



JP0150304

JAERI-Tech  
2000-089



## OSL線量計の諸特性

2001年 2月

鈴木 朗史\*・伊藤 精

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。  
入手の問合せは、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）で複写による実費頒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

## OSL 線量計の諸特性

日本原子力研究所東海研究所保健物理部

鈴木 朗史\*・伊藤 精

(2000年12月8日受理)

Optically Stimulated Luminescence(OSL)線量測定法は、放射線を受けたある種の物質を可視光線で刺激することにより放出される蛍光を検出することで被ばく線量を測定する方法である。これは最近になって開発が進んだ個人被ばく線量測定法の一つであり、海外ではすでに実用が開始されている。今回、酸化アルミニウム( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ )素子を用いた OSL 線量計の実用性を検証するため、その基本的特性(線量直線性、エネルギー特性、方向特性、混合照射特性、経時変化特性等)の試験を行った。この結果、OSL 線量計は $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線の測定に対応でき、個人線量計として実用上十分な特性を有していることが確認された。本報では、今回の試験で得られた OSL 線量計の諸特性について報告する。

## Characteristics of OSL Dosimeters

Akifumi SUZUKI\* and Masashi ITO

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

(Received December 8,2000)

Optically Stimulated Luminescence (hereafter OSL) dosimeter system is the method for radiation dose measurements by detecting light emitted when the luminescence material, which is exposed to radiation, is stimulated with visible light. Recently, this system has been developed as an advanced method for personal radiation dosimetry and has already been adopted in some countries such as U. S. A., Canada and others. Some basic characteristics (linearity for dose, energy response, angular dependence, dose evaluation performance on mixed irradiation field, fading and so on) required for the practical application of the  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> OSL dosimeter were investigated. It is shown that the OSL dosimeter has excellent good enough to performance for the measurement of  $\gamma$ , X and  $\beta$  doses and is good enough for practical use as personal dosimeter. This paper describes the basic characteristics of the OSL dosimeter obtained by the investigation.

Keywords: Optically Stimulated Luminescence (OSL),  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> OSL Dosimeter, Personal Dosimeter, Dose Dependence Linearity, Energy Response, Angular Dependence, Fading

---

\*Nagase Landauer Co.. Ltd.

目次

1. まえがき .....	1
2. OSL 線量計について .....	1
3. 特性試験内容 .....	2
4. 試験方法 .....	3
5. 結果と考察 .....	4
6. 結言 .....	10
謝辞 .....	11
参考文献 .....	12

Contents

1. Introduction .....	1
2. OSL Dosimeter .....	1
3. Testing Categories .....	2
4. Testing Methods .....	3
5. Results and Discussion .....	4
6. Conclusion .....	10
Acknowledgements .....	11
References .....	12

This is a blank page.

## 1. まえがき

放射線の平和利用を推進する上で必要不可欠である人の安全管理に関する科学技術は、発電分野や医療分野など、いろいろな分野に広く浸透しており、日本においては、今やその安全管理技術はほぼ確立されたといわれている。しかし、日常における RI、放射線等の使用に際しての放射線の防護と安全取り扱い技術について、慣れから来る不注意や慢心が生じないように、常々十分に注意を喚起しなければならないことはいうまでもない。

この安全管理の重要な柱である個人被ばく線量の測定管理はできるだけ簡便に、且つ正確に行えることが望まれている。従来まで個人線量計としてはフィルムバッジが広く使用されてきた。しかし今日では、その現像に伴う廃液等の環境問題に配慮し、さらに、取り扱いの容易さといったこれまでの長所を維持した、より性能の高い個人線量計が必要とされている。また、その線量計は個人被ばくのモニタリングだけでなく作業環境のモニタリングにも対応し得ることが望ましい。

放射線検出法の一つである Optically Stimulated Luminescence(以降 OSL と呼ぶ)を線量測定に応用した線量計は、近年急速に開発が進められた個人線量計の一つであり、現在、世界各国でさまざまな研究が行われており<sup>1,2,3,4)</sup>、すでに実用も開始されている。OSL 線量計は、フィルムバッジと比較して、測定範囲が広い上に精度が良く、繰り返し測定が可能であり、さらに反復使用が可能であるという利点がある<sup>5)</sup>。また、放射線検出素子には耐水性の無機化合物の粉末を用いているため軽量で耐久性に優れている。測定原理としては、現在利用されている TLD やガラス線量計と類似しているが、大きな違いは測定や再生処理に高温加熱を要しないという点である。測定は、LED 光やレーザー光を用いた可視光の照射による励起で簡単に行うことができ、また再生処理も蛍光灯の光を当てるだけで可能である。但し、使用時はフィルムバッジと同様に素子を遮光状態にしなければならない。

OSL 線量計が今後、国内において導入された場合、個人線量計の一つとして広く普及していくものと考えられる。今回、この OSL 線量計の諸特性を調査し実用性について検討した。本報では、その結果を報告する。

## 2. OSL 線量計について

Optically Stimulated Luminescence 現象の適用は、Huntley らにより地質学における年代測定技術として初めて紹介されている<sup>6)</sup>。この現象を端的に表すと次のようになる。物質に放射線が入射すると、そのエネルギーにより価電子帯(Valence Band)にある電子が励起され、この励起された電子は伝導帯(Conduction Band)に上がる。励起された電子の大部分は直接元に戻るが、一部は結晶格子中の陰イオン欠損部や不純物にトラップされ、準安定状態に保持される。これが入射放射線のエネルギーを蓄えた状態である。この状態の物質に可視光を当てて刺激すると、そこにトラップされた電子は再び励起され伝導帯に上げら

れる。その後、この電子が蛍光中にトラップされている正孔(Hole)と再結合する。そのときに余剰なエネルギーが蛍光という形で放出され、元の安定な状態に戻る。この蛍光量を測定することにより、被ばく線量の測定が可能となる<sup>7)</sup>。

このOSL線量計の放射線検出素子として有力な候補となった物質が、酸化アルミニウム( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ )蛍光体である。これは、 $\alpha$ 型酸化アルミニウムの結晶に炭素をドープしたものである。一般的なTL物質の多くは、光刺激でも蛍光が放出される性質を持っているが、OSL現象も含めて線量測定技術としてはあまり注目されなかったため、開発はほとんど行われてこなかった<sup>7)</sup>。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ も当初TLD素子用として研究が行われ、他の物質と比較して高感度である点が知られていたが<sup>8,9)</sup>、光に対する感受性が非常に大きい点と、加熱刺激を必要としないためにTLD測定の高温加熱処理時に生じるようなクエンチングの問題等を回避することができるという点が注目され、数年前からOSL現象を利用した新しい線量測定器としての可能性が強調されるようになった<sup>7,10,11)</sup>。そのため、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ はOSL線量計として開発が進められ、現在は実用化に至っている。

今回使用したOSL線量計は、米国Landauer社製の $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ 素子である。これは、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ 結晶の粉末をポリエステルシートに薄膜状にコーティングし、1.8cm×1.7cmの大きさに加工されたものである。これを、フィルタを埋め込んだプラスチック枠の間に挿入し、遮光性の紙で包装し、さらにプラスチック加工を行い実用可能な線量計とする。フィルタは0.5mm厚のSnフィルタ、0.2mm厚のCuフィルタ、さら格子縞状のCuフィルタの3種類が取り付けられている。素子は、これに金属フィルタのない(Open Window:OW)位置を含め4点の測定が可能となるが、格子縞状のCuフィルタ位置はイメージ画像取得を目的として作られているため直接測定に使用せず、通常の線量評価にはそれ以外の3点を使用する。そのOSL線量計の外観、素子、フィルタ構成をFig.1に示す。

OSL線量計の測定を行うためのリーダーも、同じくLandauer社製のマニュアルリーダーを使用した。このリーダーは、セットした素子に、緑色のLED光をガラスフィルタを通して得られた532nmの励起光を当て、これにより放出された蛍光をガラスフィルタで分離し、その発光量(検出波長420nm)を光電子増倍管(Photomultiplier Tube:PMT)によりフォトカウンティング方式で読み取るものである。そのリーダーの外観をFig.2に示す。

### 3. 特性試験内容

OSL線量計の特性試験項目は以下の通りである。いずれの調査においても照射した基準線量に対する測定値の比(レスポンス)を求めた。

#### 1. 線量直線性(対象線種: $\gamma$ 線、 $\beta$ 線)

線量計の線量測定範囲を求める。

2. エネルギー特性(対象線種： $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線)  
線量計のエネルギー依存性を求める。
3. 方向特性(対象線種： $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線)  
放射線の入射方向に対する線量計の感度の変化を求める。
4. 混合照射特性(対象線種： $\gamma$ 線、X線、 $\beta$ 線)  
線量計に異なった線種、線質の放射線を混合照射した場合の測定性能を求める。
5. 線量計素子の再現性に関する調査  
同一素子を繰り返し測定した場合における測定値の再現性を求める。
6. 線量計素子間の感度のばらつきに関する調査  
複数の素子に同一の線量を照射した場合における各測定値のばらつきの度合いを求める。
7. フェーディング特性  
照射後の時間の経過による測定値の変化を求める。
8. 線量計の感度の経時変化特性  
再生処理後の時間の経過による測定感度の変動の有無を確認する。
9. 再生処理反復性  
素子を反復使用した場合における測定性能への影響の有無を確認する。
10. 線量計の速中性子に対する感度の調査  
速中性子に対する感度が、他の放射線の測定性能に影響を及ぼさないことを確認する。

#### 4. 試験方法

特性調査における放射線照射は、日本原子力研究所東海研究所の放射線標準施設(Facility of Radiation Standards : FRS)の基準線源及びX線照射装置を用いて実施した。但し、20keV以下の低エネルギーX線の照射は、電子技術総合研究所(電総研)で行った。

測定目的となる計測量(目的量)は、1cm 線量当量( $H_{1\text{cm}}$ )、3mm 線量当量( $H_{3\text{mm}}$ )、 $70\mu\text{m}$  線量当量( $H_{70\mu\text{m}}$ )とした。照射は、平行ビームによる單一方向照射を基本とし、基準量として  $H_{1\text{cm}}$  を用いた( $\beta$ 線を除く)。国家標準機関である電総研からの線量基準の移行は光子( $\gamma$ 線、X線)については照射線量で実施されており、これから  $H_{1\text{cm}}$ 、 $H_{3\text{mm}}$ 、 $H_{70\mu\text{m}}$  への換算には、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律の告示別表第4による換算係数<sup>12)</sup>を利用した。 $\beta$ 線の照射は、校正基準量として外挿電離箱を用いた測定により決定された  $7\text{mg}/\text{cm}^2$  透過時の組織吸収線量を用い、 $H_{70\mu\text{m}}$  への換算係数は  $1\text{Sv}/\text{Gy}$  とした。

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線量計内の素子の位置とした。方向特性の調査においては、校正基準点を軸にして線量計を装着したファンтом(ファンтомについてはJIS Z4331<sup>13)</sup>に規定されているものを使用し、その表面に線量計を密着して照射した)を、水平方向に左右  $90^\circ$  まで回転させ照射を行った。また、線量計を横向きに  $90^\circ$  回転させて装着することで上下方向の回転とみなした。

照射距離は、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)としたが、 $\gamma$  線( $^{60}\text{Co}$ )の 100mSv 以上の高線量照射については 2m 以内の距離から照射を行った。

照射した OSL 線量計の測定は、放射線により励起された電子が安定状態及び準安定状態になるまでの十分な時間を確保するとともに、個々の試験毎に測定までの時間が異なることによる影響を避けるため、原則として照射終了後 24±4 時間が経過してから実施した。

## 5. 結果と考察

### 5.1 線量直線性

OSL 線量計の線量直線性の調査を  $\gamma$  線、 $\beta$  線に対して行った。

$\gamma$  線に対する調査は、 $^{60}\text{Co}$  線源を用いて実施した。10  $\mu\text{Sv}$  から 1Sv までの範囲においてフリーエア中で照射を行った結果を Fig. 3 に示す。図は、1mSv におけるレスポンスを基準とした相対レスポンスで示した。同図から明らかかなように、 $\gamma$  線に対しては 50  $\mu\text{Sv}$  から 1Sv の範囲で ±5% 以内という極めて変動の少ないレスポンスを得た。さらに 30  $\mu\text{Sv}$  においても 10% 程度の変動しか見られなかった。一方、10  $\mu\text{Sv}$  ではレスポンスは 43% に低下したが、これは測定誤差が大きくなつたことによるものである。

また、1mSv~100mSv においてファントム上で線量計を照射したときの直線性の調査結果を Fig. 4 に示す。図は、1mSv におけるレスポンスを基準とした相対レスポンスで示した。この場合においても、フリーエア中で照射したときと同様にレスポンスの変動が少なく、1% 前後しか示さないことが明らかとなった。

$\beta$  線に対する調査は、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  を線源とし、2、4、6mSv において行った。結果を Fig. 5 に示す。得られた値は、2mSv 照射時のレスポンスを基準値とした相対レスポンスで示したが、いずれも 3% 以内のレスポンスを得た。

これらの結果から、OSL 線量計は  $\gamma$  線、 $\beta$  線に対し、ともに十分に実用可能な線量直線性を有していることが判った。

### 5.2 エネルギー特性

OSL 線量計のエネルギー特性を、 $\gamma$ (X)線、 $\beta$  線について調査した。

X 線は線質指標 QI=0.8 で照射を行った。OSL 線量計をファントムに付けて照射を行ったときの、それぞれのフィルタ下における OSL 素子の  $\gamma$ (X) 線に対するレスポンスのエネルギー依存性を Fig. 6 に示す。同図は  $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線照射における Sn フィルタ位置のレスポンスを基準とした相対レスポンスで示した。200keV 以上のエネルギー領域において、Sn フィルタ位置のレスポンスが OW 位置のレスポンスより大きくなる傾向が見られ、特に 250keV 付近において顕著であった。また、10keV では OW 位置以外の感度がほとんどなくなるため、その領域ではエネルギーの推定が困難である。

これらのエネルギーレスポンスを基に 1cm 線量当量( $H_{1\text{cm}}$ )、3mm 線量当量( $H_{3\text{mm}}$ )、70  $\mu\text{m}$  線量当量( $H_{70\mu\text{m}}$ )を算出する評価式を決定し、これを用いて得られた線量値のエネルギー依存性を求めた。結果を Fig. 7 に示す。15keV から 1250keV の光子エネルギー範囲において、 $H_{1\text{cm}}$ 、 $H_{3\text{mm}}$ 、 $H_{70\mu\text{m}}$  の評価値の変動はいずれも  $\pm 10\%$  以内の範囲であることが判った。このため、このエネルギー範囲内においては、OSL 線量計は光子エネルギーに関わらず  $H_{1\text{cm}}$ 、 $H_{3\text{mm}}$ 、 $H_{70\mu\text{m}}$  を十分評価できることが明らかとなった。また、先に述べたように 10keV の  $\gamma$ (X)線に対しては、通常の評価方法では線量評価不能であることが判った。

また、フリーエアにおいても同様に  $\gamma$ (X)線を照射した。ここでも、それぞれのフィルタ下における素子のレスポンスのエネルギー依存性を Fig. 8 に、さらにこれらを基に算出した 1cm 線量当量に対するエネルギー依存性を Fig. 9 に示す。Fig. 8 は Fig. 6 同様、 $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$ 線照射における Sn フィルタ位置のレスポンスを基準とした相対レスポンスで示した。この場合も、20keV から 1250keV の光子エネルギー範囲において、1cm 線量当量評価値は  $\pm 10\%$  以内の範囲であることが判った。これらのことから OSL 線量計は個人線量測定用だけでなく環境線量測定用としても十分に対応できる性能を有していることが判った。

さらに  $\beta$  線に対しても、それぞれのフィルタ下における素子のレスポンスのエネルギー依存性を調査した。結果を Fig. 10 に示す。 $\beta$  線のエネルギーは、国際標準化機構(ISO)の推奨する残留最大エネルギー<sup>14)</sup>を採用している。図は  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  の  $\beta$  線照射における OW 位置のレスポンスを基準とした相対レスポンスで示した。同図より、OSL 線量計は  $^{204}\text{Tl}$  と  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  の  $\beta$  線に対しては測定評価が十分に可能であるが、 $^{147}\text{Pm}$  についてはこのフィルタ構成では測定評価できるレスポンスを有していないことが判った。

また、これらを基に算出した  $\beta$  線に対するエネルギー依存性(対象量 70  $\mu\text{m}$  線量当量)を Fig. 11 に示す。先に述べたように、 $^{147}\text{Pm}$  についての測定評価は不可能であったが、 $^{204}\text{Tl}$  から  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  までのエネルギー範囲では、実用上十分な測定性能を有していることが判った。

### 5.3 方向特性

OSL 線量計の方向特性は、放射線が線量計に対して垂直方向から入射したときの線量測定値を基準とし、相対比で示した。

$\gamma$  線( $^{137}\text{Cs}$ )に対する方向特性を Fig. 12 に示す。水平方向、垂直方向ともに左右 90° までの範囲において、垂直方向以外の入射によるレスポンスが高くなるという傾向が見られ、60° からの入射においては 10%程度の上昇が見られた。このレスポンスが上昇した部分においては、OW 位置以外の Sn、Cu のフィルタ位置で発光量の増加が見られた。しかし、いずれの場合においてもレスポンスの変動が 10%以内という良好な方向特性を示しているため、この傾向による測定への影響は少ないといえる。

実効エネルギー80keV の X線(QI=0.8)に対する方向依存性を Fig. 13 に示す。入射角度が大きくなるにつれてレスポンスが減少し、90° では垂直方向からの入射に対して 60%程度

のレスポンスとなった。X線の入射角度の増加に伴い測定点における被照射面積が小さくなり、被照射線量が少なくなったためである。

実効エネルギー30keVのX線(QI=0.8)に対する方向特性をFig. 14に示す。いずれの方向からの入射においても、30°までの範囲においては±3%以内の変動しか見られず、良好な精度が得られた。これは、水平方向、垂直方向ともに、入射角度が大きくなるにつれてOWとCuのフィルタ位置で発光量が減少する傾向が見られたのに対し、Snフィルタ位置で発光量が増加する傾向が見られたため、垂直方向からの照射におけるレスポンスを基に策定された線量評価アルゴリズムにより、角度の変化に伴う増減がさほど大きくなかった測定線量が算出されたためである。また、90°の入射においては、右方を除き値に大きなばらつきが見られた。この理由は、X線がフィルタを通過せずに、外枠のプラスチックを通して直接、素子に作用しているためである。しかし、OSL線量計はそれぞれの方向において、60°までの角度で15%以内の十分な精度を有しているため、実用上は問題ないものと考えられる。

$\beta$ 線( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )に対する方向依存性をFig. 15に示す。 $\beta$ 線は透過力が弱いため、いずれの方向においても入射角度が大きくなるに伴い、レスポンスが著しく減少し、90°になると感度がほとんどなくなってしまうという結果が得られた。しかし、上方と左右では30°まで、下方においては45°までの範囲において80%以上のレスポンスを有していることが判った。

今回試験を行った範囲において、OSL線量計は $\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ )においてはあらゆる方向からの入射に対して±20%以内で測定可能であり、実効エネルギー30keVのX線においては上下左右60°の範囲、その他の線種、線質においても上下左右30°の範囲の入射に対して±20%以内で測定可能といえることが判った。

#### 5.4 混合照射特性

$\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ )、X線(実効エネルギー32.5、47.5、80.6keV; いずれもQI=0.8)、 $\beta$ 線( $^{204}\text{Tl}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )を対象とし、6種類の組み合わせにおいて線量比を変化させファントム上で照射試験を行った。以下にその線量評価性能を示す。

2種類のX線による混合照射時の測定性能調査は、実効エネルギー32.5 keVと同80.6keVの場合及び実効エネルギー47.5 keVと同80.6keVの場合の2組に対して調査を行った。結果をFig. 16、Fig. 17に示す。これらの場合ではいずれの線量比においても±5%以内で評価値が得られた。

$\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ )とX線を混合照射した場合の測定性能調査は、 $\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ )と実効エネルギー47.5 keVの場合及び $\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ )と実効エネルギー80.6keVの場合の2組に対して調査を行った。結果をFig. 18、Fig. 19に示す。これらの場合でもまた、いずれの線量比においても±10%以内で評価値が得られた。

$\gamma$ 線( $^{137}\text{Cs}$ )と $\beta$ 線( $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ )を混合照射した場合の結果をFig. 20に示す。ともに単独で

照射した場合とほぼ変わらないレスポンスが得られたが、 $\beta$ 線量値に関しては、照射する割合が少ないほど誤差が大きく、 $\gamma$ 線量が $\beta$ 線量の5倍の場合においては、 $\beta$ 線量の誤差は約10%という結果になった。

エネルギーの異なる $\beta$ 線同士を照射した場合の結果をFig. 21に示す。 $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ に対する $^{204}\text{Tl}$ の $\beta$ 線量値が増加するに伴い誤差が増大し、同一割合の線量を照射した場合に最大となつた。しかし、レスポンスの変動は5%以内であり、実用においては十分な精度を有していることが判つた。

これらの結果より、OSL線量計に異なつた線種や線質の放射線を混合照射した場合、線質が異なつた場合においては特に問題なく線量評価がなされるが、 $\gamma$ 線と $\beta$ 線のように線種が異なつた場合では、照射した線量に近い評価値が得られているものの誤差が大きくなることが判つた。またこの場合、照射された放射線の線量比に大きな差がある場合、線量が小さい方は正しく評価されにくいという傾向があることも判つた。

### 5.5 線量計素子の再現性に関する調査

線量計素子を繰り返し測定した場合の再現性についての調査を行つた。この調査では $^{60}\text{Co}$ を線源として $30\mu\text{Sv}$ から $1\text{Sv}$ までの $\gamma$ 線を線量計に照射し、10回ずつ繰り返し測定を行つた。

$50\mu\text{Sv}$ 、 $100\mu\text{Sv}$ 、 $500\mu\text{Sv}$ 、 $1\text{mSv}$ を照射し、繰り返し測定を行つたときの測定値の変動をFig. 22に示す。同図は1回目に得られた測定値を基準とし、それ以降の値は相対比で表している。OSL素子は測定を重ねる毎に蓄積したエネルギーを少しづつ放出しているため、その測定値には減少が見られた。ここでは、10回測定後のレスポンスは、 $50\mu\text{Sv}$ の照射でおよそ40%、 $100\mu\text{Sv}$ で70%、 $500\mu\text{Sv}$ で90%となつた。 $1\text{mSv}$ の照射については約3%の減少しか見られなかつた。また、ここでは示していないが、 $5\text{mSv}$ 以上の線量の照射についても3%未満の減少しか見られなかつた。これらの結果は、他の線量計素子を用いて調査を行つた場合においても同様の結果が得られた。

さらに、複数回測定により得られた線量評価値を上記で得られた減衰曲線に基づき補正し、変動の度合い(変動係数)を線量計に照射された線量毎に示した。Fig. 23に、測定により得られた10個の補正值から、その標準偏差を求め、平均値で割つたものをパーセントで表示した変動係数Cを示す。

$$C = X(S.D.) / X(AVR.) \times 100(\%)$$

ここで、X(AVR.)は10個の線量評価値(補正值)の平均値、X(S.D.)はその標準偏差である。

$500\mu\text{Sv}$ 以上の線量においては1%未満、 $50\mu\text{Sv}$ 以上の線量においては5%未満の変動係数となつた。

OSL線量計は繰り返し測定により、照射した線量が少ないほど、測定値が大きく減少す

ることが判った。しかし、測定値を減衰曲線に基づいて補正することにより、元の線量を算出することが可能となる。また、他の線量計素子を用いた場合でも減衰曲線が変化しないことが確認されている。そのため繰り返し測定を要する場合でも、実用上問題なく線量評価を行うことができる。

### 5.6 線量計素子間の感度のばらつきに関する調査

ここでは線量計素子間に存在するばらつきに関する調査を行った。この調査では  $^{60}\text{Co}$  を線源とし、1、3、6mSv の  $\gamma$  線をそれぞれ 10 個の線量計に照射し、線量評価値のばらつきの度合いを 5.5 で述べた変動係数 C として求めた。結果を Fig. 24 に示す。

1mSv において 3% 強の変動係数が見られたが、他の測定点では 3% 未満の変動係数となった。現時点でも実用上の問題はないが、さらにリーダーや素子に改良を加えることにより、精度の向上が可能であると考えられる。

### 5.7 フェーディング特性

$^{60}\text{Co}$  を線源に用いて  $\gamma$  線を照射した OSL 線量計を、室温( $20 \pm 5^\circ\text{C}$ )及び温度  $40^\circ\text{C}$ 、湿度 60% という 2 つの環境中で保存し、照射終了後 1 日後から 120 日後まで測定値の変動の様子を調査した。いずれの場合においても、測定時に線量計に対して温度が影響しないように、線量計を室温で 30 分以上放置した後に測定を行った。結果を Fig. 25 に示す。

同図は 1 日後に得られた測定値を基準とし、それ以降の値は相対比で表している。線量計を室温に保存した場合は、期間を通して測定値にほとんど変化は見られなかつたが、温度  $40^\circ\text{C}$ 、湿度 60% の環境中で保存した場合は、測定値にフェーディングが見られ、120 日後には測定値が約 10% 低くなつた。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3:\text{C}$  に対する湿度の影響はないと考えられているが<sup>15)</sup>、保存温度によるフェーディングは報告されていない。このフェーディングの理由としては、照射によって準安定状態に保持された電子が熱エネルギーにより長期間に亘つて少しづつ励起され放出されたためと考えられる。

これらの結果から、OSL 線量計を長期間使用する場合において、通常の環境においては全く問題はなく、40 度までの高温環境中においても、フェーディングは見られるものの 120 日までの使用における影響は少ないため、実用上の問題はないといえる。

### 5.8 線量計の感度の経時変化特性

線量計素子を長期間保存したとき、その時間的経過によって線量計の感度が変化する度合いを調査した。最初に線量計を再生処理し、一定線量を照射後、測定するという一連の作業を行つてから、7 日間経過後、4 ヶ月以上となる 140 日間経過後、ほぼ 6 ヶ月となる 178 日間経過後にも同様の作業を行いレスポンスを比較した。また、最初に線量計に対し再生処理、照射、測定を行つた後さらに再生処理を施し、140 日間経過後と 178 日間経過後に照射、測定のみを行つた場合のレスポンスも得た。再生処理は、蛍光灯の光を緑色と青

色のセロファンのフィルタを通して近距離から 3 時間以上素子に当てるこことにより行った。さらに処理終了後、測定値が素子のほぼ下限値になっていることを測定により確認した。照射線源は  $^{60}\text{Co}$  を用いた。調査結果を Fig. 26 に示す。

照射前に再生処理を行った線量計のレスポンスは、時間が経過しても初回の測定値に対して 1% の変動も示さなかった。また、初回以降、再生処理を行わなかった線量計のレスポンスの変動もこの期間は 3% 以内であった。

140 日間経過した時点では、再生処理を行わなかった線量計のレスポンスの変動が若干大きくなっているが、この変動の理由としてリーダーの技術的要因によることが挙げられる。OSL リーダーはより広い線量範囲を測定するため、照射された線量が低線量であるか高線量であるかを判別した後に厳密な測定を行っている。低線量域の測定に対しては強い励起光を、高線量域の測定に対しては弱い励起光を照射し、測定を行うようになっている。その切り換えは、実際の測定の前に行われる予備測定の発光量により自動的に行われる。この境目は結果として、 $\gamma$  線量で評価した場合において 3.5mSv 前後となるが、ここでは 140 日後の線量が自然放射線の蓄積によってその境目に近いものとなった。そのためこの時点の測定値は素子によって高線量として評価されたものと低線量として評価されたものに分かれ、他の測定時に比べて若干ばらつきが大きくなっている。さらにレスポンスにも変動が見られている。しかし、いずれも測定精度に影響を及ぼすほど大きなものではない。

これらのことから、OSL 線量計のレスポンスの変動は再生処理の有無に関わらず約 6 ヶ月に亘りほとんど見られなかったため、経時変化に対する実用上の問題はないことが判つた。

### 5.9 再生処理反復性

OSL 線量計は、一度使用した後に再生処理を行い、さらに反復して使用することが可能である。しかし、実用化に当たり、反復使用が測定精度に影響を及ぼす可能性について確認しておく必要がある。ここでは、線量計に 5.8 で述べた光による再生処理を施し、一定線量を照射後、測定するという一連の作業を 5 回反復して行い、さらに再生処理を 30 回繰り返した後にもう一度同様の反復処理を行った。結果を Fig. 27 に示す。照射線源は  $^{60}\text{Co}$  を用いた。

その結果、5 回の反復使用におけるレスポンスの変動は 1% 程度しか見られなかった。また、さらに 30 回、再生処理を繰り返した結果も、レスポンスの変動は 1% 以内であった。したがって、OSL 線量計は再生処理を施してもレスポンスの変動が 1% 程度しかなく、反復使用にも十分に耐えうるといふことがいえる。

### 5.10 線量計の速中性子に対する感度の調査

OSL 線量計の実用化に当たり、速中性子に対する感度の有無を確認する必要がある。そこで線量計に 10mSv と 138mSv の速中性子を照射し、 $\gamma$  線量評価への影響を調査した。照

射による発光量の増加は $\gamma$ 線量として評価した。照射線源は $^{252}\text{Cf}$ を用いたが、速中性子照射時(2.20mSv/h)に $120\mu\text{Sv}/\text{h}$ の $\gamma$ 線<sup>16)</sup>も照射されるため、OSL線量計の速中性子の感度は評価された $\gamma$ 線量から照射された $\gamma$ 線量を減じることにより求めた。結果をFig. 28に示す。

評価された $\gamma$ 線量は照射された $\gamma$ 線量にほぼ等しくなったため、速中性子のレスポンスはゼロとなった。このことから、OSL線量計は速中性子に対して感度を有しておらず、速中性子の照射による $\gamma$ 線量評価への影響はないことが判った。

## 6. 結言

本特性調査より以下のような結果が得られた。

### 1. 線量直線性

$\gamma$ 線に対して、 $50\mu\text{Sv}$ から $1\text{Sv}$ の範囲でレスポンスの変動は $\pm 5\%$ 以内、 $30\mu\text{Sv}$ においても $10\%$ 程度であった。 $\beta$ 線に対しては、 $2\sim 6\text{mSv}$ の範囲でレスポンスの変動は $3\%$ 以内であった。

### 2. エネルギー特性

$15\text{keV}$ から $1250\text{keV}$ の光子エネルギー範囲におけるファントム上の照射において、 $1\text{cm}$ 線量当量、 $3\text{mm}$ 線量当量、 $70\mu\text{m}$ 線量当量の評価値の変動はいずれも $\pm 10\%$ 以内であった。また $20\text{keV}$ から $1250\text{keV}$ までのフリーエアにおける $1\text{cm}$ 線量当量の評価値の変動も $\pm 10\%$ 以内であった。さらに $^{204}\text{Tl}$ と $^{90}\text{Sr}\cdot^{90}\text{Y}$ の両 $\beta$ 線に対して測定評価が十分に可能であった。

### 3. 方向特性

$\gamma$ 線に対して上下左右 $90^\circ$ までレスポンスの変動は $10\%$ 以内であり、X線、 $\beta$ 線に対しても上下左右 $30^\circ$ までの範囲で $80\%$ 以上のレスポンスを有することが判った。

### 4. 混合照射特性

異なる線種や線質の放射線を混合照射した場合、 $\gamma$ 線と $\beta$ 線のように線種が異なった場合では誤差が大きくなるが、線質が異なった場合においては $\pm 10\%$ 以内の測定値で線量評価がなされることが判った。

### 5. 線量計素子の繰り返し測定に関する調査

繰り返し測定により測定値が減少するが、減衰曲線に基づいた補正により、 $500\mu\text{Sv}$ 以上の線量においては $1\%$ 未満、 $50\mu\text{Sv}$ 以上の線量においては $5\%$ 未満の変動係数で元の線量の算出が可能となることが判った。

### 6. 線量計素子間の感度のばらつきに関する調査

線量計素子間の感度には、 $1\text{mSv}$ において $3\%$ 強の変動係数が見られたが、それ以上の線量の測定値では $3\%$ 未満であった。

## 7. フェーディング特性

120 日までの使用において、室温ではフェーディングは見られず、温度 40°C、湿度 60% の環境中では、約 10%のフェーディングが見られたが、影響は少ないため、実用上の問題はないといえる。

## 8. 線量計の感度の経時変化特性

180 日までの測定感度の経時変化を調査したが、レスポンスの変動は 3%以内であった。

## 9. 再生処理反復性

再生処理を反復させてもレスポンスの変動は 1%程度であった。

## 10. 線量計の速中性子に対する感度の調査

速中性子に対しては感度を有しておらず、他の放射線の線量評価への影響はないことが判った。

これらのことから、OSL 線量計は  $\gamma$  線、X線、 $\beta$  線の測定に対応でき、個人線量計として実用上十分な特性を有していることが明らかとなった。今後、フィルムバッジに代わる新たな個人線量計の一つとして使用されるだけでなく、人体の末端部位や環境測定等、幅広く適用される可能性があると考えられる。また、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:C}$  素子の品質等、技術改良を進めることによりさらなる測定性能の向上も期待される。

## 謝辞

本報告をまとめに当たって、種々の助言を頂いた日本原子力研究所保健物理部村上博幸氏及びX線照射装置の使用と速中性子の照射に御協力戴いた千田徹氏、藤井克年氏に心より感謝致します。また、低エネルギーX線の照射に御協力戴いた電子技術総合研究所の崎原克彦氏に深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) Douguchi, Y., Nanto, H., Sato, T., Imai, A., Nasu, S., Kusano, E. and Kinbara, A.; Optically Stimulated Luminescence in Eu-Doped KBr Phosphor Ceramics. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 143-148 (1999)
- 2) McKeever, S. W. S., Akselrod, M. S., Colyott, L. E., Agersnap Larsen, N., Polf, J. C. and Whitley, V.; Characterisation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for Use in Thermally and Optically Stimulated Luminescence Dosimetry. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 163-168 (1999)
- 3) Justus, B. L., Merritt, C. D., Pawlovich, K. J., Huston, A. L. and Rychnovsky, S.; Optically Stimulated Luminescence Dosimetry Using Doped Fused Quartz. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 189-192 (1999)
- 4) Trinkler, L., Bos, A. J. J., Winkelman, A. J. M., Christensen, P., Agersnap Larsen, N. and Berzina, B.; Thermally and Optically Stimulated Luminescence of AlN-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for Ceramics after Ionising Irradiation. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 84, Nos. 1-4, pp. 207-210 (1999)
- 5) Yoder, R. C.; 日本保健物理学会第32回研究発表会要旨集 pp. 72-73 (1997)
- 6) Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I. and Thewalt, M. L. W.; Optical Dating of Sediments. Nature Vol. 313, pp. 105-107 (1985)
- 7) Botter-Jensen, L. and McKeever, S. W. S.; Optically Stimulated Luminescence Dosimetry Using Natural and Synthetic Materials. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 65, Nos. 1-4, pp. 273-280 (1996)
- 8) Akselrod, M. S., Kortov, V. S., Kravetsky, D. J. and Gotlib, V. I.; Highly Sensitive Thermoluminescent Anion-Defective  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C Single Crystal Detectors. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 32, No. 1, pp. 15-20 (1990)
- 9) Akselrod, M. S., Kortov, V. S. and Gorelova, E. A.; Preparation and Properties of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 47, No. 1/4, pp. 159-164 (1993)
- 10) Markey, B. G., Colyott, L. E. and McKeever, S. W. S.; Time-Resolved Optically Stimulated Luminescence from  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C. Radiat. Meas. Vol. 24, No. 4, pp. 457-463 (1995)
- 11) McKeever, S. W. S., Akselrod, M. S. and Markey, B. G.; Pulsed Optically Stimulated Luminescence Dosimetry Using  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C. Radiat. Prot. Dosim. Vol. 65, Nos. 1-4, pp. 267-272 (1996)
- 12) 放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律
- 13) 日本工業規格 JIS Z 4331 (1989)
- 14) International Organization for Standardization; ISO 6980 (1984)

- 15) Markey, B. G.; private communication
- 16) International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 15 (1971)

This is a blank page.

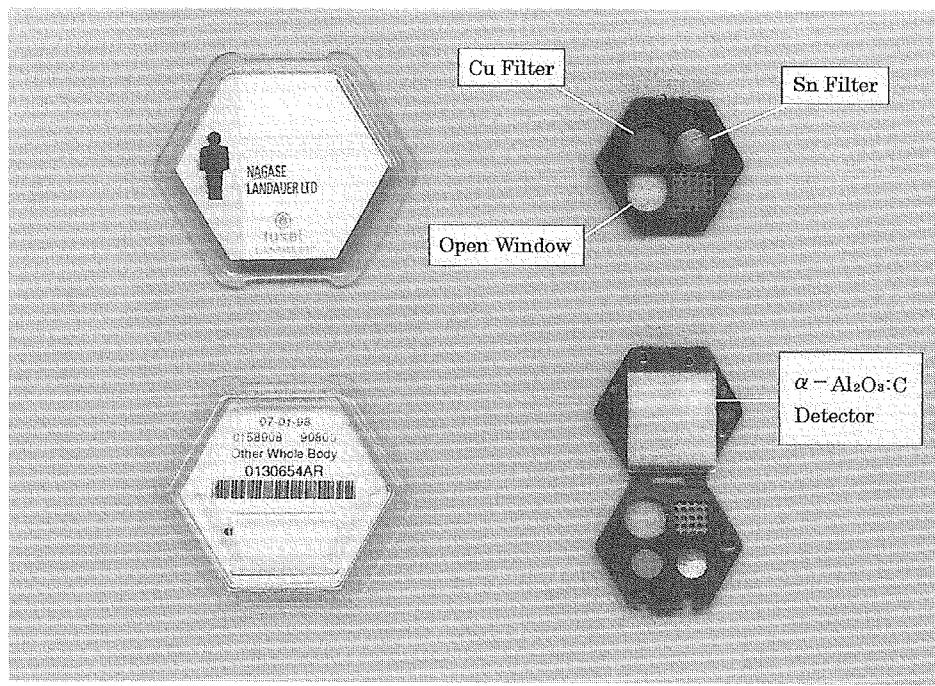


Fig. 1 Structure of OSL Dosimeter

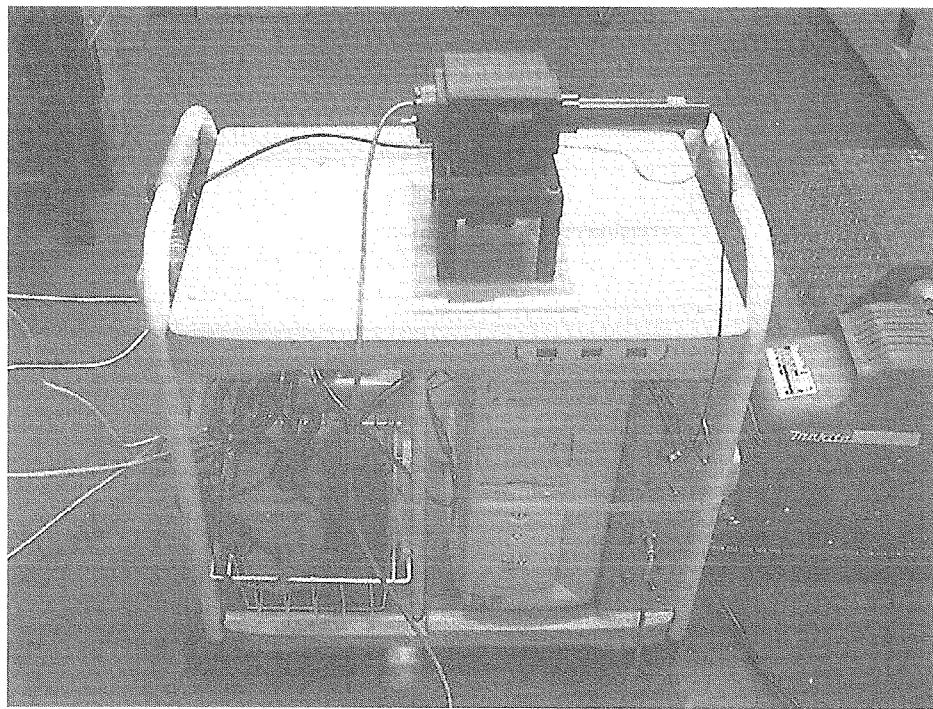


Fig. 2 Manual OSL Dosimeter Reader

**This is a blank page.**

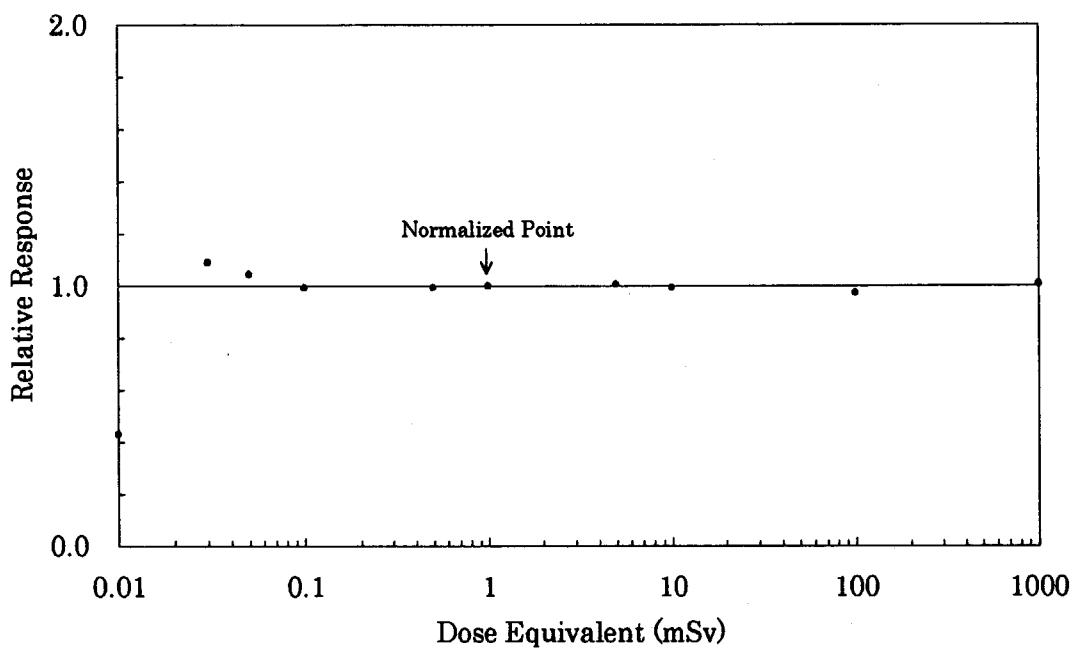


Fig. 3 Dose Dependence Linearity of OSL Dosimeter to  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays in Free Air

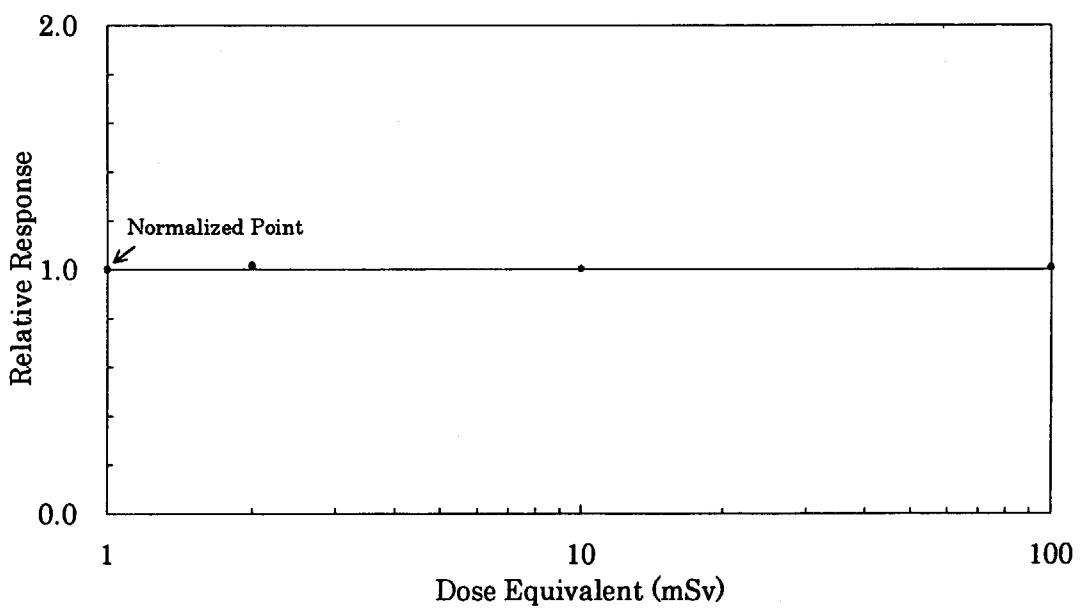


Fig. 4 Dose Dependence Linearity of OSL Dosimeter to  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -rays on Phantom

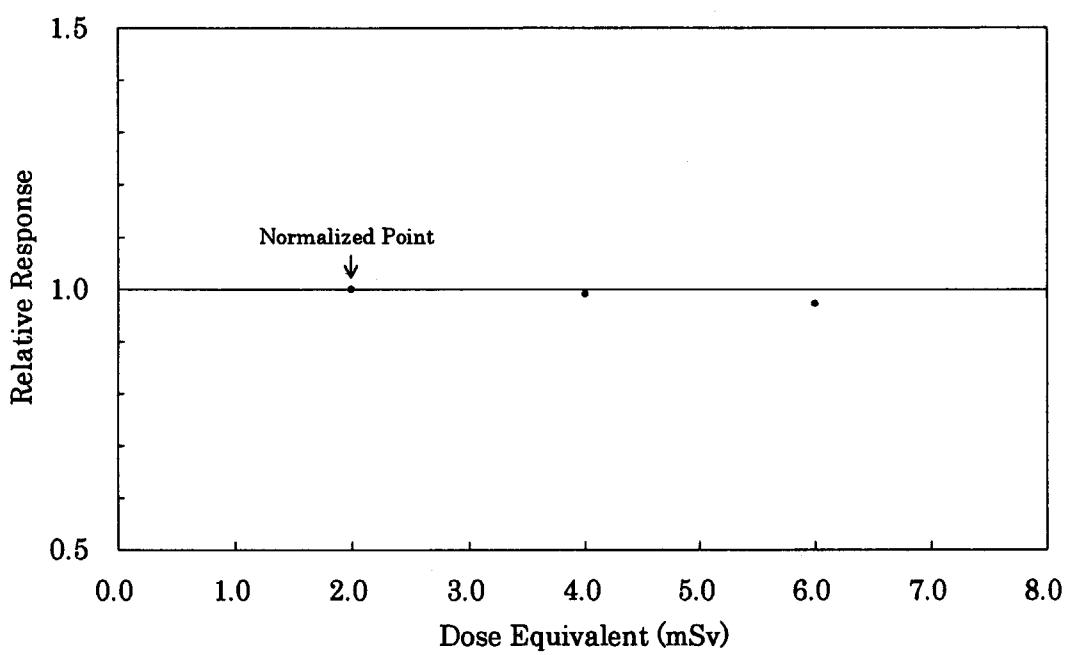


Fig. 5 Dose Dependence Linearity of OSL Dosimeter to  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$   $\beta$ -rays

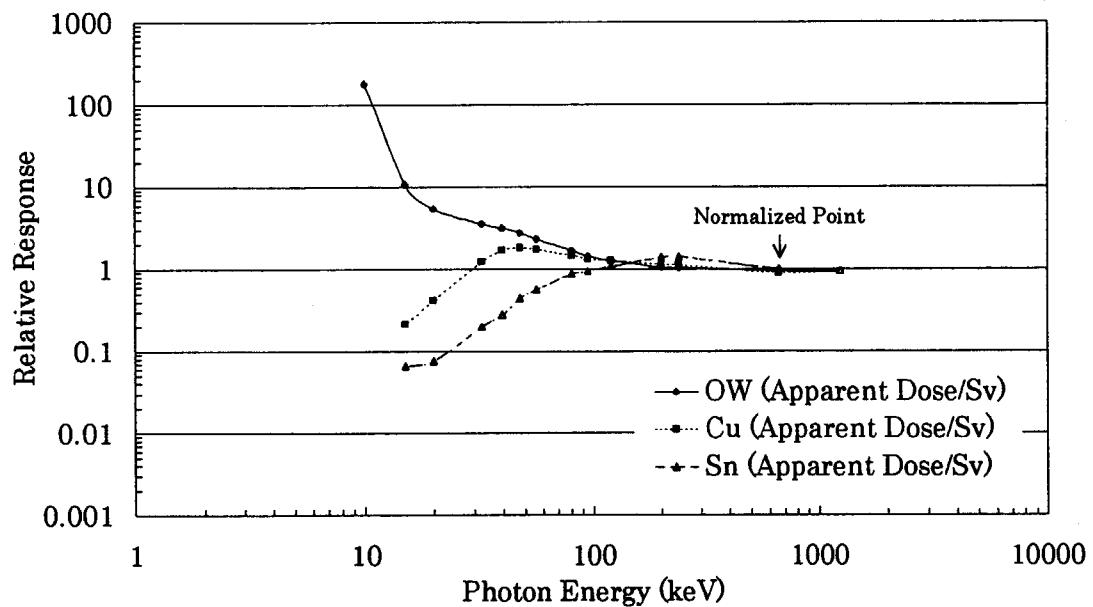


Fig. 6 Energy Response of OSL Dosimeter to Photons on Phantom

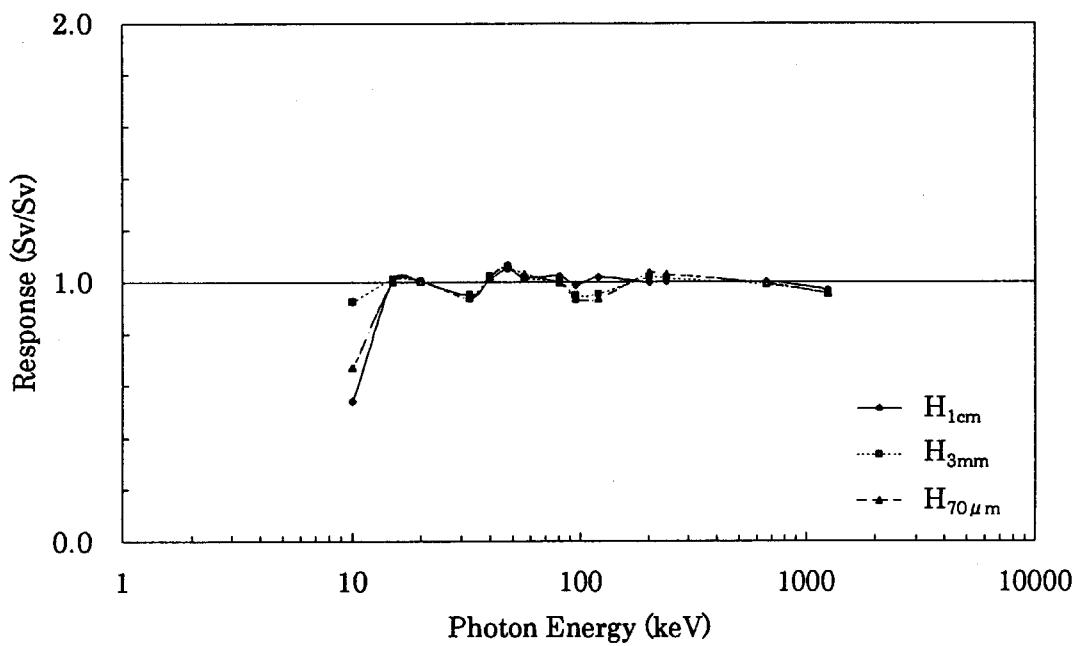


Fig. 7 Energy Response of OSL Dosimeter to Photons on Phantom  
on  $H_{1\text{cm}}$ ,  $H_{3\text{mm}}$  and  $H_{70\mu\text{m}}$

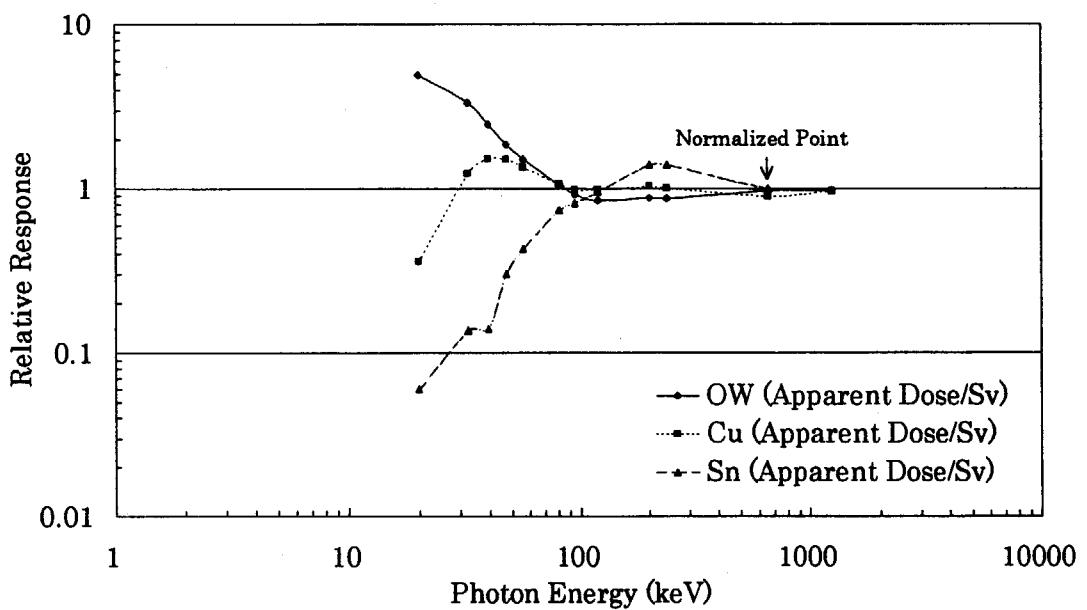


Fig. 8 Energy Response of OSL Dosimeter to Photons in Free Air

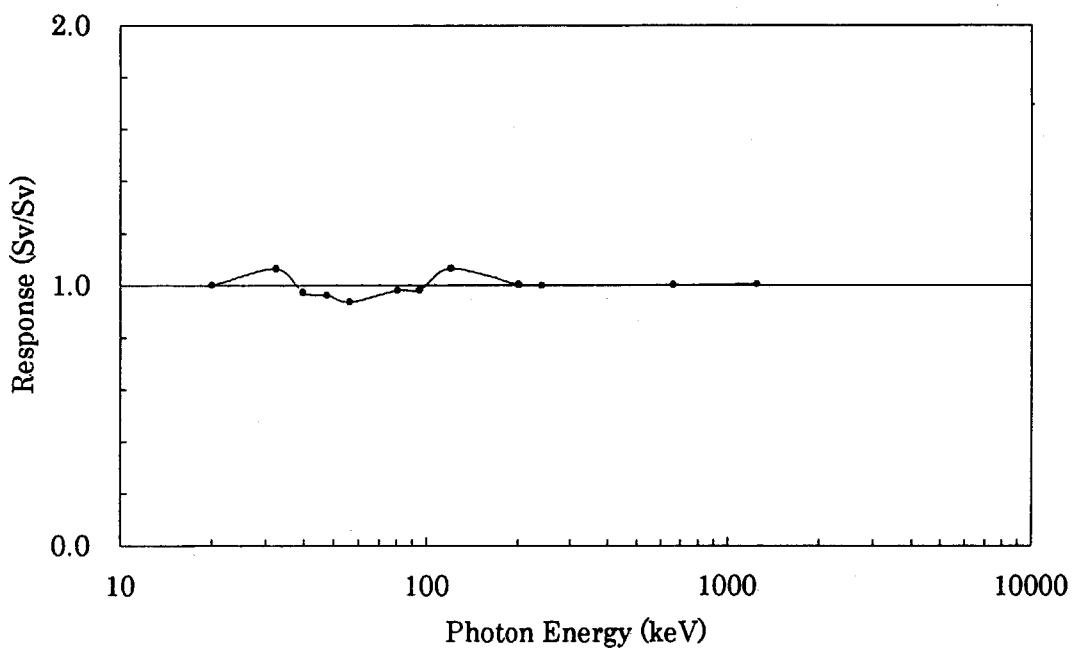
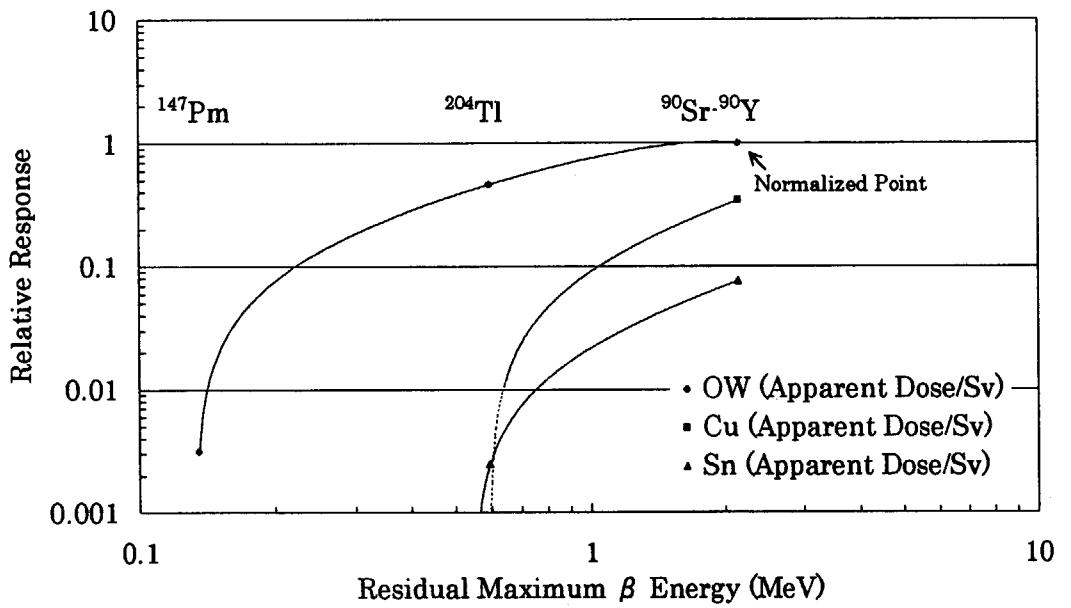
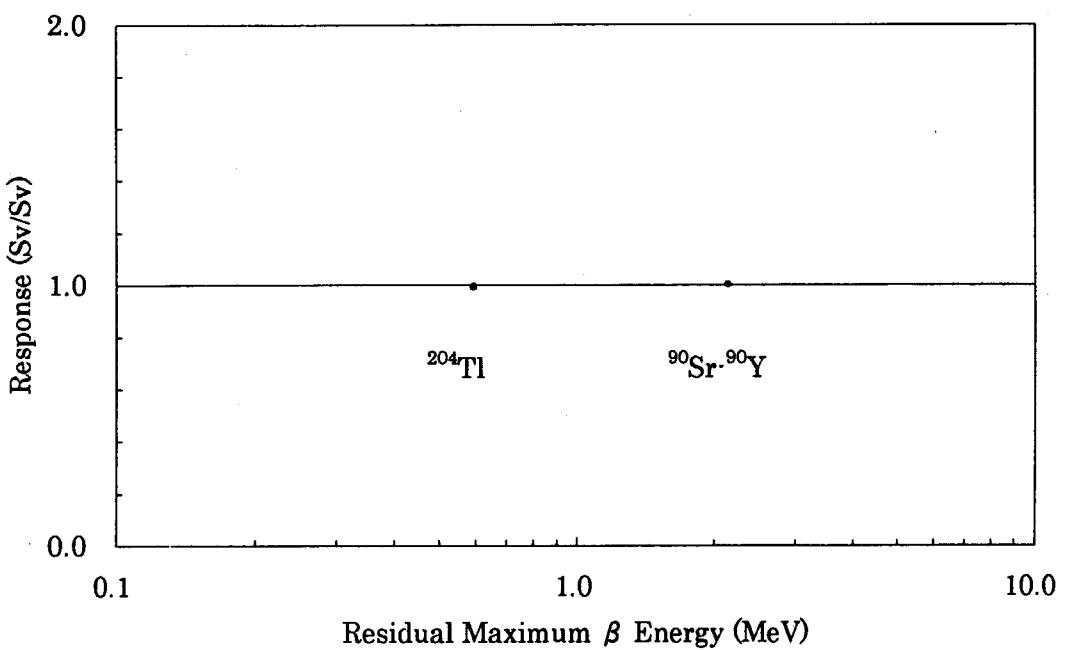


Fig. 9 Energy Response of OSL Dosimeter to Photons in Free Air on  $H_{1\text{cm}}$

Fig. 10 Energy Response of OSL Dosimeter to  $\beta$ -raysFig. 11 Energy Response of OSL Dosimeter to  $\beta$ -rays on  $\text{H}_{70\mu\text{m}}$

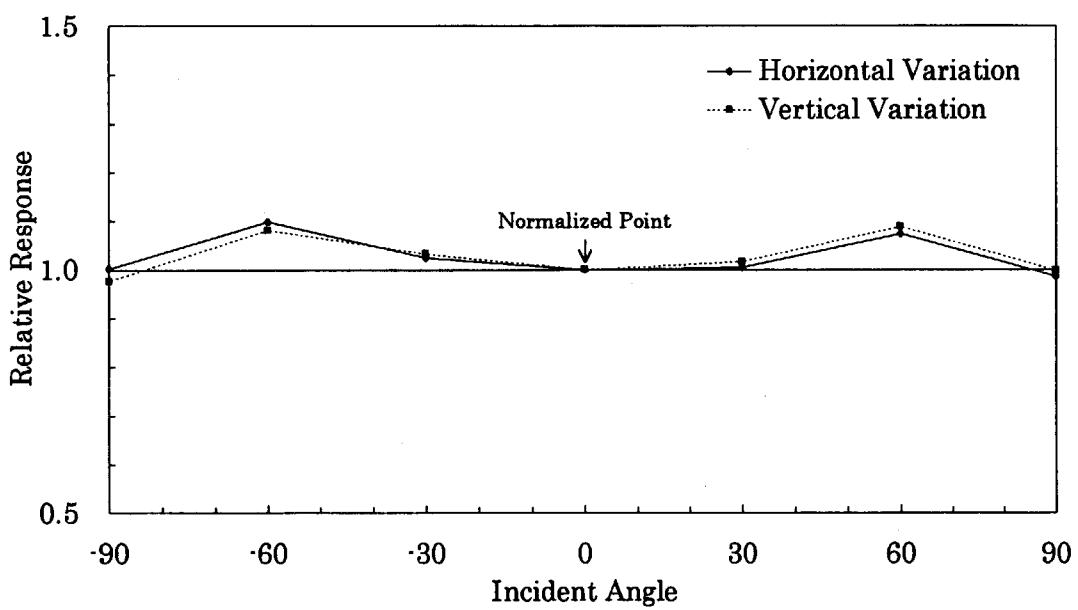


Fig. 12 Directional Dependence of OSL Dosimeter to  $^{137}\text{Cs}$   $\gamma$ -rays

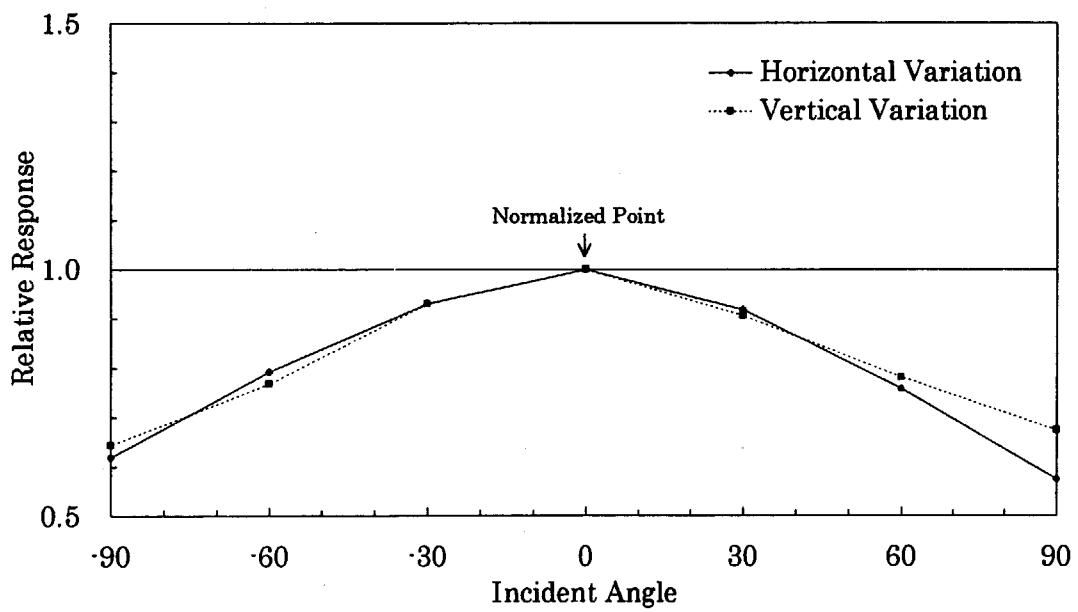


Fig. 13 Directional Dependence of OSL Dosimeter to X-rays(80.6keV)

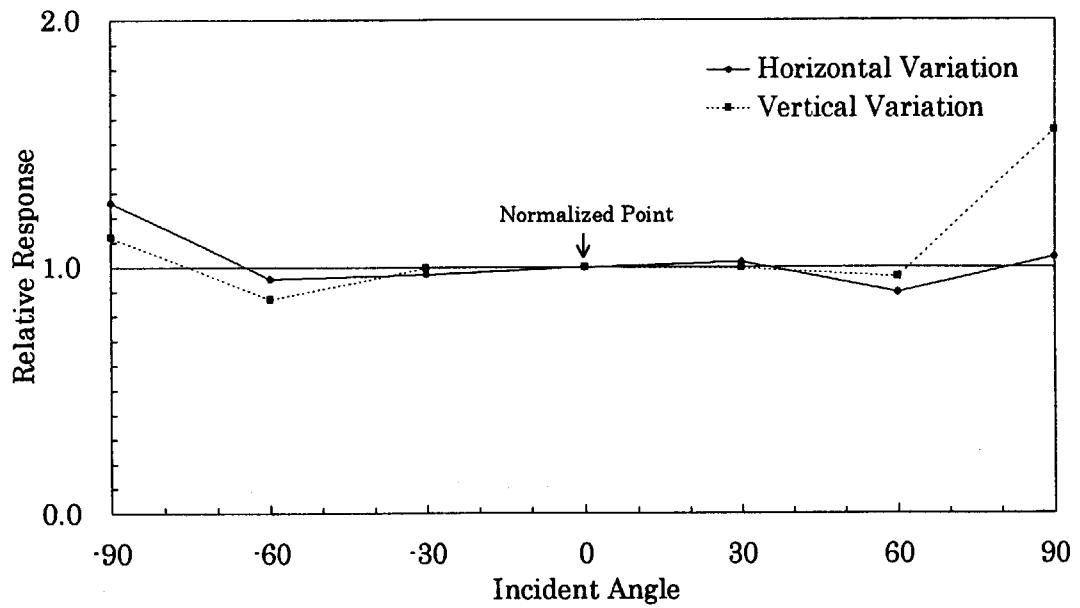


Fig. 14 Directional Dependence of OSL Dosimeter to X-rays(32.5keV)

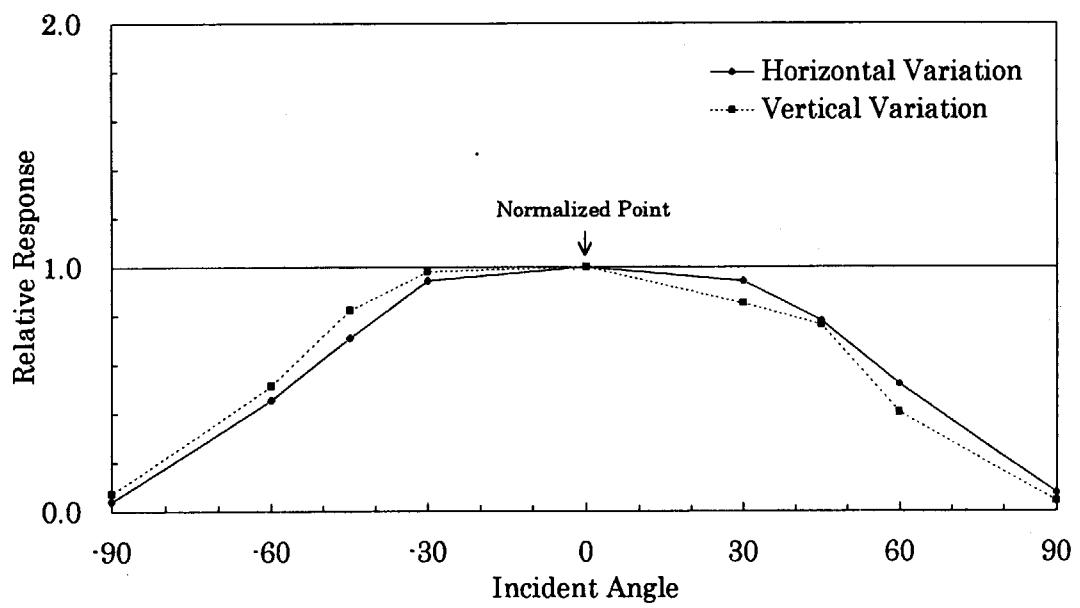


Fig. 15 Directional Dependence of OSL Dosimeter to  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$   $\beta$ -rays

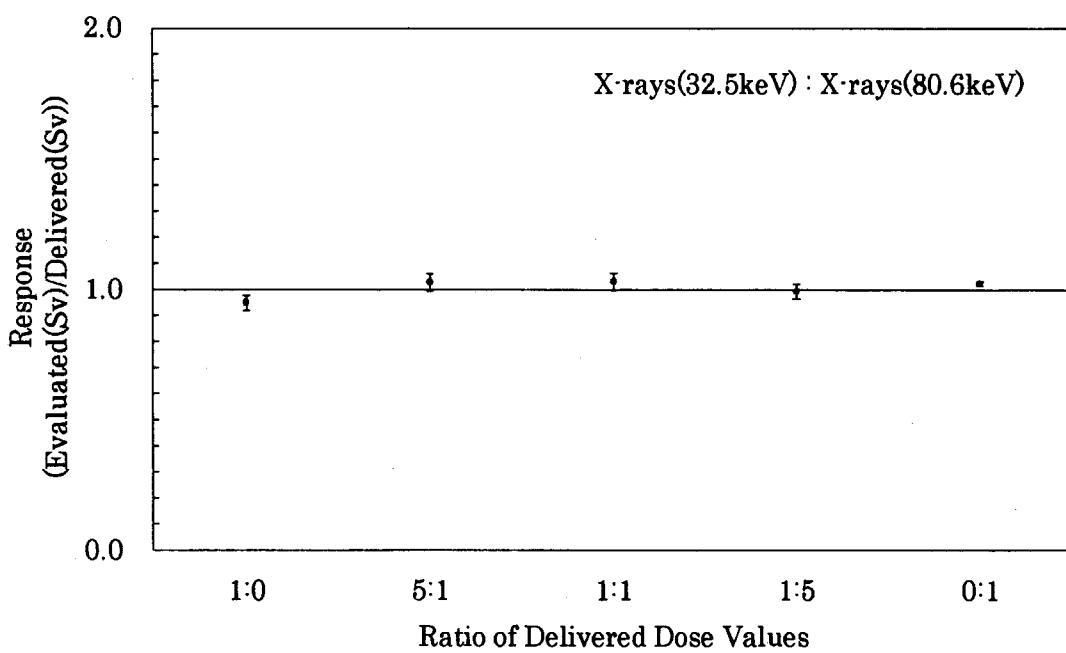


Fig. 16 Dose Evaluation Performance of OSL Dosimeter  
on mixed irradiation condition [X+X]

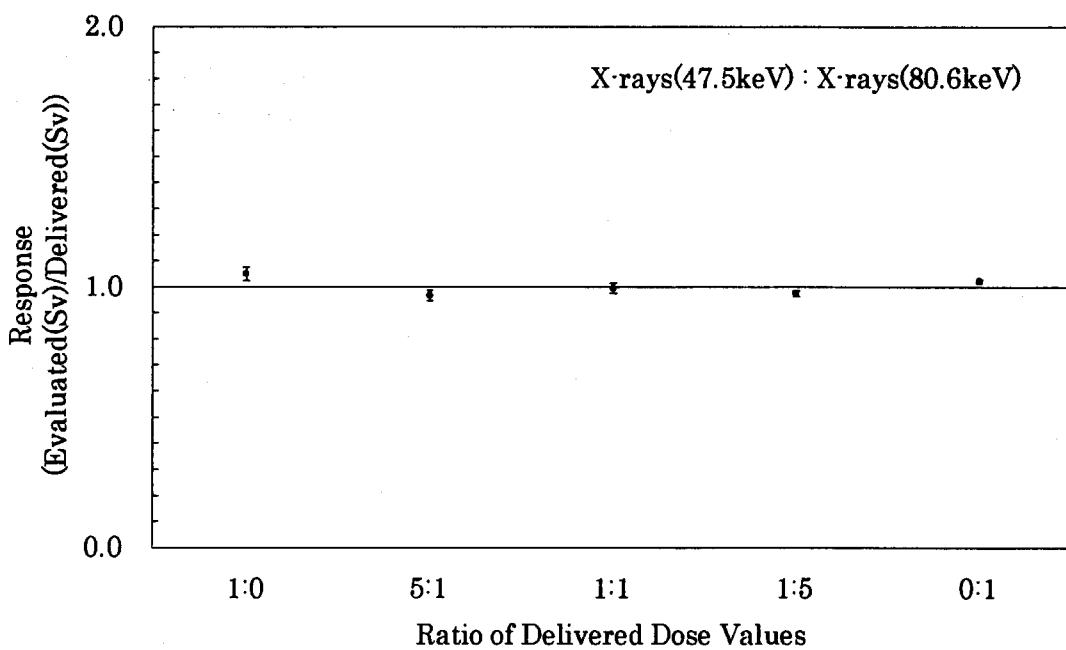


Fig. 17 Dose Evaluation Performance of OSL Dosimeter  
on mixed irradiation condition [X+X]

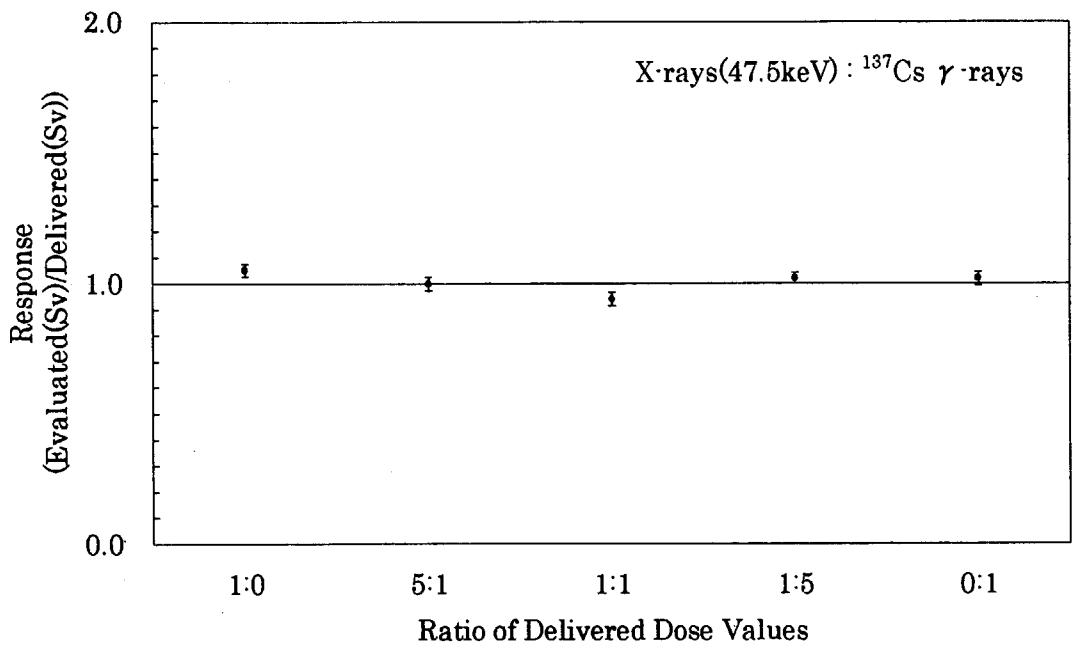


Fig. 18 Dose Evaluation Performance of OSL Dosimeter  
on mixed irradiation condition [X+ $\gamma$ ]

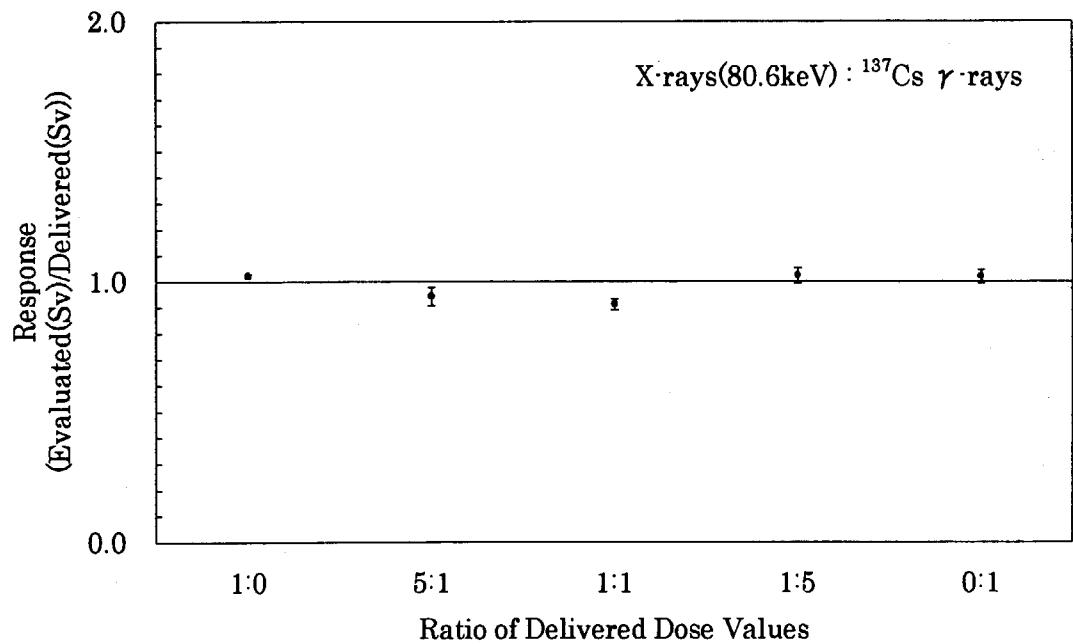


Fig. 19 Dose Evaluation Performance of OSL Dosimeter  
on mixed irradiation condition [X+ $\gamma$ ]

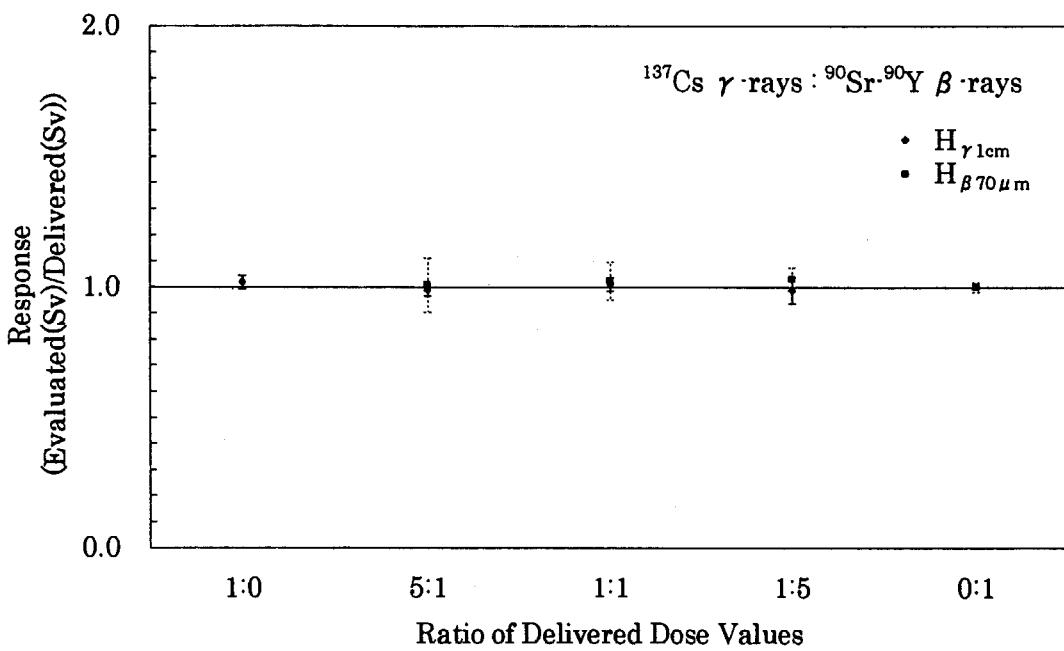


Fig. 20 Dose Evaluation Performance of OSL Dosimeter  
on mixed irradiation condition [ $\gamma + \beta$ ]

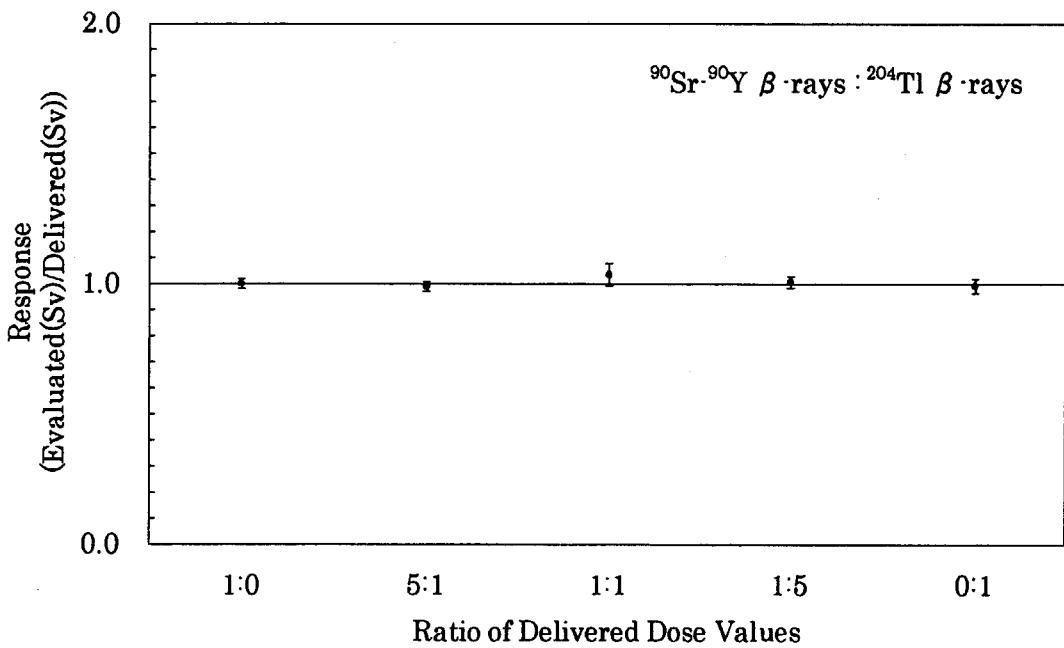


Fig. 21 Dose Evaluation Performance of OSL Dosimeter  
on mixed irradiation condition [ $\beta + \beta$ ]

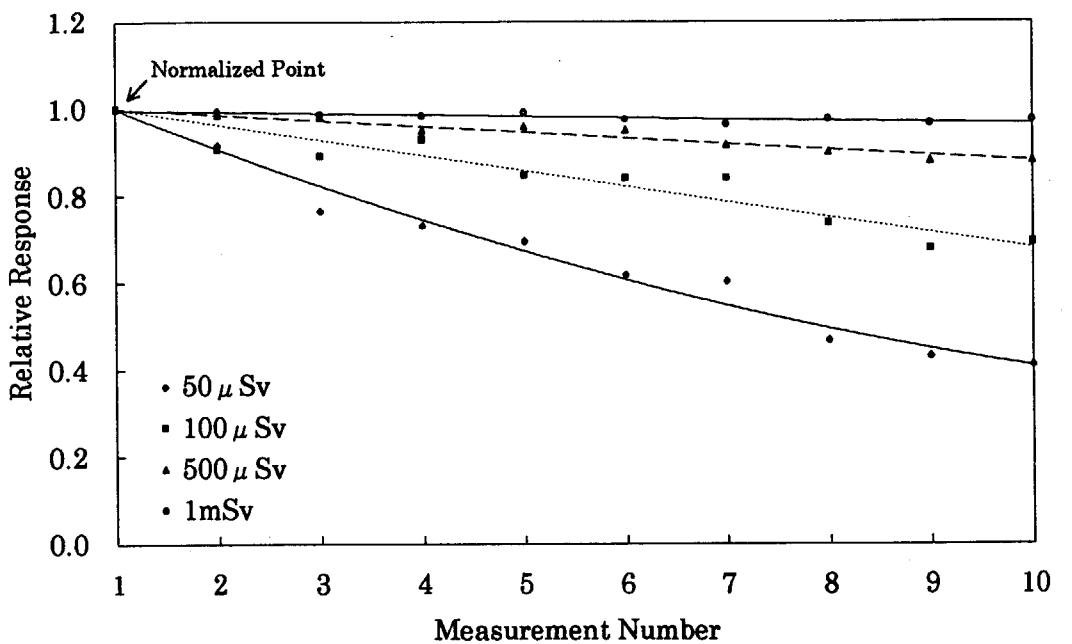


Fig. 22 Decrement of OSL Dosimeter Readings

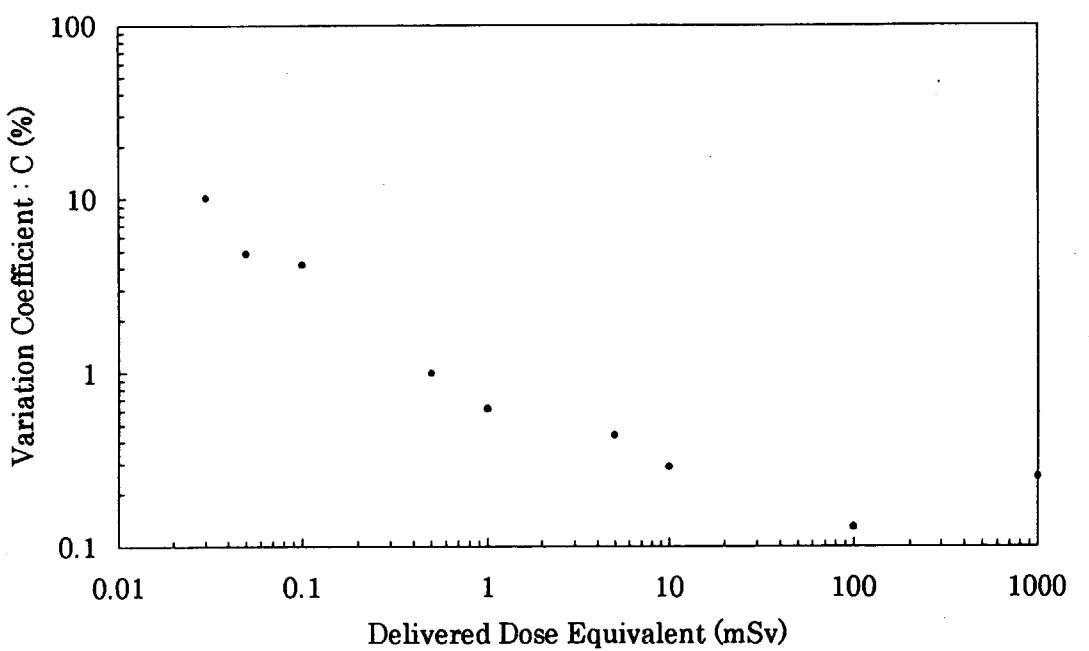


Fig. 23 Reproducibility of OSL Dosimeter Readings

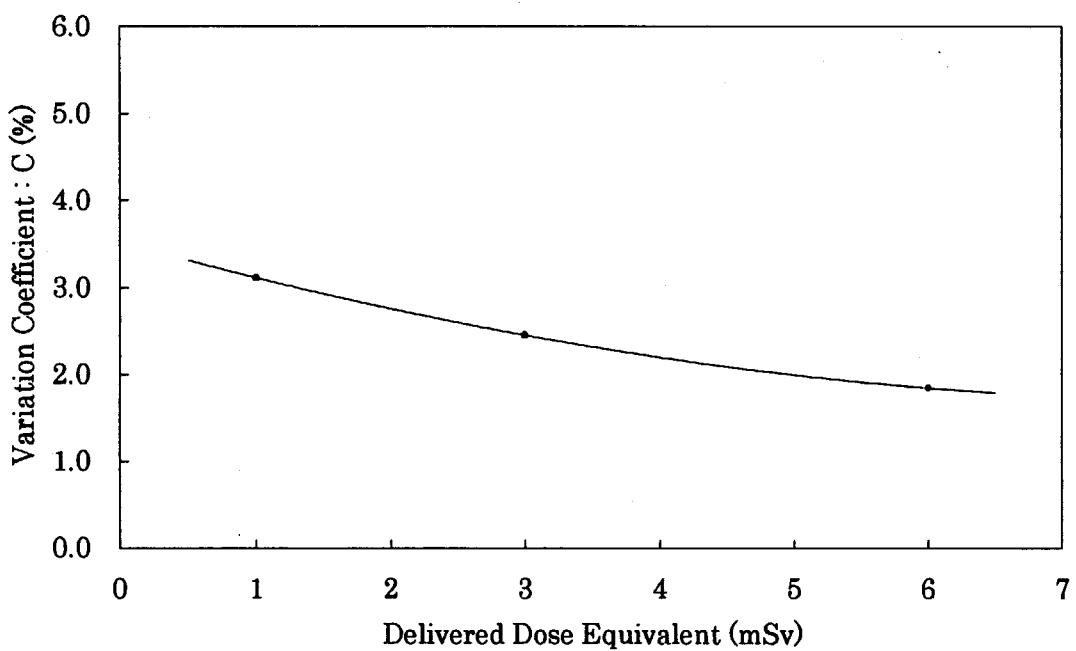


Fig. 24 Batch Uniformity of OSL Dosimeter

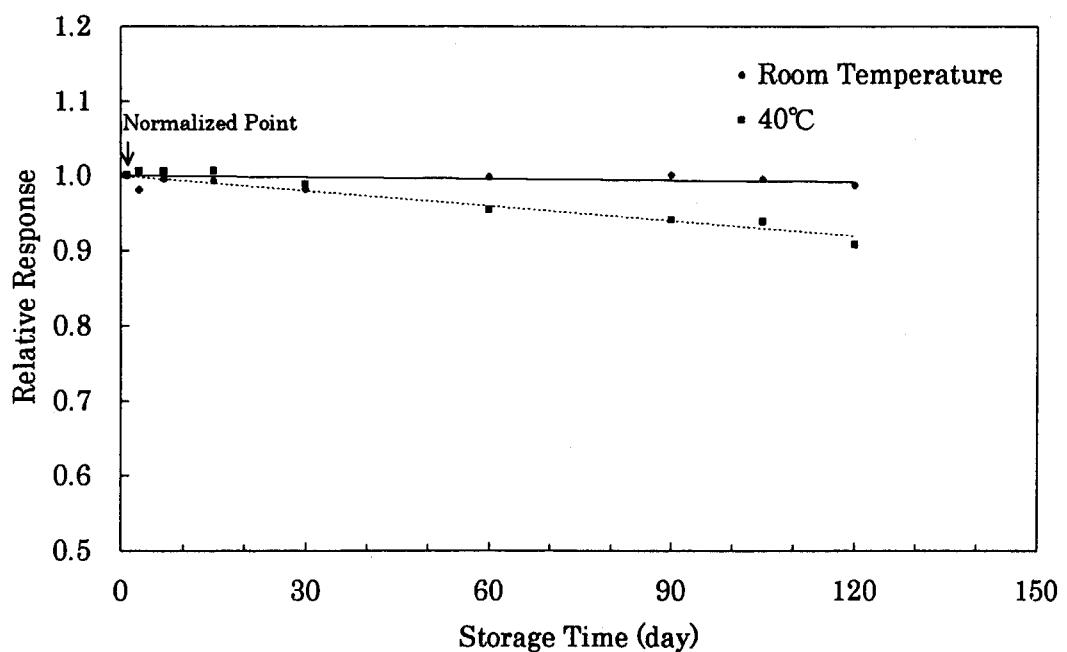


Fig. 25 Fading of OSL Dosimeter

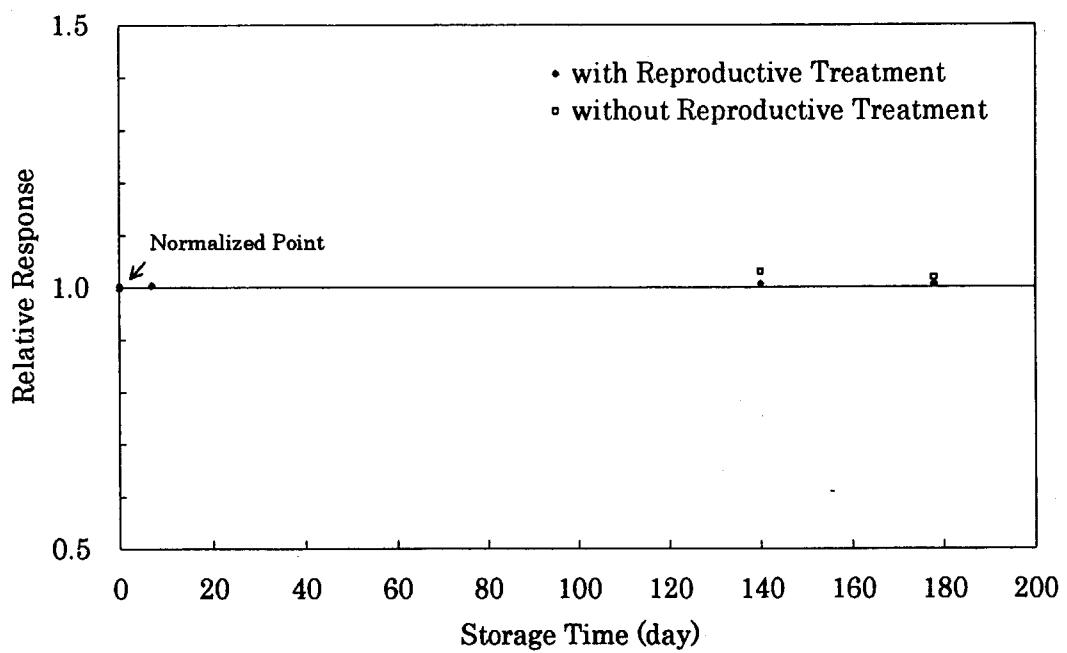


Fig. 26 Time Dependence of OSL Dosimeter Sensitivity

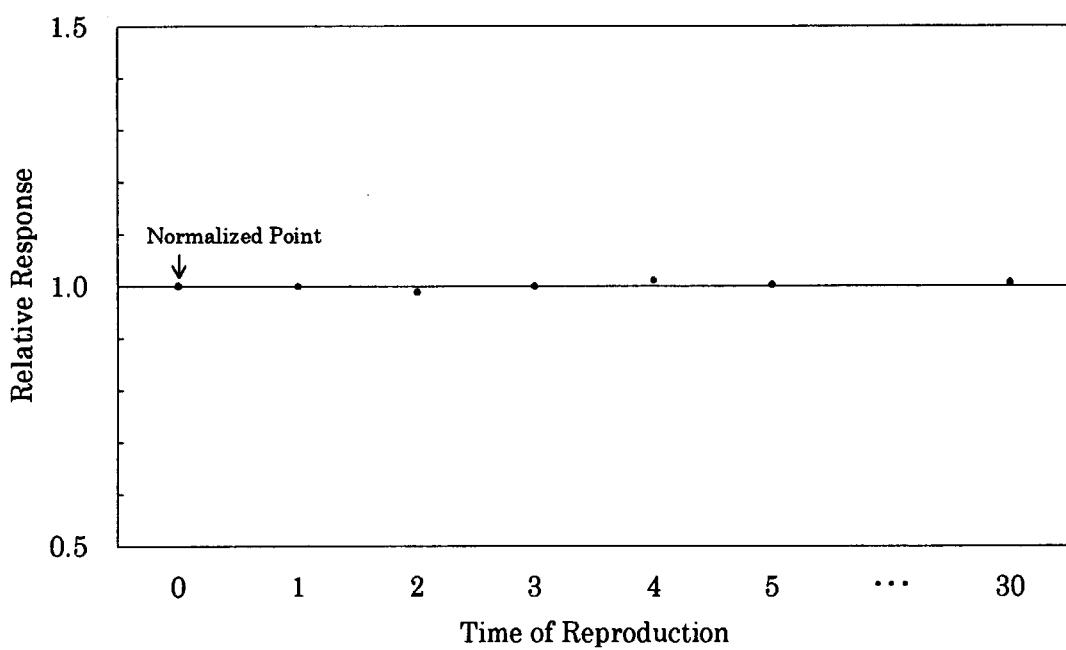


Fig. 27 Reproducibility of OSL Dosimeter

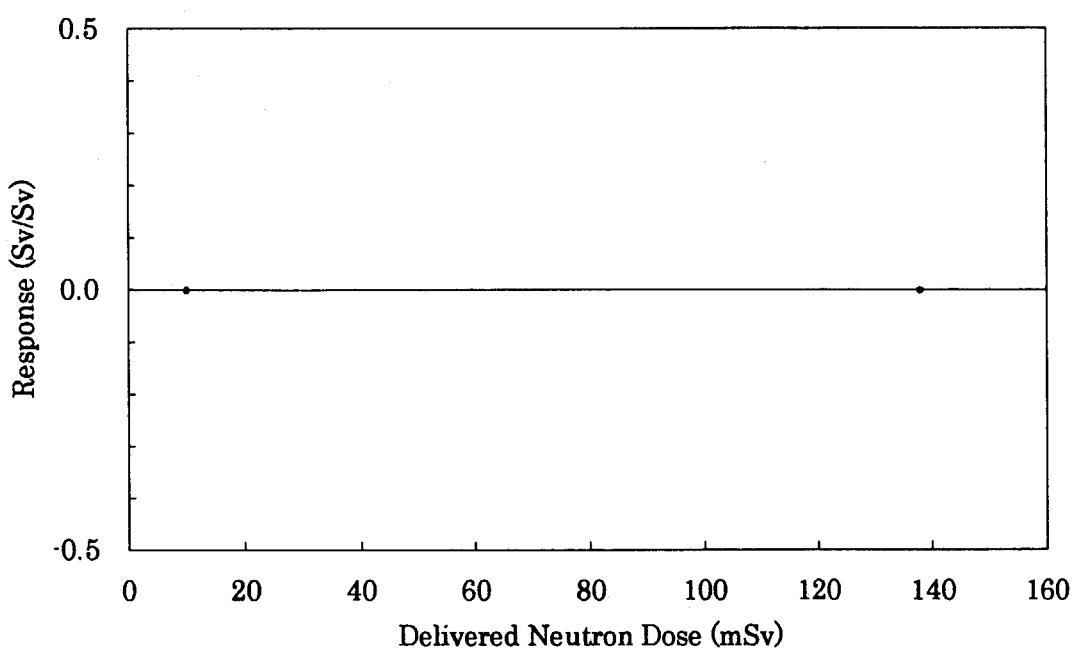


Fig. 28 Sensitivity of OSL Dosimeter to  $^{252}\text{Cf}$  Fast Neutrons

# 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	$s^{-1}$
力	ニュートン	N	$m \cdot kg/s^2$
圧力、応力	パスカル	Pa	$N/m^2$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N \cdot m$
工具率、放熱束	ワット	W	$J/s$
電気量、電荷	クーロン	C	$A \cdot s$
電位、電圧、起電力	ボルト	V	$W/A$
静電容量	ファラード	F	$C/V$
電気抵抗	オーム	$\Omega$	$V/A$
コンダクタンス	ジーメンス	S	$A/V$
磁束	ウェーバ	Wb	$V \cdot s$
磁束密度	テスラ	T	$Wb/m^2$
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	$^{\circ}C$	
光束	ルーメン	lm	$cd \cdot sr$
照度	ルクス	lx	$lm/m^2$
放射能	ベクレル	Bq	$s^{-1}$
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	$^{\circ}, ', ''$
リットル	L, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

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

(注)

1. 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、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。

2. 表4には海里、ノット、アール、ヘクタ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。

3. barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。

4. EC開発理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

## 換算表

力	N( $=10^3$ dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809	
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}(N\cdot\text{s}/m^2) = 10 \text{ P(ボアズ)}(g/(cm\cdot s))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)}(cm^2/s)$$

圧力	MPa( $=10$ bar)	kgf/cm <sup>2</sup>	atm	mmHg(Torr)	lbf/in <sup>2</sup> (psi)
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	$1.33322 \times 10^{-4}$	$1.35951 \times 10^{-3}$	$1.31579 \times 10^{-3}$	1	$1.93368 \times 10^{-2}$
	$6.89476 \times 10^{-3}$	$7.03070 \times 10^{-2}$	$6.80460 \times 10^{-2}$	51.7149	1

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

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad	照射線量	C/kg	R	線量当量	Sv	rem
	1	$2.70270 \times 10^{-11}$		1	100		1	3876		1	100
	$3.7 \times 10^{10}$	1		0.01	1		$2.58 \times 10^{-4}$	1		0.01	1

