：放射性物料管理局

(一) 計畫目標

為落實政府「非核家園」政策，放射性物料管理局執行本計畫工作，是為放射性廢棄物的妥慎解決，以達成非核家園政策的終極目標。計畫總目標在於善用研究資源，促進貯存與處置安全管制技術的整體發展，以利安全標準符合國際水準，並釐清公眾關切的技術議題與解決管制實務問題，最終確保能達成維護公眾安全的使命。

(二) 重要成果

105年度為本計畫4年期程的第1年進度，計畫整體主要成就及成果之價值與貢獻度說明如後。

1. 建立放射性物料管制的科學技術資訊，作為施政決策的參據。本計畫第1年著重於以瞭解國際作法與安全標準為目標，並將國際經驗回饋國內審查工作應用。105年度符合原訂規劃，藉由研發團隊反饋的國際資訊研析成果，掌握當前國際上放射性廢棄物貯存與處置的技術進展與趨勢，並釐清集中式貯存、高燃耗用過燃料貯存、與貯存密封鋼筒再包封可行性等特定技術議題。研發成果有助於物管局掌握國際情勢，納入管制決策參考，且快速而正確的對立法院與社會評論意見做出回應與提供佐證科學資訊。
2. 預先規劃建立本土管制評估技術，以釐清廢棄物處置長期安全問題。台電公司於105年底提出「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」並將於106年底提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」送物管局進行管制審查作業。因應此實務需求，105年度已由本計畫研發團隊針對國際上處置技術先進國家瑞典與芬蘭的審查案例進行資訊研析，並已掌握國際共通的管制作法與審查重點，將可實際做為國內審查工作的參考基準，確保安全性符合國際水準。
3. 建立公開透明的放射性廢棄物科技資訊，增進公眾對安全管制的信心。本計畫年度內完成之研發成果報告，依規定公開於原能會網站。逐月彙整國際資訊發布於原能會網站(如參考文獻)。105年度亦針對「放射性廢棄物辭彙」完成修訂版草案。研發成果公開有利於社會公眾對於相關技術領域的瞭解。
4. 促進管制人員與專家學者之間的技術經驗交流。本計畫的價值之一在於維繫安全管制技術審驗團隊，培植具有經驗的研發人力。由於貯存與處置議題涉及跨學門的各種專業領域，藉由參與計畫不同領域專家學者的共同深入討論，有助於集思廣益，使管制審查工作更為全面與客觀。此外，物管局對於各項計畫工作均指派專人進行協調聯繫，一方面促進管制人員的學習成長，一方面確保研發成果切合管制需求。



5. 精進放射性物料管制的技術規範與安全基準。105年度內參考計畫研發成果與專業意見，物管局完成下列3項行政規則之研修訂，落實研發成果與管制實務應用之結合。

- (1) 發布「集中式放射性廢棄物貯存設施場址規範」。
- (2) 修訂發布「低放射性廢棄物貯存設施安全分析報告導則」。
- (3) 修訂發布「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」。



圖1、計畫執行期間透過國際合作，邀訪國外專家共同研討



圖2、定期與不定期辦理計畫進度討論會議整合研發成果

(三) 展 望

本計畫後續執行策略將致力於朝向研發成果實用化、管制技術專業化、安全規定法制化而努力。以整合型群體研究的方式組成貯存、低放處置、與高放處置3個研發團隊，吸收國際先進技術經驗，轉化為適合國情的管制要求，並凝聚專家學者的研發共識，回饋於對台電公司提報文件之審查與技術驗證，以及法令與技術規範的增訂/修訂。

4. 核電營運安全領域關鍵技術發展綱要計畫

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫之目標除維護現有核電廠於設計年限內之營運安全外，亦強化既有設施的安全度與自我防禦能力，增加電廠防海嘯、耐震之功能，以減少複合式核災與嚴重事故發生的機率。同時，針對嚴重事故之核電斷然處置措施、災變後之輻防應變措施與策略進行相關研究，以期降低嚴重事故對社會與環境產生的衝擊。

(二) 重要成果

1. 105年度完成期刊論文17篇與國內外研討會論文9篇，相關學術成果豐碩，可提高我國在核能領域之學術聲望。
 - (1) 建立核一廠用過燃料池之安全分析方法論，相關分析結果可作為電廠評估用過燃料池安全性之依據。
 - (2) 探討傳統氬鐳及雷射鐳接用於修補C95400鋁青銅合金閥件的可能性研究(圖1)，並評估鐳後組織與機械性能，除具學術價值外，並可作為核電廠在鋁青銅合金組件的鐳接維修技術參考依據。
 - (3) 完成國內受損燃料可接受定義與乾式貯存作業建議報告，對於燃料池所貯存之受損燃料提供後續管理與處置方式的參考，除了建立國內用過核子燃料自主管理與處理之能力，並降低核廢料處置過程中對環境產生的衝擊。
 - (4) 研究台灣東北部外海正斷層特性及地震發生過程產生之波傳變化，除了探討現階段相關預測關係式的差異性與提供改進的分析結果外，並對海嘯模擬之震源參數設定提供情節基礎，可作為北部核能電廠地震安全檢視之依據。
2. 完成研究報告46篇、技術報告10篇與專利1篇，技術服務收入達1.27億元。相關的論著除了可應用於國內核安的議題外，亦能強化我國核能技術的自主性。
 - (1) 申請「以粗糙度分佈定量及定性評估金屬材料組織種類及含量的方法」專利1篇。本技術不僅突破精密電子儀器用於定性及定量時在微小區域的限制，更可避免傳統彩色金相腐蝕法或使用加熱染色法對人體之危害性，可用於核電廠現場材料老化及壽限評估。



- (2) 配合核能級配電盤隔震需求，改良工業界水平隔震器。經核研所地震平台(圖2)測試結果顯示，加裝水平隔震器可大幅降低配電盤在地震時所遭受的水平方向加速度，由輸入之加速度1g降為0.8g，隔震效果顯著。
- (3) 研究世界衛生組織針對日本福島核子事故第一線人員之劑量風險分析方法，可提供第一線人員救災行動之參考，更可作為後續公眾健康檢查與監測之政策依據。
- (4) 完成核子事故外釋射源項回推技術研究，射源項可望應用於劑量評估系統，用來評估已發生的放射性物質外釋結果、預測未來影響趨勢，並評估事故發生污染擴散之範圍及其程度。

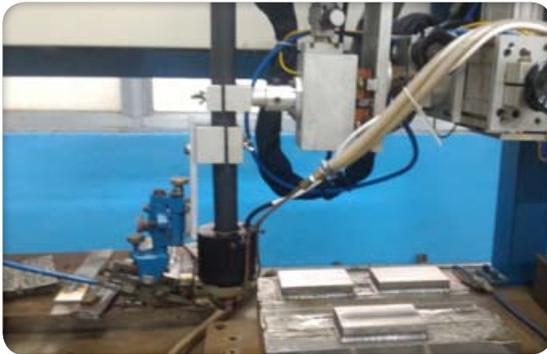


圖1、附加電磁攪拌模組之機械氬鐳銲接台



圖2、地震測試台測試之隔震器裝置

(三) 展 望

為統籌有限計畫資源發揮至最大的效益，本計畫於106年併入原子能系統工程跨域整合發展計畫，並持續發展核電廠的運轉安全研究。同時，因應非核家園政策及核電廠除役之需求，將投注更多研究能量在用過核子燃料的貯存技術上。除了延續我國既有之核電技術與人才外，亦可避免國外廠商之壟斷行為。

5. 核設施除役產生放射性廢棄物處理與處置技術研發

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

藉由核研所執行現有核設施除役實務需求，進行相關研究發展並建立核心技術，且逐一應用於完成停役核設施拆清及積貯放射性廢棄物處理，達到維護環境生態品質及確保民眾健康之目標，並消除社會大眾對放射性廢棄物管理之安全疑慮。

(二) 重要成果

1. 完成台灣研究用反應器(TRR)爐體廢棄物內部高活度組件切割規劃、二款水下切割機具及輔助設備之概念設計；並開發一款非線性遙控機具(蛇型機器人)，可應於人員無法抵達的高活度大型核能組件內部管路進行污染探測與取樣。
2. 建立TRR燃料池污泥離心脫水技術及設備，並完成池內部分污泥脫水減容作業；另持續TRR燃料池池水前處理及各核種活度分析，及蒸發濃縮處理預處理後廢液。池水處理後符合放流水法規標準及核研所行政管制值。
3. 持續TRR燃料池殘留鈾粉安定化作業精進，本年度接收74罐鈾粉、安定化處理80罐鈾粉，有效協助TRR燃料池清理作業。
4. 設計完成一型適合盛裝A類低放射性固體廢棄物之中大型低放廢棄物貯存容器設計，同時完成墜落測試所需之脫鈎裝置設計以及測試場地規劃。
5. 針對已通過TAF認證之桶型總比活度量測系統進行不確定度評估，以作為國內相關放射性廢棄物量測系統之參考依據。
6. 建立廢活性碳焚化最適程序，完成公斤級批次處理試驗，平均減重比約13，減容比約10。
7. 精進核研所液體場濃縮廢液水泥固化程序，開發含有抗鹽性增稠礦物摻料，有效解決水漿相分離問題，並降低操作成本。該流程控制計畫業經主管機關准予核備。
8. 完成部分積存小量多樣廢液處理，項目包含乙二醇、含油污泥、含氫廢油、用過廢酸、磷酸三丁酯等。
9. 提出「製備低放射性廢棄物混凝土處置容器之高性能混凝土配比」中華民國專利申請。本發明具有多種優異性質，適合作為盛裝低放射性廢棄物之處置容器。
10. 完成小產源廢棄物現場整桶計測流程建立並完成清大廢土固化體32桶整桶計測，建立D to C轉換因數，以確保各項廢棄物貯存資訊均能滿足管制法規之要求。

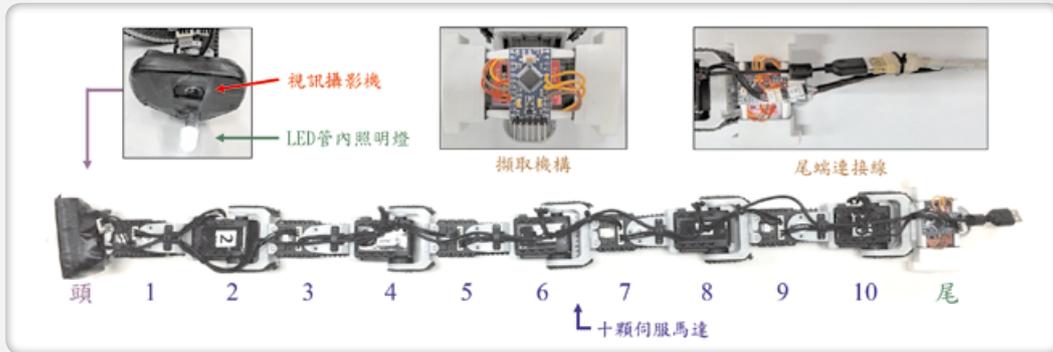


圖1、核能組件內部複雜環境取樣機具



圖2、小產源廢棄物
現場整桶計測

(三) 展 望

接續藉由核研所執行核設施除役作業，開發實務需求技術，建立自主性之除設計畫規劃及妥善處理除役過程所產生的各類放射性廢棄物。未來在既有基礎下持續研發實務關鍵技術，累積實務經驗與知識，提昇技術完整性與成熟度，進而應用於核電廠除役拆除及所產生廢棄物之處理與處置技術需求。

6. 依法執行核設施清理作業

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫依法執行核設施清理作業，係針對既存之核設施或實驗室，進行清理再利用規劃，並對現有和清理作業中產生之放射性廢棄物進行減量處理及安全貯存管理，以解除對環境造成危害之風險。執行規劃係依據法規，並考量安全、再利用需求和設施維持經費等因素，以排定優先順序，陸續對核設施進行清理。台灣研究用反應器(以下簡稱TRR)設施除設計畫依法須在民國118年完成，此為本計畫現階段重點。

(二) 重要成果

1. TRR燃料池陸續完成池內廢棄物及設備等清理作業，發展並建置池水處理設備，完成池水處理，成功移除燃料池內主要活度物質，建立相關技術及作業經驗。
2. 燃料乾貯場(以下簡稱DSP)，發展貯存孔除污技術及機具，經由測試可達到孔內除污及防止空浮之目的。完成清理作業所需挖掘工法、廢棄物管理及安全評估等規劃，並完成清理作業計畫書撰寫，未來送主管機關核備後，作為後續清理作業執行之依據。
3. 放射性廢棄物減量與整檢，減少放射性廢棄物數量，緩和放射性廢棄物倉儲壓力，降低廢棄物處理處置之成本，同時增進放射性廢棄物貯存安全：
 - (1) 可燃性低放射性廢棄物焚化減容。
 - (2) 可壓縮性低放射性廢棄物壓縮減容。
 - (3) 低放射性金屬廢棄物熔鑄減容。
 - (4) 低放射性金屬廢棄物除污。
 - (5) 貯存庫內放射性廢棄物整檢。

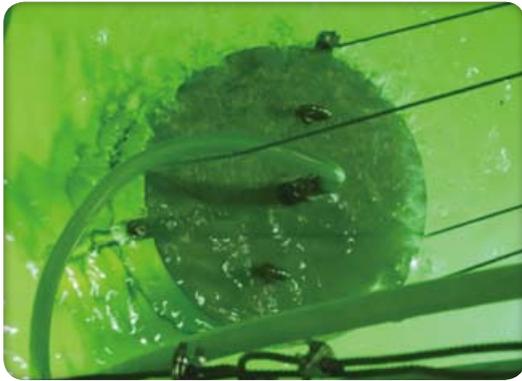


圖1、TRR燃料池池水淨化



圖2、TRR燃料池廢棄物處理



圖3、DSP貯存孔除污測試



圖4、TRR主冷卻水熱交換器切割作業



圖5、廢樹脂地下庫6號窖整檢完成



圖6、超C類放射性廢棄物盛裝容器換裝作業

(三) 展 望

計畫執行既存核設施之清理及廢棄物處理工作，有助確保核能安全，解除停用核設施對環境之潛在威脅。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，妥善解決放射性廢棄物處理，並使核設施在經過清理、除污等作業程序後，其土地廠房及設施等均可規劃再利用，徹底消除潛在對環境的衝擊與負荷。

2016
Atomic Energy Council,
Executive Yuan





研發計畫成果

三、潔淨能源與永續發展

1. 太陽光電技術發展與應用

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫致力於太陽光電科技研發，以開發先進太陽電池及拓展太陽能應用為目標，並協助建立具國際競爭力之產業。計畫目標如下：

1. 開發以矽為基板之雙接面太陽電池製作技術；
2. 開發聚光型太陽電池模組，達成碳足跡減量20%的目標；
3. 開發高分子太陽電池模組，能量轉換效率>5%；
4. 開發太陽光與主動光源混光技術；
5. 開發太陽能預測技術，驗證太陽能發電預測模式。

(二) 重要成果

1. 研發成果

- (1) 完成矽基板上磷化銦鎵/砷化鎵雙接面太陽電池製作技術，太陽電池在116個太陽照光下最佳效率為16.2%，如圖1。
- (2) 完成聚光型模組碳足跡計算，主要碳足跡來源為陽極處理、基板及框架，將模組結構變更為微型化模組，以節省框架用量及陽極處理面積。103年模組碳足跡為31.5 gCO₂-eq/kWh，105年模組碳足跡為24.48 gCO₂-eq/kWh，減碳幅度達22.29%，如圖2。
- (3) 完成PV2000:PC71BM高分子太陽電池模組製作，開發雷射剝除技術，製備串、並聯模組，模組面積300cm²，轉換效率為5.005%，如圖3。
- (4) 完成太陽光與LED混光室內照明系統製作，並搭配開發完成之掛壁型追日引光器，達到室內照明演色性大於85的績效指標。
- (5) 完成太陽日照短期預測技術開發，以天空成像儀影像結合類神經網路技術，完成30分鐘直射日照(DNI)預測準確率高達92.83%。

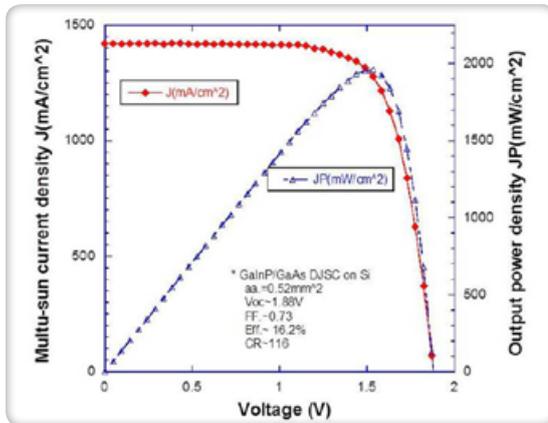


圖1、磷化銦鎵/砷化鎵太陽電池之特性圖

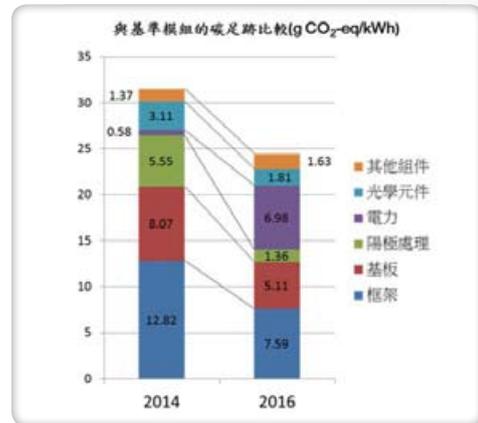


圖2、模組組件碳足跡占比

2. 計畫效益

本計畫在 III-V 族多接面太陽電池、聚光型太陽電池模組、高分子太陽電池模組及太陽光照明系統技術等 4 項技術，有多項創新之研發成果，且具產業之應用價值。因此，有多家產學界與核研所接洽技術移轉、授權及服務等合作。完成 5 件技術移轉案，金額為新台幣 2,770 千元；完成 5 件技術服務案，金額為新台幣 1,732 千元。

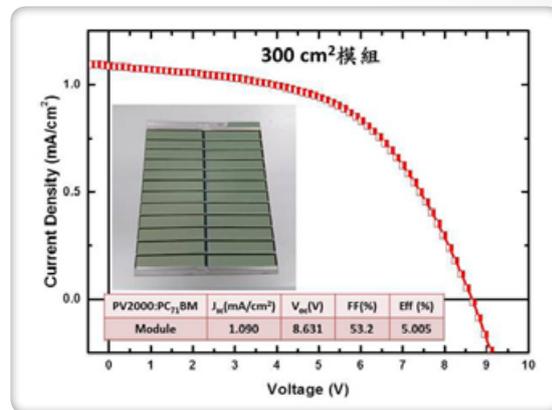


圖3、高分子太陽電池串、並聯模組之電流-電壓曲線圖

3. 其他成果

105年9月29日~105年10月1日參加台北國際發明暨技術交易展，本計畫參加發明競賽區。在發明競賽部份得獎的有「抗氧化導電銅膠及其製備方法」鉑金獎、「具有二次光學元件之太陽能接收器之封裝方法」金牌獎，「扁平壁掛式內置感測器之追日引光裝置」和「提升大面積有機太陽能電池量產製程良率之方法」銀牌獎，「太陽日照短期預測系統及其運作方法」銅牌獎。

(三) 展 望

1. III-V 族多接面太陽電池技術將以改善太陽電池的製程為主，以提升太陽電池的轉換效率。
2. 聚光型太陽電池模組技術將以減少基板金屬含量及開發一體式光學結構之聚光型模組，而增加全自動化的可能性。
3. 開發量產型高分子太陽電池模組製程技術，設計原型之應用商品，與新型穿戴式智慧電子產品或物聯網結合。

2. 高效率固態氧化物燃料電池技術開發暨產業化平台建構

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

固態氧化物燃料電池(solid oxide fuel cell, SOFC)具高電能轉換效率及多元化碳基燃料特點，已成為21世紀重要之潔淨能源選項之一。計畫目標在於建立完整之關鍵核心技術鏈，透過國內業界進行合作開發、技術授權、技術移轉等，扶植國內業者建立相關技術並形成產業鏈，以期為我國培植一技術自主且具競爭力之新興綠能產業。

(二) 重要成果

1. 技術授權及技轉

核研所已開發從材料粉末→觸媒→電池單元→電池堆→發電系統(from powder to power)相關技術，逐步技轉相關技術予國內業者，授權及技轉收入總額5,500萬元以上，簡述如下：

(1) 電池單元技術

陽極支撐型電池單元效能超過500 mW/cm² (800°C)經15,000小時耐久性測試，性能衰退率低於1%/khr，該技術於103年1月技轉九豪精密陶瓷公司。金屬支撐型電池單元效能高於600 mW/cm² (800°C)，長時間耐久性測試之性能衰退率低於1.5%/khr，該技術於105年3月技轉漢泰科技股份有限公司。

(2) 電池堆封裝及組裝技術

核研所自行開發高溫封裝材料，應用於電池堆之組裝，其熱循環之洩漏率低於5.58×10⁻⁵ mbar.l/s/cm，組裝之電池堆效能達1 kW以上。電池堆技術於105年6月技轉九豪精密陶瓷公司(圖1)，期能於國內完整建立從電池單元至電池堆組裝之量能。

(3) 發電系統技術

成功開發重組器、燃燒器、熱交換器及蒸汽產生器之一體化整合元件，有效提升整體系統效率。第二及三代發電系統體積分別為第一代雛型系統之45.1及36.1%，效能並持續精進。kW級發電系統分別於101年12月及103年11月技術授權中鋼及中油公司，發電效率皆可達40%以上。105年底完成3-5 kW發電系統性能測試，發電量3.5 kW，電效率超過40%。

2. 105年競賽獎項

(1) 計畫榮獲2016台北國際發明暨技術交易展3金2銅佳績。金牌獎：(1)具有陽極陣列式孔洞結構之燃料電池膜電極組的製備方法、(2)用於固態氧化物燃料電池之高透氣多孔基板及其製作方法、(3)甲烷重組產氫觸媒載體之製備方法。銅牌獎：(1)平板型固



態氧化物燃料電池堆單元及平板型固態氧化物燃料電池堆模組、(2)保護固態氧化物燃料電池金屬連接板之膜層生成方法。

(2) 2016德國紐倫堡國際發明展金牌獎：固態氧化物燃料電池及其製作方法(圖2)。

(3) 第13屆國家新創獎之學研新創獎：電漿噴塗金屬支撐型固態氧化物燃料電池片製備技術。



圖1、電池堆技轉簽約記者會



圖2、德國紐倫堡國際發明展金牌獎

3. 專利

計畫執行至今獲證之專利達150件以上，建構完整的專利地圖，目前技轉國內業者之專利共32件。

4. 105年國際合作

(1) 參與國際會議委員及編輯委員

計畫成員擔任歐盟論壇之國際諮議委員；美國陶瓷協會國際SOFC論壇之籌組委員；日本陶瓷協會編輯委員。

(2) 美國Montana State University及義大利Genoa University

合作研究ss441金屬連接板鍍膜於SOFC陰陽極雙氣氛中電流通過情況下之氧化行為，並共同發表論文。

(3) 奧地利Plansee粉末冶金集團公司

簽署「金屬連接板組件及其相關應用技術」雙方保密協議，協議起始日期為2016年7月1日，效期3年。

(4) 日本九州大學

派員前往日本九州大學I2CNER國際頂尖研究中心研習，2016年12月邀請該中心副執行長石原達己教授來台參訪、交流，雙方持續進行材料及燃料電池相關研究實驗、技術合作及共同發表論文。

(三) 展 望

核能研究所已建立從粉末至功率系統的核心技術能量，具完整的專利佈局。藉由技術合作案，kW級發電系統於中鋼及中油公司廠區，已有運作的實績。目前國內SOFC產業的零組件已趨完整，期盼藉由產官學研資源及量能的整合，建立完整的產業聚落，擴大產業利基。另藉由與業者合作，放大系統規模，以期厚植產業技術實力與在國際間的競合力。

3. 自主式分散型區域電力控管技術發展與應用

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

政府規劃2025年再生能源裝置容量目標達25GW，大量再生能源建置將衝擊電網穩定度，並增加停電的風險。本計畫105年主要目標包括(1)開發高占比再生能源微電網能源調度及管理系統，運用於離島以提升當地供電品質及減低燃油發電成本；(2)發展微電網併網及孤島運轉之平穩切換、智慧控制等關鍵技術，應用於偏遠地區建置防災型微電網系統，以提昇再生能源使用效率與供電系統穩定度。

(二) 重要成果

1. 本計畫開發微電網能源調度及管理系統(圖1)，藉由天氣預測明日再生能源發電與負載用電情形，規劃微電網各分散式電源及儲能系統明日之輸出功率排程，當日再依實際與預測之差異進行即時調度與需量控制，達到能源效益最佳化。此系統已於微電網試驗場成功進行長時間獨立運轉測試，並於關鍵節點應用穩壓技術，改善再生能源對電網之衝擊，並提高區域電網容納再生能源之能力。上述研究成果已技轉至國內廠商，並輔導技轉廠商在澎湖東吉嶼建置我國第一座商轉之離島高占比再生能源微電網系統(圖2)，最高瞬間再生能源滲透率達92.8% (106年3月27日)。106年4月「澎湖東吉嶼微電網供電系統」參加2017年亞太經合會議(APEC)能源智慧社區倡議(ESCI)智慧電網最佳案場競賽，於21個國家197競爭案例中脫穎而出，榮獲銀質獎。未來將輔導廠商配合政府南向政策，推廣於東南亞國家電力迫切需求之島嶼，拓展國際外交與促進經貿發展，創造新興產業之商機。

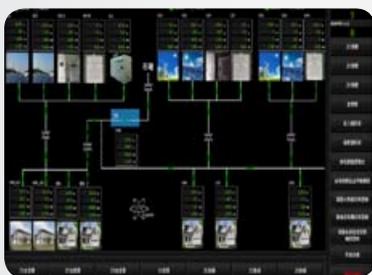


圖1、核研所微電網能源調度及管理系統



圖2、澎湖東吉嶼高占比再生能源微電網系統

2. 台灣每逢夏秋兩季，易遭受颱風與豪雨侵襲，進而釀成土石流等災情，偏鄉地區常因供電線路受損且搶修不易而電力中斷，造成當地居民生活上之莫大不便。為提供偏鄉地區可靠的電力供應，本計畫發展防災型微電網併網及孤島運轉之平穩切換技術，並完成百kW級靜態開關之關鍵元件開發(圖3)，具備可精準控制及快速反應的特性。當市電異常時，靜態開關能快速切離市電，使微電網進入孤島運轉，降低電力



系統全黑之風險，且憑藉著智慧控制和能源管理等關鍵技術，提昇再生能源使用效率與供電系統穩定度，發揮災區緊急供電與救難之功能。目前，本計畫已將部分研發成果成功技術移轉產業，協助廠商及台電於新北市福山國小建置國內首座防災型微電網，並於106年1月18日由台電朱文成董事長親自蒞臨啟用，為偏鄉地區提供天然災害發生時之緊急避難維生用電。相關產業透過微電網實際建置經驗，已逐步取得國內外防災型微電網商機。



圖3、百kW級靜態開關

(三) 展 望

本計畫將持續加強關鍵技術之開發及推廣，與國內電力系統廠商攜手合作，配合地方政府或台電於離島或偏遠地區應用微電網技術，以減低燃油發電成本及提升當地供電品質。配合106年1月通過修正之電業法，未來利用微電網技術，提供電力輔助服務，協助穩定電力系統饋線末端之電壓與頻率，增加電網容納再生能源之能力，以達成政策目標與創造微電網新興產業之商機。



4 纖維酒精產業推廣平台及加值化生質精煉技術之研發

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫係配合國家生質能源及綠能產業政策，以非糧纖維生質物為料源，藉由化學及生化製程所發展的生物精煉平台，精進纖維酒精量產製程並將核心技術拓展至其他先進生質燃料及替代石化煉製化學品的生產與應用，協助國家建構循環經濟產業。

(二) 重要成果

1. 研發成果

本計畫已成功開拓纖維酒精核心技術之應用範疇，建立領先亞洲之纖維乳酸量產製程，可應用於聚乳酸(PLA)生質塑膠產品之生產，將可彌補國內生質材料產業鏈上游原料取得之技術缺口，並與既有生質材料產業整合為完整的產業價值鏈，其主要成果包括：

- (1) **建立關鍵性之D型乳酸量產製程**：本計畫以木片為驗證料源，進行噸級廠規模D型纖維乳酸量產製程驗證測試，經運用已建立之技術，D型乳酸生成效率達到90%且光學純度亦可控制在95%以上，每噸木片的D型乳酸產量將近250kg，皆已達量產製程之技術指標。
- (2) **精進L型乳酸量產製程**：承繼104年噸級廠L型乳酸量產製程的驗證成果，本年度續進行操作方法之改善測試，在L型乳酸生成效率達90%及其光學純度達99%的前提下，每噸木片纖維素轉換為L型乳酸之產量可提升15%至254kg，且發酵時間可縮短50%，大幅降低發酵製程攪拌操作所需能耗。
- (3) **建立聚乳酸合成之雛型技術**：本年度除運用直接聚合法，可製備分子量達7,030的低分子聚乳酸外，亦同時建立丙交酯合成和聚乳酸聚合反應程序，成功以自產纖維乳酸合成出高純度丙交酯，進一步經由開環聚合合成分子量達102,545之纖維聚乳酸，達包材用聚乳酸之商業應用規格(圖1)。

綜上所述，本計畫之關鍵技術與國外研究成果的比較，如表一。

表1、與國外發展中之纖維乳酸技術比較

比較項目	比較說明	
單位	美國NatureWorks 荷蘭Corbion Purac	核能研究所(INER)
原料	只有利用玉米澱粉，纖維料源尚未確定	已有多種纖維料源使用經驗
纖維解糖	仍在產學合作及尋求技術整合	已建立可商轉之專利纖維解糖技術且解聚製程核心技術榮獲第13屆國家新創獎學研新創獎
發酵	具高純度L型與D型乳酸發酵菌	具高純度L型與D型乳酸發酵菌
純化	以沉澱法純化，將產生硫酸鈣污泥，且相關能源需求為化石能源	發展無污泥產生之酯化蒸餾法乳酸純化技術，木質素燃燒可提供操作所需能源



2. 技術移轉

海威寬頻公司技術授權案: 105年11月17日核研所與國內海威寬頻公司簽訂技術授權合約(圖2)，落實生質能源新創產業在地化的願景，並推動在嘉南平原建置國內第一座纖維生質精煉工廠，成為驗證規模級之示範場域，未來亦規劃將配合新南向政策在東協國家設立生產基地，更可使我國成為生質能源技術的輸出國，並掌握海外生質料源，藉此提高能源分散度及自主性。

3. 國際合作

- (1) 翰森應用生技合作案:基於推動國內發展生質精煉產業之考量，目前已促成技術授權廠商馬來西亞木業公司於6月在國內另成立翰森應用生技股份有限公司，該新創公司將運用智財權掌握在國內公司的策略，於其規劃之木材生質精煉產業發展藍圖中，以建置纖維乳酸廠為優先目標，提升獲利空間，奠定後續建置及運轉纖維酒精廠之基礎。
- (2) 印度新能源公司ShivOm Energy合作案：因應印度新能源公司來台申請纖維酒精技術授權需求，配合政府新南向政策，105年核研所與印度Shivom Energy公司簽訂合作備忘錄，將與國內工程公司合作進軍國際市場。



圖1、纖維聚乳酸製程之半成品及成品外觀



圖2、核研所與海威寬頻公司技術授權案簽約記者會

(三) 展 望

核研所產製纖維酒精之生質精煉技術已達技轉階段，但因國內生質料源潛能有限，生質精煉產業應以國內優先但不為限制的策略發展，致力於協助國內建置生質精煉驗證廠，同時配合政府新南向政策，以生質原料資源豐沛的東南亞國家為目標，推動國內產業佈局生質精煉新市場。

5. 我國能源風險評估系統化研究能力建置

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本研究希冀能夠善用核研所既有之工程風險量化能力，建置整合能源風險評估能力，以提供能源經濟相關議題的決策支援。基於實現國家既有能源政策與減碳目標為前提下，透過結合能源經濟、能源系統模型及多元能源安全指標，建置整合型能源風險量化評估能力，並結合專家意見與民眾意向調查的結果。本研究全程期間自105年迄107年，目前已完成第一年之階段性成果，106年及107年將分期建構我國能源風險評估系統。

(二) 重要成果

1. 能源風險系統建置

- (1) 本研究所提出的能源風險評估及決策方法論，其架構較為完善，除了風險評估外，同時納入了決策分析的可能性，有助於全面性的探討風險決策的議題。本研究規劃106年及107年透過「永續能源政策-核電及再生能源」及「電價之能源風險」兩個案例，進行方法論的實證，並提供具體的政策建議。
- (2) 本研究所研發之開放式能源安全指標系統，係由核研所自主建置完成，為國內第一個以能源安全為主軸的網站。透過線上能源安全指標演算服務，未來可作為各方討論的平台，以促進能源策略共識的形成。另本研究建置備用容量率作為停/缺電指標，分析結果顯示，若核一核二停轉，未來至2023年大多處於供電警戒(備用容量率<6%)，建議加速天然氣電廠及燃煤電廠的興建完成，並透過降低用電需求、推行需量反應及擴大汽電共生的尖峰保證容量，以確保供電穩定。
- (3) 完成我國及國際能源風險基礎數據可視化，共建構出18個代表性的能源風險基礎數據指標，以「能源指標」、「能源供需」、「二氧化碳排放」與「經濟指標」四個面向為出發點。並轉換為圖表方式呈現，協助使用者掌握能源風險趨勢。
- (4) 運用新媒體平台調查國人對低碳電力的偏好與願付電價，結合電力計算器與電力小學堂等互動式網頁設計，共計完成1,200份有效網路問卷，結果顯示民眾最支持太陽光電與離岸風力，經過資訊揭露後的願付電價約3.18元/度。

2. 能統與能源經濟分析

- (1) 運用TIMES模型分析我國能源技術發展及減碳策略，研析我國再生能源發展策略最大(適)化策略，可提供未來經濟及能源部進行我國能源政策擬定時之參考，達到協助國家施政之成效。本計畫在台電10505方案的架構下，針對再生能源發展樂觀(105年規劃)與保守(104年規劃)的規劃，進行達中期減目標下的整體電力供需之差異性分



析，並提出可行的策略建議如下：1. 於再生能源發展較為樂觀的減碳情境，必須搭配第三接收站2期從2027提前至2025完工，則 2015-2025之用電成長率可以維持在0.82%/年(如圖1所示)的穩定成長率並達成中期減碳目標。2. 於再生能源發展較為保守的減碳情境，必須搭配進一步擴大天氣發電的配套措施，但2020年後需克服天然氣供應上的缺口，2021年約有300萬噸、2025年約有460萬噸的缺口(如圖2所示)，即需要第三接收站1期提前至2021年完工(原定2024年)而2期提前至2025年完工(原定2027年)且再擴大160萬噸，若能克服，則2015-2025之用電成長率可以維持在0.66%/年的穩定成長率並達成中期減碳目標。

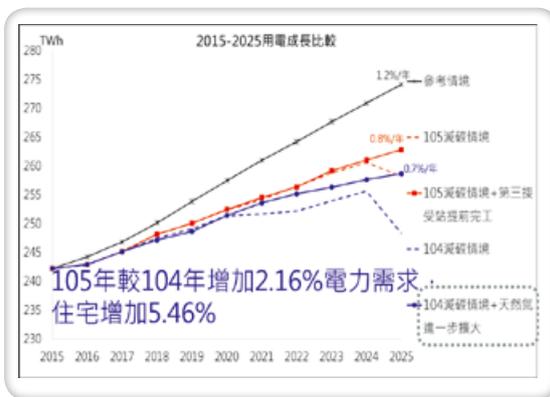


圖1、2015-2025用電成長比較圖



圖2、進一步擴大天然氣之天然氣缺口

- (2) 與美國麻省理工學院(MIT)國際合作，雙方已於105年5月30日完成合作契約簽訂，另派兩位同仁赴麻省理工學院「全球氣候變遷科學與政策聯合專案研究中心」進行移地研究，並完成靜態跨國CGE模型建置。透過跨國貿易、細緻化發電結構與國際減碳政策連動的情境設計，可更完整模擬區域間國際能源、經濟衝擊與減碳政策對我國經濟、能源與環境之影響。
- (3) 應用計畫過去建置之GEMEET模型，評析傳統能源供需趨勢對我國再生能源發展之影響，並完成六種情境下之國際傳統能源價格對我國再生能源發展之影響評估，研究結果顯示若考慮到政府須達到減碳目標的情況，並透過提高R&D投資讓再生能源達到政府所設定的推廣目標及2025年後持續發展，再加上能源使用效率提升下，約可降低1/3因減碳所造成之經濟衝擊。未來如果要更進一步減緩衝擊，則有必要考慮引進其他低碳技術，如CCS等。

(三) 展 望

本研究結合了風險評估及決策分析的方法，提出了能源風險評估及決策方法論，105年主要進行方法論及相關能力的建置，106至107年將透過風險案例「永續能源政策-核電及再生能源」及「電價之能源風險」，進行方法論的驗證。並完成溫管法減碳目標路徑分析，並提出減碳策略。

6. 風能系統工程技術開發與研究

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫整體目標為精進中小型風機系統設計、分析、測試及運轉之機械系統整合工程技術能力，以及建立自主化大型陸域及離岸風機工程技術能力，以厚植國內風機系統整合與產業技術能力。而為配合政府能源政策及科技研發能量建立需求，本計畫總目標於105年規劃以兩個分項計畫加以推動：

1. 中小型風機工程技術研發：

- (1) 進行5kW垂直軸風機系統製造、組裝架設及耐久性測試。
- (2) 風機系統負載計算模式驗證與精進。
- (3) 城市風場對於風機系統結構可靠度影響評估。
- (4) 整合型風機系統最佳化設計工作平台之開發。

2. 大型風機工程技術研發：

- (1) 完成5MW參考離岸風機國際風機設計標準IEC 61400-3、GL Offshore 2012設計負載分析。
- (2) 進行5 MW參考離岸風機本土條件設計負載分析。
- (3) 風機自我故障診斷系統概念設計。
- (4) 葉片結構動態分析與結構模態測試驗證比對。

(二) 重要成果

1. 能源風險系統建置

1. 完成5 kW垂直軸風機地面組裝機構確認 (圖1)，而所開發之專利「小型垂直軸風力發電機被動式葉片傾角調變裝置」參加2016台北國際發明暨技術交易展獲頒金牌獎 (圖2)。



圖1、5 kW垂直軸風機地面組裝



圖2、專利獲頒金牌獎



2. 應用國際公開之5 MW參考離岸風機資料，建立本土化離岸風機及支撐結構整合動態設計載重分析技術，並進行國際離岸風機標準如IEC (IEC, 2009)及GL (GL, 2012)等之比較研究與颱風影響評估。在風機葉片較容易受到破壞的負載 (Flapwise bending moment)，GL計算結果大於IEC設計負載約30 % (圖3)。此外，統計日本近年來受到颱風影響的風機事故結果，原因多為葉片發生破損情形，也驗證本研究颱風負載對於葉片的影響評估之結果。

3. 為落實研發成果及國際交流，105年4月27日於台北集思台大國際會議中心舉行國際能源署(IEA) Task 27 2016工作組國際會議，由核研所與經濟部標檢局主辦，台灣經濟研究院及台灣中小型風力機發展協會協辦。展示台灣小型風力機產業環境建構及技術發展能量，除提高台灣小型風力機國際知名度、能見度及帶動產業發展效益外，並行銷台灣並促進國際技術交流合作與互動。
4. 以150 kW第2代風機之成果協助中鋼建置先期風機系統分析技術，以及零組件選配工程計算技術，並逐步延伸應用至大型及離岸風機系統。

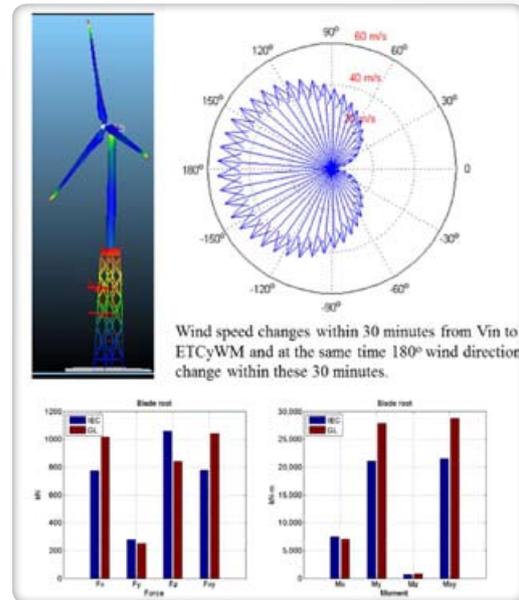


圖3、應用5 MW參考離岸風機，進行颱風影響評估

(三) 展 望

藉由後續計畫執行，將持續於核研所獨立建置的中小型風機測試運轉園區進行風機性能及優化研究，與國內廠家合作開發，提升國內產業技術。針對國際上普遍採用之大型及離岸風機設計標準皆是針對歐洲風場特性所制訂，本計畫在本地化風機設計標準研究上特別針對颱風與地震環境進行風機安全性影響評估，以確認設計標準之本土適用性，將有助於提升本土離岸風場之可靠與安全性。

7. 智慧熱管餘熱回收節能關鍵技術開發

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫為推動工業部門的能源管理、能源節約和能源效率提升，開發產業需要的關鍵技術，重點研究目標如下：

1. 開發高效能熱管技術(圖1)，熱管外層披覆耐腐蝕鍍膜，加強對露點腐蝕的防護，內壁施以奈米孔洞塗層，強化蒸發端表面沸騰性能。
2. 開發水平逆向對流熱管熱交換器(圖2)，回收熱風廢熱產生熱水，達到廢熱回收效率>60%。
3. 建置1 kW測試與展示系統(圖2)，驗證廢熱回收實際效能。

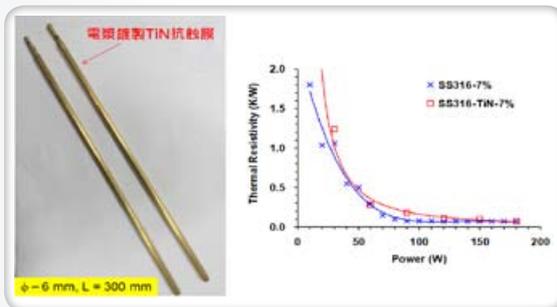


圖1、高效能熱管和性能曲線



圖2、熱管熱交換器測試與展示系統

(二) 重要成果

1. 學術成就

- (1) 參加2016年台灣熱管理協會年會暨技術成果發表會，發表「兩相逆流熱虹吸迴路特性分析」論文，獲得最佳論文獎第一名。
- (2) 其他：國際期刊論文1篇，國內期刊論文1篇，國際會議論文1篇，合作團隊養成1組，人才培育碩士2名，研究報告1篇。

2. 技術創新

- (1) 中華民國專利申請1件，美國專利申請1件，中華民國專利獲證1件，技術報告2篇。
- (2) 技術活動：核研所與中科院、工研院和產基會於105年9月8日在核研所舉行NEPII節能主軸計畫技術合作討論會議，達到互相整合共識。
- (3) 技術轉移和授權：本年度透過化鍊鋁爐渣為高鋁耐火磚商業化生產技術技轉案，應用廢熱回收熱管和其它資源再循環技術，協助嘉頡金屬公司開發生產創新綠能產品，權利金15萬元整。
- (4) 技術服務1：本計畫接受潔鼎科技股份有限公司委託，應用熱管熱交換器廢熱回收技術，評估廢塑料裂解系統節能改善，金額：30萬元，協助完成桃園地方型SBIR計畫，並於105年11月11日接受桃園市長表揚(圖3)。



(5) 技術服務2：本計畫接受清輝窯業公司委託，應用鋁渣回收氧化鋁沸石塗層技術，評估相變儲熱材料與節能環境永續建築結構元件開發可行性，已於105年6月21日完成簽約，金額30萬元，並支付第1期款15萬元。



圖3、協助潔鼎公司完成桃園SBIR計畫接受市長表揚



圖4、參加台北國際發明展獲得銀牌獎

3. 其他效益

促進嘉韻公司投資生產設備1仟萬元整；協助順嘉公司創業育成，研發投資40萬元；增加就業5人；預估具有約百萬噸CO₂減排潛力；參加台北國際發明展，『同時散熱及發電之快速熱傳裝置』獲得發明競賽銀牌獎(圖4)。

(三) 展 望

本計畫今年(105)是計畫的第一年，採取技術發展和推廣並行的策略，加速研發速度，雖然已建立高效能熱管技術和接收兩件委託技術服務案，但規模較小，節能減碳效果不易彰顯，未來除持續主軸內計畫相互交流整合成果外，並開發熱管熱交換器，以及爭取與能源大戶如鋼鐵和石化等國營企業合作，應用熱管廢熱回收技術，拓展節能減碳成效。



8. 電漿在綠色節能環境之開發與應用

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

運用核研所多年建立的電漿鍍膜技術，建置卷對卷(roll to roll, R2R)電漿鍍膜平台，開發輕、薄、可撓曲之全固態非晶矽光伏電池(amorphous silicon photovoltaic, a-Si PV)、低輻射率(low emissivity, Low-E)及電致變色(electrochromic, EC)節能膜、Li離子電池等薄膜節能元件及其整合型產品之生產技術，應用於住商、汽車及工業等三個節能領域，協助國內傳統產業技術升級，拓展綠色節能產業。

(二) 重要成果

1. 低銀膠a-Si PV模組網印技術帶動室內弱光發電應用發展

運用R2R PECVD電漿鍍膜系統鍍製a-Si PV薄膜元件，提供低銀膠a-Si PV模組網印技術開發，指狀電極高由100 μm 縮減至40 μm ，搭配50 μm 拉線電極，節約銀膠用量達80%，專利獲得105年台北國際發明交易展銅牌。製作開路電壓16.5V之可攜式a-Si PV室內模組，大幅降低成本，利於拓展室內弱光發電節能應用領域，加速技轉。



圖1、R2R PECVD系統



圖2、指狀電極結構



圖3、台北發明展銅牌



圖4、16.5V室內模組

2. 執行Low-E節能膜技轉案(106年技服收入 1,000萬元以上)

配合104年簽訂之東○公司技轉案進度，105年完成全球首創R2R電弧PVD系統建置，幅寬1.5米，速度1~3米/分，偏移量 $\leq 5\text{mm}$ ，以及不同顏色之五層Low-E節能膜驗證測試，產品符合東○公司規格，可見光 $\geq 50\%$ ，紅外光反射率達90%，不均勻度 $\leq \pm 10\%$ 。預計106年8月設備通過2000米連續運轉測試，技服收入1,000萬元以上。



圖5、R2R電弧PVD系統



圖6、TiO₂/Ag/TiO₂/Ag/TiO₂之Low-E節能膜產品

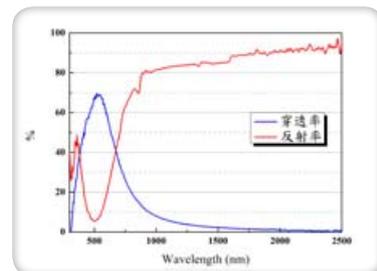


圖7、Low-E節能膜光譜



3. EC整合Low-E膜之高效無線遙控節能窗模組符合綠建材規範

運用R2R濺鍍PVD系統鍍製20cm×20cm EC整合Low-E膜之高效節能窗模組，紅外線阻擋率達95.4%，SHGC值由去色態的0.65變化至上色態的0.2(綠建材玻璃:SHGC<0.3)，符合綠建材規範。最後整合無線控制技術，於2016年台北國際發明暨技術交易展展出，並發表刊登一篇SCI論文及申請中華民國專利一件。



圖8、R2R濺鍍PVD系統

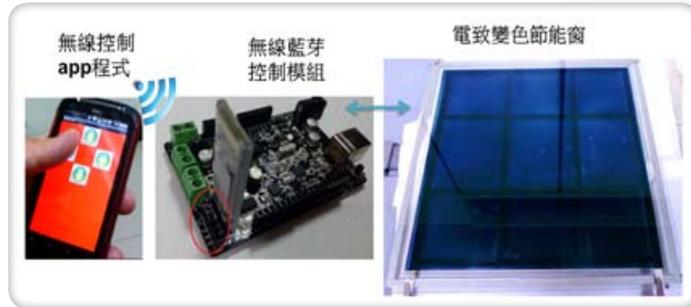


圖9、無線遙控之EC+Low-E整合型之高效節能窗模組

4. 薄膜Li離子電池技術超越國際水平並應用於微型能源捕獲器

開發國內唯一全固態薄膜Li離子電池，獨特結構已申請台、日、美、歐等四國專利，並獲得2016年德國紐倫堡發明展金牌獎。電池最大電容量為 $27\mu\text{Whcm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ，相當於1080 Wh/L，超越目前國際發表最佳值900 Wh/L。初步應用在IOT產業的微型能源捕獲器，藉由a-Si PV產能及鋰電池儲能，已達到自供電免換電池的目標。

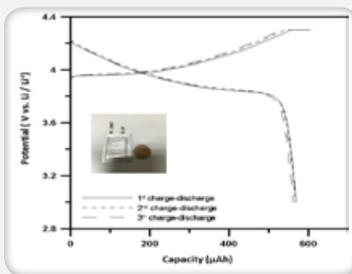


圖10、電容量為 $27\mu\text{Whcm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$



圖11、雛型微型能源捕獲器



圖12、紐倫堡發明展金牌獎

(三) 展 望

今年為四年期計畫的最後一年，全期完成準量產型R2R電漿鍍膜平台建置，內含R2R PECVD、R2R濺鍍PVD及R2R電弧PVD等三電漿鍍膜系統，用於開發a-Si PV、Low-E及EC節能膜、Li離子電池等4種可攜式節能產品之生產技術。Low-E節能膜技術已成功技轉國內最大節能膜製造商。另3種節能膜產品，未來將循Low-E節能膜技轉模式，運用R2R電漿鍍膜平台，導入量產，加速技轉。

9 碳基能源永續潔淨利用技術發展

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本研究係一整合型計畫，旨在聚焦於淨碳技術發展，並配合國家永續發展策略規畫，逐步建構出前瞻性的氣化系統工程技術與先進製程研究規畫，以冀望達到減碳政策目標與推廣商用化應用。本計畫目標概分為：1. 結合中高溫(500°C)環境下之高效率淨化系統，建立氣化關鍵技術與系統整合能力。2. 建立氣化整合氣體淨化及先進氣體轉化分離技術，發展多元應用領域。

(二) 重要成果

1. 針對國內中小型產業規模之適用氣化技術，進行百kW_{th}級循環式流體化床氣化爐系統設計與建置；105年度已完成百kW_{th}級系統之主體(圖1)，106年度將進行循環迴路設備之建置，以為後續技術產業化多元應用預作準備。
2. 以流體化床氣化爐完成尤加利木屑氣化系列實驗，結果顯示隨爐體溫度的增加以及ER值的下降，合成氣熱值及冷煤氣效率也隨之提升。後續以混合料源(95%煤5%尤加利木屑)進行初步測試，實驗結果因為煤熱值較高，產生局部高溫及熔融現象，影響氣化反應。因此，後續將優化目前操作條件，以提升氣化反應效能。
3. 在中高溫環境中進行氣體過濾工作可提升系統效率，目前已建置國內產官學界唯一運轉中的顆粒移動床熱模設備(圖2)，並可進行從常溫至500°C之過濾效率相關測試。並已於105年度建置可耐腐蝕之過濾設備，擴大淨化程序操作範圍，以得到在類似產業應用條件下之高效率系統過濾效能。
4. 以前述設備完成常溫至500°C環境下，濾材質量流率300~1500g/min之顆粒床性能測試，探討不同溫度下最適操作之濾材質量流率。另外進行500°C環境下，進行較低風速下之顆粒床性能測試；初步結果顯示，其過濾效率些微提升。其次，已完成篩分設備修繕與購入新型微量餵料機，可提供誤差較小之穩定微量餵料，提升過濾效率測試精確度。
5. 於105年度建立30 kW級中高溫酸性氣體移除反應系統及設備監控與數據收集系統(圖3)，本體材質採用316LSS，具有防腐蝕功能，可操作溫度為400-700°C。後續於106年度將進行性能測試。
6. 建立中高溫酸性氣體移除抗劣化吸附劑之設備與程序，合成製備鋅鐵複合型脫硫劑並進行化性分析。實驗結果顯示，鋅鐵複合型脫硫劑第30次cycle的貫穿時間約為30.5 min，硫含量為8 g-S/100g sorbent，最終硫含量為起始值81% (1st cycle: 9.9 g-S/100g sorbent)，如圖4所示。



7. 完成煤分別混合5%, 10%與15%之棕櫚渣 (EFB) 條件下，經氣化轉製合成天然氣之整體性能與操作參數影響分析。結果顯示在固定氧與燃料比的條件下，生質物混合比率越高，其進料轉換至合成天然氣之效率將略微下降，分別為59.91%, 58.50%與57.84%；而其優勢則是較佳之碳足跡。
8. 本年度與國內鋼鐵業、造紙業…等具減碳、減廢與體現循環經濟需求之產業進行洽談，並與國內鋼鐵業者就廠內廢棄物以氣化技術進行能源化進行細部合作洽談。於105年末完成技術評估試驗內容討論，將於106年度正式執行。



圖1、流體化床氣化爐主體

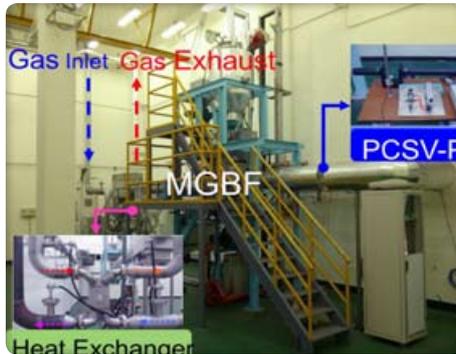


圖2、顆粒移動床除塵系統



圖3、中高溫酸性氣體移除反應系統

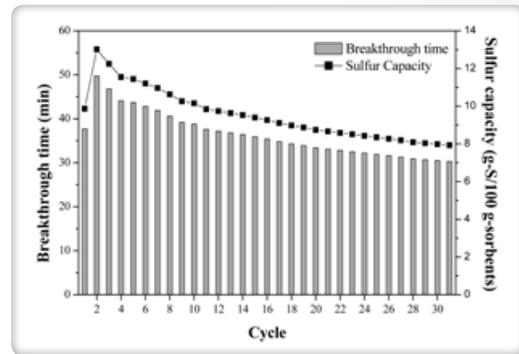
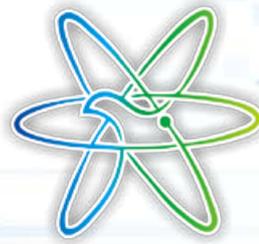


圖4、鋅鐵複合型脫硫劑於固定床中30次脫硫-再生循環實驗

(三) 展 望

本分項計畫以發展國內低碳能源技術為基礎，考量環境安全永續目標，能契合政府溫減法與相關能源政策（如能源轉型：2025年配比为綠能20%、天然氣50%、燃煤30%）之推行，並貢獻於環境氣候變化衝擊。並已就技術特性，將應用領域擴展至國內廢棄物資源化與結合沼氣發電等領域，體現循環經濟之理念，減少國內廢棄物產量，為減緩溫室氣體排放持續努力。

2016
Atomic Energy Council,
Executive Yuan





研發計畫成果

四、輻射安全及其民生應用

1. 強化輻射安全與輻射醫療品質技術之研究

計畫單位：輻射防護處

(一) 計畫目標

鑑於我國輻射應用需求與日俱增，本計畫參酌國際發展趨勢，透過大規模檢（訪）查作業，精進我國醫療曝露品質保證作業程序、建立可發生游離輻射設備計畫曝露之量測規範及強化輻射劑量量測與評估技術，使原能會之輻防管制效能與科技與時俱進，進而確保民眾接受放射診療品質及提升對原能會輻射安全管制之信心。

(二) 重要成果

本計畫分為4個分項計畫，重要成果摘述如下：

1. 量化成果：

本計畫總計發表論文11篇（詳如附錄）、研究報告6篇、課程教材7份、程序書3份。

2. 質化成果

(1) 放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

- I. 辦理電腦斷層掃描儀、乳房X光攝影儀與透視攝影X光機之醫療曝露品實地檢（訪）查作業及實作訓練課程（如圖1），確保受檢民眾之輻射曝露品質、各設備的品質保證現況、面臨問題及所需協助，並進行趨勢分析，作為未來精進醫療曝露品質保證政策參考依據。
- II. 完成「輻射醫療曝露之診斷參考水平標準化調查程序書」，擬訂適用我國之電腦斷層掃描儀、乳房X光攝影儀與透視攝影X光機之國家診斷參考水平標準調查程序，後續將據以進行全國性調查並提出建議值。
- III. 制訂「可適用於各廠牌之數位式乳房X光攝影儀品保程序書」初稿，後續將據以進行乳房X光攝影儀全國性調查，並依實地驗證結果進行修訂，以建立符合我國需求之程序書。

(2) 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

完成新型放射治療技術「影像導引成像系統」之品保程序書與3份相關教材，並透過辦理討論會與相關從業人員討論與回饋，成效頗獲肯定。

(3) 計畫曝露量測規範建立與輻射安全風險評估研究

完成390台離子佈植機與靜電消除器之操作人員接受劑量與輻射安全風險評估（如圖2），推估最大可能風險及提出輻射安全管制建議，並蒐集分析國際放射防護委員會（International Commission on Radiological Protection, ICRP）、國際原子能總署（International Atomic Energy Agency, IAEA）與國際電工委員會（International Electrotechnical Commission, IEC）等國際組織，及歐美先進國家相關管制報告及規定，作為未來輻防管制法規修訂之參考。



(4) 輻射防護品保與劑量驗證評估技術研究

- I. 因應質子治療及粒子加速器高能中子輻防劑量評估需求完成國內中子監測器劑量修正先期研究，建立工作場所能譜修正因子自動化分析程式，以及高能中子能譜指標與校正射源和偵檢器類型的關聯性評估，可有效精進輻防劑量評估技術。
- II. 完成人員肢端劑量評估認證規範之增訂研究，其規範草案初稿可據以逐步建立完整之人員劑量能力試驗系統。能力試驗是實驗室認證重要的一環，研究國際發展趨勢，配合國內輻射度量實驗室之需求，建立執行能力試驗之設備及技術，加強教育訓練與技術交流，以精進國內輻射防護與管制技術（能力試驗執行中及規劃中項目詳圖3）。



圖1、透视攝影X光機醫療曝露品保實作訓練課程



圖2、作業場所輻射安全檢測與安全連鎖設備確認

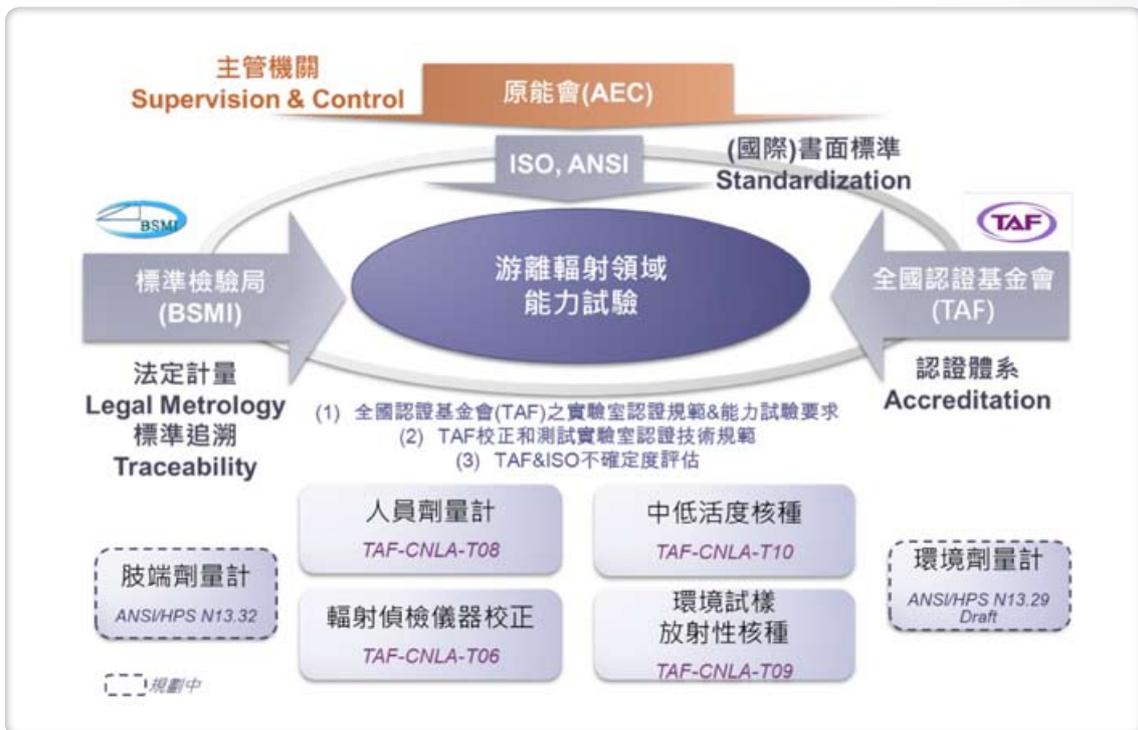


圖3、游離輻射領域能力試驗之權責劃分、執行項目與規劃中項目示意圖

(三) 展 望

近年醫療輻射應用蓬勃發展，醫療曝露品質保證作業之推動益發重要，另為確保輻射工作人員安全，亦亟需研擬相關管制規範、強化工作場所風險評估及精進劑量量測技術，未來將持續透過文獻回顧及檢（訪）查數據分析，研訂相關法規及程序書，並辦理研討會或教育訓練，提升工作人員專業素養，確保輻防產業、輻射應用與放射診療品質，並增進民眾對原能會輻防管制作為之信心。



2. 台灣地區住宅氡氣活度量測與劑量評估調查 研究計畫

計畫單位：綜合計畫處

(一) 計畫目標

1950年代透過礦工流行病學調查結果，證實氡氣會增加肺癌發病率，至於對於一般民眾的效應，2009年世界衛生組織(WHO)發表室內氡手冊，依據國際流行病學調查證實住宅內氡暴露與肺癌之間的相關性，呼籲各國重視氡氣問題。本計畫延續104年國內住宅氡氣量測調查，重點在於增加北部偵測戶數與公共空間調查，以確認台灣地區室內氡氣濃度現況。

(二) 重要成果

本計畫依規畫進度，結果完成108戶住宅室內氡活度的測量，在正常通風的環境下，客廳室內氡活度的平均值為26.8貝克/立方公尺，在臥房則為26.2貝克/立方公尺。實測結果客廳與臥房差異不大。

依內政部的調查統計，台灣屬於高度工商業化社會，國民室內活動時間占9成以上，依此估計在臥房之占用因數以每天8小時計算，其他房間含辦公室以14小時計算，戶外活動每天2小時，則今年所測量室內氡活度加權平均值為26.6貝克/立方公尺。由於台灣地區天然背景輻射相當均勻，且各地區建築材料與形式雷同，可以預估室內氡活度不會有地域性差別，今年刻意將度量對象偏重在新竹以北住宅，結果顯示並沒有地域性差別，也未發現氡易發地區(Rn prone area)。若將前兩年測量結果納入統計，合計204戶住宅室內氡活度加權平均值為23貝克/立方公尺。

以國際輻射防護委員會(ICRP)最新的劑量評估參數氡氣對台灣地區國民輻射劑量約為0.76毫西弗/年。比20年前的評估值0.36毫西弗/年高111%，約為UNSCEAR公布世界平均值1.2毫西弗/年的63%。活度比25年前高的原因研判係空調與氣密窗普遍使用，通風率降低所致。

對於民眾出入頻繁之公共空間量測調查部分，今年度以交通設施與通風較差之展覽場所為主，包括高雄科學工藝博物館、高雄美術館、台北美術館、國立故宮博物院、國立台灣美術館、台灣高速鐵路(台北站、南港站、桃園站、板橋站)與台灣鐵路局(台北車站、板橋車站)。結果都低於美國環保署建議改善濃度150貝克/立方公尺。



圖1、高雄美術館氡氣量測



圖2、台北車站月台出入口氡氣量測

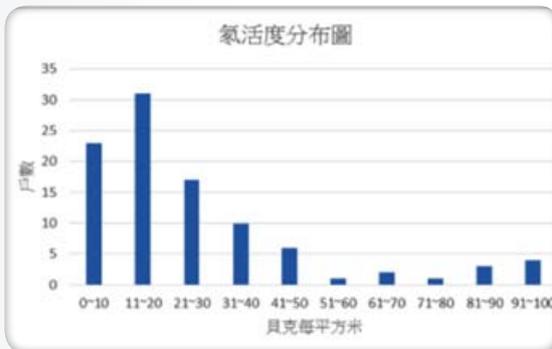


圖3、氡氣量測結果分布



圖4、氡氣量測儀器

(三) 展 望

WHO和ICRP 第 126 號報告皆建議室內氡行動基準目標值為 100 貝克/立方公尺，最高不大於 300 貝克/立方公尺。目前各國室內氡行動基準新訂標準對既存建築多訂在 200 貝克/立方公尺，新建住宅則訂 100 貝克/立方公尺。由計畫執行結果顯示雖然國內住宅氡氣濃度不高，但仍應持續進行長期監測以確定季節變化差異，至於是否須建立行動基準值得進一步討論。



3. 加速肝功能量化正子造影劑之產業化

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

計畫目標在開發肝貯存量造影劑。人體血清蛋白90%以上是唾液酸醣蛋白，當被病毒或細菌等移除唾液酸，會被肝臟的去唾液酸醣蛋白受體辨認、吞噬、分解，經由膽道排除；這些被分解的產物都是體內有的氨基酸或雙肽，學理上沒有毒性。本計畫根據此學理，設計去唾液酸醣蛋白受體的肝標靶藥物，預期以活體影像評估肝貯存量。

(二) 重要成果

1. 目前單劑量毒理試驗，於大鼠延伸性急毒性試驗以及狗單一劑量毒性試驗結果顯示，臨床觀察、臨床病理、組織病理都無毒性。生物體分布的數據顯示，此藥劑主要集中在肝臟，心臟吸收僅肝臟1/100，肺臟吸收僅肝臟1/50，腦部吸收更僅有肝臟的1/627，也就是說腦、心臟和肺臟的吸收幾乎是背景值；若以輻射劑量報告來看，心臟壁層(heart wall)是0，腦是0.00000198 mSv/MBq，肺臟是0.000496 mSv/MBq，肝臟是0.00883mSv/MBq；經和FDG比較(FDG劑量連結如下：<http://www.med.harvard.edu/jpnm/chetan/basics/basics.html>)可知這個肝標靶藥物在心臟、腦和肺臟吸收值是微乎其微，這是標靶藥物的特性。
2. 去唾液酸醣蛋白受體是肝臟很重要的受體，也是肝臟用來維持血清蛋白恆定功能的受體。由動物實驗，Ga-68 NOTA-HL造影可以示蹤有功能的肝臟還剩下多少。這個藥因為肝標靶性很好，一打完藥就可造影，預計造影15分鐘。目前本計畫正準備要將Ga-68 NOTA-HL申請臨床試驗；此藥劑在臨床使用上已經和醫師確認過了，是單劑量使用，而且僅有在肝臟手術前使用，手術後無需使用；根據歐洲核醫學委員會對單劑量核醫藥物使用的意見書，單一劑量使用之核醫藥物得免除亞急毒理、生殖毒理、基因毒理與致癌性毒理試驗，但實際得免除之試驗仍需持續與法規單位溝通而後確定。

(三) 展望

肝貯存量診斷對外科肝臟醫師是非常重要的技術，肝癌開刀前做肝臟貯存量評估有助醫師判斷與決定是否可以切除及切除範圍大小。此計畫已完成候選藥物的篩選、單一劑量毒性試驗、生物體分布試驗、藥動試驗與輻射劑量評估，正循法規規定朝臨床試驗申請方向努力，4年計畫最終目的在取得臨床安全性、藥動數據與初步的有效性驗證。

4 銻-188-MN-16ET/利比多肝癌治療新藥之開發與應用研究

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

本計畫特點為應用銻-188(^{188}Re)放射性同位素兼具診斷與治療雙功能之特性(釋出2.12 MeV貝它粒子及155 keV加馬射線(15%))，整合核能研究所之輻射應用與生物科技人才，配合自製鎢-188/銻-188發生器可使用長達半年之特性，結合具有國內外專利之核研銻必妥【銻-188】注射劑(^{188}Re - MN-16ET/ Lipiodol)核醫藥物，開發易於調劑之高品質核醫藥物，建立國內完全主導之肝癌核醫治療技術，降低治療成本，創造更有效益的治療模式，達到開拓輻射與生技應用領域並增進國民健康福祉之目標。

(二) 重要成果

1. 建立原料藥MN-16ET之GMP製程，以確保每批次合成肝癌治療劑，均能滿足原料藥GMP規範。已建立MN-16ET等新型肝癌治療劑原料藥三批次試製作業，及公克級成品製造及分析作業書，確保提供每批次原料藥，均符合臨床試驗用藥規定。
2. 建立原料、產品製造與品管作業程序書及其確效作業程序書，完成18份相關SOP之制定，並通過製藥中心審核與發行。執行三批次試製與擴量生產與製程確效等試驗，所得產品皆符合PIC/s- GMP製藥等級之規範。
3. 完成 ^{188}Re -MN-16ET/Lipiodol之臨床前安全性試驗，包括藥物動力學、肝癌動物模式之療效測試、GLP輻射生物效應試驗及輻射吸收劑量評估等，並完成嚙齒類與非嚙齒類之安全性試驗，證實本藥在肝癌動物模式之安全性及有效性。
4. 完成 ^{188}Re -MN-16ET/Lipiodol之肝癌臨床試驗設計，彙整臨床前安全性數據及製程數資料向台大醫院及衛生福利部申請臨床試驗許可。已分別獲得台大醫院IRB及衛福部核准臨床試驗之核准，並完成三方簽約(核研所、台大醫院及試驗計畫主持人陳健弘教授)，持續推動臨床試驗，驗證產品之安全性與有效性。
5. 完成核研所轉譯實驗室(其為操作Re-188放射性核種之實驗室)輻射安全評估。配合臨床試驗，持續精進核醫體內劑量評估程式OLINDA之使用。
6. 與中華民國核醫學會合作辦理高雄榮總辦理2016年肝癌治療國際研討會，邀請美國國家衛生研究院癌症中心Dr. Jacek Capala及台大內科部弘教授、榮總柳建安醫師、成大劉益勝主任、中山醫學大學高潘福主任及計畫主持人羅彩月博士舉行專題演講，分享肝癌治療之最新發展及核研所治療用核醫藥物之研發成果。
7. 建立具有輻射物質分析鑑定作業能力的藥物分析鑑定實驗室，執行肝癌治療用核醫藥物之藥物結構研發、品質控制、藥物代謝等研究計畫，探討原料 $\text{H}_3\text{MN-16ET}$ 受不同放射活度之影響，也進行非放射活性之Re-MN-16ET在大鼠血漿中代謝安定性，證明該藥物在血漿代謝產物與肝臟均質液相同，提供研發計畫執行臨床前試驗之藥物代謝安全數據。



8. 完成發表3篇期刊論文及16篇會議論文及5篇專利，15篇研究報告，完成一件臨床試驗之申請與核准，辦理一項國際研討會，並獲得中華民國105年核醫學年會口頭論文比賽第3名，提高核研所研究能見度，利於建立國際合作。

(三) 展 望

肝癌是全球高死亡率之癌症，核研致力於肝癌用核醫藥物之研發，105年獲台大醫院與衛福部核准執行臨床試驗，持續推動臨床試驗，驗證產品之安全性與有效性。我們將全力加速臨床試驗執行，期能將此藥物推廣應用於臨床治療肝癌病患，解決長期醫療需求，讓國家之研究成果能直接造福民生。

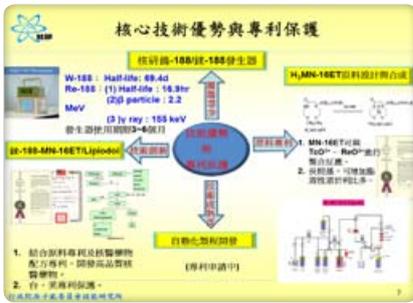


圖1、核心技術優勢與專利保護

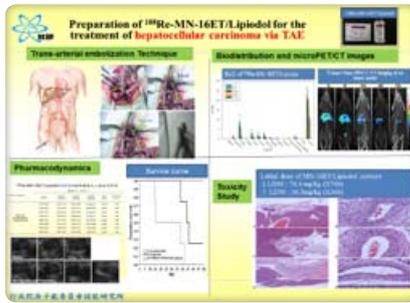


圖2、臨床前試驗完備



圖3、建立原料藥GMP文件



圖4、衛福部核准函



圖5、台大醫院核准函

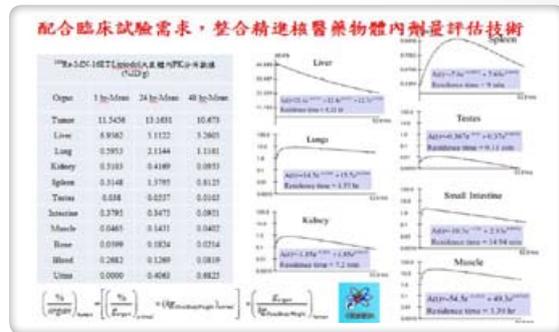


圖6、配合臨床需求，整合精進核醫藥物體內劑量評估技術

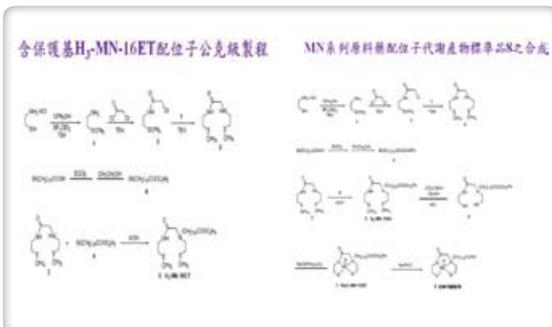


圖7、原料藥合成，符合GMP規範

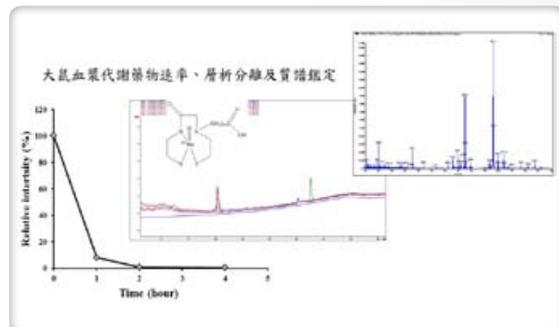


圖8、藥物代謝分離與鑑定

5. 次世代醫用3D放射造影儀技術開發及應用

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

以核研所高階影像醫材開發及檢測技術能量為主幹，搭配產學研醫合作，開發「泛用型之低劑量3D放射造影儀 (Taiwan TomoDR)」，與建置「放射醫材檢測驗證環境」，以彌補國內產業技術缺口。國人自行開發之TomoDR，劑量近似平面X光機(Digital Radiography, DR)，卻有似電腦斷層掃描(Computed Tomography, CT)的3D影像品質，可廣泛應用於胸腔、骨科等診斷篩檢。另外，計畫依據國際標準規範，建置之放射醫材檢測實驗室，除提供原型機檢測外，亦能服務國內相關產業。

(二) 重要成果

1. 完成國人自主開發之高階放射影像醫材—Taiwan TomoDR

- (1) 完成Taiwan TomoDR原型機開發(如圖1)，利用有限角度造影，搭配自行開發之3D影像重建技術及獨創掃描方式(已申請中華民國、美國、日本及歐盟發明專利)，可提供低劑量的3D影像資訊。



圖1、TomoDR原型機(左圖)；
造影示意圖(右圖)

- (2) 為降低TomoDR病人造影劑量，並達到劑量降低前之影像品質：建立雜訊抑低技術(提昇訊雜比)與邊緣假影抑低技術(降低投影張數)，結合二技術可有效改善因造影劑量降低造成的影像雜訊，相關技術已申請中華民國發明專利(美國、日本與歐盟申請中)，亦獲第11屆醫學影像暨放射科學研討會(11th Symposium of Medical Imaging and Radiological Science, SMIRS)海報優勝。
- (3) 原型機與CT比較，具有近似的影像品質與低劑量的優勢：與市售2D X光及市售CT相比，TomoDR與CT皆能清楚看到心臟附近不易辨識之3mm腫瘤(如圖2)，且在胸腔不同位置之偵檢能力及分辨能力，皆不受胸部骨骼、心臟及其他正常器官影響辨識，因此臨床醫師評估，如應用於肺癌篩檢上，原型機與CT比較，具有低劑量的優勢。

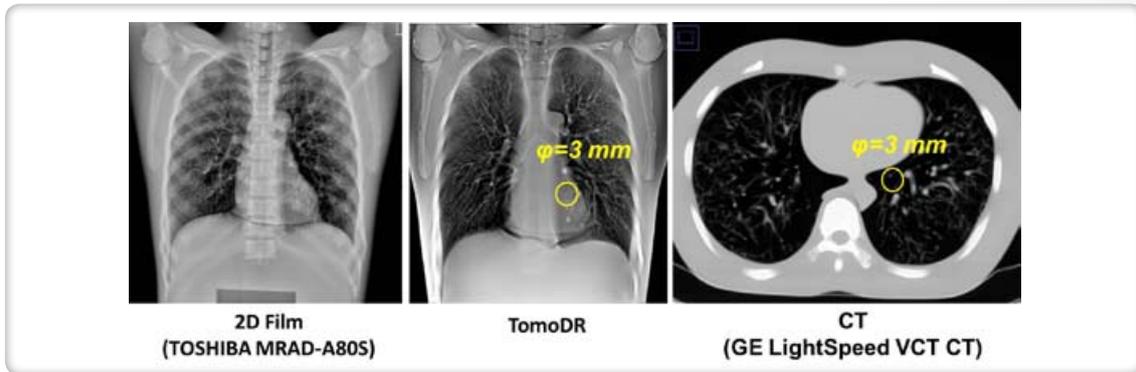


圖2、與市售2D X光(左圖)及市售CT(右圖)相比，TomoDR(中圖)與CT(右圖)皆能清楚看到3 mm腫瘤

2. 完成國內放射醫材檢測試驗室認證

依據IEC 60601-1-3與IEC 60601-2-54國際規範建置包括輻射品質、洩漏輻射等適用於醫用診斷型X光機輻射類安規之檢測技術，並通過財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證，可服務一般醫療院所及X光機製造廠商，確保其產品的輻射安全符合國際規範要求。同時協助金屬工業研究發展中心獲得牙科電腦斷層相關之TAF實驗室認證，亦協助電子檢驗中心達成IEC60601-1電氣安規與IEC60601-1-2電磁干擾等輻射醫材與組件檢測之輻射防護要求，共同為建立友善的放射醫材檢測試驗環境努力。



圖3、放射診斷醫療器材檢測實驗室TAF認證證書

(三) 展 望

肺癌為發達國家的主要癌症死因，且肺癌篩檢需考量成本效益及民眾接受劑量，如何選出最佳的癌症篩檢策略，仍是探討中之議題。本計畫目標是開發低劑量高影像品質的Taiwan TomoDR，其造影結果經第一線放射科醫師及放射師評估，可應用於國人最普及的肺部篩檢與骨折檢查，計畫將努力提升影像病灶分辨能力，期未來能成為第一線肺部篩檢之利器，且預期價格與平面X光機相近，對於中小型醫院、地區醫院將具吸引力，有助於優質醫療普及化，提升民眾福祉。

放射性醫療器材的檢測試驗與輻射安全評估，是此產業發展與產品上市的基石，本計畫建立之技術不僅獲TAF認證與實測驗證，未來可服務國內相關產業，使產品能符合國際輻射安全規範之要求，增進國產放射醫材輻射安全性與國際競爭力。

6. 核子醫藥及醫材與儀器之應用研究

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

核子醫藥及醫材與儀器之應用研究計畫之目標，採取以本國唯一獨特之中型迴旋加速器研製放射性同位素與相關技術為導向，專注開發本國與全球之未被滿足的醫學與健康議題，包括發展阿茲海默氏症診斷造影劑、腫瘤或癌症診斷或治療藥物以及放射影像醫材等，以創造與實踐原子能應用於民生用途為永續經營的目標。

(二) 重要成果

1. 建立微居里級之銦-89正子放射性同位素之照射系統與相關技術，以因應未來抗體新藥研究開發。

本(105)年度完成建立奈安培級質子束之射束調控與質子照射固體靶之射束線分布與調控技術；銦-89之靶物質、靶體與靶背設計製作。鉕-89靶體於真空 5.7×10^{-6} Torr下以氣動傳送，以奈安培質子劑量輸出技術（質子束12.5nA）照射，可得到19微居里級之活度。

2. 製作高品質商業級50mCi級銻-68/鎵-68核種發生器，並獲美國與台灣多項專利。

本年度(105)完成商業級50mCi銻-68/鎵-68核種發生器之製作流程與參數確認以及原型產品製作，本發生器規格已可淘洗出50mCi高品質鎵-68核種，其規格與德國Eckert & Ziegler出品，已通過查登上市的GMP級（50 mCi）發生器（商品名GalliaPharm $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ Generator）相較，品質一致且成本低廉，目前已提供新藥之臨床前標誌研究用途。本項研究獲得中華民國與美國多項專利。

3. 心臟交感神經功能診斷造影劑「核研醫碘靈注射劑（碘-123 MIBG injection）」之新藥查驗登記申請與推廣。

本年度(105)已取得衛生福利部之「核研醫碘靈注射劑（碘-123 MIBG injection）」應用於神經源起腫瘤及心臟交感神經功能診斷之免臨床實驗許可（FDA藥字第1030051654號函）、自動合成系統獲得美國專利、主原料產率約71%，純度約92%、構築PIC/s GMP製藥系統以及CMC相關原物料、製程與品管等作業規範，並辦理「2016年第五屆台灣核醫心臟國際學術研討會」以推廣與宣傳，預定通過查登審查以快速取得藥品許可證，提供於臨床使用，嘉惠國人。



4. 建立高階放射醫學影像系統之關鍵技術，以提升醫療器材之影像品質。

本年度(105)完成利用蒙地卡羅軟體演算驗證以建立能階式探頭之精確光學模擬系統；提升造影系統影像重建演算速度，效能提昇10倍；可行性評估用光子計數影像感測器開發，可達成~0.9mm空間辨識率與靜態分布式X光源幾何校正方法設計等關鍵技術發展。切入於材質辨析放射影像、快速線上CT等極具應用潛力但尚未被滿足的精準醫療市場。

5. 國內外獲獎殊榮與科學論文發表，成果豐碩，展現國際競爭力

本(105)年度總投入37.45人年的研究人力，發表國際期刊11篇、國內外研討會論文2篇、研究報告 43 篇、技術報告4篇、專利申請9件與專利獲得21件。並獲得「2016台北國際發明暨技術交易展」之發明競賽，金牌獎「液體同位素傳送系統」、銀牌獎「 ^{123}I -MIBG之自動化合成系統及含其之 ^{123}I -MIBG自動合成分裝裝置」與銅牌獎「一種藥物濾膜風險性與完整性之自動化測試裝置及其方法」殊榮，成果豐碩，宣揚研究潛力與提升國際能見度。

(三) 展 望

生技醫藥與醫學影像市場是國家發展之重要目標與方向，也是全球科學研究之「時間」與「創新」競逐的戰場，追求將原子能輻射科技應用於和平民生用途，照顧民生福祉與關懷國人健康，是身為公部門研究機關國家實驗室與核子醫藥計畫多年不變的發展目標願景與忠誠承諾。本計畫秉持積極開發遴選具商品化價值之潛力藥物與技術，深耕專業知能及其提升應用價值，以期回饋社會，造福民生福祉。

7 本土好發性疾病輻射應用及分子影像技術平台

計畫單位：核能研究所

(一) 計畫目標

計畫目標在建構與提供輻射技術、造影標記與分子影像平台，配合生技醫藥國家型計畫共同解決藥物開發的瓶頸，開發本土好發性疾病早期診療或輔助診療之藥物。計畫以學研需求為導向，曾以電子問卷調查方式建立輻射應用與分子影像學研需求資料庫，依照資料庫使用者需求，設計必要之服務與合作，最終以提升醫藥轉譯成功率為目標。

(二) 重要成果

服務成果依照屬性不同分為抗體、胜肽、核酸、小分子四大類。

1. 抗體類藥物係以活體全身造影評析G1/G2抗體之標靶性。
2. 腫瘤胜肽藥物除以分子影像技術觀察標靶性外，尚用以評析否帶有潛在肝腎可能毒性。
3. 核醣核酸類分子影像研究，過去台灣沒有人做過，核研所領先開發新穎鎖核酸的In-111標誌技術(已獲台灣專利TWI574972)，由於鎖核酸價格昂貴，以分子影像技術可大幅減低原料鎖核酸的依賴，相對節省鉅額研發成本。以台大鎖核酸團隊進行生物體分布研究為例，若以酵素免疫分析方式，必須研磨動物組織器官、萃取，才能以酵素免疫分析方法定量，且所需鎖核酸至少要mg級以上才能做試驗，本計畫以分子影像技術使研發成本由千萬級降低到百萬級，這是分子影像技術節省研發經費加速研發的一個佐證。
4. 小分子類藥物技術較不具規則性也較為複雜，本年度有乾癬治療藥AZD-X及AZD-Y，核研所以分子影像技術完成AZD-X藥物在乾癬處的標靶驗證；並以口服方式給藥AZD-Y，在不同物種乾癬動物模式臨床觀察皮膚厚度、紅腫與脫屑等療效指標，確立AZD-Y爾後乾癬研究之動物模式與完成療效驗證；核研所創新研究出適合AZD-Y的乾癬動物模式，方能據以進行後續藥理藥動重要試驗。
5. 本年度也有罕見疾病的研究案件，本計畫以電腦模擬、體外試驗及分子影像技術驗證NC109對小腦萎縮病灶是有專一性聚積，值得一提的是本計畫發現以核磁共振儀是無法早期診斷出小腦萎縮的疾病，這個案例凸顯出分子影像技術配合標靶藥物NC109可以早期診療小腦萎縮之病灶；且根據本計畫早期診療配對研發策略，以分子影像技術配合F-18 NC109早期篩選出有小腦萎縮之病患，再施以NC109進行小腦萎縮之治療，可大幅提升療效；在轉譯上這個藥劑因為是罕見疾病，目前沒有藥醫治，倘若能開發成功，是國際上很重要的創舉；但因為是罕見疾病，更需要政府資金與健保資源注入，才能有助後續產業發展。

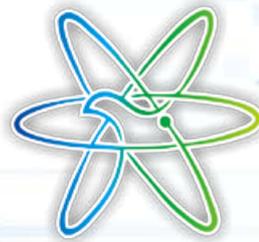


6. 此外本計畫在固醇類肺炎藥物的分子影像研究也有創新研究，本計畫是第一個有固醇類放射標記技術開發，並有氣管插管技術研發。本計畫提供固醇類肺炎藥的動態分子影像數據，協助使用者發表在高影響係數期刊(IF=13)。之後瑞典Karolinska Institute 醫師兼博士班學生 Jakub Zebialowicz 因此來信請求本計畫支援固醇類標誌技術；本計畫研發成果受到國際注目，顯明本計畫技術能量已具國際競爭力。
7. 本平台歷年協助學研單位突破生技研發瓶頸，105年國家發明創作獎得主為國衛院的吡啶類化合物，該化合物作為抗第二型糖尿病藥物進腦量副作用低之佐證，係由本計畫平台於103年所驗證完成；國家實驗研究院肺癌腫瘤胜肽團隊榮獲2013年第十屆新創獎，在其研發早期，本計畫以生物體分布早期評析其腫瘤胜肽可能肝腎毒性，幫助確立最佳候選藥物，並降低後期安全性失敗風險，使該腫瘤胜肽能快速有低毒性佐證。

(三) 展 望

分子影像可以及早評估先導藥物可能毒性，如此可透過結構修飾降低後期毒理試驗失敗的風險；可以獲得組織藥物動力學資訊，做為用藥間隔之依據；可以無需犧牲動物獲得生物體分布資訊，節省大幅成本。過去創新服務經驗已累積一些不錯的成果，並有發掘部份具潛力藥物，未來將與學界繼續合作將具潛力藥物推入臨床，落實產業應用。

2016
Atomic Energy Council,
Executive Yuan



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

行政院原子能委員會暨所屬機關研究計畫成果彙編.

105年度 / 行政院原子能委員會編著. -- 初版. --

新北市 : 原能會, 民106.05

面 ; 21x29.7公分

ISBN 978-986-05-2460-4 (平裝)

1.核能 2.能源安全 3.核能廢料

449.07

106007007

書 名：105年度行政院原子能委員會暨所屬機關研究計畫成果彙編

編 著 者：行政院原子能委員會

出版機關：行政院原子能委員會

電 話：(02) 8231-7919

地 址：新北市永和區成功路1段80號2樓

網 址：<http://www.aec.gov.tw>

出版年月：中華民國106年5月(初版)

定 價：NT\$ 2,000

展售門市：

- 五南文化廣場台中總站 400 台中市中山路6號 (02) 2226-0330
- 國家書店松江門市 104 臺北市松江路209號1樓 (02) 2518-0207

ISBN：978-986-05-2460-4

GPN：1010600635

◎ 本書同時登載於原能會網站，網址為：<http://www.aec.gov.tw>

◎ 原能會保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院原子能委員會同意或書面授權。

聯絡電話：(02)2232-2056。

【版權所有，翻印必究】