

行政院原子能委員會放射性物料管理局
104 年度委託研究計畫

核能電廠除役低放射性廢棄物管理
之安全審查技術研究
104FCMA009

子項計畫一：除役作業時低放射性廢棄物
解除管制量測之審查技術研究
期末報告(修訂版)

執行人：義守大學 陳清江 吳裕文
ISU104-GOV-12
中華民國 107 年 06 月

(本頁空白)

目錄

(一)中文摘要.....	1
(二)英文摘要.....	2
第一章 研究背景與目的	
1.1 前言.....	6
1.2 研究目的.....	7
第二章 研究規劃與方法.....	8
第三章 計畫執行概況	
3.1 採用之方法與原因.....	16
3.2.收集分析各國低放射性廢棄物解除管制量測技術資訊.....	17
3.2.1 國內-原能會擬訂之低放射性廢棄物解除管制施行計畫與規定.....	17
3.2.2 核能研究所解除管制量測實驗室-重要量測系統及核心技術.....	22
3.2.3 埋管表面活度的量測技術.....	24
3.2.4 大型物件之量測與分析技術.....	27
3.3 財團法人全國認證基金會對量測品質的特殊要求.....	29
3.4.國外相關之研究報告資料收集	
3.4.1 德國核廢料暫存管理.....	33
3.4.2 美國核管會（NRC）核子設施除役法規探討.....	37
3.4.3 加拿大除役計畫導則.....	41
3.4.4 日本的除役安全法規.....	43
3.4.5 荷蘭的除役安全法規.....	45
3.4.6 法國低放的排除與豁免.....	53
3.5 重要儀器之配合使用情形.....	56

3.5.1 購買器材規格介紹：3 吋碘化鈉偵檢器能譜儀規 格.....	56
3.5.2 碘化鈉偵檢器之裝機與校正.....	58
第四章 結論.....	62
第五章 建議.....	63
參考文獻	64

圖目錄

圖 2.1 廢棄物外釋量測方法的流程.....	11
圖 3.2.1.1 核子反應器設施除役計畫導則.....	18
圖 3.2.1.2 核子反應器設施除役審查規範.....	18
圖 3.2.4.1 CANBERRA 公司的 In Situ Object Counting Systems (ISOCS).....	27
圖 3.2.4.2 美國 ORTEC 公司生產的 ISO-CART Counting Systems.....	28
圖 3.5.1 3 吋碘化鈉偵檢器能譜 儀.....	57
圖 3.5.2.1 碘化鈉之裝機作 業.....	58
圖 3.5.2.2.1 0.5 公分混合射 源.....	59
圖 3.5.2.2.2 0.5 公分混合射源能量校正曲 線.....	59
圖 3.5.2.2.3 0.5 公分混合射源效率校正曲 線.....	60
圖 3.5.2.2.4 4.5 公分混合射 源.....	60
圖 3.5.2.2.5 4.5 公分混合射源能量校正曲 線.....	61
圖 3.5.2.2.6 4.5 公分混合射源效率校正曲 線.....	61

表目錄

表 3.2.1.1 核子反應器設施除役計畫之相關內容.....	17
表 3.2.1.2 物管法除役計畫之規定相關內容.....	17
表 3.2.1.3 核子反應器設施除役計畫導則.....	19
表 3.2.3.1 美國 EPRI 埋入管件內層量測計畫概.....	25
表 3.2.3.2 各種埋管內層活度量測技術的優點與限制.....	26
表 3.4.5.1.1.1 劑量率的顏色.....	46
表 3.4.5.1.1.2 用顏色來區分不同非固定表面活性汙染的值.....	47

附錄

附錄一、0.5 公分混合射源之偵測報告.....	69
附錄二、4.5 公分混合射源之偵測報告.....	73

(一)中文摘要

核一廠一號機預定於 2018 年 12 月停止運轉，台電公司依法在 2015 年 12 月前必須提出除役計畫。國際原子能總署(IAEA)於 RS-G-1.7 號報告說明解除管制基準為對民眾個人有效劑量低於 10 $\mu\text{Sv/yr}$ 。依此標準，我國已經制定“一定活度或比活度以下放射性廢棄物外釋計畫導則”，依國外經驗 90%以上的除役拆除廢棄物可經輻射偵檢後，符合外釋計畫的「解除管制標準」者可視為「一般事業廢棄物」。

本計畫針對解除管制量測技術之審查與驗證標準作深入的探討，參考國外經驗與國內技術運作現況，研擬大型物件與管狀物體解除管制量測之審查重點。研究之具體目標如下：

1. 收集分析各國低放射性廢棄物解除管制之量測技術資訊。
2. 收集分析各國核能電廠除役之大型物件與管狀物體之量測與分析技術資訊。
3. 建議核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點。

本報告首先收集國內外低放射性廢棄物解除管制之量測技術資訊，國內包括原能會放射性物料管理局擬訂之低放射性廢棄物解除管制規定與核能研究所解除管制量測實驗室之重要量測系統及核心技术介紹，尤其針對埋管表面活度的量測技術與大型物件之量測與

分析技術深入了解。國外包括美國、德國以及法國等國家對低階放射廢料與解除管制措施的處理原則。

本計畫也購買 3 吋碘化鈉偵檢器能譜儀含鉛屏蔽一套，已完成裝機測試與校正作業，其最低可測活度可以達到解除管制量測之要求。

本研究同時探討全國認證基金會對量測實驗室品質的一般規範與對解除管制量測之特殊要求，依據 ISO 17025 之標準所制定的品質系統規範相當完備，而且核研所的解除管制量測實驗室已經通過認證，因此建議核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點可以 TAF 的品質認證規範 ISO/IEC 17025 為依據，未來台電公司核能電廠除役解除管制量測技術可以透過技術移轉，將核研所已經建立的技術與經驗應用到核能電廠。

(二)英文摘要

The unit one reactor of 1st Nuclear Power Plant will permanent shut down in December 2018. Taipower Company must put forward decommissioning plan before December 2015. The International Atomic Energy Agency had published the Safety Standards Series No. RS-G-1.7 which announced a clearance effective dose of less than 10 μ Sv / yr for individual.

According to this standard, the Atomic Energy Council(AEC) have developed "a certain activity or specific activity radioactive waste release plan guidelines". Base on the foreign experiences, after clearance radiation measurement, more than 90 percent of the dismantled waste in line with the release plan's "release criteria" can be regarded as "ordinary waste".

This project will be discussed in-depth on the review and certification standards of clearance measurement technology. After reviewing the status of the domestic operations and the experience of foreign technology, the review key points of the clearance measurements for large size objects and tubular objects will be proposed in standard review plan.

The specific objectives of this research are as follows:

1. Collection and analysis on the clearance measurement technology information of low-level radioactive waste from developed countries.
2. Collection and analysis on the clearance measurements

technology information for large size objects and tubular objects of low-level radioactive waste from developed countries.

3. Propose the review key points of the clearance measurements for large size objects and tubular objects of nuclear power plant decommissioning plan.

In this report, first, we collect and analysis the clearance measurement technology information of low-level radioactive waste from developed countries. Including formulation of the implementation and clearance plan of low-level radioactive waste provided by AEC are collated. So as the introduction of the important measurement systems and core technology of the clearance measurement laboratory of Institute of Nuclear Energy Research(INER). In particular the surface activity measurement technology of large buried pipes and large objects were analyzed in detail. Foreign low-level radioactive wastes of clearance measures and principles including the United States, Germany, France and other countries were collected and reviewed.

This research project also purchased a 3 inches sodium iodide (NaI(Tl)) detector and its lead shield. Having completed installation, testing and calibrations, the minimum detectable activity can achieve clearance activity level requested.

This research project also studied the common quality assurance criteria for general laboratory and the special QA requirements for clearance measurement laboratory issued by the Taiwan Accreditation Foundation (TAF). According to ISO 17025 quality system, the standard QA criterion of the laboratory is quite completed. And the clearance measurement laboratory of INER had been certified by TAF. It is recommended that the review key points of the clearance measurements for large objects and tubular objects of nuclear power plants decommissioning plan can base on the TAF related quality certification criteria ISO/IEC 17025.

In the future, decommissioning clearance measurement technology of the nuclear power plant of Taiwan Power Company can apply the technology and experience of INER through

technology transferring process.

第一章 研究背景與目的

1.1 前言

核能電廠停止運轉後之重要課題乃除役，核一廠一號機將於 2018 年 12 月 5 日停止運轉，台電公司依法在 2015 年 12 月前必須提出除役計畫。核設施除役必須在合乎法規的要求下執行及完成，主要遵循法規是依據“核子反應器設施管制法”及其施行細則，再配合“核子反應器設施除役計畫導則”及“核子反應器設施除役計畫審查導則”等其他相關法規，共同規範反應器之除役作業。

國際原子能總署(IAEA)於 2004 年 8 月出版安全標準系列第 RS-G-1.7 號報告，報告中公布解除管制基準之劑量標準為對民眾個人有效劑量低於 $10 \mu\text{Sv/yr}$ 。依此標準，我國已經制定“一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法”與“一定活度或比活度以下放射性廢棄物外釋計畫導則”，拆除的廢棄物可經輻射偵檢後，符合外釋計畫的「放行標準」者可視為「一般事業廢棄物」。因此，為了進行除役廢棄物回收再利用，減少需進行處置之放射性廢棄物，解除管制之輻射量測乃關鍵技術，尤其是大型物件(>55Gallon)與大型管狀物體(>6")之輻射污染可能不均勻，有可能造成極大的量測誤差，因此量測與分析技術的審查與驗證技術是一項重要的待研究課題。

1.2 研究目的

本計畫將針對解除管制量測技術之審查與驗證標準作深入的探討，參考國外經驗與國內技術運作現況，探討可能遇到的取樣與分析等造成量測不確定度之原因，研擬大型物件與管狀物體解除管制量測之審查重點，以提升量測之準確度。擬研究之具體目標如下：

1. 收集分析各國低放射性廢棄物解除管制之量測技術資訊。
2. 收集分析各國核能電廠除役之大型物件與管狀物體之量測與分析技術資訊。
3. 建議核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點。

第二章 研究規劃與方法

依我國能源政策規劃，核一廠一、二號機已經面臨運轉 40 年屆齡除役之先期作業規畫階段，核管法規定核電廠在運轉屆齡 3 年前，即需提出除役計劃書，向核安管制單位申請核准除役審查。核安管制單位接獲申請資料後，應盡速成立審核小組，審核台電公司提出之除役計劃書，以判定台電公司提出之除役計畫書能否通過。審核小組需要許多專長之專家擔任審核委員，審核委員應具備除役專業知識之深度及廣度。審核委員們的專業深與廣度可以藉此研發計畫的執行，促進審核委員們對除役、拆廠過程中重要技術深入瞭解，以強化審核除役計劃的能力。

在”核子反應器設施除役計畫審查導則”第 9 章“除役放射性廢棄物之類別、特性、數量、減量措施及其處理運送、貯存與最終處置規劃”中，針對放射性廢棄物減量措施敘明：

1. 申請者必須說明配合除役廢棄物數量及特性、除污作業、拆除方法、廢棄物處理方式等，規劃採行之減量措施。
2. 除役作業規劃應考量減廢的基本原則包括：控制廢棄物的產生、防止污染、回收再利用、減少體積等。
3. 申請者所採行之減量措施如包含廢棄物外釋，應符合「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」規定。

我國已經在民國 93 年 12 月 29 日 公告“一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法”，並於民國 95 年 10 月 19 日 公告“一定活度或比活度以下放射性廢棄物外釋計畫導則”，拆除的廢棄物可經輻射偵檢後，符合「放行標準」者可視為「一般事業廢棄物」。因此，為了進行除役廢棄物回收再使用，減少需進行處置之低放射廢料，解除管制之輻射量測乃關鍵技術，尤其是大型物件與管狀物體之輻射污染很不均勻，可能造成極大的量測誤差，因此量測與分析技術的審查與驗證技術是一重要的待研究課題。

本計畫針對解除管制量測技術之審查與驗證標準作深入的探討，參考國外經驗與國內技術運作現況，探討可能遇到的取樣、分析儀器校正與量測追溯等造成量測不確定度之原因，研擬大型物件與管狀物體解除管制量測之審查重點，以提升量測之準確度。擬研究之具體目標如下：

1. 收集分析各國低放射性廢棄物解除管制之量測技術資訊。
2. 收集分析各國核能電廠除役之大型物件與管狀物體之量測與分析技術資訊。
3. 建議核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點。

一般核能設施運轉執照有效期為 40 年，若不延役則面臨除役

工程，將產生大量之極低活度放射性廢棄物待處理，而依據德國及日本等國家之除役實務經驗，極低活度放射性廢棄物佔廢棄物總量的 90%以上。依行政院原子能委員會 93 年 12 月 29 日發布之「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」，各核能設施機構可依據管理辦法第四條第二項之規定，處理其累積已趨近庫存飽和量的放射性廢棄物。未來各核能電廠之運轉仍會持續產生大量極低活度放射性廢棄物，尤其在進入除役及解除管制階段時，參考 2007 年日本東海核電廠除役申請廢金屬等各種固體廢棄物約 2000 噸的外釋作業經驗，在外釋計畫申請核准後，廢棄物均需依據擬訂之量測程序進行量測分析，以確保廢棄物之比活度符合管理辦法的要求，再執行外釋廠外作業。

國內核能研究所已經完成台灣研究用反應器（TRR）之濕貯槽拆除產生之混凝土塊量測與外釋，以及完成初期部份的廢金屬固體廢棄物之外釋量測作業，其目的在針對核設施系統的除役過程中，產生之放射性固體廢棄物進行分級處理，透過放射性廢棄物減量及再利用原則，減少後端營運成本。

每一件廢棄物材料的物理特性(大小)不一，需要選用適當的量測儀器與評估方法。廢棄物量測方法可以概分為現場量測及實驗室量測兩大類，圖 2.1 為廢棄物外釋量測方法的流程。

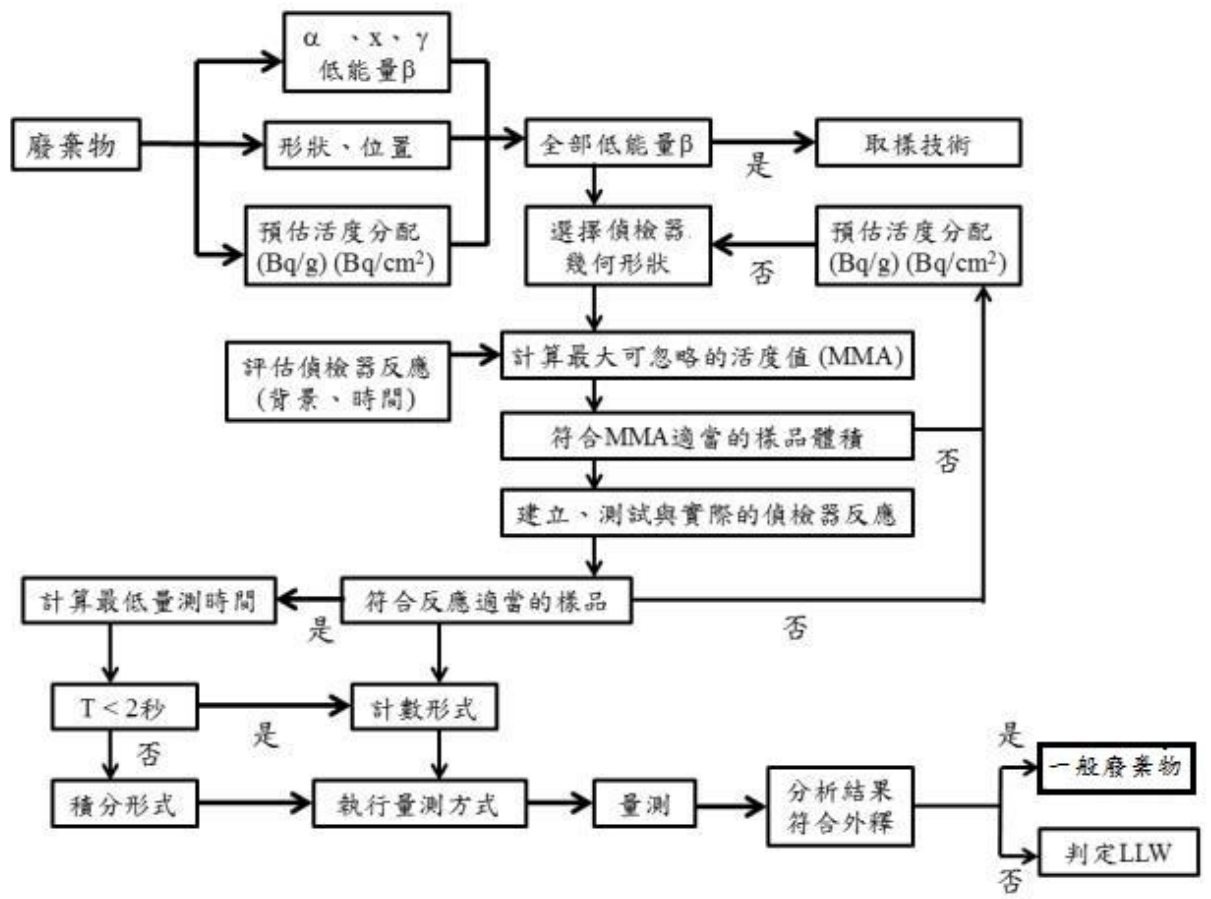


圖 2.1 廢棄物外釋量測方法的流程

對於解除管制外釋作業，一般採用人工方式的逐件量測，大多數預估所有的量測結果皆近似於儀器的背景值，而不易判定是否具有放射性。良好的量測技術應該有能力鑑別每一個樣品，其最低可測活度(MDA)應可以達到外釋活度基準的 20%以下。期望的最低可測活度是選擇分析技術與設備的基礎，良好的選擇可以使用最低成本而達成量測品質的要求。

核電廠除役的解除管制外釋作業在國外已經有相當多經驗，本計畫收集分析美、英、德、日等相關電廠的除役經驗報告，針對大型物件與管狀物體之量測與分析技術資訊深入了解，並建議核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點。

美國的多部會輻射偵檢與廠址調查指引(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual, MARSSIM)主要針對廠址之建築物表面和表層土壤(表面 15 公分)提供最終狀態輻射偵檢的評估與驗證程序，然而除此之外的其他部分，例如核能電廠除役之大型物件與管狀物體之量測與分析技術，MARSSIM 並未提供方法，但有提供相關文件以供連結查詢，可用的參考文件為：

1. 碎石、破瓦殘礫和岩石(rubble, debris and rocks)：相關參考文件為 NUREG-1757 第二卷之 G.2.2 節。

2. 掩埋的管線(embedded piping)：相關參考文件為 NUREG-1757 第二卷之 G.1.5 節。
3. 通風管道(ventilation ducts)：相關參考文件為 NUREG-1757 第二卷之 G.1.4 節。
4. 污水下水道系統、污水管系統和地面排水管(sewer systems, waste plumbing systems, and floor drains)：相關參考文件為 NUREG-1757 第二卷之 G.1.3 節。

在國內，財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)是一個提供全方位專業認證服務的非營利性機構，也是我國唯一獲得國際認證組織承認的認證機構，旨在建立符合國際規範且公正、獨立、透明之認證機制，建構符合性評鑑(conformity assessment)制度之發展環境，結合專業人力評鑑及運用能力試驗，推動國內各類符合性評鑑機構(驗證機構、檢驗機構、能力試驗執行機構、參考物質生產機構及實驗室)各領域之國際認證，提昇其品質與技術能力，並致力於人才培訓與資訊推廣，強化認證公信力，以滿足顧客(政府、工商業、消費者等)之需求，促進與提昇產業、國家競爭力及民生消費福祉。

TAF 為確保實驗室對於中低活度放射性核種(包括：低放射性廢棄物試樣，核反應器運轉有關核種試樣，各種設施之放射性排放物

試樣，事故後試樣)的量測技術與量測品質，能夠符合法規之要求，特訂定“測試領域中低活度核種技術規範”作為中低活度核種測試判斷之依據。針對解除管制樣品，也在 2010/06/11 公告「放射性廢棄物解除管制量測技術規範(TAF-CNLA-T12(1))」，以作為放射性廢棄物解除管制外釋樣品之量測技術品質保證依據，最新版本於 2012/02/29 修訂公告為「一定活度或比活度以下廢棄物解除管制之加馬量測技術規範(TAF-CNLA-T12(2))」。實驗室除了須符合 ISO/IEC 17025：2005 “測試與校正實驗室能力一般要求”的所有條款外，同時需符合本技術規範之要求。這是目前國內對低放射性廢棄物試樣量測品質要求的指引，為了確保量測實驗室的量測品質，TAF 要求量測實驗室凡用於試驗與(或)校正之所有設備，包括對試驗、校正或抽樣結果之準確度或有效性具有顯著影響的輔助量測設備（例如針對環境條件），應在其納入服務前加以校正。實驗室對其設備的校正，應具有已建立的校正方案與程序。實驗室經由連續校正鏈或比對鏈與相關的量測國際單位制原級標準連結，以建立其量測標準與量測儀器對國際單位制的追溯性。

此外 TAF 要求認證實驗室每 3 年至少參加一次能力試驗或比較實驗活動以確認實驗室的分析能力與品質，因此參與 TAF 的實驗室

的認證制度可以確保低放射性廢棄物試樣的分析品質。TAF 曾經在 2013 年委託核研所保健物理組與國家游離輻射標準實驗室合作執行最近一次的“解除管制量測儀器能力試驗”。本次能力試驗使用均勻度良好的箱型及桶型標準測試件進行，共有 3 家實驗室總計 7 部量測儀器參加；能力試驗結果顯示，單一密度及 2 個核種試樣的比活度量測結果均能符合要求；而各量測系統對核種 Co-60 及 Cs-137 之最低可測活度，皆可符合低於 IAEA 之外釋限值(0.1 Bq/g)。但是對於活度不均勻的大型物件與管狀物體之量測與分析技術則不易執行計測效率的校正，其量測誤差將大為增加。

第三章 計畫執行概況

3.1 採用之方法與原因

本計畫透過下述方法，來達成除役作業時低放射性廢棄物解除管制量測之審查技術研究：

1. 收集分析各國(美國、英國、德國、日本)核能電廠除役作業時低放射性廢棄物解除管制之量測技術資訊。
2. 收集分析國內外核能設施除役之大型物件與管狀物體之量測與分析技術資訊。
3. 建議核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點。

本子計畫除針對上述資訊之持續收集、研讀外，並進行深入分析，提出創新內容，供未來進行除役計畫審查之參考。將於計畫執行中持續收集國內外相關資料，並配合相關法令，研擬適合於本國核能電廠除役作業低放射性廢棄物解除管制量測之審查技術，以確保除役計畫之完備。

3.2. 收集分析各國低放射性廢棄物解除管制量測技術資訊

3.2.1 國內-原能會擬訂之低放射性廢棄物解除管制施行計畫與規定

本計畫執行內容與原能會擬訂之低放射性廢棄物解除管制施行計畫與相關導則規定之關係如下表 3.2.1.1~3.2.1.3 與圖

3.2.1.1~3.2.1.2 所示，相關章節以紅色粗框標示。

表 3.2.1.1 核子反應器設施除役計畫之相關內容

項	除役計畫章節內容	項	除役計畫章節內容
1	設施概述運轉歷史	9	環境輻射監測
2	廠址輻射特性調查	10	組織及人員訓練
3	目標時程設備方法	11	核子保防物料管理
4	除役期間仍需運轉	12	廠房及土地再利用
5	預期意外事件分析	13	品質保證方案
6	除污方式廢液處理	14	保安措施
7	除役廢棄物管理	15	意外事件應變方案
8	輻射劑量評估	16	主管機關公告事項

表 3.2.1.2 物管法除役計畫之規定相關內容

項	除役計畫章節內容	項	除役計畫章節內容
1	設施綜合概述	7	人員訓練
2	除役目標及工作時程	8	核子原、燃料料帳管理
3	除污方式及廢棄物減量	9	廠房或土地再利用規劃
4	除役廢棄物管理	10	品質保證方案
5	輻射劑量評估及輻防措施	11	意外事件應變方案
6	環境輻射監測	12	其他經主管機關指定事項

(Ref：物管法施行細則第 20 條)

核子反應器設施除役計畫導則與審查規範差異如下：

核子反應器設施除役計畫導則

- 101.12.07公告施行。
- 依「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」第四條規定，申請除役許可者，應提除役計畫送審
- 導則旨在提供核子反應器設施經營者(申請人)，於申請除役許可時，所檢附除役計畫編撰內容之依循。
依導則所建議之內容撰寫者，將有助於資料準備之完整性，並縮短審核所需之時間。
- 「導則」著重於應撰提之**內容及格式**(Format and Content)，「**審查規範**」則著重**法規要求與接受準則**，二者均為行政規則，供業者及管制機關本身遵循。

71

圖 3.2.1.1 核子反應器設施除役計畫導則

核子反應器設施除役審查規範

- 「**審查規範**」= Standard Review Plan。
- 「核子反應器設施除役計畫審查規範」研擬中，預定於102年8月公告施行。
- 由於「**審查規範**」著重**法規要求與接受準則**，有賴各權責單位確認其內容。
- 「**導則**」應屬行政指導，對業者不具強制性。
「**審查規範**」屬第二類行政規則，對業者亦不具強制性，但對管制機關本身具有拘束力。
(行政程序法第159-161條、165-167條)

72

圖 3.2.1.2 核子反應器設施除役審查規範

表 3.2.1.3 核子反應器設施除役計畫導則

項	章節內容	項	章節內容
1	綜合概述	10	輻射劑量評估及輻射防護措施
2	設施及廠址環境說明	11	環境輻射偵測
3	設施運轉歷史及曾發生之重大事件與其影響	12	組織及人員訓練
4	廠址與設施之輻射特性調查及評估結果	13	核子保防物料及其相關設備之管理
5	除役期間仍需運轉之重要系統	14	保安措施
6	除役時程、使用之設備、方法及安全作業程序	15	品質保證方案
7	除役期間預期意外事件安全分析	16	意外事件應變方案
8	除污方式及除役期間放射性廢氣、廢液處理	17	廠房及土地再利用規劃
9	除役放射性廢棄物之類別、特性、數量、減量措施及其處理、運送、儲存與最終處置規劃		

原能會參考美國核能管制委員會(NRC)及其他國家之核能管制機關，針對核子設施除役作業所訂定之相關管制規範，並依據「核子反應器設施除役許可申請審核辦法」第三條規定，於 101 年 12 月 7 日訂定「核子反應器設施除役計畫導則」，提供台電公司作為撰寫除役計畫之重要依據。其中對於放射性廢棄物管理與解除管制計畫相關部分敘述於第 9 章以及第 15 章中，茲摘錄其內容如下，其中第 9

章減量措施涉及低放射性廢棄物解除管制的量測，第 15 章的品質保證方案則與解除管制量測品質息息相關。

放射性廢棄物管理與解除管制計畫第 9 章，敘述除役放射性廢棄物之類別、特性、數量、減量措施及其處理、運送、貯存與最終處置規劃

一、放射性廢棄物之類別、特性、數量：

(一)說明放射性廢棄物數量及特性之推估方法。

(二)說明推估之放射性廢棄物來源、類別、型態、數量。

(三)說明放射性廢棄物實測或推估之主要核種、比活度、表面污染、中子活化、空間劑量率等特性。

(四)說明除役作業可能衍生二次廢棄物及廢棄物管理措施。

二、減量措施

說明配合除役廢棄物數量及特性、除污作業、拆除方法、廢棄物外釋處理方式等，規劃採行之減量措施。

三、放射性廢棄物之處理

說明放射性廢棄物的處理規劃，包括規劃使用的處理設施、位置、處理方法、處理量,以及使用的盛裝容器等。

四、低放射性廢棄物之運送、貯存及處置

(一)運送：說明低放射性廢棄物於廠內或廠外運輸的規劃，包

括可能路徑、運輸作業、運輸容器與輻射安全等。

(二)貯存：說明低放射性廢棄物的貯存規劃，包括規劃使用的貯存設施、位置、貯存方法,以及貯存的廢棄物類別、數量等資訊。

(三)處置：說明除役計畫對應於低放射性廢棄物處置計畫之間的整合規劃措施。

五、用過核子燃料之運送、貯存及處置

(一)運送：說明用過核子燃料於廠內或廠外運輸的規劃，包括可能路徑、運輸作業、運輸容器與輻射安全等。

(二)貯存：說明用過核子燃料的貯存規劃，包括規劃使用的貯存設施、位置、貯存方法，以及貯存的用過核子燃料類別、數量等資訊;若採用乾式貯存時，應說明用過核子燃料再取出之考量。

(三)處置：說明除役計畫對應於用過核子燃料處置計畫之間的整合規劃措施。

放射性廢棄物管理與解除管制計畫第 15 章-品質保證方案

說明除役相關作業的品質保證計畫，其所涵蓋之除役作業需列表承諾,其內容應包括：

一、組織

- 二、品質保證方案
- 三、設計管制
- 四、採購文件管制
- 五、工作說明書、作業程序書及圖面
- 六、文件管制
- 七、採購材料、設備及服務之管制
- 八、材料、零件及組件之標示與管制
- 九、特殊製程管制
- 十、檢驗
- 十一、試驗管制
- 十二、量測及試驗設備管制
- 十三、裝卸、貯存及運輸
- 十四、檢驗、試驗及運轉狀況之管制
- 十五、不符合材料、零件或組件之管制
- 十六、改正行動
- 十七、品質保證紀錄
- 十八、稽查

3.2.2 核能研究所解除管制量測實驗室-重要量測系統及核心技術

1. 解除管制 Q2 量測系統：量測極低微放射性廢棄物的加馬核種比活度。系統主要特性包含：
 - (1) 配置三支純鍺偵檢器：配合蒙地卡羅模式校正，可同時鑑別加馬核種並定量活度，並可定性確認廢棄物上、中、下三層活度的均勻性。
 - (2) 屏蔽式計測外箱：可大幅減少背景輻射干擾，降低偵測下限。
 - (3) 輸送裝置：提昇計測自動化速率。

2. 總加馬比活度 SWAM 量測系統：符合我國法規要求之 55 加侖桶型固體廢棄物活度量測系統，可提供快速而正確之加馬總活度(Bq)及比活度(Bq/g)量測結果。系統主要特性包含：
 - (1) 6 面鉛屏蔽之 4π 加馬活度計測：配置 10 組大面積塑膠閃爍體偵檢器。
 - (2) 5 種物質密度及 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 與 ^{60}Co 核種組配的計測效率校正假體。
 - (3) 軟體人機介面包含量測結果、計數率、熱點分佈、警報設定、高壓設定、射源校正、控制選擇、顯示控制及程式除錯等九項功能。

3. 輸送帶活度篩選系統：提供外釋廢棄物比活度量測前自動且快速

地加馬活度偵測篩選，以移除廢棄物疑似局部高活度部分，增加樣品量測之均勻性。

4. 建物解除管制量測系統(ISOCS)：採用寬能量液態氦高純鍺偵檢器，配合蒙地卡羅模式效率校正，適用於現場直接計測各種形狀及各種活度分佈的樣品，可執行大面積快速掃描偵檢牆面及地板的活度分佈。

5. 多密度體射源校正假體及校正方法：

(1) 提供各式箱型或 55 加侖桶型之多密度可追溯之標準射源假體，用以進行各式廢棄物活度量測系統的計測效率校正與系統性能查驗。

(2) 適用於各式閃爍體、碘化鈉或純鍺偵檢器之廢棄物活度量測系統。

3.2.3 埋管表面活度的量測技術

美國電力研究所(Electric Power Research Institute EPRI-1000951, 2000)發表評估埋入管件的內層表面活度的量測技術(Embedded Pipe Dose Calculation Method)。核電廠發電營運流程中埋入在天花板、牆壁及樓層內有數千呎長的管件，其中許多的內層管壁表面含放射性污染，核電廠除役時需決定這些管件的污染程度及特性，藉以要求當作低放射性廢棄物處理或外釋。

EPRI提供經歷或預定除役的具有實用性與精確性的量測埋入管件內壁表面污染活度的各種技術與分析方法。並能夠與導出濃度水平指引(DCGL)比較,以選擇去污或解除管制。目的在評估不同量測技術對核電廠的管件內壁表面活度量測的適合性及實用性,以及評估量測長管件活度的精確性及代表性。分析美國3家核電廠Trojan、Yankee Rowe(PWR)、Big Rock Point(BWR)的除役現況,應用各種技術量測9個管件的內層表面活度(dpm/100cm²),評估固定的比例因子、取樣的代表性及量測濃度的準確性。美國EPRI埋入管件內壁量測計畫概要如表3.2.3.1。

表3.2.3.1 美國EPRI埋入管件內壁量測計畫概要

電廠	位置	尺寸(cm)	量測方法
Trojan (PWR)	輔助廠房污染洩水槽	內徑 11, 長 5, 厚 0.3 之不鏽鋼材	碎片分析
	清潔廢料液接收槽		碎片分析
	反應器洩水道		碎片分析
	輔助廠房廢料液洩水管	內徑 11, 長 28, 厚 0.3 之不鏽鋼材	碎片分析, 偵檢
Yankee Rowe (PWR)	閘室排水道	內徑 8, 長 9, 厚 0.3 之不鏽鋼材	碎片分析, 偵檢
	安全注水泵出口管路	內徑 4, 長 9, 厚 0.3 之不鏽鋼材	蝕刻分析, 擦拭分析, 劑量相對活度 (61cm 管切除)
	供水泵管路	內徑 15, 長 9, 厚 0.3 之不鏽鋼材	蝕刻分析, 擦拭分析, 劑量相對活度 (61cm 管切除)
Big Rock Point (BWR)	燃料池幫浦區	內徑 11, 長 47, 厚 0.3 之鋼材	掃描, 偵檢, 蝕刻分析, 擦拭分析, 碎片分析

	燃料池幫浦區	內徑 11，長 45，厚 0.3 之鋁材	掃描，偵檢，蝕刻分析，擦拭分析，碎片分析，劑量相對活度 (61cm 管切除)
--	--------	----------------------	--

埋管的內壁表面活度的 6 種量測方法分別為蓋革偵檢器來回搜索、純鍺偵檢器現場能譜分析、碎片樣品再經放化分析、擦拭樣品再經放化分析、完全酸化蝕刻、劑量率換算活度之計算，比較個別量測技術的實用性、精確性及代表性如表 3.2.3.2。目前核能研究所皆已建立相關的 6 種量測技術，並積極準備應用在核一廠的除役計畫中。

表 3.2.3.2 各種埋管內層活度量測技術的優點與限制

量測方法	優點	限制
自走式管內微型爬壁多軸式輪式機器人(pipe crawlers)	方便、直接量測 β 總活度、具分佈代表性	管內徑 $>12\text{cm}$ 、活度低估 (β 粒子未全部進入偵檢窗)
擦拭(smear)	簡單方便，可多數取樣具分佈代表性	局部量測及放化分析、準確度差(表面特性)、管內徑 $>12\text{cm}$
刮削(scraping)	可多數取樣具分佈代表性	間接量測及放化分析、準確度差(部分特性)、破壞性取樣
居里劑量換算(Dose-to-Curie)	方便、直接量測 γ 總劑量、具分佈代表性	換算因子需正確(劑量率偵檢器及 Code 計算)
加馬射線掃描偵	準確度高、具分佈代	間接量測(現場 HPGe 及

測(gamma-ray scanning)	表性	Monte Carlo 方法計算)、參數描述需正確
總酸浸蝕(Total acid etch)	準確度高、具分佈代表性	間接量測(小件全部浸蝕及實驗室 HPGe)、HPGe 的 MDA 值偏高

3.2.4 大型物件之量測與分析技術

大型物件係指大於 55 Gallon(205 公升)而且不容易切割的物體，其輻射污染可能不均勻，因此其定性與定量分析相對困難，有可能造成極大的量測誤差。針對大型物件的輻射污染活度鑑定，若污染核種不單純且劑量率低，國外也有發展解除管制量測系統。例如日本就有發展一套大型箱型塑膠閃爍偵檢系統，其原理和 55 加侖桶的偵測系統類似，只是體積大，承載重量可達 1.8 噸，效率校正使用蒙地卡羅法(Monte Carlo N-Particle, MCNP)。德國也發展一套含 24 個閃爍偵檢器組合的箱型量測系統，規格與日本類似。

美國則使用移動型廢棄物量測系統，例如 CANBERRA 公司的 In Situ Object Counting Systems (ISOCS) 如下圖所示，使用純鍍偵檢器安裝在活動推車上，偵檢器可以由馬達驅動升降來測量大型物件的加馬核種。



圖 3.2.4.1 CANBERRA 公司的 In Situ Object Counting Systems (ISOCS)

美國的 ORTEC 公司也發展一套類似的偵測系統叫 ISO-CART，其外觀如圖 3.2.4.2 所示。當劑量率在 0.05~20 微西弗/小時由純鍍偵檢器偵測，當劑量率在 20~10000 微西弗/小時自動切換到內建的蓋格計數器測量。

核研所已經購買上述兩種，系統並完成桶型、箱型與大型物件之效率校正，其誤差在 15.6~19.3%。對大型物件及建築物牆面加馬表面汙染，模擬塑膠、混凝土與鋼材之標準差異在 2.3~4.2%，可以說是相當穩定。



圖 3.2.4.2 美國 ORTEC 公司生產的 ISO-CART Counting Systems

3.3 財團法人全國認證基金會對量測品質的特殊要求 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF)

- 2010/06/11 公告「放射性廢棄物解除管制量測技術規範(TAF-CNLA-T12(1))」，以作為放射性廢棄物解除管制外釋樣品之量測技術品質保證依據，於 2012/02/29 修訂公告為「一定活度或比活度以下廢棄物解除管制之加馬量測技術規範(TAF-CNLA-T12(2))」。
- 實驗室除須符合 ISO/IEC 17025 “測試與校正實驗室能力一般要求”的所有條款外，同時需符合本技術規範之要求。
- TAF 要求量測實驗室凡用於試驗與(或)校正之所有設備，包括

對試驗、校正或抽樣結果之準確度或有效性具有顯著影響的輔助量測設備，應在其納入服務前加以校正。

- 實驗室對其設備的校正，應具有已建立的校正方案與程序。
- 實驗室經由連續校正鏈或比對鏈與相關的量測國際單位制原級標準連接，以建立其量測標準與量測儀器對國際單位制的追溯性。

ISO-17025 對於試驗與校正方法及方法確認概述如下：

- 實驗室在其範圍內對所有的試驗與(或)校正應使用適合的方法與程序，包括待試驗與(或)校正件之抽樣、搬運、運輸、儲存及準備，在適當時，還包括量測不確定度的估算以及分析試驗與(或)校正數據的統計技術。
- 當缺乏相關說明書會危及試驗與(或)校正的結果時，實驗室應具備所有相關設備之使用與操作說明書，及測試與(或)校正件之處理與準備說明書。
- 實驗室工作相關的所有說明書、標準、手冊及參考資料應保持最新版本。

一定活度或比活度以下廢棄物解除管制之加馬量測技術規範要求摘錄如下：

- 4. 環境
- 4.2.1. 實驗室應有適當之設施與環境，包括：
 - (1) 適當之工作空間。
 - (2) 量測設備具適當之屏蔽，以防止不必要輻射干擾。
 - (3) 溫濕度等環境控制設施。
 - (4) 適當之安全與防火系統。

- (5) 適當之放射物質貯存空間及屏蔽設施。
- 4.2.2 實驗室應配置適當之輻射偵測器與污染偵測器，管制工作區域之輻射劑量狀況與可能的輻射污染狀況，使其不致影響量測分析的結果。
- 4.2.3 實驗室之輻射安全與工業衛生安全均應兼顧，備有清楚的輻射示警標誌與一般安全警示標誌及適當之放射性污染管制措施，對於放射性廢棄物的接收與處理均應有特定的貯存區域。
- 4.2.4 實驗室應備有偵檢與去除實驗室環境及量測系統放射性污染的設備與作業能力。
- 4.2.5 校正用射源、參考物質、放射源、放射性廢棄物（固體）等均應收存於特定場所，並須符合輻射安全規定，必要時加上屏蔽以維護人員安全。
- 4.2.6 放射性廢棄物於實驗室的暫貯，除須依輻射安全規定外，尚須考量以不干擾測試過程的準確性及量測能力為原則。
- 4.2.7 實驗室負責人應負責實驗室內及其外圍之輻射安全。
- 4.2.8 實驗室應使用適當的方法，使工作人員所接受的輻射曝露符合合理抑低原則。
- 4.3 設備
- 4.3.1 實驗室每年應至少進行一次量測系統之計測效率校正，具加馬核種鑑別能力之偵檢系統須加做能量校正，加馬能量範圍應至少涵蓋 50 keV 至 2000 keV。計測效率校正方法，得使用電腦程式或標準校正假體來進行。
- 4.3.2 計測效率得考慮密度-效率修正，其中廢棄物密度修正

範圍應至少涵蓋 0.6 g/cm³ 至 1.2 g/cm³。

- 4.3.3 試樣秤重裝置須定期（至少每年一次）進行校正或查驗，並訂定允收標準。其中廢棄物的秤重不確定度不得大於 ± 10 % (k=1)。
- 5 能力試驗
- 5.1 測試項目
- 接受分析測試之能力試驗項目，係依量測設備的計測容器幾何形狀（箱型或桶型）及是否具加馬核種辨識能力（加馬核種比活度或總比活度）而分類。測試種類計分箱型或桶型二類，桶型則再細分加馬核種比活度或總比活度二項，各測試樣內所含之放射性核種為加馬輻射放射形式，各實驗室依其需要，可選擇適當的項目參加測試。
- 實驗室依其需要，可選擇適當的項目參加測試，每項測試項目應每三年至少參加測試一次。分析測試的項目，分為下列二類：
 - (1) 箱型（40 公升）：加馬核種總比活度。
 - (2) 桶型（205 公升）：(a)加馬核種總比活度；(b)加馬核種比活度。
- 5.2 測試能力
- 實驗室分析測試能力，其最小可測量(MDA)須小於「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」(3)外釋限值的 20%（簡稱：可接受最小可測量，AMDA，詳列於該辦法之附表中），其能力試驗結果必須符合偏差值及追溯性的要求。
- 5.3 量測不確定度評估

- 5.3.1 實驗室應對所產出的測試結果評估其量測不確定度，量測不確定度的來源組成應至少包含系統穩定性、淨計數、偵測效率、活度均勻性及樣品重量等項。
- 5.3.2 不確定度的評估結果應依其評估方式區分為 A 類標準不確定度及 B 類標準不確定度，並據以計算組合不確定度及擴充不確定度。
- 5.3.3 擴充不確定度採用具 95 %信賴區間的涵蓋因子(k=2)來表示。
- 5.4 能力試驗之結果報告
 - 5.4.1 參加能力試驗之測試實驗室應向能力試驗執行機構提出下列測試結果報告：
 - (1) 採用的背景
 - (2) 分析測得或經衰變修正後的比活度
 - (3) 度量時間
 - (4) 簡要說明分析設備及度量儀器之性能
 - (5) 計測效率及校正方法
 - (6) 量測不確定度 (k=2)
 - (7) 最小可測量(MDA)
 - 5.4.2 能力試驗執行機構應對實驗室的測試結果，是否符合本規範所訂可接受最小可測量(AMDA)、平均相對偏差(Bi)、追溯性(En)之要求做決定，並告知本會。
 - 5.4.3 實驗室應至少每三年接受一次分析能力試驗，亦可自行要求重新測試。

- 5.4.4 由能力試驗執行機構提供之測試樣品，其中含指定之放射性核種的活度範圍是「一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法」附表 1 所列核種比活度至 AMDA 值之間。

由上述內容可知，TAF 對於解除管制量測實驗室的品質系統已經有相當嚴謹的規定，若核電廠除役時進行解除管制量測的實驗室都能通過 TAF 的認證，其量測結果應該是可以信任的。

3.4. 國外相關之研究報告資料收集

3.4.1 核廢料暫存管理(德國)

1. 除役產生的放射性與非放射性材料之處理

在核設施的除役期間，拆解或拆除的放射性殘留物與放射性零組件，當作放射性廢棄物被適當地處理；除非該組件為無害下使用（例如：透過解除管制或在核子或輻射防護規定下批准的其他設施再使用）。解除管制是一種管理的行為，影響放射性物質的免除和任何可移動的物品、建築物、土壤區域、放射性物質活化或者污染設施或設施的零組件。

2. 放射性物質的處理與貯存

核設施除役所產生放射性物質與廢棄物的處理方法，可與用於核設施運轉時處理放射性物質與廢棄物的方法相比擬。不同於核能

發電廠或研究用反應器，核子燃料再循環設施通常只包含污染但無活化的材料。在核子反應器與核子燃料循環設施，全部拆除過程中所出現的物質，大部份是沒有被活化也沒有被污染的。為減少廢棄物的體積，當產生廢棄物時，殘留物必須分離成可利用物質與放射性廢棄物。未切割放射性大型組件，可藉由衰減貯存達成放射性廢棄物減量或避免不必要的輻射曝露。然而，只要設施的擁有人還沒有決定零組件的處理方式及其再使用的可能性，這些物質將不被認為是放射性廢棄物(原子能法第 9a 條段落 1 的主觀廢棄物)。因此，以解除管制的目標，它們可能被當作臨時貯存的放射性殘留物。為避免人員不必要的輻射曝露，處理放射性的殘留物只需要進行到一定程度，長期貯存是可行的，而之後放射性廢棄物，可以包裝進行處理。特別是，如果污染且活化的金屬部分，核種載體在一個可預知的時期內活度將明顯地衰減，以便材料可藉由量測解除管制或以核能科技重新使用，應優先考慮再利用而不是當成廢棄物處置。

3. 法令架構

德國聯邦環境部(BMU)聲明幾點德國放射性廢料管理政策

- 1) 德國的政策已朝向深層地質的放射性廢料貯存
- 2) 法律聲明所有處理污染的費用皆以自付為原則

- 3) 核設施經營者必須在現場提供使用過燃料棒的暫時儲存場地
- 4) 核設施的經營者必須負責燃料再利用的安全管理，針對從德國送往法國和英國委託再處理的高階廢料，德國有義務接受法國和英國的放射性廢棄物的安全管理
- 5) 依德國聯邦原子能法(Atomgesetz: AtG)規定，地方主管機構須準備收集設施供放射性廢物貯放，地方主管機構必須建立中期收集設施供自境內產生廢料的貯存；而聯邦政府必須建立或安全保管最終放射性廢料處置，為履行自己的義務，各州及聯邦儘可能利用第三方來協助。

4. 安全(safety)

核電廠營運者必須訂規定以確保殘餘放射性物質、拆除及拆解組件在無不利影響下被再利用。

中央除污部門(HDB)的工作內容主要有：

- 1) 安全使用：除污
 - A. 為後續再使用小污染殘留的除污
 - B. 表面去除放射物質
 - C. 應用不同的機械或化學程序，如蒸氣、沙爆、磨碎、研磨
 - D. 這些過程都在一個設有通風系統的鋼構車內執行，以防止污染逸散。

2) 放射性廢料處理：

拆毀及壓縮 (Scrapping and Compaction) : 不能被除污的材料

及組件，為了將來聯邦貯存，它們的體積必須被減至最小。

3) 焚化(Incineration)：焚化設備是為固體及液體殘餘物而設計

的，固體經由一個收集箱被引入燃燒爐中；而液體被計量後送入

後燃燒室。

拆除過程中有幾點需要多加考慮：藉由移除熱點來降低環境劑量、從處理活動中分離拆除物、使用核工業認可之設備、高活化組件的遠端拆除、從低至高污染的拆除、雇用有經驗的員工並正確了解電廠特性、儘可能拆解大組件。

5. DIN 25457 放射性物質及核組件的解除管制量測程序為

第一部分：基礎及基本定義

第二部分：Alpha-activity，alpha 射線量測原則

第四部分：金屬廢料的 Beta/gamma-activity，污染金屬及活化金

屬碎片

第五部分：金屬廢料的 Alpha 污染

第六部分：建物廢料

第七部分：場址

3.4.2 美國核管會 (NRC) 核子設施除役法規探討

設施經營者在決定除役之後，有以下三種選擇：

A. 立即除污並拆除 (DECON)：

DECON 是在電廠永久停止運轉後，將受放射性污染的設備物、結構物、設施及土壤於短期內予以除污與拆移，使殘留的放射性濃度低於法規標準，而可終止電廠執照。

優點為 (a) 執照可迅速終止，以移做其他用途；(b) 停止運轉後隨即進行除污或拆除，可保有了解電廠之人力；(c) 拆除費用估計上面，DECON 由於需要處理的 low level waste (LLW) 比較少，因此估計所需要的費用較低；另外 DECON 需面臨的工作項目 SAFSTOR 亦皆須面臨，但較晚開始進行拆除者，由於貯存及通貨膨脹的因素，所需的費用將較高；此外 DECON 不需長期保安、維護及監測，亦是造成其所需費用較低的原因之一。

其主要的缺點則為 (a) 工作人員的劑量高；(b) 顯著之初始費用；(c) 以及需要較多的處置場空間。

DECON 一般的工作項目為：

- (a) 將污染系統之管路排空 (可能經沖洗)，並將樹脂自離子交換器移除。
- (b) 建立監測站、設計製造特別屏蔽及界定污染管制範圍。

- (c) 減少保安區域（建立新的安全監管站）。
- (d) 修改控制室或建立替代控制室。
- (e) 場區偵檢。
- (f) 污染組件除污，包括化學除污技術。
- (g) 移除反應器槽及內部組件。
- (h) 移除其他大型組件，包括主要之放射性組件。
- (i) 移除一次系統之管件（注水系統、硼控制系統等）。
- (j) 移除其他顯著污染組件。
- (k) 除污且/或拆除結構或建築物。
- (l) 拆除組件廠內暫貯。
- (m) LLW 之運送及處理，包括廢棄物之壓縮及焚化。
- (n) 移送用過核子燃料及 GTCC 至乾式貯存設施（ISFSI）。
- (o) 移除有害放射性（混合）廢棄物。
- (p) 更換管理方式及職員。

B. 長期貯存一段時間後才進行除污及拆除（SAFSTOR）：

SAFSTOR 是將核能設施長期安全貯存後，再進行除污與拆除的工作。其整治準備期約需二年，貯存期約需數十年。貯存期間電廠設施大多原封不動，但核燃料由反應器移出，放射性液體由相關系統及設備處理與排放。經過放射性的衰減作用，長期貯存後，將大

量減少污染物及放射性物質的體積。

優點為 (a) 由於貯存期間之衰減，將實質減少 LLW 處置量及降低工作人員與民眾之劑量；(b) 減少處置場所需空間；(c) 在第一年之所需費用上，亦低於 DECON，因為活動較少所需人力亦少。

缺點為 (a) 拆除時間拖得太久，了解電廠的人員將逐漸減少；(b) 貯存期間需維護、保安及監測；(c) 以及未來處置場收費與可用性之不確定，可能導致除污及拆除之經費升高。

SAFSTOR 一般的工作項目為：

(A) 準備期間

- a. 將污染系統之管路排空（可能經沖洗），並將樹脂自離子交換器移除。
- b. 用過核子燃料池冷卻系統重組。
- c. 視需要對高污染高劑量區進行除污。
- d. 完成放射性評估以做為貯存前之基準。
- e. 移送準備運送之 LLW。
- f. 運送及處理或貯存用過核子燃料與 GTCC 廢棄物。
- g. 將設備及系統拔除電源或卸除動能。
- h. 重組通風系統、消防系統及用過核子燃料池冷卻系統，以便在貯

存期使用。

- i. 建立檢查及監測計畫，以便在貯存期使用。
- j. 對未來拆除時，任何屬重要系統者進行維護。
- k. 更換管理方式及職員。

(B) 貯存期間

- a. 對於在貯存期間需操作及/或能動的，執行預防及補正維護。
- b. 維護以保持結構完整性。
- c. 維護保安系統。
- d. 維持輻射排放物及環境監測計畫。
- e. 處理任何產生之廢棄物（通常是很少量）。

C. 將放射性污染物包封在結構性長命材料（如混凝土）內

(ENTOMB)

ENTOMB 是將放射性結構物、系統以及設備封存於耐久性的圍阻屏障內（如混凝土），並對屏障結構做適當的維護及監測，直到終止執照為止。但大多數的核能電廠，在一百年後的放射性強度仍高於法規的接受標準值。此法違反現行國內除役法規要求 25 年內完成除役工程之要求。

此外，設施經營者必須提供合法之強制監管，以保證符合 NRC 之放射性準則（對關鍵族群造成之平均個人總有效等效劑量小於

0.25 mSv/y)；並且提供足夠的財務保證，以便讓第三者可以繼續負責。

若監管不再進行，則殘餘的放射性必須進一步被降低：來自背景值以外之殘餘放射性應達到 ALARA，且對關鍵族群造成之平均個人總有效等效劑量小於 1 mSv/y 或 5 mSv/y。

對於 5 mSv/y 的劑量限制，設施經營者必須：

1. 證實進一步達到 1 mSv/y 的劑量限制在技術上為不可行的、可能過於昂貴、或是會導致民眾或環境的傷害。
2. 使得必須提供過長的監管期。
3. 提供足夠的財務保證使政府主管機構或獨立第三者能執行至少每五年之定期檢查，以保證監管仍然執行中。

3.4.3 加拿大除役計畫導則

物質與廢棄物管理包括：

1. 物質與廢棄物管理計畫

詳盡的除役計畫應包含一物質與廢棄物管理計畫，於該計畫中描述將物質由拆卸區移動至監測區、分離區、處理區、包裝區、轉移區或處置區的系統流程。這些監測區及處理區應經過設計，其運轉應將可回收及可再利用的物質由廢棄物中分離出來。

對於除役活動中所產生的物質，其最終處置方式及該方式能容納的廢棄物形式和容積應評估並載明於先期除役計畫中，且在詳盡的除役計畫中加以驗證。

2. 解除管制標準

除役計畫應在加拿大核安署 (Canadian Nuclear Safety Commission, CNSC) 的控管下，有效地進行物質與廠址的解除管制。若物質無法清運，便必須運送到其它的許可設施，或者在當地永久處置。

解除管制標準宜提供表面污染或體污染限值（即以 Bq/cm² 或 Bq/g 表示阿伐、貝它、加馬活度）。對於場址的解除管制，也可進行土壤中的活度、高於背景的加馬量測，以及如果可行，可進行室內氬濃度量測。

依據相關的核種類型及除役形式（無條件或受控制），可能會提出不同的除役標準。在所有情況中，所造成的劑量必須低於法規限值並依循合理抑低原則。

除役申請人可選擇使用 CNSC 認可的一般除役標準或提出其場址特有的除役標準，場址特有的除役標準必須附有對關鍵群體影響的劑量評估報告，且在制定該解除管制標準及選用計算方法的前期宜向 CNSC 的成員諮詢。

3. 非輻射危害廢棄物

除役申請人宜評估產生這些物質的可能性，並將必要的預防措施、報告及管理程序加入除役計畫中，以此方法，可採用聯合法規/單一文件的審查方式（詳見第 5.2.2 節，參考其它可用的聯邦或省的法律及法規）。

4. 品保要求

品保包含責任與解釋的組織，資格與人員的訓練，書面計畫、流程與手冊，例行設備性能及維護的檢驗，正式的稽核與稽查流程，具架構的計畫審查與回饋機制，保全與安全，紀錄留存，以及數據管理系統。

在詳盡的除役計畫中，宜有一獨立章節用於確立除役專案的所有品保事項。宜向 CNSC 諮詢現有對於品保的要求。

3.4.4 日本的除役安全法規

除役期間廢棄物產生的措施

隨著核電廠拆除的進展，產生大量帶有不同等級放射性物質的拆除廢棄物。由於同時有多個工程是複雜的，在電廠內有限的空間中，廢棄物分類和管理變得非常重要。因此，有必要實施比在運轉過程中更適當的廢棄物產生管理。特別是，如果考慮到需要解除管制的

廢棄物，分類和管理拆除廢棄物是非常重要的。以下是在除役期間，廢棄物管理的特別重要項目。

1. 在除役期間，以處置計畫為基礎，由放射性物質的濃度與特性來分類廢棄物，評估其產生的體積，並事先確保其臨時貯存容量。
2. 努力減少除役實施過程中產生的廢棄物量，並注意實質的分類。
3. 使用適當的方法妥善的處理製程放射性廢棄物，以符合處置場所的接收標準等…，方法應與其分類方式一致。
4. 實行妥善的管理，在過程中廢棄物分類到不同等級不會相互混雜，像是臨時儲存、除污與玻璃固化或容器包裝。
5. 設置廢棄物的管理單位，並明確定義，例如部門、體積、處理過程、放射性活度量測、評估方法等，並記錄系統化歷史管理項目。

為了適當地執行這些項目，重要的是要決定每個核設施安全維持規則需要的項目，以及在品質保證的概念的基礎上，確保其會被實施。對解除管制的廢棄物，特別是，有必要採取措施嚴防污染的混合及管理歷史與測量紀錄保存。

核設施釋出的有害廢棄物，像是石棉及多氯聯苯(PCB)。這些廢棄物必須與放射性廢棄物採用同樣的處理方式，以確保安全。

3.4.5 荷蘭的解除管制廢料法規

3.4.5.1 除役計畫

證照持有者被要求確認除役計畫的測量策略及方法是否完成。

尤其是被要求如何外釋金屬核廢料，為了讓監控單位了解解除管制除役放射性設施的影響(包括除役的技術)，持照者需要描述核電廠的輻射殘存量(房間劑量率及元件污染)。

以下是除役計畫中關於放射性的殘存量及解除管制資訊的規範。

3.4.5.1.1 測量放射性的殘存量

針對測量放射性殘存量的主要目的為：

- 評估，減少工作人員接觸潛在的輻射，
- 取得關於解除管制相關成分的最佳資訊。

在除役之前，持照者須描述除役計畫中設施的放射性殘存量，

在所有管制區中，針對每個房間的

- 材料種類(塑料、不銹鋼)
- 成分的質量
- 幾何形狀(密度、厚度，然後可從表面積推測質量)

大房間(如核電廠的安全包封容器內)需要被劃分成小單位。持照者應透過現有的歷史數據、技術圖、清單還有照片來獲得資訊。

持照者應註明所有被列出來組件的

- 局部劑量率
- 表面活性水平
- 如果可以，空間分布和體積的活性水平

測量現場劑量率是很重要的工作，以利選擇適當的輻射防護措施及除役技術，使暴露降到最低。組件的局部劑量率需要分開測量，根據不同的尺寸至少有 0.5 公尺的接觸距離。必須確定最大劑量率及平均劑量率。由於房間都有高背景輻射，測量時應提供適當的背景輻射之屏蔽，背景輻射都應該被記錄。每個房間最高的局部劑量率應該選擇在距離 0.5 公尺處，有房間的局部劑量率都如同表 3.4.5.1.1 分類。劑量率地圖包括了有彩色區域的附圖、房間等級和最大劑量率的組成如表 3.4.5.1.1。

表 3.4.5.1.1 劑量率的顏色

等級	顏色	0.5 公尺處的最大劑量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
A	藍色	$x < 10$
B	綠色	$10 \leq x < 100$
C	黃色	$100 \leq x < 1000$
D	橘色	$1000 \leq x < 10000$

E	紅色	$10000 \leq x$
---	----	----------------

部件外表測量到的非固定表面活性可用來代表房間內的污染分佈。非固定表面活性可以用擦拭測試量出，並找出污染較高的位置。

擦拭樣本可以測量組件的表面特定活性或者質量比活性。樣本也可以用來確定污染的核種當量。如果污染已經滲透或固定在表面，則可能出現固定的表面活性。

污染的測量包括擦拭或者是刮試測驗，為了活化組件，其他的方法也是必須的。測量的方法應該參考運轉歷史，考慮活性是滲入表面或塗層。污染描述會通過活性等級著色來做為污染程度的訊息。

非固定的組成污染水平常被用來當做成分描述標準，表

3.4.5.1.1.2 定義了最高的房間非固定污染。

表 3.4.5.1.2 用顏色來區分不同非固定表面活性污染的值

等級	顏色	污染值(Bq/cm ²)
1	藍	$x < 0.4$
2	綠	$0.4 \leq x < 4$

3	黃	$4 \leq x < 40$
4	橘	$40 \leq x < 400$
5	紅	$400 \leq x$

3.4.5.1.2 解除管制條件

當以下條件滿足時，持照者可以使其解除管制：

- 提交一個適當且獲主管機關准許的外釋程序。
- 材料的處理和測量皆符合外釋程序(包括測量方案)
- 材料符合解除管制標準。

3.4.5.1.3 解除管制準備

在除役期間，所有材料會往通關的外釋程序進行。因此，持照人應該提交每個外釋程序讓主管部門批准。原則上，外釋程序會在除役計畫中被定義。

除役計畫應包含以下訊息：

- 持照者將如何採樣、放射性分析及轉換因子的生成及核種的載體。
- 測量裝置將被證明符合材料的解除管制標準，也應證明設備及規格適合估計核種的載體，並維持在特殊邊緣測量時的水準。

對於總加馬解除管制的方法包括這些：

- 測量期間
- 偵測器的靈敏度
- 背景計數(率)
- 信號訊雜比

對於邊緣偵測的條件可以包含這些：

- 掃描速度
- 偵測器靈敏度
- 積分常數
- 材料表面特性(如粗糙)
- 幾何形狀
- 如何避免不慎交換的外釋和未外釋的材料互相接觸(包括強制外釋的儲存組織)
- 如何保證解除管制後外釋物質的可追溯性，但
- 外釋程序要盡可能的合理可行。

外釋計畫(在除役計畫中或在除役期間單獨送審)應該包括以下

細節：

1. 材料來源
2. 材料的物理和化學特性，包括：
 - a. 質量
 - b. 污染等級(判斷放射性種類)和
 - c. 污染或活化
3. 關鍵核種，如何去辨別和測量核種，以及核種載體
4. 材料加工準備解除管制(如切割、除污、清洗)
5. 確認核種載體是否已處理
6. 將要採取的措施，以保證這些較高的平均活度數值是合理的
不包含熱點在內
7. 測量方案：
 - a. 任何規格的測量裝置都有必須遵守的測量規範和解除管制標準
 - b. 測量相關設備的類型將會被證明符合解除管制標準
 - c. 如何將原始數據(計數(率))，包括錯誤訊息進行處理轉換為必要的數值
 - d. 對於給定核種載體的解除管制測量裝置操作標準程序，以及顯示由 ISO 11929(8)計算的解除管制低限值的活性和分佈

e. 如何驗證測量的執行

8. 不同工作人員的參與責任

9. 外釋儲存的機構

10. 外釋物質的目的地

3.4.5.2 除役期間

3.4.5.2.1 解除管制

在持照者準備外釋提交的外釋程序中，每個解除管制測量材料都必須被分配到相對應的外釋過程並給予一個標誌號碼。

測量是外釋過程中根據方案來進行的，測量包括以下步驟：

1. 檢查被授予解除管制的材料和測量的裝置是否符合外釋過程中的規格。
2. 紀錄解除管制相關參數，尤其是測量時間、背景輻射強度、測量裝置的身分編號及被指定解除管制之材料。
3. 根據測量方案之要求來進行量測。
4. 記錄的原始數據（計數/秒或總計數）
5. 如果可以，剔除天然核種
6. 修正背景輻射，包括根據 ISO 11929(8)的誤差傳播(產生校正後的值)，且

7. 原始數據的分析（計數/秒或總計數），並計算得到所需的數量時（貝克/克，貝克/年 和/或，貝克/平方厘米，無論是否適用），通過使用適當的校準因子（多個）和核種載體（其他因素可能會影響分析，也如監測儀測量的幾何因素和表面污染的因素）。

輻射防護機關在批准外釋過程中(包括測量方案)持續追蹤時可指定解除管制材料，且材料到達解除管制標準。遵守由修正值進行比較來判定閾值，即通過檢查是否有從關鍵核種測得的信號來確定。如果修正的值超過判斷閾值，則修正的信賴區間上限應比照實際的解除管制基準值。如果超過信賴區間上限，則材料無法被准許解除管制。在其他情況下，衰變速率會被列入真實的測量當中。在除役期間，持照者須保證(解除管制)測量儀器的正確校正，並定期進行檢驗。

如果解除管制被允許，材料會被送到解除管制儲存槽，最後可以被移除的地方，否則將會被送到核廢料儲存管理的專用空間。持照者將會依據法規來決定他們的去留。

除役期間，當局會進行隨機抽樣方式進行檢查。

3.4.5.2.2 管理

在本指南中，管理是指持照者在除役期間進行創建、修改及傳達許可的文件。該組織在手冊中有被管理，並常常接受單獨的審

核。此外，有受輻射防護及核安的相關立法管制，所以不在這裡多加探討。

3.4.5.2.3 輻射資訊保存

為了保存除役最後的相關數據及訊息，下面的資訊在每個除役准許後需要被保存：

- 材料來源
- 身分資料
- 物理及化學數據
- 測量數據
- 核種載體
- 應用的發布過程，包括測量方案，測量結果（原始值，天然核種，背景值，修正值的可能影響，貝克/克，貝克/平方厘米（或適用組合的每一個核種計算的值）在核種載體，衰變速率和 ISO 11929 的要求也包括在內
- 目的地

以上資料為 TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG 為荷蘭所撰寫。

3.4.6 法國低放的排除與豁免

在法國 FIFTH NATIONAL REPORT ON COMPLIANCE WITH THE
JOINT CONVENTION OBLIGATIONS 141008_JC_French-
Report_UK_Final 第 4 章對放射性廢棄物的定義及分類標準摘譯如
下：

3.4.6.1 適用的放射性廢棄物的定義及分類標準

3.4.6.1.1 「放射性廢棄物」的定義

在§B.1.2.1 法規提供「放射性物質」、「放射性廢棄物」、「放射性材
料」的法律定義。

這兩方面是值得評論的：當一個物質開始被認為具有放射性，
這個物質是否能被認為是可恢復的物質或者是個廢棄物？

3.4.6.1.2 物質的放射性特質

本段落包含的主題是放射性物質的排除、豁免和解除管制，闡
述法國對放射性物質的概念。

3.4.6.1.2.1 排除(EXCLUSION)

大部分的材料本身具有天然放射性。他們的放射性大多來自於
鉀-40 和鈾及鈾系列的放射性元素。這些的放射性普遍非常低且劑
量不需要擔心有輻射的風險，將會導致沒有特別的注意事項(住宅內
的氡氣不在本次的討論範圍內)。如果在這過程中導致這些放射性物
質被集中不使用，這些材料將被視為不具有放射性並以此作管理。

3.4.6.2.2 豁免(EXEMPTION)

在法國，核種活度豁免規定的公共衛生法(條款 R1333-18)授權，當符合以下兩種條件時將成立：

1. 當輻射作業場所的任何時間內，核種的總活度不超出法規設定的豁免閾值，無論相關物質的放射性濃度。
2. 若有關的物質重量不超過一公噸，當輻射作業場所的任何時間內核種比活度不超過法規設定的豁免閾值。

出現在法規中的豁免閾值適用於在任何時間由個人或公司為特定活動的放射性核種的總存量。任何為了減少庫存而將庫存出現分化、或者是降低放射性活性的行為都是被禁止的。

3.4.6.2.3 解除管制(CLEARANCE)

另一個重要的概念是解除管制，就是從一個被管控的狀態中解除的物質。一些國家，根據歐盟指令 96/29 號和相關的技術建議，接受無條件的解除管制基準，低於該核活動產生的廢棄物可以視為一般的廢棄物。法國開發出了不同的方法：這屬於適用於放射性的基礎核能設施(BNIs)或小規模的核部門的使用規定範圍內的任何物質，如果它一直與放射性污染接觸或已接受過輻射，則需要特殊的

管理。法國並沒有做出相關物質的解除管制規定，這需要正式的設施授權管理放射性廢棄物的處理及處置。

3.4.6.3 政策及做法

這就是為什麼法國在奧布省的 Cires 處置設施有非常輕微(VLL)的廢棄物的長期管理。對於回收的潛在性，所有核工業活動的材料都需要被回收，無論是否被放射性核種的活性所污染。針對核工業的物質回收或再利用，即使只有很輕微放射性（核設施，廢物箱，生物屏蔽廢物包等）。因此，法國的立場是對於程度非常輕微(VLL)廢棄物的處理比其他國際組織的建議更加嚴格。

3.5 重要儀器之配合使用情形

本研究已經購買碘化鈉偵檢器含屏蔽一組，配合現有 genie-2000 加馬能譜分析軟體，以進行加馬核種定性與定量分析方法之測試。

3.5.1 購買器材規格介紹：3 吋碘化鈉偵檢器能譜儀規格

1. 3 吋直徑*3 吋厚度碘化鈉偵檢頭，光電管座/前置放大器，及一組 3 米長高壓、訊號及前置放大器電源線
2. 碘化鈉偵檢器對 Cs-137 解析度 $\leq 7.5\%$
3. 能量範圍：20 KeV to 2 MeV 或更廣。

4. Cs-137 最低可測值：對 1 公升丙二醛模擬水樣計測 5 分鐘，
(MDA) \leq 6.5 貝克/公升，遠低於 Cs-137 的解除管制標準 100 貝克/公斤。
5. 推車式低背景鉛屏蔽
 - *全推車均採用不銹鋼，低背景鉛屏外襯 3mm 厚不銹鋼
 - *樣品腔內襯 3mm 厚低背景不銹鋼
 - *低背景鉛屏厚： \geq 57 mm 。上蓋鉛屏厚： \geq 40 mm，並可使用單指輕易移動上蓋(打開及閉合)。
 - *樣品腔尺寸： \geq 165 mm 直徑* 175 mm 深，可容納 1 公升馬林杯 (Marinelli Beaker) 樣品
 - *具 4 只 6 吋直徑車輪，易於移動推車
6. 可配合現有 Canberra 多頻分析儀及碘化鈉分析軟體使用
7. 提供免費系統安裝，軟硬體整合測試及教育訓練

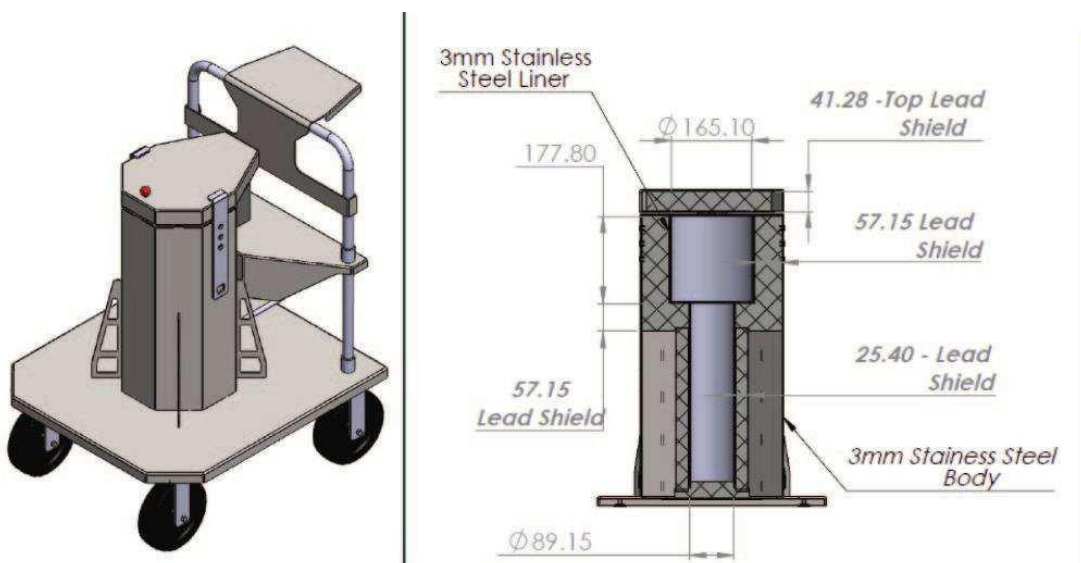


圖 3.5.1 3 吋碘化鈉偵檢器能譜儀

3.5.2 碘化鈉偵檢器之裝機及校正



圖 3.5.2.1 碘化鈉之外觀及裝機作業

3.5.2.2 碘化鈉偵檢器校正

以 0.5 公分及 4.5 公分高的洋菜凍混合校正射源進行偵檢器的校正

作業，主要針對 鈷-60 及 銫-137 進行能量及效率校正，結果如下圖

所示。

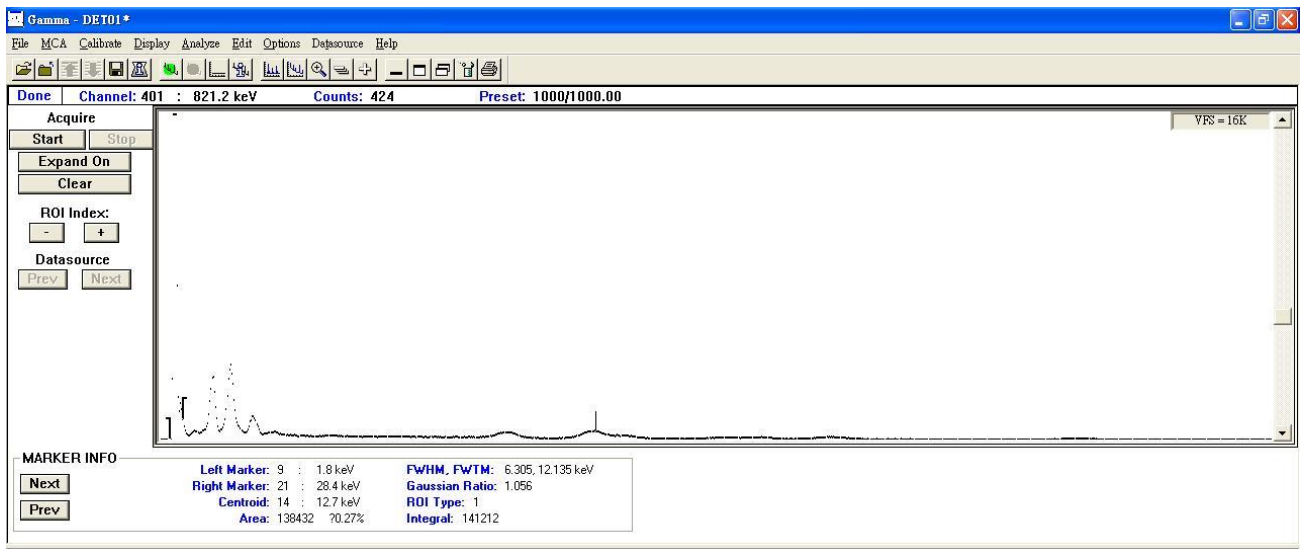


圖 3.5.2.2.1 0.5 公分混合射源加馬能譜

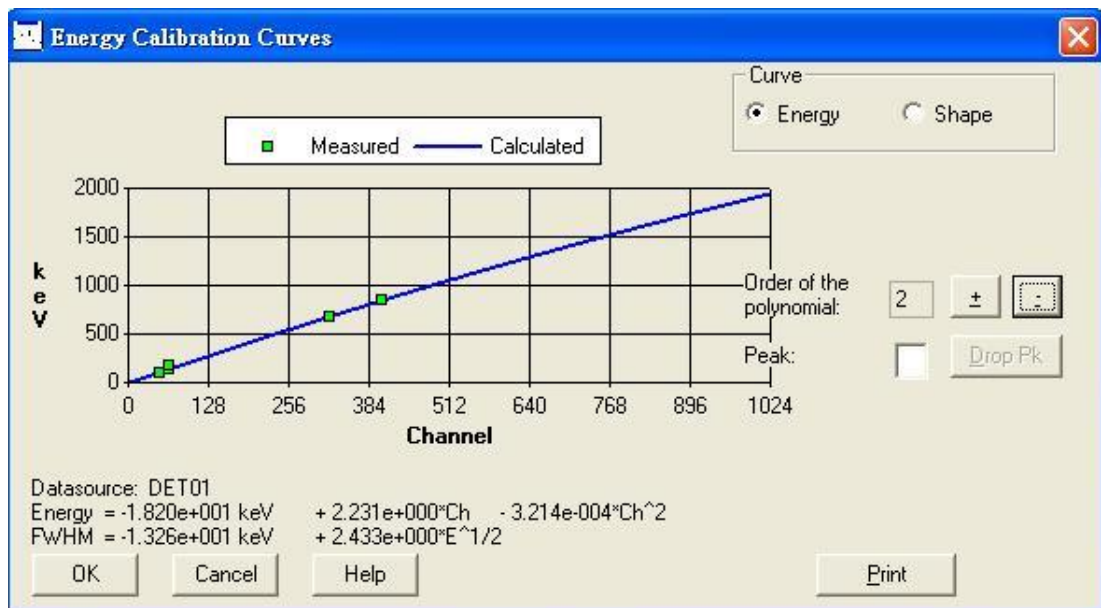


圖 3.5.2.2.2 0.5 公分混合射源能量校正曲線

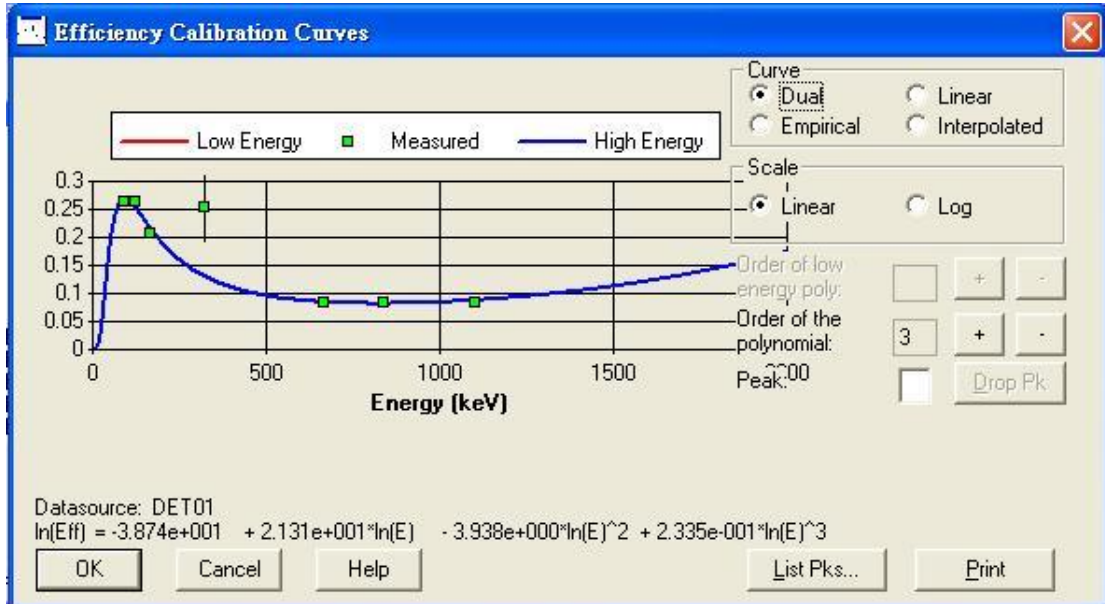


圖 3.5.2.2.3 0.5 公分混合射源效率校正曲線

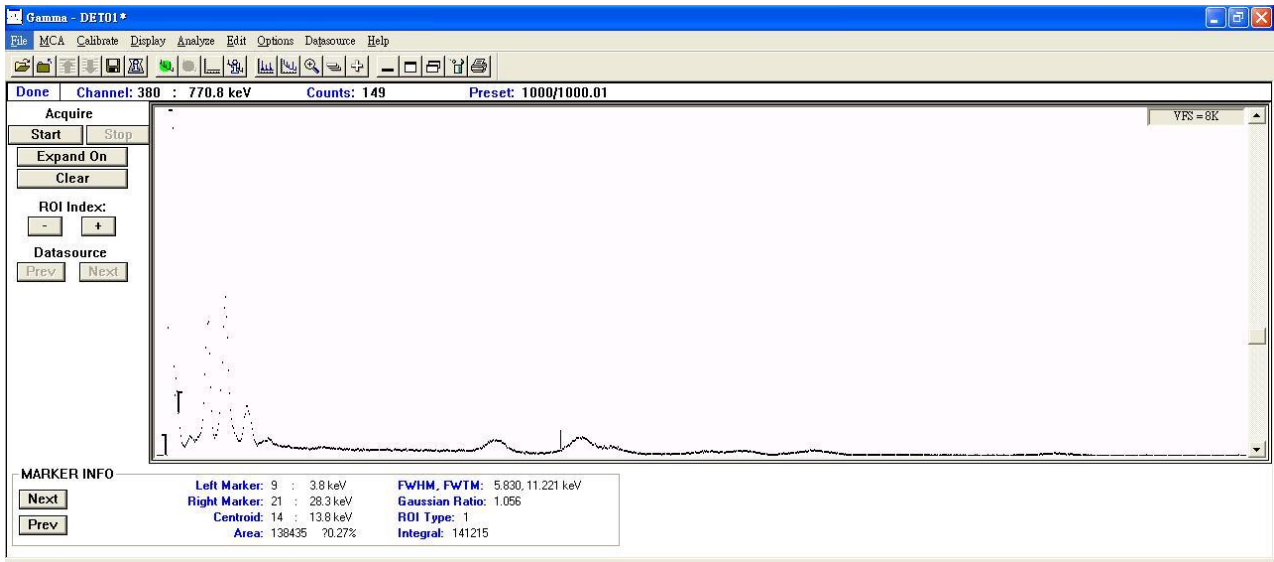


圖 3.5.2.2.4 4.5 公分混合射源

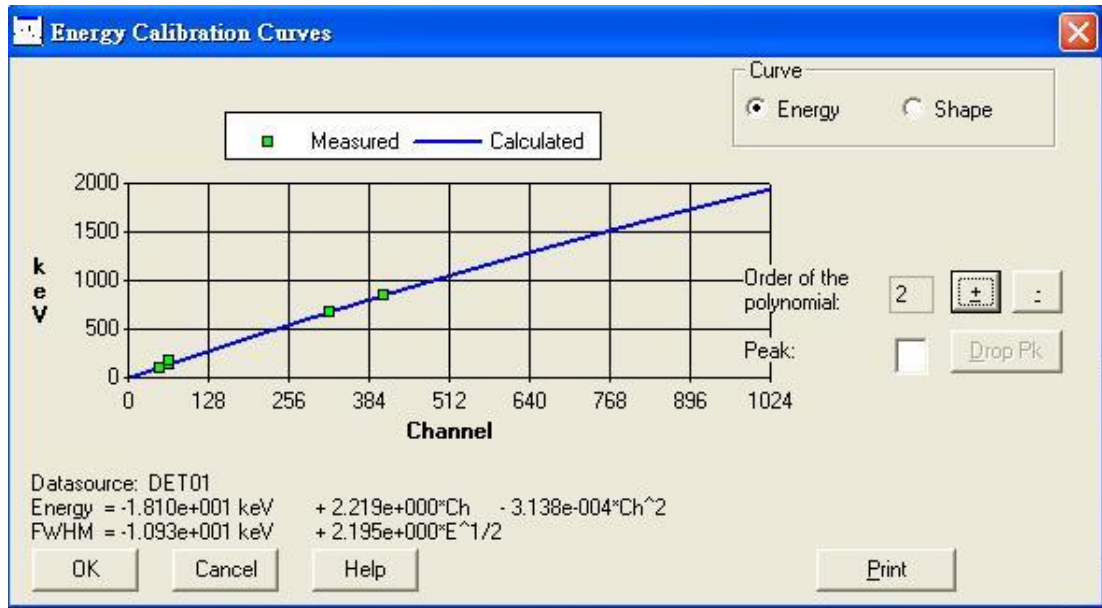


圖 3.5.2.2.5 4.5 公分混合射源能量校正曲線

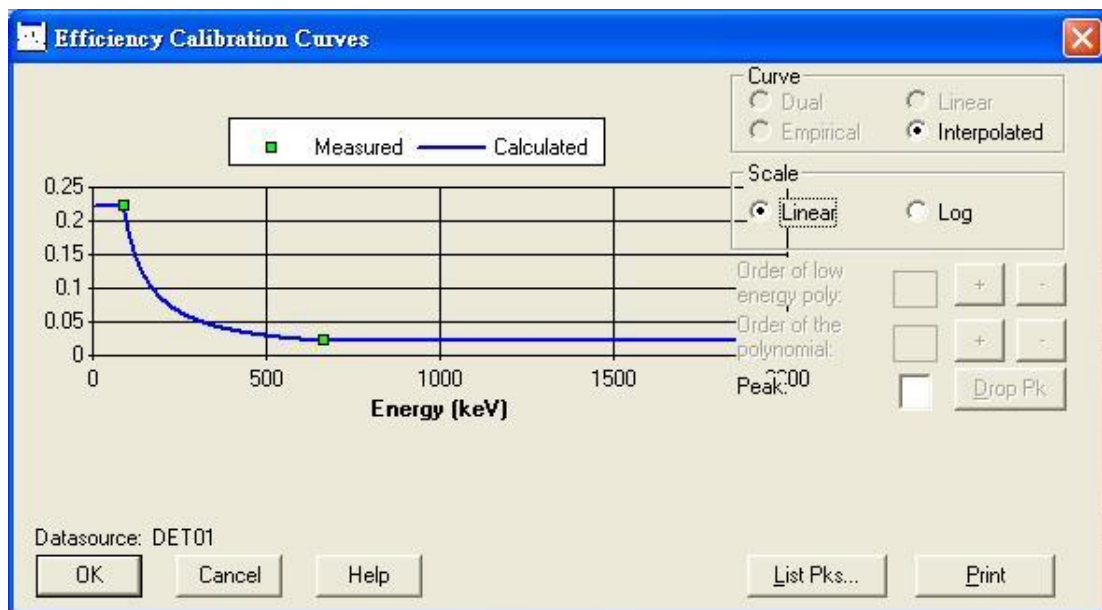


圖 3.5.2.2.6 4.5 公分混合射源效率校正曲線

第四章 結論

綜合上述的國內外除役低放射性廢棄物解除管制量測技術資訊以及全國認證基金會對量測品質的一般要求與特殊要求文件評析結果，可以得到以下結論：

1. 依據國外核電廠除役實務經驗顯示，極低活度放射性廢棄物佔廢棄物總量的 90%以上，廢棄物均需依據擬訂之解除管制量測程序進行量測分析，以確保廢棄物之比活度符合管理辦法的要求，再執行外釋廠外作業，因此解除管制量測技術具有關鍵的地位。
2. 由於除役低放射性廢棄物種類眾多，幾何形狀複雜，使得對應的解除管制量測方法也很多樣，相關的量測技術也相當的專業。
3. 國內核研所多年來一直在建立新的放射性廢棄物量測技術，同時也已經有應用在核研所 TRR 的除役作業上，獲得相當多的實務經驗。
4. 在量測品質保證制度方面，財團法人全國認證基金會(TAF)採用 ISO/IEC 17025 的實驗室認證標準，對實驗室量測品質的一般要求與特殊要求也涵蓋解除管制量測的範疇。
5. 大型物件與管狀物體解除管制量測技術相對困難，然而核研所已經大致完成相關量測技術建立，除了購買適當的量測設備之外，儀器的校正與量測的追溯是關鍵技術。核研所已經以自行配製的校正

射源模擬大型物件與管狀物體幾何型態進行效率校正，結果相當良好。

6. 未來台電公司核能電廠除役解除管制量測技術可以透過技術移轉，將核研所已經建立的技術與經驗應用到核能電廠。

第五章 建議事項

1. 針對大型物件與管狀物體解除管制量測技術，雖然全國認證基金會並未對此類樣品量測列入認證項目，然而可以要求台電公司核能電廠除役解除管制量測實驗室的品質管理系統要符合 ISO/IEC 17025 之一般實驗室品質系統之要求。針對儀器校正與量測追蹤等直接影響量測結果準確度的關鍵因素，除了要有詳細的作業程序書與驗證程序外，可以要求透過國內外比較實驗來確認其量測可靠度。

2. 核能電廠除役之大型物件與管狀物體解除管制之審查重點，可以全國認證基金會對量測品質的一般要求與特殊要求之相關文件所條

列之細項逐一審查。

參考文獻

1. 王曉剛， “核能電廠除役作業意外事故安全評估之審查技術研究中執行進度報告” ，放射性物料管理局第二組 102 年 9 月.
2. IAEA, “Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material” , IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Safety Guide, no. WS-G-5.2, 2008.
3. IAEA, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7, IAEA, Vienna, 2004.
4. IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA Safety Series, No. 115, 2010.
5. NRC, Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM), NUREG-1575, Rev.1, 2000.
6. “Clearance and Exemption Code of Practice” , Nuclear Industry Safety Directors Forum in U.K., 2006.
7. 物管局， “一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法” ，行政院原子能委員會放射性物料管理局，中華民國 93 年 12 月 29

- 日。
8. “測試領域中低活度核種技術規範”，財團法人全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF)，TAF-CNLA-T10(2)，台北。
 9. TAF，“放射性廢棄物解除管制量測技術規範”，財團法人全國認證基金會，TAF-CNLA-T12(1)，台北。2010/06/11。
 10. 葉俊賢 袁明程，“探討解除管制試樣量測比對”，臺電核能月刊，343 期 p.65-78，民國 100 年 7 月。
 11. 葉俊賢 王正忠 張柏菁，“英國核能產業解除管制之量測作業”，核能研究所 保健物理組，民國 102 年 12 月。
 12. 王正忠、張峰榮，“金屬廢棄物解除管制外釋作業執行實務”，臺電核能月刊，340 期，p.65-78，民 100.10。
 13. 黃茹絹，“赴美國核能管制委員會(USNRC)研習核能電廠除役輻射安全審查技術”，原子能委員會，出國報告，102 年 10 月 15 日。
 14. “建置 205L 桶形校正系統及測試”，行政院原子能委員會放射性物料管理局委託研究計畫報告，報告編號：102FCMA004-01 執行單位：核能研究所，民國 102 年 12 月。
 15. TAF，“測試與校正實驗室能力一般要求”，ISO/IEC 17025：

- 2005，財團法人全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation，TAF)，TAF-CNLA-R01(2)，台北，2005.
16. 核研所，“核能研究所極低微放射性廢棄物暫存區廢金屬外釋計畫”，行政院原子能委員會核能研究所，民國 95 年 10 月 31 日。
 17. 核研所，“台灣研究用反應器濕貯槽拆除混凝土塊外釋計畫”，行政院原子能委員會核能研究所，民國 95 年 4 月 20 日。
 18. “Radiological Characterisation for Decommissioning of Nuclear Installations”，nuclear energy agency, 2013.
 19. “Guideline for the clearance of buildings during the decommissioning of a nuclear facility”，Annex 2 to” Handreiking vrijgave”，2014.
 20. “Waste Management Strategy for Dismantling Waste to Reduce Costs for Power Plant Decommissioning - 13543”，WM2013 Conference, 2013.
 21. 邱煌盛，低放射性廢棄物分類之核種與活度量測及認證制度之研究報告，放射性物料管理局委託研究計畫，計畫編號：BNS0514，中華民國九十七年十二月。
 22. 裴晉哲，核能電廠除役廢棄物審查技術之研究，放射性物料管理

- 局委託研究計畫，計畫編號：102FCMA006，中華民國 102 年 12 月。
23. 邱太銘，國外核子動力反應器設施除役概況簡報，放射性物料管理局，2011.
24. 武及蘭，解除管制劑量評估之輻射曝露情節分析，放射性物料管理局委託研究計畫，計畫編號：952006FCMA003，民國 95 年 10 月。
25. 鄭維申，出席第四屆可解除管制放射性廢棄物離廠研討會，赴德國報告，放射性物料管理局，報告日期：95 年 05 月 11 日。
26. 核研所，建置 205L 桶形校正系統及測試期末報告， 55-1_102FCMA004-01
27. 物管局，核子反應器設施除役計畫導則，放射性物料管理局，101 年 12 月 7 日。
28. “協助行政院原子能委員會放射性物料管理局邀請德國 TÜV SÜD 核能專家召開核能電廠除役審查及管制研討會委託勞務採購案，研討會活動工作成果報告書，計畫編號：102FCMA011，香港商樹德產品驗證顧問股份有限公司台灣分公司，中華民國 102 年 6 月
29. 張淑君，放射性物料管理局委託研究計畫研究報告-國際核設施

除役案例經驗回饋探討期末報告，報告編號：102FCMA004-09，
核能研究所，中華民國 102 年 12 月。

30. FRANCE, FIFTH NATIONAL REPORT ON COMPLIANCE WITH THE
JOINT CONVENTION OBLIGATIONS, 09/2014.
31. TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG, Guideline for the
clearance of materials during the decommissioning of a
nuclear facility, Rev. 2, 06/2012.
32. 葉俊賢，核電廠埋入管件內層活度的量測技術，所內報告，核研
所，2014.
33. TAF，“一定活度或比活度以下廢棄物解除管制之加馬量測技術規
範”，財團法人全國認證基金會，TAF-CNLA-T12(2)，台北。
2012/02/29.

附錄一、0.5公分混合射源之偵測報告

```
*****
***** G A M M A S P E C T R U M A N A L Y S I S *****
*****
Filename: DET01
Report Generated On : 2015/10/26 05:19:15 PM
Sample Title : D01-0.5cm
Sample Description :
Sample Identification : D01-0.5cm
Sample Type :
Sample Geometry :
Peak Locate Threshold : 3.00
Peak Locate Range (in channels) : 1 - 1024
Peak Area Range (in channels) : 1 - 1024
Identification Energy Tolerance : 0.400 FWHM
Sample Size : 1.000E+000 G
Sample Taken On : 2015/7/1 12:00:00 AM
Acquisition Started : 2015/10/26 04:54:53 PM
Live Time : 1000.0 seconds
Real Time : 1001.6 seconds
Dead Time : 0.16 %
Energy Calibration Used Done On : 2015/10/26
Efficiency Calibration Used Done On : 2015/10/26
Efficiency ID :
Peak Locate Analysis Report 2015/10/26 05:19:15 PM Page 2
```

```
*****
***** P E A K L O C A T E R E P O R T *****
*****
Detector Name: DET01
Sample Title: D01-0.5cm
Peak Locate Performed on: 2015/10/26 05:19:15 PM
Peak Locate From Channel: 1
Peak Locate To Channel: 1024
Peak Search Sensitivity: 3.00
Peak Centroid Centroid Energy Peak
```

No. Channel Uncertainty (keV) Significance

1	13.55	0.0328	11.98	295.82
2	31.98	0.1905	52.83	8.69
3	48.38	0.0709	88.99	54.06
4	64.73	0.0712	125.45	48.97
5	85.78	0.1039	170.94	20.29
6	107.35	0.1334	212.09	10.04
7	158.24	0.1434	326.87	5.02
8	319.11	0.0380	660.36	41.45
9	399.42	0.0357	827.00	45.21
10	540.82	0.0469	1103.10	17.43
11	618.66	0.0389	1238.06	26.64
12	843.61	0.0385	1635.59	23.92

? = Adjacent peak noted

Errors quoted at 1.000 sigma

Peak Analysis Report 2015/10/26 05:19:15 PM Page 3

***** P E A K A N A L Y S I S R E P O R T *****

Detector Name: DET01

Sample Title: D01-0.5cm

Peak Analysis Performed on: 2015/10/26 05:19:15 PM

Peak Analysis From Channel: 1

Peak Analysis To Channel: 1024

Peak ROI ROI Peak Energy FWHM Net Peak Net Area Continuum

No. start end centroid (keV) (keV) Area Uncert. Counts

1	9-	25	13.55	11.98	6.37	1.40E+005	419.52	2.76E+003
2	27-	36	31.98	52.83	8.94	5.32E+002	138.84	3.07E+003
M 3	36-	119	48.37	88.99	9.69	1.31E+004	123.59	5.21E+003
m 4	36-	119	64.98	125.45	13.99	2.23E+004	159.04	6.24E+003
m 5	36-	119	85.82	170.94	18.55	7.35E+003	111.41	6.76E+003
m 6	36-	119	104.78	212.09	22.17	1.63E+003	83.40	7.43E+003
7	146-	181	158.24	326.87	25.35	8.63E+002	200.92	5.64E+003
M 8	288-	466	318.71	660.36	49.26	5.52E+003	103.24	7.37E+003
m 9	288-	466	402.04	827.00	56.70	9.55E+003	115.24	5.89E+003

M 10 486- 661 545.32 1103.10 67.54 2.74E+003 69.44
 3.54E+003
 m 11 486- 661 617.97 1238.06 72.34 3.15E+003 71.36
 2.83E+003
 12 809- 883 843.61 1635.59 37.84 1.69E+003 71.74
 6.14E+002

M = First peak in a multiplet region
 m = Other peak in a multiplet region
 F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma

Interference Corrected Activity Report 2015/10/26

05:19:15 PM Page 4

 *** N U C L I D E I D E N T I F I C A T I O N R E P O R T

Sample Title: D01-0.5cm

Nuclide Library Used: C:\GENIE2K\CAMFILES\NAIDEMO.NLB

..... IDENTIFIED

NUCLIDES

Nuclide Id Energy Yield Activity Activity

Name Confidence (keV) (%) (Bq /G) Uncertainty

CO-57 0.824 122.06* 85.51 1.40507E+002 2.18910E+003
 136.48 10.60

CD-109 0.999 88.03* 3.72 1.58113E+003 2.46341E+004

CS-137 1.000 661.65* 85.12 7.90285E+001 1.23127E+003

CE-139 0.990 165.85* 80.35 7.82094E+001 1.21850E+003

* = Energy line found in the spectrum.

@ = Energy line not used for Weighted Mean Activity

Energy Tolerance : 0.400 FWHM

Nuclide confidence index threshold = 0.30

Errors quoted at 1.000 sigma

Interference Corrected Activity Report 2015/10/26

05:19:15 PM Page 5

*** I N T E R F E R E N C E C O R R E C T E D R E P O R T

Nuclide Wt mean Wt mean

Nuclide Id Activity Activity

Name Confidence (Bq /G) Uncertainty

CO-57 0.824 1.405068E+002 2.189096E+003

CD-109 0.999 1.581132E+003 2.463410E+004

CS-137 1.000 7.902847E+001 1.231265E+003

CE-139 0.990 7.820941E+001 1.218504E+003

? = nuclide is part of an undetermined solution

X = nuclide rejected by the interference analysis

@ = nuclide contains energy lines not used in Weighted

Mean Activity

Errors quoted at 1.000 sigma

***** U N I D E N T I F I E D P E A K S *****

Peak Locate Performed on: 2015/10/26 05:19:15 PM

Peak Locate From Channel: 1

Peak Locate To Channel: 1024

Peak Energy Peak Size in Peak CPS Peak Tol.

No. (keV) Counts per Second % Uncertainty Type Nuclide

1 11.98 1.4017E+002 0.30

2 52.83 5.3216E-001 26.09

m 6 212.09 1.6305E+000 5.12 Sum

7 326.87 8.6327E-001 23.27 Sum

m 9 827.00 9.5467E+000 1.21 Sum

M 10 1103.10 2.7446E+000 2.53

m 11 1238.06 3.1529E+000 2.26

12 1635.59 1.6872E+000 4.25

M = First peak in a multiplet region

m = Other peak in a multiplet region

F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma

附錄二、4.5公分混合射源之偵測報告

```
*****
***** G A M M A S P E C T R U M A N A L Y S I S *****
*****
Filename: DET01
Report Generated On : 2015/10/26 04:52:50 PM
Sample Title : D01-4.5cm
Sample Description :
Sample Identification : D01-4.5cm
Sample Type :
Sample Geometry :
Peak Locate Threshold : 3.00
Peak Locate Range (in channels) : 1 - 1024
Peak Area Range (in channels) : 1 - 1024
Identification Energy Tolerance : 0.400 FWHM
Sample Size : 1.000E+000 G
Sample Taken On : 2015/7/1 12:00:00 AM
Acquisition Started : 2015/10/26 04:04:40 PM
Live Time : 1000.0 seconds
Real Time : 1006.1 seconds
Dead Time : 0.60 %
Energy Calibration Used Done On : 2015/10/26
Efficiency Calibration Used Done On : 2015/9/30
Efficiency ID :
Peak Locate Analysis Report 2015/10/26 04:52:50 PM Page 2
```

```
*****
***** P E A K L O C A T E R E P O R T *****
*****
Detector Name: DET01
Sample Title: D01-4.5cm
Peak Locate Performed on: 2015/10/26 04:52:50 PM
Peak Locate From Channel: 1
Peak Locate To Channel: 1024
Peak Search Sensitivity: 3.00
Peak Centroid Centroid Energy Peak
```

No. Channel Uncertainty (keV) Significance

1	31.96	0.2287	58.80	8.30
2	48.59	0.0528	88.80	97.94
3	65.15	0.0521	125.10	92.92
4	86.26	0.0777	170.74	36.62
5	108.58	0.1107	212.99	13.00
6	161.58	0.1161	329.66	7.07
7	220.72	0.1595	459.70	3.52
8	321.18	0.0285	661.01	77.21
9	401.02	0.0270	821.46	82.50
10	434.85	0.1912	876.99	4.77
11	517.79	0.0631	1052.94	16.58
12	554.71	0.0399	1115.27	35.47
13	622.06	0.0281	1240.94	51.77
14	725.63	0.0945	1389.36	5.22
15	847.99	0.0280	1640.08	47.11

? = Adjacent peak noted

Errors quoted at 1.000 sigma

Peak Analysis Report 2015/10/26 04:52:50 PM Page 3

***** P E A K A N A L Y S I S R E P O R T *****

Detector Name: DET01

Sample Title: D01-4.5cm

Peak Analysis Performed on: 2015/10/26 04:52:50 PM

Peak Analysis From Channel: 1

Peak Analysis To Channel: 1024

Peak ROI ROI Peak Energy FWHM Net Peak Net Area Continuum

No. start end centroid (keV) (keV) Area Uncert. Counts

M 1 27- 146 34.83 58.80 5.91 2.63E+003 63.97 1.16E+004

m 2 27- 146 48.51 88.80 9.76 1.02E+005 423.50 1.80E+004

m 3 27- 146 65.14 125.10 13.63 1.28E+005 434.95 2.12E+004

m 4 27- 146 86.16 170.74 17.76 3.10E+004 201.71 2.35E+004

m 5 27- 146 105.73 212.99 21.11 1.06E+004 164.40

2.58E+004

M 6 151- 244 160.36 329.66 28.93 -2.11E+002 819.15

2.36E+004

m 7 151- 244 222.32 459.70 36.14 -5.86E+001 228.19
 3.02E+004
 M 8 286- 896 320.59 661.01 45.51 2.04E+004 182.00
 2.92E+004
 m 9 286- 896 401.13 821.46 51.99 4.68E+004 327.50
 2.29E+004
 m 10 286- 896 429.48 876.99 54.08 1.98E+004 251.37
 1.90E+004
 m 11 286- 896 521.09 1052.94 60.30 1.04E+004 213.64
 1.38E+004
 m 12 286- 896 554.22 1115.27 62.38 8.80E+003 122.23
 1.18E+004
 m 13 286- 896 622.16 1240.94 66.40 1.87E+004 175.98
 7.84E+003
 m 14 286- 896 704.49 1389.36 70.89 9.74E+002 75.45
 5.06E+003
 m 15 286- 896 849.31 1640.08 77.97 7.57E+003 98.80
 2.92E+003

M = First peak in a multiplet region

m = Other peak in a multiplet region

F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma

Interference Corrected Activity Report 2015/10/26

04:52:50 PM Page 4

 *** N U C L I D E I D E N T I F I C A T I O N R E P O R T

Sample Title: D01-4.5cm

Nuclide Library Used: C:\GENIE2K\CAMFILES\NAIDEMO.NLB

..... IDENTIFIED

NUCLIDES

Nuclide Id Energy Yield Activity Activity

Name Confidence (keV) (%) (Bq /G) Uncertainty

CO-57 0.820 122.06* 85.51 4.90819E+022 6.35564E+024
 136.48 10.60

CD-109 0.999 88.03* 3.72 7.90639E+023 1.02302E+026

CS-137 1.000 661.65* 85.12 5.86775E+021 7.65920E+023

CE-139 0.989 165.85* 80.35 1.69378E+022 2.19525E+024

* = Energy line found in the spectrum.

@ = Energy line not used for Weighted Mean Activity

Energy Tolerance : 0.400 FWHM

Nuclide confidence index threshold = 0.30

Errors quoted at 1.000 sigma

Interference Corrected Activity Report 2015/10/26

04:52:50 PM Page 5

*** I N T E R F E R E N C E C O R R E C T E D R E P O R T

Nuclide Wt mean Wt mean

Nuclide Id Activity Activity

Name Confidence (Bq /G) Uncertainty

CO-57 0.820 4.908190E+022 6.355636E+024

CD-109 0.999 7.906392E+023 1.023018E+026

CS-137 1.000 5.867752E+021 7.659202E+023

CE-139 0.989 1.693779E+022 2.195252E+024

? = nuclide is part of an undetermined solution

X = nuclide rejected by the interference analysis

@ = nuclide contains energy lines not used in Weighted Mean Activity

Errors quoted at 1.000 sigma

***** U N I D E N T I F I E D P E A K S *****

Peak Locate Performed on: 2015/10/26 04:52:50 PM

Peak Locate From Channel: 1

Peak Locate To Channel: 1024

Peak Energy Peak Size in Peak CPS Peak Tol.

No. (keV) Counts per Second % Uncertainty Type Nuclide

M 1 58.80 2.6288E+000 2.43

m 5 212.99 1.0560E+001 1.56 Sum

M 6 329.66 -2.1054E-001 -389.07 Sum

m 7 459.70 -5.8615E-002 -389.31

m 9 821.46 4.6827E+001 0.70 Sum

m 10 876.99 1.9850E+001 1.27
m 11 1052.94 1.0445E+001 2.05
m 12 1115.27 8.8046E+000 1.39
m 13 1240.94 1.8666E+001 0.94
m 14 1389.36 9.7385E-001 7.75
m 15 1640.08 7.5711E+000 1.31

M = First peak in a multiplet region

m = Other peak in a multiplet region

F = Fitted singlet

Errors quoted at 1.000 sigma