OUKA
Osaka University Knowledge Archive

Title	X線管電圧および管電流波形の写真効果（第2報）被写体透過X線量および増感紙傾蛍光量におよぼす効果
Author(s)	金森, 仁志
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1963, 23(5), p. 565-573
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19282
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

X線管電圧および管電流波形の写真効果
(第2報) 被写体透過X線量および増感紙螢光量におよぼす効果

島津製作所
金森仁志

(昭和38年5月4日受付)

Radiographic Effects Due to the Waveforms of X-ray Tube Voltages and Currents
Part 2 Effects to Transmitted X-rays Through Object and to Fluorescence-Brightness of an Intensifying Screen

By

Hitoshi Kanamori

Radiation Apparatus Division, Shimadzu Seisakusho Ltd. Kyoto, Japan

Uniform radiographs are not only made by kVp and mAs of X-ray radiography. Not only inaccuracy of kVp nor ununiformity of efficiency of X-ray generation cause this, but also by such variation of waveforms of tube-voltages and currents as stated in Part 1.

In part 2, effects due to the 3 kinds of waveforms, —single-phase, three-phase, and constant—were studied experimentally. Transmitted dose-rates were measured by Victoreen's Radocon or Condenser-R-Meter, and brightness of fluorescence by means of the integration of photo-current in a photomultiplier 931 A. Both indications were calibrated by the data given in Fig. 1 and Fig. 3 respectively. Experiments were made on one X-ray tube connected to the single-phase or to the 3-phase apparatus used in Part 1. The two apparatus were used separately such that data on single and 3-phase waveforms were obtained with them respectively. Smoothing capacitors were connected to the 3-phase apparatus for producing constant waveform in addition to cable-capacities. Tube-currents were selected for each kVp such that the tube-voltage pulsation rates in the three kinds of waveforms took 1, 0.3 and 0 respectively. Phantoms were placed at the mid-point between focus and chamber, to remove the effects of secondary radiation. Alluminum- and acrylite-plates were selected as objects. A typical screen, Shimadzu FD, is used for the data on fluorescence.

Fig. 10 and Fig. 11 show transmitted dose-rates and fluorescence of a screen produced by them respectively. The both figures facilitate investigation of radiographic effects. This will be discussed in Part 3.

The figures show that :-

1. Constant waveform generates harder quality and larger quantity of radiation than

single-phase waveform does, when the same kVp is used This is well known but has not been measured accurately.

2. The difference in hardness decreases as kVp increases and it becomes almost equal when kVp exceeds 80.

3. The difference in quantity also decreases as kVp increases.

The above characteristics may be caused by the soft radiation absorbtion rate of objects. The radiation produced by a single-phase waveform may have larger rate of soft radiation than a constant wavefrom radiation. This difference is renarkably evident when kVp. decreases.

4. Transmitted radiation is hardened as thickness increases. This appears more remarkably on aluminium than on acrylite. Acrylite has flatter absorption coefficient characteristics to photon energy than aluminium has (Fig. 4), so that soft radiation may absorbed more rapidly by aluminium than by acrylite.

Using the data in Fig. 10 and 11, moreover, it was foundth at the efficiency of fluoreseenc e-generation depends only on H.V.L. or effective kV of radiation as showh in Fig. 12.

Above experimental results could be reduced theoretically from eq. (6), if the spectral distribution of radiation intensity and that of aborption coefficients were known. However, spectral intensity-distribution is not exactly known when 30–150 kV is used as in the case with diagnoses. Therefore, Kulenkampff's equation, eq. (1), which had been given to 7–12 kV radiation produced by constant wavefrom, was applied as a trial. Calculated distribution for the 3 waveforms are shown in Fig. 5 and Fig. 6. The measured waveform (Part 1) were used for 3-phase and single-phase waveform. Whereas, the standard absorption coefficients, taken from a handbook, are as shown in Fig. 4.

The area under a spectral-intensity curve shows a relative dose-rate. In Fig. 7, the areas under curves (3) in Fig. 5 were compared with air-dose rates at a distance of 1.8 m in front of the tube-focus. In Fig. 8, the areas under curves in Fig.6 were compared with transmitted dose-rates. All of the experimentally obtained characteristics, 1–4, agree with the calculated results in tendensies, but do not agree in quantity. The experimental dose-rate may have harder quality of X-rays in all cases. This suggests that the second term of Kulenkampff's equation ,which expresses the self-hardening effect of an anode, should be estimated greater for higher tube-voltages.

I. 緒　言

最近，X線撮影の自動化，写眞の品質管理等の要求が生じたために，撮影条件が問題になつてきているが，撮影条件を kVp と mAs で表現する従来の方法に，まだ多くの問題点が残されている．たとえば，単相，3相，コンデンサ等の電源方式によつて撮影条件が異るのは当然であるとして，同種の電源方式の装置で同一の kVp, mA, sec を撰んでも装置が異れば写眞が異り，さらに，一つの装置で kVp と mAs を等しくしても mA と sec の組合わせが異れば線量も写眞も異ることは，日常，経験されている．この原因は，装置に表示されている kVp の精度，X線管の効率のばらつきのほかに，管電圧・管電流波形が単純な波形ではなくて，kVp と mA とが変れば著しく変ることにある．一方では，「良い写眞」とは如何なるものであるかと云うことも明確に定義されておらず，経験的な概念が通用してい

る．このような状態では，自動化や品質管理を押しすすめるにはほど遠いので，その基礎として，X線の発生から写眞効果まで結びつけることが必要になつてきた．そのためには，つぎの段階も経なければならない．

① 管電圧・管電流波形（第1報）
② 放射X線と被写体透過X線の線量，線質
③ 増感紙の発光
④ 良い写眞の意味と写眞効果の表示

第2報においては①②③の相互関係に関してのべるが，それに先立つて，他の研究者の成果を展望してみる．まず，波形と放射X線，透過X線の関係については若干の実験的研究がなされている[1)-4)]．X線のスペクトル分布と吸収係数がわかつておればこの関係を理論的に求めることができるが，診断に使用する30～150 kVp に対するスペクトル分布はまだ明らかにされていない．Ulrey の曲線[5)]，Kulenkampff の実験式[6)]，Kramesr の理論式[7)]はいずれも診断用の電圧範囲に対して不充分で，これらをもとにして計算されたスペクトル分布曲線の面積と，線量の測定値は一致しないことが報告されている[8)9)]．また，このような過去のデータは，発生装置，管球，管球容器の構造が，現在のものと著しく異る上に，kVp，波形，線量計の精度も問題であるから，現在の装置に適用することはできない．増感紙の螢光量特性については，撮影条件に直結するデータが数多く発表されているが[10)-17)]，もつとも基礎的な特性に関する研究がなされていないので，X線のスペクトル分布，あるいは透過X線の線質と結びつけることができなかつた．以前は，螢光量測定器がなくてフイルム法で測定していたので，この方面の研究がおくれていたものと考えられる．

つぎに，最近の装置に関しては，小柳氏は，単相装置の kVp と線量，線質，螢光量について詳細な研究をおこなつている[17)]．しかし波形との関係は論じていない．波形から写眞効果までを結びつける試みもなされており，中堀氏は3相とコンデンサ装置を kulenkampff のスペクトルの式をもとにした理論的な比較をおこない[18)]，内田，山根両氏は高圧と低圧の波形を混合したときの写眞効果について[19)20)]，青柳氏は，単相装置において，波形と螢光量の関係に関して実験的研究をおこなつている[21)]．

筆者は，第1報でのべたように，単相および3相全波整流型装置における管電圧・管電流波形と kVp 値について，理論的ならびに実験的に研究した結果，まず，電気的な条件を正確に把握することができたので，一つの代表的な組合わせについて，波形から写眞効果までを一貫してまとめることができた．組合わせが変つても，同じ方法を用いれば，最終結果を導くことができる．

2. 第2報における研究方針

X線管より放射されるX線の線質・線量は，電圧・電流波形によつて著しく影響される．しかし，管球フィルタと被写体を透過すると，軟線が吸収されてしまうのでこの関係が簡単になり，波形のこまかい変化を考えなくてもよい．kVp と脈動率に対するデータと mA ピーク値の効果を補正するデータ（単相低電圧大電流のとき）とがあれば透過X線の特性がわかる．（第3報[31)] 4. を参照されたい．）．そこで，ここでは，平滑化されるときの代表として定電圧波形を選び，単相と3相の代表的な波形を各 kVp に対して1つ(mA を1つ）選んで，3種の管電圧波形によつて発生するX線の，被写体透過性，増感紙螢光量の特性，ならびに両者の関係を実験的に究明する．理論的には，X線スペクトル分布があきらかにされていないので，線量透過特性を計算で正確に求めることができないが，7～12 kV で得られた Kulenkampff の実験式を診断の電圧領域に拡張してスペクトル分布を計算した結果と，線量測定結果を比較して，この実験式を検討してみる．終りに，写眞効果の関係を推定しやすいように透過X線量と増感紙螢光量の特性を表現する方法をのべて，第3報の準備とする．

3. 測定装置と方法

人体の直接撮影を対象として，幾何学的条件を固定し，電気的条件と被写体の厚さだけをかえるようにした．以下，その概要をのべる．

3.1. 電気的条件

定電圧，3相，単相の波形を比較するために第

1報の実験に用いた単相および3相装置とX線管を使用した．一つのX線管に標準ケーブルを接続して，2つの装置を交互に切換えたので，X線管からあとの幾何学的条件をかえずに比較することができた．各波形に対して，kVp をかえても管電圧脈動率が変らないように，mA を kVp に応じて調整した．

(1) 単相波形——平滑化されないように 100 mA一定とした．

(2) 3相波形——管電圧に3相不平衡の影響が現れず，脈動率が0.30±0.02になるように，35 kVp～120 kVp に対してそれぞれ mA を70～250に切換えた．

(3) 定電圧波形——3相装置でX線管の両極とアースの間にコンデンサを接続して管電流を5 mA 以下とし，脈動率を0.03以内に押えた．

3.2. ファントーム

アクリライトと Al を用いた．アクリライトのときは，特殊診断研究協議会ファントームにならつて，その厚さと同じだけの空間を中央に作つた．

3.3. 管球よりあとの幾何学的条件

管球フイルタを 1.4mmAl，距離（F.F.D.）を1.8m一定した．直接線だけを問題にしたので，照射野をできるだけしぼつた．

3.4. 線量測定法

Victoreen 製コンデンサRメータの0.25 r 用（130型），と同社製 Radocon の 1r/min 用（613型）を使用して広範囲をカバーすることができた．この2つの電離槽は同形で，Fig. 1のような線質依存性を示す．そこで，Al 減弱曲線の傾斜から線質を求めて，20～35 kV_{eff} に対しては，減弱曲線の修正をくりかえして，線量を較正した．ファントームからの2次線の影響を最小にするために Fig. 2のように，中間にファントームをおいて鉛スリットで散乱線を除去した[22]．

3.5. 増感紙螢光量の測定法

増感紙として，島津製FDを使用し，光電子増倍管 931Aで検出して螢光量を時間的に積分する装置を試作した．その時間特性と時間について較正したときの指示の直線性は，それぞれ，Fig. 3 (a)(b) のようである．同図(b)の横軸の輝度は，

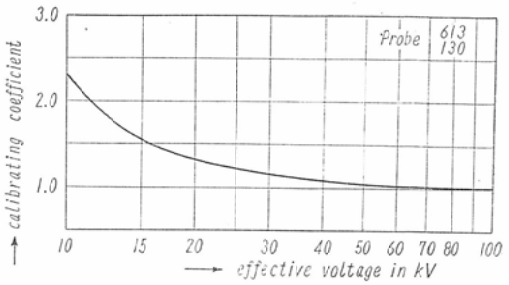


Fig. 1 Calibrating Coefficients of Ionization Chambers used in this Paper

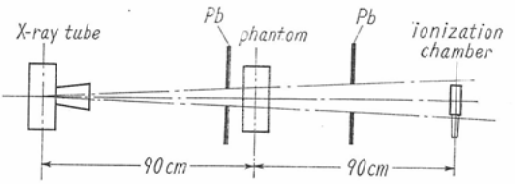


Fig. 2 Geometries in front of X-ray Tube

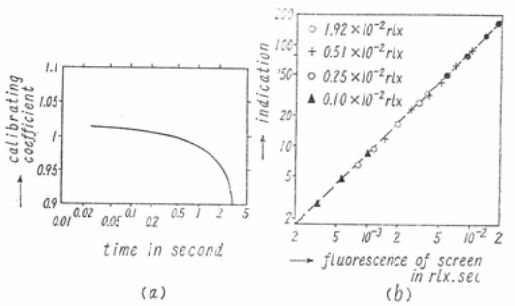


Fig. 3 Calibrating Coefficients of the Fluorescence Indications

kVp, mA, X線管と増感紙の相互関係を一定にして発光せしめ，光電子増倍管までの距離を4種類にかえて逆2乗法則で算定した値である．増感紙輝度を東芝5号型照度計で測定したが，発光スペクトル分布は紫外領域においても変らないので[15]，横軸は螢光量の相対値を示す．

この測定器を，Fig. 2の線量計の位置において螢光量を測定した．

4. Kulenkampff の式によるスペクトル分布と計算

4.1. 発生X線のスペクトル分布

連続X線のスペクトル分布に関して，1962年に Kulenkampff が7～12kV の範囲の定電圧・定電流波形について実験式を与え[6]1923年に Kramers が理論的に

比例定数を算出した[7]．当時は結晶廻折を用いていたので，管電圧の範囲が制限されている．最近，NaI シンチレータを使つた波高分析装置で，高電圧の連続X線スペクトルの測定が行われるようになつたが，[23)-28)]，まだ標準の分布も，実験式も与えられていないので，つぎの Kulenkampff の式でスペクトル分布を試算してみる．

$$J_C(\nu)=\begin{cases} C[Z(\nu_0-\nu)+Z^2b], & \nu\leqq\nu_0 \\ 0, & \nu>\nu_0 \end{cases} \qquad (1)$$

ただし

$J_C(\nu)$：振動数ν〔sec^{-1}〕なるX線の強度

C：管電流に比例する定数

Z：陽極の原子番号，現在はタングステンを使用しているので74である．

b：0.0025×10^{18}

ν_0：最大振動数〔sec^{-1}〕

放射線のスペクトル分布は横軸に光子のエネルギーをとつて，いわゆるエネルギー分布の形で表示するのが普通である．振動数νの光量子のエネルギーは Einsteinの関係式によつてつぎのようにあらわされる．

$E=h\nu/e$, h：プランク定数，e：電子電荷

適当な単位を使うとつぎのようになる．

$E[keV]=4.14\times10^{-18}\ \nu[sec^{-1}]$

また，管電圧v〔kV〕のX線の最大エネルギーはv〔keV〕であるから v と ν_0 の間にも同じ関係が成り立つ。これより (1)式はつぎのようにかきかえられる．

$$J_C(E,v)=\begin{cases} C'[Z(v-E)+0.01035Z^2], & E\leqq v \\ 0, & E>v \end{cases} \qquad (3)$$

ただし，$J_C(E,v)$：管電圧 v（kV）のときの，エネルギー E〔keV〕における線量率と管電流の比〔mr/mAs〕

C′：　比例定数

管電圧，管電流波形がそれぞれ$v(t)$, $i(t)$ のときは，各瞬時のスペクトルの合成であるから，次式が成り立つ．

$$J(E)=\int_0^T J_C(E,v)idt/\int_0^T idt$$
$$=C'Z\int_0^T\{v(t)-E+0.01035Z\}i(t)\,dt/\int_0^T i(t)dt \qquad (4)$$

ただし，J(E)：エネルギー E〔keV〕における線量率と管電流の比〔mr/mAs〕

T：波形の一周期〔sec〕

4.2　被写体入射 X 線と透過線のスペクトル分布

単色X線が物質を透過するときは，つぎのように減衰する．

$$I=I_0\exp(-\mu x) \qquad (5)$$

ただし I：透過線量，I_0：入射線量

x：透過物質の厚さ

μ：光子のエネルギーと物質によつて異る吸収係数である．よつて，入射X線と透過X線のスペクトル分布 I（E）は（4）(5)式より求められる．

$$I(E)=J(E)\exp(\Sigma\mu jxj) \qquad (6)$$

ただし，μ_j, x_j は途中の物質の吸収係数と厚さである．

吸収係数は，広いエネルギー範囲にわたつて求められており，Al [29)]，アクリライト[30)]，空気[29)]については Fig. 4 のようである．

以上の所論によつて，定電圧，および **3.1**のよ

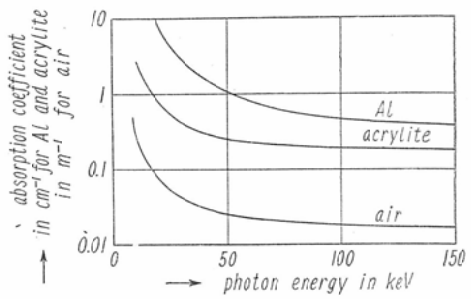


Fig. 4　Absorption Coefficients to Photon Energy

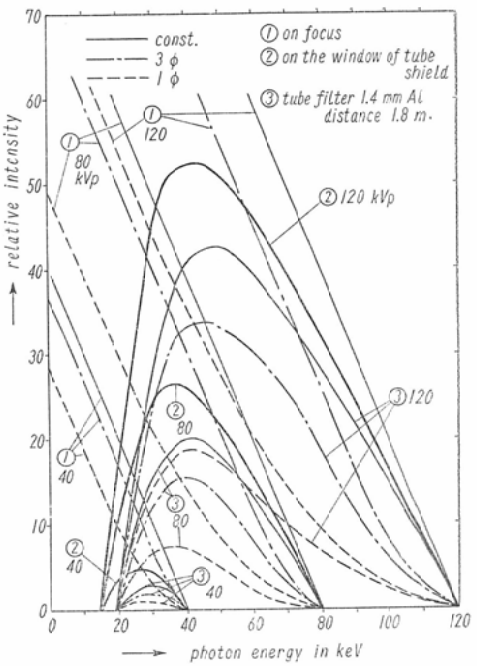


Fig. 5　Spectral Distributions of Radiated X-rays, Calculted from Kulenkampff's Equation

うな条件における3相と単相の実測波形（第1報で測定した波形）に対して計算したスペクトル分布の代表例を Fig. 5 に示す．まず，管球焦点より発生するX線①は脈動が増加すると，硬い方の成分（高エネルギー）が著しく減少することがわかる．この発生線は，管球壁のガラス，絶縁油，放射窓の樹脂で吸収されて②のようになり15keV以下はなくなる．さらに，管球フイルタ 1.4 mm-Al を通つて少し硬くなり，空気の吸収をうけて③のようになつて被写体に入射する．空気における減弱率は Table 1 のようである．軟線の方が多く吸収されるが，軟線の割合が少いので全体としての線質の変化は無視することができる．すなわち，距離をかえても線質は変化せず，線量は距離の逆2乗法則にしたがつて減少すると考えても，実用上さしつかえない．

Table 1 距離 1.8m のときの空気による吸収

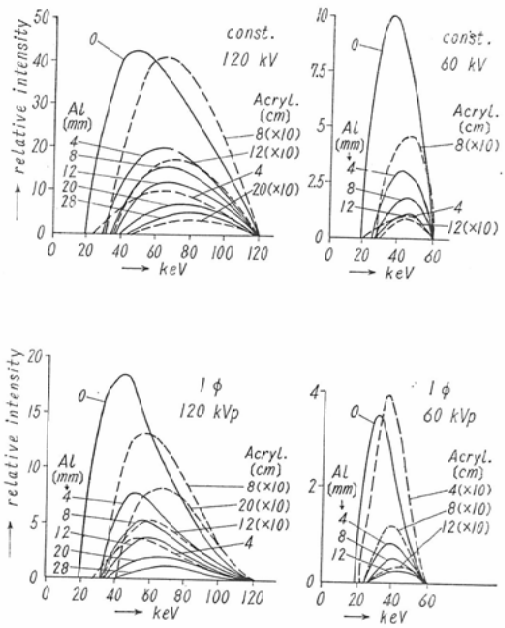
keV	吸収率
20	14.1%
30	11.3
40	5.08
50	4.40
60	3.91
80	3.55
100	3.34
120	3.26

Al およびアクリライトによつて吸収されたX線のスペクトルも，(6)式で計算できるが，この計算結果の代表例を Fig. 6 に示した．実線・点線はそれぞれ Al アクリライトを透過した後のスペクトルである．吸収物質が厚くなるにしたがつて，ピークが右に寄るのは，線質が硬くなることを示す．アクリライト10cm（胸部）を透過すると，約30keV以下の線はなくなることがわかる．

5. 線量測定によるスペクトル分布の考察

スペクトル分布曲線の面積は線量に比例するので，この面積と線量測定結果を比較してみる．

Fig. 7 は，吸収物質がないときの線量で Fig. 5 の曲線③の面積に相当する．計算結果では，線量は kVp の 3.3～4.8乗に比例しているが，実測結果では 1.7～2.1乗である．ここで，一致しない理由を考えてみる．



強度は任意尺，(×10)，(×100) は引伸し倍率を示す

Fig. 6 Spectral Distributions of Transmitted X-rays through Objects Calculated from Kulenkampff's Equation

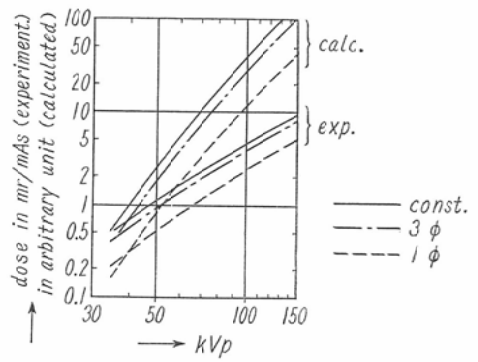


Fig. 7 Air Doses at the Distance of 1.8m from Focus

(1)式における第1項は陽極が薄い場合(thin target)に対して成立することが理論的に導かれているが[7]，実際のX線管では陽極に厚さがあるので（thick target），自己吸収がおこる．このような場合に関しては，理論的取扱がまだされていない．(1)式の第2項は，自己吸収によつて硬い線の割合が増加することをあらわす補正項であるが，電圧に無関係な定数で表現されているので高電圧に拡張したときは殆んど無視される．そこで第1項だけを考えると，Fig. 5 の実線①のようになつて，発生線量

は kVp の2乗に比例する．吸収があればこのベキの値はさらに増加する．しかし補正項が大きければベキの値は減少する．高電圧に対するX線スペクトルに関しては，M, Ehrlich が，50および 100kV の定電圧波形についてNaIの波高分析装置で測定して各種の較正をほどこした曲線を発表している[23]．これを Fig. 9に示す．このスペクトルは決定的なものではないが，これをFig. 5の①のかわりに使って③をかきなおして面積を求めると，kVの 2.9乗になる．補正項が大きくなるのでkVのベキは減少して実測値に少し近づいてくる．実際のスペクトル分布は，さらに硬い線の割合が多くて補正項が大きいと考えれば，実測結果に近づいてくる．

Fig. 8は，Al, Acrylite の厚さに対する透過率を示す線量減弱曲線である．(5)式の対数をとれば

$$\log I/I_0=-\mu x \qquad (7)$$

であるから，単色X線では勾配μの直線になり，線質が硬いほど傾斜がゆるい．ところが連続X線では，軟い線が先に吸収されて線質が硬くなるので，減弱曲線の勾配が除々にゆるくなる．

さて，Fig. 8で，計算値はFig. 6の透過X線スペクトルの面積を求めたものである．計算値と実測値の傾向は一致するが，実測値の方が透過率が少い．この現象も，実際のX線スペクトル分布が，Kulenkampff の式で表されるよりも硬い線が多いと考えれば説明することができる．正確なスペクトル分布の決定は，測定装置の開発に負うところが大であるから，今後の研究に待たねばならない．

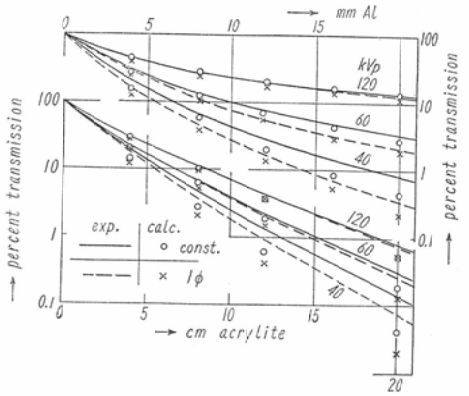


Fig. 8　Absorption Curves

6．写真効果を推定するための透過特性の表現法

Fig. 10に，実測した直接線の透過特性の代表例を示す．Fig. 7の実測曲線は，このデータから求

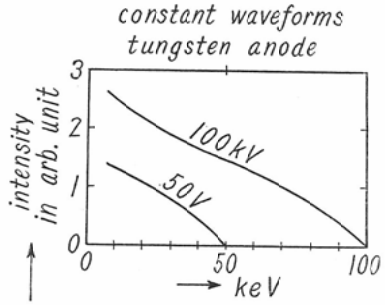


Fig. 9　Spectral Distributions from M. Ehrlich[23]

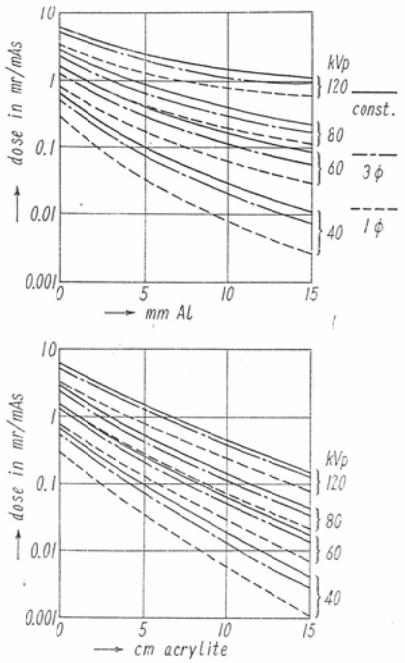


Fig. 10　Transmitted Doses through Objects

めたものである．写真効果を推定するときには，この図のような表現をおこなうのが便利である．X線写真の濃度レベルと対照度はそれぞれ線量と曲線の傾斜（線質）に関係するからである．Fig. 10において，kVp が低いほど波形による差が顕著に現れるのが見られ，80 kVp 以上では，曲線を平行移動すれば重るので線質には差がないとみなしてよい．線量の差も，低圧ほど大きくなる．脈動率が大きくなると吸収されやすい軟線の割合が多くなるので，早く吸収されるが，kVp が高くなると軟線の割合少なくなつて差がなくなるからである．Al のときには，アクリライトよりも

曲線が彎曲する．これは，吸収係数と波長との関係がFig. 4のようになつているので，Alの方が軟線を早く吸収するからである．これらの現象の傾向は，前項のスペクトルによる計算結果と一致している．

7. 透過X線による増感紙螢量の特性

X線を，増感紙で可視光線と紫外線に変換してフイルムに感光させるので，写眞効果を導き出すためには透過X線による螢光量を求めておかねばならない．

7.1 測定結果

Fig. 2の線量計の位置に螢光量測定器をおけば直接線による螢光量が求められる．その測定結果の代表例をFig.11に示した．これはFig. 10図の透過線量と対応する．両者は同じ傾向を示すが，螢光量の方は，低圧における減弱曲線の曲り方が少くなる．これは，X線の線質が軟いほど発光効率が低いためである．

7.2 線量と螢光量の関係

増感紙の特性は数多く発表されているが，[10)-17)] いずれも，特別な被写体に対して一定濃度を得るに要するkVp, mAs, mrの関係を示した実用的データであつて，線質と螢光量の関係，あるいは単色X線に対する発光特性を求めた基礎データが発表されていない．理論的研究も満足すべきものがない．そこで，筆者は，Fig.10とFig. 11によつて，螢光量の線質依存性をプロットしてみた．横軸は，減弱曲線より求めたAl半価層および実効電圧である．半価層と（螢光量/線量）の相対値との関係をFig.12に示すが，管電圧波形に関係なく，一本の線にまとめることができた．Acryliteを透過したX線についてAl半価層を測定した結果も同じく線の上にくる．9 mm Alを基準にした較正係数は，図の縦軸のkとなるので，線量と螢光量はつぎの関係であらわされる．

線量〔mr〕×3.88×10^{-3}•k＝螢光量〔rlx•sec〕 (8)

以上の結果，線量から螢光量を求めるときの較正係数が，Al半価層あるいは実効電圧で表現されることがわかつたので，写眞効果を求めるための基礎データを一つ追加することができた．

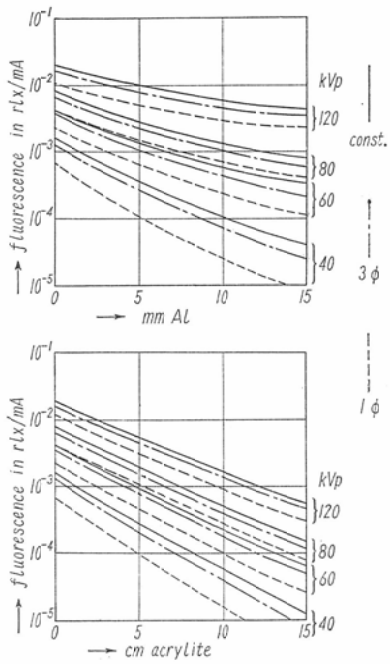
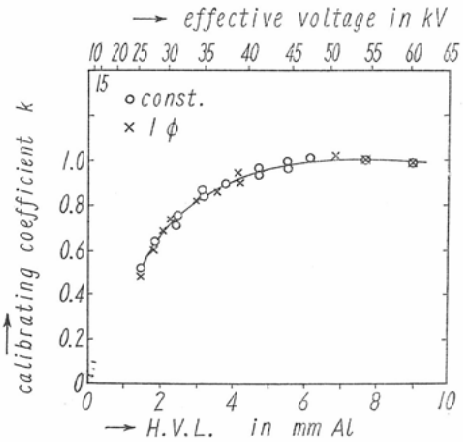


Fig. 11 Fluorescence generated by Transmitted X-rays



Eig. 12 Calibrating Coefficient for the Calculation of the Efficiencies of an Intensifying Screen

8. 結　　言

写眞効果を求めるための基礎データとして，単相，3相，および定電圧波形に対する透過X線ならびに螢光量の特性を実験的に求め，その過程と結果において，つぎの結論を得た．

(1) Kulenkampff の実験式と，管電圧，管電流の実測波形とを組合わせて発生X線および被写体への入射X線のスペクトル分布を計算して，エネルギー分布の形式で図示した．その結果，脈動率が悪くなると最高エネルギー部分が著しく減少すること，管球壁と管球フイルタによつて20 keV 以下の光子がほとんど吸収されることがわかつた．

(2) 上の分布と，吸収係数によつて，被写体の透過X線のスペクトル分布を計算して図示した．これによつて，被写体が厚くなるほど，高エネルギの光子の割合が増加する様子がわかる．たとえば，アクリライト10cmを通過すると30 keV 以下の光子が吸収されるので，30 kV 以下の電圧はX線写真に寄与しないことがわかる．

(3) スペクトル分布曲線下の面積を計算した結果と，線量を測定した結果とを比較すると，kVp 値，管電圧の脈動，被写体の厚さの変化に対して，計算値の方が大きく変動する．この現象は，陽極の自己吸収によつて，実際の分布が Kulenkampff の式で表わされるよりも硬くなつていると考えれば定性的に説明される．最近，別の方法で求められたスペクトル分布が，筆者の説明を裏書きしている．

(4) 線量透過特性の実験結果によれば，80 kVp 以下では，脈動の大きい方が線質が軟く，80 kVp 以上ではほとんどわからない．Al はアクリライトよりも，厚さに対する線質の硬化が大きい（減衰曲線の曲り方が大きい）．波形の差による透過線量の差は，kVp 値が低いほど大きくなる．これらの現象の傾向は，スペクトルの計算結果と一致する．

(5) X線量と増感紙の螢光量との関係は明らかにされていなかつたが，筆者は，本研究の過程において，螢光量と線量の比が，線質（Al 半価層あるいは実効電圧）によつてきまることを実験的に見出して，高電圧波形と写真効果を結びつけるための基礎データを一つ追加し，空白を埋めることができた．

(6) 写真効果と結びつけるのに便利なように透過特性を図示した．螢光量特性については，(4)の線量透過特性と同じことが云えるが，減弱曲線の曲り方が減少し，厚さの薄いところでは，kVpならびに波形による差が線量のときより大きくなる．

管球壁，管球容器の構造，および陽極のX線発生効率がちがえば，それぞれ線質，線量も異るが，波形の差に対する線質，線量の相互関係は，この実験結果から求めることができる．

文　献

1) W. Francis, et al.: Am. J. Roent. 21, 229 (1929) —2) W.E. Chamberlain, et al.: Am. J. Roent. 12, 509 (1924) —3) 関戸，中堀：島津レントゲン時報 No. 61, 1 (1941) —4) 関戸，西郷：島津レントゲン時報 No. 62, 13 (1941) —5) C.T. Ulrey: Physical Review 6, 407 (1918) —6) H. Kulenkampff: Ann. d. Phys. 69, 548 (1922) —7) H.A. Kramers: Phil. Mag. 46, 836 (1923) —8) C.E. Eddy: Brit. J. Rad. 5, 892 (1932) —9) W.A. Jennings: Brit. J. Rad, 26, 193 (1953) —10) J.G. Farrer: Brit. J. Rad. 32, 368 (1927) —11) J.H. Hartmann: Fortschr. Röntg. 43, 758 (1931) —12) F.E. Swindells: J.O.S.A., 23, 157 (1933) —13) R.H. Morgan, W.W. Van Allen, Radiology, 52, 832 (1949) —14) 西川：島津評論，7，10 (1950) —15) 大谷，滝沢：日医放誌，16, 352(1956)—16) 中村：日放技誌，17, 209 (1962)—17)小柳：日医放誌，18, 1548 (1959) —18) 中堀：電気評論，39, 346 (1951)，中堀他：日放技誌15, 205 (1960) —19) 内田：日放技誌，5, 77 (1959) —20) 内田，山根：22回日医放学会総会，9 (1963) —21) 青柳他：19回日技放学会総会，107 (1963) —22) D. Trout, et al.: Am. J. Roent. 84, 729 (1960) —23) M. Ehrlich: Jour. of Research of N.B.S., 54, 107 (1955) —24) W. Foote, H.W. Koch: Review of Scientific Instruments, 25, 746 (1954) —25) D.V. Cormack, et al.: Brit. J. Rad. 28, 605 (1955) —26) P.K.S. Wang, et al.: Brit. J. Rad. 30, 70 (1957) —27) G. Hettinger, N. Starfelt: Acta Rad. 50, 381 (1958) —28) 竹井：日医放誌，19, 1266 (1959) —29) たとえば，木村健二郎：放射線データーブック，地人書館 (1958) の数表より算出．—30) 森川，木村，他：日放技誌，14, 193 (1958) —31) 金森：日医放誌23, 646.