

本資料は 年 2001. 6. - 6 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

TLDによる β 線吸収線量測定法の開発

β ray Dosimetry by Thermoluminescent Dosimeter

1978年10月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001

T N 841-78-54

1978年10月



TLDによる β 線吸収線量測定法の開発

β -ray Dosimetry by Thermoluminescent Dosimeter

実施責任者 齊藤 節子

報告者 石黒 秀治

野田 喜美雄

期間 1977年4月1日～1978年7月31日

目的 再処理施設での個人被曝管理上必要なTLDによる β 線吸収線量測定法を開発し、個人管理へ応用する。

要旨

β 線に感度のあるTLD素子として松下電器のUD-100M8（TLD材質 $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ ）を使用し、 β 線吸収線量測定法の開発を行った。

TLD素子3枚を組み合わせ各々の蛍光量を基に β 線及び γ 線の混合被曝した場合の β 線吸収線量を分離測定することが可能になりまた同時に被曝 β 線の最大エネルギーも評価することが可能となった。

β 線量に対する検出限界値は100mrad±100%，300mrad±50%であった。

目 次

1. はじめに	1
2. β 線源の吸収線量率校正	2
2. 1 β 線源	2
2. 2 基準測定器	3
2. 3 β 線源の吸収線量率測定結果	6
2. 4 β 線源の波高分布	11
3. β 線吸収線量計の構造と原理	13
3. 1 TLD 素子及び β 線吸収線量計の構造	13
3. 2 β 線及び γ 線の混合被曝における β 線吸収線量の分離測定原理	15
4. β 線吸収線量計の校正	18
4. 1 使用線源	18
4. 2 照射方法及び使用ファントーム	18
4. 3 熱螢光測定装置の測定条件及び TLD のアニール条件	20
5. 線量算出に必要な基礎データ	21
5. 1 NRI-TL の測定	21
5. 2 γ 線に対する感度	22
5. 3 β 線に対する感度	29
5. 4 バラツキ	34
5. 5 直線性	34
5. 6 β 線最大エネルギー指標	37
6. β 線吸収線量の評価手順	42
6. 1 バックグラウンド及び被曝 γ 線のエネルギー評価	42
6. 2 線量評価手順	45
6. 3 混合照射した線量計の測定例と 3 ケ月間の β 線吸収線量計の バックグラウンド	46
7. 結論、問題点	51
8. 付 錄	52

1. はじめに

再処理工場では外部被曝を与える放射線の種類として γ 線や中性子線の他にFPからの β 線によるものがある。

β 線は物質との相互作用が大きく、それ故 β 線による被曝は局部的ではあるが大きな吸収線量を対象部位に与える。したがって、 β 線は γ 線に比べてしゃへいが簡単であることなどの理由で β 線被曝の問題は軽視されがちであるが皮膚等の局部の被曝に対しては γ 線による被曝よりも慎重な態度が必要である。

放射性物質を取扱う作業において、手部における β 線被曝はその作業形態からしても γ 線被曝同様重要な意味をもつ。しかしながら全身の皮膚に対する β 線被曝は、身体の大部分が衣服等により保護されており皮膚の露出部が少ないので被曝管理上 β 線による吸収線量が問題になることは少ない。しかしながら個人被曝線量計から得られる線量情報は個人被曝管理あるいは放射線管理上意味のあるものである。

点線源あるいは放射線雲中における β 線による被曝の計算や β 線放出核種による皮膚汚染時の被曝線量の計算を行ったものにS.FUKUDA¹⁾あるいはK.BINGO²⁾その他³⁾⁴⁾⁵⁾の文献がある。また β 線による個人被曝線量を測定する方法としては原研が行っているフィルムバッジによる方法や台形の螢光ガラス線量計を用いた方法⁶⁾などがある。

動燃東海においては昭和49年7月に、従来使用してきたフィルムバッジ(原研IV型)に換えてTLDバッジを用い個人外部被曝管理を開始した。この動燃型TLDバッジは測定対象放射線を γ 線、熱中性子線、速中性子線及び β 線とし、全てTLDを用いて測定できる仕様である。このたび昭和52年7月から再処理工場のホット試験が開始するにあたり、 β 線と γ 線の混在場において、かつ被曝した β 線の最大エネルギーが未知であっても β 線による全身及び手の皮膚の被曝線量が評価し得る β 線吸収線量評価法の開発を行った。

2. β 線源の吸収線量率校正

2.1 β 線源

β 線吸収線量計の照射を行うために使用した β 線源は、RCC から購入した ^{90}Sr — ^{90}Y , ^{204}Tl および ^{147}Pm の各 1mCi でありその外観を図 1 に示す。これらの線源形

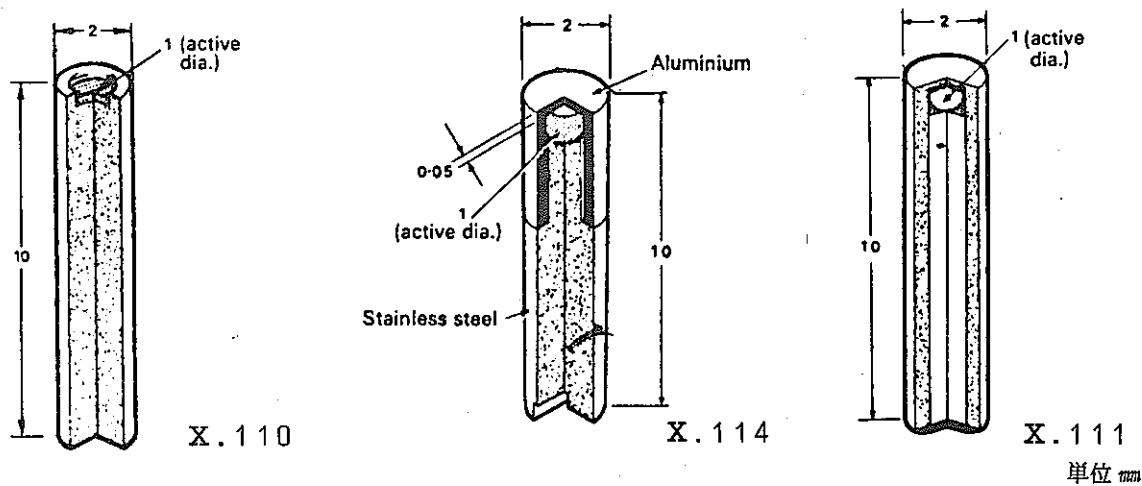


図 1 β 線源

状は、直径 1mm 中に製作された点線源を $2\text{mm} \phi \times 10\text{mmH}$ のステンレス棒の上部にうめ込み、上部を薄い銀またはステンレス板で密封したものである。図 1 に示す各線源は寸法が小さく使用に不便であり、また紛失するおそれもあったため図 2 に示すアクリル製

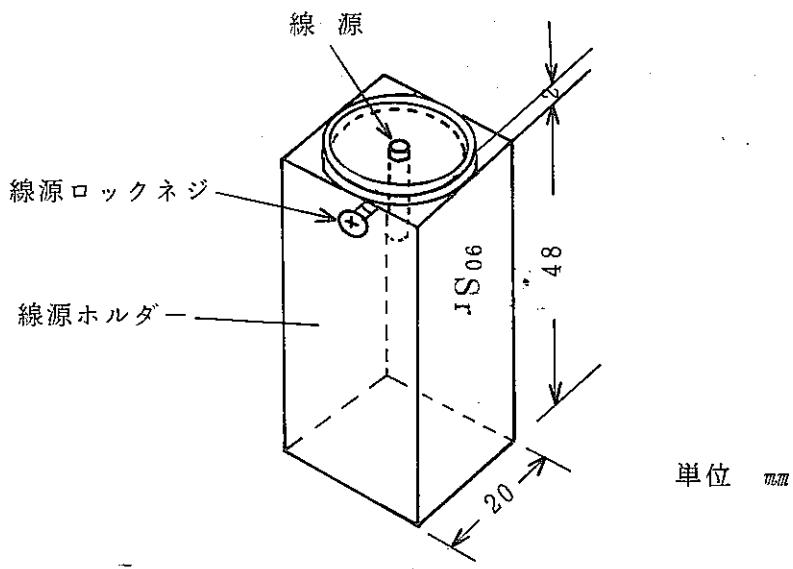


図 2 線源及び線源ホルダー

線源ホルダを製作して線源を取付け、照射実験等においては、線源をホルダに取付けた状態で使用した。表1には使用した β 線源の仕様を示す。

表1 β 線源の仕様

Point Source

Source Activity (mCi)	Capsule type	Emax (Mev)	Half life	Reference date	of calibration
^{147}Pm 1	X.110	0.224	2.62Y	5 DEC'75	Disc of promethium-147/silver foil mounted in a stainless steel capsule.
^{204}Tl 1	X.114	0.766	3.81Y	16 DEC'75	Thallium-204 incorporated in a pellet of ion-exchange material, mounted in a metal capsule.
^{90}Sr 1	X.111	0.546 (2.27)	27.7Y	28 NOV'75	Strontium-90 in the form of a 1 mm diameter glass bead, sealed in a welded stainless steel capsule, window thickness 0.05 mm.

2.2 基準測定器

2.2.1 吸収線量率の基準

β 線源からある距離における皮膚不感層直下の吸収線量率の算出法は「外部被曝による β 線吸収線量の評価」⁽¹⁾や「 β 線表面吸収線量の評価」⁽²⁾その他⁽³⁾⁽⁵⁾の文献で述べられており β 線点線源の核種(Emax)及び放射能強度が既知であればこれらの値を用いて β 線源の吸収線量率の値付けが可能である。

一方、K. BINGO et al. は検出器にプラスチックシンチレータを用いて最大エネルギーが0.4～3.5 MeVの間で β 線源の吸収線量率が測定できる β 線吸収線量率測定器を開発しており⁽⁶⁾、今回はこの測定器を基準測定器として使用し、 β 線源の吸収線量率の値付けを行った。

K. BINGO et al. の採用した β 線吸収線量率の基準は Cross の計算結果を基にしており、Cross は Spencer の理論値を連続スペクトルである β 線の場合に適用し、37核種について空気中および水中での線量分布を与えていた。⁽⁷⁾ Cross の計算結果から、K. BINGO らが求めたフルエンス当りの吸収線量率と最大エネルギーとの関係⁽⁶⁾を図3に示す。

なお、今回用いた皮膚不感層の厚さは手のひら側については 4.0mg/cm^2 、他の皮膚については 7mg/cm^2 *とした。

* ICRP Pub. 26 (1977)

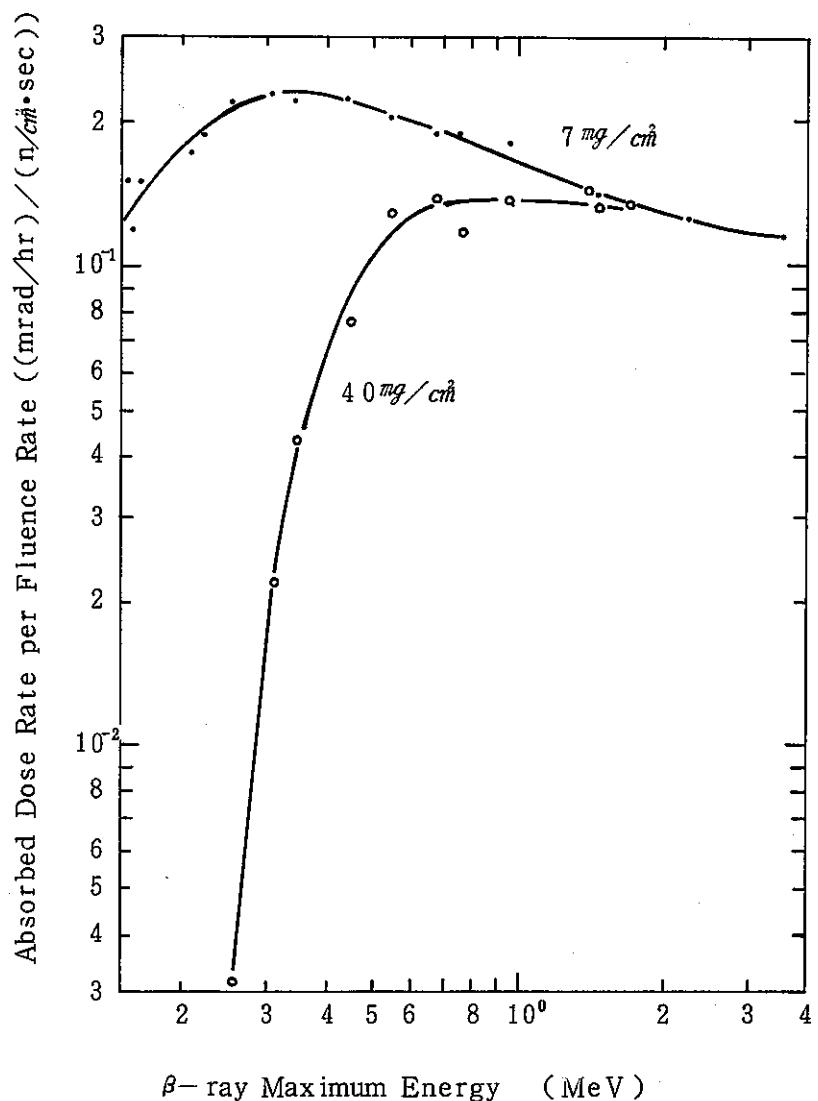
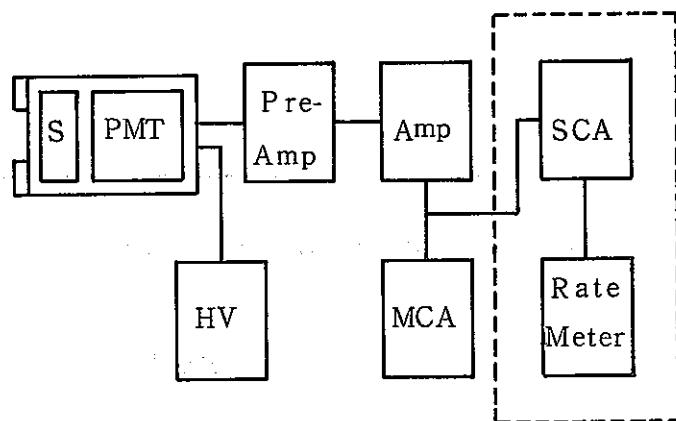


図3 β -ray absorbed dose rate per fluence rate at a surface as a function of maximum energy.
Parameters in the figure are epidermal thickness.

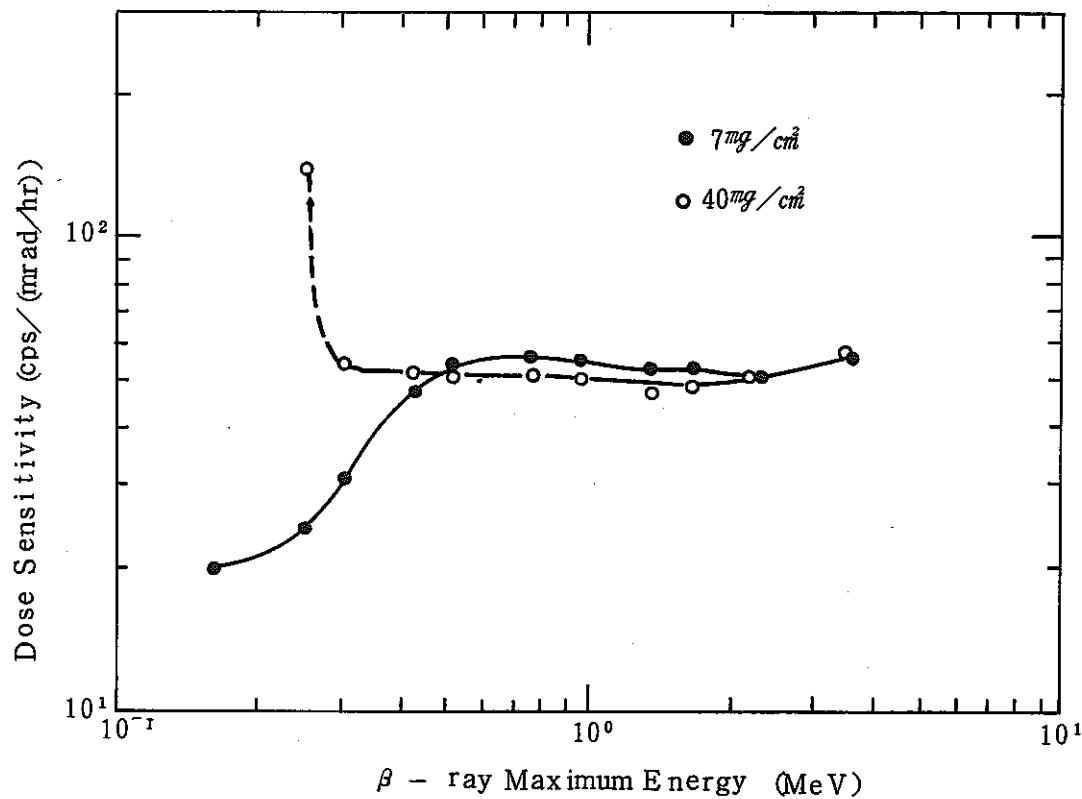
2.2.2 基準測定器の構成及び特性

基準測定器として用いた β 線吸収線量率測定器のブロックダイヤグラムを図4に示す。⁽³⁾ この測定器は検出器として厚さ2mmのプラスチックシンチレータを用いており、その特性は、 ^{137}Cs の内部転換電子(0.63MeV)⁽³⁾を測定したピークがMCAの106チャンネルになる様HVやAMPゲインを調整した時、MCAの2~80および26~86チャンネルの総計数がそれぞれ $7\text{mg}/\text{cm}^2$ および $40\text{mg}/\text{cm}^2$ の不感層直下の吸収線量に比例する。さらにこの測定器はプラスチックシンチレータの厚さとカウント数を積算するチャンネル幅を β 線の最大エネルギーが変化しても感度が一定である様に選択しているため、 β 線の最大エネルギーが約0.4MeVから約3.5MeV程度までは線量感度が $50\text{cps}/(\text{mrad}/\text{hr}) \pm 15\%$ で一定となっている。

図4 Block diagram of β -ray absorbed dose rate meter

S:scintillator, PMT: photomultiplier tube,
Amp.: amplifier, MCA: multichannel analyzer,
SCA : single channel analyzer,
Rate Meter:dose rate meter.

図5に β 線吸収線量率測定器の最大エネルギーに対する線量感度特性を示す。⁽³⁾

図 5 β 線吸収線量率測定器の線量感度

2.3 β 線源の吸収線量率測定結果

2.2.2 で示した β 線吸収線量率測定器を用い表 1 に示す β 線源の吸収線量率の測定を実施した。不感層が 7 mg/cm² または 40 mg/cm² における吸収線量率は下式から求めた。

皮膚不感層が 7 mg/cm² の場合

$$DR_7 = C_{2-80} / DS \quad [mrad/hr] \quad (2.1)$$

皮膚不感層が 40 mg/cm² の場合

$$DR_{40} = C_{26-86} / DS \quad [mrad/hr] \quad (2.2)$$

ここで

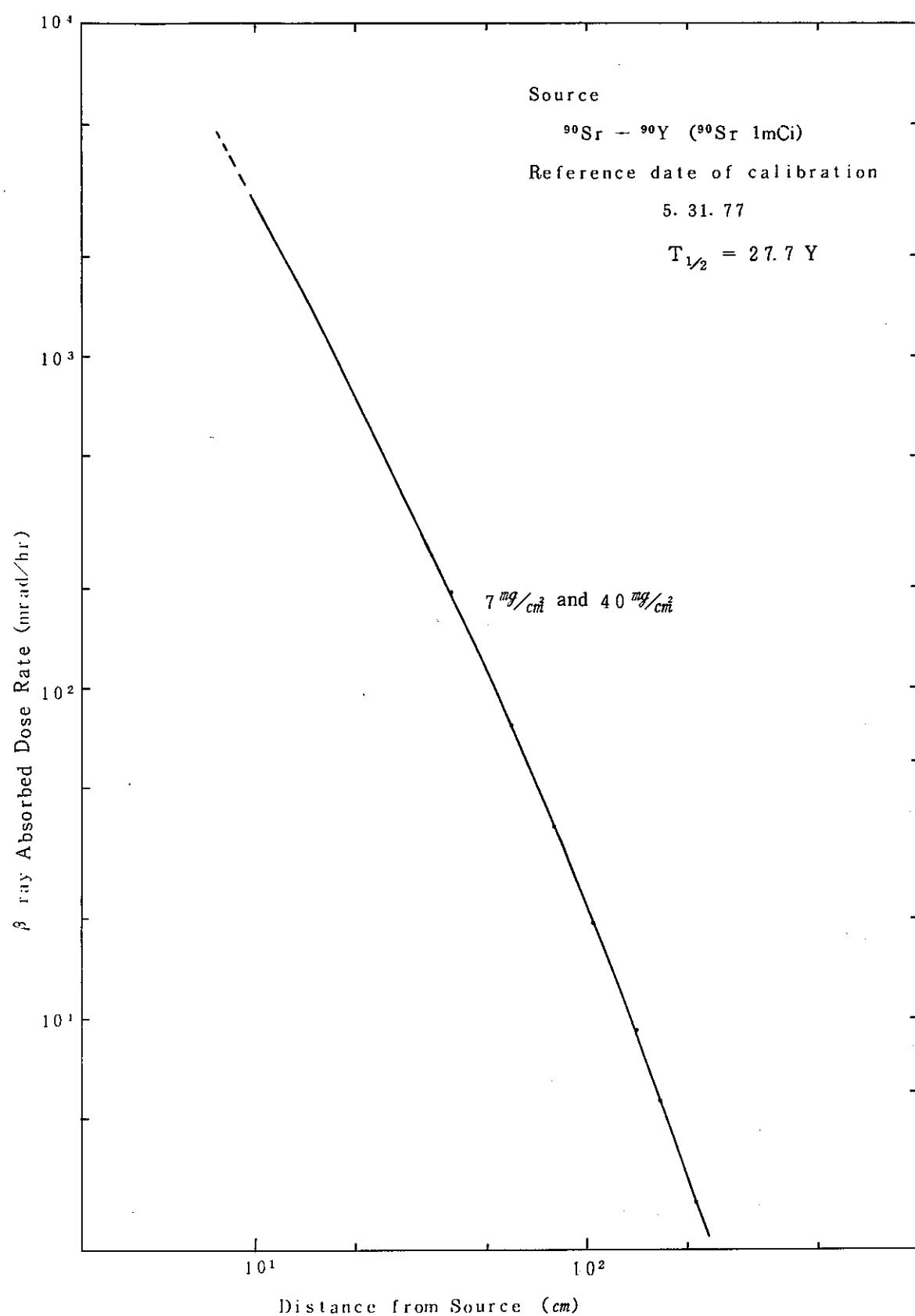
DR_x： 皮膚不感層が X mg/cm² であるところの吸収線量率。

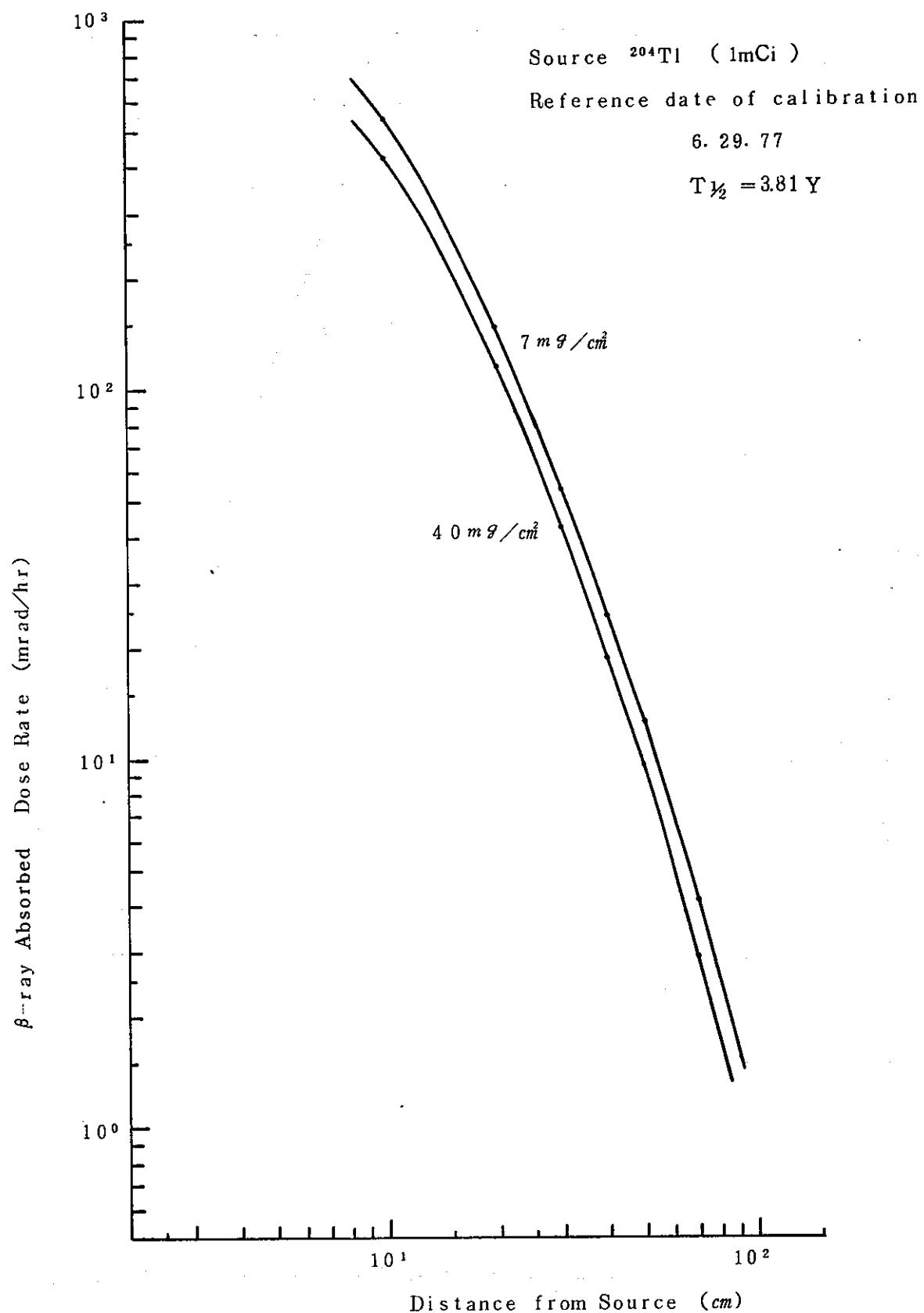
C_{m-n}： 図 4 に示す β 線吸収線量率測定器のプロックダイヤグラムにおいて MCA のチャンネルが m から n までの正味の総カウント数 (cps)

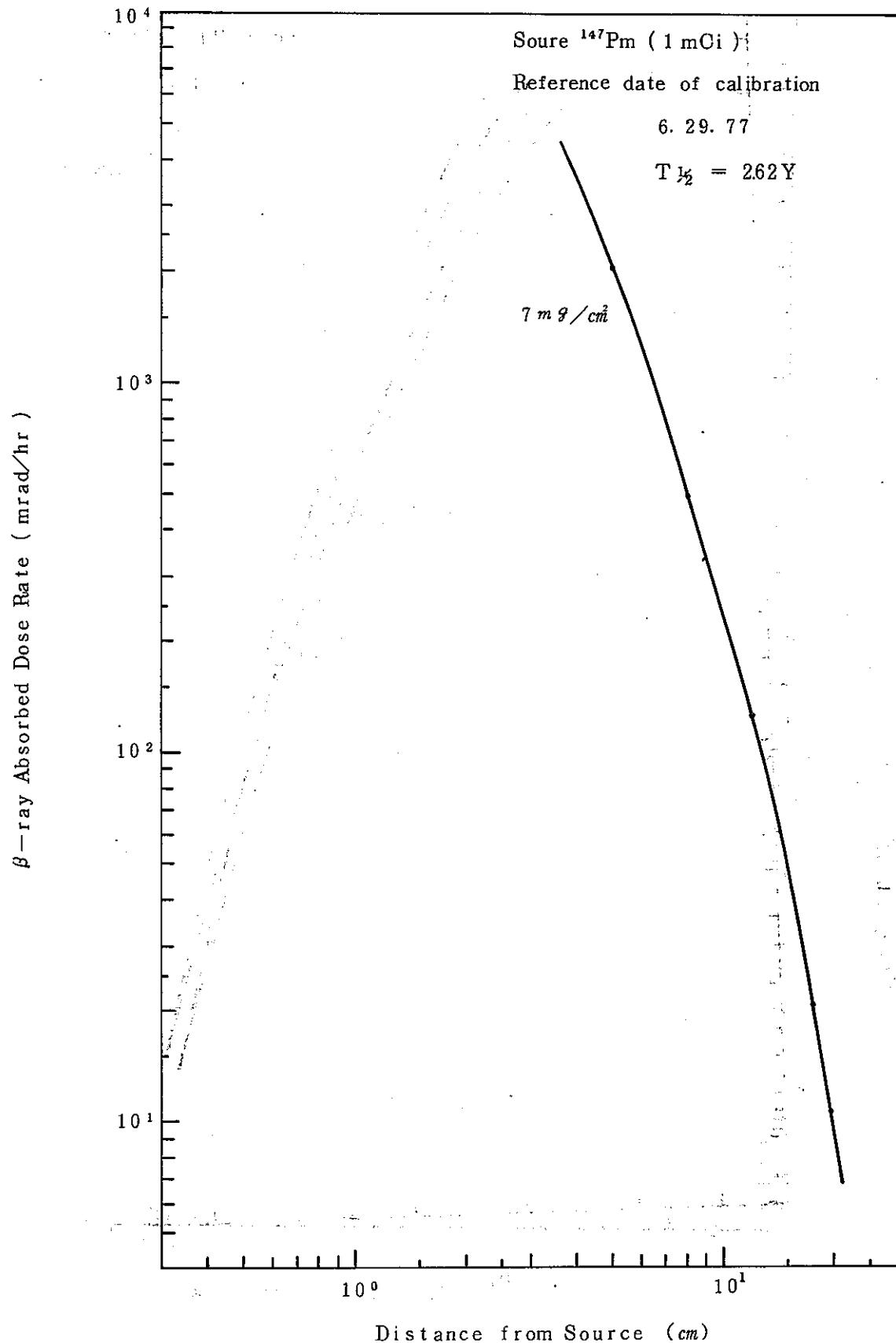
DS : β 線の線量感度 (図 5)。ただし本測定に使用した測定器の線量感度は 無直徑が 20 mmφ であり、図 5 に示す値 (直徑 40 mmφ の場合) より小さいので面積補正を行い

$$50 \times \left(\frac{20}{40}\right)^2 = 12.5 \text{ cps}/(\text{mrad/hr}) \text{とした。}$$

各線源からの距離に対する吸収線量率を図6、図7および図8に示す。なお図6の⁹⁰Sr-⁹⁰Yの場合における線源間距離に対する吸収線量率の図において線源間距離が32.9 cm以内の吸収線量率の値は、⁹⁰Sr-⁹⁰Y 1mc i の吸収線量率が高くなり、使用したβ線吸収線量率測定器ではスケールオーバーしてしまった。このためあらかじめ TLD (UD-100M8) を32.9 cmより長い距離において既知線量を照射し、TLDの照射線量に対する発光量の関係を求め32.9 cm以内の⁹⁰Sr-⁹⁰Yの場合における吸収線量率はTLDの発光量を基準にして外挿し決定した。

図 6 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ (1mCi) の吸収線量率曲線

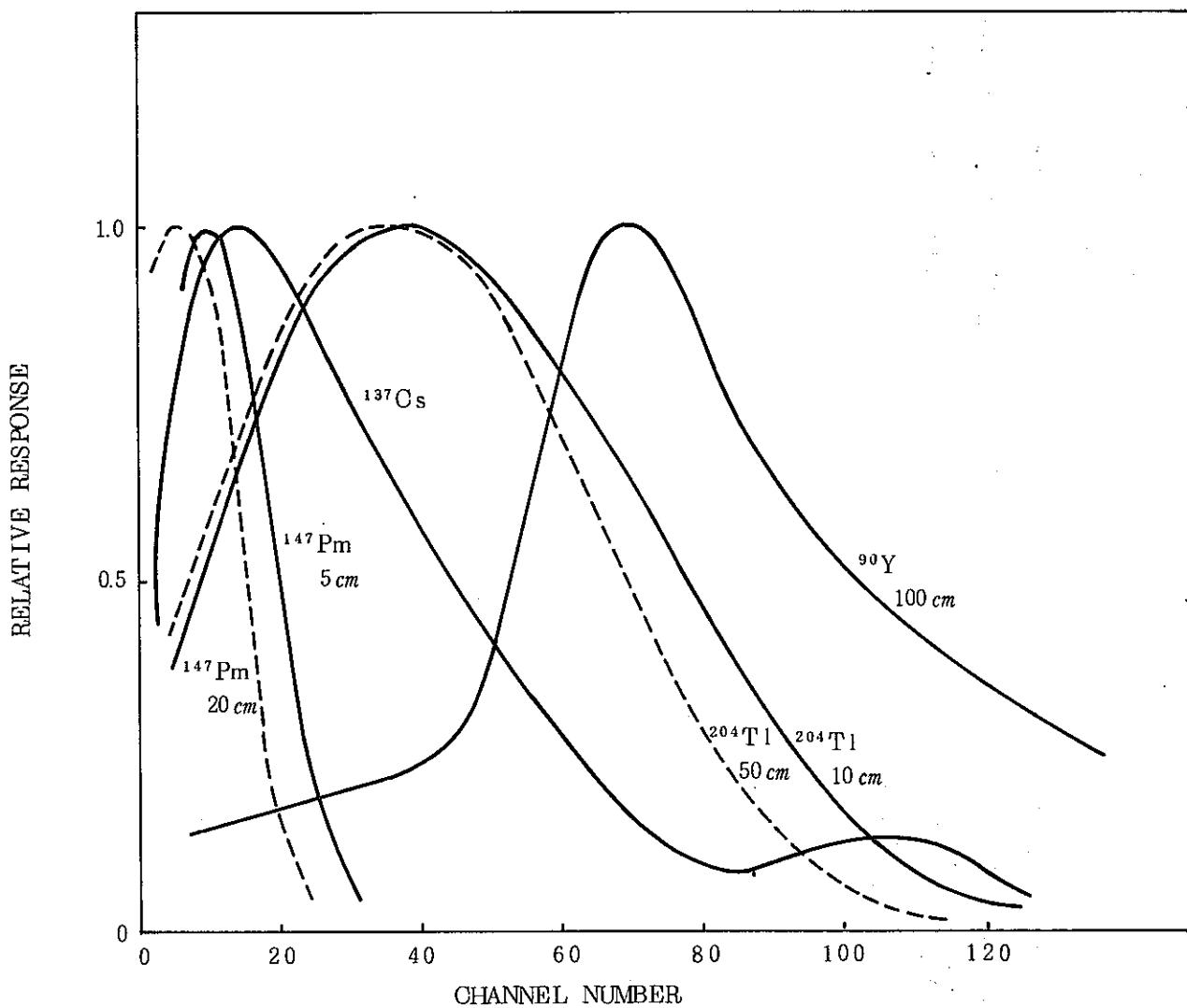
図 7. ^{204}Tl の吸収線量率曲線

図 8 ^{147}Pm の吸収線量率曲線

2.4 β 線源の波高分布

β 線吸収線量率測定器を用いて測定した校正用 β 線源の波高分布を図 9 に示す。

各波高分布図において、横軸は図 4 に示す MCA のチャンネル番号、たて軸はチャンネル当りのカウント数であり、ピークの高さは全て規格化して表わした。また同図には β 線吸収線量率測定器の校正に用いた ^{137}Cs の β 線及び 0.63MeV 電子の波高分布をも示し 0.63MeV のピータが 106ch になる様に調整されていることがわかる。 ^{204}Tl 及び ^{147}Pm の波高分布については、線源間距離を変えた場合の波高分布も同時に示した。線源と測定器間の距離が変ると波高分布も変化し低エネルギーの β 線ほど空気による減衰が無視できない。 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ についてはそのほとんどが ^{90}Y の（最大エネルギーが 2.25MeV ） β 線によるものであることがわかりまた波高分布も線源間距離が $0.4m \sim 2.0m$ までは変化しなかった。

図9 β 線波高分布図

3. β 線吸収線量計の構造と原理

3.1 TLD素子及び β 線吸収線量計の構造

使用した TLD 素子は松下電器産業㈱の UD-100M8 であり TLD 素子を組込むアダプタは同社の UD-611F を使用した。 β 線感度を有する TLD 素子 UD-100M8 は $30 \mu\text{m}$ の Al 箔ベースに熱蛍体として $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ を $60 \mu\text{m}$ の厚さで塗布しその上を樹脂でコーティングしたものであり、外形寸法は直径が $8 \text{ mm}\phi$ である。 β 線及び γ 線の混合照射から γ 線寄与分を分離するために組込んだシールドは 0.8 mm t の鉛を 0.3 mm t の Al ではさんだもので直径は $8 \text{ mm}\phi$ である。 β 線吸収線量計は、TLD 素子 2 枚、シールド 1 個、TLD 素子 1 枚の順序でアダプタ (UD-611F) に組込み構成した。その概略を図 10 に示す。またアダプタ (UD-611F) には β 線入射方向に $35 \mu\text{m}$ 厚

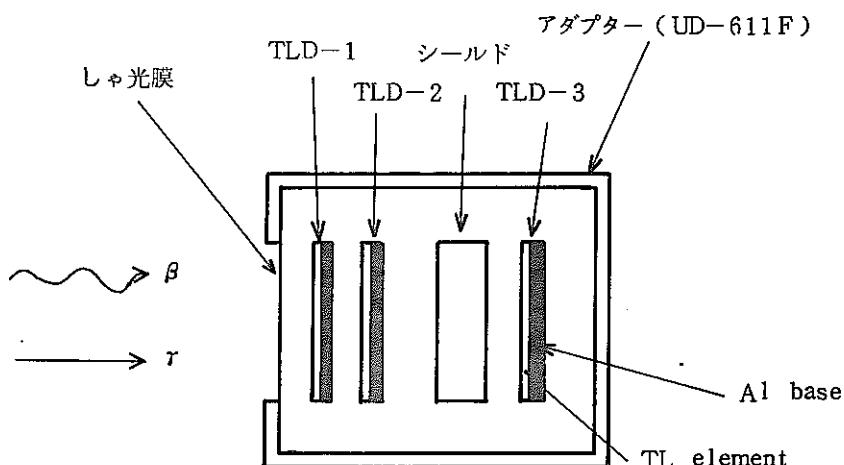
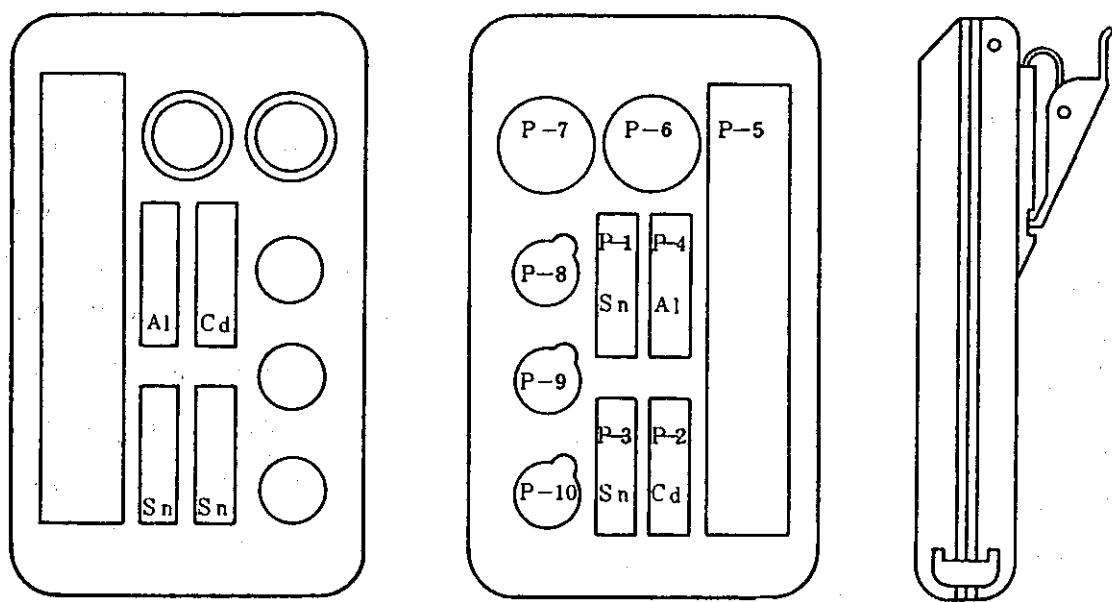


図 10 β 線吸収線量計構造概略図

のマイラ製しゃ光膜が付いている。全身の皮膚に対する β 線吸収線量は上記アダプタ 2 個を図 11 に示した動燃型 TLD バッジケースの P-6 及び P-7 の位置に組込み構成した。また手部の β 線被曝の測定については、UD-611F を指輪の型状にして使用した。指輪型の β 線吸収線量計の外観を photo 1 に示す。



- | | |
|--|---------------|
| P-1 : 热中性子感度のTLD (UD-136N) (青) | P-8 : In フォイル |
| P-2 : 热中性子感度のTLD (UD-136N) (黄) | P-9 : スペア用 |
| P-3 : γ 線補償用のTLD (UD-137N) (緑) | P-10 : スペア用 |
| P-4 : γ 線大線量用のTLD (UD-170A) (赤) | |
| P-5 : γ 線定常管理用TLD (UD-200S) | |
| P-6 : β 線用TLD (UD-100M8) | |
| P-7 : β 線用TLD (UD-100M8) | |
- 注) Al, Cd, Sn はフィルターである。

図 11. 動燃型 TLD バッジ構造図

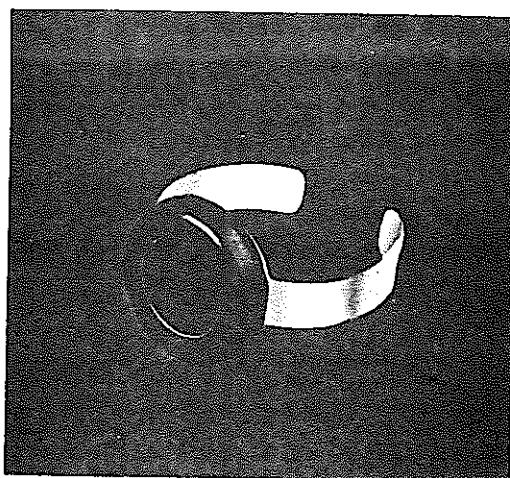


Photo 1. 手部用 β 線吸収線量計

3.2 β 線及び γ 線の混合被曝における β 線吸収線量の分離測定原理

図10に示した β 線吸収線量計の概略図に従い β 線による吸収線量測定原理を述べる。

β 線及び γ 線が吸収線量率計に入射すると TLD-1 には β 線及び γ 線による熱螢光が生じ TLD-2 には TLD-1 により少し減衰した β 線及び γ 線による熱螢光が生じさらに TLD-3 に対しては入射 β 線はシールド板によりしゃへいされてしまうため γ 線のみによる熱螢光が生じる。なおこれら熱螢光の中には、 β 線がシールド板等に入射し生ずる散乱線による熱螢光も含んでいる。

したがって β 線及び γ 線の混合被曝の場合 TLD 素子に生じる熱螢光量(発光量)はそれぞれ次式で示すことができる。

$$l_1 = F_1 b_1(E) D_\beta + F_1 g_1(E) D_\gamma + C_1 \quad (3.1)$$

$$l_2 = F_2 b_2(E) D_\beta + F_2 g_2(E) D_\gamma + C_2 \quad (3.2)$$

$$l_3 = F_3 g_3(E) D_\gamma + C_3 \quad (3.3)$$

ただし l_n : TLD-n の螢光量 (MR)

F_n : TLD-n の ^{60}Co - γ 線当量換算係数 (MR/mR ^{60}Co - γ)

$b_n(E)$: TLD-n の E_{\max} (MeV) の β 線に対する感度 (mR ^{60}Co - γ /mrad)

$g_n(E)$: TLD-n の E (MeV) の γ 線に対する感度 (mR ^{60}Co - γ /mR)

D_β : β 線吸収線量 (mrad)

D_γ : γ 線照射線量 (mR)

C_n : TLD-n の雑音成分螢光量 (NRI-TL) (MR)

(3.1), (3.2) 及び (3.3) 式において観測値は l_1 , l_2 , l_3 の 3 つでありまた未知数は β 線及び γ 線のエネルギーと線量の 4 つである。したがってあらかじめ何らかの方法によりたとえば γ 線エネルギーが得られたと仮定すれば D_γ 及び D_β は以下に示す方法で求めることができる。まず (3.1), (3.2), (3.3) 式を下式に整理する。

$$Q_1 = b_1(E) D_\beta + g_1(E) D_\gamma \quad (\text{mR } ^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (3.4)$$

$$Q_2 = b_2(E) D_\beta + g_2(E) D_\gamma \quad (\text{mR } ^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (3.5)$$

$$Q_3 = g_3(E) D_\gamma \quad (\text{mR } ^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (3.6)$$

ただし $Q_n = \frac{L_n}{F_n} \quad (3.7)$

$$L_n = l_n - C_n \quad (3.8)$$

(3.6) 式から

$$D_\gamma = \frac{Q_3}{g_3(E)} \quad (\text{mR}) \quad (3.9)$$

となり γ 線量が求められる。

さらに(3.9)式を(3.4)式へ代入すれば

$$D_\beta = \frac{Q_1 - g_1(E) D_\gamma}{b_1(E)} = \frac{Q_1 - (g_1(E)/g_3(E)) Q_3}{b_1(E)} \text{ (mrad)} \quad (3.10)$$

となり(3.10)式から β 線吸収線量を求めることができる。

また(3.9)式を(3.5)式へ代入すれば

$$D_\beta = \frac{Q_2 - g_2(E) D_\gamma}{b_2(E)} = \frac{Q_2 - (g_2(E)/g_3(E)) Q_3}{b_2(E)} \text{ (mrad)} \quad (3.11)$$

となる。(3.11)式は、(3.10)式と等しいから

$$\frac{Q_1 - g_1(E)/g_3(E) Q_3}{b_1(E)} = \frac{Q_2 - (g_2(E)/g_3(E)) Q_3}{b_2(E)}$$

が得られ整理して

$$\frac{b_2(E)}{b_1(E)} = \frac{g_3(E) Q_2 - g_2(E) Q_3}{g_3(E) Q_1 - g_1(E) Q_3} \quad (3.12)$$

となり、(3.12)式は β 線最大エネルギーの関数となる。

$$\text{したがって } E I = \frac{b_2(E)}{b_1(E)} \quad (3.13)$$

とし、EIを β 線最大エネルギーの指標と定義する。

よって、あらかじめ F_n , $b_n(E)$, $g_n(E)$ および C_n を求ることにより β 線および γ 線の混在場における β 線吸収線量を得ることができる。

F_n , $b_n(E)$, $g_n(E)$ および C_n は次の様にして求めることができる。

まず F_n は次の様にして求められる。

図10に示した構成の β 線吸収線量計を ^{60}Co の γ 線で照射した時各TLDの螢光量は次式で示すことができる。

$$I_1 = F_1 g_1(E) D_\gamma + C_1 \quad (\text{MR}) \quad (3.14)$$

$$I_2 = F_2 g_2(E) D_\gamma + C_2 \quad (\text{MR}) \quad (3.15)$$

$$I_3 = F_3 g_3(E) D_\gamma + C_3 \quad (\text{MR}) \quad (3.16)$$

ここで $g_n(E)$ は ^{60}Co γ 線当量の螢光量であるから $^{60}\text{Co}-\gamma$ で線量計を照射した場合は1となる。したがって(3.14), (3.15), (3.16)式から F_1 , F_2 , F_3 はそれぞれ

$$F_1 = \frac{I_1 - C_1}{D_\gamma} = (\text{MR}/\text{mR}^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (3.17)$$

$$F_2 = \frac{l_2 - C_2}{D_\gamma} \quad (mR/mR^{60}Co-\gamma) \quad (3.18)$$

$$F_3 = \frac{l_3 - C_3}{D_\gamma} \quad (mR/mR^{60}Co-\gamma) \quad (3.19)$$

で求められる。

次に $b_n(E)$ については、 β 線吸収線量計を β 線源のみで照射し求めることができ、その時の各 TLD の蛍光量は次式で示される。

$$l_1 = F_1 b_1(E) D_\beta + C_1 \quad (MR) \quad (3.20)$$

$$l_2 = F_2 b_2(E) D_\beta + C_2 \quad (MR) \quad (3.21)$$

$$l_3 = C_3 \quad (MR) \quad (3.22)$$

(3.20) 式 (3.21) 式から

$$b_1(E) = \frac{l_1 - C_1}{F_1 D_\beta} = \frac{Q_1}{D_\beta} \quad [mR^{60}Co-\gamma/mrad] \quad (3.23)$$

$$b_2(E) = \frac{l_2 - C_2}{F_2 D_\beta} = \frac{Q_2}{D_\beta} \quad [mR^{60}Co-\gamma/mrad] \quad (3.24)$$

で求められる。

また $g_n(E)$ についてもいろいろなエネルギーの γ 線源で照射することにより

$$l_1 = F_1 g(E) D_\gamma + C_1 \quad (MR) \quad (3.25)$$

$$l_2 = F_2 g(E) D_\gamma + C_2 \quad (MR) \quad (3.26)$$

$$l_3 = F_3 g(E) D_\gamma + C_3 \quad (MR) \quad (3.27)$$

となり $g n(E)$ は

$$g_1(E) = \frac{l_1 - C_1}{F_1 D_\gamma} = \frac{Q_1}{D_\gamma} \quad (mR^{60}Co-\gamma/mR) \quad (3.28)$$

$$g_2(E) = \frac{l_2 - C_2}{F_2 D_\gamma} = \frac{Q_2}{D_\gamma} \quad (mR^{60}Co-\gamma/mR) \quad (3.29)$$

$$g_3(E) = \frac{l_3 - C_3}{F_3 D_\gamma} = \frac{Q_3}{D_\gamma} \quad (mR^{60}Co-\gamma/mR) \quad (3.30)$$

で求められる。

C_n については TLD 素子をアニールした後、1 日放置して測定し求めた。

4. β 線吸収線量計の校正

4.1 使用線源

β 線吸収線量計の γ 線に対する感度を求めるために使用した照射装置は ^{60}Co -10 Ci 照射装置と ^{226}Ra -50mCi, ^{60}Co -100mCi 及び ^{137}Cs -100mCi の 3 つの線源を内蔵している γ 線照射装置であり、また低エネルギー γ 線源の代用としては東芝製 X 線発生装置 EXS-300-2 を使用した。X 線発生装置の管電圧と付加フィルタに対する実効エネルギーの関係を表 2 に示す。

β 線源については表 1 に示したものを使用した。

表 2 Specification of X-ray Technique

Effective energy (KeV)	Tube potential (KVp)	Tube current (mA)	Focus	Total Filtration (mm)		
				Al	Cu	Pb
40	100	1.0	S	2.0	—	—
60	100	2.0	S	1.2	2.0	—
100	200	1.0	S	—	1.0	—
130	250	1.0	S	—	2.0	—
220	250	4.0	L	4.0	0.6	3.0

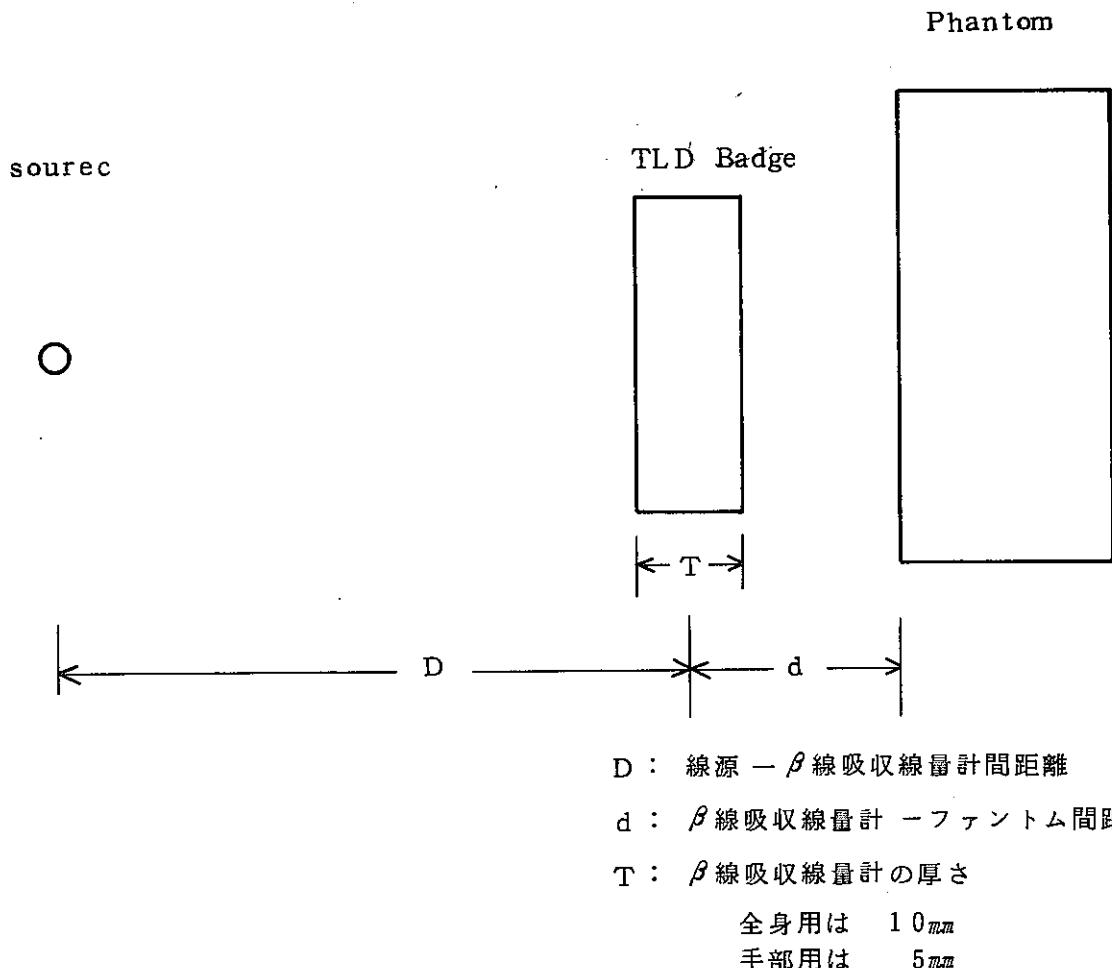
4.2 照射方法及び使用ファントーム

TLD 素子 3 枚を挿入した β 線吸収線量計を全身用 β 線吸収線量計については TLD バッジケースに 2 個組込み、また手部用 β 線吸収線量計については指輪状にしたもの 1 個を γ 線源あるいは β 線源から一定距離をおいて照射実験をくりかえした。また照射は線量計をファントームに装着した場合とファントームを使用しない場合（以後フリーエアの場合と呼ぶ）とで実施した。

線量計と線源間の距離、あるいは線量計とファントーム間との距離の関係を図 12 に示す。

使用したファントームは、全身用についてはパラフィン製ダ円ファントーム ($30\text{cm} \times 20\text{cm} \times 40\text{cm}^H$) を用い手指用ファントームについてはゴム手袋（チオックス）に水を入れたものを使用した。

-19-

図12 β 線吸収線量計照射配置図

4.3 热螢光測定装置の測定条件およびTLDのアニール条件

TLDの測定に使用した热螢光測定装置（リーダ）及びアニール炉は松下電器のUD-502A及びUD-602である。リーダの感度校正は次の様にして行った。まず、リーダ校正用TLD素子をUD-200Sとし、このTLD素子を ^{60}Co -100mCiの γ 線源で照射を行い、リーダで測定する。この時UD-200Sの読取値がUD-200Sと同時に照射した標準チェンバー（R-Meter VICTOREEN社製）の読取値と一致するようリーダのHV等の測定条件を定める。

照射実験に使用した β 線吸収線畳計素子（UD-100M8）は上記条件（すなわちUD-200Sの素子に対しリーダの読取値が照射線量と一値する条件）で測定を行い、UD-100M8の読取値はリーダの表示単位であるMR単位で得た。

UD-100M8のアニール条件は、アニール設定温度400°C（付属の温度計で410~380°Cの範囲内）、アニール時間5分、自然冷却である。

5. 線量算出に必要な基礎データ

5.1 NRI-TL の測定

使用したTLD素子(UD-100M8)は、アニール後直ちに測定してもわずかながら螢光量が測定され、完全にはZeroアニールできない。この理由としてはTLDが薄いフィルム状であるため取扱い作業中にピンセット等により衝撃等の力が加わりトリボルミネセンスを提する。あるいは汚れが付着しやすく汚れからの疑似発光も考えられる。したがってこれらの疑似螢光をNRI-TL⁽⁸⁾(non radiation induced thermoluminescence)と呼しその測定を行った。

アニール後直ちに測定を行いNRI-TLを求めた結果、0.29[MR]を得た。表3に測定結果を示す。

表3 NRI-TL の測定結果

N R I - T L			
<i>No.</i>	LIGHT EMITTED(MR)	<i>No.</i>	LIGHT EMITTED(MR)
1	0.21	26	0.25
2	0.49	27	0.28
3	0.41	28	0.31
4	0.27	29	0.54
5	0.28	30	0.40
6	0.08	31	0.32
7	0.24	32	0.22
8	0.18	33	0.20
9	0.33	34	0.11
10	0.23	35	0.28
11	0.25	36	0.21
12	0.33	37	0.09
13	0.10	38	0.39
14	0.23	39	0.42
15	0.28	40	0.29
16	0.41	41	0.08
17	0.39	42	0.10
18	0.34	43	0.24
19	0.33	44	0.44
20	0.39	45	0.34
21	0.22	46	0.51
22	0.19	47	0.59
23	0.30	48	0.31
24	0.27	49	0.51
25	0.18	50	0.07
平均 = 0.29 (MR) S.DEV = 0.13 (MR)			

5.2 γ 線に対する感度

β 線吸収線量計の γ 線感度及びエネルギー特性を求めるために γ 線源を用いて線量計をファントームに装着した場合とフリーエアの場合とで照射した。 $^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$ によりフリーエア中で吸収線量計を照射した結果 TLD-n の $^{60}\text{Co}-\gamma$ に対する感度すなわち $^{60}\text{Co}-\gamma$ 線量当量換算計数 (F_1, F_2, F_3) は表 4 に示す値が得られ TLD-1 に対しては 8.49×10^{-3} ($\text{MR}/\text{mR}^{60}\text{Co}-\gamma$)、TLD-2 及び TLD-3 については 9.57×10^{-3} ($\text{MR}/\text{mR}^{60}\text{Co}-\gamma$) となった。またいろいろな γ 線源に対する感度は表 5 に示した。表 5 から作図したフリーエア中及びファントーム装着時における β 線吸収線量計の γ 線感度を図 13 及び図 14 に示す。また手部用吸収線量計の γ 線エネルギー特性の結果については表 6 及び図 15 にそれぞれ示した。

線量計をファントームに装着して照射を行うと 3 枚目の TLD 素子 (TLD-3) はフリーエアの場合よりも γ 線感度が上昇する (手部用の場合も同じ)。さらにこの効果は線量計とファントーム間の距離にも依存している。線量計とファントーム間の距離を 0.5 cm 及び 2.0 cm にした場合とフリーエアの場合における TLD-3 の γ 線感度特性の変化を全身用線量計を例にして図 16 に示す。

尚、図 13、図 14 からもわかるように $^{60}\text{Co}-100\text{mCi}$, $^{137}\text{Cs}-100\text{mCi}$ 及び $^{226}\text{Ra}-50\text{mCi}$ の γ 線源を用いた場合の TLD-1 及び TLD-2 の γ 線感度は $^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$ の場合とは大きく異なっている。同じ ^{60}Co の γ 線でも 線源が異なると TLD-1 と TLD-2 の γ 線感度が異なるというこの現象に対する考え方の理由については付録で述べるが、図 13、図 14 では各線源による照射データのうち $^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$ の感度のみを利用して作図した。

表 4 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 線量当量換算係数測定結果 ($^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$)

Exposure D_γ (mR)	TLD Light Emitted (MR)						Conversion factor of $^{60}\text{Co}-\gamma$ dose equivalent ($\times 10^{-3}$ $\text{mR}/\text{mR}^{60}\text{Co}-\gamma$)		
	I_1 (Gross)	I_2	I_3	L_1	L_2	L_3	F_1	F_2	F_3
9.0	1.13	1.15	1.15	0.83	0.85	0.85	9.22	9.44	9.44
18.4	1.83	2.13	2.09	1.53	1.83	1.79	8.32	9.94	9.73
28.1	2.57	2.95	3.04	2.27	2.65	2.74	8.08	9.43	9.75
36.8	3.36	3.90	3.64	3.06	3.60	3.34	8.32	9.73	9.08
MEAN									
9.64 ± 0.24 9.50 ± 0.31									
8.49 ± 0.50 9.57 ± 0.27									

表 5 β 線吸収線量計の γ 線感度測定結果

Radiation Source	Phantom	γ -ray Sensitivity (mR ⁶⁰ Co- γ /mR)			Distance of the Dosimeter from the Source (cm)
		g_1	g_2	g_3	
⁶⁰ Co-10Ci		1	1	1	
⁶⁰ Co-10Ci	with	1.00	1.03	1.09	0.5
⁶⁰ Co-100mCi		2.44	2.24	1.05	
²²⁶ Ra-50mCi		2.49	2.20	1.13	
²²⁶ Ra-50mCi	with	2.24	2.09	1.25	0.5
¹³⁷ Cs-100mCi		2.23	1.94	1.53	
¹³⁷ Cs-100mCi	with	2.06	1.87	1.40	0.5
X-rays 40kev		12.8	11.0	1.48	
X-rays 40kev	with	12.3	11.3	5.34	2.0
X-rays 40kev	with	13.4	12.3	7.43	0.5
X-rays 60kev	with	10.8	10.2	6.55	0.5
X-rays 70kev	with	8.40	7.12	7.01	0.5
X-rays 100kev		4.70	4.60	1.26	
X-rays 100kev	with	4.66	4.23	4.13	2.0
X-rays 100kev	with	5.46	5.37	5.60	0.5
X-rays 130kev		3.22	3.01	1.26	
X-rays 130kev	with	2.98	2.52	2.89	2.0
X-rays 220kev		1.70	1.56	1.30	
X-rays 220kev	with	1.79	1.70	2.34	0.5

-24-

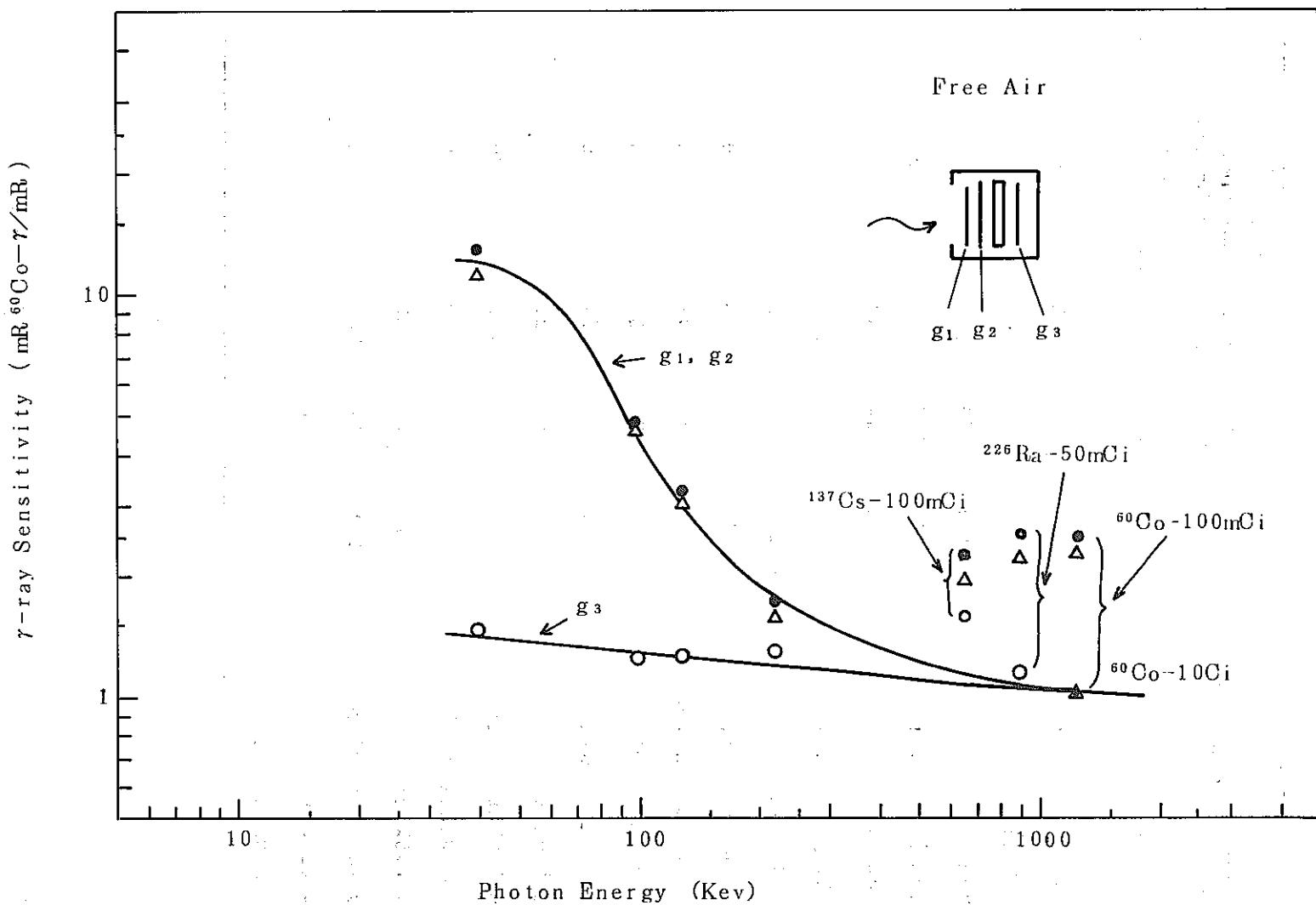


図13 β線吸収線量計のγ線エネルギー特性(フリー エア)

-25-

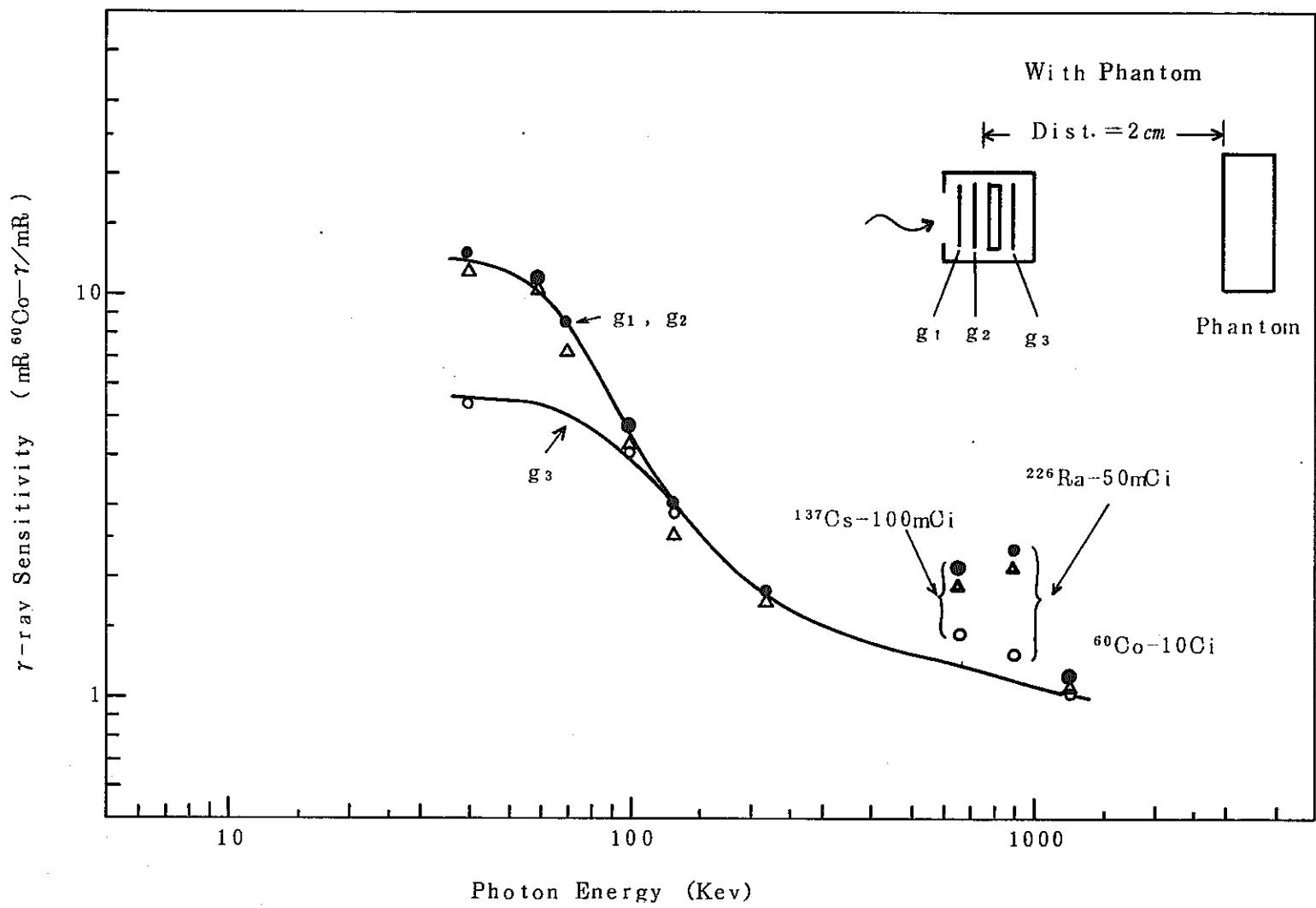


図14 β線吸収線量計のγ線エネルギー特性(ファントーム装着時)

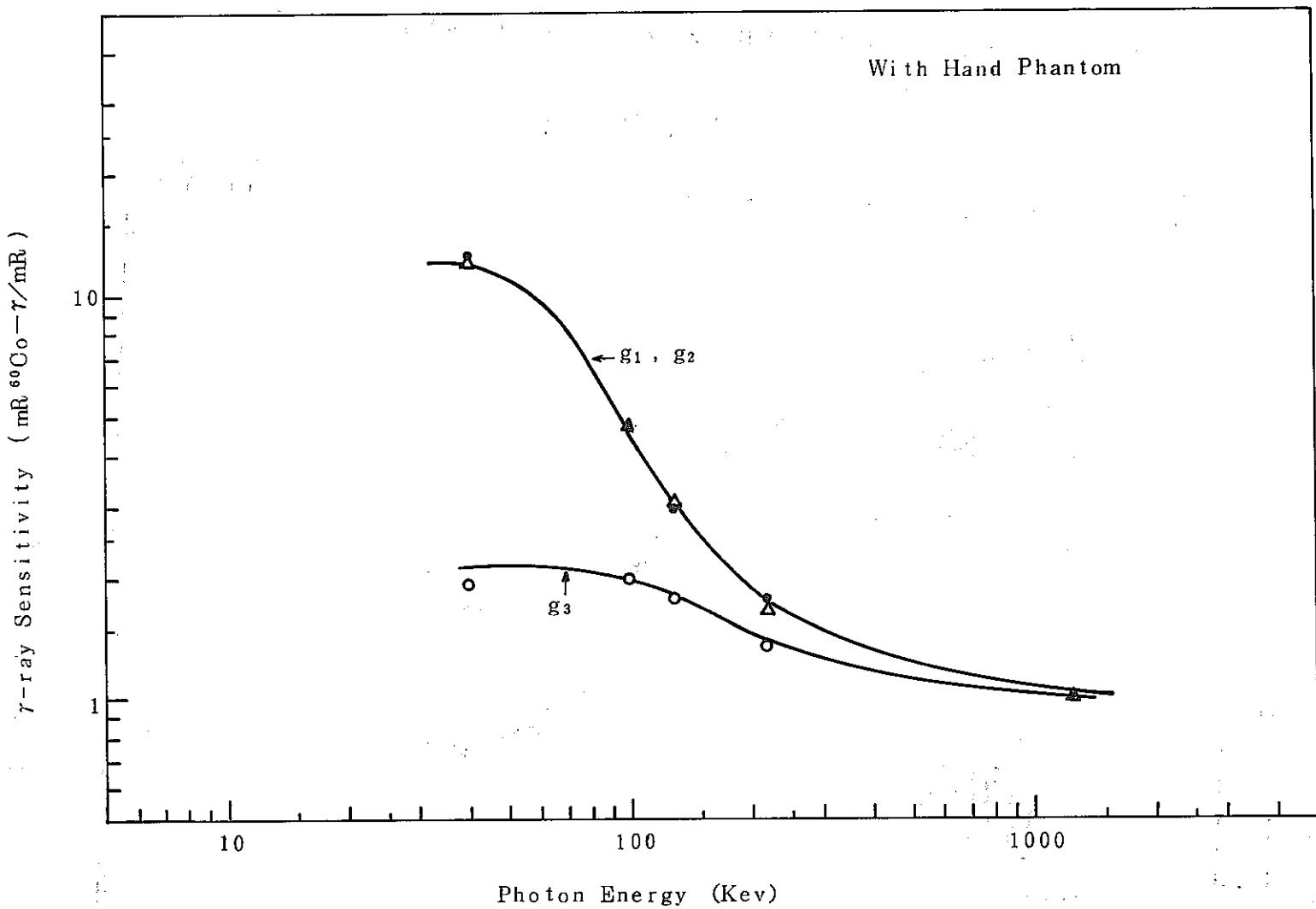
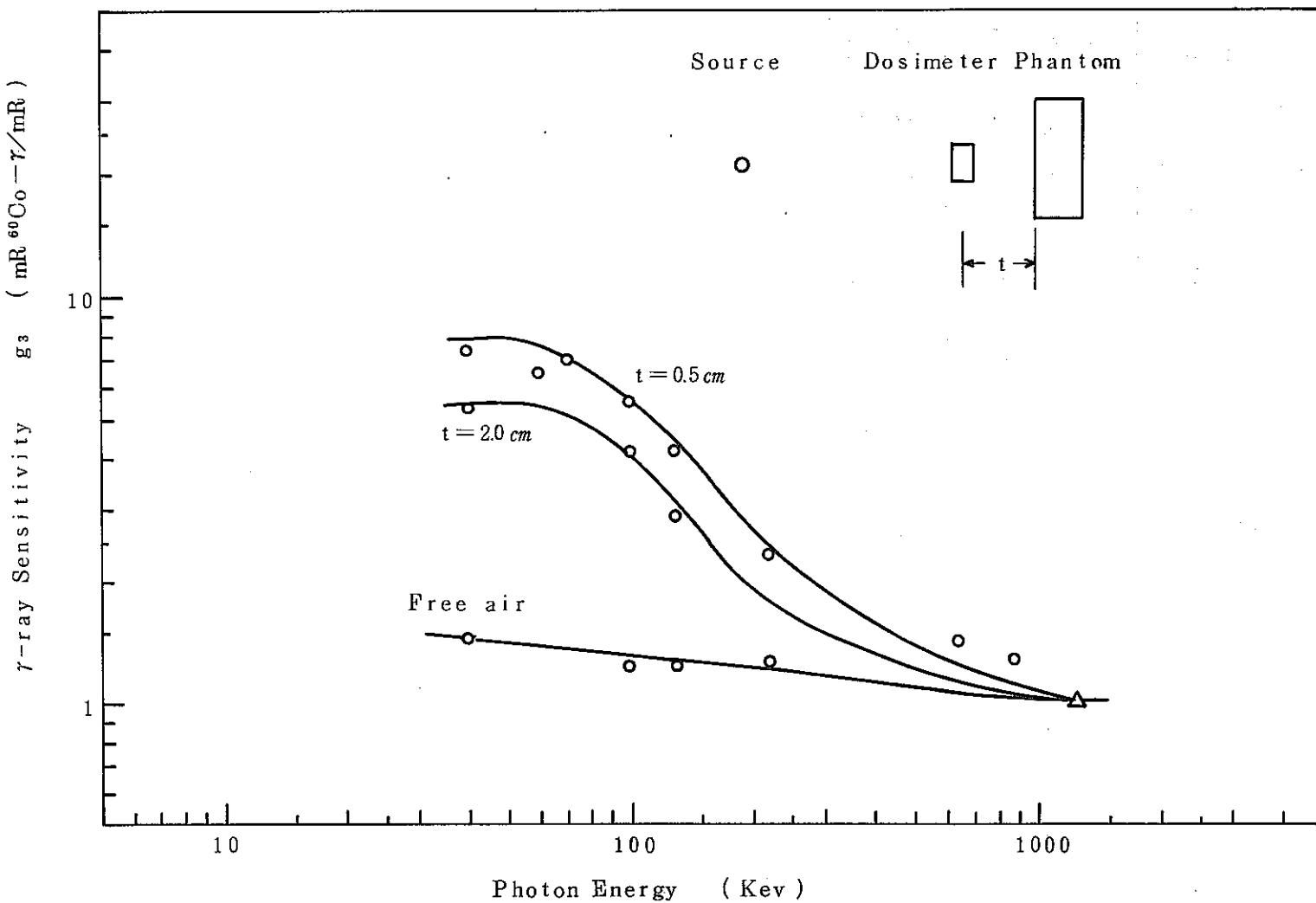


図 15 手部用 β 線吸収線量計の γ 線エネルギー特性(ファントーム装着時)

表 6 手部用 β 線吸収線量計の γ 線エネルギー特性(ファンтом装着時)

Radiation Source	Exposure D γ (mR)	Light Emitted (Net MR)	$^{60}\text{Co}-\gamma$ Equivalence (mR $^{60}\text{Co}-\gamma$)			γ -ray Sensitivity (mR $^{60}\text{Co}-\gamma$ /mR)				
	D γ (mR)	L ₁ (Net MR)	L ₂	L ₃	Q ₁ (mR $^{60}\text{Co}-\gamma$)	Q ₂	Q ₃	g ₁	g ₂	g ₃
X-rays 40kev	180	19.8	20.9	3.30	2236	2180	344	12.4	12.1	1.91
X-rays 100kev	220	8.67	9.80	4.12	1020	1020	431	4.64	4.64	1.96
X-rays 130kev	300	7.64	8.71	5.12	900	910	535	3.03	3.03	1.78
X-rays 220kev	186	2.75	2.94	2.36	324	307	247	1.74	1.65	1.33
^{60}Co	220	1.69	1.92	2.38	200	201	249	0.91	0.91	1.13
^{226}Ra	159	2.86	3.23	1.70	337	338	178	2.12	2.13	1.12

図 16 線量計、ファントーム間距離に対するTLD-3の γ 線エネルギー特性

5.3 β 線に対する感度

^{90}Sr - ^{90}Y , ^{204}Tl および ^{147}Pm 各 1mCi の点線源を用いて実施した β 線に対する感度特性の測定結果を表 7, 表 8, 表 9 及び表 10 に示す。また図 17 及び図 18 には β 線の最大エネルギーに対する β 線吸収線量計の不感層厚が 7mg/cm^2 の場合と 40mg/cm^2 の場合における β 線感度を示した。図 17 からこの β 線吸収線量計は β 線に対しても感度のエネルギー依存性をもっていることがわかりさらにその傾向は TLD-1 と TLD-2 とは異っている。

また第 3.2 章 β 線吸収線量の測定原理において、(3.3)式でも示した通り TLD-3 については β 線感度は無いものとして考をすすめた。しかしながら実際に β 線を照射すると図 17 からもわかるように最大エネルギーの高い β 線に対しては TLD-3 はわずかながら感度を示した。

β - γ 分離用シールドは ^{90}Y の β 線の最大飛程よりも厚いため TLD-3 が β 線に対し、感度を示した理由は β 線による制動放射線が主であると考えられる。

β 線源についても線量計をファントームに装着した場合の照射を行ったが γ 線の場合とは異り線量計をファントーム装着したことによる特性の変化はなかった。

図 19 には松下の TLD の技術資料⁽⁹⁾に提示している UD-100M8 の β 線に対する相対感度を参考に示す。同図において UD-100M8 (素子①) 及び UD-100M8 (素子②) は本報の TLD-1 及び TLD-3 にそれぞれ対応する。

表 7 β 線吸収線量計の ^{90}Sr — ^{90}Y に対する β 線感度測定結果
(at $7\text{mg}/\text{cm}^2$ and $40\text{mg}/\text{cm}^2$)

Exposure D β (mrad)	Light Emitted Net (MR)			^{60}Co Equ. (mR)			β -ray Sensitivity (mR ^{60}Co —r/mrad)			E I
	L ₁	L ₂	L ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	b ₁	b ₂	b ₃	
996	21.8	25.2	0.88	2570	2630	92	2.58	2.64	0.092	1.02
694	15.3	17.2	0.68	1800	1800	71	2.59	2.59	0.102	1.00
324	7.30	7.90	0.59	860	825	62	2.65	2.54	0.191	0.96
1176	25.8	27.7	0.90	3040	2890	94	2.59	2.46	0.080	0.94
508	11.3	12.3	0.30	1330	1290	31	2.62	2.54	0.061	0.97
1016	22.7	25.8	0.44	2670	2700	46	2.63	2.66	0.045	1.01
370	7.50	8.50	0.23	883	888	24	2.39	2.40	0.064	1.00
354	7.20	8.30	0.00	848	862	0	2.40	2.43	0	1.01
1647	34.8	37.4	0.85	4100	3910	89	2.49	2.37	0.054	0.95
1647	36.3	39.2	0.87	4280	4100	91	2.60	2.49	0.055	0.96
Mean							2.55±0.09	2.51±0.10	0.074±0.050	0.94±0.03

表 8 β 線吸収線量計の ^{204}Tl に対する β 線感度測定結果 (at $7\text{mg}/\text{cm}^2$)

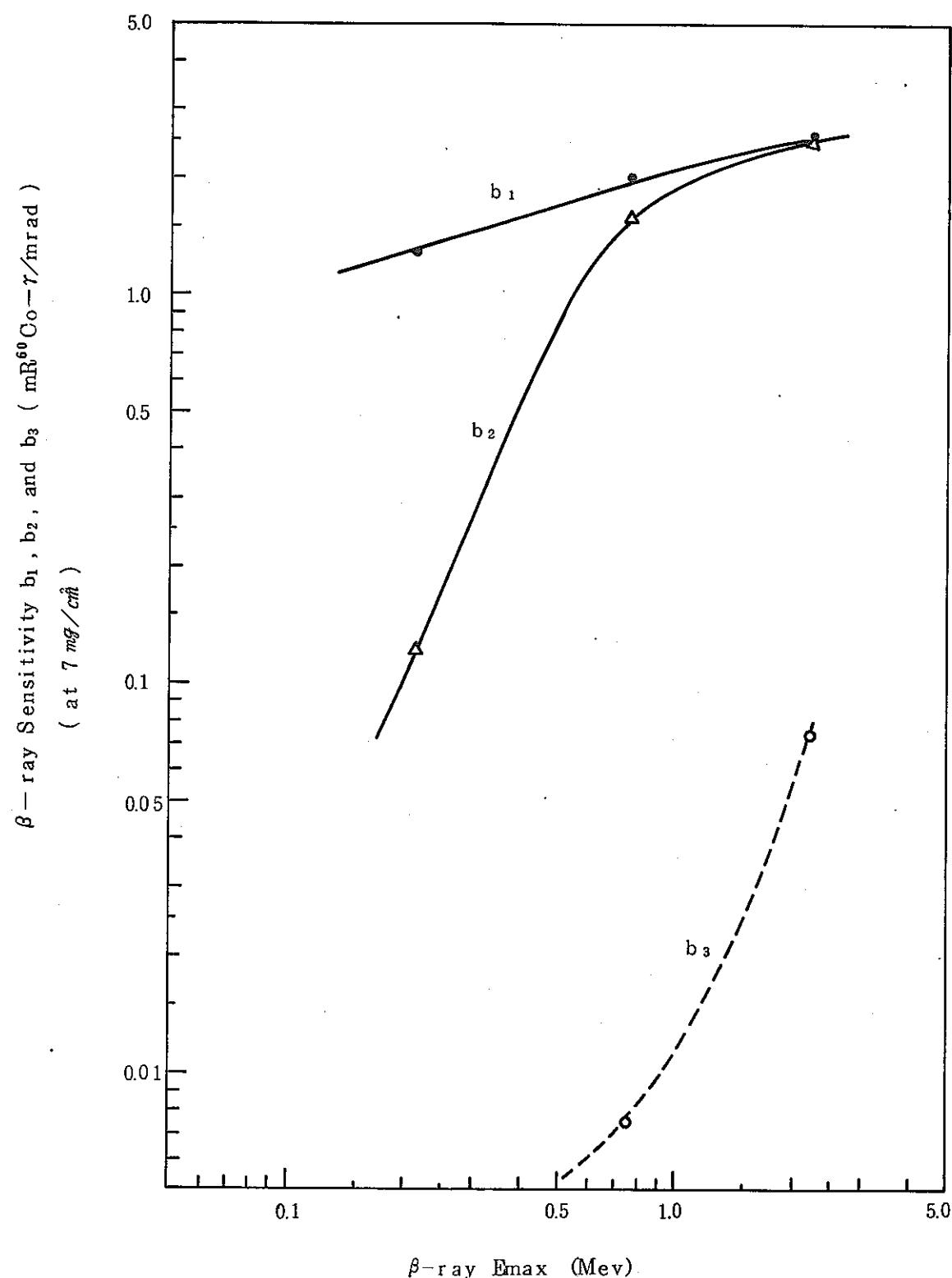
Exposure D β (mrad)	Light Emitted Net (MR)			^{60}Co Equ. (mR Equ.)			β -ray Sensitivity (mR ^{60}Co —r/mrad)			E I
	L ₁	L ₂	L ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	b ₁	b ₂	b ₃	
146	2.47	2.21	0.26	291	231	27	1.99	1.46	0.18	0.734
61	1.01	0.94	0.19	119	98	20	1.95	1.61	0.33	0.826
676	10.9	9.80	0.12	1280	1020	13	1.89	1.51	0.019	0.789
1070	21.4	17.1	0.03	2520	1790	3	2.36	1.67	0.0028	0.708
1070	21.4	20.2	0.14	2520	2110	15	2.36	1.97	0.014	0.834
4220	62.5	57.4	0.0	7360	6000	0	1.74	1.42	0	0.816
578	8.70	7.80	0.01	1020	815	1	1.76	1.41	0.0017	0.801
Mean							2.01±0.26	1.58±0.20	0.078±1.28	0.788±0.048

表9 β 線吸収線量計の ^{204}TI に対する β 線感度測定結果(at 40mg/cm^2)

Exposure D_β (mrad)	Light Emitted			^{60}Co Equ.			β -ray Sensitivity			E I b_2/b_1	
	L ₁	L ₂	L ₃	Q ₁	Q ₂	Q ₃	(mR)	(mR $^{60}\text{Co}-r/\text{mrad}$)	b ₁	b ₂	b ₃
115	2.47	2.21	0.26	291	231	27	2.53	2.01	0.23	0.794	
463	1.01	0.94	0.19	119	98	20	2.57	2.12	0.43	0.824	
554	1.09	9.80	0.12	1280	1020	13	2.31	1.84	0.023	0.797	
840	21.4	17.1	0.03	2520	1790	3	3.00	2.13	0.004	0.710	
840	21.4	20.2	0.14	2520	2110	15	3.00	2.51	0.018	0.837	
3370	62.5	57.4	0.0	7360	6000	0	2.18	1.78	0	0.817	
437	8.70	7.80	0.01	1020	815	1	2.33	1.86	0.0023	0.798	
Mean							2.56±0.33	2.04±0.25	0.009	0.797±0.04	

表10 β 線吸収線量計の ^{147}Pm に対する β 線感度測定結果(at 7mg/cm^2)

Exposure D_β (mrad)	Distance from Source (cm)	Light Emitted			^{60}Co Equ.			β -ray Sensitivity			E I b_2/b_1
		Net	(MR)	(mR)	Q ₁	Q ₂	Q ₃	(mR $^{60}\text{Co}-r/\text{mrad}$)	b ₁	b ₂	b ₃
1930	12	22.5	1.85	0.13	2650	194	13	1.37	0.100	0.0068	0.073
3780	10	40.3	3.7	0.28	4740	387	29	1.25	0.102	0.0077	0.082
2000	8	21.4	2.4	0.13	2515	246	13	1.26	0.123	0.0065	0.098

図 17 $\beta\text{-ray}$ 感度曲線 (at $7 \text{ m}^2/\text{cm}^2$)

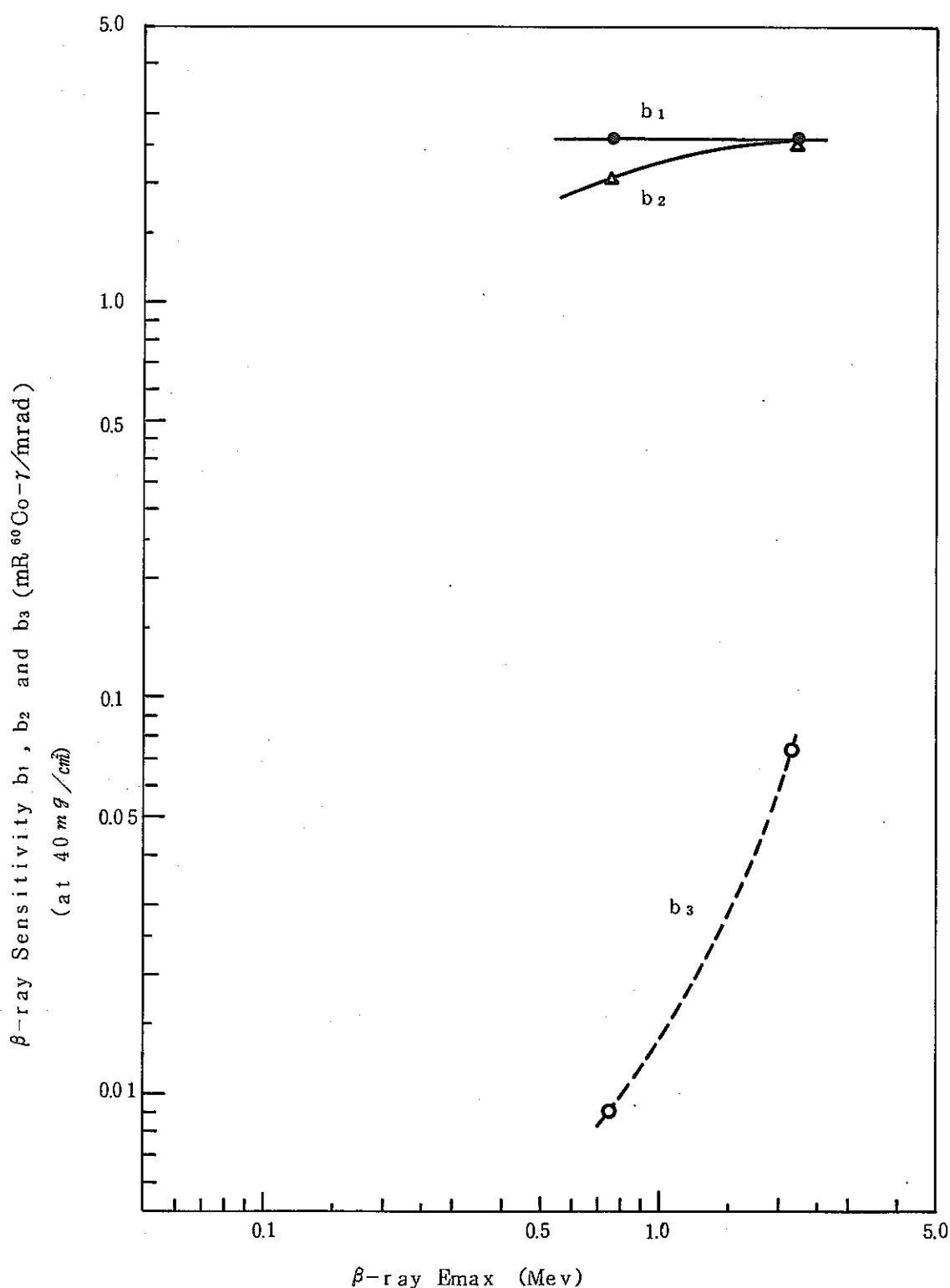


図 18 β -ray 感度曲線 (at $40 \text{ m}^2/\text{cm}^2$)

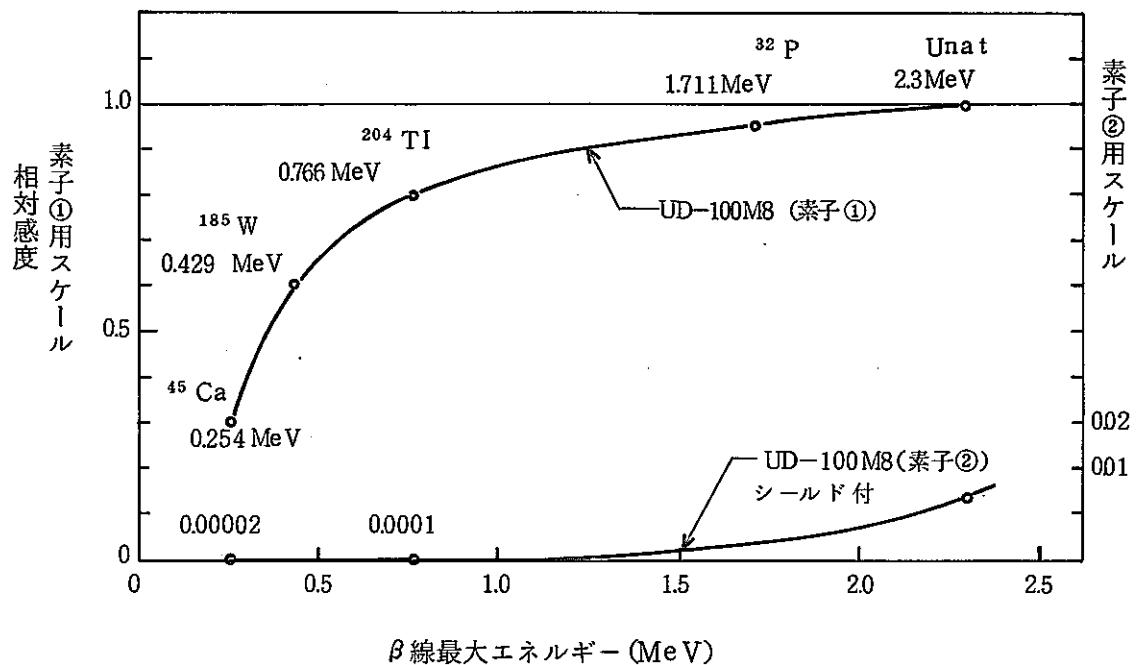


図 19 β 線 感 度 (素子 UD-100M8 使用, UD-611F)

(松下技術資料より)

5.4 バラツキ

TLD のバラツキは被曝線量測定精度を左右するためその測定を行った。TLD にして ⁶⁰Co-10 Ci の γ 線を線量を変えて照射し読取線量に対する相対偏差の関係を求めた。読取線量が 2 [MR] (⁶⁰Co の γ 線に対しては約 200 mR) 以上になると相対偏差値はほとんど一定となる。結果を図 20 に示す。

5.5 直 線 性

照射線量に対する螢光量の直線性を、γ 線源、β 線源について測定した。⁹⁰Sr-⁹⁰Y の β 線源を用いて測定した照射線量に対する螢光量の直線性の例を図 21 に示す。

—98—

Standard Deviation / Mean Reading $\times 100$ (%)

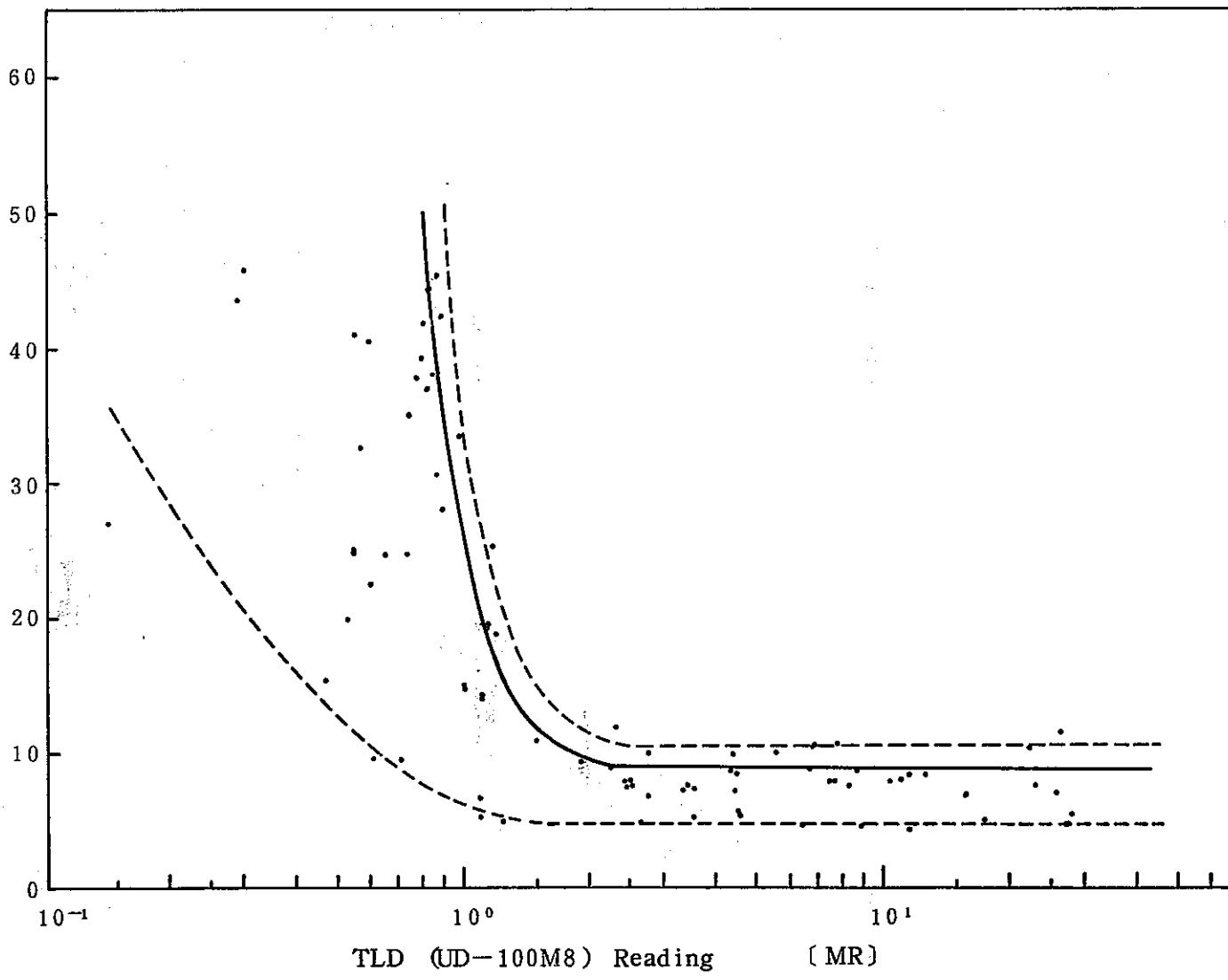


図 20 β 線感度 TLD (UD-100M8) のバラツキ

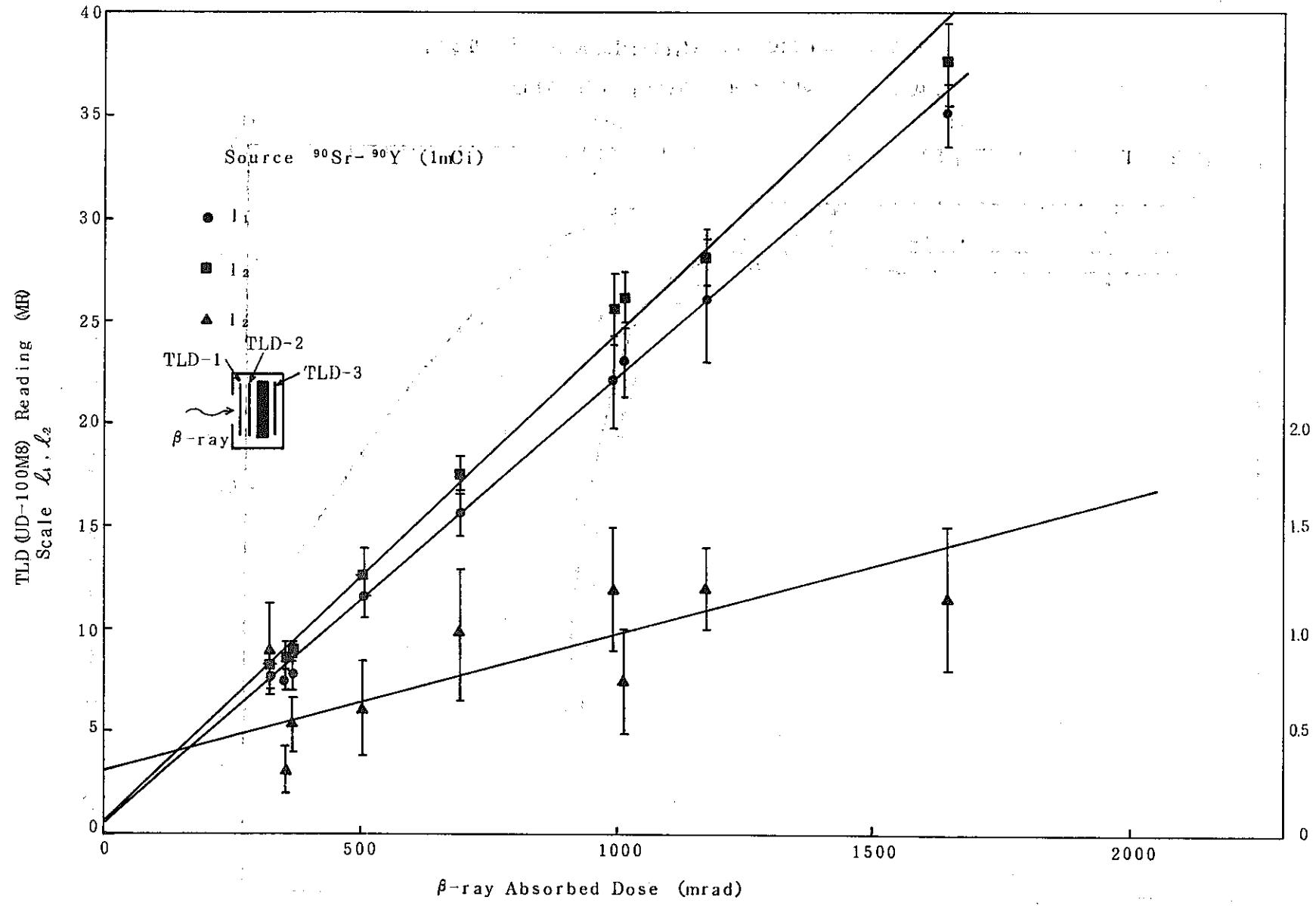


図21 β線吸収線量計の直線性

5.6 β 線最大エネルギー指標

(3.12)式でも示したように β 線吸収線量計内の2枚目のTLD素子(TLD-2)と1枚目のTLD素子(TLD-1)の β 線に対する感度比(EI)は入射 β 線の最大エネルギーの関数となり、この比すなわちEIを求めることにより β 線最大エネルギーを評価することができる。

最大エネルギーの異なるいろいろな β 線源を用いて、吸収線量計の照射を行い最大エネルギーに対するEIの関係を求めた。得られた結果を図22に示す。また使用した β 線源の仕様を表11に示す。図22を基に β 線最大エネルギーに対する β 線感度特性(図17及び図18)をエネルギー指標に対する β 線感度特性に書きなおし図23及び図24に示す。 β 線吸収線量を評価する場合、この図はEIから直接TLD-1, TLD-2, TLD-3の β 線感度を求めるのに使用する。

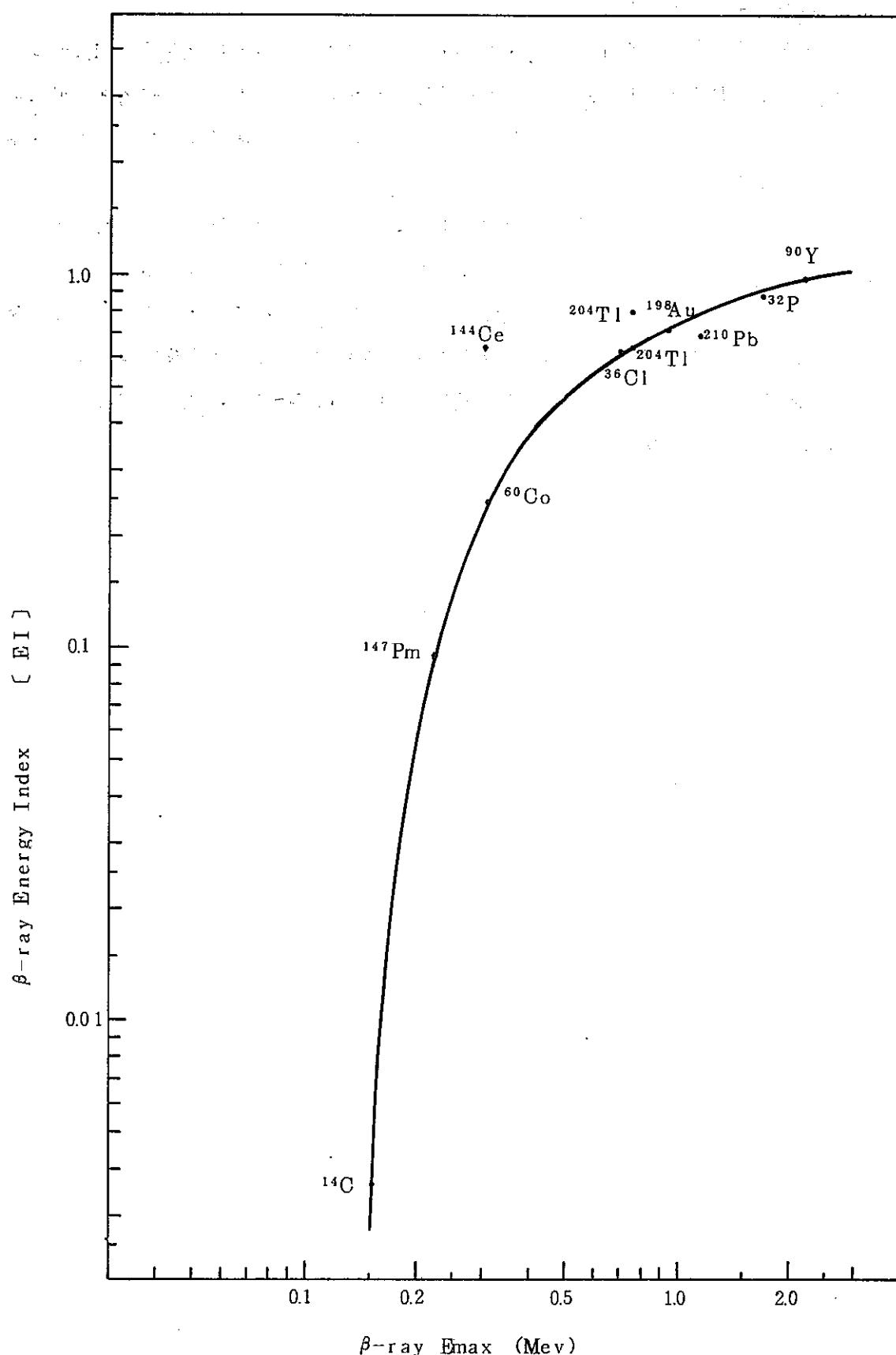
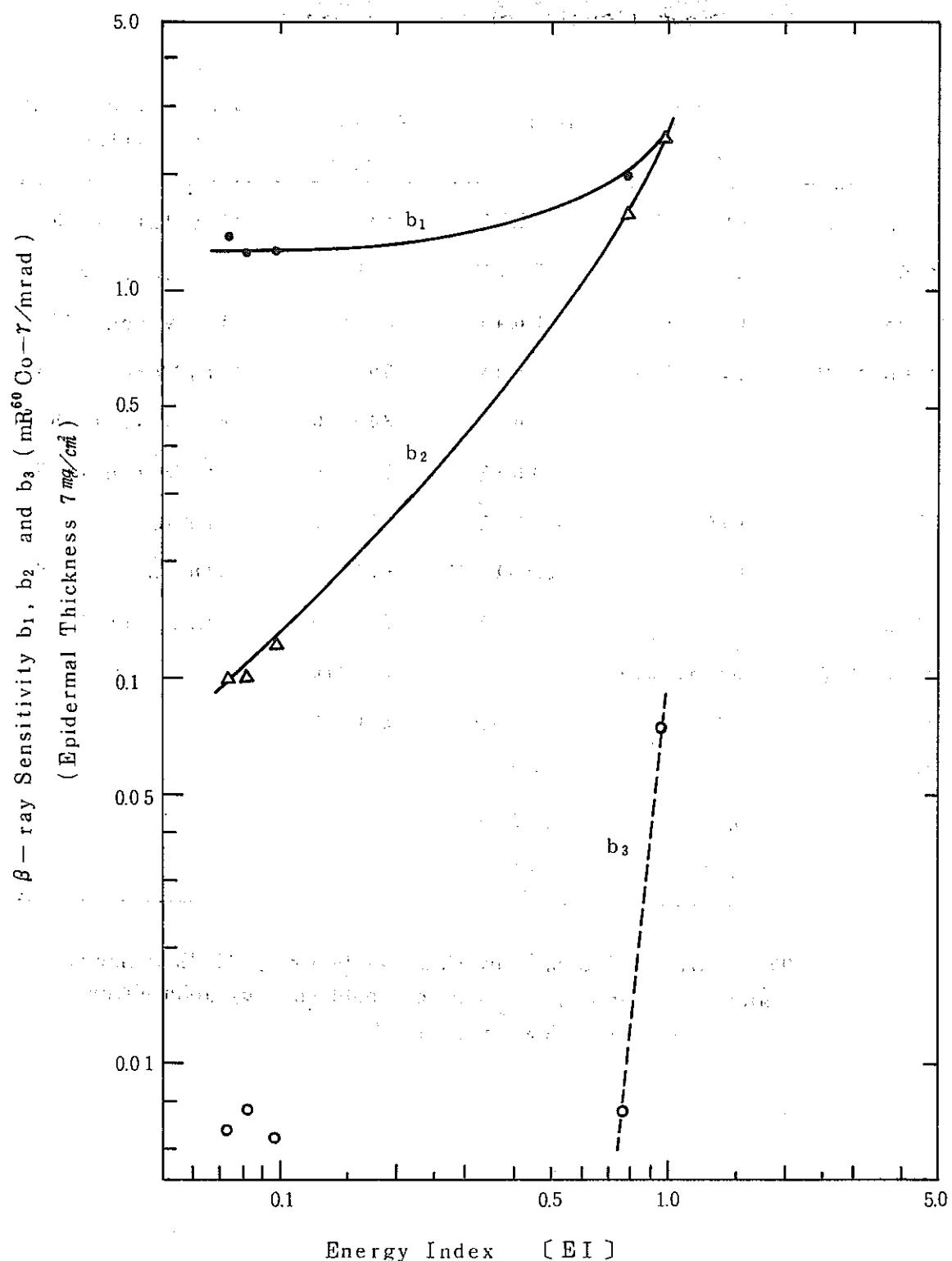
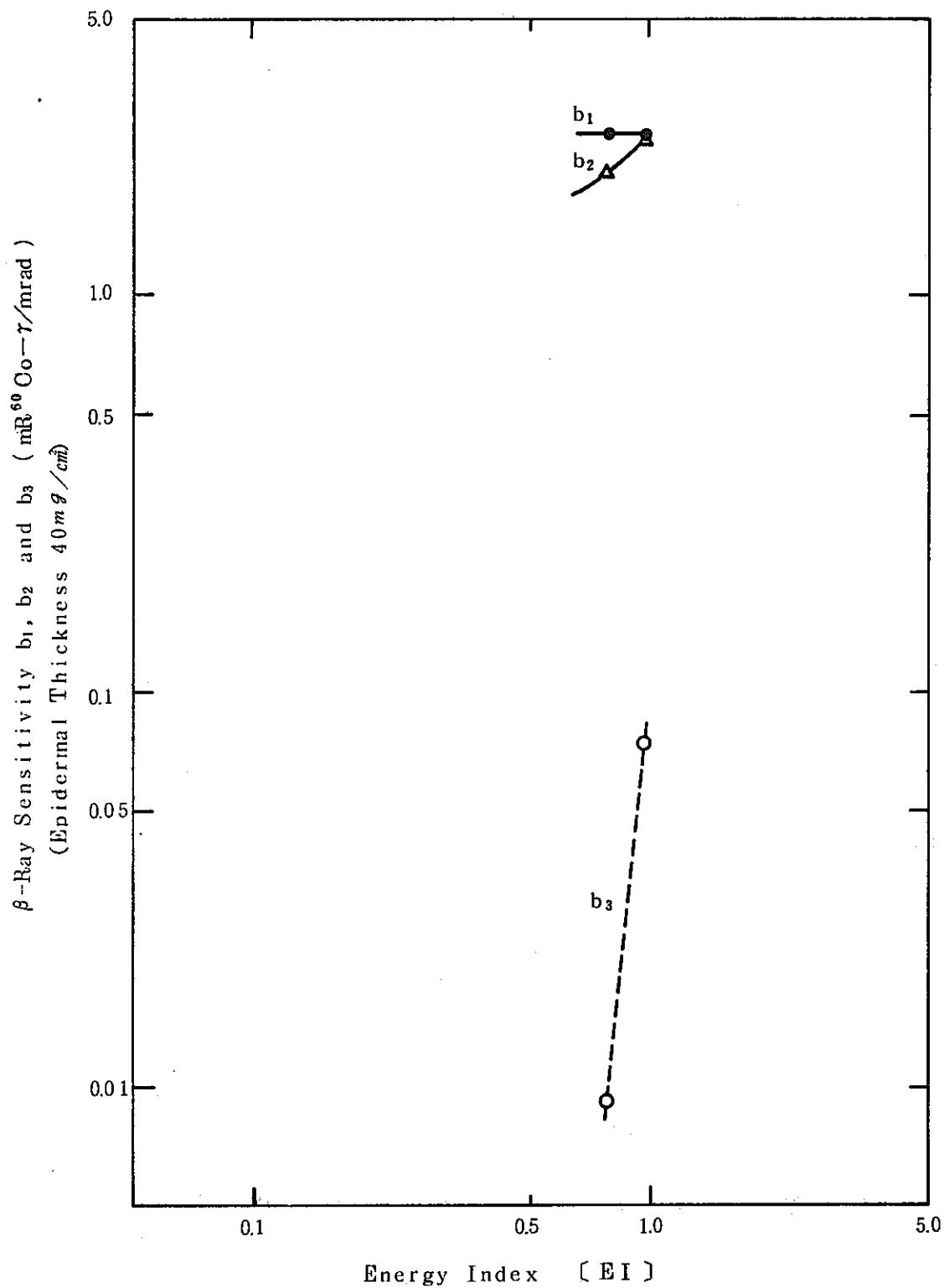
図 22 β 線最大エネルギー指標曲線

表 11 Specification of β -ray Sources

Nuclide	Max. Energy (MeV)	Half-life	Activity (dpm)	Reference date of calibration
^{90}Sr (^{90}Y)	0.546(2.27)	2 7.7 Y	4.82×10^4	21st July 1975
^{90}Sr (^{90}Y)	0.546(2.27)	2 7.7 Y	4.71×10^3	31st January 1975
^{210}Pb (^{210}Bi)	0.061(1.16)	2 0.4 Y	5.49×10^4	11th March 1975
^{210}Pb (^{210}Bi)	0.061(1.16)	2 0.4 Y	5.50×10^3	17th March 1975
^{147}Pm	0.224	2.6 2 Y	3.49×10^3	18th July 1975
^{204}Tl	0.766	3.8 1 Y	5.59×10^3	25th March 1975
^{14}C	0.156	5 7 3 0 Y	5.95×10^3	5 th March 1976
^{36}Cl	0.714	3.08×10^5 Y	6.65×10^3	5 th March 1976
^{60}Co	0.314(99%) 1.48 (0.12%)	5.2 6 Y	5.18×10^3	5 th March 1976
^{90}Sr (^{90}Y)	0.546(2.27)	2 7.7 Y	6.10×10^3	—
^{144}Ce	0.31	2 8 4 d	5.40×10^3	—
^{204}Tl	0.766	3.8 1 Y	8.86×10^3	—
^{32}P	1.71	1 4.2 8 d	—	—
^{198}Au	0.962	2.7 0 d	—	—

"Table of Isotopes," by C. M. Lederer, J. M. Hollander,
and I. Perlman, 6th edition, published by John Wiley
and Sons, Inc., New York, 1967.

図 23. β 線最大エネルギー指数に対する β 線感度(a t 7 mg/cm²)

図 24 β 線最大エネルギー指標に対する β 線感度 (at 40 m g/cm^2)

6. β 線吸収線量の評価手順

6.1 バックグラウンド及び被曝 γ 線のエネルギー評価

β 線吸収線量計を用いて β 線吸収線量の評価を行う場合、あらかじめ線量計着用期間中のバックグラウンド及び被曝 γ 線のエネルギーを評価する必要がある。

β 線吸収線量計を 3 ヶ月間被曝管理に使用した場合のバックグラウンドは再処理建設所内の作業者のうち被曝の無い者のデータを基に求めた。この結果 TLD-1 及び 2 については 0.95 (MR), TLD-3 については 1.20 (MR) が得られた。結果を表 1-2 に示す。この値は TLD のアニールから測定まで約 4 ヶ月間のバックグラウンドと NRI-TL の成分を合計したものである。

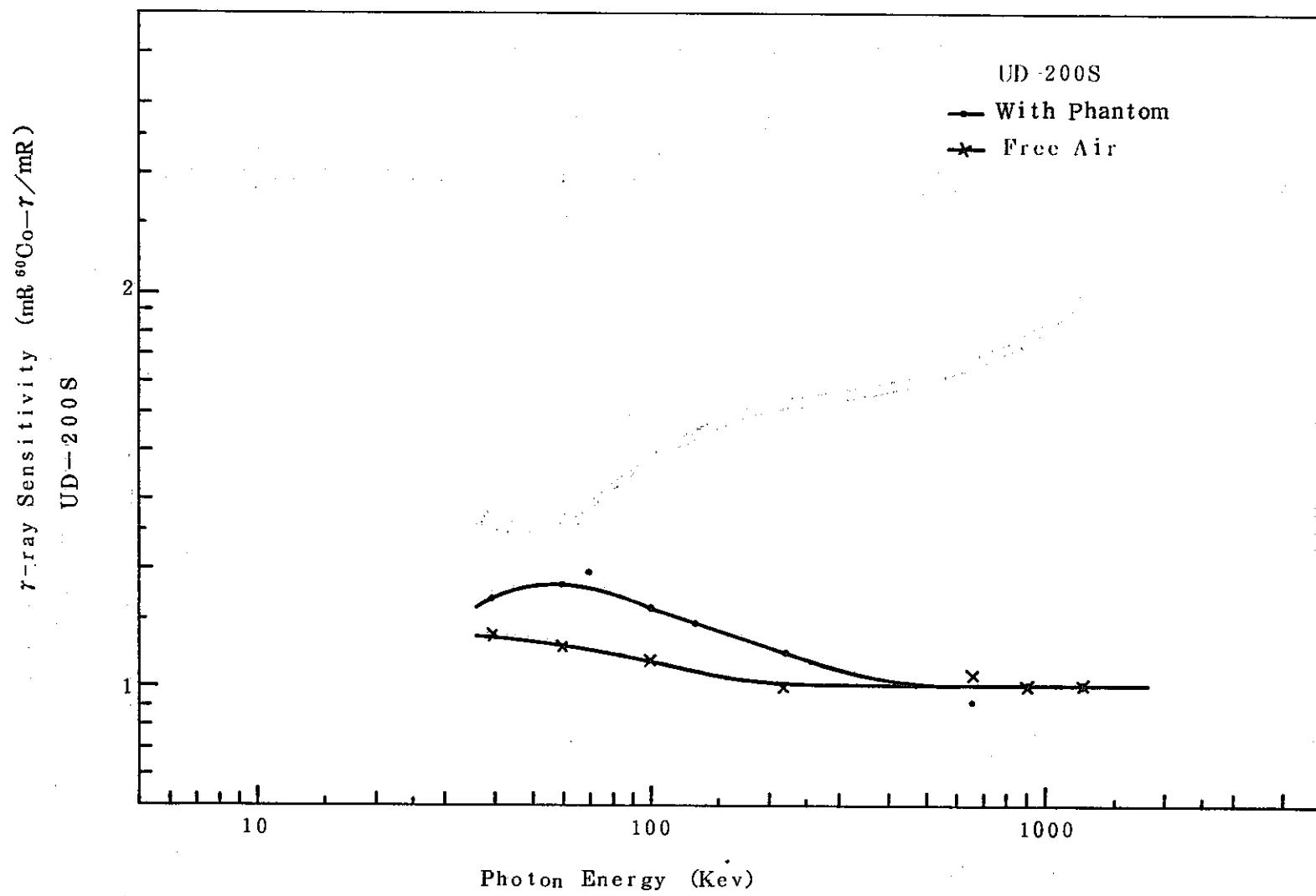
β 線吸収線量計と UD-200S (γ 線被曝測定用素子) を TLD バッジケースに組み、ファントームに装着して γ 線の照射を行うと β 線吸収線量計の γ 線補償用素子 (TLD-3) はエネルギー依存性が大きく、一方 UD-200S はあまり変化しない。

UD-200S のエネルギー依存性を図 2-5 に示す。したがって β 線吸収線量計の γ 線補償用素子 (TLD-3) と UD-200S の線量の比 ($\frac{\text{TLD-3}}{\text{UD-200S}}$) は γ 線エネルギーの関数となりこの値から TLD バッジに入射した γ 線のエネルギーを評価することができる。これを図 2-6 に示す。

表 1-2 定常管理に用いた β 線吸収線量計のバックグラウンド測定
(77 年第 2 四半期)

	発光量 (MR)		
	1 枚目	2 枚目	3 枚目
① 全身用吸収線量計	0.929	0.892	1.187
	0.970	0.961	1.245
手部用吸収線量計	0.966	0.988	1.176
平 均	0.954	0.947	1.20
	0.95		

—E.P.—

図 25 UD-200S の γ 線エネルギー特性

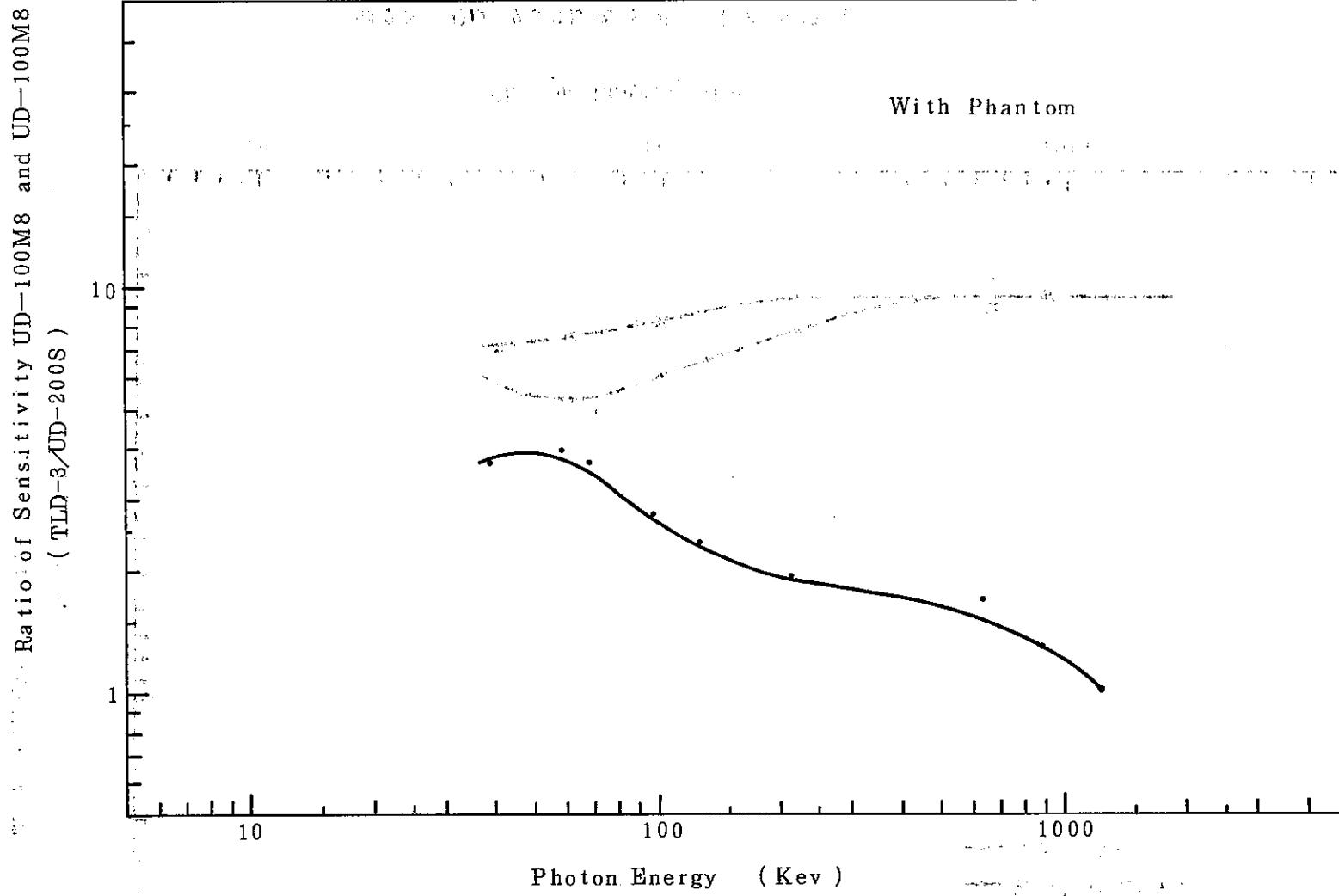


図 26 γ 線エネルギーに対する TLD-3 と UD-200S の線量比

6.2 線量評価手順

全身用 β 線吸収線量計による吸収線量算出手順

- ① TLD-3 の螢光量から $^{60}\text{Co}-\gamma$ 線当量 (Q_3) を求め、同時に着用した UD-200S の正味の線量との比を求め図 2-6 から被曝 γ 線のエネルギーを評価する。

$$Q_3 = \frac{L_3}{F_3} = \frac{l_3 - C_3^{\text{BG}}}{F_3} \quad (\text{mR } ^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (6.1)$$

ここで C_3^{BG} : TLD-3 の着用期間中の BG 螢光量 (MR)

$$F_3 : 9.57 \times 10^{-3} (\text{MR/mR } ^{60}\text{Co}-\gamma)$$

- ② 次に (3.7) 式及び (3.8) 式から TLD-1 及び TLD-2 の $^{60}\text{Co}-\gamma$ 線当量 Q_1 , Q_2 を求め、さらに①で求めた γ 線エネルギーからは TLD-1, TLD-2 及び TLD-3 の $g_1(E)$, $g_2(E)$, $g_3(E)$ を図 1-4 を利用して求める。

$$Q_1 = \frac{L_1}{F_1} = \frac{l_1 - C_1^{\text{BG}}}{F_1} \quad (\text{mR } ^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (6.2)$$

$$Q_2 = \frac{L_2}{F_2} = \frac{l_2 - C_2^{\text{BG}}}{F_2} \quad (\text{mR } ^{60}\text{Co}-\gamma) \quad (6.3)$$

ここで $F_1 : 8.49 \times 10^{-3}$ (MR/mR $^{60}\text{Co}-\gamma$)

$$F_2 : 9.57 \times 10^{-3} (\text{MR/mR } ^{60}\text{Co}-\gamma)$$

- ③ ②で求めた Q_1 , Q_2 及び $g_1(E)$, $g_2(E)$, $g_3(E)$ と①で求めた Q_3 から (6.4) 式を用いて EI を求める。

$$EI = \frac{g_3(E)Q_2 - g_2(E)Q_3}{g_3(E)Q_1 - g_1(E)Q_3} \quad (6.4)$$

さらに得られた EI を基に図 2-3 から TLD-1, TLD-2 及び TLD-3 の β 線感度 $b_1(E)$, $b_2(E)$, $b_3(E)$ を求める。

- ④ 以上の結果 β 線吸収線量 (D_β) は次の様にして求められる。

まず (3.9) 式から D_γ を求める。

$$D_\gamma = \frac{Q_3}{g_3(E)} \quad (\text{mR}) \quad (3.9)$$

これを (3.10) 式に代入して D_β が求まる。

$$D_\beta = \frac{Q_1 - g_1(E)D_\gamma}{b_1(E)} \quad (\text{mrad}) \quad (3.10)$$

ただし EI が 0.9 を越えた場合、図 23 に示す様に、TLD-3 の β 線感度 ($g_3(E)$) が大きくなってくる。このため (3.9) 式では最大エネルギーが高くなると $b_3(E)$ が誤差として効いてくる。したがって D_γ を求める式は EI が 0.9 を越えた場合次式を用いて TLD-3 の β 線感度を補正する。

$$D_\gamma = \frac{b_1(E) Q_3 - b_3(E) Q_1}{b_1(E) g_3(E) - b_3(E) g_1(E)} \quad (\text{mR}) \quad (6.5)$$

手部用 β 線吸収線量計についても同様の手順で吸収線量が求められる。しかしながら γ 線エネルギー入手する方法は線量計内の情報からは得られない。したがって全身用線量計からの情報あるいは作業環境の γ 線エネルギー情報を用いて手部に被曝した γ 線エネルギーを評価する必要がある。

6.3.1 混合照射試験

β 線吸収線量計に既知量の β 線及び γ 線量を混合照射し 6.2 に述べた線量評価式を用いて実際に線量評価を行ってみた。結果を表 13 に示す。表 13 からわかるようにやはり β/γ 比が大きいほど β 線吸収線量の評価精度は向上する。

表 13 β 線及び γ 線を混合照射した場合の測定例

SOURCE β	r	ACTUAL EXPOSURE		β/γ	MEASURED EXPOSURE		β -ray Emax (MeV)	ERROR (%)
		(mg/cm^2)	$\beta(\text{mrad})$		(mg/cm^2)	$\beta(\text{mrad})$		
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	^{226}Ra	163	87	1.9	206	100	1.4	39
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	X-ray (220kev)	844	82	10	1050	90	2.3	24
^{204}Tl	^{226}Ra	446	87	5.1	410	90	1.2	8
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	—	354	0	—	320	0	2.5	10
^{204}Tl	—	61	0	—	50	20	1.0	18
^{147}Pm	—	1930	0	—	1930	9	0.22	0
—	^{60}Co	0	190	—	0	210	—	—
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	^{60}Co	324	310	1.0	480	340	1.1	48
^{147}Pm	^{60}Co	1000	310	3.2	1140	360	0.21	14
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	^{60}Co	51	62	0.8	80	60	1.4	18
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$	^{60}Co	165	62	2.7	200	60	2.5	21
^{204}Tl	^{60}Co	122	62	2.0	60	80	2.1	51

6.2.3 ノイズ

手部用 β 線吸収線量計を3ヶ月間定常被曝管理に使用した場合の測定例を77年第3四半期を例にして表14に示す。表中No.1, 2, 4, 6のデータについては正常なバックグラウンドの値を示しているがNo.3, 5についてはTLD-2あるいはTLD-3のみが異常に高い測定値を示している。異常値を示したTLD素子を再度測定するやはり同程度の蛍光量を示した。

表14 手部用 β 線吸収線量計を定常管理で使用した例
(77年第4四半期)

データNo.	手部用 β 線吸収線量計の発光量(MR)		
	1枚目	2枚目	3枚目
1	0.77	0.80	1.35
2	0.48	0.60	1.22
3	1.180	4.750	1.11
4	0.66	0.77	0.56
5	2.18	4.15	4.49
6	1.37	1.18	2.00

異常値を示したTLDのグロー特性を図27に示す。(なお横軸は通常は温度で示すが今回は測定器の都合上、加熱時間で表わす。)

UD-100M8の正常なグロー特性は図28に示した。正常な場合には最初の数秒間で主ピークが表われる。参考にUD-100M8と同じCaSO₄(Tm)をTLDとして用いたUD-200Sのグロー特性を図29に示した。

異常値を示す主な原因は次のものが考えられる。

- ① 管理区域退出時に手部用吸収線量計を着用したまま手を洗ってしまい石けん水等が線量計内部に浸透しTLD素子に付着する。これが測定時に疑似信号を出す。
なお線量計測係においてこの原因についての実験を行った結果同様の疑似信号を得ることができた。
- ② 手部用吸収線量計は左手薬指内側に装着しゴム手袋はその上に着用する様指導している。したがって長時間作業すると手から出た汗がやはり線量計内部に浸透する。現在機密性を向上させるための改良を検討している。

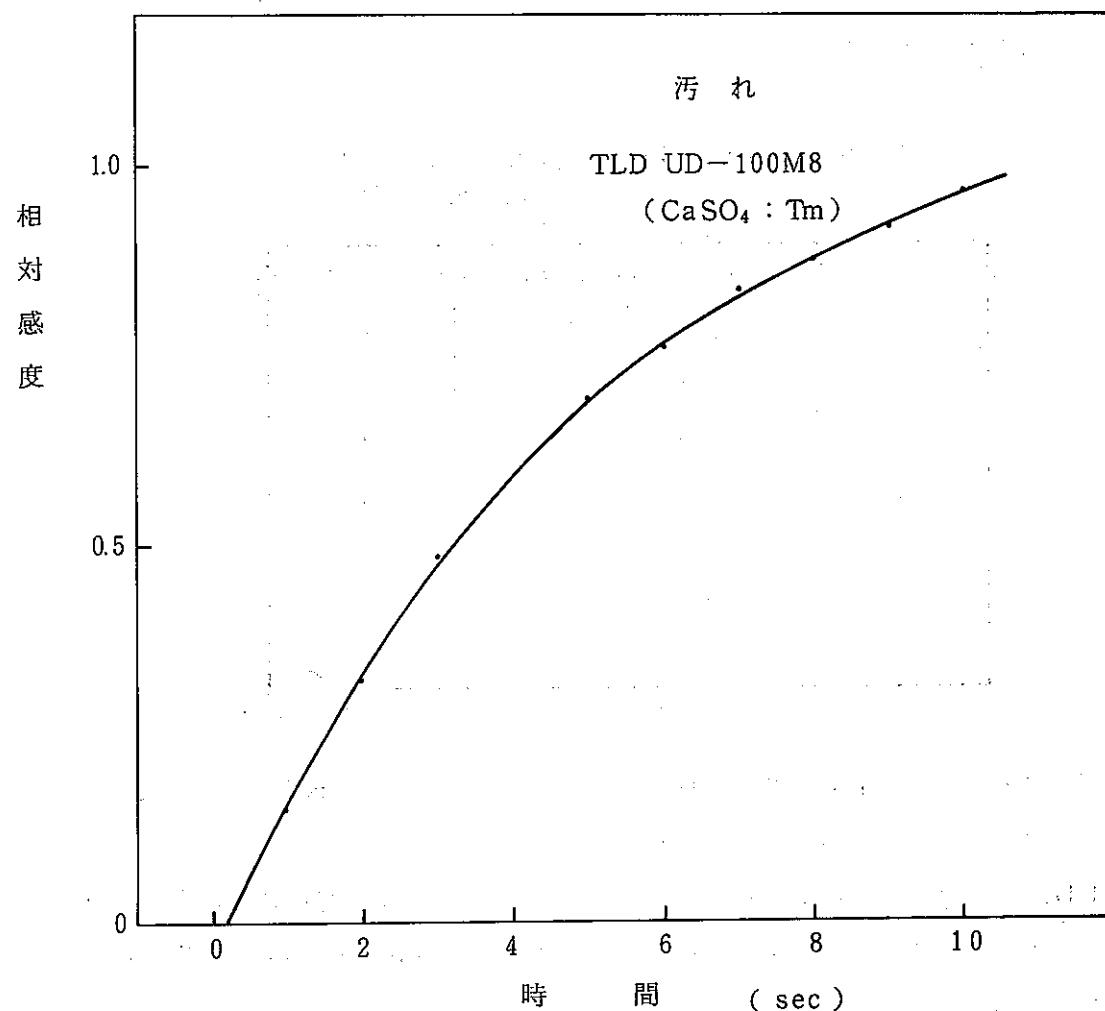


図 27. UD-100M8に汚れが付着した時のグロー特性

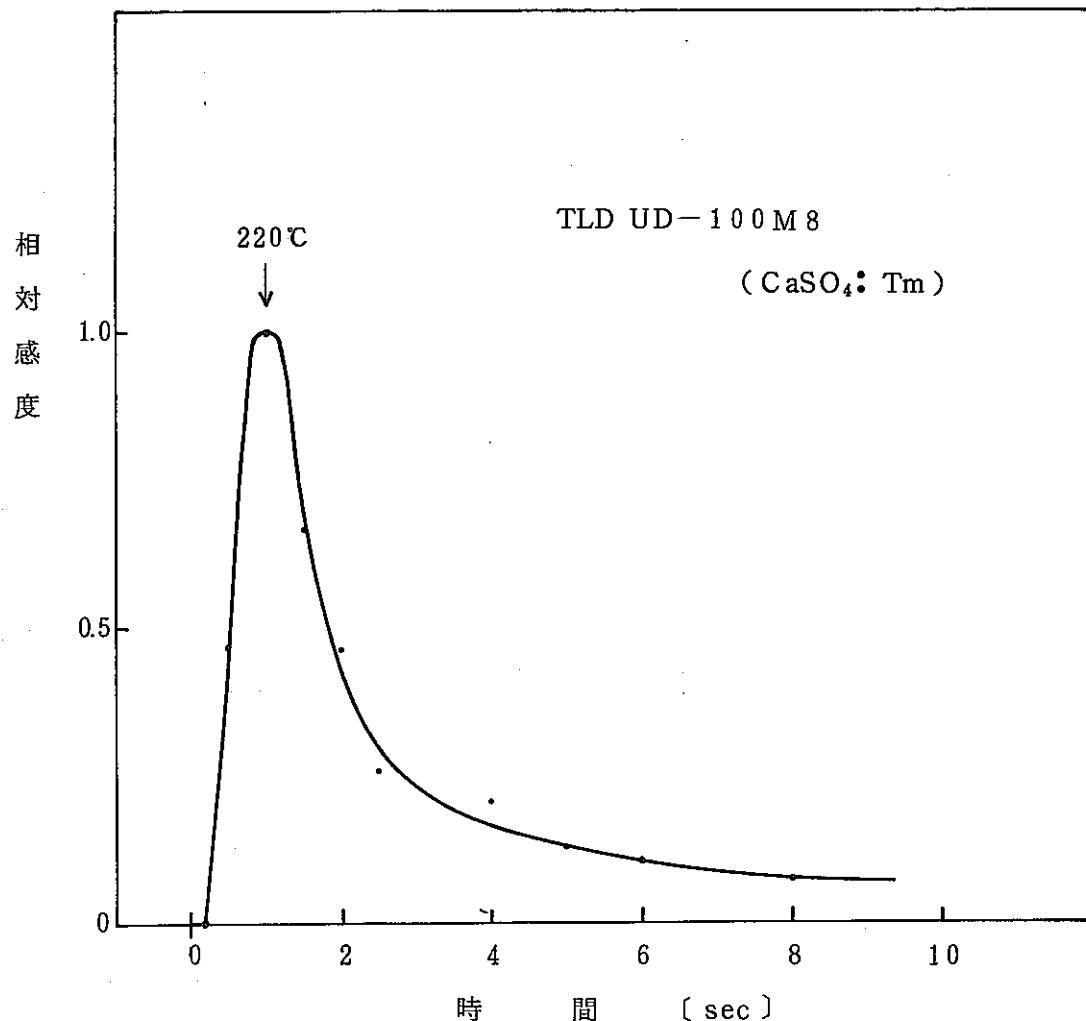


図28. UD-100M8の正常なグロー特性

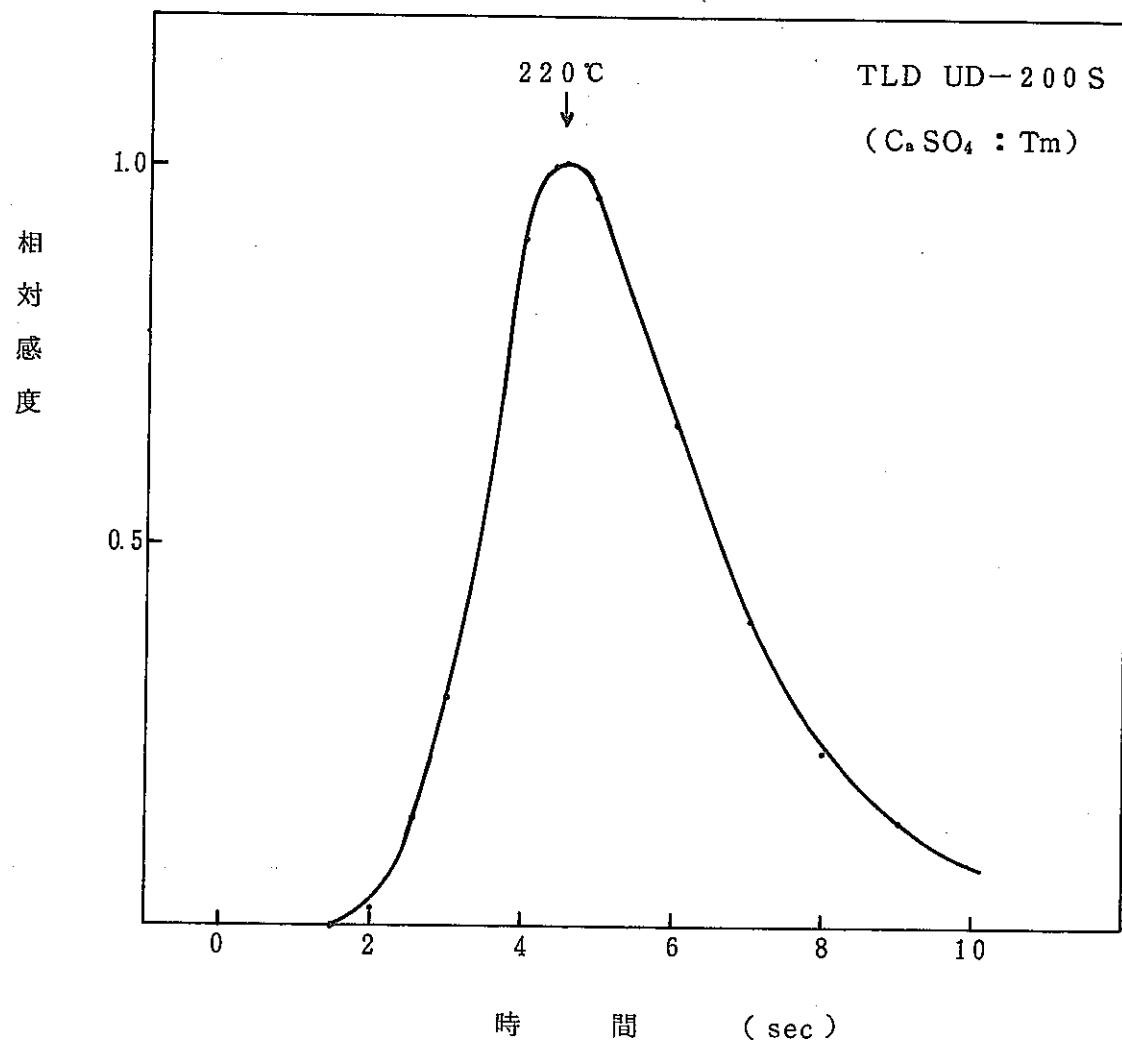


図29. UD-200Sのグロー特性

7. 結 論， 問 題 点

β 線及び γ 線の混合被曝から β 線吸収線量の分離測定が可能になり同時に被曝 β 線の最大エネルギーを評価することができた。分離測定の程度すなわち β 線量に対する検出限界値は β 線と γ 線の混合被曝の程度や被曝する放射線のエネルギー等に依存するが、技術的には $100\text{mrad} \pm 100\%$ 程度と考えているが、被曝管理上は $300\text{mrad} \pm 50\%$ と考えている。この 300mrad という値は ICRP の皮ふに対する最大許容線量 $8\text{rem}/3\text{月}$ および $30\text{rem}/\text{年}$ の値に比べて一応管理可能なレベルであると考えている。

β 線測定用に UD-100M8 を用いた場合の問題点は多い。

まず、①全体的に UD-100M8 の蛍光量は少なく β 線や γ 線を大線量 (rad あるいは R オーダ) 照射しないと充分な蛍光量が得られない。

②UD-100M8 を挿入しているホルダー (UD-612F) の構造上水が入ったりあるいは β 線入射用薄窓から衝撃が加わったりしてこれらによる疑似信号が発生し線量評価の防げとなる。

③また TLD-3 の γ 線エネルギー特性は線量計とファントーム間の距離により変化するため γ 線補償をする際に誤差要因になっている。実験においてはファントームから 2cm 離して照射を行ったが実際の着用常態では作業服のふくらみや作業者の姿勢等でかなり距離が変わっていると予想される。

④TLD-3 は β 線最大エネルギーが高くなると (約 2MeV 以上) わずかながら β 線に対して感度がある応答を示す。この主な原因は β 線が、 β - γ 分離用に挿入した鉛シールドに入射しその結果生ずる制動放射線によるものと考えられる。したがってシールドの材質や構成について改良を加える必要がある。

⑤UD-100M8 は γ 線に対しエネルギー依存性が大きい。したがって何らかの方法により被曝 γ 線のエネルギーを求める必要がある。全身用吸収線量計の場合には TLD パッジケースに同時に組込まれている γ 線測定用素子 UD-200S との線量比から γ 線エネルギーを評価することができるが手部用線量計についてはその方法がない。 γ 線エネルギー依存性の無い β 線感度の TLD を使用する必要性がある。

現在、上記問題点に対処するために新しい β 線吸収線量計を開発中であり特に手部用については線量計の気密性とトリボ対策の点から新型のホルダーを製作中である。

改良された新しい吸収線量計を用いて精度ある校正が今後の課題である。

最後に β 線源の吸収線量率値付けに心よく協力していただいた原研東海の備後一義氏はじめ線量計測課の皆様に感謝します。

8. 付 錄 同じ⁶⁰Co- γ 線源でも照射装置の異いにより TLDの感度が変化することについて

5.2でも述べたように同じ⁶⁰Coの γ 線を吸収線量計に照射しても図13及び図14で示される様に⁶⁰Co-10Ciの γ 線を基準にするとTLD-3については²²⁶Ra-50mCi¹³⁷Cs-100mCi、⁶⁰Co-100mCiともほぼ同じ感度を示すがTLD-1及びTLD-2については約2倍の感度となる。通常使用している線量計の γ 線エネルギー依存性は¹³⁷Csから⁶⁰Coの範囲内ではほぼ同じ特性を示すことが予想され、松下から出されている技術資料⁽⁵⁾においてもUD-100M8の γ 線量エネルギー特性は上記範囲内で平坦である。図30に松下が提示したUD-100M8の γ 線エネルギー特性を示す。同図においてUD-100M8(素子①)及びUD-100M8(素子②)は本報に述べるTLD-1及びTLD-3に対応する。

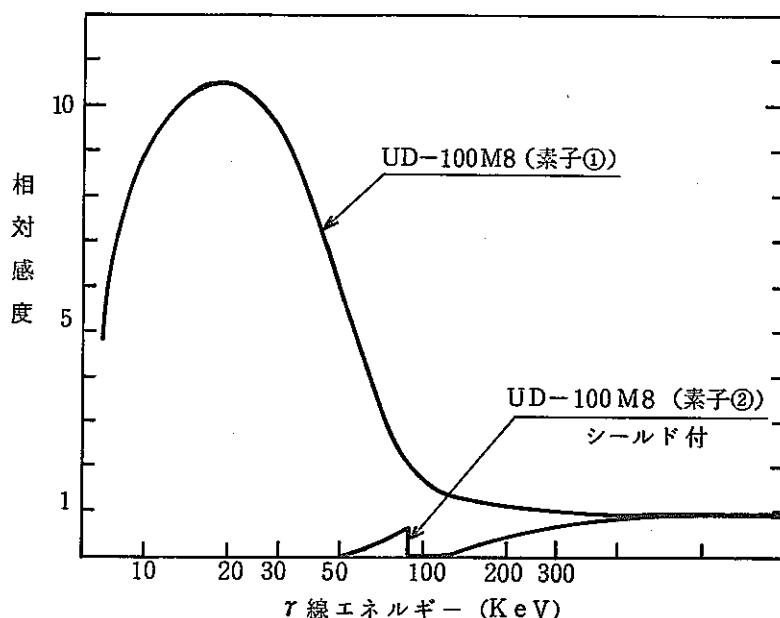


図30 γ 線感度(素子UD-100M8使用, UD-611F)
(松下技術資料より)

照射装置が異なるとTLD-1及びTLD-2に対して何らかの感度変化がみられるため、AlokaとNescoの電離箱サーベイメータにより⁶⁰Co-10Ci照射装置と γ 線照射装置との線量率測定を行い各電離箱サーベイメータの β 線入射窓を開閉した時における測定値の変化を調べた。結果を表15に示す。

表 15 照射装置を変えて測定した電離箱型サーベイメータの窓を開にした読取値に対する閉の読取値の比

照射装置 の種類	電離箱サー ベイメータ の種類	線源の種類	β 線しゃへい 窓の開閉	測定値 mR/hr	β 線しゃへい用 窓を開閉した場 合の線量の比	β 線しゃへい用窓 を開閉した場合の 線量の比を $^{60}\text{Co}-$ 10Ciの値を1とし て規格化	備 考
$^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$ 照射装置	NE SCO Model- 808	$^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$	開 閉	270 290	0.93	1.0	ビーム照射 at 500cm
		$^{60}\text{Co}-100\text{mCi}$	開 閉	225 200	1.13	1.2	4π照射 at 73.5cm
		$^{226}\text{Ra}-50\text{mCi}$	開 閉	71.5 65.0	1.10	1.2	4π照射 at 73.5cm
		$^{137}\text{Cs}-100\text{mCi}$	開 閉	66.0 63.0	1.05	1.1	4π照射 at 73.5cm
		$^{137}\text{Cs}-100\text{mCi}$	開 閉	99.0 88.0	1.13	1.2	4π照射 at 71.0cm
	Aloka ICS- 151	$^{60}\text{Co}-100\text{mCi}$	開 閉	58.0 49.0	1.18	1.3	4π照射 at 165.5cm

表15からわかるように γ 線照射装置の場合はどの線源でも窓を開にした方が測定値は高い。しかしながら $^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$ 照射装置についてはこの傾向が逆に観測された。 ^{60}Co - 10Ci の場合の電離箱サーベイメータの応答を基準にすると γ 線照射装置を用いた場合2~3割低エネルギー γ 線あるいは電子の影響がサーベイメータに対して表われている。

A. KATO, T. TSUJIMOTO et al は放射線測定器校正時の散乱線の影響を測定し、 $100\sim200\text{KeV}$ のピークをもつ散乱線が2.5~6.3%測定器に影響を与えていと報告している。⁽¹⁰⁾ したがって UD-100M8 は低エネルギー γ 線に対しては高感度でありまた電子に対しても応答を示すためこの傾向が増幅されて表われたものと考えられる。

$^{60}\text{Co}-10\text{Ci}$ 照射装置と γ 線照射装置の主な違いは線源キャップセルが前者はステンレス製であり後者はアルミニウム製である。また照射方法については前者はビーム照射であり後者は約 4π 照射である。 4π 照射したことにより散乱 γ 線が吸収線量計に入射したためにこのような傾向が出たものと考えられるがより詳細な原因追究が望まれる。

参 考 文 献

- (1) 福田整司 : JAERI-M 1065 (1964)
- (2) 備後一義 : JAERI-M 3591 (1969)
- (3) A. C. Chamberlain : AERE HP M16
- (4) M. J. Berger : Health Physics, Vol. 26 1-12 (1974)
- (5) 龍福 廣 : JAERI-M 7354 (1977)
- (6) 備後一義 : JAERI-M 6753 (1976)
- (7) W. G. CROSS : AECL 2793 (1967)
- (8) J. R. Cameron, N. Suntharalingan, G. N. Kenney : "THERMOLUMINESCENT DOSIMETRY" P123 (1968)
- (9) ナショナル TLD取扱い説明書
- (10) 加藤朗 他 : 保健物理, 13, 113-116 (1978)