

卒業論文

題目：ガラス線量計の繰り返しアニーリングによる計測精度への影響

大阪大学医学部保健学科放射線技術科学専攻
(指導：医用物理工学講座 松本光弘 准教授)

05C11011 佐藤 光優

(平成 26 年 12 月 11 日 提出)

要旨

【背景・目的】

蛍光ガラス線量計はラジオフォトルミネセンス現象を利用した固体線量計である。特徴としてアニーリング(加熱処理)によって何度でも繰り返し使用が可能であるが、アニーリングを繰り返すことで計測精度にばらつきが出てくるのが危惧される。そこで今回アニーリングによる計測精度への影響を検証した。

【方法】

1. 低線量用ガラス線量計(GD-352M)の素子に欠損がないことを確認し汚れはエタノールで拭き取った。
2. ガラスアニール用電気炉を用いて 400℃で 20 分アニール処理を行った。
3. プレドーズの測定を行った。
4. X線照射装置を用いて 5mGy、10mGy を照射した。1 つの照射条件下で 10 本の素子を照射した。
5. ガラスプレヒート用恒温器を用いて 70℃の状態を 30 分保持し、室温になるまで放置した。
6. 蛍光ガラス線量計 小型素子システム Dose Ace を用いて積算値の読み取りを行った。1 本につき 3 回繰り返し測定を行い、その平均値を 1 本の素子の測定値とした。
7. 2～6 を 7 回繰り返し行い、測定精度と相対標準偏差及びプレドーズの変化を検討した。

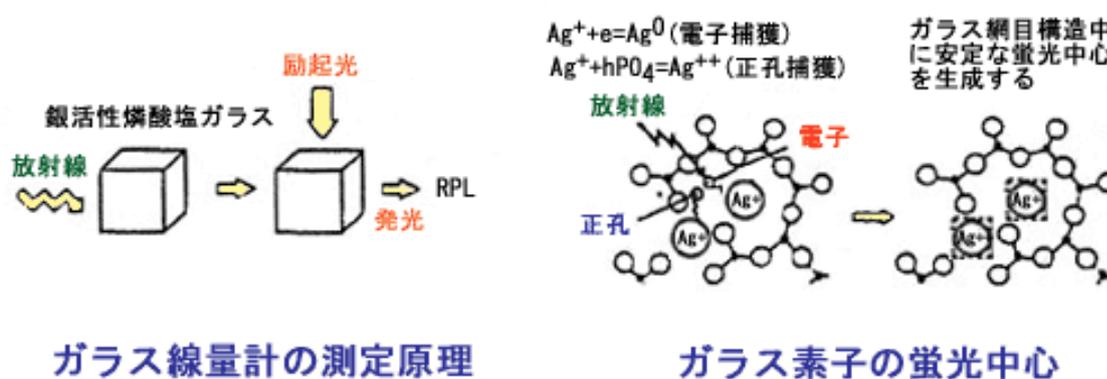
【結果】

測定精度及び相対標準偏差に関しては、アニーリング回数との整合性は見られなかった。プレドーズに関しては過去に使用頻度の大きい素子に若干の線量増加がみられた。しかし新品素子では7回のアニーリングでも有意な差が見られないので、使用した素子の購入年月日(6年前)が古かったことによる経年変化の影響であると考えられる。

【背景】

近年、被曝線量の評価が改めて重要視されており簡易に被曝線量を蓄積できる蛍光ガラス線量計はガラスバッジとして個人被曝線量の計測に広く用いられる。

蛍光ガラス線量計は放射線が照射された銀活性リン酸塩ガラスが、紫外線励起によってオレンジ色の蛍光を発するラジオフォトルミネセンス (Radio photo luminescence : RPL) 現象を利用した固体線量計である。電離放射線が銀活性リン酸塩ガラスに照射されると、電子及び正孔(ホール)が叩き出され、電子はガラス構造中の Ag^+ に捕獲され、 Ag^0 となる。一方正孔は一旦 PO_4 四面体に捉えられるが、時間の経過とともに Ag^+ へ移行し、より安定な Ag^{++} を形成する。これらの Ag^0 及び Ag^{++} が共にガラス中で RPL 中心(蛍光中心)となる。(Fig. 1)



ガラス線量計の測定原理

ガラス素子の蛍光中心

ガラス線量計の測定原理

Fig. 1 ガラス線量計の測定原理¹⁾

この RPL 中心は非常に安定しているため、蛍光ガラス線量計は紫外線や読み取り操作などによる消滅がない。また安定状態にある RPL 中心はアニーリング(加熱処理)で消失するため、何度でも繰り返し使用が可能である。

放射線照射後、RPL の蛍光量が時間の経過と共に増加して安定化することをビルドアップ現象という。読み取り前にプレヒート処理を行うことによって、ビルドアップが早く完了する。また、プレヒート処理を行うことによって照射時や保存時の大気温度等環境条件によって生じるわずかな読み取り値の差も低減することができる。

【目的】

ガラス線量計はアニーリングによって繰り返し使用が可能であるが、照射とアニーリングを繰り返すことで計測精度にばらつきが出てくることが危惧される。そこで今回アニーリングによる計測精度への影響を検証した。

【使用器具・使用装置】

- ・ X線照射装置 TOSHIBA KXO-50G
- ・ 蛍光ガラス線量計小型素子システム DoseAce : AGC テクノグラス株式会社製³⁾
 - ガラス線量計リーダー FDG-1000 (Fig. 2)²⁾⁴⁾
 - ガラス線量計素子 GD-352M (Fig. 3)²⁾
 - 新品素子 20 本 (平成 26 年 7 月購入)
 - アニーリング歴 3 回素子 20 本 (平成 20 年 2 月購入)
 - アニーリング歴 4 回素子 20 本 (平成 20 年 9 月購入)
 - アニーリング歴 5 回素子 20 本 (平成 20 年 9 月購入)
 - 読み取りマガジン FGD-M151 (Fig. 4)²⁾
- ・ ガラスアニール用電気炉 NHK-210 (Fig. 5)
- ・ ガラスアニール用マガジン FGD-C101 (Fig. 6)²⁾
- ・ ガラスプレヒート用恒温器 DKN-302 (Fig. 7)²⁾
- ・ ガラスプレヒートトレイ FGD-C102 (Fig. 8)²⁾
- ・ 非接触型 X 線アナライザ UnforsThinX RAD : UnforsRaySafe AB 社製



Fig. 2 ガラス線量計リーダー FDG-1000

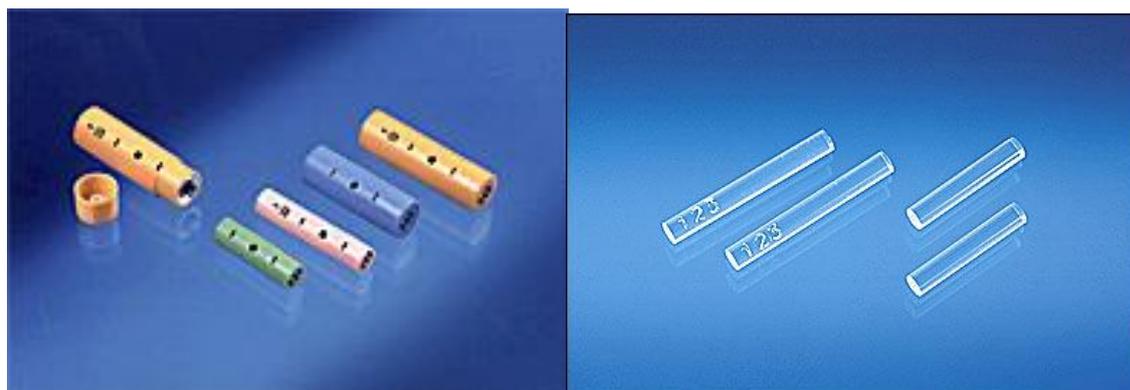


Fig. 3 ガラス線量計素子 GD-352M(Sn フィルタ・ID あり)



Fig. 4 読み取りマガジン FGD-M151



Fig. 5 ガラスアニール用電気炉 NHK-210



Fig. 6 ガラスアニール用マガジン FGD-C101



Fig. 7 ガラスプレヒート用恒温器 DKN-302



Fig. 8 ガラスプレヒートトレイ FGD-C102

【方法】

1. ガラス素子に欠損・汚れがある場合は励起光が拡散され正確な読み取りができないので、低線量用ガラス線量計 (GD-352M) の素子に欠損がないことを確認し汚れはエタノールで拭き取った。
2. ガラス素子をガラスアニール用マガジン (FGD-C101) に並べ、ガラスアニール用電気炉 (NHK-210) にセットし、400°C で 20 分間アニール処理を行った。
3. ガラス素子を読み取りマガジン (FGD-M151) に並べ、蛍光ガラス線量計小型素子システム Dose Ace にセットし、プレドーズの測定を行った。
4. X線照射装置 (TOSHIBA KX0-50G) を用いてガラス素子 80 本 (新品素子・アニーリング歴 3 回素子・アニーリング 4 回素子・アニーリング歴 5 回素子それぞれ 20 本ずつ) に 5mGy、10mGy を照射した。1 つの照射条件下で 10 本の素子を照射し、出力線量は UnforsThinX RAD で確認しながら行った。照射野を 20×20cm、焦点検出器距離を 100cm に設定し Fig. 9 のようにガラス素子を配置した。



Fig. 9 ガラス素子の照射配置図

5. ガラス素子をガラスプレヒートトレイ (FGD-C102) に並べ、ガラスプレヒート用恒温器 (DKN-302) にセットし、70℃の状態を 30 分間保持しプレヒート処理をした。
6. 蛍光ガラス線量計 小型素子システム DoseAce を用いて積算値の読み取りを行った。1 本につき 3 回繰り返し測定を行い、その平均値を用いた。
7. 2～6 を日を替えて 7 回繰り返し行った。
8. 測定精度と相対標準偏差及びプレドーズの変化を検討した。

【結果】

1、素子の使用頻度ごとのアニーリング回数による測定精度の変化を Fig. 10、Fig. 11 に示す。多重比較検定 Tukey-kramer 法を用いて求めた 4 群の検定結果を Fig. 12、Fig. 13 に示す。

10mGy 照射条件 (Fig. 12) ではアニール歴 3 回素子とアニール歴 4 回素子、アニール歴 3 回素子とアニール歴 5 回素子の間に、5mGy 照射条件 (Fig. 13) ではアニール歴 3 回素子とアニール歴 5 回素子の間に有意差が見られた。

10mGy 照射条件と 5mGy 照射条件で違いは見られたものの、アニール歴やアニーリング回数との整合性は見られなかった。

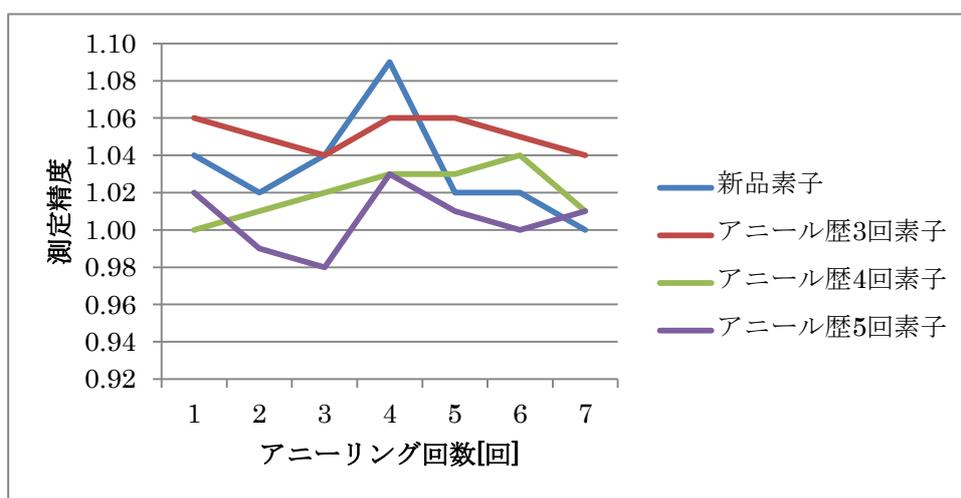


Fig. 10 アニーリング回数による測定精度の変化(10mGy 照射)

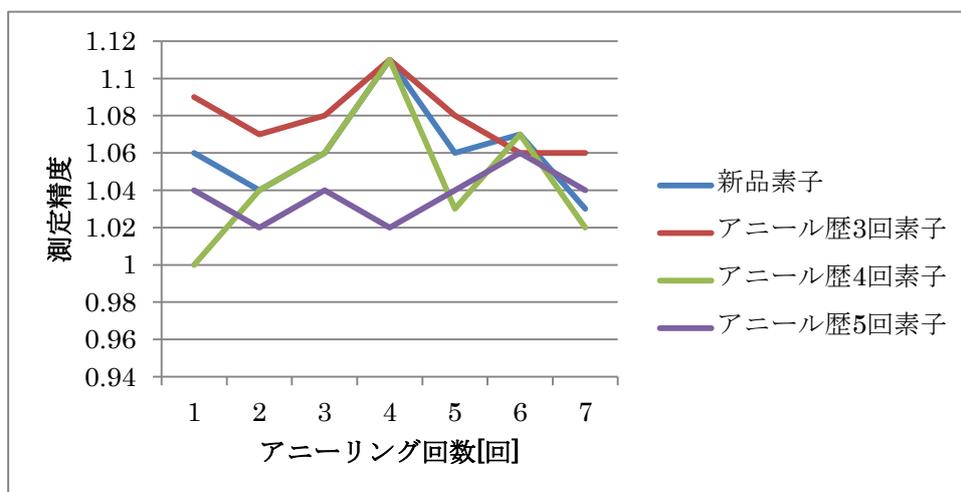


Fig. 11 アニーリング回数による測定精度の変化(5mGy 照射)

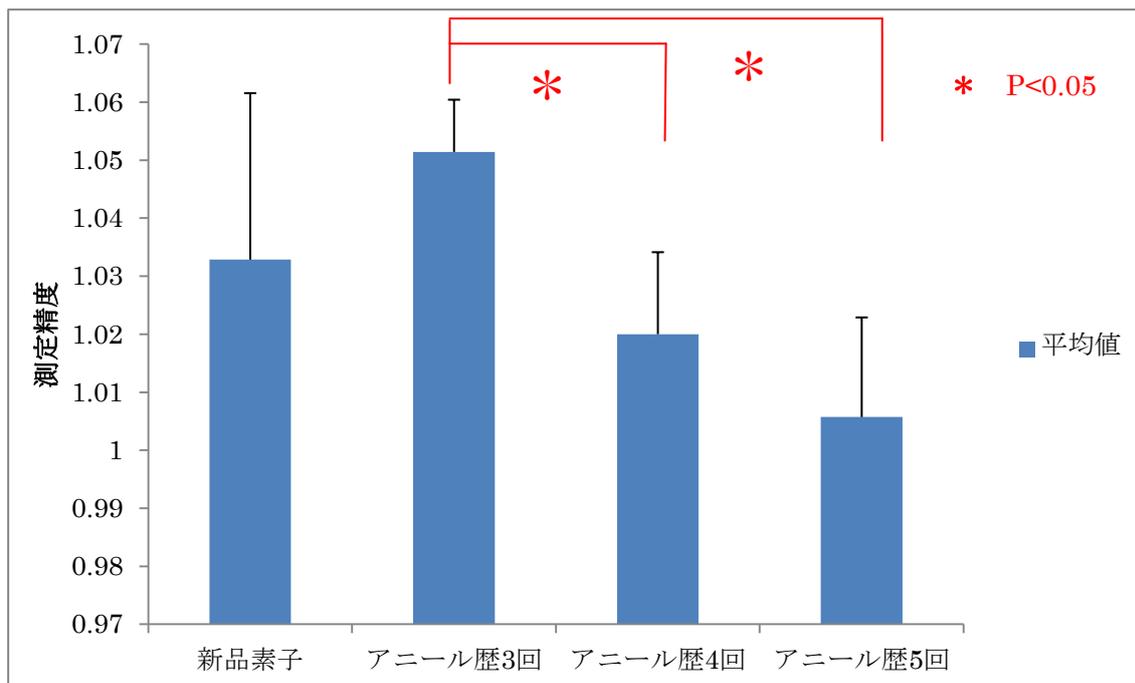


Fig. 12 素子の使用頻度別測定精度の平均値と標準偏差(10mGy 照射)

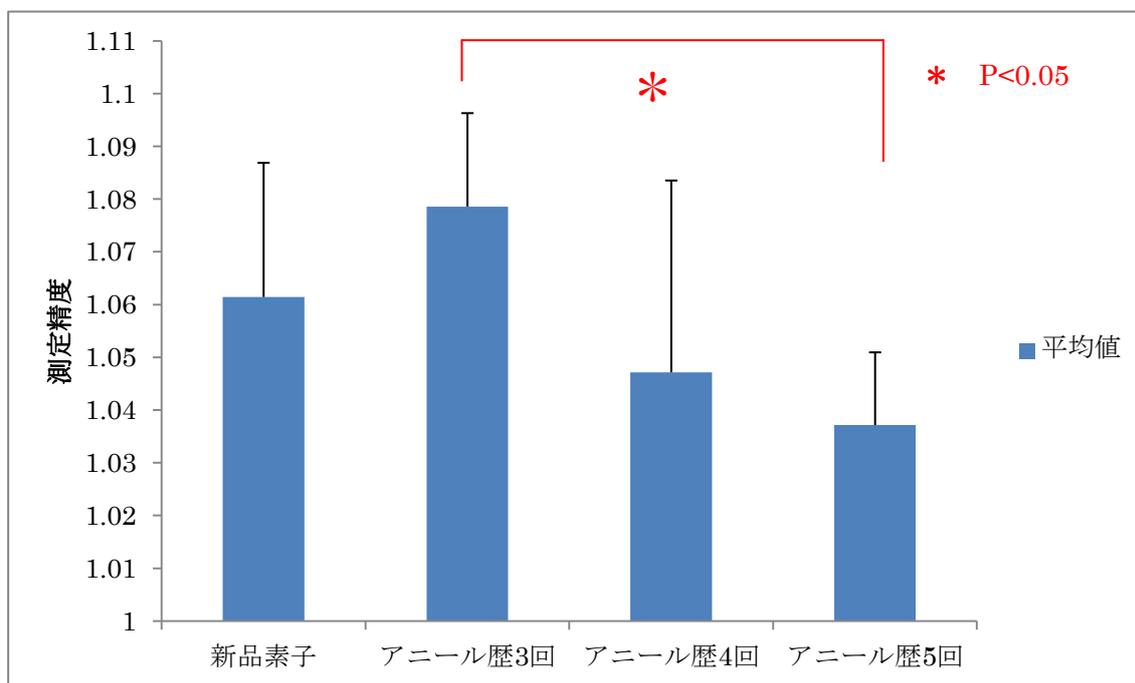


Fig. 13 素子の使用頻度別測定精度の平均値と標準偏差(5mGy 照射)

2、素子の使用頻度ごとにアニーリング回数による相対標準偏差の変化を Fig. 14、Fig. 15 に示す。多重比較検定 Tukey-kramer 法を用いて求めた 4 群の検定結果を Fig. 16、Fig. 17 に示す。

測定精度と同様に 10mGy 照射条件(Fig. 16)と 5mGy 照射条件(Fig. 17)で違いは見られたものの 4 群間に有意差は見られなかった。すなわち、全てランダムなバラツキの範囲内であり一定の傾向はない。アニール歴やアニーリング回数との整合性は見られなかった。

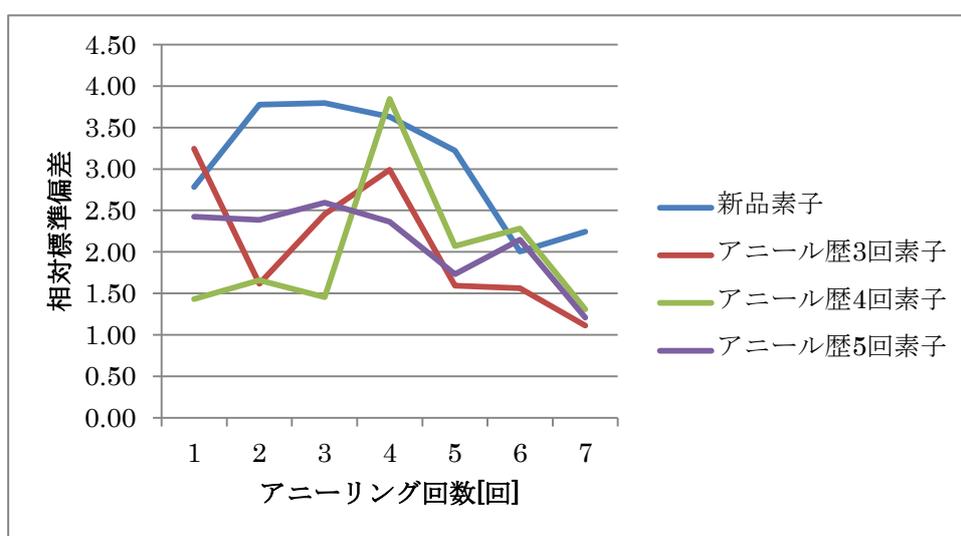


Fig. 14 アニーリング回数による相対標準偏差の変化(10mGy 照射)

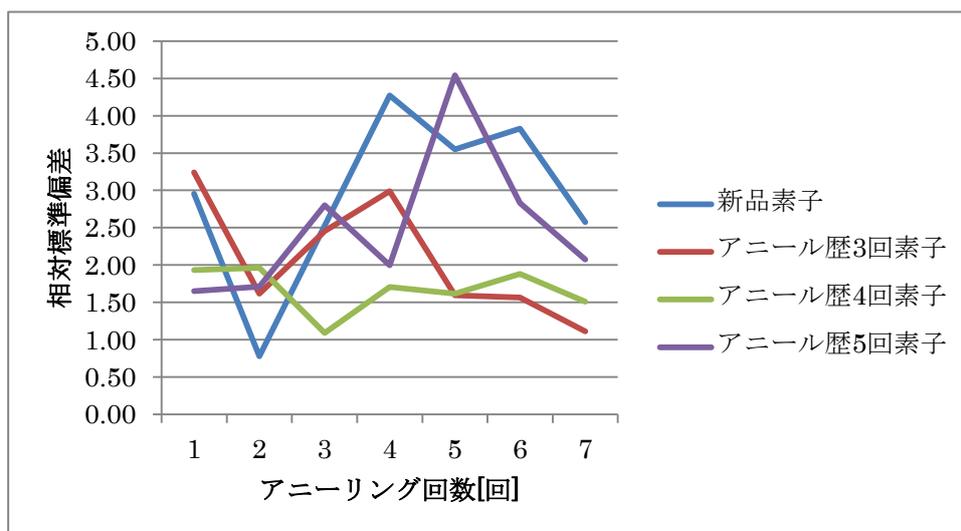


Fig. 15 アニーリング回数による相対標準偏差の変化(5mGy 照射)

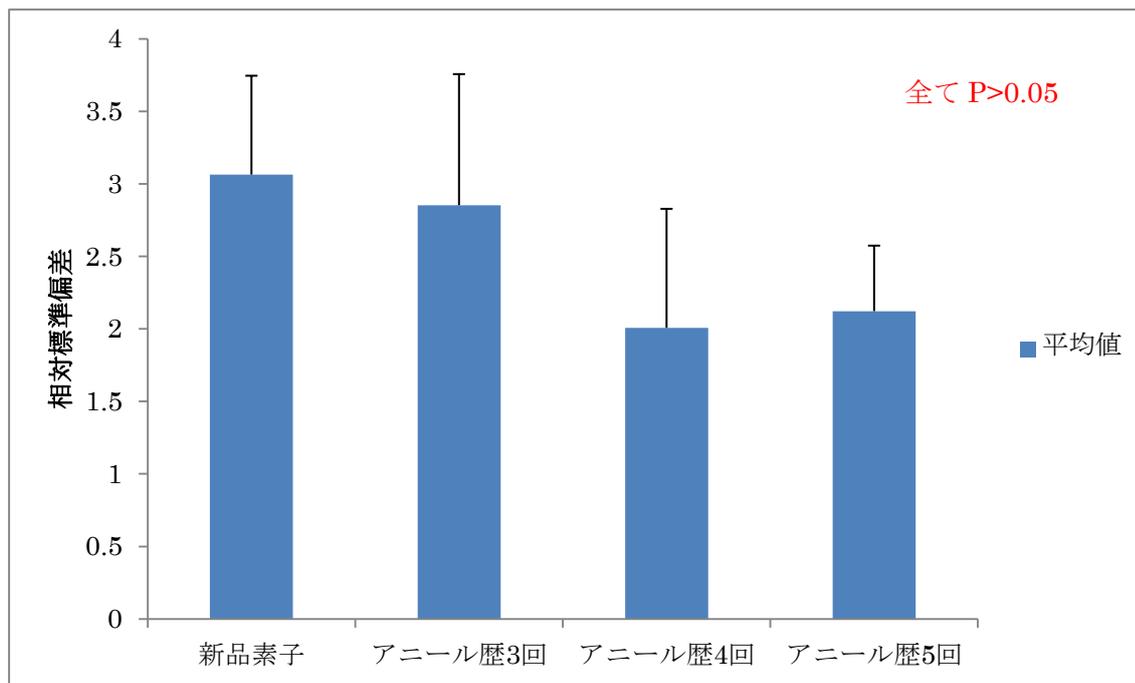


Fig. 16 素子の使用頻度別相対標準偏差の平均値と標準偏差(10mGy 照射)

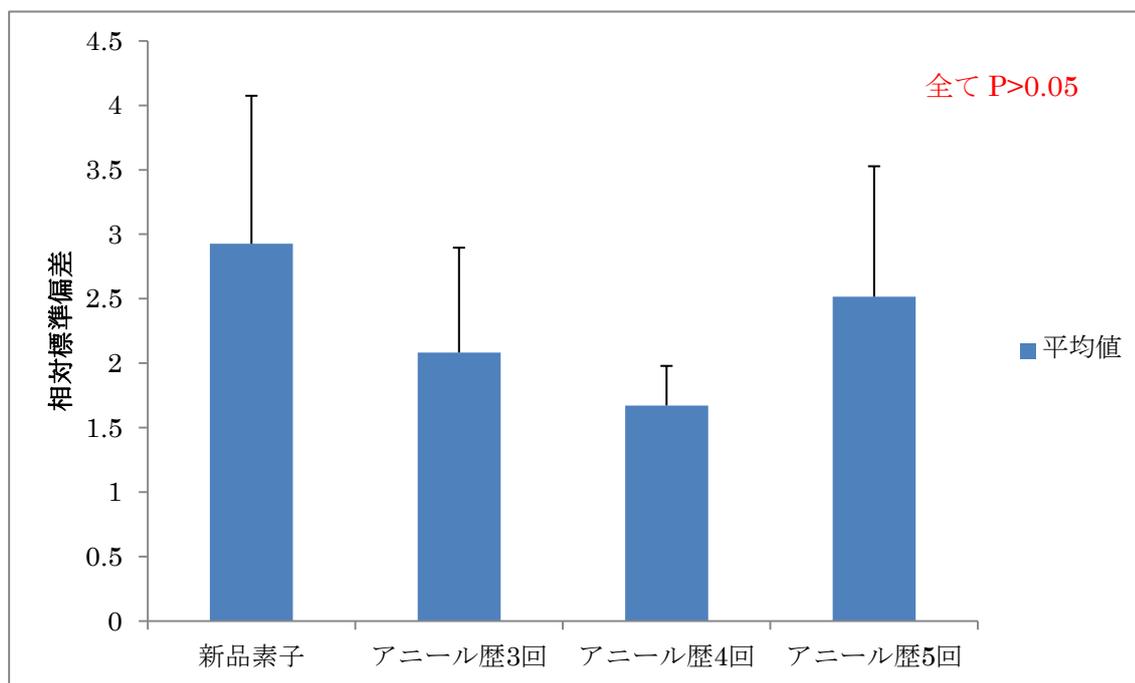


Fig. 17 素子の使用頻度別相対標準偏差の平均値と標準偏差(5mGy 照射)

3、素子の使用頻度ごとにアニーリング回数によるプレドーズの変化をFig. 18に示す。過去に使用頻度の大きい素子では若干の線量増加が見られたが、新品素子では7回のアニーリングでも有意な線量の増加は見られなかった。

多重比較検定 Tukey-kramer 法を用いて求めた4群の検定結果をFig. 19に示す。

新品素子と過去にアニール歴のある素子との間に有意差が見られた。

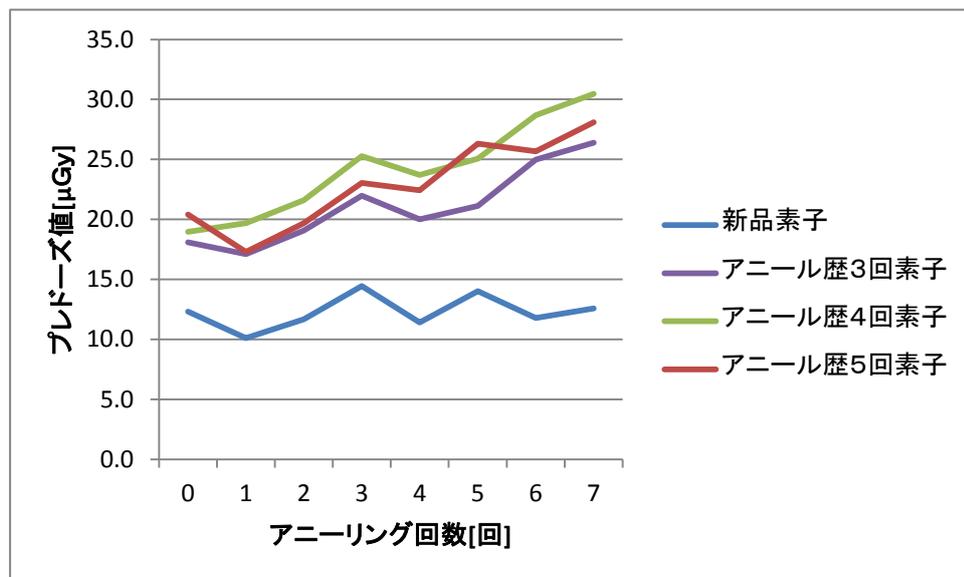


Fig. 18 アニーリング回数によるプレドーズの変化

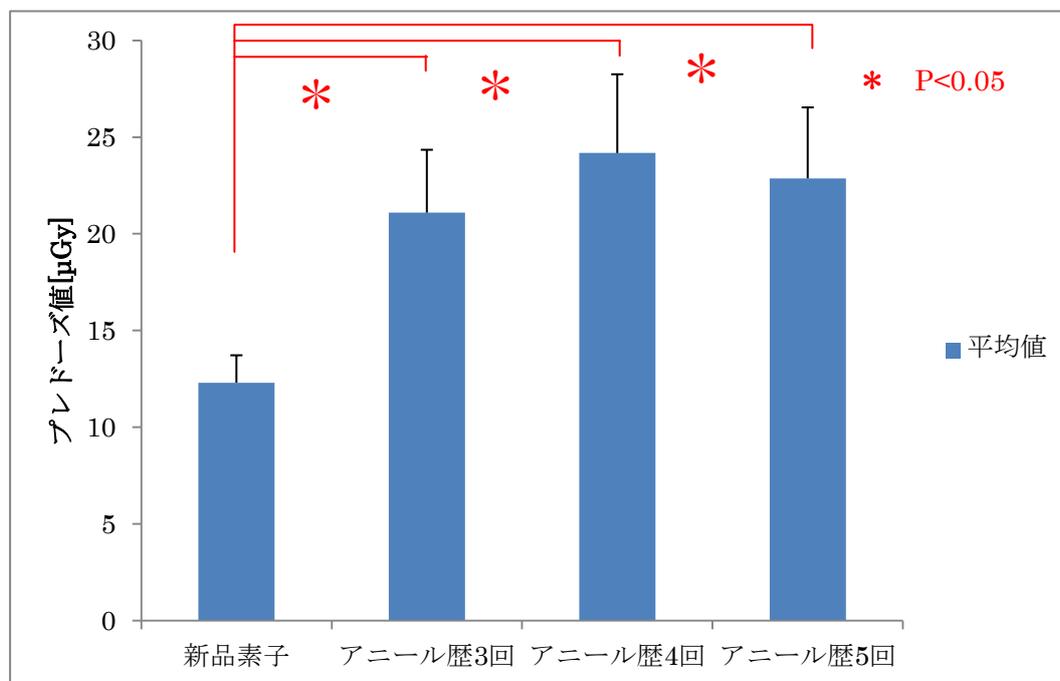


Fig. 19 素子の使用頻度別プレドーズ値の平均値と標準偏差

【考察】

計測精度に関して、アニール歴・アニーリング回数との整合性は見られなかった。よって計測精度はアニーリング回数の影響は受けないと考えられる。

相対標準偏差に関して、どの素子においても有意差は見られずアニーリング回数との整合性は見られなかった。よって相対標準偏差もアニール歴・アニーリング回数の影響は受けないと考えられる。

プレドーズに関して、アニール歴3回～5回の素子間で有意差は見られなかった。

また新品素子とアニール歴のある素子間では有意差が見られた。

よってプレドーズ値に関しては、アニール歴の有無での変化というよりは、素子の購入年月日(6年前)による経年変化の影響が大きく出たと考えている。

しかしながらメーカー規定のプレドーズ値は約10～30 μ Gy であるため、30 μ Gy を超える素子の使用は慎重にすべきと考える。

【結論】

計測精度、相対標準偏差、プレドーズともにアニーリング回数による影響はなかった。ただしプレドーズに関しては購入年月日による経年変化と考えられる線量増加が認められた。

また株式会社千代田テクノルによるプレドーズの適正範囲が約 $10\sim 30\ \mu\text{Gy}$ であることから今回の実験においては 10 回程度のアニーリングでは十分再使用が可能であると考えられる。

しかし購入時期の古い素子に関してはプレドーズ値の増加が認められたことから、使用前にプレドーズの測定を行い適正範囲内にあるかを確認する必要があると考えられる。

【参考文献】

1) 公益財団法人 医用原子力技術研究振興財団

(http://www.antm.or.jp/01_outline/01.html)

2) 千代田テクノル 蛍光ガラス線量システム

(http://zfine.sakura.ne.jp/technol2/detail_pages2/0308fgd1000s.html)

3) 蛍光ガラス線量計・小型素子システム DoseAce DoseAceXe 説明資料(株式会社千代田テクノル)

4) Dose Ace ガラス線量計リーダーFDG-1000 取扱説明書(旭テクノグラス株式会社)

【謝辞】

本研究を進めるにあたり、大阪大学大学院医学系研究科医用物理学講座松本光弘准教授から、様々なご指導を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。