JAEA-Technology
2014-049

外部被ばく個人線量測定用OSL線量計の諸特性

Characteristics of OSL Dosimeter for Individual Monitoring for External Radiation

鈴木 朗史　鈴木 武彦　高橋 聖　仲田 亨
村山 卓　角田 昌彦

Akifumi SUZUKI, Takehiko SUZUKI, Masa TAKAHASHI, Toru NAKATA
Takashi MURAYAMA and Masahiko TSUNODA

原子力科学研究部門
原子力科学研究所
放射線管理部

Department of Radiation Protection
Nuclear Science Research Institute
Sector of Nuclear Science Research

March 2015

Japan Atomic Energy Agency　日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp）
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2015

JAEA-Technology 2014-049

外部被ばく個人線量測定用 OSL 線量計の諸特性

日本原子力研究開発機構　原子力科学研究部門
原子力科学研究所　放射線管理部
鈴木　朗史※、鈴木　武彦、高橋　聖、仲田　亨※、村山　卓、角田　昌彦

(2014 年 12 月 18 日　受理)

原子力科学研究所、大洗研究開発センター、那珂核融合研究所、高崎量子応用研究所、関西光科学研究所及び青森研究開発センターでは、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、蛍光ガラス線量計に替えて OSL (Optically Stimulated Luminescence) 線量計を導入することとし、2014 年 10 月より運用を開始した。OSL 線量計の使用に先がけて、同線量計による測定評価の信頼性を確認するために、個人線量計の線量直線性、エネルギー特性、方向特性、経時変化特性、混合照射に対する特性等についての試験を行った。さらに、蛍光ガラス線量計との比較を行った。その結果、国内規格（JIS Z 4339）に定める性能を満たしていること、蛍光ガラス線量計と同等の性能を持つことを確認した。これにより、OSL 線量計は実用上十分な性能を有していることが確認された。本報は、この試験で得られた OSL 線量計の諸特性をまとめたものである。

原子力科学研究所：〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4
※　技術開発協力員

JAEA- Technology 2014-049

Characteristics of OSL Dosimeter for Individual Monitoring for External Radiation

Akifumi SUZUKI※, Takehiko SUZUKI, Masa TAKAHASHI, Toru NAKATA※,
Takashi MURAYAMA and Masahiko TSUNODA

Department of Radiation Protection,
Nuclear Science Research Institute, Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 18, 2014)

Optically Stimulated Luminescence, OSL, dosimeters have been used as individual dosimeters for external radiation in Nuclear Science Research Institute, Oarai Research and Development Center, Naka Fusion Institute, Takasaki Advanced Radiation Research Institute, Kansai Photon Science Institute and Aomori Research and Development Center since October, 2014 as successor of the RPL glass dosimeters. Characteristics of the OSL dosimeters such as dose linearity, energy response, angular dependence, fading characteristics and responses at mixed irradiation fields were examined prior to the start of use. As a result, it was found that the OSL dosimeters met the performances that the national standard (JIS Z 4339) determined. The characteristics of OSL dosimeters were comparable with those of the RPL glass dosimeters. In conclusion, it was confirmed the OSL dosimeters had sufficient performances for the practical use on individual monitoring. This report shows the testing methods and the results for the characteristics of OSL dosimeters.

Keywords: Optically Stimulated Luminescence, OSL, Dosimeter, Individual Monitoring

※ Collaborating Engineer

目　次

1.　まえがき ---------- 1
2.　OSL 線量計の構造及び測定 ---------- 1
2.1 OSL 線量計の構造 ---------- 1
2.2 OSL 線量計の測定 ---------- 2
3.　特性試験方法及び試験項目 ---------- 3
3.1 照射・試験方法 ---------- 3
3.2 各試験項目の照射方法 ---------- 3
4.　結果及び考察 ---------- 5
4.1 線量直線性 ---------- 5
4.2 エネルギー特性 ---------- 5
4.3 方向特性 ---------- 6
4.4 経時変化特性 ---------- 6
4.5 評価値の再現性 ---------- 7
4.6 線量計間の評価値のばらつき ---------- 7
4.7 異なった線質の放射線による混合照射に対する特性 ---------- 7
5.　まとめ ---------- 8
参考文献 ---------- 8

Contents

1. Introduction ---------- 1
2. Structure and Measurement of OSL Dosimeter ---------- 1
2.1 Structure of OSL Dosimeter ---------- 1
2.2 Measurement of OSL Dosimeter ---------- 2
3. Testing Methods and Categories ---------- 3
3.1 Irradiation and Testing Methods ---------- 3
3.2 Irradiation Methods of Each Category ---------- 3
4. Result and Discussion ---------- 5
4.1 Dose Linearity ---------- 5
4.2 Energy Response ---------- 5
4.3 Angular Dependence ---------- 6
4.4 Fading ---------- 6
4.5 Reproducibility of Reading ---------- 7
4.6 Uniformity ---------- 7
4.7 Mixed Irradiation ---------- 7
5. Summary ---------- 8
References ---------- 8

表リスト

Table 1　OSL 線量計の特性試験に係る照射試験条件と結果 ---------- 9

写真リスト

Photo 1　OSL 線量計 ---------- 10
Photo 2　OSL バッジの構成 ---------- 10
Photo 3　OSL 線量計リーダ ---------- 11

図リスト

Fig. 1　OSL 測定部の構造 ---------- 11
Fig. 2　γ線に対する線量直線性 ---------- 12
Fig. 3　β線に対する線量直線性 ---------- 12
Fig. 4　γ（X）線エネルギー特性 ---------- 13
Fig. 5　β線エネルギー特性 ---------- 13
Fig. 6　^{137}Cs γ線に対する方向特性 ---------- 14
Fig. 7　80keV－X 線に対する方向特性 ---------- 14
Fig. 8　^{90}Sr-^{90}Y β線に対する方向特性 ---------- 15
Fig. 9　経時変化特性 ---------- 15
Fig. 10　評価値の再現性 ---------- 16
Fig. 11　線量計間の評価値のばらつき ---------- 16
Fig. 12　混合照射特性［γ+X］ ---------- 17
Fig. 13　混合照射特性［γ+X］ ---------- 17
Fig. 14　混合照射特性［X+X］ ---------- 18
Fig. 15　混合照射特性［γ+β］ ---------- 18
Fig. 16　混合照射特性［β+β］ ---------- 19

This is a blank page.

1. まえがき

原子力科学研究所（以下、原科研という）並びに保安規定等に基づいて個人線量の測定等を依頼された大洗研究開発センター、那珂核融合研究所、高崎量子応用研究所、関西光科学研究所及び青森研究開発センター（以下、原科研等という）では、旧日本原子力研究所時代の 2000 年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として蛍光ガラス線量計を使用してきた。この蛍光ガラス線量計システムが高経年化により更新時期を迎えたため、経済性も考慮して 2014 年より光刺激ルミネセンス（Optically Stimulated Luminescence、OSL）線量計を使用することとした。

OSL 線量計は、放射線を受けたある種の物質に特定の波長の光を当てると、その受けた線量に比例した蛍光を発するという現象（光刺激ルミネセンス現象）を利用した線量計である。この光刺激ルミネセンス現象を利用した線量計の特性については多くの報告がなされている[1),2),3),4)]。

線量計に蓄積した放射線の情報をリセットする作業は、TL（熱ルミネセンス）線量計、蛍光ガラス線量計と同様、焼きなましを意味するアニーリングと呼ばれているが、OSL 線量計ではアニーリングに熱ではなく光を用いる点が他の積算線量計との大きな違いである。熱による素子の劣化がないため、アニーリングを繰り返して使用しても測定値の再現性が高い。また、OSL 素子は軽量で耐水性があり、破損による線量情報の損失がない。

原科研では、末端部の測定に小型の OSL 線量計を用いた OSL リングバッジを開発し[1)]、2011 年 1 月よりこれを導入しており体幹部用の運用以前に使用実績がある。

2001 年に旧日本原子力研究所では OSL 線量計の基本特性試験を実施した[2)]。この特性試験では OSL 線量計として、異なる 3 つのフィルタを備えた OSL 素子を持つ Landauer 社製 Luxel が用いられた。Luxel は、線量計の開封及び読取を暗室内で手動で行う必要があったため、多くの線量計を自動で測定することができなかった。

今回、原科研等で使用する OSL 線量計は、Landauer 社製 InLight Model 2 である。構造を変化させ、ケースの材質も従来の遮光紙とプラスチックの組み合わせからプラスチックのみとなった。併せて専用のリーダやアニーラも開発され、暗室でなくとも線量計の使用後即座に測定、アニーリング及び再使用ができるものになっている。素子の線量評価用の測定位置も従来の 3 点から 4 点に増やされている。ヨーロッパではすでに実用化されている[3)]。

ここでは、OSL 線量計の外部被ばく線量測定の実用に先立って、測定評価の信頼性を確認するために、γ（X）線及びβ線の測定に係る基本的な特性についての試験を行った。さらに、これまでの測定評価の信頼性を維持できるかを確認するために、蛍光ガラス線量計との性能の比較も行った。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。

2. OSL 線量計の構造及び測定

2.1 OSL 線量計の構造

OSL 現象とは、放射線を受けると素子となる物質の結晶格子の欠陥部分に励起された電子が

トラップされることでそのエネルギーを蓄積し、これに光を当てることにより、積算した線量に比例した量の蛍光が発せられる現象である[4)]。光を当てられた素子は、電子が再び励起された後、蛍光中心の正孔と再結合し、蛍光としてエネルギーを放出する。

線量計としての OSL 現象の利用は、この蛍光を読み取ることにより実現できる。読み取りには LED やレーザーなどを光源に用いる。励起波長を限定し、素子に当てる光量を調節すれば、放出される蛍光は蓄積されたエネルギーの一部だけとなり、大部分の電子は読み取り前の蓄積された状態に戻る。これにより繰り返し測定が可能となる。

材料としては発光の効率が良い、炭素をドープした酸化アルミニウム（α-Al_2O_3:C）を用いている。実効原子番号は低く、広いエネルギー範囲での利用が可能となっている。

OSL 線量計の内部にある OSL 素子、フィルタの構成を Photo 1 に示す。OSL 素子は、酸化アルミニウム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たものが直径 7.5 mm の円形に切り出され、12 mm×47 mm×2 mm のサイズのプラスチックスライドに 4 つ、一列に装填されている。これをエネルギー補償用フィルタが取り付けられた 23 mm×49 mm ×6 mm のサイズの線量計ケースに挿入することで線量計となる。フィルタは、0.4 mm 厚の Cu フィルタ、0.7 mm 厚の Al フィルタ、0.7 mm 厚のプラスチックフィルタである。測定位置はこの 3 つのフィルタ位置に加え、0.01 mm 厚のプラスチック薄膜（マイラー膜）のみで覆われたオープンウィンドウ位置を含めた 4 点となる。これらの測定値より γ（X）線及び β 線の線量評価を可能としている。γ（X）線の線量評価には Cu、Al 及びプラスチックの各フィルタ位置の測定値を用いる。β 線の線量評価はオープンウィンドウ位置の測定値から γ（X）線の測定値を減ずることにより行う。

製造時における素子の不均一性を補正するために、各素子には感度が定められており、プラスチックスライドには素子感度の情報が入った二次元バーコードが刻印されている。測定時にはリーダでこの情報も読み取り、線量評価に反映させている。

OSL 線量計は、OSL バッジに装填し、放射線業務を行う従事者が着用し使用する。OSL バッジの構成を Photo 2 に示す。OSL バッジのクリップ部を除いたサイズは 36 mm×77 mm× 11 mm、重量は 19 g であり、これまで使用していた蛍光ガラス線量計と同等である。OSL バッジは防埃性があり、線量計単体よりも耐久性、耐水性に優れている。

2.2　OSL 線量計の測定

OSL 線量計のリーダの測定部の構造を Fig. 1 に示す。セットした素子に、緑色の LED 光源より光学フィルタを通過した 532 nm の波長の励起光を当てることにより、素子から蛍光が放出される。この蛍光と励起光を光学フィルタで分離し、420 nm の波長の蛍光のみを光電子増倍管（Photomultiplier Tube : PMT）によりフォトカウンティング方式で検出する。

ここで得られた各フィルタ位置のカウント数より、予め求めたカウント数から線量当量への換算係数を用いて見掛けの線量を算出する。見掛けの線量とは、フィルタ位置の測定値を ^{137}Cs の γ 線照射時のプラスチックフィルタ位置の線量当量で表したものである。フィルタの違いにより、あるいはそれがないことで各フィルタ位置の見掛けの線量は照射したエネルギーによって差が現れる。各フィルタ位置の見掛けの線量を線量評価アルゴリズムに通すことにより、線

量当量や線質を評価する。

Photo 3 に OSL 線量計のリーダ（Landauer 社製 InLight500 リーダ）を示す。このリーダは、本体と制御用パソコン及びサーバー用パソコンで構成されており、最大 500 個の OSL 線量計を約 2 時間で自動測定できる。リーダの校正は、幅広い測定線量に対応するため、低線量域と高線量域の 2 段階に分けて行う。それぞれ素子に当てる光の量に違いがある。低線量域では、予め 0、5 mSv、100 mSv を照射した校正用線量計を測定し、得られたカウント数との傾きを求め換算係数とする。高線量域では、0、500 mSv、5000 mSv を照射した校正用線量計を用いる。

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、原科研の放射線標準施設棟（Facility of Radiation Standard : FRS）のγ線、β線及び X 線照射装置を用いて実施した。これらの装置を用いた放射線校正場は、日本国内において国家標準等とトレーサビリティが確保されている。

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、国際放射線単位計測委員会（ICRU）の導入した個人線量当量 Hp(d) [5]（単位 Sv：ここで d は深さ 10 mm、0.07 mm）であることから、個人線量計の校正に用いる基準量として、線量計をファントム（ファントムは、JIS Z 4331 [6]に規定されているものを使用した）に装着した状態では、方向特性試験を除き個人に係わる 1 cm 線量当量 $H_{slab}(10, 0°)$及び 70 μm 線量当量 $H_{slab}(0.07, 0°)$ [7]（以下、Hp(10)、Hp(0.07)とする）を用いた。方向特性試験においてはこれらに加えて $H_{slab}(10, 30°)$、$H_{slab}(10, 60°)$、$H_{slab}(0.07, 30°)$、$H_{slab}(0.07, 60°)$を用いた。ファントムを必要としない線量直線性等の試験では、個人でなくとも同じく Hp(10)を用い、線量計を自由空気中（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。

照射時の校正基準点の位置は、ファントム装着時にはファントム表面の位置、フリーエアでは線量計固定用治具の表面の位置とした。照射された OSL 線量計の測定は、測定条件を統一するため、原則として照射終了後 24±4 時間に行った。

3.2 各試験項目の照射方法

OSL 線量計の各試験項目の照射は以下の通り行った。照射試験条件を Table 1 に示す。

1）から 6）の試験については、全体またはその一部が JIS Z 4339 [8]に定められたものである。

7）は、原科研等では、試験研究用原子炉施設、核燃料物質使用施設、放射性同位元素及び放射線発生装置の使用施設、X 線発生装置等の多種多様な作業場所を有しているため、多くの線質を利用する上で必要な試験として行った。各試験に用いた線量計の個数は、照射野の面積等を考慮し、適当な数を設定した。

1）線量直線性（使用放射線：γ線、β線）

線量直線性は、^{137}Cs 及び ^{60}Co を用いて 0.1 mSv から 100 mSv のγ線をフリーエアで各線量 10 個の線量計に、^{90}Sr-^{90}Y を用いて 0.1 mSv から 50 mSv のβ線をファントム上で各線量 8 個の線量計に照射して求めた。

2）エネルギー特性（使用放射線：γ線、X 線、β線）

γ（X）線に対するエネルギー特性は、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 8 種（実効エネルギー23.9 keV から 199 keV）並びに ^{137}Cs 及び ^{60}Co のγ線をそれぞれ 2mSv 照射して求めた。各測定点における線量計の数量は 4 個とした。

β線に対するエネルギー特性は、線量計をファントムに装着した状態で、^{90}Sr-^{90}Y（2.14 MeV）では 5 mSv、^{204}Tl（635 keV）では 1 mSv、^{147}Pm（156 keV）では 5 mSv のβ線を照射して求めた。ここで用いるβ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 [9]を使用した。各エネルギーにおける線量計の数量は 4 個とした。

3）方向特性（使用放射線：γ線、X 線、β線）

方向特性は、^{137}Cs のγ線及び実効エネルギー80.5keV の X 線（*QI*＝0.8）では 2 mSv、^{90}Sr-^{90}Y のβ線では 5 mSv を照射して求めた。水平方向の回転における照射は、校正基準点を含む鉛直線を軸として線量計を装着したファントムを左右 60 度まで回転させて行った。上下方向の回転における照射は、線量計をファントム表面上で 90 度回転させて横向きに装着し、ファントムを左右 60 度まで回転させることにより行った。各方向における線量計の数量は、γ線及び X 線では 3 個、β線では 2 個とした。

4）経時変化特性

経時変化特性は、室温（20±5 ℃）及び 40℃の環境において、照射終了後から時間が経つにしたがって評価値が変化する様子を試験した。各保管期間につき線量計を 5 個用いて、3 mSv の ^{137}Cs のγ線をフリーエアで照射し、照射当日から 90 日まで室温及び 40 ℃で保存した線量計を測定することにより求めた。

5）評価値の再現性

評価値の再現性とは、リーダと線量計の測定系の再現性である。0.05 mSv から 100 mSv までの ^{137}Cs 及び ^{60}Co のγ線をフリーエアで照射した各 1 個の線量計をそれぞれ 10 回測定し、その 10 個の評価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。

$$C = \sigma X / X \times 100(\%)$$

ここで、σX は標準偏差（分母を n－1 とした標本標準偏差）、X は評価値の平均値である。

6）線量計間の評価値のばらつき

線量計間の評価値のばらつきは、各線量 10 個の線量計を用いて、0.05 mSv から 100 mSv までの ^{137}Cs 及び ^{60}Co のγ線をフリーエアで照射し、上記 5）と同じ式で評価値の変動を調べることにより求めた。

7）異なった線質の放射線による混合照射に対する特性

異なった線質の放射線による混合照射に対する特性は、線量計をファントムに装着した状態で、X 線 2 種（実効エネルギー55.8 keV、80.5 keV；いずれも *QI*＝0.8）、^{137}Cs のγ線、^{90}Sr-^{90}Y

及び ^{204}Tl のβ線より 2 種を組み合わせ、線量の割合を変えて照射を実施し求めた。各線量における線量計の数量は 4 個とした。

4. 結果及び考察

各試験の内容と結果を Table 1 に示す。

4.1 線量直線性

γ線及びβ線に対する OSL 線量計の線量直線性の試験結果を、それぞれ Fig. 2 及び Fig. 3 に示す。

Fig. 2 はγ線に対する結果であり、1 mSv におけるレスポンスを基準とする相対レスポンスで示した。^{137}Cs 及び ^{60}Co のγ線に対して 0.1 mSv から 100 mSv の範囲の線量において 1.00 から 1.01 の変動の少ない相対レスポンスを得た。また、JIS Z 4339 [8]に則した手法で求めた誤差の幅も含めると 0.1 mSv において 0.93 から 1.07、0.3 mSv から 100 mSv では 0.94 から 1.06 となった。蛍光ガラス線量計では、同試験において 0.1 mSv から 10 Sv の範囲で相対レスポンスが±6 %以内であるという結果が得られている [10]。照射線量の範囲に違いはあるものの、相対レスポンスの変動は蛍光ガラス線量計と比べて大きな差がないことが確認できた。

Fig. 3 はβ線に対する結果であり、5 mSv におけるレスポンスを基準とする相対レスポンスで示した。^{90}Sr-^{90}Y のβ線に対しては、0.1 mSv では 1.14 とやや大きな変動が見られたが、0.3 mSv から 50 mSv の範囲では 0.98 から 1.04 という結果が得られた。蛍光ガラス線量計では同試験において 0.3 mSv から 1 Sv の範囲で相対レスポンスが±4 %以内であるという結果が得られている [10]。こちらも高線量域の照射線量の範囲に違いはあるが、相対レスポンスの変動は蛍光ガラス線量計と比べて同等であることが確認できた。

これらの結果より、OSL 線量計はγ線及びβ線に対し個人線量測定上十分な線量直線性を有しているといえる。

4.2 エネルギー特性

γ（X）線に対する OSL 線量計の Hp(10)の測定に係るエネルギー特性を Fig. 4 に示す。同図は ^{137}Cs のγ線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。80.5 keV のエネルギーにおいて 1.13 の相対レスポンスが見られたが、これ以外のエネルギーにおける相対レスポンスの変動はそれより小さいものであった。誤差の幅を含めた変動範囲は 0.89 から 1.20 となった。蛍光ガラス線量計では、60 keV から 100 keV のエネルギー範囲において最大 20 %の低下が見られた以外は±10 %以内の相対レスポンスである [4]。相対レスポンスの変動は蛍光ガラス線量計と比べて同等であるといえる。

β線に対する OSL 線量計の Hp(0.07)の測定に係るエネルギー特性を Fig. 5 に示す。ここでは、^{90}Sr-^{90}Y のβ線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。^{204}Tl の相対レスポンスは 1.07 であった。誤差の幅を含めた変動範囲は 0.94 から 1.16 となった。^{147}Pm ではレスポンスがあまりに小さいため、β線の測定評価は不可能であった。蛍光ガラス線量計では、

^{90}Sr-^{90}Y、^{204}Tl のレスポンスは－4 %程である。^{147}Pm の測定評価は蛍光ガラス線量計と同様に困難であるが、体幹部の被ばく測定・管理上は、大きな支障はないと考えている[10)]。

これらの結果から、OSL 線量計のγ（X）線及びβ線に対するエネルギー特性は個人線量計として十分なレスポンスを有しているといえる。

4.3　方向特性

方向特性は、いずれも正面方向（0 度）におけるレスポンスを基準とした相対レスポンスで表した。

^{137}Cs のγ線に対する水平及び垂直方向特性を Fig. 6 に示す。60 度までのいずれの方向、角度においても、0.96 から 1.06 の方向特性を有することがわかった。誤差の幅を含めた変動範囲は 0.85 から 1.18 であった。なお、図示していないが、JIS Z 4339 に定める性能及び蛍光ガラス線量計の性能との比較のため、角度依存係数を考慮しないで線量を再評価した。この場合は、いずれの方向、角度においても、0.96 から 1.03 の方向特性を有し、誤差の幅を含めた変動範囲は 0.84 から 1.16 であった。蛍光ガラス線量計では、左右 90 度まで±2 %の相対レスポンスであり、垂直方向も 60 度まで良好な方向特性を有している[10)]。OSL 線量計も蛍光ガラス線量計と比べて同等な方向特性を有しているといえる。

この結果から、γ線に対する方向特性は個人線量計として実用上問題ないといえる。

実効エネルギー80.5 keV の X 線（QI＝0.8）に対する水平及び垂直方向特性を Fig. 7 に示す。相対レスポンスは水平方向±60 度及び垂直方向±30 度の範囲で 0.97 から 1.07 であった。しかし、上側 60 度においては 1.27、下側 60 度においては 1.58 を示した。いずれの場合においても Cu フィルタ位置のレスポンスが高くなったことにより、線量が過大評価されたためである。これは素子に対するフィルタの縦方向の長さに十分な余裕がなく、縦方向 60 度では Cu フィルタに遮られずにγ線が入射する領域が、Cu フィルタ直下の OSL 素子に発生したためと考えられる。

^{90}Sr-^{90}Y のβ線に対する水平及び垂直方向特性を Fig. 8 に示す。相対レスポンスは、左右 30 度及び上側 30 度でおよそ 0.75、下側 30 度で 0.61 であった。β線は透過力が弱いため、入射角度が大きくなるにつれて、β線の評価に必要となる OSL 素子のオープンウィンドウ位置への入射が周辺物質に遮られるようになる。そのため、水平方向、垂直方向共に角度が大きくなるにしたがって線量が大幅に減少したと考えられる。

4.4　経時変化特性

照射後 0 日を基準とした相対レスポンスで表した経時変化特性の試験結果を Fig. 9 に示す。相対レスポンスは室温において 0.97 から 1.02、40 ℃でも 0.97 から 1.06 となった。また、JIS Z 4339 に則った誤差の幅を含めた変動範囲も含めると室温において 0.92 から 1.09、40 ℃では 0.91 から 1.14 となった。蛍光ガラス線量計では照射後 1 日を基準とする相対レスポンスが +3 %以内であるという結果が得られている[10)]。相対レスポンスの変動は蛍光ガラス線量計と同等であるといえる。

4.5　評価値の再現性

照射した線量ごとに、変動係数 C（3.2 の 5）に示す式参照）で表した評価値の再現性の試験結果を Fig. 10 に示す。1 mSv 以上では 4 %以下で安定するが、0.5 mSv 以下で変動が 5 %を超える。ただし、OSL 線量計の評価システムには低線量における測定精度を向上させる低線量用評価式があり、それを用いることで 0.1 mSv で 4.0 %まで変動を小さくできた。JIS Z 4339 では 2mSv においてのみ評価値の変動が 0.075 以下と規定されている [8]。ここでの 2mSv の評価値の変動は 0.033 であり、定められた性能を満たしていることがわかった。

4.6　線量計間の評価値のばらつき

照射した線量ごとに、変動係数 C（3.2 の 5）に示す式参照）で表した線量計間のばらつきの試験結果を Fig. 11 に示す。0.5 mSv 以上では最大でも 5 %程度であった。ばらつきが大きい 0.3 mSv より低い線量においては、低線量用評価式を用いることでばらつきが低減し、0.1 mSv では 15.2 %の変動係数が 9.3 %となった。JIS Z 4339 では 2mSv において評価値の最大値と最小値との比が 1.3 以下と規定されている [8]。ここでの 2mSv の評価値の最大値と最小値との比は 1.18 であり、定められた性能を満たしていることがわかった。

4.7　異なった線質の放射線による混合照射に対する特性

γ 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}Cs の γ 線と 55.8 keV、80.5 keV（いずれも QI=0.8）の X 線を組み合わせて混合照射試験を行った。

^{137}Cs の γ 線と 55.8 keV 及び 80.5 keV の X 線の組み合わせ混合照射の結果をそれぞれ Fig. 12 及び Fig. 13 に示す。図の横軸は ^{137}Cs の γ 線の線量と X 線の線量を比で表した。各図から、いずれの線量比においても γ（X）線量は 0.95 から 1.07 のレスポンスで評価できることがわかった。

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80.5 keV と 55.8 keV の組み合わせで行った。結果を Fig. 14 に示す。図の横軸は 80.5keV の X 線の線量と 55.8 keV の X 線の線量を比で表した。ここでの X 線の線量のレスポンスは 1.03 から 1.10 のレスポンスで評価できることがわかった。

γ 線と β 線の混合照射試験は、^{137}Cs の γ 線と ^{90}Sr-^{90}Y の β 線の組み合わせで行った。結果を Fig. 15 に示す。図の横軸は ^{137}Cs の γ 線の線量と ^{90}Sr-^{90}Y の β 線の線量の比で表し、Hp(10)と Hp(0.07)のレスポンスを示した。Hp(10)の線量は 1:1、10:1 の割合においては 0.94、1.01 のレスポンスであったが、1:2 の割合では 0.81 のレスポンスになった。Hp(0.07)の線量のレスポンスは、いずれの割合においても 1.01 から 1.04 と安定していた。

線質の異なる二つの β 線の混合照射試験は、^{90}Sr-^{90}Y と ^{204}Tl の組み合わせで行った。結果を Fig. 16 に示す。図の横軸は ^{90}Sr-^{90}Y の β 線の線量と ^{204}Tl の β 線の線量の比で表した。ここでの β 線の線量は 1:1 の割合において 1.00、2:1 の割合において 1.02 のレスポンスになった。

これらの結果から、OSL 線量計は異なった線質の放射線の混合照射時において、大きな問題なく線量評価できることがわかった。γ 線と β 線の混合照射の場合でも、一部やや過小評価となる傾向が認められたが、良好なレスポンスを示した。

5. まとめ

今回実施した各特性試験の結果を Table 1 にまとめた。JIS Z 4339 に定める性能と比較すると、いずれの試験においても十分、許容範囲を満たしていることがわかる。相対レスポンスをみると、γ線に対する線量直線性では 1.00 から 1.01、経時変化特性では室温において 0.97 から 1.02 と大きな変動が見られず、非常に良好な性能を有しているといえる。方向特性に関しては、γ線に対して 60 度までのいずれの方向、角度においても 0.96 から 1.06、X 線に対して水平方向 60 度までで 0.98 から 1.07、垂直方向 30 度までで 0.97 から 1.00、β線に対して左右 30 度及び上側 30 度でおよそ 0.75、下側 30 度で 0.61 の相対レスポンスを示した。

線量計間の評価値のばらつきの変動係数はやや大きく、特に低線量においては顕著である。また繰り返し測定により読み取り値が減少することもあり、評価値の再現性の変動係数も同様の傾向を示している。この低線量の被ばくに対しては専用の評価式を導入することにより変動係数を低減している。

これらの結果、OSL 線量計は JIS Z 4339 に定める性能を満たしており、蛍光ガラス線量計と同等の性能を持つことを確認した。これにより、OSL 線量計は実用上十分な性能を有していることが確認された。

参考文献

1）宮内英明ほか, OSL 型リングバッジの開発, JAEA-Technology 2010-050, 2011, 17p.
2）鈴木朗史ほか, OSL 線量計の諸特性, JAERI-Tech 2000-089, 2001, 30p.
3）Perks, C. A. et al., Introduction of the InLight Monitoring Service, Radiation Protection Dosimetry, Vol. 125, No. 1-4, 2007, pp. 220-223.
4）McKeever, S. W. S., Optically Stimulated Luminescence: A Brief Overview, Radiation Measurements 46, 2011, pp. 1336-1341.
5）International Commission on Radiation Units and Measurements, Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations (Report 47), 1992.
6）日本規格協会, 個人線量計校正用ファントム, JIS Z 4331, 2005.
7）International Commission on Radiological Protection, Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation, ICRP Publication 74, 1996.
8）日本規格協会, 光刺激ルミネセンス線量計測装置, JIS Z 4339, 2004.
9）International Organization for Standardization, Nuclear energy -- Reference beta-particle radiation -- Part 1: Methods of production, ISO 6980-1, 2006.
10）伊藤精ほか, 個人外部線量測定用蛍光ガラス線量計の基本特性, JAERI-Tech 2001-048, 2001, 20p.

Table 1　OSL 線量計の特性試験に係る照射試験条件と結果

項目	Fig.	照射試験条件		結果※	JIS Z 4339に定める性能
		試験内容	使用線源、線量、エネルギー		
1）線量直線性	2	γ線 0.1 mSvから100 mSvの線量範囲における相対レスポンス評価	^{137}Cs: 0.1 mSv、0.3 mSv、0.5 mSv、1 mSv、2 mSv、5 mSv ^{60}Co: 10 mSv、50 mSv、100 mSv	1.00〔0.93から1.07〕(0.1 mSv) 1.00から1.01〔0.94から1.06〕(≧ 0.3 mSv)	0.7から1.3 (0.1 mSv) 0.9から1.1 (≧ 0.3 mSv)
	3	β線 0.1 mSvから50 mSvの線量範囲における相対レスポンス評価	^{90}Sr-^{90}Y: 0.1 mSv、0.3 mSv、0.5 mSv、1 mSv、5 mSv、10 mSv、50 mSv	1.14〔0.96から1.32〕(0.1 mSv) 0.98から1.04〔0.93から1.10〕(≧ 0.3 mSv)	規定なし
2）エネルギー特性	4	光子24 keVから1.25 MeVの範囲における相対レスポンス評価	X線 (23.9 keV、32.4 keV、48.2 keV、64.7 keV、80.5 keV、97.1 keV、120 keV、199 keV)、^{137}Cs (662 keV)、^{60}Co (1.25 MeV): 2 mSv	0.91から1.13〔0.89から1.20〕	0.7から1.3
	5	β線^{147}Pm、^{204}Tl、^{90}Sr-^{90}Yにおける相対レスポンス評価	^{147}Pm (156 keV)、^{90}Sr-^{90}Y (2.14 MeV): 5 mSv ^{204}Tl (635 keV): 1 mSv	1.00から1.07〔0.94から1.16〕(^{204}Tl、^{90}Sr-^{90}Y) 0 (^{147}Pm、参考データ)	0.7から1.3
3）方向特性	6	γ線 −60 度から60 度の範囲における相対レスポンス評価	^{137}Cs: 2 mSv	水平方向: 0.98から1.03〔0.85から1.14〕 垂直方向: 0.96から1.06〔0.86から1.18〕	0.8から1.2
	7	X線 −60 度から60 度の範囲における相対レスポンス評価	X線80.5 keV: 2 mSv	水平方向: 1.00から1.07〔0.78から1.31〕(0 度から30 度) 0.98から1.01〔0.74から1.22〕(60 度) 垂直方向: 0.97から1.00〔0.82から1.12〕(0 度から30 度) 1.27から1.58〔1.04から1.75〕(60 度)	規定なし
	8	β線 −60 度から60 度の範囲における相対レスポンス評価	^{90}Sr-^{90}Y: 5 mSv	水平方向: 0.73から1.00 (0 度から30 度)　0.18 (60 度) 垂直方向: 0.61から1.00 (0 度から30 度)　0.14から0.19 (60 度)	規定なし
4）経時変化特性	9	室温（20±5 ℃）で0、7、30、60、90 日後の相対レスポンス評価	^{137}Cs: 3 mSv	0.97から1.02〔0.92から1.09〕	0.9から1.1
		40 ℃で0、7、30、60、90 日後の相対レスポンス評価	^{137}Cs: 3 mSv	0.97から1.06〔0.91から1.14〕	0.85から1.15
5）評価値の再現性	10	同一の線量計を10 回読み取ったときの変動係数評価	^{137}Cs: 0.05 mSv、0.1 mSv、0.3 mSv、0.5 mSv、1 mSv、2 mSv、5 mSv ^{60}Co: 10 mSv、50 mSv、100 mSv	1 mSv以上において4%以下 0.033 (2 mSv)	0.075以下 (2 mSv)
6）線量計間の評価値のばらつき	11	10 個の線量計を読み取ったときの変動係数評価	^{137}Cs: 0.05 mSv、0.1 mSv、0.3 mSv、0.5 mSv、1 mSv、2 mSv、5 mSv ^{60}Co: 10 mSv、50 mSv、100 mSv	0.5 mSv以上において5%以下 レスポンスの比(最大／最小): 1.18 (2 mSv)	レスポンスの比（最大／最小）が1.3以下 (2 mSv)
7）異なった線質の放射線による混合照射に対する特性	12～16	γ線-X線、X線-X線、γ線-β線、β線-β線の混合照射におけるレスポンス評価	X線 (55.8 keV、80.5 keV)、^{137}Cs、^{90}Sr-^{90}Y、^{204}Tl : 0.4 mSv、0.8 mSv、1 mSv、2 mSv、5 mSv、10 mSv の組み合わせ	^{137}Cs+X線55.8 keV : 0.95から0.99 〔0.87から1.10〕 ^{137}Cs+X線80.5 keV : 1.04から1.07 〔0.95から1.13〕 X線80.5 keV+X線55.8 keV : 1.03から1.10 〔1.00から1.15〕 ^{137}Cs+^{90}Sr-^{90}Y : 0.81から1.01 〔0.77から1.03〕 (H_p(10)) 1.01から1.04 〔1.00から1.05〕 (H_p(0.07)) ^{90}Sr-^{90}Y+^{204}Tl : 1.00から1.02 〔0.93から1.11〕	規定なし

※：〔〕内は誤差の幅を含めた変動範囲

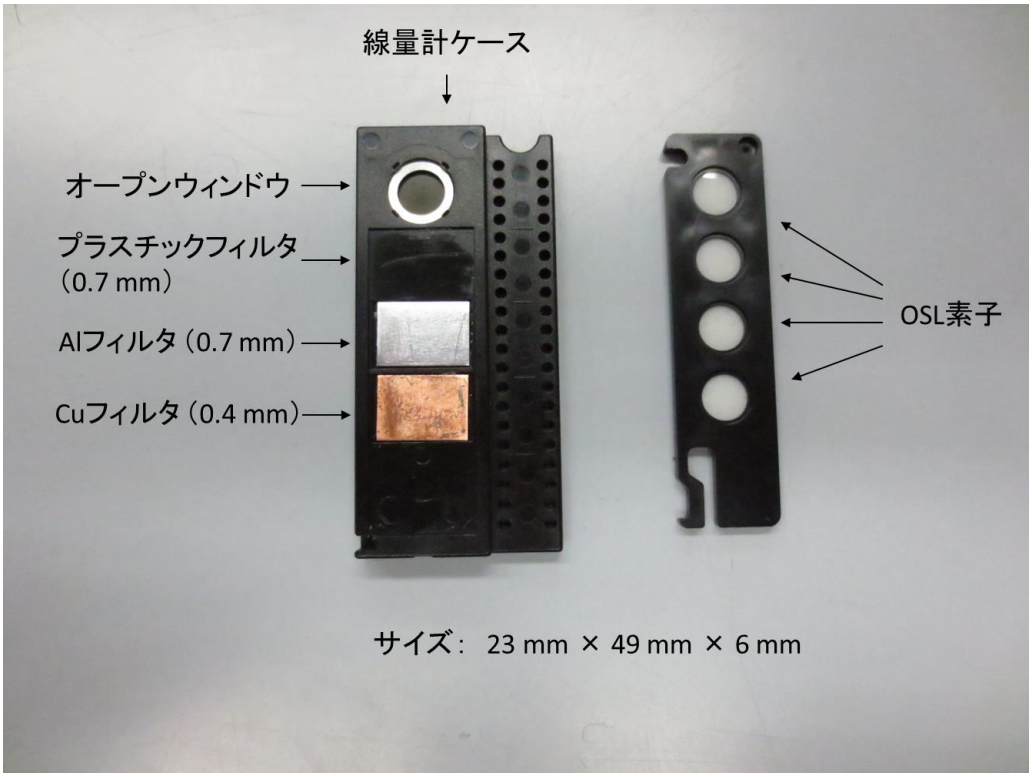

Photo 1　OSL 線量計（InLight Model 2）

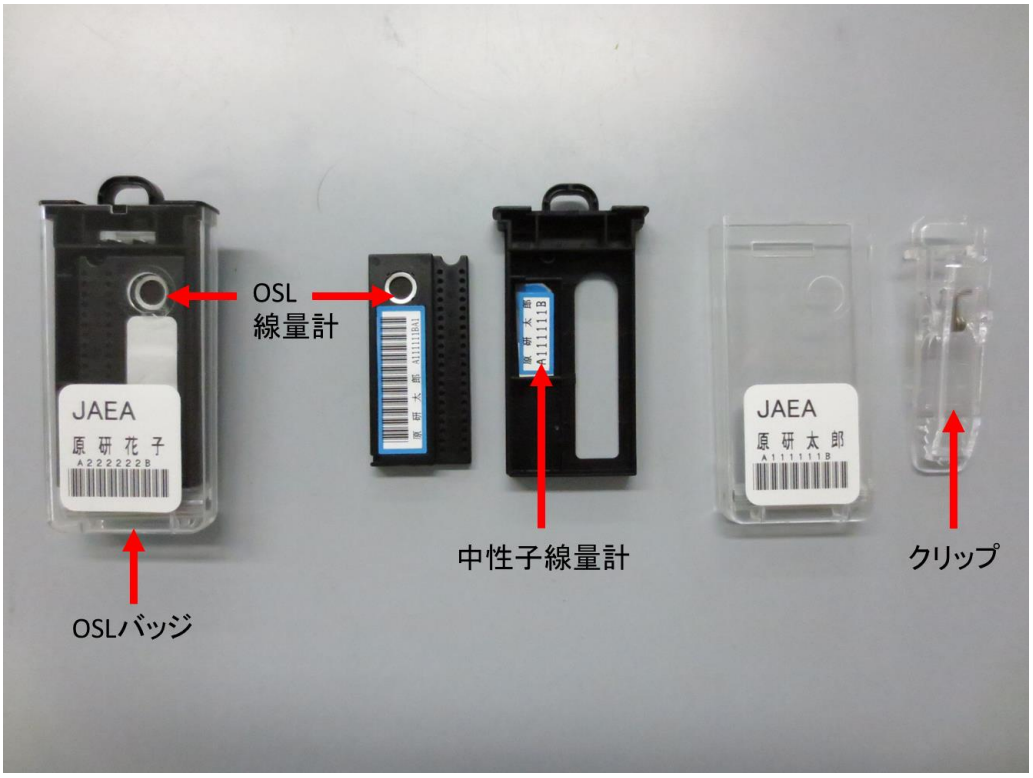

Photo 2　OSL バッジの構成

Photo 3　OSL 線量計リーダ（InLight500 リーダ）

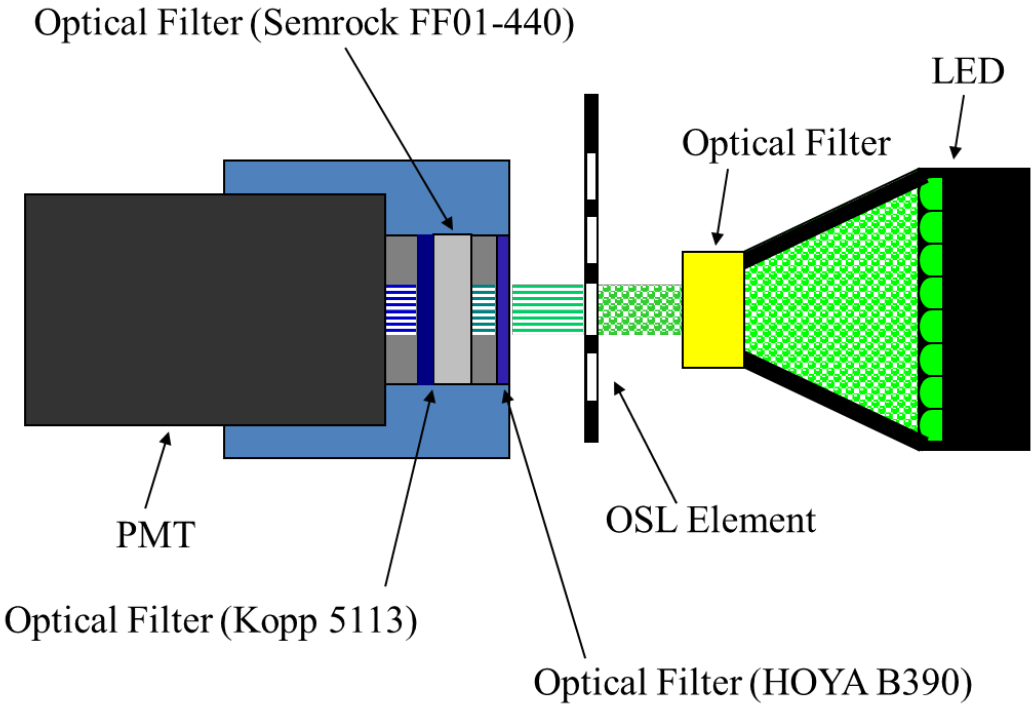

Fig. 1　OSL 測定部の構造

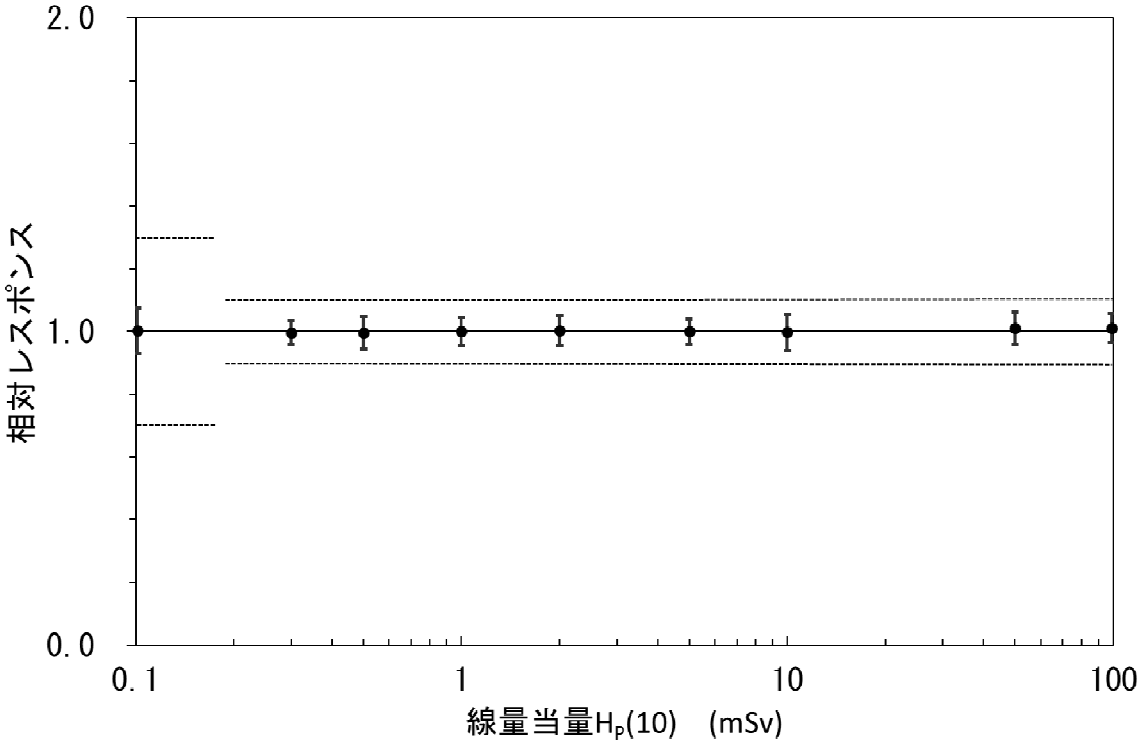

Fig. 2　γ線に対する線量直線性

（1mSv を基準とした相対レスポンス　点線は JIS Z 4339 の許容範囲を示す。）

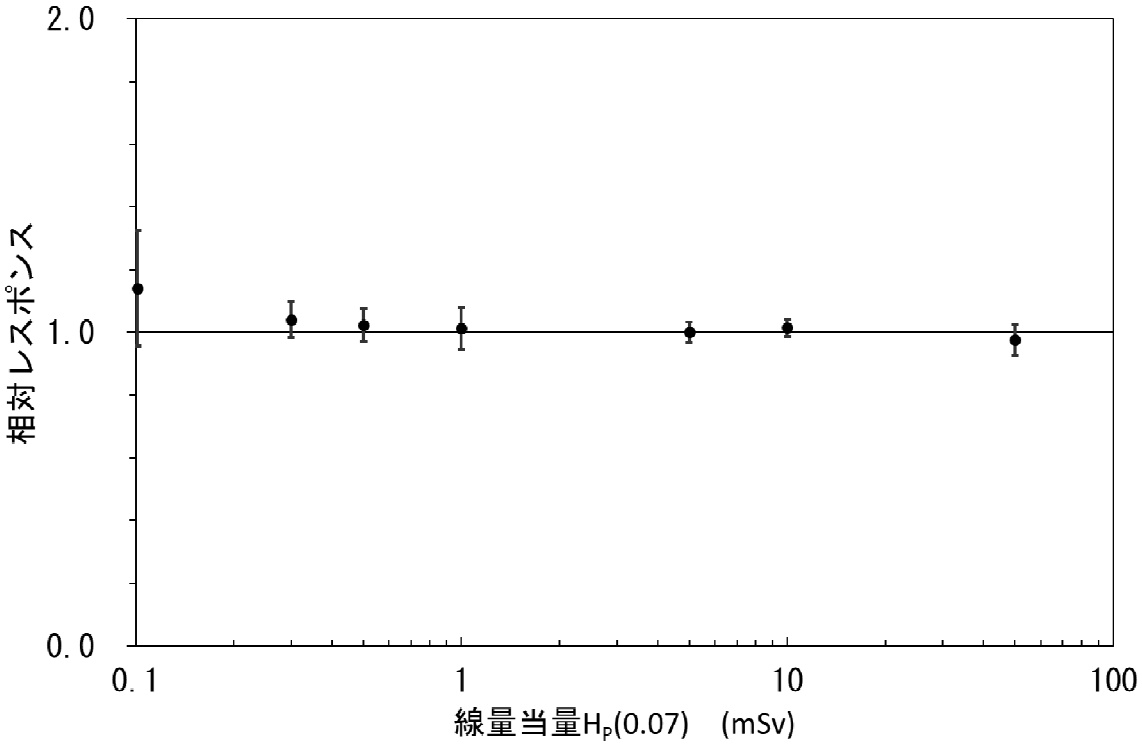

Fig. 3　β線に対する線量直線性

（5mSv を基準とした相対レスポンス）

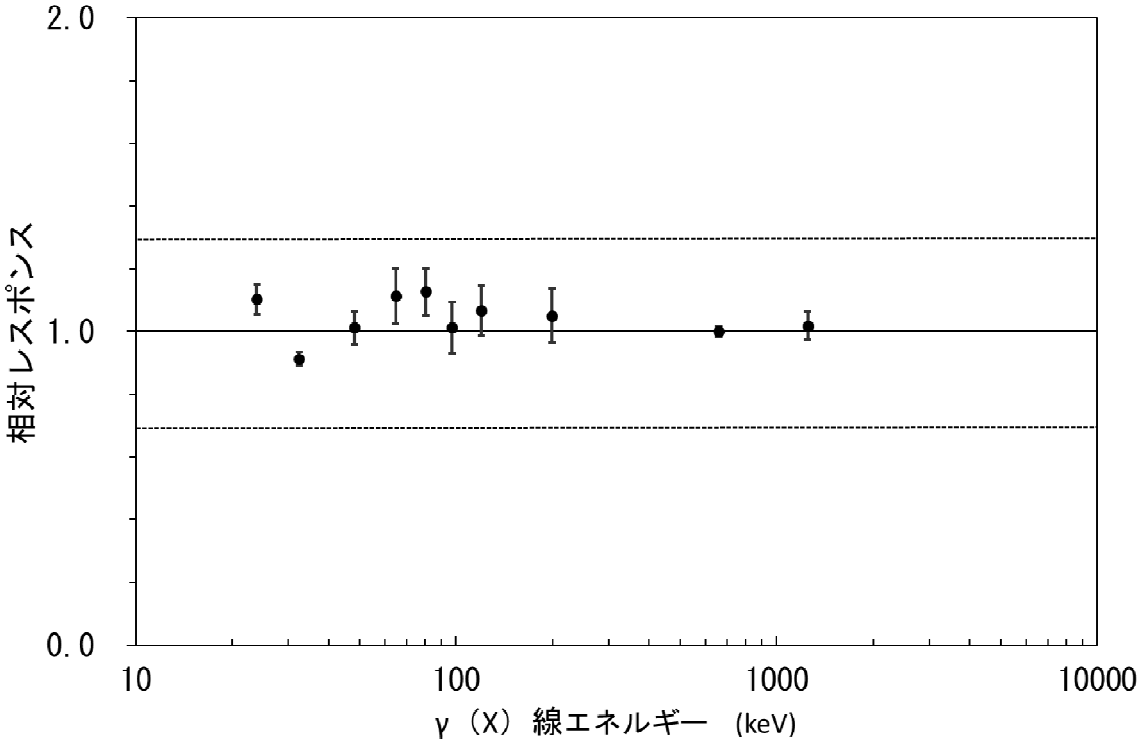

Fig. 4　γ（X）線エネルギー特性

（^{137}Cs を基準とした相対レスポンス　点線は JIS Z 4339 の許容範囲を示す。）

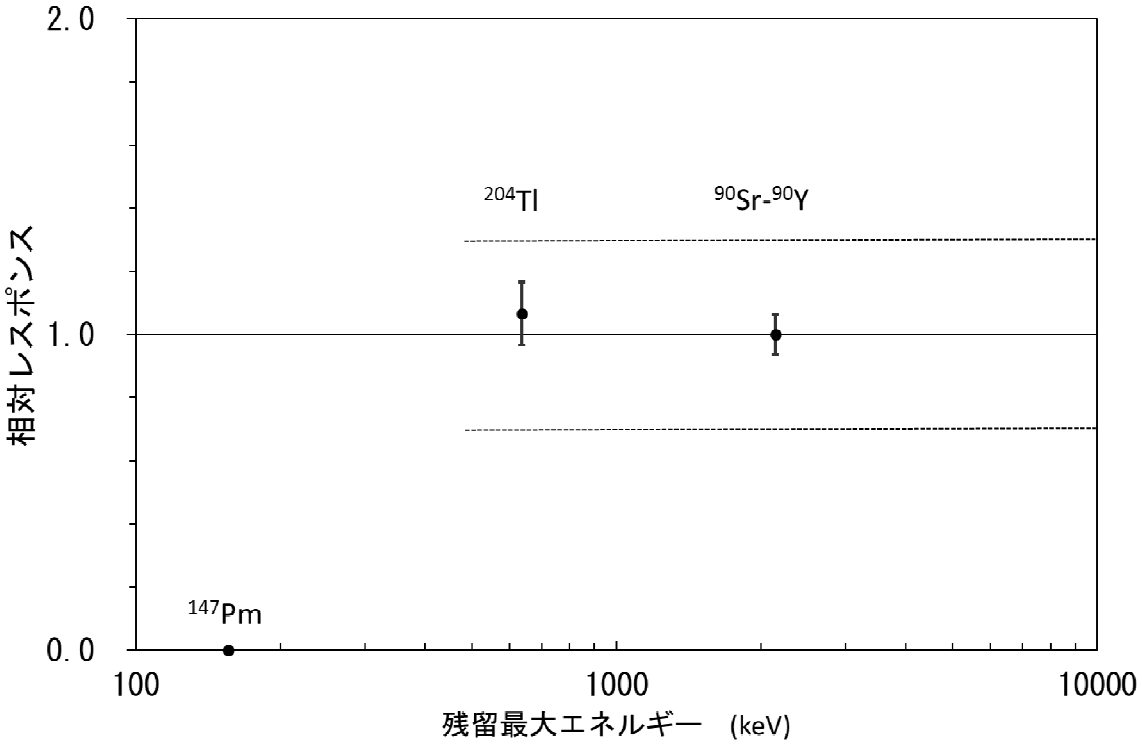

Fig. 5　β線エネルギー特性

（^{90}Sr-^{90}Y を基準とした相対レスポンス　点線は JIS Z 4339 の許容範囲を示す。）

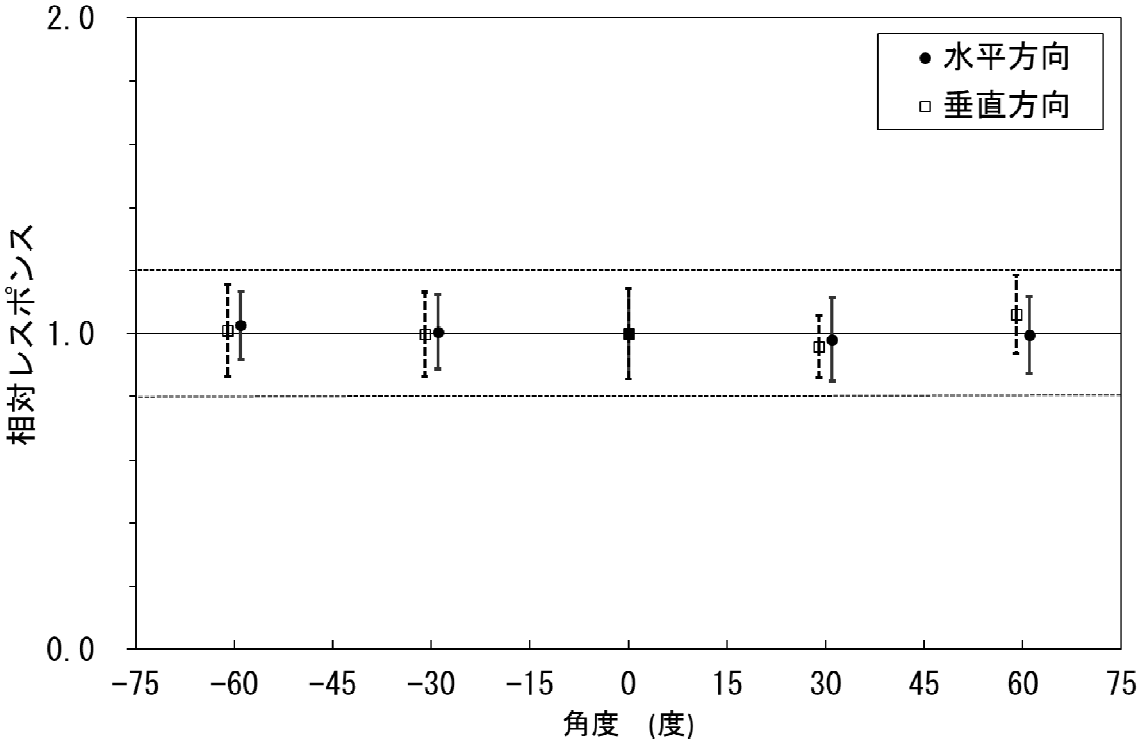

Fig. 6　^{137}Cs γ 線に対する方向特性
（点線は JIS Z 4339 の許容範囲を示す。）

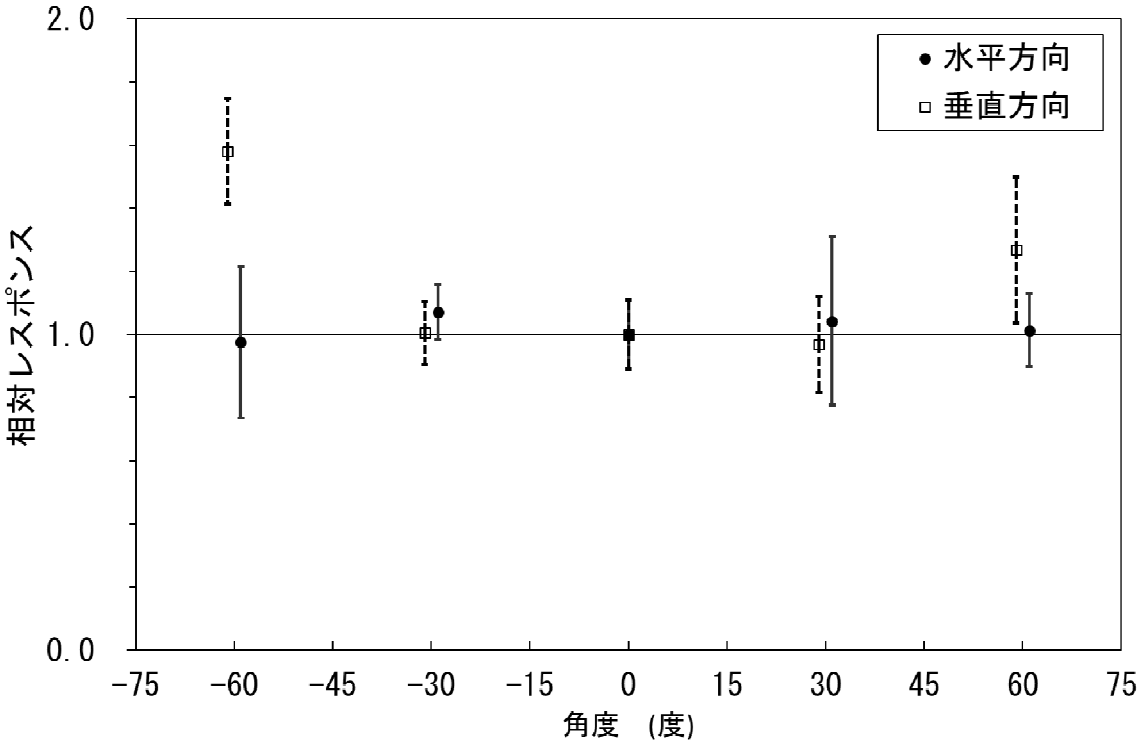

Fig. 7　80keV－X 線に対する方向特性

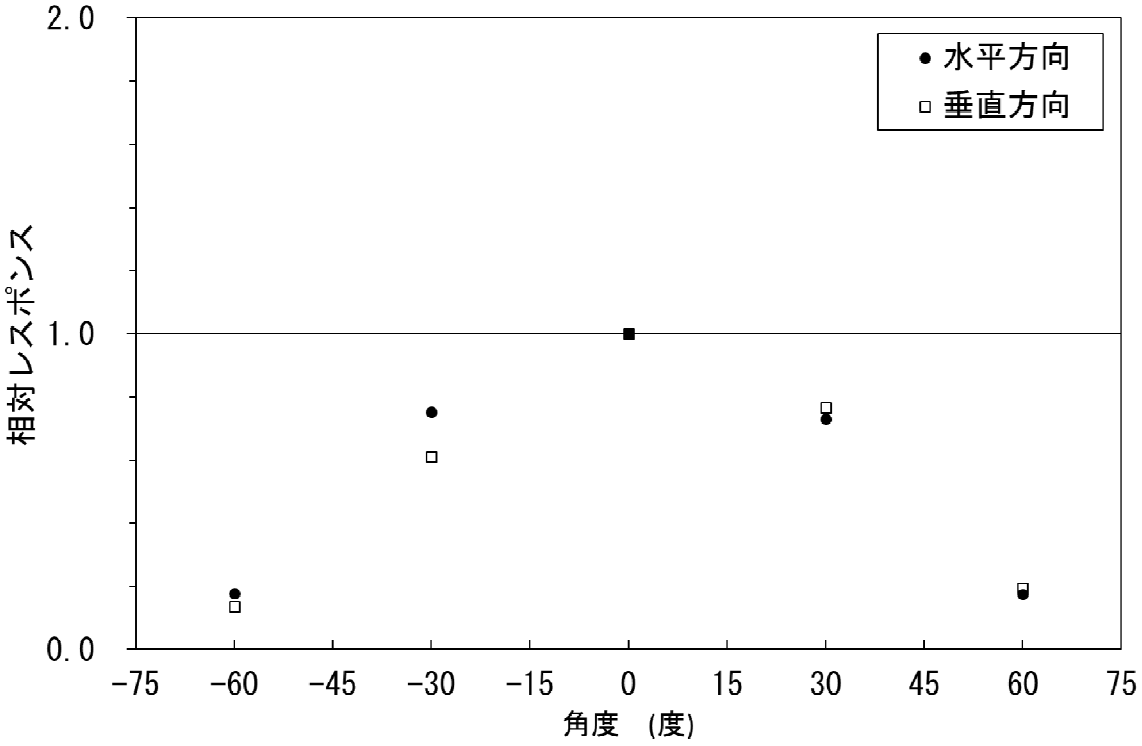

Fig. 8　^{90}Sr-^{90}Y β 線に対する方向特性

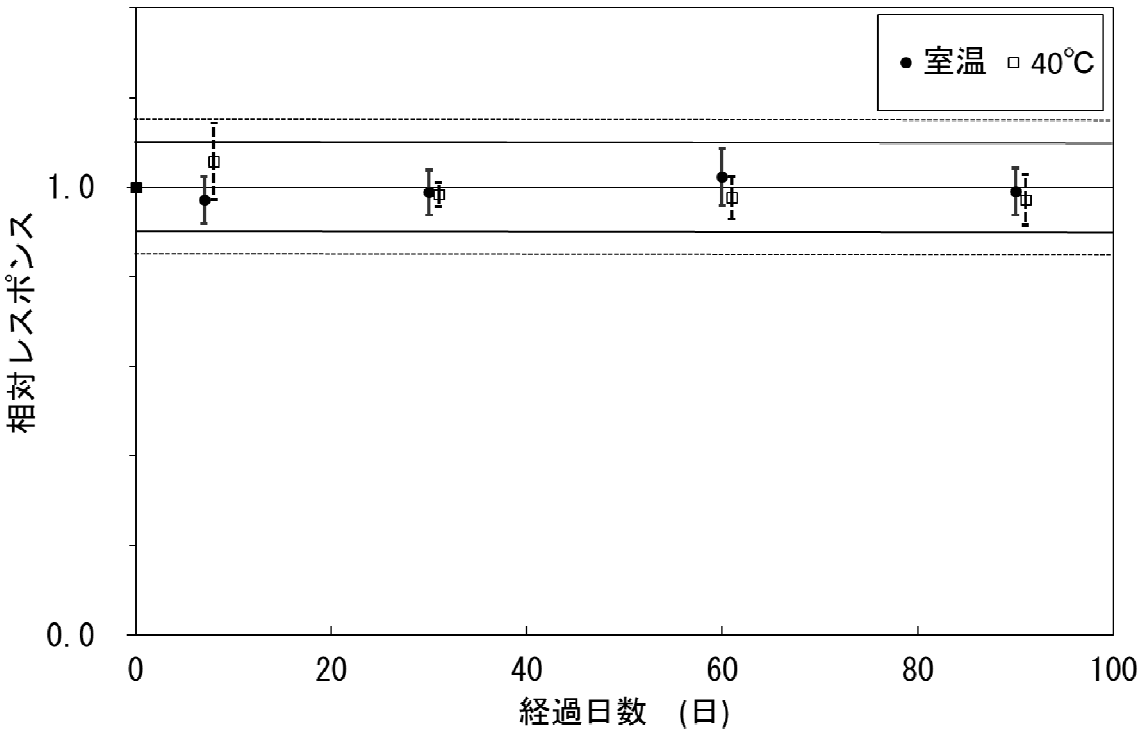

Fig. 9　経時変化特性

（実線は室温、点線は 40℃の JIS Z 4339 の許容範囲を示す。）

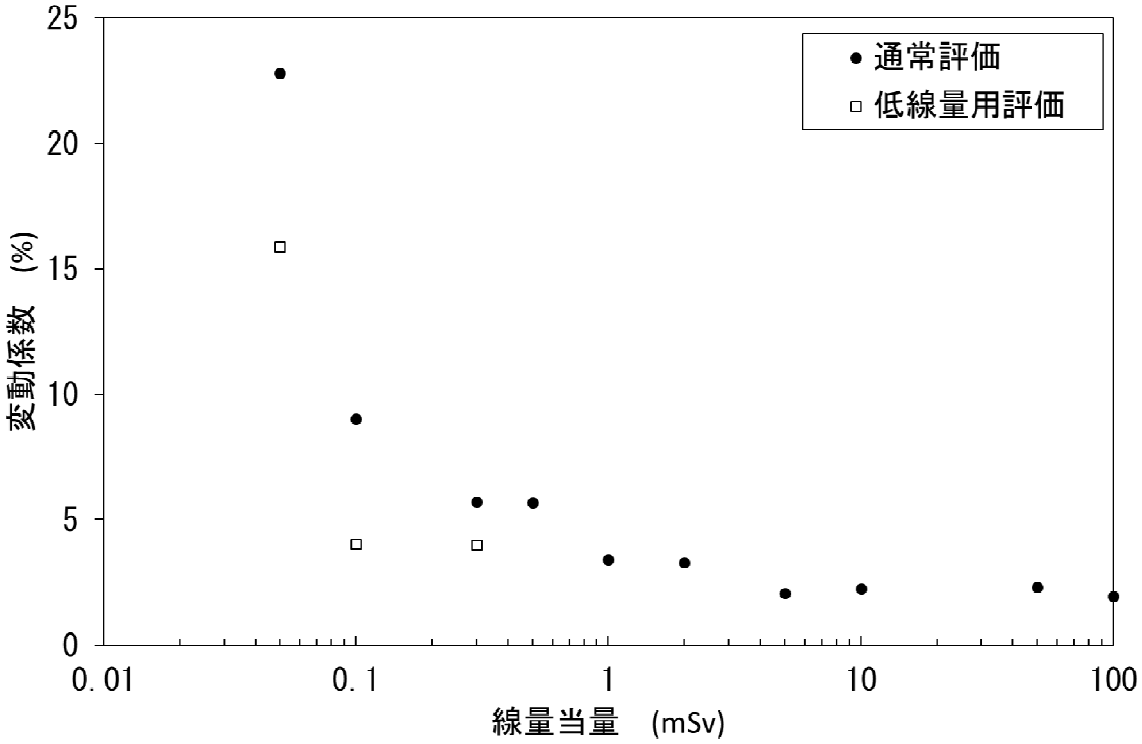

Fig. 10　評価値の再現性

－1 個の線量計を 10 回繰り返し測定－

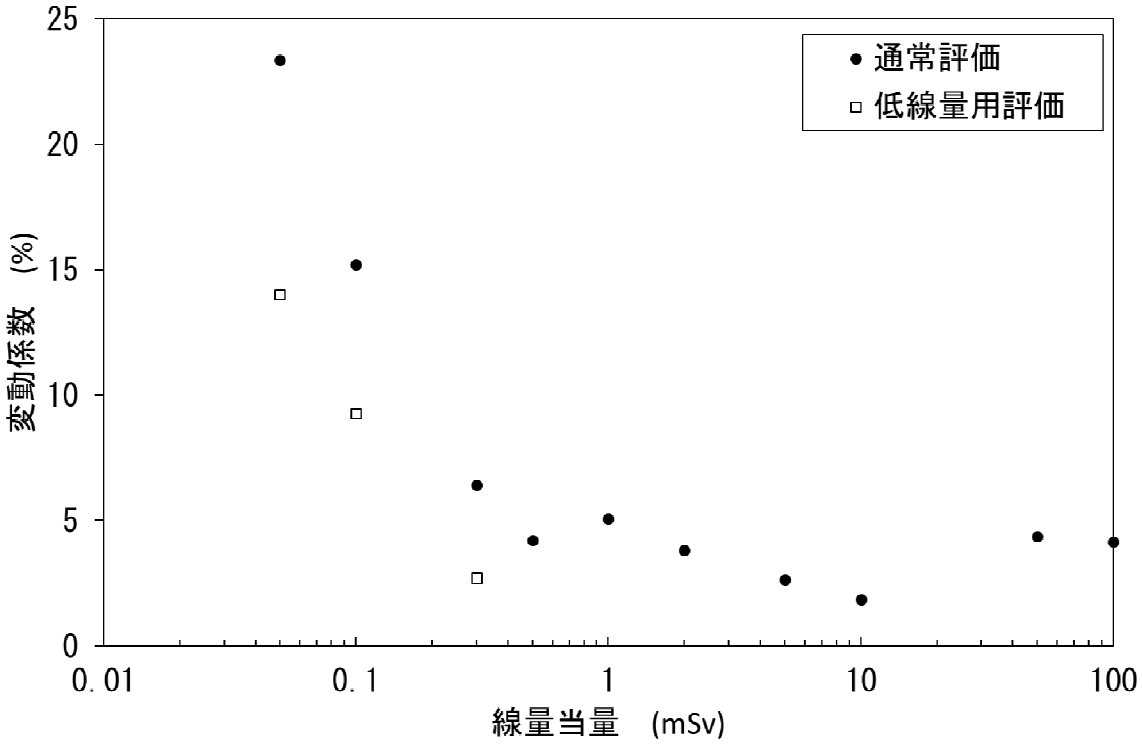

Fig. 11　線量計間の評価値のばらつき

－10 個の線量計の変動係数－

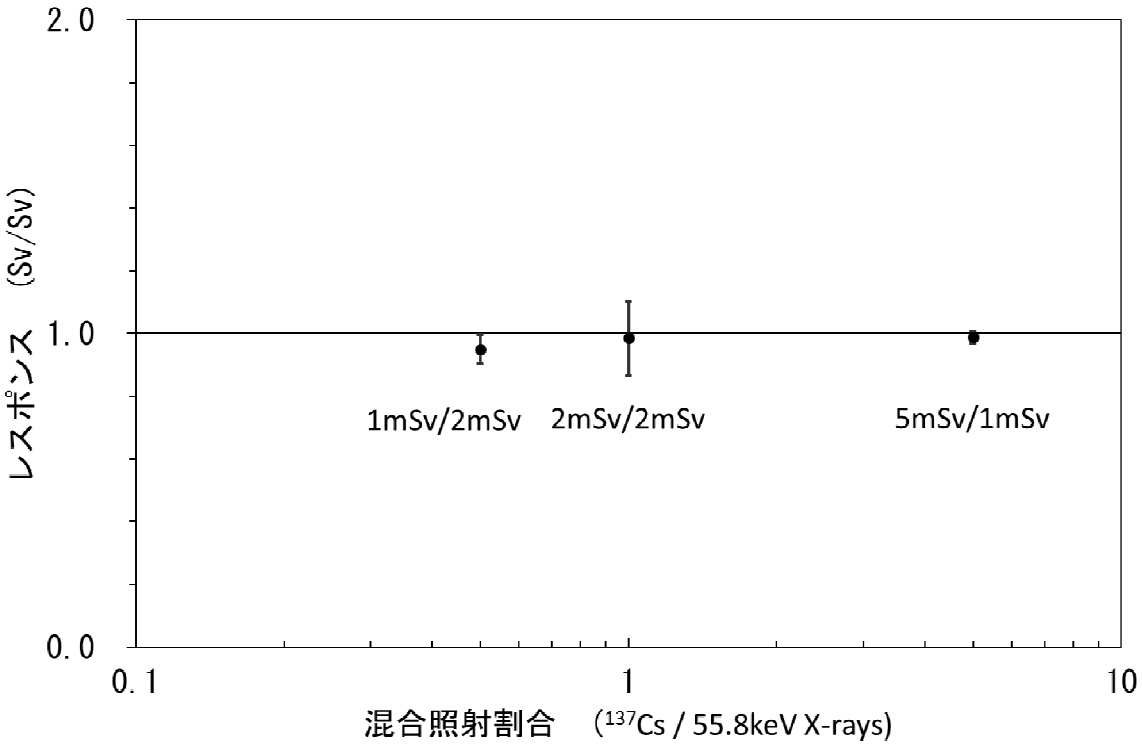

Fig. 12　混合照射特性［γ+X］

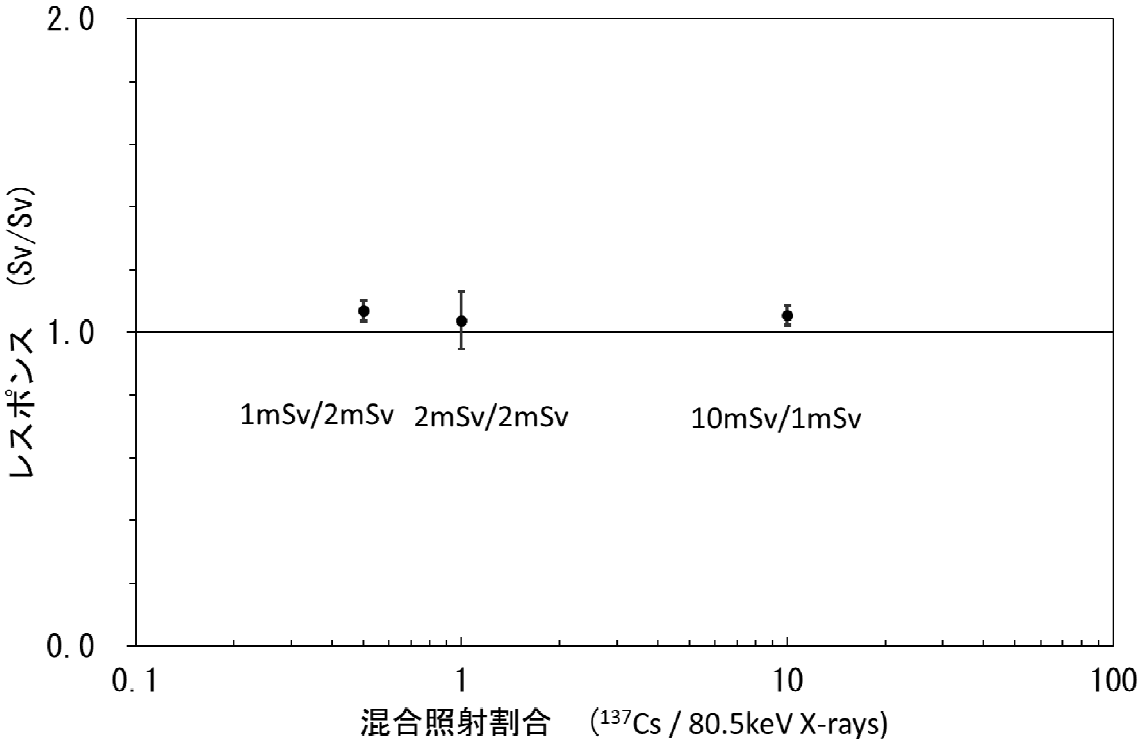

Fig. 13　混合照射特性［γ+X］

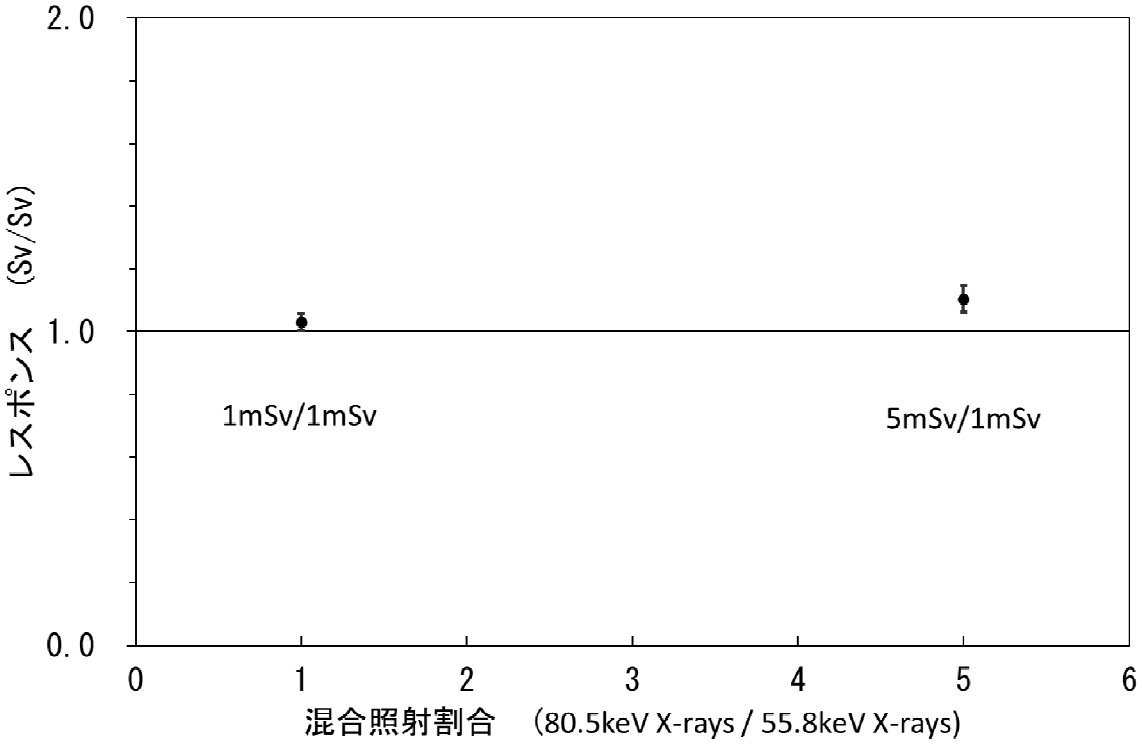

Fig. 14　混合照射特性[X+X]

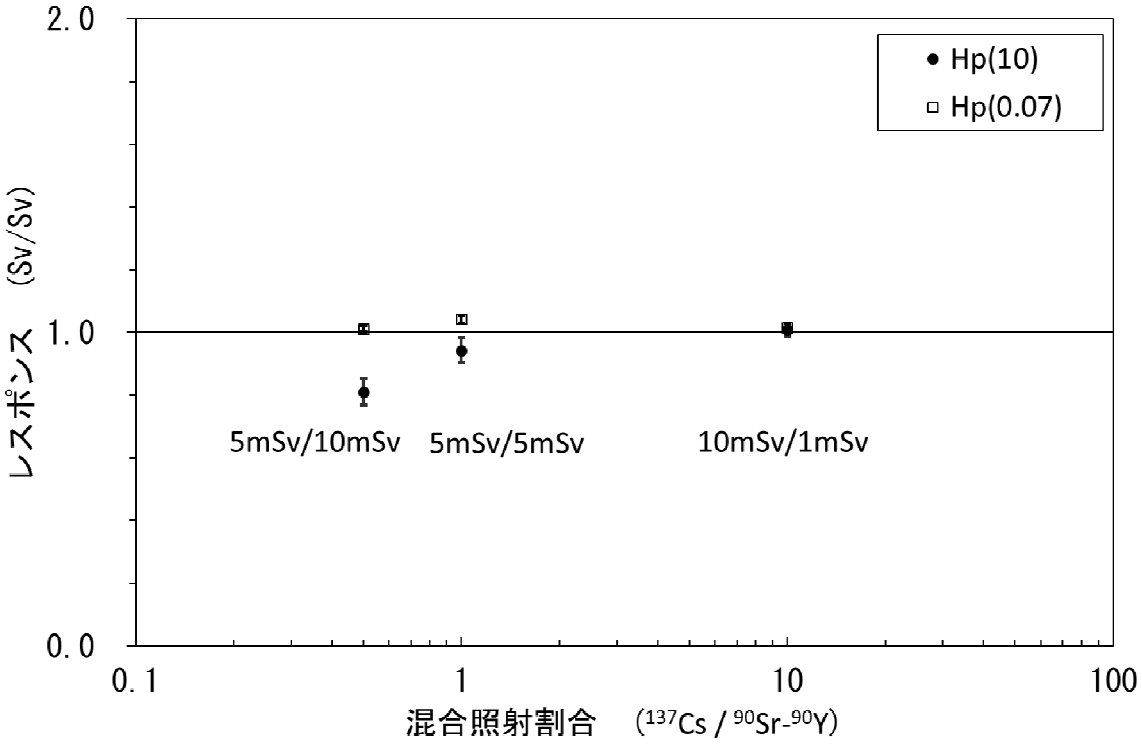

Fig. 15　混合照射特性［γ＋β］

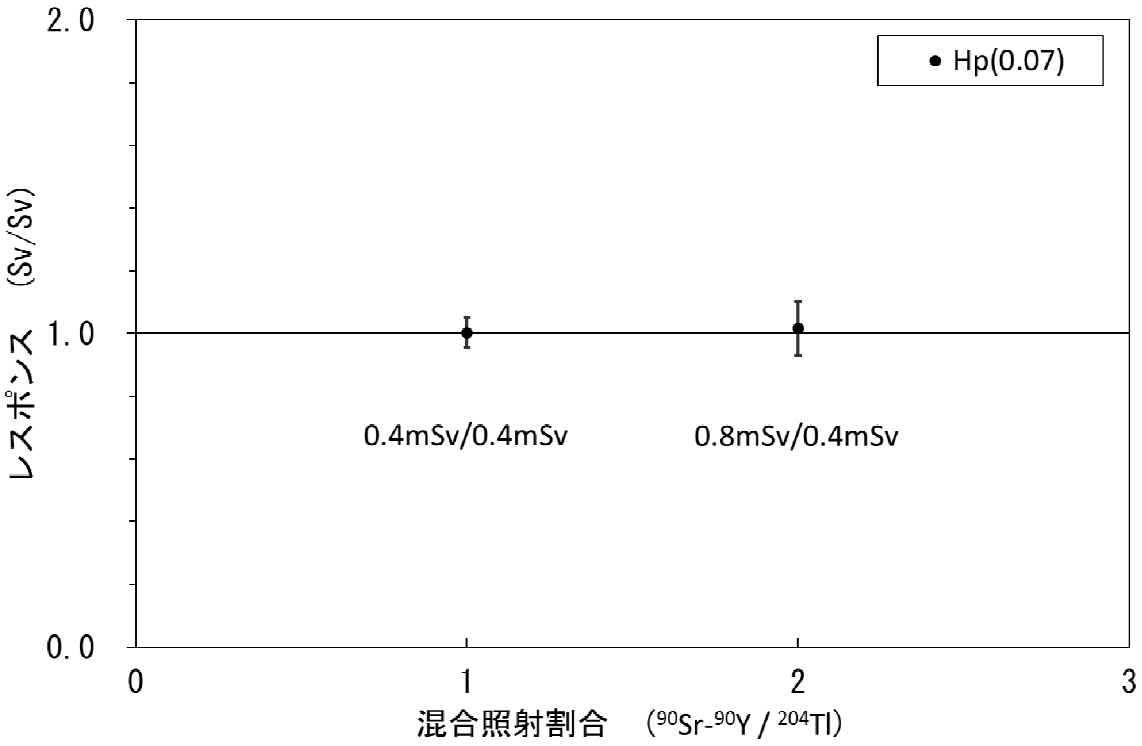

Fig. 16　混合照射特性［β＋β］

This is a blank page.

国際単位系（SI）

表１．SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	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

表２．基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度，質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度[a]，濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率[b]	（数字の）　1	1
比透磁率[b]	（数字の）　1	1

(a) 量濃度（amount concentration）は臨床化学の分野では物質濃度（substance concentration）ともよばれる。
(b) これらは無次元量あるいは次元１をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の１は通常は表記しない。

表３．固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン[b]	rad	1 [b]	m/m
立体角	ステラジアン[b]	sr[c]	1 [b]	m^2/m^2
周波数	ヘルツ[d]	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率，工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷，電気量	クーロン	C		s A
電位差（電圧），起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能[f]	ベクレル[d]	Bq		s^{-1}
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト[g]	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a)SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
(b)ラジアンとステラジアンは数字の１に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の１は明示されない。
(c)測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
(d)ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
(e)セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
(f)放射性核種の放射能（activity referred to a radionuclide）は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。
(g)単位シーベルト（PV,2002,70,205）についてはCIPM勧告2（CI-2002）を参照。

表４．単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1}\ kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg\ s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量，比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3}\ sA$
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2}\ sA$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量（X 線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2\ sr)$	$m^2\ m^{-2}\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m^3	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^{9}	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^{6}	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^{3}	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^{2}	ヘクト	h	10^{-21}	ゼプト	z
10^{1}	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

表６．SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h =60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L, l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg

表７．SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

表８．SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	$1\ bar=0.1MPa=100kPa=10^5Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	$1\ Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m$
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

表９．固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St\ =1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb\ =1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal\ =1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx\ = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G\ =1Mx\ cm^{-2}\ =10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) ３元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 ≙ 」は対応関係を示すものである。

表10．SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
ラド	rad	$1\ rad=1cGy=10^{-2}Gy$
レム	rem	$1\ rem=1\ cSv=10^{-2}Sv$
ガンマ	γ	1 γ =1 nT=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ \mu\ =1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）