

JAERI-Tech  
2001-048



JP0150729



個人外部線量測定用蛍光ガラス  
線量計の基本特性

2001年7月

伊藤 精・白石 明美・村上 博幸

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.  
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2001

編集兼発行 日本原子力研究所

## 個人外部線量測定用蛍光ガラス線量計の基本特性

日本原子力研究所東海研究所保健物理部

伊藤 精・白石 明美・村上 博幸

(2001年5月25日受理)

日本原子力研究所は、放射線業務従事者の外部被ばく線量を測定するための個人線量計として、原研創立以来使用してきたフィルムバッジに替えて、蛍光ガラス線量計を採用することとし、平成12年度より導入した。

蛍光ガラス線量計の使用開始に先がけて、同線量計による測定評価の信頼性を確認するために、個人線量計としての基本的特性、即ち、線量直線性、エネルギー特性、方向特性、異種の放射線の混合照射時の測定性能、経時変化特性等についての試験を行った。この結果、蛍光ガラス線量計は、上記の項目のすべてに対して実用上十分な特性を有することが確認された。本報は、この試験で得られた蛍光ガラス線量計の基本特性を纏めたものである。

Characteristics of Radiophotoluminescent Glass Dosimeters

Masashi ITO , Akemi SHIRAISHI and Hiroyuki MURAKAMI

Department of Health Physics  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received May25, 2001)

In Japan Atomic Energy Research Institute, a film badge is recently replaced by a new type radiophotoluminescent(RPL)glass dosimeter for external personal monitoring. Some fundamental characteristics of this dosimeter, such as dose dependence linearity, energy dependence, angular dependence, dose evaluation accuracy at mixed irradiation conditions, fading, etc., were examined at the Facility of Radiation Standard(FRS), JAERI.

The results have proved that the RPL glass dosimeter has sufficient characteristics for practical use as a personal dosimeter for all of the items examined.

Keywords: Radiophotoluminescent(RPL) Glass Dosimeter, Personal Dosimeter, Personal Dose Equivalent  $H_p(d)$ , Ambient Dose Equivalent  $H^*(d)$ , Dose Dependence Linearity, Energy Dependence, Angular Dependence, Reproducibility, Intrinsic Variation of RPL Response, Fading

目 次

1. まえがき .....	1
2. ガラス線量計の構造 .....	1
3. 特性試験方法及び試験項目 .....	2
4. 結果及び考察 .....	4
5. まとめ .....	6
6. 結言 .....	7
参考文献 .....	8

Contents

1. Introduction .....	1
2. Structure of Glass Dosimeter .....	1
3. Testing Categories and Methods .....	2
4. Results and Discussion .....	4
5. Summary .....	6
6. Conclusion .....	7
References .....	8

This is a blank page.

## 1. まえがき

日本原子力研究所（以下、原研と記す。）は、測定の高精度化及び効率化を図るために、2000年度から放射線業務従事者の被ばく線量を測定するための個人線量計を、原研創立以来43年間使用してきたフィルムバッジに替えて、蛍光ガラス線量計（以下、ガラス線量計と記す。）を使用することとした。

ガラス線量計は、検出素子に銀活性化リン酸塩ガラスを用いており、放射線照射によってできた蛍光中心（外的刺激によって蛍光を発生する核となる部分）が、読み取り操作を行っても消滅しないため、何回でも繰り返し測定ができる上に、高温で加熱することにより積算線量を消失させ再利用することもできるという特長がある。さらに材料となるガラスは、均質性に優れており、素子間の特性のばらつきが少なく、線量の経時変化（フェーディング）も無視できるという利点がある。このように、ガラス線量計は原理的にも長期積算型の線量計として優れた特性を持っている。しかしながら、従来ガラス線量計は、ブレドーズ（放射線に無関係にガラス素子自身から発生する固有の蛍光）や測定前の洗浄の必要性などのため低線量域の測定精度に問題があり、個人線量計等として幅広く普及することはなかった。

1980年代後半に、連続パルス発振のできる窒素ガスレーザーを利用した紫外線励起法を用いて低線量域の高精度測定を可能とし、読み取りを自動化したリーダーが開発されて、上記問題がすべて解決された。この新型ガラス線量計の基本特性は、石川等<sup>1)</sup>によって明らかにされている。原研で使用するガラス線量計は、個人線量計として使用しやすいようにこれをさらに小型軽量化したものであり、素子が持つ放射線に対する特性は同等と推察される。

今回、ガラス線量計の使用開始に伴い測定評価の信頼性を確認するために、 $\gamma$  (X) 線及び $\beta$ 線の測定に係る基本的な特性についての試験を行った。本報では、今回の試験で得られたガラス線量計の基本特性について報告する。

## 2. ガラス線量計の構造

ガラス線量計は、米国のSchulmanら<sup>2)</sup>によって初めて紹介されたもので、ある種の銀活性化リン酸塩ガラスに放射線を照射し、その後紫外線によって刺激すると蛍光を発する現象（ラジオフォトルミネセンス現象：Radiophotoluminescence、RPL）を利用した線量計である。原研で使用するガラス線量計は、(株)千代田テクノル製TH-C5115型である。そのガラス素子、線量計の構造及びフィルタ構成をFig. 1に示す。TH-C5115型のガラス素子はサイズが $34 \times 7 \times 1.5$  mmで、素子IDとして2次元バーコードの付いたステンレス製フレーム（カードと呼ぶ）に装填されており、これを5種類のエネルギー補償用フィルタが付けられた $45 \times 13 \times 5$  mmのサイズの線量計カプセル（ホルダーと呼ぶ）にセットして使用する。この状態での重量は5 gである。

ガラス線量計を放射線業務従事者が使用する時は、 $67 \times 40 \times 9$  mm（クリップ含まず）の専用ケース（バッジケースと呼ぶ）に装填して着用する。ガラス線量計をバッジケースに装填した状態をFig. 2に示す。着用状態での重量は22 gで、従来使用していたフィルムバ

ッジ(50g)の半分以下である。

ガラス線量計を測定するリーダーは、(株)千代田テクノル製TH-C5134型で、リーダー本体と制御用パソコンで構成されており、最大2,000個のガラス線量計を約7時間で自動測定できる。リーダーの全景をFig. 3-1に、測定部をFig. 3-2に示す。

### 3. 特性試験方法及び試験項目

#### 3. 1 照射・試験方法

特性試験に係る照射は、日本原子力研究所東海研究所の放射線標準施設棟 (Facility of Radiation Standard: FRS) の基準線源及びX線照射装置を用いて実施した。

個人線量測定において測定目的とされる計測量(目的量)は、本来、国際放射線単位計測委員会(ICRU)の導入した個人線量当量 $H_p(d)$ <sup>3)</sup>(単位Sv;ここでdは、深さ1cm、0.07mmに対応)であるが、実際の照射においては、照射の基準量として、線量計をファントム(ファントムは、JIS Z 4331<sup>4)</sup>に規定されているものを使用した)に装着した状態では個人に係わる1cm線量当量 $H_{slab}(10)$ 及び $H_{slab}(0.07)$ <sup>5)</sup>(以下 $H_p(10)$ 、 $H_p(0.07)$ とする)を用いた。但し、ファントムを必要としない線量直線性等の試験では、場所に係わる1cm線量当量 $H^*(10)$ (周辺線量当量)<sup>6)</sup>を用い、線量計を自由空气中(照射対象物周辺に、散乱、吸収に係わるものがない状態のことをいう。以下、フリーエアとする。)に設置して照射した。日本国内における国家標準を有している電子技術総合研究所(電総研)からの線量基準の移行は、光子( $\gamma$ 、X線)については照射線量で実施されている。これから1cm線量当量への換算には、国際放射線防護委員会(ICRP)が勧告した換算係数<sup>5)</sup>を用いた。このとき、照射線量から空気カーマへの変換には $8.76\text{mGy/R}$ <sup>3)</sup>を用いた。照射距離は、 $\gamma$ (X)線については原則として2m以上(ファントム全体がほぼ平行ビームで照射されると見なせる距離)とした。

$\beta$ 線で照射した時の基準とする個人線量当量 $H_p(0.07)$ は、外挿電離箱を用いた測定により決定された $7\text{mg/cm}^2$ 透過時の組織吸収線量に、線量当量への換算係数 $1\text{Sv/Gy}$ を乗じて求めた。

照射時の校正基準点の位置は、フリーエア、ファントム装着時ともにバッジケースに入れた線量計内の素子の位置とした。ガラス線量計の照射は、 $\gamma$ (X)線は1照射につき5個、 $\beta$ 線については1照射につき4個の線量計を用いた。但し、方向特性の照射は、1照射につき回転軸に対して3個または2個の線量計を用いた。

照射されたガラス線量計の測定は、照射直後の初期経時変化(ビルドアップ現象<sup>6)</sup>)を考慮し、原則として照射終了後 $24 \pm 4$ 時間に行った。

#### 3. 2 各試験項目の照射方法

ガラス線量計の各試験項目の照射は、以下の通り行った。

##### 1) 線量直線性(使用放射線： $\gamma$ 線、 $\beta$ 線)

本特性は、 $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線を用いて $0.1\text{mSv}$ から $10\text{Sv}$ 、 $\beta$ 線では $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ を用いて $0.1\text{mSv}$ から $1\text{Sv}$ をフリーエアで照射して求めた。

##### 2) エネルギー特性(使用放射線：光子、 $\beta$ 線)



光子に対する本特性は、線量計をファントムに装着した状態で、線質指標(QI) 0.8 のX線を10種(実効エネルギー15.9keV から161keV) 並びに $^{137}\text{Cs}$  及び $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線をそれぞれ1mSv照射して求めた。

$\beta$ 線に対する本特性は、線量計をファントムに装着した状態で、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 、 $^{204}\text{Tl}$  及び $^{147}\text{Pm}$   $\beta$ 線をそれぞれ1mSv照射して求めた。

### 3) 方向特性(使用放射線: $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線)

本特性は、実効エネルギー80.6keV のX線(QI=0.8)、 $^{137}\text{Cs}$  の $\gamma$ 線及び $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  の $\beta$ 線についてそれぞれ1mSv(垂直入射時)照射して求めた。照射は、線量計を装着したファントムを校正基準点を含む鉛直線を軸として、左右90°まで回転させて行った。上下方向は、線量計をファントム表面上で90°回転させて横向きに装着することにより行った。照射時の線量計のファントムへの装着状態をFig.4に示す。

但し、今回の試験では、目的量としての個人線量当量の角度による変化を考慮せず、方向特性はいずれも垂直入射時の感度に対する割合(相対感度)として求めた。

### 4) 異なった線種、線質の放射線による混合照射に対する特性

本照射は、線量計をファントムに装着した状態で、線質指標0.8のX線4種(実効エネルギー24.3keV から120keV)、 $^{137}\text{Cs}$  の $\gamma$ 線、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ 及び $^{204}\text{Tl}$  の $\beta$ 線をそれぞれ相互の組み合わせと線量を変えて行った。

また上記の放射線測定性能に関する特性の他、線量計及びその測定系固有の特性として以下の項目についても試験を行った。なお、これらの照射に用いた $^{60}\text{Co}$ で照射した線量値が持つ誤差は、 $\pm 0.2\%$ <sup>7)</sup>以下である。

### 5) リーダーの再現性

本再現性は、 $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線を用いて0.05mSv から50mSv をフリーエアで照射した線量計をそれぞれ10回測定し、10個の測定値の変動を調べることにより求めた。

変動係数Cは、以下の式で表される。

$$C = \sigma_x / \bar{x} \times 100(\%)$$

ここで、 $\sigma_x$  = 標準偏差、 $\bar{x}$  = 線量評価値の平均値

### 6) 線量計素子間の感度のばらつき

本ばらつきは、同一ロットの線量計を1照射につき5個用いて $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線を0.05 mSv から50mSv をフリーエアで照射し、上記5)と同じ式を用いて測定値の変動を調べることにより求めた。

### 7) 経時変化特性

本特性は、同一ロットの線量計を1条件につき5個用いて、 $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線をフリーエアで1mSv照射した線量計を、室温及び40°Cで照射後1時間(室温については0.5時間)から90日まで測定することにより求めた。

## 4. 結果及び考察

以下に示す各試験項目の結果の考察は、JIS Z 4314<sup>6)</sup>を基に行った。

## 1) 線量直線性

$\gamma$ 線及び $\beta$ 線に対する線量直線性の試験結果を、それぞれFig. 5及びFig. 6に示す。

図は、1mSvを基準とした相対感度で示した。Fig. 5から明らかなように、 $^{60}\text{Co}$  $\gamma$ 線に対する線量直線性は、0.1mSvから10Svの範囲の線量値に対して $\pm 6\%$ 以内であり、広い線量範囲内で実用上十分な線量直線性を有することが確認できた。 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  $\beta$ 線に対しては0.3mSvから1Svの範囲で $\pm 4\%$ 以内という結果が得られたが、低線量値(0.1mSv)に対してはやや大きな値(-10%)となった(Fig. 6)。この原因としては、低線量域でのガラス線量計による $\beta$ 線量評価上の誤差の他、短い照射時間に起因する照射精度の影響が考えられる。全体としては、実用上十分な線量直線性を有していることが確認できた。

## 2) エネルギー特性

ガラス線量計の、Hp(10)測定に係る $\gamma$ (X)線に対するエネルギー特性をFig. 7に示す。但し、ここで、レスポンスは $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線に対して規格化した相対レスポンスである。光子に対しては、Hp(10)に対して60keV～100keVのエネルギー範囲において最大20%の感度の低下が見られたが、このエネルギー範囲以外のエネルギー範囲は $\pm 10\%$ 以内であった。 $\beta$ 線に対するガラス線量計のHp(0.07)測定に係るレスポンスのエネルギー特性を、Fig. 8に示す。 $\beta$ 線のエネルギーは、国際標準機関(ISO)の推奨する残留最大エネルギー<sup>9)</sup>を採用している。同図からわかるように、 $^{204}\text{Tl}$ から $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ までのエネルギー範囲の $\beta$ 線に対して $-4\%$ 程であり、十分な測定性能を有していることが判った。

本ガラス線量計は、 $\beta$ 線の低エネルギー側は0.5MeVまで十分な正確さで測定できることが判ったが、0.5MeV以下では感度が大きく低下する。よって、 $^{147}\text{Pm}$ 付近のエネルギー領域の $\beta$ 線に対しては誤差が大きくなり、線量を正確に測定評価することは困難であると思われる。しかし、放射線作業時に着用する防護服等により $\beta$ 線は皮膚に到達するまでに0.5MeVで60%以上、 $^{147}\text{Pm}$ 付近のエネルギー領域では1/100以上減衰<sup>7)</sup>するので、体幹部の被ばく測定・管理上は大きな支障は生じないと考える。

これらの結果から、光子及び $\beta$ 線に対するエネルギー特性はJIS Z 4314<sup>6)</sup>に示されている $\pm 30\%$ 以内であり、個人線量計としての性能を満足していることが確認できた。

## 3) 方向特性

本特性は、いずれも正面入射方向( $0^\circ$ )を1とした相対感度で表した。

$^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線に対する水平及び垂直方向依存性を、Fig. 9に示す。水平方向の入射角度変化に対しては、左右とも $90^\circ$ までの範囲において $\pm 2\%$ と非常に良好な方向特性を有することが判った。垂直方向の角度変化に対しては、下側は $90^\circ$ までは良好であるが、上側は $60^\circ$ を超えると相対感度は低下し始め、 $90^\circ$ では約25%低下した。しかし $60^\circ$ までは良好であり、また作業場において主たる放射線発生源が作業者の頭上である場合にはこれに対応した管理を行うので、実用上の問題はほとんどないといえる。

実効エネルギー80.6keVのX線(QI=0.8)に対する水平及び垂直方向依存性を、Fig. 10に

示す。一般的な傾向としては、入射角度が大きくなるに従ってフィルタの質量厚が見かけ上増加するために感度が減少し、その減少割合も $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線の場合に比べて大きくなることが予想されるので、Fig. 10の感度の相対的な減少は合理的な結果と言える。しかしながら、下側 $90^\circ$ からの照射に対しては特異的に感度が上昇するという結果が得られた。これは、 $\beta$ 線用窓も含めたフィルタの作用と線量評価アルゴリズム（正面照射時の感度により策定されている）の相乗的效果によって出現したものと考えられる。

$\beta$ 線（ $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ ）に対する水平及び垂直方向依存性を、Fig. 11に示す。 $\beta$ 線の場合は透過力が弱いため、入射角度が大きくなるにつれて入射窓（フィルタ）周辺物質が入射窓を次第に遮るようになるため、ガラス素子に対する立体角は小さくなる。このため、水平方向、垂直方向共に大きな方向依存性の存在が予想されるが、Fig. 11の結果もこの予想通りのものとなった。これらのことから、 $\beta$ 線の照射に対して実用上十分な正確さ（係数1.5のファクタ以内とする<sup>10)</sup>）で測定可能な範囲は、上下左右とも約 $50^\circ$ 程度であることが判った。

#### 4) 異なった線種、線質の放射線による混合照射時の線量評価性能

① $\gamma$ 線とX線の混合照射試験は、原研内にX線発生装置及び加速器が多いことから $\gamma$ 線と低エネルギーから高エネルギーまでのX線との混合被ばくを考慮し、 $^{137}\text{Cs}$  $\gamma$ 線と低エネルギーから高エネルギーまでのX線（実効エネルギー24.3、56.2、80.6、120keV；いずれも $QI=0.8$ ）を組み合わせで行った。結果をFig. 12-1（ $^{137}\text{Cs} + 24.3\text{keV}$ ）、Fig. 12-2（ $^{137}\text{Cs} + 56.2\text{keV}$ ）、Fig. 12-3（ $^{137}\text{Cs} + 80.6\text{keV}$ ）及びFig. 12-4（ $^{137}\text{Cs} + 120\text{keV}$ ）に示す。

図の横軸は、いずれも $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線線量に対するX線線量を比で表わしている。なお、 $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線と24.1keVのX線との組み合わせは、X線発生装置の時間的制約から1組だけとなった。各図から、いずれの線量比においても $\gamma$ （X）線量は $\pm 10\%$ 以内で評価できることが確認できた。また、総じて $\gamma$ 線に対してX線の照射割合が多くなると、誤差が大きくなる傾向が見られた。

②線質の異なる二つのX線の混合照射試験は、実効エネルギー80.6keVと56.2keVを組み合わせで行った。結果をFig. 13に示す。図の横軸は、80.6keV X線線量に対する56.2keV X線線量を比で表わしている。図から、各線量比に対して $\pm 10\%$ 以内で評価できることが確認できた。

③ $\gamma$ 線と $\beta$ 線の混合照射試験は、 $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線と $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ の $\beta$ 線を組み合わせで行った。結果をFig. 14に示す。図の横軸は、 $^{137}\text{Cs}$ の $\gamma$ 線線量に対する $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ の $\beta$ 線線量を比で表わしている。図から、各線量比に対して $\pm 10\%$ 以内で $\gamma$ 線量と $\beta$ 線量を分離評価できることが確認できた。

④線質の異なる二つの $\beta$ 線の混合照射試験は、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ と $^{204}\text{Tl}$ の $\beta$ 線を組み合わせで行った。結果をFig. 15に示す。図の横軸は、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ の $\beta$ 線線量に対する $^{204}\text{Tl}$ の $\beta$ 線線量を比で表わしている。図から、各線量比に対して $\pm 10\%$ 以内で評価できることが確認できた。

以上の結果、ガラス線量計は異なった線種、線質の放射線の混合照射時においても $\pm 10\%$ 以内で線量評価できることが判った。

## 5) リーダーの再現性

Fig. 16に、ガラス線量計リーダーの再現性の試験結果を示す。

リーダーの再現性（正確にはリーダー+素子の測定系の再現性）は、ある素子を繰り返し測定したときの測定値の変動の度合い（変動係数）を、照射した線量毎に示したものである。図から、0.05mSvでは約4%、0.1mSvでは約2%、また0.3mSv以上では1%未満という優れた再現性を有することが判った。

## 6) 線量計素子間のばらつき

Fig. 17に線量計間のばらつきに関する試験結果を示す。図は、素子10個（同一製造単位のものを使用）に同一線量値の $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ 線を照射してそれぞれ測定したときの変動係数を図示したものである。これにより、低線量域（0.1mSv以下）ではわずかながら（数%程度）固体のばらつきが見られることが判ったが、実用上問題はない。

## 7) 経時変化特性

ガラス線量計の測定値が、照射終了後時間の経過と共にどの様に変化するかということ（経時変化特性）を試験した結果を室温（8月から11月）及び40℃についてFig. 18に示す。

グラフは照射後24時間を基準とした線量計の測定値の経時変化を、線量計が保管される場所の温度をパラメータとして表している。同図より測定値の経時変化は、照射後1日までのビルドアップ現象を除いてきわめて少なく、特にフェーディングは無視できることが判った。放置雰囲気中温度に対する依存性では、室温の方が40℃と比べて変化が若干大きかったが、1日経過すると温度の違いによる感度の差は見られないことが判った。

なお、緊急時等で直ちに線量計を測定しなければならない場合は、被ばくから測定までの時間に対応するFig. 18の相対感度を用いて測定値を補正するなどの方法をとることにより対応することができる。

## 5. まとめ

本特性試験の結果の要約を、以下に示す。

## 1. 線量直線性

$\gamma$ 線に対して、0.1mSvから10Svの範囲で感度の変動は $\pm 6\%$ 以内であった。 $\beta$ 線に対しては、0.3 から1mSvの範囲で感度の変動は $\pm 4\%$ 以内、0.1mSvでは $\pm 10\%$ であった。

## 2. エネルギー特性

光子エネルギーに対しては、1cm 線量当量の評価値の変動は、 $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ 線に対して60keV～100keVのエネルギー範囲において最大20%の感度の低下が見られたが、このエネルギー範囲以外のエネルギー範囲は $\pm 10\%$ 以内であった。 $\beta$ 線に対しては、 $^{204}\text{Tl}$  と $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ のエネルギー範囲内で $-4\%$ 以内であった。

## 3. 方向特性

$^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ 線に対して上下左右60°まで感度の変動は見られないが、90°では感度が25%程低下する。X線、 $\beta$ 線に対しては、上下左右30°までの範囲では、80%以上の感度があ

った。

#### 4. 混合照射特性

$\gamma$ 線とX線、線質の異なる二つのX線、 $\gamma$ 線と $\beta$ 線など異なった線種や線質の放射線を混合照射した場合でも、 $\pm 10\%$ 以内で線量評価がなされることが判った。また、総じて $\gamma$ 線に対してX線の照射割合が多くなると、誤差が大きくなる傾向が見られた。

#### 5. リーダーの再現性

線量評価値が、0.05mSvで4%程度の変動であったが、0.1mSvでは約2%、0.3mSv以上になると1%未満であった。

#### 6. 線量計素子間のばらつき

線量計素子間の感度には、0.05mSvにおいて6%程度の変動が見られたが、0.2mSv以上の線量では1%程であった。

#### 7. フェーディング特性

照射後30分から90日までの間では、ビルドアップ現象を除いてフェーディングは無視できることが判った。放置雰囲気中温度に対する依存性では、室温の方が40℃と比べて照射直後の変化が若干大きかったが、1日経過すると温度の違いによる感度の差は見られないことが判った。

### 6. 結言

本特性試験の結果、ガラス線量計TH-C5115型は $\gamma$ (X)線、 $\beta$ 線の測定において、JIS Z 4314<sup>8)</sup>の諸条件を十分満足する性能を有していることが、下記の表に示すように確認できた。これにより本ガラス線量計による個人線量当量の測定結果は十分な信頼性を有すると判断される。

項 目	JIS Z 4314 <sup>8)</sup> の条件	ガラス線量計TH-C5115型
線量直線性	$\gamma$ 線0.1mSvで $\pm 30\%$ $\gamma$ 線の他の線量で $\pm 10\%$	0.1mSv $\sim$ 10Sv : $\pm 6\%$
エネルギー特性	光子、 $\beta$ 線とも $\pm 30\%$	光子 : $\pm 20\%$ $\beta$ 線 : $-4\%$
方向特性	$\gamma$ 線 $0^\circ \sim 60^\circ$ で $\pm 20\%$ X線、 $\beta$ 線は規定しない	$\gamma$ 線 : $0^\circ \sim 60^\circ$ $-2\%$ $90^\circ$ $-25\%$
混合照射特性	規定しない	$\pm 10\%$
リーダーの再現性	1mSvで変動係数0.03以下	0.05mSv : 0.04 1mSv : 0.007
線量計素子間のばらつき	1mSvで変動係数0.045以下	0.05mSv : 0.065 1mSv : 0.007
フェーディング特性	1 $\sim$ 90日で $-5\sim+15\%$	+3%

今後、ISOによって推奨されている水のスラブファントム<sup>11)</sup>を用いて、エネルギー特性、方向特性等の試験を行い、国際規格等との整合について検証する予定である。また、さらに中性子線量計及びリングバッジ(末端部線量計)についても、実験的検証を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 石川達也、村上博幸 ; JAERI-Tech 94-034 (1994)
- 2) J. H. Schulman、 R. J. Ginter、 C. C. Klick、 R. S. Alger and R. A. Yevy ; J. Appl. Phys. 、 Vol. 22 、 P.1479 (1951)
- 3) International Commission on Radiation Units and Measurements ; ICRU Report 47 (1992)
- 4) 日本工業規格 JIS Z 4331 (1995)
- 5) International Commission on Radiological Protection ; ICRP Publication 74 (1995)
- 6) 大森隆雄、長田正省 ; 東芝レビュー、 Vol. 34、 P. 161 (1979)
- 7) 清水滋 ; 私信
- 8) 日本工業規格 JIS Z 4314 (1995) (改訂版最終ドラフト ; 2001年出版予定)
- 9) International Organization for Standardization ; ISO 6980 (1993)
- 10) International Commission on Radiological Protection ; ICRP Publication 75 (1998)
- 11) International Organization for Standardization ; ISO 4037-3 (1999)

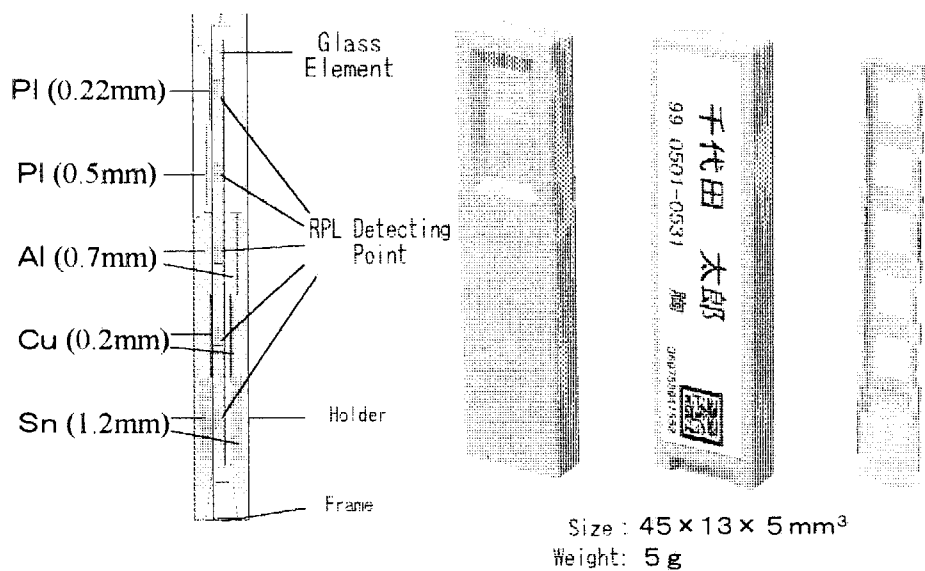


Fig.1 Structure of Glass Dosimeter(TH-C5115)

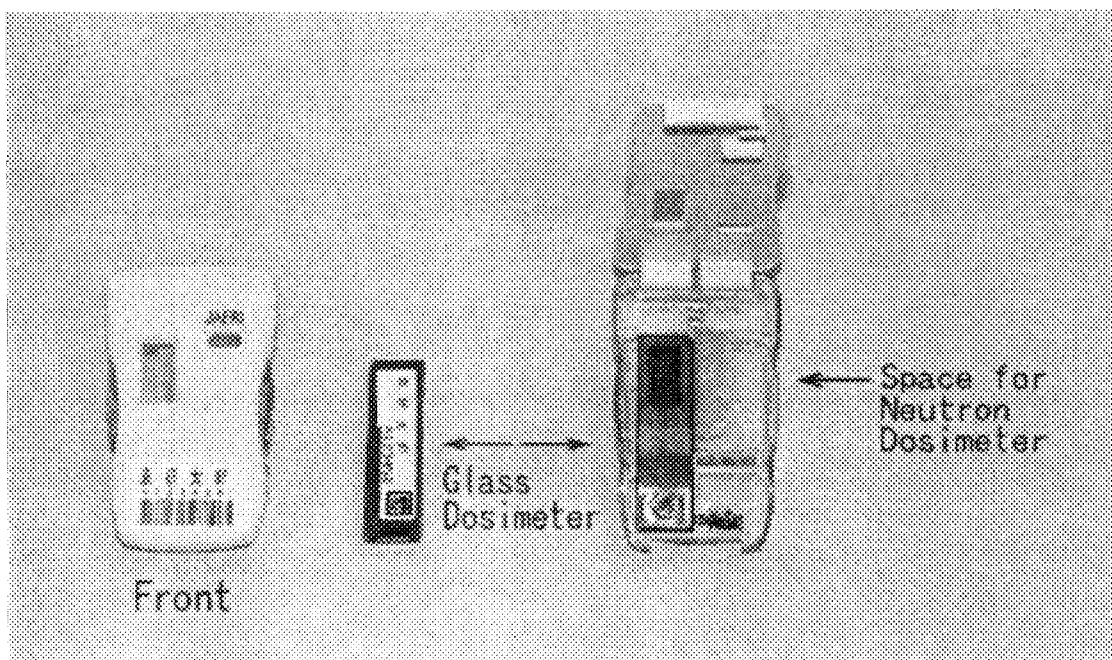


Fig.2 Glass Dosimeter in JAERI

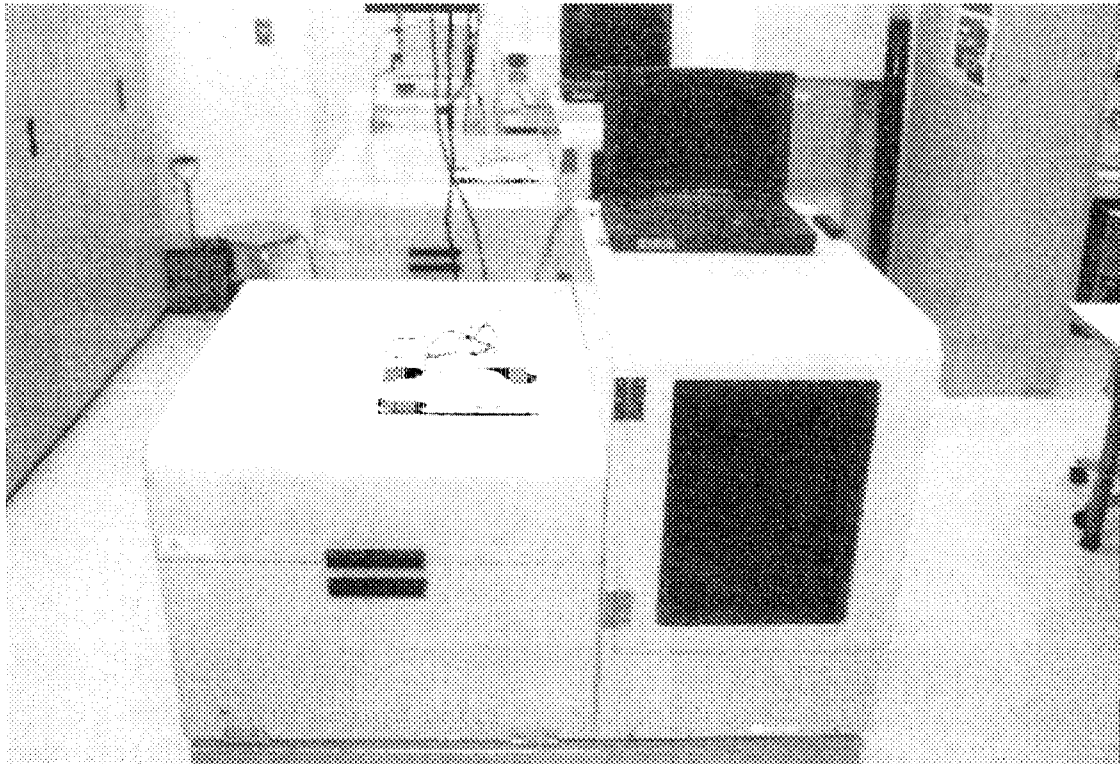


Fig.3-1 Glass Dosimeter Reader(TH-C5134)

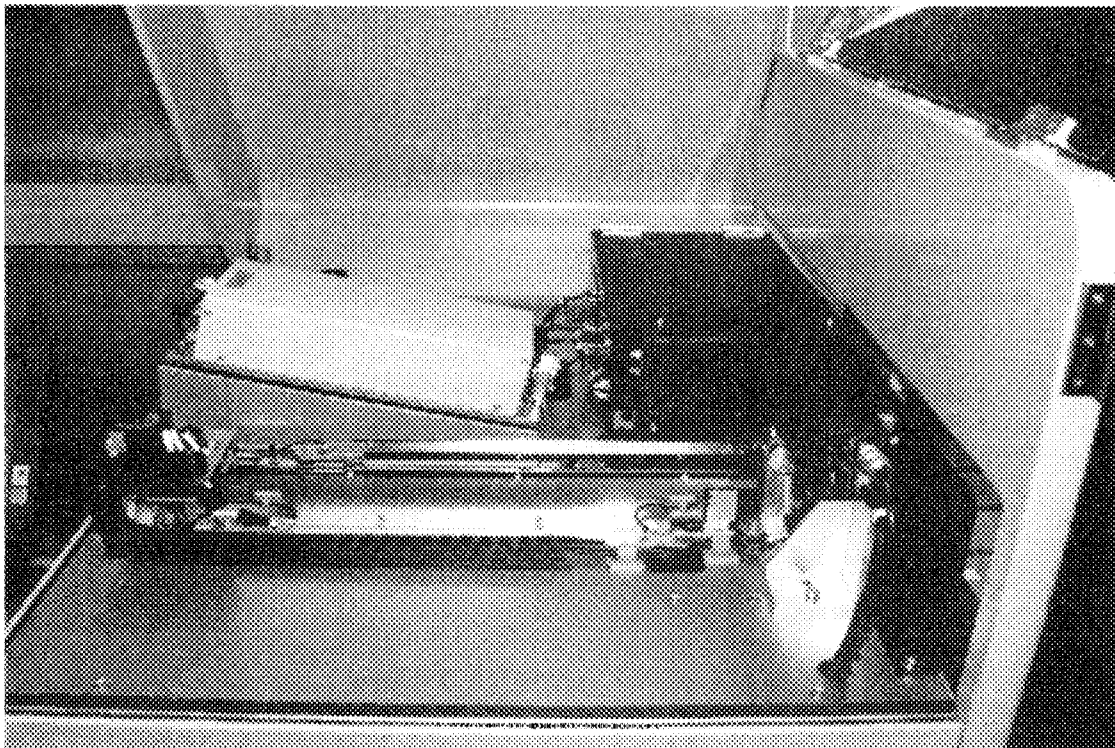
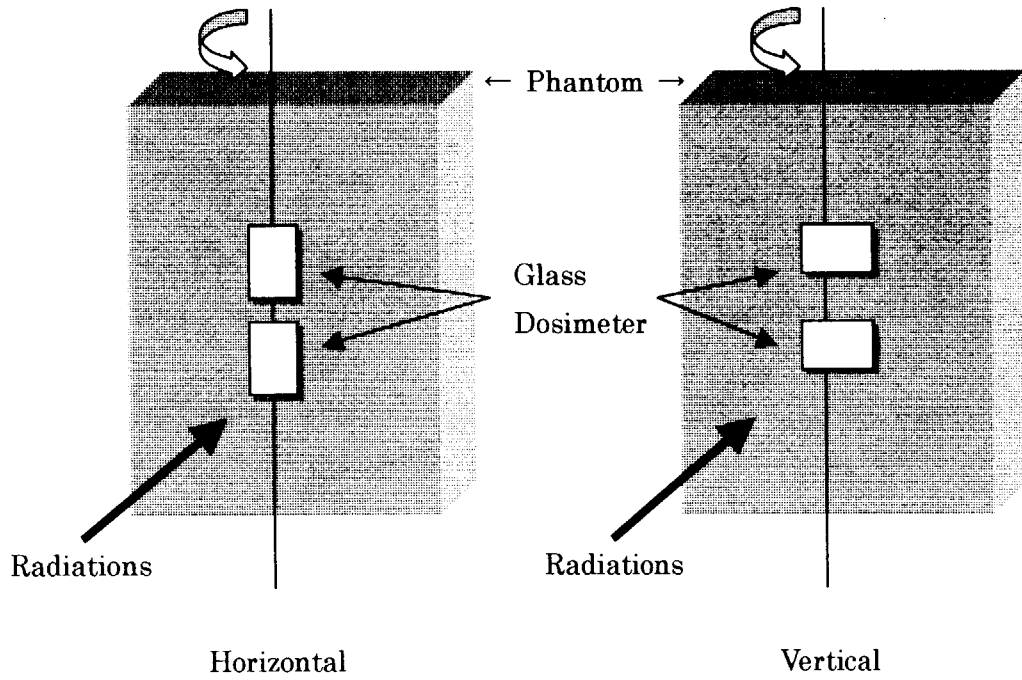


Fig.3-2 Measurement part of Glass Dosimeter Reader(TH-C5134)





Phantom<sup>4)</sup>

Size : 400 × 400 × 150 mm

Material : Methacrylic resin

Fig.4 Irradiation of Glass Dosimeters on Phantom

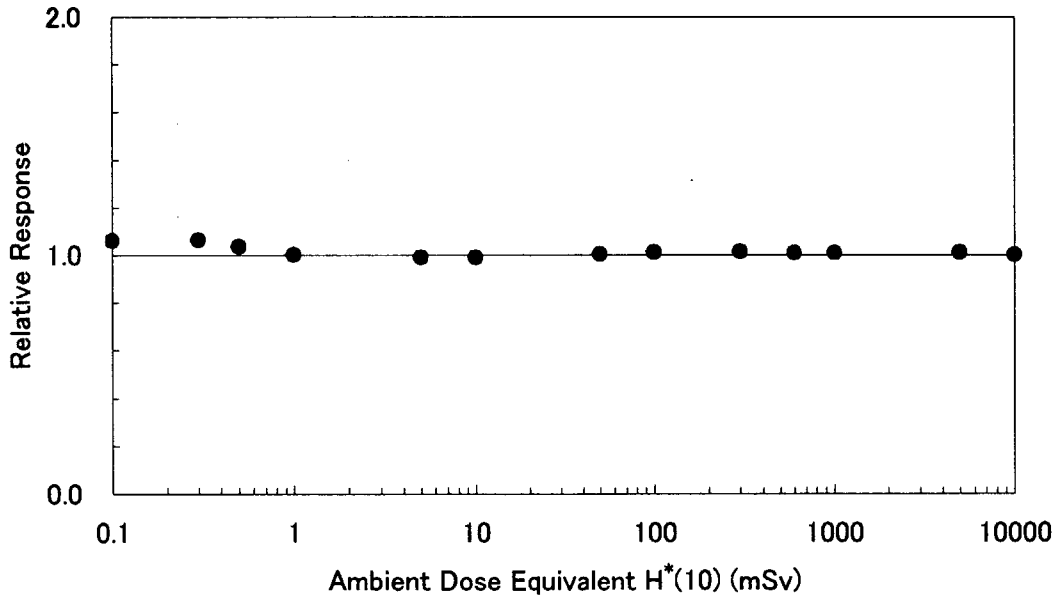


Fig.5 Dose Dependence Linearity of TH-C5115 Glass Dosimeter ( $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays)

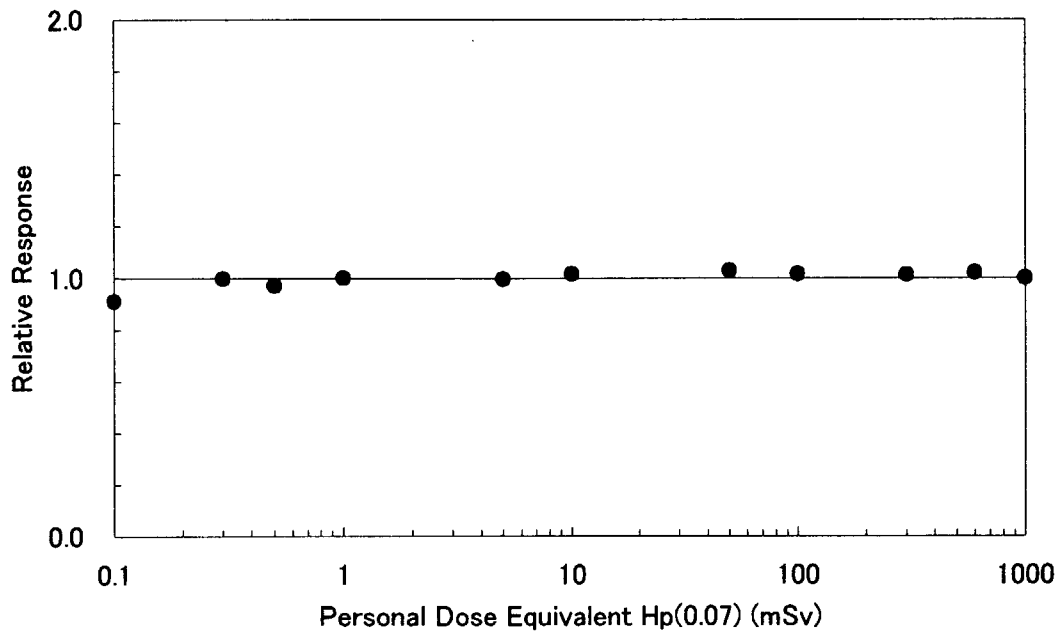


Fig.6 Dose Dependence Linearity of TH-C5115 Glass Dosimeter ( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$   $\beta$ -rays)

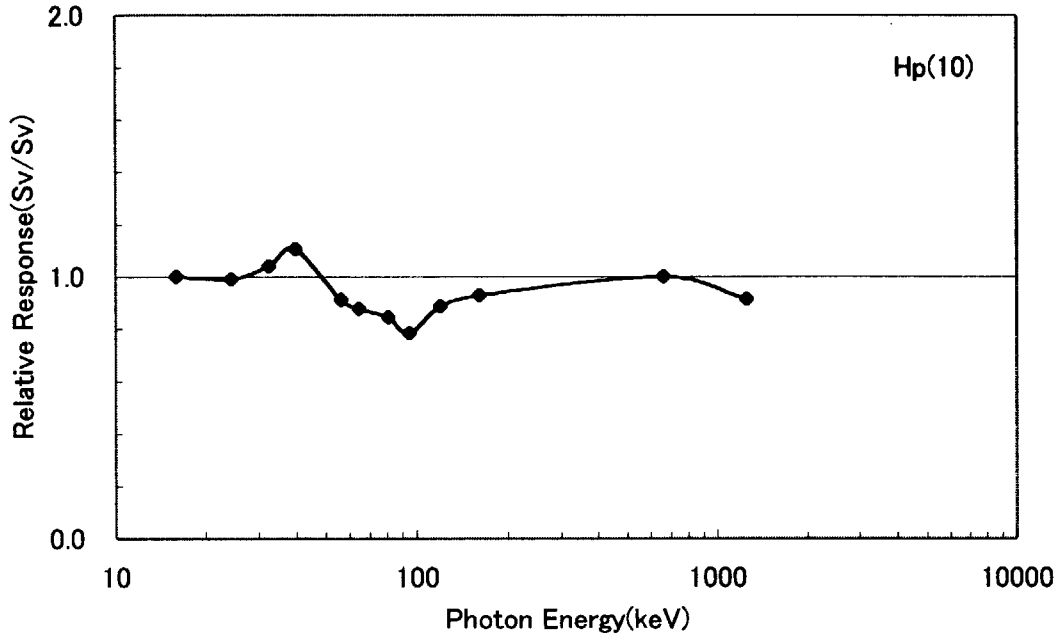


Fig.7 Energy Response of Glass Dosimeter (TH-C5115) to Photons

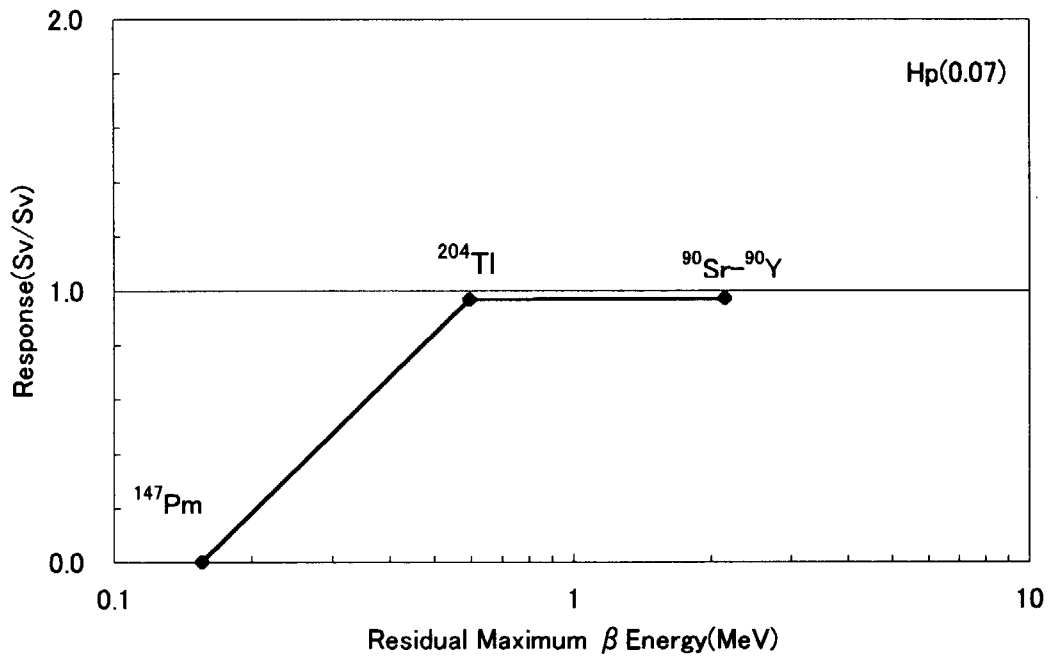


Fig.8 Energy Response of Glass Dosimeter (TH-C5115) to  $\beta$ -rays

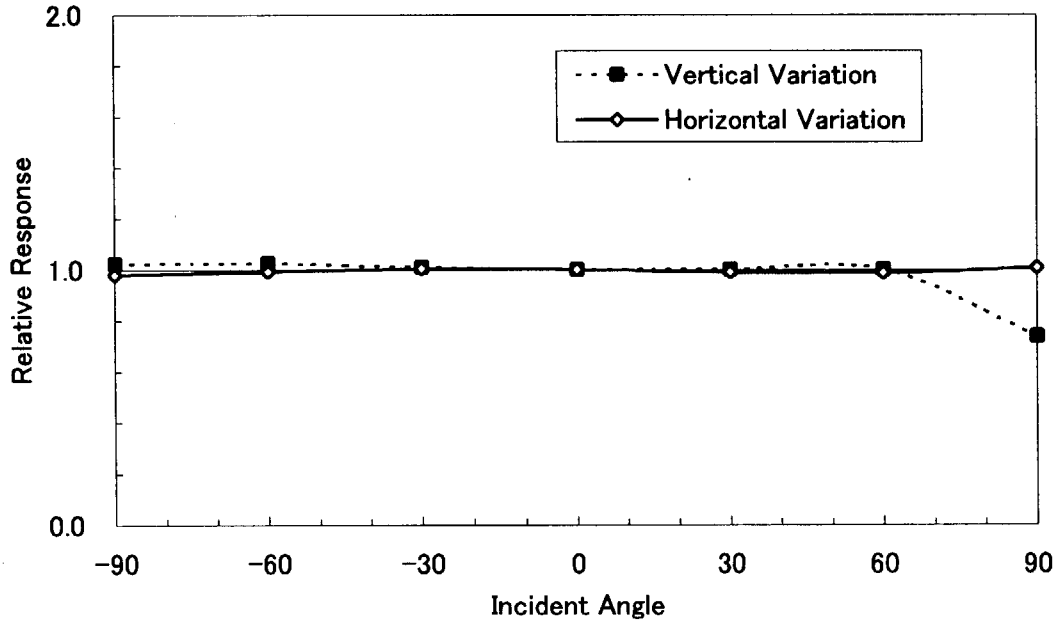


Fig.9 Angler Dependence of Glass Dosimeter (TH-C5115) for  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ -rays

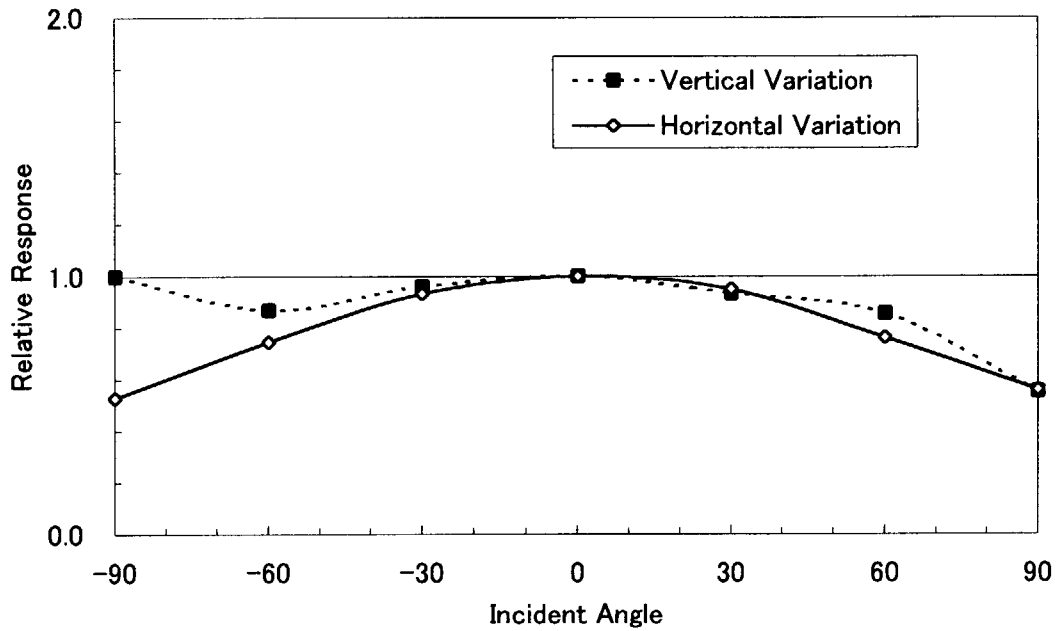


Fig.10 Angler Dependence of Glass Dosimeter (TH-C5115) for X-rays(80.6keV)

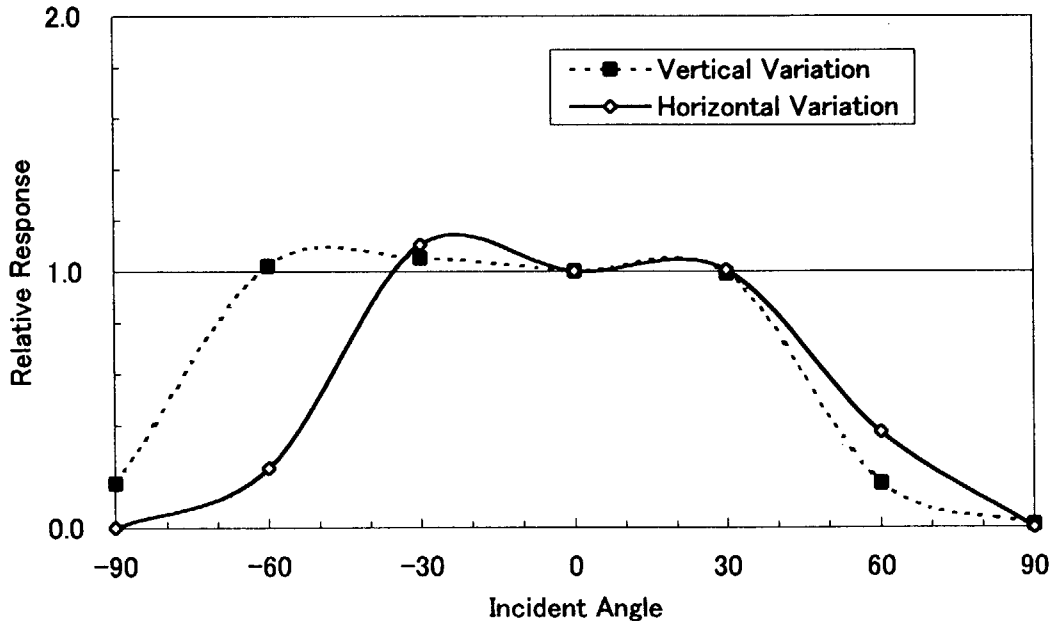


Fig.11 Angler Dependence of Glass Dosimeter (TH-C5115) for  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$   $\beta$ -rays

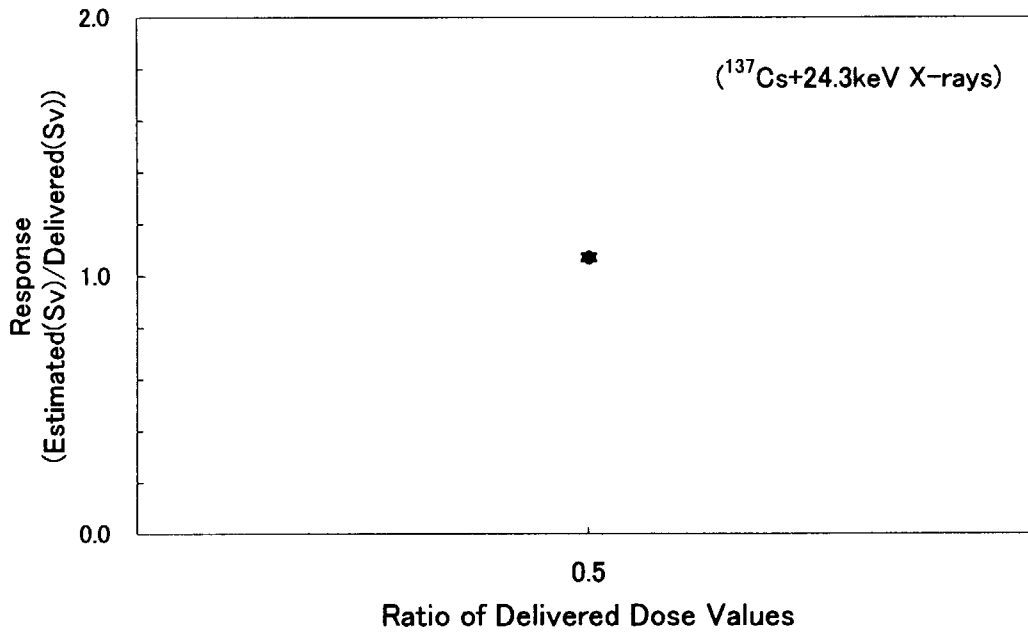


Fig.12-1 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [ $^{137}\text{Cs}$ +24.3keV X-ray]

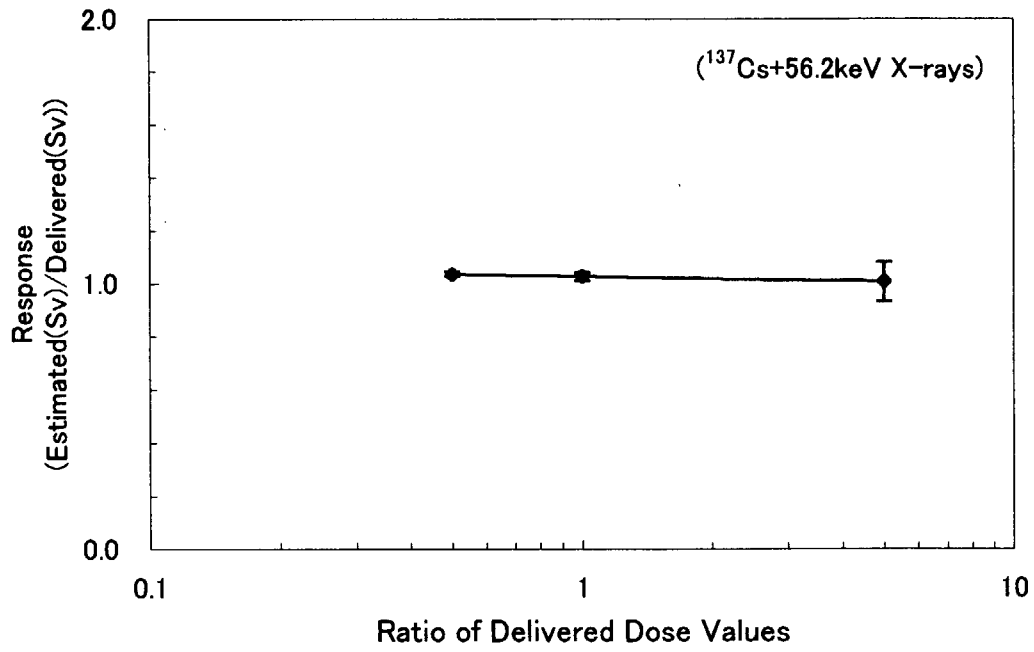


Fig.12-2 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [ $^{137}\text{Cs}+56.2\text{keV X-rays}$ ]

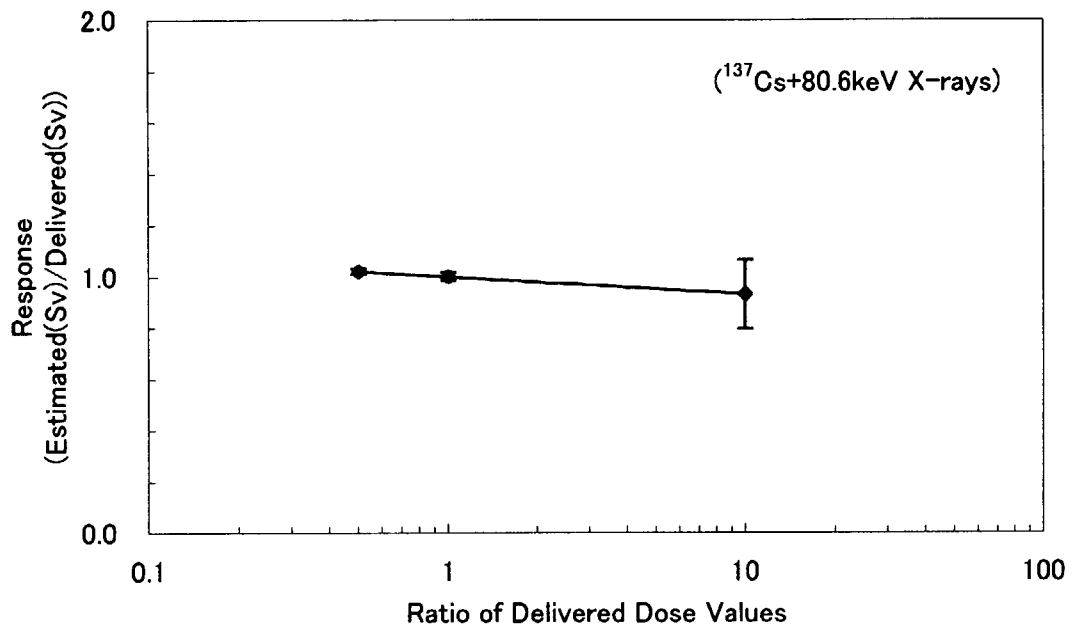


Fig.12-3 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [ $^{137}\text{Cs}+80.6\text{keV X-rays}$ ]

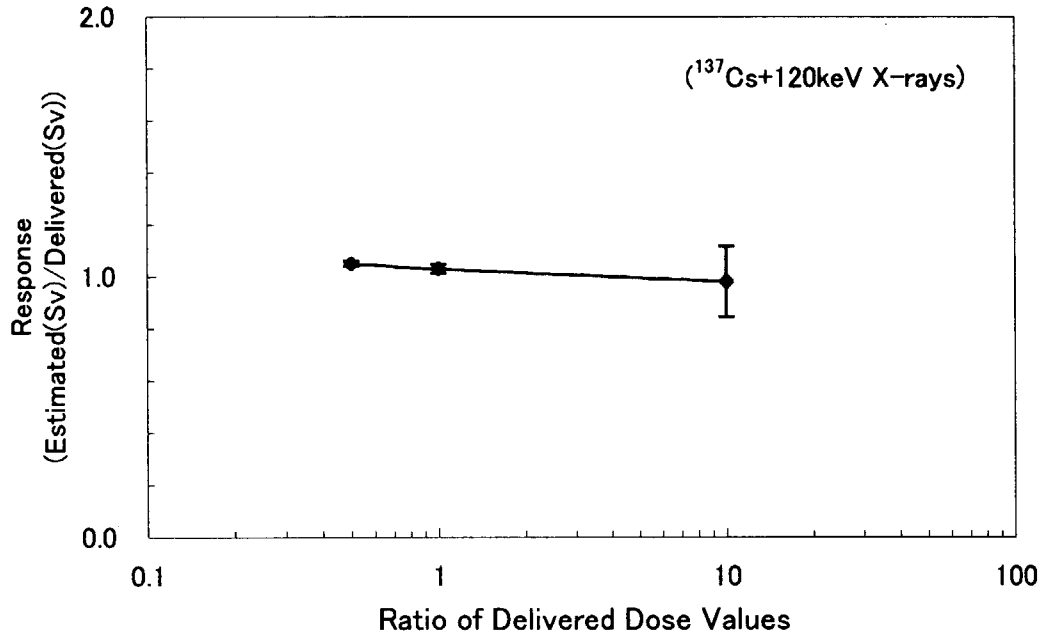


Fig.12-4 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [ $^{137}\text{Cs}+120\text{keV X-rays}$ ]

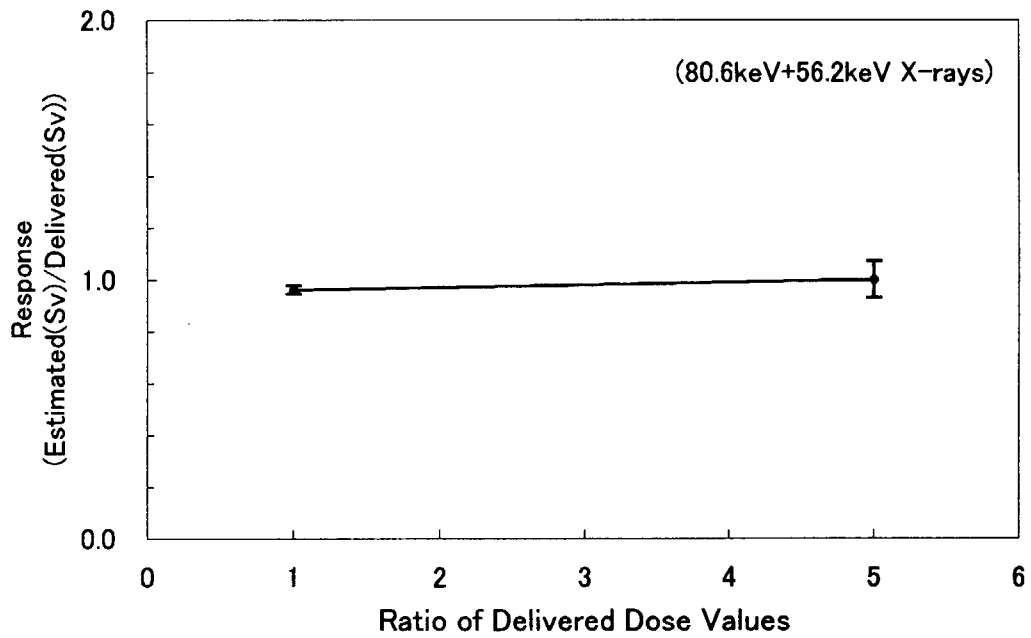


Fig.13 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [80.6keV+56.2keV X-rays]

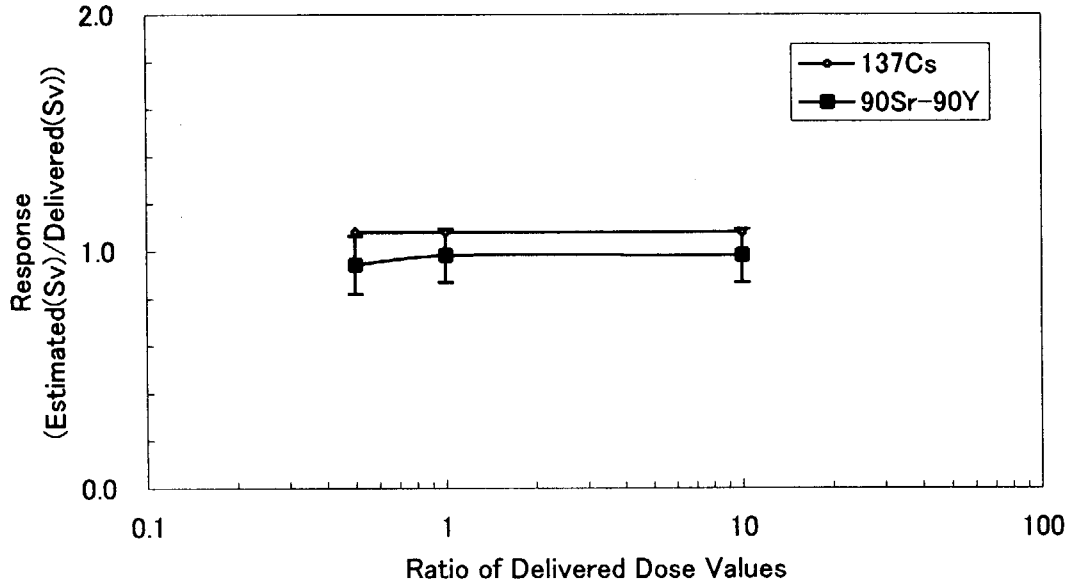


Fig.14 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [ $^{137}\text{Cs}+^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ ]

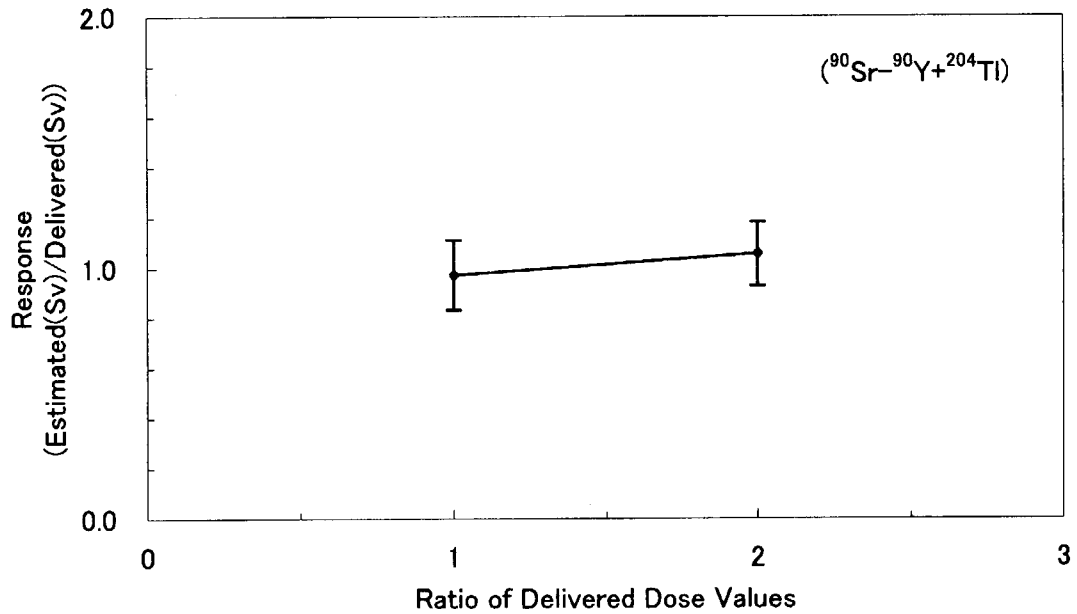


Fig.15 Dose Evaluation Performance of Glass Dosimeter (TH-C5115) on mixed Irradiation condition [ $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}+^{204}\text{Tl}$ ]



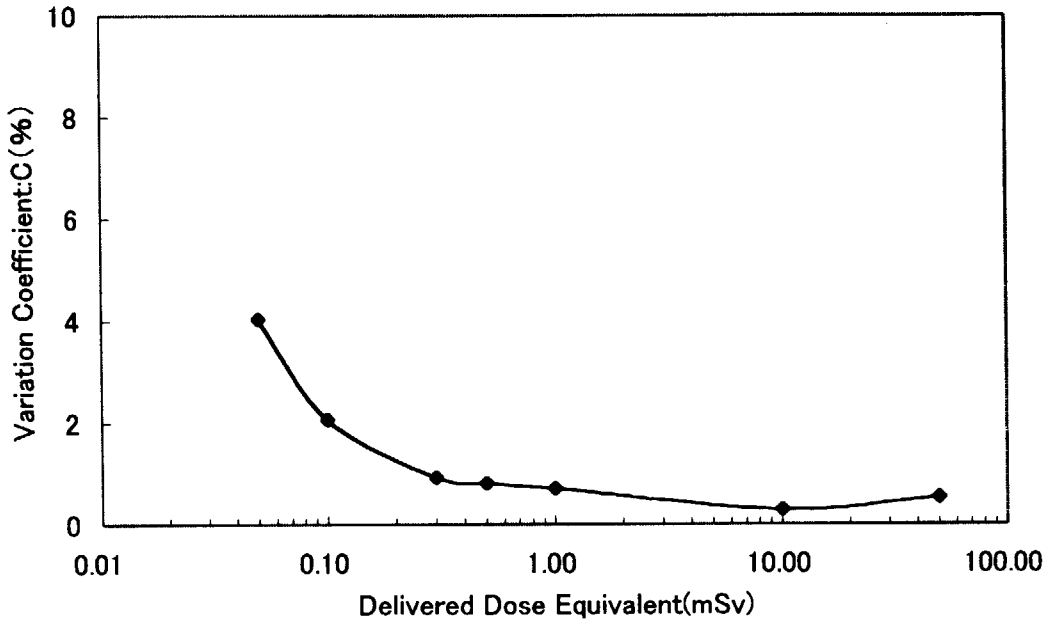


Fig.16 Reproducibility of Glass Dosimeter (TH-C5115) Readings

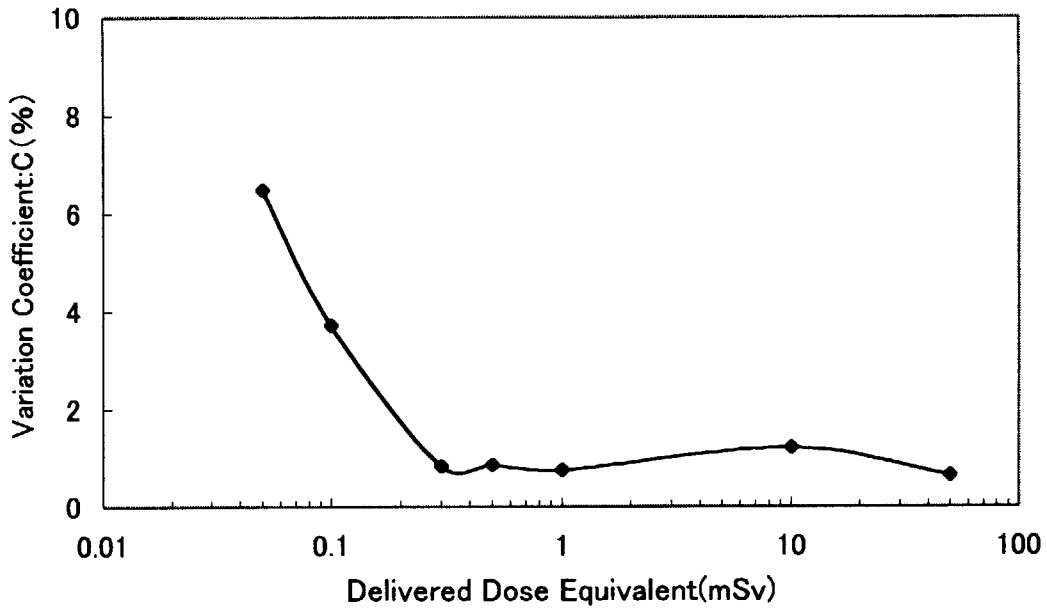


Fig.17 Batch Uniformity of Glass Dosimeter (TH-C5115)

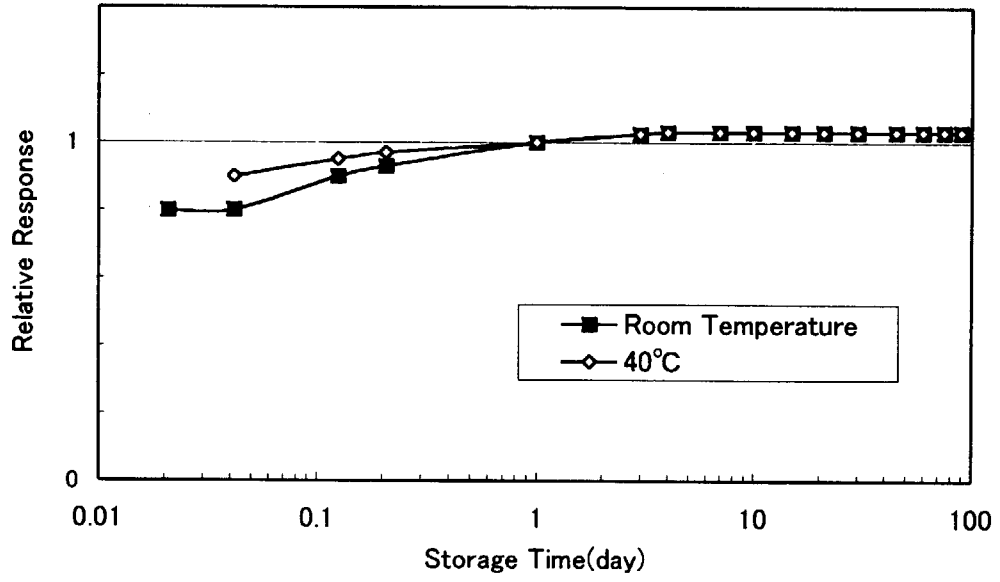


Fig.18 Fading of Glass Dosimeter (TH-C5115)

# 国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N	m·kg/s <sup>2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m <sup>2</sup>
放射能	ベクレル	Bq	s <sup>-1</sup>
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10<sup>-19</sup> J  
 1 u = 1.66054 × 10<sup>-27</sup> kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ	b
バール	bar
ガリ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

1 Å = 0.1 nm = 10<sup>-10</sup> m  
 1 b = 100 fm = 10<sup>-28</sup> m<sup>2</sup>  
 1 bar = 0.1 MPa = 10<sup>5</sup> Pa  
 1 Gal = 1 cm/s<sup>2</sup> = 10<sup>-2</sup> m/s<sup>2</sup>  
 1 Ci = 3.7 × 10<sup>10</sup> Bq  
 1 R = 2.58 × 10<sup>-4</sup> C/kg  
 1 rad = 1 cGy = 10<sup>-2</sup> Gy  
 1 rem = 1 cSv = 10<sup>-2</sup> Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 <sup>18</sup>	エクサ	E
10 <sup>15</sup>	ペタ	P
10 <sup>12</sup>	テラ	T
10 <sup>9</sup>	ギガ	G
10 <sup>6</sup>	メガ	M
10 <sup>3</sup>	キロ	k
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h
10 <sup>1</sup>	デカ	da
10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>-18</sup>	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版, 国際度量衡局 1985年刊行による。ただし, 1 eV および 1 uの値は CODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは, JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリに分類されている。
- EC閣僚理事会指令では bar, barn および「血圧の単位」 mmHgを表2のカテゴリに入れている。

## 換算表

力	N (=10 <sup>5</sup> dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 1 Pa·s (= N·s/m<sup>2</sup>) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))  
 動粘度 1 m<sup>2</sup>/s = 10<sup>4</sup> St (ストークス) (cm<sup>2</sup>/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg (Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 <sup>3</sup>	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 <sup>-4</sup>	1.35951 × 10 <sup>-3</sup>	1.31579 × 10 <sup>-3</sup>	1	1.93368 × 10 <sup>-2</sup>
	6.89476 × 10 <sup>-3</sup>	7.03070 × 10 <sup>-2</sup>	6.80460 × 10 <sup>-2</sup>	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 <sup>7</sup> erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)
	1	0.101972	2.77778 × 10 <sup>-7</sup>	0.238889	9.47813 × 10 <sup>-4</sup>	0.737562	6.24150 × 10 <sup>18</sup>	= 4.184 J (熱化学)
	9.80665	1	2.72407 × 10 <sup>-6</sup>	2.34270	9.29487 × 10 <sup>-3</sup>	7.23301	6.12082 × 10 <sup>19</sup>	= 4.1855 J (15 °C)
	3.6 × 10 <sup>6</sup>	3.67098 × 10 <sup>5</sup>	1	8.59999 × 10 <sup>5</sup>	3412.13	2.65522 × 10 <sup>6</sup>	2.24694 × 10 <sup>25</sup>	= 4.1868 J (国際蒸気表)
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 <sup>-6</sup>	1	3.96759 × 10 <sup>-3</sup>	3.08747	2.61272 × 10 <sup>19</sup>	仕事率 1 PS (仏馬力)
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 <sup>-4</sup>	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 <sup>21</sup>	= 75 kgf·m/s
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 <sup>-7</sup>	0.323890	1.28506 × 10 <sup>-3</sup>	1	8.46233 × 10 <sup>18</sup>	= 735.499 W
	1.60218 × 10 <sup>-19</sup>	1.63377 × 10 <sup>-20</sup>	4.45050 × 10 <sup>-26</sup>	3.82743 × 10 <sup>-20</sup>	1.51857 × 10 <sup>-22</sup>	1.18171 × 10 <sup>-19</sup>	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 <sup>-11</sup>
	3.7 × 10 <sup>10</sup>	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 <sup>-4</sup>	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

個人外部線量測定用蛍光ガラス線量計の基本特性