

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。 2007. 6. - 6

[技術情報室]

人形峠鉱業所における蛍光ガラス線量計 およびフィルムバッジ線量計の比較

線量計変更のための検討試験

Use of Film Badge and Fluoroglass Dosimeter for Personal
Monitoring at Ningyo-Toge Mining Office.

Experimental Study about Characteristics of Dosimeters.

1 9 7 1 年 1 1 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

人形峠鉱業所における蛍光ガラス線量計およびフィルムバッジ線量計の比較



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)
照 沼 捷 (安全管理課)
石 黒 秀 治 (安全管理課)

期 間 1970年7月1日～1970年12月28日

目 的 人形峠鉱業所における放射線作業従事者の外部被ばく線量管理上、坑内湿度による線量計のフェーディング誤差が問題となる。そこでフィルムバッジ、蛍光ガラス両線量計について、人形峠鉱業所内において、フェーディング比較試験を実施した。

要 旨 人形峠鉱業所内作業従事者の外部被ばく線量を正確に測定、評価するには、温度、湿度依存性の少ない線量計を使用する必要がある。現在、人形峠鉱業所で個人被ばく管理に使用しているフィルムバッジ線量計と東海事業所で、局部被ばく管理、作業環境管理に使用している蛍光ガラス線量計のフェーディング比較試験を実施し、今後同所における個人被ばく管理用線量計選定のための検討を行なった。

両線量計のフェーディング比較試験の結果、坑内で使用した場合、フィルムバッジ線量計については、1カ月間でもフェーディングが認められたが、蛍光ガラス線量計については、6カ月間使用しても、ほとんど無視できる程度であった。

目 次

I	まえがき	1
II	試験概要	2
II-1	目的	2
II-2	使用した個人被ばく線量計	2
II-3	試験方法	3
III	試験結果および考察	4
III-1	坑内における線量計のフェーディング	4
III-2	坑外における線量計のフェーディング	6
III-3	フィルムバッジ線量計と蛍光ガラス線量計の線量相対比	7
IV	むすび	10
V	Appendix	10
V-1	蛍光ガラス線量計の紹介	10
V-2	発光原理	10
V-3	線量計用蛍光ガラスとホルダ	10
V-4	蛍光ガラス読み取り装置	10
V-5	蛍光ガラス線量計測定手順のフローチャート	11
V-6	蛍光ガラス線量計とフィルムバッジ線量計のプロセスの違い	11

I ま え が き

人形峠鉱業所放射線作業者の個人外部被ばく線量測定評価は、フィルムバッジ線量計を使用し実施しているが同所では、湿度の高い坑内で線量計を着用することが多いため、フェーディングが無視できなくなり、測定誤差への影響が大となるので、長期間着用の場合被ばく管理上問題となる。

したがって、東海事業所安全管理課ではこれまで当事業所および中部探鉱事務所バッジフィルムについては、3か月ごとに、現像および黒化度測定を実施しているが、人形峠鉱業所バッジフィルムについてはこれを毎月実施している。しかし東海事業所における業務の進展に伴い個人外部被ばく管理業務も増大かつ複雑になってきたので、線量測定に手数のかかるフィルムバッジ線量計により、従来どおりの頻度で定常的に毎月実施していくことが困難となった。

そこで、将来、人形峠鉱業所では、湿度、温度の影響が少なく、線量積算精度の高い蛍光ガラス線量計を使用することが望ましいと考え、昭和45年7月～12月にかけて、フィルムバッジ線量計および蛍光ガラス線量計について、同所において照射試験を実施し、当安全管理課において線量を測定し、試験結果を検討し、まとめたので以下報告する。

Ⅱ 試 験 概 要

Ⅱ-1. 目 的

フィルムバッジ線量計は、温度、湿度の高い状態で使用すると、フェーディングが大となるため、長期間使用すると測定誤差が大きくなる。また、現像処理および黒化度の測定に手数がかかるため、少ない件数を高い頻度で測定することは、能率的でないので、今後とも人形峠鉱業所従業員の被ばく管理にフィルムバッジ線量計を使用することに問題がある。

個人被ばく線量計として、現在市販、使用されているものには、フィルムバッジ線量計のほか、蛍光ガラス線量計、熱ルミネッセンス線量計があるが、両線量計は、温度、湿度による影響は、ほとんどない。蛍光ガラス線量計については、東海事業所において既に局部被ばくモニタリングおよび環境モニタリング用として使用され、信頼しうるデータが得られている。

今回、フィルムバッジ線量計および蛍光ガラス線量計を人形峠鉱業所内各所において、種々の条件で照射し、両線量計について、線量を実測し測定値の変化、再現性等を比較検討し、将来、人形峠鉱業所従業員の個人被ばくモニタリングに使用する線量計を現在のフィルムバッジ線量計から蛍光ガラス線量計に変え、さらに線量計の着用期間を1か月より3か月に変更しうることを目標とした。

Table 1. フェーディング比較試験に用いた線量計の種類、数量

個人被ばく線量計の種類	使用ロッド	使用ケース (シールド)	数 量
蛍光ガラス線量計	東芝製蛍光ガラス FD-P8-3	Sn 0.5mmt	60 ※
フィルムバッジ線量計	富士フィルム γ線用G	JIS・γ-II	30

※蛍光ガラス60個中、38個はγ線500mRを照射したものである。

Ⅱ-2. 使用した個人被ばく線量計

今回、実施した線量計の比較照射試験には、個人被ばく線量計として、現在、動燃で使用しているフィルムバッジ線量計（JIS、γ-II）および、蛍光ガラス線量計（東芝製蛍光ガラス、錫0.5mmtシールド）を用いた。線量の読み取りは、フィルムバッジ線量計については、人形峠鉱業所において照射したフィルムバッジを東海事業所で作成した標準照射試料とともに、その都度現像処理を行いカドミニウム（1mmt）下の黒化濃度を東京光電社製デントメータ（ANA-82TR）で求め、線量を判定し、蛍光ガラス線量計に関しては、それぞれの蛍光ガラス線量計を東芝製蛍光ガラス読み取り装置（FGD-3B）により、測定し線量を求めた。

各線量計の校正は、いずれも Ra-50mCi 線源を用いた。当試験に使用した線量計および使用数量を Table 1 に示す。なお、蛍光ガラス線量計については、温度湿度による蛍光の退色の影響を調べるため、東海事業所において、あらかじめ 500mR を照射した試料 38 個を準備し、試験に加えた。

さらに、線量計の送付に関しては、線量計のロットを統一する必要があるため、その都度必要数量を東海事業所から送付した。

II-3. 試験方法

フィルムバッジ線量計および蛍光ガラス線量計を、坑内、坑外の代表的な作業場所ならびに作業者に対し、一定期間懸すい、または着用させ、放射線照射により得られた黒化度および蛍光量を測定し、照射線量を求め温度、湿度等の影響によるフィルムバッジ線量計、蛍光ガラス線量計のフェーディングなどを調べた。

坑内における線量計の懸すい箇所は、比較的空間線量率の高い場所を選定し、坑道の天井附近に設定した。その際、線量計が天井より水滴等による影響を直接受けないように防水の工夫を施した。線量計設置場所附近の湿度は 90% 以上、温度は 15~18 °C と予想される。

各線量計に照射された線量の推定は、坑内 3カ所（夜次一号坑南延 210m、夜次 1,2号ゲート、夜次一号坑 9号払切昇）の γ 線空間線量率を測定し、これらの値に線量計の懸すい時間 を乗じ求めた。Table 2 にそれぞれの地点の空間線量率を示した。なお、線量率の測定の際、坑内の換気状況により、ラドン等の影響が考えられるが、夜次一号坑 9号払切昇および 1, 2号ゲート地点では、多少影響のあることが予想される。

Table 2 坑内三地点の γ 線空間線量率

測定地点	線量率 (mR/hr)	坑道通気状況	備考
夜次 1号坑南延 210m	0.38	良	
夜次 1号坑 1, 2 号ゲート	1.50	やや不良	ラドンの影響有り
夜次 1号坑 9号 払切昇	1.60	不良	"

なお、各線量率の測定点はいずれも坑道天井附近である。

坑内作業者 3名、坑外作業者 1名の線量計の着用部位は定常の個人モニタリング用の線量計と同位置の胸部に着用した。

坑外における線量計の懸すい箇所にあたっては、事務所および、製錬所内の分析所試料調整室に懸すいし、条件として、直射日光の当たらない場所を選んだ。なお坑外の空間線量率については、特に測定を行なわなかった。

Ⅲ 試験結果および考察

Ⅲ-1. 坑内における線量計のフェーディング

フィルムバッジ線量計および蛍光ガラス線量計を坑内3カ所に一定期間懸すいし、得られた測定値より各線量計のフェーディングについて検討した。懸すい期間は、蛍光ガラス線量計については、1カ月、4カ月および6カ月間、フィルムバッジ線量計については、1カ月間のみとした。1カ月以上、フィルムバッジ線量計を坑内に懸すいした場合は、フェーディングの影響が著しく大きくなり、測定困難な結果を既に得ているので、あえてこの条件における試験は行なわなかった。但し、蛍光ガラス線量計の測定値と対応させるために、4カ月および6カ月間の懸すいに関しては、フィルムバッジ線量計の1カ月ごとの測定値をそれぞれ加算し求め、参考データとした。

フィルムバッジ線量計および蛍光ガラス線量計の測定結果をTable 3 (1)~(3)に示す。

なお、 $Ra50mCi$ を使用し、 r 線 $500mR$ をあらかじめ照射させた蛍光ガラス線量計の測定値は、実測値より $500mR$ を差し引いた値である。

Table 3 坑内に線量計を懸すいしたときの測定結果

(1) 懸すい期間 1 カ月

線量計の懸すい場所	空間線量率 (mR/h)	懸すい時間 (h)	推定照射線量 (mR)	フィルムバッジ線量計読み取り線量 (mR)	蛍光ガラス線量計読み取り線量 (mR)	
夜次1号坑 210m南延	0.38	723	270	220	330	480※
夜次1号坑 1,2号ゲート	1.50	"	1,080	950	1,390	1,490※
夜次1号坑 9号払切昇	1.60	"	1,160	690	930	1,090※

(2) 懸すい期間 4 カ月

線量計の懸すい場所	空間線量率 (mR/h)	懸すい時間 (h)	推定照射線量 (mR)	フィルムバッジ線量計読み取り線量 (mR)	蛍光ガラス線量計読み取り線量 (mR)	
夜次1号坑 210m南延	0.38	3,024	1,150	880	1,120	1,045※
夜次1号坑 1,2号ゲート	1.50	"	4,540	4,160	4,800	4,800※
夜次1号坑 9号払切昇	1.60	"	4,840	3,000	3,400	3,400※

(3) 懸すい期間 6 カ月

線量計の懸すい場所	空間線量率(mR/h)	懸すい時間(h)	推定照射線量(mR)	フィルムバッジ線量計読み取り線量(mr)	蛍光ガラス線量計読み取り線量(mr)	
夜次1号坑210m南延	0.38	4,317	1,640	1,320	1,500	1,450※
夜次1号坑1,2号ゲート	1.50	"	6,480	6,110	7,150	6,850※
夜次1号坑9号払切昇	1.60	"	6,910	4,630	4,850	4,800※

※ 蛍光ガラス線量計読み取り線量より、500mRを差引いた線量である。

各Tableに示した線量計の平均線量は、線量計2個の測定値を平均した値である。各線量計とも測定値のバラつきは、10%以内であり、ほとんど問題とされない。

つぎに、坑内作業員について、線量計を一定期間着用させ、放射線による潜像または蛍光量のフェーディングを調べた。着用期間は、フィルムバッジ線量計については、1カ月間、蛍光ガラス線量計については、1カ月および3カ月とした。この場合もフィルムバッジ線量計の3カ月間の測定値は、1カ月間ごとの線量を加算し求めた。なお、作業員への着用は、定常用のフィルムバッジ線量計と同様に着用させ、それらの相関をも調べた。

Table 4 坑内作業員に線量計を着用させたときの測定結果

(1) 着用期間 1 カ月

作業員	着用時間(h)	蛍光ガラス線量計読み取り線量(mr)	フィルムバッジ線量計	
			読み取り線量(mr)	定常の読み取り線量(mr)
Y	135	90	10以下	10以下
S	91	110	40	10以下
O	113	60	45	30

(2) 着用期間 3 カ月

作業員	着用時間(h)	蛍光ガラス線量計読み取り線量(mr)	フィルムバッジ線量計	
			読み取り線量(mr)	定常の読み取り線量(mr)
I	370	120	40	20 (2)※
O	344	190	120	70
I	346	140	70	70 (1)※

※ ()内の数値は3カ月合計線量のうち検出限界値(10mr em)以下の回数をあらわす。

Table 3 および Table 4 からわかるように蛍光ガラス線量計による測定値の方が、フィルムバッジ線量計の測定値に比べて高い値を示している。これは、フィルムバッジ線量計については、温度、湿度依存性が大きく、Fig.1 にみられるように、紙バックフィルムの場合、湿度 50% 以下の状態では、3 カ月保存して、フェーディングの割合は 10% 程度であるが、湿度が 90% 以上になると 1 カ月保存して、約 50% のフェーディングとなる。ビニール系バックフィルムの場合湿度 90% 以上の状態で、1 カ月保存して、約 20% のフェーディングの割合を示し紙バックフィルムよりすぐれている。現在、定常用フィルムバッジ線量計用フィルムには、ビニール系バックフィルムを使用しており、今回の試験もこのフィルムを使用し検討を行なった。

一方、蛍光ガラス線量計についてのフェーディングは相対湿度 60~90% の範囲では、90 日間で約 1~1.5% 程度であり、180 日間でも 3% 以下であるとのデータ*が報告されている。また Table 3 に示すように今回の試験結果からも、Pre-Dose の低い蛍光ガラス線量計と 500mR を Pre-Dose に上わのせした蛍光ガラス線量計の読み取り線量を比較してみると、ほぼ同じ値が認められている。すなわち、蛍光ガラス線量計のフェーディングは 3 カ月間程度ではほとんど無視できるものと考えられる。

III-2. 坑外における線量計のフェーディング

坑外における各線量計の懸すいおよび着用は、それぞれの線量計を坑外 2 カ所、作業員 1 名とした。坑外の場合は、湿度等による線量計の影響はほとんどないものと考えられるのでフィルムバッジ線量計、蛍光ガラス線量計とも同じ期間懸すい、または着用した。以下測定結果を Table 5 ~ Table 6 に示す。

Table 5 坑外に線量計を懸すいたときの測定結果

懸すい期間 3 カ月

懸すい場所	懸すい時間 (h)	フィルムバッジ線量計 読み取り線量 (mr)	蛍光ガラス線量計読み 取り線量 (mr)
事務所	2306	10 以下	20 以下※
分析所(試料)	"	20	20 以下

※ 蛍光ガラス線量計の最低検出限界値は 20mr em である。

* Health Physics Vol.9, pp965-972. 蛍光ガラスの個人モニタリング線量計としての調査
Fluoroglass Dosimeter. 東芝レビュー Spring.1962. 横田, 中島他 宮永他

Table 6 坑外作業者が線量計を着用したときの測定結果

着用期間 1 カ月

着用者	着用期間 (h)	蛍光ガラス線量計読み取り線量 (mr)	フィルムバッジ線量計読み取り線量 (mr)
F	164	20 以下	10 以下

照射線量が低いため、フィルムバッジ線量計と蛍光ガラス線量計との間に線量の差異を認めることができないが、東海事業所における今日までの経験よりみて、坑外作業においてはフィルムバッジ線量計のフェーディングは、それほど問題にならないものとする。

III-3. フィルムバッジ線量計と蛍光ガラス線量計の線量対比

人形峠鉱業所の坑内を想定し、実験的に高湿度（約90%以上）の雰囲気をつくり、その中で、ビニール系パックフィルムを保存したときのフェーディングの割合を調べた結果は Fig. 1 曲線 B に示すとおりである。フィルムバッジ線量計を一カ月保存した場合約20%のフェーディングが認められた。そこでフィルムバッジ線量計は、坑内では、1カ月に20%のフェーディングがあるものと仮定して、測定値を補正し、その値を、フィルムバッジ線量計より求めた実被ばく線量とし、蛍光ガラス線量計より求めた線量との対比を求め、その結果を Table 7 に示す。

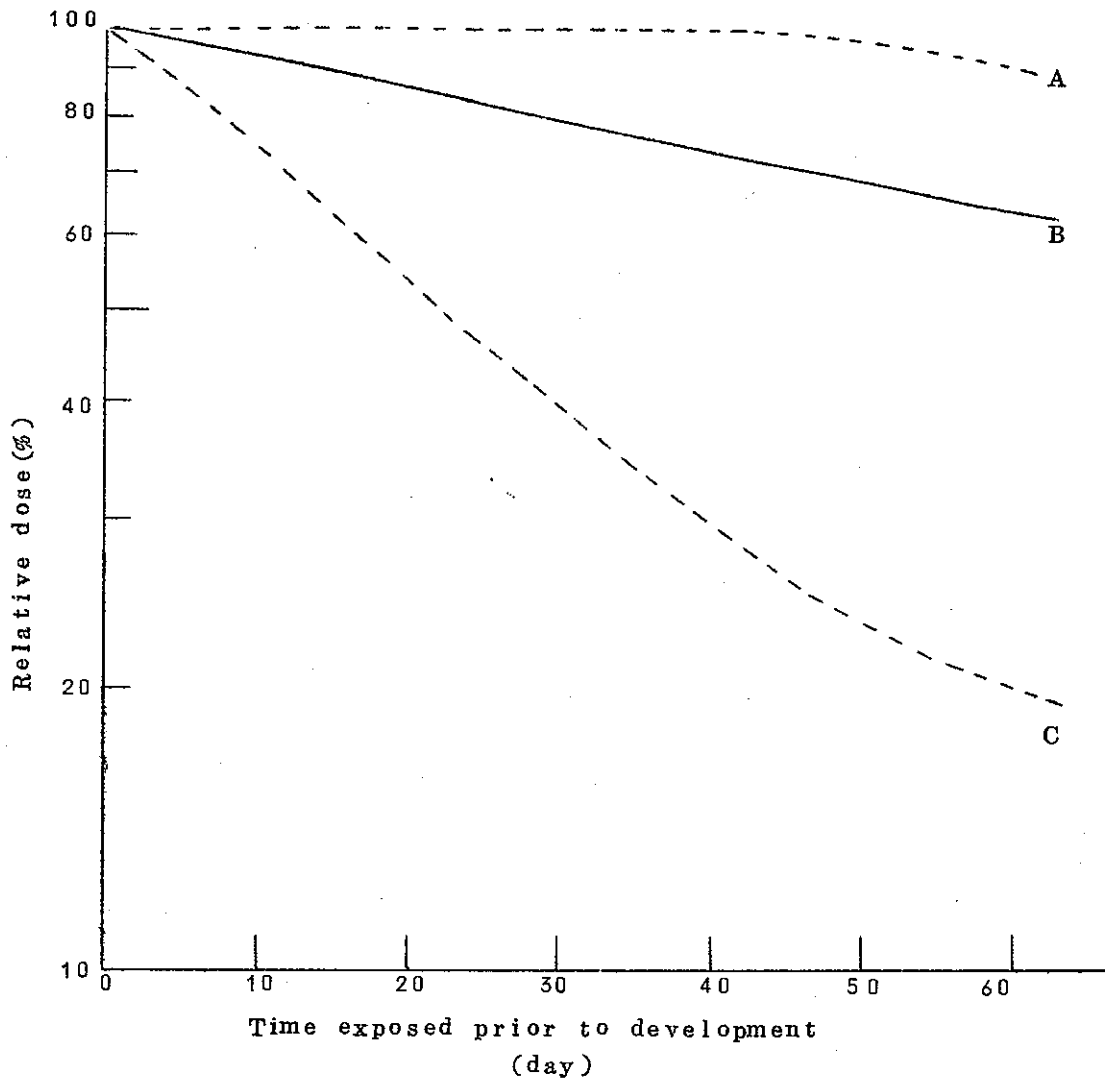
この Table より蛍光ガラス線量計とフィルムバッジ線量計の線量比は、1.0 に近くなり、ほぼ等しくなる。線量比が、0.84 から 1.18 までのバラツキがあるが、これは、フィルムバ

Table 7 坑内各点における蛍光ガラス線量計とフィルムバッジ線量計の対比

場所 線量計 懸吊 期間	夜次 1号坑 210 m 南延				夜次 1号坑 1,2号ゲート				夜次 1号坑 9号払切昇			
	フィルム バッジ 補正前	フィルム バッジ 補正后	蛍光 ガラス 読み	対比	フィルム バッジ 補正前	フィルム バッジ 補正后	蛍光 ガラス 読み	対比	フィルム バッジ 補正前	フィルム バッジ 補正后	蛍光 ガラス 読み	対比
1 カ月	220 mr	280 mr	330 mr	1.18	950 mr	1,180 mr	1,390 mr	1.18	690 mr	870 mr	930 mr	1.07
4 カ月	880 mr	1,090 mr	1,120 mr	1.03	4,160 mr	5,200 mr	4,800 mr	0.92	3,000 mr	3,740 mr	3,400 mr	0.91
6 カ月	1,320 mr	1,630 mr	1,450 mr	0.89	6,110 mr	7,610 mr	7,150 mr	0.94	4,630 mr	5,780 mr	4,850 mr	0.84

対比とあるのは $\left(\frac{\text{蛍光ガラス読み}}{\text{フィルムバッジ読み}} \right)$ の値を示す。

バッジ線量計の方向依存性によるもの、1カ月ごとの測定値の積算などから生ずる誤差によるものと考えられる。



- A : R.H 50%以下 (紙バックフィルム)*
- B : R.H 90%以上 (ビニール系バックフィルム)
- C : R.H 90%以上 (紙バックフィルム)*

Fig.1 フィルムバッジ線量計のフェーディングの状態

* JAERI-memo第2563号, 原研における個人被ばく線量の管理と線量評価法より引用

IV む す び

人形峠鉱業所内におけるフィルムバッジ線量計と蛍光ガラス線量計のフェーディング比較試験の結果、坑内で線量計を使用した場合は、フィルムバッジ線量計については、1カ月間でもフェーディングが認められ、1カ月以上では、黒化度を測定できない程度の著るしい退行結果も得ている。一方蛍光ガラス線量計については、坑内で6カ月間使用した場合においても測定値の信頼性が問題となるような結果は得られなかった。

蛍光ガラス線量計の種々の特性をも勘案して判断すると、人形峠鉱業所における放射線作業従事者の被ばく線量の正確な測定および評価のための個人被ばく線量計として、蛍光ガラス線量計が有効な線量計であると考えられる。

なお、蛍光ガラス線量計を人形峠鉱業所における個人被ばく線量計として使用して行く場合坑内の作業状況からみて、とくに線量計自体の機械的強度をも考慮する必要がある。

現在、蛍光ガラス線量計用ガラスホルダとして、種々のホルダが市販されており、人形峠鉱業所内の作業にも使用可能なガラスホルダもあるので、これについて今後検討し、結論を出したい。

なお、具体的な実施に当り、当面現在着用しているフィルムバッジ線量計と併用させ、2～3カ月追跡調査を行い、その後に移行して行きたい。

最後に、今回の試験に際し、実際に線量計の懸すい、または着用の手配をしていただいた、人形峠鉱業所保安係の皆様、深く感謝致します。

V A p p e n d i x

V-1. 螢光ガラス線量計の紹介

今回の試験に使用した螢光ガラス線量計は、東芝製螢光ガラス線量計である。今後、螢光ガラス線量計を使用していくにあたり、以下に概略を記してみた。

現在、国内で市販されている螢光ガラス線量計読み取り装置には、二種類あり東芝製読み取り装置 FGD-3B型と FGD-6型がそれである。前者は、今回の試験に使用したものであり、東海事業所においては、昭和40年度より使用し、すでに局部被ばく線量および、エリアの線量の算出に定常的に用いており、良い結果を得ている。後者は、先般、東海事業所における業務の拡大にともない新規購入しており、FGD-3B型より利点として、操作が容易であり、再現性もよく安定している等の点で、現在実用の段階にある。

V-2. 発光原理

螢光ガラスは、銀を含んだりん酸系ガラスを用いており、このガラスが放射線を受けたあと、 $365m\mu$ の紫外線で刺激すると、橙色の螢光を生じ、この螢光量を測定し、螢光ガラスが受けた被ばく量を知るものである。

V-3. 線量計用螢光ガラスとホルダ

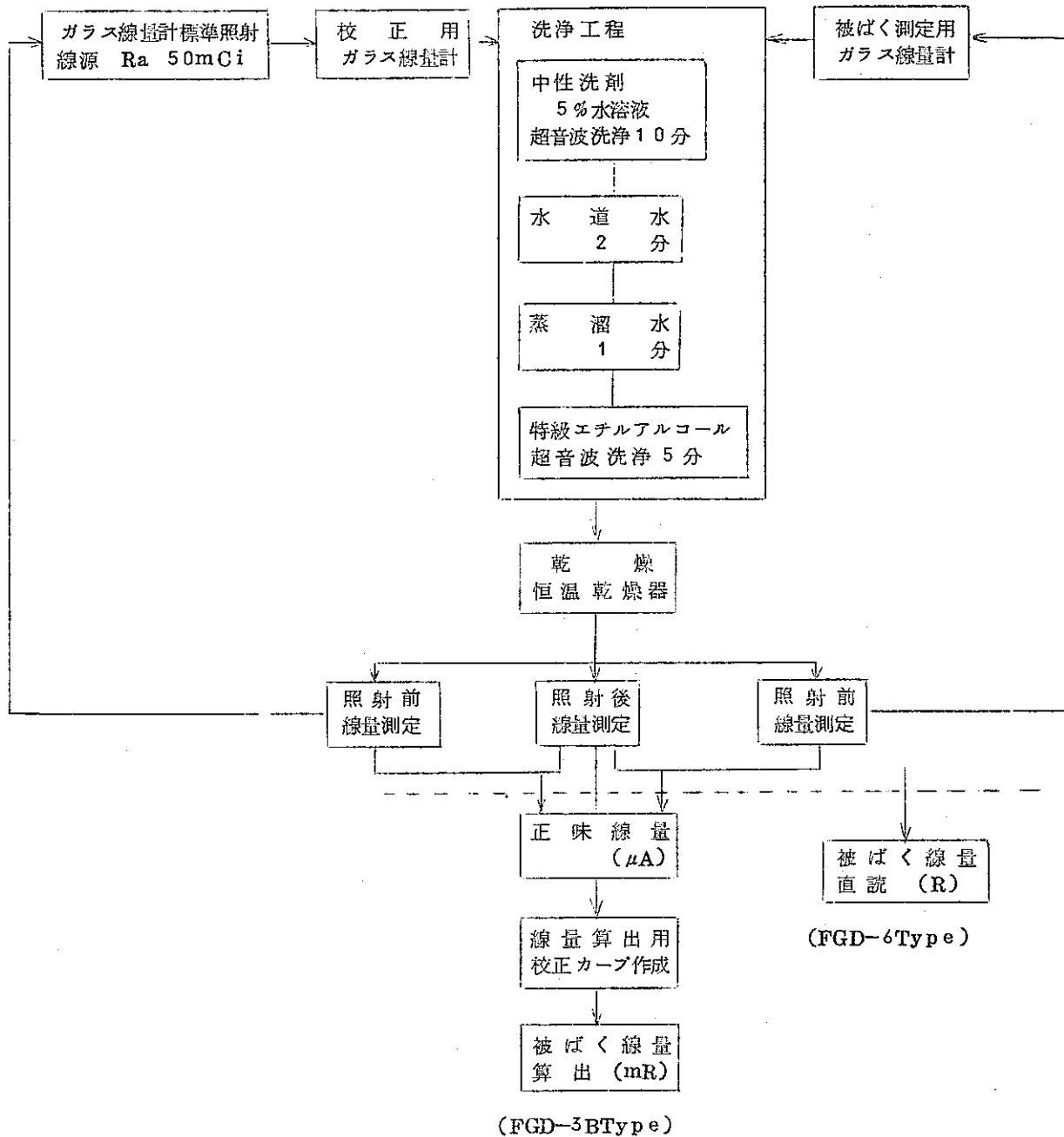
螢光ガラスとしては、現在、新しいタイプのもので、FD-3ガラスロッドが開発され実用されている。これは従来、使用してきた、FD-1ガラスロッドよりも放射線に対する感度が10%程度高く、耐風化性も向上している。螢光ガラスの寸法は $6\times 6\times 3.7(mm)$ 、 $8\times 8\times 4.7(mm)$ および $1\phi\times 6(mm)$ のものがあり、 $LiPO_3$ 、 $Al(PO_3)_3$ を基材とし、 $AgPO_3$ を添加しているものである。さらにPre-Doseは、 $\pm 100mR$ 程度に落着いている。

螢光ガラスは、Fig.2 に示すように、螢光ガラスは特有の線質依存性があるために、200KeV以下の $\gamma(X)$ 線エネルギーを測定する場合は、エネルギーの補正が必要となってくる。従って、錫、カドミウムなどの金属フィルタでシールドすることにより、これらエネルギーの補正をすることができる。Table 9に各ホルダの種類、螢光ガラスの種類、測定エネルギー範囲などを示した。

V-4. 螢光ガラス読み取り装置

東芝製螢光ガラス読み取り装置、FGD-3B型およびFGD-6型について、Fig.3、Fig.4にブロックダイアグラムを示した。

V-5. 蛍光ガラス線量計測定手順のフローチャート



V-6. 蛍光ガラス線量計とフィルムバッジ線量計プロセスの違い

プロセス	フィルムバッジ線量計	蛍光ガラス線量計
前処理	特になし	Pre-Dose測定
被ばく後処理	現像操作(暗室)	紫外線による刺戟
測定	黒化度の測定	蛍光量の測定
線量算出	校正曲線を用いて算出	FGD-3B (検量線を使用) FGD-6 (直読)

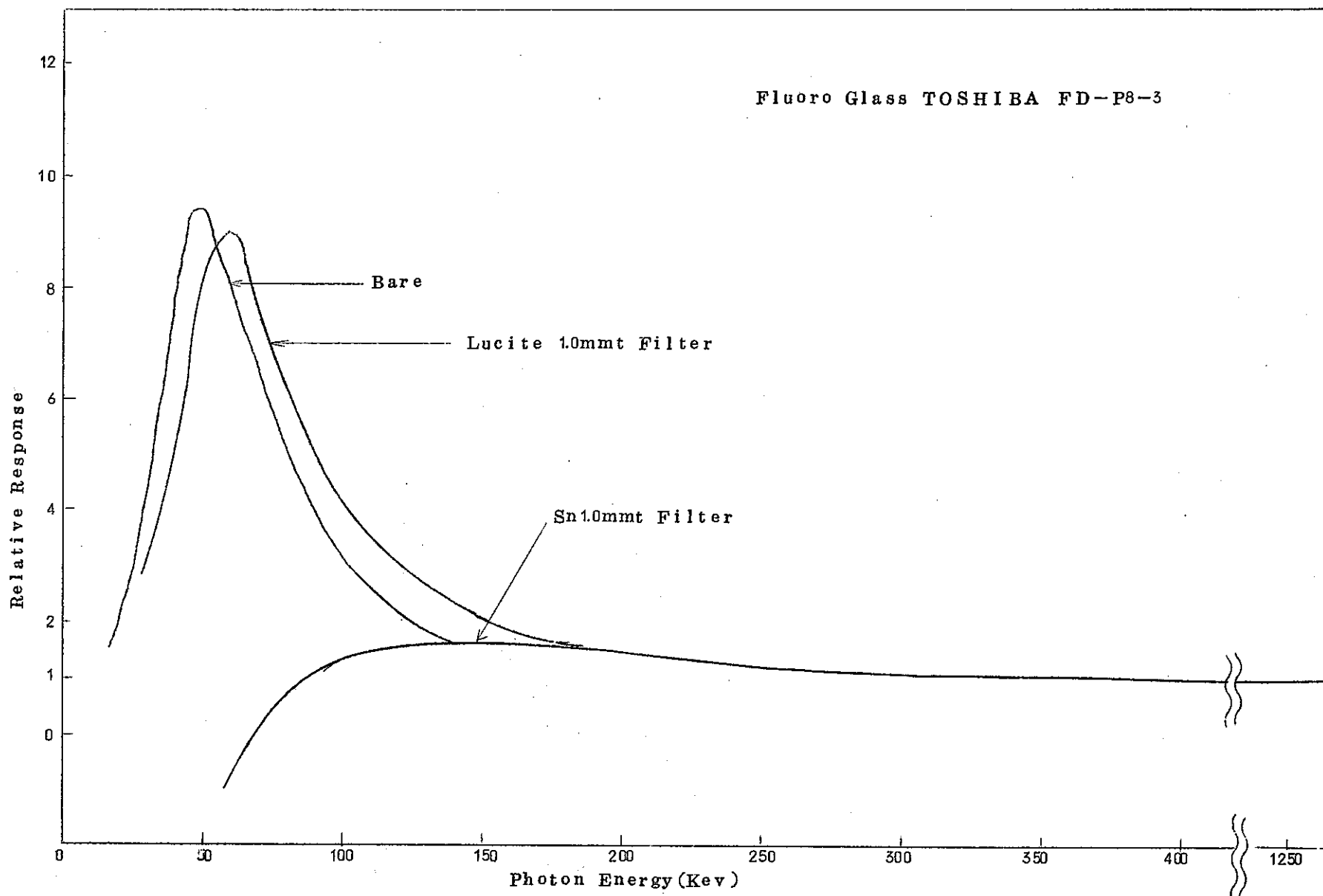
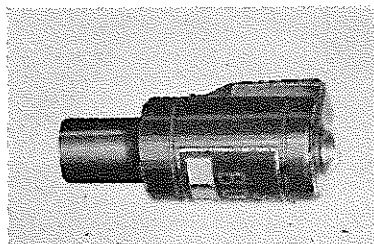


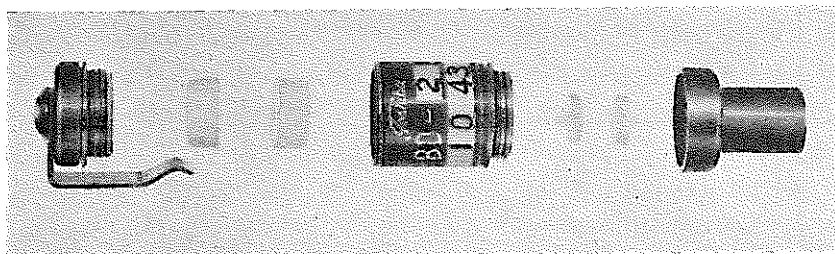
Fig.2 蛍光ガラス線量計のエネルギー依存性

Table.9 蛍光ガラスホルダの種類および使用範囲

形名	形式	測定エネルギー範囲	蛍光ガラス ロッド	装置 場所
BD-2	バッジタイプ	90KeV~3MeV(X, γ) 50KeV~130KeV(X)	FD-PB-1 FD-P8-3	衣服
BD-3	"	35KeV~60KeV(X)	FD-P8-1 FD-P8-3	"
RD-1	リングタイプ	60KeV~3MeV(X, γ)	FD-P6-1 FD-P6-3	指
X線用 付属品	バッジタイプ	BD-2に接ぎ足して使用 50KeV~90KeV, 90KeV~3MeV(X)	FD-P8-1 FD-P8-3	衣服



バッジ形蛍光ガラスホルダ（外観）



バッジ形蛍光ガラスホルダ BD-2 分解図

蛍光ガラスホルダ BD-2 Type

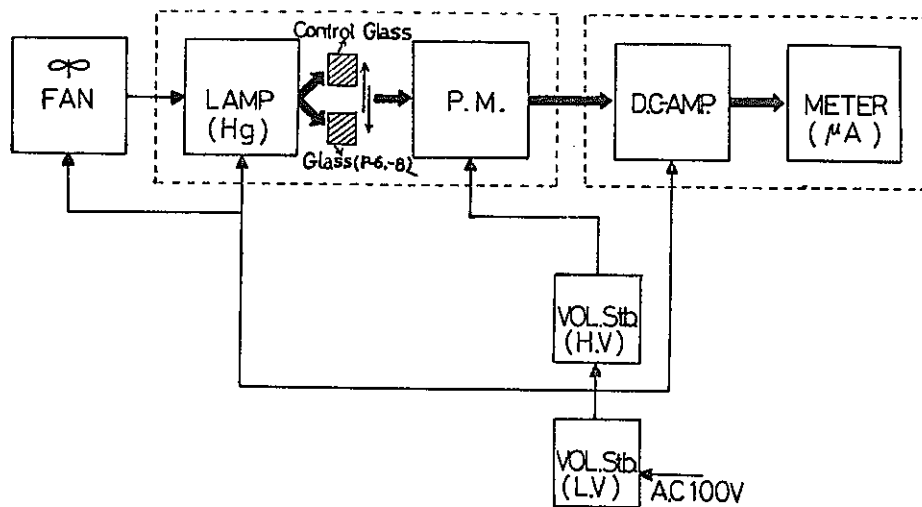


Fig. 3 螢光ガラス線量計FGD-3B型のブロックダイアグラム

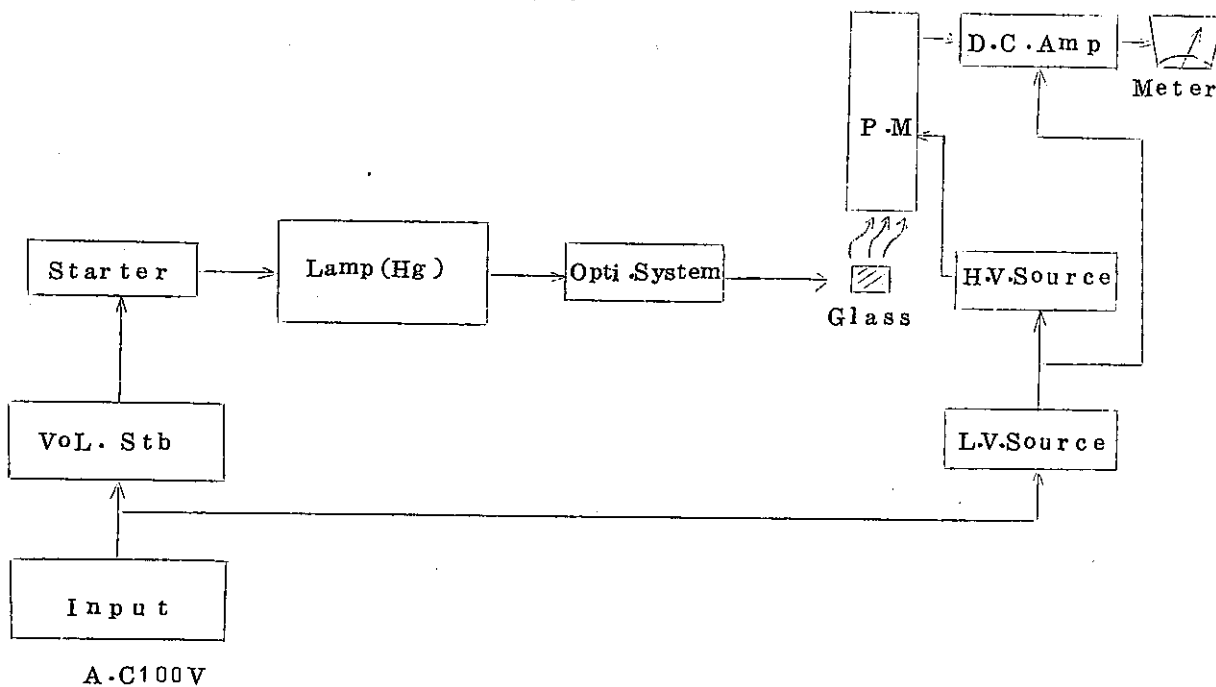


Fig.4 螢光ガラス線量計FGD-6型のブロックダイアグラム