

【調査研究】

蛍光ガラス線量計 (RPLD) を用いた環境 γ 線測定法 — 熱ルミネセンス線量計 (TLD) との比較検討 —

宮崎 清, 道広憲秀, 清水光郎, 信森達也 (放射能科)

要 旨

近年公定法に採用された蛍光ガラス線量計について、従来の公定法である熱ルミネセンス線量計との比較測定を行った。その結果、蛍光ガラス線量計は防湿対策等をすれば素子間変動が低くおさえられ、熱ルミネセンス線量計と比較して同等の優れた性能を示すことがわかった。また、両者の測定値はよく一致していた。

[キーワード：蛍光ガラス線量計 (RPLD), 熱ルミネセンス線量計 (TLD), 環境 γ 線]

1 はじめに

本県では、苫田郡上斎原村の核燃料サイクル開発機構人形峠環境技術センター周辺の環境監視の一環として、熱ルミネセンス線量計 (Thermoluminescence dosimeter; 以下、「TLD」という。) を用いて γ 線積算線量の測定を行っている。

TLD による γ 線測定法は、簡便に広範囲のデータが取得できるため従来から全国でも多くの使用実績がある。しかし、TLD は、①最初の測定終了後は線量情報が素子から消失してしまい再測定が不可能であること、②読み取り操作時に破損しやすいこと、③気温の高い夏季に退行性 (フェーディング) が見られる場合がある^{1,2,3)} こと、④素子のロットによっては自己被ばくが無視できない³⁾ ことなどの欠点がある。

一方、2001年3月に公定法に採用された蛍光ガラス線量計 (Radiophotoluminescence glass dosimeter; 以下、「RPLD」という。) は、これらの欠点が少ないものの、①RPLD の感度は低温の影響を受ける¹⁾ こと、②湿気の影響を受け線量計のガラス部が劣化することなどの欠点を持っているといわれている。

監視測定に採用するためには、事前にその測定法の課題を把握しておくとともに、現行の TLD 法によるデータとの整合性を確認し継続性を計る必要がある。そのため、2002年度から3ヶ年にわたり積算線量の比較調査を実施した。調査結果の一部は既に報告した⁴⁾ が、本報では、全調査期間を通しての比較測定結果をまとめたので報告する。

2 実験方法

2. 1 調査地点

環境 γ 線積算線量測定地点は、図1に示す現地7地点と環境保健センターである。また、他に、宇宙線と自己照射の寄与をチェックするために環境保健センター内の5cm鉛容器内及び運搬時被ばくを調査した。



図1 調査地点

2. 2 調査期間

2002年10月～2004年12月

2. 3 調査方法

2. 3. 1 測定素子の設置方法

測定素子の設置場所は、各測定地点にある同じ大型の百葉箱 (気象庁2型) の中である。設置高は、TLD を従前からの1.3m, RPLD を1mとした。素子数は、TLD を6素子, RPLD を5素子とした。設置方向は、TLD が垂直方向, RPLD が水平方向とした。測定期間が3ヶ月の並行測定である。

表1 γ 線線量率測定結果

(単位：nGy/h)

設置期間	線量計	人形峠	池河	夜次	天王	中津河	赤和瀬	堆積場	環境保健センター	平均
2002 10～12	RPLD	82±3.9(4.7)	83±4.9(5.9)	82±5.2(6.4)	102±2.5(2.5)	65±2.7(4.2)	81±5.3(6.6)	85±1.6(1.9)	83±0.4(0.5)	83±3.3(4.1)
	TLD	96±3.2(3.4)	103±2.2(2.2)	91±1.6(1.8)	109±2.6(2.4)	65±1.5(2.3)	96±2.9(3.0)	99±2.7(2.7)	87±2.7(3.1)	93±2.4(2.6)
2003 1～3	RPLD	72±2.8(3.8)	54±1.1(2.0)	50±1.4(2.8)	75±1.4(1.9)	41±0.7(1.7)	62±0.1(1.6)	50±1.0(2.1)	82±0.4(0.5)	61±1.1(2.1)
	TLD	84±1.8(2.1)	63±1.5(2.4)	56±1.5(2.7)	85±6.2(7.3)	47±0.9(1.9)	71±1.7(2.4)	56±1.3(2.4)	91±2.8(3.1)	69±2.2(3.0)
2003 4～6	RPLD	84±1.0(1.2)	82±0.7(0.9)	75±0.4(0.5)	93±1.1(1.2)	56±4.6(8.2)	88±1.3(1.5)	93±3.7(4.0)	85±6.9(8.0)	82±2.5(3.2)
	TLD	88±4.1(4.7)	88±1.1(1.3)	78±2.9(3.7)	95±3.8(4.0)	55±3.5(6.3)	85±5.8(6.8)	87±3.5(4.0)	81±2.1(2.6)	82±3.4(4.2)
2003 7～9	RPLD	92±4.1(4.5)	89±1.4(1.6)	82±1.8(2.3)	96±1.2(1.2)	57±0.4(0.7)	82±0.8(1.0)	93±0.6(0.6)	80±1.9(2.4)	84±1.5(1.8)
	TLD	95±1.8(1.8)	99±1.7(1.7)	88±2.1(2.4)	106±3.1(2.9)	63±1.2(1.9)	90±2.1(2.3)	98±1.5(1.5)	83±1.7(2.0)	90±1.9(2.1)
2003 10～12	RPLD	97±2.4(2.5)	94±0.4(0.4)	88±2.1(2.5)	105±3.1(2.9)	64±3.2(4.9)	89±0.6(0.7)	100±2.8(2.8)	91±2.0(2.2)	91±2.1(2.4)
	TLD	97±2.1(2.1)	101±2.7(2.7)	91±2.3(2.5)	112±2.0(1.8)	68±2.2(3.3)	93±0.9(1.0)	101±3.7(3.7)	87±2.0(2.3)	94±2.2(2.4)
2004 1～3	RPLD	83±2.7(3.2)	67±1.0(1.5)	56±0.8(1.5)	87±0.8(0.9)	50±1.1(2.1)	73±2.8(3.9)	62±2.6(4.3)	86±1.7(2.0)	71±1.7(2.4)
	TLD	87±1.8(2.1)	69±0.8(1.2)	52±1.3(2.5)	90±2.7(3.0)	48±1.9(4.0)	74±1.8(2.4)	58±0.7(1.1)	95±1.3(1.4)	72±1.5(2.2)
2004 4～6	RPLD	89±1.7(1.9)	89±0.8(0.9)	83±0.7(0.8)	106±2.0(1.9)	61±0.7(1.2)	90±1.7(1.9)	100±2.8(2.8)	90±2.2(2.4)	89±1.6(1.7)
	TLD	95±1.6(1.7)	98±3.0(3.0)	87±2.0(2.2)	106±2.9(2.7)	63±2.5(4.0)	89±2.8(3.1)	96±2.0(2.0)	85±2.0(2.3)	90±2.4(2.6)
2004 7～9	RPLD	93±0.2(0.3)	93±0.4(0.5)	88±0.9(1.0)	103±1.2(1.1)	61±0.8(1.3)	88±0.4(0.4)	98±0.7(0.7)	88±1.9(2.1)	89±0.8(0.9)
	TLD	91±2.2(2.5)	94±2.3(2.4)	88±0.9(1.0)	104±1.7(1.6)	62±1.4(2.2)	89±1.4(1.6)	95±2.4(2.5)	85±2.8(3.3)	89±1.9(2.1)
2004 10～12	RPLD	95±1.4(1.5)	95±1.0(1.0)	91±2.2(2.4)	102±0.9(0.9)	60±2.1(3.4)	86±1.5(1.8)	98±1.5(1.6)	92±1.6(1.8)	90±1.5(1.8)
	TLD	92±3.0(3.2)	99±3.9(3.9)	90±3.5(3.8)	109±1.7(1.5)	65±1.4(2.1)	91±1.7(1.8)	96±1.7(1.7)	87±3.1(3.5)	91±2.5(2.7)
2005 1～3	RPLD	73±0.6(0.8)	48±0.3(0.5)	45±0.5(1.1)	69±0.6(0.8)	38±0.6(1.4)	61±0.7(1.1)	50±0.8(1.5)	81±0.4(0.5)	58±0.5(1.0)
	TLD	82±2.5(3.0)	54±1.0(1.8)	49±1.7(3.3)	76±1.6(2.1)	43±1.2(2.6)	70±2.3(3.3)	55±2.9(5.3)	91±1.4(1.5)	65±1.8(2.9)
全期間の 平均値	RPLD	86±2.1(2.4)	79±1.2(1.5)	74±1.6(2.1)	94±1.5(1.5)	55±1.7(2.9)	80±1.5(2.1)	83±1.8(2.2)	86±1.9(2.2)	80±1.7(2.1)
	TLD	91±2.4(2.7)	87±2.0(2.3)	77±2.0(2.6)	99±2.8(2.9)	58±1.8(3.1)	85±2.3(2.8)	84±2.2(2.7)	87±2.2(2.5)	83±2.2(2.7)

注) () 内は変動係数 (%)

RPLDの湿度対策として、2003年度からポリ容器内に除湿剤とともに相互に重ならないように入れ、さらにポリエステル、アルミニウム及びポリエチレンの3層構造フィルム製のポリ袋内に全体を密封した。なお、2002年度には対策を講じていなかった。

2.3.2 測定装置及び測定条件

(1) TLD法

- TLD素子；松下電器(株)製 UD-200S型
- リーダ；同社製 UD-512P型

(2) RPLD法

- RPLD素子；旭テクノグラス(株)製 SC-1
1995, 2002, 2003, 2004年購入
- リーダ；同社製 FGD-201
- 測定法

現地地点への設置前に素子の再生処理(400℃で1時間加熱)を毎回行った。3ヶ月後に持ち帰った素子は、読み取り前に低温乾燥機を用いて70℃で1時間の熱処理を施した。読み取り時のレーザパルス数は20パルス、また1素子の繰り返し測定回数は5回とした。

運搬時における線量寄与を低減するために両素子の現地への運搬には、鉛容器を使用した。

なお、標準照射校正は、RPLD及びTLDともにそれぞれのメーカーにおける年1回の保守点検の中で実施している。

3 結果及び考察

3.1 素子の管理

測定結果は、積算線量を1時間あたりの γ 線線量率に換算して表1に示した。湿度対策をしていない2002年10月から2003年3月までの値は、10～12月期でTLDが93nGy/hでRPLDが11%低い83nGy/h、1～2月期ではTLDが69nGy/hでRPLDが12%低い61nGy/hであった。また、変動係数はTLDと同等以上であり良い結果ではなかった。そこで、2004年4月以降は前述(2.3.1)の対策に加えて、保管中は必ずデシケータに入れるとともに、白曇りのある素子は測定に使用しないなどの徹底した素子管理を行った。

その結果、図2に見られるように、RPLDにあつては全体として変動係数が低下傾向を示し、2004年度にはTLDを下回り2%以下となった。徹底した湿度対

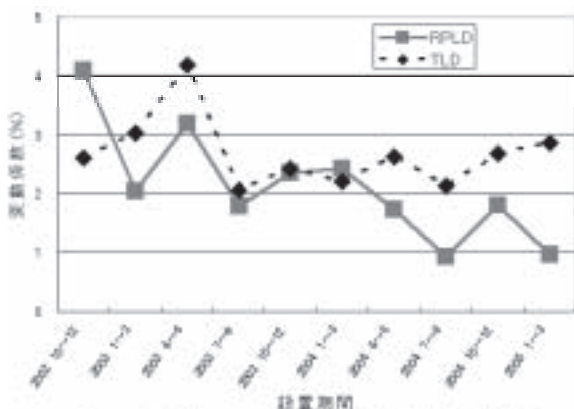


図2 TLD及びRPLDの γ 線線量率に係る変動係数の推移

策の効果が現れたものとみられる。TLDにあっては、2002年4～6月期に4.2%と高い値を示しているものの、他は2～3%の間を推移していた。TLDの線量計間のばらつきは一般に5～6%といわれているので、概ね妥当な結果が得られているものと思われる。

ここで、RPLDの変動に着目すると、変動係数は2003年1～3月を除き波を打っているように見える。RPLD素子は、購入年毎のグループに分け交互に現場へ配置し測定している。購入年は、1995、2002、2003及び2004年である。そこで、図2のRPLD部分を購入年毎のグループに分けて図3へプロットした。2004年購入グループを除き、いずれのグループの変動係数も、徐々にその値を下げ、2%付近で落ち着いていた。変動係数が波を打った原因は、素子の管理状況とロットに起因していることがわかった。また、防湿対策を講じたり白濁した素子の使用を避けるなどの管理

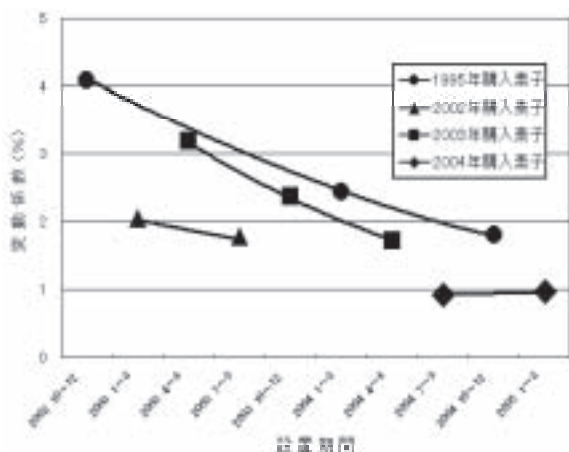


図3 グループ毎のRPLD素子の変動係数の推移

が良ければ、素子が古くても使用に耐えうるものではないかとみられる。なお、このような管理をした後でも、RPLDの感度は2003年7～9月期及び2005年1～3月にはTLDに対してやや低い数値であった。

3.2 変動係数の分布

調査研究の最終年度である2004年度における変動係数の分布を図4に示す。当該期間における変動係数の平均はTLDが2.6%、RPLDが1.4%と差が現れた。TLDの分布は、1.0%～5.4%の範囲で、1.5～1.9%の区分でピークを示していた。一方、RPLDの分布は、0.0%～3.4%の範囲で0.5～1.9%の区分でピークを示し、TLDに勝る性能を示していた。各分布とも田島ら⁸⁾の結果とほぼ同様な形状を示した。なお、TLDにあっては6%超を、また、RPLDにあっては、4.5%超を異常値⁸⁾とすると、出現率は両者ともに0%であった。

3.3 TLD及びRPLDの線量率の相関

図5に2004年度のTLDとRPLDの相関を示す。両測定値間には有意水準1%で強い相関が認められた。なお、昨年の報告⁴⁾と比較すると、相関係数はほぼ同等であったが、勾配は昨年の0.85から1.07に上がった。他県の状況は、鹿児島県の今村ら⁹⁾の相関係数が0.86、回帰式の勾配が0.83、田島ら⁸⁾相関係数が0.87、勾配が0.85、福島県の林ら¹⁰⁾の相関係数が1.00、勾配が1.00、大西ら¹¹⁾の相関係数が0.97、勾配が1.00であり、今回の相関係数と勾配は他県の調査結果の範囲内であった。

3.4 設置高の違いによる線量率の差

百葉箱の中における各素子の設置位置は、TLDが

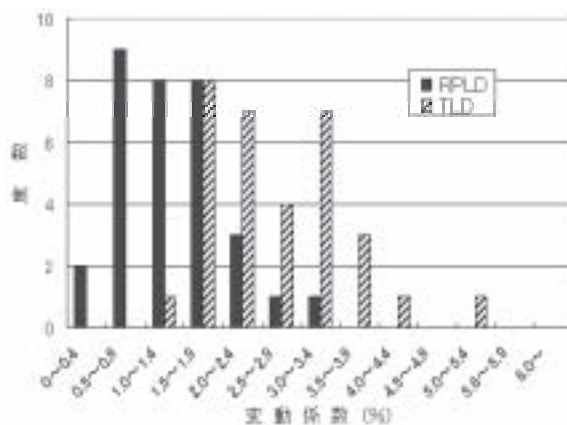


図4 TLD及びRPLDの変動係数のばらつき (04.4～05.3)

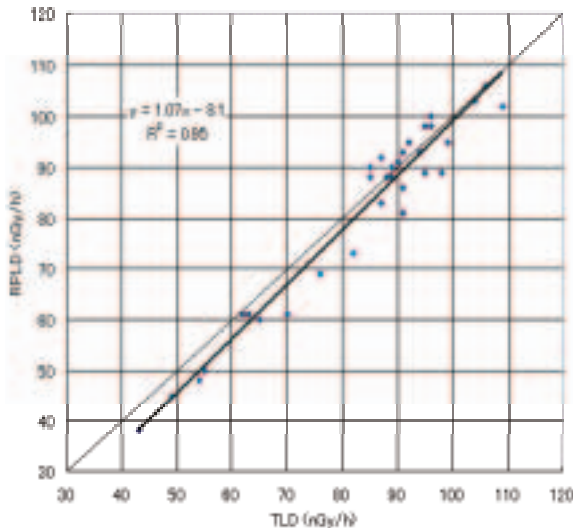


図5 TLD 及び RPLD による γ 線線量率間の相関
(04.4~05.3)

表2 RPLD の設置場所に高低差を設けた場合の線量率
測定結果
(単位：nGy/h)

地上高	線量率 (人形峠)
102+56cm	96.4±1.7 (1.7)
102+28cm	96.6±1.4 (1.5)
102+0 cm	96.9±1.8 (1.9)

注) () 内は変動係数 (%)
測定期間：2004.10~12

底部から30cmの位置に、RPLDが底部である。高さの差は約30cmであり、線量率の値にどのように影響しているか確認するため百葉箱の中でRPLDの設置高に差を設け観測した。測定地点は人形、測定期間は2004年10~12月期で、地表面から百葉箱の底までの高さは102cm、物理的な制約があったので、そこから28cmの間隔でRPLDを5個ずつ計3ヶ所に置いた。表2はその結果である。

高低による線量率の差が危険率5%の平均値の差の検定でいずれも棄却されないことから、TLDとの設置位置の差は無視できることが確認できた。

3.5 他機関との確認

(財)日本分析センターの協力を得て、RPLD素子へ標準照射を依頼のうえ返送された素子を測定して確認を実施した。昨年は3%内でよく一致していた⁴⁾。本年度も、標準照射量157 μ Gy及び236 μ Gyに対して、測定値は162 μ Gy及び242 μ Gyであり、その差は3%内であった。

3.6 バックグラウンド

それぞれの素子について宇宙線の寄与と自己照射線量を確認するため、毎回現地での測定素子の設置と同一期間、5cmの鉛ブロック容器内に保管設置した素子を測定したが、TLDは平均17.3nGy/h、標準偏差0.6nGy/h、RPLDは平均18.3nGy/h、標準偏差1.2nGy/hで、危険率5%の一对の標本による平均の検定から差があるとはいえないという昨年と同様の結果⁴⁾であった。

4 まとめ

監視測定のため、環境モニタリング用積算線量計としてRPLDを採用するうえで、現行のTLD法によるデータとの整合性と継続性を確認するため、平成14年度から3ヶ年にわたり積算線量の比較調査を実施した。

- (1) RPLDの素子間変動は当初TLDと同等であったが、防湿対策等素子管理の強化により調査終期には低く抑えることができた。
- (2) 両素子の測定結果の間には良い相関が認められた。なお、線量率の低い領域でRPLDが低い傾向にあった。
- (3) 標準照射したRPLDを測定することによりクロスチェックを行ったところ、3%内の差であった。
- (4) 宇宙線の寄与と自己照射線量を確認するためバックグラウンドを測定したが両素子間に差はなかった。

以上により、RPLDはTLDに比べて同等の優れた性能を示し、整合性を確認することができた。

文 献

- 1) 山崎興樹ら：蛍光ガラス線量計を用いた積算線量測定、新潟県保健環境科学研究所年報、16、90-97、2001
- 2) 文部科学省：蛍光ガラス線量計を用いた環境 γ 線量測定法、放射能測定法シリーズ27、2002
- 3) 山崎興樹ら：蛍光ガラス線量計を用いた積算線量測定、新潟県保健環境科学研究所年報、14、88-92、1998
- 4) 道広憲秀ら：蛍光ガラス線量計(RPLD)を用い

- た γ 線測定法, 28, 123-127, 2004
- 5) 東芝硝子株式会社: 東芝ガラス線量計リーダ FGD-202取扱説明書, 1996年9月
 - 6) 旭テクノグラス株式会社: ガラス線量計リーダ FGD-202シリーズ取扱説明書, 2003年1月
 - 7) 文部科学省: 熱ルミネセンス線量計を用いた環境 γ 線量測定法, 放射能測定法シリーズ18, 平成2年改訂
 - 8) 田島義徳ら: 積算線量測定における測定器の比較調査, 鹿児島県環境保健センター年報, 1, 103-107, 2000
 - 9) 今村和彦ら: 積算線量測定における測定器の比較調査, 鹿児島県環境センター年報, 12, 55-60, 1996
 - 10) 林正樹ら: ガラス線量計実用計画の概要(II) 平成11年度福井県原子力環境監視センター所報, 6, 33-37, 1999
 - 11) 大西勝基ら: ガラス線量計実用計画の概要(III) 平成13年度福井県原子力環境監視センター所報, 8, 60-63, 1999