

110 年度政府科技發展計畫 績效報告書

計畫名稱：強化核能電廠除役管制技術及環境輻射之
研究(3/4)

執行期間：

全程：自 108 年 1 月 1 日至 111 年 12 月 31 日止

本期：自 110 年 1 月 1 日至 110 年 12 月 31 日止

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會綜合計畫處

目錄

【110 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表】	1
第一部分	6
壹、目標與架構(系統填寫)	7
一、總目標及其達成情形	7
二、架構	13
三、細部計畫與執行摘要	16
貳、經費執行情形	30
一、經資門經費表	30
二、經費支用說明	32
三、經費實際支用與原規劃差異說明	33
第二部分	34
壹、成果之價值與貢獻度	35
貳、檢討與展望	40
參、其他補充資料	42
一、跨部會協調或與相關計畫之配合	42
二、大型科學儀器使用效益說明	42
三、其他補充說明(計畫成果完整說明)	42
附表、佐證資料表	85

【110年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號	110-2001-04-17-01				
計畫名稱	強化核能電廠除役管制技術及環境輻射之研究				
主管機關	行政院原子能委員會				
執行單位	行政院原子能委員會(綜合計畫處、核能管制處、輻射防護處) 行政院原子能委員會核能研究所 行政院原子能委員會輻射偵測中心				
計畫主持人	姓名	陳志平	職稱	副處長	
	服務機關	行政院原子能委員會			
	電話	02-2232-2041	電子郵件	cpchen@aec.gov.tw	
計畫類別	<input type="checkbox"/> 政策計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 一般計畫				
重點政策項目	<input type="checkbox"/> 亞洲·矽谷 <input type="checkbox"/> 智慧機械 <input type="checkbox"/> 綠能產業 <input type="checkbox"/> 生技醫藥 <input type="checkbox"/> 國防產業(資安、微衛星) <input type="checkbox"/> 新農業 <input type="checkbox"/> 循環經濟圈 <input type="checkbox"/> 晶片設計與半導體前瞻科技 <input type="checkbox"/> 數位經濟與服務業科技創新 <input type="checkbox"/> 文化創意產業科技創新 <input type="checkbox"/> 其他				
前瞻項目	<input type="checkbox"/> 綠能建設 <input type="checkbox"/> 數位建設 <input type="checkbox"/> 人才培育促進就業之建設				
計畫群組及比重	生命科技___% 環境科技 <u>36%</u> 數位科技___% 工程科技 <u>47%</u> 人文社會 ___% 科技創新 <u>17%</u>				
執行期間	110年1月1日至110年12月31日				
全程期間	108年1月1日至111年12月31日				
資源投入 (以前年度 請填決算數)	年度	經費(千元)		人力(人/年)	
	108	37,218		44.5	
	109	34,909		38.4	
	110	28,118		31.5	
	111	27,721		31.5	
	合計	127,966		146	
	110 年度	經費項目		預算數(千元)	決算數(千元)
經常門		人事費	0	0	0
		材料費	3,650	1,295	35.49
		其他經常支出	24,069	23,730	96.43

			小計	27,719	25,026	90.08
	資本門	土地建築		0	0	0
		儀器設備		2,700	2,688	99.54
		其他資本支出		404	404	100
		小計		3,104	3,092	99.61
		經費合計		30,823	28,118	91.22
政策依據	<ul style="list-style-type: none"> • NSTP-20210403030000：國家科學技術發展計畫(民國 110 年至 113 年) 4-3-3.核能除役邁向綠色社會 • EYGUID-01100515000000：行政院 110 年度施政方針 十五、嚴密監督核電廠運轉與除役作業及核廢料管理，持續推動公眾參與及資訊透明，厚實輻安管制、環境輻射偵測及災害防救能量；拓展原子能技術跨領域應用，研發能源及核後端產業關鍵技術。 					
本計畫在機關施政項目之定位及功能	<p>一、持續加強與歐、美、日原子能事務國際合作，積極拓展合作空間及夥伴，推廣原子能科學教育及媒體傳播，促進國人科技認知及興趣，借鏡國際原子能科技發展趨勢，建立國內原子能科技民生應用重要技術。</p> <p>二、核電廠屆期除役是目前既定政策，計畫所發展核電廠除役所涉電廠安全分析、輻射劑量評估，將有助未來原能會管制核電廠除役所涉相關安全評估及技術支援，確保核電廠除役安全品質。</p> <p>三、善用現有環境輻射偵測技術及經驗，結合國家海洋研究團隊及政府各部會現有資源，啟動臺灣海域海水輻射監測及重點魚場之海生物產品輻射調查，並強化環境輻射監測能量，另重新評估國民輻射劑量，作為環境輻射監測之參考。</p>					
計畫摘要	<p>細部計畫一：國際合作及技術交流</p> <p>1-1 核電廠除役之國際合作與交流</p> <p>1-2 國際原子能法規及趨勢之研究</p> <p>細部計畫二：核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究</p> <p>2-1 輻射劑量合理抑低技術開發與應用智慧機械之研究</p> <p>2-2 除役作業場所輻射分析之審查技術研究</p> <p>2-3 精進除役期間輻射管制技術之研究</p> <p>2-4 除役期間與除役後廠址環境輻射偵測報告審查技術建立及訓練</p> <p>細部計畫三：核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究</p> <p>3-1 除污策略和技術彙整及過渡期電廠安全分析</p> <p>3-2 地下水防護管制特性研析</p> <p>細部計畫四：海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估</p> <p>4-1 海陸域環境輻射調查</p>					

4-2 國民輻射劑量評估			
計畫目標與預期 關鍵成果之達成 情形	原設定	計畫目標 1 支援核電廠除役管制	預期關鍵成果 1 透過國際經驗及案例探討，提供原能會採納實施管制建議 2 件
		計畫目標 2 健全國土輻射資料庫	預期關鍵成果 1 透過海陸域樣品分析，完成 400 件放射性含量分析。
	達成情形 請依原設定進行 達成情形之說明	計畫目標 1 支援核電廠除役管制	達成情形 1 一、完成除役期間常用輻防管制偵測設備(表面污染)特性技術研究，提出建議可透過評估廢棄物密度進行質量-面積比調整，或搭配其他量測技術檢測結果，以驗證廢棄物表面殘餘輻射符合相關標準。 二、完成國內核能電廠進行除役作業時對取樣方法研析、表面除污技術應用探究、事件暫態之安全分析及取樣分析軟體等應用研究，提出建議供

			<p>原能會進行除役作業之管制參考。</p> <p>三、探討核一廠除役期間廠址地下水防護管制特性，提出地下水防護管制方案精進之管制建議，做為原能會審查與管制的重要參考。</p>
		<p>計畫目標 2</p> <p>健全國土輻射資料庫</p>	<p>達成情形 1</p> <p>完成海域樣品 518 件，陸域樣品 393，合計 911 件海陸域樣品放射性分析，分析結果顯示臺灣海陸域環境目前無輻射安全之疑慮。</p>
<p>計畫效益與重大突破</p>	<p>一、以視訊方式辦理台美、台日交流會議，深化雙方原子能事務合作關係；因應全球低軌道通訊衛星趨勢，完成「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」專利分析，並提出其技術布局策略及輻射效應地面測試所需設施環境。</p> <p>二、開發遠端操控之輻射偵檢智慧載具，以核研所貯存庫為標的進行實地偵測演練，成功蒐集繪製輻射場域地圖所需資訊，有助未來減少人員接受輻射曝露劑量；參考國際原子能總署文件，建立核一廠汽機廠房輻射評估模式，模擬汽機廠房污染情況；針對核電廠除役常用手持式污染偵檢器進行性能評估，協助原能會進行除役輻射偵檢與廠址調查及輻射檢測驗證等教育訓練。</p> <p>三、針對核電廠除役雷射除污方法及成效進行分析，並建立核二廠除役期間用過燃料池安全分析模式，探討核二廠護箱裝載池對喪失冷卻事故時序發展之影響，另提出核一廠除役期間地下水傳輸模式與防護監測方案。</p>		

	<p>四、完成海域樣品 518 件放射性分析，調查結果顯示臺灣海域環境無輻射安全之疑慮，海漁產品也無食安之疑慮；參考最新的國際文獻、劑量評估模式及我國現況調查資料，更新部分項目之國民輻射劑量評估結果，包含醫療輻射、攝食、地表輻射、職業曝露、飛航行為等所造成之劑量。</p>			
<p>遭遇困難與因應對策</p>	<p>一、原訂擴大辦理國際會議因新冠肺炎疫情影響，改以視訊方式或延後辦理，以致部份國際交流成效有限；另 110 年 5 月本土新冠肺炎疫情爆發，相關國內技術交流會議及科普活動均已配合各項防疫措施擇期舉辦。</p> <p>二、國內發展低軌道衛星抗輻射電子元件技術，首要需建立太空輻射驗證環境，由於近地軌道太空輻射效應主要為高能量質子引起，國內雖已有迴旋加速器產生質子源，惟其主要用途為治療及同位素藥物製作，欠缺良好晶片、太陽能電池等電子元件質子照射驗證及訊號量測環境，且研發能量過於分散，原能會已整合核研所 30MeV 迴旋加速器設施、高聚光太陽能技術，以及學研界晶片設計及製程技術進行技術互補，規劃自 111 年起先期進行輻射驗證環境建構及技術整合。</p> <p>三、醫療輻射劑量評估受限 110 年 5 月國內新冠肺炎疫情爆發，實地採樣調查作業受到影響，壓縮到計算劑量與分析統整數據的時間，經循行政程序計畫變更，預計 111 年 6 月底完成。</p>			
<p>後續精進措施</p>	<p>一、國際合作部分，將視國際疫情趨緩伺機辦理實體會議或持續以遠端視訊方式，持續與各國維持良好互動；另基於國際抗輻射電子元件專利佈局趨勢及輻射驗證環境規格，運用國內加速器設施及學研量能，進行輻射驗證環境建構及技術整合。</p> <p>二、核電廠除役管制技術研究部分，將研析各國除役廢棄物表面污染容許標準，以及除役廠址環境輻射偵測結果評估方法，並持續辦理除役廠址輻射偵檢審查技術教育訓練，以及精進過渡期間電廠安全分析及地下水防護管制能力。</p> <p>三、海域輻射調查部分，持續參考歷年調查結果及鄰近國家海域監測方法，滾動檢討臺灣海域未來監測策略，包含取樣位置、種類、頻率及監測核種，並以開放資料方式供各界利用。國民輻射劑量調查部分，將彙整歷年國民輻射劑量各分類評估調查結果，完成整體國民輻射劑量評估。</p>			
<p>計畫連絡人</p>	<p>姓名</p>	<p>林崴士</p>	<p>職稱</p>	<p>技正</p>
	<p>服務機關</p>	<p>行政院原子能委員會</p>		
	<p>電話</p>	<p>02-2232-2082</p>	<p>電子郵件</p>	<p>stan@aec.gov.tw</p>

第一部分

註：第一部分及第二部分（不含佐證資料）合計頁數建議以不超過 200 頁為原則，相關有助審查之詳細資料宜以附件方式呈現。

壹、目標與架構 (系統填寫)

一、總目標及其達成情形

1. 全程總目標：借鏡國際核電廠除役經驗，拓展我國原子能國際合作空間；強化核電廠除役管制技術及平行驗證能力，確保除役作業安全無虞，引領國內智慧機械產業跨足輻射應用領域。完善環境輻射資料庫，更新國民輻射劑量基準，輔助政府施政及決策。
2. 分年目標與達成情形：請填寫為達成上述計畫總目標，各年度計畫分年目標及其達成情形。

年度	分年目標*	達成情形 [®]
第一年 強化國際 經驗交流	參與國際核電廠除役相關會議及交流，研析原子能事務國際情勢。	辦理「2019 台美民用核能合作會議」，與美方就核電廠除役、核廢料管制經驗、研究成果及未來合作方向進行交流研商。研析國際原子能總署 TECDOC-1835 文件，提出避免技術支援組織利益衝突之外部資訊透明原則及內部自律規範等建議，作為原能會組織改造推動參考。
第二年 強化國際 經驗交流	邀請國際專家訪臺並進行核電廠除役經驗交流；依據國際原子能科技發展趨勢，提出研發策略。	因應新冠肺炎疫情影響，改透過視訊辦理「第6屆台日核能管制資訊交流會議」，與日方交流核電廠相關管制資訊，亦就疫情下管制因應對策交換意見；研析國際原子能總署近年推廣原

		子能跨國計畫趨勢，對照國內產業發展需求，提出合於國情之原子能科技發展策略藍圖，作為原能會科研推動之參考。
第三年 強化國際 經驗交流	擴大辦理核電廠除役相關國際會議，分享我國核電廠除役經驗；評估國內產業發展趨勢，釐清具潛力之原子能技術發展方向。	受限新冠肺炎疫情影響持續，原訂台法交流會議未能如期召開，至台美、台日交流會議改以視訊方式辦理；因應全球低軌道通訊衛星趨勢，完成「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」專利分析，並提出其技術布局策略及輻射效應地面測試所需設施環境。
第一年 輻射劑量 合理抑低	研析國際核電廠除役場所輻射分析調查技術、潛在風險及品質目標等，並提出輻射安全管理建議。	以國際 MARSSIM 及 MARSAME 調查程序為基礎，完成「核子反應器設施除役物質與設備處置偵檢導則(及其審查導則)」及「核子反應器設施除役輻射特性調查偵檢計畫導則與審查導則」草案，作為原能會未來審查輻射特性調查偵檢計畫之參考。
第二年 輻射劑量 合理抑低	研析國內核電廠除役之輻射分析、潛在風險及品質目標，並提出智慧載具整合方案。	完成除役階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案研究，並建置遠端遙控輻射偵檢智慧載具。

<p>第三年 輻射劑量 合理抑低</p>	<p>持續國內核電廠除役之輻射分析、潛在風險及品質目標探討，並強化輻射智慧載具之視覺技術及抗輻射能力研究。</p>	<p>完成國內核電廠除役常用輻射偵檢設備分析、數據品質目標(DQO)、數據品質評估(DQA)及統計方法適用性評估，並建立核一廠汽機廠房設備輻射評估模式，以及導入智慧載具空間輻射地圖建模及「目標優先模式」之路徑規劃方法，強化核電廠應用實務。</p>
<p>第一年 除役作業 安全無虞</p>	<p>研析國際核電廠除役經驗，就國內除役管制提出建議；探討國際化學除污技術及標準，評估我國之適用性；建立過渡期電廠安全分析能力，強化核電廠除役期間安全分析與驗證技術。</p>	<p>研析國際除役經驗，與我國現行管制法規比較後提出管制建議；蒐集國際標準化組織(ISO)、美國、俄羅斯、德國與日本所制定之除污標準，評估各項除污標準及技術用於我國核電廠除役管制之適切性；建立過渡期電廠安全分析能力，透過暫態案例分析、靈敏度分析以及救援策略評估，探討影響除役期間用過燃料池安全之重要參數。</p>

<p>第二年 除役作業 安全無虞</p>	<p>研析國際除役流程、成本、民眾溝通等議題，提出管制建議；探討國際非化學除污技術優劣；執行核一廠除役期間嚴重事故下輻射源項分析與評估，提出除役階段核電廠廠址地下水相關之管制建議。</p>	<p>完成國際原子能總署及美國核電廠除役有關費用估算、安全規範、指引及技術報告等定期安全檢查資料比對分析；探討各國機械、熔融、電化學、泡沫、複合技術除污等方式，提出管制要項及建議；針對除役期間核一廠用過燃料池特定事件執行重要情境及關鍵參數分析與評估，探討美國核電廠數據品質評估實例，比較運轉與除役期間廠址地下水防護管制法規架構與導則文件涉及管制重要議題之差異性。</p>
<p>第三年 除役作業 安全無虞</p>	<p>評估對於管制作業執行之影響、分析封閉與開放系統所考慮的除污程序、建立核二廠除役過渡期間用過核燃料池之安全事件模擬能力，建立除役期間廠址高遷移率核種傳遞至地下水之分析模型。</p>	<p>完成各國核電廠除役金屬與混凝土表面雷射除污之技術應用、除役過程典型除污工作項目(封閉式系統與開放式系統)採取之除污技術和廢棄物管理、以及電化學分析技術應用於沸水式反應器環境下不銹鋼表面之除污方法測試及評估；建立核二廠除役期間用過燃料池安全分析模式，探討核二廠護箱裝載池對喪失冷卻事故時序發展之影響；</p>

		完成國內核一廠除役期間地下水傳輸模式與防護監測方案，並提出管制建議。
第一年 擴大海域 輻射調查	臺灣海域輻射監測建構作業：透過衛星歷史資料探討臺灣鄰近海域水團之季節性變化，並進行海水、海底沉積物、海生物採樣及放射性核種分析。	完成海水試樣 167 件、海生物試樣 178 件以及沉積物試樣 88 件，總計 433 件之取樣及放射性分析，研究成果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。
第二年 擴大海域 輻射調查	持續臺灣海域輻射監測建構作業，洋流在臺灣鄰近海域持續海水、海底沉積物、海生物採樣及放射性核種分析。	完成海水試樣 312 件(含海水氡試樣 115 件)、海生物試樣 188 件以及沉積物試樣 83 件，總計 583 件之取樣及放射性分析。研究成果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。
第三年 擴大海域 輻射調查	持續臺灣海域輻射監測建構作業，完成臺灣海域輻射污染來源漂流軌跡推估模擬，並持續維持重要海域主要點位之取樣監測，以監測大陸沿岸核電廠之異常排放與太平洋海域方面可能對臺灣海域的影響。	完成海水試樣 208 件、海生物試樣 250 件以及沉積物試樣 60 件，總計 518 件之取樣及放射性分析。研究成果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。
第一年 建立國民 劑量基準	建立近五年食品飲水體內劑量及宇宙輻射劑量量測。進行室內外輻射劑量、醫療輻射、	對於氬氣劑量、地表與宇宙輻射體外劑量、食品體內劑量、消費產品抽菸劑量等已有初步評

	職業曝露與民生消費品輻射調查。	估結果；醫療劑量已取得健保資料庫開始規劃分析，並開始至各抽樣醫院進行現地劑量量測作業。
第二年 建立國民劑量基準	完成食品飲水體內劑量及職業曝露評估。	完成吸菸與食品等體內劑量評估。完成近5年年「全國輻射工作人員劑量資料統計年報」職業曝露劑量評估。
第三年 建立國民劑量基準	完成醫療輻射劑量、飛航輻射劑量及民眾關心之消費性產品輻射劑量評估。	醫療輻射劑量評估因於本土新冠肺炎疫情爆發影響醫療院所取樣調查工作，延至111年6月完成；另完成商用飛航輻射劑量評估約為0.012毫西弗/年，完成陶瓷耳環、貓砂、藍玉髓等物品所含微量天然放射性物質之活度濃度分析。

二、架構

細部計畫		主持人	執行機關	細部計畫目標	本年度效益、影響、重大突破
名稱	預算數/ (決算數) (千元)				
國際合作及技術交流	6,019/ (4,432)	陳志平	行政院原子能委員會	擴大辦理核電廠除役相關國際會議，分享我國核電廠除役經驗；評估國內產業發展趨勢，釐清具潛力之原子能技術發展方向。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 透過台美民用核能合作會議、台日核安管制資訊交流會議之定期舉辦，除持續深化既有合作管道外，並透過管制經驗及技術研發等軟實力提升國際能見度，另為強化對日相關核安管制及福島含氚廢水排放資訊聯繫與掌握，原能會已促成於駐日代表處增派一名秘書。 2. 因應全球低軌道通訊衛星趨勢，完成「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」專利分析，並提出技術布局策略及輻射效應地面測試所需設施環境，有助我國布局衛星電子元件自主抗輻射技術。
核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究	7,274/ (6,978)	蔡親賢	行政院原子能委員會 行政院原子能委員會核	持續國內核電廠除役之輻射分析、潛在風險及品質目標探討，並強化輻射智慧載具之視覺技術及抗輻射能力研究。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 應用智慧自動化載具，導入「目標優先模式」進行路徑規劃，並以核研所第三貯存庫為標的進行實地偵測演練，成功蒐集繪製輻射場域地

		能研究所		<p>圖所需資訊，後續可依原能會執行核電廠除役視察需求，進行高輻射區除役標的偵測演練，減少人員接受輻射曝露劑量。</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 參考國際原子能總署 NW-T-1.18 文件的建議，考量放射核種源項的產生、物理、化學性質及傳輸途徑，建立核一廠汽機廠房輻射評估模式，模擬汽機廠房之污染情況。 3. 針對核電廠除役常用手持式污染偵檢器進行性能評估研究，並完成國際第三方驗證案例蒐集研析，可作為原能會未來執行核電廠除役視察之參考。 4. 以美國多部會輻射偵測暨場址調查手冊(MARSSIM)中提供之案例，探討如何利用兩種不同統計檢定方法(WRS test 與 Sign test)，做出正確之結論，提供原能會作為未來審查核設施除役輻射偵檢設計及結果之參考。
--	--	------	--	--

核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究	6,730/ (6,011)	高 斌	行政院原子能委員會	評估對於管制作業執行之影響、分析封閉與開放系統所考慮的除污程序、建立核二廠除役過渡期間用過核燃料池之安全事件模擬能力，建立除役期間廠址高遷移率核種傳遞至地下水之分析模型。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 探討國際核電廠除役過程金屬與混凝土表面雷射除污技術，進行電化學分析技術應用於沸水式反應器環境下不銹鋼表面的除污特性評估，另建立核二廠除役期間用過核子燃料池安全分析模式並完成全黑事件與喪失冷卻水事件暫態分析，提供原能會核電廠除役管制參考。 2. 依據美國核電廠除役期間地下水防護相關指引文件，評析指引文件中所採行之實務作法，並檢視目前國內除役電廠地下水宿命傳輸模式以及防護監測方案，提出核一廠除役期間地下水傳輸模式與防護監測方案，提供原能會核電廠除役管制參考。
海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估	10,800/ (10,696)	徐明德	行政院原子能委員會輻射偵測中心	一、持續台灣海域輻射監測建構作業，完成台灣海域輻射污染來源漂流軌跡推估模擬，並持續維持重要海域主要點位之取樣監測，以監測大陸沿岸核電廠之異常排放與太平洋海域方面可能對臺灣	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成海水試樣 208 件、海生物試樣 250 件以及沉積物試樣 60 件，總計 518 件之海域取樣及放射性分析。另完成北、中、南及東部山區土壤 100 件、核設施周圍土壤 266 件，西部稻米 27 件，合計 393 件陸域取樣及放射性分析。相關分析結果顯示臺灣海陸域環境目前無輻射安全之疑慮。

			海域的影響。 二、完成醫療輻射劑量、飛航輻射劑量及民眾關心之消費性產品輻射劑量評估。	2. 完成醫療輻射劑量 8 種類別之階段性評估結果，國人主要消費食品中肉類及其內臟鈎-210 造成之國民輻射劑量為 0.598 毫西弗/年，農業用肥料對造成國民輻射劑量為 0.313 微西弗/年，商用飛航宇宙輻射造成國民輻射年劑量為 0.012 毫西弗/年，以及包含航空類職業曝露之國民輻射劑量為 1.654 微西弗/年，相關成果可作為未來整體國民輻射劑量評估之基礎。
--	--	--	---	--

三、細部計畫與執行摘要

細部計畫 1	國際合作及技術交流	計畫性質	科技政策規劃與管理
主持人	陳志平	執行機關	行政院原子能委員會
細部計畫目標	擴大辦理核電廠除役相關國際會議，分享我國核電廠除役經驗；評估國內產業發展趨勢，釐清具潛力之原子能技術發展方向。		
計畫投入 (Inputs)			
預算數 (千元) / 決算數 (千元) / 執行率	6,019 / 4,432 / 73.64%	總人力 (人年) 實際 / (規劃)	4 人年 / (4 人年)
其他資源投入	無		

主要工作項目	本年度重要成果	主要成果使用者/服務對象/合作對象
核電廠除役之國際合作與交流	<ol style="list-style-type: none"> 1. 台美民用核能合作視訊會議業於 110 年 3 月 24 及 25 日舉行完畢，雙方於會中就「反應器管制與法規相關研究」、「廢棄物管理與環境復原」、「先進核能科技」及「緊急應變管理」等四分組工作項目執行結果及未來規劃進行簡報，圓滿完成交流事宜。 2. 第 7 屆台日核安管制資訊交流視訊會議業於 7 月 20 日舉行完畢，雙方就東京電力福島第一核電廠事故調查及分析結果、美國 ROP 導入經驗、乾式貯存經驗與管制等議題進行交流，圓滿完成交流事宜。 3. 因應日本政府於 4 月發表日本福島核災含氫廢水海洋排放之決策，促成與日本專家於 8 月 27 日及 11 月 11 日舉辦 2 次線上技術交流會。另促成於駐日代表處增派一名秘書，以強化對日相關核安管制及福島含氫廢水排放資訊聯繫與掌握。 4. 原訂與法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSN)110年舉行之交流會議，因新冠肺炎疫情影響，已協調暫先延期至 111 年辦理。 5. 國際原子能總署(IAEA)公布「2020 年全球核子保防實施總結報告」(The Safeguards Statement for 2020)，我國連續第 15 年被宣告為「所有核物料均用於核能和平用途」國家之列，肯定我國確保國內所有核物料均用於核能和平用途之能力，有效提昇我國國際聲譽。 	原能會/國際組織/國際原子能總署、美國核管會、日本原子力規制委員會、法國輻射防護暨核能安全研究所等國際機構

國際原子能法規及趨勢之研究	<ol style="list-style-type: none"> 為提升全民原子能科學素養，業於 4 月 17 至 18 日假台中老虎城購物中心，以及 12 月 4 日屏東縣千禧公園自辦「i 上原子能 綠能 e 世界」科普展，透過「輻射應用」、「除役核廢」及「綠能科技」主題展區，讓參加民眾認識原子能科學知識及安全管制資訊。 完成「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」專利分析，包含衛星電子元件市場分析、關鍵技術分析、專利池建立及趨勢分析，並提出我國技術發展策略。 研析國際原子能總署、美國能源部國家實驗室、歐盟、日本及大陸地區原子能科研組織，並就「六大核心戰略產業」及「原子能科技民生應用」所涉醫療、糧食和農業、環境及水資源、量子科技、中子科學、太空科技、工業應用及半導體製程等 8 大領域進行技術項目盤點及關聯分析，另完成粒子加速器、下世代半導體設備及太空元件輻射照射等重要研究設施技術及應用分析。 	原能會/國內學研機構、一般民眾/核能研究所
主要績效指標 KPI 達成情形		
原規劃	辦理技術活動 4 場 決策依據 2 項 形成教材 1 件	達成情形 辦理技術活動 12 場 決策依據 2 項 形成教材 1 件
補充說明	<ol style="list-style-type: none"> 110 年 3 月 24 至 25 日辦理台美民用核能合作視訊會議。 分於 110 年 1 月 25 日、4 月 23 日及 9 月 14 日辦理 3 場次之「太空用的積體電路」案例專家訪談。 分於 110 年 2 月 1 日、4 月 23 日及 9 月 14 日辦理 3 場次之「抗輻射之電池製程」案例專家訪談。 110 年 7 月 20 日辦理第 7 屆台日核安管制資訊交流視訊會議。 	

	<ol style="list-style-type: none"> 5. 分於 110 年 8 月 27 日及 11 月 11 日與日本專家舉辦 2 場次之日本福島核災含氫廢水海洋排放技術交流視訊會議。 6. 分於 110 年 4 月 17 至 18 日台中及 12 月 4 日屏東辦理「i 上原子能 綠能 e 世界」科普展。 7. 提出太空用積體電路、太陽電池製程 2 項技術布局策略作為決策依據。 8. 彙整重要加速器設施及輻射應用設備之原理及應用，可做為原子能科技民生應用員工訓練教材。
本年度效益、影響、重大突破	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 透過台美民用核能合作會議、台日核安管制資訊交流會議之定期舉辦，除持續深化既有合作管道外，並透過管制經驗及技術研發等軟實力提升國際能見度，另為強化對日相關核安管制及福島含氫廢水排放資訊聯繫與掌握，原能會已促成於駐日代表處增派一名秘書。 2. 因應全球低軌道通訊衛星趨勢，完成「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」專利分析，並提出技術布局策略及輻射效應地面測試所需設施環境，有助我國布局衛星電子元件自主抗輻射技術。 	
遭遇困難與因應對策	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 原訂擴大辦理國際會議因新冠肺炎疫情影響，改以視訊方式或延後辦理，致部份國際交流成效有限。 2. 5 月份本土新冠肺炎疫情爆發，相關國內技術交流會議及科普活動均已配合各項防疫措施擇期舉辦。 3. 國內發展低軌道衛星抗輻射電子元件技術，首要需建立太空輻射驗證環境，由於近地軌道太空輻射效應主要為高能量質子引起，國內雖已有迴旋加速器產生質子源，惟其主要用途為治療及同位素藥物製作，欠缺良好晶片、太陽能電池等電子元件質子照射驗證及訊號量測環境，且研發能量過於分散，原能會已整合核研所 30MeV 迴旋加速器設施、高聚光太陽能技術，以及學研界晶片設計及製程技術進行技術互補，規劃自 111 年起進行「衛星元件太空輻射效應評估及先期技術建立」計畫，以先期進行輻射驗證環境建構及技術整合。 	

細部計畫 2	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究	計畫性質	公共服務
主持人	蔡親賢	執行機關	行政院原子能委員會
細部計畫目標	持續國內核電廠除役之輻射分析、潛在風險及品質目標探討，並強化輻射智慧載具之視覺技術及抗輻射能力研究。		
計畫投入 (Inputs)			
預算數 (千元) / 決算數 (千元) / 執行率	7,274 / 6,978 / 95.93%	總人力 (人年) 實際 / (規劃)	8.5 人年 / (8.5 人年)
其他資源投入	無		
主要工作項目	本年度重要成果		主要成果使用者/服務對象/合作對象
輻射劑量合理抑低技術開發與應用智慧機械之研究	應用智慧自動化載具，導入「目標優先模式」進行路徑規劃，並以核研所第三貯存庫為標的進行實地偵測演練，成功蒐集繪製輻射場域地圖所需資訊，後續可進行高輻射區除役標的的偵測演練，以減少人員接受輻射曝露劑量。		原能會/台電公司/核能研究所
除役作業場所輻射分析之審查技術研究	蒐集及借鏡國外除役相關案例及研究經驗，建立核一廠汽機廠房輻射評估模式驗證之先期發展研究模式，以較為經濟的方式，評估核一廠汽機廠房內，待拆除物設備內部低微污染的可能性，並對污染核種做定性分析與評估，計畫執行成果提供原能會於除役管制作業參考。		原能會/台電公司/國立陽明大學
精進除役期間輻射管制技術之研究	1. 完成除役期間常用輻防管制偵測設備(表面污染)特性技術研究，研究結果顯示，對於量測除役廢棄物表面殘餘輻射，使用 Ludlum Model 44-9 或 CoMo 170 偵檢器實務上以一般操作條		原能會/台電公司/核能研究所、國立清華大學

	<p>件難以符合 ANSI N13.12 所列標準之 50%，因此建議透過評估廢棄物密度進行質量-面積比(mass-to-surface ratio)調整，或搭配其他量測技術檢測結果，以驗證廢棄物表面殘餘輻射符合相關標準。</p> <p>2. 完成輻射偵檢之第三方驗證執行策略先期研究，核電廠除役第三方驗證是廠址釋出的最後把關，其起始時機為停機過渡階段，伴隨後續的除役進程持續進行過程中視察或獨立確認調查，建議隨時掌握除役進程預先進行第三方驗證計畫的安排與制定，使除役作業更有效率。</p>	
<p>除役期間與除役後廠址環境輻射偵測報告審查技術建立及訓練</p>	<p>1. 完成除役廠址環境輻射偵測結果評估方法研究，利用 DQO 程序進行輻射偵檢或取樣規劃，以提升偵檢之有效性及效率，俾最終得以做出正確且有效之決策；利用 DQA 程序進行輻射偵檢數據評估，可確保獲得之數據型態正確且具有質與量，以及選擇合適之統計分析方法及執行，以符合目標用途，並做出正確結論。其中，WRS test 之特點為已考慮污染物質存在於背景中，故可避免背景的干擾；Sign test 之特點為不需要任何的參考地區或物質，因此可以簡化最終狀態的偵測，因此應依據廠址狀況或待測標的選擇適用之統計方法。</p> <p>2. 舉辦「核設施除役輻射偵檢與廠址調查專業技術訓練」及「核設施除役輻射檢測驗證技術訓練」2 場技術訓練，合計 60 小時，以培訓除役稽核人員。</p>	<p>原能會/台電公司/核能研究所</p>

主要績效指標 KPI 達成情形			
原規劃	發表論文 1 篇 研究報告 1 份 形成教材 1 件	達成情形	發表論文 2 篇 研究報告 3 份 形成教材 2 件
補充說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 發表國內重要期刊「淺談核電廠除役最終狀態偵檢之獨立確認調查」及研討會論文「除役核電廠其輻射評估模式驗證之先期研究」各 1 篇。 2. 產出「除役期間常用輻防管制偵測設備（表面污染）特性研究」、「除役廠址環境輻射偵測結果評估方法研究」、「核一廠汽機廠房輻射評估模式驗證之先期發展研究」研究報告 3 份。 3. 形成「核設施除役輻射偵檢與廠址調查專業技術訓練」及「核設施除役輻射檢測驗證技術訓練」2 件員工訓練教材。 		
本年度效益、影響、重大突破			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 應用智慧自動化載具，導入「目標優先模式」進行路徑規劃，並以核研所第三貯存庫為標的進行實地偵測演練，成功蒐集繪製輻射場域地圖所需資訊，後續可依原能會執行核電廠除役視察需求，進行高輻射區除役標的偵測演練，減少人員接受輻射曝露劑量。 2. 參考國際原子能總署 NW-T-1.18 文件的建議，考量放射核種源項的產生、物理，化學性質、及傳輸途徑，建立核一廠汽機廠房輻射評估模式，模擬汽機廠房之污染情況。 3. 針對核電廠除役常用手持式污染偵檢器進行性能評估研究，並完成國際第三方驗證案例蒐集研析，可作為原能會未來執行核電廠除役視察之參考。 4. 以美國多部會輻射偵測暨場址調查手冊(MARSSIM)中提供之案例，探討如何利用兩種不同統計檢定方法(WRS test 與 Sign test)，做出正確之結論，提供原能會作為未來審查核設施除役輻射偵檢設計及結果之參考。 			
遭遇困難與因應對策			
無。			

細部計畫 3	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究	計畫性質	公共服務
主持人	高 斌	執行機關	行政院原子能委員會
細部計畫目標	評估對於管制作業執行之影響、分析封閉與開放系統所考慮的除污程序、建立核二廠除役過渡期間用過核燃料池之安全事件模擬能力，建立除役期間廠址高遷移率核種傳遞至地下水之分析模型。		
計畫投入 (Inputs)			
預算數 (千元) / 決算數 (千元) / 執行率	6,730 / 6,011 / 89.32%	總人力 (人年) 實際 / (規劃)	11 人年 / (11 人年)
其他資源投入	無		
主要工作項目	本年度重要成果		主要成果使用者/服務對象/合作對象
除污策略和技術彙整及過渡期電廠安全分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成研析雷射除污技術相關之系統與射束參數、雷射剝蝕原理、適用表面材質與污染物、評析各國除役核電廠之相關應用實例並提出相應管制建議。 2. 完成彙整核電廠除役時的典型除污工作項目（封閉式系統與開放式系統）所採取之除污技術及廢棄物管理方面的考量，並蒐集各國除役核電廠之相關應用實例提出重點成果及管制建議。 3. 完成電化學分析技術應用於沸水式反應器環境下不銹鋼表面的除污方法研究開發，納入不同的金屬材料進行電化學除污條件測試，研析評估不同材料的除污特性，提出管制參考事項。 4. 建立核二廠除役期間用過燃料池安全分析模式，探討核二廠是否考量護箱裝載池對喪失冷卻事故時序發展之影響性進行研析 		原能會/台電公司/國立清華大學

	與比較，掌握核電廠於除役階段意外事故發展時序與關鍵因子，提供原能會執行審查作業與評估之佐證依據。		
地下水防護管制特性研析	依據美國核電廠除役期間地下水防護相關指引文件，評析指引文件中所採行之實務作法，完成檢視目前國內除役核一廠地下水宿命傳輸模式以及防護監測方案，提出除役廠址地下水防護管制建議。		原能會/台電公司/國立中央大學
主要績效指標 KPI 達成情形			
原規劃	培育及延攬人才 6 名 研究報告 3 份 決策依據 1 項	達成情形	培育及延攬人才 15 名 研究報告 3 份 決策依據 2 項
補充說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 培育核電廠除役工程領域相關碩士 15 人。 2. 產出「核電廠除役期間安全評估技術強化及廠址取樣方法品質研析」、「核電廠除役期間除污策略和技術彙整」、「核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析」研究報告 3 份。 3. 提出除污策略及過渡期核二廠安全分析、核一廠地下水防護 2 項管制建議作為決策依據。 		
本年度效益、影響、重大突破			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 探討國際核電廠除役過程金屬與混凝土表面雷射除污技術，進行電化學分析技術應用於沸水式反應器環境下不銹鋼表面的除污特性評估，另建立核二廠除役期間用過核子燃料池安全分析模式並完成全黑事件與喪失冷卻水事件暫態分析，提供原能會核電廠除役管制參考。 2. 依據美國核能電廠除役期間地下水防護相關指引文件，評析指引文件中所採行之實務作法，並檢視目前國內除役電廠地下水宿命傳輸模式以及防護監測方案，提出核一廠除役期間地下水傳輸模式與防護監測方案，提供原能會核電廠除役管制參考。 			
遭遇困難與因應對策			
無。			

細部計畫 4	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估	計畫性質	公共服務
主持人	徐明德	執行機關	行政院原子能委員會輻射偵測中心
細部計畫目標	持續台灣海域輻射監測建構作業，完成台灣海域輻射污染來源漂流軌跡推估模擬，並持續維持重要海域主要點位之取樣監測，以監測大陸沿岸核電廠之異常排放與太平洋海域方面可能對台灣海域的影響。完成醫療輻射劑量、飛航輻射劑量及民眾關心之消費性產品輻射劑量評估。		
計畫投入 (Inputs)			
預算數 (千元) / 決算數 (千元) / 執行率	10,800 / 10,696 / 99.04%	總人力 (人年) 實際 / (規劃)	8 人年 / (8 人年)
其他資源投入	無。		
主要工作項目	本年度重要成果	主要成果使用者/服務對象/合作對象	
海陸域環境輻射調查	<ol style="list-style-type: none"> 1. 調查結果顯示臺灣海域海水之鈾 137 (mBq/L)於水下 200 至 400 米處略高其他水層，但皆在背景變動範圍內，其魚類主要為大洋洄游魚類，鈾-137 含量為 0.13~0.61(Bq/kg)，雖較於沿海魚類藻貝蝦等底棲類稍高，仍遠低於食藥署管限制值 100(Bq/kg)。 2. 110 年完成海水試樣 208 件、海生物試樣 250 件以及沉積物試樣 60 件，總計 518 件之取樣及放射性分析，研究成果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。 3. 110 年完成台灣北、中、南及東部山區土壤 100 件、核設施周圍土壤 266 件，西部稻米 27 件分析，以健全國土輻射地圖資料庫。 	輻射偵測中心/一般民眾/海洋委員會海巡署、國立中山大學、財團法人臺灣海洋保育與漁業永續基金會、國立嘉義大學	

<p>國民輻射劑量評估</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 醫療輻射：完成健保資料庫的人數趨勢再評估、統整各類檢查項目年頻次等資料、完成 32 個類次之取樣醫院檢查序列調查，以及精進與微調 51 個檢查項目，合計 138 個檢查序列之劑量評估模型。以目前完成統計之 64 個類次分別以 ICRP 60 號與 ICRP 103 號報告所述方法評估國民平均年劑量，醫療輻射曝露之階段性結果分別為：電腦斷層為 1.03 毫西弗、1.05 毫西弗；核子醫學 0.15 毫西弗(ICRP 60)；心臟類介入性透視攝影為 0.28 毫西弗、0.30 毫西弗；非心臟類介入透視攝影為 0.05 毫西弗、0.05 毫西弗；傳統透視攝影 0.02 毫西弗、0.02 毫西弗；一般傳統 X 光 0.09 毫西弗、0.08 毫西弗；乳房攝影 1.4 微西弗、3.3 微西弗；牙科攝影 1.2 微西弗、3.4 微西弗。 2. 天然背景輻射：110 年新增 50 處戶外地表輻射，經彙整歷年實測之環境輻射結果，目前已有 497 處戶外地表輻射、50 戶室內地表輻射、27 處中子宇宙射線及加馬宇宙射線之偵測結果。在體內放射性核種攝入部份，今年進一步針對國人主要消費食品中的魚、豬、牛、雞肉及其內臟進行鈾-210 放射性核種含量分析，共完成 63 件，其中有 8 件（花腹鯖魚肝臟等）活度濃度超過 100 Bq/kg-鮮重，11 件（三線機鱸魚肝臟等）活度濃度介於 10~100 Bq/kg-鮮重，13 件（秋刀魚魚肉等）活度濃度介於 1~10 Bq/kg-鮮重，14 件小於儀器最低可測活度濃度；依據衛福部食藥署國家攝食資料庫 106 年 11 月 12 日所公布 19 至 65 歲之平均攝食量，經計算評估，因攝食魚豬牛雞等內臟及肉品中所含鈾-210 造成之國民輻射劑量為 0.598 毫西弗/年。 	<p>輻射偵測中心/一般民眾/行政院農業委員會農業試驗所、財團法人中華民國輻射防護協會</p>
-----------------	---	---

- | | | |
|--|--|--|
| | <p>3. 產業活動：完成國內農業用肥料對農民造成輻射劑量的調查評估，國民輻射劑量為 0.313 微西弗/年；針對雲林麥寮、高雄興達與台中火力發電廠等三個電廠進行燃煤電廠周圍環境土壤輻射強度調查，經調查其周圍土壤輻射劑量量測結果為一般地表加馬輻射，故居住於該地區的居民並不會因此獲得較高的輻射劑量。</p> <p>4. 消費性產品：完成國人飛航行為調查與劑量初步評估，在考量飛航時間、緯度、太陽活動等影響因素下，以法國 SIEVERT 模式進行主要航線之劑量計算，評估高雄來回澳門、桃園來回美國紐約、兩岸線、松山來回上海虹橋、桃園來回北京等國際線之總劑量，綜合各項評估結果推估商用飛航宇宙輻射所造成之國民輻射劑量約為 0.012 毫西弗/年；此外，也完成陶瓷耳環、貓砂、藍玉髓等物品所含微量天然放射性物質之活度濃度分析。</p> <p>5. 職業曝露：依據 104 年至 109 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」之劑量監測數據，近六年職業輻射曝露之國民輻射年劑量落在 0.234~0.366 微西弗/年之間，平均值為 0.281 微西弗/年；整體而言，我國的職業輻射從業人數雖增加，但年集體有效劑量則逐年下降，故職業曝露之國民輻射年劑量呈現長期下降趨勢。惟因「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」並無民用航空職業曝露相關監測數據，另以 UNSCEAR 1993 報告之飛航從業人員之個人年有效劑量（3 毫西弗/年）及國籍航空飛航工作人數進行估算，104~109 年民用航空職業曝露之平均年集體有效劑量為 32.34 人-西弗，換算成國民輻射劑量為 1.373</p> | |
|--|--|--|

	微西弗/年，與劑量監測所得之國民輻射年劑量(0.281 微西弗/年)加總，職業曝露之國民輻射劑量為 1.654 微西弗/年。		
主要績效指標 KPI 達成情形			
原規劃	發表論文 2 篇 培育及延攬人才 6 名 海陸域樣品放射性分析 400 件	達成情形	發表論文 5 篇 培育及延攬人才 10 名 海陸域樣品放射性分析 911 件
補充說明	<ol style="list-style-type: none"> 1. 發表國內研討會論文「台灣鄰近海域海產物放射性含量調查」、「Establishment of radiation doses for pediatric X-ray examinations in several hospitals in Taiwan」，國際研討會論文「BMI-adjusted Dose Conversion Factor of Effective Dose Estimation for Coronary Computed Tomography Angiography: Patient Study」，國外一般期刊「A rapid method for Cs-137 preconcentration from seawater by using polyaluminum chloride as coagulant」、「Radiocesium in the Taiwan Strait and the Kuroshio east of Taiwan from 2018 to 2019」。 2. 培育醫療輻射劑量評估人才碩士 3 人，學士 3 人；海洋科學及放射性分析人才博士 1 人，碩士 2 人，學士 1 人。 3. 完成海域樣品 518 件，陸域樣品 393，合計 911 件海陸域樣品放射性分析。 		
本年度效益、影響、重大突破			
<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成海水試樣 208 件、海生物試樣 250 件以及沉積物試樣 60 件，總計 518 件之海域取樣及放射性分析。另完成北、中、南及東部山區土壤 100 件、核設施周圍土壤 266 件，西部稻米 27 件，合計 393 件陸域取樣及放射性分析。相關分析成果顯示臺灣海陸域環境目前無輻射安全之疑慮。 2. 完成醫療輻射劑量 8 種類別之階段性評估結果，國人主要消費食品中肉類及其內臟鈎-210 造成之國民輻射劑量為 0.598 毫西弗/年，農業用肥料對造成國民輻射劑量為 0.313 微西弗/年，商用飛航宇宙輻射造成國民輻射年劑量為 0.012 毫西弗/年，以及包含航空類職業曝露之國民輻射劑量為 1.654 微西弗/年，相關成果可作為未來整體國民輻射劑量評估之基礎。 			

遭遇困難與因應對策

1. 醫療輻射劑量評估無法在同一家醫院完成取樣 8 類別。本計畫目標為 3 年內完成 12 家醫院，共計 96 個類次(8 種類別*12 家醫院)的檢查序列調查，計畫執行至今，研究團隊發現 8 種類別分布在醫院四大不同部門。(一)診斷科部門為：電腦斷層檢查、非心臟類介入性透視攝影檢查、傳統透視攝影檢查、一般傳統 X 光檢查、乳房攝影檢查。(二)核子醫學科部門為：核子醫學檢查。(三)心臟科部門為：心臟類介入性透視攝影檢查。(四)口腔牙科部門為：牙科攝影檢查。聯絡拜訪每家醫院的四大部門後發現，醫院將醫學診斷與治療為第一優先順位，參與取樣計畫未必是醫院的主要考慮，因此同一家醫院四大部門的 8 種類別，都需要個別聯繫探詢合作意願，有些部門會因臨床檢查忙碌的原因拒絕參與，導致在同一醫院裡，未必都能取樣到完整的 8 種類別的資料，其中又以取得心臟科部門的心臟類介入性透視攝影檢查之同意最為困難。此外，加入計畫取樣的區域醫院或地區醫院，可能會缺少核子醫學部門、心臟科部門、或牙科部門。為了使計畫達到目標 96 個類次之取樣，因應作法為：以執行總共 96 個類次為原則，盡量讓 8 種類別都能分別取樣 12 家醫院，若遇到有些部門無法配合，則再聯繫其他醫院的意願，目前心臟類介入性透視攝影檢查、非心臟類介入性透視攝影檢查、核子醫學檢查無法達到取樣 12 家醫院的目標，將以其他類別代替。
2. 醫院配合度會影響取樣時程長短。醫療院所臨床作業忙碌且流程繁複，為不影響取樣醫院臨床作業進行，取樣調查的時間安排需配合院方調度，若現場取樣過程遇到臨時突發狀況，即刻暫停取樣，必要時擇期重新安排；除此之外，取樣過程可能操作院方檢查設備，操作檢查設備需院方的人力協助，但院方人力有限且忙碌，取樣時一樣需配合院方安排與調度。
3. 110 年 5 月至 8 月因本土新冠肺炎疫情爆發，實地採樣調查作業受到影響，雖已在 10 月後已追回落後進度，並在 110 年底順利完成 96 個類次之取樣醫院檢查序列調查，但仍壓縮到計算劑量與分析統整數據的時間，經與計畫受委託單位審慎討論後，為確保數據之完整性及客觀性，已循行政程序將計畫展期至 111 年 6 月 30 日止，111 年上半年將完成推算 8 種類別之集體有效劑量，並更新至 96 個類次結果進行估算國民平均年劑量，彙整國民醫療輻射劑量資料（包含完整 96 個類次）。

貳、經費執行情形

一、經資門經費表

單位：千元；%

	110 年度					111 年度 預算數	112 年度 申請數	備註
	預算數 (a)	初編決算數			執行率 (d/a)			
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)				
總計	30,823	27,598	520	28,118	91.22%	27,721	-	
一、經常門小計	27,719	24,506	520	25,026	90.08%	24,727	-	
(1)人事費	0	0	0	0	-	0	-	
(2)材料費	3,650	1,295	0	1,295	35.49%	3,000	-	執行率不佳
(3)其他經常支出	24,069	23,210	520	23,730	96.43%	21,727	-	
二、資本門小計	3,104	3,092	0	3,092	99.61%	2,994	-	
(1)土地建築	0	0	0	0	-	0	-	
(2)儀器設備	2,700	2,688	0	2,688	99.54%	2,900	-	
(3)其他資本支出	404	404	0	404	100%	94	-	

		108 年度 決算數	109 年度 決算數	110 年度 決算數 (執行率)	111 年度 申請數	備註
綱要計畫總計		37,218	32,690	28,118 (91.22%)	27,721	
一、國際合作及技術交流	小計	1,507	4,464	4,432 (73.64%)	8,971	執行率偏低
	經常支出	1,465	3,409	4,028 (71.74%)	8,877	執行率偏低
	資本支出	412	1,055	404 (100%)	94	
二、核電廠除役階段之 輻射安全管理與規 劃技術研究	小計	8,721	8,925	6,978 (95.93%)	5,950	
	經常支出	7,221	7,426	5,990 (95.47%)	4,950	
	資本支出	1,500	1,499	988 (98.84%)	1,000	
三、核電廠除役各階段 工程技術與分析應 用研究	小計	7,940	7,764	6,011 (89.32%)	5,900	
	經常支出	7,940	7,764	6,011 (89.32%)	5,900	
	資本支出	0	0	0 (-)	0	
四、海陸域輻射調查及 國民輻射劑量評估	小計	13,441	11,636	10,696 (99.04%)	6,900	
	經常支出	10,190	9,780	8,997 (98.87%)	5,000	經費保留 52 萬
	資本支出	3,251	1,856	1,699 (99.96%)	1,900	
五、核電廠除役之室內乾貯 安全分析平行驗證研究	小計	5,608	-	-	-	109 年起退場
	經常支出	5,608	-	-	-	
	資本支出	0	-	-	-	

二、經費支用說明

(一) 經常門

- 1.材料費：主要用於支應研究所需實驗材料、光電零件、電腦耗材等消耗性材料費及實驗室維護費等約 130 萬元。
- 2.其他經常支出：主要用於支應委辦費，包含委託國立清華大學執行「輻射偵檢之第三方驗證執行策略先期研究」162 萬元及「核電廠除役期間除污策略技術彙整與安全評估及相關特性分析」計畫 510 萬元，委託國立中山大學執行「台灣海域輻射背景調查計畫」420 萬元，委託財團法人輻射防護協會辦理「國民醫療輻射劑量調查研究計畫」260 萬元，委託國立陽明交通大學辦理「核一廠汽機廠房輻射評估模式驗證之先期發展研究」計畫 80 萬元，委託國立中央大學辦理「核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析」計畫 91.1 萬元，委託國立虎尾科技大學辦理「國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究」計畫 92.5 萬元，以及研究所需教育訓練、差旅費、審查費、行政管理費等支出，共計約 2,503 萬元。

(二) 資本門

- 1.儀器設備：主要用以購置輻射偵檢載具機器人相關環境監測與通訊模組 30 萬元，另執行環境輻射偵測所需偵檢設備及前處理設備 238.8 萬元，計 268.8 萬元。

(1)輻射偵檢載具機器人：

因應開發自走巡查模式輻射偵檢智慧載具需求，為提升智慧機械載具自主路徑規劃行走性能，除搭載里程計、3D 光學雷達與 VO(Visual Odometry)視覺輔助定位機制，並擴增通訊模組功能強化遠端遙控效能。

(2) 輻射偵檢設備：

因應環境輻射偵測需求，購置純鍍加馬能譜分析儀（含液態氮儲存桶）約 144 萬元、表面污染偵檢器 2 台約 29 萬元，以及海水及環測分析所需鹽度計、電子天平、加熱攪拌器、三孔分解爐、分光

光度計等樣品分析前處理設備約 65.8 萬元。

2.其他資本支出：因應計畫管理需求，購置專案系統資料庫授權費約 38.5 萬元及印表機設備 1.9 萬元，共計約 40.4 萬元。

三、經費實際支用與原規劃差異說明

(一) 經常門

1.整體計畫：整體計畫材料費執行率 35.49%（整體原概估 365 萬元，實際執行 102.9 萬元）不佳，主因為細部計畫「核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究」（原概估 215 萬元，實際執行僅 97.8 萬元）及「海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估」（原概估 150 萬元，實際執行僅 24.1 萬元）材料費高估，致整體執行率不佳，將納入後續 111 年計畫經費分配檢討改善。

2.細部計畫：

(1)「國際合作及技術交流」經常支出執行率 71.74%偏低（原概估 561.4 萬元，實際執行 402.8 萬元），主因為 110 年 COVID-19 疫情持續影響，原訂出國交流計畫 77.8 萬元及舉辦國際會議費 40 萬元暫緩執行或改以視訊會議方式辦理所致，考量國際疫情已趨緩且基於國際交流合作為長期性工作，嗣後仍將視國際疫情及各項防疫措施積極推動。

(2)「海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估」項下「國民醫療輻射劑量評估研究計畫」因 110 年 5 月至 8 月期間本土 COVID-19 疫情爆發，嚴重影響執行醫療院所取樣作業，雖於疫情趨緩後積極追趕取樣進度，仍壓縮劑量分析及統整數據時程，為求醫療劑量評估之完整性及可靠度，相關工作順延至 111 年 6 月底完成，所需經費 52 萬元辦理保留。

(二) 資本門

合於預期。

第二部分

註：第一部分及第二部分（不含佐證資料）合計頁數建議以不超過 200 頁為原則，相關有助審查之詳細資料宜以附件方式呈現。

壹、成果之價值與貢獻度

一、學術成就(科技基礎研究)

研究產出核電廠除役、輻射偵測、海洋放射性核種分析及輻射劑量評估等領域期刊及研討會論文共 9 篇 (詳如下列)，其中刊登於國內期刊 1 篇，國外期刊 2 篇，另產出研究報告 14 份，養成科技政策、核電廠除役工程、海洋調查及醫療輻射劑量評估 4 個跨領域合作團隊，有助於我國相關領域之基礎研究發展。

- 劉鴻鳴，淺談核電廠除役最終狀態偵檢之獨立確認調查，輻防簡訊第 165 期，110 年 10 月 15 日。
- 許世明，除役核電廠其輻射評估模式驗證之先期研究，中華民國醫學物理學會會員大會暨學術研討會，110 年 12 月 11 日。
- 葉宗洸，核電廠除役時 304 不銹鋼與碳鋼之電化學除污技術研究，防蝕工程年會暨論文發表會，110 年。
- 陳韶萱，運用 VSP 進行核二廠除役最終狀態偵檢之取樣規劃與取樣結果統計分析，中國機械工程學會/110 年會暨第 38 屆全國學術研討會，110 年。
- 尤建偉，台灣鄰近海域海產物放射性含量調查，食品衛生檢驗科技研討會，110 年。
- 何俊逸，Establishment of radiation doses for pediatric X-ray examinations in several hospitals in Taiwan，中華民國醫學物理學會會員大會暨學術研討會，110 年 12 月 11~12 日。
- Wan-Ling Chen, “A rapid method for ¹³⁷Cs preconcentration from seawater by using polyaluminum chloride as coagulant,” Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, July 2021.
- Wei-Jen Huang, “Radiocesium in the Taiwan Strait and the Kuroshio east of Taiwan from 2018 to 2019,” SCIENTIFIC REPORTS, Nov. 2021.
- Chin-Sheng Lin, “BMI-adjusted Dose Conversion Factor of Effective Dose Estimation for Coronary Computed Tomography Angiography:

Patient Study,” 21st Asia-Oceania Congress of Medical Physics, Dec. 2021.

二、技術創新(科技技術創新)

- (一) 由於台電公司核二廠除役計畫安全分析未考量到護箱裝載池，因此探討在停機 7 天之案例下，是否考量護箱裝載池對喪失冷卻事故時序發展之影響性做分析與比較。分析結果得知，在核二廠用過燃料池發生全黑事故時，考量護箱裝載池將使分析之系統提供更多的水存量，儘管護箱裝載池存放的燃料具有衰變熱，但因其衰變熱數值較低，因此綜合效應下對整體系統熱流分析是有助益的。在用過燃料池安全評估中若未考量護箱裝載池之分析結果顯示，屬相對保守且可接受的。
- (二) 以開源架構機器人操作系統為基礎，開發自走巡查模式輻射偵檢智慧載具，提升智慧機械載具自主路徑規劃行走性能，並搭載里程計、3D 光學雷達與 VO 視覺輔助定位機制，以擴增載具移動搜索範圍、地圖偵測速率及定位可靠度，以達到地圖建模功能。現有載具主體運算核心架構採用嵌入式系統，運用開源架構之機器人作業系統(Robot Operating System)編輯移動載具操控模式，並導入同步定位與地圖建構(Simultaneous localization and mapping, SLAM)演算法，可協助識別實體障礙物，導入載具運行路徑規劃應用，再經由載具機組上環境偵測處理後資訊，依任務需求設定，施行自主路徑規劃修訂。相關成果除已於 109 年取得國內發明專利「可用於移動載具以偵測安全或危險區域之系統與方法」(專利號 I711014)，並獲 110 年台灣創新技術博覽會銅牌獎；110 年進一步應用此技術概念於核電廠除役申請「應用於核能發電廠除役之人工智慧系統及其分析方法」發明專利，未來將進一步尋求合作廠商進行技轉。

三、經濟效益(經濟產業促進)

本計畫研究成果有助提供國內廠商與國外廠商合作機會，進而促進國內相關產業的經濟活動，如引入國際核電廠除役的最新資訊，開發雷射除污技術及電化學金屬除污技術、核電廠用過燃料池安全分析、智慧機具應用於現場輻射偵測減少人員劑量等，可應用於核電廠除役工程跨領域整合及管理，另完成「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」專利分析，有助電子產業掌握太空市場全球技術布局重點。

四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

臺灣海域輻射調查計畫調查樣品包含海水、海生物及沉積物(岸沙、河砂、海底沉積物)，調查範圍含括臺灣沿岸地區及離島地區(金門、馬祖、澎湖、蘭嶼、東沙及南沙)，110年所取得樣品及分析已完成海水試樣 208 件、海生物試樣 250 件以及沉積物試樣(岸沙、河砂及海底沉積物) 60 件，總計 518 件海域取樣及放射性分析，另完成北、中、南及東部山區土壤 100 件、核設施周圍土壤 266 件，西部稻米 27 件，合計 393 件陸域取樣及放射性分析。相關放射性分析結果皆遠低於法規規範標準，顯示臺灣海陸域環境目前尚無輻射污染之安全疑慮。

國民輻射劑量部分，110年完成醫療輻射、職業曝露、產業活動(燃煤電廠、肥料使用)、飛航行為及天然背景輻射等項目之調查，並獲得初步的評估結果，國民輻射劑量評估結果將提供相關政府部門決策單位參考，以提升國內輻射度量能力，精進輻射災害應變技術能力，並做為後續與民眾宣導溝通之佐證資料。

五、其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)

科技政策管理：

因應非核家園能源政策，核電廠逐步退場，為推動國家原子能科技轉型，妥善運用原子能及其衍生技術提升太空產業附加價值，針對衛星小型化趨勢所需抗輻射晶片及太陽電池技術，完成「太空用的積體電路」

及「抗輻射之電池製程」專利分析，並提出技術布局策略及太空輻射效應測試所需輻射照射環境，有助我國布局衛星電子元件自主抗輻射技術。

人才培育：

(一) 核電廠除役作業係為一跨領域多元之程序，無論就國際經驗、技術規範、輻射偵檢作業之數據品質評估、除役階段風險管理、人員劑量、除污技術、廠址地下水防護、除役期間安全分析等均與核電廠除役之安全審查與管制工作習習相關，本計畫之執行使參與成員更深入瞭解國際除役現況、除役廠址特性之數據品質評估的程序與規範、除污專業技術、廠址地下水防護等議題，並強化除役安全分析能力，藉此促進研究人員及學生相關專業知識與能力，除可協助培植國內在核電廠除役技術的專業人力外，也可強化核電廠除役安全管制人才的技術能力。

(二) 環境輻射研究部分，透過引進國外輻射偵測與分析儀器，並與國內海洋相關部會及學術機構合作，實務進行海域放射性分析及醫療輻射劑量評估，藉由提升量測技術與系統分析能力建立，培育海洋研究、輻射偵測與劑量評估之跨領域研究人才。

國際合作：

原能會多年來已與歐、美、日建立原子能交流合作管道，近年因國際貿易保護趨勢及半導體供應鏈議題，我國逐漸成為國際關注焦點，亦為我國拓展原子能國際合作之良好契機，本計畫執行無論在核電廠除役技術交流、國際原子能資訊蒐集、核子保防工作推動等，除持續性深化既有國際原子能總署、美、日、法合作管道外，尋求新國際組織事務之參與機會，以建立良性且關鍵之國際人脈，並透過核電廠除役管制經驗及原子能科技研發等軟實力提升國際能見度。

支援核電廠除役管制：

(一) 建立核一廠汽機廠房輻射評估模式驗證之先期發展研究模式，以較為經濟的方式，評估核一廠汽機廠房內，待拆除物設備內部低微污染的可能性，並對污染核種做定性分析與評估，提供原能會

除役管制作業參考。

- (二) 針對核電廠除役產生放射性廢棄物解除管制，提出建議可透過評估廢棄物密度進行質量-面積比(mass-to-surface ratio)調整，或搭配其他量測技術檢測結果，以驗證廢棄物表面殘餘輻射符合相關標準。
- (二) 研析雷射除污技術相關之系統與射束參數、雷射剝蝕原理、適用表面材質與污染物、評析各國除役核電廠之相關應用實例，並提出相應管制建議。
- (三) 開發電化學分析技術應用於沸水式反應器環境下不銹鋼表面的除污方法，納入不同的金屬材料進行電化學除污條件測試，研析評估不同材料的除污特性，提出管制參考要項。
- (四) 建立核二廠除役期間用過燃料池安全分析模式，探討核二廠是否考量護箱裝載池對喪失冷卻事故時序發展之影響性進行研析與比較，掌握除役階段意外事故發展時序與關鍵因子，提供原能會執行審查作業與評估之佐證依據。
- (五) 探討核一廠除役期間廠址地下水防護特性，就潛在污染源評估、地下水位監測、審查項目、分析參數等議題提出管制建議，做為原能會未來審查與管制的重要參考。

貳、檢討與展望

一、國際合作及技術交流

- (一) 核一廠已於 108 年陸續展開相關除役工作，核二廠除役計畫亦於 109 年通過原能會審查，至核三廠除役計畫台電公司已於 110 年提交原能會進行審查，在核電廠除役國際交流部分雖因新冠肺炎疫情影響，原規劃法國交流活動延後舉辦，與美、日實體交流活動改以視訊方式辦理，惟仍與各國維持密切聯繫及良好互動，111 年全球疫情有望趨緩，嗣後除伺機回復相關實體交流活動，亦可藉由疫情期間雙方已建立遠端視訊模式，持續加強交流核電廠除役和管制經驗交流，並增加與歐洲國家交流、場次及討論議題。
- (二) 因應我國原子能科研轉型所需，109 年已借鏡國際原子能總署科研推動重點及國內產業發展趨勢提出原子能科技民生應用發展策略藍圖，110 年基此策略藍圖，完成太空抗輻射晶片及太陽電池專利分析，並提出其技術布局策略及輻射效應地面測試所需設施環境需求。111 將賡續整合國內學研機構晶片研發能力及核研所質子照射設施、太陽光電技術，就國內電子元件所需輻射照射及量測環境進行先期規劃及研發，俾建構我國抗輻射晶片科研環境。

二、核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究

- (一) 110 年度更新輻射偵檢智慧載具之「目標優先模式」功能，並完成核研所低放射性廢棄物貯存庫場域實地偵測演練作業，成功蒐集繪製輻射場域地圖所需資訊，相關偵檢智慧載具開發已完成階段性任務，自 111 年起退場。
- (二) 110 年已完成核一廠汽機廠房輻射評估模式驗證之先期發展研究，探討核一廠汽機廠房空浮污染，及蒸汽/爐水遠距活化污染。在空浮污染累積設備表面濃度部分，參考 RESRAD-BUILD 方法論提出評估模式；在遠距活化部分，探討受到反應爐水/蒸汽攜帶放射性同位素的影響，在汽機廠房流徑中衰變釋出延遲中子及光子，可能導致未直接與爐水接觸的設備或系統被活化污染。111 年規劃

進行除役廢棄物表面污染容許量標準研究，俾支援原能會後續核一廠除役第一階段「過渡階段」及第二階段「拆廠階段」輻安管制業務所需。

(三) 110年已完成除役期間常用輻防管制偵測設備(表面污染)特性研究，以及第三方驗證執行策略先期研究，111年將進行除役期間常用輻防管制偵測設備(體污染)特性研究，俾支援原能會後續核一廠除役第一階段「過渡階段」及第二階段「拆廠階段」輻安管制業務所需。

(四) 110年已完成除役廠址環境輻射偵測結果評估方法研究，並辦理核設施除役輻射偵檢與廠址調查及輻射檢測驗證等技術訓練，111年將進行除役廠址環境輻射偵測取樣數目及取樣位置研究，並持續辦理除役廠址輻射偵檢審查技術教育訓練，俾支援原能會後續核一廠除役第三階段「最終偵測階段」輻安管制業務所需。

三、核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究

(一) 110年已探討核電廠除役過程金屬與混凝土表面雷射除污技術，進行電化學分析技術應用於沸水式反應器環境下不銹鋼表面的除污特性評估，另建立核二廠除役期間用過核子燃料池安全分析模式並完成全黑事件與喪失冷卻水事件暫態分析，111年廣續研析金屬與混凝土表面除污可能技術，俾支援原能會後續核一廠除役第二階段「拆廠階段」核安管制業務所需，另針對核二廠除役期間第一階段「過渡階段」用過燃料池執行事件關鍵參數分析與評估，提供原能會安全管制建議。

(二) 110年已提出國內核一廠除役期間地下水防護監測方案。111年將持續研析地下水特性可能潛在危害因子，提出核二廠除役階段地下水之防護監測方案，以因應原能會對於核二廠除役各階段(過渡階段、拆廠階段、最終偵測階段及復原階段)安全管制業務所需。

四、海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

- (一) 110 年度海域調查結果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮，111 年持續參考近年調查結果及國際文獻資料，滾動檢討臺灣海域未來長期監測策略，包含取樣位置、種類、頻率及監測核種，另進行臺灣山區土壤及核電廠周圍土壤之取樣分析，俾更加有效掌握臺灣輻射地圖之全方位分布。
- (二) 國民輻射劑量評估部分，醫療輻射劑量評估調查因 110 年本土新冠肺炎疫情爆發，影響到後續計算劑量與分析及統整數據的執行，預計延期至 111 年 6 月底完成，另完成國人主要消費食品中肉類及其內臟鈾-210 造成之國民輻射劑量為 0.598 毫西弗/年，農業用肥料對造成國民輻射劑量為 0.313 微西弗/年，商用飛航宇宙輻射造成國民輻射劑量為 0.012 毫西弗/年，以及包含航空類職業曝露之國民輻射劑量為 1.654 微西弗/年。111 年將彙整歷年國民輻射劑量各分類評估調查結果，進行整體國民輻射劑量評估，完成國民輻射劑量評估調查研究報告。

參、其他補充資料

一、跨部會協調或與相關計畫之配合

本計畫可獨立執行。

二、大型科學儀器使用效益說明

本計畫未購置 1000 萬元以上之大型科學儀器。

三、其他補充說明(計畫成果完整說明)

強化核能電廠除役管制技術及環境輻射之研究

111 年計畫成果完整說明

(一)國際合作及技術交流

1. 核電廠除役之國際合作與交流

- (1) 台美民用核能合作會議業於 110 年 3 月 24 及 25 日以視訊方式舉行，雙方於會中就「反應器管制與法規相關研究」、「廢棄物管理與環境復原」、「先進核能科技」及「緊急應變管理」等工作項目執行結果及未來規劃進行交流，過程圓滿順利。



圖 1.1.1 台美民用核能合作會議

- (2) 第 7 屆台日核安資訊交流會議於 110 年 7 月 20 日以視訊方式舉行，雙方就 ROP (Reactor Oversight Process) 制度經驗、福島事故調查分析結果，以及放射性廢棄物管制技術研發等議題進行交流，過程圓滿順利。另因應日本政府於 4 月發表日本福島核災含氚廢水海洋排放之決策，促成與日本專家於 8 月 27 日及 11 月 11 日舉辦 2 次線上技術交流會。另促成於駐日代表處增派一名秘書，以強化對日相關核安管制及福島含氚廢水排放資訊聯繫與掌握。



圖 1.1.2 第 7 屆台日核能管制資訊交流會議

- (3) 原訂與法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSN)110 年舉行之交流會議，因新冠肺炎疫情影響，經協調延至 111 年辦理。
- (4) 國際原子能總署(IAEA)公布「2020 年全球核子保防實施總結報告」(The Safeguards Statement for 2020)，我國連續第 15 年被宣告為「所有核物料均用於核能和平用途」國家之列，肯定我國確保國內所有核物料均用於核能和平用途之能力，有效提昇我國國際聲譽。

2. 國際原子能法規及趨勢之研究-原子能科技發展趨勢及產業應用潛力

因應非核家園能源政策，核電廠逐步退場，為推動國家原子能科技轉型，妥善運用原子能及其衍生技術提升產業附加價值，增進社會福祉。110 年度聚焦原子能技術於太空產業應用，在全球低軌道通訊衛星朝微型化、商業化的趨勢發展所需供應鏈上，我國雖已具備相關通訊技術及電子零組件之產業優勢，惟仍欠缺衛星元件太空輻射效應分析及抗輻射半導體元件技術，爰針對近年國際太空用晶片及太陽電池之專利趨勢進行分析，以掌握相關技術布局方向，另探討國際原子能科研機構關鍵設施及設備，藉此掌握國內原子能科技發展所需要關鍵基礎科研設施。

(1) 「太空用的積體電路」專利發析

太空用積體電路相關技術的研發自 2000 年至今均呈現成長的趨勢，雖然 2020 年的專利數量明顯較少，但這主要是由於專利有 18 個月早期公開制度所導致。目前因應太空產業的發展，預期未來應該有更多的應用技術跟專利會出現，或是說受惠於十幾年來的專利累積，才足以應用於太空探索領域，造成今日太空產業蓬勃發展的現況，但從整體的趨勢來看，尚未看到明顯的反轉點，整個曲線看起來還在成長期，但近期有機會步入成熟期。

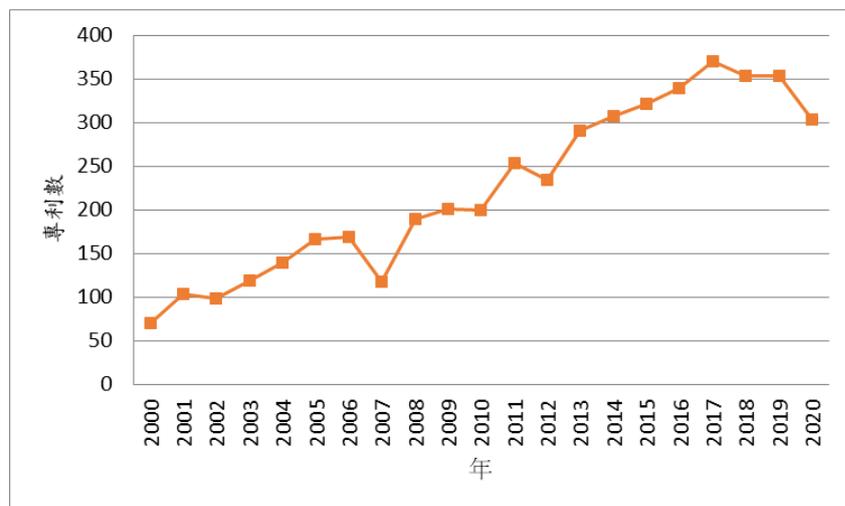


圖 1.2.1 太空用積體電路於各優先權年之專利家族數

抗輻射積體電路主要是在處理輻射的總劑量效應(TID)與單事件效應(SEE)中的單事件翻轉現象，而主要技術的應用面是 FPGA 現場可程式化邏輯閘陣列、CMOS 互補式金屬氧化物半導體、SRAM 靜態隨機存取記憶體、DRAM 動態隨機存取記憶體。

在我國技術布局策略上，較適合我國發展技術項目包含有「半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」、「由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」、「邏輯電路之提高可靠性之修飾」、「電性能之測試裝置，如電路之測量」、「錯誤檢測與校正，如容錯」等技術項目，顯示我國在半導體為基礎下的技術仍具有發展優勢，而上述技術主要應用於「互補式金屬氧化物半導體」及「靜態隨機存取記憶體」，為適合我國未來資源投入研發的技術與應用方向。

(2) 「抗輻射之電池製程」專利分析

由圖 1.2.2 各年度專利公開數量趨勢來看，在 2005~2018 年間之公開數量大致呈上升趨勢，2010~2012 年明顯較多，但在 2013 年數量驟減，其原因可能是反應了 2011 年~2012 年間，太陽光電產業面臨史上最長景氣谷底，而 2015 年的公開數量減少但回到平穩之狀態。另因專利有 18 個月早期公開的制度，2020 及 2021 可能因仍處於保密狀態而未計入。

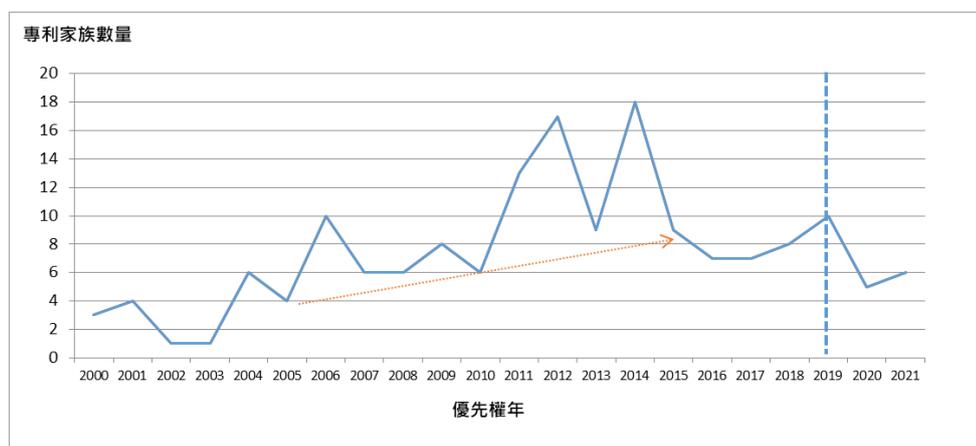


圖 1.2.2 太空用太陽能電池抗輻射相關技術專利申請趨勢

太空用電池面臨了比地面更嚴苛的環境條件，如輻射、極端的溫度等，因此需要的技術規格與一般陸地使用的規格不同，其中，鋰電池、核電池或燃料電池等非太陽能電池，大多依附在太空載具外殼抗輻射技術之保護，對極端溫度的耐受度、充放電速度及頻率或是耐震設計等相較抗輻射技術更顯常見且必要。但是，太陽能電池卻是必須直接曝露在太空輻射中，因此抗輻射之技術是相當必要

的，包含屏蔽高能粒子、高能質子、移除多餘電荷、抗紫外線/氧化的封裝膜/塗層等都是太空用太陽能電池所需考量的抗輻射功能。另選用輻射耐受性較強的材料，如 III-V 族化合物半導體，作為太陽能電池之材料，是目前的主流。

在我國技術布局策略上，較適合我國發展技術項目包含使用特殊背面/底層/基板/後觸點等技術達成導電或放電以移除多餘電荷，設計半導體層厚度以增加吸收及提升輻射耐受度，而塗層、薄膜除了抗輻射之用處外，亦可達到導電及放電功效。

(3) 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究

探討國際原子能總署、美國、歐洲、日本、中國大陸等原子能科研組織或國家實驗室的任務、目的、願景、技術、關鍵科研基礎設施、與運作模式等相關重要資訊，並聚焦於日本 QST、JAEA、KEK 進行深入探討。

依 109 年提出之「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」所律定之優先發展項目，以及契合行政院所揭示之六大核心戰略產業推動方案之需求，篩選共同關切的焦點技術項目，並探討所需之關鍵基礎設施與經營策略。

表1.2.1 六大核心戰略產業與原子能科技民生應用八大領域之關聯圖

	醫療	糧食及農業	環境水資源	量子科技	中子科學	太空科技	工業應用	半導體
資訊及數位				●				●
國防及戰略				◎	◎	●	●	
資安卓越				●				
台灣精準健康戰略	●	◎	◎		●			
民生及戰備		●	●		◎	◎	◎	
綠電及再生能源			●		◎		◎	

註：●表強相關；◎表弱相關

針對三個原子能技術民間應用的主題深入探討，包括：研製放射性核種的粒子加速器、次世代半導體微影設備、以及太空游離輻射環境模擬試驗設備等，可作為內部員工訓練教材。

3. 國際原子能法規及趨勢之研究-推廣原子能科技普及與資訊傳播。

- (1) 110 年原能會第 1 場「i 上原子能 綠能 e 世界」活動於 4 月 17 至 18 日假台中老虎城購物中心戶外廣場舉辦，總計吸引了 3,620 人次的民眾入場參觀。活動分成「輻射應用」、「核廢除役」及「綠能科技」三大展區，民眾可以依據興趣，自由選擇參觀路線；現場設置了 X 光攝影室的縮小模型、VR 低放射性廢棄物分類體驗及微電網小小調度員等，通過互動遊戲、多人競賽及應用解說等多種體驗形式，宣導民眾原子能科學並不是困難、冷冰的，而是有趣且存在於生活環境中。



圖 1.3.1 「i 上原子能 綠能 e 世界」科普展-台中場

- (2) 110 年原能會第 2 場「i 上原子能 綠能 e 世界」活動於 12 月 4 日假屏東千禧公園舉行，獲得在地鄉親的熱情參與，約 2,483 參觀人次。藉由貼近民眾的科普遊戲，宣導民眾原能會對於核電廠除役管制、核廢料處理、核災應變民眾防護、環境與輻射安全以及綠能研發等工作成果，並提供國立屏北高級中學學生見習、解說的學習歷程，以啟發參與學生對科學新知的興趣投入原子能科技的領域。



圖 1.1.2 「i 上原子能 綠能 e 世界」科普展-屏東場

(二)核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究

1. 輻射劑量合理抑低技術開發與應用智慧機械之研究

輻射偵檢智慧載具自走功能應用架構如圖 2.1.1 所示，現有載具主體運算核心架構採用嵌入式系統，運用開源架構之機器人作業系統(Robot Operating System)編輯移動載具操控模式，並導入同步定位與地圖建構(Simultaneous localization and mapping, SLAM)演算法。載具硬體功能架構如圖 2.1.1.1 的綠色區塊，藍色區塊部分為計畫後續擴增之路徑規劃與影像里程定位模組單元，此機能可協助識別實體障礙物，導入載具運行情徑規劃應用，再經由載具機組上環境偵測處理後資訊，依任務需求設定，施行自主路徑規劃修訂，已初具智慧機械應用概念。

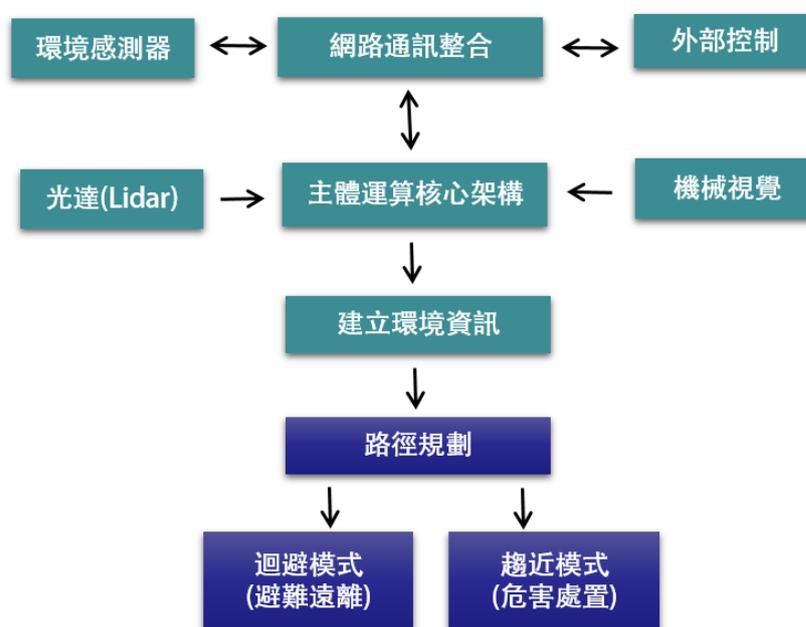


圖 2.1.1 輻射偵檢智慧載具自走功能應用架構圖

載具在未知場域環境探索與偵測作業中，可由操作人員遠端遙控載具施行場域地圖探索任務，完成實體邊界與障礙物地圖建置後，由人員在操控端地圖畫面中，直接圈選探測區域，此時載具可自行依探測區域範圍，與環境感測器量測屬性，自主於特定場域施行環境監測任務。載具可根據場域地圖實體障礙物與環境偵測熱區資訊，提供載具運行避障與自主路徑規畫作業。

此系統及架構可擴展應用於災害救助，經過特殊任務需求指令設定，可自動接近或遠離危險物與障礙，進而減少人員暴露於危險環境，亦可找出最佳運行或撤離路徑，可參考圖 2.1.2 實機路徑規劃展示。此外若搭配兼具熱影像之機械視覺，可全天候運作，經由通訊整合模組將即時影

像傳輸到外部裝置，外部人員也可透過該外部裝置的通訊模組進行遠端控制。

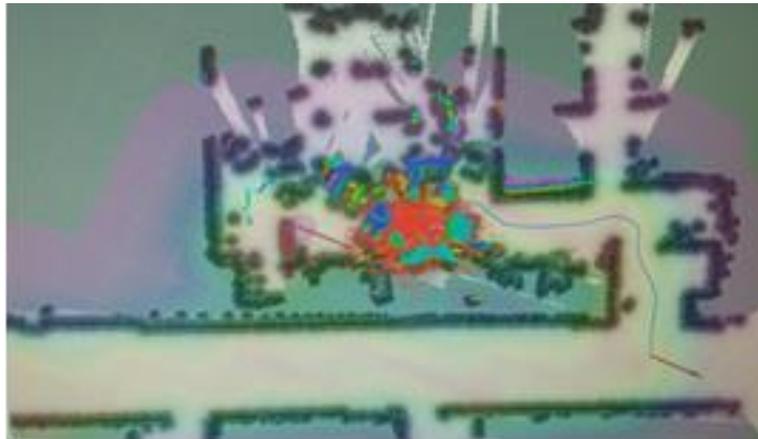


圖 2.1.2 地圖建模與路徑規劃運行展示

多功能輻射偵測智慧載具在環境資料偵測架構配置，可連續記錄多項環境感測器讀值，含溫度、濕度、粉塵、二氧化碳、空間輻射劑量偵測。並同時記錄當前機器人位置座標。預設記錄頻率為 1 Hz，可依實際應用現況調整記錄頻率。初期採用線性內插方式，將載具蒐集到的環境偵測資訊計算成分布圖（圖 2.1.3），呈現載具建構地圖空間的各項環境監測數值分布狀態。隨著載具在現行場域實機測試過程中，發現搭載各項環境感測器性質不同，各項環境感測裝置達到穩定收斂的條件及時間不一，導致連續的資料蒐集，未必皆能夠在載具運行到下一個座標點前，蒐集到準確的環境資料，這將影響載具建構環境分布圖有效性。

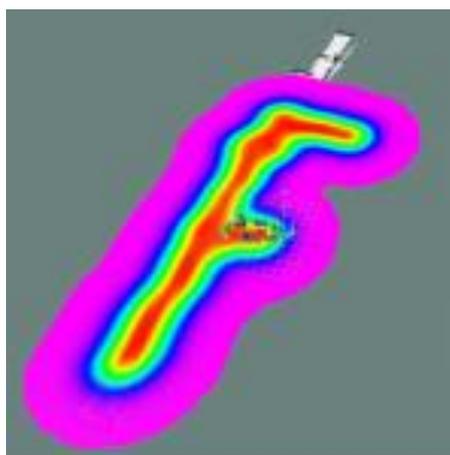


圖 2.1.1.3 空間輻射偵測地圖建模展示

為回歸輻射偵測智慧載具基本作業需求，應以輻射場域偵測任務為首要任務，依輻射偵測感測元件規格，修正載具空間輻射測模式機能，在載具建構未知場域環境地圖後，由操控人員與遠端工作站，依建構場域地圖中，圈選環境資料偵蒐區域（參考圖 2.1.4），載具控制單元可自動生成弓字型探索路線，依規劃路線全域掃描方式蒐集環境資料。並可依感測器反映特性，於路徑上每個偵測節點中，設定量測停留時間，用以確保感測器數值到達穩定後，才紀錄該穩定偵測數值與當下載具位置座標。

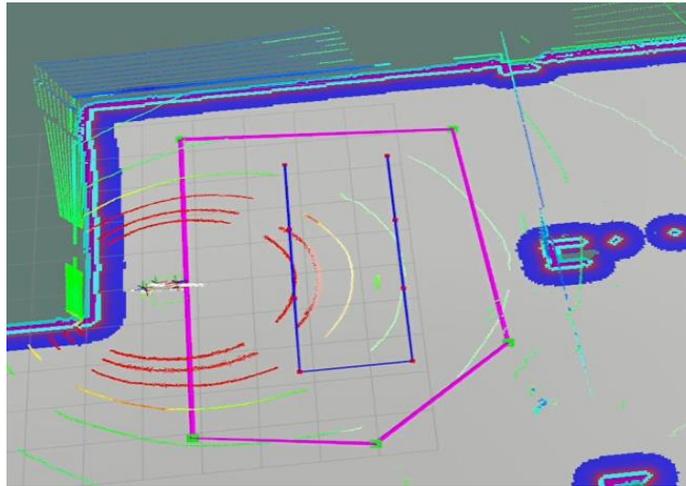


圖 2.1.4 圈選區域載具自主規劃環境偵蒐模式

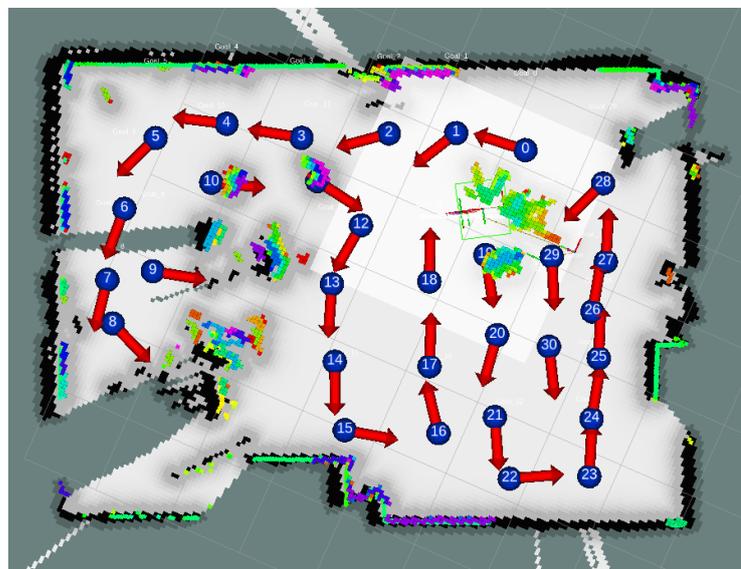


圖 2.1.5 環境場域特定點選定偵測功能擴充

為了可以更快速且貼合輻射場域實際偵檢探測需求，計畫中特別再開發多點探測模式，當載具探測場域地圖後，由操控人員依現場實地需求，最多可在地圖中設定 30 個偵測點（圖 2.1.5），由載具直接前往設置偵測點進行環境輻射偵測（圖 2.1.6），並可將偵測資訊（含地圖座標與環境偵測數值）即時匯出，並由後端人員依需求繪製輻射場域地圖。

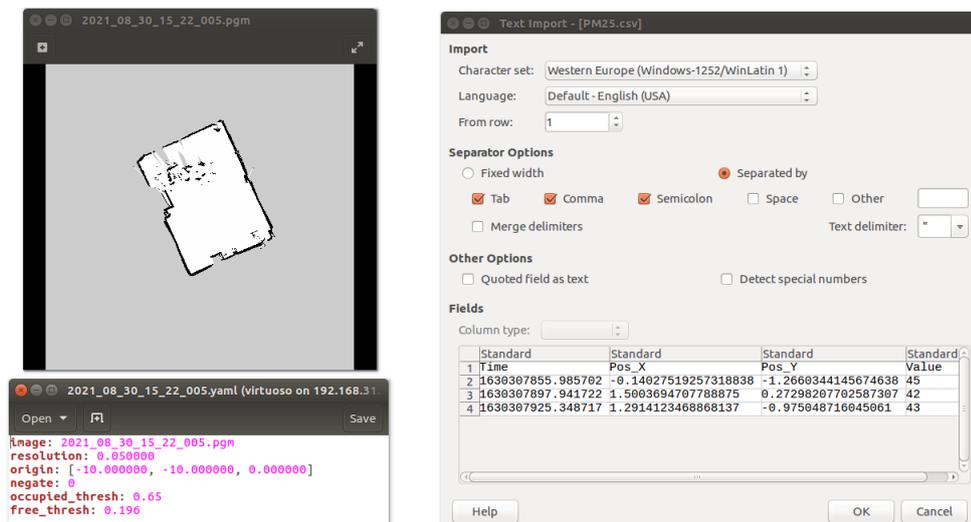


圖 2.1.6 偵測資訊匯出成 CSV 檔案



圖 2.1.7 輻射偵測智慧載具第三貯存庫實地偵測作業

以核研所低放射性廢棄物第三貯存庫為標的（場域平面面積約為 39 m × 32 m），規劃遠端地圖建模與自主環境探測作業。由人員將輻射偵測智慧載具運送至第三貯存庫（圖 2.1.7），先布建立現場環境通訊網路平台，再由人員於中控室遙控載具建立第三貯存庫現場圖資，之後，依需求設定 20 個輻射量測位置後（圖 2.1.8），載具自行規畫路徑，進行輻

射定點偵測任務，全程約耗時 45 分鐘，環境偵測資訊可即時傳輸至中控台顯示（圖 2.1.9）。

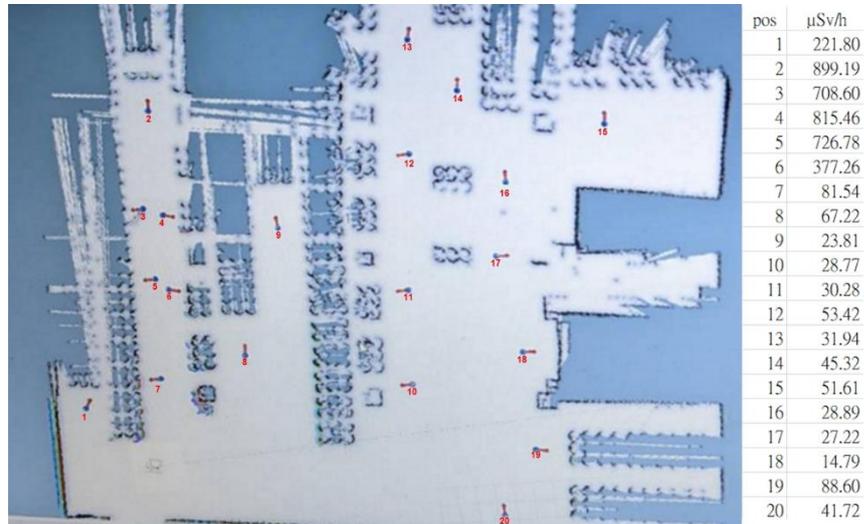


圖 2.1.8 第三貯存庫地圖建模與輻射偵測作業



圖 2.1.9 環境偵測資訊

研究產出輻射偵檢智慧載具軟硬體壹台，可遠端操控載具進行環境探索任務。因應原能會需求，應用智慧機械開發特製載具，支援台中場科普展，另因應輻射場域智慧機械應用技術開發成果展示，規劃「可用於移動載具以偵測安全或危險區域之系統與方法」參加 2021TIE 發明競賽，獲得 2021 年台灣創新技術博覽會銅牌獎。

2. 除役作業場所輻射分析之審查技術研究

參考 IAEA NW-T-1.18 的建議，考量放射核種源項的產生、物理，化學性質及傳輸途徑，並參考 ISO 建議的標準理論活度評估步驟，包含蒐集核一廠特性資料、運轉歷史、材料組成及輻射曝露量差異，並建議以 MCNP 程式及 RESRAD-BUILD 空浮沉降機率評估模式，建立核一廠汽機廠房輻射評估模式，分析核一廠 1、2 號機汽機廠房發電機及勵磁機的可能污染途徑、污染情形及核種濃度。

從三個方向分別探討可能污染途徑，包括中子活化、光核反應活化及空浮沉降造成表面污染，經分別探討及篩濾核電廠各個射源項後，汽機廠房中子射源主要為爐水中的 O-17 受爐心中子活化，產生延遲中子源 N-17；而分裂產物的延遲中子源含量經評估相比之下可以忽略。光核反應的產生前提係光子最大能量足夠高才有可能產生，經篩濾核電廠存在的放射性核種衰變時可產生足夠高能量的放射性核種為 N-16，為爐水的 O-16 受到爐心中子活化產生，而其他光子射源由於能量不足及評估核種來源過於微量，因此經篩濾後可以忽略。先期評估結果顯示，由於蒸汽中含有微量延遲中子源，因此對汽機廠房的發電機及勵磁機可能產生中子活化。而光核反應作用情形，以測試模型研究後，由於作用機率過低，認為可以忽略而無須進一步探討。

研究主要參考國際文獻及 ISO 評估流程建議，建立先期評估設備污染模式的可能性，並且發掘實際執行評估時，應考量那些參數、評估模型選擇、國際標準評估流程等資訊，提供原能會制定決策及技術審查作業參考。

3. 精進除役期間輻射管制技術之研究

(1) 除役期間常用輻防管制偵測設備（表面污染）特性研究

對於廢棄物之輻射偵檢，一般係參考美國多部會物質與設備偵檢與評估手冊 (Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment Manual, MARSAME) 之程序進行偵檢。針對核設施除役產生放射性廢棄物解除管制，我國訂有「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，放射性廢棄物經量測之活度或比活度符合上述規定限值以下者，得予以外釋。殘餘放射性活度達可外釋標準之廢棄物，一般須置於金屬屏蔽量測系統進行計測，始可得到較精準量測結果，因此在進行廢棄物殘餘放射性量測前，一般需將廢棄物進行切割以便填裝於箱型或桶型承裝容器中進行後續計測，故較適用於小型、可切割廢棄物活度量測。對於無法切割裝桶進行比活度量測之大型廢棄物，將以偵測人員手持表面污染偵檢器貼近設備或組件

表面，以固定距離與固定量測速度來進行 β/γ 輻射偵檢，其中，動態掃描速度參考 MARSAME 建議一般採用 2.5 cm/s。我國常用之手持式表面污染偵檢器包含蓋革式偵檢器與塑膠閃爍體偵檢器，偵檢器之校正一般是以 Am-241 及 Sr-90 進行 α 及 β 粒子之量測效率校正，並參考 ISO 8769 之要求，於校正時，使偵檢器與參考射源之間距為 5 mm。然而，面對核電廠除役廢棄物，主要殘餘核種之一為 Cs-137，其 β 粒子之能量與 Sr-90 不同，且於實務量測時，偵檢器與受測物之量測距離及掃描速度等條件容易受到偵測員操作之影響，因此，本研究以 Sr-90 及 Cs-137 之校正射源進行實驗，探討蓋革式偵檢器與塑膠閃爍體偵檢器在不同能量、量測距離、掃描速度及量測時間條件下之性能表現，如儀器效率、最低可測濃度及最低可測濃度掃描等，並與 ANSI/HPS N13.12-2013 建議之表面污染解除管制基準進行比較，提供原能會未來選擇輻防管制偵測設備之參考。

國內常用之手持式表面污染偵檢器包含蓋革式與塑膠閃爍體偵檢器，本研究使用美國 Ludlum measurement 公司所生產之 Model 44-9（配合 Model 177 計讀儀），以及 GRAETZ 公司所生產之 CoMo 170 等二款偵檢儀器進行實驗，偵檢器規格如表 2.3.1.1 所示。

表 2.3.1.1 偵檢器規格

	detector I	detector II
儀器型號	Ludlum Model 44-9 & Model 177	CoMo 170
偵檢器類型	蓋革式	塑膠閃爍體
偵檢器面積(cm^2)	15.5	170
可偵檢輻射類型	α, β, γ	α, β, γ
計數率顯示方式	類比式	數位式

表 2.3.1.2 密封校正射源特性

	Sr-90	Cs-137
尺寸 (mm)	120 × 170 × 3	
有效面積 (mm)	100 × 150	
背板材質	鋁	
活度 (kBq)	4.17	2.12
射源發射率 ($\beta/\text{s}/2\pi$)	5286	1313
相對不確定度 (k=2)	5%	

研究偵檢器將量測 Sr-90 及 Cs-137 密封校正射源，兩射源皆符合 ISO 8769 及 ISO 7503 放射性表面污染校正射源特性要求製造規範，及 ISO 2919 安全要求之密封性射源分類，射源特性如於表 2.3.1.2 所示。量測條件為偵檢器距離射源 2~21 mm 進行量測，數據收集時間為 60 秒，另外，在偵檢器距離射源 5 mm 之條件下以 0.5~5 cm/s 之掃描速度進行計算，利用上述條件計算儀器效率、最低可測濃度及掃描最低可測濃度。

實驗結果顯示，在儀器效率部分，兩款手持式表面污染偵檢器，使用 Sr-90 校正射源於不同量測距離下之儀器效率計算結果如圖 2.3.1.1 所示。由圖中可知，塑膠閃爍體偵檢器(detector II)之儀器效率高於蓋革偵檢器(detector I)，主要因為本研究使用之塑膠閃爍偵檢器之偵檢器面積大於蓋革偵檢器。核電廠除役廢棄物，主要殘餘核種之一為 Cs-137，因其發射 β 粒子能量(1.17 MeV)與 Sr-90(0.54 MeV)不同，因此若以 Sr-90 核種校正效率用於量測 Cs-137 核種活度，則會造成量測上偏差。圖 2.3.1.2 為三款手持式表面污染偵檢器，使用 Cs-137 校正射源於不同量測距離下之儀器效率計算結果。由圖 2.3.1.1 及圖 2.3.1.2 可知，在相同量測距離下，同一款型手持式表面污染偵檢器對 Sr-90 之量測效率均高於 Cs-137，主要因為 Sr-90 校正射源除發射 0.54 MeV 之 β 粒子外，另外還會有其衰變子核 Y-90 發射出 2.28 MeV 之 β 粒子，因此量測效率較 Cs-137 來得高。

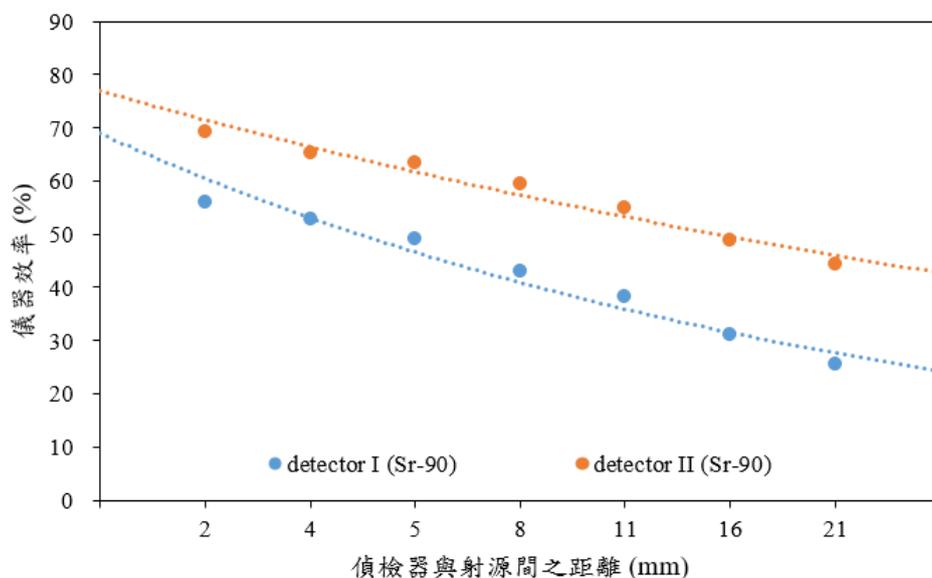


圖 2.3.1.1、兩款偵檢器於不同偵檢距離下量測 Sr-90 之儀器效率

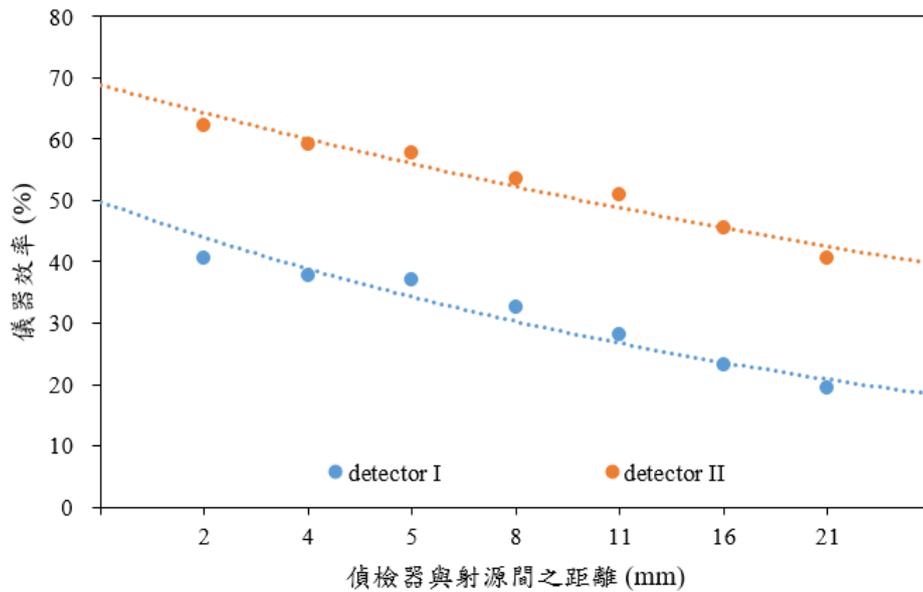


圖 2.3.1.2、兩款偵檢器於不同偵檢距離下量測 Cs-137 之儀器效率

另外，無論是使用 Sr-90 或 Cs-137 射源，隨著量測距離增加，儀器效率亦隨之下降。於一般校正條件下，偵檢器與射源之距離為 5 mm，進而計算出儀器效率，若於實務量測時，偵檢器與受測物距離大於或小於 5 mm 時，應以實際量測條件進行校正，以得到正確儀器量測效率，確保量測結果之準確性。

兩款偵檢器之掃描最低可測濃度(scan MDC)結果如圖 2.3.1.3 及圖 2.3.1.4 所示，蓋革偵檢器(detector I)與塑膠閃爍體偵檢器(detector II)在固定量測距離(5 mm)下，當掃描速率小於 5 cm/s 時，兩者對 Sr-90 之 scan MDC 皆可低於 50 Bq/100 cm²；若是量測 Cs-137 校正射源，塑膠閃爍體偵檢器(detector II)在掃描速度為小於 1.5 cm/s 之條件下，其 scan MDC 可低於 5 Bq/100 cm²，反之，蓋革偵檢器(detector I)即使使用 0.5 cm/s 之掃描速率，仍無法達到上述標準。整體而言，在動態量測條件下，塑膠閃爍體偵檢器之 scan MDC 小於兩種蓋革偵檢器約 5~7 倍。

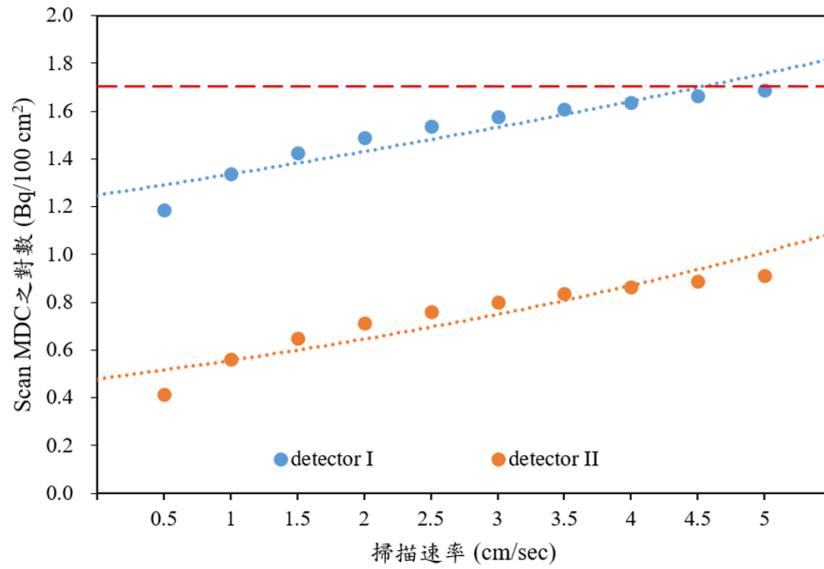


圖 2.3.1.3、兩款偵檢器於偵檢距離為 5 mm 之量測條件下使用不同掃描速率量測 Sr-90 射源之 scan MDC (紅色虛線表示 ANSI/HPS N13.12 之 Sr-90 標準之 50%)

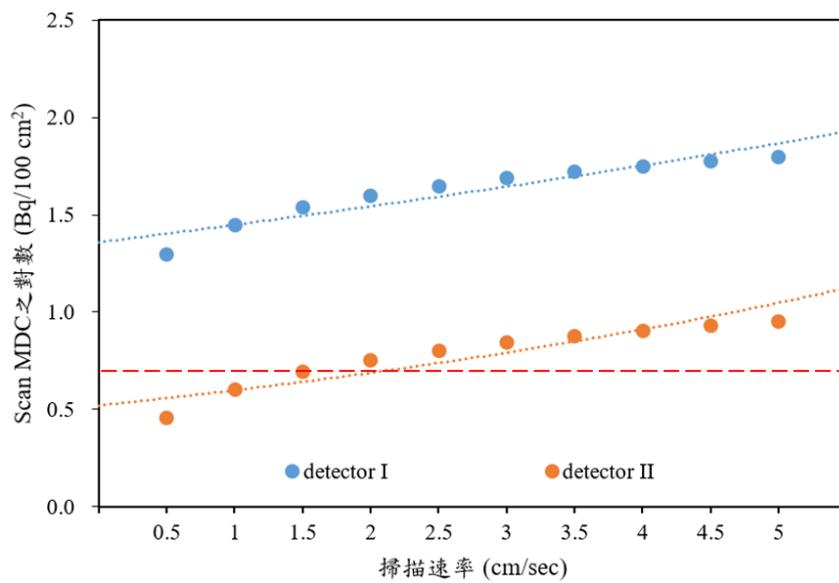


圖 2.3.1.4、兩款偵檢器於偵檢距離為 5 mm 之量測條件下使用不同掃描速率量測 Cs-137 射源之 scan MDC (紅色虛線表示 ANSI/HPS N13.12 之 Cs-137 標準之 50%)

兩款偵檢器之最低可測濃度(MDC)結果如圖 2.3.1.5 及圖 2.3.1.6 所示，兩款偵檢器在量測 Sr-90 校正射源且量測距離小於 21 mm 之靜態量測條件下，其 MDC 皆可低於 50 Bq/100 cm²，若是量測 Cs-137 校正射源，塑膠閃爍體偵檢器(detector II)在量測距離為小於 2 mm 之條件下，其 MDC 可低於 5 Bq/100 cm²，但蓋革偵檢器(detector I)即使於 2 mm 之量測距離下，其 MDC 皆仍超過 ANSI/HPS N13.12 中 Cs-137 之解除管制標準。整體而言，塑膠閃爍體偵檢器之 MDC 小於蓋革偵檢器約 3~5 倍。

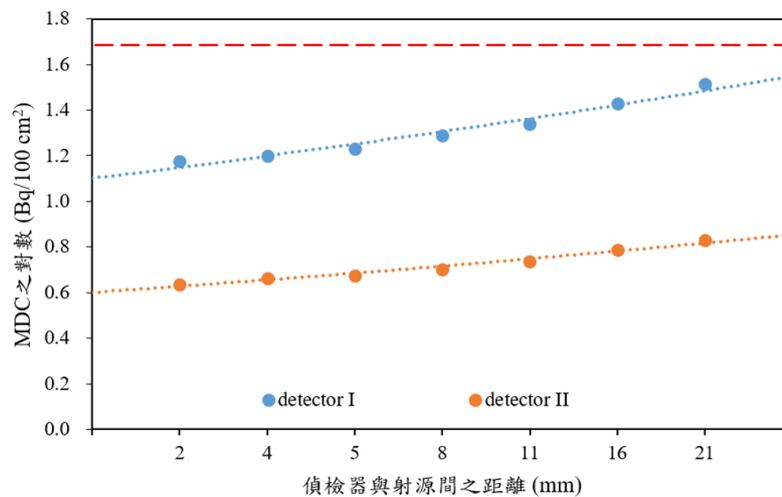


圖 2.3.1.5、兩款偵檢器於不同偵檢距離下量測 Sr-90 射源之 MDC (紅色虛線表示 ANSI/HPS N13.12 之 Sr-90 標準之 50%)

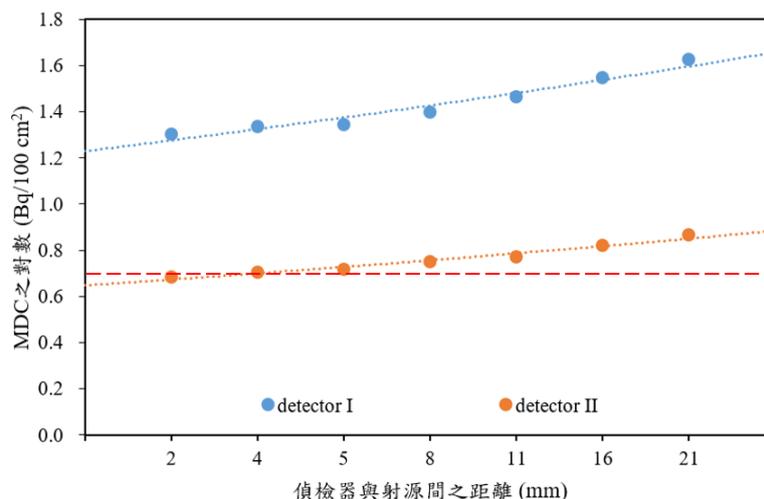


圖 2.3.1.6、兩款偵檢器於不同偵檢距離下量測 Cs-137 射源之 MDC (紅色虛線表示 ANSI/HPS N13.12 之 Cs-137 標準之 50%)

ANSI/HPS N13.12-2013 指出對於運轉期間與除役期間之物質，以及大部分超過 1 公噸之材料，其質量-面積比大於 1，即該標準預設質量-面積比選用 1.0 為保守考量，若有其他資訊可證明其合理之質量-面積比，則可進行調整。經調查我國核電廠除役產生廢棄物材質種類，主要為碳鋼及不鏽鋼，兩種材質之密度約為 7.9 g/cm^3 ，以密度進行調整後，兩材質之 Cs-137 表面污染解除管制基準為 79 Bq/100 cm^2 ，若於此基準之第一階段動態掃描下，蓋革偵檢器(detector I)在掃描速度為小於 1.5 cm/s 之條件下，塑膠閃爍體偵檢器(detector II)在掃描速度為小於 5 cm/s 之條件下，兩者之 scan MDC 可低於上述限值 50% (39.5 Bq/100 cm^2)；第二階段靜態掃描下蓋革偵檢器(detector I)在量測距離為小於 16 mm ，塑膠閃爍體偵檢器(detector II)在量測距離為小於 21 mm ，兩者之 MDC 亦可低於上述限值 50% (39.5 Bq/100 cm^2)。

綜上所述，研究以兩種手持式污染偵檢器，評估其於量測不同核種、距離及掃描速度下之儀器性能，並與 ANSI/HPS N13.12-2013 建議之表面污染解除管制基準進行比較。

(2) 輻射偵檢之第三方驗證執行策略先期研究

在核設施除役過程，輻射偵檢與調查是由一系列的程序所組成：包括廠址歷史評估(history site assessment, HSA)、範圍偵檢(scoping survey, SS)、特性偵檢(characterization survey, CS)、改善措施輔助偵檢(remedial action support survey, RASS)、以及最終狀態偵檢(Final Status Survey, FSS)。雖然最終狀態偵檢是決定廠址能否外釋的關鍵，其偵檢結果必須經由獨立第三方驗證確認，對於一般社會大眾才比較具有說服力。本研究將對國際第三方驗證案例進行個案分析，對其驗證範圍及抽驗比例進行探討，並針對所使用儀器、採樣方式、分析方法等項目進行合理性及適用性的探討。

過去美國已有許多核電廠除役的案例，而大部分的這些核電廠在廠址外釋之前也都經歷了由美國 NRC 所委託的第三方驗證機構執行較小範圍的過程中視察或全面且嚴謹的獨立確認調查。美國 ORISE 機構為美國能源部 (DOE) 與 NRC 合格的承包商，可獨立承攬環境評估和驗證的工作。自 1980 年以來，ORISE 已承接過許多美國除役核電廠或放射性相關設施的獨立確認調查工作。本研究以 Yankee Nuclear Power Station (YNPS)、Zion Nuclear Power Station (ZNPS) 兩個電廠，分別說明其獨立驗證調查關於建築物與環境的案例分析。另外物質與設備的部分，以 Humboldt Bay Power Plant (HBPP) 的偵檢計畫和驗證程序進行進一步分析探討。三案例重點摘要如下：

a. 錫安核電廠獨立驗證案例（犧牲屏障相關的地下土壤）

錫安核電廠(Zion Nuclear Power Station, ZNPS)犧牲屏障相關的地下土壤驗證案例係由 ORISE 依美國 NRC 要求於於 2019 年 7 月 15 日至 19 日進行，並於半年後（2020 年 1 月）提出獨立驗證報告，是一個除役核電廠環境相關的獨立驗證案例，目標物件為錫安核電廠犧牲屏障相關的地下土壤(subsurface soils associated with the sacrificial barrier)，其主要驗證偵檢的方法為「表面掃描」以及「土壤採樣分析」。

在 2019 年 4 月的驗證性調查中，ORISE 工作人員進行了伽馬射線表面掃描，確定發現一些與局部背景有明顯區別的升高反應之位置（可能異常熱點存在區域）。隨著調查進度持續進行，廠方為了評估該異常狀況而請求美國 NRC 暫停執行中的確認調查活動。美國 NRC 於是同意了該項請求，但要求 ORISE 確實分析所有收集到的確認調查樣品，其中共有 16 個判斷性土壤樣本（自 15 個地點收集），其中兩個樣品是離散的放射性粒子(discrete radioactive particles, DRP)，僅含有 Co-60 核種；在另一個包含混凝土樣碎屑的取樣位置發現被 Cs-137 污染，周圍的土壤超過了 DCGL_{Op} (operational derived concentration guideline level)的比例總和(sum of fractions, SOFs)的允許值（值 1 法則）。所有其他包括 Sr-90 和 Ni-63 在內的關切核種(radionuclides of concerns, ROCs)比他們各別的 DCGL_{Op} 少，所有 Sr-90 和 H-3 濃度均低於分析值最低可測濃度(minimum detectable concentration, MDC)。

2019 年 7 月，應 NRC 的要求，ORISE 返回現場重新執行先前的操作計劃並部分實施確認性調查。從 19 個地點收集共 21 個判斷樣本，一個主要包含 Cs-137 的樣品超過了基於 DCGL_{Op} 的允許 SOF（值 1 法則），但小於允許的限制 DCGL_{BC}(Base Case DCGL)；兩個樣品含有 DRPs，僅由 Co-60 組成。其他所有發射伽馬射線的 ROCs 的結果均小於 DCGL_{Op}。根據伽馬能譜分析結果選擇了八個土壤樣本的組合，分析其 Sr-90、Ni-63 和 H-3，發現只有 Ni-63 被檢測到超過 MDC，但其濃度小於 1% DCGL_{Op}。根據 2019 年 7 月確認性調查的結果，研究區域確實包含殘留放射性，此調查結果提供給 NRC 進行評估。

本案例中將確認調查關切核種的活度與單一核種的 MDCs、DCGLs、複合核種的 DCGL 值一法則進行比對，係標準的確認調查驗證標準，MDCs 和 DCGLs 均依照相關導則進行推導，經過管制機關核定，掃描量測、取樣方式、實驗室分析等技術都有明確的程序

書，顯示確認調查的過程及驗證標準具備非常好的適用性。

b. 洋基核電廠獨立驗證案例（汽機廠房與部分建築物）

YNPS 係美國最早進行除役的 PWR 大型商用核電廠，在 2003~2006 年期間，ORISE 陸續進行的確認調查標的有：(a)汽機廠房及部分位於輻射管制區外的服務建物；(b)反應器支撐結構；(c)主要輔助廠房牆剩餘的牆面；(d)反應器支撐結構水泥基礎與開放區域；(e)汽機廠房平板區域；(f)用過燃料池與東北方輻射管制區域及水泥結構的挖掘區；(g)選擇性開闢地內外的採樣驗證；(h)選擇性工業區開闢地的採樣驗證等項目。

ORISE 此次偵檢執行的期間在 2003 年 9 月 24 日至 25 日，進行了汽機廠房和前辦公室等建築之廠址視察、獨立測量及樣品採樣，調查活動均依循 ORISE 的特定計畫、調查程序與品質保證手冊制定的規範進行。本案例針對 YNPS 汽機廠房及部分建築物進行獨立確認調查，在汽機廠房選取 152 處、服務大樓 23 處、其餘部分 20 處進行偵檢，掃描覆蓋範圍超過受驗區域的 25% 以上，由於受驗區域非屬高度受影響區，故其掃描覆蓋率為 ORISE 確認調查建議的 25%，針對 β 和 γ 掃描的儀器與設備均為標準偵檢系統，足以滿足偵檢要求，除了對於關切核種（Cs-137 及 Co-60）的量測外，也以濕擦拭樣品分析的方式對 H-3 進行檢測（每樓層取 10 個樣品），對於取樣、掃描覆蓋率、掃描量測、樣品分析等作法都符合 ORISE 標準程序，對本案例中對象目標的適用性佳。

c. 洪堡灣核電廠物質與設備獨立驗證案例

ORISE 人員在 2010 年 11 月 15 日至 19 日訪視 HBPP，執行了目視檢測並進行獨立測量與取樣，輻射確認調查則是依照 ORISE 偵檢程序書(the ORISE Survey Procedure Manual, ORISE 2008 and 2010) 及 ORAU 品保手冊(Oak Ridge Associated Universities (ORAU) Quality Program Manual, ORAU 2009)。本次調查 ORISE 選了 9 個偵檢單元進行確認調查，同時美國 NRC 也要求 ORISE 對 3 號機的混凝土反應器屏蔽塞(concrete reactor shield plug)進行輻射確認調查，主要的量測方法還是以表面掃描與表面活度量測為主。

本案例的主要對象是 HBPP 1 號機和 2 號機的部份組件，起初並未包含在輻射特性調查當中，為保守之故，引用鄰近 3 號機的特調結果，將 Cs-137 做為關鍵污染核種的主要來源，也將這些物件列為受影響物質與設備，採用的行動基準為：(回收) Cs-137 表面活度 5,000 dpm/100 cm² 及可移除 1,000 dpm/100 cm²；(掩埋) Cs-137 比

活度 15 pCi/g 及表面活度 16,600 dpm/100 cm²。物質與設備的移置偵檢標準往往都是法規標準或接收/處理站的接受標準，都是固定值，不像土壤與建築物那樣以 DCGL 為比較標準，可能會依除污、整治或環境變動而有所更動，而且物質與設備的偵檢往往也都只是進行表面掃描和表面活度量測，除非發現特殊狀況才可能會用到取樣及實驗室分析，執行起來相對容易，本案例在適用於回收的物件方面，都符合之前量測的回收標準，故 ORISE 給予正面的驗證結論，而在此案例中額外進行的反應器屏蔽塞也確實量到了較高的輻射等級，需進行進一步的量測及掩埋處理。

在本案例中，ORISE 對於可能有污染集中的區域及現場判斷的部分位置採用中密度 beta (>50% 覆蓋率) 的β表面掃描，針對每一個偵檢單元也選 10 個 1m² 的區域進行掃描，從其中最高計數率者再進行直接量測，以確認偵檢結果，驗證調查記錄表中所展示的現場照片顯示各取樣點的位置，分布於偵檢單元的不同位置，其密集度和代表性足以滿足驗證要求，再加上 ORISE 完備的品管要求和嚴謹的量測程序，配合定期校正的儀器設備，其驗證結論具有高度可信度。

由於本案例的回收行動基準是最為嚴格的表面活度等級，若獨立確認調查的結果也全數通過此行動基準，則此物質與設備不當外釋的機率應微乎其微，總結來說，本案的驗證標準對於對象目標的物質與設備的適用性佳。

4. 除役期間與除役後廠址環境輻射偵測報告審查技術建立及訓練

(1) 除役廠址環境輻射偵測結果評估方法研究

核設施除役過程中，需藉由輻射偵檢評估偵檢單元(survey unit)之殘餘放射性水平是否符合除役廠址釋出再利用之預定標準，但由於輻射偵檢結果具不確定度存在，因此必須採取相關行動處理輻射偵檢結果中所含的不確定度，以做出正確之決策。依據美國多部會輻射偵檢與廠址特性調查手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, MARSSIM)與美國多部會物質與設備輻射偵檢與評估手冊(Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment manual, MARSAME)，使用數據品質目標(Data Quality Objective, DQO)程序來規劃輻射偵檢計畫，可提升輻射偵檢之有效性(effectiveness)及效率(efficiency)，使最終得以做出正確及有效的決策。然而，在執行偵檢計畫後，須利用數據進行決策，進行核設施除役決策過程中，通常需審視輻射偵檢結果，並利用偵檢結果之數據進行評估及統計分析。其中 MARSSIM 與 MARSAME 手冊使用數據品質評估

(Data Quality Assessment, DQA)程序來進行核設施除役輻射偵檢數據之驗證及評估。DQA 為一迭代之程序，分為 5 個步驟，依序為：

- a. 審查數據品質目標與偵檢設計(review the DQO and survey design)：此步驟首要目標為審查 DQO 並確認其適用性，若未制定 DQO，則需在審查數據前詳細說明 DQO。本步驟除審查 DQO 外，需審查數據生命週期於規劃階段之關鍵產出，如：取樣設計或其他相關文件；
- b. 執行初步數據審查(conduct a preliminary data review)：審查所有相關之 QA 報告，報告中可能描述實際執行數據收集之程序，並包含潛在數據問題或數據異常等具價值之訊息。此外，本步驟須審視基本之統計量，如平均值、標準差與中位數等，例如：資料的平均值可以和參考地區的平均值以及外釋標準(DCGL_w)做比較，以得到偵檢單元狀態的一個初步暗示，若資料的平均值超過 DCGL_w，且所關注的放射性核種沒有出現在背景中，則偵檢單元不符合外釋標準；反之，偵檢單元中的每一個量測值都低於 DCGL_w，則偵檢單元可符合外釋標準。在此步驟中，可使用圖形化表示以進行審查，使用圖形化表示可顯示數據間之關係及趨勢，並發現可能之潛在問題。如直方圖（頻次圖）(histogram)，如圖 2.4.1.1 所示，在偵檢單元或參考地區的資料分布中，頻次圖將顯現對稱的任何明顯分離，例如偏斜或雙峰偵檢單元頻次圖中兩個峰值的存在，可表示有分離的殘留放射性地區存在；位置圖(posting plot)為將數據資料填在量測位置的一個偵檢單元地圖，如圖 2.4.1.2 所示，它潛在地透露數據的差異性，尤其是可能具有非均勻性分佈的較高殘留放射性，圖 2.4.1.2(a)顯示資料中並沒有不尋常的情形；圖 2.4.1.2(b)顯示偵檢單元從左至右移動，有趨向於較小值的明顯傾向，這個傾向在資料的初始列表中是較不明顯的。

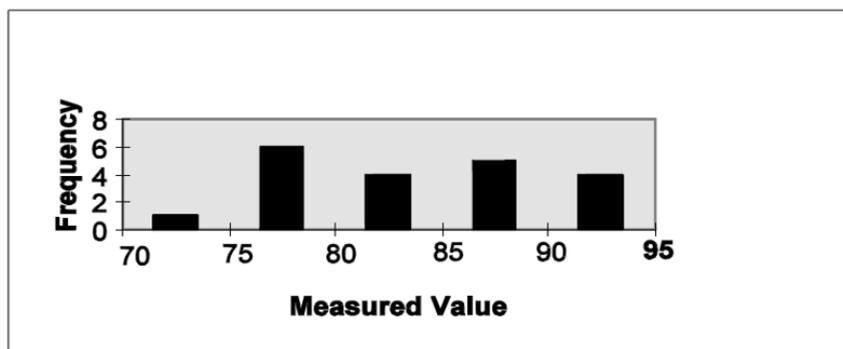


圖 2.4.1.1、直方圖(histogram)範例

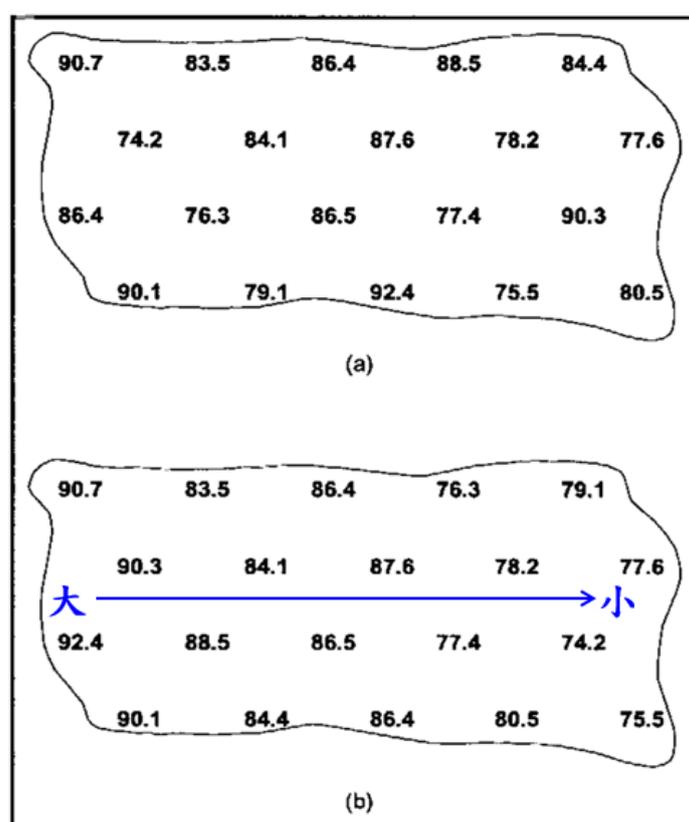


圖 2.4.1.2、位置圖(posting plot)位置圖範例

- c. 選擇統計方法(select the statistical test): 此步驟根據對 DQO 的審查、取樣設計和初步數據審查，選擇最合適的統計方法來分析數據，並確定關鍵基本假設以確保統計方法有效，以利後續利用統計結果進行結論。由於非參數檢定法（例如 Sign 檢定和 WRS 檢定）可適用於大部分的情況，且比參數檢定法（例如 t 檢定）涉及較少關於資料的假設，故 MARSSIM 與 MARSAME 手冊建議採用，其中，Sign 檢定適用時機為當污染物質不存在於背景，或污染物質有存在於背

景、但遠小於 DCGLw 值，且是針對特定關鍵核種的量測，其特點為不需要任何的參考地區，因此可以簡化最終狀態的偵測；WRS 檢定適用時機為當污染物質存在於背景中，其特點為因已考慮污染物質存在於背景中，故可避免背景的干擾；

- d. 驗證統計方法之假設(verify the assumptions of the statistical test)：此步驟中，分析人員應確認於 DQA 步驟 3 中選擇之統計方法及其假設之有效性。可確認數據是否支持統計方法之基本假設，或確認在執行統計分析前是否已對數據進行修正。若數據可支持統計檢驗之所有假設，則 DQA 將進入下一步驟，利用數據進行結論 (DQA 步驟 5)。若在過程中對一個或多個假設產生疑問，則須對先前步驟進行重新評估，此迭代過程可確保結果之有效性和實用性，為 DQA 之重要精神；
- e. 結論(draw conclusions from the data)：此步驟為 DQA 之最後步驟，分析人員進行統計假說之檢驗，並依據檢驗結果 (拒絕或接受假說) 配合目標進行結論。

綜上所述，使用 DQA 程序進行輻射偵檢數據評估時，可確保獲得之數據型態正確且具有質與量，以及選擇合適之統計分析方法及執行，以符合目標用途，並做出正確結論。

(2) 「核設施除役輻射偵檢與廠址調查專業技術訓練」及「核設施除役輻射檢測驗證技術訓練」

- a. 於 110 年 7 月 27 日至 8 月 12 日以線上課程方式進行「核設施除役輻射偵檢與廠址調查專業技術訓練」，內容包含核設施除役廠址調查與輻射偵檢與導則說明、豁免與解除管制活度濃度推導與應用、核設施除役輻射偵檢佈點規劃與結果統計分析技術、核設施除役廢棄物外釋作業程序介紹與核設施除役常用輻射偵檢儀器簡介與 MDC 計算等，訓練時數總計 30 小時。



圖 2.4.2.1 核設施除役輻射偵檢與廠址調查專業技術訓練

- b. 於 110 年 9 月 6 日至 9 月 10 日以線上課程配合實體訓練，進行「核設施除役輻射檢測驗證技術訓練」，課程內容包含環境試樣分析儀器簡介、表面污染偵檢器偵檢原理與方法、輻射偵檢儀器校正原理與方法與環境試樣分析實務等，訓練時數總計 30 小時。

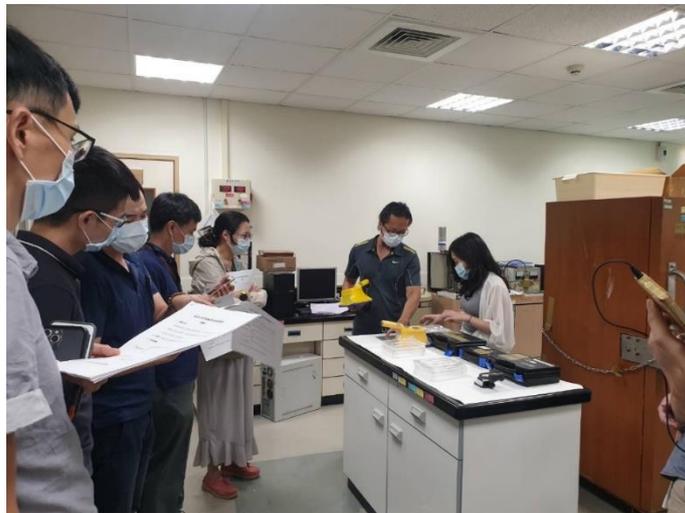


圖 2.4.2.2 核設施除役輻射檢測驗證技術訓練

(三)核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究

1. 除污策略和技術彙整及過渡期電廠安全分析

(1) 核電廠除污技術研究

本計畫成果可應用於核電廠雷射除污的高功率雷射技術與雷射材料汽化與剝蝕原理，研析雷射金屬除污與混凝土除污成效並整理多國發展雷射除污技術之現況與提供雷射操作安全規範作為管制參考。

目前發展雷射除污技術之團隊多使用 Q 開關 Nd:YAG 雷射或二極體泵浦光纖雷射產生的奈秒時寬雷射脈衝執行除污成效測試。雷射對金屬表面的除污仰賴光束對材料的快速加熱致使金屬汽化，亦或在達到 10^7 W/cm^2 的強度下並產生震波壓縮材料表面而後與伴隨的應力鬆弛使表層因散裂而被移除。以對雷射金屬表面除污所彙整的實驗結果而言，雖然所使用的各式雷射系統其產生之雷射脈衝的能量（約數毫焦耳至數百毫焦耳）與時寬（數奈秒至數百奈秒）有所差異，但實驗證明單一雷射脈衝於照射金屬表面之能量密度達 5 J/cm^2 左右時即可開始對金屬材料表面有明顯的雷射剝蝕效果，而後對材料的剝蝕深度即與掃描雷射光束時於單位面積下累積的光束能量成正比。

在雷射對混凝土除污的應用上，照射區域會因雷射照射升溫，致使混凝土內部孔隙中存留的水份轉變成水氣並受熱膨脹，進而對混凝土產生孔隙壓力至其高於混凝土的降伏強度時即可剝落混凝土。若混凝土本身水分含量較少且具有較佳的導熱性（如玄武岩），則混凝土表面會不斷受到雷射照射而持續升溫至熔化形成易於去除的玻璃層。對電廠中覆有環氧樹脂塗層的混凝土除污而言，則可藉由雷射照射加熱使塗層中的高分子升溫降解，並能同時除污塗層下方的混凝土。對雷射混凝土表除污所彙整的重要實驗結果可歸納為：

- a. 使用較高尖峰功率的雷射脈衝或提升脈衝重複頻率可提高混凝土表面溫度，至使孔隙壓力增大而加深剝蝕深度。
- b. 混凝土水份含量較少則受雷射照射所產生的水氣量不足以產生足夠的孔隙壓力使表面剝落，表面會持續升溫熔化並進而產生一層薄玻璃層。
- c. 較高混凝土水膠比會使混凝土滲透性下降，導致汽化的水氣不易在混凝土中擴散而侷限在同個區域升溫膨脹，如此即可快速達到剝落所需之孔隙壓力。
- d. 混凝土細骨材含量較高時會使混凝土的機械強度提升，剝落下來的碎屑會因為不容易崩解而傾向以大碎片的形式剝落。

- e. 老化對於除污成效最大的影響是來自於風乾所造成的水分減少，因水分不足而降低混凝土的剝落行為。
- f. 實際應用在塗有塗層的混凝土除污時，需要選用足夠功率的雷射才有辦法提供足夠表面溫度使表面塗層發生降解。

對雷射金屬除污所產生的粉塵顆粒特性整理可知，除污以產生直徑尺寸為 100 奈米左右的金屬顆粒為主。文獻對高效微粒空氣過濾器的效率分析可知因雷射剝蝕產生的顆粒帶電荷與碎形顆粒團塊的幾何性質，使用規格達 H13 級的玻璃纖維高效微粒空氣過濾器即可達 99.9 % 的顆粒收集效率。對混凝土除污粉塵顆粒特性整理可知，文獻中實驗所測得的粉塵顆粒尺寸大約落在數微米到數十微米間，而尺寸較大的顆粒通常是由於混凝土成分不同，進而導致熱膨脹係數間的差異，在受熱時產生熱應力使大顆粒剝落。而文獻分析雷射除污塗有水性環氧樹脂塗層混凝土所產生的粉塵顆粒顯示大部分由蒸氣所產生的顆粒尺寸可小於 0.1 微米，而文獻指出環氧樹脂塗層在高溫會產生有毒物質多氯二噁英 (PCDD、戴奧辛) 和多氯呋喃 (PCDF)，需要使用空氣淬火的方式使雷射除污產生的煙氣降到攝氏 250 度後排出。

由各國雷射除污技術發展現況可知，目前以日本與德國的研究機構最為積極發展相關技術。日本已有應用於福島第一核電廠法蘭型儲水塔之雷射除污經驗，而若峽灣能源研究中心與 LDD 公司團隊所開發之遠端操控雷射除污機器人也積極朝商售系統發展。而日本中部電力公司、Toyokoh 公司與光產業創成大學院大學共同研究之 CoolLaser 系統也逐步發展成為完整的放射性金屬表面雷射除污系統。德國則由德勒斯登工業大學所屬的多個研究團隊逐步開發雷射金屬與混凝土除污技術，並搭配諸如 cleanLaser 公司所生產的高功率光纖雷射發展除污系統。

在商售系統的資訊上，日本若峽灣能源研究中心與 LDD 公司持續改進其發展的雷射除污機器人系統，以降低整體售價與改進機械結構為主要方向。該除污系統之特性為使用兩千瓦連續波光纖雷射為光源以降低成本，而為了避免材料的熔化使輻射污染物質混入熔融物而不易於清除，該系統搭配自製的高速光束掃描系統以準確控制照射能量，使表面材料瞬間昇華達成除污。

管制上建議，依雷射規格需求可知當今雷射除污技術多以千瓦級輸出功率的二極體泵浦摻鏡光纖雷射或 Nd:YAG 雷射為除污金屬表面與剷除混凝土表面之光源。執行金屬表面除污多使用脈衝雷射，單一脈衝之時寬可為數奈秒至約 100 奈秒，脈衝聚焦照射金屬表面之強度

需大於 107 W/cm² 以達到金屬表面剝蝕操作需求，雷射輸出之平均功率達 1 千瓦以上為較佳選擇。另一方面，日本若峽灣能源研究中心與 LDD 公司發展之新系統則採用 2 千瓦連續波雷射以降低成本，然而需搭配特有之高速掃描機，使光束快速掃描表面而近於脈衝雷射之操作為技術之操作特性。執行金屬表面除污使用輸出功率達 5-10 千瓦以上的連續波雷射，光束照射面積可達 25 平方公分以上，強度大於 177 W/cm²，掃描速度大於每分鐘 100 毫米。原則上使用越高平均功率的雷射增加除污效率縮短操作時間，然而雷射設備成本也會隨雷射輸出功率等量增加，為成本效益之主要考量因素。對除污產生之粉塵特性與處理部分，依文獻之結果了解雷射金屬除污所產生的粉塵顆粒尺寸為 100 奈米左右的金屬顆粒為主，使用規格達 H13 級的玻璃纖維高效微粒空氣過濾器可有好的粉塵收集效率(>99.4%)。雷射混凝土除污粉塵顆粒尺寸大多落在數微米到數十微米間，當雷射除污塗有水性環氧樹脂塗層的混凝土表面時，由蒸汽所產生的顆粒尺寸可小於 0.1 微米為集塵處理需注意之處。文獻指出使用雷射去除環氧樹脂塗層會因高溫會產生有毒物質，可使用空氣淬火的方式使煙氣降到攝氏 250 度後降低有毒物質。研究顯示日本與德國的研究機構積極發展應用於核電廠除污的雷射技術，而日本已有數套發展中的系統，德國由德勒斯登工業大學的研究團隊主導發展。雷射除污技術可搭配機器人技術實現電廠除污時的遠程遙控操作。

表 3.1.1 為日本若峽灣研究中心 WERC 與 LDD 研究人員所列對多種主要核電廠除污技術的整理比較。

表 3.1.1 現有主要應用於核電廠除污技術之比較

除污方法	方法摘要	優點	缺點
化學除污	利用酸性溶劑去除污染物	除污效果佳、可適應各種複雜的形狀	需處理大量廢液而增加成本、不適用於核電廠外環境小範圍熱點除污
電解研磨除污	利用機械式研磨機削減	對於燃燒或摩擦產生的污漬效果佳	裝置規模大、會產生廢液
超音波除污	利用超音波震動剝離污染物	可用於形狀複雜、狹窄部位、孔洞 可遠端操作	不適用於附著性強的污染物、對形狀複雜物的除污效果不佳、噪音大
水噴流除污	利用超高壓水柱剝離污染物	二次污染物少、可用於熱點除污	不適用於附著性強的污染物、對形狀複雜物的除污效果不佳、噪音大
濕式噴砂除污	噴射各式砂礫達到削減與剝離污染物	除污效果佳、可用於熱點除污	需處理廢液以及噴砂產生的二次污染物
乾式噴砂除污		除污效果佳、可用於熱點除污	需處理廢液以及噴砂產生的二次污染物
雷射除污	利用高功率雷射瞬間使物體表面汽化，去除污染物	除污效果佳、能應對不同除污度、二次污染量少、能夠遠端操作、可用於熱點除污、可大面積除污	早期雷射除污成效較差、不適用於複雜的形狀結構

另彙整核電廠除役時的典型除污工作項目（封閉式系統與開放式系統）所採取之除污技術及廢棄物管理方面的考量，並持續蒐集各國除役核電廠之相關應用實例，綜合整合研析，相關重點成果及管制建議如下。

除污技術方面：

由於使用某些化學除污技術時可能有氣體副產物生成，在封閉系統除污使用時需前置考慮，避免過量氣體壓力累積超過除役中系統結構體的承受度；選用在封閉系統內製備泡沫的技術時，應格外小心，因系統受到加壓，使得反應速率不斷提高，一旦產生的氣體量大於洩壓設定點，將使系統因壓力過高而破裂，或應在設備加裝洩壓閥，以避免發生意外。

桶槽浸泡技術並不具有太大的優勢，其需使用特殊的建築材料(主要是塑料材料)，且在工人安全方面有重大的問題，然而，其對粉碎待除污設備壁上的薄膜則非常有效，所用試劑的量非常有限，在低溫下使用能減少安全問題，產生的廢水量也較小。

針對除役，所需的額外技術指引建議還包括：

- 拆除前為了降低劑量率-採用全系統除污
- 處理形狀複雜的組件-採用化學除污
- 處理形狀簡單的組件-採用磨料/砂礫噴射或電化學除污
- 進行工具或輕微污染零件除污-採用高壓水噴射、人工清潔或其他機械技術
- 除污後移除殘餘的”熱點”-採用：研磨或刷洗等機械技術
- 有助於物料的疏散路徑-將金屬融化

實施除污技術所獲取的經驗，涉及以下觀點：

- 通常必須結合數種除污技術，而非僅只用一種特定技術。
- 必須事先評估，以優化計畫所需的除污需求，像是劑量吸收、二次廢棄物的產生與處置等問題，都可能造成影響。
- 如果不與劑量吸收、成本及廢棄物處理路線的優化衝突，則首選現場除污。
- 目前化學除污技術仍用於特定案例，應努力擴大現有技術的直接適用性。
- 用於除污的絕大多數技術都是專有的，在此情況下，選定某種除污技術前，須特別留意該特定化學溶液的性能及其廢棄物的分析結果。
- 對於封閉式系統，一階段除污及處理技術，通常產生二次廢棄物數量最少。

廢棄物管理方面：

在選擇除污方法時，安全性、輻射防護、產生的廢棄物與廢液，以及整體效率等方面至關重要，在處理這些二次廢棄物時，必須確認是否具備處理除污後產生的化學溶劑、氣溶膠、殘渣等二次廢棄物的設施，且最終產物（例如包裝、除污的廢水等）必須符合最終處置要求。特別值得注意的是，由於除污技術中，會將最終廢棄物集中，而成為重要的輻射源。運用適當的管理策略及使用機器人，可以將放射性較高的部份分離出來，廢棄物數量可大幅減少。

廢棄物管理過程中，考慮的最主要因素是遵守適用的安全與放射防護法規，次要目標則是盡可能使需要處置的材料數量降低，才能讓放射性核種的遷移率最小化，並依照所具有的放射性類型（含 α 、不含 α 、低、中或高放射性強度），最小化廢棄物數量及其流動性，並對廢棄物進行隔離，以達到安全性與經濟處置的最佳組合。

許多電廠會同時產生放射性廢棄物及其他危險性廢棄物，制定有害物質特徵計劃，能提供影響這些材料在處理、調理、包裝、儲存及最終處置的重要見解。如果要在現場臨時存儲放射性廢棄物，則應規定廢棄物的數量、預計的儲存時間、儲存區的位置，出入口的輻射強度，以及管制的方式。除役期間管理放射性廢棄物的方法，通常與電廠在運轉、維護及翻新期間所採用的方法類似，但所採用的方法，可能要因應廢棄物流的龐大數量及特性，而必須作一些調整。

國外電廠經驗回饋方面：

a. 選擇適當的全系統(FSD)除污指引

- 根據除污因子設定目標
- 定義材料的種類：酸性溶劑不適用於碳鋼
- 分析二次廢棄物數量：偏好使用再生技術(DFD, CORD, LOMI 等)
- 留意二次廢棄物成份：避免使用像 EDTA (錯合劑) 這類有機元素
- 確定氧化層的類型：針對鏽垢層中的高鉻含量，應選用氧化技術
- 確知處理及調節二次廢棄物的能力 (蒸發、IEX、沈澱、過濾等)

b. FSD 除污之合適時機

FSD 除污的執行適宜在電廠關閉及用過燃料移除後，在除役前的短暫期間內完成，在電廠關閉後直接執行，可確保所有系統都還能充分運行，最重要的是現場仍有熟識系統功能的人員。如果在關閉數年或安全封閉之後才執行 FSD，則在 FSD 啟動之前進行的檢查及維護作業，將非常昂貴且耗時。

c. 二次廢棄物減量

德國 Stade 電廠之經驗顯示採用二種化學除污技術進行全系統除污。HP/CORD UV 是再生技術及利用 UV 分解殘餘除污試劑與淨化溶劑，可大幅減少二次廢棄物數量。另一方面，採用 NP-Processes 技術則會產生相對大量的二次廢棄物，最終廢棄物量將達 60m³。因此，除污技術之使用需確知處理及調節二次廢棄物的能力，除污化學藥劑之再生或分解可減少二次廢棄物的產量。

d. 除污流徑上的驅動策略

建立除污流徑上的驅動策略是全系統(FSD)化學除污成功的重要因素，除污流徑的規劃所涵蓋的系統，必須考量驅動化學試劑的動力是否足夠。韓國 Kori 核電廠的 FSD 除污規劃建議：若是採用反應器冷卻水泵作為除污的推動力，其能提供除污流徑足夠的流體動力，讓反應器壓力槽及蒸汽產生器都能被涵蓋在內，而不會發生除

污劑混合不充分而導致除污效果變差的問題。另一方案，若採用餘熱移除泵的情況下，可能要考慮將反應器壓力槽及蒸汽產生器從除污流徑上排除。

e. 離子交換樹脂的淨化率

決定是單獨製造離子交換樹脂柱還是利用電廠的既有設施時，最重要的是淨化率。如果淨化率小，則除污耗時長，在流速減慢的輔助系統中，會發生顆粒狀核種或金屬元素沈澱，且可能會形成熱點。使用單獨製造且淨化率高的離子交換樹脂柱，可能是較適宜的選擇。

本計畫針對除役核電廠時 304 不銹鋼與 304 不銹鋼/82 合金異材鉀件進行電化學除污效益探討。研究成果的分述如下：

- a. 在 30°C 下，電解 304 不銹鋼基材、碳鋼基材與 Fe_3O_4 電鍍氧化層的結果為 60 wt% 磷酸水溶液的蝕刻速率優於 40 wt% 磷酸水溶液。
- b. 在 30°C 下，電解高溫處理 304 不銹鋼表面主要為 FeCr_2O_4 的氧化層，結果為 40 wt% 磷酸水溶液的蝕刻速率優於 60 wt% 磷酸水溶液；而電解碳鋼表面的 $\alpha\text{-Fe}_3\text{O}_4$ 氧化層，結果為 40 wt% 磷酸水溶液的蝕刻速率優於 60 wt% 磷酸水溶液。
- c. 具有 Fe_3O_4 電鍍氧化層 304 不銹鋼與 304 不銹鋼相比，具有電鍍氧化層的 304 不銹鋼的基材蝕刻速率大於（無氧化層）304 不銹鋼，可能與晶粒內有許多孔蝕有關，推斷在蝕刻氧化層的後期，因部分基材裸露導致晶粒內分佈均勻孔蝕，加速蝕刻基材。
- d. 在 30 °C 下，以 40 wt% 磷酸水溶液電解異材鉀件與 304 不銹鋼平板試片的結果中，異材鉀件上熱影響區的 304 不銹鋼、異材鉀件上遠離鉀道的 304 不銹鋼與 304 不銹鋼平板試片相比，三者在其氧化層蝕刻上，厚度變化沒有明顯的差異。
- e. 在 30 °C 與 60 °C 下，以 40 wt% 磷酸水溶液電解異材鉀件基材（無氧化層）的結果中，82 合金鉀道的厚度變化量均為 304 不銹鋼母材的兩倍以上，表示 82 合金蝕刻速率遠快於 304 不銹鋼。
- f. 在 30 °C 下，以 40 wt% 磷酸水溶液電解異材鉀件 82 合金上的複合氧化層（內層為厚度 $1\pm 0.5\ \mu\text{m}$ 的 Cr_2O_3 、 FeCr_2O_4 與 NiFe_2O_4 高溫處理氧化層，外層為厚度 $10\pm 3\ \mu\text{m}$ 的 Fe_3O_4 ），異材鉀件 82 合金上會有局部的複合氧化層殘留。若電解液升溫至 60°C，除了加快異材鉀件整體蝕刻速率外，可更均勻地去除複合氧化層。

g. 在 30°C 下，以 40 wt% 磷酸水溶液電解基材 304 SS 與碳鋼，可以發現碳鋼蝕刻速率大於 304 SS，且高溫處理氧化層，碳鋼蝕刻速率也是大於 304 SS。

(2) 除役期間電廠安全分析

核電廠除役期間用過燃料池衰變熱仍需藉由餘熱移除系統將熱排出，隨著電廠停機後，衰變熱數值大小也會隨著時間而衰減，因此以核電廠除役期間用過燃料池之安全性為首要目標，而評估用過燃料束之衰變熱多寡則是直接影響此安全性之關鍵因子。

本研究彙整國際核電廠衰變熱計算相關文獻並研析其不同衰變熱計算模式之適用性與限制，以協助管制單位進行核電廠安全審查案之作業及參考依據。台電公司於國內核電廠除役計畫書中採用的是核電廠安全分析報告標準審查方案(NUREG-0800)文獻中所引用之衰變熱功率計算式為 ASB 9-2，NUREG-0800 SRP 9.2.5 最新發布的版本中提到(2007 年發布之第三版)，除了衰變熱功率計算式為 ASB 9-2 之外，也採納 ANSI/ANS-5.1 衰變熱功率之計算式，探討兩個衰變熱計算式差異性與適用性之結果得知，ASB 9-2 計算式將衰變熱計算分為兩部分，分別是分裂產物衰變熱以及重元素衰變熱；而 ANSI/ANS-5.1 衰變熱功率計算式除了考量分裂產物衰變熱以外，還考量了反應器運轉歷史、分裂產物中子捕獲的影響、以及銅系元素衰變熱等，因 ANSI/ANS-5.1 計算式考量較多因子，其不準度範圍較小，相較於 ASB 9-2 計算式其在初始假設時，就已經把不準度因子保守度給包括進去，因此 ASB 9-2 計算式之結果在”短”停機冷卻時間範圍中，所計算出來的衰變熱值較保守，但文獻中說明保守分析的衰變熱仍保持在 10% 以內的誤差。這裡提到”短”停機冷卻時間，是因為 ASB 9-2 計算式有其建議的停機冷卻時間，適用之停機冷卻時間範圍需小於 107 秒(約 115 天)，而 ANSI/ANS-5.1 計算式，則適用之停機冷卻時間範圍上限為不超過 1010 秒(約 317 年)，因此建議用過燃料冷卻時間越長，則須採用 ANSI/ANS-5.1 計算式來評估其衰變熱(未來適用於乾式貯存分析)。值得一提的是，若採用 ANSI/ANS-5.1 計算式來估算衰變熱功率，使用者(或業主)需詳細的說明使用各項之條件與假設，合理的條件才會使估算之衰變熱值合理，並且其不準度越低。

核電廠除役審查技術強化部分，本研究發展並建立核二廠除役階段用過燃料池安全分析模式，分析模式參照核二廠用過燃料池實際尺寸及熱流條件建立，並用以跟核二廠除役計畫書之分析結果做一比較與驗證。全黑事故發生後，池水單向升溫至飽和溫度，TRACE 分析結果與核二除役計畫書之差異度不到 3%，其平均升溫率兩個比較結果為

相近，而在水位降至燃料頂端之時間點，則 TRACE 計算出的結果稍快，最大差異發生在 365 天之案例，達 6.2%，隨著停機冷卻時間越長，衰變熱越來越低，TRACE 程式計算出的結果較為保守。

由於台電公司核二廠除役計畫安全分析未考量到護箱裝載池，因此本研究探討在停機 7 天之案例下，是否考量護箱裝載池對喪失冷卻事故時序發展之影響性做分析與比較。其分析結果得知，在核二廠用過燃料池發生全黑事故時，考量護箱裝載池將使分析之系統提供更多的水存量，儘管護箱裝載池存放的燃料具有衰變熱，但因其衰變熱數值較低，因此綜合效應下對整體系統熱流分析是有助益的。在用過燃料池安全評估中若未考量護箱裝載池之分析結果，認為是相對保守且可接受的。

而在用過燃料池發生破口且喪失冷卻水的安全評估中，參照 NUREG-2161 文獻的分析條件，評估燃料池底部發生直徑 11.4 公分(中破口)或直徑 4.4 公分(小破口)之破口案例。分析結果得知，小破口案例約於事故發生後 16.39 個小時，水位低於燃料頂端，而在中破口案例則因為破口較大且流出去之冷卻水較多，因此事故後約 2.78 小時水位會低於燃料頂端。根據 NEI 06-12 建議之補水策略，本研究評估最小注水量 500gpm 流量之策略，是否能有效減緩以上兩種破口之案例。評估結果可以看出，在用過燃料池破口發生後，盡速備妥救援補水設備能有效地維持住用過燃料池之水位，避免水位低於燃料頂端造成用過燃料裸露。

本計畫成功建立核二廠除役階段用過燃料池安全分析模式與發展獨立驗證評估技術，能有效提升核電廠除役階段熱流安全審查能量，掌握核電廠於除役階段意外事故發展時序與關鍵因子，提供原能會執行審查作業與評估之佐證依據。

2. 地下水防護管制特性研析

鑒於美國各核能電廠依據美國電力研究所的核能電廠地下水防護指引與美國核能協會的核能界地下水防護倡議建立地下水防護方案，原能會於民國 97 年要求台電公司參照上述地下水防護的指引與方案文件建立各核能電廠的地下水防護方案。台電公司除建立核一廠地下水防護方案，也建立核能電廠廠區地下水傳輸基準版概念模式，希望核電廠若發生洩漏情境需評估外洩核種風險或進行較高密度的地下監測時，可精進地下水宿命傳輸數值模式作為地下水污染遷移預測工具。

雖然過去核一廠運轉期間，台電公司已建立地下水防護計畫以監測地下水相關特性參數，掌握廠址若發生放射性核種洩漏情境，進入地下

水系統狀況下，可藉由核電廠的地下水監測系統加確認，並建立防範地下水污染擴大情形的應變處理機制。除役拆除過程可能產生不同類型的危害物質，這些危害物質可能到達地下水系統而造成地下水特性的改變。許多國外除役的經驗也顯示除役階段的活動都有可能改變核電廠區的地下水的特性，因此了解核電廠除役階段可能改變廠區下地下水特性是重要工作。除役電廠地下水傳輸概念模式建立與防護監測方案的加強可以預防地下水特性改變，或在發現地下水特性改變時採取應變措施，做好地下水防護的工作。

核電廠於運轉期間已參考美國核能工業界與電廠相關經驗，建立地下水傳輸概念模式與防護監測方案，藉由對廠區地下水放射性物質含量的監測，以了解是否有放射性物質外釋至廠區地下水之情形，達到即時預警之功能。核能電廠運轉執照屆期後即進入除役階段，除役期間作業之樣態可能與運轉期間不同。參考國外核電廠除役期間作法，其除繼續執行既有之防護監測方案之外，另再就除役作業之情境，檢視相關作業程序。

為掌握國際間除役電廠地下水傳輸模式與防護監測方案等資訊，參考國內過去原能會與台電公司過去的相關文獻報告，同時也研析美國核能電廠依除役期間地下水防護相關指引文件與資訊所採行之實務作法，以地下水污染物遷移理論與模式為基礎，檢視目前國內除役電廠地下水傳輸模式與防護監測方案，並研擬除役廠址地下水防護管制建議，以強化我國對除役電廠地下水防護管制技術與能力。

當發生地下水污染時，了解相關地下水化學或輻射物質的遷移機制，掌握地下水中化學或輻射物質分布範圍，對於地下水系統的防護非常重要。由於地下水系統是由固體的礦物顆粒疊組為骨架，在礦物顆粒疊組的骨架間就會形成許多相互連通或相互不連通的孔隙空間(pore space)，地下水則在相互連通的孔隙空間穿梭移動。目前對於地下水的遷移機制並未採微觀描述個別孔隙空間的穿梭移動行為，而係以巨觀的 Darcy 定律來描述地下水的流動行為，在 Darcy (1956) 定律的基礎下，地下水的遷移行為主要以包括「移流(advection)」、「水力延散(hydrodynamic dispersion)」、「吸附(sorption)與「衰變(decay)」等 4 個主要機制來描述。其中，移流為溶質以平均滲流的遷移，延散則為地質異質性所造成的溶質遷移的分散行為，吸附則為溶質與固體礦物顆粒的結合、而衰變則為溶質因衰變或造成量的減少。

經由上述地下水特性遷移理論的基礎下，參考「109 年核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析」研究報告，及美國核能工業界實務經驗，來評估我國核電廠於除役期間地下水文特性之重要參數。「109 年核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析」的主要工作內容為「美國核電廠除役地下水防護管制法規」、「NEI 07-07 業界地下水防護倡議-

指引文件」與「美國核電廠地下水防護管制案例與經驗」等三大項。本計畫的主要工作內容為：以紮實的地下水傳輸理論為背景汲取「109年核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析」研究報告及美國核能工業界實務經驗，對核電廠除役期間每一個地下水文特性重要參數進行探討，分析其參數值範圍與釐清其重要性。

我國核電廠在運轉期間以及依運轉執照屆期開始之除役期間，針對地下水防護措施之管制，可再檢視以下事項並視需要精進：

- (1) 強化地下水專業培育，掌握 EPRI 核電廠地下水防護指引目的與執行細節，精進除役期間地下水防護相關工作。
- (2) 針對潛在可能污染來源，在完成 SSCs 可能潛在外釋來源評估後，建立持續盤點確認的機制。
- (3) 在地質及岩心資料更新時，視實際需要進行資料整合，以建立更具信賴度之地層層序關係及現地資料。
- (4) 加強地下水位監測，以更準確掌握地下水流動的時空變化。
- (5) 資料不足時得採宿命傳輸解析解模式作為初步篩選級別評估工具，後續逐步充實水文地質資料，並視需要建立數值模式作為地下水污染遷移預測工具。
- (6) 廠區地下水監測井設置、監測與維護工作，及地下水水質採樣與樣品的保存等應參考國內外規範，可納入後續管制之要求。
- (7) 在管制審查時，針對採用 RESRAD 或類似分析評估程式內與場址地下水特性有關之參數（例如地下水滲流速度、延散係數等），採系統化方式建立各廠特定參數，不宜採用分析評估程式提供之預設值。
- (8) 國內業界之標準流程與 EPRI 核電廠地下水防護指引有相同之處，未來在除役期間進行地下水防護時，應適切納入國內標準流程之考量。

(四)海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

1. 海陸域環境輻射調查

臺灣海域輻射背景調查策略，可分為海水、沉積物（岸沙、河沙及海底沉積物）、海生物之監測。參考鄰近各國之策略（包含不固定點採樣、沿岸調查、離島採樣），並考量臺灣現況，將臺灣鄰近海域分為西北區、西區、西南區、東南區、東北區五個採樣區域，目標以了解臺灣海域中人工放射性核種之時間與空間分佈範圍，以及受影響之層面，包含採集海水、沉積物及海生物樣品並分析其放射性核種活度，以健全臺灣海域環境輻射背景全貌。

透過跨部會單位合作採集臺灣海域之海水、海生物以及沉積物（岸沙、河沙及海底沉積物）等樣品，由原能會輻射偵測中心負責分析樣品之放射性活度，並配合海洋物理模式、海洋化學等參數，探討臺灣鄰近海域之輻射現況的影響因子。此外，將輔以海洋洋流、氣候、季節等資訊，整合海域樣品的分析結果，研判中國沿岸核電廠與福島核災排放之放射性物質漂流至臺灣鄰近海域之可能情形，110年已於臺灣海域內執行取樣及分析作業，完成海水試樣 437 件（包含海水氚樣品 229 件）、海生物試樣 250 件以及沉積物試樣（岸沙、河砂及海底沉積物）60 件，總計 747 件，放射性分析測值彙整如表 4.1，分析結果皆在環境背景變動範圍內，無輻射異常現象。

表4.1 臺灣鄰近海域樣品加馬能譜分析結果

	海水 (Bq m ⁻³)	沉積物 (Bq kg ⁻¹)	海生物 (Bq kg ⁻¹)
Cs-134	-	-	-
Cs-137	<MDA~2.41	<MDA~0.64	<MDA ~0.61
氚	<MDA	*	*

註：“-”表示小於最低可測值(MDA，海水Cs-134及Cs-137 MDA=0.5 Bq m⁻³、海水氚MDA=2.03Bq L⁻¹、沉積物Cs-134 MDA值為0.09 Bq kg⁻¹、沉積物Cs-137 MDA值為0.05 Bq kg⁻¹，海生物Cs-134 MDA=0.03Bq kg⁻¹，海生物Cs-137 MDA=0.04Bq kg⁻¹)，"*"表示未檢測。

2. 國民輻射劑量評估

110 年之評估作業以地表環境輻射、醫療輻射、消費性產品、職業曝露與消費食品鈾 210 攝入之劑量評估為主。

(1) 天然背景輻射

自 103 年起在國內各縣市量測戶外地表環境輻射，截至 109 年底共計完成 447 處之量測作業，為使地表輻射之數據更客觀，特於 110 年度規劃增加 50 處量測數據，除納入天然游離輻射的地表環境輻射之國民輻射劑量計算，亦會於台灣環境輻射地圖公開。偵測結果顯示，此 50 處的戶外地表輻射劑量及總加馬輻射差異不大，地表輻射劑量率平均值為 $0.053\mu\text{Sv/h}$ ，總加馬輻射劑量率平均值為 $0.08\mu\text{Sv/h}$ ；110 年度之偵測結果在併入 103 至 109 年之地表輻射偵測結果後，目前累計戶外地表輻射已達 497 處；依 110 年 11 月底內政部所公佈之各縣市人口數，計算出集體劑量為 11,538 人-西弗/年，戶外地表輻射所造成國民輻射劑量為 0.493 毫西弗/年，進一步合計戶外及室內，地表輻射之有效劑量為 0.84 毫西弗/年（表 4.2.1），初步評估約占天然游離輻射之 38%，惟該比例會因其他天然游離輻射之調查評估結果而變動。

表 4.2.1 地表加馬輻射對國民造成的有效劑量(103 年至 110 年)

項目	有效劑量率 (微西弗/時)	有效劑量 (毫西弗/人-年)	地表輻射 有效劑量 (毫西弗/人-年)
戶外	$0.0066^{(a)}\sim 1.9^{(b)}$	$0.49^{(c)}$	$0.84^{(d)}$
室內	$0.077\sim 0.177$	0.93	

(a)澎湖縣湖西鄉裡正角

(b)臺南縣將軍區馬沙溝生態園區，屬於特殊地質區

(c)評估年有效劑量率時不列入特殊地質區計算

(d)以各縣市人口數、占用因子、及地表加馬輻射有效劑量率計算出

在主要消費食品攝入部份，110 年進一步針對國人主要消費食品中的魚、豬、牛、雞肉及其內臟進行鈾-210 放射性核種含量分析，共完成 63 件，其中有 8 件（花腹鯖魚肝臟等）活度濃度超過 100Bq/kg -鮮重，11 件（三線機鱸魚肝臟等）活度濃度介於 $10\sim 100\text{Bq/kg}$ -鮮重，13 件（秋刀魚魚肉等）活度濃度介於 $1\sim 10\text{Bq/kg}$ -鮮重，14 件小於儀器

最低可測活度濃度；依據衛福部食藥署國家攝食資料庫 106 年 11 月 12 日所公布 19 至 65 歲之平均攝食量，經計算評估，因攝食魚豬牛雞等肉品及其內臟中所含鈾-210 造成之國民輻射劑量為 0.598 毫西弗/年（表 4.2.2）。

表 4.2.2 16 至 65 歲族群之鈾-210 造成之輻射劑量

攝食種類	平均活度濃度 (Bq/kg)	每日攝食量 (g/day)	年有效劑量 (mSv/year)
牛肉	0.1	13.08	5.73E-04
牛內臟	0.43	0.25	4.71E-05
豬肉	0	77.97	0.00E+00
豬內臟	0.43	5.38	1.01E-03
雞肉	0.68	33.16	9.88E-03
雞內臟	0.12	3.44	1.81E-04
淡水魚	12.52	11.05	6.06E-02
鹹水魚	35.30	28.61	4.42E-01
花枝	1.26	5.27	2.91E-03
牡蠣、生蠔	47.44	3.85	8.00E-02
合計			0.598

(2) 消費性產品

國民輻射劑量由多面向所組成，美國 NCRP 的作法是將商用飛航宇宙輻射列為消費性產品及其活動分類的子項。我國於 87 年進行第一次國民輻射劑量評估，飛航行為之國民輻射劑量為 0.003 微西弗/年；惟歷經 20 年社會經濟變化，國人在飛航行為上與當時的狀況相比有相當大的變化，因此，為更新國民輻射劑量，本計畫利用交通部民航局所提供國人飛航行為調查結果，針對國際線與兩岸線兩個部分的旅遊人次進行熱門航線探討，並使用飛航劑量評估軟體執行劑量計算與分析，以評估國人因搭乘飛機所造成之國民輻射劑量。

依國人飛航目的選定國際線 65 條航班與兩岸線 14 條航班之熱門航線進行評估，其涵蓋之旅運人次分別達總人次之 95.17 % 及 55.74 %。使用法國開發的線上版飛航劑量評估軟體-SIEVERT 進行劑量計算。

評估結果國際線之總有效劑量範圍為 $2 \mu\text{Sv}$ (高雄往返澳門) 至 $189.2 \mu\text{Sv}$ (桃園至美國紐約)；兩岸線之總有效劑量範圍為 $2.4 \mu\text{Sv}$ (高雄往返深圳) 至 $11.9 \mu\text{Sv}$ (高雄往返北京)。

依台灣熱門航線分析可發現歐美航線因飛行距離較其他航線遠，導致其受宇宙輻射曝露的時間相對較長，因而其輻射曝露劑量評估結果比其他航線高；而亞洲地區之國家大多分布於赤道附近或位於低緯度，再加上距離台灣較近，飛航時間較短，所以劑量評估結果之曝露劑量相對較低。綜上，國際航線、兩岸航線經計算所得之集體有效劑量分別為 453 人-西弗/年、12 人-西弗/年，計算所得之商用飛航宇宙輻射所造成之國民輻射劑量約為 0.012 毫西弗/年。

(3) 醫療輻射

使用全民健康保險研究資料庫來調查臺灣醫療曝露人口；紀錄抽樣醫院的檢查項目輻射參數與測量輻射輸出；針對 8 種醫療輻射類別（電腦斷層、核子醫學、心臟類介入性透視攝影、非心臟類介入透視攝影、傳統透視攝影、一般傳統 X 光、乳房攝影、牙科攝影）及其對應的 51 個檢查項目，依各檢查項目的醫療曝露模式分別開發劑量評估模型；評估每個檢查項目的有效劑量，並配合調查醫療曝露人口資訊，以得到集體有效劑量；最後搭配台灣總人口數，推算的平均國民醫療輻射劑量（表 4.2.3）。

表 4.2.3 醫療輻射劑量評估階段性成果

分類 \ 評估方法	ICRP#60 號 (核醫 ICRP#106 號)	ICRP#103 號
電腦斷層	1.03	1.05
核子醫學	0.15	
心臟類介入性透視攝影	0.28	0.30
非心臟類介入性透視攝影	0.05	0.05
傳統透視攝影	0.02	0.02
一般傳統 X 光	0.09	0.08
乳房攝影	0.0014	0.0033

牙科攝影	0.0012	0.0034
------	--------	--------

依據整體規劃，108 年與 109 年已執行完成的工作項目：(A) 健保資料庫資料分析，藉由健保資料庫的代碼及取得與 8 種類別對應的人數，並已完成其 89 年至 106 年人數趨勢評估，藉由健保資料庫檢查項目年頻次推算醫療輻射檢查項目年頻次；(B) 取樣醫院檢查序列調查：完成 64 個類次；(C) 完成建立 8 種類別的劑量評估模型；(D) 推算集體有效劑量：電腦斷層與乳房攝影；(E) 完成台灣醫療輻射類別劑量網站之構想設計。

110 年完成的工作進度如下：(A) 精進健保資料庫的人數趨勢評估：完成至衛生福利部衛生福利資料科學中心蒐集健保資料庫之健保代碼對應其檢查項目年頻次等資料之統整與精進；(B) 取樣醫院檢查序列調查：完成 32 個類次；(C) 精進與微調 8 種類別 51 個檢查項目合計 138 個檢查序列之劑量評估模型；(D) 推算 8 種類別之集體有效劑量：分別以 ICRP 60 號報告報告與 ICRP 103 號報告報告評估台灣國民平均年劑量估算結果如表 3，8 個類別之年有效劑量為電腦斷層：1.03 mSv、1.05 mSv；核子醫學 0.15 mSv（僅以 ICRP 60 推算）；心臟類介入性透視攝影 0.28 mSv、0.30 mSv；非心臟類介入透視攝影 0.05 mSv、0.05 mSv；傳統透視攝影 0.02 mSv、0.02 mSv；一般傳統 X 光 0.09 mSv、0.08 mSv；乳房攝影 1.4 μ Sv、3.3 μ Sv；牙科攝影 1.2 μ Sv、3.4 μ Sv)；(E) 彙整國民醫療輻射劑量資料：完成 64 個類次；(F) 建立台灣醫療輻射類別劑量網站：已有基本架構雛形；上述結果以 64 個類次結果進行估算國民平均年劑量，此數據於後續會再更新為 96 個類次的估算結果。

(4) 產業活動

肥料中含有多種天然放射性核種，其生產過程中作為原料的礦物以鈾-238 及其衰變系列（如鐳-226）和鉀-40 為主，還有少量鈷-232 及其衰變系列，化肥的大量使用會增加土壤和地下水中放射性核種的含量，進而增加人類經飲用水和食物鏈等曝露途徑攝入的放射性核種，肥料中的鐳-226 一旦沉積在骨骼中，將可能造成生物損傷。考量農業活動中的肥料使用，會有鈾系、鈷系和鉀-40 等放射性核種發出的體外曝露（加馬輻射），與吸入氬氣及其衰變產生阿伐粒子的體內輻射曝露，爰探討評估國內市售肥料對農民造成之輻射劑量，採用高純度鍮輻射偵檢器測量國內製造的 13 件市售肥料，分析所含鐳-226、鈷-232 和鉀-40 的放射性核種活度濃度，其中 9 件複合肥料樣品所含鉀

-40 和鐳-226 的平均活度濃度相對較高，分別為 3339.4 ± 22.9 、 126.9 ± 2.8 Bq/kg，2 件磷肥樣品所含鐳-226 平均活度濃度相對較高，為 552.3 ± 3.3 Bq/kg，2 件鉀肥樣品所含鉀-40 和鐳-226 平均活度濃度相對較高，為 3279.6 ± 46.4 、 141.7 ± 11.8 Bq/kg，但所有樣品所含鐳-226、鈾-232 和鉀-40 核種活度濃度均小於天然放射性物質管理辦法的基準值（表 4.2.4），再分別計算 13 件肥料樣品施作於農地後所造成農民之鐳當量濃度、外部危險指數、內部危險指數、吸收劑量、年有效劑量及加馬射線係數，結果均遠低於歐盟委員會指導方針所提出的建議值；肥料使用之年有效劑量平均值為 0.313 微西弗，遠低於每年 1 毫西弗之劑量限值。但部分國際研究文獻指出在磷礦業、磷肥製造工廠、與肥料倉庫內作業的工人可能接受到較高的體外曝露及體內曝露，未來將進行相關研究。

表 4.2.4 13 件肥料樣品中所含鐳-226、鈾-232 和鉀-40 的活度濃度

編號	品名	肥料類型	鐳-226 (Bq/kg)	鈾-232 (Bq/kg)	鉀-40 (Bq/kg)
M1	黑旺特 1 號	複合肥料	85.7 ± 0.9	1.3 ± 0.4	2616.7 ± 47.1
M2	黑旺特 43 號	複合肥料	151.6 ± 8.3	3.8 ± 1.4	3786.8 ± 83.3
M3	寶效 39 號	複合肥料	184.2 ± 9.8	9.2 ± 3.3	3101.0 ± 62
M4	黑旺特 5 號	複合肥料	114.7 ± 5.3	1.6 ± 0.5	2951.0 ± 56.1
M5	黑旺特 4 號	複合肥料	89.8 ± 5.8	1.5 ± 0.4	4932.6 ± 113.4
M6	寶效 105 號	複合肥料	148.7 ± 9.4	1.1 ± 0.4	2773.4 ± 47.1
M7	寶效 43 號	複合肥料	106.2 ± 8.7	6.7 ± 2.3	3722.7 ± 70.7
M8	宜農肥王 1 號	複合肥料	120.5 ± 9.0	1.8 ± 0.6	2762.0 ± 44.2
M9	宜農 43 號	複合肥料	140.5 ± 12.5	8.0 ± 2.9	3408.3 ± 64.8
P1	寶粒磷(1)	磷肥	537.0 ± 4.8	4.6 ± 1.2	258.3 ± 8.5
P2	寶粒磷(2)	磷肥	567.6 ± 4.5	3.5 ± 0.8	360.0 ± 11.4
K1	雋隆 43 號(1)	鉀肥	150.4 ± 19.6	2.9 ± 1.0	3871.8 ± 77.4
K2	雋隆 43 號(2)	鉀肥	132.9 ± 13.3	9.2 ± 1.0	2687.3 ± 51.1

另針對國內燃煤電廠周邊土壤進行量測，採用美國能源部 HASL-300 現場度量技術進行燃煤電廠周圍之土壤輻射強度調查，並參考燃煤電廠周圍人口分布之情形，評估當地居民因燃煤電廠產生之煤灰所造成的國民輻射劑量。雲林麥寮發電廠、高雄興達發電廠與台中火力發電廠周邊（共 10 處）土壤現場量測結果列於表 2，鉀-40 所量測活度濃度範圍在每公斤 496 到 635 貝克；鈾系所量測活度濃度範

圍在每公斤 18 到 39 貝克；鈷系所量測活度濃度範圍在每公斤 31 到 59 貝克。為作輻射劑量評估參考使用，本研究參考 ICRU 53 號報告將現場度量之活度濃度(Bq/kg)量測結果轉換成加馬劑量率($\mu\text{Sv/h}$)；經轉換之土壤量測結果，鉀-40 之加馬劑量率範圍為每小時 0.019 至 0.025 微西弗；鈾系之加馬劑量率範圍為每小時 0.001 至 0.021 微西弗；鈷系之加馬劑量率範圍為每小時 0.012 至 0.023 微西弗。將計算轉換的鈷系、鈾系與鉀-40 劑量率加總後即可獲得總加馬劑量率，總加馬劑量率之範圍落於 0.043 至 0.066 $\mu\text{Sv/h}$ ；以個別電廠的量測結果來看，雲林麥寮電廠、高雄興達電廠與台中火力發電廠之加馬劑量率平均值分別為 0.057、0.054 與 0.052 $\mu\text{Sv/h}$ (表 4.2.5)，與一般地表加馬輻射無差異，故居住於該地區的居民並不會因此獲得較高的輻射劑量。

表 4.2.5 燃煤電廠周邊土壤活度濃度與加馬劑量率

電廠	編碼	現場度量 測定場所	活度濃度(Bq/kg)			加馬劑量率($\mu\text{Sv/h}$)			總加馬劑量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
			鉀 40	鈾系	鈷系	鉀 40	鈾系	鈷系	
雲林麥寮發電廠	A	長庚雲林分院	572	27	44	0.022	0.014	0.017	0.053
	B	橋頭國小 許厝分校	603	38	57	0.024	0.020	0.022	0.066
	C	阿媽公園	496	27	44	0.019	0.014	0.017	0.051
高雄市興達發電廠	D	五福宮附近空地	634	20	34	0.025	0.011	0.013	0.049
	E	高雄市興達國民小學	525	32	43	0.021	0.070	0.017	0.054
	F	興達港河堤邊	560	29	59	0.022	0.015	0.023	0.060
台中市火力發電廠	G	梧棲運動公園	510	18	35	0.020	0.010	0.012	0.043
	H	台中港旅客服務中心旁草地	539	19	31	0.021	0.010	0.012	0.043
	I	河濱公園槌球場	524	32	45	0.020	0.017	0.018	0.055
	J	臺中市龍井國民小學	635	39	53	0.025	0.021	0.021	0.066

(5) 職業曝露

依據 104 年至 109 年之「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」之劑量監測數據，近六年職業輻射曝露之國民輻射年劑量落在 0.234~0.366 微西弗/年之間，平均值為 0.281 微西弗/年（表 4.2.6）；整體而言，我國的職業輻射從業人數雖增加，但年集體有效劑量則逐年下降，故職業曝露之國民輻射年劑量呈現長期下降趨勢。惟因「全國輻射從業人員劑量資料統計年報」並無民用航空職業曝露相關監測數據，另以 UNSCEAR 1993 報告之飛航從業人員之個人年有效劑量（3 毫西弗/年）及國籍航空飛航工作人數進行估算，104~109 年民用航空職業曝露之平均年集體有效劑量為 32.34 人-西弗，換算成國民輻射劑量為 1.373 微西弗/年，與劑量監測所得之國民輻射年劑量（0.281 微西弗/年）加總，職業曝露之國民輻射劑量為 1.654 微西弗/年。

表 4.2.6 104-109 年職業曝露評估結果

年分	104	105	106	107	108	109
男(人)	11,712,047	11,719,270	11,719,580	11,712,913	11,705,186	11,673,765
女(人)	11,780,027	11,820,546	11,851,647	11,876,019	11,897,935	11,887,471
總人口數 (人)	23,492,074	23,539,816	23,571,227	23,588,932	23,603,121	23,561,236
年集體劑量 (mSv)	8589.69	7326.65	5803.61	5775.33	5516.98	6725.03
國民 輻射劑量 (μ Sv/yr)	0.366	0.311	0.246	0.245	0.234	0.285

綜上，經計算評估，本計畫執行至 110 年為止的階段性成果彙整如表 4.2.7 及表 4.2.8，不同輻射來源之比率詳圖 4.2.1 至圖 4.2.3。

表 4.2.7 國民輻射劑量的組成

項目	年有效劑量(mSv)	百分比(%)
天然背景輻射	2.815	62.4
醫療輻射	1.623	36.0
消費性產品	0.074	1.6
職業曝露	0.001654	0.037
產業活動	0.000313	0.007

總計	4.51	100
----	------	-----

表 4.2.8 國民輻射劑量的組成 (細項)

項目	年有效劑量(mSv)	百分比(%)
醫療輻射-電腦斷層檢查	1.030	22.8
天然背景輻射-氡氣	0.901	20.0
天然背景輻射-地表輻射	0.840	18.6
天然背景輻射-(因攝食)體內放射性核種	0.833	18.5
醫療輻射-心臟類介入性透視攝影檢查	0.28	6.2
天然背景輻射-宇宙輻射	0.241	5.3
醫療輻射-核子醫學診斷檢查	0.15	3.3
醫療輻射-一般傳統 X 光檢查	0.09	2.0
消費性產品	0.074	1.6
醫療輻射-非心臟類介入性透視攝影檢查	0.05	1.1
醫療輻射-傳統透視攝影檢查	0.02	0.4
職業曝露	0.001654	0.04
醫療輻射-乳房攝影檢查	0.0014	0.031
醫療輻射-牙科攝影檢查	0.0012	0.027
產業活動	0.000313	0.007
總計	4.51	100

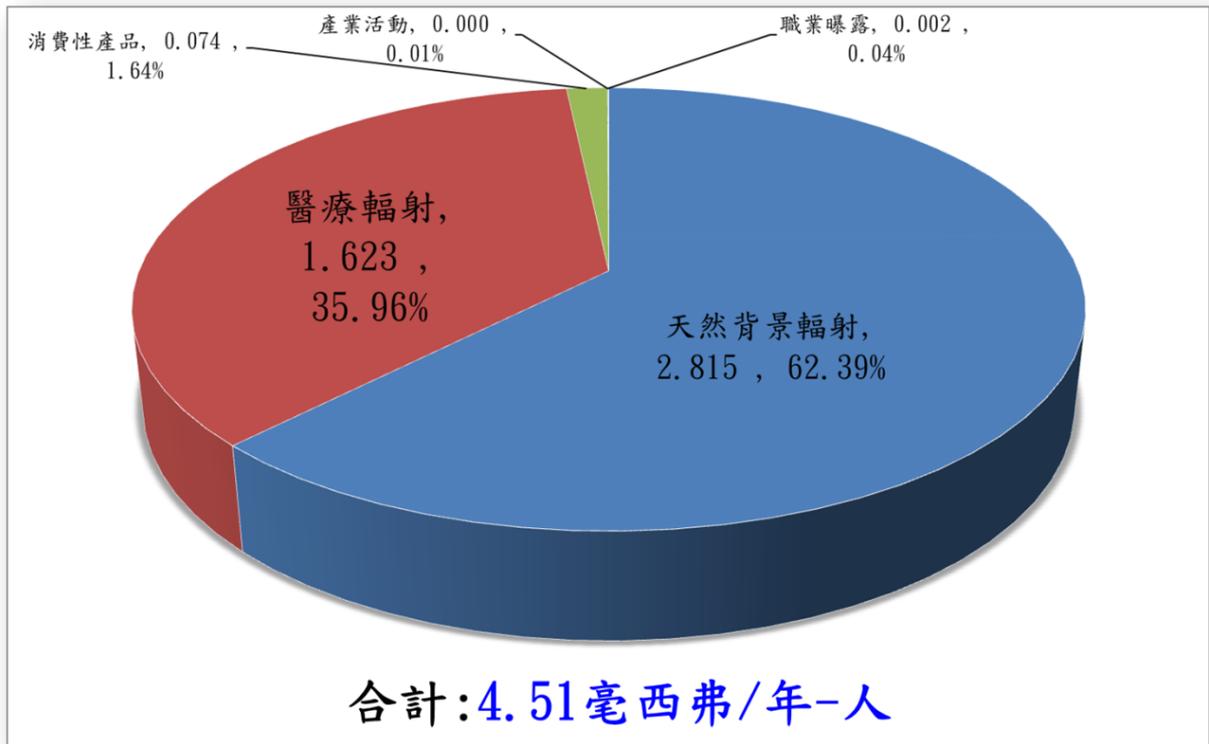


圖 4.2.1 國民輻射劑量的組成 (5 大類)

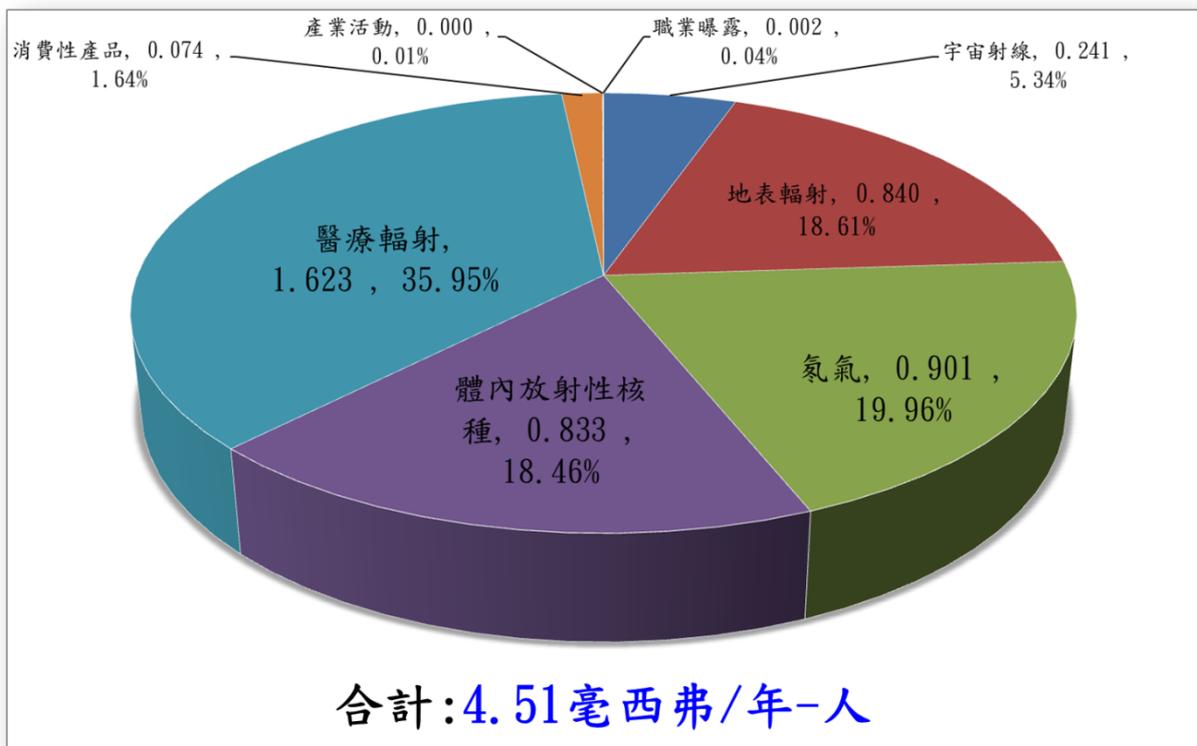


圖 4.2.2 國民輻射劑量的組成 (天然背景輻射細分 4 小類)

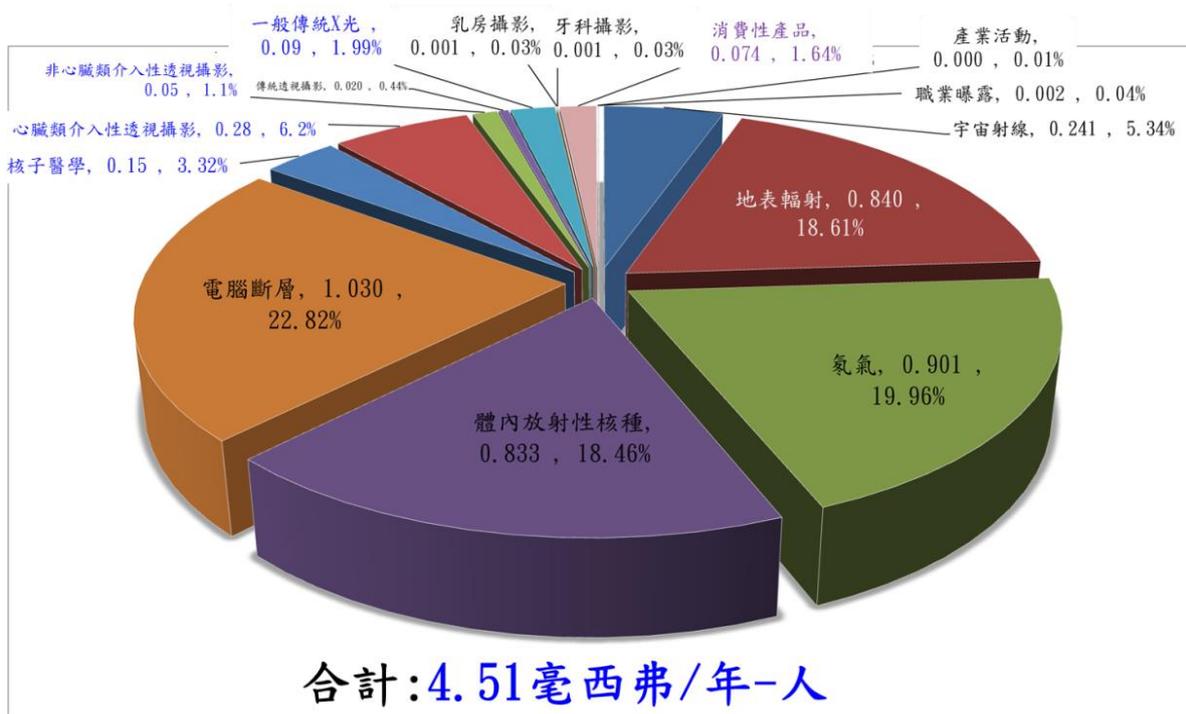


圖 4.2.3 國民輻射劑量的組成

(天然背景輻射細分 4 小類與醫療輻射細分 8 小類)

附表、佐證資料表

【A 論文表】

題 名	第一作者	發表年(西元年)	文獻類別	成果歸屬
淺談核電廠除役最終狀態偵檢之獨立確認調查	劉鴻鳴	2021	B	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
除役核電廠其輻射評估模式驗證之先期研究	許世明	2021	E	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
核電廠除役時 304 不銹鋼與碳鋼之電化學除污技術研究	葉宗洸	2021	E	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
運用 VSP 進行核二廠除役最終狀態偵檢之取樣規劃與取樣結果統計分析	陳韶萱	2021	E	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
台灣鄰近海域海產物放射性含量調查	尤建偉	2021	E	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
A rapid method for Cs-137 preconcentration from seawater by using polyaluminum chloride as coagulant	陳婉玲	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
Radiocesium in the Taiwan Strait and the Kuroshio east of Taiwan from 2018 to 2019	黃蔚人	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
BMI-adjusted Dose Conversion Factor of Effective Dose Estimation for Coronary Computed Tomography Angiography: Patient Study	林晉生	2021	F	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
Establishment of radiation doses for pediatric X-ray examinations in several hospitals in Taiwan	何俊逸	2021	E	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【AA 決策依據表】

名稱	內容	類別	是否被採納	成果歸屬
「太空用的積體電路」技術布局策略	「半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」、「由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」、「邏輯電路之提高可靠性之修飾」、「電性能之測試裝置，如電路之測量」、「錯誤檢測與校正，如容錯」等技術項目，在我國半導體為基礎下的技術較具有發展優勢，為適合我國未來資源投入研發的技術與應用方向	B	B	國際合作及技術交流
「抗輻射之電池製程」技術布局策略	較為適合我國學研界在太陽能電池較具優勢的技術領域包含「半導體層厚度」，即和以多接面電池提升輻射的吸收度及耐受度有相當高的關連，另外「特殊背面/底層/基板/後觸點技術」多應用於可撓性太陽能版，來克服短波輻射造成的材料氧化問題，「塗層/薄膜」亦為適合我國學研界發展的選項，近5年也用來達成導電/放電之功效，來避免太陽能電池陣列表面和底盤之間產生電位差太大造成的靜電放電事件。	B	B	國際合作及技術交流
廢棄物表面殘餘輻射解除管制分析方法	提出建議可透過評估廢棄物密度進行質量-面積比(mass-to-surface ratio)調整，或搭配其他量測技術檢測結果，以驗證廢棄物表面殘餘輻射符合相關標準。	A	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
除污策略及核二廠過渡期安全分析	研析除役過程之封閉系統與開放系統的典型除污工作項目所採取之除污技術，以及相關的廢棄物的處理考量，另亦研討整理雷射除污技術及電化學除污的運作原理、操作原理等重要特性，彙整成果作為管制雷射除污技術的參考；掌握核電廠於除役階段意外事故發展時序與關鍵因子，提供管制單位審查之佐證依據；另提供有關數據品質以及相關結果的管制/審查建議，提昇國內的除役技術研究能量。	C	是	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
核一廠除役期間廠址地下水防護管制	探討核一廠除役期間廠址地下水防護管制特性，提出地下水防護管制方案精進之管制建議，做為我國未來精進核電廠除役之審查與管制的重要參考，強化核電廠除役安全。	C	是	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究

註：類別分成 A 新建或整合流程、B 重大統計訊息或政策建議報告；是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【B 合作團隊(計畫)養成表】

團隊(計畫)名稱	合作對象	合作模式	團隊(計畫)性質	成立時間(西元年)	成果歸屬
原子能技術布局策略研究團隊	國立虎尾科技大學、核能研究所	B	A	2021	國際合作及技術交流
核電廠除污策略和技術研究團隊	國立清華大學核子工程與科學研究所、原子科學技術發展中心	A	A	2019	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
海洋調查團隊	國立中山大學、海洋委員會、農委會	B	A	2017	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
劑量評估團隊	財團法人中華民國輻射防護協會、國立清華大學	B	A	2019	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

註：合作模式分成 A 機構內跨領域合作、B 跨機構合作、C 跨國合作；團隊(計畫)性質分成 A 形成合作團隊或合作計畫、B 形成研究中心、C 形成實驗室、D 簽訂協議；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【C 培育及延攬人才表】

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
邱鈴驊	國立虎尾科技大學經營管理研究所	B	C	國際合作及技術交流
胡維恩	國立虎尾科技大學車輛工程系	C	C	國際合作及技術交流
馮真如	國立陽明交通大學生物影像暨放射科學系	A	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
王昱傑	國立陽明交通大學生物影像暨放射科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
張秉文	國立陽明交通大學生物影像暨放射科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
曾靜悠	國立陽明交通大學生物影像暨放射科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
吳妮珊	國立陽明交通大學生物影像暨放射科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
林宇捷	國立清華大學生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
沈煒翔	國立清華大學生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
賴颯辰	國立清華大學生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
				與規劃技術研究
陳孟渝	國立清華大學 生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
沈銘韋	國立清華大學 生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
強敬哲	國立清華大學 生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
邱瑞崑	國立清華大學 生醫工程與環境科學系	B	C	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
廖科涵	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
高睿駿	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
張宣佑	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
黃謙煜	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
陳玄哲	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
陳偉懋	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
石聿捷	國立清華大學 工程與系統科學系	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
朱景洄	國立清華大學 工程與系統科學系	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
吳思嫻	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
劉昆妮	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
林瑋勛	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
賴柏維	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
陳其伸	國立清華大學	B	B	核電廠除役各階

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
	工程與系統科學系			段工程技術與分析應用研究
蘇中聖	國立清華大學 工程與系統科學系	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
何佑婕	國立中央大學 應用地質研究所	B	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
練蒙恩	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
何佩珊	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
林雍傑	國立清華大學 核子工程與科學研究所	B	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
何俊逸	國立清華大學 核子工程與科學研究所	C	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
王光子	國立清華大學 核子工程與科學研究所	C	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
陳威全	國立清華大學 核子工程與科學研究所	C	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
黃信雄	國立中山大學 海洋科學系	C	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
高愷嶸	國立海洋大學 環境生物與漁業科學系	A	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
廖哲瑄	國立臺灣大學 海洋研究所	B	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
黃貴楨	國立中山大學 海洋科學系	B	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

註：學歷分成 A 博士(含博士生)、B 碩士(含碩士生)、C 學士(含大學生)；性質分成 B 學程通過、C 培訓課程通過、D 國際學生/學者交換、E 延攬人才；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【D1 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年(西元年)	是否被採納	成果歸屬
原子能科技民生應用於我國發展策略之研析 I	蕭子訓	2022	B	國際合作及技術交流
國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究	蔡 璞	2021	B	國際合作及技術交流
除役期間常用輻防管制偵測設備(表面污染)特性研究	林士軒、黃珮吉	2021	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
除役廠址環境輻射偵測結果評估方法研究	黃珮吉	2021	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
核一廠汽機廠房輻射評估模式驗證之先期發展研究	許世明	2021	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
核電廠除役期間安全評估技術強化及廠址取樣方法品質研析	許文勝 楊融華 陳玄哲 陳韶萱	2021	D	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
核電廠除役期間除污策略和技術彙整	歐陽汎怡、林明緯、王本誠、李進得	2021	D	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析	陳瑞昇、梁菁萍、張誠信、何佑婕	2021	C	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
職業曝露國民輻射劑量評估報告	高薇喻	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
110 年地表環境輻射偵測總結報告	劉任哲	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
商用飛航宇宙輻射之國民劑量評估報告	柯亭含	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
燃煤電廠周圍環境土壤輻射強度調查與居民劑量評估簡要報告	柯亭含	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
110 年台灣海域輻射背景調查計畫報告	陳鎮東、李明安、詹森、楊穎堅、黃蔚人	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
台灣海陸域環境輻射調查計畫 110 年度執行成果報告	周政毅、陶良榆、方鈞屹、陳婉玲	2021	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【F 形成課程教材手冊軟體表】

名稱	性質	類別	發表年度 (西元年)	出版單位	是否為自由軟體	成果歸屬
重要加速器設施及輻射應用設備之原理及應用	B	A	2021	核能研究所	否	國際合作及技術交流
核設施除役輻射偵檢與廠址調查專業技術訓練	B	A	2021	核能研究所	否	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
核設施除役輻射檢測驗證技術訓練	B	A	2021	核能研究所	否	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究

註：性質分成 A 課程、B 教材、C 手冊；類別分成 A 文件式、B 多媒體、C 軟體(含 APP)、D 其他(請序明)；
成果歸屬請填細部計畫名稱。

【I1 辦理技術活動表】

技術活動名稱	活動性質	活動屬性	舉辦日期 (YYYYMMDD)	參與人數	成果歸屬
台美民用核能合作視訊會議	A	B	20210324-20210325	40	國際合作及技術交流
第 7 屆台日核安管制資訊交流視訊會議	A	B	20210720	30	國際合作及技術交流
日本福島核災含氚廢水海洋排放技術交流視訊會議	A	B	20210827、20211111	30	國際合作及技術交流
太空用的積體電路案例專家訪談	D	A	20210125、20210423、 20210914	7	國際合作及技術交流
抗輻射之電池製程案例專家訪談	D	A	20210201、20210423、 20210914	6	國際合作及技術交流
「i 上原子能 綠能 e 世界」-台中場	C	A	20210417-20210418	3,620	國際合作及技術交流
「i 上原子能 綠能 e 世界」-屏東場	C	A	20211204	2,483	國際合作及技術交流

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、
B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、
B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【Z 調查成果表】

調查項目名稱	調查面積	圖幅數	調查點筆數	成果歸屬
海域樣品輻射調查			518	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
醫療輻射健保資料庫調查			42,750,195	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。