

核能安全委員會

委託研究計畫期末研究報告

## 114 年度強化我國輻射防護管制規範與檢校度量

### 技術研究

**Research on Enhancing National Radiation Protection Calibration and Measurement  
Techniques**

計畫編號：

受委託機關(構)：國家原子能科技研究院

計畫主持人：袁○程

聯絡電話：(03)4711400 ext 7600

共同主持人：廖○蘭

承辦人：廖○蘭、吳○庭

報告日期：114 年 11 月 30 日

## 目錄

壹、計畫摘要.....	3
(一) 中文摘要.....	3
(二) 英文摘要.....	5
貳、計畫目的.....	7
參、執行方法及進行步驟.....	8
(一) 採用之方法與原因.....	8
子項計畫(一) 精進國內輻射防護規範及試辦研究.....	8
子項計畫(二) 厚實全國輻射檢校實驗室能力研究.....	9
子項計畫(三) 優化國人生物劑量分析技術與評估研究：.....	10
肆、執行進度.....	12
(一) 精進國內輻射防護規範及試辦研究.....	12
(二) 厚實全國輻射檢校實驗室能力研究.....	47
(三) 優化國人生物劑量分析技術與評估研究.....	56
陸、結論與建議.....	61
柒、參考文獻.....	64

## 壹、計畫摘要

### (一) 中文摘要

「114-115 年度強化我國輻射防護管制規範與檢校度量技術研究」計畫，目的為同步國際輻射防護概念，精進國內相關法規與技術實務，確保國內輻射安全管理與國際標準接軌，提升整體輻射防護能力。本計畫共分為三個子項計畫：

- 一、精進國內輻射防護規範及試辦研究：依據國際最新輻射防護理念與研究成果，於 114 年研提人員劑量計監測評估導則草案，針對人員劑量計、眼球水晶體劑量計、肢端劑量計與懷孕女性輻射工作人員，提供明確且具體的劑量監測流程及說明。此外，將辦理眼球水晶體劑量監測溝通說明會，以強化輻射安全管理。115 年針對醫用輻射工作人員研提輻射工作人員劑量抑低指引與建議草案，並針對游離輻射防護安全標準本文條文研提修正草案，提交游離輻射防護安全標準本文修訂草案一份，一併提供有關其附表之修訂建議。
  
- 二、厚實全國輻射檢校實驗室能力研究：114 年完成我國首次眼球水晶體劑量計能力試驗，辦理人員劑量計及肢端劑量計之能力試驗執行前說明研討會議。115 年完成人員劑量計及肢端劑量計之能力試驗總結說明研討會議，並辦理輻射偵檢儀器校正能力試驗說明研討會議，確保我國輻射檢校實驗室品質，落實劑量校正追溯性與準確性傳遞鏈，確保我國輻射工作人員劑量監測之品質。

三、優化國人生物劑量分析技術與評估研究：計畫於 114 至 115 年持續強化國家級輻射生物劑量實驗室的分析技術能力，滾動式修正我國標準反應曲線，為提升國人輻射劑量的評估準確性與分析效率，114 年會持續精進人工智慧影像分析技術輔助染色體影像判讀，提升非重疊染色體影像之分析準確性。115 年持續針對重疊之染色體影像分析技術進行開發，期能藉由更有效率之精準分析技術，提升輻射事故中人員曝露劑量之精確判定及健康管理依據，全面保障國民健康安全。

## (二) 英文摘要

### **Research on Enhancing National Radiation Protection Regulatory Standards and Calibration Measurement Techniques for Years 114-115**

The purpose of this project is to align with international radiation protection concepts, refine domestic regulations and technical practices, ensure that domestic radiation safety controls meet international standards, and enhance overall radiation protection capabilities. This project is structured into three sub-projects:

**1. Refinement of Domestic Radiation Protection Regulations and Pilot Studies:** Based on the latest international radiation protection concepts and research results, a draft guideline for personnel dosimetry monitoring and assessment will be developed in Year 114. This guideline will provide clear and specific monitoring procedures for personnel dosimeters, eye lens dosimeters, extremity dosimeters, and pregnant radiation workers. Additionally, communication sessions regarding eye lens dose monitoring will be conducted to strengthen radiation safety management. In Year 115, draft guidelines and recommendations for dose reduction specifically for medical radiation workers will be proposed. Furthermore, a draft amendment to the *Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation* will be submitted, along with recommendations for revisions to its appendices.

**2. Strengthening National Radiation Calibration Laboratory Capabilities:** In Year 114, Taiwan's first proficiency test for eye lens dosimeters will be completed, and pre-implementation briefing workshops for personnel and extremity dosimeter proficiency tests will be organized. Year 115 will feature summary workshops on the proficiency tests for personnel and extremity dosimeters, as well as a briefing workshop for the radiation detection instrument calibration proficiency test. These initiatives aim to ensure the quality of domestic radiation calibration laboratories, enforce the traceability and accuracy transmission chain of dose calibration, and safeguard the quality of dose monitoring for radiation workers in Taiwan.

**3. Optimization of National Biological Dosimetry Analysis Techniques and Evaluation:** From Years 114 to 115, the project will continuously strengthen the analytical capabilities of the national biological dosimetry laboratory and conduct rolling revisions of the national standard dose-response curves. To improve the accuracy and efficiency of radiation dose assessment, Year 114 will focus on refining AI-assisted chromosome image analysis techniques to enhance the interpretation accuracy of non-overlapping chromosome images. Year 115 will continue the development of analysis techniques for overlapping chromosome images. Through more efficient and precise analysis technologies, this project aims to improve the determination of personnel exposure doses during radiation accidents and provide a robust basis for health management, thereby comprehensively safeguarding public health and safety.

## 貳、計畫目的

本計畫根據「110-113年國家科學技術發展計畫」與「111-114年核安會原子能科技民生應用策略藍圖」之政策目標，由國原院持續推動國內輻射防護基礎建置，精進原子能檢校技術並同步國際規範，以支撐輻射安全法規與技術的持續發展，強化輻射偵測與生物劑量評估技術，以確保國家輻防體系之技術能量與全民輻射安全。本計畫為同步國際最新的輻射防護觀念，提供國內法規制定與管理業務的科技依據，透過能力試驗研究確保國內輻射檢校實驗室之品質，並優化輻射生物劑量分析技術，以提升輻射事故應變能力與民眾健康保障。隨著游離輻射技術在民生與醫療領域快速發展，國際輻射安全規範也不斷更新。特別是福島核災後，民眾對輻射安全日益重視，因此精進國內輻射防護規範、強化劑量評估及偵測能力刻不容緩。尤其是眼球水晶體劑量限度的國際標準調降[1-2]、懷孕女性輻射工作人員之特殊防護需求及輻射事故後的生物劑量重建與評估，均需積極研究並因應。國際間已有針對ICRP第103號報告[1]與IAEA GSR Part III [3]等標準修訂法規的先例，各國亦逐步落實新規範。本計畫則以此為依據，於國內推動眼球水晶體與肢端劑量監測制度，提供懷孕女性輻射工作人員等關鍵群體之評估導則，強化能力試驗以維持國內輻射檢校實驗室水準。此外，透過染色體雙中節與 $\gamma$ -H2AX生物劑量分析技術之優化及智慧型影像分析技術之導入，逐步解決技術人力不足與效率問題，建立更具國際競爭力的輻射生物劑量評估能量。

## 參、執行方法及進行步驟

### 一、採用之方法與原因

#### 子項計畫 (一) 精進國內輻射防護規範及試辦研究

##### 1. 研擬輻射工作人員劑量監測與管理導則草案

本工作項目進行國際文獻與法規調查，蒐集最新眼球水晶體、肢端及懷孕女性輻射工作人員劑量監測之國際標準與實務作法，依據國內醫療輻射作業情境，研擬適合國內需求之人員劑量監測導則草案。草案初稿完成後，將邀集相關領域之專家學者舉辦專家審查會議，透過會議討論、專家意見交流及共識凝聚，進一步修正並完成最終版本之劑量監測導則，確保導則具實務可行性，並能有效提升國內輻射防護管理之品質與效能。

##### 2. 召開眼球水晶體劑量監測溝通說明會至少 4 場次

依據專家審查會議完成之眼球水晶體劑量計監測導則草案審查結果，辦理北、中、南及東部共四場全國眼球水晶體劑量監測宣導說明會，邀請眼球水晶體曝露之關鍵群體，如介入性診療工作人員，就眼球水晶體劑量限度更新及劑量監測導則草案進行說明，並進行討論與意見交流，期能有效提升關鍵群體工作人員更了解眼球水晶體劑量監測之重要性。

##### 3. 針對游離輻射防護安全標準，研析國際有關劑量評估所需參數之最新發展現況及建議

據此，針對目前國際規範如 IAEA、ICRP、NCRP 等相關已發行之最新報告進行研析[1-3]，以及其他國家游離輻射防護法規施行之現況資料整理，並與我國施行之現況進行探討與比較，評估各國施行之細節差異。

## 子項計畫 (二) 厚實全國輻射檢校實驗室能力研究

配合全國認證基金會 (TAF) 實驗室認證期程，本計畫針對我國首次眼球水晶體劑量計能力試驗成果辦理總結會議、並啟動第二次肢端劑量計能力試驗與第十三次人員劑量計能力試驗。

### 1. 完成我國首次眼球水晶體劑量計能力試驗

眼球水晶體劑量計能力試驗，是主管機關 (核能安全委員會) 運用全國認證基金會 (TAF) 於實驗室認證的比對試驗時程，進行的全國性研究。此研究為首次正式執行，適逢 TAF 近期進行技術規範調整[4-6]，相關人員劑量計能力試驗之執行，須依主辦實驗室每次的執行計畫書內容實施，國內不再有統一規範可供參考，因此本次能力試驗，將依據國原院第一次眼球水晶體劑量計能力試驗計畫書執行，此計畫參考 ANSI/HPS N13.32-2018、ISO14146 國際標準、以及 TAF-CNLA-R05 能力試驗活動要求等相關規範[7-10]，執行光子、X 光與貝他粒子輻射場維持或確證、規劃運轉、參與實驗室之校正，以及研究能力評估程序和方法。

### 2. 辦理人員劑量計能力試驗之前期作業

依據 TAF 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，本工作項目為舉辦第 13 次人員劑量計能力試驗，本計畫依據人員劑量計能力試驗進行輻射場維護與調校作業、規劃執执行程序、建立參與實驗室名冊及辦理說明會，因應本年度 TAF 調整能力試驗規範，實驗室將公告人員劑量計能力試驗執行計畫書。

### **3. 辦理肢端劑量計能力試驗之前期作業**

依據 TAF 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，本工作項目為舉辦第 2 次肢端劑量計能力試驗，本計畫依據肢端劑量計能力試驗進行輻射場維護與調校作業、規劃執执行程序、建立參與實驗室名冊及辦理說明會，因應本年度 TAF 更新能力試驗規範，實驗室將公告肢端劑量計能力試驗執行計畫書。

### **子項計畫 (三) 優化國人生物劑量分析技術與評估研究：**

#### **1. 執行國人染色體背景值分析至少 3 例**

在國際標準組織 ( ISO ) ISO 19238:2014 國際輻射研究指出[11]，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。我國人員生物劑量實驗室已完成 40 例正常國人背景染色體雙中節分析，一共分析 40,810 顆細胞，發現 29 個雙中節 ( dicentric ) 於 29 顆細胞中，目前資料庫國人背景雙中節發生率為 0.71‰，即是 1000 顆細胞中有 0.71 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。本年度將持續針對國人背景值進行研究分析工作，

生物劑量實驗室將與北部備援實驗室合作，申請臨床試驗許可，取得 3 例國人採樣數據，完成背景染色體雙中節分析，以持續擴增代表國人之人員生物劑量背景值資料庫。

## **2. 通過 TAF 實驗室認證展延**

在國人生物劑量分析技術與評估研究方面，目前世界上公認的黃金標準是以染色體雙中節分析法來評估人員所曝露的輻射劑量，為配合 TAF 實驗室認證期程，本年度將完成實驗室認證展延之相關審查，並完成實驗室人員培訓，以符合 TAF 認證之規範[5, 10-13]。

## **3. 訓練人工智慧分析染色體雙中節技術建立染色體影像不重疊情況下之染色體數目辨識能力**

實驗室將具有國際比對能力的染色體雙中節分析技術列為重點技術，是本實驗室的技術主軸，惟其耗時、費人力之限制，對於大型急性曝露的即時處理較無法滿足，因此藉由發展判讀方便、快速、高正確性的雙中節生物劑量計相對重要。因此藉由發展電腦智慧型影像分析技術，可讓電腦來進行輔助判斷，期望減少肉眼分析時間，本年度將針對染色體影像不重疊之情況進行人工智慧分析技術之研發，利用電腦智慧型影像輔助分析進行自動影像分析，希冀快速且正確判別影像正確性，以精進生物劑量實驗室之分析能力。

## 肆、執行成果

### 一、精進國內輻射防護規範及試辦研究

#### 1. 研擬輻射工作人員劑量監測與管理導則草案

依據 IAEA、ICRP 相關規範與報告，擬定輻射工作人員劑量監測與管理導則草案初稿架構，包含人員劑量計、肢端劑量計、眼球水晶體劑量計，以及懷孕女性工作人員之劑量監測建議。撰寫導則草案章節包含：總則、人員體外劑量監測作業、輻射工作人員之認定適用對象及劑量評估流程、監測方式與實施程序、紀錄管理與保存及附件。

本計畫提交輻射工作人員劑量監測與管理導則草案初稿，與核安會進行討論審查會議後，依據審查建議進行修訂，完成輻射工作人員劑量監測與管理導則草案初稿修訂版，於 114 年 9 月 25 日辦理輻射工作人員劑量監測與管理導則草案初稿專家審查會議。審查會議中針對名詞定義、監測原則與關鍵群體評估，由委員提供建議，依據審查會議之建議完成輻射工作人員劑量監測與管理導則草案初稿修訂 1 版，納入眼球水晶體劑量管制宣導說明會中，由國原院廖英蘭副研究員與張皓婷助理研究員擔任講師，負責說明眼球水晶體劑量監測原則（圖 1）。第四季完成懷孕女性工作人員劑量監測章節，納入輻射工作人員劑量監測與管理導則草案。



圖 1、眼球水晶體劑量管制宣導說明會場次二簡報大綱，第三部分介紹眼球水晶體劑量監測原則

## 2. 召開眼球水晶體劑量監測溝通說明會至少 4 場次

由核安會指導、國原院主辦、游離輻射防護協會協辦之眼球水晶體劑量管制宣導說明會，九月底由核安會發文邀請各級醫療院所相關科別及輻射作業相關人員出席參與，以提升說明會議的全面參與性與有效性。說明會已於 10 月 31 日(臺北場，圖 2-圖 3)、

11月3日(臺中場·圖4)、11月6日(花蓮場·圖5)及11月11日(高雄場·圖6)完成。



圖 2、10月31日台北場宣導會後合影



圖 3、10月31日台北場宣導現場提問討論情形

本次議程(圖 7)內容包含三項主題：(1) 眼球水晶體劑量管制規劃，由核安會派員擔任講師，說明輻防管制發展規劃與時程；(2) 眼球水晶體之輻射防護與劑量監測，由國原院廖英蘭博士及張皓婷博士(花蓮場)擔任講師；(3) 問題與討論，由報名階段事先收集之問題，以及現場提問，針對眼球水晶體劑量監測與管理相關問題進行討論。

來自關鍵群體各醫院代表提問問題，主要對於介入性診療(如心導管、血管攝影)環境中，醫師、護理師及放射師等人員，以及非介入性診療的輻射工作人員，例如核子醫學科、放射治療部門、核能電廠等，是否都具有面臨高輻射曝露之風險，也對於輻射防護之執行與評估原則等面向，於會議前的報名表中提出詢問，這些問題均在會議中完整說明。對於雇主的管理責任與因應措施、未來修法後之劑量監測執行細節、以及眼球水晶體劑量監測所需資源等，與會者的現場提問也都在說明會的第三個主題時段進行充分的討論與經驗交流分享。



圖 4、11 月 3 日台中場宣導會現場提問討論情形



圖 5、11 月 6 日花蓮場宣導會主題二演講情形



圖 6、11 月 11 日高雄場宣導會提問討論

# 眼球水晶體劑量管制 宣導說明會

- 眼球水晶體劑量管制規劃
- 眼球水晶體之輻射防護與劑量監測

**場次**

**台北** 10/31 (FRI) 13:30-16:30  
集思北科大會議中心

**台中** 11/03 (MON) 09:00-12:00  
集思新烏日會議中心

**花蓮** 11/06 (THU) 09:00-12:00  
F Hotel 站前館

**高雄** 11/11 (TUE) 13:30-16:30  
高雄市立美術館



**講員**

- 核能安全委員會
- 國家原子能科技研究院  
輻射防護研究所

廖英蘭 博士  
張皓婷 博士




輻防教育3小時

指導單位 / 核能安全委員會

主辦單位 / 國家原子能科技研究院

承辦單位 / 財團法人中華民國輻射防護協會

圖 7、宣導說明會海報

### 3. 針對游離輻射防護安全標準，研析國際有關劑量評估所需參數之最新發展現況及建議

本工作項目由 6 名成員組成工作小組，每個月召開研究進度會議，目標為針對國際最新游離輻射防護規範進行研析並邀請輻防協會張似璫教授擔任指導顧問。會議中討論 2014 年 IAEA GSR Part 3 報告，附件 Schaedule III 針對計畫曝露之

劑量限度與我國現行游離輻射防護安全標準附表，游離輻射安全標準(附表)和 IAEA GSR Part III Schedule III 皆涵蓋計畫曝露的劑量限度，並明確針對個人有效劑量給予明確定義與劑量轉換因數。工作小組選定歐盟、法國、英國、加拿大、新加坡與日本等國家之游離輻射防護法規施行現況，與我國游離輻射防護安全標準進行比對與分析。

工作小組針對前一版游離輻射防護安全標準修正草案版本進行研讀，與核安會討論後，確認游離輻射防護安全標準修訂方向，並整理國際最新規範之相關附表其採行的版本進行研析比對。

## 歐盟法規體系介紹

歐盟在放射防護領域的法制發展，源自 1957 年「歐洲原子能共同體條約 ( Treaty establishing the European Atomic Energy Community ) 」 [15-19]，該條約授予歐盟對成員國境內涉及游離輻射防護事項的立法權。早期，歐盟的放射防護規範採「分散式指令」模式，不同領域各以獨立法案管理，包括：

- 89/618/Euratom ( 公眾教育與緊急應變資訊 ) [15]
- 90/641/Euratom ( 外部承攬工作人員防護 ) [16]
- 96/29/Euratom ( 基本安全標準，採用 ICRP 60 建議 ) [17]
- 97/43/Euratom ( 醫療曝露管理 ) [18]
- 2003/122/Euratom ( 高活度密封放射源管理 ) [19]

隨著放射性物質的應用不斷擴大、醫療影像技術快速發展，以及氫氣曝露與建

材放射性等自然輻射議題日益受到關注，歐盟早期多部輻射防護指令之間出現內容重疊與規範落差逐漸凸顯。為整合並更新整體防護體系，歐盟於 2013 年 12 月 5 日通過「2013/59/EURATOM 號理事會指令」[19]，並於 2014 年 1 月 17 日刊登於「官方公報 L13」。此指令整併早期五項既有指令，形成一套全面性與統一性的輻射防護基本安全標準 ( Basic Safety Standards, BSS )，並要求所有會員國於 2018 年 2 月 6 日前完成轉置為國內法。2013/59/EURATOM [19] 被視為歐盟新版 BSS，其全名為：laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation ( 訂定防範游離輻射曝露危害之基本安全標準 )，為歐盟輻射防護制度的重要里程碑。

此新指令引入 ICRP Publication 103 ( 2007 ) 的最新防護理念與 IAEA GSR Part 3 ( 2014 ) 的技術架構，將「正當化、最佳化、劑量限度」三大核心原則全面法制化，指令亦將「既有曝露情境」與「緊急曝露情境」納入統一的防護體系中，建構自事故發生、應變、到災後復原與長期管理的完整法律架構，使成員國能夠更系統性地規劃事故後的環境監測、居民防護與復建措施。該指令同時擴大管制範疇，首次將氫氣、放射性建材、含天然放射性核種材料(NORM 材料)等納入規範，並強化緊急應變管理、醫療曝露品質保證及相關規範。整體內容構成目前國際上最完整且具法律效力的輻射防護基準之一，對於尚未全面採納 ICRP Publication 103 最新理念的國家而言，具有重要的參考價值。

2013/59/EURATOM 重要更新項目[19]：

- 採納國際最新防護理念：全面導入 ICRP Publication 103 的三大防護原則（正當化、最佳化、劑量限度）。
- 與 IAEA GSR Part 3 一致化：內容與 2014 年新版國際基本安全標準接軌，確保全球規範的一致性。
- 建立三大曝露情境：將計畫曝露、緊急曝露與既有曝露納入同一體系，完善事故應變、災後恢復與長期防護機制。
- 將天然放射源納入管制：包括氡氣、建材放射性及 NORM 材料。
- 更新劑量限度：包含眼球水晶體、懷孕女性工作人員與胎兒劑量等。
- 強化醫療曝露管理：建立診斷參考水平、強化病人資訊告知、意外曝露通報、設備驗證與品質保證制度。
- 建立全國劑量資料庫：確保劑量紀錄具完整性、追溯性與透明度，強化監管與稽查能力。

#### 2013/59/EURATOM 更新劑量限度內容：

1. 輻射工作人員眼球水晶體劑量規範：
  - a. 單一年不得超過 20 mSv
  - b. 任意連續五年間總劑量不得超過 100 mSv，且單一年最高不得超過 50 mSv 的上限。
2. 懷孕與哺乳期女性輻射工作人員之防護規範：
  - a. 成員國須確保胎兒所受防護水準相當於一般公眾，當女性輻射工作人

員依法主動告知懷孕後，雇主須確保其工作條件合理抑低，其剩餘妊娠期間，胎兒所受劑量不太可能超過 1 mSv。

b. 一旦女性輻射工作人員通報正在哺乳，雇主須確保該工作人員不得從事有可能導致大量放射性核種攝入或體內污染的工作。

綜合比較，歐盟「2013/59/EURATOM」之附錄採取制度化與全面化的設計，不僅涵蓋輻射與組織加權因數，亦納入豁免與清潔標準、天然放射源 ( NORM、氡、建材 ) 之評估方法、國家劑量登錄資料庫格式、高活度密封源管理規範、緊急曝露資訊要求等多項內容，使各成員國可以遵循此規則立法。

### 法國法規體系介紹

法國的輻射防護法規主要目的是保護輻射工作人員、公眾和環境免受游離輻射的危害，受到歐盟基本安全標準指令 ( Basic Safety Standards Directive 2013/59/Euratom ) 的影響，法國輻射防護管制由三部法構成，說明如下：

1. 公共衛生法 ( Code de la santé publique )：以公眾健康為核心，確立輻射防護一般的原則與管制，內容包含正當性、最適化、劑量限度之三大輻射防護原則；公眾劑量限度；醫療曝露管理與安全；輻射源的行政管理。
2. 勞動法 ( Code du travail )：主要規範輻射工作人員的職業曝露防護；內容包括工作場所劃分、劑量限度、醫務監護、教育訓練、雇主責任以及輻射防護管理組織的設立等規定。

3. 環境法 ( Code de l'environnement ) : 涉及核設施和放射性物質的環境影響、廢棄物管理和運輸等方面的規定。

法國輻射防護的主要監管機構為法國核安全與輻射防護局 ( Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection, ASN ) , 在 2025 年 1 月 1 日 , 由原來的法國核安全局 ( ASN ) 和法國輻射防護與核安全研究院 ( IRSN ) 合併而成的新機構 , 其承接 ASN 的監管、決策與執法 , 以及 IRSN 的技術研究與獨立評估職能。

圖 8 為法國的輻防管制法規位階圖 , 最頂層為國際組織 ICRP、IAEA 的提出輻射防護的最高指導原則及建議 , 具有權威性 , 並非法律 , 而是作為各國制定法規的基礎。向下延伸至歐盟指令、法國議會的法案和政府的政令 , 這些中層級別均具有法律約束力 ; 最底層則是由法國核安全與輻射防護局 ( ASN ) 負責執行的具法律約束力的技術法規和許可決定 , 以及不具約束力的 ASN 指南和基本安全規則 , 確保核子活動在嚴格的法律框架下進行。

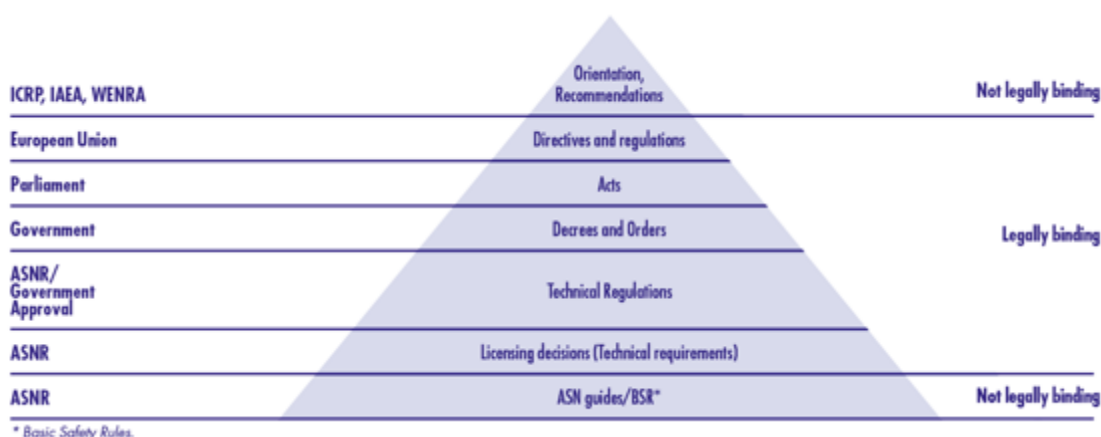


圖 8、法國的輻防管制法規位階圖

法國作為歐盟成員國 , 已依據歐盟基本安全標準指令 (BSS Directive

2013/59/Euratom) 的方式，確保法國輻射防護法規與國際標準接軌；其指令納入 ICRP 103 號報告的最新建議，包括將曝露情境劃分為計畫、緊急和既存曝露，並更新了相關的劑量限度，同時也將 IAEA GSR Part 3 (輻射防護與輻射源安全：國際基本安全標準) 的核心要求納入國家法規，從而建立了符合國際規範的職業、公眾和醫療輻射防護框架。

### 法國輻射工作人員眼球水晶體劑量規範

法國已根據歐盟指令 ( Directive 2013/59/Euratom ) 進行了法規修訂，並遵循國際放射防護委員會 ( ICRP ) 的最新建議，其規定於法國的勞動法，眼球水晶體的職業曝露劑量限度從 150 mSv/年，降至 20 mSv/年，法規施行日為 2023 年 7 月 1 日，另 2018 年 7 月 1 日至 2023 年 6 月 30 日為過渡條款，此期間規範為五年期間內累計不得超過 100 mSv，且任何單一年內不得超過 50 mSv。另，16-18 歲接受輻射作業教學或工作訓練者，眼球水晶體的劑量限度下修為 15 mSv/年，與一般公眾的眼球水晶體劑量限度相同，相較於 ICRP 103 號報告建議 20 mSv/年更為嚴格。

### 法國與我國游離輻射防安全標準附表差異

法國於 2023 年 11 月 16 日發布「計算人體曝露於游離輻射所產生有效劑量和等價劑量的方法」命令，並訂於 2024 年 1 月 1 日生效。其命令的是正式採納國際放射防護委員會最新科學建議，主要內容包括更新用於將吸收劑量轉換為等價劑量的「輻射加權因數 (  $W_R$  )」、「更新計算有效劑量的「組織加權因數 (  $W_T$  )」，以及更新「職業攝入放射性核種的劑量係數」。其中，輻射加權因數與組織加權因數參考 ICRP 103 號報告，職業攝入放射性核種的劑量係數參考 ICRP 134、137、

141、151 號報告，即「職業性放射性核種攝入量」(Occupational Intakes of Radionuclides, OIR) 系列報告。

法國正式將其輻射防護的劑量計算基礎從舊版 1990 年 ICRP 60 號告升級為國際最新 2007 年的 ICRP 103 號告；而我國現行的《游離輻射防護安全標準》附表，其仍主要依據 ICRP 60 號報告。

## 英國法規體系介紹

IRR2017 於 2018 年 1 月 1 日生效，它取代了 1999 年游離輻射條例 ( IRR99 )，並旨在執行歐盟理事會指令 2013/59/Euratom ( Basic Safety Standards Directive，簡稱 BSSD ) 的規定，IRR2017 的修訂主軸是提高安全性、簡化風險分級和全面採納國際最新科學標準。

### 一、 整體架構更新：符合國際規範的精神

相較於舊版 IRR99，IRR2017 引入了多項重大變革，以強化輻射防護標準，整體架構調整主要體現在輻射防護三大支柱的全面強化上，修訂後最根本的結構性改變是廢除了 IRR99 的「通知與事先授權」( notification and prior authorisation ) 制度，改為基於風險的三層次監管控制系統(表 1)。這三個層次分別是：通知 (Notification) ( 最低風險層級，規範 5 )、註冊 (Registration) ( 中等風險層級，規範 6 )，以及 同意 (Consent) ( 最高風險層級，規範 7 )。其中，「同意」適用於特定實務，例如涉及 高活度密封源 的活動或 工業射線照相術。此外，新法規針對某些放射性核素的 通知閾值要求比 IRR99 更低。

該法規框架的建立旨在確保對游離輻射工作的監管與其潛在的輻射防護風險成比例。

### 1. 風險分級與授權管理 ( Graded Approach to Authorisation )

- 更新精神：採用 ICRP 建議的分級管理 (Graded Approach) 原則，將法規管制要求依據輻射風險等級訂定，風險越高，管制越嚴格。具體調整：用三層次的授權系統取代了 IRR99 的「通報 (Notification)」與「事先授權 (Prior Authorisation)」。

表 1、英國法規分級與授權管理制度更新差異

舊制度 (IRR99)	新制度 (IRR2017)
通報 (Notification)	1. 通報 (Notification)：最低風險工作 (如低活度物質)。
事先授權 (Prior Authorisation)	2. 註冊 (Registration)：中等風險工作 (如大部分 X 射線機)。
-	3. 同意 (Consent)：最高風險工作 (如工業照相、線性加速器操作)。

### 2. 劑量學與健康保護的國際接軌

- 更新精神：採納 ICRP 103 號報告中最新的組織加權因數，以更真實地評估輻射風險。
- 具體調整：降低了對眼晶體的劑量限度 ( Dose Limit )，這是本次修訂中最受關注的變化，直接影響介入放射學、核醫學和工業部門的工作方式。

### 3. 專有名詞與範圍擴大

- 更新精神：擴大保護範圍，確保所有在輻射環境中工作的人員都能得到適當保護。
- 具體調整：「外部工作人員」(Outside Worker) 的定義被擴大，確保所有進入輻射指定區域（如承包商、清潔工）都能獲得與場所內員工同等水準的保護。

## 二、劑量限度 ( Dose Limits ) 的重大修訂

IRR2017 帶來了多項關鍵的劑量限度修訂(表 2)，其中最重大的是針對眼球水晶體的等價劑量限度。對於 18 歲及以上的員工和訓練生，眼球水晶體的等價劑量限度已從 IRR99 的每年不超過 150 mSv 大幅降低至每年不超過 20 mSv。在特殊情況下，若雇主能證明每年 20 mSv 的限制有其必要性，經主管機關批准後，可採用連續五年不超過 100 mSv 的限制，但單一曆年內不得超過 50 mSv。針對懷孕女性工作人員的保護，雇主在收到員工書面通知後，必須確保胎兒在懷孕剩餘期間的等價劑量在合理可行範圍內盡可能低(ALARP)，且不可超過 1 mSv。其他重大更新包括：擴大了外部工作人員(Outside Worker)的定義範圍，使其包含分類和非分類工作人員；要求雇主必須建立程序以估算公眾成員 ( members of the public ) 的劑量；以及規定雇主在輻射防護的規劃階段必須使用劑量約束 (Dose Constraint)來限制曝露。此外，IRR2017 將劑量紀錄的保留期限從 50 年縮短為從員工最後一天工作算起，不少於 30 年。

表 2、英國游離輻射條例修法前後比較

項目	IRR99 舊限制 (基於 ICRP Pub. 60)	IRR2017 新限制 (基於 ICRP Pub. 103)	備註

眼球水晶體 ( Lens of the eye )	150 mSv / 年	20 mSv / 年 (可平均於 5 年, 單年不得超過 50 mSv)	最關鍵變化。旨在防範非確定性效應 (Deterministic Effects) 中白內障的風險。
皮膚 ( Skin )	500 mSv / 年	500 mSv / 年	維持不變。
四肢 ( Extremities: hands, feet )	500 mSv / 年	500 mSv / 年	維持不變。
公眾成員 ( Public Member )	1 mSv / 年	1 mSv / 年	維持不變。

### 其他重要概念和行政變更

1. 如果僱主能向主管機關證明 20 mSv/ 年的限制對其員工來說是不切實際的, 主管機關可能會授權僱主採用以下限制: 五年平均限制 100 mSv ( 在任何連續五個日曆年內 ) , 即使採用五年平均制, 任何單一曆年內的等價劑量上限仍為 50 mSv , 此變動是為了應對國際輻射防護委員會 (ICRP) 對眼球水晶體組織輻射敏感度的新評估。
2. 懷孕女性工作人員劑量限度 (Dose Limits for Pregnant Workers) : IRR2017 第 9 條第 (6) 款針對懷孕員工制定了嚴格的保護措施:
  - 胎兒劑量限度: 僱主必須確保, 在收到員工書面懷孕通知後, 其曝露條件應當符合以下要求:
    1. 胎兒的等價劑量必須在合理可行範圍內盡可能低 (ALARP)。
    2. 在

懷孕的剩餘期間，胎兒的等價劑量不可超過  $1\text{ mSv}$ 。

- 哺乳期限制：懷孕員工的雇主必須確保，哺乳期員工不得從事任何涉及重大放射性核素攝入或身體污染風險的工作。
- 生效時機：雇主只有在員工以書面形式通知懷孕或哺乳情況後，才必須採取上述行動。此外，雇主有義務告知從事游離輻射工作的女性員工，關於輻射對胎兒和嬰兒的潛在風險，以及儘快發出書面通知的重要性。

3. 公眾劑量估算：雇主現在必須建立程序，估算公眾成員 (members of the public) 的劑量

4. 劑量紀錄保存期限：劑量紀錄的保留期從 50 年改為不少於 30 年 (從該員工最後一天工作算起)

5. 移除具生殖能力女性的劑量限度：IRR2017 移除了對「具生殖能力之女性 (woman of reproductive capacity)」腹部的附屬劑量限度

### 三、其他重要的實踐準則與法規更新

表 3、英國其他重要的實踐準則與法規更新

更新項目	內容簡述與英文全名	關鍵精神
風險分級控制	通報、註冊、同意 (Notification, Registration, Consent) 的三級授權系統。	將管制要求與風險等級精確匹配，簡化低風險作業的行政負擔。
外部工作人員	外部工作人員 (Outside Worker) 的定義擴大，包含所有被雇主控制，但在其場所內工作的人員。	確保劑量監測和訓練能涵蓋所有在輻射環境工作的人員。

氫氣作業	氫氣濃度行動水平 (Action Level) 維持在 300 Bq/m <sup>3</sup> ，但明確要求雇主須將其納入 IRR2017 的完整風險評估和管理體系。	將氫氣曝露(天然輻射源)的控制要求與職業曝露管理(人工輻射源)統一。
公眾劑量評估	引入「代表性個人」(Representative Person) 概念，取代舊的「關鍵群體」(Critical Group) 概念。	劑量評估需更貼近實際曝露模式和生活習慣，以利更準確地應用 ALARP 原則。
醫學監測	員工對指定醫師 (Appointed Doctor) 的體檢結果申訴，現在必須向 HSE 或 ONR 提出。	統一了體檢結果申訴的行政程序。

總結來說，IRR2017 透過降低眼球水晶體劑量限度和實施三層次監管結構，顯著提升了英國的職業輻射防護標準。這些變化確保了英國的輻射安全法規與國際和歐洲的基本安全標準指令保持一致。

### 加拿大法規發展概述

加拿大於 1997 年正式制定並公布《Nuclear Safety and Control Act》( NSCA )，並以之取代舊有核能監管制度，同時成立加拿大核能安全委員會(Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC )，自此，加拿大輻射防護體系正式進入現代化階段，逐步建立具有系統性、透明性及高度技術密度的輻防監管架構。此體系的核心精神始終環繞數項目標：保障人民健康與環境安全、維護國家安全、確保核能之和平合理使用、維持履行國際核不擴散義務，並以科學證據作為監管決策的基礎。

在法規架構方面，NSCA 作為輻射防護最高位階的母法，負責確立監管目的、管制範疇、執法權限、核設施許可制度以及輻射劑量管理的基本原則。而涉及輻射工作人員

義務、劑量限度、輻射防護計畫以及合理抑低 ( ALARA ) 原則之具體規範，則於 2000 年後陸續透過《Radiation Protection Regulations》( RPR ) 加以落實。此後，CNSC 又於 2021 年統整多份輻射防護及劑量測定相關主題之監管文件，發布 REGDOC 系列技術文件《REGDOC-2.7.1, Radiation Protection》及《REGDOC-2.7.2, Dosimetry, Volume I: Ascertaining Occupational Dose》提供執行層面的劑量監測、體內外曝劑量評估、氦及氦子體曝露、輻射防護流程等指引，使制度形成「母法 - 法規 - 技術指引」的完整階層，法律位階如下：

- 母法：《Nuclear Safety and Control Act》
- 規則：《Radiation Protection Regulations》
- 技術指引：《REGDOC-2.7.1, Radiation Protection》及《REGDOC-2.7.2, Dosimetry, Volume I: Ascertaining Occupational Dose》

於劑量限度方面，RPR 於 2000 年發布 SOR/2000-203 版本時，係依據 ICRP 60 之建議訂定劑量限度，核能工作人員之有效劑量限度為每年不超過 50 mSv，每五年週期不超過 100 mSv；已以書面方式告雇主其已懷孕的女性核能工作人員，其剩餘懷孕期間之有效劑量限度為每年 4 mSv；一般人之有效劑量限度為每年 1 mSv。直到 2021 年發布 RPR 修正版 SOR/2020-237 時，此有效劑量限度均無更動，與我國現行之《游離輻射防護安全標準》相比，僅懷孕的女性輻射工作人員之劑量限度有差異，我國之規範為「膾餘妊娠期間下腹部表面之等價劑量，不得超過 2 mSv，且攝入體內放射性核種造成之約定有效劑量不得超過 1 mSv」，比加拿大更為嚴格。

在眼球水晶體劑量限度方面，RPR 於 2000 年發布之 SOR/2000-203 版本時，規

範核能工作人員之眼球水晶體劑量限度為每年 150 mSv 之等價劑量，但於 2021 年之修正版本 SOR/2020-237 中，將其下修為每年 50 mSv。該數值雖與 ICRP 118 對眼球水晶體「建議平均每年 20 mSv」之劑量限度並不完全一致，但與 ICRP 建議之「單一年不得超過 50 mSv」原則相符。CNSC 自 2010 年末起，陸續透過公開諮詢、專家研討與產業座談推動眼球水晶體淺部等價劑量  $H_p(3)$  之導入，並於 2021 年發布之《REGDOC-2.7.2, Dosimetry, Volume I: Ascertaining Occupational Dose》，直接提供關於眼球水晶體劑量測定之指引，建議須執行監測眼球水晶體劑量之情況及使用之劑量計等等。而我國對於輻射工作人員眼球水晶體職業曝露之劑量限度仍為每年 150 mSv 之等價劑量，尚未依循 ICRP 118 最新流行學之研究成果下修，建議可參考加拿大法規進行修訂。

用於計算等價劑量及有效劑量之輻射加權因數及組織加權因數，加拿大也於 2020 年發布之 RPR(SOR/2020-237)更新為 ICRP 103 號報告版本，我國現行法規採用 ICRP 60 號報告版本。值得注意的是，相較於我國《游離輻射防護安全標準》在附表中列出數學公式、劑量轉換係數及管制限度等參數，加拿大採行不同立法哲學：並非將數值直接編入法規附表，而是明定以國際標準（如 ICRP、IAEA GSR Part 3）為依循來源，並要求證照持有者及劑量評估機構直接引用原始國際文件之核種係數執行劑量評估。此種「引用國際標準而非本地化複製數值」的模式，使加拿大在國際科學更新時能迅速調整，而不需頻繁修法，展現行政效能與風險治理彈性，也減少製表的行政成本，與我國在制度設計上存在明顯差異，建議我國未來修法之方向也可參考加拿大法規制定之邏輯。

綜合比較加拿大與我國之輻防法規，加拿大採「母法 - 法規 - 技術文件」三級架構，

劑量限度與防護原則由 RPR 訂定，技術細節則由 REGDOC 指引，直接引用 ICRP 等國際標準增加法規應用彈性；我國則將公式與係數直接入法，使用上相對較不靈活。加拿大已採 ICRP 103 加權因數並下修眼晶體限值至 50 mSv/年，亦建立 Hp(3) 監測指引，我國未來可參考加拿大架構，以提升輻防制度之彈性與國際一致性。

## 新加坡法規發展概述

新加坡《Radiation Protection (Ionising Radiation) Regulations》這部法令最初於 1974 年施行，並於 2000 年進行修訂，以納入國際放射防護委員會 (ICRP) 1990 年的建議，以及國際原子能總署 (IAEA) 於 1996 年發布的《國際基本安全標準》(IBSS) 之要求。其後在 2007 年，ICRP 更新了 1990 年的建議，提出將輻射防護從「基於實務」的方式，轉向「基於曝露曝露情境」的管理架構。2014 年，IAEA 亦發布了《通用安全要求》第 3 部分《輻射防護與輻射源安全》(GSR Part 3)，同樣建議採取曝露情境導向的輻射防護方法。

因應上述國際發展趨勢，新加坡國家環境局 (NEA) 已將 GSR Part 3 中修訂後的相關要求與建議，納入 2023 年修訂的《輻射防護 (游離輻射) 條例》中。同時，NEA 亦藉此契機全面檢視輻射照射裝置與放射性物質的許可制度，以精簡整體許可流程，減輕 NEA 與持證者的行政負擔。

最新劑量標準概述 (2023 年) 新加坡 2023 年法規針對 18 歲以上輻射工作人員的職業曝露劑量限度如下表 4 (適用於體外曝露和約定有效劑量之總和)：

表 4、18 歲以上輻射工作人員的職業曝露劑量限度

劑量限度項目	劑量限度 (mSv/y)	備註
有效劑量 (全身)	20	連續 5 個連續年度 的平均值不得超過 20 mSv，且任何單一年 不得超過 50 mSv。
眼球水晶體等價劑量	20	連續 5 個連續年度 的平均值不得超過 20 mSv，且任何單一年 不得超過 50 mSv。
皮膚等價劑量	500	適用於皮膚最高照射區域 1 cm <sup>2</sup> 的平均劑量。
肢端等價劑量	500	

針對眼球水晶體劑量、懷孕女性工作人員及 16~18 歲未成年輻射工作者，比較新加坡新法規 (2023 年)、舊法規與我國游離輻射防護安全標準的差異性如表 5。對於已告知懷孕的女性輻射工作人員，各法規旨在確保胚胎或胎兒接受與公眾相同水平的保護(表 6)。

表 5、眼球水晶體劑量限度法規體系比較

項目	新加坡舊法規 ( 2000/2001 )	新加坡新法規 ( 2023 )	我國現行法規	本研究修訂建議
劑量限度	每年 150 mSv。	連續 5 年平均每年 20 mSv，且任何單一年不超過 50 mSv。	每年 150 mSv。	連續 5 年平均每年 20 mSv，且任何單一年不超過 50 mSv。
差異性	新加坡新法規與我國的修法草案一致，大幅下調了眼球水晶體的劑量限度，以防止確定效應(如白內障)的發生。舊法規的限值比新法規高出甚多。	新加坡新法規將單一年份的最高限值設定為 50 mSv，這比舊法規嚴格許多。	我國的現行標準與新加坡舊法規相同。我國的修法趨勢(如修法草案)也與新加坡新法規保持一致。	

表 6、懷孕女性工作人員劑量限度法規體系比較

項目	新加坡舊法規	新加坡新法規 ( 2023 )	我國現行法規	本研究修訂建議
劑量限度	告知懷孕後，剩餘妊娠期間，胚胎或胎兒接受的等價劑量應與公眾接受的輻射防護相同。腹部表面等價劑量不超過 2 mSv。	告知懷孕後，需檢討工作條件，確保胚胎或胎兒接受與公眾相同基準保護的水平。	告知懷孕後，剩餘妊娠期間，下腹部表面等價劑量不得超過 2 mSv，且攝入體內放射性核種造成之約定有效劑量不得超過 1 mSv。	告知懷孕後，剩餘妊娠期間對於胎兒等價劑量不得超過 1 mSv(與公眾劑量限度相同)。
差異性	我國舊法規雖然限制了腹部表面劑量(2 mSv)，但同時對體內攝入(1 mSv 約定有效劑量)設有限制。	我國修法草案與新加坡新法規皆將胎兒劑量限度與公眾劑量限度(1 mSv)對齊，這遵循了 IAEA GSR Part 3 的建議。	我國舊法規中對於下腹部表面等價劑量的 2 mSv 限值，在國際建議更新後(如我國的修法草案)，則被更嚴格的 1 mSv 總等效劑量限度所取代	

在新加坡《Radiation Protection (Ionising Radiation) Regulations》中沒有類似我國游離輻射防護安全標準附表三相對應的表格。不過其附表三 ( Third Schedule ) : 列出核種的 ALI ( Annual Limit of Intake ) 年攝入上限值，單位 Bq。這是新加坡用來判別內曝是否過量的主要法規依據

1. 法規依據：使用 ALI 判斷是否超限

ALI ( Bq/yr ) 由以下關係得出：

$$ALI = \frac{E_{lim}}{h(g)}$$

新加坡法律上只提供 ALI，沒有直接提供 h(g)。

2. 技術方法：h(g) 不寫入法律，而是取自 ICRP

新加坡 NEA 的輻射防護作業規範要求：

- 2007 年，ICRP 更新了 1990 年的建議，建議將輻射防護方法從基於實踐的方法轉向基於曝露曝露情況的方法。
- 2014 年，國際原子能總署也發布了《通用安全要求》第 3 部分「輻射防護與輻射源安全」( GSR 第 3 部分 )，建議採用基於曝露曝露情況的輻射防護方法。
- 若疑似超限，要以 ICRP 建議方法提交事故報告給 NEA 審查

新加坡沒有類似我國游離輻射防護安全標準附表三「h(g) 劑量係數表 + 計算法規附件」。新加坡的對應表格是：第三附表 ( Annual Limit of Intake, ALI )，以年攝入上限來判斷內曝是否超限。劑量係數 h(g) 則由 NEA 要求依 ICRP 查表，並未列入法規附件。

新加坡的法規修訂是基於國際建議，在框架上更換了以曝露情況為基礎的現代體系，並在眼球劑量限度上大幅下修，以強化職業安全。我國的法規在劑量限度方面也迅速跟隨

國際趨勢，尤其在眼球劑量限度和懷孕工作者胎兒劑量限程度上，我國的修法方向與新加坡的新法規高度一致。

## 日本法規發展概述

日本法規制度特色是：「閣法(基本原則 Act) + 府省令(技術細則·政令 Cabinet Order: 施行令·省令 Ordinance: 施行規則) + 跨部會協調(放射線審議會)」的混合架構(圖9)，輻射防護主要主管機關是：厚生勞動省 MHLW(勞工)·原子力規制委員會 NRA(放射性物質·監管機構)與環境省(一般大眾)，使得技術可較快跟國際標準同步，但具體係數/表格通常載於行政指引、指南或學會文件，而不是直接寫入主法條。法令檢索透過 e-GOV(<https://laws.e-gov.go.jp/>)。

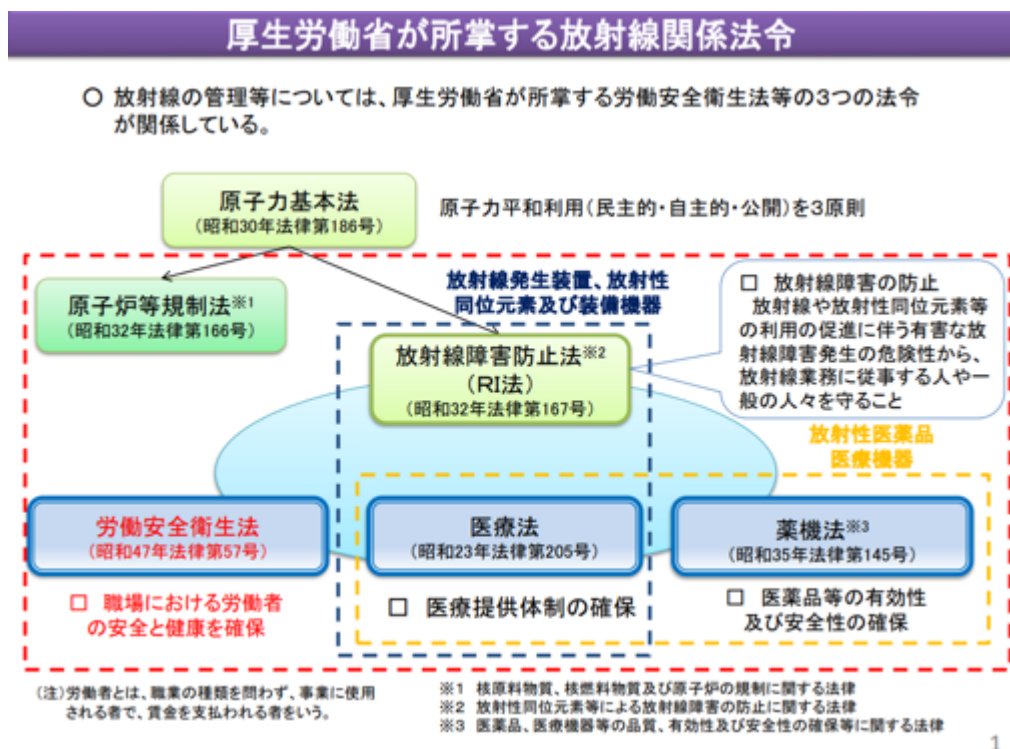


圖 9、日本法規發展架構

日本的輻射防護安全標準主要由三大部分構成：(1) 電離則(Ordinance on Prevention

of Ionizing Radiation Hazards) · 1972 年厚生勞動令 41 號；(2) 放射線障害防止法(Act on Prevention of Radiation Hazards due to Radioisotopes) · 1957 年法律 167 號；(3) 輻射防護參考物質 ( Radiation Protection Reference Material ) · 2025 年。第(1)項的主管機關為厚生勞動省 ( MHLW ) · 依「勞動安全衛生法(1972 年法律 57 號)」制定，主要規範工作場所的職業安全與健康，特別針對勞動者，適用範圍：職業曝露管理、劑量限度、個人劑量計、體外/體內曝露標準、污染防治、緊急作業等，近期的輻安法規修訂主要集中在「電離則」。第(2)項的主管機關最初為文部科學省及相關機構，現由原子力規制委員會(NRA，成立於 2012 年，上級單位為環境省)和厚生勞動省 (MHLW)等部門依事項分工實施，規範放射性同位素、可發生游離輻射設備及放射性污染物的使用、販賣、租賃、廢棄等行為，以防止輻射危害，保障公共安全的基本法律，規定了許可、申報和屆出的管理制度、使用者責任和罰則。第(3)項為環境部公布的資料，指出一般大眾的年劑量限度，並使用參考水平的概念，而非強硬規定作管理。

日本法規條文明述可實施過渡條款，特別提及「電離則」中的眼球水晶體劑量限度，已於 2021 年 4 月實施新規定：從每年 150 mSv，降至每年 50 mSv；同時，於 2023 年 4 月 1 日至 2026 年 3 月 31 日，高風險專科醫師適用三年 60 mSv 與每年 50 mSv；最終將於 2026 年 4 月起，全面實施五年 100 mSv 與每年 50 mSv 的規定。

日本輻射安全標準修訂細節說明如下：

輻射防護原則的納入：依據國際輻射防護委員會 ICRP 103 和國際原子能總署 IAEA GSR Part 3 強調的三項輻射防護核心原則：正當性、最佳化、劑量限度，與三類曝露情況：計畫性曝露、緊急性曝露和既存性曝露，交叉針對不同的三種曝露對象：職業曝露、公眾

曝露、醫療曝露。日本的作法是無大幅修訂，而將輻防原則和曝露情境納入既有法規系統（表 7）。

表 7、日本依據國際規範修訂果內法規標準

輻防原則/曝露情況	ICRP / IAEA GSR 3 要求	日本法規的具體修訂或標準
輻射防護原則	強調正當性、最佳化 (ALARA)、劑量限度。	法規體系明確要求將這三原則應用於所有輻射作業 (例如：在許可申請中必須說明如何實施最佳化)。
計畫性曝露	適用於正常運作、可預見的曝露。實施劑量限度。	劑量加權因數更新：隨 ICRP-103 調整。 劑量限度：維持輻射工作人員及一般大眾的年有效劑量限度。眼球水晶體劑量限度於 2021 年已降低為單年 <50 mSv，2026 年全面實施五年 <100 mSv 與單年 <50 mSv。
緊急性曝露	應對事故或緊急情況。實施參考水平 (Reference Levels)	明確區分緊急情況下的參考水平，用於指導應急措施的啟動和終止 (例如，福島事故後設定的避難/撤離標準)。
既存性曝露	事故後殘餘或天然背景輻射。實施參考水平。	環境整治與處置標準：制定了事故後受污染地區的除汙標準，例如土壤、廢棄物中的放射性核種濃度標準，確保公眾的長期曝露控制在參考水平之下。

劑量學參數與劑量限度的調整：(1)劑量加權因數更新：法規修訂採納了 ICRP 103 中更新的組織加權因數  $W_T$  和輻射加權因數  $W_R$ ，但具體數值不寫入主法條，而是以 ICRP 為依歸，透過放射線審議會與學會指南，把數值與計算細節放在指引/標準/技術文件。(2)劑量限度：雖然有效劑量的計算參數更新，但對於輻射工作人員和一般大眾的年有效劑量限度，仍分別維持五年 < 100 mSv 與單年 < 50 mSv，以及單年 < 1 mSv。眼球水晶體劑量限度於 2021 年已降低為單年 <50 mSv，2026 年全面實施五年 <100 mSv 與單年

<50 mSv。

醫療曝露與劑量約束 (Dose Constraint) 的強化：IAEA GSR 3 特別強調對醫療曝露的控制和劑量約束的應用。

表 8、日本法規的具體修訂或標準

標準調整	ICRP / IAEA GSR 3 要求	日本法規的具體修訂或標準
醫療曝露優化	醫療曝露不適用劑量限度，但必須實施正當化和最佳化。	醫療曝露指引：強化醫療設施在診斷和治療中的輻射劑量品質保證 (QA) 和品質控制 (QC) 義務。鼓勵採用診斷參考水平 (DRLs)。
劑量約束的應用	計畫性曝露中，特別是針對公眾曝露和潛在曝露，應用劑量約束 (Dose Constraint)。	法規要求輻射設施(特別是核設施和高強度設施)在設計和操作上，必須設定低於一般大眾劑量限度 (1 mSv) 的內部約束值，以確保最佳化原則的有效落實。
緊急曝露處理	應對事故或緊急情況。實施參考水平 (Reference Levels)	強化了對輻射設施的安全分析要求，並要求建立詳細的風險評估機制，以降低潛在事故的可能性及後果。

為協助解決利害關係人之關切議題，在日本，相關學術團體在 NRA 輻射安全研究促進基金的支持下，針對複雜的放射醫療領域，制定了眼球水晶體放射防護和監測指南。此外，MHLW 主管的「電離則」最新修訂為防止近年的 X 射線裝置檢查作業中的意外曝露事故，主要目標是強化安全裝置的設置和使用義務，已於 2025 年 10 月 29 日及之後分階段實施。

整體而言，日本輻射安全標準的修訂目標是基於一套全面性、靈活性、與國際接軌的輻射防護體系，以於計畫性、緊急性和既存性三種曝露情境下都能有效應對和控制輻射風險，主要以滾動式修訂的「電離則」來保障勞工安全。

針對歐盟、法國、英國、加拿大、新加坡與日本之輻防法規與我國游離輻射防護安全標準附表之細節，整理於表 9 至表 11。

表 9、游離輻射防護安全標準附表與國際間各國的採用之比較表

游離輻射防護安全標準		法國	新加坡	歐盟	英國	日本	加拿大
附表一 之一	輻射加權因數	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103 (具體數值不寫入法規命令)	不同，使用 ICRP 103
附表一 之二	組織加權因數	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103	不同，使用 ICRP 103 (具體數值不寫入法規命令)	不同，使用 ICRP 103
附表二	使用之數學公式	相同	相同	相同	相同	相同 (具體公式不寫入 v)	分散在各文件，且，規範不完全
附表三 之一	輻射工作人員吸入及 吸入放射性核種產生 之約定有效劑量(參考 IAEA115)	不同，表 3.1 和表 3.2 (參 考 ICRP 134, 137, 141, 151)	**附表三詳見 另外說明**	相同，參考 ICRP 119 [20]	相同，參考 ICRP 119	體外曝露有效劑量和放射性物 質有效劑量(體內曝露)，每周 不超過 1 毫西弗。(註) 大部分相同，核種可能搭配較 多化學形式，沒有提供 f1，僅 吸入 5 微米與吸入係數，附表 數值於 2002 年更新。 <a href="https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74102000&amp;dataType=0">https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74102000&amp;dataType=0</a>	參考 ICRP 119
附表三 之二	吸入放射性核種產生 約定有效劑量對應 f1	無		相同，參考 ICRP 119 [20]	相同，參考 ICRP 119 [20]	無	參考 ICRP 119 [20]

游離輻射防護安全標準		法國	新加坡	歐盟	英國	日本	加拿大
	及化合物						
附表三 之三	吸入放射性核種產生 約定有效劑量對應 $f1$	無		相同·參考 ICRP 119 [20]	相同·參考 ICRP 119 [20]	無	參考 ICRP 119 [20]
附表三 之四	一般人吸入放射性核 種產生之約定有效劑 量	相同·表 1.1 (參考 ICRP 119·無提供物理半化期 及 $f1$ )		相同·參考 ICRP 119 (年齡分類略 有 差 異 :1,5,10,15, 成 人)	ICRP116 [21]	無	參考 ICRP 119 [20]
附表三 之五	一般人吸入放射性核 種產生之約定有效劑 量	相同·表 1.2 (參考 ICRP 119·無提供物理半化期 及 $f1$ )		相同·參考 ICRP 119 (年齡分類略 有 差 異 :1,5,10,15, 成 人)	ICRP116 [21]	無	參考 ICRP 119 [20]
附表三 之六	一般人吸入氣膠、氣體 及蒸汽肺吸收類別	無		無	ICRP116 [21]	無	參考 ICRP 119 [20]
附表三 之七	輻射工作人員及一般 人吸入可溶性或活性 氣體產生之約定有效 劑量	相同·表 2.1 (參考 ICRP 119·無提供物理半化期、 肺吸收類別、沈積率及 $f1$ )		相同·參考 ICRP 119 (年齡分類略 有 差 異 :1,5,10,15, 成 人、無提供沈積 率)	ICRP119[20]	無	參考 ICRP 119[20]

游離輻射防護安全標準		法國	新加坡	歐盟	英國	日本	加拿大
附表三 之八	Rn222 子核及 Rn220 子核之攝入量及曝露量限度	無		無	無	無	參考 ICRP 65
附表三 之九	Rn222 子核及 Rn220 子核之劑量轉換係數	不同·僅劑量轉換係數(單位為每單位 $\alpha$ 潛能產生之有效劑量)		無	無	無	參考 ICRP 65
附表三 之十	輻射工作人員和一般人受惰性氣體之有效劑量率	相同·表 2.2(參考 ICRP 119·無提供物理半化期)		無	無	不同·非為惰性氣體·表示為阿伐和非阿伐放射性物質的空氣濃度限度·非依同位素核種分類·依半衰期<10 min, 10 min ~ <1 d, 1 d ~ <30 d, >=30 d 分類。 <a href="https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74102000&amp;dataType=0">https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74102000&amp;dataType=0</a>	無

游離輻射防護安全標準		法國	新加坡	歐盟	英國	日本	加拿大
附表四之一	輻射工作人員推定空氣濃度管制限度	無	無	無	無	不同，僅有推定空氣濃度欄，且有效位數僅 1 位，附表數值於 2002 年更新。 <a href="https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74102000&amp;dataType=0">https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=74102000&amp;dataType=0</a>	無
附表四之二	一般人放射性核種排放管制限度	無	無	無	無	無	無

表 10、國際間各國眼球水晶體職業曝露劑量限度與施行細節

國家	劑量限度			施行細節
	18 歲以上工作人員	16-18 歲工作人員	一般人	
法國	20 mSv/y	15 mSv/y	15 mSv/y	過渡條款：2018/07/01~2023/06/30 · 100 mSv/5y , < 50 mSv/y 。 實施日：2023/07/01 。
新加坡	20 mSv/y	20 mSv/y	15 mSv/y	
歐盟	「單年 20 mSv 」或「5 年 100 mSv · 單年不超過 50 mSv」	15 mSv/y	15 mSv/y	歐盟成員國須於 2018 年 2 月 6 日 前完成本指令之法令與行政移植，並通知歐盟委員會相關法規文本。
英國	20 mSv/y	20 mSv/y	15 mSv/y	在舊法規 IRR99 (1999)下已經進行的授權、通知和記錄，能在新法規 IRR2017 生效後繼續有效，給予企業 4 年的緩衝期進行調整，2022/4/6 為截止日。
日本	5 年 100 mSv · 單年不超過 50 mSv	無	無	過渡條款： 2021/04/01 · < 50 mSv/y ； 2023/04/01~2026/03/31 · 60 mSv/3y(僅針對高風險專科醫師) , < 50 mSv/y ； 2026/04/01 · 100 mSv/5y , < 50 mSv/y 。
加拿大	「單年 20 mSv 」或「5 年 100 mSv · 單年不超過 50 mSv」	無	15 mSv/y	於 2000 年發布 Radiation Protection Regulations (SOR/2000-203) 《輻射防護規則》規範劑量限度

表 11、國際間各國懷孕女性輻射工作人員職業曝露劑量限度規定

國家	劑量限度
法國	胎兒等價劑量 < 1 mSv
新加坡	妊娠期間，胎兒的等價劑量應控制在 1 mSv 以下
歐盟	胎兒等價劑量(equivalent dose) < 1 mSv 懷孕婦女不得從事涉及放射性核種顯著攝入風險或有身體污染風險的工作
英國	胎兒等價劑量(equivalent dose) < 1 mSv
日本	女性輻射工作人員每三個月所受到的有效劑量不超過 5 mSv。 女性輻射工作人員從確診懷孕之日起至分娩之日止（懷孕期間）體內曝露有效劑量 < 1 mSv，與腹部表面等價劑量 < 2 mSv。
加拿大	已書面通知持證人懷孕的核能工作人員，剩餘懷孕期間 4 mSv(有效劑量)

### 其他發現與游離輻射防護安全標準之差異

#### 1. 放射性核種管限制度中

- 我國游離輻射防護安全標準附表四放射性核種管限制度中，工作人員推定空氣濃度(DAC)由輻射工作人員之年有效劑量限度五十毫西弗除以  $DCF \times 1000 \times 2400$ 。其中劑量轉換因數(DCF)為附表三之一輻射工作人員吸入每單位攝入量放射性核種產生之約定有效劑量  $h(g)_{5\mu m}$ ；1000—調整毫西弗至西弗之單位轉換；2400—輻射工作人員參考人在輕度工作情況下每年吸入立方米之空氣體積(參見 ICRP 第 66 號報告第 23 頁)[23]。
- IAEA No. GSG-7(2018)\_Occupational Radiation Protection p.19 [24]

$$DAC = \frac{I_{inh,L}}{2000 \times 1.2} \quad (8)$$

其中年吸入空氣體積為  $2400 (= 2000 (h) \times 1.2 (m^3/h))$  與附表四相同，針對有效劑量限度並未給明定數值。

- ICRP 103 號報告 p.308-309

$$ALI_j = \frac{E_{limit,w}}{e(50)} \quad (B.5.7)$$

$$DAC_j = \frac{ALI_j}{2200} \quad (B.5.8)$$

其中年吸入空氣體積為  $2200 (= 2000 (h) \times 1.1 (m^3/h))$  與附表四不同，針對有效劑量限度則建議採用 20 mSv。

## 四、厚實全國輻射檢校實驗室能力研究

### 1. 完成我國首次眼球水晶體劑量計能力試驗

眼球水晶體劑量計能力試驗研究為首次正式執行(表 12)，參考 ANSI/HPS N13.32-2018、ISO14146 國際標準、以及 TAF 測試領域人員劑量計能力試驗技術規範等[4-11]，執行光子、X 光和貝他輻射場維持、確證、規劃運轉、參與實驗室之校正，以及研究能力評估程序和方法。6 月 26 日辦理第一次眼球水晶體劑量計能力試驗研究總結會議，計共有 10 個單位 28 位專家學者參與會議(圖 10)，包含(1)核能安全委員會、(2)財團法人全國認證基金會、(3)我國電力股份有限公司放射試驗室劑量計測組、(4)我國電力股份有限公司放射試驗室核二工作隊、(5)我國電力股份有限公司放射試驗室核三工作隊、(6)國立清華大學、(7)輻射防護協會、(8)貝克西弗股份有限公司、(9)同步輻射中心、(10)國家原子能科技研究院。



圖 10、「第一次眼球水晶體劑量計能力試驗總結說明會暨第二次肢端劑量計與第十三次人員劑量計能力試驗執行前說明研討會」

本次能力試驗依據第一次眼球水晶體劑量能力試驗執行計畫書之研究報告執行能力試驗，在輻射源的選擇上，依據 ISO 4037 與 ISO 6980 國際規範[26-31]，提供符合規範的加馬、X 射線和貝他粒子的適當輻射場。此外，測試類別範圍與允差列於表 13，第 I

類高劑量提供銻-137 與 ISO 6980 IH-150 射質，第 II 類提供 X 光射質包含 NS-150、WS-110，第 III 類貝他粒子提供銻九十射質。

照射測試因應技術國際化，首次參與能力試驗(未參與眼球水晶體劑量計比對試驗)之劑量計採 ANSI/HPS 方法：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。分析全國實驗室於眼球水晶體劑量評估之技術能力，採用 ANSI/HPS 之判斷基準為能力商數( $P_i$ )，即

$$P_i \equiv [H'_i - H_i]/H_i,$$

$H'$ : 受測實驗室量測值； $H$ : 和能力試驗參考值；

並透過能力評定公式：

$$B^2 + S^2 \leq L^2,$$

$B$ :  $P_i$  平均值； $S$ :  $P_i$  標準差； $L$ : 允差；，依據第 I 類別  $L$  為 0.24，第 II、III、IV 類別  $L$  為 0.35 來進行判定是否合格。

非首次參與眼球水晶體劑量計能力試驗採行 ISO 14146: 2024 方法[14]：一批次進行，共 10 個劑量計。ISO 能力判定公式，即判斷基準為

$$R = \frac{H'_i}{H_i},$$

與  $H_p(3)$  時偵測低限訂為 0.3 mSv，評定標準 1：

$$\left(0.71 - \frac{0.32}{0.23 + H_i}\right) \leq R \leq \left(1.67 + \frac{0.5}{1.2 + H_i}\right),$$

適用光子平均能量 > 10 keV 和貝他平均能量 > 0.2 MeV(較易量測)及其混合場；

以及評定標準 2：

$$0.5 - \frac{0.2}{0.2 + H_i} \leq R \leq 2,$$

適用中子、光子平均能量 $\leq 10$  keV 光子與貝他平均能量 $\leq 0.2$  MeV (較難量測)及其混合場。

本次能力試驗共 7 家實驗室 10 組劑量計參與，包含熱發光劑量計與光激發劑量計兩種晶片材質，實驗室與劑量計基本資料如表 12，本次共有 9 組劑量計已參與過眼球水晶體劑量計比對試驗，屬於非首次參與劑量計(圖 11a)，1 組為首次參與劑量計(圖 11b)。測試結果顯示 10 組劑量計全數通過測試，代表受測實驗室具備提供劑量計服務之能力與品質。

表 12、眼球水晶體劑量計能力試驗參與實驗室與劑量計基本資料

流水號	實驗室名稱	劑量計廠牌	劑量計型號	劑量計晶片材質	佩戴形式
1	國家原子能科技研究院	Harshaw	DXT-100	TLD-100	髮箍式
2	台電放射試驗室	Landauer	MP7	OSLD Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :C	夾式
3		Panasonic	UD807	TLD Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	頭帶式
4	台電放射試驗室核二工作隊	RADOS	無	TLD 氟化鋰	頭帶式
5	台電放射試驗室核三工作隊	Harshaw	DXT-100	TLD LiF:Mg,Ti	髮箍式
6	貝克西弗人員劑量計測實驗室	Panasonic	UD-807	TLD Li <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> :Cu TL	髮夾式
7	輻防協會-人員劑量計測試實驗室	Harshaw	DXT-100	TLD-100	髮箍式
8		Harshaw	DXT-100	TLD-100	髮箍式
9	國立清華大學人員劑量實驗室	Landauer	MP7	OSLD Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :C	夾式
10		NTHU	自行研發	OSLD (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	夾式

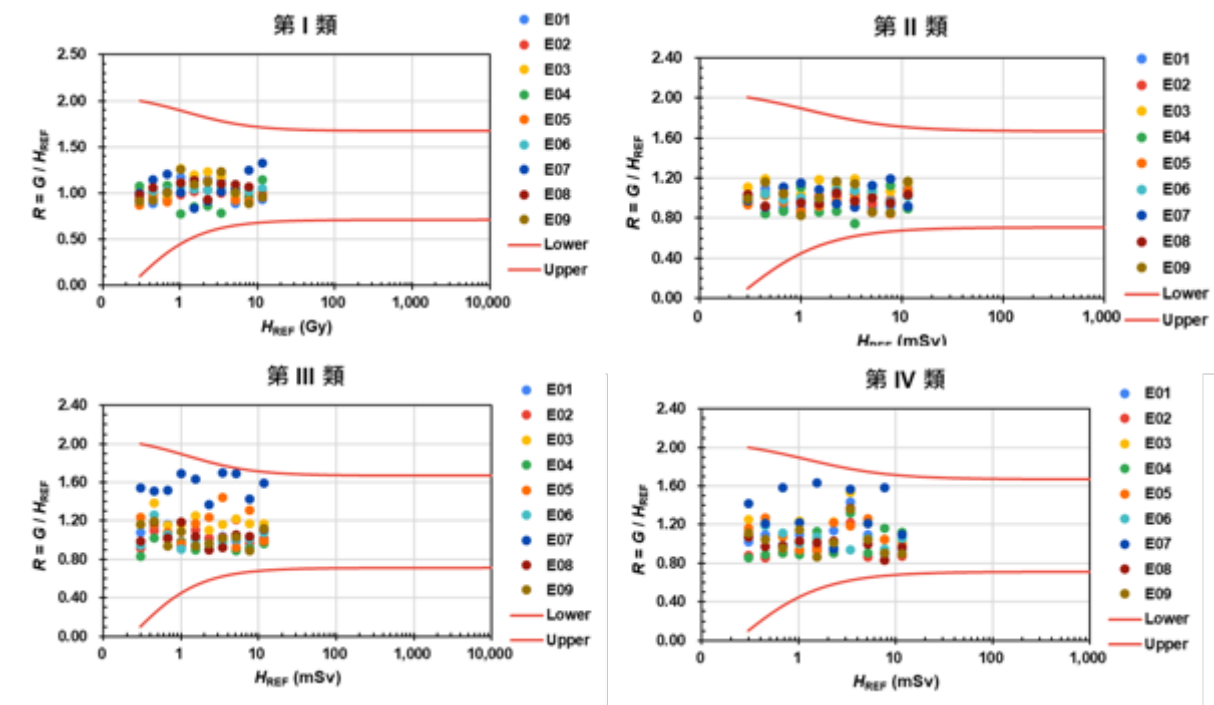


圖 11a、非首次參與眼球水晶體劑量計能力試驗之 9 組測試結果顯示均通過

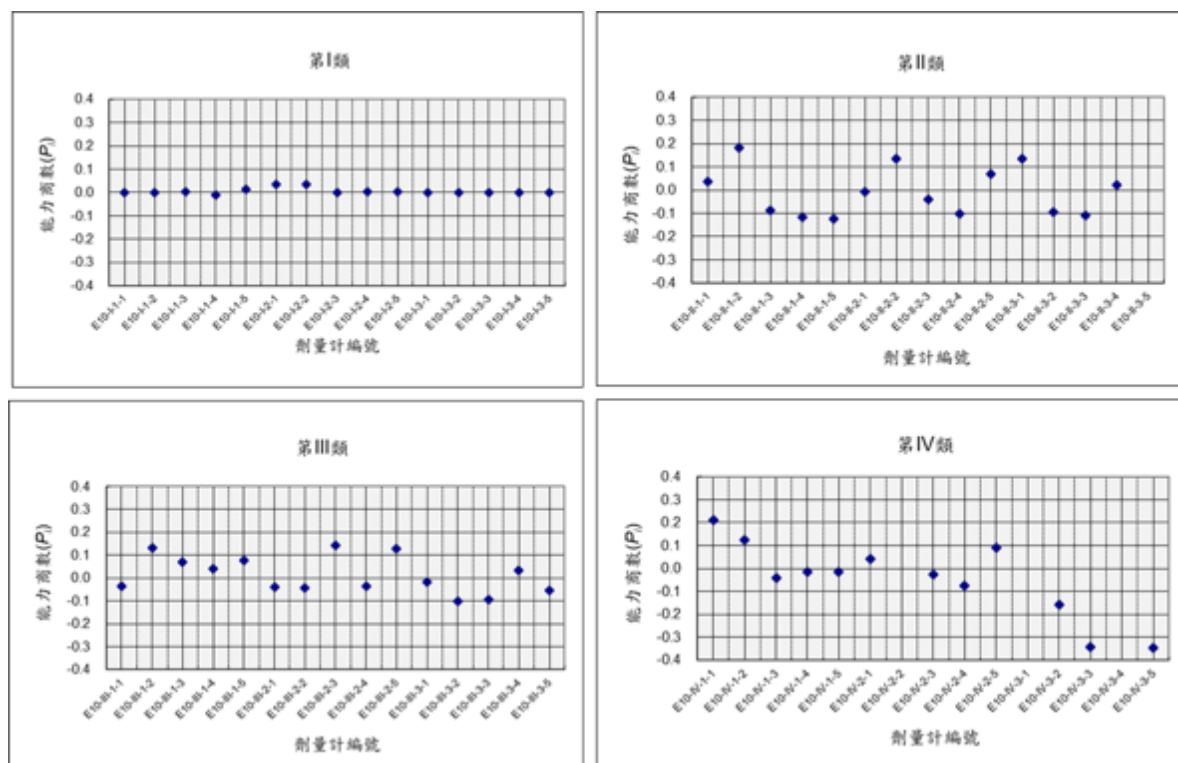


圖 11b、首次參與眼球水晶體劑量計能力試驗之測試結果顯示四個類別均通過

表 13：肢端與眼球水晶體劑量評估之測試類別、測試範圍及允差

測試類別	測試輻射 劑量範圍	允差(L)
<b>I. 高劑量級光子</b>		
A. 一般 (B 及 C 隨機選擇)	0.1 to 5 Gy	0.24
B. $^{137}\text{Cs}$ ( $\bar{E} = 662 \text{ keV}$ )		
C. M150 ( $\bar{E} = 73.0 \text{ keV}$ · 用於 $D(0.07)$ ) IH150 ( $\bar{E} = 78.0 \text{ keV}$ · 用於 $D(3)$ )		
<b>II. 光子</b>		
A. 一般 ( $\bar{E} \geq 20 \text{ keV}$ )	1.0 to 100 mSv	0.35
B. 高能量 ( $\bar{E} \geq 500 \text{ keV}$ )		
C. 中能量 ( $\bar{E} \geq 70 \text{ keV}$ )		
D. 窄能譜 (Am-241 或 NS80)		
<b>III. 貝他</b>		
A. 一般 (B 及 C 隨機選擇)	2.5 to 100 mSv	0.35
B. 高能量點射源 ( $\bar{E} \geq 500 \text{ keV}$ )		
C. 低能量點射源 ( $\bar{E} < 500 \text{ keV}$ )		
D. 片型鈾( $\bar{E} \geq 500 \text{ keV}$ )		
<b>IV. 貝他與光子混合場</b>		
A. 一般光子 + 貝他	3.5 to 100 mSv	0.35
B. 加馬 + 貝他		

註：

1. 第 II 類別中，僅能允許一個劑量計的給定劑量低於 2.5 mSv。
2. 每一類別使用的輻射源定義在文件中。
3. 使用在第 IV 類混合場中的第 II 類及第 III 類子類別，不可有特定的選擇。
4. 第 IV 類混合場之貝他與光子個人等效劑量之比例(貝他:光子)，範圍由 1:1 至 5:1 之間。
5. 在第 IV 類混合場中，低能量( $\bar{E} < 500 \text{ keV}$ )貝他粒子只可混合高能量( $\bar{E} \geq 500 \text{ keV}$ )光子。

## 2. 辦理人員劑量計能力試驗之前期作業

114年6月26日辦理「第一次眼球水晶體劑量計能力試驗總結說明會暨第二次肢端劑量計與第十三次人員劑量計能力試驗執行前說明研討會」，計共有10個單位28位專家學者參與會議(圖2)。人員劑量計能力試驗作業時程如圖12，本年度完成執行前說明會議與輻射場標定與照射射質確認作業，12月1日至8日進行劑量計校正收件作業，進行貝他系統與中子系統校正作業，本次中子場以中子射源+重水球(Cf-252+D2O)進行照射作業。X光、Cs-137校正預計於115年1月1日起開始收件，1月9日截止。X光預計提供射質為M150、WS200、M100。

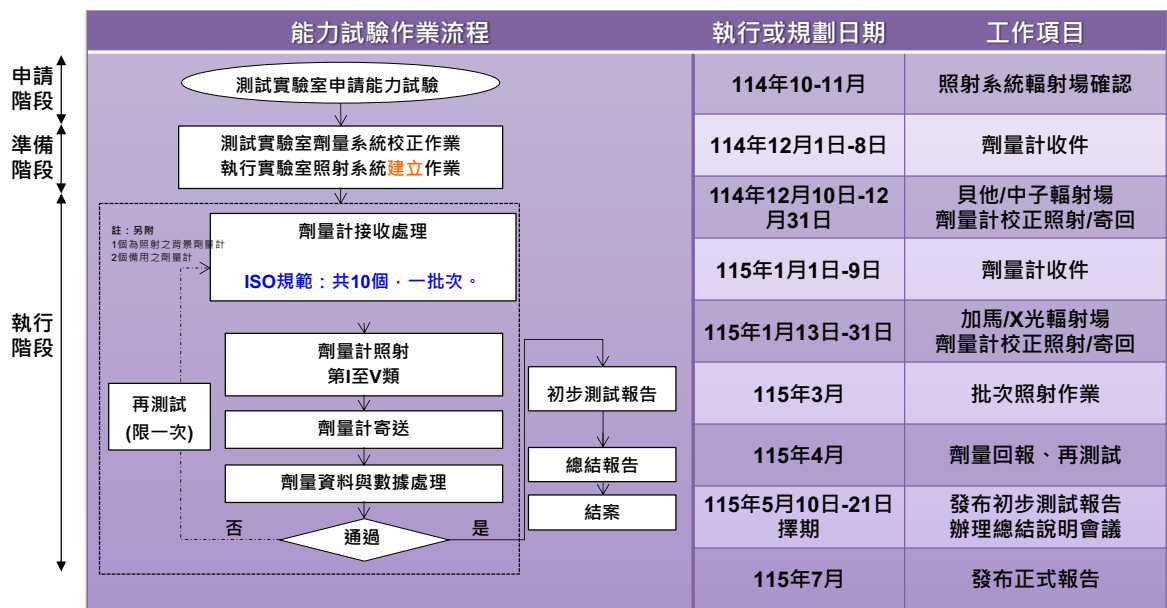


圖 12、第十三次人員劑量計能力試驗作業流程與規劃時程

### 3. 辦理肢端劑量計能力試驗之前期作業

114年6月26日辦理「第一次眼球水晶體劑量計能力試驗總結說明會暨第二次肢端劑量計與第十三次人員劑量計能力試驗執行前說明研討會」，計共有10個單位28位專家學者參與會議(圖14)。肢端劑量計能力試驗作業流程與規劃時程如圖13，於6月27日寄發肢端劑量計能力試驗報名表，截止至7月4日收件，共計7家實驗室10組劑量計參與第2次能力試驗。7月7日起開始接收劑量計進行校正作業。預計8月18日起進行批次照射作業，配合實驗室TAF認證展延認證需求，已提前將第二次肢端劑量計能力試驗於114年下半年完成，本次共計10組劑量計參與能力試驗，試驗結果10組劑量計均通過能力試驗，第二次肢端劑量計能力試驗通過率100%(圖15)。

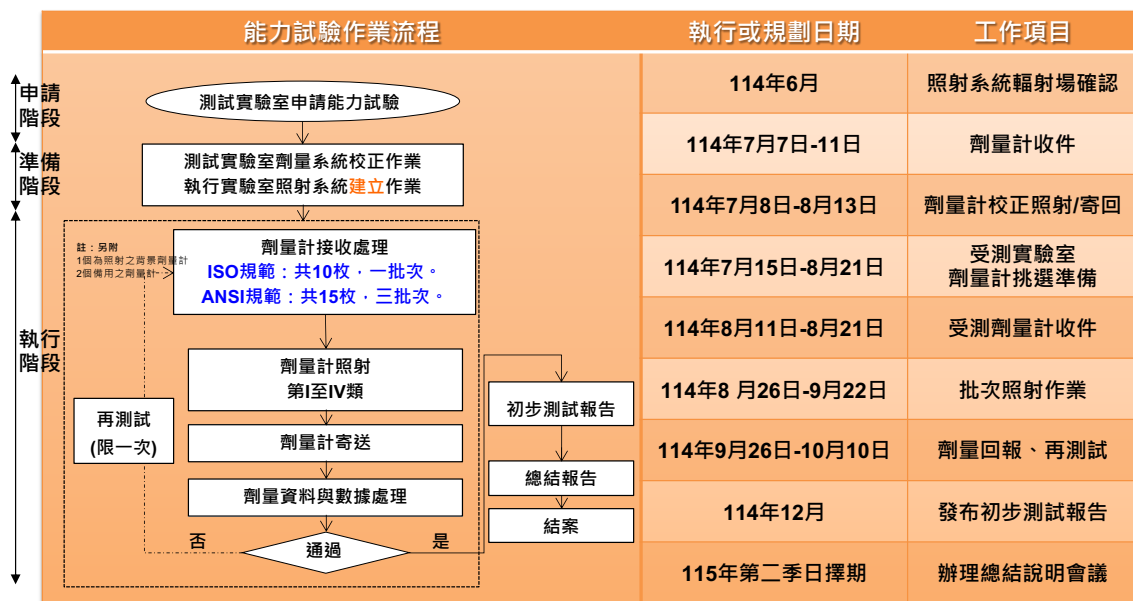


圖 13、第二次肢端劑量計能力試驗作業流程與規劃時程



圖 14、第二次肢端劑量計能力試驗照射類別與射質介紹

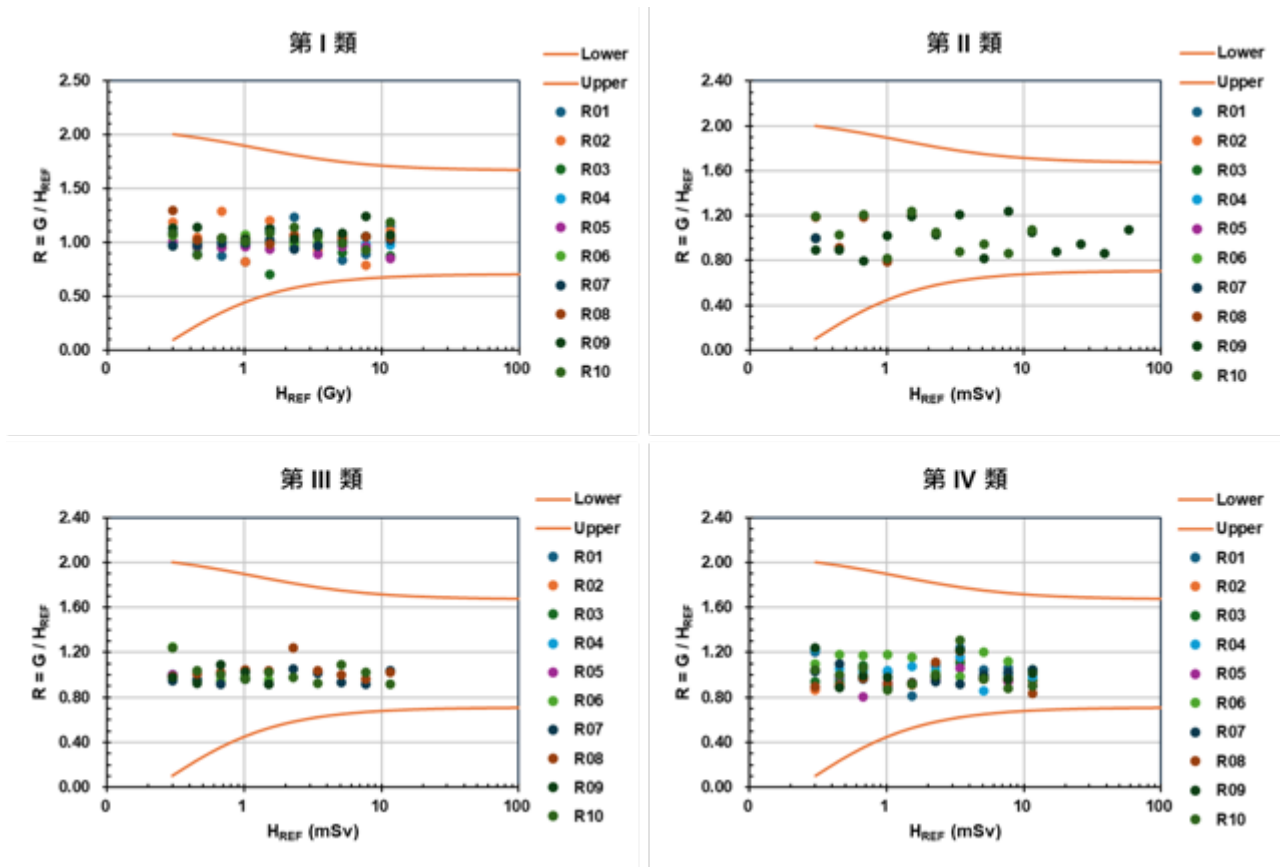


圖 15、第二次肢端劑量計能力試驗之 10 組測試結果顯示均通過

## 五、優化國人生物劑量分析技術與評估研究

### 1. 執行國人染色體背景值分析至少 3 例

配合本年度 TAF 證書效期屆滿前之證書展延現場評鑑，除品質、作業程序書和表單等文件外，TAF 監評委員通知審查技術組人員現場實地操作。實驗室內部安排實驗時間，聯繫合作採樣單位溝通協調血樣取得時間跟採樣條件，填妥 ISO/IEC 17025 : 2017 規範下之 BL2-QC02-01 分析委託單和 BL2-QC02-03 樣品採集資料，實驗室技術主管已於 114 年 7 月 8 日~8 月 26 日派員進行第 1 至第 3 例之收案，依標準作業程序(BL2-TE03 和 BL3-TE01~BL3-TE04)與技術組人員進行實驗。本例實驗所有蒐集之染色體影像將作為本年度 Case A~C 三例背景值之分析(表 15)。實驗室團隊完成之前研究成果，投稿於 114 年參加生醫聯合年會通過審查，發表研討會壁報論文 1 篇，題目為 Establishment and International Collaboration of the NARI Human Biodosimetry Laboratory for Radiation Dose Assessment and Public Health Protection。(圖 16)

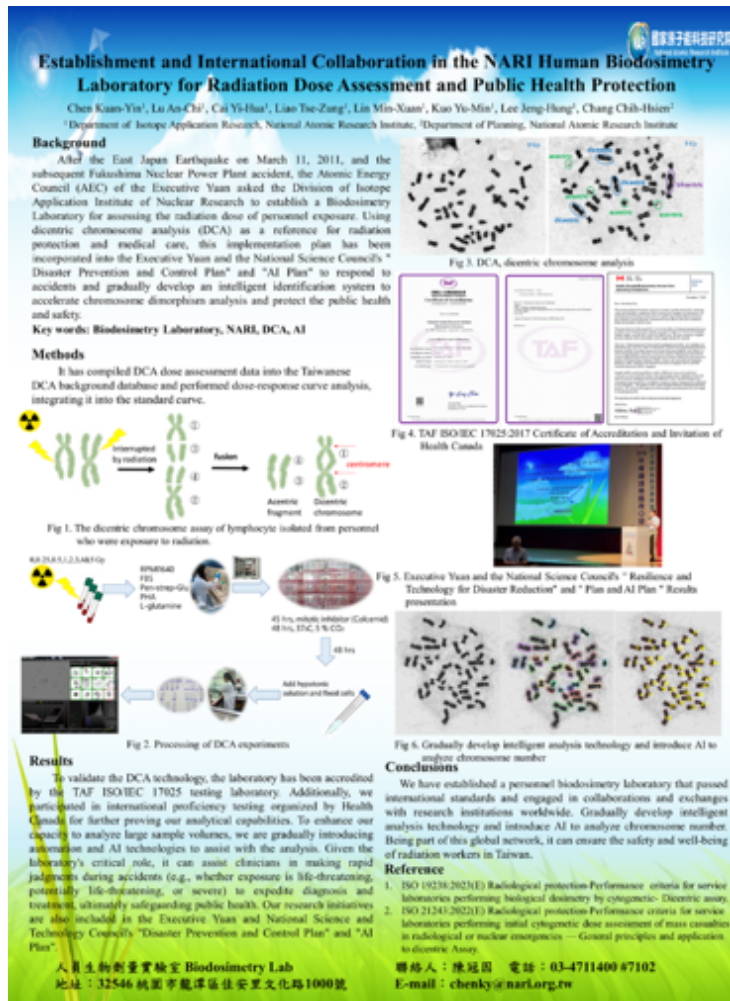


圖 16、114 年參加生醫聯合年會研討會發表壁報論文 1 篇(Establishment and International Collaboration of the NARI Human Biodosimetry Laboratory for Radiation Dose Assessment and Public Health Protection)

表 15 本年度背景值染色體雙中節比例

	2025年背景值雙中節		
案例	Case A	Case B	Case C
分析影像	1006	1002	1112
雙中節數	2	1	1
千分比 (%)	1.988	0.998	0.899

表 16：背景值資料庫男女染色體雙中節比例

累計至2025年背景值雙中節			
性別	男	女	總數
人數	18	25	43
分析數	18260	25670	43930
雙中節數	14	19	33
千分比 (%)	0.77	0.74	0.79

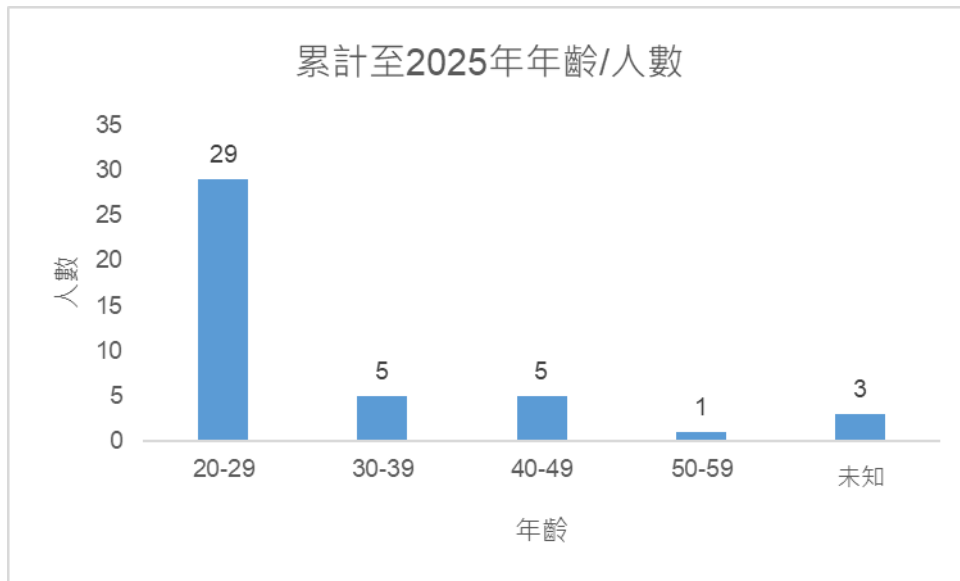


圖 17、背景值累計年齡人數

## 2. 通過 TAF 實驗室認證展延

TAF 證書效期於今年度屆期，為持續 TAF 實驗室之有效認證，須辦理展延認證作業，在證書效期屆滿前更新、修正及確認 ISO/IEC 17025：2017 規範下之一、二、三階之品質手冊(BL1QC01)1 份、作業程序書(35 份)、表單(40 份)文件共計 86 份(圖 18)，相關文件須符合 TAF 規範與技術文件要求[5, 10-13]，並進行實驗室內儀器、設備之校正與確效，取得 SGS 之校正報告並填妥表單後，連同品質文件上傳 TAF 官網申請證書展延。TAF 通過書面初步審查，6 月 12 日獲 TAF 通知受理證書展延。將於 114 年 7 月 14~15 日進行證書展延的現場評鑑，委員對本實驗室有深刻印象，在於檢測能力佳、人

力單純和人員親切。現場評鑑後針對本實驗室相關手冊、作業程序和表單進行修改，共修改及填表 19 份文件，回覆 TAF 修正文件後複審後，於 10 月 7 日獲得展延認證通過證書(圖 19)。

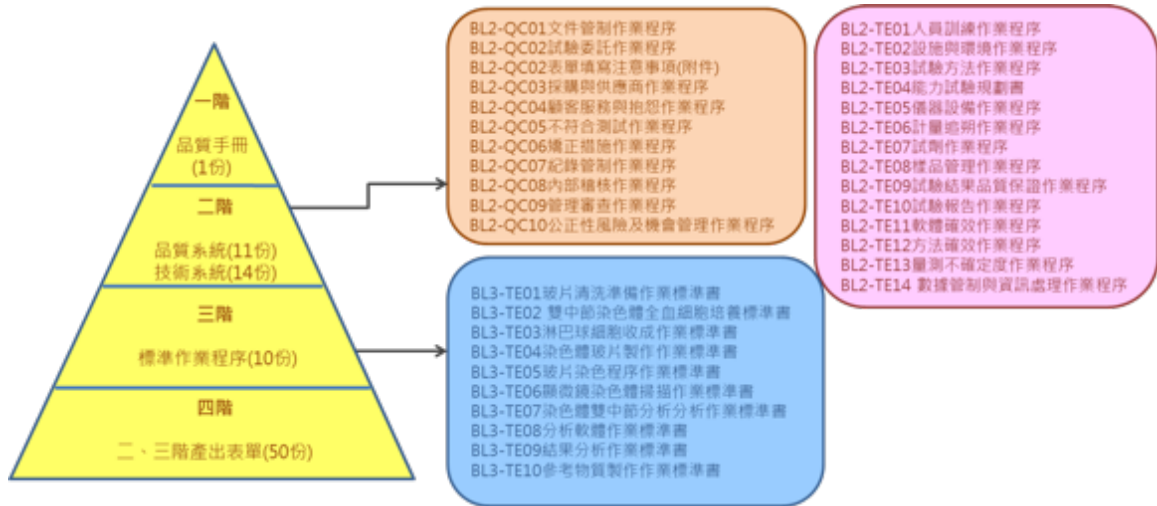


圖 18、 TAF 實驗室展延認證所需各階段手冊、文件、表單



圖 19、 TAF 實驗室證書

3. 訓練人工智慧分析染色體雙中節技術-建立染色體影像不重疊情況下之染色體數目辨識能力

從 113 年 CaseA 之染色體影像分析圖檔，從編號 202403-A01-A-01-001~A.3 至 202403-A01-A-01-001~A.2193 中挑選出 1024 個無重疊影像之圖檔，製作染色體不重疊影像之檔案，以人工智慧輔助染色體數量分析軟體進行染色體影像辨識。去除無效影像後得到 909 個有效圖檔，計數 46 條染色體數量正確之影像 454 張，占比 49.94%，分析規則如下圖 20 所示：

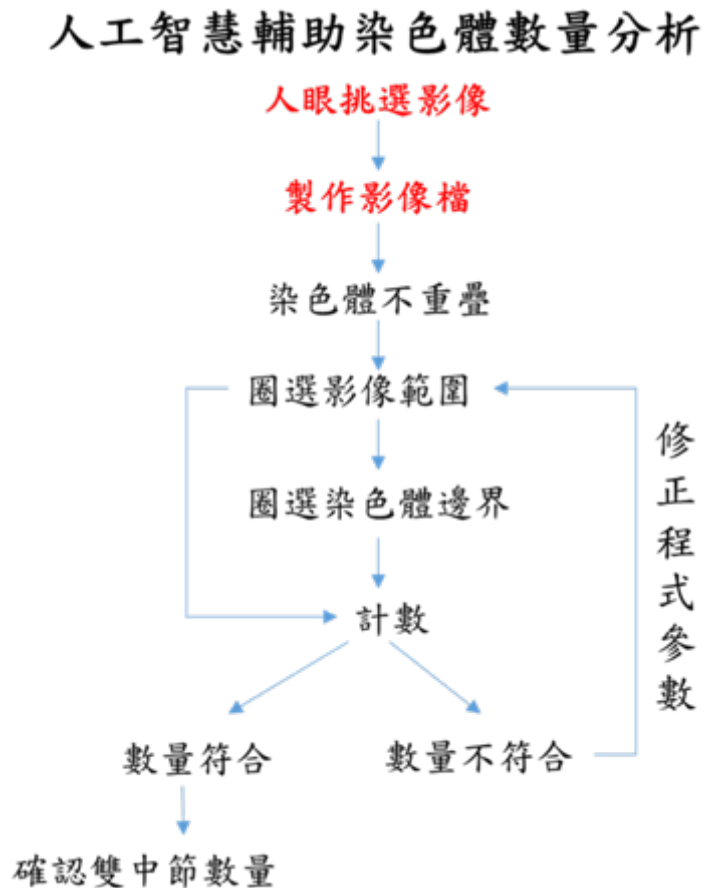


圖 20、人工智慧輔助染色體數量分析流程

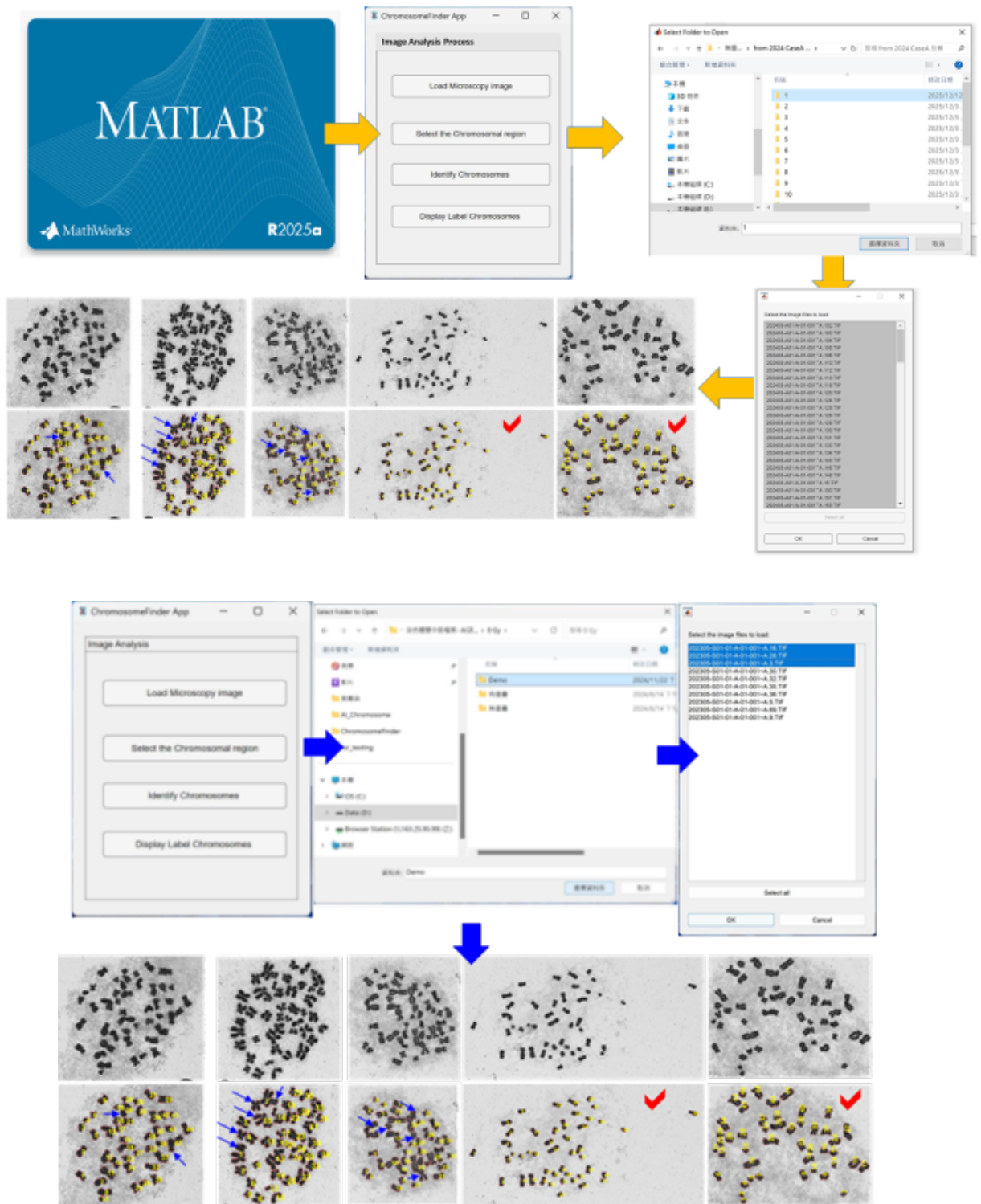


圖 20、人工智慧輔助染色體數量分析情況

## 陸、結論與建議

114 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：

### 子項計畫一：精進國內輻射防護規範及試辦研究

1. 完成輻射工作人員劑量監測與管理導則草案初稿，9月25日完成專家審查會議，依據會議之修訂建議完成劑量監測導則草案初稿修訂。
2. 完成眼球水晶體劑量監測溝通說明宣導會議，於10月31日至11月11日間完成北中南東各一場之會議，共計131單位與328人次參與。
3. 完成游離輻射防護國際資料研析，針對歐盟、法國、英國、加拿大、日本與新加坡之游離輻射防護法規體系進行定期會議討論，並與我國游離輻射安全標準現行法規進行研析探討，完成游離輻射防護國際資料研析報告。

### 子項計畫二：厚實全國輻射檢校實驗室能力研究

1. 提前完成我國首次眼球水晶體劑量計能力試驗，於6月26日辦理「第一次眼球水晶體劑量計能力試驗總結說明會暨第二次肢端劑量計與第十三次人員劑量計能力試驗執行前說明研討會」，計共有10個單位28位專家學者參與會議，本次能力試驗共7家實驗室10組劑量計全數通過能力試驗，確認國內實驗室具備提供服務之品質，為眼球水晶體劑量監測開啟重要里程碑。
2. 已6月26日完成「第一次眼球水晶體劑量計能力試驗總結說明會暨第二次肢端劑量計與第十三次人員劑量計能力試驗執行前說明研討會」，計共有10個單位28位專家學者參與會議，並確認各類別輻射場與照射類別之射質。第十三次人員劑量計能力試驗提前於12月1日至8日進行劑量計校正收件作業。

3. 配合核安會需求，提前完成第 2 次肢端劑量計能力試驗，本次能力試驗共 7 家實驗室 10 組劑量計全數通過能力試驗，確認國內實驗室具備提供服務之品質。

### 子項計畫三：優化國人生物劑量分析技術與評估研究

1. 完成本年度 3 例背景值分析數據雙中節平均發生率為 1.282‰。歷年累計至 114 年之資料庫數據總計 43 例，歷年累計雙中節平均發生率：0.751‰。以及完成實驗室團隊之前完成之研究成果，並完成染色體研究成果投稿研討會壁報論文 1 篇。
2. 完成 TAF 實驗室展延認證之手冊、文件和表單共計 86 份文件之更新作業，並通過 TAF 委員現場監督評鑑取得展延後之證書。
3. 完成染色體影像不重疊分析用圖檔之挑選，製作 1024 個染色體不重疊影像之檔案並完成進行分析。

## 柒、參考文獻

1. ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37 (2-4), 2007.
2. ICRP, 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, ICRP Publication 118, Ann. ICRP 41(1/2), 2012.
3. IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna, 2014.
4. 財團法人全國認證基金會(TAF) · 「能力試驗活動要求 TAF-CNLA-R05(12)」 · 2024 °
5. 財團法人全國認證基金會(TAF) · 「測試與校正實驗室能力一般要求 TAF-CNLA-R01(5)」 · 2018 °
6. 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 °
7. ANSI, "Radiation Protection Instrumentation Test and Calibration," ANSI N323A-1997, 1997.
8. ANSI & HPS, "American National Standard for Personnel Dosimetry Performance - Criteria for Testing," ANSI/HPS N13.11, 2022.
9. ANSI & HPS, "American National Standard for Performance Testing of Extremity Dosimeters," ANSI/HPS N13.32, 2018.
10. ISO/IEC, "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories," ISO/IEC 17025:2017, International Organization for Standardization, 2017.
11. ISO, "Radiological protection — Criteria and performance limits for the periodic evaluation of dosimetry services for external radiation," ISO 14146:2024, International Organization for Standardization, 2024.
12. ISO/IEC, "Conformity assessment — General requirements for the competence of proficiency testing providers," ISO/IEC 17043:2023, International Organization for Standardization, 2023.
13. ISO, "Radiological protection - Performance criteria for service laboratories performing biological dosimetry by cytogenetics - Dicentric assay," ISO 19238:2023, International Organization for Standardization, 2023.
14. ISO, "Radiological protection - Performance criteria for service laboratories performing initial cytogenetic dose assessment of mass casualties in radiological or nuclear emergencies - General principles and application to dicentric assay," ISO 21243:2022, International Organization for Standardization, 2022.
15. IAEA, "Cytogenetic analysis for radiation dose assessment," Technical Reports Series No. 405, IAEA, Vienna, 2001.
16. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, Official Journal of the European Union, L 13, 2014.

17. ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 1, ICRP Publication 134, Ann. ICRP 45(3/4), 2016.
18. ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 3, ICRP Publication 137, Ann. ICRP 46(3/4), 2017.
19. ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 4, ICRP Publication 141, Ann. ICRP 48(2/3), 2019.
20. ICRP, Occupational Intakes of Radionuclides: Part 5, ICRP Publication 151, Ann. ICRP 51(1/2), 2022.
21. ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21(1-3), 1991.
22. ICRP, Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, ICRP Publication 119, Ann. ICRP 41(Suppl.), 2012.
23. ICRP, Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures, ICRP Publication 116, Ann. ICRP 40(2-5), 2010.
24. ICRP, Protection Against Radon-222 at Home and at Work, ICRP Publication 65, Ann. ICRP 23(2), 1993.
25. ICRP, Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection, ICRP Publication 66, Ann. ICRP 24(1-3), 1994.
26. IAEA, Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. GSG-7, IAEA, Vienna, 2018.
27. 核能研究所 INER-11162 報告·黃增德、朱健豪、林怡君·「以蒙地卡羅方法計算自由空氣游離腔之光子散射及電子損失及電極遮蔽效應修正因子」·2014。
28. 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, International Organization for Standardization, 2019.
29. 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, International Organization for Standardization, 2019.
30. 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, International Organization for Standardization, 2019.
31. ISO, "Nuclear Energy - Reference Beta Particle Radiations - Part 1: Methods of Production," ISO 6980-1, International Organization for Standardization, 2006.