

109 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(2/4)

執行期間：

全程：自 108 年 1 月 1 日至 111 年 12 月 31 日止

本期：自 109 年 1 月 1 日至 109 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

【109 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表】	1
第一部分	5
壹、目標與架構 (系統填寫)	6
一、總目標及其達成情形	6
二、架構	10
三、細部計畫與執行摘要	13
貳、經費執行情形	25
一、經資門經費表	25
二、經費支用說明	27
三、經費實際支用與原規劃差異說明	28
參、主要產出與關鍵效益	30
第二部分	37
壹、成果之價值與貢獻度	38
貳、檢討與展望	41
參、其他補充資料	43
一、跨部會協調或與相關計畫之配合	43
二、大型科學儀器使用效益說明	43
三、其他補充說明(計畫成果完整說明)	43
附表、佐證資料表	88

【109年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號						
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				
計畫類別	☐ 政策計畫 ☒ 一般計畫					
重點政策項目	☐ 亞洲・矽谷 ☐ 智慧機械 ☐ 綠能產業 ☐ 生技醫藥 ☐ 國防產業(資安、微衛星) ☐ 新農業 ☐ 循環經濟圈 ☐ 晶片設計與半導體前瞻科技 ☐ 數位經濟與服務業科技創新 ☐ 文化創意產業科技創新 ☐ 其他					
前瞻項目	☐ 綠能建設 ☐ 數位建設 ☐ 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 34% 資通電子__% 工程科技 49% 人社科服 __% 科技政策 17%					
執行期間	109 年 1 月 1 日至 109 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	30,823		34.5		
	111	31,500		36		
	合計	134,450		153.4		
	109 年度	經費項目		預算數(千元)	決算數(千元)	執行率(%)
		經常門	人事費	1,600	0	0
			材料費	4,700	3,006	63.96
			其他經常支出	24,150	25,273	104.65
			小計	30,450	28,279	92.87

		資本門	土地建築	0	0	0
			儀器設備	2,766	2,836	102.53
			其他資本支出	1,693	1,575	93.03
			小計	4,459	4,410	98.90
		經費合計		34,909	32,353	92.68
政策依據	● 行政院 109 年施政方針：嚴格執行核電廠除役及核電廠安全管理作業，持續推動公眾參與監督及資訊透明機制；拓展原子能科技民生應用。 ● 總統政見：「非核家園」能源政策。					
與國家科學技術發展計畫之關聯	目標二「堅實智慧生活科技與產業」： ● 策略 3「精進防災科技減少災害衝擊」措施 4「發展智慧防災科技」：善用輻射儀器之科學技術，啟動國土環境背景輻射調查，作為國土環境背景輻射之基限準則，提升環境安全。 ● 策略 4「發展綠色科技實現低碳永續社會」措施 5「發展核後端技術，邁向綠色永續社會」：為順利實現非核家園，亟需強化核電廠除役技術。					
本計畫在機關施政項目之定位及功能	原能會 106-109 年科技施政關鍵策略目標： 「切實監督核電廠安全」、「穩妥放射性廢棄物管理」及「嚴密輻射防護安全管理」、「發展工程跨域整合技術」、「提升環境輻射監測機制」					
計畫重點描述	分項計畫一：國際合作及技術交流 1-1 核電廠除役之國際合作與交流 1-2 國際原子能法規及趨勢之研究 分項計畫二：核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究 2-1 輻射劑量合理抑低技術開發與應用智慧機械之研究 2-2 除役作業場所輻射分析之審查技術研究 2-3 精進除役期間輻射管制技術之研究 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 分項計畫三：核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究 3-1 國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制 3-2 國際除役法規和指引彙整之管制研究 3-3 除污策略和技術彙整 3-4 過渡期電廠安全分析 分項計畫四：海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估 4-1 海陸域環境輻射調查					

	4-2 國民輻射劑量評估	
主要績效指標	原設定	A.論文：6 篇 C.培育人才：24 人 I1.辦理技術活動：3 場次 Z.調查成果：100 件 AA.決策依據：4 項
	達成情形	A.論文：8 篇 C.培育人才：32 人 I1.辦理技術活動：5 場次 Z.調查成果：312 件 AA.決策依據：7 項
計畫效益與重大突破	一、以視訊方式辦理「第 6 屆台日核能管制資訊交流會議」，深化與日本之原子能事務合作關係；借鏡國際原子能總署原子能科技發展趨勢，依循我國產業結構需求，提出原子能科技民生應用發展策略藍圖，作為未來推動原子能科技研發之方針基礎。 二、開發遠端操控之輻射偵檢智慧載具，可自主探索與偵測空間輻射劑量，支援輻射場域環境參數取樣與監測任務施行，減少危險場域作業之人員體外曝露危害；分析歸納國際除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略、應用實例說明，並提出「難測核種比例因數評估之審查導則」草案；探討國際除役階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案與違規案例，協助原能會輻射安全管制及人員教育訓練。 三、借鏡國際核電廠除役案例及文獻資料，針對核電廠除役所涉費用估算、技術規範、除污技術、地下水防護等議題提出管制建議，並建立核一廠除役期間用過燃料池安全分析模式。 四、完成海域樣品放射性核種分析共 583 件，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。此外，因應日本福島核電廠含氚廢水排放至海洋，建立海水氚分析能量；另因應新的劑量評估模式與調查資料，更新部分項目之國民輻射劑量評估結果，例如吸菸、攝食、醫療輻射電腦斷層與乳房攝影以及職業曝露所造成之劑量等，並依國人生活現況滾動式調整。	
遭遇困難與因應對策	一、原訂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，因應歐、美、日國際合作工作項目取消或精簡，改進行新南向各國之國情及原子能科技資訊蒐集，以評估未來拓展新南向國家合作交流之可能。	

	二、因新冠肺炎疫情關係之故，海洋研究船保養延宕，部分海域樣品未能如期順利完成，經計畫契約變更，樣品得以於 12 月底前完成取樣；另進出醫院調查醫療劑量所需防護相關物品(如：醫療口罩、消毒酒精)在上半年取得並不容易，為了計畫人員的安全維護，要求需配戴防疫相關防護用品才能進入目的場所進行取樣或量測，以保障計畫人員的安全，下半年因物資取得管道較多，勉以補足上半年因疫情延誤之進度。			
後續精進措施	一、國際合作部分將配合各項防疫措施或透過遠端視訊，持續與各國維持良好互動，並基於原子能科技民生應用發展策略藍圖，進行相關技術領域之專利分析及產業趨勢調查。 二、核電廠除役管制技術研究部分，將研析各國規劃合理抑低除役作業人員之接受輻射劑量及防護措施，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。 三、海域輻射調查將參考近年調查結果及國際文獻，擬定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，將充實地表與宇宙輻射劑量量測數據，並針對民眾關切消費產品列為後續規劃重點。			
計畫連絡人	姓名	林歲士	職稱	技正
	服務機關	行政院原子能委員會		
	電話	02-2232-2082	電子郵件	stan@aec.gov.tw

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制建議。	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。
第一年 除役作業 安全無虞	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。	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。
第二年 除役作業 安全無虞	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。	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。
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，洋流在台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(含海水氚試樣 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、職業曝露與民生消費品輻射調查。	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	—	—
第四年	—	—

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	6,147/ (4,464)	陳志平	行政院原子能委員會	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。	1. 「第6屆台日核能管制資訊交流會議」因應新冠肺炎疫情影響，於109年12月9日以視訊方式辦理，除與日方交流核電廠相關管制資訊，亦就疫情下之相關管制因應對策交換意見。 2. 研析國際原子能總署(IAEA)原子能科技發展趨勢，對照我國產業優勢及未來發展需求，提出合於國情之原子能科技發展策略藍圖，有助原能會因應國際科技趨勢及國內產業需求，有效建立各領域技術發展路徑圖，加速相關產業技術之研發及可用性。 3. 掌握印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南等國原子能科技發展資訊及可能合作交流事項，可供原能會未來推動新南向國家原子能事務合作交流之評估參考，藉此尋

					求與新南向國家之原子能事務交流及契機。
核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究	9,044/ (8,925)	高熙玫	行政院原子能委員會 行政院原子能委員會核能研究所	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。	1. 建置輻射偵檢智慧載具，採前輪帶動及全向輪組轉向機構設計運行，可自主探索與偵測空間輻射劑量，依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經規劃作業，此平台可遠端操控，支援輻射場域環境參數取樣與監測任務施行，減少危險場域作業之人員體外曝露危害。 2. 彙整國外現存難測核種分析技術與國內的技術現況、參考國際文獻，分析歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略、應用實例說明，並提出審查導則建議；針對除役核電廠之獨立確認調查的執行策略、程序與方法進行研析，藉此建構國內確認調查的流程、並提出確認調查的管制及視察建議；探討國際除役階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案與違規案例，協助原能會輻射安全管制。

核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究	8,018/ (7,764)	李綺思	行政院原子能委員會	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。	1. 研析美國核管會對核電廠除役費用估算之管制標準、國際資訊與經驗回饋，研提相關議題之管制建議。 2. 研蒐國際原子能總署有關除役安全規範和指引、技術報告、美國核電廠廠址歷史評估文件，美國核管會核電廠除役視察報告，提出除役管制作業執行之建議。 3. 探討各國核電廠除役過程所應用之非化學除污技術原理及管制要項。針對核電廠除役階段用過燃料池安全之分析評估、數據品質目標等研析關鍵要項，並提出管制建議。 4. 借鏡美國核電廠運轉與除役期廠址地下水防護管制架構、業界導則文件及實務經驗，研析管制方向之差異性及特定技術要項、重要參數，提出我國核電廠地下水防護之管制建議及技術要項之重點。
海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估	11,700/ (11,636)	徐明德	行政院原子能委員會輻射偵測中心	一、持續臺灣海域輻射監測建構作業，洋流在台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。	1. 完成海水試樣 312 件(含海水氣試樣 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。

			二、完成食品飲水體內劑量及職業曝露評估。	2. 因應新的劑量評估模式與調查資料，更新部分項目之國民輻射劑量評估結果，例如吸菸、攝食、宇宙輻射所造成之劑量等，可提供國人參考，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。
--	--	--	----------------------	--

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	政策及制度之規劃與制訂
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	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。		
計畫投入（Inputs）			
預算數（千元）／決算數（千元）／執行率	6,147／4,464／72.62%	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	1. 「第 6 屆台日核能管制資訊交流會議」因應新冠肺炎疫情影響，於 109 年 12 月 9 日以視訊方式辦理，除與日方交流核電廠相關管制資訊，亦就疫情下之相關管制因應對策交換意見。		原能會/國際組織/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

	2. 「2020 台美民用核能合作會議」原訂於今年第 4 季於美國召開，因新冠肺炎疫情影響，規劃將於 110 年春季改採視訊方式辦理。 3. 原訂與法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSN)109 年舉行之交流會議，因新冠肺炎疫情影響，已協調暫先延至 110 年春季辦理。	
國際原子能法規及趨勢之研究	1. 研析國際原子能總署(IAEA)原子能科技發展趨勢，對照我國產業優勢及未來發展需求，邀請國內專家學者計 34 名就產業經濟、前瞻應用科技、能資源與環境、健康與民生等面向相關技術群組進行盤點，提出合於國情之原子能科技發展策略藍圖，作為原能會未來科研推動及資源配置之方針參考。 2. 研析政府新南向政策中印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南六國原子能科技發展資訊，包含國家基本資料、原子能科技應用概況、政府科研部門、與 IAEA 之合作交流、放射性廢棄物處理等，提出運用政府既有平台推動交流，以及建議合作事項，包含醫療、實驗室交流及區域議題合作研究等，作為原能會未來新南向國際合作之推動參考。	原能會/國內學研機構/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：3 研究報告：2 決策依據：2	達成情形 辦理技術活動：3 研究報告：2 決策依據：2
補充說明	合於預期	

本年度效益、影響、重大突破	
1.	「第6屆台日核能管制資訊交流會議」因應新冠肺炎疫情影響，於109年12月9日以視訊方式辦理，除與日方交流核電廠相關管制資訊，亦就疫情下之相關管制因應對策交換意見。
2.	研析國際原子能總署(IAEA)原子能科技發展趨勢，對照我國產業優勢及未來發展需求，提出合於國情之原子能科技發展策略藍圖，有助原能會因應國際科技趨勢及國內產業需求，有效建立各領域技術發展路徑圖，加速相關產業技術之研發及可用性。
3.	掌握印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南等國原子能科技發展資訊及可能合作交流事項，可供原能會未來推動新南向國家原子能事務合作交流之評估參考，藉此尋求與新南向國家之原子能事務交流及契機。
遭遇困難與因應對策	
1.	原訂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.	疫情期間因應歐、美、日國際合作工作項目取消或精簡，改進行新南向各國之國情及原子能科技資訊蒐集，以評估未來拓展新南向國家合作交流之可能。

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	應用與技術發展
主持人	高熙玫	執行機關	行政院原子能委員會
細部計畫目標	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。		
計畫投入（Inputs）			
預算數（千元）／決算數（千元）／執行率	9,044／8,925／98.69%	總人力（人年）實際／（規劃）	11.4 人年／（8.6 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	1. 完成輻射偵檢智慧載具建置，可依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經規劃作業。		原能會/台電公司/核能研究所

	2. 實測單鋰電池芯遭受鈷-60 輻射影響甚微，評估可經由局部防護電池管理系統(BMS)方式，提升載具動力電池系統輻射耐受度。	
除役作業場所輻射分析之審查技術研究	1. 彙整國外現存難測核種分析技術與國內的技術現況，參考國際文獻，分析歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略、應用實例說明，並提出審查導則建議。 2. 參考國際文獻，針對除役核電廠之獨立確認調查的執行策略、程序與方法進行研析，藉此建構國內確認調查的流程、並提出確認調查的管制及視察建議。 3. 參考國際文獻，分析歸納輻射工作人員劑量監測使用工具、特性要求及相關品保程序。並執行國內劑量評定機構之業務調查及盲樣測試，確認各機構劑量計通過狀態，提出管制精進建議，作為現行常規能力測試輔助參考。	原能會/台電公司/國立清華大學、國立陽明大學
精進除役期間輻射管制技術之研究	研析國際除役過渡階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案與違規案例，協助輻射安全管制。	原能會/台電公司/核能研究所
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. 完成「核設施除役輻射偵測數據品質評估技術研究」研究報告 1 篇，本研究研析美國環保署於 EPA QA/G-9 報告所發展 5 步驟 DQA 程序，並以美國 MARSSIM 手冊中提供之案例，說明如何利用 DQA 進行數據評估、選擇統計方法及執行統計檢定等，以做出正確之結論，作為原能會未來審查核設施除役輻射偵檢設計及結果之參考。 2. 完成 Visual Sample Plan(VSP)軟體測試，並舉辦一場「核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練」，訓練內容包含	原能會/台電公司/核能研究所

	MARSSIM 程序簡介、VSP 程式操作介紹、VSP 統計方法介紹及 VSP 參數輸入方法等，VSP 可應用於環境特性調查、整治、除污、除役及建築物污染評估等。		
主要績效指標 KPI 達成情形			
原規劃	論文：2 培育及延攬人才：10 形成教材：1	達成情形	論文：3 培育及延攬人才：6 形成教材：1
補充說明	培育及延攬人才未能達標，係因本細部計畫委託核研所及清華大學原子科學技術發展中心執行部分，因兩者皆屬研究單位，非一般大專院校科系之教學單位，致無培育碩博士人才之產出。其餘指標優於預期。		
本年度效益、影響、重大突破			
1. 建置輻射偵檢智慧載具，採前輪帶動及全向輪組轉向機構設計運行，可自主探索與偵測空間輻射劑量，依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經規劃作業，此平台可遠端操控，支援輻射場域環境參數取樣與監測任務施行，減少危險場域作業之人員體外曝露危害。 2. 彙整國外現存難測核種分析技術與國內的技術現況、參考國際文獻，分析歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略、應用實例說明，並提出審查導則建議；針對除役核電廠之獨立確認調查的執行策略、程序與方法進行研析，藉此建構國內確認調查的流程、並提出確認調查的管制及視察建議；探討國際除役階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案與違規案例，協助原能會輻射安全管制。			
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	應用與技術發展
主持人	李綺思	執行機關	行政院原子能委員會
細部計畫目標	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。		
計畫投入（Inputs）			
預算數（千元）／決算數（千元）／執行率	8,018／7,764／95.59%	總人力（人年）實際／（規劃）	13 人年／（13 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
國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制	研析美國業界技術報告、美國核管會委託技術報告、核能署技術報告，以及美國核管會管制導則及標準審查計畫等，關於除役費用估算之參考文獻，以風險洞悉的概念，區隔實際執行除役應注意事項之優先順序，俾利執行管制工作時參考使用。		原能會/台電公司/財團法人核能資訊中心
國際除役法規和指引彙整之管制研究	1. 蒐集國際原子能總署及美國核管會相關文獻依業管權責做資料分類，並依據管制權責將技術報告按除役應用主題及需求期程做分類。 2. 研析 MARSSIM 等報告有關廠址歷史評估部分，彙整比較美國 Rancho Seco、Zion、Vermont Yankee 等電廠 HSA 報告內容章節架構提出管制建議。 3. 蒐集彙整 San Onofre 電廠除役視察報告及 Zion 電廠執照中止前		原能會/台電公司/財團法人中華民國輻射防護協會

	視察報告，統整分析除役視察作業之項目與頻次，彙整視察報告之重要發現與違規事項，提供原能會管制參考。	
除污策略和技術彙整	1. 研析美國國家環境保護署出版之技術報告，彙整表面除污之管制原則並研提除污技術可接受標準之參考依據。 2. 蒐集彙整各國核電廠除役過程所應用之非化學除污技術原理和優劣，針對機械、熔融、生物、複合技術除污等方式做分析與瞭解，提出除污管制作業之建議事項。 3. 探討美國機械工程師學會除役手冊有關除污等章節，研析彙整提出相應的管制建議。	原能會/台電公司/國立清華大學
過渡期電廠安全分析	1. 蒐集國際文獻掌握發生鋁合金火災之現象與原因，並針對核一廠除役期間現況，探討用過燃料池特定事件燃料溫升現象，執行關鍵因子靈敏度分析，評估核一廠除役期間一號機用過燃料池假設完全喪失冷卻水，鋁合金護套由 30°C 溫升至 900°C 的時間餘裕，與 NUREG-1738 報告分析結果相當。 2. 蒐集研析美國核電廠有關輻射偵檢作業數據品質評估相關文獻，進行 EPA QA/G-9 文件研析，並蒐集彙整美國核電廠輻射偵檢作業數據品質評估實際案例之相關文獻，綜整提出管制建議。 3. 完成美國核電廠廠址地下水防護管制法規與美國除役核電廠相關實務經驗之研析，並提出我國核電廠地下水防護管制架構之精進及管制技術要項之建議。	原能會/台電公司/國立清華大學、輔英科技大學

主要績效指標 KPI 達成情形			
原規劃	培育及延攬人才：8 技術報告：3 決策依據：2	達成情形	培育及延攬人才：16 技術報告：0 決策依據：5
補充說明	原規劃技術報告 3 篇未達標，但產出研究報告 5 篇，其餘指標執行成果優於預期。		
本年度效益、影響、重大突破			
1. 研析美國核管會對核電廠除役費用估算之管制標準、國際資訊與經驗回饋，研提相關議題之管制建議。 2. 研蒐國際原子能總署有關除役安全規範和指引、技術報告、美國核電廠廠址歷史評估文件，美國核管會核電廠除役視察報告，提出除役管制作業執行之建議。 3. 探討各國核電廠除役過程所應用之非化學除污技術原理及管制要項。針對核電廠除役階段用過燃料池安全之分析評估、數據品質目標等研析關鍵要項，並提出管制建議。 4. 借鏡美國核電廠運轉與除役期廠址地下水防護管制架構、業界導則文件及實務經驗，研析管制方向之差異性及特定技術要項、重要參數，提出我國核電廠地下水防護之管制建議及技術要項之重點。			
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	調查研究
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	持續臺灣海域輻射監測建構作業，洋流在台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；完成食品飲水體內劑量及職業曝露評估。		
計畫投入（Inputs）			
預算數（千元）／決算數（千元）／執行率	11,700／11,636／99.45%	總人力（人年）實際／（規劃）	10 人年／（10 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	1. 調查結果顯示臺灣海域海水之銫 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。 2. 109 年完成海水試樣 312 件(含海水氚試樣 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，自 106 年起累積海域樣品數量已達 1,530 件。研究成果顯示臺灣海域環境目前無輻射安全之疑慮。 3. 109 年度為因應日本福島第一核電廠含氚廢水排放至海洋，本計畫加強執行台灣海域氚輻射背景資料調查，以利未來日本排放含氚廢水之比對用。 4. 109 年完成台灣北部山區土壤樣品 107 件之放射性分析，以健全台灣輻射地圖資料庫。		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

國民輻射劑量評估	1. 完成南橫公路、北橫公路高山區域與綠島、金門等離島地區之環境背景輻射量測作業，量測數據納入國民輻射劑量體外劑量評估模式微調之參考。 2. 醫療輻射劑量評估部分，完成健保資料庫人數趨勢，自 89 年至 106 年各類別均呈成長趨勢，以非心臟類介入性透視與核醫成長幅度最大；完成 6 家醫院實地參數量測、劑量評估模型建置與初期網站設計；電腦斷層之國民輻射劑量評估結果為年劑量 0.76 毫西弗。 3. 彙整完成 84-108 年「全國輻射工作人員劑量資料統計年報」職業曝露劑量之整理，國民輻射劑量評估採 104-108 年共計五年數據為每年 0.234-0.366 微西弗，後續將納入其他年份資料進一步探討。 4. 民生消費部分，彙整衛福部國健署與食藥署所提供國民吸菸行為習慣調查 105-107 年度資料，由吸菸資料可推估吸菸所造成年劑量 0.049 毫西弗。此外彙整 104-108 年各機場國際與兩岸航線人次資料，初步排序建議進行約 50 條國際航線與 10 條兩岸航線之劑量評估，方能涵蓋旅客人口 90%以上，後續將就劑量評估參數進行探討。 5. 體內劑量評估部分，完成評估銨 137 核種攝食造成國民輻射劑量為每年 0.418 微西弗。另完成台灣西部農特產品(稻米)20 件之放射性分析，以提供國民輻射劑量估評之參考。	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
-----------------	--	---

主要績效指標 KPI 達成情形			
原規劃	論文：2 培育及延攬人才：6 海樣放射性分析：100	達成情形	論文：4 培育及延攬人才：10 海樣放射性分析：312
補充說明	優於預期。		
本年度效益、影響、重大突破			
1. 完成海水試樣 312 件(含海水氣試樣 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。 2. 因應新的劑量評估模式與調查資料，更新部分項目之國民輻射劑量評估結果，例如吸菸、攝食、宇宙輻射所造成之劑量等，可提供國人參考，完成近 5 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。			
遭遇困難與因應對策			
1. 計畫受新冠肺炎疫情影響，海洋研究船保養延宕，部分海域樣品未順利完成，經計畫契約變更，樣品亦於 12 月底前完成取樣，順利結案。另，防護相關物品(如：醫療口罩、消毒酒精)取得並不容易，為了計畫人員的安全維護，要求需配戴防疫相關防護用品才能進入目的場所進行取樣或量測，以保障計畫人員的安全維護。幸而雖然前半年取得非常困難，到後半年相對容易，因此能夠盡力補足上半年因疫情延誤之進度。 2. 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，我們發現 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。目前初步評估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、核子醫學檢查有可能無法達到取樣 12 家醫院的目標。

3. 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。
4. 原本上半年因新型冠狀病毒肺炎疫情不穩定性爆發關係之故，稍微落後的進度，在後半年已追回落後進度，在今年底順利完成 48 個類次之取樣醫院檢查序列調查。但目前許多場所仍然將防疫放在第一優先順位，例如醫院希望待疫情趨於緩和之後，再到醫院執行計畫相關取樣作業。目前新型冠狀病毒肺炎疫情尚未舒緩，110 年計畫執行上預期仍具挑戰。

貳、經費執行情形

一、經資門經費表

單位：千元；%

	109 年度					110 年度 預算數	111 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	34,909	32,353	336	32,690	93.64%	30,823	31,500	
一、經常門小計	30,450	27,943	336	28,279	92.87%	27,747	28,400	
(1)人事費	1,600	0	0	0	0%	0	0	
(2)材料費	4,700	3,006	0	3,006	63.96%	3,650	3,850	
(3)其他經常支出	24,150	24,937	336	25,273	104.65%	24,097	24,550	由人事費流入 1,123 千元
二、資本門小計	4,459	4,410	0	4,410	98.90%	3,076	3,100	
(1)土地建築	0	0	0	0	-	0	0	
(2)儀器設備	2,766	2,836	0	2,836	102.53%	2,700	3,000	由其他資本支出 流入 70 千元
(3)其他資本支出	1,693	1,575	0	1,575	93.03%	376	100	

		108 年度 決算數	109 年度 決算數 (執行率)	110 年度 預算數	111 年度 申請數	備註
綱要計畫總計		37,218	32,690 (93.64%)	30,823	31,500	
一、國際合作及技術交流	小計	1,507	4,464 (72.62%)	6,019	8,056	
	經常支出	1,465	3,409 (67.45%)	5,643	7,956	
	資本支出	412	1,055 (96.53%)	376	100	
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 (98.69%)	7,274	7,344	
	經常支出	7,221	7,426 (98.44%)	6,274	6,344	
	資本支出	1,500	1,499 (99.94%)	1,000	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 (95.59%)	6,730	6,800	
	經常支出	7,940	7,764 (95.59%)	6,730	6,800	
	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 (99.45%)	10,800	9,300	
	經常支出	10,190	9,780 (99.45%)	9,100	7,300	
	資本支出	3,251	1,856 (99.47%)	1,700	2,000	
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：主要用以研究所需實驗材料、閃爍材料、光電零件、液態射源、電腦耗材等消耗性材料費及儀器設備及實驗室維護費等約 300 萬元。
- 2.其他經常支出：主要用以支應委辦費，包含委託國立清華大學執行「除役作業場所輻射分析之審查技術研究」225 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 504 萬元，委託國立中山大學執行「台灣海域輻射背景調查計畫」416 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」320 萬元及「國際除役技術指引和法規彙整之管制研究」計畫 93 萬元，委託財團法人核能資訊中心辦理「國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制」計畫 84 萬元，委託國立陽明大學辦理「國內輻射工作人員劑量評定機構管制技術精進」計畫 79 萬元，委託輔英科技大學辦理「核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析」計畫 85 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 2,527 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設備 150 萬元，包含載台機組建構裝置約 18 萬元、輻射偵檢探頭約 18 萬元、移動載具控制模組約 27 萬元、定位與地圖建構模組約 38 萬元、環境感測與通訊模組 30 萬元等，另執行環境輻射偵測所需偵檢設備 134 萬元，計 284 萬元。

(1)輻射偵檢載具機器人：

因應細部計畫「核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究」項下「輻射劑量合理抑低技術開發與應用智慧機械之研究」需求，使用前輪帶動及全向輪組機構轉向設計方式驅動，搭載 3D 光學雷達與視覺輔助定位機制，擴增載具移動搜索範圍、地圖偵測速率及定位可靠度，載具可自主探索與偵測空間輻射劑量，並依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

規劃作業，另採購移動載台機組建構裝置可做為輻射偵檢智慧載具機構組件樣品製作，有助於機組設計改善作業施行。

(2) 輻射偵檢設備：

因應細部計畫「海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估」需求，購置手持式快速核種分析儀約 60 萬元、高靈敏度加馬輻射偵檢儀 2 臺約 43 萬元、連續水樣採樣器約 31 萬，共計約 134 萬元。

2.其他資本支出：因應海水取樣分析所需，購置輻射劑量特測器、離心機、循環水槽、烘箱、加熱器及乾浴器等樣品分析前處理所需雜項設備費，共計約 52 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：

(1) 整體計畫原規劃人事費未執行，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」原規劃人力費改以勞務承攬方式辦理，相關經費流入其他經常支出所致，將納入後續 110 年計畫經費規畫檢討改善。

(2) 整體計畫材料費執行率 63.96%（整體原概估 470 萬元，實際執行 300.6 萬元）偏低，主因為細部計畫「海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估」高估其材料費（原概估 270 萬元，實際執行僅 97.8 萬元）致整體執行率降低，將納入後續 110 年計畫經費分配檢討改善。

2.細部計畫：「國際合作及技術交流」經常支出執行率 67.45%偏低（原概估 505.4 萬元，實際執行 340.9 萬元），主因為 109 年因新冠疫情影響，原訂出國交流計畫 89.3 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。

（二）資本門

整體計畫：整體計畫儀器設備費執行率 102.53%超支，主因為細部計畫「海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估」購置偵檢設備（133.64 萬元）超出原預算經費（126.6 萬元），由其他資本支出流入支應所致。

參、主要產出與關鍵效益

屬性	績效指標類別	績效指標項目		109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值		
學術成就 (科技基礎研究)	A.論文	期刊論文	國內(篇)	6	2	一、產出核電廠除役、機器人應用及海洋放射性核種分析評估領域期刊及研討會論文共 8 篇，其中刊登於國內重要期刊 2 篇，有助我國相關領域之基礎研究發展。 二、「輻射偵測智慧載具自走應用研究」開發輻射偵檢智慧載具，可依場域地圖實體障礙物與環境輻射偵測資訊，提供載具運行避障與自主路經規劃作業，建立核設施與核災場域獨立自走與場域智慧偵測技術能力，厚實我國核安管制之與核災因應之自主能力，免受外國技術馳援的延遲。	無
			國外(篇)				
		研討會論文	國內(篇)		6		
			國外(篇)				
		專書論文	國內(篇)				
			國外(篇)				

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
	B.合作團隊(計畫)養成	機構內跨領域合作團隊(計畫)數	2		與財團法人中華民國輻射防護協會、國立清華大學、國立中山大學、海洋委員會、行政院農業委員會形成跨領域合作團隊 3 個，有助跨領域經驗交流及資訊共享。	無
		跨機構合作團隊(計畫)數		2		
		跨國合作團隊(計畫)數				
		簽訂合作協議數				
		形成研究中心數				
		形成實驗室數				
	C.培育及延攬人才	博士培育/訓人數	24	3	一、培育碩、博、學士共 32 人，相關技能有助學生畢業後從事核電廠營運、原能會管制、輻射偵測、海洋研究及放射醫療行業等工作。 二、核電廠除役作業牽涉極為複雜且多元的程序，無論是國際經驗、經費評估、法規、除污技術、安全分析方法建立等都是除役核電廠之安全審查與管制工作必須補強的面向，本計畫執行使參與其中的學生熟悉國際除役現況、除役法規架構、除役廠址特性調查作業的程序與規範、拆除和除污專業技術等，並建立除役安全分析的能力，藉此強化學生在反應器工程、輻射安全及除役實務作業等方面的專業知識與能力，除可協助培植國內在核電廠除役技術的專業人力之外，也可避免國內未來在核電廠除役安全管制人才方面的斷層。	無
		碩士培育/訓人數		24		
		學士培育/訓人數		5		
		學程或課程培訓人數				
		延攬科研人才數				
		國際學生/學者交換人數				
		培育/訓後取得證照人數				

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
	D1.研究報告	研究報告篇數	2	18	一、借鏡國際原子能總署科技發展趨勢，對照我國產業優勢及未來發展需求，提出合於國情之原子能科技發展策略藍圖，有助原能會因應國際科技趨勢及國內產業需求，推動原子能民生應用及科研轉型之方針基礎。 二、掌握印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南等國原子能科技發展資訊，可供原能會作為未來推動新南向國家原子能事務合作交流之評估參考。 三、針對國際除役案例及相關風險、除役規範、除污策略、除役期間安全分析、危害鑑別與輻射防護措施、廠址取樣方法等面向進行研析，並提出值得參採之管制建議，可據此精進除役作業安全審查與管制技術，以深化安全管制技術，並確保核電廠除役作業安全。 四、針對醫療及國人吸菸輻射劑量之完整評估，可供未來國民輻射劑量評估總結之依據；另就海域取樣調查及北橫、南橫及綠島之環境輻射偵測報告，可作為國內環境背景輻射監測之參考基準。	產出研究報告 18 篇，13 篇成果及建議經原能會施政或管制採納，成果豐碩。
	F.形成課程/教材/手冊/軟體	形成課程件數			辦理「核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練」，並完成教材製作，用以	無
		製作教材件數	1	1		

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
		製作手冊件數			提升我國核電廠除役管制審查技術能力，製作核電廠除役相關教材，縮短未來人員教育訓練及經驗傳承時間。	
		自由軟體授權釋出教材件數				
技術創新（科技技術創新）	H.技術報告及檢驗方法	新技術開發或技術升級開發之技術報告篇數	5	1	「水樣氫活度分析前處理操作程序書」，能有效降低最低可測活度，提升分析效能。	無
		新檢驗方法數				
	I1.辦理技術活動	辦理技術研討會場次	3	5	一、辦理「第 6 屆台日核能管制資訊交流會議」，參與人數 31 人。 二、辦理「原子能科技於民生應用發展之策略—環境及水資源、醫療、糧食和農業」專家學者座談會，參與人數 21 人。 三、辦理「原子能科技於民生應用發展之策略—量子科技、太空科技、半導體製程、工業應用和中子科技」專家學者座談會，參與人數 23 人。 四、辦理「2020 核電廠除役-輻防管制技術研討會」，參與人數 55 人 五、辦理放射診斷醫療輻射劑量評估技術研討會，參加人數 9 人。	一、辦理國際研討會進行技術經驗交流，深化與日本之原子能事務合作關係。 二、透過原子能科技於民生應用發展之策略專家座談會，邀請物理、核工、半導體、材料海洋、環工、核醫及農業等領域專家學者進行跨領域交流，俾原子能科技民生應用政策之擬訂，得以兼顧各領域均衡發展。
		辦理技術說明會或推廣活動場次				
		辦理競賽活動場次				
	I2.參與技術活動	發表於國內外技術活動(包含技術研討會、技術說明會、競賽活動等)場次	3	1	參加國際原子能總署 2020 年放射性分析能力實驗，實驗結果比對通過，顯示我國分析能力與國際級分析實驗室相當。	無

屬性	績效指標類別		績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值		
社會影響	社會福祉促進	XY. 人權及性別平等促進	性別比例差異以 25% 為目標	25%	48%	改善理工科系研究人員多以男性為主之現況。	無
			活動參與人數				
	社會福祉提升	Z. 調查成果	調查筆數	100	312	原規劃調查海水樣品筆數 100 筆，109 年共計完成海水 312 件(包含海水氡樣品 115 件)、沉積物 83 件及海產物 188 件，共計 583 筆，調查結果顯示臺灣海域環境無輻射污染之安全疑慮，海漁產品也無食安之疑慮。	無
			調查圖幅數				
			調查面積				
			影像資料筆數				
			調查物種數				
其他效益 (科技政策管理)	K. 規範/標準或政策/法規草案制訂		參與制訂政府或產業技術規範/標準件數	0	1	彙整國外現存難測核種分析技術與國內的技術現況，分析歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略、應用實例說明，並提出「難測核種比例因數評估之審查導則」草案。	無
			參與制訂之政策或法規草案件數				
			草案被採納或認可通過件數				
			草案公告實施或發表件數				
	AA. 決策依據		新建或整合流程數			一、因應國際科技趨勢及國內產業需求，提出合於國情之「原子能科技民生應用發展策略藍圖」，作為未	提出合於國情之原子能科技發展策略藍圖，有助原能會因應國
			提供政策建議或重大統計訊息數				
			政策建議被採納數	4	7		

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
及其他)		決策支援系統及其反應加速時間(%)			來推動原子能民生應用及科研轉型之方針基礎。 二、提出「新南向六國推動原子能科技國際合作建議」，作為未來國際合作交流延伸東協及南亞國家之基礎。 三、探討除役核電廠之除役案例、法規及技術指引、除污技術及過渡階段用過燃料池安全評估與數據品質目標分析、以及地下水防護管制等，提出「國際除役案例蒐集及相關風險洞悉」、「國際除役技術指引和法規彙整」、「核電廠除役期間除污策略和技術」、「核電廠除役期間安全評估技術強化及廠址取樣方法」、「核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性」等建議，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。	際科技趨勢及國內產業需求，有效建立各領域技術發展路徑圖，加速相關產業技術之研發及可用性。

109 年度計畫績效指標實際達成與原訂目標差異說明：(若 KPI 目標值有修改，亦須在此說明)

- 一、原訂「H.技術報告」5 篇產出未能達成，主要原因係本計畫多數委託學研機構執行，產出多以研究報告型式為主（18 篇），惟研究報告內容多屬核電廠除役管制研究均多（計 9 篇），並已提出實務所需管制技術方法，足以提供原能會作為未來核電廠除役審查參考及安全評估之依據。
- 二、原訂「I2.參與技術活動」3 場次未能達成（實際僅完成 1 場次），主要原因係 109 年度受新冠肺炎疫情影響，各國過境封鎖，原規劃派員至美、法兩國參與技術交流活動，經雙方協調後改於 110 年度後，視疫情狀況擇期交流。
- 三、「XY.人權及性別平等促進」指標名稱為「性別比例差異以 25%為目標」，本指標係以學研團隊男女比例差異低於 25%為目標，109 年度男性比率 74%，女性 26%，性別差異 48%，較 108 年度 26%大幅衰退，主因為 109 年度委託研究計畫項目變動幅度較大，且承攬研究計畫團隊多以男性為主，未來將賡續朝 25%目標努力。

各細部計畫學研團隊性別統計表	男	女
國際合作及技術交流	15	4
核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究	24	9
核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究	23	8
海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估	17	7
合計	79	28

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、輻射偵測智慧載具應用、海洋放射性核種分析及劑量評估等領域期刊及研討會論文共 8 篇，其中刊登於國內重要期刊 2 篇，有助於我國相關領域之基礎研究發展。

二、技術創新(科技技術創新)

- (一) 由 MELCOR 計算結果顯示核一廠一號機用過燃料池，在完全喪失冷卻水下，鋁合金護套由 30°C 溫升至 900°C 有超過 10 小時之時間餘裕，在各種保守假設下，溫升模擬結果顯示核一廠 1 號機停機 5 年後用過燃料池發生嚴重事故之風險非常小。
- (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，為提升智慧機械載具自主路徑規劃行走性能，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。在完成場域實體邊界與障礙物地圖建置後，直接於操控端地圖圈選探測區域，由載具自行依探測區域範圍，及環境感測器(如空間輻射、溫度、濕度、粉塵或二氧化碳)屬性，自主於特定場域施行環境偵測任務，並疊加偵測資訊整合於載具建模地圖上。另採用鈷 60 照射實測動力鋰電池與影像監視器模組抗輻射能力，單鋰電池芯受輻射影響不大，可經由局部防護電池管理系統模組，提升載具動力電池系統輻射耐受度。而影像監視器承受 80 krad 累積劑量率照射，會產生色調偏差現象，因應成本效益考量，可採備品替換方式，提升載具於輻射場域使用壽命。
- (三) 因應日本規劃排放福島核電廠含氚廢水到海洋，建立海水氚活度分析前處理操作程序，能有效降低最低可測活度，提升分析效能。

三、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)，調查範圍含括台灣沿岸地區及離島地區(金門、馬祖、澎湖、蘭嶼、東沙及南沙)，109 年所取得樣品及分析已完成海水試樣 312 件(包含海水氚樣品 115 件)、海生物試樣 188 件以及沉積物試樣(岸沙、河砂及海底沉積物)83 件，總計 583 件；上述試樣放射性分析結果皆遠低於法規規範標準，顯示台灣海域環境目前尚無輻射污染之安全疑慮。

四、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產業附加價值，增進社會福祉，借鏡國際原子能總署原子能科技跨國計畫推動經驗及國內產業發展趨勢，整理歸納逾 50 種民生應用相關之原子能技術群組，並透過專家座談會探討醫療、糧食和農業、環境水資源、量子科技、中子科學、太空科技、工業應用及半導體製程 8 大領域值得優先投入的技術群組，作為我國未來原子能科技推動策略及技術發展之方針基礎。

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、經費評估、廠址歷史評估、法規及技術規範、輻射偵檢作業之數據品質評估、除役階段危害鑑別與輻射防護、除污技術、廠址地下水防護、相關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、除役成本評估、廠址歷史評估、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。

法規制度：

完成「難測核種比例因數評估之審查導則」草案，並歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法及選用策略，提供原能會作為核電廠除役相關輻射安全管制參考

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，近年國際現實與外交困境已大幅壓縮我國原子能國際合作空間及彈性，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，除持續性深化既有美、日、法合作管道外，並尋求新南向國際組織事務之參與機會，以建立良性且關鍵之國際人脈，並透過管制經驗及技術研發等軟實力提升國際能見度。

支援核電廠除役管制：

- (一) 核電廠除役經費評估的關鍵要項研析、國際除役有關安全規範和指引及美國核電廠除役視察報告/執照中止前視察報告文件研析、國際採用除污方法在管制作業的重要關鍵議題、用過核燃料池特定事件及核電廠除役輻射偵檢作業之數據品質評估、地下水防護等議題進行研析，提供原能會對核電廠除役管制作業及現場視察之參考依據。
- (二) 彙整國外現存難測核種分析技術與國內的技術現況，分析歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略、應用實例說明，提出審查導則建議，並針對除役核電廠獨立確認調查的執行策略、程序與方法提出建議，以利原能會進行相關輻射安全管制及審查。

貳、檢討與展望

一、國際合作及技術交流

- (一)我國核一廠已於 108 年進入除役期間，並陸續展開相關除役工作，109 年雖因新冠肺炎疫情影響，原規劃派員至美、法兩國參與技術交流活動取消，惟仍與兩國維持密切聯繫及良好互動，另透過視訊會議與日本分享我國核電廠除役管制經驗及相關研究成果，110 年將視疫情影響，並配合各項防疫措施或透過遠端視訊，持續與各國交流核電廠除役和管制經驗。
- (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，並徵詢專家學者意見，就醫療、糧食和農業、環境水資源、量子科技、中子科學、太空科技、工業應用及半導體製程 8 大技術領域，提出原子能科技民生應用發展策略藍圖，110 年起將基於此策略藍圖，結合國家重點政策及總統政見，進行相關技術領域之專利分析及產業趨勢調查，俾利後續原子能科研轉型推動及先期技術建立。

二、核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究

- (一) 109 年度已完成輻射區域自走載具行走能力增強與獨立自走技術基礎建立，110 年將朝向為載具建立影像式輻射探測偵蒐能力發展。
- (二) 109 年已完成「難測核種比例因數評估之審查導則」草案並提出除役核電廠確認調查的管制及視察建議，110 年將持續針對第三方驗證進行先期研究，讓一般民眾能放心管制機關對於核電廠除役的安全管制作為。
- (三) 109 年已完成停機過渡階段放射性廢氣液體排放視察程序與計畫審查研究及案例研析，以及除役階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案研究，110 年將進行除役過渡階段，廠內放射性空浮管制與抑低，以及職業曝露劑量評估之視察程序與案例研析。

- (四) 109 年已完成核設施除役輻射偵測數據品質評估技術研究，說明如何利用 DQA 進行數據評估、選擇統計方法及執行統計檢定等，以做出正確之結論，並辦理「核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練」，110 年將進行除役廠址環境輻射偵測結果評估方法、背景參考區域及背景參考物質選定研究，並持續辦理除役廠址輻射偵檢審查技術教育訓練。

三、核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究

- (一) 109 年度已研析美國核管會對核電廠除役費用估算之管制標準、國際資訊與經驗回饋，並提出相關議題之管制建議。「國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制」相關研究工作，108 年及 109 年已廣泛蒐集所需國際資訊並完成階段性任務，自 110 年起退場。
- (二) 109 年度蒐集國際原子能總署有關除役安全規範和指引、技術報告、美國核電廠廠址歷史評估文件及美國核管會核電廠除役視察報告等，將所蒐集之國際原子能總署及美國核管會文獻依安全管制之權責範圍，按照不同除役應用主題做更深入的分類及探討，並提出除役管制作業執行之建議。「國際除役法規和指引彙整之管制研究」相關研究工作，108 年及 109 年已廣泛蒐集所需國際指引及技術規範並完成階段性任務，自 110 年起退場。
- (三) 109 年針對已除役或是除役階段的核電廠，進行實際組件與其採用的除污技術選擇探討，並藉由國際上表面除污之管制原則，作為我國審查除污技術可接受標準的參考依據，110 年廣續先進(如雷射)除污技術研究，並探討各國核電廠除役過程之典型除污工作項目、進行順序及所採取之除污技術和其考量。
- (四) 109 年已建立核一廠除役期間用過燃料池 MELCOR 分析模式，並與國際文獻進行比對分析，並提供有關廠址輻射偵檢調查計畫及報告有關數據品質評估流程之管制建議，以及提出我國核電廠地下水防護之管制建議及技術要項之重點。110 年將延續 109 年度之規劃，建立我國核二廠用過燃料池 MELCOR 分析模式，建立 VSP 軟體使用者手冊與分析流程，供管制單位做為數據品質評估審查

與驗證工具之參考，並建立核一廠除役期間廠址高遷移率核種傳遞至地下水之分析模型，進行廠址相關關鍵參數之分析比較及影響評估，提出除役階段之管制建議。

四、海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

- (一) 109 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，110 年將參考近年調查結果及國際文獻資料，擬定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，109 年在地表與宇宙輻射劑量納入外島與北部山區之量測數據，並探討食品中放射性銫之劑量，消費產品部分完成吸菸劑量評估與飛航宇宙輻射劑量評估參數規劃，醫療輻射完成電腦斷層與乳房攝影劑量評估。110 年將持續進行地表與宇宙輻射劑量格距較大區域進行量測，持續針對民眾關切之消費產品評估其影響，並完成飛航宇宙輻射與國人醫療輻射劑量評估。

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

109 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) 「第 6 屆台日核能管制資訊交流會議」因應新冠肺炎疫情影響，於 109 年 12 月 9 日以視訊方式辦理（圖 1.1），除與日方交流核電廠相關管制資訊，亦就疫情下之相關管制因應對策交換意見。



圖 1.1 第 6 屆台日核能管制資訊交流會議

- (2) 「2020 台美民用核能合作會議」原訂於今年第 4 季於美國召開，因新冠肺炎疫情影響，規劃將於 110 年春季改採視訊方式辦理。
- (3) 原訂與法國輻射防護暨核能安全研究所(IRSIN)109 年舉行之交流會議，因新冠肺炎疫情影響，已協調暫延至 110 年春季辦理。

2. 國際原子能法規及趨勢之研究

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。借鏡國際原子能總署原子能科技跨國計畫推動經驗及國內產業發展趨勢，整理歸納逾 50 種民生應用相關之原子能技術群組，並透過專家座談會探討民生應用 8 大領域值得優先投入的技術群組（圖 1.2.1），作為我國未來原子能科技推動策略及技術發展之方針基礎。

- (1) 109 年 7 月 9 日辦理「原子能科技於民生應用發展之策略－環境及水資源、醫療、糧食和農業」專家座談會議，邀請海洋、環工、核醫及農業等領域之專家學者進行跨領域交流。
- (2) 109 年 8 月 25 日辦理「原子能科技於民生應用發展之策略－量子科技、太空科技、半導體製程、工業應用和中子科技」專家座談會議，邀請物理、核工、半導體及材料等領域之專家學者進行跨領域交流。



圖 1.2.1 原子能科技發展策略藍圖

鑒於新冠肺炎疫情期間因應歐、美、日國際合作工作項目取消或精簡，改進行新南向各國之國情及原子能科技資訊蒐集，以評估未來拓展新南向國家合作交流之可行性（圖 1.2.2），包含印度、印尼、馬來西亞、新加坡、泰國及越南六國國家基本資料、原子能科技應用概況、政府科研部門、與 IAEA 之合作交流、放射性廢棄物處理等，提出運用政府既有平台推動交流，以及建議合作事項，包含醫療、實驗室交流及區域議題合作研究等，作為原能會未來新南向國際合作之推動參考。

- (1) 檢視新南向六國印尼、越南、泰國、馬來西亞、新加坡、印度之原子能科技發展與應用以及 IAEA 在該區域之援助項目，可以看出醫療衛生及農業應用是重點項目。而由我國原子能科技發展之現況，如特定醫療技術檢查檢驗設備數量及使用人次等，顯示我國原子能科技在醫學領域之進展較快速。

- (2) 醫療領域是現階段與新南向六國原子能科技合作的優先可行方向，如放射診斷藥物、放射治療藥物、輻射影像技術等，則具推廣與持續研發之雙重效益。而我國可發生游離輻射設備治療已有相當醫療品質保證基礎，尤其近年興起之質子治療，或有助促成雙方未來技術交流及醫療互助之可能。
- (3) 推動新南向原子能科技之合作，在有限資源之下，可先善用政府各部會現有之交流平台及合作中心，例如醫衛新南向產業 e 鏈結之一國一中心、新南向科研合作專網的海外科研中心等，進行原子能科技的技術交流、培育專業人才及區域市場連結等。
- (4) 進行雙方相關實驗室之設備建置、技術及人員互相交流。例如我國國家游離輻射標準實驗室可和印度、印尼、馬來西亞、泰國之游離輻射標準實驗室彼此的能力比試、放射治療之劑量標準與校正等技術交流。我國輻射照射廠亦可和印度、印尼、馬來西亞、泰國、越南之輻射照射廠技術交流與觀摩，特別是新南向國家其農糧保存、蟲害防治、檢疫滅菌及品種改良等。
- (5) 新南向之政策願景除了原子能科技醫療應用外，區域議題之共同研究，如海洋放射性物質擴散模式與調查可藉由科研合作專網與新南向國家進一步合作；另外核能研究所有關微電網供電系統、生質精煉等技術亦可成為推動新南向的議題。

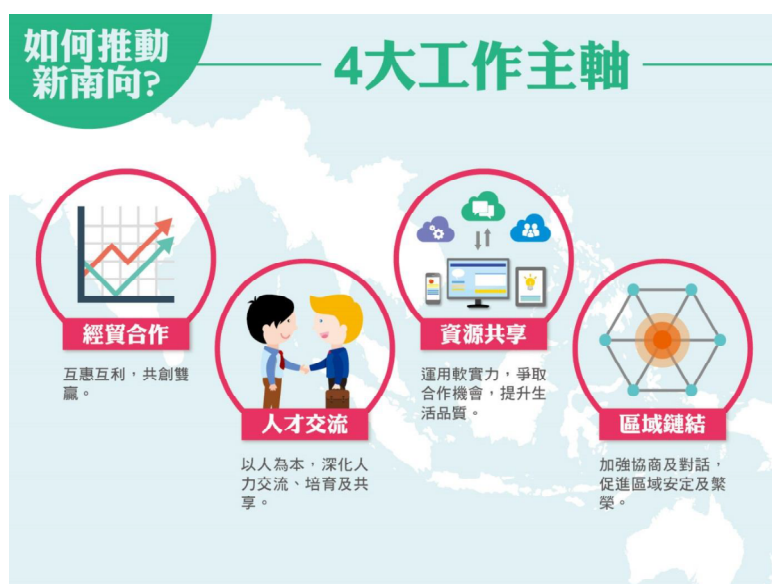


圖 1.2.2 政府新南向政策工作主軸

(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

(1) 載具之智慧自走可行性與應用範疇研究

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，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藍色區塊，紅色區塊部分維後續擴增路徑規劃與影像里程定位模組單元後之產物(圖 2.1.1.1)，為輻射偵檢智慧載具自走功能應用架構。

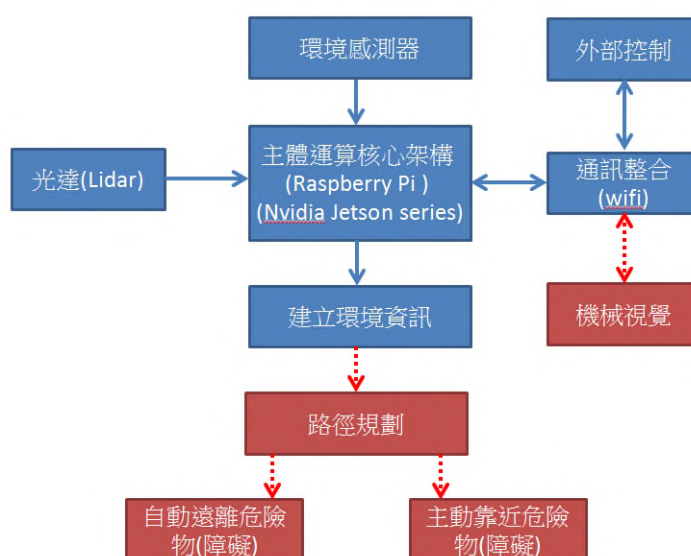


圖 2.1.1.1 輻射偵檢智慧載具架構圖

移動載具目前可支援雷射光學雷達應用的同步定位與地圖構建演算法，主要有 Gmapping、Cartographer 及 LeGO-LOAM 等三種。目前採用 Gmapping 與視覺里程計方式結合的效果最佳，且該方式在封閉型場域地圖建模能力較好，因此室內場域環境地圖建模，搭配光學雷達裝置，本階段採取 Gmapping 模式作為同步定位與地圖構建演算法。未來亦可因應不同需求更換 SLAM 演算法。

Gmapping 算法是一種基於粒子濾波器的 SLAM 技術，使用光學雷達與里程計兩種感測器資料作為演算法的輸入來源產生地圖。基於粒子濾波器的 SLAM 演算法，主要是將 SLAM 轉為一種同時推測載具空間姿態與地圖的問題，並使用粒子濾波器來推測載具的移動路徑。將粒子隨機分布進行取樣，每個粒子代表了根據某一種可能的移動路徑以及感測資料所產生的地圖。這些粒子透過加權的方式留下比較接近實際環境的部分，並依此分布結果重新取樣進行下一輪的計算。

隨著機器人持續在空間移動，粒子會逐漸聚集在機器人在空間中最有可能的位置，即時更新地圖與完成場域地圖建模(圖 2.1.1.2)。其優點是在低特徵與小場景中建圖效果好，計算量較小且精度高。但也因其僅依賴里程計作為主要距離感測器時，則無法適用於無人機及地面不平坦的場域。

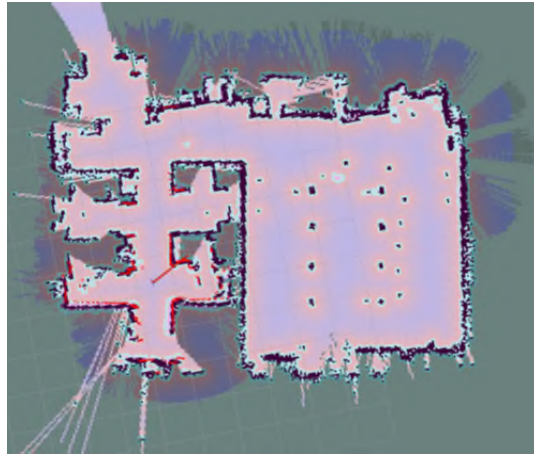


圖 2.1.1.2 載具實體建構實驗室場域地圖

針對自主移動機器人載具受限於特定用途及場域等困難點。透過環境感測、環境建模、機械視覺、人工智慧以及通訊整合等單元，計畫中建置輻射偵測智慧載具機器人系統(圖 2.1.1.3)，可針對各種特殊場域搭配對應的環境感測模組，或是同時使用多種不同環境感測模組搭配機械視覺輔助，透過人工智慧計算規劃路徑，使其具有區域導航自走能力，並適用於各種危害環境偵測，且透過任務需求指令設定，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。



圖 2.1.1.3 輻射偵測智慧載具實體圖

未知場域環境偵測分佈建置部分，現階段採人員在遠端操控載具施行場域探索，完成實體邊界與障礙物地圖建置後，在人員操控端地圖畫面中，直接圈選探測區域，由載具自行依探測區域範圍，與環境感測器(如空間輻射、溫度、濕度、粉塵或二氧化碳)量測屬性，採地毯式弓字型全域掃描探測模式，自主於特定場域環境監測任務(圖 2.1.1.4)，再依差分方式建構疊加整合於載具建模地圖，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經規劃作業。



圖 2.1.1.4 地毯式弓字型環境探測運行

(2) 污染區載具防污技術研究

一般在核電廠溫和環境 40 年輻射累計劑量為 2×10^3 rad，且商業級馬達與電纜等組件在輻射場域的應用，也都平均可達 10^8 rad 累積劑量率。半導體元件通常僅能承受 10k rad 累積輻射照射劑量，且隨著太空科技腳步推展，及半導體元件製程技術提升，相關光電元件耐輻射可靠度將是重要議題。

現階段智慧機械組件輻射耐受度實測作業部分，以核研所現有輻射照射廠作為試驗環境場域，初期採用載具上動力電池模組與視覺影像裝置進行鈷 60 照射試驗。在動力部分，實際採用 18650 系列鋰電池，在輻射場域中實際放電測試，用以模擬載具於輻射場域運作模式，當放電完畢後，在於一般環境下進行充電模式。參考 IEC62620 規範定義二次鋰電池(可重複充放電)經 500 次循環充放電測試後，仍需有 60% 以上的電池容量率。

以國際知名品牌電池為樣品，受測電池標稱容量為 3000 mAh，該電池初次實測容量約計 2800 mAh。在核研所輻射照射場以鈷 60 射線照射，依受測鋰電池芯原廠對外公告之測試條件，採電池充電電流 0.909A/中止充電電壓為 4.15V，及放電電流 3.030A/中止放電電壓為 2.5V 的標準模式下實測。經過 500 次充放電循環測試後，與原廠充放電測試數據分析比對，受測鋰電池芯於輻射場域重複性充放電試驗後電池容量曲線如圖 2.1.2.1 所示。

輻射場域單鋰電池芯充放電測試過程中，採數顆電池同步充放電循環測試，在 500 次循環測試過程中，其電池容量率偏差都在 1% 以內，顯示該批受測電池品質特性相近，故圖中僅顯示原廠電池資料與單電池芯輻射場域充放電循環數據。參考受測電池樣品出廠資料所示，其經過 500 次全充放電形成測試後，仍有 80% 以上電池容量。而在輻射場域施行 500 次循環充放電程序中，受測鋰電池輻射累積劑量約計 2×10^7 rad，且由實測資訊中發現單鋰電池芯在此輻射環境及充放電條件下，亦可維持有 84.4% 之電池容量率，此顯示單鋰電池芯在輻射場域應用中，與一般室內場域應用差異性不大。

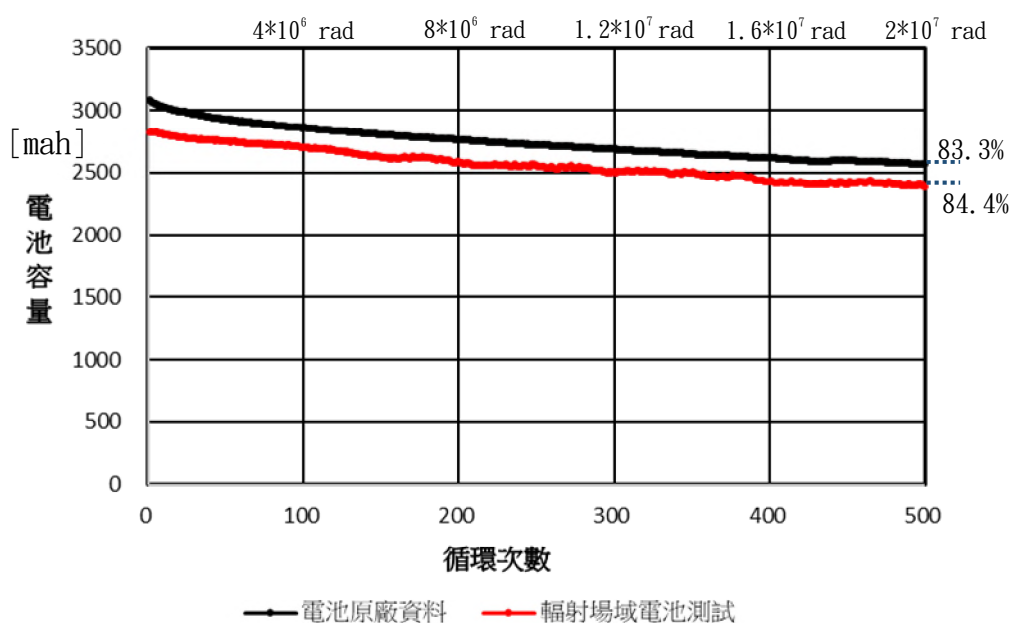


圖 2.1.2.1 鋰電池芯輻射場域充放電循環測試電池容量曲線圖

圖 2.1.2.2 為受測鋰電池芯經 500 次充放電循環測試後，受測鋰電池容量衰退實測曲線圖，輻射場域單鋰電池芯循環測試電池容量衰退趨勢與一般場域近似，且衰退率差異偏差在 2% 以內，顯示受測鋰電池芯經此循環充放電測試過程中，受輻射照射影響不是很明顯，可推估輻射環境對未具 BMS 保護板裝置電池組件影響甚小。然在依實

際使用經驗，一般具 BMS 保護版的鋰電池模組，在高輻射環境下，短時間內就無法正常開機使用，此現象與一般電子元件輻射環境下使用耐受度不佳程況相似。依此評估可採用局部防護 BMS 組件，提升其輻射耐受度。

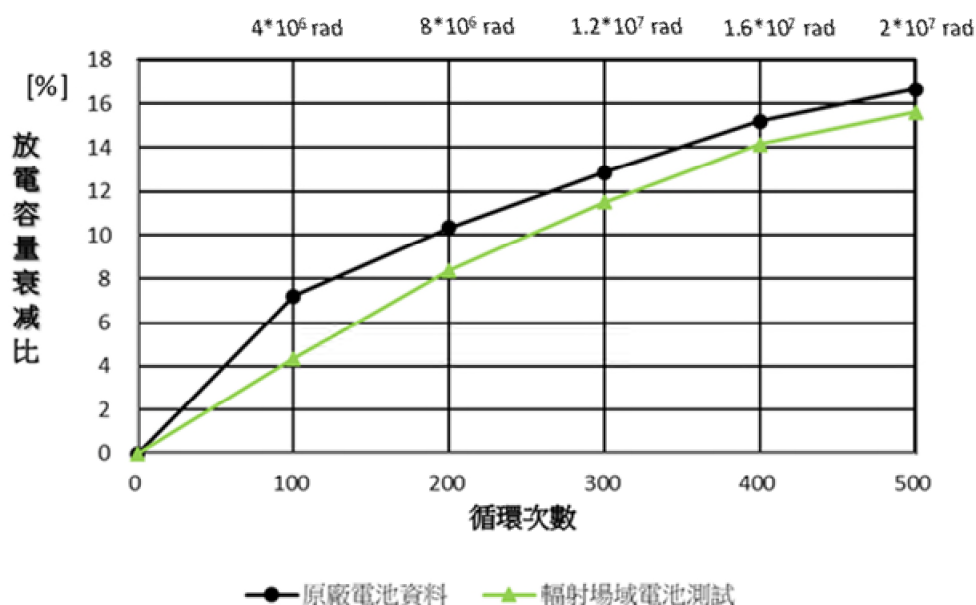


圖 2.1.2.2 輻射場域鋰電池芯放電容量衰退曲線圖

另在載具視覺影像裝置輻射耐受度試驗部分，依據實際輻射照射測試經驗，影像監視器承受 8×10^4 rad 累積劑量率照射後，開始產生色調偏差現象。 1.2×10^5 rad 累積劑量照射後，機體則無影像傳出顯示。

2. 除役作業場所輻射分析之審查技術研究

(1) 難測核種比例因數評估之審查導則及要點建議

完成國外現存難測核種分析技術探討，包括國際上現存的化學分離方法與量測儀器之概況、以及不同廢棄物型態樣品的化學處理方式、分析技術可達到的低限值等。此外，亦與國內相關實驗室進行交流討論，了解國內實驗室之難測核種分析技術現況。

研析共計 15 個國際上難測核種比例因數評估之應用案例，包括不同因素對比例因數的影響(A 類案例)、核種分類與易測核種的選定(B 類案例)、以及比例因數相關性評估與適用性探討(C 類案例)等。

參考 ISO 及 IAEA 之相關報告，分析歸納除役作業之難測核種比例因數評估做法、選用策略，彙整相關結果，已提出難測核種比例因數評估之審查導則及要點建議，俾供原能會管制參考。

(2) 除役核電廠最終狀態偵檢之獨立確認調查程序及方法研析

參考國際文獻，深入分析獨立確認調查的策略(包括：過程中視察輔助措施、調查範疇、調查驗證比例、調查單元篩選標準、調查偵檢、第三方驗證機構合作機制、確認調查偵檢技術、以及品保方案...等)，並針對確認調查程序進行分析。

特別以美國 ORISE 第三方驗證機構針對各除役核電廠所執行的獨立確認調查案例進行廣泛分析，並以 RSNGS 核電廠建物與土壤及 HBPP 核電廠物質與設備的典型確認調查報告做為研析範例，藉此更深入地瞭解第三方驗證機構執行獨立確認調查的實務細節。

另一方面，鑒於過往國內並未有實際執行獨立確認調查的經驗，且並未建立可承包獨立確認調查的第三方驗證機構，本研究也針對第三方驗證機構所需建立的數據品質目標及品保制度進行研析，同時也歸納獨立確認調查的建議做法與經驗回饋，期可藉此做為國內建立第三方驗證機構的重要參考。

(3) 教育訓練

考量核電廠除役之核種複雜且多樣性，要執行全面取樣分析難測核種是非常耗時且不太可能達成的事。因此，針對國際上的做法並參考國內現況，撰寫「電廠除役之難測核種分析技術與比例因數評估方法介紹」文稿，投稿國內期刊（輻防簡訊），希望藉由研發成果的發表，可以增加國內除役相關人員的觸及率及後續相關議題的討論。目前該篇文稿已被接受，並發表在輻防簡訊 Issue 160。

因應新冠肺炎的防疫要求，今年的教育訓練著重於內部的讀書討論會，外部的演講討論會活動相對減少。但仍在最後彙整研發成果，舉辦「2020 核電廠除役--輻防管制技術研討會」，參與單位包括：原能會、台電公司、核能研究所、清華大學、輻射防護協會、工程顧問公司、以及碩博士學生，參與人數達 50 人以上，以達到人才培育及教育訓練的目的。

(4) 國內輻射工作人員劑量評定機構管制技術精進

執行適當之個人輻射劑量監測，以確保輻射工作人員職業曝露達到合理抑低之原則。國內輻射工作人員劑量評定機構，在人員劑量計的校正管理方面有所不同，針對各評定機構，進行臨場訪視及佩章隨機盲樣測試，並評估管制技術精進之模式。

研究訪查國內 8 間人員劑量評定機構，包含業務與佩章資訊之書面問卷，由研究人員前往各機構進行訪察與樣本隨機抽選。國家游離輻射標準實驗室進行所取樣之佩章照射後，回送佩章至原機構，並進行其照射劑量值判讀。研究進行 TAF 規範中第 I 類及第 II 類之類別允差值(L^2)評估，並透過統計分析，評估樣本使用年度及計讀紀錄對劑量偏差之影響趨勢。

國內 8 間人員劑量評定機構皆符合 TAF 品質認證。現役佩章群使用年度有過半超過 10 年。盲樣測試結果，第 I 類及第 II 類之能力評估(L^2)分別為 0.002~0.013 及 0.002~0.071。劑量偏差之統計檢定，在相異使用年度及計讀紀錄皆無達到顯著水準($p>0.05$)。

研究結果顯示，國內人員劑量評定機構符合 TAF 品質認證，各單位對劑量異常事件，皆有遵循通報流程與明確記錄備查。本計畫之小型盲樣測試，可做為測試各機構常規能力試驗之穩定性，確保該機構計測品質。

3. 精進除役期間輻射管制技術之研究

參考 NRC 視察手冊「Inspection Manual Chapter (IMC) 2515 G - Baseline Inspection Guidance For Power Reactors Preparing For Transition To Decommissioning Phase」(NRC, 2016) (1)，及其視察程序書「Inspection Procedure (IP) 71124.01- Radiological Hazard Assessment and Exposure Controls」(NRC, 2018)(2) 以及「Inspection Procedure (IP) 71124.02-Occupational ALARA Planning and Controls」(NRC, 2018)(3)架構與內容。

參考美國核能管制委員會視察 Dresden Nuclear Power Station 2&3、Duane Arnold Energy Center 以及 James A. Fitzpatrick Nuclear Power Plant 三個電廠時分別發現前兩個違反視察程序書「Inspection Procedure (IP) 71124.01 - Radiological Hazard Assessment and Exposure Controls (放射性危害評估與曝露管制)」以及後一個違反視察程序書「Inspection Procedure(IP) 71124.02 - Occupational ALARA Planning and Controls(職業合理抑低計畫與管制)」的案例，提供原能會管制參考。

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) 應用於核電廠除役輻射偵測數據品質評估(DQA)技術研究

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統計分析。因此，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)建議可透過資料生命週期(data life cycle)進行數據之蒐集規劃、執行及評估等，以處理輻射偵檢結果中所含的不確定度及選擇合適之統計檢定方法，確保數據之正確性而做出正確且妥當的決策。

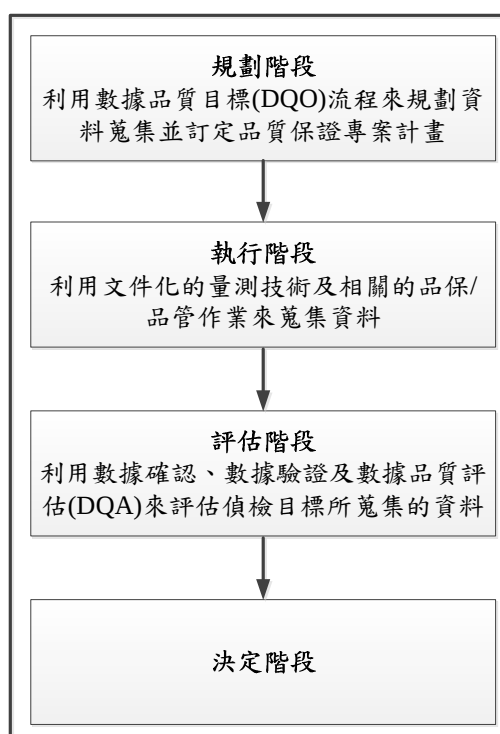


圖 2.4.1 資料生命週期(Data Life Cycle)

資料生命週期分為四個階段，分別為規劃階段、執行階段、評估階段與決定階段，如圖 2.4.1 所示。規劃階段使用數據品質目標(Data Quality Objective, DQO)程序規劃輻射偵檢計畫，可提升輻射偵檢之有效性(effectiveness)及效率(efficiency)；執行階段 MARSSIM 並未針對量測技術提供詳細導則，而是建議決策者依據輻射偵檢目標(例如：偵測低限)，評估可行的量測技術，使設施經營者可彈性選擇適合該廠址之量測技術；評估階段通常包含三個步驟，分別為數據確認(data verification)、數據確效(data validation)及數據品質評估(Data Quality Assessment, DQA)。其中 DQA 屬科學及統計的數據評估方法，經過一系列程序評估數據是否符合正確的型態、質及量要求，並選擇及執

行合適之統計檢定方法，以做出正確之結論。最後，於決定階段使用經確認之數據或結論進行決策。因此，美國 MARSSIM 手冊除使用 DQO 來執行輻射偵檢設計外，亦使用上述 DQA 程序，來進行核設施除役輻射偵檢數據之驗證及評估。

數據品質評估(DQA)由美國環保署所提出，為數據及統計方法之分析程序，以確保獲得之數據型態正確且具有質與量，並確保選擇合適之統計分析方法及執行，以符合目標用途。DQA 為一迭代之程序，分為 5 個步驟，依序為：(1)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；(2)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，並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。綜上所述，本步驟之目的為使分析人員熟悉數據之特性，並找出可能對數據分析結果造成影響之異常值，數據審查結果將用於後續確認統計方法之假設(DQA 步驟 4)，以支持決策；(3)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；(4)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；(5)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。

除探討 DQA 之基本原則外，亦探討在 MARSSIM 附錄 A 中，使用 MARSSIM 程序進行最終狀態偵檢(final status survey)之案例，其中包含最終狀態偵檢之偵檢前準備、數據品質目標(DQO)及數據品質評估(DQA)，由於 DQA 屬資料生命週期後期評估階段，其將利用前期之規劃及執行階段之資訊及數據進行上述五步驟之程序。經由研析上

述案例，除可了解 DQA 程序之實際應用外，亦可發現使用 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) 核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練

Visual Sample Plan (VSP)係於美國能源部、環保署、國防部及國土安全部等部會支持下，由美國西北太平洋國家實驗室開發，用於輻射偵檢佈點規劃之軟體。其具備多種取樣設計與統計分析模組，提供偵檢點位置視覺化等功能，並可藉由內建統計分析方法(如：常態分佈及無母數數據分析法)分析偵檢結果，確認所蒐集之數據類型、品質及數量，可應用於決策。除輻射偵檢外，VSP 亦被應用於環境特性調查、整治、除污、除役及建築物污染評估等。

109 年 9 月 18 日進行「核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練」(圖 2.4.2)，訓練內容包含 MARSSIM 程序簡介、VSP 程式操作介紹、VSP 統計方法介紹及 VSP 參數輸入方法等，此外，分別介紹使用兩種不同統計方法(sign test 及 WRS test)之實務應用案例，及建築物建模與區域分級方法，並進行操作說明。

VSP 程式除了可確保輻射偵檢數據類型、品質和數量外，亦可透過地圖輸出功能將輻射偵檢佈點位置視覺化，有助於後續污染情況追蹤與研究。程式內支援統計分析方法，使用者可視需求搭配不同檢定方式，用於支持核設施除役之最終決策。



圖 2.4.2 核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練

(三)核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究

1. 國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制

美國原子能產業論壇「AIF-NESP-036」報告內容重點包括：(1)針對不同除役策略提出協助經費估計的指引；(2)針對除役經費的估計提出完整、詳細與系統化的細項劃分方法；以及(3)增進個別電廠除役經費估計的可驗證性、真實性與準確性。依據所蒐集美國核電廠除役經費估算案例資料，顯示大多數係採用 AIF-NESP-036 報告之方法論，雖此方法論主要僅針對執照終止相關項目，包括結構、系統、組件之除污、拆除等費用估算之技術內涵，仍可供原能會參考。重要組件移除工作單元的分類如表 3.1.1-3.1.3。

表 3.1.1 管路移除之工作單元

工作單元類別	工作資源需求
直徑小於2.5英吋	1. 一位工作人員 2. 能量為300磅的鏈式吊車或不需要 3. 若為受污染管路則需兩位工作人員
直徑2.5英吋到8英吋	1. 兩位工作人員 2. 能量為1.5噸的鏈式吊車 3. 若為受污染管路則須加管帽並裝入容器中
直徑大於8英吋	1. 三位工作人員 2. 能量為1.5至3噸的鏈式吊車 3. 所有管路都須切成5英尺長的管段，受污染管路則可能須再進行軸向切割以利封裝。
BWR（或PWR蒸汽產生器管束破裂）之主蒸汽管，PWR反應器冷卻管路	1. 大型工作團隊 2. 5噸之起重機 3. 此類管路污染嚴重須花較長時間進行切割與封裝

表 3.1.2 泵浦移除之工作單元

工作單元類別	工作資源需求
重量300磅以下	1. 兩位工作人員 2. 能量為500磅的鏈式吊車 3. 若為受污染泵浦則須用塑膠布包覆
重量300-1,000磅	1. 兩位工作人員但所需工作時間較長 2. 須能量為3噸的鏈式吊車 3. 若為受污染泵浦則須用塑膠布包覆
重量1,000-10,000磅	1. 大型工作團隊 2. 能量為10噸的起重機 3. 須用大型堆高機運送
重量大於10,000磅	1. 大型工作團隊且所需工作時間較長 2. 能量為20噸之起重機 3. 通常為主飼水泵或冷卻水泵

表 3.1.3 閥移除之工作單元

工作單元類別	工作資源需求
直徑小於2.5英吋	一般切除把手和閥桿後與2.5英吋的管路一併處理
直徑2.5英吋到8英吋	1. 兩位工作人員 2. 位置較高則須能量為1.5噸的鏈式吊車 3. 若為受污染管路則須用塑膠布包覆
直徑大於8英吋	1. 三位工作人員 2. 能量為5噸的起重機 3. 若為受污染管路則須用塑膠布包覆
主蒸汽管上或冷卻水進出口閥	1. 大型工作團隊 2. 10至20噸之橋式吊車(overhead crane) 3. 此類管路污染嚴重須用特製的LSA容器裝運

美國核管會「最小除役基金公式合適性評估」報告(草案版)係規劃針對 1996 年研究報告發表後，累積之除役費用估算經驗進行彙整分析，以評估是否需更新 10 CFR 50.75(c)(1)最小除役基金公式。此報告於 2011 年完成後，原規劃發表 NUREG/CR 系列報告，後因故未轉為核管會正式報告，並依據 SECY-13-0066 文件指出相關實務及考量，而未採納此報告建議對最小除役基金公式進行修正；然此報告彙整比對美國 4 座已完成除役機組之實際費用，以及 27 座核電機組已繳交至核管會之除役費用估算等相關資訊，技術內涵可供原能會管制參考。

經濟合作暨發展組織核能署「核能電廠除役費用」報告就推廣 2012 年提出之除役費用國際架構(International Structure for Decommissioning Cost, ISDC)，透過問卷調查方式向會員國蒐集更多除役費用相關資訊。問卷內容主要分成 3 大部分：(1)國家除役政策與財務安排，(2)個別機組的除役策略，(3)個別機組以 ISDC 格式編製之除役費用資訊。雖然目前國際間對除役費用之通用格式尚未建立共識，此研究報告所提出之議題及相關資訊，技術內涵可供原能會管制參考，另國際間對 ISDC 架構之趨勢亦值得持續掌握並了解。除役費用 ISDC 之第一及第二階架構如表 3.1.4，不論細分到哪一階，每個項目的費用可再分為勞務費用、設備費用、其他費用、以及應變準備金等 4 小項。

表 3.1.4 除役費用國際架構

ISDC 第一階	ISDC 第二階
01 除役前活動	01.0100 除役規劃 01.0200 廠區設施特性調查 01.0300 安全/保安/環境研究 01.0400 廢棄物處理規劃 01.0500 申請許可(若需要) 01.0600 籌組除役團隊及/或發包作業
02 永久停機	02.0100 機組停機及檢查確認作業 02.0200 系統管路排水 02.0300 封閉系統之除污 02.0400 放射性廢棄物特性調查 02.0500 運轉期間廢棄物及除役不需要物件之移除
03 安全貯存後再拆除	N/A
04 控制(污染)區拆除工作	04.0100 除污及拆除(含設備採購) 04.0200 拆除準備及相關支援工作 04.0300 拆除前除污 04.0400 移除需特殊程序之設備/材料(如隔熱石棉) 04.0500 拆除主要系統(如主冷卻水系統等) 04.0600 拆除次要系統 04.0700 建築物除污 04.0800 建築物外之區域除污 04.0900 建築物外釋最終檢查

ISDC 第一階	ISDC 第二階
05 放射性廢棄物處理/包裝/最終處置	05.0100 建立(放射性)廢棄物管理系統 05.0200 運轉期間留下之高階廢棄物管理 05.0300 運轉期間留下之中階廢棄物管理 05.0400 運轉期間留下之低階廢棄物管理 05.0500 運轉期間留下之極低階(very low level)廢棄物管理 05.0600 運轉期間留下之可外釋廢棄物管理 05.0700 除役期間產生之高階廢棄物管理 05.0800 除役期間產生之中階廢棄物管理 05.0900 除役期間產生之低階廢棄物管理 05.1000 除役期間產生之極低階廢棄物管理 05.1100 除役期間產生之極短半衰期(very short-lived)廢棄物管理 05.1200 除役期間產生之可外釋廢棄物管理 05.1300 控制(污染)區外之除役廢棄物管理
06 廠區基礎設施/活動管理	06.0100 廠區保全及巡視 06.0200 廠區基礎設施(如圍籬及道路)運作及維護 06.0300 廠區基礎設施支援系統(如水電)運作 06.0400 環境輻射偵檢系統
07 非控制(非污染)區拆除工作	07.0100 傳統拆除工具/設備購置 07.0200 系統與建築物內部設備拆除 07.0300 建築物拆除 07.0400 最後清除工作及場地復原 07.0500 最終輻射偵檢 07.0600 未外釋廠區/建物之管理維護
08 計畫管理	08.0100 人員設備進駐及準備工作(如額外之辦公室、運輸工具、水電基礎設施等) 08.0200 計畫管理(主要是人力費用) 08.0300 相關工程、安全分析、除污、保健物理、廢棄物管理、行政等支援服務 08.0400 工安及輻安設備及耗材 08.0500 人員及臨時設備之撤離 08.0600 統包/下包商之人員設備進駐及準備工作(如有) 08.0700 統包/下包商之計畫管理(如有) 08.0800 統包/下包商之工程、安全分析、除

ISDC 第一階	ISDC 第二階
	污、保健物理、廢料管理、行政等支援服務(如有) 08.0900 統包/下包商之工安及輻安設備及耗材(如有) 08.1000 統包/下包商之人員及臨時設備之撤離(如有)
09 除役相關研發	09.0100 除役活動相關研究發展 09.0200 特殊設備之模擬操作(mock-up)：如反應器壓力槽切割
10 用過燃料及核物料處理	10.0100 由廠房內移出用過燃料及其他核物料(如中子源等) 10.0200 用過燃料及其他核物料暫貯護箱/設施 10.0300 暫貯護箱/設施之除役
11 其他	11.0100 經營者其他相關費用(如敦親睦鄰費用) 11.0200 稅 11.0300 保險 11.0400 回收再利用物料販售所得

美國核管會「核能電廠除役費用管制指引(RG 1.202)」係提供經營者準備除役費用估算且為管制機關幕僚接受之作法，而「標準審查計畫(NUREG-1713)」係提供核管會幕僚審查各項除役費用估算之依據。雖然此兩者主要針對除役期間不同時期執照終止相關項目，包括結構、系統、組件之除污、拆除等費用估算，其技術內涵仍可供原能會管制參考研議。另美國核管會針對美國除役核電廠提交之相關文件，採用此指引及標準審查計畫執行之安全審查報告，未來仍可持續蒐集了解並掌握後續之發展。

2. 國際除役法規和指引彙整之管制研究

參考國際原子能總署資料架構，蒐集除役相關資料包含基本法則、要求、導則以及技術文件等。為求資料使用容易性，將所蒐集之國際原子能總署及美國核管會文獻按照不同業管單位使用者的角度做資料分類。此外，亦參照 IAEA 與 NRC 文件/法規層級之架構做出此兩機構除役文件之對照。除了上述依照使用者角度將資料分類製圖外，面對繁多的技術文件，特別依安全管制之權責範圍相關部分，按照不同除役應用主題做更深入的分類(如圖 3.2)。最後為進一步提升使用資料的便利性，再將各項文件以可能使用到的時間點以近期、中期、遠期需求加以標註。期許對我國核電廠除役管制能提供清楚明瞭之參考依據。

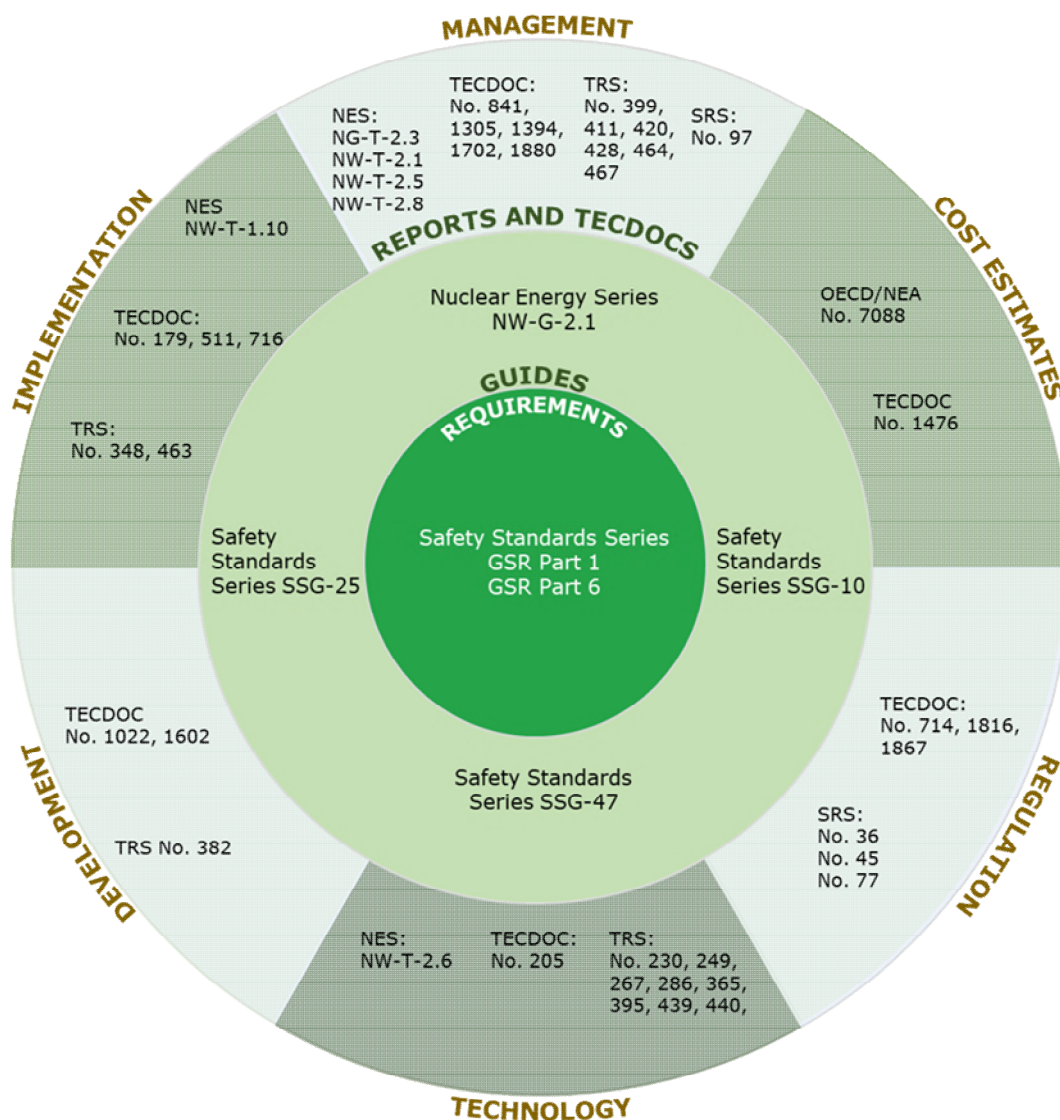


圖 3.2 國際原子能總署及美國核管會除役規範及指引對照圖

美國除役核電廠均採用 MARSSIM 的建議進行廠址歷史評估作業，藉由審閱和廠址與其環境相關的現存資訊及人員訪查，確認特定除役場址的可能污染源和可能受污染的介質，將廠址或偵檢單元分類為受影響與未受影響地區，並進一步將受影響區分為第 1 級(污染程度可能超過 DCGL)、第 2 級(不太可能超過 DCGL)與第 3 級(非常不可能超過 DCGL)，以提供後續範圍偵檢與特性偵檢設計時的參考資訊。MARSSIM 第 3 章提供了非常清楚的廠址特性評估(HSA)資料評估方法。評估現有的資料後，建構概念廠址模型。根據輻射偵檢與廠址調查作業流程所蒐集到的新資料，更新與修正概念廠址模型。由於在除役拆廠階段的各項活動可能造成廠址的二次污染，因此廠址歷史評估應持續更新。依照我國的除役時程，建議應在提出最終狀態偵檢計畫時，一併提出更新版的廠址歷史評估報告，且應執行未受影響區的偵檢，作為其未受影響的佐證。

除了輻射污染方面的歷史評估外，其他的非輻射的有害物質污染的歷史評估也是重要的。建議我國在進行核電廠除役相關作業管制時，也應要求業者進行非輻射污染方面的歷史評估。根據 HSA 報告的研析，提供以下管制建議供參：

- (1) 根據 MARSSIM 所提出的報告格式提出特定廠址歷史評估報告。
- (2) 報告內應充分說明所審閱的文件、人員訪查方式、及資料評估方法。詳細的文件清單及紀錄可以附件的方式呈現。
- (3) 報告中應討論環境輻射背景活度的認定，此數值可作為初步判斷的基準，也提供後續進行輻射偵檢與廠址調查之參考。
- (4) 資料評估結果應清楚說明，且應提出評估結果內部審查的佐證。
- (5) 提供完整清楚的概念廠址模型，未來隨著輻射偵檢與廠址調查的進展，滾動式修正此概念模型。

蒐集美國 San Onofre (SONGS) Units 2 & 3 自 2013 年宣布永久停止運轉並開始進行除役至 2020 年 7 月止之視察報告。另蒐集 Zion 電廠 Units 1 & 2 自 2000 年開始至 2020 年 3 月期間發布之視察報告。在核電廠除役期間，美國核管會主要依據兩份視察手冊進行除役視察：IMC 2515 附錄 G-核電廠停機過渡階段之視察指引及 IMC 2561-核電廠除役視察計畫。視察重點有輻射監控、安全審查計畫、用過燃料池營運、程序遵守、管理等項目。統整出 SONGS 電廠除役視察項目與頻次分析，並有下列幾點發現：

- (1) 美國核管會除役視察約每季進行一次，但會視情況增加視察次數 (如進行除役緊急應變計畫視察)。

- (2) 採用視察程序以 IMC 2561 附錄 A 之電廠除役視察程序為主，並視需求採用該 IMC 附錄 B 之輔助/加強視察程序。
- (3) SONGS 電廠視察尚未使用 IMC 2561 附錄 A 之核心視察程序 IP 83801-Inspection of Remedial and Final Surveys at PSRs，因其尚未進入 FSS 階段。

Zion 電廠自 1998 年進入除役，在 2014 年 12 月提出電廠執照終止計畫(LTP)後，美國核管會視察大部分涉及事項係與 LTP 相關。統整出 Zion 電廠遞交 LTP 之後視察項目與頻次分析，有下列幾點發現：

- (1) Zion 電廠在遞交 LTP 前以每年進行 3-4 次除役視察為基準，並視情況增加(如，2011 福島事故後特別視察 Zion 用過燃料池安全性)；或減少(如，季視察活動合併 IR 2011001)。
- (2) Zion 電廠遞交 LTP 後，自 2016 年下半年開始，視察頻次轉為半年一次。
- (3) 採用視察程序以 IMC2561 附錄 A 之電廠除役視察程序為主，並視需求採用該 IMC 附錄 B 之輔助/加強視察程序。
- (4) 自 2000 年開始至遞交 LTP 前，採用之 IMC2561 附錄 A 核心視察程序不含 IP 71111.01-Adverse Weather Preparations
- (5) 自 2000 年開始至遞交 LTP 前，IP 40801、60801、71801、83750 為較多使用之視察程序
- (6) 自遞交 LTP 後(2015～2019)，視察採用 IMC2561 附錄 A 核心視察程序不含 IP 71111.01、IP 60801，以 IP 40801、83750、86750 為使用最多之視察程序。

根據彙整視察報告之重要發現與違規事項彙整發現，SONGS 電廠許多違規與用過燃料池作業、用過核子燃料搬運/處理、乾式貯存設施運作相關，和其除役作業規劃內容有關聯繫。人員(輻射)安全防護在 Zion 電廠除役視察中係較容易出現違規的部分。管制單位在視察時，除了掌握業主在執行除役作業與核准的規畫作業是否一致外，應該與業主建立良好的溝通管道與監管機制，此狀況可以避免現場作業有所變更但主管機關卻未獲通知，並預防危害的形成。最後，則是不可輕忽人員訓練部分，各項作業人員的專業度訓練是相當重要的，因為除役作業期程相當長，人員的輪替、離職造成作業熟練度不足可能導致作業疏失，所以進行視察時也應特別注意。

3. 除污策略和技術彙整

(1)探討美國國家環境保護局(U.S. Environmental Protection Agency, US EPA)所出版之“Technology Reference Guide for Radiologically Contaminated Surface”報告，並依此為基礎研析相關表面除污時之管制原則並彙整成為我國審查除污技術可接受標準之參考依據。

核電廠除役作業中必然需要對廠房之混凝土牆面、地板、天花板與反應器及其相關設備之金屬表面先進行除污(decontamination)以達成減少目標物件放射性活度的目的。有效的除污作業既可降低除役工作人員在施工過程的輻射曝露風險，也有助於提高設備的再次使用可能性或降低後續放射性廢棄物處理所需之設施需求與成本。良好的除污作業更可確保廠址或廠房的恢復與再利用，並確保公眾與環境安全。因此，各核電廠除役工作規劃機關與管制單位皆需對放射性污染物質的除污成效訂定明確的要求，進而評估所採用之除污技術的材料適用性與除污效果以達成目標。

基於原能會對進一步了解各項化學與物理除污技術特性之需求，以美國國家環境保護局(U.S. Environmental Protection Agency, US EPA)所出版之“Technology Reference Guide for Radiologically Contaminated Surface”報告(EPA-402-R-06-003)為研究依據，並整理多項已實用於核電廠放射性表面的化學與物理除污技術。表 3.3.1 詳列 EPA-402-R-06-003 報告所介紹之五項化學除污技術與十二項物理除污技術。化學除污技術以使用螯合劑(chelation)、強無機酸(strong mineral acid)或氧化與還原劑(oxidizing and reducing agent)溶液為主，輔以泡沫或凝膠為載體來溶解金屬表面氧化層中的金屬離子達到除污效果。物理除污技術則以機械元件藉由噴砂(blasting)、研磨(grind)、刨除(shave)或剝落(spall)等方式施力於待除污表面，藉使染層剝落並收集碎屑完成除污，較適合用於混凝土建築表面的除污工作。

表 3.3.1 EPA-402-R-06-003 報告所介紹之化學與物理除污技術

化學表面除污 (較適用於金屬材質除污)	物理表面除污 (較適用於建物混凝土除污)		
螯合劑與有機酸	可剝塗層	乾冰噴砂	高壓水噴射
強無機酸	離心噴砂	乾式真空清潔	軟性介質噴砂
化學泡沫與凝膠	混凝土研磨機	電動液壓粗琢	蒸汽真空清潔
氧化與還原劑	混凝土刨除機	機器人牆壁粗琢	活塞粗琢
TechXtract	混凝土剝落機	噴砂處理	

各化學除污方法皆發展自工業級大尺度化學清洗程序，因此皆使用類似的技術、設備、操作程序與基礎化學知識。然而由於極少量的放射性物質即可能造成輻射相關的健康影響顧慮，即使痕量(trace amounts)的放射性核種殘留仍可使表面被判定為污染狀態，因此在放射性除污工作中對清除污染物程度的要求往往會比一般工業級清潔來得高數個數量級以上。主要的化學除污技術為：(a)酸性或鹼性溶液(acid or alkaline dissolution)，(b)氧化與還原反應(oxidation/reduction - redox reactions)與(c)螯合作用(chelation)。此三種類化學劑通常同時(simultaneous)或接續(sequential)使用以提升除污成效，但此混合使用的情況也增加操作難度而需要專業知識以分辨相關利弊。

化學除污技術之優點為：

- 適當使用情況下較為快速與簡單。
- 類似於工業界常用並已累積相當多經驗之除污技術。
- 相對便宜的操作成本並且不需要額外的機械設備。
- 在適當化學劑的選擇情況下幾乎污染面上的各式核種皆可被有效清除。
- 除污因子 DF 可至 10,000。
- 可用於裂縫、接合點、管線、內部/隱藏空間等機械方法難以運作處之除污。
- 通常僅有少量甚至無空氣(傳播)污染。
- 適當操作下可儘量避免對被除污之設備/表面之影響並確保其再次使用之可能。

而化學除污技術之主要缺點為：

- 會產生液體廢棄物且需要相應之後處理(中和、離子交換、沈澱、過濾、蒸發)，因此會有產生二次廢棄物與額外的處理成本。
- 具有使用強酸或強氧化劑、或是除污過程中產生之氫氣等危險物質所致的操作安全顧慮。
- 通常無法針對多孔隙表面有效的除污。
- 增加除污後的下游污染(downstream recontamination)、設備交互污染，以及發生施工意外時的環境污染風險。
- 有時需使用高溫加熱(70-90°C)以提升除污劑的反應動力與除污效果。
- 通常需要高度的化學專業知識/技術來執行複雜的除污操作與廢棄物管理。

物理除污亦稱為機械除污(mechanical decontamination)，為透過去除表面放射性污染的物理過程，主要可以分為表面清潔(surface cleaning)技術和表面去除(surface removal)技術。表面清潔技術在清除污染物後，表面仍可保持完好無損，其包括刷洗(brushing)、擦拭(wiping)、沖洗(flushing)、吸塵(vacuuming)和可剝塗層(strippable coatings)。表面去除技術需藉由去除整個表面達成去除污染物，包括磨損(grinding)、噴砂(blasting)、刮擦(scabbling)、刨除(shaving)、剝落(spalling)、錘擊(peening)、去銹(scaling)。

物理除污可以是化學除污的替代或輔助方法。與化學除污相比，物理除污技術之優點為：

- 幾乎可對所有表面進行除污，但效益與該材質表面是否易於去除相關。例如灰泥或水泥漿的表面較容易去除，而鋼表面的去除則變得較困難和昂貴。
- 對於無障壁層(barrier layer)的混擬土多孔表面而污染物也已深入基材內部的情況下，物理除污是唯一的除污選擇。若使用化學方法可能促使污染物移至表面下更深之處而更難清除。
- 物理除污通常可以實現比化學除污更高的除污因子，因它能夠完全去除被污染的表面。
- 不需進行表面初步處理。
- 廢物管理較簡單，因為去除的表面物質材料可直接收集並送至廢棄物處理，不需進行如離子交換這樣的二次處理。

與化學除污相比，物理除污技術之缺點為：

- 無對放射性核種或化學性質的選擇性(specificity)。
- 對被清潔的表面具破壞性，因此不適和用於除污後需再次使用的設備，抑或是在除污後對表面進行後續的修補(refinishing)。
- 與表面的物理磨損過程中所產生之微粒(particulate)易逸散至空氣中，因此該技術需同時或藉由輔助措施防範微粒之空中傳播。
- 須考量是否易於接觸至待除污表面與其幾何結構。當表面距離較遠或具有複雜的幾何形狀則不利於應用物理除污技術。
- 工作人員多在污染表面附近操作，需更加關注輻射劑量相關之安全與健康問題。
- 廢棄物量可能大於化學除污，特別在需要移除較深的表面材質或使用較多磨損介質時。
- 若該物理除污技術僅適用於平坦表面，則需事先去除該表面上之障礙物或因管路(piping)或導管(conduit)所造成的環境阻

礙。

一般而言，物理除污技術最適用於大型、規則、不受阻礙的表面，其主要由工業界的表面預處理(preparation)和表面修整(finishing)相關的經驗與技術發展而來。

(2)探討國際上核電廠除役過程所應用之非化學除污技術原理和優劣，針對機械、熔融、生物、複合技術除污等眾多方式做一全盤分析與瞭解，以及管制要項，提供我國後續進行除污管制作業之參考依據。

一般來說，可以在任何表面上使用機械除污(如表 3.3.2)，尤其是處理多孔表面時，機械方法可能是唯一的選擇。許多機械除污技術可用於組件和建築物，並且有一些機械除污技術甚至可用於去除表面層後的二次處理。

表 3.3.2 機械除污技術的種類

種類	適用之材料與情況	備註
水沖洗	面積太大，無法擦拭或擦洗	
除塵/吸塵/擦拭/洗滌	混凝土和其他表面	主要作為預處理
可剝離塗層	大型無孔表面	
蒸汽清除	形狀複雜，表面大的表面	
噴砂清除	金屬和混凝土表面，手動工具	
海綿噴砂	油漆，防護塗料，鐵鏽，金屬表面	
乾冰噴砂	塑料，陶瓷，複合材料，SS，CS，混凝土，油漆	會損壞柔軟的材料
高壓液氮噴砂	金屬，混凝土	噴砂的變化
氟噴流	手套箱內單獨的組件	對環境不友善應避免
濕冰噴砂	塗層與混凝土表面	
高壓與超高壓水噴流	難以接近的表面，結構鋼和槽內	不易清除流入孔內的污染物
研磨/刮刨	地板和牆壁	用於去除薄層污染
翻動/加工/刨削	混凝土和鋼表面	
研磨	大量類似形狀的物品	
鑽孔與擊碎	只能用在混凝土	用於清除幾厘米的污染混凝土
膨脹灌漿	厚厚的受污染混凝土	表面需要鑽孔才能灌漿
路面破碎機與鑿石錘	地板和牆壁	

在核電廠除役期間，會產生大量輕微污染的金屬廢棄物(例如，熱交換器、水份分離器、蒸汽產生器等組件)，透過熔融可以回收大量有價值的金屬，同時在最終處置設施中節省空間。由於設備與組件具有複雜的幾何形狀，因此很難確定內表面上放射性核種的確切位置；然而在熔化之後，可以從每個鑄錠的樣品中精確地確定放射性。在某些情況下，當發現鑄錠放射性活度仍很高，以至於必須將其送到最終貯存場時，熔融將有效縮減組件體積，從而節省貯存場的空間使用。殘留在熔融材料中的放射性核種被均勻固定，從而降低了放射性核種

擴散的可能性。另外，高於外釋條件的鑄錠可重新融化，或進行冷軋等工序加工成可貯存放射性廢棄物的容器，從而在核工業中進行回收。碳鋼和不銹鋼是可採用熔融除污技術回收的合金；鉛也很容易以熔融除污技術回收。由於鉛的熔化溫度低，故可進行現場回收，僅須規範工作人員健康與安全相關的防護措施，成本相對低廉。其他金屬(例如鋁，黃銅，肥粒鐵和鎳基合金)也可使用專用冶煉爐融化。由於用於放射性廢金屬的冶煉廠的總體尺寸小於非放射性金屬的冶煉廠的尺寸，因此必須將放射性廢棄物切成足夠小的尺寸，以適合坩堝。

電解拋光技術是一種在 1950 年代開發的拋光技術，已廣泛用於金屬加工業；直到 1970 年代，核能工業才意識到此法可用於除污，故開始發展電化學除污技術。電化學拋光可以在多種金屬和合金上產生光滑的拋光表面，粗糙度在 0.02~0.03mm 之間。電解拋光與電鍍相反，金屬層是從表面去除而不是施加被覆層。通常要電解拋光的物體浸入電解槽中，作為系統中的陽極。電流的通過陽極導致表面材料的溶解，並且在正常操作條件下使表面逐漸平滑。電化學除污技術如同電解拋光，將待處理的材料作為陽極，如果陽極是金屬或合金之類的污染材料，則可以透過電化學除污清除表面上或表面缺陷中的所有放射性污染物並釋放到電解質中。而陰極可以是不銹鋼或銅電極，也可以是除污槽本身。在除污過程中，可對金屬表面進行一定厚度的溶解，並可帶走金屬表層的污染物。電化學除污在導電材料上特別有效，可將污染降低至接近背景水平，進行外釋處理。電化學除污快速且容易控制，控制參數包含電壓、電流密度、電解質、溫度。在一定的電壓和電流密度範圍內，表面材料會逐漸溶解。如果電壓和電流密度太低，則表面會受到不均勻的侵蝕，從而導致蝕刻而不是拋光。過高的電壓也會導致表面嚴重腐蝕。電解質的選擇對於電化學除污來說相當重要。

泡沫除污使用空氣，氮氣或惰性氣體，由酸或酸混合物生成的液體泡沫。泡沫還包含各種化學添加劑，例如抑製劑，泡沫穩定劑和表面活性劑(增加與表面的接觸來增強效果)。所使用的典型酸為鹽酸、硝酸、氫氟酸、硫酸、磷酸和有機酸。增加停留時間，泡沫可以更好地利用發揮除污劑的功能。廢液的處理可以透過共沉澱去除放射性核種。

化學凝膠被用作化學除污劑的載體，將凝膠噴塗或刷塗到組件或表面上，使其反應，然後擦洗、擦拭、沖洗或剝落。可以使用無氣壓縮機來噴灑凝膠，並且可以透過改變噴頭來進行沖洗。可以透過收集、中和與沉澱進行化學凝膠產生的廢物處理。

(3) 探討 ASME Decommissioning Handbook Ch.17, “Decontamination” 和 Ch.13, “Decontamination Decisions and Process”，另因應我國情況根據其內容提出相應管制建議。

研究流程及執行方法如圖 3.3.1 所示，以 The Decommissioning Handbook 所提供的參考文獻為基礎，找出相關主題進行延伸閱讀，並針對除污案例及管制事項著手進行蒐集與彙整，以期因應我國情況，提出相應的管制建議。

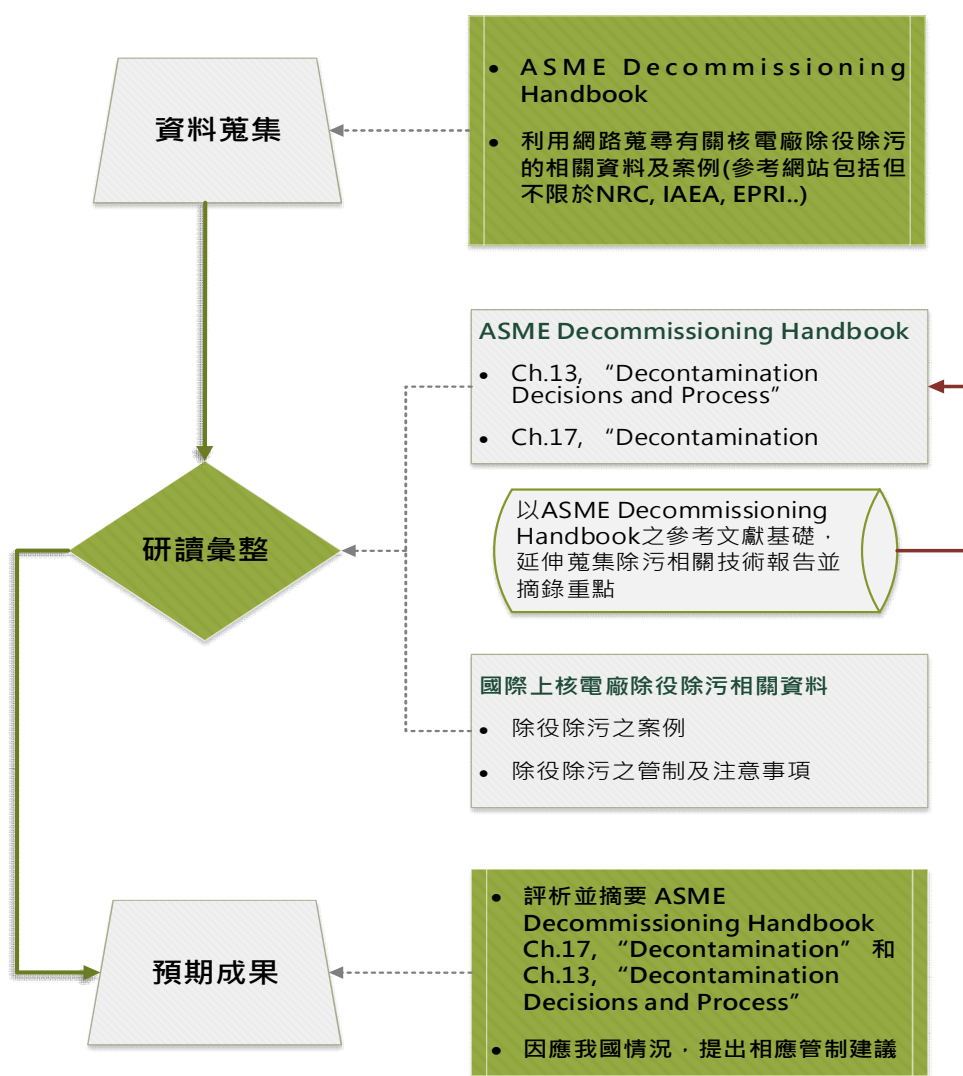
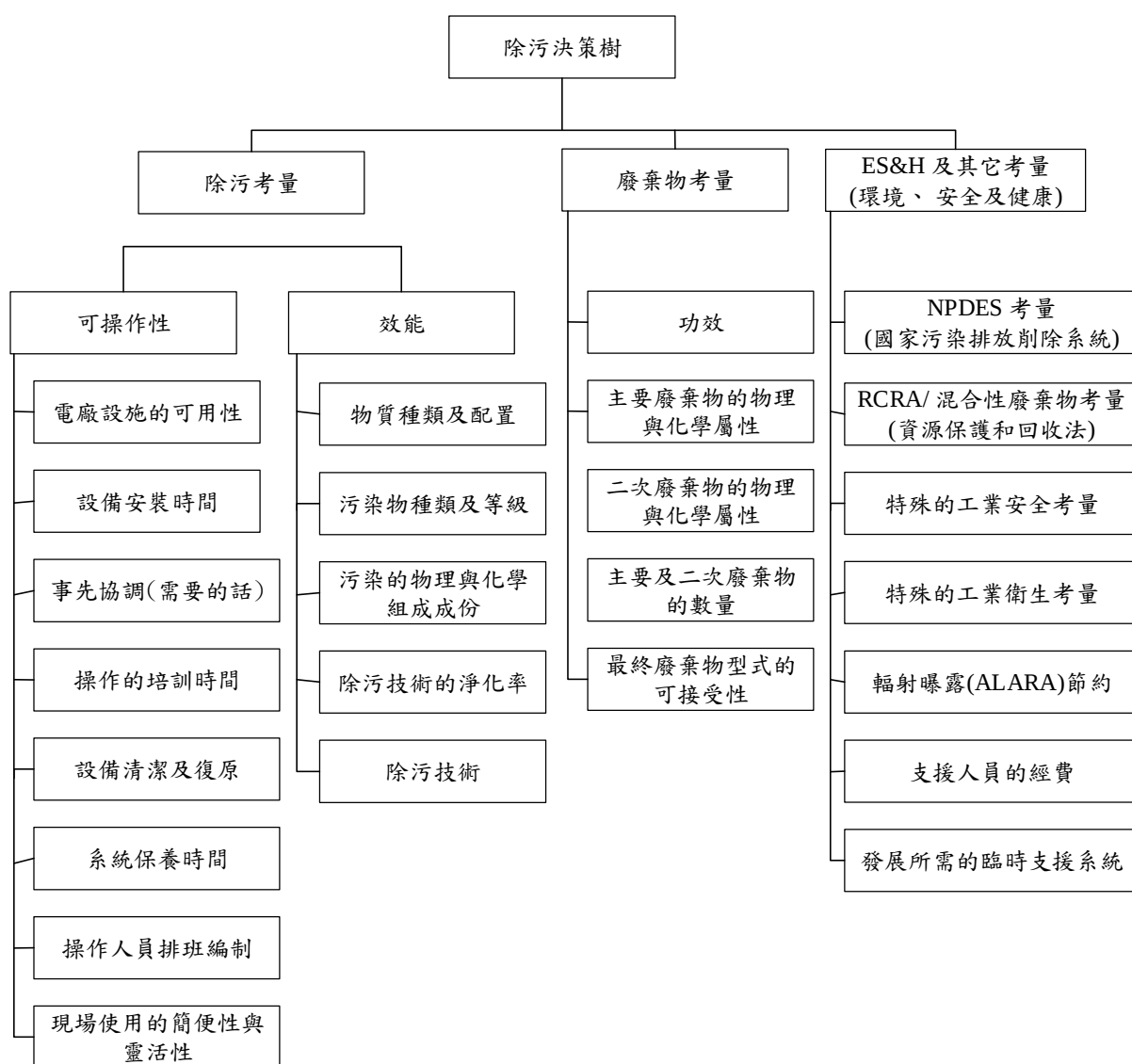


圖 3.3.1 研究流程及執行方法

除污決策樹分析(圖 3.3.2)是用來評估除污是否適當的實際方法，如果適當的話，應採用何種技術，此分析應考量個案的所有相關因素，包括：除污的直接成本、可能降低的人員輻射曝露、減少關鍵作業的時間所能節省的费用、放射性廢棄物處理及其處置費用。



錯誤！找不到參照來源。 3.3.2 彙整除污決策樹分析中應考量的特定要素

4. 過渡期電廠安全分析

(1) 核電廠除役期間安全評估技術強化

圖 3.4.1 為研究流程圖，主要為蒐集研析國際間相關文獻與執行核一廠除役期間用過燃料池分析，其核一廠用過燃料池分析結果與國際相關文獻做比對研析與探討，並針對核一廠用過燃料池關鍵參數進行靈敏度分析。

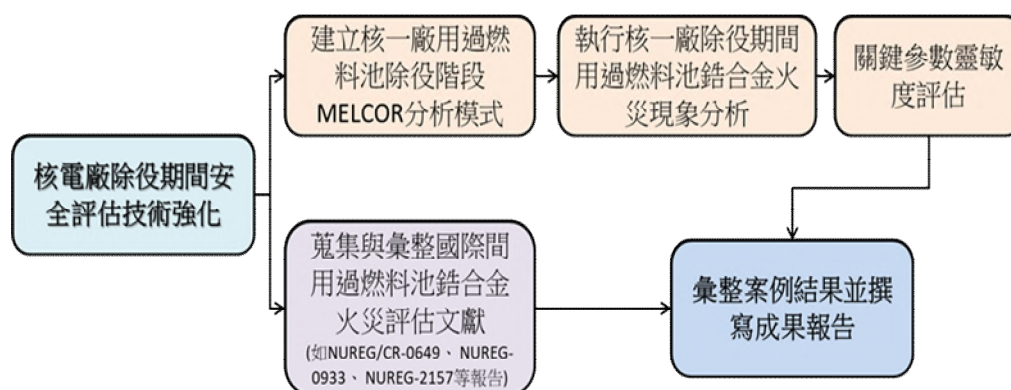


圖 3.4.1 核電廠除役期間安全評估技術強化之研究流程圖

研究採用美國核管會委託美國桑迪亞國家實驗室所開發之工程級輕水式核能電廠熱水流與嚴重事故分析程式 MELCOR (Version 2.2 15254)，並結合 SNAP (Symbolic Nuclear Analysis Package) 圖形化介面程式，將視覺化展示核一廠用過核子燃料池 MELCOR 模式及其分析結果。另蒐集與彙整多篇有關銻合金火災之重要國際文獻，例如 NUREG-2157、NUREG-1738、NUREG-1935、SECY-13-0112、NUREG/CR-6846、NUREG-2121、以及 NUREG/CR-5281 等，並成功以 MELCOR2.2 建立核一廠除役階段用過燃料池 MELCOR 分析模式進行安全性評估。相關研究成果與結論如下：

- a. 根據 NUREG-2157、NUREG-1738 等文獻結論顯示：「用過燃料池發生嚴重事故之風險非常小」，其中用過燃料池因為外電喪失所導致的用過燃料束未被液態水所包覆之意外發生率落在 1.1×10^{-7} 到 2.9×10^{-8} 之間，分別是因為惡劣天氣和電廠相關或電網相關事故所造成；而因為嚴重的地震事件所造成的用過燃料束暴露在空氣中之機率非常小，介於 5.8×10^{-7} 和 $2.4 \times 10^{-6}/\text{yr}$ 之間；在氣候變遷(Climate Change)章節中，NRC 認為由龍捲風所引起的意外事故機率極低(約為 $10^{-9}/\text{yr}$)。

- b. NUREG-2157 文獻提到，隨著電廠機組停機後時間越久，即使用過燃料池完全喪失冷卻水，但由於用過燃料束衰變熱隨著停機後時間越長而大幅下降，使得空氣冷卻性的可能性越來越高，也因此對於放置時間較長之用過燃料束，其鋁合金火災發生機率將有可能更低。
- c. NUREG-1353 說明鋁合金火災的發生機率與衰變熱功率和燃料存放位置有高度的正相關性，例如：運轉中核電廠為了提高熱功率進而提高對核子燃料的燃耗，則之後取出的用過燃料則有更高的衰變熱功率，以及密集的用過燃料束擺放造成熱傳效應降低進而影響燃料快速升溫也是其中一個原因。
- d. 在研析鋁合金火災時，需考量鋁合金護套材料、型態、甚至燃料池排列、氧氣多寡、環境等，都會影響用過燃料池鋁合金火災之時序評估。由於核一廠用過燃料鋁合金護套大部分為 Zircaloy-4 護套，20 週期至 27 週期為 Zircaloy-2 護套，根據 ORNL-3281、NUREG/CR-0649 等文獻所顯示，國際將 Zircaloy-4 與 Zircaloy-2 兩者視為相同合金，Zircaloy-4 是由 Zircaloy-2 開發出來的，Zircaloy-4 鎳含量限制在 0.007 % 以內、鐵含量被限制 0.12%~0.18%以內，其餘成分皆為相同。
- e. 當發生事故時，若無法長期將用過燃料束之衰變熱移除，則隨著時間與溫度上升，將經過三個主要現象：膨脹與破裂、燃料護套劇烈氧化、重新補水後的材料焊火。用過燃料池與運轉之反應爐不同，其在軸向並沒有明顯的餘弦熱通量分布，此特點將導致用過燃料護套膨脹之尺寸加大從而增加阻塞，此現象擁有共面性之用過燃料池下將導致同一高度之阻塞更為嚴重。而此局部堵塞將可能加速堵塞區域附近之表面溫度升高至 900°C 或 1000°C 之時間點(燃料護套開始與蒸氣或空氣劇烈發生氧化還原反應之溫度點)。
- f. NRC 所發布的 NUREG-2121 中指出，燃料格架將可能”釘”住用過燃料束的膨脹現象，代表燃料格架可以一定程度的抑制用過燃料束的膨脹現象。
- g. 根據核一廠基本案例 SBO 事故分析結果中得知，電廠於事故後 786 小時用過燃料池水位才會低於 TAF，此時少部分氫氣開始產生，在 1,197 小時後用過燃料溫度溫升至 Boral 熔化溫度點 657°C，接著 1,216 小時後溫升至 900°C，最後約 1233 小時後燃料及護套才會熔毀。因此可知以目前核一廠停機後超過 5 年，且衰變熱如此低的情況下，電廠有充分的時間餘裕來進行救援措施之施行與

準備，確保電廠之安全。

- h. 不同氧氣濃度(3%、5%、7%、10%、13%、15%、20%)對整體護套溫度峰值(PCT)在 500°C 前溫升速率非常接近，而超過 500°C 後很明顯氧氣濃度越低越抑制氧化反應，氧氣濃度越低，抑制了突偏現象之溫升斜率，延後溫升至 900°C 之時間，各氧氣濃度案例之護套峰值溫度溫升至 900°C 之時間分別為 89.7 小時(3%)，81.4 小時(5%)，73.3 小時(7%)，63.1 小時(10%)，61.6 小時(13%)，61.4 小時(15%)，61.3 小時(20%)，氧氣濃度 7%以下能有效減緩鋁合金護套因氧化熱溫升至 900°C 之時間。對於總產氫量結果而言整體影響性不大。
- i. 不同蒸氣分壓(225.4Pa、610.4Pa、1001Pa、1497Pa、2337Pa、3564Pa)於護套峰值溫度溫升至 900°C 之時間分別為 61.16 小時(225.4 Pa)，61.20 小時(610.4 Pa)，61.25 小時(1001 Pa)，61.27 小時(1497 Pa)，61.31 小時(2337 Pa)，61.37 小時(3564 Pa)，可以看出整體溫升速率非常接近，而在溫度 1,250°C 左右有些微差異，但這差異不影響後續溫升結果，對於溫升結果、氧化熱功率、總氧化熱功率影響性不大，主要差異於產氫量，蒸氣分壓 3,564 Pa 產氫量相對最大為 60 kg 左右，225.4 Pa 產氫量相對最小 4.8 kg 左右，蒸氣分壓越小越有效抑制氫氣產量之趨勢。
- j. 分析目前我國核一廠一號機假設在完全喪失冷卻水之事故下，必須確保鋁合金護套由 30°C 溫升至 900°C 有超過 10 小時之時間餘裕。分析結果而言，採用 RES/DSA/FSCB 2016-03 中 60 GWd / MTHM 衰變熱、假設 3,083 束為第 27 週期(最熱)用過燃料之保守功率假設情形且核一廠用過燃料池在全池裝滿狀態下且均勻燃料排列，於停機冷卻 1.7 年後之燃料護套溫度不會於 10 小時內溫升至 900°C；在假設全池均為最熱燃料(第 27 週期)之燃料溫升結果，停機冷卻 0.88 年後用過燃料不會在 10 小時內達 900°C；而實際核一廠用過燃料池衰變熱計算上升至 900°C 時間結果顯示依照目前核一廠實際燃料功率設計之案例，燃料護套溫度均不會在 10 小時內上升至 900°C。

總結來說，核一廠一號機停機已近 5 年，用過燃料池之燃料冷卻時間已達 5 年以上，其衰變熱已經很低，不論電廠於除役期間發生意外事故，評估結果與 NUREG-1738 報告之分析結果為一致。而依據 MELCOR 計算結果顯示核一廠一號機用過燃料池，確保電廠在完全喪失冷卻水下，鋁合金護套由 30°C 溫升至 900°C 有超過 10 小時之時間餘裕。

(2) 核電廠除役期間廠址取樣方法之品質研析

研究流程如圖 3.4.2，研究方法先進行美國核電廠有關 DQA 文獻之蒐集，之後研讀美國環保署所著數據品質評估指引文件(EPA QA/G-9-2000)、除役核電廠之輻射偵檢與廠址調查指引文件(MARSSIM 手冊)與美國核電廠除役輻射偵檢計畫實際文獻範例等並進行摘述或摘譯，最後彙整數據品質評估所應遵照之規範提出給管制單位之建議，以精進除役相關輻射偵檢工作之數據品質。

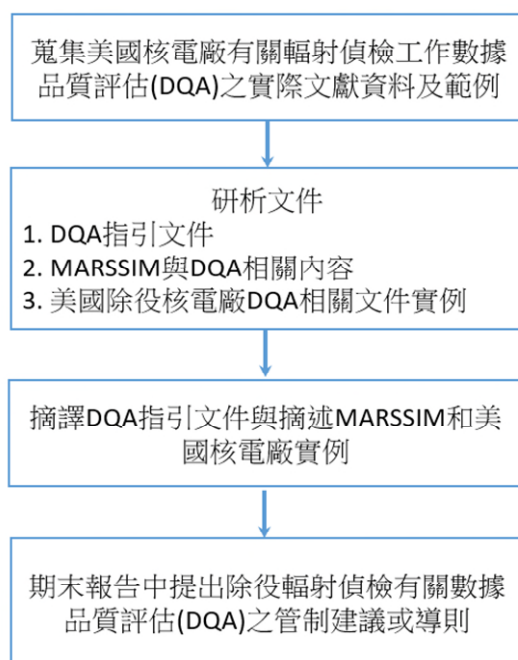


圖 3.4.2 核電廠除役期間廠址取樣方法品質研析研究流程圖

數據品質評估程序由美國環保署所發展，對於需要依據環境數據資料作出評估或決策之調查研究，提供有關數據品質準則及做決策時要依據之效能標準的評估指引。專案管理員及規劃人員可根據數據品質評估程序進行數據品質評估確認決策所根據的數據是否達到所需之數據種類、數量及品質。數據生命週期(圖 3.4.3)包含三個步驟：規劃、執行，和評估。在規劃階段，使用數據品質目標程序來定義定量和定性的標準，規範樣本蒐集的時間、地點以及數量，以及所期望的信心度。規劃階段產出的品質保證計畫規劃文件中除應包含以上這些資訊，還需再加上取樣方法、分析方法，和合適的品質保證和品質控制措施等內容。執行階段應根據品質保證計畫規劃的規範進行數據蒐集。在評估階段，數據將被確認及驗證，以確保品質保證計畫規劃所

設定的取樣和分析方法有被遵守，且有依照品質保證計畫規劃所指定之標準進行量測。最後，使用數據品質評估程序來評估經過驗證和確認過之數據的數據品質，是否有符合數據品質目標的規範。

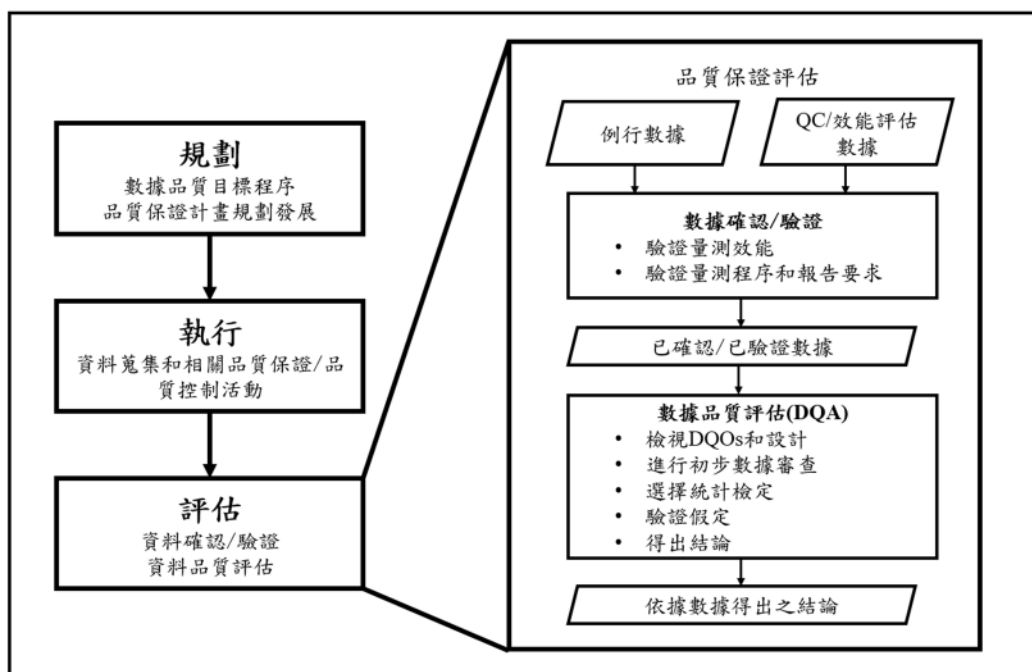


圖 3.4.3 數據生命週期圖

多機構輻射偵查和廠址調查手冊(MARSSIM)提供電廠除役時為證明符合法規規範而須進行之廠址輻射偵檢的指引，包含環境和設備輻射偵檢之規劃、執行和評估等。MARSSIM 的指引聚焦於最終狀態偵檢，最終狀態偵檢是於範圍偵檢、特性偵檢及或有需要進行之整治行動輔助偵檢完成後所要進行之偵檢，目的是證明廠址的殘餘輻射量符合外釋法規規範值。

偵檢的規劃、執行和評估程序稱為數據生命週期。偵檢的設計應使用數據品質目標程序，以確保偵檢結果具備足夠支持最終決策的品質。數據品質評估是評估偵檢結果、確認數據的品質是否符合偵檢目標，以及運用偵檢結果來做出決策時說明偵檢結果的程序。MARSSIM 手冊中有關品質相關的活動的介紹，除了數據品質目標程序及數據品質評估程序外，還包含有關品質保證計畫規劃等內容。

在美國核管會網站蒐集美國核電廠有關數據品質評估之相關文獻，包括薩克斯頓核實驗公司、Plum Brook 反應器以及錫安(Zion)核電廠的資料。根據所蒐集美國與數據品質評估相關文獻，包含 MARSSIM 及除役核電廠相關文獻，數據品質評估的流程主要應用於

最終狀態偵檢。其他的輻射偵檢程序，如範圍偵檢及特性偵檢，在確認數據品質時，進行的作業為確認是否符合該輻射偵檢規劃所訂定之數據品質目標數據品質目標，並不需要完成全部的數據品質評估流程。依據 MARSSIM 第五章內容，各類偵檢類別所應產出的數據品質目標指標如表 3.4：

表 3.4 MARSSIM 各類偵檢類別所應產出的數據品質目標

偵檢類別	數據品質目標
範圍偵檢	● 說明偵檢目的 ● 偵檢儀器必須符合偵檢目的的要求
特性偵檢	● 說明偵檢目的 ● 偵檢儀器必須符合偵檢目的的要求
整治行動輔助偵檢	● 說明偵檢目的 ● 偵檢儀器的檢驗能力必須可以檢測出殘餘輻射為 DCGL 值的量
最終狀態偵檢	● 說明最終狀態偵檢的偵檢目的 ● 說明虛無假設和對立假設 ● 設定可接受的決策錯誤率(型 I 錯誤率(α)和型 II 錯誤率(β))

透過研讀數據品質評估指引文件、MARSSIM 手冊以及美國除役核電廠的相關文獻，了解數據品質評估程序之內涵與用途、輻射偵檢與廠址調查步驟與流程與數據品質評估程序在輻射偵檢與廠址調查中扮演的角色。已完成《EPA QA / G-9 數據品質評估》摘譯，並提供有關廠址輻射偵檢調查計劃及報告有關數據品質評估流程之管制建議。

(3) 核電廠除役期間廠址地下水防護管制特性研析

過去在核電廠運轉期間，台電公司已建立相關地下水防護方案，以監測地下水相關特性之參數，掌握廠址若發生放射性核種之外釋情境，進入土壤、甚至地下水系統之狀況，可藉由核電廠地下水監測系統加以確認，並建立防範地下水污染或污染擴大情形之應變處理機制。

除役拆除過程會產生大量放射性氣體、液體和固體廢棄物，這些產生的廢棄物可能因為地表與表層土壤的直接連通而進入土壤，或更進一步進入地下水系統而造成土壤或地下水特性的改變，而地下水特性的改變也可能因為地下水與廠區附近河川間的連通性而改變河川系統的特性，因此，土壤、地下水與鄰近廠址河川系統特性的改變，

將可能影響除役計畫的時程與投入的資金成本。許多國外之除役經驗顯示，除役期間的活動可能改變核電廠所在的地表下環境土壤與地下水的特性，因此了解核電廠除役期間可能改變廠區地下水系統，預防地下水特性改變、發現地下水特性改變時能對造成地下水特性改變的來源採取應變措施，做好地下水防護的工作，對於除役資金成本控制與避免除役過程複雜化是重要的議題。

考量核電廠進入除役期間，在此期間核電廠仍需持續掌握監測區域及廠址周圍環境地下水之放射性核種變化狀況，確認除役作業並無放射性物質污染地下水之外釋情境。因此，為防範國內核電廠除役期間地下水之污染，必需了解及掌握核電廠廠址地下水防護之特性與評估。此外除在既有監測管制作業外，亦蒐集及彙整美國相關核電廠地下水防護計畫之管制資訊，提出相關廠址地下水防護管制要件與重要參數之管制建議，俾供作為審查管制之參考依據，並精進我國核電廠在除役期間地下水防護管制監督之技術能力。

當發生地下水污染時，了解相關地下水化學、生物或輻射物質的遷移機制，掌握地下水中化學、生物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，主要工作項目研究方法如下：蒐集美國核電廠運轉與除役期間廠址地下水防護管制法規架構與業界導則文件，並據以研析運轉與除役核電廠在管制方向之差異性。蒐集及彙整美國核電廠廠址地下水防護管制案例與經驗，並據以研析除役廠址相關規定與特定技術要項、重要參數。蒐集並研析美國除役核電廠案例，包括美國紐澤西州 Oyster Creek 核能發電廠 1 號機，美國伊利諾州 Dresden 核能電廠與美國伊利諾州錫安(Zion)核電廠。研析美國核電廠廠址地下水防護管制法規與美國除役核電廠相關實務經驗，研提我國核電廠地下水防護管制架構之精進及管制技術要項之建議。

針對美國 10 CFR 法規對除役核電廠之相關管制規定與管制方向，重點項目如下：

- a. 未來地下水可能作為飲用水水源時，殘餘放射性對一般人造成之年有效劑量值(TEDE)不超過 25 mrem (0.25 mSv)之標準，經查國內核子反應器設施管制法施行細則已有相同規定。
- b. 有關核電廠在進行初步相關環境監測與地下水監測之調查，提交監測方案，並且每一年向主管機關提交年度報告，說明液體及氣態廢水釋放至環境每一種主要放射性核種濃度，以估計排放污水對公眾最大潛在輻射劑量。此部分經查國內各核能電廠已建立地下水防護(監測)方案，每季陳報廠區之地下水監測結果，並依輻防法規，將環境及地下水之監測結果分別納入環境監測報告與輻射安全報告，每年提報原能會。
- c. 有關主管機關可視廠址因素情況，決定除役許可條件，如地下水處理與監測、延後拆除造成環境影響評估等，以及核准除役時程表、批准終止執照等。經查，國內相關法規，如核子反應器設施管制法與施行細則、核子反應器設施除役許可申請審核及管理辦法及除役計畫導則等，已有對應規定。

美國核電廠已實施 NEI 07-07 超過 10 年，業界地下水防護方案已日漸成熟，我國運轉中核電廠已建立相關方案，除役期間仍須維持並精進地下水防護方案。針對 NEI07-07「業界地下水防護倡議-指引文件」2007 年版與 2019 年版比較，在 2019 年版與 2007 年版最大的差異性是增加以下項目：

- a. 核電廠目前場址條件之水文及地質特性調查，除包括主要地下水梯度特性資訊外，並以此特性建立場址概念模式(CSM)。
- b. 確認核電廠個人工作作業中所採取之維護、操作及支援等活動行為，其將造成或可避免放射性污染物質藉由傾洩或洩漏過程至地下水之可信機制。
- c. 確認監測井建置位置與品保，以及偵測水準概念。
- d. 對除役的影響。
- e. 除政府外，須與利益關係人溝通，以及可以不進行自願性溝通之條件。
- f. 自我審查評估概念，並修正初次執行自我評估時間。

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：

- a. 評估電廠設計及工作作業可能影響地下水之風險與因應對策—先評估放射性物質可能由結構、系統、組件，或實務作業，而外釋到地下水之可信機制(credible mechanism)，並進一步檢視監測採樣區之地下水監測防範措施與可能之強化措施，以減少因 SSC 失效或作業導致放射性物質意外釋放至地下水之可能性。
- b. 若廠址條件或程序規劃改變時，評估是否會影響地下水防護方案，若有影響，則評估修正地下水監測計畫。
- c. 建立定期之程序性自我評估與審查機制，程序性評估應該包括 NEI07-07 所有目的評估，建議參考「附錄 B:自我評估清單」逐項檢視核電廠除役程序與地下水防護倡議規範之符合性，並定期進行與審視地下水防護計畫與地下水監測計畫。

核電廠除役相關地下水防護措施，建議持續蒐集並彙整美國核電廠(例如，OCNGS)除役期間相關資訊與其地下水監測計畫內容及結果，以作為我國核電廠除役之管制參考。整體之管制建議包括：

- a. 參考美國業界作法包括 NEI07-07 指引，建立除役核電廠定期自我評估機制，針對地下水防護計畫與地下水監測計畫，採文件審查、定期/不定期專案視察等管制措施，確認核電廠除役期間地下水防護方案的符合性。
- b. 為精進核電廠除役的相關管制，建議持續蒐集國際間地下水防護方案相關資訊，以持續強化核電廠在除役期間地下水防護方案的管制效能。

(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，109 年已於臺灣海域內執行取樣及分析作業，完成海水試樣 312 件(包含海水氚樣品 115 件)、海生物試樣 188 件以及沉積物試樣(岸沙、河砂及海底沉積物)83 件，總計 583 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	0.68~2.22	0.06~0.82	MDA ~0.61
氚	<MDA	*	*

註：“-”表示小於最低可測活度(MDA，海水Cs-134 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，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

108 年度國民輻射劑量評估包含天然游離輻射及醫療輻射，調查所得之天然游離輻射造成國民輻射劑量總計 2.206 毫西弗/年。109 年度持續補充外島與山區之數據與消費產品輻射劑量評估外，也持續探討其他人造核種的影響、醫療輻射劑量評估等，整體初步結果如下：

- (1) 外島及山區體外劑量量測作業：地表與宇宙輻射體外劑量於 108 年初步評估劑量，分別為為宇宙射線年劑量為 0.241 毫西弗以及地表輻射年有效劑量為 0.83 毫西弗。評估過程發現山區與外島數據需要補強，且低海拔宇宙輻射劑量在數據擬合過程中也發現誤差偏高。109 年度完成南橫、北橫公路以及綠島鄉的量測，將持續對於海拔 200 公尺以下區域，進行地表與宇宙輻射量測。

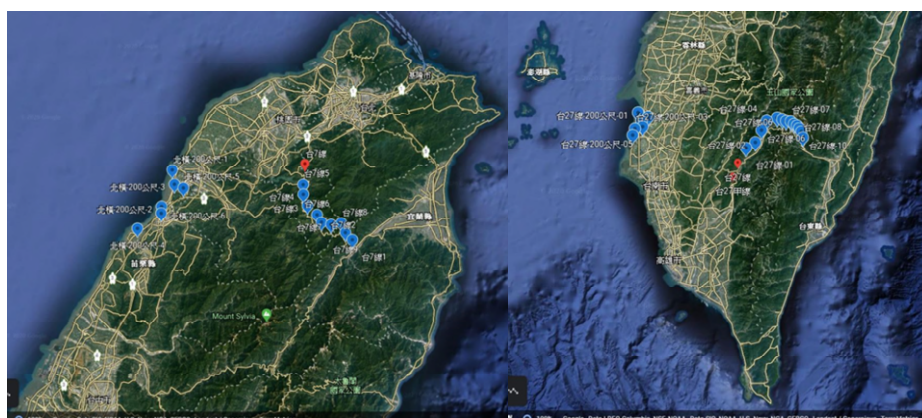


圖 4.2.1 北橫與南橫地表與宇宙輻射度量路線

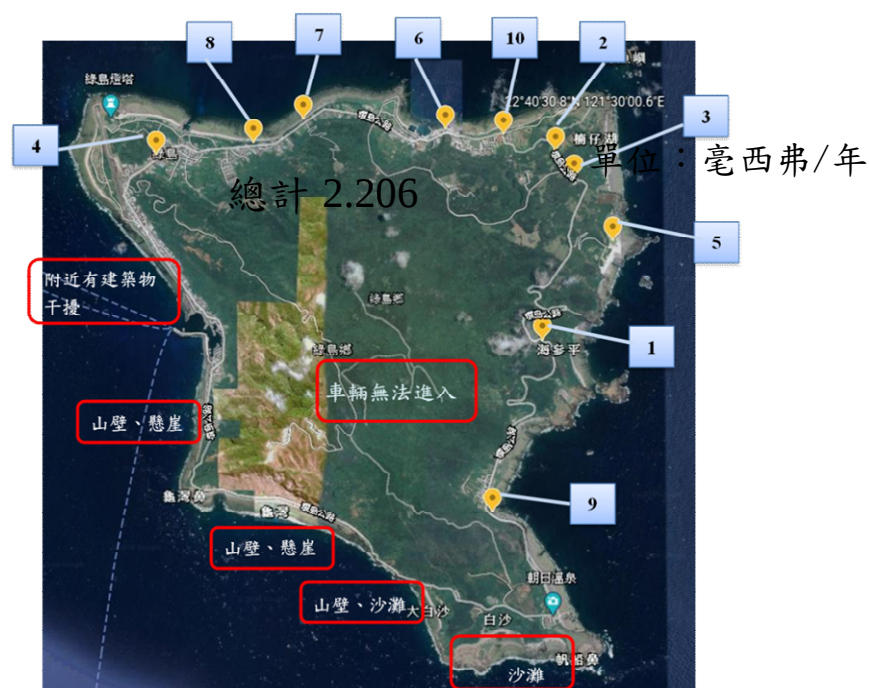


圖 4.2.2 綠島鄉地表與宇宙輻射度量路線

表 4.2.1 南橫沿途量測結果

場所編號	衛星定位座標 經度(N)	衛星定位座標 緯度(E)	測定場所 (相對位置描述)	海拔高度 (公尺)	鉀 40 (Bq/kg)	鈾系 (Bi-214) (Bq/kg)	釷系 (Th-232) (Bq/kg)	地表輻射 加馬劑量率 (μ Sv/h)	總加馬劑量 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 中子劑量率 (μ Sv/h)
1090318-1	23.277110	120.917258	長青祠	2234	375.2	10.6	22.9	0.0291	0.1047	0.0756	0.0251
1090318-2	23.283056	120.903198	台 27 縣近 21.3km 路標	2036	540.7	17.3	26.2	0.0404	0.1122	0.0718	0.0243
1090318-3	23.278999	120.892076	台 27 縣近 18.5km 路標	1860	489.1	17.0	33.5	0.0411	0.1109	0.0698	0.0222
1090318-4	23.283238	120.877093	台 27 縣近 16.1km 路標	1719	613.9	20.4	26.8	0.0452	0.1204	0.0752	0.0162
1090319-2	23.059373	120.731961	櫻花公園	1462	671.3	19.3	30.7	0.0483	0.1216	0.0733	0.0148
1090319-1	23.057248	120.730445	藤枝入山口	1424	692.3	22.2	38.1	0.0535	0.1188	0.0653	0.0145
1090319-3	23.055715	120.721606	寶山二集團櫻花步道	1339	616.9	17.2	35.1	0.0468	0.1148	0.0680	0.0141
1090317-2	23.264645	120.825458	梅山管制口旁露營區	911	583.9	15.1	30.1	0.0424	0.1021	0.0597	0.0106
1090317-1	23.158990	120.764976	桃源區正雅你運動場	582	599.1	20.7	24.8	0.0440	0.1004	0.0564	0.0102

表 4.2.2 北橫沿途量測結果

場所編號	衛星定位座標 經度(N)	衛星定位座標 緯度(E)	測定場所 (相對位置描述)	海拔高度 (公尺)	鉀 40 (Bq/kg)	鈾系 (Bi-214) (Bq/kg)	釷系 (Th-232) (Bq/kg)	地表輻射 ^(a) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	總加馬劑量 ^(b) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(c) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(d) 中子劑量率 (μ Sv/h)
1	24.631895	121.490206	省道 7 號 71.2KM 處	1180	574	36	54	0.0623	0.1126	0.0503	0.0148
2	24.654111	121.472623	明湖山莊	1168	633	40	43	0.0627	0.1184	0.0557	0.0169
3	24.645926	121.476088	省道 7 號 66.8KM 處	1161	500	34	40	0.0529	0.1023	0.0494	0.0113
4	24.650705	121.473340	明池森林遊樂區 招牌標示旁森林	1141	464	32	33	0.0477	0.0992	0.0515	0.0134
5	24.604763	121.495178	省道 7 號 81.2KM 處	659	661	34	39	0.0590	0.1112	0.0522	0.0085
6	24.738461	121.348603	榮華派出所	524	481	34	35	0.0504	0.0969	0.0465	0.0099
7	24.768733	121.354763	省道 7 號 26.5KM 處	490	552	32	30	0.0503	0.0932	0.0429	0.0081
8	24.803661	121.347181	近新溪口吊橋	374	429	28	25	0.0413	0.0862	0.0449	0.0091
9	24.791853	121.364351	鼎信瓦旦紀念公園	356	518	34	49	0.0572	0.0970	0.0398	0.0085

備註：(a)地表輻射加馬劑量率為純鍍偵檢器測得。

(b)總加馬劑量率為高壓游離腔測得。

(c)宇宙輻射加馬劑量率為總加馬劑量率扣除地表輻射加馬劑量率。

(d)宇宙輻射中子劑量率為中子偵檢器測得。

表 4.2.3 綠島鄉量測結果

場所編號	衛星定位座標 經度(N)	衛星定位座標 緯度(E)	測定場所 (相對位置描述)	海拔高度 (公尺)	鉀 40 (Bq/kg)	鈾系 (Bi-214) (Bq/kg)	釷系 (Th-232) (Bq/kg)	地表輻射 ^(a) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	總加馬劑量 ^(b) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(c) 加馬劑量率 (μ Sv/h)	宇宙輻射 ^(d) 中子劑量率 (μ Sv/h)
1	22.658592	121.503339	環島公路 9KM 處	146	250.0	12.7	20.8	0.0245	0.0722	0.0477	0.0078
2	22.673764	121.504599	牛頭山	92	263.5	18.5	31.2	0.0322	0.0754	0.0432	0.0078
3	22.671574	121.506189	觀音洞	91	226.6	19.4	29.4	0.0305	0.0753	0.0448	0.0020
4	22.673590	121.470139	綠島國小	56	224.1	14.5	22.4	0.0251	0.0709	0.0458	0.0049
5	22.666672	121.509546	柚子湖	49	124.1	5.9	13.8	0.0133 ^(e)	0.0495	0.0361	0.0056
6	22.675666	121.495135	遊客中心	49	94.9	8.0	11.9	0.0126 ^(e)	0.0662	0.0537	0.0074
7	22.676462	121.482827	柴口	48	183.4	15.3	14.5	0.0209	0.0625	0.0416	0.0064
8	22.674560	121.478540	藍色海灣	48	69.9	6.1	6.5	0.0085 ^(e)	0.0426	0.0341	0.0042
9	22.645123	121.499104	夏卡爾橋	41	242.9	58.3 ^(f)	25.5	0.0502 ^(f)	0.0672	0.0170	0.0071
10	22.675210	121.500154	海洋研究站	28	292.4	13.1	27.0	0.0288	0.0688	0.0400	0.0078

備註：(a)地表輻射加馬劑量率為純鍍偵檢器測得。

(b)總加馬劑量率為高壓游離腔測得。

(c)宇宙輻射加馬劑量率為總加馬劑量率扣除地表輻射加馬劑量率。

(d)宇宙輻射中子劑量率為中子偵檢器測得。

(e)柚子湖、遊客中心及藍色海灣 3 處白沙沙灘地形。

(f)夏卡爾橋周圍為集塊岩黑色土壤及岩石，其鈾系活度濃度較一般土壤為高。

圖 4.2.3 初步再評估天然游離輻射造成之國民輻射劑量

- (2) 食品中輻射劑量評估: 108 年已評估攝食體內劑量鉀 40 及銨 90，109 年增加銨 137 之評估，年有效劑量分別為 0.234 ； 2.64×10^{-4} 以及 1.18×10^{-4} 毫西弗。評估過程發現部分攝食量大的蔬菜如蘿蔔並未納入取樣分析，因此後續將比對衛福部與農糧署攝食與糧食供應資料，針對國人常食用之品項進行分析，並對於日本攝食劑量中較高劑量貢獻之鈾 210 核種，探討國內飲食市場之調查評估。

表 4.2.4 臺灣地區消費市場主要食品銨 137 含量與年劑量評估

類 別	銨 137 濃度 (鮮奶:貝克/升，其餘貝克/公斤)		年食用量 (鮮奶:升/年， 其餘:公斤/年)	年劑量 (毫西弗)
	最大值	最小值		
米	-	-	45.61	-
葉 菜	0.16	-	43.09	8.96E-05
花果菜類	-	-	28.05	-
鮮 奶	-	-	20.39	-
水 果	0.21	-	50.54	1.38E-04
豬 肉	0.10	-	37.30	4.85E-05
雞 蛋	-	-	18.09	-
麵 粉	-	-	37.97	-
雞 肉	0.03	-	38.61	1.51E-05
甘 藷	-	-	8.68	-
馬鈴薯	-	-	12.88	-
魚 肉	0.30	-	16.83	6.56E-05
牛 肉	0.15	-	6.41	1.25E-05
黃 豆	0.31	-	12.16	4.90E-05
合計				4.18E-04

- : 小於偵測極限

- (3) 消費性產品劑量評估：國內調查所測得香菸中鈾 210 濃度結果，與國外文獻數據相比差異不大，但是由於國內歷年來菸害防治行動推行成效顯著，國人抽菸人口比率逐年下降。因此，推估所得之國民輻射年劑量約為 0.049 毫西弗較 108 年先期評估結果低。飛航劑量的部分，將所有國際航線以近 5 年(104 年到 108 年)之搭機年平均人數加以排序，結果若目標需評估超過 90% 的人數則需要評估前 48 條航線總和，若要超過 95% 的人數則需要統計 66 條航線。兩岸航線以近 5 年之搭機年平均人數加以排序，結果若目標需評估超過 90% 的人數則需要評估前 57 條航線總和，若要超過 95% 的人數則需要統計 75 條航線。然而因為人數與國際線相比實在太低，因此建議只評估人數最多的五條

航線與航程最長的五條航線。由於無法得到近五年每條航線的確實飛航資訊，為了能夠一致的基礎，採用 60 年平均太陽風強度作為評估的參數。後續將規劃採用劑量評估軟體進行評估統計。

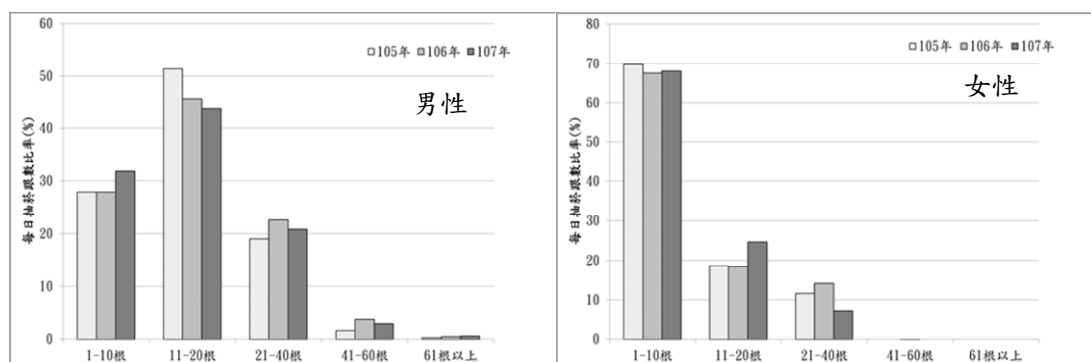


圖 4.2.4 近 3 年國人吸菸習慣調查每天抽菸根數。

(資料來源:衛福部國健署)

- (4) 職業曝露劑量評估：國人職業曝露劑量，依據近 5 年全國輻射工作人員劑量資料統計年報資料顯示，國民輻射年劑量近 5 年約為 0.234~0.366 微西弗/年之間，亦呈現逐年下降趨勢。未來會納入其他年份的資料作進一步的討論。其中民用飛行類的職業部分，受限於現有法規並未有實際監測數據，以至該類別之職業曝露人數及劑量均無法反映實際現況，會參考國外做法另行研議可行的評估方式，於後續報告中納入。

表 4.2.5 104-108 年職業輻射曝露統計表

年分	104	105	106	107	108
男(人)	11,712,047	11,719,270	11,719,580	11,712,913	11,705,186
女(人)	11,780,027	11,820,546	11,851,647	11,876,019	11,897,935
總人口數(人)	23,492,074	23,539,816	23,571,227	23,588,932	23,603,121
年集體劑量(mSv)	8589.33	7344.65	5804.69	5775.33	5516.98
國民輻射劑量(μ Sv/yr)	0.366	0.312	0.246	0.245	0.234

- (5)醫療輻射：醫療輻射劑量評估已累積執行完成的工作項目：

- 健保資料庫的人數趨勢評估：8種類別的平均年增率皆為正成長，其成長範圍為 0.01%~8.2%，以非心臟類介入性透視攝影成長 8.2%最為明顯。
- 針對 48 個類次分別進行醫院檢查序列調查之取樣：自 108 年開始至 109 年取樣所累計的病例數已達 64,444 筆臨床資料。

- c. 在 4 種類別下完成 26 個檢查項目合計 72 個劑量評估模型，包含電腦斷層完成 11 個檢查項目合計 17 個劑量評估模型、核子醫學完成 6 個檢查項目合計 12 個劑量評估模型、一般傳統 X 光完成 7 個檢查項目合計 35 個劑量評估模型、乳房攝影完成 2 個檢查項目合計 8 個劑量評估模型。
- d. 推算集體有效劑量：電腦斷層國民平均年劑量估算約為每人每年 0.76 mSv。
- e. 臺灣醫療輻射類別劑量網站已完成構想設計。將於 110 年完成彙整國民醫療輻射劑量資料，並建立臺灣醫療輻射類別劑量評估網站。

表 4.2.6 醫療輻射 8 種類別平均年增率

類別	健保資料庫 起迄年份	平均年增率 (%)
1.電腦斷層	89 年~106 年	6.9
2.核子醫學	93 年~106 年	7.9
3.心臟類介入性透視攝影	93 年~106 年	3.8
4.非心臟類介入性透視攝影	89 年~106 年	8.2
5.傳統透視攝影	89 年~106 年	0.01
6.一般傳統 X 光	89 年~106 年	4.2
7.乳房攝影	89 年~106 年	3.4
8.牙科攝影	89 年~106 年	3.3

表 4.2.7 今年度完成 8 種類別 48 個類次的分布狀況與取樣累積病例數

類別	108 年 醫院家數	109 年 醫院家數	取樣一個月 累計病例數
1.電腦斷層	2	8	10,732
2.核子醫學*	2	4	6,351
3.心臟類介入性透視攝影	2	3	219
4.非心臟類介入性透視攝影	2	6	823
5.傳統透視攝影	2	6	802
6.一般傳統 X 光	2	6	9,744
7.乳房攝影	2	7	1,962
8.牙科攝影	2	8	33,811
小計	16	48	64,444

*核子醫學：取樣為三個月的累計病例數

表 4.2.8 電腦斷層檢查項目(j)、序列之劑量評估模型(k)、檢查項目有效劑量(D_j)、健保資料庫檢查項目年頻次(F_j')、醫療輻射檢查項目年頻次(F_j)、檢查項目集體有效劑量(S_j)、集體有效劑量總和($\Sigma_j S_j$)、電腦斷層集體有效劑量總和修正($N=97.3\%$)與評估台灣國民平均年劑量($\overline{D}$)

項次	檢查項目(j)	檢查序列之劑量評估模型(k)	檢查項目有效劑量(mSv)(D_j)	健保資料庫檢查項目年頻次(人)(F_j')	醫療輻射檢查項目年頻次 ^{*(1)} (人)(F_j)	檢查項目集體有效劑量(人·mSv)(S_j)
1	頭部	Brain、Sinus、Facial Bones、Temporal Bones	1.4	708,885	801,040	1,121,456
2	頸部	Neck	2.6	121,198	136,954	356,080
3	胸部	Chest (C)、Lung	6.2	308,296	348,374	2,159,922
4	上腹部	ABD (A)	9.5	202,036	228,301	2,168,856
5	腹部(含骨盆腔)	ABD(A)+Pelvis (AP)	17.3	428,730	484,465	8,381,243
6	胸部與上腹部	Chest+Abdomen (CA)	12.8	108,983	123,151	1,576,330
7	胸部與腹部(含骨盆腔)	Chest+Abdomen+Pelvis (CAP)	22.1	19,303	21,812	482,054
8	骨盆	Pelvis(P)	7.5	26,922	30,422	228,164
9	下肢	下肢	6.0	31,310	35,380	212,282
10	脊椎	C-spine、T-spine、L-spine	2.3	40,909	46,227	106,322
11	心血管	心血管	20.1	23,032	26,026	523,126
電腦斷層台灣國民平均年劑量($\overline{D}$) 估算約為每人每年 0.76 mSv			集體有效劑量總和(人·mSv)($\Sigma_j S_j$)			17,315,835
			電腦斷層集體有效劑量總和修正 ^{*(2)} (人·mSv)($N=97.3\%$)			17,796,336
			106 年台灣總人口數(人)(P)			23,571,227
			台灣國民平均年劑量(mSv)($\overline{D}$)			0.76

*⁽¹⁾本欄的人次(F_j)=健保資料庫檢查項目年頻次(F_j') *轉換因子(1.13) , 是依據衛福部電腦斷層年頻次與健保資料庫年頻次之倍率進行轉換推估。

*⁽²⁾表列中的 11 個項目為電腦斷層檢查基於 NCRP184 號報告之劑量試算後各序列之試算劑量總和佔 106 年總集體有效劑量 97.3%的檢查序列, 因此 $N\%$ 為 97.3%以修正之

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
輻射偵測智慧載具自走應用研究	林聰得	2020	B	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
電廠除役之難測核種分析技術與比例因數評估方法介紹	許芳裕	2020	B	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
Improvement of Performance Test Model for Radiation Workers' Dosimetry Laboratories in Taiwan.	馮真如	2020	E	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
核一廠 MELCOR 模式建立與除役期間 SFP 安全分析	陳偉懋	2020	E	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
海水中氚分析方法探討	陳婉玲	2020	E	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
台灣海域海水銫-137 分析方法探討	李明達	2020	E	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
淡水總貝他分析方法之精進	李明達	2020	E	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
Spread of Radiocesium to the Taiwan Strait and Kuroshio east of Taiwan from 2018 to 2019	黃蔚人	2020	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
原子能科技民生應用發展策略藍圖	原子能科技於半導體製程、工業應用、太空科技、中子科技、量子科技、環境及水資源、糧食和農業、醫療領域發展藍圖。	B	B	國際合作及技術交流
新南向六國推動原子能科技國際合作建議	放射診療領域是現階段與新南向六國合作較具可行性之候選方案，如放射診斷藥物、放射治療藥物、輻射影像技術、可發生游離輻射設備醫療品質保證等。	B	D	國際合作及技術交流
國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制	本項研析美國及經濟合作暨發展組織會員國等國家之核電廠除役資訊，考量國情、法規面、技術面及政策面等特定狀況之差異性，不同研析文件所揭櫫之技術內涵可供管制參考。	A	C	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
國際除役技術指引和法規彙整之管制	本項蒐集 IAEA 等國際機構除役相關資料包含基本法則、要求、導則以及技術文件等，並將所蒐集 IAEA 及 NRC 文獻依業管單位使用做分類；參照 IAEA 與 NRC 文件/法規層級之架構做對照；並將技術文件依管制權責及除役應用主題做分類，標註使用需求的時間點，提供管制參考。	A	C	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	研討與摘要目前主要應用於核電廠除污的各式化學與物理技術，另亦包含非化學除污技術的原理和優劣，進行彙整使提出除污技術的管制參考。	A	C	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
核電廠除役期間安全評估技術強化及廠址取樣方法品質	本研究針對已停機已近五年的核一廠一號機用過燃料池，考量衰變熱之靈敏度，依據 MELCOR 程式分析除役期間發生特定事件，評估結果與 NUREG-1738 報告之分析結果為一致，且在電廠完全喪失冷卻水情況下，鋁合金護套溫昇保持有足夠的時間餘裕。另研析數據品質評估之指引文件，研討除役核電廠輻射偵檢與廠址調查指引文件有關數據品質評估內容以及美國核電廠除役輻射偵檢計畫相關資料；提出相關建議做為管制參考。	A	C	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	本項蒐集彙整美國核電廠運轉與除役期廠址地下水防護管制架構、業界導則文件及實務經驗，並研析管制方向之差異性及特定技術要項、重要參數，研提我國核電廠地下水防護之管制建議及技術要項之重點。	A	C	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
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
林楷儒	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
陳勁墉	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
李茜茹	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
劉睿雯	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
馮真如	國立陽明大學 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
王建傑	國立清華大學 工程與系統科學系	A	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
林子翔	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
Dang Khoa Tran (陳登科、越南籍學生)	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
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

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
曾柏鈞	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
張宣佑	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
王宇凡	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
高睿駿	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
林博甫	國立清華大學 工程與系統科學系	C	B	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
蔡惠珊	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
李居展	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
陳冠儒	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
趙宥惇	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
林上智	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
陳偉懋	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
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
王光予	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

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
				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
原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析	葛復光、袁正達	2021	B	國際合作及技術交流
原子能民生應用與新南向政策願景規劃	林泓秀	2021	D	國際合作及技術交流
除役階段危害鑑別與輻射防護措施需求方案研究	楊雍穆	2020	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
核設施除役輻射偵測數據品質評估技術研究	林士軒	2020	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
109 年除役作業場所輻射分析之審查技術研究	劉鴻鳴	2020	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
國內輻射工作人員劑量評定機構管制技術精進	許世明	2020	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究
國際除役案例蒐集及相關風險洞悉管制	黃毓皓、郭瓊文、朱鐵吉	2020	C	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
國際除役法規和指引彙整之管制研究	張似璫、陳瑋	2020	C	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、葉宗洸、王本誠、李進得	2020	C	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、林上智、陳韶萱	2020	C	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究

報告名稱	作者姓名	出版年(西元年)	是否被採納	成果歸屬
除役期間廠址地下水防護管制特性	梁菁萍、張誠信	2020	C	核電廠除役各階段工程技術與分析應用研究
國民醫療輻射劑量調查研究報告(2/4)	蔡惠予、張似璵、陳拓榮、吳威德	2020	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
109 年北橫公路宇宙輻射與地表輻射偵測報告	劉任哲	2020	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
109 年南橫公路宇宙輻射與地表輻射偵測報告	劉任哲	2020	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
109 年綠島鄉環境輻射偵測報告	劉任哲	2020	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
109 年國人吸菸劑量評估報告	劉祺章	2020	C	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估
109 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	2020	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 109 年度執行成果報告	周政毅、李明達、蔡文賢	2020	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
核電廠除役輻射偵檢取樣佈點規劃技術訓練	B	A	2020	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。

【H 技術報告檢驗方法表】

技術或檢驗方法名稱	性質	作者姓名	出版年(西元年)	出版單位	成果歸屬
水樣氚活度分析前處理操作程序書	B	陳婉玲	2020	輻射偵測中心	海陸域輻射調查及國民輻射劑量評估

註：性質分成 A 技術報告、B 檢驗方法；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【K 規範標準及政策法規草案制訂表】

名稱	類別	制定及參採情形	應用範圍	成果歸屬
難測核種比例因數評估之審查導則(草案)	A	D	D	核電廠除役階段之輻射安全管理與規劃技術研究

註：類別分成 A 規範、B 標準、C 法規、D 政策；制定及參採情形分成 A 參與草案或建議方案制訂、B 草案經採納或認可通過、C 發表或公告實施、D 草案存參、E 其他；應用範圍分成 A 機構內、B 國內、C 國際、D 未發表；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			583	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。