行政院原子能委員會

委託研究計畫書

(案號:AEC10812050L)

放射性物質生產設施除污及除役規劃

暨安全審查技術研究

---110 年度期末報告----

委託單位:行政院原子能委員會 執行單位:國立清華大學

中華民國 110 年 12 月

目錄I					
圖目錄III					
表目錄VII					
第一章、背景與目的1					
第二章、預期完成之工作項目與時程規劃					
第三章、執行規劃進度6					
3.1 量測技術可行性6					
3.1.1 測量相關文獻研析					
3.1.1.1 混凝土鑽心取樣技術回顧					
3.1.1.2 照射室內中子度量及人員劑量計技術回顧7					
3.1.1.3 中子活化金屬箔片技術回顧11					
3.1.2 混凝土鑽心取樣14					
3.1.3 照射室內中子度量17					
3.1.3.1 高靈敏度中子比例計數器[3.1.13]17					
3.1.3.2 含 Li-6 的熱發光(TLD)人員劑量計[3.1.14]					
3.1.3.3 中子活化金屬箔片[3.1.12]					
3.2 活化量測之驗證分析24					
3.2.1 建物混凝土不同深度的活化潛勢24					
3.2.2 空間中的中子分布狀況					
3.3 中子量測					
3.3.1 實驗前準備					
3.3.1.1 高靈敏度中子比例計數器					
3.3.1.2 中子活化金屬箔片					
3.3.1.3 含 Li-6 的熱發光(TLD)人員劑量計					
3.3.2 理論計算					
3.3.2.1 設施模型建立					
3.3.2.2 高靈敏度中子比例計數器					
3.3.2.3 中子活化金屬箔片					

	3.3.2.4 含 Li-6 熱發光(TLD)人員劑量計	
	3.3.3 儀器架設	40
	3.3.3.1 甲設施無自屏蔽加速器設施	40
	3.3.3.2 乙設施有自屏蔽加速器設施	43
	3.3.4 量測結果與討論	46
	3.3.4.1 甲設施	47
	3.3.4.2 乙設施	53
	3.3.5 小结	58
3.4	撰寫導則及審查導則建議	59
	3.4.1 撰寫導則建議	59
	3.4.2 審查導則建議	60
	3.4.3 設施聯絡人會議	61
	3.4.3.1 第一章 設施概述	63
	3.4.3.2 第二章 待清理設施系統及環境說明	65
	3.4.3.3 第三章 組織與責任及人員之教育訓練	66
	3.4.3.4 第四章 設施之運轉歷史描述	69
	3.4.3.5 第五章 設施之輻射狀況評估	71
	3.4.3.6 第六章 輻射劑量評估及防護措施	72
	3.4.3.7 第七章 除污方案	77
	3.4.3.8 第八章 放射性物質廢棄處理方案	
	3.4.3.9 第九章 輻射意外事件應變方案	84
	3.4.3.10 第十章 品質保證方案	87
	3.4.4 設施經營單位導則擬定及相關法規修訂建議	92
3.5	教育訓練	92
3.6	研討會	98
第四章	、 結論	102
參考貧	資料	
附件一	甲設施加速器照射資料	106
附件二	乙設施加速器照射資料	109

圖目錄

圖 3.1. 利用鈷-60、銫-137 及銪-152 針對高純鍺偵檢器所作的能量校正,理想的
能量校正結果為一斜直線。16
圖 3.2. 利用鈷-60、銫-137 及銪-152 針對高純鍺偵檢器所作的效率校正結果。偵
檢效率會隨著加馬能量升高而降低,兩者之間為對數關係
圖 3.3. 不同尺寸的聚乙烯波那球對不同能量的入射中子之響應函數,隨著聚乙
烯尺寸的增加,高能量中子的反應度也愈趨上升18
圖 3.4. 2016 年由本團隊開發之波那圓柱中子偵檢系統19
圖 3.5. 利用 MCNPX 計算 15 組波那圓柱對於 ²⁵² Cf 的實驗結果與於核研所中子
一級校正場實驗之結果比較,兩者差異在20%以內
圖 3.6. 典型的熱發光劑量計模組20
圖 3.7. ⁵⁵ Mn(n,γ) ⁵⁶ Mn 的放射性捕獲反應截面22
圖 3.8. ⁵⁸ Ni(n,p) ⁵⁸ Co 的荷電粒子反應截面
圖 3.9.10 組金屬箔片對於中子的響應函數24
圖 3.10. 清華水池式反應器中子能譜,黑色實線為清華大學自 2001 年至今歷經
多次實驗驗證之中子能譜量測結果,紅色實驗則為利用 10 組金屬箔片量測後之
反解能譜。24
圖 3.11. 比較六種關鍵核種在不同混凝土深度的比活度變化,除了 ⁵⁴ Mn,其餘五
種關鍵核種均在混凝土牆內發現增建的現象,比活度最大的位置約略落在10-15
公分深的位置;自屏蔽設計對於地面混凝土的活化防護明顯收效甚微25
圖 3.12. 左圖為無自屏蔽加速器設施中的材料分布,右圖為利用 18 MeV 質子製
備 ¹⁸ F時的中子分布狀況,在加速器照射室空間中的中子通量約為 10^{-8} - 10^{-7} /cm ² /pr
圖 3.13. 左圖為有自屏蔽加速器設施中的材料分布,右圖為利用 18 MeV 質子製
備 ¹⁸ F時的中子分布狀況, 在加速器照射室空間中的前向中子通量約為 10 ⁻¹⁶ -10 ⁻
¹² /cm ² /pr, 側向及後向則低於 10 ⁻¹⁶ /cm ² /pr27
圖 3.14. 高靈敏度中子比例計數器,最左側為 6.5 公分聚乙烯緩速體,中間為無
緩速體,右側則為等效 0.5 公分鉛加 6 公分聚乙烯緩速體。

圖 3.15. 無緩速體、6.5 公分聚乙烯緩速體與 0.5 公分鉛加上 6 公分聚乙烯緩速體
之響應函數
圖 3.16. 為期 8 天的高靈敏度中子比例計數器量測宇宙輻射的結果
圖 3.17. 用於中子活化箔片:金、銅、鎳的反應截面。金箔片與銅箔片對中低能
量中子反應截面較高; 鎳為閾值箔片,對於大於 0.7 MeV 以上中子有反應30
圖 3.18. 人員劑量計 8806 及 8814 適用之劑量量測種類,兩種劑量計均適用於人
員深部中子劑量量測
圖 3.19. 用於評估甲設施加速器二次中子特性之無自屏蔽模型,左圖為側視圖,
右圖為上視圖,射束方向訂為前向,相對於前向的其他四個方向牆角位置計讀中
子通量
圖 3.20. 用於評估乙設施加速器二次中子特性之有自屏蔽模型,左圖為側視圖,
右圖為上視圖,射束方向訂為前向,相對於前向的其他四個方向牆角位置及自屏
蔽內測紅圈處計讀中子
圖 3.21. 左圖為無自屏蔽設施中計讀中子通量的位置及編號。右圖為對應的中子
能譜。
圖 3.22. 無自屏蔽設施中 R1-R4 的 3 種不同緩速體之中子比例計數器理論計數
率,縱軸單位為每秒計數值/µA,評估時需考量設施運轉時所使用的實際靶電流
參數
圖 3.23. 左圖為有自屏蔽設施中計讀中子通量的位置,為正對射束的前向牆角。
右圖為對應的中子能譜。
圖 3.24. 有自屏蔽設施中 R1 位置,3 種不同緩速體之中子比例計數器之理論計
數率
圖 3.25. 左圖無自蔽設施中金屬箔片放置之位置,為前向位置牆角。右圖則為該
位置之理論計算中子通量
圖 3.26. 左圖有自蔽設施中金屬箔片放置之位置,為自屏蔽內側的靶體附近,由
於高度差異圖中未能呈現靶體。右圖則為該位置之理論計算中子通量
圖 3.27. 中子周圍等效劑量-H*(10)之劑量轉換因子
圖 3.28. 左圖為無自屏蔽設施中計讀中子通量的位置及編號。右圖為對應的中子
能譜。
圖 3.29. 無自屏蔽設施中,經過 45µA,2小時 ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F 製備的情境下,四個方

向所測得之理論中子周圍等效劑量
圖 3.30. 左圖為有自屏蔽設施中計讀中子通量的位置及編號。右圖為對應的中子
能譜。40
圖 3.31. 有自屏蔽設施中,經過 40µA,2小時 ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F 製備的情境下,四個方
向所測得之理論中子周圍等效劑量40
圖 3.32. 甲設施加速器周邊平面圖及偵檢器擺放位置41
圖 3.33. 甲設施儀器架設記錄,第一列:高靈敏度中子比例計數器架設。第二列,
中子活化金屬箔片與熱發光人員劑量計架設及牆面拍攝。第三列,甲設施加速器
外觀。第四列,加速器前向的活化金屬箔片及熱發光人員劑量計。42
圖 3.34. 乙設施有自屏蔽加速器設施周邊平面圖及偵檢器擺放位置43
圖 3.35. 自屏蔽體與加速器平面圖44
圖 3.36. 乙設施儀器架設記錄。第一列:高靈敏度中子比例計數器架設。第二列:
乙設施加速器及自屏蔽概況。第三列:熱發光人員劑量計架設。第四列:自屏蔽
內側熱發光人員劑量計及中子活化金屬箔片貼附記錄。46
圖 3.37. 高靈敏度中子比例計數器於甲設施加速器控制室中的量測結果。47
圖 3.38. 經中子照射 1 日後之中子活化金屬箔片於高純鍺偵檢器(HPGe)量測之
加馬能譜。圖(1):金箔片,411.82 keV 能峰。圖(2)及圖(3):銅箔片 511 keV 能峰
圖 3.39. 經中子照射 4 日後之中子活化金屬箔片於高純鍺偵檢器(HPGe)量測之
加馬能譜。圖(1)及圖(2):兩組銅箔片,511 keV 能峰。圖(3): 鎳箔片 810.5 keV
能峰49
圖 3.40. 經中子照射 30 日後之中子活化金屬箔片於高純鍺偵檢器(HPGe)量測之
加馬能譜。圖(1):銅箔片,511 keV 能峰。圖(2):鎳箔片 810.5 keV 能峰49
圖 3.41. 用於回溯金屬箔片活度之試算表,圖中為金箔片之試算表50
圖 3.42. 金屬箔片照射後活度試算表,圖中 E20 為金箔片照射1日之理論計算結
果
圖 3.43. 熱發光人員劑量計於甲設施計讀 1 日後的劑量計讀結果,理論計算亦一
併呈現於圖中
圖 3.44. 高靈敏度中子比例計數器於乙設施加速器控制室中的量測結果。54
圖 3.45. 乙設施自屏蔽體內的熱發光人員劑量計量測結果

啚	3.46.	乙設施自屏蔽外的熱發光人員劑量計照射4天後的量測結果	57
啚	3.47.	乙設施自屏蔽外的熱發光人員劑量計照射9天後的量測結果	57
圖	3.48.	11月26日簽到表(因應個資法,身份證字號予以遮蔽)	94
圖	3.49.	高靈敏度中子比例計數器操作	95
圖	3.50.	清華水池式反應器及硼中子捕獲治療準備室參訪	96
圖	3.51.	由陳皇龍先生介紹撰寫導則及審查導則工作概況	97
圖	3.52.	110年10月30日臺灣醫用迴旋加速器學會議程表	99
圖	3.53.	臺灣醫用迴旋加速器學會會議記錄1	01

表目錄

表 3.1. 混凝土鑽心取樣技術回顧文獻
表 3.2. 照射室內中子度量技術回顧文獻8
表 3.3. 照射室內人員劑量計技術回顧文獻 10
表 3.4. Kazuyoshi Masumoto (2014)等人文獻中使用到五種設施條件資訊11
表 3.5. 中子活化金屬箔片技術回顧文獻12
表 3.6. D. Alloni (2017)等人文獻中使用到的箔片組及相對應實驗參數14
表 3.7. 混凝土長半衰期核種一覽, 六種關鍵核種的衰變均伴隨加馬能量的釋出,
有利於使用加馬偵檢器針對表列核種的定性及定量15
表 3.8. 幾種常見的熱發光劑量計及對應的可量測粒子種類,用於量測中子的劑
量計為 TLD-600 及 TLD-600H
表 3.9.10 組用於量測清華大學水池式反應器的金屬箔片
表 3.10. 金、銅、鎳 3 種箔片用於活化量測之必要資訊, 重量係為數個箔片的平
均值,各個實驗用箔片均經過精密重量量測
表 3.11.4 組錄箔片於實驗前之殘存活度31
表 3.12. 甲設施加速器資料32
表 3.13. 乙設施加速器資料
表 3.14. 金、銅、鎳箔片在 R1 方向經 ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F 反應所產生之二次中子照射之
活化狀況,照射靶電流 45µA,照射時間 2 小時
表 3.15. 金、銅、鎳箔片在自屏蔽內測經 ¹⁸ O(p,n) ¹⁸ F 反應所產生之二次中子照射
之活化狀況,照射靶電流 40µA,照射時間 2 小時
表 3.16. 甲設施量測中子的三種偵檢器擺放位置、種類及量測時間41
表 3.17. 乙設施量測中子的三種偵檢器擺放位置、種類及量測時間44
表 3.18. 於甲設施經照射 1 日/4 日/30 日之中子活化金屬箔片之活度量測結果 50
表 3.19. 甲設施 3 種金屬箔片經過 1 日/4 日/30 日照射之理論計算活度、實驗活
度及雨者之比值51
表 3.20. 甲設施加速器理論計算劑量與實驗量測比較53
表 3.21. 高靈敏度中子比例計數器於乙設施加速器控制室中的量測結果與理論
計算結果之比較

表 3.22.	於乙設族	 短照射	1日/3	日/9日式	之中子活	化金屬	箔片之活度	量測結果55
表 3.23.	乙設施3	3種金屬	箔片經	過1日/3	3日/9日	照射之	理論計算活	度、實驗活度
及雨者=	之比值	•••••	•••••		•••••			55
表 3.24.	乙設施自	目屏蔽外	熱發光	人員劑量	量計經4	天及95	天照後理論	計算與實驗量
測之比輔	交	•••••	•••••			•••••		58
表 3.25.	教育訓練	東課程大	綱					93

第一章、背景與目的

鑒於目前國內共設有 13 部迴旋加速器放射性物質生產設施,其粒子能量介 在 10-30 MeV 之間,且其中過半數設施自投入營運迄今已逾 15 年。由於迴旋加 速器生產設施在運轉過程中有機會因核反應誘發二次中子生成,二次中子輻射再 造成迴旋加速器本體、屏蔽或建築物結構體等依序有著不同程度的活化,成為輻 射防護、場所除污輿設施除役的一大難題。隨著加速器本身逐漸接近使用生命週 期期限,終將面臨永久停用的問題,或因應設施場所利用目的變更而有拆遷變更 場址的需求問題,這些關於放射活化殘存量評估技術及設施除役技術,早已是世 界上醫療先進國家與國際組織重視之問題 (如:IAEA 國際原子能總署於 SSG-49 號報告提出多項關於設施除役的指導原則與安全基準),且在業界逐漸形成討 論焦點,因此在未來幾年,國內有必要逐步建置生產設施除役的相關處理導則與 技術建議,於是放射活化殘存量評估技術及設施除役技術將是未來管制的重點, 包括:除役規劃策略、活化殘存量的評估量測與決策、拆除方法、清理除污方法 等。

本研究第一年(109 年)引入最先進的蒙地卡羅模擬分析方法,依照設施參數 的調查結果,用以模擬評估加速器設施之放射活化污染潛在情形,據以探討加速 器組件、設施周遭介質與建物結構體等的活化影響程度。順利完成計畫書規劃工 作項目,包括:(1)針對迴旋加速器放射性物質生產設施,蒐集研析放射性活化分 析影響或除役相關之國際學術文獻或技術報告;(2)針對迴旋加速器放射性物質 生產設施,探討諸經驗國對除役之法規管制要求、技術措施與處理實例,擷取相 關經驗回饋我國以利參考;(3)蒐集並參考國內迴旋加速器放射性物質生產設施 之建造特性與運轉歷史狀況,歸納建立模擬參數基礎資料庫;(4)引入蒙地卡羅數 值模擬運算分析方法,依前述模擬參數基礎資料庫,用以模擬評估加速器設施之 放射活化污染潛勢情形,據以探討加速器組件、設施周遭介質與建物結構體等的 活化影響;(5)對上述模擬參數基礎資料庫,進行參數靈敏度分析,歸納靈敏性參 數類別及說明;(6)根據本研究的成果與經驗,辦理迴旋加速器放射性物質生產設 施除役放射活化分析技術教育訓練。

本計畫總體目標是針對國內迴旋加速器放射性物質生產設施進行運轉歷程調查、放射性活化情形評估與量測建議,據以提出除役計畫撰寫導則建議與除役

1

輻射安全審查導則建議,俾利輔導設施經營者順利完成設施除役作業。因此,延續 109 年度的研究,本年度(110 年)著重在量測技術的建議,研析國內加速器設施之活化情形與除役策略,最後彙整研究成果研提迴旋加速器放射性物質生產設施除污與除役計畫撰寫導則建議與輻射安全審查技術導則建議,並辦理迴旋加速器放射性物質生產設施輻射安全審查技術教育訓練及研討會。

第二章、預期完成之工作項目與時程規劃

本年度(110年)主要工作項目包括:(1)進行迴旋加速器放射性物質生產設施 放射活化情形之量測技術可行性評估與建議研究。(2)進行迴旋加速器放射性物質 生產設施運轉中活化量測之驗證分析研究,歸納評析國內加速器設施之活化影響 情形,並據以研析除污與除役策略方法。(3)研提迴旋加速器放射性物質生產設施 除污與除役計畫撰寫導則建議。(4)研提迴旋加速器放射性物質生產設施除役輻射 安全審查技術導則建議。(5)根據本研究的成果與經驗,辦理迴旋加速器放射性物 質生產設施輻射安全審查技術教育訓練。(6)辦理研討會1場。為了達成上述事項 並達到計畫預期目標,本計畫擬採取下列方法與步驟進行:

1. 進行迴旋加速器放射性物質生產設施放射活化情形之量測技術可行性評估 與建議研究:針對量測技術可行性評估規劃,本研究將先蒐集研析相關國際 學術文獻,包括期刊與會議論文或技術報告等,了解目前大致技術的可能選 擇與限制,並考慮台灣國情差異的影響。國內目前共有 13 部迴旋加速器放 射性物質生產設施,其中有無自屏蔽設計的設施約各佔一半,因此本研究規 劃分別針對這二種設計(有無自屏蔽)的迴旋加速器設施進行量測實驗。本研 究先嘗試洽詢有意願參與的設施負責人,選定二個設施分別代表有無自屏蔽 的迴旋加速器設施。初步輻射度量有二種規劃,分別:(1)針對此二種設施的 建物混凝土進行鑽心取樣,混凝土樣本尺寸可能約為5公分直徑與30公分 長度的圓柱體,取回樣本在實驗室切割分段進行高純鍺(HPGe)加馬射線偵檢 以評估不同深度建物混凝土放射活化情形。但是此一規畫不一定能夠順利執 行,因為目前國內 13 部迴旋加速器放射性物質生產設施都在正常運行中, 考量可能的影響,設施負責人不一定會同意進行建物混凝土的鑽心取樣工程。 若是無法取得二種(有無自屏蔽)設施的建物混凝土鑽心樣本,本研究規劃進 行第二種輻射度量設計,(2)利用多種偵檢器進行運轉中照射室內的中子度量, 正確估計照射室內不同能群的累積中子通量對於設施放射活化估計非常關 鍵,因為正是這些中子最後造成設施不同位置不同程度的物質活化。本研究 規劃選擇三種可能的中子偵測技術:(a)高靈敏度中子比例計數器(分別使用 裸偵檢器與包含中子緩速體的設計以同時量測熱中子與快中子)、(b)含Li6的 熱發光(TLD)人員劑量計亦可以用於累積中子劑量的估計、(c)中子活化金屬

箔片,選擇不同金屬箔片有機會大致區分不同能量範圍的累積中子通量。有 關此三種可能中子偵測技術的進一步說明詳見第三章第一節。

- 2. 進行迴旋加速器放射性物質生產設施運轉中活化量測之驗證分析研究,歸納 評析國內加速器設施之活化影響情形,並據以研析除污與除役策略方法:針 對量測之驗證分析,本研究將立基於第一年建立的技術,利用蒙地卡羅法進 行中子通率分布計算與接續的放射活化分析,考量二種設計模型(有無自屏蔽) 的迴旋加速器設施,評估其運轉照射中的室內中子通率與其對於建物混凝土 不同深度的活化潛勢,並將理論預測與前述規畫之測量結果比較,歸納評析 國內加速器設施之活化影響情形。有關二種設計模型(有無自屏蔽)的迴旋加 速器設施中子通率分布計算與活化分析的進一步規畫詳見第三章第二節。
- 3. 研提迴旋加速器放射性物質生產設施除污與除役計畫撰寫導則建議:透過 109年度的「諸經驗國資料收集」章節的整理,綜合觀察諸經驗國(例如:日本、澳洲、歐盟等)及國際知名機構(例如:IAEA、ICRP、NCRP等)對除役之 法規管制要求、技術措施與處理實例, 擷取相關經驗回饋我國,以利提出撰 寫導則建議。
- 4. 研提迴旋加速器放射性物質生產設施除役輻射安全審查技術導則建議:為使 審查導則建議能在顧及安全原則下,契合管制機關與設施單位之間的想法, 將持續蒐集管制機關建議、聽取設施經營者或台灣醫用迴旋加速器學會的實 務經驗,繼續討論調整,以對應撰寫導則章節的審查導則建議,以期理論與 實務能有最大交集。
- 5. 根據本研究的成果與經驗,辦理迴旋加速器放射性物質生產設施輻射安全審 查技術教育訓練:本研究擬彙整年度成果與經驗分享國內有興趣同儕,教育 訓練主要學員對象以國內負責管制醫用迴旋加速器設施的公務人員為主。
- 辦理研討會1場:彙整年度成果與經驗,辦理迴旋加速器放射性物質生產設施除污及除役規劃暨安全審查技術研究的研討會,邀請國內相關單位講員共同參與以加強產官學交流。

針對前述工作項目,本團隊預計以下表時程依序完成規劃中的各個項目:

		年月		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	備
																註
工作	項目															
規劃與	量测技	支術可	行性			*										
活化量》	則之駁	试證分	析							*						
撰寫導則	則建諱	美														
審查導則	則建諱	美													*	
教育訓練	柬															
研討會																
工作進	度估	計百	分比	5%	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
(累	積	數)		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
				第1	期:	期初	查核	:3)	月 15	日前	提出	期初	規劃	報告	-,由	機關
				進行	書面	審查	。重	點:	規劃	0						
				第 2	期:	期中	查核	:於	- 7 月	15	日前	提出	期中	進度	報告	及附
				錄四	之期	中進	度報	告繳	交前	應完	成工	作項	目檢	核表	,由	機關
				進行	書面	審查	,並	召開	期中	進度	審查	會議	,由	計畫	主持	人向
*75 1	7 木 나	ы		機關	進行	口頭	簡報	。重	點:	量測	技術	可行	性與	活化	量測	之驗
"預及	宣极	點		證分	析。											
				第3	期:	期末	查核	:於	12	月5	日前	提出	期末	成果	報告	及附
				錄四	之期	末成	果報	告繳	交前	應完	成工	作項	目檢	核表	,由	機關
				進行	書面	審查	,並	召開	期末	成果	審查	會議	,由	計畫	主持	人向
				機關	進行	口頭	簡報	。重	點:	迴旋	加速	器放	射性	物質	生產	設施
			除役	輻射	安全	·撰寫	導則	建議	和審	查導	則建	議。				

[110年] 預期完成之工作項目與時程規劃

第三章、執行規劃進度

3.1 量测技術可行性

3.1.1 測量相關文獻研析

本次報告,團隊針對各文獻中提到量測技術的部分進行統整、分析及討論, 並依文獻中所提供的現有資訊,從方法至結果,依序節錄後進行描述。本段落將 呼應後面 3.1.2~3.1.3 節次的可行性方法分成三個小節—【混凝土鑽心取樣技術 回顧】、【照射室內中子度量及人員劑量計技術回顧】、【中子活化金屬箔片技術回 顧】,其中【照射室內中子度量及人員劑量計技術回顧】將中子通量和人員劑量 一起討論,乃是因為許多文獻或實務應用常使用國際放射防護委員會(ICRP)所提 供的通量劑量轉換因子(fluence to dose conversion coefficient)來進行轉換。最後提 供簡易表格來表列相對應文獻與其方法和結果的文字敘述,以代替繁雜的各文獻 圖表,如有興趣者可至各文獻的原文及圖表進行相互對照查詢。

3.1.1.1 混凝土鑽心取樣技術回顧

本方法回顧5篇文獻,如表 3.1,其量測結果主要會受到「迴旋加速器實際運 轉時程(殘餘總量)」、「觀察何處、不同深度」、「機型有無自屏蔽」及「觀察特定 核種(特定加馬能量)」所影響,而其他因素也會影響結果,但概觀來看影響較 小。此方法主要是將已經運轉數十年後的迴旋加速器照射室,在射束出口前方的 室內牆壁,或是側邊的天花板、地板進行探鑽取下樣品再放置到高純鍺偵檢器 (HPGe)進行量測,取下的混凝土樣品幾何大小沒有固定,但大部分的文獻皆會挖 到約10-20公分深,乃是因為許多文獻都有事先利用模擬計算去驗證混凝土牆約 在 10-15 公分深度會因熱中子或超熱中子的增加助活化主要貢獻的核種產生增 建區的現象,導致最大比活度在某一深度才出現。就結果而言,運轉 10-20 年的 迴旋加速器,在無自屏蔽的機型下,最大比活度深度下的核種 ⁶⁰Co 或 ¹⁵²Eu 約有 10² 數量級 Bq/kg;而在有自屏蔽的機型下,最大比活度深度下的核種 ⁶⁰Co 都不 超過 10 Bq/kg。由於關鍵活化核種 ⁶⁰Co、¹⁵²Eu、¹⁵⁴Eu、¹³⁴Cs、⁵⁴Mn 及 ⁵⁵Fe 在參 考一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法的附表一定活度或比活度以下 放射性廢棄物之限值中(屬於大於 1 公噸廢棄物情節下)皆是最為嚴格的 0.1 Bq/g (100 Bq/kg),在使用無自屏蔽的機型下,文獻給出的結果在最大比活度深度下,

Concrete Coring + HPGe detector : 直接量測樣品活度							
相關文獻	迴旋加速器設施條件	資料及結果					
Phillips <i>et al.</i> (1986) [<u>3.1.1]</u>	 (1) Beam energy: 大多低於 25MeV (2) Type: research (no commercial) (無自屏蔽) (3) 粒子種類: ¹₁P, ²₁D, ³₂He, α (4) 產製核種: 未紀錄 (5) Operation: 21years (6) Beam loss: 50µA*5000hrs/y (7) 室內幾何: 6.4 x 11.6 x 7.3 m³ (1.2~2.3m 牆厚) 	(Concrete 10*20*40cm ³ 長方體塊) 位置:未說明 Min : 11 Bq/kg ¹⁵⁴ Eu Max : 110 Bq/kg ⁶⁰ Co					
Kimura <i>et al.</i> (1994) [<u>3.1.2]</u>	 Beam energy: 3~35MeV Type: research (no commercial) (無自屏蔽) 粒子種類:¹/₁P(main), ²/₁D, ³/₂He, α, heavy ions 產製核種: 未紀錄 Operation: 13 years Beam loss: 50µA*1500hrs/y(¹/₁P)+ 600hrs/y(²/₁D)+900hrs/y(others) 室內幾何: 11 x 15 x 9 m³ (2~3m 牆厚) 	 ((2.5)^{2*}π*2.5cm³ 切片圓柱 @10cm 深) ※位置 D Min:~10 Bq/kg ⁴⁶Sc Max:~10² Bq/kg ⁶⁰Co ※位置 D:射東出口方向,距靶~8m 					
R. Calandrino <i>et al.</i> (2006) [<u>3.1.3]</u>	 Beam energy: 11MeV Type: CTI RDS112 Eclipse (自屏蔽) 粒子種類: ¹₁P 產製核種: ¹⁸F, ¹¹C Operation: 16years Beam loss: 80~180µA·hr/wk*50wks/y 室內幾何: 6 x 6 x 3.5 m³ (牆厚未說明) 	@10cm 深 位置:地板 1~10 Bq/kg 各核種					
J. J. Sunderland <i>et al.</i> (2012) [<u>3.1.4]</u>	 (1) Beam energy: 17MeV (2) Type: Scanditronix (無自屏蔽) (3) 粒子種類: ¹₁P, ²₁D (4) 產製核種: ¹⁸F (main) (5) Operation: 20 years (6) Beam loss: 300000 μA·hrs/20 y (大多低於 35 μA) (7) 室內幾何:未說明 	@15~20 cm 深 位置:距靶~3m Min : 4.8 Bq/kg ¹³⁴ Cs Max : 82.5 Bq/kg ¹⁵² Eu					
L. D Ambrosio <i>et.al.</i> (2016) [3.1.5]	 Beam energy: 17MeV Type: Scanditronix MC17 (無自屏蔽) 粒子種類: ¹₁P, ²₁D 產製核種: ¹⁸F (main) Operation: >10years Beam loss: 未說明 室內幾何: 未說明 	15 cm 深 位置:未說明 Min : 9.4 Bq/kg Total @深處 Max : 89 Bq/kg Total @表層					

表3.1. 混凝土鑽心取樣技術回顧文獻

3.1.1.2 照射室內中子度量及人員劑量計技術回顧

本方法回顧7篇文獻,如表 3.2~表 3.4,其量測結果主要會受到「迴旋加速 器瞬時的條件參數(如 Beam energy 及 Beam loss)」、「觀察何處的空間位置(自屏 蔽內?照射室內?混凝土內?)」、「機型有無自屏蔽」及「偵檢器放置時間(影響 結果的誤差大小)」所影響,而其他因素也會影響結果,但概觀來看影響較小。此 方法有許多種針對中子或光子偵檢器可做選擇,各文獻使用到的種類及商業廠牌 也都不一樣,大致可分為充氣式偵檢器、有機閃爍偵檢器及熱發光劑量計(TLD)。 其中前兩者除了單純使用外,偶爾會搭配波那球(聚乙烯球)系統,來選擇量測的 中子能量區間;而後者熱發光劑量計(TLD)量測中子時則會選擇適當摻雜質的高 分子混合物(如:⁶Li²¹⁰B4O7(Cu)量測熱中子及光子貢獻,此時只要再搭配一種不 太和熱中子反應的雜質作為量測光子貢獻,即可利用相減獲得熱中子貢獻),利 用材料來達到區分量測中子及光子貢獻的效果。此外,除了TLD外,其他量測 系統的體積都較大,故做為量測自屏蔽內或照射室內的輻射通量或周圍等效劑量, 有別於 Kimura et al.(1994)把箔片放到再製的混凝土塊內,來量測混凝土深度內 的中子能譜。

就文獻結果而言,以設施 beam loss 為 30-80µA 的條件,在無自屏蔽的機型下,照射室內中子通量約為 10^{7} /cm²/s (文獻提供~ 10^{-4} - 10^{-7} /MeV/sr/proton,回顧本研究在 109 年度的報告中,若把研究的數據單位轉換成該單位後,數值也約落在 10^{-5} - 10^{-6} /MeV/sr/proton);放置數週的 TLD 則量測到高達約 10^{2} 數量級 mSv/hr 以上的照射室內劑量率。而在有自屏蔽的機型下,照射室內中子通量大部分小於 10^{2} /cm²/s,TLD 量測到最大僅約 10^{2} - 10^{3} µSv/hr,大部分都落在 10 µSv/hr 左右的 照射室內劑量率。

本方法基於輻射偵檢器的偵測效率,使用到的充氣式偵檢器及有機閃爍偵檢器,量測時間多為迴旋加速器運轉的單次照射時間;熱發光劑量計則多是放在迴旋加速器室內數週到1個月的時間,少數才是選擇單次照射時間。

本研究在第三小節也會敘述到各文獻使用箔片量測中子通量的結果,其結果 與使用這些不同種類的輻射偵檢器比較來看,在數量級上皆相當接近。

Neutron fluence detector (1) : ⁶ LiI(Eu)+Bonner sphere spectrometer, TLD , NE-213								
scintillator etc.								
相關文獻	迴旋加速器設施條件	資料及結果						
Nakamura <i>et al.</i> (1983) [3.1.6]	 (1) Beam energy : 30MeV or 52MeV (2) Type : research (no commercial) (無自屏蔽) (3) 粒子種類:¹₁P 	空間中的中子能譜 (NE-213 (3.81)2*π*7.62cm ³ 圓柱型偵 檢器) 位置:距靶~4m (0.15.30.45.75.135 degree)						

表3.2. 照射室內中子度量技術回顧文獻

	(4) 靶材 : Carbon(9mm), Iron(9mm),	量测時間:未提(應是單次照射)
	Copper(9mm), Lead(3mm) @30MeV	(最高值在0度,最低值在135度角)
	(5) 產製核種/ Operation / Beam loss: 無紀錄	Target — Carbon :~10 ⁻⁵ -10 ⁻⁷
	***單位皆以 Proton 數量進行 normalized。	Iron : $\sim 10^{-4} - 10^{-6}$
	(6) 室內幾何:未說明	Copper :~10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶
		Lead : $\sim 10^{-4} - 10^{-6}$
		#/MeV/sr/proton
		空間中的中子能譜
	(1) Beam energy : 9.6MeV	⁶ LiI(Eu) scintillator + BSS system ※
	(2) Type : GE MINItrace (自屏蔽)	位置:L點
Ming-Jay Kuo <i>et</i>	(3) 粒子種類: ¹ P	量測時間:未提(應是單次照射)
al.(2011)	(4) Operation : ~ 10 years	\sim 30-60 #/cm ² /lethargy @1MeV
[3.1./]	(5) Beam loss : 30-35µA*666.67hrs/y	~5-10 #/cm ² /lethargy @1eV
	(6) 室內幾何:橫4mx縱 6m(牆厚未說明)	※位置L:射束出口方向連線,自屏
		蔽體表面
		空間中的中子能譜
		CR39 包裝 TLD_UD-813_PQ4
	(1) 月上田山北川市山北日十〇1(6日十)	(尺寸未說明)
Kazuvoshi Masumoto	(1) 5 台設施條件 貸訊 詳 見 表 3.4 (目 併 敝)	位置:牆壁、地板、自屏蔽體外
<i>et.al</i> (2014)	(2) 粒子種類: <u>i</u> P	量测時間:放置1個月
[3.1.8]	(3) Operation: 無紀錄	***此外,針對靶體附近及自屏蔽體
·	(4) 室內幾何:未說明	內是放成對有無句編的 Au foils
		平均 $_{2}$ 1-10 ² #/cm ² /s @ thermal
		1-10 m/cm/s w unclillal
		计细启术前兄义献本义

Dosimeter : TLD, Organic scintillator, Survey meter with neutron rem counter etc.				
相關文獻	迴旋加速器設施條件	資料及結果		
Phillips <i>et</i> <i>al.</i> (1986) [3.1.1]	 (1) Beam energy:大多低於 25MeV (2) Type : research (no commercial) (無自 屏蔽) (3) 粒子種類:¹/₁P, ²/₁D, ³/₂He, α (4) 產製核種:未紀錄 (5) Operation : 21 years (6) Beam loss : 50µA*5000hrs/y (7) 室內幾何: 6.4 x 11.6 x 7.3 m³(1.2~2.3m 牆厚) 	各別核種造成的 γ-ray 劑量貢獻 (Portable HPGe detector @ Ortec Gamma-X, Model 2112-12175-s, EG&GOrtec, Inc., 100 Midland Road, Oak Ridge, TN 37830) 位置:室內的兩處(未寫是哪裡) 平均偵檢面積假設為 19cm ³ ,在將計讀到特定能量 的 r-ray 數量進行劑量計算。 0.31 µSv/hr @ ¹⁵⁴ Eu 4.68 µSv/hr @ ⁶⁵ Zn 全部核種造成的 γ-ray 劑量貢獻 (γ-ray survey meter) 位置:未說明 28.8 - 61.2 µSv/hr @ Total		
R. Calandrino <i>et</i> <i>al.</i> (2006) [3.1.3]	 Beam energy: 11MeV Type: CTI RDS112 Eclipse (自屏蔽) 粒子種類: ¹₁P 產製核種: ¹⁸F, ¹¹C Operation: 16years Beam loss: 80-180µA·hr/wk*50wks/y 室內幾何: 6 x 6 x 3.5 m³(牆厚未說明) 	 量測周圍等效劑量 H*(10) (⁸LiF(Mg,Cu,P) TLD GR 200A) 位置: All around walls (共 8 處) 除役拆除工作時間: 12 天 0 μSv @ 側牆 85 μSv @ PET 照影室側的牆壁 量測工作人員劑量 (LiF TLD +2 個鋁濾片) 工作時間: 同上 < 20μSv @all staff 空間中即時的劑量率 (Organic scintillator probe (AUTOMESS, Daimlerstrasse 27, D-68526 Ladenburg, Germany; 6150 ADB, ZnS-coated)) 位置: 組件旁、離靶處 0.2 μSv/hr @距靶 5cm,產製 F18 		
Kazuyoshi Masumoto <i>et.al</i> (2014) [<u>3.1.8]</u>	 (1) 5 台設施條件資訊詳見表 3.1 (自屏蔽) (2) 粒子種類:¹₁P (3) Operation:未紀錄 (4) 室內幾何:未說明 	空間中的中子能譜與轉換後劑量 (TLD UD-813 PQ4 + CR39) 位置:自屏蔽體外,詳 細放哪些地方並未說明(推論為牆壁) 量測時間:放置1個月 Min: 12 μSv/hr @設施 5@fast Max: 1300 μSv/hr @設施 5@fast Min: 3.5 μSv/hr @設施 5@thermal Max: 93 μSv/hr @設施 5@thermal		
Angelo Infantino <i>et</i> <i>al</i> .(2016) [3.1.9]	 Beam energy: 16.5MeV Type: GE PETtrace (無自屏蔽) 粒子種類:¹₁P 產製核種:¹⁸F Operation: 未紀錄 Beam loss:實際時間跟電流未說明 *The scenario of FLUKA calculation: 1µA*1hr 室內幾何: 6.5x 5.35x 3.5 m³ (2m 牆厚) 	 量測周圍等效劑量 H*(10) (Neutron rem-counter FHT-752 (Thermo Scientific) provided with a BF₃ proportional- counter and a PE-moderator)位置:照射室內 12 個位 置;量測時間:未說明 Min: 22 ± 9 mSv/µAh @點 12 (射束後方牆) Max: 430 ± 170 mSv/µAh @點 2 (射束出口左前方) 量測周圍等效劑量 H*(10) (CR39 材質的 TLD) 位置:同上 量測時間:未說明 		

表3.3. 照射室內人員劑量計技術回顧文獻

		Min: $6 \pm 5 \text{ mSv/uAh}$	
		@點8(射束後方)	
		Max: $380 \pm 200 \text{ mSv/}\mu\text{Ah}$	
		@點1(靶左側)	
		詳細位置請參考文獻內的幾何圖	
		量测周圍等效劑量 H*(10)	
		(TLD UD-813PQ4 中其中兩格(每格 5*2.5*5cm ³)是	
	(1) Beam energy : 18MeV	⁶ Li2 ¹⁰ B4O7(Cu)量測熱中子跟光子劑量; ⁷ Li2 ¹¹ B4O7	
	(2) Type: Sumitomo CYPRIS-HM18 (無自	(Cu)量測光子劑量,這些 TLD 都會被裝入 PE 盒內	
	屏 蔽***)	(型號為 UDS893-P1,為了減速中子,尺寸	
Fumiyoshi	***僅使用含 PE 的靶盒包住靶,作為	22.5*22.5*22cm ³))	
Nobuhara <i>et al</i> .	屏蔽效果	位置:地板, 牆壁, 靶盒 屏蔽體, 迴旋加速器本體	
(2017)	(3) 粒子種類:¹₁P	表面	
[3.1.10]	(4) 產製核種: ¹⁸ F	量測時間:單次照射(~55分鐘)	
	(5) Operation : 20years	Min: 1x10 ³ mSv/hr	
	(6) Beam loss : $50 \mu A * 1 hr/day * 200 days/y$	@點 28 (側牆)	
	(7) 室內幾何: 4.6 x 4.6 x 2.3 m ³ (2m 牆厚)	Max: 2.6x10 ³ mSv/hr	
		@點 23 (前方牆壁)	
		詳細位置請參考文獻內的幾何圖	

表3.4. Kazuyoshi Masumoto (2014)等人文獻中使用到五種設施條件資訊

	1	2	3	4	5
Cyclotron	IBA cyclone 10/5	CTI RDS-111	Cypris HM-20	Cypris MINItrace	Cypris HM-7
Self-shield	Concrete doped with	Conorata	Polyethylene+Pb+	Polyethylene+Pb+	Polyethylene+
materials	B and Polyethylene	Concrete	Concrete	Concrete	Concrete
Shield thickness	80 cm	65 cm	5+5+90cm	30+15+ 26 cm	20+50 cm
Production	F-18	F-18	F-18	F-18	F-18
Energy	10 MeV	11 MeV	20 MeV	9.6 MeV	7 MeV
One day irradiation					
Beam current	30 µA	36 µA	50 µA	34 µA	60 µA
Irradiation time	1 h	1.1 h	0.25 h	1.5 h	0.6 h
1 month operation					
Average current	17 µA	36 µA	50 µA	34 µA	56 µA
Irradiation time	25.9 h	27 h	5.8 h	36 h	12.55 h

3.1.1.3 中子活化金屬箔片技術回顧

本方法回顧 5 篇文獻,如表 3.5~表 3.6,其量測結果主要會受到「迴旋加速 器瞬時的條件參數(如 Beam energy 及 Beam loss)」、「觀察何處的空間位置(自屏 蔽內?照射室內?混凝土內?)」、「機型有無自屏蔽」、「箔片的材質(反應截面)及 厚薄」及「箔片放置時間(影響結果的誤差大小)」所影響,而其他因素也會影響 結果,但概觀來看影響較小。此方法主要是利用箔片與中子會產生熱中子捕獲或 快中子閾值反應,每種箔片材質都會有各自獨特相對應的反應截面,量測後也會 得到屬於此量測系統不同的響應函數(response function),通常會藉由數個不同材 料的箔片作為一組來量測多種能量區間下的中子反應,並藉由反解(unfolding)求 得相對應的中子能譜。 此外,文獻中常在意的只是熱中子或超熱中子對於關鍵活化核種的活化程度, 因此也不全都會使用複雜的箔片組,許多只單純使用有無包鎘片的成對金箔片或 成對銅箔片,來分別得到超熱中子及熱中子的通量貢獻。就結果而言,以設施 beam loss 為 30-50µA 的條件,在無自屏蔽的機型下,近靶體附近的中子通量約 為 10⁶-10⁸/cm²/s,照射室內周圍環境的中子通量約為 10⁵-10⁶/cm²/s,混凝土牆內 的熱中子通量(最大比活度深度)最大僅 10⁴/cm²/s,快中子通量最大也僅 10²/cm²/s; 而在有自屏蔽的機型下,自屏蔽體內與無自屏蔽體的近靶體附近通量相似,這可 以很輕易解釋,因為未經過含有減速及吸收中子材料的自屏蔽體,並不會影響中 子通量,而在自屏蔽體外的照射室內環境中子通量則多小於 10²/cm²/s,與無自 屏蔽體比較,則可預估混凝土牆內會只有量少至難以量測的中子通量,故尚未看 到文獻對有自屏蔽體機型的室內混凝土牆內進行量測及研究數據。

本方法在考量輻射偵測效率上,基於文獻多使用高純度 99%以上的金箔片 或中子活化後短期內高活度的銅箔片,對於空間中的中子能譜(自屏蔽體內、靶 體附近或是照射室內周圍環境)則多選擇迴旋加速器運轉的單次照射時間,但對 於混凝土牆內的中子通量,則需要放置到 100 天以上,來降低統計誤差。

Neutron fluence detector (2) : Foil activation					
相關文獻	迴旋加速器設施條件	資料及結果			
Kimura <i>et al.</i> (1994) [3.1.2]	 (1) Beam energy : 3~35MeV (2) Type : research (no commercial) (無自屏蔽) (3) 粒子種類: ¹/₁P(main), ²/₁D, ³/₂He, α, heavy ions (4) 產製核種: 未紀錄 (5) Operation : 13 years (6) Beam loss : 50µA*1500hrs/y(¹/₁P)+600hrs/y(²/₁D)+900hrs/y(others) (7) 室內幾何: 11 x 15 x 9 m³ (2~3m 牆厚) 	混凝土內中子能譜 (Co w/ and w/o Cd pairs 2*2*0.1cm ³ /片) ※位 置:位置 A~D 深度 50 公分的混凝土塊中每 10 公分各插置 1 組。量測時間:放置 120 天 (第一批) HPGe 量測時間:未說明 ~10 ⁴ n/cm ² /s @ 0cm @themal ~10 ² n/cm ² /s @50cm @thermal (Ni/Mn/Fe/Ti/Co set 1*1*0.1 及 2*2*0.1cm ³ /片) 位置:同上。量測時間:放置 210 天 (第二批) HPGe 量測時間:未說明 ~10 ² n/cm ² /s @ 0cm @fast ~10 n/cm ² /s @ 0cm @fast ~10 n/cm ² /s @ 50cm @fast ~10 n/cm ² /s @ 50cm @fast ※位置 A~D: A,B—最靠近加速器的兩側; D—離加速器最遠且在加速器射束的出口連線 上; C—B 和 D 位置的中間			
Ming-Jay Kuo <i>et</i> <i>al</i> .(2011) [3.1.7]	 Beam energy : 9.6MeV Type : GE MINItrace (自屏蔽) 粒子種類:¹/₁P Operation : ~10 years Beam loss : 30-35µA*666.67hrs/y 	空間中的中子能譜 (Au w/ and w/o Cd pairs Au(99.99%純):10mm 直 徑,1mm 厚; Cd: 12mm 直徑 0.5mm 厚) ※位置 P 點及 L 點。量測時間:單次照射(~80 分鐘)			

表3.5. 中子活化金屬箔片技術回顧文獻

	(6) 室內幾何:橫4mx縱6m(牆厚未說明)	HPGe 量測時間:未說明	
		$\sim 10^9$ n/cm ² /s @ P 點 @themal	
		~10 ¹ n/cm ² /s @L 點 @thermal	
		※位置 P:出口連線上,自屏蔽體內距靶	
		~20cm	
		※位置L:出口連線上,自屏蔽體外表面	
		空間中的中子能譜	
		(Au w/ and w/o Cd pairs Au:20µm 厚;Cd: 1mm	
		厚) 位置:自屏蔽體內;自屏蔽體上;自屏蔽	
	 5台設施條件資訊詳見表 3.1 (自屏蔽) 	體外	
Kazuyoshi Masumoto	(2) 粒子種類 : <u>1</u> P	量测時間:單次照射	
et.al(2014)	(3) Operation:未紀錄	HPGe 量測時間:未說明	
[5.1.0]	(4) 室內幾何:未說明	$\sim 10^{6} - 10^{8} \text{ n/cm}^{2}/\text{s}$	
		@自屏蔽體內 @themal	
		$\sim 10^3 - 10^5 \text{ n/cm}^2/\text{s}$	
		@自屏蔽體外 @thermal	
		空間中的中子能譜	
		(Au w/ and w/o Cd pairs Au:6mm 直徑,20µm 厚;	
		Cd:1*1 cm ² *1mm 厚) ※位置:地板、牆	
	(1) Beam energy : 18MeV	壁、靶盒、屏蔽體以及迴旋加速器本體表面	
	 (1) Beam energy: Towev (2) Type: Sumitomo CYPRIS-HM18 (無自屏蔽 ***) ***/ (使用合 PE 的如合句代知, 作為屏蔽 	量測超熱與熱中子	
		量测時間: 單次昭射(~55 分鐘)	
		HPGe 导测時間:主治明	
Fumiyoshi Nobuhara et	E 反 们 百 I L 的 七 二 巴 L 七 一 다 約 分 服 苏里	$\sim 10^7 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ @ 如今 @ themal	
al. (2017)	(2) 於了孫朽,1D	$10^6 \text{ n/cm}^2/\text{a}$ (where B (where B)	
[3.1.10]	(5) 私于裡類:1 ^F (4) 產製核種: ¹⁸ F (5) Our mention 2000-000	~10° II/CIII /S @ 個型 @ unclinial	
		(AI plate) 位直·问上。重测时间·单次照射	
	(5) Operation: 20 years (6) Ream loss: 50 y $4 \times 1 hr/day \times 200 days/y$	(~55分鲤) 程 ~ AI(II, a) - INA reaction 得到的	
	(0) Dealli loss: 30μ A* III/day 200days/y (7) 宏內幾何:46×46×23 m ³ (2m 座原	TNa 比沽度回推快平于通重	
	(7) 至月及问 • 4.0 X 4.0 X 2.5 Ⅲ (2Ⅲ	HPGe 量測時間:未說明	
		~10° Bq/g @靶盒 @fast	
		~10 ² Bq/g @ 牆壁 @ fast	
		詳細位置請參考文獻內的幾何圖	
		空間中的中子能譜	
		(Au w/ and w/o Cd pairs + Cu w/ and w/o Cd	
D. Alloni <i>et al.</i> (2017) [<u>3.1.11]</u>		pairs for thermal neutron + bare Fe + bare Ni for	
	(1) Beam energy : 18MeV	fast neutron , unknown size)	
	(2) Type : IBA cyclotron (model Cyclone 18/9)	with SAND II unfolding code	
	(無目併敝)	※位置 LV,wall,TOP。量測時間:單次照射	
	(3) 粒子種類: <u>i</u> P	(~60分鐘)	
	(4) 產製核種: ¹⁰ F	HPGe 量测時間:詳見表 3.6	
	(5) Operation: 未紀錄	$\sim 10^7 \text{ n/cm}^2/\text{s}$ @ LV @total	
	(6) Beam loss : $30\mu A*1hr$	$\sim 10^6$ n/cm ² /s @wall @total	
	(7) 室內幾何:3x3x3m ³ (牆厚未說明)	$\sim 10^{\circ} \text{ n/cm}^2/\text{s}$ @TOP @total	
		※位置LV:距靶20cm;	
		wall:前方牆壁,距靶100cm;	
		TOP:天花板,垂直射束連線距靶180cm	

Element TI Isotope % $\lambda(s^{-1})$ E (keV) Reaction T count (sec) t1/2 Asat ¹⁹⁷Au $(3.945 \pm 0.197) \times 10^{-15}$ 197Au(n, y)198Au 3.6×10^{3} 2.971×10^{-6} Au 100 2.69[d] 411.79 ¹⁹⁷Au $^{197}Au(n,\gamma)^{198}Au(+)$ $(1.022 \pm 0.051) \times 10^{-15}$ 2.97×10^{-6} Au 100 3.6×10^{3} 2.69[d] 411.79 ⁶³Cu 1.516×10^{-5} $(3.640 \pm 0.182) \times 10^{-14}$ 63Cu(n, y)64Cu 3.6×10^{3} 12.7[h] Cu 69.1 511 63Cu ${}^{63}Cu(n,\gamma){}^{64}Cu(+)$ 1.516×10^{-5} $(5.221 \pm 0.261) \times 10^{-15}$ Cu 69.1 3.6×10^{3} 12.7[h] 511 ⁵⁴Fe 54Fe(n,p)54Mn 10⁵ 2.565×10^{-8} $(1.849 \pm 0.090) \times 10^{-15}$ 5.84 312.5[d] 834.83 Fe 58Ni 58Ni(n,p)58Co 1.133×10^{-7} $(2.094 \pm 0.104) \times 10^{-14}$ 6×10^4 Ni 68.1 70.78[d] 810.76

表3.6. D. Alloni (2017)等人文獻中使用到的箔片組及相對應實驗參數

本節所列的文獻實驗數據,多與109年度本研究模擬計算的結果在數量級上 相當的吻合(可見 3.2 節),雖然各文獻所處的迴旋加速器照射室內輻射場不盡相 同,但在我們欲測得的中子通量及相對應關鍵活化核種的比活度,結果大多落在 相同的數量級上。藉由回顧這幾篇文獻及本研究109年度的模擬計算,將給予我 們很大的信心,去選擇及確立我們的量測系統設計及預測的量測結果,節省我們 去分析量測數據的真實性並更加了解相對應的輻射場性質。

3.1.2 混凝土鑽心取樣

根據文獻回顧及模擬驗證,混凝土在經過中子照射後會有各式各樣的活化核 種產生,其中半衰期較長的關鍵活化核種,包含鐵-55、錳-54、鈷-60、銫-134、 銪-152及銪-154,在長時間的設施運轉歷程中上述六種核種會大量的生成及累積, 因此必須以適合的量測方式予以定性及定量。

表 3.7 為文獻回顧中常見的六種混凝土內長半衰期核種,由於該六種關鍵的 長半衰期核種均會在衰變時釋出不同能量的加馬射線,因此可以利用加馬偵檢器 針對混凝土中的核種完成定性及定量的工作。而在加馬偵檢器中,尤以高純鍺偵 檢器的高能量解析度特性最適用於核種的定性及定量。

14

表3.7. 混凝土長半衰期核種一覽, 六種關鍵核種的衰變均伴隨加馬能量的釋

活化核種	半衰期	加馬能量 (keV)	分支比 (%)
鐵-55	2.7 年	5.9	16.9
錳-54	312 天	834.8	100.0
<i>k</i> + 60	5.3 年	1173.2	99.9
逝-00		1332.5	100.0
		569.3	15.4
銫-134	2.1 年	607.7	97.6
		795.9	85.4
	13.6 年	121.8	28.4
		344.3	26.6
结 157		778.9	13.0
金月-1.52		964.13	14.5
		1112.1	13.6
		1408.0	20.9
銪-154	8.8 年	123.1	40.5
		723.3	19.7
		1007.8	17.4
		1274.5	35.5

出,有利於使用加馬偵檢器針對表列核種的定性及定量

本團隊對於使用高純鍺偵檢器量測樣品活化經驗豐富,諸如偵檢器的能量校 正、效率校正,以及目前常態性的硼中子捕獲治療的射束品保工作所累積的活化 量測實務經驗等[3.1.12]。能量校正的目的是將加馬射線的能量與偵檢系統的通 道讀值作連結,得到加馬射線能量與偵檢系統通道讀值的轉換關係後,即可利用 該偵檢器測定未知射源的種類,達到射源定性的目的。圖 3.1 為利用鈷-60、銫-134 及銪-152 所作的能量校正結果,其中鈷-60 選用 1173 keV 及 1132 keV 加馬 射線;銫-137 選用 662 keV 加馬射線;銪-152 則選用 245 keV、344 keV、967 keV、1408 keV 加馬射線,共計 7 個能量做為效率校正點,利用線性擬合的方式, 得到加馬射線能量與偵檢器系統通道讀值的關係為:

 $E(keV) = -0.14267 + 0.26184 \times Channel$



圖3.1.利用鈷-60、銫-137 及銪-152 針對高純鍺偵檢器所作的能量校正,理想的 能量校正結果為一斜直線。

除了偵檢器的能量校正以外, 偵檢器的效率校正也是同樣重要; 能量校正作 為連結加馬能量與系統通道讀值之間的紐帶, 效率校正的目的則是連結射源活度 與偵檢器計數值之間的關係。利用高純鍺偵檢器量測已知活度及加馬能量的鈷-60、銫-137 及銪-152 射源得到偵檢器在特定加馬能量下的偵檢效率, 參考點與能 量校正相同, 選擇 7 個參料點, 結果如圖 3.2, 偵檢效率會隨著加馬能量升高而 降低, 以對數關係擬合之, 結果如下:

 $\varepsilon_{abs} = -0.0131 + 0.0174 \times e^{-\frac{E(keV)}{8445.26}} + e^{-\frac{E(keV)}{188.65}}$



圖3.2. 利用鈷-60、銫-137 及銪-152 針對高純鍺偵檢器所作的效率校正結果。偵 檢效率會隨著加馬能量升高而降低,兩者之間為對數關係

混凝土的鑽心取樣量測方法與硼中子捕獲治療的射束品保流程相似,在量測 結束時以偵檢器的通道讀值佐以能量校正結果計算對應加馬射線能量,再利用查 表定性樣品中的核種種類; 偵檢器的計數值則佐以效率校正結果,即可成功定量 核種活度。依照上述方法,預期在加速器照射室的牆面、地面等位置鑽心取樣, 樣本為直徑 10 公分,深度 50 公分的圓柱,再將樣本切割為 10 公分直徑, 10 公 分厚的圓盤後逐塊實施量測,並針對每個樣品中的核種實施定性及定量,最終再 分析六種關鍵核種的活度與混凝土深度之間的關係。

3.1.3 照射室內中子度量

本研究規劃選擇下列三種可能的中子偵測技術:(a)高靈敏度中子比例計數 器、(b)含 Li-6 的熱發光(TLD)人員劑量計、(c)中子活化金屬箔片,分別簡述如下:

3.1.3.1 高靈敏度中子比例計數器[3.1.13]

波那球早在 1960 年被提出,時至今日已是成熟的中子量測方法,其基本概 念是在熱中子偵檢器的外層包覆厚度各異的聚乙烯球體,快中子進入偵檢器時, 會先與外部的聚乙烯材料發生彈性碰撞並減速,中子能量降低至熱中子區間再與 熱中子偵檢器作用,產生電訊號,達到量測中子的目的。隨著外層聚乙烯球體厚 度的改變及不同的熱中子偵檢器材料的使用,波那球對於不同的中子能量會有不 同的反應截面,謂之響應函數,如圖 3.3,其中聚乙烯尺寸愈大的波那球對於高 能量中子的反應度愈高。根據上述特性,利用波那球系統量測中子,其中子能量 橫跨 meV 至數百個 MeV 之範圍,足以涵蓋本研究中的中子場能譜特性。



圖3.3. 不同尺寸的聚乙烯波那球對不同能量的入射中子之響應函數,隨著聚乙 烯尺寸的增加,高能量中子的反應度也愈趨上升

然而波那球系統仍存在幾個劣勢:(1)系統內部的熱中子偵檢器體積較小,直 接導致偵檢效率較低,必須延長量測時間以彌補之。(2)系統偵檢器與中子訊號模 組必須以導線連接,但在無法克服導線雜訊的情況下必然生成量測時的假訊號。 (3)原廠販售之波那球系統雖有提供響應函數可供參考,但並非針對該系統特別 製作,使用者仍需自行建置系統響應函數之校正比對。綜合上述不足之處,本研 究團隊於2016年在波那球的基礎之上,開發波那圓柱用於量測中子場,如圖 3.4, 利用圓柱型聚乙烯取代球型聚乙烯,即有效克服熱中子偵檢器較小所造成的偵檢 效率低落。除此之外,此系統也經過 MCNPX 模擬計算與核研所中子一級校正場 驗證,結果如圖 3.5 所示,兩者預期的結果高度相符。有鑑於我們對此一系統的 了解與信心,我們規劃選取部分波那圓柱用於照射室內中子度量的主要儀器之一。



圖3.4.2016年由本團隊開發之波那圓柱中子偵檢系統



圖3.5. 利用 MCNPX 計算 15 組波那圓柱對於 ²⁵²Cf 的實驗結果與於核研所中子 一級校正場實驗之結果比較,兩者差異在 20%以內

3.1.3.2 含 Li-6 的熱發光(TLD)人員劑量計[3.1.14]

中子熱發光劑量計,顧名思義用於量測中子等效劑量,常見的熱發光劑量計 系統如圖 3.6 所示,其中四個不同的劑量計分別負責量測不同的劑量,包括光子 的眼球水晶體劑量、淺部皮膚劑量及中子劑量。而用於量測中子劑量的熱發光劑 量計必須包含 ⁶Li 同位素,如表 3.8,而符合要求的為 TLD-600 及 TLD-600H 兩 種發光劑量計。

熱發光劑量計作為商用化已久的輻射量測技術,其準確度與再現性均應符合本研究的需求,預期使用熱發光劑量計作為中子量測的技術是可行的。

Typical TLD Card Configuration

Position/Element 1:

Low Energy Photon Discrimination and Lens dose (Hp(3))

~300 mg/cm² filtration

Position/Element 4:

Mid-Energy Photon Discrimination and Neutron dose

- Li-6 isotope
- Various filtration



Position/Element 2:

Deep dose (Hp(10)) • 1000 mg/cm² filtration

Position/Element 3:

Shallow dose (Hp(0.07)) • ~17 mg/cm² filtration

圖3.6. 典型的熱發光劑量計模組

表3.8. 幾種常見的熱發光劑量計及對應的可量測粒子種類,用於量測中子的劑

Material	Туре	Dosimetry Application	Linear Range	Fading	Available Forms*
Lithium Fluoride LiF:Mg,Ti (Li-6 is TLD- (Li-6 is TLD- (Li-7 is	TLD-100 (Li natural)	Research, Clinical			Chips, MicroCube,
	TLD-600 (Li-6 isotope)	Neutron 10 µGy - 1 Gy		<20% in 3 months <5% in 3 months corrected	Square Rod, Rod, Unsorted Chips, Powder, Pelletized
	TLD-700 (Li-7 isotope)	Gamma, Beta			Chip, Pelletized Disk
Lithium Fluoride LiF:Mg,Cu,P	TLD-100H (Li natural)	Environmental, Personnel, Extremity		Nasliaible is 0 months	0.11.11.1.011
	TLD-600H (Li-6 isotope)	Neutron 1 µGy - 10 Gy		<5% up to 2 years	Pelletized Chip, Pelletized Disk, Powder
	TLD-700H (Li-7 isotope)	Gamma, Beta, Environmental			Tonuci
Calcium Fluoride Dysprosium, CaF2:Dy	TLD-200	Environmental	0.1 µGy - 10 Gy	10% in 1st 24 hr 16% total in 2 weeks	Chip
Calcium Fluoride Manganese, CaF2:Mn	TLD-400	Environmental and High Dose	0.1 µGy - 100 Gy	8% in 1st 24 hr 12% total in 2 weeks	Chip

量計為 TLD-600 及 TLD-600H

3.1.3.3 中子活化金屬箔片[3.1.12]

不同的金屬箔片會與不同能量的中子產生放射捕獲或荷電粒子反應,生成不 穩定的活化核種,如圖 3.7、圖 3.8。圖 3.7為⁵⁵Mn(n,γ)⁵⁶Mn 的放射性捕獲反應 截面,相較於圖 3.8的⁵⁸Ni(n,p)⁵⁸Co 的荷電粒子反應截面可以觀察到明顯的差異, ⁵⁵Mn(n,γ)⁵⁶Mn 的反應主要為熱中子及超熱中子貢獻,而 ⁵⁸Ni(n,p)⁵⁸Co 的反應則 為快中子貢獻。由此可知,當放置金屬箔片在未知的中子場時,各個金屬箔片會 因為自身的物理特性與中子產生不同的反應,而且各個反應的反應截面均有所不 同,概念上,同時利用數個不同的金屬片量測同一個中子場,再利用複雜的計算 即可以得到中子的特性。





圖3.8.⁵⁸Ni(n,p)⁵⁸Co的荷電粒子反應截面

本團隊於 2020 年時為建立 THOT-BNCT 設施硼中子捕獲治療中子能譜品保 規範,我們設計利用 10 組金屬箔片量測清華大學的水池式反應器並分析其中子 特性,10 組金屬箔片的種類如表 3.9,對應的金屬箔片的響應函數如圖 3.9,將 十組金屬箔片經過中子場照射及量測後,再以能量反解的程式予以解析,結果如 圖 3.10,除了 0.1-10 MeV 之間有些微差異,利用 10 組金屬箔片完成的中子能譜 量測結果正確度尚佳。截至目前為止,我們已經利用 THOR-BNCT 設施的中子 束進行了近十次的測試,整體實驗結果一如預期的穩定可靠,未來將其中靈敏度 較高之箔片用於迴旋加速器設施的中子測量應無問題。

箔片	重量百分比	直徑 ^{[7} (mm)	い厚度いい ¹ (mm)	反應	備註
Sc	99.99% Sc	12	0.1	⁴⁵ Sc (n,γ) ⁴⁶ Sc	裸箔片
MnNi	88% Mn - Ni	12	0.2	⁵⁵ Mn (n,γ) ⁵⁶ Mn	裸箔片
LaAl	5% La - Al	12	0.2	¹³⁹ La (n, γ) ¹⁴⁰ La	裸箔片
CuAl	10% Cu - Al	12	0.2	63Cu (n,γ) 64Cu	裸箔片
InAl	0.2% In - Al	12	0.2	¹¹⁵ In (n, γ) ^{116m} In	裸箔片
AuAl	1% Au - Al	12	0.2	¹⁹⁷ Au (n, y) ¹⁹⁸ Au	裸箔片
Co	99.94% Co	12	0.0254	⁵⁹ Co (n, γ) ⁶⁰ Co	裸箔片
In	100% In	12	0.2	¹¹⁵ In (n,n') ¹¹⁵ mIn	閾值反應
Ni	100% Ni	20	1	58Ni (n,p) 58Co	閾值反應
Al	100% Al	20	2.06	$^{27}A1 (n, \alpha) ^{24}Na$	閾值反應

表3.9.10 組用於量測清華大學水池式反應器的金屬箔片



圖3.9.10 組金屬箔片對於中子的響應函數



圖3.10. 清華水池式反應器中子能譜,黑色實線為清華大學自 2001 年至今歷經 多次實驗驗證之中子能譜量測結果,紅色實驗則為利用 10 組金屬箔片量測後之 反解能譜。

3.2 活化量测之驗證分析

針對量測之驗證分析,本研究將立基於第一年建立的技術,利用蒙地卡羅法進行中子通率分布計算與接續的放射活化分析,考量二種設計模型(有無自屏蔽) 的迴旋加速器設施,評估其運轉照射中的的室內中子通率與其對於建物混凝土不 同深度的活化潛勢,並將理論預測與前述規劃之測量結果比較,歸納評析國內加 速器設施之活化影響情形。

3.2.1 建物混凝土不同深度的活化潜勢

基於 3.1.2 節的敍述,混凝土中的關鍵核種為鐵-55、錳-54、鈷-60、銫-134、 銪-152 及銪-154 等六種的長半衰期核種,109 年度放射性物質生產設施除污及除 役規劃暨安全審查技術研究中,模擬使用 18 MeV 質子束轟擊 ¹⁸O 水靶,3.1.2 評估連續照射 2 小時與連續照射 1 年的差異,以及設施的有/無自屏蔽設計對於 整體活化狀況的影響,結果如圖 3.11,左右兩欄為比較無自屏蔽的前向混凝土與 有自屏蔽地面混凝土在照射結束時的比活度差異;上下兩列則是比較連續照射 2 小時與連續照射 1 年之間的差異。除了錳-54 的反應為快中子貢獻,其餘五種為 被熱中子或超熱中子活化的主要貢獻核種均出現了增建區的現象,其中最大的比 活度約出現在 10-15 公分深度的位置,此現象在使用混凝土的鑽心取樣量測是必 須尤為注意;而加速器設施的自屏蔽設計在模擬驗證中確立,對於前向混凝土的 活化防護極為有效,但對於地面混凝土的防護卻效果甚微,針對有/無自屏蔽設 計的地面混凝土活化狀況,預期會是本年度的分析重點之一。



圖3.11. 比較六種關鍵核種在不同混凝土深度的比活度變化,除了 ⁵⁴Mn,其餘五 種關鍵核種均在混凝土牆內發現增建的現象,比活度最大的位置約略落在 10-15 公分深的位置;自屏蔽設計對於地面混凝土的活化防護明顯收效基微

3.2.2 空間中的中子分布狀況

倘若混凝土鑽心取樣不易,本團隊規劃於加速器照射室中建立中子量測取代。 由於在正子藥物製備的過程中,必然會生成二次中子,生成的二次中子瀰漫在照 射室中造成組件及混凝土活化,因此針對二次中子的通量及能量的量測亦可間接 驗證活化的狀況。

圖 3.12 為 FLUKA 模擬無自屏蔽加速器設施中在利用 18 MeV 質子製備¹⁸F 時的空間中中子分布狀況,實務上加速器本體內部與混凝土內部沒有空間可供量 測,因為在照射室中實施中子量測預期是可行的替代方案,在無自屏蔽的加速器 設施中,其中子的通量約為 10⁻⁸-10⁻⁷/cm²/pr,若以 50 μA 操作電流計算之,中子 通量高達 10⁶-10⁷/cm²/s。

 $\times 10^{-8} cm^{-2} pr^{-1}$



圖3.12. 左圖為無自屏蔽加速器設施中的材料分布,右圖為利用 18 MeV 質子製備¹⁸F 時的中子分布狀況,在加速器照射室空間中的中子通量約為 10⁻⁸-10⁻⁷/cm²/pr

圖 3.13 為 FLUKA 模擬有自屏蔽加速器設施中在利用 18 MeV 質子製備¹⁸F 時的空間中中子分布狀況,由於自屏蔽的設計有效降低中子的傳播,因此相較於 無自屏蔽加速器中的空間中子通量分布明顯下降,前向的中子通量約為 10⁻¹⁶-10⁻ ¹²/cm²/pr,以 50 μA 操作電流計算之,中子通量為 10⁻²-10²/cm²/s;側向及後向的 中子通量亦明顯低於前向散射,中子通量均低於 10⁻¹⁶/cm²/pr,以 50 μA 操作電 流計算之,中子通量低於 10⁻²/cm²/s。
$\times 10^{-8} cm^{-2} pr^{-1}$





3.3 中子量测

由於本年度受疫情影響,導致混凝土鑽心取樣的相關工作施作困難,因此採 用多種偵檢器進行運轉中照射室內的中子度量,正確估計照射室內不同能群的累 積中子通量對於設施放射活化估計非常關鍵,係因活化的生成均是由產製核種過 程中所生成的二次中子貢獻,因此針對二次中子進行定性與定量不失為一有效的 間接量測方式,本年度分別於一無自屏蔽設施(北部某院區,以下簡稱甲設施)與 有自屏蔽設施(中部某院區,以下簡稱乙設施)進行中子量測實驗,共計使用3種 中子偵檢器,分別為:高靈敏度中子比例計數器、中子活化金屬箔片以及含 Li-6 的熱發光(TLD)人員劑量計,以下針對實驗前的偵檢器測試及準備、針對設施 特性所建立的理論計算及實驗結果逐一呈現。

3.3.1 實驗前準備

3.3.1.1 高靈敏度中子比例計數器

本次實驗擬使用 3 支不同緩速體的高靈敏度中子比例計數器,如圖 3.14,3 支偵檢器所對應的緩速體分別為:無緩速體、6.5 公分聚乙烯及等效 0.5 公分鉛 加上 6 公分聚乙烯,3 組偵檢器對中子的響應函數如圖 3.15,無緩體之中子比例 計數器對於中低能量中子較敏感;6.5 公分聚乙烯緩速體與聚乙烯加鉛兩組中子 比例計數器則對 1 MeV 左右之中子最敏感,其中緩速體含鉛之比例計數器對於 1 GeV 以上之中子有更好的量測敏感度。為確保對上述 3 支高靈敏度中子比例計 數器的操作及後續資料處理的正確性,本團隊於 3 月 25 日至 4 月 1 日於新竹市 清華大學工程與系統科學系系館 4 樓進行為期 8 天的量測,射源為宇宙輻射,結 果如圖 3.16 所示,量測結果與文獻中陳韋霖等人[3.1.15]的量測結果相近,其中 無緩速體的量測結果為 36.90 ± 6.32 / 10 分鐘,陳韋霖等人的量測結果則為 3.1 ± 1.7 / 分鐘;6.5 公分緩速體的量測結果為 29.88 ± 5.53 / 10 分鐘,陳韋霖的量 測結果則為 3.0±1.7 / 分鐘,證明本次偵檢器試驗結果與以往文獻發表的研究結 果符合,確認實驗設備與使用正確無誤。



圖3.14. 高靈敏度中子比例計數器,最左側為6.5 公分聚乙烯緩速體,中間為無 緩速體,右側則為等效0.5 公分鉛加6公分聚乙烯緩速體。



圖3.15. 無緩速體、6.5 公分聚乙烯緩速體與0.5 公分鉛加上6 公分聚乙烯緩速體

100 $:36.90 \pm 6.32$ Bare Bare 90 PE PE $:29.88 \pm 5.53$ PE+Pb 80 $PE + Pb: 38.58 \pm 6.52$ 70 60 Count 50 40 30 20 10 0 400 0 200 600 800 1000 Tick (/10min)

之響應函數

圖3.16. 為期8天的高靈敏度中子比例計數器量測宇宙輻射的結果

3.3.1.2 中子活化金屬箔片

本次實驗使用 3 種不同的金屬箔片進行中子量測,材料分別為金(2 組)、銅 (10 組)及鎳(4 組),於有/無自屏蔽設施中各使用 1 組金箔片,5 組銅箔片及 2 組 鎳箔片進行中子量測,箔片資訊如表 3.10 及圖 3.17,根據圖 3.17 可以觀察到, 金箔片與銅箔片對於中低能量中子反應截面較高,鎳箔片則與大於 0.7 MeV 之 快中子產生反應。由於本團隊常年投入硼中子捕獲治療的射束品保相關工作,利 用反應器中子源進行金屬箔片活化量測實驗相當熟稔,本次實驗使用加速器中子 源作為箔片活化的中子射源項,本團隊認為與反應器中子源並無二致。

箔片 金 鎳 銅 100% 100% 100% 重量百分濃度 重量 約 100 mg 約 100 mg 約 2885 mg 半衰期 2.54 天 12.7 小時 70.8 天 411.8 keV 511 keV 量測能峰 818 keV 分支比 95.6% 34.8% 99.4% 10⁵ ¹⁹⁷Au(n,γ) 10⁴ ⁶³Cu(n,γ) ⁵⁸Ni(n,p) 10³ Cross section (barn) 10² 10¹ 10[°] 10⁻¹ 10⁻² 10⁻³ 10 $^{\prime}10^{-11}10^{-10}10^{-9}10^{-8}10^{-7}10^{-6}10^{-5}10^{-4}10^{-3}10^{-2}10^{-1}10^{0}10^{1}$ Neutron energy (MeV)

表3.10. 金、銅、鎳 3 種箔片用於活化量測之必要資訊,重量係為數個箔片的平均值,各個實驗用箔片均經過精密重量量測

圖3.17. 用於中子活化箔片:金、銅、鎳的反應截面。金箔片與銅箔片對中低能 量中子反應截面較高; 鎳為閾值箔片,對於大於 0.7 MeV 以上中子有反應

考量鎮箔片的半衰期較長,前次實驗的中子活化可能致使鎳箔片有殘存活度,因此在實驗前針對4組鎳箔片進行殘存活度測量,量測結果如表3.11,4 組箔片的殘存活度約為1 Bq,後續的量測結果均以扣除殘存活度之結果呈現之。

鎳箔片	#1	#2	#3	#4
量測時間	110.8.5	110.7.28	110.7.29	110.8.5
殘存活度(Bq)	1.408	1.905	1.863	1.348

3.3.1.3 含 Li-6 的熱發光(TLD)人員劑量計

本次實驗使用人員劑量計進行深部中子劑量量測,分別為 Harshaw 8806 (20 組)及 Harshaw 8814 (20 組),於有/無自屏蔽設施中各使用 10 組的 8806 及 8814 進行測量,8806 及 8814 適用之輻射劑量量測種類如圖 3.18,圖中呈現兩種劑量 計均適用於人員深部中子劑量量測。

Madal	Radiation	ion Types Measured		Obtainable Dose Equivalent Measurements			valent	TLD Card Material		
Holder	Gamma, X-Ray (Photons)	Beta	Neutron	Deep Hp(10)	Shallow Hp(0.07)	Lens	Neutron Deep	LiF:Mg,Ti Card Short Description/ Series Part Number	LiF:Mg,Cu,P Card Short Description/ Series Part Number	
8806	Х	_	X	Х			X	6776 / TLDCARD-43C		
								0110/TLDCARD-21C		
8814	x	X		X	X	Х		1110/TLDCARD-31C		
			Х			Х	Х	7776 / TLDCARD-43C		

圖3.18. 人員劑量計 8806 及 8814 適用之劑量量測種類,兩種劑量計均適用於人

員深部中子劑量量測

3.3.2 理論計算

3.3.2.1 設施模型建立

為了盡可能的重現有/無自屏蔽設施中的二次中子特性,設施的操作靶電流、 質子能量、靶體、環境等一系列資訊都必須儘可能的掌握並在評估時一併納入考 量,因此在本年度的實驗之前,本團隊針對無自屏蔽設施(甲設施)及有自屏蔽設 施 (乙設施)做了一次新的評估。

表 3.12 為甲設施加速器資料,該加速器於民國 81 年投入運轉,質子能量 17 MeV,最大靶電流 45 μA,主要生產核種為 ¹⁸O(p,n)¹⁸F, ¹⁴N(p,α)¹¹C, ²⁰Ne(d,α)¹⁸F, 甲設施加速器為無自屏蔽設計,因此於 FLUKA 中建立無自屏蔽加速器模型如圖 3.19,模擬情節為 17 MeV 質子束轟擊 O-18 水靶,並在照射室的四個方位的牆角 計讀中子通量,該中子通量將用於評估高靈敏度中子偵檢器、中子活化金屬箔片 與含 Li-6 的熱發光人員劑量計之讀值評估,評估方法與結果在下節呈現。



表3.12. 甲設施加速器資料

圖3.19. 用於評估甲設施加速器二次中子特性之無自屏蔽模型,左圖為側視圖, 右圖為上視圖,射束方向訂為前向,相對於前向的其他四個方向牆角位置計讀 中子通量

表 3.13 為乙設施加速器資料,該加速器與民國 92 年投入運轉,質子能量 11 MeV,最大靶電流 40 μA,主要生產核種為¹⁸O(p,n)¹⁸F,乙設施加速器為有自屏 蔽設計,參考現有資料,自屏蔽設計有以下4點設計:

- 1. 自屏蔽材料由內而外依序為 Epoxy, B₄C, Pb, PE, B₄C, 混凝土,厚度比例為 1:1:1:1:5。
- 2. 參考現場自屏蔽外觀, 側邊自屏蔽訂為 100 公分厚, 頂部為 50 公分厚。
- 自屏蔽與地面保留2公分間隙,確保實務上自屏蔽能正常開啟與閉合。
- 4. 參考現場自屏蔽為橢圓形,FLUKA模型則以圓形代之。

FLUKA 中建立有自屏蔽加速器模型如圖 3.20,模擬情節為 11 MeV 質子束 轟擊 O-18 水靶,除了在照射室中的自屏蔽外側四個方位牆角計讀中子通量,在 自屏蔽內側正對靶體的位置也同步計讀中子通量,3 種偵檢器的讀值評估在下節 呈現。



表3.13. 乙設施加速器資料



圖3.20. 用於評估乙設施加速器二次中子特性之有自屏蔽模型,左圖為側視圖, 右圖為上視圖,射束方向訂為前向,相對於前向的其他四個方向牆角位置及自 屏蔽內測紅圈處計讀中子

3.3.2.2 高靈敏度中子比例計數器

高靈敏度中子比例計數器在設施運轉時的理論計數率以式(1)評估:

$$R = \int R.F.(E) \times \phi(E) \, dE \tag{1}$$

其中:

R:偵檢器計數率 (count/s)
R.F. (E):響應函數(cm²) ,如圖 3.15 所示。
φ(E):中子通量(/cm²/s)

在無自屏蔽設施中, 偵檢器放置的位置與各個位置的理論中子通量如圖 3.21 所示, R1 的中子通量最高, R2-R4 的中子通量則相近, 四個方向中的低能量中 子數量相當接近, 而在 R1 位置的快中子通量則明顯高於其他三個方向。將既有 的響應函數與中子通量相乘後即可得到理論的偵檢器計數值, 如圖 3.22 所示, 圖 3.22 顯示在四個位置的 3 種不同緩速體的中子比例計數器其計數值均超過 5x10⁶/s/μA, 考慮甲設施加速器的最高靶電流為 45 μA 的情境下, 計數值更是高 達 10⁸/s 以上,已超過中子比例計數器的運作極限,因此在甲設施的中子量測實 驗中,比例計數器將放置在照射室外面的作試驗性量測,而由於缺乏照射室外部 的環境資訊,因此在無自屏蔽的中子比例計數器無法作更進一步的理論計算與評 估。



圖3.21. 左圖為無自屏蔽設施中計讀中子通量的位置及編號。右圖為對應的中子

能譜。



圖3.22. 無自屏蔽設施中 R1-R4 的 3 種不同緩速體之中子比例計數器理論計數 率,縦軸單位為每秒計數值/μA,評估時需考量設施運轉時所使用的實際靶電流

參數

有自屏蔽設施中的中子比例計數器理論計數同樣採用式(1)評估,惟中子通 量因為自屏蔽的存在而改變,亦同步改變計數器的計數值,有自屏蔽設施中的比 例計數器位置與對應的中子通量如圖 3.23, 有鑑於中子比例計數器在無自屏蔽設施中有計數率太高的問題,因此在有自屏蔽設施中即將偵檢器放置在自屏蔽外側進行量測, 在圖 3.23 的右圖中也可以觀察到,經過自屏蔽的衰減後,二次中子的數量顯著降低,但仍可以計讀到低能量中子及少量的快中子。將中子通量與響應函數相乘後結果如圖 3.24,考量乙設施加速器之最大靶電流 40μA,最大計數率約為 880,000/s,可能逼近中子比例計數器的操作極限,有可能觀察到劇烈的無感時間(dead time)造成訊號流失,因此在實驗時採用較低靶電流分析二次中子特性應是較可靠的方式。



圖3.23. 左圖為有自屏蔽設施中計讀中子通量的位置,為正對射束的前向牆角。



右圖為對應的中子能譜。

圖3.24. 有自屏蔽設施中 R1 位置,3 種不同緩速體之中子比例計數器之理論計

數率

3.3.2.3 中子活化金屬箔片

中子活化箔片的評估方式如式(2):

$$R = \int \phi(E) \times \sigma(E) dE \times (1 - e^{-\lambda t_{irr}})$$
(2)

其中:

R:箔片活度 (/s) $\phi(E):中子通量(/cm^2/s)$ $\sigma(E):微觀反應截面(cm^2)$ $\lambda:箔片之衰變常數(/s)$ $<math>t_{irr}:照射時間(s)$

在無自屏蔽設施中, 箔片量測位置均放置在前向牆面, 對應的位置與理論 計算所得之中子通量如圖 3.25, 3 種箔片之微觀反應截面如圖 3.17 所示,考量 甲設施加速器的最大靶電流為 45μA, 一次常規照射時間為 2 小時,並預設金箔 片重量為 100 毫克、銅箔片重量為 100 毫克, 鎳箔片為 2885 毫克的情境下,在 照射結束時, 3 種箔片的活度如表 3.14 所示,金箔片與銅箔片的活化較劇烈, 符合圖 3.17 對中低能量中子反應截面較大與圖 3.25 呈現之中低能量中子通量較 高的現象; 鎳箔片則對於 0.7 MeV 以上快中子有反應,圖 3.25 也顯示 0.7 MeV 以上快中子數量低於中低能量之中子,因此鎳箔片的活化較不顯著,由於鎳箔 片的半衰期長達 70.85 天,以較長時間的照射即可達到活度累積的效果。



圖3.25. 左圖無自蔽設施中金屬箔片放置之位置,為前向位置牆角。右圖則為該 位置之理論計算中子通量

表3.14.金、銅、鎳箔片在 R1 方向經¹⁸O(p,n)¹⁸F 反應所產生之二次中子照射之

	Au (100%)	Cu (100%)	Ni (100%)
靶電流*照射時間		45µA*2 小時	
箔片重量	100 mg	100 mg	2885 mg
活度@EOB	7922 Bq	1765 Bq	2.3 Bq

活化狀況,照射靶電流 45µA,照射時間 2 小時

有自屏蔽設施中,金屬箔片的位置為自屏蔽內側的前向方向,對應的位置與 理論計算所得之中子通量如圖 3.26 所示,評估採用與無自蔽設施同樣的方法, 惟乙設施的加速器的最大靶電流為 40μA,照射時間則維持 2 小時,箔片重量不 變情境下,照射結束時的箔片活度如表 3.15 所示,金箔片與銅箔片的活化狀況 顯著,鎳箔片的活度仍然偏低,實務上同樣採用較長的照射時間累積鎳箔片的活 度。



圖3.26. 左圖有自蔽設施中金屬箔片放置之位置,為自屏蔽內側的靶體附近,由 於高度差異圖中未能呈現靶體。右圖則為該位置之理論計算中子通量 表3.15. 金、銅、鎳箔片在自屏蔽內測經¹⁸O(p,n)¹⁸F 反應所產生之二次中子照射 之活化狀況,照射靶電流 40μA,照射時間2小時

	Au (100%)	Cu (100%)	Ni (100%)
靶電流*照射時間		40µA*2 小時	
箔片重量	100 mg	100 mg	2885 mg
活度@EOB	16319 Bq	2850 Bq	3.9 Bq

3.3.2.4 含 Li-6 熱發光(TLD)人員劑量計

含 Li-6 熱發光(TLD)人員劑量計在設施運轉其間的理論劑量以式(3)評估:

$$H^*(10) = \int C.F.(E) \times \phi(E) dE$$
(3)

其中:

由於 Harshaw 8806 及 8814 的用途為人員劑量評估,而目前則是針對環境 中的中子劑量評估,因此針對 Harshaw 8806 及 8814 量測中子深部等效劑量,即 包括頭部、身體軀幹、手肘以上手臂、膝蓋以上腿部等部位之全身體外曝露,指 其一公分深處之等效劑量。對應到環境劑量評估的中子周圍等效劑量,即相應的 擴展齊向場在人體組織等效球內逆齊向場的徑向,自球面起算深度軟組織處所產 生的等效劑量。本理論計算中採用深度一公分處作為評估中子周圍等效劑量之位 置。中子周圍等效劑量的轉換因子如圖 3.27 所示。



圖3.27. 中子周圍等效劑量-H*(10)之劑量轉換因子

在無自屏蔽設施中,劑量評估同樣從計算理論中子通量入手,中子計讀位置 與對應的中子通量如圖 3.28 所示,將圖 3.27 與圖 3.28 右圖相乘,並納入甲設施 加速器最大靶電流 45µA,一次照射 2 個小時的情境下,理論測得的中子周圍等 效劑量如圖 3.29 所示,經過一次照射後,前向 R1 位置預期可測得約 28 西弗之 中子周圍等效劑量,高出 R2-R4 約 15 西弗的理論值。



圖3.28. 左圖為無自屏蔽設施中計讀中子通量的位置及編號。右圖為對應的中子



能譜。

圖3.29. 無自屏蔽設施中,經過45μA,2小時¹⁸O(p,n)¹⁸F 製備的情境下,四個方 向所測得之理論中子周圍等效劑量

有自屏蔽設施的人員劑量計評估位置與對應的中子通量如圖 3.30 所示,考 量乙設施加速器最大靶電流為 40μA,一次照射 2 個小時的情境下,利用式(3)計 算出一次照射測得的理論中子周圍等效劑量如圖 3.31。經自屏蔽衰減後,四個方 向的劑量呈現相近的數值,經過一次照射後的劑量約為 0.2 毫西弗,遠低於無自 屏蔽設施中的 15 西弗中子周圍等效劑量。



圖3.30. 左圖為有自屏蔽設施中計讀中子通量的位置及編號。右圖為對應的中子



能譜。

3.3.3 儀器架設

3.3.3.1 甲設施無自屏蔽加速器設施

甲設施加速器為一無自屏蔽設計加速器,加速器周邊空間平面圖如圖 3.32 所示,紅框處為加速器照射室,綠框處則為加速器控制室,照射室與控制室間 以混凝土區隔作為輻射屏蔽。圖 3.32 亦標示出三種偵檢器的擺放位置,紫圈為 高靈敏度中子比例計數器,藍圈為中子活化金屬箔片,棕圈為熱發光人員劑量 計,並針對五處不同的熱發光人員劑量計位置編號,三種偵檢器的量測時間如 表 3.16 所示,量測時間係經過 3.3.2 節之理論計算結果後評估之最佳化設定,

圖3.31. 有自屏蔽設施中,經過40μA,2小時¹⁸O(p,n)¹⁸F 製備的情境下,四個方 向所測得之理論中子周圍等效劑量

本團隊於110年8月9日於甲設施現地架設並實施量測,架設記錄如圖3.33



圖3.32. 甲設施加速器周邊平面圖及偵檢器擺放位置

表3.16. 甲設施量測中子的三種偵檢器擺放位置、種類及量測時間

偵檢器	位置	量測時間		
高靈敏度中子比例計數器	控制室	4 日		
		金、銅*2	1日	
中子活化金屬箔片	照射室,前向	銅*2、鎳	4 日	
		銅、鎳	30 日	
熱發光人員劑量計	照射室,前、側、後向	1日		



圖3.33. 甲設施儀器架設記錄,第一列:高靈敏度中子比例計數器架設。第二 列,中子活化金屬箔片與熱發光人員劑量計架設及牆面拍攝。第三列,甲設施 加速器外觀。第四列,加速器前向的活化金屬箔片及熱發光人員劑量計。

3.3.3.2 乙設施有自屏蔽加速器設施

乙設施加速器為一有自屏蔽加速器,加速器周邊平面圖如圖 3.34,紅色底 色處為加速器照射室,橢圓形輪廓為自屏蔽體位置,自屏蔽內即為加速器,如 圖 3.35 所示。圖 3.34 亦標示出三種偵檢器的擺放位置,紫圈為高靈敏度中子比 例計數器,藍圈為中子活化金屬箔片,棕圈為熱發光人員劑量計,並針對自屏 蔽體外四處熱發光人員劑量計位置進行編號,其中中子活化金屬箔片及一組熱 發光人員劑量計擺放於自屏蔽內側,其餘偵檢器均於自屏蔽外側。三種偵檢器 的量測時間如表 3.17。本團隊於 110 年 8 月 2 日於乙設施現地架設並實施量 測, 架設記錄如圖 3.36。



圖3.34. 乙設施有自屏蔽加速器設施周邊平面圖及偵檢器擺放位置



圖3.35. 自屏蔽體與加速器平面圖

表3.17. 乙設施量測中子的三種偵檢器擺放位置、種類及量測時間

偵檢器	位置	量測時間	
高靈敏度中子比例計數器	自屏蔽外侧 前向	4日	
		金、銅*2	1日
中子活化金屬箔片	自屏蔽內側	銅*2、鎳	3日
		銅、鎳	9日
執發光人員劑量計	自屏蔽內側	1日	
灬 y /u/ 、 穴 内 王 叮	自屏蔽外侧,前、侧、後向	4日、9	日

















圖3.36. 乙設施儀器架設記錄。第一列:高靈敏度中子比例計數器架設。第二 列:乙設施加速器及自屏蔽概況。第三列:熱發光人員劑量計架設。第四列: 自屏蔽內側熱發光人員劑量計及中子活化金屬箔片貼附記錄。

3.3.4 量測結果與討論

有鑑於理論計算中的靶電流、照射時間、靶材等照射參數與加速器操作實務 上存在些微差異,因此本節次中的所呈現之理論計算結果承接 3.3.2 節中的理論 計算方法,但對於方法中的照射時間及靶材均參考現場運轉資料作調整,詳細的 加速器運轉參數載於附件中,附件一為甲設施提供之加速器運轉參數,附件二為 乙設施加速器根據靶電流、薄膜電流、高靈敏度中子比例計數器資訊製表之運轉 參數,本節次圖表中呈現理論計算皆為參考附件一及附件二運轉參數後重新評估 後之結果。 3.3.4.1 甲設施

1. 高靈敏度中子比例計數器

圖 3.37 為 110 月 8 月 10 日高靈敏度中子比例計數器於甲設施控制室中的量 測結果,參考附件一之運轉資料,當日 6 時 17 分至 7 時 14 分使用 45μA 質子製 備 H¹⁸F,8 時 51 分至 10 時整使用 45μA 質子製備 ¹¹CO₂;在圖 3.37 顯示對應的 加速器時間偵檢器均計讀到有效訊號,顯示在甲設施的加速器設施中,照射室中 的二次中子生成是可以在控制室中被計讀的,其中在製備 H¹⁸F 時,無緩速體之 高靈敏度中子比例計器約 5000 計數/分鐘,製備 ¹¹CO₂ 時則約 4000 計數/分鐘, 而在聚乙烯及聚乙烯加鉛的兩組緩速體偵檢器中,亦呈現製備 H¹⁸F 時的計數率 大於製備 ¹¹CO₂ 時的計數率,顯示在中低能量及快中子能量區間,製備 H¹⁸F 所 產生的二次中子數量均高於製備 ¹¹CO₂ 時所生成的二次中子數量。



圖3.37. 高靈敏度中子比例計數器於甲設施加速器控制室中的量測結果。

2. 中子活化金屬箔片

承表 3.16,甲設施加速器設施中共計使用金、銅、鎳箔片用於中子量測,其 中1組金箔片及2組銅箔片接受中子照射1日;2組銅箔片與1組鎳箔片接受中 子照射4日;1組銅箔片及1組鎳箔片接受中子照射30日。各組箔片自甲設施 照射結束取回清華大學後,經過適當的冷卻後即使用高純鍺偵檢器進行能譜量測, 圖 3.38 呈現經中子照射1日後的三組箔片經高純鍺偵檢器量測後的能譜,三組 箔片的能峰呈現高斯分布,代表箔片活度足以辨別有效訊號,又不致於讓高純鍺 偵檢器的無感時間影響訊號處理,照射 4 日及照射 30 日之箔片量測結果如圖 3.39 及圖 3.40。







圖3.38. 經中子照射1日後之中子活化金屬箔片於高純鍺偵檢器(HPGe)量測之加馬能譜。圖(1):金箔片,411.82 keV 能峰。圖(2)及圖(3):銅箔片511 keV 能峰



圖3.39. 經中子照射4日後之中子活化金屬箔片於高純鍺偵檢器(HPGe)量測之加馬能譜。圖(1)及圖(2):兩組銅箔片,511 keV 能峰。圖(3): 鎳箔片 810.5 keV



能峰

圖3.40. 經中子照射 30 日後之中子活化金屬箔片於高純鍺偵檢器(HPGe)量測之 加馬能譜。圖(1):銅箔片,511 keV 能峰。圖(2): 鎳箔片 810.5 keV 能峰

完成高純鍺偵檢器的量測之後,即可回溯照射結束時的箔片活度,如圖 3.41, 圖 3.41 為回溯金箔片活度之試算表,本表經與本實驗室常規使用之硼中子捕獲 治療射束品保之試算表交互比較無誤後投入使用。圖 3.41 綠底欄位為必要填寫 之欄位,包含箔片重量、加馬能量、中子照射結束時間、高純鍺偵檢器開始計讀 時間、偵檢器計讀時長、能峰計數值等一系列資訊,必要資訊輸入後,金箔片於 照射結束時之活度如圖中 26 列所示,於中子照射 1 日後之活度為 1997.7 Bq±0.29%。銅箔片與鎳箔片均採用相同模式評估其照射結束時之活度,結果如 表 3.18。

4	А	В	С	D	E	F	G
1			原子量	半衰期	分	時	天
2	箔片種類:	Au(100%)	196.967				2.69517
3	箔片重量(mg):	138					
4	半衰期(秒):	232862.688		衰變常數	2.97663E-06		
5	主要觀察能峰:	411.89	keV	衰變比例	0.9558		
6							
7				觀察能峰			
8	能峰效率@7.3cm:	5.620E-03		411.82	ROI: ±9 channel		
9				_			
10		年	月	E	時	分	冷卻時間
11	照射結束時間	2021	8	10	10	1	616620
12	開始計讀時間	2021	8	17	13	18	010020
13			Table A. C. abort				
14	Real Time (s)	Live Time (s)	總計數	淨計數	誤差(±)	背景計數	
15	86564.90	86400.0	138501	130397	384	8104	
16 17 18 19 20	Counts := $\frac{\alpha_{.0}}{\lambda} \cdot e^{-\frac{1}{\lambda}}$	$\lambda \cdot t_{.cool} \cdot (1 - e)$	$-\lambda \cdot t_{.meas}$ $\varepsilon \cdot \underline{Rat}$	io			
21							
21	EXP(-λT _{cool})	EXP(-λT _{meas})_REAL	DEAD TIME 修正				
21 22 23	EXP(-λT _{cool}) 0.1595	EXP(-λT _{meas})_REAL 0.7728	DEAD TIME 修正 1.00190856481	1.00167323873	1.001908565		
21 22 23 24	EXP(-λT _{cool}) 0.1595	EXP(-AT _{meas})_REAL 0.7728	DEAD TIME 修正 1.00190856481	1.00167323873	1.001908565		
21 22 23 24 25	EXP(-λT _{cool}) 0.1595 活度@EOB (Bq)	EXP(-入T _{meas})_REAL 0.7728 誤差 (Bq)	DEAD TIME 修正 1.00190856481 誤差 (%)	1.00167323873	1.001908565		
21 22 23 24 25 26	EXP(-λT _{cool}) 0.1595 活度@EOB (Bq) 1997.696239	EXP(-λT _{meas})_REAL 0.7728 誤差 (Bq) 5.883E+00	DEAD TIME 修正 1.00190856481 誤差 (%) 0.29%	1.00167323873	1.001908565		
21 22 23 24 25 26 27 28	EXP(-λT _{cool}) 0.1595 活度@EOB (Bq) 1997.696239 活化約子數@EOB (Bq)	EXP(-入T _{mess})_REAL 0.7728 誤差 (Bq) 5.883E+00	DEAD TIME 修正 1.00190856481 誤差 (%) 0.29%	1.00167323873	1.001908565		

圖3.41. 用於回溯金屬箔片活度之試算表,圖中為金箔片之試算表 表3.18. 於甲設施經照射1日/4日/30日之中子活化金屬箔片之活度量測結果

照射時間	箔片	實驗活度	
	金	1997.7 Bq±0.29%	
1日	銅 #1	544.8 Bq±1.21%	
	銅 #2	673.9 Bq±1.84%	
	銅 #3	973.6 Bq±1.07%	
4 日	銅 #4	987.6 Bq±1.48%	
	鎳 #1	38.3 Bq±1.45%	
30 F	銅 #5	850.8 Bq±0.89%	
	鎳 #2	165.0 Bq±0.59%	

為了瞭解理論計算與實驗之間的差異性,本團隊延續 3.3.2.3 節的理論計算

模型,並導入甲設施提供之 30 日加速器運轉資料計算 3 種箔片之理論活度,計 算過程如圖 3.42,線底欄位為必填欄位,包含照射起迄時間及箔片重量,E17 及 E19 欄位的最大飽和活度是利用 FLUKA 計算每顆靶電流質子對箔片所貢獻的活 化,乘上靶電流所得之飽和活度,再依序乘上照射時間修正(F17 及 F19)、冷卻 時間(G17 及 G19),此處冷卻時間有別於照射結束至高純鍺偵檢器間的量測之時 間差,而是在每次照射至最後一次結束照射的時間差,如此即可得到理論計算活 度,如圖中 E20 欄位。利用上述方法評估 3 種箔片的理論計算活度,並與實驗量 測結果呈現於表 3.19。表中呈現金箔片與銅箔片不論在 1 日/4 日/30 日照射後, 理論計算活度均高於實驗量測結果 2-5 倍之多,即目前的無自屏蔽加速器模型中, 中低能量中子通量的估值明顯高於現場實際狀況;反觀鎳箔片在 4 日及 30 日照 射後,理論計算之結果為實驗量測結果的 0.5-0.6 倍,即 0.7 MeV 以上快中子的 估值顯著低於實際值,其差異來源有必要再做更深入的追蹤及研究。

1	A	В	С	D	E	F	G	н
1		起	迄	照射秒數	冷卻秒數	穩定運轉電流	穩定運轉電流_薄膜	
2	20	21/8/10						
3	第一階段熱機	-	-					
4	第一階段照射	6.30	7.23	3362	10024	45.00	0.00	
5	第二階段熱機	-	-					
6	第二階段照射	8.86	10.01	4142	0	35.49	0.00	
7	照射結束時間		10.01					
8								
9	箔片編號:	-	原子量	半衰期	分	時	天	年
10	箔片種類:	Au(100%)	196.967				2.69517	
11	箔片參考質量 (mg):	100						
12	半衰期(秒):	2.33E+05						
13	衰變常數	2.9766E-06						
14	衰變比例	0.9558						
15					飽和活度(Bq)	1-EXP(- λ Tirr)	EXP(-λTcool)	activity @ EOB
16	箔片編號:	G		第一階段熱機				
17	箔片重量(mg):	138		第一階段照射	515613.97	0.0100	0.971	4983.320
18	活度@EOB (Bq)	1997.70		第二階段熱機				
19				第二階段照射	406600.46	0.0123	1.000	4982.266
20				活度@EOB (Bq)	9965.59			

圖3.42. 金屬箔片照射後活度試算表,圖中 E20 為金箔片照射1日之理論計算結

果

表3.19. 甲設施3種金屬箔片經過1日/4日/30日照射之理論計算活度、實驗活

照射時間	箔片	理論計算活度	實驗活度(平均)	C/M
1日	金	9965.6 Bq	1997.7 Bq	4.99
	銅	1620.3 Bq	609.3 Bq	2.66
4 日	銅	1938.2 Bq	980.6 Bq	1.98
	鎳	19.1 Bq	39.6 Bq	0.48

度及雨者之比值

30 日	銅	1763.6 Bq	850.8 Bq	2.07
	鎳	104.3 Bq	165.0 Bq	0.63

3. 熱發光人員劑量計

承 3.3.2.4 的實驗前評估,甲設施的無自蔽加速器照射室劑量率高,使用熱 發光人員劑量計進行量測以 1 日照射即可得到有效的讀值,因此 Harshaw 8806 及 Harshaw 8814 經過 1 日照射後即取回計讀,計讀結果如圖 3.43,圖中一併呈 現理論計算讀值。圖 3.43 中觀察到以下現象:1)8806 及 8814 的量測結果呈現各 別的一致性,即可以確定 20 組偵檢器的讀值有其個別的可信度。2)由於 Harshaw 8806 及 Harshaw 8814 均為人員劑量計,分析環境劑量時可能力有未逮,而自圖 中發現 Harshaw 8806 在分析環境劑量時更貼近理論計算結果,未來可以評估使 用 Harshaw 8806 在分析環境劑量時更貼近理論計算結果,未來可以評估使 用 Harshaw 8806 的實驗量測比較如表 3.20,其中 5 個位置的比值介於 1.4-2.5 之間, 即理論計算的劑量高於 Harshaw 8806 所量測的結果,本團隊認為熱發光人員劑 量計與中低能量中子反應度較高,符合中子活化金屬箔片量測結果中低能量中子 估值較高的結論,但仍有必要針對其原因探討深入之。



圖3.43. 熱發光人員劑量計於甲設施計讀1日後的劑量計讀結果,理論計算亦一

併呈現於圖中

表3.20. 甲設施加速器理論計算劑量與實驗量測比較

	Door	R1	R2	R3	R4
理論計算 (mSv)	13352.5	26259.8	13332.6	13372.4	12927.6
實驗量測(平均) (mSv)	6430.3	17462.5	5468.5	7392	9183.5
C/M	2.08	1.50	2.44	1.81	1.41

3.3.4.2 乙設施

1. 高靈敏度中子比例計數器

圖 3.44 為 110 年 8 月 3 日高靈敏度中子比例計數器於乙設施控制室中的量 測結果,根據乙設施口述及紙本資料,每次¹⁸F 製備前,均會經過一次熱機運轉, 熱機運轉時除了靶電流較低,靶材、加速器磁鐵設定等參數均與正式製備時相同。 觀察圖 3.44 之時間與計數率關係圖,當天有兩次¹⁸F 製備,第一次熱機運轉時間 為 1 時 41 分至 2 時 25 分,爾後自 2 時 32 分至 5 時 9 分為第一次¹⁸F 製備;第 二次熱機運轉為 5 時 32 分至 6 時 7 分,並於 6 時 15 分開始第二次¹⁸F 製備,並 於 8 時 45 分結束。

值得注意的是,乙設施加速器為一雙靶體加速器,在本次實驗期間均採用雙 靶體製備¹⁸F,第一次熱機運轉期間至第二次同位素製備期間,兩靶體薄膜電流 依序採用 8.72μA,81.63μA,8.77μA,75.42μA(詳附件二),靶電流的改變也反應 在中子比例計數器的計數率改變。經過粗略的計算,熱機期間的靶電流強度約為 同位素製備期間的 1/10,而熱機期間的中子計數率約略同位素製備期間的 1/3, 由於中子通量應隨著靶電流增加而增加,且比例應維持恆定,而靶電流的改變預 期不會影響中子能譜的軟/硬化,因此本團隊認為在 80μA 靶電流的操作環境下, 已經導致比例計數器的無感時間效應變得顯著,過多的訊號遺失更直接導致該區 間的數據不可靠。簡而言之,在同位素製備期間的中子比例計數器讀值是無法採 信的。

為了瞭解理論計算與實驗之間的差異性,本團隊延續 3.3.2.2 節的理論計算 模型,並導入兩次熱機期間的 8.72μA 及 8.77μA 薄膜電流計算理論計數率,理論 計算結果與實驗量測結果如表 3.21 所示,首先比較兩次熱機運轉時的偵檢器計 數率,在兩次薄膜電流約 8μA 的加速器運轉條件下,兩次的量測結果呈現一致 性;再者可以發現理論計數率均高於量測結果約 3 倍之多,換言之,以 3.3.2.1 所 建立的加速器以及自屏蔽設計條件下,在射束前向的自屏蔽外側,中低能量中子高估約3.20倍之多,快中子則高估約2.5至3倍。



圖3.44. 高靈敏度中子比例計數器於乙設施加速器控制室中的量測結果。

表3.21. 高靈敏度中子比例計數器於乙設施加速器控制室中的量測結果與理論計

	薄膜電流		Bare (cpm)	PE (cpm)	PE+Pb (cpm)
第一次熱機	8.72µA	理論計算	170057	44442	43612
		實驗結果	50204	13938	16673
		C/M ratio	3.39	3.19	2.62
第二次热機	8.77μΑ	理論計算	171068	44706	43872
		實驗結果	50639	14095	16894
		C/M ratio	3.39	3.18	2.61

算結果之比較

2. 中子活化金屬箔片

乙設施加速器設施中同樣使用金、銅、鎳箔片用於中子量測,其中1組金箔 片及2組銅箔片接受中子照射1日;2組銅箔片與1組鎳箔片接受中子照射3日; 1組銅箔片及1組鎳箔片接受中子照射9日。箔片量測結果如表3.22;理論計算 活度同樣導入現有之乙設施加速器運轉資料,合併實驗活度量測結果呈現於表 3.23,可以發現金箔片與銅箔片的理論計算結果均高於實驗量測結果,即在自屏 蔽內側的前向位置,中低能量中子的估值均高於實際狀況;鎳箔片的估值則大幅 度低於量測結果,代表0.7MeV以上快中子通量被低估。

表3.22. 於乙設施經照射1日/3日/9日之中子活化金屬箔片之活度量測結果

照射時間	箔片 實驗活度	
	金	32274.8 Bq±0.26%
1 日	銅 #1	6840.3 Bq±0.27%
	銅 #2	6798.1 Bq±0.40%
3日	銅 #3	12128.7 Bq±0.42%
	銅 #4	12147.7 Bq±0.63%
	鎳 #1	111.0 Bq±0.61%
9 日	銅 #5	14156.1 Bq±1.35%
	鎳 #2	344.0 Bq±0.37%

表3.23. 乙設施3種金屬箔片經過1日/3日/9日照射之理論計算活度、實驗活度

及雨者之比值

照射時間	箔片	理論計算活度	實驗活度(平均)	C/M
1日	金	113445.4 Bq	32274.8Bq	3.51
	銅	6819.2 Bq	13753.1 Bq	2.02
3日	銅	18055.6 Bq	12138.2 Bq	1.49
	鎳	58.4 Bq	111.0 Bq	0.53
9日	銅	14789.1 Bq	14156.1 Bq	1.04
	鎳	94.68 Bq	344 Bq	0.28

3. 熱發光人員劑量計

經3.3.2.4 理論計算評估,乙設施自屏蔽體外的熱發光人員劑量計經2小時, 40μA 的質子所生成之二次中子照射後,可以計讀到約0.2 毫西弗之讀值,為了 減少數據的不確定度,因此在現地實驗時採取了較長的照射時間,也額外增加一 組於自屏蔽體內的量測位置。

圖 3.45 為乙設施自屏蔽內熱發光人員劑量計經 1 天照射後之計讀結果, Harshaw 8806 與 Harshaw 8814 的讀值同樣呈現分歧的結果,而兩組熱發光人員 劑量計讀值仍呈現各自的高度一致性,但本實驗仍以 8806 的讀值為基準進行比 較。經過 1 天照射後的熱發光人員劑量計,其讀值為 100 西弗,經計算後已遠 遠超過 8806 的 10 戈雷計讀上限,因此在自屏蔽內側的劑量實驗結果不具分析價值。



圖3.45. 乙設施自屏蔽體內的熱發光人員劑量計量測結果

乙設施自屏蔽外側之熱發光人員劑量計經4天照射後結果圖 3.46 所示,9 天 照射結果如圖 3.47 所示,圖中一併呈現理論計算之結果,由於乙設施加速器為 雙靶設計,因此在幾何上 R1 及 R3 相對於射束方向同為前向及後向,R2 及 R4 同為側向,在理論計算上便將 R1 及 R3 的值以前向及後向的值做平均,R2 及 R4 則為側向讀值,實驗量測結果與理論計算結果詳載於表 3.24。由圖表中發現,照 射9天之實驗量測結果高於照射4天之量測結果約6-7 倍之多,但理論計算在兩 者間的差異卻只有2 倍左右,此一現象即暗示在理論計算時對於加速器運轉時 間、靶電流等關鍵資訊的掌握度不足,日後對於相關實驗的評估有必要更詳盡記 錄運轉資料,包含靶材種類、質子能量、靶電流、照射起迄時間等重要資訊,以 利實驗量測與理論計算的相互驗證。

56



圖3.46. 乙設施自屏蔽外的熱發光人員劑量計照射 4 天後的量測結果



圖3.47. 乙設施自屏蔽外的熱發光人員劑量計照射9天後的量測結果

表3.24. 乙設施自屏蔽外熱發光人員劑量計經4天及9天照後理論計算與實驗量

4 天照射	R1	R2	R3	R4
理論計算	3.7	4.09	3.7	4.09
實驗量測	1.023	1.246	0.822	1.174
C/M	3.62	3.28	4.50	3.48
9天照射	R1	R2	R3	R4
理論計算	6.56	7.25	6.56	7.25
實驗量測	6.528	8.185	5.836	11.5
C/M	1.01	0.885	1.12	0.63

測之比較

3.3.5 小結

110年度本研究團隊於甲設施(無自屏蔽加速器設施)與乙設施(有自屏蔽加速 器設施)進行中子量測實驗,共計使用 3 種量測儀器:高靈敏度中子比例計數器、 中子活化金屬箔片及熱發光人員劑量計。量測結果顯示,無自屏蔽設施中的中低 能量中子被高估約 2-5 倍,快中子則被低估約 0.5 倍;在有自屏蔽設施中,自屏 蔽內側的中低能量中子被高估約 1-3 倍,快中子則被低估約 0.3-0.5 倍;自屏蔽 外側的中低能量中子及快中子則普遍被高估約 3 倍。考量在分析相關問題上所可 能存在的不確定性,本團隊認為理論計算與實驗量測的中子通量差異可能來自於: 1.加速器模型的簡化:目前所使用的 FLUKA 加速器模型為參考 IBA KIUBE100 所建立之模型,實務上甲設施為 Scanditronix 加速器,乙設施為 CTI/RDS111 加 速器,於 FLUKA 所使用的模型必然存在差異,但其差異對於後續中子通量的影 響程度則需要更進一步評估。

2.照射時間與靶材差異:本次實驗中,甲設施的加速器在實驗過程中除了進行 ¹⁸O(p,n)¹⁸F反應以外,尚有¹⁴N(p,α)¹¹C及²⁰Ne(D,α)¹⁸F,本團隊曾利用 FLUKA 評估常用的(p,xn)反應,發現經過中子產率歸一化後,中子能譜相似度極高,但 對於其他非(p,xn)反應的二次中子特性則有待商榷;乙設施的加速器在本次實驗 中則因運轉的資料搜集不足,對於二次中子在長時間所生成的數量尚有疑慮,上 述狀況皆增加後續理論計算與實驗量測的差異。

3.無自屏蔽設施中牆面材料的差異:在本次甲設施的實驗中,發現照射室表面貼

58

附白色的材料,而非如 FLUKA 模型中的混凝土,本團隊推測為聚乙烯一類之有 助於二次中子的減速及吸收的有機材料,但嘗試搜尋相關文獻資料均無甲設施照 射室屏蔽材料相關資訊,本團隊認為屏蔽牆材料的差異同樣造成中子通量的評估 差異。

4.有自屏蔽設施中的屏蔽模型失真:在本次乙設施的實驗中,自屏蔽材料極大程度的影響空間中的中子分布,在文獻中查找到針對相同的加速器設施進行蒙地卡羅模擬,對於自屏蔽的描述為:內層 30 公分為 Epoxy, B4C, Pb, 外層 70 公分為 PE, B4C, 混凝土,上述自屏蔽與乙設施所提供之自屏蔽材料資訊不謀而合,然而對於6種材料之厚度、密度、鋪設之先後順序等則無資訊可供參考,未來針對自屏蔽材料的設計必須取得更詳盡的設計說明,方有可能建立較可靠的 FLUKA 模型供中子通量的精確評估。

經過本年度實地量測,確立3種中子量測方法的適用性及分析技術,本團隊 也在此次的的量測中,瞭解相關實驗的細節及評估中子特性的必要資訊,有信心 完善日後的實驗並得到更精確的結果。

3.4 撰寫導則及審查導則建議

3.4.1 撰寫導則建議

透過109年度的「諸經驗國資料收集」章節的整理,綜合分析諸經驗國(例如: 日本、澳洲、歐盟等)及國際知名機構(例如: IAEA、ICRP、NCRP 等)對除役之法 規管制要求、技術措施與處理實例, 擷取相關經驗回饋我國,以利做為撰寫放射 性物質生產設施除役計畫導則建議,又為配合現行游離輻射防護法規,本報告建 議將前述放射性物質生產設施除役計畫導則命名為「設施廢棄清理計畫導則」,而 本節所擬則為「設施廢棄清理計畫導則」建議(以下簡稱導則建議),以及「設施 廢棄清理計畫審查導則」建議(以下簡稱審查導則建議)。

導則建議可為管制主管機關、設施經營者、設施工作者、技術支援組織和其 他有關方面提供適當的資訊,引導清理計畫撰寫方向,以避免有所疏漏並能加以 全面考量。

導則建議將以所應涵蓋之章節及次章節說明呈現,內容的目的最高原則為: 確保參與除役人員、民眾及環境三大方面的安全(IAEA SSG-49 號報告,2019 年 [3.1.15])。設施使用壽命結束時,應促進及時、有效花費的除役和廢棄物管理,以 確保此類設施於除役前置作業、除役過程及除役後的安全(IAEA414號報告,2003 年[3.1.16])。

導則建議的章節,建議涵蓋內容包括如 3.4.3.1 節~3.4.3.9 節第一欄,由於導 則建議與審查導則建議相輔相成,同時於表中第二欄列出審查導則建議,以利對 應思考。承襲 109 年度計畫報告、諸經驗國資料收集與台灣醫用迴旋加速器學會 的實務經驗訪談,進一步細節說明導則建議之架構及概念,如 3.4.3.1 節~3.4.3.9 節第三欄。

為使導則建議能在顧及安全原則下,契合管制機關與設施單位之間的想法, 將持續蒐集管制機關建議、聽取設施經營者或台灣醫用迴旋加速器學會的實務經 驗,討論調整章節及次章節的適用性與細節說明發展,以期理論與實務能有最大 交集。

導則架構依據《游離輻射防護法》第35條、《游離輻射防護法施行細則》第 23條及粒子放射治療設施輻射安全評估報告撰寫導則架構編排。

《游離輻射防護法施行細則》第23條:設施經營者依本法第三十五條第二項 規定擬訂設施廢棄清理計畫,應參酌下列事項規劃:

- 一、組織與責任及人員之教育訓練。
- 二、設施之運轉歷史描述。
- 三、設施之輻射狀況評估。
- 四、輻射劑量評估及防護措施。
- 五、除污方案。
- 六、放射性物質廢棄處理方案。
- 七、輻射意外事件應變方案。
- 八、品質保證方案。
- 九、其它主管機關指定之事項。

3.4.2 審查導則建議

審查導則建議可為管制機關、設施經營者、設施工作者、技術支援組織和其他有關方面提供適當的資訊,引導清理計畫撰寫方向,以流暢計畫的審查程序。

審查導則建議將以所應涵蓋之章節及次章節說明呈現,其內容為確保參與除

役人員、民眾及環境三大方面的安全(IAEA SSG-49 號報告, 2019 年[3.1.15])。

主管機關審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,審查建議範圍包括如 3.4.3.1 節~3.4.3.9 節第二欄,由於導則建議與審查導則建議相輔相成,同時於表中第一 欄列出導則建議,以利對應思考。

承襲 109 年度計畫報告、諸經驗國資料收集與台灣醫用迴旋加速器學會的實務經驗訪談,進一步細節說明審查導則建議之架構及概念,如 3.4.3.1 節~3.4.3.9 節第三欄。

為使審查導則建議能在顧及安全原則下,契合管制機關與設施單位之間的想法,將持續蒐集管制機關建議、聽取設施經營者或台灣醫用迴旋加速器學會的實務經驗,以對應導則建議章節的審查導則建議,期望理論與實務能有最大交集。

3.4.3 設施聯絡人會議

本年度辦理五次設施聯絡人會議及視訊會議,並於10月30日配合台灣醫用 迴旋加速器學會年會辦理導則說明會。

• 第一次技術討論會議-20210305



• 第二次技術討論會議-20210611



• 第三次技術研討會議-20210709



• 第四次技術研討會議-20210820



• 第五次技術研討會議-20211008



• 臺灣醫用迴旋加速器年會-20211030


3.4.3.1 第一章 設施概述

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國除役作法及
		國內設施經營単位訪談後建議局作參考指南
第一章 設施概述	第一章、設施概述	第一章、設施概述
1.1 概論	(一)審查範圍	1.1 概論
1.1.1 緣由及目的:	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括:	(1)緣由及目的:
1.1.2 引用之國內外法規、標準及規範:	1.概論。	參考國內生產設施評估報告內容,顯示各迴旋加速器設施單位涵
1.1.3 參考文獻:	2.清理目標及範圍。	蓋有醫院及藥廠,設置目的均為生產正子放射同位素藥物供臨床
		使用或新藥研究。
1.2 清理目標及範圍:	(二)程序審查	設施經營者應詳述回顧設施設置目的、設施簡介(含設施外圍情
1.2.1. 清理之目的、預計達成目標、清理各	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之	況描述)與說明設施清理需求與目的。
階段時程與作業目標、拆除範圍(如建築結	基本要求,並審視資料之詳細程度,是否足以提供審查人員進行	(2)引用之國內外法規、標準及規範:
構、系統、設備及重要組件等)等。	細節技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊:	撰寫計畫時所採用之各種資料,其調查、分析、推估之方法,凡
1.2.2. 設施現址之最終處置規劃說明。	1.設施之位置及地址。	於現行國內法規中有規定者,需先從其規定。
	2.引用之法規、標準及規範。	詳列撰寫計畫時所引用的國內外法規、準則及技術規範,並註明
	3.参考文獻。	其名稱、公(發)布單位、日期及版次。
	 4.清理之起始和完成日期、清理各階段時程之作業目標、主要清 	建議參考國內法規:
	理活動與拆除範圍。	A. 游離輻射防護法:第35條
	5.清理目標,設施現址之最終處置規劃如採無限制性使用(以一般	B. 游離輻射防護法施行細則:第 23 條
	建築及土地開放使用或拆除重建)或轉為其他一般用途等、限制	C 放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦
	性使用(如原場址安裝新迴旋加速器或其他輻射設備)。	·····································
		D 大道則
	(三)審查要點與接受基準	
	清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	國際標準規範及相關清理作業官方審查文件:
	1.概論	A. IAEA 414 號報告, 2003 年
	(1) 緣由及目的	B. IAEA SSG-49 號報告, 2019 年
	設施經營者必須詳實說明清理需求與目的。清理之緣由可能包括	C. 渔洲輻射防護與核安全局(簡稱 ARPANSA)針對澳洲國家
	永久停止運轉或重大意外事故後清理等原因;清理之目的可包括	醫用迴旋加速哭設施 National Medical Cyclotron (簡稱
	清理之承諾、清理之原則及清理之需求等之說明。	ANMC)清理申請審查紀錄
	(2) 引用之國內外法規、標準及規範	D. 其他
	A.設施經營者必須詳實說明撰寫計畫時所採用之各種資料,其調	
	查、分析、推估之方法,凡於現行法規中有規定者,需從其規定。	
	必要時應配合對應章節進行審查,以確保論述之一致性。	

B.應優 定者, 準則及 確認其 與國內 (3)參= 引用法 歸類整 2.清理 (1)本: 程,並 設備及 (2)是: 制用途 (四) 審查人 審查人 則,確 (五) 1.游離: 3.放射(4.設施)	 先引用國內之法規、準則及技術規範,若現行國內未有規 得引用國外法規、準則及技術指引;引用之國內外法規、 表摘規範,應註明其來源。對於引用之法規及準則應審查 為適當內容。引用國外法規或準則及技術指引應注意不得 現行法規牴觸。 考文獻 規以致獻名稱、日期、版次及發行單位等資訊。 聖目標及範圍 章節內容必須詳實綜述清理各階段預計達成之目標、時 具體定義主要清理活動與拆除範圍(如建築結構、系統、 重要組件等)。 否說明設施現址配合清理進行改建、新建或恢復一般非管 之最終處置規劃。 審查發現 員應確認設施說明與清理範圍工程圖件等資訊完整齊備。 員應確認設施說明與清理範圍工程圖件等資訊完整齊備。 國應評估設施經營者之清理目標、範圍及引用之法規及準 認與現行法規規定符合。 相關法規與技術規範 輻射防護法施行細則。 性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 廢棄清理計畫導則。 	內文引用建議範例:國內現有正子藥物生產設備屬於放射性物質 生產設施,其設施廢棄(清理)清理計畫之現行法律條文依據如 下: 1.《游離輻射防護法》第35條 放射性物質、可發生游離輻射設備之永久停止使用或其生產 製造設施之永久停止運轉,設施經營者應將其放射性物質或 可發生游離輻射設備列冊陳報主管機關,並退回原製造或銷 售者、轉讓、以放射性廢棄物處理或依主管機關規定之方式處 理,其處理期間不得超過三個月。但經主管機關規定之方式處 理,其處理期間不得超過三個月。但經主管機關核准者,得延 長之。 前項之生產製造設施或第二十九條第四項之高強度輻射設施 永久停止運轉後六個月內,設施經營者應擬訂設施廢棄之清 理計畫,報請主管機關核准後實施,應於永久停止運轉後三年 內完成。 前項清理計畫實施期間,主管機關得隨時派員檢查;實施完畢 後,設施經營者處報請主管機關檢查。」 2.《游離輻射防護法施行細則》第23條 設施經營者依本法第三十五條第二項規定擬訂設施廢棄清理 計畫,應參酌下列事項規劃: 一、 組織與責任及人員之教育訓練。 二、 設施之運轉歷史描述。 三、 設施之運轉歷史描述。 三、 設施之輻射狀況評估。 四、 輻射劑量評估及防護措施。 五、 除污方案。 六、 放射性物質廢棄處理方案。 七、 輻射意外事件應變方案。
(五) 1.游離 2.游離 3.放射 4.設施)	相關法規與技術規範 輻射防護法。 輻射防護法施行細則。 性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 廢棄清理計畫導則。	 一、 組織與責任及人員之教育訓練。 二、 設施之運轉歷史描述。 三、 設施之輻射狀況評估。 四、 輻射劑量評估及防護措施。 五、 除污方案。 六、 放射性物質廢棄處理方案。 七、 輻射意外事件應變方案。 七、 晶射意外事件應變方案。 八、 品質保證方案。 九、 其它主管機關指定之事項。 (3)參考文獻: 引用法規、準則及技術規範以外之其他參考文獻,依內容性質歸類整理並詳列文獻出處。 建議於各章節末或於本文最後附加一章節附錄,依出現順序標註每一參考法規或標準文獻。

1.2 清理目標及範圍:	
1.清理之目的、預計達成目標、	清理各階段時程與作業目標、拆
除範圍(如建築結構、系統、	設備及重要組件等)等。
2.設施現址配合清理進行改建、	新建或恢復一般非管制用途之最
終處置規劃應加以說明。	

3.4.3.2 第二章 待清理設施系統及環境說明

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及 國內設施經營單位訪談後建議寫作參考指南
第二章 待清理設施系統及環境說明	第二章、待清理設施系統及環境說明	第二章、待清理設施系統及環境說明
2.1 待清理設施系統技術規格與性能說明	(一)審查範圍	參考日本神經科學研究所小型加速器清理經驗簡報以及國內生
2.2 待清理設施系統安裝與配置設計圖	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章審查範圍包括:	產設施評估報告內容,建議應包括下列資訊:
2.3 待清理作業場所描述	1.待清理設施系統技術規格與性能說明。	
	2.待清理設施系統安裝與配置設計圖。	一、待清理設施系統技術規格與性能說明:內容應包含
	3.待清理作業場所描述。	a.設施廠牌、型號、序號、原領許可證字號。
		b.設施性能包括加速粒子種類、最大加速能量、最大靶電流、靶
	(二)程序審查	站數量、生產核種、核准最大生產活度等。
	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之	
	基本要求,並決定資料之詳細程度,是否足以提供審查人員進行	二、待清理設施系統安裝與配置設計圖:內容應包含
	細節技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊:	a.設施尺寸、重量。
	1.設施經營者須詳實說明待清理迴旋加速器設施系統技術規格	b.設施組成結構圖說。若有自屏蔽,應含自屏蔽結構圖說。
	與性能。	C.附屬設施-如冷卻水系統等。
	2.待清理設施系統安裝與配置設計圖應包含迴旋加速器設備本	
	體及其附屬生產設施。若有自屏蔽,應含自屏蔽結構圖說。	三、待清理作業場所描述:
	3.圖說應足以使審查人員了解清理相關位置及涉及鄰近區域之	a.提供符清理設施名稱及其所在地等貧料(應包含清理區域及原 約4.4%用(依图)、以い四古四三山公署、五分用依图
	影響。	輻射作業場所範圍), 亚記明清理區域位置、面積及範圍。
		b.檢附原始工程圖說(藍晒圖或CAD圖)並附比例尺及万位說明。
	(三)審查要點與接受基準	圖說應以適當紙張大小呈現或单獨列於附件中說明(以 A3 為
	1. 待清理設施系統技術規格與性能說明	
	設施經營者清理計畫應清楚說明該項申請設施之技術規格與性	C.應含相關棲曾剖面圖、半面圖,清理產生廢棄物暫存位置圖,
	能,並與原始申請建造文件相符。	輻射管制區域劃分圖及除污動線及運送路線圖等。
	2. 待清理設施系統安裝與配置設計圖	

設施經營者清理計畫應清楚說明該項申請設施之尺寸及重量單	
元,提供之圖說能清楚辨識清理範圍與附屬設施之配置。	
3. 待清理作業場所描述	
審查人員須確認所提供設施概述資訊完備,各項資料應包括設施	
建築、區域、系統、組件之圖件、說明、數據及紀錄等,其內容	
及品質正確且充足,足以成為清理工作進行之依據。	
(四)案杏淼相	
(山) · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
雷兰八只心兰似丽小 既他小儿人依无见为可真的 人口儿正共正	
唯。亚唯论足以供改肥削重影音计估及改肥或工地丹利用流颤。	
(五)相關法規與技術規範	
1.游離輻射防護法。	
2.游離輻射防護法施行細則。	
3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。	
4.設施廢棄清理計畫導則。	

3.4.3.3 第三章 組織與責任及人員之教育訓練

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及 國內設施經營單位訪談後建議寫作參考指南
第三章 組織與責任及人員之教育訓練	第三章 組織與責任及人員之教育訓練	第三章 組織與責任及人員之教育訓練
3.1 組織與責任	(一)審查範圍	3.1 組織與責任
3.1.1 組織架構	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括:	3.1.1 組織架構
3.1.2 任務編組	1.組織與責任。	設施經營者應說明設施清理作業管理組織架構之編組、功能、責任
3.1.3 管理程序	2.人員之教育訓練。	與權限。說明該設施是否符合「游離輻射防護法」第七條及「輻射
3.1.4 審查與稽核		防護管理組織及輻射防護人員設置標準」之規定,設置輻射防護管
3.2 人員之教育訓練	(二)程序審查	理委員會,及輻射防護業務單位,並以圖示或表列該機構現行輻射
3.2.1 人員訓練方案	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之基	防護組織架構例示圖。未來清理計畫是否由輻射防護委員會負責
3.2.2 特殊專長人員	本要求,並決定資料之詳細程度是否足以提供審查人員進行細節	統合,並協調機構內各單位辦理清理計畫,並以圖示或表列該機構
	技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊:	清理清理組織架構及各單位之工作內容及職責。
	1.清理組織描述,包含組織架構、計畫管理、人員健康與安全。	若未達需設置輻射防護管理委員會之規模應說明清理組織之規劃
	2.清理計畫執行程序中之報告層級訂定,並利用圖、表等方式說明	及架構。說明設施清理作業管理組織架構之編組、功能、責任與權
	各計畫單位間之合作與關聯。	限。

3.載明清理任務之管理辦法,以及描述個別清理任務評估方式。	3.1.2 任務編組
4.所有管理職務所需擔負之權責與義務。	設施經營者應說明組織及人員編制、權責及資格,包括各級管理、
5.所有清理及安全相關委員會(或小組)之權責與義務。	監督、工安、輻安及品保/品管人員之權責與資格等。其中至少應
6.說明輻射防護管理組織權責、指揮監督之單位或任務編組、輻射	包含清理工程規劃、設施輻射特性調查、設施除污、拆除切割、廢
防護人員配置與任務等事項。	棄物處理與運貯、輻射防護、環境偵測、工程支援等外部顧問及工
7.說明輻射防護人員之權責與義務及其在清理計畫執行中之權限。	程承攬廠商。
8. 關於設施經營者或責任機構訓練承包商人員之監督責任與職權	
之描述。	3.1.3 管理程序
9. 說明輻射安全人員所需接受之保健物理與輻射防護相關訓練與	設施經營者應說明清理相關作業活動之管制與管理程序,包括設
教育。	備管制、維護管理、工安、品保及人員與車輛出入之污染管制等。
10.明述針對訓練是否符合計畫承諾有進行相關紀錄之維護保存。	
11.設施經營者或責任機構對於承包商人員及承包商自身所提供之	3.1.4 審查與稽核
教育訓練內容之描述。	設施經營者應說明清理各項作業之審查與稽核程序,包括施工、運
12.承包商會遵守設施中所有輻射安全與執照要求之承諾,若設施	轉作業之審查及安全措施之稽核,作業程序或系統變更之審查,審
經營者尚未決定清理之承包商,設施經營者應承諾未來將要求承	查與稽核文件之管制等。
包商遵循。	
	3.2 人員之教育訓練
(三)審查要點與接受基準	1. 設施經營者應收集國際上清理規劃法規要求與清理文獻,為提
清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	早準備清理工作展開,規劃於設施正式清理前若干年(如 10 年),
1.組織與責任	清理組織即應開始成立運作,包含規劃清理工作與安排人員赴國
(1) 組織架構	外類似設施或國內有規劃清理的單位學習清理技術等工作。
A.設施經營者必須詳實說明設施清理作業及計畫管理組織架構之	2. 設施經營者應針對設施清理作業提出人員訓練方案,包括各項
編組、功能、責任與權限。	作業之訓練規劃,訓練課程內容、時程及授課人員資格,訓練成效
B.前述說明宜檢附圖表以利審查。	評估及資格檢定辦法等。
(2) 任務編組	3.設施經營者應以圖示或列表說明,該機構參與清理工作主要人員
A.設施經營者必須詳實說明人員編制、權責及資格,包括各級管	學經歷及所受相關輻射安全及清理相關訓練歷程。
理、監督、職安(含工安、輻安等)及品保 /品管人員之權責與資格	4.設施經營者對於清理作業中所需之特殊專長(如拆解、除污等),
等。審查人員應確認設施經營者或承包商將依據適當方法與程序	建議應敘述其人員訓練或資格/資歷,及相關人力資源來源。
進行清理。相關程序須由熟知安全與相關物理原理人員訂定,以確	
保清理任務能在安全之前提下進行。同時,所有程序均須依據合理	
抑低原則訂定。	
B.宜將清理作業之作業、管理、監督及輻射防護人員分階段,以劃	
分人員編制、權責及資格。	
C.部分相關作業包含清理工程規劃、設施系統、設備、組件與材料	
之放射性活度調查方法、設施除污、拆除切割、廢棄物處理與運貯、	

輻射防護、環境偵測、工程支援、品質保證等,應由專業技術人員	
負責規劃執行,其資格要求應明確列出。	
D.前述說明宜包含執行單位與承包商之責任及權責,考量設施建	
造持照者對承包商之指揮、監督、協調、諮詢及訓練協助之指導功	
能。	
E.上述說明宜檢附圖表以利審查。	
(3) 管理程序	
A.設施經營者必須詳實說明清理相關作業活動之管制與管理程	
序,包括設備管制、維護管理、工安、品保及人員與車輛出入之污	
染管制等。	
B.維護管理宜依照清理作業分階段進行說明。	
C.品保之要求宜依照清理作業分階段進行說明。	
D.本項得併同「第十章 品質保證方案」進行審查。	
(4) 審查與稽核	
A.設施經營者必須詳實說明清理各項作業之審查與稽核程序,包	
括施工、運轉作業之審查及安全措施之稽核,作業程序或系統變更	
之審查,審查與稽核文件之管制等。	
B.審查人員應確認設施經營者或承包商將依據適當方法進行輻射	
安全防護措施,審視輻射安全人員之權責與義務,以及輻射防護計	
書是否切實可行,以確保清理於主管機關規範下進行,並確保相關	
工作人員與民眾安全無慮。	
2.人員教育訓練方案	
(1) 設施經營者必須詳實說明輻射防護、職業安全、模擬計算、清	
理作業、廢棄物處理與減廢分類、品質保證及特殊專長(如拆解、	
除污、設施之保安及異常狀況與意外事故之應變筆)等訓練方案。	
(2) 官包会清理作業各階段之訓練時程、訓練課程內容、授課人員	
執照管理與健康檢查,應依「游離輻射防護法」及其施行細則辦理。	
(3) 前述說明宜檢附圖表以利審查。	
(四)審查發現	
審查人員應評估設施經營者之清理計畫管理組織架構、權責劃分	
及人力資源管理,以確認清理計畫之執行管控具有良好之計書管	
理組織與品質保證。	

 (五)相關法規與技術規範 1.設施廢棄清理計畫導則。 2.游離輻射防護法。 	
3.游離輻射防護法施行細則。	

3.4.3.4 第四章 設施之運轉歷史描述

铅施藤奄洁理計書導則	铅施藤奄洁理計書案查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及
以 加液 未 / 子 引 重 寻 X]	政治派朱伯王可重带旦于八	國內設施經營單位訪談後建議寫作參考指南
第四章 設施之運轉歷史描述	第四章 設施之運轉歷史描述	第四章 設施之運轉歷史描述
4.1 待清理設施原輻射安全評估相關章節說明	(一)審查範圍	參考國內生產設施評估報告內容,及本委託研究專案第一年
4.2 設計與建造期間資料管理	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包	各設施訪查歷史生產記錄,建議應包括下列資訊:
4.3 設施之運轉歷史描述(得以附件說明)	括:	4.1 待清理原輻射安全評估相關章節說明:
4.4 異常事件報告或曾發生之重大事件及影響	1.待清理設施原輻射安全評估相關章節說明	1.提供原始申請主管機關核准之最後版本輻射安全評估數
4.4.1 曾經發生之重大事件及其處理情形與影響。	2.設計與建造期間資料管理	據或文件。應至少包含屏蔽規劃與放射性活化物產量(率)分
4.4.2 曾經發生之異常事件及其處理情形與影響。	3.設施之運轉歷史描述。	析之章節。
	4.異常事件報告或曾發生之重大事件及影響。	
		4.2 設計與建造期間資料管理:
	(二)程序審查	於設計與建造階段對下列資料妥善管理及保存:
	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規	(1)加速器與相關設施現況完整之建造藍圖。
	定之基本要求,並決定資料之詳細程度,是否足以提供審查	(2)現場施工照片。
	人員進行細節技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以	(3)加速器系統設備有關之採購文件,包含:材料、數量以及
	下資訊:	種類。
	1.設施經營者應提供待清理設施原輻射安全評估相關章節	(4)設備與組件之規格,包含:供應商、重量、尺寸、材質等。
	說明及設計與建造期間資料管理。	
	2.設施經營者須詳實說明設施內設備(迴旋加速器)、放射性	4.3 設施之運轉歷史描述(得以附件說明)
	廢棄物貯存場所等管理紀錄。	應備妥下列運轉歷史文件及資料,以供日後清理之參考:
	3.迴旋加速器運轉紀錄及說明應包括運轉重要里程碑 (例如	(1)安全評估報告與技術手冊。
	取得許可證、正式商業運轉與永久停止運轉日期等)、靶電流	(2)運轉歷史記錄。包括設施建造時間及開始運轉時間、歷年
	或靶材變更升級之說明等。	使用射束總電流量或與照射時間之乘積(µA-h),若無法提供
	4.放射性廢棄物貯存管理說明應包括貯存總量、廢棄物種類	所有歷年運轉之使用量,應至少提供近十年之數據,並合理
	及主要核種、活度。	推估至開始運轉之日起之使用數據。數據應以適當圖或表呈
	5.設施經營者必須詳實提供設施運轉期間曾經發生之重大	現說明以利審查。
	事件,並須詳實描述發生地點、時間、污染情形、處理情形,	(3)歷年輻射偵測報告。

以及對工作人員與環境之影響。所提供之資料應包括運轉日	(4)運轉與維護記錄。
誌、異常事件報告等資料之檢核程序、處理過程說明以及查	(5)運轉規範。
核結果之綜合說明。	(6)設計變更與更新之圖面資料。
	(7)歷年產生放射性物質管制與處理記錄。
(三)審查要點與接受基準	(8)靶電流或靶材變更等變更說明。
清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	
1. 待清理設施原輻射安全評估相關章節說明	4.4 異常事件報告或曾發生之重大事件及影響:
設施經營者應提供待清理設施原輻射安全評估相關章節供	4.4.1 重大事件及其處理情形與影響
佐證清理計書之合理性。	 設施因故申請暫停使用或恢復使用之日期及原因。
2 設計與建造期間資料管理	2.變更設施主要屏蔽牆、擴建或永久停用部分設施之說明。
沿施經營老確提供設計崩建造期間資料(加設施現況、施工、	4.4.2 異常事件及其處理情形與影響
相關採購文件、設備與相合規格)	其他重大輻射意外事故,發生之日期及處理調查經過。
3 設施之運轉歷中描述	
(1) 設施經營老確證明原領迴旋加速哭許可證、迴旋加速哭	
(1) 既加陸皆有恐號分亦 供起派加延品計 1 起 起派加延品 刑式、屈薪體刑式、輸出雷流笔其木資料,並提供詳實之運	
並以 开献脸主义 砌山电加下 坐不負小 亚提以时員~ 轅麻积乃紀錄。迥旋加速哭許可證說明確自今許可修件相關	
将正住汉礼林 远观加近日时了远的为您已日时了陈门伯酬 繼重幻绕 "潘楠麻积雁白扦正土店类潘楠、香土值楼乃預計	
文人心默, 迁将征住您已拍正式同亲连将, 里八行城汉顶首	
小人行止这种口切寸,这种心跡心已招礼电加心跡(这种内 數的正均渾轉雪达笑),力治明笑。如雪达式如廿絲百笑片齐	
致兴了·冯廷将电流于)之讥为于"礼电流以礼'初发义于生座 马哇問马知绕笑。	
(7) 扔施领惑书雁洋窗提供扔施肉之放射州底叠物管理用汨	
(2) 政心经営有心计員提供政心门之成为任廢未初皆生死儿 前田,句好腔存方式、腔存繪畫及現有麻蚕物種類及主要拉	
话, 汗度笑容料, 呈須提供可顯子方並位罢地野相關用圖得	
裡·石及守貝什·刀須從伝了顯小行成位且地細柏剛門困壞 培式建筑物公布之綸圖。	
况以廷示初刀巾之帽圆 1 毘尚東代報生式曲淼牛之舌士東代及影響	
7.共市护厅报口以目领主人里八护厅仪彩音 (1) 专士重件句合新信伟田式繼百十西层花地、塘建式之人	
(1) 里八事什巴召省行使用以安丈王女併載扃、擴建以外入 信田邨八九栋,商优孤生時間、山野、隆田洋會說明東什孫	
作用部分 改把,您依爱生时间、地勐、半四针頁 机切 争 什 爱	
生如个, 亚族供事什无定调重具件就听 (xu 定省有相利门末	
(7) 田虐田渾睡式音从重妆五多生力拉针树子流畅,甘庭弃	
(2) 凶处理连将或总外争战则座生之放射性仍示彻,共廢来	
初处且刀式。	
(四)实本孫用	
(口) 田旦双 仍 实本人员 雁本坊 恐怖 领 然 尹 捍 仳 之 往 洼 理 恐 姑 西 缿 斛 穴 入	
曾旦八只心旦饭 现他 經 宮 白 供 供 人 何 月 生 现 肥 原 牺 射 女 至 证 나 扣 閉 音 節 、 机 斗 向 建 止 扣 閉 咨 約 、 湄 輔 庭 由 、 前 政 止 み	
可口伯刚平即、政计兴建边别间貝们、进将歷史、首發生人	

 重大事件及影響等資訊之正確性與完整性,以確認能完整說明設施運轉期間對場所造成之輻射狀態。 若設施經營者提供運轉階段相關重大事件之資訊不夠完整, 審查人員應要求設施經營者提出相關量測數據或監測數據, 俾據以審查事件導致之設施輻射狀態。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 		
(五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。	重大事件及影響等資訊之正確性與完整性,以確認能完整說 明設施運轉期間對場所造成之輻射狀態。 若設施經營者提供運轉階段相關重大事件之資訊不夠完整, 審查人員應要求設施經營者提出相關量測數據或監測數據, 俾據以案查事件導致之設施輕射壯能。	
 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 4.設施廠棄法理計書導則。 	 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 4.改施廠奄法理計畫道則。 	

3.4.3.5 第五章 設施之輻射狀況評估

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及 國內設施經營單位訪該後建議寫作參考指南
第五章 設施之輻射狀況評估	第五章 設施之輻射狀況評估	第五章 設施之輻射狀況評估
5.1 固體放射性活化物評估	(一)審查範圍	參考日本神經科學研究所小型加速器清理經驗簡報、國內生產設施
5.2 放射性液體評估	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括:	評估報告內容及本委託研究案活化量測之驗證分析的方式,建議應
	1. 固體放射性活化物產物(定性)及活度(定量)評估。	包括下列資訊:
	2. 放射性廢液產物(定性)及活度(定量)評估。	5.1 固體放射性活化物評估:
		生命週期之固體放射性廢棄物處置,如有儲存廢棄物之情事應提供
	(二)程序審查	相關紀錄,說明活化累積情形。
	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之基	為能評估設施於 30 年運轉後,加速器本體與周邊設施及屏蔽水泥
	本要求,並決定資料之詳細程度,是否足以提供審查人員進行細節	結構產生的核種種類與累積活度的評估,設施經營者可規劃採取下
	技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊:	列方式:
	1.設施經營者須詳實說明迴旋加速器設施系統生命週期,固體放射	(1)依設施之運轉記錄,以計算機程式模擬計算方式,估算加速器本
	性活化物之核種特性及數量(活度)。	體與周邊設施及屏蔽水泥結構產生的核種種類與活度;或依據相似
	2.設施經營者須詳實說明迴旋加速器設施系統生命週期,放射性液	設施清理文獻之資料保守推估。
	體活化物之核種特性及數量(活度濃度)。	(2)於永久停止運轉清理前由加速器室屏蔽牆內若干具代表性點鑽
		心取出之水泥圓柱體採樣品,經清華大學原科中心或核研所檢測單
	(三)審查要點與接受基準	位要求準備所需樣品重量尺寸,經過適當分節(每節5公分長,直徑
	1. 固體放射性活化物評估	5公分,共10節長50公分),符合純鍺偵檢器量測需求,經過標記

 設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或能譜分析實 測方式,呈現设施內既有及未來清理過程中將產出之固體放射性廢 推體經活化分析後再依原編號及每節順序組合後置回原孔洞中,以 確保展範完整性不受影響。記錄核種及活度數值,做為目後清理時 設施濟理計畫之依據。 2.放射性液體評估 設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或取樣分析實 測方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度 以下,得不列入。 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等賣訊,是否完整與正 確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 .游離輻射防護法。 . 放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 . 法 是 法 (1 是) 在 (1 是) 表面或 (1 是) 表面 (1 是) 素面 (1 是) 表面 (1 是) 就面 (1 是) 表面 (1 是) 表面 (1 是) 表面 (1 是) 素面 (1 是) 表面 (1 是) , (1 E) , (1		
 潮方式,呈現設施內既有及未來清理過程中將產出之固體放射性廢 棄物重量、內含核種、活度(比活度)、表面或一米處輻射劑量率值。 並造冊一一列舉說明。 2. 放射性液體評估 設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或取樣分析實 測方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 (3) 次入停止運轉清理後將加速器本體與周邊設施及屏蔽水泥結構 採樣送往清華大學或核研所利用純緒值檢器進行核種分析。 (4) 依前述估算所得數據或核種分析活度數據推估及列舉設施內各 現活化物之品項及該品項重量、內含核種、活度(比活度)、表面或 一米處輻射劑量率值。並造冊一一列舉說明。 (四) 審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正 確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五) 相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2. 游離輻射防護法。 2. 游離輻射防護法。 3. 放射性物質處可發生 法辦輻射設備及其輻射作業管理辦法。 4. 將位 	設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或能譜分析實	後,送往清華大學或核研所利用純鍺偵檢器進行核種分析。水泥圓
棄物重量、內含核種、活度(比活度)、表面或一米處輻射劑量率值。 確保屏蔽完整性不受影響。記錄核種及活度數值,做為日後清理時 並造冊一一列舉說明。 2.放射性液體評估 2.放射性液體評估 3)永久停止運轉清理後將加速器本體與周邊設施及屏蔽水泥結構 設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或取樣分析實 採樣送往清華大學或核研所利用純緒偷檢器進行核種分析。 潮方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 (4)依前述估算所得數據或核種分所活度數據指估及列舉設施內各 已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度 項活化物之品項及該品項重量、內含核種、活度(比活度)、表面或 以下,得不列入。 (1)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正 第 確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (5)上述所得設施輻射狀況數據後續將作為第六章輻射劑量評估及 (五)相關法規與技術規範 5.2放射性物質廢棄處理方案之輸入項。 1.游離輻射防護法施行細則。 3放射性物質奧可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。	測方式,呈現設施內既有及未來清理過程中將產出之固體放射性廢	柱體經活化分析後再依原編號及每節順序組合後置回原孔洞中,以
 並遗冊一一列舉說明。 这 放射性液體評估 設 放射性液體評估 設 放射性液體評估 設 放射性液體評估 設 放射性液體評估 設 放射性液體評估 認 方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度 以下,得不列入。 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 游離輻射防護法施行細則。 	棄物重量、內含核種、活度(比活度)、表面或一米處輻射劑量率值。	確保屏蔽完整性不受影響。記錄核種及活度數值,做為日後清理時
 2.放射性液體評估 設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或取樣分析實 測方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 (3)永久停止運轉清理後將加速器本體與周邊設施及屏蔽水泥結構 採樣送往清華大學或核研所利用純錯偵檢器進行核種分析。 (4)依前述估算所得數據或核種分析活度數據推估及列舉設施內各 可活化物之品項及該品項重量、內含核種、活度(比活度)、表面或 小米處輻射劑量率值。並造冊一一列舉說明。 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與 確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質處至於 一,如有儲存廢液之情事應提供相關紀錄, 說明活化累積情形。 	並造冊一一列舉說明。	設施清理計畫之依據。
 設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或取樣分析實 測方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 (4)依前述估算所得數據或核種分析活度數據推估及列舉設施內各 已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度 以下,得不列入。 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正 確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 	2. 放射性液體評估	(3)永久停止運轉清理後將加速器本體與周邊設施及屏蔽水泥結構
 测方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位 已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度以下,得不列入。 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 (4)依前述估算所得數據或核種分析活度數據推估及列舉設施內各項活化物之品項及該品項重量、內含核種、活度(比活度)、表面或一米處輻射劑量率值。並造冊一一列舉說明。 (5)上述所得設施輻射狀況數據後續將作為第六章輻射劑量評估及第一次章放射性物質廢棄處理方案之輸入項。 5.2 放射性物質廢棄處理方案之輸入項。 5.2 放射性物質廢棄處理方案之輸入項。 	設施經營單位申請清理計畫以計算機程式模擬估算或取樣分析實	採樣送往清華大學或核研所利用純鍺偵檢器進行核種分析。
 已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度 以下,得不列入。 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正 確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 	測方式,呈現出容積量、內含核種、活度(活度濃度)。若設施單位	(4)依前述估算所得數據或核種分析活度數據推估及列舉設施內各
以下,得不列入。	已取得相關認證游離輻射實驗室檢測樣品已達排放活度濃度限度	項活化物之品項及該品項重量、內含核種、活度(比活度)、表面或
 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 	以下,得不列入。	一米處輻射劑量率值。並造冊一一列舉說明。
 (四)審查發現 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 		(5)上述所得設施輻射狀況數據後續將作為第六章輻射劑量評估及
 審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 八章放射性物質廢棄處理方案之輸入項。 八章放射性物質廢棄處理方案之輸入項。 5.2 放射性液體評估 生命週期之廢液排放處理,如有儲存廢液之情事應提供相關紀錄, 說明活化累積情形。 	(四)審查發現	第
 確 。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。 	審查人員應查核關於生命週期活化產物說明等資訊,是否完整與正	八章放射性物質廢棄處理方案之輸入項。
 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 	確。並確認足以供設施劑量影響評估及設施或土地再利用規劃。	
 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 		5.2 放射性液體評估
 1.游離輻射防護法。 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 	(五)相關法規與技術規範	生命週期之廢液排放處理,如有儲存廢液之情事應提供相關紀錄,
 2.游離輻射防護法施行細則。 3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。 	1.游離輻射防護法。	說明活化累積情形。
3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。	2.游離輻射防護法施行細則。	
	3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法。	
4.設施廢棄清理計畫導則。	4.設施廢棄清理計畫導則。	

3.4.3.6 第六章 輻射劑量評估及防護措施

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及 國內設施經營單位訪該後建議寫作參考指南
第六章 輻射劑量評估及防護措施	第六章 輻射劑量評估及防護措施	第六章 輻射劑量評估及防護措施
6.1 參與清理人員及公眾劑量評估	(一)審查範圍	本章節針對清理作業過程以及所產生之廢棄物暫存及運送過程對
6.1.1 民眾劑量評估	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括:	於周邊民眾以及作業人員可能造成之輻射劑量進行規畫、評估與紀
6.1.2 作業人員劑量評估	1.民眾劑量評估。	錄,並應擬定符合合理抑低原則之輻射防護措施。
6.2 合理抑低與輻射防護措施	2.作業人員劑量評估。	
6.3 環境輻射偵測與監測	3.合理抑低與輻射防護措施。	6.1.1 民眾劑量評估
6.4 偵測簡化或豁免	4.環境輻射偵測與監測:清理期間之環境輻射監測規劃,包括設施	設施經營者應說明清理各階段及廢棄物運送、暫存對一般民眾可能
	內、外之偵測項目、偵測方法、偵測對象、目的、取樣地點、取樣	造成的輻射劑量評估。內容應包括:評估方法與程序、評估結果及
	頻率、活度單位等內容。	紀錄保存。
	5.環境輻射監測期限及豁免條件之提案。	

6.偵測簡化或豁免	6.1.2 作業人員劑量評估
	設施經營者應說明清理各階段及廢棄物運送、暫存對作業人員之劑
(二)程序審查	量評估。內容應包括:評估方法與程序、評估結果及紀錄保存。
審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之基	依估算出設施待清理廢棄物之核種與殘餘活度,並實際量測各活化
本要求,並決定資料之詳細程度是否足以提供審查人員進行細節技	體表面劑量率後,評估清除人員清理期間可能接受之輻射劑量,以
術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊:	安排適當數量的清除人員及工時。
1.於民眾劑量評估內容中應描述清理各階段若涉及拆卸移除之固體	各迴旋加速器設施單位中,具活化之系統、設備、組件與屏蔽結構
放射性廢棄物運送、暫存等,須說明對民眾關鍵群體之曝露途徑,	之拆除方法及其使用之設備可能不同,所需進行之環境輻射監測的
及其輻射劑量影響評估方法與結果。	項目、方法、偵測對象、偵測儀器等會有不同,因此在撰寫此章時,
2.清理階段計畫排放之放射性液體之性質、種類、數量、核種及活	應同時參考拆除方法及作業程序訂定。
度,並須說明場所外圍情況、對民眾關鍵群體之曝露途徑,及其輻	清除過程中人員劑量檢測及監測:
射劑量影響評估方法與結果、防止環境污染之監測設備與處理程序	清除人員的防護措施除進入工作場所時須全程配戴劑量佩章與數
及設計等。	位式個人劑量計外,另穿戴防護衣及防護面罩。於每日離開作業場
3.須依清理各階段規劃之迴旋加速器設施屏蔽結構,及各重要系統、	所前,檢測工作人員的累積劑量及身體表面與口鼻污染情形,必要
設備、組件等之拆除工法與時序,說明各項清理主要活動對作業人	時並進行除污。當清除人員因清理工作累積劑量已達輻射工作人員
員之輻射劑量評估,或輻射安全分析結果。	劑量限度時,應暫停其參與清理工作。
4.清理各階段之拆除工法須描述是否會對場所產生放射性空浮物質	
之污染,及其管制作業之管理(包括收集、處理方法等),並須說明	6.2 合理抑低與輻射防護措施
對作業人員之輻射劑量評估,或輻射安全分析結果。若有排放應進	設施經營者應依各階段設施清理之作業特性、處理放射性廢棄物之
行排放評估範圍包含釋放核種類別、強度與擴散模式、排放口位置、	活度與特性及「合理抑低」之原則,說明其輻射防護措施。清理工
其他經主管機關指定之環境監測相關資料。	作應根據合理抑低輻射防護原則進行,以盡可能降低工作人員與民
5.清理各階段若涉及放射性廢棄物運送、暫存等,須說明作業期間	眾接受之輻射劑量。
對作業人員之曝露途徑,及其輻射劑量影響評估方法與結果。	
6.上述對於民眾關鍵群體及作業人員之輻射劑量評估結果,須符合	6.3 境境輻射偵測與監測
「游離輻射防護安全標準」之規定。	設施經營者應說明清理期間之環境輻射監測規劃,包含設施內、外
7.應說明清理各階段之作業場所相關之污染控制,與輻射監測計畫	之俱測項目(含環境直接輻射之俱測、環境試樣取樣與放射性活度
概要,說明對作業人員之輻射防護措施。	分析等), 並說明規劃之偵測方法、偵測對家、偵測儀器適用性、目
8.輻射監測計畫須描述作業人員個人監測設備之類型、範圍、靈敏	的、取樣地點、取樣頻率、沽度單位及重要之附記等。
度與精確度及校驗週期。	CA 佔別簡化卡爾 A
9.清理計畫對民眾關鍵群體與作業人員造成之劑量符合合理抑低原	0.4 俱侧間化以豁光 用迥兹和湛翠力注册并北目即社者,用止理培与驻防测酶它打防测
則。	山迎灰加还命之消垤业非校期间重,山此氓児辐射监测應足可监测 如照及效益放供,却结十篇增明目音後穿达。
10.評估內容提及監測項目、監測結果評估方法、品質保證及品質管	刑(K(X)的)(F)(F), 我明土官
制執行方法說明、環境試樣放射性分析之預警措施,及其他經主管	部九际(T)建職XU下・ 1 芝茹工的大法工会道劢理培奶テ氿(山上塘、山も少土山て少)。
機關指定之事項。	1.石肥土的刀広个胃守政场现的门带(如工墙、地衣不或地下水), 可不须准行访佰日之防测。
11.說明所有環境輻射監測取樣點之位置。	了个识进们该项目之监测。

12 說明設施內、外之偵測項目,應包括環境直接輻射之偵測、環境	2.經一段時間連續的監測(如3個月或6個月),該監測項目之放射
試樣取樣與放射性活度分析作業等。並說明環境輻射監測作業所規	性物質之活度濃度符合「游離輻射防護法」第八條之規定,不超過
劃之偵測方法、偵測對象、目的、取樣地點、取樣頻率、活度單位	「游離輻射防護安全標準」排放限度時可停止該項目之監測。
及重要之附記等。	3.使用此施工方法所產生之粉塵或污水其活度非常低,不會導致環
13.設施經營者所提環境輻射監測期限及豁免檢測條件應說明合理	境的污染,可不須進行該項目之監測或連續監測一段時間(如 3 個
可行性,符合法規相關規定或合理抑低原則。	月或6個月),該監測項目之放射性物質之濃度未超過「游離輻射防
	護安全標準」排放限度時,可停止該項目之監測。
(三)審查要點與接受基準	
清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	
1.民眾劑量評估	撰寫建議補充:
(1) 設施經營者是否詳實說明清理各階段計畫排放之放射性氣、液	1.本章內容應依「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準
體排放之性質、種類、數量、核種及活度、場所外圍情況、曝露途	則」第十九條之規定,載明下列事項:
徑等參數,及對一般民眾可能造成之輻射劑量評估。內容應包括:	(1) 監測項目,包括連續性環境直接輻射監測、累積劑量之環境直
評估方法與程序、評估結果。	接輻射監測及運轉時放射性物質可能擴散途徑之環境試樣,且敘明
(2) 上述清理各階段之放射性氣體、液體排放對民眾劑量評估,於	試樣種類、取樣頻次、取樣地點(應以地圖標示)、取樣方法試樣保
該階段清理作業實施時,可利用環境偵測結果進行評估。	存、分析方法、偵檢靈敏度及相關參考文件。
(3) 設施經營者是否詳實說明清理各階段放射性廢棄物運送、暫存,	(2) 品質保證及品質管制執行方法說明。
對一般民眾可能造成之輻射劑量評估。內容應包括:評估方法與程	(3) 環境試樣放射性分析之預警措施,包括環境試樣紀錄基準及環
序、評估結果及紀錄保存。	境試樣調查基準。
(4) 設施經營者宜採用認可之劑量評估模式或方法來評估民眾關鍵	(4) 其他經主管機關指定之事項。
群體之輻射劑量結果,評估結果須符合「游離輻射防護安全標準」	另說明本章環境輻射監測計畫如變更,應提前提報之時程。
之規範。	2.環境監測結果之提報應符合「輻射工作場所管理與場所外環境輻
(5) 設施經營者應承諾定期申報含放射性廢氣、液體之排放紀錄及	射監測作業準則」第二十一條之規定。
保存期限等事項,排放紀錄應載明排放之日期、所含放射性物質之	3.環境輻射監測作業執行單位必須通過主管機關指定機構之認證,
種類、數量、核種、活度、監測設備及其校正日期。	以符合「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第二
2.作業人員劑量評估	十二條之規定;環境輻射監測試樣分析能力應符合主管機關公告之
(1) 設施經營者必須依據規劃之清理時程,依照各階段迴旋加速器	可接受最小可測量之規定,以符合「輻射工作場所管理與場所外環
設施屏蔽結構及各重要系統、設備、組件等之拆除工法與時序,說	境輻射監測作業準則」第二十三條之規定。
明清理主要活動對作業人員之輻射劑量評估,或輻射安全分析結	4.環境輻射監測相關紀錄之保存期限應有明確之規定,以符合「輻
果。活動包括系統拆除作業與各階段放射性廢棄物處理、運送、處	射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則」第二十四條之規
置。審查人員須確認清理計畫中上述結果之完整性,各輻射評估流	定:
程是否合理明確,涵蓋之範圍足夠提供可用之數據及分析資料。	(1) 環境輻射監測分析數據,除放射性廢棄物處置場外,應保存三
(2) 設施經營者須確保清理拆除作業場所之輻射安全,對於可能產	年。當環境試樣放射性分析數據大於預警措施之調查基準時,該分
生之放射性空浮物質污染作業,應有其管制作業之管理 (包括收	析數據應保存十年。

集、處理方法等),設施經營者並須說明對作業人員之輻射劑量評	(2) 放射性廢棄物處置場之環境輻射監測分析數據,應完整保存至
估或輻射安全分析結果。	監管期結束為止。
(3) 設施經營者必須說明除污作業及清理期間放射性液體之處理方	(3) 環境輻射監測季報應保存三年,環境輻射監測年報應保存十年。
式,須說明其所含放射性物質之性質、種類、數量、核種及活度,	5.本章品質保證作業內容,得依環境輻射監測品質保證規範或國際
並提供其對作業人員之輻射劑量評估方式與結果。	標準化組織中品質保證之規定執行,以符合「輻射工作場所管理與
(4) 設施經營者必須說明清理之放射性廢棄物處理、運送、暫存等	場所外環境輻射監測作業準則」第二十五條之規定。
作業,並提供其對作業人員之曝露途徑,及其輻射劑量影響評估方	6.設施經營者應參考主管機關訂定之環境輻射監測規範,擬訂環境
法與結果。	輻射監測計畫,以符合「輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測
(5) 各項作業人員輻射劑量評估之曝露途徑,須分別考量體外曝露	作業準則」第二十七條之規定。
與體內曝露,評估流程須符合「游離輻射防護安全標準」之相關規	7.由於各迴旋加速器設施單位中 ,具活化之系統、設備、組件與屏
定。	蔽結構之拆除方法及其使用之設備可能不同,所需進行之環境輻射
3.合理抑低與輻射防護措施	監測的項目、方法、偵測對象、偵測儀器等會有不同,因此在撰寫
(1) 設施經營者是否依各階段設施清理之作業特性,及處理放射性	此章時,應參考第5章設施之輻射狀況評估及第8章放射性物質廢
廢棄物之活度與特性,說明其輻射防護措施;並依據「游離輻射防	棄處理方案訂定。
護法」、「游離輻射防護法施行細則」、「游離輻射防護安全標準」與	
相關規定,撰寫輻射防護計畫。	
(2) 前項清理作業規劃若有涉及放射性空浮污染議題者,設施經營	
者须有相關輻射防護措施與防治放射性污染擴散之設計。	
(3) 前述說明宜包括輻射防護管理組織與任務區分、人員防護、人	
員訓練、人員劑量、醫務監護、管制區劃分及區域管制作業、輻射	
監測、執行清理作業時之防護措施、清理作業及放射性廢棄物管理	
之輻射管制等作業。	
(4) 輻射防護措施之規劃應確保對環境及作業人員所造成之輻射劑	
量符合合理抑低原则。	
4. 環境輻射偵測與監測	
(1)設施經營者應詳述個人劑量監測計畫所預計使用之偵檢器設備	
類型、校驗週期及其性能。	
(2)設施經營者應說明清理期間之環境輻射監測規劃,包含設施內、	
外之偵測項目(含環境直接輻射之偵測、環境試樣取樣與放射性活	
度分析等),並說明規劃之偵測方法、偵測對象、偵測儀器適用性、	
目的、取樣地點、取樣頻率、活度單位及重要之附記等。	
5. 偵測簡化或豁免	
(1)設施經營者應所提環境監測項目之起訖期間、環境輻射監測期限	
的簡化條件應合理可行。	

(2)預估最大排放量或排放活度濃度符合「游離輻射防護安全標準」	
排放限度之評估或實測資料及豁免檢測條件之申請是否符合法規	
相關規定或合理抑低原則。	
(四)審查發現	
審查人員應評估設施經營者之民眾劑量評估、作業人員劑量評估及	
輻射防護措施,以確認符合游離輻射防護法之規定,可於清理活動	
期間保護工作人員及場所外民眾免於游離輻射傷害。	
若設施經營去提供之資訊或劑量評估資料不夠完整, 塞查人員應要	
北设施經濟去提出相關補充證明資料或評估文件。	
大政地注言有提出相關情况的分員行為自己又行 艾亞兹派慈老備提出初步劑書評什資料,仍應右提出完較資料之時	
石或他赶宫有佳秋山彻少削重可怕真什的您有秋山九正真什么啊	
在 说 听 或 承 話 。 奋 亘 八 貝 應 唯 認 政 施 經 宫 有 乚 承 話 之 茯 報 时 桂 合	
理,且个致影響金冠肩理之时柱規劃。	
審查人員應確認設施經營者所提出之壞境輻射監測規劃,符合 游	
離輻射防護法」相關環境輻射監測之要求,並足以保護清理活動期	
間之工作人員、民眾與環境之輻射安全。	
(五)相關法規與技術規範	
1.游離輻射防護法。	
2.游離輻射防護施行細則。	
3. 游離輻射防護安全標準。	
4.輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則。	
5.設施廢棄清理計畫導則。	
	 (2)預估最大排放量或排放活度濃度符合「游離輻射防護安全標準」 排放限度之評估或實測資料及豁免檢測條件之申請是否符合法規 相關規定或合理抑低原則。 (四)審查發現 審查人員應評估設施經營者之民眾劑量評估、作業人員劑量評估及 輻射防護措施,以確認符合游離輻射防護法之規定,可於清理活動 期間保護工作人員及場所外民眾免於游離輻射傷害。 若設施經營者提供之資訊或劑量評估資料不夠完整,審查人員應要 求設施經營者提出相關補充說明資料或評估文件。 若設施經營者提出相關補充說明資料或評估文件。 若設施經營者提出相關補充說明資料或評估文件。 若設施經營者僅提出初步劑量評估資料,仍應有提出完整資料之時 程說明或承諾。審查人員應確認設施經營者已承諾之提報時程合 理,且不致影響整體清理之時程規劃。 審查人員應確認設施經營者所提出之環境輻射監測規劃,符合「游 離輻射防護法」相關環境輻射監測之要求,並足以保護清理活動期 間之工作人員、民眾與環境之輻射安全。 (五)相關法規與技術規範 1.游離輻射防護施行細則。 3.游離輻射防護在行細則。 3.游離輻射防護在行細則。 5.設施廢棄清理計畫導則。

3.4.3.7 第七章 除污方案

設施廢棄清理計書導則	設施廢棄清理計書審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及
	(20)液水汤(五叶亚田三小八)	國內設施經營單位訪談後建議寫作參考指南
第七章 除污方案	第七章 除污方案	第七章 除污方案
7.1 除污規劃	(一)審查範圍	參考日本神經科學研究所小型加速器清理經驗簡報以及國
7.1.1.除污範圍。	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包	內生產設施評估報告內容,建議應包括下列資訊:
7.1.2.除污作業規劃。	括:	7.1 除污規劃
7.1.3.除污作業可能衍生的二次廢棄物及減廢措施。	1.除污規劃。	包括:加速器本體切割、活化屏蔽牆刮除作業、廢棄物運送
7.2 清理期間放射性空浮及廢液處理	2.清理期間放射性空浮及廢液處理。	作業及現場清理作業等,規劃委託原廠或已有清理經驗之
7.2.1.清理期間放射性空浮及廢液產生來源。	3.清理時程	國內外廠商處理。
7.2.2.清理期間放射性空浮及廢液之管理作業。	4.拆除方法及程序	1. 說明除污範圍規劃,包括可能受到污染的環境、結構、系
7.3 清理時程	5.設施或環境後續(再利用)規劃。	統、組件等。
7.4 拆除方法及程序	 6.復原工作。 	2.說明除污作業規劃,包括除污準則、除污程序、除污技術、
7.5 設施或環境後續(再利用)規劃。	7.最終輻射偵測規劃。	作業場所、作業安全及輻射防護等。
7.6 復原工作	8.清理期間仍須繼續生產之重要系統、設備、組件及其運轉	3. 說明除污作業可能衍生的二次廢棄物及減廢措施。
7.7 最終輻射偵測規劃及報告	方式	
7.8 清理期間仍須繼續生產之重要系統、設備、組件及		7.2 清理期間放射性空浮及廢液處理
其運轉方式	(二)程序審查	 1.說明清理期間放射性空浮及廢液產生來源。
7.8.1 安全分析:	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規	2. 說明清理期間放射性空浮及廢液之管理作業,包括收集與
7.8.2 系統安全分類	定之基本要求,並決定資料之詳細程度是否足以提供審查	輸送、處理方法、排放標準、監測方法及排放管控等。
7.8.3 需維持運轉之安全相關系統的運轉說明	人員進行細節技術審查。審查人員應確認本章之內容包含	a.國內加速器運轉過程中所產生之放射性活化氣體均為短
7.8.4 需維持運轉之非安全相關系統的運轉說明	以下資訊:	半衰期之活化產物,並無累積須待清理過程中收集處理之
	1.說明除污範圍規劃,包括可能受到污染之環境、組件及可	情事;惟清理過程中因需切割加速器本體或敲打屏蔽牆表
	再除污之廢棄物等。	面一定深度遭活化之混凝土牆,而產生懸浮微粒,為避免含
	2.污染範圍與污染程度分類之推估說明。	放射性之懸浮微粒(空浮)飄逸出設施造成環境或附近人員
	3.說明除污作業規劃,包括除污準則、除污程序、除污技術、	劑量,必須以負壓抽氣方式輔以集塵慮層收集吸附懸浮微
	作業場所、作業安全及輻射防護措施等。	粒(空浮)。
	4.說明除污作業可能衍生之二次廢棄物及減廢措施。	b.國內加速器運轉過程中所產生之放射性廢液,大都為短半
	5.說明清理期間放射性空浮及廢液產生來源。	衰期之活化產物,若經採樣送游離輻射實驗室檢測低於排
	6.說明清理期間放射性空浮及廢液之管理作業,包括收集與	放活度濃度管制限度,不需待清理即可排放。惟清理過程中
	輸送、處理方法、排放標準、監測方法及排放管控等。	因需以高壓水刀切割或切割牆面時須以冷卻水冷卻切割器
	7.說明清理時程規劃。	時,會有部分含放射性固體粉塵之冷卻水排放,須加以收集
	8. 說明設施清理後設施及土地再利用之範圍及將如何再利	檢測減廢後排放或交由能研究所處置。
	用之規劃。	

9.說明設施如何復原,以符合設施清理後之輻射劑量或比活	7.3 清理時程
度之法規標準。	設施經營者應說明清理各階段之目標及時程,並佐以甘特
10.說明最終輻射偵測規劃。	(Gantt)圖或時程圖示各階段之拆除程序,以及完成時間。
11.說明清理期間仍須繼續生產之重要系統、設備、組件及	
其運轉方式。	7.4 拆除方法及程序
	1. 說明被活化之機械系統、設備、組件與設施屏蔽結構的拆
(三)審查要點與接受基準	除方法及其使用之設備。
清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	2.拆除作業中安全作業程序及其相關之輻射防護與防治污
1.除污規劃	染擴散的方法。
(1) 除污範圍	
A.設施經營者必須根據並參考「第4章設施運轉歷史及曾	7.5 設施或環境後續(再利用)規劃:
發生之重大事件與其影響」及「第5章設施之輻射狀況評	說明清理後設施及土地再利用的範圍,以及將如何再利用
估」內容說明可能受到污染之環境、結構、系統、重要組件	的規劃:
及可再除污之廢棄物等。	再利用的規劃方式可能包括:
B.結構、系統、重要組件及可再除污之廢棄物等污染範圍與	無限制性使用(以一般建築及土地開放使用或拆除重建)、
污染程度應分類推估說明,推估方法與程序詳細說明,且其	限制性使用(如原場址安裝新迴旋加速器或其他輻射設備)
結果合理保守,以利後續除污作業之進行。	或轉為其他一般用途等。
(2) 除污作業	場地再利用規劃依清理後之輻射劑量及相關法規標準來分
A.設施經營者必須詳實說明除污準則、除污程序、除污技	為:
術、作業場所、作業安全及輻射防護措施等。	1.管制區:限制性使用(僅能為輻射作業用之輻射工作場所)
B.除污作業應在安全之前提下採行經濟有效之方法與技	2.環境區:依使用地容許使用項目來使用(無限制使用)
術,並配合管理措施與輻射防護設備,以符合「游離輻射防	3.無限制使用:參考美國 10 CFR 20.1402 ,如果可與背景輻
護安全標準」第六條與第七條,抑低與限制輻射工作人員職	射區分的殘餘放射性導致關鍵群體的平均成員每年的總有
業輻射劑量限度之規定。	效等效劑量(TEDE)不超過 25 mrem (0.25 mSv)
C.除污程序宜有流程圖加以說明。	
D.除污技術應採用相當於現行工業技術水準或以上之可靠	7.6 復原工作
技術。設施經營者應說明選用除污技術之理由及預估可能	說明設施清理後的場所如何復原,以符合場所輻射劑量或
之除污效能。	相關之法規標準。
(3) 二次廢棄物及減廢措施	
A.設施經營者必須詳實說明除污作業可能衍生之二次廢棄	7.7 最終輻射偵測規劃及報告
物及減廢措施。	清理計劃實施完畢後,提出最終輻射偵測報告報請主管機
B.除污作業應儘量抑低二次廢棄物之產生,並視廢棄物性	關檢查。
質考量配套之減廢處理措施。	最終輻射偵測規劃,內容應包括:偵檢目標與說明、偵測設
2.清理期間放射性空浮、廢液處理	計(包含游離輻射防護安全標準的應用與推導及偵測點數
(1) 放射性空浮與廢液產生來源	目的決定等)、偵測位置的決定、調查基準的決定、偵測方

A設施經營者必須詳實說明清理期間放射性空淫及廢液可	法、品質保證方案、值測結果的評估及外釋標準等。最終輻
能產件來酒。	出版 加拿 不 医 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一
R 放射性灾淫及 廠 该 產 H 來 酒 它 列 表 迨 明 , 並 碩 仕 甘 可 能	制、以及進供釋山區城之場北輻射劑昌能な人注相標准。
路4 历困的知此性质。	制 以及干角杆山也以之物址相引削重肥村日公风保干 县级柜射佔測起生佔測之設計·規握 CTI PDS_112 白腰屋
发生你四兴血成任真。	取於抽利俱两根百俱两人改訂, 根據 CII KD5-112 日 胆开
(2) 殷乳兴酸液官理作素	散迴旋加速器的清理經驗,部分迴旋加速器下力的混凝土
A.設施經營者必須詳實說明清理期間放射性空浮、廢液之	地板的一部分有被活化之 Co-60、Eu-152、Eu-154、Cs-134
管理作業,包括收集與輸送、處理方法、排放標準、監測方	等核種,針對這些核種訂定偵測結果之標準。
法及排放管控等。	
B.放射性空浮與廢液之收集、輸送、處理、排放、監測等,	7.8 清理期間仍須繼續生產之重要系統、設備、組件及其
應有合理之規劃及管控措施。	運轉方式
C.排放含放射性物質之空浮或廢水,應符合「游離輻射防護	若设施經營單位於加速器清理期間仍須保留製藥合成及品
安全標準」第十二條、第十三條與第十四條對場外一般人體	管設施。應補充說明清理期間輻射安全相對應事項及確保
外曝露造成之劑量限值與排放標準,並合理抑低。	清理人員之輻射安全維護事項。包括:
D.設施經營者必須詳實說明原設施內之廢液處理系統拆除	一.安全分析:
後,廢液之收集、輸送、處理、排放、監測等之規劃與管控	說明清理階段設施維持製藥安全運作之分析結果,以防止
措施。	放射性污染擴散並確保藥物生產之安全。
3清理時程:	二.系統安全分類
·····································	說明清理期間系統安全分類原則與分類結果。分類項目區
(Gantt)图式哇铝图一名哔码力折除程序,以及完式哇閂。	分為:
(Contr) 画式时在画小台围校之孙床在小"以及九成时间"	雪維持運轉的系統 (句今安令相關與非安令相關)。
7.排际刀広仪性厅	偏止调糖的系统-主要各加速哭及如此、加速哭相通接之时
(1) 这他經宮者應說明被活化之機械系統、設備、組什典設	月正年待的形成"工安闷加速留及和站"加速留相迁按之间 属机体。
施併敝結構的拆除力法及其使用之設備。	」 回 现他。 一 更从其实持为它入扣明多优从实持公明
(2) 設施經營者應說明拆除作業中安全作業程序及其相關	二. 新維行連轉之女全相關系統的連轉說明
之輻射防護與防治污染擴散的方法。	說明清理期间仍須運轉及需要修改或新設之安全相關系
5.設施或環境後續(再利用)規劃	統、設備、組件與具連轉万式。
設施經營者必須詳實說明設施清理後設施及土地再利用之	四.需維持運轉之非安全相關系統的運轉說明。
範圍,包括:地理位置、面積大小等;以及將如何再利用之	(註:參考澳洲輻射防護與核安全局(簡稱 ARPANSA)針對澳
規劃,無限制性使用(以一般建築及土地開放使用或拆除重	洲國家醫用迴旋加速器設施 National Medical Cyclotron (簡
建)、限制性使用(如原場址安裝新迴旋加速器或其他輻射設	稱 ANMC)清理申請審查紀錄,並於 109 年度國內設施資料
備)或轉為其他一般用途等。	收集時,經由聯絡人會議、訪談各單位,討論出可能產生的
6.復原工作	選項為僅清理迴旋加速器但保留製藥合成及品管設施。)
A.設施經營者必須詳實說明設施如何復原,以符合設施清	
理後之輻射劑量或相關之法規標準。	
B.復原工作應符合法規標準。	
7 最終輻射偵測規劃及報生	
1. 北下、四小11天(11)5001/2 1/2 1	

A. 設施經營者必須詳實說明最終輻射偵測計畫。最終輻射	
偵測計畫應能驗證符合清理計畫所建議之釋出使用限制,	
俾使準備釋出區域之廠址輻射劑量能符合法規標準。最終	
輻射偵測規劃之內容應包括:偵檢目標與說明、偵測設計	
(包含標準之應用與推導及偵測點數目之決定等)、偵測位	
置之決定、調查基準之決定、偵測方法、品質保證方案、偵	
測結果之評估及外釋標準等。	
B.所使用之量测設備、基準、偵檢方法、校正程序、儀器操	
作前查驗方式、涵蓋範圍、靈敏度,以及量測數據適當之統	
計與分析方法。	
C. 說明委託環境試樣放射性核種分析實驗室進行分析之樣	
品,其蒐集、管理與處理方式。	
D說明最終輻射偵檢之調查基準與決定依據。	
E.說明評估偵測結果符合釋出使用標準之統計方法。	
8. 清理期間仍須繼續生產之重要系統、設備、組件及其運	
轉方式。	
A. 安全分析	
設施經營者申請清理計畫中明確說明清理過程中仍保留部	
分設施之安全運作分析,並對確保作業安全及防止放射性	
污染擴散之作為列舉說明。	
B. 糸統安全分類	
設施經營者申請清理計畫中詳細分類說明清理過程中停止	
運轉的系統及需維持運轉的系統。	
C. 設施經營者申請清理計畫中詳細列出需維持運轉之安	
全相關系統的運轉說明。	
D. 設施經營者申請清理計畫中詳細列出需維持運轉之非	
安全相關系統的運轉說明。	
(四)審查發現	
1.審查人員應查核申請書所提出之除污方式,及清理期間放	
射性空浮與廢液處理之規劃作法,進行定性與定量之安全	
審查,以確認符合下列各項要求:	
A.設施經營者提出之資料詳實完整。	
B.除污方式及除污時程規劃合理可行。	
C.放射性空浮與廢液之處理、排放及貯存方法合理可行。	

D.除污作業及放射性空浮與廢液處理能確保公眾健康與作	
業安全。	
E.若設施經營者僅配合清理階段提出初步規劃資料,仍應	
有提出完整資料之時程說明或承諾。審查人員應確認設施	
經營者已承諾之提報時程合理,且不致影響整體清理之時	
程規劃。	
2.審查人員應查核關於清理各階段之目標及時程。審查人員	
應評估設施經營者之設施屏蔽結構及各重要系統、設備、組	
件等之拆除工法、時序,及其相關之輻射防護與防治污染擴	
散之設計,以確認拆除作業使用之設備、方法及安全作業程	
序可安全地執行。對於具活化之系統、設備、組件與設施屏	
蔽結構之拆除方法,及其使用之設備等資訊,若設施經營者	
現階段尚無法提供詳實之細部技術資料,設施經營者應於	
本章內說明未來之提出時程。審查人員應確認已提出之初	
步資訊是否合理、是否影響後續放射性廢棄物之管理規劃。	
審查人員亦應確認設施經營者已承諾之提報時程合理,且	
不致影響整體清理之時程規劃。	
3.審查人員應審查設施經營者之再利用範圍與規劃、復原工	
作及最終輻射偵測規劃,以確認符合「游離輻射防護安全標	
準」。	
 4.審查人員應查核關於清理期間仍須繼續生產之重要系統、 	
設備、組件及其運轉方式等資訊,是否完整與正確。並確認	
設施經營單位維持部分設施運轉是否有足夠之安全性統確	
保設施能持續運轉。	
(五)相關法規與技術規範	
 游離輻射防護法。 	
2.游離輻射防護法施行細則。	
3.放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辨	
法。	
4.輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測作業準則	
5.設施廢棄清理計畫導則。	

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及
		國內設施經營単位訪談後建議烏作参考指南
第八章 放射性物質廢棄處理方案	第八章 放射性物質廢棄處理方案	第八章 放射性物質廢棄處理方案
8.1 放射性廢棄物之類別、特性、數量	(一)審查範圍	清理工作中所產生之放射性廢料應依據當時法規辦理,並安全運
8.2 減廢措施	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括:	送至政府公告之最終處置設施場址或其它主管機關指定之機構進
8.3 放射性廢棄物之處理	1.放射性廢棄物之類別、特性、數量。	行處理。
8.4 放射性廢棄物之運送	2.減廢措施。	8.1 放射性廢棄物之類別、特性、數量:
	3.放射性廢棄物之處理、暫存及處置。	1. 說明放射性廢棄物數量及特性之推估方法。
	4.放射性廢棄物之運送。	2. 說明推估之放射性廢棄物來源、類別、型態、數量。
	(二)程序審查	3.說明放射性廢棄物實測或推估之主要核種、活度或比活度、空間
	審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之基	劑量率等特性。
	本要求,並決定資料之詳細程度是否足以提供審查人員進行細節	4. 說明清理作業可能衍生二次廢棄物及廢棄物管理措施。二次廢棄
	技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊:	物:布類、吸水紙、手套、面罩、集塵網及容器等。
	1.說明清理放射性廢棄物之類別與數量。	二次廢棄物包括有:布類、吸水紙、手套、面罩、集塵網及容器等
	2.呈現清理計畫執行完畢後可能產生之待處理清理放射性廢棄物	
	總重量。	8.2 减量措施:
	3.說明處理前之廢棄物來源、類別、型態與數量相關文件。	說明配合清理廢棄物數量及特性、除污作業、拆除方法、廢棄物外
	4.說明放射性廢棄物實測或推估之主要核種、活度或比活度、表面	釋處理方式等,規劃採行之減量措施。
	污染與空間劑量率等特性。	
	5.說明清理作業可能衍生二次廢棄物及廢棄物管理措施。	8.3 放射性廢棄物之處理:
	6.說明配合清理廢棄物數量與特性、除污作業、拆除方法及廢棄物	說明放射性廢棄物的處理規劃,包括規劃使用的處理或暫存空間、
	外釋處理方式等,以及規劃採行之減廢措施。	位置、處理方法、處理量,以及使用的盛裝容器等。
	7.說明放射性廢棄物之處理規劃,包括規劃使用之處理設施、位置、	固體放射性廢棄物處理貯存及最終處置須交由合格之機關(核研
	處理方法、處理量,以及使用之盛裝容器等。	所)或業者。(參考行政院原子能委員會核能研究所「對外放射性廢
	8.放射性廢棄物之運送、暫存及處置相關規劃措施。	棄物接收處理注意事項」)
	(三)審查要點與接受基準	
	清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	8.4 放射性廢棄物之運送:
	1.放射性廢棄物之類別、特性、數量	說明低放射性廢棄物於設施內或設施外運輸的規劃,包括可能路
	(1) 廢棄物數量及特性	徑、運輸作業、運輸容器與輻射安全等。
	A.設施經營者必須說明放射性廢棄物數量及特性之推估方法。	放射性廢棄物之運送:須符合放射性物質運送規則,委託合格的輻
		射防護服務業代處理。

3.4.3.8 第八章 放射性物質廢棄處理方案

R 太 頂 放 射 性 廢 垂 物 數 量, 指 清 理 計 書 劫 行 宗 畢 後 可 能 產 生 之 往 虚	說明因聽放射性廢棄物處理哭城、東輛或設備於運送後除汗給測
田洼理拉射州 威 每 物 缅 舌 号 , 得 以 立 方 八 日 龙 和 带 於 煙 淮 险 沄 杨	此外口服从外口放来仍处生品版一干部或政情从之边及你们做八
些有 生 成 羽 仁 傲 来 初 沁 生 里 · 內 以 上 为 公 八 3 化 田 水 保 干 休 7 州 數 表 干 。	
秋 √ / ° C 拚 ↓ → 古 辻 泪 洼 囲 辻 聿 毗 邸 · 須 川 会 耂 粘 / 小 九 た 古 ナ → 拚 ↓ 、 エ	浦东说明·
C.推估之力法优消理引重偕权, 付以参考频似改施力式之推估、上 印图标任管、审计导测任管管、	- 用行相定因體放射性廢棄物接收機關/拉研所
程圆幅仍异、頁地里測仍异寺。 (2) 京东北市东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东东	古田的五边田鼬拉的树底五脚旺去海田筋圈(会老此弗其淮 泛
(2) 廢 嚴 物 深 、 類 別 、 型 思 、 数 更	- 极所所不按回随成剂性酸果初以有適用範圍(多方收員盔牛-还
A.設施經營者必須說明推估之放射性廢業物來源、類別、型態與數	牛硐金)
童。	
B.清理計畫應附表說明處理前之廢棄物來源、類別、型態與數量。	
(3) 廢棄物輻射特性	
A.設施經營者必須說明放射性廢棄物實測或推估之主要核種、活	
度或比活度、表面污染與空間劑量率等特性。	
B.廢棄物輻射特性得依據處理前之廢棄物來源與類別進行說明。	
(4)清理二次廢棄物及管理措施	
A.設施經營者必須說明清理作業可能衍生二次廢棄物及廢棄物管	
理措施。	
B.清理計畫應說明可能衍生二次廢棄物之來源、預估數量與特性	
等,並說明因應之管理措施。	
2.减廢措施	
(1) 設施經營者必須說明配合清理廢棄物數量及特性、除污作業、	
拆除方法、廢棄物處理方式等,規劃採行之減廢措施。	
(2) 清理作業規劃應考量減廢之基本原則包括:控制廢棄物之產	
生、防止污染、再回收利用、減少體積等。	
(3) 設施經營者所採行之減廢措施如包含廢棄物外釋,應符合游離	
輻射防護法相關規定。	
3.放射性廢棄物之處理	
設施經營者必須說明放射性廢棄物之處理規劃,包括規劃使用之	
處理設施、位置、處理方法與處理量,以及使用之盛裝容器等。	
4.放射性廢棄物之運送、貯存及處置	
(1) 運送	
A.設施經營者必須說明放射性廢棄物於設施內或設施外運輸之規	
劃,包括可能路徑、運輸作業、運輸容器與輻射安全等。	
B放射性藤蚕物運輸應符合「放射性物質字令運送相則」如關相定。	
() 新友	

·····································	
政心社習有必須玩切瓜利住服未初人百行死到,巴拓死到使用人	
暫存空間、位置、暫存方法,以及暫存之廢棄物類別、數量等貧訊。	
(3) 處置	
設施經營者必須說明清理計畫與放射性廢棄物處置計畫之間之整	
合規劃措施。	
(四)審查發現	
審查人員應查核申請書所提出之放射性廢棄物類別、特性、數量、	
減廢措施及其處理、運送與暫存等之規劃作法,進行定性或定量之	
安全審查,以確認符合下列各項要求:	
1.放射性廢棄物之類別、特性、數量資料完整。	
2.放射性廢棄物減廢措施合理可行。	
3.放射性廢棄物處理規劃合理可行。	
4.放射性廢棄物運送、暫存及處置合理可行。	
若設施經營者僅提出初步規劃資料,仍應有提出完整資料之時程	
說明或承諾。審查人員應確認設施經營者已承諾之提報時程合理,	
且不致影響整體清理之時程規劃。	
(五)相關法規與技術規範	
1.放射性物質安全運送規則。	
2.設施廢棄清理計畫導則。	
3.游離輻射防護法。	

3.4.3.9 第九章 輻射意外事件應變方案

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及 國內設施經營單位訪該後建議寫作參考指南
第九章 輻射意外事件應變方案	第九章 輻射意外事件應變方案	第九章 輻射意外事件應變方案
9.1 意外事件肇因分析	(一)審查範圍	9.1 設施清理期間可能發生之意外事件:
9.1.1.設施清理期間可能發生之意外事件。	審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括:	說明設施清理期間可能發生之意外事件,依性質可分為:
9.1.2.各項意外事件之發生原因、評估方法、	1.意外事件肇因分析	天然災害:風災、震災、水災、土石流。
影響分析。	2.意外事故緊急應變程序	技術災害:火災、爆炸、游離輻射意外事故、危害物質事故、停
9.2 意外事故緊急應變程序		電、停水、人為破壞。
9.2.1 應變組織編組與職責分工	(二)程序審查	重大傳染病群聚事件。
9.2.2 應變場所與設備		並敘述各項意外事件的發生原因、評估方法及影響分析。
9.2.3 訂定緊急災害應變措施計畫		另可參考風險評估作業原則如下:

審查人員應查核清理計畫內容是否符合上	-远審查範圍所規定之 風險評估:
基本要求,並決定資料之詳細程度是否能	と足以提供審査人員進 1.危害鑑別:作業危害之辨識、評估及控制表
行細節技術審查。審查人員應確認本章之	內容包含以下資訊: 清理作業的輻射安全意外事故來源:
一.意外事件肇因分析	(1)清理工作過程產生的空浮物質或放射性廢液排放對環境造成
1. 說明設施於清理期間各階段可能發生之:	<mark>意外事件、自然災害事</mark> 污染。
件以及人為破壞事件。	(2)清理工作過程導致工作人員劑量及民眾劑量超過劑量限度或
2.敘述各項意外事件之發生原因、評估方法	法、後果管理及其影響 對環境造成輻射影響。
分析。	(3)放射性廢棄物於清運過程中發生意外事故造成放射性污染擴
二.意外事故緊急應變程序	散。
1.提供評估清理期間可能發生之假想事故:	之總結分析。 (4)其它本中心應收集各種假想可能事故描述及安全分析以作為
2.說明清理期間各階段,應變組織體系及得	各單位權責,並提供有 應變方案。
支援需求時可循體系動員之相關單位組織	· 2.風險評估表
3.說明清理期間各階段意外應變計畫(含消	防防護計畫)、指揮作 以表格方式分別列出上述第一階段識別出之風險並評估該風險
業地點、設備配置、管理與維護、訓練、	演習(練)、意外醫護救 發生之機率及危害程度。並加以分類分級。
助、除污設施及聯絡系統等事項。	3 不可接受風险管制表
4.說明清理期間各階段,預期之各類意外	事件之應變措施與程 列出不可接受國際項目並製作管制表以減輕茲國際發生之機率
序,包含應變組織成立時機、通報機制等	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·
	4 国险控制措施之提制:
(三)審查要點與接受基準	41 改善方案
清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	(1)硬體改差拱施
1.設施經營者必須說明設施清理期間各階	段 (2)軟體改差措施
可能發生之各類意外事件,依性質可分為	1000000000000000000000000000000000000
安、環安、火災等)、天然災害事件(如颱風	A、暴雨及地震等)及人 (1)緊刍雁繼進借 <u>臨</u> 訓練
為破壞等。	(2) 教育訓練掲劃執行
2.意外事件敘述須說明發生之可能原因,主	位針對可能引發放射性 (3)進行績效監督臨暈測
曝露或是放射性污染擴散之程度進行量化	估計,透過評估方法、
後果管理,分析其對清理活動之影響。	9.2 意外事故緊急應變程序
3.自然災害事件須依據場所特性資料,說明	月清理期間可能發生之 (1) 應繼知鮮紀知 陶酔素公工
假想事件,以及可能導致之最大危害程度	,並以情境假設定量出 (1) 感受組織潮組與職員为上
可能引發放射性曝露,或是放射性污染擴行	散之程度,透過評估方 动明虑变组斌脸示及谷平位准員, 亚提供有文拨而不时可相随
法、後果管理,分析其對清理活動之影響	· 新期具《伯剛平/U·組織。
4.前述說明宜列出清理期間可能發生之假行	想事故,合理預見之事 (2)應變場所與設備
故需確認有可能釋放到環境之放射性物質	(1,並分析及明確說明) 說明意外應變指揮作業地點、意外醫護救助、除污設施及聯絡
前述意外之輻射劑量後果,與造成關鍵群	體健康效應之影響。 系統等事項。
5.應變組織編組與職責分工	(3)訂定緊急災害應變措施計畫

(1) 設	施經營者需說明清理期間各階段 ,應變組織體系及各單	說明預期之各類意外事件的應變導則或程序,並說明平時設備
位權責	,並提供有支援需求時可循體系動員之相關單位組織。	整備與預防措施等規劃。
(2) 前	述說明宜包含建立意外應變指揮所與管制區域劃分及其	1.內容應包括因應災害之預防、準備、應變與復原各階段之應變
應變決	< <p>·策權與時效。</p>	體系、應變組織與工作職責。
6.平時	整備措施	2.意外應變措施應提報給相關所在政府單位,如所在地的消防
(1) 設	施經營者需說明清理期間各階段意外應變計畫(含消防防	局等
護計畫	 ()、指揮作業地點、設備配置、管理與維護、訓練、演習	3.意外應變計畫內容應有清理廠所的地理位置圖(X/Y座標)、全
(練)、	意外醫護救助、除污設施及聯絡系統等事項。	場(廠)配置圖、內部配置圖(平面圖,圖面標示逃生路線、防災設
(2) 前	述設備宜包含意外救助、醫療裝備、除污設施及聯絡系統	備物品位置(如滅火器/水帶/偵煙器/偵檢器/醫療箱等)及內
等。		外觀照片。
7.應變	措施	4.防(救)災設備物品清單。
設施約	2營者需說明清理期間各階段,預期之各類意外事件之應	5.除輻射相關緊急應變說明外役應包含毒性化學物質緊急應變
變措施	5與程序,包含應變組織成立時機、通報機制等。	說明,提供外部救災單位詳細位置及資料。
		6 意外應變程序演練
(四)	審查發現	說明預防期、整備期、應變期、復原期等規劃與演練。
審查人	員應評估設施經營者之各項意外事件之發生原因、評估	平時設備整備與預防措施等規劃,應辦理相關演練。應變組織的
方法、	後果管理及其影響分析,以確認清理期間可能發生之假想	功能發揮與否,各組人員的應變訓練,須靠演練來獲得驗證,藉
事故均	日 ·已審慎地完成安全分析。	著實地操作狀況推演,可從演練過程中發現缺失並加以改進,以
若設於	远經營者提供之資訊、分析結果或評估資料不夠完整,審查	使應變組織運作更形順暢,並確保計畫可順暢執行,演練類型:
人員應	要求設施經營者提出相關補充說明資料或分析與評估文	簡報導引、技術演練、桌上模擬演練、實地演練。
件。		7.參考法規/依據:
審查人	員應審查設施經營者針對清理期間各階段可能發生意外	a.「醫院緊急災害應變措施及檢查辦法」(093/12/20)
事件之	上應變組織編組、職責分工、應變場所與設備及其相關之意	b. 風險評估技術指引(104/12/04)
外應箋	卷程序,確認均有完整之描述,足以因應意外事件之發生。	c. 評估分析表工具: Kaiser Permanente HVA Tool,
		http://www.calhospitalprepare.org/post/hazard-vulnerability-
(五)	相關法規與技術規範	analysis-tool
1.游離	輻射防護法。	d. 因應目前 COVID-19 疫情,應加入重大傳染病群聚事件之應
2.設施	廢棄清理計畫導則。	變機制。

3.4.3.10 第十章 品質保證方案

設施廢棄清理計畫導則	設施廢棄清理計畫審查導則	參考文獻、其他經驗國清理作法及 國內設施經營單位訪談後建議寫作參考指南
 第十章品質保證方案 10.1設施經營者清理作業品質保證計畫: (一)組織 (二)品質保證方案 (三)工作說明書、作業程序書及圖面 (四)文件管制 (五)檢驗 (六)量測及試驗設備 (七)改正行動 (八)品質保證紀錄 (九)稽查 10.2清理工作期間,資料紀錄及管理: (一)核定之清理工作計畫書。 (二)清理工作所包含各項工作細部說明與完整程序。 (三)定期現況報告。 (五)人員劑量監測報告。 (五)人員劑量監測報告。 (六)清理工程總結報告。 (七)其他主管機關規定之報告。 	 第十章 品質保證方案 (一) 審查範圍 審查人員依據設施廢棄清理計畫導則,本章之審查範圍包括: 1.設施經營者清理作業品質保證計畫 2.清理工作期間,資料紀錄及管理 (二) 程序審查 審查人員應查核清理計畫內容是否符合上述審查範圍所規定之基本要求,並決定資料之詳細程度是否足以提供審查人員進行細節技術審查。審查人員應確認本章之內容包含以下資訊: 1.明述組織之權責,以確保影響品保之活動符合下列事項: (1) 品保計畫管理組織與各單位管理人之描述,以及組織架構圖。 (2) 明定之文件化指令、程序和草稿。 (3) 經由實施前述文件而產生之項目,及明述結構、程序與草稿之流程化,包含量化接收標準以及品質接收標準,以確保執行重要活動時,可以滿足所需要之表現。 2.承諾在清理期間之活動將有足夠之品質以符合目標,此目標包含適於管控之品質保證程序並確保品質保證計畫中所涵蓋之活動皆記載於界定之文件或表格中。 3.明述計畫中之規定,以確保技術和品質保證者事中所涵蓋之活動皆記載於界定之文件或表格中。 3.明述計畫中之規定,以確保技術和品質保證者序符合品質保證計畫中方涵蓋之記錄與控制。 4.明述依品質保證組織如何提供管理,管理內容包含所定期評估之範圍、位階、適當性與品質保證程序之符合性。 5.明述並提供負責人所執行之指示、可能造成品質影響之措施與範圍、實行品質相關之文件、說明與程序。 6.設施經營者或權責單位撰寫、發布、修訂及廢止品保文件之方式。 8.述明量測及測試設備定期所需進行之校正項目。 9.诸明量於算測及測試設備定期所需進行之校正項目。 	國內證施經營単位訪談後建議為作參考指南 第十章 品質保證方案 10.1 證施經營者清理作業品質保證計畫: 由於一般醫院的迴旋加速器編制通常僅有 5~7 人,所以清理相關 作業的品質保證計畫及記錄應朝簡化,周全可行,建議項次包含 如下: (一)組織 (二)品質保證方案 (三)工作說明書、作業程序書及圖面 (四)文件管制 (五)檢驗 (六)量測及試驗設備 (七)改正行動 (八)品質保證紀錄 (九)稽查
	改正程序。	

10.明述品保紀錄之管理方式及清理期間負責執行及維護品保紀	
錄之品保組織等權責單位。	
(三)審查要點與接受基準	
清理計畫內本章之內容應符合以下要求:	
1.組織	
(1) 設施經營者必須詳實說明品質保證相關組織架構之編組、功	
能、責任與權限、管理理念及必要之資源。	
(2) 審查人員應確認設施經營者或負責團隊及其主要承包商於品	
保計畫中所安排管理者之職位,以保留完整之權限及義務,該品	
保負責人之位階需平行或更高於其它與執行品質直接相關之人員	
職務(如工程、施工及操作),並能獨立於成本與工作進度之限制。	
(3) 審查人員需確認個人或組織於計畫中所需達到之目標,其權	
限與義務需以書面形式清楚記載,包括其職責、達到目標作業品	
質,以及維持品質之相關事項。	
(4) 審查人員應確認執行品保計畫之人員或組織有足夠之權力及	
自由度,以確保:	
A.確認品質相關問題。	
B.發起、推薦或指定特定之解決方案。	
C.變更方案之執行。	
審查人員應確認上述人員及組織之執行方法有詳細之書面規範。	
(5) 前項說明宜檢附圖表以利審查。本項得併同「第三章組織及人	
員訓練」進行審查。	
2.品質保證方案	
(1) 設施經營者必須詳實說明適用之法規、標準,人員必要之品質	
講習及訓練,審查與監督方式等。	
(2) 設施經營者是否明列適用本品保計畫之各項目,包括安全有	
關之結構、系統與組件。	
(3) 前述說明宜檢附圖表,以利審查。本項結構範圍主要為本章目	
錄所列之第一項(組織)至第九項(稽查),共計九項;得併同進行審	
查。	
3.工作說明書、作業程序書及圖面	
(1) 設施經營者必須詳實說明應用之作業文件包括作業程序書、	
工作說明書或圖面等相關作業文件。	

(2) 前述說明建議包含其標準化程序、輻射防護程序、特殊處理	程
序、包含技術規格及工作導引之工作管制文件、放射性物質之	處
理、包裝及運送程序、品質保證監督程序、行政管制程序、緊	急
事故處理程序、監督程序、訓練/資格/證書之取得程序、設計及	相
關文件管制程序、不符計畫/修正程序、品質紀錄程序、許可管	制
程序、物料 /設備管制程序、包含最終輻射偵測之設施特性調查	程
序、消防程序。	
(3) 前述說明宜檢附圖表以利審查。	
4.文件管制	
(1) 設施經營者必須詳實說明所有可能影響品質要求或品質作	業
之文件,確保於撰寫、發布、修訂文件之過程中,有實施適當	之
管控措施。	Ĩ
(2) 受管控之文件應至少句会:	
A.品質保證及品質管控之手冊,以及可能影響品質之程序。	
B.技術報告。	
審查人員應核對其是否有建立審閱、核准、發布文件及變更之	相
關程序並加以描述,使在執行前可確保其執行方式恰赏,亦可	確
保其執行有老量到適當之品質要求。	- F E
(3) 塞查人員應該對設施經營去是不有建立適堂之程序,以確	保
文件之緣更將經過最初案間、核准此文件之相端,或其他設施	經
冬去香油	.1
10日又小 20日又小 20日	相
~ 日相催員十位~ 雷风风极准 雷旦八只恐极到兴人口分之工 關程序,以於工作開始前即可確保工作人員於工作場所有查開	相
關立什一 5 小 二 作 所 起 府 片 7 徑 小 二 作 入 只 水 二 作 为 所 并 亘 阅 關 立 件 之 能 力 。 案 杏 人 員 應 拡 對 是 丕 右 建 立 相 關 段 序 , 以 確 仔	т
前又一个儿儿 雷旦八只心很到人口分足工作前任了 八准的	_
(4) 前试治明它恰附如關答制辦法及圖書以利率本。	
(7) 加达明日做附旧删日附附及风圈衣以附备旦。	
(1) 恐怖經濟老小須詳實證明法理相關作業之採購、施工,均子	₁₂
(1) 成心理智有众次开真机仍有经伯酬下来之休梅 心上 行了	ち
做城, 业改业 旦极和, 以床 田石 贝树 村, 知什, 东 就 从 河傳,	月日
肥村合有關保牛、 広税或合约川 而之 四貝 安水 , 业资 律 共 风 皮	51
ル。 (7) 払販人員應從人供完容权式訓練,并且左扣關級賬。	
(2) 依赖八只愿付百村足具俗以训练,业共有怕崩烂藏。	
(3) 刖逃说明且惙附惙儆計重、笪侬衣及伯闌圓衣,以利番鱼。	
(2) 刖逃詋明且微附试\\新查、程序善及相關國衣,以利番鱼。	
0.重測及試驗設備官制	

 (1) 設施經營者必須詳實說明對於清理相關作業所應用之設備建 立適當之管控、校正、及維護措施,以保持其準確度,並具有對 國家標準機構之追溯性。 (2) 審查人員應核對是否方品保及其他權責組織負責設備調準构 正計畫之建立、執行及效力之確保;並應核對是否有建立校正(材 術及頻率)、推護、管控量測及測試設備之程序;以及是否有可定 權責組織,負責上述程序之審問及說設備最否有標明、並可追溯至其 校正與測試之資料;亦應依對其量測及測試設備上是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之結確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4) 前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以和 審查。 7.改正行動 (1) 設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質之事項 並按時序予以處理。審查人員應核對是否有後續動作確認改正措施之過當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否類差影響品質之情況、 這成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施當 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供某審題 與評估。 (3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證記錄 (4) 實施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品借 起錄及位證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2) 核對设施經營者必須詳實說用清理相關作業內各小組提供之品 記錄之程序及設施。 (3) 審查人員應核對計畫內是否有透明副品保及其他權責單位,以 及其於執行品保記錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宜檢附品保記錄管制辦法及圖表,以利審查。 		
 立適當之管控、校正、及維護措施,以保持其準確度,並具有整 圖家標準機構之追溯性。 (2)審查人員應核對是否有品保及其他權責組織負責設備調準构 正計畫之建立、執行及效力之確保;並應核對是否有建立校正(找 術及頻率)、維護、管控量測及測試設備之程序;以及是否有訂定 權責組織,負責上這程序之審問及紀錄相關協議單項。 (3)審查人員應核對量測及測試設備之程序;以及是否有訂定 權責組織,負責上這程序之審問及紀錄相關協議單項。 (3)審查人員應核對量測及測試設備人是否有解出, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質之事項 並按此非再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性:並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施認 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前違說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證記錄 (1)或施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及位證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對设施經營者必須詳實說用清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及位證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (3)審查人員應核對計畫內是否有透明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃今。 (4)前違說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	(1) 設施經營者必須詳實說明對於清理相關作業所應用之	設備建
 國家標準機構之違溯性。 (2) 審查人員應核對是否有品保及其他權責組織負責設備調準构正計畫之建立、執行及效力之確保:並應核對是否有建立校正(招術及疑年)、維護、管控量測及測試設備之程存;以及是否有可定權責組織,負責上述程序之審閱及紀錄相關協議事項。 (3) 審查人員應核對量測及測試設備是否有標明、並可違夠至其校正與測試設備,是否依據需求之結確度、目的、使用程度、穩定度,以及其他影響量測之因素以具體之頻準進行校正。 (4) 前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利審查。 7.改正行動 (1) 設施經營者必須詳實說明措施、使其能迅速識別不符合品質之事項並防止再度發生。 (2) 審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之遵當性:並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性.並按時序可以處理。審查人員應核對是否頗着影響品質之情況.違成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施甚適者子以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 (4) 說施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品稱起錄及估證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2) 核對設施經營者或權賣單位是否建置有可適當維護並保存品條計畫之記錄之程序及設施。 (3) 薪查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保記錄和關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宣檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	立適當之管控、校正、及維護措施,以保持其準確度,並	具有對
 (2) 審查人員應核對是否有品保及其他權責組織負責設備調準构 正計畫之違立、執行及效力之確保:並應核對是否有建立校正 (招 術及頻率),維護、管控臺測及測試設備之程序;以及是否有可定 權責組織,負責上違程序之審問及紀錄相關協議事項。 (3) 審查人員應核對量測及測試設備是否有標明、並可追溯至其 校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備上是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體空頻率進行校正。 (4) 前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以和 審查。 7.改正行動 (1) 設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事立 並防止再度發生。 (2) 審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之適 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序下以處理。審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之這 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 道次此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施醬 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1) 設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及位證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2) 榕對力還施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 (3) 衛述說明宜檢附改是行動等品質要求之實質證據。 (3) 需述員應核對計畫內是否考述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宣檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	國家標準機構之追溯性。	
正計畫之建立、執行及效力之確保;並應核對是否有建立校正(括 術及頻率)、維護、管控量測及測試設備之程序;以及是否有订定 權責組織,負責上述程序之審閱及紀錄相關協議事項。 (3)審查人員應核對量測及測試設備是否有標明、並可追溯互規 校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備上是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以和 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之道 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顧著影響品質之情況、 這成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)說施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品領 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單在是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及發施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(2) 審查人員應核對是否有品保及其他權責組織負責設備	i調準校
 術及頻率)、維護、管控量測及測試設備之程序;以及是否有訂定 權責組織,負責上述程序之審問及紀錄相關協議事項。 (3)審查人員應核對量測及測試設備是否有標明、並可追溯至其 校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備上是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性:並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序子以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施留 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品價 紀錄及從證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對设施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品價 紀錄及從證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (3)審查人員應核對計畫內是否方述明品保及其他權責單位,口 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄有關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄有關活動時之責任劃分。 	正計畫之建立、執行及效力之確保;並應核對是否有建立校	近(技
權責組織,負責上述程序之審閱及紀錄相關協議事項。 (3) 審查人員應核對量測及測試設備是否有標明,並可追溯至其 校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩殘 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4) 前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以科 審查。 7.改正行動 (1) 設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2) 審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1) 設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保證記錄之程證符合計畫所需品質要求之質質證據。 (2) 核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3) 審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	術及頻率)、維護、管控量測及測試設備之程序;以及是否	有訂定
 (3)審查人員應核對量測及測試設備是否有標明、並可追溯至其 校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備上是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前進說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並接時序了以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 這成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施笔 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品倚 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有這明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	權責組織,負責上述程序之審閱及紀錄相關協議事項。	
校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備上是否有標註, 或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2)審查人員應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序一以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對设施經營者或橫責單但是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(3) 審查人員應核對量測及測試設備是否有標明、並可追	朔至其
或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應核對量 測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定 度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以和 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施醬 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	校正與測試之資料;亦應核對其量測及測試設備上是否有	標註,
 测及测试设備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度、穩定度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利審查。 7.改正行動 (1)设施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施賠有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品備紀錄及估證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	或以其他管控方式標明下次校正之日期時間;審查人員應	核對量
度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。 (4) 前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辨法及相關圖表,以和 審查。 7.改正行動 (1) 設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質 要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項 並防止再度發生。 (2) 審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 道按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施醫 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1) 設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2) 核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3) 審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	測及測試設備,是否依據需求之精確度、目的、使用程度	、穩定
 (4)前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表,以利審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之適當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施陷有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)該施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	度,以及其他影響量測之因素以具體之頻率進行校正。	
 審查。 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之適當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施陷有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)該施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	(4) 前述說明宜檢附量測及試驗設備管制辦法及相關圖表	,以利
 7.改正行動 (1)設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之遵當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施當有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	審查。	
 (1) 設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符合品質要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項並防止再度發生。 (2) 審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之遵當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1) 設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2) 核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3) 審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	7.改正行動	
要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質之事項並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之適 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(1) 設施經營者必須詳實說明措施,使其能迅速識別不符	合品質
並防止再度發生。 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之證 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	要求之事項,並採取適切之改正行動,以消除不符合品質	之事項
 (2)審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計畫之通 當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	並防止再度發生。	
當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之適當性 並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(2) 審查人員應核對其是否包含品保組織,以考量改正計	畫之適
並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之情況、 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆 有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辨法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辨法及圖表,以利審查。	當性;並應核對品保組織是否有後續動作確認改正措施之言	適當性,
 造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正措施皆有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辨法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辨法及圖表,以利審查。 	並按時序予以處理。審查人員應核對是否顯著影響品質之	情況、
有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供其審閱 與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辨法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辨法及圖表,以利審查。	造成此情況之原因,以及用以防止此情況重複發生之改正	措施皆
與評估。 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	有予以記錄,並回報直接管理階層及上級管理階層,以供	其審閱
 (3)前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查。 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	與評估。	
 8.品質保證紀錄 (1)設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品保 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	(3) 前述說明宜檢附改正行動管制辦法及圖表,以利審查	0
 (1) 設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供之品係 紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2) 核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3) 審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	8.品質保證紀錄	
紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品 保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(1) 設施經營者必須詳實說明清理相關作業內各小組提供	之品保
 (2)核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並保存品保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	紀錄及佐證符合計畫所需品質要求之實質證據。	
保計畫之記錄之程序及設施。 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以 及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(2) 核對設施經營者或權責單位是否建置有可適當維護並	保存品
 (3)審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單位,以及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。 	保計畫之記錄之程序及設施。	
及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。 (4) 前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	(3) 審查人員應核對計畫內是否有述明品保及其他權責單	位,以
(4)前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查。	及其於執行品保紀錄相關活動時之責任劃分。	
0	(4) 前述說明宜檢附品保紀錄管制辦法及圖表,以利審查	0
9.宿鱼	9.稽查	

 (1) 設施經營者必須詳實說明各項工作之品質均符合手冊、程序 書與合約之規定及要求,並確認品保作業之整體成效。 (2) 前述說明宜檢附稽查計畫、稽查核對表或作業程序書、及相關 圖表,以利審查。 	
(四)審查發現 審查人員應評估經營者之品質保證方案,以確認清理計畫之執行 管控具有良好之品質保證。	
(五)相關法規與技術規範1.設施廢棄清理計畫導則。	

3.4.4 設施經營單位導則擬定及相關法規修訂建議

- 清理計畫導則等,為配合現行游離輻射防護法,本報告建議命名為設施廢棄 清理計畫導則、設施廢棄清理計畫審查導則,可分別對應本研究計畫需求說 明書之迴旋加速器放射性物質生產設施除污與清理計畫撰寫導則建議、迴旋 加速器放射性物質生產設施清理輻射安全審查技術導則建議。
- 2. 為能適量減廢,減少設施經營者廢棄處理成本,同時減輕國內低放射性廢料 貯存場暫存壓力,建議《游離輻射防護法》第35條第二款有關"設施廢棄清 理實施,應於永久停止運轉後三年內完成",能修法適度延長至五年以上或 加上"但經主管機關核准者,得延長之。"以增加適法彈性。
- 109 年實施生產設施運轉資料調查,有效收集到設施單位過往運轉數據,建 議每年能持續請設施單位年度申報資料時提供主管機關備查或由設施單位 自主維護。

3.5 教育訓練

110 年 11 月 26 日於新竹國立清華大學舉行本年度教育訓練暨工作討論會 議。本年度教育訓練著重於中子偵檢儀器的操作及數據判讀,課程內包含兩種不 同的中子度量方法,其一為高靈敏度中子比例計數器的工作原理、儀器控制、數 據接收設定及數據判讀;其二為中子活化金屬箔片的原理介紹、高純鍺偵檢器的 使用、數據的處理及優劣判斷等,課後安排參觀清華大學水池式反應器(THOR), 由原科中心黃昱翔博士及許榮鈞老師共同導覽介紹 THOR 的運轉歷史、硼中子 捕獲治療(BNCT)的基本原理及目前的工作概況、反應器控制室及爐心參訪。工 作討論會議則著重於"撰寫導則及審查導則"部份,統合法、學、醫界等相關經 驗進行綜合討論,結合原能會的法務經驗、清華大學的學理分析及加速器學會的 實務經驗共同研析合理可行的法律條文及立法方向,確立未來訂定符合適法性、 符合學術研析結果及實務可行之審查導則。

教育訓練		
時間	課程主題	
09:30 - 10:00	報到(國立清華大學綠能館 204 室)	
10:00 - 10:30	高靈敏度中子比例計數器原理介紹 綠能館 204 講師:房博文	
10:30 - 11:00	高靈敏度中子比例計數器實驗操作 綠能館 204 講師:房博文	
11:00 - 11:15	Coffee break	
11:15 – 11:45	中子活化金屬箔片原理介紹 綠能館 204 講師:房博文	
11:45 - 12:30	中子活化金屬箔片實驗操作 工科新館105 講師:房博文	
12:30 - 13:30	Lunch	
工作討論會議		
13:30 - 14:20	110 年度計畫進度討論 I: 模擬分析與實驗量測 綠能館 204	
14:20 - 14:30	Coffee break	
14:30 - 15:20	110 年度計畫進度討論 II:撰寫導則及審查導則 綠能館 204	
15:20 - 15:30	Coffee break	
15:30 - 16:00	综合討論	

表3.25. 教育訓練課程大綱

單位	姓名	地點:國立清華大學綠創 答到	能館 204 室 答訳	身分證字號	
				(成于研究研入員子 習時數務必填寫)	
原子能委員	會 許雅娟	Egoti XA	579Arch		
原子能委員	會 侯政宇	反政了	孩子		
原子能委員	會 筒于约	前于街	阿于豹		
原子能委員	會 黄茹绢				
原子能委員	會 蕭展之				
原子能委員	會 王濬儒	王尧伟	王荡伤		
原子能委員	會 張富涵		127		
原子能委員	會 李奇勇	ま考え	于宁宫		
台灣醫用迴旋加速器學會	陳皇龍	建立的	理之		
台灣醫用迴旋加速器學會	高潘福	马添花	うえん	2	
國立清華大	學 許蔡鈞	1341×1×1	ALL VANZ		
國立清華大	學 房博文	房件文	居村又		-
國立清華大	學 謝澄憶	ちまでろと +3~	57312475		
	and the second	and the second	-		

圖3.48.11月26日簽到表(因應個資法,身份證字號予以遮蔽)



圖3.49. 高靈敏度中子比例計數器操作



圖3.50. 清華水池式反應器及硼中子捕獲治療準備室參訪



圖3.51. 由陳皇龍先生介紹撰寫導則及審查導則工作概況

3.6 研討會

本團隊受邀參加 110 年 10 月 30 日於台中乙設施學大學舉辦之臺灣醫用迴旋 加速器學會,並統整 109 年度及 110 年度成果以「迴旋加速器放射性物質生產設 施清理"放射活化分析與量測技術"的發展」及「設施廢棄清理計畫導則撰寫導則 與審查導則"的建議與討論」兩個題目進行報告,報告中呈現迴旋加速器設施的二 次中子特性評估及量測結果、設施周遭的活化評估、國內外清理相關經驗分享、 國內設施經營者對於清理導則之建議及初步的導則撰寫。會中亦針對加速器設施 清理及核電廠除役相關工作比較、設施清理後的放射性廢棄物處置方法、設施清 理工作年限及可能的調整等三大面向進行廣泛討論及意見分享,有利學界、業界 與管制單位三方的共識與問題解決的推動。


圖3.52.110年10月30日臺灣醫用迴旋加速器學會議程表





圖3.53. 臺灣醫用迴旋加速器學會會議記錄

第四章、結論

本計畫基於 109 年度研究成果及相關文獻研析,確立混凝土活化與空間中二 次中子的關聯性。有關建物混凝土的活化量測,因相關設施目前皆處於例行運轉 狀態,考量混凝土直接鑽心取樣以測定活化核種可能影響設施正常運行,本研究 採取3種可用的二次中子量測方法作為替代方案。考量國內加速器的運轉參數與 國外設施的可能差異,本團隊參考109年度各個設施的運轉調查結果作為模擬計 算與實驗分析參數,據以評估3種不同的二次中子量測方式在有自屏蔽設施中及 無自屏蔽設施中的二次中子特性、儀器適用性及預期實驗結果(3.3.1 節、3.3.2 節)。實驗結果發現在運轉時間、靶電流、自屏蔽材料組成等重要參數有限的前提 之下,無自屏蔽設施中的中低能量中子被高估約 2-5 倍,快中子則被低估約 0.5 倍;在有自屏蔽設施中,自屏蔽內側的中低能量中子被高估約1-3倍,快中子則 被低估約 0.3-0.5 倍;自屏蔽外侧的中低能量中子及快中子則大致被高估約 3 倍。 考量實際加速器組件與周遭環境細節的掌握程度受限,本團隊認為目前實驗與模 擬結果尚屬合理範圍(3.3.4 節)。本研究採三種方式進行實驗,其中亦包含中子活 化與加馬能譜 HPGe 測量。未來待設施停止運轉,混凝土鑽心取樣再也不是問題, 採集之樣本也是透過前述方法(中子活化與加馬能譜 HPGe)進行測量以直接定量 核種,因此目前建立的技術與分析方法以及經驗亦可直接沿用。

針對設施永久停止運轉廢棄清理計畫相關導則建立,本團隊綜合分析諸經驗 國(例如:日本、澳洲、歐盟等)及國際知名機構(例如:IAEA、ICRP、NCRP等) 對除役之法規管制要求、技術措施與處理實例,並廣邀國內 12 間設施管理者集 思廣益,配合現行游離輻射防護法規所規定相關事項,據以提出合乎法規及實務 可行之導則建議(3.4.3.1 節~3.4.3.9 節)。彙整計畫全期工作成果,研究團隊提出 如下建議供主管機關參酌:

- (1) 導則名稱配合現行《游離輻射防護法》,建議命名為「設施廢棄清理計畫導則」
 和「設施廢棄清理計畫審查導則」。
- (2)為能適量減廢,減少設施經營者廢棄處理成本,同時減輕國內低放射性廢料 貯存場暫存壓力,建議《游離輻射防護法》第35條第2項有關「...設施經 營者應擬訂設施廢棄之清理計畫,報請主管機關核准後實施,應於永久停止 運轉後3年內完成。」,能修法適度延長至5年以上或增修「但經主管機關

核准者,得延長之。」等語,以增加適法彈性,使實務可行。

(3)本計畫自109年實施生產設施運轉資料調查,至今已有效收集到過往的運轉 數據,考量該等資料對設施永久停用活化評估是重要的參數基礎,因此建議 國內設施能妥善維護既有的以及未來持續進行的運轉數據,使設施永久停止 運轉時之輻射影響評估能更貼近真實。 [3.1.1] A. B. Philips, *et al* Residual Radioactivity in a Cyclotron and its Surroundings, Health Physics Vol 51, No. 3(September) 337-342 (1986)

[3.1.2] K. Kimura *et al.* Residual long-lived radioactivity distribution in the inner concrete wall of a cyclotron vault, Health Physics 67(6):621-631. (1994)

[3.1.3] R. Calandrino *et al.* Decommissioning procedures for an 11 MeV self-shielded medical cyclotron after 16 years of working time, Health Physics Jun;90(6):588-96.(2006)

[3.1.4] J. J. Sunderland *et al.* Considerations, measurements and logistics associated with low-energy cyclotron decommissioning , AIP Conference Proceedings 1509, 16 (2012)

[3.1.5] L. D'Ambrosio *et.al* Decommissioning procedures for a 17 MeV medical cyclotron, Physica Medica 32(1):118 (2016)

[3.1.6] Takashi Nakamura *et al.* Neutron-production from thick targets of carbon, iron, copper, and lead by 30-MeV and 52-MeV protons. Nucl Sci Eng 83: 444-458 ; (1983)

[3.1.7] Ming-Jay Kuo *et al.* Evaluation of neutron spectra in the SK cyclotron room under different operation parameters, Radiation Measurements 46 (2011) 1745-1749

[3.1.8] Kazuyoshi Masumoto *et.al* Effectiveness of self-shielding type cyclotrons , Progress in Nuclear Science and Technology Volume 4 pp. 223-227 (2014)

[3.1.9] Angelo Infantino, et al., Assessment of the neutron dose field around a biomedical cyclotron: FLUKA simulation and experimental measurements, Phys. Med. 32, 1602 (2016)

[3.1.10] Fumiyoshi Nobuhara *et al.* Neutron transport calculation for Activation Evaluation for Decommissioning of PET cyclotron Facility, EPJ Web of Conferences 153, 0400 (2017)

[3.1.11] D. Alloni *et al.* Characterisation of the secondary neutron field generated by a compact PET cyclotron with MCNP6 and experimental measurements, Applied Radiation and Isotopes128 204–209 ; (2017)

[3.1.12]李慈安(2020)。整合式中子能譜確認裝置用於 THOR BNCT 的射束特性與 中子能譜測量。清華大學 核子工程與科學研究所 碩士論文。

[3.1.13]李國威(2016)。全能域高靈敏度波那圓柱中子能譜議之設計、校正與應用。 清華大學 核子工程科學研究所 博士論文。

[3.1.14]https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/Catalogs/Dosimetry-

<u>Materials-Brochure.pdf</u> 引用時間: 2021/1/27

[3.1.15]陳韋霖(2018)。建築物內宇宙射線牟子與中子的研究。 清華大學 核子工 程與科學研究所 博士論文。

[3.1.16] <u>http://www.fluka.org/content/examples/DoseCoeff.tar.gz</u> 引用時間: 2021/6/23

[3.1.17] V. Ramzaev and A. Barkovsky, "On the relationship between ambient dose equivalent and absorbed dose in air in the case of large-scale contamination of the environment by radioactive cesium", *Radiation Hyglene*, **8**, **3**, 21-32 (2015)

[3.1.18] Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA SSG49 (2019)

[3.1.19] Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA TRS414 (2003)

[3.1.20] Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA WS-G-2.2, (1999)

[3.1.21] Planning, managing and organising the decommissioning of nuclear facilities: lessons learned, IAEA TECDOC-1394(2004).

[3.1.22] Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Materials, IAEA WS-G-5.2(2008).

附件一 甲設施加速器照射資料

日期	靶號	產物 (product)	Beam preset	<u>Beam</u> From	<u>on</u> To	<u>Tim</u> e Elapsed	mAh	ion source
21.08.10	6	H ¹⁸ F	45	06:17	07:14	56m00s	40	Р
21.08.10	1	$^{11}CO_2$	45	08:51	10:00	68m37s	51.00	Р
21.08.11	6	$H^{18}F$	45	06:11	07:06	53m49s	40	Р
21.08.11	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:51	07:57	05m05s	2.50	D
21.08.11	5	$^{18}F_{2}$	40	08:24	10:04	01h40m	66.12	D
21.08.12	6	H ¹⁸ F	45	06:14	07:10	55m13s	40	Р
21.08.12	6	$H^{18}F$	45	07:36	09:38	120m29s	90.00	Р
21.08.13	6	$H^{18}F$	45	06:21	07:20	58m11s	42	Р
21.08.16	6	$H^{18}F$	45	06:13	07:12	57m52s	42	Р
21.08.16	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:49	07:54	04m40s	2.50	D
21.08.16	5	$^{18}F_{2}$	40	08:21	10:57	02h36m	103.13	D
21.08.17	6	$H^{18}F$	45	06:16	07:15	58m24s	43	Р
21.08.17	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:46	07:52	04m49s	2.50	D
21.08.17	5	$^{18}F_{2}$	40	08:19	09:58	01h39m	65.23	D
21.08.18	6	$H^{18}F$	45	06:14	07:13	57m33s	42	Р
21.08.18	6	$H^{18}F$	45	07:33	08:03	29m53s	22.00	Р
21.08.19	6	$H^{18}F$	45	06:13	07:10	56m24s	42	Р
21.08.20	6	$H^{18}F$	45	06:13	07:14	60m10s	45	Р
21.08.20	6	$H^{18}F$	45	07:31	09:40	126m57s	93.00	Р
21.08.23	6	H ¹⁸ F	45	06:17	07:23	64m40s	48	Р
21.08.23	1	¹¹ CO ₂	45	08:51	10:00	68m37s	51.00	Р
21.08.24	6	$H^{18}F$	45	06:17	07:15	57m02s	42	Р

21.08.24	6	H ¹⁸ F	45	07:31	09:28	116m12s	87	Р
21.08.25	6	$H^{18}F$	45	06:13	07:10	56m36s	42	Р
21.08.26	6	$H^{18}F$	45	06:17	07:18	60m32s	45	Р
21.08.26	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:54	08:01	05m23s	2.50	D
21.08.26	5	$^{18}F_{2}$	40	08:26	10:04	01h38m	64.52	D
21.08.27	6	$H^{18}F$	45	06:14	07:11	55m23s	45	Р
21.08.27	6	$H^{18}F$	45	07:32	09:11	98m32s	74	Р
21.08.30	6	H ¹⁸ F	45	06:16	07:16	58m36s	43	Р
21.08.30	1	$^{11}CO_2$	45	08:50	10:03	71m18s	53.00	Р
21.08.31	6	$H^{18}F$	45	06:16	07:17	60m43s	45	Р
21.08.31	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:43	07:49	04m56s	2.50	D
21.08.31	5	$^{18}F_{2}$	40	08:14	10:08	01h54m	69.30	D
21.09.01	6	H ¹⁸ F	45	06:11	07:11	60m09s	45	Р
21.09.01	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:53	07:59	05m14s	2.50	D
21.09.01	5	$^{18}F_{2}$	40	08:24	10:03	01h39m	65.25	D
21.09.02	6	H ¹⁸ F	45	06:21	07:22	60m42s	45	Р
21.09.02	1	¹¹ CO ₂	45	08:50	10:01	69m31s	52.00	Р
21.09.03	6	H ¹⁸ F	45	06:13	07:10	57m07s	42	Р
21.09.06	6	$H^{18}F$	45	06:15	07:13	56m54s	42	Р
21.09.06	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:43	07:48	04m48s	2.50	D
21.09.06	5	$^{18}F_{2}$	40	08:13	10:07	01h54m	74.78	D
21.09.07	6	$H^{18}F$	45	06:21	07:18	56m31s	42	Р
21.09.07	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:45	07:51	04m42s	2.50	D
21.09.07	5	$^{18}F_{2}$	40	08:17	10:29	02h12m	87.36	D
21.09.08	6	H ¹⁸ F	45	06:15	07:13	57m48s	42	Р

21.09.08	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:42	07:48	04m59s	2.50	D
21.09.08	5	$^{18}F_{2}$	40	08:14	09:58	01h54m	68.68	D
21.09.08	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	10:41	10:44	04m59s	2.50	D
21.09.09	6	$H^{18}F$	45	06:15	07:11	54m51s	40	Р
21.09.09	5	$^{18}F_{2}$	20-30-40	07:40	07:46	05m09s	2.50	D
21.09.09	5	$^{18}F_{2}$	40	08:13	09:58	01h45m	68.76	D
21.09.10	6	H ¹⁸ F	45	06:17	07:20	62m25s	45	Р

附件二 乙設施加速器照射資料

	起	迄	靶電流	薄膜電流
2021/8/3		I	I	
第一階段熱機	1.68	2.42	6.33	8.72
第一階段照射	2.55	5.15	60.43	81.63
第二階段熱機	5.54	6.14	6.37	8.77
第二階段照射	6.25	8.77	60.33	75.42
2021/8/4				
第一階段熱機	1.61	2.38	7.35	10.12
第一階段照射	2.48	5.15	60.43	74.45
第二階段熱機	5.66	6.30	13.65	18.80
第二階段照射	6.41	9.00	60.43	74.45
2021/8/5				
第一階段熱機	1.62	2.49	13.96	19.22
第一階段照射	2.59	5.08	60.34	78.74
第二階段熱機	5.89	5.98	6.68	9.19
第二階段照射	6.04	8.51	60.74	75.33
2021/8/6		I	I	
第一階段熱機	1.60	2.27	13.77	18.95
第一階段照射	2.39	4.99	60.69	79.20
第二階段熱機	5.60	6.31	18.11	24.68
第二階段照射	6.72	8.94	58.07	70.12
**	*2021/8/9-2021/8	3/13 運轉歷史均	参照 2021/8/5 資	科
2021/8/9				
第一階段熱機	1.62	2.49	13.96	19.22
第一階段照射	2.59	5.08	60.34	78.74
2021/8/10	<u> </u>	1	1	1
第一階段熱機	1.62	2.49	13.96	19.22

第一階段照射	2.59	5.08	60.34	78.74					
2021/8/11									
第一階段熱機	1.62	2.49	13.96	19.22					
第一階段照射	2.59	5.08	60.34	78.74					
2021/8/12									
第一階段熱機	1.62	2.49	13.96	19.22					
第一階段照射	2.59	5.08	60.34	78.74					
2021/8/13									
第一階段熱機	1.62	2.49	13.96	19.22					
第一階段照射	2.59	5.08	60.34	78.74					
第二階段熱機	5.89	5.98	6.68	9.19					
第二階段照射	6.04	8.51	60.74	75.33					
		•							