高エネルギーX線のフィルム線量測定に対する バッジフィルタの効果

津 久 井 豊^{*1※}

(1973年3月30日受理)

Effects of Badge Filters on Photographic Film Dosimetry of High Energy X-ray

Yutaka TSUKUI^{*1※}

I 緒 論

Xおよび γ 線用フィルムバッジに通常使用されているフィルムには、エネルギー依存性があるが、200 KeV 以下の X, γ 線に関しては、数種類のフィルタを併用することにより^{1,2)}、実用に供し得る精度で X, γ 線を測定できるようになっている。なお、エネルギー特性の理論的な説明に関しては Greening³⁾ による詳細な論文がある。しかし、数 MeV 以上の X, γ 線に対するフィルムバッジの応答に関する報告は少ない⁴⁾。このことは、高エネルギー放射線が存在する作業環境における放射線作業の管理に際して、幾多の問題を生じてきた。

著者は、原子力発電所の高エネルギー放射線場における個人モニタとしてのフィルムバッジの指示値に問題があることに注目し、作業現場における測定結果を中心として若干の検討を加え、高原子番号のフィルタによる相対感度の増大を指摘した⁵⁾。今回は、高エネルギーX線の発生装置としてベータートロンを用い、バッジフィルタの応答を検討し、高原子番号のフィルタによる相対感度の増大の原因を考察したので、その結果を報告する。

II 実験方法

1. 装置および照射方法

高エネルギーX線の発生装置としては、15 MeV ベータートロン（東芝製 BT-15 型）を用いた。本装置の 8 MeV 以上の X 線のエネルギースペクトルについては、放射化法による測定結果があり、また半価層法により求めた実効エネルギーは約 8 MeV であることが報告されている⁶⁾。

バッジフィルムに対する照射線量は、320, 640 および 1280 mR とした。線量の測定には、電離箱型線量計であるラドコン（ビクトリーン社製型式 555）に 2.0 mm 厚の鉛キャップをつけたものを用い、積分線量値で発生装置を制御した。鉛キャップをつけた理由は、高エネルギーX線に対する電子平衡を満足させるためである⁷⁾。装置の都合上、バッジフィルムと線量計の位置に違いがあるので、結果の解析のためには線量の補正が必要である。

本実験に用いたバッジフィルム（富士フィルム製 γ 線用バッジフィルム）は、感度の異なる2枚のフィルムから構成されている。本実験では、高感度フィルムの黒化度のみを検討の対象にした。日常の放射線管理では、もっぱら高感度フィルムの黒化が対象となる。また低感度フィルムは、高エネルギーX線に対して高感度フィルムと基本的に同じ応答を示すと考えられる。

鉛コリメータ、周囲の構造物および空気からの2次電

^{*1} 東京大学医学部放射線健康管理学教室；東京都文京区弥生 2-11-16 (〒113)
Faculty of Medicine, Univ. of Tokyo; 11-16, Yayoi 2-chome, Bunkyo-ku, Tokyo.

※ 現在：日本原子力発電株式会社；東京都千代田区大手町 1-6-1
Present Address: Japan Atomic Power Company;
6-1, Ote-machi 1-chome, Chiyoda-ku, Tokyo.

Fig. 1 Arrangement of experimental apparatus for irradiation.

Fig. 2 Net density of film exposed to 0.64 R for varying thickness of badge filter.

Fig. 3a Net density vs. exposure for films covered with various filters.

子を遮断する必要がある。そのため、最大エネルギーの2次電子を遮断するのに十分な磁界強度を持つ電磁石を、バジフィルムの直前、すなわちX線発生装置側に配置した。Fig. 1は、その配置図である。X線のエネルギースペクトルの変動の影響を少なくするために、X線ビーム中へAlイコライザーを挿入し、また鉛コリメータの直径を縮小(5 mm)した。

2. 現像と黒化度の評価方法

現像液の現像能力の経時変化を考慮して、現像液はすべて現像操作の2日前に調製した。バジフィルムは富士レンドールを使用して20°C、5分間現像し、20°C、15分間の定着ののち、流水によって1時間水洗した。

黒化度の測定には、ナルミ自動平衡型光電濃度計を用いた。同一条件で照射した3枚のフィルムの最大黒化度を平均し、この平均値を測定結果とした。現像液が変わるたびに、未照射のバジフィルム数枚を現像し、現像液の現像能力のチェック、および真の黒化度を知るのに必要なフィルムベースの黒化度の評価に用いた。

III 実験結果

1. バジフィルタの厚さと黒化度の関係

通常用いられているフィルムバジには、厚さ2.0 mm以下のフィルタが用いられている。AlおよびPbフィルタの厚さを変化させ、バジフィルタの厚さと黒化度の関係を検討した。本実験における照射線量は、640 mRとした。

なお、磁場の有無による黒化度の差異も調べた。

Fig. 2に実験結果を示す。

2. バジフィルタの条件による黒化度の差異

本研究では、広範囲用フィルムバジ²⁾に用いられているフィルムが、黒化度にどのような影響をおよぼすかを検討の対象としたので、フィルタの種類および厚さは広範囲用フィルムバジのそれに一致させた。1種類のフィルタつき、バジフィルムの前面のみにフィルタをつけた場合、後面のみにつけた場合、両面につけた場合、およびフィルタのない(包装によるフィルタ効果のみの)場合の4つについて検討した。その結果をFig. 3a, 3bに示す。

なお、Fig. 3a, 3bに示されている線量の値は、線量率と線源からの距離が逆二乗法則に従うと仮定して、電離箱の指示値をバジフィルムがおかれている位置の線量に換算したものである。

Fig. 3b Net density vs. exposure for films covered with various filters.

3. 黒化におよぼすフィルタの相対的な効果

黒化におよぼすフィルタの相対的な効果 (relative photographic effect) は、一定の黒化度を得るのに必要な照射線量の逆数で表わされる^{8,9)}。ラジオグラフィーの分野では、黒化度の値が1あるいは2の場合の線量値が用いられることが多いが、本研究では黒化度が0.6に相当する線量値を用いることにした。その理由はバジフィルムを日常の被曝管理に用いた場合、黒化度が1に達することはまれであること、および0.5以下になると黒化度-線量関係が指数関数的な関係でなくなることの2点である。Al フィルタを用いた際の相対的な効果を1とした場合、他のフィルタの効果を Fig. 4 に示す。

IV 考 察

すでに報告した原子力発電所の作業環境で行なったフィルムバジに関する検討では、²²⁶Ra- γ 線照射によるCdおよびPbフィルタ下の黒化度を基準として、各種フィルタ条件のもとで線量および相対感度の評価を行なった。

今回の実験で得られた、高エネルギーX線を照射した際に得られるフィルタの厚さ、種類および位置と、黒化度との関係については、次の諸点を指摘できる。

- (1) フィルタの原子番号の増加とともに黒化度が増加する。
- (2) フィルタ厚2.0 mm以下では、フィルタの厚さの増加とともに黒化度が増加する。

Fig. 4 Relative photographic effect of filters placed on various sides of film.

- (3) フィルタがフィルムの両面にある場合に、黒化度が最も大きく、前面のみ、後面のみ、の順で小さくなる。

Xおよび γ 線の照射によって生ずるフィルムの黒化には、フィルム乳剤、フィルムベース、遮光紙、包装紙およびフィルタ中で発生した2次電子が寄与している。フィルタで発生した2次電子の寄与は、フィルタを用いた際の黒化度とフィルタを用いない場合の黒化度の差から求めることができる。なお、フィルタからの散乱 γ 線の寄与は、フィルタの厚さが薄いので無視しようと思われる。Fig. 4で示した結果から求めた、フィルタ中で発生する2次電子の相対効果をTable 1に示す。比較のために、⁶⁰Co- γ 線を照射して得られた結果^{8,10)}も記載した。⁶⁰Co- γ 線の場合は、フィルタ中での光電効果とコン

Table 1 フィルタからの2次電子の相対効果

照射放射線 (有効エネルギー)		ベータートロンのX線 (8 MeV)			⁶⁰ Co- γ 線 (1.25 MeV)					
フィルタの種類 ^{*1}		Al	Cu	Pb	Al	Cu	Pb	Al	Cu	Pb
相対効果 ^{*2}	両面フィルタ	1.00	1.38	3.74	1.00	1.13	1.44	1.00	1.06	1.49
	前面フィルタ	0.91	1.11	2.36	0.72	0.74	0.80	0.98	0.95	1.07
	後面フィルタ	0.04	0.20	0.82	0.28	0.39	0.64	0.02	0.11	0.42
	多重散乱電子	0.05	0.07	0.56	—	—	—	—	—	—
研究者名 ^{*3}		著 者			H.R. Splettstosser ⁸⁾			P.J. Ebert & A.F. Lauzon ¹⁰⁾		

^{*1} 著者の結果はフィルタの厚さが、Al 0.6 mm, Cu 0.3 mm, Pb 0.4 mm の場合であり、他の2者の相対効果の値は、この厚さに補正をして求めたものである。

^{*2} 相対効果の値は、両面 Al フィルタのときの効果を基準 (1.00) にして示したものである。

^{*3} 著者ならびに Splettstosser は、フィルムの黒化の測定により2次電子の効果を求めたが、Ebert らは2次電子を直接測定して求めた。

プトン散乱が主な寄与を示し、高エネルギーX線の場合は、電子対生成がこれに加わると考えられる。高エネルギーX線照射で両面 Pb フィルタの際の相対効果がかなり大きくなっているのは、電子対生成の寄与によるものと考えてよいであろう。

2次電子の多重散乱の寄与は、⁶⁰Co- γ 線照射の場合には、2次電子の最大飛程 (約 0.2 g/cm²) とフィルタ厚とがほぼ同じなので、無視できるが、高エネルギーX線照射の場合は、Table 1 に示したようにフィルタの原子番号が大きいと、多重散乱の効果が大きくなる。

V 結 語

原子力発電所の高エネルギー γ 線の作業環境で指摘された、フィルムバッジの指示値が相対的に高い値を示すという事実を究明する作業の一つとして、ベータートロンを用いて、各種フィルタ条件下のフィルムバッジを高エネルギーX線で照射し、フィルタの種類、厚さおよびフィルムに対する位置がフィルム黒化度におよぼす影響を検討した。

高エネルギー γ 線の作業環境での個人モニタとして慣用されているフィルムバッジを用いた場合、他の個人モニタの指示値よりも相対的に高い値を示す原因として、高原子番号すなわち鉛フィルタによる電子対生成の作用と、2次電子の多重散乱効果の増加が大きな寄与をしているものと考えられる。

本研究は、東京都立アイソトープ総合研究所との共同研究で行なわれたものの一部である。本研究の便宜をお

はからいくださった同研究所山本物理研究部長、および実験の実施と結果の解析に終始協力をおしめなかった原浩氏、半田円氏、ならびに同研究所各位に対して感謝します。

実験の計画ならびに結果の解析でご指導を賜った放射線健康管理学教室の吉沢康雄教授、および同教室の各位に対して感謝します。

参 考 文 献

- 1) M.J. HEARD and B.E. JONES; Proceedings of a personnel dosimetry techniques for external radiation, Madrid (OECD), p.89 (1963).
- 2) フィルムバッジニュース, (35), 11 (1970).
- 3) J.R. GREENING; *Proc. Phys. Soc.*, B 64, 977 (1951).
- 4) P.D. HOLT; *Phys. Med. Biol.*, 10, 345 (1965).
- 5) 津久井 豊, 吉沢康雄, 亘 恒男; 保健物理, 8, 19 (1973).
- 6) 原 浩, 榛沢貞茂; 日本写真学会誌, 30, 51 (1967).
- 7) 原 浩; 日本写真学会誌, 31, 15 (1968).
- 8) H.R. SPLETTSTOSSER; *Material Evaluation*, 29, 205 (1971).
- 9) F.H. ATTIX and W.C. ROESCH; "Radiation Dosimetry," Vol. II, p. 331 (1966), Academic Press, New York and London.
- 10) P.J. EBERT and A.F. LAUZON; *IEEE Transaction on Nuclear Science*, NS 13, 735 (1966).