

〔短 報〕

電子式線量計D-シャトルの特性調査

石川県保健環境センター 環境科学部 鶴谷 亮太・河野 隆史・宮竹 智代
内川 慎互・吉本 高志・川畑 俊之

〔和文要旨〕

電子式積算線量計であるD-シャトルについて特性調査及び熱ルミネセンス線量計（以下「TLD」という。）との並行測定を行い、環境放射線測定においてTLDの代替としての使用可否を検討した。並行測定の結果、平均気温が20℃より低い秋期及び冬期ではD-シャトルの方が高い積算線量を示したが、この差異はD-シャトルについて温度補正を行うことで解消された。年間を通してD-シャトルとTLDの測定結果は概ね一致し、D-シャトルはTLDの代替として使用可能と考えられた。

キーワード：積算線量，電子式線量計，D-シャトル

1 はじめに

本県では、「志賀原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書」に基づき、平成2年7月から志賀原子力発電所周辺の環境放射線モニタリング（以下「原電監視」という。）の一環として、熱ルミネセンス線量計（以下「TLD」という。）により3ヶ月毎の積算線量測定を行っている。

「原子力災害対策指針補足参考資料¹⁾」によると、積算線量の測定に使用する測定機器の例として、TLDの他、蛍光ガラス線量計（以下「RPLD」という。）、電子式積算線量計が記載されている。RPLDについてはTLDと同様に文部科学省により放射能測定法シリーズ²⁾が作成されており、実績のある測定手法ではあるものの、TLDと同様に測定装置が高価なためインシヤルコストが高く、アニーリング等の前処理や測定に労力がかかり、測定結果もアニーリング後からの総積算線量しか得ることができない手法となっている。電子式積算線量計については、TLD及びRPLD素子と比較すると複雑な構造であるため故障のリスクはあるものの、アニーリング等の前処理が不要だけでなく測定も簡便であり、

比較的インシヤルコストが安価なことに加え、機種によっては総積算線量だけでなく任意の期間における測定値の1時間毎のトレンドを確認することが可能となっている。

平成29年11月、TLD測定装置の国内唯一のメーカーであるPanasonic(株)から、令和元年9月末で測定装置及びアニーリング用熱処理炉の生産を中止することの通知を受けたことから、積算線量測定を今後も継続していくためには、TLD以外の方法への移行を検討することが必要となった。

今回、電子式積算線量計について標準照射等による特性調査及びTLDとの並行測定を行い、環境放射線測定においてTLDの代替としての使用可能か検討を行った。

2 使用機器及び測定方法

電子式積算線量計については、福島第一原子力発電所事故後に福島県内の10を超える自治体で利用実績のある³⁾(株)千代田テクノと国立研究開発法人産業技術総合研究所が共同開発したD-シャトルを用いた⁴⁾。検出部はSi-PINダイオードであり、80keV～1.25MeVのエネルギー範囲においてエネルギー特性が±30%となるように設計されている³⁾。D-シャトルには測定の目的に応じ

Property of D-shuttle Electronic Dosimeter. by TSURUYA Ryota, KAWANO Takafumi, MIYATAKE Tomoyo, UCHIKAWA Shingo, YOSHIMOTO Takashi and KAWABATA Toshiyuki (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words : Integration Dose, Electronic Dosimeter, D-shuttle

て環境用と個人用の 2 種類が存在するが、本調査では環境放射線の測定が目的であることから環境用を使用した。電源はコイン型リチウムイオン電池を使用し、電池の交換なしで約 1 年間の連続測定が可能である。また、「表示器」を用いることにより、総積算日数、総積算線量及び前日の 1 日分の積算線量の直読が可能であり、さらに「管理機」を使用すれば計測している全期間の 1 時間毎のデータを CSV 形式で取得できる³⁾。本調査では、D-シャトルの個体間の感度差を補正するため、標準照射により個体毎に求めた校正定数で直読値をグレイ (Gy) に補正した値で検討を行った。校正定数は、セシウム-137 標準線源 (662keV、以下「セシウム標準線源」という。) による照射線量を D-シャトルの直読値で除することにより求めた。なお、本調査における環境中の測定に使用した 33 個の D-シャトルの校正定数は 0.76 ~ 0.86 であり、ばらつきは変動係数で 2.3% と小さかった。

3 結果と考察

3.1 機器特性

機器特性として、直線性、方向特性及び自己放射能の調査を行った。

(1) 直線性

D-シャトルの線量に対するレスポンスの直線性を確認するため、セシウム標準線源 ($E\gamma = 0.61\text{MeV}$) の照

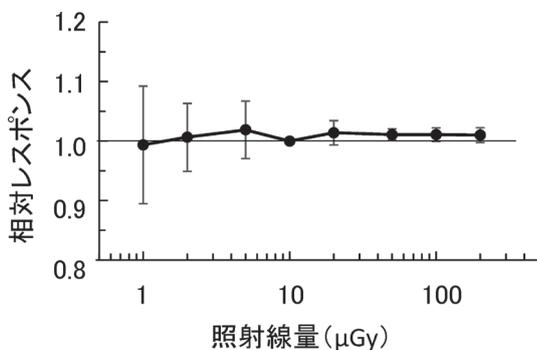


図 1 照射線量に対するレスポンスの直線性

射線量を変えて行った。結果を図 1 に示す。測定結果は照射線量 10 μGy に対するレスポンスを 1 とし規格化した。1 ~ 200 μGy の照射線量において D-シャトルの相対レスポンスは 2% の範囲内であり、良い直線性を示した。

(2) 方向特性

D-シャトルを図 2 に示す 3 種類の回転軸で 15° 毎に回転させながら、セシウム標準線源を用いた標準照射により調査した。調査結果を図 3 に示す。

図 2 (a) 及び (b) に示す正面方向からの照射に対して背面方向からの照射で感度が約 15%、上方向で約 42%、下方向で約 14%、右方向で約 7%、左方向で約 25% それぞれ低下した。上方向及び右方向からの照射に対して感度が大きく低下した要因として、D-シャトルの上部にコイン電池、右下部に電子回路、左下部に検出部が内蔵されていることが各方向からの遮へいに作用したと考えられた。

(3) 自己放射能

自己放射能とは、測定機器自身からの放射線による線量であり、環境中での積算線量の測定結果に影響を与えることから調査を行った。環境放射線の影響を低減するため、屋内に設置した厚さ 5cm の鉛箱内に D-シャトルを入れ、平成 29 年 6 月 16 日から平成 29 年 9 月 14 日の 91 日間の積算線量を測定した。測定結果は 41.2 μGy で

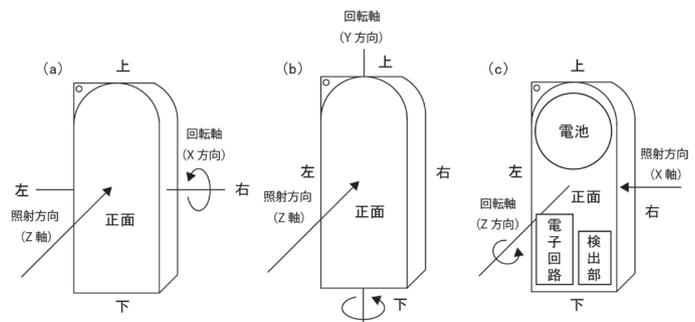


図 2 標準照射の方向と回転軸

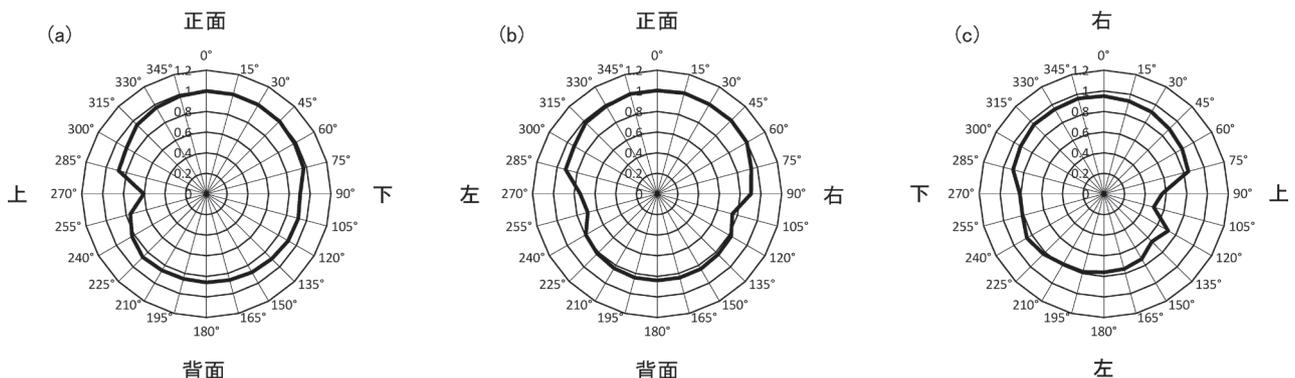


図 3 D-シャトルの方向特性

あった。また、D-シャトルを波高分析器（SEIKO EG&G製MCA7600）付きGe半導体検出器（CANBERRA製GC4519）で γ 線核種分析（20万秒測定）したところ、人工及び天然放射性核種は検出されなかった。

TLD素子の自己放射能と比較するために、同様の条件で保管したTLD素子についても測定を行った。TLD素子の測定については、測定法シリーズ⁵⁾及び小浦ら⁶⁻⁷⁾が報告した留意点に従って行った。TLD素子はPanasonic製UD-200ST (CaSO₄(Tm))、読取装置はPanasonic製TLD（放射線熱蛍光線量計）用リーダーUD-5160Pを使用した。測定の結果は42.9 μ Gyであり、D-シャトルと同程度の値となった。

従って、D-シャトルとTLDの測定結果を比較する上で、自己放射能による影響を考慮する必要はないと考えられた。

3・2 環境中の測定におけるTLDとの比較

原電監視のための測定を行っている33カ所の積算線量測定地点にD-シャトルを3.1(2)を参考に正面が鉛直方

向下向きになるように1つずつ設置して、TLDとの並行測定を行った。測定は平成30年3月22日～6月21日（第1四半期）、6月21日～9月27日（第2四半期）、9月27日～12月19日（第3四半期）、12月19日～平成31年3月14日（第4四半期）の1年間行った。測定期間中、全てのD-シャトルにおいて故障や欠測はなかった。

測定結果を表1に、四半期毎の33地点の積算線量の平均値の範囲を図4に、同一地点における測定結果の比（D-シャトル/TLD）の出現頻度を図5に示す。一元配置分散分析を行ったところ、第1四半期及び第2四半期ではD-シャトルとTLDの平均値は $p \geq 0.05$ で有意差がなかったが、第3四半期及び第4四半期では $p < 0.05$ で有意差があり、D-シャトルの平均値の方が大きくなった。出現頻度においても、第1四半期及び第2四半期ではグラフの形状が概ね一致したが、第3四半期と第4四半期ではD-シャトルの方が大きい積算線量を示す頻度が多くなった。

これらの結果についてD-シャトルの温度特性から考

表1 D-シャトルとTLDの並行測定の結果

測定地点	第1四半期			第2四半期			第3四半期			第4四半期		
	D-シャトル (mGy)	TLD (mGy)	(D-シャトル) / (TLD)	D-シャトル (mGy)	TLD (mGy)	(D-シャトル) / (TLD)	D-シャトル (mGy)	TLD (mGy)	(D-シャトル) / (TLD)	D-シャトル (mGy)	TLD (mGy)	(D-シャトル) / (TLD)
高浜町	0.14	0.14	1.00	0.14	0.14	1.02	0.15	0.14	1.10	0.15	0.14	1.11
上野	0.12	0.12	0.99	0.12	0.13	0.94	0.12	0.13	0.97	0.13	0.13	0.99
志賀	0.14	0.13	1.09	0.14	0.13	1.06	0.15	0.13	1.15	0.15	0.14	1.12
赤住	0.15	0.15	0.98	0.14	0.15	0.97	0.15	0.14	1.02	0.15	0.15	0.99
福浦港	0.14	0.11	1.19	0.13	0.12	1.14	0.14	0.12	1.17	0.14	0.12	1.16
若葉台	0.11	0.10	1.09	0.11	0.10	1.07	0.11	0.10	1.12	0.11	0.10	1.08
直海	0.15	0.15	0.99	0.15	0.15	0.99	0.15	0.15	1.04	0.16	0.15	1.03
熊野	0.15	0.14	1.06	0.14	0.13	1.05	0.14	0.14	1.03	0.15	0.14	1.05
富来生神	0.11	0.12	0.95	0.11	0.11	0.95	0.12	0.11	1.02	0.12	0.12	0.99
大西	0.12	0.12	1.02	0.12	0.12	1.01	0.12	0.12	1.07	0.13	0.12	1.03
里本江	0.14	0.13	1.08	0.13	0.13	0.99	0.14	0.13	1.07	0.14	0.13	1.07
西海風無	0.13	0.13	1.01	0.13	0.13	1.00	0.13	0.13	1.02	0.14	0.13	1.05
赤崎	0.13	0.13	1.00	0.13	0.12	1.02	0.13	0.13	1.00	0.14	0.13	1.07
大福寺	0.11	0.12	0.97	0.11	0.11	0.96	0.11	0.11	1.04	0.12	0.11	1.06
中島	0.14	0.12	1.15	0.13	0.12	1.13	0.14	0.12	1.15	0.14	0.12	1.24
土川	0.13	0.11	1.15	0.13	0.11	1.12	0.13	0.11	1.20	0.14	0.12	1.17
豊田町	0.13	0.13	1.02	0.13	0.13	1.02	0.14	0.13	1.09	0.14	0.14	1.04
旭町	0.14	0.15	0.95	0.14	0.13	1.01	0.14	0.14	0.98	0.15	0.14	1.03
柴垣町	0.14	0.13	1.02	0.13	0.13	1.00	0.14	0.13	1.02	0.15	0.14	1.06
岩田	0.12	0.12	1.00	0.12	0.12	0.98	0.12	0.12	0.98	0.13	0.13	1.00
二所宮	0.13	0.13	1.00	0.13	0.12	1.03	0.13	0.12	1.05	0.14	0.13	1.06
倉垣	0.13	0.13	0.99	0.13	0.13	0.96	0.13	0.14	0.98	0.14	0.14	1.02
大笹	0.13	0.12	1.01	0.12	0.13	0.98	0.13	0.12	1.06	0.13	0.13	1.05
五里峠	0.14	0.15	0.91	0.13	0.13	0.99	0.14	0.15	0.96	0.14	0.14	1.02
代田	0.12	0.12	0.98	0.11	0.12	0.97	0.12	0.12	0.99	0.12	0.13	1.00
徳田	0.12	0.13	0.98	0.12	0.12	1.01	0.12	0.12	1.02	0.13	0.12	1.05
大津	0.12	0.12	1.03	0.11	0.12	0.99	0.12	0.11	1.10	0.13	0.12	1.04
金ヶ崎	0.13	0.13	1.07	0.13	0.13	1.03	0.14	0.13	1.07	0.14	0.13	1.08
田鶴浜	0.13	0.13	1.01	0.12	0.13	0.96	0.13	0.12	1.06	0.14	0.13	1.04
羽坂	0.13	0.14	0.90	0.13	0.13	0.93	0.13	0.14	0.93	0.13	0.14	0.99
瀬戸	0.13	0.14	0.99	0.13	0.14	0.94	0.13	0.13	1.01	0.14	0.13	1.03
上後山	0.14	0.14	1.00	0.14	0.14	0.99	0.14	0.14	1.02	0.14	0.14	1.03
能登部上	0.15	0.14	1.10	0.15	0.14	1.06	0.15	0.14	1.06	0.15	0.14	1.09
最大値	0.15	0.15	1.19	0.15	0.15	1.14	0.15	0.15	1.20	0.16	0.15	1.24
最小値	0.11	0.10	0.90	0.11	0.10	0.93	0.11	0.10	0.93	0.11	0.10	0.99
平均値	0.13	0.13	1.02	0.13	0.13	1.01	0.13	0.13	1.05	0.14	0.13	1.06

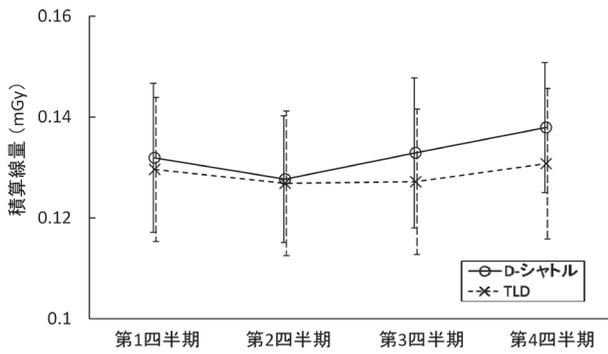


図 4 D-シャトルとTLDの並行測定結果

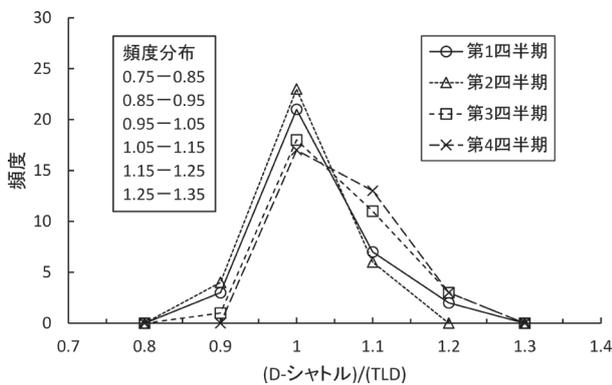


図 5 同一地点間における測定結果の比の出現頻度

察を行った。D-シャトルの温度特性は桃山ら³⁾によれば、 -20°C から 40°C までの温度変化に対し、 20°C を境にして低温側で感度が高く、高温側で低くなり、 20°C におけるレスポンスを 1 とした感度は $\pm 10\%$ 以内であった。こうしたことから、D-シャトルの校正定数を求めるために行った標準照射時の気温は 20°C であり、春期及び夏期の第 1 四半期及び第 2 四半期では校正定数算出時と測定時の気温差が小さいため測定結果が一致し、秋期及び冬期の第 3 四半期及び第 4 四半期では校正定数算出時に比べて気温が低く、D-シャトルの測定結果を過大評価したと考えられた。

そこで、気象庁が設置している能登地区の七尾、志賀、羽咋、三井観測所の気温データ⁸⁾を使用してD-シャトルの温度特性による補正を行った。各四半期の平均気温は表 2 であり、4 観測所の平均値を用いて、桃山ら³⁾の文献を参考に以下の式を作成して温度補正を行った。

$$y = \left(1 - 0.2 \frac{(t - 20)}{60} \right)^{-1} x$$

y: 温度補正後のD-シャトル測定結果

t: 各四半期の平均気温

x: D-シャトル測定結果

温度補正後の結果を図 6 及び図 7 に示す。温度補正の結果、一元配置分散分析におけるD-シャトルとTLDの

表 2 四半期毎の平均気温 単位: $^{\circ}\text{C}$

観測所名	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
七尾	15.0	24.8	12.4	3.9
志賀	15.1	25.1	13.2	4.7
羽咋	15.1	25.5	13.4	4.8
三井	13.7	23.5	11.0	2.4
平均	14.9	24.8	12.5	4.0

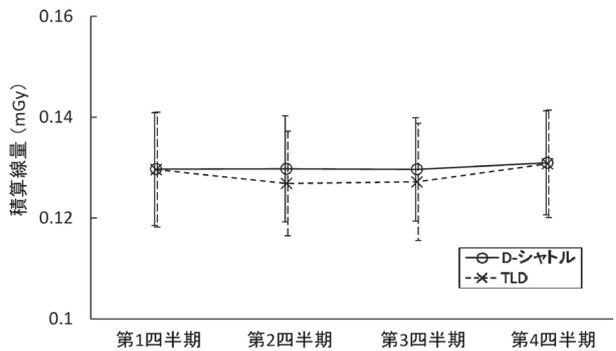


図 6 温度補正後の並行測定結果

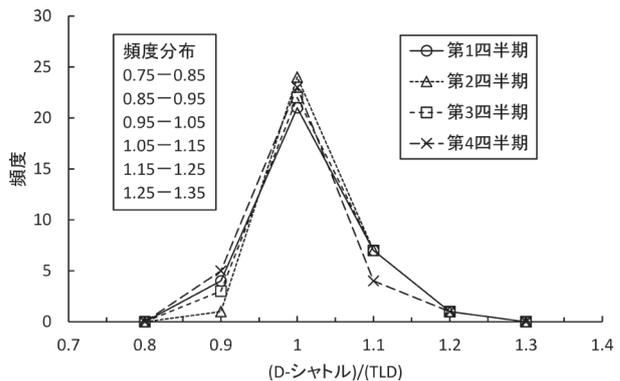


図 7 温度補正後の同一地点間における測定結果の比の出現頻度

平均値は年間を通して $p \geq 0.05$ で有意差がなくなり、同一地点間における測定結果の比の出現頻度についてもほぼ同一の形状となった。ただし、外気温と設置場所との温度差やリアルタイムでの温度補正までは今回実施していない。

4 まとめ

電子式積算線量計のD-シャトルについて、標準照射等による特性調査及びTLDとの並行測定を行い、環境放射線測定においてTLDの代替としての使用可否を検討した結果、以下の知見を得た。

D-シャトルの機器特性のうち直線性は、 $1 \sim 200 \mu\text{Gy}$ の照射線量では $10 \mu\text{Gy}$ に対するレスポンスを 1 として規格化した相対レスポンスにおいて 2% の範囲内であり、良い直線性を示した。

方向特性は、正面方向からの照射に対して背面方向で感度が約 15% 、上方向で約 42% 、下方向で約 14% 、右

方向で約7%、左方向で約25%それぞれ低下した。

自己放射能は、TLDと同程度の結果となり、D-シャトルとTLDの測定結果を比較する上で、自己放射能による影響を考慮する必要はないと考えられた。

D-シャトルとTLDの並行測定を行ったところ、春期及び夏期の第1四半期及び第2四半期では測定結果は概ね一致したが、秋期及び冬期の第3四半期及び第4四半期においてはD-シャトルの方が高い結果となった。

次に、温度補正を行うと年間を通してD-シャトルとTLDの測定結果は概ね一致した。これらの結果から、性能としてはD-シャトルはTLDの代替として使用可能であると考えられたが、D-シャトルの故障に伴う欠測のリスクや、環境中で使用し続けた場合の経年劣化の懸念もあることから、今後もTLDとの並行測定を継続することとしている。

文 献

- 1) 原子力規制庁監視情報課：平常時モニタリングについて（原子力災害対策指針補足参考資料），平成30年4月4日改訂
- 2) 文部科学省：放射能測定法シリーズ27，「蛍光ガラス線量計を用いた環境γ線量測定法」（2012）
- 3) 桃山賢太郎：D-シャトルの概要とその応用について，RADIOISOTOPES, 67, 453-460（2018）
- 4) 鈴木良一，大口裕之：個人向け放射線線量計“D-シャトル”の開発，RADIOISOTOPES, 67, 447-452（2018）
- 5) 文部科学省：放射能測定法シリーズ18，「熱ルミネセンス線量計を用いた環境γ線量測定法」（1990）
- 6) 小浦利弘，東海林寛史，堅田勉：熱ルミネセンス線量計を用いた積算線量測定に係る留意点について，石川県保健環境センター研究報告書, 52, 105-108（2015）
- 7) 小浦利弘，東海林寛史，初瀬裕，中谷光：熱ルミネセンス線量計を用いた積算線量測定に係る留意点について（その2），石川県保健環境センター研究報告書, 53, 18-24（2016）
- 8) 気象庁：<https://www.jma.go.jp/jma>