



Title	増感紙鮮鋭度のレスポンス関数による取扱い
Author(s)	滝沢, 達児; 土井, 邦雄
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1963, 23(9), p. 1029-1035
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/18247">https://hdl.handle.net/11094/18247</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# 増感紙鮮銳度のレスポンス関数による取扱い

大日本塗料株式会社  
滝 沢 達 児 土 井 邦 雄

(昭和38年9月12日受付)

## A Treatment of Image Sharpness on X-ray Intensifying Screens by Optical Transfer Function

Tatuji Takizawa and Kunio Doi  
Dai Nippon Toryo Co., Ltd. Chigasaki, Japan

Optical transfer functions of X-ray intensifying screens are studied using a photographic film. A variable slit method is taken in order to expose square wave radiation on a cassette in which the intensifying screens and a film are mounted. The apparatus is shown in Photo 1.

Varing the slit width and shifting the cassette, required spatial frequencies are obtained.

This method make it possible to determine the square wave transfer functions of X-ray intensifying screens, and the sine wave transfer function is calculated by R.V. Shack's method.

Optical transfer funcsions of a visible emission of phosphor layers are reduced by characteristic curves of film emulsion. This is so-called optical transfer function in linear system. But the present paper also gives the transfer functions of a wave-form of photographic density distribution on film, and these two functions are compared.

Square wave transfer functions  $H_D^1(\omega)$  of intensifying screens are found to be a formula approximately.

$$10^{H_D^1(\omega)} = K \{1 + (\omega T)^2\}^{-\frac{n}{2}}$$

Here  $n$  is peculiar to the phosphors of intensifying screens, depending on X-ray tube voltages.

$1/T$  shows the break point of two asymptotes.

$K$  is a constant dependent on exposed dose.

Since the optical transfer functions of the photographic film are given:

$$R(\omega) = \{1 + (2\pi S\omega)^2\}^{-\frac{3}{2}}$$

and  $S$  is a constant dependent on film emulsion,  
the resultant response  $R(\omega) \cdot H(\omega)$  becomes  $H(\omega)$  for

$$R(\omega) \doteq 1 \quad 2\pi S\omega_T < 1$$

$\omega_T$  is defined as  $H(\omega_T) = b$ .  $b$  is a threshold value of resolving an image dependent

on a detector and  $\omega_T$  correspond to the resolving power.

This makes it reasonable to use a photographic film when studying the transfer functions of X-ray intensifying screens.

## I 緒言

X線写真における像質は、増感紙による支配が相当大きい。増感紙においては、X線によつて励起された螢光体の発光が、螢光体層を通過してくるために、光の拡散現象が大きく影響を及ぼし、更に、螢光体の粒状性による影響も加わり、この為に像の不鮮銳が生じる。本研究では、この増感紙の鮮銳度を、フィルムを使用して調べたもので、この鮮銳度を表わす尺度として、レスポンス関数を用いた。レスポンス関数とは、電気通信理論<sup>1)2)</sup>で、既に、広く用いられている時間的周波数に対する周波数特性に相当するものであつて、一般にある伝達系の性能を表わすものである。最近は光学の分野<sup>3)4)</sup>においても、このフーリエ解析的な取扱いが取り入れられ、空間周波数の概念を用いて、レンズ<sup>5)</sup>やフィルム<sup>6)</sup>の性能を表示している。これも最近の光学におけるトピックの中の一つであろう。もともとこのフーリエ解析的な取扱いは、情報理論により確立されているもので、これをうまく用いて、伝達系を取扱う広い分野でその性能表示法として成功しているのである。X線写真<sup>8)9)</sup>においても、段々このフーリエ解析的な取扱いがなされ始めている。

本研究では、このレスポンス関数によつて鮮銳度を表示するが、更に従来の表示法との関係についても検討する。

## II 理論的取扱い

X線撮影における伝達系を、第1図の様に、増感紙のX線入射スリット面でx軸、像面でx'軸をとり、入射X線の分布を  $f(x)$  とし、これが増感紙によつて螢光像  $g(x')$  と伝達されると、これらの間に次の関係が成立する<sup>3)10)</sup>。

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot h(x'-x) dx = g(x') \quad (1)$$

但し、ここで  $h(x)$  はこの系のインパルスレスポンスである。

更に、 $f(x)$  及び  $g(x)$  のフーリエ変換を、夫々  $F(\omega)$  及び  $G(\omega)$  とすると、 $h(x)$  のスペクトルつまりフーリエ変換  $H(\omega)$  を用いれば、(1)式は

$$F(\omega) \cdot H(\omega) = G(\omega) \quad (2)$$

と書きえられる。ここで  $H(\omega)$  が、一般に光学でレスポンス関数と呼ばれているこの系の周波数伝達関数である。

次に実際に、正弦波の分布の入力があつた場合を考えてみると<sup>3)</sup>、第2図の如く、

$$f(x) = 1 + \cos \omega x \quad (3)$$

で与えられ、インパルスレスポンスを

$$\int_{-\infty}^{\infty} h(x) dx = 1 \quad (4)$$

の如く正規化すれば、レスポンスは

$$g(x) = 1 + H(\omega) \cdot \cos \omega x \quad (5)$$

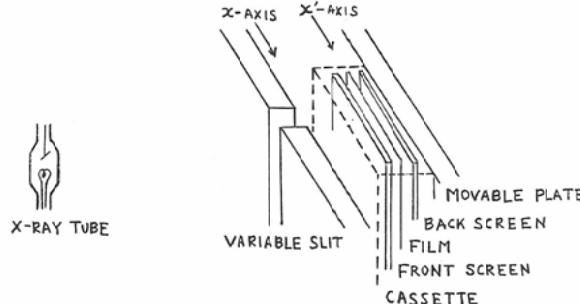


Fig. 1 Signal transfer in radiography using X-ray intensifying screens.

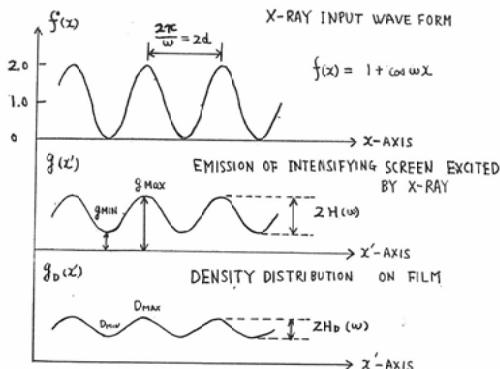


Fig. 2 Signal transfer when sine wave X-ray is exposed. Emission response and photographic density response are shown.

で与えられる。これからレスポンス関数は、次式によつて与えられる。

$$H(\omega) = \frac{g_{\max} - g_{\min}}{g_{\max} + g_{\min}} = \frac{(g_{\max}/g_{\min}) - 1}{(g_{\max}/g_{\min}) + 1} \quad (6)$$

この結果は、正弦波の分布のX線入力に対する増感紙の発光から  $H(\omega)$  が求められる事を示しているが、我々はこの研究で、受光器に写真フィルムを用いているので、増感紙自身のレスポンス関数  $H(\omega)$  を求めるには、黒化度から光量に変換してやる必要がある。もし黒化像の極大値  $D_{\max}$  及び極小値  $D_{\min}$  が、それ特性曲線の直線域にあるとすると

$$D_{\max} - D_{\min} = \gamma \log \frac{g_{\max}}{g_{\min}} \quad (7)$$

となり、この逆対数から、 $g_{\max}/g_{\min}$  が求められる。そして (6)式から  $H(\omega)$  が計算される。

以上は、X線から可視光え伝達した増感紙のレスポンス関数であるが、次にこの系のレスポンスをフィルムの黒化度と考え、X線を入力、黒化波形を出力と考えてみよう。もしこの系が全体として、線型である場合には、 $g(x')$  は  $g_D(x')$  に対応して (1)式が成立し、更に (5)式から

$$H_D(\omega) = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \quad (8)$$

となる。この  $H_D(\omega)$  を考へた場合には、黒化度から光量えの変換を行わずにすむわけである。ところが増感紙は、実用範囲内で線型と考えられるが、フィルムの黒化度は露光量に対して、非線型

であるので、結局、系全体を線型と考えることはできない。この場合には、 $g_D(x')$  に対して (1)式は成立せず、従つて出力波形のコントラストは、そのままでは、所謂線型レスポンス関数を与えないが、伝達関数として、この系の特性を示すことは可能である。

我々は、増感紙を取扱う時は発光を直接観察するよりも、フィルムを通して、黒化像を観察するので、黒化度から光量えの変換を行わないで、黒化像を直接、この系の出力と考え、このX線入力に対するその応答として黒化像えの波形伝送系の伝達関数を取扱うことも意義があると思う。

尙ここで考へているレスポンス関数は、正弦波レスポンス関数であるが、実際にX線の入力を正弦波にする事は大変困難であるし、更に色々な条件を考えると殆ど不可能に近い。この研究では矩形波を用い矩形波レスポンス関数を測定しその後、正弦波レスポンス関数に変換した。

### III 実験装置

写真1は、移動スリット法によるレスポンス関数測定装置で、増感紙の入ったカセットに矩形波のX線を照射する為のものである。前面のスリット間隔は、横面のマイクロメーターで  $5/100\text{mm}$  まで正確に微調節可能である。必要な空間周波数を得るには、このスリット間隔を調節し、カセットを後面の移動板にとりつける。そしてX線照射毎に、スリット間隔  $d$  の2倍の距離  $2d$  ずつ、この移動板のマイクロメーターによつて、後面のカセットを移動する。これで、増感紙に空間周波数  $\omega = 1/2d$  の矩形X線が照射される。

実験に使用したフィルムは、フジPXフィルムで、現像はフジレンドールによつて  $20^{\circ}\text{C}$ 、4分間行つた。

X線装置は、大阪レントゲン社製シリウス 910 Tで、これに  $1\text{mm}$  のアルミニウムをフィルターとして使用した。

濃度の測定は、島津読取式ミクロホトメーターによつた。

End Effect をのぞくため<sup>11)</sup>、高空間周波域では、5～6本の矩形X線が照射された。

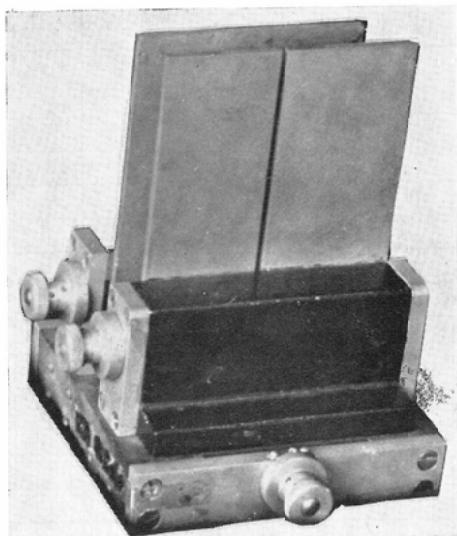


Photo. 1 Slit width and position of cassette are varied by micro-metre screw on each side respectively.

Then required spatial frequencies are obtained. Slit width was modulated photoelectrically.

#### IV 結果

##### (i) 黒化波形の伝達関数

フィルムの黒化波形の矩形波伝達関数の実測結果を、第3図に示す。これは2本の漸近線を持つ曲線で、低空間周波数では一定値になり、ある折点までくると、そこから直線的に減少している。

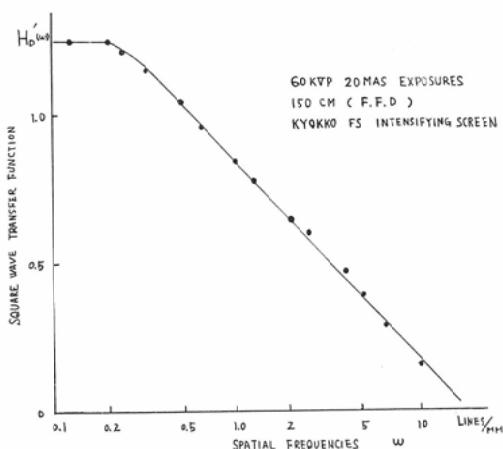


Fig. 3 Square wave transfer function of photographic density distribution on film.

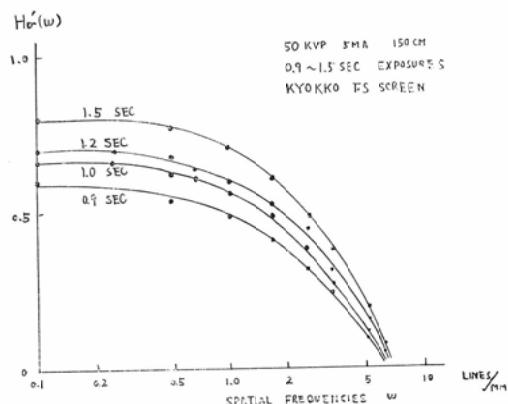


Fig. 4 Square wave transfer functions at low photographic density ranges. Density dependence of response is shown.

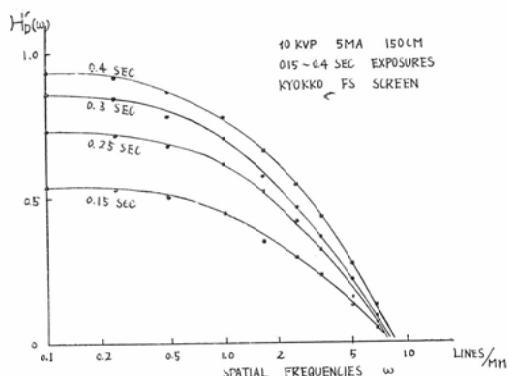


Fig. 5 Square wave transfer functions at high X-ray tube voltages.

X線管電圧を変化させると、第4図第5図の様に変化し、照射X線量に対しても、濃度の変化のため、伝達関数は移動している。これは、伝達関数の正規化を行っていない事と黒化度の非線型の為である。管電圧で伝達関数の変化するのは、管電圧によって蛍光体のX線吸収係数が変化し、蛍光体中の発光層の位置分布が影響されるためである。だから管電圧の変化は、増感紙のレスポンスの根本的な変化を生じている。

一方X線量の変化は本質的なレスポンスの変化を生じない。これはこの系が線型である限り当然であるが、黒化像を扱う伝達関数では、フィルムの非線型の影響を受けてしまう。だから第4図第5図に示されるわりと狭い範囲では、相互の正規化

を行えば、線量の変化に対して殆んど、同じ伝達関数を示す。しかし、本来非線型の黒化度を正規化することは厳密にあまり意味がない。だから同一黒化度で比較せねばならない。

この伝達函数  $H'_D(\omega)$  は近似的に

$$10 H'_D(\omega) = K \{ 1 + (\omega T)^2 \}^{-\frac{n}{2}} \quad (9)$$

で示される。但し  $K$  は低空間周波数におけるコントラストを示し、 $T$  は折点を示す。又  $n$  は  $\omega T > 1$  の範囲における漸近線の勾配を示している。

### (ii) 各種増感紙間の比較

(9)式において、 $K=1$  になる様に露出して、つまり低周波で  $D_{max} - D_{min} = 2.0$  になる様にし

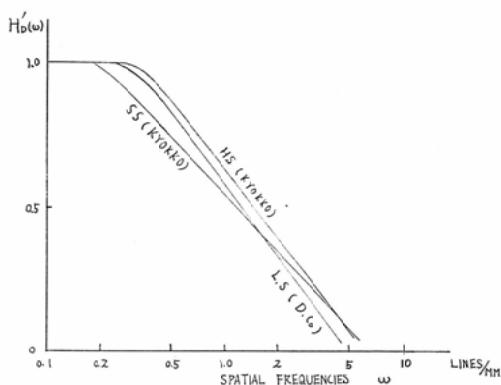


Fig. 6 Square wave transfer functions of high speed type X-ray intensifying screens.  
60kVp, 150 cm

HS (Kyokko)  $K=1$   $1/T=0.35$   $n=0.80$   
L.S. (D. Co.)  $K=1$   $1/T=0.31$   $n=0.83$   
SS (Kyokko)  $K=1$   $1/T=0.20$   $n=0.67$

て、相互のレベルを一定にしてから、各種増感紙の伝達関数を求めると、第6図第7図及び第8図の如くなる。この中で目立つのは、SS増感紙は他の増感紙と少し異ったレスポンスを示している。これはSS増感紙が、硫化亜鉛系螢光体を使用している為で、他のタングステン酸カルシウム螢光体を用いた増感紙と比較すると、X線吸収係数及び各種の光学定数更には粒子径が異っている為と考えられる。

他の増感紙相互の伝達関数の差異は、折点  $1/T$  の移動がはつきりしているが、 $n$  の変化は小さい

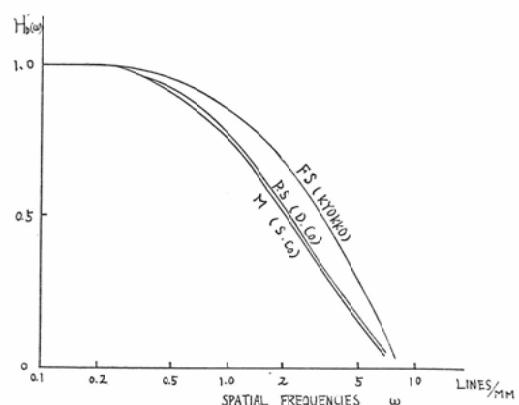


Fig. 7 Square wave transfer functions of FS type screens.

FS (Kyokko)	$K=1$	$1/T=1.3$	$n=1.22$
PS (D. Co.)	$K=1$	$1/T=0.56$	$n=0.88$
M (S. Co.)	$K=1$	$1/T=0.52$	$n=0.87$

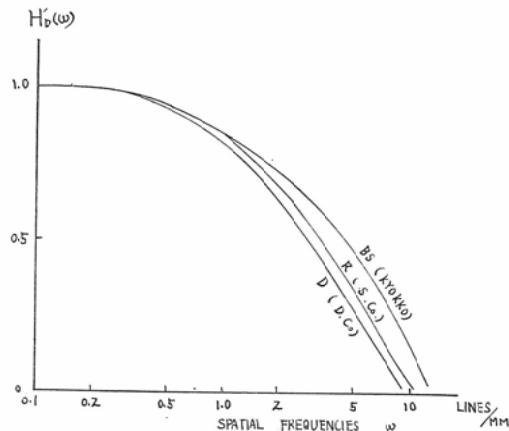


Fig. 8 Transfer functions of high resolving power type screens.

D (D. Co.)	$K=1$	$1/T=0.9$	$n=1.0$
R (S. Co.)	$K=1$	$1/T=1.1$	$n=1.0$
BS (Kyokko)	$K=1$	$1/T=2.0$	$n=1.2$

様である。つまり、インパルスレスポンスの形はこれらの間ではほぼ同じであると云う事ができる。

### (iii) 増感紙発光のレスポンス関数

次に、フィルム上の黒化波形でなく、増感紙の発光の矩形波レスポンス関数  $H'(\omega)$  を考えてみよう。これは前のフィルム黒化度から(7)式によつて計算されるが、ここではフィルムの特性曲線を使用した。

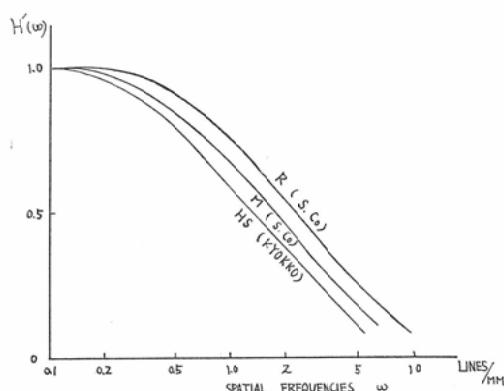


Fig. 9 Square wave transfer functions of visible emission reduced by film characteristics curves.

60 kVp, 150 cm: Exposure conditions.

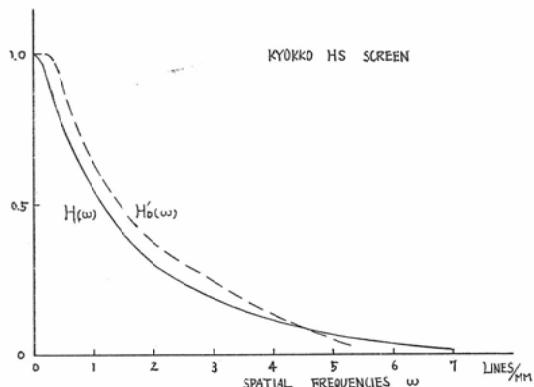


Fig. 10 Reduced sine wave optical transfer functions of emission and square wave transfer functions of film density distribution.

この結果は第9図に示す。フィルム黒化波形の伝達関数の形と比較すると、レスポンス関数は高空間周波数領域まで及んでおり、この相異は、フィルムの非線型特性に原因し、高周波ではこの系の信号は、特性曲線のスソの部分で伝達されている為である。

#### (iv) 正弦波レスポンス関数

次に以上の結果を正弦波レスポンス関数に変換してみよう。矩形波レスポンス  $H'(\omega)$  から、正弦波レスポンス  $H(\omega)$  への変換は、R.V. Shack<sup>13)</sup> 及び Coltman<sup>8)</sup> 等がすでに計算を行っているが、ここでは前者の方法を用いて換算した。

第10図は、増感紙の発光の正弦波レスポンス関数  $H(\omega)$  である。光学で使ういわゆるレスポンス関数は、これにあたり、これから他の系との合成が行われるわけである。

#### V 鮮鋭度について

増感紙の鮮鋭度の表示法として、解像力法がある。これは大低の場合、フィルム像を肉眼観察するものであるが、伝達関数  $H_D(\omega)$  から考えると、 $H_D(\omega_T) = b$  になる  $\omega_T$  を見つけていたことになり、解像力は、伝達関数の一断面であると云える。ただし  $b$  は解像限界を示す。

この方法には色々問題がある。観察者によつて、 $b$  が異なる事、又フィルムのノイズのレベルによつて左右される事、更に  $\omega_T$  だけでは、この伝達系の性能を充分表示し得ない事などであつて、最後の点については例えば、硫化亜鉛系螢光体を用いたSS増感紙が他のタンクスチン酸カルシウム螢光体を使用した増感紙と異つた形の  $H_D(\omega)$  を示す事からも了解される。

Nitka 法<sup>15)</sup> では、インディシャルレスポンスを取扱つているが、これを微分すればインパルスレスポンスが求められ、更にそのフーリエ変換によつて、レスポンス関数が求められる。結局、レスポンス関数とインディシャルレスポンスは、内容的に全く同じであるが、Nitka は、このインディシャルレスポンスから 1 つの情報量として、Nitka 特数を与えているが、この特数がこの様な変換系の性能を最も良く表示しているかどうかは更に検討せねばならない。

つまり解像力法と同じ様に、レスポンス関数の差異を區別できない可能性がある。更にこの方法では、フィルムの非線型についてはふれていない。

最後に、フィルムを使つてゐる為に、増感紙のレスポンス関数だけでなく、フィルムのエマールジョンのレスポンスも加えられている事を考えてみよう。エマールジョンのレスポンス関数は一般に

$$R(\omega) = \{1 + (2\pi S\omega)^2\}^{-\frac{3}{2}}$$

で表わされる<sup>3)</sup>。但しここで、S はエマールジョン

固有の一定値である。

一般に  $S$  が小さい為に、 $\omega < \omega_T$  の範囲では  $R(\omega) \approx 1$  となり増感紙と組み合わせても全体の系のレスポンス関数  $H(\omega)R(\omega)$  は  $H(\omega)$  となり、結局フィルムのレスポンス関数は殆んど影響なくなる。

田島氏<sup>16)</sup>は、X線写真的鮮鋭度は増感紙のみによつて決定され、フィルムは影響しないことを、インディシャルレスポンスの形から結論している。

## VI 結語

今までの増感紙鮮鋭度表示法では、この伝達系の特性の1断面についてのみ、1つの情報量を与えていたが、レスポンス関数では、各空間周波数について、忠実にその応答を示しており、最も正確にこの伝達系の性能を表示している。然もこの方法では、他の伝達系と組合ねせた時は更に有利になる。即ち合成した系のレスポンスは、その成分のレスポンス関数の乗算になるからである。こういう点では伝達系のレスポンス関数は、その系自身の入力及び出力について表示しているのでなければならないが、増感紙についてだけ鮮鋭度を問題にする場合は、X線入力に対してフィルム黒化波形を出力にとって、その特性を表わすことも可能であり、むしろこの方が視感との対応もよい。更に、増感紙のレスポンス関数を使用時と全く同じ条件で、光電方式によつて求めることは事実上

不可能で、フィルムを使用せねばならないから、この場合には光への変換を行わずに、直接黒化波形によつて伝達関数を表わす方が容易である。しかし、フィルムを使えばどうしても非線型の問題とか、現像及び間歇露出の要素が加わるので、直接、光電的にレスポンス関数を求める事が最も望ましい。その方法は今後の問題であるが、レスポンス関数によつて、この像伝達系の性能を表示する事は、今後の進む方向である。

各種増感紙について、レスポンス関数の相異を明らかにし、管電圧、X線量による変化について検討した。

稿を終るに臨んで、御助言をいただいた早大理工学部応用物理学科大頭仁助教授、及び終始、御助力及び御討論下さった茅ヶ崎工場の各位に厚く感謝致します。

## 文 献

- 1) 川上正光：電子回路Ⅱ。—2) 電気学会大学講座：自働制御。—3) 久保田広：応用光学。—4) 物理学論文選集：情報理論と光学。—5) 佐柳和男：応用物理，25，11，443，1956。—6) 科学写真便覧（上）丸善，1960。—7) 闕英男：情報理論（岩波現代物理学講座）。—8) J.W. Coltman: J. Opt. Soc. Amer., 44, 6, 468, 1954. —9) 田島, 畑中: 非破壊検査, 12, 2, 85, 1963. —10) 加地, 土井: 極光 X-ray No. 20. —11) 久保田, 鈴木: 応用物理, 26, 3, 135, 1957. —12) 遠藤, 四宮: 極光 X-ray No. 14. —13) R.V. Shack: J. Res. N.B.S 245—260, 1956. —14) 西川邦夫: 島津評論, 6, 2, 111, 昭24年。—15) H. Nitka: Phys. Zeitschr, 39, 436—439, 1938. —16) 田島, 浜本, 大上: X線特殊診断法研究会資料, 昭31年9月。