

行政院原子能委員會放射性物料管理局
委託研究計畫研究報告

建立低放射性廢棄物整桶活度
量測能力試驗技術及試運轉

計畫編號：102FCMA004

報告編號：102FCMA004-03

執行單位：核能研究所

計畫主持人：周鼎

子項工作負責人：邱鏗盛

報告作者：葉俊賢、黃珮吉

報告日期：中華民國 102 年 12 月

[本頁空白]

Establishment of Measurement Capability Techniques for Low-level Radioactive Waste and Commissioning

Yeh, Chin-Hsien Huang, Ping-Ji

Abstract

The National Radiation Standard Laboratory (NRSL) of the Institute of Nuclear Energy Research (INER) organized the comparison test for measurement of low-level activity samples in 2013. The first comparison test was done by INER preparing a set of samples which were added with known radionuclides of ^{60}Co or ^{137}Cs radioactivities of 100 kBq~300 kBq. Six laboratories took part in the comparison test workshop by offering 9 measuring instruments. The second comparison test was also hold by INER preparing two different densities of 55-gallon drum containing mixed radionuclides of ^{60}Co and ^{137}Cs (100 kBq~400 kBq). Four laboratories took part in the comparison test workshop by offering 5 measuring instruments. The participating laboratories measured and analyzed the samples and their results were compared with the standard radioactivities.

Keyword: low-level radioactive waste, performance test, uncertainty.

Institute of Nuclear Energy Research

建立低放射性廢物整桶活度量測能力試驗技術及試運轉

葉俊賢、黃珮吉

摘 要

核能研究所國家游離輻射標準實驗室(NRSL)，執行本次低放射性廢棄物活度量測比對之試運作。本次比對活動共為兩個階段，第一階段共有 6 家實驗室，總計 9 部量測儀器參加；提供 4 個不同密度單一核種活度約 100 kBq~300 kBq 的測試桶。第二階段共有 4 家實驗室，總計 5 部量測儀器參加；提供 2 個不同密度、 ^{60}Co 與 ^{137}Cs 混合核種，活度約 100 kBq~400 kBq 的測試桶。

關鍵字：低放射性廢棄物、能力試驗、不確定度。

核能研究所

目 錄

1. 前 言	1
2. 量測儀器介紹	2
3. 活度比對方法	6
3.1 受測時程與流程	6
3.2 測試樣(校正桶)	6
3.3 核種活度比對方法	8
4. 比對結果與分析	10
4.1 第一階段比對結果	10
4.2 第二階段比對結果	11
5. 檢討與改善	15
參考文獻	16

附 圖 目 錄

圖 2-1： Canberra-ISOCS 移動式加馬活度偵檢器	3
圖 2-2： Canberra-AQ2 固定式加馬活度量測設備	3
圖 2-3： ISOCS 幾何模板	4
圖 2-4： ORTEC-ISOCART 移動式純鍍偵檢器	4
圖 2-5： 核研所自製塑膠閃爍體桶形偵檢器	5
圖 3-1： 9 孔 55 加侖校正桶	7
圖 3-2： 16 孔 55 加侖校正桶	8
圖 3-3： 單一核種 ^{57}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 棒狀體射源	8
圖 4-1： 9 孔校正桶量測比對結果	11
圖 4-2： 16 孔校正桶量測比對結果	11
圖 4-3： 均勻水質與 9 孔水泥桶	13
圖 4-4： 均勻水質校正桶量測比對結果	13
圖 4-5： 9 孔水泥校正桶量測比對結果	14

附表目錄

表 1 參加能力試驗試運作之機構及數量.....	5
表 2 能力試驗之桶型標準樣規格.....	7
表 3 參加第二階段能力試驗試運作之機構.....	12
表 4 第二階段能力試驗之桶型標準樣規格.....	12

[本頁空白]

1. 前 言

國家游離輻射標準實驗室，為整合國內核設施除役之廢棄物量測技術能力與技術交流、擴展本所與各核設施相關單位的合作契機、並達成物管局認同廢棄物活度量測技術與能力之目標，於本年度舉辦低放射性廢棄物加馬活度量測比對試運作。

本實驗室調查結果顯示，我國目前使用中的低放射性廢棄物桶型量測儀器，大部分皆以量測加馬能譜的方式同時判定廢棄物中核種種類與活度；其中核研所自製塑膠閃爍體量測系統(SWAM2 與 SWAM3)，則屬於總加馬活度量測裝置。

本次能力試驗試運轉，計有台電公司核能發電第一廠、第二廠與第三廠之廢料處理組，與核能研究所化學分析組、化學工程組與保健物理組共 6 個實驗室，總計有 9 部桶型量測儀器加入此比對活動。

2. 量測儀器介紹

國內低放射性廢棄物活度量測設備，大部分為美國 Canberra 與 ORTEC 公司所製造。參與量測比對實驗室中，使用 Canberra 公司所製造之量測設備，其型態可分為移動式與固定式之加馬活度量測裝置；如圖 2-1，移動式單純銻偵檢器(ISOCS)，可搭配 2.5 公分或 5 公分之鉛屏蔽，以及不同角度 (0° 、 30° 、 90° 、 180°)的準直器進行量測；另外如圖 2-2，固定式加馬活度偵檢器(AQ2)，則由固定式三純銻偵檢器，搭配屏蔽計測外箱與機械式輸送帶所組成。兩種量測設備之純銻偵檢器皆利用蒙地卡羅程式校正 (MCNP-Characterized) 如圖 2-3，利用幾何模板模擬樣品形狀與活度分佈，再經由數學計算效率校正曲線。

另外參與量測比對實驗室中，使用 ORTEC 公司所製造之量測設備，則為移動式單純銻加馬活度量測裝置(ISOCART)，如圖 2-4 所示；其中利用 ISOTOIC 軟體計算不同量測物件中核種之量測效率。

塑膠閃爍體總加馬量測系統(SWAM2 與 SWAM3)，則為核研所自行研發之 55 加侖桶型廢棄物總加馬活度量測設備，為一個 6 面鉛屏蔽之 4π 總加馬計測活度監測系統，如圖 2-5 所示。

參加低放射性活度量測比對試運作的機構，與儀器基本特性如廠牌、型號、偵檢器型式及分析程式如表 1。



圖 2-1： Canberra-ISOCS 移動式加馬活度偵檢器



圖 2-2： Canberra-AQ2 固定式加馬活度量測設備

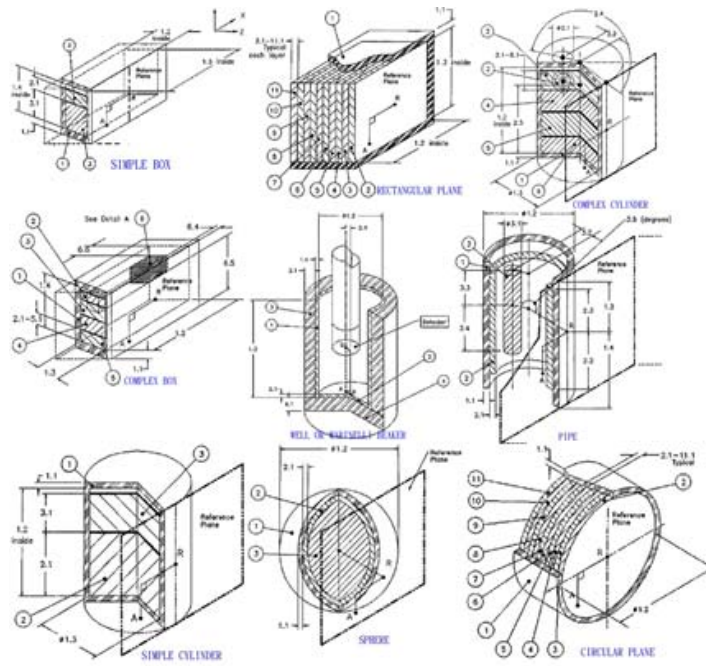


圖 2-3 : ISOCS 幾何模板



圖 2-4 : ORTEC-ISOCART 移動式純鉻偵檢器



圖 2-5：核研所自製塑膠閃爍體桶形偵檢器

表 1 參加能力試驗試運作之機構及數量

代碼	儀器所屬機構	儀器基本特性				
		廠牌	型號	偵檢器	型式	分析程式
A	台電核一廠廢料處理組	Canberra	ISOCS	HPGe ×1	移動	Genie-2000
B	台電核二廠廢料處理組	Canberra	ISOCS	HPGe ×1	移動	Genie-2000
C	台電核三廠廢料處理組	Canberra	ISOCS	HPGe ×1	移動	Genie-2000
D	核研所化學分析組	Canberra	ISOCS	HPGe ×1	移動	Genie-2000
E	核研所化學工程組	Canberra	2101P	HPGe ×2	固定	Genie-2000
F	核研所保物組(A)	Canberra	AQ2	HPGe ×3	固定	Genie-2000
G	核研所保物組(B)	ORTEC	ISOCART	HPGe ×1	移動	ISOTOPIC
H	核研所保物組(C)	INER	SWAM2	PSC ×6	固定	全量檢測系統
I	核研所保物組(D)	INER	SWAM3	PSC ×6	固定	全量檢測系統

3. 活度比對方法

活度量測比對之方法係參考環境試樣放射性核種分析測試實驗室認證技術規範及校正領域量測不確定度評估指引，規劃活度量測比對的時程與流程、製作測試樣(校正桶)、訂定比對範圍(項目、能量及活度)、量測比活度的計算方法與測試樣品的不確定度評估方法、比對結果的分析與判別等。

3.1 受測時程與流程

101 年底量測比對執行機構(國家游離輻射標準實驗室)，邀請國內從事核能相關機構參加低放射性廢棄物量測比對，並於 102 年 4 月底召開試運轉說明會，討論初步比對結果及進一步受測之時程與流程，會中決議，由執行機構提供受測機構體射源測試樣(55 加侖校正桶)、量測系統不確定度之評估方法與項目、說明數據更正及重新計測方式、密度與材質等參數，並負責所有測試樣之運送與技術支援，部分機構儀器經維修後並檢討數據重測，102 年底前完成受測機構之數據分析結果，103 年召開試運轉總結報告。

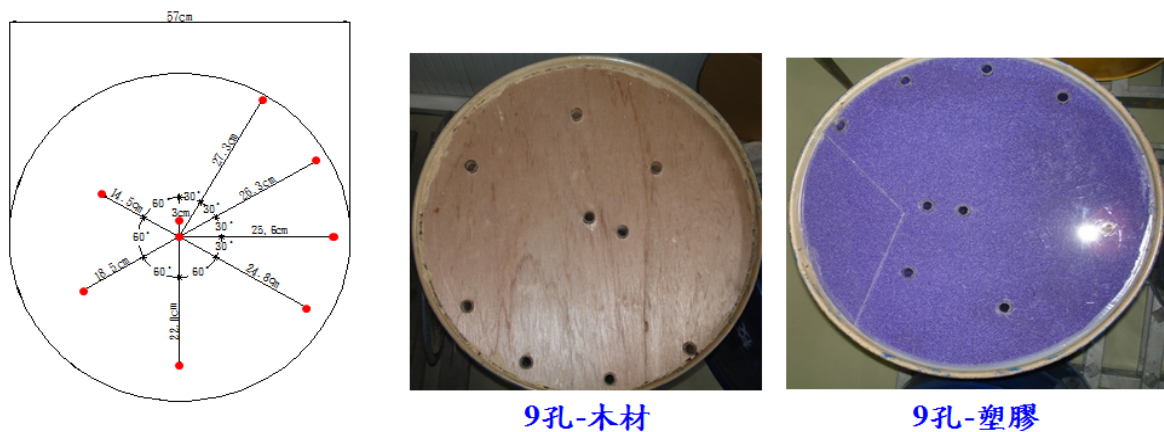
3.2 測試樣(校正桶)

本次試運作，主要考量國內核能設施之廢棄物量測現況，純銻偵檢器種類分為移動式與固定式，測試樣(校正桶)平均密度範圍為 $0.50 \text{ g/cm}^3 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$ ，而測試核種分為 ^{60}Co 及 ^{137}Cs ；測試樣活度濃度範圍約為 $100 \text{ kBq} \sim 300 \text{ kBq}$ 。另外，測試桶尺寸為內徑高 86 cm、直徑 56 cm 及厚 0.1 cm 鐵容器。各校正桶之材質、核種、活度、平均密度(g/cm^3)等列於表 2，及如圖 3-1 與 3-2 所示。

9 支棒射源與 16 支棒射源的液態射源棒(直徑 1.5 cm 及長度 76 cm)的組成，包括可追溯至國家游離輻射標準之液態射源、鹽酸及載體，如圖 3-3 所示。

表 2 能力試驗之桶型標準樣規格

校正桶孔數	材質	密度(g/cm ³)	核種	活度(kBq)
9	木材	0.50	¹³⁷ Cs	247.6
9	塑膠	0.96	⁶⁰ Co	98.7
16	塑膠	0.97	¹³⁷ Cs	303.3
16	水泥	1.55	⁶⁰ Co	238.7



9孔-木材

9孔-塑膠

圖 3-1：9 孔 55 加侖校正桶

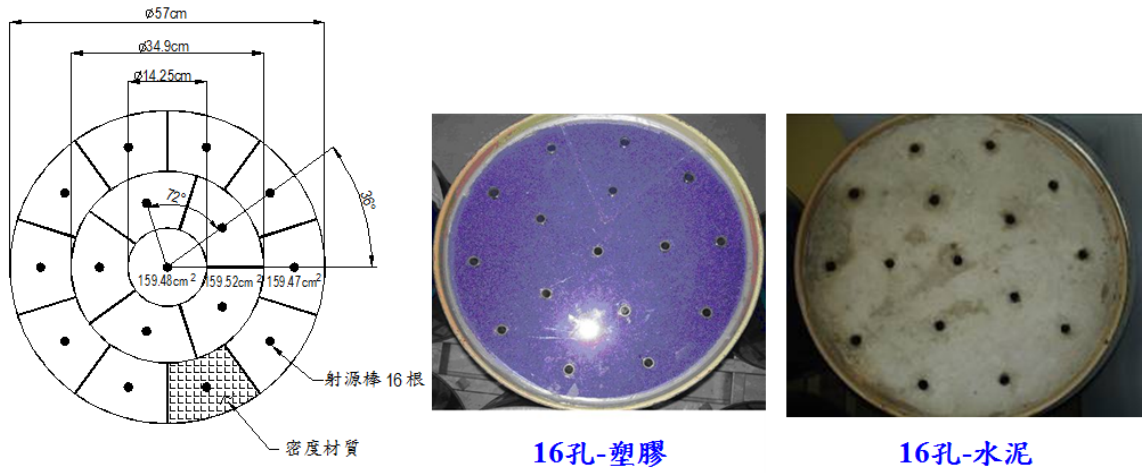


圖 3-2：16 孔 55 加侖校正桶



圖 3-3：單一核種 ^{57}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 棒狀體射源

3.3 核種活度比對方法

測試樣核種活度比對方法，基本上以下列公式計算，受測實驗室量測值為 V_i ，執行機構測定受測實驗室之參考標準值為 V_s ，偏差 B_i (Bias) 定義為：

$$B_i = \frac{V_i - V_s}{V_s}$$

其中 B_i : 量測值與標準值的偏差

V_i : 核種量測活度(Bq),

V_s : 核種標準活度(Bq)

4. 比對結果與分析

4.1 第一階段比對結果

本次活度比對試驗屬試運作性質，其目的之一即是要找出合理比對結果之判定方法，供未來制訂相關低放射性廢棄物活度量測技術規範時參考。本文以每個受測實驗室量測核種活度，相對與標準活度之所求得偏差係數(B_i)來分析量測結果。第一階段(101年10月至102年4月)共有9部儀器參與量測比對，比對結果整理(如圖4-1與4-2)如下：

1. 除了9孔木質校正桶量測結果整體偏差較大之外，其餘3桶校正桶量測結果差異，大部分皆小於20%，推測原因為棒狀體射源內液體已有部分揮發，導致體射源實際活度較理論活度低上許多，造成整體量測誤差較差。
2. 某些參與比對實驗室之量測系統，由於其例行量測工作僅針對水泥桶，故尚未建立低密度校正桶(如木材與塑膠)密度效率曲線，導致發生隨著校正桶密度降低，整桶活度量測誤差增大之現象。
3. 9部參與量測比對設備中，發現核研所化工組之量測結果皆有顯著誤差，經調查後發現其偵檢器冷卻系統維修後，尚未經原廠效率特性化，故將不參與第二次量測比對活動。
4. 9孔校正桶需在旋轉條件下，桶內棒狀體射源才能呈現均勻分佈；國內核一廠、核二廠與核三廠之量測系統，由於尚未建置桶形用旋轉平台，因此在量測9孔校正桶之加馬活度時，呈現較大偏差。

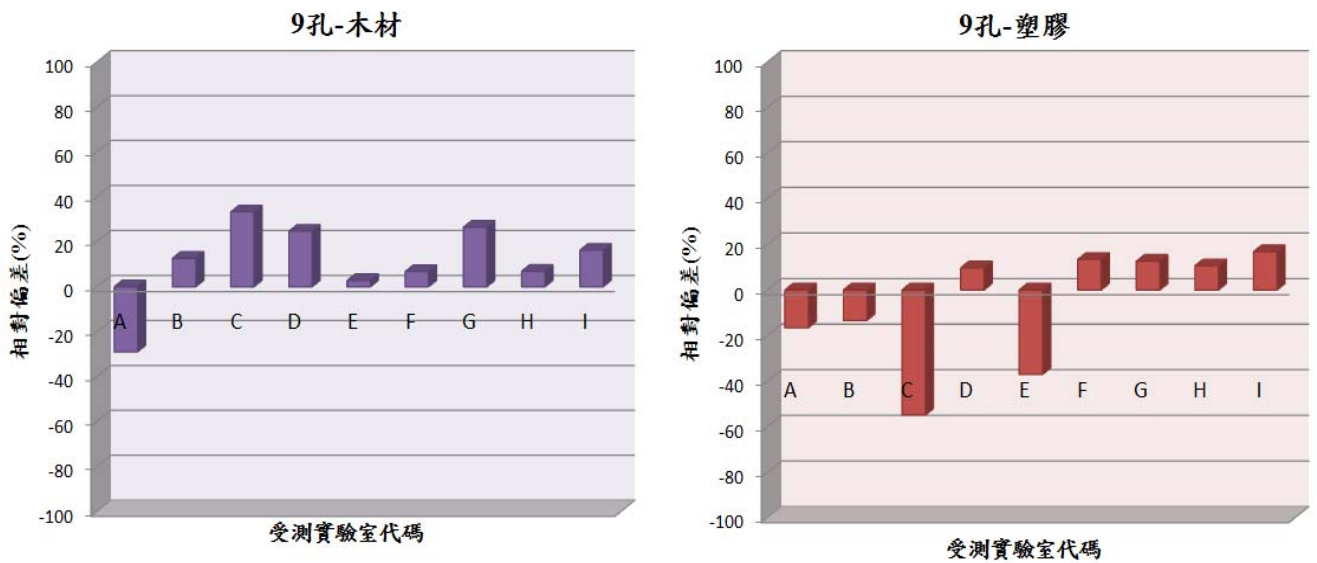


圖 4-1：9 孔校正桶量測比對結果

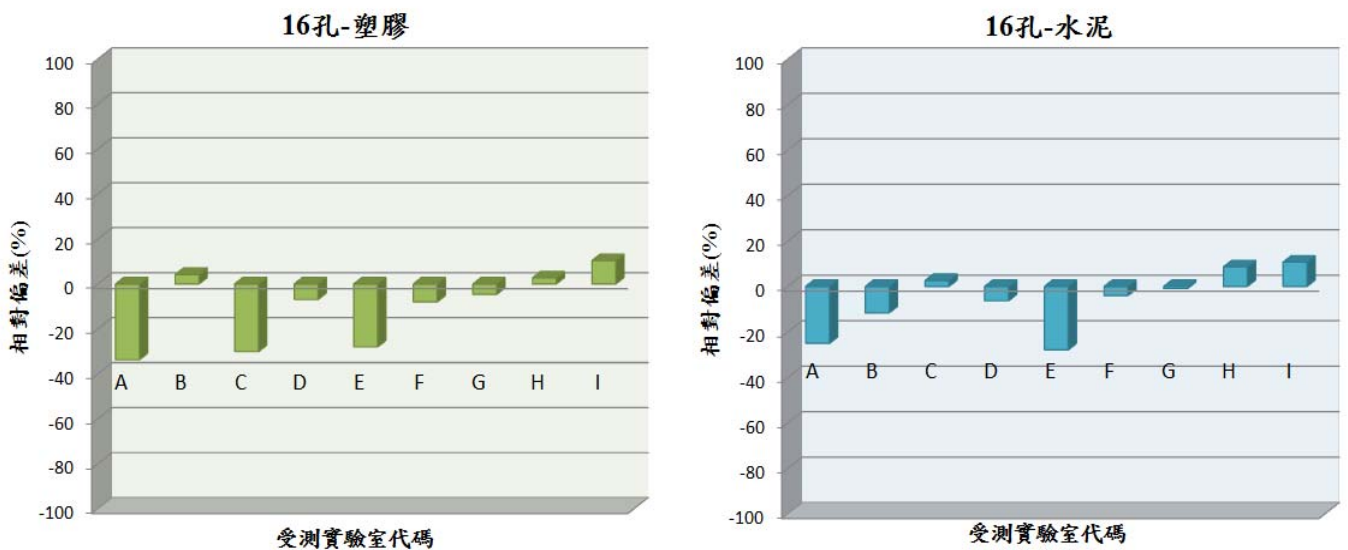


圖 4-2：16 孔校正桶量測比對結果

4.2 第二階段比對結果

經過與參加量測比對的機構討論與檢討後，決議第二階段(102 年 5 月至 102 年 8 月)比對活動摘要如下：

1. 待 103 年核一廠、核二廠與核三廠所屬量測實驗室，建置桶形用旋轉平台後，再重新進行 9 孔木材與塑膠校正桶加馬活度量測比對。
2. 由於台電核一廠與核研所化工組所屬實驗室之量測設備，由於仍在檢修中；且核研所自行研發塑膠閃爍體總加馬量測系統(SWAM2 與 SWAM3)，僅能判讀總加馬活度，無法判別核種種類，故此 4 台量測系統皆未參與第二階段量測比對活動。其餘參與第二階段比對活動之實驗室，則列於表 3。
3. 新增兩桶 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 混合核種校正桶加入比對活動，分別為均勻水質與水泥桶，如圖 4-3 所示；其材質、核種、活度、平均密度(g/cm^3)則列於表 4。

表 3 參加第二階段能力試驗試運作之機構

代碼	儀器所屬機構	儀器基本特性				
		廠牌	型號	偵檢器	型式	分析程式
B	台電核二廠廢料處理組	Canberra	ISOCS	HPGe x1	移動	Genie-2000
C	台電核三廠廢料處理組	Canberra	ISOCS	HPGe x1	移動	Genie-2000
D	核研所化學分析組	Canberra	ISOCS	HPGe x1	移動	Genie-2000
F	核研所保物組(A)	Canberra	AQ2	HPGe x3	固定	Genie-2000
G	核研所保物組(B)	ORTEC	ISOCART	HPGe x1	移動	ISOTOPIC

表 4 第二階段能力試驗之桶型標準樣規格

校正桶孔數	材質	密度(g/cm^3)	核種	活度(kBq)
0 (均勻狀)	水質	0.89	^{60}Co	350.2
			^{137}Cs	398.5
9	水泥	1.61	^{60}Co	98.2
			^{137}Cs	99.9



圖 4-3：均勻水質與 9 孔水泥桶

整理第二階段比對結果後，如圖 4-4 與 4-5 所示，除了受測實驗室 C 量測 9 孔混合核種水泥桶之相對偏差較高之外，其餘受測實驗室之量測結果相對偏差皆 $\leq \pm 30\%$ 。

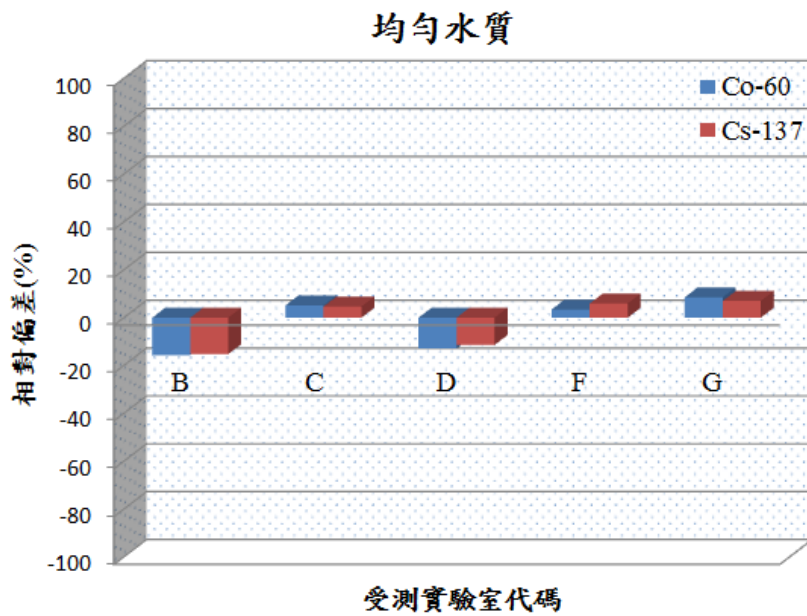


圖 4-4：均勻水質校正桶量測比對結果

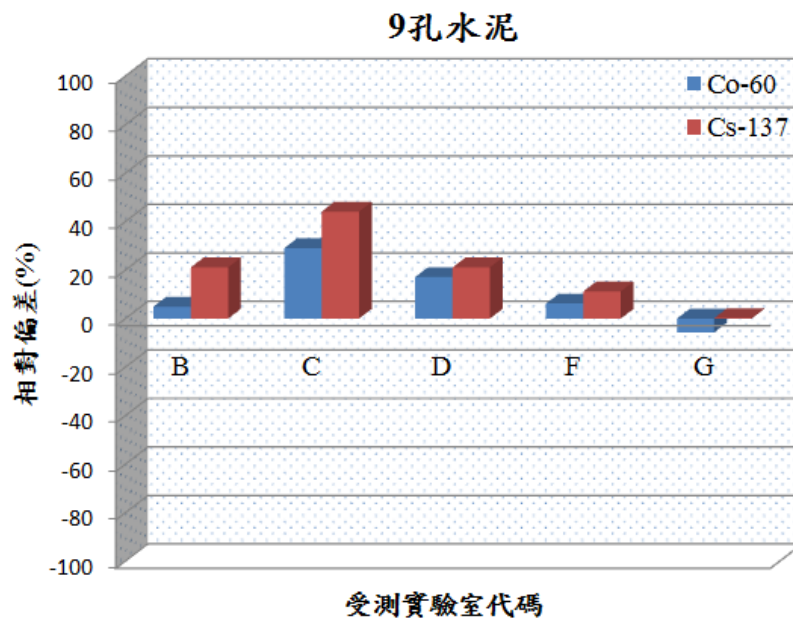


圖 4-5：9 孔水泥校正桶量測比對結果

5. 檢討與改善

總結 102 年低放射性廢棄物活度量測比對結果，整理如下：

1. 關於部分體射源洩漏問題，利用本年度新購置射源重新製作體射源，再針對量測偏差較大樣品重新進行量測比對。
2. 督促相關實驗室建立合適密度效率曲線，以便做為未來核設施除役產生不同種類、密度固體廢棄物活度量測之用。
3. 鼓勵台電核一廠、核二廠與核三廠所屬量測實驗室，建置桶形用旋轉平台，再重新進行 9 孔校正桶加馬活度量測比對。

參考文獻

1. 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，中華民國九十三年十二月。
2. 能力試驗要求，實驗室認證技術規範，TAF-CNLA-R05(2)，2004。
3. 環境試樣放射性核種分析測試，實驗室認證技術規範，TAF-CNLA-T09，2004。
4. 校正領域量測不確定度評估指引，TAF-CNLA-G16(1)，2008。
5. 箱型廢棄物活度監測器之校正及特性，INER-4229，2006。
6. 桶型加馬活度計測系統之校正方法，INER-5068R，2007。
7. “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement,” International Organization for Standardization, ISO GUM,1995.
8. R. A. Dewberry, V. R. Casella and R. A. Sigg, “Benchmarking Ortec ISOTOPIC Measurements and Calculations,” SRNS-STI-2008-00053, 2008.
9. Julian Dean, “A second Comparison of Procedures for the Assay of Low Levels of Gamma-emitters in Nuclear Site Waste,” NPL-IR19, 2010.