

個人被ばく線量計の特性比較試験

Experiment on Some Characteristics of Personal Dosimeters

1971年7月

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

(1971年6月30日)

個人被ばく線量計の特性比較試験

実施責任者 原 悌二郎(安全管理課)
報告者 本山茂二(安全管理課)
関田周敏(安全管理課)
石黒秀治(安全管理課)
照沼 捷(安全管理課)

期 間 1971年4月1日～1971年6月25日

目 的 現在動燃東海事業所で個人外部被ばく管理に使用して線量計の低エネルギー領域での諸特性を検討することは被ばく線量評価上、重要であるため諸特性比較試験を実施した。

要 旨 動燃東海事業所ではプルトニウムの本格的な取扱いに伴い個人外部被ばく管理が重要となってきた。特に被ばく線量の正確な評価が管理上必須条件である。正確な線量評価方法の確立を目的として、現在動燃で使用しているフィルムバッジ線量計、蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計の特性比較試験を実施した。

各線量計の低エネルギー領域のエネルギー特性について詳しく検討した。またプルトニウムで各線量計を照射し線量計の読み取り線量比および実照射線量に対する感度比を求め被ばく実効エネルギーを推定した。各線量計のエネルギー特性カーブから求めたプルトニウムからの放射線の平均エネルギーは31KeVであった。ホモライト板および鉛板のしゃへい効果についても若干検討を行なった。

目 次

要 旨	
I まえがき	1
II 線量計の概要	2
II-1 フィルムバッジ線量計	2
II-2 蛍光ガラス線量計	2
II-3 熱ルミネセンス線量計	3
III 実験概要	4
III-1 目 的	4
III-2 装置説明	5
III-3 実験方法	5
IV 実験結果	9
IV-1 各線量計のエネルギー依存性	9
IV-2 プルトニウムによる照射試験	13
IV-3 シャヘイ効果	14
V 考 察	17
V-1 諸特性データ	17
V-2 特性比較	23
V-3 実効エネルギー	24
V-4 シャヘイ効果	26
V-5 特殊作業時の外部被ばくデータ	29
V-6 今後の計画	30
VI 結 言	31
VII Appendix	32
1. フィルムバッジ線量計の構造図	32
2. 蛍光ガラス線量計の構造図	32
3. 熱ルミネセンス線量計の構造図	33
4. フィルムバッジ線量計の読み取り装置の構造図	33
5. 蛍光ガラス線量計の読み取り装置の構成図	34
6. 熱ルミネセンス線量計の読み取り装置の構成図	34
7. フィルムバッジ線量計測定手順のフローチャート	35
8. 蛍光ガラス線量計測定手順のフローチャート	36
9. 熱ルミネセンス線量計測定手順のフローチャート	37
10. 個人被ばく線量計の諸特性比較一覧	38

図 表 目 次

Fig. 1	チェンバ (model No. -188) のエネルギー特性
Fig. 2	チェンバ (model No. -227) のエネルギー特性
Fig. 3	フィルムバッジ線量計のエネルギー依存性
Fig. 4	蛍光ガラス線量計のエネルギー依存性
Fig. 5	熱ルミネセンス線量計のエネルギー依存性
Fig. 6	フィルムバッジ線量計のエネルギー依存性 —— 原研データ ——
Fig. 7	蛍光ガラス線量計 (FD-P 8型) のエネルギー依存性 —— 放同協発行 個人外部被ばくモニタリング手引のデータ ——
Fig. 8	蛍光ガラス線量計 (FD-P 8型) のエネルギー依存性 —— 東芝カタログのデータ ——
Fig. 9	蛍光ガラス線量計 (FD-P 8型) のエネルギー依存性 —— 原研データ ——
Fig. 10	蛍光ガラス線量計 (FD-P 6型) のエネルギー依存性 —— 動燃データ ——
Fig. 11	蛍光ガラス線量計 (FD-P 6型) のエネルギー依存性 —— 東芝カタログのデータ ——
Fig. 12	熱ルミネセンス線量計のエネルギー依存性 —— 松下カタログのデータ ——
Fig. 13	個人被ばく線量計の読みとホモライト板しゃへい効果の関係のグラフ
Table 1	動燃で使用しているフィルムバッジ線量計
Table 2	フィルタと実効エネルギーの関係
Table 3	ターゲットと実効エネルギーの関係
Table 4	フィルムバッジ線量計の相対感度比
Table 5	蛍光ガラス線量計の相対感度比
Table 6	熱ルミネセンス線量計の相対感度比
Table 7	プルトニウムによる照射試験結果
Table 8	鉛板 (1mm厚) フィルタをした時のプルトニウムによる照射試験結果
Table 9	ホモライト板および鉛板のフィルムバッジ線量計に与えるしゃへい効果
Table 10	ホモライト板および鉛板の蛍光ガラス線量計に与えるしゃへい効果
Table 11	ホモライト板および鉛板の熱ルミネセンス線量計に与えるしゃへい効果

- Table 12 フィルムバッジ線量計のデータ比較一覧表
- Table 13 蛍光ガラス線量計 (FD-P8型) のデータ比較一覧表
- Table 14 蛍光ガラス線量計 (FD-P6型) のデータ比較一覧表
- Table 15 熱ルミネセンス線量計のデータ比較一覧表
- Table 16 現在使用している個人被ばく線量計のエネルギー特性比較一覧表
- Table 17 プルトニウムで照射した場合の各線量計の読み取り線量比
- Table 18 プルトニウムで照射した場合の各線量計の相対感度比
- Table 19 各線量計の相対感度比より求めた被ばく実効エネルギー
- Table 20 フィルムバッジ線量計の読みとホモライト板しゃへい効果の関係
- Table 21 蛍光ガラス線量計の読みとホモライト板しゃへい効果の関係
- Table 22 熱ルミネセンス線量計の読みとホモライト板しゃへい効果の関係
- Table 23 高次化プルトニウム取扱い作業時の外部被ばくデータ

I. まえがき

プルトニウムによる外部被ばく線量を評価する場合、問題となる放射線が低エネルギー線であるため、使用する個人被ばく測定器のエネルギー特性が重要となる。

今までにプルトニウム燃料開発室での F U A 燃料開梱作業および高次化プルトニウム取扱い作業時の被ばく線量測定の際、各線量計の測定値の間に差が認められ、線量評価にあたり問題となつてきた。今後、高次化プルトニウムの取扱い量の増大に伴い、外部被ばく線量を評価するうえで測定値の正確度、信頼性を検討する必要が生じた。

そこで安全管理課において、昭和46年4月～6月にかけて現在動燃で使用している個人被ばく測定用線量計であるフィルムバツジ線量計、蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計についてエネルギー特性比較試験を実施した。

以下、試験結果、文献調査結果および放射線管理上の問題点等について検討し、まとめたので報告する。

Ⅱ 線量計の概要

Ⅱ-1 フィルムバツジ線量計

写真フィルムは、X線、 γ 線等の放射線を感じ潜像をつくり、現像処理により黒化濃度として検出でき、黒化濃度と放射線照射量との関係が直線となるので、これを応用したものがフィルムバツジ線量計である。フィルムバツジは、遮光包装した写真フィルムをバツジケースに入れ、作業者の胸その他の部位に着用する。

着用期間中に受けた被ばく線量は、フィルムを現像処理し、黒化された濃度を黒化度測定器で測定し求められる。

フィルムバツジは、機械的に丈夫であり、廉価で多数同時取扱いが容易であり、放射線管理に必要な線量測定範囲と精度をもつているので、個人被ばく測定器として現在最もひろく使用されている。

動燃で、現在ガンマ線の被ばく管理のために使用しているフィルムバツジをTable 1に示す。

Table 1 動燃で使用しているフィルムバツジ線量計

バツジケース	バツジ用フィルム	使用範囲
JIS 7Ⅱ型	富士フィルムG	U.RI 使用施設
原研Ⅳ型	富士フィルムG3	ブルトニウム燃料開発室

今回の特性試験に使用したものは、原研Ⅳ型フィルムバツジ線量計であり、線量の読みは、 $\text{Sn } 0.8\text{mm} + \text{Pb } 0.4\text{mm} = 1.2\text{mm}$ のフィルタ下の黒化度を東京光電製写真濃度計によつて求めた。

Ⅱ-2 蛍光ガラス線量計

蛍光ガラスは、放射線照射により安定な蛍光中心がつけられ、これに紫外線を照射すると蛍光を発光し、その蛍光量がガラスに吸収された放射線量に比例するので、これを線量測定に応用したものである。蛍光ガラス線量計は、蛍光ガラスをエネルギー補正用に工夫した容器に入れて使用し、吸収されたその放射線量を蛍光量として蛍光測定装置で測定することにより、使用期間中に受けた放射線量を測定するものである。

ガラス線量計は、小型で感度がよく、測定範囲も広く長期保存可能なこと、また蓄積線量も読める等の利点から、局部被ばく測定用、環境の放射線管理用として使用されている。現在、動燃で使用している東芝製蛍光ガラスの組成は、基材として、 LiPO_3 -47%、 $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$ -53%、また添加物として AgPO_3 -6%である。

局部被ばく測定用としては、FD-P6型(6×6×3.3mmを黄銅1.2mm厚でカバーしたもの)を、また環境の線量測定用としては、FD-P8型(8×8×4.7mmをスズ0.5mm厚カバーしたもの)を使用している。今回の特性試験では、FD-P8型をスズ0.5mm厚でカバーした状態で照射し、読み取りは東芝製蛍光ガラス線量計読み取り装置FGD-3B型で行なった。

II-3 熱ルミネセンス線量計

熱ルミネセンス線量計は、放射線に照射された素子を加熱すると蛍光を発し、その蛍光量と放射線量とが比例関係にあるのでこの原理を応用したものである。

熱ルミネセンス線量計は、エネルギー依存性が比較的少なく測定範囲が広くまた精度も高い等の利点を有している。

現在、動燃では熱ルミネセンス線量計をブルトニウム燃料開発室でのスペシャルモニタリング用線量計として個人被ばく管理および作業環境放射線管理に使用している。近い将来、オペレーショナルモニタリング用線量計として個人被ばく管理にかなり広範囲にわたり利用する計画もある。

今回の特性試験に用いた熱ルミネセンス線量計は、松下電器産業株式会社製線量計UD-200S型を使用した。

UD-200S型線量計は基材に CaSO_4 を用い、アクチベータとして Tm を添加したものであり、その粉末をガラス製アンブルに封入し、スズと鉛を組み合わせたエネルギー補償用フィルタでカバーし、ケースに収納したものである。線量の読み取りは、同じく松下製UD-502A読み取り装置で行なった。

Ⅲ 実験概要

Ⅲ-1 目的

現在、動燃東海事業所において個人被ばく用線量計としてフィルムバッチ線量計、螢光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計を用いて被ばく管理を実施している。これら各線量計の諸特性を知らないと線量評価を正確に行なえず、被ばく管理上問題である。今回の線量計の特性比較試験では諸特性の内、特にエネルギー特性に着目して、試験目的を次の三つにしぼつて実施した。

(1) 個人被ばく用線量計のエネルギー依存性

各線量計とも低エネルギー特に100KeV以下のエネルギー領域ではその感度が一様でなくなるため正確に線量評価が行なえなくなる。それで現在使用している線量計のエネルギー依存性カーブおよびその特徴を求めることを目的の一つにした。エネルギー依存性はプルトニウムからのX線および γ 線エネルギーが低いため特に重要である。

(2) 被ばく実効エネルギーの算出

プルトニウムを取扱うグローブボックス作業者の作業中に受ける被ばく放射線のエネルギーを求め、(1)で求めたエネルギー特性と組み合わせて、試量評価の精度を上げることを目的の2番目に加えた。方法としては各線量計をプルトニウムで照射して相対感度比を求めてその比を用いてエネルギー特性カーブより算出した。

(3) ホモライト板(10mm厚)と鉛板(1mm厚)のしゃへい効果

グローブボックスに使用するホモライト板は今まではプルトニウムを閉じこめるコンテナメントの材料としての立場から物理化学的性質の検討はなされていたが、しゃへいの立場からの検討はほとんどなされていない。グローブボックスに使用するホモライト板は10mmもあるためプルトニウムからの軟X線、 γ 線はボックスの外へは通過せず、したがって実際には数百KeV程度のエネルギーの放射線を被ばくしているのであろうとの考えは一般的でそれ以上の深い定量的な討論は今までなされていない。それで今回ホモライト板と鉛板を対象にしてそのしゃへい効果を求め個人被ばく線量計に与える影響について検討した。

以上の目的をもつてⅢ-3で述べる方法で特性比較試験を実施し個人被ばく管理上有効なデータを得ようとするものである。

III-2 装置説明

今回の特性比較試験で使用したX(γ)線源として、次の発生装置および線源を用いた。

(1) X線発生装置

X線を使用するにあつて、深部治療用(島津製作所製信愛1号, 定格電圧200KVp, 電流6mA)X線発生装置を用い, この装置により, 数十KeV~200KeVの範囲の実効エネルギーを求め利用した。また50KeV以下の低エネルギー範囲の使用には, モリブデン, スズ等のターゲットを用い, それから発生する特性X線を利用した。

(2) RI(γ)線源

実効エネルギーで, 200KeV以上の範囲を求めるには, RI線源を利用した。使用した核種としては, ^{137}Cs (0.662MeV)1mCi, ^{226}Ra (約0.9MeV)50mCiおよび ^{60}Co (1.25MeV)1mCiの各線源である。なお, 他に参考として, 中性子線源Am-Be・1Ciも使用した。

(3) プルトニウム燃料(PuO_2 粉末)

プルトニウム燃料開発室(第一)のオープンポートボックス内に, ポリビンに収納した PuO_2 粉末(425g)を固定し, これをプルトニウム線源として使用した。

以上の各線源を取扱い, 各線量計の照射を行なつた。

また, 線量読み取り装置には, それぞれ, フィルムバツジ線量計は, 東京光電社製写真用濃度計(ANA-82TR型), 蛍光ガラス線量計は, 東芝製蛍光ガラス線量計読み取り装置(FGD-3B型), また熱ルミネセンス線量計は, 松下製読み取り装置(UD-502A型)を使用し測定した。なお各エネルギー別に照射した, 各チェンバの読み取りは, Victoreen社製 γ -メータ(Model-570型)により行なつた。線量計ならびに, 読み取り装置の詳細に関してはAppendixを参照されたい。

III-3 実験方法

各々の線量計の照射に際して, 標準照射線量の決定はすべて γ -メータの読み取り値を用い, 使用するチェンバの選択は, 測定エネルギーおよび照射線量範囲によつて, Model-130, -188, -227の各チェンバを使用した。これらチェンバは, 30KeV~400KeVの測定エネルギー範囲では $\pm 10\%$ の精度で測定可能であり, したがつて今回の試験においては γ -メータの読み取り値を, そのまま各線量計における実線量として採用した。 γ -メータ用チェンバModel-188, -227のエネルギー依存特性をそれぞれFig.1, Fig.2に示す。

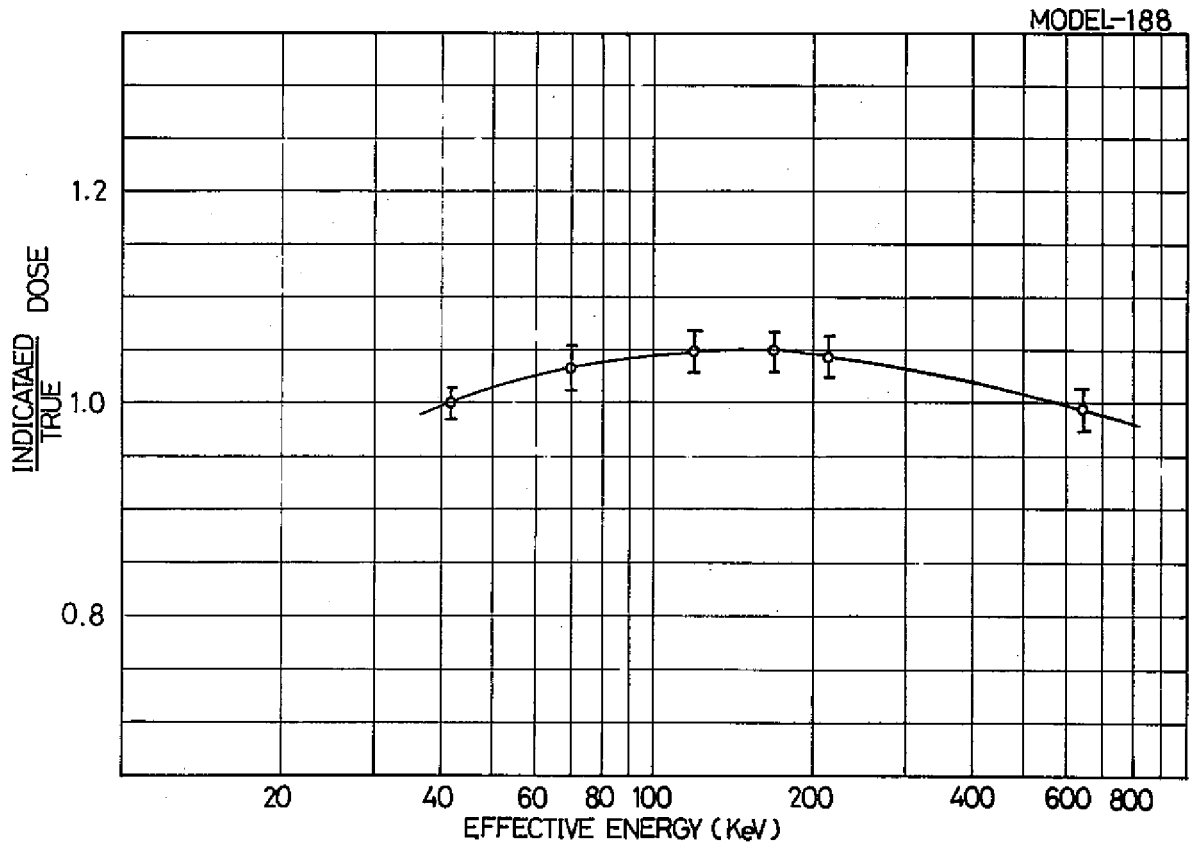


Fig. 1 チェンバー (model NO-188) のエネルギー特性

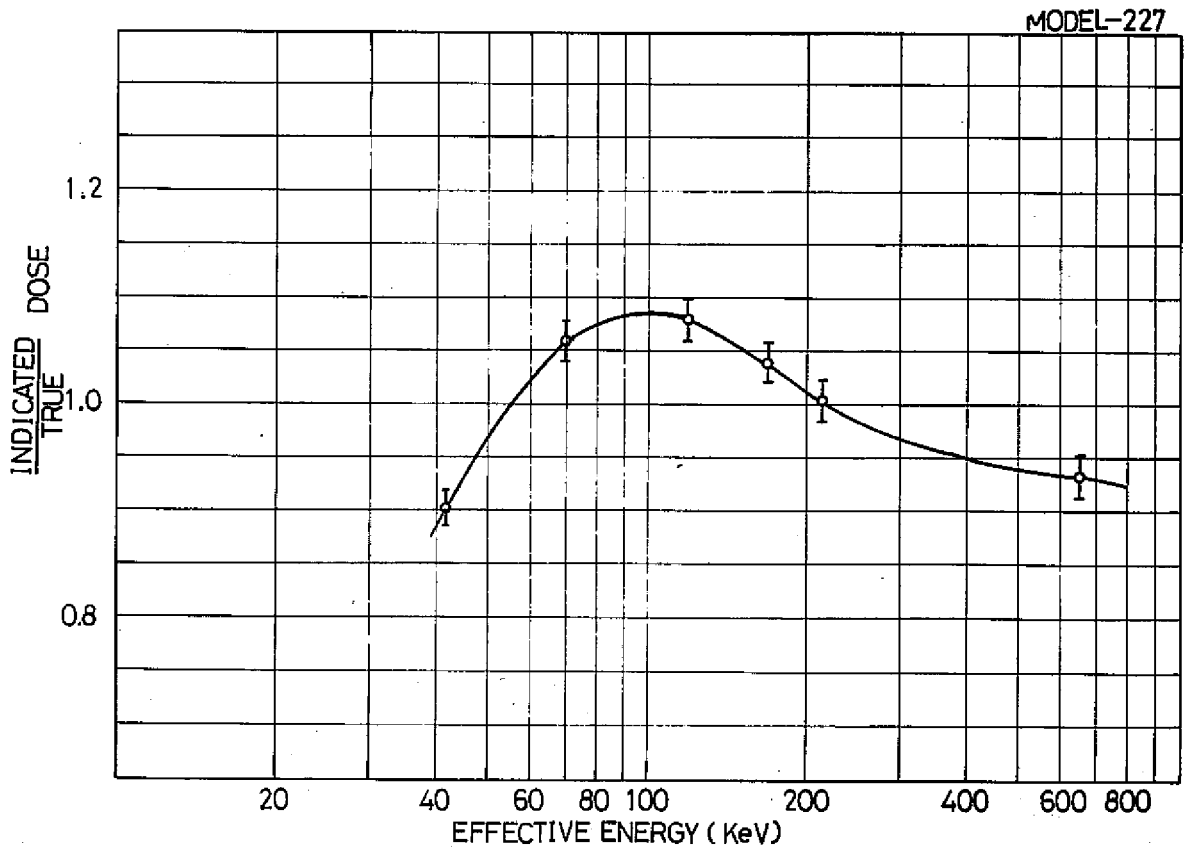


Fig. 2 チェンバー (model NO-227) のエネルギー特性

また各線量計への照射線量は、測定上の誤差をなるべく少なくするため、100 mR以上の照射を目安とした。

線量計およびチェンバは、位置依存性または散乱等の影響を避けるため、X(γ)線の入射方向に対し垂直に静止させ、床面、側壁等よりなるべく離し位置させた。なお各線量計は、測定値のバラツキを防ぐため、すべて複数個を照射試料とした。

X線の照射を行なうにあたり、発生する連続X線を単色化するために、種々のフィルタを使用した。フィルタ厚とエネルギーの関係および低エネルギーX線を発生させるのに要した各種ターゲットとエネルギーの関係をそれぞれTable 2, Table 3 に示す。

Table 2 フィルタと実効エネルギーの関係

実効エネルギー (KeV)	フィルタ厚 (mm)	管電圧 (KVp)	管電流 (mA)
55	Cu(2) + Al(2)	60	4
85	Cu(4) + Al(2)	100	4
100	Cu(9) + Al(2)	120	4
133	Cu(10) + Al(3)	147	4
152	Cd(8) + Al(3)	166	4
166	Cd(9) + Al(3)	188	4
188	Cd(11) + Al(3)	200	4

Table 3 ターゲットと実効エネルギーの関係

実効エネルギー (KeV)	ターゲット	管電圧 (KVp)	管電流 (mA)
18	Mo	65	3
26	Sn	80	0.4 (最低電流)
33	Ba(NO ₃) ₂	90	0.4
47	Dy ₂ O ₃	100	0.4

X線照射時の注意として、チェンバおよび線量計が、X線照射野よりはずれることがないよう十分配慮した。しゃへい効果試験のために使用した、ホモライト板、鉛板はX線の放射口(放射状の筒)にそれらを密着させて照射を行なった。この時、各しゃへい板は放射口をふさぐに十分な大きさであつたので、チェンバおよび線量計へのX線の直接入射はないものとみなした。このしゃへい効果試験は、実効エネルギー200 KeV以下の範囲で実施した。

HI線源による照射は、いずれも校正室において、セシウム、ラジウム、コバルト等の線源を使用し行なつた。標準照射線量としては各線源ごと、X線照射時と同様にγ-メータによる読み取り値を基準とした。照射台の上に線源を固定し、線量計ならびにチェンバを適当な距離に設置しそれぞれ実効エネルギー662KeV(^{137}Cs)、約900KeV(^{226}Ra)、1,250KeV(^{60}Co)の3点を求め照射を行なつた。

プルトニウム(PuO_2 粉末)による照射は、プルトニウム燃料開発室(第1)、R-231室のオープンポートボックスに、ポリビンに密封された PuO_2 粉末425gを適当な距離に設置し、これをプルトニウムの線源として、各線量計の照射を行なつた。

照射は3回実施し、しゃへい物のない状態で2回、また、ボックスパネルのオープンポート部分に鉛板(1mm厚)のしゃへい物を設置した状態で1回、それぞれ各線量計の照射を行なつた。このプルトニウム照射に当り、グローブボックスの条件は、ボックス内に線源(PuO_2 粉末)以外は何も置かず、ボックス内の汚染がほとんどないことを条件とし、散乱および線源以外の放射線の影響(ボックス内床、側面の汚染より生じる)を少なくした。なお、この場合も標準照射線量はγ-メータにより求めた。

IV 実験結果

IV-1 各線量計のエネルギー依存性

X線発生装置およびRI線源から種々のエネルギーのX線、 γ 線を発生させ各線量計を照射して、エネルギー依存性について検討した。実際に各線量計に照射した線量を γ -メータで読み、各線量計から読み取った線量および両者の比をTable 4にまとめた。Table 4にフィルムバツジ線量計、Table 5に蛍光ガラス線量計およびTable 6に熱ルミネセンス線量計の測定結果を示した。

Table 4 フィルムバツジ線量計の相対感度比

実効エネルギー (KeV)	照射線量 (mR)	フィルムバツジ実測値 (mR)		相対感度比 $\left(\frac{\text{フィルムバツジ線量}}{\text{照射線量}}\right)$
		線量測定値	線量平均値	
18	205	* <10	<10	-
		<10		
26	120	30	25	0.21
		20		
33	150	180	150	1.00
		120		
47	140	30	35	0.25
		40		
55	138	300	300	2.17
		300		
85	187	420	420	2.25
		420		
100	148	230	240	1.62
		250		
133	205	300	305	1.49
		310		
152	168	220	215	1.28
		210		
166	234	290	290	1.24
		290		
188	143	160	155	1.08
		150		
662 (^{137}Cs)	110	110	115	1.04
		120		
約900 (^{226}Ra)	100	100	105	1.05
		110		
1,250 (^{60}Co)	255	260	265	1.04
		270		

* <10はフィルムバツジの最低検出限值以下

Table 5 螢光ガラス線量計の相対感度比

実効エネルギー (KeV)	照射線量 (mR)	螢光ガラス線量計実測値 (mR)		相対感度比 $\frac{\text{螢光ガラス線量}}{\text{照射線量}}$
		線量測定値	線量平均値	
18	205	30	30	0.15
		<20		
26	120	100	95	0.79
		90		
33	150	100	105	0.70
		110		
47	140	110	120	0.86
		130		
55	138	120	140	1.01
		160		
85	187	390	375	2.01
		360		
100	148	300	310	2.09
		320		
133	205	470	470	2.29
		470		
152	168	300	300	1.79
		300		
166	234	390	405	1.73
		420		
188	143	240	245	1.71
		250		
662 (Cs-137)	149	200	195	1.31
		190		
約900 (Ra-226)	100	120	115	1.15
		110		
1250 (Co-60)	255	290	280	1.10
		270		

Table 6 熱ルミネセンス線量計の相対感度比

実効エネルギー (KeV)	照射線量 (mR)	熱ルミネセンス線量計実測値 (mR)		線量平均値	相対感度比 $\left(\frac{\text{熱ルミ線量}}{\text{照射線量}}\right)$
		* (上)線量測定値(下)			
18	205	46	25	38	0.19
		57	23		
26	120	35	55	56	0.47
		88	47		
33	150	95	132	115	0.78
		94	140		
47	140	22	25	23	0.16
		26	19		
55	138	110	113	136	0.99
		173	146		
85	187	349	297	282	1.50
		263	218		
100	148	147	137	146	0.99
		140	161		
133	205	199	215	205	1.00
		188	218		
152	168	158	167	152	0.90
		154	128		
166	234	250	215	227	0.97
		216	227		
188	143	128	116	129	0.90
		132	139		
662 (Cs-137)	110	93	105	95	0.87
		101	82		
約900 (Ra-226)	500	543	508	493	0.99
		418	504		
1,250 (Co-60)	255	220	200	214	0.84
		215	220		

* 上下とは1ケースに2個の素子が入っているため

Table 6より一見してわかるように、各線量計ともエネルギーが50KeV以上であれば比較的個体差によるバラツキが少ないがエネルギーが低くなるとかなりバラツキがあるのがわかる。ここでは一応各線量計とも測定値の平均を求め、その値を用いて議論を進めることにする。

各線量計の相対感度比すなわち実際に照射された線量に対する各線量計の読み値の比をグラフに表わしたのがFig.3～Fig.5である。個人被ばく線量計としての運用に際して、広いエネルギー範囲にわたり、依存性が少なく、すなわち相対感度比が1であれば、線量評価に当り、補正の必要がなく望ましい。しかし得られた各線量計は低エネルギー範囲では実際の照射線量よりも高い読みを示した。各線量計のエネルギー特性の特徴をまとめてみると、

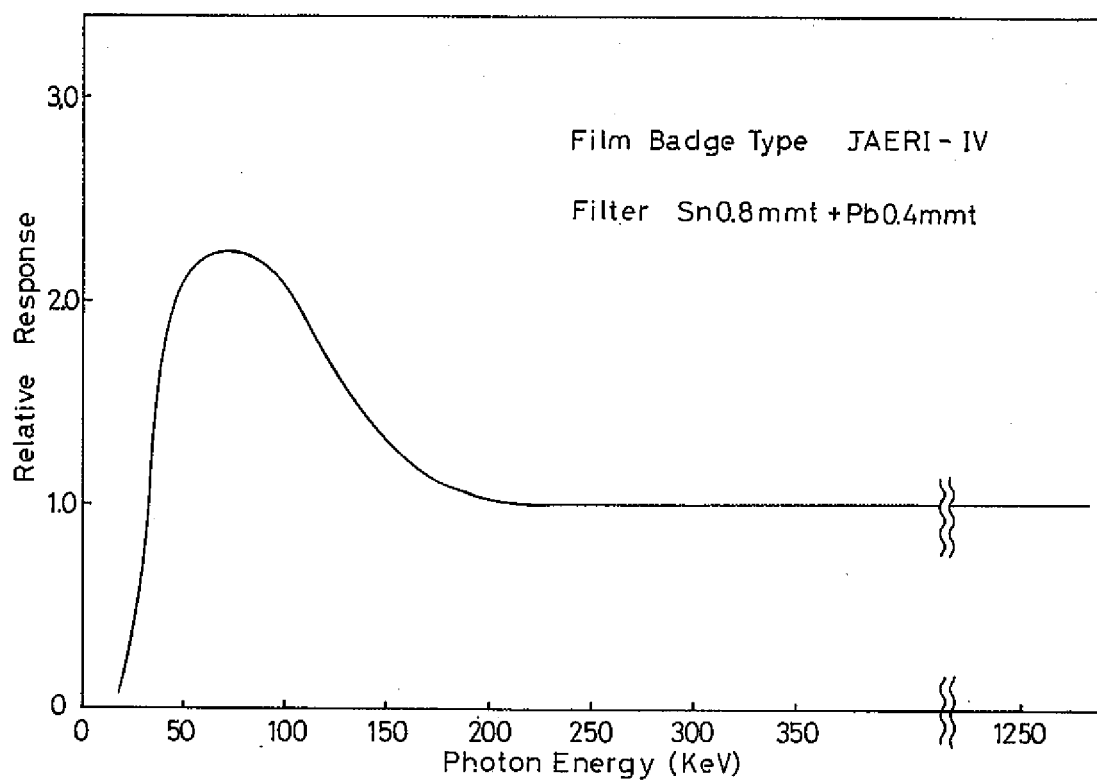


Fig. 3 フィルムバッジ線量計のエネルギー依存性

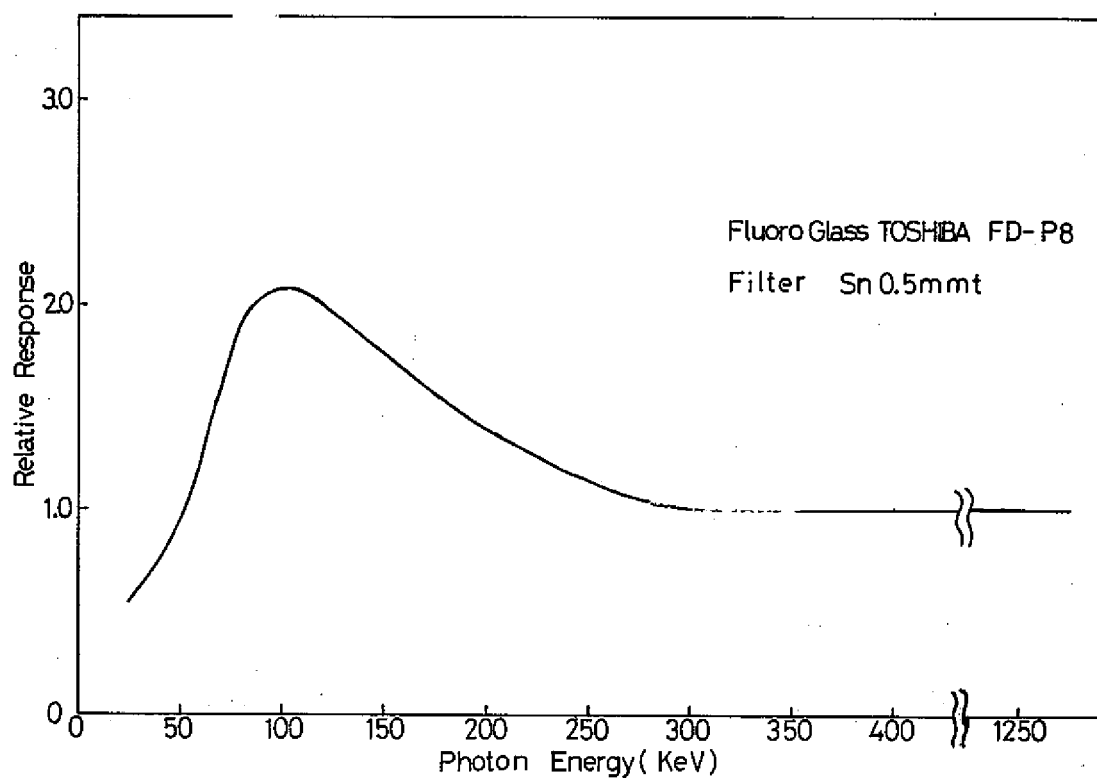


Fig. 4 蛍光ガラス線量計のエネルギー依存性

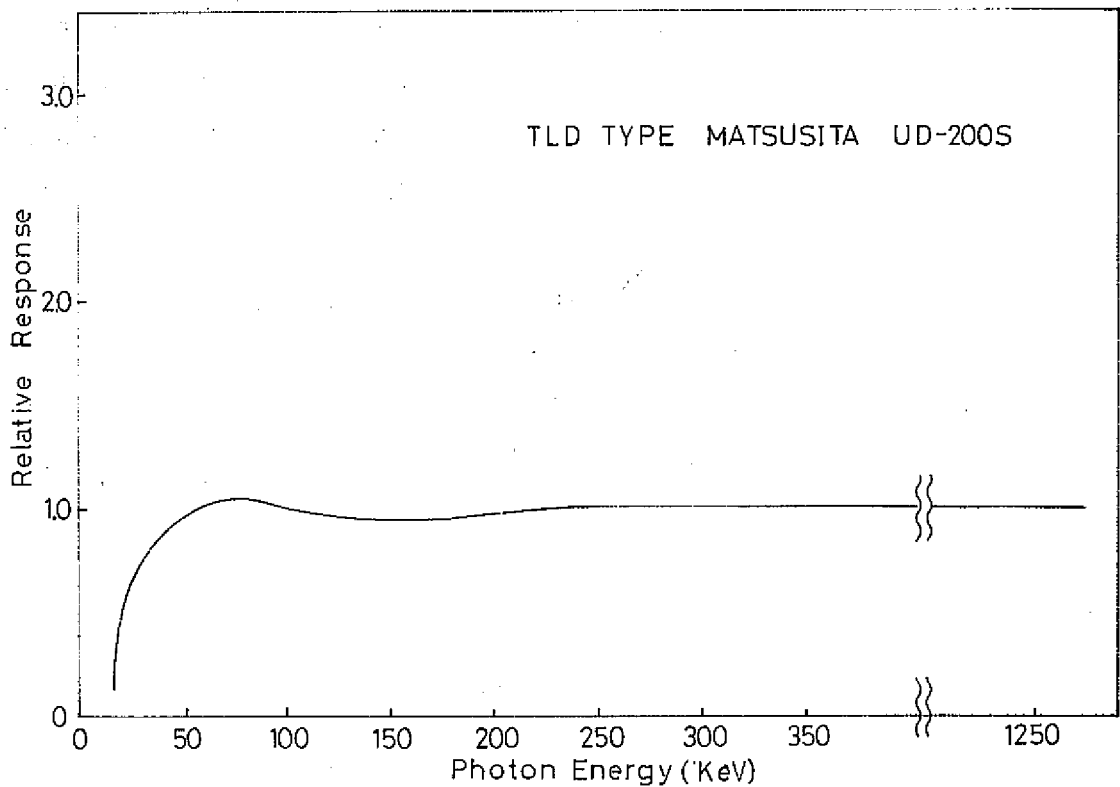


Fig. 5 熱ルミネセンス線量計のエネルギー依存性

(1) フィルムバツジ線量計

相対感度比のピークは70KeV附近であり約2.2でそれより低エネルギー側は以後急速に感度が悪くなるが約200KeV以上であれば、ほぼ特性カーブは平坦で相対感度比は1である。

(2) 蛍光ガラス線量計

フィルムバツジ線量計と同じく約100KeV附近に相対感度比のピークがあり約2.1である。蛍光ガラス線量計と同様に低エネルギー側は急速に感度が低くなり高エネルギー側も徐々に平坦になり300KeV以上ではほぼ1で一定である。

(3) 熱ルミネセンス線量計

前二種の線量計に比較して一番平坦なエネルギー特性をもち50KeVよりほぼ1で平坦である。

IV-2 プルトニウムによる照射試験

前節で各線量計のエネルギー依存性カーブが得られたが、プルトニウム取扱い作業者が実際に被

ばくするエネルギーとそのエネルギーでの各線量計の感度を知るために、プルトニウムを用いて各線量計を照射した。PuO₂粉末を入れたポリビンから一定距離での空間線量率をr-メータで測定し、時間を調整して、各線量計の照射線量を1回目669mR、2回目140mRとした。次に各線量計の前に厚さ1mmの鉛板を置き、低エネルギーX線をカットして各線量計を照射した。この3回目の照射線量は158mRである。以上3回の照射とも、r-メータの測定値を線量計の照射時間当りに補正した値を実際に線量計に照射した実照射線量とみなした。第1回と第2回の照射実験の各線量計の測定値および平均値をTable 7に、また厚さ1mmの鉛板のフィルタをした時の各線量計の測定値と平均値をTable 8に示す。

Table 7 プルトニウムによる照射試験結果

照射線量	線量計の種類	測定値 (mR)		測定値の平均値 (mR)
669mR	フィルム	980	1,070	1,025
	T L D	475	346	399
		370	406	
ガラス	450	300	375	
140mR	フィルム	200	200	200
	T L D	73	76	90 (76)*
		(129)	80	
ガラス	60	70	65	

* (76)は測定値(129)を除いた時の平均値を示す。

Table 8 鉛板(1mm厚)フィルタをした時のプルトニウムによる照射試験結果

照射線量	線量計の種類	測定値 (mR)		測定値の平均値 (mR)
160mR	フィルム	380	-	380
	T L D	123	-	109
		95	-	
ガラス	300	230	265	

IV-3 しやへい効果

グローブボックスに使用するホモライト板およびγ線しやへい材として広く利用されている鉛板に関して、プルトニウムからのX線およびγ線に対するしやへい効果については種々のデータがあるが、そのしやへい効果が線量計に与える影響については今まであまり検討がなされて

いなかつた。例えばしゃへい材によるアスペクトルの変化と線量計の感度との関係等の問題である。そこで今回X線発生装置で種々のエネルギーのX線をホモライト板および鉛板を通してフィルムバツジ線量計，蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計を照射し，そのしゃへい効果を検討した。各エネルギー別の照射線量，測定値および平均値をTable 9にまとめその結果をフィルムについてはTable 9に，ガラスについてはTable 10に，熱ルミネセンス線量計についてはTable 11にまとめて示す。ここでは測定結果のみを示すこととし，詳しい検討はV-4のところで述べる予定である。

Table 9 ホモライト板および鉛板のフィルムバツジ線量計に与えるしゃへい効果

エネルギー KeV	しゃへい物なし		ホモライト板しゃへい 厚さ 10 mm		鉛板しゃへい 厚さ 1 mm	
	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)
18KeV	110	<10	135	<10	-	-
		<10		<10		-
		<10		<10		-
33KeV	108	110	140	100	-	-
		70		180		-
		90		140		-
55KeV	122	260	100	280	-	-
		260		280		-
85KeV	124	280	103	260	-	-
		280		260		-
133KeV	219	330	185	280	-	-
		330		280		-
188KeV	104	110	178	200	40	40
		110		200		40

Table 10 ホモライト板および鉛板の蛍光ガラス線量計に与えるしゃへの効果

エネルギー KeV	しゃへの物なし		ホモライト板しゃへの 厚さ 10 mm		鉛板しゃへの 厚さ 1 mm	
	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)
18KeV	205	<20	135	<10		
		30		<10		
33KeV	150	100	140	<10	-	
		110		10		
		105		10		
55KeV	138	120	100	120	-	-
		160		120		
		140		120		
85KeV	187	390	103	220	-	-
		360		220		
		375		220		
133KeV	205	470	185	420		-
		470		420		
		470		420		
188KeV	143	240	178	290	40	70
		250		290		70
		245		290		70

Table 11 ホモライト板および鉛板の熱ルミネセンス線量計に与えるしゃへの効果

エネルギー KeV	しゃへの物なし		ホモライト板しゃへの 厚さ 10 mm		鉛板しゃへの 厚さ 1 mm	
	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)	照射線量 mR	測定値及び 平均値 (mR)
18KeV	110	-	135	26	-	-
		-		24		-
33KeV	108	78	140	85	-	-
		78		141		-
		148		113		-
55KeV	122	136	100	74	-	-
		142		101		-
		132		88		-
85KeV	124	125	103	137	5	9
		129		114		10
		212		126		9.5
133KeV	219	209	185	196	-	-
		211		199		-
		88		198		-
188KeV	104	94	178	190	-	-
		91		176		-
		91		183		-

V 考 察

V-1 諸特性データ

フィルムバッジ線量計，蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計のエネルギー依存性に関するデータはメーカーその他研究機関より発表されている。線量計にエネルギー補正用フィルタの材質，厚さ等を種々変えて，その条件でのエネルギー依存性についてのデータをまとめてみた。比較参考にしたものとしては，フィルムバッジ線量計については動燃と原研，蛍光ガラス線量計については動燃，原研，東芝および放同協，熱ルミネセンス線量計（TLD）については動燃，松下電器のデータを比較した。以後各線量計について個別的に述べる。

(1) フィルム・バッジ線量計

動燃で求めたエネルギー依存性カーブ Fig.3と原研で求めたカーブ Fig.6を比較検討した。^{*} 二つの特性カーブはほぼ同じ傾向を示している。70 KeV前後に相対感度比のピークを示し，200 KeV以上では照射線量とフィルムの読みは1対1に対応している。両者カーブ特性をまとめてTable12に示した。

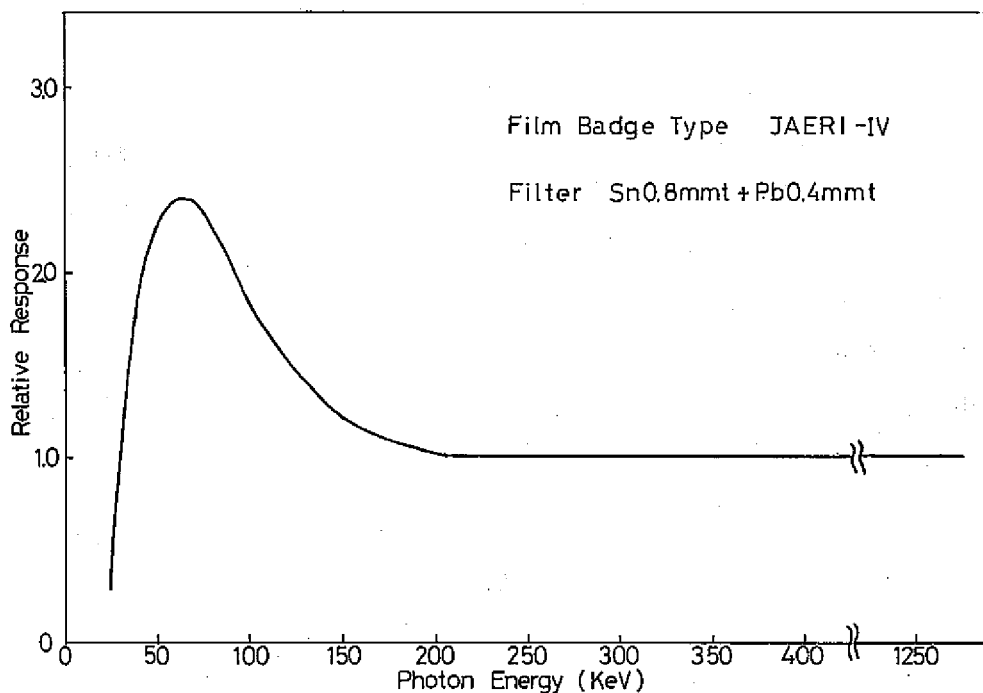


Fig. 6 フィルムバッジ線量計のエネルギー依存性

— 原 研 デ ー タ —

* 原研東海研究所保健物理安全管理部線量計測課より入手

Table 12 フィルムバツジ線量計のデータ比較一覧表

特性カーブ名 比較項目	PNO特性カーブ	JAERI 特性カーブ
感度比が最大となるエネルギー	70KeV	65KeV
最大感度比	2.25	2.40
感度比 0.8 を与えるエネルギー	32KeV	29KeV
感度比 1.0 を与えるエネルギー	200KeV	200KeV

Tableを一見してわかるように両者はほぼ一致した特性を示している。Table中の感度比 0.8 を与えるエネルギーという項目は感度比が 0.8 までであればフィルムの実測値にエネルギーによる感度依存に対する補正を加えなくとも使用可能な一応の目安のために示したものである。また感度比 1.0 を与えるエネルギーは低エネルギー側に 1 点 (35KeV 前後) と高エネルギー側に (200KeV 前後) 考えられるが、Tableでは高い方を示している。このTableよりフィルムバツジ線量計はフィルムに照射される実効エネルギーが 30KeV 以上であれば使用可能で 200KeV 以上のエネルギーであれば、測定値の信頼度はかなり高いと結論づけることができる。

(2) 蛍光ガラス線量計

蛍光ガラス線量計は 5 回の特性比較試験では東芝製 FD-P 8 型をスズ 0.5mm 厚のフィルタでカバーしたものを使用した。プルトニウム取扱い作業者の手の局部被ばく測定用には FD-P 6 型を使っているため FD-P 6 型についてのデータも集めてみた。FD-P 8 型については既に Fig. 4C に示した動燃で得た特性カーブの他に Fig. 7C に日本放射性同位元素協会発行の個人外部被ばくモニタリングの手引より引用したエネルギー特性カーブ^{*}を示す。補償用フィルタはルサイト 2mm 厚、スズ 0.5mm 厚、およびスズ 1.0mm 厚である。今回の特性比較試験では補償用フィルタはスズ 0.5mm 厚であるが比較参考のため条件は異なるが、東芝発表のカタログより求めた特性カーブ^{**}を Fig. 8C に、原研でのカーブ^{**}を Fig. 9C に示す。東芝のカーブはプラスチック 1mm 厚、スズ 0.9mm 厚の条件であり、原研のカーブはフィルタなしの状態、ルサイト 1mm 厚、スズ 1.0mm 厚の条件より求めたものである。

* 個人外部被ばくモニタリング手引 日本放射性同位元素協会発行 昭和 39 年 9 月

** 東芝製蛍光ガラスホルダに付属したカタログより引用

** 原研東海研究所保健物理安全管理部線量計測課より入手 (未発表データ)

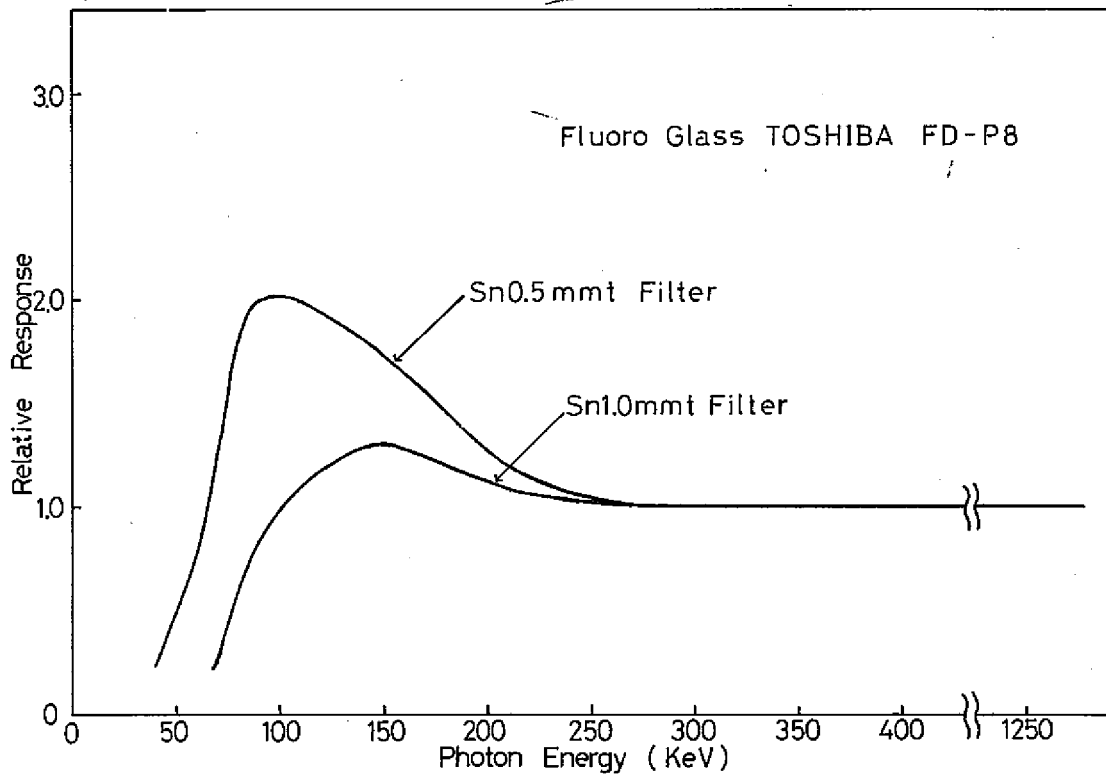


Fig. 7 蛍光ガラス線量計の (FD-P 8型) のエネルギー依存性
 放射同協発行 個人外部被ばくモニタリングの手引のデータ

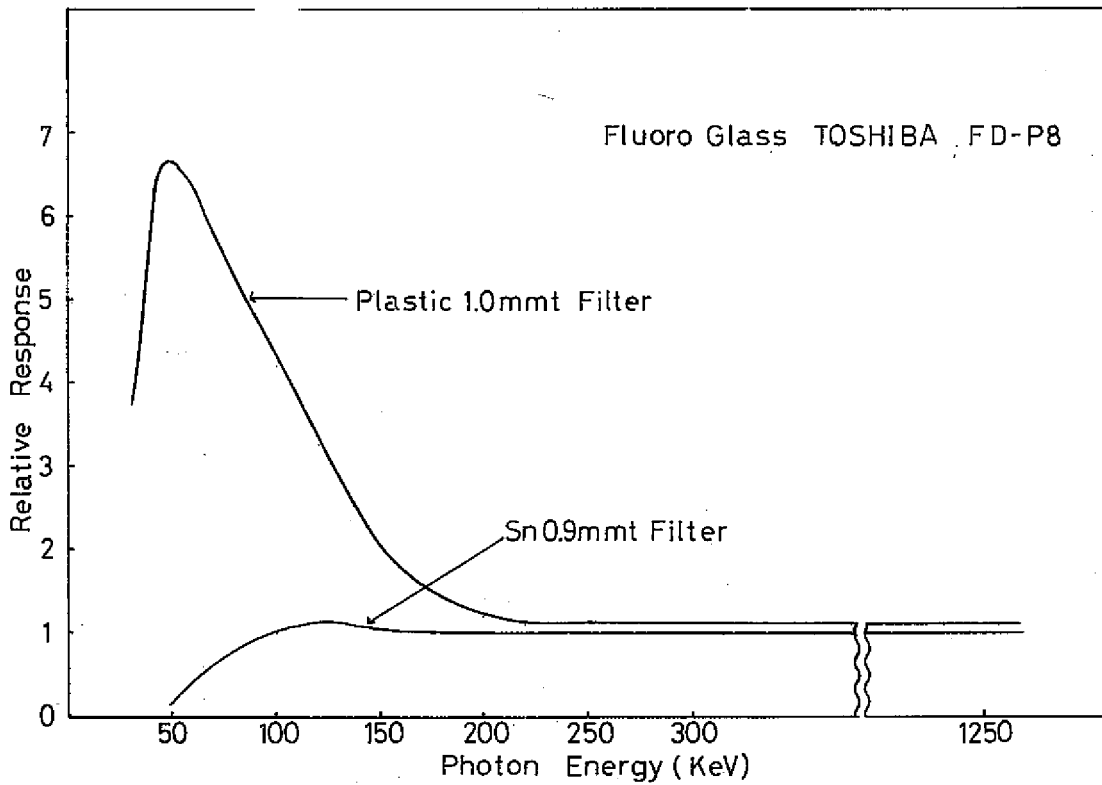


Fig. 8 蛍光ガラス線量計 (FD-P 8型) のエネルギー依存性
 — 東芝カタログのデータ —

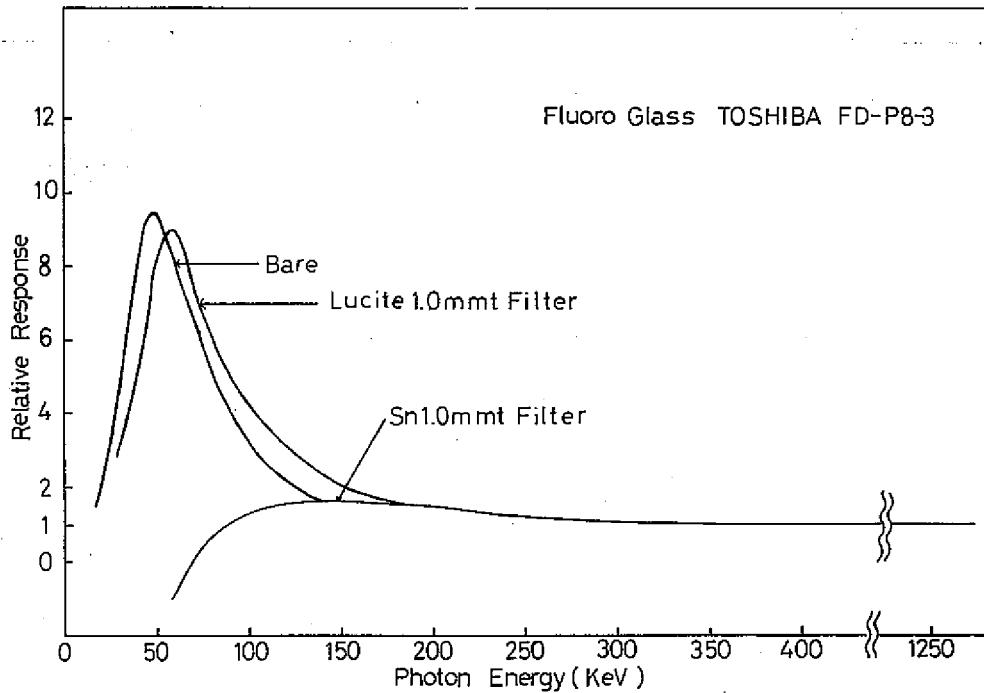


Fig. 9 螢光ガラス線量計 (FD-P8型) のエネルギー依存性
 ——— 原研データ ———

フィルムバツジ線量計の場合と同様にFD-P8型螢光ガラス線量計のエネルギー特性に関する比較一覧表をTable13に示す。Tableをみてわかるように相対感度比が最大となるエネルギーは鉛フィルタが0.5mm厚の時には100KeV前後で約2.0程度である。また一応、エネルギーの補正をしなくとも測定可能な最低エネルギーは50KeVまでで、250KeV以上であれば、問題なく感度比が1.0で使用可能である。またフィルタが厚くなるに従つて感度比が最大となるエネルギーが高い方へ移るが感度比は平坦となる傾向がある。

Table13 螢光ガラス線量計 (FD-P8型) のデータ比較一覧表

特性カーブ名及び しゃへい条件 比較項目	PNC特性カーブ	放同協特性カーブ	東芝特性カーブ	JAERI特性カーブ
	Sn0.5mm t	Sn0.5mm t	Sn0.9mm t	Sn1.0mm t
感度比が最大となるエネルギー	100KeV	100KeV	125KeV	140KeV
最大感度比	2.08	2.02	1.14	1.60
感度比0.8を与えるエネルギー	41KeV	59KeV	78KeV	63KeV
感度比1.0を与えるエネルギー	300KeV	250KeV	150KeV	270KeV

FD-P6型螢光ガラス線量計に関する特性としては、動燃で求めた黄銅1.2mm厚補償用フィルタをした場合のデータをFig.10に示し、東芝で発表している黄銅1.2mm厚+鉛0.3mm厚フィルタの特性カーブ^{*}をFig.11に示す。両者のエネルギー特性カーブの比較を

* 東芝製螢光ガラスホルダーに付属したカタログより引用

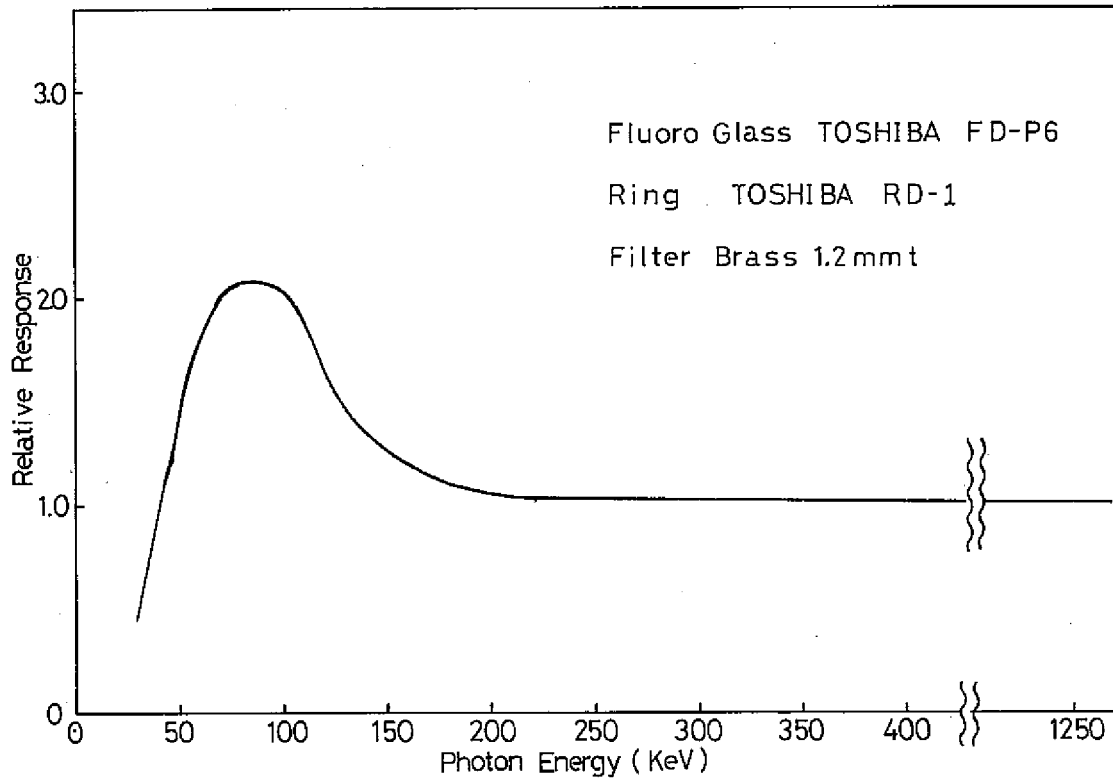


Fig. 10 螢光ガラス線量計 (FD-P6型) のエネルギー依存性
—— 動燃データ ——

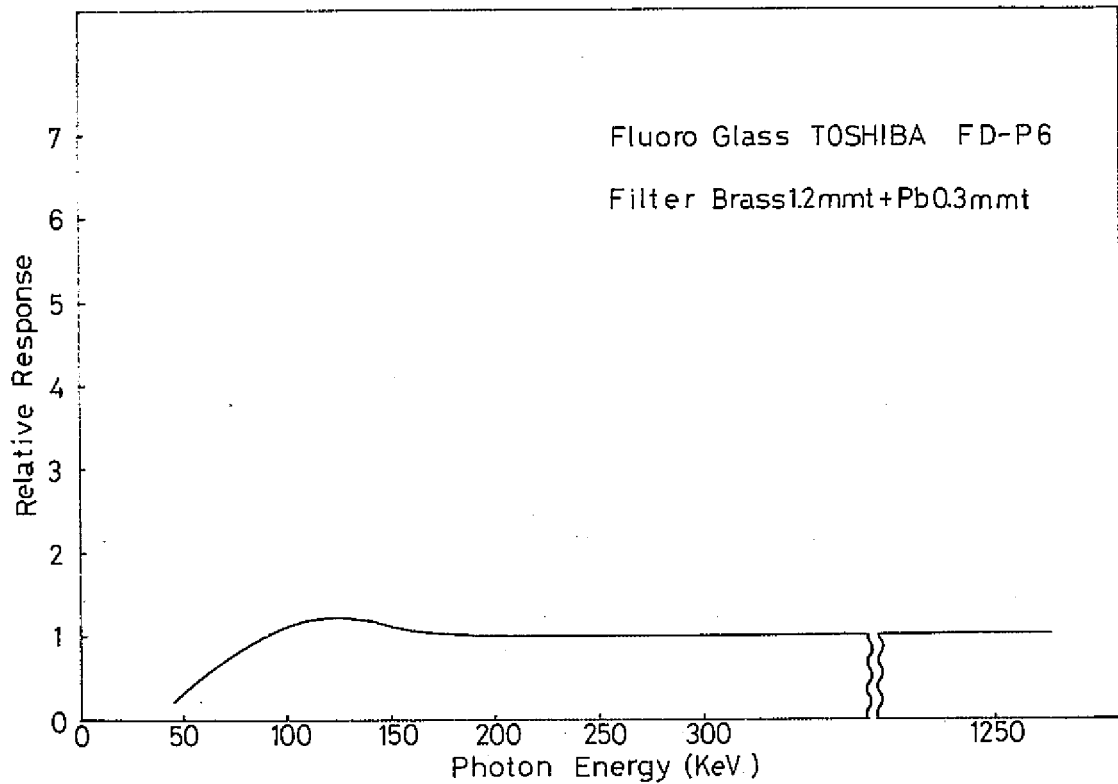


Fig. 11 螢光ガラス線量計 (FD-P6型) のエネルギー依存性
—— 東芝カタログのデータ ——

Table 14に示す。これより補償用フィルタが黄銅 1.2mm+鉛 0.3mm 厚の方が黄銅 1.2mm 厚フィルタだけのカーブに比べて平坦であるが、感度比 0.8 を与えるエネルギーは高くなっている。この Table により現在プルトニウム燃料開発室で手の局部被ばく線量測定用に使用している FD-P 6 型の黄銅 1.2mm 厚フィルタの状態では線量計に照射される実効エネルギーが 50KeV 以上であれば、エネルギーによる補正なしに測定可能である。

Table 14 蛍光ガラス線量計 (FD-P 6 型) のデータ比較一覧表

特性カーブ名及び しゃへい条件 比較項目	PNC 特性カーブ	東芝特性カーブ
	黄銅 1.2 mm	黄銅 1.2mm+鉛 0.3mm
感度比が最大となるエネルギー	85KeV	120KeV
最大感度比	2.08	1.20
感度比 0.8 を与えるエネルギー	46KeV	76KeV
感度比 1.0 を与えるエネルギー	200KeV	170KeV

(3) 熱ルミネセンス線量計

Fig.5 に示した今回の特性試験で求めたカーブの他に製造元である松下で発表している
*
カタログより引用したカーブを Fig.12 に示す。二つのカーブはほぼ同じ傾向を示しており
特性比較を Table15 にまとめてみた。

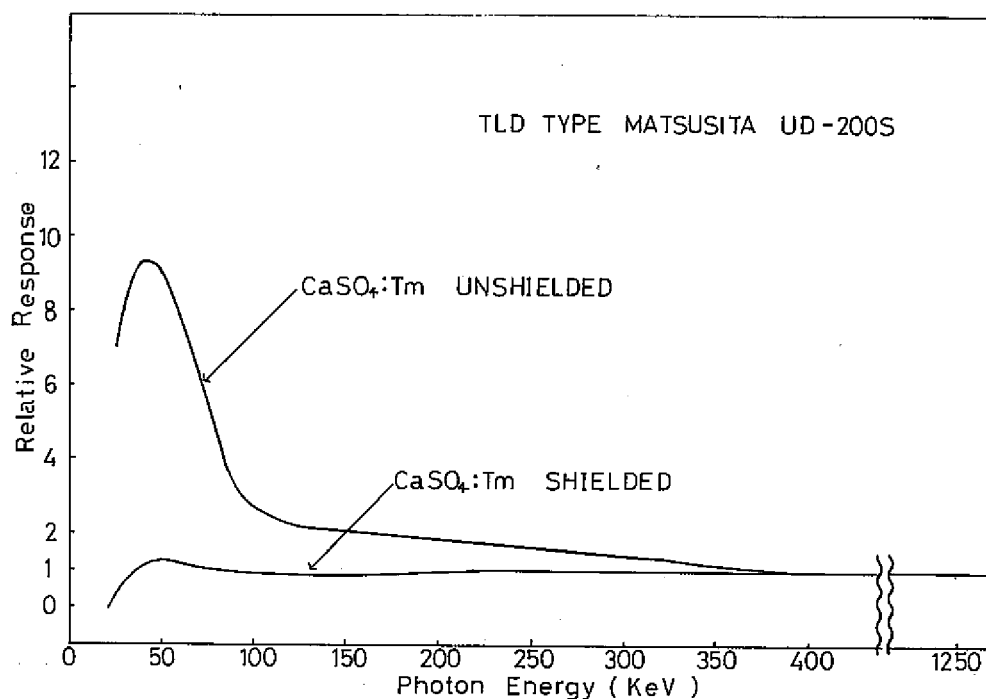


Fig. 12 熱ルミネセンス線量計のエネルギー依存性
—— 松下カタログのデータ ——

* 松下製熱ルミネセンス線量計に付属したカタログより引用

Table 15 熱ルミネセンス線量計のデータ比較一覧表

特性カーブ名 比較項目	PNC特性カーブ	松下特性カーブ
感度比が最大となるエネルギー	75KeV	50KeV
最大感度比	1.03	1.30
感度比 0.8 を与えるエネルギー	36KeV	32KeV
感度比 1.0 を与えるエネルギー	90KeV	70KeV

FigおよびTable から明らかなようにフィルム、ガラス線量計に比べて一番良いエネルギー特性を熱ルミネセンス線量計は示した。30KeV以上のエネルギーであればエネルギー補正なしで使用でき、80KeV以上であれば問題なく使用可能である。

V-2 特性比較

現在、動燃東海事業所で使用している個人被ばく線量計のエネルギー特性の比較をまとめTable16に示す。Table より熱ルミネセンス線量計がエネルギー特性より判断するかぎり最も良い特性をもっている。相対感度比はエネルギーが50KeV以上であればほぼ1で平坦な特性を示す。他の線量計は70KeV~100KeVの間に相対感度比のピークをもち、いずれも2以上の値であるため、線量を評価する際注意を要する。すなわち実際に被ばくした線量よりも高い読み取り線量を示すためエネルギーによる補正が必要となるかも知れない。

Table 16 現在使用している個人被ばく線量計のエネルギー特性比較一覧表

比較項目	線量計の種類	フィルムパツジ 線量計	ガラス線量計 FD-P8型	ガラス線量計 FD-P6型	熱ルミネセンス 線量計
		Sn0.8mmt+Pb0.4mmt	Sn0.5mm t	黄銅1.2 mm t	Sn0.5mmt+Pb1mmt
感度比が最大となるエネルギー		70KeV	100KeV	85KeV	75KeV
最大感度比		2.25	2.08	2.08	1.03
感度比 0.8 を与えるエネルギー		32KeV	41KeV	46KeV	36KeV
感度比 1.0 を与えるエネルギー		200KeV	300KeV	200KeV	90KeV

次に各線量計をプルトニウムで照射した場合、線量計相互の間の読み取り線量比を求めてみた。結果をTable17に示す。Table 中3回目照射の測定結果は各線量計の前に鉛板(1mm厚)のフィルタをした状態で照射した値である。鉛板のフィルタをした目的はTable16よりもわかるようにエネルギーが300KeV以上であれば三種の線量計とも相対感度比が1であるため、フィルタで低エネルギーX線およびγ線をカットした状態で線量計を照射すれば、各線量計の読み取り線量はほぼ近い値を示すことを予想したため行なつた。3回目照射結果に関し

Table 17 プルトニウム照射した場合の各線量計の読み取り線量比^{*}

照射 線量計	1回目照射 (669mR)	2回目照射 (140mR)	3回目照射 ^{**} (160mR)
T L D フィルム	$\frac{399(\text{mR})}{1025(\text{mR})} = 0.389$	$\frac{76(\text{mR})}{200(\text{mR})} = 0.380$	$\frac{109(\text{mR})}{380(\text{mR})} = 0.287$
ガラス フィルム	$\frac{375(\text{mR})}{1025(\text{mR})} = 0.366$	$\frac{65(\text{mR})}{200(\text{mR})} = 0.325$	$\frac{265(\text{mR})}{380(\text{mR})} = 0.697$
ガラス T L D	$\frac{375(\text{mR})}{399(\text{mR})} = 0.940$	$\frac{65(\text{mR})}{76(\text{mR})} = 0.855$	$\frac{265(\text{mR})}{109(\text{mR})} = 2.431$

* 高次化プルトニウム(PuO_2)を使用した。

** 3回目照射は各線量計の前に鉛板(1mm厚)のフィルタをした時の値

では良い結果が得られなかつた。フィルムバツジ線量計に対する熱ルミネセンス線量計の読み取り線量の相対比は1回目, 2回目の照射試験とも約0.4であつた。同様にフィルムバツジ線量計に対する蛍光ガラス線量計の相対比は0.35であり, 熱ルミネセンス線量計に対する蛍光ガラス線量計の相対比は0.9である。ただ注意すべきことはTable 16とTable 17はともにプルトニウムからのX線, γ 線を, しやへい物をおかないで各線量計を照射させた状態での測定結果であるため, しやへい物を通過したX線, γ 線を照射した状態とは異なつてゐるので注意を要する。

V-3 実効エネルギー

プルトニウム取扱い作業者が, 作業時に実際に被ばくするプルトニウムからのガンマ線のエネルギーが一体どれ位であるかをはあくすることは, 個人外部被ばく線量の評価に際し重要となる。現在まではプルトニウムの取扱い量が少ないことおよび外部被ばく線量が低い等の理由で特に被ばくエネルギーが問題でなかつたけれど, プルトニウム第2開発室の運転開始とともに取扱い量の増大, 外部被ばく線量の増加が予想され, エネルギーの決定が無視できなくなつてきた。特にフィルム・バツジ等の個人被ばく線量計のエネルギー特性が既に述べたように低エネルギー領域では平坦でないため線量計の読みがはたして真の被ばく線量を表現しているかどうか疑問視される。そこで個人被ばく用各線量計を実際にプルトニウムにより照射して真の照射線量に対する各線量計の読み取り線量の比すなわち相対感度比を求めその値よりエネルギー特性カーブを用いて被ばく実効エネルギーを算出してみた。プルトニウムによる1回目(669mR)と2回目(140mR)の測定値を用いて相対感度比を求めた結果をTable 18に示す。この場合も一応r-メータの読みを真の照射線量と仮定した。Table に示すように, 1回目と2回目の照射

Table 18 プルトニウムで照射した場合の各線量計の相対感度比

各線量計の読み r-メータの読み	1回目照射の 相対感度比	2回目照射の 相対感度比	平均値
フィルムの読み r-メータの読み	$\frac{1025(\text{mR})}{669(\text{mR})} = 1.53$	$\frac{200(\text{mR})}{140(\text{mR})} = 1.43$	1.48
TLDの読み r-メータの読み	$\frac{399(\text{mR})}{669(\text{mR})} = 0.60$	$\frac{76(\text{mR})}{140(\text{mR})} = 0.54$	0.57
ガラスの読み r-メータの読み	$\frac{375(\text{mR})}{669(\text{mR})} = 0.56$	$\frac{65(\text{mR})}{140(\text{mR})} = 0.46$	0.51

より算出した各線量計の相対感度比はかなり近い値を示し2回の平均値としては、フィルムが1.48, TLDが0.57, ガラスが0.51なる相対感度比であつた。次にこの値を用いて各線量計のエネルギー特性カーブより被ばく実効エネルギーを求めた値をTable 19にまとめた。

Table 19 各線量計の相対感度比より求めた被ばく実効エネルギー

線量計の種類	エネルギーを算出するに用 いた特性カーブ名	カーブより求めた エネルギー
フィルム	P N C (Fig. 3)	36 KeV
	J A E R I (Fig. 6)	34 KeV
T L D	P N C (Fig. 5)	30 KeV
	松 下 (Fig. 12)	30 KeV
ガ ラ ス	P N C (Fig. 4)	26 KeV
	放 同 協 (Fig. 7)	50 KeV

比較参考のために、今回求めた各線量計の特性カーブの他にメーカ、研究機関で得られた特性カーブより求めた被ばく実効エネルギーも合わせてTable 19にまとめた。3種類の線量計より算出されたエネルギーは30KeV~50KeVで動燃で得たエネルギー特性カーブより算出されたエネルギーの平均は31KeVである。

次にこの被ばく実効エネルギー31KeVをどう解釈すべきであるか検討してみた。プルトニウムの各同位体からは種々のエネルギーのX線、 γ 線が放出されている。代表的なものを取り上げてみると、Pu238からは17KeVの転換X線、43.8KeV, 99KeVの γ 線、Pu239では13.6KeV, 17.4KeV, 20.5KeVのX線、37KeV, 52KeVおよび100~400KeVの種々のエネルギーの γ 線、Pu241, Pu242の17KeVのX線、Am241の17KeVのX線、60KeVの γ 線等がおもな放射線である。以上の各種エネルギーの放射線が各同位体の存在比および各エネルギーの放射率に伴なつて重みがついて実効エネルギーが31KeVとなつているのである。

う。

なお被ばく実効エネルギーの決定にはシリコン半導体検出器を用いてグローブボックス周辺の γ 線エネルギースペクトルを測定し実効エネルギーを算出することを現在検討中である。

各線量計の読み取り線量と実照射線量の比はTableに示すとおりであるが、この比は被ばく管理上、応用することも可能である。ただし応用に際し各線量計の照射がプルトニウムからしゃへい物なしの状態で行なわれたという仮定でのみ適用可能である。この仮定を満足する状態であれば、フィルムバツジ線量計の読み取り線量の3分の2を実被ばく線量とみなし、同様に熱ルミネセンス線量計と蛍光ガラス線量計の場合には読み取り線量にそれぞれ1.8, 2.0をかけた値を実被ばく線量と評価する。

V-4 しゃへい効果

プルトニウムからのX線、 γ 線に対するホモライト板、鉛板その他アルミニウム板等のしゃへい効果に関しては今まで種々のデータ^{*}が得られているが、しゃへい効果が線量計に与える影響に関しては詳しい検討はなされていない。X線発生装置を用いて18KeVから188KeVまでの5点のエネルギーのX線を各線量計にしゃへい板を置かないで直接照射した場合と線量計の前へ10mm厚のホモライト板を置いて照射した場合の両者の比をTableにまとめた。

Table 20にはフィルムバツジ線量計のデータをまとめた。Fig.3を求めた時と同じように

Table 20 フィルムバツジ線量計の読みとホモライト板しゃへい効果の関係

エネルギー KeV	しゃへいなしの読み取り線量(mR) 照射線量(mR)	ホモライトしゃへいの 読み取り線量(mR) 照射線量(mR)	ホモライトしゃへいの線量比 しゃへいなしの線量比
18KeV	$\frac{10}{110} = 0.09$	$\frac{10}{135} = 0.07$	0.78
33KeV	$\frac{90}{108} = 0.83$	$\frac{140}{140} = 1.00$	1.20
55KeV	$\frac{260}{122} = 2.13$	$\frac{280}{100} = 2.80$	1.31
85KeV	$\frac{280}{124} = 2.26$	$\frac{260}{103} = 2.52$	1.12
133KeV	$\frac{330}{219} = 1.51$	$\frac{280}{185} = 1.51$	1.00
188KeV	$\frac{110}{104} = 1.06$	$\frac{200}{178} = 1.12$	1.06

* 例えば

H.H.Van Tuyl. Calculation of Gamma Dose Rates at the Surface of Plutonium Oxide Sources BNWL-1259 January 1970.

しゃへいなしの状態では線量計を照射した時のフィルムバツジ線量計の読み取り線量を照射線量で割った比、ホモライト板を通して照射した時の読み取り線量と照射線量の比および各エネルギーでのホモライト板のしゃへい効果を表わす目安として、ホモライト板を置いた時の感度比をしゃへい物を置かない時の感度比で割った値をそれぞれTable 1に示した。Table中、一番右側の項はもし比が1であれば、ホモライト板によるしゃへい効果がないことを表わしており、1より小さければ、ホモライト板により減衰していることを表わしている。表現を言い変えるとFig.3で求めたエネルギー依存性カーブからのずれの程度をこの項は表わしている。フィルムバツジ線量計と同じ考え方で、螢光ガラス線量計についてTable 21に、また熱ルミネセンス線量計についてTable 22に示す。Table 中一番右側の項の値をグラフ化して表わしたのがFig.13である。グラフより照射するエネルギーが100KeV以上であればホモライト板によるしゃへい効果はほとんど期待できないことが判明する。

またV-3で求めたプルトニウムからのX線およびγ線の平均エネルギーが31KeVと考え、そのエネルギーでのホモライト板によるしゃへい効果をグラフより求めてみた。フィルム、ガラス、熱ルミネセンス線量計のカーブの31KeVでの比の平均は0.87、すなわち約1割の減衰

Table 21 螢光ガラス線量計の読みとホモライト板しゃへい効果の関係

エネルギー KeV	しゃへいなしの読み取り線量(mR)	ホモライトしゃへいの 読み取り線量(mR)	ホモライトしゃへいの線量比
	照射線量(mR)	照射線量(mR)	しゃへいなしの線量比
18KeV	$\frac{30}{205} = 0.15$	$\frac{10}{135} = 0.07$	0.47
33KeV	$\frac{105}{150} = 0.70$	$\frac{10}{140} = 0.07$	0.10
55KeV	$\frac{140}{138} = 1.01$	$\frac{120}{100} = 1.20$	1.19
85KeV	$\frac{375}{187} = 2.00$	$\frac{220}{103} = 2.14$	1.07
133KeV	$\frac{470}{205} = 2.29$	$\frac{420}{185} = 2.27$	0.99
188KeV	$\frac{245}{143} = 1.71$	$\frac{290}{178} = 1.65$	0.96

Table 22 熱ルミネセンス線量計の読みとホモライト板しゃへの効果の関係

エネルギー KeV	しゃへの読み取り線量 (mR) 照射線量 (mR)	ホモライトしゃへの読み取り線量 (mR) 照射線量 (mR)	ホモライトしゃへの線量比 しゃへのなしの線量比
18KeV	—	$\frac{25}{135} = 0.19$	—
33KeV	$\frac{78}{108} = 0.72$	$\frac{113}{140} = 0.81$	1.13
55KeV	$\frac{142}{122} = 1.16$	$\frac{88}{100} = 0.88$	0.76
85KeV	$\frac{129}{124} = 1.04$	$\frac{126}{103} = 1.22$	1.17
133KeV	$\frac{211}{219} = 0.97$	$\frac{198}{185} = 1.07$	1.10
188KeV	$\frac{91}{104} = 0.88$	$\frac{183}{178} = 1.03$	1.17

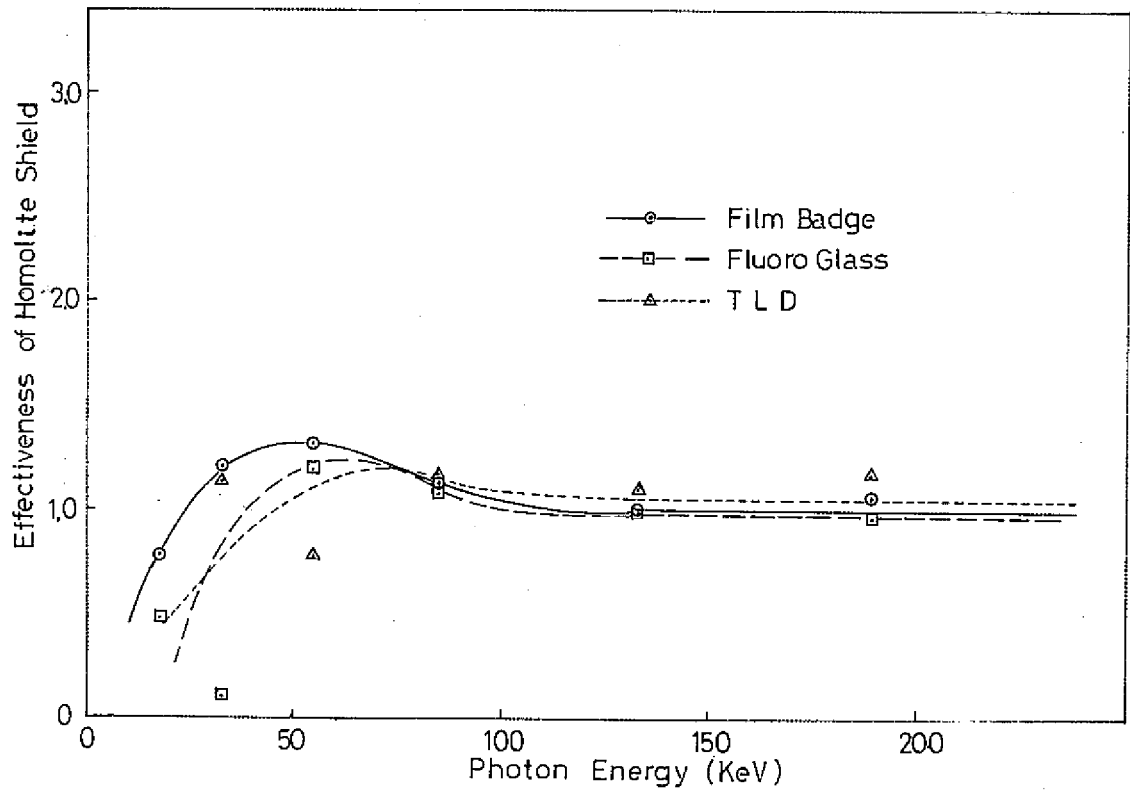


Fig. 13 個人被ばく線量計の読みとホモライト板しゃへの効果の関係のグラフ

効果しか期待できない。このことは別の面でも裏付けられる。X線発生装置で33KeVのエネルギーのX線を発生させ、測定点でのホモライト板(10mm厚)しゃへいをした状態としない状態とでX線々量率をキューティ・パイ型電離箱式サーベイメータで測定した。測定結果はしゃへいなしで90mR/hr,しゃへいすると74mR/hrで約18%程減衰した。すなわちホモライト板(10mm厚)のしゃへいではプルトニウムからのX線およびγ線は約1割,大きく見積つて2割程度の減衰効果があるものと考えられる。

V-5 特殊作業時の外部被ばくデータ

プルトニウム燃料開発室では今までにFCA用燃料開梱作業や高次化プルトニウムの取扱い作業時には外部被ばく管理用特別モニタリングプログラムを実施してきた。作業時に被ばく測定した値と今回の特性比較試験で得たデータとを比較検討した。

1969年11月から翌年1月にかけて行なわれたFCA用燃料開梱作業時に作業パネルの前面へフィルムバツジ線量計と螢光ガラス線量計(スズ0.5mm厚シールドのFD-P8型)とを並べてはり付けた。結果はフィルムが564mRまたガラスが170mRで螢光ガラス線量計のフィルムバツジ線量計に対する読み取り線量の比は0.3であつた。この値はV-2の特性比較の節中のTable 17でのガラス対フィルムの比が0.33~0.37であるので良い近似であつた。

次に高次化プルトニウム(PuO₂-UO₂ 4.5Kg)を用いた作業時の被ばくデータを検討した。グローブボックス作業者が鉛相当量0.3mm厚のプロテクタをつけプロテクタの裏側すなわち身体側にフィルムバツジ線量計と熱ルミネセンス線量計を付け被ばく線量を測定した。結果はフィルムが20mR,熱ルミネセンス線量計が,22.5mRで熱ルミネセンス線量計のフィルムに対する読み取り線量比は1.1であつた。このことはプロテクタでプルトニウムからのX線およびγ線の低エネルギー成分がカットされ,既に求めた各線量計のエネルギー特性カーブからみまるとおり相対感度比が1の領域のみが線量計に照射されたことを意味付ける事実である。

高次化プルトニウム取扱い作業者が着用したフィルムバツジ線量計と熱ルミネセンス線量計の読み取り線量と両者の比をTable 23にまとめた。

Table 23 高次化プルトニウム取扱い作業時の外部被ばくデータ

作業者名	フィルムバツジ線量計の測定値	熱ルミネセンス線量計の測定値	TLD フィルム
作業者1	170mrem	36 mrem	0.18
作業者2	200 "	43.5 "	0.22
作業者3	150 "	37.5 "	0.25
平均	173 "	39.0 "	0.23

熱ルミネセンス線量計の読み取り線量のフィルムバッチ線量計の読み取り線量に対する比は Table 17 に示すとおり平均で 0.23 であり、この値は Table 17 での値と異なっている。原因としては Table 17 の値はプルトニウムからの X 線および γ 線を直接、線量計を照射した時の値であり Table 23 の値は実際のグローブボックス作業を行なう複雑な環境系での照射の値であるのでこの照射条件の差に基づくものと考えられる。実際の作業環境の X 線および γ 線場に関するさらに詳しい検討を行なう計画である。

V-6 今後の計画

今回の個人被ばく線量計の特性試験ではおもに各線量計のエネルギー特性を中心に考察を加えてきたが、個人被ばく管理の測定および評価上解決すべき問題点は多い。中でも重要な問題は被ばく実効エネルギーの概念の確立と実効エネルギーの決定である。実効エネルギーの決定には照射条件が単純なものからより複雑なものへ検討を重ね被ばく評価をより正確にする必要がある。プルトニウム取扱い作業者が被ばくする γ 線場として

- (1) プルトニウムからの X 線および γ 線を直接被ばくする場合
- (2) プルトニウムの X 線や γ 線をホモライト板を通して被ばくする場合
- (3) (2) のより複雑な系としてホモライトの他にアルミのキャンや鉛板その他のしゃへい材を通過した放射線を被ばくする場合
- (4) (1)(2)(3) を組み合わせた混合場でグローブボックス作業者が被ばくする場合

今回の特性試験ではおもに (1) と (2) の状態に着目したが、実際にプルトニウム取扱い作業者は (4) の状態で被ばくするわけであるから今回の試験では (3)、(4) の状態に着目しその状態での被ばく実効エネルギーの決定および線量評価方法の確立を計画している。既に V-2、V-3 で述べた方法を応用して、ホモライト板やアルミニウムの板その他鉛板等によるしゃへいをした場合の各線量計の相対感度を求め、エネルギー特性カーブより実効エネルギーを推定する方法とまたリチウムドリフト型シリコン半導体検出器を用いてグローブボックス周辺の低エネルギー γ 線エネルギースペクトルを求め実効エネルギーを決定する計画を進めている。実効エネルギーが求まると、線量評価の正確度は高くなるものと期待される。

VI 結 言

個人外部被ばく線量計の諸特性のうちエネルギー依存性について、フィルムバツジ線量計、蛍光ガラス線量計および熱ルミネセンス線量計の特性比較試験を実施した。またプルトニウム取扱作業員の被ばく実効エネルギーおよびホモライト板のしゃへい効果についても若干の考察を加えた。以下得られた結果を列挙する。

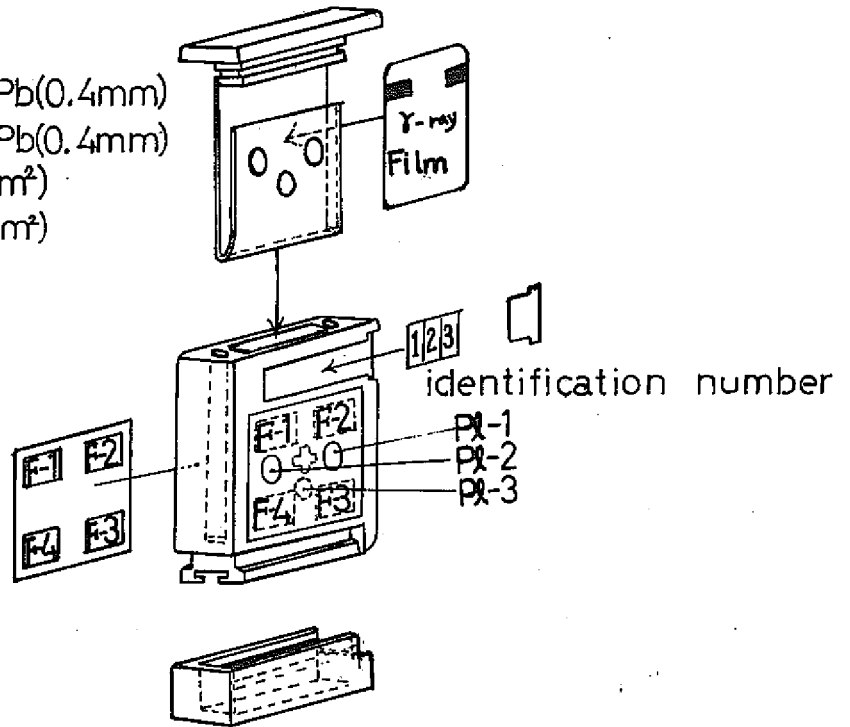
1. 現在動燃東海事業所で使用している各種個人被ばく線量計の18KeV~1.3MeVのエネルギー依存性カーブを求めた。また線量計製作メーカー、その他研究機関で発表しているデータと比較検討した。各種線量計のうちエネルギー特性よりみれば、熱ルミネセンス線量計が最も良く35KeV以上であれば補正なしで使用可能である。
2. プルトニウム取扱作業員が作業時に被ばくする実効エネルギーは何もしゃへい材がなければ31KeV程度である。これは線量計の感度比とエネルギー特性カーブより求めた値である。
3. プルトニウムで照射された時の各線量計の読み取り線量比を求めた。この値を利用して被ばく線量の評価の信頼度を高めることを将来計画しているが、現時点ではフィルムバツジ線量計の読み取り線量は安全側の値を示していると考えるので読み取り線量値を被ばく線量とみなして当面管理していく。
4. グローブボックスに使用するホモライト板のしゃへい効果が各線量計に与える影響について検討した。ホモライト板はプルトニウムからのX線およびγ線に対して約1~2割の減衰効果しか期待できない。

最後にX線発生装置による照射に協力していただいた原研東海研究所の線量計測課の皆様へ感謝の意を表します。またプルトニウム照射にあたり支援していただいた安全管理課の皆様へ御礼申し上げます。

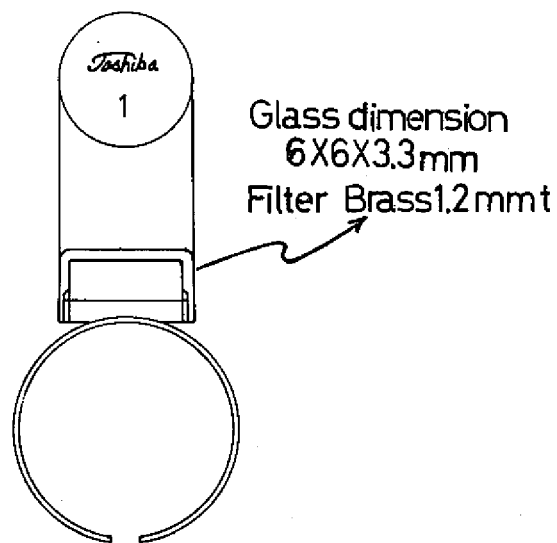
Film Badge Type JAERI-IV

Filter Thickness

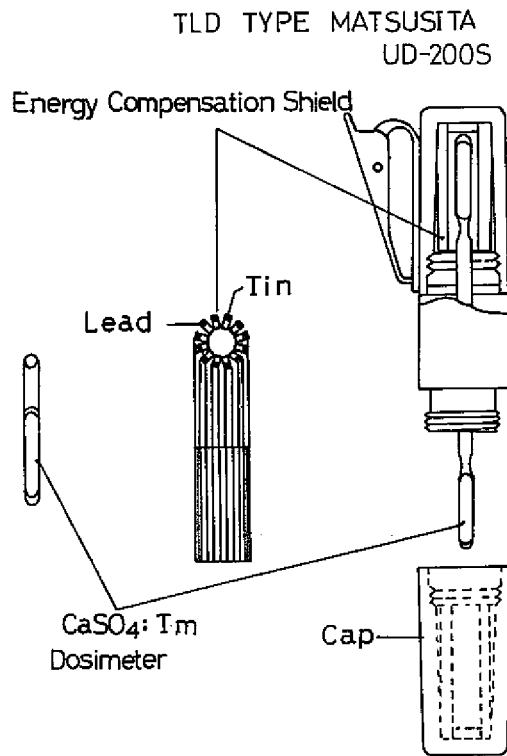
- Pl-1 0.45mm
- Pl-2 1.20mm
- Pl-3 3.00mm
- F-1 Cd(0.8mm)+Pb(0.4mm)
- F-2 Sn(0.8mm)+Pb(0.4mm)
- F-3 Sn(150mg/cm²)
- F-4 Al(150mg/cm²)



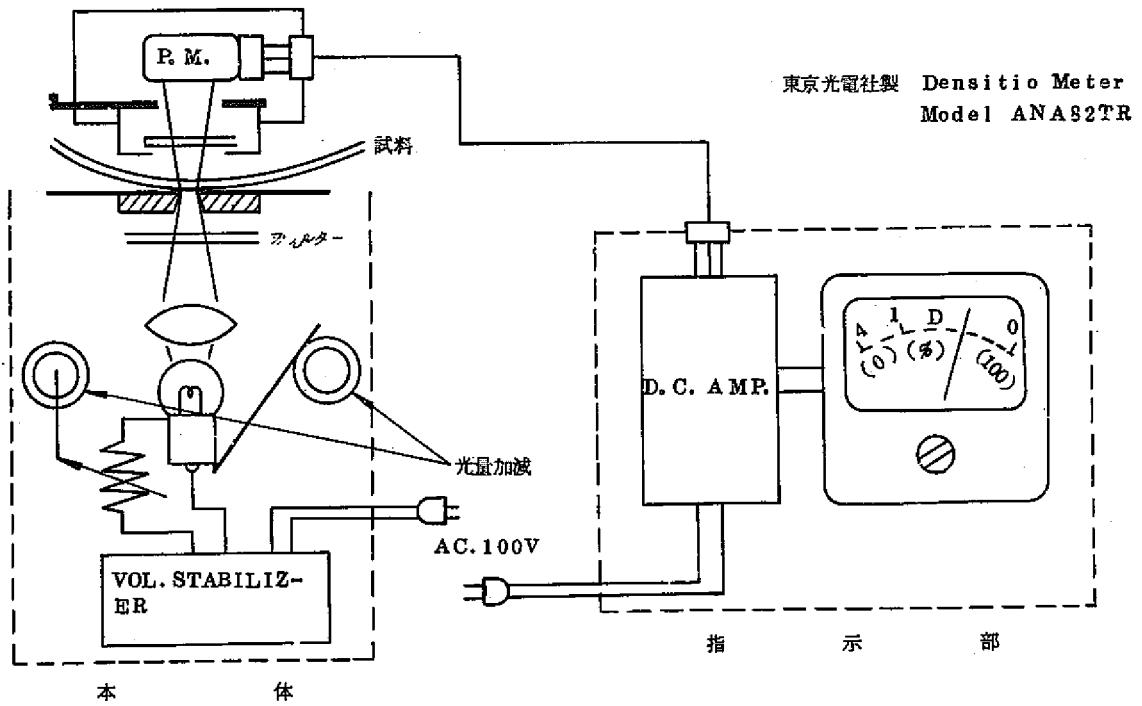
Appendix 1 フィルムバッジ線量計の構造図



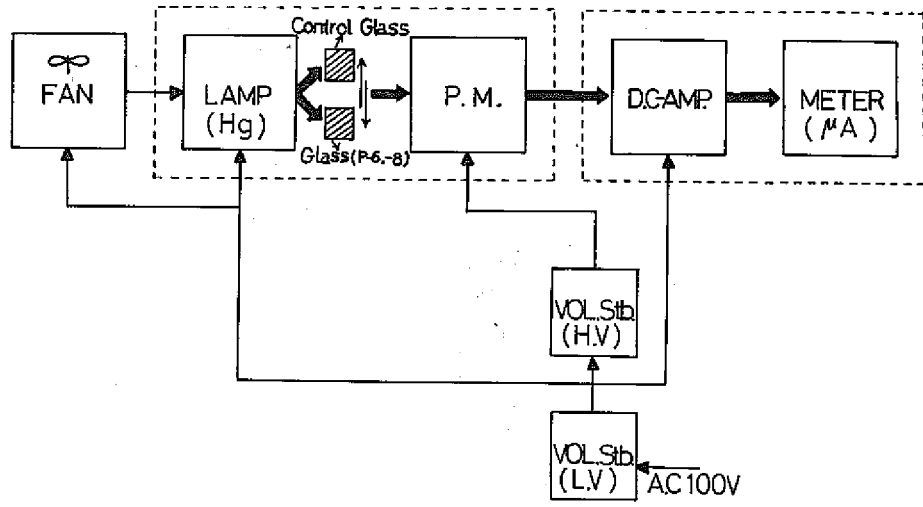
Appendix 2 蛍光ガラス線量計の構造図



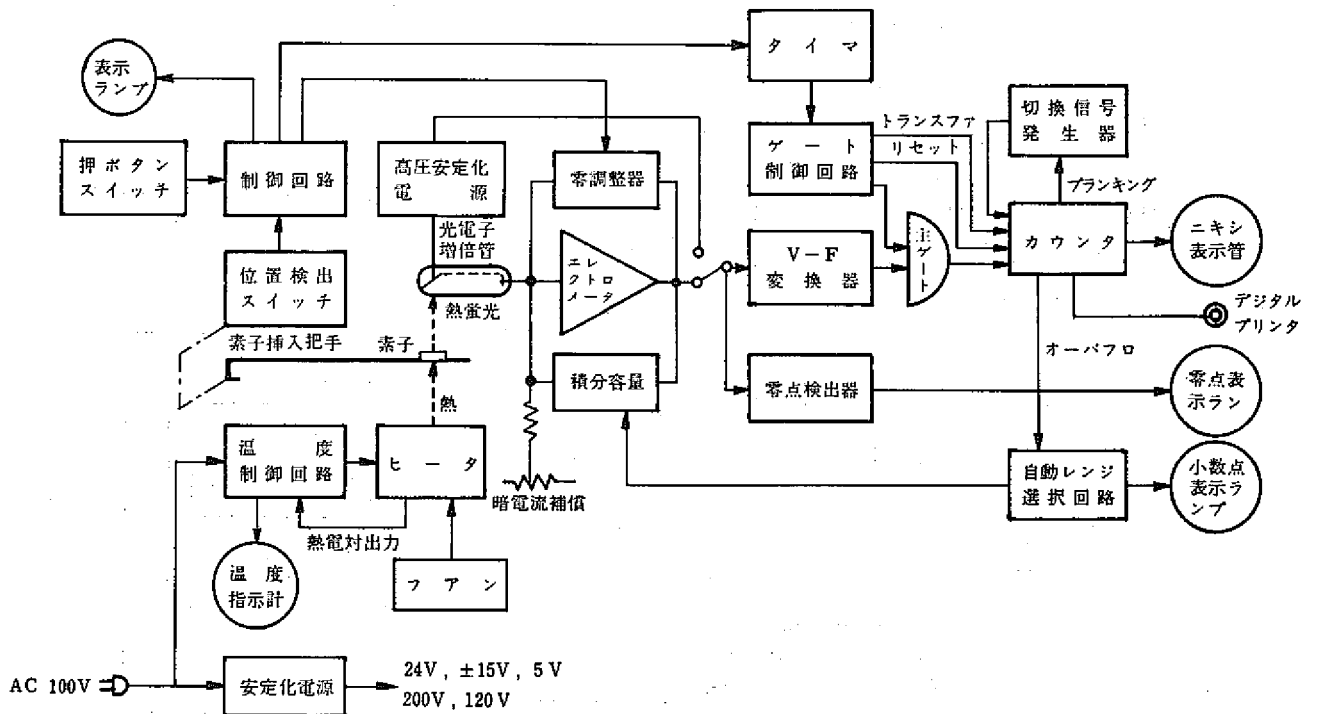
Appendix 3 熱ルミネセンス線量計の構造図



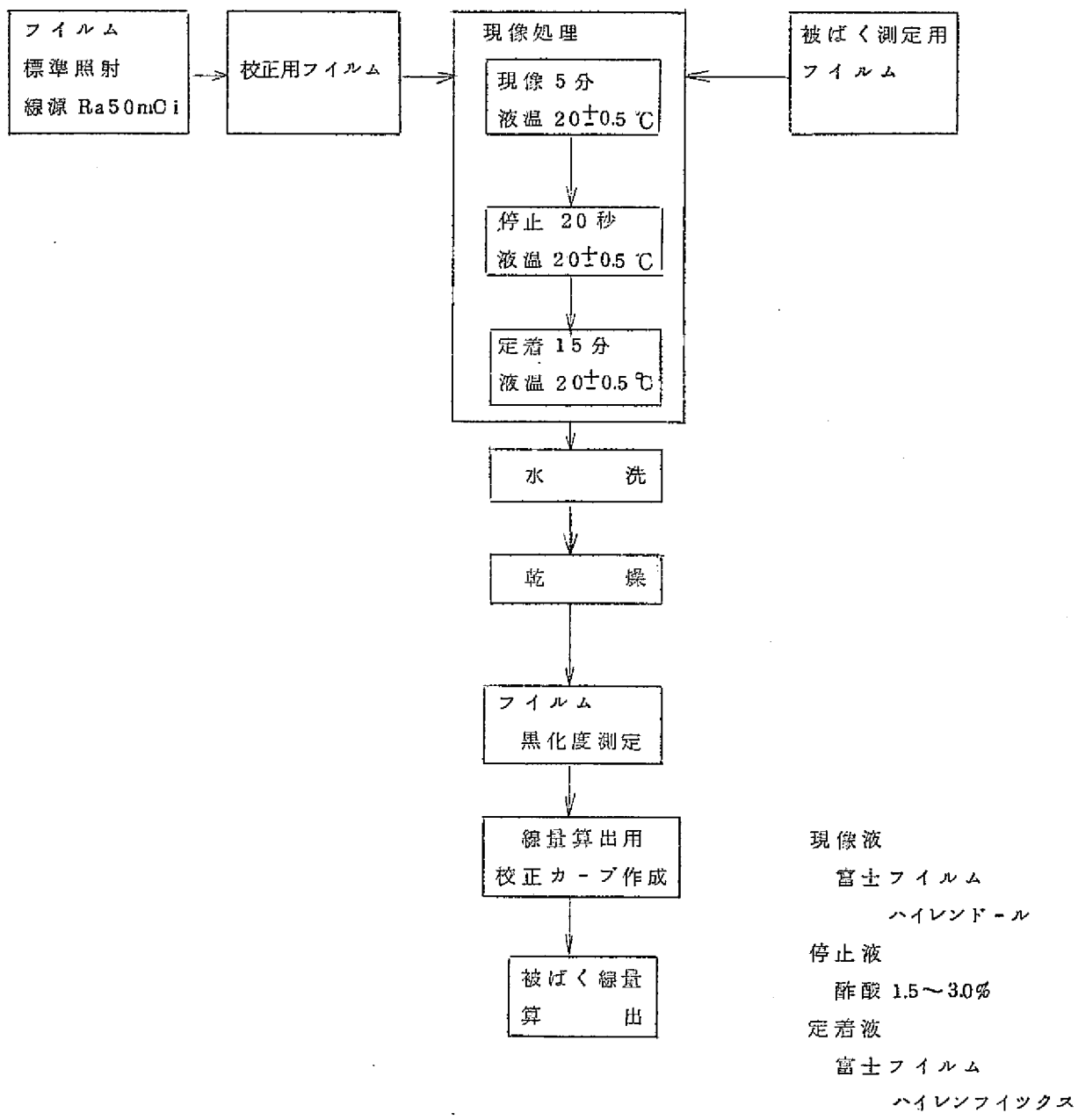
Appendix 4 フィルムバッジ線量計の読み取り装置の構造図



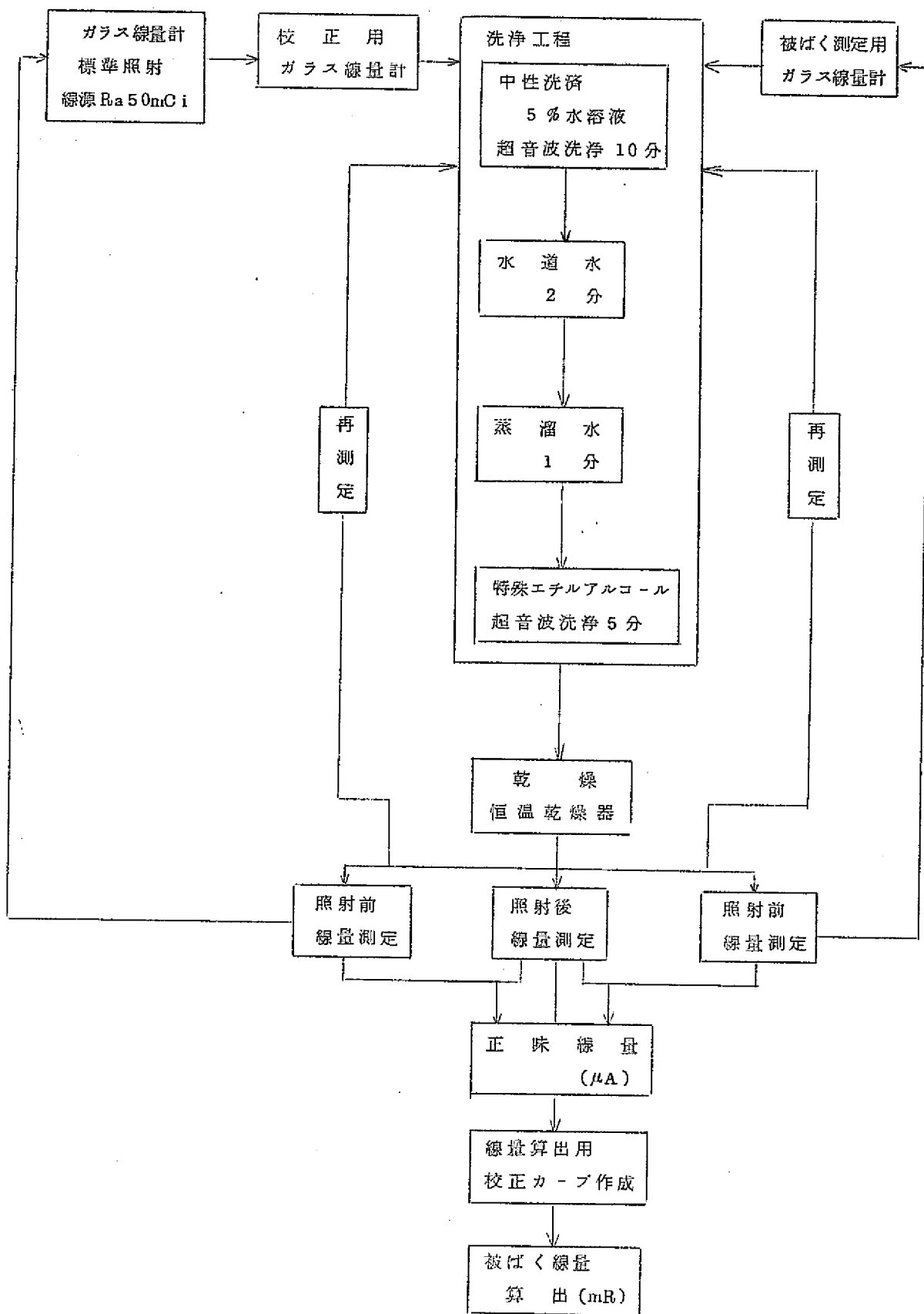
Appendix 5 螢光ガラス線量計の読み取り装置の構成図



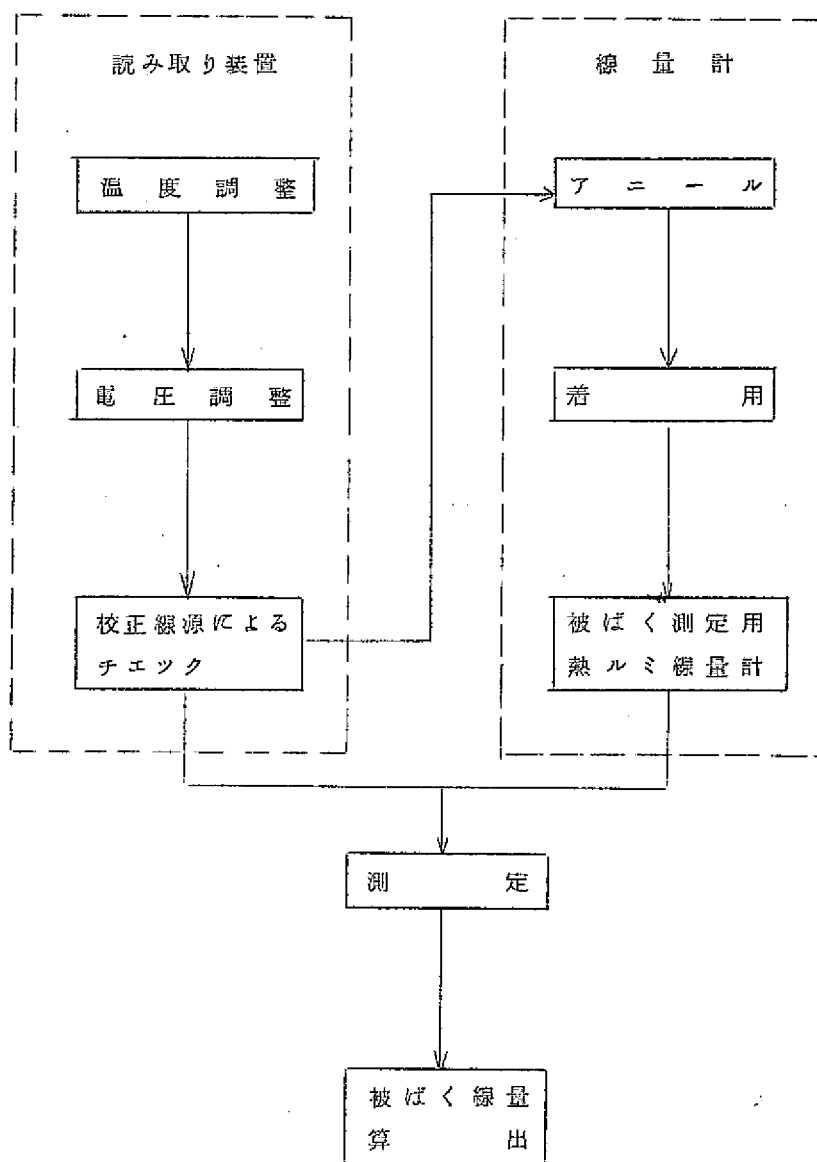
Appendix 6 熱ルミネセンス線量計の読み取り装置の構成図



Appendix 7 フィルム・バッジ線量計測定手順のフローチャート



Appendix 8 蛍光ガラス線量計測定手順のフローチャート



Appendix 9 熱ルミネセンス線量計測定手順のフローチャート

特性の種類	個人被ばく線量計			
	フィルムバッジ 線量計	蛍光ガラス線量計		熱ルミネセンス 線量計(UD-110S)
		FD-P6	FD-P8	
測定範囲 (直線性を示す)	10 mR ～ 1,000 R	20 mR ～ 5,000 R	20 mR ～ 3,000 R	0.1 mR ～ 20 R
エネルギー依存性	可	良	良	優
方向依存性	大きい	小さい	小さい	小さい
線量率依存性 ($10^{-3} \sim 10^3$ R/h)	ほとんど影響なし	ほとんど影響なし	ほとんど影響なし	ほとんど影響なし
被ばく後の経時変化	30日間で 15%以内	30日間で 約3%	30日間で 約3%	半年間で 8%以内
温度依存性 (0～30℃)	良	良	良	良
温度依存性 (相対温度70%以上)	影響あり	良	良	良
再現性	良	良	良	優
機械的強度	良くない	良	良	良
測定の即応性 (被ばく後の数値読みとり までの平均所要時間)	数時間	約30分	約30分	<数分
被ばく後試料の保存性	優	良	良	不可
くり返し測定使用	不可	数百回まで可能	数百回まで可能	数百回まで可能

Appendix 10 個人被ばく線量計の諸特性比較一覧