

## 【原著】

## 蛍光ガラス線量計の基本特性の検討

白川誠士<sup>1</sup>、南 一幸<sup>1</sup>、横山須美<sup>1</sup>、浅田恭生<sup>1</sup>、鈴木昇一<sup>1</sup>、片田和広<sup>2</sup><sup>1</sup> 藤田保健衛生大学 医療科学部 放射線学科<sup>2</sup> 藤田保健衛生大学 医学部 放射線科

(受付：平成 23 年 3 月 16 日)

(受理：平成 23 年 3 月 28 日)

## 要 旨

蛍光ガラス線量計は、種々の利点により高い測定精度を実現している。本システムを放射線管理測定に利用するために、いくつかの基礎的検討を行った。結果より、低線量を高精度で測定したい場合には、素子の洗浄、アニーリングの必要性が示唆された。照射後、プレヒートを行った場合、経過時間に関わらず照射線量に相当する読み値を示した。また、照射線量と読み値は良好な相関関係を示し、変動係数は線量が増すにつれて減少し、1mGy 以上の線量では全て 3% 以下となった。方向依存性では素子正面 (0 度) で最大感度を示し、左右 45 度まで緩やかに減少した。高磁場でのガラス線量計の使用は、測定値に影響しなかった。

**キーワード：**蛍光ガラス線量計、アニーリング、プレヒート、方向依存性

## 1. はじめに

銀活性化リン酸塩ガラス<sup>1,2)</sup>を使用した蛍光ガラス線量計<sup>3-8)</sup>は、読み取り操作(紫外線照射)により蛍光中心が消滅しない、他の固体線量計と比べて素子間のばらつきが少ない、フェーディングがほとんどない、パルス窒素ガスレーザーを採用した紫外線励起法の開発により高い測定精度を実現している、などの理由により、近年、環境放射線量測定や個人被ばく線量測定に利用されるようになってきた<sup>9-11)</sup>。当施設においてもこれらの有用性に着目し、蛍光ガラス線量計システムを導入した。本システムを放射線管理測定に利用するにあたり、あらかじめ蛍光ガラス線量計の特性を認識し、正しい取り扱いができるよう基礎的事項について検討したので報告する。

## 2. 使用機器

検討対象は、旭テクノグラス社製蛍光ガラス線量計小型素子システム Dose Ace を用いた。蛍光ガラス素子は  $\phi 1.5 \times 12$  mm (ID 付き) で、GD-352M 型 (感度補償フィルタ付) 40 本と

GD-302 型 (感度補償フィルタなし) 60 本を使用した。蛍光ガラス線量計リーダは FGD-1000 を使用した。素子のアニーリングには林電工製 NEW-1C 型電気炉を使用し、アニーリング温度は 400℃、アニーリング時間は 1 時間とした。また照射後の素子に対して、蛍光中心を短時間で成熟させ、安定化させるため、ヤマト科学製 DK300T 型定温恒温器を用い、70℃で 30 分間のプレヒートを実施した。

システムの校正は <sup>137</sup>Cs 線源で 6 mGy を標準照射した蛍光ガラス線量計素子により実施し、使用した素子の個々の感度校正は、化成オプトニクス製 TLD 校正用 <sup>226</sup>Ra 線源 RA 型 (3.3 MBq, 0.971 mGy/h) により実施した。また、X 線の均一照射には島津製作所製 UD150L-30 型 X 線発生装置 (インバータ方式) を使用した。

## 3. 方法

検討は次の 6 項目について実施した。

## 3.1 素子洗浄の必要性

蛍光ガラス線量計素子は、使用回数の増加に伴いガラス表面に汚れが付着する。そのため、

アニーリング後のプレドーズが使用回数の増加により大きくなることが予想される。そこで、あらかじめ 2M 塩酸およびアルコールで洗浄した蛍光ガラス線量計素子 (GD-302M 型素子) 40 本を用意し、0 ~ 12 回のアニーリングでプレドーズがどのように変化するかを測定した。また、12 回目のプレドーズを読み取った後、この素子を超音波洗浄し、再度線量を読み取り、洗浄前の値と比較した。

### 3.2 アニーリングの必要性

アニーリング後に洗浄した GD-302M 型素子 60 本を用意し、その各々 20 本にそれぞれ 1.5、12、60 mGy の X 線を照射し、照射前後の読み値の差から線量と線量の変動係数を求めた。この操作を 20 回繰り返し、繰り返し回数と変動係数の関係を調べ、アニーリングの必要性について検討した。

### 3.3 プレヒートの必要性

アニーリング後に洗浄した GD-302M 型素子 40 本を用意し、これらに X 線 31 mGy を均等照射した。このうち 20 本については室温 (23 ~ 25℃) で保管し、経時的な多数回の線量読み取りにより蛍光ガラス線量計のビルドアップ過程を記録した。残りの 20 本については 70℃ で 30 分間のプレヒートを実施し、両者の比較からプレヒートの必要性について検討した。

### 3.4 照射線量と読み値の関係および読み値バラツキの照射線量依存性

アニーリング後に洗浄した 16 本の GD-302M 型素子を用意し、0.01 ~ 100 mGy の線量範囲で

X 線を照射し、照射線量と線量読み値の関係を求めた。さらに、線量読み値と変動係数との関係を求めた。

### 3.5 素子感度の方向依存性

アニーリング後に洗浄した GD-302M 型素子および GD-352M 型素子を各々 4 本用意し、X 線管焦点から 80 cm の位置に配置した (Fig.1)。正面 (0 度) に対し、左右 90 度まで 15 度毎に同一線量を照射し、正面照射で得られた線量を 1 とする相対値で感度の方向依存性を測定した。照射条件は、管電圧 40、80、120 kV (管電流時間積は 32 mAs) の 3 種類とした。

### 3.6 磁場の影響

ガラス線量計は、MRI 装置周辺や核融合研究施設など高磁場に隣接した区域で利用される可能性がある。そこで、GD - 302 M 型素子 60 本を用意し、事前に 20 本毎の 3 グループ (A, B, C) に分けた。これらの全素子に X 線 1600 mGy を均等に照射し、照射後直ちに超電導 MRI 室 (1.5 テスラ Philips 社製) の磁束密度の異なる 3 ヶ所に設置した。移動先の磁束密度はそれぞれ A: 685 m T, B: 205 m T, C: <0.1 m T である。24 時間後に 3 グループの線量読み値を比較して、磁場の影響の有無を判定した。

## 4. 結果および考察

### 4.1 素子洗浄の必要性

Fig.2 にアニーリングによるプレドーズの変化を示す。洗浄直後のプレドーズは、 $19 \pm 1.56 \mu \text{Gy}$  であった。その後、アニーリングを繰り返

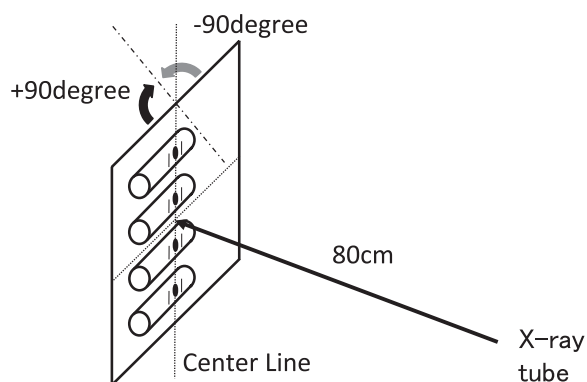


Fig.1 Geometrical set-up for direction dependency of element sensitivity

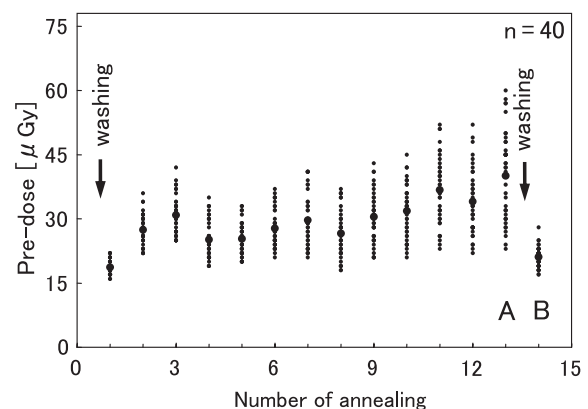


Fig.2 Change of pre-dose by annealing and the effect of washing

していくとプレドーズは徐々に上昇し、アニーリング回数 8 回目で初期値の 1.6 倍を超えた。12 回目では約 2 倍の  $40 \pm 10.30 \mu\text{Gy}$  (図中 A) に達したが、超音波洗浄により  $21 \pm 2.39 \mu\text{Gy}$  (図中 B) に減少し、ほぼ初期値に戻った。プレドーズ上昇の原因としては、アニーリング時に電気炉の内壁成分が蛍光ガラス線量計表面に蒸着したこと、汚れ成分がアニーリングにより表面に焼きついたことなどが考えられる。しかし、線量としては僅か数十  $\mu\text{Gy}$  の変化なので、ほとんどの線量計測では問題にならないレベル (バラツキの範囲内) と考えられる。極低線量を測定評価したい場合には、あらかじめ洗浄することが望ましい。電気炉内壁成分による汚れの場合には塩酸による洗浄が、油分による汚れの場合アルコールによる洗浄が有効である。しかし、今回実施した簡便な超音波洗浄においても、プレドーズの改善に十分な効果が認められた。

4.2 アニーリングの必要性

Fig.3 に蛍光ガラス線量計素子を同一線量で照射し、アニーリングを行わず、20 回まで使用した時の照射回数と線量読み値の変動係数の関係を示した。3 種類の照射線量 (1.5、12、60 mGy/回) において、変動係数はほぼ類似した変化を示し、照射回数の増加に伴い増大した。いずれの場合も、概ね 5 回の照射回数で変動係数は 5 % ラインを超えた。したがって、同一線量の繰り返し測定であれば、5 回程度の利用毎にアニーリングを実施することが望ましいと考えられる。さらに、低線量を高精度に測定したい場合

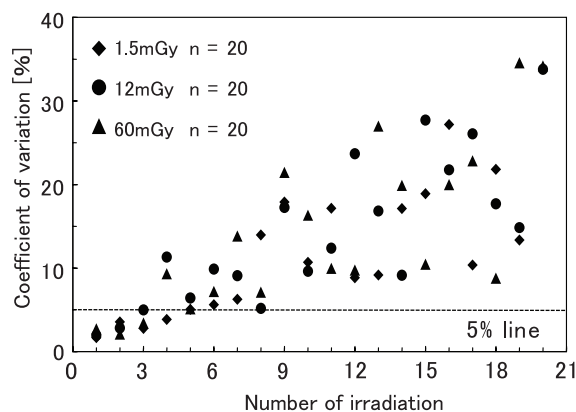


Fig.3 Coefficient of variation of accumulation irradiation and a dosimetry value

には、毎回のアニーリングと洗浄が必要と示唆される。

4.3 プレヒートの必要性

Fig.4 に室温 (23 ~ 25°C) で管理した蛍光ガラス線量計素子と、プレヒート (70°C, 30 分間) を行ったガラス線量計素子における照射後の線量読み値の時間変化 (ビルドアップ特性) を示した。プレヒートを行うことにより短時間で蛍光中心を成熟させることができ、プレヒート後は近似式 (1) が示すように経過時間に関わらず照射線量に相当する約 31 mGy を示した。

$$D = -0.0001t + 30.596 \dots (1)$$

室温 (23 ~ 25°C) で保管した素子の線量読み値は、近似式 (2) で示された。

$$D = 30.9 \{0.614 \{1 - \exp(-t/12)\} + 0.276 \{1 - \exp(-t/105)\} + 0.11 \{1 - \exp(-t/3600)\}\} \dots (2)$$

線量読み値は、照射直後から 3 時間後にかけては急激に、その後 6 時間を越えた辺りから緩やかに増加し、24 時間を経過した辺りから読み値の増加は僅かとなった。また、50 時間を経過してもプレヒートした素子の読み値には至らなかった。室温で保管した素子の読み値は、時定数 12 分、105 分、3600 分 (2.5 日) の 3 成分からなる近似式 (2) で表現でき、このとき近似式と測定値の誤差は最大で 2.9 % であった。各成分の比率はそれぞれ時定数 12 分が 61.4 %、105 分が 27.6 %、3600 分が 11 % であった。時定数 12 分の成分は、照射によりガラス線量計内部で発生した電子 (固体中では動きが速い)

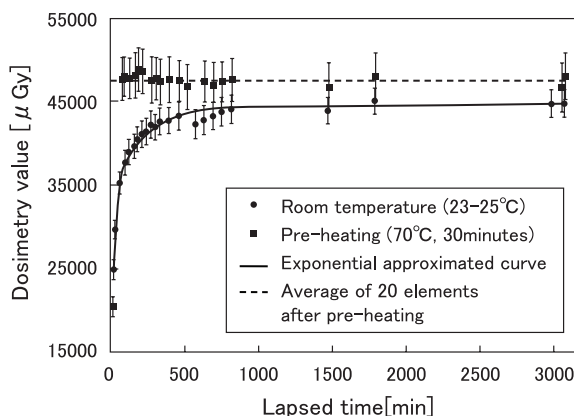


Fig.4 Characteristics of build-up

が  $Ag^+$  にトラップされる過程 ( $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag^0$ ) と考えられる。3600 分の成分は固体中では動きの遅い正孔が  $Ag^+$  にトラップされる過程 ( $Ag^+ + hPO_4 \rightarrow Ag^{++}$ ) と考えられる<sup>8)</sup>。

ガラスの蛍光量が  $Ag^0$  と  $Ag^{++}$  量に依存することから、室温で管理した場合、時定数 3600 分 (2.5 日) の成分が成熟するのを待つ必要があり、それには時定数の 4 倍 (10 日) 以上を要する。したがって、この時間を 30 分に短縮できるプレヒートは、短時間で蛍光中心を成熟させる手段として極めて有用であり、安定した測定結果を得るためにはプレヒートを実施すべきである。

#### 4.4 照射線量と読み値の関係および読み値バラツキの照射線量依存性

照射線量と読み値の関係を Fig.5 に、照射線量と変動係数の関係を Fig.6 に示した。線量と読み値の関係は、極めて良好な比例関係を示し、回帰式  $y=1.006x$ 、決定係数  $R^2=0.9999$  であった。

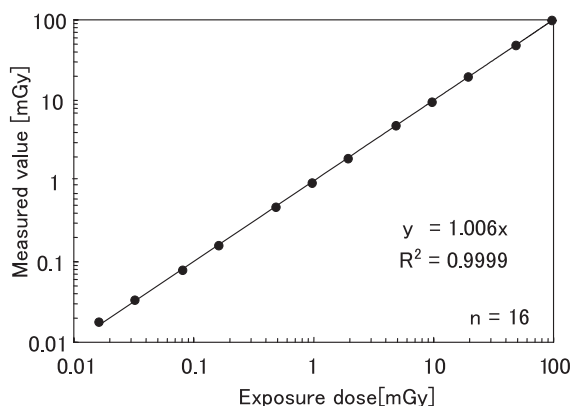


Fig.5 Relationship between exposure dose and measured value

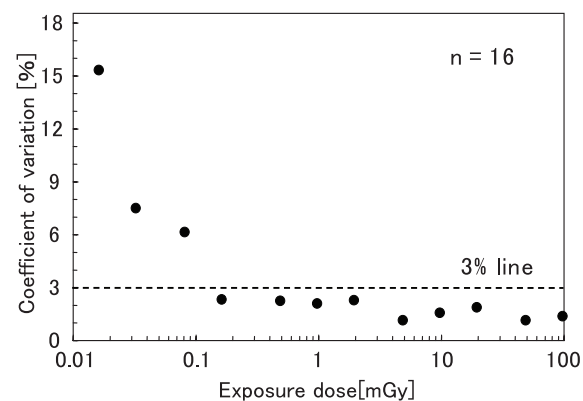


Fig.6 Coefficient of variation of exposure dose and measured value

変動係数は 0.02 mGy の照射で 15%、0.03 mGy では 7.5%、0.1 mGy では 6% となり、線量が増すにつれて急激に減少した。1 mGy 以上では、すべて 3% 以下となった。したがって、16 個前後の素子数で変動係数 3% 以下の測定を希望する場合には 1 mGy 以上の照射線量が必要と考えられる。

#### 4.5 素子感度の方向依存性

Fig.7 A と Fig.7 B にそれぞれ GD-302M 型素子と GD-352M 型素子感度の方向依存性を示した。GD-302M 型素子では、素子正面 (0 度) の感度が最大で、左右 45 度までは緩やかに減少した。その後減少は続き、左右 90 度では正面の約 1/2 まで減少した。左右比較では ID 側が若干低感度となったが、これは ID 部分のガラ

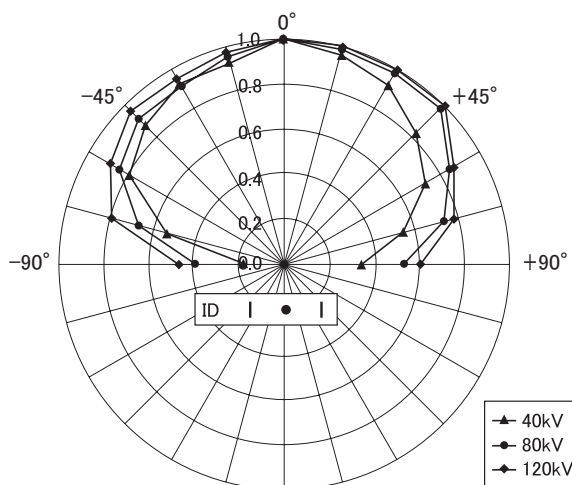


Fig.7 A Directional dependency (type GD-302: filter(-))

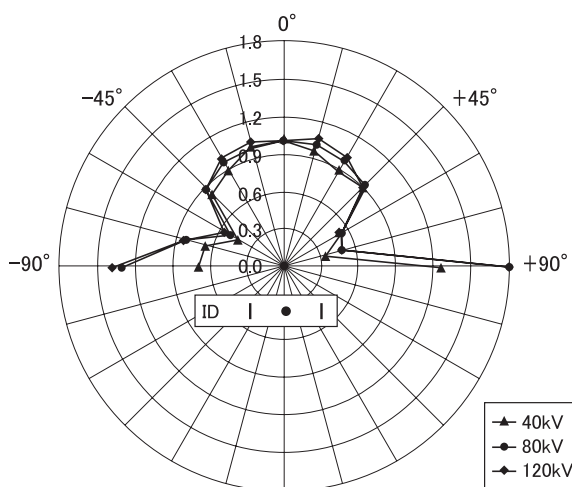


Fig.7 B Directional dependency (type GD-352: filter(+))

スが X 線の吸収体となっているためと考えられた。GD-352M 型では、素子正面から左右 45 度までは緩やかに減少した。その後、左右 75 度にかけて急激に減少し、75 度から 90 度にかけて急激に増大した。感度が急激に低下している角度では、いずれも感度補償フィルタを介してガラス線量計素子に放射線が入射しているため、フィルタの素材であるスズによる X 線吸収の角度依存性が大きく反映された結果と考えられる。また、左右 90 度方向にはスズフィルタが無い場合、高い相対感度となった。フィルタ付きの場合には放射線の入射方向によって光子がフィルタへ斜入し、急激な感度変化を生じる。そのため、より正確な線量を得るためには、測定時に正面 (0 度) 方向から放射線を入射することが望ましい。

#### 4.6 高磁場の影響の有無

X 線 1600 mGy を均一に照射した後、超電導 MRI 室内の磁束密度の異なる 3 ヶ所で保管した素子グループ (A, B, C) の線量読み値は、それぞれ A が  $16114 \pm 469$  mGy、B が  $16095 \pm 482$  mGy、C が  $16137 \pm 489$  mGy であった。各グループ間に有意差は無く、磁場の影響は認められなかった。

### 5. 結語

本研究ではガラス線量計の基本特性について検討し、照射線量と読み値、読み値のバラツキなどにおいて、ガラス線量計が優れた性能を持つことが明らかになった。また同時に、プレドーズ、ビルドアップ特性など、使用時に役立つ多くの情報を得たことで取り扱い上の注意事項や、精度の高い測定には何に注意すべきかが明確になった。これらの結果がガラス線量計を使用する上で、多くの計測に役立てば幸いである。

### 6. 謝辞

本論文の作成にあたり、ご懇篤なご指導とご高配を賜りました藤田保健衛生大学医療科学部放射線学科、故江尻和隆准教授に深く感謝致します。

### 文 献

- 1) James H.Schulman, Robert J.Ginther, et.al. : Dosimetry of X-Rays and Gamma-Rays by Radiophotoluminescence. *Journal of Applied Physics* **22**: 1479-1487 1951
- 2) James H.Schulman, William Shurcliff, et.al. : Radiophotoluminescence Dosimetry System of the U.S. Navy. *Nucleonics* **11**: 52-56 1953
- 3) 横田良助、中島三郎、他：新しく開発した蛍光ガラス線量計による低線量測定とエネルギー依存性. *Radioisotopes* **10**: 387-394 1961
- 4) Ryosuke Yokota and Saburo Nakajima : Improved Fluoroglass Dosimeter as Personnel Monitoring Dosimeter and Microdosimeter. *Health Physics Pergamon Press* **11**: 241-253 1965
- 5) Ryosuke Yokota and Saburo Nakajima : Recent Improvements in Radiophoto - luminescent Dosimetry. *Proceedings of International Conference on Luminescence Dosimetry* : 284-299 1965
- 6) 寿藤紀道：ガラスバッジの測定原理と個人線量算出法. *FB News* **286**: 3-6 2000
- 7) 都丸禎三：“DoseAce”、新小型ガラス素子の特性. *FB News* **288**: 1-4 2000
- 8) 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 pp67-161 1985
- 9) 野村貴美、池上 徹、他：個人被ばく線量計の最近の展開. *RADIOISOTOPES* **51**: 84-95 2002
- 10) 小宮 勲、白坂 崇、他：蛍光ガラス線量計による患者被ばく線量測定－特性評価と腹部 IVR 時の患者皮膚線量測定－. *日本放射線技術学会雑誌* **60**: 270-277 2004
- 11) 金 正宜、大湯和彦、他：ガラス線量計の基礎的性能－診断領域の適応－. *FB News* **337**: 2-9 2005

連絡先：白川誠士  
藤田保健衛生大学 医療科学部 放射線学科  
愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98  
Tel : 0562-93-9412  
Email : sshira@fujita-hu.ac.jp

## A study of fundamental characteristic about the fluorescent glass dosimeter

Seiji SHIRAKAWA<sup>1</sup>, Kazuyuki MINAMI<sup>1</sup>, Sumi YOKOYAMA<sup>1</sup>,  
Yasuki ASADA<sup>1</sup>, Shoichi SUZUKI<sup>1</sup>, Kazuhiro KATADA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Radiological Technology, Fujita Health University School of Health Sciences

<sup>2</sup>Department of Radiology, Fujita Health University School of Medicine

### Summary

The radiophotoluminescence glass dosimeter has realized high measurement accuracy owing to its various advantages. Several fundamental examinations were performed in order to use this system for radiation control measurement. When annealing was repeated, pre-dose increased gradually. Therefore, the elements needed to be washed after about every ten times of annealing. When measurement was made without performing annealing, the coefficient of variation increased as a function of the irradiation count. When stored at room temperature, measured value increased sharply for 3 hours after the start of irradiation. Then, it increased moderately until after approximately 24 hours from the start. On the other hand, when preheating was performed (for 30 minutes, 70 °C), measured value was about 31 mGy, which is equivalent to an exposure dose, irrespective of elapsed time. An exposure dose and measured value showed a good correlation. The coefficient of variation decreased as the exposure dose increased, and in the range of 1 mGy or more, it decreased to 3% or less. As for direction dependency, the sensitivity was highest at the front of the element (0 degree), and decreased gradually toward 45 degrees right and left. Use of the glass dosimeter in high magnetic field did not affect the measured values.

(Med Biol **155**: 294-299 2011)

**Key words:** radiophotoluminescence glass dosimeter, annealing, preheat, direction dependency

Correspondence address : Seiji SHIRAKAWA

Faculty of Radiological Technology, Fujita Health University School of Health Sciences

1-98, Dengakugakubo, Kutsukake-cho, Toyoake, 470-1192, Japan

Tel : 0562-93-9412

Email : sshira@fujita-hu.ac.jp