

# 政府科技計畫成果效益報告

計畫名稱：核設施除役之輻射安全與人員生物劑量  
評估技術研究(2/4)

---

---

(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輻射防護處

委託行政院原子能委員會核能研究所

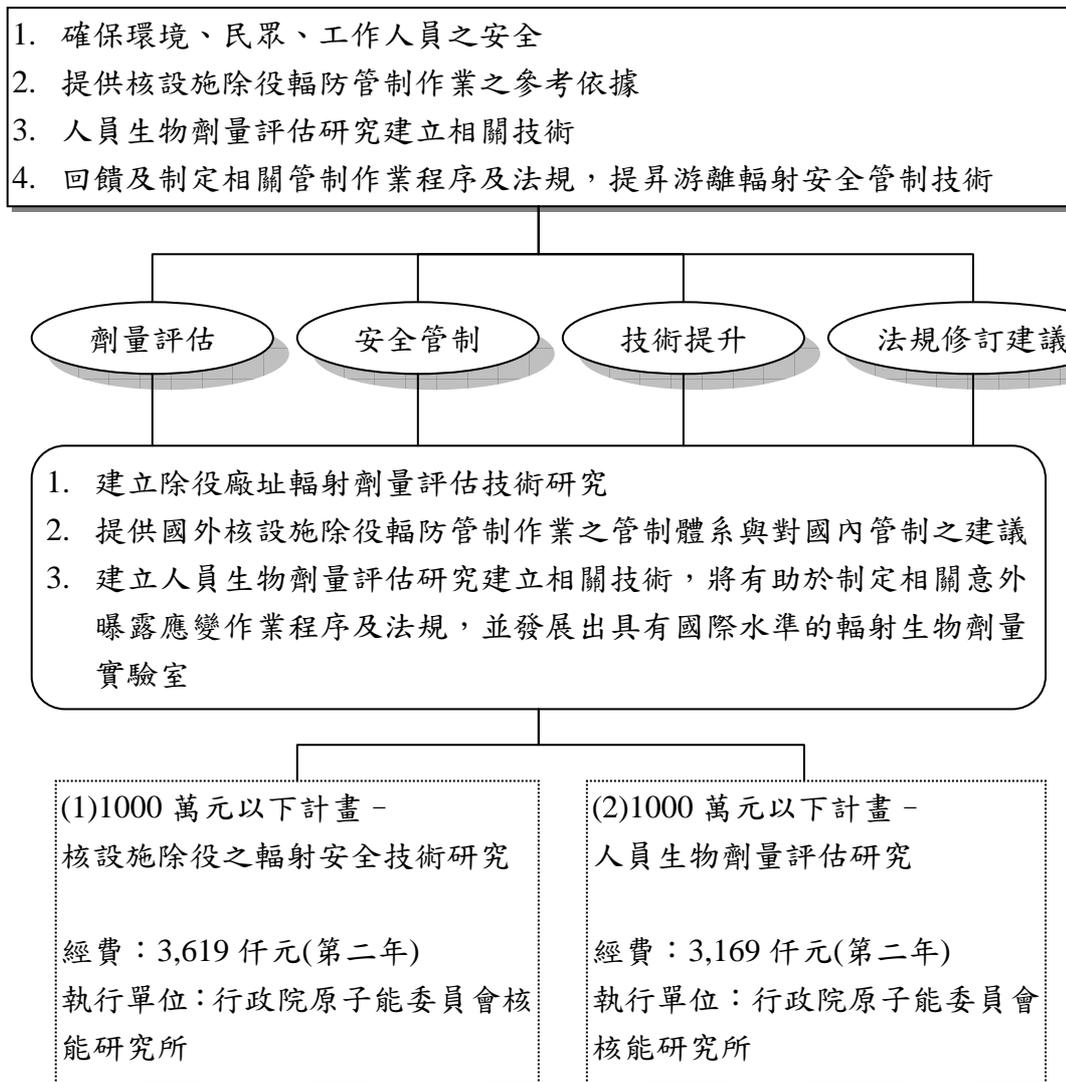
# 目錄

	頁次
壹、科技施政重點架構圖.....	3
貳、基本資料.....	4
參、計畫目的、計畫架構與主要內容.....	4
一、計畫目的與預期成效.....	4
二、計畫架構(含樹狀圖).....	7
三、計畫主要內容.....	7
肆、計畫經費與人力執行情形.....	28
伍、計畫已獲得之主要成果與重大突破(含量化成果 output)..	35
陸、主要成就及成果之價值與貢獻度(outcome).....	40
柒、與相關計畫之配合.....	39
捌、後續工作構想之重點.....	39
玖、檢討與展望.....	39

# 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  
|  
績效衡量指標  
|  
執行措施(綱要計畫)



## 貳、基本資料：

計畫名稱：核設施除役之輻射安全與人員生物劑量評估技術研究(2/4)

主持人：李若燦

審議編號：103-2001-02-05-06

計畫期間(全程)：103年1月1日至103年12月31日

年度經費：6788千元 全程經費規劃：26,132千元

執行單位：行政院原子能委員會核能研究所

## 參、計畫目的、計畫架構與主要內容

### 一、計畫目的與預期成效：

#### (一)核設施除役之輻射安全技術研究

依據「核子反應器設施管制法」第二十八條規定：核子反應器設施除役計畫執行完成後六個月內，經營者應檢附除役後廠址環境輻測監測報告；另外，「核子反應器設施管制法施行細則」中規定，有關除役後廠址環境輻射監測之管制，將訂定除役後廠址環境輻射監測報告導則。未來十年內，我國將陸續有核能電廠達到預定的運轉年限而必須除役，如何在核設施除役後有效執行廠址環境輻射檢測，評估廠址殘餘輻射對設施外民眾所接受的輻射劑量，係屬主管機關於管制面上將面臨之課題。本計畫將協助主管機關完成除役後廠址環境輻射監測報告導則，以確保除役後廠址環境輻射造成民眾之劑量符合法規限值要求；建立核設施除役之輻射偵測儀器校正系統，建構完整的儀器檢校追溯體系與量測技術程序；且配合除役之廠址特性環境物質及相關參數分析，建立除役廠址土壤導出濃度指引水平(DCGL)推導技術，提升輻射量測之準確度與公信力，有效確保環境、民眾與工作人員之輻射安全。

#### (二)人員生物劑量評估研究

生物劑量計是針對人體經游離輻射曝露後，人體淋巴球發生染色體變異，再利用劑量與效應的關係，對應出人體在輻射曝露時所接受的劑量。目前生物劑量使用相當廣泛，較常應用在較高的輻射曝露意外事件，由於部分受曝者可能沒有佩戴人員劑量計，在此情形下，除現場及輻射源的物理特性評估人員劑量外，亦可使用生物劑量計技術評估。

一般而言，生物劑量是最趨近於受曝者真實所接受的劑量。生物體內作為生物劑量計最常使用的方法為染色體變異分析，即由分析染色體變異的程度及數量來對應所接受的劑量。染色體變異經過輻射照射後所產生的變異，依照細胞是否仍有保留分裂的能力，可以分成不穩定變異及穩定變異兩類。不穩定變異方面，有三種以上的型態，如雙中節(dicentrics)、環形(rings)和後期橋(anaphase bridge)。其中雙中節和環形變異發生在染色體尚未複製之前，而後期橋則發生染色體複製之後，這三種變異通常都會伴隨著無中節的染色體片段產生，且由於此三種變異的發生會造成細胞分裂失敗，使細胞無法繼續存活，故稱之為不穩定性變異。穩定性變異方面則有易位(translocations)和缺失(deletions)。易位是指不同染色體片段互相交換，而缺失則是染色體某一小片段的遺去，這兩種變異仍然可進行細胞分裂，故細胞仍可存活下來。細胞染色體對於輻射非常的敏感，目前應用最廣泛的，即是抽取人體週邊循環血液中的淋巴球來作分析。淋巴球來作分析有幾個優點：人體組織中以淋巴球對於輻射最為敏感，淋巴球隨血液做全身循環，血液中的淋巴球，有99.9%是處於細胞週期中的G<sub>0</sub>期，對輻射敏感度是一致的；淋巴細胞較其他細胞易於取得，只需簡單的抽血、分離及培養技術，就可得到足夠的細胞以供分析檢查。染色體變異頻率與劑量的關係有二次線性的關係，人體淋巴球細胞經過鈷-60照射後分析其雙中節及環形變異頻率，關係呈現線性平方的關係：在劑量低於1Gy時，通常以單一次碰撞事件為主；至於劑量高於1Gy時，價電子數目增多

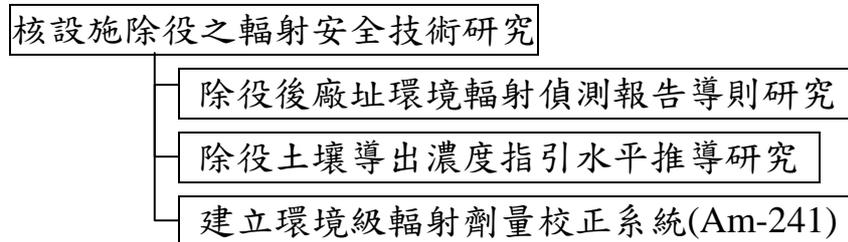
，使得變異事件快速增加，其速率通常以二次方上升，因此染色體雙中節評估技術為本計劃最基本需建立之技術。

世界衛生組織 (WHO) 建立的全球生物劑量支援網路 (framework for a global biodosimetry network–BioDoseNet) ，即是以細胞學的生物劑量技術 (cytogenetic) 中雙中節不穩定變異分析作為主體發展。以雙中節、環形等不穩定變異推算劑量時，通常使用於急性曝露的情況，且最好是曝露後越早分析愈好，以免受到細胞死亡更新或其它因素的干擾。根據國際原子能總署 (IAEA) 及美國衛生與人類服務部 (The United States Department of Health and Human Services) 更指出雙中節染色體分析應用適用於急性、短期數個月內發生之事件評估。ISO19238 更依據 IAEA 及國際目前研發狀況訂定了相關作業程序供標準實驗室遵行。

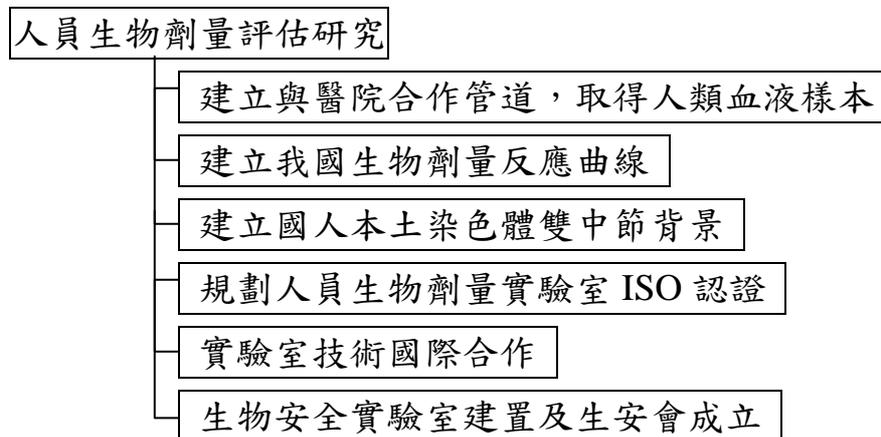
核研所自 100 年起承接原能會計畫，重建生物劑量研發能力，更於 102-105 年接續之前研發計畫，短期目標以提升生物劑量實驗室能力為主，中期目標為建立專業生物劑量實驗室硬體為主，長期目標為提升實驗室品質，申請實驗室認證，建立具公信力之專業實驗室。策略上，透過與國內醫學中心合作，獲得合法使用人體血樣進行研究；同時評估建立我國國人人員生物劑量反應曲線，並同時收集分析國人生物劑量背景，用以作為我國人員生物劑量標準；完成品質及技術系統相關作業程序，並配合法規政策，成立生物安全會，健全實驗室軟硬體設施，以成為建置認證實驗室基石；同時持續與國際學者聯繫合作，參與國際實驗室能力比對，使分析能力與國際同步，獲得國際肯定。

## 二、計畫架構(含樹狀圖)：

### (一)核設施除役之輻射安全技術研究



### (二)人員生物劑量評估研究



## 三、計畫主要內容

註：請依原綱要計畫書上所列計畫目的、架構、主要內容填寫

### (一)核設施除役之輻射安全技術研究

配合政府穩健減核與逐步邁向非核家園之政策，核設施除役技術發展是國家現階段共同關切及努力的一項議題，除役期間之工作人員、週遭居民之人員劑量評估及場所外輻射偵檢與環境輻射監測，可視為有效保障人員安全與環境品質之關鍵。本計畫執行目標即在落實輻防管制與劑量合理抑低，確認各種形式除役輻射偵測儀器之使用功能、適用範圍及最佳偵測條件等基本特性，並建立除役土壤導出濃度指引水平推導技術，以保護環境、民眾、工作人員安

全。

本計畫之總目標為建立及精進核設施除役之輻射偵檢儀器與人員、環境劑量管制所需的檢校評估技術，以建構完整的輻射防護管制體系，確保核設施除役期間及除役後，廠區及周圍地區之環境與人員輻射安全。

今年度目標與目前執行成果為：

1. 除役後廠址環境輻射偵測報告導則研究

- (1) 為協助主管機關建構核電廠除役之管制規範導則，參考我國環境輻射監測規範與日本環境輻射監測指引，並針對美國核電廠除役後廠址環境輻射監測進行研究調查，完成除役後廠址環境輻射偵測報告草案。
- (2) 為確保國內核電廠於除役工作完成後，廠址殘餘輻射劑量可符合法規之要求，針對美國多部會輻射偵檢與廠址調查手冊(MARSSIM)中，最終狀態輻射偵檢之執行程序進行研究，並提供簡要執行方法說明。(附件 1)

2. 除役土壤導出濃度指引水平推導研究(附件 2)

- (1) 至 RESRAD 網站註冊使用者帳號，下載最新版 RESRAD (onsite) 7.0 輻射劑量評估程式，完成程式安裝；並參考美國核管會(NRC)技術手冊(NUREG/CR-5512, NUREG/CR-6755, 6697)，瞭解程式各項參數功能，進行程式運跑，完成廠址殘餘輻射劑量評估程式操作程序書。
- (2) 參加美國阿岡實驗室 6/9 - 6/13 來台舉辦之 RESRAD 訓練課程，就 RESRAD 程式之操作、參數定義、模擬方法，進行深入研究與解析。
- (3) 分析曝露情節與曝露途徑，並比較農場居民、市郊居民、工業工作者及休閒活動者情節所考慮的曝露途徑。農場居民情

節一般使用所有曝露途徑，其他三情節比農場居民曝露於較少的途徑。

- (4) 建立推導 DCGL 值之程序：首先，需考慮廠址未來用途(限制性使用或非限制性使用)，以決定廠址外釋標準，進而選擇適當的曝露情節、關鍵群體與曝露途徑；第二，依據廠址運轉歷史與特性輻射偵檢結果，確認出關鍵核種數量與種類；最後，使用適當劑量模擬程式並搭配所需輸入參數值，推導出個別關鍵核種之 DCGL。
- (5) 建立 RESRAD 廠址輸入參數之選擇流程。參數可分類為物理型、代謝型與行為型，將物理型參數可再依其重要性分級，以執行敏感度分析。對於不同分類與分級的參數，可依據國外電廠之經驗，選定適用的 RESRAD 參數值。
- (6) 研析值一法則、替代量測與比例因數、建立總活度 DCGL 等方法，用以調整單一核種之 DCGL 值，並應用於多核種同時存在的情況。
- (7) 實際執行案例模擬，採用美國 Elza Gate Site 廠址參數，建立 RESRAD 操作方法。

### 3. 建立環境級輻射劑量校正系統(Am-241) (附件 3、4)

- (1) 利用平移軌道，整合 Am-241 與 Cs-137 兩個環境級輻射劑量校正系統，完成共用背景輻射屏蔽的低背景干擾與低散射干擾之雙射源校正環境。
- (2) 於 Am-241 環境級輻射劑量校正系統中，建立衰減裝置製作多種強度之輻射場，模擬一般環境背景劑量，完成標定劑量率於 0.2  $\mu\text{Sv/h}$  至 75  $\mu\text{Sv/h}$ 。
- (3) 使用 10000 ml 標準游離腔，其校正因子約 2.871  $\text{kGy/C} \pm 1\%$ ，進行系統性能測試、劑量標定與量測不確定度評估等，

完成系統相關數據量測與評估。

## (二)人員生物劑量評估研究

### 1. 建立與醫院合作管道，取得人類血液樣本。

人員生物劑量評估研究最主要的研究樣品為人類血液樣品，依據衛生署 91 年公告、95 年修正之研究用人體檢體採集與使用注意事項：採集與使用檢體應先提具研究計畫書，並經人體試驗委員會或其他類似之倫理委員會（以下簡稱倫理委員會 IRB）審核同意，始得為之。所以為符合法規且順利取得檢體進行相關試驗，計畫需提早規劃血液樣品取得程序。100 年度時核能研究所藉由合作與慈濟大學進行 100-101 年度血液臨床試驗申請，於 100 年 11 月通過申請，開始使用臨床檢體；102 年度申請 103 年計畫展延，也在 102 年度 8 月獲得申請，臨床檢體可使用到 103 年 8 月 9 日；同樣本年度也規劃 104 年的 IRB 申請，使本計畫的主要研究素材源源不斷，不致因血樣終止供應而造成研究停滯，使生物劑量研究之結果具有其效益。

核研所與慈濟大學於 103 年 5 月 29 日完成簽約，後續由慈濟大學與醫院人體試驗委員會協調。本計畫於 102 年已取得 IRB 許可至 105 年，因鑒於 IRB 委員會規定，許可證明無法一次開立至 105 年，IRB 委員會將逐年審查期中報告，無違反規定事項者則予以開立計畫延續之 IRB 委員會證明。慈濟大學細胞遺傳室於 103 年 7 月 16 日向慈濟醫院提出人體試驗計畫之書面期中報告，以取得合乎規範可進行製備雙中節染色體使用之人類血液檢體。103 年 8 月 26 日經醫院人體試驗委員會同意，取得許可證明，同意試驗檢體取得延至 104 年 8 月 25 日(圖一)。



佛教慈濟醫療財團法人花蓮慈濟醫院  
Hualien Tzu Chi Hospital,  
Buddhist Tzu Chi Medical Foundation  
研究倫理委員會  
Research Ethics Committee

707, Sec. 3, Chung-Yang Rd., Hualien, 97002, Taiwan, R.O.C.  
Tel: 886-3-8561825 Ext. 2124 Fax: 886-3-8561825 Ext. 3272

研究計畫許可書

計畫編號：IRB100-103

計畫名稱：人員生物劑量評估研究

計畫主持人：慈濟大學 分子暨人類遺傳系所 劉怡均副教授

計畫預計執行期限：November/29/2011 to December/31/2016

計畫文件版本日期：【Protocol：5.0, November/05/2012；ICF：2.0, November/12/2011】

上述計畫期中報告業經本院研究倫理委員會於 2014 年 08 月 26 日審查同意繼續執行，本委員會的運作符合優良臨床試驗準則及政府相關法律規章。

本研究計畫許可書有效期限自 2014 年 08 月 26 日至 2015 年 08 月 25 日止，計畫主持人須依國內相關法令及本會規定通報嚴重不良反應事件及非預期問題，並應於到期日至少 6 週前提出期中報告，經本會審核通過，方可繼續執行。

Certificate of Approval

REC No. : IRB100-103

Title of Protocol : Evaluation of Human Biodosimetry

Principal Investigator : Yi-Chun Liu / Department of Molecular Biology and Human Genetics, Tzu Chi University

The protocol is approved by the Research Ethics Committee of Hualien Tzu Chi Hospital, Buddhist Tzu Chi Medical Foundation on **August/26/2014**. The committee is organized under, and operates in accordance with, the Good Clinical Practice guidelines and governmental laws and regulations. This approval is valid from **August/26/2014 to August/25/2015**. The investigator is required to report Serious Adverse Events and Unanticipated Problems in accordance with the governmental laws and regulations and REC of Hualien Tzu Chi Hospital, Buddhist Tzu Chi Medical Foundation requirements and apply for a continuing review not less than six weeks prior to the approval expiration date.



Hann-Chorng Kuo, MD  
Chairman, Research Ethics Committee

圖一、醫院人體試驗委員會同意書。

## 2. 建立我國生物劑量反應曲線

經過整理，實驗自 101 年開始分析劑量反應曲線，於 101 年完成第一條完整數據之反應曲線 a，102 年完成二條反應曲線 b、c，故目前人員生物劑量實驗共有三條完整之劑量反應曲線。藉由

與加拿大及日本學者討論，劑量反應曲線的統計分析，可透過統計分析後，合併不同年度獲得一條屬於實驗室之劑量標準曲線，做為未來劑量推估時之依據。因此，將三條人員生物劑量標準曲線 a、b 及 c，利用” Dose Estimate” 軟體計算出這三條曲線的二元二次方程式(含 95%信賴區間)。依據 Wilkins 博士 2012 年發表於 Health Physics 期刊的論文，可將此三條標準曲線的常數項、D 項係數，以及 D<sup>2</sup> 項係數，分成(ab)、(bc)、(ac)三組，再將任兩組利用 Excel 程式中的” F.TEST” 和” F.DIST” 功能進行 *F-test* 以及 *p-value* 的計算，以了解彼此的差異性。當 *F-test* 的值越小，且 *p-value* 的值>0.05 時，代表彼此的差異性不明顯。a 曲線之數學式表示為  $Y=0.001(\pm 0.0012)+0.08(\pm 0.0189) D+0.0599(\pm 0.0079) D^2$ ，b 曲線之數學式表示為  $Y=0.0009(\pm 0.0011)+0.0708(\pm 0.0136) D+0.0703(\pm 0.0048) D^2$ ，c 曲線之數學式表示為  $Y=0.0009(\pm 0.0009)+0.0501(\pm 0.0123) D+0.0604(\pm 0.0056) D^2$ (表一)。

表一、不同年度劑量曲線數學式之係數

係數 曲線代號	c	α	β
a	0.001	0.08	0.0599
b	0.0009	0.0708	0.0703
c	0.0009	0.0501	0.0604

曲線代號：a：101 年 case B；b：102 年 case A；c：102 年 case B

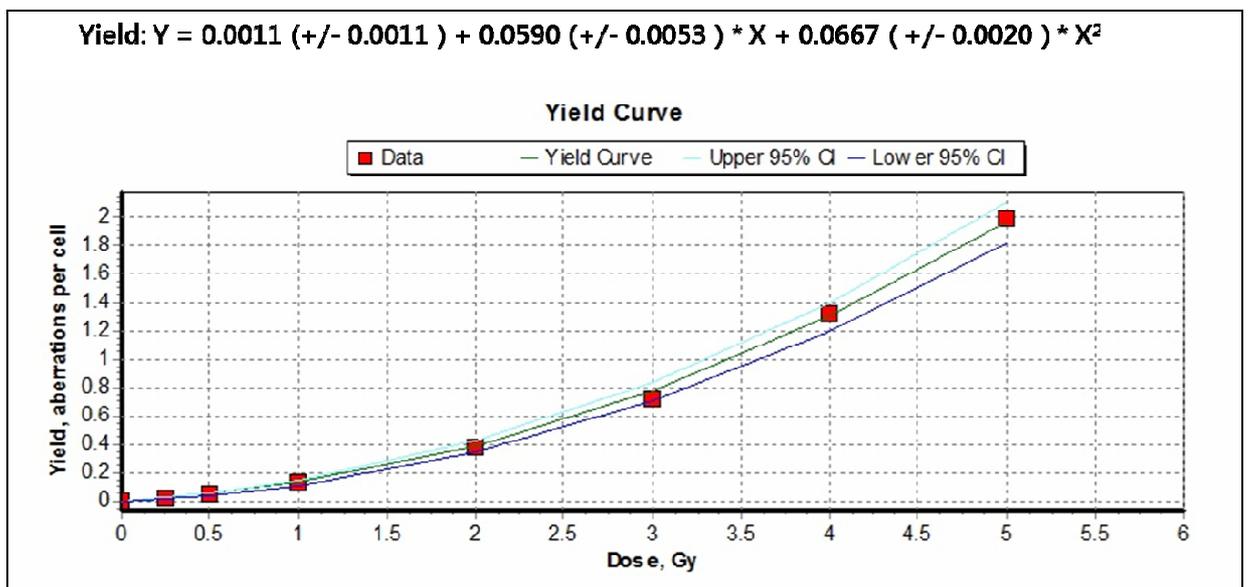
表二、不同年度劑量曲線 F 值及 P-value

F (p-value) 曲線	α	β
ab/bc	0.5325 (0.4258)	0.9686 (0.2580)
ac/bc	0.7710 (0.3188)	0.0643 (0.8829)
ab/ac	0.3801 (0.5251)	0.0612 (0.8880)

曲線代號：a：101 年 case B；b：102 年 case A；c：102 年 case B

(ab)及(bc)曲線經分析後，*F-test* 值為(α：0.5325；β：0.9686)，

$p$ -value 的值為( $\alpha$ : 0.4258 ;  $\beta$ : 0.2580) ; (ac)及(bc)曲線經分析後 , $F$ -test 值為( $\alpha$ : 0.7710 ;  $\beta$ : 0.064) ,  $p$ -value 的值為( $\alpha$ : 0.3188 ;  $\beta$ : 0.8829) ; (ab)及(ac)曲線經分析後 ,  $F$ -test 值為( $\alpha$ : 0.3801 ;  $\beta$ : 0.0612) ,  $p$ -value 的值為( $\alpha$ : 0.5251 ;  $\beta$ : 0.8880) (表二) ; 計算結果顯示此三條曲線的差異性不高 , 故可將常數項、D 項係數 , 以及  $D^2$  項係數平均後 , 合併成一條最終的標準曲線 d , 曲線之數學式表示為  $Y=0.0011(\pm 0.0011)+0.0590(\pm 0.0053) D+0.0667(\pm 0.0020) D^2$  , 作為核研所人員生物劑量實驗室染色體雙中節劑量反應曲線 (圖二) , 用於測量樣品時之標準曲線 , 未來將所得之 yield 值代入 (d)式 , 計算得知未知樣品的輻射曝露劑量 (D)。



圖二、核研所人員生物劑量實驗室染色體雙中節劑量反應曲線

### 3. 建立國人本土染色體雙中節背景

生物劑量評估中 , 除了劑量反應曲線的建立外 , 建立背景資料亦是相當重要 , 其為影響低劑量判別之重要因子。根據國際原子能總署(IAEA)2011 年細胞遺傳生物劑量技術報告所述 , 利用這項技術在正常族群中 , 每個人通常可以在每一千個淋巴細胞 , 觀察到 0.5-1 個雙中節變異 ; 而國際標準組織(ISO) ISO19238 2004

年第一版等國際輻射研究，正常背景中，一個人 1000 顆週邊淋巴球中平均即存在一個(0-2 個)染色體雙中節變異。所以，綜合上所述，在正常背景下，每個人淋巴細胞通常會存在 1/1000 比例的雙中節變異。因此，建立國人本土染色體雙中節背景對於了解台灣目前國人背景之染色體雙中節實為重要。

本年度上半年實驗室先收集三例檢體，下半年又完成三例檢體收集，故於 103 年度中一共收集六例未經輻射曝露的背景檢體，分別編號 A~F。六例檢體中，我們初步分別收集 9,685、11,230、8,452、4,755、5,421 及 4,987 個細胞影像，一共是 44,530 個 100 倍放大細胞影像，經過初步篩選後，進一步使用油鏡擷取放大 630 倍的清晰影像，數目分別為 4,878、4,157、3,433、3,192、3,499 及 3,052 個細胞影像，一共是 22,211 個 630 倍放大細胞影像。最後分別篩選 1,150、1,300、1,300、1,050、1,100 及 1,100 個細胞影像，共得 7,000 個細胞影像進行染色體細胞分析。經過染色體分析後，每個案例分別有 1,000、1,000、1,000、1,000、1,076 及 1,003 個細胞影像，一共是 6,079 個細胞納入數據統計(表三)。

表三、103 年度人員生物劑量影像篩選狀況

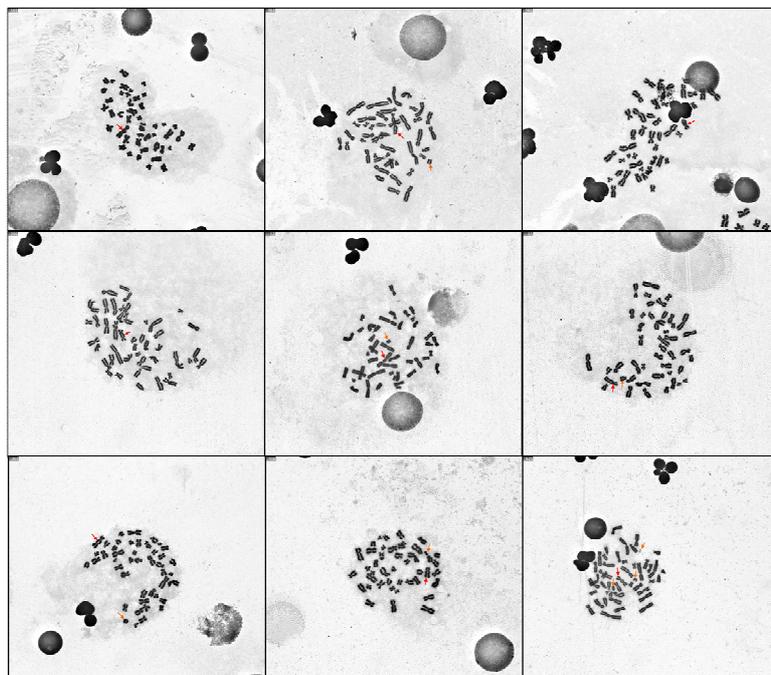
	掃描細胞數 (100X)	掃描細胞數 (630X)	分析細胞數	納入統計 細胞數
<b>A</b>	9,685	4,878	1,150	1,000
<b>B</b>	11,230	4,157	1,300	1,000
<b>C</b>	8,452	3,433	1,300	1,000
<b>D</b>	4,755	3,192	1,050	1,000
<b>E</b>	5,421	3,499	1,100	1,076
<b>F</b>	4,987	3,052	1,100	1,003
<b>總計</b>	44,530	22,211	7,000	6,079

A 案例分析了 1,000 顆細胞，觀察到 5 個染色體片段(Acentric)、1 個環(ring)及 2 個雙中節(dicentric)，且 2 個雙中節在不同的細胞中；B 案例分析了 1,000 顆細胞，觀察到 11 個染色體片段(Acentric)及 1 個雙中節(dicentric)；C 案例分析了 1,000 顆細

胞，觀察到 13 個染色體片段(Acentric)、沒有雙中節(dicentric)；D 案例分析了 1,000 顆細胞，觀察到 6 個染色體片段(Acentric)及 1 個雙中節(dicentric)；E 案例分析了 1,076 顆細胞，觀察到 5 個染色體片段(Acentric)及 2 個雙中節(dicentric)，且 2 個雙中節在不同的細胞中；F 案例分析了 1,003 顆細胞，觀察到 1 個染色體片段(Acentric)、1 個環(ring)及 3 個雙中節(dicentric)，且 3 個雙中節在不同的細胞中(表四)。進一步分析 103 年度數據，可獲得六例背景檢體的雙中節發生率是 0.148 %，即是 1000 顆細胞中有 1.48 個雙中節發生率。其細胞染色體影像如(圖三)。

表四、103 年度國人人員生物劑量背景染色體分析狀況

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Cell No.	Dic Equ	Dic	Tric	Quatrac	Ace	rings	Dicentric frequency (%)
A	998	2	0	0	0	0	0	0	1000	2	2	0	0	5	1	2.00
B	999	1	0	0	0	0	0	0	1000	1	1	0	0	11	0	1.00
C	1000	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	13	0	0.00
D	999	1	0	0	0	0	0	0	1000	1	1	0	0	6	0	1.00
E	1074	2	0	0	0	0	0	0	1076	2	2	0	0	5	0	1.86
F	1000	3	0	0	0	0	0	0	1003	3	3	0	0	1	1	2.99
<b>Total</b>	<b>6070</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6079</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>41</b>	<b>2</b>	<b>1.48</b>



圖三、103 年國人未經輻射曝露檢體之雙中節影像

除此之外，101 年及 102 年度所分析的標準劑量反應曲線之 0 Gy 數據，皆為未接受輻射曝露之檢體，亦可作為國人背景值分析。在 101 年案例 B 中，分析了 922 顆細胞，沒觀察到染色體片段(Acentric)及環(ring)，雙中節(dicentric)部分觀察到 1 個；在 102 年案例 A 中，分析了 1,088 顆細胞，沒觀察到染色體片段(Acentric)及環(ring)，雙中節(dicentric)部分觀察到 1 個；在 102 年案例 B 中，分析了 1,032 顆細胞，同樣沒觀察到染色體片段(Acentric)及環(ring)，雙中節(dicentric)部分觀察到 1 個；所以進一步分析 101 及 102 年度數據，獲得三例背景檢體的雙中節發生率是 0.96 %，即是 1000 顆細胞中有 0.96 個雙中節發生率(表五)。

表五、 101 及 102 年度未經輻射曝露之染色體分析狀況

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Cell No.	Dic Equ	Dic	Tric	Quntrac	Ace	rings	Dicentric frequency (‰)
101-B	922	1	0	0	0	0	0	0	923	1	1	0	0	0	0	1.08
102-A	1087	1	0	0	0	0	0	0	1088	1	1	0	0	0	0	0.92
102-B	1131	1	0	0	0	0	0	0	1132	1	1	0	0	0	0	0.88
<b>Total</b>	<b>3140</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3143</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0.96</b>

表六、 台灣本土正常背景未經輻射曝露之染色體分析狀況

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Cell No.	Dic Equ	Dic	Tric	Quntrac	Ace	rings	Dicentric frequency (‰)
101-B	922	1	0	0	0	0	0	0	923	1	1	0	0	0	0	1.08
102-A	1087	1	0	0	0	0	0	0	1088	1	1	0	0	0	0	0.92
102-B	1131	1	0	0	0	0	0	0	1132	1	1	0	0	0	0	0.88
103-A	998	2	0	0	0	0	0	0	1000	2	2	0	0	5	1	2.00
103-B	999	1	0	0	0	0	0	0	1000	1	1	0	0	11	0	1.00
103-C	1000	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	13	0	0.00
103-D	999	1	0	0	0	0	0	0	1000	1	1	0	0	6	0	1.00
103-F	1074	2	0	0	0	0	0	0	1076	2	2	0	0	5	0	1.86
103-E	1000	3	0	0	0	0	0	0	1003	3	3	0	0	1	1	2.99
<b>Total</b>	<b>9210</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>9222</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>41</b>	<b>2</b>	<b>1.30</b>

整合 101 年度至 103 年度，人員生物劑量實驗室共收集九例本土未經輻射曝露之背景檢體，有 9,222 顆細胞納入分析，共發現 12 個染色體片段(Acentric)及 2 個雙中節(dicentric)，12 顆細胞中有一個雙中節染色體存在，經分析雙中節發生率是 0.130 %，

即是 1000 顆細胞中有 1.30 個雙中節發生率(表六)。近似國際文獻，在正常背景下，每個人淋巴細胞通常會存在 1/1000 比例的雙中節變異狀況。

#### 4. 規劃國家生物劑量計參考實驗室 ISO 認證

一間具公信力之專業實驗室，通過國際機構認證是很重要的。國際上人員生物劑量實驗室之參考依據乃是遵循"ISO 19238:2004(E)輻射防護-服務實驗室以細胞遺傳學檢測技術測量生物劑量之操作準則"及"ISO 21243:2008(E)輻射防護-在大規模輻射或核子性緊急狀況下，利用細胞遺傳學檢傷分類法進行評估之實驗室執行準則"二份文件執行。而國內人員生物劑量實驗室目前乃為前瞻創新實驗室，目前並無相關認證，因此需透過與財團法人全國認證基金會(TAF；Taiwan Accreditation Foundation)溝通、討論。人員生物劑量實驗室將本著 ISO 19238 的精神為主，申請 ISO 17025 測試實驗室認證準備。實驗室之品質及技術系統將符合 ISO 19238 及 ISO 17025 規定，確保本實驗室之數據品質，且由實驗室出具之數據皆獲得適當管理保存。

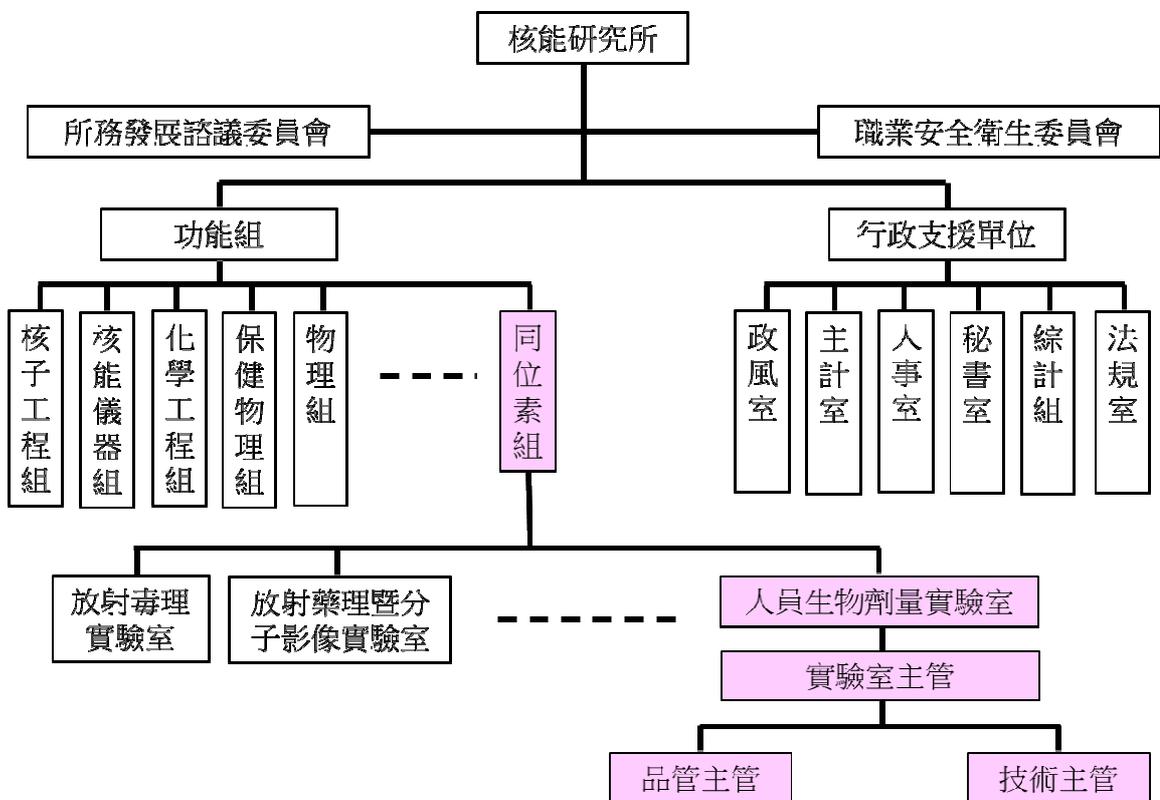
人員生物劑量實驗室將在今年完成 ISO 實驗室認證文件準備。策略上，實驗室先建構組織架構(圖四)，實驗室主管等人員先接受教育訓練取得相關資格。接著依據 ISO 章節展開所需文件清單，依據文件清單逐一建立所需資料，建立文件分類表(圖五)及文件清單(圖六)。

而在認證過程中，對於能力測試及量測不確定度更為重視。能力測試，實驗室將藉由與國際比對來表達。量測不確定度是指在量測試驗過程中，造成結果不完美的所有變因，而與量測結果相關的參數，用以表示合理的賦予受測量之值的分散程度。量測的結果只是受測量的趨近值，因此必須賦予量測不確定度。一般而言，量測不確定度可以適度地涵蓋受測量的真值，其表示的方

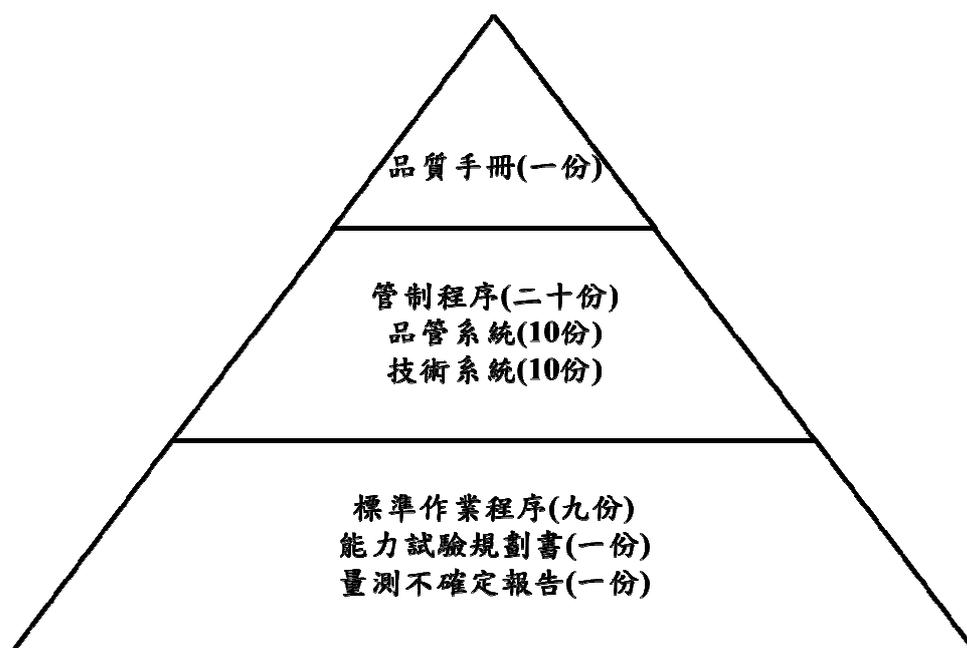
式為：受測量的值=量測最佳估計值±不確定度。

換句話說，量測不確定度是一個估計區間，用來表示受測量之真值可能存在的範圍。量測不確定度越小，則代表真值可能散布的範圍越小、所給予的量測值與真值差異的期望值也越小，及量測品質越好。目前國際上人員生物劑量實驗室，常使用 95% 信賴區間，而國際所使用的” Dose Estimate” 軟體更是將其數學式輸入軟體，輸入數據後即可運算出所估算的數據之 95% 信賴區間數據。

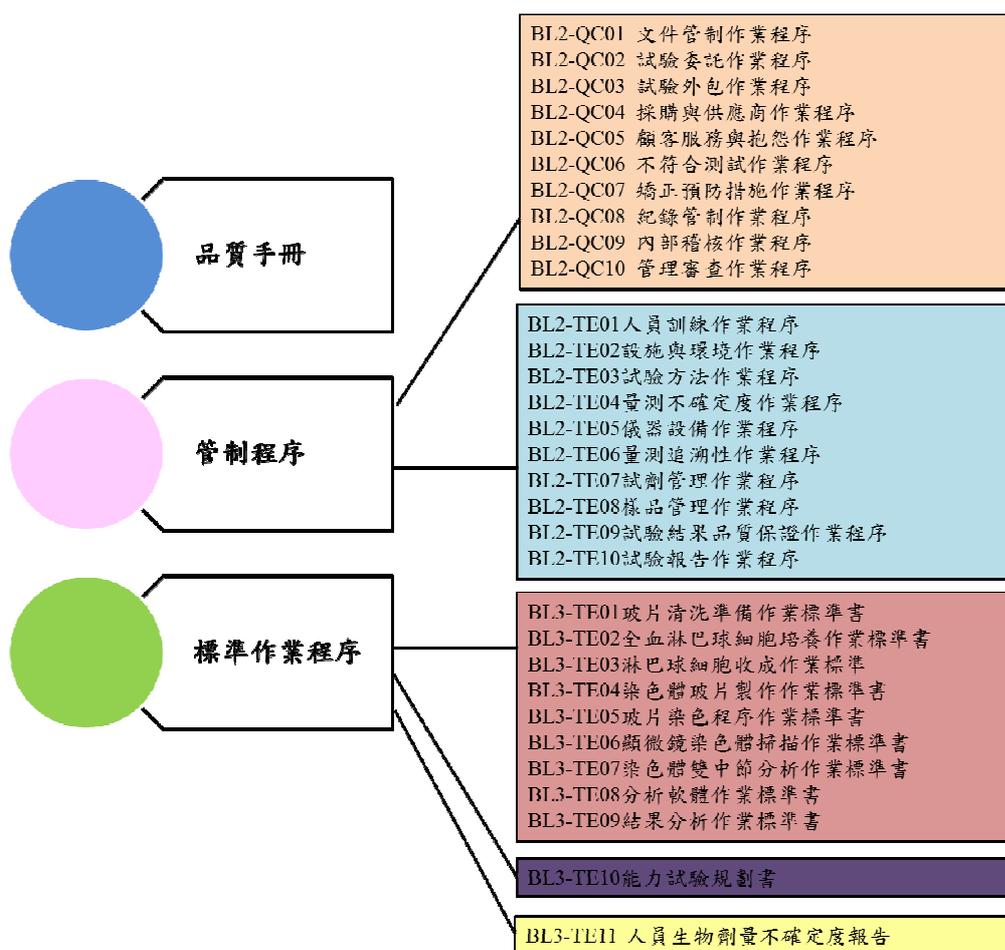
藉由完成能力試驗計畫及量測不確定度報告後，認證文件亦逐漸建立，目前已完成一份品質手冊、九份品質系統管制程序、十份技術系統管制程序、八份試驗相關標準作業程序及四十一份認證實驗室所需表單建立。明年度依計畫規劃完成兩例案例，以達到申請認證要求，進而向 TAF 申請認證。



圖四、人員生物劑量實驗室組織架構



圖五、人員生物劑量實驗室文件分類



圖六、人員生物劑量實驗室文件分類

換句話說，量測不確定度是一個估計區間，用來表示受測量之真值可能存在的範圍。量測不確定度越小，則代表真值可能散布的範圍越小、所給予的量測值與真值差異的期望值也越小，及量測品質越好。目前國際上人員生物劑量實驗室，常使用 95% 信賴區間，而國際所使用的” Dose Estimate” 軟體更是將其數學式輸入軟體，輸入數據後即可運算出所估算的數據之 95% 信賴區間數據。

藉由完成能力試驗計畫及量測不確定度報告後，認證文件亦逐漸建立，目前已完成一份品質手冊、九份品質系統管制程序、十份技術系統管制程序、八份試驗相關標準作業程序及四十一份認證實驗室所需表單建立。明年度依計畫規劃完成兩例案例，以達到申請認證要求，進而向 TAF 申請認證。

## 5. 人員生物劑量實驗室國際合作

國外先進核能應用國家皆已建立國家級生物劑量實驗室，WHO 更於 2007 年 12 月在瑞士日內瓦舉辦一個諮詢會議商討建立全球的生物劑量支援網路( framework for a global biodosimetry network - BioDoseNet)，此支援網路聚焦在細胞學的生物劑量技術 (cytogenetic biodosimetry)，相關的合作活動以及如何運作此支援網絡。雖然我國不在世界衛生組織(World Health Organization, WHO) 會員國內，無法成為 BioDoseNet 認可之參考實驗室 (Reference Lab)，但在策略上，我國可朝向建立參考實驗室認可的實驗室。因此，積極與國際聯繫，加強分析能力比對，邀請國際專家來台進行實際分析結果討論，增加國際交流，將可提升我國在國際生物劑量領域中的可見度。

本年度 5 月 29 日透過原能會協助，與桃園機場海關聯繫，由

加拿大衛生部 Wilkins 博士寄送檢體時，不經過 x-ray 檢測直接送達核研所進行試驗。本次是由加拿大主持的國際人員生物劑量實驗室能力比對，包含加拿大、美國、阿根廷、韓國及台灣等 5 個國家 10 個實驗室參加。比對方法係根據 ISO 21243:2008(E) 輻射防護-在大規模輻射或核子性緊急狀況下，利用細胞遺傳學檢傷分類法進行評估之實驗室執行準則，分析計算的細胞僅需 50 顆細胞。血液檢體是由加拿大 Wilkins 博士進行不同劑量輻射照射處理後，藉由國際快捷方式寄送到各實驗室，由實驗室對 10 個未知樣品進行淋巴球細胞培養、染色體雙中節分析，進而評估未知檢體之輻射曝露量，最後將相關數據再回傳加拿大進行相關分析評估，完成國際實驗室間比對。

此次比對的重點除了進行傳統染色體雙中節分析外，另外同時進行改良的染色體雙中節分析-快速雙中節分析(Quick Scan Dicentric Assay)。傳統雙中節分析法必須確認染色體處於細胞中期型態而且型態須完整，而後需確認有 46 個染色體中節(centromeres)，並對所有染色體變異紀錄，包括：染色體片段(Acentric)及環(ring)。改良式快速雙中節分析法則不需確認染色體數，僅需確認染色體型態處於細胞中期且完整，一個細胞須於 20 秒內完成快速判斷，接著就進行下個細胞判斷。因此改良式快速雙中節分析法較節省時間，但細胞染色體前處理需較佳操作條件，以獲得較佳品質之染色體影像。所以目前改良式快速雙中節分析法仍在實驗評估階段，將於此次國際能力比對中放入，進行評估。

核研所人員生物劑量實驗室本次由 3 位研究人員參與國際能力比對，根據加拿大 Wilkins 博士要求完成傳統雙中節分析法及改良快速雙中節分析法之數據分析。結果顯示國內同仁之分析結果非常接近，無論是傳統雙中節分析法或改良快速雙中節分析法(表七、表八)。進一步分析，核研所人員生物劑量實驗室分析能

力之準確性，無論在傳統雙中節分析法或快速雙中節分析法中，分析結果與實際曝露劑量都非常接近，僅有編號 INTC02S08 及 INTC02S10 二組樣品數據分析結果較差，推測原因，可能因此 2 組淋巴球細胞培養狀況不佳，造成染色體的傷害，也因這二組樣品細胞影像不足，分別僅夠 2 人及 1 人進行分析(表九、表十)。傳統雙中節分析法中，多數結果都落在實際曝露值的上下 95% 信賴區間，僅有編號 INTC02S08 樣品稍微偏離(圖七)；快速雙中節分析法中，多數結果都落在實際曝露值的上下 95% 信賴區間(圖八)。

表七、國際能力比對之傳統分析法的國內分析人員內部比對結果

Scorer Sample ID	YKY	CCF	TJC	ED (Gy)	
	50 spread	50 spread	50 spread	Mean	SD
S01	2.65	3.22	2.97	2.95	0.29
S02	2.25	2.16	1.69	2.03	0.30
S03	0.83	0.44	0.58	0.62	0.20
S04	1.62	2.04	1.62	1.76	0.24
S05	2.98	2.59	2.43	2.67	0.28
S06	0.24	0.00	0.24	0.16	0.14
S07	3.33	3.52	2.84	3.23	0.35
S08	3.74	2.87	-	3.30	0.61
S09	3.87	4.14	4.14	4.05	0.16
S10	-	-	1.62	1.62	-

表八、國際能力比對之快速分析法的國內分析人員內部比對結果

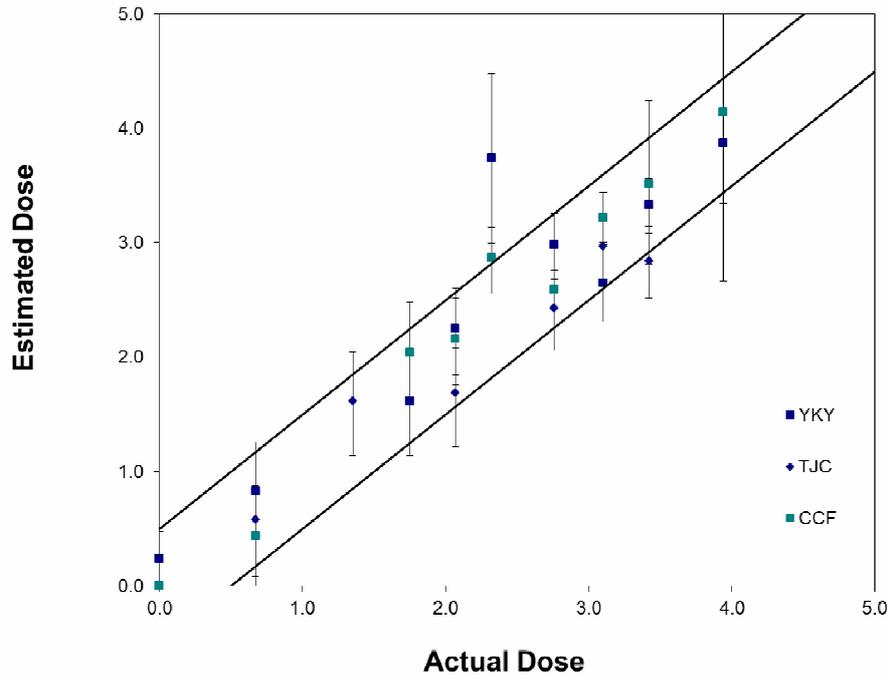
Scorer Sample ID	YKY	CCF	TJC	ED (Gy)	
	50 spread	50 spread	50 spread	Mean	SD
S01	3.52	3.10	2.75	3.12	0.39
S02	2.19	2.10	2.10	2.13	0.05
S03	0.24	0.85	0.43	0.51	0.31
S04	0.94	1.86	0.85	1.22	0.56
S05	1.95	2.49	1.92	2.12	0.32
S06	0.24	0.00	0.24	0.16	0.14
S07	2.70	3.91	2.16	2.92	0.90
S08	2.94	2.54	-	2.74	0.28
S09	3.45	3.91	3.61	3.66	0.23
S10	-	-	1.55	1.55	-

表九、傳統雙中節分析國際能力比對結果(Gy)

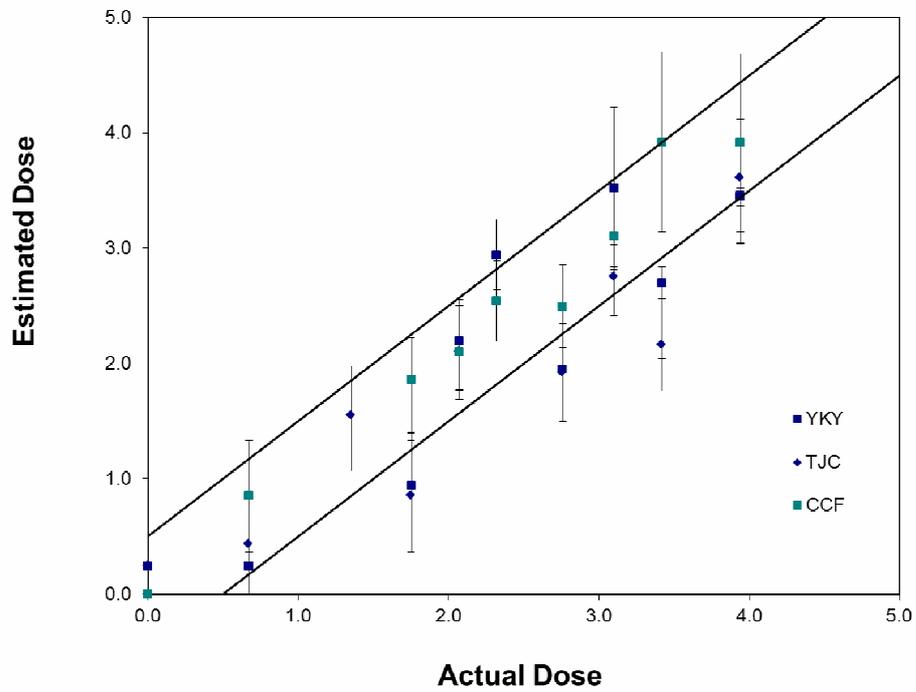
Sample ID#	Actual Dose	Estimated Average Dose	TJC Estimated Dose	YKY Estimated Dose	CFC Estimated Dose
INTC02S01	3.1	2.94	3.0	2.7	3.2
INTC02S02	2.1	2.06	1.7	2.3	2.2
INTC02S03	0.7	0.64	0.6	0.8	0.4
INTC02S04	1.8	1.79	1.6	1.6	2.0
INTC02S05	2.8	2.74	2.4	3.0	2.6
INTC02S06	0	0.17	0.2	0.2	0.0
INTC02S07	3.4	3.18	2.8	3.3	3.5
INTC02S08	2.3	3.22		3.7	2.9
INTC02S09	3.9	3.92	4.1	3.9	4.1
INTC02S10	1.4	1.62	1.6		

表十、快速雙中節分析國際能力比對結果(Gy)

Sample ID#	Actual Dose	Estimated Average Dose	TJC Estimated Dose	YKY Estimated Dose	CFC Estimated Dose
INTC02S01	3.1	3.08	3.10	2.75	3.52
INTC02S02	2.1	2.14	2.10	2.10	2.19
INTC02S03	0.7	0.55	0.85	0.43	0.24
INTC02S04	1.8	1.48	1.86	0.85	0.94
INTC02S05	2.8	2.14	2.49	1.92	1.95
INTC02S06	0	0.17	0.00	0.24	0.24
INTC02S07	3.4	2.79	3.91	2.16	2.70
INTC02S08	2.3	2.56	2.54		2.94
INTC02S09	3.9	3.65	3.91	3.61	3.45
INTC02S10	1.4	1.55		1.55	

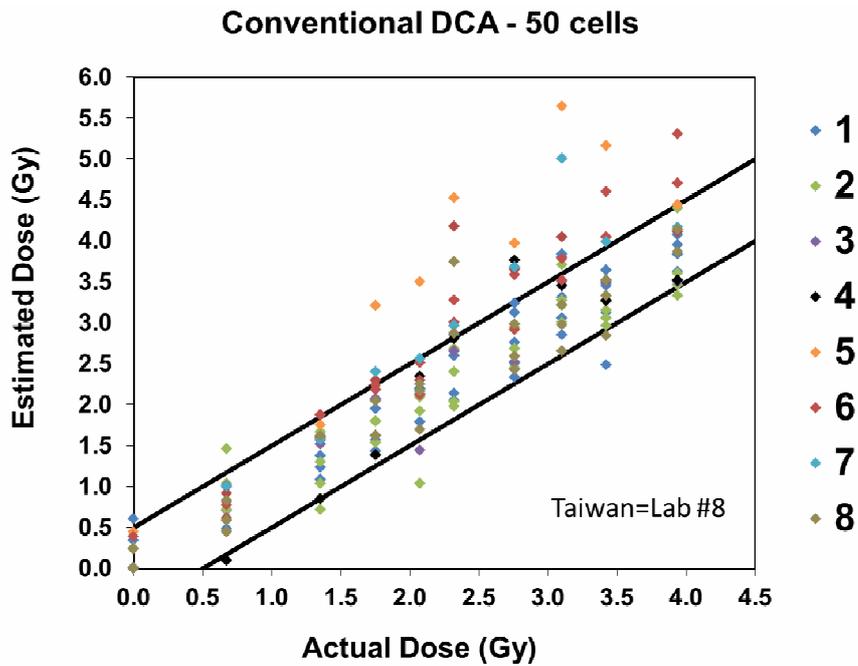


圖七、國際能力比對之傳統分析法的國內分析人員內部比對結果圖

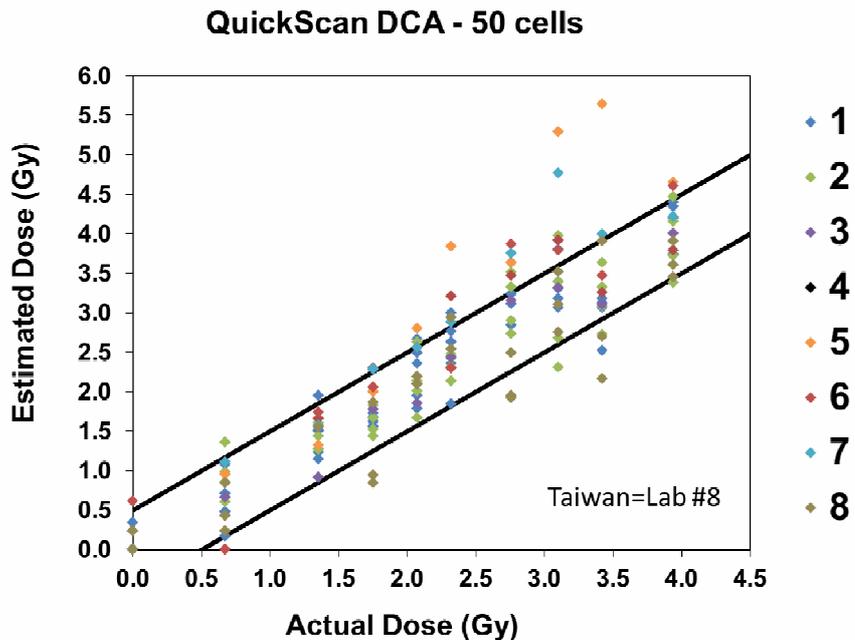


圖八、國際能力比對之快速分析法的國內分析人員內部比對結果圖

在參與比對的十間實驗室中，最後納入比對的有八間實驗室，相對於其他參與比對實驗室而言，編號8的台灣分析準確性結果佳(圖九)。同樣在快速雙中節分析法中，我國分析結果雖稍有偏離，但結果同樣可看到台灣的分析能力接近於實際曝露值，在參與國家中準確性結果佳(圖十)。



圖九、傳統雙中節分析國際實驗室能力比對結果圖



圖十、快速雙中節分析國際實驗室能力比對結果圖

雙中節分析法是一項相當耗時及人力但又極為重要之研究方法，且極容易受眼睛疲勞影響進而增加分析時間。目前國際採用有條件減少分析細胞數及實驗室相互支援分析方式，來解決在短時間內需分析大量檢體造成之時效性問題。加拿大研究團隊也基於此，研發縮短分析時間之快速雙中節分析法，藉由國際分析能力比對時，加入此法進行比較。結果顯示快速雙中節分析法較傳統雙中節分析法時間明顯少許多(表十一)。以相同分析 50 顆細胞影像而言，傳統雙中節分析法共花費 57.8 分鐘；快速雙中節分析法僅需 21.8 分鐘，顯示快速雙中節分析法其研究潛力。

表十一、快速與傳統分析時間比較表

	Conventional cells scored			QuickScan cells scored		
	10	20	50	10	20	50
Scoring time(min)/slide	16.4	31.6	57.8	5.9	10.9	21.8
scoring time(min)/cell	1.6	1.6	1.5	0.6	0.5	0.6

## 6. 生物安全實驗室建置

我國在 92 年 12 月發生實驗室感染嚴重急性呼吸道症候群 (Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS) 事件，喚起國人對於實驗室生物安全意識的重視。疾病管制署為傳染病防治之主管機關，並於九十四年九月二十六日訂定發布「感染性生物材料管理及傳染病病人檢體採檢辦法」。103 年 3 月 11 日修正修正「感染性生物材料管理及傳染病病人檢體採檢辦法」，名稱並修正為「感染性生物材料管理辦法」，核研所本著社會責任及義務，持續在生物安全上重視。今年度持續在生物安全上進行推廣，並持續進行相關管制作業及資料文件化。

核研所於 102 年 10 月 23 日成立「生物安全委員會」，103 年 5 月 27 日召開生物安全臨時會議，討論「感染性生物材料管理辦法」修正條文，並變更「生物安全委員會」為「生物安全會」簡稱「生安會」。設置要點於 103 年 6 月 25 日核定。生安會由副所長擔任召集人，並由職安會及單位實驗室負責人擔任成員，進行生安議題討論。生安會並依據「感染性生物材料管理辦法」制定「核研所生物安全作業程序」作為核研所生物實驗室執行依據。

## 肆、計畫經費與人力執行情形

### 一、計畫經費執行情形：(以下列表格表達)

#### (一) 計畫結構與經費

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			
核設施除役之輻射安全技術研究	3,619	核設施除役之輻射安全技術研究	3,619	黃珮吉	行政院原子能委員會核能研究所	保物組
人員生物劑量評估研究	3,169	人員生物劑量評估研究	3,169	張志賢	行政院原子能委員會核能研究所	同位素組

#### (二) 經資門經費表

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		0				
業務費	研究設備費	[除役]1,113,000 執行數：1,093,100 [生物]869,000 執行數：868,500	0	預算：1,982,000 執行數：1,961,600	98.97%	
	材料與雜費	[除役] 2,506,000 執行數：2,234,249 [生物]2,300,000 執行數：2,149,860	0	預算：4,806,000 執行數：4,384,109	91.22%	
管理費						

**與原計畫規劃差異說明：**因國際原物料價格大跌，亦造成終端產品價格回落，以致部份設備與耗材之得標金額與預估略有差異，本年度繳回標餘款442,291元。

### (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	研助員	技術員
核設施除役之輻射安全技術研究	原訂	2.2	0	0.3	1.1	0.5	0.3
	實際	2.2	0	0.3	1.1	0.5	0.3
	差異	0	0	0	0	0	0
人員生物劑量評估研究	原訂	1.2	0	0.1	0.9	0.2	0
	實際	1.2	0	0.1	0.9	0.2	0
	差異	0	0	0	0	0	0

### (四) 主要人力投入情形(副研究員級以上)

姓名	計畫職稱	投入主要工作及人月數	學、經歷及專長	
			學歷	專長
張志賢	計畫主持人	計畫主持人、統籌計劃之規劃、推動與協調 0.1 人年	學歷	博士
			經歷	核能研究所副研究員
			專長	放射藥/毒理學、免疫學、輻射劑量
林怡君	計畫共同主持人	環境級輻射劑量校正系統建置 0.3 人年	學歷	博士
			經歷	核能研究所副研究員
			專長	生醫工程與環境科學

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

完成下列研究/技術報告：

- a. 趙晟富等人，生物劑量統計方法之應用研究報告。
- b. 張翠容等人，人員生物劑量評估研究。
- c. 莊程惠等人，人員生物劑量實驗室品保系統建立。
- d. 葉冠毅等人，台灣地區人員生物劑量背景值評估研究。

#### 2.技術創新

利用平移軌道，成功整合 Am-241 及 Cs-137 照射器於同一系統中，使能共用一背景輻射屏蔽，達成空間利用與量測設備共架效益，並利用不同厚度衰減片，使輻射場強度能跨到 2 個數量級以上，形成多射源效果。

人員生物劑量評估相關研究，目前在國內並無專業實驗室，本計畫接受原能會委託重建國內人員生物劑量評估研究。綜觀國際目前於生物劑量計相關研究，仍一致認為雙中節分析乃為一快速簡單且符合效益之”GOLD STANDARD”，所以首要條件乃是建立人類淋巴球染色體雙中節劑量反應曲線，再依據國際 ISO 2004 及 2008 年公告的 ISO19238 及 ISO21243 內容提及的 FPG(螢光加姬姆染色法)等方法建立，乃為國內唯一在人員生物劑量研究上之專業實驗室及專業技術。

除此之外，目前核研所與國際密切聯繫，使用國際共同使用分

析軟體 CABAS 及 Dose Estimate，進行統計整理分析。加上利用影像擷取系統後，以 Picsa 軟體協助進行影像整理分析，更系統有效的將資料整理分析，解省了許多影像資料整理時間，更比原先只能於顯微鏡上觀察更經濟有效益。

另外，本年度實驗室新添購噴片機，在製作雙中節染色體細胞標本過程中，大大的提升每片玻片當中細胞的質與量，比原本手動噴片的結果更穩定並提高效率。

### **3.經濟效益**

推導土壤導出濃度指引水平(DCGL)，可作為核設施決定除役後進行改善行動的基準，降低除污成本，意即改善行動不需將核設施污染水平降低至背景值，即達到法規規定之外釋限值。導出濃度指引水平也可以應用於廠址含有多種放射性核種的情況，設施經營者可利用值一法則(各核種濃度與其 DCGL 比值的總和小於或等於 1)，選擇除污成本較低的放射性核種進行整治，或使用替代量測與比例因數、總活度 DCGL 方法，可省去核種分析步驟與時間，以減少成本，並符合法規承諾。

### **4.社會影響**

除役電廠是否可外釋，關鍵在於廠址殘餘輻射對關鍵群體平均每人造成之年有效劑量，是否超過法規之限值(無條件外釋廠址之劑量限值為 0.25 毫西弗)，因此除役廠址需透過執行最終狀態輻射偵檢，以確認個別污染核種之除污程度，是否達法規外釋標準。本計畫利用 RESRAD 劑量評估程式，推導除役廠址土壤中關鍵核種之 DCGL，以協助國內除役工作可順利推行，並對於人員與環境保護具重要意義。

人員生物劑量評估研究從社會層面來看，其提供了社會責任，

藉由此研究的進行，讓人民了解相關單位對於輻射防護的全面性考量，增加人民對輻射相關產業接受。除此之外，藉由與國際學者互相學習切磋，亦可提高我國的國際能見度，增加國際對我國輻射領域了解。

### 5.其它效益

人員生物劑量評估研究目前仍依據國際標準進行，建立屬於國人本土劑量之分析，其額外效益即是可同時收集國人於台灣這塊土地上之染色體雙中節背景資料，此可提供未來許多輻射防護相關或其他健康研究資料，對於目前雖無直接效益，但從整體而言增加對輻射與生物體之間了解更進一步。人員生物劑量研究主材料為人體血液臨床檢體，從操作檢體的生物安全櫃、實驗室空調管理至進出人員教育訓練及管理之生物安全委員會均需依規定建置，達到專業實驗室應有的性能及品質。

## 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)	B 研究團隊養成	成立輻射偵測儀器檢校與廠址殘餘輻射劑量評估研究團隊  與慈濟大學分子生物暨人類遺傳學系合作進行染色體雙中節分析團隊。	因應我國推動核設施除役之工作，建立輻射防護與管制技術，以確保人員與環境之安全。  藉由國內不同單位的合作，使雙方互助及與國外專家學者討論，提升國內人員分析能力，於國內形成一分析網路。	

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
	C 博碩士培育	碩士 1 位	利用合作關係讓慈濟大學博士生共同研究，一同學習染色體雙中節分析技巧。 經由這幾年實驗室建立及分享，高雄醫學大學於下半年有碩士班學生有興趣參與核醫治療的雙中節分析探討。	
	D 研究報告	6 篇	呈現研發經驗及成果，使研發成果可傳承並發揮效益。	
	F 形成教材	已完成 ISO 17025 認證文件共 30 份	今年度實驗室完成 ISO 17025 認證文件，共完成 1 份品質手冊、9 份品質系統管制程序、10 份技術系統管制程序、10 份試驗相關標準作業程序及認證實驗室所需表單。文件除可作為認證需要，更可作為實驗室經驗傳承。	
技術創新(科技整合創新)	H 技術報告	技術報告 1 篇	建立相關專業技能，提升輻安管制水準，並提供相關管制機關參考。	
	S 技術服務	環境級輻射低劑量率校正系統	提供國內環境級輻射低劑量率偵測儀器之校正	
經濟效益(產業經濟發展)	O 共通/檢測技術服務	環境級輻射低劑量率校正系統	提供國內環境級輻射低劑量率偵測儀器之校正服務	
	其他	建立推導土壤導出濃度指引水平(DCGL)技術	可作為核設施決定除役後進行改善行動的基準，降低除污成本。	

		績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
社會影響	環境安全永續	其他	<p>建立推導土壤導出濃度指引水平(DCGL)技術</p> <p>人員生物劑量評估服務</p>	<p>可作為核設施決定除役後進行改善行動的基準，以協助國內除役工作可順利推行，並對於人員與環境保護具重要意義。讓人民了解相關單位對於輻射防護的全面性考量，增加人民對輻射相關產業接受。</p>	
	其他效益（科技政策管理及其它）	K 規範/標準制訂	研擬除役後廠址環境輻射偵測報告導則草案之訂定(1 件)	供國內核電廠作為編寫除役後廠址環境輻射偵測報告之格式與內容參考依據	
		AA 決策依據	除役規劃之土壤導出濃度指引水平流程與方法	有助於政府於審查除役計畫之劑量評估時，採用國際通用評估方法，與國外有一致的準則。	
		Y. 資料庫	隨著年度生物劑量劑量反應曲線的增加，將可做為國人自行建立之生物劑量之劑量反應資料庫。	隨著年度分析數據增加，所收集之資料將可成為國人在這片土地上所收集的生物劑量背景值，而此數據隨著資料的增加將可做性別、年齡不同分類下之分析，作為我們國人的數據依據。	

## 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：

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)。

### 一、學術成就(科技基礎研究)(權重 20 %)

1. 2013 年在美國喬治亞州舉辦的世界分子影像會議(WMIC)論文一篇: Dicentric Chromosome Assay for Dose estimation by Microscopic Molecular Imaging. 參與此會議有助於讓國際瞭解我國人員生物劑量執行成果，促進國際交流，並提昇台灣及核研所在國際的能見度。
2. 2013-2014 年撰寫與出版研究報告 12 篇，研究報告著重於生物劑量實驗中量測不確定的探討、實驗室品質及相關資料建立等，可作為經驗傳承，將有助於後續除役管制規劃與輻射生物學術研究。
3. 進行輻射劑量校正，本合作有助於學術研究團隊之成型，有助於生物劑量之學術分析研究。
4. 與慈濟大學分子生物暨人類遺傳學系進行染色體雙中節分析，有助於雙方學術交流與國內生物劑量支援網路(BioDoseNet)之建立。

### 二、技術創新(科技整合創新)(權重 20 %)

1. 完成自製之 Cs-137 環境級輻射劑量校正系統組裝與性能測試，其中系統所使用之屏蔽式低散射輻射量測儀器校正設備已取得中華民國與美國發明專利證書，可有效降低環境中之背景輻射，並使輻射場強度能降至  $3 \times 10^{-4}$   $\mu\text{Gy/s}$  以下，提供核設施除役所使用之環境劑量監測儀器與輻射偵檢儀器在低劑量環境條件下之準確測試與校正，保障工作人員與民眾之輻射安全。

2. 利用美國核管會公告核准可用於廠址執照終止之劑量模擬程式 RESRAD，建立導出濃度指引水平(DCGL)推導程序，可協助核電廠除役期間最終輻射狀態偵檢之進行，及有效推動我國核電廠除役計劃之執行。
3. 本計畫接受原能會委託重建國內人員生物劑量評估研究。目前核研所人員生物劑量實驗室已陸續建立：(1) 生物安全實驗室；(2) 人類淋巴球染色體雙中節劑量反應曲線；(3) 國人生物劑量雙中節背景值；(4) 引進生物劑量分析軟體，對分析數據做進一步之確效，增加實驗之準確性；(5) 購置 HANABI Metaphase Spreader，增加染色體玻片製作品質，進而改善細胞影像，減少分析時間，降低分析誤差，故可大幅減少所需的人力與時間。藉由認證實驗室準備，使得核研所成為國內唯一在人員生物劑量研究上具專業技術之專業實驗室。

### 三、經濟效益(產業經濟發展)(權重 10 %)

1. 限於計畫經費，實有困難採購國外現有之環境劑量校正系統及相關量測設備，目前利用核研所回收之 Cs-137 廢棄射源，並與國內的機械加工及自動控制廠商進行合作，自行研製符合 ISO 規範之輻射照射設備與相關校正系統，以因應計畫實驗研究之需求，實踐廢棄物資源再利用之環境永續政策，並建立國內廠商製作輻射量測與校正裝備之能力，節省採購國外射源與設備之額經費。
2. 若發生輻射意外事件時，若有一具公信力的專業實驗室：(1) 將能提升國人對相關產業之了解，並避免不必要恐懼，使得相關產業得以及早恢復運作，進而提升經濟效益；(2) 可及早推估出受曝露者所接受的劑量，以便於醫生能夠作最正確的治療，減少不必要

的醫療成本。

#### 四、社會影響(民生社會發展、環境安全永續)(權重 20 %)

1. 建立 RESRAD-BIOTA 程式，評估國內核電廠除役時廠址附近水域水生與陸生生物之輻射影響分析，有效保障廠址附近之環境與生態，進而確保民眾之安全。
2. 陸續建立環境劑量級 Cs-137、Am-241 標準輻射場，提供中、低劑量率及中、低能量強度加馬光子，可提供真正環境劑量等級的輻射偵測儀器校正或測試服務，並可以解決輻射偵測儀器於量測環境輻射劑量時的差異問題，且降低許多專注於核能設施輻射洩漏的環保團體，於自行量測環境劑量與政府數據差異所造成的衝突。校驗環境劑量級輻射偵測儀器以確保儀器性能可正常發揮，與驗證量測數值可信度。
3. 人員生物劑量實驗室之成立從社會層面來看，其提供了社會責任，藉由此研究的進行，讓人民了解相關單位對於輻射防護的全面性考量，增加人民對輻射相關產業之接受度。也可使人民瞭解到政府保護百姓健康權益的決心，增加彼此的互信。

#### 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 20 %)

1. 透過人員生物劑量實驗室的建立，為台灣訓練出一批細胞遺傳生物劑量專業人才，未來可在各個領域貢獻所學。同時藉由與國際學者互相交流學習切磋，得到許多寶貴的資訊，在實驗室技術之建立過程中提供了很大的幫助。亦可提高我國的國際能見度，增加國際對我國輻射領域之了解。

2. 實驗室透過合作關係與慈濟大學分子生物暨人類遺傳學系進行染色體雙中節分析合作；另外透過研討會交流，高雄醫學院醫生及研究生有意願探討核醫治療前後之雙中節變化探討。以上都有助於學術交流與國內生物劑量支援網路(BioDoseNet)之建立。同時推廣大眾對輻射劑量評估了解，進而了解輻射相關知識。
3. 研析國內與國際間除役後廠址環境輻射偵測相關文獻，並完成除役後廠址環境輻射偵測報告草案，有助於確保除役後廠址對周圍民眾與環境之輻射安全。

#### 六、其它效益(科技政策管理及其它)(權重 10 %)

研析國外核設施除役作業的輻射防護措施與案例，以建立相關之輻射防護與劑量評估技術，以確保國內核電廠除役時工作人員之輻射安全。

中國大陸沿海一帶核電廠的數量不少，台灣有必要及早因應可能的意外事故，因此建立並維持長期之人員生物劑量評估能力，對於台灣未來的生存意義相當重大。而 2011 年 3 月 11 日發生的日本福島核電廠意外事件，除造成國際間的強烈關注，也使人們瞭解輻射防護有更迫切的需要。政府建立人員生物劑量實驗室後，若發生輻射相關意外曝露事件時，可由國內直接進行相關檢驗及立即處置，此可免去將檢體寄送國外進行分析，所需之社會成本及時間，可讓醫療單位即時對意外曝露人員做出最適照護，安定人心。

## 柒、 與相關計畫之配合

「核設施除役之輻射安全技術研究」子計畫所建立之環境級輻射劑量校正系統中，用以標定輻射場劑量之游離腔儀器需必須送至國家游離輻射標準實驗室進行校正追溯，因此需與經濟部標檢局之「建立及維持國家游離輻射標準」計畫相互合作，開發環境輻射劑量校正技術，並提升研發能量，達成最大的執行效益。

## 捌、 後續工作構想之重點

### 一、核設施除役之輻射安全技術研究

1. 除役後廠址環境輻射偵測報告審查導則研究
2. 除役作業中廠址外之劑量評估審查技術研究
3. 建立環境級輻射劑量校正系統(Co-60)

### 二、人員生物劑量評估研究

1. 完成年度染色體雙中節年度劑量反應曲線。
2. 持續進行染色體雙中節與國外實驗室比對。(為維持生物劑量實驗室分析能力，須持續與國外進行資料分享及能力比對)
3. 進行專業認證生物劑量實驗室 ISO 相關文件準備。
4. 規劃專業認證生物劑量實驗室 ISO 認證。

## 玖、 檢討與展望

1. 國內以往並無完整的商用反應器除役經驗，須對除役法規體系、規範需陸續建立審查、管制及驗證技術。本計畫在執行過程中蒐集國際除役案例，並參考國際核設施除役實務案例，進行輻射屏蔽、輻射防護安全評估審查技術與準則需求之研究，運用國內已建置之輻射劑量評估技術進行驗證研究，確保核設施除役輻射劑

量影響與輻射防護管制技術具有國際水平之準確度與公信力。

2. RESRAD(onsite)廠址殘餘輻射劑量評估程式為美國阿崗國家實驗室所研發，主要環境參數與案例並非完全適用於我國本土環境，因此須個別針對除役廠址之水文、地質或氣象等資料進行調查，以取得廠址特定參數，而提高劑量評估之可信度。
3. 103 年度中之臨床試驗計畫，依時程規劃由委託單位慈濟大學向慈濟醫院人體試驗倫理委員會(IRB)申請，進行相關作業確認。103 年 8 月 26 日經醫院人體試驗委員會同意，取得許可證明，同意試驗檢體取得延至 104 年 8 月 25 日。試驗方面，人員生物劑量評估研究依計畫進度執行，對於染色體製備、顯微鏡影像自動擷取到染色體分析等相關技術已趨成熟。於染色體分析上，今年度先對已建立的 3 條劑量反應曲線進行分析，合併建立屬於核研所人員生物劑量實驗室之染色體雙中節劑量反應曲線，作為代表國家分析的校正曲線。
4. 國人染色體雙中節背景值分析方面，實驗室於本年度依計畫完成 6 例檢體分析，同時合併 101、102 年度，共為 9 例檢體分析。一共有 9,222 個細胞納入數據統計，共發現 12 個雙中節(dicentric)於 12 顆細胞中，經分析雙中節發生率是 0.130 %，即是 1000 顆細胞中有 1.30 個雙中節發生率。近似國際文獻，在正常背景下，每個人淋巴細胞通常會存在 1/1000 比例的雙中節變異狀況。國際合作上，實驗室透過持續連繫的國際實驗室，參與由加拿大衛生部 Wilkins 博士主持的國際人員生物劑量實驗室能力比對，包含加拿大、美國、阿根廷、韓國及台灣等 5 個國家 10 個實驗室，結果顯示在盲樣檢測中，我國參與分析的人員分析值與實際曝露值極為接近，在參與比對國家中準確性佳，顯示我國國際化之分析能力。
5. 認證實驗室準備方面，核研所人員生物劑量實驗室利用有限經費建置實驗室硬體，並透過今年的準備，完成實驗室所有共 30 份文件、41 份表單等軟體建置。期望於明年計畫中，依據 TAF 規定，於建置的 ISO 系統中，以標準程序等作業方式，完成 2 例檢體分

析，方可進行認證申請，最後經查核獲得測試實驗室 ISO 170252 的能力認證。同時，核研所人員生物劑量實驗室，也在努力符合國家生物安全相關要求，配合生安會建立與執行，更期望透過不同的努力，建立具公信力的國家實驗室，朝向亞洲參考實驗室目標努力。

填表人：朱亦丹 聯絡電話：02-22322201 傳真電話：02-82317856

E-mail：[yidan@aec.gov.tw](mailto:yidan@aec.gov.tw)

主管簽名：李若燦

## 附錄、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：核設施除役之輻射安全與人員生物劑量評估技術研究(2/4)

[ 2013~2014 年 ]

### 【A 學術成就表】

中文題名	第一作者	發表年 (西元年)	文獻類別
Dicentric Chromosome Assay for Dose estimation by Microscopic Molecular Imaging.	張翠容	2013	f
Dicentric Chromosome Assay for Dose estimation in Radiation Biodosimetry	張翠容	2013	e
建立國內人員輻射劑量雙中節標準曲線	葉冠毅	2013	e

註：文獻類別分成 a 國內一般期刊、b 國內重要期刊、c 國外一般期刊、d 國外重要期刊、e 國內研討會、f 國際研討會、g 著作專書

### 【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)
輻射偵測儀器檢校與劑量評估研究團隊	核能研究所	a	2013
染色體雙中節分析研究團隊	核能研究所 慈濟大學	b	2013

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

### 【D 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年 (西元年)	出版單位
核設施除役輻射之工作人員與民眾輻射影響評估	林駿丞	2013	核能研究所
核設施除役輻射防護措施之案例研究	林駿丞	2013	核能研究所

Cs-137 環境級輻射劑量校正系統性能評估報告	蘇水華	2013	核能研究所
螢光原位雜交技術應用於染色體轉位之觀察	余秉弘	2013	核能研究所
人員生物劑量之人員訓練	葉冠毅	2013	核能研究所
人員生物劑量評估研究	張翠容	2013	核能研究所
除役後廠址環境輻射偵測報告導則研究	黃珮吉	2014	核能研究所
除役土壤導出濃度指引水平(DCGL)研究	黃珮吉	2014	核能研究所
生物劑量統計方法之應用研究報告	趙晟富	2014	核能研究所
人員生物劑量評估研究	張翠容	2014	核能研究所
人員生物劑量實驗室品保系統建立	莊程惠	2014	核能研究所
台灣地區人員生物劑量背景值評估研究	葉冠毅	2014	核能研究所

#### 【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
文件管制作業程序	a	2014	核能研究所
試驗委託作業程序	a	2014	核能研究所
試驗外包作業程序	a	2014	核能研究所
採購與供應商作業程序	a	2014	核能研究所
顧客服務與抱怨作業程序	a	2014	核能研究所
不符合測試作業程序	a	2014	核能研究所

矯正預防措施作業程序	a	2014	核能研究所
紀錄管制作業程序	a	2014	核能研究所
內部稽核作業程序	a	2014	核能研究所
管理審查作業程序	a	2014	核能研究所
人員訓練作業程序	a	2014	核能研究所
設施與環境作業程序	a	2014	核能研究所
試驗方法作業程序	a	2014	核能研究所
量測不確定度作業程序	a	2014	核能研究所
儀器設施作業程序	a	2014	核能研究所
量測追溯性作業程序	a	2014	核能研究所
試劑管理作業程序	a	2014	核能研究所
樣品管理作業程序	a	2014	核能研究所
試驗結果品質保證作業程序	a	2014	核能研究所
試驗報告作業程序	a	2014	核能研究所
玻片清洗準備作業標準書	a	2014	核能研究所
全血淋巴球細胞培養作業標準書	a	2014	核能研究所
淋巴球細胞收成作業標準書	a	2014	核能研究所
染色體玻片製作作業標準書	a	2014	核能研究所
玻片染色體作業標準書	a	2014	核能研究所
顯微鏡染色體作業標準書	a	2014	核能研究所
染色體雙中節分析作業標準書	a	2014	核能研究所
分析軟體作業標準書	a	2014	核能研究所
結果分析作業標準書	a	2014	核能研究所
能力試驗規劃書	a	2014	核能研究所

人員生物劑量不確定度報告	a	2014	核能研究所
--------------	---	------	-------

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	有效日期 (YYYYMM)
屏蔽式低散射之輻射量測儀器校正設備	a	a	202910
屏蔽式低散射之輻射量測儀器校正設備	a	b	202308

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
環境生物體劑量評估程式 RESRAD-BIOTA 操作程序書	李碧芬	2013	核能研究所
建立環境級輻射劑量校正系統 (Am-241)	王思文、蘇水華	2014	核能研究所

#### 【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)
環境級輻射低劑量率校正系統	執行除役核設施之廠商	a	--
人員生物劑量評估服務	輻射作業場所設施經營者	a	--

註：服務對象類別分成 a 國內廠商、b 國外廠商、c 其他

#### 【O 檢測服務表】

服務名稱	服務對象	服務性質	服務收入(千元)

環境級輻射低劑量率校正系統	執行除役核設施之廠商	b	--
人員生物劑量評估服務	輻射作業場所設施經營者	a	--

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

#### 【K 規範標準表】

名稱	類別	參與性質	應用範圍
除役後廠址環境輻射偵測報告導則草案研究	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

#### 【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
生物劑量之劑量反應資料庫	我國人受不同劑量之輻射曝露的染色體雙中節分析	Numerical	累積 9 例背景檢體、1 條符合 ISO19238 可信度之 0~5 Gy 生物劑量標準曲線(Co-60)

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

#### 【AA 決策依據表】

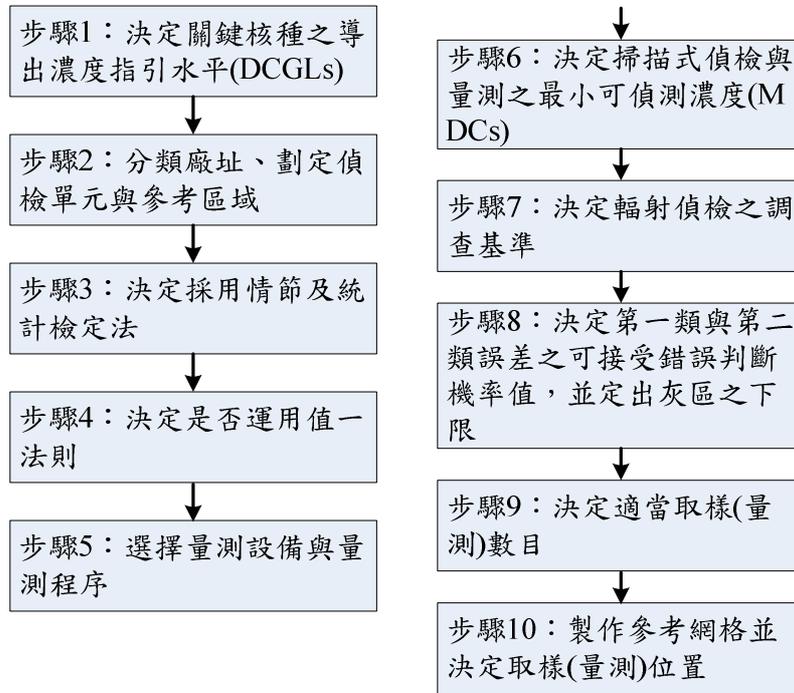
名稱	內容	類別	是否被採納
除役規劃之土壤導出濃度指引水平流程與方法	審查除役計畫之劑量評估流程	b	c

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

# 附件、佐證圖表

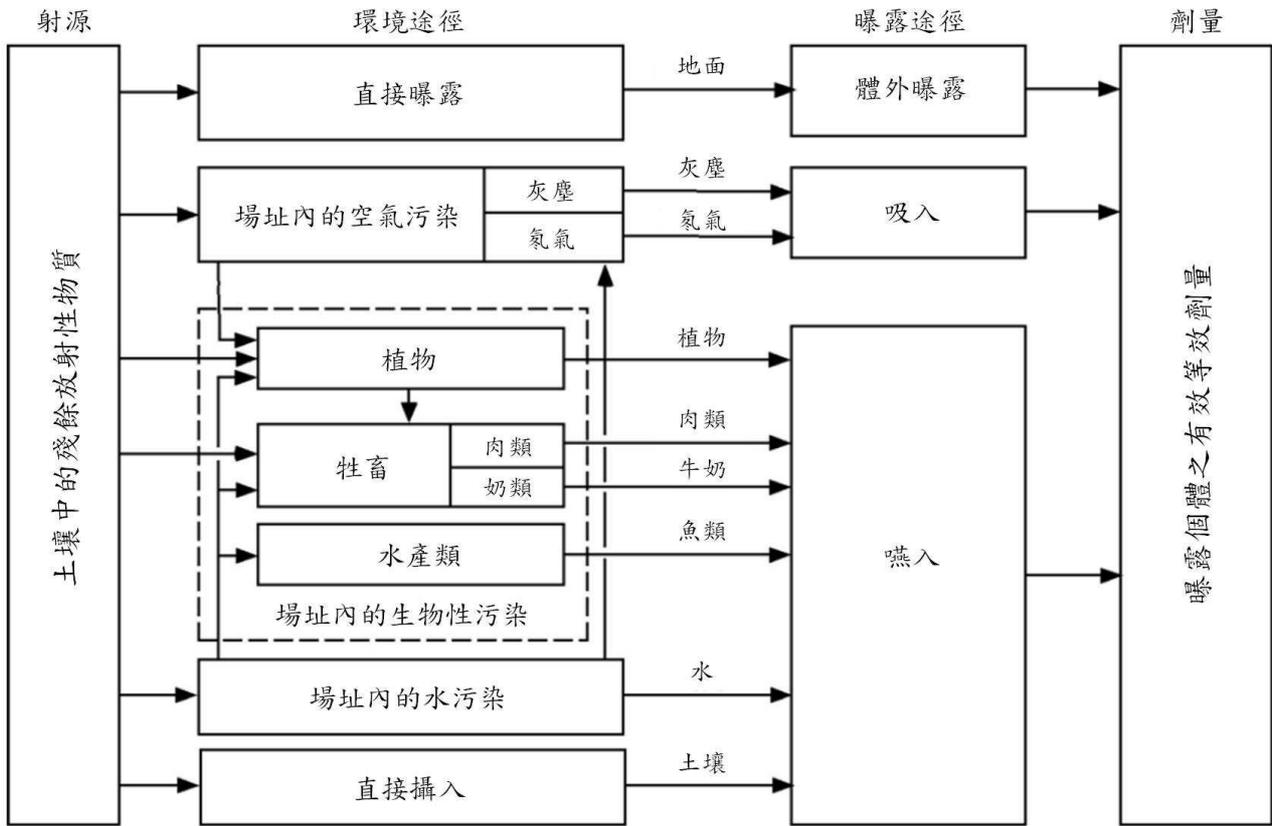
## (一)核設施除役之輻射安全技術研究

### 附件 1、最終狀態輻射偵檢規劃流程

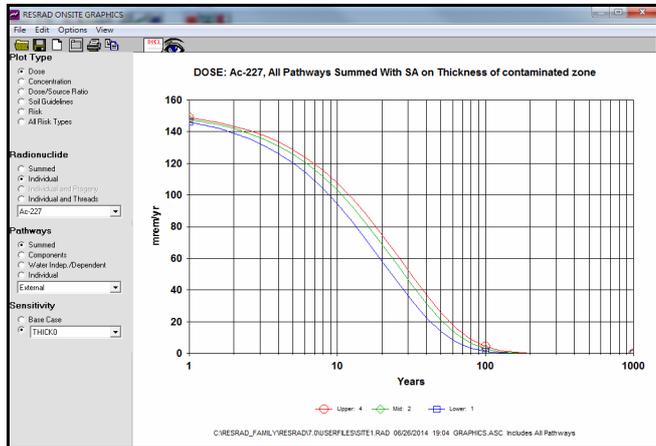


## 附件 2

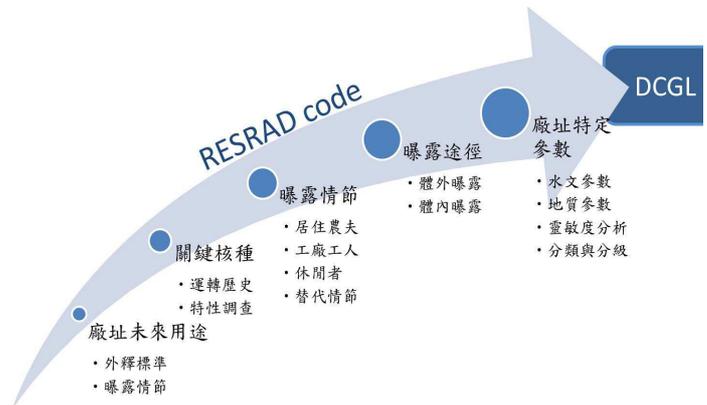
### A、RESRAD 曝露途徑概圖



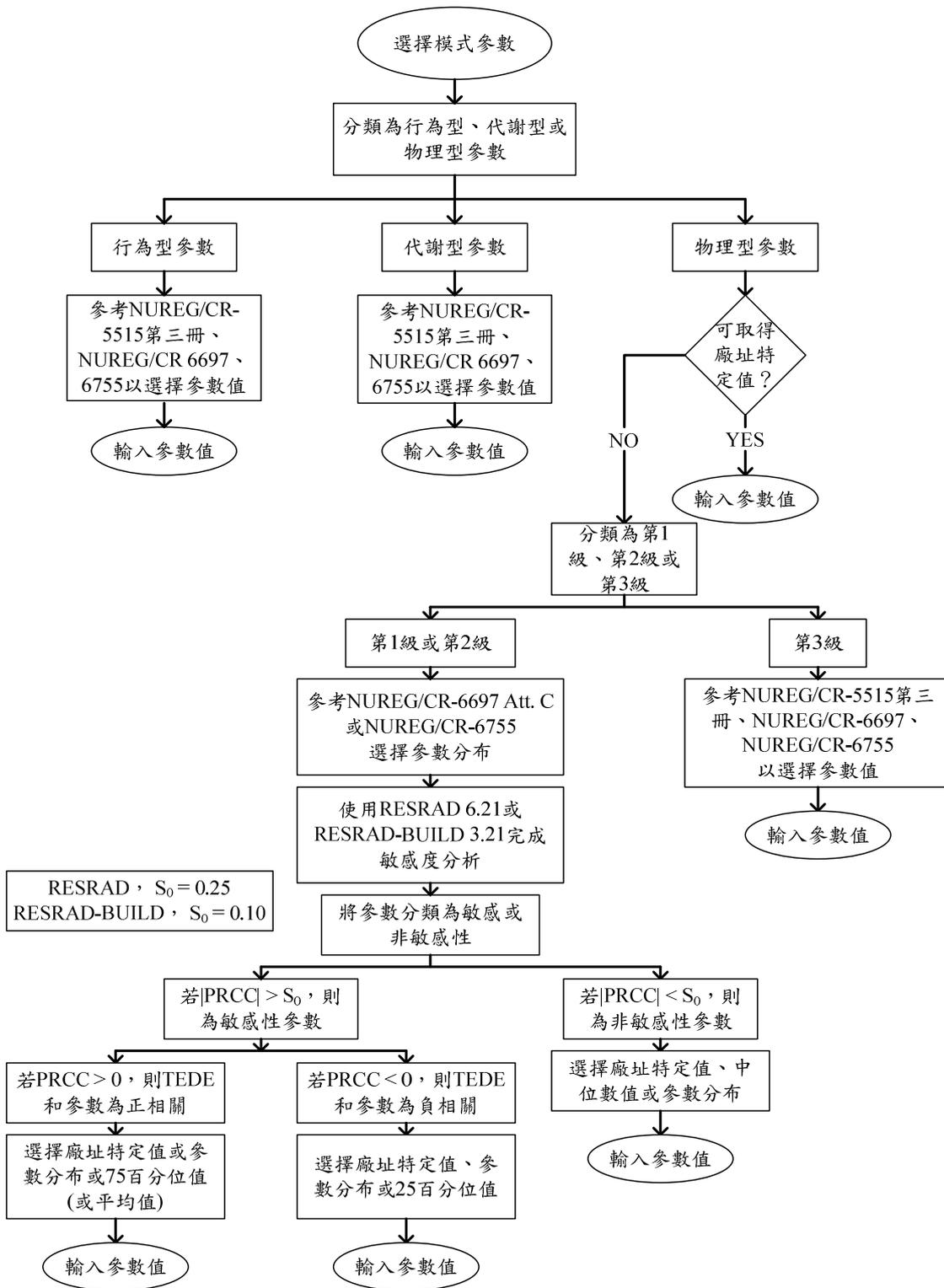
### B、RESRAD 程式靈敏度分析圖(以污染待厚度為例)



### C、使用 RESRAD 程式推導 DCGL 之程序



# D、參數選擇與敏感度分析程序

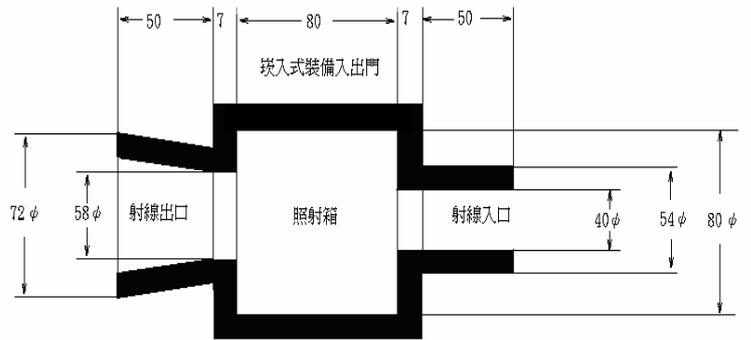


附件 3

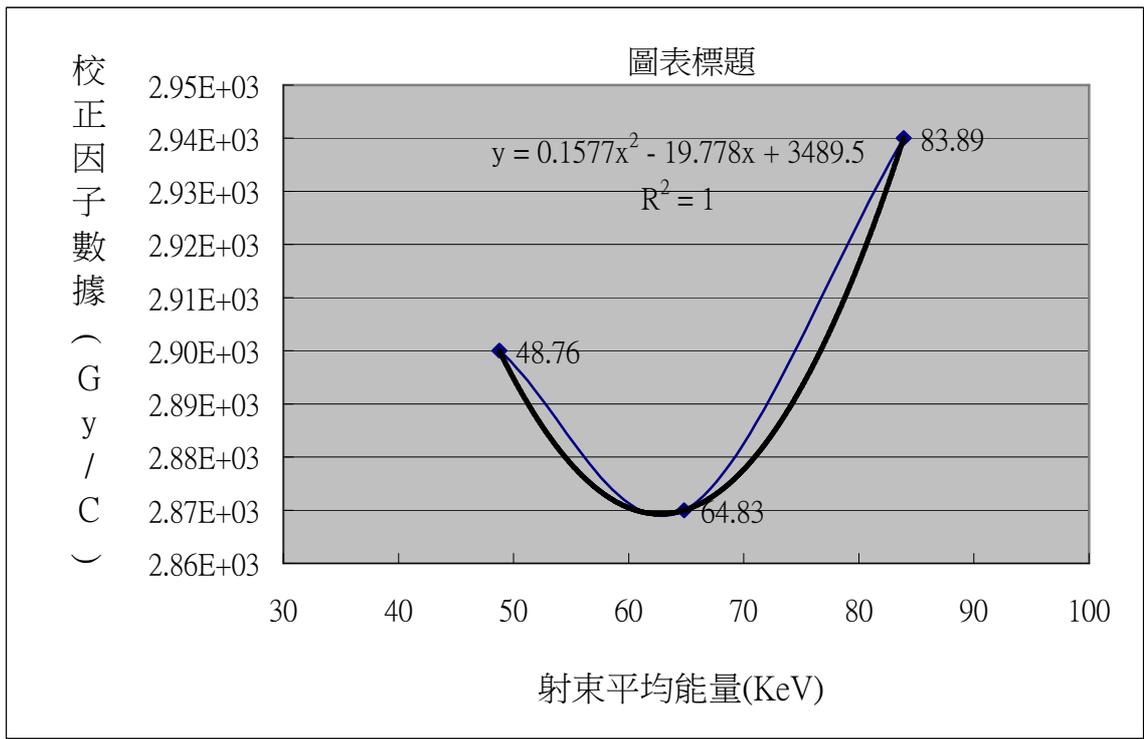
A、Am-241 照射器



B、環境級照射裝置中剖側視圖



C、標準件球形電極空氣游離腔 SP10000 SN:002 校正



附件 4、Am-241 環境級輻射劑量校正系統量測不確定度評估

表 1、無衰減輻射場之量測不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.游離腔校正因子		0.50	50
2.電流量測	0.2		19
3.電流校正因子		0.11	50
4.溫度		0.25	50
5.氣壓		0.05	50
均方和	0.2	0.57	
組合不確定度	0.60		80
擴充不確定度(k=2)	1.17		K=1.96

表 2、2.4 mm 銅衰減輻射場量測不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.游離腔校正因子		0.50	50
2.電流量測	0.2		19
3.電流校正因子		0.11	50
4.計數量測	0.39		9
5.溫度		0.25	50
6.氣壓		0.05	50
均方和	0.43	0.57	
組合不確定度	0.71		340
擴充不確定度	1.39		k=1.96

表 3、4.8 mm 銅衰減輻射場量測不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.游離腔校正因子		0.50	50
2.電流量測	0.2		19
3.電流校正因子		0.11	50
4.計數量測	0.94		9
5.溫度		0.25	50
6.氣壓		0.05	50
均方和	0.96	0.57	
組合不確定度	1.11		367
擴充不確定度	2.19		K=1.96

表 4、9.5 mm 銅衰減輻射場量測不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.游離腔校正因子		0.50	50
2.電流量測	0.2		
3.電流校正因子		0.11	50
4.計數量測	0.6		9
5.溫度		0.25	50
6.氣壓		0.05	
均方和	0.63	0.57	
組合不確定度	0.85		47
擴充不確定度	1.71		K=2.01

表 5、無衰減輻射場游離腔空氣克馬校正因子不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.國家標準輻射場		0.6	80
2.電流量測	0.014		19
3.電流校正因子		0.11	
4.溫度		0.25	50
5.氣壓		0.05	50
均方和	0.014	0.66	
組合不確定度	0.66		234
擴充不確定度	1.29		k=1.96

表 6、2.4 mm 銅衰減輻射場游離腔空氣克馬校正因子不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.國家標準輻射場		0.71	153
2.電流量測	0.037		3712
3.電流校正因子		0.11	
4.溫度		0.25	800
5.氣壓		0.05	2000
均方和	0.037	0.98	
組合不確定度	0.99		234
擴充不確定度	1.93		k=1.96

表 7、4.8 mm 銅衰減輻射場游離腔空氣克馬校正因子不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.國家標準輻射場		1.11	143
2.電流量測	0.12		1887
3.電流校正因子		0.11	
4.溫度		0.25	800
5.氣壓		0.05	2000
均方和	0.12	1.14	
組合不確定度	1.15		225
擴充不確定度	2.25		K=1.96

表 8、9.5 mm 銅衰減輻射場游離腔空氣克馬校正因子不確定度

分析項目	A 型	B 型	自由度
1.國家標準輻射場		0.85	15
2.電流量測	1.24		50
3.電流校正因子		0.11	
4.溫度		0.25	50
5.氣壓		0.05	50
均方和	1.24	0.89	
組合不確定度	1.52		29
擴充不確定度	3.13		K=2.05