

α , β , γ 輻射偵檢器之 原理與偵測實務

報告人:葉俊賢

核能研究所 保健物理組

中華民國 九十七年三月

- 輻射偵檢原理
- 儀器的種類與規格
- 儀器的特性與規範要求
- 能譜分析
- 偵測實務
- 新型儀器介紹

輻射偵檢原理

- 輻射度量的目的與單位
- 輻射與物質的作用

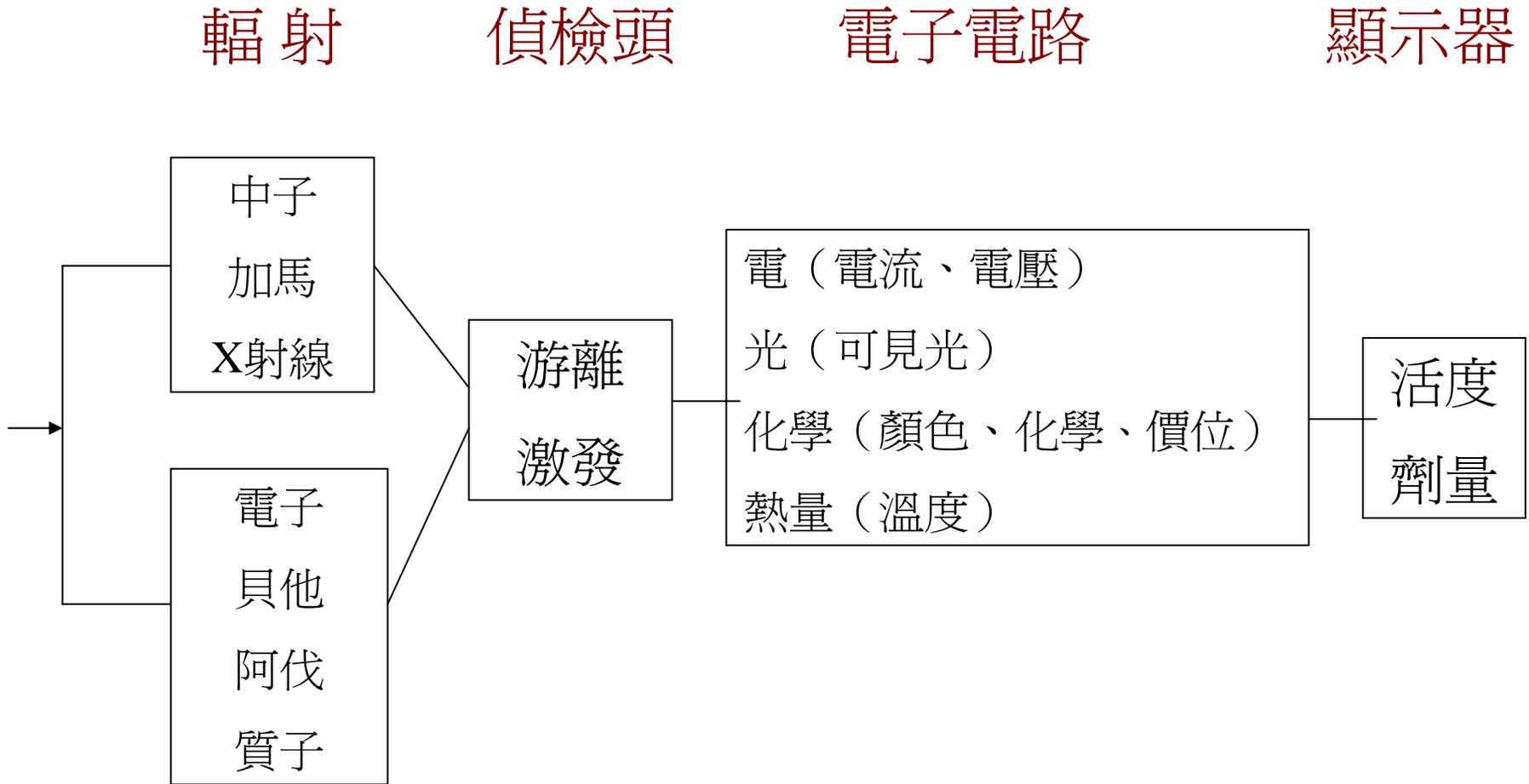
輻射度量之目的

- 活度(activity) : 貝克(Bq)
粒子每秒的衰變數(S^{-1})
描述放射性物質本身的強度
- 劑量(Dose) : 西弗(Sv)
空氣克馬(Gy)*劑量轉換因子(Sv/Gy)
描述放射線與物質(人體)能量交換的強度

輻射與物質的作用

- **直接游離**：(阿伐或貝他粒子)直接與原子核外的電子撞擊傳遞能量給予電子，使電子爭脫原子核的束縛而游離或激發。
- **間接游離**：(光子和中子)與物質作用(光電效應、康普吞效應、成對發生效應)，產生荷電粒子以後，再由此荷電粒子產生游離作用。

如何偵測輻射



儀器的種類與規格

- 偵檢器型式
- 偵檢輻射種類

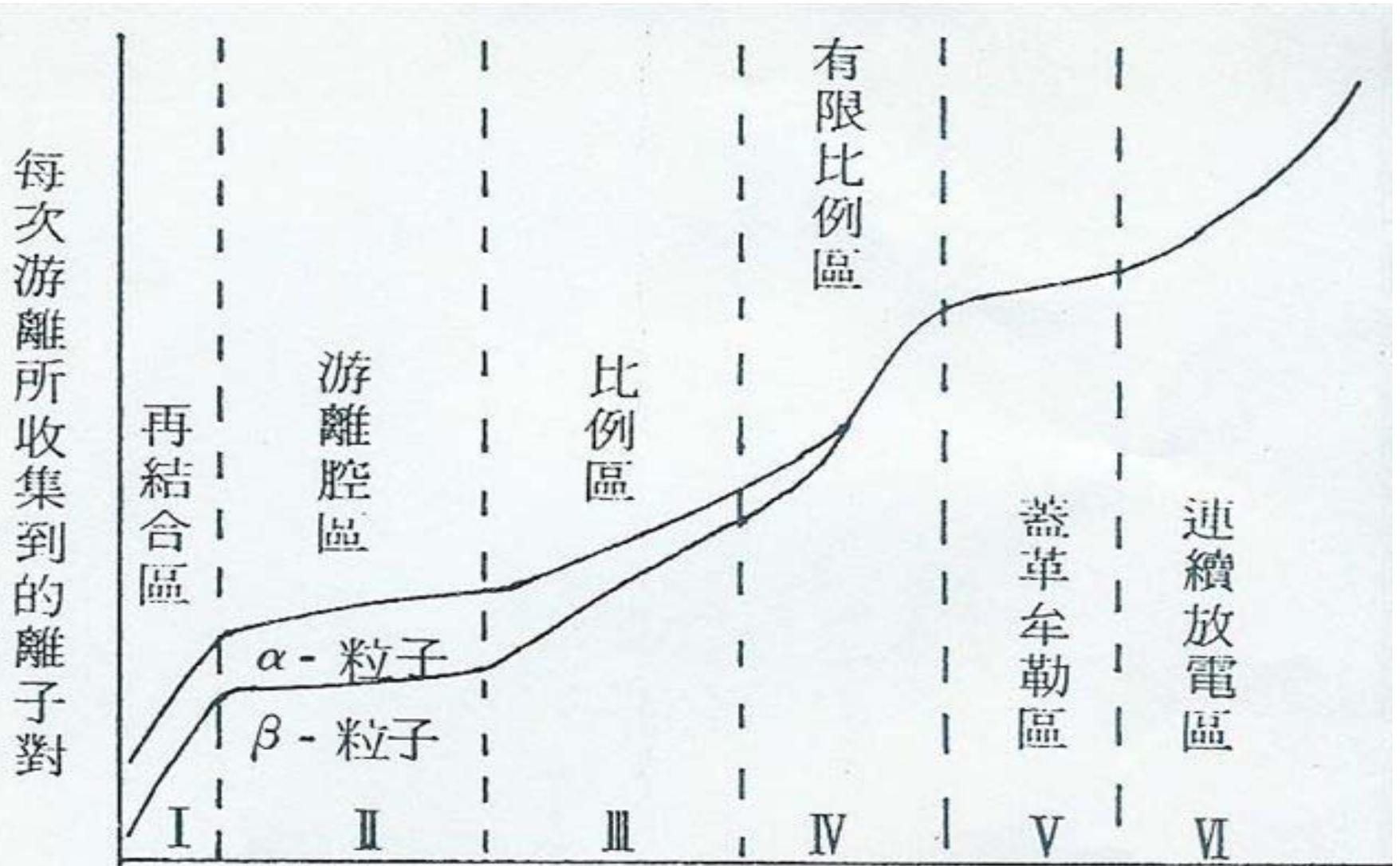
劑量(率)偵檢器型式

- 充氣式
 - 蓋革型、游離腔、比例式
- 半導體
 - 矽、鍺、銻化鎘
- 閃爍體
 - 有機：液體、塑膠
 - 無機：碘化鈉(鉍)
- 劑量計
 - 人員： $\text{Li}_6\text{F} + \text{Li}_7\text{F}$ (被動型)
矽 (主動型)
 - 環境： $\text{CaF}_2 + \text{Li}_7\text{F}$

儀器使用之偵檢輻射種類

偵檢儀器	主要作用	輸出信號	偵檢種類
1. 充氣式			$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
游離腔	游離	平均電流	α, β, χ
比例式	游離	電壓脈衝	α, β, χ
蓋革型	游離	電壓脈衝	β, γ, χ
2. 半導體	電子電洞	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
3. 閃爍體	激發, 光子, 電子	電壓脈衝	$\alpha, \beta, \gamma, \chi$
4. 熱發光劑量計	激發, 光子, 電子	電壓脈衝	β, γ, χ

充氣式偵檢儀器之特性曲線



加於充氣式偵檢器之電壓V或電場強度V/m

主動型與被動型人員劑量計



攜帶型偵檢器(Survey Meter)



場所與環境固定型輻射監測器



儀器的特性與規範要求

- 輕便型偵檢器：ANSI N323A (1997)
穩定性, 準確性, 能量依持, 角度依持, 反應時間
- 電子式人員劑量計：ANSI N42.20 (1995)
準確度, 警報準確度, 反應時間, 能量依持,
角度依持, 劑量率依持, 電源供應(電池)
- α/β 表面污染偵檢器：IEC 325 (1996)
表面活度反應, 均勻性, 能量, 準確性,
儀器最小可測值, 反應時間, 量測有效範圍

輻射劑量偵檢器性能

	蓋革型	游離腔	閃爍體
優點	輻射反應快 高劑量場所 量產價廉	準確度佳 方向性佳 價貴	靈敏度高 低劑量場所
缺點	方向性差 壽命較短 無感時間	需溫壓修正 離子再結合 暖機時間長	光電管易受潮 飽和現象 準確度差 能依性差

輻射防護級輕便型儀器主要性能及要求

項目	測試條件	要求(ANSI N42.17A)
穩定性	$> 10 \mu\text{Sv h}^{-1}$	10 % (相對偏差)
準確性	$1 \mu\text{Sv h}^{-1} \sim 10 \text{ Sv h}^{-1}$	$\pm 15 \%$ (參考值)
能量依持	80 keV \sim 1.25 MeV	0.8-1.2 (器示值/參考值)
角度依持	$0^\circ \sim 45^\circ$	$< 20 \%$ (器示值)
	$45^\circ \sim 90^\circ$	$< 50 \%$ (器示值)
反應時間	$1 \mu\text{Sv} \sim 10 \mu\text{Sv}$	< 30 秒
	$0.1 \mu\text{Sv} \sim 1 \text{ mSv}$	< 5 秒
	$> 10 \text{ mSv}$	< 2 秒

蓋革管偵檢器之能依性及方向性(JIS)

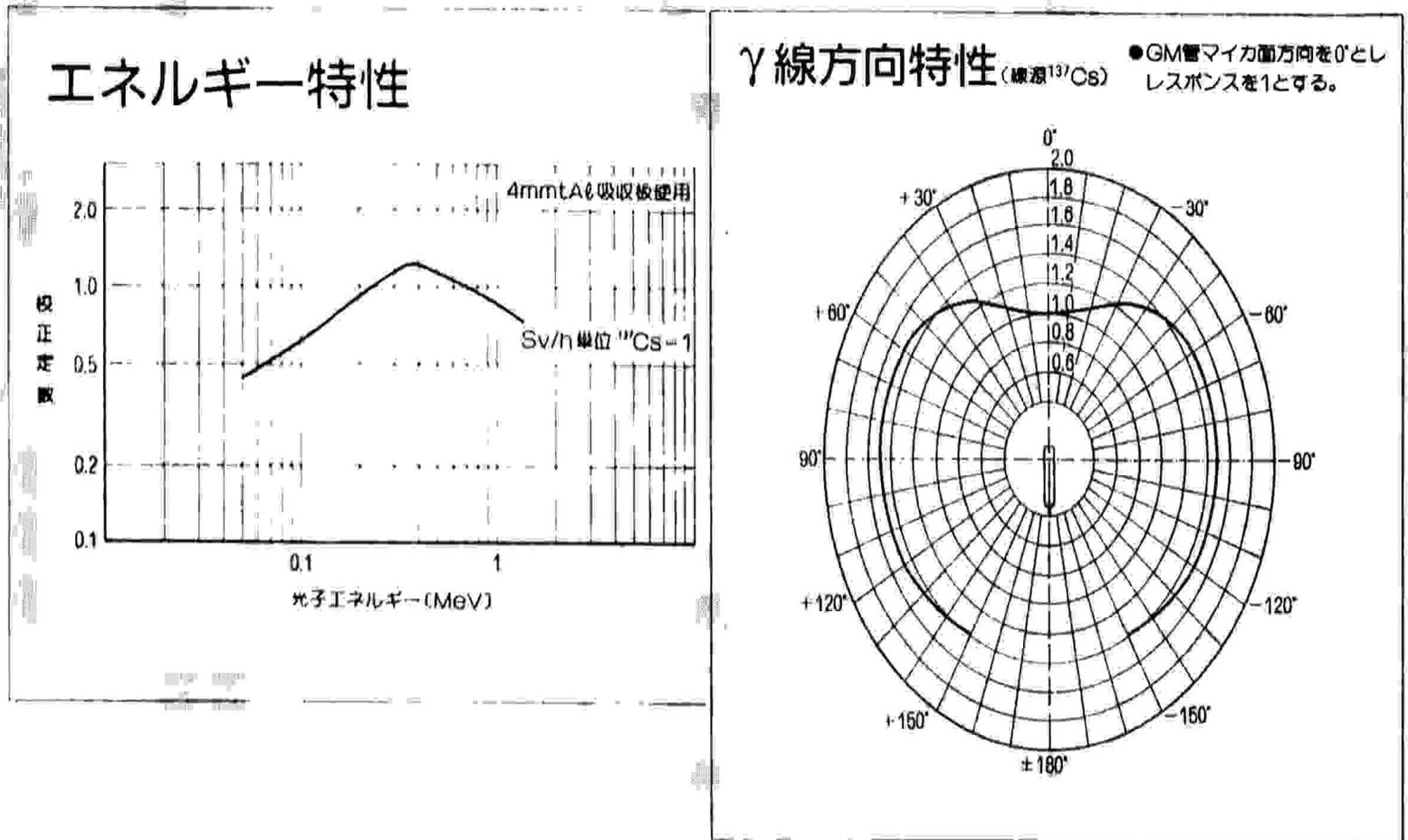


図 3.3 市販されている GM 計数管式サーベイメータのエネルギーと方向特性の一例

游離腔偵檢器之能依性及方向性(JIS)

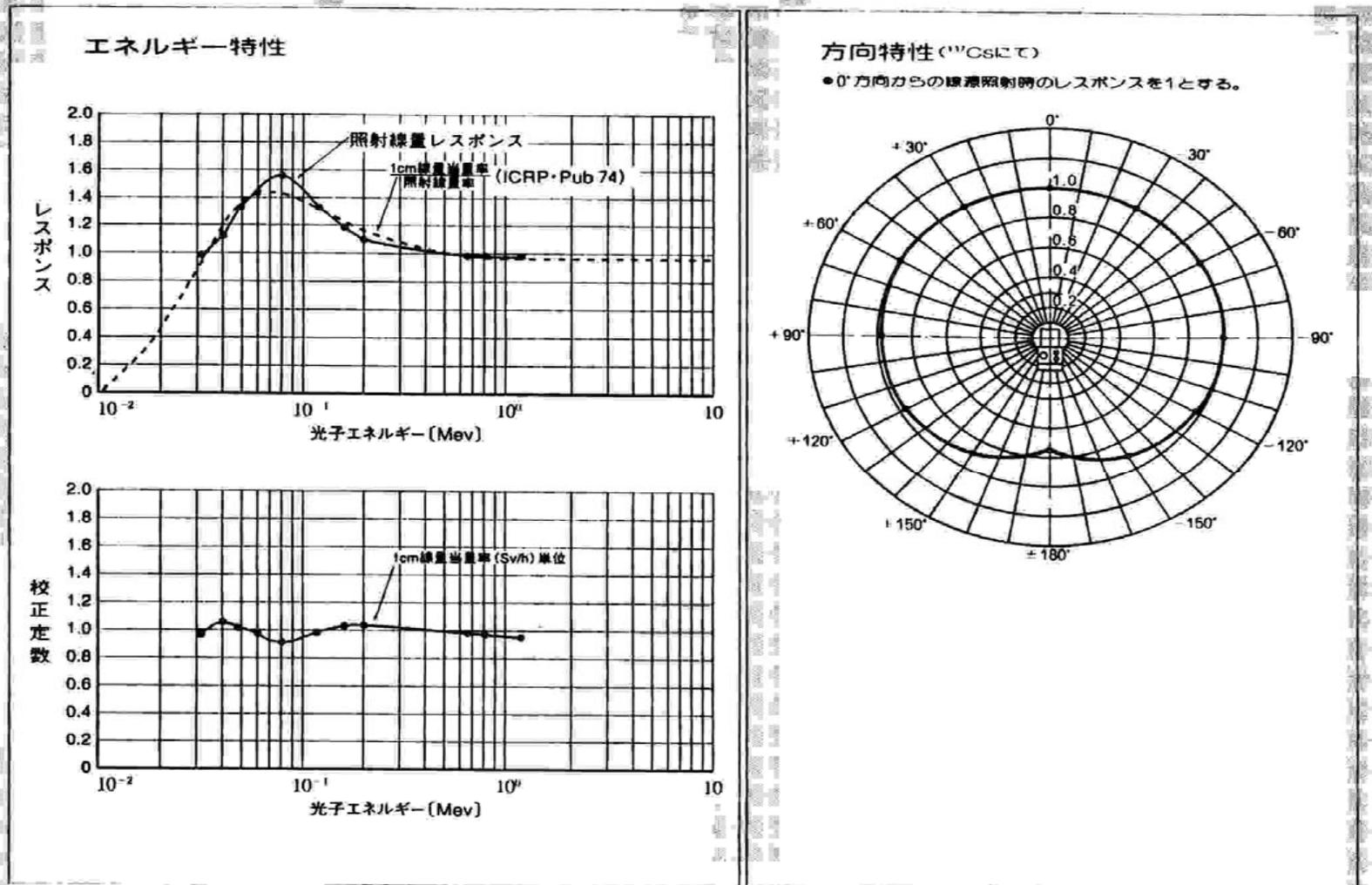


図 3.2 市販されている電離箱式サーベイメータのエネルギーと方向特性の一例

閃爍體偵檢器之能依性及方向性(JIS)

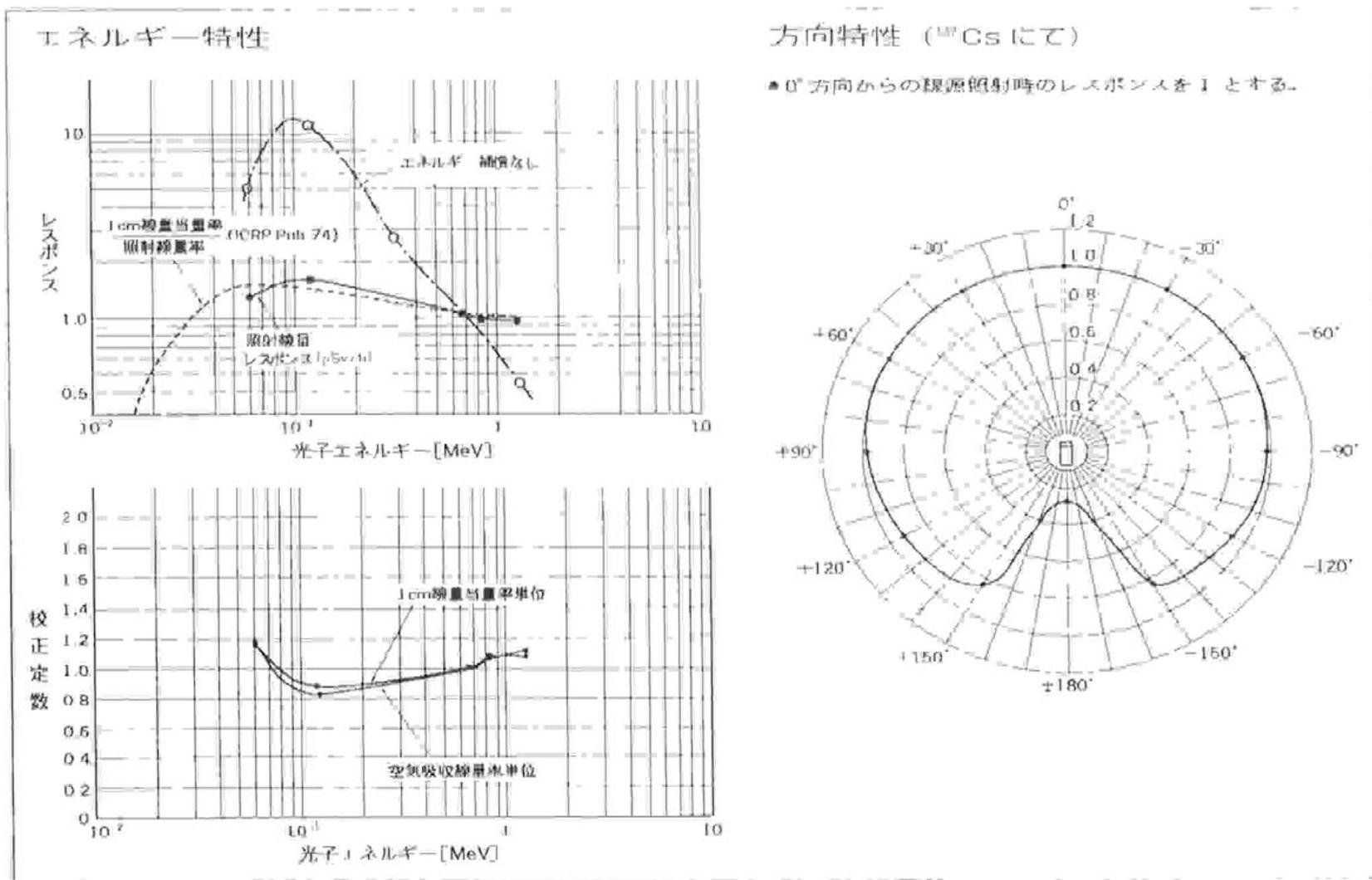


図 3.4 市販されているシンチレーション式サーベイメータのエネルギーと方向特性の一例

蓋革管,游離腔,閃爍體偵檢器之能依性(IAEA)

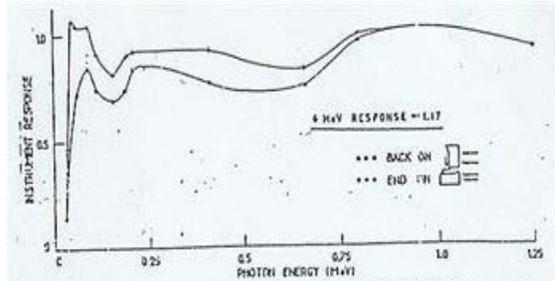


FIG. 21. Energy response of NE low level monitor Type 2601.

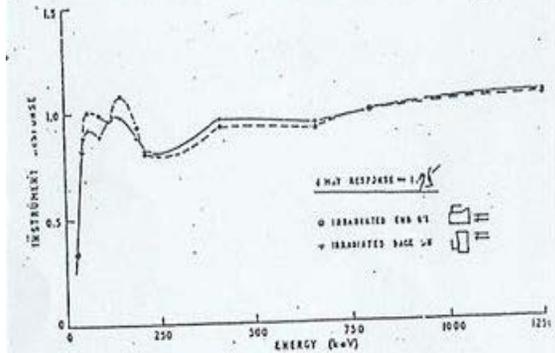


FIG. 22. Energy response of NE monitor Type 2002.

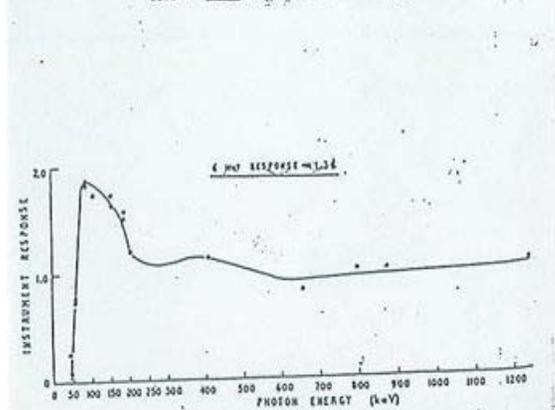


FIG. 23. Energy response of Total Atometer, Type 6122.

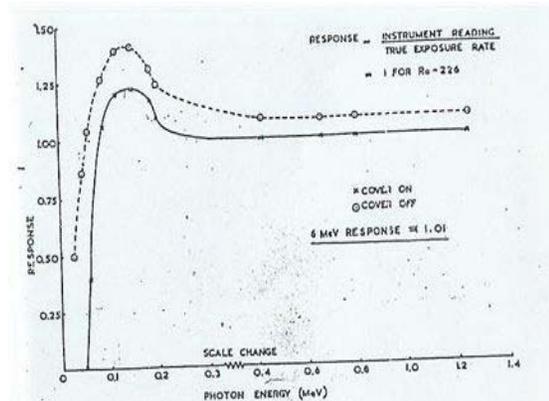


FIG. 1. Energy response of Ekco NS55 (AERE type 1149A).

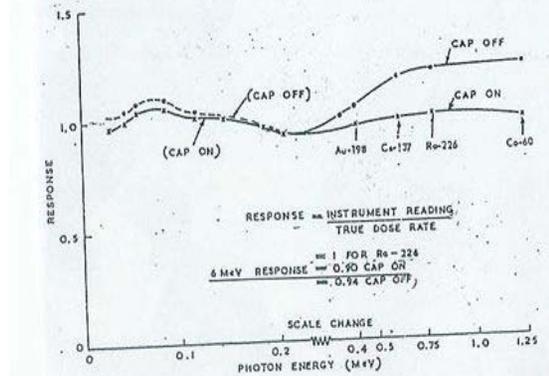


FIG. 2. Energy response of Ekco NS98.

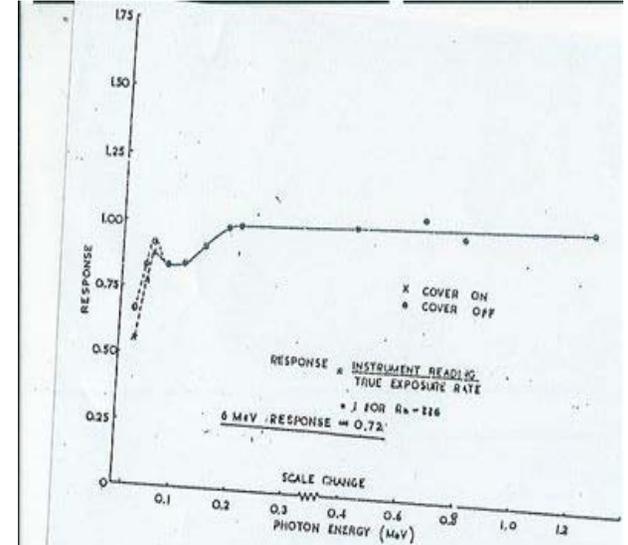


FIG. 3. Energy response of NIS 295.

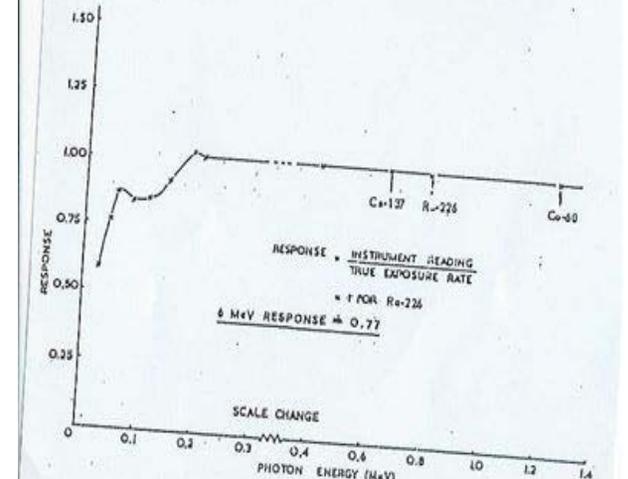
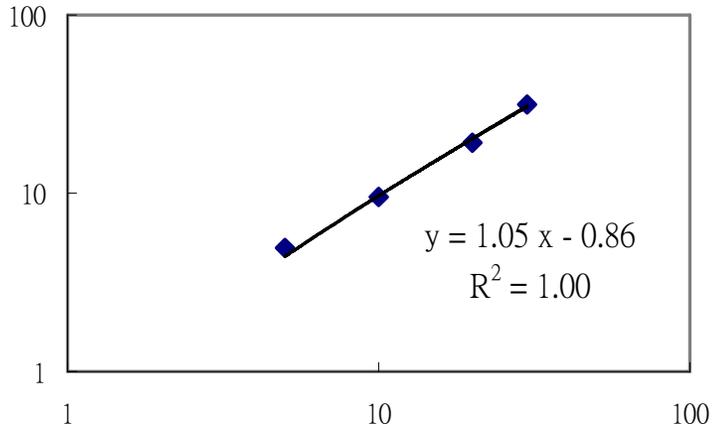


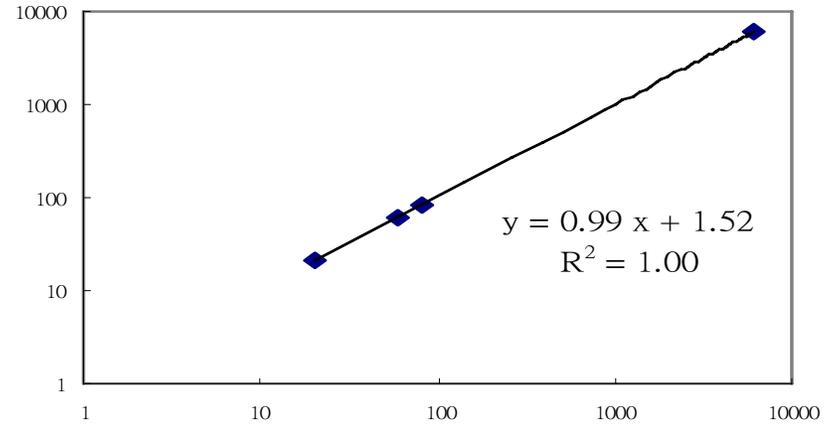
FIG. 4. Energy response of Ekco BP1 Mk.1.

偵檢器之劑量線性(INER)

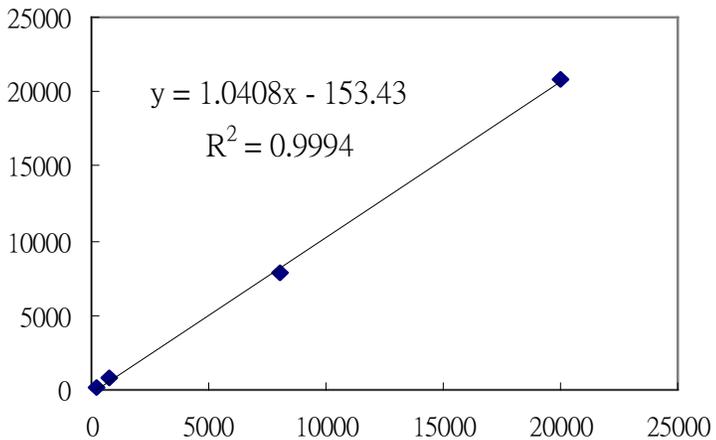
HPI/41s(線性)



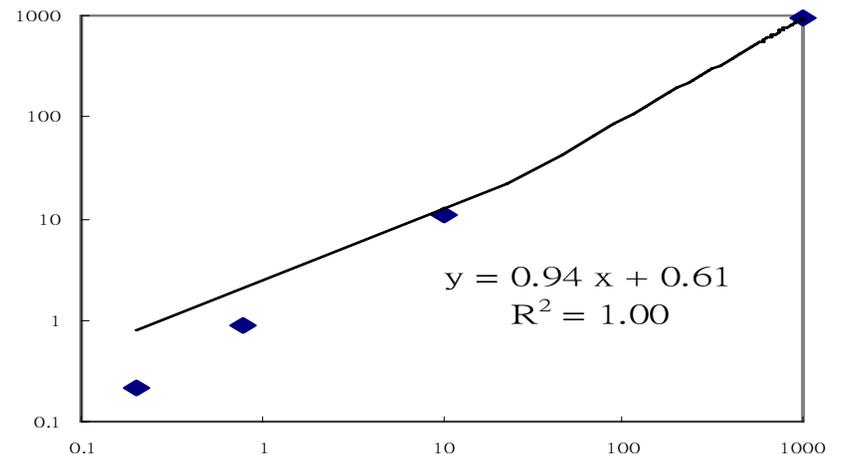
Automess AD-6(線性)



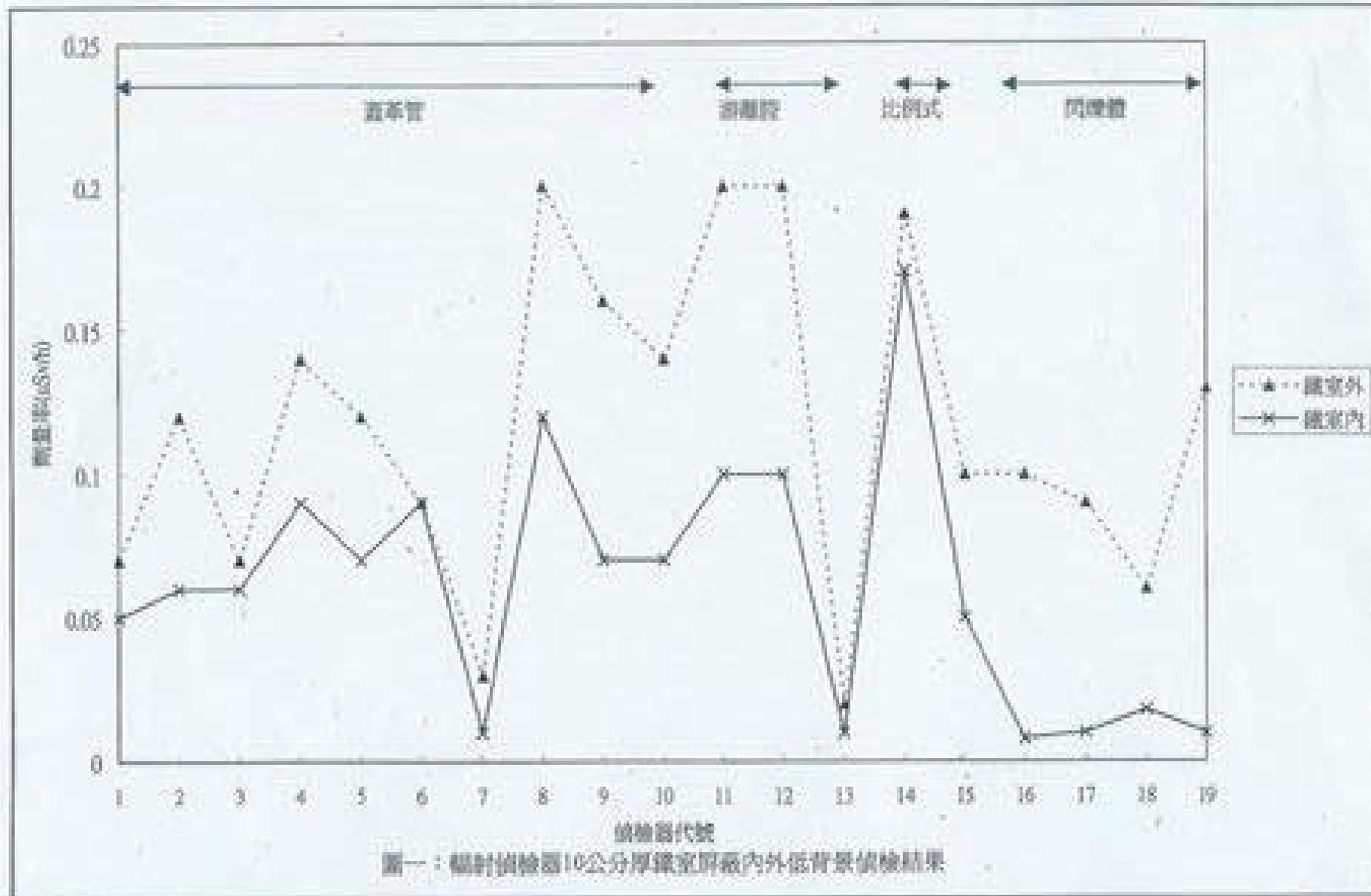
RADOS/50s(uSv線性)



Victoreen-471D(線性)



輻射偵檢器之低限偵檢結果(10cm厚鐵室)



劑量(率)偵檢器之性能測試結果

項 目	穩定性 (%)		準確度 (%)		線 性 (%)	
	高範圍	低範圍	高範圍	低範圍	高範圍	低範圍
高劑量率偵檢器 VICTOREEN/471D	0.8	0.6	8.2	8.9	6.0	5.5
低劑量率偵檢器 AUTOMESS/AD6	0.9	2.6	1.3	2.0	0.8	3.0
光子計數率偵檢器 HPI/MINNI 41S	1.6	1.5	5.7	2.2	1.0	4.7
電子式人員劑量計 RADOS/50S	0.5	1.7	4.5	2.5	7.5	2.5
ANSI N323A 要求	± 10 %		± 15 %		± 15 %	

電子式人員劑量計主要性能及要求

項目	測試條件	要求(ANSI N42.20)
準確度	儀器有效範圍	等效劑量 $\pm 15\%$ 等效劑量率 $\pm 20\%$
警報準確度	設定值	等效劑量 $\pm 15\%$ 等效劑量率 $\pm 20\%$
反應時間	< 5 秒	< $\pm 20\%$
能量依持	50 keV ~ 1.5 MeV	$\pm 30\%$
角度依持	$0^\circ \sim \pm 75^\circ$	$\pm 30\%$ (^{137}Cs)
劑量率依持	$\leq 1 \text{ Sv h}^{-1}$	$\pm 20\%$
電源供應(電池)	> 連續使用 100 小時	$\pm 15\%$

原能會游離輻射防護安全標準(97年)

ICRU體外輻射作業量定義

輻射型態	區域偵測作業量	人員量測作業量
強穿輻射 (penetrating radiation)	周圍等效劑量 $H^*(d)$ d 為 10 mm	個人等效劑量 $H_p(d)$ d 為 10 mm
弱穿輻射 (low-penetrating radiation)	定向等效劑量 $H'(d, \alpha)$ 皮膚 d 為 0.07 mm 眼球 d 為 3 mm	個人等效劑量 $H_p(d, \alpha)$ 皮膚 d 為 0.07 mm 眼球 d 為 3 mm

註： d 與 α 分別為入射ICRU球的深度(mm)與角度。

光子偵檢儀器之體外輻射作業量測試結果

種類	型式 / 樣本數	準確度 (%)	
		H*(10)	H _p (10)
輕便型偵檢器	蓋革管 / 5	12	—
	閃爍體 / 5	14	—
	游離腔 / 5	10	—
	比例式 / 2	12	—
人員劑量計	主動式 / 5	—	8

X射線 射質代碼	輻射偵檢器 H*(10)		人員劑量計	
	游離腔	閃爍體	H _p (10)	H _p (0.07)
M100	9	14	8	19
M150	20	10	10	20
M200	17	3	9	18
M250	17	12	9	17
M300	20	18	14	18

污染偵檢儀器種類

種類	量測範圍
ZnS plastic scintillator	β particles & γ photons : smaller pulses α particles : larger pulses
GM detector	α , β , γ : for surface activity & scans radiation
Plastic scintillator	α 或 γ 輻射, 寬能量 β 輻射
Gas proportional detector	α , β only mode $\alpha + \beta$ mode

攜帶型污染偵檢器(直接式與間接式)



固定型污染監測器 (全身,空浮,手足,門框)



(1) ZnS plastic scintillator 特性及應用

- α 表面污染活度與表面輻射
厚度： $< 10 \text{ mgcm}^{-2}$ 鋁 Mylar
優點：不需要外來氣體供應
僅量測出 α 輻射 (混合場)
缺點：**Mylar** 窗易刺破漏光效率變差
探頭窗表面粗糙影響效率約**10 %**
探頭小面積(**50~100cm²**), 不適用地板掃
瞄監測
校正：射源面積需 $>$ 探頭窗面積(**ISO 8769**)

(2) GM detector 特性及應用

- 除役現場: 扁平型(污染)、組合型(污染及劑量)
探頭 **mick**窗: 面積 20cm^2 ~ 寬面積,
厚度 1.7 mgcm^{-2}
- 探頭小可固定在緊密空間(小管,管內部)或
地板(多個GM管)
- 密封氣體 (**Ar,He,Nr** & 鹵族淬息氣體)
- 現場窗刺破可容易更新, GM **detector**便宜,
效率較**scintillator**低,不能區別核種
- β & γ 量測: $\beta > \gamma$ 效率,添加屏蔽降低周圍 γ 輻
射干擾
- α 量測: 極薄窗, 效率 > 0.08 計數/積分

(3) Plastic scintillator 特性及應用

- 窗厚度**0.25 mm** : β 效率100 %, no γ response
- 窗加厚度: **only γ response**
- 鋁材質窗: no α response,
(Mylar 窗: **some α response**)
- 優點 : 不需要外來氣體供應
量測寬能量 β 輻射
量測 α 或 γ 輻射
- 缺點 : 效率較 **Gas proportional detector** 低
易漏光 (安裝緊密封光反射器)

(4) Gas proportional detector 特性及應用

P-10 gas flow mode	α only mode	β only mode
Operating voltage	1000 ~ 1500 V	1700 ~ 1800 V
Thicker window	< 0.8 mgcm ⁻²	3.8 mgcm ⁻²
background	< 5 cpm	< 400 cpm

- $\alpha + \beta$ mode

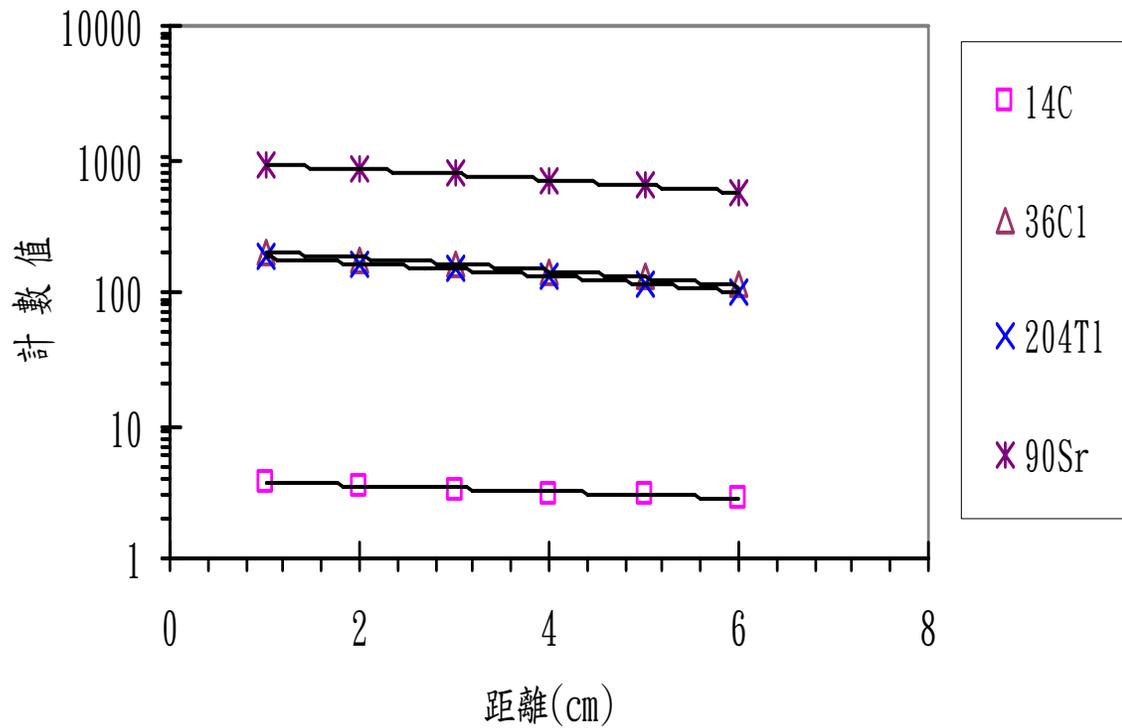
1. Threshold operating voltage
2. Threshold energy
3. Thicker window

- **Windowless Gas proportional detector**

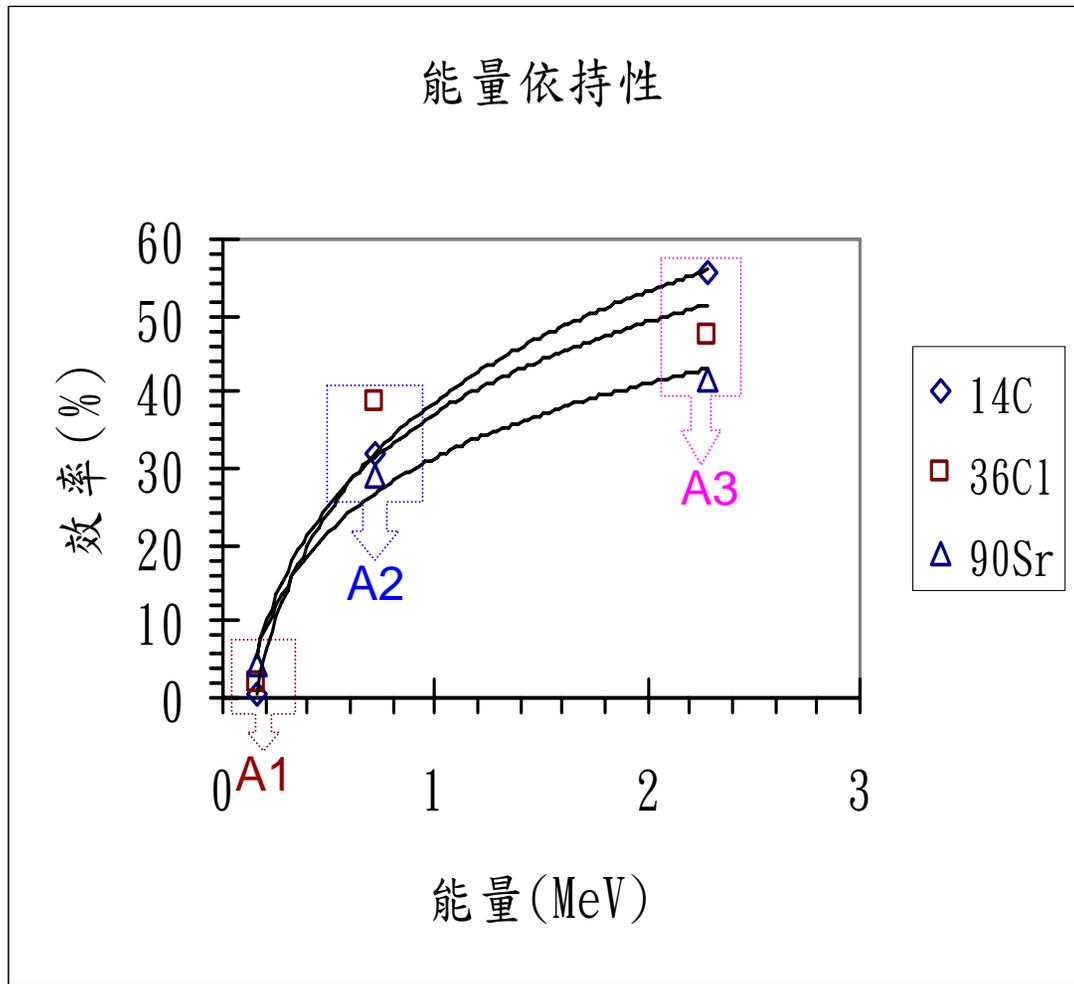
Low-energy β (tritium surface activity)

參考射源之距離與計數率對應關係圖

距離依存性



β 最大能量與效率(偵檢窗面積)對應關係



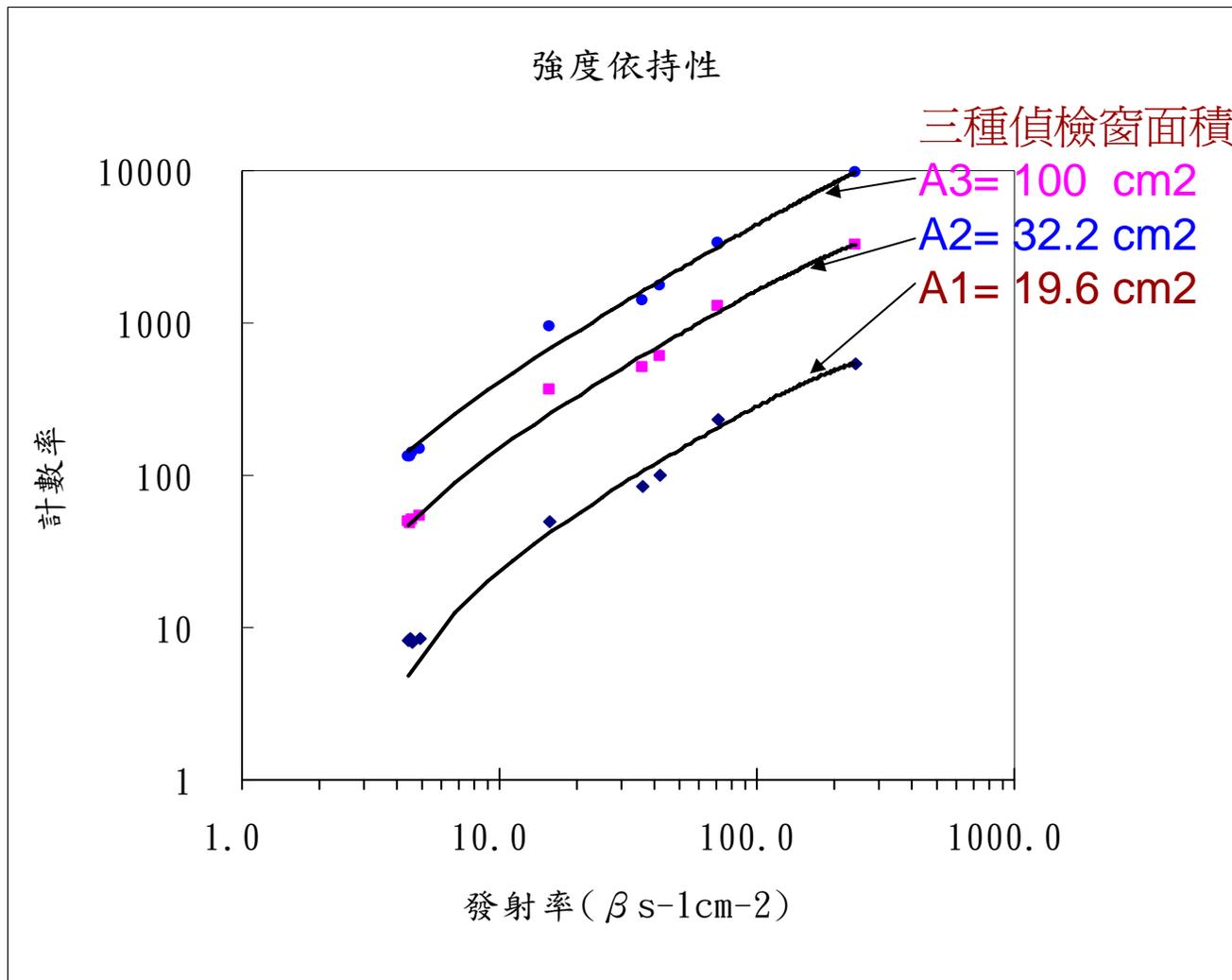
三種偵檢窗面積

$$A1 = 19.6 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 32.2 \text{ cm}^2$$

$$A3 = 100 \text{ cm}^2$$

參考射源之活度與計數率(偵檢窗面積)對應關係



Sr-90 射源

發射率 ($\beta / \text{s cm}^2$)

4.4

4.5

4.6

4.9

15.8

36.1

42.2

71.2

240

α / β 表面污染偵檢器之主要性能及要求

項 目	測 試 條 件	要 求 (IEC 325)
表面活度反應	$S^{-1} Bq^{-1} \cdot cm^2$	依照產品製造規格
均勻性	偵檢窗內量測位置的差異	依照產品製造規格
能 量(α)	—————	依照產品製造規格
能 量(β)	$> E_{max}$ (0.4 MeV ~ 1.0 MeV)	$< 5 \% (^{204}Tl)$
準確性	與參考射源差異 ($\alpha : ^{241}Am$, $\beta : ^{204}Tl$)	$\pm 25 \%$
儀器最小可測值	背景($Bq \cdot cm^{-2}$)	依照產品製造規格
反應時間	$>$ 量測刻度的 63 %	$< 4 s$
量測有效範圍	線性刻度(α) 線性刻度(β)	$> 1 s^{-1}$ 爲線性 $> 5 s^{-1}$ 爲線性

表面污染偵檢器之性能測試結果

項目	穩定性 (%)		準確度 (%)		反應時間 (s)	
	α	β	α	β	α	β
APTEC / Ludlum 43-89	2.0	3.3	14.7	14.2	3	3
APTEC / Ludlum 44-88	7.6	8.5	6.1	7.5	3	3
IEC 325 (1981) 要求	<10 %		<25 %		<4s	

常用於能譜度量之偵測器

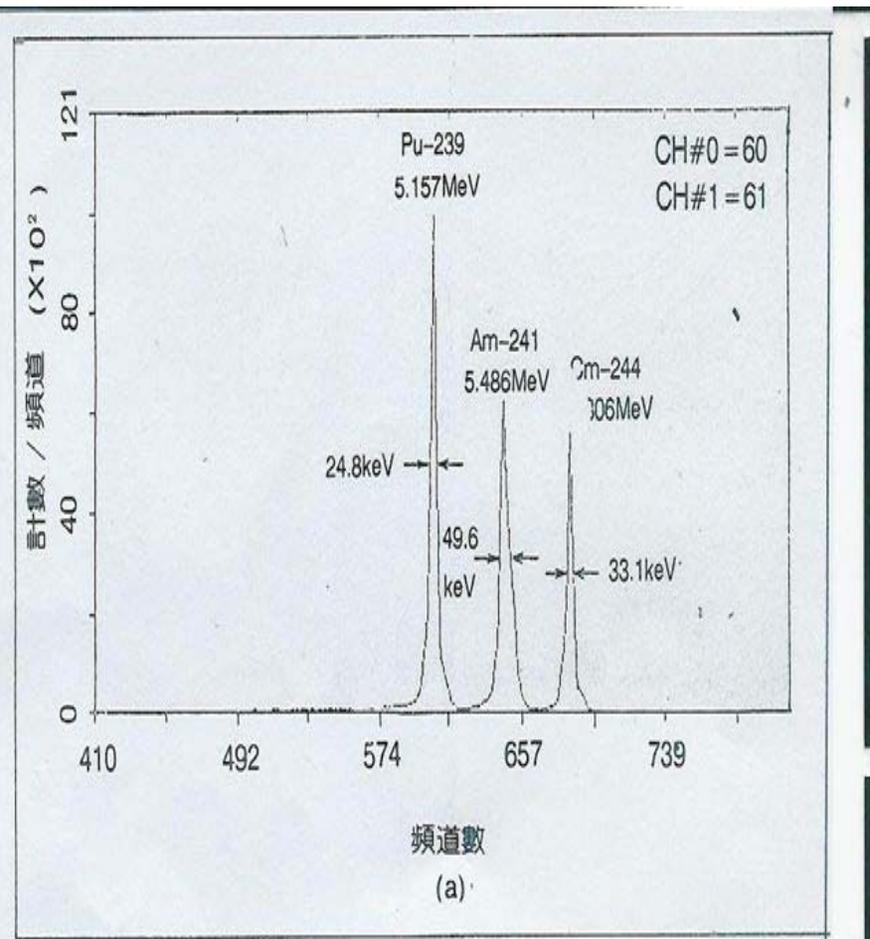
1. 阿伐能譜分析：矽面障偵檢器
 珊極式游離腔
2. 貝它能譜分析：塑膠閃爍偵檢器
 比例型偵檢器
3. 加馬能譜分析：同軸型高純度緒偵檢器
 碘化納(鉍)偵檢器
4. X 能譜分析：平板型高純度緒偵檢器

阿伐射線能譜度量儀器

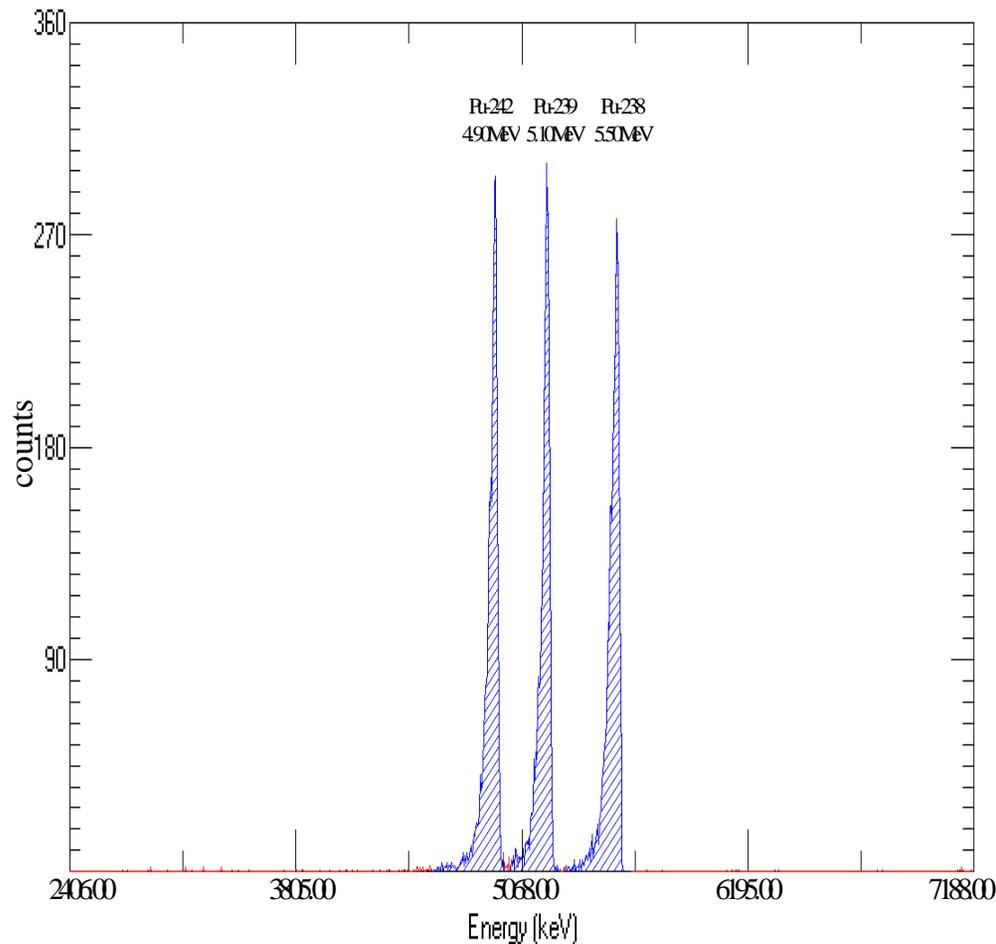
珊極式游離腔	矽面障偵檢器
計測效率高：(50%)	計測效率低：(5%)
解析度差 (FWHM)：40 KeV	解析度佳(FWHM)：20 KeV
直接沉積法：不需要放化處理	電鍍法：需要放化處理
沉積效率：100%	沉積效率：30~90%
沉積量：大，數個分子層之膜厚	沉積量：小，單一分子層之膜厚
能譜品質差：能峰尾部干擾	能譜品質佳：能峰分離

阿伐能譜分析

能量重疊的核種如**239Pu & 240Pu**、**235U & 236U**，利用化學分離術分析這一類核種困難，使用觀察個別核種的能量分支產率（%）差異以鑑別核種



氡極式游離腔



矽面障偵檢器

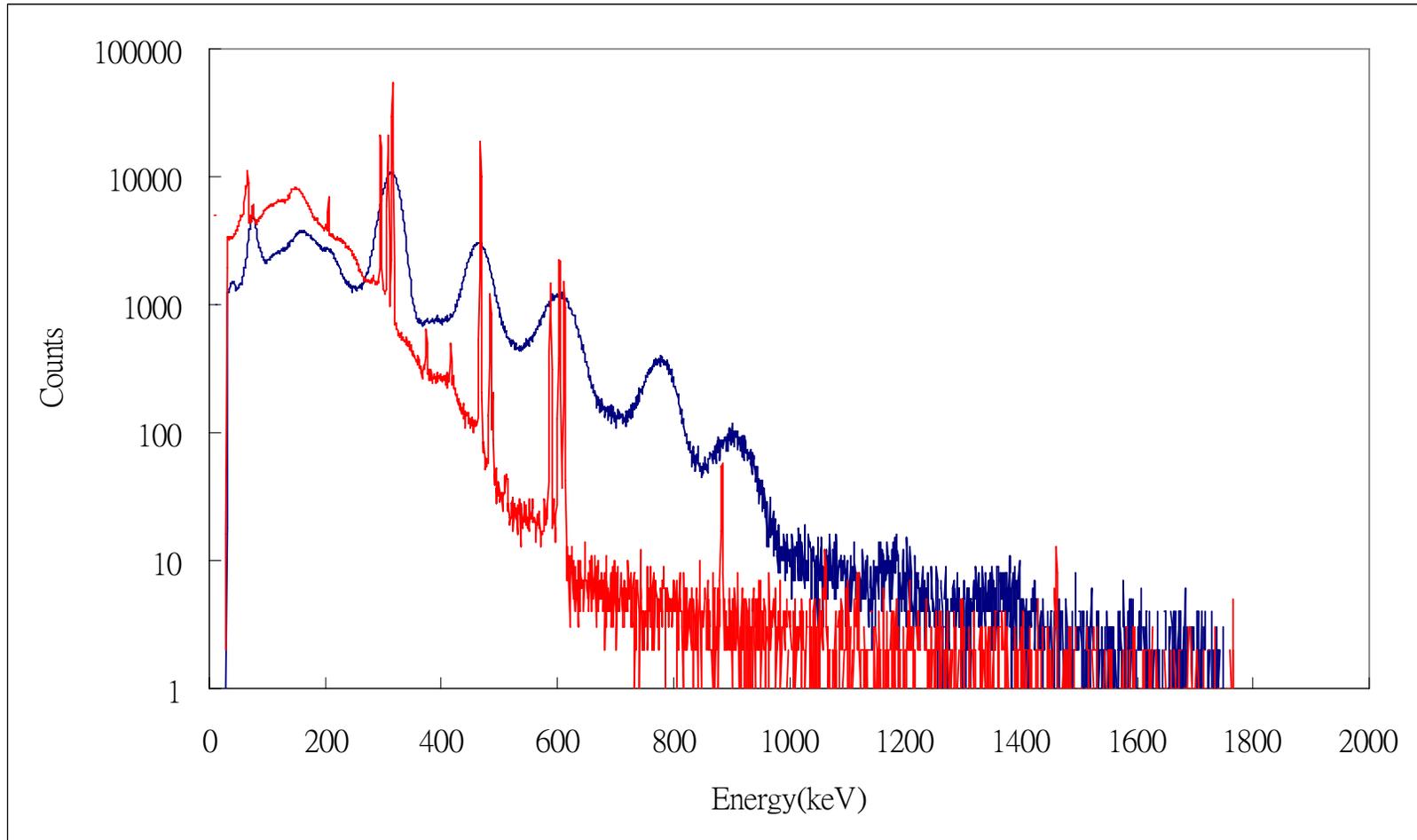
加馬射線能譜度量儀器

NaI(Tl)偵檢器	HPGe偵檢器
<p>計測效率高</p> <p>尺寸大，密度大，交互作用機率大</p> <p>原子序大，全能吸收與光分數高 (peak / Total)</p>	<p>光峰效率低 (1/10 NaI(Tl))</p> <p>尺寸小</p> <p>原子序低</p>
<p>解析度 5-10 %</p> <p>(FWHM / Peak energy)</p>	<p>解析度佳(<1 %)</p> <p>能峰顯著，可分離密接能峰，可鑑別微弱射線</p>
<p>室溫下操作</p>	<p>液態氮溫度操作</p>
<p>便宜</p>	<p>昂貴</p>
<p>活度量，簡單能譜分析</p>	<p>活度量，複雜能譜分析</p>

加馬射線能譜分析

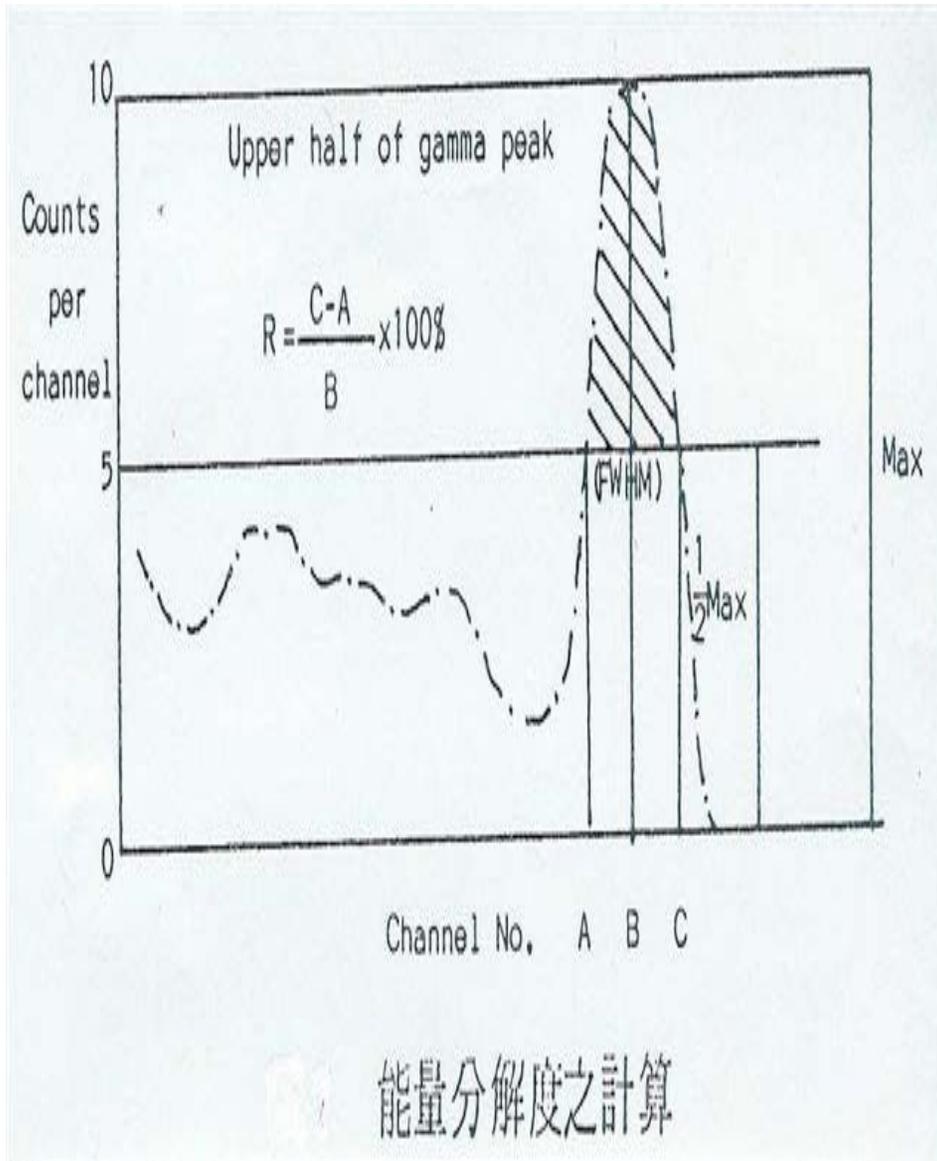
(薄窗型鈹偵檢器量測低能量核種: ^{55}Fe 及 ^{129}I)

(鋁窗型偵檢器量測一般能量核種: $> 60\text{KeV}$)



Na(I) Detector : Blue

HPGe Detector : Red



試樣活度(Bq)=

能峰面積淨計數
率(CPS)/

計測時間(sec)

× 計測效率(%)

× 能量分支比(%)

× 幾何因素

X 射線能譜分析 (醫療級與防護級射質)

圖 4 : M300 (160keV)

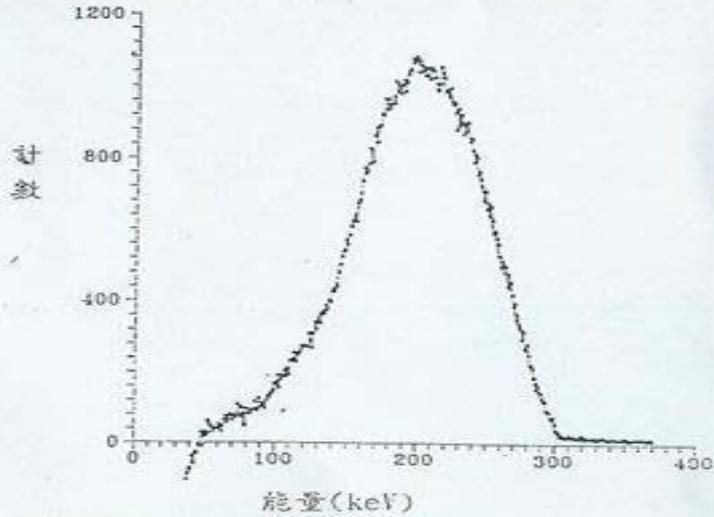


圖 8 : H300 (246 KeV)

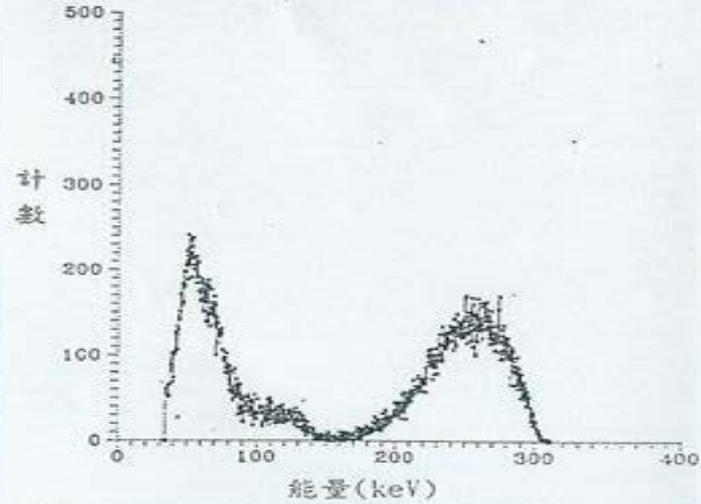


圖 6 : M200 (108 keV)

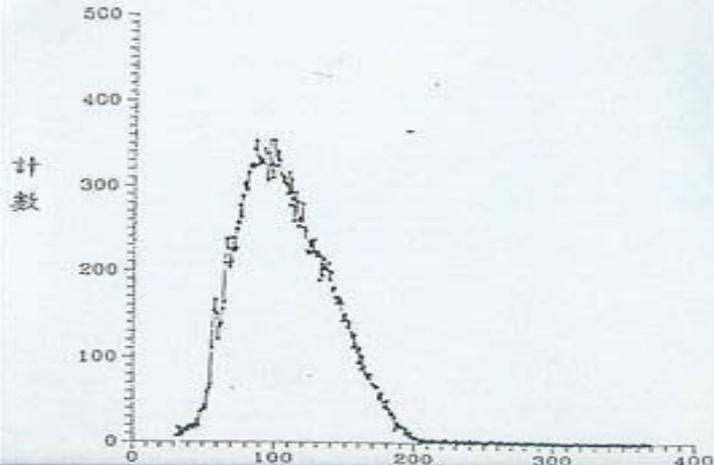
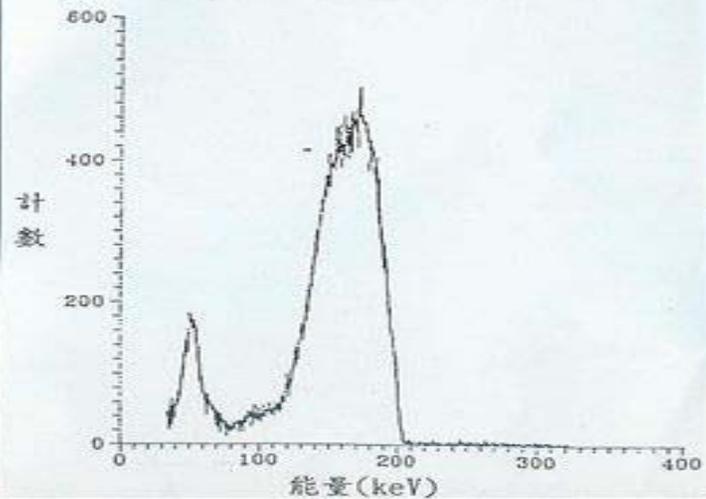
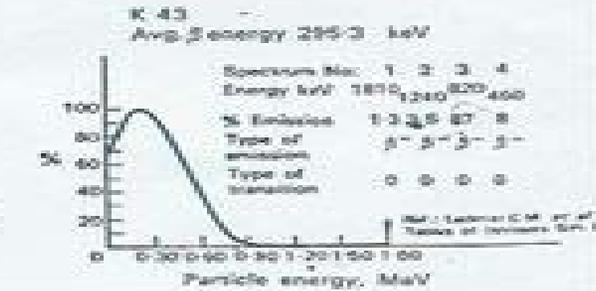
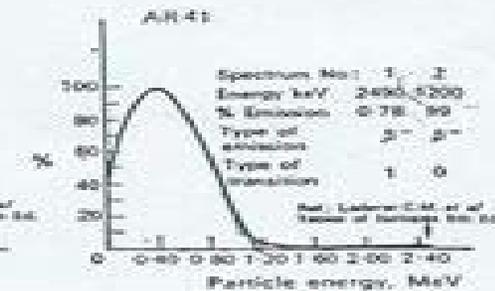
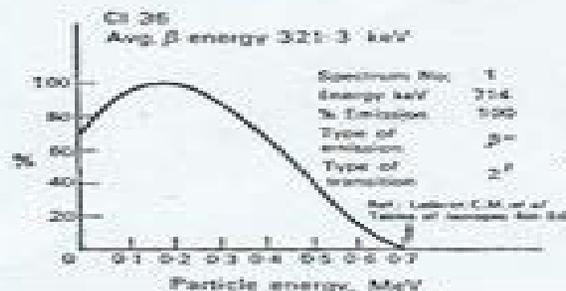
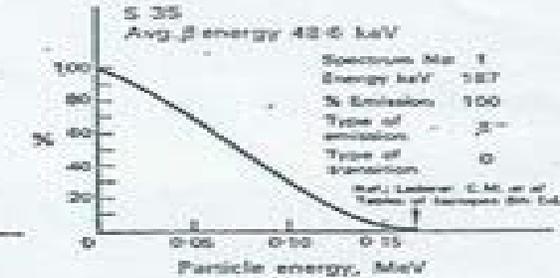
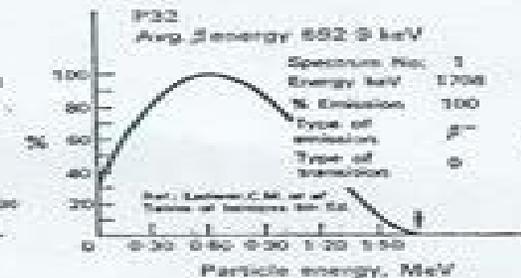
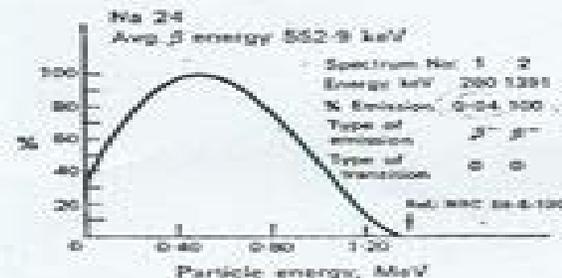
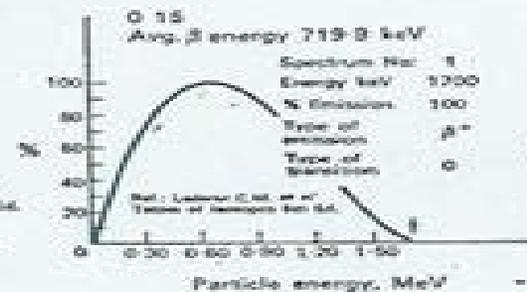
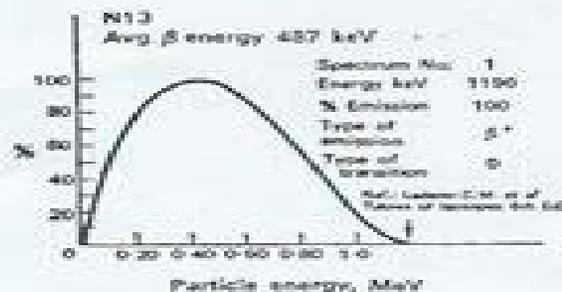
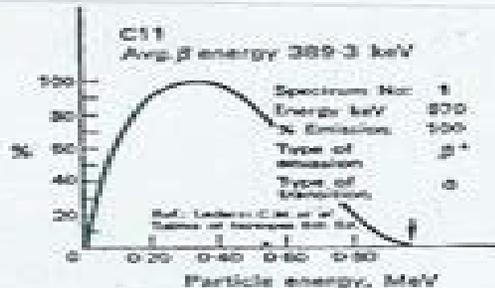
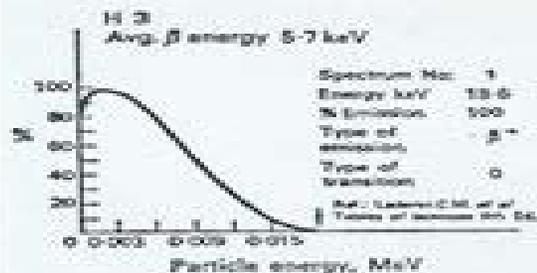


圖 10 : H200 (159 keV)



貝它能譜分析(5.7KeV~2.26MeV)



偵測實務

- 校正

α , β , γ , χ 射線偵測儀器

- 偵測

輻射作業區與環境區監測

例行與事故量測

偵測儀器校正

射線	校正源	能量範圍	儀器校正
α	Am-241	4.59~ 5.55 MeV	偵測效率(%)
β	Sr-90	0.15 ~2.27MeV	偵測效率(%)
γ	Cs-137	60 ~ 1250 KeV	校正因子
χ	ANSI射質代碼 H60 ~ H300	40 ~ 250 KeV	校正因子

α , β 表面污染偵檢器之校正系統與校正方法



參考射源、脈衝信號產生器及計數器組合



大面積與小面積 α / β 污染偵檢器校正

性能	參考射源	規範要求
射源追溯	$^{241}\text{Am}, ^{204}\text{Tl}, ^{90}\text{Sr}$	國家標準機構校正
表面發射率	2255 s^{-1} 至 7120 s^{-1}	2000 至 10000 s^{-1}
表面發射率不確定度	$\pm 1.6 \%$	$\pm 3 \%$
放射活度	9020 Bq 至 14240 Bq	追溯國家標準機構
放射活度不確定度	$\pm 6 \%$	$\pm 10 \%$
均勻度	$\pm 7.5 \%$	$< \pm 10 \%$
有效面積	100.5 cm	$> 100 \text{ cm}^2$
射源效率	$\alpha = 0.46$ 至 $0.48, \beta = 0.26$ 至 0.65 #建議 $\alpha = 0.25, \beta = 0.5$	

ISO 7503-1 (1988) 之效率計算公式

(1) 儀器效率 $\epsilon_i = n / S \times W$

n = 計數率 ($n = m - m_B$),

m = 活度偵檢器計數率 (s^{-1}),

m_B = 活度偵檢器背景值 (s^{-1}),

S = 參考射源表面發射率 ($s^{-1} \text{ cm}^{-2}$),

W = 偵檢窗面積 (cm^{-2})。

(2) 儀器反應 $E = \epsilon_i \times \epsilon_s$

ϵ_s = 射源效率(射源發射率/射源活度)

保守假設： $\epsilon_s = 0.5$, $E_{\beta\text{max}} > 0.4 \text{ MeV}$,

$\epsilon_s = 0.25$, $E_{\beta\text{max}} < 0.4 \text{ MeV}$ & α

γ , χ 偵檢器之校正系統與校正方法



加馬射線 ^{60}Co 標準輻射場強度之量測結果

設備	射源強度 (Bq)	距離 (m)	空氣克馬率 (Gy/h)	不確定度 (k=2)
^{60}Co	3.2×10^{12}	0.6	1.068	2.0 %
		0.8	6.320×10^{-1}	2.0 %
		1.0	4.037×10^{-1}	2.0 %
		1.2	2.793×10^{-1}	2.0 %



X 射線標準輻射場強度之量測結果

設備	射質 (NIST)	距離 (m)	空氣克馬率 (Gy/h)	不確定度 (k=2)
X 光機	M 40	1.5	9.7×10^{-2}	1.5 %
	M 100	1.5	5.4×10^{-2}	1.5 %
	M 150	1.5	7.7×10^{-2}	1.5 %
	M 200	1.5	9.1×10^{-2}	1.5 %
	M 250	1.5	9.0×10^{-2}	1.5 %
	M 300	1.5	4.1×10^{-2}	1.5 %

設 備	強度 (Bq)	空氣克馬率(Gy/h)	等效劑量轉換因子
137Cs 照射器	2.7×10 ¹³	6.5×10 ⁻² ~ 7.8×10 ⁻¹	1.21 (Sv/Gy)
	1.4×10 ¹²	3.4×10 ⁻³ ~ 4.1×10 ⁻²	
60Co 照射器	3.2×10 ¹²	3.1×10 ⁻¹ ~ 1.2	1.16 (Sv/Gy)

設 備	射質代碼 (NIST)	有效能量 (keV)	空氣克馬率 (Gy/h)	深部等效劑量 轉換因子
X 光機 (420kVp) (10 mA)	M 40	20	9.7×10 ⁻²	0.63 (Sv/Gy)
	M 100	41	5.4×10 ⁻²	1.52 (Sv/Gy)
	M 150	67	7.7×10 ⁻²	1.78 (Sv/Gy)
	M 200	102	9.1×10 ⁻²	1.74 (Sv/Gy)
	M 250	142	9.0×10 ⁻²	1.62 (Sv/Gy)
	M 300	210	4.1×10 ⁻²	1.47 (Sv/Gy)

偵檢器校正因子 = 參考值(Sv/h) / 器示值(Sv/h)
(能量依持及溫壓之修正)

輻射作業區與環境區加馬監測實務

- α / β 空浮監測(背景干擾): ^{220}Rn , ^{222}Rn
- α / β 總活度監測(低背景): β 活度干擾 α 活度
- 環境加馬劑量監測(低劑量):
HPIC V.S. Dual PSL
- 環境加馬(可攜式加馬能譜分析儀):
HPIC V.S. NaI(Tl)
- 解除管制廢棄物加馬活度監測(低活度):
Multi-HPGe V.S. PSL
- X射線洩漏檢查(低能量):
Ion Chamber V.S. Dual PSL
- 廢金屬, 髒彈加馬射源檢查(車輛門框偵測器)

- 因應輻射偵檢目的 (劑量, 污染, 洩漏量) 及依據偵檢儀器之特性 (能依性, 靈敏度等), 選擇適當的偵檢器
 1. 確認輻射種類 (能譜分析或偵檢器反應)
 2. 提高量測劑量之準確度 (儀器校正)

- 醫用 χ 光機洩漏檢查

1. 固定位置, 且已知能量與約略劑量
2. χ 光機靶照射時間極短(<1秒), 一般偵檢器反應時間 >1秒, 劑量未被量測或偏低

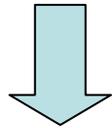
- 髒彈攻擊量測

1. 現場複雜混亂, 污染分佈廣泛
2. 即時能譜分析判斷核種(攜帶型HPGe > NaI偵檢器, 現場環境背景高), 並確認輻射種類
3. 管制污染範圍

建議事故處理之輻射偵測儀器 使用步驟

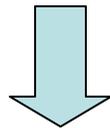
1. 人員警報器: 評估個人工作劑量, (進入災區)

高劑量率偵檢器: 判斷輻射劑量, (屏蔽防護)



2. 快速加馬偵檢儀: 確認加馬輻射範圍, (圍離)

污染偵檢器: 取樣分析確認污染範圍, (去污)



3. 加馬能譜分析儀: 鑑定核種, (適當距離量測)

低劑量率偵檢器: 評估表面等效劑量率

國內醫療用X光機照射條件

部 位	管電壓 (kVp)	管電流 (mA)	能量 (keV)	時間 (秒)
腹部	100	100	~37	~0.4
大白齒	125	<15	~45	~0.6
手、足	125	100	~45	>1
胸部	80	300	~30	0.05~0.1
洩漏測試	90	100	60	1

註：X光機洩漏 < 100mR/h (1米) : 1mSv/h
門縫 < 0.05mR/h (表面) : 0.5 μ Sv/h

游離腔偵檢器在X射線46keV能量的劑量率反應

廠牌 / 型號	照射時間 (秒)						標準值 (mSv/h)
	1	2	3	4	5	6	
VICTOREEN / 471	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.0	3.4
NE / PDM1	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	3.4
MORGAN / S.I	0	0.82	3.41	3.40	3.40	3.40	3.4
TA / CP44	3	3	3	3	3	3	3.4
EBERLINE / RO2	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3.4
VICTOREEN / 470A	2.1	2.1	2.3	2.3	2.35	2.35	3.4
VICTOREEN / 440RFD	0.41	0.51	0.59	0.68	0.71	0.73	0.71

註：**VICTOREEN / 470A**能量修正因子為**0.70**
VICTOREEN / 440RFD能量修正因子為**0.82**
MORGAN / S.I能量修正因子為**0.94**
NE / PDM1能量修正因子為**1.15**

χ 射線洩漏量測比較

固態閃爍體偵檢器 (ATOMTEX/AT1191)與

空氣游離腔偵檢器 (Victoreen / 440RF),(Mini-ion / smartion)



X 射線（有效能量約 90 keV）洩漏量測結果

量測條件 廠牌型號	90KVp,100mAs 快門全關	90KVp,200mAs 快門全關	90KVp,100mAs 快門微開 1x1cm	90KVp,100mAs 快門微開 2x2cm
Atomtex /AT1191	14.8 uSvh ⁻¹	26 uSvh ⁻¹	149 uSvh ⁻¹	1.72 mSv h ⁻¹
Atomtex /AT1191	16 uSvh ⁻¹	21.2 uSvh ⁻¹	193 uSvh ⁻¹	1.47 mSv h ⁻¹
Victoreen / 440RF	10 uSvh ⁻¹	10 uSvh ⁻¹	90 uSvh ⁻¹	>1 mSv h ⁻¹
Mini-ion / smartion	~10 uSvh ⁻¹	15 uSvh ⁻¹	250 uSvh ⁻¹	20 mSv h ⁻¹

固態閃爍體偵檢器之 χ 射線劑量率反應



項次	有效能量 keV	管電壓 kVp	管電流 mA	參考值 $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$	器示值 $\text{mSv}\cdot\text{h}^{-1}$	Type A (%)	校正 因子	擴充 不確
1	41	M100	0.5	53.6	46.0	0.00	1.17	5.0
2	67	M150	0.5	77.2	90.0	0.00	0.86	5.0
3	102	M200	0.5	91.2	113.5	0.39	0.80	5.0

偵檢器低能量（<100 keV）輻射劑量之量測

	種類	管電壓 (kVp)	有效能量 (keV)	用途
X 射線	醫療用 X 光機		(ANSI-M 系列)	
	• 胸腔	80	30	洩漏量檢查
	• 腹部	100	37	洩漏量檢查
	• 牙齒	120	45	洩漏量檢查
	• 移動式	120	45	洩漏量檢查
	工業用 X 光機		(ANSI-H 系列)	
	• 非破壞檢測	30~60	23.9~46.0	厚度、裂痕測試
		150~200	120~166.0	厚度、裂痕測試
	• X 光繞射儀	30	23.9	線路板檢查
	• 顯示器 (CRT)	30	23.9	洩漏量檢查
γ 射線	核醫藥物	¹³¹I	35.5	表面劑量
		²⁰¹Tl	31	表面劑量
		¹⁸²Ta	68	表面劑量
		⁶⁷Ga	93	表面劑量

門框輻射偵測儀器性能要求(廢金屬, 磷彈)



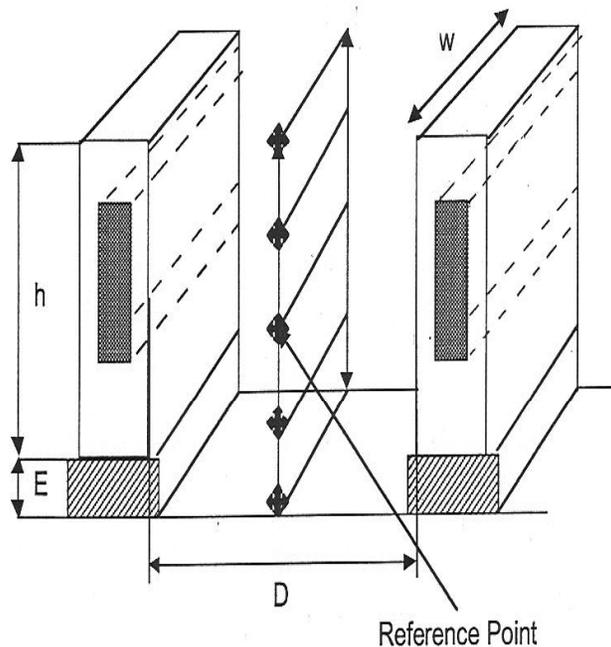
1. 偵檢器距離: 4 ~ 5m
2. 行進速度: 8 Km/h
3. 射源: Cs-137 (16 μ Ci)
Co-60 (4 μ Ci)
4. 背景值:
0.05~0.2 μ Sv/h
5. 系統失敗率: <1/1000

門框輻射偵測儀器參考條件和標準測試條件

影響量	參考條件 (除非製造商另有指示)	標準測試條件 (除非製造商另有指示)
穩定時間	15 分鐘	> 15 分鐘
環境溫度	20 °C	-30 °C 至 55 °C
相對濕度	65 %	10 %至 93 %
大氣壓力	101.3 kPa	70 kPa 至 106.6 kPa
參考點	標誌於有效中心	標誌於有效中心
外部來源之電磁場	可以忽略	小於能導致干擾 之最低值
外部來源之磁感應	可以忽略	小於由地球磁場引起之 磁感應值的兩倍。
儀表控制裝置	設置正常操作狀況	設置正常操作狀況
放射性污染	可以忽略	可以忽略
光子參考輻射	見表 3	Co-57、Co-60、Ba-133、 Cs-137、Th-228、Am-241
中子參考輻射	見表 3	Cf-252

門框輻射偵測儀器之校正

Diagram of mounting dimensions for portal detectors



where

- w is the width of the detection assembly
- h is the height of the detection assembly
- E is the height of detector mount
- D is the distance between detectors (measured from the detector's assembly or case)

最佳效率:

偵檢器中層之幾何中心

最劣效率:

偵檢器上緣位置與下緣
位置之幾何中心

效率計算:

平均淨計數率/射源活度

加馬能譜分析儀

標準值($\mu\text{Sv/h}$)	器示值($\mu\text{Sv/h}$)	校正因子
4	4.6	0.89
8	8.8	
20	20.6	1.06
80	70	

註: $> 80 \mu\text{Sv/h}$ 飽和現象

髒彈來源：工業用，廢棄物，
取得容易，可擴散(粉末)
裝置方式：手提箱，汽車

核種	γ 能量(keV)
Cs-137	662
Co-60	1173, 1332
Ir-192	317, 468, 296, 308
Am-241	59

可攜式加馬能譜分析儀

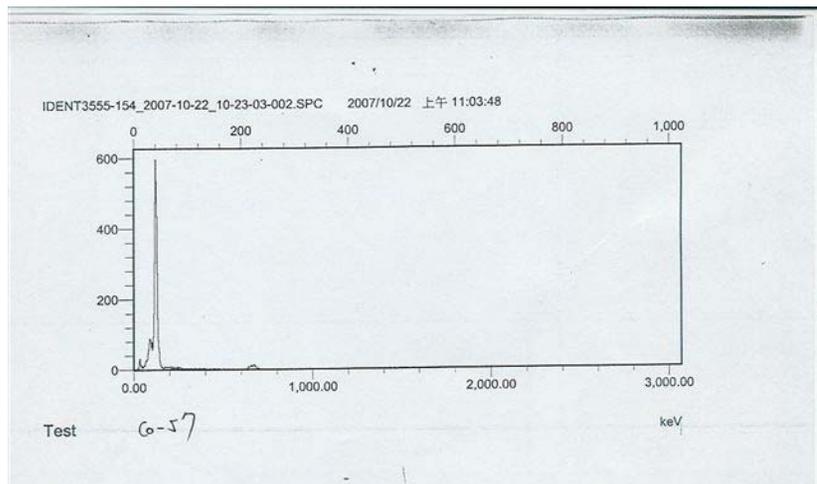
(1) 純鍺偵檢器

- 效率低
- 鑑別力佳(< 2keV)
- 複雜核種
(核爆與核電廠事故)

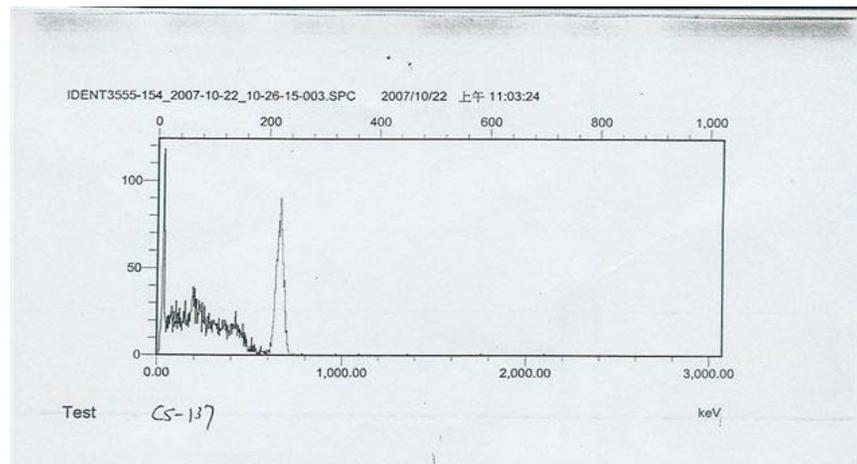
(2) 碘化鈉偵檢器

- 效率高
- 鑑別力差(> 60keV)
- 簡易核種
(髒彈攻擊事故)

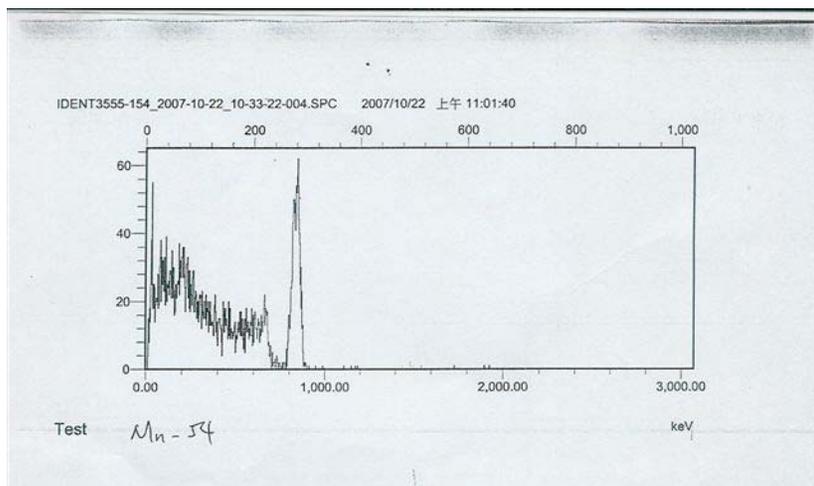
碘化鈉偵檢器加馬能譜分析(點射源)



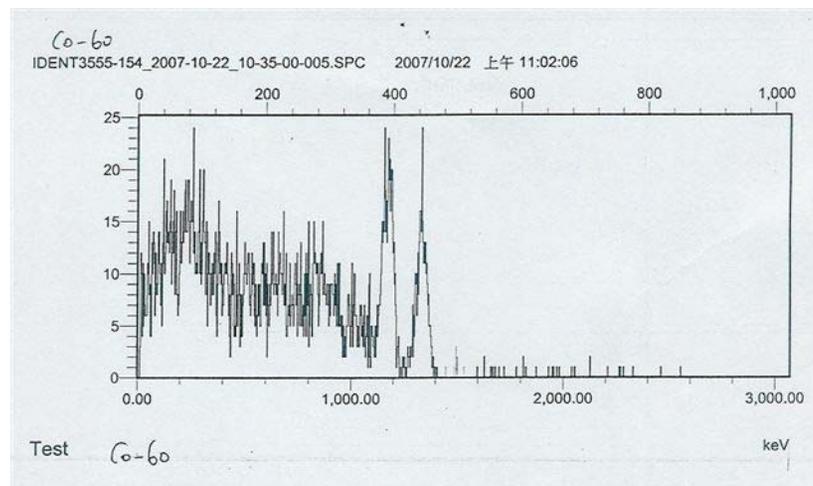
(⁵⁷Co)



(¹³⁷Cs)

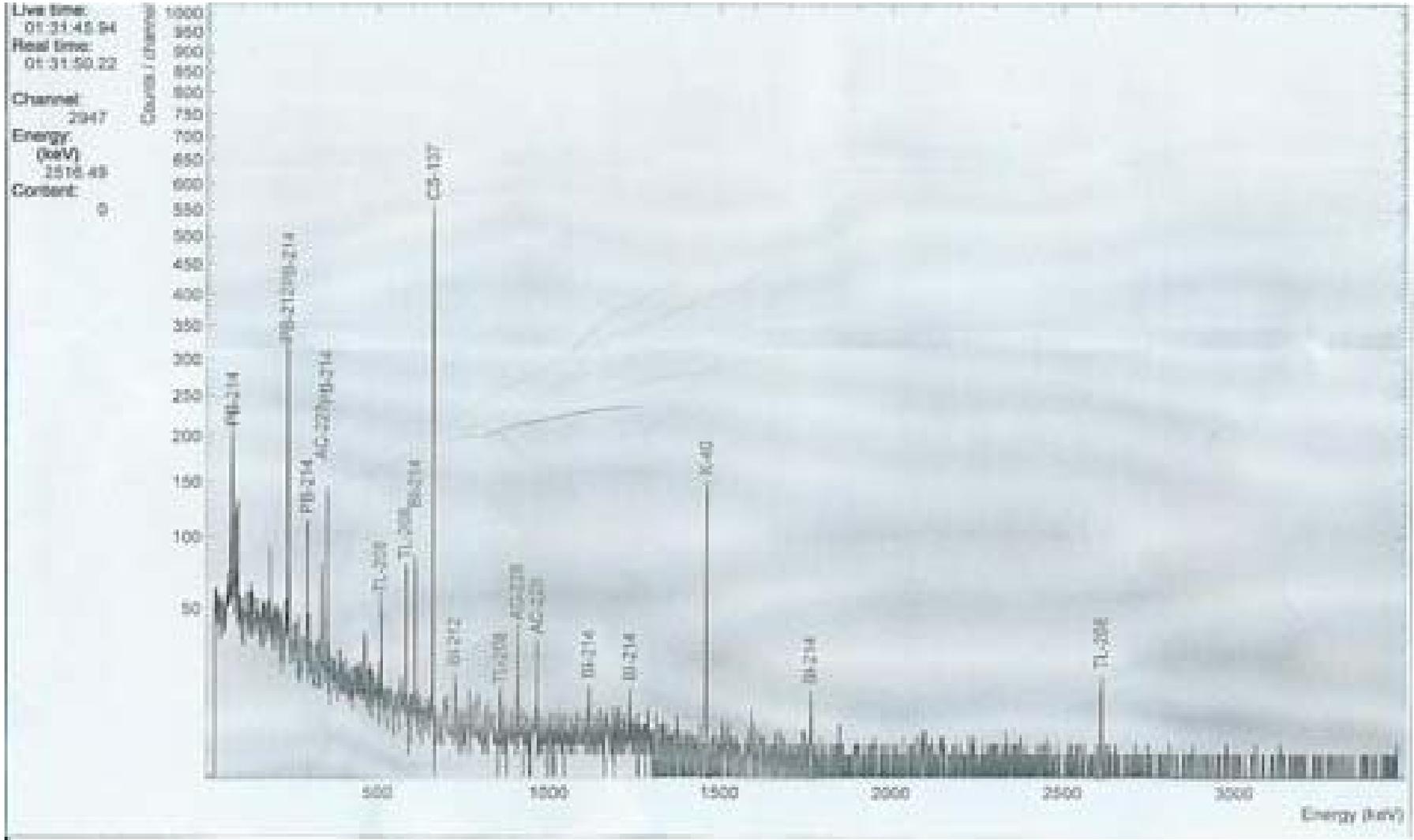


(⁵⁴Mn)



(⁶⁰Co)

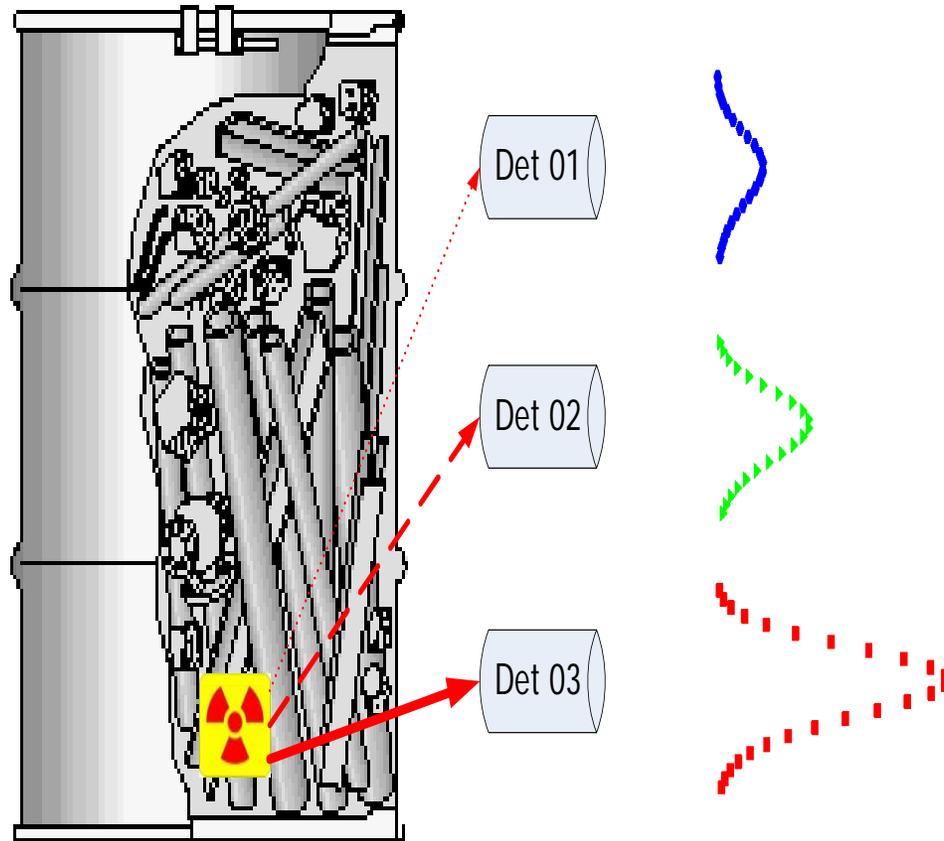
純鍺偵檢器加馬能譜分析(環境土壤)



解除管制廢棄物加馬低活度監測儀器

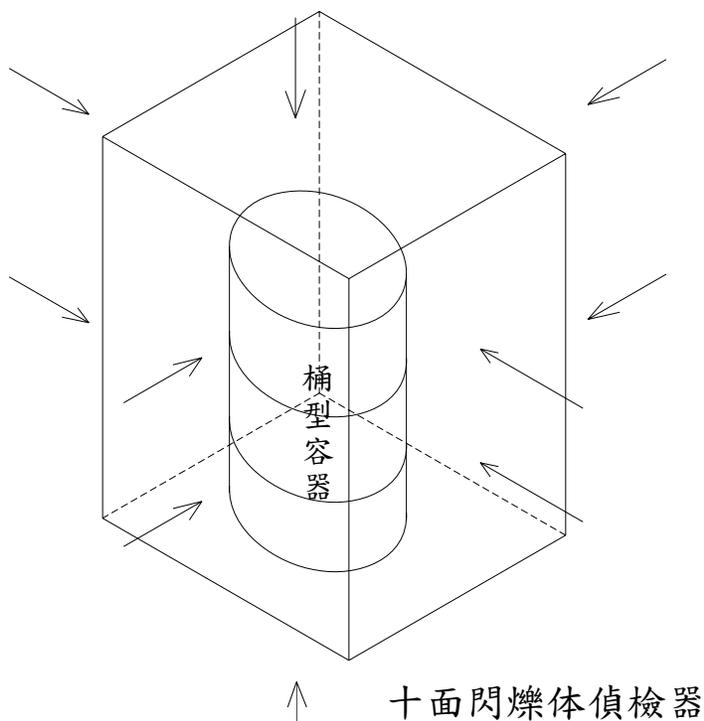
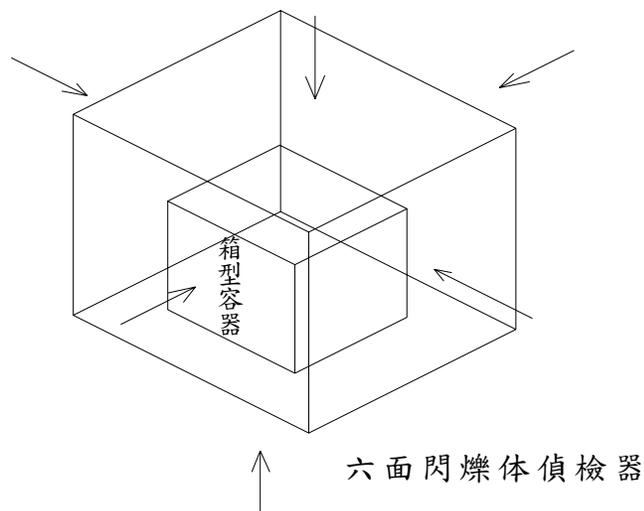
純鍍偵檢器之計測原理

光子與3部純鍍偵檢器
(上中下層)之作用機制



- 鑑別上中下層之熱點分布
- 鑑別個別核種與活度
- 整桶旋轉計測, 3部之數據平均
- 計測效率低, 分析時間長

閃爍體偵檢器之計測原理(對稱與全方位)



光子與塑膠閃爍體之作用機制

- 材料便宜,易聚合成大體積固態溶液閃爍體
- 高閃爍效率轉換成可偵檢光
- 靈敏度高,具飽和現象,適合量測低劑量
- 光電管易受潮,倍增放大原來的光電子數為 10^7 電子訊號

項目	閃爍體偵檢器	純鍺偵檢器
設備費用	300 萬元	> 2000 萬元
計測時間	1 分鐘	10 分鐘
靈敏度	高 (35 % x 6部~10部閃爍體偵檢器)	低 (60 % x3部純鍺偵檢器)
鑑別力	差 (NaI: ⁵⁷ Co、 ¹³⁷ Cs、 ⁶⁰ Co及 ⁵⁴ Mn)	佳 (一般加馬核種)
熱點判別	佳(6面~10面位置)	差(上,中,下層位置)
操作維修	容易,室溫計測	複雜,液氮補充

MDA = 3 + 4.65 ($\sqrt{C_{BG}}$) / $\epsilon \times V \times T$, NUREG-1507(1998)
(原能會要求MDA < 一定比活度(0.1Bq/g)之20%)

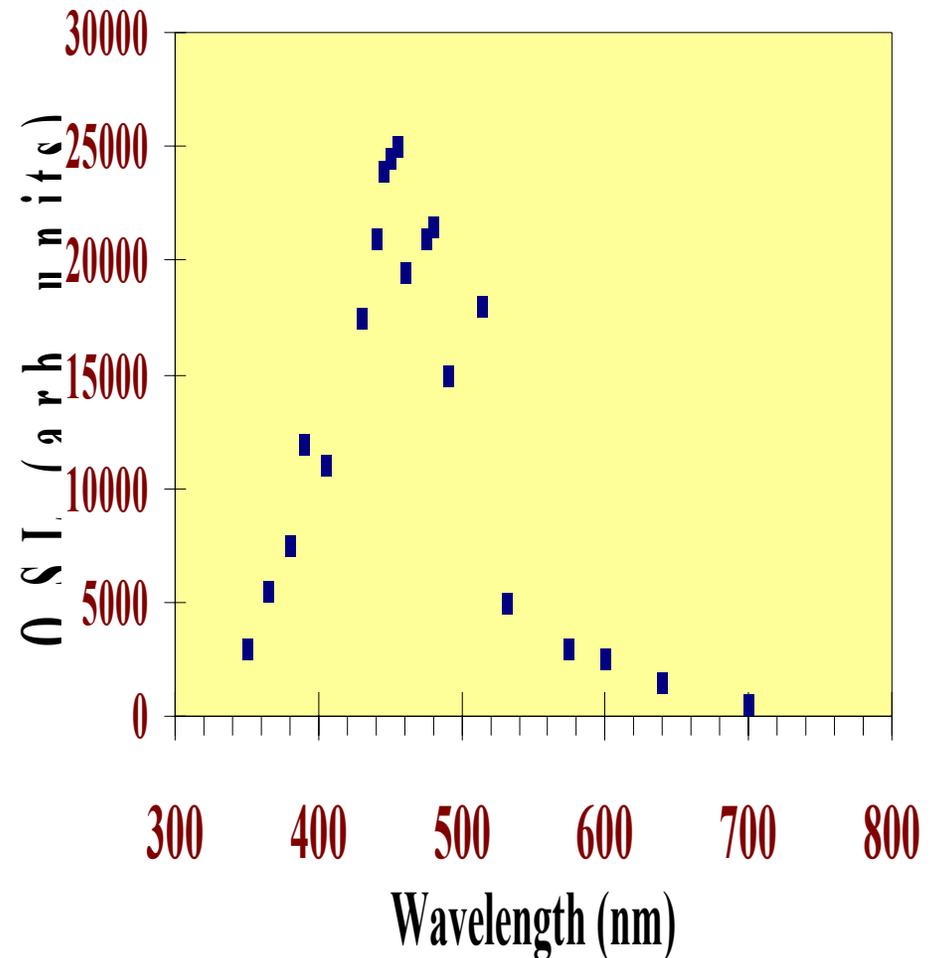
	桶型 (210L)		箱型(40L)
核種	純鍺偵檢器 (Bq/g)	閃爍體偵檢器 (Bq/g)	閃爍體偵檢器 (Bq/g)
Co-60	0.0012	0.0003	0.001
Mn-54	0.0014	0.001	0.009
Cs-137	0.011	0.002	0.010

冷發光劑量計(Optically Stimulated Luminescence)



Emission Spectrum of $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$

綠光 → 激發 → 藍光

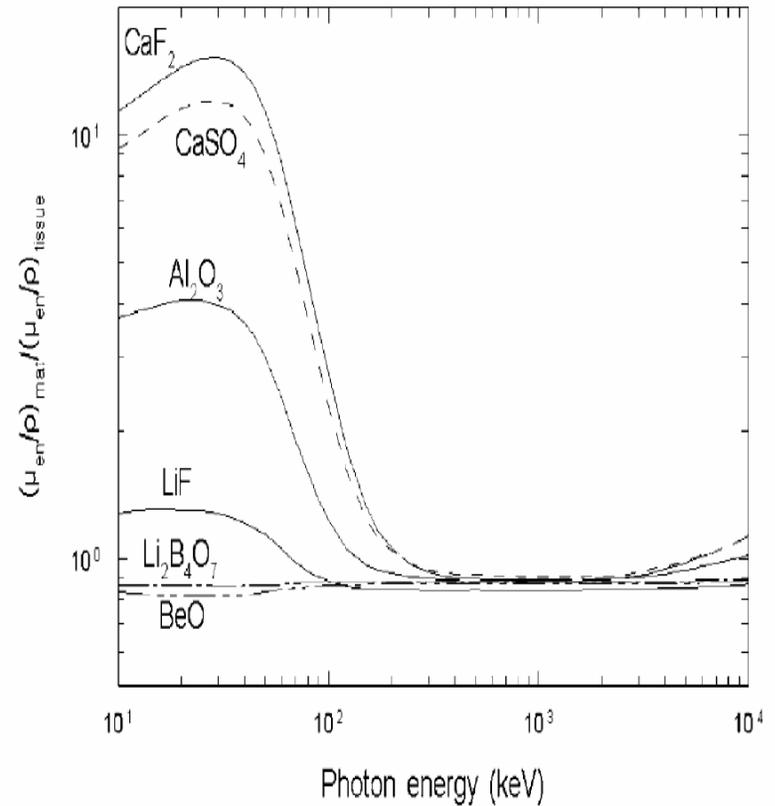
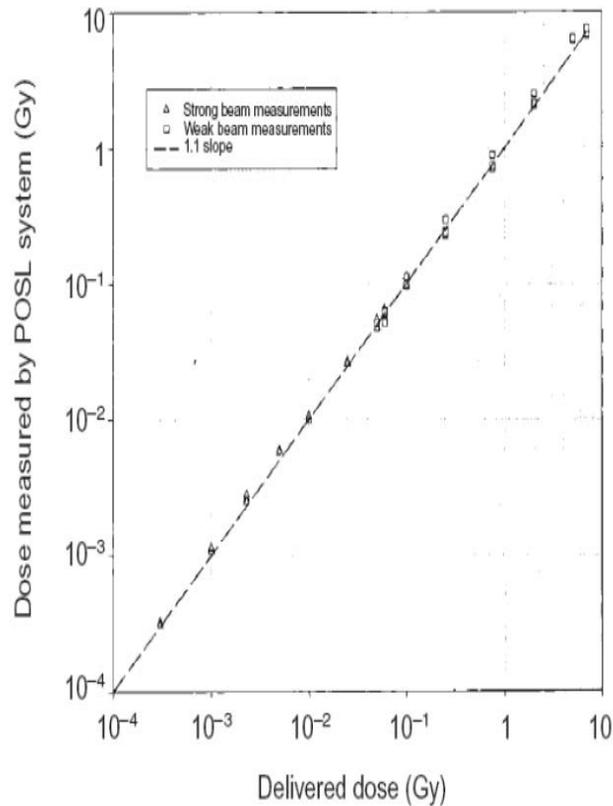


人員輻射劑量評定機構認可及管理辦法

中華民國九十一年十二月十一日行政院原子能委員會會
字第○九一○○二三六九一號令訂定發布全文十七條
中華民國九十六年七月二十六日行政院原子能委員會會
字第○九六○○二○一一九號令修正第二條、第三條及第
十七條

第三條 本辦法之劑量計指熱發光劑量計、膠片劑量計、光刺激發光劑量計及其他經主管機關公告之劑量計。

劑量與能量之反應



Akselrod, M.S., McKeever, S.W.S., 1999. A radiation dosimetry method using pulsed optical luminescence. Radiat. Prot. Dosim. 81, 167-176.

Bos, A.J.J., 2001. High sensitivity thermoluminescence dosimetry. Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 184, 3-28.

OSL Dosimeter 性能與優點

- 劑量範圍：0.01mSv~10Sv
- 能量反應：±10% (20keV ~ 662keV)
- 角度反應：±10% (0° ~ 60°)
- 重複計讀,計讀前不需溫熱
- 操作維修簡易
- 價廉(熱發光之1/3)
- 攜帶式計讀儀,室外計讀
- 塑膠膜體積小,易儲藏

敬請

指教