TLD 素子の照射と測光方向による熱発光の依存性

松田秀晴*¹, 古川滋子*¹, 上西時司*¹

(1980 年 9 月 5 日受理)

(1980 年 11 月 10 日再受理)

Dependency of the Thermoluminescence from TLD Elements on the Irradiation and Photometry Direction

Hideharu MATSUDA,*¹ Shigeko FURUKAWA*¹ and Tokishi KAMINISHI*¹

KEY WORDS : TLD element, irradiation direction, photometry direction, thermoluminescence, dependency

I ま え が き

熱発光線量計（以下「TLD」と略記）は、その高感度というすぐれた利点を利用して、近年ますます個人被曝管理や環境放射線の測定など様々の分野に広く使用されている。しかしながら TLD を用いて微少な線量を精度よく測定しようとする場合には、TLD 素子、熱発光計測装置（以下「リーダー」という）およびこれらの使用方法などに種々の問題があることがわかってきた¹⁻⁵⁾。中でも大きな問題は指示値のバラツキである。バラツキの要因としては、多くのものがあり特に熱板加熱方式のリーダーについて素子と加熱板との接触度が大きな要因の 1 つであることを指摘した⁶⁾。本研究はさらに素子の照射面とその測光方向の違いによる指示値への影響について検討した。この結果について報告する。

II 実 験 方 法

1. 試 料

実験に用いた TLD は、化成オプトニクス KK 製の $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 : \text{Tb}$ (MSO-S 型) 素子および松下電器 KK 製の $\text{CaSO}_4 : \text{Tm}$ (UD-110S 型) 素子と化成オプトニクス KK 製のリーダー 1200 型である。素子の大きさは、両者とも約 $2\phi \times 12 \text{ mm}$ のガラス管に熱発光物質を封入したもので各々 10 本ずつ用いた。

2. 照射条件

照射線源は、 γ 線の平均エネルギーが違う ^{226}Ra 100 μCi (0.804 MeV), ^{137}Cs 50 mCi (0.662 MeV), ^{241}Am 100 mCi (0.060 MeV), ^{109}Cd 3 mCi (0.022 MeV) の 4 種類を使用し、当所の TLD 素子用の校正装置⁷⁾を用いて素子を照射した。素子は Fig. 1 に示すように熱発光の測定に影響のない部分に油性サインペンで小さな標識をつけ、標識が γ 線の入射方向に向くように並べて照射した。照射距離は 250~500 mm, 照射線量は 5~10 mR である。またメーカーが販売している TLD 素子用の小型標準照射容器 (^{226}Ra 100 μCi) で照射した素子についても測光方向の影響を調べた。素子は照射前にメーカーの指定した条件で熱処理を行なった後、肉薄の樹脂ケース（フィルターなし）に装填して使用した。

3. 測 光

Fig. 1 に示すように γ 線の入射方向に対して、素子に γ 線が入射する面を入射面、入射面に対して 90° 横方向の面を側面、入射面と反対側の面を透過面とし、各々の面をリーダーの光電子増倍管に向けて測光した場合の指示値について比較・検討した。また各々の面で測光し

*¹ 名古屋工業技術試験所; 愛知県名古屋市中区平手町 1 (〒462)

Government Industrial Research Institute, Nagoya; 1, Hirate-machi, Kita-ku, Nagoya-shi, Aichi-ken.

Fig. 1 Exposure method of TLD element.

た場合の指示値のバラツキ（異なる TLD 素子間の指示値の変動，以下標準偏差で表わす）と測光方向を考慮しないで測光した場合のバラツキを比較した。

III 実験結果と考察

1. 測光方向による指示値の差異

いずれの素子についても入射面を光電子増倍管に向けて測光した場合の平均指示値を 100 とした時，側面および透過面測光の場合の結果を Table 1 に示す。 ^{226}Ra の γ 線では，これら指示値の減少率は， $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ 素子ではほとんど変わらず $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 素子ではわずかに低い値を示したが，全体にバラツキが 4~5% 程度あるため統計的には有意といい難かった。 ^{137}Cs の γ 線では， $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ 素子の場合約 1~2%， $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 素子の場合約 4~7% 低い指示値を示した。 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 素子については，統計的にも有意の差と認められる。 ^{241}Am および ^{109}Cd の低エネルギーの γ 線では，両素子とも入射面測光の指示値にくらべて約 3~9% も低く

統計的にもはっきり有意の差と認めることができる。このように側面，透過面の測光方向による指示値の差異は γ 線のエネルギーが低くなるにつれて大きくなることがわかった。また一般に $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 素子の方が $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ 素子より測光方向の影響が大きいのは素子の実効原子番号の違いによるものと思われる。測光方向によって指示値に差異が生ずる原因は，TLD 素子内での放射線の吸収分布の差異と推察されるが，実際の線量測定においては，放射線の照射方向は一般に定まらないし，測光方向も一定にするわけではないので，この測光方向による指示値の差異が指示値のバラツキに影響しているものと考えられる。

2. 測光方向による指示値のバラツキ

TLD 素子の測光方向に関係なく無作為に測光した場合の指示値のバラツキと入射面，透過面と測光方向を一定にして測光した場合の指示値のバラツキを比較した。

^{241}Am の γ 線を 7 mR 照射した場合の結果を Table 2 に示す。 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ 素子では，無作為に測光した場合の指示値のバラツキが 3.0% であるのに対して入射面に測光方向を揃えて測光した場合は 2.1%，透過面の場合は 1.7% となり測光方向を揃えることの効果が大きいことがわかる。 $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ 素子については，無作為の場合にくらべて入射面について測光した場合は 3.7%，透過面の場合は 3.0% と大きく改善された。したがって特に低エネルギーの γ 線の場合，TLD 素子の照射方向がわかっている時は測光方向を一定に保ち使用すれば従来より精度の高い測定が可能となる。

3. 標準照射容器での照射

Table 1 Change in average sensitivity of elements by the setting direction on heater and exposure source.

The value obtained when exposure surface was faced to photomultiplier was taken as 100.

Exposure source	Mean energy (MeV)	Element	Measured surface	
			Flank	Passage side
^{226}Ra	0.804	A	100.7 $\pm$ 5.3	99.2 $\pm$ 4.8
		B	97.7 $\pm$ 4.1	96.5 $\pm$ 4.1
^{137}Cs	0.662	A	98.6 $\pm$ 4.3	97.7 $\pm$ 4.0
		B	96.4 $\pm$ 3.8	93.4 $\pm$ 3.6
^{241}Am	0.060	A	97.0 $\pm$ 3.0	95.5 $\pm$ 3.0
		B	94.2 $\pm$ 3.0	91.0 $\pm$ 2.9
^{109}Cd	0.022	A	—	95.9 $\pm$ 3.7
		B	—	91.8 $\pm$ 4.2

A= $\text{Mg}_2\text{SiO}_4:\text{Tb}$ (MSO-S), B= $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$ (UD-110S)
exposure dose : 5~10 mR

Table 2 Comparison of uniformity by the setting directions.

Element	Measured surface		
	Random (%)	Incident side (%)	Passage side (%)
Mg ₂ SiO ₄ : Tb (MSO-S)	3.0	2.1	1.7
CaSO ₄ : Tm (UD-110S)	5.5	1.8	2.5

exposure source : ²⁴¹Am, exposure dose : 7mR **Fig. 2** Compact γ -ray irradiator for calibration of a thermoluminescence dosimeter.**Table 3** Change in average sensitivity of elements exposed to 8mR of ²²⁶Ra γ -rays with compact irradiator by the setting directions on heater. The value obtained when exposure surface was faced to photomultiplier was taken as 100.

Element	Measured surface	
	Flank	Passage side
Mg ₂ SiO ₄ : Tb (MSO-S)	96.2 $\pm$ 3.0	94.2 $\pm$ 3.7
CaSO ₄ : Tm (UD-110S)	95.7 $\pm$ 3.2	94.2 $\pm$ 4.0

²²⁶Ra 100 μ Ci を用いた小型標準照射容器は、**Fig. 2** に示すように外側が 70 ϕ $\times$ 100 mm の鉄製で素子はアルミニウム支持台の上のせて照射する。素子と線源の距離は約 40 mm である。この標準照射容器を用いて照射した素子について測光方向の指示値への影響を調べた。その結果を **Table 3** に示す。Mg₂SiO₄ : Tb 素子および CaSO₄ : Tm 素子とも指示値は入射面測光より側面測光の場合は約 4 %、透過面測光の場合は約 6 % 低

い値となり、統計的にも有意の差と認められる。**Table 1** に示した ²²⁶Ra の γ 線の実験結果との違いは、容器内での散乱線に起因するものと考えられる。すなわち散乱により低エネルギー成分が増える結果、**III. 1** に示したエネルギー効果を考えると測光方向の影響をより強く受けたものと推察される。このように標準照射容器の構造によっては、測光方向によって指示値にかなりの差異が生ずることがわかった。

IV 測光方向効果に対する定性的考察

以上の実験結果から照射面と測光面の違いによって指示値に差異が生ずる機構について定性的に考察してみる。素子に入射した γ 線はガラスおよび素子物質との相互作用により素子内に 2 次電子を生じ、このエネルギーが素子物質に吸収されて準安定なトラップ生成にあずかる。このトラップ濃度の深度分布は素子の構成元素や寸法、入射 γ 線エネルギーにより異なるものと考えられる。ただ一般に用いる素子の寸法はこの 2 次電子の飛程にくらべて、高エネルギー γ 線ではほぼ同等で、低エネルギー γ 線ではかなり大きいと見なせるから、エネルギー依存性が相当大きいことが予想され、実験結果もそれを裏付けている。しかし実際には最終的に熱発光として測光されるとき光学的吸収も加わるからこの結果だけでは定量的な解析は困難である。今後、より定量的な検討を進めてゆく予定である。

V ま と め

TLD 指示値にバラツキが生ずる原因には、いろいろな要因が考えられるが、筆者らはこれまでの使用経験から、素子内の放射線の吸収分布に起因すると思われる測光方向による発光量の差異がバラツキに影響しているのではないかと考え、素子に標識をつけて入射面、側面および透過面と区別をし、各々の面について測光することによりその指示値を比較した。一般に側面、透過面での測光は、入射面測光より低い指示値を与える傾向はあるが Mg₂SiO₄ : Tb 素子については、²²⁶Ra および ¹³⁷Cs の γ 線では統計的には有意の差と結論するには至らなかった。しかし ¹³⁷Cs 程度の γ 線であっても特にバラツキの小さい素子を用いて精度の高い測定を行なう場合には、この測光方向の影響も考慮する必要があると考える。²⁴¹Am および ¹⁰⁹Cd の低エネルギー γ 線では、指示値は入射面測光にくらべて約 3~4% というかなり低い値を示した。また CaSO₄ : Tm 素子についても ²²⁶Ra の γ 線では統計的に有意と認め得る差異はなかったが、¹³⁷Cs, ²⁴¹Am および ¹⁰⁹Cd の γ 線では指示値は約 4~9

% とさらにはっきりと低い値を示した。

実際の線量測定においては、測光方向を考えずに行なうのが普通であるため、この方向効果が指示値にバラツキを生ずる要因の1つと考えられる。したがって特に低エネルギーの γ 線の測定においては、素子の照射方向がわかっている時は照射面と測光面を一致させて測光すれば指示値のバラツキは小さくなり、より精度の高い測定が可能となる。また一定の方向からの放射線で校正を行う場合やエネルギーの低い診断領域のX線などの線量測定においては、この測光方向に対する考慮がきわめて重要であろう。

参 考 文 献

- 1) 松田秀晴, 古川滋子, 上西時司, 越野雅夫; 熱蛍光線量計による個人被曝管理 (I), 保健物理, 8, 137 (1973).
- 2) 古川滋子, 松田秀晴, 上西時司, 越野雅夫; 熱蛍

光線量計による個人被曝管理 (II), 保健物理, 9, 149 (1974).

- 3) 松田秀晴, 古川滋子, 上西時司; 個人被曝管理用熱蛍光線量計の素子の汚れによる異常値の検出 (I), 保健物理, 12, 13 (1977).
- 4) 松田秀晴, 古川滋子, 上西時司; 熱蛍光線量計による個人被曝管理 (第5報), 名工試報告, 28, 369 (1979).
- 5) 松田秀晴, 古川滋子, 上西時司; 熱蛍光線量計による個人被曝管理 (第6報), 名工試報告, 29, 73 (1980).
- 6) 松田秀晴, 古川滋子, 上西時司; 熱蛍光測定における素子のマウント条件の影響, *Radioisotopes*, 29, 184 (1980).
- 7) 松田秀晴, 古川滋子, 上西時司; 熱蛍光線量計による個人被曝管理 (第4報), 名工試報告, 28, 237 (1979).