

卒業論文

題目：蛍光ガラス線量計小型素子システム（Dose Ace）を用いた
定位放射線治療の線量評価及び郵送調査の有用性の検討

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

05C09033 平井 翠

（平成 25 年 1 月 16 日 提出）

要旨

【目的】

近年、定位放射線治療が広く普及するにつれ、小照射野の線量測定には、高精度かつ信頼された方法が必要である。今回我々は、蛍光ガラス線量計(GD-302M 旭ガラス社製：GD)による小照射野域における測定精度を検証するとともに、他施設への郵送線量調査に適したデバイスであるかどうかを検討した。

【方法】

- ① リニアック治療装置 Oncor 6,10 と Cyber knife II を用いて GD に 200cGy 照射し、プレヒート処理をした後、Dose Ace 1000 で計測した。
- ② 定位放射線治療を実施している 5 施設に、GD を 4 照射野に各 5 本ずつの計 20 本を郵送した。照射方法としては、校正用鞅付水ファントムを使用し、鞅部より先端に GD を挿入した PTW30010 型模擬ファントムを挿入し、200cGy 照射してもらうように依頼した。返送されてきた GD は、照射から 1 週間後に計測した。計測値の誤差から、GD の郵送調査の実用性について検討した。

【結果】

- ① Oncor 6,10 および Cyber knife II による照射では、誤差 $0.4 \pm 0.74\%$ 以内であった。
- ② GD の郵送調査における 5 施設の測定結果全 17 照射野の誤差平均値は $-0.8 \pm 1.90\%$ であり、全ての測定値は $\pm 2SD$ 以内であった。(図 1)

【結論】

GD-302M は、実長 12mm (有効長 8.5mm) であるため、照射野は 2×2 cm もしくは 2 cm ϕ まで高精度に測定が可能であった。さらに照射後すぐに測定した結果と郵送調査の結果は共に測定における不確かさの範囲内であり、GD の郵送調査は有用であると考えられる。

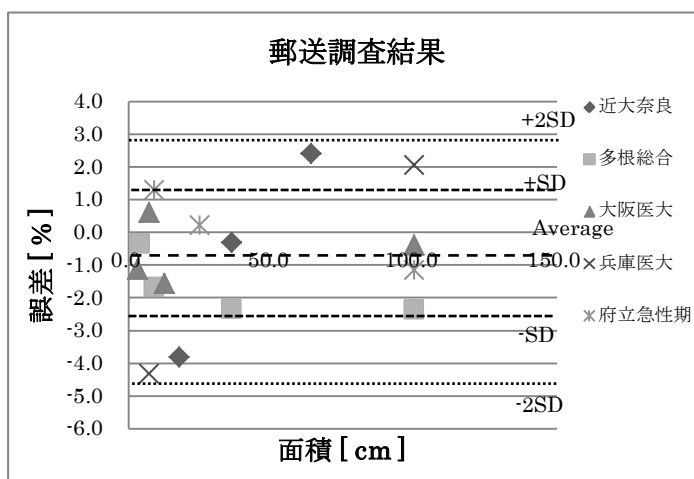


図 1. 郵送調査の結果

1. 序論

1.1 背景

小照射野での吸収線量測定においては、放射線場の擾乱や実効中心の点から、できるだけ小さい検出器の使用が望ましいとされる。線量測定において最も重要な点は、絶対線量とその相対線量分布の評価にある。線量を測定するために用いられる検出器には多種あるが、小照射野での測定においては電離箱(マイクロチェンバー)、シリコンダイオード、フィルム、TLD 素子、ダイヤモンド検出器などが大きさや測定精度の点で最も一般的である。これらはそれぞれ短所・長所を持ち、すべての点で有利な測定器はない。したがって、それぞれの特徴を有効に利用することが線量評価の点で肝要となる。小照射野の線量測定には、絶対線量の測定の関係のため電離箱による測定が中心となり、それより空間分解能の優れた検出器との組み合わせが望ましいとされている。¹⁾

照射線量の品質保証は本来それぞれの施設内において実施すべきであるが近年ではそれに加えて第三者的検証の重要性に対する認識が高まってきており、線量計を郵送して照射装置の出力確認を第三者機関が行う第三者評価プログラムが、標準照射野において世界各国で実施されている。しかしながら、小照射野における第三者評価プログラムに関しては現在実施されていない。²⁾

また、昨年度の先行研究において、医用原子力技術振興財団(以下 ANTM)の治療用出力測定事業の測定法にのっとり、RPL 現象での発光量を利用し間接的に吸収線量を測定することのできる蛍光ガラス線量計素子を用いて、リニアック X 線校正点吸収線量の精度が検証されている。①照射後のプレヒートを行わない。②⁶⁰Co での校正に対して 6MVX 線による線量校正。③固体ファントムを用いず模擬型ファントムを用いた。といった ANTM との違いを考慮した線量精度調査と郵送調査における有用性を検証している。ここでは、結果として蛍光ガラス線量計を用いた線量精度評価は有用であると示されている。また、この方法では、ANTM のようにピースを使っていない。そのため、定位照射や IMRT など様々な 3D 測定に応用できる可能性も示されている。³⁾

1.2 蛍光ガラス線量計

1.2.1 小型素子システム

蛍光ガラス線量計は、電離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現象(ラジオホトルミネセンス：RPL)

に基づく固体線量計である。蛍光量が放射線量に比例することから線量計に応用されている。⁴⁾

電離放射線が銀活性リン酸塩ガラスに照射されると、電子および正孔(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。一方で、正孔はいったん PO_4 四面体に捕えられるが、時間の経過とともに Ag^+ に移行し、より安定な Ag^{++} を形成する。(Fig.1) これらの Ag^0 及び Ag^{++} がともにガラス中で RPL 中心(蛍光中心)となる。⁴⁾

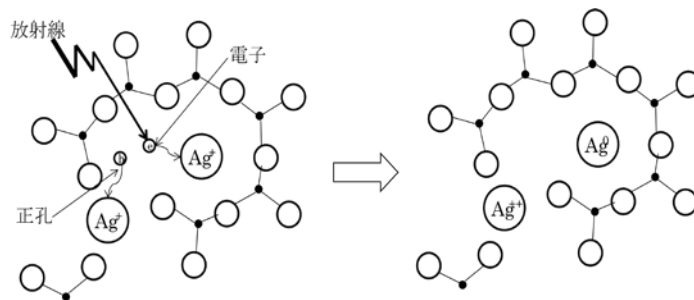


Fig. 1 RPL 中心の形成

放射線の照射によって生じた RPL 中心は、読み取り操作によって消滅することがなく、何度でも繰り返し読み取りができる真の積算型固体線量計である。³⁾ 本研究では治療用蛍光ガラス線量計線量計素子 GD-302M を用いた。測定線種は γ 線と X 線、測定線量範囲は $10 \mu\text{Gy} \sim 100\text{Gy}$ 、素子サイズは直径 1.5mm、長径 12 mm である。

ガラス線量計素子(GD-300 シリーズ)の特徴としては、

- ① 繰り返し読み取ることが可能
- ② 素子間のばらつきが小さい
- ③ フェーディングが極めて少ない
- ④ 軽量かつ超小型素子があげられる。⁴⁾⁵⁾

1.2.2 蛍光ガラス線量計の使用手順

使用前に外観検査として、素子の欠損・汚れを確認し、欠損のあるものは使用を控え、汚れのあるものは汚れをアルコールシートで取り除いた。その後、ガラス素子に蓄積した積算線量を消失させるために 400 度で 1 時間のアニール処理を行った。

その後照射を行った。放射線が照射されたガラス素子にはラジオフォトルミネセンスの蛍光量が時間の経過とともに安定化するというビルドアップ特性があ

る。この時間変化を短時間で完了させるために、70度で30分間のプレヒート処理を行う。⁵⁾本研究では他施設への郵送調査を実施したため、その際にはプレヒートは行わず、ビルドアップが完了するのを待ち、7日後に測定を行った。測定では、素子をホルダーから取り出し、読み取りマガジンに5本ずつセットし、読み取りリーダーの電源投入後、レーザーの安定のため20分おいてから測定を開始した。一本につき繰り返し5回測定を行い、その平均値を測定値とした。

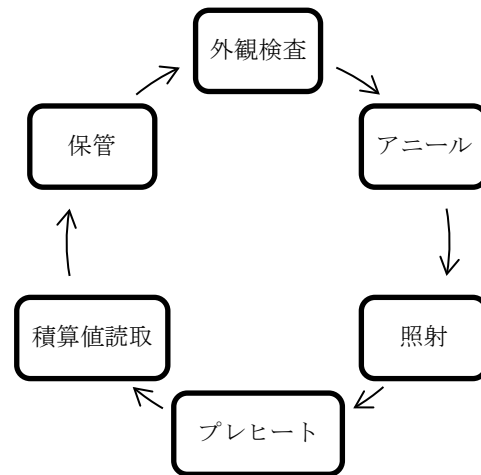


Fig. 2 ガラス素子の使用手順

2. 目的

小照射野域の線量測定における蛍光ガラス線量計の測定精度を確かめた。さらに、蛍光ガラス線量計は小照射野域の郵送線量調査に適したデバイスであるのかどうか、またどの程度小さな照射野まで測定が可能であるのかを検証した。

3. 使用器具

- ・ 蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace (AGC テクノグラス株式会社)

線量計小型素子 高エネルギー測定用 GD-302

線量計リーダー FGD-1000

読み取りマガジン FGD-M152

アニールマガジン FGD-C101

プレヒートトトレ FGD-C102

プレヒート用恒温器 DKN-302

アニール用電気炉 NEW-1CT

- ・ ファントム PTW-30010 型模擬ファントム(防水型・非防水型(Fig. 3)

- ・ サイバーナイフ Cyber knife II

- ・ リニアック Oncor 6,10

- ・ 郵送協力 近畿大学医学部奈良病院 CLINAC iX

多根総合病院 Novalis-Tx

大阪医科大学付属病院 MEVATRON KD 2/50

兵庫医科大学付属病院 Elekta Synergy

(ブレインラボ コーンシステム)

大阪府立急性期総合医療センター Novalis-Tx



防水型

非防水型

Fig. 3 PTW30010 型模擬ファントム

4. 方法

4.1 ガラス素子の精度確認

リニアック治療装置 Oncor 6,10 を用いて、10cm×10cm, 6cm×6cm, 5cm×5cm, 4cm×4cm の 4 照射野、Cyber knife II を用いて 6Φ, 3Φ の 2 照射野の合計 6 照射野について、それぞれ蛍光ガラス線量計素子を 5 本ずつ、全てに基準深 10cm において 200cGy を照射した。その際、防水型ファントムと非防水型に有意な差があるかも同時に検証するためにリニアックでは防水型ファントムを、サイバーナイフでは非防水型ファントムを使用した。

照射後はすぐに、70℃で 30 分間のプレヒート処理を行った。プレヒート処理の終わったガラス素子は読み取り装置 (FGD-1000) で積算線量を計測した。3 回読み取りを行い、測定値としてそれらの平均値を用いた。読み取り装置はあらかじめ、6MV X 線によるオリジナルスタンダード線量計素子を作成し、FGD-1000 の高エネルギー測定用に校正済みである。

4.2 郵送調査

ガラス素子返送用として、日本郵便のレターパック 500、ガラス素子 20 本、測定用 PTW30010 型模擬ファントム、照射方法を示した手順書、照射時の条件や係数を記入してもらうための記入シートを、放射線治療を実施している 5 施設 19 ビームに対し郵送した。(Fig.4, 5) 今回、調査対象施設はすべて鞘付水ファントムであったため非防水型の PTW30010 型模擬ファントムを用いた。



Fig. 4 郵送セット



Fig. 5 レターパック 500

4.2.1 照射方法

- ① ファーマー模擬ファントム(非防水型)の先端の穴にガラス素子を奥まで入れる。このときガラス素子の向きは必ずキャップ側から挿入してもらうように注意した。(Fig. 6)

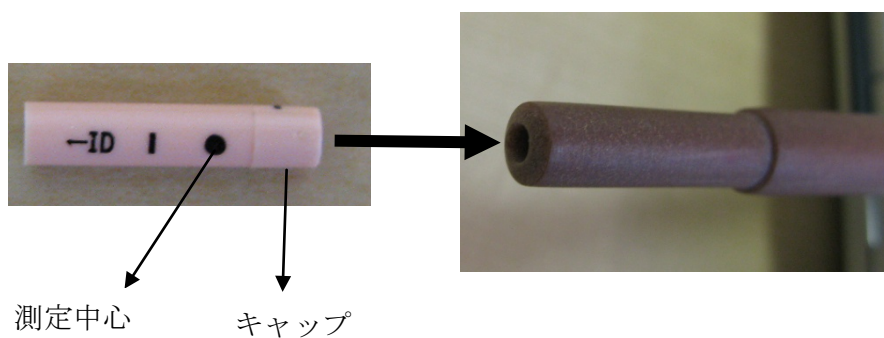


Fig. 6 素子の挿入方向

この方向に挿入すると、ガラス素子の測定中心が模擬ファントムの先端から 13mm の線量計測定中心に一致する。

- ② 1 照射につき 1 素子で行う。
- ③ 1 照射野につき 5 本の素子を用い、すべて基準深 (10cm 深) で 200cGy ずつ照射する。

- ④ 照射野は 4 種類まで選択可能とする。
- ⑤ 素子の ID 番号が、キャップに記されているので、照射準にデータシートに記入してもらう。
- ⑥ 素子を保管する場合はデシケータ内で保管する。

上記のような照射方法を、対象施設にお願いした。

照射時には、線量校正日、校正時の DMU、公称エネルギー、TPR_{20,10}、照射野整形方法、各照射野における 10 cm 深の OPF、2Gy 照射時の MU 値、照射日時、用いた素子の ID 記録、線量計指示値、線量校正時に使用した各種係数値（温度、気圧、 k_{tp} 、 k_s 、 k_{pol} 、 k_q 、 N_c 、 k_{DX} 、 N_{DW} 、線量計名）をデータシートに記入するようにもお願いした。

4.2.2 回収および測定

照射が終了したガラス素子は、照射から一週間以内に到着するように発送をお願いした。返送方法としてはレターパック 500 を使用してもらった。回収された素子については、各施設での照射日から一週間後に 1 照射野ずつ（素子 5 本ずつ）、読み取り装置(Dose Ace)で測定した。到着から測定日まではデシケータ内で保存した。

4.2.3 解析

測定結果から以下の式（1）を用いて誤差を求め、精度を確認した。

$$\frac{\text{測定値}-200 [\text{cGy}]}{200 [\text{cGy}]} \times 100 \dots \text{式 (1)}$$

5. 結果

5.1 ガラス素子の精度確認

小照射野域におけるガラス素子の測定精度について、誤差は Table. 1 のようになった。

Table. 1 ガラス素子測定精度確認における誤差

照射野	面積	Oncor 6,10	Cyber knife II
10×10	100.0	0.12	
6×6	36.0	0.63	
5×5	25.0	1.36	
4×4	16.0	-0.73	
6Φ	28.3		0.92
3Φ	7.1		0.04

誤差の平均値は $0.39 \pm 0.737\%$ となった。

次にこれらの誤差のグラフを示す。(Fig. 7)

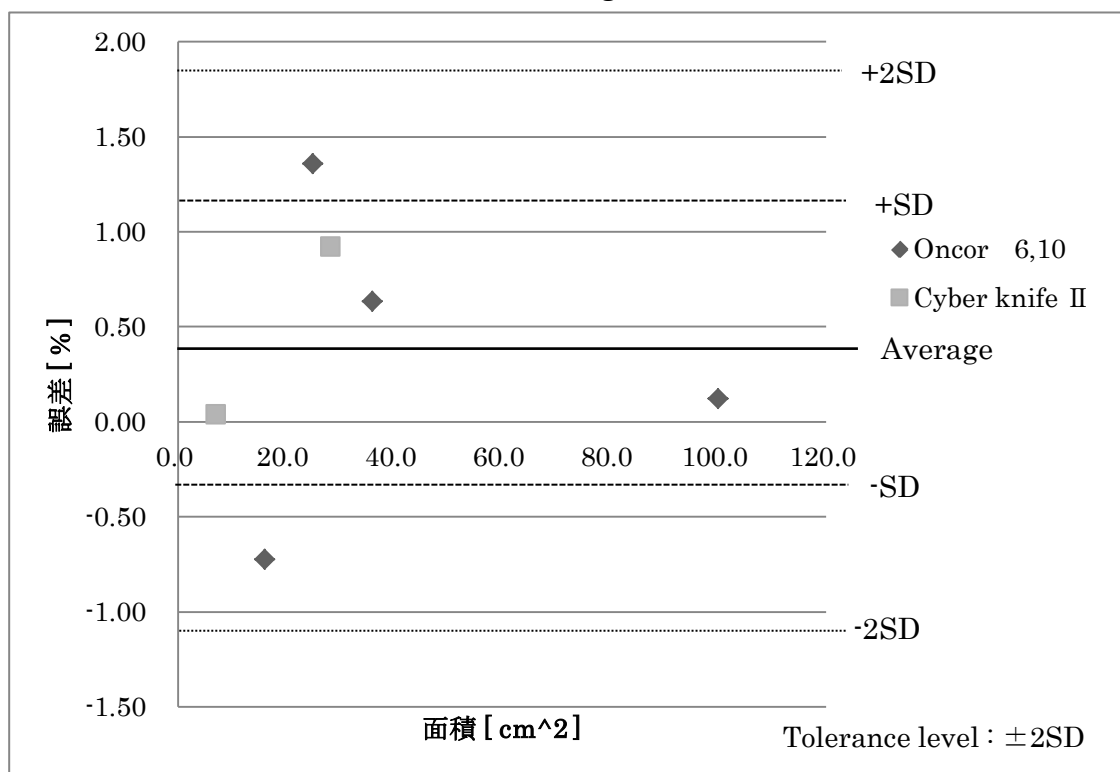


Fig. 7 小照射野域での測定精度

5.2 郵送調査

郵送調査を行った結果、協力いただいた5施設(19ビーム)の測定値から算出した誤差を、Fig. 8に示す。

Table. 2 郵送調査における測定値から求めた誤差

照射野	照射野面積[cm ²]	病院 A	病院 B	病院 C	病院 D	病院 E
10×10	100.0		-2.38	-0.40	2.05	-1.17
8×8	64.0	2.38				
6×6	36.0	-0.34	-2.37			
5×5	25.0					0.21
4.2×4.2	17.6	-3.84				
4Φ	12.6			-1.58		
3×3	9.0		-1.70			1.28
3Φ	7.1			0.58	-4.34	
2×2	4.0		-0.36			
2Φ	3.1			-1.15		
1.5×1.5	2.3					-5.07
1.5Φ	1.8				-8.01	
0.7Φ	0.4				-75.14	

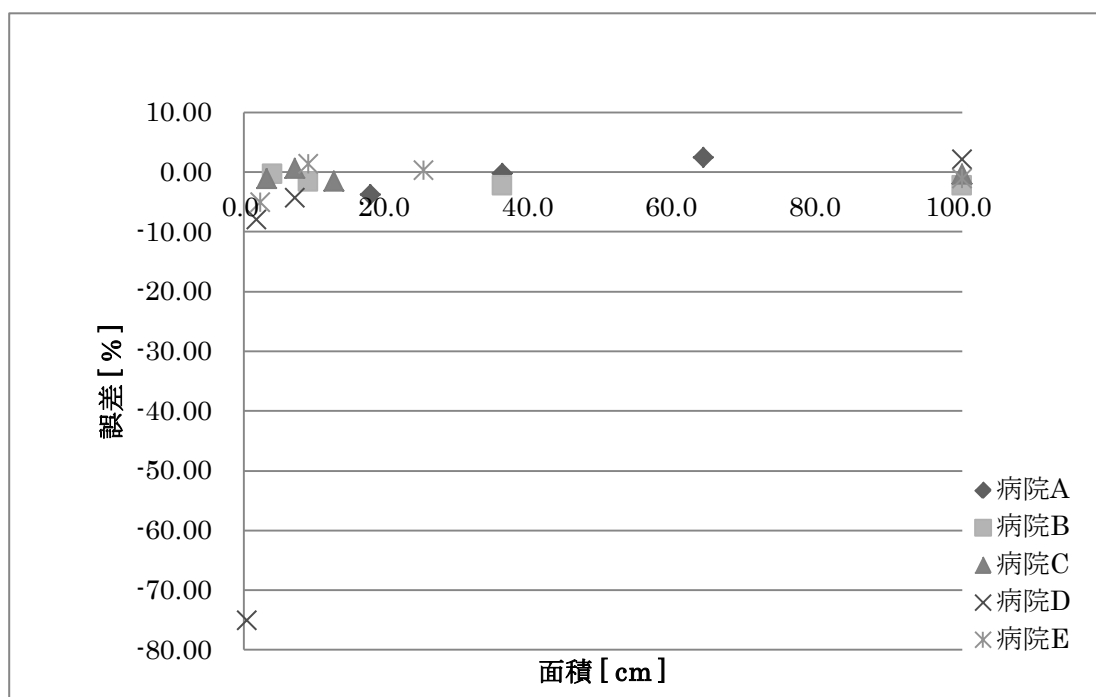


Fig. 8 郵送調査における全データのグラフ

Table.2, および Fig.6 より、 $2\Phi(3.1\text{cm}^2)$ より小さな照射野科(3 ビーム)で、5%以上の過小評価になった。これらを測定範囲外とした場合の結果を Fig.7 に示す。

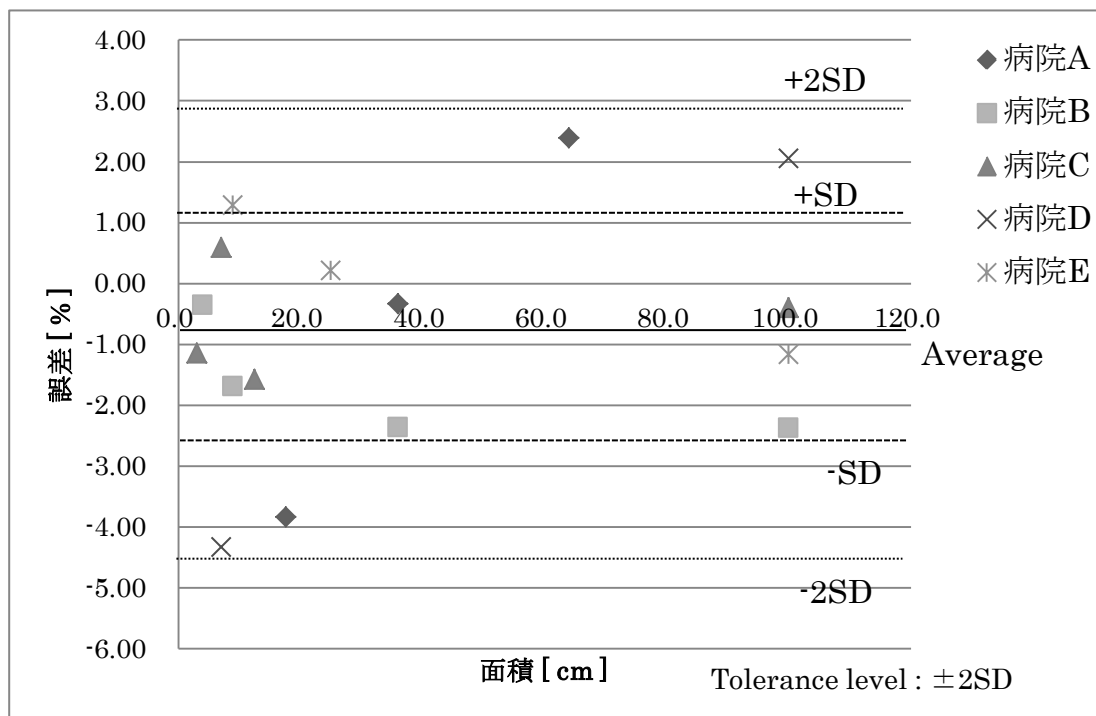


Fig. 9 測定範囲を考慮した場合の結果

Fig.7 に示す 16 ビームの誤差平均値は-0.81%、標準偏差は 1.904%となった。さらに 16 ビーム中 11 ビーム(約 69%)は 1SD 内に入り、16 ビームは全て誤差が $\pm 2SD$ 以内に収まっていることがわかる。また、誤差の照射野に対するバラツキはランダムであり、依存性はない。

5.3 プレヒート処理後と非プレヒート処理データとの有意差検定

Table.1 に示す照射後すぐにプレヒート処理を施したデータ群と Table.2 に示す、郵送調査による非プレヒート処理群とをスチューデントの t 検定法を用いて 5% 検定で評価した。結果は p 値 0.17 となり有意差は認められなかった。

6. 考察

ガラス線量計素子の精度確認としては、プレヒート処理を行った結果とプレヒート処理をせず7日後に測定した結果で有意差は認められなかったため($p=0.17$)、ガラス線量計素子は小照射野の線量測定にも有用であると考えられる。

また、今回の実験で用いたガラス線量計 GD-302M は、素子寸法が 12mm、そのうち、ID 部分を除いた有効長が 8.5mm であった。(Fig. 10) 幾何学的には 15mm 長は実効長に十分入っている。しかし、小照射野における照射では線量分布の平坦度が不十分なため、照射野が小さくなりすぎると蛍光ガラス線量計素子に均等に照射されない可能性がある。1.5cm×1.5cm 以下の照射野において過小評価となったのは、このことが原因であると考えられる。

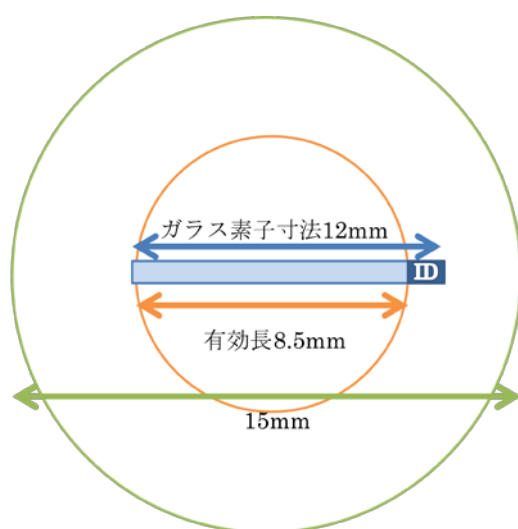


Fig. 10 ガラス素子の有効長

7. 結論

GD-302M は、実長が 12mm 、そのうち有効長は 8.5mm であることより、照射野としては 2cm×2 cm もしくは 2cmφ まで高精度に測定が可能であることが分かった。それより小さな極小照射野の測定では、ガラス素子全体に十分な照射が得られず、過小評価となった。また、照射野の 1 辺が 2cm までなら誤差の照射野依存性もないと考えられる。

照射後すぐにプレヒート処理をして測定した結果とプレヒート処理をしていない郵送調査の結果では、共に測定における不確かさの範囲内であった。熱や湿度に弱い蛍光ガラス線量計素子ではあるが、郵送による調査に十分耐えうる頑丈さを持つことが分かった。

よって、蛍光ガラス線量計による郵送調査は有用であると考えられる。

8. 謝辞

本卒業論文を作成するにあたり、多くのご指導、ご協力をいただきました大阪大学大学院医学系研究科医用物理工学講座松本光弘准教授に深く感謝いたします。

また、実験にご協力いただいた

大阪大学医学部附属病院放射線部井ノ上技師、有村技師、太田技師、元木技師、

KKR 大手前病院

近畿大学医学部奈良病院

多根総合病院

大阪医科大学附属病院

兵庫医科大学附属病院

大阪府立急性期総合医療センター

に深く感謝の意を示します。

9. 引用論文

- 1) 平岡 武, 小照射野のための線量測定, 日本放射線技術学会雑誌第 51 巻 第 12 号, 1995 年 12 月
- 2) J. Perks and M.Gao, Glass rod detectors for small field, stereotactic radiosurgery dosimetric audit, Medical Physics 32(3), 726-732, March 2005 年
- 3) 西村 晴美, 蛍光ガラス線量計郵送調査によるリニアック X線校正点吸収線量の精度調査, 平成 23 年度卒業論文
- 4) 株式会社千代田テクノル・旭硝子株式会社 AGC 電子カンパニー, 蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace Dose Ace Xe 説明資料, 平成 21 年 8 月
- 5) 診療放射線技師 スリム・ベーシック 5 放射線計測学, 福士 政広編, 株式会社メジカルビュー社, 2009 年 8 月