

# 政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：提升輻射安全管制技術之研究(3/4)

---

---

(環境科技群組)(原子能領域)

性質：

研究型

非研究型(人才培育、國際合作、法規訂定、產業輔導及推動)

主管機關：行政院原子能委員會

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所、長庚大學、

中華民國醫學物理學會、清華大學

## 目錄

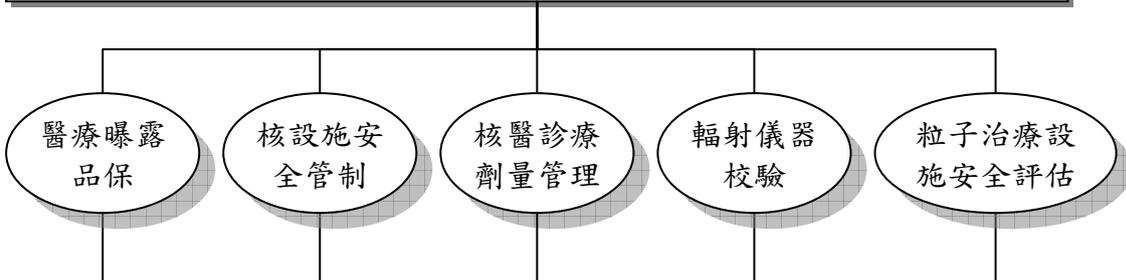
壹、科技施政重點架構圖.....	
貳、基本資料.....	
參、計畫目的、計畫架構與主要內容.....	
一、計畫目的與預期成效.....	
二、計畫架構(含樹狀圖).....	
三、計畫主要內容.....	
肆、計畫經費與人力執行情形.....	
伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output).	
陸、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome).....	
柒、與相關計畫之配合.....	
捌、後續工作構想之重點.....	
玖、檢討與展望.....	

# 第二部分：政府科技計畫成果效益報告

## 壹、科技施政重點架構圖：

科技施政願景  
| 施政重點 |  
績  
效  
指  
標  
| 執行措施(綱要計畫)

1. 防制潛在的輻射危害，強化游離輻射管制措施，精進輻射安全管制技術
2. 推動原子能科技在醫學診療與工業應用安全之研究發展
3. 提升國家游離輻射標準，以落實原子能科技於社會民生福祉與永續發展之目標



1. 電腦斷層掃描儀、乳房 X 光攝影儀、透視攝影 X 光機之輻射醫療曝露品質保證作業現況調查與品質保證流程建立；放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究
2. 研製輻射作業場所之環境核種分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)。
3. 服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則研究；建立醫用活度計校正效率評估技術；進行核醫藥物醫療曝露品保項目與執行方法之研究。
4. 建立國內放射治療劑量稽核技術；執行全國人員劑量計能力試驗、指環劑量計能力試驗、中低強度核種分析能力試驗、輻射偵測儀器校正評估研究；建立國內使用之表面污染/輻射劑量偵測儀器性能評估技術。
5. 建立質子治療設施誘發高能中子能譜之量測驗證技術；執行質子治療設施誘發高能中子之環境劑量評估研究。

- (1) 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究
  - (2) 放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究
- 經費：10,522 仟元(第一年)  
執行單位：長庚大學、中華民國醫學物理學會

- (1) 輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立
  - (2) 核子醫學診療輻射劑量評估研究
  - (3) 輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立
  - (4) 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立
- 經費：13,229 仟元(第三年)  
執行單位：行政院原子能委員會核能研究所、清華大學

## 貳、基本資料：

計畫名稱：提升輻射安全管制技術之研究(3/4)

主持人：李若燦

審議編號：103-2001-02-05-07

計畫期間(全程)：101年1月1日至104年12月31日

年度經費：23,751千元 全程經費規劃：100,340千元

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所、長庚大學、中華民國醫學物理學會、清華大學

## 參、計畫目的、計畫架構與主要內容

### 一、計畫目的與預期成效：

考量目前科技進步、民眾生活品質提高，游離輻射於民生應用之發展較過去更為快速增長，因此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、審查及評估之技術，奠定基礎。本計畫之總目標為提升輻射防護管制作業效能，確保輻射防護管制作業品質，進而增進民眾對輻射安全與醫療品質之信心，各分項計畫之研究目的與預期成效分述如下：

#### (一) 醫療曝露品保作業研究 (101-104)

##### 1、放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究 (101-104)

影像診療設備之輻射醫療曝露品質，是醫用輻射安全中重要的一環，其目的為在得到可達診斷或治療目的之影像品質的前提下，盡量降低病人及工作人員的輻射曝露。在放射診斷的設備中，我國依據游離輻射防護法第十七條規定，已分別於民國97及100年將乳房X光攝影儀及電腦斷層掃描儀納入，要求必須執行輻射醫療曝露品質保證作業，並持續至各醫療院所進行檢查。本計畫擬協助原能會進行研究，

針對全國電腦斷層掃描儀及乳房X光攝影儀之輻射醫療曝露品質保證作業，作抽樣實地檢查，並對於品質保證作業未來方向，如考量病人體型的電腦斷層輻射劑量、健檢項目及數位乳房攝影等，提出相關數據或方法。針對透視攝影設備，將進行實地訪查及測量、辦理品保實作訓練，並進行各種設備的比較性研究。除了解國內透視攝影設備醫療曝露之現況，以供原能會未來推動相關輻射醫療曝露品保作業參考外，亦可協助醫療院所精進透視攝影診斷及治療程序的醫療曝露品質，以及開展品保作業。

## 2、 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究 (103-104)

根據民國 99 年衛生署的資料顯示，國人十大死因中惡性腫瘤仍高居首位，其死亡數占總死亡數的 28.4%，顯見惡性腫瘤仍是國人健康的最大威脅。惡性腫瘤的治療方式目前仍以外科手術、化學治療及放射治療為主。專以放射治療而論，國內每年接受放射治療的病患約達 120 萬人次，約有 76 個醫療單位提供放射治療的服務，因應醫療服務及治療品質的需求，放射治療技術進展迅速，近年來陸續引進各項先進的治療儀器及治療技術，然而，先進的醫療服務需要更審慎的品保措施及劑量驗證規劃，才能確保病人的治療品質。

自民國94年起依「游離輻射防護法」推動輻射醫療曝露品質保證制度，同年7月1日起，依據「輻射醫療曝露品質保證標準」，針對放射治療相關的設備，包括：醫用直線加速器、鈷六十遠隔治療機、遙控式後荷近接治療機、電腦斷層治療機、電腦刀及加馬刀等設備，訂定輻射曝露品質保證作業程序與規範。然而，這些作業程序的實際執行需要進一步的查核與驗證，唯有藉由完整的實作檢視，方能使管制面與執行面密切結合。考量近年來醫用直線加速器及電腦斷層治療機均已使用強度調控放射治療技術，而執行此技術時需使用多葉準直儀系統，因此，本研究除檢視「輻射醫療曝露品質保證標準」的品保作業項目，亦將多葉準

直儀的品質保證作業也將納入本研究的範疇。藉由實地訪查國內執行放射治療業務的醫療院所，建立全國放射治療劑量準確性與作業品質管控制度的資料庫，以檢視推行「輻射醫療曝露品質保證標準」的成效，並協助臨床單位提昇放射治療品質及技術水平，強化輻射曝露品質保證規範的完整性。

### **(二)輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立(103-104)**

環境輻射監測、輻射劑量評估與輻射偵檢為重要的輻防管制工作，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、保障輻射工作人員之關鍵。實驗室系統及設備校正為品質管制作業之重要的一環，透過可追溯至國家標準之標準參考物質進行系統及量測方法之修正，以提升實驗量測結果之可靠度；惟目前市面上缺乏國內本土之環境參考物質，且採購國際之環境試樣參考物質，包含國際運費後通常所費不貲，且運送時間冗長，也不一定有現成樣品，若由國內自行生產，則可解決以上問題並有效降低實驗採購成本，更可因應國內實驗室之實際運用與國情特性，發展符合本土化及客製化的環境試樣參考物質。

### **(三)核子醫學診療輻射劑量評估研究(101-104)**

近年來，國內對於應用核醫藥物進行各類型疾病之診療技術已日趨成熟，大幅度增加採用含有放射性同位素之核醫藥物進行相關醫療程序。但由於患者在施打該類型藥物後，放射性藥物活度會殘留於體內一定時間，而造成居家輻射安全議題隱憂。國內主管機關從民國 101 年起，委託本所進行核醫患者輻射安全相關議題研究，針對國內日益普及之核醫藥物應用，進行現況了解、核醫患者體外輻射劑量評估、乃至於與醫療院所合作，進行患者居家環境輻射量測，期能在不影響常規診療程序

前提下，有效抑低患者家屬、醫療從業人員、以及一般民眾之非預期輻射劑量，以防範未然之心態為民眾之輻射安全把關。

#### (四)輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立(101-104)

環境輻射監測、輻射劑量評估與輻射偵檢為重要的輻防管制工作，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、保障輻射工作人員之關鍵，因此必須透過認證來確認全國各相關實驗室是否具備足夠技術能力與品質來保證執行校正、測試業務。能力試驗是實驗室認證重要的一環，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。

此外，有鑑於醫療輻射之需求與使用與日俱增，國際間之輻射防護機構或衛生主管機關已利用規範、建議或法規方式，限制或建議醫療輻射曝露的使用。由於攸關全民之健康，亟需研究建立本國各項醫療曝露品質保證之作業程序與技術規範、輻射劑量評估之技術、以及執行品保作業之技術。

911 恐怖攻擊事件以後，反恐已成為國際間重要的課題。對於放射性物質被恐怖份子利用之可能威脅，於配備上應以設計精準、靈敏的量測設備與技術成為防制的重要手段，故宜建立完善的量測程序及標準，對於此類事件之因應將有莫大的助益。此外，美國 ANSIN42 系列規範已制訂與國土防衛安全相關之輻射防護與監測儀器檢測標準，以提供業者作為研製輻防設備之依據，因此將積極研究國內外相關規範與技術報告，建構符合國際標準之輻射偵測儀器檢測技術與驗證平台，有效提昇國內核儀產品製造性能與量測準確度，並確保民眾之輻射安全。

另執行完成 30 至 50 kV (櫃型)X 光機 139 及式/移動式 X 光機 122 台，總計 261 台 X 光機之現場輻射安全檢查。檢測結果在設備規格符合性上，不符的有 31 台，無法辨識的有 3 台，不符合率約為 11.48%；不符合之主要原因為型號或序號與登錄不符。在必要檢查項目中，全部 X 光機均符合規定。此外，有 1 台手持式 X 光機在無樣品時亦能直接照射(無安全連鎖裝置或已失效)，經查核後通知維修修復。X 光機的輻射安全風險分析結果彙整如下：

輻射安全風險分析結果彙整

	移動型/手持式 X 光機	30 至 50 kV(櫃型)X 光機
正常作業之人員劑量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 工作人員居佔位置淨年劑量：0.084 mSv/y;</li> <li>● 工作人員手部淨年劑量：0.051 mSv/y</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 工作人員居佔位置淨年劑量：背景水平;</li> <li>● 工作人員手部淨年劑量：背景水平</li> </ul>
異常使用之人員劑量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 受照射人員之最大可能劑量：3.92 mSv/秒</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 受照射工作人員之最大可能劑量：9.5 uSv/次</li> </ul>
正常作業之輻射安全風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 工作人員居佔位置淨年劑量誘發之機率效應風險： 4.03×10<sup>-4</sup>%(ICRP 60) 3.44×10<sup>-4</sup>%(ICRP 103)</li> <li>● 相當於照了 4.2 張胸腔 X 光片的風險；</li> <li>● 工作人員手部劑量： 0.051mSv/y&lt;&lt;100mGy (mSv)</li> <li>● 確定效應不會發生。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 工作人員之年劑量均在背景輻射劑量的範疇，因此不須特別考慮其風險。</li> </ul>
異常使用之輻射安全風險	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 受照射人員(一般人)誘發之最大機率效應風險： 2.15×10<sup>-2</sup>%(ICRP 60) 2.35×10<sup>-2</sup>%(ICRP 103)</li> <li>● 相當於 1 秒鐘照了 196 張胸腔 X 光片的風險；</li> <li>● 最大劑量的狀況下，異常照射超過 26 秒可能會導致確定效應的發生。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 受照射人員(工作人員)誘發之最大機率效應風險： 4.56×10<sup>-5</sup>%(ICRP 60) 3.89×10<sup>-5</sup>%(ICRP 103)</li> <li>● 每次異常操作照射最大劑量狀況相當於是接受了不到 1 張胸腔 X 光照射的終身致癌風險。</li> <li>● 累積異常照射超過 10,527 次後，劑量才會超過 100 mGy/100 mSv，也才會導致確定效應發生。</li> </ul>

### (五) 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立(101-104)

質子或其他高能粒子放射治療是目前對抗腫瘤最新的利器之一，相較於傳統的高能光子治療，高能粒子治療能給予癌細胞更高的劑量，並減少正常組織的輻射傷害，因此目前國際間有越來越多的國家建置質子(高能粒子)治療設施。由於高能質子在加速過程中會與不同材質的加速器組件發生碰撞而產生大量中子，並對醫院工作人員、病患及週邊環境造成額外的中子輻射劑量，如何量測及評估此中子劑量，將是質子(高能粒子)放射治療設施輻射防護的重點工作之一。

本計畫將延續前兩年度之研究成果，建立蒙地卡羅程式評估多球式中子能譜量測系統對不同能量中子的反應度，並以 Cf-252 標準中子源，對蒙地卡羅的評估結果作反復的驗證與調整，確證技術建立之成效，並將多球式中子能譜偵檢器對不同能量中子反應度的計算由 20 MeV 延伸至 GeV 等級，使中子能譜系統的量測範圍可涵蓋國內質子治療機誘發中子之能量，同研製完成高靈敏度的多柱式中子能譜量測系統，以因應低中子劑量情況下的量測需求。本年度也將實際以多球式或多柱式中子能譜系統系統，對國內質子治療設施誘發中子進行能譜的蒙地卡羅評估與量測比對驗證。

## 二、計畫架構(含樹狀圖)：

### (一) 醫療曝露品保作業研究

#### 1. 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

項目一：電腦斷層掃描儀輻射醫療曝露品質保證作業檢查。

執行醫療院所電腦斷層掃描儀輻射醫療曝露品質保證作業檢查，並建立考

量病人體型之劑量評估方法與劑量分布研究、心臟及肺臟之健檢項目的劑量評估。

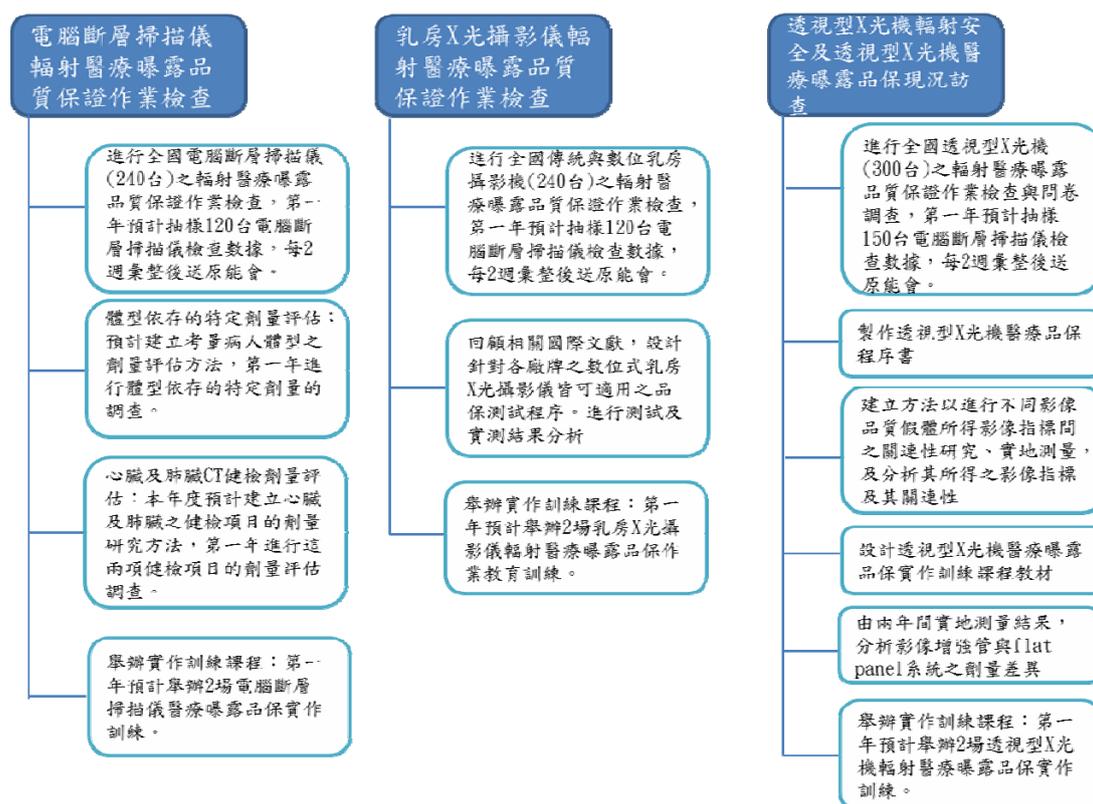
### 項目二：乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品質保證作業檢查。

執行醫療院所乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品質保證作業抽樣檢查，並設計適用於各廠牌數位式乳房 X 光攝影儀之品保程序及進行測試結果分析。檢查國內醫療院所配置之乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品保作業。

### 項目三：透視型 X 光機輻射安全及透視型 X 光機醫療曝露品保現況訪查。

進行透視型 X 光機醫療曝露品質保證作業訪查、辦理相關實作訓練課程，並進行不同影像品質假體所得影像指標之關聯性研究、影像增強管與平板式(flat panel)系統之劑量差異研究。

其詳細的工作項目如下圖：



## 2. 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

項目一、放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。

項目二、建立國內醫療院所放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料

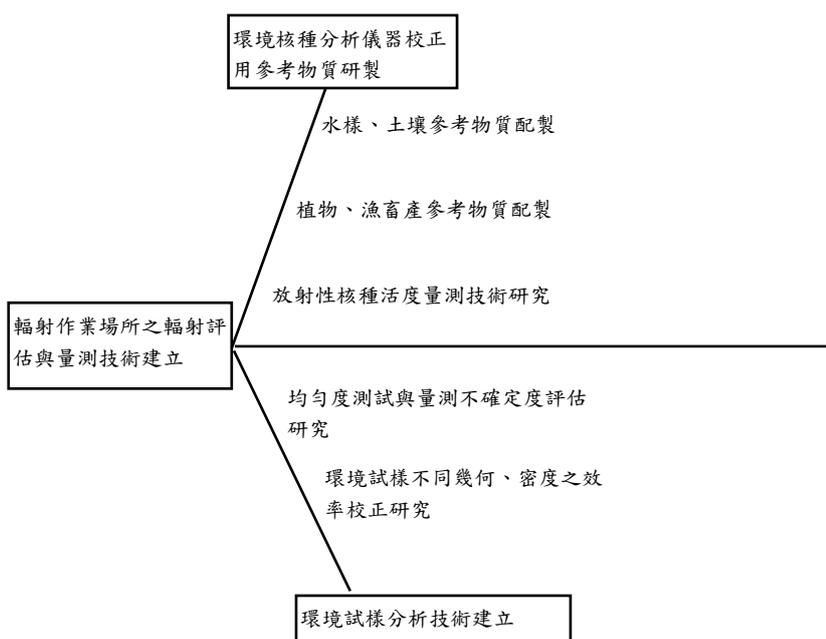
庫。

項目三、進行多葉準直儀品質保證作業輔導訪查，評估多葉準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性。

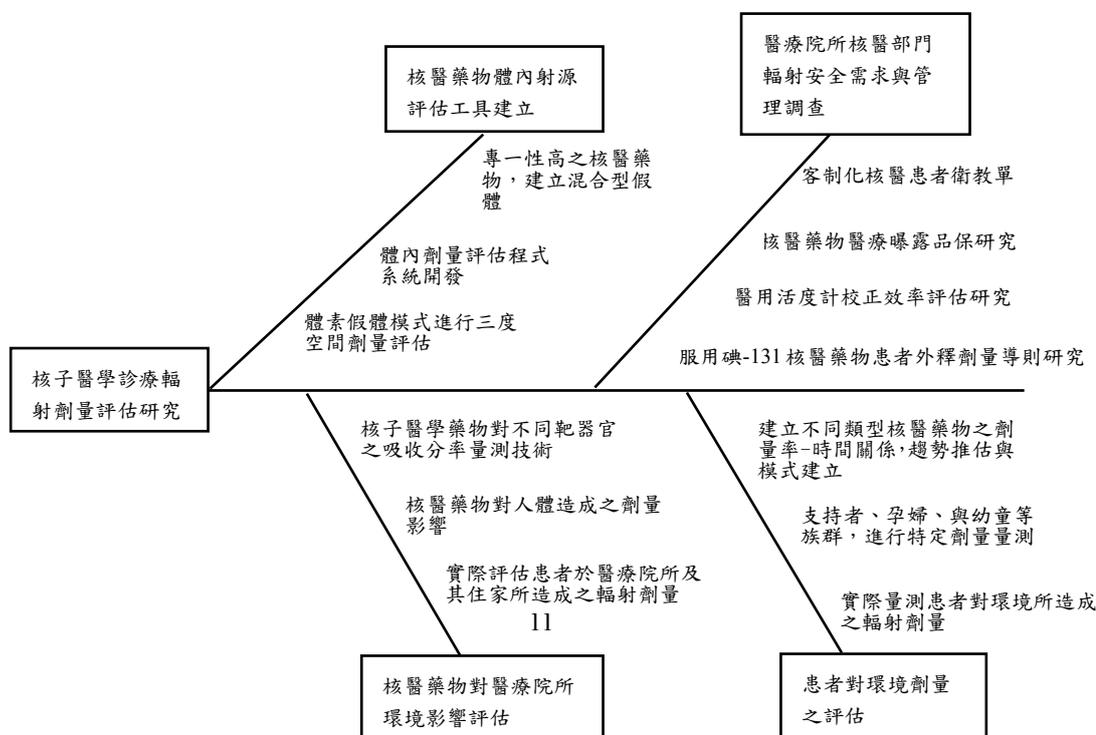
項目四、提升國內醫療院所放射治療輻射醫療曝露品保人員專業能力。

項目五、產出量化值。

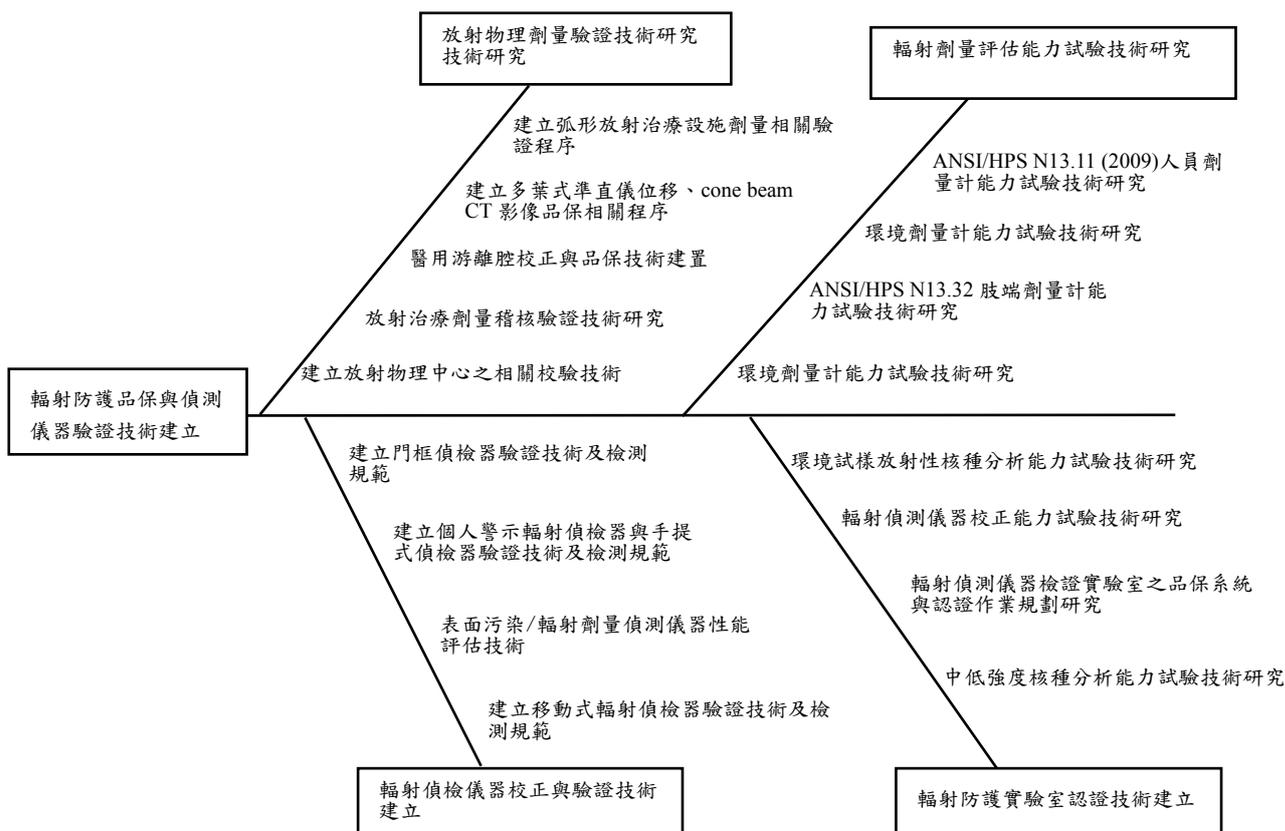
### (二) 輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立



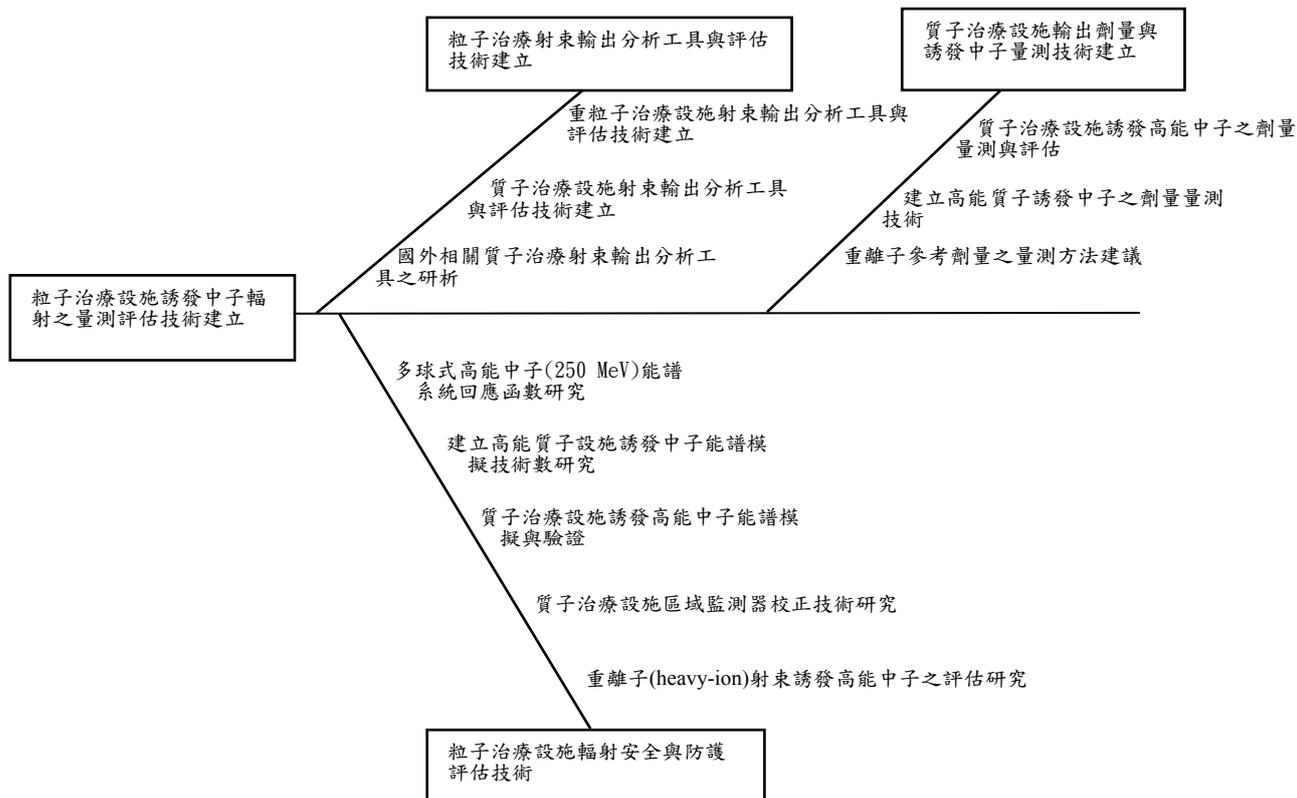
### (三) 核子醫學診療輻射劑量評估研究



### (四)輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立



### (五)粒子治療設施之輻射量測評估技術建立與審查研究



### 三、計畫主要內容

#### (一) 醫療曝露品保作業研究

##### 1. 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究(101-104)

我國於民國 94 年開始依據「游離輻射防護法第十七條」規定，推動輻射醫療曝露品質保證作業，目前所有放射治療設備及乳房 X 光攝影儀、電腦斷層掃描儀等均已納入，成為應實施輻射醫療曝露品質保證作業之設備。本研究計畫之主旨為協助原能會進行電腦斷層掃描儀及乳房 X 光攝影儀之品保相關檢查作業，以確保相關作業符合法規規定，保障民眾輻射安全。同時延續 101 及 102 年度之透視攝影儀訪查作業，並擴大規模，廣泛調查國內醫療院所對於透視攝影輻射安全及透視型 X 光機醫療曝露品質保證作業的執行現狀、執行品質保證作業所面臨之問題與所需的協助，並收集該等設備相關品保測試數據，做為日後研擬推動透視型 X 光機醫療曝露品質保證作業之參考。

##### 2. 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究(103-104)

###### 項目一：放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。

進行國內所有使用中醫用直線加速器、含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備、電腦斷層治療機、電腦刀及加馬刀放射治療設備之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查，檢查數據每 2 週彙整後送原能會。

###### 1. 研究計畫資料蒐集與人員訓練

###### (1) 資料蒐集

###### a) 彙整國內所有使用中的醫用直線加速器、含放射性物質之遙控後荷

式近接治療設備、電腦斷層治療機、電腦刀及加馬刀放射治療設備的機型及射源或 x 射線的形式的詳細資料。

b) 彙整國內所有放射治療醫療業務單位執行品保作業的完整資料，包括游離腔及電量計校驗報告、劑量校驗使用方法及其詳細參數。

## (2) 人員訓練

本計畫對研究助理進行為期 1-2 個月的教育訓練，訓練內容包含「輻射醫療曝露品質保證標準」規範的放射治療設備品保作業內容及其學理，與美國醫學物理學會(AAPM)發表的 TG-21 及 TG-51 議定書等。

## 2. 書面審查與制訂現場查核工作紀錄評核

(1) 書面審查。依據蒐集的資料召開研究會議，討論各放射治療業務單位執行品保作業的正確性與適當性。若發現有明顯失當之處，將立即與該單位聯繫，確認問題所在，並同時將相關資料彙整送原能會。

(2) 參考「輻射醫療曝露品質保證標準」程序書所述及 TG-21 與 TG-51 議定書之工作表格 (worksheet)，制訂本計畫現場查核之工作紀錄評核表，查核內容包括：

a) 「輻射醫療曝露品質保證標準」作業內容、輻射醫療曝露品質保證組織及品保專業人員資格；「輻射醫療曝露品質保證標準」作業紀錄等。

b) 醫用直線加速器品保作業實測檢查：

1) 光子及電子射束輸出劑量。2) 光子及電子射束中心軸於治療深度之劑量參數。3) 光子及電子射束之平坦性與對稱性(具備電子射束者，至少需執行 2 種臨床上最常使用的能量)。

c) 含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備實測檢查：

1) 輻射源速率。2) 輻射源強度。3) 輻射源停留位置。4) 輻射源停留時間。

d) 電腦斷層治療機實測檢查：

1) 光子輸出劑量。2) 光子射束中心軸於治療深度之劑量參數。3) 確認射束長軸及橫軸剖面劑量之穩定性。4) 治療床垂直升降、前進後及

水平測試。

f)電腦刀實測檢查：

1) 光子輸出劑量。2) 光子射束中心軸於治療深度之劑量參數。3) 光子對稱與平坦性。4) 治療床移動準確性及影像導引系統 (Target Locating System) 準確性。

g)加馬刀實測檢查：

1) 輸出劑量。2) 治療計劃系統中心位置與量測中心位置之準確性。3) 計時器準確性。4) 機械中心點吻合測試。

**項目二、建立國內醫療院所放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料庫。**

進行放射治療設備的輸出劑量校驗方法及其誤差分析、輸出劑量及射束能量準確性之統計分析，並藉由執行項目一所蒐集的資料，建立全國完整的放射治療與品保設備及作業程序的資料。同時，根據現場查核完成之數據，統計分析全國 204 部治療機輸出劑量及射束能量的準確性。

**項目三、進行多葉準直儀品質保證作業輔導訪查，評估多葉準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性。**

為因應使用多葉準直儀執行強度調控放射治療的普遍性，多葉準直儀的品保作業試行辦法也將列入實地訪查的內容。

1. 進行國內醫用直線加速器及電腦斷層治療機多葉準質儀輻射醫療曝露品質保證作業訪查，訪查數據每 2 週彙整後送原能會。

醫用直線加速器訪查項目應包含：

(1) 多葉準直儀之光照野與輻射照野吻合。(2)備用輻射遮檔器(Backup diaphragms)與多葉準直儀相對位置之準確性。(3)葉片遷移速度。(4)葉片位置準確度。(5)葉片位置再現性。(6)葉片輻射中心點測試。(7)葉片穿透率。電腦斷層治療機訪查項目應包含：多葉式準直儀旋轉中心之扭曲測試。

分析前述訪查結果，將實際執行多葉準直儀品質保證作業項目、容許誤差值與操作程序書等議題提出具體建議。

#### 項目四、提升國內醫療院所放射治療輻射醫療曝露品保人員專業能力。

1. 每年舉辦放射治療醫療曝露品質保證專業課程及實作訓練課程各 2 場。
2. 輔導醫療院所品保人員（每年至少 70 人）熟悉多葉準直儀品質保證作業程序、輻射劑量計校正程序及相關放射治療技術實際量測流程。

本研究計畫每年完成約 204 部治療設備品保檢查作業，因為採取協同臨床品保專業人員共同執行方式，估計每年至少可以輔導國內約 100 名放射治療醫療曝露品保專業人員，提升其專業素養。

3. 形成教材 1 份。

103 年 10 月 7 日舉辦國際輻射風險溝通研討會（International Seminar on Radiation Risk Communication），廣邀各國風險溝通領域學者專家分享國際經驗並藉其提升輻射安全與民溝通之能力，除釐清目前輻射風險溝通之困境與難行外，亦提供風險溝通相關策略與技巧，期供給現行風險溝通者參考應用。

#### 項目五、產出量化值。

1. 完成 2 篇論文投稿。

103 年度的研究論文主題將著重在全國 204 部治療設備及所使用校驗設備的資料分析，同時呈現在全國性輻射曝露品質保證作業推行多年下的實際執行結果。104 年度的研究論文主題將著重在輻射曝露品質保證作業在國內推行的現況分析，比較執行項目與臨床作業的關係，藉以評估該項目之適切性，並分析劑量校驗方法與準確性之關係，提出更有效的校驗方法。

2. 碩士生培育 2 人（每年至少 1 人）。

本研究之內容每年協助一位專任研究助理執行碩士研究論文撰寫。

3. 研究報告 2 篇（每年至少 1 篇）。

本研究將於每年 12 月 6 日前完成年度研究報告，送交原能會。

#### 4. 形成教材 2 份。

本研究將編寫成輻射劑量計校正程序及放射治療品質保證作業程序之書面及電子教材，送原能會提供相關醫療院所參考使用。

### (二) 輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立(103-104)

游離輻射防護法第十條規範，輻射工作場所外應實施環境輻射監測；在環境輻射偵測品質保證規範之品質保證方案內容中，輻射度量系統之能譜及計測效率應使用校準射源作定期校準，且校準射源之準確度應可追溯至國家標準；因此必須研製分析儀器校正用之參考物質(水樣、土壤)，提升環境輻射監測實驗室量測準確度，以符合環境輻射偵測品質保證規範之規定。

### (三)核子醫學診療輻射劑量評估研究(101-104)

國內在核子醫學的使用及發展，已經日趨蓬勃，但在核子醫學藥物施打者對工作人員或一般民眾的輻射劑量、及核醫藥品涉及民眾安全的品質規範，甚或環境輻射的衝擊等議題，仍必須進行調查研究。核醫患者施打核醫藥物後，在醫療院所與其住家環境往往由於放射性核種留存在體內，而成為活動性射源，對醫療從業人員與一般民眾造成一些額外之劑量，就合理抑低之觀點，應對核醫患者之體內射源項評估、核醫藥品管理、人員管理與環境輻射監測等技術作更深入之探討，進而提昇國人之輻射醫療品質。

核醫藥物輻射屏蔽與輻射防護相關機制與評估技術研發，可有效抑低國內醫療院所之核醫部門由於診療行為所施予患者之非密封射源對醫療從業人員與一般民眾之額外劑量，以達民眾心安的目的。本計畫預計建立服用核醫藥物之患者對醫療從業人員與一般民眾所造成的劑量評估能力、醫療院所核醫部門輻射環境監測機制，有效防止患者對醫療從業人員與一般民眾意外曝露的發生；並落實病患管理與外釋評估，進

而減少醫療人員與一般民眾接受額外曝露的機會。

#### (四)輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立(101-104)

目前國內各醫院放射腫瘤部門，其輸出劑量標準攸關放射治療之成效，建立國家原級劑量追溯標準、弧形放射治療設施劑量驗證技術與醫用加速器高能光子射束校正技術，對於臨床治療的劑量準確性及提昇癌症的治癒率有莫大的助益。在醫療曝露品質保證標準方面，國內已將醫用直線加速器、含鈷六十放射性物質之遠隔治療機、含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備、電腦斷層治療機、電腦刀、加馬刀、乳房 X 光攝影機、電腦斷層掃描儀等納入品保制度，未來將規劃增加核醫活度計等設備，並參考美國放射物理中心之發展，建立國內相關之品保驗證技術與設施。為確保各醫療院所執行輻射醫療曝露品質保證作業的準確性，本計畫將參考美國放射物理中心的運作模式與醫療品保之國際發展趨勢，先針對國內現有放射治療設施進行探討與研究，利用游離腔、熱發光劑量計與設計適合之假體裝置以建立劑量驗證技術，並研擬品保作業程序，使醫院能夠符合輻防法規之要求，亦能提供主管機關進行管制作業之參考；未來計畫亦將逐步加入放射診斷、核子醫學及活體(in vivo)劑量驗證研究工作，使我國放射物理中心涵蓋之品保項目更加完整。

因應國內輻防管制與醫療曝露品保之需求，本計畫將研擬相關之量測與校正作業規範，建立劑量追溯標準、量測評估技術、能力試驗技術與輻射安全管制體系，並建構符合國際標準之輻射偵測儀器檢測技術與驗證平台，有效提昇國內核儀產品製造性能與量測準確度，以確保輻射工作人員及民眾之輻射安全，而建立全身計測認證技術、環境劑量計能力試驗及肢端劑量計能力試驗技術，則有助於提昇管制成效。

恐怖攻擊已成為國際間重要的課題，對於輻射彈可能的威脅，設計

精準、靈敏的量測設備與技術成為防制的重要手段，建立完善的量測程序及標準，對於因應此類事件有莫大的助益；此外，建立個人警示輻射偵檢器、手提式輻射偵檢器與門框偵檢器等設備之性能驗證技術及檢測規範，則能在面對此一威脅時，有效的進行事先防範以及訂定發生時之應變措施。

### (五) 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立(101-104)

隨著高齡化與生活型態的改變，世界各國癌症發生之人數均不斷上升，國際間較先進之國家業已陸續建造質子治療設施，以其高且集中治療能量之特性，提供部份癌症病患另一項較佳之治療選擇。原能會甫於 99 年 11 月通過我國第一座質子治療設施之輻射安全審查，目前還有其他大型醫院有意投資建置粒子治療設施，因此國內必須建立粒子治療設施之輻防評估及審查、劑量量測及評估技術，確保相關作業之輻射防護符合原能會的要求。

## 1. 年度目標及執行成果

本計畫之總目標為提升輻射防護管制作業及效能，而執行本計畫之主要目的為確保輻射防護管制作業之品質及效能，進而增進民眾對核能應用之信心。

### 1-1. 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

全程目標	執行成果	差異分析
項目 1-1：進行電腦斷層掃描儀之輻射醫療曝露品質保證作業檢查，第一年抽樣檢查約 120 台，檢查數據每二週彙整後送原能會。	完成台數：126。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 1-2：本年度預計建立考量病人體型之劑量評估方法，並開始體型依存的特定劑量的調查。	已建立評估方法，並配合訪查取得臨床數據。	自評是否符合進度：符合進度。

項目 1-3：本年度預計建立心臟及肺臟之健檢項目的劑量研究方法，並開始這兩項健檢項目的劑量評估調查。	已建立評估方法，並配合訪查取得臨床數據。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 1-4：進行電腦斷層掃描儀醫療曝露品保實作訓練課程，本年度預計舉辦 2 場。	4 月 27 日於三軍總醫院、8 月 3 日於高雄榮民總醫院，共舉辦二次品保作業教育訓練。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 2-1：抽樣進行 120 台乳房攝影儀之輻射醫療曝露品質保證作業檢查，檢查數據每 2 週彙整後送原能會。	完成台數：120。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 2-2：回顧相關國際文獻，設計針對各廠牌之數位式乳房 X 光攝影儀皆可適用之品保測試程序。	已完成。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 2-3：辦理 2 場乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品保作業教育訓練。	5 月 18 日於三軍總醫院、10 月 5 日於高雄榮民總醫院，共舉辦二次品保作業教育訓練。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 3-1：進行全國透視型 X 光機之輻射醫療曝露品質保證作業訪查與問卷調查，本年度預計訪查 150 台，檢查數據每 2 週彙整後送原能會。	完成台數：151。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 3-2：製作透視型 X 光機醫療品保程序書。	已訂定出十四項測試(附件 1)，包括(1)系統安全評估、(2)準直儀評估、(3)管電壓準確性及再現性、(4)照相模式之曝露時間準確性及再現性、(5)照相模式之曝露再現性及線性度、(6)照相模式之自動曝露控制系統評估、(7)射束品質的評估(半值層的測量)、(8)入射曝露(率)評估、(9)參考點累積空氣克馬之確認、(10)空間解析度、(11)對比度測試、(12)假影評估、(13)影像顯示器之評估、(14)影像增強管輸入曝露率。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 3-3：設計透視型 X 光機醫療曝露品保實作訓練課程教材。	已完成。	自評是否符合進度：符合進度。
項目 3-4：進行 2 場透視型 X 光機輻射醫療曝露品保實作訓練。	10 月 26 日於中山醫學大學附設醫院、11 月 23 日於台灣大學醫	自評是否符合進度：符合進

	學院附設醫院舉辦，共二次品保作業教育訓練。	度。
--	-----------------------	----

## 1-2. 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

全程目標	執行成果	差異分析
項目 1-1：放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查：醫用直線加速器之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	完成台數：135。	符合進度。
項目 1-2：放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查：含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	完成台數：38。	符合進度。
項目 1-3：放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查：電腦斷層治療機之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	完成台數：16。	符合進度。
項目 1-4：放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查：電腦刀之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	完成台數：5。	符合進度。
項目 1-5：放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查：加馬刀之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	完成台數：8。	符合進度。
項目 2：建立國內醫療院所放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料庫。	已完成。	符合進度。
項目 3：進行多葉式準直儀品質保證作業輔導訪查，評估多葉式準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性。	已完成。	符合進度。
項目 4：提昇國內醫療院所放射治療輻射醫療曝露品保人員專業能力。	103 年 10 月 31 日，11 月 1 日，11 月 15 日，11 月 28 日共舉辦放射治療醫療曝露品	符合進度。

	質保證專業課程及實作訓練課程共 4 場。	
項目 5-1：績效指標：完成 2 篇論文投稿。	103 年研究論文初稿已完成，預計 104 年 1 月投稿。	符合進度。
項目 5-2：績效指標：培育碩士生 2 人（每年至少 1 人）。	103 年度已培育碩士生 1 人。	符合進度。
項目 5-3：績效指標：研究報告 2 篇（每年至少 1 篇）。	已完成。	符合進度。
項目 5-4：績效指標：形成教材 2 份（每年至少 1 份）。	已完成。	符合進度。

## 2.核研所執行項目

分項計畫 2：輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立

分項計畫 3：核子醫學診療輻射劑量評估研究

分項計畫 4：輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

分項計畫 5 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立	103	研製輻射作業場所之環境核種分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)	<ul style="list-style-type: none"> <li>採集台灣當地未受人工放射性污染之環境物質，並參考其放射性指標，根據不同基質之特性進行乾燥、研磨及篩選之前製處理；依據 TAF(Taiwan Accreditation Foundation)測試領域環境試樣放射性核種技術規範 (TAF-CNLA-T09) 最低可測濃度活度要求之 10-100 倍活度為添加標準，以可</li> </ul>	符合進度

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>追溯至國家游離輻射標準之射源添加至實際空白基質中，進行均勻化之參考物質製備，並完成參考物質均勻度測試、不確定度評估與環境核種分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)研究報告。參考物質均勻度測試與不確定評估結果均在±5%以內，與國際上販售之參考物質標準一致，可提供作為國內環境輻射監測實驗室之標準參考試樣。</p>	
核子醫學診療輻射劑量評估研究	103	<p>(1)服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則研究  (2)建立醫用活度計校正效率評估技術  (3)與醫療機構、學術單位或相關學會合作，進行核醫藥物醫療曝露品保項目與執行方法之研究</p>	<p>●完成蒐集美國、歐洲、日本等國家之核醫患者外釋管制辦法，就實施目的、適用範圍、患者外釋返家基準、患者劑量率紀錄、其他注意事項等面向進行本土化外釋管制辦法研擬，並與中華民國核醫學會合作，就本議題進行臨床實務需求與可行性評估，已於6月20日提送「服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則草案」予主管機關進行審查；並與中華民國核醫學會合作，於11月1日舉辦「碘-131治療外釋國際研討會」，邀請日本、韓國、中國、馬來西</p>	符合進度

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>亞等國際專家學者與會，分享各國管理經驗與臨床實務需求。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>●利用 FLUKA 蒙地卡羅計算機程式進行國家游離輻射標準實驗室兩部醫用活度計 Centronic.inc IG11/A20 與 IG11/N20 之三維幾何模擬，建立固有效率計算方法，並與 Cd-109、Co-57、Ce-139、Cr-51、Cs-137、Cs-134、Co-60 等射源之實量測結果進行比較；此外，為精確取得醫用活度計內部幾何結構與尺寸，另利用工業 CT 進行醫用活度計掃描，將掃描參數回饋至評估系統內進行尺寸修正與微調。目前模擬結果與實際量測數值之差異小於 4%，顯示模擬結果與實際量測數值具有一致性。</li> <li>●針對現今核醫科所採用的醫用活度計，研擬醫用活度計之校正方法、頻次與稽核標準，並於 5 月 20 日、6 月 30 日假台北馬偕醫院召開兩次專家學者會議，邀請北榮、新光、馬偕、彰基、長庚大學、</li> </ul>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>陽明大學等單位，提供臨床實務經驗分享，並初步達成共識。未來醫用活度計之校正將區分為 7 大項，分別為：precision (精密度)、accuracy (準確度)、linearity (線性度)、geometry (幾何條件)、reproducibility (再現性)、background (背景)，各自有相對應之校正頻率。校正射源方面建議採用 Co-57、Ba-133、Cs-137、Co-60，且至少 1 個核種的活度於臨床活度量測範圍，相關管理辦法已提送主管機關進行審查。</p>	
輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立	103	<p>(1)與醫療機構、學術單位或相關學會合作，建立國內放射治療劑量稽核系統之劑量測量程序與評估技術，並於醫院進行現場測試</p> <p>(2)混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗規劃研究</p> <p>(3)完成全國人員劑量計能力試驗與指環劑量計能力試驗試運轉</p> <p>(4)建立環境劑量計能力試驗所需之輻射劑量照射系統</p> <p>(5)輻射偵測儀器校正評估研究</p>	<p>●完成壓克力郵寄假體之設計與製作，自製假體將可用於量測醫用加速器放射治療射束中心軸下特定深度的劑量輸出。而假體中心部分也可以換置主體，於主體中線上挖 9 處等距凹槽放置劑量計，或是一 2 mm 深之凹槽，放置裁剪後的 EBT3 底片，藉此主體可用於量測照野平坦與對稱性，並提供特定離軸點之劑量值及連續性劑量梯度。利用游離腔進行量測郵校假體，</p>	符合進度

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
		<p>(6) 參考 ANSI/HPS N13.11 (2009)標準，進行人員劑量計能力試驗技術規範研究</p> <p>(7) 依據 ANSI N42.33 (2006) 與 ANSI N42.17A (2003) 標準，建立國內使用之表面污染/輻射劑量偵測儀器性能評估技術</p> <p>(8) 250 台登記備查類現場輻射安全檢查</p>	<p>及固態水假體於不同能量深度之電量，以評估其散射量之差異，藉此得知假體散射修正因子。將游離腔分別置於郵校假體與固態水假體內，分別在 6 MV 及 10 MV 光子射束，SAD 為 100 cm，深度 5 cm，照野大小為 10x10 cm<sup>2</sup>，劑量輸出 200 MU 之照射條件下，探討射束中心和左右 1、2、3、4 cm 處之散射量差異。進行三家醫院、5 部直線加速器之現場參數量測與系統測試，證明可利用多台直線加速器測得之平均假體散射修正因子作為散射修正，以回推修正水吸收劑量之量測值。</p> <p>●擬定標準件樣本為 13.09I005 混合加馬核種，盲樣為 Am-241、Co-60、Cs-134 與 Cs-137 混合加馬核種之濾紙樣品。利用 Am-241、Co-60、Cs-137 等長半衰期的標準單能量點射源與 Eu-152 多能量點射源，進行標定樣品活度之 HPGe 加馬能譜分析儀的能量校正與放置樣品特定位置時的效</p>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>率校正；製作中低強度核種分析能力試驗所需之標準件樣品與盲樣濾紙樣品，並完成核種能譜與比活度之量測及不確定度評估。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>依據 TAF-CNLA-T08 (3) (參考美國 ANSI N13.11-2001 標準) 規範，完成九家參與人員劑量計能力試驗之實驗室劑量評估數據分析，並於 5 月 15 日舉辦能力試驗總結會議，共有 TAF 與 9 家參與實驗室、47 位技術專家參加，9 家實驗室皆通過六大類別的測試，顯示國內實驗室之技術能力均具備一定水準；此外本計畫亦利用熱發光指環劑量計進行相關類別測試，完成能力試驗測試方法與時程之規劃，本年度參加指環劑量計能力試驗試運轉的單位共計兩個，比對時程為 103 年 7 月至 11 月，目前已完成輻射場射質、修正因子、品保監測游離腔數值之確認與修訂，並完成劑量計照射與劑量評估數據分析。</li> <li>建置適用於校正環境劑量計之 Cs-137</li> </ul>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>照射系統，將作為環境劑量計能力試驗之用，完成 Cs-137 照射系統之性能測試，例如雷射定位、角度差異測試、穩定性測試、環境散射量、射源洩漏量及安全防護測試，測試結果均符合 ISO 40371 (1996) 規範之要求。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 參考輻射偵測儀器校正能力試驗規範，進行能力試驗各類別之測試儀器性能測試，並與國內輻射偵測儀器校正實驗室合作，召開能力試驗說明會，共有 6 家實驗室、36 位技術專家參加；此外，本次能力試驗之傳遞件校正方法將依據下列標準執行：輻射劑量儀器校正參考 ANSI N323A、污染偵測儀器校正參考 ISO 7503-1、主動式人員劑量計校正參考 ANSI N42.20，能力試驗結果將依據國際標準組織 ISO 43-1 規範以 En 值判斷，本年度已完成能力試驗計畫書與能力試驗使用之輻射偵測儀器的性能測試，顯示選用之輻射偵測儀器性能正常，可提供作為能力試驗之傳遞件。</li> </ul>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<ul style="list-style-type: none"> <li>●參考 ANSI N13.11 (2001) 和 ANSI/HPS N13.11 (2009)規範,比較人員劑量計能力試驗技術規範內容(人員劑量計種類、測試類別、輻射射質、劑量範圍、照射假體、轉換因子、參考劑量點、測試程序、偵測極限等),進行符合國際趨勢之新規範研究。</li> <li>●依據 ANSI N42.33 與 ANSI N42.17A 可攜式輻射偵測儀器規範的性能要求,建立可攜式輻射偵測儀器(表面污染/輻射劑量偵測儀器)之性能測試與校正方法,其中測試項目針對非游離輻射之環境、機械,以及游離輻射等三部份。目前已完成檢測與校正系統之性能測試,其中,環境性能測試儀器包括:恆溫恆濕儀、壓力試驗儀及淋水試驗儀;機械性能測試儀器包括:重力衝擊試驗儀、落下試驗儀及震動試驗儀;游離輻射性能測試儀器包括:X 光機、Cs-137 加馬照射器、大面積及小面積貝他射源。本年</li> </ul>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>度針對國內常用之三種(廠牌/型號：A、B、C)可攜式表面污染偵測與四種(廠牌/型號：D、E、F、G)輻射劑量偵測儀器，完成放射性項目與非放射性項目之測試，其中，游離輻射放射性測試項目包括：量測範圍、準確性、穩定時間、反應時間、輻射背景、能量依存、角度依存等；而非放射性之機械、電子和電機與環境的測試項目包括：重力衝擊與震動、靜電放電、射頻、磁場與導通干擾、溫度、溼度、壓力與溫度衝擊等。</p> <p>•完成 261 台登記備查類 x 光機檢查</p>	
<p>粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立</p>	<p>103</p>	<p>(1)質子治療設施誘發高能中子能譜之量測驗證技術 (2)質子治療設施誘發高能中子之環境劑量評估研究</p>	<p>•完成商用波那球與核研所自行設計之波那圓柱系統進行宇宙射線誘發高能中子能譜量測。由於宇宙射線誘發中子能譜具有十分穩定之特性，且其具有一明顯之高能中子能峰 (150 MeV~180 MeV)，因此可做為能譜量測系統之驗證射源，目前已完成 2 套系統之量測(個別包含 12 組聚乙烯緩速體，4 組含金屬聚乙</p>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			<p>烯緩速體)。地表之宇宙射線誘發中子能譜係利用 FLUKA 蒙地卡羅程式計算，該計算結果做為能譜展開過程中的初始猜測值，並透過同步資料結果系統，分析宇宙射線誘發中子能譜，分析結果發現，展開能譜與 FLUKA 計算之初始參考能譜一致，在熱中子能區以及 150 MeV 高能區間，各有一明顯之能峰，且該區域將造成含金屬中子量測系統之讀數明顯上升。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 利用商用高能中子偵檢器進行林口長庚醫院質子治療機第一治療室管制區之環境中子量測，比較核研所與林口長庚醫院自行購置中子偵檢器之量測結果後發現，兩商用偵檢器之劑量率讀值在能量 230 MeV、電流 2.2 nA、照野大小 10 cm x 10 cm 條件下，治療室門口之劑量率約為 0.3 ~0.5 <math>\mu\text{Sv/h}</math>。此外，亦利用波那球與波那圓柱系統進行第一治療室迷道口之中子能譜量測，本研究共進行 11 個不同緩速體厚</li> </ul>	

計畫名稱	年度	全程目標	重要執行成果	差異分析
			度之中子量測，並利用 4 組添加金屬殼層之延伸能量波那球(圓柱)系統進行高能中子量測，發現波那球系統之能譜展開結果在 1~10 MeV 能量區間之中子數量較波那圓柱系統為多，轉換為周圍等效劑量率之結果分別為 1.883 $\mu\text{Sv/h}$ (波那球系統)與 1.691 $\mu\text{Sv/h}$ (波那圓柱系統)。	

## 2.工作進度—本年度期中預期目標及達成情形

(說明年度預期目標及達成情形、目前計畫之實際執行與預期工作之差異)

### 1-1. 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

年度預期目標(查核點)	達成情形	差異分析
檢查國內醫療院所配置之電腦斷層掃描儀輻射醫療曝露品保作業：完成 103 年度預定機台 120 台	至 12/31 預計完成台數：120(全年度預計檢測 120 台)，截至 12/31 實際完成台數：126。	自評是否符合進度：符合進度。
檢查國內醫療院所配置之乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品保作業：完成 103 年度預定機台 120 台	至 12/31 預計完成台數：120(全年度預計檢測 120 台)，截至 12/31 實際完成台數：120。	自評是否符合進度：符合進度。
訪查國內醫療院所配置之透視攝影 X 光攝影儀輻射醫療曝露品保作業：完成 103 年度預定機台 150 台	至 12/31 預計完成台數：150(全年度預計檢測 150 台)，截至 12/31 實際完成台數：151。	自評是否符合進度：超出進度。
製作透視攝影 X 光機曝露品保程序書	已建立透視攝影 X 光機曝露品保測試程序。	自評是否符合進度：符合進度。
八小時品質保證實作教育訓練共六場	截至 12/31 實際完成場數：6 場。	自評是否符合進度：符合進度。
預計共將完成 3 篇論文投稿，培育博碩士生至少 4 人，產生研究報告 2 篇及教材 1 份。	截至 12/31 實際完成論文投稿：3 篇；培育博碩士生：5 人；產生研究報告：2 篇；產生教材：1 份。	自評是否符合進度：符合進度。

### 1-2. 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

年度預期目標(查核點)	達成情形	差異分析
醫用直線加速器之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	至 12/31 預計完成台數：135，截至 12/31 實際完成台數：135。	自評是否符合進度：符合進度。
含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	至 12/31 預計完成台數：38，截至 12/31 實際完成台數：38。	自評是否符合進度：符合進度。
電腦斷層治療機之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	至 12/31 預計完成台數：18，截至 12/31 實際完成台數：18。	自評是否符合進度：超出進度。

電腦刀之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	至 12/31 預計完成台數：5，截至 12/31 實際完成台數：5。	自評是否符合進度：符合進度。
加馬刀之輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查。	至 12/31 預計完成台數：8，截至 12/31 實際完成台數：8。	自評是否符合進度：符合進度。
建立國內醫療院所放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料庫。	建置完成。	自評是否符合進度：符合進度。
進行多葉式準直儀品質保證作業輔導訪查，評估多葉式準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性。	至 12/31 預計完成訪查作業表單與流程，截至 12/31，實際完成相關作業表單及流程測試（訪查 2 台醫用直線加速器及 1 台電腦斷層治療機之多葉式準直儀輻射醫療曝露品質保證作業。）。	自評是否符合進度：符合進度。
每年舉辦放射治療醫療曝露品質保證專業課程及實作訓練課程各 2 場。	至 12/31 預計完成專業課程及實作訓練課程各 2 場，專業課程於 103 年 5 月 29 日、10 月 31 日、11 月 1 日舉辦，實作訓練課程於 103 年 11 月 15 日及 11 月 28 日舉辦。	自評是否符合進度：符合進度。
預計共將完成 1 篇論文投稿，培育博碩士生至少 1 人，產生研究報告 1 篇及教材 1 份。	截至 12/31 實際完成論文：1 篇（投稿中）；培育博碩士生：1 人；產生研究報告：1 篇；產生教材：1 份。	自評是否符合進度：符合進度。

## 2.核研所執行項目：

分項計畫 2：輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立

分項計畫 3：核子醫學診療輻射劑量評估研究

分項計畫 4：輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

分項計畫 5 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

年度預期目標(查核點)	達成情形（作業計畫 1-12 月）	差異分析
第一季		
1.完成核醫科輻射安全評估所需器材訪價與提出採購申請	完成輻射偵檢器之採購。(已於 3/21 完成)	符合規劃進度
2.完成第二、三批次人員	已於 1/21 完成第二批次人員劑量計照	符合規劃進度

劑量計照射	射、3/12 完成第三批次人員劑量計照射。(已於 3/12 完成)	
3.完成委託學會與學術機構之研究計畫書審查修訂	已於 3/25 完成國內外放射治療劑量稽核系統分析比較與劑量驗證技術開發研究(2/3)委託研究計畫書之審查修訂。(已於 3/25 完成)	符合規劃進度
4.完成多球式系統組裝測試與操作條件設定	完成波那球系統量測宇宙射線之組裝測試與操作條件設定。(已於 3/20 完成)	符合規劃進度
第二季		
5.與醫療院所等相關單位達成合作協議	已於 5/20、6/30 假台北馬偕醫院召開兩次專家學者會議，邀請北榮、新光、馬偕、彰基、長庚大學、陽明大學等單位，提供臨床實務經驗分享，並初步達成共識，並合作進行核醫藥物醫療曝露品保項目與執行方法之研究。(已於 6/30 完成)	符合規劃進度
6.完成服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則草案	已於 6/20 提送「服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則草案」予主管機關審查。(已於 6/20 完成)	符合規劃進度
7.完成人員劑量計能力試驗總結報告	已於 5/15 舉辦人員劑量計能力試驗總結會議，並於 5/20 完成人員劑量計能力試驗總結報告。(已於 5/20 完成)	符合規劃進度
8.完成委託學會與學術機構之研究計畫案簽約	已於 6/17 完成國內外放射治療劑量稽核系統分析比較與劑量驗證技術開發研究(2/3)委託研究計畫之議價與簽約。(已於 6/17 完成)	符合規劃進度
9.完成多柱式中子能譜系統系統組裝測試與操作條件設定	完成波那圓柱系統量測宇宙射線之組裝測試與操作條件設定。(已於 4/28 完成)	符合規劃進度
第三季		
10.舉行核醫醫療曝露品質保證第 1 次討論會議	已於 5/20 在台北馬偕醫院召開第 1 次專家學者會議。(已於 5/20 完成)	符合規劃進度
11.完成醫用活度計校正效率評估報告	依據工業用 CT 掃描資料，進行醫用活度計校正效率評估修正，並完成醫用活度計校正效率評估報告。(已於 9/30 完成)	符合規劃進度
12.完成中低強度核種分析能力試驗之實驗室樣品製作	完成能力試驗之實驗室樣品製作與量測。(已於 9/23 完成)	符合規劃進度

13.完成環境劑量計能力試驗照射系統之性能測試	完成照射系統之性能測試與環境劑量計照射。(已於 9/26 完成)	符合規劃進度
14.完成表面污染/輻射劑量偵測儀器之性能檢測技術報告	完成表面污染/輻射劑量偵測儀器之性能檢測作業與技術報告。(已於 9/17 完成)	符合規劃進度
15.完成多球式或多柱式中子能譜偵檢器於高能質子加速器之中子能譜量測	利用多球式與多柱式中子能譜偵檢系統，完成林口長庚質子治療機中子能譜之量測。(已於 9/12 完成)	符合規劃進度
第四季		
16.完成環境核種分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)研究報告	已於 12/19 完成研究報告撰寫。(已於 12/19 完成)	符合規劃進度
17.舉行核醫醫療曝露品質保證第 2 次討論會議	已於 6/30 在台北馬偕醫院召開第 2 次專家學者會議。(已於 6/30 完成)	符合規劃進度
18.完成核醫藥物醫療曝露品質保證研究報告	依據兩次專家學者討論會議決議，完成核醫藥物醫療曝露品質保證研究報告。(已於 12/15 完成)	符合規劃進度
19.完成混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗規劃研究報告	已於 12/15 完成研究報告撰寫。(已於 12/15 完成)	符合規劃進度
20.完成輻射偵測儀器校正能力試驗計畫書	完成計畫書內容之修訂，並寄送至各參加實驗室。(已於 11/20 完成)	符合規劃進度
21.完成 ANSI/HPS N13.11 (2009)標準研究報告	完成研究報告撰寫。(已於 12/22 完成)	
22.完成國內放射治療劑量稽核系統之臨床測試研究報告	完成研究報告撰寫。(已於 12/12 完成)	
23.完成質子治療設施誘發高能中子能譜之量測與劑量評估報告	完成研究報告撰寫。(已於 12/18 完成)	

### 3.計畫工作項目實施步驟或研究方法

(宜詳實記載並附佐證文件)

#### 1-1. 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

工作項目	實施步驟或研究方法
<p>項目 1-1:電腦斷層掃描儀之輻射醫療曝露品質保證作業檢查 (本年度預計抽樣檢查約 120 台)</p>	<p>今年度預計實地檢查全國約 120 台電腦斷層掃描儀，迄至 12 月 31 日，已檢測 126 台電腦斷層掃描儀。數據回報皆依照進度二週彙整後送原能會。</p> <p>本年度更新電腦斷層掃描儀輻射醫療曝露品質保證作業檢查表單，以利檢查之進行。檢查包含現場實測與書面資料檢查，並依各醫院提供的品保程序書執行檢查，再依程序書及法規規範判斷合格與否，檢查結果分為現場實測結果與書面資料檢查結果二大項，只要其中一項檢查不合格，該機就算不合格。</p> <p>現場實測項目為目前法規規範的項目，包括 (1)「切片位置準確性」：檢查該設備的切片定位雷射的準確性即輻射寬度中心與對位雷射之偏差是否小於 2 公釐(mm)、以及定位投影影像對位切片位置的準確性偏差是否小於 2mm。(2)「切片厚度準確性」：檢查該設備的切片厚度之誤差是否小於 1.5 mm。(3) 高對比(空間)解析度：檢查該設備以常規成人腹部掃描所得之影像應可清楚分辨 5 線對/公分以上(含)；高解析度肺部掃描所得之影像應可清楚分辨 6 線對/公分以上(含)。(4)「低對比偵測度」：測定電腦斷層掃描儀對低對比物體之分辨力。(5)「CT 值準確性與線性度」：檢查該設備 CT 值準確度與線性度，以美國放射學院(American College of Radiology, ACR)的電腦斷層認證假體來測試，且要符合下列物質的 CT 值範圍，空氣-1005 ~-970、聚乙烯-107 ~-84、水-7 ~+7、壓克力 110 ~+135、骨頭+850 ~+970。(6)「水假體影像評估」：檢查該設備在不同掃描與組像參數下，水的 CT 值準確度介於-7~+7 HU (Hounsfield Unit)，雜訊變化與其基準值之差異，不大於 20%；均質水假體中，不同位置之 CT 值的均勻度皆小於 5HU；且影像中是否有假影。(7)「劑量評估」：檢查設備的曝露與管電流時間乘積成線性正比、曝露的再現性小於 0.05、代表性檢查的電腦斷層劑量指標的值，於成人頭部掃描條件下不大於 80 毫格雷，於成人腹部掃描條件下不大於 30 毫格雷，於小兒腹部掃</p>

描條件下不大於 25 毫格雷。(8)「輻射寬度」：檢查射束準直儀寬度設定的準確性。(9)「擷像工作站評估」：檢查擷像工作站之螢幕的顯示品質是否符合標準。

各項目實測方法如下：(1)「切片位置準確性」：檢查切片定位的雷射準確性，將 ACR 假體放置於 Table 上，Laser 對位上下左右皆置中，Display FOV 則設定為 210mm，在適當位置後先掃一張定位投影，此時設定條件必須為 Axial 模式(若原本為 Axial 模式則不須轉換)，Scan FOV、Recon. Type 設定同常規臨床條件，再將 collimation 與厚度設為一樣，再把定位線對準定位投影影像上 Module 1 做 Scan。(2)「切片厚度準確性」：前置方法如定位投影，而控制台設定條件一律與常規臨床條件相同，另外掃描模式需為 Axial 模式(若 Axial 模式下無法相同則使用最接近的厚度)，得知的影像計算方法為 {top 的線全部相加(包含 long bar)/2+bottom 的線全部相加/2}/2 即為我們所要的切片厚度值。(3) 高對比(空間)解析度：前置方法如定位投影，控制台設定條件與常規臨床條件相同，所開之 collimation 中心在 Module 4 中心位置，再把 WW/WL 調至約 100/1100，可調整至看見最多可分辨清楚的線對。(4)「低對比偵測度」：前置方法如定位投影控制台設定條件與常規臨床條件相同，將所開 collimation 之中心對於 module 2，評分若大於基準值 2 分即為不合格。若影像僅能看到 25mm，則須再計算影像的 CNR，若  $CNR > 1$  則仍判定合格。WW/WL=100/100，評分方式 25mm 為 0 分、6mm 為 1 分、5mm 為 2 分以此類推。(5)「CT 值準確性與線性度」：前置作業如定位投影，控制台條件如常規臨床條件，collimation 中心在 Module 1 中心位置。(6)「水假體影像評估」：前置作業同定位投影，控制台條件同常規臨床條件，仍需確認掃描模式為 Axial，collimation 中心在 Module 3 中心位置。(7)「劑量評估」：使用直徑為 16 公分之劑量假體，條件則執行常規成人頭部參數，須使用 Axial 模式，接著測試 100mAs、200 mAs、300 mAs 判定標準為比值(mR/mAs)的變異係數不應大於 0.05。依序執行再現性及 CTDIvol，先變更 mAs 參數為 240mAs 其餘不改變，連續掃描三次，判定標準為再現性的變異係數不應大於 0.05，由此也可得知 CTDIc 值，接著將游離腔輪流放置劑量假體的上下左右，控制台條件不變更，藉此可得 CTDI<sub>p</sub>，再轉換成跟臨床使用參數條件得 CTDI<sub>vol</sub>， $CTDI_{vol} = (1/3CTDI_c + 2/3CTDI_p) * Pitch$ 。

	<p>小兒腹部一樣使用 16 公分劑量假體，成人腹部則使用 32 公分劑量假體。(8)「輻射寬度」： Laser 水平與 GAF 高度切齊(會使用鞋盒墊高)，中心十字縱軸與 GAF 縱軸黑線對齊，橫軸對準我們所要的刻度。掃描條件同再現性所設之條件。(9)「擷像工作站評估」：在做此項目幾乎是用 SMPTE，依各廠牌建議之 WW/WL 實行檢查。(A)看 0%到 5%(2 格)、95 到 100%(2 格)方塊是否能清楚分辨。(B)0%~100%11 個灰階是否能清楚分辨。(C)4 個角落及中間之高對比線對，不論平行 or 垂直應能分辨最窄到最寬的線對。(D)不應有明顯可見的條紋假影、扭曲、陰影。(E)測最大亮度與最低亮度：因為使用聚焦式的 meter 測量，通常以適當距離、平視(能聚焦為主)在關燈的情況下量測 0%(白)區塊與 100%(黑)區塊，最大亮度應 &gt;100 燭光/m<sup>2</sup>，最大亮度/最小亮度&gt;100 才算合格通過。(F)如該院 CT 出片有用印片機出片的，則需印片回來評估。</p> <p>本計畫於 103 年至全國醫院執行 126 台電腦斷層掃描儀輻射醫療曝露品保作業檢查，其中診斷用電腦斷層掃描儀共計檢查 95 台、核醫用電腦斷層掃描儀共計檢查 13 台、電腦斷層模擬定位掃描儀共計 18 台。其中有 7 台設備同時為診斷用電腦斷層掃描儀與電腦斷層模擬定位掃描儀之用，有 3 台設備同時為核醫用電腦斷層掃描儀與電腦斷層模擬定位掃描儀之用。</p>
<p>項目 1-2：體型依存的特定劑量評估。</p>	<p>電腦斷層輻射劑量值主要受兩種因子影響，一為掃描參數，如管電壓、管電流與掃描時間乘積、螺距或螺距比、掃描照野等，一為病人體型(patient size)。藉至全國各醫院進行輻射醫療曝露品質保證作業檢查時，請院方人員依中等體型(設定約 70 公斤)之成人腹部影像，選取肝臟中段(門靜脈)影像並記錄 10 個病人影像上的管電流與體寬體厚。</p> <p>體寬體厚依照下列公式計算各病人的等效直徑 (Effective Diameter, Eff. D)：</p> $D = \sqrt{AP \times Lat.}$ <p>依據等效直徑計算體型依存劑量 ( Size-Specific Dose Estimates, SSDE)的轉換因子：</p> $f_{size}^{32,X} = a \times e^{-bx} , f_{size}^{16,X} = c \times e^{-dx}$ <p><math>f_{size}^{32,X}</math> : 成人轉換因子  <math>f_{size}^{16,X}</math> : 小兒轉換因子  a : 3.704369</p>

	<p>b : 0.03671937</p> <p>c : 1.874799</p> <p>d : 0.03871313</p> <p>x : 等效直徑</p> <p>得到轉換因子(<math>f</math>)後，再依照下列公式可得 SSDE :</p> $SSDE = f \times CTDI_{vol}$
項目 1-3:心臟及肺臟 CT 健檢劑量評估。	<p>進行心臟及肺臟之健檢項目的劑量調查時，先確定醫院進行心臟及肺臟之健檢項目之掃描參數，包括掃描方式是軸狀式或螺旋式掃描、管電壓、管電流、X光旋轉一圈的曝露時間、偵檢器組置、掃描長度等；針對軸狀掃描，另須記錄檢查床每圈移動距離；針對螺旋掃描，應記錄檢查床前進速度(I)或螺距比(pitch)；如有開電腦斷層掃描儀自動管電流調控系統(automatic tube current modulation, ATCM)，需記錄心臟中層影像所顯示的管電流。因所調查的設備未必為今年所抽檢之掃描儀，故引用過去與現在所收集的資料(101 年-103 年)，比對同一掃描儀現場實測所測得的 CTDI<sub>w</sub> (相同管電壓及輻射寬度的成人腹部 CTDI<sub>w</sub> 值)進行換算，若輻射寬度不同但大於 10 mm，仍可換算比較。</p> <p>臨床 CTDI<sub>vol</sub> 可依照下列公式算出：</p> $CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{x} \times y$ <p>CTDI<sub>vol</sub>：臨床 CTDI<sub>vol</sub></p> <p>CTDI<sub>w</sub>：現場實測所測得的 CTDI<sub>w</sub></p> <p><math>\chi</math>：現場實測所用之 mAs</p> <p>y：臨床 eff. mAs</p>
項目 1-4: 進行電腦斷層掃描儀醫療品保作業教育訓練。	<p>4 月 27 日於三軍總醫院、8 月 3 日於高雄榮民總醫院，共舉辦二次品保作業教育訓練。</p>
項目 2-1: 回顧相關國際文獻，設計針對各廠牌之數位式乳房 X 光攝影儀皆可適用之品保測試程序。	<p>目前主要參考歐盟(European Comission, 2006)所建立之數位乳房攝影品保規範，做具系統性之回顧，並彙整出針對數位乳房攝影系統品保所應執行之測試項目、大致流程及標準，設計適用於不同廠牌及機型之數位乳房攝影儀品保程序。</p>
項目 2-2: 乳房攝影儀	<p>今年度預計實地檢查全國約 120 台乳房攝影儀，迄至 12 月</p>

實地檢測	<p>31 日，已檢測 120 台乳房攝影儀。數據回報皆依照進度二週彙整後送原能會。</p> <p>檢查包含現場實測與書面資料檢查，並依程序書及法規規範判斷合格與否，檢查結果分為現場實測結果與書面資料檢查結果二大項，只要其中一項檢查不合格，該機就算不合格。</p> <p>現場實測項目為目前法規規範的項目，包括：</p> <p>(1)傳統乳房攝影系統：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. 洗片機</li> <li>ii. 假體影像品質評估</li> <li>iii. 平均乳腺劑量、半值層、輻射輸出及自動曝露控制系統再現性</li> <li>iv. 壓迫裝置測試</li> <li>v. 看片箱亮度</li> <li>vi. 自動曝露控制系統評估</li> <li>vii. 輻射照野與影像接收裝置胸壁側一致性</li> </ul> <p>(2)數位乳房攝影系統：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i. 假體影像品質評估</li> <li>ii. 平均乳腺劑量、半值層、輻射輸出及自動曝露控制系統再現性</li> <li>iii. 五百萬像素閱片電腦螢幕亮度反應之測量</li> <li>iv. 曝露指標之確認 (CR 需測試本項)</li> <li>v. 自動曝露控制系統評估</li> <li>vi. 輻射照野與影像接收裝置胸壁側一致性</li> </ul>
項目 2-3: 乳房攝影儀 品保實作教育訓練	5 月 18 日於三軍總醫院、10 月 5 日於高雄榮民總醫院，共舉辦二次品保作業教育訓練。
項目 3-1: 製作透視攝影 X 光機曝露品保程序書	<p>為制訂透視攝影 X 光機曝露品保程序，本計畫召集國內專家學者成立工作小組，進行分工並以定期會議之方式訂定品質保證作業之建議方案。過程中參考大量文獻，包含美國醫學物理學會 AAPM 第 60 號報告(1998)、第 70 號報告(2001)、第 74 號報告(2002)、ACR Barium Enema Quality Control Manual (1998)、NCRP 第 168 號報告(2011)、第 172 號報告 (2012)、美國食品藥物管理局現行相關法規、美國紐約州現行相關法規、CRCPD 相關報告等，並匯入專家小組個人之專業經驗。工作小組會議已於 103 年 5 月 2 日、6 月 12 日舉行，針對透視攝影醫療曝露品保作業之內容逐一進行充分</p>

	<p>討論，並於 6 月 12 日完成第一版之內容（包含所應執行項目、所需設備、執行步驟、判斷標準與改善措施），於 7 月 17 日開會進行校稿，於 7 月 25 日開會確認完稿。</p>
<p>項目 3-2: 訪查國內透視攝影 X 光機與問卷調查</p>	<p>今年度預計實地訪查全國約 150 台透視攝影 X 光機，迄至 12 月 31 日，已檢測 151 台透視攝影 X 光機。數據回報皆依照進度二週彙整後送原能會。</p> <p>訪查包含現場實測與問卷調查檢查，問卷調查內容包括下列項目：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 裝機年份</li> <li>(2) 機器用途分類</li> <li>(3) 檢察室病人數量</li> <li>(4) 是否執行透視設備品保</li> <li>(5) 是否有透視相關品保設備</li> <li>(6) 鉛衣是否測試及頻率</li> <li>(7) 執行檢查時的工作人員</li> <li>(8) 是否針對透視攝影及介入診療辦理輻射安全訓練</li> <li>(9) 是否有劑量顯示值</li> <li>(10) 參考點/標準點的定義</li> <li>(11) 中心點(Isocenter)位置</li> <li>(12) 進行的透視檢查種類</li> </ol> <p>現場實測包括下列項目：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 高對比解析度（或是稱為空間解析度）</li> <li>(2) 低對比解析度</li> <li>(3) 不同體型病人於各種透視及照影模式下之入射曝露：不同體型病人包含小兒、小體型成年人、一般體型成年人、大體型成年人及超級大體型成年人，以各種銅片及鋁片厚度模擬上述體型，並以各種透視及照影模式（一般模式、放大模式、加強模式(Boost mode)、脈衝透視模式及照相模式（single shot））進行測試。</li> <li>(4) 典型病人曝露率。</li> <li>(5) 最大曝露率。</li> <li>(6) 輻射照野與影像接收裝置之一致性。</li> <li>(7) 透視時間顯示與 5 分鐘警示功能測試。</li> </ol>
<p>項目 3-3: 設計透視攝</p>	<p>於 7 月 17 日工作小組會議定稿後，製作並完成實作訓練教材。</p>

影 X 光機輻射醫療曝露品保實作訓練課程教材	
項目 3-4：進行 2 場透視型 X 光機輻射醫療曝露品保實作訓練。	10 月 26 日於中山醫學大學附設醫院、11 月 23 日於台灣大學醫學院附設醫院，共舉辦二次品保實作訓練。

## 1-2.放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

### 項目一、放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查

#### 1. 研究計畫資料蒐集

##### (1) 治療單位及其設備資料

建立表格，彙整治療單位及其設備資料，內容包括：工作單位名稱，工作單位編號，地址，電話，設備類別，設備/物質執照號碼，有效日期(撤廢日期,停用截止日期,查封日期)，廠牌，型號，序號，持有目的，裝設日期，光子射束能量，電子射束能量，MLC 型號，MLC 最大寬度(cm @ isocenter)，MLC 最小寬度(cm @ isocenter)，IGRT 系統型號，劑量校驗方法，劑量校驗假體，光子射束劑量校驗條件，電子射束劑量校驗條件，射束平坦性與對稱性校驗設備，電腦治療計畫系統，Beam data (自行量測或使用原廠提供資料)，此設備品保作業人數，工作單位醫學物理師人數，醫學物理學會甄審及格醫學物理師人數，平均每日服務病人量，平均執行每月品保作業所需時間(hr)。

##### (2) 放射治療業務單位執行品保作業資料

彙整國內所有放射治療醫療業務單位執行品保作業的完整資料，包括游離腔及電量計校驗報告，劑量校驗使用方法。依醫療業務單位所使用之方法，蒐集 AAPM TG-21，TG-51，TG-148；TRS-398 載有詳細參數資料之工作表格。

#### 2. 書面審查與制訂現場查核工作紀錄評核

(1) 書面審查。依據蒐集的資料，逐筆查核設備基本資料及所使用劑量計

算議定書參數的正確性。若發現有明顯失當之處，將立即與該單位聯繫，確認問題所在，並立即尋求解決的方法，處理過程即刻彙整送原能會。此外，將彙集的資料建檔以形成完整的設備及品保資料庫。

**(2) 制訂本計畫現場查核工作紀錄表。**依據計畫執行之查核項目制訂現場查核工作紀錄表。本計畫之執行落實到品保作業項目的直接查核，因此，工作紀錄表的建立將直接使用各醫療院所的設備參數資料，依據所使用的劑量校驗議定書，建立劑量計算模組，在現場查核時，依據院方量測的數據直接輸入工作紀錄表，可立即計算出品保校驗所需的劑量值或校驗項目結果，當場可與受檢單位的結果作比對，進一步確保查核項目數據的正確性，同時可以更直接的協助受檢單位檢視所執行的品保作業結果。

現場查核結束後，依據完成的工作紀錄表的紀錄，建立檔案以形成完整的品保作業現場查核結果資料庫。品保作業資料庫的內容包括：設備廠牌、型號、序號，持有目的，裝設日期，查核日期 (calibration date)，游離腔形式 (ion chamber)，電量計廠牌型號 (electrometer)，劑量校驗假體 (phantom)，劑量校驗方法 (calibration method)，射束能量 ( $I_{20}/I_{10}$  or  $\%dd(10)_x$ )，光子射束輸出劑量校驗 (P. o/p calibration)，電子射束輸出劑量校驗 (E. o/p calibration)，光子射束能量一致性 (P. Energy Constancy)，電子射束能量一致性 (E. Energy Constancy)，光子射束平坦性 (P. Flatness, in-plan (Y), P. Flatness, cross-plan (X))，光子射束對稱性 (P. Symmetry, in-plan (Y), P. Symmetry, cross-plan (X))，電子射束平坦性 (E. Flatness, in-plan (Y), E. Flatness, cross-plan (X))，電子射束對稱性 (E. Symmetry, in-plan (Y), E. Symmetry, cross-plan (X)) 等項目。近接治療設備則有輻射源強度，輻射源傳輸速率，輻射源停留時間，輻射源停留位置準確性，射源活性校驗設備與方法 (calibration method) 等項目。

### 3. 現場查核工作

依據「輻射醫療曝露品質保證標準」作業程序書所敘述之程序及所制訂之現場查核工作紀錄表，逐項完成下列設備之實測訪查。

## (1) 醫用直線加速器品保作業實測檢查：

a) 光子及電子射束輸出；b) 光子及電子射束中心軸於治療深度之劑量參數；c) 光子

及電子射束之平坦性與對稱性(具備電子射束者，至少需執行2種臨床上最常使用的能量)

## (2) 含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備實測檢查：

a) 輻射源速率；b) 輻射源強度；c) 輻射源停留位置；d) 輻射源停留時間

## (3) 電腦斷層治療機實測檢查：

a) 光子輸出劑量；b) 光子射束中心軸於治療深度之劑量參數；c) 確認射束長軸及橫軸剖面劑量之穩定性；d) 治療床垂直升降、前進後及水平測試；

## (4) 電腦刀實測檢查：

a) 光子輸出劑量；b) 光子射束中心軸於治療深度之劑量參數；c) 光子對稱與平坦性；d) 治療床移動準確性及影像導引系統 (Target Locating System) 準確性

## (5) 加馬刀實測檢查：

a) 輸出劑量；b) 治療計劃系統中心位置與量測中心位置之準確性；c) 計時器準確性

## 項目二、建立國內醫療院所放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料庫

藉由執行項目一（放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查）所蒐集

資料，進行治療設備資料及品保校驗資料之統計分析。本研究總計收集76家放射治療臨床單位，共計135台直線加速器，8台加馬刀，38台近接治療機，18台螺旋治療機，5台電腦刀的資料。目前已完成資料庫建檔，根據資料庫中的治療設備基本資料及現場查核品保校驗資料，對於全國放射

治療設備與品保執行作業情形可以更充分的掌握，對於後續的追蹤查核與品質改進提供完整的數據。

### **項目三、進行多葉準直儀品質保證作業輔導訪查，評估多葉準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性**

目前放射治療設備中，具有多葉準直儀的設備為醫用直線加速器及電腦斷層治療機，醫用直線加速器訪查項目應包含：a) 多葉準直儀之光照野與輻射照野吻合度；b) 備用輻射遮檔器(Backup diaphragms)與多葉準直儀相對位置之準確性；c) 葉片遷移速度；d) 葉片位置準確度；e) 葉片位置再現性；f) 葉片輻射中心點測試；g) 葉片穿透率。電腦斷層治療機訪查項目應包含：多葉式準直儀旋轉中心之扭曲測試。

在本次作業中，建立了完整的作業程序，並分別針對 Varian 與 Elekta 系統完成兩家示範醫院的 MLC 品保作業流程測試與校驗結果驗證工作。

### **項目四、提升國內醫療院所放射治療輻射醫療曝露品保人員專業能力**

#### **1. 每年舉辦放射治療醫療曝露品質保證專業課程及實作訓練課程各 2 場。**

103 年舉辦放射治療醫療曝露品質保證專業課程如下：

(1)「放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究」-計畫行前說明會。

日期：103 年 5 月 29 日，地點：天成大飯店。

(2)「放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究」-教育訓練。

日期：103 年 10 月 31 日，北部場。

103 年 11 月 01 日，南部場。

103 年舉辦放射治療醫療曝露品質保證專業課程如下：

(1)「放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究」-實做訓練。

日期：103 年 11 月 15 日，北部場。

103 年 11 月 28 日，南部場。

#### **2. 輔導醫療院所品保人員（每年至少 70 人）熟悉多葉準直儀品質保證作業程序、輻射劑量計校正程序及相關放射治療技術實際量測流程。**

本計畫完成 76 家醫療單位，共計 135 台直線加速器，8 台加馬刀，38

台近接治療機，18 台螺旋治療機，5 台電腦刀的設備資料與品保資料的蒐集工作，以及現場品保查核工作。在資料蒐集的階段，本計畫工作人員透過電郵與電話聯繫直接與醫院品保工作人員就輻射劑量計校正程序及相關放射治療技術實際量測流程作討論，更在現場訪查時，落實作業過程的輔導。此外，透過本計畫人力規劃的專家，在較為複雜的問題上，例如不同校驗假體的劑量誤差值，或者 Tomotherapy 系統使用 TG-148 的方法，以及射束平坦性校驗及計算方法的確認等，充分提供專業的輔導建議

### 項目五、產出量化值

本計畫 103 年度研究工作已順利完成，歷經資料蒐集、審視討論、建立查核工作表格、現場查核及數據資料的建檔歸納整理。目前所有資料的彙整已完成，研究報告：放射治療設備輻射曝露品質保證作業執行現況研究報告，已撰寫完成。研究論文的撰寫正在進行中，預計 104 年 1 月可以完成撰寫投稿。

在人力培育的部分，本計畫專任研究助理為放射科系一年級研究生，該生指導教授對於本計畫之內容，無論在學理或在研究方法的訓練，皆十分適合作為碩士生的論文研究主題。此外，本研究另一位專任研究助理為放射科系碩士畢業生，對於放射治療學深感興趣，參與本計畫工作後對於課程學理的應證有更深刻的瞭解，有助於提升其未來工作競爭力。

本計畫在執行的過程中，已完成下列教材之編寫：Teletherapy Instrumentation-Linac and QA，對於訓練本計畫專任研究助理及協助臨床品保專業人員更完整瞭解放射治療品保業務有實質助益。

### 2.核研所執行項目：

分項計畫 2：輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立

分項計畫 3：核子醫學診療輻射劑量評估研究

分項計畫 4：輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

## 分項計畫 5 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

工作項目	實施步驟或研究方法
1.放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究	
2.輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立	<p>研製輻射作業場所之環境核種分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)</p> <p>游離輻射防護法第十條規範輻射工作場所外應實施環境輻射監測；且在環境輻射偵測品質保證規範之品質保證方案內容中，輻射度量系統之能譜及計測效率應使用校準射源作定期校準，校準射源之準確度應可追溯至國家標準。因此本計畫擬研製分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)，提供國內實驗室輻射度量系統之定期校準，確保量測數據之準確性，以符合相關輻防法規之要求。</p> <p>根據 ISO GUIDE 35 要求，進行參考物質均勻度測試，首先要進行取樣工作，取樣工作可分為隨機取樣(random sampling)、分層取樣(stratified random sampling)或系統取樣(systematic sampling)，且必須在可重複的條件下進行，量測的重複性標準偏差要小，量測樣品要隨機化。此處隨機任意選取 10 瓶樣品進行 between-bottle 整瓶重複性量測，水樣以 1000 g 樣品為單位，土樣以 400 g 樣品為單位，分別利用充氣式低背景比例計數器、純鍍偵檢器或液體閃爍偵檢器在相同的計測條件下計測其淨計數率或活度；再藉由 one way ANOVA(單因子變異數分析)公式算出 between-bottle 的標準偏差及重複性標準偏差，用以檢驗整組樣品添加的一致性其均勻度測試結果，並考量來自物質特性描述所得的不確定度，以獲得參考活度之不確定度評估結果。</p>
3.核子醫學診療輻射劑量評估研究	<p>(1)服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則研究 蒐集國際間針對服用碘-131 核醫藥物後之患者管制辦法與外釋劑量標準，擬定符合國內法規之相關外釋劑量草案，並與國內核醫學會進行外釋辦法可行性討論與臨床意見交流</p> <p>(2)建立醫用活度計校正效率評估技術 利用蒙地卡羅方法建立醫用活度計之校正效率曲線，以評估活度校正儀對於不同核醫藥物的校正效率與量測不確定度</p> <p>(3)與醫療機構、學術單位或相關學會合作，進行核醫藥物醫療曝露品保項目與執行方法之研究 針對核醫藥物之活度校驗，目前皆依據醫用活度計的測量結果為基準；因此擬參考國際標準與現行法規，提出醫用活度計之品質保證作業程序，並探討其可行性，以</p>

工作項目	實施步驟或研究方法
	供主管機關作為制定相關規範之依據
4. 輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立	<p>(1) 與醫療機構、學術單位或相關學會合作，共同建立國內放射治療劑量稽核系統之劑量測量程序與評估技術，並於醫院進行現場測試</p> <p>A. 建立劑量驗證儀器之測試與校正技術</p> <p>B. 建立國內放射治療劑量稽核系統之劑量測量程序與評估技術</p> <p>C. 完成國內放射治療劑量稽核系統於醫院臨床測試</p> <p>(2) 混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗規劃研究</p> <p>A. 文獻分析以選定擬混合之核種、強度，以及擬定樣品樣式、尺寸與製作方式</p> <p>B. 評估需採購之液體核種與強度，以及樣品製作材質之時程</p> <p>C. 利用現有核種製作實驗室標準樣品</p> <p>D. 利用實驗室標準樣品評估能力試驗分析樣品之活度量測能力試驗準確度</p> <p>(3) 完成全國人員劑量計能力試驗與指環劑量計能力試驗試運轉</p> <p>A. 依據測試領域人員體外劑量評估技術規範 (TAF-CNLA-T08(3))，進行能力試驗各測試類別之照射系統性能測試</p> <p>B. 完成國內人員劑量評估實驗室之輻射劑量計校正與能力試驗第二、三批次之照射作業</p> <p>C. 評估各參加實驗室分析結果，完成總結報告</p> <p>D. 與國內人員劑量評估實驗室合作，進行指環劑量計校正與輻射照射劑量評估</p> <p>(4) 建立環境劑量計能力試驗所需之輻射劑量照射系統 參考 HPS N13.29-Draft (1996) 環境劑量計能力試驗規範草案，確認照射射源(貝他、加馬與 X 射線射質)、劑量範圍、劑量轉換係數分析能力試驗測試類別之各項條件，建置能力試驗所需之照射系統與執行技術，進行環境劑量計納入能力試驗體系之可行性評估，保障輻射工作人員之安全</p> <p>(5) 輻射偵測儀器校正評估研究</p> <p>A. 參考輻射偵測儀器校正能力試驗規範，進行能力試驗各類別之測試儀器性能測試</p> <p>B. 與國內輻射偵測儀器校正實驗室合作，並召開能力試驗說明會，完成輻射偵測儀器校正能力試驗計畫書</p> <p>(6) 參考 ANSI/HPS N13.11 (2009) 標準，進行人員劑量計能力試驗技術規範研究</p>

工作項目	實施步驟或研究方法
	<p>參考 ANSI N13.11 (2001)和 ANSI/HPS N13.11 (2009)規範，比較人員劑量計能力試驗技術規範內容(人員劑量計種類、測試類別、輻射射質、劑量範圍、照射假體、轉換因子、參考劑量點、測試程序、偵測極限等)，進行符合國際趨勢之新規範研究</p> <p>(7)依據 ANSI N42.17A (2006)與 ANSI N42.17A (2003)標準，建立國內使用之表面污染/輻射劑量偵測儀器性能評估技術</p> <p>A.針對一般環境條件下使用之可攜式表面污染/輻射劑量偵測儀器，建立量測儀器的特性與性能評估技術</p> <p>B.調查國內可攜式表面污染/輻射劑量偵測儀器使用狀況，比較常用廠牌儀器之特性與性能，並提出安全使用建議</p> <p>(8)對國內使用公稱電壓 50 仟伏以下之設備與開放射束或移動型設備相關設施經營者進行輻射安全檢查，包括輻射安全測試報告[3-4]審查及現場實測，以瞭解輻射偵測業者執行輻射偵測情形及評估特定輻射作業可能之風險，確保國內醫用、非醫用登記類可發生游離輻射設備使用場所工作人員及一般民眾輻射安全。本計畫亦將藉由檢查數據之統計分析、風險評估、國際相關(開放射束或移動型設備)輻射安全導則或指引之蒐集研析及現行法規之檢視，對登記類設備之管制法規及輻射安全檢查內容提出具體建議。</p>

工作項目	實施步驟或研究方法
5. 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立	<p>(1) 質子治療設施誘發高能中子能譜之量測驗證  本計畫於上兩年度，已建立蒙地卡羅程式評估多球式中子能譜量測系統對不同能量中子的反應度，並以 Cf-252 標準中子源，對蒙地卡羅的評估結果作反復的驗證與調整，確證技術建立之成效，並將多球式中子能譜偵檢器對不同能量中子反應度的計算由 20 MeV 延伸至 GeV 等級，使中子能譜系統的量測範圍可涵蓋國內質子治療機誘發中子之能量，同研製完成高靈敏度的多柱式中子能譜量測系統，以因應低中子劑量情況下的量測需求。本年度將延續之前的成果，實際以多球式或多柱式中子能譜系統系統，對國內質子治療設施誘發中子進行能譜的蒙地卡羅評估與量測比對驗證</p> <p>(2) 質子治療設施誘發高能中子之環境劑量評估研究  一般用於放射治療的高能質子治療設施，其最高能量約在 200 MeV 左右，所誘發中子的最高能量約等於質子能量，再經周圍屏蔽體散射後，在空間中所形成的中子能量涵蓋範圍，約可從熱中子至約 200 MeV，當需準確量測某一位置的中子劑量時，需先確定該量測點的中子能譜狀態，再依據不同能量中子的中子通量對劑量轉換係數得出中子劑量</p>

註：請依原綱要計畫書上所列計畫目的、架構、主要內容填寫

## 肆、計畫經費與人力執行情形

一、計畫經費執行情形：(可以下列表格表達)

### (一)計畫結構與經費(千元)

細部計畫		研究計畫		主持人	執行機關	備註
名稱	經費	名稱	經費			
放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究	10,522	放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究	10,522	萬永亮	長庚大學 中華民國 醫學物理學 會	
提升輻射安全管制技術之研究	13,229	1. 輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立	800	黃珮吉	核能研究所	
		2. 核子醫學診療輻射劑量評估研究	2,830	李國威	核能研究所	
		3. 輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立	6,719	林怡君	核能研究所	
		4. 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立	2,880	袁明程	核能研究所	

## (二)經資門經費表

會計科目	項目	預算數 / (執行數)			備註	
		主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		
				金額(元)		占總經費%
一、經常支出						
	1.人事費	5,219,000 (5,219,000)		5,219,000 (5,219,000)	21.97% (21.97%)	
	2.業務費	13,224,273 (13,224,273)		13,224,273 (12,671,273)	55.68% (53.35%)	
	3.差旅費	100,000 (100,000)		100,000 (100,000)	0.42% (0.42%)	
	4.管理費	812,727 (812,727)		812,727 (812,727)	3.42% (3.42%)	
	5.營業稅					
	小計	19,356,000 (19,356,000)		19,356,000 (18,803,000)	81.50% (79.17%)	
二、資本支出						
	小計	4,395,000 (4,395,000)		4,395,000 (4,395,000)	18.50% (18.50%)	
合計	金額	23,751,000 (23,751,000)		23,751,000 (23,198,000)	100% (97.67%)	
	占總經費%	100%				

或僅以人事費、業務費(研究設備費、材料與雜費)管理費分類

經費項目	主管機關預算 (委託、補助)	自籌款	合計		備註
			金額	%	
人事費					
業務費	研究設備費				
	材料與雜費				
管理費					

與原計畫規劃差異說明：

## (三)計畫人力

計畫名稱	執行情形	總人力(人年)	研究員級	副研究員級	助理研究員級	助理
分支計畫 提升安全 技術之 研究	原訂	6.00	0	1.20	2.40	2.40
	實際	5.90	0	1.20	2.40	2.40
	差異	-0.10	0	0	0	0
分項計畫 放射診斷 設備之全 射醫療保 品研究	原訂	7	0.5	0.75	0.75	5
	實際	7	0.5	0.75	0.75	5
	差異	0	0	0	0	0
分項計畫 放射治療 設備之全 射醫療保 品研究	原訂	6	2	0	0	4
	實際	6	2	0	0	4
	差異	0	0	0	0	0
分項計畫 放射場所 評估與 射量測 建立	原訂	0.50	0	0.50	0	0
	實際	0.50	0	0.50	0	0
	差異	0	0	0	0	0
分項計畫 核子醫學 診療劑 量評估	原訂	1.50	0	0.30	0.60	0.60
	實際	1.40	0	0.30	0.50	0.60
	差異	-0.10	0	0	-0.10	0
分項計畫 放射防護 儀器與 品測證 技術建 立	原訂	2.50	0	0.50	0.80	1.20
	實際	2.50	0	0.50	0.80	1.20
	差異	0	0	0	0	0
分項計畫 粒子治療 設施之 中子量測 技術建 立	原訂	1.50	0	0.40	0.50	0.60
	實際	1.50	0	0.40	0.50	0.60
	差異	0	0	0	0	0

**與原計畫規劃差異說明：**

本年度 1-12 月規劃投入研究人力 6.0 人年，實際投入人力 5.9 人年，預定與實際投入人力差異為研發替代役人員 9 月退伍所致，但並不影響計畫執行進度。

## (四) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

## 1-1. 放射診療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
萬永亮	主持人	規劃及監督計畫之執行 0.5 人月	學歷	台大醫學院醫學士
			經歷	林口長庚醫院影像診療部部長，長庚大學醫放系教授兼系主任
			專長	放射診斷學
劉鶴齡	協同主持人	規劃及計畫之執行 3 人月	學歷	美國德州大學醫學物理博士
			經歷	長庚大學醫放系教授
			專長	放射診斷物理
陳拓榮	協同主持人	規劃及計畫之執行 2.5 人月	學歷	清華大學原科所博士
			經歷	中山醫學大學醫學影像暨放射科學系教授兼主任
			專長	放射診斷物理
蔡惠予	協同主持人	規劃及計畫之執行 9 人月	學歷	清華大學原科所博士
			經歷	長庚大學醫放系副教授
			專長	放射診斷物理
黃怡璇	協同主持人	規劃及計畫之執行 9 人月	學歷	國立陽明大學
			經歷	林口長庚醫院影像診療科部放射診斷物理師
			專長	放射診斷物理

## 1-2. 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
蕭安成	主持人	規劃及監督計畫之執行 8 人月	學歷	陽明大學醫學影像暨放射科學系博士
			經歷	中華民國醫學物理學會理事長 和信治癌中心醫院醫學物理科技術長
			專長	醫學物理，放射治療儀器，放射治療技術，輻射劑量學
陳志成	協同主持人	規劃及計畫之執行	學歷	美國亞利桑那大學博士
			經歷	陽明大學醫學影像暨放射科學系教授

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
		2人月	專長	生物醫學工程，醫學影像處理與品質分析，生醫光電
任益民	協同主持人	規劃及計畫之執行 2人月	學歷	英國曼徹斯特大學博士
			經歷	三軍總醫院放射腫瘤部部主任
			專長	放射治療，輻射生物學
徐椿壽	協同主持人	規劃及計畫之執行 3人月	學歷	美國哥倫比亞大學博士
			經歷	和信治癌中心醫院醫學物理科主任
			專長	醫學物理
許世明	協同主持人	規劃及計畫之執行 3人月	學歷	陽明大學醫學影像暨放射科學系博士
			經歷	陽明大學醫學影像暨放射科學系副教授
			專長	放射物理，蒙地卡羅模擬演算
鄭秀成	協同主持人	規劃及計畫之執行 2人月	學歷	國立陽明大學放射醫學科學研究所碩士
			經歷	台北醫學大學附設醫院醫學物理督導
			專長	醫學物理，放射治療儀器，放射治療技術，輻射劑量學

## 2.核能研究所執行項目

分項計畫 2：輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立

分項計畫 3：核子醫學診療輻射劑量評估研究

分項計畫 4：輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

分項計畫 5 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
黃珮吉	分項計畫主持人	統籌計畫之規劃、推動與協調 2.4人月	學歷	博士
			經歷	核能研究所助理研究員
			專長	化學工程
李國威	分項計畫主持人	輻射劑量評估與計畫管理 4.8人月	學歷	碩士
			經歷	核能研究所助理研究員
			專長	核子工程
林怡君	分項計畫	輻射劑量計能力	學歷	博士

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
	主持人	試驗研究與計畫管理 2.4 人月	經歷	核能研究所副研究員
			專長	原子能工程、生醫工程與環境科學
袁明程	分項計畫主持人	計畫作業與推動、協調 2.4 人月	學歷	博士
			經歷	核能研究所副研究員
			專長	原子能工程、生醫工程與環境科學
李振弘	研究人員	計畫管理與計畫執行、建立放射治療劑量驗證稽核技術 2.4 人月	學歷	博士
			經歷	核能研究所副研究員
			專長	原子能工程、生醫工程與環境科學
葉俊賢	研究人員	輻射劑量計能力試驗技術研究 4.8 人月	學歷	碩士
			經歷	核能研究所副研究員
			專長	保健物理
朱葦翰	研究人員	多球式中子能譜系統運作與中子能譜分析 3.6 人月	學歷	碩士
			經歷	核能研究所助理研究員
			專長	保健物理
王正寧	研究人員	核醫科輻射安全議題評估 3.6 人月	學歷	博士
			經歷	核能研究所助理工程師
			專長	核子工程
彭恩琪	研究人員	規劃與執行參考物質配置 3.6 人月	學歷	學士
			經歷	核能研究所工程助理員
			專長	化學
李碧芬	研究人員	規劃與執行參考物質配置 3.6 人月	學歷	碩士
			經歷	核能研究所助理工程師
			專長	化學
葉堅勇	研究人員	規劃與執行中低強度核種分析能力試驗 2.4 人月	學歷	碩士
			經歷	核能研究所助理工程師
			專長	保健物理

與原計畫規劃差異說明：

無

## 伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)

### 一、本計畫主要成果及重大突破

請就本計畫涉及之(1)學術成就或(2)技術創新或(3)經濟效益或(4)社會影響(5)其它效益方面說明重要之成果及重大之突破，以文字方式分列說明。

#### 1.學術成就

- (1)本診斷品保計畫目前進度為兩年期之第一年，在學術成就上，目前已有 3 篇論文，其中論文第一篇為「國內透視攝影暨介入診療之醫療曝露調查」，第二篇為「電腦斷層掃描儀自動管電流調控系統對輻射劑量調降的現況調查研究」，二篇皆發表於 2014 年放射線醫學會年會。第三篇為「Impact of automatic tube current modulation on CT dose and image quality from a view of nationwide survey」，發表於 2014 年 8th European Conference on Medical Physics 會議。
- (2)本治療品保計畫目前進度為兩年期之第一年，在學術成就上，目前已完成 1 篇論文初稿「全國放射治療系統品質保證作業執行現況實測研究報告」，正進進行期刊投稿、1 篇研究報告「放射治療設備輻射醫療曝露品質保證作業執行現況研究報告」及 1 份教材「Teletherapy Instrumentation-Linac and QA」，可供醫療院所、相關大學院校與相關醫學會或相關專業人士參考使用，以及培育碩士研究生 1 位。
- (3)與陽明大學合作，使用熱發光劑量計作為郵校劑量計，並自製郵校假體，與美國放射物理中心郵校假體系統進行測試比較。本計畫使用之熱發光劑量計篩選在 95%的信賴區間，中其變異係數小於 5%，並將郵校假體中 TLD 之讀值轉換至水吸收劑量，以進行劑量量測修正，並藉由校正標準劑量之醫用加速器下進行臨床測試，評估輸出劑量量測之誤差可維持在 3%內，故本計畫所設計

之郵校假體與劑量計系統可有效應用於放射治療劑量之稽核驗證。相關研究成果(A novel simple phantom for verifying the dose of radiation therapy)已於 103 年投稿至國際期刊(BioMed Research International)並發表(Research Article ID 934387)。

(4) 據原子能委員會(AEC)之醫用放射性物質與可發生游離輻射設備輻射安全檢查項目及其作業規定，診斷型 X 光防護管套其滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過 0.87 mSv，對於距離主射束牆外 30 cm 的洩漏率測量值應小於 0.5  $\mu$ Sv/h。實驗室利用自行設計組裝的游離腔與閃爍偵檢系統進行洩漏量測比較。結果顯示，閃爍偵檢器雖具有較快的反應時間，但該閃爍偵檢系統的量測與驗證結果更接近 X 光機的實際劑量率，相關研究結果(Techniques for leak measurement of the medical diagnostic X-ray machine)可望提供工作人員輻射防護以及醫用 X 光機屏蔽設計之參考，並已於 103 年投稿至國際期刊(Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A)。

(5) 雙游離腔法為 ICRU 報告建議用於評估混合場劑量成分之技術，本計畫與清華大學合作，建立 TE(TE)和 Mg(Ar)游離腔模型，以 MCNP、EGSnrc、FLUKA 和 GEANT4 四種蒙地卡羅程式進行劑量響應比較，並透過於 Co-60、80-150 kVp X 光、6 MV 和 10 MV 加速器光子、6 MeV 和 18 MeV 加速器電子和 THOR BNCT 中子場之實驗結果進行驗證。對於 keV 等級光子，MCNP 低估了 Mg(Ar)之游離電流，但可準確地評估 TE(TE)之游離電流，利用混合場計算和實驗結果，可以提出射源項之修訂建議，相關研究成果(Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon, electron and neutron beams)已於 103 年投稿至國際期刊(Nuclear

Instruments and Methods in Physics Research Section A)並獲得接受。

- (6)103 年發表三篇國際會議論文，分別為(a)“The analysis of accelerator-based neutron source for different targets by MCNPX”，發表於“International Symposium on Frontiers of Technology for the Future: Low Carbon Energy and Life (FoTEL 2014)”；(b)“Analyzing the responses of conventional and extended-range neutron detectors in radiation fields of a 150-MeV LINAC”發表於“Symposium on Radiation Measurements and Applications, 2014”；(c) “Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon and electron beams”，於“發表於“Symposium on Radiation Measurements and Applications, 2014”。

## 2.技術創新

- (1)市售之球形或圓柱形空氣游離腔所使用之電極為棒狀，容易造成腔內電場均勻度不佳，使腔內角落區域之信號漏失，而當游離腔體積增加時，為收集飽和電流時，必須使用較高之工作電壓，但電壓過高時會產生氣體增殖現象，而易形成漏電流，降低量測訊號之準確度。本計畫設計一種球形電極空氣游離腔，應用於輻射劑量標準實驗室，作為 X-光機、加馬照射裝備及直線加速器等裝置輸出輻射劑量之量測，其可在靈敏體積內產生均勻之電場強度，避免於收集飽和電流時必須升高工作電壓，增加漏電流，而影響量測準確度及損壞儀器，已於 103 年 4 月獲得中華民國發明專利(發明第 I 434313

號)。

- (2)由於目前使用的空氣游離腔無法即時偵測空腔內的實際溫度，必須等待腔內溫度與腔外溫度接近平衡時，方能開始進行量測，除耗費時間之外，且僅能以偵測到的腔外溫度代表腔內溫度，並據此進行輻射劑量量測訊號之修正，因此將造成訊號修正之誤差。本計畫設計一種內建溫度感應器之空氣游離腔裝置，其係適用於 X 光機、加馬照射裝備及直線加速器等裝置輸出輻射劑量之量測，其包含有一空腔、一內電極、一腔壁及外電極、一護極與經過校正之溫度感應器，可即時偵測到空氣游離腔內之空腔實際溫度，以進行輻射劑量量測訊號之修正，可有效提升空氣游離腔量測準確度，並改善空氣游離腔必須等待腔內與腔外溫度接近平衡時才能進行量測之缺點，以大幅縮短輻射劑量量測之等待時間，並於 103 年申請中華民國、美國與歐盟之發明專利。

### 3.經濟效益

- (1)本計畫所研製之本土化空氣游離腔儀器裝置，除改善護級設計，使漏電流可降低 50% 之外，製作與組裝之售價約 50 千元左右，僅為目前空氣游離腔的 70%，且產品性能經過量測證明後確認優於市售商品，因此極具有市場競爭力。
- (2)因應國內實驗室之實際運用與國情特性，發展符合本土化及客製化的環境試樣參考物質，除成本可降至 70 千元左右，為目前國外產品的一半價格，且製作時間僅需 2-4 周，較少於從國外進口所需的 2-6 個月的時間，極具有推廣的價值。

#### 4.社會影響

- (1) 本診斷品保計畫培育 5 碩士生及 1 名博士研究生，以及提供一份教材：「103 年度乳房攝影年度品保實作課程講義」，並且繳交兩份研究報告：第一份題目為「成人與小兒腹部電腦斷層檢查體型依存劑量之初探」、第二份題目為「數位乳房攝影品質保證研究報告」；在社會影響上，本計畫之調查結果資料將提供國內醫療曝露病患劑量及檢查最佳化之重要依據，訓練課程可提升從業人員之專業素養，此外本計畫聘請 6 位研究助理，除了降低失業率，並且培育相關人才，增加研究助理未來之就業競爭力。在電腦斷層掃描儀及乳房攝影儀實地檢測以及透視攝影的實地訪查方面，實際檢查台數皆符合進度，並且至少每二週回報數據給原能會。在透視攝影品保程序方面，已訂定出十四項測試，包括(1)系統安全評估、(2)準直儀評估、(3)照管電壓準確性及再現性、(4)照相模式之曝露時間準確性及再現性、(5)照相模式之曝露再現性及線性度、(6)照相模式之自動曝露控制系統評估、(7)射束品質的評估(半值層的測量)、(8)入射曝露(率)評估、(9)參考點累積空氣克馬之確認、(10)空間解析度、(11)對比度測試、(12)假影評估、(13)影像顯示器之評估、(14)影像增強管輸入曝露率。詳細內容已整理成正式報告並投稿至中文期刊，等待審稿中，期供品保專業人士參考。在教育訓練方面，已舉辦六場實作教育訓練課程，其中包含乳房攝影、電腦斷層及透視攝影品保實作訓練，藉由實作訓練可提升相關品保人員專業素養。
- (2) 本治療品保計畫協助行政院原子能委員會（原能會）進行全國放射治療設備檢查，確保國內放射治療設備品質，使整體放射治療輻射劑量不確定性小於 5%、放射治療位置不確定性

小於5毫米。

- (3) 在檢查過程中，本計畫參考國外文獻與國內需求，整理擬訂出各種放射治療設備適用的品保參數紀錄表單，提供予放射治療單位使用，以精進其品保作業內容，另再結合專家協助輔導以及訓練課程的舉辦，可更加提升從業人員之專業素養，有助於增進整體放射治療品質，與國際上先進國家接軌。
- (4) 量化出患者接受核子醫學診療後對大眾的非預期輻射曝露影響，並在更貼切病患需求下，將輻射防護措施納入考慮，提供醫病溝通及居家防護之依循，達到患者心安修養，照料者安心照顧；並針對患者家中之幼童、孕婦等對輻射較敏感族群，建立特殊專業劑量評估與輻射防護措施，確保幼童、孕婦與醫療看護團體之健康安全。
- (5) 本計畫建立粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術，可確保國內質子治療機設施運轉時之工作人員輻射安全，並保障接受質子治療病人的醫療品質。

## 5.其它效益

- (1) 本診斷品保計畫協助原子能委員會(原能會)進行相關檢查作業、持續精進醫療曝露品保之制度及方法並規畫未來方向，以期增進整體放射醫療品質。
- (2) 對於現今醫療院所核醫科所採用的醫用活度計(dose calibrator)，本計畫將與中華民國核醫學會合作，研擬活度計之校正方法、頻次與稽核標準；另透過舉辦專家學者會議，凝聚學、醫、研、管制單位之共識，作為醫用活度計品質保證項目擬定依據，保障國內民眾接受核醫診療之劑量準確性與安全性。

- (3) 表面污染/輻射劑量偵測儀器適用於執行核設施之輻射防護作業，提供管制區域與監測區域之輻射偵檢與危害評估。計畫參考美國 ANSI N42.33 (2006)與 ANSI N42.17A (2003)規範的輻射偵檢器性能測試要求，訂定輻射偵檢器的規格、性能要求與性能測試之建議，除可提昇國內核儀產品之製作性能與量測準確度，並提供相關單位做為儀器研發與採購之參考，有效保障民眾與輻射從業人員之安全。
- (4) 本治療品保計畫建置國內放射治療設備品保校驗資料庫，並進行多葉準直儀品保作業訪查，有助於原能會檢視與精進現行醫療曝露品保制度及方法，另外可協助原能會瞭解目前國內醫療院所執行多葉準直儀品保作業之現況，可供未來規劃將多葉準直儀納入法規範疇之參考。

## 二、績效指標項目初級產出、效益及重大突破

請依本計畫(涉及)設定之成果項目以量化績效指標方式及佐證資料格式填寫主要之量化成果(如學術成就代表性重要論文、技術移轉經費/項數、技術創新項數、技術服務項數、重大專利及項數、著作權項數等項目，含量化與質化部分)。

請依本計畫(涉及)設定之成果項目先分別將底下研究計畫以領域別分類，再以量化績效指標方式及佐證資料格式填寫主要之量化成果。

(填寫說明如表格內容，未使用之指標及填寫說明文字請刪除)

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就(科技基礎研究)	A 論文	國外重要期刊論文小計 4 篇 國際研討會論文小計 4 篇 國內研討會論文小計 2 篇	將計畫執行成果撰寫成論文發表，可提昇計畫執行者之學術地位，並貢獻研發社群有關劑量評估管制技術發展與輻射儀器驗證能力等經驗之累積，為相關技術發展重要參考與引用之依據。	
	B 研究團隊養成	1.養成蒙地卡羅劑量評估研究團隊 1 個。 2.培養放射治療品保驗證研究團隊 1 個 3.培養游離輻射領域能力試驗研究團隊 1 個。	因應醫療曝露品質保證與輻射防護作業，建立輻射劑量評估模式與量測技術，並研究與輻射屏蔽及防護標準之審查技術，以確保工作人員與一般民眾之輻射安全。	
	C 博碩士培育	碩士研究生 7 人 博士研究生 1 人	可培養出國內未來需要的輻射防護劑量評估、醫療院所輻射安全評估與輻射防護所需高階研發人才，提升相關領域的研究水準與個人的專業技能。	

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	D 研究報告	研究報告小計 15 篇	1. 將調查成果撰寫成研究報告，以利後續政策、法規、制度的推動。 2. 技術經驗傳承，建構研發之基礎，劑量評估與量測技術發展可支援主管機關從事安全管制工作。 3. 促進管理實務效能並提昇民眾對核能安全之信心。	
	E 辦理學術活動	(1) 5 月 15 日於核能研究所國家游離輻射標準實驗室召開人員劑量計能力試驗總結會議，共有 TAF 與 9 家參與實驗室、47 位技術專家參加 (2) 6 月 27 日於核能研究所國家游離輻射標準實驗室召開輻射偵檢儀器校正能力試驗說明會，共有 6 家實驗室、36 位技術專家參加	辦理國內研討會 2 場次，邀請相關專家學者進行技術討論與學術交流，了解國際輻射防護發展趨勢，並提供相關實驗室間之實務經驗傳承與交流平台，有效提升國內輻安管制技術水準。	

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	F 形成教材	3	<p>1. 教材名稱「103 年度乳房攝影年度品保實作課程講義」，未來可供國內醫療院所、相關學會於執行品保作業時或培訓品保人員使用。</p> <p>2. 教材名稱「Teletherapy Instrumentation-Linac and QA」，可為大學校院、醫療院所或相關醫學會培訓相關專業人員使用。</p> <p>3. 輻射安全溝通教材，本教材除釐清目前輻射風險溝通之困境與難行外，亦提供風險溝通相關策略與技巧，期供給現行風險溝通者參考應用。</p>	
	其他			
技術創新(科技整合創新)	G 專利	獲得發明專利 1 件	避免國外技術壟斷，保障智慧財產權利。	
	H 技術報告	技術報告 1 篇	建立相關專業技能與能量，提昇輻防管制水準，並提供相關單位參考。	
	I 技術活動			
	J 技術移轉			

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	S 技術服務			
	其他			
經濟效益 (產業經濟發展)	L 促成廠商或產業團體投資			
	M 創新產業或模式建立			
	N 協助提昇我國產業全球地位或產業競爭力			
	O 共通/檢測技術服務			
	T 促成與學界或產業團體合作研究			
	U 促成智財權資金融通			
	其他			
社會影響	民生社會發展	P 創業育成		
		Q 資訊服務		
		R 增加就業	本計畫聘請 5 名研究助理	聘請研究助理可降低失業率，且經由計畫執行過程中的專業培訓，可增加研究助理未來的工作競爭力。
		W 提昇公共服務		
		X 提高人民或業者收入		
		其他		
		其他		
	環境安全永續	O 共通/檢測技術服務		
V 提高能源利用率				

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	Z 調查成果	<p>1. 電腦斷層掃描儀、乳房攝影儀及透視型 X 光機調查結果資料</p> <p>2. 放射治療設備輻射曝露品質保證作業執行現況調查結果資料</p>	<p>此調查結果協助原能會進行國內醫療院所之電腦斷層掃描儀及乳房攝影儀醫療曝露作業檢查與透視型 X 光機醫療曝露品保作業調查，確保電腦斷層掃描及乳房攝影之曝露品質，並瞭解國內透視攝影 X 光機品質，以提供原能會未來推動其品保作業之參考。</p> <p>此放射治療設備輻射曝露品質保證作業執行現況調查結果將提供國內放射治療單位精進品保作業，提升整體放射治療品質。</p>	
	其他			
其他效益（科技政策管理及其它）	K 規範/標準制訂	碘-131 治療患者外釋管理(草案)	提供國內核醫品保作業之重要依據	
	Y 資料庫			
	XY 性別平等促進			

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	AA 決策依據	1. 透視攝影品保程序建議  2. 放射治療設備品保校驗資料庫建置及多葉準直儀品保程序建議	透視攝影品保程序建議相關結果將提供國內醫療院所執行透視攝影醫療曝露品保作業之重要參考。  放射治療設備品保校驗資料庫建置及多葉準直儀品保程序建議相關結果將提供評估多葉準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性評估重要參考。	
	其他			

## 陸、 主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

請依前述重要成果及重大突破說明其價值與貢獻度如：

### 一、學術成就(科技基礎研究) (權重 25%)

本計畫執行其成為 101-104 年，累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度如下：

- (一) 醫療診斷品保學術研究方面已發表三篇研究論文，完成兩份初步研究報告，培育 5 名碩士生與 1 名博士研究生。研究論文發表於國內專業學會年會與歐洲醫學物理年會，將本計畫的調查研究結果分享給國內外的專家學者，於「國內透視攝影暨介入診療之醫療曝露調查」中，開始將台灣的現況展現給國內相關醫療從業人員，期喚起對透視攝影的醫療品質保證之重視；於「電腦斷層掃描儀自動管電流調控系統對輻射劑量調降的現況調查研究」，使國內外學者以全國設備的觀點來看，近期之新技術 CT 自動管電流調控系統對劑量調降之影響。兩份研究報告屬於 103 年初步的探討結果，將於 104 年延續完成。關於「成人與小兒腹部電腦斷層檢查體型依存劑量之初探」，電腦斷層檢查體型依存劑量指標乃是 2011 年提出的新劑量指標，對於如何應用在台灣臨床電腦斷層檢查上，有重要的參考價值。關於「數位乳房攝影品質保證研究報告」，國內外法規並無針對數位乳房攝影品質的執行方法上有共識，現仍是各家廠商各自定義品質保證程序與項目，美國醫學物理學會與美國放射線醫學會正在這方面共同努力，而本計畫團隊也嘗試參考歐盟之文獻，完成這份初步研究報告。此兩項研究之預計成果，除可幫助瞭解台灣現況上，也可與國際接軌。
- (二) 醫療治療品保研究其學術研究方面已完成論文初稿 1 篇、研究報告及教材各 1 份，培育 1 名碩士生。研究論文初稿「全國放射治療系統品質保證作業執行現況實測研究報告」已完成，預計投稿於國內專

業學會期刊，將本計畫的調查研究結果分享給國內專家學者及醫療院所參考使用。而「放射治療設備輻射醫療曝露品質保證作業執行現況」研究報告，為國內首度進行大規模放射治療設備醫療曝露品質保證作業調查，有助於原能會及國內專家學者瞭解國內放射治療設備品質。另外本研究形成教材「Teletherapy Instrumentation-Linac and QA」，整理目前放射治療主流設備「直線加速器」的作業原理及其品保作業內容與規範，可供大專院校相關課程或醫療院所培訓相關醫療曝露品保人員使用。計畫聘請 2 位研究助理，在計畫執行過程中，對於研究助理進行專業放射治療學術知識與品保作業培訓，可增加研究助理未來之就業競爭力，並且其中 1 位研究助理為在學研究生，亦可拓展其未來學術研究之視野。

- (三) 101 年度：(1)完成建立 ICRP-110 體素假體，驗證點射源評估方式由於未考慮到人體對核醫藥物的自屏蔽效應因此會造成劑量評估結果大幅度高估。以 I-131 射源為例，利用體素假體之評估結果僅為點射源評估結果之  $62.06 \pm 0.50 \%$  (成年男性)與  $63.12 \pm 0.55 \%$  (成年女性)。此部分研究成果發表(Radiation Safety Consideration for Thyroid Cancer Therapy from the view of Anthropomorphic Voxel Phantom Model)於第 12 屆 ICRS 國際研討會，並獲得大會接受為海報張貼模式發表。該假體同時應用於硼中子捕獲治療之有效劑量計算，相關研究成果(Effective Dose Evaluation for BNCT Brain Tumor Treatment Based on Voxel Phantoms)發表於 2012 年日本筑波召開之第 15 屆硼中子捕獲治療國際會議(ICNCT-15)。(2)與中國醫藥大學合作，利用 TLD 與 RANDO 假體，進行強度調控放射治療(IMRT)在腫瘤組織外所引發之散射劑量評估。相關研究成果已投稿至國際期刊(Radiation Measurements)；此外，雙方亦合作利用蒙地卡羅程式、Gafchromic Film、Solid Water 假體、Bone 假體及 Lung 假體進行高劑量率(HDR) Ir-192 射源在不同介質之劑量分佈研究，相關研究

成果已刊登於 PLoS One 國際期刊。(3)與台大醫院合作，針對臨床放射治療的給予劑量進行驗證。針對全身照射治療方式，以 EBT 膠片與熱發光劑量計(TLD)進行劑量量測與驗證。相關研究成果(Clinical Application of Gafchromic EBT Film for In Vivo Dose Measurements from Total Body Irradiation)發表在 IRPA-13 國際會議中。

- (四) 102 年度：(1)自行開發一套高效率之波那圓柱系統(Bonner Cylinder Spectrometer)，該系統由內充高壓力之圓柱形氬-3 比例計數器組成，高氣壓與大作用體積之特點使得量測效率較原波那球系統(Bonner Sphere Spectrometer)提高約 17 倍，大幅提升中子能譜量測系統應用領域；相關研究成果(Calibration and Comparison between Standard Bonner Spheres and High-sensitivity Bonner Cylinders)已投稿至國際期刊(Radiation Protection Dosimetry)。(2)本計畫研製使用於量測高劑量率 Ir-192 近接治療射源空氣克馬之標準游離腔，並利用蒙地卡羅法評估游離腔之腔壁效應修正因子，以提供國內近接治療射源更準確的校正追溯；此外，本計畫也針對臨床進行位於食道或肺部氣管等包含有空腔在內之器官的近接治療時，射源位置的偏移可能會造成腫瘤或正常組織接受到之劑量變化進行評估，並探討該效應對體內劑量改變的影響程度。相關研究成果(Evaluation of Wall Correction Factor of INER's Air-Kerma Primary Standard Chamber and Dose Variation by Source Displacement for HDR Ir-192 Brachytherapy)已投稿至國際期刊(BioMed Research International)，並獲得接受。
- (五) 103 年度：(1)與陽明大學合作，使用熱發光劑量計作為郵校劑量計，並自製郵校假體，與美國放射物理中心郵校假體系統進行測試比較。本計畫使用之熱發光劑量計篩選在 95%的信賴區間，中其變異係數小於 5%，並將郵校假體中 TLD 之讀值轉換至水吸收劑量，以進行劑量量測修正，並藉由校正標準劑量之醫用加速器下進行臨床

測試，評估輸出劑量量測之誤差可維持在 3% 內，故本計畫所設計之郵校假體與劑量計系統可有效應用於放射治療劑量之稽核驗證。相關研究成果(A novel simple phantom for verifying the dose of radiation therapy)已於 103 年投稿至國際期刊(BioMed Research International)並發表(Research Article ID 934387)。(2)據原子能委員會(AEC)之醫用放射性物質與可發生游離輻射設備輻射安全檢查項目及其作業規定，診斷型 X 光防護管套其滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過 0.87 mSv，對於距離主射束牆外 30 cm 的洩漏率測量值應小於 0.5 Sv/h。實驗室利用自行設計組裝的游離腔與閃爍偵檢系統進行洩漏量測比較。結果顯示，閃爍偵檢器雖具有較快的反應時間，但該閃爍偵檢系統的量測與驗證結果更接近 X 光機的實際劑量率，相關研究結果(Techniques for leak measurement of the medical diagnostic X-ray machine)可望提供工作人員輻射防護以及醫用 X 光機屏蔽設計之參考，並已於 103 年投稿至國際期刊(Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A)。(3)雙游離腔法為 ICRU 報告建議用於評估混合場劑量成分之技術，本計畫與清華大學合作，建立 TE(TE)和 Mg(Ar)游離腔模型，以 MCNP、EGSnrc、FLUKA 和 GEANT4 四種蒙特卡羅程式進行劑量響應比較，並透過於 Co-60、80-150 kVp X 光、6 MV 和 10 MV 加速器光子、6 MeV 和 18 MeV 加速器電子和 THOR BNCT 中子場之實驗結果進行驗證。對於 keV 等級光子，MCNP 低估了 Mg(Ar)之游離電流，但可準確地評估 TE(TE)之游離電流，利用混合場計算和實驗結果，可以提出射源項之修訂建議，相關研究成果(Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon, electron and neutron beams)已於 103 年投稿至國際期刊(Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A)並獲得接受。(4)103 年發表三篇國際會議

論文，分別為(a) “The analysis of accelerator-based neutron source for different targets by MCNPX” ，發表於 “International Symposium on Frontiers of Technology for the Future: Low Carbon Energy and Life (FoTEL 2014)” ；(b) “Analyzing the responses of conventional and extended-range neutron detectors in radiation fields of a 150-MeV LINAC” 發表於 “Symposium on Radiation Measurements and Applications, 2014” ；(c) “Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon and electron beams” ，於 “發表於 “Symposium on Radiation Measurements and Applications, 2014” 。

## 二、技術創新(科技整合創新) (權重 20%)

本計畫執行其成為 101-104 年，累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度如下：

- (一) 101 年度：(1)與清華大學合作開發的體素均質化方式，將可因為計算體素減少而大幅縮短計算時間，同時藉由 MCNPX 程式在叢集電腦上的平行化技術開發與多射源評估方式，提供了蒙地卡羅評估技術應用上的延展性。(2)因應日本福島核電廠之複合式災害，發展可攜式之標準射源及相關裝置，建立核設施環境劑量監測器與區域監測器現場即時遊校技術，除可節省將核設施輻射監測儀器拆卸送回實驗室校正的時間，設施經營者亦無需準備備份監測器執行例行監測工作；而透過現場及時的遊校方法，將能確保輻射監測器之現場正常連線功能，提昇國內核設施輻射劑量監測儀器之量測準確度，協助政府法執行輻防管制作業與確保全民輻射安全品質。本項現場即時遊校方法為國內外首創之技術，已申請中華民國與美國發明專利(環境劑

量監測器與區域監測器遊校方法)。

- (二) 102 年：設計一種郵寄式輻射劑量驗證裝置及其作業程序，適用於稽核與驗證醫用加速器之光子與電子射束輸出劑量，其包括有壓克力假體、熱發光劑量計(TLD)與驗證醫用加速器輸出劑量之作業程序。壓克力假體重量小於 1.5 kg，方便進行郵寄，面積可涵蓋量測醫用加速器參考劑量時之  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  照野，厚度可提供足夠輻射散射量，且可配合待驗證的醫用加速器射束能量，調整覆蓋熱發光劑量計之壓克力材料厚度，以達到電子平衡的要求。本發明設計可藉由郵寄的方式，將輻射劑量驗證裝置寄至醫院，並提供輻射劑量驗證裝置之作業程序及工作表單，以方便使用人員操作，再利用熱發光劑量計的反應讀值轉換至各醫用加速器之輸出劑量，進而驗證其輸出劑量準確性，保障放射治療品質。目前發明構想已通過核能研究所專利申請之審查，將於 102 年 8 月底前申請中華民國發明專利。
- (三) 103 年度：(1)市售之球形或圓柱形空氣游離腔所使用之電極為棒狀，容易造成腔內電場均勻度不佳，使腔內角落區域之信號漏失，而當游離腔體積增加時，為收集飽和電流時，必須使用較高之工作電壓，但電壓過高時會產生氣體增殖現象，而易形成漏電流，降低量測訊號之準確度。本計畫設計一種球形電極空氣游離腔，應用於輻射劑量標準實驗室，作為 X-光機、加馬照射裝備及直線加速器等裝置輸出輻射劑量之量測，其可在靈敏體積內產生均勻之電場強度，避免於收集飽和電流時必須升高工作電壓，增加漏電流，而影響量測準確度及損壞儀器，已於 103 年 4 月獲得中華民國發明專利(發明第 I 434313 號)。(2)由於目前使用的空氣游離腔無法即時偵測空腔內的實際溫

度，必須等待腔內溫度與腔外溫度接近平衡時，方能開始進行量測，除耗費時間之外，且僅能以偵測到的腔外溫度代表腔內溫度，並據此進行輻射劑量量測訊號之修正，因此將造成訊號修正之誤差。本計畫設計一種內建溫度感應器之空氣游離腔裝置，其係適用於 X 光機、加馬照射裝備及直線加速器等裝置輸出輻射劑量之量測，其包含有一空腔、一內電極、一腔壁及外電極、一護極與經過校正之溫度感應器，可即時偵測到空氣游離腔內之空腔實際溫度，以進行輻射劑量量測訊號之修正，可有效提升空氣游離腔量測準確度，並改善空氣游離腔必須等待腔內與腔外溫度接近平衡時才能進行量測之缺點，以大幅縮短輻射劑量量測之等待時間，並於 103 年申請中華民國、美國與歐盟之發明專利。

### 三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 15%)

本計畫執行其成為 101-104 年，累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度如下：

- (一) 101 年度：順應國際核子醫學發展，本計畫技術研發可結合標靶治療與基因治療之發展，協助國內生醫產業研發出專一性更高之抗癌藥物，有助於解決目前癌症治療瓶頸，大幅降低醫療資源與成本花費。(2)利用核能研究所衰減式射源照射裝置專利(中華民國發明 I 302325 號)之設計概念，自行改裝與加工後成為符合 ISO-4037 規範之制式校正照射設施，使單一射源可產生不同強度之輻射場，同時也克服一般商業化照射器其洩漏輻射偏高、射源定位易飄移等缺點，節省採購國外射源及照射器費用，並提昇國內核子儀器之製造能力。

- (二) 102 年度：開發高效率之波那圓柱系統(Bonner Cylinder Spectrometer)，偵測效率比目前市售波那球系統(Bonner Sphere Spectrometer)提高 17 倍之外，且製作與組裝之成本僅約 500 千元左右，未來可開發提供國內相關單位使用，每套可有效節省自國外採購儀器約 3,500 千元之費用。
- (三) 103 年度：(1)本計畫所研製之本土化空氣游離腔儀器裝置，除改善護級設計，使漏電流可降低 50%之外，製作與組裝之售價約 50 千元左右，僅為目前空氣游離腔的 70%，且產品性能經過量測證明後確認優於市售商品，因此極具有市場競爭力。(2)因應國內實驗室之實際運用與國情特性，發展符合本土化及客製化的環境試樣參考物質，除成本可降至 70 千元左右，為目前國外進口產品價格的一半，且製作時間僅需 2-4 周，遠低於從國外進口所需的 2-6 個月時間，極具有推廣的價值。

#### 四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 20%)

本計畫執行其成為 101-104 年，累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度如下：

- (一) 醫療診斷品保計畫對社會有兩項重要貢獻：(1)調查結果可提供原能會推動及精進國內放射診斷設備之醫療曝露品保作業，以更加確保每年已逾 69 萬人次接受乳房攝影篩檢婦女，以及每年已逾 189 萬人次進行電腦斷層掃描檢查民眾之輻射安全及醫療曝露品質，另外，透視攝影的輻射安全及醫療曝露品保作業調查結果將可提供原能會瞭解國內透視攝影設備品質與國內透視攝影品保作業執行現況，以為未來推動該項品保作業之重要參考；(2)訓練課程可提升品保從業人員之專業素養，以更加提升國內整體輻射醫療曝露品質。本計畫聘請 5 位研究助理，除降低失業率，在計畫執行過程中，

對於研究助理進行專業品保作業培訓，可增加研究助理未來之就業競爭力。

(二) 醫療治療品保計畫調查結果可供原能會持續推動國內放射治療設備之醫療曝露品保作業，另外，本計畫蒐集整理國際資料，設計製作一系列放射治療作業之標準品保紀錄表單，可供放射治療單位使用，以更加確保每年逾 127 萬人次接受放射治療病患之輻射安全及醫療曝露品質。本計畫執行過程中，結合專家輔導與訓練課程的辦理，可提升品保從業人員之專業素養，以更加提升國內整體輻射醫療曝露品質。

(三) 101 年度：配合政府醫療曝露品質保證標準之實施，建立多葉式準直儀(MLC)位移、Cone Beam CT (CBCT)影像之品保驗證技術及作業程序，以確保接受放射治療的民眾，能接受到正確的劑量，使其放射治療之品質得到保障，提昇國人醫療與生活之品質。

(四) 102 年度：(1)持續與基隆長庚醫院合作，進行甲狀腺癌患者居家環境輻射劑量量測，預計本年度收案人數可達到 100 人，並持續分析不同患者間差異對於累積劑量之影響，預期可全面性降低核醫診療所造成環境背景劑量。(2)使用組織等效的固態假體來模擬病患，依據臨床治療頭頸部及攝護腺癌時之腫瘤與周邊正常組織器官的形狀，分別規劃出參考的治療計畫，以評估國內各放射治療單位主要使用的治療設備及電腦治療計畫系統，再進行實際臨床應用參考案例的劑量驗證，確認醫療曝露品質保證作業施行的實際成效，同時作為精進此作業標準的重要參考，並協助臨床單位提昇放射治療品質及技術水平，強化輻射曝露品質保證規範的完整性。

(五) 103 年度：(1)量化出患者接受核子醫學診療後對大眾的非預期輻射曝露影響，並在更貼切病患需求下，將輻射防護措施納入考慮，提供醫病溝通及居家防護之依循，達到患者心安修養，照料者安心照顧；並針對患者家中之幼童、孕婦等對輻射較敏感族群，

建立特殊專業劑量評估與輻射防護措施，確保幼童、孕婦與醫療看護團體之健康安全。(2)本計畫建立粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術，可確保國內質子治療機設施運轉時之工作人員輻射安全，並保障接受質子治療病人的醫療品質。。

#### 五、非研究類成就(人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導)

(權重 5%)

透過與學術單位的合作，培養國內未來輻射防護劑量評估、醫療院所輻射安全評估與輻射防護所需的高階研發人才，提升相關領域的研發水準，並增加論文產出，提高我國的國際能見度與增加國際對我國輻射防護研究領域之了解。

#### 六、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 15%)

本計畫執行其成為 101-104 年，累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度如下：

- (一) 醫療診斷品保計畫蒐集整理國際資料，建立透視攝影醫療曝露品保作業程序，可提供醫療院所及相關專業人員實施品質保證作業及原能會未來推展相關法規之參考，以更加提升國內透視攝影 X 光機之輻射安全及醫療曝露品質。
- (二) 醫療治療品保計畫蒐集整理國內所有放射治療設備的品保校驗資料，建立放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料庫，可供原能會全盤瞭解全國放射治療設備及治療作業之品質，有助於檢視及精進現行放射治療醫療曝露品保規定。另外，對於多葉準直儀品質保證作業的輔導訪查，今(103)年度為兩年期計畫的第一年，本計畫已建置完整多葉準直儀醫療曝露品保校驗程序，並完成流程測試，明年度計畫將以此流

程進行全國多葉準直儀品保作業的調查，相關調查結果將可提出將多葉準直儀納入品保法規範疇之可行性評估，進一步提供原能會參考使用。

- (三) 101 年度：本計畫可提供核子醫學專科醫師與罹病患者間的醫病管理新思維，並協助法規面輔導患者外釋返家標準化管理流程，對於病患需住院隔離的決策更具彈性，可大幅降低醫療資源與成本花費。
- (四) 102 年度：(1)本計畫將參考 IAEA 對於核醫 dose calibrator 的品管程序，設計針對台灣核醫現況適當可行的品管作業流程，並同時進行全國核醫科單位監控，保障病患接受核醫藥物劑量之正確與安全性。對於核醫影像設備，制定相關品管規範，進而監控全國核醫檢查設備，以維護病患接受核醫檢查時的輻射曝露之適當性。
- (五) 103 年度：(1)對於現今醫療院所核醫科所採用的醫用活度計 (dose calibrator)，本計畫將與中華民國核醫學會合作，研擬活度計之校正方法、頻次與稽核標準；另透過舉辦專家學者會議，凝聚學、醫、研、管制單位之共識，作為醫用活度計品質保證項目擬定依據，保障國內民眾接受核醫診療之劑量正確與安全性。(2)表面污染/輻射劑量偵測儀器適用於執行核設施之輻射防護作業，提供管制區域與監測區域之輻射偵檢與危害評估。計畫參考美國 ANSI N42.33 (2006)與 ANSI N42.17A (2003) 規範的輻射偵檢器性能測試要求，訂定輻射偵檢器的規格、性能要求與性能測試之建議，除可提昇國內核儀產品之製作性能與量測準確度，並提供相關單位做為儀器研發與採購之參考，有效保障民眾與輻射從業人員之安全。

註：若綱要計畫期程為 4 年期第 1 年執行者，請明確寫出本綱要計畫為第 1 年執行，固無主要成就及成果之價值與貢獻度；其他非第 1 年執行者請填寫起始年累積至今主要成就及成果之價值與貢獻度(例如：執行期程為第 3 年之綱要計畫即寫第 1 年到現在所有成果之 outcome)。

## 柒、與相關計畫之配合

- 一、核子醫學診療輻射劑量評估研究：本計畫已完成蒐集美國、歐洲、日本等國家之核醫患者外釋管制辦法，就(1)實施目的；(2)適用範圍；(3)患者外釋返家基準；(4)患者劑量率紀錄；(5)其他注意事項等面向進行本土化外釋管制辦法研擬。因此，計畫將與中華民國核醫學會共同合作，就本議題進行臨床實務需求與可行性評估，以期能在符合國內現況的前提下，提出具體可行之法規研擬結果。
- 二、輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立：本計畫輻射量測與能力試驗所使用的偵測儀器，必須送至國家游離輻射標準實驗室進行校正追溯，因此需與經濟部標準檢驗局之「建立及維持國家游離輻射標準」計畫相互合作，開發輻射防護與醫療品保所需之劑量及活度校正技術，提升研發能量，達成最大的執行效益。
- 三、粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立：本計畫與經濟部技術處「質子治療之相關探測器研製」3 年期學界科專計畫共同合作，建立質子劑量之評估、量測與校正技術，並研發量測設施。

## 捌、後續工作構想之重點

- 一、放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保

本計畫為 103-104 年兩年其計畫之第一年，104 年將依原定規畫執行。

在電腦斷層掃描儀輻射醫療曝露品保作業檢查方面，104 年將持續抽查全國共 120 台設備，並分析體型依存的特定劑量及心臟及肺臟 CT 健檢劑量的評估，以及完成 2 場電腦斷層掃描儀品保作業教育訓練。在乳房 X 光攝影儀輻射醫療曝露品保作業檢查方面，104 年將依預定進度持續完成全國共 120 台設備之抽查，並針對今年完成的數位式乳房 X 光攝影儀品保程序進行實測及結果分析，另外亦將辦理 2 場乳房 X 光攝影儀品保作業教育訓練。在透視攝影 X 光機使用現況訪查方面，104 年將訪查 150 台透視攝影 X 光機，並比較分析使用不同種類之透視攝影影像品質測試假體所得之結果，另因透視攝影 X 光機所使用的影像接受器可分為兩種系統，一種為影像增強管、另一種為平板偵檢系統，104 年將分析 103-104 兩年訪查所得影像增強管與平板偵檢系統之劑量差異，並將辦理 2 場透視攝影 X 光機醫療曝露品保作業教育訓練。

## 二、放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

1. 持續進行全國放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查，確保國內放射治療設備之醫療曝露品質，更加保障接受放射療病患的輻射安全。
2. 精進更新國內醫療所放射治療劑量準確性與品質保證作業管控資料庫。
3. 進行多葉準直儀品質保證作業輔導訪查，依輔導訪查結果，評估多葉準直儀納入醫療曝露品質保證作業之可行性，供主管機關參考使用。
4. 辦理放射治療輻射醫療曝露品保訓練課程，持續提升品保人員專業素養。

## 三、輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立

1. 研製輻射作業場所之環境核種分析儀器校正用參考物質(植物、漁畜產)

2. 環境試樣不同幾何、密度之效率校正研究

#### 四、核子醫學診療輻射劑量評估研究

1. 與國內學術研究單位或相關學會合作，進行核醫藥物活度校正儀品質保證及服用碘-131 患者居家環境輻射安全議題研究。

2. 醫用活度計校正效率曲線量測與模擬驗證

3. 診斷用核醫藥物輻射安全議題評估與民眾劑量合理抑低管理辦法建議

#### 五、輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

1. 與醫療機構、學術單位或相關學會合作，建立臨床放射治療劑量驗證稽核及分析比較，並建置放射治療劑量稽核作業程序

2. 輻射偵測儀器校正能力試驗評估研究

3. 配置混合加馬濾紙樣品，執行全國中低強度核種分析能力試驗與評估研究

4. 配置 7-9 種環境測試樣品，執行全國環境試樣放射性核種分析能力試驗與評估研究

5. 環境劑量計能力試驗測試方法之研究

6. 建立 Ir-192 近接治療射源劑量校正系統

7. 依據 ANSI N42.35 (2006)標準，建立國內輻射監測使用之門框偵檢器性能驗證技術

#### 六、粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

1. 與國內學術研究機構合作，進行以 Cf-252 中子源校正之中子偵

- 檢系統於高能中子場的儀器響應分析方法建立
2. 不同類型中子偵檢儀器於粒子治療設施誘發高能中子場之系統響應分析
  3. 加速器設施誘發中子能譜特性研究與輻射安全議題探討

## 玖、 檢討與展望

### 一、 放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保

本計畫目前進度為兩年期之第一年，自計畫開始至今近十二個月，在所有人員的努力下，除了在乳房攝影品保檢查、電腦斷層品保檢查及透視攝影實地訪查已完成預期進度之外，我們並完成了透視攝影品保程序的建議。在目前缺乏國際統一或專業共識，以及多數專業報告皆已發表超過十年的情況下，要在實務上產生一個完整且可行的透視攝影品保方案實屬不易。目前我們在避免流失資訊的前提下，使用最大聯集制定了十四項測試，未來需做進一步評估並討論是否可作精簡或修改。對於其他的計畫項目，期望在未來的一年中，能順利依照原訂構想，完成本意義重大的計畫。

### 二、 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

本計畫總計收集 76 家放射治療臨床單位，135 台直線加速器，8 台加馬刀，38 台近接治療機，18 台螺旋治療機，5 台電腦刀的設備與品保校驗資料，同時完成所有設備的品保項目現場訪查。訪查結果顯示，各單位執行品保作業的方式與使用校驗設備的情形具有相當程度的差異存在，但經由本年度的計畫執行及多場教育訓練課程的推行、各單位互相學習與經驗交流後，此差異可預期將逐漸縮小，相信在下一年度持續推展下，國內醫療院所執行放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業將趨於成

熟，不但可回饋於提升放射治療醫療水平，未來更可以將執行成果分享國際。

另外，未來計畫執行人員必須充分與受檢單位協調，安排最適當的查核時間，才能更有效的進行訪查任務。藉由本計畫的執行除可督促醫療院所確實依法規執行放射治療設備的品保作業、提升品保人員的專業素養、提供原能會管制所需資料庫，並且多葉準直儀品保作業的現況訪查也可供原能會於評估將其納入醫療曝露品保法規時參考。

### 三、 輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立

隨機任意選取 10 瓶樣品進行 between-bottle 整瓶重複性量測  $n$  次，水樣以 1000 g 樣品為單位，土樣以 400 g 樣品為單位，分別利用充氣式低背景比例計數器、純鍍偵檢器或液體閃爍偵檢器在相同的計測條件下計測其淨計數率或活度；再藉由 one way ANOVA(單因子變異數分析)公式算出 between-bottle 的標準偏差及重複性標準偏差，用以檢驗整組樣品添加的一致性其均勻度測試結果，水樣參考物質均勻度分別為 Co-60：2.88%、Cs-134：3.76%、Cs-137：4.57%、Sr-85：2.04%、Sr-90：2.04%、 $G\beta$ ：2.82%、H-3：1.61%；土樣參考物質分別為 Co-60：2.84%、Cs-134：2.20%、Cs-137：2.38%、Sr-85：2.50%、Sr-90：2.50%。

評估本次土樣參考物質配置結果，各配置核種之不確定度( $k=1$ )分別為 Co-60：2.86%、Cs-134：2.38%、Cs-137：2.56%、Sr-85：2.66%、Sr-90：2.66%；水樣參考物質配置結果，各配置核種之不確定度( $k=1$ )分別為 Co-60：2.96%、Cs-134：3.91%、Cs-137：4.69%、Sr-85：2.97%、Sr-90：2.21%、 $G\beta$ ：3.48%、H-3：1.64%，表示核研所在配置台灣地區土樣、水樣參考物質能力與國際上販售之參考物質一

致，足以提供作為國內各實驗室之標準參考試樣。

#### 四、核子醫學診療輻射劑量評估研究

##### (一) 服用碘-131 核醫藥物患者外釋劑量導則研究

針對國內服用碘-131 進行甲狀腺癌症治療患者之外釋管制辦法，核研所已初步擬訂管理草案，並將依據主管機關之審查意見進行後續回覆；藉由辦理專家學者會議，與臨床醫師、放射師進行意見交流，以期能提供妥切之法規指引。

##### (二) 建立醫用活度計校正效率評估技術

針對醫用活度計效率計算，上半年度利用 FLUKA 進行之模擬結果與實際量測數值尚有約 10% 之差異，已透過工業 CT 掃描方式，獲得精準之活度儀內部幾何結構，並持續進行評估模型修改，目前模擬結果與實際量測數值之差異已小於 4%，達成計畫預期目標，未來將推廣相關技術成果於臨床實務活度計之校正作業。

##### (三) 與醫療機構、學術單位或相關學會合作，進行核醫藥物醫療曝露品保項目與執行方法之研究

已針對醫用活度計之校正方法、頻次，召開 2 次專家學者會議，達成與醫院、學校等單位之共識；並透過標準操作程序 (SOP) 撰寫，以及進行小規模工作人員訓練，將該結論實際落實於臨床，並依據臨床操作經驗回饋來進行相關管理辦法修正與擬定。

#### 五、輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

##### (一) 與醫療機構、學術單位或相關學會合作，建立國內放射治療劑量稽核系統之劑量測量程序與評估技術，並於醫院進行現場測試

以郵寄方式將郵校系統及郵校程序書，送至國內各大醫療院所執行劑量驗證，統計分析國內醫療院所放射治療劑量輸出的穩定性及給予劑量之準確性，可提供主管單位執行國內放射治療設備醫療曝露品保作業之參考；亦期望能建立國內郵寄劑量計劑量稽核系統，以提升國內放射治療品質。

(二) 混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗規劃研究

本研究完成混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗規劃研究。完成加馬能譜分析儀之能量與效率校正性能測定，依預定擬定標準樣品—13.09I005 混合加馬核種，盲樣為 Am-241、Co-60、Cs-134 與 Cs-137 混合加馬核種之濾紙樣品，執行測試。顯示製成樣品具備正確核種與合適相對活度，可使用於混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗。

(三) 完成全國人員劑量計能力試驗與指環劑量計能力試驗試運轉

能力試驗是實驗室認證重要的一環，而人員劑量計關乎全國輻射工作人員之劑量評定工作，本計畫目前依據測試領域人員體外劑量評估技術規範(TAF-CNLA-T08(3))、ANSI/HPS N13.32-2008 (Performance testing of extremity dosimeters)規範與本所研擬之人員肢端劑量計評估實驗室認證技術規範草案，執行能力試驗和能力試驗試運轉，對於執行各測試類別之照射，面臨X光管老舊更換、新中子射源重新評估與人員離退等挑戰，但實驗室同仁排除萬難，並克服實驗室技術及經驗傳承問題，評估各參加實驗室分析結果，完成第九次人員體外劑量計能力試驗，以及指環劑量計能力試驗試運

轉。

目前國內人員劑量評估項目已依據美國 ANSI/HPS N13.11 (2001)標準，執行能力試驗及建立認證技術規範，未來也會參考最新的 ANSI/HPS 規範，並與國內外相關實驗室進行研究合作，建立符合國際發展趨勢之人員劑量、指環劑量與環境劑量評估之能力試驗技術與劑量追溯體系，以保障工作人員之輻射安全。

#### (四) 建立環境劑量計能力試驗所需之輻射劑量照射系統

已完成 Cs-137 環境級照射系統之性能再評估，並利用環境熱發光劑量徽章(TLD)進行結果測試，並列出該系統建議事項。此外，將參考 HPS N13.29-Draft (1996)環境劑量計能力試驗規範草案，持續進行照射射源(貝他、加馬與 X 射線射質)劑量標定、確認劑量照射範圍、評估劑量轉換係數與分析能力試驗測試類別之各項條件，並建置能力試驗所需之照射系統與執行技術，進行環境劑量計納入能力試驗體系之可行性評估，以確保輻射工作人員之安全。

#### (五) 輻射偵測儀器校正評估研究

參考第六次輻射偵測儀器能力試驗，了解國內輻射偵測儀器之校正能力，輻射劑量儀器、污染偵測儀器與主動式人員劑量計之校正分別依據 ANSI N323A (1997)、ISO 7503-1 (1988)、ANSI N42.20 (1995)等規範執行，並以 ISO 43-1 等規範進行結果判定。目前已完成能力試驗計畫書，將於 2015 年持續與國內輻射偵測儀器校正實驗室合作，完成輻射偵測儀器校正能力試驗。

#### (六) 參考 ANSI/HPS N13.11 (2009)標準，進行人員劑量計能力試

### 驗技術規範研究

已完成比較 ANSI N13.11 (2009)與 ANSI N13.11 (2001)規範內容差異之研究，包含輻射射質、照射系統、照射類別、允差值、TLD 照射方法、劑量轉換係數等，將持續評估以 ANSI N13.11 (2009)標準執行國內人員劑量計能力試驗規範之可行性，以符合最新之國際規範發展趨勢。

- (七) 依據 ANSI N42.33 (2006)與 ANSI N42.17A (2003)標準，建立國內使用之表面污染/輻射劑量偵測儀器性能評估技術。本計畫已針對國內常用的三種表面污染和四種輻射劑量偵測儀器，進行儀器的特性與性能測試評估。由測試結果可知，除三部污染偵檢器輻射射頻電磁場免疫力測試未符合規格、劑量偵檢器F之環境因素測試未符合規範、劑量偵檢器E與F之輻射射頻電磁場免疫力測試未符合規格外，其他儀器測試結果皆符合測試規範要求。劑量偵檢器F為一通氣式游離腔式的偵檢器，對環境因素之反應較為敏感，使用時須注意不可於溫度、濕度過大之環境中使用，以免影響讀值導致誤判。另外，大部分儀器對射頻之影響也需注意。對於符合規範之量測儀器，可依照說明書之適用環境範圍及正常操作狀況進行量測數值讀取，以作為計測之參考。

## 六、 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

### (一)質子治療設施誘發高能中子能譜之量測驗證技術

宇宙射線誘發中子能譜之條件穩定，幾乎不隨時間、地域有明顯之變化，可用來測試量測系統可靠度。惟相關中子源通量太低，導致實驗操作時間冗長，其過程間可能遭遇下雨、雷擊等天候因素，造成量測實驗困難。本研發團隊在克服種種困難下

完成背景中子能譜量測實驗，實屬不易。以波那球系統獲得之台灣地區地表誘發中子年累積劑量為 35  $\mu\text{Sv}$ ；用波那圓柱系統量測之年累積劑量為 38  $\mu\text{Sv}$ ，能譜展開結果與國際文獻、本研究自行利用 FLUKA 蒙地卡羅程式模擬結果比較，均呈現良好之吻合情形，研究成果可提供主管機關參考，同時也會將該穩定中子射源量測結果用以驗證波那球與波那圓柱系統之差異。

## (二)質子治療設施誘發高能中子之環境劑量評估研究

本計畫已完成林口長庚質子治療機周圍管制區之環境中子量測以及第一治療室迷道口中子能譜量測。在治療射束能量 230 MeV、電流 2.2 nA、照野大小 10 cm x 10 cm 條件下，治療室門口之劑量率約為 0.3~0.5  $\mu\text{Sv/h}$ ；治療室旁走道之中子區域監測器量測結果則無明顯變化，中子劑量落於背景值區間；迷道口中子主要均為經過多次彈性碰撞後減速成之熱中子，MeV 等級之中子數量已非常稀少；以波那球與波那圓柱系統之周圍等效劑量率量測結果分別為 1.883  $\mu\text{Sv/h}$  (波那球系統)與 1.691  $\mu\text{Sv/h}$  (波那圓柱系統)。

填表人： 鄭永富 聯絡電話： 02-2232-2189

E-mail： yfcheng@aec.gov.tw

主管簽名： 李若燦

## 附錄一、佐證資料表

(請選擇合適之佐證資料表填寫，超過1筆請自行插入列繼續填寫，未使用之指標資料表請刪除)

計畫名稱：

### 1-1 「放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究」委託研究計畫

#### 【A 學術成就表】

中文題名	第一作者	發表年 (西元年)	文獻類別	引用情形	獲獎情形	論文出處
國內透視攝影暨介入診療之醫療曝露調查	蕭亦蕙	2014	e	N	否	2014年放射線醫學會年會
電腦斷層掃描儀自動管電流調控系統對輻射劑量調降的現況調查研究	曹燕妮	2014	e	N	否	2014年放射線醫學會年會
Impact of automatic tube current modulation on CT dose and image quality from a view of nationwide survey	蔡惠予	2014	f	N	否	2014年8th European Conference on Medical Physics 會議

#### 【C 培育人才表】

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
林雍傑	博士班	長庚大學醫放系	蔡惠予
林育申	碩士班	長庚大學醫放系	董傳中
王秉妮	碩士班	長庚大學醫放系	劉鶴齡
任慕蘭	碩士班	長庚大學醫放系	劉鶴齡
王寶淵	碩士班	清華大學核子工程與科學研究所	蔡惠予

張宜儒	碩士班	中山醫學大學生物醫學科學所乙組	陳拓榮
-----	-----	-----------------	-----

## 【D 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年（西元年）	出版單位
成人與小兒腹部電腦斷層檢查體型依存劑量之初探	胡亞妘	2014	
數位乳房攝影品質保證研究報告	魏筱薇	2014	

## 【F 製作教材表】

教材名稱	教材類別	發表年度（西元年）	出版單位
103 年度乳房攝影年度品保實作課程講義	a	2014	

## 【R 增加就業表】

廠商名稱	廠商統一編號	增加員工人數	增加之年度
長庚大學醫學影像暨放射科學系		6 位	103 年度

## 計畫名稱：

## 1-2 「放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究」委託研究計畫

## 【C 培育人才表】

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
黃佩筠	碩士班	中台科技大學醫放系	陳信雄

註：學歷分成 a 博士、b 碩士

## 【D 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年（西元年）	出版單位
放射治療設備輻射醫療曝露品質保證作業執行現況	蕭安成	2014	

## 【F 製作教材表】

教材名稱	教材類別	發表年度（西元年）	出版單位
Teletherapy Instrumentation-Linac and QA	a	2014	

註：教材類別分成 a 文件式、b 多媒體、c 軟體、d 其他

## 計畫名稱：

- 分項計畫 2：輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立
- 分項計畫 3：核子醫學診療輻射劑量評估研究
- 分項計畫 4：輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立
- 分項計畫 5 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

## 【A 學術成就表】

中文題名	第一作者	發表年（西元年）	文獻類別	引用情形	獲獎情形	論文出處
A novel simple phantom for verifying the dose of radiation therapy	李振弘	2014	d	N	N	BioMed Research International (Research Article ID 934387)
Techniques for leak measurement of the medical diagnostic X-ray machine	葉俊賢	2014	d	N	N	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A
Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon, electron and neutron beams	林怡君	2014	d	N	N	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A

The analysis of accelerator-based neutron source for different targets by MCNPX	游鎮帆	2014	f	N	N	International Symposium on Frontiers of Technology for the Future: Low Carbon Energy and Life (FoTEL 2014)
Analyzing the responses of conventional and extended-range neutron detectors in radiation fields of a 150-MeV LINAC	李國威	2014	f	N	N	2014 Symposium on Radiation Measurements and Applications
Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon and electron beams	林怡君	2014	f	N	N	2014 Symposium on Radiation Measurements and Applications

註：文獻類別分成 a 國內一般期刊、b 國內重要期刊、c 國外一般期刊、d 國外重要期刊、e 國內研討會、f 國際研討會、g 著作專書；引用情形分成 Y1 被論文引用、Y2 被專利引用、N 否；獲獎情形分成 Y 有獲獎、N 否；論文出處列出期刊名稱，卷期，頁(如科學發展月刊，409 期，頁 6-15)

#### 【AA 決策依據表】

名稱	內容	類別	是否被採納

註：類別分成 a 新建或整合流程、b 政策建議報告；是否被採納分成 a 院級採納、b 部會署級採納、c 單位內採納、d 存參

#### 【B 研究團隊表】

團隊名稱	團隊所屬機構	團隊性質	成立時間 (西元年)
蒙地卡羅體內劑量評估研究團隊	清華大學、核能研究所	b	2014
放射治療品保險證研究團隊	核能研究所、醫學物理學會、陽明大學	b	2014
游離輻射領域能力試驗研究團隊	核能研究所、台電公司、清華大學、國家同步輻射研究中心、輻射防護協會、貝克西弗公司、臺灣光速	b	2014

	光公司		
--	-----	--	--

註：團隊性質分成 a 機構內跨領域合作、b 跨機構合作、c 跨國合作、d 研究中心、e 實驗室

### 【C 培育人才表】

姓名	學歷	機構名稱	指導教授
陳昱誠	b	中國醫藥大學生物醫學影像與放射科學系	許世明教授

註：學歷分成 a 博士、b 碩士

### 【D 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年 (西元年)	出版單位
102 年環境試樣放射性核種分析能力試驗總結報告	彭恩琪	2014	INER
國內核能電廠總體檢採取之安全措施對於提昇整體輻射安全的評估研究	楊雍穆	2014	INER
核醫藥物醫療曝露品質保證研究報告	李國威	2014	INER
溫度監控球型電極石墨游離腔性能測試	朱葦翰	2014	INER
表面污染及輻射劑量偵測儀器之性能檢測	施成霖	2014	INER
混合加馬濾紙樣品之中低強度核種分析能力試驗規劃研究報告	葉堅勇	2014	INER
放射治療劑量稽核系統之臨床測試報告	許世明	2014	INER
環境劑量計能力試驗照射系統	施成霖	2014	INER
醫用活度計校正效率評估報告	潘承亞	2014	INER
質子治療設施誘發高能中子能譜之量測與劑量評估報告	李國威	2014	INER
環境核種分析儀器校正用參考物質(水樣、土壤)研究報告	彭恩琪	2014	INER
ANSI/HPS N13.11 (2009)標準研究報告	林怡君	2014	INER

### 【E 學術活動表】

研討會名稱	性質	舉辦(起-迄)日期 (YYYY/MM/DD)	主/協辦單位
人員劑量計能力試驗總結會議	a	2014.05.15	核能研究所
輻射偵檢儀器校正能力試驗說明會	a	2014.06.27	核能研究所

註：性質分成 a 國內研討會、b 國際研討會、c 兩岸研討會

#### 【F 製作教材表】

教材名稱	教材類別	發表年度 (西元年)	出版單位

註：教材類別分成 a 文件式、b 多媒體、c 軟體、d 其他

#### 【G 智財資料表】

專利名稱	專利類別	授予國家	證書號碼	發明人	專利權人	有效(起-迄)期間 (YYYY/MM)
球型電極空氣游離腔	a	a	中華民國發明專利第 I 434313 號	李振弘	核能研究所	2014.4-2030.10
內建溫度感應器之空氣游離腔裝置	a	a		李振弘	核能研究所	申請中
內建溫度感應器之空氣游離腔裝置	a	b		李振弘	核能研究所	申請中
內建溫度感應器之空氣游離腔裝置	a	c		李振弘	核能研究所	申請中

註：專利類別分成 a 發明專利、b 新型新式樣、c 商標、d 著作、智財；授予國家分成 a 中華民國、b 美國、c 歐洲、d 其他

#### 【H 技術報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年 (西元年)	出版單位
第九次人員體外劑量評估實驗室能力試驗之總結報告	林怡君	2014	核能研究所

#### 【I 技術活動表】

技術論文名稱	研討會名稱	性質	舉辦(起-迄)日期 (YYYY/MM/DD)	主/協辦單位

註：性質分成 a 國內研討會、b 國際研討會

#### 【J 技術移轉表】

技術名稱	類別	授權單位	被授權廠商或機構	權利金(千元)	合約有效起-迄期間 (YYYY/MM)

註：類別分成 a 先期技術移轉、b 軟體授權、c 技術移轉、d 新技術/新品種引進數

#### 【K 規範標準表】

名稱	類別	參與性質	應用範圍
碘-131 治療患者外釋管理(草案)	a	a	b

註：類別分成 a 規範、b 標準、c 法規、d 政策；參與性質分成 a 參與制定、b 共同發表；應用範圍分成 a 機構內、b 國內、c 國際、d 未發表

#### 【L 廠商投資表】

廠商名稱	投資類別	投資金額(千元)	產品名稱	產值(千元)

註：投資類別分成：a 研發投資、b 生產投資

#### 【M 創新產業表】

名稱	類別	投資類別	投資金額(千元)	產品名稱	產值(千元)

註：類別分成 a 營運總部、b 衍生公司；投資類別分成 a 研發投資、b 生產投資

#### 【N 提升產業地位表】

產品名稱	公司名稱	產值(千元)	世界排名

**【O 檢測服務表】**

服務名稱	服務對象	服務性質	服務收入(千元)

註：服務對象分成 a 國內廠商、b 國外廠商、c 其他；服務性質分成 a 輔導諮詢、b 檢測校正、c 訓講習、d 其他

**【P 創業育成表】**

廠商名稱	資本額(千元)	年營業額(千元)	成立時間

**【Q 資訊服務表】**

網站或服務名稱	服務對象	服務人次/年	服務收入(千元)

**【R 增加就業表】**

廠商名稱	廠商統一編號	增加員工人數	增加之年度

**【S 技術服務表】**

技術服務名稱	服務對象名稱	服務對象類別	服務收入(千元)

註：服務對象類別分成 a 國內廠商、b 國外廠商、c 其他

**【T 促成產學合作表】**

合作廠商名稱	合作計畫或合約名稱	廠商配合款(千元)	合作參與人數	合作有效期間

**【U 智財資金融通表】**

智財名稱	廠商名稱	融資機構性質	融資機構名稱	融資金額(千元)

註：融資機構性質分成 a 國內融資機構、b 國外融資機構

#### 【V 能源利用表】

技術或產品名稱	廠商名稱	提升能源效率(%)	節約能源量(%)	二氧化碳減量(公噸)

#### 【W 提升公共服務表】

服務或措施名稱	行政精簡時間(天)	運輸耗能節省金額(千元)	二氧化碳減量(公噸)

#### 【X 提高收入表】

措施名稱	受益人數	增加收入金額(千元)	增加之年度 (西元年)

#### 【Y 建置資料庫表】

資料庫名稱	資料庫內容	資料庫類別	資料筆數

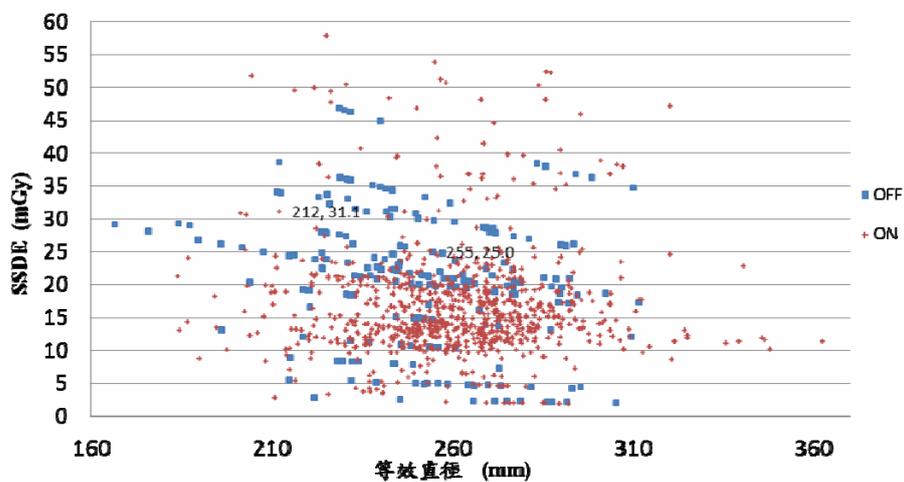
註：資料庫類別分成 Bibliography、Numerical、Factual、Multimedia、Text

#### 【Z 調查成果表】

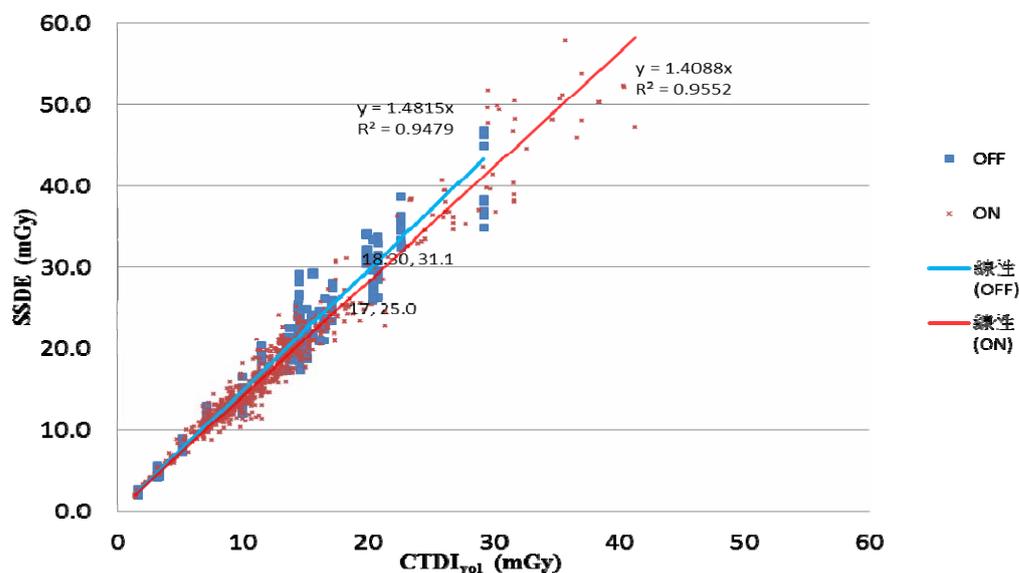
調查項目名稱	調查面積	圖幅數	調查點筆數

## 附錄二、佐證圖表

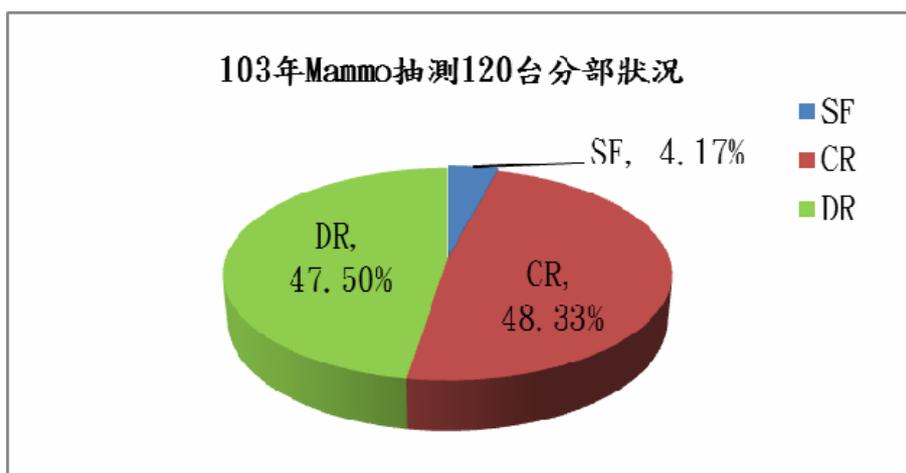
### 1-1 「放射診斷設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究」委託研究計畫



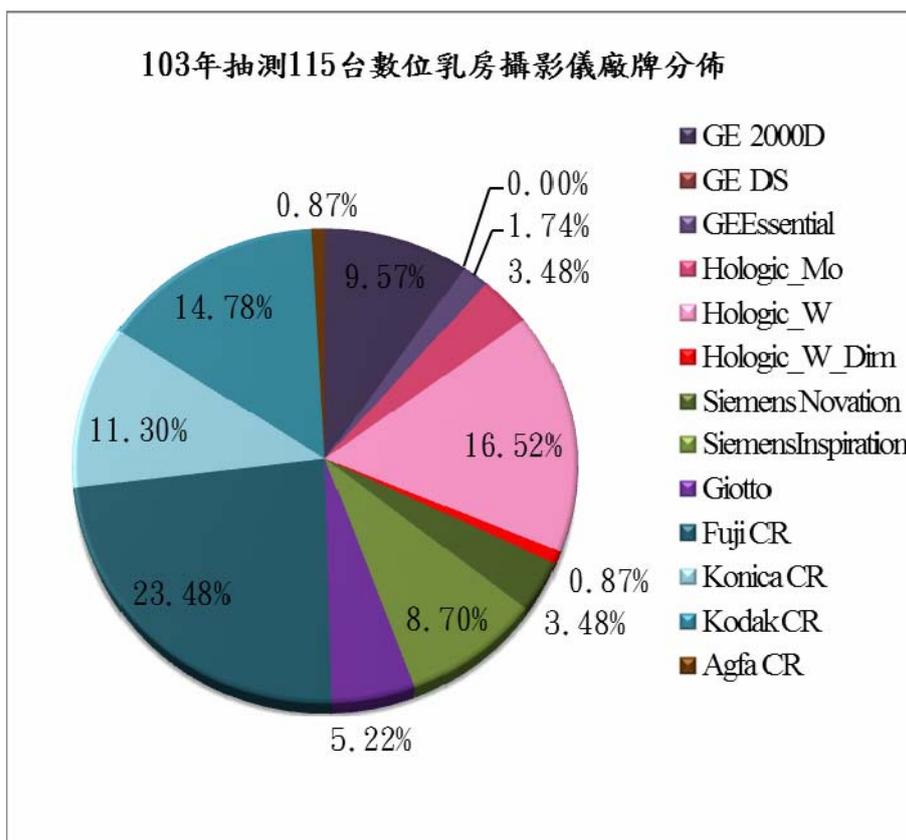
圖一、成人等效直徑與 SSDE (體型依存劑量評估值)對應圖



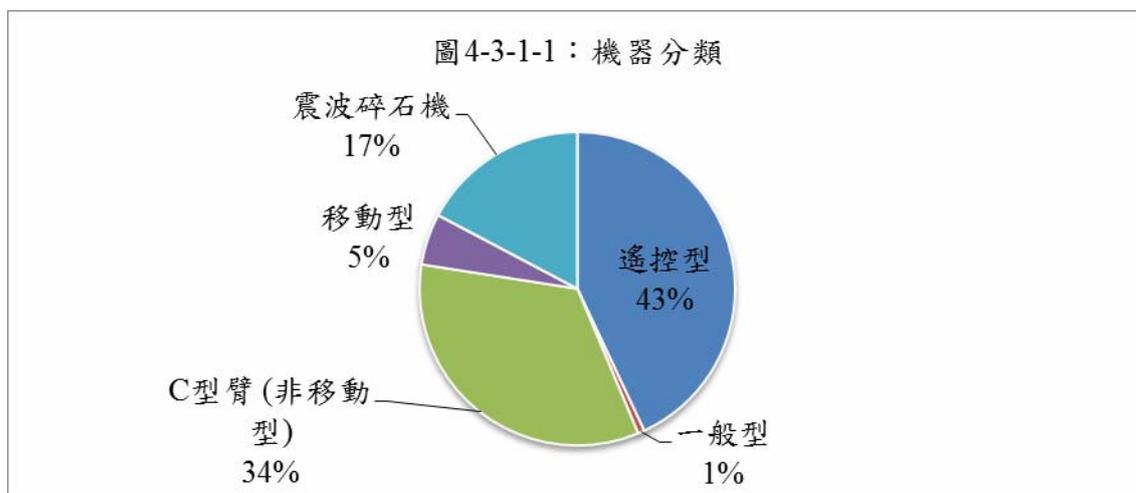
圖二、成人腹部 SSDE(體型依存劑量評估值)與 CTDI<sub>vol</sub> 對應圖



圖四、103年抽測120乳房攝影儀儀器類型分布狀況。



圖五、103年抽測115台數位乳房攝影儀廠牌分佈。



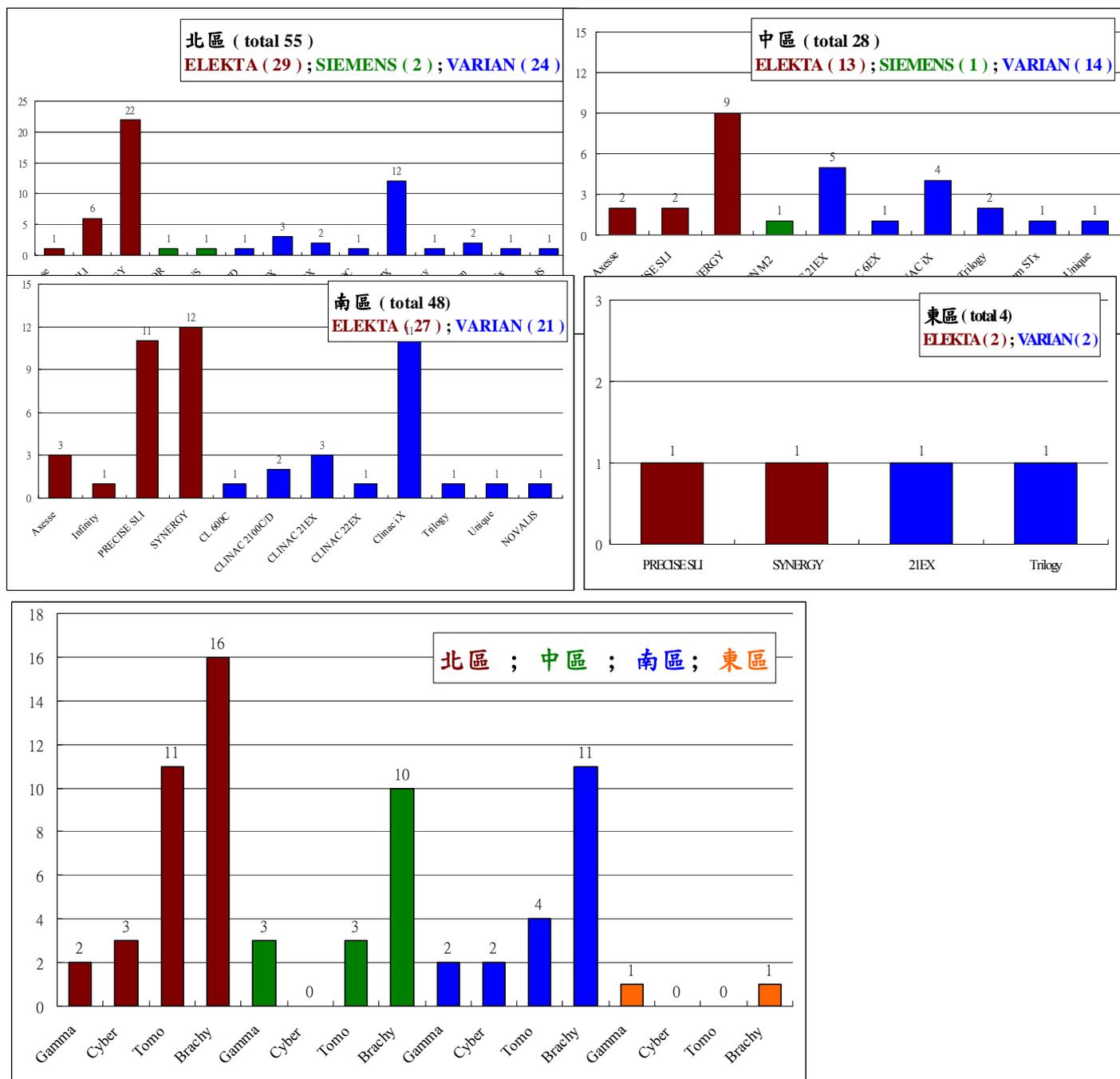
圖六、103年抽測151台透視型X光機儀器類型分布狀況。

廠牌	抽檢的CT數量			小計	比例 (%)
	診斷	核醫	治療		
GE	33	8	6	47	37
PHILIPS	17	1	8	26	21
SIEMENS	14	4	3	21	17
TOSHIBA	25	0	1	26	21
HITACHI	4	0	0	4	3
PICKER	1	0	0	1	1
OTHER	1	0	0	1	1
小計	95	13	18	126	100
比例 (%)	75	10	14	100	-

表一、103年度抽檢電腦斷層掃描儀廠牌數量分布與比例

### 1-2 放射治療設備之輻射安全與醫療曝露品保作業研究

圖一、Linac 設備數目與機型資料區域分佈圖



圖二、Gamma, Cyber, Tomo and Brachy 設備數目資料區域分佈圖

	Linac	Gamma	Brachy	Tomo	Cyber	合計
北區	55	2	16	11	3	87
中區	28	3	10	3	0	44
南區	48	2	11	4	2	67
東區	4	1	1	0	0	6
合計	135	8	38	18	5	204

表一、彙整統計本計畫執行放射治療設備輻射安全及醫療曝露品質保證作業檢查設備數目及分布區域

		北區	中區	南區	東區
劑量校驗方法	TG-21	30	22	43	4
	TG-51	17	6	3	0
劑量校驗假體	polystyrene	14	1	8	2
	RW3	25	13	23	2
	plastic water	4	10	8	0
	standard grade solid water	6	3	3	0
	water	1	1	4	0
	acrylic	1	0	0	0
光子射束劑量校驗條件：照野大小(cm)	10x10	51	28	46	4
SCD (cm)	100	44	24	46	4
	SSD+dmax	4	4	0	0
	110	3	0	0	0
電子射束劑量校驗條件：照野大小(cm)	10cone	8	8	21	1
	14cone	18	6	9	1
	15cone	21	10	13	2
SSD (cm)	100	47	24	43	4

表二、Linac 劑量校驗方法、條件與校驗假體資料表

		北區	中區	南區	東區
電腦治療計畫系統	Eclipse	22	13	16	3
	Pinnacle	23	14	29	1
	iPlan	1	0	0	0
	Xio	3	0	0	0
	Monaco	3	0	0	0
	Plato	1	1	1	0
Beam data	原廠提供	9	7	9	2
	自行量測	42	21	37	2
醫學物理師人數 / 醫療單位	0	0	0	2	1
	1	8	10	8	1
	2	5	3	6	0
	3~5	8	3	7	1
	6~8	2	1	1	0
	>8	3	0	0	0
甄審及格醫學物理 師人數 / 醫療單 位	0	9	9	9	2
	1	6	6	7	0
	2	4	0	4	1
	3~5	6	2	2	0
	6~8	0	0	1	0
	>8	1	0	0	0

表三、放射治療電腦治療計畫系統、Beam data 來源及專業工作人力資料表

	6X		10X		15X		6XFFF		10XFFF		4X	
	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD
AXESSE	0.684	0.004	0.735	0.002	---	---	---	---	---	---	---	---
CLINAC 2100C/D	0.667	0.008	0.740		0.756	---	---	---	---	---	---	---
CLINAC 21EX	0.670	0.002	0.736	0.004	0.758	---	---	---	---	---	---	---
CLINAC 6EX	0.666	0.003	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CLINAC IX	0.666	0.003	0.736	0.003	---	---	---	---	---	---	---	---
Infinity	0.677	---				---	0.672	---	---	---	---	---
MEVATRON M2	0.669	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---
NOVALIS	0.661	---	---		---	---	---	---	---	---	---	---
PRECISE-SLI	0.678	0.008	0.734	0.005	0.760	---	---	---	---	---	0.629	0.014
PRIMUS	0.681	---	---		---	---	---	---	---	---	0.637	---
SYNERGY	0.682	0.004	0.733	0.004	---	---	---	---	---	---	0.624	---
TRILOGY	0.667	0.001	0.736	0.002	---	---	---	---	---	---	---	---
TrueBeam	0.665	0.006	0.738	0.004	---	---	0.630	0.006	0.706	0.004	---	---
UNIQUE	0.664	0.000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

表四、Linac 各機型射束能量 ( $I_{20}/I_{10}$ ) 統計分析表

	6X		10X		15X		6XFFF		10XFFF	
	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD	Avg	STD
AXESSE	67.25%	---	73.08%	---	---	---	---	---	---	---
CLINAC IX	66.25%	0.56%	73.28%	0.49%	---	---	---	---	---	---
ONCOR	67.00%	---	73.70%	---	---	---	---	---	---	---
PRECISE-SLI	67.44%	0.05%	72.80%	---	68.00%	---	---	---	---	---
SYNERGY	67.64%	0.31%	73.04%	0.17%	---	---	---	---	---	---
TrueBeam STx	66.20%	0.28%	73.25%	0.21%	---	---	63.25%	0.21%	70.15%	0.64%

表五、Linac 各機型射束能量 ( $\%dd(10)_x$ ) 統計分析表

	beam flatness	6X		10X		4X		15X	
		In-plane	Cross-plane	In-plane	Cross-plane	In-plane	Cross-plane	In-plane	Cross-plane
A SYSTEM	$\leq 2.0\%$	40.0% (14)	30.3% (10)	39.4% (13)	35.5% (11)	---	---	100.0% (1)	100.0% (1)
	$> 2.0\% \ \& \ \leq 2.5\%$	25.7% (9)	36.4% (12)	36.4% (12)	35.5% (11)	---	---	---	---
	$> 2.5\% \ \& \ \leq 3.0\%$	22.9% (8)	15.2% (5)	12.1% (4)	19.4% (6)	33.3% (1)	66.7% (2)	---	---
	$> 3.0\% \ \& \ \leq 3.5\%$	5.7% (2)	12.1% (4)	6.1% (2)	0.0% (0)	---	---	---	---
	$\geq 3.5\%$	5.7% (2)	6.1% (2)	6.1% (2)	9.7% (3)	66.7% (2)	33.3% (1)	---	---
	$\leq 2.5\%$	65.7%	66.7%	75.8%	71.0%	---	---	---	---
	$\leq 3.0\%$	88.6%	81.8%	87.9%	90.3%	---	---	---	---
B SYSTEM	$\leq 2.0\%$	38.7% (12)	41.9% (13)	77.8% (21)	70.4% (19)	---	---	---	---
	$> 2.0\% \ \& \ \leq 2.5\%$	35.5% (11)	41.9% (13)	14.8% (4)	22.2% (6)	---	---	---	---
	$> 2.5\% \ \& \ \leq 3.0\%$	16.1% (5)	9.7% (3)	3.7% (1)	7.4% (2)	---	---	---	---
	$> 3.0\% \ \& \ \leq 3.5\%$	3.2% (1)	3.2% (1)	3.7% (1)	0.0% (0)	---	---	---	---
	$\geq 3.5\%$	6.5% (2)	3.2% (1)	0.0% (0)	0.0% (0)	---	---	---	---
	$\leq 2.5\%$	74.2%	83.9%	92.6%	92.6%	---	---	---	---
	$\leq 3.0\%$	90.3%	93.5%	96.3%	100.0%	---	---	---	---

表六、Linac 光子射束照野  $20 \text{ cm}^2$ ，深度 10 cm 處，劑量分佈橫與縱剖面平坦度統計分析表

## Dose Calibration worksheet

<b>Elekta Synergy Dose/M.U Check</b>						2009/4/17	
<b>[RW3 phantom + Wellhofer FC23C chamber+ Wellhofer DESE1 ]</b>							
Energy	6X	10X	6E	9E	12E	15E	18E
CF <sub>water</sub>	<b>13.77</b>	<b>13.77</b>	<b>12.72</b>	<b>12.66</b>	<b>12.52</b>	<b>12.29</b>	<b>12.20</b>
P <sub>RW3</sub>	<b>0.998</b>	<b>1.002</b>	<b>1.025</b>	<b>1.023</b>	<b>1.022</b>	<b>1.015</b>	<b>1.008</b>
dm(cm),water	1.5	2.3	1.20	2.10	2.60	2.60	2.60
dc(cm),water	5.0	5.0	1.20	2.10	2.60	2.60	2.60
dp(cm), RW3	5.0	5.0	1.20	2.10	2.60	2.60	2.60

**dm(cm)** : depth of dose maximum in "cm" in water.  
**dc(cm)** : calibration depth in "cm" in water  
**dp(cm)** : calibration depth in "cm" in phantom with scaling factor as  
 [ SF = depth(med.) / depth(water) ]  
 photon beam : 10X and 6X = 0.88(acrylic), 1.0(polystyrene)  
 electron beam : 6MeV ~ 20MeV = 0.9(acrylic), 1.0256(polystyrene)  
 assume **SF=1** here

$$D_{water} = \bar{M} \cdot N_{gas} \cdot \left( \frac{\bar{L}}{\rho} \right)_{air}^{med} \cdot P_{ion} \cdot P_{repl} \cdot P_{wall} \cdot E S C \cdot \left( \frac{\bar{\mu}_{en}}{\rho} \right)_{med}^{water} \cdot C_{TP}$$

$$= \bar{M} \cdot C F \cdot C_{TP}$$

$$C F = N_{gas} \cdot \left( \frac{\bar{L}}{\rho} \right)_{air}^{med} \cdot P_{ion} \cdot P_{repl} \cdot P_{wall} \cdot E S C \cdot \left( \frac{\bar{\mu}_{en}}{\rho} \right)_{med}^{water}$$

$$P_{RW3} = \frac{\bar{M}_{water} (SAD = 100, 10x10, d = 5cm)}{\bar{M}_{RW3} (SAD = 100, 10x10, d = 5cm)} \text{ (for photon)}$$

$$= \frac{\bar{M}_{water} (SSD = 100, 14cone, dm)}{\bar{M}_{RW3} (SSD = 100, 14cone, dm)}$$

$$D_{water} = \bar{M}_{RW3} \cdot C F_{water} \cdot P_{RW3} = \bar{M}_{RW3} \cdot C F_{water} \cdot \frac{\bar{M}_{water}}{\bar{M}_{RW3}} = C F_{water} \cdot \bar{M}_{water} = D_{water}$$

**Condition Note**  
 Output calibration:

- ⊙ Photon      SSD=100cm , FS 10x10, d= d<sub>max</sub>, output = 1cGy/MU
- ⊙ Electron    SSD=100cm , cone 14x14, d= d<sub>max</sub>, output = 1cGy/MU

Monthly QA condition:

- ⊙ Photon(6X) SAD=100cm , FS 10x10, d= 5cm, output = **0.959** cGy/MU
- Photon(10X) SAD=100cm , FS 10x10, d= 5cm, output = **1.002** cGy/MU
- ⊙ Electron    SSD=100cm , cone 14x14, d= d<sub>max</sub>, output = 1cGy/MU

表七、<sup>60</sup>Co 劑量校驗方法、條件與校驗假體資料表

## 2. 輻射作業場所之輻射評估與量測技術建立



圖 2.1 參考物質試樣配製流程

表 2.1 土樣均勻度測試結果

核種	Co-60	Cs-134	Cs-137	Sr-85	Sr-90
$\delta$ the repeatability	0.32%	0.90%	0.46%	0.57%	0.57%
$\delta$ the between-bottle	2.84%	2.20%	2.37%	2.50%	2.50%
均勻度測試	2.84%	2.20%	2.37%	2.50%	2.50%

表 2.2 水樣均勻度測試結果

核種	Co-60	Cs-134	Cs-137	Sr-85	Sr-90	Gβ	H-3
$\delta$ the repeatability	1.29%	1.12%	0.76%	0.40%	0.40%	0.75%	0.39%
$\delta$ the between-bottle	2.88%	3.76%	4.57%	2.04%	2.04%	2.82%	1.62%
均勻度測試	2.88%	3.76%	4.57%	2.04%	2.04%	2.82%	1.62%

### 3.核子醫學診療輻射劑量評估研究

#### 投予放射性碘 131 治療患者之離院返家管理辦法草案

##### 1. 實施目的

國內目前針對甲狀腺癌(乳突癌及濾泡癌)、格雷夫斯氏病，准予使用放射性碘-131 藥物進行放射線免疫治療。由於放射線免疫治療法的進步，甲狀腺癌與格雷夫斯氏病患者之治癒率顯著提升並提升生活品質；但考慮到投予放射性碘-131 藥物之患者，在離開醫療院所返家後，對於一般民眾、家人、自願照顧者、工作夥伴等族群，造成非預期之輻射曝露影響，患者離院返家後之輻射安全性須予以考量。本管理辦法即針對投予放射性碘 131 治療患者，提出其離院返家前之輻射劑量相關限值，提供診療單位作為遵循指引。

##### 2. 適用範圍

本辦法適用於根據醫療法規範，投予放射性碘-131 進行甲狀腺癌、格雷夫斯氏病病灼治療患者，於診療單位內完成相關治療程序後之離院返家情形。

##### 3. 患者離院返家基準

本管理辦法中，針對實施目的中所述之一般民眾、家人與工作夥伴，應合理抑低其所受之輻射曝露，由患者對上述族群之輻射劑量限值不應超過每年 1 毫西弗；針對自願照顧者，基於患者與照顧者間雙方有利之考量，輻射劑量限值訂為每年 5 毫西弗<sup>註</sup>。

具體而言，符合以下(1)至(3)任一條件時，碘-131 治療患者可離院返家：

###### (1) 根據碘-131 投予活度或體內殘留活度之離院返家標準

初始投予活度或體內殘留活度不超過 1110MBq(30mCi)時，可離院返家。

###### (2) 根據量測劑量率之離院返家標準

距離患者體表 1 公尺處所量測到之輻射劑量率不超過每小時 70 微西弗 (70  $\mu$ Sv/h)時，碘-131 治療患者可離院返家。

###### (3) 根據計算每位患者累積劑量之離院返家標準

配合個別患者狀態，考慮有效半衰期與占用因子，計算距離患者體表 1 公尺處之最大可能累積劑量數值。其結果對於一般民眾、家人與工作夥伴不超過 1 毫西弗；對自願照顧者不超過 5 毫西弗時，碘-131 治療患者可離院返家。此時，累積劑量之計算紀錄應予保存 2 年以上。

##### 4. 患者紀錄

在准許碘-131 治療患者離院返家時，應記錄以下事項，自離院返家起保存 2 年以上。

(1) 藥物投予活度、離院返家時間、離院返家時之量測劑量率。

(2) 針對哺乳期之嬰孩或母親，所給予之衛教與注意事項內容。

(3) 依前項(3)准許離院返家時，該患者之累積劑量計算紀錄。

此外，若累積劑量等之計算方法有符合以下情形時，需額外提供其採行依據：

圖 3.1 碘-131 治療患者外釋管理草案



圖 3.2 輻防處劉文熙副處長蒞臨 I-131 治療外釋國際研討會致開幕賀詞



圖 3.3 碘-131 治療外釋國際研討會各國貴賓合影

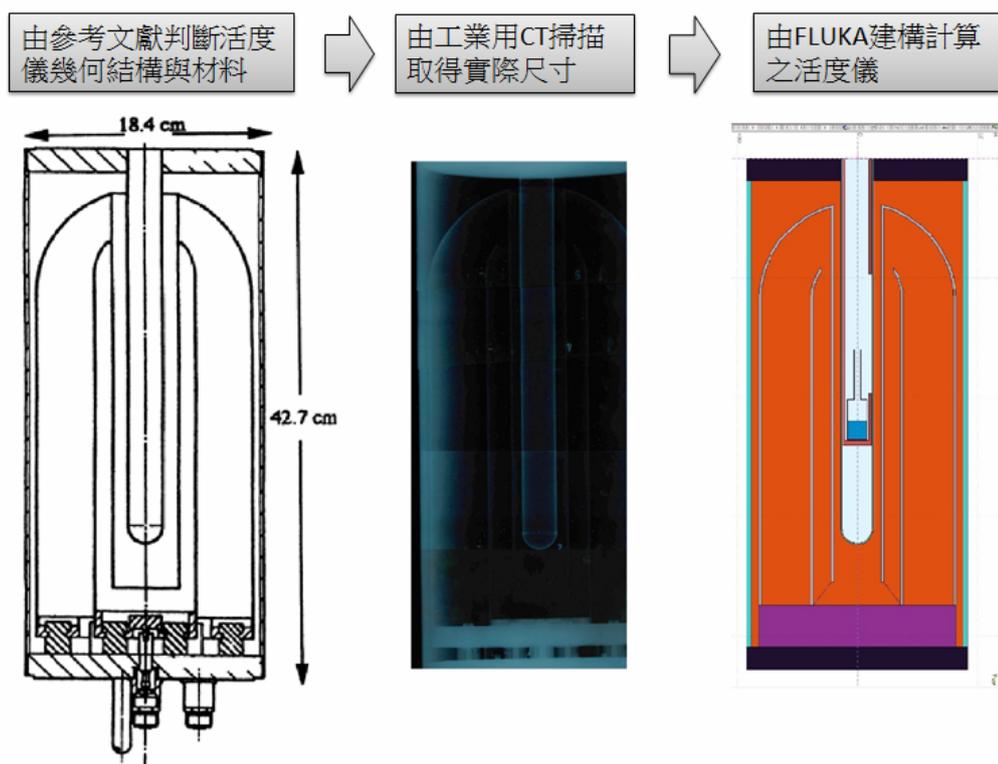


圖 3.4 醫用活度計之幾何結構分析與模擬建置

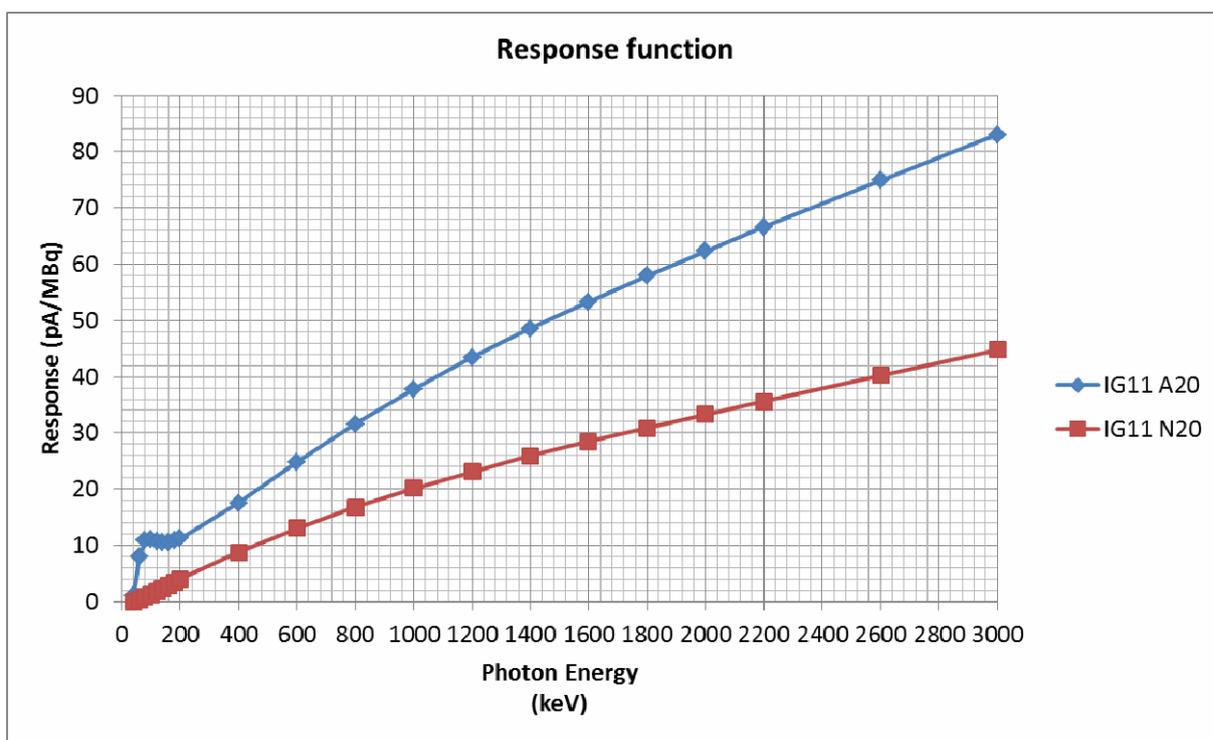


圖 3.5 核研所 IG11/A20 與 N20 醫用活度計能量響應函數計算結果

表 3.1 核研所 IG11/A20 醫用活度計之核種能量響應模擬/量測比較

Centronic.Inc IG11/A20					
	Simulation		Measurement		%Error
	Response (pA/MBq)	STDEV	Response (pA/MBq)	STDEV	S/M
<b>Cd-109</b>	4.010E-01	7.138E-04	3.991E-01	4.974E-04	100.48%
<b>Co-57</b>	1.032E+01	3.045E-03	9.957E+00	1.184E-02	103.68%
<b>Ce-139</b>	8.541E+00	1.773E-02	8.612E+00	1.102E-02	99.19%
<b>Cr-51</b>	1.450E+00	3.584E-03	1.426E+00	1.629E-03	101.65%
<b>Cs-137</b>	2.289E+01	1.203E-02	2.291E+01	2.954E-02	99.91%
<b>Cs-134</b>	6.242E+01	5.985E-02	6.217E+01	7.725E-02	100.41%
<b>Co-60</b>	8.948E+01	4.862E-02	8.943E+01	3.035E-02	100.06%

表 3.2 核研所 IG11/N20 醫用活度計之核種能量響應模擬/量測比較

Centronic.Inc IG11/N20					
	Simulation		Measurement		%Error
	Response (pA/MBq)	STDEV	Response (pA/MBq)	STDEV	S/M
<b>Cd-109</b>	3.626E-02	5.363E-05	3.631E-02	3.790E-04	99.87%
<b>Co-57</b>	1.880E+00	3.532E-03	1.873E+00	7.453E-04	100.36%
<b>Ce-139</b>	2.470E+00	4.358E-03	2.449E+00	2.464E-02	100.88%
<b>Cr-51</b>	6.845E-01	3.141E-04	6.846E-01	5.293E-04	99.98%
<b>Cs-137</b>	1.212E+01	2.307E-02	1.223E+01	5.102E-03	99.11%
<b>Cs-134</b>	3.308E+01	3.421E-02	3.318E+01	6.671E-03	99.72%
<b>Co-60</b>	4.769E+01	3.642E-02	4.764E+01	1.315E-02	100.09%



圖 3.6 召開核醫藥物醫療曝露品保項目專家學者會議

表 3.3 醫用活度計之校正項目與頻次建議

<b>Test schedule for Dose Calibrator</b>				
Item	Acceptance	Reference	Rountine testing	
			Daily	Yearly
1. Physical Inspection	*		*	*
2. Precision	*	*		*
3. Accuracy	*	*		*
4. Linearity	*	*		*
5. Background	*		*	*
6. Geometry	*	*		*
7. Reproducibility	*		*	*

## 4. 輻射防護品保與偵測儀器驗證技術建立

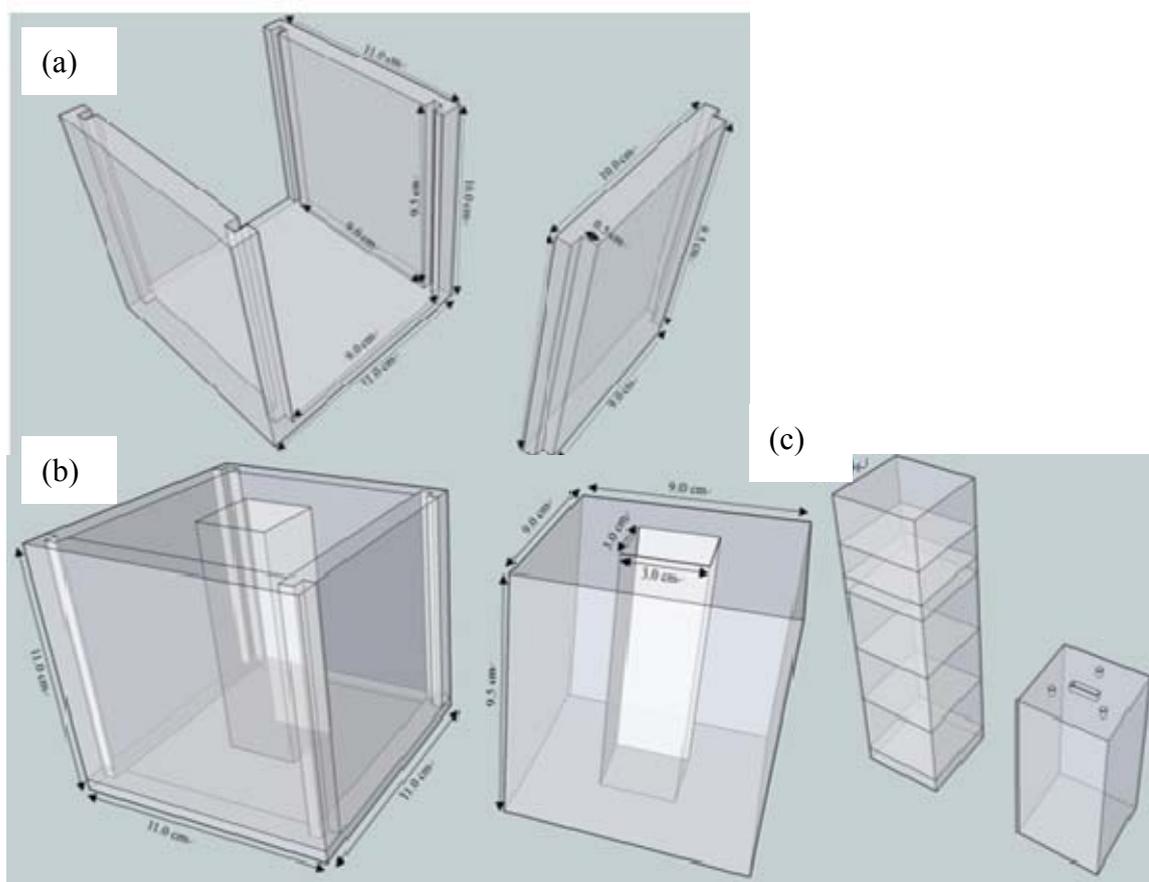


圖 4.1 (a)自製假體外框設計與門栓式活動插槽；(b)自製假體外觀與內部結構圖，大小為  $11 \times 11 \times 10 \text{ cm}^3$ ，內放置一主體，大小為  $9 \times 9 \times 9.5 \text{ cm}^3$ ，主體中間再鑲嵌一長柱體，中間柱狀空間大小為  $3 \times 3 \times 9.5 \text{ cm}^3$ ；(c)假體中間柱設計，中間柱數個截斷面分別在由上往下 1.5、2.5、3、5、7、9 cm 處，每一節斷面挖有放置劑量計之凹槽

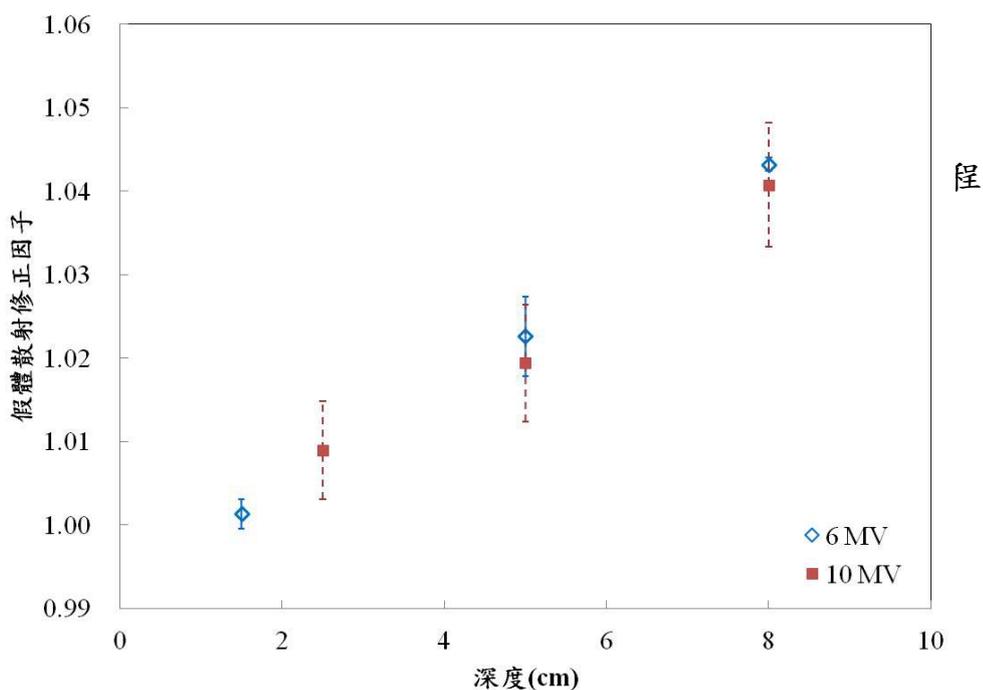


圖 4.2 放射治療劑量驗證假體之散射修正因子

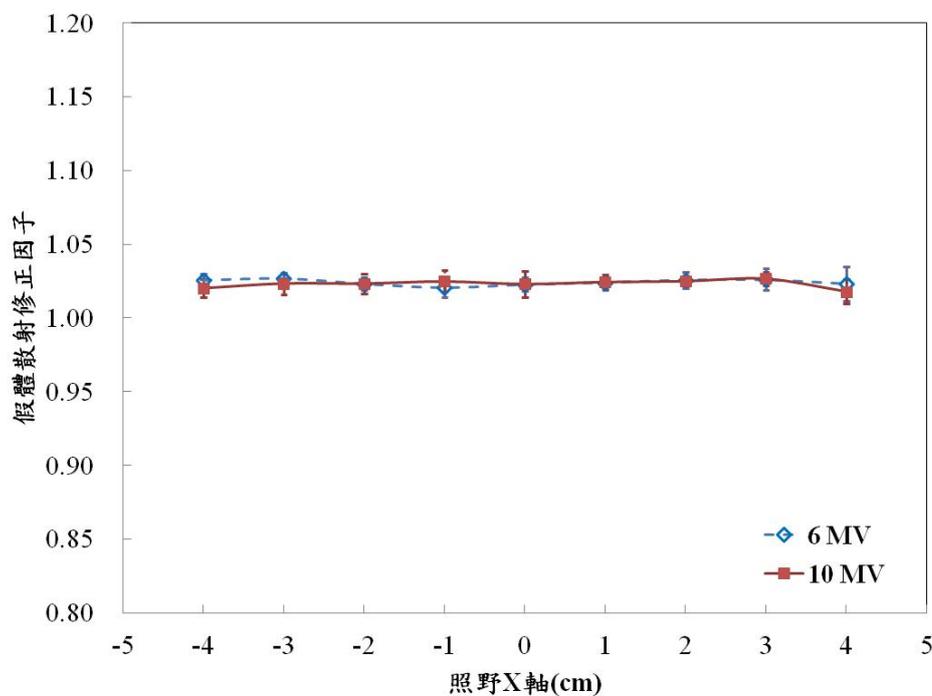


圖 4.3 放射治療劑量驗證假體在照野平坦性及對稱性測試時之散射修正因子

表 4.1 照野因子驗證之假體散射修正因子

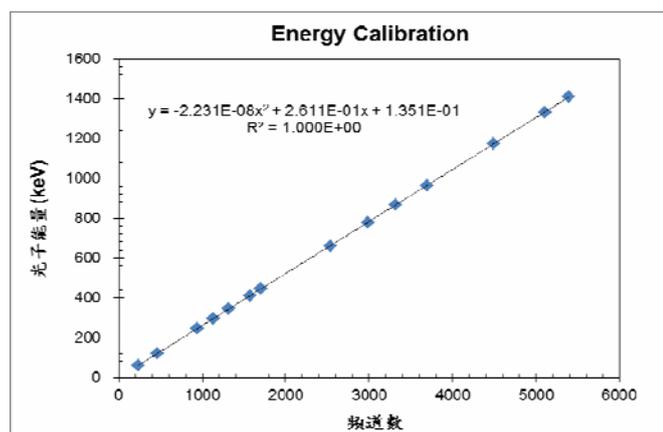
能量(MV)	照野(cm <sup>2</sup> )	假體散射修正因子
6	3x3	1.023
	5x5	1.025
	7x7	1.021
	10x10	1.021
	20x20	1.052
10	3x3	1.019
	5x5	1.021
	7x7	1.022
	10x10	1.021
	20x20	1.041

表 4.2 直線加速器給予劑量之游離腔測量值

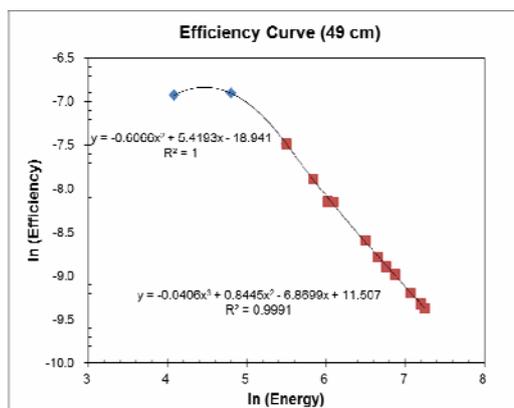
能量 (MV)	深度 (cm)	游離腔測量劑量(cGy)				
		加速器 A	加速器 B	加速器 C	加速器 D	加速器 E
6	1.5	210.5	209.6	213.8	211.9	210.7
	5.0	197.8	198.7	196.3	197.3	195.4
	8.0	181.2	178.3	182.6	181.9	180.6
10	2.5	212.5	209.8	212.9	213.1	212.5
	5.0	201.6	199.5	200.7	201.2	199.8
	8.0	185.9	187.3	186.8	187.4	186.7

表 4.3 利用平均與單次假體散射修正因子進行劑量修正之差異比較

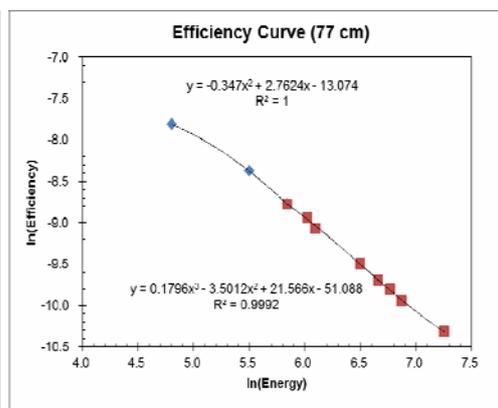
能量 (MV)	深度 (cm)	TLT(cGy) (平均假體散射修正因子)	TLT(cGy) (當次假體散射修正因子)	劑量差異(%)
6	1.5	212.9	212.7	0.1
	5.0	196.4	196.7	-0.1
	8.0	180.3	179.9	0.2
10	2.5	211.5	212.1	-0.3
	5.0	201.2	200.1	0.5
	8.0	186.3	185.4	0.5



(a)



(b)



(c)

圖 4.4 (a)分析中低強度核種標準件與盲樣濾紙樣品之 HPGe 加馬能譜儀的能量校正曲線圖與效率校正曲線圖；(b) SD=49 公分；(c) SD=77 公分

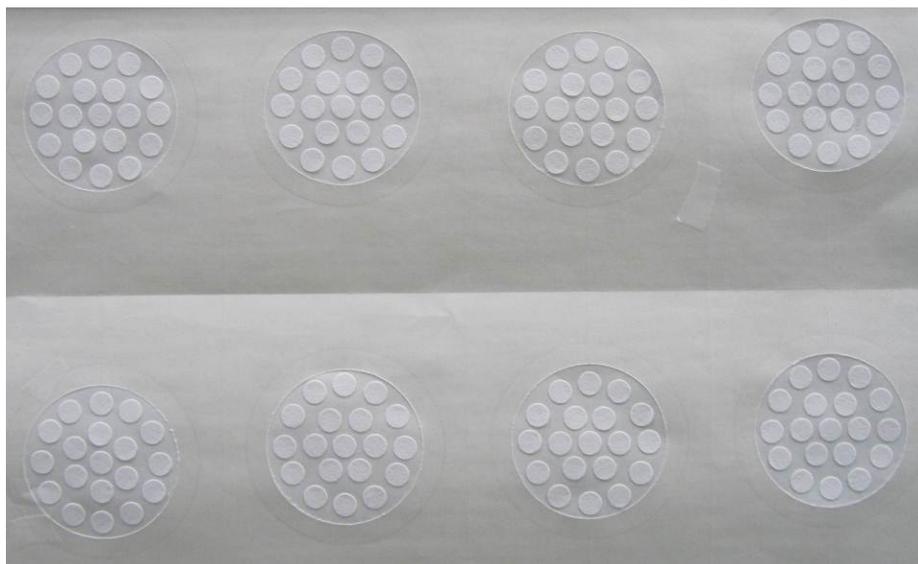
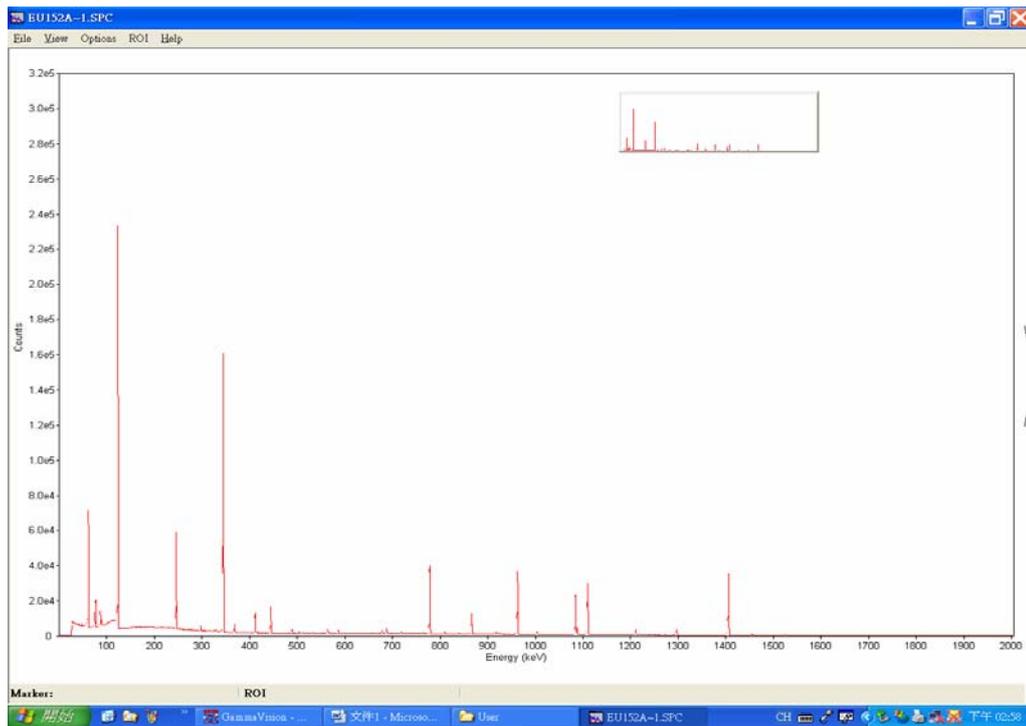


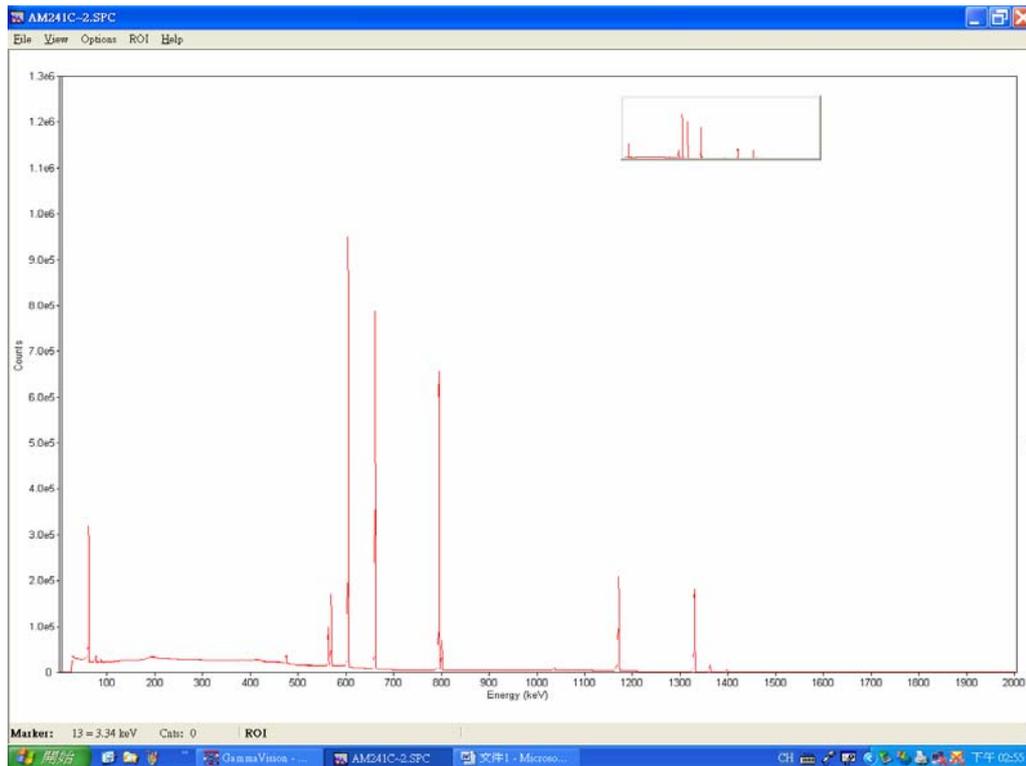
圖 4.5 中低強度核種分析能力試驗之盲樣濾紙樣品基座

表 4.4 中低強度核種分析能力試驗標準件與盲樣濾紙樣品之射源比活度量測資料

核種	來源	序號	到 2015/7/1 12:00 時估計比活度 (kBq·g <sup>-1</sup> )	
			比活度與 標準不確定度	評估方法
<b>標準件樣品</b>				
Am-241	NRSL 稀釋	20131123-1	2604 ± 0.5%	4πγ 遊離腔、 C/N LSC 方法
Eu-152	NRSL 稀釋	20141128	28.01 ± 0.8%	4πγ 遊離腔、 C/N LSC 方法
<b>盲樣</b>				
Am-241	NRSL 稀釋	20131123-1	2604 ± 0.5%	4πγ 遊離腔、 C/N LSC 方法
Co-60	NRSL 稀釋	200210-2	12.13 ± 0.4%	4πγ 遊離腔、 C/N LSC 方法
Cs-134	Eckert & Ziegler	85171-748	224.1 ± 0.9%	原廠證書、4πγ 遊離腔、C/N LSC 方法
Cs-137	NRSL 稀釋	090819-100k-2	67.05 ± 0.8%	4πγ 遊離腔、 C/N LSC 方法



(a)



(b)

圖 4.6 (a)中低強度核種分析能力試驗標準件樣品和(b)盲樣濾紙樣品之能譜量測圖



圖 4.7 人員劑量計能力試驗現場作業



日期：103年05月15日（星期四）

地點：核能研究所 國家游離輻射標準實驗室（035館）二樓

時間	講題	講員/單位
09:00—09:30	報到	
09:30—09:40	開幕致詞	胡中興 組長 核能研究所保健物理組
09:40—10:40	能力試驗之測試結果	林倍君 核能研究所保健物理組
10:40—11:00	休息	
11:00—12:00	肢端劑量計能力試驗試運作	葉復賢 核能研究所保健物理組
12:00—15:00	綜合討論與檢討	袁明程 分組長 核能研究所保健物理組

圖 4.8 人員劑量計能力試驗總結會議

表 4.5 參加人員劑量計能力試驗之各單位結果分析

單位代碼	能力商數 (P)	能力商數平均值絕對值( B )	標準差(S)	允差判定  B +S	PQL 判定
	平均值	平均值	平均值	平均值	超出允差值數目
A	0.00	0.05	0.06	0.11	0
B	0.02	0.02	0.04	0.06	0
C	-0.03	0.03	0.06	0.09	0
D	0.00	0.03	0.08	0.11	0
E	-0.03	0.04	0.08	0.12	0
F	0.05	0.07	0.08	0.15	0
G	0.01	0.09	0.11	0.20	0
H	0.03	0.03	0.06	0.09	0
I	0.06	0.10	0.09	0.19	1

註：

- 1.各單位的平均能力商數(|B|)在 0.10 以下，量測標準差的平均值在 0.11 以下，顯示各單位的計讀能力均良好
- 2.|B|+S 為評鑑的綜合指標，各單位的平均值在 0.20 以下
- 3.PQL 判定，只有一個單位有劑量評估值超出允差限值，但同一類別中沒有 2 個以上的劑量計超出允差限值
- 4.各單位在各類別的測試，均通過能力試驗機構的測試

ANSI/HPS N13.11-2001

Table 1  
Test Categories, Test Irradiation Ranges, and Tolerance Levels

Test Category	Test Irradiation Range	Tolerance Level (L)		Performance Quotient Limit Applied
		Deep	Shallow	
<i>I. Accidents, photons</i>	<i>0.1 to 5 Gy</i>	<i>0.3</i>	<i>No test</i>	<i>No</i>
<i>A. General (B and C, random)</i>	<i>(10 to 500 rad)</i>			
<i>B. <sup>137</sup>Cs</i>				
<i>C. M150</i>				
<i>II. Photons</i>	<i>0.3 to 100 mSv</i>	<i>0.4</i>	<i>0.4</i>	<i>Yes</i>
<i>A. General (* ≥20 keV, • if ••70 keV, ••60° if &gt;70 keV)</i>	<i>(0.03 to 10 rem)</i>			
<i>B. High E (* ≥500 keV, ••60°)</i>				
<i>C. Medium E (* &gt;70 keV, ••60°)</i>				
<i>D. Narrow Spectrum (NS20, NS80, <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co, • if •••70 keV, ••60° if &gt;70 keV)</i>				
<i>III. Betas</i>	<i>1.5 to 100 mSv</i>	<i>No test</i>	<i>0.4</i>	<i>Yes</i>
<i>A. General (B and C, random)</i>	<i>(0.15 to 10 rem)</i>			
<i>B. High E (* ≥500 keV)</i>				
<i>C. Low E (* &lt;500 keV)</i>				
<i>IV. Photon Mixtures</i>	<i>0.6 to 100 mSv</i>	<i>0.4</i>	<i>0.4</i>	<i>Yes</i>
<i>A. General (IIA + IIB)</i>	<i>(0.06 to 10 rem)</i>			
<i>B. IIB + IIC</i>				
<i>C. IIB + IID</i>				
<i>V. Beta/Photon Mixtures</i>	<i>2.0 to 100 mSv</i>	<i>0.4</i>	<i>0.4</i>	<i>Yes</i>
<i>A. General (II + III)</i>	<i>(0.20 to 10 rem)</i>			
<i>B. IIB + III</i>				
<i>VI. Neutron/Photon Mixtures</i>	<i>1.5 to 50 mSv</i>	<i>0.4</i>	<i>No test</i>	<i>No</i>
<i>A. General (B and C, random)</i>	<i>(0.15 to 5 rem)</i>			
<i>B. <sup>252</sup>Cf + II</i>				
<i>C. <sup>252</sup>Cf(D<sub>2</sub>O) + II</i>				

表 4.6 (a)ANSI/HPS N13.32 (2008)肢端劑量計能力試驗照射類別、照射劑量範圍與允差值分析彙整

Table 1. Irradiation categories, test irradiation ranges and tolerance levels.

Test category	Test irradiation range	Tolerance level (L) (for $B^2 + S^2 = L^2$ )
<b>I. High-dose, photons</b>		
A. General (B and C, random)	0.1 to 5 Gy (10 to 500 rad)	0.24
B. $^{137}\text{Cs}$ ( $\bar{E} = 662$ keV)		
C. M150 ( $\bar{E} = 73.0$ keV)		
<b>II. Photons</b>		
A. General ( $\bar{E} \geq 20$ keV)	1.0 to 100 mSv (0.1 to 10 rem)	0.35
B. High E ( $\bar{E} \geq 500$ keV)		
C. Medium E ( $\bar{E} \geq 70$ keV)		
D. Narrow spectrum		
<b>III. Betas</b>		
A. General (B and C, random)	2.5 to 100 mSv (0.25 to 10 rem)	0.35
B. High E point source ( $\bar{E} \geq 500$ keV)		
C. Low E point source ( $\bar{E} < 500$ keV)		
D. Slab uranium ( $\bar{E} \geq 500$ keV)		
<b>IV. Beta/photon mixtures</b>		
A. General photon + beta	3.5 to 100 mSv (0.35 to 10 rem)	0.35
B. Gamma + beta		

表 4.6 (b)指環劑量計能力試驗試運轉測試結果-實驗室代號 A

代碼	測試類別	能力商數平均值	能力商數最高值	能力商數最低值	B	S	$\sqrt{B^2+S^2}$	允差限值	超過允差值數量	測試結果
1	第I類 高劑量, 光子	-0.09	0.30	-0.63	0.09	0.22	0.24	0.24	3	通過
2	第II類 光子	-0.03	0.29	-0.25	0.03	0.17	0.17	0.35	0	通過
3	第III類 貝他	0.01	0.23	-0.31	0.01	0.21	0.21	0.35	0	通過
4	第IV類 貝他/光子混合場	-0.01	0.34	-0.20	0.01	0.17	0.17	0.35	0	通過

表 4.6 (c)指環劑量計能力試驗試運轉測試結果-實驗室代號 G

代碼	測試類別	能力商數平均值	能力商數最高值	能力商數最低值	B	S	$\sqrt{B^2+S^2}$	允差限值	超過允差值數量	測試結果
1	第I類 高劑量, 光子	0.05	0.48	-0.23	0.05	0.20	0.21	0.24	2	通過
2	第II類 光子	0.04	0.53	-0.31	0.04	0.23	0.23	0.35	2	通過
3	第III類 貝他	-0.12	0.09	-0.25	0.12	0.12	0.17	0.35	0	通過
4	第IV類 貝他/光子混合場	-0.01	1.04	-0.28	0.01	0.32	0.32	0.35	1	通過

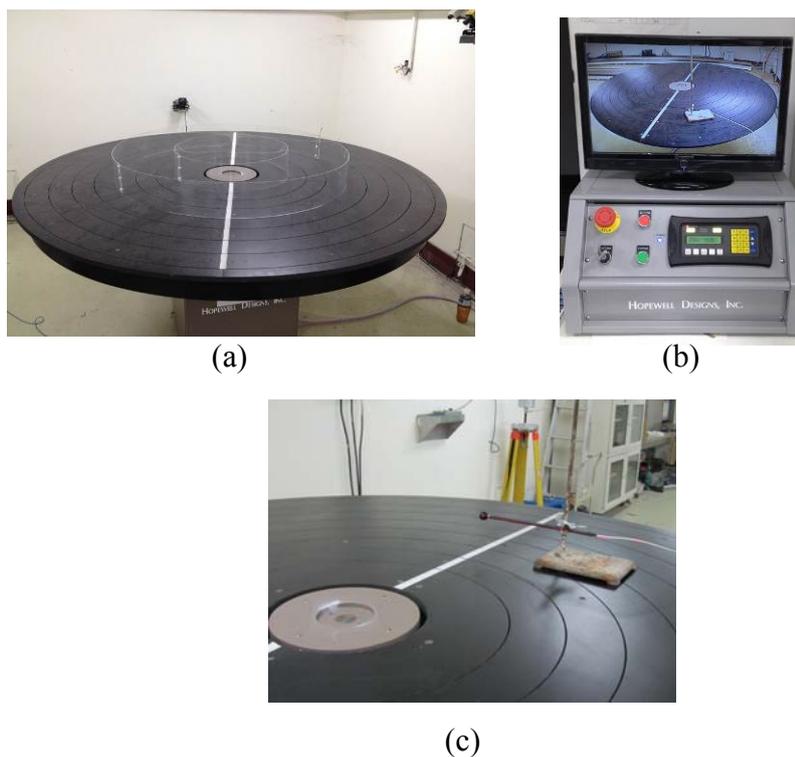


圖 4.9 (a)附加壓克力固定板之環境劑量計 Cs-137 照射系統的圓盤型旋轉平台系統及雷射定位系統、(b)照射系統之電子機械式控制台與(c)圓盤式環境劑量計 Cs-137 加馬照射器之輻射劑量標定

表 4.7 Cs-137 環境級劑量照射系統四個角度(0°、-90°、90°、180°)、兩個距離(30 cm、60 cm)之劑量率量測結果

距離	角度	2014 年 9 月量測結果
(cm)	(°)	(Gy/h)
30	0	$3.125 \times 10^{-2}$
	90	$3.159 \times 10^{-2}$
	-90	$3.089 \times 10^{-2}$
	180	$3.101 \times 10^{-2}$
平均		$3.118 \times 10^{-2}$
60	0	$8.170 \times 10^{-3}$
	90	$8.132 \times 10^{-3}$
	-90	$8.003 \times 10^{-3}$
	180	$8.147 \times 10^{-3}$
平均		$8.113 \times 10^{-3}$

表 4.8 環境劑量計照射後計讀結果與游離腔量測結果之比較(照射劑量約 1 mSv)

距離	角度	游離腔 量測劑量率	游離腔 換算劑量	劑量計讀值	差異
( cm )	( ° )	( Gy/h )	( mSv )	( mSv )	( % )
30	0	$3.125 \times 10^{-2}$	1.000	1.125	12.53%
	-90	$3.089 \times 10^{-2}$	0.988	1.065	7.73%
	90	$3.159 \times 10^{-2}$	1.011	1.174	16.12%
	180	$3.101 \times 10^{-2}$	0.992	1.137	14.64%
60	0	$8.170 \times 10^{-3}$	1.000	1.065	6.48%
	-90	$8.003 \times 10^{-3}$	0.980	1.137	16.10%
	90	$8.132 \times 10^{-3}$	0.995	1.162	16.70%
	180	$8.147 \times 10^{-3}$	0.997	1.162	16.48%

表 4.9 環境劑量計照射後計讀結果與游離腔量測結果之比較(照射劑量約 10 mSv)

距離	角度	游離腔 量測劑量率	游離腔 換算劑量	劑量計讀值	差異
( cm )	( ° )	( Gy/h )	( mSv )	( mSv )	( % )
30	0	$3.125 \times 10^{-2}$	10.000	10.733	7.33%
	-90	$3.089 \times 10^{-2}$	9.884	10.503	6.27%
	90	$3.159 \times 10^{-2}$	10.107	10.769	6.55%
	180	$3.101 \times 10^{-2}$	9.921	10.696	7.81%
60	0	$8.170 \times 10^{-3}$	10.000	11.229	12.29%
	-90	$8.003 \times 10^{-3}$	9.796	10.709	9.31%
	90	$8.132 \times 10^{-3}$	9.954	11.253	13.05%
	180	$8.147 \times 10^{-3}$	9.972	11.084	11.15%

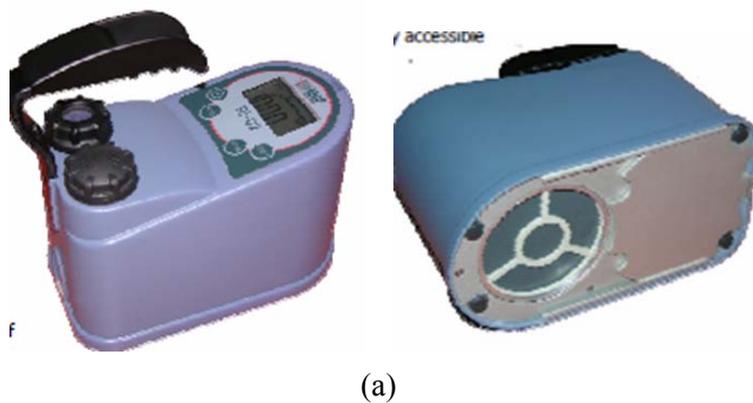


日期：103年06月27日

地點：核能研究所 國家游離輻射標準實驗室（035館）二樓

時間	講題	講員/單位
09:00—09:30	報到	
09:30—09:40	開幕致詞	胡中興 組長 核能研究所保健物理組
09:40—10:40	第六次輻射偵檢儀器校正能力試驗	葉俊賢 核能研究所保健物理組
10:40—11:00	休息	
11:00—13:30	低放射性活度量測比對	葉俊賢 核能研究所保健物理組
13:30—15:00	綜合討論	袁明程 核能研究所保健物理組

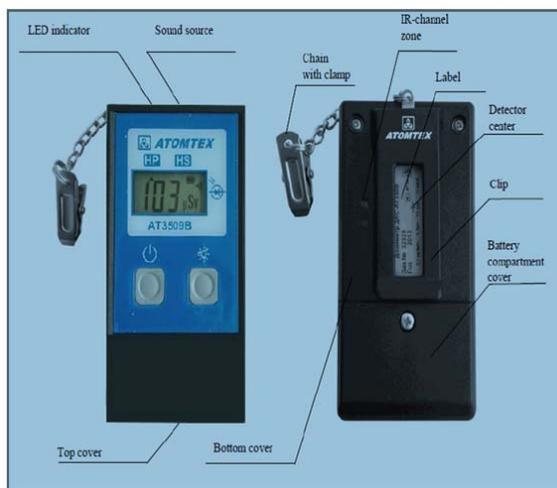
圖 4.10 輻射偵檢儀器校正能力試驗說明會



(a)



(b)



(c)

圖 4.11 輻射偵檢儀器校正能力試驗之傳遞儀器：(a)輻射劑量偵測儀器 ROTEMRAD-ION/RI-02；(b)放射活度  $\alpha/\beta$  污染偵測儀器 MiniTRACE/C10/ PR 302664；(c)人員劑量計 ATOMTEX-AT3509B

表 4.10 ANSI/HPS N13.11-2001 與 ANSI/HPS N13.11-2009 標準之測試類別

ANSI/HPS N13.11-2001

**Table 1**  
**Test Categories, Test Irradiation Ranges, and Tolerance Levels**

Test Category	Test Irradiation Range	Tolerance Level (L)		Performance Quotient Limit Applied
		Deep	Shallow	
<b>I. Accidents, photons</b> A. General (B and C, random) B. <sup>137</sup> Cs C. M150	0.1 to 5 Gy (10 to 500 rad)	0.3	No test	No
<b>II. Photons</b> A. General (• ≥20 keV, • if ••70 keV, •• 60° if >70 keV) B. High E (• ≥500 keV, •• 60°) C. Medium E (• >70 keV, •• 60°) D. Narrow Spectrum (NS20, NS80, <sup>241</sup> Am, <sup>137</sup> Cs, <sup>60</sup> Co, • if •• ••70 keV, •• 60° if >70 keV)	0.3 to 100 mSv (0.03 to 10 rem)	0.4	0.4	Yes
<b>III. Betas</b> A. General (B and C, random) B. High E (• ≥500 keV) C. Low E (• <500 keV)	1.5 to 100 mSv (0.15 to 10 rem)	No test	0.4	Yes
<b>IV. Photon Mixtures</b> A. General (IIA + IIB) B. IIB + IIC C. IIB + IID	0.6 to 100 mSv (0.06 to 10 rem)	0.4	0.4	Yes
<b>V. Beta/Photon Mixtures</b> A. General (II + III) B. IIB + III	2.0 to 100 mSv (0.20 to 10 rem)	0.4	0.4	Yes
<b>VI. Neutron/Photon Mixtures</b> A. General (B and C, random) B. <sup>252</sup> Cf + II C. <sup>252</sup> Cf(D <sub>2</sub> O) + II	1.5 to 50 mSv (0.15 to 5 rem)	0.4	No test	No

ANSI/HPS N13.11-2009

**Table 1a.** Test categories, test irradiation ranges, and tolerance levels

	Test irradiation range	Tolerance level (L)	
		Deep	Shallow
<b>I. Accidents, photons</b> A. General (B and C, random) B. <sup>137</sup> Cs C. M150	0.05 to 5 Gy (5 to 500 rad)	0.24	No test
<b>II. Photons/photon mixtures</b> A. General <sup>a</sup> ( $\bar{E} \geq 20$ keV; $\perp$ if $\leq 70$ keV) B. High E ( <sup>137</sup> Cs, <sup>60</sup> Co; $\alpha \leq 60^\circ$ ) C. Medium E <sup>1</sup> ( $\bar{E} > 70$ keV, $\alpha \leq 60^\circ$ ) D. Plutonium specific <sup>a</sup> (see Appendix A, Section A2)	0.5 to 50 mSv (0.05 to 5 rem)	0.30	0.30
<b>III. Betas</b> A. General (B and C, random) B. High E ( <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y) C. Low E ( <sup>85</sup> Kr) D. Uranium slab	2.5 to 250 mSv (0.25 to 25 rem)	No test	0.30
<b>IV. Photon/beta<sup>b</sup> mixtures</b>	Shallow 3.0 to 300 mSv (0.30 to 30 rem)	...	0.30
	Deep 0.5 to 50 mSv (0.05 to 5 rem)	0.30	...
<b>V. Neutron/photon mixtures<sup>c</sup></b> A. General (B and C, random) B. <sup>252</sup> Cf + II C. <sup>252</sup> Cf(D <sub>2</sub> O) + II	1.5 to 50 mSv (0.15 to 5 rem)	0.30	No test

## ANSI/HPS N13.11 (2009) 人員劑量計能力試驗規範說明

陳俊良  
核能研究所



### 能力試驗標準測試內容

- 在3~6個月內測試三回合
- 共有5個測試類別
- 第2類測21個,其他類別測試15個劑量計
- 使用PMMA方型假體
- 結合意外事故級與防護級,加上角度測試
- 依新測試規範評估能力

### ANSI/HPS N13.11(2009) 名詞解釋

P: 能力商數,  $P_i = [H_R(d_i) - H_p(d_i)] / H_p(d_i)$  (Eq. 10)

B: 偏差,  $B = \bar{P} = (1/n) \sum_{i=1}^n P_i$  (Eq. 4)

S: 標準差,  $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}$  (Eq. 11)

L: 允差, 劑量評估系統可通過能力試驗之限值

通過標準  $B^2 + S^2 \leq L^2$  (Eq. 9)

### 意外事故級測試類別(I)

2001	2009
A: 一般(B and C, random)	A: 一般(B and C, random)
B: <sup>137</sup> Cs	B: <sup>137</sup> Cs
C: M150	C: M150
範圍: 0.1~5 Gy	範圍: 0.05~5 Gy
允差(L) = 0.3	允差(L) = 0.24
不測試淺部劑量	相同

### 貝他測試類別(III)

2001	2009
A: 一般(B and C, random)	IIIA: 一般, (IIIB或IIIC: <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y, <sup>85</sup> Kr 隨機)
B: 高能(E ≥ 500), <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y	IIIB: 高能貝他, <sup>90</sup> Sr/ <sup>90</sup> Y
C: 低能(E < 500), <sup>204</sup> Tl, <sup>85</sup> Kr	IIIC: 低能貝他, <sup>85</sup> Kr
	IIID: 鈾板
範圍: 1.5~100 mSv	範圍: 2.5~250 mSv
允差(L) = 0.4	允差(L) = 0.3
不測試深部劑量	相同

### 中子/光子混合場測試類別(V)

2001(VI)	2009
A: 一般(B and C, random)	VA: 一般, (VB或VC隨機)
B: <sup>252</sup> Cf+ II	VB: <sup>252</sup> Cf+II
C: <sup>252</sup> Cf(D <sub>2</sub> O)+ II	VC: <sup>252</sup> Cf(D <sub>2</sub> O)+II
範圍: 1.5~50 mSv	範圍: 1.5~50 mSv
允差(L) = 0.4	允差(L) = 0.3
不測試淺部劑量	相同
中子劑量轉換因子採用 ISO 8529-3:1989 Cf-252未矯正3.40E-10, Cf-252輕重水矯正9.1E-11	中子劑量轉換因子採用 ISO 8529-3:1998 Cf-252未矯正4.00E-10, Cf-252輕重水矯正1.10E-10

敬請指教

圖 4.12 ANSI/HPS N13.11-2001 與 ANSI/HPS N13.11-2009 標準之比較資料



防水測試



防震測試



墜落測試



耐溫與耐濕測試



無線電干擾測試



電磁場干擾測試

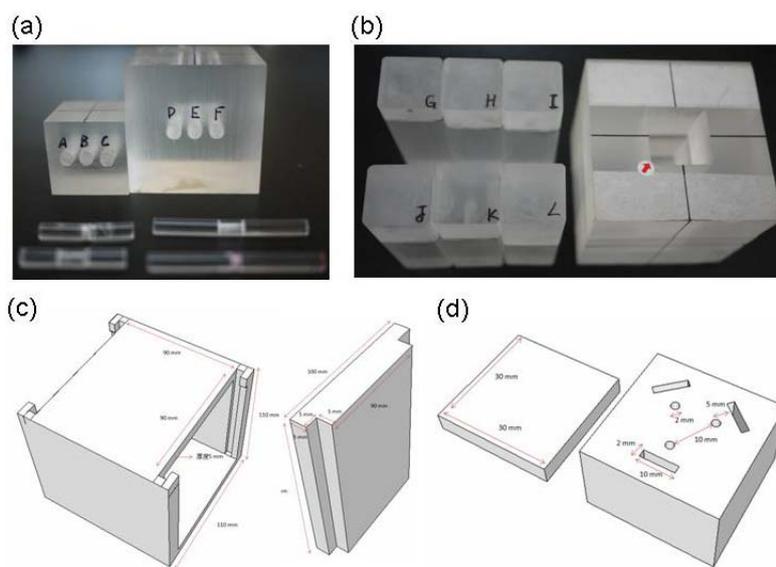
圖 4.13 表面污染/輻射劑量偵測儀器性能測試設施  
(無線電與電磁場干擾測試地點為財團法人台灣電子檢驗中心)

表 4.11 進行性能測試之表面污染偵測儀器規格表

廠牌/ 型號	形式	偵檢窗 有效面積	量測種類	能量範圍	量測範圍
A	比例式	228.0 cm <sup>2</sup>	β、γ	~0.2 MeV(β)	0~9999 cps
B	蓋格式	15.90 cm <sup>2</sup>	α、β、γ	<2 MeV(α) <0.16 MeV(β) <10 keV(γ)	0~5000 cps
C	蓋格式	15.55 cm <sup>2</sup>	α、β、γ	26 keV~ 1.25 MeV	0~9990 cps

表 4.12 進行性能測試之輻射劑量偵測儀器規格表

廠牌/ 型號	形式	量測種類	能量範圍	量測範圍
D	蓋革式	γ	0.045~1.3 MeV	10 <sup>-5</sup> ~9.99 mSv/h
E	游離腔	β、γ	>150 keV(β) >12 keV(γ)	0~1 mSv/h
F	游離腔	β、γ	0.02~2 MeV	10 <sup>-3</sup> ~1000 mSv/h
G	蓋革式	α、β、γ	0.06~1.44 MeV	5x10 <sup>-3</sup> ~5 mSv/h



Hindawi Publishing Corporation  
BioMed Research International  
Article ID 934387



## Research Article

# A Novel Simple Phantom for Verifying the Dose of Radiation Therapy

J. H. Lee,<sup>1</sup> L. T. Chang,<sup>1</sup> A. C. Shiau,<sup>2,3</sup> C. W. Chen,<sup>4,5</sup> Y. J. Liao,<sup>6</sup> W. J. Li,<sup>5</sup>  
M. S. Lee,<sup>7</sup> and S. M. Hsu<sup>3,8</sup>

<sup>1</sup>Health Physics Division, Institute of Nuclear Energy Research, Longtan 325, Taiwan

<sup>2</sup>Department of Radiation Oncology, Koo Foundation Sun Yat-Sen Cancer Center, Taipei 112, Taiwan

<sup>3</sup>Department of Biomedical Imaging and Radiological Sciences, National Yang-Ming University, Taipei 112, Taiwan

<sup>4</sup>Department of Anesthesiology, China Medical University Hospital, Taichung 404, Taiwan

<sup>5</sup>Graduate Institute of Clinical Medical Science, China Medical University, Taichung 404, Taiwan

<sup>6</sup>School of Medical Laboratory Science and Biotechnology, Taipei Medical University, Taipei 110, Taiwan

<sup>7</sup>School of Medicine, Tzu Chi University, Hualien 970, Taiwan

<sup>8</sup>Biophotonics and Molecular Imaging Research Center, National Yang-Ming University, Taipei 112, Taiwan

Correspondence should be addressed to S. M. Hsu; smhsu@ym.edu.tw

Received 3 June 2014; Revised 21 October 2014; Accepted 22 October 2014

圖 4.14 2014 年投稿 BioMed Research International 期刊之論文(已發表)

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A

### **Techniques for Leak Measurement of the Medical Diagnostic X-Ray Machine**

Chin-Hsien Yeh , Ming-Chen Yuan , Kuo-Wei Lee

Health Physics Division, Institute of Nuclear Energy Research,  
No. 1000, Wunhua Rd., Jiaan Village, Longtan Township, Taoyuan  
County 32546, INER(TW )

#### ABSTRACT

According to radiation safety examination regulation of the Atomic Energy Council (AEC) in Taiwan, the X-ray machine tube target should be periodically checked for the highest leak rate measured at 1 m distance and the value should be less than 0.87 mSv/h. Also the value for the leak rate measured of the main beam at 30 cm distance outside the wall surface should be less than 0.5  $\mu$ Sv/h. We made a leak measurement comparison using the ionization chamber detector and the scintillator to see the adequacy of the leak rate actually measured by the detectors as well as the reasonableness of the leak rate required by the regulations. The results showed that the scintillator has a faster response time, but the VAR value of the detector and the verification results of the photon analyzer were closer to the actual dose rate of the X-ray machine.

Keyword : X-ray machine; leak dose rate; scintillator.

圖 4.15 2014 年投稿 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A 期刊之論文(審查中)

## ACCEPTED MANUSCRIPT

**Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the response of  
TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon, electron and neutron  
beams**

Yi-Chun Lin<sup>a</sup>, Tseng-Te Huang<sup>a,\*</sup>, Yuan-Hao Liu<sup>b</sup>, Wei-Lin Chen<sup>c</sup>, Yen-Fu Chen<sup>a</sup>,  
Shu-Wei Wu<sup>e</sup>, Sander Nievaart<sup>f</sup>, and Shiang-Huei Jiang<sup>g</sup>

<sup>a</sup> *Healthy Physics Division, Institute of Nuclear Energy Research, Taiwan*

<sup>b</sup> *Nuclear Science and Technology Development Center, National Tsing Hua University, Taiwan*

<sup>c</sup> *Institute of Nuclear Engineering and Science, National Tsing Hua University, Taiwan*

<sup>d</sup> *Nuclear Engineering Division, Institute of Nuclear Energy Research, Taiwan*

<sup>e</sup> *Dept. of Biomedical Engineering and Environmental Sciences, National Tsing Hua University,  
Taiwan*

<sup>f</sup> *Institute for Energy, Joint Research Centre, European Commission, Petten, The Netherlands*

<sup>g</sup> *Department of Engineering and System Science, National Tsing Hua University, Taiwan,*

圖 4.16 2014 年投稿 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research  
Section A 期刊之論文(已接受)



圖 4.17 2014 年獲得之球型電極空氣游離腔發明專利

### 5. 粒子治療設施誘發中子輻射之量測評估技術建立

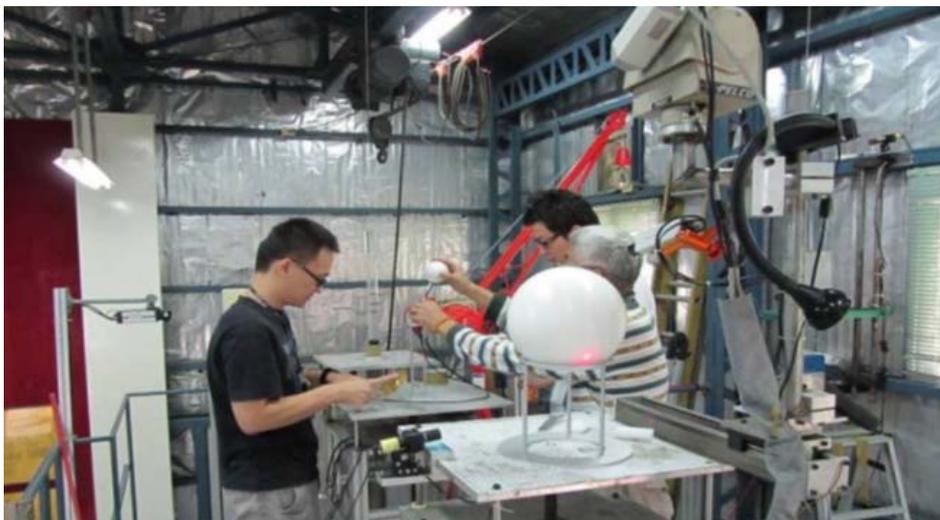


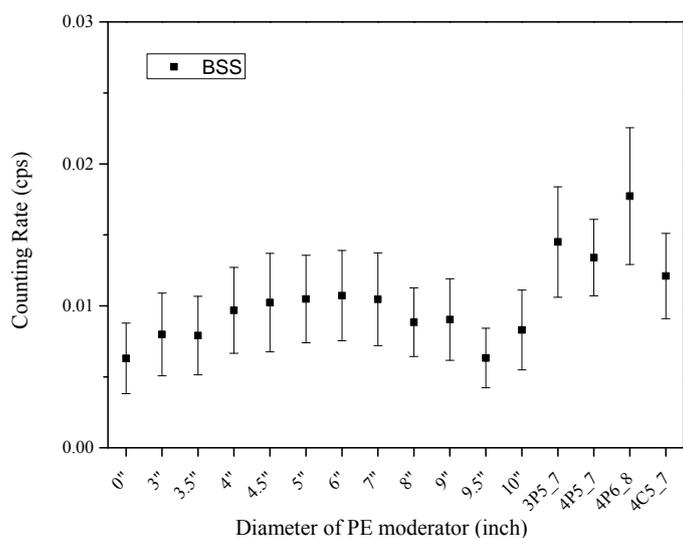
圖 5.1 波那球中子能譜量測系統



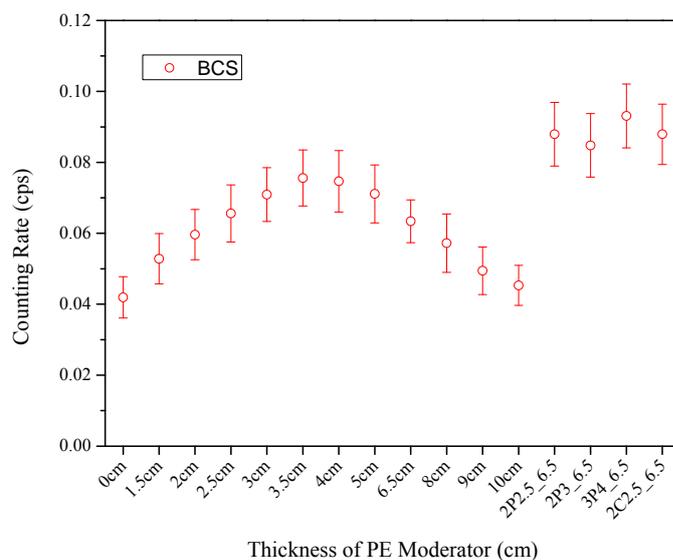
圖 5.2 自行設計之高效率波那圓柱中子能譜儀



圖 5.3 核研所背景區宇宙射線誘發中子能譜量測實驗



(a)



(b)

圖 5.4 不同尺寸之波那球(a)、波那圓柱(b)進行宇宙射線誘發中子量測結果

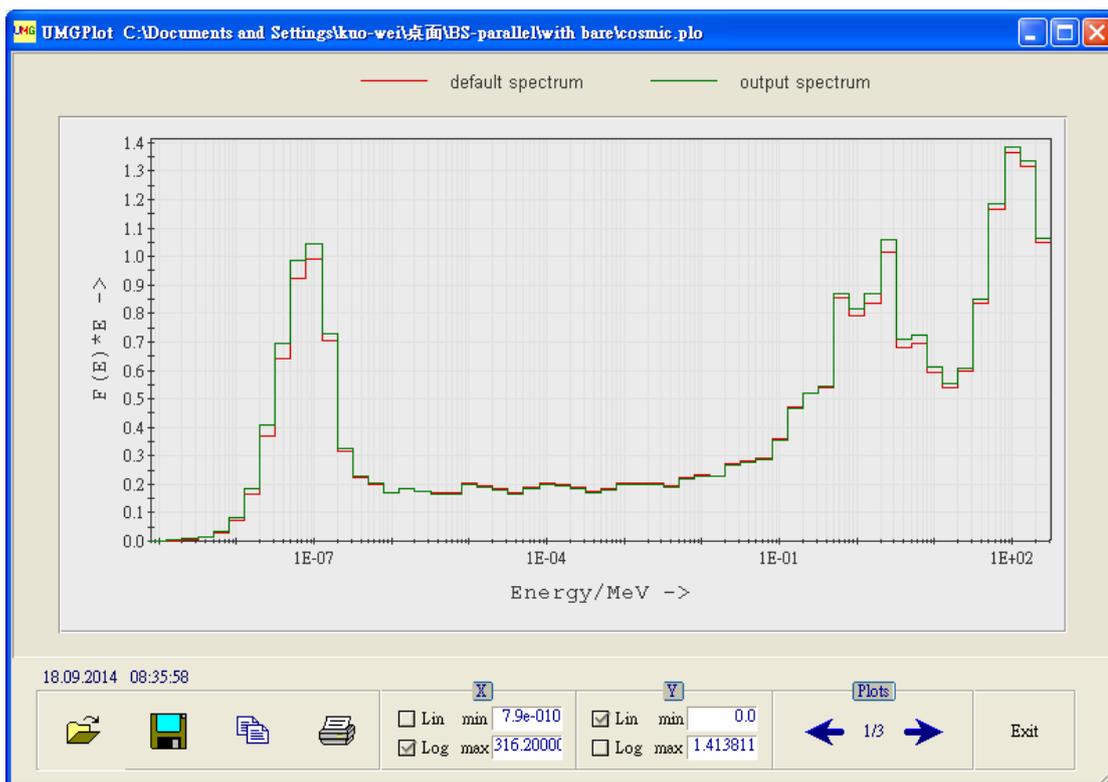


圖 5.5 以波那球系統進行宇宙射線誘發中子能譜之量測結果

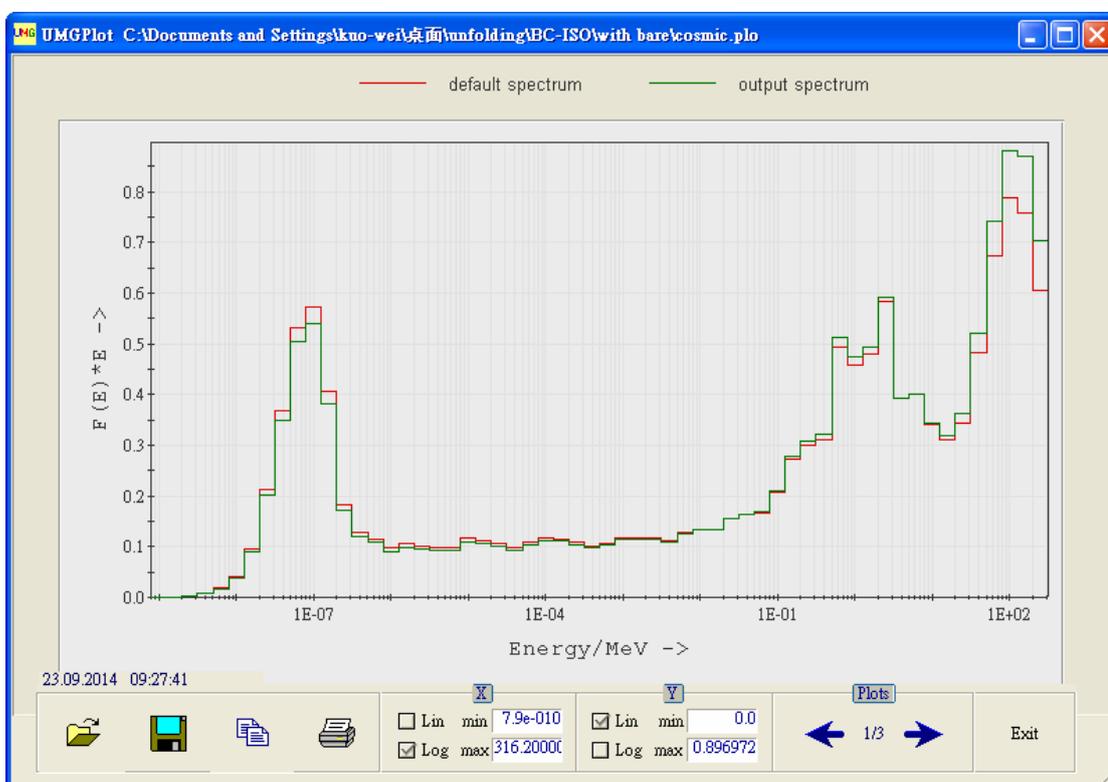


圖 5.6 以波那圓柱系統進行宇宙射線誘發中子能譜之量測結果



圖 5.7 利用中子偵檢器進行林口長庚醫院質子治療機第一治療室管制區環境輻射量測



圖 5.8 中子偵檢器於林口長庚醫院第一治療室管制區之輻射量測結果

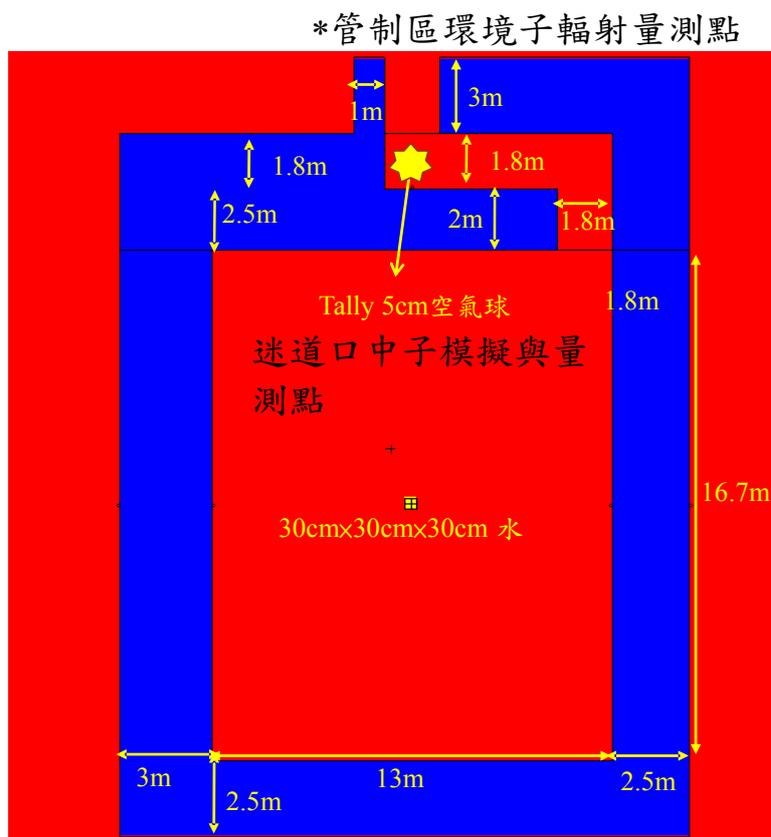


圖 5.9 以 MCNPX 程式進行林口長庚醫院質子治療機第一治療室之模擬

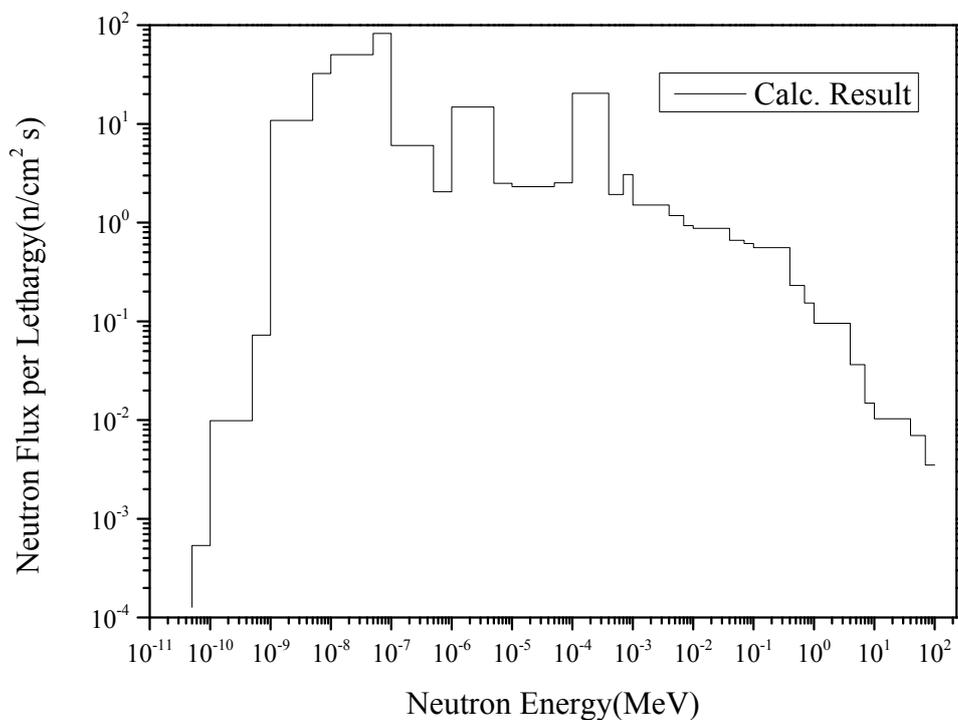


圖 5.10 林口長庚醫院質子治療機第一治療室迷道口中子能譜模擬結果

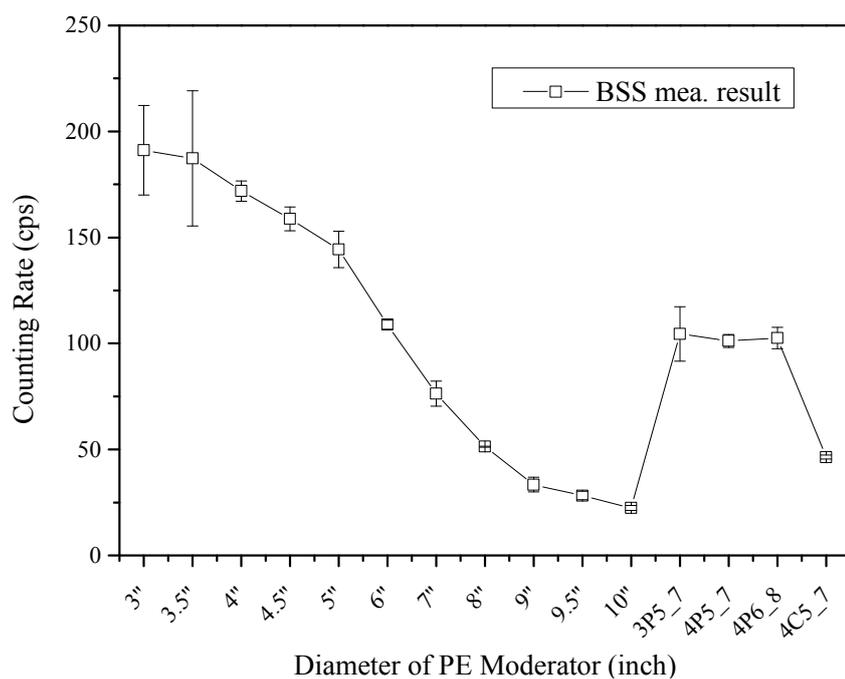


圖 5.11 林口長庚醫院質子治療機第一治療室迷道口之波那球系統量測結果

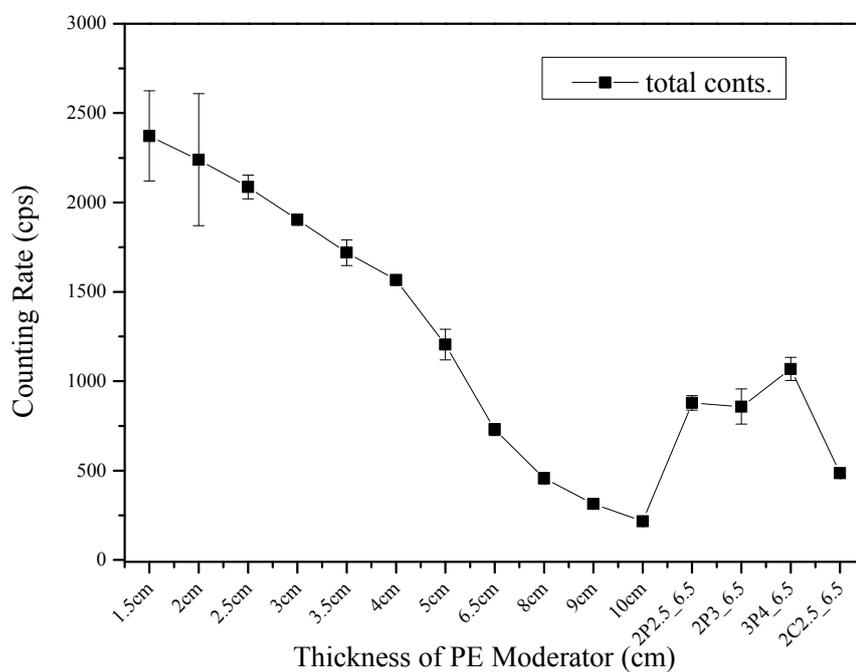


圖 5.12 林口長庚醫院質子治療機第一治療室迷道口之波那圓柱系統量測結果

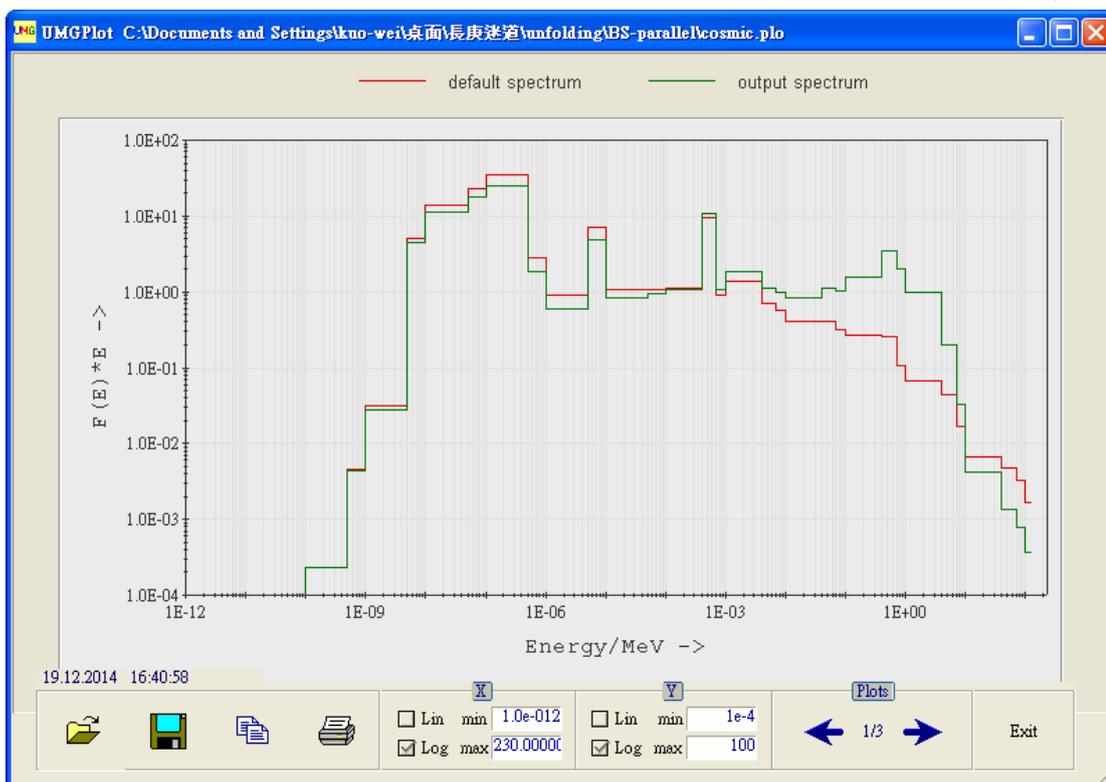


圖 5.13 林口長庚醫院質子治療機第一治療室迷道口之波那球中子能譜展開結果

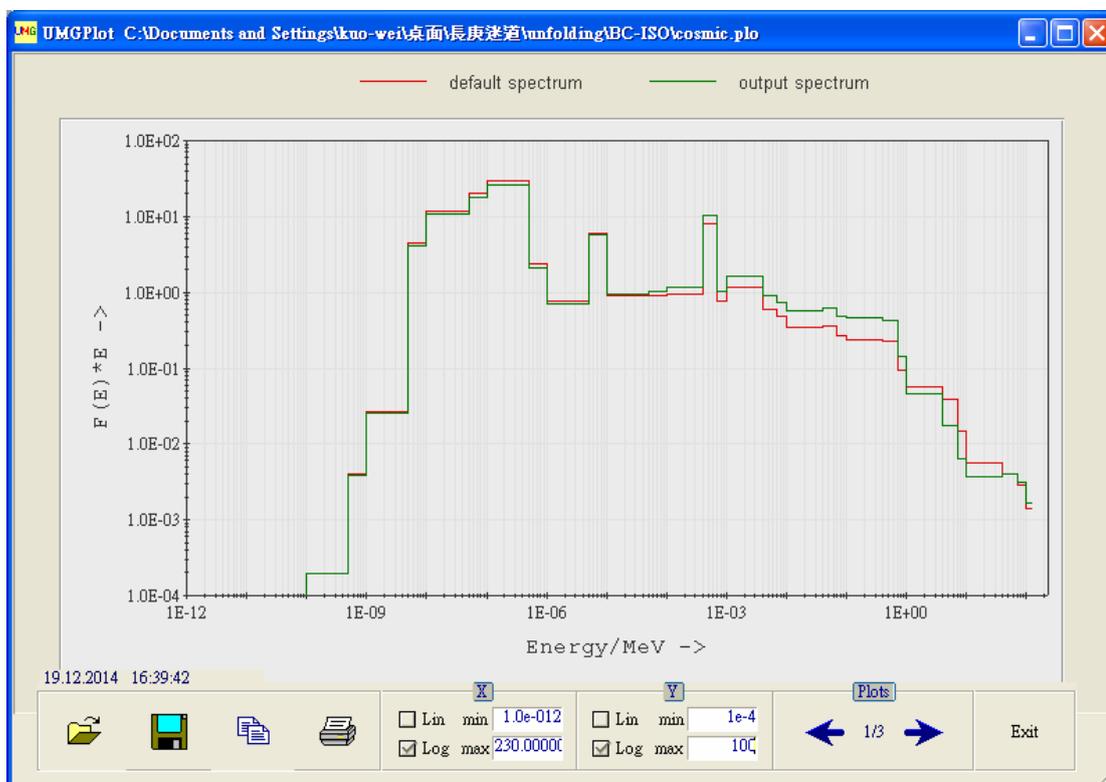


圖 5.13 林口長庚醫院質子治療機第一治療室迷道口之波那圓柱中子能譜展開結果




Medical Application of Radiation  
 Date: 25-June-2014, 26-June-2014  
 Time: AM11:40-PM13:00, PM13:00-14:00  
 Poster Index: 46

## THE ANALYSIS OF ACCELERATOR-BASED NEUTRON SOURCE FOR DIFFERENT TARGETS BY MCNPX

Zhen-Fan You<sup>1\*</sup>, Kuo-Wei Lee<sup>1,2</sup>, and Yen-Wan Hsueh Liu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Energy Research, No. 1000, Wen-hua Road, Longtan, Taoyuan, Taiwan  
<sup>2</sup> Institute of Nuclear Engineering and Science, National Tsing-Hua University, No. 101, Sec. 2, Kuang-Fu Road, Hsinchu, Taiwan.

1 Abstract

Proton therapy is popular in medical application of radiation recently. Since high energy protons will induce neutrons, measurements and validation of high energy neutron spectrum is important. Accelerator-based neutron source (ABNS) is a useful tool for high energy neutron studies. The mechanism of ABNS is that an ion beam strikes the target, then neutrons are induced by  $(Z^+, n)$  reaction, where  $Z^+$  represents ion. This study analyzes ABNS for different targets using MCNPX, a widely used Monte Carlo code in the field of nuclear application. Four target materials are selected, beryllium, iron, copper, and tungsten. The simulation of accelerator is based on the cyclotron in The Institute of Nuclear Energy Research, which produces 30 MeV/1 nA proton beam. The simulation results show that for beryllium target the yield of induced neutron is the largest, although only 3%, and most forward, about 74%. The angular distribution for iron, copper, and tungsten targets are nearly isotropic. Another issue of interest is the neutron energy spectrum. The calculation result shows that neutron energy spectrum for beryllium target is harder than others. This result can be used as an initial guess for energy spectrum measurement, and as a reference for measurement comparison.

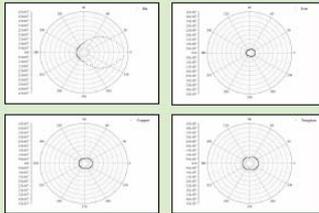
3 Results and discussion

Table gives the results from the simulation.

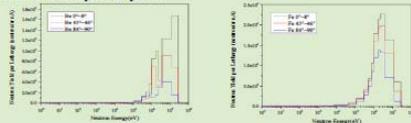
Target	Thickness(cm)	Diameter(cm)	Neutron yield (n/nA)	Forward neutron percentage(%)
Be	0.55	2.0	1.81e108	74.38
Fe	0.17	2.0	5.16e107	61.35
Cu	0.15	2.0	7.88e107	58.98
W	0.17	2.0	9.56e107	56.85

The result can be explained by collision density.  
 Collision density= $\int \phi_p(E)N\sigma(E)dE$   
 $\phi_p(E)$ : proton flux,  $N$ : atom density,  $\sigma(E)$ :  $(p, n)$  reaction cross section  
 $N = N_A \rho / M$   
 For  $\rho/M$ , Be=0.205, Fe=0.141, Cu=0.141, W=0.105, and energy threshold for  $(p, n)$  reaction: Be=2MeV, Fe=3MeV, Cu=10MeV, W=10MeV. The reaction energy range for beryllium is the largest. Calculation result makes sense by the equation. From the table can know the less atomic weight, the more forward neutron percentage.

Angular distribution for four targets:



Induced neutron energy spectrum for Be and Fe:  
 The mechanism for high neutron energy slowing down is complex. The neutron energy spectrum broadens during slowing down processes. Therefore, this calculation could evaluate the characteristics of neutron spectrum. There are two simulations comparison between light target material and heavy target material. The neutron spectrum for beryllium target is harder than iron target, and there is a peak at 1MeV region for beryllium target. The peak for iron target is about 2MeV, and the characteristics of neutron spectrum in 0 to 45 degree is similar. This feature provides a good experimental basis for detector position options.



2 Materials and methods

**Accelerator:**  
 Accelerator is based on the cyclotron in The Institute of Nuclear Energy Research, which produces 30 MeV/1 nA proton beam. Following figure shows schematic layout of a cyclotron beam port.



A schematic layout of a cyclotron beam port

**Target materials:**  
 The target materials are selected, beryllium, iron, copper, and tungsten. The thickness can be chosen by proton range of materials. National Institute of Standards and Technology Physical Measurement Laboratory created the databases which one of the databases PSTAR can calculate stopping-power and range tables for proton, according to methods described in ICRU Reports 37 and 49. Stopping-power and range tables can be calculated for proton in 74 materials. The proton range can get from the website. The proton beam strikes the target would generate heat, so the melting points for targets should be considered. Following table show these targets physical properties.

Selected target materials physical properties	Be	Fe	Cu	W
Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.848	7.874	8.96	19.25
Melting point (°C)	1287	1538	1085	3422
30MeV proton projected range (cm)	0.581	0.1735	0.1599	0.1057

**Simulation:**  
 The Computer code is MCNPX 2.6.0. The 30MeV proton beam strikes the target which thickness is slightly smaller 30MeV proton projected range. MCNPX score the neutrons in air without any shielding and reflector. Tally result is neutron yield per proton which divides by proton charge would get the neutron yield per A. Therefore, we can get following equation.  
 neutron yield per nA = neutron yield per proton  $\times (6.242 \times 10^{17})$   
 Result is slightly smaller than neutron yield, because the target thickness is slightly smaller than proton range referred before.  
 It can use Cn card to get the cosine bin for neutron yield, and divides by  $2\pi^2 d_p$  would get the neutron yield per solid angle.

4 Conclusion

The neutron yield and angular distribution is simulated. Induced neutron yield for beryllium, is the largest, and the neutron is the most forward. It spend much time on calculating induced neutron spectrum because of low neutron yield which is less about 5%. The angular distribution for iron target is nearly isotropic that is a good feature providing a basis for detector position options. This result can be used as design a neutron spectrum measurement. The simulation will consider the shielding and reflector. The calculation results will be used as an initial guess for energy spectrum measurement, and as a reference for measurement comparison.

圖 5.14 2014 年投稿之會議論文(International Symposium on Frontiers of Technology for the Future: Low Carbon Energy and Life (FoTEL 2014))

SORMA XV  
(Symposium on Radiation Measurements and Applications, SORMA-15)  
JUNE 07-15, 2014

**Analyzing the responses of conventional and extended neutron detectors in radiation fields of a 150-MeV LINAC**

Yu-Chi Lin<sup>a,b</sup>, Rong-Jiun Sheu<sup>b,c,\*</sup>, Ang-Yu Chen<sup>a</sup>, Kuo-Wei Lee<sup>d</sup>

<sup>a</sup> National Synchrotron Radiation Research Center, Hsinchu, Taiwan

<sup>b</sup> Institute of Nuclear Engineering and Science, National Tsing Hua University, Taiwan

<sup>c</sup> Department of Engineering and System Science, National Tsing Hua University, Taiwan

<sup>d</sup> Institute of Nuclear Energy Research, Longtan, Taoyuan, Taiwan

**ABSTRACT**

This study investigated the performances and characteristics of two self-assembled high-efficiency neutron detectors during a LINAC commissioning. The LINAC accelerated electrons to 150 MeV with a nominal output of 1–5 nC per pulse and 3 Hz repetition rate. Operation of this accelerator could produce significant amount of secondary radiation including photons and neutrons, resulting from the electromagnetic cascades and the subsequent photonuclear reactions. As shown in Fig. 1, a simple rectangular shielding room made of 1 m thick concrete was prepared for the LINAC commissioning. Neutron measurements at two locations outside the shielding room were of particular interest, i.e. at the downstream of the accelerator and at the lateral direction, because their radiation fields were substantially different.

圖 5.15 2014 年投稿之會議論文(Symposium on Radiation Measurements and Applications, SORMA-15, JUNE 07-15, 2014)

SORMA XV  
(Symposium on Radiation Measurements and Applications, SORMA-15)  
JUNE 07-15, 2014  
美國安娜堡密西根大學

**Monte Carlo simulations and benchmark measurements on the  
response of TE(TE) and Mg(Ar) ionization chambers in photon and  
electron beams**

Yi-Chun Lin, Tseng-Te Huang, Yen-Fu Chen, Yuan-Hao Liu, Wei-Lin Chen, Shu-Wei Wu,  
Sander Nievaart, Shiang-Huei Jiang

**Abstract**

The paired ionization chambers technique is commonly employed to determine neutron and photon doses in radiology or radiotherapy neutron beams, where neutron dose shows very strong dependence on the accuracy of accompanying high energy photon dose. These photons and the following electrons can be generated from reactor core, beam filter and moderator, and materials such as phantom or human tissue along the beam pathway. During the dose derivation, it takes an important role to evaluate the photon and electron response functions of two commercially available ionization chambers, denoted as TE(TE) and Mg(Ar), used in our reactor based epithermal neutron beam.

Due to the different particle behaviors and for the sake of accurate dose measurement, dose responses of chambers to incident photons and electrons with energy from 20 keV to 20 MeV were calculated and current responses were measured in the benchmark photon and electron beams. The Monte Carlo code, MCNP5, was used to calculate energy deposition in chamber cavity by using simple spherical and detailed IC models, and was compared with other Monte Carlo codes, EGSnrc, FLUKA and GEANT4 for photon beams. For electrons, the cavity energy depositions were only calculated with MCNP5, EGSnrc and FLUKA codes. The influence of ESTEP parameter in the three electron transport modes of MCNP5 was studied for the purpose of photon optimal calculation. Validations of chamber current were performed in 80, 100, 120, 150 kVp X-ray,  $^{60}\text{Co}$  field, 6 MV, and 10 MV LINAC photon beams as well as 6 MeV and 18 MeV LINAC electron beams.

In the Mg(Ar) chamber model, MCNP5 showed lower response than other codes for photon energy below 0.1 MeV and presented similar response above 0.2 MeV. For TE(TE) chamber, all codes were almost

圖 5.16 2014 年投稿之會議論文(Symposium on Radiation Measurements and Applications, SORMA-15, JUNE 07-15, 2014)

### 附錄三、第六次輻射偵測儀器校正能力試驗計畫書

#### 1. 前言

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，第5次輻射儀器校正能力試驗已於100年執行，故103年應持續執行。該基金會委託國家游離輻射標準實驗室為輻射偵測儀器校正能力試驗的執行機構。年度目標為(1)召開第六次輻射偵檢儀器校正能力試驗說明會議；(2)完成能力試驗報告；(3)召開第6次輻射偵檢儀器校正能力試驗總結會議；(4)規劃執行時程為103年9月至104年5月。

#### 2. 執行機構組織

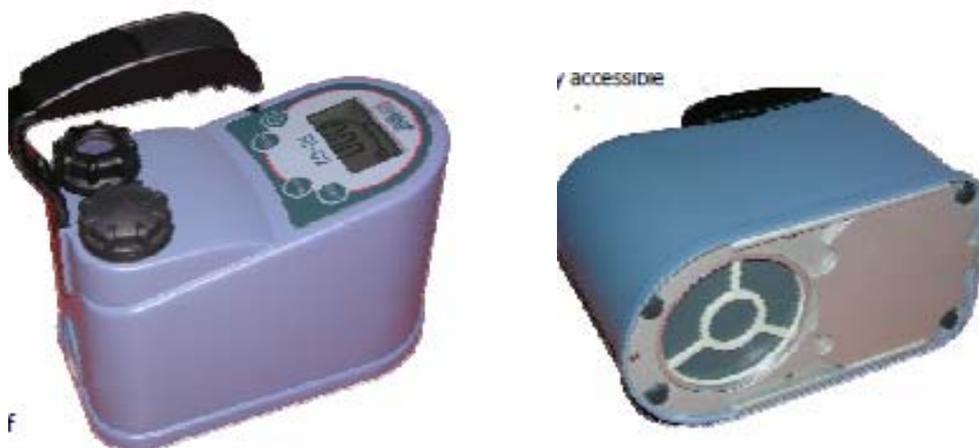
國家游離輻射標準實驗室執行第六次輻射偵檢儀器校正能力試驗，共規劃放射活度偵測儀器校正小組、輻射劑量偵測儀器校正小組及品保小組等3個工作人員編組。

#### 3. 參加機構

台電放射試驗室、台電核三工作隊、輻射偵測中心、清華大學及核能研究所等5個機構之認證校正實驗室。

#### 4. 傳遞儀器規格

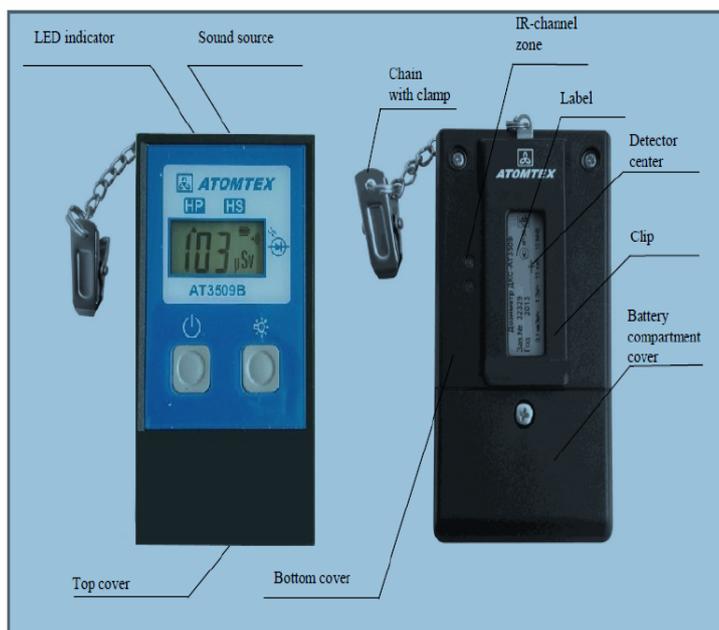
傳遞儀器為輻射劑量偵測儀器 ROTEMRAD-ION/RI-02、放射活度  $\alpha/\beta$  污染偵測儀器 MiniTRACE/C10/ PR 302664 及人員劑量計 ATOMTEX-AT3509B 等 3 部。



輻射劑量偵測儀器 ROTEMRAD-ION/RI-02



放射活度  $\alpha/\beta$  污染偵測儀器 MiniTRACE/C10/ PR 302664



人員劑量計 ATOMTEX-AT3509B

## 5. 工作項目

編組工作人員需完成工作項目為(1)傳遞儀器檢查、(2)量測輻射偵檢儀器校正因子、(3)量測污染偵檢儀器儀器效率、(4)量測人員劑量計校正因子及(5)量測擴充不確定度

## 6. 測試傳遞流程

受測實驗室應在接收傳遞儀器時作一般性檢查。完成全部的測試項目後，派遣專人將儀器傳送至下一個受測實驗室。本次傳遞流程依序為核能研究所→(1)台電放射試驗室→(2)台電核三工作隊→(3)輻射偵測中心→(4)清華大學→(5)→核能研究所。傳遞流程及日期如下表。

受測實驗室	接收日期	校正截止日期	儀器回報日期
台電放射試驗室	104.01.02	104.01.13	104.01.16
台電放射試驗室 核三工作隊	104.02.03	104.02.14	104.02.15
輻射偵測中心	104.02.16	104.02.29	104.03.01
清華大學	104.03.02	104.03.16	104.03.19
核能研究所	104.03.19	104.04.03	104.04.05

## 7. 執行方法

### 7.1 輻射度量儀器

本次能力試驗依據美國國家標準局 ANSI N323A (1997) 規範，將測試劑量率為傳遞儀器的可量測範圍內的 20% 及 80% 的劑量率 ( $\mu\text{Sv/h}$  或  $\text{mSv/h}$ )。執行偵測儀器之校正，給予每一校正劑量率一個校正因子其平均值為中心實驗室與受測實驗室測量值 ( $V_{\text{ref}}$ 、 $V_{\text{lab}}$ )。

校正因子：參考劑量(率)/傳遞件量測劑量(率)

依據國際標準組織 ISO GUM (1995) 及量測不確定度評估指引 (2002) 評估中心實驗室與受測實驗室擴充不確定度 ( $U_{\text{ref}}$ 、 $U_{\text{lab}}$ )。比較受測實驗室與中心實驗室的校正結果的  $E_n$  值。

## 7.2 污染偵測儀器

本機構依據國際標準組織 ISO 7503-1 定義的儀器效率，將污染偵測儀器校正獲得中心實驗室儀器效率與受測實驗室儀器效率( $V_{ref}$ 、 $V_{lab}$ )及擴充不確定度( $U_{ref}$ 、 $U_{lab}$ )，比較受測實驗室與中心實驗室的校正結果的  $En$ 。

儀器效率  $Eff(\%)$ ： $(RxWs)/(SxWd)$

R：於特定幾何條件下，儀器對特定核種發射之特定輻射粒子的淨計數率(cps)

Ws：射源之有效作用面積( $cm^2$ )，通常大於或等於  $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 。

S：射源於使用時刻自其表面發射出特定粒子之粒子發射率(1/s)。

Wd：校正儀器偵測窗的有效面積( $cm^2$ )

## 7.3 人員劑量計

本次能力試驗依據美國國家標準局 ANSI N42.20 (1995)規範，將主動式人員劑量計黏貼在壓克力假體(30 cm x 30 cm x 15 cm)中心前照射，測試劑量為傳遞儀器的可量測範圍內的 20%及 80%的劑量( $\mu\text{Sv}$  或  $\text{mSv}$ )。執行偵測儀器之校正，給予每一校正劑量一個校正因子其平均值為中心實驗室與受測實驗室測量值( $V_{ref}$ 、 $V_{lab}$ )。

校正因子：參考劑量/傳遞件量測劑量

依據國際標準組織 ISO GUM (1995)及量測不確定度評估指引(2002)評估中心實驗室與受測實驗室擴充不確定度( $U_{ref}$ 、 $U_{lab}$ )。比較受測實驗室與中心實驗室的校正結果的 En 值。

## 8、結果判定

依據國際標準組織 ISO 43-1 規範以 En 值判斷，En 值計算公式如下：

$$En = (V_{lab} - V_{ref}) / (U_{lab}^2 + U_{ref}^2)^{1/2}$$

判斷準則為  $En < 1$ ，通過能力試驗， $En > 1$ ，不通過能力試驗。

## 9. 測試結果報表

受測實驗室需提供 4 個測試結果報表如下：

傳遞儀器檢查報告表、輻射劑量偵測儀器能力試驗結果報告表(劑量率及擴充不確定度分析)、人員劑量計能力試驗結果報告表(累積劑量及擴充不確定度分析)、貝他及阿伐污染偵檢儀器能力試驗結果報告表(效率及擴充不確定度分析)。

## 10. 收費

本次能力試驗依申請實驗室的認證項目為 KK1002 項(加馬輻射劑量偵測儀器)、KK1005 項(貝他放射性核種活度偵測儀器)及 KK1006 項(阿伐放射性核種活度偵測儀器)，而每項收費為 36000 元。

## 11. 總結會議

測試結果的總結會議預定時程如下：

104/04/25 前收到全部測試報告

104/05/15 前完成能力試驗報告

104/05/30 前召開總結會議