

# TLD自動リーダーの感度向上（Ⅰ）

## —改良型光学フィルターの適用試験結果—

1997年1月

動力炉・核燃料開発事業団  
東 海 事 業 所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所 技術開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4-33 O-aza-Muramatsu, Tokai-mura, Naka, Ibaraki-ken, 319-11, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

## TLD自動リーダーの感度向上（I） －改良型光学フィルターの適用試験結果－

辻村憲雄<sup>1)</sup>、江尻明<sup>1)</sup>、小松崎賢治<sup>1)</sup>、百瀬琢磨<sup>1)</sup>、篠原邦彦<sup>1)</sup>

### 要旨

現在、動燃事業団で個人被ばく管理業務に使用している熱蛍光線量計（TLD）の測定装置（リーダー）は、TLDの昇温に伴って放出される熱蛍光を光電子増倍管で検出し、光電子パルスとして計数するシステムである。光電子増倍管の前面には熱蛍光と同等の波長を持つ光だけを選択的に透過させる光学フィルターを配置し、S/N比を向上させている。

本研究では、光学フィルターの材質と厚さを最適化し、その分光特性が従来のフィルターに比べてよりTLDの発光波長に近い素材で、かつ熱蛍光の透過率が大きい形状のフィルターをTLD自動リーダーに適用することで、熱蛍光の検出効率を約1.5倍に向上させた。

---

1) 安全管理部安全対策課

## 目次

第1章	緒言	1
第2章	リーダー光学系の改良	2
第3章	改良型光学フィルター適用試験	6
3-1	試験手順	6
3-2	試験結果	9
第4章	まとめ	13
参考文献		14

## 第1章 緒言

現在、動燃事業団で個人被ばく管理業務に使用している熱蛍光線量計（TLD）の測定装置（リーダー）は、昇温に伴ってTLDから放出される熱蛍光を光電子増倍管で検出し、光電子パルスとして計数するシステムである。このシステムでは、光電子増倍管の前面に、熱蛍光と同等の波長を持つ光だけを選択的に透過させる光学フィルターを配置することによって、熱輻射による雑音の光を遮り、S/N比を向上を図っているが、新型TLDバッジの開発の一環として平成5年度に実施した研究の成果より、この光学フィルターの厚さと素材を最適化することによって、光電子増倍管の熱蛍光検出効率が現在の2～3倍程度まで増加することが判明した[1] [2]。

そこで、素材と厚さを最適化した光学フィルターを定常業務に使用しているTLD自動リーダー（UD-7100P型）に適用し、その効果を調べた結果をとりまとめた。

## 第2章 リーダー光学系の改良

TLD自動リーダー（UD-7100P型）のTLD加熱部及び熱蛍光検出部の簡単な構成を図2-1 [3]に示す。赤外線ランプによって加熱されたTLDから放出された熱蛍光は、ライトガイドで集光され、光電子増倍管に入射する仕組みになっている。ライトガイド（石英ガラス製、直径5.0mm×長さ28.5mm）は、熱蛍光が入射する幾何学的効率を上げるとともに、光電子増倍管を熱源から遠ざける機能を有している。

また、個人被ばく管理に使用しているTLDは、硫酸カルシウムTLDとホウ酸リチウムTLDの二種類であり、それぞれの発光波長は約450nm、約370nm（共に主ピークの波長）である[4]。そのため、このライトガイドの熱蛍光受光面側に、両TLDの発光波長にほぼ分光特性が一致する厚さ2.5mmの青色のガラス状の光学フィルター（通称、ブルーフィルター）を据え付け、S/N比を向上させている。

ただし、個人の被ばく線量の評価に使用するホウ酸リチウムTLDは、硫酸カルシウムTLDに比べて発光効率が一桁程度小さいため、TLDバッジによる線量当量評価精度を向上させるには、二種類のTLDの両者の発光波長に平均的に分光特性が合致する素材よりも、ホウ酸リチウムTLDの発光波長により分光特性が合致する素材の光学フィルターを使用する方が望ましい。また、光学フィルター自身の厚さによっても熱蛍光は減衰するためS/N比を低下させない程度に薄くする必要がある。

こうしたことから、平成5年度に「TLDバッジ用素子の改良に関する調査（松下産業機器株式会社に委託）」を実施し、その結果、光学フィルターの厚さを現行フィルターの厚さの1/5（0.5mm）、さらに分光特性がホウ酸リチウムTLDの発光波長に合致する素材のフィルターを適用することで、ホウ酸リチウムTLD、硫酸カルシウムTLDについての熱蛍光検出効率が、現行のそれぞれ約3倍、約2倍まで増加することを実験的に確認した。このフィルターの適用によってゼロ点線量は現行の2倍まで増加するが、熱蛍光検出効率が約3倍になるので、S/N比は相対的に改善されることになる。

図2-2に、現行ブルーフィルターの厚さを2.5～0.5mmの範囲で変化させた場合の熱蛍光検出効率の相対変化を示す。ライトガイドの光電子増倍管へのマウントの状態によってやや検出効率は増減するが、フィルターを薄くすることで熱蛍光検出効率は直線的に増加する。また、図2-3に現行のブルーフィルターと改良したフィルターの分光特性を比較した結果を示す。現行フィルターは波長約400nmの光を選択的に透過させるが、改良型フィルターの場合はホウ酸リチウムTLDの発光波長である約370nmの光を選択的に透過させることができることが分かる。

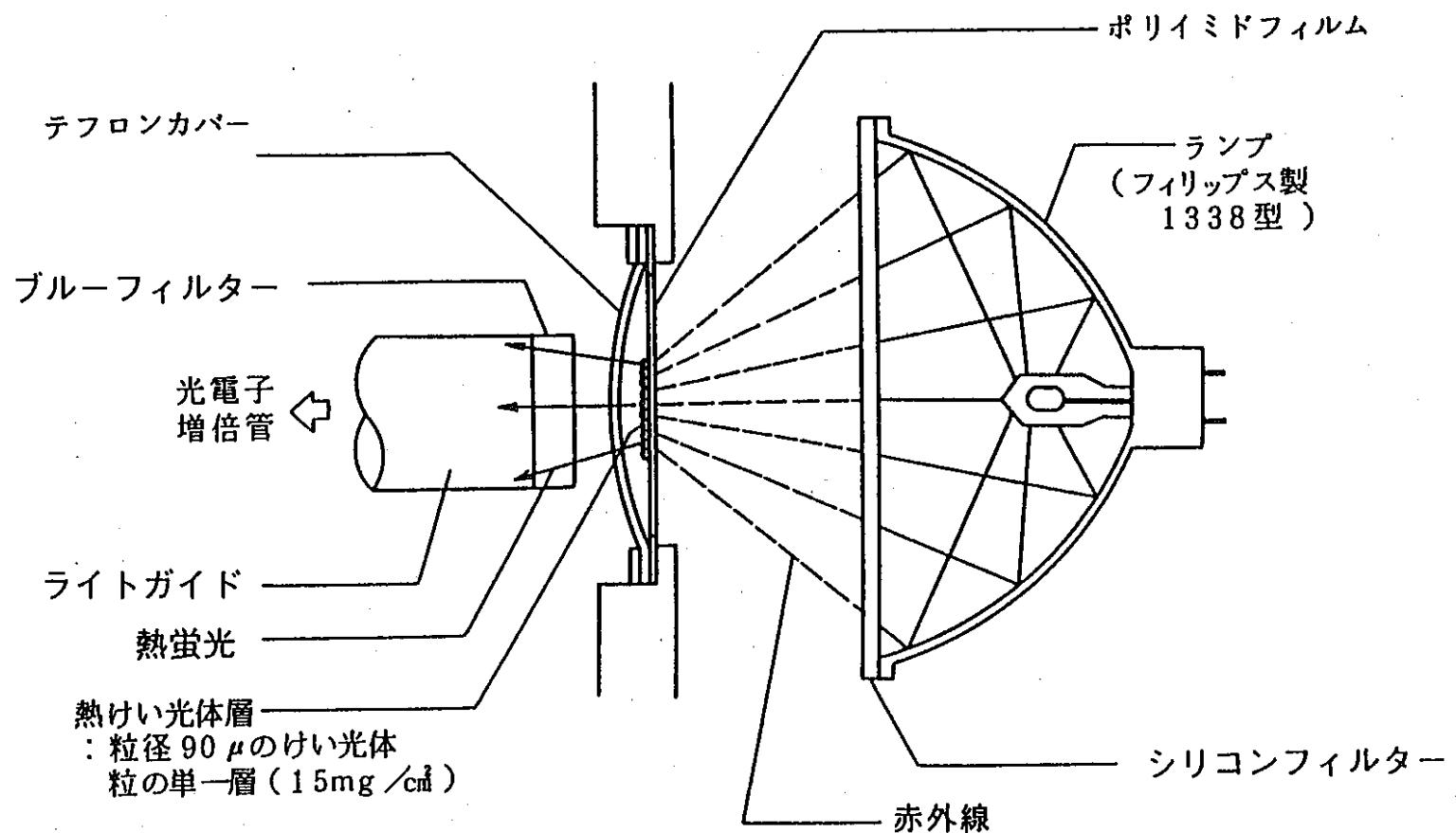


図2-1 リーダー光学系の構成 [3]

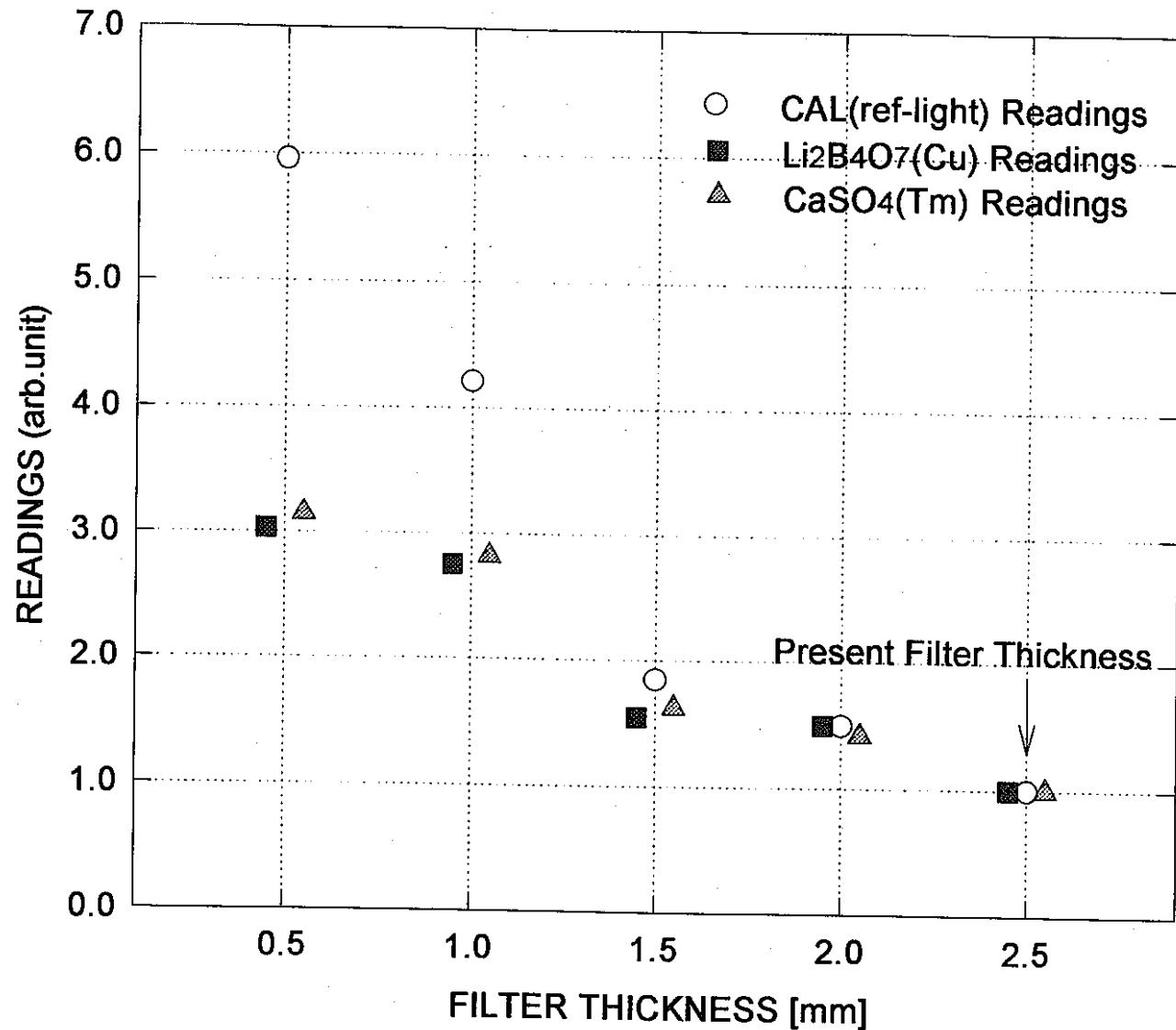


図2-2 現行フルフィルターの厚さを変化させた場合の、ref-light値、TLD読み取り値の変化

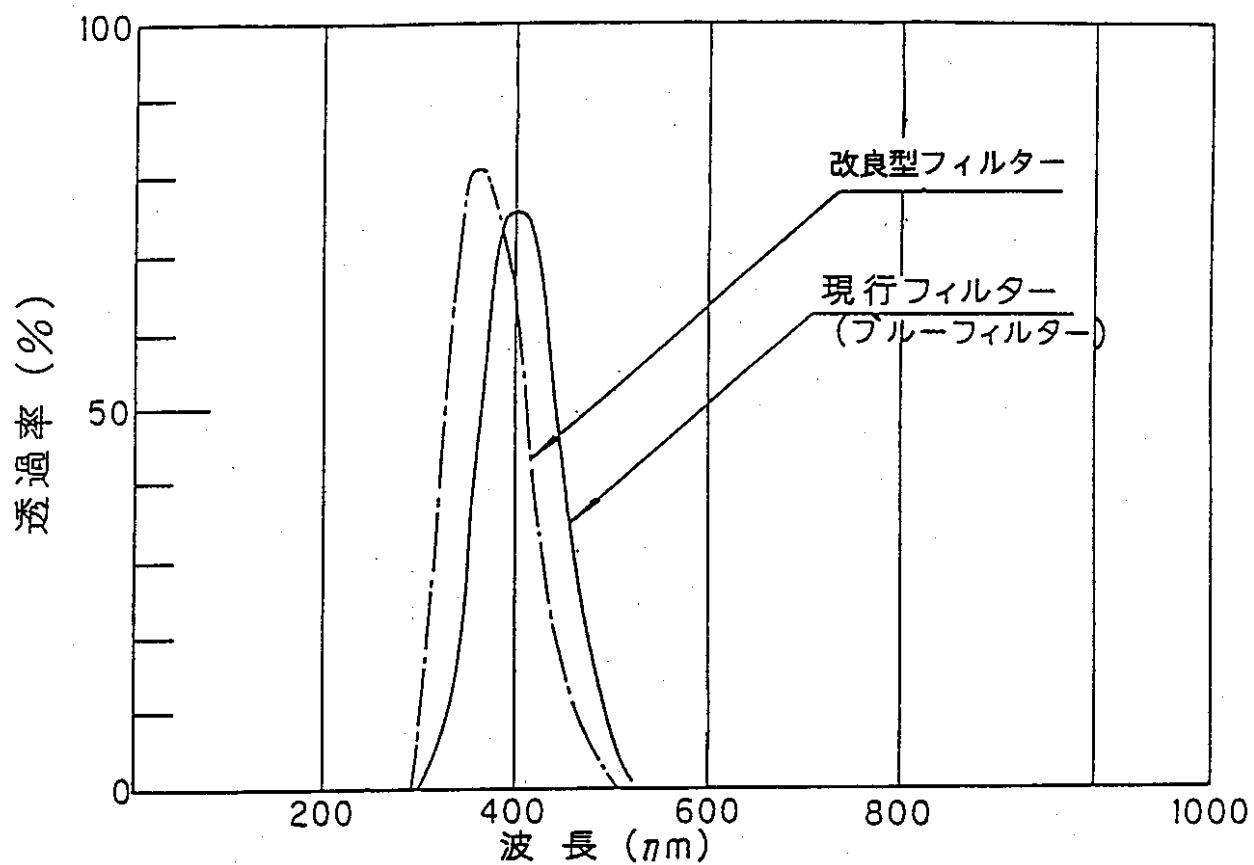


図2-3 現行ブルーフィルターと改良型フィルターの分光特性の比較

### 第3章 改良型光学フィルター適用試験

#### 3-1 試験手順

現在、定常業務に使用しているTLD自動リーダー(UD-7100P型)のブルーフィルターを改良した光学フィルターに交換し、TLDの読み取り値とグロー曲線の変化を調べた。新型フィルターの適用は、平成8年3月に実施し、二台あるTLD自動リーダーのうち1号機のみ行った。

図3-1に、ライトガイドに取り付けた現行ブルーフィルターと改良型フィルターの比較写真を示す。改良型フィルターは、現行のものの1/5の厚さであり、また現行フィルターよりも分光特性がやや短波長側の素材であるが、肉眼では色の変化は認識できない。

以下、試験手順を説明する。

- (1) 感度及び加熱状態の変化確認用TLDとしてグループA～D(UD-808P、UD-809P線量計それぞれ20個)、ゼロ点確認用TLDとしてグループE(UD-808P、20個)を準備する。グループA～Dの平均感度のグループ間の相違は5%程度であり、フィルターを交換する前日に計測機器校正施設で<sup>137</sup>Csのγ線(照射線量100mR、空気吸収線量0.87mGy)を照射した。また、グループEは事前に十分な再生処理を行った。
- (2) フィルターを交換する前に、内蔵光源による光電子増倍管の感度(ref-lightのカウント数)を確認し、続いてグループA、EのTLDを測定する。ゼロ線量確認用のグループEのTLDの測定の際のみ、測定パラメーター45を通常設定の"0025"から"0000"に変更する。
- (3) サブハウジングと一体化された光電子増倍管をメインハウジングから、さらに光電子増倍管をサブハウジングに固定するネジ(4カ所)をゆるめ取り外す(図3-2参照)。サブハウジング面側からライトガイド毎フィルターを改良型フィルターに暗所で交換する。
- (4) ref-lightのカウント数の上限を定めているパラメーター56を初期設定の"0301"から"9991"に変更した状態で、ref-lightカウント数を測定し、その値をフィルター交換後の光電子増倍管の感度の相対的な基準値(パラメーター57)として設定し直す。
- (5) グループBのTLDを測定する。
- (6) グループA、BのTLD測定結果より、熱蛍光によるカウント数を線量当量に換算する係数(パラメーター5A、3D、3E)を新たに設定する。
- (7) グループCのTLDを測定し、その結果に基づきパラメーター5A、3D、3Eを微調整する。
- (8) グループD、EのTLDを測定し、確認する。

なお、各測定パラメーターの定義と意味については、次節で説明する。

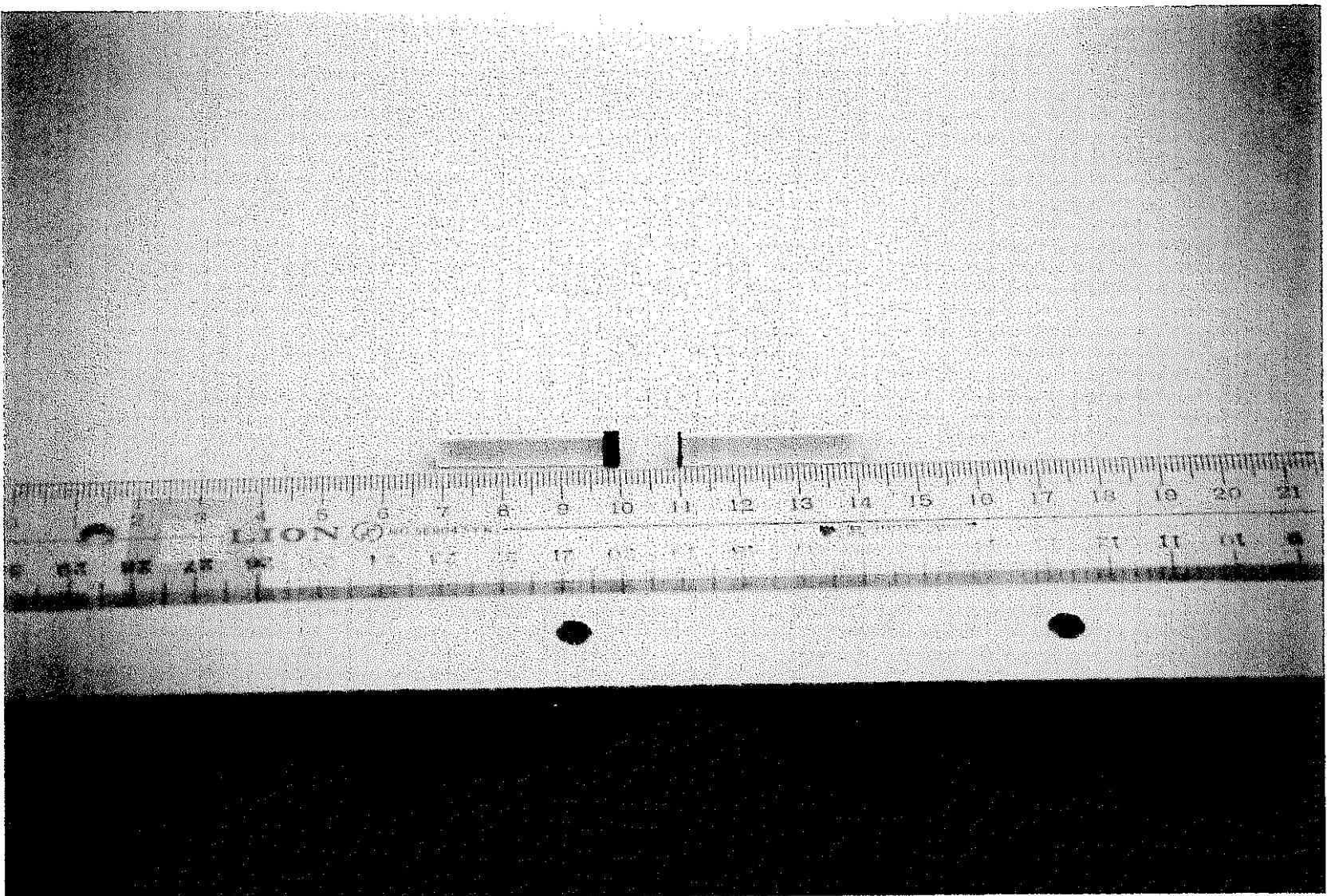


図3-1 現行ブルーフィルターと改良型フィルターの比較写真

Sub-Housing View (Arrow C Direction)

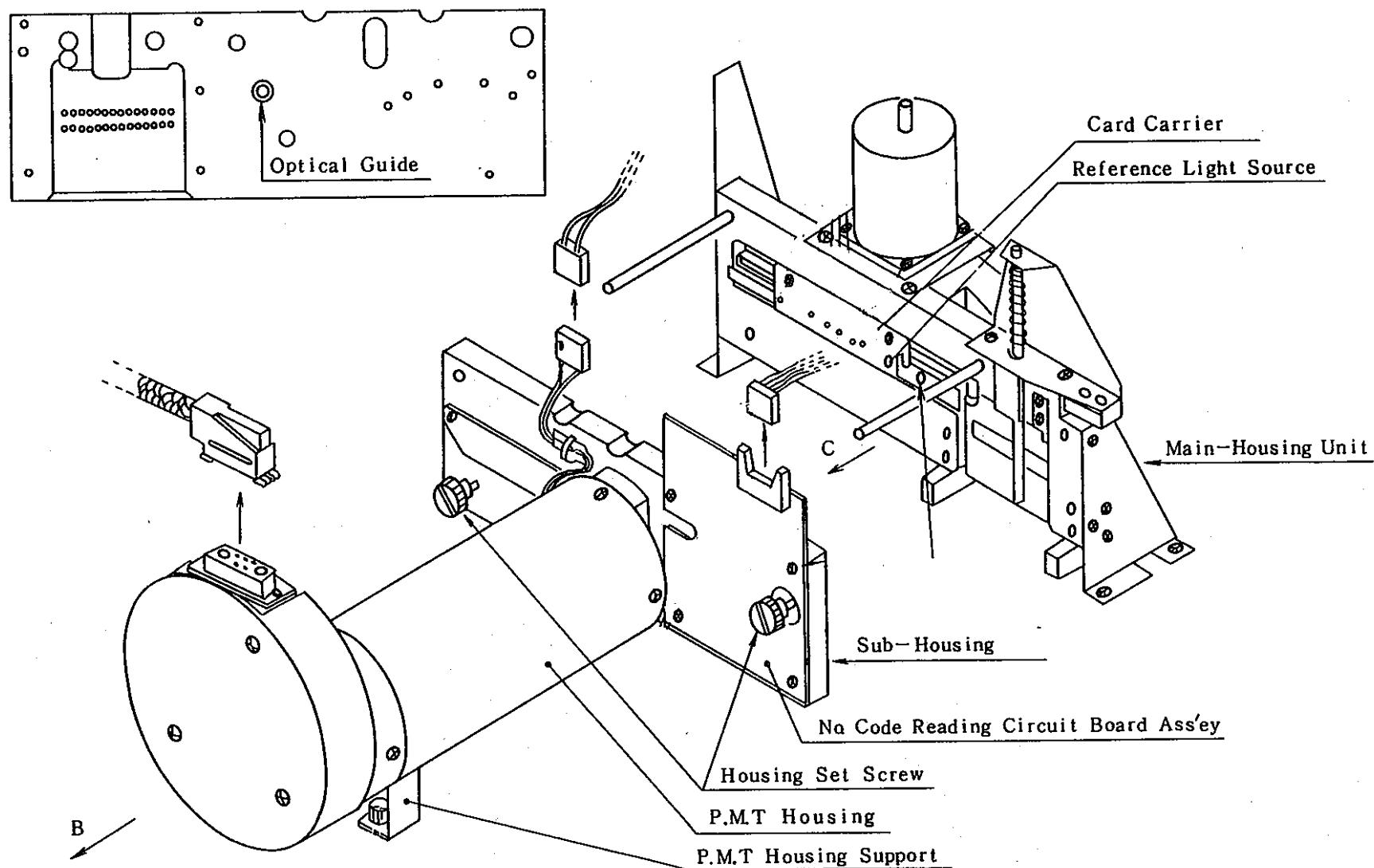


図3-2 リーダー光学系の構造図

### 3-2 試験結果

試験経緯と測定パラメーターの変更の過程を表3-1に示す。また、グループA～DのTLD測定結果を、感度変化、加熱状態の変化それについて表3-2、表3-3に示す。

表3-2に示したグループAとBのTLD読み取り値の比較からも明らかのように、フィルター交換の前後で読み取り値が約1.5倍増加し、これはパラメーター5Aの変化に相当する。また、プリドーズとメインドーズの比、及びメインドーズとポストドーズの比は、TLDの加熱状態の適正値の目安であり、表3-3の結果からフィルター交換前後で変化していないことが分かる。参考までに、フィルター交換前後における硫酸カルシウムTLD、ホウ酸リチウムTLDのグロー曲線（代表的な測定例）の変化を、それぞれ図3-3、3-4に示す。グロー曲線の形状に大きな変化は見られず、単純に光電子増倍管の熱蛍光検出効率だけが増加している。

また、表3-5に示したグループEのTLD測定結果より、フィルター交換の前後でゼロ点線量は大きく変化しなかった。

平成5年度に実施した試験結果より、TLD自動リーダーに改良型光学フィルターを適用することでホウ酸リチウムTLD、硫酸カルシウムTLDの熱蛍光検出効率がそれぞれ約3倍、約2倍まで増加することが期待されていた。しかし、今回の試験では、両TLD共に約1.5倍の増加に留まった。平成5年度の試験は、現在使用しているTLD自動リーダーの前機種であるUD-710P型での試験結果であるが、現行機種であるUD-7100P型と回路部の構成はほとんど同じであり、検出効率の増加が当初の予想を下回った理由は現時点では判明していない。熱蛍光を検出する幾何学的効率は、TLDとライトガイドの熱蛍光受光面の位置関係によって大きく変化するので、フィルター交換の前後でその位置関係が同様ではなかった可能性が高い。

表3-1 試験経緯と測定パラメーターの変更の過程

試験経緯	パラメーター変更	
1 · フィルター交換前、グループA測定。		
2 · フィルターを交換する。		
3 · フィルター交換後、ref-light値の変化を調べ、パラメーター57を変更する。	パラメーター56 "0301"→"9991" 57 "2620"→"2998"	
4 · パラメーター57変更後、グループB測定。		
5 · グループAとグループBの測定結果の比較より、パラメーター 5A、3D、3Eを変更する。	パラメーター5A "0388"→"0230" 3D "1642"→"1705" 3E "1507"→"1560"	
6 · パラメーター変更後、グループC測定。		
7 · グループCの測定結果を基に、再度、パラメーター 5A、3D、3Eを再調整する。	パラメーター5A "0230"→"0239" 3D "1705"→"1606" 3E "1560"→"1489"	
8 · グループDを測定し、確認する。		
パラメーターの意味	交換前	交換後
· パラメーター57…内蔵光源による光電子増倍管の測定カウント数 [カウント]	$620 \times 10^2$	$988 \times 10^2$
· パラメーター5A…硫酸ガリシウムTLDの測定カウント数 ( $10^5$ カウント) から照射線量相当に換算する係数[mR $^{137}\text{Cs}$ eq./ $10^5$ count]	388	239
· パラメーター3D…硫酸ガリシウムTLDの測定カウント数を100とした場合の $^{6}\text{Li}^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ TLDの測定カウント数の比の逆数	$642 \times 10^1$	$606 \times 10^1$
· パラメーター3E…硫酸ガリシウムTLDの測定カウント数を100とした場合の $^{7}\text{Li}^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ TLDの測定カウント数の比の逆数	$507 \times 10^1$	$489 \times 10^1$

表3-2 フィルター交換に伴うTLD読み取り値の変化 (100mR照射)

Gr.	フィルター 交換	読み取り値[mR $^{137}\text{Cs}$ eq.]				パラメーター 調整
		G1, G2, G4	G3	N1	N2, N3, N4	
A	交換前	94.3 ± 6.0 (6.3%)	107.4 ± 3.1 (2.9)	96.6 ± 6.7 (6.9)	90.1 ± 6.3 (7.0)	—
B	交換後	155.5 ± 10.4 (6.7)	168.4 ± 5.2 (3.1)	157.4 ± 6.3 (4.0)	153.7 ± 10.4 (6.8)	パラメータ-47 変更後
C	交換後	117.1 ± 10.9 (9.3)	95.6 ± 5.4 (5.7)	126.7 ± 9.2 (7.3)	114.9 ± 6.9 (6.0)	パラメータ- 5A, 3D, 3E 変更後
D	交換後	104.3 ± 8.3 (8.0)	97.9 ± 3.2 (3.3)	111.7 ± 7.0 (7.0)	99.6 ± 3.8 (3.8)	パラメータ- 5A, 3D, 3E 再変更後

(エлементG1, G2, G4及びN1は  $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 、 G3は  $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ 、 N2～N4は  $^6\text{Li}_2^{10}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ )

表3-3 フィルター交換に伴うTLD加熱状態の変化 (100mR照射)

Gr.	フィルター 交換	プリトーズ / メイントーズ 比 [%]		ポストトーズ / メイントーズ 比 [%]		パラメーター 調整
		G1, G2, G4	G3	G1, G2, G4	G3	
A	交換前	2.0 ± 0.7	8.2 ± 0.7	34.5 ± 6.1	23.9 ± 3.8	—
B	交換後	1.6 ± 0.6	8.5 ± 0.6	42.4 ± 11.8	22.8 ± 3.1	パラメータ-47 変更後
C	交換後	1.2 ± 0.5	8.9 ± 1.0	39.2 ± 10.6	19.6 ± 5.1	パラメータ- 5A, 3D, 3E 変更後
D	交換後	1.0 ± 0.6	9.0 ± 0.8	36.9 ± 7.1	22.4 ± 4.7	パラメータ- 5A, 3D, 3E 再変更後

(エлементG1, G2, G4及びN1は  $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 、 G3は  $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ )

表3-4 ゼロ点確認用TLDの測定結果

Gr.	フィルター 交換	読み取り値[mR $^{137}\text{Cs}$ eq.]		パラメーター調整
		G1, G2, G4	G3	
E	交換前	1.8 ± 0.9	0.6 ± 0.2	—
E	交換後	1.1 ± 0.8	0.6 ± 0.2	パラメータ-5A, 3D, 3E 再変更後

(エлементG1, G2, G4は  $^7\text{Li}_2^{11}\text{B}_4\text{O}_7(\text{Cu})$ 、 G3は  $\text{CaSO}_4(\text{Tm})$ )

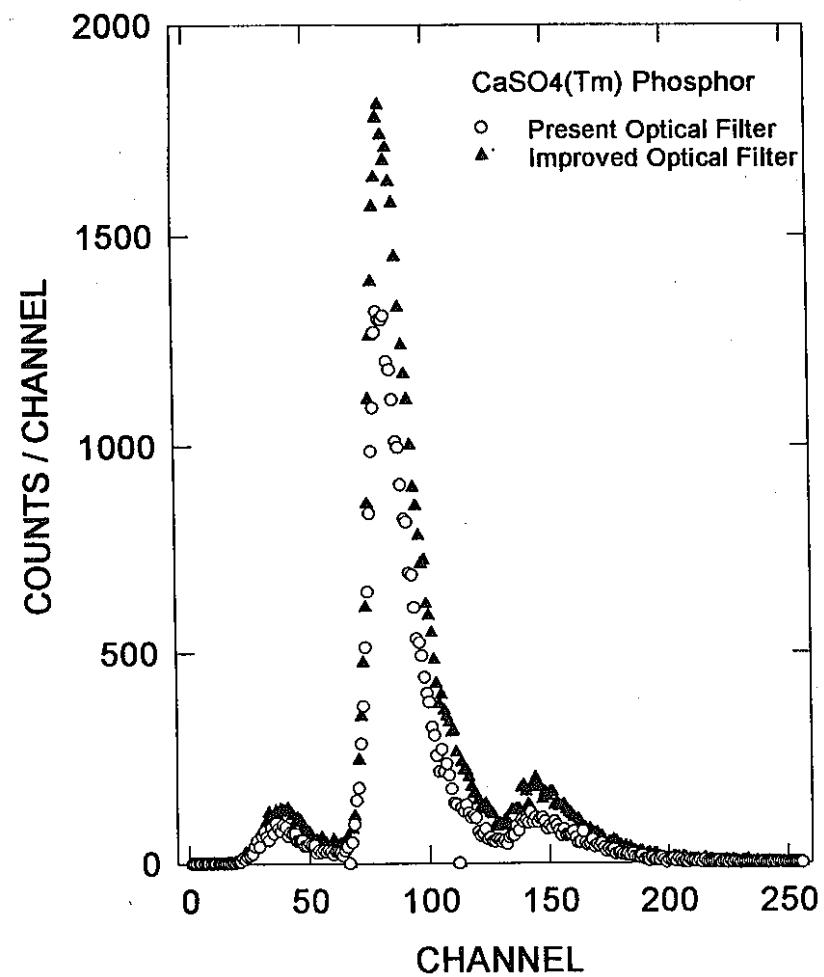


図3-3 フィルター交換前後の硫酸カルシウムTLDのグロー曲線の比較  
(<sup>137</sup>Cs γ線 100mR照射の場合)

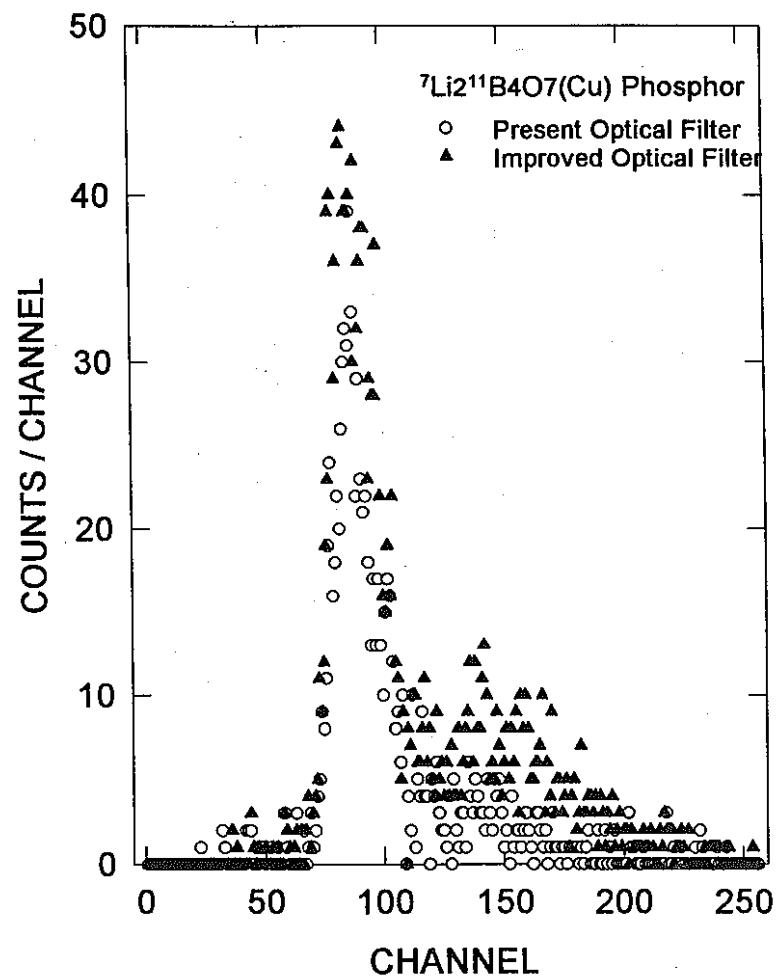


図3-4 フィルター交換前後のホウ酸リチウムTLDのグロー曲線の比較  
(<sup>137</sup>Cs γ線 100mR照射の場合)

## 第4章 まとめ

個人被ばく管理業務に使用しているTLD自動リーダーの光学フィルターを改良することによって、熱蛍光検出効率を従来の約1.5倍に増加させた。本改良方法は、TLD自動リーダーに大きな改造を加えることがないこと、費用が安いこと、さらにTLDの加熱特性に何ら影響もしないため改造作業が短時間ですむという利点がある。また、本改良は他事業所で運用しているTLD自動リーダー（UD-710P、UD-712P型）にも適用可能である。

ただし、今回の適用試験では、当初期待した程の感度増加は認められず、その原因も現時点ではよく分かっていない。ICRP1990年勧告の国内法令採り入れに伴い、放射線業務従事者の被ばく限度の実質的な引き下げが将来的に予想されるので、低線量域での線量当量評価精度をさらに向上させる必要があり、早急にこの原因を究明していただきたい。

## 参考文献

- [1] 「TLDバッジ用素子の改良に関する調査」  
(松下産業機器株式会社 委託研究成果報告書)、1994
- [2] 辻村憲雄、江尻明、小松崎賢治、百瀬琢磨、篠原邦彦  
「TLD自動リーダーの感度向上」、日本保健物理学会第31回研究発表会、1996
- [3] 石黒秀治、宮部賢次郎、野村幸広、中田啓  
「Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>(Cu)蛍光体を用いた自動読取型TLDバッジの性能・特性」  
PNC N841-83-84、1983
- [4] 藤村亮一郎、山下忠興  
「放射線による固体現象と線量測定」、養賢堂、1985