

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

低放射性廢棄物量測標準桶(205L)及
參考物質製作及測試

計畫編號：101FCMA006

報告編號：101FCMA006-01

執行單位：核能研究所

計畫主持人：周鼎

子項工作負責人：武及蘭

報告作者：葉俊賢、袁明程

報告日期：中華民國 101 年 12 月

Fabrication and Testing of Measurement Standard Drums (205L) and Reference Materials for Low-Level Radioactive Waste

Chin-Hsien Yeh , Ming-Chen Yuan

ABSTRACT

The National Radiation Standard Laboratory (NRSL) simulated the low-level radioactive waste produced from nuclear facilities and fabricated reference materials which were 16 rod-type volume sources suitable for plastic scintillation detectors and 9 rod-type volume sources used in HPGe detectors to construct measurement standard drums of various densities. Besides, NRSL tested the radionuclide counting efficiency of these two types of detectors respectively using volume sources of five densities and put the detectors into the gamma radioactivity measurement or gamma spectrum analysis of drum-type samples for low-level radioactive waste.

.

Keyword: low-level radioactive waste; reference material, standard-drum.

Health Physics Division
Institute of Nuclear Energy Research

低放射性廢棄物量測標準桶(205 L)

及參考物質製作及測試

葉俊賢 袁明程

摘 要

國家游離輻射標準實驗室(NRSL)，模擬核設施產生的低放射性廢棄物，製作參考物質適合塑膠閃爍體偵檢器校正使用之 16 支棒狀體射源，以及純鍺偵檢器校正使用之 9 支棒體射源，建立低放射性廢棄物各種密度的量測標準桶；另外，亦完成測試這二類偵檢器的各五種密度體射源的核種計測效率，應用於低放射性廢棄物的桶型試樣的加馬比活度量測或能譜分析。

關鍵字：低放射性廢棄物、參考物質、標準桶

核能研究所 保健物理組

目 錄

1、前言	1
2、實驗方法	2
2.1 校正用假體製作	2
2.2 參考物質製作	9
2.3 量測儀器	10
3、結果與驗證	11
3.1 密度與效率	11
3.2 驗證	13
4、結論	17
參考文獻	18

圖 目 錄

圖 1、均勻狀 16 支棒校正桶俯視圖與尺寸.....	3
圖 2、均勻狀 16 支棒校正桶側視圖與尺寸.....	4
圖 3、五種密度 16 支棒狀桶型校正假體.....	5
圖 4a、HPGe用校正假體射源配置方式.....	7
圖 4b、五種密度 9 支棒桶型校正假體.....	8
圖 5、核種 ⁵⁷ Co、 ¹³⁷ Cs、 ⁵⁴ Mn及 ⁶⁰ Co液態棒狀射源.....	9
圖 6、INER-SWAM2 塑膠閃爍體偵檢器量測系統.....	10
圖 7、Canberra/Q2 純鍺偵檢器組合量測系統.....	10
圖 8、SWAM2 桶型塑膠閃爍體偵檢器的效率關係曲線.....	11
圖 9、桶型純鍺偵檢器Q2 的效率關係曲線.....	12
圖 10、桶型 9 支棒水溶液體射源.....	13
圖 11、桶型 16 支棒水溶液體射源.....	14
圖 12、16 支與 9 支棒狀體射源之效率比較.....	14
圖 13、16 支與 9 支棒狀體射源之能依性比較.....	15
圖 14、自製與國外製桶型 9 支棒體射源之效率比較.....	16

表 目 錄

表 1、閃爍體偵檢器使用的均勻狀 16 支棒之密度假體規格	6
表 2、純鍺偵檢器使用的 9 支棒之密度假體規格.....	6

1、前言

國內核設施已運轉數十年，產生的低放射性廢棄物約 20 萬桶(55 加侖桶)，低放射性廢棄物的處置為當前重要課題，國內正積極推動低放射性廢棄物最終處置場選址作業，以利國內低放射性廢棄物處置作業。由於國內核能電廠及研究機構等，大多使用桶型偵檢系統進行低放射性廢棄物整桶量測，為建立國內低放射性廢棄物量測標準與追溯體系，國家游離輻射標準實驗室(NRSL)特別建立低放射性廢棄物量測追溯及驗證技術，提升國內廢棄物量測技術水準，確保人員與環境輻射安全。

國家游離輻射標準實驗室(NRSL) 針對塑膠閃爍體量測系統，製作由 16 支棒狀單一核種之體射源組成校正桶，並以本所自製 INER/SWAM2 系統⁽⁴⁾進行量測測試及資料處理。此外，依據過去製作桶型體射源⁽²⁾之經驗，並參考 Canberra 公司利用殼狀模型，針對純鍍偵檢器發展校正桶，該校正桶採用單一¹⁵²Eu 核種，利用殼狀模型製作內含 9 支棒狀體射源之 55 加侖桶之標準校正桶。

2、實驗方法

2.1 校正用假體製作

用於塑膠閃爍體偵測器校正的標準桶的假體製作，是使用體積為 205 L 的 55 加侖圓柱桶，每桶分別填入單一均勻材質的紙板、木板、塑膠粒、水泥或小彈珠等 5 種材質的圓柱桶，製作出平均密度分別為 0.13 g/cm^3 、 0.53 g/cm^3 、 0.97 g/cm^3 、 1.55 g/cm^3 及 1.97 g/cm^3 的假體。於每一假體的上表面標示出等面積的 16 個區塊，於每一區塊的中心位置鑽出圓柱形孔洞，以便隨後放入 16 支棒狀射源，校正假體的俯視圖與尺寸如圖 1，側視圖與尺寸如圖 2 所示，而其淨重與材質如圖 3 及表 1 所示。

另外，用於純鍍偵檢器校正的標準桶假體製作，亦與塑膠閃爍體偵測校正用的假體類似，但平均密度略有不同，此時材質為紙板、木板、塑膠粒、水泥或小彈珠製作之假體，其平均密度分別為 0.13 g/cm^3 、 0.52 g/cm^3 、 0.98 g/cm^3 、 1.61 g/cm^3 及 1.79 g/cm^3 。於假體鑽出 9 個圓柱形孔洞，各孔洞相對位置如圖 4a 所示，以便隨後放入 9 支棒狀射源，而其淨重與材質如表 2 及圖 4b 所示。

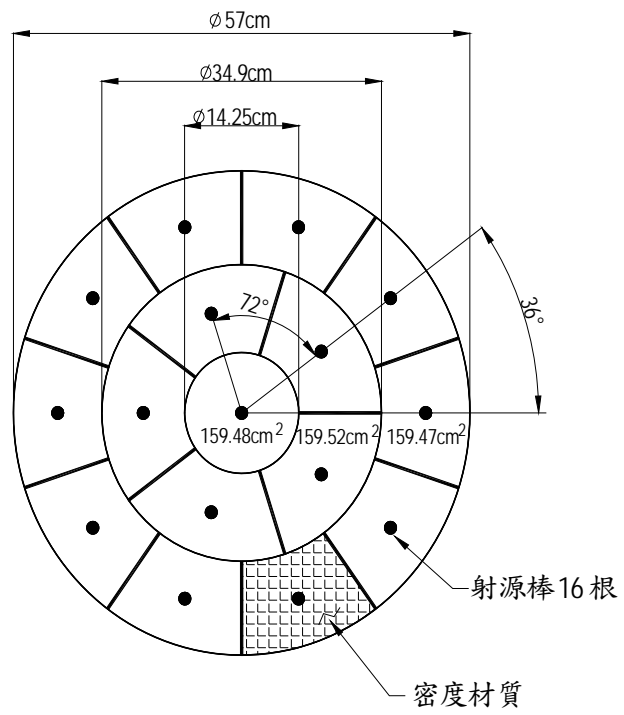


圖 1、均勻狀 16 支棒校正桶俯視圖與尺寸

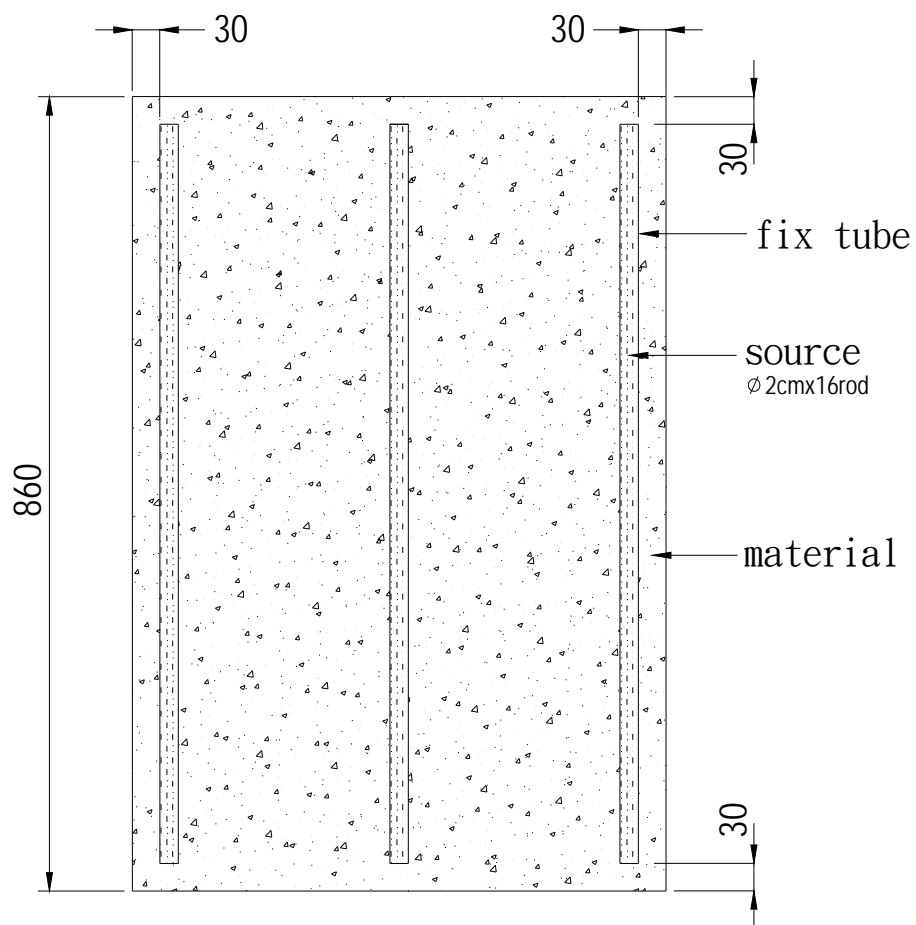


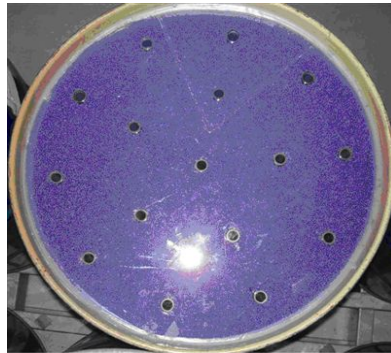
圖 2、均勻狀 16 支棒校正桶側視圖與尺寸



紙板(0.13 g/cm^3)



木板(0.53 g/cm^3)



塑膠(0.97 g/cm^3)



水泥(1.55 g/cm^3)



玻璃(1.97 g/cm^3)

圖 3、五種密度 16 支棒狀桶型校正假體

表 1、閃爍體偵檢器使用的均勻狀 16 支棒之密度假體規格

材質	淨重(g)	密度(g/cm ³)
紙板	27,200	0.13
木板	108,600	0.53
塑膠	199,000	0.97
水泥	318,600	1.55
玻璃	403,000	1.97

表 2、純鍺偵檢器使用的 9 支棒之密度假體規格

材質	淨重(g)	密度(g/cm ³)
紙板	27,200	0.13
木板	108,600	0.52
塑膠	199,000	0.98
水泥	318,600	1.61
玻璃	403,000	1.79

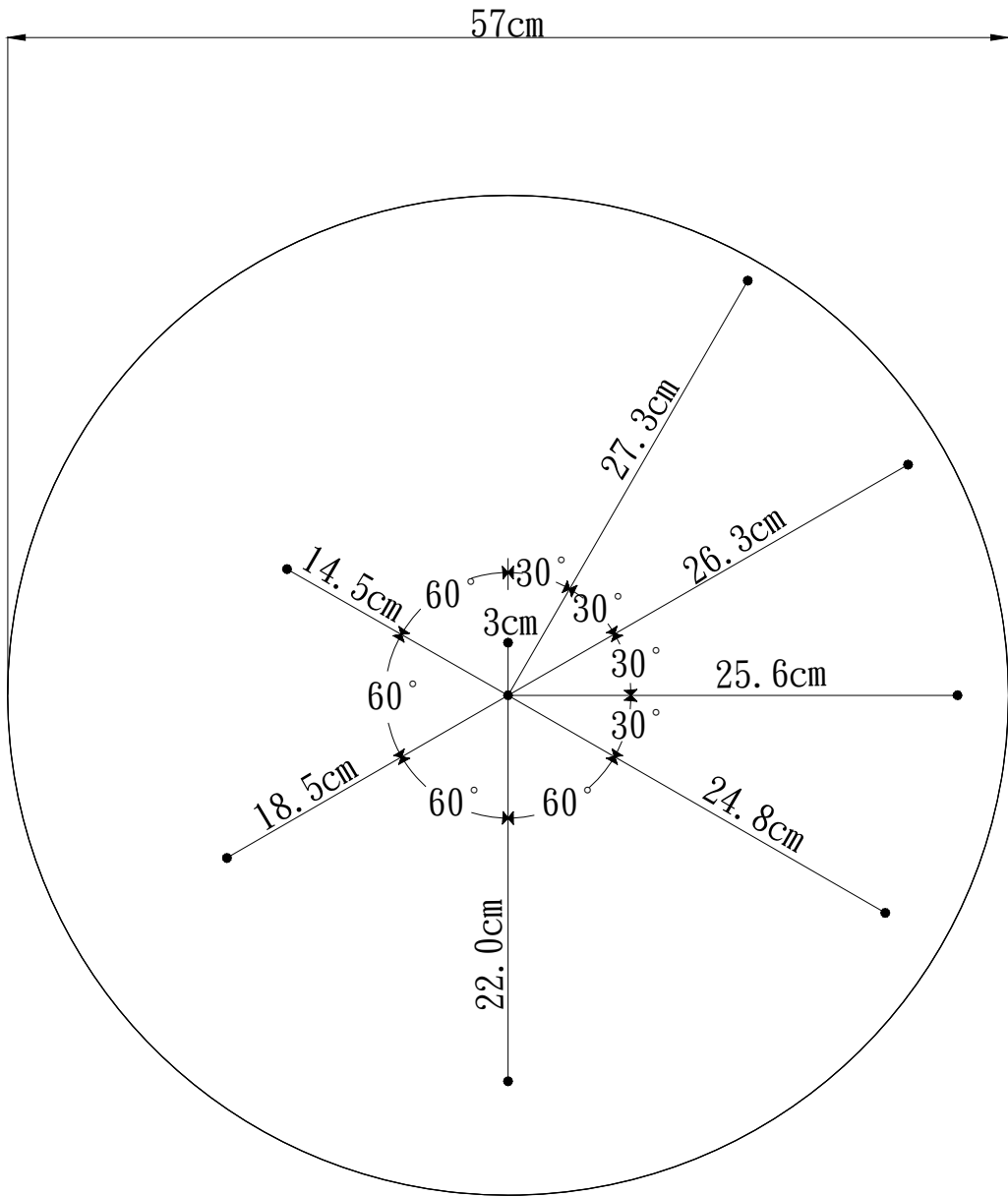
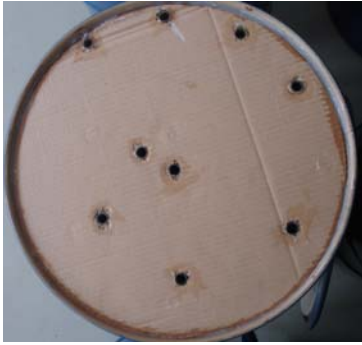


圖 4a、HPGe 用校正假體射源配置方式



紙板(0.13 g/cm^3)



木板(0.52 g/cm^3)



塑膠(0.98 g/cm^3)



水泥(1.61 g/cm^3)



玻璃(1.79 g/cm^3)

圖 4b、五種密度 9 支棒桶型校正假體

2.2 參考物質製作

分別採用單一核種 ^{57}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 及 ^{60}Co ，製作適用於塑膠閃爍體偵檢器使用之射源 4 組，每組使用 1 種核種，16 支棒狀射源為一組。每一棒狀射源組總活度約為 300 kBq，其標準不確定度皆小於 0.8 %。另外，採用單一核種 ^{152}Eu 製作適用於純鍺偵檢器使用 9 支棒狀射源組， ^{152}Eu 液態射源活度為 886.0 kBq，其標準不確定度 $<1.8\%$ 。液態射源棒的組合包括追溯國家游離輻射標準射源、鹽酸及載體等如圖 5，並使用微電腦自動分注器分別注入射源棒中。

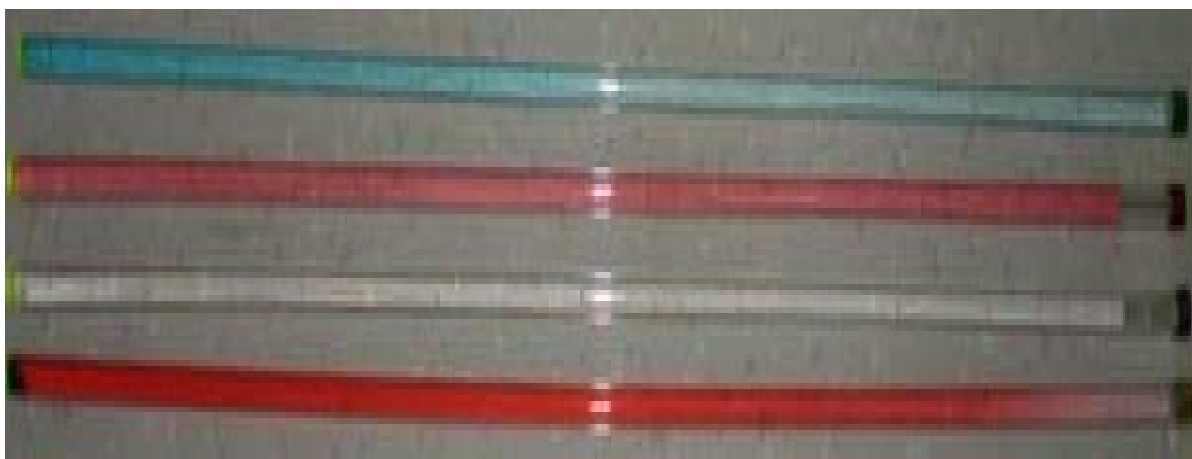


圖 5、核種 ^{57}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 及 ^{60}Co 液態棒狀射源

2.3 量測儀器

考量國內核能設施之廢棄物加馬活度量測現況，本實驗室的 2 部桶型偵檢器種類為使用六面體塑膠閃爍體偵檢器(PSC)製成的INER-SWAM2 系統，如圖 10；另一是使用 3 組純鍺偵檢器(HPGe)及附屬 360° 旋轉盤組合而成的Canberra-Q2 系統，如圖 11。



圖 6、INER-SWAM2 塑膠閃爍體偵檢器量測系統



圖 7、Canberra/Q2 純鍺偵檢器組合量測系統

3、結果與驗證

3.1 密度與效率

使用塑膠閃爍體偵檢器的桶型 16 支棒體射源，評估SWAM2 偵檢器的核種計測效率與密度的關係曲線，在 5 種低至高密度 $0.13 \text{ g/cm}^3 \sim 1.97 \text{ g/cm}^3$ 的 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 及 ^{60}Co 效率分別為 14.4 % ~ 3.3 %、19.4 % ~ 5.5 % 及 41.5 % ~ 14.5 %，如圖 8 所示。隨著介質密度愈高自屏蔽效應愈大，計測效率則逐漸降低。

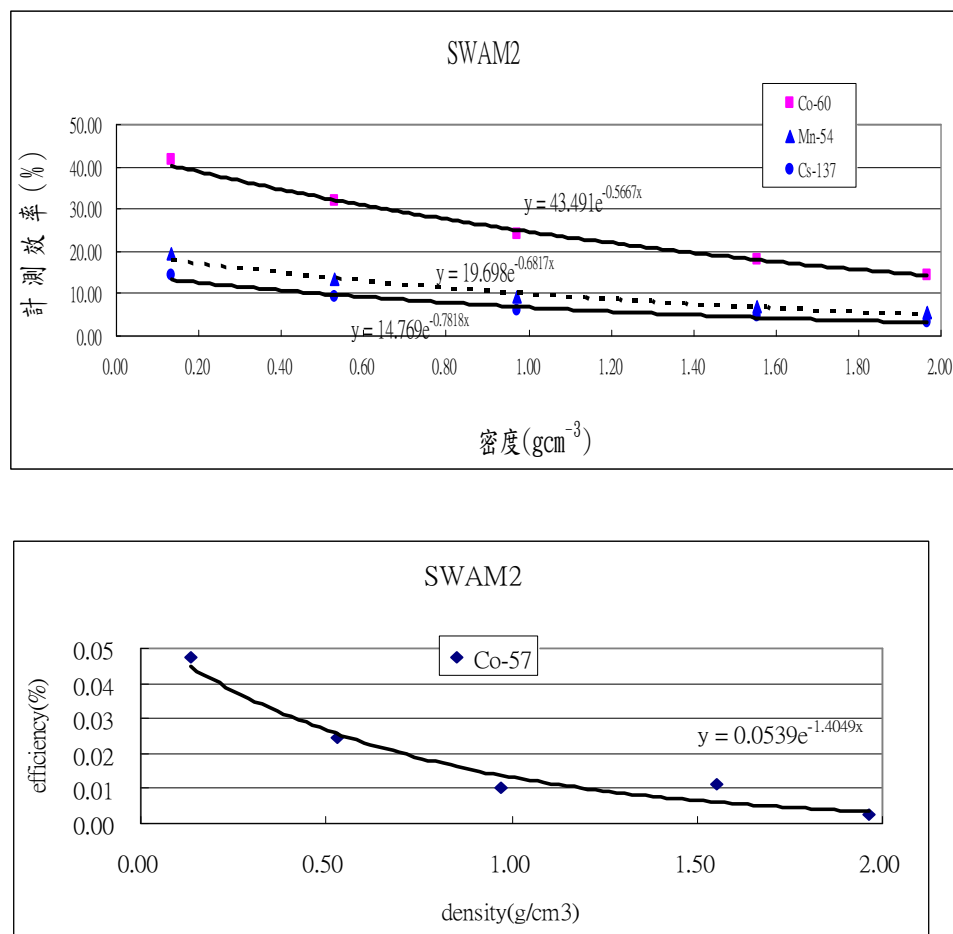


圖 8、SWAM2 桶型塑膠閃爍體偵檢器的效率關係曲線

使用於純鍺偵檢器的桶型 9 支棒體射源的¹⁵²Eu核種計測效率與密度的關係曲線如圖 9。5 種低至高密度 0.13 g/cm³~1.79 g/cm³的 122 keV及 1408 keV的計測效率為 0.099 %~0.017 %及 0.023 %~0.007 %。相同光子能量下隨介質密度愈高自屏蔽效應愈大，因此計測效率愈低；個別單一密度桶的低能量光子與物質作用發生光電效應機率較高故偵測效率較高，高能量光子因與物質產生康普吞散射效應機率較高故偵測效率較低。

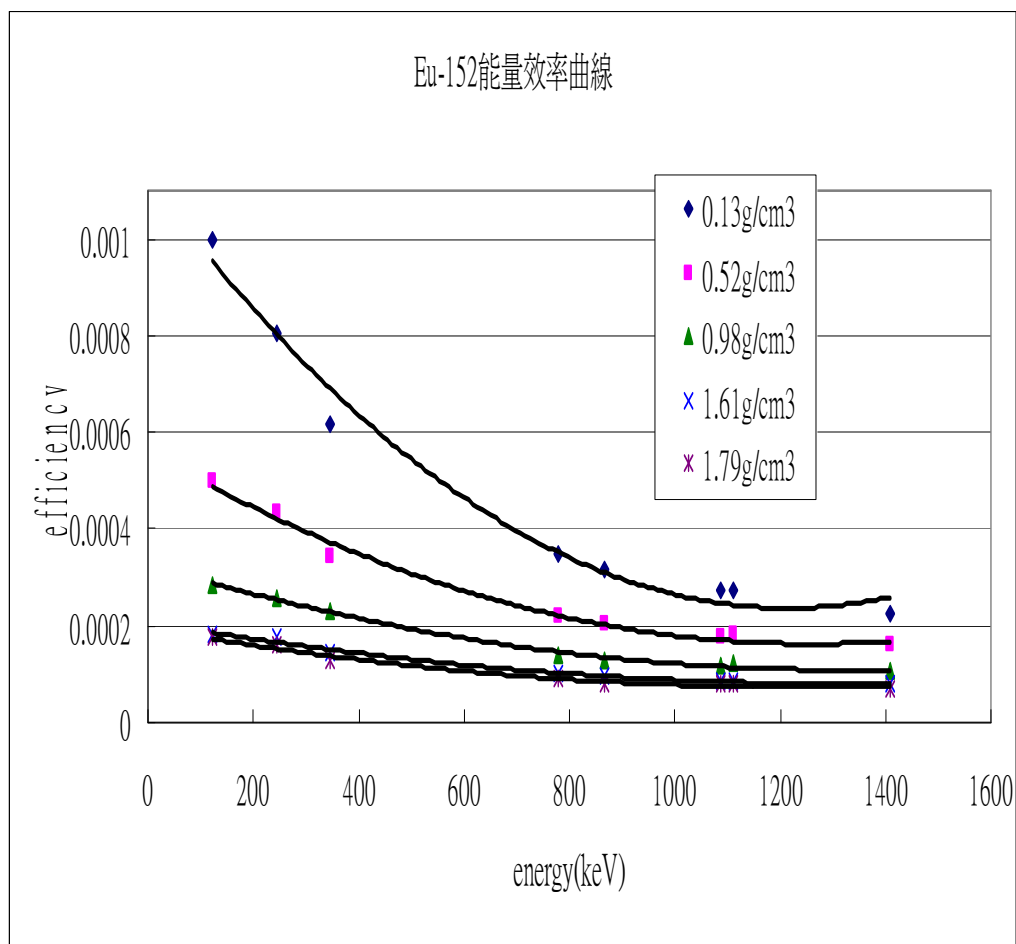


圖 9、桶型純鍺偵檢器 Q2 的效率關係曲線

3.2 驗證

製作均勻狀 9 支與 16 支棒狀之密度 1.0 g/cm^3 水溶液體射源如圖 10 及圖 11。使用塑膠閃爍體偵檢器 SWAM2 比較上述 2 種均勻狀與殼狀棒狀體射源 (16 支棒中的任 9 支棒) 之單一核種 ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 及 ^{60}Co 密度效率關係與能量依持性 (關鍵核種相對 ^{137}Cs) 修正結果如圖 12 及圖 13。密度 1.0 g/cm^3 的 16 支與 9 支棒狀之體射源效率差異皆不大， ^{137}Cs 、 ^{54}Mn 及 ^{60}Co 分別為 1.0、0.6 及 2.0，16 支棒的均勻狀體射源能量依持性修正值較小因此較佳。

另外，亦比較核研所國家標準實驗室自製與美國 Canberra 公司製造的桶型五種密度 $0.03 \text{ g/cm}^3 \sim 2.20 \text{ g/cm}^3$ 的效率，INER 密度 0.48 g/cm^3 及 Canberra 密度 0.52 g/cm^3 的差異小，122 keV 及 1408 keV 為 0.0037 % 及 0.0003 %。而自製與國外製桶型 9 支棒殼狀體射源之效率，比較結果如圖 14 所示。自製校正桶的核種活度係追溯我國國家游離輻射標準實驗室，而自製校正桶之製作費用僅為採購美國 Canberra 公司校正桶費用 (150 萬元) 之一半，且二者比較結果效率差異小，因此適合用於低放射性廢棄物量測使用。



圖 10、桶型 9 支棒水溶液體射源



圖 11、桶型 16 支棒水溶液體射源

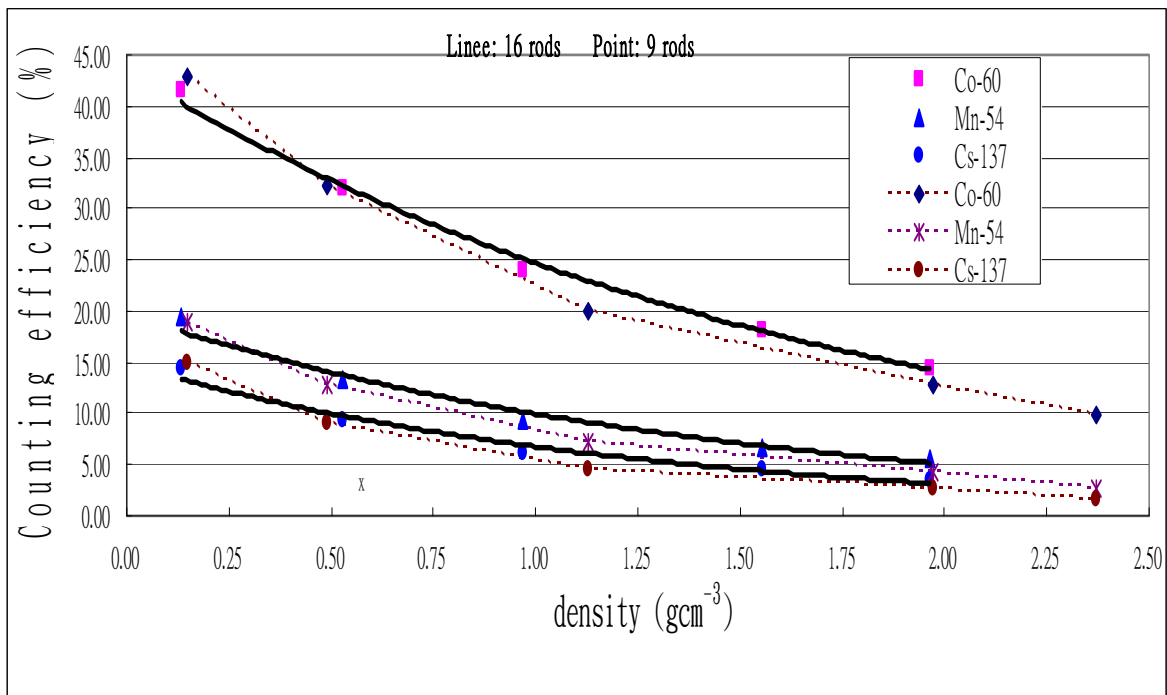


圖 12、16 支與 9 支棒狀體射源之效率比較

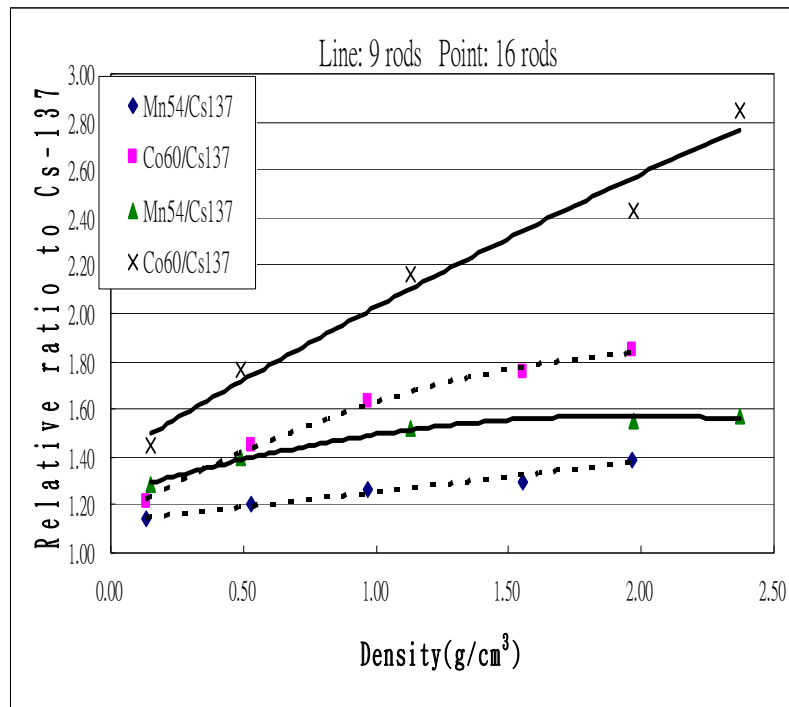


圖 13、16 支與 9 支棒狀體射源之能依性比較

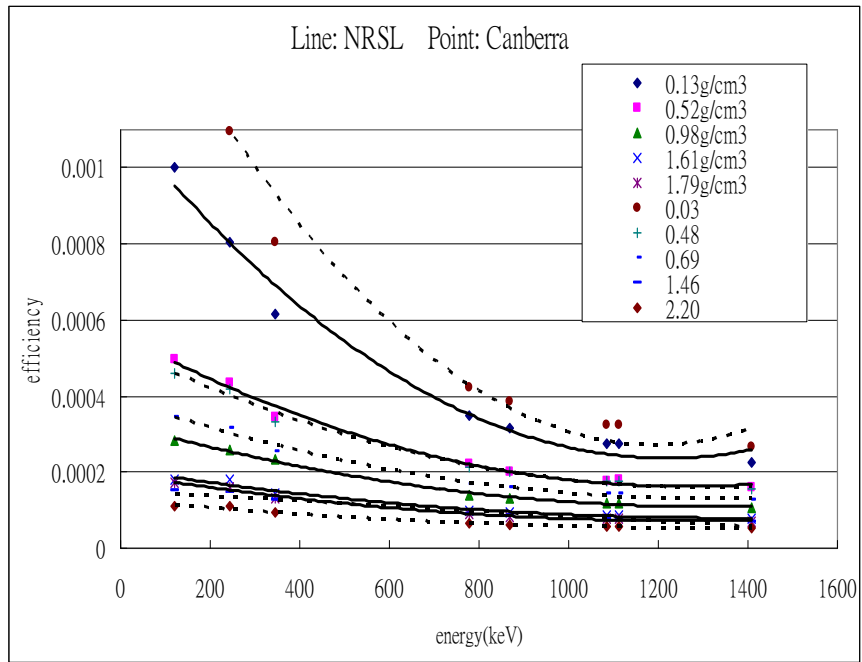


圖 14、自製與國外製桶型 9 支棒體射源之效率比較

4、結論

1. 製作完成塑膠閃爍體偵檢器使用之 16 支棒狀體射源，以及採用單一核種¹⁵²Eu製作純鍺偵檢器使用之 9 支棒體射源。
2. 建立的五種桶型密度體射源的核種計測效率，適用於閃爍體偵檢器與純鍺偵檢器量測解除管制試樣的比活度。
3. 本實驗室(INER)自製與Canberra公司製造的桶型五種密度核種¹⁵²Eu效率的比較，INER密度 0.48 g/cm³及Canberra密度 0.52 g/cm³的低至高 9 個能量的效率差異皆甚小。

參考文獻

1. “Application of the Concepts of Exemption and Clearance”, IAEA RS-G-17, 2004.
2. 葉俊賢,袁明程“桶型加馬活度計測系統之校正方法”,INER-5068R,2007.
3. 葉俊賢,袁明程“解除管制試樣量測分析之能力試驗總結報告”, INER-6960, 2010.
4. 林崇智,“SWAM-2 加馬活度計測系統”, INER-3506, 2007
5. “Hardware Reference Manual for Taiwan-INER Q2 system”, Document#37677 rev.A”, Canberra Inc., 2004.