

行政院原子能委員會
委託研究計畫期末研究報告

**接軌國際輻防技術規範與精進量測技術能力
(2/4)**

**Linking up international radiation protection technical
specifications and improving radiation detection capabilities**

計畫編號：

受委託機關(構)：原子能委員會核能研究所

計畫主持人：袁○程

聯絡電話：(03)4711400 ext 7673

子項計畫主持人：朱○翰、林○君、歐陽○鈺

承辦人：廖○蘭

報告日期：111 年 12 月 15 日

目 錄

目 錄.....	i
中文摘要.....	ii
英文摘要.....	iii
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目的.....	4
參、研究方法與過程.....	9
肆、主要發現與討論.....	17
伍、結論與建議.....	57
陸、參考文獻.....	59
附件 期末訪查技術性查核問題與回復(Q&A).....	63

中文摘要

為接軌國際最新輻射防護建議，國際原子能總署（IAEA）、歐盟等國際組織陸續更新輻防管制建議與技術規範。因此，本計畫考量輻射防護管制系統的全面性，亦滾動式地精進管制實務面之技術能力，同時為符合國內外趨勢，進行輻射防護之度量技術研究與提升人員生物劑量評估相關技術，以強化輻射量測與劑量評估之準確度及公信力，提升游離輻射防護管制技術，確保民眾健康及安全。

本年度含三個主要工作項目：1. 建立國際同步之輻射防護規範研究；2. 強化國內輻射檢校量測技術能力研究；3. 精進染色體變異分析技術與評估研究。以國際最新輻防趨勢為依歸，針對技術規範、胎兒劑量、眼球水晶體劑量等輻防架構、管制影響及評估技術進行研析，以落實最適化的輻射防護管制作為，並對人員劑量和輻射偵檢儀器校正能力試驗認證技術進行研究，強化輻射防護相關量測實驗室之技術能力，以及擴增國人染色體背景值資料庫和劑量反應曲線，持續提升游離輻射安全管制層次及水準。

關鍵字：游離輻射、輻射防護、輻射度量、生物劑量

英文摘要

The project adopted a roll-on approach to improve the technical ability in control practice and the technology of radiation protection measurement according to the updated regulations of the radiation management structure and technical specifications suggested from the International Atomic Energy Agency and the European Union.

To improve the research and the technology on the evaluation of radiation detectors for testing and calibration, and to enhance the personnel and biological doses assessment considering the domestic and international trends is the priority of our national laboratory to strengthen the accuracy and credibility of radiation measurement and dosimetry.

There are three subprojects in our four-year project: (1) Researches on the establishment for the updated regulations of the radiation protection management system: the radiation protection technical specifications referring to the latest international trend and the impact of new regulations, and the radiation doses to the lens of the eye and to the fetus are investigated in this project; (2) Researches on the improvement of radiation detection and measurement system, and the dose verification methodology: the performances of the certification technology for personnel dose evaluation and radiation detector calibration are assessed in this project; and (3) Researches on the improvement of the evaluation and technology for human chromosome abnormality analysis: a continuous research on the domestic database for background value and dose response curve of the chromosome. All efforts of this project aims to pursue and to provide a higher level of the regulation of radiation safety.

Keywords: Ionizing Radiation, Radiation Protection, Radiation Measurement, Biological Dose.

壹、前言(計畫緣起)

原子能委員會(以下簡稱為原能會)為全國輻射安全的主管機關，核心業務是以專業及合理的管制措施，確保人員、場所及環境之輻射安全。受輻射防護管制之物件包括核子設施、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，保護之對象則包括從業人員、接受放射性診斷及治療之病患、一般民眾及週遭之環境等。由上而下，輻防體系從國際同步之輻防規範、輻防檢校實驗室、第一線從業人員，至一般民眾及週遭之環境，原能會有責任強化游離輻射管制措施、提升國家整體游離輻射劑量與核種活度量測水準、推動原子能科技應用與民生安全議題之研究發展。

核能研究所(以下簡稱為核研所)透過『接軌國際輻防技術規範與精進量測技術能力』計畫之執行，能有效強化與支援原能會的輻防把關工作、精進輻射安全管制技術、推動原子能科技在醫學診療、工業輻安與民生應用之研究發展，並提升國家游離輻射量測與劑量評估技術，使相關技術與國際接軌。而國外先進核能應用國家，建置有國家級生物劑量實驗室，並研究建立人員生物劑量評估與相關技術，國內則透過此計畫，建置與精進輻射生物劑量實驗室，可有效協助意外曝露應變作業與作為法規之科學依據，提升游離輻射安全管制層次及水準，落實原子能科技於社會民生福祉與永續發展之目標。

近年國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)、歐盟陸續出版新的管制建議與規範，其輻防管制架構(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與法制精進之研究，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，因應國內外趨勢建立基礎量能和量測系統、研究劑量稽核與驗證方法、及制定相關管制作業程序及法規，強化輻射災害應變能力，以完善整體輻射防護管制體系，確保民生及環境輻射安全。

本計畫之執行內容，係考量目前因科技之進步、民眾生活品質之提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長。主管機關本於管制之立場，亟需針對未來游離輻射於民生應用之發展潮流，及參考國際趨勢，預先進行研究、調查，以為日後建立合宜之管制規範、審查及評估技術之基礎。計畫內容所參考之目前環境需求與未來方向預測如下：

- 一、我國現行游離輻射防護安全標準，係參照國際放射防護委員會（International Commission on Radiological Protection，簡稱ICRP）於1990年發表之建議書而定。而近十數年，隨著國際輻防體系演進、生物學數據更新等因素。ICRP於2007年後，提出了新的輻防觀念，包含：以三類曝露情境取代原有之輻射作業與干預，加強輻防最適化精神，修訂了危害係數、輻射加權因數、組織加權因數、眼球水晶體劑量限值、確定效應與關鍵群體名詞等部分。而後，IAEA亦針對ICRP的修訂而出版新的安全要求標準（IAEA General Safety Requirements Part 3，簡稱IAEA GSR Part3），本項作業將參照IAEA發表的GSR Part3，並考量我國輻防實務經驗，提出游離輻射防護安全標準差異對照與修訂技術需求等，並彙整國內專家意見，提出修訂方向建議。
- 二、依據原子能委員會於109年的統計資料，就可發生游離輻射設備與放射性物質證照數，非醫用類約為1萬2千餘張，醫用類約有2萬張，輻射從業人員申請佩章之人數近5萬3千人，涵蓋核能設施、工業、醫院、研究機構、國防等領域，其環境輻射監測、人員輻射劑量評估與輻射偵檢為重要的輻防管制工作，相關實驗室具備良好的技術能力與完備的品保作業亦為落實輻射防護作業、保障輻射從業人員之關鍵，因此，透過實驗室認證可以確認全國各相關實驗室是否具備足夠技術能力與品質來執行校正、測試業務。能力試驗是實驗室能力驗證與認證重要的一環，亟需研究國際之技術發展趨勢，及配合主管機關對於國內輻射度量實驗室之管制需求，建立技術規範與執行能力試驗之設備及技術，加強實驗室人員訓練與技術交流，以提昇國內輻射防護與管制技術。本計畫將由管制需求面出發，建立執行實驗室認證與能力試驗之設備、技術、作業程序，透過能力試驗認證相關研究，瞭解全國相關實驗室之技術能力與品質，運用全國認證基金會（Taiwan accreditation foundation, TAF）舉辦游離輻射領域能力試驗時機，加強實驗室人員訓練與技術交流，以提昇國內輻射防護與管制技術。
- 三、隨著高齡化與生活型態的改變，以及社會經濟發展影響，如民眾越來越注意健康保健，了解「預防勝於治療」的觀

念，而對於放射醫療品質越趨重視，依據衛生福利部109年之統計資料顯示，國人每年接受乳房X光攝影篩檢約168萬人次、電腦斷層掃描檢查人次約270萬人次、遠隔放射治療約138萬人次、近接放射治療約6.3萬人次、醫用粒子治療約1.7萬人次、核子醫學檢查約47萬人次等使用狀況，配合輻射應用施政與民生需求，以國際新穎性與科技急迫性為立意，針對眼球水晶體劑量最大宗族群——透視攝影放射醫療，建置評估眼球水晶體劑量之校正光子射質；與精進動態擬人假體在輻射劑量的評估技術。考量社會期待以規劃科研議題，特別是建立國家級的活度或劑量追溯源、量測評估技術，且透過輻射檢測系統與追溯鏈、儀器檢校、放射診療品保稽核與劑量驗證和學術合作研究，精進整體大眾之輻射安全。

- 四、面對日本福島核事件及複合式災害影響議題，若發生輻射意外曝露，人員生物劑量重建是必要程序。對輻射曝露意外事件，生物劑量評估是針對人體經游離輻射曝露後，淋巴球染色體變異的程度，再利用劑量與輻射效應的關係，對應出人體在輻射曝露時所接受的劑量，人員生物劑量評估技術仰賴長期研究，而國人生物樣本，有助於制定相關意外曝露應變作業程序及法規。建立人員生物劑量評估技術，除有助於制定相關意外曝露應變作業程序及法規，更藉由國際專家合作模式，擴展國際化分析能力，將可提供國內外服務。

綜上所述，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，因應國內外趨勢建立基礎量能和量測系統、研究劑量稽核與驗證方法、及制定相關管制技術規範，強化輻射災害應變能力，以完善整體輻射防護管制體系，確保民生及環境輻射安全。

貳、研究目的

本計畫之目的，在於因應國際最新技術規範與管理實務趨勢，提供先進輻防管理科學準則建議，強化國內輻射量測技術，打造接軌國際之輻防技術基礎環境與科研量能，提升輻射檢校實驗室量測能力，確保第一線工作品質，研究輻射應用上具新穎或急迫性的劑量評估、活度度量、稽核驗證方法，維持輻射生物評估技術與降低意外曝露偵測低限，增進與維護輻射安全。

本計畫之執行是以核研所技術為中心，透過學術合作達到技術精進與擴散，依據資源分配包括下列三個子項計畫，其中子項計畫一、二由核能研究所保健物理組（簡稱：保物組）執行；子項計畫三由核研所同位素組負責執行，其計畫架構如圖 1 所示。子項計畫項目係依據原能會函文之指示與需求而訂定，報陳原能會審查同意後執行。具體內涵如下：

一、 建立國際同步之輻射防護規範研究

因應國內外輻防概念之調整，針對技術規範、胎兒劑量及眼球水晶體劑量等技術層面之輻防架構、管制影響及評估方法進行研析，結合各界共同評估研修方向，以鞏固管制實務立基。本子項計畫之重要科技關聯圖如圖 2。

二、 強化國內輻射檢校量測技術能力研究

精進游離輻射領域能力試驗執行之設備、技術、程序等，含括人員/肢端/眼球水晶體劑量計、輻射儀器校正、核種分析等研究，以提升第一線實驗室量測品質。並規劃與建置全球關切之透視攝影劑量品保、眼球水晶體劑量監測等檢校傳遞鏈。本子項計畫之重要科技關聯圖如圖 3。

三、 精進染色體變異分析技術與評估研究

持續國家級輻射生物劑量實驗室之國人背景值與反應曲線資料擴增，以助重建輻射意外事故劑量，並逐步發展 γ -H2AX 方法，期突破 0.1 Gy 低限劑量。當細胞遭受游離輻射照射後，細胞中 H2AX 的絲胺酸會被磷酸化產生 γ -H2AX 蛋白， γ -H2AX 產生量會與照射劑量成正相關，評估作為快速篩檢分析方法之可行性。本子項計畫之重要科技關聯圖如圖 4。

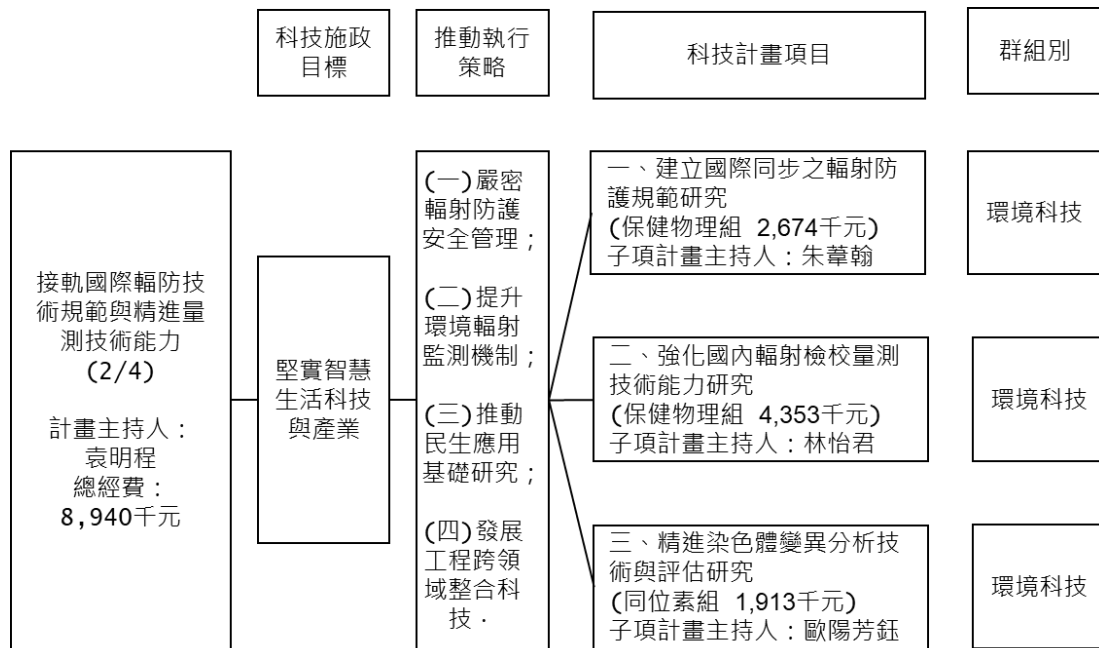
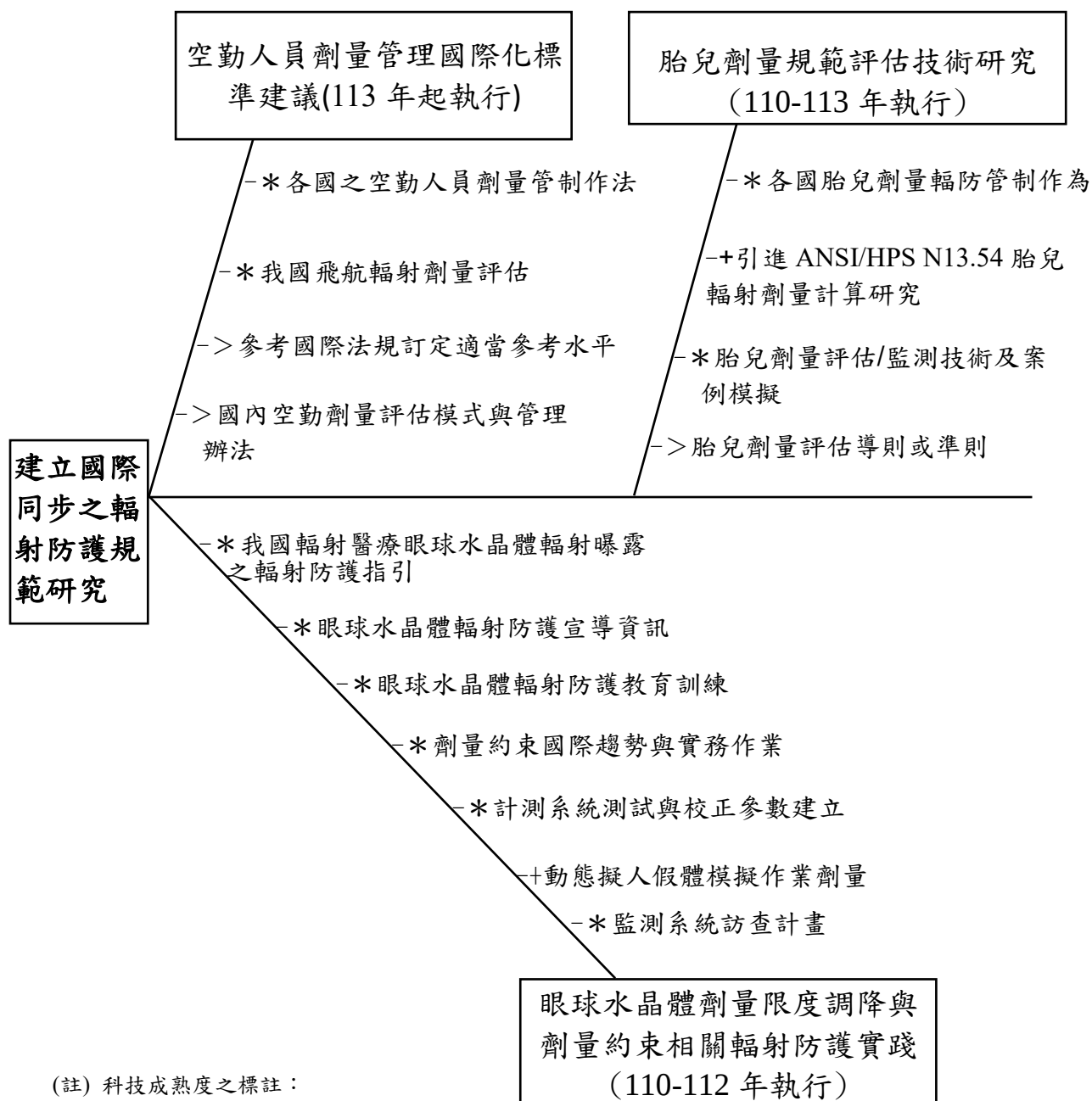


圖 1：：「接軌國際輻防技術規範與精進量測技術能力」科技計畫架構圖

重要科技關聯圖



(註) 科技成熟度之標註：

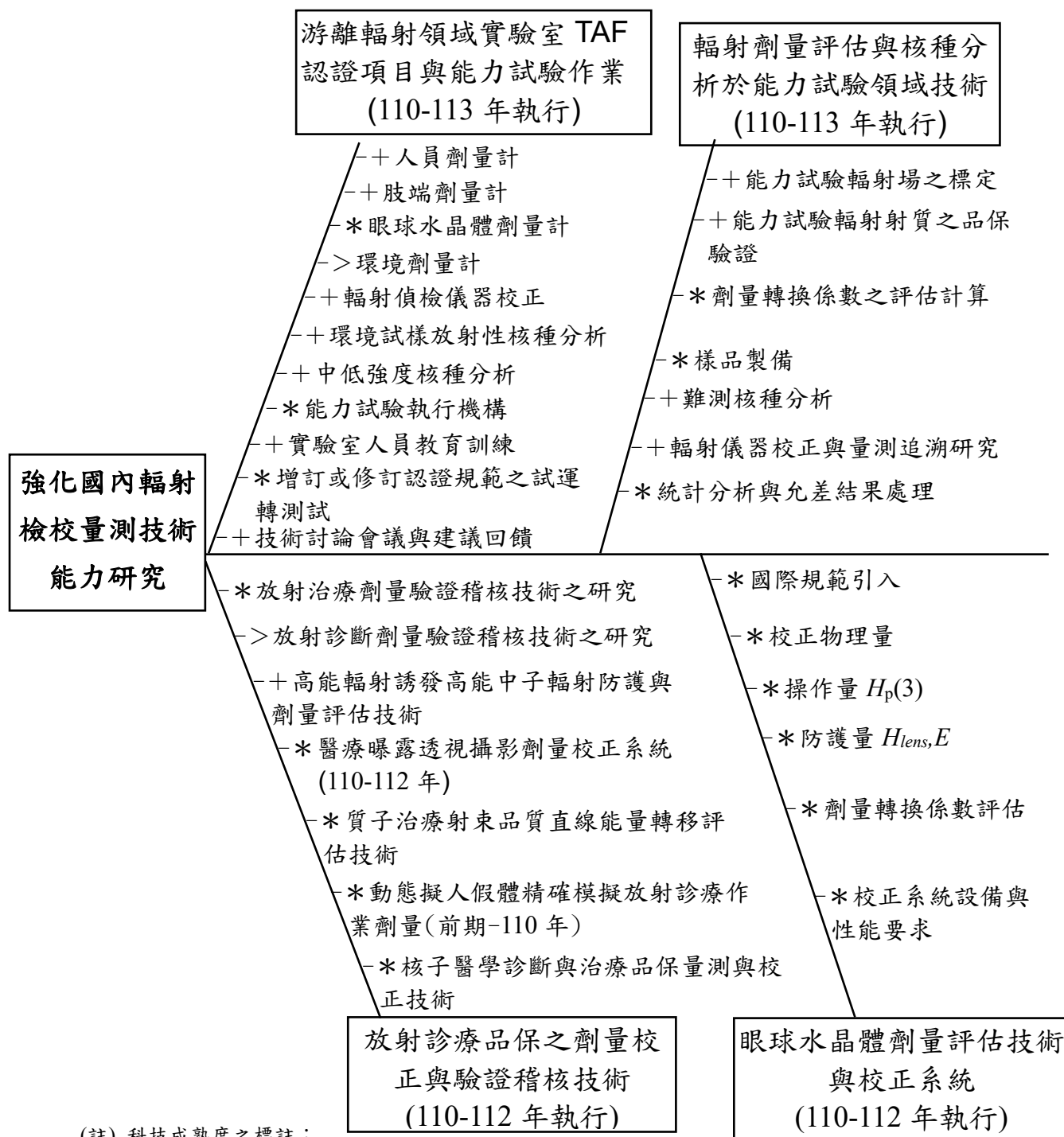
+：我國已有之產品或技術

*：我國正發展中之產品或技術

>：我國尚未發展中產品或技術

產品或技術若與「智慧財產權」有關亦請加註說明

圖 2：「建立國際同步之輻射防護規範研究」重要科技關聯圖



(註) 科技成熟度之標註：

＋：我國已有之產品或技術

*：我國正發展中之產品或技術

>：我國尚未發展中產品或技術

產品或技術若與「智慧財產權」有關亦請加註說明

圖 3：「強化國內輻射檢校量測技術能力研究」重要科技關聯圖

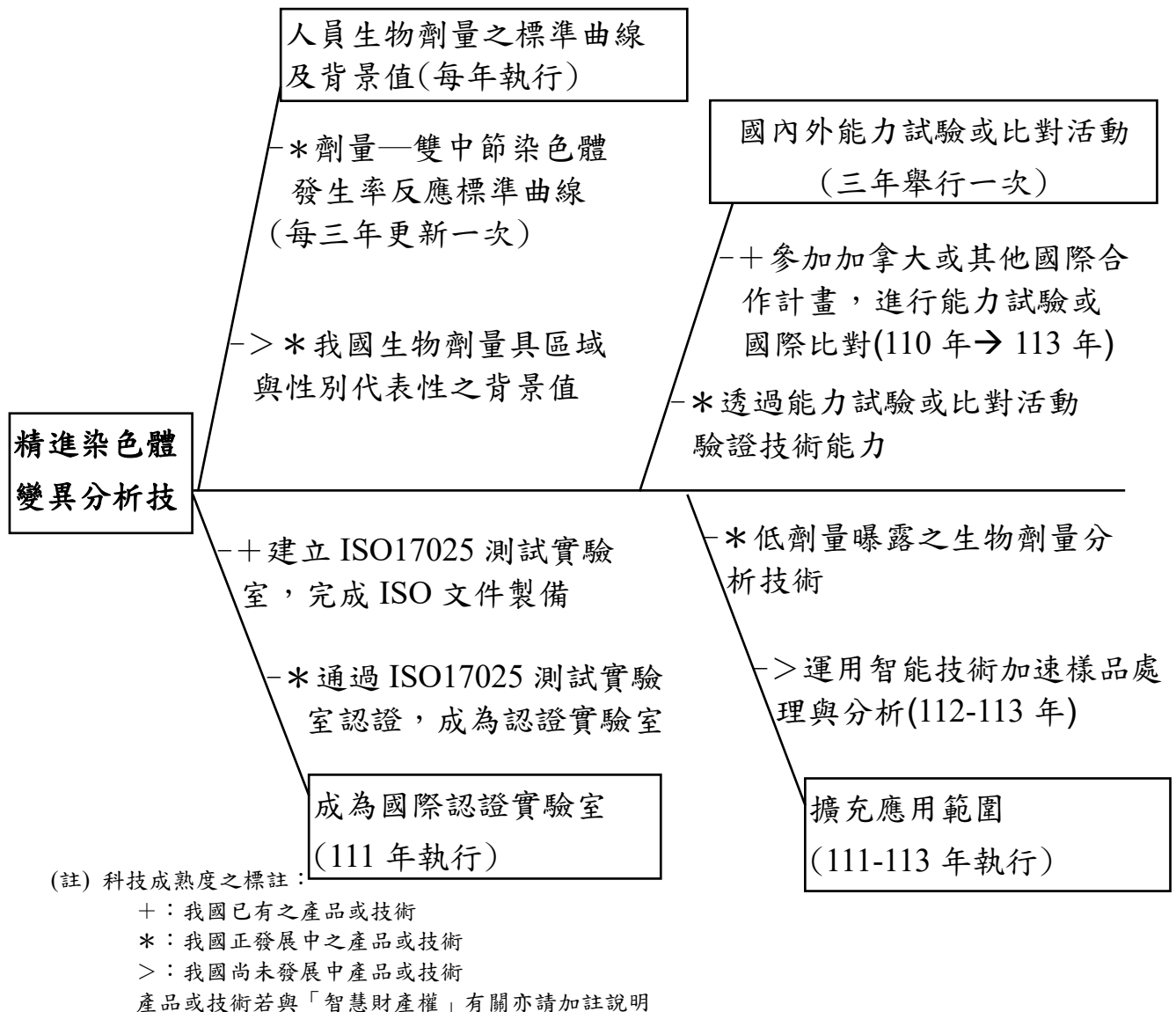


圖 4：「精進染色體變異分析技術與評估研究」重要科技關聯圖

參、研究方法與過程

(一) 內容

111 年度研究計畫工作項目的研究方法與過程說明如下：

一、 建立國際同步之輻射防護規範研究

1. 建立懷孕女性工作人員相關情境之胎兒劑量評估技術及案例模擬(含學術合作的建立國內懷孕婦女之胎兒輻射劑量評估技術之技術服務)

我國現行游離輻射防護安全標準，對於懷孕女性輻射從業人員之輻射防護，為其賸餘妊娠期間，下腹部表面之等價劑量不得超過二毫西弗，且攝入體內放射性核種造成之約定有效劑量不得超過一毫西弗。國際放射防護委員會 103 號報告建議其賸餘妊娠期間胚胎/胎兒劑量不得超過一毫西弗。

為確保我國輻射防護體系符合國際趨勢，施行胎兒劑量管制作為，達合理抑低之需求，對於懷孕女性輻射從業人員之胎兒輻射防護，仍需進行國際文獻蒐集，探討不同國家懷孕婦女體型、胎兒大小及胎兒深度對劑量評估與不確定度影響，以建立適合我國懷孕女性輻射從業人員之胎兒劑量監測技術，探討制定不同輻射防護策略之差異與影響。

本工作項目已於 110 年度，初步完成臺灣懷孕婦女壓克力假體製作及模擬數學假體技術建置，為提升模擬轉換係數之精準度，本年度計畫將以學術合作方式，完成臺灣懷孕婦女體素假體技術建立及胎兒劑量轉換係數運算，並與國際 ICPR74 號報告進行比較驗正，確保後續使用之正確性，同時進行懷孕女性工作人員相關情境之實際量測及胎兒劑量評估。

2. 進行國內眼球水晶體劑量評估之訪查研究 I (含學術合作的國內眼球水晶體劑量評估之訪查研究之技術服務)

因應國際放射防護委員會 (ICRP) 修訂眼球劑量職業曝露限值從 150 mSv/y 降至 5 年週期 100 mSv，並單一年內不超過 50 mSv 之建議，為符合國際輻射防護趨勢與國情考量，進行眼球水晶體劑量監測查訪計畫，主要監測對象為眼球水晶體輻射曝露之高危險群，如：介入性放射診療醫師及其協助醫事人員、核子醫学科放射藥物針劑配製、配藥醫事人員及核電廠之工作人員...等。其劑量評估結果可供後續技術規

範、管制影響及實務曝露監測之參考。

3. 辦理國內輻射醫療於眼球輻射曝露之輻射防護教育訓練 I

針對參與眼球水晶體劑量監測對象舉辦教育訓練，以回饋各參與對象逐月量測之眼球水晶體輻射劑量水平及其推估之年劑量值，針對眼球水晶體年等價劑量存在超過 ICRP 新的眼球水晶體劑量限值之虞者，將依據其於工作時所涉及之作業量和所採取之輻射防護措施提出輻射防護之建議。

二、強化國內輻射檢校量測技術能力研究

1. 110-111 年度肢端劑量計能力試驗研究與技術研討會舉辦(2/2)

近年社會越趨講究生活與醫療品質，在放射醫療的透視攝影檢查、介入性手術和核醫診療藥物製備等領域，肢端劑量評估是相對重要的輻防要項，主管機關（原能會）也不斷強化肢端劑量的輻射防護作為，而第一線實驗室評估肢端劑量的準確與否，就是把關輻射安全的關鍵。肢端劑量評估實驗室能力試驗，是主管機關運用全國認證基金會（TAF）的能力試驗週期，跨 110 和 111 年度所進行的測試研究。值得一提的是，本次是正式啟動執行的第一次肢端劑量計能力試驗，全國有 10 組實驗室組(7 家實驗室)參與本次能力試驗。

本項目依據 TAF 公告的「測試領域肢端劑量計能力試驗技術規範（TAF-CNLA-T23(1):2020）」執行，此乃引入國際最新的 ANSI/HPS N13.32-2018 規範，並參考國內產業現況而建撰。於 110 年的前期研究為建構技術規範所需輻射場與相關設施、規劃運轉之執行、參與實驗室之校正與第一批次照射、以及研究能力評估程序和方法。111 年的後期研究則為運轉之能力試驗程序、劑量計管理、第二與第三批次照射、數據處理、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。

研究過程還會涉及執行能力試驗所需照射系統之建立、維持、品保與確證，照射系統包括：加馬光子、X 光和貝他，皆須根據 ISO 或 ANSI/HPS 等國際規範進行建立、維持或確證。其中牽涉機械、電子、量測與控制設

備，輻射劑量量測設備，輻射照射系統及附屬設備（校正台車、軌道等位移裝置、儀控設施、屏蔽裝置、假體訊號線轉接頭組件等），輻射訊號處理系統，電腦及其週邊擷取設備等軟硬體，以及人力配置、認證執行和教育訓練等搭配，以提供參與實驗室適當射質標準，進行劑量評估或系統校正。

最後，為分析全國實驗室於肢端劑量評估之技術能力，其判斷基準為能力商數(P_i)，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能力試驗參考值)，並透過 ANSI/HPS N13.32-2018 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。

2. 111-112 年度人員劑量計能力試驗研究與技術研討會舉辦(1/2)

依據財團法人全國認證基金會實驗室認證處規定，實驗室申請認證或延展認證前，應通過能力試驗，且有效期為 3 年，人員體外劑量評估實驗室能力試驗是主管機關(原子能委員會)運用全國認證基金會(TAF)的能力試驗時程，進行的相關研究。本工作依據國際 ANSI N13.11-2009 (R2015) 版本標準，亦即我國測試領域人員劑量計能力試驗技術規範(TAF-CNLA-T08(5):2019)執行。此研究跨 111 和 112 年度執行，111 年研究為建構與維持技術規範所需輻射場、規劃運轉之執行、參與實驗室之校正、研究能力評估程序和方法等。112 年則為運轉之能力試驗程序、劑量計管理、數據處理、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。

其中，會涉及執行能力試驗所需照射系統之建立、維持、品保與確證，照射系統包括：加馬光子、X 光、貝他和中子，皆須根據 ISO 或 ANSI/HPS 等國際規範進行建立、維持或確證。其中牽涉機械、電子、量測與控制設備，輻射劑量量測設備，輻射照射系統及附屬設備（校正台車、軌道等位移裝置、儀控設施、屏蔽裝置、假體訊號線轉接頭組件等），輻射訊號處理系統，電腦及其週邊擷取設備等軟硬體，以及人力配置、認證執行和教育訓練等搭配，

以提供參與實驗室適當射質標準，進行劑量評估或系統校正。

為分析全國實驗室於人員劑量評估之技術能力，其判斷基準為能力商數(P_i)，即 $P_i = [H'_i - H_i] / H_i$ (H' 和 H 分別代表受測實驗室量測值和能力試驗參考值)，並透過 ANSI/HPS N13.11-2009 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、V 類別 L 為 0.3 來進行判定。

3. 建立醫療曝露透視攝影劑量校正射質

為因應主管機關(原子能委員會)之透視攝影醫療曝露品質保證政策之推行，臨床射束劑量應使用適當劑量計，如：游離腔、克馬面積乘積儀(Kerma area product meter, KAP meter，也可稱為 DAP meter)等，進行適當的射束品保作業。這些劑量計需要透過國家級劑量追溯體系進行定期校正，以使用於臨床射束，進行準確的劑量評估工作。

本工作項目依據 IEC 61267: 2005 國際標準，建置可用於提供透視攝影劑量校正的 IEC RQC 系列銅附加濾片射質(RQC3、RQC5、RQC8)，此輻射射質可以應用於無散射條件下，具有自動曝露控制系統的透視攝影(automatic brightness control system for fluoroscopy)。建置方法需基於 IEC RQR 系列之管電壓(相當於 50、70 和 100 kV)和固有過濾，再附加銅過濾片，厚度為 0.5、1.5 和 2.0 mm。為符合國際規範要求，其半值層量測結果應與規範之差異小於 5%。於 112 年度則接續建置醫療曝露透視攝影劑量校正系統，建置方法主要是需先標定出 IEC RQC X 射線之空氣克馬(K_{air})標準劑量，以自由空氣游離腔(Free Air Chamber, FAC)進行輻射場量測，並搭配實驗或蒙地卡羅計算，考量離子再結合、光子衰減、電子損失、電極遮蔽、參考溫壓等修正因子，並建置適當的 X 光輸出監測參考因子與自動擷取程式。後續即可提供 X 射線醫療曝露透視攝影之劑量校正服務。

4. 建置貝他粒子之眼球水晶體劑量校正系統

為因應國際放射防護委員會(ICRP)修訂眼球水晶體劑量職業曝露限值，從 150 mSv/y 降至 5 年週期 100 mSv，近年

來國際上出現大量眼球水晶體劑量量測技術研發資料，無論是使用直讀式或被動式劑量計來評估眼球水晶體劑量，都需要建立國家級劑量追溯體系，以提供眼球水晶體劑量計的校正及能力試驗，作為第一線劑量評估技術能力水準及品質能力水平的監控。

本工作項目依據 ISO 6980: 2006 國際標準，建置可用於提供眼球水晶體劑量校正的銨九十/釷九十($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)貝他組織劑量標準輻射場。建置方法為利用原級標準件—外推式游離腔，依據布拉格—戈雷空腔原理，以可變化距離之平行板電極，量測不同平行板電極間距之組織吸收劑量。首先，應得知組織下 0.07 mm 的吸收劑量，可於外推式游離腔入射窗前黏貼大約 0.07 mm 組織等效厚度之吸收片，再利用不同平行板間距之電流量外推計算至平行板間距為零之吸收劑量，即可得到 0.07 mm 深度處的組織吸收劑量。而眼球水晶體劑量對應的輻防作業量為組織下 3 mm 個人等效劑量率，此組織下 3 mm 深度處之吸收劑量須由 0.07 mm 吸收劑量來推算。建立之 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 射源對組織下 3 mm 貝他個人等效劑量率($H_p(3)$)，後續即可提供貝他眼球水晶體劑量校正服務。

5. 建立 X 射線 ISO 寬能譜眼球水晶體劑量校正射質

本工作項目依據 ISO 4037-1 國際標準，建置可用於提供眼球水晶體劑量校正的 ISO W 系列放射診斷能域射質(60 至 150 kV)，建置方法需先量測 X 光機本身的固有過濾，將規範內所規定的總過濾厚度，扣除固有過濾厚度後，即為所需的附加過濾片厚度，附加過濾片所使用的材料為銅、錫等，量測結果顯示，本研究建立之半值層厚度與規範之差異小於 5%，符合國際規範要求。於明年度(112 年度)，則接續建置 X 射線光子之眼球水晶體劑量校正系統，建置方法需先標定出可涵蓋 ISO 4037-3 規範假體的 X 射線空氣克馬(K_{air})標準劑量，使用規範之轉換因子，將 K_{air} 轉換為 3 mm 深度處軟組織個人等效劑量($H_p(3)$)，並建置適當的 X 光輸出監測系統與自動擷取程式，即可提供 X 射線光子之眼球水晶體劑量校正服務。而此射質將主要用於能力試驗事故級與光子劑量的測試類別。

三、精進染色體變異分析技術與評估研究

1. 建立北部備援實驗室(含學術合作的北部備援實驗室建立與染色體雙中節背景值分析之技術服務)

世界衛生組織 (WHO) 有鑑於車諾比核電廠所發生核災變後，由於受影響之國家輻射醫療科技落後及欠缺協調支援能力，因此 WHO 於 2007 年 12 月在瑞士日內瓦舉辦一諮詢會議商討建立全球的生物劑量支援網路 (framework for a global biodosimetry network-BioDoseNet)⁽⁹⁾，此支援網路聚焦在細胞學的生物劑量技術 (cytogenetic)，相關的合作活動以及如何運作此支援網路。於日本，在 2001 年 Tokai-mura 臨界核事故後，建立了染色體生物劑量計實驗室網絡⁽³⁴⁾，日本國立放射醫學研究所 (NIRS) 在核應變中起核心作用，染色體生物劑量計實驗室網絡，是該研究所用於核應急的三個網絡之一，該網絡包括了以放射醫學研究所為中心，分別位於日本不同地區的八個實驗室。

本實驗室在策略上，朝向建立參考實驗室 (Reference Lab) 的中程目標努力，逐步培植與訓練專業人力，同時於臺灣各地輔導建立生物劑量評估備援實驗室，使其亦具備染色體雙中節變異分析能力，於大型輻射意外事故發生時，能提高樣本處理量，培訓生物劑量估算的後備人力。本計畫已於 106 年至 110 年起建立南部備援實驗室，輔導高雄醫學大學建立染色體雙中節變異分析技術。今年度將以委託研究技術服務建立北部備援實驗室，輔導台北醫學大學，進行實驗室建立程序，同時須通過人體試驗倫理審查委員會 (Institutional Review Board, IRB) 審查，取得人體試驗計畫同意，以獲得合法使用人體血樣進行研究，並培訓染色體雙中節背景值分析技術，擴增分析量能。

2. 分析 111 年度國人本土染色體雙中節背景值(含學術合作的北部備援實驗室建立與染色體雙中節背景值分析之技術服務)

在國際標準組織 (ISO) ISO 19238:2014 國際輻射研究指出，在正常背景值中，每位正常人的每 1,000 顆淋巴球細胞中，平均存在 1 個 (0-2 個) 染色體雙中節變異⁽³²⁾。至 110 年度為止，人員生物劑量實驗室已完成 31 例正常國人背景染色體雙中節分析，一共分析 31,460 顆細胞，發現 23 個雙中節 (dicentric) 於 22 顆細胞中，目前資料庫國人背景雙中

節發生率為 0.73‰，即是 1000 顆細胞中有 0.73 個雙中節發生率，顯示目前蒐集到的國人血液樣本背景值略低於國際之平均值。

於 111 年度，本實驗室持續針對國人背景值進行研究分析工作，生物劑量實驗室將以委託研究技術服務與北部醫學中心合作（台北醫學大學），增加 3 例正常人背景染色體雙中節分析，期許收集更多案例來代表國人之生物劑量背景值。

3. 通過 ISO 17025 實驗室展延認證

人員生物劑量實驗室為國內前瞻創新實驗室，有關實驗室的品保系統的建立與認證，目前已建置一、二、三階文件及四階表單共 81 份文件，已於 105 年初次取得臺灣認證基金會（TAF）ISO 17025 認證。並於 108 年度通過延展及新版 ISO17025:2017 認證工作，持續精進實驗室之品質，確保分析作業與結果產出之品質標準。

ISO 17025 是測試實驗室的能力一般要求⁽²⁴⁾，包括使用標準方法、非標準方法與實驗室自行開發的方法所執行之測試。用於發展品質、行政及技術系統以支配其作業，實驗室顧客、法規主管機關及認證機構可應用 ISO 17025 來確定或承認實驗室之能力。以促進國際間認證體系相互認可，暢通經貿。並依 TAF（全國認證基金會）對各領域之共同要求，希望藉由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之目的。

本計畫於 108 年度通過三年一次延展認證，於今年度將執行兩例 ISO 17025 規範下血液分析工作，並向 TAF 提出延展認證申請，進行資料準備，接受 TAF 延展認證查核工作。

4. 建立 γ -H2AX 之低劑量分析方法

EU RENEB（Realizing the European Network of Biodosimetry）目前使用六種生物劑量測定法進行染色體損傷檢測⁽⁶⁾，其中雙中節染色體測定為近年來實驗室已穩定發展之技術，多次參與國際比對並得到具有分析盲樣檢體能力之肯定，但因為雙中節染色體測定需要固定培養四十八小時後才能進行細胞收取及噴片動作，後續亦需投入大量人力進行分析判讀，且當照射劑量小於 0.1 Gy 存在低分析靈敏度之限制。因此需開發新型生物劑量計，具有可以克服劑量敏感性的

侷限性，以及避免 DCA 固定的細胞培養步驟。H2AX 為對輻射造成 DNA 損傷敏感的蛋白質之一，當細胞遭受游離輻射照射後，細胞中 H2AX 的絲胺酸會被磷酸化產生 γ -H2AX 蛋白 (24, 28-29)，於 γ -H2AX 標記特異性螢光抗體於顯微鏡下觀測螢光焦點，進而回推評估輻射照射劑量為近年來發展方向，研究顯示受輻射照射產生之 DNA 雙股螺旋斷裂的數量，與 γ -H2AX 螢光數量相關。且低劑量的體內輻射曝露劑量，也可以使用計算人類淋巴球細胞中 γ -H2AX 螢光焦點進行評估。

量測 γ -H2AX 螢光焦點需要一套可靠的螢光顯微鏡設備，今年度將開發低劑量 γ -H2AX 生物劑量評估技術，並於現有顯微鏡系統上增設螢光及影像擷取設備，建立低劑量 γ -H2AX 實驗方法，而後進一步研製低劑量 γ -H2AX 檢量線。

肆、主要發現與討論

本計畫已達成的績效量化指標為：國際期刊 1 篇(「Radiation Protection Dosimetry」期刊(圖 11:研究成果撰寫論文投稿至 Radiation Protection Dosimetry 期刊(已獲審查通過發表)圖 11)，投稿題目為「The Uterus Dose Conversion Coefficients of External Photon for New Voxel Phantom Series of Taiwanese Pregnant Women」)，會議論文 1 篇(圖 27)、舉辦研討會 2 場(圖 14)，形成大會手冊 2 份(圖 14 與圖 15)。績效質化說明依各子項計畫分述如下：

(一) 內容

一、 建立國際同步之輻射防護規範研究

1. 建立懷孕女性工作人員相關情境之胎兒劑量評估技術及案例模擬(含學術合作的建立國內懷孕婦女之胎兒輻射劑量評估技術之技術服務)

本工作項目已於 110 年度，初步完成臺灣懷孕婦女壓克力假體製作，以及完成橡樹嶺國家實驗室(Oak Ridge National Laboratory, ORNL)的懷孕婦女數學假體技術建置，為了提升轉換係數之精確度，本年度計畫將進一步發展臺灣懷孕婦女體素假體及胎兒劑量轉換係數計算，並與國際 ICPR74 號報告進行比較驗正，以確保後續產出胎兒劑量轉換係數之正確性，本階段之研究內容為建置 4 組(0 個月、3 個月、6 個月、9 個月)臺灣懷孕婦女全身體素假體，通過一系列電腦斷層掃描及影像前處理，將假體影像輸入 MCNP 軟體中進行蒙地卡羅模擬，最終計算出胎兒劑量轉換係數。

研究方法使用身高為 163 公分、體重 54 公斤的女性侖道假體(圖 5)，該假體的有效原子序與人體接近，主要由 3 個成分組成，分別是骨骼(密度=1.92 g/cm³)、肺組織(密度=0.32 g/cm³)與軟組織(密度=1.00 g/cm³)，侖道假體共有 35 層切片，每層厚度為 2.5 公分，在每層切片上有設置多個直徑為 0.5 公分之圓柱型孔洞，可放置內含熱發光劑量計的壓克力棒，供後續進行體外曝露量測評估。懷孕婦女壓克力假體的部分，使用 110 年度製作的 3 個月、6 個月、9 個月壓克力假體(圖 6)，腹部假體的組成為骨骼及軟組織，骨骼的材料使用鋁(密度

=2.7 g/cm³)來替代，軟組織則是使用壓克力材料(密度=1.19 g/cm³)。

本研究依據不同孕期將侖道假體與腹部壓克力假體進行組合，在林口長庚紀念醫院進行一系列電腦斷層掃描(圖 7)，掃描後的影像經過影像強化、影像分割等後處理過程，最後將處理後的影像轉置成 MCNP 輸入檔，進行蒙地卡羅模擬，本次電腦斷層掃描的影像像素為 512×512，切片厚度為 1 mm，後續在蒙地卡羅模擬所使用的體素大小為 0.72×0.72×1 cm³。

圖 8 是 110 年度建置的懷孕婦女數學假體，是由 ORNL 所發展，ORNL 懷孕婦女假體是目前國際上通用於體外、體內劑量評估的懷孕婦女數學假體，該假體的發展是基於高加索人種(Caucasians)的體型及器官進行數學幾何描述，但因為亞洲人在懷孕期間的體型大小、身高和子宮大小與白種人有差異，因此本研究參考臺灣懷孕婦女相關資料建立本土懷孕婦女體素假體(圖 9)。

本研究所建置的懷孕婦女腹部假體，主要參考臺灣懷孕婦女體重^(8,10)、妊娠期間最大腹部厚度(前後向，AP)^(9,10)所設計，假體的腹圍分別是 67、70、83 和 92 cm，並推估的胎兒深度分別為 7.97、7.10、7.92、9.24 cm (

表 1)，圖 9 中繪製出臺灣懷孕婦女子宮區域，假體中所圈選的子宮區域是經由子宮質量及胎兒深度所推估，其中子宮質量可以區分為子宮壁質量、子宮內容物、胎盤和胎兒質量，本研究參考臺灣嬰兒出生體重調查數據⁽⁴⁾、9 個月妊娠期的子宮壁和胎盤參數是來自國內研究結果，其餘妊娠期的子宮壁和胎盤參數依據日本文獻按比例估計，子宮內容物則是參考妊娠期正常羊水量的分位數迴歸(Quantile regression)數據來估計，最終使用的假體參數如表 2 所示，表 3 為 ORNL 懷孕婦女數學假體的參數比較。

從表 2、表 3 的數值可以觀察到，臺灣懷孕婦女假體的子宮質量明顯小於 ORNL 的數學假體，由於數學假體的子宮是使用錐狀體及兩個半圓球狀表面來描述，因此子宮的分佈無法貼近腹部表面，本研究所發展的體素假體體型更能趨近於真實懷孕婦女體型，下半年度將使用臺灣懷孕婦女體素假體進行 MCNP 蒙地卡羅模擬，Osei 等人的研究使用子宮等劑量當作妊娠期間胎兒等劑量的近似值，因此本研究參考此方法來估計胎兒劑量，以整體子宮劑量代表胎兒劑量，計算出胎兒劑量轉換係數，使用該結果與國際通用的 ORNL 懷孕婦女數學假體及 ICRP-74 號報告進行比較性研究。

圖 10 顯示在四種理想化光子射束幾何下，本研究計算兩個懷孕假體的子宮劑量轉換係數(Dose Conversion Coefficient, DCC)，並與 ICRP 74 和 ICRP 116 報告提供的未懷孕子宮 DCC 數進行比較，表 4 則顯示各種光子射束幾何和 7 種光子能量的子宮 DCC 值，同時計算兩個假體之間的百分比誤差(Diff%)。結果表明，當光子能量高於 0.1 MeV 時，兩個未懷孕假體的子宮 DCC 差異在所有幾何形狀中均小於 15%。從圖 10 (a) 和圖 10 (b) 可以看出，在 AP 幾何結構下，本研究模擬計算以 ORNL 非妊娠女性的子宮 DCC 較接近 ICRP 74 的結果，而臺灣非妊娠假體的子宮 DCC 更接近 ICRP116 的結果。這是因為 ICRP 74 報告使用數學假體來計算，而 ICRP 116 是使用體素假體計算。

當光子進入假體時，光子最初移動一段距離後會被電子吸收，光子最終沉積在假體較深的深度，隨後達到帶電粒子平衡，而最大劑量深度 ($d_{\max}$) 則位於帶電粒子平衡的最淺處，在 $d_{\max}$ 之後，依照衰減和平方反比定律，光子會隨著距離的增加而降低光子射束強度，當光子進入較大的子宮時，因

為位於深處的子宮比例增加，因此在計算平均子宮劑量時，子宮劑量會更低，此時衰減和平方反比定律將主要影響整體子宮劑量。

ORNL 假體和臺灣非懷孕假體中的子宮 DCC 總體趨勢與 ICRP116 和 ICRP74 相似（圖 10），光子能量介於 0.05 到 0.1 MeV，子宮 DCC 逐漸增加，最大值出現在 0.1 MeV 附近，除了側向(LAT)幾何照射，兩個未懷孕女性假體的字宮 DCC、ICRP74 和 ICRP116 的字宮 DCC 百分比差異均小於 20%，表 4 顯示兩個假體間的百分比誤差 (Diff%) 在低光子能量下較顯著，隨著光子能量增加誤差逐漸縮小，這意指子宮 DCC 受不同孕期體型變化的影響將隨著光子能量的增加而變小，這可歸因於光子能譜的射束硬化 (beam hardening)，光譜中能量較高的光子受身體屏蔽的影響較小，因此兩種懷孕假體之間的差異隨能量增加逐漸縮小。

比較 AP 幾何結果（圖 10 (a) 及 (b)），隨著妊娠期的增加 ORNL 懷孕假體的字宮 DCC 逐漸減少，因為 ORNL 懷孕假體的體型和子宮體積比臺灣孕婦假體大，而且 ORNL 懷孕假體的字宮形狀也受到圓錐體的限制，導致子宮離腹部表面有一段距離，因此子宮 DCC 隨孕期增加明顯減少。因為臺灣懷孕婦女的字宮是由圓柱體堆疊而成的，子宮分布更靠近腹部表面，光子受身體屏蔽的衰減較少，導致在不同妊娠期的子宮 DCC 相似。有相關文獻表明，妊娠早期子宮位置分布在母體腹部較高處、較靠近母體的前表面，這導致子宮劑量值更高，本研究也觀察到同樣的現象，在懷孕 3 個月時，兩個假體在 AP 幾何形狀中的子宮 DCC 高於非懷孕女性，同理，因為臺灣懷孕婦女的字宮分布較貼近母體腹部表面，導致隨孕期增加，臺灣孕婦子宮 DCC 並沒有顯著減少。

比較後前向(PA)幾何的結果（圖 10(c)，圖 10(d)），子宮 DCC 隨著兩個假體中妊娠的增加而顯著下降。主要原因是輻射源為後投影，射源和子宮之間增加了下背部肌肉、臀部肌肉和脊柱的屏蔽。由於 ORNL 懷孕假體的軀幹是由圓柱體組成、腹部是由球體組成（圖 8），因此無法顯示人體真實的背部曲線，使得背部表面與子宮之間的距離比臺灣懷孕假體短。因此可以觀察到，在 PA 幾何照射下，臺灣懷孕假體在未懷孕和妊娠 3 個月期間的字宮 DCC 低於 ORNL 懷孕假體（表 4 (a)(b)）。隨著孕期的增加，子宮向腹部表面方向

生長，因此增加了子宮與射源之間的距離，在 PA 幾何照射下，ORNL 懷孕假體的子宮 DCC 在 6 個月和 9 個月低於臺灣子宮 DCC，因為在懷孕 6 和 9 個月時，ORNL 懷孕假體的子宮質量顯著高於臺灣懷孕假體的子宮質量。

比較 LAT 幾何的結果（圖 10 (e)，圖 10 (f)），本研究觀察到在非懷孕假體，兩種(ORNL 及臺灣)假體的子宮 DCC 均高於 ICRP 74 和 ICRP 116 的子宮 DCC，尤其是在低光子能量比較明顯。主要是因為 ICRP 74 所使用的 MIRD-5 假體的軀幹寬度(軀幹寬度：36 cm)大於 ORNL 非妊娠女性假體的軀幹寬度(軀幹寬度：34.5 cm)，ICRP 116 所使用的體素假體的尺寸(163 公分高和 60 公斤重)也比臺灣非懷孕假體(163 公分高和 54 公斤)大，所以有較多的身體屏蔽厚度(4, 30)，再加上隨著妊娠期的增加，子宮往靠近腹部表面生長，兩個假體的子宮 DCC 都隨著妊娠期而增加。

比較等向(ISO)幾何結果（圖 10 (g)，圖 10 (h)），兩個假體的子宮 DCC 沒有顯著變化。因為隨著妊娠期的增加，AP 和 PA 照射下的子宮劑量逐漸減少，但 LAT 幾何照射下，左右側的子宮劑量顯著增加，因此在計算整體子宮平均劑量時，隨孕期並沒有明顯變化，可以觀察到臺灣懷孕假體的子宮 DCC 比 ORNL 懷孕假體的子宮 DCC 高約 10-30%（表 4）。主要是因為臺灣人體型比高加索人小，因再加上臺灣人的子宮較貼近腹部表面生長，因此整體的身體屏蔽較少，導致以臺灣孕婦假體評估之子宮 DCC 高於 ORNL 懷孕假體、ICRP74 和 ICRP116 之結果，尤其是在低能量下比較明顯。

比較不同輻射照射幾何的結果，隨著孕期的發展，AP 和 PA 幾何的子宮 DCC 逐漸減少，而 LAT 幾何下子宮 DCC 逐漸增加，這是因為懷孕婦女子宮生長方向將沿著身體中軸突出並向腹部表面生長，因此隨孕期發展對 PA 幾何和 LAT 幾何影響較大，在 LAT 幾何下，懷孕婦女子宮 DCC 高於非懷孕婦女的 1-2 倍，不過不論哪個孕期，AP 幾何照射的子宮 DCC 一直是四種幾何照射中最高的（圖 10），而 LAT 幾何照射的子宮 DCC 最低。

基於輻射防護目的，本研究使用平均子宮劑量來估計胎兒的吸收劑量，研究結果顯示，如果使用 ORNL 的懷孕假體（基於高加索人體型）來評估臺灣懷孕婦女子宮劑量，可能會造成低估的情況發生，但仍須注意的是，胎兒在子宮中

的位置、母體膀胱和胎盤對於胎兒的相對位置，可能會隨著妊娠增加而產生更複雜的器官屏蔽效應，因此在計算胎兒劑量時應考慮這些不確定度所造成的影響。上述結果已彙整並投稿至「Radiation Protection Dosimetry」SCI 期刊(圖 11)，投稿題目為「The Uterus Dose Conversion Coefficients of External Photon for New Voxel Phantom Series of Taiwanese Pregnant Women」，展現我國胎兒劑量評估之技術能力。

本研究提供了臺灣孕婦假體和 ORNL 孕婦數學假體的子宮 DCC，臺灣孕婦假體是基於女性 RANDO 體素假體結合臺灣腹部數學假體，由於 ICRP74 和 ICRP116 報告僅提供未懷孕女性的子宮 DCC 可供比較，因此本研究使用 ORNL 孕婦數學假體做為參考比較對象。從本研究結果可以了解，由於高加索人比臺灣人的身高更高、體重更重，使得高加索人有較多的身體屏蔽厚度，此外 ORNL 懷孕假體的子宮體積遠大於臺灣懷孕婦女，因此在妊娠後期 ORNL 懷孕假體的子宮 DCC 會顯著降低。若使用 ORNL 的數學假體來評估臺灣懷孕婦女的子宮劑量，可能會造成低估的情況發生。因此有必要開發一組臺灣孕婦假體來計算臺灣懷孕婦女的子宮劑量。在四種幾何形狀中，AP 幾何照射的子宮 DCC 最高，隨著孕期的增加，子宮 DCC 受 PA 和 LAT 兩種幾何照射的影響較大，主要是受懷孕期間腹部和子宮的生長方向所影響，本研究結果提供了臺灣孕婦假體的子宮 DCC，未來可用於臺灣胎兒劑量評估，以達到輻射防護的目的。



圖 5：女性命道假體



圖 6：懷孕婦女壓克力假體：3 個月(右)、6 個月(中)和 9 個月(左)

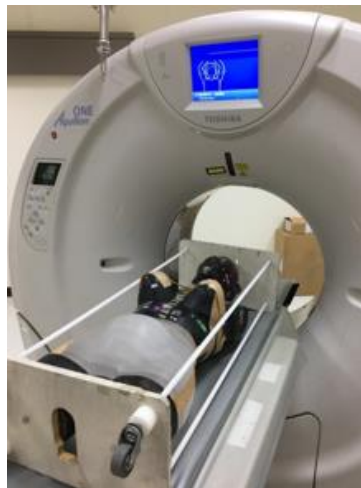


圖 7：臺灣懷孕婦女假體通過一系列電腦斷層掃描，並將獲得的影像進行蒙地卡羅模擬(孕期 6 個月)

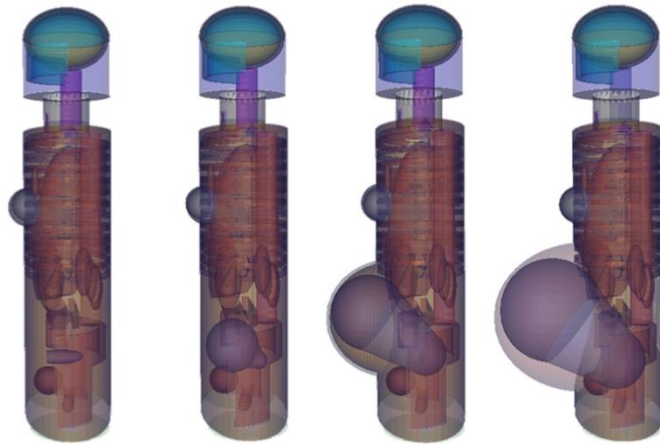


圖 8：ORNL 懷孕婦女數學假體

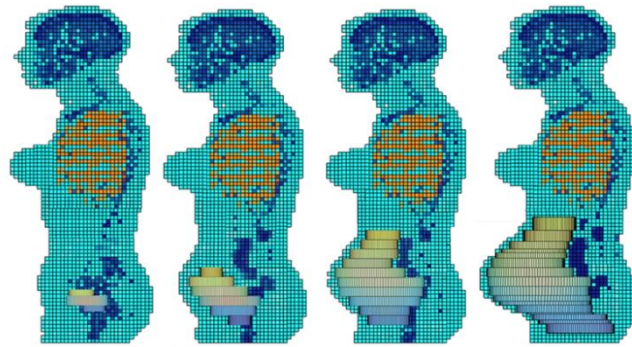


圖 9：臺灣懷孕婦女體素假體

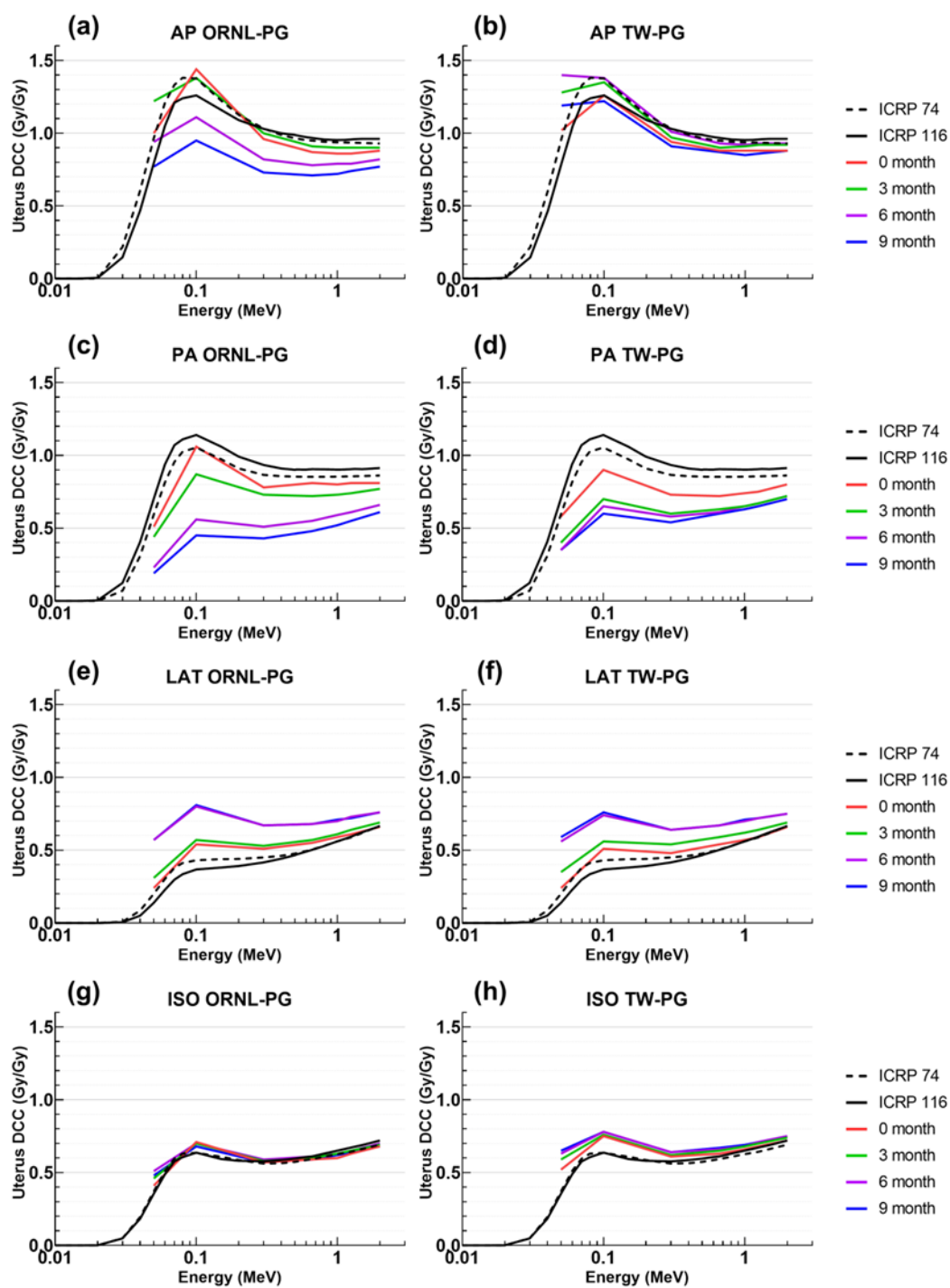


圖 10：臺灣懷孕婦女體素假體及 ORNL 懷孕婦女數學假體在不同照射幾何下的子宮轉換係數，同時與 ICRP 74 和 ICRP 116 中的未懷孕女性假體子宮轉換係數比較

THE UTERUS DOSE CONVERSION COEFFICIENTS OF EXTERNAL PHOTON FOR NEW VOXEL PHANTOM SERIES OF TAIWANESE PREGNANT WOMEN

Hao-Ting Chang^{1,2}, Rui-Wen Liu¹, Fang-Yuh Hsu^{1,3,*}, Ching-Han Hsu¹, Yu-Ying Lin⁴,

¹Department of Biomedical Engineering & Environmental Sciences, National Tsing-Hua University, Hsinchu, Taiwan, ROC

²Health Physics Division, Institute of Nuclear Energy Research, Taoyuan, Taiwan, ROC

³Nuclear Science and Technology Development Center, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan, ROC

⁴Department of Diagnostic Radiology and Intervention, Chang Gung Memorial Hospital at Linkou, Taoyuan, Taiwan, ROC

Received month date year, amended month date year, accepted month date year

The Oak Ridge National Laboratory (ORNL) phantom series adopted from the data of Caucasians are used widely for fetal dosimetry. However, Taiwanese and Caucasians differ significantly in size, height, and uterine size during pregnancy. In this study, the Taiwanese pregnant phantoms were established and compared with the ORNL's pregnant phantoms and the ICRP 74 report results. Fetus dose was estimated using the mean uterus dose, and the uterus dose conversion factors (DCFs) were calculated for external photons from 0.05 MeV to 2 MeV. The uterus DCFs from the Taiwanese phantoms are generally larger than the ORNL because the Taiwanese phantoms has a smaller trunk thickness and uterine volume than the ORNL. The difference in the uterus DCFs became more obvious with the increase of gestational period. This study provides the verification of the Taiwanese pregnant women phantoms which can be a reference for future fetal dose assessment in Taiwan.

INTRODUCTION

Due to the radiosensitivity associated with fetal development, protecting pregnant women and their embryos/fetuses from ionizing and non-ionizing radiation is particularly important in health and medical physics⁽¹⁾. Pregnant women may receive radiation through occupation, medical treatment, environment, etc., therefore special regulations and dosimetry considerations are necessary. The previous International Commission on Radiological Protection (ICRP) Recommendations in Publication 60⁽²⁾ had recommended a dose limit of 2 mSv to the surface of abdomen. The dose limit of the ICRP Recommendations in Publication 103⁽³⁾ is intuitive to protect the fetus more directly. ICRP 103 recommends that the dose limit for embryos/fetuses is 1 mSv. Recently, the implementation of ICRP 103 recommendations for radiation protection regulations, including fetal dose limits, has been planned in Taiwan.

For dosimetry evaluation purpose, a series of models of the human body have been designed⁽⁴⁾. In the beginning, the anthropomorphic phantoms are mathematical descriptions of human bodies and organs based on Caucasians at ORNL for the Medical Internal Radiation Dose (MIRD) Committee of the Society of Nuclear Medicine⁽⁵⁾. After a couple of improvements, the stylized computational phantoms became widely

adopted by the radiation dosimetry community⁽⁶⁾. Stabin⁽⁷⁾ added the fetus and placenta to the ORNL 15-year-old adult female phantom representing the adult female at, 6, and 9 months of gestation. Later Chen⁽⁸⁾ updated phantoms for pregnant women and the fetuses based on ICRP 2002 and reliable information of human embryo and fetus⁽⁹⁾ for potential use in internal and external dosimetry calculations. Chen extended the stylized pregnant women computational phantoms into four pregnancy periods (0, 3, 6, and 9 months), which is an important reference for the development of pregnant women phantom.

Although Chen had established reliable phantoms, the size, height and uterus size of Asians during pregnancy are different from those of Caucasians. Therefore, the establishment of the Taiwanese pregnant phantoms is necessary for fetal dose evaluation in Taiwan. In this study, a series of Taiwanese pregnant phantoms and ORNL's pregnant phantoms were established and compared with the ICRP 74⁽¹⁰⁾ dose results. The results of Taiwanese pregnant phantoms can be used as a reference for future fetal dose assessment in Taiwan.

MATERIALS AND METHODS

*Corresponding author: fyhsu@mx.nthu.edu.tw

圖 11：研究成果撰寫論文投稿至 Radiation Protection Dosimetry 期刊
(已獲審查通過發表)

表 1：臺灣懷孕婦女體素假體妊娠期間母體腹圍、最大腹部厚度、平均胎兒深度

臺灣懷孕婦女體素假體				
妊娠期	未懷孕	3 個月	6 個月	9 個月
母體腹圍(cm)	67.00	700	83.00	92.00
最大腹部厚度(cm)	15.00	21.50	24.00	28.00
平均胎兒深度(cm)	7.97	7.10	7.92	9.24

表 2：臺灣懷孕婦女體素假體妊娠期間子宮及胎兒相關參數

臺灣懷孕婦女體素假體				
妊娠期	未懷孕	3 個月	6 個月	9 個月
子宮壁(g)	93.8	230.4	415.2	900.0
子宮內容物(g)	0	200.0	1800.0	1500
胎盤(g)	0	82.3	269.6	650.0
胎兒體重(g)	0	124.0	882.7	3056.6
子宮質量加總(g)	93.8	636.7	3367.5	6106.6

表 3：ORNL 懷孕婦女數學假體妊娠期間子宮及胎兒相關參數

ORNL 懷孕婦女數學假體				
妊娠期	未懷孕	3 個月	6 個月	9 個月
子宮壁(g)	79.0	374.0	834.0	1095.0
子宮內容物(g)	0	349.0	1403.0	3904.0
胎盤(g)	0	66.0	383.0	640.0
胎兒體重(g)	0	103.6	1331.0	4240.0
子宮質量加總(g)	79.0	892.6	3951.0	9879.0

表 4：ORNL 孕婦假體 (ORNL-DCC) 和臺灣孕婦假體 (TW-DCC) 在不同妊娠期的子宮 DCC 以及兩個假體之間的百分比差異 (Diff%)

(a) 0 Month

能量 (MeV)	AP			PA			LAT			ISO		
	ORNL-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*
0.05	1	1.02	2.00%	0.51	0.58	13.73%	0.24	0.24	0.00%	0.41	0.52	26.83%
0.1	1.44	1.26	-12.50%	1.06	0.9	-15.09%	0.54	0.51	-5.56%	0.71	0.75	5.63%
0.3	0.96	0.94	-2.08%	0.78	0.73	-6.41%	0.51	0.48	-5.88%	0.57	0.61	7.02%
0.662	0.87	0.88	1.15%	0.81	0.72	-11.11%	0.55	0.54	-1.82%	0.59	0.63	6.78%
1	0.86	0.88	2.33%	0.8	0.74	-7.50%	0.59	0.57	-3.39%	0.6	0.66	10.00%
1.25	0.86	0.88	2.33%	0.81	0.75	-7.41%	0.61	0.59	-3.28%	0.63	0.68	7.94%
2	0.88	0.88	0.00%	0.81	0.8	-1.23%	0.66	0.66	0.00%	0.68	0.72	5.88%

(b) 3 Month

能量 (MeV)	AP			PA			LAT			ISO		
	ORNL-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*
0.05	1.22	1.28	4.92%	0.44	0.4	-9.09%	0.31	0.35	12.90%	0.46	0.59	28.26%
0.1	1.38	1.35	-2.17%	0.87	0.7	-19.54%	0.57	0.56	-1.75%	0.7	0.76	8.57%
0.3	1	0.97	-3.00%	0.73	0.6	-17.81%	0.53	0.54	1.89%	0.58	0.62	6.90%
0.662	0.91	0.9	-1.10%	0.72	0.63	-12.50%	0.57	0.59	3.51%	0.6	0.65	8.33%
1	0.9	0.91	1.11%	0.73	0.65	-10.96%	0.61	0.62	1.64%	0.63	0.68	7.94%
1.25	0.9	0.92	2.22%	0.74	0.67	-9.46%	0.64	0.64	0.00%	0.65	0.7	7.69%
2	0.9	0.92	2.22%	0.77	0.72	-6.49%	0.69	0.69	0.00%	0.69	0.74	7.25%

*百分比差異(Diff%) = ((TW-DCC - ORNL-DCC) / ORNL-DCC) *100%

(c) 6 Months												
能量 (MeV)	AP			PA			LAT			ISO		
	ORNL-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*
0.05	0.94	1.4	48.94%	0.23	0.35	52.17%	0.57	0.56	-1.75%	0.51	0.63	23.53%
0.1	1.11	1.38	24.32%	0.56	0.65	16.07%	0.8	0.74	-7.50%	0.7	0.78	11.43%
0.3	0.82	1.01	23.17%	0.51	0.58	13.73%	0.67	0.64	-4.48%	0.59	0.64	8.47%
0.662	0.78	0.93	19.23%	0.55	0.61	10.91%	0.68	0.67	-1.47%	0.61	0.66	8.20%
1	0.79	0.92	16.46%	0.59	0.65	10.17%	0.7	0.7	0.00%	0.63	0.68	7.94%
1.25	0.79	0.93	17.72%	0.61	0.67	9.84%	0.73	0.72	-1.37%	0.65	0.71	9.23%
2	0.82	0.93	13.41%	0.66	0.72	9.09%	0.76	0.75	-1.32%	0.7	0.75	7.14%
(d) 9 Months												
能量 (MeV)	AP			PA			LAT			ISO		
	ORNL-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*	ORN L-DCC	TW-DCC	Diff%*
0.05	0.77	1.19	54.55%	0.19	0.35	84.21%	0.57	0.59	3.51%	0.48	0.65	35.42%
0.1	0.95	1.22	28.42%	0.45	0.6	33.33%	0.81	0.76	-6.17%	0.68	0.78	14.71%
0.3	0.73	0.91	24.66%	0.43	0.54	25.58%	0.67	0.64	-4.48%	0.57	0.64	12.28%
0.662	0.71	0.87	22.54%	0.48	0.6	25.00%	0.68	0.67	-1.47%	0.59	0.67	13.56%
1	0.72	0.85	18.06%	0.52	0.63	21.15%	0.71	0.71	0.00%	0.62	0.69	11.29%
1.25	0.74	0.86	16.22%	0.55	0.65	18.18%	0.72	0.72	0.00%	0.64	0.71	10.94%
2	0.77	0.88	14.29%	0.61	0.7	14.75%	0.76	0.75	-1.43%	0.68	0.75	10.06%

*百分比差异(Diff%) = ((TW-DCC - ORNL-DCC-) / ORNL-DCC) *100%

2. 進行國內眼球水晶體劑量評估之訪查研究 I (含學術合作的國內眼球水晶體劑量評估之訪查研究之技術服務)

與國內學研單位進行「國內眼球水晶體劑量評估之訪查研究」學術合作，以了解國內眼球水晶體輻射曝露之高危險群於現行輻射作業下，眼球水晶體的職業曝露劑量，本訪查監測對象，主要針對醫療院所介入性放射診療(心導管攝影及血管攝影)醫師及其協助醫事人員、核子醫學科放射藥物針劑配製、配藥醫事人員、核電廠與非破壞檢測之輻射工作人員，並逐月提供眼球水晶體劑量計予參加者進行眼球水體劑量監測評估，監測期程為連續 4 個月。

與財團法人中華民國輻射防護協會學術合作：於 1 月 18 日提出「眼球水晶體劑量監測訪查計畫之技術服務勞務案」之購案，並於 3 月 2 日完成決標，決標金額 889 千元整，訂約日期為 3 月 3 日。

本年度參與眼球水晶體劑量監測訪查計畫有 14 家醫療院所(33 科室)、3 家非破壞性檢測公司及核電廠，共 244 位參加者。圖 12 為工作族群參與人數之分布圖，其中醫療院所監測對象為血管攝影醫師 65 人及其協助醫事人員 17 人、心血管攝影醫師 66 人及其協助醫事人員 20 人與核子醫學科輻射工作人員 46 人，共有 214 位放射醫療工作人員參與(表 5)；3 家非破壞檢測公司共 10 位參與者；核電廠一般例行工作及歲修期間輻射工作各有 10 位參與者。

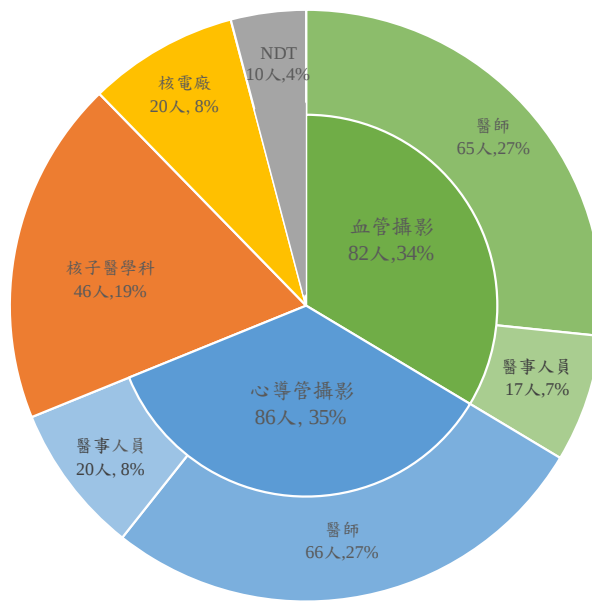


圖 12：工作族群參與人數之分布圖

表 5：醫療院所參與人數統計(單位:人)

醫療院所	參與 人數	服務單位				
		血管攝影		心血管攝影		核子 醫學科
		醫師	醫事 人員	醫師	醫事 人員	
中國醫藥大學新竹附設醫院	13	5	-	6	2	-
醫療財團法人辜公亮基金會和 信治癌中心醫院	18	4	6	-	-	8
衛生福利部桃園醫院	20	4	-	7	3	6
國泰醫療財團法人國泰綜合醫 院	24	7	-	17	-	-
國立臺灣大學醫學院附設醫院	30	5	5	8	2	10
臺北榮民總醫院	11	3	-	5		3
聯新國際醫院	24	7	4	4	3	6
長庚醫療財團法人林口長庚紀 念醫院	9	1	-	8	-	-
高雄榮民總醫院	7	2	-	-	-	5
新北市立土城	14	4		6	1	3
臺灣基督長老教會馬偕醫療財 團法人新竹馬偕紀念醫院	10	6	-	-	-	4
中山醫學大學附設醫院	10	10	-	-	-	-
醫療財團法人徐元智先生醫藥 基金會亞東紀念醫院	10	1	2	2	5	-
衛生福利部臺北醫院	14	6	-	3	4	1
合計	214	65	17	66	20	46

3. 辦理國內輻射醫療於眼球輻射曝露之輻射防護教育訓練 I

針對醫療院所參與眼球水晶體劑量監測對象，辦理 10 場實體及 5 場線上之教育訓練(表 6)，說明本次眼球水晶體劑量評估之訪查研究計畫，其內容包含眼球水晶體的新劑量限值對職業輻射防護的影響、計畫執行介紹及提供輻射防護措施建議...等。圖 13 為辦理眼球水晶體劑量監測訪查計畫之教育訓練實照和截圖。



圖 13：辦理眼球水晶體劑量監測訪查計畫之教育訓練實照和截圖

表 6：教育訓練統計表

方式	醫院	日期
視訊會議	中山醫學大學附設醫院	111/06/16
視訊會議	高雄榮民總醫院(核子醫學科)	111/06/16
視訊會議	新北市立土城醫院	111/06/19
視訊會議	高雄榮民總醫院(血管攝影)	111/06/25
視訊會議	聯新國際醫院	111/08/06
實體會議	醫療財團法人辜公亮基金會和信治癌中心醫院	111/03/29
實體會議	中國醫藥大學新竹附設醫院(血管攝影)	111/04/01
實體會議	衛生福利部桃園醫院	111/04/28
實體會議	臺北榮民總醫院	111/05/16
實體會議	中國醫藥大學新竹附設醫院(心導管攝影)	111/05/23
實體會議	國泰綜合醫院	111/05/24
實體會議	亞東紀念醫院(心導管攝影)	111/06/22
實體會議	新竹馬偕醫院	111/06/28
實體會議	亞東紀念醫院(血管攝影)	111/07/11
實體會議	衛生福利部臺北醫院	111/07/29

二、強化國內輻射檢校量測技術能力研究

1. 110-111 年度肢端劑量計能力試驗研究與技術研討會舉辦(2/2)

本次研究根據 109 年 3 月公告之最新版 TAF 標準規範—TAF (2020 年)第一版的「測試領域人員肢端劑量評估技術規範」，文件編號為 TAF-CNLA-T23(1)，與 ANSI/HPS N13.32-2018 國際最新版規範，執行肢端劑量計能力試驗運轉研究。此為兩年期的第一年工作項目，111 年度已於 5 月 26 日舉辦全國性線上會議(圖 14 與圖 15)，進行能力試驗總結報告，截圖如圖 14，後續已完成總結報告，以提供主管單位關於評估我國實驗室技術能力的參考資料。

本次肢端劑量計能力試驗共有四個測試類別[劑量範圍]：I.高劑量光子[0.1 至 5 Gy]、II.光子[1 至 100 mSv]、III.貝他[2.5 至 100 mSv]、和 IV.貝他與光子混合場[3.5 至 100 mSv](如表 7 所示)。依據規範，照射測試分三批次進行，各測試類別每批測試提供 5 個劑量計，共 15 個劑量計；每個類別測試另附 1 個背景劑量計，2 個備用之劑量計。本次使用射質 X 射線為 ISO 的 W200 與美國國家標準暨技術研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)的 M100 和 M150，加馬光子為 ^{137}Cs ，貝他射源為 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 。規範中所使用的假體分為兩種，(1)柱狀假體 (pillar phantom)：代表下手臂或小腿，以測試手腕或腳踝劑量計，是由壓克力(PMMA)製成之固體正圓柱體，直徑至少為 73 mm，長度至少為 300 mm；(2)棒狀假體 (rod phantom)：代表手指，以測試指環或手部劑量計。是由壓克力(PMMA)製成之固體正圓柱體，直徑至少為 19 mm，長度至少為 300 mm，本次能力試驗僅針對代表手指的棒狀假體進行照射，故僅測試實驗室的指環劑量計劑量評估能力。

肢端劑量能力試驗是以能力評定公式分析參與實驗室技術能力，根據允差值評定其結果，允差值於高劑量光子(I 測試類別)為 0.24，光子和貝他 II~IV 測試類別為 0.35，較 ANSI N13.11(2009)新版人員劑量計能力試驗之光子和貝他 II~IV 測試類別為 0.30 稍高。

「第一次肢端劑量計能力試驗總結說明研討會」因應防疫政策，於 5 月 26 日由保物組國家游離輻射標準實驗室舉辦線上會議，共有 48 位專家代表，8 個單位參與(依開頭筆劃排列)：台○公司放射試驗室、原○能委員會、核○研究所、貝克○弗限公司、輻射○護協會、全○認證基金會、同○輻射中心、

清○大學人員劑量實驗室。

我國肢端劑量計能力試驗為第一次執行，為從無至有的里程碑，本次能力試驗更新與精簡多份人員劑量能力試驗使用之舊有表單資料，以提升執行效率，依據 TAF「測試領域人員肢端劑量評估技術規範 TAF-CNLA-T23(1):2020」第一版規範，完成第一次肢端劑量能力試驗數據處理與受測實驗室能力判定分析，共 10 組實驗室組(若受測佩章廠牌不同，則視為不同組)，7 家實驗室參加，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，實驗室能力試驗合格率達 100%(各測試類別之結果參見圖 16)。本會議除公告能力試驗結果，並與參與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。



「2022 年第一次肢端劑量計能力試驗總結說明討論會」

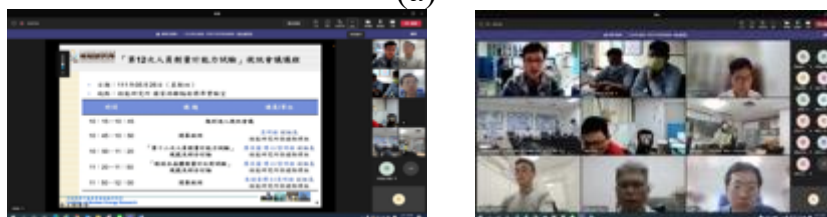
視訊會議議程

日期：111 年 05 月 26 日
主持單位所在地點：核能研究所 保健物理組 035 館國家游離輻射標準實驗室

時間	講題	講員/單位
09：00—09：30	註冊進入視訊會議	
09：30—09：40	開幕致詞	袁明程 副組長 核能研究所保健物理組
09：40—10：30	「第一次肢端劑量計能力試驗」結果及綜合討論	陳晉奇 先生 核能研究所保健物理組
10：30—10：45	閉幕致詞	朱健豪 博士/ 袁明程 副組長 核能研究所保健物理組

備註：採用 Microsoft Teams meeting 程式，請以姓名註冊進入視訊會議。

(a)



「2022 年第十二次人員劑量計能力試驗執行前與眼球水晶體劑量計比對試驗討論會議」

視訊會議議程

日期：111 年 05 月 26 日
主持單位所在地點：核能研究所 保健物理組 035 館國家游離輻射標準實驗室

時間	講題	講員/單位
10：15—10：45	註冊進入視訊會議	
10：45—10：50	開幕致詞	袁明程 副組長 核能研究所保健物理組
10：50—11：20	「第十二次人員劑量計能力試驗」規範及綜合討論	廖英蘭 博士 核能研究所保健物理組
11：20—11：50	「眼球水晶體劑量計比對試驗」規範及綜合討論	廖英蘭 博士 核能研究所保健物理組
11：50—12：00	閉幕致詞	朱健豪 博士/ 袁明程 副組長 核能研究所保健物理組

備註：採用 Microsoft Teams meeting 程式，請以姓名註冊進入視訊會議。

(b)

圖 14：2022 年人員、肢端與眼球水晶體劑量計能力試驗技術討論會(視訊會議)之(a)「2022 年第一次肢端劑量計能力試驗總結說明討論會議」；(b)「2022 年第十二次人員劑量計能力試驗執行前與眼球水晶體劑量計比對試驗討論會議」線上會議截圖和議程。



圖 15：「2022 年第一次肢端劑量計能力試驗總結說明研討會」大會手冊封面

表 7：肢端劑量計能力試驗測試類別

測試類別	測試輻射劑量範圍	允差值(L) (for $B^2 + S^2 = L^2$)
I. 高劑量, 光子		
A. 一般 (B及C隨機選擇)	0.1 to 5 Gy	0.24
B. ^{137}Cs (E=662 keV)		
C. M150 (E=73.0 keV)		
II. 光子		
A. 一般 (E $\geq$ 20 keV)	1.0 to 100 mSv	0.35
B. 高能量 (E $\geq$ 500 keV)		
C. 中能量 (E $\geq$ 70 keV)		
D. 窄能譜		
III. 貝他		
A. 一般 (B及C隨機選擇)	2.5 to 100 mSv	0.35
B. 高能量點射源 (E $\geq$ 500 keV)		
C. 低能量點射源 (E < 500 keV)		
D. 片型鈾 (E $\geq$ 500 keV)		
IV. 貝他與光子混合場		
A. 一般光子+貝他	3.5 to 100 mSv	0.35
B. 加馬+貝他		

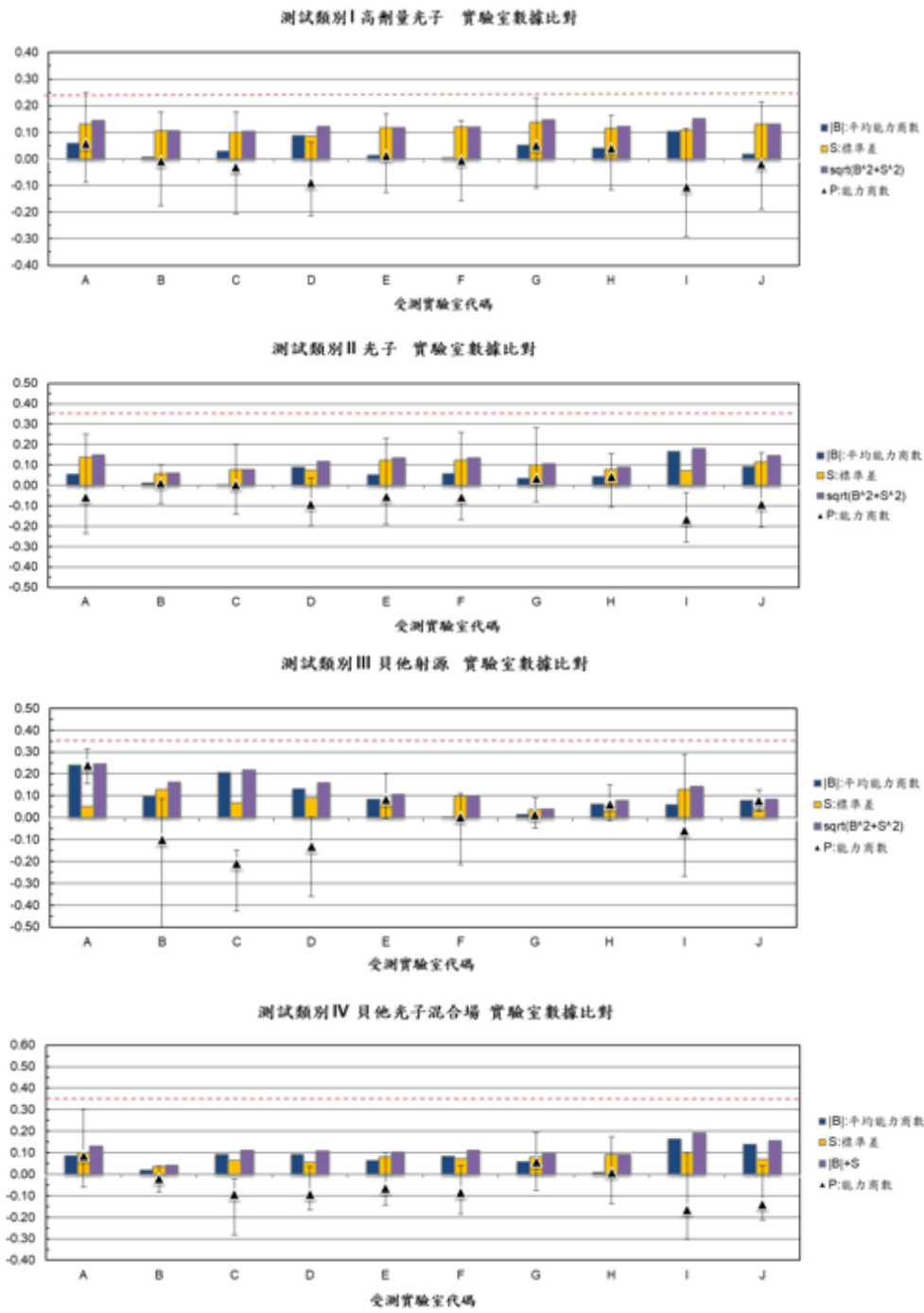


圖 16：第一次肢端劑量計能力試驗第 I 至 IV 測試類別之結果

2. 111-112 年度人員劑量計能力試驗研究與技術研討會舉辦(1/2)

本次研究根據 108 年 3 月公告之最新版 TAF 標準規範—TAF (2019 年)第四版的「測試領域人員體外劑量評估技術規範」,文件編號為 TAF-CNLA-T08(4),該文件乃參考 ANSI/HPS N13.11-2009(R2015)國際最新版規範,與國內產官學專家建議而定。此為兩年期的第一年工作項目,今年已於 3 月召開內部工作協調會議,於第 2 子項第 1 工作項目併於 5 月 26 日舉辦全國性線上會議(參見圖 14 與圖 17),說明執行前規畫,時程安排如圖 18,包括測試前系統校正與第一至三批次照射試驗。明年則接續再測試(如有需要)、劑量回報與數據處理,並預計於全球計量日(5 月 20 日)附近的 5 月底至 6 月辦理總結技術討論會議,而後提供參與實驗室測試報告,以及總結報告撰寫,以提供主管單位關於評估我國實驗室技術能力的參考資料。

本次人員劑量計能力試驗共有五個測試類別[劑量範圍]: I.事故級光子[0.05 至 5 Gy]、II.光子/光子混合場[0.5 至 50 mSv]、III.貝他粒子[2.5 至 250 mSv]、IV.光子與貝他混合場[淺部:3.0 至 300 mSv、深部:0.5 至 50 mSv]、和 V.中子與光子混合場[1.5 至 50 mSv](參見表 8)。依據規範,照射測試分三批次進行,各測試類別每批測試提供 5 個劑量計,共 15 個劑量計;除了第 II 類每批次提供 7 個劑量計,共 21 個劑量計;每個類別測試另附 1 個背景劑量計,2 個備用之劑量計。本次暫訂 X 射線使用射質為 ISO 的 N80 和 W110,與美國國家標準暨技術研究院(National Institute of Standards and Technology, NIST)的 M100 和 M150,加馬光子為 ^{137}Cs ,貝他射源為 $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$,中子射源為 ^{252}Cf 。規範中所使用的壓克力(PMMA)長方體假體分為三種尺寸:(1) $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$:用於 X 射線和加馬光子輻射場;(2) $30 \times 30 \times 5 \text{ cm}^3$:用於貝他輻射場;(3) $40 \times 40 \times 15 \text{ cm}^3$:用於中子輻射場。

全國性技術討論會之「2022 年第十二次人員劑量計能力試驗執行前討論會議」已於 5 月 26 日由保健物理組國家游離輻射標準實驗室舉辦線上會議,參加人數為 48 人,參加單位共 8 個(依開頭筆劃排列):台○公司放射試驗室、原○能委員會、核○研究所、貝克○弗公司、輻射○護協會、全○認證基金會、同○輻射中心、清○大學人員劑量實驗室。(與「2022 年第一次肢端劑量計能力試驗總結說明研討會」(視訊會議)相

同)。

本研究配合我國第十二次人員劑量計能力試驗之執行，目前為申請階段結束。這次預計有 8 個實驗室參加測試，透過彼此的技術交流，期能讓我國技術能力接軌國際。



圖 17：「2022 年第十二次人員劑量計能力試驗暨眼球水晶體劑量計比對試驗」大會手冊封面

批 次	校正	第一批次	第二批次	第三批次
開始接收劑量計日期	111年11月9日	112年1月30日	112年3月1日	112年3月29日
接收截止日期	111年11月16日 (接收截止日期)	112年2月3日	112年3月7日	112年4月4日
完成照射日期	112年1月13日 (校正完成日期)	112年2月23日	112年3月24日	112年4月21日
寄回日期	-----	112年2月24日	112年3月27日	112年4月24日
回報日期	-----	112年3月10日	112年3月31日	112年5月9日

圖 18：人員劑量計能力試驗執行時程

表 8：人員劑量計能力試驗測試類別

測試類別	測試輻射劑量範圍	允差 (L)	
		深部	淺部
I. 事故觀,光子			
A.一般 (B 及 C 隨機選擇)	0.05 to 5 Gy	0.24	不測試
B. ¹³⁷ Cs			
C. M150			
II. 光子/光子混合場			
A. 一般 (Ē≥20 keV, 當Ē≤70 keV時垂直照射)	0.5 to 50 mSv	0.3	0.3
B. 高能量 (¹³⁷ Cs, ⁶⁰ Co; 照射角度 α ≤60度)			
C. 中能量 (Ē>70 keV, 照射角度 α ≤60度)			
D. 鈾專用			
III. 貝他粒子			
A. 一般 (B 及 C 隨機選擇)	2.5 to 250 mSv	不測試	0.3
B. 高能量 (⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y)			
C. 低能量 (⁸⁵ Kr)			
D. 鈾片			
IV. 光子與貝他混合場			
	淺部: 3.0 to 300 mSv	N/A	0.3
	深部: 0.5 to 50 mSv	0.3	N/A
V. 中子與光子混合場			
A. 一般 (B 及 C 隨機選擇)	1.5 to 50 mSv	0.3	不測試
B. ²⁵² Cf+II			
C. ²⁵² Cf(D ₂ O)+II			

3. 建立醫療曝露透視攝影劑量校正射質

為建置醫療曝露透視攝影劑量校正射質，本年度將於 035 館中能量 X 光系統，即 PANTAK-SEIFERT ISOVOLT 320 HS 中能 X 光機，管電壓範圍為 40 至 300 kV 的系統中，依序完成：校正射質選定、校正射質過濾片組配、校正射質半值層量測(與規範差異小於 5%)等工作。同時以實驗室自製自由空氣游離腔(FAC)進行相關量測，規劃於兩年期間內，建立國內透視攝影原級標準，提供相關臨床劑量儀器進行校正追溯。

目前選定之校正射質為 IEC 61267 RQC(Radiation qualities based on copper added filter)系列的銅附加濾片射質，於進行射質附加過濾片組配前，首先須量測 X 光機固有過濾片厚度，因其管電壓設定同 RQR 射質 (Radiation qualities in Radiation beams emerging from X-ray source assembly)，是來自 X 光管組件發射輻射系列射質建立時的設定，RQR 會基於固有濾片厚度，調整總濾片厚度符合規範所定，再依據第一半值層結果微調管電壓之設定。固有濾片厚度標定依據 ISO 4037-1 規範建議方法，參考其鋁濾片第一半值層與固有濾片關係對照表，如表 9，透過外插法評估固有過濾片鋁當

量厚度。亦即，在管電壓 60 kVp 條件下，以自由空氣游離腔(FAC)進行量測，將 FAC 量測相對訊號強度與鋁片厚度作擬合回歸，再將擬合回歸公式中，代入相對訊號強度為 0.5，即可求得第一半值層鋁當量厚度。再依據表 9 將 60 kVp 條件下之第一半值層鋁當量厚度與固有過濾片厚度作線性回歸，將結果外插至所求得之第一半值層鋁當量厚度，即可求得本台 X 光機系統的固有過濾片鋁當量厚度為 0.15 mmAl，實驗結果如圖 19 及圖 20。依據固有過濾片厚度組配完成之附加過濾片如圖 21，材質及厚度資訊如表 10。附加過濾片在 RQC 射質中使用鋁、銅等材料，純度最低要求為 99.9%，密度設定上，鋁為 2.70 g/cm^3 、銅為 8.94 g/cm^3 。接著量測各射質之半值層，並與 IEC 61267 規範定義之第一半值層厚度進行比較，結果差異皆在 5% 以內(表 10)，代表所建立之 RQC 射質與 IEC 61267 規範之射質有相近的能譜特性。最後依據上述 IEC 61267 RQC 系列射質建立方法與結果，偕同本子項第 5 工作項目，完成技術報告 1 篇。

表 9：ISO 4037-1 規範之鋁濾片第一半值層與固有濾片關係對照表

First HVL mmAl at 60kV	Inherent filtration mmAl
0.33	0.25
0.38	0.3
0.54	0.4
0.67	0.5
0.82	0.6
1.02	0.8
1.15	1
1.54	1.5
1.82	2

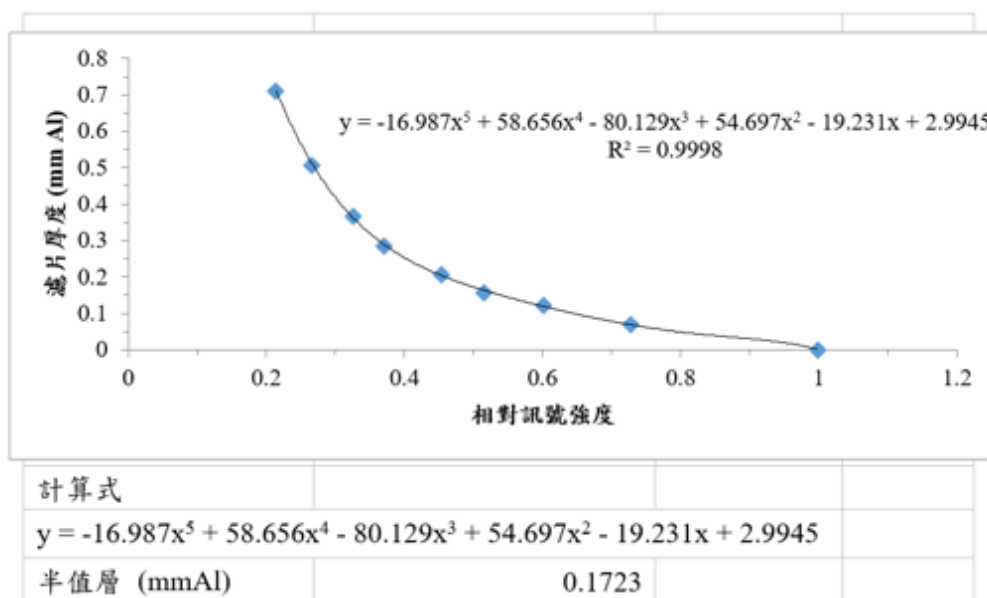


圖 19：60 kV 條件下之半值層厚度量測結果

表 10：INER 035 館之寬能譜系列射質半值層量測結果

Radiation Quality	Tube potential	Additional filtration		INER 1st HVL	IEC 1st HVL	1st HVL diff	INER Homogeneity Coefficient
		mm Cu	mm Al	mm Al	mm Al	%	H
RQC3	50	0.5	2.358	4.61	4.50	2.53	0.96
RQC5	70	1.5	2.6	8.62	5.40	2.56	0.95
RQC8	100	2.0	3.2	11.56	11.50	0.55	0.92

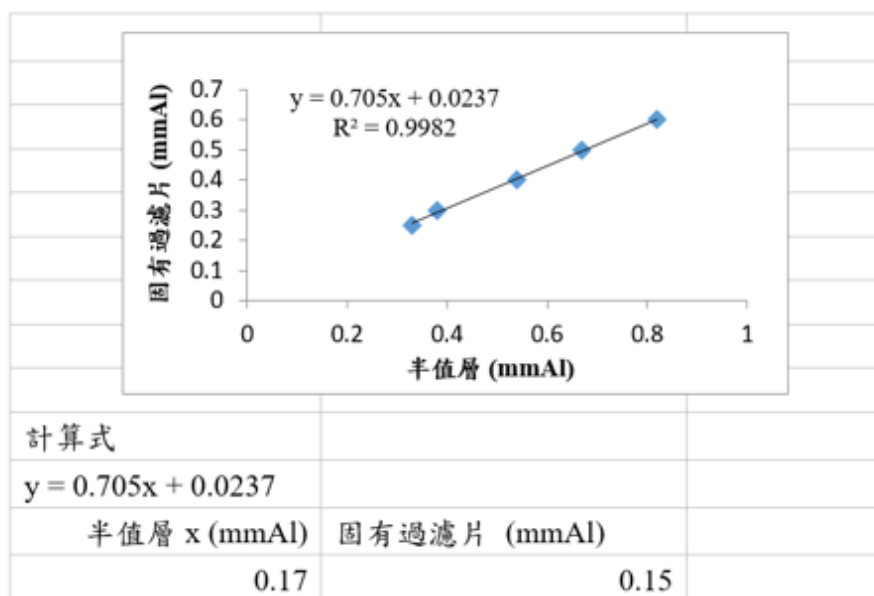


圖 20：固有過濾片厚度量測結果

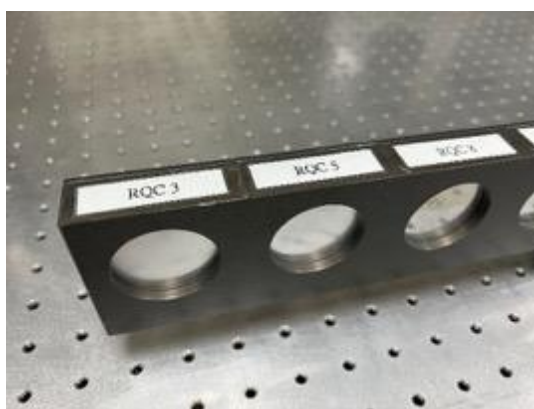


圖 21：INER 組配之 RQC 射質附加過濾片

4. 建置貝他粒子之眼球水晶體劑量校正系統

本工作項目依據 ISO 6980: 2006 國際標準，建置可用於提供眼球水晶體劑量校正的銨九十/釷九十($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$)貝他組織劑量標準輻射場。首先，以外推式游離腔量測 0.07 mm 處的貝他吸收劑量率，再以聚對苯二甲酸乙二酯(PET)薄片推算至 3 mm 處的貝他吸收劑量率。

外推式游離腔量測 0.07 mm 處的貝他吸收劑量率公式如下式：

$$\dot{D}_{R\beta} = \frac{(\bar{W}_0/e)s_{t,a}}{\rho_{a0} a} \left[\frac{d}{dl} \{kk'I(l)\} \right]_{l=0}$$

上式中， $\dot{D}_{R\beta}$ 為貝他粒子的參考吸收劑量率； ρ_{a0} 為參考環境（溫度 $T=293.15\text{ K}$ ，大氣壓力 $P=101.325\text{ kPa}$ ，相對濕度 $RH=65\%$ ）下的空氣密度，其值為 1.19740 kg m^{-3} ； a 為收集電極的有效收集面積； l 為游離腔深度； k 為量測時數值會變動的修正因子的乘積； k' 為作不同深度的量測時數值不變的修正因子的乘積； $\left[\frac{d}{dl} \{kk'I(l)\} \right]_{l=0}$ 為修正後的電流 $kk'I$ 對游離腔深度 l 的函數，對 l 微分後 l 以 0 代入得到的數值。

收集電極的有效收集面積量測，係改變外推式游離腔兩電極板之距離，在施加電壓後，量測其電荷的變化量，橫軸以電壓除電荷量計算，縱軸為電極板距離，結果如圖 22。

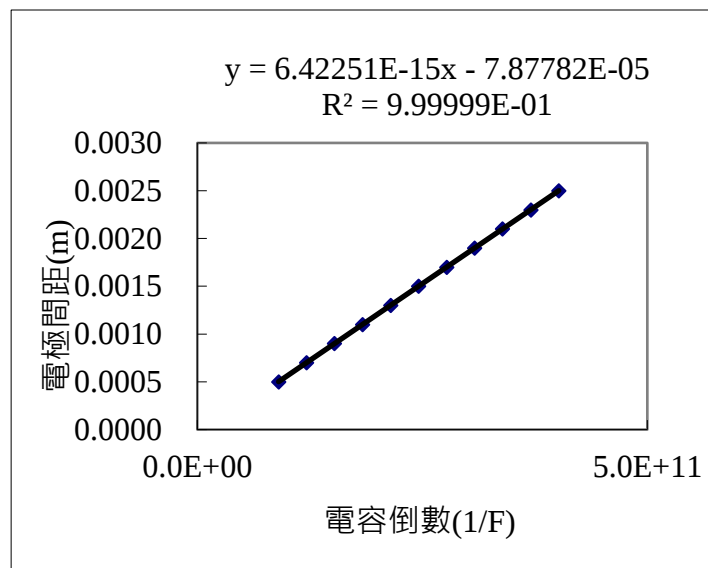


圖 22：外推式游離腔有效面積量測 依趨勢線方程式 $y=6.42251 \times 10^{-15} x - 7.87782 \times 10^{-5}$ ，計算有效收集面積為趨勢線

斜率除以介電常數

$$a = \frac{A}{\varepsilon} = \frac{6.42251 \times 10^{-15} \text{ F m}}{8.8541 \times 10^{-12} \text{ F/m}} = 7.2537 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 725.37 \text{ mm}^2 \text{ 。}$$

修正因子可分成兩類。其中一類在測量期間是固定常數，這類的修正因子其乘積為 k' ，包含回散射修正因子 k_{ba} 、制動輻射修正因子 k_{br} 、靜電修正因子 k_{el} 、濕度修正因子 k_{hu} 、界面效應修正因子 k_{in} 及徑向不均勻度修正因子 k_{ra} 。其中需要量測的修正因子是制動輻射修正因子 k_{br} 。

圖 23 制動輻射修正因子 k_{br} ，係利用不同厚度的 PET 薄片量測電流，以 0.07 mm 組織等效厚度處的電流 I_0 為基準，以電流隨厚度而改變的曲線尾部當作制動輻射的量 I_{br} ，制動輻射修正因子的算法為 $k_{br} = (I_0 - I_{br})/I_0$ 。

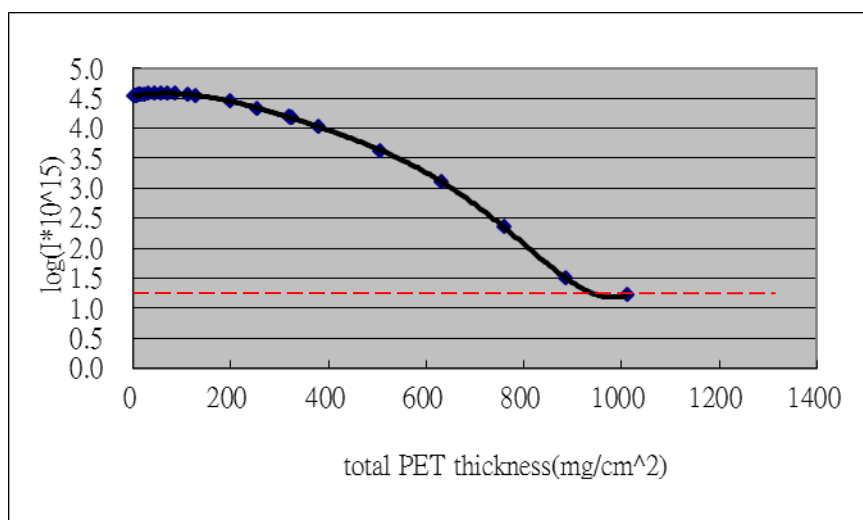


圖 23：制動輻射修正因子評估（橫軸尚未換算為組織等效厚度）

另一類在測量期間會隨之改變，所有會改變的修正因子其乘積為 k ，包含衰減及散射修正因子 k_{abs} 、衰減修正因子 k_{ac} 、空氣密度修正因子 k_{ad} 、活度衰減修正因子 k_{de} 、軸向不均勻度修正因子 k_{di} 、擾動修正因子 k_{pe} 及離子復合修正因子 k_{sat} 。其中，多項修正因子可藉由查表或視為 1 訂定，特別需要量測的是衰減及散射修正因子 k_{abs} 。

衰減及散射修正因子 k_{abs} 是要修正外推式游離腔前方的濾片厚度未必等於 0.07 mm 處組織等效厚度。利用不同 PET 厚度取得電流值，以 0.07 mm 處的電流為基準，便可得知目前放置的濾片厚度需修正的數值。以歸一化的電流曲線稱為

穿透函數 $T_t(d)$ ，如圖 24，衰減及散射修正因子 k_{abs} 等於 $1/T_t(d)$ 。

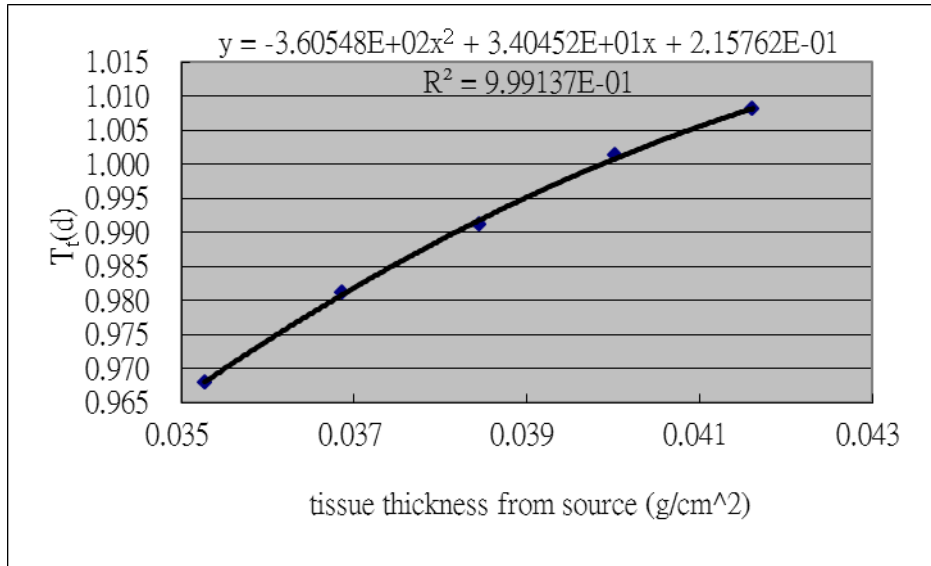


圖 24：穿透函數（0.07 mm 組織厚度接近橫軸 0.04 g/cm² 處）

最後，可改變外推式游離腔兩極板的間距量測電流，取得趨勢線，趨勢線之斜率即為 $\left[\frac{d}{dl} \{kk'I(l)\} \right]_{l=0}$ ，如圖 25。

由貝他吸收劑量率公式與表 11 之參數，可計算 0.07 mm 吸收劑量率 $D_{R,\beta}=2.41 \times 10^{-5}$ Gy/s。

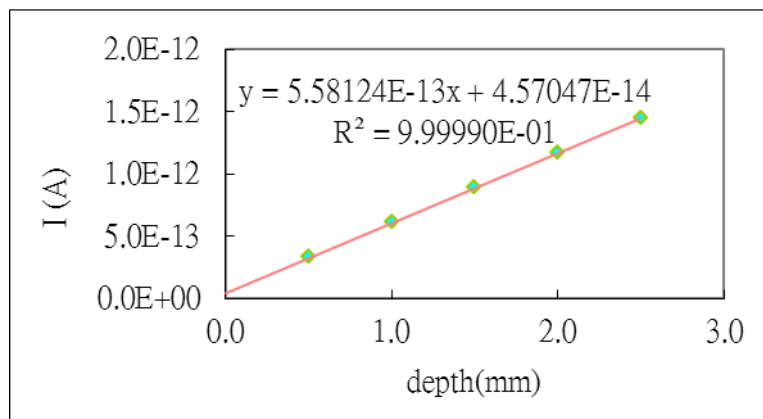


圖 25：⁹⁰Sr/⁹⁰Y 射源的外推曲線

表 11： $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 於組織下 0.07 mm 吸收劑量率計算參數

項目	數據	單位	條件
$d(kk'I(l))/dl$ ($l=0$)	5.58124×10^{-13}	A/mm	
a	725.3713	mm^2	
W/e	33.83	J/Coul	
$S_{t,a}$	1.11		
ρ_{a0}	1.1974×10^{-9}	kg/mm^3	溫度 293.15 K 氣壓 101.325 kPa 溼度 65%

在距離射源 30 cm 處，量測不同 PET 厚度下的電流資料如下表 12。

表 12：各種不同 PET 厚度下的電流

外加 PET 組織等效厚度 (μm)	總組織等效厚度 (μm)	與 70 μm 處電流之比值 h
0.0	17.00	0.96
15.9	32.61	0.98
31.7	48.19	0.99
47.6	64.40	1.00
63.5	80.32	1.00
95.2	111.88	1.02
111.1	127.67	1.02
129.4	145.44	1.03
...	...	...
2966.2	2981.02	0.44
2982.1	2996.81	0.43
3000.4	3016.16	0.43
3016.3	3030.93	0.42
3530.1	3544.74	0.30

由內插法可以推算出位於組織下 3000 μm 對 70 μm 的電流比值為 $1.515 / 3.509 = 0.4317$ 。

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ 射源對組織下 3 mm 貝他個人等效劑量率($H_p(3)$)可用下式計算。

$$\begin{aligned}
 H_p(3)_{\text{beta}} &= (h - \tau_{\text{br}}) \times D_{R\beta} / (1 - \tau_{\text{br}}) \\
 &= (0.4317 - 0.000487) \times D_{R\beta} / (1 - 0.000487) \\
 &= 0.4314 \times D_{R\beta} \\
 &= 1.04 \times 10^{-5} \text{ Gy/s}
 \end{aligned}$$

最後，即可得 035 館所建立參考點之 $H_p(3)$ 校正標準為 1.04×10^{-5} Gy/s。相關成果已統整入系統評估報告 1 篇。

5. 建立 X 射線 ISO 寬能譜眼球水晶體劑量校正射質

為建置 ISO 4037 規範之寬能譜系列射質供眼球水晶體劑量校正與能力試驗使用，本年度將於 035 館中能量 X 光系統，即 PANTAK-SEIFERT ISOVOLT 320 HS 中能 X 光機，管電壓範圍為 40 至 300 kV 的系統中，依序完成：校正射質選定、校正射質過濾片組配、校正射質半值層量測(與規範差異小於 5%)等工作；同時，以實驗室自製自由空氣游離腔(FAC)進行相關量測，以於兩年期間內，建立國內 ISO 4037 規範之寬能譜系列原級標準，提供相關眼球水晶體劑量儀器進行校正追溯。而後，將其引到 008 館 X 光機系統中，以次級標準件，建立能力試驗所需校正射質和輻射場，緊急提供今年度的眼球水晶體劑量能力試驗試運作使用。

同子項計畫工作項目 3，先完成量測 035 館中能量 X 光系統之固有過濾片厚度(圖 26)，以於組配附加過濾片時，先將固有過濾片厚度扣除，後續根據不同射質使用不同厚度之錫片、銅片及鋁片組配附加過濾片。使用之附加過濾片材質及厚度資訊如表 13 所示。接著量測各射質之第一半值層，與 ISO 4037 規範定義之第一半值層厚度進行比較，結果差異皆在 5% 以內(表 13)，代表本所建立之寬能譜系列射質與 ISO 4037 規範之射質有相近的能譜特性。最後依據上述 ISO 4037 寬能譜系列射質建立方法與結果，偕同本子項第 3 工作項目，完成技術報告 1 篇。



圖 26：INER 035 館組配之寬能譜系列射質附加過濾片

表 13：INER 035 館之寬能譜系列射質半值層量測結果

Radiation Quality	Tube potential	Additional filtration			INER 1st HVL	INER 2nd HVL	ISO 1st HVL	ISO 2nd HVL	1st HVL diff	2nd HVL diff	INER Homogeneity Coefficient
		mm Sn	mm Cu	mm Al	mm Cu	mm Cu	mm Cu	mm Cu	(HVL- ISO) /ISO	(HVL- ISO) /ISO	H
W-60	60		0.3	4.0	0.181	0.207	0.180	0.215	0.68	-3.62%	0.87
W-80	80		0.5	4.0	0.350	0.428	0.349	0.433	0.15	-1.09%	0.82
W-110	110		2.0	4.0	0.939	1.157	0.933	1.08	0.61	7.09%	0.81
W-150	150	1.0		4.0	1.859	2.111	1.78	2.03	4.44	4.00%	0.88

三、精進染色體變異分析技術與評估研究

本分項研究成果，投稿於3月26日至27日舉辦之『第36屆生物醫學聯合學術年會』，投稿題目為「Evaluation of Human Biodosimetry」，以推廣與彰顯計畫成果（圖27）。查核點成果條列如下。

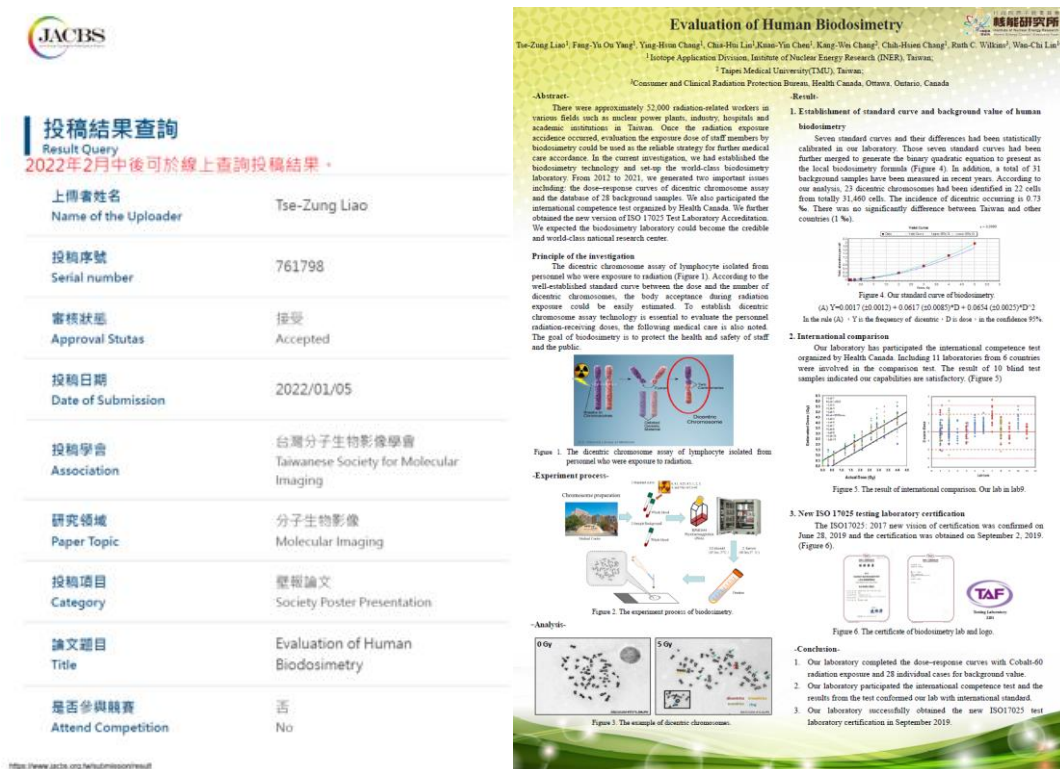


圖 27：人員生物劑量成果於第36屆生物醫學聯合學術年會壁報及投稿接受函

1. 建立北部備援實驗室(含學術合作的北部備援實驗室建立與染色體雙中節背景值分析之技術服務)

本計畫已於106年至110年起建立南部備援實驗室，輔導高雄醫學大學建立染色體雙中節變異分析技術。本年度以委託研究技術服務建立北部備援實驗室，輔導台北醫學大學，進行實驗室程序建立，同時台北醫學大學已通過人體試驗倫理審查委員會（Institutional Review Board, IRB）審查，取得人體試驗計畫同意（圖28），獲得合法使用人體血樣進行研究。另培訓台北醫學大學具備染色體雙中節背景值分析技已於9月底完成全數分析回傳本實驗室歸檔。

臺北醫學大學
臺北醫學大學暨附屬醫院聯合人體研究倫理委員會
TMU-Joint Institutional Review Board

通過證明函—簡易審查案

開立日期：民國110年12月13日

本會編號：N202112022
 計畫名稱：人員生物劑量計畫
 計畫主持人：鄭柏青
 共同主持人：黃文盛
 試驗/研究機構：臺北醫學大學、臺北醫學大學附設醫院
 計畫書版本/日期：Version 1.0/202110211
 受試者同意書版本/日期：Version 1.1/20211208/2021/12/08
 個案報告表版本/日期：Version 1.0/202110211

上述計畫已通過本會簡易審查程序，將於第110-12-4次會期追認(會議日期：110年12月23日)，特此證明。有效期限自民國110年12月13日至民國111年12月12日。試驗/研究期間應接受本會之監督。

依據衛生福利部與相關規定，後續追蹤程序及要求如下：

1. 期中報告：本計畫期中繳交頻率為每12個月，應於有效期限到期前二個月(民國111年10月12日)繳交期中報告。有效期限屆滿時若尚未通過期中報告與效期展延審查者，試驗/研究不得繼續執行。
2. 結案報告：試驗/研究完成後，應將執行情形及結果依結案報告表要求送至本會審查。核准期間到期三個月仍未繳交者，本會得撤銷本通過證明函，亦即撤銷本試驗/研究之核准，亦將依本會作業程序暫停主持人(含任何參與形式)申請新試驗/研究案之審查三個月。
3. 嚴重不良事件(SAE)報告：執行人體試驗或臨床試驗之主持人應根據衛生福利部「藥品優良臨床試驗準則」和「嚴重藥物不良反應通報辦法」規定，辦理相關事宜。

主任委員：

陳 中 明



本會組織與執行皆符合適用法規

The TMU-Joint Institutional Review Board performs its functions according to written operating procedures and complies with GCP and with the applicable regulatory requirements.

9ad354c12c06d891d5d50b4669d4db9

TMU-JIRB Form076/20200317

圖 28：台北醫學大學取得 IRB 核可證明

2. 分析 111 年度國人本土染色體雙中節背景值(含學術合作的北部備援實驗室建立與染色體雙中節背景值分析之技術服務)

國際標準組織 (ISO) ISO 19238:2014 國際輻射研究報告指出，正常背景值下，每位正常人的 1,000 顆淋巴球細胞中，平均存在 1 個 (0-2 個) 染色體雙中節變異⁽¹³⁾。人員生物劑量實驗室完成 111 年度三例正常國人背景值染色體雙中節分析，共計分析 3,175 顆細胞，僅發現 1 顆細胞中含 1 個雙中節

(dicentric) (表 14)。統計 101 至 111 年度共完成 34 例正常國人背景染色體分析，一共分析 34,635 顆細胞，發現 24 個雙中節 (dicentric) 於 23 顆細胞中。目前資料庫國人背景雙中節發生率為 0.69 ‰，代表 1000 顆細胞中有 0.69 個雙中節發生率。

表 14：111 年度國人本土染色體雙中節背景值分析結果

	第一例	第二例	第三例
分析數量 (顆)	1,017	1,156	1,002
雙中節數 (個)	1	0	0

3. 通過 ISO 17025 實驗室展延認證

因應 ISO17025 再評鑑審查(三年延展)需求，本計畫完成一階品質手冊(1 份)、二階品質系統(10 份)技術系統(14 份)、三階作業程序(10 份)與四階表單(46 份)文件，共計 81 份文件之修改/檢視作業，於 111 年 1 月即執行兩例符合 ISO 17025:2017 規範下的血液分析工作，並於 4 月 21 日及 4 月 22 日接受 TAF 現場評鑑，評鑑結果開立 14 件缺失，於限期(6 月月 7 日)全數完成改善，並將改善結果回覆至 TAF 系統；6 月 9 日、6 月 14 日及 6 月 17 日接獲評鑑委員再次諮詢(三項問題)後，完成回覆；本延展案結果報告已於 6 月 17 日由 TAF 安排審查小組進行書面審查作業，6 月 27 日再接獲書面審查委員意見，6 月 29 日完成回覆再次送請審查，7 月 6 日取得新證書，證書有效期至 114 年 7 月 16 日(圖 29)。



圖 29：ISO/IEC 17025 認證新證書

4. 建立 γ -H2AX 之低劑量分析方法

γ -H2AX 測定法被視為評估輻射劑量的潛在生物劑量計，具有分析快速、高特異性及高靈敏度，能夠識別非常低的輻射劑量之優點，可克服傳統染色體雙中節測定法有劑量低限值(小於 0.1 Gy)限制。本年度重點開發低劑量 γ -H2AX 分析方法，藉由文獻蒐集彙整試驗方法，同時篩選螢光焦點 (foci) 影像計數軟體，並採購螢光及影像擷取設備增設於現有顯微鏡系統，架構一套可量測 γ -H2AX 螢光焦點的設施，評估 γ -H2AX 螢光焦點的劑量依賴性。

經參採文獻及優化實驗方法，已完成試驗程序之建立並完成血液淋巴球中 γ -H2AX foci 免疫螢光顯微鏡樣品玻片製作及影像掃描程序 1 份 (圖 30)，包含血液淋巴球分離純化、細胞固定、抗體染色、影像擷取，並完成影像計數軟體篩選，選用 Cellprofiler 軟體進行 foci 計數，實驗程序如圖 31。下年度擬依此方法進一步研製低劑量 γ -H2AX 檢量線，藉以建立低劑量暴露者之劑量評估基準。

血液淋巴球中 γ -H2AX foci 免疫螢光顯微鏡樣品玻片製作

及影像掃描程序書

1. 目的：建立使用螢光顯微鏡計數 γ -H2AX foci 螢光焦點方法。
 2. 原理：利用 1 抗與淋巴細胞核中 γ -H2AX 蛋白結合，再以帶螢光的 2 抗與 1 抗鏈結，於螢光顯微鏡下觀察。
 3. 制定依據：
優化高雄醫學大學實驗方法
 4. 實驗內容：
 - 4.1 實驗試劑與耗材
 - (1) 健康人類全血檢體
 - (2) 15 mL 離心管
 - (3) 50 mL 離心管
 - (4) 真空採血管 [BD]
 - (5) Phosphate buffer (PBS) [Elabscience]
 - (6) RBC Lysis buffer [abcam]
 - (7) 梯度液 [Lymphoprep]
 - (8) 1 抗:Phospho-Histone H2A.X (Ser139) Antibody [Cell signaling]
 - (9) 2 抗:Anti-rabbit IgG(H+L), F(ab')₂ Fragment (Alexa Fluor®488 Conjugate) [Cell signaling]
 - (10) Paraformaldehyde [Merck]
 - (11) Triton X-100 [Sigma-aldrich]
 - (12) Bovine Serum Albumin (BSA) [Sigma-aldrich]
 - (13) 玻片 4-well, Glass Chamber Slide [Merck]
 - (14) mounting medium with DAPI [VECTASGIELD]
 - 4.2 實驗儀器
 - (1) 二氧化碳培養箱 [NuAire]
 - (2) 標準溫度計 [不限廠牌]
 - (3) 懸臂式離心機 [ECO TOMY AX-311, 114 實驗室]
 - (4) 懸臂式離心機 [Eppendorf 5810R, 114A 實驗室]
 - (5) Vortex [Corning, LSE6775]
 - (6) 微量吸注器與吸注管 [Eppendorf/pipetman]
 - (7) 螢光顯微鏡
 - (8) 4°C 冰箱 [phcbi]
 - 4.3 藥品配置
 - 4.3.1 RBC Lysis Buffer (aq) :
取 10 mL 10X RBC Lysis Buffer 加入 90 mL DI water，混合均勻。
 - 4.3.2 0.2% Triton X-100-4% paraformaldehyde 混合溶液：
取 20 μ L Triton X-100 溶液加入 10 mL 4% paraformaldehyde 溶液中混合均勻。
 - 4.3.3 1% BSA in PBS :
取 0.15 g BSA，加入 15 mL PBS 中混合均勻。
 - 4.3.4 1 抗(aq)(1:400) :
取 1 抗原液 10 μ L，加入 4 mL 之 1% BSA in PBS 溶液(4.3.3 所配置溶液)中，混合均勻，置於冰浴。
 - 4.3.5 2 抗(aq)(1:200) :
取 2 抗原液 20 μ L，加入 4 mL 之 1% BSA in PBS 溶液(4.3.3 所配置溶液)中，混合均勻【配置 2 抗時，須全程避光】。
- [註：4.3.1-4.3.5 試劑皆為新鮮配製後使用]
- 4.3.6 4% paraformaldehyde :
 - (1) 在抽氣櫃中，將 80 mL 的 1X PBS 加入玻璃燒杯，邊攪拌邊加熱至約 60°C，注意，不能讓溶液沸騰。
 - (2) 往熱 PBS 溶液中加入 4g 三聚甲醛粉末。
 - (3) 三聚甲醛粉末可能不會立即溶解，可通過滴入 1N NaOH 攪拌逐步提高 pH 值，直至多聚甲醛粉末完全溶解。
 - (4) 待溶液冷卻，用 PBS 調節溶液體積至 100 mL。
 - (5) 用 1 N HCl 調整 pH 值至 6.9 左右。

5. 實驗步驟：

5.1 全血細胞培養

- (1) 血液樣本分裝至採血管中，每管裝入 4 mL 血液。
- (2) 血樣至保物組進行照射。
- (3) 照射後血樣檢體置於二氧化碳培養箱 (37°C、5% CO₂) 培養 30 分鐘。
- (4) 於二氧化碳培養箱取出血樣後，進行血液分離單核球(淋巴球)作業。

5.2 血液分離單核球(淋巴球)方法

- (1) 將血液樣本置換到 15 mL 離心管中，使用 114A 實驗室離心機 (Eppendorf, 5810R)，以 1300 rcf 轉速於室溫離心 10 分鐘。
- (2) 準備 2 組 50 mL 離心管，分別標註 A、B 組。

圖 30：血液淋巴球中 γ -H2AX foci 免疫螢光顯微鏡樣品玻片製作及影像掃描程序書

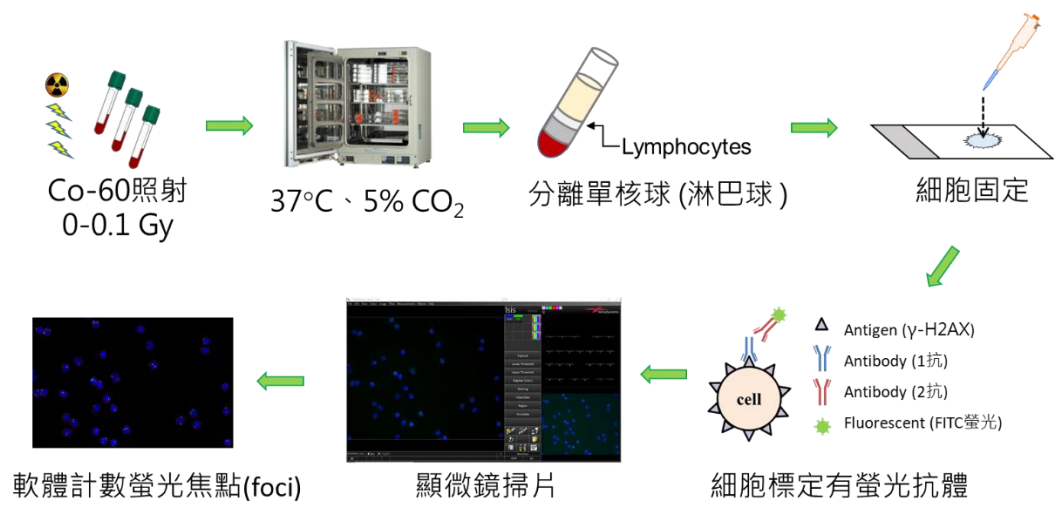


圖 31： γ -H2AX 低劑量試驗流程

伍、結論與建議

- 一、 年度規劃之工作項目及查核點，皆已如期達成。
- 二、 各子項計畫詳細的結論與建議分述如下：

(一)建立國際同步之輻射防護規範研究

本階段已如期完成 4 組臺灣懷孕婦女體素假體(0 個月、3 個月、6 個月、9 個月)，其中包含腹部假體與侖道假體之電腦斷層掃描及影像前處理，以及將假體影像轉置到 MCNP 軟體中等相關程序，並完成 MCNP 初步運跑測試，下半年度將使用臺灣懷孕婦女體素假體進行 MCNP 蒙地卡羅模擬，並以整體子宮劑量代表胎兒劑量，計算出胎兒劑量轉換係數，使用該結果與國際通用的 ORNL 懷孕婦女數學假體及 ICPR74 號報告進行比較性研究。

完成「眼球水晶體劑量監測訪查計畫之技術服務勞務案」之購案，完成 14 家醫療院所(33 科室)、3 家非破壞性檢測公司及核電廠，共 244 位參加者。自 4 月起陸續提供眼球水晶體劑量計進行眼球水體劑量監測評估，其監測期程為連續 4 個月。

(二)強化國內輻射檢校量測技術能力研究

年度規劃之工作項目及查核點，皆已如期達成。研究成果包含：

- (1) 完成「第一次肢端劑量計能力試驗」，參與測試之實驗室合格率達 100%，皆通過加馬、X 光與貝他等測試類別的劑量測試，此技術能力測試為我國從無至有的里程碑。
- (2) 於 5 月 26 日舉辦「2022 年第一次肢端劑量計能力試驗總結說明討論會議」與「2022 年第十二次人員劑量計能力試驗執行前與眼球水晶體劑量計比對試驗討論會議」全國性線上技術會議。
- (3) 於 035 館中能 X 光系統，完成透視攝影劑量校正用 RQC 系列射質建立，其半值層與 IEC 61267 規範之差異小於 5%。
- (4) 完成 Sr-90 貝他之 0.07 mm 處組織吸收劑量率再評估，以及 3 mm 處的等效劑量率之校正標準建立，以提供國內眼球水晶體劑量國際等同之校正追溯。
- (5) 於 035 館中能 X 光系統，完成眼球水晶體劑量校正用 ISO

寬能譜系列射質建立，其半值層與 ISO 4037 規範之差異小於 5%。

於國內技術環境接軌國際研究上，國內已於前期引進了 ANSI/HPS N13.11:2009(R2015)人員劑量計能力試驗技術規範，與 ANSI/HPS N13.32:2018 肢端劑量計能力試驗技術規範，建立國內實驗室劑量校正追溯與比對機制。本期更進一步地規劃醫療曝露透視攝影、眼球水晶體劑量貝他與 X 射線 ISO 寬能譜之三項劑量校正系統之建立；並持續國內技術現況分析研究，運用 TAF 校正領域與測試領域能力試驗進行研究，以評估全國實驗室校正與測試品質，並透過交流提升技術能力，維持良好追溯性，保障民眾與工作人員之輻射安全。

(三)精進染色體變異分析技術與評估研究

年度規劃之查核點皆如期完成，並參加第 36 屆生物醫學聯合學術年會，展現歷年研究成果。

完成建立北部備援實驗室，輔導台北醫學大學建立實驗室程序，並通過 IRB 審查取得人體試驗計畫同意，合法使用人體血液進行研究。同時培訓其染色體雙中節背景值分析技術，培植專業人力。完成 111 年度本土國人背景值染色體雙中節分析，符合國際正常背景值平均值範圍。

完成人員生物劑量實驗室 ISO/IEC 17025 三年延展認證評鑑，取得新證書，將持續精進實驗室品質，確保分析作業與結果產出之品質標準。

完成建立 γ -H2AX 低劑量分析方法，下年度擬依此方法進一步研製低劑量 γ -H2AX 檢量線，藉以建立低劑量暴露者之劑量評估基準。

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。

陸、參考文獻

1. 行政院原子能委員會。「接軌國際輻防技術規範與精進量測技術能力」計畫 110 年度期末報告。2021。
2. IAEA, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, 2014.
3. ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, 1990.
4. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, 2007.
5. ICRP, ICRP PUBLICATION 118: ICRP Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context, in Annals of the ICRP. 2012. p. 11, 116-139, 293-302.
6. ICRP, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication, ICRP Publication 119, 2012.
7. Brent R, Mettler F, Wagner L, Streffer BM, He S, Kusama T. ICRP publication 84: pregnancy and medical radiation. ICRP. 2001;30:1.
8. Gualdrini G, Ferrari P. Handbook of anatomical models for radiation dosimetry. Oxford University Press; 2011.
9. Blakely WF, Carr Z, Chu MC-M, Dayal-Drager R, Fujimoto K, Hopmeir M, et al. WHO 1st consultation on the development of a global biodosimetry laboratories network for radiation emergencies (BioDoseNet). Radiation research. 2009;171(1):127-39.
10. Hsieh W-S, Wu H-C, Jeng S-F, Liao H-F, Su Y-N, Lin S-J, et al. Nationwide singleton birth weight percentiles by gestational age in Taiwan, 1998-2002. Acta Paediatrica Taiwanica. 2006;47(1):25-33.
11. ANSI & HPS, “American National Standard for Performance testing of extremity dosimeters,” ANSI/HPS N13.32, 2018.
12. ANSI & HPS, “American National Standard for Personnel Dosimetry

- Performance - Criteria for Testing,” ANSI N13.11, 2009(R2015). Includes all amendments and changes through Reaffirmation Notice , March 12, 2015.
13. 財團法人全國認證基金會(TAF), 「能力試驗活動要求 TAF-CNLA-R05(7)」, 2018。
 14. 財團法人全國認證基金會(TAF), 「ISO/IEC 17025:2017 測試與校正實驗室能力一般要求」, 2018。
 15. 財團法人全國認證基金會(TAF), 「校正領域量測不確定度評估指引 TAF-CNLA-G16(1)」, 2008。
 16. 財團法人全國認證基金會(TAF), 「校正領域輻射偵測儀器校正技術規範 TAF-CNLA-T06(2)」, 2009。
 17. 財團法人全國認證基金會(TAF), 「測試領域人員體外劑量評估技術規範 TAF-CNLA-T08(4)」, 2019。
 18. ISO, X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy - Part 1: Radiation characteristics and production methods, ISO 4037-1, Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2019.
 19. ISO, X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate Meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy - Part 2: Dosimetry for radiation protection over the energy ranges from 8 keV to 1,3 MeV and 4 MeV to 9 MeV, ISO 4037-2, Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2019.
 20. ISO, X and Gamma Reference Radiation for Calibrating Dosimeters and Doserate meters and for Determining Their Response as a Function of Photon Energy - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence, ISO 4037-3. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2019.
 21. ISO, Nuclear Energy — Reference Beta Particle Radiations — Part 1:

- Methods of Production, ISO 6980-1, Geneva Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2006.
22. ISO, Reference beta particle radiation —Part 3: Calibration of area and personal response as a function of energy and angle of incidence. ISO 6980-3, Geneva Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2006.
 23. ISO, Reference neutron radiations —Part 1: Characteristics and methods of production, ISO 8529-12001/Cor 1:2008, Geneva Switzerland: International Organization for Standardization (ISO), 2008.
 24. IEC I. ISO/IEC 17025: 2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. International Organization for Standardization and International Electrotechnical Commission. 2017.
 25. Kataoka Y, Bindokas VP, Duggan RC, Murley JS, Grdina DJ. Flow cytometric analysis of phosphorylated histone H2AX following exposure to ionizing radiation in human microvascular endothelial cells. *Journal of radiation research*. 2006;0609010004-.
 26. Kulka U, Ainsbury L, Atkinson M, Barquinero J-F, Barrios L, Beinke C, et al. Realising the European network of biodosimetry (RENEB). *Radiation protection dosimetry*. 2012;151(4):621-5.
 27. Kuok C-H, Huang C-H, Tsai P-S, Ko Y-P, Lee W-S, Hsu Y-W, et al. Preoperative measurement of maternal abdominal circumference relates the initial sensory block level of spinal anesthesia for cesarean section: an observational study. *Taiwanese Journal of Obstetrics and Gynecology*. 2016;55(6):810-4.
 28. Osei E, Faulkner K. Fetal position and size data for dose estimation. *The British journal of radiology*. 1999;72(856):363-70.
 29. Paulbeck C, Griffin K, Lee C, Cullings H, Egbert SD, Funamoto S, et al. Dosimetric impact of a new computational voxel phantom series for the Japanese atomic bomb survivors: pregnant females. *Radiation Research*.

2019;192(5):538-61.

30. Redon CE, Dickey JS, Bonner WM, Sedelnikova OA. γ -H2AX as a biomarker of DNA damage induced by ionizing radiation in human peripheral blood lymphocytes and artificial skin. *Advances in Space Research*. 2009;43(8):1171-8.
31. Roch-Lefèvre S, Mandina T, Voisin P, Gaëtan G, Mesa JEG, Valente M, et al. Quantification of γ -H2AX foci in human lymphocytes: A method for biological dosimetry after ionizing radiation exposure. *Radiation research*. 2010;174(2):185-94.
32. Standardization ISO. Radiation protection—Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics. Geneva: ISO. 2004;19238:2014.
33. Stewart F, Akleyev A, Hauer-Jensen M, Hendry J, Kleiman N, Macvittie T, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs—threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Annals of the ICRP*. 2012;41(1-2):1-322.
34. Tanaka S-I. Summary of the JCO criticality accident in Tokai-mura and a dose assessment. *Journal of Radiation Research*. 2001;42(Suppl):S1-S9.
35. Osei EK, Kotre CJ. Equivalent dose to the fetus from occupational exposure of pregnant staff in diagnostic radiology. *Br J Radiol*. 2001;74(883):629-37.

附件 期末訪查技術性查核問題與回復(Q&A)

行政院原子能委員會 111 年度科技計畫 期末報告書面審查意見回復表(Q&A)

	問題	回復
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

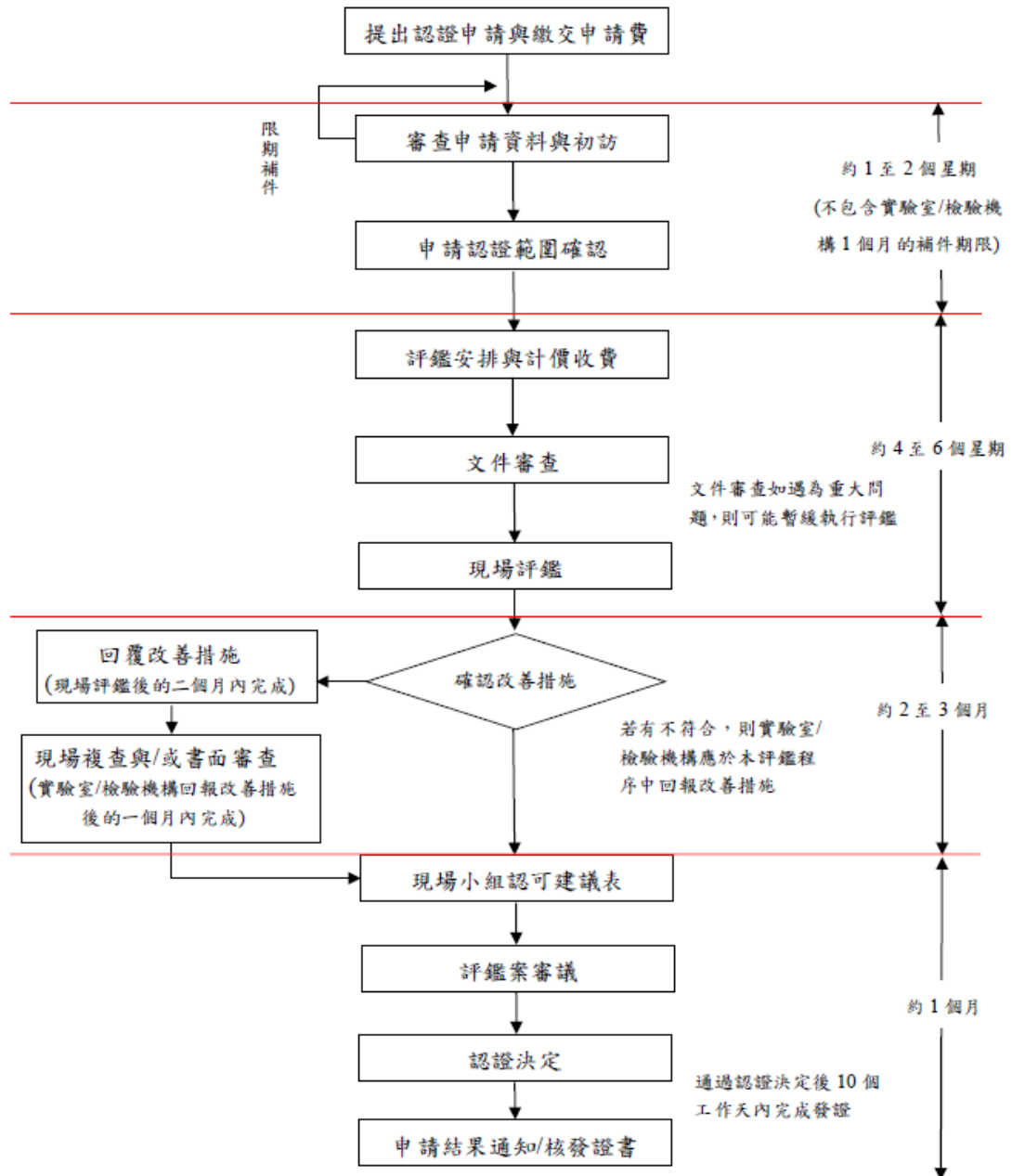
11		
12		
13		
14		
15		

註：本處委託核研所之計畫名稱及本處承辦人如下：

- | | |
|---------------------|-----------------|
| 1. 建立國際同步之輻射防護規範研究 | (王雅玲技正，分機 2191) |
| | (黃茹絹技士，分機 2194) |
| 2. 強化國內輻射檢校量測技術能力研究 | (林駿丞技士，分機 2206) |
| 3. 精進染色體變異分析技術與評估研究 | (林駿丞技士，分機 2206) |

4.附件：實驗室與檢驗機構認證服務手冊 TAF-CNLA-A01(18)內文資料

22.認證流程(初次、延展與增列)



註: 本流程右列概估的時間係參考過去多數評鑑認證案所花費的時間。