

# 109 年度政府科技發展計畫 績效報告書 (D006)

計畫名稱：輻射防護管制規範與度量技術研究  
技術研究 (4/4)

執行期間：

全程：自 106 年 1 月 1 日 至 109 年 12 月 31 日止

本期：自 109 年 1 月 1 日 至 109 年 12 月 31 日止

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會輻射防護處  
行政院原子能委員會核能研究所

中華民國 110 年 3 月 18 日



# 目 錄

<b>【109 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】</b> .....	<b>1</b>
<b>第一部分</b> .....	<b>7</b>
<b>壹、目標與架構(系統填寫)</b> .....	<b>8</b>
一、總目標及其達成情形.....	8
二、架構(系統產出，不另行填寫) .....	27
三、細部計畫與執行摘要.....	28
<b>貳、經費執行情形</b> .....	<b>35</b>
一、經資門經費表 (E005) .....	35
二、經費支用說明.....	36
三、經費實際支用與原規劃差異說明.....	36
<b>參、主要產出與關鍵效益 (E003)</b> .....	<b>37</b>
<b>第二部分</b> .....	<b>42</b>
<b>壹、成果之價值與貢獻度</b> .....	<b>43</b>
<b>貳、檢討與展望</b> .....	<b>56</b>
<b>參、其他補充資料</b> .....	<b>60</b>
一、跨部會協調或與相關計畫之配合 .....	60
二、大型科學儀器使用效益說明 .....	60
三、其他補充說明(分段上傳).....	60
<b>附表、佐證資料表</b> .....	<b>61</b>
<b>附件、計畫成果完整說明</b> .....	錯誤! 尚未定義書籤。
<b>【109 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】</b> .....	<b>64</b>

## 【109年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號	109-2001-02-17-06					
計畫名稱	輻射防護管制規範與度量技術研究(4/4)					
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	<input type="checkbox"/> 政策計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 一般計畫					
計畫群組及比重	環境科技 100%					
執行期間	109年01月01日至109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	10,750		7.2		
	109	10,800		7.5		
	合計	44,947		31.2		
	109 年度	經費項目		預算數(千元)	決算數(千元)	執行率(%)
		經常門	人事費	0	0	-
			材料費	1,516	1,498	98.83
			其他經常支出	5,684	4,985	87.70
			小計	7,200	6,483	90.04
		資本門	土地建築	0	0	-
儀器設備			3,600	3,566	99.06	
其他資本支出			0	0	-	
小計	3,600		3,566	99.06		
經費合計		10,800	10,049	93.04		
政策依據 (請依計畫書 規劃填列)	一、【行政院原子能委員會106年至109年中程施政計畫】(壹、施政綱要二、保障環境及民生輻射安全之(一)嚴密輻射防護安全管理、(二)強化核(輻射)災害防救能量，與三、原子能科技應用研究發展之(一)推動民生應用基礎研究和(二)發展工					

	<p>程跨域整合技術。</p> <p>二、【行政院 108 年度施政方針】</p> <p>(一) 之「壹、內政、族群及轉型正義」之四：加強社會安全網，確保社會安定；強化反詐騙工作，全力防制詐欺犯罪；落實治安教育訓練，強化國家關鍵基礎設施安全防護；<u>提升複合型災害防救量能</u>，精進緊急救護品質與效能。</p> <p>(二) 之「伍、教育、文化及科技」之十三：推動亞洲·矽谷、綠能科技、<u>生醫產業</u>、智慧機械、新農業、循環經濟圈、晶片設計及半導體前瞻科技，以及文化科技創新等產業創新關鍵技術研發，投入量子電腦、數位醫藥及奈米科技創新等產業應用，導入國際與台灣新創生態系，<u>提升台灣科技應用創新</u>。</p> <p>之十六：<u>強化輻射安全管制及輻射災害防救量能</u>，落實環境輻射劑量調查；嚴格執行核電廠除役、核廢料處理及核電廠安全管制作業，<u>推動公眾參與監督及資訊透明機制</u>；拓展原子能科技民生應用，研發綠色能源產業關鍵技術。</p> <p>(三) 之「捌、勞動、衛生福利及環境保護」之一：完備職業安全衛生法制，強化高風險事業防災機制，擴大職場健康照護範圍；<u>加強職場危害及預防機制調查研究</u>；完善職業災害保險制度，<u>確保安全職場環境</u>。</p>
<p>與國家科學技術發展計畫之關聯 (請依計畫書規劃填列)</p>	<p>一、目標： 【國家科學技術發展計畫(106年至109年)】4大目標之(二)堅實智慧生活科技與產業</p> <p>二、策略：</p> <p>(一) 醫療技術：因應生醫產業與個人化醫療的國際新趨勢，積極推動精準醫療科技，致力於精進輻射防護管制措施及強化劑量評估檢校能力，維護國民健康</p> <p>(二) 災害防治：建立輻射意外曝露應變作業程序及法規，建置與維持國家級輻射生物劑量實驗室及我國生物劑量標準反應曲線，以助重建輻射意外事故中受影響人員之輻射曝露劑量。</p>
<p>本計畫在機關施政項目之定位及功能 (請依計畫書規劃填列)</p>	<p>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除核子設施外，尚包括：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。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，提升輻防相關量測技術，</p>

	<p>並使量測結果追溯至國家游離輻射標準，使相關技術與國際接軌。考量科技專業性，本計畫將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。</p> <p>二、本計畫之目的，在於因應國際最新法規與管制實務趨勢，及強化國內輻防科技發展，以輻射防護管制規範與度量技術研究為中心規劃，進行輻射防護管制規範與技術、輻射偵測與儀器檢校、輻防劑量評估與稽核驗證方法、人員與生物劑量評估等研究。考量原子能科技應用的全面性，因應國內外趨勢建立基礎量能和量測系統，含可能遭遇的輻射曝露意外事件，以提升游離輻射防護管制技術，確保民眾健康及輻射安全。</p>
<p><b>計畫重點描述</b></p>	<p>本計畫主要工作：</p> <p><b>一、輻射防護技術規範與劑量評估精進研究</b></p> <p>配合 ICRP-103 號報告建議書納法研議，政府保障環境及民生輻射安全之施政目標，提升國內輻防觀念及確保技術規範與架構符合國際趨勢，落實輻防最適化管制作為。本計畫將參酌國際最新輻防管制趨勢，針對技術規範、眼球水晶體劑量等輻防架構、管制作業影響及評估技術進行研析，評估游離輻射防護法研修方向及對現行輻防管制體系之影響，並提供相關系統與實務建議。</p> <p><b>二、輻射防護能力試驗技術研究</b></p> <p>本計畫參考國際規範與輻防法規，因應國內人員劑量計、輻射偵檢儀器校正等面向之管制需求，於本年度特別增加國內實驗室中子偵檢器校正技術能力研究，與執行臨時交辦之全身計測實驗室比對驗證。透過持續維持與精進能力試驗之執行設備、劑量追溯系統、量測技術與作業程序，配合實驗室認證週期，同步分析國內實驗室技術現況及辦理技術研討會，進行教育訓練與技術交流。</p> <p><b>三、人員生物劑量染色體變異評估技術研究</b></p> <p>本計畫持續推動人員生物劑量評估技術之研發，針對國人染色體變異背景值作分析，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，並透過建立國人染色體變異背景值，將有助於重建輻射意外事故中受影響人員之輻射曝露。</p>

<p>主要績效指標</p>	<p>原設定</p>	<p>論文 3 篇（國際至少 2 篇）、研究團隊養成 4 個（全程）、博碩士培育 1 人、研究報告 4 篇、辦理學術活動 2 場、手冊 1 份、技術報告 1 篇。</p>
	<p>達成情形</p>	<p>論文 3 篇（SCI 投稿 2 篇、會議論文 1 篇）、研究團隊養成 3 個（全程）、博碩士培育 2 人、研究報告 5 篇、辦理研討會 3 場、手冊 1 份、技術報告 1 篇、形成技術規範 1 份</p>
<p>計畫效益與重大突破</p>	<p><b>一、輻射防護技術規範與劑量評估精進研究</b></p> <p>(一) 舉辦兩場游離輻射防護技術規範修訂草案之研討會，蒐集各界意見，以確保我國之輻防體系符合國際趨勢及規範施行可行性與技術可行性等需求。</p> <p>(二) 依據 ISO 4037:2019 建置光子眼球水晶體劑量校正射質，建立國家劑量追溯體系，以提供眼球水晶體劑量計的校正及能力試驗，進而提升眼球水晶體劑量評估之準確性。</p> <p>(三) 動態擬人假體在輻射劑量的評估技術研究，其結果有助於正確評估個人劑量計位於不同位置的計讀結果，有利於建立醫療人員嚴謹的輻射劑量評估技術與防護參考。</p> <p><b>二、輻射防護能力試驗技術研究</b></p> <p>(一) 人員劑量計能力試驗研究，可確保國內 8 家第一線實驗室技術能力，保障 5 萬 2 千餘輻射從業人員，涵蓋核設施、工業、醫院、研究機構等職業曝露輻射安全。彙整近十年能力試驗資料以 SCI 期刊論文刊出，於國際上展現我國相關輻防研究與管制之良好成果。</p> <p>(二) 與 TAF 合作之「測試領域肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」於 3 月正式公告實施，促使國內實驗室產業技術符合國際規範要求，強化輻防管制之科學依憑。</p> <p>(三) 執行臨時交辦「全身計測實驗室比對試驗」，參與的 5 個實驗室 10 部量測系統皆通過測試，確保輻射工作人員及鄰里民眾體內污染量測結果之準確性。</p> <p><b>三、人員生物劑量染色體變異評估技術研究</b></p> <p>(一) 統計 104 年至 108 年，共有 7 例男性，6 例女性之背景值數值，依據統計原理，分別在男女性別、年齡差異及居住地別上進行 t-test 統計分析，其分析結果皆顯示未有顯著差異。此結果說明在未接受到輻射曝露的情況下，染色體發生變異率不因性別、年齡或居住地區不同而有差異。</p>	

	<p>(二) 以流式細胞技術(Flow cytometry)及酵素結合免疫吸附分析法進行 gamma-H2AX 分析方法測試。以人血照射不同劑量測試，二種分析方法皆呈現隨劑量增加，gamma-H2AX 蛋白也隨著增加。Flow cytometry 分析方法在有劑量與 0 Gy(對照組)有較明顯差異。</p>
<p><b>遭遇困難與因應對策</b></p>	<p><b>遭遇困難：</b></p> <p>本計畫規劃與執行的工作，應屬國家輻射防護基礎建設的一環，無論在輻射防護法規的更新或執行，本計畫成果能確保我國輻防法規的國際追隨性，及確保國內各專業實驗室具備足夠的技術能量，支持輻防法規的執行或更新。然而，基礎建設非一朝一夕之功，遭遇困難說明如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 執行計畫之核能研究所，因近年資深及技術人員大量離退，常有暫時性人力短缺與異動狀況；加上所內採購作業與行政管理因專業性與繁複性逐年增加，使資深人員需投入更多人力與時間成本於人員訓練及行政作業，而新近人員亦得不到深度的技術經驗累積。</li> <li>2. 計畫經費逐年降低，編列預算僅夠維持周邊量測系統(高壓產生器、電量計與高電壓導線等設備及材料)於堪用程度，不足以處理照射系統本體老化或部分輻射源衰變更換問題，例如：X 光機已逾使用時數、Co-60 活度衰變使標準劑量低於放射治療等級約一個數量級等潛在問題。唯在計畫執行面上以實測確認可完成本年度計畫工作與應辦事項。</li> </ol> <p><b>因應對策：</b></p> <p>建請主管機關須持續投入穩定的資源，方能維持各項基礎設施、關鍵人力與技術能力，並積極爭取其它資源支持，確保輻射防護法規可持續獲得可靠的技術支援與穩定的關鍵人力，保障全民的輻射安全。</p>
<p><b>後續精進措施</b></p>	<p><b>一、輻射防護技術規範與劑量評估精進研究</b></p> <p>(一) 本年度於台北、高雄共辦兩場研討學術會議，收集各方意見，確認修正草案之可行性。本分項工作有助於推動國內輻射防護觀念之更新，建構符合國際潮流與國內生態的輻射防護管制體系，後續將持續投入研究量能，建立相對應主管機關管制/業者因應之技術。</p> <p>(二) 依據國際修法趨勢，眼球水晶體劑量限度修訂係優先度最高之項目，持續配合相關計畫，於國內建立相對應之眼球水晶體劑量校正、計測、宣導與服務技術及程序等監測體系。</p> <p><b>二、輻射防護能力試驗技術研究</b></p>

	<p>(一) 由本計畫主導的肢端劑量能力試驗技術規範，已於 109 年度參考 ANSI/HPS N13.32(2018)國際最新版本標準與試運轉結果，與 TAF 合作完成「測試領域肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」並公告實施，提供國內產業使用。本技術規範將作為 110-111 年度首度正式執行肢端劑量能力試驗之依據，致使提供第一線技術服務的實驗室具備良好技術水平、接軌國際品質系統。</p> <p>(二) 參考國際 IAEA 定期提供 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，本計畫規劃之輻射偵測儀器能力試驗研究(109-110 年度)涵蓋實驗室家數為歷年之最，並納入電廠除役所需的中子偵檢器，回應民眾關注輻射偵檢結果與準確度議題，其能力試驗研究可評估各家實驗室校正品質，並透過交流提升技術能力，把關第一線技術服務，保障民眾與工作人員之輻射安全。</p> <p><b>三、人員生物劑量染色體變異評估技術研究</b></p> <p>因應 ISO 17025:2017 新版改版，本年度已順利通過監督評鑑，未來也將持續維持品質系統認證。目前染色體雙中節變異技術已發展純熟，未來將再開發新的分析方法，希望可以與現有染色體雙中節變異技術互相進行比對，並補足 0.1 Gy 以下現行方法無法偵測之部分。</p>			
計畫連絡人	姓名	吳思穎	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	szwu@aec.gov.tw

# 第一部分

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

# 壹、目標與架構(系統填寫)

(計畫目標與架構之呈現方式應與原綱要計畫書一致，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、總目標及其達成情形

### 1. 全程總目標：

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，來確保人員及環境之輻射安全，近年國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)、歐盟陸續出版許多管制建議與規範，輻防管制架構(如曝露情境)已有整體上之變革，鑑於輻防管制措施必須與時俱進，故亟待進行游離輻射防護法及相關技術規範法制精進之研究，另亦需持續提升管制業務所需之輻射量測、儀器檢校及劑量評估驗證技術能力，強化輻射災害應變能量，以完善整體輻射防護管制體系，確保民生及環境輻射安全。

綜上，本計畫係以提升輻防管制效能為計畫總目標，維護民眾之健康及安全為前提，確保「核安輻安，民眾心安」，並推動原子能科技在核設施除役、工業應用、放射診療等民生安全議題之研究發展，提升國家及國內核種活度和輻射劑量之度量技術。落實原子能科技於社會民生福祉與環境永續發展之目標，堅實智慧生活科技與產業，增進社會大眾對原子能施政之信心。

本計畫全程執行 5 項主要工作項目(執行年度)如下：

- (1) 核設施除役輻射防護管制技術研究(106-107)
- (2) 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究(108-109)
- (3) 輻射防護能力試驗技術研究(106-109)
- (4) 輻射應用劑量評估與檢校技術研究(106-108)
- (5) 人員生物劑量染色體變異評估技術研究(106-109)

其中，109 年度滾動式因應政策與資源調配，乃執行第(2)、(3)和(5)，共計 3 項主要工作項目。第(1)至(5)項各項具體內涵分述如下：

- 核設施除役輻射防護管制技術研究(106-107)

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。

- 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究(108-109)

本計畫於 108 年度，辦理三場次的游離輻射防護安全標準修訂技術規範獨立審查暨修訂策略內外部專家討論會議，彙整國內輻防專家之建議：對於原游離輻射防護安全標準修訂草案中建議納入 ICRP-103 之輻射曝露三類情境，並將劑量約束納入輻防計畫中管理等條文進行修訂。

為確保 108 年度依據 ICRP、IAEA GSA Part 3 等國際輻防最新輻防概念，提出之游離輻射防護安全標準建議修正方向，於國內施行時，對於管制機關之管制作為及利害關係人之法規遵循，可兼得最新的輻射防護精神、規範施行可行性與技術可行性等需求。109 年度與管制機關、專家學者、相關業務機構等利害關係人召開討論會議，確認修正草案之可行性。以確保我國之輻防體系符合國際趨勢，並達合理抑低之需求。預期本計畫之研究成果可由法規面推動國內輻射防護觀念之更新，建構符合國際潮流與國內生態的輻射防護管制體系，作為管制機關之參考依據，可加速新規範的施行，使環境、民眾與工作人員之輻射安全可符合最新國際規範之要求。

- 輻射防護能力試驗技術研究(106-109)

依據「人員輻射劑量評定機構認可及管理辦法」與「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」之規定，執行人員劑量評定與環境輻射監測作業之機構，必須通過全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)之認證，且「輻射防護服務相關業務管理辦法」亦規定，從事輻射防護偵測業務或放射性物質或可發生游離輻射設備銷售服務業務者，使用之輻射偵測儀器，應定期送 TAF 認

證之機構校正。

環境輻射監測、輻射劑量評估與輻射偵檢為重要的輻防管制工作，本會亦體認國內輻防相關實驗室具備良好的技術能力與完備的品保作業即為落實輻射防護作業、保障民眾與工作人員輻射安全之關鍵，因此規定必須透過認證以確認實驗室是否具備足夠技術能力與品質保證來執行校正、測試業務。依據 TAF 相關規範的要求，欲申請游離輻射領域實驗室認證的單位，必須通過該特定領域的能力試驗，以證明其實驗室的專業能力。

本主要工作項目，分為接軌國際技術與分析國內能力兩個面向，依循從上而下的輻防體制，配合輻防法規與本會關於輻射劑量評估、環境試樣放射性核種分析、輻射偵檢儀器校正等實驗室之管制需求，引進國際間最新之技術標準，並將其化生為國內認證技術規範，研究實驗室認證與能力試驗執行之設備、技術、作業程序的建立、運維和精進，並辦理技術研討會，提升第一線輻射偵檢服務準確度與強化國內實驗室人員訓練與技術交流，進而保障後端使用者的權利，以作為國內整體輻射防護與管制技術有力的科技後盾。

- 輻射應用劑量評估與檢校技術研究(106-108)

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，研擬建置醫療曝露透視攝影之劑量校正射質評估，建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術，粒子治療射束品質評估等研究，建立劑量追溯標準與量測評估技術，透過現有輻射安全管制體系，以提昇輻防管制能力，確保輻射工作人員及民眾之輻射安全，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。

- 人員生物劑量染色體變異評估技術研究(106-109)

本計畫積極進行人員生物劑量染色體變異評估技術研究，並建立與精進相關技術，有助於協助主管機關，執行相關意外曝露應變作業程序及法規，並發展出具有國際水準的輻射生物劑量實驗室系統，服務我國工作人員及民眾。此研究成果可應用於核設施之緊急

應變或除役等輻射防護相關的劑量再評估，有效提升主管機關在輻射管制與風險評估的作為。本計畫積極建立與維持 ISO 17025 認證之輻射生物劑量實驗室，持續與國際生物劑量支援網路合作，以核能研究所為參考實驗室，建立本土染色體雙中節背景值，輔導東部和南部衛星實驗室建立生物劑量評估能力，提升游離輻射安全管制層次及水準。

## 2. 分年目標與達成情形

年度	分年目標	達成情形
<p>(1) 核設施除役輻射防護管制技術研究(106-107)</p> <p>(2) 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究(108-109)</p>		
<p>第一年 106</p>	<p>1. 完成除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則修訂；</p> <p>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；</p> <p>3. 完成環境核種分析儀器校正用參考物質(菇類、濾紙)研製。</p>	<p><b>1. 學術成就與技術創新：</b> 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。</p> <p><b>2. 合作團隊養成：</b> 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。</p> <p><b>3. 技術服務：</b> 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。</p> <p><b>4. 決策依據：</b> 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。</p>
<p>第二年 107</p>	<p>1. 完成核設施除役輻射防視察作業程序研究。</p> <p>2. 完成核設施例行運轉廠區調查基準研究。</p> <p>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。</p>	<p><b>1. 學術成就與技術創新：</b> 完成「除役輻射防視察作業程序」、「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。</p> <p><b>2. 合作團隊養成：</b> 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。</p> <p><b>3. 技術服務：</b></p>

年度	分年目標	達成情形
		<p>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。</p> <p><b>4. 決策依據：</b> 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。</p>
<p>第三年 108</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研析 IAEA 相關技術規範，完成國外作法與國內現況之差異比較；</li> <li>2. 游離輻射防護技術規範修訂(草案)建議之研擬，並舉辦法規或技術規範精進學術會議；</li> <li>3. 眼球水晶體劑量輻防架構與評估技術研析。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. 學術成就與技術創新：</b> 完成「研析 IAEA-GSR Part3 建議及輻防標準技術規範修正建議報告」一份，並召開二次外部專家討論會(另含一場內部專家)，收集國內輻防專家建議。另完成「IAEA 1731 眼球水晶體職業輻射防護的新劑量限度含義」技術文件研析。</li> <li><b>2. 合作團隊養成：</b> 依循國際輻射防護概念之演進，配合國內法規架構調整，進行輻防安全標準技術規範修訂，研究國內外參考依據，以落實輻射安全管制作為。</li> <li><b>3. 決策依據：</b> 完成游離輻射防護技術規範修訂(草案)建議之研擬，可供主管機關制定相關輻防管制規定之參考。</li> </ol>
<p>第四年 109</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 籌辦兩場專家研討學術會議；</li> <li>2. 依據 ISO 4037:2019 建置光子眼球水晶體劑量校正射質；</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. 學術成就與技術創新：</b> (1)完成兩場次之輻防法規精進研討會，針對重要之輻防議題，邀請國內專家學者進行深度座談，說明規劃修法項目的科學基礎、技術因應、國際趨勢等。</li> </ol>

年度	分年目標	達成情形
	<p>3. 建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術。</p>	<p>(2) 依據 ISO 4037:2019 建置光子眼球水晶體劑量校正射質，並完成研究報告一篇。</p> <p>(3) 與學研單位(清華大學)合作完成動態擬人假體臨床實例分析，完成國際期刊投稿一篇及研究報告一份。</p> <p><b>2. 合作團隊養成：</b> 依循國際輻射防護概念之演進，配合國內法規架構調整，進行輻防安全標準技術規範修訂，研究國內外參考依據，以落實輻射安全管制作為。</p> <p><b>3. 決策依據：</b> 完成游離輻射防護技術規範精進研討會兩場，並蒐集專家及相關利害關係人意見，可供主管機關制定相關輻防管制規定之參考。</p>
<b>(3) 輻射防護能力試驗技術研究(106-109)</b>		
<p>第一年 106</p>	<p>1. 能力試驗輻射場射質品保驗證技術研發，並舉辦人員劑量計能力試驗技術討論會議，進行技術交流；</p> <p>2. 肢端劑量計能力試驗試運轉前期研究；</p> <p>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。</p>	<p><b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 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。</p> <p><b>2. 技術創新：</b> 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。</p> <p><b>3. 技術服務：</b></p>

年度	分年目標	達成情形
		<p>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之輻射安全。</p> <p><b>4. 決策依據：</b> 輻防處為游離輻射領域能力試驗管制單位，提供最近一次人員劑量能力試驗總結報告與各實驗室偵測下限(LLD)，供執行相關輻防管制規定之參考。</p>
<p>第二年 107</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 肢端劑量計能力試驗試運轉後期研究；</li> <li>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；</li> <li>3. 完成輻射偵檢儀器校正能力試驗之研究，並舉辦研討會；</li> <li>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；</li> <li>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。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>學術成就與合作團隊養成：</b> 舉辦研討會 2 場，配合肢端劑量(試運轉)、輻射偵檢儀器校正、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。</li> <li>2. <b>技術創新：</b> 參考人員劑量評估 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)國際最新版本標準，完成國內 TAF-CNLA-T08 認證技術規範修訂草案，並送 TAF 審查，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，提供工作人員劑量更加準確、高品質的監測結果。</li> <li>3. <b>技術服務：</b> 研發之輻射偵檢儀器校正系統、人員劑量計照射系統、肢端劑量計照射系統和核種分析標準參考物質配置技術，可提供全國性能力試驗或儀器校正測試使用，以更有效保障工作人員及相關作業環境之輻射安全。</li> <li>4. <b>決策依據：</b></li> </ol>

年度	分年目標	達成情形
		<p>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。</p>
<p>第三年 108</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 人員劑量計能力試驗規劃研究，並舉辦技術研討會；</li> <li>2. 年度劑量測試輻射場射質品保驗證與評估系統校驗；</li> <li>3. 依據ANSI N13.32最新標準，進行肢端劑量評估實驗室認證規範之修訂研究；</li> <li>4. ICRU 90 游離輻射量測的關鍵數據：量測標準和應用之研析。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>學術成就與合作團隊養成：</b> 結合過去近十年的人員劑量計能力試驗成果，完成國際期刊投稿 1 篇。舉辦研討會 1 場，配合人員劑量計能力試驗，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。</li> <li>2. <b>技術創新：</b> 參考人員肢端劑量評估 ANSI/HPS N13.32:2018 國際最新版本標準，完成國內規範修訂草案，送 TAF 審核，相關研究與推動有助強化我國肢端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。</li> <li>3. <b>技術服務：</b> Co-60 空氣克馬照射系統依據 ICRU 90 游離輻射量測的關鍵數據完成初估，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。另公告人員體外劑量評估實驗室技術規範 TAF-CNLA-T08(4)，促使國內實驗室產業技術符合最新的國際規範要求。</li> <li>4. <b>決策依據：</b> 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。</li> </ol>
<p>第四年</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 人員劑量計能力試</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>學術成就與合作團隊養成：</b></li> </ol>

年度	分年目標	達成情形
109	<p>驗運轉研究，並舉辦技術討論會議；</p> <p>2. 照射輻射場射質品保驗證與量測系統維持；</p> <p>3. 輻射偵檢儀器校正能力試驗運轉研究，並舉辦技術研討會；</p> <p>4. 中子輻射偵檢儀器校正實驗室比對研究；</p> <p>5. 全身計測實驗室比對試驗（臨時交辦任務）。</p>	<p>舉辦研討會 1 場，配合人員劑量計能力試驗與輻射偵檢儀器校正能力，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。</p> <p><b>2. 技術創新：</b> 參考 ANSI/HPS N13.30: 2011(R2017) 國際規範，研製全身計測系統校正假體之測試射源，並用於比對測試，可確保輻射工作人員與鄉里計測結果具一定準確性。</p> <p><b>3. 技術服務：</b> 形成「測試領域肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」並於 3 月正式公告實施，新增肢端劑量輻防管制科學依憑，促使國內實驗室產業技術符合國際規範要求。</p> <p><b>4. 決策依據：</b> 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。</p>

**(4) 輻射應用劑量評估與檢校技術研究(106-108)**

<p>第一年 106</p>	<p>1. 20 台直線加速器之放射治療劑量實地測量；</p> <p>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；</p> <p>3. 建置質子射束射質 TLD 系統。</p>	<p><b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 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 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。</p> <p><b>2. 技術創新：</b> <b>(1)</b> 完成醫用加速器之放射治療電子劑量驗證稽核作業、臨床量測數據</p>
--------------------	--	--

年度	分年目標	達成情形
		<p>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)</p> <p>(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。</p> <p>(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。</p>
<p>第二年 107</p>	<p>1. 評估國內核子醫學輻射活度計之校驗模式；</p> <p>2. 國內電子與質子源誘發高能中子之特性和評估；</p> <p>3. 精進質子射束射質 TLD 系統。</p>	<p><b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 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。</p> <p><b>2. 技術創新：</b></p> <p>(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。</p> <p>(2) 高能中子劑量評估技術透過不同設施實測完成系統驗證，研究不</p>

年度	分年目標	達成情形
		<p>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。</p> <p><b>(3)</b> 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。</p>
<p>第三年 108</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建置醫療曝露透視攝影劑量校正射質；</li> <li>2. 建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術；</li> <li>3. 建立質子射束射質粒子徑跡系統。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>學術成就與合作團隊養成：</b> 結合管制單位、研究單位(核研所)和學術單位(清華大學等)，完成國際期刊投稿 1 篇、技術報告 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。</li> <li>2. <b>技術創新：</b> <b>(1)</b> 建置醫療曝露透視攝影劑量校正射質完成根據 IEC 61267 標準規範，調整系統之 X 光機的管電壓，配置 RQR 校正射質並透過 0.5、1.5 及 2.0mm 的銅過濾片組配 RQC3、RQC5 及 RQC8 透視攝影之校正射質，且其結果與 IEC 61267 規範差異小於 5%，完成醫療曝露透視攝影劑量校正射質建立，協助主管機關精進或調整輻安管制作為，確保劑量追溯標準與量測評估技術的適切性，保障輻射工作人員及民眾之</li> </ol>

年度	分年目標	達成情形
		<p>輻射安全。</p> <p><b>(2)</b> 建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術完成 PIMAL 建立一系列動態擬人的假體模型，逼近工作人員的實際姿態，研究不同近似模型可能導致的誤差，擴展輻射防護方面於劑量評估的應用潛力，未來可用於輻射劑量曝露控管且確保工作人員與公眾的安全。</p> <p><b>(3)</b> 建立質子射束射質粒子徑跡系統用固態核徑跡偵檢器 CR-39 來評估質子射束所產生二次粒子之直線能量轉移能譜，評估不同質子能量與劑量之直線能量轉移能譜，並與蒙地卡羅模擬比較，期望結合熱發光劑量計與固態核徑跡偵檢器之雙偵測器的直線能量轉移量測系統，於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。</p>
<b>(5)人員生物劑量染色體變異評估技術研究(106-109)</b>		
106	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 與國內東部醫學中心合作，取得人血樣本進行分析研究；</li> <li>2. 輔導建立南部衛星實驗室；</li> <li>3. 通過 ISO 17025 認證年度查訪，精進實驗室品質；</li> <li>4. 參與國際合作與分析，提升量測公</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li><b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 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。</li> <li><b>2. 品質精進：</b> 維持全國認證基金會(TAF)之專業實驗室認證。</li> <li><b>3. 技術服務：</b> 完成國內首例臨時性急性曝露分析任務。</li> </ol>

年度	分年目標	達成情形
	信力。	<b>4. 資料庫擴充：</b> 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	1. 人員生物劑量染色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。	<b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 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。 <b>2. 品質精進：</b> 維持全國認證基金會(TAF)之專業實驗室認證。國際比對結果與參考值一致。 <b>3. 技術服務：</b> 完成國內三例國人背景值分析工作。 <b>4. 資料庫擴充：</b> 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。
108	1. 建立 108 年度國人本土染色體雙中節背景曲線； 2. 建立生物劑量反應曲線； 3. ISO17025:2017 改版，並完成兩件案例； 4. 輔導衛星實驗室建立劑量分析技術。	<b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 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、技術報告一份、完成 ISO17025 南部醫學中心(高雄醫學大學)教育訓練。 <b>2. 品質精進：</b> 通過新版全國認證基金會(TAF)之專業實驗室認證。 <b>3. 技術服務：</b> 完成國內三例國人背景值分析工作。

年度	分年目標	達成情形
		<p><b>4. 資料庫擴充：</b> 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。</p>
109	<p>1. 分析 109 年度國人本土染色體雙中節背景值；</p> <p>2. 通過 TAF 年度查訪；</p> <p>3. 研究探討國人性別、地區與輻射劑量反應之相關性；</p> <p>4. 進行 gamma-H2AX 預試驗。</p>	<p><b>1. 學術成就與合作團隊養成：</b> 完成會議解說 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。</p> <p><b>2. 品質精進：</b> 維持全國認證基金會 (TAF) 之專業實驗室認證。</p> <p><b>3. 技術服務：</b> 完成國內三例國人背景值分析工作。</p> <p><b>4. 技術精進：</b> 進行 gamma-H2AX 分析試驗，為本實驗室染色體變異分析增進新的分析方法。</p>

本計畫依三項主要工作，分述執行成效如下：

## 1. 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究

(1) 本年度輻防法規精進研討會係規畫台北、高雄兩場次，並對重要之輻防議題，邀請國內專家學者進行深度座談，說明規劃修法項目的科學基礎、技術因應、國際趨勢等項目。並蒐集與會人員可能提出之問題，以確保我國輻防體系符合國際趨勢，並達合理抑低之目的。預期本計畫之研究成果可藉由法規面推動國內輻射防護觀念之更新，建構完整的輻射防護管制體系，作為管制機關之參考依據，並可以有效確保環境、民眾與工作人員之輻射安全。

(2) 本計畫根據 ISO 4037-1 完成窄能譜系列射質建置，經由實驗評估驗證，其半值層量測結果均能符合 ISO 4037-1 標準規範之要求。未來將持續進行各項修正因子的評估及標準克馬率的量測，之後再透過轉換因子將克馬率轉換為眼球水晶體劑量的操作量 Hp(3)。預期可適時提供相關眼球水晶體劑量計之校正，接軌國際劑量標準。

(3) 本年度為精進輻射應用之蒙地卡羅劑量評估，持續研究美國核能管理委員會（Nuclear Regulatory Commission，縮寫：NRC）在輻射防護領域開發之動態擬人假體(PIMAL)程式，以更貼近實際動作之擬人假體，評估理想照射條件下的通量劑量轉換因子、特殊照射條件下的人員輻射劑量評估、和人員劑量佩章因不同位置與姿勢的等價劑量，可提高過去以簡單及靜態模式之輻射劑量準確度，特別是可應用於核設施除役及放射診療等有可能近距離接觸射源情況，強化民眾與工作人員之輻射安全劑量評估。相關研究以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。

## 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。

研究認證實驗室能力試驗執行之設備、系統、技術、作業程序建立、運維與精進，持續之能力試驗研究涵蓋接軌國際技術與分析國內能力兩大面向，可提升全國第一線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. 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。輻射曝露事件發生後需快速進行劑量評估，故人員生物劑量技術逐漸被重視。為了確保發生意外事故時有公認判斷標準提供後續醫療照護，建立人員生物劑量評估是必要的過程。

目前染色體雙中節分析法為公認的黃金標準，雖然染色體雙中節分析法有費力、耗時及高度依賴專門技術之缺點，但它對於輻射有非常高的專一性以及背景值非常低的優點。根據文獻內容可得知經由染色體雙中節分析法回推接收劑量與實際劑量佩章測得之劑量相差不大，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(106-109)**

比較項目或計畫產出成果	計畫執行前	計畫執行後
形成「測試領域人員肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」，我國於 109 年公告新增規範。(109 年度)	國內無相關規範	形成國內新的技術規範，引用國際規範 ANSI/HPS N13.32:2018 最新版。
中子輻射偵檢儀器校正實驗室比對研究(109-110 年度)	國內無中子校正能力試驗活動	開啟中子校正能力試驗活動，預計於 110 年完成。
全身計測實驗室比對試驗(臨時交辦任務)(109 年度)	國內無相關技術	依據 ANSI/HPS N13.30:2011(R2017)國際規範，研製全身計測系統校正假體之測試射源，完成國內 10 部全身計測系統之比對測試。
形成最新版「測試領域人員體外劑量評估技術規範 TAF-CNLA-T08(4)」，執行 108-109 年人員劑量計能力試驗研究。(108-109 年度)	TAF-CNLA-T08(3)舊規範引用國際規範 ANSI/HPS N13.11:2001 版，我國於 108 年公告新版規範。	TAF-CNLA-T08(4)引用國際規範 ANSI/HPS N13.11:2009(R2015) 最新版，從第 11 次人員劑量計能力試驗起，採行新規範。
引進國際新穎之動態擬人假體 PIMAL 於輻射防護之研究技術(108-109 年度)	國內無相關技術	國內動態擬人假體 PIMAL 之建置，應用於放射源處置、核醫製藥、透視攝影等情節之輻防劑量評估初研。
高能中子(大於 10 MeV)場劑量低估修正研究(~107 年度)	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	建立國際新穎之全能域中子能譜量測系統與高能中子指標量測程序技術，研究成果發表於國

比較項目或計畫產出成果	計畫執行前	計畫執行後
	<p>丹佛直線加速器中心 (SLAC) 直接將儀器測量劑量值乘以兩倍；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。</p>	<p>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。</p>
<p>陸續完成十大類環境核種分析儀器校正用參考物質研製 (106-107 年度)</p>	<p>國內系統性及本土化技術建置規畫了前六大類環境核種分析儀器校正用參考物質研製，尚缺菇類、濾紙、人工尿樣、人工糞樣四大類參考物質研製。</p>	<p>依據 ISO GUIDE 34、35 之技術需求，完成十大類參考物質均勻度測試與添加核種不確定度評估，提升環境試樣加馬核種活度量測之準確性及可追溯性，減少購入國外參考物質所耗費之時間與費用。</p>
<p>參與加拿大衛生部之人員生物劑量評估國際比對活動，品質得到國際肯定，並作為國內人員輻射緊急曝露事件分析工具。(106-107 年度)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自 103 年起，參與過 2 次國際比對活動。</li> <li>• 國內若發生人員輻射緊急曝露，無法根據生物檢體回推接受曝露劑量。</li> </ul>	<p>經由原能會委託，可緊急處理國內人員輻射緊急曝露事件。依照輻射通報處理流程，透過本計畫技術進行分析，結果作為意外曝露之劑量分析依據。</p>

## 二、架構

細部計畫		主持人	執行機關	細部計畫目標	本年度效益、影響、重大突破
名稱	預算數/ (決算數) (千元)				
輻射防護管制規範與度量技術研究 (4/4)	10,800 (10,049)	袁○程	行政院原子能委員會 核能研究所	<p>整體考量目前政府政策與社會期待，雙主軸定位於「輻射防護管制規範」及「輻射防護度量技術」研究。</p>	<p><b>一、輻射防護技術規範與劑量評估精進研究</b></p> <p>(一) 依規劃完成兩場次游離輻射防護安全標準法規精進研討會(台北場及高雄場)。並蒐集相關領域代表之建議與回饋。於 109 年 11 月 27 日召開的專家討論會，提出相關建議回饋之回復與修法建議，以供管制機關修法之參考。</p> <p>(二) 依據 ISO 4037: 2019 建置光子眼球水晶體劑量校正射質，並完成相關研究報告一份。</p> <p>(三) 完成動態擬人假體臨床實例分析及建置動態擬人假體在輻射劑量的評估技術與實際案例分析報告。</p> <p><b>二、輻射防護能力試驗技術研究</b></p> <p>(一) 人員劑量計能力試驗研究確保國內 8 家實驗室第一線技術能力，保障輻射從業 5 萬 2 千餘人員，涵蓋核設施、工業、醫院、研究機構等職業曝露輻射安全。近十年資料 SCI 期刊論文刊出，於國際上展現我國相關輻防研究與管制之良好成果。</p> <p>(二) 與 TAF 合作之「測試領域肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」於 3 月正式公告實施，促使國內實驗室產業技</p>

				<p>術符合國際規範要求，強化輻防管制之科學依憑。</p> <p>(三) 臨時交辦「全身計測實驗室比對試驗」之 5 個實驗室 10 的量測系統皆通過測試，確保輻射工作人員及鄰里民眾量測結果之準確性。</p> <p><b>三、人員生物劑量染色體變異評估技術研究</b></p> <p>(一) 統計 104 年至 108 年，共有 7 例男性，6 例女性之背景值數值，依據統計結果，不論在男女性別上、年齡差異上及居住地別上方別進行 t-test 統計分析，其分析結果皆顯示未有顯著差異。此結果說明在未接受到輻射曝露的情況下，染色體發生變異率不因性別、年齡或居住地區不同而有差異。</p> <p>(二) 選擇了流式細胞技術(Flow cytometry)及酵素結合免疫吸附分析法進行 gamma-H2AX 分析方法測試，以人血照射不同劑量測試，二種分析方法皆呈現隨劑量增加，gamma-H2AX 蛋白也隨著增加。Flow cytometry 分析方法在有劑量與 0 Gy(對照組)有明顯差異。</p>
--	--	--	--	---

### 三、細部計畫與執行摘要

細部計畫 1	輻射防護管制規範與度量技術研究(4/4)	計畫性質	環境建構與改善
主持人	袁○程	執行機關	行政院原子能委員會 核能研究所
細部計畫目標	一、 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究		

<p>1.1. 舉辦游離輻射防護技術規範修訂草案之研討會，蒐集各界意見；</p> <p>1.2. 依據 ISO 4037: 2019 建置光子眼球水晶體劑量校正射質；</p> <p>1.3. 與學研單位、醫療機構或相關學會合作，建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術。</p> <p><b>二、 輻射防護能力試驗技術研究</b></p> <p>2.1. 人員劑量計能力試驗運轉研究，並舉辦技術討論會議；</p> <p>2.2. 照射輻射場射質品保驗證與量測系統維持；</p> <p>2.3. 輻射偵檢儀器校正能力試驗運轉研究，並舉辦技術研討會；</p> <p>2.4. 中子輻射偵檢儀器校正實驗室比對研究；</p> <p>2.5. 全身計測實驗室比對試驗（臨時交辦任務）。</p> <p><b>三、 人員生物劑量染色體變異評估技術研究</b></p> <p>3.1. 分析 109 年度國人本土染色體雙中節背景值；</p> <p>3.2. 通過 TAF 年度查訪；</p> <p>3.3. 研究探討國人性別、地區與輻射劑量反應之相關性；</p> <p>3.4. 進行 gamma-H2AX 預試驗。</p>			
<b>計畫投入 (Inputs)</b>			
<b>預算數 (千元) / 決算數 (千元) / 執行率</b>	10,800/10,049/93.03%	<b>總人力 (人年) 實際 / (規劃)</b>	<b>7.5/7.5</b>
<b>其他資源投入</b>	無		
<b>主要工作項目</b>	<b>本年度重要成果</b>		<b>主要成果使用者/服務對象 / 合作對象</b>
1.1. 舉辦游離輻射防護技術規範修訂草案之研討會，蒐集各界意見	為確保於 108 年度依據 ICRP、IAEA GSA Part 3 等最新國際輻防概念，提出之游離輻射防護安全標準修正方向建議，於國內施行時，對於管制機關之管制作為及利害關係人遵循，可兼得輻射防護精神與規範施行可行性、技術可行性等面向，本年度與管制機關、專家學者、相關業務機構等利害關係人召開兩場討論會議，確認修正草案之可行性；並評估修訂我國現行法規採行轉換係數之可行性，以確保我國輻防體系符合國際趨勢，並達合理抑低之目的。預期本計畫之		<b>使用者：</b> 主管機關、一般社會大眾 <b>合作對象：</b> 輻防專家學者、輻射工作機關與廠商代表

	研究成果可藉由法規面推動國內輻射防護觀念之更新，建構完整的輻射防護管制體系，作為管制機關之參考依據，並可以有效確保環境、民眾與工作人員之輻射安全。	
1.2. 依據 ISO 4037: 2019 建置光子眼球水晶體劑量校正射質	本計畫根據 ISO 4037-1 完成窄能譜系列射質建置，經由實驗評估驗證，其半值層量測結果均能符合 ISO 4037-1 標準規範之要求。未來將持續進行各項修正因子的評估及標準克馬率的量測，之後再透過轉換因子將克馬率轉換為眼球水晶體劑量的操作量 Hp(3)。預期可適時提供相關眼球水晶體劑量計之校正，接軌國際劑量標準。	<b>使用者：</b> 主管機關、全國輻射偵檢儀器校正實驗室、輻射工作人員 <b>合作對象：</b>
1.3. 與學研單位、醫療機構或相關學會合作，建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術	動態擬人假體研究方面，總結研究成果，本研究透過 PIMAL 的輔助建立假體模型，並加上自訂義的手與水晶體，或相關屏蔽用具來模擬操作人員以手動態處理核醫藥物之結果與透視攝影中的工作人員劑量。本分項完成研究報告一篇及國際期刊投稿一篇。	<b>使用者：</b> 主管機關、輻防專家學者、輻射工作人員 <b>合作對象：</b> 清華大學
2.1. 人員劑量計能力試驗運轉研究，並舉辦技術討論會議	(1). 於 109 年 6 月 12 日完成召開「第 11 次人員劑量計能力試驗總結會議」研討會，共有 11 個參與單位，會議因應疫情縮減會議規模，總計 20 位人員參與。本次試驗參與實驗室共 8 家，依據 108 年公告的 CNLA-TAF-T08(04)執行，結果顯示各人員劑量評估實驗室之技術能力達規範要求，合格率 100%。 (2). 分析國內受測佩章分為熱發光劑量計(TLD)及光刺激發光劑量計(OSLD)兩種類型，前者提供廠商為 Panasonic、HARSHAW 和 RADOS，後者提供廠商為 LANDAUER。參與能力試驗的受測佩章廠牌分布(實驗室組數量、市占百分比率)為：LANDAUER (1 組、~11%)、Panasonic (3 組、~33%)、HARSHAW (4 組、~44%)、RADOS (1 組、~11%)，用為全國佩章使用數量約 52 萬個劑量計服務，以確認工作場所之輻射安全。 (3). 臺灣近十年來人員劑量計能力試驗成果及劑量比較期刊論文刊登，於國際上展現我國相關輻防研究與管制之成果。	<b>使用者：</b> 全國人員劑量評估實驗室、輻射工作人員 <b>合作對象：</b> TAF、全國人員劑量評估實驗室
2.2. 照射輻射場射質品保險證與量測系統維持	(1). 為因應人員劑量計能力試驗五個測試類別：(I)事故級光子、(II)光子/光子混合場、(III)貝他粒子、(IV)光子與貝他混合場和(V)中子與光子混合場，以及輻射儀器校正能力試驗三個測試類別：中低劑量率( $\gamma$ 光子)、累積劑量( $\gamma$	<b>使用者：</b> 主管機關、能力試驗執行單位 <b>合作對象：</b> 標準檢驗局

	<p>光子)、和污染偵測器(<math>\alpha/\beta</math> 粒子), 依據 ISO 規範評估及維護高能光子、X 光光子、貝他粒子和中子等四大照射系統。</p> <p>(2). 品保驗證工作包括評估系統擴充不確定度為&lt;5%(符合 TAF-CNLA-T08(4)所列)、合格照射品保因子為&lt;3%。此外, 今年度新增以雙射源法修正無感時間的技術程序, 以修正實驗室間因射源活度相差 3 倍, 所造成的結果差異問題。</p>	
<p>2.3. 輻射偵檢儀器校正能力試驗運轉研究, 並舉辦技術研討會 &amp; 2.4. 中子輻射偵檢儀器校正實驗室比對研究</p>	<p>(1). 本次輻射偵檢儀器校正能力試驗研究的參與實驗室及項目為歷年之最, 內容除「第 8 次輻射偵檢儀器校正能力試驗」外, 尚包括三個實驗室比對活動:「第 4 次陸軍核生化研究中心儀器校正比對」、「第 1 次克馬校正實驗室校正比對」和「第 1 次台電放射試驗室比對(中子)」, 總計有 6 家實驗室參與。</p> <p>(2). 於 109 年 6 月 12 日完成召開「第八次輻射偵檢儀器校正能力試驗說明會」研討會, 共有 7 個參與單位, 技術會議因應疫情縮減會議規模限制與會人數, 總計 15 位人員參與, 實地與會專家學者進行了技術討論與學術交流, 以增進實驗室技術與品質之提升。</p>	<p><b>使用者:</b>主管機關、全國輻射偵檢儀器校正實驗室、輻射工作人員 <b>合作對象:</b>TAF、全國輻射偵檢儀器校正實驗室</p>
<p>2.5. 全身計測實驗室比對試驗 (臨時交辦任務)</p>	<p>運用能力試驗既有經驗與相關技術, 完成”全身計測實驗室比對試驗”臨時性任務, 試驗依據 ANSI/HPS N13.20(2011)規範執行, 計有台灣電力公司及核能研究所等 5 個實驗室(10 部全身計測系統)參與, 各單位之量測系統皆通過測試, 可確保輻射工作人員及核設施附近鄰里民眾量測結果之準確性。</p>	<p><b>使用者:</b>主管機關、全國全身計測實驗室、輻射工作人員、鄰里民眾 <b>合作對象:</b>全國全身計測實驗室</p>
<p>3.1 分析 109 年度國人本土染色體雙中節背景值</p>	<p>與國內南部高雄醫學大學附設醫院(國內醫學中心)合作, 完成 3 例國人背景值(分別分析 1010、1027 與 1005 顆細胞)之染色體影像分析, 試驗之成果將擴充我國生物劑量背景值資料, 俾利精進歷年研究成果之代表性。</p>	<p><b>使用者:</b>原能會(主管機關)、輻射意外事故之輻射工作人員與一般民眾 <b>合作對象:</b>高雄醫學大學附設醫院</p>
<p>3.2. 通過 TAF 年度查訪</p>	<p>完成 ISO17025:2017 監督評鑑, 有一項不符合項目於 8/19 上傳系統, 10 月 6 日取得通過監督評鑑通知。藉由 TAF (全國認證基金會) 對各領域之共同要求, 對校正或測試實驗室的評鑑認證, 達到實驗室符合國際標準與品質及技術提升</p>	<p><b>使用者:</b>原能會(主管機關)、輻射意外事故之輻射工作人員與一般民眾</p>

	之目的。	合作對象：TAF	
3.3. 研究探討國人性別、地區與輻射劑量反應之相關性	統計 104 至 108 年度之分析受試者之資料，將其分析數據分別依性別、地區及年齡進行統計計算，發現不論是在不同性別、地區及年齡層在統計上染色體變異率皆無顯著差異。未來將再針對分析數量較少的族群及區域進行收集分析，希望使數據更據代表性。	使用者：原能會(主管機關)、輻射意外事故之輻射工作人員與一般民眾 合作對象：花蓮慈濟醫院、高雄醫學大學附設醫院	
3.4 進行 gamma-H2AX 預試驗	使用流式細胞技術(Flow cytometry)及酵素結合免疫吸附分析法進行 gamma-H2AX 分析方法測試，以人血照射不同劑量測試，二種分析方法皆呈現隨劑量增加，gamma-H2AX 蛋白也隨著增加。其中 Flow cytometry 分析方法在有劑量與 0 Gy(對照組)有明顯差異，後續將持續精進此技術，作為 gamma-H2AX 的主要分析方法。	使用者：原能會(主管機關)、輻射意外事故之輻射工作人員與一般民眾 合作對象：高雄醫學大學附設醫院	
<b>主要績效指標 KPI 達成情形</b>			
<b>原規劃</b>	論文 3 篇 (國際至少 2 篇)、研究團隊養成 4 個 (全程)、博碩士培育 1 人、研究報告 4 篇、辦理學術活動 2 場、手冊 1 份、技術報告 1 篇。	<b>達成情形</b>	論文 3 篇 (SCI 投稿 2 篇、會議論文 1 篇)、研究團隊養成 3 個 (全程)、博碩士培育 2 人、研究報告 5 篇、辦理研討會 3 場、手冊 1 份、形成技術報告 1 篇、技術規範 1 份
<b>補充說明</b>	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因應對策，並完成工作執行，且量化產出超越原目標。		
<b>本年度效益、影響、重大突破</b>			
<b>一、輻射防護技術規範與劑量評估精進研究</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>(一) 舉辦游離輻射防護技術規範修訂草案之研討會，蒐集相關領域代表之建議與回饋，提出相關建議回饋之回復與修法建議，以供管制機關修法之參考。</li> <li>(二) 根據 ISO 4037-1 完成窄能譜系列射質建置，經由實驗評估驗證，其半值層量測結果均能符合 ISO 4037-1 標準規範之要求。</li> <li>(三) 與學研單位合作，建立動態擬人假體在輻射劑量的評估技術。藉由 PIMAL 假體模擬出在不同射源與屏蔽情況下的劑量率，以供臨床放射師或有興趣研究者據以估算工作人員各部位可能所接受到的劑量範圍，此一數據庫有利於相關工作人員之輻射風險評估。</li> </ul>			

## 二、輻射防護能力試驗技術研究

- (一) 人員劑量計能力試驗研究確保國內 8 家實驗室第一線技術能力，保障輻射從業 5 萬 2 千餘人員，涵蓋核設施、工業、醫院、研究機構等職業曝露輻射安全。本計畫彙整近十年能力試驗資料，以 SCI 期刊論文刊出，於國際上展現我國相關輻防研究與管制之良好成果。
- (二) 與 TAF 合作之「測試領域肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」於 3 月正式公告實施，促使國內實驗室產業技術符合國際規範要求，強化輻防管制之科學依憑。
- (三) 臨時交辦「全身計測實驗室比對試驗」之 5 個實驗室 10 的量測系統皆通過測試，確保輻射工作人員及核設施附近鄰里民眾量測結果之準確性。

## 三、人員生物劑量染色體變異評估技術研究

- (一) 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，藉由每年分析國人背景值、維持 ISO/IEC 17025 品質標準實驗室，執行國際或實驗室間比對工作，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。
- (二) 本年度實驗室進行 gamma-H2AX 分析方法的測試，測試結果顯示以 Flow cytometry 分析法分析 gamma-H2AX 訊號，有較佳效果，後續計畫將持續完善之技術，期可建立別於以往的雙中節染色體分析技術，彌補其分析時間較長且需耗費較多人力，且低限值無法突破 0.1 Gy 之缺點。

### 遭遇困難與因應對策

1. **執行困難 1：**國際輻防建議方向，與國內實務作業具有差異。進行輻防修訂草案擬定時，需要考量國內實際作業與管制狀況。例如眼球水晶體劑量限值下修，必須考量相關利害團體，如執行心導管或介入性治療之醫師，修法後眼球輻射曝露劑量是否仍可以符合法規劑量限值，以及病人權益受損的程度等。此外，目前國內眼球水晶體劑量計校正、計讀技術尚未成熟，相關監測技術是否能到位，係此計畫困難之處。

**因應措施與建議 1：**收集國內輻防專家過去之研究計畫結論，並綜整輻射作業各產業的實務作業情形。於本報告提出修訂游離輻射防護安全標準草案外，亦一併評估可能衝擊對象、應建立的監測技術與建議時程等，以確保法規上路時，相關技術能同步到位。

2. **執行困難 2：**執行全身計測能力試驗新技術試運作時，需考量國內市場現況與可能之困境，如以主管機關立場，施政目標為接軌國際、把關國內，爰引最新的國際技術規範據以推動，但對於受測試實驗室而言，則需擔心現有技術與技術規範間的落差、國內現有資源不足以支持技術的提升，以及無法順利通過測試後所需面臨的決裁等壓力，使工作推動面臨阻力。

**因應措施與建議 2：**由主管機關出面協調臨時交辦任務之舉辦，計畫執行單位提供技術性資料與文件，並調查國內全身計測系統廠

牌，研製合適之校正假體測試射源，終能如期完成比對試驗。目前各計測系統的量測結果皆符合 ANSI 規範要求(量測偏差與標準差的平方根小於 0.25)，建議編列預算定期檢視國內全身計測系統狀況，不斷精進與磨練第一線技術服務實驗室之技術能力與品質，輔導其通過實驗室認證。

3. **執行困難 3**：本計畫規劃與執行的工作，應屬國家輻射防護基礎建設的一環，無論在輻射防護法規的更新或執行，本計畫成果能確保我國輻防法規的國際追隨性，及確保國內各專業實驗室可提供足夠的技術能量，支持輻防法規的執行或更新。然而，基礎建設非一朝一夕之功，遭遇困難可歸因於以下兩點：

- (1) 執行計畫之核能研究所因近年資深人員大量離退，常有暫時性人力短缺與異動狀況；加上所內採購作業與行政管理因其專業性與繁複性逐年增加，需投入更多人力與時間成本，處理行政庶務、人員訓練與學習等事務。
- (2) 目前計畫編列預算，僅夠維持量測系統周邊設施 (如高壓產生器、電量計與高電壓導線等設備及材料)至堪用程度，不足以處理照射系統本體老化或部分輻射源衰變更換問題，例如：X 光機已逾使用時數、Co-60 活度衰變使標準劑量低於放射治療等級的一個數量級等潛在問題。執行上以實測確認可完成本年度計畫工作與應辦事項為優先考量。

**因應措施與建議 3**：建請主管機關須持續投入穩定的資源，方能維持各項基礎設施與技術能力，並積極爭取其它資源支持，確保輻射防護法規可持續獲得可靠的技術支撐，保障全民的輻射安全。

## 貳、經費執行情形

### 一、經資門經費表 (E005)

1. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定108年度決算，故請填列機關編造決算數。
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. 109年度預算數：如立法院已通過109年度總預算，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。

單位：千元；%

	106 年度	107 年度	108 年度	109 年度				
				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)	
一、經常門小計	7,227	7,884	7,170	7,200	6,483	0	6,483	90.04%
(1)人事費	0	0	0	0	0	0	0	N/A
(2)材料費	1,776	1,502	1,560	1,516	1,498	0	1,498	98.83%
(3)其他經常支出	5,451	6,382	5,610	5,684	4,985	0	4,985	87.70%
二、資本門小計	4,287	3,999	3,580	3,600	3,566	0	3,566	99.06%
(1)土地建築	0	0	0	0	0	0	0	N/A
(2)儀器設備	4,287	3,999	3,580	3,600	3,566	0	3,566	99.06%
(3)其他資本支出	0	0	0	0	0	0	0	N/A
總計	11,514	11,883	10,750	10,800	10,049	0	10,049	93.04%

		106 年度 決算數	107 年度 決算數	108 年度 決算數	109 年度 決算數(執行率)
綱要計畫總計	總計	11,514	11,883	10,750	10,049(93.04%)
輻射防護管制規範 與度量技術 研究(4/4)	小計	11,514	11,883	10,750	10,049(93.04%)
	經常支出	7,227	7,884	7,170	6,483(90.04%)
	資本支出	4,287	3,999	3,580	3,566(99.06%)

## 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法規或技術規範精進學術會議、實驗用試樣與耗材(生物試劑耗材等)、檢體採集與分析等勞務案、動態擬人假體在輻射劑量評估的技術建立勞務委託案、輻射劑量評估的技術建立實驗室認證與教育訓練費用、管理費、旅運費等

設備費：依實際計畫執行需求汰購液態閃爍計數器，新購核儀模組、輻射偵測器等。

## 三、經費實際支用與原規劃差異說明

本年度計畫經常門支用狀況為 90.04%，資本門支用狀況為 99.06%，總經費支用狀況為 93.04%。整體預算執行率尚可，原因分析如下：

1. 本案係以職權交辦方式請核能研究所執行，執行團隊近年資深人員大量離退，併同且部分執行同仁離退、調職等原因，形成暫時性的人力短缺與高異動率，在繁忙工作負荷與受疫情影響下，使故部分耗材採購作業有延遲情形。
2. 109 年度計畫成效經評估符合預期目標，110 年度計畫執行團隊將會補入新進人力，並審慎評估計畫執行設備需求，提前進行相關採購作業程序，力求提高整體預算執行率。

## 參、主要產出與關鍵效益 (E003)

填寫說明：

1. 績效指標之「原訂目標值」應與原綱要計畫書一致，惟因 109 年度績效指標項目修正，部分績效項目整併或分列，機關得依績效項目之調整配合修正原訂指標項目與原訂目標值，惟整體而言，不得調降原訂目標值。
2. 得因計畫實際執行增列指標項目以呈現計畫成果。
3. 如該績效指標類別之各項績效指標項目之目標值、達成值均為 0，請刪除該績效指標類別，以利閱讀。
4. 如績效指標有填列實際達成情形，均須附佐證資料，佐證資料另以附表上傳。

屬性	績效指標類別	績效指標項目		109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
				原訂目標值	實際達成值		
學術成就 (科技基礎研究)	A. 論文	期刊論文	國內(篇)	2	0	本計畫於 109 年共產出 3 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。	前期高能中子研究之設施劑量率屏蔽分析方法比較、X 射線空氣克馬國際比對與周圍等效劑量輻防操作量國際一致性研究、生物劑量染色體變異評估技術皆為原子能應用前瞻科技技術，本計畫順利完成相關系統研發與驗證，助於提升我國國際地位。
			國外(篇)		2		
		研討會論文	國內(篇)		1		
			國外(篇)		0		
		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		3	3		
跨機構合作團隊(計畫)數		0					
跨國合作團隊(計畫)數		0					

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
		形成實驗室數	0	0	力，精進生物劑量實驗室技術和品質，以確保環境、人員與國內民眾之輻射安全。於計畫建立 3 個專業合作團隊： 1. 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究團隊； 2. 輻射防護能力試驗技術研究團隊； 3. 人員生物劑量染色體變異評估研究團隊。	勢，繼去年召開專家學者會議後，今年度擴大舉辦利害關係人會議，彙整寶貴建議，以作為修法研議之有力立基。與 TAF 合作，肢端劑量計技術規範修訂版公告，使國內技術接軌國際趨勢，為國內輻射檢測技術能力把關。
學術成就 (科技基	C.培育及延攬人才	博士培育/訓人數	1	0	眼球水晶體劑量低限下修，擴及放射源處置、核醫製藥與透視攝影等民生應用領域，需了解國際情資，精進劑量評估技術，藉由本計畫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		2		
		學士培育/訓人數		0		

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
基礎研究)	D1.研究報告	研究報告篇數	4	5	1. 將研究成果撰寫成專題研究報告，以作為後續政策、法規、制度的推動之參考依據； 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。	(1) 研析 IAEA-GSR Part3 建議及輻防標準技術規範修正建議(2/2)報告； (2) 動態擬人假體在輻射劑量評估的技術建立(2/2)研究報告； (3) 眼球水晶體劑量校正射質建立； (4) 第十一次人員體外劑量評估實驗室能力試驗之總結報告； (5) 一般民眾輻射背景值的染色體變異分析研究， 研究報告成果有助於支持主管機關從事安全管制工作，以利游離輻射安全與防護相關法規與制度之推動。
	E.辦理學術活動	<u>國內</u> 學術會議、研討會、論壇次數	3	3	舉辦「游離輻射防護安全標準修正規劃研討會」研討會 2 場次，與會人士為國內產官學界專家學者，針對研議方向提供具實務性之有力建議。 「2020 年人員劑量計與輻射儀器校正能力試驗技術討論會」研討會 1 場	
		<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		

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
		出版論文集數量	0	0	次，計有 11 個單位、20 人參與；「2020 年游離輻射量測能力試驗總結研討會」，計有 7 個單位、15 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。	
	F. 形成課程/教材/手冊/軟體	形成課程件數	0	0	109 年舉辦「2020 年第 11 次人員劑量計能力試驗執行前說明會」研討會，藉由簡報及交流討論，以深入了解人員劑量評估技術國際發展及國內現況，進而完備主管機關於相關業者技術服務之管制能力。	
		製作教材件數	0	0		
		製作手冊件數	1	1		
		自由軟體授權釋出教材件數	0	0		
技術創新 (科技技術創新)	H. 技術報告及檢驗方法	新技術開發或技術升級開發之技術報告篇數	1	1	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，建立相關專業技能並提供相關單位參考。	1 篇技術報告通過 TAF 審核後，轉為 TAF 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。
		新檢驗方法數	0	0		
	I2. 參與技術活動	發表於國內外技術活動(包含技術研討會、技術說明會、競賽活動等)場次	0	0		
其他	K. 規範/標準或政策/法規	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，通過 TAF 審核，並於	

屬性	績效指標類別	績效指標項目	109 年度		效益說明 (每項以 500 字為限)	重大突破
			原訂目標值	實際達成值		
效益 (科技政策管理及其他)	草案制訂	參與制訂之政策或法規草案件數	0	0	3 月公告採行，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。	
		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		

### 109 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(請參閱附表、佐證資料表和附件、計畫成果完整說明)。

## 第二部分

### 目 錄

第二部分 .....	42
壹、 成果之價值與貢獻度 .....	43
貳、 檢討與展望 .....	56
參、 其他補充資料 .....	60
一、 跨部會協調或與相關計畫之配合 .....	60
二、 大型科學儀器使用效益說明 .....	60
三、 其他補充說明(分段上傳).....	60
附表、佐證資料表 .....	61
附件、計畫成果完整說明 .....	錯誤! 尚未定義書籤。
<b>【109 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】 .....</b>	<b>102</b>

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

# 壹、成果之價值與貢獻度

(請說明計畫執行至今所達成之主要成果之價值與貢獻，亦即多年期綱要計畫，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)

### 1. 論文

(1) 109 年論文：本計畫於論文之學術成就共計 3 篇，其中 2 篇投稿於 SCI 國際期刊，1 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「Comparison of different methods for the shielding analysis of an AB-BNCT facility based on Be(p,xn) reaction with 30-MeV protons」投稿於 Applied Radiation and Isotopes SCI 期刊，本研究論文為前期高能中子研究的延伸成果，利用 5 種屏蔽計算方法估計加速器硼中子捕獲治療設施周圍的劑量率分布，並進行準確度與效能的比較，結果顯示混合的確定性/蒙地卡羅法(hybrid deterministic/Monte Carlo method)是最有效的，而設計階段最好預先產生射源項和衰減長度進行解析逼近，因其簡易性與合理準確度的驗證。
- 研究論文二「APMP supplementary comparison of air kerma in ISO 4037 Wide and Narrow Series x-ray beams: APMP.RI(I)-S3」投稿於 Metrologia SCI 期刊，本研究探討亞太計量組織八個標準實驗室 ISO 4037 kV X 射線射質空氣克馬標準國際比對的結果。透過三個傳遞標準件游離腔 (2 個 Exradin A5 與 1 個 Exradin A4) 的空氣克馬校正因子，比對了 ISO 4037 窄能譜和寬能譜系列的 30 kV 到 300 kV X 射線，同時，使用防護級 Cs-137 空氣克馬校正因子作為穩定度依據，並報告了周圍等效劑量  $H^*(10)$  的轉換係數，和此操作量的比較。整體而言，於實驗室擴充不確度內有良好的一致性，研究可作為支持能力試驗照射系統具國際等同性的依據。
- 研究論文三「Use the results of the international ability test to estimate the application of chromosome analysis to accidental radiation exposure events」發表於中華民國核醫學學會 2020 年會暨國際學術研討會；

- (2) 108 年論文：本計畫於論文之學術成就共計 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「Proficiency Testing and Dose Comparison for External Personnel Dosimeters Evaluation in Taiwan」投稿於 Radiation Measurement SCI 期刊，本研究探討了臺灣人員劑量計之基於最新 ANSI / HPS N13.11-2009 (R2015) 規範的能力試驗，以及劑量評估系統的驗證比較。重新分析了 2010 年至 2017 年由 INER 舉辦能力試驗的個人等效劑量  $H_p(d)$  數據，以研究劑量評估能力和規範更新可行性。結果顯示所有 8 個實驗室所有類別的允差 (L)，絕對偏差 ( $|B|$ ) 和標準偏差 (S) 均符合最新的 ANSI / HPS N13.11-2009 (R2015) 能力試驗標準。此外，INER 提供的 TLD-700 個人劑量計的  $H_p(d)$  的量測結果，也與 MCNP6 蒙地卡羅程式比較以驗證。對於輻射防護領域， $^{137}\text{Cs}$ (包括角度測試)、M100 和 M150 X 射線束射束，Harshaw 8814 TLD 的系統響應也令人滿意。
  - 研究論文二「Thermoluminescent Detectors to Measure LET Variations in Proton Therapy of Prostate Cancer: Comparison of Bilateral and Anterior-oblique Beams」Radiation Measurement SCI 期刊，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「建立衛星實驗室劑量分析技術方法」發表於 2019 年輻射醫療處置國際研討會；
  - 研究論文四「人員生物劑量國際能力試驗比對」發表於 2019 年中華民國核醫學學會年會；
  - 研究論文五「人員生物劑量染色體變異評估技術研究」發表於行政院災害防救應用科技方案(第二期)104-107 年度總成果研討會。
- (3) 107 年論文：本計畫於論文之學術成就共計 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 SCI 期刊，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  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$  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/ $\mu\text{m}$ ，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 SCI 期刊，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；
  - 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；
  - 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。
- (4) 106 年論文：本計畫於論文之學術成就共計 7 篇論文，其中 3 篇刊登於 SCI 國際期刊，3 篇發表於國際會議，1 篇發表於國內會議：

- 研究論文一「Secondary neutron ambient dose equivalent measurement of the wobbling system of a proton beam radiotherapy facility」刊登 Radiation Physics and Chemistry 137(2017) 116-120 SCI 期刊，目的是評估臺灣第一座質子設施擾動(wobbling)系統，每單位處方質子劑量(prescribed proton dose)的中子周圍等效劑量(neutron ambient dose equivalent)，即  $H^*(10)/D$ 。使用寬能域中子偵檢器(WENDI-II)於距中軸 50-225 cm 處量測  $H^*(10)$ 。較高的質子能量與較寬的擴展布拉格峰(SOBP)，導致較高的二次中子輻射貢獻； $H^*(10)/D$  的分布長庚與其他設施(HIBMC, NCCHE, SCC, PMRC)的結果類似；
- 研究論文二「Monte Carlo simulations for angular and spatial distributions in therapeutic energy proton beams」刊登 Radiation Physics and Chemistry 140(2017) 217-224 SCI 期刊，利用 FLUKA、GEANT4、MCNP6 三種蒙地卡羅程式，比較臨床治療級 80、160 和 230 MeV 質子射束，於通過水靶、鋁靶以及在水假體中之散射角、深度通量分布和深度劑量分布，採用理想點射源及實際半高全寬 1.1 cm 射源進行模擬。各個蒙地卡羅程式模擬有著一致性的趨勢；角度與能量依存的劑量分布結果，可應用於小視野劑量、質子放射手術、動物質子照射等新興的臨床領域；
- 研究論文三「Dosimetric comparison of different treatment modalities for stereotactic radiotherapy」刊登 Radiation Oncology (2017) 12:155 SCI 期刊，使用熱發光劑量計(TLD)及劑量膠片(EBT3)進行放射治療劑量準確性的量測評估，比較傳統直線加速器立體放射治療 (cone-based linear)，高強度模式弧形調控放射治療 (flattening filter-free volumetric modulated arc therapy)，以及螺旋刀(tomotherapy)模式之立體放射治療法(SRT) 量的差異性。TLD 及 EBT3 劑量量測結果與放射治療計畫計算值差異小於 4%。
- 研究論文四「Dose Underestimation and Correction Factors for Conventional Neutron Dose Meters Used in High-Energy Neutron Environments」和研究論文五「Shielding Analysis of a Carbon-ion Therapy Accelerator: A Comparison between Simplified and Monte Carlo Calculations」，分別發表於 9<sup>th</sup> International Workshop on Radiation Safety of Synchrotron Radiation Sources (RadSynch2017)和 13<sup>th</sup> International Topical Meeting on the Nuclear Applications of Accelerators (AccApp'17)國際會議，內容分別為高能中子環境之傳統

中子劑量計修正，和粒子治療加速器屏蔽蒙地卡羅計算；

- 研究論文六「Current Status of Human Biological Dosimetry」和研究論文七「人員生物劑量染色體變異評估技術研究」，分別發表於2017年輻射醫療處置國際研討會和2017年第32屆生物醫學聯合學術年會，內容分享人員生物劑量分析之學術研究，有助於推廣相關研究單位對於輻射與雙中節變異性的研究成果，可尋求以建立相關學術研究機制，增益於輻射相關議題的研發。

## 2. 研究報告

- (1) 109年研究報告：本計畫於研究報告的學術成就共計5篇，包含：研析IAEA-GSR Part3建議及輻防標準技術規範修正建議(2/2)、動態擬人假體在輻射劑量評估的技術建立、眼球水晶體劑量校正射質建立、第十一次人員體外劑量評估實驗室能力試驗之總結報告，與一般民眾輻射背景值的染色體變異分析研究共計5篇，可作為輻防管制之科學依憑。
- (2) 108年研究報告：本計畫108年於研究報告的學術成就共計5篇，含括研析IAEA-GSR Part3建議及輻防標準技術規範修正建議報告等，前述提供作為接軌ICRP 103國際趨勢修法研議之有力立基。
- (3) 106、107年研究報告：本計畫106年於研究報告的學術成就共計6篇，107年共計7篇，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等相關的研究分析，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制規劃。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. 學術合作

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共建立3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：

- (1) 108-109 年：與清華大學合作；引進美國核管會 RAMP 計畫中的動態擬人的假體模型程式，它是一個非常特殊的工具程式，允許用戶產生各種不同手臂和腿部姿態的擬人假體模型，再利用 MCNP 程式進行完整的輻射遷移計算與劑量計算，進行工作人員實務應用的輻射劑量評估，初步探討了除役放射源近距離、核醫製藥和透視攝影工作人員情節。於輻射防護方面可進一步了解輻射工作環境與人體的作用，以便能夠根據實際的情況控管劑量曝露與確保工作人員與公眾的安全。
- (2) 106-108 年：與清華大學和長庚醫院合作；前期計畫(106-107 年)中，利用熱發光劑量計(thermoluminescent dosimeter, TLD)成功建立量測直線能量轉移的系統(LET 小於 10 keV/ $\mu$ m)，並將其應用於臨床質子治療，本年度規劃用固態核徑跡偵檢器 CR-39 者來評估質子射束(LET 大於 10 keV/ $\mu$ m)所產生二次粒子之直線能量轉移能譜，並評估不同質子能量與劑量之直線能量轉移能譜，期望研究結合熱發光劑量計與 CR39 發展雙偵測器之 LET 量測系統以評估廣度更寬的 LET 範圍，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。
- (3) 106-109 年：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，提升國內血樣採集能量。藉由執行人員生物劑量研究計畫，建立與高雄醫學大學醫學影像暨放射科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。109 年度透過已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。
- (4) 106-107 年：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。

- (5) 106 年：與陽明大學和醫學物理學會合作，本研究延續自製多功能性輻射測量郵校假體系統之研發，為一系列郵校劑量驗證系統的基礎，透過自製假體的設計搭配多種劑量計，建立國內醫院放射治療劑量驗證稽核系統雛型，現為備援系統考量。由歷年光子與電子劑量輸出驗證之臨床量測結果，測試自行設計之自製多功能性輻射測量郵校假體系統，可有效應用於國內放射治療設備，作為輻射測量郵校稽核使用。放射治療中的劑量稽核驗證是評估醫院間醫療曝露品質之有利方法。國際間透過放射治療郵校驗證系統，以解決地幅廣大、人力資源分配不均之問題，國內則可透過自製假體進行統一的量測方式與劑量驗證程序，建立臨床醫療單位間劑量輸出之可比較性結果，於劑量驗證稽核重點，節省人力物力之支出。

## 二、技術創新(科技技術創新)

依據計畫主要工作項目分述執行年度、成果應用應用範圍或單位、與技術創新相關內容。

1. 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究(執行年度：108-109 年)、輻射應用劑量評估與檢校技術研究(執行年度：106-108 年)
  - (1) 動態擬人假體之輻防劑量評估研究(執行年度：108-109 年)：本項工作與清華大學合作執行，改善絕大部分的擬人假體都是建立在直立站姿型態的缺點，使人體四肢可移動彎曲，貼近人員實際工作時的姿態，特別是近距離接觸射源的工作人員，人體造成的自屏蔽效應或是複雜體射源的曝露組態都可能導致直立站姿評估結果的誤差，本研究初步評估了三個情節：除役近距離處理

放射源、核醫製藥和透視攝影工作人員情節，探討全身有效劑量、手部劑量與水晶體劑量之關聯性，供輻防管制作業參考。

(2) 高能中子輻防議題(執行年度：106-107 年)：本項工作與清華大學合作執行，主要解決一般中子輻射偵檢器量測高能中子時的低估狀況。高能中子(20 MeV 以上)劑量監測議題，隨國內高能粒子治療設施的興建與使用而浮出檯面。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。

(3) 支援 X 光機輻射劑量監測儀-克馬/劑量面積乘積儀研發(執行年度：106、109 年)：本項工作整合本計畫、建立及維持國家游離輻射標準計畫與嘉義大學之專長，合作開發放射造影和透視攝影用「劑量面積乘積游離腔計讀儀」的核心技術，使游離輻射計讀儀與微小電流量測裝置之數據擷取，可有效修正與還原超過上下限之訊號，進而能夠更準確地判斷出雜訊分佈型態，並精確估測出實際電流，且原型機產品有內建溫度計之設計，及國家劑量面積乘積標準之支持，可進而獲得更準確的游離輻射劑量，有效提升空氣游離腔量測準確度，增加產品等級，具有市場競爭力。目前已與科發基金等計畫合作，完成 1 家國內廠商(千才生醫股份有限公司)之技轉，並取得「游離輻射計讀儀與微小電流量測裝置 Using voltage ride through frequency histogram for low current measurement」美國發明專利(US 10,578655 B2，專利取得日期 2020 年 3 月 3 日)。

## 2. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究(執行年度：106-109 年)

人員生物劑量評估技術(執行年度：106-109 年)：109 年與高雄醫學院合作進行 gamma-H2AX 預試驗，初步測試發現以流式細胞技術(Flow cytometry)分析 gamma-H2AX 訊號有較佳效果，後續將持續精進此技術，作為 gamma-H2AX 訊號的主要分析方法，期能突破現有染色體雙中節法只能測到 0.1 Gy 輻射劑量之限制。

### 三、經濟效益(經濟產業促進)

依據計畫主要工作項目分述執行年度，成果可應用範圍或單位、與經濟效益內容。

#### 1. 核設施除役輻射防護管制技術研究(執行年度：106-107 年)

環境核種分析儀器校正用參考物質(菇類、濾紙、人工尿樣、人工糞樣)之研發(執行年度：106-107 年)：結合化學、化工與輻射度量領域，研發符合國際規範的本土化參考物質，預期可用於未來國內環境輻射防護偵測相關單位，例如：原能會核研所保物組的環境試樣放射性核種分析實驗室、原能會偵測中心的環境偵測組、台電的放射實驗室、義美公司、衛福部食藥署食品輻射偵檢室、清大原科中心放射性核種分析實驗室、陽明大學醫放系食品檢驗分析實驗室、屏科大災害防救科技研究中心放射性分析備援實驗室等，其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。

#### 2. 輻射應用劑量評估與檢校技術研究(執行年度：106-108 年)

(1) 高能中子輻防議題(執行年度：106-107 年)：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。

(2) 郵校劑量計之郵校假體系統(執行年度：106 年)：使用熱發光劑量計作為郵校劑量計之郵校假體系統，應用於放射治療電子射束之評估，結合醫學物理與輻射度量領域，初步證實可有效應用於放射治療劑量之稽核驗證，未來可用於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。

#### 3. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究(執行年度：106-109 年)

(1) 人員生物劑量評估技術(執行年度：106-108 年)：本計畫人員生物劑

量評估技術結合生物、生醫、電腦自動化與輻射度量領域相關技術，建立人員生物劑量專業實驗室，致力精進人員生物劑量分析能力，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。

- (2) 109 年：本計畫開發新的 gamma-H2AX 人員生物劑量分析方法，除了可以快速取得分析數據外也可節省許多人力成本時間，可用來做為快速篩檢的分析方法。

#### 四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

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。依據計畫主要工作項目分述執行年度，成果可應用範圍或單位、與貢獻於社會層面的科技加值效益說明如下：

1. 核設施除役輻射防護管制技術研究(執行年度：106-107 年)

環境核種分析儀器校正用參考物質(菇類、濾紙、人工尿樣、人工糞樣)之研發(執行年度：106-107 年)：本計畫於 107 年依據 ISO GUIDE 34、35 之技術要求，完成菇類、濾紙、人工尿樣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，所製作的參考物質實際應用於環境試樣放射性核種分析能力試驗，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，進而貢獻於環境保護安全。

2. 輻射防護能力試驗技術研究(執行年度：106-109 年)

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領域能力試驗的主辦機構，歷年主辦許多類型的能力試驗，如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

畫可結合國家量測標準、接軌國際規範、配合 TAF 運作時程和分析國內現況，共負責 5 項常規能力試驗研究及 1 項臨時交辦比對試驗研究。

109 年度執行：人員劑量計、輻射偵檢儀器校正(新增中子校正項)、全身計測系統(臨時交辦)，共三項。

108 年度執行：肢端劑量計，共一項。

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，共五項。

106 年度執行：人員劑量計，共一項。

此外，與 TAF 合作，更新人員劑量技術規範 CNLA-TAF-T06(03)至 CNLA-TAF-T06(04)版，新增肢端劑量技術規範 CNLA-TAF-T23(01)。透過能力試驗之執行與技術規範之更新，促使主管機關與受測實驗室了解其技術能力與可精進之處，並輔導各實驗室提升能力，藉由量測能力的提升，增進輻防管制的效能，確保環境與人員輻射安全。

### 3. 輻射防護能力試驗技術研究(執行年度：106-109 年)、輻射應用劑量評估與檢校技術研究(執行年度：106-108 年)

提升國家及國內游離輻射劑量量測技術與品質，其效益可擴散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(每年接受放射治療人次約 120 萬、粒子治療人次約 1 萬)的輻射安全管制與曝露品質之精進，落實原子能科技於民生福祉與社會永續發展，堅實智慧生活科技與產業。

### 4. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究(執行年度：106-109 年)

執行人員生物劑量染色體變異評估技術研究工作，對一旦發生輻射意外事件時，可提供一具公信力的專業技術，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醫療照護，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)

依據計畫主要工作項目分述執行年度，成果可應用範圍或單位、與貢獻於其他效益的科技加值效益說明如下：

### 1. 輻射防護能力試驗技術研究(執行年度：106-109 年)

- 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，引進最新國際規範，並轉化為國內實驗室認證技術規範，促進游離輻射領域實驗室品質認證之完整性。
- 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，並透過實驗室認證體系執行能力測試，藉此對各實驗室人員進行實作技術之強化。
- 辦理研討會，對本計畫及各參與能力試驗實驗室之人員進行教育訓練與技術交流，達人才培訓與技術精進之目的。

### 2. 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究(執行年度：108-109 年)、輻射應用劑量評估與檢校技術研究(執行年度：106-108 年)

- 本計畫參考 ICRP 及 IAEA 等國際組織最新輻防規範，進行我國游離輻射防護技術規範之修訂研究，可促使我國輻射防護法規符合國際潮流趨勢，增進人民福祉。
- 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、行政助理等，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，可增加未來投入相

關領域之專業競爭力。

3. 人員生物劑量染色體變異評估技術研究(執行年度：106-109 年)

本計畫推動輔導高醫，成立人員生物劑量評估衛星實驗室，進行人才培育與技術擴散，厚植我國生物劑量評估量能。

4. 核設施除役輻射防護管制技術研究(執行年度：106-107 年)

- 因應我國核一廠 1 號機於 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，進行人才培訓，透過課程簡報及交流討論，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。
- 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，有助於管制法規的落實。

5. 輻射防護技術規範與劑量評估精進研究(執行年度：107 年)

- 醫用活度計研究(執行年度：107 年)：本研究與陽明大學合作，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，進而提升國內核醫學相關診療之醫療品質與輻射安全。

## 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，並因應國際輻防法規趨勢、能力試驗技術與輻射偵檢儀器驗證、新興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，提供作為輻射防護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。相關結論與建議依分項具體說明如下：

### 一、輻射防護技術規範與劑量評估精進研究

游離輻射防護技術規範修訂草案之研究：(1) 已執行輻防標準草案再版修訂，納入國際規範與 108 年專家討論會之建議，並依規畫辦理兩場次游離輻射防護安全標準法規精進研討會(台北場及高雄場)。並蒐集相關領域代表之建議與回饋。於 109 年 11 月 27 日召開的專家討論會，提出相關建議回饋之回復與修法建議，以供管制機關修法參考。(2) 持續追蹤國際輻防資訊及各國法規修訂進度(包含劑量係數、眼球水晶體劑量限值修訂、劑量約束採行等項目)，並考量國內實際作業、管制情形，提出需要建立之技術規範。

眼球水晶體劑量限度的調降，是最新輻射防護管理系統的重要變革之一，我國應輔以  $H_p(3)$  操作量的監測系統推出，以為法規之技術立基。針對眼球水晶體劑量校正系統，本計畫根據 ISO 4037-1 完成窄能譜系列射質建置，經由實驗評估驗證，其半值層量測結果均能符合 ISO 4037-1 標準規範之要求。未來將持續進行各項修正因子的評估及標準克馬率的量測，之後再透過轉換因子將克馬率轉換為眼球水晶體劑量的操作量  $H_p(3)$ 。預期可適時提供相關眼球水晶體劑量計之校正，接軌國際劑量標準。

動態擬人假體研究方面，總結研究成果，本研究透過 PIMAL 的輔助所建立之假體模型，並加上自訂義的手與水晶體，或相關屏蔽用具來模擬操作人員以手動態處理核醫藥物之結果與迎光透視受影中的工作人員劑量。鎢製針筒罐與 L 型鉛玻璃屏蔽的使用，皆能有效降低所接受到的劑量，鎢製針筒罐可以使手部劑量降為 5.3%，眼球水晶體劑

量降為 3.7%，全身有效劑量降為 15.1%，而 L 型鉛玻璃屏蔽可以使眼球水晶體劑量降為 16.9%，全身有效劑量降為 7.4%。而在案例二，與文獻比較相同假設情節時，測量值與模擬值為同一數量級，考量實際情節的複雜度與差異性，此一比較結果相當程度顯示本研究所建之模型的可信度與參考價值。接續此一模型，也可以模擬不同透視攝影情節，帶入不同能量以及射束位置，模擬醫師所接受到的手部、水晶體，以及全身有效劑量，從結果可知，在 X 光能量為 80 kVp 與 100 kVp 時，鉛衣的屏蔽能使劑量降低至原來的 0.1 倍以下。最後討論二個應用案例中全身有效劑量、手部劑量與水晶體劑量之關聯性，在放射師以手處理核醫藥物的劑量評估中，可以藉由固定的比值：水晶體與全身有效劑量的比值平均在無屏蔽情況下約為 0.69，有 L 型屏蔽下約為 0.76，以便臨床使用上以有效劑量推估水晶體劑量，而在螢光透視攝影對現場工作人員的劑量評估，雖沒有固定規律的水晶體或手部對有效劑量的比值，但可以得知在隨鉛衣厚度上升，因為有效劑量受鉛衣屏蔽而下降，手和水晶體劑量相對上升，比值增加。

在本研究完成技術建立之基礎下，未來在案例情節設計時，可參考臨床實務做法，(1)傳統核醫核種使用鉛針套筒，PET 正子藥物則使用鎢製套筒，此外，針套筒只有筒身有屏蔽覆蓋，前後端注射推藥處並無屏蔽，如此，大拇指推藥時的肢端劑量評估能更貼近實際情形，(2)在 PIMAL 假體模型上，可在設計更符合臨床實際狀況，以反應劑量變化，(3)可增加 ICRP-103 報告之組織加權因數的評估結果，(4)輻防管制面與國際文獻探討結果，心導管與血管攝影之透視操作人員才是主要關鍵群體，能針對該類人員之操作情節進行劑量評估，包括：有無使用鉛帷幕(透明鉛帷幕屏風)、有無配戴鉛眼鏡、有無著鉛衣、曝露操作條件(能量設定、mAs 設定...)等，(5)除探討醫療人員因執行螢光透視攝影所受之全身有效劑量與手部以及眼球水晶體等價劑量外，亦可針對「應否做眼球水晶體劑量監測」之管制建議。

## 二、輻射防護能力試驗技術研究

本分項整體效應有二：1. 將最新國際規範引入國內游離輻射領域

相關能力試驗； 2.為強化國內放射性相關實驗室之技術交流與國內現況分析。今年度有人員劑量計(108-109年)、輻射偵檢儀器(109-110年)、及全身計測(臨時交辦)能力試驗研究三大部分，並考量重要的輻射場品保驗證，與凸顯首次中子儀器校正實驗室比對，另列項目以呈現其成果。此外，今年度產出延續上期計畫的兩項重要成果，一是近十年人員劑量計能力試驗成果刊登 SCI 論文，於國際發表臺灣輻防研究與管制之成果；另一為新擬定的「測試領域肢端劑量評估技術規範 CNLA-TAF-T23(01)」順利公告，以利國內產業使用。

然而，整體輻射防護能力試驗技術研究依舊存在照射系統設備老化，研究環境人力與經費調度不易等問題，今年度已暫獲解決，未來仍將盡力於協調人力及資源因應，並進行系統調校及與受測實驗室間之溝通。

在國內技術環境接軌國際研究上，國內已然引進 ANSI/HPS N13.11:2009(R2015)人員劑量計能力試驗技術規範、ANSI/HPS N13.32:2018 肢端劑量計能力試驗技術規範，並參考 IAEA 提供給 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，建立國內實驗室劑量校正追溯與比對機制，尤其是此次輻射偵測儀器能力試驗研究涵蓋實驗室家數為歷年之最。輻射偵測儀器之偵檢準確度為民眾關注議題，尤其是輻射劑量偵測儀器、放射活度  $\alpha/\beta$  污染偵測儀器及人員劑量計，甚至電廠除役所需的中子偵檢器等儀器。運用 TAF 校正領域輻射偵測儀器能力試驗進行之研究，可評估國內六家實驗室校正品質，並透過交流提升技術能力，把關第一線技術服務，保障民眾與工作人員之輻射安全。

在人員劑量計技術規範方面，本期計畫參考人員劑量評估 ANSI/HPS N13.11 2009(R2015)國際最新版本，與 TAF 合作修訂國內認證技術規範，與 108 年 3 月完成國內 TAF-CNLA-T08(4)規範公告，隨即於 108-109 年人員劑量計能力試驗研究採用新版規範執行，此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、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下，建立人員生物劑量評估相關技術，並於 100 年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，實驗室於今年度再次成功通過 ISO 17025 測試實驗室新版認證工作，未來將持續維護已建立之技術與品質，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。於國際比對部分，仍會持續與加拿大保持聯繫，且不排除未來也參與其它國家實驗室舉辦之國際能力試驗比對，以保證實驗室的分析能力能與各國實驗室達到同樣水平。

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，有些人可能一直處於低劑量的輻射中，如環境中存在的氡氣、醫院放射科的醫生、核電廠作業人員、經常接受 X 線、CT 等放射性醫學檢查患病等。染色體雙中節分析方法為目前國際間所認可之標準方法(Gold standard)，但在實驗過程中，培養細胞再加上後續影像分析較花費人力及時間，且有偵測劑量極限為 0.1 Gy 之限制，本年度嘗試開發 gamma-H2AX 分析方法，並獲得初步效果，後續將持續完善此項新的技術，期能降低國內生物劑量的偵測低限。

整體而言，本計畫規劃與執行的工作，應屬國家輻射防護基礎建設的一環，無論在輻射防護法規的更新或執行，本計畫成果能確保我國輻防法規的國際追隨性，及確保國內各專業實驗室可提供足夠的技術能量，支持輻防法規的執行或更新。基礎建設非一朝一夕之功，建請主管機關須持續投入穩定的資源，方能維持各項基礎設施與技術能力，確保輻射防護法規可持續獲得可靠的技術支撐，保障全民的輻射安全。

## 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，原則上無涉跨部會協調，僅透過學術合作或勞務委託，以達技術精進與技術擴展之目的，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、輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立、粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立等，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。

本年度與清華大學合作，進行動態擬人假體在輻射劑量評估的技術精進，藉此進行核醫製藥與透視攝影劑量初步評估，特別關注於手部肢端劑量與眼球水晶體劑量模擬之可行性。透過學術合作達到技術精進與技術擴散，研究成果與主管單位交流回饋，將引入更符合實際狀況的條件，其成果期能作為患者放射診療品質管控、確保輻射從業人員和一般民眾之輻射安全業務之科學證據之一。

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，及協助執行部分染色體之雙中節分析。

### 二、大型科學儀器使用效益說明

本計畫無編列購買大型科學儀器。

### 三、其他補充說明(分段上傳)

計畫成果均已完整說明，詳見附件。

## 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
APMP supplementary comparison of air kerma in ISO 4037 Wide and Narrow Series x-ray beams: APMP.RI(1)-S3	D J Butler	2020(刊登)	D
Comparison of different methods for the shielding analysis of an AB-BNCT facility based on the Be(p,xn) reaction with 30-MeV protons	Bo-Lun Lai	2020(刊登)	D
人員生物劑量評估研究	林○琪	2020	E
Use the results of the international ability test to estimate the application of chromosome analysis to accidental radiation exposure events	林○琪	2020	E

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)
輻射防護技術規範與劑量評估精進研究	輻射防護處、核能研究所(保物組)、核能資訊中心、清華大學	B	A	2020
輻射防護能力試驗技術研究團隊	輻射防護處、核能研究所(保物組)、清大、同步輻射、台電公司、輻防協會、貝克西弗、全國認證基金會等	B	A	2020
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、保物組)、高雄醫學大學附設醫院	B	A	2020

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
----	------	----	----

蔡○芝	清華大學	B	A
林○全	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
研析 IAEA-GSR Part3 建議及輻防標準技術規範修正建議報告(2/2)	陳○言	2019	B
動態擬人假體在輻射劑量評估的技術建立(2/2)研究報告	蔡○芝、林○全、許○鈞	2020	C
眼球水晶體劑量校正射質建立	吳○安	2020	C
第十一次人員體外劑量評估實驗室能力試驗之總結報告	陳○奇	2020	D
一般民眾輻射背景值的染色體變異分析研究	林○琪	2020	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
2020 年人員劑量計與輻射儀器校正能力試驗技術討論會	A	20200612	行政院原子能委員會/核能研究所、經濟部標準檢驗局
游離輻射防護安全標準修正規劃研討會	A	20100925	行政院原子能委員會/核能研究所、財團法人核能資訊中心
游離輻射防護安全標準修正規劃研討會	A	20101014	行政院原子能委員會/核能研究所、財團法人核能資訊中心

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
2020 年第 11 次人員劑量計能力試驗總結會議暨第八次輻射偵檢儀器校正能力試驗技術討論會	C	A	2020	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
輻射偵測儀器校正能力雙邊比對報告	A	鄒○泓	2020	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
測試領域人員肢端劑量評估規範(TAF-CNLA-T23(1))	A	C	於 TAF 審核後公告採行，提供肢端劑量計能力試驗之標準測試條件及評估肢端劑量計服務能力。如人員、設施與環境條件外，也說明執行程序、測試類別、輻射源、假體結構、照射條件、劑量照射範圍與能力評定等規定，將作為未來國內執行人員劑量計能力試驗之依據。

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

## 【109 年度績效自評意見暨回復說明(D007)】

計畫名稱：輻射防護管制規範與度量技術研究 (4/4)

績效自評審查委員：

序號	審查意見	回復說明
<p><b>壹、計畫實際執行與原計畫目標符合程度(自評評等：優)</b></p> <p>優：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。</p> <p>良：達成計畫原訂目標，且已就遭遇困難提出可行之因應對策。</p> <p>可：大致達成原訂目標，且就遭遇困難所提因應對策尚屬可行。</p> <p>待改善：超過3成以上執行內容與原規劃未符或未達成原訂目標，且仍須對所遭遇困難提出更有效可行之因應對策。</p> <p>劣：半數以上執行內容與原規劃未符或未達成原訂目標，且仍須對所遭遇困難提出更有效可行之因應對策。</p>		
1-1	<p>該計畫為4年期計畫，於109年度計畫經費10,800千元，僅7.5人年，需完成三個分項計畫(輻射防護技術規範與劑量評估精進研究、輻射防護能力試驗技術研究、人員生物劑量染色體變異評估技術研究)實屬不易。且於年度間達成論文3篇(SCI投稿並刊登2篇、會議論文1篇)、研究團隊養成3個(全程)、博碩士培育2人、研究報告5篇、辦理研討會3場、手冊1份、技術報告1篇、技術規範1份，KPI達成率超過預期。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>

1-2	原設定計畫目標均有達成，有部分有超越計畫原訂目標，計畫目標符合程度優。	謝謝委員的肯定。
1-3	針對第三分項(人員生物劑量染色體變異評估技術研究)，P.24 預期此計畫之建立是期許針對國家人民發生輻射意外事件後可作為醫療評估之作法，但於 P.3 又是寫到是針對輻射工作人員、放射醫療診斷/治療病人做分析，其兩者說法有差異性。若確認針對對象不同，應慎選適當的輻射照射作為實驗根據，請確認。	感謝委員意見，已修正 P.3 用詞，計畫內容應是以國人發生輻射意外事件後進行劑量評估為主。
1-4	本計畫超越計畫原訂目標，且已就所遭遇困難提出有效之因應對策。	謝謝委員的肯定。
<p><b>貳、計畫經費運用之妥適度(自評評等：良)</b></p> <p>優：經費運用與工作內容相當匹配，且運用更有效率。</p> <p>良：經費運用與工作內容相當匹配，與原規劃一致。</p> <p>可：經費運用與工作內容與原規劃大致相符，差異處經機關說明後可以接受。</p> <p>待改善：經費運用與工作內容與原規劃不盡相符，差異處經機關說明後可以接受。</p> <p>劣：經費運用與工作內容與原規劃非常不相符，且未說明差異或說明無法獲得接受。</p>		
2-1	本計畫於 109 年度計畫總金費 10,800 千元，經常門分配 7,200 千元，執行率 6,483 千元(90.04%);資本門分配 3,600	謝謝委員的肯定。

	千元，執行率 3,566 千元(99.06%)，總執行率為 93.04%，表現良好。	
2-2	因暫時性人力端缺與高異動率，經費經常門支用狀況為 90.04%，資本門支用狀況為 99.06%，總經費支用狀況為 93.04%，整體預算執行率尚可。	謝謝委員的肯定。
2-3	預期 110 年度計畫執行團隊將會補入新進人力，期許能提高整體預算執行率。	謝謝委員的意見。
2-4	核研所屬公務機構故無法編列人事費用，計畫經費支用部分僅業務費與設備費，近年來中央機關因應審計部查訪/要求，預算執行率均偏低，該計畫可達成 93%執行率，顯示該計畫同仁之努力	謝謝委員的肯定。 經費執行率達成的困難度，確會因採購作業與行政管理的專業性與繁複性的逐年增加而增加，需投入更多人力與時間去執行。
2-5	計畫經費執行率達 90%以上，經費與工作內容匹配，與原規劃一致。	謝謝委員的肯定。
<p>參、計畫主要成就及成果(重大突破)之價值、貢獻度及滿意度 (自評評等：良)</p> <p>含【量化績效指標達成情形】【學術成就(科技基礎研究)】【技術創新(科技技術創新)】</p> <p>【經濟效益(經濟產業促進)】【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】</p> <p>【其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推</p>		

<b>動輔導等)】</b>		
<p>優：所達成量化指標或質化效益超越原計畫預期效益。</p> <p>良：所達成量化指標及質化效益與原計畫預期效益相符。</p> <p>可：達成 8 成原計畫預期效益。</p> <p>待改善：達成 6 成原計畫預期效益。</p> <p>劣：超過半數計畫預期效益未達成。</p>		
3-1	績效指標部分：該計畫於 109 年度之 KPI 達成成果均符合或提前原規劃之進度達成，量化產出超越原目標。	謝謝委員的肯定。
3-2	本計畫成果可提供相關系統與實務建議，提升游離輻射防護管制技術，確保民眾健康及輻射安全。原設定之量化指標或質化效益均有達成，部分成效超越原規劃指標，計畫成果豐富，研究團隊表現優異。	謝謝委員的肯定。
3-3	學術研究部分：於國際期刊發表以彰顯我國相關輻防研究與管制之良好成果。於國內學術會議發表可推廣輻射教育之普及化。	謝謝委員的肯定。
3-4	技術創新部分：各分項均按領域增添新穎分析技術，如眼球水晶體劑量量測、臨時交辦之全身計測實驗室比對、gamma-H2AX 分析方法。	謝謝委員的肯定。
3-5	經濟效益部分：該四年期計畫於 106 年起即針對計畫完成後之經濟效益做評估，且隨著計畫執行階段進行不同階段時期之分析。	謝謝委員的肯定。
3-6	經濟效益部分：也請依照分項計畫，敘述年限，如何達到經濟效益。因為依原	謝謝委員的建議。 績效報告此部分已

	<p>報告中，此計畫一、二分項於 107 年後就沒有經濟效益，三分項 108 年後也無。(P.64-65)</p>	<p>重新依據計畫主要工作項目分類，並簡述執行年度、預期成果應用範圍或單位、與經濟效應相關內容。其經濟效應乃作為輻射偵測系統相關時間、費用等成本之降低，基本上無使用年限之限制，報告之陳述是說明開始產生此效益之年度，而非僅在當年度產生效益。。</p>
3-7	<p>計畫所列論文、研究團隊、研究(或技術)報告、人才培育、學術活動等績效指標達成情形良好。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>
<p><b>肆、跨部會協調或與相關計畫之配合程度(自評評等：優)</b></p> <p>優：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。</p> <p>良：跨部會協調或與相關計畫之配合情形良好。</p> <p>可：跨部會協調或與相關計畫之配合情形尚屬良好。</p> <p>待改善：跨部會協調或與相關計畫之配合情形有待改善。</p> <p>劣：跨部會協調或與相關計畫之配合情形非常待改善。</p>		
4-1	<p>該計畫原則上為原子能委員會委託核能研究所執行，應無涉及跨部會之協調工作，但在學術合作與學研究保持技術精進與擴展方式進行。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>
<p><b>伍、後續工作構想及重點之妥適度(自評評等：優)</b></p> <p>優：後續工作構想良好；屆期計畫成果之後續推廣措施良好。</p> <p>良：後續工作構想良好；但屆期計畫成果之後續推廣措施可</p>		

	<p>再加強。</p> <p>可：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。</p> <p>待改善：後續工作構想尚屬良好；但屆期計畫成果之後續推廣措施可再加強。</p> <p>劣：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。</p>	
5-1	該計畫為四年期工作，其內容主要給予原能會於輻射防護管制層面，落實國際輻防法修正與因應輻射災防等問題。	謝謝委員的肯定。
5-2	第一分項針對現今輻防標準變化與專家學者之意見溝通建立需要的規範。未來更接軌國際劑量標準增添眼球水晶體檢測技術。為未來臨床實務需求。	謝謝委員的肯定。
5-3	第二分項針對國內輻射劑量偵檢量測與校正等面向，做為國家游離輻射標準實驗室達到技術驗證的功效。未來階段更對中子偵檢器的校正技術能力研究，將更因應於現狀。	謝謝委員肯定，核研所保物組的國家游離輻射標準實驗室擔負游離輻射領域標準國際同步之使命，將善用逐年累積之裝備於相關任務，運用計畫資源提升輻射偵檢準確度與全面性，展現科技加值效益。
5-4	第三分項針對國內建立/維持ISO17025 測試實驗室水準，並與國內外研究單位合作，提升國內衛星實驗室執行面。未來階段，針對雙中節反應最為人詬病的低劑量與分析時間問題，開發新的 gamma-H2AX 分析方法，	謝謝委員的肯定。

	期許可成為新的檢測工具。	
5-5	本計畫研究成果顯著，後續計畫目標明確，工作構想良好。	謝謝委員的肯定。
5-6	本績效報告為4年期計畫之第4年，對於成果與執行績效有完整描述；且對未來後續工作亦有良好規劃，計畫成果之後續推廣亦可持續進行。	謝謝委員的肯定。
<b>陸、綜合意見</b>		
對整體計畫之看法，以及是否有其他可提升或創造價值之建議		
6-1	本計畫為輻射全國輻射安全的主管機關關於因應國際法規，強化國內輻防管制與度量，並針對輻射曝露意外建立追溯劑量評估機制，進而委託核能研究所執行相關業務。其任務為協助原能會落實原子能科技之民生運用，以增進社會大眾對於原子能施政之信心。功勞卓越。	謝謝委員的肯定。
6-2	該計畫多項項目為針對現今醫療輻射工作人員曝露於醫療行為所接受之輻射劑量。但須針對於國際間趨勢：Ga-68/Lu-177 診療型核醫藥物的運用層面越來越廣，放射性的核種已與傳統核醫有所差異；放射治療也由過往鈷六十/X-ray 治療轉往重粒子與質子治療，若計畫端許多內容仍以醫療曝露為主要對象，未來計畫面應切合於實際與未來發展。	謝謝委員建議及所提供之方向，本會會切合政策與市場的實際與未來發展，考量醫療輻射曝露需求，提供執行單位研發參考。
6-3	該計畫分項部分也針對國際間之比較分析進行表列式陳述(P.25-26)，可明顯	謝謝委員的肯定。

	確知國內不足之處與計畫執行後之達成趨勢，可加速國家進步並拉近國際間差距。	
6-4	報告書中 P.34 遭遇困難與因應對策部分，執行困難 1：必須考量相關利害團體-----以及病人權益受損的程度等。因為此計畫為原能會委託核研所進行相關研究部分，故此研究型計畫僅應明白陳述研究結果後允與主管機關，相關利益與後續規範方向，則由主管機關評核，不應該於此計畫中提出。	謝謝委員建議。 本計畫主要依據國際趨勢進行輻防法規的修訂建議，而在法規執行面上可能遭遇的利害關係人與困難，主要做資料的收集供主管機關及本計畫技術發展之參考，非本計畫此工作項目現階段的主要考量，但可以預見，後續計畫的推動將會面臨修訂後法規執行面上的問題。
6-5	相關計畫均達成原規劃目標，研究成果可供主管機關參考，有助於輻防法規與管架構能更加符合國際趨勢，同時有效提升輻射防護管制所需之相關技術能力。	謝謝委員的肯定。
6-6	109 年度為 4 年期研究計畫之第 4 年，建議後續有關輻防標準及眼球水晶體劑量限度修訂、輻射偵測儀器能力試驗、動態擬人假體及人員生物劑量評定等主題仍應以相關計畫持續研究。	謝謝委員建議。 誠如委員所提，輻防標準之眼球水晶體劑量限度下修議題牽涉範圍較廣，已於後期計畫規劃劑量校正系統建置、安排劑量監測試運轉、提供業界輻防教育等

		<p>工作；輻射偵測儀器能力試驗將會持續配合實驗室認證週期執行，引進國際技術、分析國內能力，並適時擴充政策推行所需項目，辦理技術交流活動；而人員生物劑量評定確實應逐步增加國人雙中節背景值和劑量曲線數據，作為可信之應變資源。</p>
6-7	<p>本計畫協助開發放射造影和透視攝影用「劑量面積乘積游離腔計讀儀」的核心技術，完成國內廠商之技轉，並取得「游離輻射計讀儀與微小電流量測裝置 Using voltage ride through frequency histogram for low current measurement」美國發明專利，研究團隊的專業與努力值得肯定。</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p>
6-8	<p>本計畫因應國際最新法規與管制趨勢，並且強化國內輻防科技發展，以輻射防護管制規範與度量技術研究為中心，進行輻射防護管制規範與技術、輻射偵測與儀器檢校、輻防劑量評估與稽核驗證方法、人員與生物劑量評估等研究。整體而言，此計畫研究團隊表現優異，計畫成果豐碩，績效卓著，相關成果能確保我國輻防法規的國際追隨性，及國內輻射防護專業實驗室的技術能量，建議持續進行後續研究，維</p>	<p>謝謝委員的肯定。</p> <p>本會預期輻防標準之眼球水晶體劑量限度下修議題牽涉範圍廣，已於後期計畫規劃劑量校正系統建置、安排劑量監測試運轉、提供業界輻防教育等工作；輻射偵測儀器能力試驗將會持續配合實驗室認證週期執行，</p>

	<p>持與精進各項技術能力，以保障全民的輻射安全。</p>	<p>引進國際技術、分析國內能力，並適時擴充政策推行所需項目，辦理技術交流活動；而人員生物劑量評定確實應逐步增加國人雙中節背景值和劑量曲線數據，作為可信之應變資源。謝謝委員支持。</p>
6-9	<p>人員生物劑量染色體變異評估技術，在萬一發生輻射意外事件時，可推估未配戴劑量佩章之受曝露者所接受的劑量，使醫生能獲得完整之輻射資訊作最正確的治療。期待此計畫研究團隊後續能突破現有最低偵測極限只能測到 0.1 Gy 輻射劑量之限制。此外，對於染色體雙中節變異之背景值受試者人數自 101 年至 109 年已完成既有 28 例，如能多增加受試者人數，在統計上會更有其代表意義。</p>	<p>感謝委員的建議。目前於 109 年度人員物劑量實驗室已開始建立 gamma-H2AX 的分析方法，依文獻數據確實可突破 0.1 Gy 的輻射劑量限制。另外關於染色體雙中節變異之背景值分析，目前每年皆為持續進行分析 3 例 case，以更完善數據庫，使之具有統計學代表意義。</p>
<p><b>柒、總體績效評量</b> (自評分數: 89.3 / 自評評等: 良)</p>		