

線量測定用 GAFCHROMIC XR TYPE T の特性

窪津真理子, 中桐義忠¹⁾, 氏福亜矢子²⁾, 谷口友季子³⁾, 八谷美穂⁴⁾,
東 義晴¹⁾, 後藤佐知子¹⁾, 丸山敏則¹⁾, 青山英樹⁵⁾,
田原誠司⁵⁾, 稲村圭司⁵⁾, 渡邊敏充, 杉田勝彦¹⁾

要 約

医療の高度化に伴い, 近年では長時間の X 線透視を行う Interventional Radiology (IVR) 手技が頻繁に行われ, 副作用としての難治性放射線皮膚障害例の報告が増加している。確定的影響である放射線皮膚障害はしきい値を超えると発症し, 線量に依存して障害の程度が重篤となるため, 患者被曝線量の測定が重要である。しかし, IVR では照射部位が多彩で, 焦点-皮膚間距離が不安定なため, その測定方法は確立されていない。

本研究では, 近年 IVR 等低エネルギー線量測定用フィルムとして開発された GAFCHROMIC XR TYPE T について性能評価を行い, 患者皮膚入射面の被曝線量測定への応用の可能性について検討した。その結果, 線量特性, 線質特性, ネット値の安定性に良好な特性を示し, 臨床に使用可能であったので報告する。

キーワード: 患者被曝線量, GAFCHROMIC XR TYPE T, Radiochromic film, Interventional Radiology (IVR), 測定精度

緒 言

近年の Interventional Radiology (以下 IVR と略す) は装置や治療技術の発展により, 種々の疾患に対して検査および治療を行う重要な術式の一つとして頻繁に応用されるようになった。IVR とは, 様々な疾患に対して放射線医学の診断画像 (X 線透視画像, 超音波, Computed Tomography) を利用し, 身体の中を観察しながらカテーテルなどの様々な医療器具や材料を用いて診断および治療を行う放射線医学の一分野である。病巣を詳細に知る上で欠くことのできない X 線透視画像は, 鮮明な画像が術者に求められるようになり, その結果, 多数回の撮影と長時間透視が行われるため, それらに伴う被検者の X 線被曝を考慮する必要がある。IVR 施行時の被曝の代表的な障害として放射線皮膚障害が過去に報告されている^{1,2)}。放射線皮膚障害は, 放射線の被曝が原因で生ずる皮膚障害であり, 症状は線量や線

量率により異なるが, 脱毛, 紅斑, 色素沈着などから, 重篤な障害ではびらん, 潰瘍形成, 角質などを生ずる。このような障害を未然に防ぐには, 術者による被検者の被曝線量, すなわち皮膚吸収線量の把握が重要である。IVR における皮膚吸収線量の測定には, 熱ルミネッセンス線量計 (Thermoluminescent dosimeter: TLD) を代表とする様々な線量計および測定機器が使用されている。しかし, 線量計の形状や大きさ, 更に被検者への取り付けなどの制限から, 吸収線量に関して十分な解析に至っていない現状がある。そのような状況下で, 注目されている線量計の一つとして Radiochromic film 線量計がある。

Radiochromic とは, 化学薬品や熱性の現像処理を必要とせず, 放射線の吸収量を反映させて直接媒体を着色させる作用を意味する³⁾。この線量計は, 過去数年にわたって急速に開発が進み, Gafchro-

真備中央病院

- 1) 岡山大学医学部保健学科放射線技術科学専攻
- 2) 岡山大学保健科学研究科保健学専攻修士課程
- 3) 岡山大学医学部保健学科放射線技術科学専攻第一期生
- 4) 福岡徳州会病院
- 5) 岡山大学医学部・歯学部附属病院中央放射線部

mic film (ISP Technologies, INC.) と名前の付けられた数種類の Radiochromic film 線量計が存在している。一般フィルムと同様に柔軟性があり、得られた濃度から線量評価が可能になる。そこで、本研究では、IVR の被曝線量評価用として開発された特殊なフィルムタイプ線量計 GAFCHROMIC XR TYPE T の基礎実験を行い、実際の IVR における被検者の皮膚吸収線量測定を念頭におき、その線量測定の有用性について検討を行った。

使用機器

- ・ X線発生装置：島津製 HR-150B
- ・ 線量測定器：Ionex 2500/3 (NUCLEAR ENTERPRISES LTD)
- ・ 電離箱：0.03ml Shallow 型 (NUCLEAR ENTERPRISES LTD)
- ・ ファントム：Mix-DP (京都科学製)
- ・ フィルム：GAFCHROMIC XR TYPE T DOSIMETRY MEDIA (ISP TECHNOLOGIES INC.)
- ・ 濃度測定器：Laser Densitometer Model 1710 (Computerized Medical System, Inc.)
- ・ 濃度測定器制御ソフトウェア：Dynascan Release Version 1.26
- ・ 濃度測定器 + 制御ソフトウェア：Dynascan System (Computerized Medical System, Inc.)

方 法

1. GAFCHROMIC XR TYPE T について

GAFCHROMIC Film と名付けられた数種類の Radiochromic Film 線量計が存在しているが、それらは構造、線量測定範囲及び対象とする X 線エネルギーによって使用区分が決められている。今回、検討したフィルムは GAFCHROMIC XR TYPE T (以下 GAFCHROMIC と略す) で、1 シートの大きさは 12.5cm × 12.5cm の正方形で黄色のポリエステルベースに、放射線に反応する感光材料 (18 μ m 以下) が塗布されている。紫外線や青色可視光に対して影響を受けないよう、表面は黄色のポリエステルコートにより保護されている。

GAFCHROMIC は線量測定範囲は 10Gy までであり、線量特性はラチチュードが広く、低線量域では光学濃度の直線性が保たれている。本研究において濃度測定に用いた Laser Densitometer Model 1710 のレーザー光源の波長域は 670nm であり⁴⁾、GAFCHROMIC が最大光学濃度を示す波長域と一致している。

2. 実験配置図

Fig. 1 に線量測定の実験配置図を示す。10cm 厚の Mix-DP ファントム表面の照射野中央に 2 cm × 2 cm の大きさに切断した GAFCHROMIC を配置した。焦点-表面間距離 100cm で、照射野は 20cm × 20cm 一定とした。本研究における GAFCHROMIC への照射はすべてこの配置で行った。

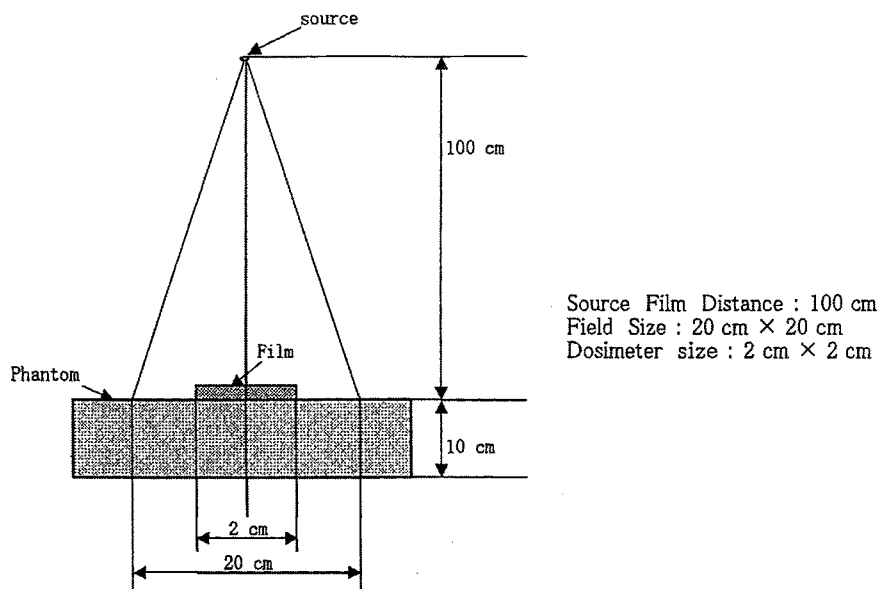


Fig. 1 Schematic Diagram for X-ray Exposure

3. 測定方法

1) 感度の均一化処理

GAFCHROMIC は高価であり、X線中心軸上の線量測定には小さく切って使用する。しかし、切断された資料の断端は薬剤類が切断されることにより、放射線に対する正常な化学反応を起こさなくなり異常な濃度を示すことから、この部分を測定範囲から除外した。照射後の濃度測定はすべての濃度が安定する24時間後に行った。

また、測定において以下に示す2つの計算処理を行った。まず、正味の光学濃度を得るために Dynescan で収集したデータを汎用コンピュータに転送してフォーマット変換を行い、表計算ソフト (Excel) にて subtraction 処理を行った。subtraction 処理は照射前と照射後に収集したピクセル値の引き算で得られる。次に、異常値削除処理は Laser Densitometer にてフィルム表面のピクセル値をグレースケールで画像化し、1つの資料において1125個のサンプル数になるよう異常値処理を行い、これらの値を平均して1つの資料データとした。以下に述べる測定値はすべてこれらの計算処理を行い、ピクセル値の平均値を使用した。

2) Calibration Curve の作成方法

GAFCHROMIC のネット値から吸収線量を同定するためには Calibration Curve (ネット値-吸収線量校正曲線) が必要である。吸収線量の測定には Shallow 型電離箱を用い、表面線量の定義に基づき、ファントム表面に電離箱を埋め込んだ配置で測定した。各撮影条件の1ショットの照射線量を測定し、必要補正係数を乗じて吸収線量とした。本研究では

X線発生装置の機械的負荷を考慮し、80cGy までの Calibration Curve を作成した。管電圧50kV, 70kV, 90kV の照射条件でX線を0.87cGy~80cGy の範囲で照射した。前項の測定及び計算処理方法に従い、照射されたフィルムのネット値を求め、与えられた吸収線量との関係をグラフ化した。

3) エネルギー依存性の測定方法

管電圧50kV, 70kV, 90kV で、照射線量が20cGy になる撮影条件で照射を行い、各管電圧におけるネット値を求め、管電圧との対比をグラフ化した。

4) フィルム着色の進行度と安定性の測定

GAFCHROMIC は、照射直後に濃度測定を行うと測定結果に大きな誤差を生じることが報告されている^{5,7)}。これはフィルムに塗布された放射線反応層において、時間経過とともに化学反応が進行するので、フィルム着色は照射直後には完了しないためである。本項では、照射後の時間経過に伴うフィルムの着色の進行度と安定性について調べた。照射直後は化学反応が最も活発に行われ、変化が大きいので、照射後24時間以内では測定の時間間隔を短く設定し、それ以後は1日間隔で1週間まで測定した。照射条件は70kV で、20cGy と30cGy の吸収線量となるように照射し、線量の違いによる変化についても検討した。

結 果

1. フィルム感度の不均一性

Fig. 2 は Laser Densitometer を使用し、サンプル間隔0.5mmで試料全面をスキャンし、そのピクセル

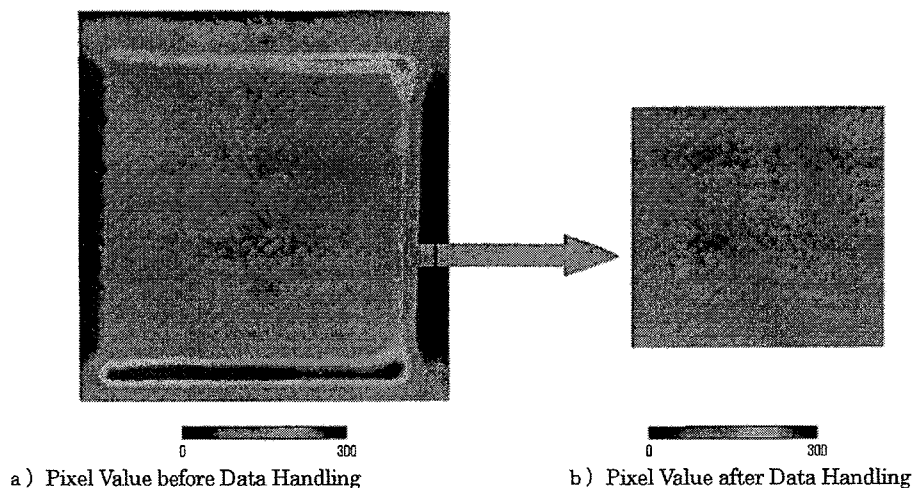


Fig. 2 The Uniformity of Pixel Value after Irradiation

ル値をグレースケールで画像化したデータの1例を示したものである。フィルムの正味の光学濃度を得るために subtraction 処理を行った資料が a) で、切断端の異常値削除処理を行ったものが b) である。b) の資料はどのピクセルも同一の値を示したことで、この2つの操作を行った結果、フィルム表面のネット値を均一にすることができた。

2. Calibration Curve

Fig. 3 に得られた Calibration Curve (ネット値-吸収線量校正曲線) を示す。縦軸はネット値 (npV)、横軸は吸収線量 (cGy) である。図中の近似曲線は上から管電圧90, 70, 50kV の順に並んでいるが、いずれも線量とネット値の関係は直線性を示した。また、2.5cGy 以下の線量ではネット値は0であり、いずれの近似曲線も原点を通らない結果となった。図中の近似式を以下に示す。

$$50\text{kV} : \text{cGy} = 0.0385\text{npV}^2 + 3.3508\text{npV} - 4.2035 \quad (R^2 = 0.9967)$$

$$70\text{kV} : \text{cGy} = 0.0017\text{npV}^2 + 4.3905\text{npV} - 3.7691$$

$$90\text{kV} : \text{cGy} = 0.0076\text{npV}^2 + 5.2360\text{npV} - 10.467 \quad (R^2 = 0.9996)$$

なお、Rはこの近似式の決定係数である。

3. エネルギー依存性

Fig. 4 に GAFCHROMIC のエネルギー依存性を示す。横軸は管電圧であり、縦軸は各電圧で20 cGy を照射したときのネット値である。ネット値は管電圧の上昇とともに僅かながら増加傾向を示し、最大値と最小値の相対値は10.1%であった。

4. 照射後の時間経過に伴うネット値の安定性

Fig. 5 及び Table 1 に照射後から測定までの時間経過に伴う相対線量を示す。相対線量は照射された吸収線量を Calibration Curve からネット値に換算した値を100として算出した。吸収線量20cGy の場合、照射後1時間では80.5%、12時間で94.0%、24時間で98.1%、48時間で100%であった。一方、吸収線量30cGy では Table 1 に示すように照射後

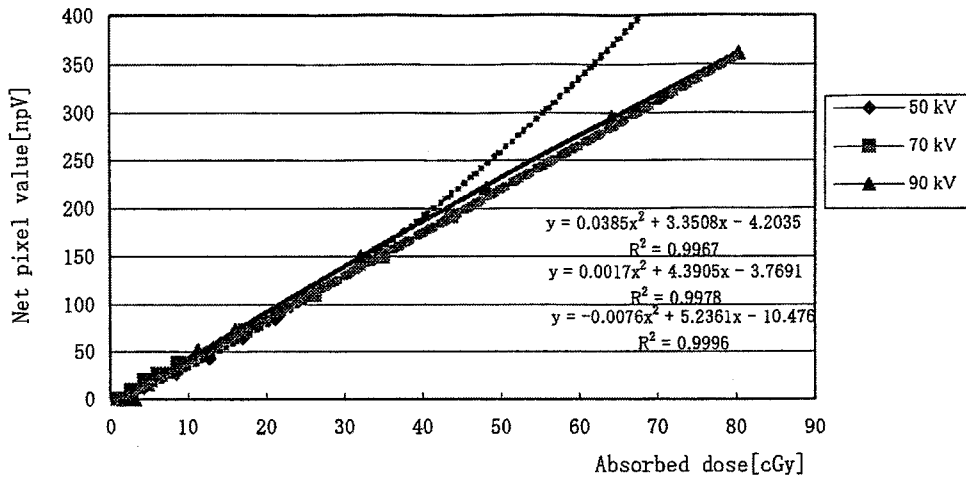


Fig. 3 Calibration Curve for GAFCHROMIC XR TYPE T

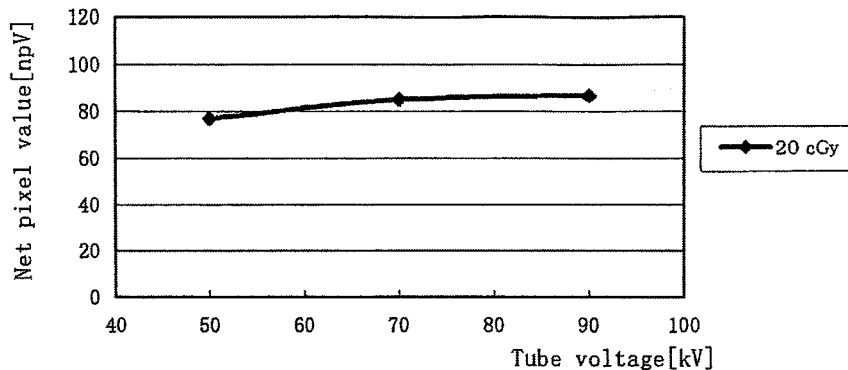


Fig. 4 Relationship between Net Pixel Value and Tube Voltage

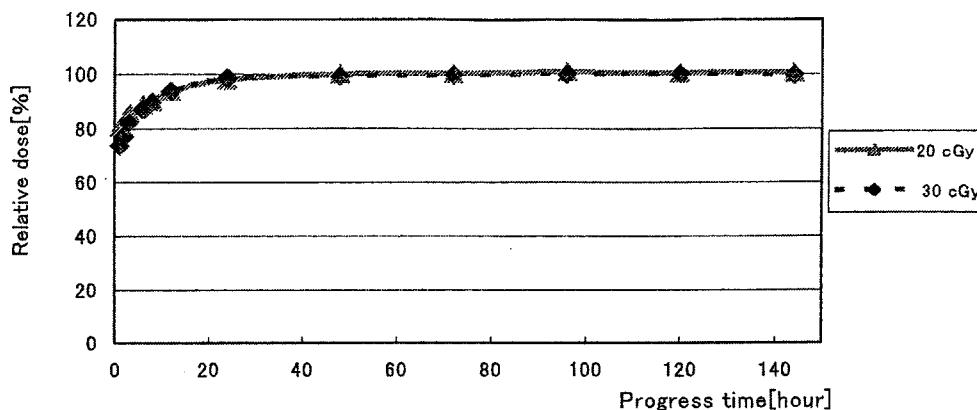


Fig. 5 Relationship between Relative Dose and Progress Time after Irradiation

Table 1 Relationship between relative dose and progress time after Irradiation

Progress time [hour]	Relative dose [%]	
	20cGy	30cGy
1	80.5	73.7
2	82.9	77.3
3	85.9	82.4
6	88.8	87.1
8	90.1	89.9
12	94.0	93.4
24	98.1	98.6
48	100.0	99.2
72	100.3	99.7
96	100.8	100.1
120	100.5	100.2
144	100.6	99.6
168	100.7	100.6

短時間では20cGy に比べやや低い値を示した。ネット値は両資料とも時間経過とともに増加の一途をたどり、相対値が100%に達するとそれ以後は安定な状態に落ち着いた。

考 察

1. 測定値の信頼性の評価

本研究における GAFCHROMIC のデータ処理は、既に述べたように subtraction 処理及び切断淵異常値削除処理をすべての試料について行い、得られた測定データを平均した値を採用した。GAFCHROMIC におけるネット値のばらつきの要因は、Local 変動と Regional 変動である³⁾。前者は放射線反応層が不均一に塗布された状態が影響し、後者はシステム上の問題が要因とされている。今回はフィルム自体の性能評価であるため、後者は除外して考えた。文献によると、他種の Gafchromic フィルムでは化

学薬品が支持体であるポリエステルベース面に塗布された方向により、不均一性が $\pm 3 \sim \pm 5 \%$ 存在することが報告されている³⁾。本品も同様な現象を示したが subtraction 処理により、不均一性を取り除くことが可能であると確認できた。したがって、本研究における照射条件範囲では、1枚の試料の中でネット値のばらつきがほとんどなかったことから、測定値の信頼性は高いものと考ええる。

2. Calibration Curve の評価

ネット値から吸収線量を同定するために Calibration Curve は必須であるが、ネット値と吸収線量の関係が安定していて、できれば直線関係であることが望ましい。本研究で検討した線量80cGy までの範囲では、2.5cGy~80cGy まではよい直線関係が得られたが、2.5cGy 以下の線量ではネット値は0であり反応しなかった。したがって、IVR 等における患者の皮膚表面線量の測定では数十 cGy の被曝が予想され、GAFCHROMIC を用いての測定は有用であると考えられる。但し、一般のX線撮影等少線量の検査には使用できないことがわかった。

3. エネルギー依存性の評価

長時間の透視撮影を行う IVR 手技時における透視のX線質は常に一定でないため、吸収線量の測定に際しては、線量計はエネルギー依存性が少ないことが要求される。本研究の検討管電圧範囲では、管電圧の上昇とともにネット値は僅かながら増加したが、最大値と最小値の相対値は10.1%であったことから、臨床における透視電圧の変動範囲ではエネルギーの違いによる測定値への影響は少ないと考えられた。

4. ネット値の時間的安定性の評価

GAFCHROMIC は塗布された放射線反応層が照射後すぐには安定せず、時間の経過とともにネット値が上昇する。実際の測定にはネット値が安定するまでの時間が経過してから測定する必要がある。本研究では照射後の時間とネット値の関係を実験的に調べたが、その結果は24時間以上であった。したがって、本品を使用しての測定はすぐに測定値を示すことはできず、少なくとも24時間後でないと真値は得られない。24時間を過ぎると安定状態になり、保管に注意すれば任意の時期に測定することができる。

結 語

GAFCHROMIC XR TYPE T について性能評価に関する実験を行った。その結果

1. フィルム表面におけるネット値のばらつきは、subtraction 処理及び切断淵異常値削除処理を施すことにより軽減された。
2. calibration curve 及びエネルギー依存性は良好で、IVR 等の臨床に応用できるものであった。
3. 照射後の反応層の化学反応はゆっくりと進行し、安定するまで少なくとも24時間を要した。
4. 以上の結果より、現在皮膚障害等で問題視されている IVR 検査について、モニタリング及び被

曝低減の基準としての線量測定に本品は大変有用であることが示唆された。

(なお、この論文の論旨は平成14年度中国四国放射線技師学術大会において発表した)

文 献

- 1) 宋寅傑：心臓カテーテルおよび肝動脈塞栓の施行後に生じた放射線皮膚炎。臨床皮膚科，54，7-10，2000。
- 2) 中村仁信：IVR 部門の管理と将来展望，放射線被曝とそのコントロール。INNERVISION. 17(10)，108-109，2002。
- 3) Niromand-Rad, A., Blackwell, C.R., Coursey, B.M., et.al.: Radiochromic film Densitometry, Recommendation of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 55. Med. Phys, 25(11): 2093-2115, 1998.
- 4) 青山英樹，中桐義忠，井上光広，他：Gafchromic MD-55-2 film の Laser Densitometer Model 1710 における線量計測体系上の適合性。岡山大学医学部保健学科紀要，12(2)，83-90，2001。
- 5) 山本泰司，高橋司伸，小松明夫，他：GAF chromic dosimetry の特性と PDD，OCR 曲線への利用。日放技学誌，57(11)，1357-1364，2001。
- 6) 天野雅史，西谷 弘，河野信吾，他：X 線により発色する反射型フィルム素材を用いた IVR 手技時の患者皮膚線量測定。日放技学誌，58(3)，420-423，2002。
- 7) 天野雅史，西谷 弘，河野信吾，他：反射型線量測定用フィルムを用いた IVR 手技時の患者被曝線量。日放技学誌，59(1)，121-129，2003。

Characteristic of GAFCHROMIC XR TYPE T dosimetry film

Mariko KUBOTSU, Yoshitada NAKAGIRI¹⁾, Ayako UJIFUKU²⁾, Yukiko TANIGUCHI³⁾,
Miho HACHIYA⁴⁾, Yoshiharu AZUMA¹⁾, Sachiko GOTO¹⁾, Toshinori MARUYAMA¹⁾,
Hideki AOYAMA⁵⁾, Seiji TAHARA⁵⁾, Keiji INAMURA⁵⁾,
Toshimitsu WATANABE and Katsuhiko SUGITA¹⁾

Abstract

In recent years, interventional radiology (IVR) using which uses prolonged fluoroscopy has been performed frequently in clinical radiology. Also, reports of radiation skin injuries whose symptoms occur after IVR has been also increasing. These symptoms will become worse if the radiation induced skin injuries are caused by doses which are above the designated threshold, and the grade of injuries are dependent on dose. Therefore, it is important that patient skin dose is measured correctly. But when performing IVR, irradiation is complex procedure, and there is a measurement error with an unfixed source-to-skin distance.

So, in this paper, characteristics of GAFCHROMIC XR TYPE T (which are film for low energy X-rays) are performed. Then, they are decided whether the application to the skin surface incidence dose measurement would be possible.

From these results useful data can be obtained; for example film characteristics, energy factors and stability of sensitivity.

Key Words : Patient Exposure dose, GAFCHROMIC XR TYPE T, Radiochromic film,
Interventional Radiology (IVR), Radiation dosimetry

Mabi Central Hospital

1) Department of Radiological Technology, Faculty of Health Sciences, Okayama University Medical School

2) Student of Graduate School of Health Sciences, Okayama University

3) First graduation class, Faculty of Health Sciences, Okayama University Medical School

4) Fukuoka Tokusyukai Hospital

5) Central Division of Radiology, Okayama University Hospital