

本資料は 2001. 6. 26 日付けで登録区分、
変更する。

[技術情報室]

動燃東海事業所に於ける T L D の使用状況の 概要と線量評価法

Review of Present State in Application of Thermoluminescent
Dosimeter to Personnel Dosimetry and Radiation Control
at PNC Tokai Works.

1978年7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

動燃東海事業所に於けるTLDの使用状況の 概要と線量評価法



Review of Present State in Application of
Thermoluminescent Dosimeter to Personnel
Dosimetry and Radiation Control at PNC
Tokai Works.

実施責任者	志 賀 健一郎 *
報 告 者	石 黒 秀 治 *
	野 田 喜美雄 *
	武 田 伸 荘 *

期 間 1978年4月1日～1978年6月30日

目 的 東海事業所に於ける個人被曝管理，作業環境及び野外環境面でのTLDの使用状況の概要と現在実施している各放射線に対する線量評価技術の概要をレビューする。

要 旨 動燃東海事業所では従来個人外部被曝管理には，フィルムバッジ線量計を主体に線量評価を実施していたが，昭和49年7月よりTLD素子を組み合わせて動燃型TLDバッジを使用して個人外部被曝管理を実施している。

一方プルトニウム燃料製造施設，再処理施設等の作業環境の集積線量計としてその他東海事業所のサイト内外の野外環境用の集積線量計としてもTLDを使用している。

本報告では，東海事業所でのTLDの使用状況の概要をまとめるとともに，現在使用しているTLDバッジをはじめとする線量評価に用いている各種TLDについても概説した。

また現在東海事業所で得られている，ガンマ線，ベータ線および中性子線に対する線量評価技術に関する知見についてもまとめた。

その他TLD素子およびリーダーの管理についても経験上得られた知見をまとめた。

目 次

1. はじめに	1
2. 個人被曝管理での T L D の使用	2
3. 作業環境及び野外環境集積線量計としての応用	9
4. ガンマ線量評価法	1 0
5. 中性子線個人被曝線量評価法	2 0
6. ベータ線個人被曝線量評価法	2 8
7. T L D を利用したエネルギー情報の入手例	3 7
8. リーダーの保守校正	4 1
9. T L D 素子の管理	4 7
1 0. T L D 使用上の今後の検討事項	4 8
1 1. む す び	5 0

1. は じ め に

最近 T L D が安全管理面、特に個人被曝管理の分野に普及しているが、大部分の原子力施設では未だ補助的線量計として使用しているのが一般的である。

東海事業所に於いても原子燃料公社時代よりフィルムバッジを使用し、昭和 41 年のプルトニウム取扱開始とともに原研Ⅳ型フィルムバッジを用いて来た。昭和 47 年頃よりいわゆる高次化プルトニウムを使用はじめるとともに中性子線個人モニタリングの必要性が生じたこと、及び原研Ⅳ型フィルムバッジでは低エネルギーガンマ線被曝線量の算出時のエネルギー補正が必要なこと等のため個人被曝線量計としてフィルムから T L D への切換えが検討され、現在東海事業所で使用している汎用型の動燃型 T L D バッジが開発された。昭和 49 年 7 月より T L D バッジを使用している。

現在再処理工場の運転に伴ない約 2,000 名の個人被曝を T L D バッジで管理しており、濃縮部門等若干残されていたフィルム使用も 53 年 4 月より T L D へ切換え、現在東海事業所ではフィルムは全廃している。

線量評価技術についても種々の技術的問題点をかかえながらも、ガンマ線、ベータ線、中性子線による混合被曝についても一応の分離測定が可能な域に達している。

一方作業現場の環境集積線量計として従来ガラス線量計を使用していたが、これも昭和 48 年より T L D に切換えた。また再処理工場の運転前の事前環境モニタリングにも野外環境の集積線量計として T L D を用いて実施している。

以上のように東海事業所に於いては個人被曝管理、作業及び野外環境管理において広範囲に T L D を使用しているが、以下に T L D の使用状況と各放射線に対する線量評価技術の概要についてまとめた。

2. 個人被曝管理でのTLDの使用

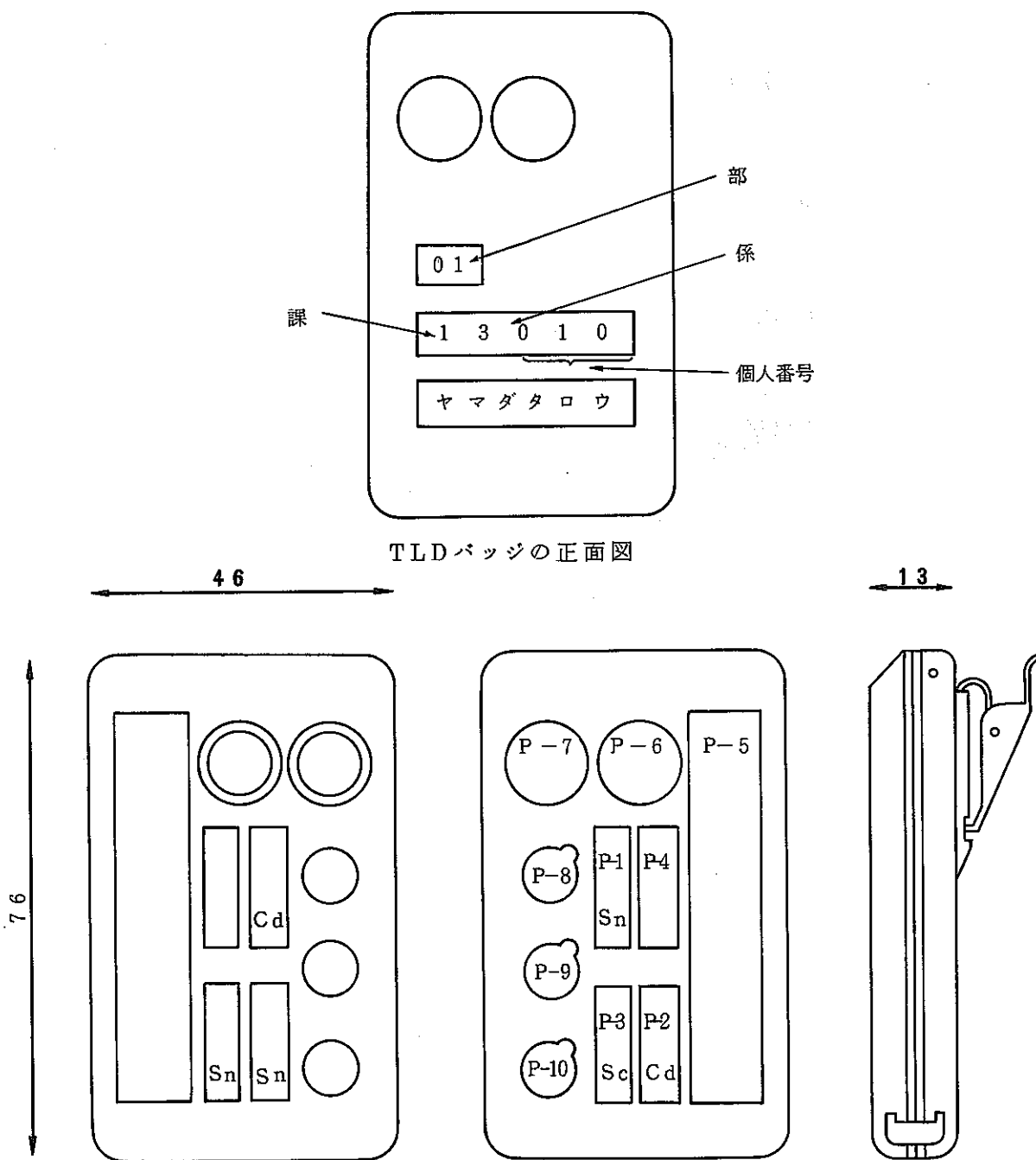
2.1 動燃型TLDバッジの概要

現在東海事業所で個人外部被曝管理に使用している動燃型TLDバッジの個人被曝線量計の構造図をFig. 2.1に示す。バッジケースはABS樹脂を用いて加工したもので外形寸法は $76\text{ mm} \times 46\text{ mm}$ である。バッジケースの中にはTLD素子が図のように配置されている。 γ 線用として場所P-5に松下製のUD-200S, 中性子として場所P-1およびP-2にUD-136N素子, 同じくP-3に中性子線量測定時の γ 線補償用としてUD-137N素子, β 線用としてP-6とP-7にUD100M8素子(合計6枚), P-4には γ 線大線量用としてUD-170A, P-8には臨界事故時のスクリーニング用としてInフォイルが配置してある。

上記のTLD素子名はいずれも松下製の型名であるがTable 2.1にそれぞれの素子の種類の発光体成分をまとめて示す。

また中性子用3素子の前後にはFig. 2.1に示すようにCdとSnの 1 mm 厚のたまご型のフィルターをバッジケースにうめ込んであり熱中性子線のカットに用いている。

Fig. 2.2にTLDバッジケースと素子の外観図を示す。



P-1 } : 熱中性子感度の T L D (U D - 1 3 6 N) (青)
P-2 }

P-8 : In フォイル

P-3 : γ 線補償用の T L D (U D - 1 3 7 N) (緑)

P-4 : γ 線大線量用の T L D (U D - 1 7 0 A) (赤)

P-5 : γ 線定常管理用 T L D (U D - 2 0 0 S)

P-6, P-7 : β 線用 T L D (U D - 1 0 0 M 8)

P-9, P-10 : スペア用

Fig. 2.1 T L D バッジ個人被曝線量計構造図

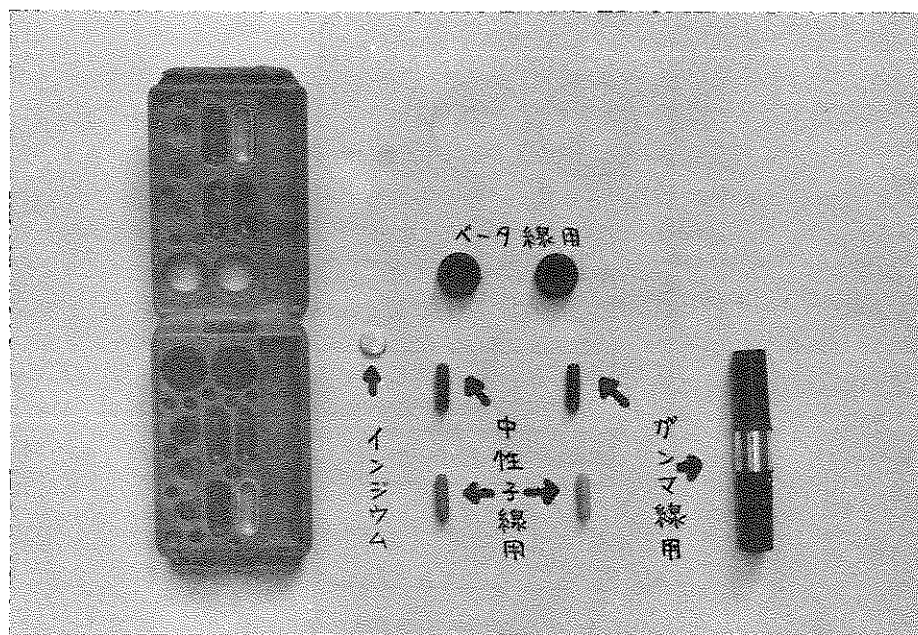


Fig. 2.2 TLDバッジケース及び用途

Table 2.1 TLDの成分と用途

素子の種類	成分	用途
UD-200S	$\text{CaSO}_4 ; \text{Tm}$	γ 線被曝管理用
UD-100M8	$\text{CaSO}_4 ; \text{Tm}$	β 線
UD-170A	BeO (生体等価)	γ 線
UD-136N	$\text{CaSO}_4 ; \text{Tm} \cdot {}^6\text{LiF}$	$n + \gamma$ (差からn線)
UD-137N	$\text{CaSO}_4 ; \text{Tm} \cdot {}^7\text{LiF}$	γ 線 (の被曝管理)

2.2 局部被曝線量計

再処理工場において現在使用している指リング型の局部被曝線量計の構造図を Fig. 2.3 にまたその外観写真を Fig. 2.4 に示す。本線量計は指にはめこんで使用、 β 線と γ 線による被曝線量をそれぞれ分離して測定評価するものである。

Fig. 2.3 に示すように本線量計の構造は遮光膜の下に β 線と γ 線に感じる TLD (松下製 100 M 8) を 2 枚配置し、その後 0.8 mm 厚の鉛シールド板がありさらにシールド板のあとに同じく γ 線用としての TLD (松下製 100 M 8) が配置されている構造をもっている。

β 線量評価は第 6 章に詳しく述べるが、最初の 2 枚の素子は β 線と γ 線の両方に感じ、3 枚目の TLD は γ 線のみを感じるため、この差に適当な校正乗数を乗ずることにより β 線量を算出する。

Table 2.2 に本線量計に用いている TLD 素子の基本仕様を示した。

2.3 TLD リーダー

現在個人被曝管理や環境管理に用いている TLD のリーダーは合計 5 台所有している。リーダーは松下製の

502A 型リーダー	2 台
502B 型リーダー	2 台
505A 型リーダー	1 台

合計 5 台である。熱蛍光の読み取りはいずれも熱風加熱方式で、スライダーの部分に TLD 素子を入れて測定する。その外観図を Fig. 2.5 にまた装置の構成図を Fig. 2.6 に示す。電子回路系の安定度は経験上かなり高いものと思われる。

5 台のリーダーは専用の測定室に設置されているが、専用のエアコンは設備されていない。除湿機を用意し、また靴のはきかえ等の配慮ははらっている。

2.4 各放射線に対する検出限界値

現在個人被曝管理上使用している TLD の各放射線による被曝線量の検出限界値は Table 2.3 にまとめた。これらの値はかならずしも技術的検討のみから求められたものではなく、個人被曝管理上の判断も加えられたものである。例えば UD-200 S 素子を用いる γ 線量についてはメーカー発表は 0.1 mR、PNC の経験からみても技術的には 1 mR 程度は検出可能と考えられるが、個人被曝管理上は 10 mR = 10 mrem を検出限界値と考えている。

β 線、中性子線についても γ 線の混在場の程度によりそれぞれの条件下での検出限界値は表の値よりも低い場合も考えられるが、現場で実際に被曝すると考えられる条件を想定して表の値を定めた。

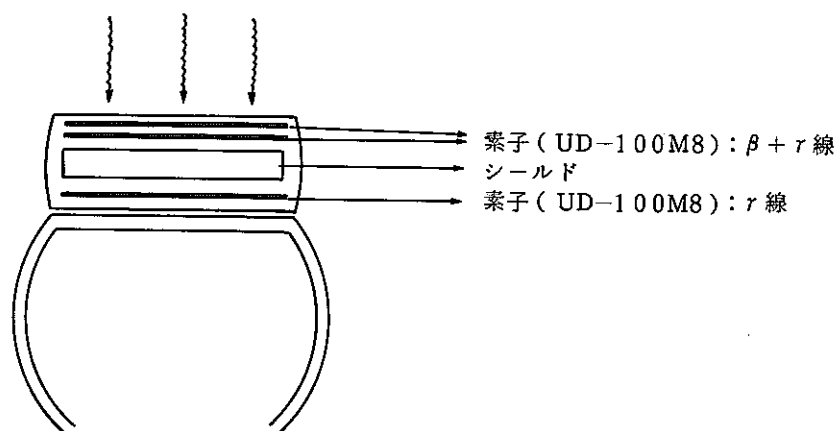


Fig. 2.3 指リングの構造図

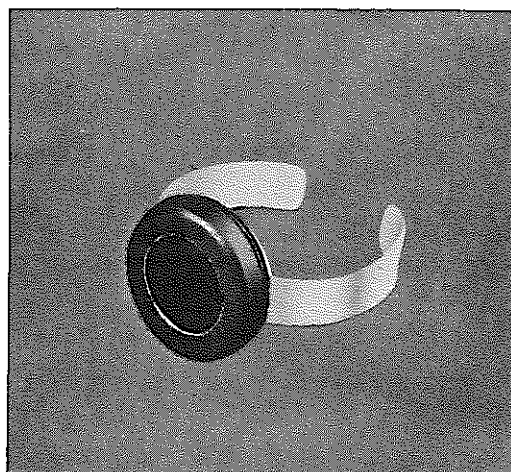


Fig. 2.4 指リングの外観図

Table 2.2 局部被ばく用線量計 (X線, γ 線, β 線)

〔仕様〕

形 式	材 料	蛍光層の寸法	表示範囲	再 現 性	エ ネ ル ギ 依 存 性	フ ェ ー デ イ ン グ	測定装置UD502A による読取り
UD-100M	$\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$	$8\phi \times 0.06\%$	10mR ~2000R	5mR $\pm$ 30% 100mR $\pm$ 2%	$\pm 20\%$ ($>200\text{KeV}$)	8 % 半年	表示 $\times 10$ (1デシット=1mR)



Fig. 2.5 熱ルミネセンス線量計の線量読み取り装置の外観図

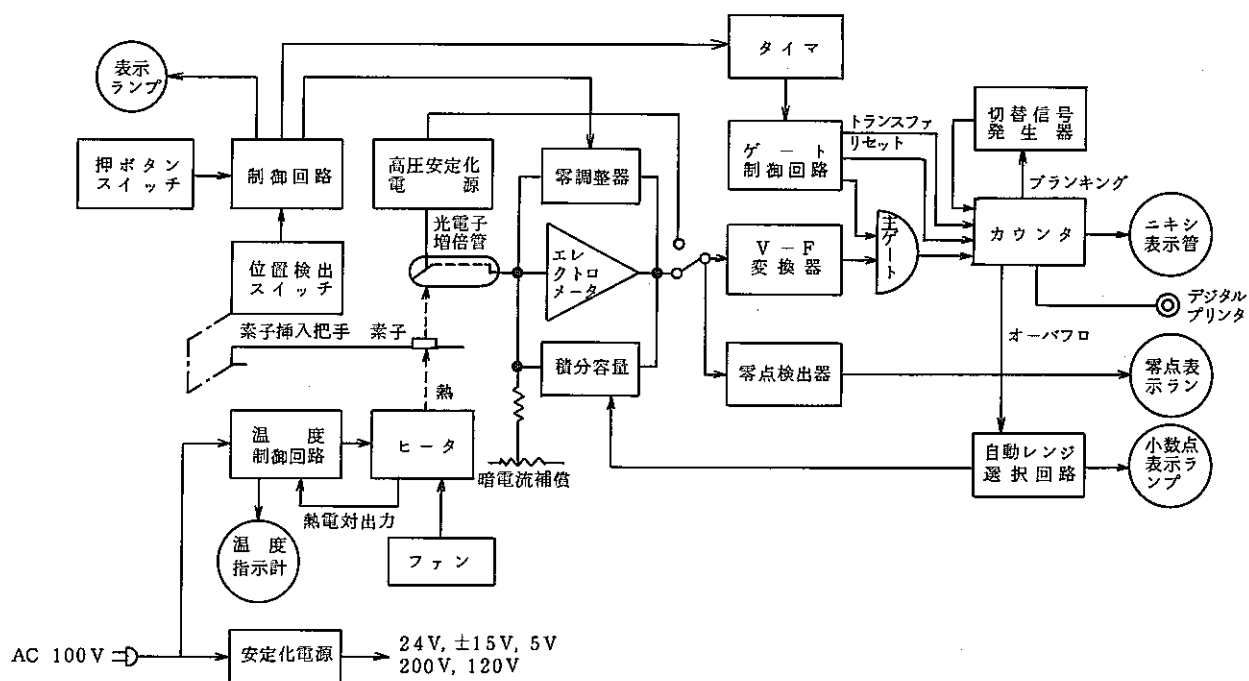


Fig.2.6 熱ルミネセンス線量計の線量読み取り装置の構成図

Table 2.3 各放射線に対する検出限界値

全身 γ	10 mrem
全身 n_f	10 mrem
全身 n_{th}	10 mrem
手部 γ	300 mrem
手部 β	300 mrem
皮膚 β (全身)	300 mrem

2.5 個人被曝管理対象人数等

現在東海事業所で個人被曝管理の対象となる人数の概略は次の通りである。

管理区域立入区分で従事者および随時立入者として、昭和52年度に動燃型TLDバッジの配布を受けた者は約2,000名である。これらの者は最低TLDバッジケース内には γ 線用素子(UD-200S)が装着されており、必要に応じて中性子用、 β 用素子も装着される。

全身 β 線被曝管理の対象者昭和52年度で約300名、手部局部被曝管理対象の者約250名である。プルトニウム燃料加工施設を中心に中性子用TLDをバッジケースに装着している者も約250名程度である。

以上の個人被曝管理の実施のためおよび作業環境、野外環境管理用その他校正用素子等を合わせて現在東海事業所の線量計測グループの所有しているTLD素子の数をTable 2.4に示す。

Table 2.4 現有TLD素子保有数

昭和53年6月22日現在

UD-200S	4,761 本
UD-136N	1,310 本
UD-137N	700 本
UD-100M8	5,730 枚
UD-170A	2,000 本

3. 作業環境及び野外環境集積線量計としての応用

TLDはフィルムの様な現象処理が必要でなく、かつ検出限界値も低く測定が迅速にできる等の理由のため、作業環境及び野外環境のガンマ線集積線量計として、東海事業所でも各施設で利用している。

作業環境としては従来からプルトニウム燃料施設ではグローブボックスのパネル表面や作業室の壁等に集積線量計をはりつけて3ヶ月毎に測定している。線量計は以前には蛍光ガラス線量計を使用していたが現在はTLDを用いている。TLDの種類は松下のUD-200Sである。設置箇所は施設内約130ヶ所で年間の測定件数は約500本である。

ウラン濃縮施設についても同様に約80ヶ所で年間約350本のTLDを測定し作業環境管理に利用している。

また再処理工場では現在γ線エリマモニタでカバーしきれない場所を選んで約100ヶ所、グローブボックスのパネル表面、セル表面、作業室の壁等にTLDを設置して3ヶ月毎に交換し測定している。その他約20ヶ所線量率の高くなることが予想される箇所を選んで、一週間毎、又はキャンペーン毎に定期的に測定管理している。

以上のように作業環境の集積線量計としてTLDを利用する場合には原則として1ヶ所に200S1本を配置し、2素子の平均線量で評価している。

また再処理工場の運転前の事前モニタリングの開始を契機として昭和49年よりTLDによる野外の線量測定を実施している。現在東海事業所では野外環境用として57ヶ所にTLDを設置しモニタリングを実施している。1設置箇所におけるTLDの数はUD-200S3本計6素子である。

上記作業環境及び野外環境管理でTLDを測定する場合の検出限界値はリーダーの校正保守を厳密に実施する等の配慮をして現在1mRと考えて、外部へ報告している。

4. ガンマ線量評価法

4.1 ガンマ線用TLDの概要

現在東海事業所でガンマ線量評価に用いているTLDは松下製のUD-200S型である。構造図をFig. 4.1に示す。図に示すようにキャップの内側にスズと鉛のシールドがうめ込まれて $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 素子のガンマ線の低エネルギー領域のエネルギー応答をフラットにしている。

本線量計は CaSO_4 粉末を封入したガラスアンプルが1ケース中に2素子入っており、破損、誤測定等に対する信頼性を高めている。

本線量計のキャップにクリップを取り付けない状態で動燃型TLDバッジに組み込んでいる。また200S単独で使用する場合も数多いが、この場合にはFig. 4.1に示すようなクリップ付きを使用している。

本線量計を48年頃より使用し、数多くの測定を経験しているが、ガンマ線評価に関し、個人被曝管理には性能面、取り扱い面で一応満足すべきものと考えている。取り扱い上の問題点はガラスアンプルの根の所で取り扱いに注意しないと破損しやすい点である。

TLD TYPE MATSUSITA
UD-200S

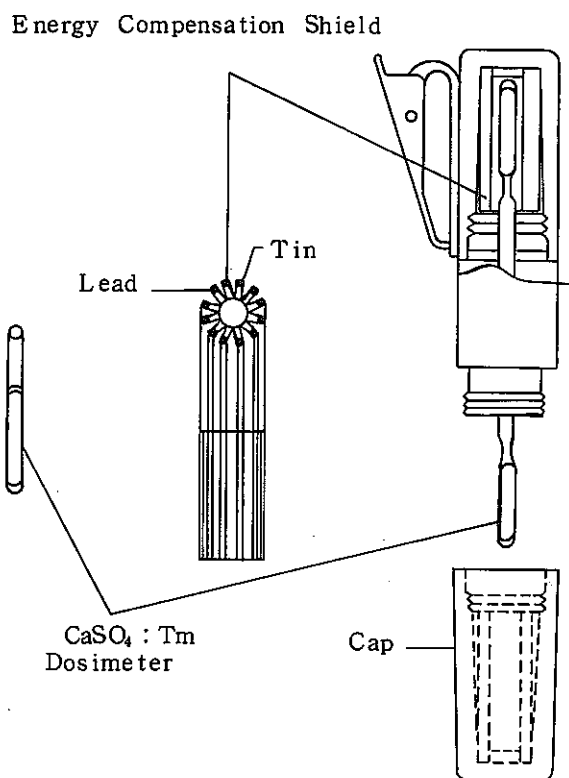


Fig. 4.1 UD-200S型熱ルミネセンス線量計の構造図

4.2 B.Gコントロール

ガンマ線の線量評価に用いているUD-200SのB.G線量測定を実施した。BG線量の曝射は、安全管理棟線量計測室内、同室の鉛5cm厚容器内、同室の線量計保管用キャビネット内、Pu燃C-110室内及び再処理W-218室内のそれぞれの床上50～100cm（鉛容器については床上）に、UD-200S単独、及びUD-200SをTLDバッジケースに組み込んだものの2組を設置した。設置日間（曝射期間）は、1日、3日、1週間、2週間、1ヶ月及び3ヶ月を目標とした。回収後ただちに読み取りを行った。

線量計測室のデータについて設置期間に対するBG線量（exposure）および1日当りのBG線量率（exposure rate）の関係をグラフにし、Fig.4.2に示す。Fig.4.2からわかるようにBG線量率は設置日間が長くなるとしだいに減少していく傾向にあり特にはじめの数日間はその傾向が大きい。したがって設置日間に対するBG線量は直線的でない。設置日間を x としBG線量を y として自然対数プロットを行い、最小2乗法により傾き A を線量計測室、鉛容器、ブル燃、再処理について求めた。結果をTable 4.1に示す。いずれの施設においても傾き A はほぼ等しくその平均は0.90となった。

次に各BG線量測定施設における、設置日間に対するBG線量の関係をFig.4.3にプロットし各施設のBG線量算出式（近似式 $y = Bx^A$ 、 y ：BG線量 x ：設置日間 A ：傾き B ：定数）の傾きが0.9になる様にラインを作図した。定数 B はFig.4.3のグラフから求めた。

Fig.4.2から、1日当りのBG線量率（mR/day）はその設置日間により変化していることがわかる。この原因としては、

- ① TLD（UD-200S）のフェーディング
- ② TLDリーダーの暗電流補償設定誤差
- ③ TLDのブレドースの寄与

などが考えられる。線量計として松下電器製UD-200Sを使用して線量測定を実施した場合、その線量計の着用期間中におけるBG線量の補正はTable 4.2に示す式を用いた方が、低線量測定時における精度は向上する。

またUD-200Sを用いて得られた単位時間あたりのBG線量率はFig.4.2から減衰がゆるやかになったBG線量率からの外挿により $6.4 \mu\text{R/hr}$ となった。（鉛容器中の線量率は $2.8 \mu\text{R/hr}$ と計算され、この値は線量計測室よりも小さくなっている。これは自然放射線等の影響が減少しているためである。）BG線量の変化する原因がTLDのフェーディングにあるとするならば、定常の被曝管理における被曝線量測定値にもその影響がおよんでいることになる。低線量率の長期間照射を行なうなどの実験により今後その影響の度合いを調査する必要がある。

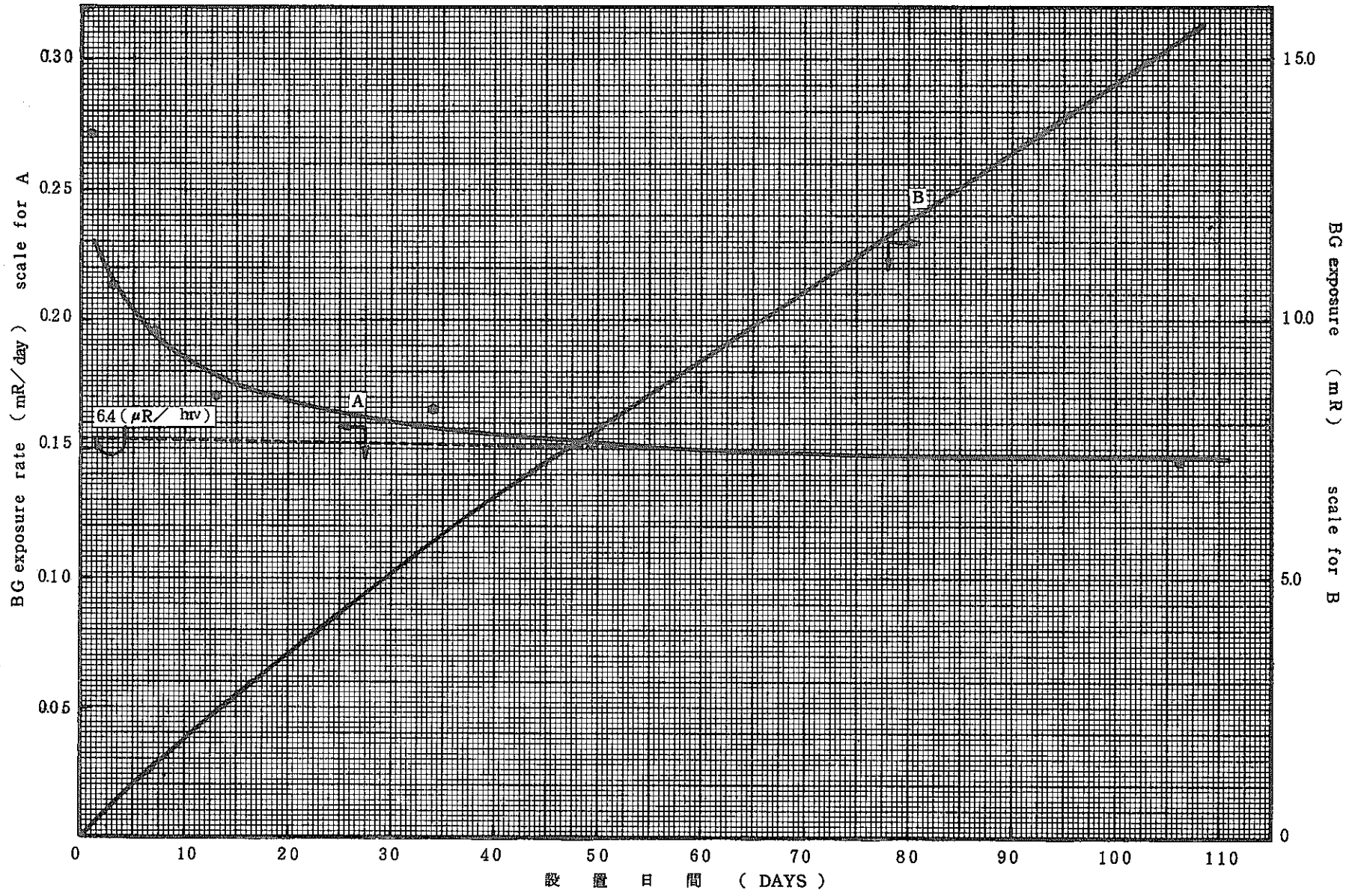


Fig. 4.2 BG測定線量計の設置日間に対するBG読取線量率及びBG読取線量

Table 4.1 自然対数で表わした設置日間と測定線量

設 置 日 間			B G 線 量							
			線 量 計 測 室		鉛 容 器 (5 cm)		P u 燃 (C - 1 1 0)		再 処 理 (W - 2 1 8)	
	x (日)	X = log x	y _{DOS} (mR)	Y _{DOS} = log y _{DOS}	y _{Pb} (mR)	Y _{Pb} = log y _{Pb}	y _{Pu} (mR)	Y _{Pu} = log y _{Pu}	y _{Re} (mR)	Y _{Re} = log y _{Re}
1	1.0	0.	0.27	-1.30						
2	2.25	0.811					0.62	-0.48	0.56	-0.59
3	3	1.10	0.61	-0.50						
4	5	1.61			0.44	-0.81				
5	7	1.94	1.38	0.32						
6	12	2.48					2.69	0.99	2.45	0.90
7	13	2.56	2.22	0.80						
8	32	3.47			2.30	0.83				
9	34	3.53	5.63	1.73			7.54	2.02	6.87	1.93
10	35	3.56								
11	106	4.66	15.3	2.73						
最小 2 乗法 による傾き A			0.88		0.89		0.92		0.92	
Y = A X + B							傾 き の 平 均 A = 0.90			

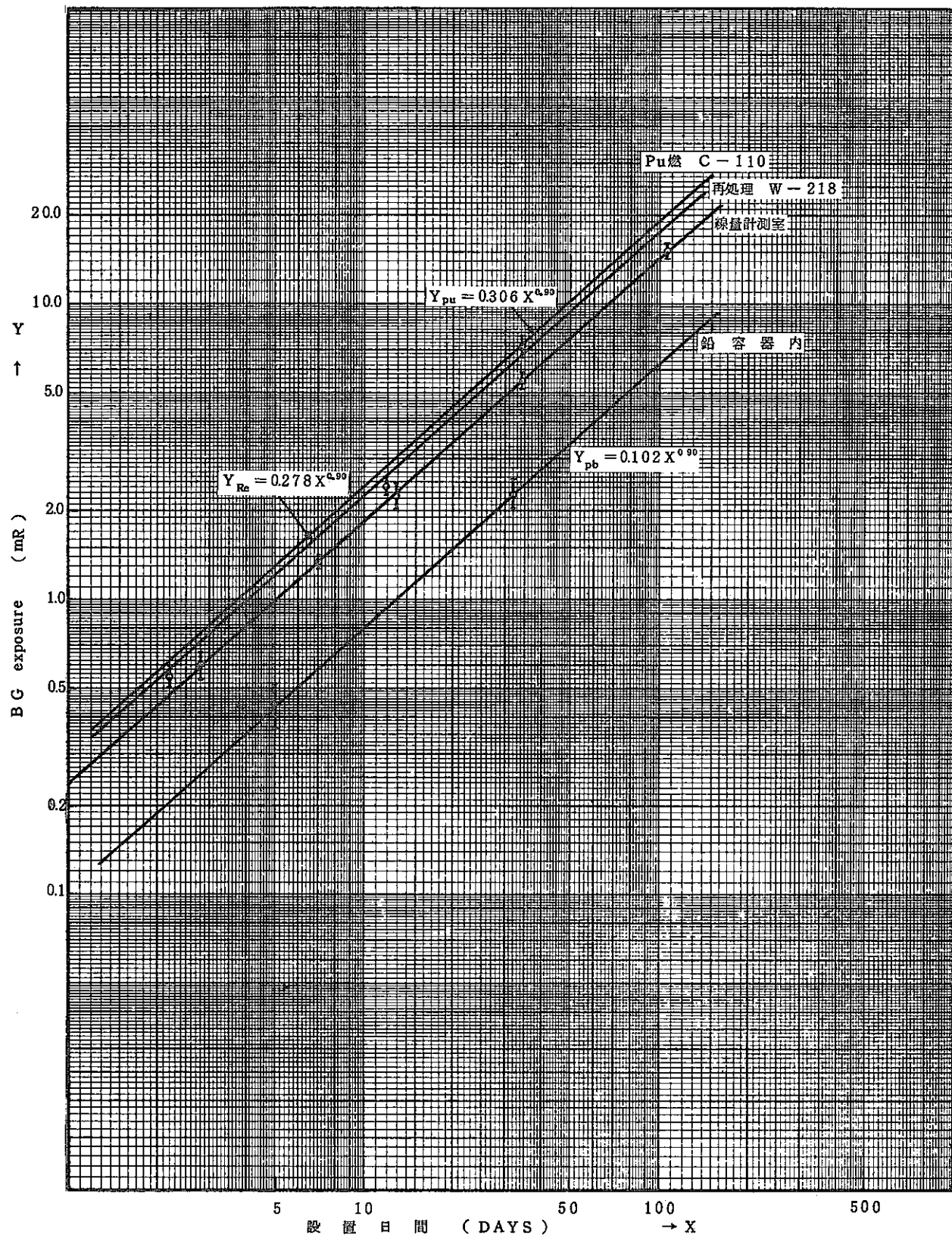


Fig. 4.3 BG測定線量計の設置日間に対するBG線量

Table 4.2 各施設におけるBG線量算出式

測定施設	BG線量算出式	
	without TLD Badge case	within TLD Badge case
線量計測室（室内）	$y_{\text{DOS}}' = 0.236 x^{0.90}$	$y_{\text{DOS}} = 0.247 x^{0.90}$
線量計測室鉛 5 cm厚容器内	$y_{\text{Pb}}' = 0.102 x^{0.90}$	$y_{\text{Pb}} = 0.107 x^{0.90}$
プルトニウム燃料部（O-110）	$y_{\text{Pu}}' = 0.306 x^{0.90}$	$y_{\text{Pu}} = 0.320 x^{0.90}$
再処理建設所（W-218）	$y_{\text{Re}}' = 0.278 x^{0.90}$	$y_{\text{Re}} = 0.291 x^{0.90}$

線量計 UD-200S

TLD Badge case：動燃型TLDバッジケース

x：測定日間（day）

y_m' ：測定施設mにおけるBG線量(mR)のうちUD-200SをTLDバッジに組込まない時

y_m ：測定施設mにおけるBG線量(mR)のうちUD-200SをTLDバッジに組込んだ時

個人被曝管理において使用するBG線量算出式については施設間の差，あるいは線量計（UD-200S）をバッジケースに組み込んだ場合の効果等に対し追試がなされ，有意差の検定がなされるまではTable 4.2の各式の内鉛容器内の線量算出式を除く各式を平均して求めた下式を当面使用する。

$$D_{\text{BG}} = 0.28 d^{0.9} \text{ (mR)}$$

ここで，

d：線量計配布日数（マニールした日から測定した日までの日数）

D_{BG} ：線量計配布期間中のBG線量（mR）

4.3 読取線量に対する相対偏差

BG線量測定実験で得られたデータ及び定常のリーダ校正時の照射データから，読取線量に対するデータのバラツキの度合（相対偏差）の関係を求めFig. 4.4に示す。読取線量が50 mR以上になると相対偏差は殆んど一定となり4.1%を得た。しかし，50 mR未満では読取線量が小さいほど相対偏差は大きくなる。（UD-200Sには1本の線量計について左右に1つつつ素子が装着されており，Fig. 4.4は左右の平均値から求めた相対偏差を示す。

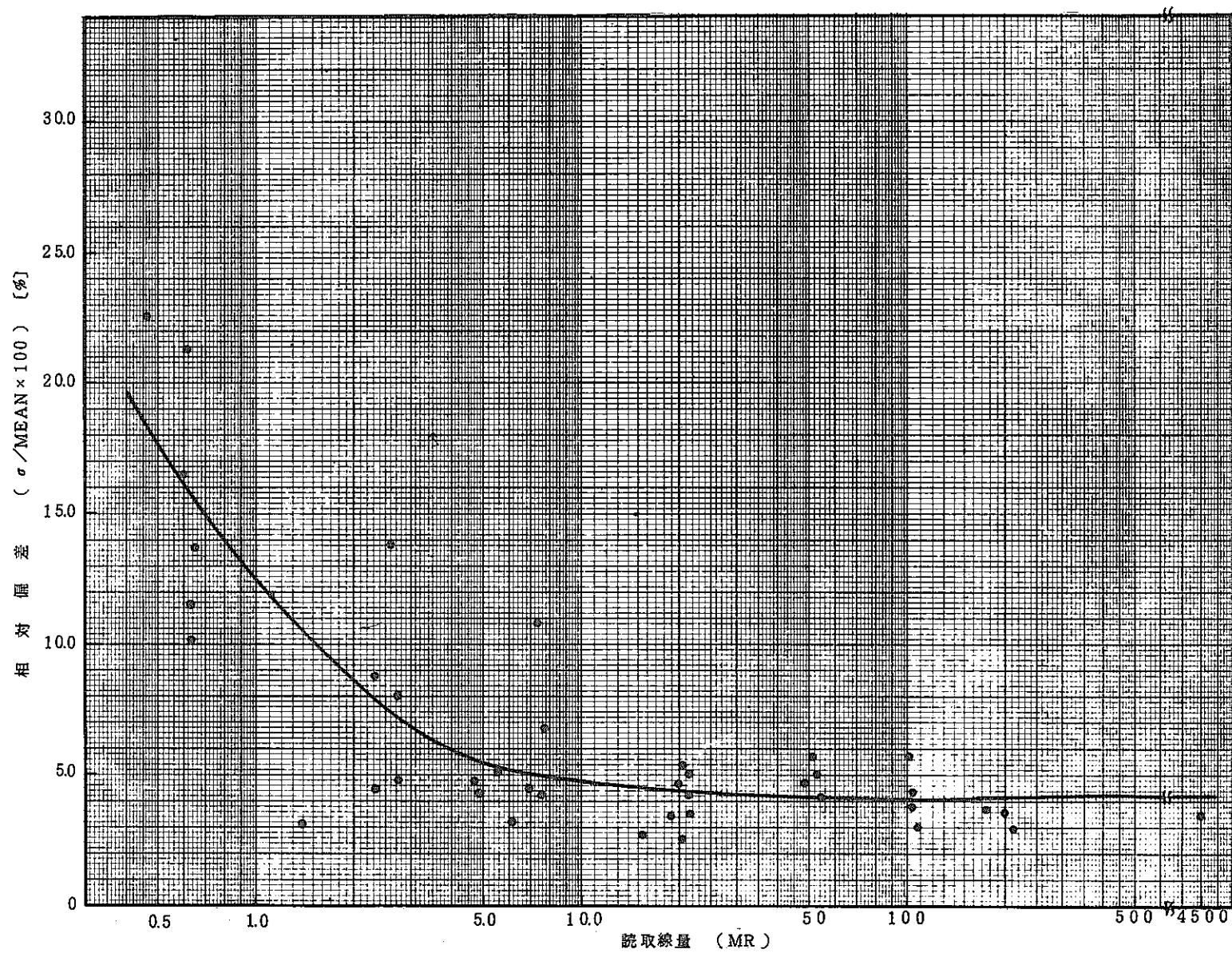


Fig. 4.4 TLD (UD-200S) の読取線量に対する相対偏差

4.4 個人外部被曝管理における検出限界

読取線量の値が小さくなるとその相対偏差は大きくなる (Fig. 4.4)。これは主にリーダの A-D 変換系の精度やリーダ読取部と線量計のセッティング等に起因すると考えられる。このため読取線量 (被曝線量) が小さい場合は測定値の信頼性は低くなる。

ここでは事象の偶然に起こる確率が、0.001 以下になった時、統計的有意差 (有意な被曝があったとの評価の誤っている確率が 0.001) があるとし、線量の検出限界を求めることにした。

統計的にはこの有意な差があったとする確率は普通 0.05~0.01 の値が用いられる。しかしながら今回の実験は静置しておいた線量計で実施しており、現実には作業者の線量計着用状態における被曝である。したがって振動等によるトリボルミネセンス、あるいは、線量計のファントム効果等、さらに誤差を与える要因が残っており、これらはまだ評価しきれない。そのためここでは通常用いられる確率 0.01 の $\frac{1}{10}$ を採用した。Table 4.3 に確率とその結論の関係を示す。

確率 0.001 を検出限界と定めると、この確率を与える K の値は Table 4.3 から約 3.1 が得られる。ゆえに Fig. 4.5 から線量計を 3 ヶ月着用した場合における被曝線量の検出限界は 4.9 (mR) となる。これは現在用いられている検出限界 10 (mR) よりも小さいため現在使用されている検出限界は十分な信頼度を持つと考えられる。

次に 1 ヶ月着用における現在の検出限界 1 ミリレムの誤って評価する確率 (P) を求めると、まず Fig. 4.5 から K の値 1.6 が得られ、さらに Table 4.3 から 0.055 となる。この値は統計的有意差があるとする確率 0.05 よりも大きい値となってしまう。したがって、線量計の 1 ヶ月着用における検出限界の決定方法を、3 ヶ月着用の場合と同じにするならば検出限界は 2 ミリレムとなる。

Table 4.3 バラツキの比較、確率と結論の関係

確 率	結 論	記 号
0.1 以上	(有意) 差がみとめられない。H ₀ を受入れる。	N. S.
0.1 と 0.05 の間	(有意) 差がありうる。H ₀ に若干の疑いがあるが、これを棄却する前に、より以上の証拠が必要である。	P. S.
0.05 と 0.01 の間	差があるとみとめる。H ₀ を棄却する。結果が非常に重要ならば、さらに証拠が必要である。	S
0.01 と 0.001 の間	たしかに差がある。H ₀ を確信をもって棄却できる。	S*
0.001 以下	たしかに差があるといって大丈夫。H ₀ を棄却する。この結論が誤りであるということはほとんど考えられない。	S**

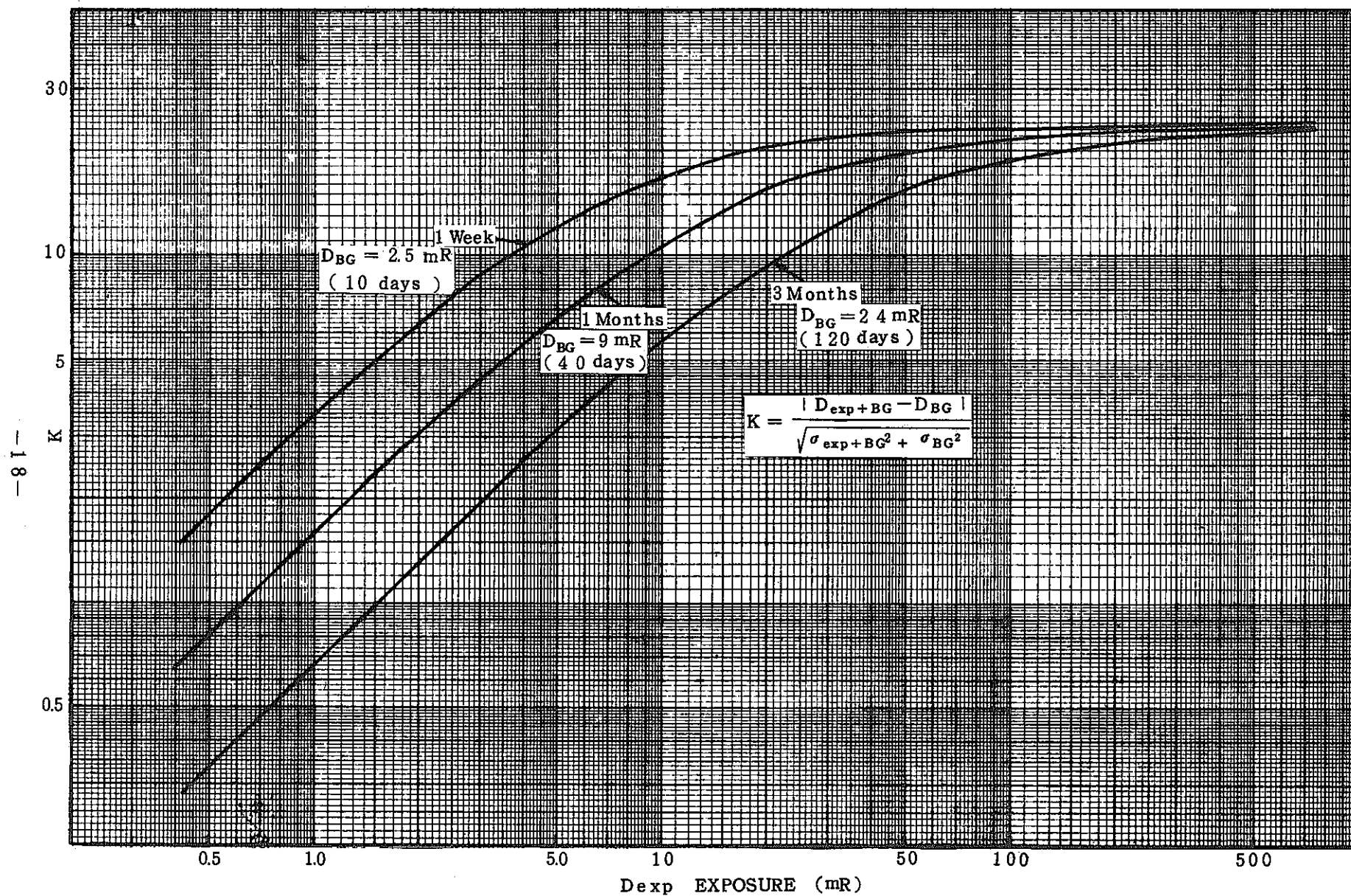


Fig. 4.5 線量計着用期間が異った時における被曝線量測定値の信頼性

Table 4.3 K の値と確率 P

K	P	K	P	K	P	K	P
1.0	0.159	2.0	0.023	3.0	0.00135	4.0	0.0000317
1.1	0.136	2.1	0.018	3.1	0.00097	4.1	0.0000207
1.2	0.115	2.2	0.014	3.2	0.00068	4.2	0.0000133
1.3	0.097	2.3	0.011	3.3	0.00048	4.3	0.0000085
1.4	0.081	2.4	0.008	3.4	0.00034	4.4	0.0000054
1.5	0.067	2.5	0.006	3.5	0.00023	4.5	0.0000034
1.6	0.055	2.6	0.005	3.6	0.00016	4.6	0.0000021
1.7	0.045	2.7	0.003	3.7	0.00011	4.7	0.0000013
1.8	0.036	2.8	0.003	3.8	0.00007	4.8	0.0000008
1.9	0.029	2.9	0.002	3.9	0.00005	4.9	0.0000005

(K が 1.00 以下の値は，統計的にはほとんど意味がないので，示されていない)

— Croxton and Cowden : “Applied General Statistics”, Prentice-Hall.
New York (1944) —

5. 中性子線個人被曝線量評価法

5.1 原 理

$\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ の粉末中に ^6LiF の粉末を混合させたものに熱中性子を照射させると中性子フルエンスに比例したルミネッセンスが得られる。これは、 ^6Li の $^6\text{Li}(n, \alpha)^3\text{H}$ 反応を利用したもので、得られた α 線が $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ にルミネッセンスを与えるためである。また ^6Li の熱中性子に対する反応断面積は約 1000 バーンと高くすなわち熱中性子に対して感度が高い。しかし速中性子 (1 MeV) に対しては、わずか 0.3 バーンと極めて低く、

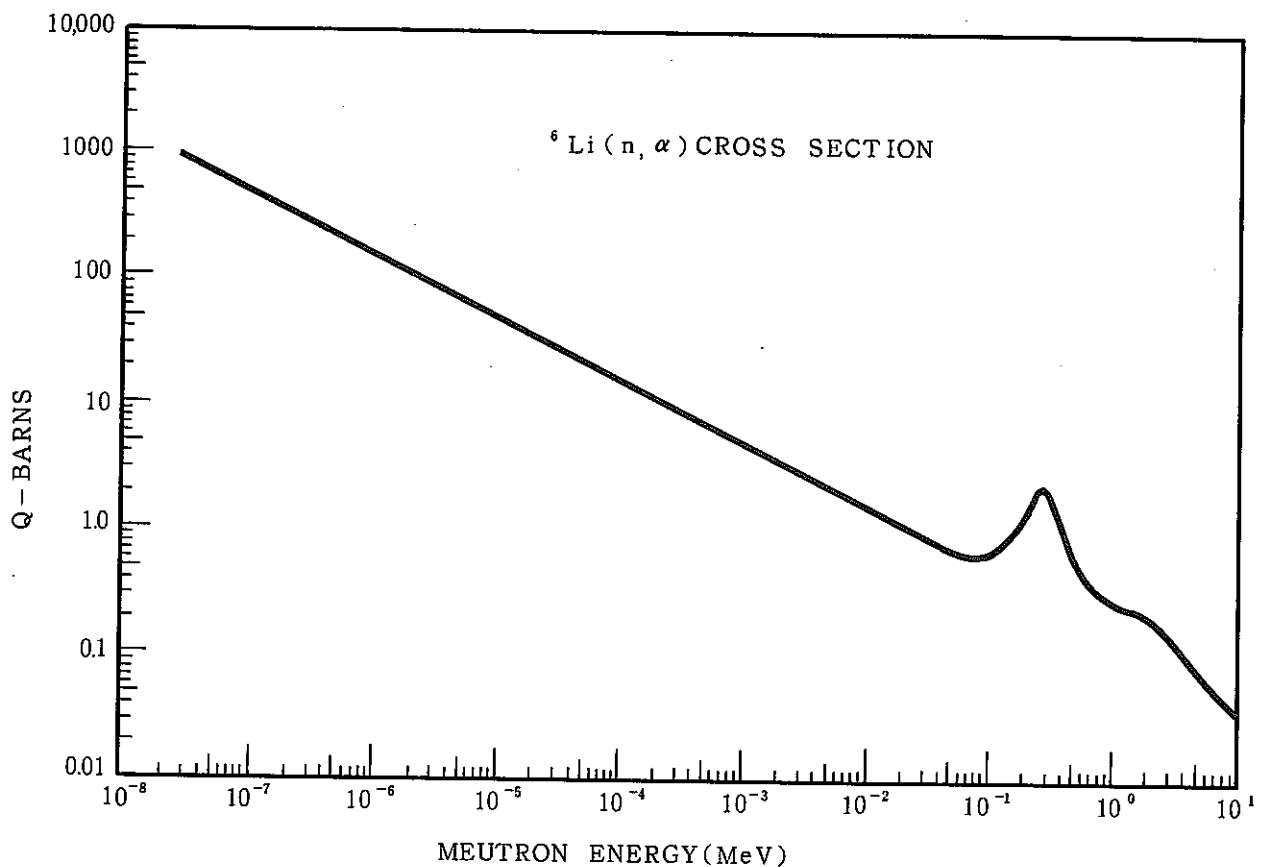


Fig 5.1 ^6Li の中性子線エネルギーに対する核反応断面積

このままでは実用に不向きである。 ^6Li の核反応断面積を Fig 5.1 に示す。このため実際の線量計は速中性子が人体により減速反射されて出てくる熱中性子を測定する事にした。この場合問題となる反射率、すなわち入射速中性子フラックスに対して人体により減速反射されて入射方向に出てくる熱中性子フラックスは 1 MeV の速中性子に対して約 20 % である。入射中性子線のエネルギーと反射率の関係を Fig 5.2 * に示す。使用した中性子用個人被曝線量計の原理図を Fig 5.3 に示す。

図からわかるように γ 線と熱中性子線に有感度のTLD#1#2と γ 線有感度のTLD#3の3本を配置し、それぞれのTLDの前にフィルタをSn, Cd, Snの順で配置する。またうしろにはCd Sn, Snの順でやはりフィルタを配置する。フィルタの厚さはそれぞれ1 mmである。この状態で前方より γ 線、熱中性子線、速中性子線混合放射線が入射した時、各TLD素子は次に述べるように3本とも異ったルミネッセンスを表わす。たとえば、 γ 線が各TLD素子#1#2#3に入射するとCdやSnの γ 線に対するしゃへい効果はだいたい同じなので#1#2#3の3素子とも同じルミネッセンスを生じる。次に熱中性子線が入射するとTLD#2に対してはCdでしゃへいされてしまいほとんど感じない。#1に対してはSnのフィルタを通して熱中性子線に依存するルミネッセンスを生じる。また#3に対しては不感でありルミネッセンスは生じない。速中性子が入射した時、まず#1に対しては ${}^6\text{Li}$ の速中性子線に対する反応断面積が小さいためそのほとんどがルミネッセンスを生じさせないでつきぬけてしまう。#2に対しても同様である。しかしつきぬけた速中性子線は人体により減速、反射されてまた後方より入射する。この成分がCdフィルタでしゃへいされていないTLD#2に寄与するのである。したがってこれら#1#2のTLDのルミネッセンス量から γ 線補償用TLD#3のルミネッセンス量を減ずることにより、それぞれの中性子線の線量を求めることが出来る。

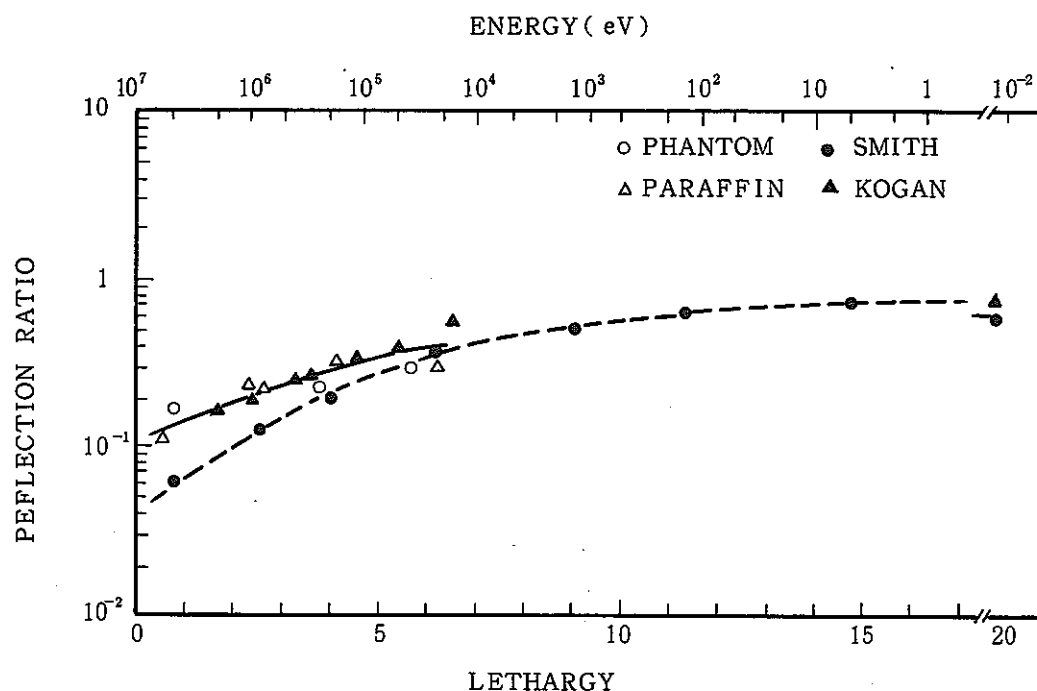


Fig 5.2 ファントムやパラフィンに入射した中性子線が反射される割合

* 立田初己, 福広, 城谷孝, 人体表面における中性子の反射, 日本原子力学会誌 Vol 9 No12 P700~704(1967)

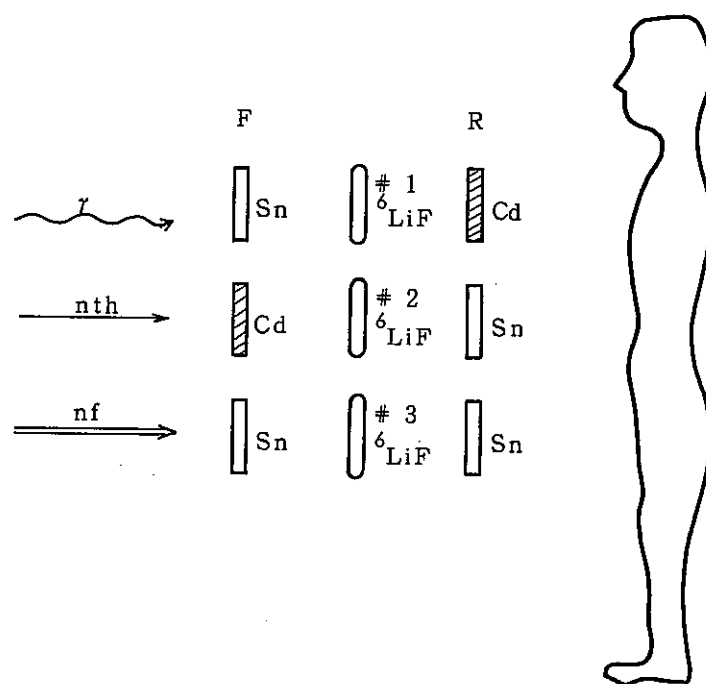


Fig. 5.3 中性子線用個人線量計の原理図

5.2 線量評価法

熱中性子線量および速中性子線量は次の方法により求められる。まず中性子線量評価用 TLD 各素子のルミネッセンス量を各成分に分割する。その成分としては、熱中性子寄与分 ϕ_{th} と速中性子寄与分 ϕ_f 及びガンマ線寄与分 G_i である。 ϕ_{th} と ϕ_f は Cd のカットオフエネルギーの 0.4 eV を境にして、それより低い成分と高い成分に 2 群した場合のそれぞれの領域での中性子フルエンスである。以上のことより各 TLD 素子の全熱ルミネッセンス量は次式で表わされる。

$$L(1) = n \sigma(E) \phi_{th} + G_1 \quad \text{for \#1 TLD} \dots\dots\dots(1)$$

$$L(2) = n \sigma(E) (\phi'_{th} + \phi'_f) + G_2 \quad \text{for \#2 TLD} \dots\dots\dots(2)$$

$$L(3) = G_3 \quad \text{for \#3 TLD} \dots\dots\dots(3)$$

ここで

$L(i)$: # i TLD 素子の全熱ルミネッセンス量

n : 比例定数

$\sigma(E)$: ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 核反応断面積

ϕ_{th} : 入射熱中性子フルエンス

ϕ'_{th} : 身体で反射された熱中性子フルエンス

ϕ'_f : 入射速中性子が身体で減速され反射された熱中性子フルエンス

G_i : # i TLD 素子のガンマ線寄与分による熱ルミネッセンス量

上式において TLD 3 素子に対するガンマ線寄与分は同一条件の被曝に対しては等しいと考えると次式(4)が成立する。

$$G_1 = G_2 = K_1 G_3 \quad \dots\dots\dots(4)$$

ただし Cd 1 mm と Sn 1 mm のガンマ線に対するしゃへい効果は同じであるとし、また Cd フィルタからの中性子補獲ガンマ線寄与分は全ルミネッセンスに対して無視出来るものとする。上式において(1)式と(3)式との差は入射熱中性子線によるものであり、熱中性子線量は次式より求められる。

$$\begin{aligned} D_{th} &= \frac{L(1) - K_1 L(3)}{K_2} \quad [\text{mrem}] \quad \dots\dots\dots(5) \\ &= \frac{n \sigma(E) \phi_{th}}{K_2} \end{aligned}$$

ここで

D_{th} : 入射熱中性子線による被曝線量

K_1 : 熱中性子感度素子とガンマ線補償用素子のガンマ線感度補正係数

K_2 : 発光量を線量に変換するための変換係数

一方速中性子線による被曝線量の算出は次の手順で求められる。まず線量計を熱中性子のみ
 の場で照射を行うと(2)式の ϕ'_{th} は0となるので(1)式及び(2)式は：

$$L(1) = n \sigma(E) \phi_{th} + G_1 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$L(2) = n \sigma(E) \phi'_{th} + G_2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

となる。

ここで入射熱中性子が人体表面より反射される割合 f を求める。 f は次式より定数として求
 まる。

$$f = \frac{\phi'_{th}}{\phi_{th}} = \frac{L(2) - K_1 L(3)}{L(1) - K_1 L(3)} \quad \dots\dots\dots(8)$$

この f を用いることにより速中性子線量 D_f は次式から求めることが出来る。

$$\begin{aligned} D_f &= \frac{[L(2) - K_1 L(3)] - f [L(1) - K_1 L(3)]}{K_3} \\ &= \frac{n \sigma(E) \phi'_f}{K_3} \quad [\text{mrem}] \quad \dots\dots\dots(9) \end{aligned}$$

ここで

D_f : 速中性子線による被曝線量

K_3 : 発光量を線量に変換するための変換係数

この様にして γ 線、熱中性子線、速中性子線の混在放射線場において各放射線からの被曝線
 量を分離して求めることが出来る。

5.3 プルトニウム線源による校正

実際個人被曝線量計を使用する場所はプルトニウムを取扱う場所であり中性子線のエネルギー
 分布がどの程度TLDに影響するか未知である。このため線量計の校正はプルトニウムから放
 出される中性子線によって行なった。

プルトニウムから放出される中性子線の線量率はレムカウンタで求めた。プルトニウムを中
 性子線源として線量計を照射した。まずファントームを置かずUD-136N(中性子用TLD)
 とUD-137N(ガンマ補償用TLD)をプルトニウムで照射した。その結果をTable 5.1に
 示す。

Table 5.1 PuO₂よりの中性子線およびガンマ線照射時の
TLDルミネッセンス量
(ファントムなしの条件)

	1 回 目 照 射		2 回 目 照 射	
	リーダ読み取り値		リーダ読み取り値	
	UD136N	UD137N	UD136N	UD137N
1	74.3mR	72.3mR	212mR	196.3mR
2	66.5	62.8	213	217.0
3	72.6	67.2	230	196.3
4	67.7	64.5	214	204.0
5	73.0	57.8	214	211.0
6	66.7	67.4	223	213.0
7	63.2	59.6	216	224.0
8	68.7	58.6	208	226.0
9	60.6	58.4	227	210.0
10	71.5	63.6	211	208.0
11	63.2	57.5	208	221.0
12	62.2	73.7	218	217.0
13	70.4	70.3	215	209.0
14	68.8	57.8	203	212.0
15	68.0	70.1	227	211.0
平均	67.8	64.1	215.9	211.7
σ	5.92 %	8.58 %	4.59 %	3.97 %

これによるとプルトニウムからは熱中性子線はほとんど放出されず主に速中性子線に関してのみ注目すれば良いようである。以上の事により式(9)は式(10)と同じとなり

$$Df = \frac{L(2) - K_1 L(3)}{K_3} \quad [\text{mrem}] \quad \dots\dots\dots(10)$$

となる。

ここでプルトニウムの場合のK₃を求めてみる。またK₁については1.0とした。線源、線量計およびファントムをFig 5.4のように配置し照射線量に対するL(2)－L(3)すなわちUD－136NとUD－137Nのルミネッセンスの差を求め、差と線量の関係を示すグラフを作成した。

Fig 5.5がその結果であるが、これによるとプルトニウムの場合のK₃は約0.8である。現在、ルミネッセンスより線量に換算する係数として0.8を採用している。本照射試験結果より現在のプルトニウム燃料加工施設のような速中性子線量率とガンマ線量率がほぼ同じ作業環境

では検出限界としては $20\text{ mrem} \pm 50\%$ でありバラツキは $100\text{ mrem} \pm 20\%$ であった。

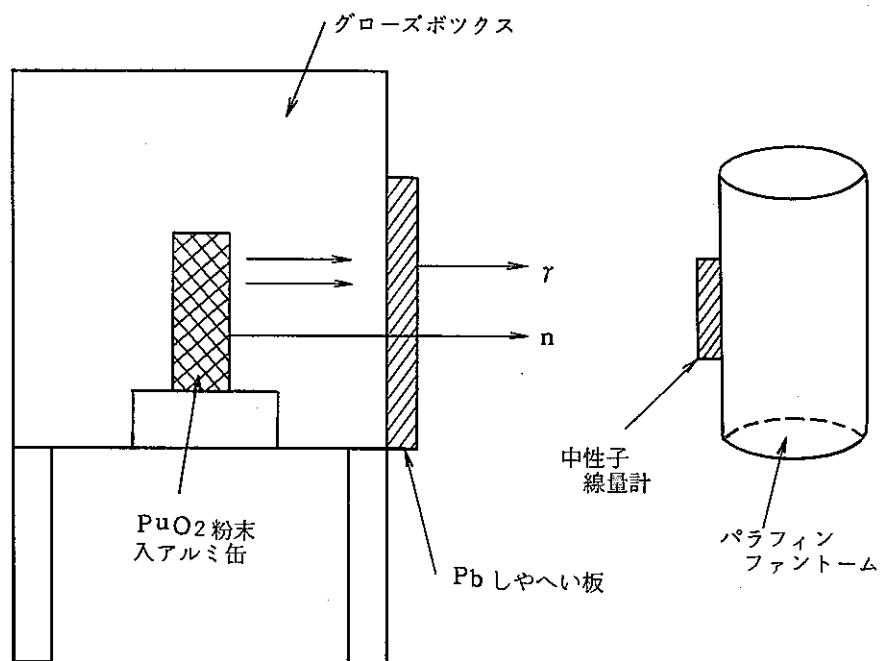


Fig 5.4 PuO_2 中性子線源による線量計照射配置図

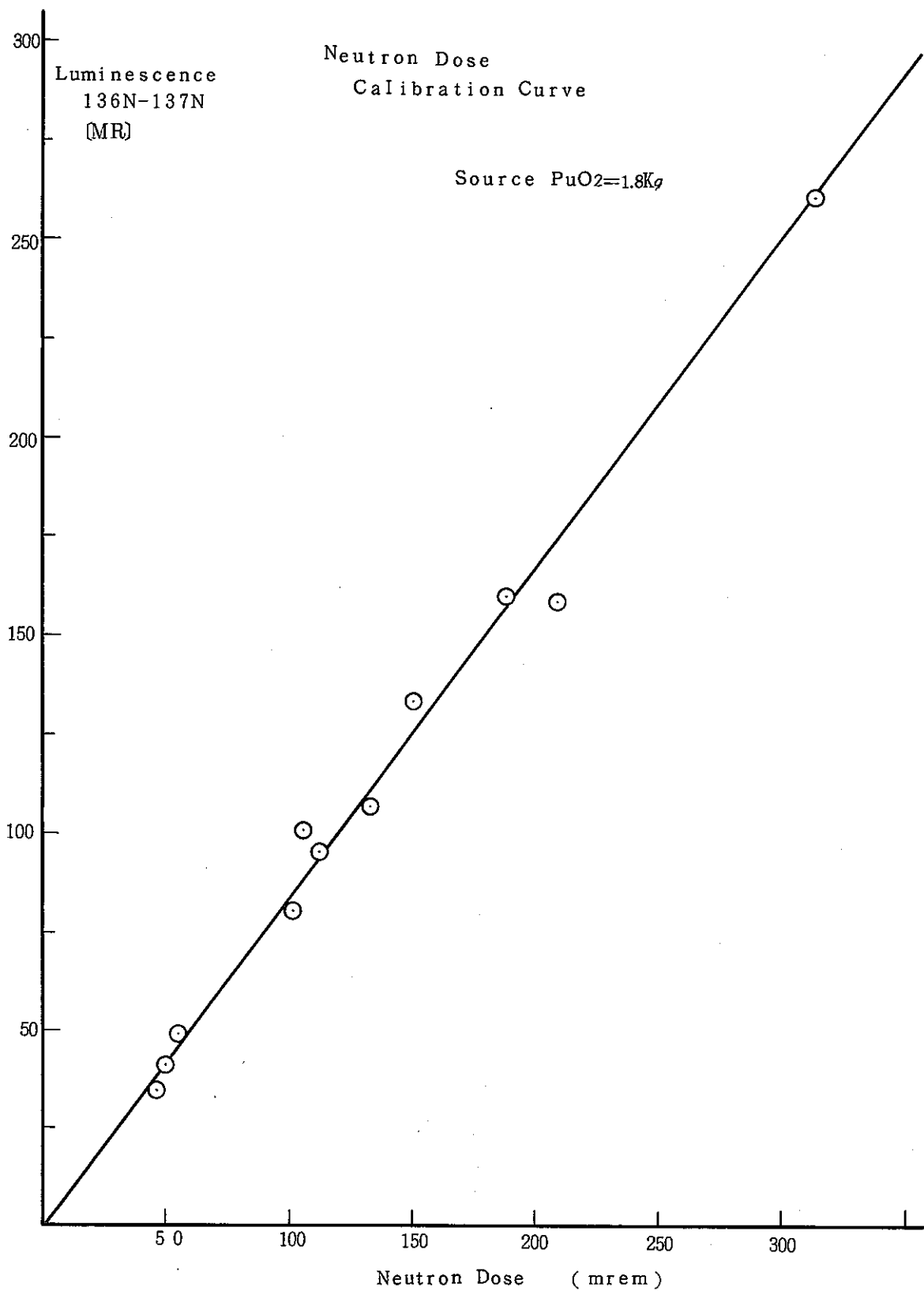


Fig. 5.5 酸化プルトニウムを中性子線源として求めた速中性子線照射量とルミネッセンス量

6 ベータ線個人被曝線量評価法

6.1 線源校正

TLDを用いて β 線被曝線量評価法を述べる前にまず β 線源の校正を次の手順にて実施した。現在東海事業所で所有している β 線源は $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 1 mCi, ^{204}Tl 1 mCi, ^{147}Pm 1 mCiの3種類である。これらの線源の β 線最大エネルギーは $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ が2.27 MeV, ^{204}Tl が0.766 MeV, ^{147}Pm が0.22 MeVである。

線源校正時に採用した皮膚不感厚は全身評価の時は 7 mg/cm^2 , 手の局部については 40 mg/cm^2 である。

線源間距離と吸収線量率の関係については厚研で開発した $40\phi\times 20\text{ mm}$ のプラスチックシンチレーターを用いた β 線吸収線量率計により測定しFig 6.1に示すような校正曲線を用めた。Fig 6.1は $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ 線源について求めた校正曲線であるが同様に ^{204}Tl , ^{147}Pm についても求めた。

6.2 線量評価の原理

現在東海事業所で使用して β 線量計の概念図をFig 6.2に示す。図に示すように線量計は3枚の薄い(厚さ 0.1 mm)

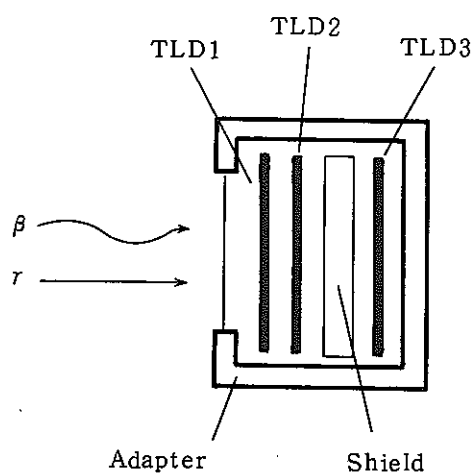
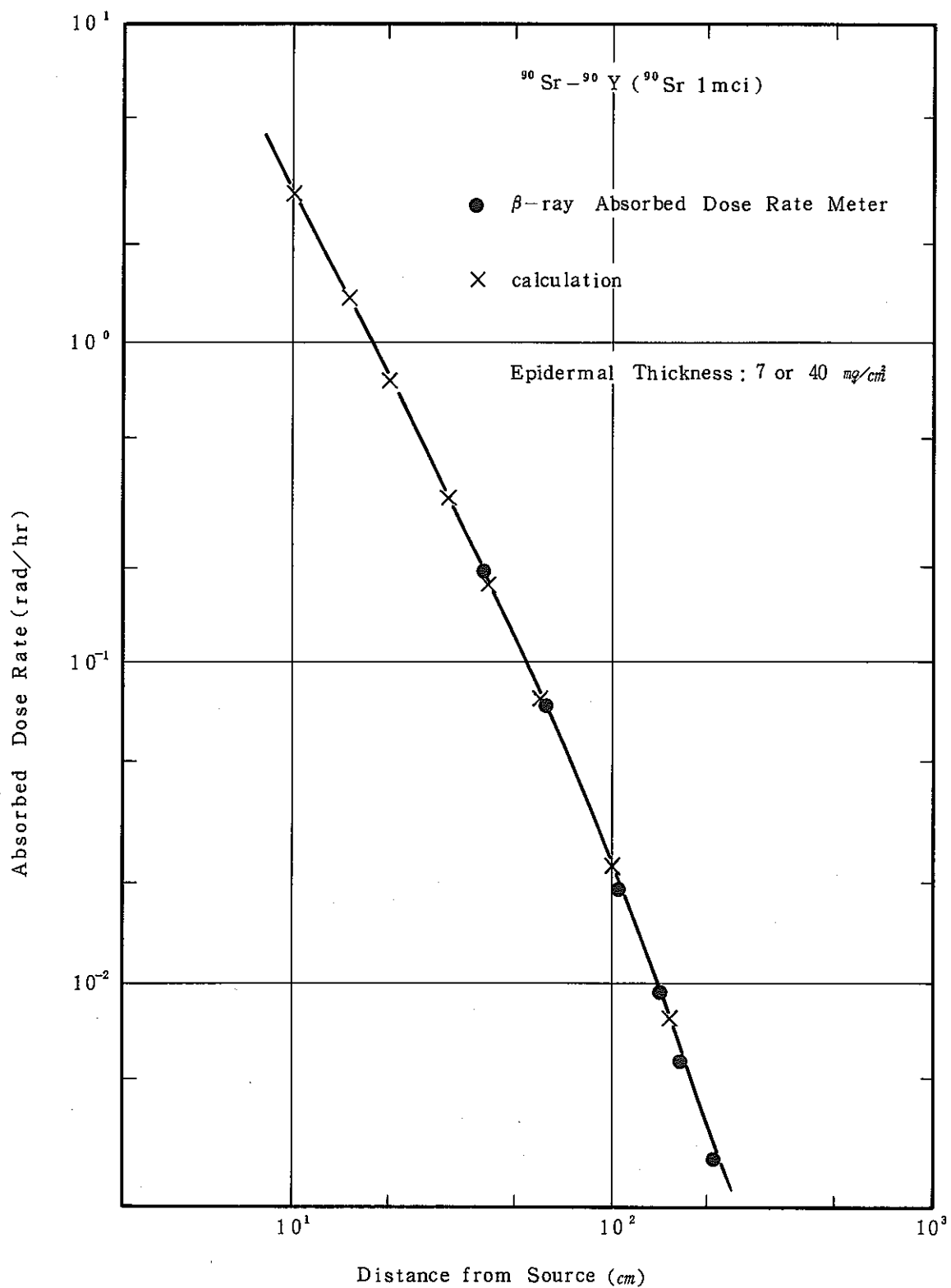


Fig. 6.2 β 線量計の概念図

Fig. 6.1 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ β 線源の校正曲線

TLD素子(CaSO₄)と鉛0.8mmシールドを専用のアダプターに挿入し、動燃型TLDパッケージの中へ2個組み込んで使用している。

線量算出の原理を以下に述べる。まずFig 6.2において前方よりβ線及びγ線が入射するとTLD 1, 2, 3は各々L₁, L₂, L₃の発光量をもつと考える。

$$L_1 = b_1(E)D\beta + g_1(E)Dr + C \dots\dots\dots(1)$$

$$L_2 = b_2(E)D\beta + g_2(E)Dr + C \dots\dots\dots(2)$$

$$L_3 = b_3(E)D\beta + g_3(E)Dr + C \dots\dots\dots(3)$$

ここで

L_n : TLD nの全発光量読み取り値 (MR……リーダ表示単位)

b_n(E) : TLD nの最大エネルギーがE (MeV)のβ線感度 ($\frac{MR}{mrad}$)

g_n(E) : TLD nのE (MeV)のγ線感度 ($\frac{MR}{mR}$)

Dβ : β線吸収線量 (mrad)

Dr : γ線照射線量 (mR)

C : TLDの残留発光量読取値 (MR)

従って上記(1)(2)および(3)式よりDβおよびDrを理論上それぞれ独立に求めることが可能である。

$$D\beta = \frac{(L_1 - C) - (g_1(E)/g_3(E))(L_3 - C)}{b_1(E) - (g_1(E)/g_3(E))b_3(E)} \quad (mrad) \dots\dots\dots(4)$$

$$Dr = \frac{(L_3 - C) - (b_3(E)/b_1(E))(L_1 - C)}{g_3(E) - (b_3(E)/b_1(E))g_1(E)} \quad (mrem) \dots\dots\dots(5)$$

なおTLD 3については前にシールドを配置することによりγ線のみに応答するものと考えたが、β線に対してわずかに感度を示したため、その感度をb₃として(3)式に示した。

Dβすなわちβ線吸収線量は(4)式に示すようにTLD 1の正味の発光量からγ線寄与分を差引きβ線感度で割ることにより求まる。

またTLD 1とTLD 2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(6)式で表わされる。

$$EI = \frac{b_2(E)}{b_1(E)} = \frac{g_3(E)(L_2 - C) - g_2(E)(L_3 - C)}{g_3(E)(L_1 - C) - g_1(E)(L_3 - C)} \dots\dots\dots(6)$$

6.3 β線量計の照射特性

6.2で述べたβ線量評価法の原理に基づいて現在東海事業所で使用しているβ線量計の照射試験に伴う基本的な特性を以下に示す。

(1) γ 線感度

β 線量計の γ 線感度をFig 6.3に示す。TLD素子として CaSO_4 を用いているためTLD 1, 2, 3の γ 線感度すなわち g_1 , g_2 , g_3 ともに低エネルギー側での感度上昇がある。

さらに線量計をパラフィンファントムを装着して γ 線を照射した場合に、TLD 1, 2はFreeAirの場合と感度は変わらないが、TLD 3については低エネルギー側でかなり感度上昇が認められた。

(2) β 線感度

^{90}Sr - ^{90}Y の β 線源を用いて線量計を照射したデータをFig 6.4に示す。TLD 1よりもTLD 2の方が感度が少し高く、 β 線に対する感度比(b_2/b_1)すなわちエネルギー指標(EI)は1よりも大きくなる。またTLD 3についてもTLD 1の約30分の1程度の β 線感度があることが認められた。

(3) エネルギー指標

Fig 6.5に各種 β 線源照射より求めた β 線の最大エネルギーに対するTLD 1と2の感度比すなわちエネルギー指標の変化を示した。図より明らかなように β 線の最大エネルギーが大きくなるとエネルギー指標(EI)も増大する。

従ってFig 6.5を用いれば(6)式より明らかなようにTLD 1, 2, 3の発光量と前もって γ 線感度 g_1 , g_2 , g_3 を求めておけば図より β 線の最大エネルギーを求めることが可能である。

Fig 6.6は β 線の最大エネルギーの指標(EI)とTLD 1, 2および3の β 線感度(b_1 , b_2 , b_3)の関係を示すグラフである。横軸にEI, たて軸に b_1 , b_2 , b_3 の値をとる。

EIが1.2の点は ^{90}Sr - ^{90}Y , 0.8の点は ^{204}Tl , 0.1の点は ^{140}Pm の線源で校正したデータである。図よりEIが大きくなるとTLD 1の感度(b_1)が増加するがこの傾向はTLD 2(b_2)についてはより顕著である。TLD 3(b_3)についても β 線エネルギーの大きい時に若干の感度が認められた。

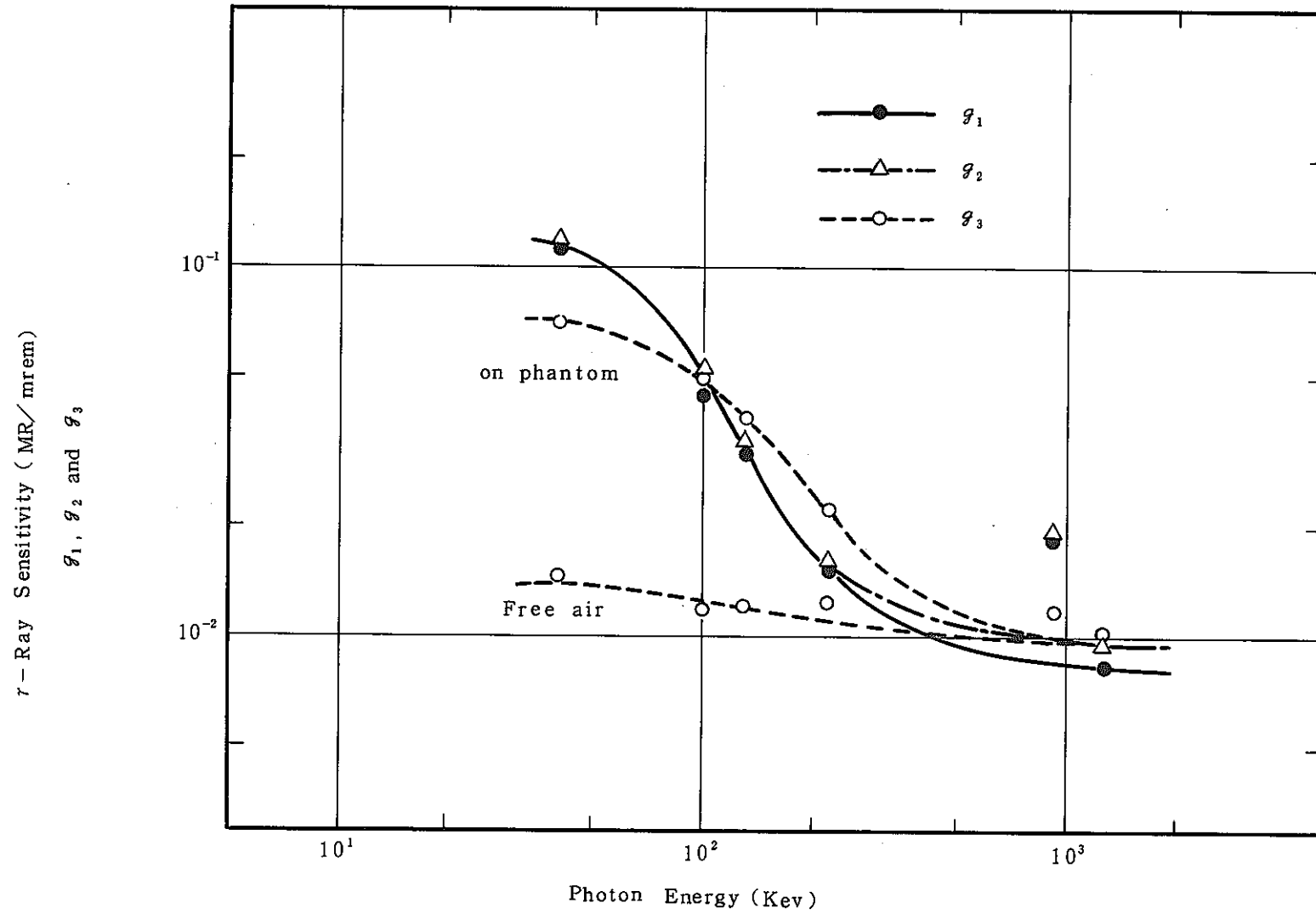
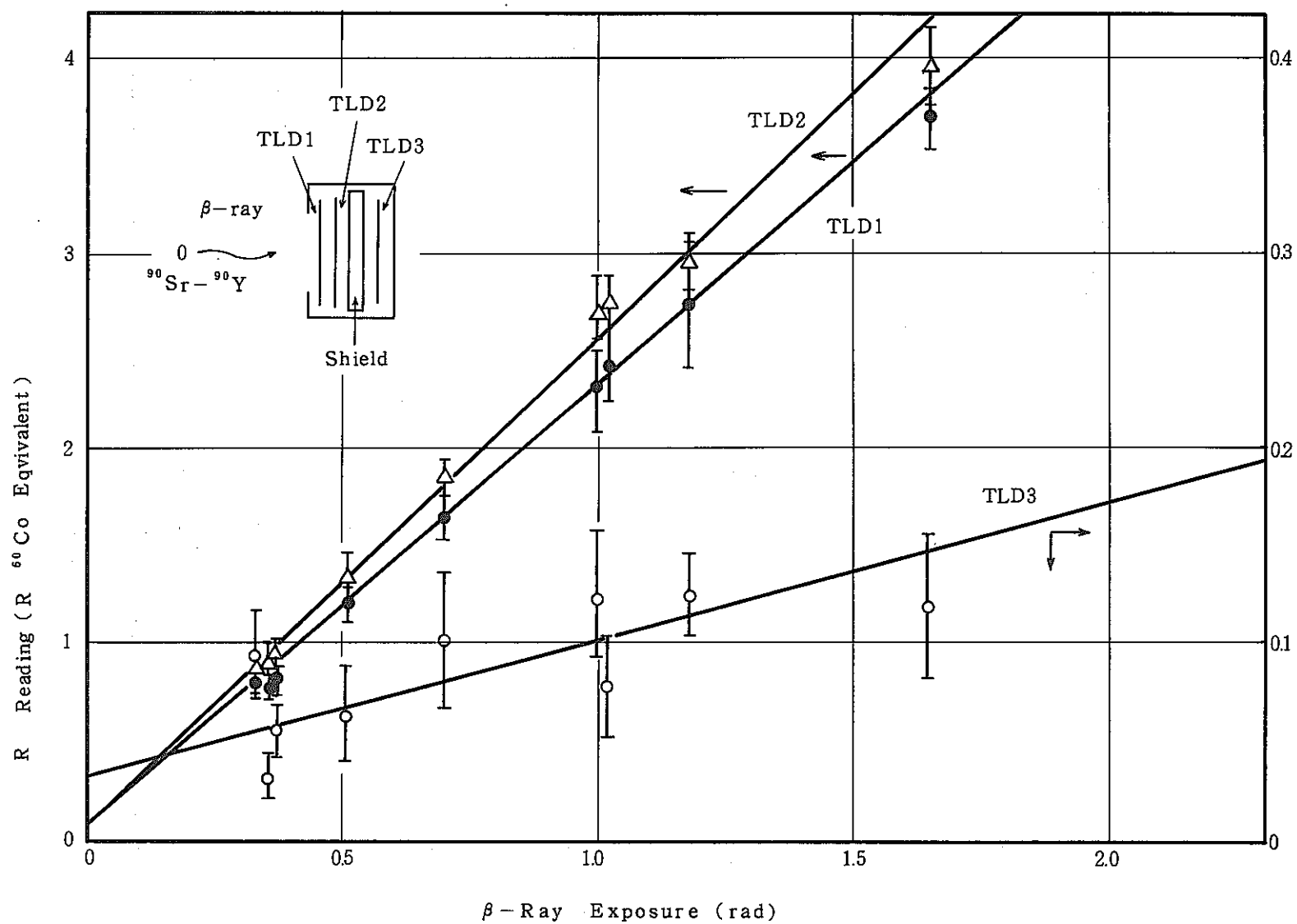


Fig. 6.3 β 線量計TLD素子の γ 線感度

Fig. 6.4 β 線量計TLD素子の β 線感度(線源 $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$)

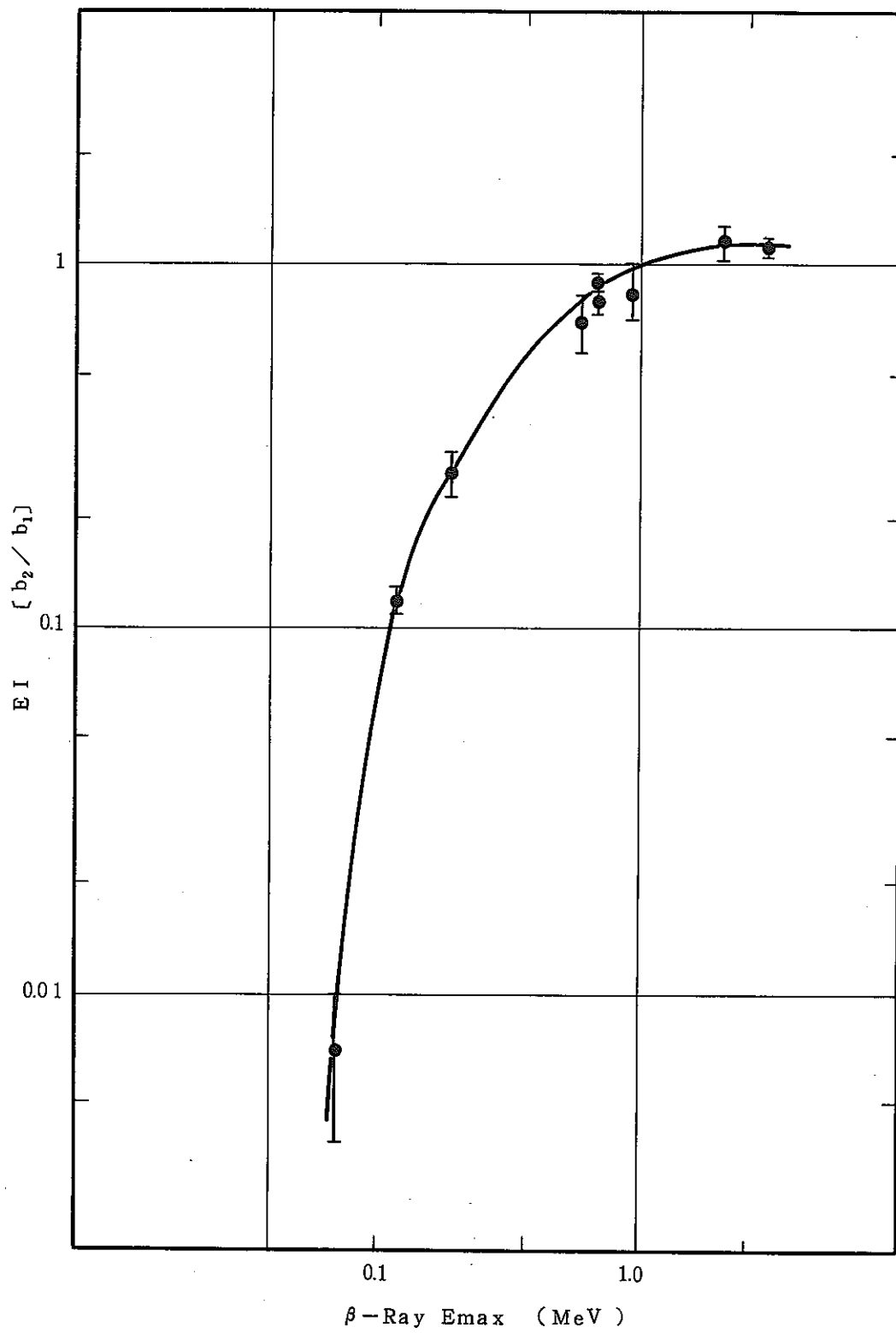


Fig. 6.5 β 線最大エネルギーとエネルギー指標の関係

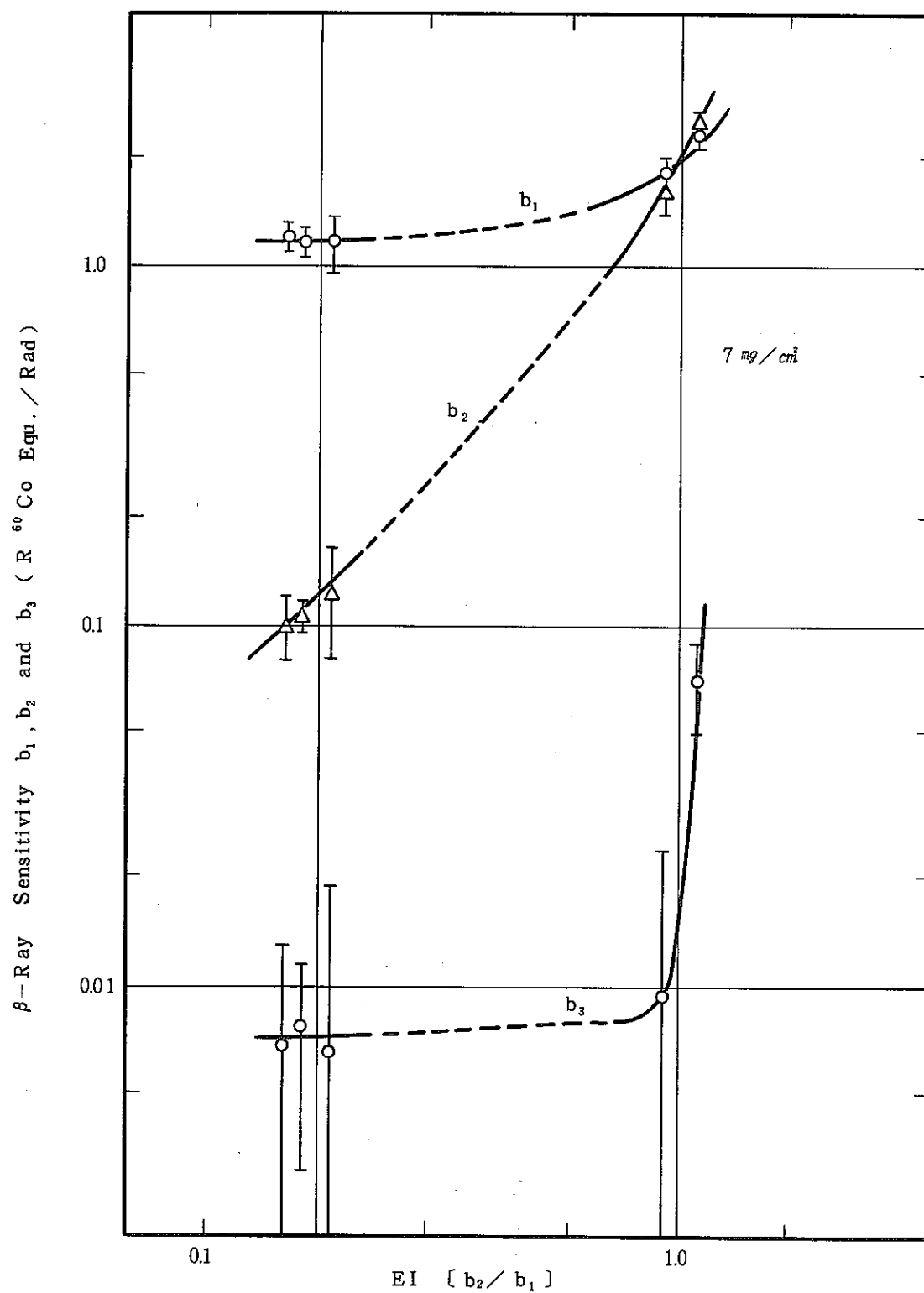


Fig. 6.6 β 線エネルギー指標とTLD各素子の β 線感度の関係

6.4 β 線, α 線の混在場での分離測定例

以上述べた β 線量計を β 線と γ 線の既知の被曝照射を受けた場合の分離測定を比較検討した。線源として β 線用に ^{90}Sr - ^{90}Y , ^{204}Tl , ^{147}Pm γ 線用として ^{226}Ra , ^{60}Co 及びX線発生装置を用いた。結果をまとめてTable 6.1に示す。

Table 6.1

(Source)		(Actual Exposure)		(Measured Exposure)			
β	γ	β (mrad) at $7\text{mg}/\text{cm}^2$	γ (mrem)	β (mrad) at $7\text{mg}/\text{cm}^2$	γ (mrem)	β -Ray Emax (MeV)	Error (β) (%)
^{90}Sr - ^{90}Y	^{226}Ra	163	87	206	100	1.4	39
^{90}Sr - ^{90}Y	X-Ray (220Kev)	844	82	1050	90	2.3	24
^{90}Sr - ^{90}Y	^{60}Co	51	62	80	60	1.4	18
^{90}Sr - ^{90}Y	—	354	0	320	0	2.5	10
^{204}Tl	^{60}Co	122	62	60	80	2.1	51
^{204}Tl	—	61	0	50	20	1.0	18
^{147}Pm	^{60}Co	1000	310	1140	360	1.1	14

一例として2回目の照射例について述べると ^{90}Sr - ^{90}Y で844mrad照射し、さらに実効エネルギーが220KeVのX線で82mrem照射した場合、本線量計よりの測定結果は β 線が1050mrad, γ 線が90mremとなり β 線の最大エネルギーは2.3 MeVと評価され、また β 線吸収線量の測定誤差は24%となった。

また照射線量が少ない場合の一例としては β 線で51mrad γ 線で62mrem照射した場合の β 線の測定誤差は18%となる。

一般的傾向としては β 線の単一照射の場合および照射線量が高い場合には測定誤差は低く押さえることが可能である。

以上の照射試験に基づき現在東海事業所では本線量計を用いた β 線量算出の検出限界値は条件が良ければ100mradも検出可能と考えられるが被曝管理上は300mradと考えている。この300mradという値は1ORPの皮膚に対する最大許容線量の8レム/3月および30レム/年に較べて一応管理可能なレベルであると考えている。

7 TLDを利用したエネルギー情報の入手例

TLD素子の低エネルギーガンマ線に対するレスポンスがTLD素子の種類（例えば CaSO_4 （Tm））によってはエネルギー補償用のシールドを充分ほどこさない場合には過大評価となる。また同一照射線量に対してTLD素子の種類により発光量が異なることは一面では線量評価上マイナスの問題点ではあるが、逆にこの性質を利用するとTLDの測定値（発光量）より被曝したエネルギー情報とることができる。その例を以下2例示す。

まず、現在東海事業所で使用している動燃型TLDバッジ内に装着されている各線量計素子の発光量が同一被曝線量に対して、UD-200素子との比がエネルギーに対して異なる。その一例をFig 7.1に示す。中性子測定用のTLD素子UD-136NおよびUD-137NとUD-200Sの発光量の比をたて軸にエネルギーを横軸にとってプロットしたものである。図には合わせて大線量用素子UD-170A(Beo)のデータも示した。

図より ^{226}Ra (0.9 MeV)や ^{60}Co (1.3 MeV)のガンマ線エネルギーではほぼフラットであるが、100KeV前後では発光量の比が大きく変化する。これは素子まわりの遮へい条件の違い、すなわちUD-200Sのスズ鉛1mm厚さに対して動燃型TLDバッジでは熱中性子カット用としてUD-136NとUD-137Nの前後にCdあるいはSnの1mm厚のシールドをほどこしていること、さらにUD-200Sは CaSO_4 粉末のみであるがUD-136NやUD-137Nでは CaSO_4 とLiFの混合粉末のため、感度が異なることによるものである。

Fig 7.1を用いれば被曝したガンマ線のエネルギー算出が可能であり、被曝した放射線を放出する核種の推定に役立てることができる。

もう一つの簡単な応用例はUD-200Sのキャップを付けた時と付けない時のレスポンスはFig 7.2に示すように低エネルギー側で大きく異なる。この比をエネルギーに対してグラフ化したのがFig 7.3である。このグラフを用いて100KeV前後の被曝したエネルギー情報入手することも可能である。東海事業所のプルトニウム燃料施設でグローブボックス周辺のエネルギー算出例をTable 7.1にまとめた。

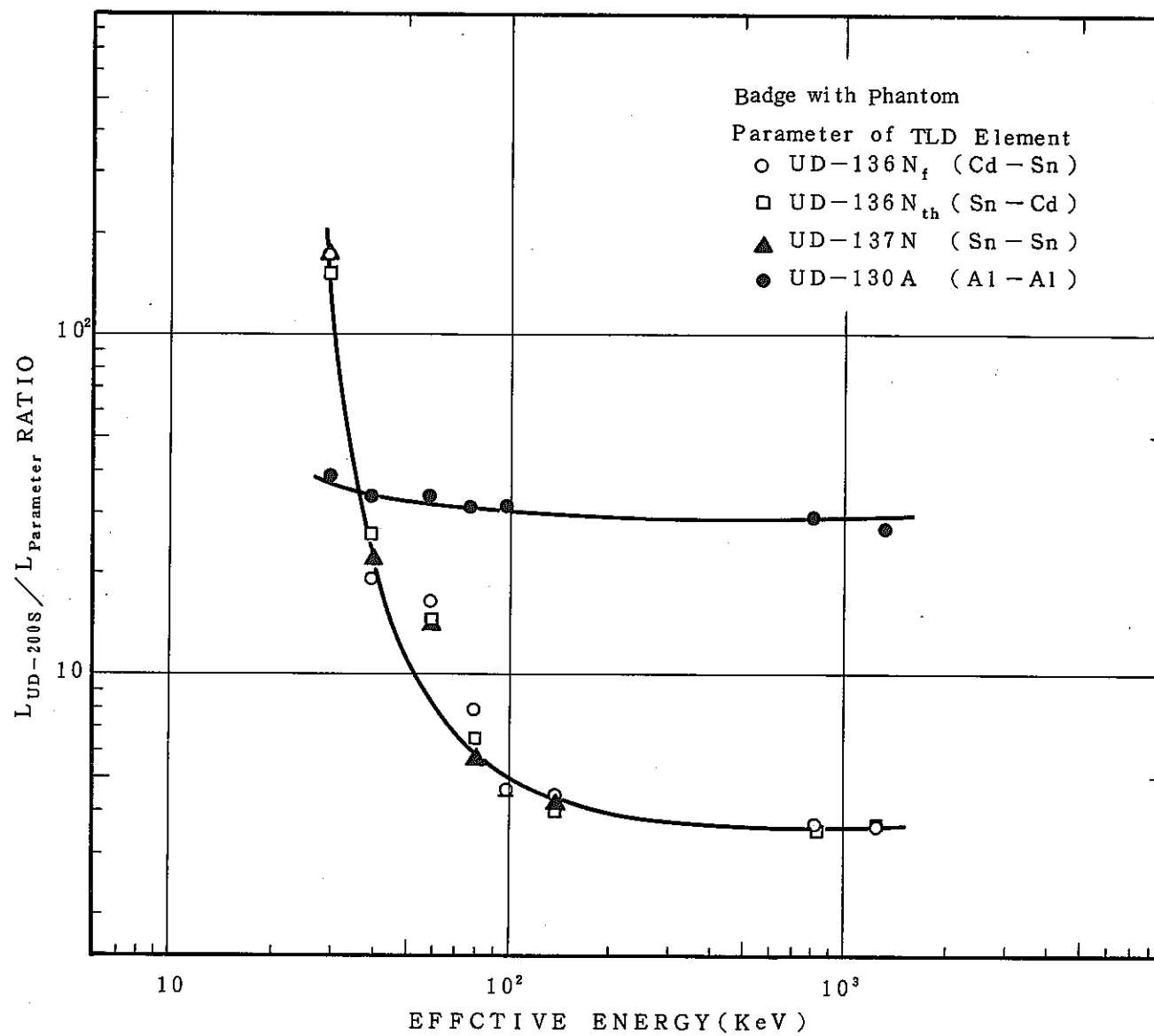


Fig. 7.1 動熱型TLDバッジ中の各素子の感度比(エネルギー算出曲線)

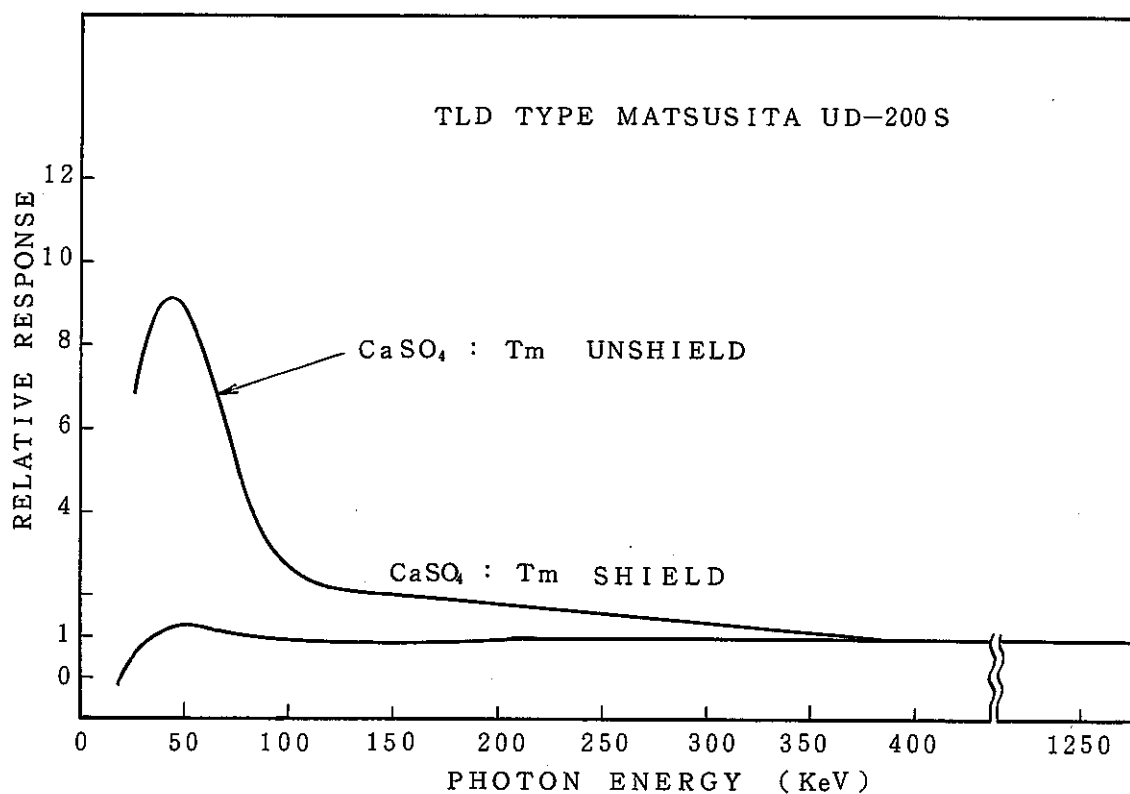
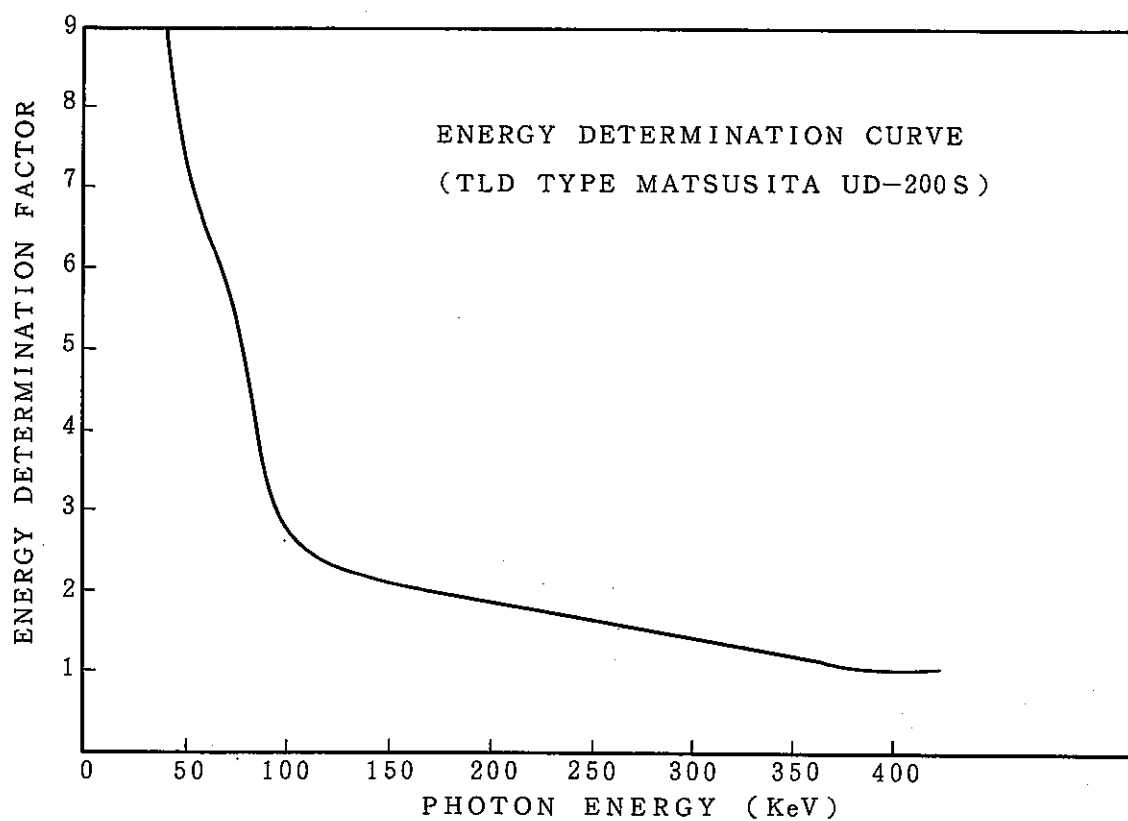


Fig. 7.2 UD-200S型熱ルミネセンス線量計のエネルギー特性

Fig. 7.3 熱ルミネセンス線量計(UD-200S)を用いた場合の被ばく実効
エネルギー算出曲線

オープンボックス内にプルトニウムの粉末を入れ、線源と線量計の間に各種しゃへいを施して各しゃへい条件下での被ばく実効エネルギーを上で求めたエネルギー算出曲線 Fig 7.3 を用いて算出した。しゃへい条件としては、(1)何もしゃへいを施さない場合 (Bare) (2)ホモライト板 (10 mm 厚) (3)ゴムグローブ板 (1 mm 厚) (4)ホモライト板 (10 mm 厚) + 鉛板 (1 mm 厚) の4条件下で照射した。この条件下でのエネルギー依存補正用フィルタ無しの状態での読み取り線量とフィルタを付けた状態での線量の比および Fig 7.3 より算出した被ばく実効エネルギーとまとめて Table 7.1 に示す。結果は Bare 状態で 74 KeV, ホモライト板で 80 KeV ゴムグローブで、90 KeV およびホモライト板 + 鉛板の状態では、320 KeV 以上のエネルギーであった。

Table 7.1. 熱ルミネセンス線量計より算出した被ばく実効エネルギー

	読み取り線量 (MR)		線量比 ($\frac{①}{②}$)	平均値	被ばく実効エネルギー (KeV)
	しゃへい無し①	しゃへい有②			
Bare	863	162	5.33	5.22	74 KeV
	806	162	4.98		
	1082	176	6.15		
	1003	216	4.64		
	125	25	5.00		
Homolite (10 mm 厚)	989	194	5.10	4.41	80 KeV
	796	168	4.74		
	858	223	3.85		
	640	162	3.95		
	1756	482	3.64		
	1983	473	4.19		
	2440	468	5.21		
	2150	497	4.33		
	1916	419	4.57		
	2350	524	4.48		
GloVe	641	221	2.90	3.26 (2.82)	90 KeV (100)
	975	236	(4.13)		
	793	289	2.74		
Homolite + Lead (1 mm 厚)	157	109	1.44	1.31	>320 KeV
	148	95	1.56		
	122	117	1.04		
	141	119	1.18		

8. リーダーの保守校正

8.1 校正手順

TLDを用いた線量評価ではTLD素子の個有の性質，その他管理上の問題もさることながらリーダーの保守校正が評価の測定精度を大きく左右する。

TLDリーダーの保守校正には長年重大な関心をはらってきているが，現在東海事業所で長年のリーダー使用の経験及び各種照射試験等の結果をふまえて，最も良いと考え実施している校正手順は次の通りである。

リーダー校正（フローシートに従って行う。Fig 8.1）

- 1) 素子10本の測定値の平均値，標準偏差を求め，標準偏差 1σ が，平均値の5%以内に入っているか否かを確認し，はずれた場合，同線量素子10本を用い測定をやり直す。
- 2) 照射線量にBGを加算した値に対して，10本の平均値がどれだけズレているか算出する。
この値をリーダー変動率という。式を下記に示す，

$$X = \frac{\text{平均値} - (\text{照射線量値} + \text{BG値})}{\text{照射線量値} + \text{BG値}} \times 100$$

- リーダー変動率 x が $|x| \leq 4\%$ 以内であればリーダー校正完了。
- リーダー変動率 x が $|x| > 4\%$ の場合，H.V.をどの程度動かせばよいか検討し，H.V.調整後，同線量素子10本を用い，再校正を行い，リーダー変動率 $|x| \leq 4\%$ になることを確認し，リーダー校正を完了とする。この際，50mR，100mR照射の2点で校正しているが，どちらか一方の点でH.V調整が必要となった場合，他の一方の点についても再度リーダー校正を行い，リーダー校正完了とする。

以上の値は，すべて記録シートに記入する。

リーダー使用条件表の作成

1) 校正光源値の範囲の決定

50mR，100mR照射の2点の校正でリーダー変動率が両点ともO.Kとなったときの校正光源値の値，計40点（測定前20点測定後20点）の平均値と標準偏差 σ を求め，その平均値と平均値の $\pm 1\sigma$ を変動領域として記録する。

2) H.V値の決定

前項のリーダー校正で決定したH.V値を，そのままH.V値として記録する。

3) 温度の決定

TMPE 2 一定

4) 測定時間

PERIOD SEC 10 一定

5) 線 量 値

$$\text{指 示 値} \times 1$$

8.2 リーダー改造の一経験例

TLDリーダーを本格的に使用しだした時期昭和51年頃に、リーダーの内臓されている校正用線源の値(CAL値)が大きく変動する現象が現われてきた。使用するHVを一定に保ちCAL値の経時変化の一例をFig 8.2に示す。図に示すように長期的にはCAL値の低下現象がみられ、短期的にはリーダーの受光部のライトパイプ表面のよごれを除去することにより一時的な感度の回復がみられた。

原因について検討の結果Fig 8.3に示すようにリーダーのスライダーおよび光電子増倍管の部分にかなりの量のアルミの粉末が付着しているのが認められた。光電子増倍管のライトパイプの部分および校正光源の部分のアルミ粉末の付着はCAL値にとって重大な影響を与える。Fig 8.4に校正光源部に付着したアルミ粉末の写真を示した。

アルミ粉末はスライダーの上側の機構基板(アルミ製)のスライダー移動溝の内側が、ステンレス製のガイドピンが動くたびに磨耗して落下したものである。アルミ粉末は校正光源部のガラス表面ばかりでなく校正光源そのものにも付着しているのが認められた。

このため機構基板(本体はアルミ製)の移動溝の下側にステンレス板をはりつけ;ガイドピンを短かくすることによりステンレスのガイドピンと基板のアルミ板との接触はなくなり、アルミ粉末が大巾に低減した。

この改造をリーダーにほどこした後ではCAL値の大巾な低下は認められなくなった。

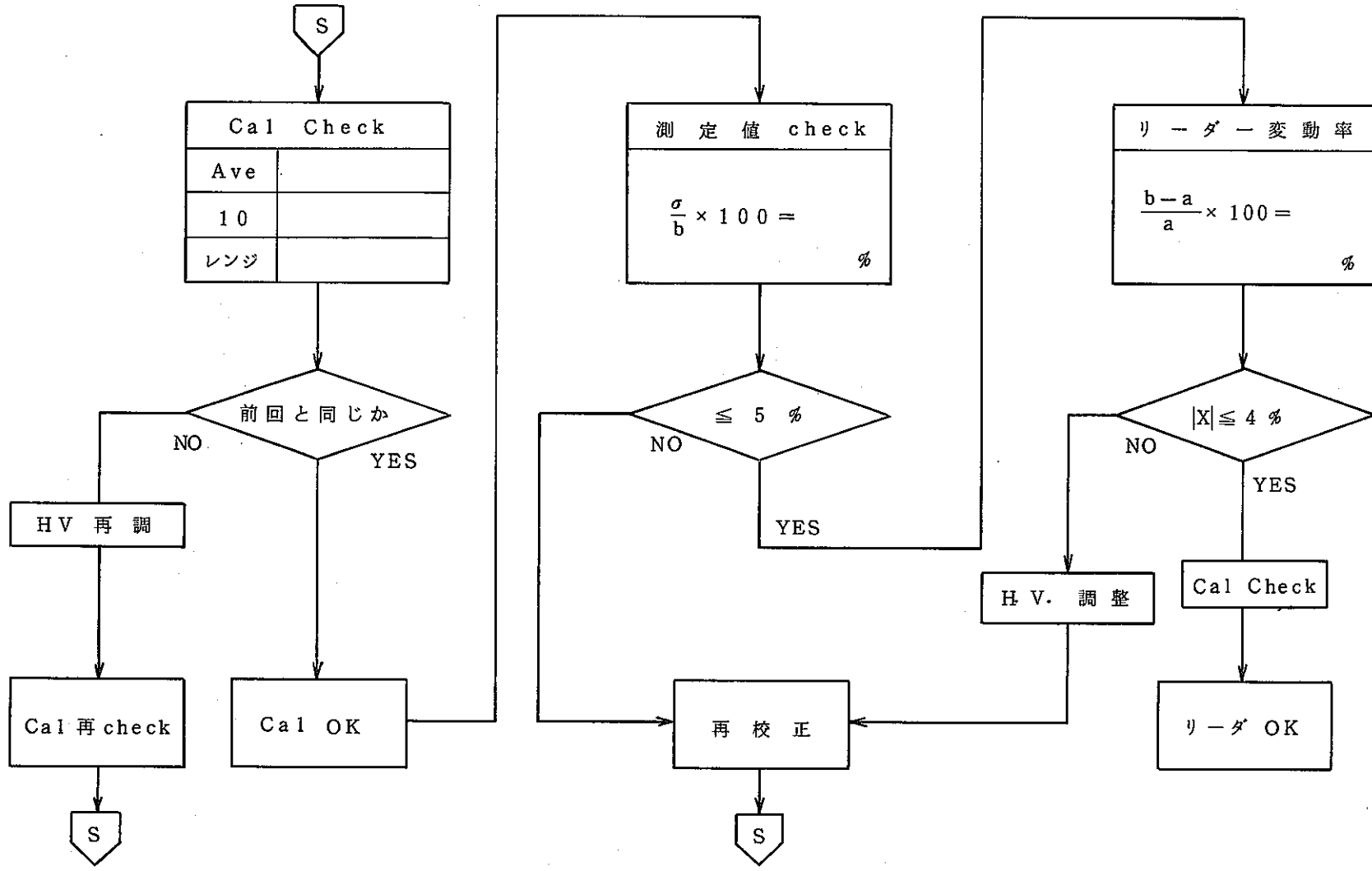


Fig. 8.1 TLD リーダー校正フローチャート

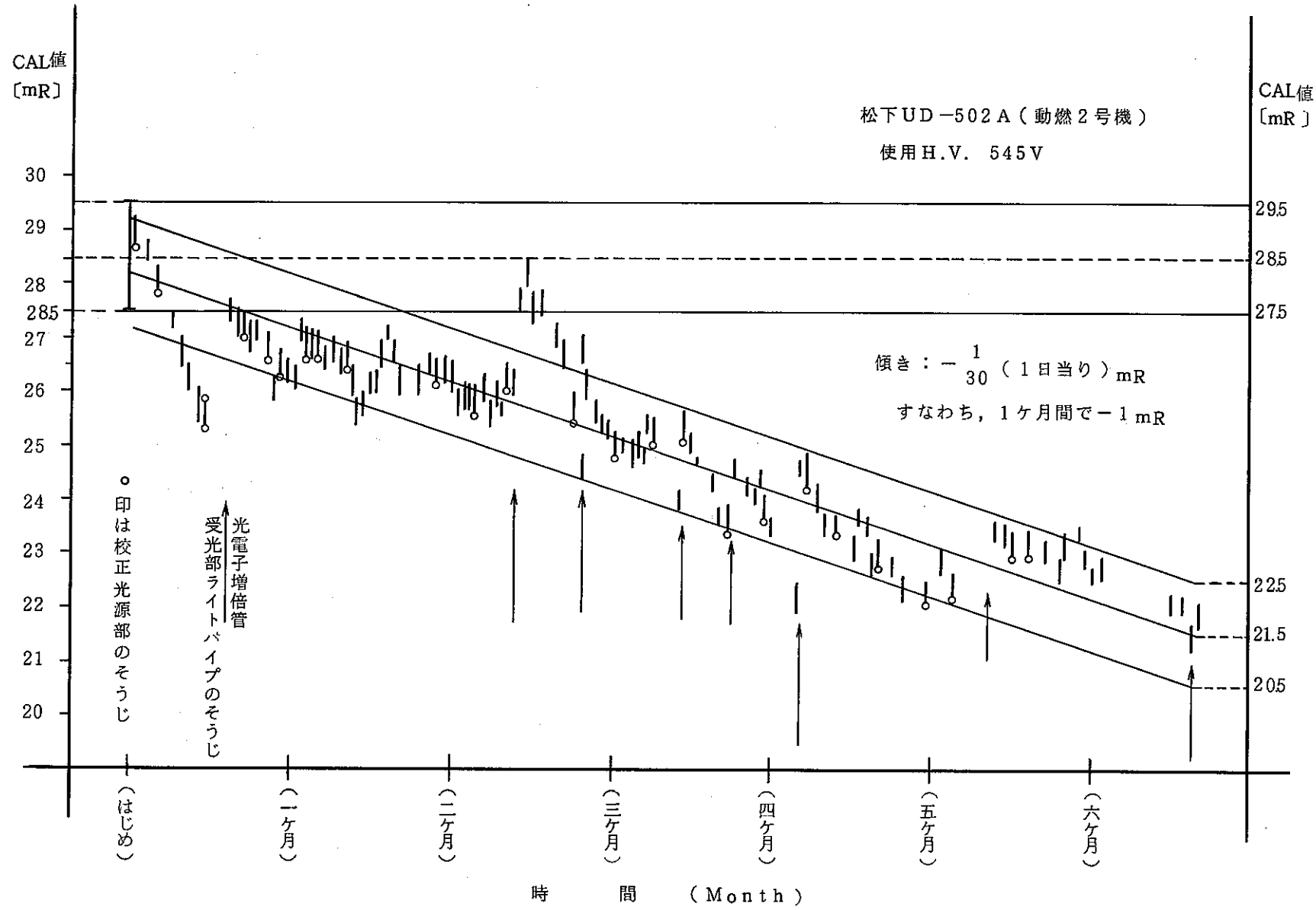


Fig. 8.2 TLDリーダーの感度変化

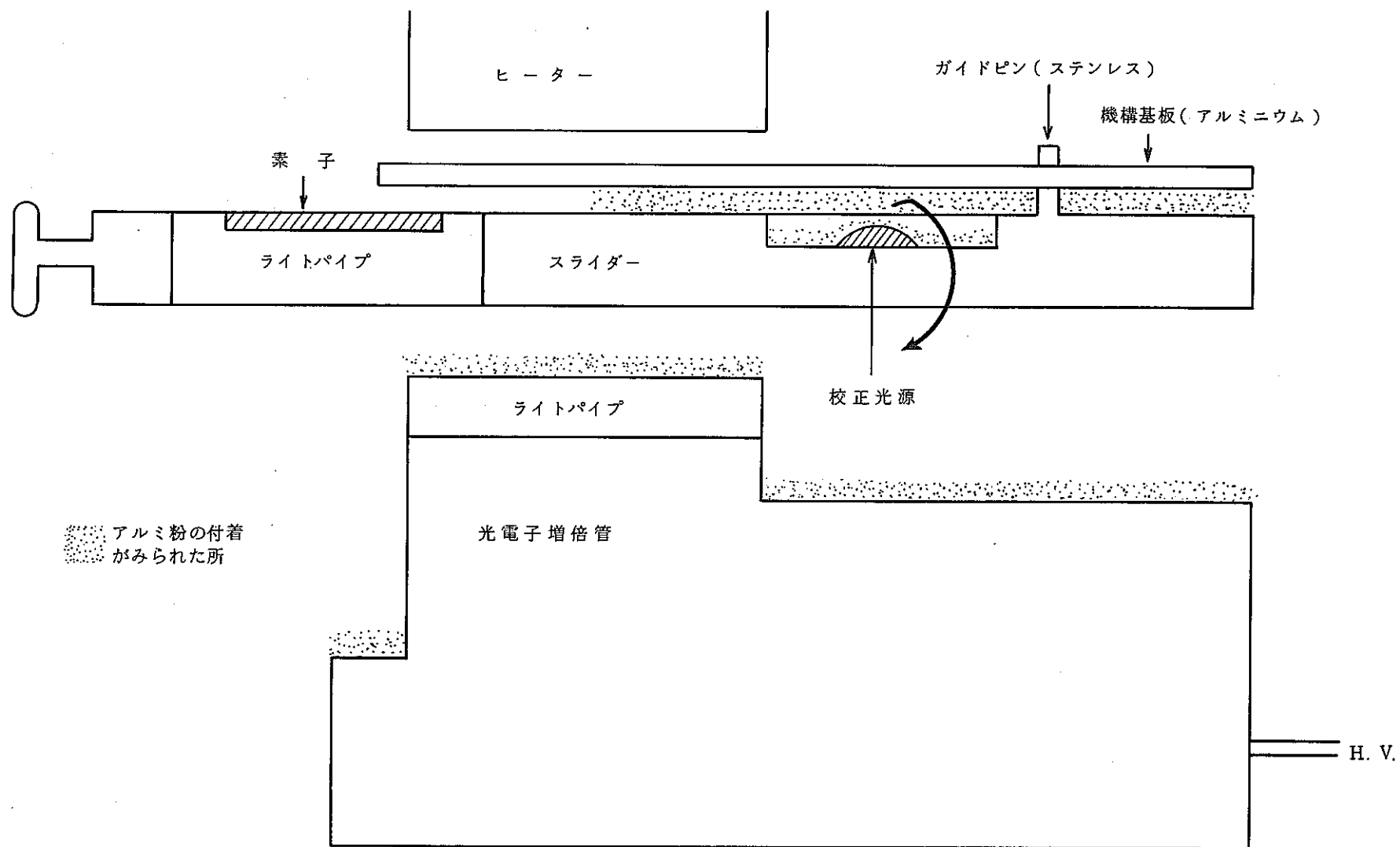


Fig. 8.3 UD-502Aリーダー機構部略図

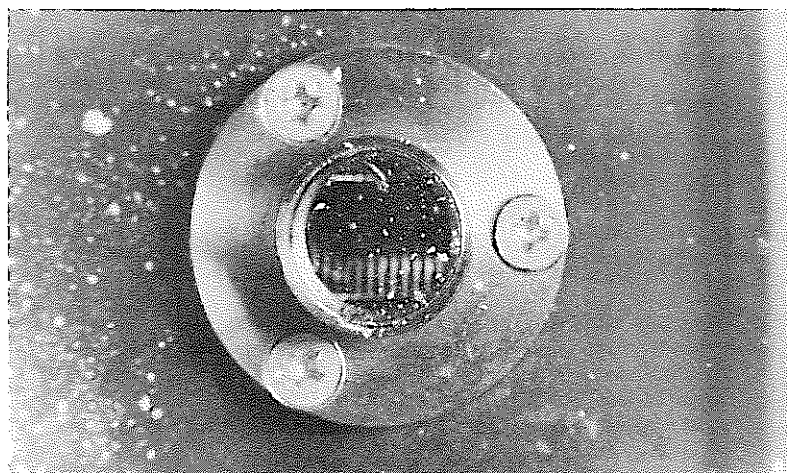


Fig 8.4 TLDリーダーの内臓校正光源部に付着したアルミ粉末

9. T L D 素子の管理

9.1 T L D素子の受け入れ検査

従来T L D購入時の受け入れ検査法及び受け入れ基準は明確に定められていなかったため、購入の度に決定していた。現在では東海事業所ではT L Dの受け入れ検査と受け入れ基準に関して概略以下のように定めて実施している。

購入予定のT L Dを東海事業所の校正室でガンマ線源による照射を行う。照射線源は現在 ^{60}Co 100mCiを使用している。照射するT L Dを照射台にセットし（UD-200Sの場合204本セット可能）50 mRを照射する。照射後T L D素子を2日間放置し、校正されたT L Dリーダーで測定し、照射ロットの測定値の標準偏差と平均値を求め、標準偏差が±5%以下かつ平均値と照射線量の差が±5%以下のロットを合格として受け入れる基準としている。

基本的にはメーカーの出荷基準を受け入れ側で全数測定によりチェックする方針である。

9.2 校正用T L D素子の選別

リーダーの校正に使用するT L DはUD-200Sを使用する。素子は受け入れ検査時に照射線量に対して測定値が±5%以内に入っている素子を選別してT L Dリーダー校正用に約150本を専用に使用する。

9.3 定期的な照射検査の実施

同一T L D素子を長期間使用した場合の性能劣化に関しては関心のあるところであるが、明確な追跡データを現在もっていない。従って現在購入後1年単位あるいは3年単位といった定期的なチェックは実施していない。現在は数百mR / 3月の被曝程度をくりかえし使用している現状では性能劣化があるとは考えられないが、今後は定期的な照射によるチェックを必要と考えて現在その方法を検討中である。

9.4 不良素子の発見法

前の9.3とうらはらの関係であるが、個人被曝にT L Dを使用するという性質上、不良素子の使用は許されない。従って過剰なアニーリングや大量被曝その他の原因に基づく不良品を発見し除外する方法は現在系統だったプログラムをもっていないため、この点について、定期的な照射チェックの方法と合わせて現在検討中である。

1 0. T L D使用上の今後の検討事項

1 0.1 T L Dリーダーの校正法の改善

T L Dを使用する場合、線量の測定精度はリーダーに大きく依存し、リーダーの保守校正が良好に実施されているかどうかが決め手となる。現時点では最善と思われる方法を採用して、かなりの労力を要しリーダーの性能よりみてかなり高度なレベルの維持を要求している。

T L Dを大量かつ大規模に使用している東海事業所としては常により良いT L Dリーダー校正法に対する努力が必要である。

1 0.2 中性子線量評価法の改善

現在利用している ^6Li と ^7Li の熱中性子に対する吸収断面積の差を利用したアルベド型線量計であるが、現在中性子線量評価に使用して松下T L D U D - 1 3 6 NとU D - 1 3 7 Nは粉末中に $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ を混入させているため低エネルギーガンマ線に対するレスポンスが過大となり中性子線量評価上の問題点となっている。T L D素子の選択を含めて、中性子エネルギー情報の入手と補正法等、より高い測定精度をもつ線量評価法も今後の開発を必要とする。

1 0.3 ベータ線量評価法の改善

前の中性子線量評価と同じくベータ線量評価法に関して、現在東海事業所においては、再処理施設の従業員を中心に個人被曝管理上一応のレベルに達していると考えているが、使用しているT L D素子が $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ の薄板であるため、中性子の問題と同じ低エネルギーガンマ線の過大応答が測定精度を悪くしている。また素子の測定の際ピンセットを使用する不便さもあり、新しい素子選択及び形状等を含めて、今後の検討を要する。

1 0.4 局部被曝線量計の改良

現在東海事業所では2種類の局部被曝線量計を使用している。すなわちプルトニウム燃料製造施設では蛍光ガラス線量計を用いた指リングと再処理施設を中心にT L Dを用いた指リングの2種類である。蛍光ガラス線量計についてはプルトニウム取扱開始以来約10年にわたる使用経験をもち現在約300名の局部被曝管理に使用して来たが、ブレード測定、ポストドーズ測定をそれぞれ3回測定する等、多大の労力を要するため、T L Dへの切換えも現在検討中である。一方再処理施設で使用しているベータ線用局部被曝線量計(指リング)についても、リングをつけたまま手を洗ったりした時、その他汗等が素子表面へ付着した時には疑似信号を発生し、線量評価上の問題となっている。

以上のような問題点をかかえながらも、現在局部被曝線量測定業務を実施しているが、上記

問題点を解決する新しい線量計も現在検討中である。

1 0.5 全自動線量読み取り装置とデータ処理システムの開発

TLDを個人被曝管理の主要な線量計に使用しているため定常的に配布，回収，測定するTLD素子の数は多く現在4台のリーダーをフルに使用して測定業務を実施している。リーダーの使用頻度が高いため，各リーダーの保守校正にも多大の労力を要している。このためX線，ガンマ線，ベータ線，中性子線用各TLD素子を全自動で測定可能な線量計バッジ及びリーダーシステムの開発が必要である。

1 1. む す び

動燃東海事業所ではTLDを個人被曝管理を中心にその他作業環境管理，野外環境管理用の集積線量計として広く使用して来ている。TLDは迅速測定という長所を有しながら，その線量測定面ではフィルムに較べて情報量が少ないこと，線量測定精度がリーダーに大きく依存する等の問題をかかえながらも東海事業所では，一応管理可能なレベルにまで技術開発してきた。

本報告はTLD使用上の経験を整理し，使用状況の概要と線量評価法についての現状をレビューしたものである。