

X線スクリーン・フィルム系の単一照射センシトメトリ

犬井 正男

東京工芸大学工学部画像工学科・〒243-0297 神奈川県厚木市飯山1583

(2001年1月24日, 最終2001年3月26日受理)

Single Exposure Sensitometry for Radiographic Screen-film System

Masao INUI

Department of image Information Engineering, Tokyo Institute of Polytechnics

Iiyama 1583, Atsugi, Kanagawa 243-0297, Japan

(Received January 24, 2001, in final form March 26, 2001)

Abstract: Sensitometry methods needed plural times of X-ray exposure, and it was necessary to monitoring X-ray intensity between exposures. Single exposure was desired to sensitometry for the radiographic screen-film systems. We developed a sensitometry method for the radiographic screen-film systems with single exposure in which two stacked screen-film systems, ingenious use of K absorption edge and the integral method for sensitometry were used. Then a characteristic curve obtained by the new sensitometry method was compared with these obtained by other methods, validity of the new method were confirmed.

Key words: single exposure, sensitometry, radiographic screen-film system, K absorption edge, the integral method for sensitometry

1. はじめに

X線スクリーン・フィルム系のセンシトメトリを行なうのに、多くの方法がある。通常は距離法が用いられ、照射線量を変化させるのに距離を変化させて数十回もの照射を行っている [1]. 照射線量の変調方法が実際に即しており、特殊な機材を必要としないため、ブートストラップ法もよく用いられている [2, 3]. この方法では、2回の照射で特性曲線を得ることができる。また、著者らは、これとは全く独立に、同一画面に対する露出の異なる2枚の写真画像のみから写真特性曲線を求める方法(積分法センシトメトリ)を開発し [4, 5], この方法をスクリーン・フィルム系に適用し、良好な結果を得た [6]. 積分法センシトメトリでは、ブートストラップ法を用いるときと同様に、

同一被写体に対して2回の照射を行なう必要がある。

このように、X線スクリーン・フィルム系のセンシトメトリを行なうのに、複数回の照射が行われている。しかし、複数回の照射を行うと、X線管からの照射線量が安定していないことがあるため、照射間での線量をモニタリングする必要があり、不便である。単一照射で特性曲線を得ることができればこのモニタリングの必要がなくなり、容易にセンシトメトリを行うことができる。本研究において、同一のスクリーン・フィルム系を2組重ね、K吸収端を巧妙に利用し、積分法を使用することにより、1回の照射でX線スクリーン・フィルム系のセンシトメトリを行う方法を開発したので、その方法と実際に使用した結果を報告する。

2. 単一照射センシトメトリを実現した技術

2.1 上下2組のスクリーン・フィルム系

Fig.1に示すように、ひとつのカセット中に2組の全く同じスクリーン・フィルム系を上下に重ねることにより、単一照射で上下の系に同時にX線を照射することができる。

2.2 K吸収端を巧妙に利用したフィルタ

X線が物質を通過すると、通常は、低エネルギー成分ほど多く吸収され、透過X線は高エネルギー成分が多くなり、硬化する。しかし、あるエネルギーより高いと急激にX線を吸収する吸収端が、物質に固有に存在する。希土類スクリーンに用いられているガドリニウムのK吸収端は、50.2keVである。管電圧とフィルタで調整して、X線のスペクトル分布がこのエネルギー前後になると、低エネルギー側では通常通り多く吸収され、高エネルギー側では吸収端のため通常より多く吸収される。すなわち、低、高エネルギーとも同じように吸収されるために、透過X線の実効エネルギーを入射X線のそれと同じにすることが可能となる。

2.3 積分法センシトメトリ

積分法センシトメトリの理論を一般感光材料をもとに示すが、詳細は参考文献 [2-4] に記述されている。

写真特性曲線の階調度 g は、定義により、

$$g = \frac{dD}{d \log E} \quad (1)$$

である。ここに、 D は濃度、 E は露光量である。これを微分方程式と考え、変形して積分を行うと、

$$\log E = \int \frac{dD}{g} + C \quad (2)$$

となる。ここに、 C は積分定数である。

異なる露出でステップタブレットの撮影を行ない、同一シーンに対する2枚の写真画像を得たとする。このときの被写体はステップタブレットである必要はないが、説明しやすくするため、一般撮影ではステップタブレットを、X線写真ではアルミニウム階段を撮影したものとする。2枚の画像中の対応するステップタブレットの露光量の比は、どのステップでも一定である。この比を露光量比 r とし、ステップ i に対する画像1, 2への露

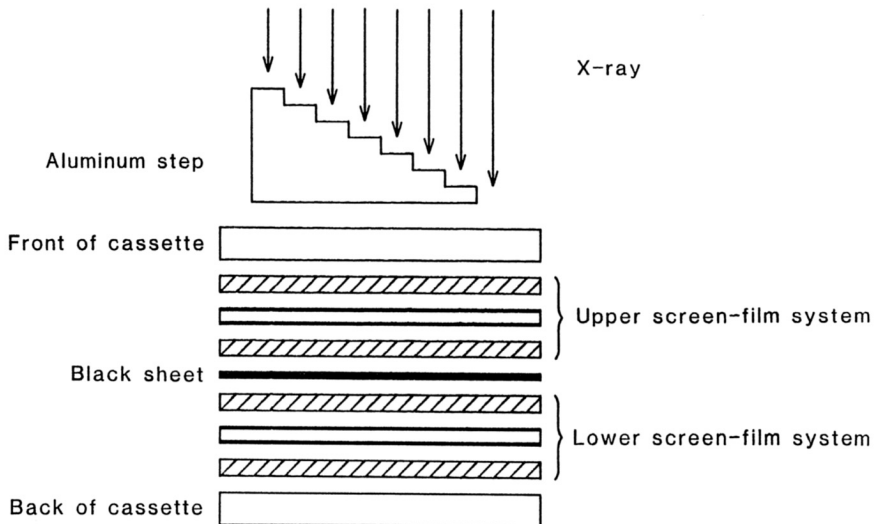


Fig.1 Stacked two screen-film systems in a cassette

光量をそれぞれ E_{1i} , E_{2i} とすると,

$$E_{2i} = rE_{1i} \quad (3)$$

である. このときの2枚の画像の濃度を, それぞれ D_{1i} , D_{2i} とすると, これらの濃度間の平均階調度 \bar{g}_i は,

$$\bar{g}_i = \frac{D_{2i} - D_{1i}}{\log r} \quad (4)$$

$$(i=1, 2, 3, \dots, n)$$

である. ここに, n はステップ数である. この平均階調度 \bar{g}_i と等しい階調度に対応する濃度 D_i は D_{1i} と D_{2i} の間に存在するから,

$$D_i = \frac{w_{1i}D_{1i} + w_{2i}D_{2i}}{w_{1i} + w_{2i}} \quad (5)$$

とする. ここに, w_{1i} , w_{2i} は重み係数であり, D_i

は D_{1i} と D_{2i} の間を $w_{1i} : w_{2i}$ に内分する. この重み係数は, 次式で求める.

$$w_{1i} = 2\Delta D_{1i} + \Delta D_{2i} \quad (6)$$

$$w_{2i} = \Delta D_{1i} + 2\Delta D_{2i} \quad (7)$$

式(2)から, ステップ i に対する露光量の対数は,

$$\log E_i = \int_0^{D_i} \frac{dD}{g_i} + C \quad (8)$$

となる. 定数 C の存在は $\log E_i$ が相対値しか得られないことを意味する.

式(5)及び(8)によって, 2枚の画像の濃度 D_{1i} , D_{2i} および露光量比 r から, 露光量の対数 $\log E_i$ とそれに対応する濃度 D_i の関係, すなわち, 写真特性曲線を得ることができる.

3. 実験及び結果

3.1 フィルタ

ガドリニウムを主成分とするKodak Lanexスクリーンを用いたとき, 上下の系への入射X線の実効エネルギーを等しくするためのフィルタを, シミュレーションにより設計し, 作製した.

実験に用いた東芝X線管DRX-260HDの60kVpのときの減衰特性をFig.2にNon filterとして示す. 60kVpのX線スペクトルのデータ [7] にアルミニウムのフィルタをかけたとき, この減衰特性になるのに必要なアルミニウムの厚さを, 最小二乗法により求めた. この厚さのアルミニウム付加フィルタの透過率を上述のスペクトルに乗じた値を, 実験に用いたX線管のスペクトルと推定した.

ガドリニウムの50.2keVにおけるK吸収端を利用し, 上下の系への入射X線の実効エネルギーが等しくなるように試行錯誤によりシミュレーションで求めたフィルタを, Table 1に示す. これらのフィルタを用いたときの上下の系への入射スペクトルをFig.3に示す. このフィルタを用いたときの上下の系の実効エネルギーは, それぞれ47.8 keVおよび46.9keVであった. スクリーンによって低エネルギー部およびK吸収端より少し大きい

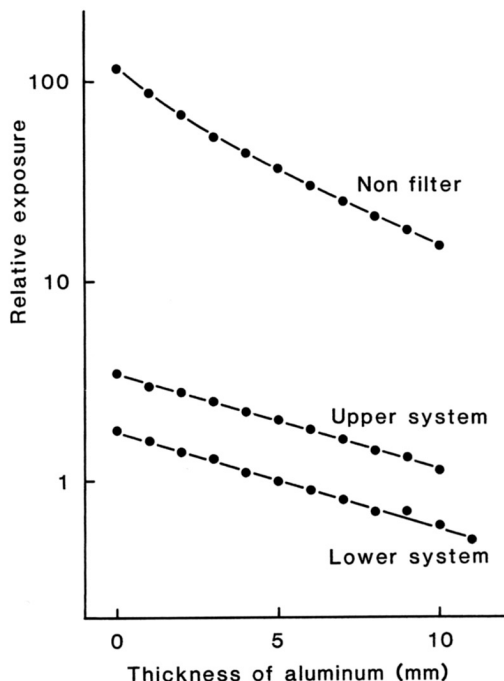


Fig.2 X-ray attenuation characteristic of non filter and two screen-film systems

エネルギーの部分でX線が多く吸収されるため、これらが相殺され、上下の系への入射X線の実効エネルギーがほぼ等しくなっている。

シミュレーションにより設計したフィルタを実際に作製し、実験に用いたX線管に取り付け、アルミの厚さを変えながら上下の系での線量を測定した。このときの上下両系の減衰特性をFig.2に示す。両者とも直線的に変化しており、実質的に単色X線とみなすことができる。これらの測定結果から、半価層法により求めた実効エネルギーは、上下両系とも48keVであった。

3.2 写真特性曲線

前述のフィルタを用いて、アルミニウム階段のX線撮影を行なった。スクリーンはKodak Lanex Fine, Medium, Regular, フィルムはKodak OG, OH, OLの3種を用いた。撮影は、X線強度が倍ずつ変化するように焦点とフィルム間の距離を3段階変えて行った。

Table 1 Composition of the filter

| Material | Thickness |
|-------------------|-----------|
| Lead foil | 0.1mm |
| Tin foil | 0.2mm |
| Gadolinium screen | 2sheets |
| Aluminium | 3mm |

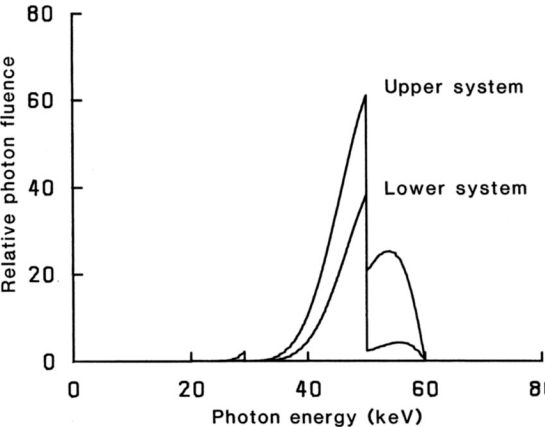


Fig.3 Simulated X-ray spectra of two screen-film systems

RegularスクリーンとOGフィルムの組み合わせに対して、種々の方法で求めた写真特性曲線をFig.4に示す。(a)は本研究で開発した方法、すなわち単一照射で得られた濃度値から積分法で求めたものである。(b)は、距離を変えて照射した濃度値に積分法を適用して求めた。さらに、そのときのデータにboot-strap法を適用して求めたのが(c)である。横軸は任意に定めた相対値であり、(a),(b),(c)の3曲線は互いに平行になっており、これら3曲線は同じとみなせる。他のスクリーン及びフィルムに対する結果も同様であった。

(a),(b)の黒丸が式(5)及び(8)から計算的に得られた点である。濃度対 (D_{1i} , D_{2i}) のうち少なくとも一方の濃度は必ず黒丸で示された写真特性曲線上の範囲に存在し、この濃度に対応する $\log E$ が決まる。この $\log E$ と $\log r$ だけ横軸に沿って離れて他方の濃度が存在する。濃度対のうち一方の濃度が計算的に得られた写真特性曲線の範囲外するとき、このようにして得られた点を、図中に

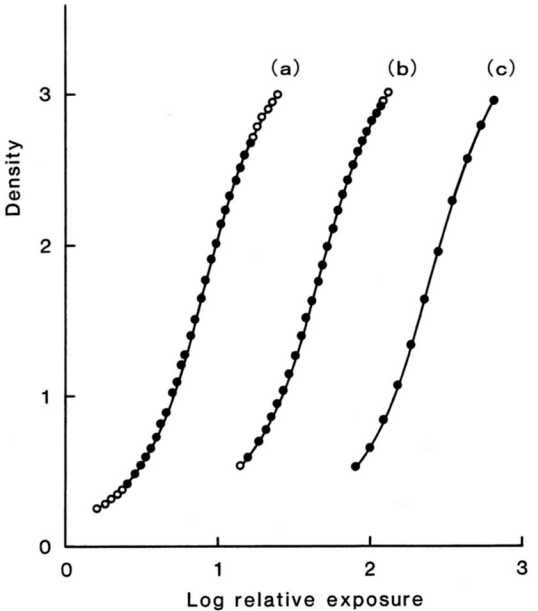


Fig.4 Photographic characteristic curves obtained by the single exposure method developed in this study (a), by the conventional integral method (b), and by the boot-strap method (c).

4. 検 討

X線スクリーン・フィルム系のセンシトメトリにおいて、照射線量を変化させる多くの方法がある。どの方法もいくつかの欠点を有している。逆二乗則を利用して距離を変化させる距離法がよく用いられているが、空気により低エネルギー成分が吸収され、距離によって線質が変化するため、厳密には逆二乗則が成立しない。電圧を変える方法では、線質も変化してしまう。時間を変化させる方法では、相反則不軌の問題がある。boot-strap法は、非常に興味ある方法であるが、同一濃度に対応する2点の線質が異なっている。また、これら全てに共通なことは、複数回のX線照射をしなければならぬが、X線管からの照射線量が安定していないため、常にモニタリングする必要がある。

ここで開発した単一照射法は、スクリーンのK吸収端を巧妙に利用して、上下の系での実効エネルギーを同一にして、たった1回の照射でセンシトメトリを行っている。実効エネルギーが同一であるため、対応する2点の線質は同じと見なすことができる。

単一照射であると、2枚の画像に対する照射時間、X線管と吸収体そしてスクリーン・フィルム系の幾何学的条件が同じである、などの利点がある。また、複数回照射のときに通常行なわれているモニタリングの必要がなく、便利である。

この方法を適用するには、シミュレーションによってスクリーンとフィルタの組み合わせ及び管電圧を決定し、さらに半価層測定などで、実効エネルギーが同一であることを確認する必要がある。

5. まとめ

単一照射によってスクリーン・フィルム系のセンシトメトリを行なう方法を開発した。ひとつのカセット中に2組の同じスクリーン・フィルム系を重ね、スクリーンのKエッジを巧妙に利用することにより、上下の系でのX線の実効エネルギー

を同じにし、線量だけが一定比だけ異なるようにしている。それに必要なフィルタをシミュレーションによって設計し、作製した。半価層法によって上下の系での実効エネルギーが同一であることを確認した。また、この方法を用いて得られた写真特性曲線を、Boot-strap法などによって得られたものと比較したところ、殆ど同じであった。

今後、輝尽性蛍光体などを用いたシステムへの適用が考えられる。

文 献

- [1] ISO 9236-1:1996, Photography - Sensitometry of screen/film systems for medical radiography - Part 1: Determination of sensitometric curve shape, speed and average gradient
- [2] Radiographic Market Division, Eastman Kodak Co., Sensitometric Property of X-ray Films, 27, Rochester, N.Y..
- [3] Bednarek DR and Rudin S: Modified boot-strap sensitometry in radiography, Opt. Eng., 20(2), 271-274, 1981.
- [4] 犬井正男: 数式モデルによる写真特性曲線の近似 (V) 露出の異なる2枚の画像から求めた写真特性曲線 (i) 理論およびシミュレーション, 千葉大学工学部研究報告, 30, 85-89, 1978.
- [5] 犬井正男: 数式モデルによる写真特性曲線の近似 (VII) 露出の異なる2枚の画像から求めた写真特性曲線 (ii) ステップタブレットを通して露光された画像, 日本写真学会誌, 43(1), 22-26, 1980.
- [6] 犬井正男, 他: センシトメトリの新しい方法とそのX線写真への適用, 放射線像研究, 13(1), 9-15, 1983.
- [7] Birth R, Barshall M and Ardran GM: Catalogue of Spectral Data for Diagnostic X-rays (The Hospital Physicists' Association, Scientific Report Series-30), Hospital Physicists' Association, 1979.