

107 年度政府科技發展計畫 績效報告書 (D006)

計畫名稱：核設施除役與輻射防護劑量評估驗證
技術研究 (2 / 4)

執行期間：

全程：自 106 年 1 月 1 日 至 109 年 12 月 31 日止

本期：自 107 年 1 月 1 日 至 107 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輻射防護處
行政院原子能委員會核能研究所

目 錄

【107 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】	1
第一部分	6
壹、目標與架構	7
一、目標與效益.....	7
(一)目標.....	7
(二)效益.....	11
二、架構	16
三、實際達成與原預期目標之差異說明.....	22
貳、主要內容	23
一、執行內容.....	23
二、遭遇困難與因應對策.....	36
三、實際執行與原規劃差異說明.....	38
參、人力與經費執行情形.....	45
一、計畫人力運用情形.....	45
(一)計畫人力結構 (E004)	45
(二)人力實際進用與原規劃差異說明.....	45
二、經費執行情形.....	46
(一)經資門經費表 (E005)	46
(二)經費支用說明.....	47
(三)經費實際支用與原規劃差異說明.....	47
肆、主要產出與關鍵效益 (E003)	48
第二部分	51
壹、主要成果之價值與貢獻度.....	52
一、「探索(Discovery)」:	52
二、「發展(Development)」	54
三、「推廣(Delivery)」	55
四、「商業化(Commercialization)」	56
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)	57
貳、檢討與展望	59
參、其他補充資料.....	63

一、 跨部會協調或與相關計畫之配合.....	63
二、 其他補充說明	63
附表、【分年階段性目標達成情形與重要成果摘要表】	64
附表、佐證資料表.....	70
附表、【107 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】	74
附錄、佐證圖表	81

【107年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號	107-2001-02-17-02					
計畫名稱	核設施除役與輻射防護劑量評估驗證技術研究(2/4)					
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輻射防護處、行政院原子能委員會核能研究所					
計畫主持人	姓名	劉文熙	職稱	處長		
	服務機關	行政院原子能委員會輻射防護處				
計畫類別	■一般科技施政計畫(延續)					
計畫群組及比重	環境科技 100%					
執行期間	107 年 01 月 01 日 至 107 年 12 月 31 日					
全程期間	106 年 01 月 01 日 至 109 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)		
	106	11,514		8.0		
	107	11,883		8.5		
	108	12,141		8.5		
	109	14,300		9.0		
	合計	49,838		34.0		
	107 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	0	0	N/A
			材料費	1,650	1,502	91.03
			其他經常支出	6,527	6,382	97.78
			小計	8,177	7,884	96.42
		資本門	土地建築	0	0	N/A
			儀器設備	4,000	3,999	99.98
			其他資本支出	0	0	N/A
			小計	4,000	3,999	99.98
		經費合計		12,177	11,883	97.59
本計畫在機關 施政項目之定 位及功能	一、原子能委員會是全國輻射安全的主管機關，輻射防護管制的核心業務是以專業及合理的管制措施，確保人員及環境之輻射安全。輻射防護管制之物件包括核子設施、放射醫療、學術、工業、農業及軍事等單位所使用之放射性物質及可發生游離輻射設					

	備，對象則包括從業人員、接受放射性診斷及治療之民眾、一般民眾及週遭之環境。 二、為防制輻射危害，強化游離輻射管制措施，原能會有責任推動原子能科技在工業應用、放射診療等民生安全議題之研究發展，提升國家游離輻射標準，並使相關技術與國際接軌。考量科技專業性，本計畫以職權交辦方式委由核能研究所執行，以落實原子能科技於社會民生福祉與永續發展之目標，堅實智慧生活科技與產業。 三、本計畫之目的，在於因應未來核能電廠陸續面臨除役，與國內輻防科技發展雙主軸中心規劃，進行核設施除役之預警機制、輻安管制作業程序及法規、輻射偵測儀器檢校、輻防劑量評估與稽核驗證方法研究、環境輻射標準試樣與人員生物劑量評估等研究。考量原子能科技應用的全面性與社會期待，因應國內外趨勢建立基礎量能和量測系統，配合施政優先度提升國家游離輻射標準，分析國內現況，並使相關技術與國際接軌。考量國內外核事故或輻射曝露意外事件之應變，人員劑量評估除了物理劑量計外，藉由生物劑量評估可以確認真實劑量，並採取必要的醫療照護行動，以提升游離輻射防護管制技術，確保民眾健康及安全。
計畫重點描述	本計畫主要工作項目如下： 一、核設施除役輻射防護管制技術研究 為增進核設施除役輻射量測之準確度與公信力，完善管制核設施除役之輻射安全，本計畫針對核設施除役輻防視察程序以及廠區試樣調查基準設定進行探討、研製環境試樣參考物質及建立檢校追溯體系與量測程序，以保障核電廠除役期間人員及環境之輻射安全。 二、輻射防護能力試驗技術研究 本計畫將參考國際規範與輻防法規對於國內輻射劑量評估、環境試樣放射性核種分析、輻射偵檢儀器校正等面向之管制需求，建置能力試驗之執行設備、劑量追溯系統、量測技術、技術規範與作業程序，並透過實驗室認證同步分析及辦理技術研討會，強化教育訓練與技術交流。 三、輻射應用劑量評估與檢校技術研究 針對新穎及迫切輻射應用科技研究，為提升輻射曝露管制作業之效能。本計畫將針對核醫醫用活度計，研究檢校追溯校正技術與品保；參考醫療曝露品保國際劑量稽核運作模式，以

	實測方式研擬放射診療郵校系統。因應粒子治療與高能中子所衍生之新的輻防需求，研究微劑量評估與中子偵檢器(區域監測器、劑量計等)校正技術。 四、人員生物劑量染色體變異評估技術研究 本計畫持續推動人員生物劑量評估技術之研發，針對輻射工作人員、醫療診斷/治療接觸輻射線與國人背景值分析為中心規劃，人員生物劑量評估等研究。藉由建置及維持國家級輻射生物劑量實驗室，並透過建立國人生物樣本，將有助於重建輻射意外事故中受影響人員之輻射曝露。
計畫效益與重大突破	一、核設施除役輻射防護管制技術研究 (一) 參考美國核管會對於核電廠除役作業相關視察程序，完成我國未來核電廠除役作業之視察建議，確保核電廠除役期間周圍環境及民眾之輻射安全。 (二) 依據 ISO Guide34、35 完成人工尿樣及人工糞樣環境核種分析儀器校正用參考物質研製，確保量測環境試樣加馬核種活度之準確性及可追溯性。 (三) 針對核設施廠區環境試樣調查基準設定進行研究，完成目前設定值之設定依據檢視、評估模式所使用劑量標準、曝露情節及參數之合適性，確保核設施廠區例行運轉預警機制能發揮正常功能，以保障民眾及環境輻射安全。 (四) 舉辦核設施除役與輻射特性調查專業技術教育訓練，藉由課程簡報及交流討論，以深入了解除役作業各種輻射偵檢執行及審查技術，進而完備主管機關於核設施除役輻射防護之管制能力。 二、輻射防護能力試驗技術研究 依據原子能委員會 107 年 12 月的統計數據，國內可發生游離輻射設備約 2 萬 7 千餘台，107 年 12 月數據也顯示輻射從業人員（申請佩章人數）已達 5 萬 2 千餘人，涵蓋核設施、工業、醫院、研究機構等領域，本計畫精進執行實驗室認證與能力試驗之設備、技術、作業程序，107 年透過肢端劑量計(試運轉)、輻射儀器校正、人員劑量計、環境試樣與中低強度核種分析五項能力試驗研究，提升輻射檢校實驗室之技術能力與品質，強化輻射防護與管制技術。 三、輻射應用劑量評估與檢校技術研究 衛生福利部 105 年統計資料顯示，國人每年核子醫學檢查

	約 48.5 萬人次，放射治療約 119 萬人次，而國內質子/粒子治療技術、同步輻射中心台灣光子源高能輻射科技亦蓬勃發展。爰此，本年度核醫活度計校驗模式現況調查及實測工作、質子治療射質評估系統、以及高能中子輻防評估系統之研究，透過學術合作進行技術擴展，考量臨床現況精進校正標準的預先研究，提升高能輻射劑量評估準確性，強化加速器輻安管制和社會大眾之輻射安全。 四、人員生物劑量染色體變異評估技術研究 在策略上，人員生物劑量分析實驗室是朝向建立國家級參考實驗室的目標努力，藉由每年建立劑量-雙中節染色體發生率之標準曲線、維持 ISO/IEC 17025 品質標準實驗室，執行國際比對工作，和發表技術成果彰顯計畫價值。本計畫之推動可使臺灣發展出具有國際水準的輻射生物劑量實驗室，提供國內檢測服務。
遭遇困難與因應對策	無遭遇困難或落後
後續精進措施	一、本計畫有關核設施除役輻射防護管制技術之研究，配合本會除役相關計畫整併，以利資源整合應用，故自 108 年起移至「強化核能電廠除役管制技術及環境輻射之研究」計畫項下執行，將持續進行核設施除役輻射防護管制技術研發及精進，以供國內核電廠除役工作推行之參考。 二、本年度已依據國際規範 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)最新版本，完成國內人員劑量評估技術規範修訂草案，修訂版規範預計將於 108 年公告並作為下次能力試驗依據；肢端劑量能力試驗技術規範將參考 ANSI/HPS N13.32(2008)國際最新版本與試運轉結果進行增訂研究，後續將與 TAF 合作，以精進國內規範技術與國際接軌。 三、在新穎和迫切性輻射應用研究方面，配合透視攝影醫療曝露品質保證政策推行，優先建置醫療曝露透視攝影劑量校正射質；隨著輻防劑量評估技術發展，針對核設施處置場或醫療曝露等近距離特殊照射條件，預先研究動態擬人假體在輻射劑量的評估技術；國內質子治療放射醫療設施蓬勃發展，與以往光電子治療特別是射束品質依設施而異，臨床劑量和輻射防護經驗有所不同，下一階段將持續精進$>10\text{ keV}/\mu\text{m}$ 的直線能量轉移評估系統，建立全面性的射質評估系統。 四、因應國際間 ISO17025 : 2005 自 2015 年 2 月正式啟動改版動作

	以來，已於 2017 年第三季度發佈正式新版標準。人員生物劑量實驗室人員已針對新版內容提早因應，並藉由參加外部訓練方式，獲得對於 ISO/IEC 17025: 2017 新版規範的認知與瞭解，將於明年度申請新版 ISO17025 查核工作，展現實驗室符合認證規範要求與能力。			
計畫連絡人	姓名	王濬儒	職稱	技士
	服務機關	行政院原子能委員會輻射防護處		
	電話	(02)2232-2189	電子郵件	cjwang@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

一、目標與效益

(一) 目標

原子能委員會是全國輻射安全的主管機關，輻射防護管制的核心業務是以專業及合理的管制措施，確保人員及環境之輻射安全。本計畫整體考量目前政府政策與社會期待，**雙主軸定位於「核設施除役」及「輻射防護」劑量評估驗證技術研究**，目的為：1. 核能電廠除役啟動之際，建立輻安審查及管制作業所需之評估程式及實際參數，與研擬相關管制作業參考導則或規範建議；2. 持續精進游離輻射能力試驗、輻射應用檢校技術，研究國內外劑量評估、稽核與驗證方法，研擬相關規範，並透過人員生物劑量評估專業實驗室技術和維運，精進國內災防應變能力，以提升輻射防護管制作業之品質及效能，進而增進民眾對原子能應用輻射防護之信心。

本計畫共有 4 個主要項目，其執行目標分述如下：

1. 核設施除役輻射防護管制技術研究

為增進核設施除役輻射量測之準確度與公信力，完善管制核設施除役之輻射安全，本計畫致力於研究核設施除役預警機制、建置輻射偵測儀器校正系統與研發環境試樣參考物質、研究發展檢校追溯體系與量測程序，且為落實輻防管制措施，研訂輻防視察作業程序，並配合除役廠址特性參數分析，建立生物體輻射劑量評估技術。

2. 輻射防護能力試驗技術研究

為提升輻射偵測與防護能力，本計畫參考國際規範、輻防法規與主管機關對於國內輻射劑量評估、環境試樣放射性核種分析、輻射偵檢儀器校正等面向之管制需求，研究並建置能力試驗所需之執行設備、劑量追溯系統、量測技術與作業程序，並透過實驗室認證

同步舉辦分析能力試驗及辦理技術研討會，強化教育訓練與技術交流。

3. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究

本計畫執行輻射應用新穎或急迫性議題研究，立意於大眾期待和政策推行，以核研所技術為核心，透過學術合作達到技術精進與技術擴展。隨著精準醫學(precision medicine)與個人預防醫學(personalized medicine)的演進，功能性影像的重要性更趨於顯著。核子醫學(nuclear medicine)藉由標記放射性核種之核醫藥物進入人體，為體內分布之功能性影像(functional imaging)成為疾病診斷的一項利器，對於劑量校正儀的品質控管是相當重要，因其決定核醫檢查其所注射之藥物活度數量，將影響病人輻射劑量，及造影之影像品質。評估調查國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式，了解醫院所使用之核種活度測量情況，及校正儀校驗項目。此研究成果將可協助相關單位、進行核醫醫學之輻防劑量評估，與建立輻安管制標準，進而提升國內核醫醫學相關診療之醫療品質與輻射安全。

針對高能加速器周圍之輻射場量測而言，其設施屏蔽外之滲漏輻射可能包含能量廣泛之中子、帶電強子、光子、電子與 μ 介子，因此其滲漏輻射的偵測作業乃是一項複雜且困難的任務。其中高能中子(>10 MeV)的穿透力強、不易測量，但可能是設施屏蔽外輻射劑量的主要貢獻來源。針對國內現有指標型的高能加速器設施的輻射場進行深入探討與比較，包括 235 MeV 醫用質子加速器與國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器。根據不同類型加速器引發高能中子機制的差異，建立加速器設施正確的高能中子劑量評估技術。本計畫持續精進高能粒子加速器誘發中子之評估，針對國內 Cf-252 標準中子源校正之儀器於高能中子場可能造成的劑量低估情形，提出適當的解決方案，以滿足國內醫療院所、主管機關對於高能中子場之輻射防護與管制需求。

對於國內蓬勃發展之質子放射治療而言，質子射束與物質作用，會產生二次輻射，包含中子、阿伐粒子、光子、電子等，這些粒子所造成的生物效應不盡相同，然而目前臨床上就照野範圍內的相對生物效應（relative biological effect, RBE）均設固定值 1.1，隨著微劑量學（microdosimetry）與輻射生物學的發展，臨床所使用平均 RBE 已不足夠，實際上 RBE 會隨著深度、組織組成等因素而改變，故了解混合輻射場下的直線能量轉移（linear energy transfer, LET）之實際分布將變得日益重要。本計畫目標於發展射束品質評估的偵檢系統，以熱發光劑量計（Thermoluminescent Dosimeters, TLD）系統為例，優點是可同時評估質子放射治療下混合輻射場的劑量與射束品質（平均直線能量轉移），有助於提升整體放射治療品質外，可進而評估照野外的射質因數（Q），據此計算輻射防護等效劑量，精進質子治療與輻射防護劑量評估技術。

研究項目以提升國家及國內游離輻射量測量能，落實原子能科技於社會民生福祉與環境永續發展，堅實智慧生活科技與產業為目標。

4. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究

生物劑量是最趨近於受曝露者真實接受到的劑量。目前生物體內作為生物劑量計最常使用的方法為染色體變異分析，即藉由分析染色體變異的程度及數量來反應所接受的劑量。細胞染色體對於輻射非常的敏感，目前應用最廣泛的，即是抽取人體周邊循環血液中的淋巴球來作分析。淋巴球分析有幾個優點：(1)人體組織中以淋巴球對於輻射最為敏感，淋巴球隨血液做全身循環，血液中的淋巴球，有 99.9%是處於細胞週期中的 G₀ 期，對輻射敏感度是一致的；(2)淋巴細胞較其他細胞易於取得，只需簡單的抽血、分離及培養技術，就可得到足夠的細胞以供分析檢查。染色體變異頻率與劑量的關係有二次線性的關係，人體淋巴球細胞經過 Co-60 照射後分析其雙中

節及環形變異頻率，關係呈現線性平方的關係。在劑量低於 1 Gy 時，通常以單一次碰撞事件為主；至於劑量高於 1 Gy 時，隨著價電子數目增多，將使得變異事件快速增加，其速率通常以二次方上升，因此染色體雙中節評估技術為本計畫最基本需建立之技術。

世界衛生組織 (WHO) 建立的全球的生物劑量支援網路 (framework for a global biodosimetry network–BioDoseNet)，即是以細胞學的生物劑量技術 (cytogenetic) 之雙中節不穩定變異分析作為主體發展。以雙中節、環形等不穩定變異推算劑量時，通常使用於急性曝露的情況，且最好是曝露後越早分析愈好，以免受到細胞死亡更新或其它因素的干擾。根據國際原子能總署 (IAEA) 及美國衛生與人類服務部 (The United States Department of Health and Human Services) 更指出雙中節染色體分析適用於急性、短期數個月內發生之事件評估。ISO 19238 更依據 IAEA 及國際目前研發狀況訂定了相關作業程序供標準實驗室遵行。

計畫執行單位 (核研所) 自 100 年起重建生物劑量研發能力後，更於 102-105 年接續之前的研發能力，短期目標以提升生物劑量實驗室能力為主，中期目標為建立專業生物劑量實驗室硬體，長期目標為提升實驗室品質，申請實驗室認證，建立具公信力之專業實驗室。策略上，透過與國內醫學中心合作，提供人體合法血液樣本，並透過合作關係共同分析數據，以比對國內不同實驗室分析能力。另外，於核研所建置符合國際人員生物劑量實驗室硬體與國內衛福部規範之第二級生物安全實驗室，以進行臨床檢體操作，來達成國際 ISO 人員生物劑量實驗室之安全標準。今年並配合政府政策，成立生物安全相關委員會，建立相關作業程序與應變計畫書。此外，本計畫持續與加拿大衛生部 Dr. Ruth Wilkins 及日本的 BioDoseNet 委員 Dr. Mitsuaki Yoshida 密切聯繫，就相關技術進行國際實驗室分析能力比對及專業討論，藉此提升我國研發人員之技術能力。藉由生物劑量實驗室軟硬體不斷提升，並累積國人分析數據，進而朝亞洲參考實

驗室努力。

- a. 在人員生物劑量評估技術方面，目前世界上公認的黃金標準是以染色體雙中節分析法來評估人員所接收到的輻射劑量，本計畫執行單位核能研究所已重建生物劑量實驗室以及人員生物劑量評估基本技術，本計畫將延續先前的基礎，繼續朝國家級生物劑量實驗室目標推展。
- b. 本計畫將完善已取得之 ISO 認證之精進試驗，並加入國際生物劑量支援網路，藉此服務同區域的國家，使相關技術能力與國際接軌。

(二) 效益

本計畫依四個主要工作，分述執行成效如下：

1. 核設施除役輻射防護管制技術研究

我國核能一廠 1 號機已於 107 年 12 月 5 日達運轉期限，並於隔(6)日正式進入除役，未來也將陸續有核能發電機組達運轉期限而須規劃進行除役。本計畫參考國際規範，並對於核設施除役預警機制、場址最終狀態輻射偵檢審查技術、環境試樣放射性活度分析技術、人員與環境劑量評估技術，進行深入之研究探討，為提供核設施除役輻防管制作業之參考依據，並建立輻射偵測儀器校正系統與環境試樣參考物質，建構完整的儀器檢校追溯體系與量測技術程序，且為落實輻防管制措施，於除役計畫規劃階段將針對輻防視察與除污作業和意外事件案例進行研究，確保核設施除役作業之工作人員個人劑量符合法規限值、集體劑量符合劑量合理抑低之目標，並配合除役之廠址特性環境物質及相關參數分析，建立除役廠址關聯之人員與生物體輻射劑量評估技術，以提升核設施除役之輻射監測能力與輻防管制品質。

2. 輻射防護能力試驗技術研究

為提升輻射偵測與防護能力，本計畫將參考國際規範、輻防法規與主管機關對於國內輻射劑量評估、環境試樣放射性核種分析、輻射偵檢儀器校正等面向之管制需求，研究並建置能力試驗所需之執行設備、劑量追溯系統、量測技術與作業程序，並透過實驗室認證同步舉辦分析能力試驗及辦理技術研討會，強化教育訓練與技術交流。

建立認證實驗室能力試驗執行之設備、系統、技術、作業程序，持續之能力試驗研究可提升全國實驗室之技術與品質，保障服務對象，含：可發生游離輻射設備許可類約 5 百台、登記類約 2 萬 7 千餘台、放射性物質證照許可類約 5 百張、登記類約 3 千 5 百張（原能會 107 年 12 月統計資料）；輻射從業人員申請佩章 5 萬 2 千餘人（原能會 107 年 12 月統計資料）等。

3. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究

依據衛生福利部之統計資料顯示，105 年國內接受核子醫學檢查人數約 48.5 萬人次。爰此調查核子醫學劑量校正儀校驗模式與實測評估，確認醫院核種活度測量情況，可間接推行核子醫學診療之品質保證技術，作為管制單位執行核醫之輻防劑量評估與管制作業之參考，進而提升核醫病患之醫療品質與輻射安全。

鑒於利用國家游離輻射標準實驗室目前之 Cf-252 標準射源進行中子偵檢儀器、人員劑量佩章校正時，可能於高能中子場會有量測結果低估的情形。因此，需要建立正確且足夠保守之評估方式。本計畫從高能中子劑量低估與能量延伸型的中子劑量計研究、全能域高靈敏度中子能譜偵檢系統、利用 IAEA TRS 403 報告代表中子場研究中子偵檢器能譜修正因子、校正射源以及偵檢器類型的關聯性評估、高能中子指標量測程序、到現在針對國內指標型的高能加速器

設施的輻射場進行深入探討與比較，完成系統驗證，應用能量範圍由 keV 等級的核反應器圍阻體外部中子能譜，延伸至接近 10 GeV 之高能中子場，提出簡易評估程序與解決方案供參，以精進中子校正技術服務能量。

因應國內質子治療與重粒子治療等新放射治療設施之發展，需要進行審慎的品質保障措施及射束劑量驗證。本計畫接續發展可同時量測吸收劑量與射束品質（直線能量轉移）的熱發光劑量計系統，以應用於臨床質子治療評估輻射照野內之相對輻射生物效應與輻射照野外之射質因子，透過學術合作進行實測研究，以提升質子治療之醫療曝露品質與精進輻射防護管制於劑量評估之技術。

4. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究

2011 年 3 月 11 日，因為地震與海嘯而造成日本福島的核事故發生，此事件也是繼 1986 年蘇聯車諾比核事故之後最為嚴重的輻射外洩事件。福島發生核電廠事故後，民眾對於國內核能相關政策與輻射安全問題十分關心，另外國內輻射相關工作人員（醫療、研究、核電廠等）也已經高達五萬餘人，為了保護相關人員並讓國內大眾放心，人員生物劑量評估是必要的過程。

輻射劑量評估技術，除了採用物理劑量計（熱發光劑量計、光激發發光劑量計）供參考外，人員生物劑量評估，也是事故發生後必須採取的措施，一來預防意外發生時物理劑量計失效或人員未正確配帶，二來人員生物劑量評估可以確認人員接受之真實劑量，並採取必要的醫療照護行動，保障工作人員及民眾的健康與安全。

目前世界各國莫不致力於建立人員生物劑量評估方法，以針對輻射事故發生時能夠對受曝露人員及時進行準確的劑量評估，才能對接受到較高劑量 $\geq 1\text{Gy}$ 的人群進行早期的醫療救治。

目前為止已發展出來作為評估人員生物劑量的方法有應用最普

遍的染色體雙中節分析法（Dicentric Chromosome Assay, DCA）、還有染色體螢光原位雜交（Fluorescent In Situ Hybridization, FISH）、微核分析（Micronucleus Assay）、早熟染色體（Premature Chromosome Condensation, PCC）以及蛋白質體（Proteomics）分析法等。

在 1960 年代中期，人類血液淋巴球細胞染色體雙中節分析法已正式建立，成為人體是否受到輻射曝露的指標。雖然染色體雙中節分析法有費力、費時及高度依賴專門技術之缺點，但因為它對於輻射有非常高的專一性以及背景值非常低（0.5~1 dicentric/ per 1000 cells）的優點，因此目前仍然是公認的黃金標準。透過預先建立的不同射源的染色體變異-劑量反應曲線，對於日後若發生輻射意外曝露事件時，大量傷患的分類與臨床醫療處置的判斷與評估有很大的助益。

● 國際比較與分析

比較項目或計畫產出成果	計畫執行前	計畫執行後
測試領域人員體外劑量評估技術規範 TAF-CNLA-T08(2018) 修訂版草案	國內規範引用國際規範 ANSI/HPS N13.11 2001 版	國內規範引用國際規範 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)最新版
高能中子(大於 10 MeV)場劑量低估修正研究	待測工作場所與校正中子能譜有明顯差異時，必須有相對應的劑量修正因子。例如：美國史丹佛直線加速器中心(SLAC)直接將儀器測量劑量值乘以兩	建立之全能域中子能譜量測系統與高能中子指標量測程序研究發表於國際期刊；對於我國粒子治療中心之中子劑量監測儀器使用建議如下：(1)應使用

比較項目或 計畫產出成果	計畫執行前	計畫執行後
	倍；一系列改良形式的中子偵檢器研發，使響應函數延升至 GeV 能量等級等。	能量延伸型的中子劑量計，並至少需以 Cf-252 中子場校正；(2)若使用經 Cf-252 校正之一般型中子劑量監測儀器，其讀值需再乘上 2.5，才可作為粒子治療中心環境的中子劑量。

二、架構

細部計畫		子項計畫		主持人	共同主持人	執行機關	計畫原訂目標	計畫效益與目標達成情形
名稱	預算數/ (決算數) (千元)	名稱	預算數/ (決算數) (千元)					
核設施除役與輻射防護劑量評估驗證技術研究(2/4)	12,177 (11,883)		12,177 (11,883)	袁明程	N/A	核能研究所	整體考量目前政府政策與社會期待，雙主軸定位於「核設施除役」及「輻射防護」劑量評估驗證技術研究。	配合除役進程滾動式建立輻安審查及管制作業所需之評估程式及實際參數，與研擬相關管制作業參考導則或規範建議；持續精進游離輻射能力試驗、輻射應用檢校技術，研究國內外劑量評估、稽核與驗證方法，研擬相關規範，並透過人員生物劑量評估專業實驗室技術和維運，精進國內災防應變能力，以提升輻防管制作業之品質及效能，進而增進民眾對國內輻射防護業務之信心。

		1. 核設施除役輻射防護管制技術研究		林洺秀	N/A	核能研究所	1. 建立完整的儀器檢校追溯體系與環境試樣參考物質製備能力序，並針對輻防視察準則進行研究，以增進核設施除役輻射量測之準確度與公信力。 1.1 參考美國核管會對於核電廠除役作業相關視察程序，完成我國未來核電廠除役作業之視察建議，確保核電廠除役期間周圍環境及民眾之輻射安全。 1.2 完成人工尿樣及人工糞樣環境核種分析儀器校正用參考物質製備，並依據 ISO Guide34、35 之技術需求，完成樣品均勻度測試及添加核種之不確定度評估，確保量測環境試樣加馬核種活度之準確性及可追溯性。 1.3. 針對核設施廠區環境試樣調查基準設定進行研究，完成目前設定值之設定依據檢視、評估模式所使用劑量標準、曝露情節及參數之合適性，確保核設施廠區例行運轉預警機制能發揮
--	--	--------------------	--	-----	-----	-------	---

								正常功能，以保障民眾及環境輻射安全。 1.4. 舉辦核設施除役與輻射特性調查專業技術教育訓練，藉由課程簡報及交流討論，以深入了解除役作業各種輻射偵檢執行及審查技術，進而完備主管機關於核設施除役輻射防護之管制能力。
		2. 輻射防護能力試驗技術研究		林怡君	N/A	核能研究所	2. 透過持續的能力試驗研究，建置評估系統與能力，以了解與精進國內實驗室於人員劑量、肢端劑量、儀器校正、環境試樣和中低強度核種分析偵檢技術水平，由上而下確	2.1. 分別據 ANSI/HPS N13.32 和 TAF-CNLA-T06 完成國內 8 個肢端劑量和 5 個輻射儀器校正實驗室能力分析，跨年度研究成果應用於劑量評估和儀器校正能力管控，確保國內約 7 千餘部和 1 萬 8 千餘部非醫用和醫用可發生游離輻射設備、輻射作業品質和環境輻射安全。 2.2. 參考人員劑量評估 ANSI/HPS N13.11

							保輻射防護體系之完整。	2009(R2015) 國際最新版本，完成國內 TAF-CNLA-T08 規範修訂草案，應用為 5 萬 2 千餘輻射工作人員之人員劑量評估技術管制基礎。 2.3. 分別據 TAF-CNLA-T09(2) 和 TAF-CNLA-T10(3)完成國內 10 個環境試樣和 6 個中低強度核種分析實驗室技術和品質現況分析，107 年研究成果應用於核種分析能力管制，保障輻射作業場所和環境輻射安全。 2.4. 舉辦研討會 2 場，形成技術規範草案 1 份。
		3. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究		王思文	N/A	核能研究所	3. 執行輻射應用新穎與或急迫性科研議題，立意於大眾期待和政策推行，	3.1. 完成國內核子醫學科活度計校驗模式現況初步調查，並實際使用與臨床相仿之試瓶膠體型射源實測，評估活度計之廠牌分布、特性、誤

							以核研所技術為核心，透過學術合作達到技術精進與技術擴展，以精進放射診療品質、環境輻射、輻射從業人員和一般民眾之輻射安全。	差來源及分析國內各醫院活度計準確度狀況等。對應核子醫學檢查約 48.5 萬人次（衛生福利部 105 年統計資料），協助相關單位精進或調整輻安管制作為，也為建立符合臨床現況之校正標準展開的先期研究。 1.2. 高能中子劑量評估技術透過不同加速器設施實測完成系統驗證，完善傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正建議，成果可提供質子/粒子治療中心、加速器設施、校正實驗室與主管機關參考，提升國內加速器輻安管制機制。 1.3. 建立之熱發光劑量計直線能量轉移系統可評估質子治療射束之劑量與射質，本年度以
--	--	--	--	--	--	--	---	---

								直線加速器光子取代鈷六十光子作為高溫比方法之基準數據，提升質子治療劑量評估準確性，未來可推廣應用至病人安全與環境輻射安全評估之相關應用。 3.4. 完成國際期刊投稿 2 篇。
		4. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究		張剛瑋	N/A	核能研究所	4. 建立染色體雙中節評估技術及重建劑量反應曲線，成立國家級中心及地區衛星實驗室，提供輻射意外和民眾需求的人員生物劑量服務。	4.1. 已向國內南部高雄醫學大學附設醫院(國內醫學中心)合作採取血樣，進行 107 年度國人背景值影像分析工作，107 年度三例國人背景值染色體影像，分別分析 1100、1275 與 1125 顆細胞，均無染色體雙中節變異性發生。 4.2 人員生物劑量實驗室於 107 年度申請 TAF 年度查訪工作，已於 6/22 完成本年度 ISO17025 查訪工作，

								現場僅開 2 個 C 類缺失(僅需於明年度查訪前改善)，順利完成年度查訪工作。 4.3 向國內高醫進血，進行本年度國人生物劑量之本年度染色體雙中節劑量反應曲線反應曲線分析工作並彙整入國內標準曲線。 4.4 107 年度接獲加拿大衛生部通知於進行本年度國際比對工作，於原能會協助下已完成血液樣本寄送與輻射劑量計寄回加拿大工作，完成血液樣本染色體影像擷取至分析工作，並將檢視結果以 mail 回覆拿大衛生部。
--	--	--	--	--	--	--	--	---

三、實際達成與原預期目標之差異說明

本計畫之執行成果均符合或提前原規劃之進度達成，就所遭遇困難皆已提出有效之因應對策，並完成工作執行，且量化產出超越原目標。

貳、主要內容

一、執行內容

(一) 核設施除役輻射防護管制技術研究 (佐證資料參閱附錄 B.1.)

1. 除役輻防視察作業程序研究

台電公司核能一廠兩部發電機組，分別於 1978 年 12 月及 1979 年 7 月開始商轉，到目前為止，其中 1 號機組已於 107 年 12 月達 40 年運轉期限，而必須規劃進行除役。為確保核電廠除役工作可安全進行、用過核子燃料已安全貯存於廠內或運送至其他貯存場，以及除役終止相關活動，是否遵照相關管制要求或業者承諾來進行，一般主管機關係藉由直接觀測及查驗業者所進行除役相關工作等輻防視察(inspection)程序，以獲得相關資訊。本年度針對美國核管會相關輻防視察手冊(Inspection Manual Chapter 2561)及視察程序(Inspection Procedure 83801, 84750 等)進行研析，以建立完善核電廠除役管制技術，確認除役電廠周圍環境及民眾之輻射安全。

2. 核設施例行運轉廠區調查基準之研究

為確認核設施輻射作業對廠區及環境所造成的影響，依據「游離輻射防護法」第 10 條規定，設施經營者應於輻射工作場所監測區內，實施必要輻射監測，另於場所外實施環境輻射監測，以取得各項監測數據，並配合輻射劑量評估模式，以評估輻射作業對廠區及周圍環境造成之影響；而管制實務上，主管機關會要求核設施經營者針對廠區及環境輻射監測作業建立完善的預警機制，以避免輻射作業對人員造成的輻射劑量有超限之虞，故於「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第 15 條及第 19 條規定，核設施經營者應對其廠區及環境輻射監測作業，應擬定預警機準，如監測數據超過所規定的調查基準，便應立即進行單位內部查證，並於三十日內以書面報告送主管機關備查，藉此供核設施經營者適時採取預警措施，避免因核設施出現異常狀況而對一般人造成重大輻射影響。

現行「核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準」(民國 89 年 07 月 06 日修正)係綜合考量一般人年劑量限值、曝露情節、曝露途徑等因素，並參考國外相關法規而訂定。由於時空變遷，核設施排放對一般人造成影響的輻射曝露情節與途徑漸有異動，以行政院農業委員會每年公布的「糧食供需年報」為例，依其資料顯示，針對穀類的米，民國 95 年每人純糧食供給量(即年攝入量)為 48.04 公斤，104 年則降低至 45.67 公斤，差異約達 5%，顯示因國人飲食習慣改變，放射性物質經此途徑造成的輻射影響將有所異動，因此本年度則針對現行核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準進行通盤考量及檢討。

3. 研製環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)

為確保輻射作業周圍環境與民眾之安全，游離輻射防護法第十條規定，輻射工作場所外應實施環境輻射監測，且在環境輻射偵測品質保證規範之品質保證方案內容中，輻射度量系統之能譜及計測效率應使用校準射源作定期校準，校準射源之準確度應可追溯至國家標準。環境試樣中加馬核種活度含量，最常使用加馬能譜分析技術來進行量測，而量測結果準確性與可追溯性，則需仰賴環境試樣參考物質來進行校正。

財團法人全國認證基金會(TAF)，目前開放環境試樣放射性核種分析測試實驗室申請認證的測試項目，共計有：土壤、水樣、植物樣、肉樣、空浮濾紙樣、牛乳樣、米樣、菇類、人工尿樣及人工糞樣等十種環境試樣，本年度則完成人工尿樣與人工糞樣參考物質之製備，並依據 ISO GUIDE 34、35 之技術需求，完成參考物質均勻度測試與添加核種不確定度評估。

(二) 輻射防護能力試驗技術研究 (佐證資料參閱附錄 B.2.)

1. 肢端劑量計能力試驗試運轉後期研究

依據 ANSI/HPS N13.32-2008 肢端劑量計能力試驗(Performance Testing of Extremity Dosimeters)國際規範推行國內實驗室之肢端劑量計能力試驗試運轉，此為 106~107 跨年度工作，前期研究為建構技術規範所需輻射場、規劃試運轉之執行、分析參與實驗室與研究能力評估程序和方法。後期研究則為試運轉之盲樣/非盲樣兩階段數據處理、照射系統品保與執行參與實驗室系統再校正、舉辦技術交流會議、評估參與實驗室技術能力、舉辦總結會議、完成參與實驗室評估報告與總結報告。

肢端劑量計能力試驗試運轉研究分為 4 個測試類別：I. 高劑量光子 (測試劑量範圍：0.1-5 Gy)；II. 光子 (測試劑量範圍：1.0-100 mSv)；III. 貝他 (測試劑量範圍：2.5-100 mSv)和 IV. 貝他與光子混合場 (測試劑量範圍：3.5-100 mSv)。其判斷基準為能力商數，即 $P_i \equiv [H'_i - H_i]/H_i$ (H' 和 H 分別代表受測實驗室量測值和參考值)，並透過 ANSI/HPS N13.32-2008 規定之能力評定公式： $B^2 + S^2 \leq L^2$ (B 為 P_i 平均值； S 為 P_i 標準差； L 為允差)處理，依據第 I 類別 L 為 0.24，第 II、III、IV 類別 L 為 0.35 來進行判定。

為討論 ANSI/HPS N13.32-2008 引入國內之適用性，測試結果分析包括盲樣/非盲樣兩階段測試架構，以及技術研討會前和再校正後更新數據。經過技術交流和反覆系統調校後，8 組實驗室組均通過本次肢端劑量計能力試驗試運轉，顯示國內實驗室之肢端劑量評估能力經本計畫輔導與測試後，皆可符合 ANSI 規範之要求。於 5 月 24 日舉辦「第 7 次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨 2017 肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會」，公布最終測試結果，本次結果顯示：國內實驗室之技術能力可符合美國 ANSI/HPS N13.11-2008 規範之要求，故會中決議後續研擬之肢端劑量計能力試驗技術規範(草案)可完整比照 ANSI 之要求，引入盲樣測試條件。

2. 依據 ANSI/HPS N13.11 最新標準，進行人員劑量評估實驗室認證規

範之修訂研究

人員體外劑量評估實驗室能力試驗是主管機關(本會) 配合全國認證基金會(TAF)的能力試驗時程，進行的相關研究，目的在分析國內實驗實驗室技術能力現況，確定使用於職業曝露的個人等效劑量和事故狀況的吸收劑量之人員劑量系統接軌國際。以近十年數據於新規範適用度初步分析結果為基礎，今年度根據 ANSI/HPS N13.11-2009(R2015)最新國際規範版本，完成我國測試領域人員劑量計能力試驗技術規範(TAF-CNLA-T08)修訂版草案，並送 TAF 審核。

ANSI/HPS N13.11-2009(R2015)規範內容包括：能力試驗程序、劑量計管理、劑量計照射、照射資料處理、能力評定與附錄等，修訂版規範新增附錄 1 和 2，以定義偵測低限和參考量測環境。並提供第八、九和十次數據適用度分析研究報告，作為 TAF-CNLA-T08 規範修訂版(草案)專家學者審查會議之相關研究資料，提供相關資料協助 TAF 技術審查使用。

3. 完成輻射偵檢儀器校正能力試驗之研究，並舉辦研討會

依據校正領域輻射偵測儀器校正技術規範(TAF-CNLA-T06(2))，進行能力試驗不同類別的傳遞儀器及校正系統之性能測試，為 106~107 跨年度工作，本年度除持續之系統品保，並評估參與實驗室技術能力，包括評估校正因子和儀器效率。能力評估根據 ISO 定義之 E_n 值

$$E_n = \frac{|V_{lab} - V_{ref}|}{(U_{lab}^2 + U_{ref}^2)^{1/2}}$$
， V 及 U 分別代表值及其擴充不確定度($k=2$)，下標 lab 和 ref 分別代表受測實驗室量測值和參考值)。判斷準則如下： $E_n \leq 1$ ，通過能力試驗； $E_n > 1$ ，不通過能力試驗。最後為完成參與實驗室評估報告及舉辦總結會議研討會，達成我國可提供輻射偵檢儀器校正之國內現況分析研究，與技術品質之交流提升。

國內 5 個校正實驗室之輻射劑量偵測儀器、放射活度 α/β 污染偵測儀器及人員劑量計等傳遞儀器之能力試驗皆為符合能力要求。另外，陸軍化生放核訓練中心 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器校正實驗室

之雙邊比對，也為符合能力要求。於5月24日舉辦「第7次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨2017肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會」研討會中，透過技術交流初步溝通未來研究方向建議：

- 污染偵檢器的測試射源，可參考國際IEC規範(原美國ANSI規範)由Sr-90更改為Cl-36，提高困難度，參加的校正實驗室皆同意；
- 傳遞的三類別受測儀器一部，可更改為每個類別受測儀器二部，可測試受測實驗室對不同廠牌儀器校正辨識能力；
- 將陸軍化生放核訓練中心納入能力試驗之建議，考量該機構屬國防部具優先專業及特殊性，本計畫能力試驗之研究並不具強制性，但歡迎其加入能力試驗，並尊重其決定。

4. 環境試樣放射性核種分析能力試驗運轉研究，並舉辦環境試樣放射性核種能力試驗研討會

環境試樣放射性核種分析能力試驗屬於全國性實驗室技術與品質能力分析，不同於第一分項關注於人工尿樣、人工糞樣校正用標準參考物質之研製技術；採用加馬核種 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{85}Sr ；貝他核種 ^{85}Sr 、 ^3H 研製；同時，依據ISO GUIDE 34、35對於生產參考物質(RM)之技術要求，針對生產過程中之參考物質特性值及均勻性進行不確定度評估。

今年度配合環境試樣放射性核種分析能力試驗(自104年起每三年舉辦的第二次)，依據測試領域環境試樣放射性核種技術規範TAF-CNLA-T09，進行能力試驗不同類別所含放射性核種之測試，研究國內實驗室現況。追溯性根據ANSI N42.22相對差異小於3倍標準差為基準，以兩個分法判定，第一為活度相對偏差值(即 $Br_i = (A_i - A_{ai}) / A_{ai}$ ， A_i 為測試實驗室量測活度值； A_{ai} 為參考活度值)，進行 $-0.25 <$

$Br \leq +0.50$ 之判定；第二為相對精密度(即 $S_A = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{A_i}{A} - 1 \right)^2 / (N-1) \right]^{\frac{1}{2}}$ 和 $S_B = \left[\sum_{i=1}^N (Br_i - \bar{Br})^2 / (N-1) \right]^{\frac{1}{2}}$ ，判定基準為 $|S_B| \text{ and } |S_A| \leq 0.4$ 。

於10月4日舉行「2018年游離輻射量測能力試驗總結研討會」
宣布：

- 107年度環境試樣放射性核種分析能力試驗，所有十個參加測試實驗室的分析結果，其平均相對偏差(Br)及相對精密度(S_A, S_B)均通過TAF能力試驗的要求。
- 各實驗室分析結果與添加活度的平均相對偏差值(Br)，5個值介於 $\pm(21\sim25)\%$ ，24個值介於 $\pm(10\sim20)\%$ ，其餘值均在 $\pm10\%$ 以內。
- 總體實驗室分析結果平均值表現與參考活度的偏差值，範圍在1.16~0.79倍。

此能力試驗自93年度起至今已執行14年，參加比對實驗室結果良好，足以證明各實驗室之分析能力；下次舉辦能力試驗的時間為民國110年。今年的參與實驗室為10個，為歷年之最，應是反映民眾關心日本食品輻射檢測議題之故。

5. 中低強度核種分析能力試驗運轉研究，並舉辦環境試樣放射性核種能力試驗研討會

本工作項目主要以核設施排放監測或分析實驗室之技術能力為考量。關於中低強度核種分析能力試驗，配合自104年起每三年舉辦一次的時程執行，並依據測試領域中低強度核種技術規範TAF-CNLA-T10，進行能力試驗不同類別所含放射性核種分析之能力試驗。

判定標準為先設定不同核種對應之活度解析度(A_s/u_s ， u 為量測不確定度；下標 S 為參考活度值)和比值(A_t/A_s ，下標 t 為受測實驗室

活度量測值)，並根據 z 商數(即
$$z = \frac{|A_t - A_s|}{\sqrt{u_t^2 + u_s^2}}$$
)判定，當 $z < 3$ 則符合測試要求。執行內容包括系統品保，評估參與實驗室技術能力，撰寫參與實驗室評估報告，並舉辦總結會議，達成我國可提供中低強度核種分析實驗室之國內現況分析研究，與技術品質之交流提升。

今年度提供測試之類別核種項目為：氚核種分析、混合鋇 89/90 核種分析、混合鐵 55/59 核種分析和混合加馬核種分析，共有 4 個測試類別(含 9 個核種)。本次參與的 6 家實驗室皆通過能力試驗，於 10 月 4 日舉行「2018 年游離輻射量測能力試驗總結研討會」公布測試結果：受測實驗室在其所參加之類別項目核種的活度分析測試能力均通過測試。下次舉辦能力試驗的時間為民國 110 年。

(三) 輻射應用劑量評估與校正檢校技術研究 (佐證資料參閱附錄 B.3.)

1. 與學術單位、醫療機構或相關學會合作，進行評估調查國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式，核種活度測量情況，及校正儀校驗項目

本研究與陽明大學、中華民國醫學物理學會、核能研究所...等研發團隊共同參與，先透過發放問卷形式，對國內相關醫療院所之劑量校正儀，調查其品保項目與執行狀況等資料，進行統計彙整。再依照校正器型號，設計對應其空間尺寸之樣本乘載輔助器件於醫療單位實地執行。臨床量測包含標準射源之物理檢查、背景值、精確度、準確度測試，及標準射源於校正器腔內位置之幾何偵測效率實驗。最終將前述結果紀錄整理，分析各地區品保項目實施頻率、操作狀況，以及校正儀對於偵測位置點改變所造成的活度值偏差。

成效說明：

- (1) 搜集及閱讀國內外相關文獻，現場訪查所用射源之選定及活度校正儀資料調查與品保問卷之擬定；
- (2) 調查國內活度校正儀校正情形，分別進行設備廠牌、型號的數量統計；
- (3) 實驗專用乘載輔助器件製作，執行臨床射源量測，；
- (4) 完成各家醫院問卷統計及臨床量測研究報告。

本研究統計醫院劑量校正儀的使用狀態，以及定期品保項目之執行現況，統計資料顯示，部分項目(線性度、幾何偵測效率)的品質校驗執行頻率，有低於預期的情形。對此結果，初步建議可

再加強品保管理，包含每項測試之定義與正確之執行方式；且可針對部分醫院之儀器特有之校驗工具進行使用指導。而臨床實測結果，幾何偵測效率的測試，呈現隨射源位置的改變，相異廠牌型號之間，有其相對應之偵測變化模式。本研究所建立之測試方法可作為定期品質校驗模式，其操作時間短，可迅速找出劑量校正儀的最佳測量點，以提升核醫藥物放射活性之測量準確性。可協助相關單位、進行核醫醫學之輻防劑量評估，與建立輻安管制標準，進而提升國內核醫醫學相關診療之醫療品質與輻射安全。

2.與學術單位、醫療機構或相關學會合作，國內電子與質子源誘發高能中子之特性和評估

近年來國內加速器的應用蓬勃發展，高能加速器運轉時不可避免的會產生大量二次中子並引發物質活化問題，輻射場中能量高於 10 MeV 的高能中子穿透力強、不易測量，但確是主體屏蔽外輻射劑量的主要貢獻來源。為了因應相關設施產生的特殊輻射防護問題，進行輻射劑量相關研究評估與驗證。為了彌補傳統緩速型中子偵檢器量測高能中子輻射場之劑量低估的問題，針對國內高能粒子加速器，包括 235 MeV 醫用質子加速器與國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器等設備，根據不同類型加速器引發高能中子機制的差異，建立加速器設施正確的高能中子劑量評估技術。

與清華大學合作，於先前研究計畫中，已建立了高能加速器中子輻射劑量分析、能譜測量技術、高能中子指標量測程序與劑量低估修正等技術能力，已累積相當多關於中子模擬分析與度量實驗的實務經驗。本計畫整合先前的相關資訊，並針對國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器的中子能譜進行詳細測量，最後應用測量結果檢視高能中子劑量低估修正技術的可行性與準確度。

成效說明：

- (1) 235 MeV 質子源設施之中子輻射場分析；

- (2) 3 GeV 電子源設施之中子輻射場分析；
- (3) 比較二種類型加速器設施的中子輻射場差異高能中子劑量低估的修正指引；
- (4) 進行 3 GeV 電子源設施之主體屏蔽外中子能譜量測；
- (5) 傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正案例分析。
- (6) 完成投稿國際期刊 1 篇。

經由本研究分析發現在 3 GeV 電子源設施中，理論模擬計算與實驗量測吻合度高，結果亦顯示高能中子不可忽略，且可能在整個劑量分析上佔據一半以上的劑量貢獻，其能譜分析顯示，3 GeV 電子源設施屏蔽外產生的中子在數百 MeV 的能量範圍相當顯著，是輻射防護的重點，在熱中子能量附近雖一樣有峰值，但考量劑量轉換因子後，並非主要劑量來源。在 235 MeV 質子源設施中，亦有機會產生高能中子(>10 MeV)，但其量在治療室迷道外並不顯著，至於主體屏蔽牆外的高能中子未來可透過分析模型的改良或實地量測進行深入探討。

建立用於校正傳統緩速型偵檢器的偵檢器能譜修正，降低以往高能中子劑量低估的疑慮，減少必須送到國外校正的不便，並將本研究成果提供國內醫療院所、加速器設施及校正實驗室參考，可精進國內中子校正技術服務，為高能中子劑量評估之技術帶來實務進展。

3.與學術單位、醫療機構或相關學會合作，建置質子射束劑量 TLD 系統，含設備設置、理論發展和劑量計校正

質子治療與傳統放射治療的光子電子射束相較，射束射質具有特殊性，需要評估直線能量轉移(LET)，才能更準確地決定照野內的生物劑量與照野外器官的等價劑量。

熱發光劑量計(TLD)廣泛使用於測量輻射劑量，然而，當 TLD

受到不同輻射品質的射束照射時，此處的射束品質是指有不同直線能量轉移(LET)的射束，將 TLD 在特定加熱模式下計讀，就可以獲得因 LET 造成的不同能峰分佈的輝光曲線，藉由理論模型可以分析輝光曲線下的分量，進而得到平均直線能量轉移，以推算輻射的「品質」與「劑量」。須取得不同 LET 的照射，以建構高溫比 (high-temperature ratio, HTR) 與 LET 之校正關係，鑑於臺灣的放射腫瘤科皆具備直線加速器的 X 光射源，因此擬評估以 X 光照射取代鈷六十加馬射線照射，用以理論計算得到平均能量轉移理論數值，此數值會隨著照射深度而變化，因此標定深度與所對應的 LET，便能建構已知 LET 的環境。此後，再將熱發光劑量計放在標定深度下照射，以得到實際測量的 HTR，取得兩者之間的關聯性以完成系統的建立。最後，配合臨床常用之照射條件，對假體進行照射後，評估其 HTR，將其套用至建立好的直線能量轉移評估系統，與蒙地卡羅模擬的數值進行比較，便能完成建構質子治療之直線能量轉移評估系統之臨床應用。最後，將理論計算與實驗測量結果進行比較分析，建立可同時量測吸收劑量與平均直線能量轉移的劑量計系統，可評估質子治療之劑量與平均直線能量轉移，進而了解人員之相對輻射生物效應與風險，未來可推廣應用至病人安全與環境輻射安全評估之相關應用。

成效說明：

- (1) 探討以熱發光劑量計高溫區評估直線能量轉移的影響因素；
- (2) 利用熱發光劑量計之高溫比值與蒙地卡羅計算得到之平均能量轉移理論數值建立量測直線能量轉移之系統；
- (3) 證實直線加速器光子有能力可取代鈷六十光子作為高溫比值計算中之基準數據；
- (4) 完成完成質子治療照射的臨床實驗，內容分別為：百分深度劑量之系統驗證結果，和直線能量轉移之系統驗證結果。
- (5) 完成投稿國際期刊 1 篇。
- (6) 完成建置質子射束劑量 TLD 系統研究報告。

直線能量轉移系統研究，對應國內新興質子/粒子等高能設施之射質評估。由於熱發光劑量計度量直線能量轉移，受限於其作用機制，僅能評估原始質子(primary proton)的直線能量轉移，即 LET 小於 10 keV/ μm ，因此對於質子所撞擊出的二次粒子（多數為 LET 大於 10 keV/ μm ）之直線能量轉移則需要發展其他系統，目前已知固態核徑跡偵檢器(solid-state nuclear track detector)可補足這部分的限制，因此未來期待能繼續這個研究題目，發展雙偵測系統以評估廣度高的 LET 範圍。

（四）人員生物劑量染色體變異評估技術研究（佐證資料參閱附錄 B.4.）

1. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究與國內南部醫學中心合作，取得人血樣本，並進行劑量照射與評估分析研究。其血液檢體優先採集少數性別，以確保不同性別參與機會。

目前生物劑量實驗室於 107 年度已完成 43 例正常國人背景染色體雙中節分析，一共分析 22,837 顆細胞，發現 17 個雙中節(dicentric)於 17 顆細胞中，目前資料庫國人背景雙中節發生率為 0.74‰，即是 **1000 顆細胞中有 0.74 個雙中節發生率**。近幾年來利用人員生物劑量染色體變異性的研究指出，與國際文獻相比較，在正常背景下，每個人淋巴細胞通常會存在 1/1000 比例的雙中節變異狀況，目前國人的背景值是低於國際之平均值。今年度，生物劑量實驗室持續與南部醫學中心合作（高雄醫學大學），並增加 3 例正常人背景染色體雙中節分析，由於 107 年度前，本計畫所執行之背景值分析數據，其男與女的比例為：18 名男性：22 名女性，故於本年度的反應曲線時，要求合作單位(高雄醫學大學)，盡量收集男性之血樣，以求比例上接近，故於本年度收 3 例男性血樣，使男與女的比例為：21 名男性：22 名女性，未來仍將收集更多案例來代表國人之生物劑量背景值。

2. 建立我國生物劑量之本年度染色體雙中節劑量反應曲線

107 年度，本實驗室持續針對國人標準曲線進行研究分析工作。於 5 月 11 日與高雄醫學大學合作取得正常人血液進行年度反應曲線分析工作，血液樣品取得分裝後，請國家標準實驗室進行鈷-60 照射，照射劑量分別為 0.1、0.25、0.5、1、2、3、4、5 Gy，於 107 年度之年度劑量反應曲線，增加 0.1 Gy 之劑量作為最低輻射照射之劑量選擇。劑量照射後，將血液樣品進行細胞培養、細胞收穫、固定化、噴片、染色、封片、顯微鏡掃描，以及細胞影像分析。經過整理統計後，利用 Dose Estimate 專業分析軟體，分析計算出實驗之反應曲線。

本實驗室於 101 至 107 年度陸續完成了六條人員生物劑量反應曲線，並經由統計方式合併成一條人員生物劑量標準曲線，利用增加樣本數所得到的生物劑量評估準確性、可信度及精確度，利用輻射劑量與染色體雙中節評估建立反應曲線，並經由統計分析於各年度反應曲線劑量之統計差異性分析，無差異後可合併成一條國人之生物劑量標準曲線。

本實驗室也經由國際發表文獻、期刊內容，評估本實驗室建置之標準反應曲線與國際間實驗室之差異性，在與國際間(如韓國 2019 發表於 Ann Lab Med、沙烏地阿拉伯 2014 發表於 Biotech、IAEA2011 之 Biodosimetry 報告、巴西 2015 發表於 Braz J Med Biol Res、香港 2013 發表於 Hong Kong Med J)。以現有趨勢與結果顯示，本實驗室建立之標準曲線介於 IAEA 與韓國之標準曲線間，且與各國所建立之反應曲線呈現同樣趨勢，在分析之數據中僅香港與本實驗室為利用鈷六十射線作為雙中節變異性之照射工作，其餘各單位均以 X-ray 作為引起變異性之輻射照射，結果與多篇文獻中指出 r-ray 與 X-ray 造

成之變異性差異不大的結果相仿，本實驗室仍會持續收集各國標準曲線之差異性，作為國家實驗室之依循標準。

3. 參與國際比對試驗

人員生物劑量實驗室已於 103-104、104-105 年度參與由加拿大衛生部 Dr. Wilkins 教授所舉辦的國際比對，並順利完成；本年度於年初 1 月 26 日即接獲加拿大衛生部通知於本年度 3 月 13 日將由加拿大寄出血液樣本以進行本年度國際比對工作；在原能會協助申請海關免用 X-ray 文件後，於 3 月 15 日經由加拿大完成血液樣本寄送至本計畫中；於 3 月 27 日因應加拿大衛生部要求提早將血液樣本中之輻射劑量計寄回加拿大；於 5 月 22 日即完成 10 管血液之染色體影像擷取至分析工作，並將檢視結果以 mail 回覆拿大衛生部。於 10 月 28 日再次詢問本年度國際比對結果，加拿大衛生部 Dr. Wilkins 回覆表示，由於今年度尚有多家實驗室之樣本分析結果尚未寄回，故目前尚無法將最終結果呈現於本計畫結案報告中。

未來在進行國際比對分析上，本計畫將持續參與國際能力交叉比對部分藉以維持實驗室品質規範，以精確掌握國際間能力比對時間，更確定實驗室分析人員之能力，對於我國朝向國際化之生物劑量分析實驗室將有加倍加分之效應。

4. 執行 ISO 17025 查訪案例並完成 ISO 17025 年度查訪工作

103 年度起實驗室人員接受 ISO 17025 法規相關訓練，於 104 年度依據 TAF 規定提出 ISO 17025 認證申請，於 105 年 TAF 實地評鑑後獲得實驗室能力認證，完成實驗室認證目標，於 106 年通過 TAF 年度查訪。

今年度實驗室針對試驗主管變更與年度查核機制緣故，人員生物劑量實驗室於4月即向TAF申請年度查訪工作，TAF訂於6月22日執行本年度查訪工作。於6月22日之年度查訪工作，在完成簡報說明後，即進行當天之年度ISO 17025查訪工作，於查訪結束後，現場僅開2個C類缺失(僅需於明年度查訪前改善)，本實驗室已完成改善，順利完成年度查訪工作。

二、遭遇困難與因應對策

類別	說明	因應措施與建議
執行困難	本年度第一分項之「核設施例行運轉廠區調查基準之研究」，與去年度差異在廠區與環境，皆為探究我國現行預警措施之制定依據，經蒐集相關文獻後發現，現行「核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準」(民國89年07月06日修正)係綜合考量一般人年劑量限值、曝露情節、曝露途徑等因素，並參考國外相關法規而訂定。由於時空變遷，核設施排放對一般人造成影響的輻射曝露情節與途徑漸有異動，國人飲食習慣參數的變動將影響評估結果，需要另取得相關訪查結果。	本計畫以美國阿岡國家實驗室所開發RESRAD-ONSITE劑量評估程式，透過行政院農業委員會每年公布的「糧食供需年報」，例如：民國95年每人純糧食供給量(即年攝入量)為48.04公斤，104年則降低至45.67公斤等資料，來評估當嚥入或吸入與紀錄基準或調查基準相當活度之物質時，所相對應接受之輻射劑量，針對現行核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準進行通盤考量及檢討。
執行困難	第二分項「輻射防護能力試驗技術	修訂版草案於TAF專家

	研究」之人員劑量計能力試驗規範修訂工作，需考量國內市場引進最新版國際規範可能之困境，如以主管機關立場，施政目標為接軌國際，爰引最新的國際規範【ANSI/HPS N13.11 (2009)人員劑量計能力試驗技術規範】據以推動，但對於各個人員劑量評估實驗室而言，考量適應新規範可能之不便，且新規範允差限值較為嚴苛，當然希望沿用舊有規範。	學者審查會議中，提供最近三次國內8家實驗室之新規範適用性評估研究報告等資料，以近十年人員劑量評估實驗室技術能力均能符合新規範要求的分析結果，終能說服各人員劑量評估實驗室接受新規範之要求，以助於推動後續相關作業，接軌國際管制趨勢。
執行困難	第三分項關注新穎性與急迫性輻射應用議題，同時也是社會大眾最為關注之焦點。有關核醫活度計調查與實測，現階段規劃為先期學術研究，在無官方強制力下，問卷回收有限，實測牽涉醫院管理問題，不易實行；質子治療射質量測，需於放射醫學中心大型尖端設施進行測定，牽涉醫院或設施管理問題，不易實行。	建議以提供禮卷誘因或主管機關名義，促使回收各醫療院所問卷，期能真正看到臨床核醫活度量測真實問題。實測或實驗則持續與醫院方積極溝通，並透過第一線的醫學物理師等工作人員協助，了解醫院管理模式；輔以模擬計算技術，以協助設計實驗流程與建置量測系統，另可利用具備與醫院相同形式儀器之學研機構之設備進行實測，同樣可達到了解醫院儀器特性之

		目的。
執行落後	無	無

三、實際執行與原規劃差異說明

1. 核設施除役輻射防護管制技術研究

工作項目	計畫書查核點	執行成果	差異分析
1. 除役輻射視察作業程序研究	完成除役輻射視察作業程序研究報告。	完成美國核管會輻射視察手冊 (Inspection Manual Chapter 2561) 及視察程序 (IP 83801-核電廠永久停止運轉後之改善行動與最終狀態偵檢之視察；IP 84750-放射性廢棄物處理及排放物與環境監測之視察) 等資料研析，並完成除役輻射視察作業程序研究報告 1 篇。	符合進度
2. 核設施例行運轉廠區調查基準之研究	完成設施例行運轉廠區調查基準之研究報告。	完成設施例行運轉廠區調查基準之研究報告 1 篇。	符合進度
3. 研製環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)	1). 完成配製樣品之標準活度量測追溯； 2). 完成環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)技術報告。	1). 完成可追溯至國家游離輻射標準實驗室之加馬射源(^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{85}Sr)與貝他射源(^{90}Sr 、 ^3H)配製及不確定度評估； 2). 完成人工尿樣與人工糞樣參考物質之製備，並依據 ISO GUIDE 34、35 之技術需求，完成參考物質均勻度測試與添加核種不確定度評估，並完成環境核種分析儀器校正用參	符合進度

		考物質(菇類、濾紙)技術報告。	
--	--	-----------------	--

2. 輻射防護能力試驗技術研究

工作項目	計畫書查核點	執行成果	差異分析
1. 肢端劑量計能力試驗試運轉後期研究	1).完成肢端劑量計能力試驗試運轉盲樣/非盲樣兩階段結果分析; 2).完成輻射偵測、劑量評估或能力試驗認證技術報告 1 篇	1).完成肢端劑量計能力試驗試運轉盲樣/非盲樣兩階段結果初步分析,於 3/9 舉辦臨時技術討論會議,針對不同肢端劑量計測試系統進行技術交流。(於 3/9 完成); 2).完成肢端劑量計能力試驗試運轉試運轉之研究,8 家參與實驗室均通過本次能力試驗,於 5/24 研討會發表 2017 肢端劑量計能力試驗試運轉之總結報告口頭報告並與專家學者進行技術交流,已完成「2017 肢端劑量計能力試驗試運轉之總結報告」1 篇。	符合進度
2. 依據 ANSI/HPS N13.11 最新標準,進行人員劑量評估實驗室認證規範之修訂研究	完成 ANSI/HPS N13.11(2009)人員劑量評估能力試驗技術規範修訂版草案研擬	關於測試領域人員體外劑量評估技術規範研究報告於 3/9 完成中英文摘要。協助 TAF 審議方面,於 10/9 提供草案第 1 版,經專家審查會議後,已於 12/5 提供「T08 測試領域人員體外劑量評估技術規範(2018 草案-V2)」第 2 版後續審議。	符合進度
3. 完成輻射偵檢儀器校正能力試驗之研	1).完成三批次參加能力試驗實驗室之輻射偵測儀器校正件傳遞與校	1).輻射偵檢儀器校正能力試驗研究針對高低劑量率、累積劑量及偵檢窗效率等三種類別,完成參加能力試驗實驗室之輻射	符合進度

研究，並舉辦研討會	正作業； 2).舉辦輻射偵測儀器校正與肢端劑量計(試運轉)能力試驗技術研討會	偵測儀器校正件傳遞與校正測試作業階段。(於 1/2 完成)； 2).完成數據處理與評估報告，5/24 舉辦「第 7 次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨 2017 肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會」，共計有 11 個單位、45 人參與，進行技術交流。	
4. 環境試樣放射性核種分析能力試驗運轉研究，並舉辦環境試樣放射性核種能力試驗研討會	1).完成年度環境試樣核種分析能力試驗規劃； 2).完成符合 ISO GUIDE 35 要求之測試樣品； 3).辦理全國環境試樣核種分析能力試驗總結會議，及完成核種分析能力試驗報告 1 篇。	1).完成 107 年度環境試樣放射性核種能力試驗規劃研究，有 10 家實驗室報名參加； 2).依據 IOS GUIDE 35，完成 10 種環境測試樣品研製及其均勻度測試。(已於 6/15 完成)； 3).完成 107 年度環境試樣放射性核種能力試驗，計國內 10 家實驗室參與，8/10 完成試驗數據結果回收及數據統計分析，於 10/4 舉行「2018 年游離輻射量測能力試驗總結研討會」，共計有 14 個單位、68 人參與，進行技術交流。並已完成「107 年環境試樣放射性核種分析能力試驗總結報告」1 篇。	符合進度
5. 中低強度核種分析能力試驗運轉研究，並舉辦環境試樣放射性核種能力試驗研討會	1).完成年度中低強度核種分析能力試驗規劃； 2).辦理全國中低強度核種分析能力試驗總結會議。	1).完成 107 年度中低活度核種分析能力試驗規劃研究，並配合時程表、報名申請表以電郵方式告知國內相關實驗室來運作； 2).完成 107 年度中低活度核種分析能力試驗，計國內 6 家實驗室參與，於 9/10 完成試驗數據結果回收及數據統計分析，於 10/4 舉行「2018 年游離輻射量	符合進度

		測能力試驗總結研討會」，共計有 14 個單位、68 人參與，進行技術交流。	
--	--	---------------------------------------	--

3. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究

工作項目	計畫書查核點	執行成果	差異分析
1. 與學研單位或相關學會合作，進行國內核醫醫用活度計使用現況普查：常使用的核種、校正方法、幾何條件與參數設定	1). 與國內學研機構或學會洽談，討論合作機制與預期成果； 2). 審核委託學研單位、醫療機構或學會之研究計畫購案； 3). 評估醫院核子醫學使用核種的活度測量模式及校驗項目(15 家醫院)； 4). 評估醫院核子醫學常用核種的活度測量模式及臨床校驗項目比較分析。	1). 與國內學研單位或醫療機構進行評估國內核子醫學輻射活度計之校驗模式研究工作之討論； 2). 進行評估國內核子醫學輻射活度計之校驗模式計畫書經討論與修訂，提出委託學研單位、醫療機構或學會之研究計畫購案，並進行審核； 3). 完成國內大於 15 家核子醫學醫用活度計之校驗模式之調查，並進行分別進行設備廠牌、型號的數量統計，且分析各校正射源下之校正不確定性分布結果。(於 9/30 完成)； 4). 根據核研所國家游離輻射標準實驗室活度校正報告統計近年活度計校正情況，並使用與臨床相仿之試瓶膠體型射源校驗及結果統計分析，評估活度計之特性、誤差來源及分析國內各醫院活度計準確度狀況。	符合進度
2. 與學研單位、醫療機構或相關學會合作，高能中子	1). 與國內學研機構或學會洽談，討論合作機制與預期成果； 2). 審核委託學研單	1). 與國內學研單位或醫療機構進行國內電子與質子源誘發高能中子之特性和評估研究工作之討論； 2). 進行國內電子與質子源誘發高	符合進度

國內實例(如:TPS 同步輻射加速器、長庚質子治療)之特性和評估	位、醫療機構或學會之研究計畫購案； 3).電子源設施與質子源設施之中子輻射場特性評估比較及高能中子劑量低估修正的案例分折； 4).完成 3 GeV 電子加速器與 235 MeV 醫用質子癌症治療加速器設施中子輻射場的比較及傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正分析研究報告。	能中子之特性和評估研究計畫書經討論與修訂，提出委託學研單位、醫療機構或學會之研究計畫購案，並進行審核； 3).完成電子源設施與質子源設施之中子輻射場特性評估比較及高能中子劑量低估修正的案例分折。(於 9/30 完成)； 4).完成建立加速器設施中子劑量評估技術，完成不同類型加速器設施輻射產生高能中子機制的差異，完善傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正建議(於 12/12 完成)。並以比較確定性和蒙地卡羅方法的中子屏蔽劑量問題，完成國際期刊投稿 1 篇。	
3. 與學研單位、醫療機構或相關學會合作，驗證以熱發光劑量計度量質子射束之直線能量轉移系統，含實驗驗證和臨床應用	1).與國內學研機構或學會洽談，討論合作機制與預期成果； 2).審核委託學研單位、醫療機構或學會之研究計畫購案； 3).完成質子治療之直線能量轉移評估系統的初探臨床應用； 4).完成建構質子治療之直線能量轉移評估系統之臨床應用。	1).與國內學研單位或醫療機構進行直線能量轉移評估系統之建立研究工作之討論； 2).進行直線能量轉移評估系統之建立研究計畫書經討論與修訂，提出委託學研單位、醫療機構或學會之研究計畫購案，並進行審核； 3).完成建構蒙地卡羅程式之模型，並以理論計算得到平均能量轉移理論數值，且利用熱發光劑量計之高溫比值與蒙地卡羅計算得到之平均能量轉移理論數值建立量測直線能量轉移之系統。(於 9/30 完成)； 4).已完成直線加速器光子取代鈷	符合進度

		六十光子作為高溫比值計算中之基準數據，並驗證直線能量轉移評估系統可適用於臨床應用實驗，未來可推廣應用至病人安全與環境輻射安全評估之相關應用。並以熱發光劑量計(TLD)高溫比(HTR)之LET評估方法，完成國際期刊投稿1篇。	
--	--	---	--

4. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究

工作項目	計畫書查核點	執行成果	差異分析
1. 與國內南部醫學中心合作，取得人血樣本，並進行劑量照射與評估分析研究	國內醫學中心合作，取得人血樣本進行背景值分析研究	已於 2/5 向國內南部高雄醫學大學附設醫院採取血樣，進行 107 年度國人背景值染色體影像分析工作； 已收集 107 年度三例國人背景值染色體影像，目前已完成兩例分析，分別分析 1100、1275 與 1050 顆細胞，僅有一顆染色體雙中節變異性發生。試驗迄今共分析 22,837 個細胞發現 17 個變異性 0.74‰； 本年度與高醫合作進行背景值分析工作，今年度的三位背景值性別均為男性:3 位，目前總計進行背景值的男女性別別為 21 : 22。	符合進度
2. 建立我國生物劑量之年度染色體雙中節劑量反應曲線	執行 107 年度反應曲線分析工作，將完成 0.1、0.25、0.5、1、2、3、4、5 Gy 鈷六十於淋巴球細胞之照射工作；	已於 5/11 向國內高醫再次進血，進行年度反應曲線分析工作，完成鈷六十輻射劑量照射(0、0.1、0.25、0.5、1、2、3、4 and 5Gy)、細胞培養與影像擷取工作，已完成鈷六十輻射劑量照射與分析工作，並彙整入國內標準曲線。	符合進度

	完成 107 年度反應曲線分析工作，並與 101 年迄今之反應曲線比較，以納入標準曲線中。		
3. 參與國際比對試驗	參與加拿大衛生部 Wilkins 教授舉辦的國際比對工作	2018/1/26 接獲加拿大衛生部通知於本年度 3/13 將由加拿大寄出血液樣本以進行本年度國際比對工作； 申請海關免用 X-ray 文件後，已於 3/15 完成血液樣本寄送； 於 3/27 將加拿大衛生部於血液樣本中之輻射劑量計寄回加拿大； 於 5/22 完成 10 管血液之染色體影像擷取至分析工作，並將檢視結果以 mail 回覆拿大衛生部。	符合進度
4. 執行 ISO17025 查訪案例並完成 ISO17025 年度查訪工作	申請 TAF 年度稽核，並完成該年度 ISO17025 稽核工作	人員生物劑量實驗室於 107 年度 TAF 年度查訪工作，已向 TAF 申請並訂於 6/22 執行本年度查訪工作； 已於 6/22 完成本年度 ISO17025 查訪工作，現場僅開 2 個 C 類缺失(僅需於明年度查訪前改善)，本實驗室已完成改善，順利完成年度查訪工作。	符合進度

參、經費執行情形

一、計畫人力運用情形

(一) 計畫人力結構 (E004)

計畫名稱	執行情形	107 年度							108 年度 總人力 (預算數)	109 年度 總人力 (申請數)
		研究員 級	副研究 員級	助理研究員 級	助理級	技術 人員	其他	總人力 (人年)		
核設施除役 與輻射防護 劑量評估驗 證技術研究 (2/4)	原訂	0.3	2.8	2.0	1.2	1.5	0.7	8.5	8.5	9.5
	實際	0.3	2.8	2.0	1.2	1.5	0.7	8.5	N/A	N/A
	差異	0	0	0	0	0	0	0	N/A	N/A

備註 1：本案中程綱要計畫原名稱「核設施除役與輻射防護劑量評估驗證技術研究」，其中「核設施除役輻射防護管制技術研究」工作項目，因配合除役相關計畫整併，以利資源整合運用，故自 108 年度起移列其他計畫項下，另因應管制需求新增「輻射防護技術規範與劑量評估精進研究」工作項目，綱要計畫名稱自 108 年起配合調整為「輻射防護管制規範與度量技術研究」。

(二) 人力實際進用與原規劃差異說明

本計畫人力進用實際與規劃相符。

二、經費執行情形

(一) 經資門經費表 (E005)

單位：千元；%

	107 年度					108 年度 預算數	109 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	12,177	11,883	0	11,883	97.59%	12,141	15,000	
一、經常門小計	8,177	7,884	0	7,884	96.42%	7,841	10,000	
(1)人事費	0	0	0	0	N/A	0	0	
(2)材料費	1,650	1,502	0	1,502	91.03%	1,500	2,250	
(3)其他經常支出	6,527	6,382	0	6,382	97.78%	6,341	7,750	
二、資本門小計	4,000	3,999	0	3,999	99.98%	4,300	5,000	
(1)土地建築	0	0	0	0	N/A	0	0	
(2)儀器設備	4,000	3,999	0	3,999	99.98%	4,300	5,000	
(3)其他資本支出	0	0	0	0	N/A	0	0	

(二) 經費支用說明

人事費：原子能委員會核能研究所屬公務機構，因此人事費用由核能研究所公務預算自行編列，本計畫無須編列人事費用；

業務費(其他經常支出)：依實際計畫執行需求用於校正用射源、實驗用試樣與耗材(放射性分析、生物檢體處理等)、檢體採集與分析等勞務案、專支人力、學術合作、實驗室認證與教育訓練費用、維修費、管理費等；

設備費：依實際計畫執行需求新增或汰換之設備，本年度用於高精確度游離電荷量測儀(1465.2 千元)、核種分析用數位式能譜儀(878 千元)、輻射劑量核種分析能力試驗系統多功能游離電荷與電壓表(306 千元)、生物劑量評估用自動封片機(464 千元)等。

(三) 經費實際支用與原規劃差異說明

經費實際支用情形符合原訂規劃，皆為實際計畫執行所需，經常門支用狀況為 96.42%，資本門支用狀況為 99.98%，總經費支用狀況高達 97.59%。

肆、主要產出與關鍵效益 (E003)

屬性	績效指標類別	績效指標項目		107 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)	3	0	本計畫於 107 年共產出 5 篇論文，其中 2 篇投稿 SCI 國際期刊。 將計畫執行成果撰寫成論文發表，可提升計畫執行者之學術地位，並貢獻研發社群有關我國輻射安全與品質管制成效、輻射量測技術、劑量評估管制能力等經驗之累積，為相關技術發展重要參考與引用之依據。	高能中子研究、熱發光劑量計直線能量轉移系統、生物劑量染色體變異評估技術皆為原子能民生應用前瞻科技技術，本計畫順利完成相關系統研發，助於提升我國國際地位。
			國外(篇)		2		
		研討會論文	國內(篇)		2		
			國外(篇)		1		
		專書論文	國內(篇)		0		
			國外(篇)		0		
	B.合作團隊 (計畫)養成	機構內跨領域合作團隊(計畫)數		4	1	配合原能會關鍵目標相關工作之推行，建立除役之輻射安全防護與劑量評估，提升輻射安全和放射醫療品質研究中，建立本土化之研究團隊，並輔導國內南部完成衛星實驗室之建立工作。以確保環境、人員與國內民眾之輻射安全。於計畫建立 4 個專業合作團隊： 1. 核設施除役輻射防護管制技術研究團隊； 2. 輻射防護能力試驗技術研究團隊； 3. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究團隊； 4. 人員生物劑量染色體變異評估研究團隊。	環境試樣核種分析能力試驗因社會關切食品輻射檢測，本年度研究對象達到 10 個實驗室之最，其中 FDA、陽明醫大醫放系、義美食品股份有限公司皆為首次參加，本工作之推行能為國內輻射檢測技術能力把關。
		跨機構合作團隊(計畫)數			3		
		跨國合作團隊(計畫)數			0		
		形成實驗室數		0	0		

屬性	績效指標類別	績效指標項目	107 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)	C.培育及延攬人才	博士培育/訓人數	1	0	國內原子能之民生應用與民眾最為關聯之一即為生醫影像及放射科學之跨領域研究，本計畫藉由與輻射防護劑量評估相關新穎技術研究，培育具國際觀之生醫影像及放射科學高級研究人才。	
		碩士培育/訓人數		3		
		學士培育/訓人數		0		
	D1.研究報告	研究報告篇數	4	7	1. 將研究成果撰寫成專題研究報告，以利後續政策、法規、制度的推動； 2. 技術經驗傳承，建構研發之基礎，支援主管機關從事安全管制工作。	
	E.辦理學術活動	<u>國內</u> 學術會議、研討會、論壇次數	1	2	舉辦「第 7 次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨 2017 肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會」研討會計有 11 個單位、45 人參與；「2018 年游離輻射量測能力試驗總結研討會」，計有 14 個單位、68 人參與，進行技術交流。與會人士為國內輻射檢校實驗室代表或專家學者，可將與國際接軌之技術和品質，轉而提供技術服務於國內輻射作業場所、輻射工作人員和一般社會大眾，保障我國原子能民生應用之輻射安全。	
		<u>國際</u> 學術會議、研討會、論壇次數	0	0		
		<u>雙邊</u> 學術會議、研討會、論壇次數	0	0		
		出版論文集數量	0	0		
	F.形成課程/教材/手冊/軟體	形成課程件數	1	1	107 年舉辦核設施除役與輻射特性調查專業技術教育訓練，藉由簡報及交流討論，以深入了解除役作業各種輻射偵檢執行及審查技術，進而完備主管機關於核設施除役輻射防護之管制能力。	
		製作教材件數	0	0		
		製作手冊件數	0	0		
		自由軟體授權釋出教材件數	0	0		
技術	H.技術報告及	新技術開發或技術升級開發之技術報告篇數	1	3	建立相關專業技能能量，傳承技術關鍵資訊，提升核安輻安管制水準，建立相	1 篇技術報告將通過 TAF 審核後，轉為 TAF

屬性	績效指標類別	績效指標項目	107 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		
創新 (科技技術創新)	檢驗方法	新檢驗方法數	0	0	關專業技能並提供相關單位參考。	技術規範，將為主管單位管理作業和全國人員劑量評估實驗室之技術和品質管理依據。
	12. 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	0	1	ISO19238 國際標準為實驗室提供準則於染色體雙中節分析測定工作。本實驗室參與加拿大衛生部舉行之國際比對工作，對於國際合作或相互比較應符合本國際標準，以便可再現和準確地進行，未來在群眾的特殊情況下輻射傷亡和資源有限，該技術可以應用於應急分析，根據劑量量測建議後續醫療處理部分。	
其他效益 (科技政策管理及其他)	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	制定測試領域人員體外劑量評估技術規範修訂版(草案)，將於 TAF 審核後公告採行，對象為國內 8 家人員劑量評估實驗室，及其服務約 5 萬 2 千名人員劑量佩章使用者。	
		參與制訂之政策或法規草案件數	0	0		
		草案被採納或認可通過件數	0	0		
		草案公告實施或發表件數	0	0		

107 年度計畫績效指標實際達成與原訂目標差異說明：

本計畫績效指標總量化產出超越原目標(參閱附表、佐證資料表和附錄、A 部分資料)。

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、主要成果之價值與貢獻度

一、「探索(Discovery)」：

1. 本計畫於論文之學術成就(科技基礎研究)於 107 年共計 5 篇，其中 2 篇投稿於 SCI 國際期刊，3 篇發表於研討會，科學上的突破和發現如下所示：
 - 研究論文一「Clinical Application of Ionization Density Dependence of the Glow Curve Characteristics for Linear Energy Transfer (LET) Measurements in Therapeutic Proton Beams」投稿於 Radiation Measurement(2018) SCI 期刊(參閱附錄、圖 A.1.)，研究根據輝光曲線特性評估直線能量轉移評估(LET)特性，即利用熱發光劑量計(TLD)之高溫比(HTR)決定出 LET。以兩種輻射源：核能研究所的 ^{60}Co γ 射線源和醫院的直線加速器 6 MV 光子分別校正，同時以蒙地卡羅程式 TOPAS 模擬隨深度變化的劑量和 LET，並實測於林口長庚醫院的 190 MeV 質子束。可評估的 LET 範圍為 1-10 keV/ μm ，建立了具有同時評估劑量與 LET 能力的 TLD 系統；
 - 研究論文二「Comparing the performance of two hybrid deterministic/Monte Carlo transport codes in shielding calculations of a spent fuel storage cask」投稿於 Nuclear Engineering and Technology(2018) SCI 期刊(參閱附錄、圖 A.2.)，為中子劑量研究，系統性地比較使用兩種混合確定性和蒙地卡羅遷移程式：1. ADVANTG/MCNP 和 2. MAVRIC 來解決困難的中子屏蔽問題，對於用過燃料桶表面紀錄器的統計不確定度，其最佳化採用 Forward-Weighted CADIS 處理。兩種方法的中子劑量率差異接近 30%，原因為混泥土中氫的熱散射處理不一致。程式參數使用的分析結果，可用於中子劑量計算的相關應用；
 - 研究論文三「放射性治療於試驗動物之染色體變異性及血液和臨床之分析」發表於中華民國 2018 生醫學年會(參閱附錄、圖 A.3.)；
 - 研究論文四「人員生物劑量緊急曝露事件」發表於 2018 年中華民國核醫學學會年會(參閱附錄、圖 A.4.)；
 - 研究論文五「核研所生物劑量實驗室在核意外之應用」發表於 2018 年輻射醫療處置暨核醫診療研討會(參閱附錄、圖 A.5.)。

2. 本計畫於研究報告的學術成就於 107 年共計 7 篇(參閱附錄 KPI 佐證資料)，含括核設施除役輻射防護管制技術、劑量量測與能力試驗認證、相關的研究分析，可供國內外相關領域專業人員參考使用，並有助於後續輻射安全管理規劃。關於「核電廠預警機制設定」研究報告，內容著重於核電廠 PRM 設定與評估模式，及核設施例行運轉環境調查基準設定之研究，可供未來修訂相關管制法規之參考。
3. 本計畫於跨域學習與知識交流上，透過計畫的執行，與國家游離輻射標準實驗室、全國輻射劑量評估和輻射偵測實驗室、清華大學、陽明大學、長庚大學、花蓮慈濟醫院、高雄醫學大學附設醫院、長庚醫院、中華民國醫學物理學會等合作(參閱附錄 KPI 佐證資料)，共建立 4 個專業合作團隊，有助於國內基礎科學的學術交流，亦能建立國內輻射安全防護相互支援的網絡。在前瞻性科學研究上，科學上的突破與發現如下：
 - 與清華大學合作，高能中子研究經由兩項設施之分析能譜瞭解其差異，3GeV 電子源設施屏蔽外產生的中子在數百 MeV 的能量範圍相當顯著，是輻射防護的重點，而 235 MeV 質子源設施中，亦有機會產生高能中子(>10MeV)，但其量在治療室迷道外並不顯著。且透過 3GeV 電子源設施之主體屏蔽外中子能譜量測進行原始模擬能譜的調整，結果顯示，現場真實入設角度分布應介於二種極端情況之間，而 Parallel 的響應函數比 Isotropic 的更能貼近真實的中子入射狀態。透過傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正，結果表示本研究不論是實驗或模擬方面皆可互相驗證，並具有準確性。(參閱附錄、圖 B.3.4.至表 B.3.1.)
 - 與清華大學和長庚醫院合作，精進去年建立之直線能量轉移評估系統，確認以直線加速器光子作為直線能量轉移系統之基準數據知可行性。除此之外，本計畫也完成了質子治療照射的臨床實驗，對熱發光劑量計進行量測並評估其直線能量轉移，對此直線能量轉移量測系統進行驗證，證明本計畫所建立的直線能量轉移評估系統已可實際應用，有助於醫療院所進行質子治療時之直線能量轉移評估的測量，進而可優化病人的治療計畫或對病人安全評估取得更多的資訊。(參閱附錄、圖 B.3.7 製圖 B.3.9.)
 - 人員生物劑量評估技術係藉由分析人員染色體變異情形，評估人員

於輻射意外事件中所接受之劑量，萬一發生大規模輻射緊急狀況，便於短時間內取得大量血液樣本檢體，以利後續依細胞遺傳學檢傷分類法進行評估。有鑒於此，本計畫預計以核研所為中心實驗室，於國內數個區域建立衛星實驗室，藉由訓練該醫療院所同仁具備整體血樣採集過程標準文件化，提升國內血樣採集量能。藉由執行人員生物劑量研究計畫，建立與慈濟大學分子生物暨人類遺傳學系之學術研究團隊，除有助於雙方學術交流外，亦能建立國內生物劑量相互支援網路。107 年度透過前年度建立之南部衛星實驗室—高雄醫學大學附設醫院謝○茹副教授實驗室協助申請院內人體試驗委員會（IRB）之送審，完成南部血樣採集標準化流程。（參閱附錄、表 B.4.1.至圖 B.4.3.）

二、「發展(Development)」

1. 針對國內新興質子/粒子治療和大型加速器研究設施之高能中子輻防護議題，傳統緩速型中子劑量計在高能中子輻射場下，容易有劑量低估問題以及延伸能量波那球(Extended-range Bonner Spheres)中子能譜計測系統費用昂貴、笨重以及不便攜帶特點，雖然國外已提出些許改善方案，但多針對特定的中子偵檢器或是特定的設施環境，並無完整有系統地分析，本研究提供一種簡單且有效的中子能譜修正因子的概念，用來修正劑量低估問題，其成果驗證了延伸能量型的中子劑量計可以改善傳統緩速型中子劑量計的問題，正確反應高能中子的劑量貢獻，有效提高量測劑量之準確度。
2. 核研所自重建人員生物劑量研發能力後。更於 102-105 年接續之前研發能力，短期目標以提升人員生物劑量實驗室能力為主，中期目標為建立專業人員生物劑量實驗室硬體為主，長期目標為提升實驗室品質，申請實驗室認證，建立具公信力之專業國家實驗室。策略上，透過與國內醫學中心合作，獲得人類血液檢體合法提供，並透過合作關係共同分析數據，比對國內不同實驗室分析能力；另外於核研所建置符合國際人員生物劑量實驗室硬體，以進行臨床檢體操作，建立國際標準之人員生物劑量。在策略上，本實驗室是朝向建立參考實驗室（Reference Lab）的目標努力，逐步培植及訓練專業人力，建立劑量-雙中節染色體發生率之標準曲線（人員生物劑量

標準曲線，簡稱標準曲線)，品質保證計畫及程序書，維持符合參考實驗室所需之分析頻率樣品數量、設備，以及細部與劑量分析所需之臨床管理能力，並與其他國家的實驗室互相比對，發表成果。相信透過計畫之推動，使台灣發展出具有國際水準的輻射生物劑量實驗室，服務國內民眾。(參閱附錄 B.4.及圖 B.4.2.)

三、「推廣(Delivery)」

1. 環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)之研發，結合化學、化工與輻射度量領域，可用於環境輻射防護之核種分析系統之校正、測試或比對，減少購入國外參考物質所耗費之時間與費用。(參閱附錄表 B.1.1.至表 B.1.4.)
2. 以高能中子指標決定劑量修正因子提供傳統波那球測量高能中子的方法，結合蒙地卡羅計算、程式自動化與輻射度量領域，能為現有設施設備之中子量測帶來方便性，更重要的是改善以往高能中子劑量低估的疑慮，減少國內業者必須送到國外校正的不便，如校正時程不易掌控、國外校正衍生相關費用，並將本研究成果提供國內醫療院所及加速器設施參考，有利於未來中子校正技術推廣服務，為高能中子劑量評估之技術帶來實務進展。
3. 使用熱發光劑量計作為郵校劑量計之郵校假體系統，結合醫學物理與輻射度量領域，初步證實有效應用於放射治療劑量之稽核驗證，可進行大範圍醫療曝露品質保證之稽查活動，比較醫院差異、降低人力、時間成本。
4. 人員生物劑量評估技術結合生物、生醫、電腦自動化與輻射度量領域，核研所同位素組自重建人員生物劑量專業實驗室，本實驗室致力提升人員生物劑量分析能力之精進，並改善作業流程，縮短人員生物劑量實驗室操作與判讀作業，以達整體人力與時間精簡之目的。首先建立自動化點片系統，改善傳統之人工拉片造成品質不一的問題，提升準確性；其次，利用大量檢體送片分析系統，取代過往一片一片放置方式，有效減少人力成本；最後利用電腦自動化擷取影像資料系統，縮減同仁操作顯微鏡判讀時間，並改善同仁長期觀看顯微鏡可能造成之視力問題。

四、「商業化(Commercialization)」

本計畫配合政府政策、因應輻射防護管制作業而擬訂工作項目，主要目的為提供具公信力科學成果基礎，作為管制依據，次要目的才是提升輻射防護相關產品及服務的附加價值(技術與品質)。透過精進輻射防護之科研成果，滿足社會未來趨勢與要求，主要貢獻於社會層面的科技加值效益說明如下：

1. 環境試樣中加馬核種活度含量，最常使用加馬能譜分析技術來進行量測，而量測結果準確性與可追溯性，則需仰賴環境試樣參考物質來進行校正。本計畫依據 ISO GUIDE 34、35 之技術需求，完成人工尿類及人工糞樣參考物質均勻度測試與添加核種不確定度評估，藉以提升環境試樣加馬核種活度量測之準確性及可追溯性。(參閱附錄表 B.1.1.至表 B.1.4.)
2. 本計畫執行單位核能研究所作為 TAF 指定，具有能力之游離輻射相關領域能力試驗的主辦機構，歷年主辦許多類型的能力試驗，中低強度放射性核種分析、環境試樣放射性核種分析、人員劑量計、肢端劑量計、污染偵檢器及輻射偵檢器等能力試驗活動。透過本計畫可結合標準源、接軌國際規範、配合 TAF 運作時程和分析國內現況，共負責六項能力試驗研究，107 年度執行：人員劑量計、輻射偵檢儀器校正、中低活度核種、環境試樣和肢端劑量計五項。第一線實驗室與法規管制相關，透過能力試驗研究可了解實驗室技術能量可精進之處，期能輔導業界提升其品保能力。(參閱附錄 B.2)
3. 本年度輻射防護能力試驗與輻射應用劑量評估與檢校技術研究，可提升國家及國內游離輻射劑量量測，應用於可發生游離輻射設備醫用類約 1 萬 8 千餘台、非醫用類約 7 千餘台；輻射從業人員申請佩章 5 萬 2 千餘人(原能會 107 年 12 月統計資料)；放射治療患者(每年接受治療人次約 119 萬)輻射安全與曝露品質之精進，落實原子能科技於社會民生福祉與永續發展，堅實智慧生活科技與產業。

4. 若發生輻射意外事件時，若有一具公信力的專業實驗室：（1）將能提升國人對相關產業之了解，並避免不必要恐懼，使得相關產業得以及早恢復運作，進而提升經濟效益；（2）可及早推估出受曝露者所接受的劑量，以便於醫生能夠作最正確的治療，減少不必要的醫療成本。根據美國調查全國人口之劑量 82%來自天然背景、18%來自人造輻射，人造輻射中有 79%來自 X 光及核子醫學劑量低於 100 毫西弗或是更低，統計上很難估計癌病風險，研究人員廣泛瀏覽生物及生物物理學數據後，結論為低劑量下風險仍可能發生，並無閾值存在，低劑量仍有潛在增加風險可能，此即所謂線性無低限理論（LNT）。線性無低限模式（LNT model）是基於輻射防護目的的保守估計，並非用以精確評估低劑量輻射曝露所產生的風險，成立人員生物劑量國家級實驗室可提供公正、正確數據供國人了解輻射對人體健康之關係，應可加強國人對輻射相關產業之了解，避免不必要恐懼。

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)

1. 因應我國核一廠 1 號機已於 107 年 12 月 5 日達運轉期限而須進行除役，本計畫藉由舉辦核設施除役與輻射特性調查專業技術教育訓練，透過課程簡報及交流討論，以深入了解除役作業各種輻射偵檢執行及審查技術，進而完備主管機關於核設施除役輻射防護之管制能力，確保除役作業期間人員及環境之輻射安全。(參閱附錄 B.1)；因應我國核電廠除役作業輻防管制需求，研析美國核管會除役輻防視察程序相關文獻，並提出符合我國國情之除役過渡期間建議視察程序，有助於確保除役作業人員與環境之輻射安全。(參閱附錄、圖 B.3.1.至圖 B.3.3.)
2. 國際放射防護委員會 ICRP 第 103 號為輻射防護體系建議報告，特以第 7 章建議了醫療輻射曝露的正當性和最適化，將患者、照護者和醫學研究自願者劑量約束納入考量，故核醫藥物在人體內所造成之輻射劑量效應，亦受相當關注。而核醫校正儀測量藥物核種之活度，

儀器本身正確使用與否亦是核醫劑量控管的重要環節。本研究評估了醫院核子醫學活度測量模式，並調查校正計校驗項目之執行情況，再藉由設計之統制規格輔助器件，以標準射源進行測量臨床醫院之校驗項目。研究成果將可協助相關單位、進行核醫醫學之輻防劑量評估，與建立輻安管制標準，進而提升國內核醫醫學相關診療之醫療品質與輻射安全。(參閱附錄、圖 B.3.1.至圖 B.3.3.)

3. 將國際規範與輻防法規對於國內輻射劑量評估、環境試樣放射性核種分析、輻射偵檢儀器校正等面向之管制需求，建置能力試驗之執行設備、劑量追溯系統、量測技術與作業程序，並透過實驗室認證同步分析及辦理技術研討會，強化教育訓練與技術交流，相關研究成果可做為提升國內實驗室量測水平之管制參考，有效保障民眾與輻射工作人員之安全。(參閱附錄 B.2)
4. 本計畫除本身技術研究發展外，亦透過各方學術合作進行技術擴展，藉以培育輻射檢校、劑量評估、醫療曝露品保、以及核設施輻防管制與輻射屏蔽及防護安全分析評估等相關人才，包括聘請研究助理、行政助理、培育人員，一方面可降低失業率；另一方面在計畫執行過程中，達到專業知能培訓之目的，可增加未來之投入相關領域之專業競爭力。
5. 人員生物劑量評估實驗室多次參與加拿大衛生部之國際比對工作(103~107 年，共三次)，品質得到國際肯定，也受邀參與國內學術研討會發表口頭與書面之成果，推廣本所之專業技術。人員生物劑量專業實驗可針對國人意外接受輻射曝露事件，經由原能會委託，可緊急處理國內人員輻射緊急曝露事件，將依照國內輻射通報處理流程，以本計畫技術進行分析，其分析的結果與推估的劑量也提供予原能會輻防處，作為意外曝露之劑量分析依據。

貳、檢討與展望

本計畫以支援輻射防護管制業務需求為目標，並因應核設施除役輻射劑量評估與管制研究、能力試驗技術與輻射偵檢儀器驗證、放射醫學診療劑量檢校、國內災防應變生物劑量等議題，研究管制業務所需之審查及評估方法與引入國際新規範，精進國內輻射量測實驗室品質與技術，提供作為管理業務執行與法規制定之參考依據。其輻射安全管制技術之提升，助於增進民眾於原子能應用輻射防護之信心。相關結論與建議依主要工作具體說明如下：

一、核設施除役輻射防護管制技術研究

本計畫已針對美國核管會核設施除役視察手冊中，關於人員及環境輻射防護相關之視察程序持續進行蒐集研析，並完成「除役輻防視察作業程序研究報告」，以建立完善核電廠除役管制技術，確保除役電廠周圍環境與民眾之輻射安全。

於核電廠例行運轉廠區調查基準研究中，經蒐集相關文獻後發現，我國現行廠區試樣放射性分析行動基準主要是參考美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC) NUREG-0473 報告內容所訂定，然而我國現行廠區試樣放射性分析行動基準，仍與美國 NUREG-0473 報告所列數值及分析項目數目有一定程度差異存在。經由蒐集相關文獻及完成嚥入或吸入與上述行動基準相當活度之物質時，所相對應接受之輻射劑量，可做為未來修訂現行預警基準之參考。

於環境參考試樣研發方面，完成人工尿樣及人工糞樣環境核種分析儀器校正用參考物質製備，並依據 ISO Guide34、35 之技術需求，完成樣品均勻度測試及添加核種不確定度評估。

二、輻射防護能力試驗技術研究

實驗室認證與能力試驗技術建立方面，國際上已建立 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)人員劑量計能力試驗技術規範與 ANSI/HPS N13.32 2008 肢端劑量計能力試驗技術規範，並執行肢端劑量計能力試驗之運轉測試，IAEA 亦提供 IAEA/WHO 所屬二級輻射偵檢儀器校正實驗室之實驗室間比對服務，以確認實驗室劑量校正追溯之現況。後續應依

據國際最新之技術發展趨勢，更新相關之認證技術規範，持續研究國際之技術發展趨勢與引入國內市場。

本年度配合能力試驗執行進行國內輻射檢校實驗室之技術和品質分析，並接軌國際最新技術，包括：第 7 次輻射偵檢儀器校正能力試驗研究計有 5 個實驗室、2017 肢端劑量計能力試驗(試運轉)研究計有 8 組實驗室組、107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗研究計有 10 個實驗室、107 年度中低強度核種分析能力試驗研究計有 6 個實驗室。(請參閱附錄圖 B.2.1.至圖 B.2.16.的佐證資料)。

在人員劑量計技術規範方面，今年度參考人員劑量評估 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)國際最新版本，完成國內 TAF-CNLA-T08 規範修訂草案研擬，並送 TAF 審核，預期 108 年可據新版規範執行下一次人員劑量計能力試驗。相關研究與推動有助強化我國人員輻射劑量計評定單位之整體品質，提供相關工作人員劑量更加準確、高品質的計測結果。

三、輻射應用劑量評估與檢校技術研究

1. 評估國內核子醫學輻射活度計之校驗模式研究，統計醫院劑量校正儀的使用狀態，以及定期品保項目之執行現況，統計資料顯示，部分項目(線性度、幾何偵測效率)的品質校驗執行頻率，有低於預期的情形。對此結果，初步建議可再加強品保管理，包含每項測試之定義與正確之執行方式；且可針對部分醫院之儀器特有之校驗工具進行使用指導。
2. 國內電子與質子源誘發高能中子之特性和評估研究，3 GeV 電子源設施屏蔽外產生的中子在數百 MeV 的能量範圍相當顯著，且高能中造成超過一半的劑量貢獻；而 235 MeV 質子源設施中，亦有機會產生高能中子(>10 MeV)，但其量在治療室迷道外並不顯著，至於主體屏蔽牆外的高能中子是否真的如模擬分析所展現的少量，未來仍可透過分析模型的改良或實地量測進行深入探討。
3. 直線能量轉移評估系統之建立研究，熱發光劑量計度量直線能量轉移，受限於其作用機制，僅能評估原始質子(primary proton)的直線能量轉移，即 LET 小於 10 keV/μm，因此對於質子所撞擊出的二次粒子（多數為 LET 大於 10 keV/μm）之直線能量轉移則需要發展其他系統，我們將利用 108、109 年度研發其他系統，補足這部分的限制。

四、人員生物劑量染色體變異評估技術研究

本計畫過往在行政院原子能委員會積極推動及建立人員生物劑量評估技術研究建立相關技術，已於 100 年起於核能研究所建置輻射急性曝露生物劑量分析標準實驗室，並於 105 年 7 月成功獲得 ISO 17025 測試實驗室認證工作，為來將持續維護已建立技術，服務我國工作人員及民眾，此外並可藉此技術協助建立國內核醫藥物劑量評估能力，提升游離輻射安全管制層次及水準。

低劑量輻射生物效應現今與致癌關係之研究為國內外關切之議題，日前國際學術會議發表了一項大規模流行病學調查結果，證明年度照射 1.1 mGy 左右的極低劑量輻射（核電廠工人等職業），研究證明長期低劑量輻射將增加急性白血病的死亡率（年度每 Gy 增加 2.9%），雖核電廠工人照射累積劑量僅有 16 mGy，但長期低劑量照射明確會促進白血病死亡率上升。有些人可能一直處於低劑量的輻射中，如醫院放射科的醫生、核電廠工人、患病需要經常接受 X 線、CT 等放射性的醫學檢查。這些低劑量的輻射與癌症間關係，一直都是科學研究的主題。

過去 90 年代，國內曾利用「輻射屋居民流行病學調查及人員生物劑量評估研究」計畫的執行建立輻射屋居民的流行病學調查計畫，並利用染色體雙中節評估技術與螢光原位雜交技術（FISH）兩項人員意外輻射曝露劑量評估技術，分析輻射屋居民的雙中節變異性分析；本計畫過往也利用「人員生物劑量染色體雙中節分析技術」計畫建立完整之染色體雙中節分析技術，並發展出具有國際水準的輻射生物劑量實驗室（ISO 17025 測試實驗室），並且服務國內民眾。未來將基於過去研究基礎，能繼續推動及建立低劑量輻射風險評估工作，並建立低劑量評估技術研究建立相關技術，未來將有助於國人於工作環境與醫療照應之低劑量曝露評估作業外，更將制定相關意外曝露應變作業程序及法規，並持續發展出具有國際水準的輻射生物劑量實驗室，且加入國際生物劑量支援網路來服務同區域的國家，提升國家游離輻射安全管制層次及水準。

參、其他補充資料

一、 跨部會協調或與相關計畫之配合

本計畫之執行原則無涉跨部會協調，僅透過學術合作或勞務委託，以達技術精進與技術擴展，並與相關計畫各執其職、互有溝通、相輔相成，以下為相關說明。

本計畫關係輻射作業場所之輻射評估、量測技術建立與輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立與粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立，其輻射量測與能力試驗所使用的偵檢器，必須送至國家游離輻射標準實驗室進行校正追溯，因此需與經濟部標準檢驗局之「建立及維持國家游離輻射標準」計畫相互合作，使用標檢局計畫所建立之各項活度或劑量標準，開發輻射防護、核設施除役與醫療品保等所需之劑量及活度校正技術，提升研發能量，達成最大的執行效益。

輻射應用劑量評估與檢校技術研究與學研單位、醫療機構或相關學會合作，例如與陽明大學合作，進行評估國內核子醫學輻射活度計之校驗模式研究，並完成量測數據之分析比較；與清華大學合作發展高能中子劑量低估修正的實際案例分析技術與研發建置質子治療劑量 TLD 系統，含粒子遷移的直線能量轉移計算、臨床實驗驗證，透過學術合作，研究相關的醫療設備品保稽核、儀器校驗與劑量驗證技術，達到技術精進與技術擴展，研究成果可回饋主管單位於維護患者放射診療品質管控，與確保輻射從業人員和一般民眾之輻射安全業務。

人員生物劑量的評定可提供本會進行輻射劑量評估與事故分析，目前已和高雄醫學大學合作，項目包括協助申請人體試驗委員會(IRB)許可，也委請單位協助執行部分染色體之雙中節分析。人員生物劑量針對曝露人員之輻射劑量亦可協助提供相關資訊予衛福部，以對事故人員做出妥適的醫護照顧與後續追蹤看護。

二、 其他補充說明

無。

附表、【分年階段性目標達成情形與重要成果摘要表】

年度	階段性目標達成情形	重要成果摘要說明
一、核設施除役輻射防護管制技術研究		
106	1. 完成除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則修訂； 2. 完成核電廠 PRM 設定點及評估模式與核設施例行運轉環境調查基準研究； 3. 完成環境核種分析儀器校正用參考物質(菇類、濾紙)研製。	1. 學術成就與技術創新： 完成「核電廠預警機制設定」與「環境核種分析儀器校正用參考物質(菇類、濾紙)」報告 2 篇。 2. 合作團隊養成： 因應我國核設施除役工作之推動，建立除役輻射安全防護與劑量評估技術團隊，以確保環境與人員之輻射安全。 3. 技術服務： 研製環境核種分析儀器校正用參考物質，可供量測環境試樣加馬核種活度校正服務用。 4. 決策依據： 完成除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則修訂，可供主管機關制定相關輻防管制規定之參考。
107	1. 完成核設施除役輻防視察作業程序研究。 2. 完成核設施例行運轉廠區調查基準研究。 3. 完成環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)研製。	1. 學術成就與技術創新： 完成「除役輻防視察作業程序」、「核設施例行運轉廠區調查基準研究」與環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)」報告 3 篇。 2. 合作團隊養成： 因應我國核設施除役工作之推動，建立除役輻射安全防護與劑量評估技術團隊，以確保環境與人員之輻射安全。 3. 技術服務： 研製環境核種分析儀器校正用參考

年度	階段性目標達成情形	重要成果摘要說明
		物質，可供量測環境試樣加馬核種活度校正服務用。 4. 決策依據： 舉辦核設施除役與輻射特性調查專業技術教育訓練，並完成訓練教材，以完備主管機關於核設施除役輻射防護之管制能力。
二、輻射防護能力試驗技術研究		
106	1. 能力試驗輻射場射質品保驗證技術研發，以舉辦人員劑量計能力試驗技術討論會議，進行技術交流； 2. 肢端劑量計能力試驗試運轉前期研究； 3. 輻射偵檢儀器校正能力試驗規劃研究，並舉辦技術研討會。	1. 學術成就與合作團隊養成： 舉辦研討會 1 場，配合第十次人員劑量能力試驗，持續與 TAF 認可實驗室(游離輻射測試領域人員劑量計有 8 家)進行技術交流，提升實驗室之技術與品質。 2. 技術創新： 依據近三次人員劑量能力試驗數據，評估 ANSI/HPS N13.11 新國際規範的適用性，其研究與推動有助強化我國人員輻射劑量計評定單位之整體品質，提供相關工作人員劑量更加準確、高品質的計測結果。 3. 技術服務： 研發之輻射偵檢儀器校正、人員劑量計和肢端劑量計能力試驗照射系統，可提供全國性能力試驗使用，以更有效保障工作人員及相關之輻射安全。 4. 決策依據： 輻防處為游離輻射領域能力試驗管制單位，最近一次人員劑量能力試驗總結報告與提供之各實驗室偵測下限(LLD)，可供執行相關輻防管制規定之參考。

年度	階段性目標達成情形	重要成果摘要說明
107	1. 肢端劑量計能力試驗試運轉後期研究； 2. 依據 ANSI/HPS N13.11 最新標準，進行人員劑量評估實驗室認證規範之修訂研究； 3. 完成輻射偵檢儀器校正能力試驗之研究，並舉辦研討會； 4. 環境試樣放射性核種分析能力試驗運轉研究，並舉辦環境試樣放射性核種能力試驗研討會； 5. 中低強度核種分析能力試驗運轉研究，並舉辦環境試樣放射性核種能力試驗研討會。	1. 學術成就與合作團隊養成： 舉辦研討會 2 場，配合肢端劑量(試運轉)、輻射偵檢儀器校正能力、環境試樣和中低強度核種分析能力試驗，持續與 TAF 認可實驗室進行技術交流，提升實驗室之技術與品質。 2. 技術創新： 參考人員劑量評估 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)國際最新版本，完成國內 TAF-CNLA-T08 規範修訂草案，送 TAF 審核，相關研究與推動有助強化我國人員輻射劑量計評定單位之整體品質，提供相關工作人員劑量更加準確、高品質的計測結果。 3. 技術服務： 研發之輻射偵檢儀器校正、人員劑量計、肢端劑量計照射系統和核種分析標準物質配置系統，可提供全國性能力試驗使用，以更有效保障工作人員及相關之輻射安全。 4. 決策依據： 輻防處為游離輻射領域能力試驗管制單位，最新能力試驗總結報告統整國內實驗室能力並提供國際情資，可供執行相關輻防管制參考。

三、輻射應用劑量評估與檢校技術研究

106	1. 20 台直線加速器之放射治療劑量實地測量； 2. 高能中子指標量測程序與劑量低估修正的實際案例分析研究； 3. 建置質子射束射質	1. 學術成就與合作團隊養成： 結管制單位、研究單位(核研所)和學術單位(清華大學、陽明大學等)，完成國際期刊刊登 3 篇、會議論文 2 篇，於社會期待與新穎科研立基上，進行原子能應用之研發與技術擴展。 2. 技術創新： (1) 完成醫用加速器之放射治療電子劑
-----	---	---

年度	階段性目標達成情形	重要成果摘要說明
	TLD 系統。	量驗證稽核作業、臨床量測數據分析比較及統整歷年結果，精進國家級遠端郵校系統。(備註：累計電子 20 台、6 MV 光子 20 台、10 MV 光子 18 台) (2) 完成高能中子指標量測程序與長庚醫院 235 MeV 質子治療加速器輻防劑量修正的實際案例分析，建立傳統緩速型偵檢器校正因子之能譜修正評估，降低高能中子劑量低估的疑慮，可望減少過往必須送到國外校正的不便。 (3) 完成質子射束劑量 TLD 系統設置，建構理論模型，藉由理論計算與實驗測量結果進行比較分析，確認執行新興質子治療器官等價劑量與輻射防護評估之系統可行性，提升劑量評估準確性與作為輻防管制之參考。
107	2. 評估國內核子醫學輻射活度計之校驗模式； 3. 國內電子與質子源誘發高能中子之特性和評估； 4. 精進質子射束射質 TLD 系統。	1. 學術成就與合作團隊養成： 結合管制單位、研究單位(核研所)和學術單位(清華大學、陽明大學等)，完成國際期刊刊登 2 篇，於社會期待與新穎科研立基上，進行原子能應用之研發與技術擴展。 2. 技術創新： (1) 核醫活度計校驗模式現況調查及實測可了解儀器分布、特性、誤差來源、使用狀況等，對應核子醫學檢查約 48.5 萬人次(衛生福利部 105 年統計資料)，協助相關單位精進或調整輻安管制作為，也為建立符合臨床現況之校正標準展開的先期研究。 (2) 高能中子劑量評估技術透過不同設

年度	階段性目標達成情形	重要成果摘要說明
		施實測完成系統驗證，研究不同類型加速器設施輻射產生高能中子機制的差異，完善傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正建議。成果可提供質子/粒子治療中心、加速器設施、校正實驗室與主管機關參考，提升國內加速器輻安管制機制。 (3) 考慮臨床便利性，完成直線加速器光子取代鈷-60 光子校準作為高溫比方法之研究，並驗證直線能量轉移評估系統可適用於臨床應用實驗，未來可推廣應用至病人安全與環境輻射安全評估之相關應用，提升質子治療劑量評估準確性與作為輻防重要參考。
四、人員生物劑量染色體變異評估技術研究		
106	- 與國內東部醫學中心合作，取得人血樣本進行分析研究； - 輔導建立南部衛星實驗室； - 通過 ISO 17025 認證年度查訪，精進實驗室品質； - 參與國際合作與分析，提升量測公信力。	學術成就與合作團隊養成： 完成會議論文 2 篇、舉辦研討會 1 場、完成 ISO17025 東部醫學中心(花蓮慈濟)國人血樣背景分析及輔導南部衛星實驗室(高醫)建立。 品質精進： 維持全國認證基金會 (TAF) 之專業實驗室認證。 技術服務： 完成國內首例臨時性急性曝露分析任務。 資料庫擴充： 增加年度生物劑量反應曲線，藉此擴充國人生物劑量反應資料庫。
107	人員生物劑量染色	學術成就與合作團隊養成：

年度	階段性目標達成情形	重要成果摘要說明
	體變異評估技術研究； 2. 建立我國生物劑量之本年度染色體雙中節劑量反應曲線； 3. 參與國際比對試驗； 4. 執行 ISO17025 查訪案例並完成 ISO17025 年度查訪工作。	完成會議口頭報告 2 份資料、國內學術會議海報一份、核能研究所對內報告一份、完成 ISO17025 南部醫學中心(高雄醫學大學)國人血樣背景分析。 2. 品質精進： 維持全國認證基金會（TAF）之專業實驗室認證。 3. 技術服務： 完成國內三例國人背景值分析工作。 4. 資料庫擴充： 增加年度生物劑量反應曲線，藉此統計分析，納入國人劑量與雙中節變異性之標準曲線中。

註：107 年度具體成果請參閱第一部分之肆的量化指標說明，佐證資料請參閱附錄 A。

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
Clinical Application of Ionization Density Dependence of the Glow Curve Characteristics for Linear Energy Transfer (LET) Measurements in Therapeutic Proton Beams	Hui-Yu Tsai	2018	D
Comparing the performance of two hybrid deterministic/Monte Carlo transport codes in shielding calculations of a spent fuel storage cask	Po-Chen Lai	2018	D
放射性治療於試驗動物之染色體變異性及血液和臨床之分析	張剛瑋	2018	E
人員生物劑量緊急曝露事件	張剛瑋	2018	E
核研所生物劑量實驗室在核意外之應用	張剛瑋	2018	F

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

【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)
核設施除役輻射防護管制技術研究團隊	輻射防護處、核能研究所(保健物理組)、國家游離輻射標準實驗室	A	A	2018
輻射防護能力試驗技術研究團隊	輻射防護處、核能研究所(保健物理組、化學組)、國家游離輻射標準實驗室、清華大學、輻射偵測中心、台電公司、輻防協會、貝克西弗、屏科大、陽明醫大、FDA、TAF 等	B	A	2018
輻射應用劑量評估與檢校技術研究團隊	輻射防護處、核能研究所(保健物理組)、清華大學、陽明大學、長庚醫院、長庚大學、醫學物理學會	B	A	2018

生物劑量染色體變異評估研究團隊	輻射防護處、核能研究所(同位素組、保健物理組)、高雄醫學大學附設醫院、加拿大衛福部	B	A	2018
-----------------	---	---	---	------

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

【C 培育及延攬人才表】

姓名	機構名稱	學歷	性質
林○瑜	陽明大學	B	A
曾○悠	陽明大學	B	A
簡○玉	清華大學	B	A

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

【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
除役輻防視察作業程序研究	林○秀 黃○吉	2018	D
核設施例行運轉廠區調查基準之研究	盧○欣 黃○吉	2018	D
2017 肢端劑量計能力試驗試運轉之總結報告	陳○奇	2018	C
評估國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式	許○明	2018	D
國內電子與質子誘發高能中子之特性和評估	許○鈞	2018	C
直線能量轉移評估系統之建立	蔡○予	2018	D
建置人員生物劑量研究技術傳承	張○瑋	2018	C

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

【E 學術活動表】

研討會名稱	性質	舉辦日期 (YYYYMMDD)	主/協辦單位
第 7 次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨 2017 肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會	A	20180524	行政院原子能委員會/ 核能研究所、經濟部 標準檢驗局
2018 年游離輻射量測能力試驗總結研討會	A	20181004	行政院原子能委員會/ 核能研究所、經濟部 標準檢驗局

註：性質分成 A 國內研討會、B 國際研討會、C 兩岸研討會

【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
核設施除役與輻射特性調查專業技術教育訓練教材	A	B	2018	核能研究所	否

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)

【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
研製環境核種分析儀器校正用參考物質(人工尿樣、人工糞樣)	A	林○薰	2018	核能研究所
測試領域人員體外劑量評估技術規範(2018 草案)	A	鄒○泓 袁○程	2018	核能研究所
107 年環境試樣放射性核種分析能力試驗總結報告	A	林○薰	2018	核能研究所

註：性質分成 A 技術報告、B 檢驗方法

【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
測試領域人員體外劑量評估技術規範(2018 草案)	A	A	於 TAF 審核後公告採行，對象為國內 8 家人員劑量評估實驗室，及其服務約 5 萬 2 千名人員劑量佩章使用者。

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

附表、【107 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】

計畫名稱：核設施除役與輻射防護劑量評估驗證技術研究（2 / 4）

績效自評審查委員：董傳中、邱志宏、吳杰、尹學禮、許榮鈞

序號	審查意見	回復說明
壹、計畫實際執行與原計畫目標符合程度(自評評分：9) 9-10 分：超越計畫原訂目標，且已就所遭遇困難提出有效之因應對策。 8 分：達成計畫原訂目標，且已就遭遇困難提出可行之因應對策。 7 分：大致達成原訂目標，且就遭遇困難所提因應對策尚屬可行。 1-6 分：執行內容與原規劃未符，或未達成原訂目標，或仍須對所遭遇困難提出更有效可行之因應對策。		
1-1	本計畫包含「核設施除役輻射防護管制」、「輻射防護能力試驗」、「輻射應用、劑量評估與檢校」、與「人員生物劑量染色體變異評估」，計四項工作，是確保輻射作業安全的基礎技術，規劃之目標均能有效達成。	謝謝委員的肯定與支持。
1-2	核設施除役為國家目前之重要工作，其相關之輻射防護管制技術需積極配合發展，計畫建立之現場環境調查技術，與工作人員劑量評估方法及程序，可有效確保除役工作推行時作業之輻射安全。	謝謝委員的肯定與支持。
1-3	本計畫執行之能力試驗研究，是確保我國輻射防護體系與國際接軌的基礎計畫，亦是各種人員與環境輻射與劑量量測可信度與可靠性的根本，各項計畫工作之執行進度與成果均符合原規劃目標，績效良好，且所遭遇的困難都已妥善解決，並提出可行之因應對策。	謝謝委員的肯定與支持。

貳、計畫經費及人力運用之妥適度(自評評分： 10)

9-10 分：與原規劃一致。

7-8 分：與原規劃大致相符，差異處經機關說明後可以接受。

1-6 分：與原規劃不盡相符，且計畫經費、人力與工作無法匹配。

2-1	本計畫預算為 12,177 千元，經常門執行率 96.41%；資本門執行率 99.97%；年度執行率達 97.58%，執行情形優良，且與原規劃一致，惟計畫年度內之設備經費約占年度經費之 1/3，建議須注意後續之維護與定期校正，以確保量測工作之順利推行以及量測結果之正確可靠。	謝謝委員的肯定與意見。 本計畫為確保工作項目之順利推行，以及量測結果之正確可靠，的確需要花費相當多人力與經費關注於相關量測與照射系統的維護、品保、定期校正等維持工作，後續仍將以謹慎態度並編列適宜之設備維護經費持續執行，謝謝委員的提醒。
2-2	本計畫年度執行人力符合原規劃之 8.5 人年，於很精簡之人力狀況下，完成各項工作之目標，成效良好。	謝謝委員的肯定與支持。

**參、計畫主要成就及成果(重大突破)之價值、貢獻度及滿意度
(自評評分： 9)**

9-10 分：所達成量化指標或質化效益超越原計畫預期效益。

8 分：所達成量化指標及質化效益與原計畫預期效益相符

7 分：大致達成原計畫預期效益。

1-6 分：未達成計畫原計畫預期效益。

3-1	本計畫原規劃之各項指標均有效達成，其中多項如論文、人才培訓、研究報告、學術報告與技術報告、研討會及制定新技術規範等項目，有更優於規劃值之量化表現，另更額外完成技術活動與規範編撰各一項，成果豐碩。	謝謝委員的肯定與意見。
3-2	本計畫整體執行績效指標超越原訂目標值，其中分項計畫「新穎輻射應用劑量評估」，產出兩	謝謝委員的肯定與意見。

	篇投稿於 SCI 國際期刊之論文，學術成就上有很好的表現，其他分項計畫亦達成目標值。	
3-3	本計畫計建立 4 個合作團隊，對精進輻射安全技術將有所貢獻，且各分項達成量化指標，相關技術研究累積之能力將有利於國內核設施除役工作進行、新穎輻射應用與防護管制技術精進。	謝謝委員的支持與意見。
3-4	計畫建立核設施除役作業之場址輻射偵檢，及人員與環境劑量評估技術，此為核設施除役作業時輻防管制作業之重要依據，以確保工作人員之劑量符合法規限值並合理抑低。	謝謝委員的肯定與支持。
3-5	針對國內高能粒子加速器設備，依其引發高能中子機制的差異，建立加速器設施正確的中子劑量評估技術，可精進中子校正技術，是高能中子劑量評估技術之實務進展，並可有效提升醫療與加速器運轉之輻射安全。	謝謝委員的肯定與支持。
3-6	本計畫聚焦在核電廠除役之作業與審查技術，極具有社會價值；此外，輻射防護能力主要在維持國內實驗室認證體系，此部分十分重要。	謝謝委員的肯定與支持。
肆、跨部會協調或與相關計畫之配合程度(自評評分： <u>9</u>) 10 分：認同機關所提計畫執行無須跨部會協調，且不須與其他計畫配合。 9-10 分：跨部會協調或與相關計畫之配合情形良好。 7-8 分：跨部會協調或與相關計畫之配合情形尚屬良好。		

1-6 分：跨部會協調或與相關計畫之配合情形仍待加強。		
4-1	本計畫中有關之輻射量測與能力試驗所使用的偵檢器，均送至國家游離輻射標準實驗室進行校正追溯，故與經濟部標準檢驗局之「建立及維持國家游離輻射標準」計畫相互合作，確保相關之量測品質，成效良好。	謝謝委員的肯定與支持。
4-2	本計畫中之劑量評估與檢校技術研究，係與學研單位、醫療機構或相關學會合作，結果均達到技術精進之目標，相關成果可有助於維護患者放射診療品質之管控，並確保輻射從業人員和一般民眾之輻射安全業務。	謝謝委員的肯定與支持。
4-3	本計畫與核研所配合良好，惟於核研所委外執行的團隊部分，與「強化輻射安全與輻射醫療品質技術之研究」計畫有部分重疊，建議結合不同的研究單位，擴大研究能量。	謝謝委員建議。 由於國內從事輻射安全方面研究之單位不多見，因此容易產生重疊現象，後續本計畫再嘗試與其他研究團隊研商以擴大研究能量。
伍、後續工作構想及重點之妥適度(自評評分： <u>9</u>) 9-10 分：後續工作構想良好；屆期計畫成果之後續推廣措施良好。 7-8 分：後續工作構想尚屬良好；屆期計畫之後續推廣措施尚屬良好。 1-6 分：後續工作構想有待加強；未規劃適當之屆期計畫後續推廣措施。		
5-1	有關核設施除役輻射防護管制之後續推動，下年度將移至「強化核能電廠除役管制技術及環境輻射之研究」計畫項下執行，應能更有效整合相關技術資源，使除役工作積極有效推動。	謝謝委員的支持與意見。
5-2	本計畫為四年期計畫之第二	謝謝委員的肯定與意見。

	年，後續工作仍以支援輻射防護管制業務之需求，進行核設施除役劑量評估與管制、能力試驗技術與輻射偵檢儀器驗證、放射醫學診療劑量檢校、災防應變生物劑量計等研究，以精進輻安管制之工作。	
5-3	配合國內質子治療放射醫療設施之發展，本計畫於下一階段將持續精進直線能量轉移評估，建立全面性的射質評估系統，此是具前瞻需求而有實務價值的工作，惟因精進直線能量轉移評估的目的為應為粒子治療的劑量評估，應與輻射防護無關，建議移至輻射醫療品質計畫項下執行；此外，中子輻射之偵測與中子劑量之評估，為國內目前所急需，值得繼續研發。	謝謝委員的支持與意見。 直線能量轉移評估是一基礎技術，其可應用於質子治療亦可應用於輻射防護中，如輻射加權因數 W_R 即利用其轉換而得，而粒子治療中會產生二次粒子其對病人或工作人員都具危險性，可利用直線能量轉移評估系統的建立了解輻射防護的基底；而高能中子劑量評估方面，至本年度止已持續進行 4 年，以目前累積之技術能量已可滿足現行輻射防護偵測需求，唯尚須將所累積之知識轉化為可執行與驗證的操作程序方能對相關設施進行中子劑量量測或校正服務。
5-4	建議應繼續配合國際新規範，進行國內輻射度量認證作業的翻修，以跟上國際腳步。	謝謝委員的支持與意見。
5-5	四個分項計畫的後續工作構想尚屬良好，其中低劑量輻射生物效應與致癌關係之研究確實為國內外重要議題，值得繼續推動。	感謝委員建議。 低劑量輻射生物效應研究主題，目的在於針對利用雙中節變異性偵測極限(0.1 Gy)下劑量進行分析；也同時請益國際標準實驗室(加拿大衛生部)，建立國內外溝通橋梁。

陸、總體績效評量暨綜合意見 (自評評分：9)

10:極優 9:優 8:良 7:可 6:尚可 5:普通 4:略差 3:差 2:極差 1:劣

6-1	本計畫規劃四項工作之年度目標、執行進度，及經費執行率均有效完成，相關之績效指標亦均能達到，且有多項有更優於規劃值的表現，績效良好；此外，新技術研發均能配合國際新趨勢、新規範執行，執行績效優良。	謝謝委員的肯定與意見。
6-2	本計畫分為四個分項計畫，分別針對：核設施除役、偵測儀器能力試驗、新穎輻射應用劑量評估、生物劑量計染色體變異，進行輻防管制之劑量評估及檢校技術研發，對於核設施除役與新穎輻射應用，具有研發指標作用，執行成效優良。	謝謝委員的肯定與意見。
6-3	因除核設施之外，國內醫療單位設施建置越來越多的粒子治療加速器，相關的輻射場分析、輻射度量、人員劑量監測、以及設備設施活化與廢棄物管理，故值得加強技術能力的研發。	謝謝委員的肯定與支持。
6-4	本計畫主要目標為支援輻射防護管制業務，面對國內核電廠除役工作，輻射劑量評估與管制研究等實務工作需求迫切，計畫除應在既有技術基礎上精益求精外，建議亦應注意國際上對除役工作之發展現況，並積極推展應用，使除役工作能順利安全的推展。	謝謝委員的建議。 本計畫主要支援輻射防護管制業務，對電廠除役方面將持續收集IAEA 或歐美各國有關核電廠除役相關資訊與相對應之輻防管制作為，並應用於國內電廠除役輻射防護與管制作業，降低我國除役工作之輻安風險。

6-5	有關能力試驗技術與輻射偵檢儀器驗證、放射醫學診療劑量檢校等輻射安全研究議題，計畫均有很好的這成果展現，配合國內放射診斷與醫療業務的快速發展，建議計畫亦應更具彈性做技術與規範上的研究，提升國家游離輻射安全管制之水準。	謝謝委員的支持與意見。 本計畫將持續關注國際趨勢，收集 ANSI、IAEA、ISO、IEC、ICRU、ICRP 等國際組織之規範或報告，配合國內現況與主管機關之規畫，融入能力試驗、儀器校正、放射診療劑量檢校等作業或研究中，提升國家游離輻射安全管制之水準。
6-6	建議針對 TAF 改版對於核研所相關校正實驗室影響部分，應妥善評估，另建議應與國內北中南三家醫學中心合作統計染色體變異率，避免區域性偏差，結果較能代表我國資料。	感謝委員建議。 TAF ISO17025：2017 改版工作，人員端已完成訓練工作，計畫端已完成文件修改，並於 108 年初申請 TAF 查訪，均按時程進行；區域性偏差部分，在參考國際間衛星實驗室之劃分，國內應可屬於單一資料庫，但為求變異性分析，仍會將東部與南部資料彙整，檢視是否具有差異性之分析，以求代表本國背景資料。

附錄、佐證圖表

A. KPI 佐證資料

Manuscript Details	
Manuscript number	RADMEAS_2018_568
Title	Clinical Application of Ionization Density Dependence of the Glow Curve Characteristics for Linear Energy Transfer (LET) Measurements in Therapeutic Proton Beams
Article type	Research paper
Abstract Linear energy transfer (LET) is related to the relative biological effect caused by the particle therapy. The LET is a candidate parameter for optimizing proton therapy treatment plan as considering biological effects. Therefore, being able to measure LET in clinical sites becomes significant. The purpose of this study is to develop a feasible LET measurement system for clinical therapeutic protons using the ionization density dependence of the LiF:Mg,Ti glow curve in the high-temperature region. The ratio of the integral thermoluminescent (TL) intensities at the specified high-temperature region induced by a proton beam and a photon beam is denoted as the high-temperature ratio (HTR). The relationship between HTR and LET was determined. The TLDs were irradiated with the same dose at several depths of a water phantom using three types of radiation: a ^{60}Co gamma source at the National Measurement Laboratory of the Institute of Nuclear Energy Research, a 6-MV photon beam, and a 190-MeV proton beam at the Chang Gung Memorial Hospital. The LET values varied with depths were simulated using a Monte Carlo code, TOPAS (version 3.0.1). The LET values range from 1 to 10 keV/μm as estimating using LiF:Mg,Ti for a proton beam. The LET measurement system has been developed using comparing TL signals caused by proton beams with those by ^{60}Co gamma rays or 6-MV X rays. It is more convenient to build the system with Linac X rays for most hospital-based medical facilities. Therefore, TLDs can be not only dosimeters but also LET detectors in proton therapeutic sites.	
Keywords	high-temperature ratio; dose-averaged LET; thermoluminescence; LiF:Mg,Ti; proton therapy
Taxonomy	Energy Transfer in Radiation Detection, Radiation Measurement Design, Luminescence Detector
Corresponding Author	Hui-Yu Tsai
Corresponding Author's Institution	National Tsing Hua University
Order of Authors	Hui-Yu Tsai, Chi-Hsun Sung, Hsien-Hsin Chen, Ming-Wei Lin, Hsiao-Chieh Huang, Szu-Li Cheng
Suggested reviewers	Pawel Bliski, Dai Granville, Guerda Massillon-JL
Submission Files Included in this PDF	
File Name [File Type]	
0_cover_letter_v1.doc [Cover Letter]	
MS_LET_v2.pdf [Manuscript File]	
Lunder_figure_submitted.pdf [Figure]	
To view all the submission files, including those not included in the PDF, click on the manuscript title on your EVISE Homepage, then click 'Download zip file'.	
Research Data Related to this Submission	
There are no linked research data sets for this submission. The following reason is given: Data will be made available on request	

圖 A.1. 國際期刊論文「Clinical Application of Ionization Density Dependence of the Glow Curve Characteristics for Linear Energy Transfer (LET) Measurements in Therapeutic Proton Beams」投稿於 Radiation Measurement

Manuscript submitted to Nuclear Engineering and Technology (June 29, 2018)

Comparing the performance of two hybrid deterministic/Monte Carlo transport codes in shielding calculations of a spent fuel storage cask

Po-Chen Lai^a, Yu-Shiang Huang^{a,b}, Rong-Jiun Sheu^{a,c,*}

^a Institute of Nuclear Engineering and Science, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013, Taiwan, R.O.C.

^b Nuclear Science and Technology Development Center, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013, Taiwan, R.O.C.

^c Department of Engineering and System Science, National Tsing Hua University, Hsinchu 30013, Taiwan, R.O.C.

Total 34 pages in this manuscript including 3 Tables and 9 Figures.

* E-mail: rjsheu@mx.nthu.edu.tw

圖 A.2. 國際期刊論文「Comparing the performance of two hybrid deterministic/Monte Carlo transport codes in shielding calculations of a spent fuel storage cask」投稿於 Nuclear Engineering and Technology



圖 A.3. 會議論文「放射性治療於試驗動物之染色體變異性及血液和臨床之分析」發表於中華民國 2018 生醫學年會



中華民國核醫學學會 2018 年會暨學術研討會

人員生物劑量緊急曝露事件

¹林婉琪, ²鄧之平, ¹張剛瑋

¹原子能委員會核能研究所同位素組

²原子能委員會輻射防護處

背景介紹:一〇六年五月三日接獲原能會第一起委託通報於台中有一緊急曝露的事件, 因人員未佩戴劑量徽章, 故需借助染色體雙中節分析技術來進行輻射曝露計算。

方法:一〇六五月八日拿到血液檢體後, 進行人體血液細胞培養, 培養第四十八小時後進心離心, 加入 KCl 打破細胞後, 加入 Fix buffer 除去多餘物質, 將細胞進行噴片染色後以顯微鏡掃描染色體影像, 由實驗室三位技術組同仁每人負責分析五十顆細胞, 代入年度反應曲線推算其輻射曝露劑量。

結果:最後的分析數據: 可計數的細胞共132個細胞, 發現之雙中節數為0, 經由 Dose estimate 軟體計算, 遭受曝露劑量為0 Gy。在95%的信任區間下, 其誤差的不確定度之上下限為0~0.287 Gy。

結論:藉由人員生物劑量技術可以評估當人員未佩帶劑量徽章時所接受到的輻射劑量, 若未來發生類似福島事件也可以用於緊急評估人員曝露情形, 來決定接下來人員接受之醫療照顧。

圖 A.4. 會議論文「人員生物劑量緊急曝露事件」發表於 2018 年中華民國核醫學學會年會

輻射醫療處置暨核醫診療研討會
Symposium of Radiation Emergency Management and Radionuclide Therapeutics

時 間：6 月 30 日(星期六) 13:30-17:00

地 點：台北國際會議中心 201A 會議室

時 間	講 題	主 講 人
13:30-13:50	Opening Remarks	劉文熙 處長 Director Wen-Shi Lin 邱雲良 司長 Director-General Chung-Liang Shih
13:50-14:40	座長: 張志賢 博士 / 黃獻瑞 主任 (Moderators: Drs. Chih-Hsien Chang / Hsien-Hao Huang)	張剛雄 博士 Dr. Kang-Wei Chang
14:40-15:30	座長: 石富光 主任 / 謝敏謙 教授 (Moderators: Drs. Fuh-Yuan Shih / Mu-Chang Shieh)	山丁敬一 教授 Dr. Shunichi Yamashita
15:30-15:40	Coffee Break	
15:40-16:10	座長: 黃文盛 主任 / 魏芳慶 主任 / 李潤川 主任 (Moderators: Drs. Wen-Sheng Huang / Rwei-Fang Yen / Rhean-Chuan Lee)	魏福方 醫師 Dr. Mei-Fang Cheng
16:10-16:40	座長: 陳瑞裕 醫師 / 陳鴻達 主任 (Moderators: Drs. Jui-Yu Chen / Daniel Huang-Yuan Shen)	林可瀚 醫師 Dr. Ko-Han Lin
16:40-17:10	座長: 陳瑞裕 醫師 / 陳鴻達 主任 (Moderators: Drs. Jui-Yu Chen / Daniel Huang-Yuan Shen)	Dr. Byoung-Cheol Ahn
17:10-17:30	綜合討論及閉幕報告 Panel discussion and closing remarks	黃文盛 教授 Dr. Wen-Sheng Huang

核研所生物劑量實驗室在核意外之應用
Implications of INER biodosimetry Lab. in nuclear accident
張剛雄
Chang, Kang-Wei
核能研究所同位素組
Division of Isotope Application, Institute of Nuclear Energy Research (INER)

Abstract

Personal Biological Laboratories should plan the staff to receive dose as a later dose assessment and management to ensure that the individual dose of radiation-related operations. There are about 44,000 radiation workers in Taiwan, including in nuclear power plants, industrial and hospital areas. In order to measure the accidental exposure of radiation, it is necessary build a biological dosimetry laboratory. When exposed with radiation accident, the biological analysis could as exposure dose assessment, and as a follow-up medical care.

International studies on the current bio-dose-related effects of individuals, biological dosimetry by chromosome analysis is a quick, simple and effective method. In INER (institute of nuclear energy research) had established chromosome variation analysis of the relevant discrimination method, from 2012 to 2018, we were completed five dose-effect curve, and combined into a standard curve for the standard curve. We also participated in the International Competency Test with Canadian Ministry of Health, as well as received ISO17025 Laboratory certification. Expect to become a credible and internationalized national laboratory in biological dosimetry.

圖 A.5. 會議論文「核研所生物劑量實驗室在核意外之應用」發表於 2018 年輻射醫療處置暨核醫診療研討會



「第7次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨2017肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會」 會議議程 日期：107年05月24日 地點：核能研究所 保健物理組 035 國家游離輻射標準實驗室二樓			  
			第7次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨2017肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會研討會 行政院原子能委員會核能研究所 保健物理組 國家游離輻射標準實驗室 107年5月24日 委辦單位：行政院原子能委員會、經濟部標準檢驗局 執行單位：行政院原子能委員會核能研究所
時間	講題	講員/單位	
09:30-10:00	報到		
10:00-10:10	開幕致詞 (216會議室)	胡中興組長 核能研究所保健物理組	
10:10-12:30	肢端劑量計能力試驗試運轉 總結報告 (216會議室)	陳晉奇先生 核能研究所保健物理組	
	輻射偵檢儀器校正能力試驗說明 (209室)	鄭騰泓先生 核能研究所保健物理組	
	第四次 陸軍核生化研究中心儀器校正比對 (209室)	鄭騰泓先生 核能研究所保健物理組	
12:30-14:30	綜合討論 (216會議室)	朱健豪 分組長 核能研究所保健物理組	

圖 A.6. 5月24日「第7次輻射偵檢儀器校正能力試驗暨2017肢端劑量計能力試驗(試運轉)總結說明會」研討會



「2018 年游離輻射量測能力試驗總結研討會」

議程

日期：107 年 10 月 4 日
地點：核能研究所 國家游離輻射標準實驗室（035 館）二樓

時間	議題	講員/單位
10：00-10：30	報 到	
10：30-10：40	開幕致詞	張淑君 組長 核能研究所保健物理組
10：40-11：30	107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗結果報告	林鴻業 核能研究所保健物理組
11：30-12：30	107 年度中低活度核種分析能力試驗比對結果報告	朱晉翰 核能研究所保健物理組
12：30-14：00	綜合討論	朱健豪 分組長 核能研究所保健物理組





2018 年游離輻射量測能力試驗 總結研討會

行政院原子能委員會核能研究所保健物理組
國家游離輻射標準實驗室

107 年 10 月 4 日

委辦單位：行政院原子能委員會、經濟部標準檢驗局
執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

圖 A.7. 10 月 4 日「2018 年游離輻射量測能力試驗總結研討會」

核設施例行運轉廠區調查基準設定研究

盧苡欣、黃珏吉

摘 要

本報告藉由蒐集國內外文獻資料，以瞭解我國於 89 年公布施行之「核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準」之設定依據，並利用「環境輻射監測規範」中體內劑量評估計算公式及美國阿岡國家實驗室所開發劑量評估程式(RESRAD-ONSITE)，以評估假定情節下，因曝露於達預警基準核種活度之廠區環境試樣所接受之輻射劑量，並與輻射工作人員年劑量限度進行比對分析，評估現行廠(場)區試樣放射性分析行動基準之適切性，以作為主管機關未來修訂相關法規之參考。

關鍵字：調查基準、廠區。

核能研究所 保健物理組

圖 A.8. 研究報告「核設施例行運轉廠區調查基準設定研究」中文摘要頁面

除役輻防視察作業程序研究

林沼秀、黃珏吉

摘 要

我國核一廠一號機將於今年(2018)底達 40 年運轉期限,而必須規劃進行除役。設施經營者除了在核電廠除役時程規劃及相關技術開發具有一定挑戰外,主管機關在除役期間所需進行輻射防護管制工作也是相關重要一環。本報告針對美國核管會 IMC 2561 視察手冊、第 83801 與 84750 號檢查程序以及相關文獻進行彙整與研究,包括核電廠除役作業視察計畫、核電廠永久停止運轉後之改善行動與最終狀態偵檢之視察程序、放射性廢棄物處理及排放物與環境監測之視察程序等。藉由參考美國核管會對於核電廠除役作業相關視察程序,可供我國主管機關後續對於設施經營者執行核電廠除役作業之視察參考。

關鍵字：除役、視察計畫。

核能研究所 保健物理組

圖 A.9. 研究報告「除役輻射視察作業程序研究」中文摘要頁面

2017 肢端劑量計能力試驗之總結報告

陳晉奇

摘要

肢端劑量計能力試驗是主管機關(原子能委員會)及全國認證基金會(TAF)對實驗室技術能力的測試，該實驗室每三年必須通過國內能力試驗執行機構舉辦的能力測試，並依據 TAF 公告之「肢端劑量計能力試驗技術規範(草案)」及相關標準規範執行本項能力試驗。核能研究所國家游離輻射標準實驗室(NRSL)執行本項能力試驗，係參考 ANSI/HPS N13.32-2008 肢端劑量計能力試驗(Performance Testing of Extremity Dosimeters)美國國家標準，並研擬「肢端劑量計能力試驗技術規範(草案)初稿」，據此邀請國內 8 家實驗室參加測試。

本測試於 2017 年開始進行先期作業及系統測試，8 家實驗室的肢端劑量計中包含了 4 種不同的廠牌型號。於 2017 年 10 月開始，2018 年 2 月完成數據回報，3 月 9 日召開技術研討會，5 月 24 日召開總結會議，測試已於 NRSL 與劑量評估實驗室充份合作下順利完成。經過能力試驗執行機構舉辦技術研討會與開放各實驗室進行系統在校正後，4 個實驗室之能力商數(P_i)平均值之絕對值和標準差的和($|B|+S$)皆於 0.2 之內，另 4 個實驗室之 $|B|+S$ 數值不大於 0.3，8 個實驗室皆通過 4 大類別的測試，顯示各實驗室之技術能力具備一定水準。

關鍵字：能力試驗、肢端劑量計、體外劑量評估實驗室

核能研究所保健物理組

圖 A.10. 研究報告「2017 肢端劑量計能力試驗之總結報告」中文摘要頁面

評估國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式

Evaluation of calibration models for dose calibrator in nuclear
medicine.

計畫編號：NL1070683

受委託機關(構)：國立陽明大學

中文摘要

核子醫學近年來隨著精準醫學與個人預防醫學的演進，不論是在設備、核醫藥物及造影技術皆有所發展。核子醫學透過身體的新陳代謝，使細胞攝入核醫藥物後，進行體外攝影，而獲得功能性影像；核子醫學亦可藉由核醫藥物進行放射治療，因此核醫藥物其活度度量的準確性，將影響接受診療者之輻射劑量。本計畫評估調查國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式，調查醫院所使用之核種活度測量情況，及劑量器校驗項目，並執行臨床量測數據之分析比較。

圖 A.11. 研究報告「評估國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式」中文摘要頁面

國內電子與質子源誘發高能中子 之特性和評估

Characteristics and evaluation of high-energy neutrons at electron and proton accelerator facilities in Taiwan

計畫編號：NL1070706

受委託機關(構)：國立清華大學核子工程與科學研究所

摘要

國內大型加速器的應用日益蓬勃發展，高能加速器的運轉不可避免產生大量二次中子，其中高能中子(>10 MeV)的穿透力強、不易測量，但可能是設施屏蔽外輻射劑量的主要貢獻來源。為了因應相關設施產生的此一特殊輻射防護問題，本研究將同時針對國內現有指標型的高能加速器設施的輻射場進行深入探討與比較，包括 235 MeV 醫用質子加速器與國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器。根據不同類型加速器引發高能中子機制的差異，建立加速器設施正確的高能中子劑量評估技術，本計畫完成下列工作，包括(1) 探討質子源設施之中子輻射場特性；(2) 探討電子源設施之中子輻射場特性；(3) 比較二種類型加速器設施的中子輻射場差異；(4) 完整量測國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器主體屏蔽外的中子能譜；最後，根據去年研究結果(5)進行傳統中子偵檢器的高能中子劑量低估修正案例分析。本研究成果明顯提升國內中子輻射場的分析與測量能力，相關資訊亦可供國內加速器設施應用或主管機關管制參考。

圖 A.12 研究報告「國內電子與質子源誘發高能中子之特性和評估」中文摘要頁面

直線能量轉移評估系統之建立(2/4)

Establishment of an Evaluation System of Linear Energy Transfer (2/4)

計畫編號：NL1070698

受委託機關(構)：國立清華大學

中文摘要

隨著質子治療的躍起，且因著其相對生物效應與直線能量轉移有關，因此除了評估質子治療劑量外，相應的直線能量轉移之評估也開始受到重視。熱發光劑量計(thermoluminescent dosimeter, TLD)應用於放射治療的劑量評估已有悠久的歷史，其乃利用熱發光之輝光訊號積分值正比於輻射量的關係來推估輻射劑量，然而尚能擴展其應用於直線能量轉移(linear energy transfer, LET)之評估。

由質子束和光子束照射熱發光劑量計，在指定高溫區域的積分熱發光強度比率表示為高溫比 (high-temperature ratio, HTR)，進而可藉由校正得知 HTR 和 LET 之關係。使用三種輻射在水假體的幾個深度用相同劑量照射 TLD，輻射源分別為核能研究所國家測量實驗室的 ^{60}Co γ 射線源、6-MV 光子束和長庚紀念醫院的 190-MeV 質子束。使用蒙特卡羅程式 TOPAS (版本 3.0.1) 模擬 LET 值隨深度變化，如果用熱發光劑量計(LiF:Mg,Ti)度量估計質子束，則可評估 LET 的範圍為 1 至 10 keV/ μm 。LET 測量系統是藉由比較由質子束引起的熱發光訊號與 ^{60}Co 伽馬射線或 6 MV 的 X 光引起的熱發光訊號而開發的系統。對於大多數醫院醫療機構而言，使用直線加速器的 X 光來建構校正系統是更為方便且貼近臨床狀況的，透過本計畫的研究結果，使得 TLD 不僅是質子治療的劑量計，也可以是 LET 偵檢器。

圖 A.13 研究報告「直線能量轉移評估系統之建立(2/4)」中文摘要頁面

建置人員生物劑量研究技術傳承⁴⁾

張剛瑋、林婉琪、莊程惠、陳贊竹、歐陽芳鈺⁴⁾

摘要⁴⁾

人員生物劑量實驗室為進行輻射相關作業，確保工作人員劑量符合法規限值、集體劑量符合合理抑低之成本效益。依據國際標準規範，建立相對應之標準實驗室，確保輻射相關作業之準確度與公信力。⁴⁾

國內約有 4 萬 4 千輻射工作人員，涵蓋核能設施、工業、醫院、研究機構等，如發生輻射意外曝露事件，人員生物劑量重建是必要程序，確認人員接受之劑量，採取必要的醫療照護行動。⁴⁾

國外先進核能應用均已建立人員生物劑量評估技術與建置國家級生物劑量實驗室，核能研究所自 100 年起重新雙中節變異性分析，且取得 TAF ISO17025 認證。⁴⁾

本報告著重於技術傳承與經驗累積部份，建立生物劑量評估技術於國人背景值分析研究與國人標準曲線、國際交叉盲樣比對與 TAF 任證階為主體。⁴⁾

⁴⁾

關鍵字：染色體變異性、染色體雙中節、人員生物劑量實驗室⁴⁾

↓

核能研究所↓

圖 A.14 研究報告「建置人員生物劑量研究技術傳承」中文摘要頁面

校正用環境試樣參考物質人工尿樣及人工糞樣製備

林憶薰、林建功

摘 要

國家游離輻射標準實驗室(NRSL)，採用加馬核種 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs ；貝他核種 ^{90}Sr 、 ^3H 製作人工尿樣、人工糞樣儀器校正用標準參考物質；同時，依據 ISO GUIDE 34、35 對於生產參考物質(RM)之技術要求，針對生產過程中之參考物質特性值及均勻性進行不確定度評估；各添加核種不確定度評估評估結果皆在 $\pm 5\%$ 以內。

關鍵字：標準參考物質、均勻性、不確定度

核能研究所 保健物理組

圖 A.15 技術報告「校正用環境試樣參考物質人工尿樣及人工糞樣製備」
中文摘要頁面



測試領域人員體外劑量評估技術規範 (2018 草案 V2)



圖 A.16 技術報告與標準修訂版(草案)「測試領域人員體外劑量評估技術規範(2018 草案 V2)」封面

107 年環境試樣放射性核種分析能力試驗總結報告

林憶薰、林建功

摘 要

核能研究所於 107 年度舉辦「環境試樣放射性核種分析能力試驗」，利用一組添加已知活度的環境樣品分由各實驗室進行分析，再與已知活度進行比對，經由比對的結果來達到品質管制與分析能力追溯的要求。本年度共有十家實驗室參與能力試驗，分析樣品有土壤、水樣、植物樣、肉樣、空浮濾紙樣、牛乳樣、米樣、菇類、人工尿樣及人工糞樣等十種環境試樣。

本年度所有參加能力試驗的實驗室分析結果經評估，均通過有關偏差與精密度的要求，所有實驗室的整體分析結果平均值相對於添加活度值的偏差 $\leq \pm 21\%$ 。

關鍵字：能力試驗、放射性核種、環境試樣

核能研究所 保健物理組

圖 A.17 技術報告「107 年環境試樣放射性核種分析能力試驗總結報告」
中文摘要頁面

B. 主要工作研究內容佐證資料

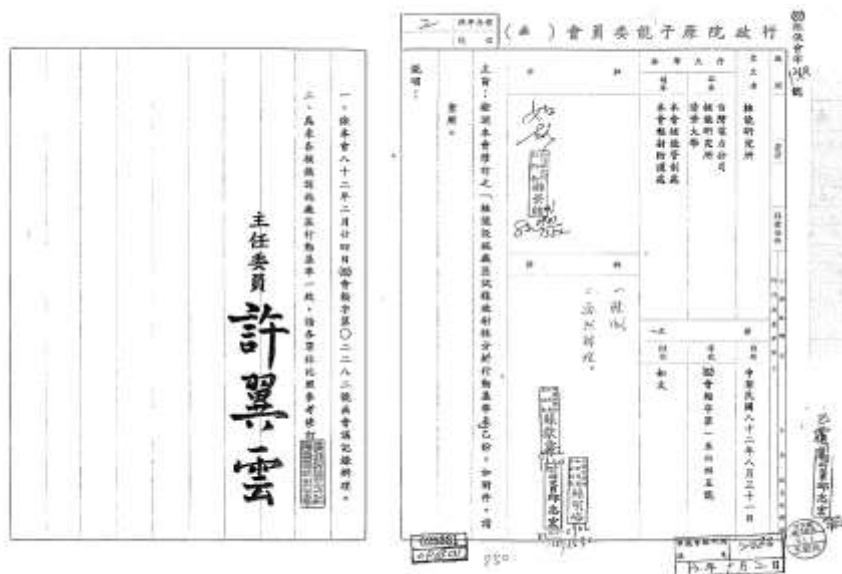
B.1. 核設施除役輻射防護管制技術研究

美國核管會視察計畫(Inspection Program)一般主要包含：總體視察方案(Master Inspection Plan)及定期管理審查(Management Review)，而總體視察方案中又可分為核心檢查(Core Inspection)及視情況指定檢查(Discretionary Inspection)。其中核心檢查則適用於所有進行除役之核電廠，而視情況指定檢查則為針對核電廠類型及特性所決定之額外檢查。



圖 B.1.1 美國核管會視察計畫一般架構

我國現行「核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準」係於民國 89 年 7 月 6 日訂定發布，經查歷年相關文獻資料發現，與民國 82 年 8 月 31 日由原能會發函(會輻字第 15645 號函)予台電、核研所、清大等相關單位之「核能設施廠區試樣放射性分析行動基準」(圖 B.1.2)之修訂版本內容大致相符(較現行標準多出總貝他及氫二項核種行動基準，另可接受最小測量要求為現行規定數值之 1/3)。



核能設施廠區試樣放射性分析行動基準

行試樣 動基 核性 準	水 樣 (Bq/L)			土 樣 (Bq/kg-wet)			土 樣 (Bq/kg-dry)		
	值	量	限	值	量	限	值	量	限
總計數	0.1	3.7E06	4.4E01	5.0	—	—	100	—	—
氡	10	3.7E01	4.4E04	—	—	—	—	—	—
銻-94	0.4	3.7E01	1.5E03	0.8	3.7E01	1.5E03	3	7.4E01	4.4E03
銻-95	0.7	1.5E01	8.0E02	0.9	3.7E01	1.5E03	8	—	—
銻-98	0.4	3.7E01	1.5E03	0.5	3.7E01	1.5E03	3	7.4E01	4.4E03
銻-60	0.4	1.1E01	4.4E02	0.5	3.7E01	1.5E03	3	2.0E02	4.4E03
銻-85	0.9	1.1E01	4.4E02	1.0	3.7E01	1.5E03	7	—	—
銻-89	0.1	—	—	1.0	—	—	—	—	—
銻-90	0.1	—	—	1.0	—	—	—	—	—
銻-95	0.7	1.5E01	6.0E02	0.9	—	—	8	—	—
銻-98	0.7	1.5E01	6.0E02	0.9	—	—	8	—	—
銻-131	0.1	3.0E00	2.5E01	0.4	3.0E01	1.5E02	3	—	—
銻-134	0.4	3.0E00	4.4E01	0.9	7.4E00	1.5E02	3	7.4E01	3.0E03
銻-137	0.4	3.7E00	7.4E01	0.5	2.4E01	3.0E02	3	7.4E02	3.0E04
銻-140	8.4	7.4E00	3.0E03	1.0	—	—	10	—	—
銻-140	0.4	7.4E00	3.0E02	1.0	—	—	10	—	—

備註：1. 值：指最小測量值；量：量數值；限：規範值。
 2. 凡核樣材未達量數值時，各核能設施應立即送交行發所為廢品，並採取適當措施予以降值。
 3. 凡行發所達規範值時，各核能設施應於3日內先行以電鍍或電傳方式回報，並於3日內以書面報核能會。

圖 B.1.2. (上圖)民國 82 年原能會發函予相關單位之函文，以及(下圖)「核能設施廠區試樣放射性分析行動基準」

由相關文獻蒐集結果可知，廠區試樣放射性分析行動基準之訂定，推測為參考國際規範及早期國內輻射防護領域專家開會討論之決議，然其中所考量曝露情節、曝露途徑及評估用參數等已無法考究，為評估現行核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準之適切性，本計畫以輻射劑量評估模式，估算廠區之水樣、草樣及土樣於環境介質中核種濃度達上述行動基準之查驗值及提報值時，人體所相對應接受之劑量(如圖 B.1.3 所示)。

核子設施廠(場)區試樣放射性分析行動基準劑量評估結果												
核種	水樣(貝克/升)				草樣(貝克/千克·濕重)				土樣(貝克/千克·乾重)			
	濃度(Bq/L)	劑量(mSv/yr)	濃度(Bq/L)	劑量(mSv/yr)	濃度(Bq/kg)	劑量(mSv/yr)	濃度(Bq/kg)	劑量(mSv/yr)	濃度(Bq/kg)	劑量(mSv/yr)	濃度(Bq/kg)	劑量(mSv/yr)
錳(Mn)-54	32	6.59E-02	1500	2.62E+00	32	1.10E-03	1500	4.45E-02	74	4.48E-02	4400	2.62E+00
鐵(Fe)-59	15	1.93E-01	600	7.72E+00	32	2.78E-03	1500	1.13E-01	-	-	-	-
鈷(Co)-58	32	8.91E-02	1500	3.61E+00	32	1.14E-03	1500	4.64E-02	74	3.20E-02	4400	1.90E+00
鈷(Co)-60	11	1.96E-01	440	7.84E+00	32	5.16E-03	1500	2.13E-01	200	5.54E-01	4400	1.22E+01
鋅(Zn)-65	11	1.31E-01	440	5.23E+00	32	6.03E-03	1500	2.45E-01	-	-	-	-
銣(Sr)-89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
銣(Sr)-90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
鈷(Zr)-95	15	4.38E-02	600	1.71E+00	-	-	-	-	-	-	-	-
鉕(Nb)-95	15	2.45E-02	600	9.79E-01	-	-	-	-	-	-	-	-
碘(I)-131	2	1.84E-01	15	1.38E+00	20	1.84E-02	150	1.38E-01	-	-	-	-
鈉(Cs)-134	2	2.72E-02	44	6.30E-01	7.4	5.88E-03	1500	1.19E+00	74	9.72E-02	3000	1.94E+00
鈉(Cs)-137	3.7	3.51E-02	74	7.02E-01	26	4.02E-01	3000	1.63E+00	740	4.71E-01	30000	1.91E+01
鋇(Ba)-140	7.4	7.81E-02	300	3.17E+00	-	-	-	-	-	-	-	-
鐳(La)-140	7.4	4.91E-02	300	1.99E+00	-	-	-	-	-	-	-	-

圖 B.1.3. 環境介質中核種活度達查驗值及提報值之劑量評估結果

人工尿樣與人工糞樣參考物質之研製，係依據環境試樣放射性核種技術規範(TAF-CNLA-T09)之建議試樣特性，選擇常用加馬核種(^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs)與貝他核種(^3H 、 ^{90}Sr)做為配製項目。參考物質於國家游離輻射標準實驗室，以精準度 0.0001 g 之天秤精秤可追溯國際標準原級標準射源後，以 0.1 N $\text{HCl}_{(\text{aq})}$ 稀釋，標準添加射源稀釋，其相關不確定度評估結果如表 B.1.1 及表 B.1.2 所示。人工尿樣與人工糞樣環境試樣參考物質之製備，各添加核種不確定度評估評估結果皆在 $\pm 5\%$ 以內，如表 B.1.3 及表 B.1.4 所示。

表 B.1.1. 人工尿樣標準射源配置活度與不確定度評估

核 種	射源活度 (Bq/g)	不確定度(%) (k=1)	射源量 (g)	配製量 (g)	樣品比活度 (Bq/kg)	不確定度(%) (k=1)
^3H	1541.64 ±	0.48%	0.0498	100.0	767.74 ±	0.52%
^{60}Co	508.87 ±	0.26%	0.0344	500.0	35.01 ±	0.39%
^{90}Sr	256.66 ±	0.24%	0.0258	500.0	13.24 ±	0.46%
^{134}Cs	547.43 ±	0.38%	0.0318	500.0	34.76 ±	0.49%
^{137}Cs	469.59 ±	0.58%	0.0386	500.0	36.21 ±	0.64%

表 B.1.2. 人工糞樣標準射源配置活度與不確定度評估

核 種	射源活度 (Bq/g)	不確定度(%) (k=1)	射源量 (g)	配製量 (g)	樣品比活度 (Bq/kg)	不確定度(%) (k=1)
^{60}Co	508.87 ±	0.26%	0.0093	100.0	47.32 ±	1.11%
^{90}Sr	256.66 ±	0.24%	0.0785	100.0	201.48 ±	0.27%
^{134}Cs	547.43 ±	0.38%	0.0073	100.0	39.96 ±	1.42%
^{137}Cs	469.59 ±	0.58%	0.0107	100.0	50.25 ±	1.10%

表 B.1.3. 人工尿樣添加核種不確定度評估結果

核種	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr	^3H
配製活度(Bq/kg)	35.01	34.76	36.21	13.24	767.74
組合不確定度(%)(k=1)	3.51	2.84	2.48	2.75	0.60

表 B.1.4. 人工糞樣添加核種不確定度評估結果

核種	^{60}Co	^{134}Cs	^{137}Cs	^{90}Sr
配製活度(Bq/kg)	47.32	39.96	50.25	201.48
組合不確定度(%)(k=1)	3.89	3.19	3.78	2.30

B.2. 輻射防護能力試驗技術研究

核能研究所國家游離輻射標準實驗室(圖 B.2.1.)依據 ANSI/HPS N13.32-2008 肢端劑量計能力試驗國際規範，推行國內實驗室之肢端劑量計(圖 B.2.2.)能力試驗試運轉，107 年度研究為試運轉之盲樣/非盲樣兩階段數據處理(圖 B.2.3)、照射系統品保與執行參與實驗室系統再校正、舉辦技術交流會議、評估參與實驗室技術能力、舉辦總結會議、完成參與實驗室評估報告與總結報告。分為 4 個測試類別：I. 高劑量光子 (測試劑量範圍：0.1-5 Gy)；II. 光子 (測試劑量範圍：1.0-100 mSv)；III. 貝他 (測試劑量範圍：2.5-100 mSv)和 IV. 貝他與光子混合場 (測試劑量範圍：3.5-100 mSv)。其判斷基準為能力商數，即 (H' 和 H 分別代表受測實驗室量測值和參考值)，並透過 ANSI/HPS N13.32-2008 規定之能力評定公式：(B 為 P_i 平均值； S 為 P_i 標準差； L 為允差)處理，依據第 I 類別 L 為 0.24，第 II、III、IV 類別 L 為 0.35 來進行判定。本次 8 組實驗室組均通過本次肢端劑量計能力試驗試運轉(結果顯示如圖 B.2.4.和圖 B.2.5.)。

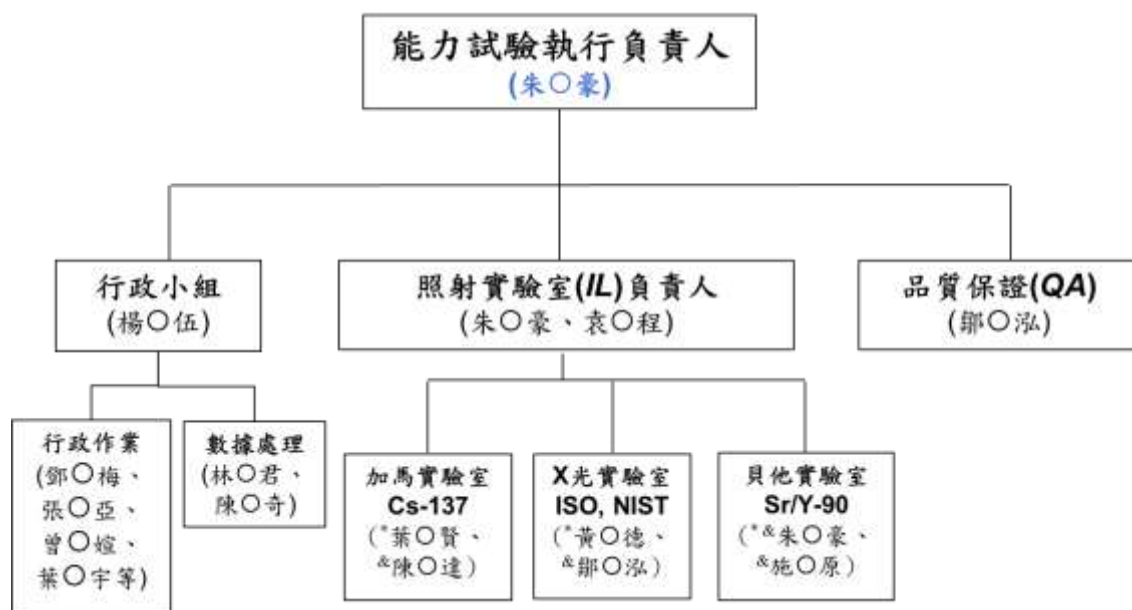


圖 B.2.1. 肢端劑量計能力試驗(試運轉)執行機構組織架構

#	參與實驗室組
1	台灣電力股份有限公司放射試驗室-核三工作隊 (HARSHAW 指環佩章)
2	台灣電力股份有限公司放射試驗室-劑量計計測組 (PANASONIC UD-807 單枚)
3	台灣電力股份有限公司放射試驗室-劑量計計測組 (PANASONIC UD-807 雙枚)
4	台灣電力股份有限公司放射試驗室-劑量計計測組核二分隊 (RADOS 指環佩章)
5	貝克西弗股份有限公司(PANASONIC UD-807)
6	原子能委員會核能研究所人員體外劑量評估實驗室 (HARSHAW TLD 指環劑量計)
7	財團法人中華民國輻射防護協會(HARSHAW TLD 指環劑量計)
8	國立清華大學原科中心人員劑量實驗室(HARSHAW 指環佩章)

2017年肢端劑量能力試驗(試運轉)

國內指環劑量實驗室廠牌分布

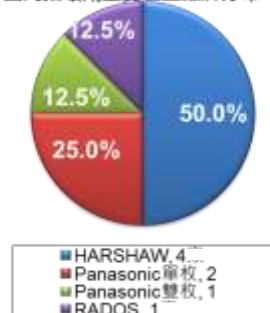


圖 B.2.2. 肢端劑量計能力試驗試運轉參與實驗室、使用指環劑量計廠牌型號及廠牌分布

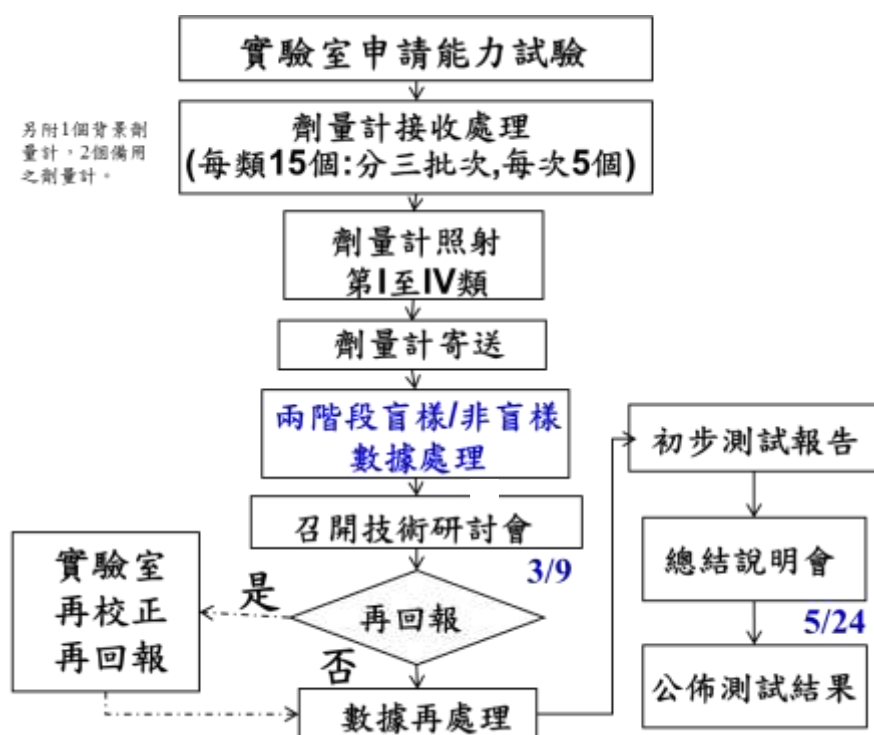


圖 B.2.3. 肢端劑量計能力試驗試運轉測試程序

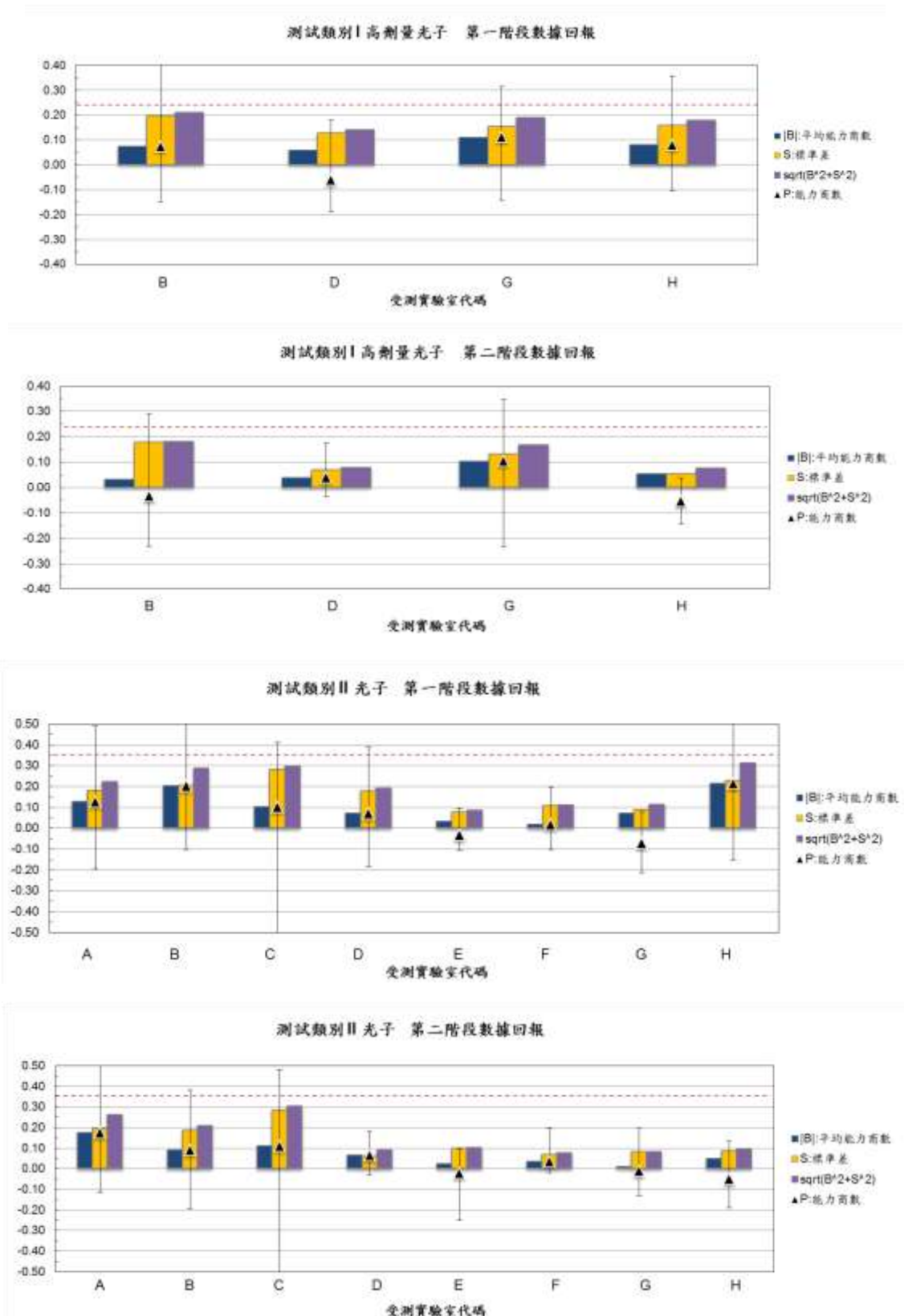


圖 B.2.4. 肢端劑量計能力試驗試運轉第 I 和 II 類測試類別盲樣(第一階段)/非盲樣(第二階段)測試結果

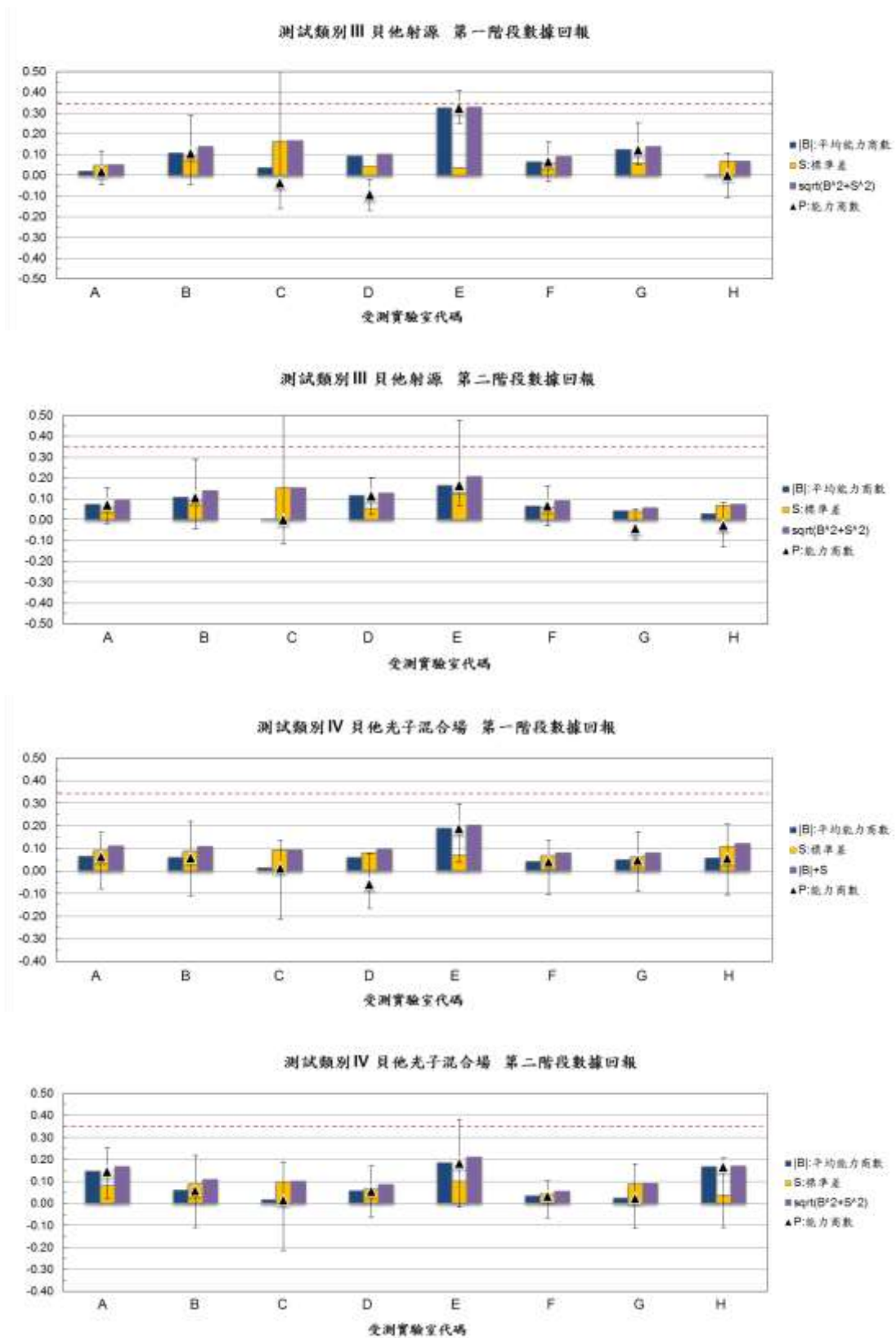


圖 B.2.5. 肢端劑量計能力試驗試運轉第 III 和 IV 類測試類別盲樣(第一階段)/非盲樣(第二階段)測試結果

今年度根據 ANSI/HPS N13.11-2009(R2015)最新國際規範版本，完成我國測試領域人員劑量計能力試驗技術規範(TAF-CNLA-T08)修訂版草案，並送 TAF 審核。修訂版規範新增附錄 1 和 2，以定義偵測低限和參考量測環境。圖 B.2.6.為提供 TAF 審議之修訂版內容節錄。

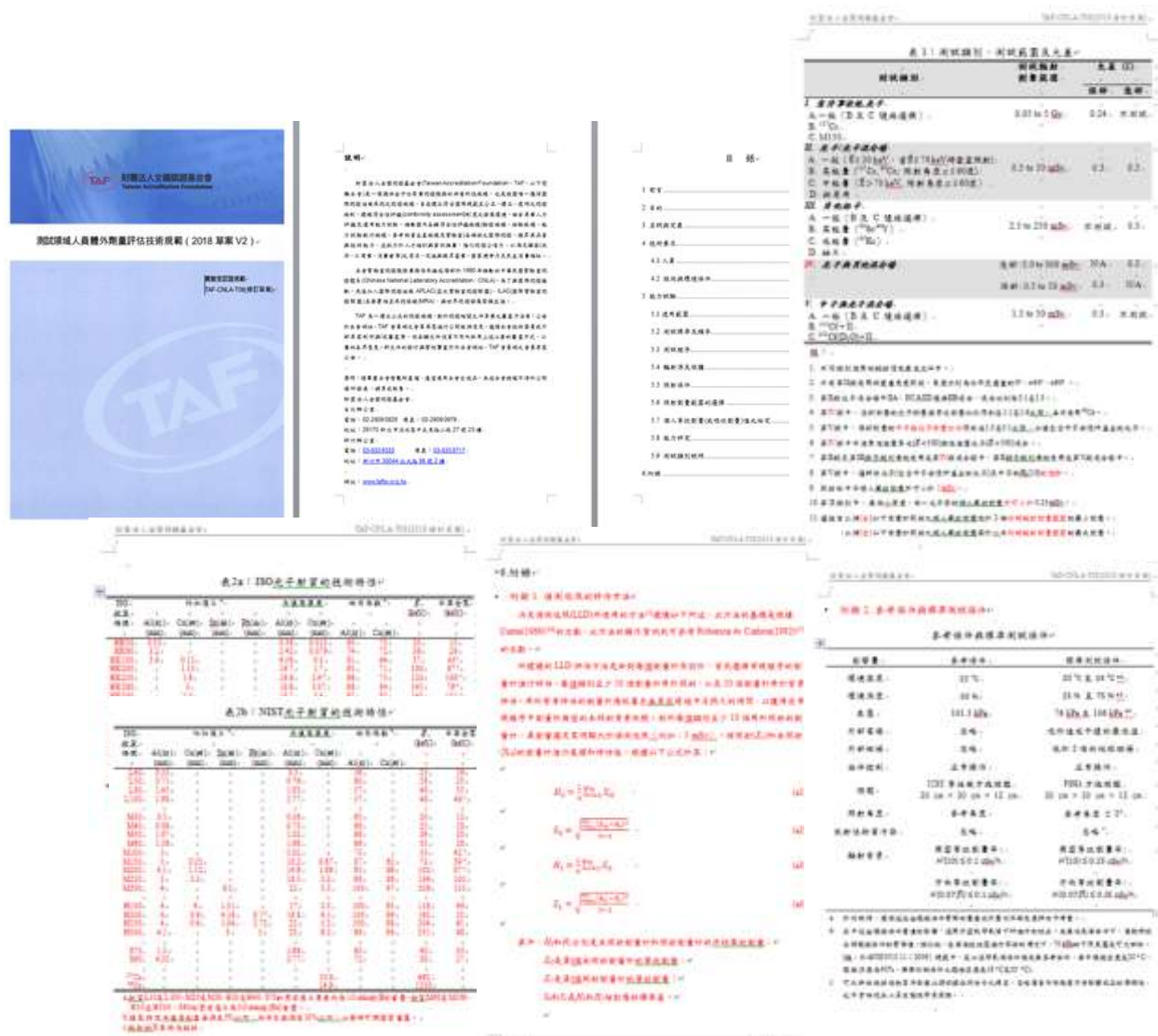


圖 B.2.6. 「T08 測試領域人員體外劑量評估技術規範(2018 草案-V2) 」第 2 版節錄

依據校正領域輻射偵測儀器校正技術規範(TAF-CNLA-T06(2))，進行能力試驗不同類別的傳遞儀器及校正系統之性能測試，國內 5 個校正實驗室之輻射劑量偵測儀器、放射活度 α/β 污染偵測儀器及人員劑量計等傳遞儀器之能力試驗射質品保測試。另外也與陸軍化生放核訓練中心 AN/VDR-2 野戰輻射偵測器校正實驗室進行劑量率儀器校正比對 (圖 B.2.7)。能力試驗結果如圖圖 B.2.8.和圖 B.2.9。

種類	廠牌/型號	測試射源
低劑量率 (γ)	Thermo/ PRD-ER	Cs-137
高劑量率 (γ)	USA/ AN/VDR-2	Cs-137
累積劑量(γ)	Thermo/ EPD-G	Cs-137
污染偵測器(β)	Thermo/ B20ER	β : Sr-90

(a)

低劑量率偵檢器

- 碘化鈉 偵檢器
NaI(Tl) detector
- 劑量率範圍:
0.01 $\mu\text{Sv/h}$ to 250 $\mu\text{Sv/h}$
- 能量範圍:
60 keV to 3 MeV
- 重量:
160 g



圖 B.2.7. 輻射偵檢儀器校正能力試驗試(a)測試類別和(b)傳遞件

美軍野戰輻射偵測器AN/VDR-2

高劑量率偵檢器

- 左側是探測管，右側為主機總成，總重量僅約1.73公斤
- 高劑量率偵檢器內部裝有 ^{137}Cs / ^{232}Th ，背景約 $10\mu\text{Gy/h}$ 劑量率之訊號。



圖 B.2.7. 輻射偵檢儀器校正能力試驗試(a)測試類別和(b)傳遞件

人員劑量計: 累積劑量(γ)

因瓦砂偵檢頭

- 偵測 Gamma、X-ray
- 深部Hp(10)與淺部Hp(0.07)輻射劑量
- 單位顯示: Sv、rem
- 能量反應: 17Kev ~ 6Mev
- 偵測範圍: A. 累積劑量: $0 \sim > 16\text{ Sv}$
B. 劑量率: $0 \sim 4\text{ Sv/hr}$
- 精確性: $\pm 10\%$ for CS-137。
- 線性(劑量率): $\pm 10\%$, $< 500\text{ mSv/h}$ 。
- 數字顯示: LCD 顯示



圖 B.2.7. 輻射偵檢儀器校正能力試驗試(a)測試類別和(b)傳遞件

手持式污染偵檢儀

偵測輻射種類: α 、 β 、 γ 射線

偵檢器: 銻型蓋格管，直徑5cm
面積 15.55 cm^2

污染量顯示單位: cps

偵測範圍: $0 \sim 500,000\text{ cps}$

顯示方式: 6位LCD液晶數字顯示

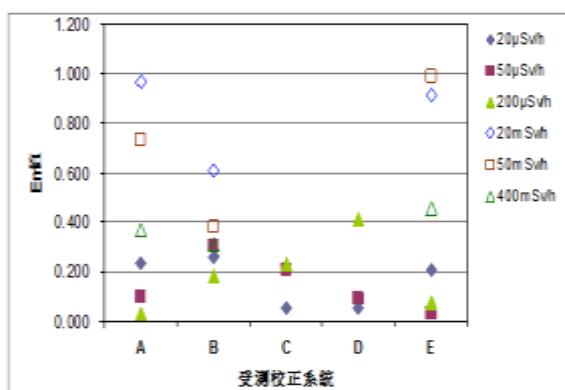
電池壽命: 2000小時



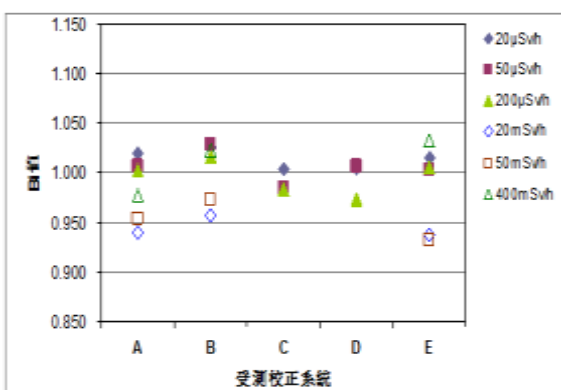

圖 B.2.7. 輻射偵檢儀器校正能力試驗試(a)測試類別和(b)傳遞件

(b)

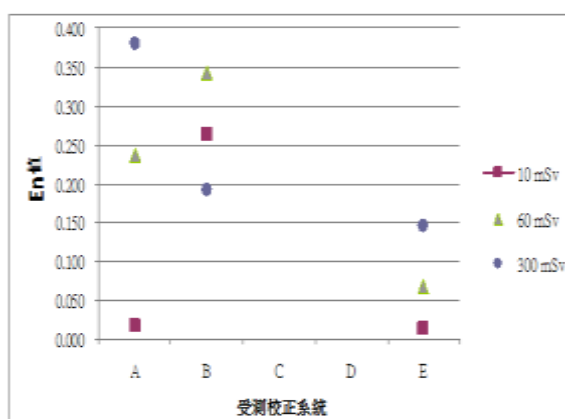
圖 B.2.7. 輻射偵檢儀器校正能力試驗試(a)測試類別和(b)傳遞件



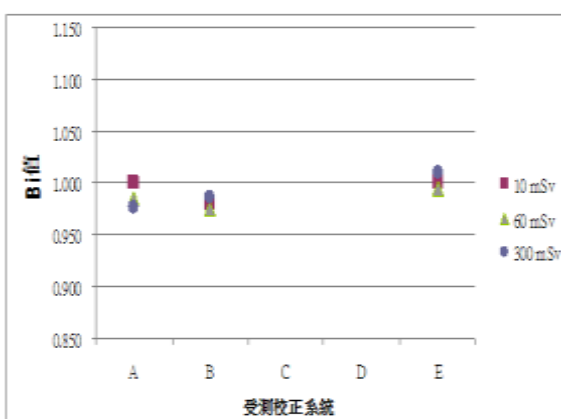
(a)



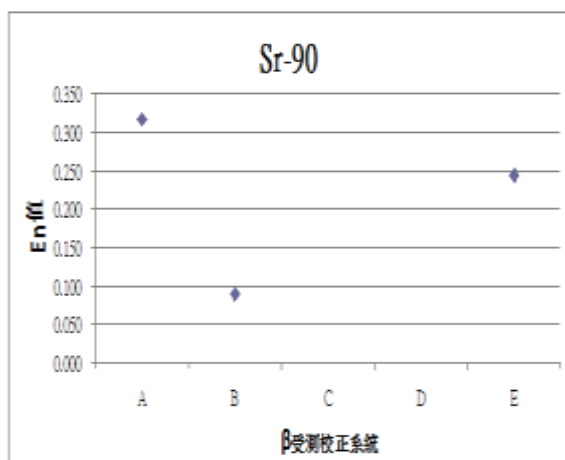
(b)



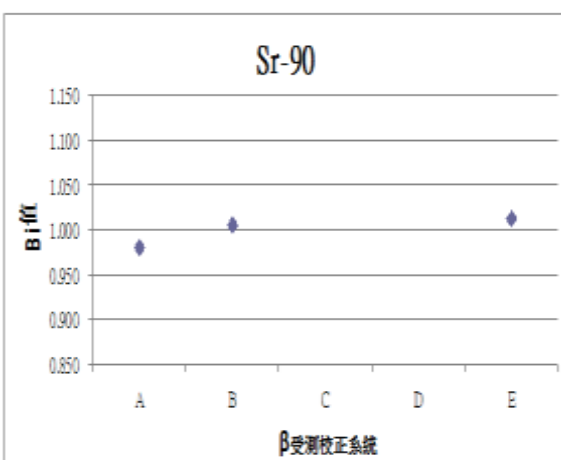
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 B.2.8. 輻射偵檢儀器校正能力試驗(a)和(b)低劑量率 Thermo RADEYE PRD-ER, s/n: 30125 以及高劑量率 RADIAC SET AV/VDR-2, s/n: 6560 測試結果；(c)和(d)累積劑量 Thermo/EPD-G Mk2.5, s/n: 06011673 測試結果；以及(e)和(f) 污染偵檢器 Thermo RADEYE B20, s/n: 30552 測試結果。

比對機構	照射器	偵檢器	量測值		標準值		校正因子 (k=2)	z
			μGy/h	Uc(%)	μGy/h	Uc(%)		
核生化 訓練中心	NRC-8μCi- 002	VDR-2	7.60	3.0	7.87	2.8	1.04±5.9%	0.74
		DT-616	138.95	3.7	141.95	3.4	1.02±7.4%	0.32
核生化 訓練中心	NRC-8μCi- 003	VDR-2	8.15	3.1	8.61	3.0	1.06±6.1%	0.24
		DT-616	148.10	4.5	168.61	4.4	1.14±8.9%	0.21
核生化 訓練中心	NRC-8μCi- 004	VDR-2	10.20	2.8	10.75	2.7	1.04±5.6%	0.76
		DT-616	158.45	3.8	180.39	3.8	1.14±7.6%	0.22
輻射度量儀 器校正實驗 室	GHS-5Ci	VDR-2	7.75	2.5	8.26	2.5	1.07±5.0%	-
		DT-616	151.25	2.7	165.29	2.5	1.09±5.0%	-

圖 B.2.9. 輻射偵檢儀器校正陸軍化生放核訓練中心受測實驗室同儕比對測試結果

環境試樣放射性核種分析能力試驗屬於全國性實驗室技術與品質能力分析，依據測試領域環境試樣放射性核種技術規範 TAF-CNLA-T09，採用加馬核種 ^{60}Co 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{85}Sr ；貝他核種 ^{85}Sr 、 ^3H 研製，進行能力試驗不同類別所含放射性核種之測試(圖 B.2.10.)。107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗，所有十個參加測試實驗室的分析結果，其平均相對偏差(Br)及相對精密度(S_A, S_B)均通過 TAF 能力試驗的要求。測試結果以土樣、水樣和不同核種整體表現如圖 B.2.11.至圖 B.2.13。

(a)

試驗種類	核種
1.水樣	γ , Sr-90, H-3, $G\beta$
2.濾紙	γ , Sr-90, $G\beta$
3.土壤	γ , Sr-90
4.植物	γ , Sr-90
5.牛乳	γ , Sr-90
6.肉類	γ , Sr-90
7.菇類	γ , Sr-90
8.米樣	γ , Sr-90
9.尿樣	γ , Sr-90, H-3
10.糞樣	γ , Sr-90



圖 B.2.10. 107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗(a)測試試樣、核種和 (b)樣品

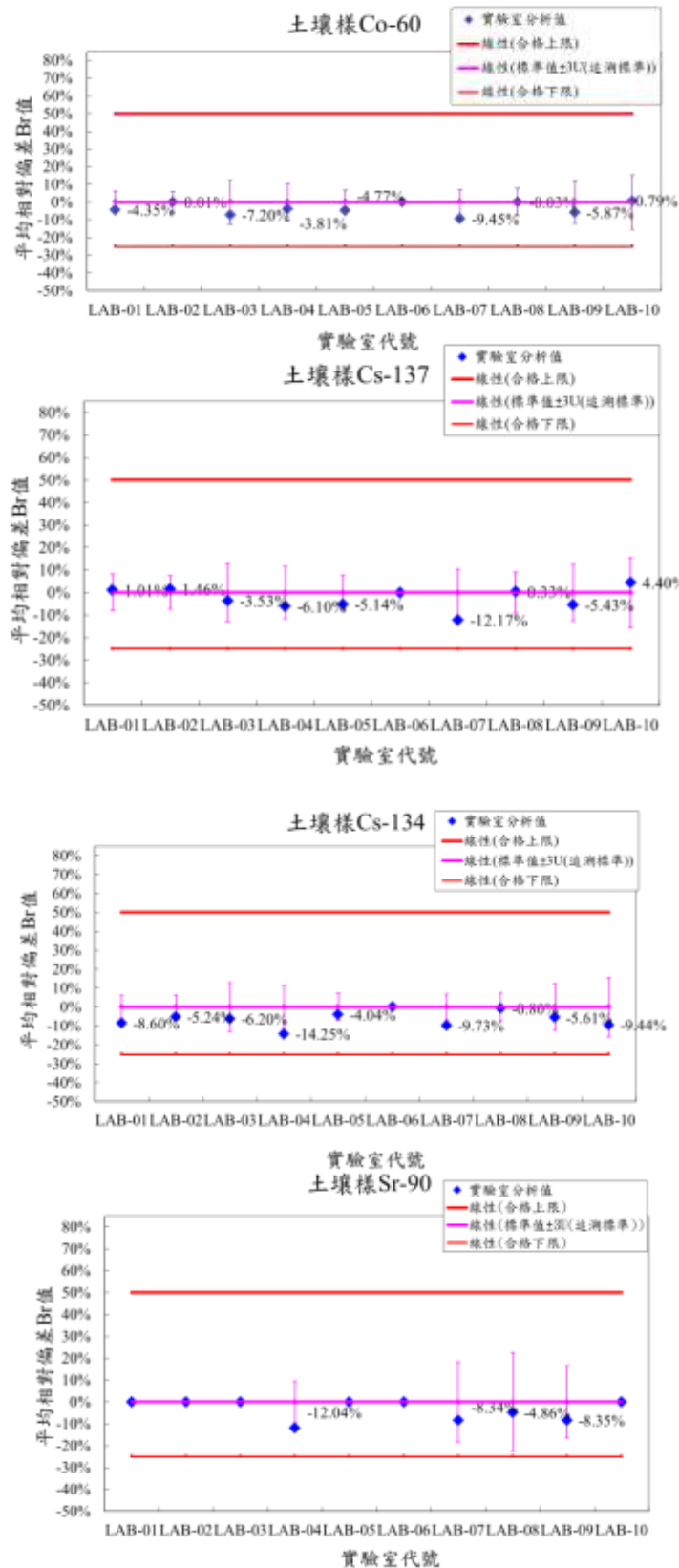


圖 B.2.11. 107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗之土樣測試結果

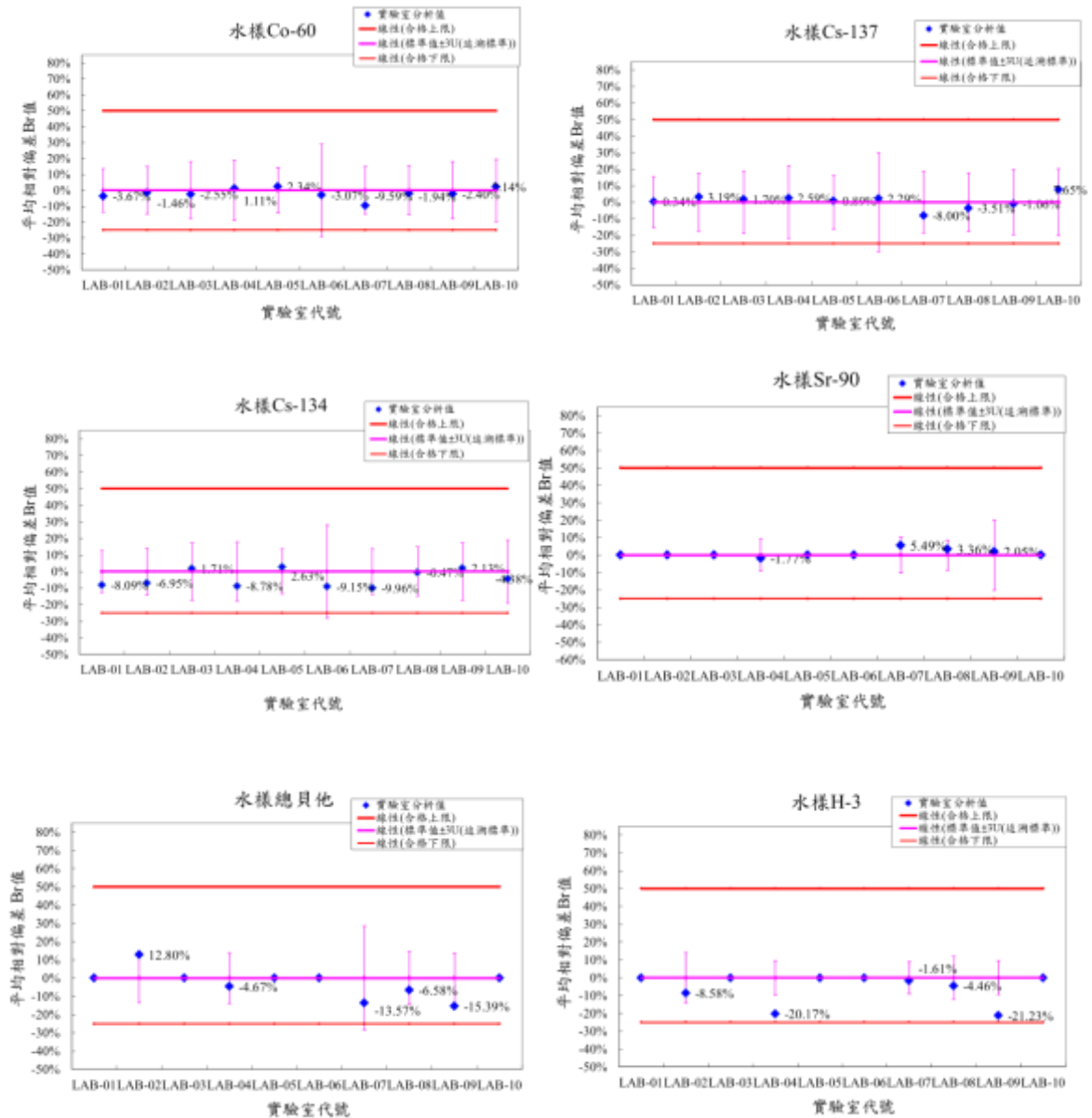


圖 B.2.12. 107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗之水樣測試結果

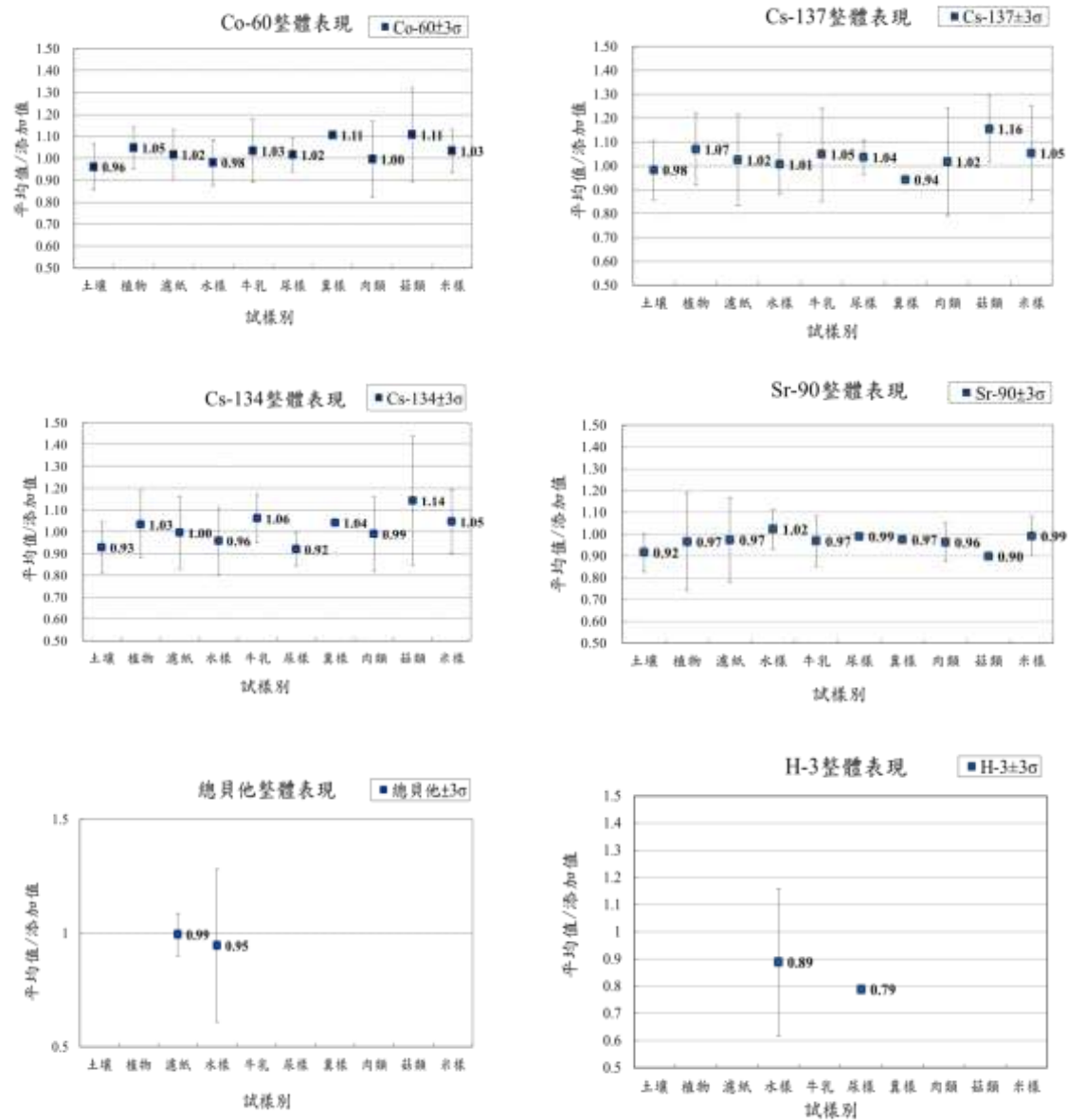


圖 B.2.13. 107 年度環境試樣放射性核種分析能力試驗之不同核種整體表現

中低強度核種分析能力試驗以核設施排放監測或分析實驗室之技術能力為考量。依據測試領域中低強度核種技術規範 TAF-CNLA-T10，今年度提供測試之類別核種項目為：氚核種分析、混合鈾 89/90 核種分析、混合鐵 55/59 核種分析和混合加馬核種分析，共有 4 個測試類別(含 9 個核種)，進行能力試驗不同類別所含放射性核種分析之能力試驗(測試樣品如圖 B.2.14)。6 家實驗室參與皆通過能力試驗。結果如圖 B.2.15 和圖 B.2.16。



圖 B.2.14. 107 年度中低活度核種分析能力試驗之測試樣品成品

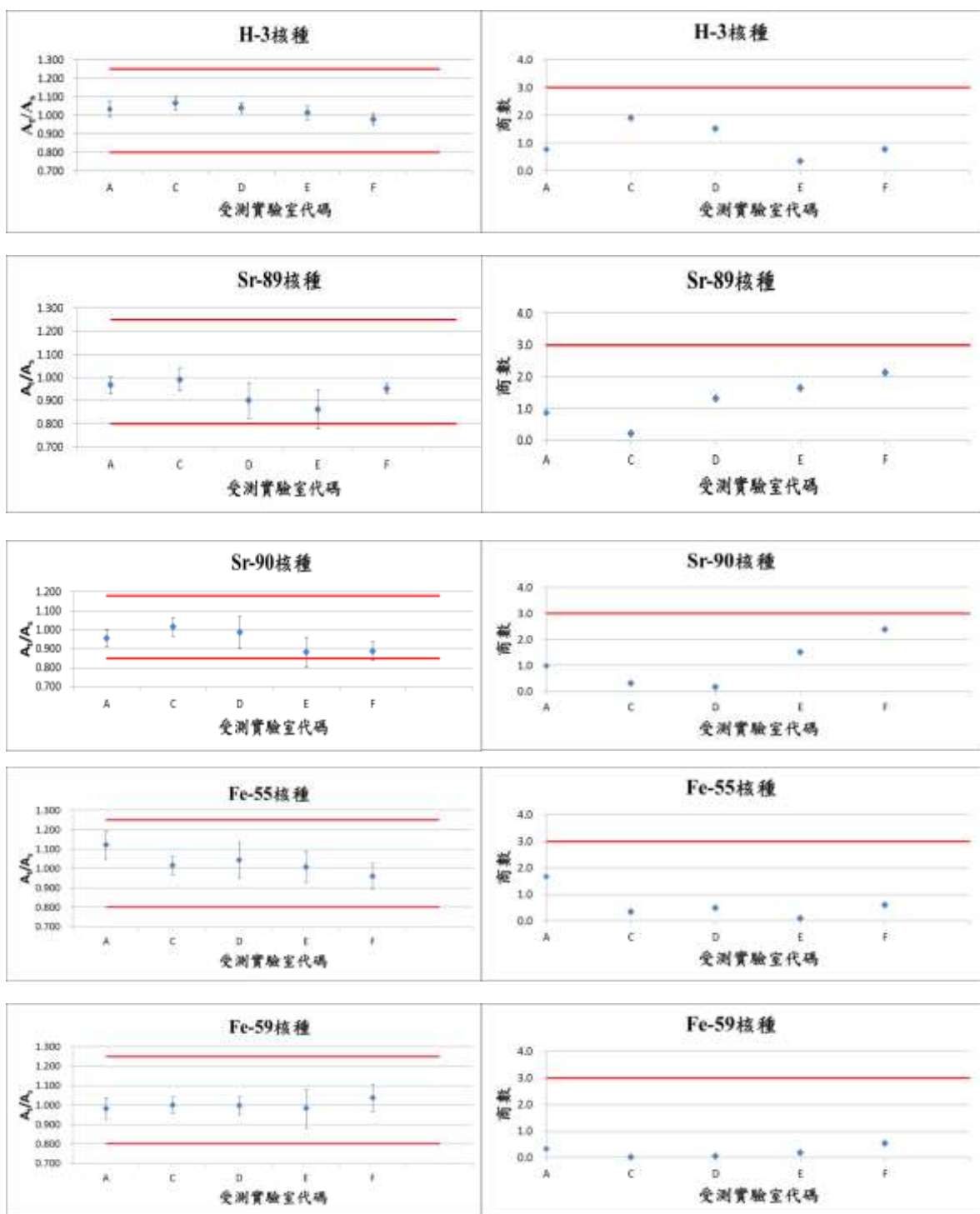


圖 B.2.15. 107 年度中低強度核種分析能力試驗之 H-3、Sr-89、Sr-90、Fe-55 和 Fe-59 核種量測值(A_t)和國家游離輻射標準實驗室(NRSL)量測值(A_s)之比值和商數(Q)測試結果

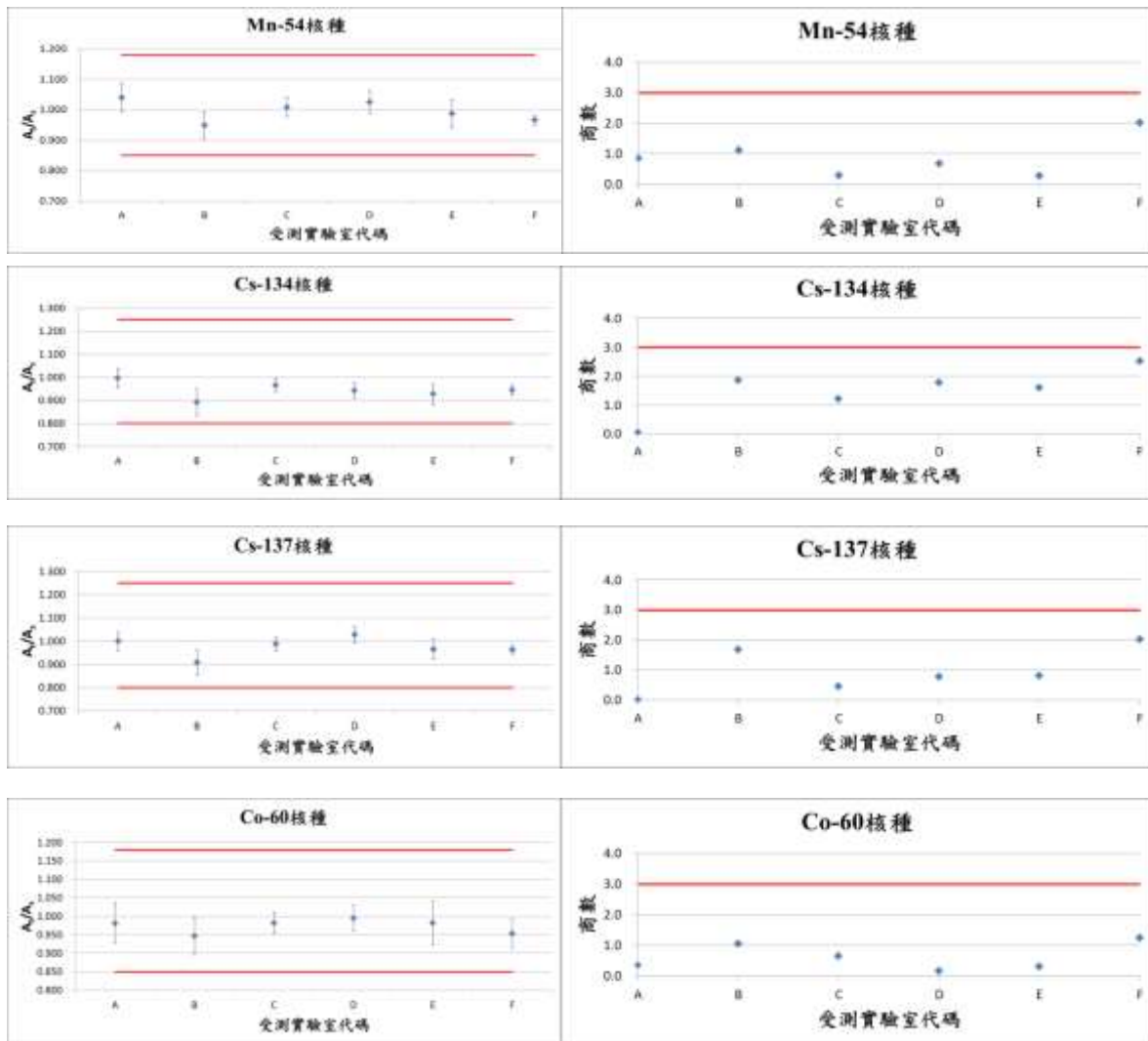


圖 B.2.16. 107 年度中低強度核種分析能力試驗之 Mn-54、Cs-134、Cs-137 和 Co-60 核種量測值(A_t)和 NRSL 量測值(A_s)之比值和商數(ζ)測試結果

B.3. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究

核醫劑量校正儀(Dose Calibrator)之調查和實測研究，設計射源乘載輔助器件進行現場測試(如圖 B.3.1.)，並使用與臨床試藥幾何條件相仿之膠體型射源進行測試，用以了解活度計之特性、誤差來源及分析國內各醫院活度計準確度狀況。初步調查國內活度校正儀校正情形，分別進行設備廠牌、型號的數量統計如圖 B.3.2。統計醫院劑量校正儀的使用狀態、定期品保項目執行現況、校正儀品質校驗執行頻率外，臨床實地量測幾何偵測效率的測試，呈現隨射源位置的改變，相異廠牌型號之間，有其相對應之偵測變化模式，摘錄部份結果如圖 B.3.3.。

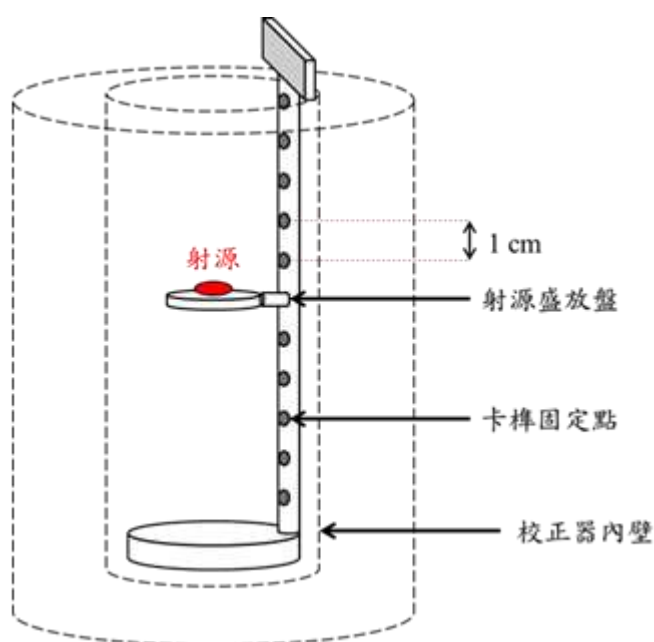
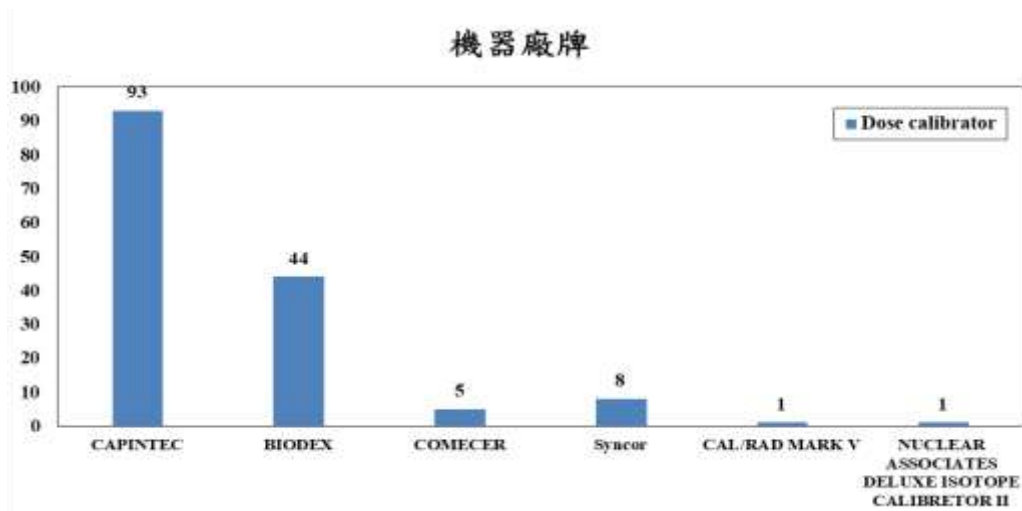
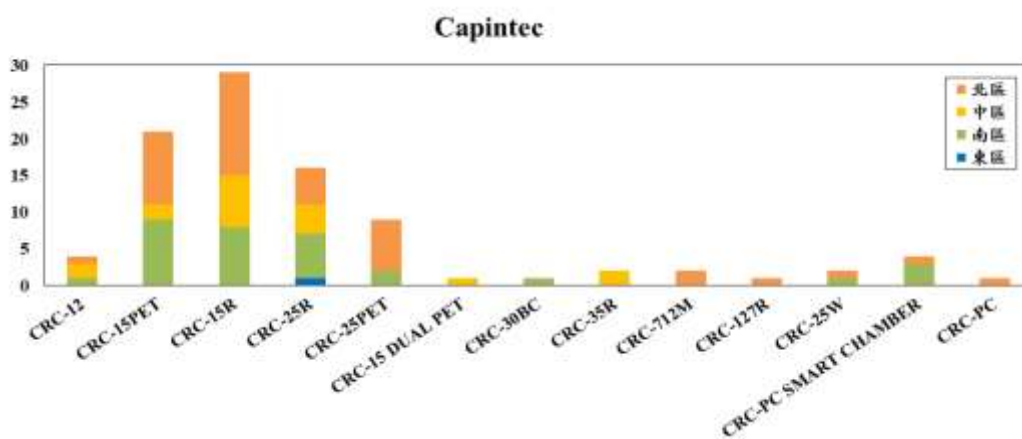


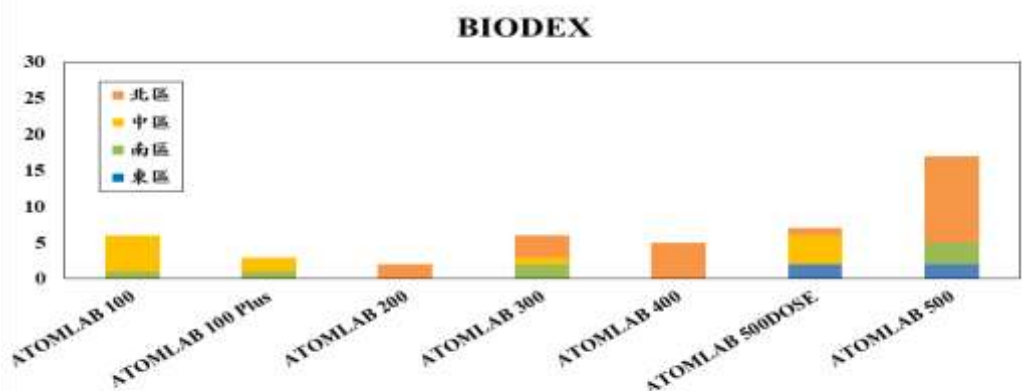
圖 B.3.1. 射源盛放附件結構設計圖



(a)

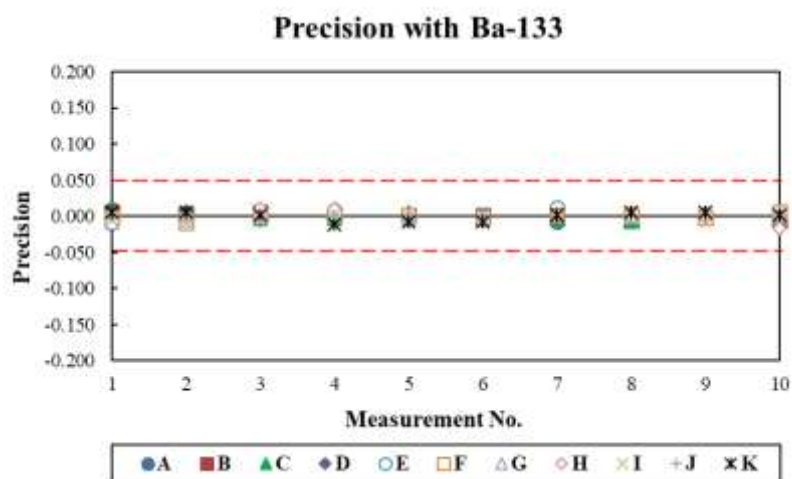


(b)

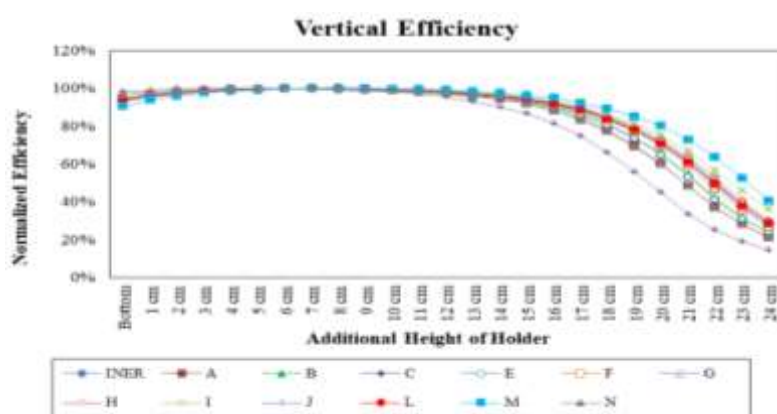


(c)

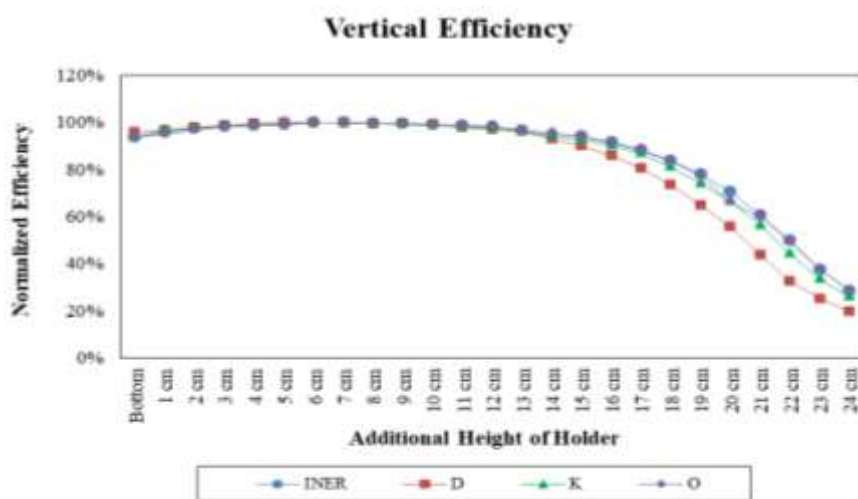
圖 B.3.2. 近年我國劑量校正儀之統計結果。
 (a)為製造廠牌占有數，主要使用廠牌為 Capintec 及 BIODIX。(b)和(c)分別為前述兩廠牌之型號統計數量。



(a)



(b)



(c)

圖 B.3.3. (a)醫院單位實測之精確度統計，結果顯示全體皆具備足夠穩定性；臨床劑量校正儀(b)Capintec 和(c) BIODEX 儀器各單位於上下方向幾何偵測效率之對應曲線。

高能中子劑量評估研究包括：高能加速器中子輻射劑量分析、能譜測量技術、高能中子指標量測程序等技術，本年度針對國內 235 MeV 醫用質子加速器及 3 GeV 電子加速器(國家同步輻射中心)進行高能中子實測研究，達到整套系統的驗證，評估不同類型加速器引發高能中子機制的差異，建立加速器設施正確的高能中子劑量評估技術。

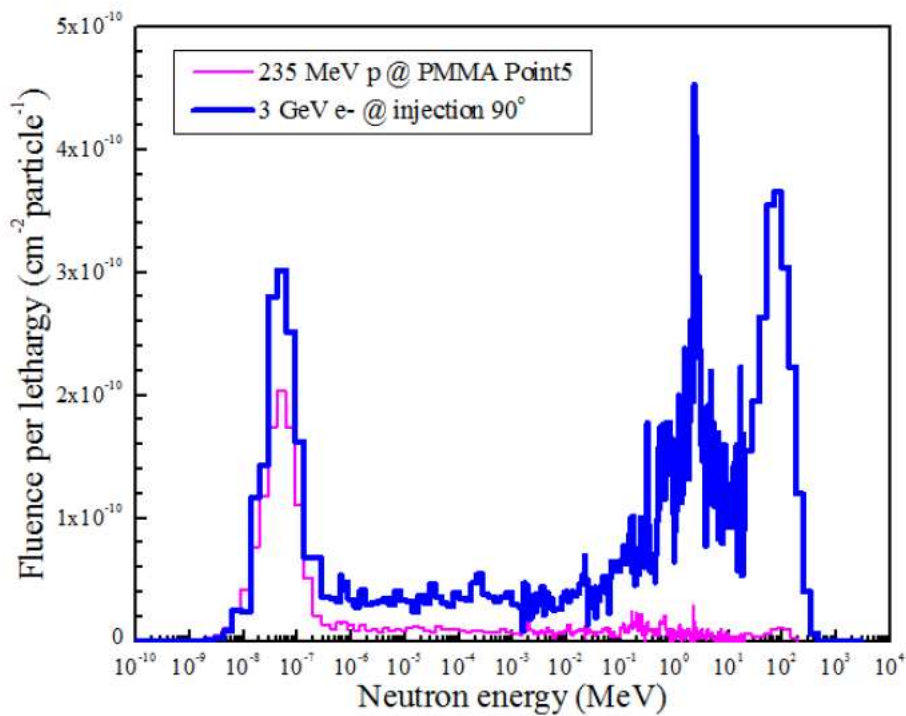


圖 B.3.4. 235 MeV 質子加速器與 3 GeV 電子加速器中子能譜

透過實驗進行國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器能譜修正，新能譜若再分別與相對應之響應函數進行 Folding，則可與 Corrected results 再次進行比較，可直觀的瞭解其差異，由其結果可觀察出，Unfolding 後的能譜再次 Folding 後，其趨勢與原始量測計數相當一致。

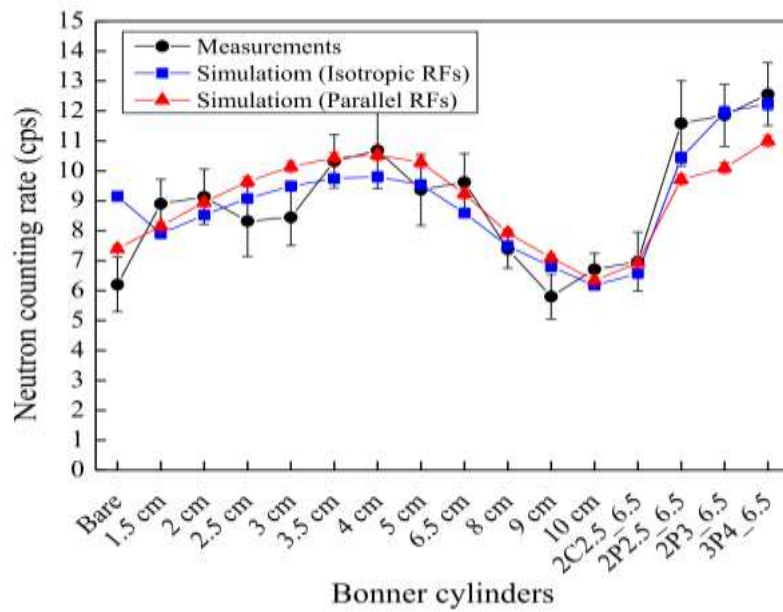


圖 B.3.5. 局部屏蔽安裝前之 Unfolding 結果與響應函數 Folding，再與原始量測計數進行比較

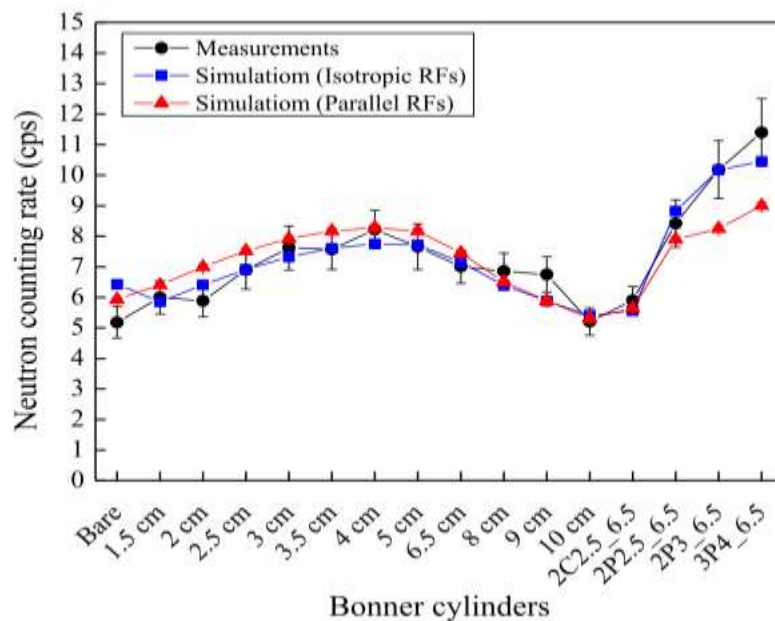


圖 B.3.6. 局部屏蔽安裝後之 Unfolding 結果與響應函數 Folding，再與原始量測計數進行比較

國家同步輻射研究中心 3 GeV 電子加速器之結果整理：(1)局部屏蔽安裝前，PE 圓柱(Cf-252 校正)量測的劑量率為 $0.411 \mu\text{Sv/h}$ ，利用未知能譜的劑量修正技術則上升為 $0.956 \mu\text{Sv/h}$ ；利用已知能譜的劑量修正技術則上升為 $0.801 \mu\text{Sv/h}$ 。而直接由模擬計算預期的劑量率為 $0.465 \mu\text{Sv/h}$ ，經由能譜

測量換算成劑量率則為 0.512-0.593 $\mu\text{Sv/h}$ 。(2)局部屏蔽安裝後，PE 圓柱(Cf-252 校正)量測的劑量率為 0.299 $\mu\text{Sv/h}$ ，利用未知能譜的劑量修正技術則上升為 0.528 $\mu\text{Sv/h}$ ；利用已知能譜的劑量修正技術則上升為 0.634 $\mu\text{Sv/h}$ 。相較之下，直接由模擬計算預期的劑量率為 0.356 $\mu\text{Sv/h}$ ，經由能譜測量換算成劑量率則為 0.443-0.549 $\mu\text{Sv/h}$ 。二案例皆顯示高能中子修正是有效的。

表 B.3.1. 局部屏蔽安裝前後劑量率相關修正參數

	局部屏蔽安裝前	局部屏蔽安裝後
(a) PE 計數(cps)	9.62	7.01
(b) PE 量測計量率($\mu\text{Sv/h}$)	0.411	0.299
(c)未知能譜之 PE+Pb / PE 高能中子能譜指標(x)	1.291	1.168
(d)未知能譜之修正因子(y)	2.327	1.766
(e)未知能譜劑量率修正($\mu\text{Sv/h}$)	0.956	0.528
(f)已知能譜之高能中子比例(x)	53.8	57.2
(g)已知能譜之修正因子(y)	1.950	2.121
(h)已知能譜劑量率修正($\mu\text{Sv/h}$)	0.801	0.634
(i)模擬分析所得之劑量率($\mu\text{Sv/h}$)	0.465	0.356
(j)能譜量測所得之劑量率($\mu\text{Sv/h}$)	0.512-0.593	0.443-0.549

質子治療設備已於 2015 年底開始臨床醫療服務，而治療計畫中尚未實施評估劑量生物劑量(biological dose)，影響生物劑量的其中一個因素為射束品質，因此本計畫的目的為建立直線能量轉移(射束品質)評估系統以用於來推算，優化病人的治療計畫或對設施安全評估取得更多的資訊。

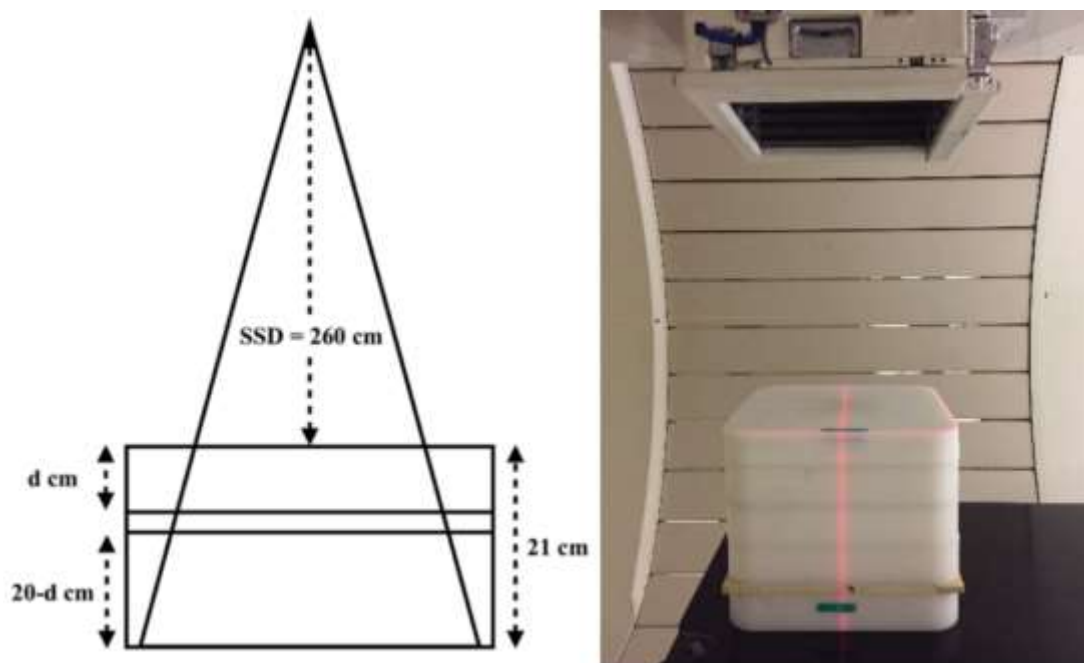


圖 B.3.7. 系統驗證照射幾何（左）與實際照射情形（右）

系統驗證呈現，游離腔偵檢器測量出來的百分深度劑量、與藉由蒙地卡羅模擬所得到的百分深度劑量以及本次照射實驗利用熱發光劑量計所評估之百分深度劑量，三者 in SOBP 末端下降處有良好的一致性。

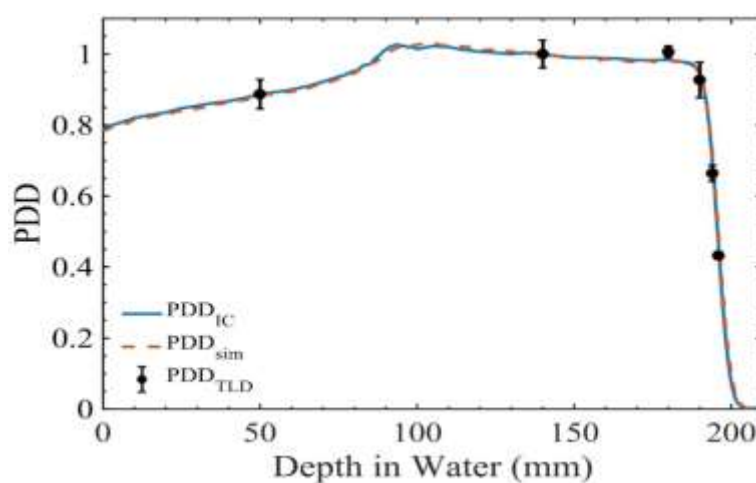


圖 B.3.8. 百分深度劑量之系統驗證結果

質子治療照射的臨床實驗，對熱發光劑量計進行量測並評估其直線能量轉移，對此直線能量轉移量測系統進行驗證，證明直線能量轉移評估系統可實際應用，有助於醫療院所進行質子治療時之直線能量轉移評估。

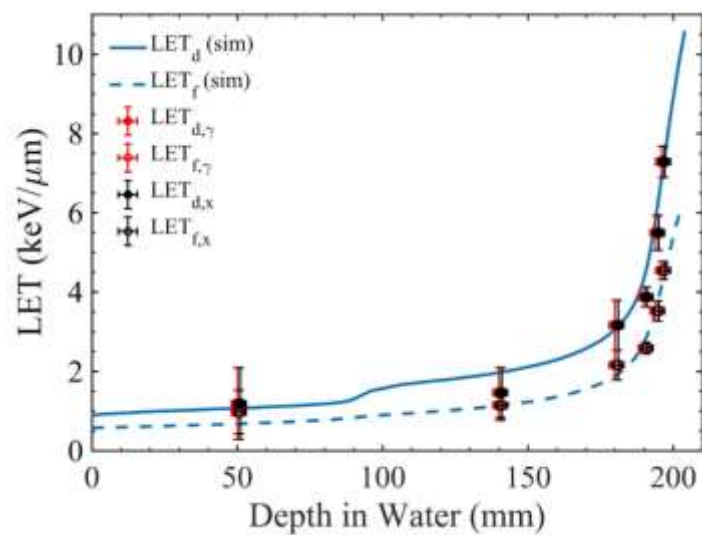


圖 B.3.9. 直線能量轉移之系統驗證結果

B.4. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究

目前生物劑量實驗室於 107 年度已完成 43 例正常國人背景染色體雙中節分析，一共分析 22,837 顆細胞，發現 17 個雙中節(dicentric)於 17 顆細胞中，目前資料庫國人背景雙中節發生率為 0.74‰，即是 1000 顆細胞中有 0.74 個雙中節發生率(表 B.4.1.)。

表 B.4.1. 107 年度國人背景值數據分析

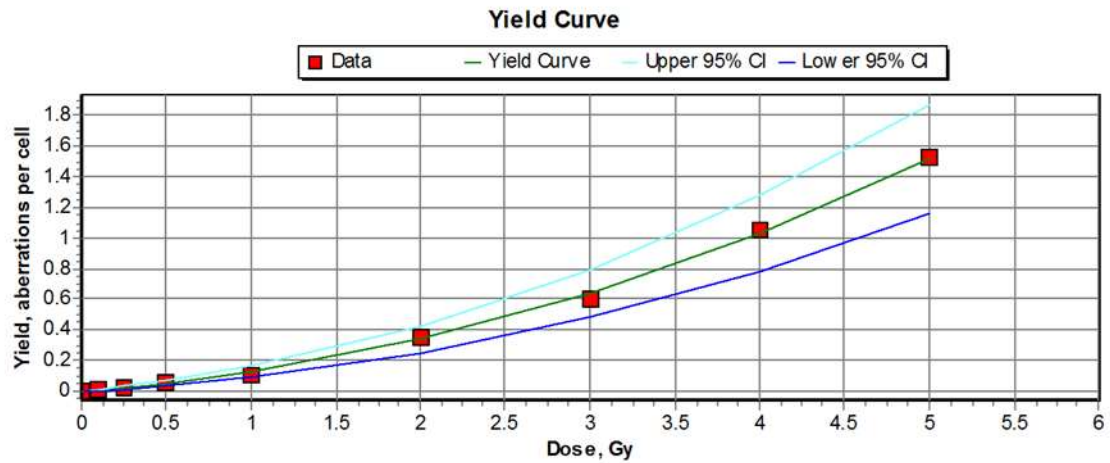
107背景值	分析數量	有效數量	雙中節數
1	1100	1014	0
2	1275	1042	0
3	1050	1009	1

與高雄醫學大學合作取得正常人血液進行年度反應曲線分析工作，血液樣品取得分裝後，請國家標準實驗室進行鈷-60 照射，照射劑量分別為 0.1、0.25、0.5、1、2、3、4、5 Gy，劑量照射後，將血液樣品進行細胞培養、細胞收穫、固定化、噴片、染色、封片、顯微鏡掃描，以及細胞影像分析。經過整理統計後，利用 Dose Estimate 專業分析軟體，分析計算出實驗之反應曲線(表 B.4.2.、圖 B.4.1.)。

101 至 107 年度陸續完成了六條人員生物劑量反應曲線，並經由統計方式合併成一條人員生物劑量標準曲線(圖 B.4.2 和圖 B.4.3)。

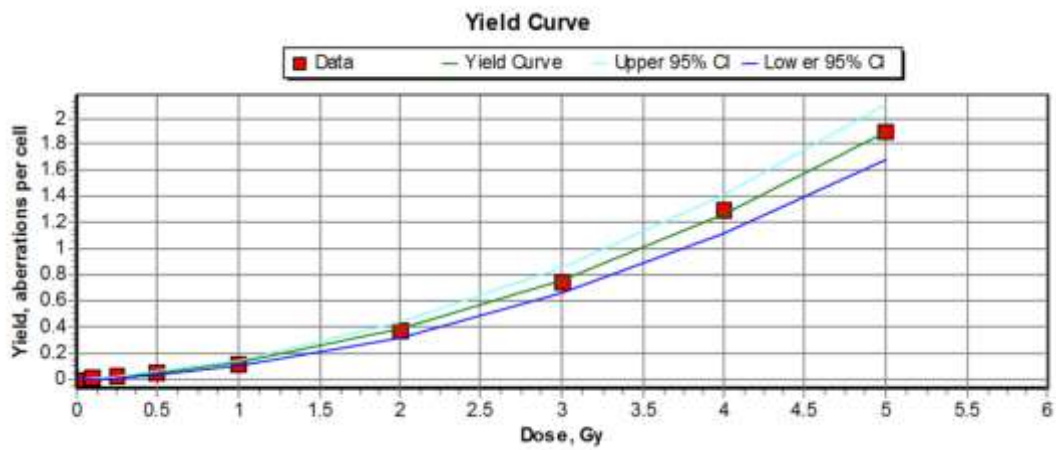
表 B.4.2. 107 年度反應曲線數據分析

Dose (Gy)	No. of Cells Scored	No. of Dicentric Chromosomes	Dicentric Distribution								Variance/Mean	U	Yield
			0	1	2	3	4	5	6	7			
0	1020	1	1019	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0.001
0.1	520	8	512	8	0	0	0	0	0	0	0.987	-0.232	0.015
0.25	506	11	495	11	0	0	0	0	0	0	0.98	-0.33	0.022
0.5	505	27	478	27	0	0	0	0	0	0	0.948	-0.835	0.053
1	518	57	461	57	0	0	0	0	0	0	0.892	-1.76	0.11
2	412	148	281	115	15	1	0	0	0	0	0.886	-1.64	0.359
3	191	115	108	55	24	4	0	0	0	0	1.03	0.288	0.602
4	95	100	28	40	21	6	0	0	0	0	0.735	-1.83	1.05
5	99	151	20	32	27	15	5	0	0	0	0.804	-1.38	1.53



$$Y=0.0013\pm0.0011 + 0.0780\pm0.0121*D + 0.0451\pm0.0048*D^2$$

圖 B.4.1. 107 年度反應曲線圖形與反應方程式



$$Y=0.0023\pm0.0014 + 0.0625\pm0.0086*D + 0.0635\pm0.0026*D^2$$

圖 B.4.2. 合併 101-107 年度反應曲線結果與反應方程式

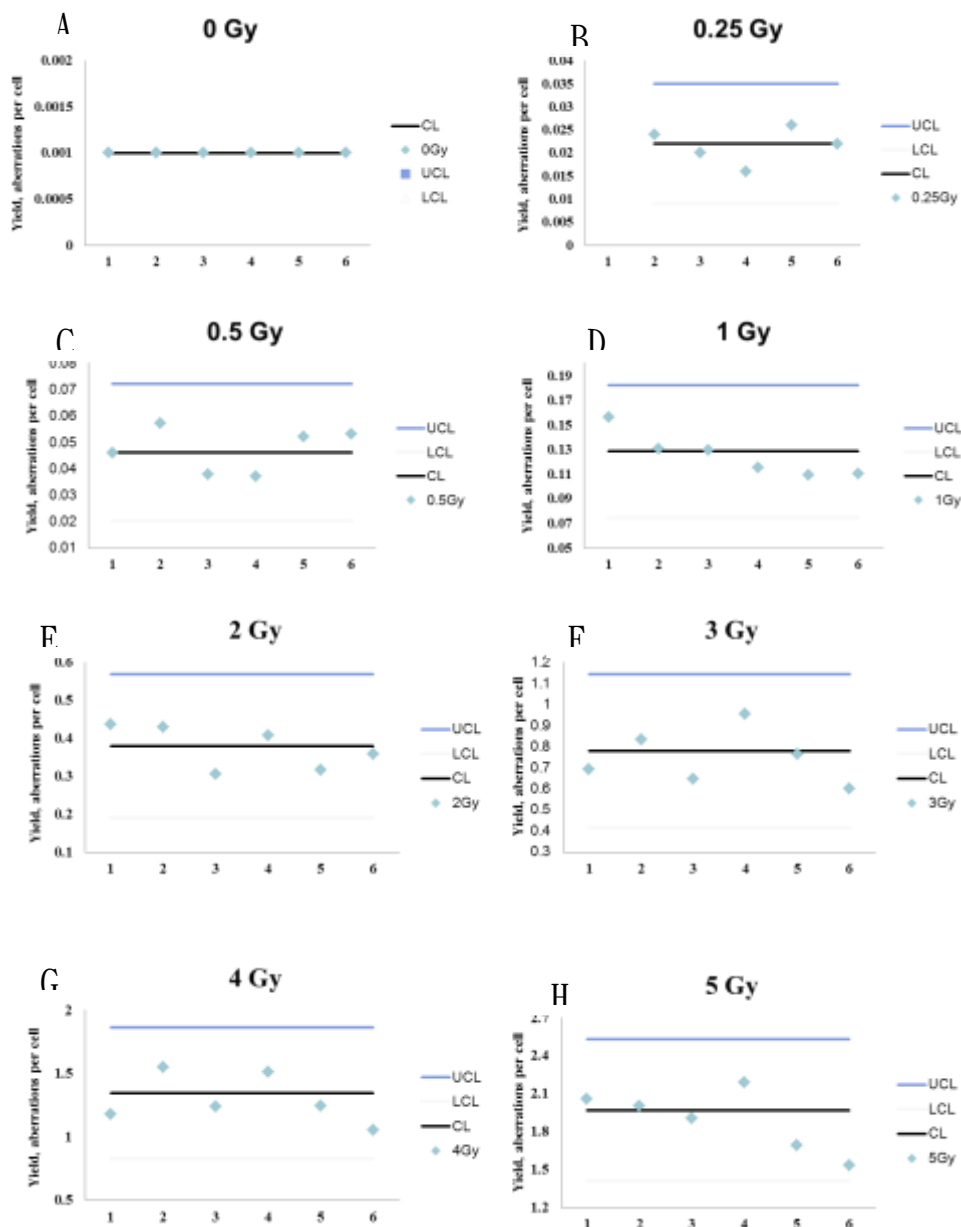


圖 B.4.3. 整合 101-107 年度反應曲線統計分析(1~6 分別代表 101、102(a)、102(b)、105、106、107 年)(A~F 分別代表輻射照射劑量為 0、0.25、0.5、1、2、3、4、5 Gy)

經由國際發表文獻、期刊內容，瞭解本實驗室建置之標準反應曲線與國際間實驗室之差異性(圖 B.4.4.)，在與國際間(如韓國 2019 發表於 Ann Lab Med、沙烏地阿拉伯 2014 發表於 Biotech、IAEA2011 之 Biodosimetry 報告、巴西 2015 發表於 Braz J Med Biol Res、香港 2013 發表於 Hong Kong Med J)。

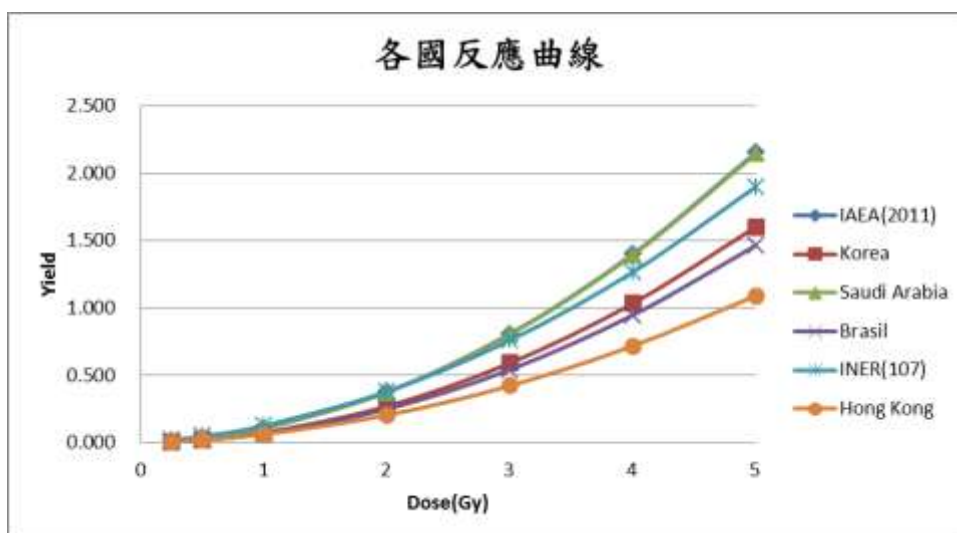


圖 B.4.4. 各國反應曲線

國際比對工作於 107 年初 1 月 26 日即接獲加拿大衛生部通知於本年度 3 月 13 日將由加拿大寄出血液樣本以進行本年度國際比對工作(圖 B.4.5.); 於 5 月 22 日即完成 10 管血液之染色體影像擷取至分析工作，並將檢視結果以 mail 回覆拿大衛生部(圖 B.4.6.); 於 10 月 28 日再次詢問本年度國際比對結果，加拿大衛生部 Dr. Wilkins 回覆表示，由於今年度尚有多家實驗室之樣本分析結果尚未寄回，故目前尚無法將最終結果給予本計畫(圖 B.4.7.)。

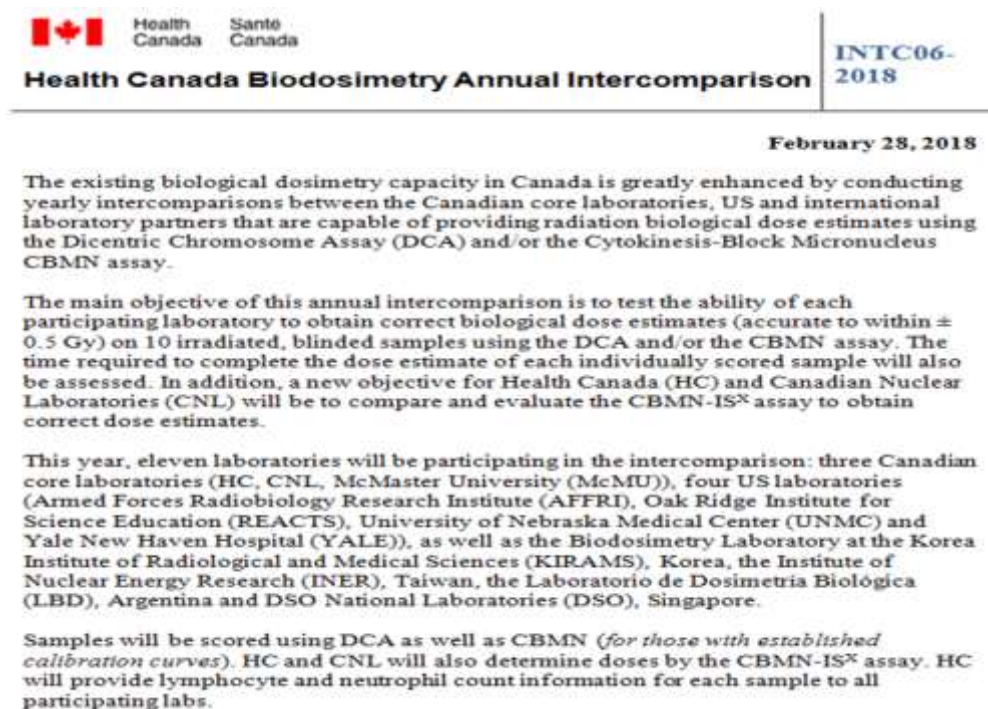


圖 B.4.5. 加拿大衛生部國際比對工作參與邀請函

