

X線診断領域における ガラス線量計 (GD-352M) の諸特性

河原田泰尋, 阿部真衣子¹⁾, 小澤慶子²⁾, 小野絵理³⁾

根岸 徹, 長島宏幸, 五十嵐 博

群馬県立県民健康科学大学 診療放射線学部

- 1) 高橋整形外科病院 放射線科
- 2) 東北大学医学部保健学科 放射線技術科学専攻
- 3) 金沢大学医学部保健学科 放射線技術科学専攻

目的：地域施設のX線検査被ばく線量の測定をガラス線量計により行うことを目的に、ガラス線量計の特性を調べ有用性と留意点について検討した。

方法：ガラス素子 (GD-352) の感度均一性、素子個々の繰り返し再現性、線量直線性、エネルギー特性について電離箱線量計と比較測定した。また、照射後の経過時間におけるビルドアップの形成とアニーリング後の自然積算線量について調べた。

結果：繰り返し再現性は約±5%であった。線量直線性は良いが低線量、低管電圧で測定値のばらつきが大きくなる。

補償フィルタによる吸収で感度は25keVで約20%低下し、17keVで約50%低下した。

ガラス素子の室温におけるビルドアップは24時間経過すると約98%完了する。

自然放射線による蓄積線量は約1.7 μ Gy/日であった。

結論：低管電圧と低線量により検査される小児の測定では、測定値のばらつきが大きくなるため注意が必要である。

マンモグラフィ領域の使用では、新たなエネルギー補償フィルタ物質と感度の調整が必要である。

キーワード：蛍光ガラス線量計, エネルギー依存性, ガラス素子

I. はじめに

わが国のX線検査における患者被ばく線量は、諸外国の平均的な医療被ばく線量に比べ約6倍、先進諸国に比べても2倍以上も高いと国連科学委員会 (UNSCEAR) で報告されている¹⁾。また同一検査においても、患者被ばく線量の施設間の差は一桁以上も異なるとも言われている²⁾。

日本放射線技師会は2000年10月に「医療被ばくガイドライン (低減目標値)」を日本放射線技師会誌に掲載して医療被ばく軽減に努めている³⁾⁴⁾。

しかし、西谷等⁵⁾の線量計保有調査によると、医療施設における線量計の保有率は約26%であることから、患者被ばく線量の実測データと低減目標値との比較をしている施設は極わずかと思われる。

広範囲の地域施設を対象に電離箱線量計を持ち運び、患者被ばく線量を測定することは労力と煩雑性を伴い効率的でない。そこで小型で軽量のガラス線量計素子 GD-352M (以下「ガラス素子」という。)を用いて地域施設の患者被ばく線量の測定を試みるために留意点と有用性を検討した。

II. 蛍光ガラス線量計と小型素子測定システムについて

1) 蛍光ガラス線量計の原理

銀活性リン酸塩ガラスで作られたガラス素子に電離放射線を照射すると電子と正孔ができる。電子は Ag^+ に捕獲され Ag^0 となる。一方正孔はいったん PO_4 四面体に捕獲され、時間の経過と共に Ag^+ に移行してより安定な Ag^{++} に形成される。 Ag^0 と Ag^{++} が共にガラス中で蛍光中心となる⁶⁷⁾。蛍光中心の形成（以下「ビルドアップ」という。）は照射後の温度と経過時間に依存する。通常の使用ではビルドアップを短時間に安定化させるため、照射後速やかに 70°C 、30分で加熱処理（以下「プレヒート」という。）を行う。プレヒート後の蛍光中心は安定で退行現象も無視できるくらい小さい。蛍光中心に窒素ガスレーザーを照射すると励起してオレンジ色の蛍光を発する現象をラジオフォトルミネセンス（RPL）と言ひ、この蛍光量と放射線量は比例している。

ガラス素子は連続使用する場合、線量が加算されるので 400°C 、30分間の加熱によるアニール処理（再生処理）を行う。ガラス素子は潜在する素子固有の蛍光成分（以下「プレドーズ」という。）がある。プレドーズはガラス素子の欠損、傷、汚れにより増加する。またプレドーズの増加は測定精度に影響するため目安は $30 [\mu\text{Gy}]$ 以下とされている⁶⁾。

2) 小型素子測定システム DOSE ACE

小型素子測定システム DOSE ACE は、読取装置（リーダ）、コントローラ（制御用コンピュータ）、アニール用電気炉、プレヒート用恒温器から構成される。

線量の読取は同一ガラス素子に20パルスの窒素ガスレーザーを照射して蛍光量を読取る。読取繰り返し回数は1～10回である⁶⁾。各読取値の平均値を測定値として表示する。

3) ガラス素子とホルダ

ガラス素子の形状は $1.5\text{mm}\phi \times 12\text{mm}$ の円柱状で無色透明である。ガラス素子はプラスチックホル

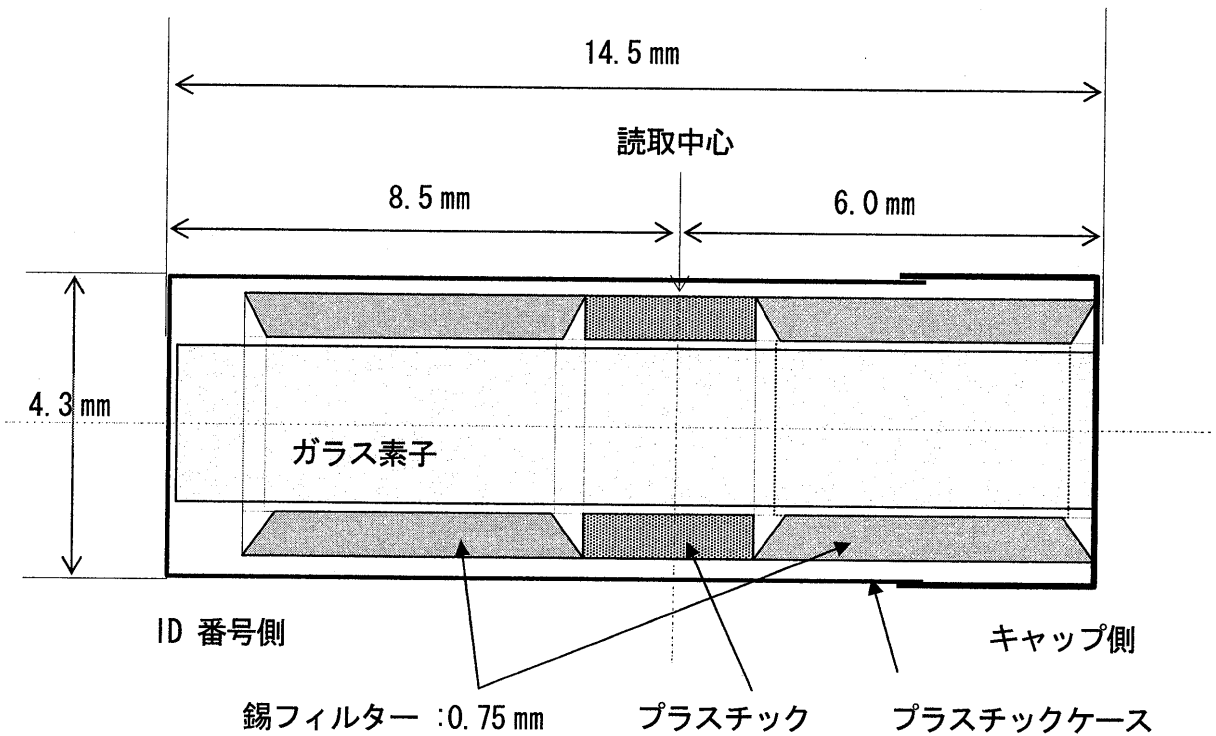


Fig. 1 GD-352M エネルギー補償フィルタ付きホルダ素子の断面図

ダ (2.8mmφ×13mm) に入れたもの (以下「フィルタ無素子」という。) とエネルギー補償用フィルタを有するプラスチックホルダ (4.3mmφ×14.5mm) に入れたもの (以下「フィルタ有素子」という。) がある。

エネルギー補償フィルタは、物質：錫、厚さ：0.75mmをガラス素子の読取部分に間隔1.5mmを設け、円筒状のフィルタ2個を分離した状態で配置している。フィルタ有素子の断面図を Fig. 1 に示す。

III. 使用機器・装置

X線撮影装置：インバータ式X線高電圧装置UD-150L, 島津社製。

マンモグラフィ装置：senographe600T, GE社製。

電離箱線量計：9015型 10×5-6, 10×5-6M, ラドカル社製。

ガラス線量計・小型素子システム DOSE ACE, ガラス素子：診断線量評価用 GD-352M, 旭テクノグラス社製。

IV. 方法

各施設の患者被ばく線量測定は、ガラス素子を施設に郵送し、照射後、返送されたガラス素子を蛍光ガラス線量計・小型素子測定システムにより線量を読取る方法を想定し、ガラス素子の諸特性及び自然放射線の影響について調べた。

機器・装置等の幾何学的配置を Fig. 2 に示す。X線撮影装置のX線焦点—測定器間距離1mに電離箱線量計とガラス素子を配置した。照射野は10×10cmとして空中線量 [Gy] を測定した。測定器は後方散乱線の影響がないことを確認して撮影台から15cm離して置いた。

マンモグラフィ装置は圧迫板を取り除き、X線焦点—測定器間距離50cmに電離箱線量計とガラス素子を配置した。照射野は18×24cmとして空中線量 [Gy] を測定した。測定器はカセット支持台から10cm離して置いた。

測定は電離箱線量計 (以下「電離箱」という。) を基準線量計とした。また電離箱とガラス素子はヒール効果の影響を考慮して配置した。

使用したガラス素子の内訳は、フィルタ有素子

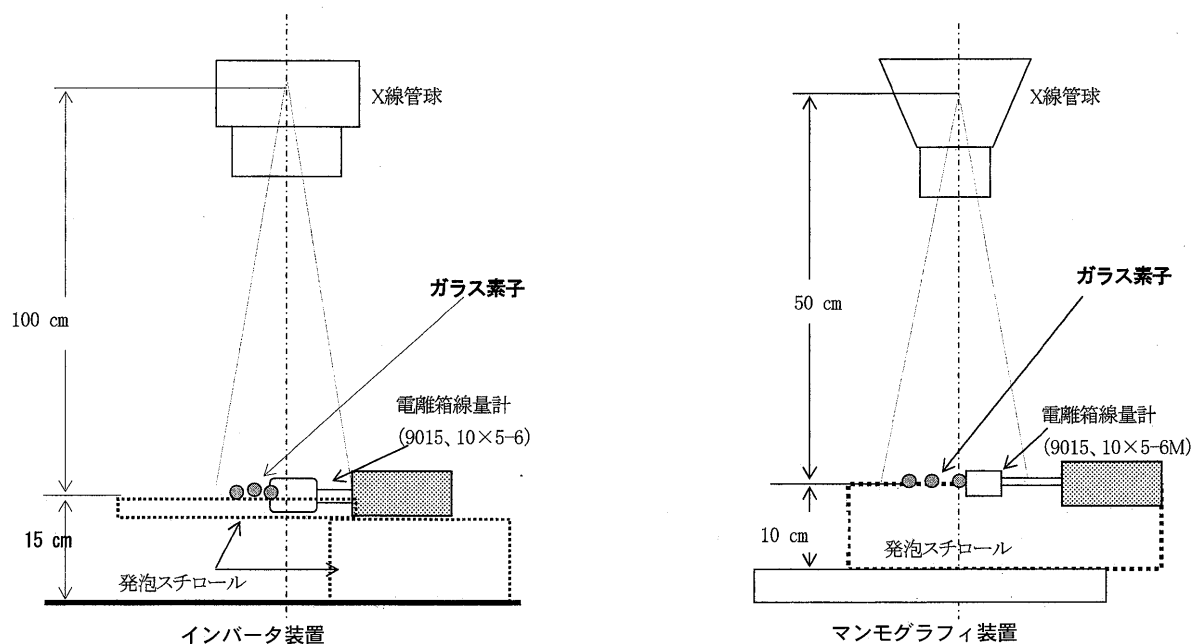


Fig. 2 測定機器配置図

(60個), フィルタ無素子 (60個) を用いた。

ガラス素子の読取は, 小型素子システム DOSE ACE で読取レーザーパルス数を20パルス, 同一ガラス素子の読取繰り返し回数は5回としてその平均読取值とした。

ガラス素子は同一ロット番号を使用して測定ごとにアニール処理を行いプレドーズが30 [μGy] 以下であることを確認した。したがって, ガラス素子の測定値は平均読取值からプレドーズ値を引いた値とした。

1) 線量直線性

X線撮影装置の管電圧 (80kV) を一定にした上で, 各 mAs 値 (1.6, 2, 2, 5, 3, 2, 16, 20, 25, 32) と変えて, 空中線量を数10 [μGy] ~数 [Gy] に変化させたときのフィルタ有素子の線量直線性を調べた。測定はガラス素子5個を1組として各5回の繰返し測定の平均値とした。

2) 感度均一性と素子個々の繰返し再現性

X線撮影装置 (80kV, 200mA, 0.05sec) で均一照射を行い, フィルタの有無による感度均一性とガラス素子個々の繰返し再現性を調べた。繰返し再現性は電離箱の測定値を平均値としてガラス

素子の測定値の標準偏差の大きさで表した。測定は5回の繰返しとした。

3) エネルギー特性

マンモグラフィ装置の管電圧 (24・28・32kV) とX線撮影装置の管電圧 (40・60・80・90・100・110・120kV) をアルミニウム半価層より実効エネルギーを求め, フィルタの有無によるエネルギー特性を求めた。測定は各実効エネルギーにガラス素子5個を1組として5回の繰返し測定の平均値とした。

4) 経過時間によるビルドアップ特性

フィルタ有素子 (60個) をX線撮影装置 (80kV, 200mA, 0.05sec) で照射後, 速やかにプレヒートしたグループとプレヒートせず室温 (25~28°C) に置き経過時間で読取るグループに分けた。プレヒート済み測定値をビルドアップ完了値として, 室温に置いたガラス素子の測定値を比較した。

5) 自然積算線量の影響

フィルタ有素子 (40個) をアニール後, X線装置等から影響を受けない部屋に0~20日間置き自然積算線量を調べた。

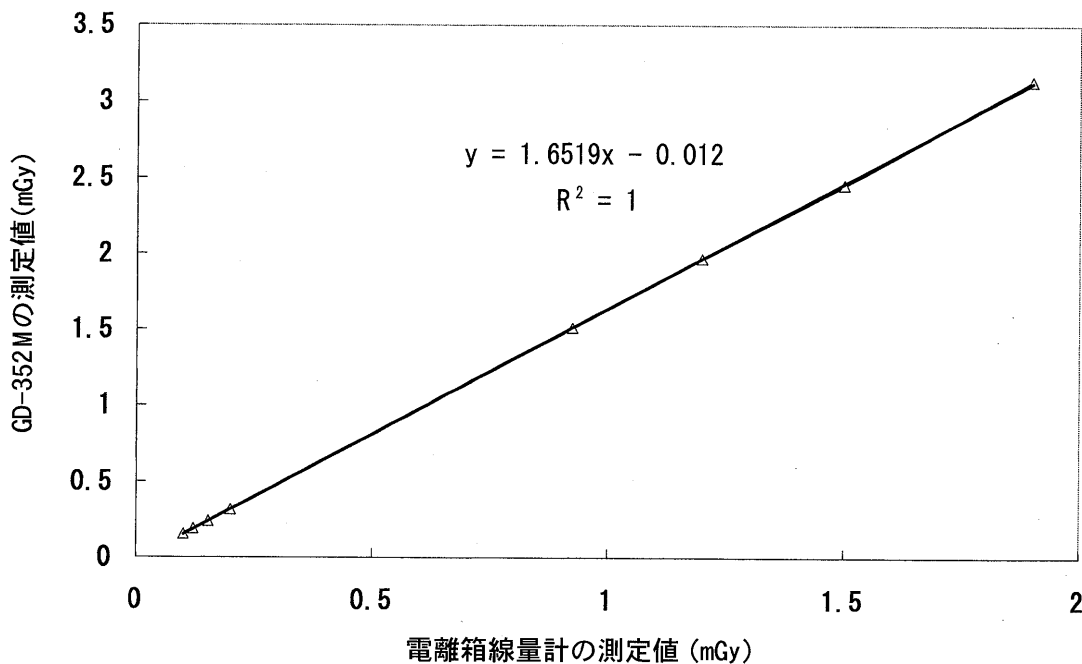


Fig. 3 線量特性

V. 結果

1) 線量特性

管電圧とmAs値を変えて空中線量が数10 [μ Gy] ~数[Gy]で変化させたときのガラス素子の線量直線性をFig. 3に示す。直線性は完全相関 ($r = 1$)を示した。

2) 感度均一性と素子個々の繰り返し再現性

感度均一性をFig. 4に示す。変動係数はフィルタ有素子0.053, フィルタ無素子0.036であった。フィルタ有素子の変動が大きいのは、エネルギー補償フィルタの厚さに約10%の誤差を許容しているためである。フィルタの有無による感度は、フィルタ有素子で約0.98倍, フィルタ無素子で約3.5倍

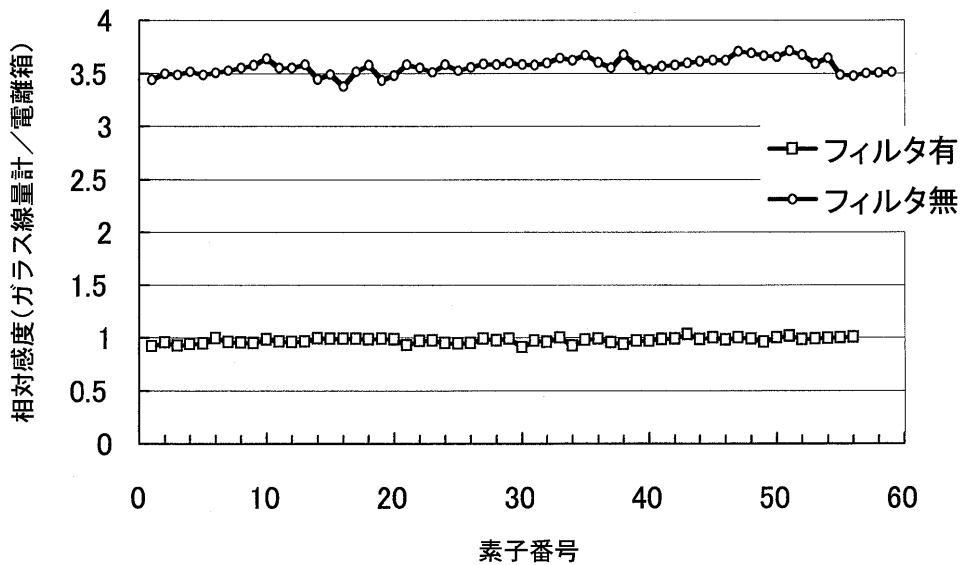


Fig. 4 素子間の感度均一性

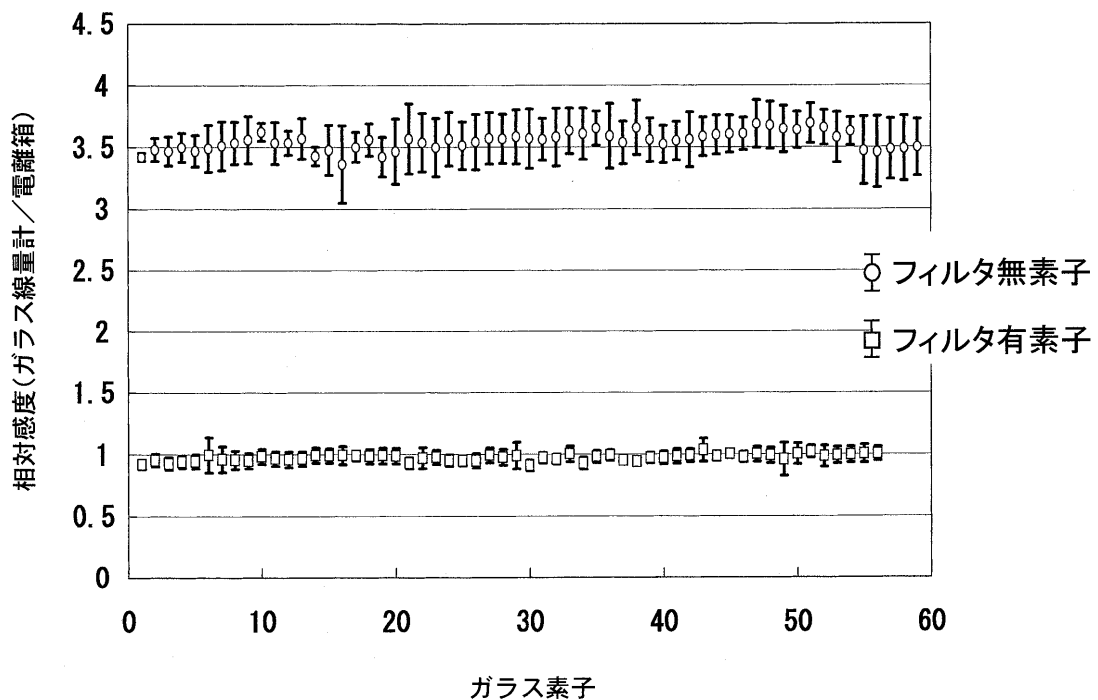


Fig. 5 素子個々の繰り返し再現性

を示した。

フィルタの有無による素子個々の繰り返し再現性を Fig. 5 に示す。フィルタ有素子で約±5%，フィルタ無素子で約±11%であった。補償フィルタは繰り返し再現性を良くしている。

3) エネルギー特性

フィルタの有無によるエネルギー特性を Fig. 6 に示す。フィルタ無素子の電離箱との相対感度は2.7~3.4倍と高く37~40keV でピークとなり、15~18keV で1.2~1.5倍の感度を示した。フィルタ有素子では、エネルギー特性は平坦化するがエネルギー低下に伴い感度も低下する。電離箱との相対感度は一般X線検査領域（24~26keV）で約

15%，マンモグラフィX線検査領域（14~16keV）では約55%低下した。

4) ビルドアップ特性

照射後のプレヒートの有無によるビルドアップの変化を Fig. 7 に示す。室温に置いたグループの照射直後のビルドアップは約50%，10時間経過で90%，24時間経過で98%となり、照射後室温で24時間経過するとビルドアップはほぼ完了した。

5) 自然積算線量

自然放射線による積算線量を Fig. 8 に示す。自然放射線により約1.7 [μGy]/1日の線量増加した。なお、プレドーズ平均値は約18 [μGy]であった。

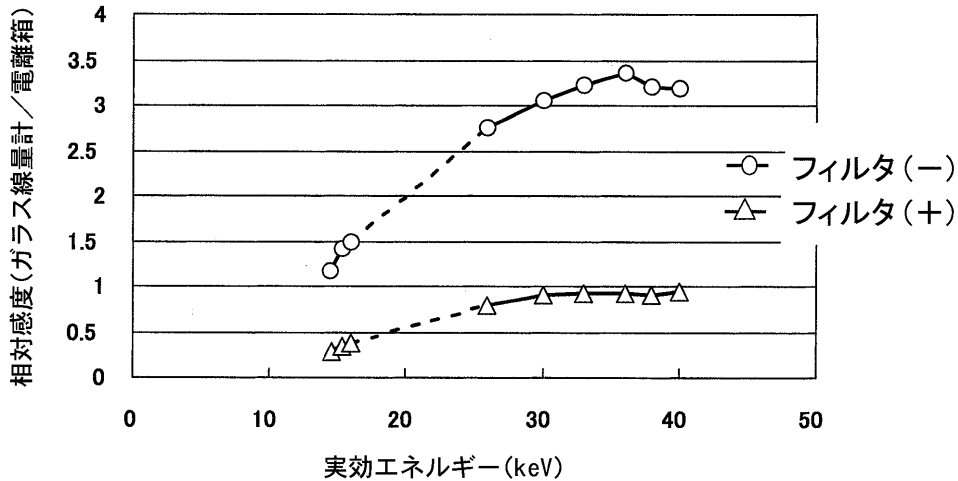


Fig. 6 エネルギー特性

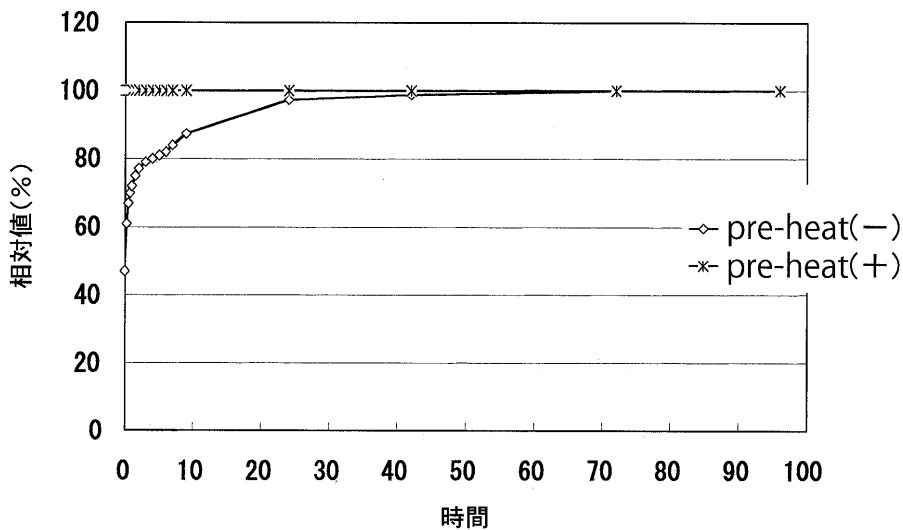


Fig. 7 室温におけるビルドアップ特性

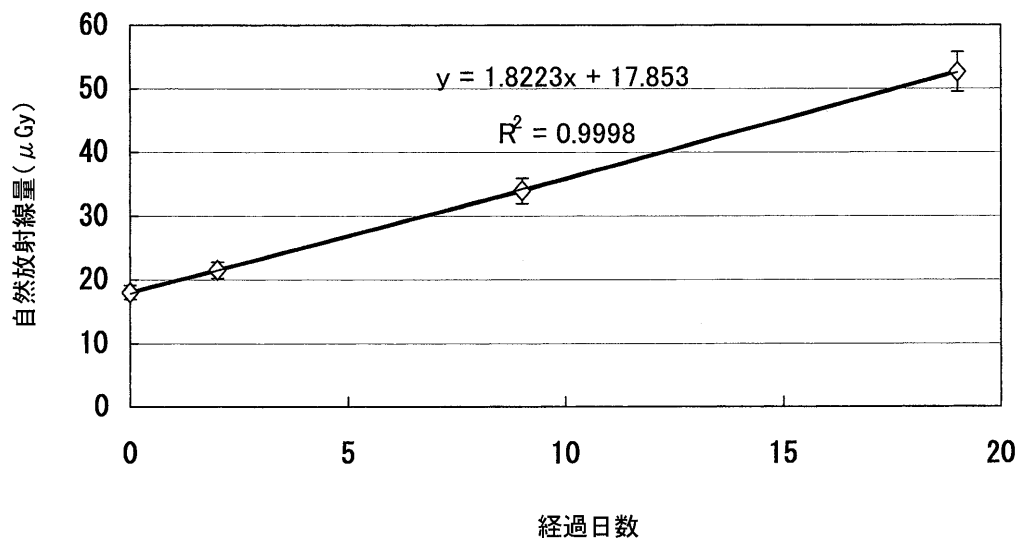


Fig. 8 自然放射線の影響

VI. 考 察

1) 低管電圧, 低線量による測定精度の影響について

成人の体幹部検査は, 管電圧65~120kV⁸⁾とされ, 表面入射線量は0.22~14.36mGy³⁾とされる。この範囲におけるフィルタ有素子の線量直線性は良い。しかし, 低線量で測定値がばらつき不安定になる傾向が報告されている⁹⁾。また低管電圧ではエネルギー補償フィルタの吸収による感度の低下も大きくなる。ガラス線量計に同一線量(50~80 μGy)を照射したときのガラス線量計の測定値のばらつきは, 管電圧80kVで $\sigma=0.8\sim1.2$ に対して50kVで $\sigma=1.7\sim5.9$ と低管電圧でばらつきが大きくなった。小児(3~6歳)の胸・腹部及び股関節の撮影条件が(40~59kV前後, 2,000~299mA, 0.005~0.05sec)で検査されている施設が多い¹⁰⁾。また, 石川等¹¹⁾の報告では, 小児の入射表面線量の平均が胸部で0.086mGy, 股関節で0.138mGyと低線量であると言われている。ガラス線量計を小児の被ばく線量測定に用いる場合は, 測定値のばらつきが大きくなることを知って使用する必要がある。

2) エネルギー補償フィルタとエネルギー特性について

ガラス素子自体(フィルタ無)のエネルギー特性は30~45keVでピークを持つ凸を示した(Fig. 6参照)。これを平坦化するためにフィルタ物質(錫⁵⁰Sn)のK_{ab}吸収端(29.2keV)を利用していると言える。また, 感度は蛍光読取部分のエネルギー補償フィルタの間隙幅により調整を行っていると予想され, 25keV以下における感度低下はフィルタの間隙幅を変えることで改善が可能と考える。しかし, マンモグラフィX線検査領域における既存のエネルギー補償フィルタは, エネルギー依存性と吸収による感度の低下も著しくフィルタの間隙幅での調整には限界がある。既存のフィルタに代わる新たなエネルギー補償フィルタ物質とフィルタ間隙幅による感度調整が必要であり今後の課題といえる。

3) 自然放射線とプレヒート

地域施設の被ばく線量の測定は, ガラス素子を送付→照射→返送→読取に約2週間を要すると思われる。この期間の自然積算線量を測定するためのコントロール素子を帯同させる必要がある。

プレヒートは室温で1日以上経過すると98%まで完了し数日で100%となった。この値は小宮ら¹²⁾

と一致する。しかし、短時間にビルドアップは上昇して完全に完了するまでに15日を要するというデータ¹³⁾もある。実際の被ばく線量の測定では、ガラス素子線量の読取は照射後、数日間を要することからビルドアップは完了しておりプレヒートは必要ないと言える。

Ⅶ. ま と め

- 1) ガラス線量計素子 (GD-352M) は、成人の体幹部の被ばく線量の測定には有用と言える。しかし、低管電圧、低線量で実施される小児検査では、測定値のばらつきが大きくなる。
- 2) マンモグラフィ X線検査領域における使用では、既存のエネルギー補償フィルタに代わる新たな物質による感度とエネルギー特性(依存性)の改善が必要である。
- 3) 実際の地域施設の放射線被ばく線量測定では、自然放射線測定用コントロール素子の帯同が必要である。

【参考文献】

- 1) Sources and Effects of Ionizing Radiation (1993) : UNSCEAR1993 Report : 221-269, New York
- 2) 諸澄邦彦, 渡辺 浩, 笹川泰弘 (2004) : 第1部, 第2部, 第3部, 医療被ばく特集号. 日本放射線技師会誌別冊, Vol.51, No.621 : 4-29
- 3) 医療被ばくガイドライン委員会 (2000) : 患者さんのための「医療被ばくガイドライン (低減目標)」。日本放射線技師会誌, Vol.47, 第573号 : 42-57
- 4) 社団法人日本放射線技師会医療被ばくガイドライン委員会編 (2002) : 医療被ばくガイドライン. 医療科学社 : 17-31
- 5) 西谷源展, 大釜 昇, 加藤 洋, 他 (1999) : 照射線量計の保有状況の全国調査. 計測分科会誌, 7 (2) : 20-21
- 6) 旭テクノグラス株式会社 : (2003) 蛍光ガラス線量計・小型素子システム DOSE ACE ドーズ エース説明資料
- 7) 横田良助 (1969) : 蛍光ガラス線量計のメカニズム. 医療物理, 第38巻, 第11号 : 67-73
- 8) 金 正宜, 福士彰二, 太田文夫, 他 (2000) : 青森県内の X線検査時の撮影条件等と被ばく線量—アンケート調査の集計結果による検討—. 日本放射線技師会誌, Vol.47, No.570 : 983-991
- 9) 旭テクノグラス株式会社 (2000) : 蛍光ガラス線量計・小型素子システム Dose Ace 基本特性資料
- 10) 大地直之, 円城寺純男, 小柳広樹, 他 (2000) : 東京都における撮影条件等の実態調査—小児撮影について—. 日本放射線技術学会誌, Vol.47, No.564 : 119-124
- 11) 石川光雄, 久保田勝己 (1999) : 第2回小児 X線撮影実態調査. 日本放射線技術学会誌, Vol. 55, No. 1 : 77-91
- 12) 小宮 努, 白坂 崇, 梅津芳幸, 他 (2004) : 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誌, Vol.60, No. 2, 270-277
- 13) 馬場貞明, 伊藤照生, 豊田達也, 他 (2002) : 蛍光ガラス素子の至適余熱条件の検討. 日本放射線技師会誌, Vol.49, No.596 : 810-815

Characteristics of the Glass Dosimeter GD-352M in X-ray Diagnosis

Yasuhiro Kawaharada, Maiko Abe¹⁾, Keiko Ozawa²⁾, Eri Ono³⁾,

Toru Negishi, Hiroyuki Nagashima, Hiroshi Igarashi

Gunma Prefectural College of Health Sciences School of Radiological Technology.

1) Department of Radiology, Takahashi Orthopedics Hospital.

2) Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Kanazawa University.

3) Department of Radiological Technology, School of Health Sciences, Faculty of Medicine, Tohoku University.

Object: To measure the exposure dose of X-ray equipment at our facility, we examined the characteristics of the glass dosimeter, and considered the usefulness and potential hazards associated with this equipment.

Methods: An ionization chamber dosimeter was used to measure sensitivity, uniformity, repeatability, reproducibility, dose linearity, and energy characteristics of individual glass dosimetry elements (GD-352). We also studied build up of radiation dose and integral dose over time after annealing.

Results: The repetition reproducibility was approximately $\pm 5\%$.

Although the dose linearity was good, dispersion of the measured value increased at low doses and low tube voltages.

The compensating filter reduced absorption sensitivity by about 20% at 25 keV and by about 50% at 17 keV.

After 24 hours, build up at room temperature for the glass element was approximately 98%. Accumulated dose in terms of natural radiation was approximately $1.7 \mu\text{Gy/day}$.

Conclusions: Since dispersion of the measured value increases at low tube voltages and low doses, attention is necessary when using the GD-352 to perform imaging studies of infants.

In order to use the GD-352 in mammography, a new energy compensating filter material with increased sensitivity should be developed.

Key words: Radio photo luminescence glass dosimeter, Energy dependency, Glass element