

113 年度政府科技發展計畫 績效報告 (D006)

計畫名稱：輻射偵測技術建立及新世代智慧輻射監測站計畫(1/4)

執行期間：

全程：自 113 年 1 月 1 日 至 116 年 12 月 31 日止

本期：自 113 年 1 月 1 日 至 113 年 12 月 31 日止

主管機關：核能安全委員會

執行機關：核能安全委員會輻射偵測中心

113 年度政府科技發展計畫審查意見辦理情形表(檔案上傳)

序號	審查意見	辦理情形

註：請下載格式後，以 word 軟體撰寫編輯，再轉存成未加密之 pdf 檔上傳至系統。

格式中灰色字體說明部份，請於完成編輯後自行刪除。

目 錄

【113 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】	1
壹、總目標(系統填寫).....	3
一、緣起.....	3
二、總目標及其達成情形.....	4
三、主要工作項目推動具體成果(請填寫累積成果).....	6
貳、經費執行情形.....	24
一、全程經費(由系統加總).....	24
二、年度經費(由系統填寫).....	25
1.經費支用說明.....	25
2.經費實際支用與原規劃差異說明.....	26
參、成果之價值與貢獻度（請上傳累積成果）	26
肆、檢討與展望（請上傳累積成果）	28
一、計畫執行困難與因應對策	28
二、計畫執行可改善事項或後續可精進處	28
伍、其他補充資料（請上傳累積成果）	28
一、跨部會協調或與相關計畫之配合	28
二、大型科學儀器使用效益及共用分享機制說明	28
三、其他補充說明(分段上傳).....	29
附錄、細部計畫.....	30
一、全程架構及經費.....	30
二、年度執行摘要.....	31
附表、佐證資料表.....	33

【113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	輻射偵測技術建立及新世代智慧輻射監測站計畫(1/4)	
主管機關	核能安全委員會	
執行機關	核能安全委員會輻射偵測中心	
計畫類別	☐ 政策計畫 ☒ 一般計畫 ☐ 基礎研究	
重點政策項目	☐ 數位經濟與服務業科技創新 ☐ 亞洲・矽谷 ☐ 智慧機械 ☐ 綠能產業 ☐ 生醫產業 ☐ 國防產業 ☐ 新農業 ☐ 循環經濟圈 ☐ 晶片設計與半導體前瞻科技 ☐ 文化創意產業科技創新 ☐ 其他_____	
全程期間	113 年 1 月 1 日 至 116 年 12 月 31 日	
資源投入 (以前年度為決算數，系統自動帶入)	年度	經費(千元)
	113	9,000
	114	9,700
	115	8,500
	116	8,500
	合計	35,700

計畫摘要	本計畫為協助行政院推動 112 年度施政方針「確保核電廠除役及放射性廢棄物安全，執行海域氚監測及預警，提升輻射安全及災害防救量能，拓展原子能科技跨域應用」；協助落實行政院重大政策「災防科技，守護台灣」，配合 110 年至 113 年國家發展計畫「數位創新，啟動經濟發展新模式 2.0(五)打造數位國家智慧島嶼」及 111 至 114 年原子能科技民生應用發展策略藍圖，以「環境永續」核心主軸、「能資源與環境」面向、「環境與水資源」領域為計畫發展依據。 環境輻射偵測係維護國家輻射安全重要的手段，國內當前面臨首次核電廠除役作業，境外則有鄰近國家核電廠放射性污染潛在影響及輻射災害威脅，隨著科技進步與輻射在各領域廣泛應用，輻射災害潛勢已逐漸上升。本計畫將提升各種輻射偵測技術以因應逐年升高之境外核災與跨境輻射威脅，減少災害發生時對社會與環境之衝擊。 全程計畫推動重點： 一、強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力 改良現有環境輻射即時監測站自主電力供應效能，不必依賴台電公司提供之市電，精進現有偵測設備模組，使其具獨立電源、結合智慧監測技術強化自動遠距遙測能力及監測功能，建立新一代的環境輻射即時監測站模組，提供完整輻射偵測分析及監測範圍，增進輻射災害自動預警能力。 二、精進放射化學及核種分析技術 建立關注放射性加馬及難測核種之檢測技術，加強現有核電廠除役或核事故期間環境放射性含量檢測技術，以保障國人環境輻射安全。			
計畫連絡人	姓名	劉任哲	職稱	技正
	服務機關	核能安全委員會輻射偵測中心		
	電話	07-3709206#307	電子郵件	rjliu@nusc.gov.tw

壹、總目標(系統填寫)

(計畫目標之呈現方式應與原科技計畫書一致，如實際執行與原規劃有差異或變更，應予說明；另績效報告著重實際執行與達成效益，請避免重複計畫書內容。)

一、緣起

核能安全委員會為我國原子能安全主管機關，為落實國內核能電廠、核子設施及輻射作業場所的安全監督，嚴格執行各類輻射作業場所安全管制、落實環境的輻射偵測並建立輻射災害的應變機制，以確保原子能應用過程中人民的輻射安全。核能安全委員會輻射偵測中心做為國家賦予職責的唯一放射分析專業實驗室，近幾年隨著樣品偵測數量的逐年擴大，機關年度預算編列之基本額度實不足支應開發新技術及更新分析設備，面對逐年升高之境外核災及跨境輻射威脅，而機關人力又無法增加，需研發新一代的即時自動且具機動智慧化的環境輻射監測站，增進環境輻射監測功能多元化，設備精巧省電易建置（突破現行監測設備需市電配合，導致安裝地點受到限制），並藉以解決當前核種分析方法不足、輻射異常事故核種分析設備及監測設備未能隨著科技進步朝自動化及智慧化調整等問題。另因應國內核電廠陸續進行除役作業及境外各式輻射災害及污染威脅，需精進放射性核種分析技術。本計畫將扮演未來本中心執行輻射監測相關施政項目精益求精之關鍵性角色，以確保環境永續之輻射安全。

二、總目標及其達成情形

1. 全程總目標：

建立新一代的環境輻射即時監測站模組，提供更完整輻射偵測訊息及監測範圍，增進輻射災害自動預警能力；建立關注放射性加馬及難測核種之檢測分析技術，加強現有核電廠除役或核事故期間環境放射性含量檢測技術，以保障國人環境輻射安全。

里程碑(milestone)				
年度	第一年 民國 113 年	第二年 民國 114 年	第三年 民國 115 年	第四年 民國 116 年
年度目標	1. 研發設計外型精簡新一代環境輻射自動監測站模組。 2. 境內境外環境受關注核種之檢測技術評估與探討。	1. 建置新一代環境輻射自動監測站模組。 2. 開發及建置環境加馬核種檢測技術。	1. 開發及建置加馬能譜遙測技術。 2. 開發及建置環境難測核種檢測技術。	1. 完成環境輻射即時監測相關技術系統整合。 2. 完成環境關注核種輻射監測報告。
預期關鍵成果	1. 研究及開發外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站。 2. 完成電廠除役作業期間環境輻射監測相關核種之檢測技術評估與探討。	1. 建置外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站。 2. 研究或開發電廠除役作業期間加馬核種檢測技術。	1. 完成加馬輻射能譜遙測技術分析技術於環境輻射之應用規劃。 2. 研究或開發電廠除役作業或核事故期間難測核種檢測技術。	1. 新一代的環境輻射自動監測站量能擴充及加馬輻射能譜遙測資訊與環境輻射即時監測網整合。 2. 完成除役電廠周圍樣品關注核種檢測及監測報告。
年度目標達成情形 (重大效益)	1. 完成外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站模組設計。 2. 完成關注核種分析相關技術評估與	1. 建置外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站，增加監測範圍。 2. 完成關注加馬核種檢測技術開發及	1. 完成加馬輻射能譜遙測技術分析技術之應用。 2. 完成關注難測核種檢測技術開發及建置，強化環境樣品檢測。	1. 完成環境輻射即時監測相關技術系統整合，提供更完整輻射偵測訊息，擴大輻射預警範圍，效確保環境與民眾之輻射安全。

里程碑(milestone)				
年度	第一年 民國 113 年	第二年 民國 114 年	第三年 民國 115 年	第四年 民國 116 年
	探討，提供國家輻射偵測完整規劃。	建置。		2. 完成環境樣品放射性核種檢測背景調查，做為未來事故時比對及決策參考。
計畫屬性 (依計畫主要/次要推動重點填寫，總計不超過三項)	A.組織維運/類業務、B.資通訊建設、C.人才培育、D.基礎研究 E.產業技術研發、F.產業服務與應用、G.環境永續與社會發展 主要推動重點： ■ <u>G.環境永續與社會發展</u> 次要推動重點： ■ <u>A.組織維運業務</u> 、■ <u>C.人才培育</u>			

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	第一年 民國 113 年	第二年 民國 114 年	第三年 民國 115 年	第四年 民國 116 年
年度目標	1. 研發設計外型精簡新一代環境輻射自動監測站模組。 2. 境內境外環境受關注核種之檢測技術評估與探討。			
年度目標達成情形 (重大效益)	1. 完成外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站模組設計。 2. 完成關注核種分析相關技術評估與探討，提供國家輻射偵測完整規劃。			

三、主要工作項目推動具體成果

本績效報告為「輻射偵測技術建立及新世代智慧輻射監測站計畫」之四年期科技發展計畫第一年執行成果，包括子計畫一：強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力，以及子計畫二：精進放射化學及核種分析技術等兩個部分。

(一) 子計畫一：強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力

在子計畫一：強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力，全程計畫推動重點與挑戰包括：

1. 強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力，改良現有環境輻射即時監測站自主電力供應效能，降低依賴台電公司提供市電，精進現有偵測設備模組，使其具市電以外之獨立電源，並結合智慧監測技術，以提高即時監測之穩定性。
2. 建立遠距遙測能力及監測功能，建立新一代的環境輻射即時監測站模組；為精進現有偵測設備，除了原有輻射劑量率即時監測外，將導入「環境加馬輻射能譜自動監測」功能，提供完整輻射偵測分析結果及監測範圍，增進輻射災害自動預警能力。

將在現有之全國輻安預警自動系統的基礎上，進行(1)開發及建置環境輻射監測站多元電源備援技術、(2)環境輻射即時監測相關技術系統整合、(3)開發及建置加馬能譜儀遙測技術、(4)設計外型精簡之監測站模組等面向的技術創新研究。

113 年第一年期執行成果，已完成外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站模組之設計，新世代環境輻射自動監測站將包含配備電源管理(Battery Management System, BMS)之模組、太陽能充電模組及設計新一代環境輻射劑量率即時監控及加馬能譜等資料彙整介面，擴充新一代監測站數據之資訊量及多元性，達能譜與即時劑量率、累積劑量率等亦能同步展示。

1. 輻射監測設備與數據收集：監測站配備 ERM-PE 塑膠閃爍偵檢器和 FNS99 碘化鈉能譜偵檢器，能夠有效探測和量測環境輻射。這些設備由控制模組進行管理，並將數據透過 4G LTE 模組傳輸到伺服器，監測數據包括輻射劑量、GPS 位置、溫度和電壓等環境參數；環境輻射監測軟體架構如圖 1。監測站管理頁面所展示能譜背景測試結果如圖 2，偵檢器採用由國家原子能科技研究院開發之 FNS99 碘化鈉能譜偵檢器，能譜設定 512 channel 對應 2000 keV，channel 與能量對應非比例，採用內建對照表進行轉換，在計數率之部分提供自動加總功能，以觀察時間內之計數率變化。
2. 通訊方式：數據傳輸採用 MQTT 和 WebSocket 協定，以確保穩定、即時的數據更新。MQTT 協定由 Eclipse Mosquitto 作為消息代理，利用發布/訂閱模式在設備和伺服器之間交換信息，支援低頻寬的移動環境。WebSocket 技術則進一步確保伺服器與監測站之間的雙向通信，達到低延遲、持續連接的效果。

3. 電源管理：監測站的電源管理系統整合了太陽能板、UPS 鋰電池組和市電，並配備 BMS（電池管理系統）來管理各電源來源，確保監測站在任何情況下都能穩定運行。BMS 系統還具備過壓和過流保護機制，例如當電壓超過 17V 或充電電流超過 3A 時自動切斷電源，保護設備安全運行；電池管理系統之電路設計，如圖 3。
4. 展示平台與數據管理：展示平台採用 Laravel 框架及 AdminLTE3 模板構建，具備地圖展示、資料庫管理、數據查詢及圖表分析等功能，支援監測站的即時數據呈現與遠端管理。系統前端具備友好的 UI 界面，並可透過瀏覽器隨時查詢和監控輻射數據；設備模組連接設計規劃，如圖 4。
5. 監測站外型精簡小型化、模組化設計：主要設計考量因素，包括環境適應性、耐候結構及部署效率等，目標在於可一人獨自操作、搬運、部署，提升設備的易用性。機動式監測站(不含多元電源)外型精簡化後，尺寸長、寬、高預計為 35 x 25 x 5 cm，其結構預期可減少 50% 以上，使監測站變得攜帶輕便。另配合耐候外箱設計，結構可防水防塵。

目前的研究工作重點仍聚焦於監測站核心功能的開發與整合，包括多元電源備援技術、環境輻射即時監測系統整合及加馬能譜儀遙測技術。

綜上所述，該監測系統以穩定的通訊技術、強健的電源管理方案及直觀的數據展示平台，支援輻射數據的高效傳遞與遠端監控，能更有效掌握輻射監測即時遙測之狀況，為核能安全提供了強有力的保障。

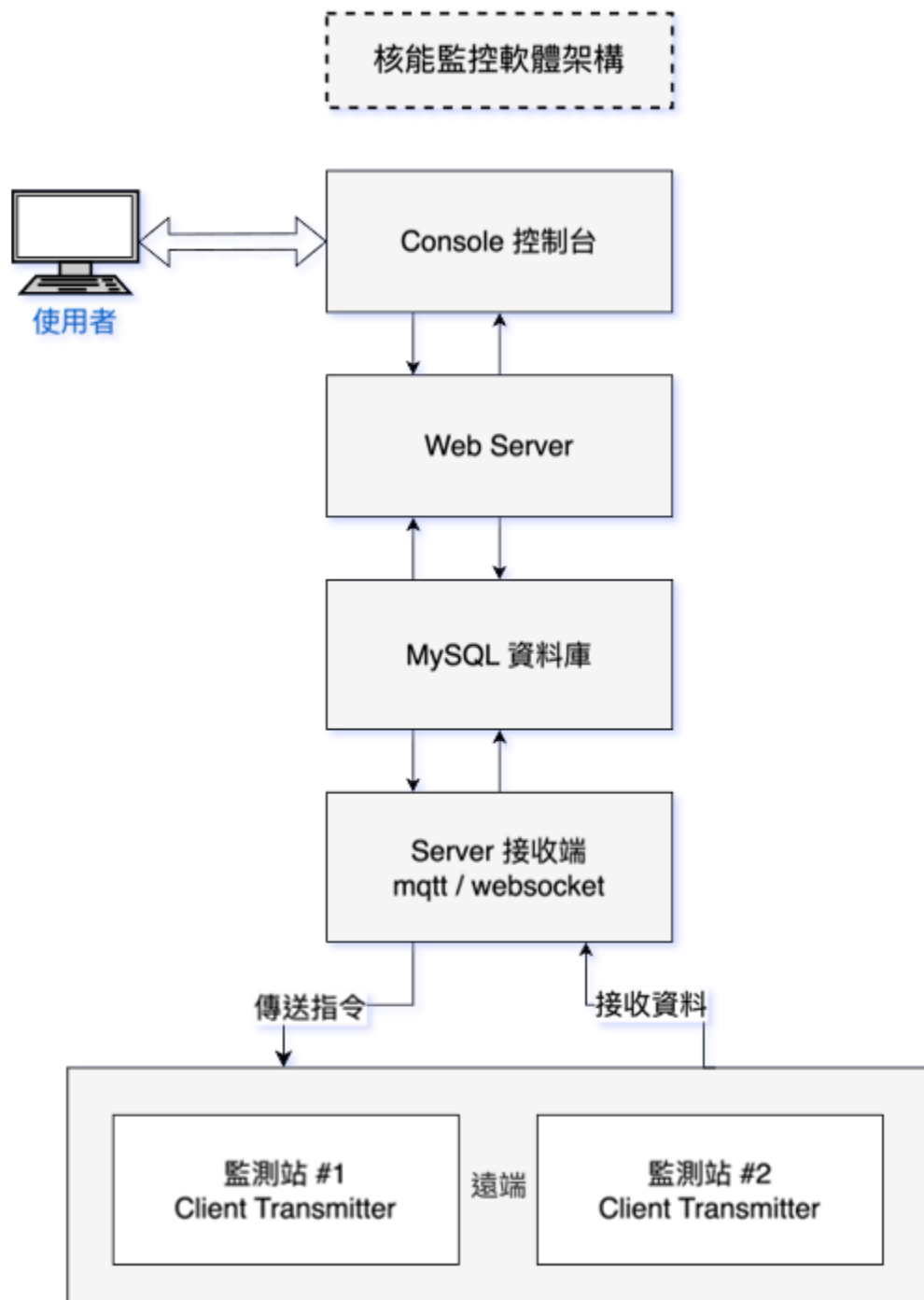


圖 1 環境輻射監測軟體架構

監測站管理 > 能譜

測試1 - 能譜

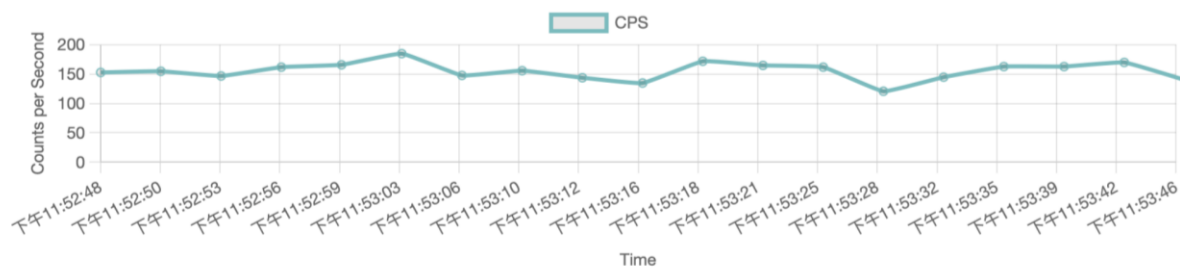
← 返回列表

Count Per Second (CPS)

3

秒

■ 停止擷取

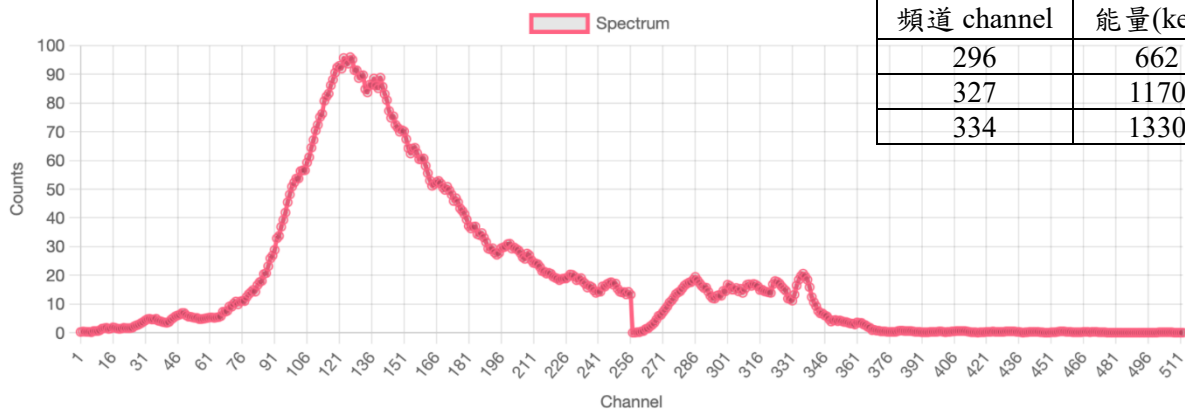


Average CPS: 156.53

Energy Spectrum

60 秒

▶ 開始擷取



頻道 channel	能量(keV)
296	662
327	1170
334	1330

圖 2 環境背景輻射計數率(上)及加馬能譜分析圖(下)

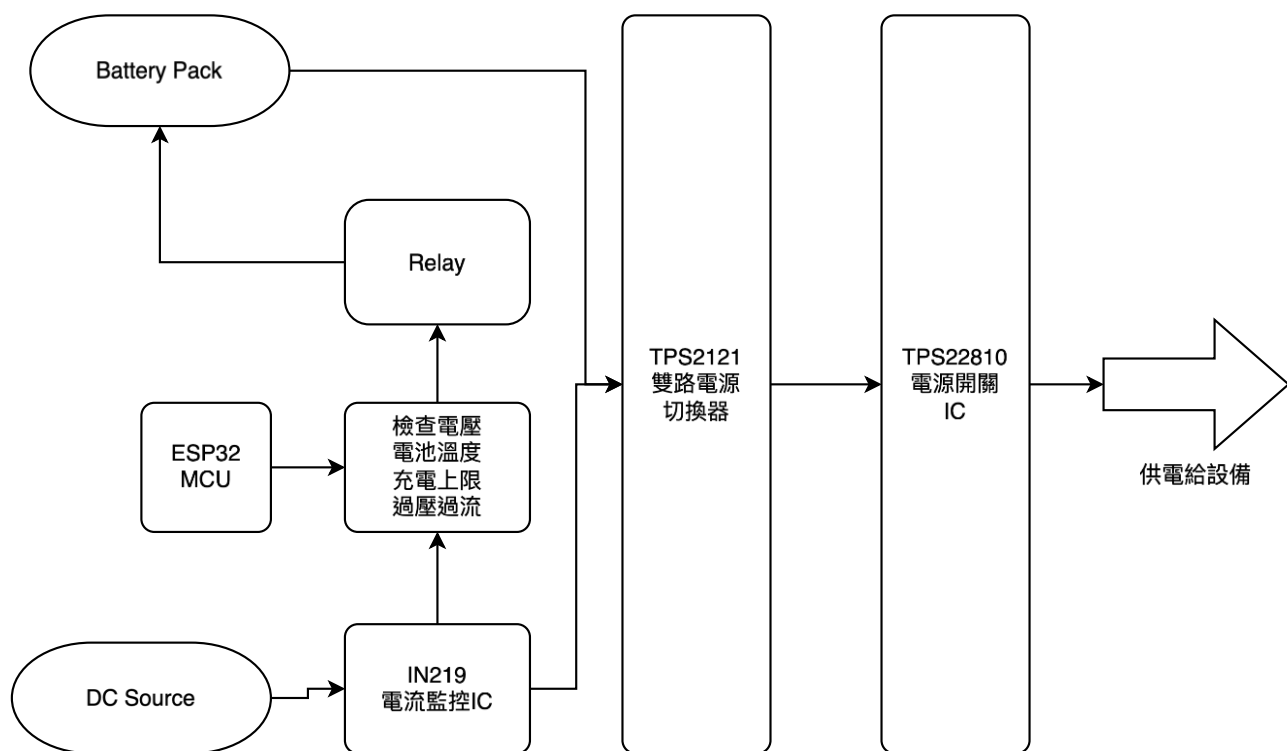


圖 3 電池管理系統(BMS)電路圖

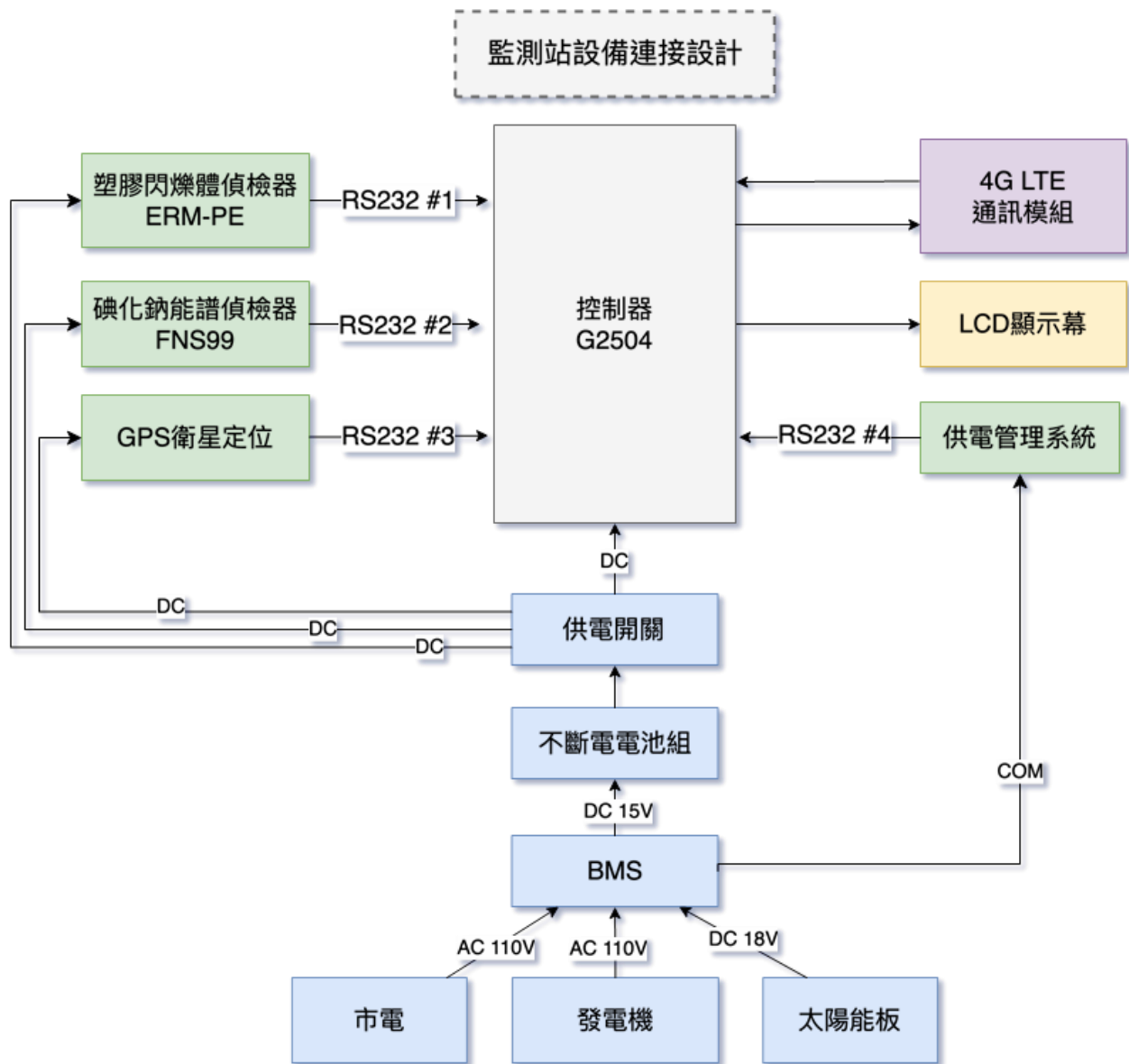


圖 4 新世代監測站設備模組連接設計

(二)子計畫二：精進放射化學及核種分析技術

在子計畫二：精進放射化學及核種分析技術，主要是鑒於近年來我國開始處理核電廠除役相關工作，針對核電廠除役期間及除役後對於環境輻射監測相關作業需要進行相關準備。因此，本研究計畫旨在發展建立難測核種之放射化學分析技術及方法，讓我國在環境輻射的放射分析技術與能力可與國際接軌，並保障國人在環境輻射安全之福祉。

113 年第一年期規劃執行標的為海水鎔-99 及海生物碳-14 分析方法建立，執行目的及重要性如下：

1. 鎔-99 是透過熱中子所誘發的鈾-235 核分裂反應產生，是唯一可能對環境造成影響的鎔同位素。此元素具可流動及溶氧特性，使其微量的鎔-99 可以固體或液體的形式存在於各種不同的環境當中，包括：海水、沉積物、土壤、植物、水生及陸生的生物當中；這使得鎔-99 成為在環境輻射安全評估、核電廠廢棄物處置，以及電廠的除役、拆解及環境輻射監控評估時之重要關注核種之一。本計畫規劃環境試樣以海水作為標的，建立鎔-99 分析方法。
2. 碳-14 為天然放射性物質，亦有人造來源，故分析不易，碳-14 分析方法建立則主要係為對保障民眾食品安全，針對海生物試樣建立碳-14 分析方法及其標準作業程序，除用於建置我國核電廠除役前周邊海域海生物中碳-14 背景活度，亦可應用於監測日本含氚廢水排放海洋對海生物中碳-14 活度之影響。

1. 海水鎔-99 分析方法建立

本計畫蒐集國際間鎔-99 相關文獻及分析方法，並依現有儀器設備設計實驗分析方法。本計畫採用強陰離子樹脂(AG1-X8)搭配選擇性樹脂(TEVA、TK-201)進行前處理後，以液態閃爍計數器計測，並以 1 公升海水樣品添加已知活度鎔-99、鎔-99m 及已知濃度銻、鉬、錳、鈷、鈉、鎳、鋁、銀、銻、銨、釷、釷、鉛等元素方式評估上述兩種方法的回收率、干擾物的移除能力及最小可測量值。添加鎔-99 目的係為直接評估本方法對於鎔-99 之化學回收率，而添加鎔-99m 及銻係評估鎔-99m 及銻-187 在本方法中作為鎔-99 示蹤劑之合適性。另添加其他元素則為評估本方法是否受干擾元素影響。

(1) 鎔-99 分析方法流程

- A. 將 1 公升海水以玻璃纖維濾紙進行過濾以移除懸浮的顆粒物質。
- B. 添加 ^{99m}Tc 、 ^{99}Tc 及 Re 作為示蹤劑，並添加穩定同位素(Re、Mo、Ru、Co、Ni、Sr、Ag、Sb、Cs、V、Zn、Pb)標準溶液至海水試樣中，並攪拌均勻。
- C. 利用濃硝酸調整海水試樣 pH 值至 pH 1.4~1.5，續以 90~95°C 加熱海水試樣 2 小時，再以 NaOH 溶液調整海水試樣 pH 值為 9 以上後濾除沉澱。

- D. 以 AG1-X8 樹脂進行樣品預濃縮並以 10 M 硝酸流洗，收集流洗液。
- E. 流洗液以加馬能譜儀、液態閃爍計數器及感應耦合電漿原子放射光譜儀(ICP-OES)分別進行 ^{99m}Tc 、 ^{99}Tc 、穩定同位素定量分析。
- F. 將預濃縮完成的試樣加熱至快乾後，再加入 20 毫升去離子水，並加入 0.2 毫升過氧化氫溶液 (30 wt%)，重覆前述動作 2 次，再以 90~95°C 加熱海水試樣 2 小時，破壞有機物質及移除多餘的過氧化氫。
- G. 以選擇性樹脂(TK-201/TEVA)進行 ^{99}Tc 純化，並以 8M 硝酸/0.5M 氨水流洗，收集流洗液。流洗液以加馬能譜儀、液態閃爍計數器及感應耦合電漿原子放射光譜儀分別進行 ^{99m}Tc 、 ^{99}Tc 、穩定同位素定量分析。

(2) 建立鎔-99 液態閃爍計數器之效率曲線(如圖 5)

表 1 鎔-99 淬息曲線製備參數表

Matrix : 0.5M NH₄OH

No	鎔-99 standard	0.5 M NH ₄ OH	Ultima Gold
	(30,000 dpm/mL 500 Bq/mL)	(Quench agent)	LLT® (cocktail)
0	0.2 ml	0.3 ml	19.5 ml
1	0.2 ml	0.8 ml	19 ml
2	0.2 ml	1.8 ml	18 ml
3	0.2 ml	2.8 ml	17 ml
4	0.2 ml	3.8 ml	16 ml
5	0.2 ml	4.8 ml	15 ml
6	0.2 ml	5.8 ml	14 ml
7	0.2 ml	6.8 ml	13 ml
8	0.2 ml	7.8 ml	12 ml
9	0.2 ml	8.8 ml	11 ml
10	0.2 ml	9.8 ml	10 ml

註：添加順序為：Ultima Gold LLT® → 0.5 M NH₄OH → Tc-99 standard

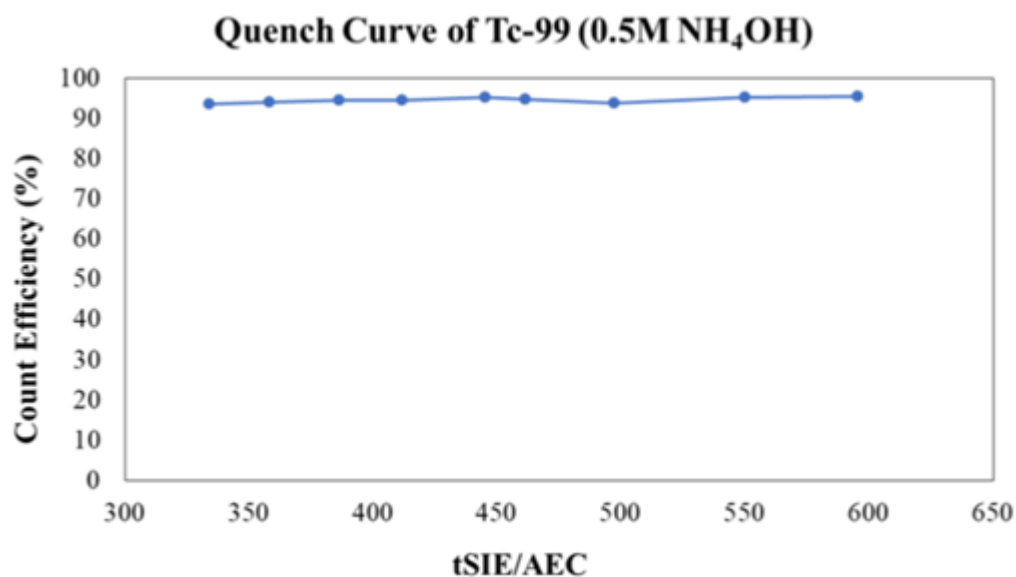


圖 5 鎔-99 液態閃爍計數器之效率曲線

(3) 執行成果

本方法以海水中添加已知活度之鎔-99 等標準液，並分別以 AG1-X8 搭配 TEVA 樹脂及 AG1-X8 搭配 TK-201 樹脂進行濃縮及純化前處理，再以液態閃爍計數器量測。量測結果顯示兩種前處理方法的鎔-99 回收率分別為 96.3%及 89.4%；最小可測量值分別為 0.0342 及 0.0378 貝克/升。另鎔-99m 及銻之回收率分別為 94.1%、102.7%(AG1-X8 搭配 TEVA)及 85.8%、85%(AG1-X8 搭配 TK-201)，顯示三者的回收率相當，因此，鎔-99m 及銻確實可做為示蹤劑評估分析實際樣品的回收率。

此外，本計畫於海水中添加已知濃度的干擾元素(包含鉬、鈮、鈷、鎳、鋁、銀、銻、鉍、鉍、釷、釷、鋅、鉛)，並以上述方式進行前處理後，以 ICP-OES 測量干擾元素之濃度。前處理以 AG1-X8 合併 TEVA 樹脂之移除能力，仍有少量鉬(Mo)離子殘留，其他干擾物皆可移除至原濃度之千分之一以下。另以 AG1-X8 合併 TK-201 樹脂之移除能力，則是所有干擾物皆可移除至原濃度之千分之一以下。

綜上，本計畫建立以離子交換樹脂濃縮、純化海水中鎔-99，並以液態閃爍計數器進行量測之方法，並評估兩種不同樹脂對海水中鎔-99 的回收率及對其他干擾元素的移除能力，以因應未來

核電廠除役期間之環境輻射監測，確保電廠周圍環境及民眾之輻射安全。

2. 海生物碳-14 分析方法建立

本計畫蒐集國際間碳-14 相關文獻及分析方法，並依現有儀器設備設計實驗分析方法。本計畫採用乾式分解結合二氧化碳吸收法進行前處理，並以液態閃爍計數器計測，並評估此方法的回收率及最低可測值。

(1) 碳-14 分析方法流程及樣品前處理裝置

A. 樣品以冷凍乾燥裝置去除樣品水分至恆重後，秤取 3~5 克均質後乾燥樣品，放入樣品小舟，準備進行乾式分解。

B. 配製 1:1 氨水溶液 400 毫升，依下圖 6 組裝乾式分解設備。



圖 6 組裝乾式分解設備

- C. 將樣品小舟送入高溫燃燒爐，燃燒設定如表 2，空氣及氧氣流速設定為 0.5~0.75 升/分鐘，燃燒過程須時時注意氣體流速狀況。燃燒生成的二氧化碳與氣體洗滌瓶中的氨水作用，形成碳酸銨溶液。

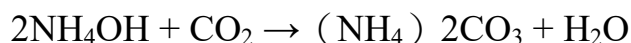


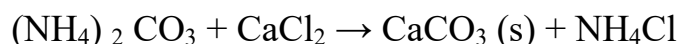
表 2 碳-14 前處理之燃燒設定參數

燃燒設定

Segment	Sample	Mid	Catalyst	Duration	Air	O2
1	25	600	800	1	Yes	No
2	200	600	800	40	Yes	No
3	200	600	800	30	Yes	No
4	350	600	800	150	Yes	No
5	350	600	800	30	Yes	No
6	400	600	800	25	Yes	No
7	400	600	800	30	Yes	No
8	500	600	800	50	Yes	No
9	500	600	800	30	No	Yes
10	600	600	800	5	No	Yes
11	600	600	800	30	No	Yes
12	800	600	800	10	No	Yes
13	800	600	800	45	No	Yes

資料來源：[Radtec Pyrolyser-6 Trio GenIV](#) 原廠提供

- D. 碳酸鈣沉澱生成：將氣體洗滌瓶中的碳酸銨溶液轉移至 1 升燒杯中，在加熱、攪拌該溶液的同時，慢慢加入氯化鈣，生成碳酸鈣的沉澱。（捕集 1 克碳約需 9.3 克氯化鈣）



- E. 持續攪拌加熱約 30 分鐘，於室溫靜置待沉澱沉降後，在上清液中滴加熱的飽和氯化鈣溶液 2~3 滴，確認不會出現混濁。如果發生混濁，則表示加入的氯化鈣量不足，需重複上列步

驟。

- F. 以布氏漏斗過濾（使用 5C 濾紙，並事先經乾燥、秤重），過濾後濾紙進行乾燥（攝氏 110 度，持續 4 小時以上）至恆重，如下圖 7。



圖 7 以布氏漏斗過濾後濾紙進行乾燥至恆重

- G. 量乾燥沉澱物重量（包括濾紙），確認回收量後，密封於塑膠袋中，並在乾燥器內儲存過夜。
- H. 依下圖 8 組裝二氧化碳吸收裝置。

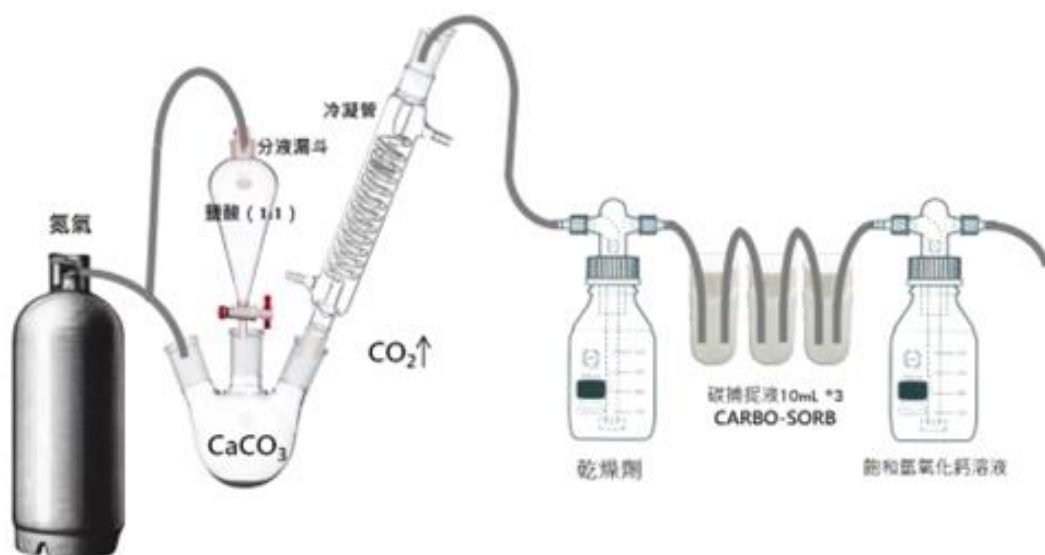


圖 8 組裝二氧化碳吸收裝置

I. 秤取步驟 G 之碳酸鈣 8.33 克（相當於 1 克碳）放入三頸圓底燒瓶。

J. 將 120 毫升鹽酸（1:1）加入分液漏斗中。

K. 緩慢滴入鹽酸（1:1），以分解碳酸鈣。



L. 將碳捕捉液與閃爍液以 1:1 比例混合後，以液體閃爍計數器計測。

(2) 建立碳-14 液態閃爍計數器之效率曲線(如圖 9)

編號	C-14 standard (3718 Bq/mL)	CARBO-SORB (Quench agent)	PERMAFLOUR (cocktail)	tSIE 值	效率(%)
1	0.04 mL	5 mL	15 mL	407.06	90.25
2	0.04 mL	6 mL	14 mL	338.15	96.05
3	0.04 mL	7 mL	13 mL	279.37	92.79
4	0.04 mL	8 mL	12 mL	221.85	92.85
5	0.04 mL	9 mL	11 mL	177.17	90.45
6	0.04 mL	10 mL	10 mL	138.24	87.99
7	0.04 mL	10 mL	10 mL	138.46	88.31
8	0.04 mL	11 mL	9 mL	109.45	86.08
9	0.04 mL	12 mL	8 mL	84.76	81.53

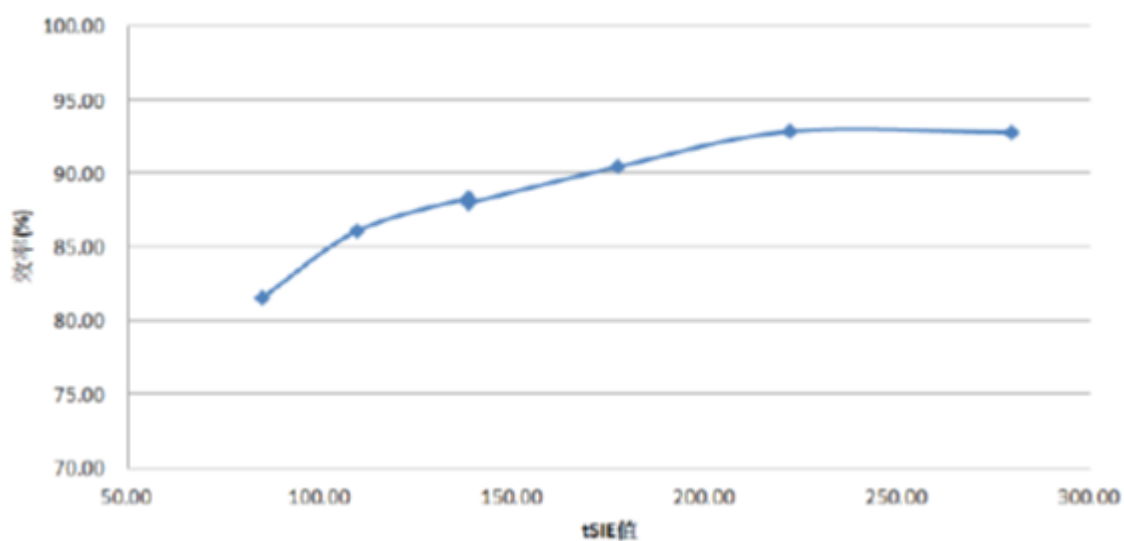


圖 9 碳-14 液態閃爍計數器之效率曲線

(3) 執行成果

本方法先以標準參考物質 NIST SRM 4990C 草酸並依上述碳-14 分析流程執行前處理及碳-14 活度分析，以評估該方法之準確度，測試結果顯示總回收率為 69.9~77.9%，平均回收率為 74.1%。

此方法以碳捕捉液及閃爍液各 10 毫升混合均勻後作為空白樣品，評估最小可測量值為 0.82 貝克/升。

另續依本方法測試海生物樣品，包含鬼頭刀、杜氏鰱、水鯊，海生物樣品需先經乾燥並研磨成粉狀，再以上述方法燃燒及量測，量測結果顯示鬼頭刀、杜氏鰱、水鯊之碳-14 平均活度分別為 0.1212、0.1286、0.1284 Bq/g 碳，續以鬼頭刀為例，將試樣含水率及碳酸鈣沉澱量納入計算，推算鬼頭刀生物樣之 MDA 為 0.74 Bq/kg • 鮮重。

另續以海生物樣品執行本方法精密度測試，測試生物樣包含鬼頭刀、杜氏鰱、水鯊，海生物樣品需先經乾燥並研磨成粉狀，再以上述方法燃燒及量測，量測結果顯示鬼頭刀、杜氏鰱、水鯊之碳-14 平均活度分別為 0.1212、0.1286、0.1284 Bq/g 碳，重複分析之變異係數分別為 7.3、7.9、11.5%。

綜上，本計畫 113 年已完成海生物中碳-14 含量分析方法之建立，可於 114 年實際運用於台灣周邊海域海生物之監測與調查，逐年擴增我國海域輻射背景資料庫。本計畫為開發或精進現有核電廠除役作業期間或核事故期間相關放射性核種之檢測技術，建立海水中鎔-99 及海生物中碳-14 的分析方法，並完成海水鎔-99 及海生物碳-14 之分析操作程序書及成果報告，共計 4 份，可用於後續依政策需求執行環境中放射性含量之監測作業。

貳、經費執行情形

一、全程經費(由系統加總)

單位：千元；%

總預算數 (A)			總實支數 (B)	總節餘數 (C)	總執行數 (D=B+C)	達成率(%) (E=D/A)	
35,700							
各年度	預算數 (F)	實支數 (G)	節餘數 (H)	保留數 (I)	年度執行數 (J=G+H)	年度達成率 (%) (K=J/F)	決算數 (G+I)
113	9,000	9,000	0	0	9,000	100	9,000
114	9,700						
115	8,500						
116	8,500						

二、 年度經費(由系統填寫)

單位：千元；%

	113 年度						備註
	預算數 (a)	初編決算數			節餘 數(e)	執行 率 (d/a)	
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)			
總計	9,000	9,000	0	9,000	0	100	
一、經常門小計	3,030	3,030	0	3,030	0	100	
(1)人事費	0	0	0	0	0	—	
(2)材料費	240	240	0	240	0	100	
(3)其他經常支出	2,790	2,790	0	0	0	100	
二、資本門小計	5,970	5,970	0	5,970	0	100	
(1)土地建築	0	0	0	0	0	—	
(2)儀器設備	5,970	5,970	0	5,970	0	100	
(3)其他資本支出	0	0	0	0	0	—	

註：

1. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定 113 年度決算，故請填列機關初編決算數。
2. 實支數：係指工作實際已執行且實際支付之款項，不包含暫付數。
3. 保留數：係指因發生權責關係經核准保留於以後年度繼續支付之經費。
4. 預算數：原則填寫法定預算數，如立法院尚未通過總預算，則填寫預算案數。
5. 執行率：係指決算數佔預算數之比例
6. 節餘數：係指執行政府節約措施、辦理招標、匯率變動或工程完工，致經費節餘未辦理保留者。

(一)經費支用說明

(請簡扼說明各項經費支用用途，例如有高額其他經費支出，宜說明其用途；或就資本門說明所採購項目及目的等。)

1. 「輻射偵測技術建立及新世代智慧輻射監測站計畫(1/4)」編列 900 萬元，包含：

(1) 經常支出 303 萬元

- a. 材料費 24 萬元，包含計畫執行所需實驗材料、化學藥品等消耗

性材料費。

- b. 他費用 279 萬元，包含委外人力技術服務費 120 萬元、設備儀器維修、實驗用非消耗性零件材料等研究費用 159 萬元。

(2) 資本支出 597 萬元

- a. 儀器設備費 597 萬元，主要用以購置執行實驗所需分析設備及新世代監測站設備。

2. 經費實際支用與原規劃差異說明

無差異。

參、成果之價值與貢獻度（請上傳累積成果）

（請說明計畫執行至今所達成之主要成果之價值與貢獻，亦即請填寫起始年累積至今之主要成就及成果之價值與貢獻度。）

一、學術成就(科技基礎研究)

本計畫使用不同示蹤劑（包括鎔-99m、鎔-99、及銻）進行評估陰離子交換樹脂（AG1-X8）合併新型樹脂（TK-201）作為海水中鎔-99 核種的預濃縮及分離之回收率方法評估及放射化學分析方法。另外參考日本及國際相關檢測技術，採用乾式分解結合二氧化碳吸收法進行海生物碳-14 核種的萃取及回收，作為量測海生物中碳-14 含量的分析方法。

二、技術創新(科技技術創新)

（一）新開發監測站監測儀器電源管理系統，建立外電多元供應模組，

以可程式控制之負載序列選擇最適化的外電來源，降低因外電喪失導致監測站故障之風險。

(二) 於現有監測功能中擴充加馬能譜分析功能，輔助監測及調查環境輻射劑量率趨勢外變化之肇因，可於輻射異常事件中，進階確認可疑核種。

(三) 建立海水鎔-99 及海生物碳-14 之分析方法。

三、經濟效益(經濟產業促進)

強化環境放射性含量檢測技術，建立海水鎔-99 及海生物碳-14 之分析方法，並依政策需求執行環境中放射性含量之監測作業。

四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

提升新一代監測站模組之機動性，未來可在輻射異常事件中，機動性佈署至待監測目標與地點，監測數據亦可無線傳輸至中心後台顯示，可強化整體應變能量，有效因應輻射災害。

隨著我國核電廠陸續進入除役階段，環境輻射監測的重點核種由運轉中所產生的放射性核種轉為放射性核廢料及已使用核燃料長期貯存可能產生的放射性核種。為因應核電廠由運轉階段進入除役階段之監測核種的改變，本計畫預先建立核電廠除役之關注核種的分析方法，俾利於核電廠除役期間執行環境輻射監測作業，可有效掌握除役電廠周圍環境之變化，保障民眾及環境輻射安全。

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)

- (一) 近年具有整合輻射偵測設備、訊號傳輸、供電模式等即時輻射偵測實務經驗之研發人員大幅流失，透過本計畫整合各類人才實作學習，並結合各領域經驗建立跨域合作方式。
- (二) 本計畫執行期間，赴日本原子能研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)進行感應耦合電漿質譜法鎔-99 分析訓練，以了解日本執行海水中鎔-99 分析之方法及其最小可測量值(MDA)。日本使用四極柱串聯的感應耦合電漿質譜儀進行分析，該儀器具有碰撞腔可降低其他共存離子之干擾，以降低 MDA，50 毫升樣品的 MDA 可達每公升 5.9 毫貝克，可做為本計畫未來技術精進方向。
- (三) 另培育放射性分析人才共 4 人，包含海水中鎔-99 分析 1 人及海生物碳-14 分析 3 人。

肆、檢討與展望

一、計畫執行困難與因應對策

無

二、計畫執行可改善事項或後續可精進處

無

伍、其他補充資料

一、跨部會協調或與相關計畫之配合

無

二、大型科學儀器使用效益及共用分享機制說明

無

三、其他補充說明

無

附錄、細部計畫

一、全程架構及經費

單位：千元；%

年度 項目		113 年度 決算數 (執行率)	114 年度 預算數	115 年度 預算數	116 年度 預算數	備註
科技計畫總計		9,000 (100%)	9,700	8,500	8,500	
一、細部計畫 1 (強化環境輻射 偵測遙測技術 及智慧監測能力)	小計	5,970 (100%)	5,350	4,750	4,750	
	(一)經常支出	0	1,750			
	1.人事費	0	0			
	2.材料費	0	90			
	3.其他經常支出	0	1,660			
	(二)資本支出	5,970 (100%)	3,600			
	1.土地建築	0	0			
	2.儀器設備	5,970 (100%)	3,600			
	3.其他資本支出	0	0			
二、細部計畫 2 (精進放射化學 及核種分析技術)	小計	3,030 (100%)	4,350	3,750	3,750	
	(一)經常支出	3,030 (100%)	2,000			
	1.人事費	0	0			
	2.材料費	240 (100%)	150			
	3.其他經常支出	2,790 (100%)	1,850			
	(二)資本支出	0	2,350			
	1.土地建築	0	0			
	2.儀器設備	0	2,350			
	3.其他資本支出	0	0			

二、年度執行摘要

細部計畫 1	強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力	計畫屬性	(由系統帶入，不可修改)		執行機關	(由系統帶入，不可修改)
重點描述	(由系統帶入，不可修改)					
預算數（千元）	決算數（千元）	執行率（％）	節餘數（千元）	總人力（人年） 實際／規劃		
5970	5970	100	0	6/6		
其他資源投入	無					
預期關鍵成果 (由系統帶入，不可修改)		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/ 合作對象		
(預期關鍵成果 1) 研究及開發外型精簡(小型、省電、多元電源)新一代的環境輻射自動監測站。		(關鍵成果達成情形 1) (1)完成開發電源管理 BMS 之電路板設計測試。 (2)完成建置新一代環境輻射劑量率即時監控及加馬能譜等資料彙整軟體及後台操作介面。 (3)完成 3 套輻射偵檢儀器購置及偵檢器特性研究。 (4)完成太陽能供電模組之日照率與充電效率研究及實際於監測儀器充電效能評估。 (5)整合多電源模組(柴油發電機、太陽能與鋰電池)、加馬能譜分析系統模組及塑膠閃爍偵檢器即時劑量率模組系統整合與機動式載具。		輻射偵測中心／ 一般民眾／ 網際威龍科技有限公司		
遭遇困難與因應對策	無					

細部計畫 2	精進放射化學及核種分析技術	計畫屬性	(由系統帶入，不可修改)	執行機關	(由系統帶入，不可修改)
重點描述	(由系統帶入，不可修改)				
預算數（千元）	決算數（千元）	執行率（％）	節餘數（千元）	總人力（人年） 實際／規劃	
3030	3030	100	0	14/14	
其他資源投入	無				
預期關鍵成果 (由系統帶入，不可修改)		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/ 合作對象	
(預期關鍵成果 1) 完成電廠除役作業期間環境輻射監測相關核種之檢測技術評估與探討。		建立海水鎔-99 及海生物碳-14 之分析方法		輻射偵測中心／ 一般民眾／ 中臺科技大學	
遭遇困難與因應對策	無				

附表、佐證資料表

【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
鎔-99 試樣分析及計測操作程序書	C	A	2024	輻射偵測中心委託中臺科技大學	否	境內境外環境受關注核種之檢測技術評估與探討
RMC-O-015 海生物碳-14 活度分析前處理操作程序書	C	A	2024	輻射偵測中心	否	境內境外環境受關注核種之檢測技術評估與探討

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
環境中鎔-99 放射化學分析方法建立成果報告書	A	中臺科技大學	2024	輻射偵測中心委託中臺科技大學	境內境外環境受關注核種之檢測技術評估與探討
碳-14 分析方法建置成果報告	A	環境分析組林品均	2024	輻射偵測中心	境內境外環境

					受關注核種之檢測技術評估與探討
強化環境輻射偵測遙測技術及智慧監測能力 113 期末報告	A	監測技術組	2024	輻射偵測中心	研發設計外型精簡新一代環境輻射自動監測站模組

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。