The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	拡大撮影用管球焦点のレスポンス関数（X線拡大撮影法の研究 第38報）
Author(s)	奥村, 寛; 綾川, 良雄; 佐久間, 貞行
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1967, 27(5), p. 590-594
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/19500
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

拡大撮影用管球焦点のレスポンス関数
(X線拡大撮影法の研究　第38報)

愛知県がんセンター研究所放射線部（部長：北畠隆）
奥　村　　寛
名古屋大学医学部放射線医学教室（主任：高橋信次教授）
綾　川　良　雄　　佐久間貞行

（昭和42年1月7日受付）

Modulation Transfer Function of the Very Small Focal Spot of X-ray Tube for Macroradiography
(Studies on enlargement radiography 38 Report)

by

Yutaka Okumura
From the Laboratory of Experimental Radiology, Aichi Cancer Center Research Institute, Nagoya
(Chief: Dr. T. Kitabatake)
Yoshio Ayakawa and Sadayuki Sakuma
From the Depertment of Radiology, Nagoya University School of Medicine, Nagoya
(Director: Prof. S. Takahashi)

Modulation Transfer Function (MTF) of the very small focal spot of X-ray tube for macroradiography and that of intensifying screen-film system were discussed.

As the ratio of macroradiography becomes higher, MTF of the focal spot decreases, at the same time that of screen-film system increases. MTF of macroradiographic system is considered to be the composition of that of focal spot and that of screen-film system. From two MTFs obtained by macroradiography in different magnification ratio, 2 and 4 (Fig.1), MTF of the focal spot (Fig. 2)and that of screen-film system (Fig.3) were counted respectively. Line Spread Function (LSF) of the focal spot (Fig. 4) and that of screen-film system (Fig. 5)were also calculated from their MTFs by means of Fourier inverse theorem. Optimal magnification ratio of macroradiography of this system was thus obtained to be from 3.9 to 4.6. MTF and LSF of macroradiography (Fig. 6 and 7) in 3.9 times magnification were calculated.

1. 緒　論

最近，X線像の画質判定の定量化の一つとしてレスポンス関数という概念が導入され(Morgan)[1]管球焦点の大きさやフイルム，増感紙の質が生体からX線像への情報伝達の過程として，レスポンス関数によつて表現されるようになつた（Morgan, Rossmann, 土井，金森，内田)[2)~11)].

本報告では，拡大撮影に用いられている通称50μの管球焦点のレスポンス関数及び線像強度分布関数について論じようと思う．

2. レスポンス関数

撮影装置は東芝製全波整流発生装置（KXO-特型）及び拡大撮影用自己バイアス回転陽極管球（M5818BX）である．フイルムはフジ Medical KX，増感紙は極光FSを用いた．管電圧は 110 KVでドイツ Funk 社製厚さ50μの鉛テストプレート（No.5679及び No.5863）で矩形波レスポンス関数を求め，Coltman[12] の式により正弦波レスポンス関数に変換した．Fig. 1には，これによつて得られた2倍拡大及び4倍拡大の撮影系のレスポンス関数を示した．この詳細は綾川[13]が別に述べる．

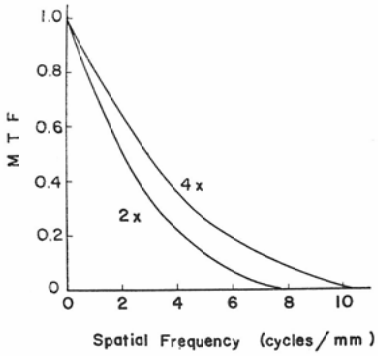

Fig. 1 Modulation Transfer Functions (MTF) of macroradiographic systems in 2 and 4 times magnification, conducted by means of the X-ray tube having very small focal spot.

撮影系のレスポンス関数は，焦点，増感紙及びフイルムの三つのレスポンス関数の積で与えられる．増感紙とフイルムは重ねて用いられるので，ここでは増感紙—フイルム系として一つのレスポンス関数で扱かつた．焦点及び増感紙—フイルムのレスポンス関数を $F(\nu)$ 及び $S_f(\nu)$ とし，被写体及びその像のレスポンス関数を $O(\nu)$ 及び $I_0(\nu)$ とする．いま焦点被写体間をa，被写体フイルム間をbとし，空間周波数 ν をフイルム上で取れば像のレスポンス関数は

$$I_0(\nu)=O\left(\frac{a+b}{a}\nu\right)\cdot F\left(\frac{b}{a}\nu\right)\cdot S_f(\nu) \qquad 1)$$

になる．ν を被写体面で取れば

$$I_0(\nu)=O(\nu)\cdot F\left(\frac{b}{a+b}\nu\right)\cdot S_f\left(\frac{a}{a+b}\nu\right) \qquad 2)$$

となり，撮影系のレスポンス関数 $I(\nu)$ は

$$I(\nu)=F\left(\frac{b}{a+b}\nu\right)\cdot S_f\left(\frac{a}{a+b}\nu\right) \qquad 3)$$

になる．

拡大条件の異なる a_1, b_1 及び a_2, b_2 での撮影系のレスポンス関数を $I_1(\nu)$ 及び $I_2(\nu)$ とすると

$$I_1(\nu)=F\left(\frac{b_1}{a_1+b_1}\nu\right)\cdot S_f\left(\frac{a_1}{a_1+b_1}\nu\right) \qquad 4)$$

及び

$$I_2(\nu)=F\left(\frac{b_2}{a_2+b_2}\nu\right)\cdot S_f\left(\frac{a_2}{a_2+b_2}\nu\right) \qquad 5)$$

になる．4)式及び5)式より S_f 及びFを消去すれば

$$\frac{I_1\left(\frac{a_2}{a_2+b_2}\nu\right)}{I_2\left(\frac{a_1}{a_1+b_1}\nu\right)}=\frac{F\left(\frac{b_1}{a_1+b_1}\cdot\frac{a_2}{a_2+b_2}\nu\right)}{F\left(\frac{b_2}{a_2+b_2}\cdot\frac{a_1}{a_1+b_1}\nu\right)} \qquad 6)$$

及び

$$\frac{I_1\left(\frac{b_2}{a_2+b_2}\nu\right)}{I_2\left(\frac{b_1}{a_1+b_1}\nu\right)}=\frac{S_f\left(\frac{a_1}{a_1+b_1}\cdot\frac{b_2}{a_2+b_2}\nu\right)}{S_f\left(\frac{a_2}{a_2+b_2}\cdot\frac{b_1}{a_1+b_1}\nu\right)} \qquad 7)$$

となり，F及び S_f の比が得られる．6)式及び7)式より外挿によつてF（O）及び $S_f(O)$ を求め，正規化すれば焦点及び増感紙—フイルムのレスポンス関数が得られる．

Fig. 2に上の計算より求めた焦点のレスポンス関数を示した．高周波になると急に低下していることがわかつた．Fig. 3 に増感紙—フイルムのレスポンス関数を示した．点線は実験による1倍拡

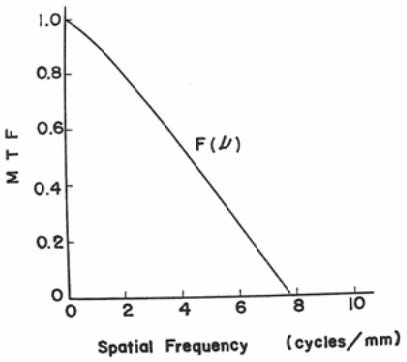

Fig. 2 MTF of the very small focalspot to fhe X-ray tube for macroradiography.

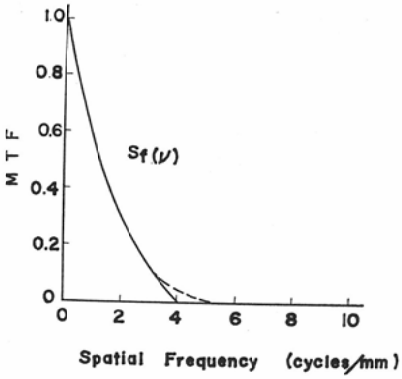

Fig. 3 MTF of the intensifying screen-film system. Solid curve shows calculated MTF and dotted curve shows MTF obtained experimentaly. (Two curves are coincided expect low region of MTF.)

大の撮影系のレスポンス関数で高周波領域をのぞき両者は一致した.

3. 線像強度分布

上で得られたレスポンス関数を次式によってフーリエ逆変換を行なえば線像強度分布が得られる.

$$f(x)=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}F(\nu)\exp(2\pi i\nu x)d\nu}{\int_{-\infty}^{\infty}F(\nu)d(\nu)} \qquad 8)$$

焦点の形はピンホール像からほぼ左右対称であることが確かめられ，また増感紙とフイルムは左右対称とみなすことができるので，cosin 変換だけを考え次式により区分積分をした.

$$f(x)=\frac{\sum_{n=0}^{\infty}F(n\Delta\nu)\ \cos(2\pi xn\Delta\nu)\Delta\nu}{\sum_{n=0}^{\infty}F(n\Delta\nu)\Delta\nu} \qquad 9)$$

この計算はデイジタル型電子計算機NEAC2203で行なった.

Fig. 4に焦点の線像強度分布を示した．半値巾は 115μであつた．またFig. 5に増感紙—フイルムの線強度分布を示した．半値巾は 282μであつた.

4. 至適拡大率

焦点のレスポンス関数と増感紙—フイルムのレスポンス関数が得られれば，拡大撮影の場合の至適拡大率が求められる（佐柳）[14].

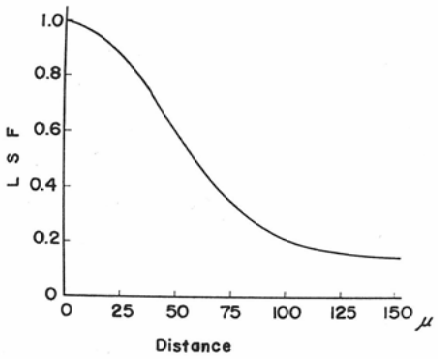

Fig. 4 Line Spread Function (LSF) of the focal spot of the X-ray tube.

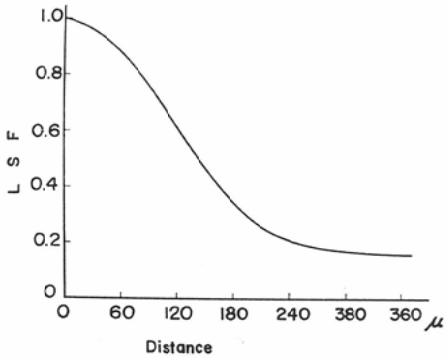

Fig. 5 LSF of the intensifying screen-film.

拡大率が大きい場合，aに比してbが大きくなり，$\frac{b}{a+b}$は大きくなり焦点のレスポンス関数$F\left(\frac{b}{a+b}\nu\right)$は低下し，また$\frac{a}{a+b}$は小さくなるので増感紙—フイルムのレスポンス関数$S_f\left(\frac{a}{a+b}\nu\right)$は増大する．前者は焦点によるボケが大きくなることを意味し，後者は増感紙やフイルムの鮮鋭度の影響が小さくなることを意味する．また拡大率が小さい場合には逆のことが言える.

(3)式のa,bを変えて拡大撮影系のレスポンス関数を計算することにより，至適拡大率を求めた．3.9から4.6までの間の拡大率でほぼ同じレスポンス関数が得られ最もよかつた．Fig. 6に3.9倍拡大の焦点，増感紙—フイルム及び撮影系のレスポンス関数，$F\left(\frac{\nu}{1.3}\right)$，$S_f\left(\frac{\nu}{3.9}\right)$及び$I(\nu)$を示した．またFig. 7にその撮影系の線像強度分布を示した．拡大率が3.9以下ではレスポンス関数

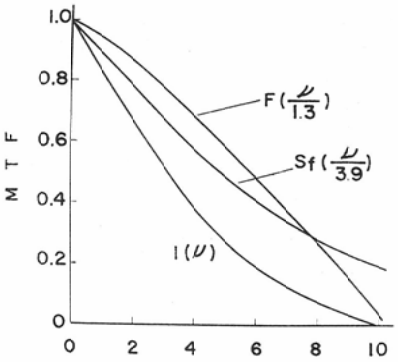

Fig. 6 Calculated MTF of macroradiogrophic system in 3.9 times magnification. F (ν/1.3): MTF of the focal spot, Sf (ν/3.9): MTF of the screen-film, I (ν): MTF of the macroradiographic system.

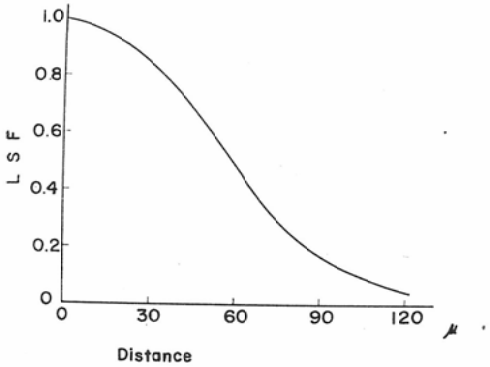

Fig. 7 Calculated LSF of macroradiographic system in 3.9 times magnification.

は全周波領域で低下し，4.6以上では低周波領域は増大を示すが，高周波領域で低下した．

5. 考　按

通常の診断用X線管球焦点のレスポンス関数は多く求められているが，拡大撮影用管球焦点のレスポンス関数はまだ求められていない．そこで私共は焦点のレスポンス関数と至適拡大撮影系のレスポンス関数を求めた．また，それらの線像強度分布も求めた．レスポンス関数と線像強度分布は，一方が空間周波数で表わされ，他が長さで表わされているだけでの違いであつて，この二つは同じものを示している．数学的処理を行なう場合には前者がすぐれているが，焦点の大きさやボケの大きさを判断するときには後者がすぐれている．

さて，焦点のレスポンス関数を直接スリット像又はピンホール像から求める場合には，スリットの巾あるいはピンホールの大きさを正確に測定し，その影響を計算によつて除くか，無視出来る大きさ（焦点の大きさの10分の1程度）のスリットかピンホールが必要である．しかし100μあるいはそれ以下の微小焦点では数μのスリットあるいはピンホールを用意せねばならず，それを製作することは不可能に近い．10μ程度のスリットを得ても absorption unsharpness (Rossmann)[4] を無視できないので，レスポンス関数を正確に求めるのは困難である．しかし，今回述べた如く二つの異なる拡大率の撮影系のレスポンス関数から焦点のレスポンス関数を求めれば上の困難は解決する．土井[8] はスリットと蛍光板とを密着させて得た蛍光板のレスポンス関数と，両者を離した拡大撮影系のレスポンス関数から焦点のレスポンス関数を求めており，それも確かに一法である．私共は考え方を変え，任意の二つの拡大撮影系のレスポンス関数から焦点を求める方法を試みたのである．増感紙とテストプレートを密着させて得た1倍拡大のレスポンス関数（Fig. 2の点線）が上で求めた増感紙—フイルムのレスポンス関数（Fig. 2の実線）と高周波領域の一部を除いて一致する点からみてこの方法は正しいものと考えられる．高周波領域の違いはフイルムの雑音によるものと思われる．

佐柳[14] は焦点及び増感紙—フイルム—眼のレスポンス関数を正規分布に近似できるとして至適拡大率を計算しているが，この実験では正規分布で近似できなかつた．従つて至適拡大率は一つに定まらずある巾をもつた．増感紙の粒子が細かくなり増感紙のレスポンス関数が増大すれば，増感紙—フイルムのレスポンス関数が増大するため，より小さい拡大率でよりよい撮影系のレスポンス関数が得られるはずである．しかし実際には増感紙の粒状性が急激に改善されることは期待されず，実験に用いられた撮影系が実用されている．その意味で今回の結果は実用的なものであると考えら

れる.

6. 結 論

拡大撮影用管球焦点及び増感紙—フイルムのレスポンス関数を2倍及び4倍の異なる拡大撮影系のレスポンス関数より求めた. さらにそれらの関数をフーリエ逆変換を行なうことにより線強度分布を求めた. 二つのレスポンス関数から得られる拡大撮影用管球の至適拡大率は3.9から4.6であった. 拡大率3.9の焦点, 増感紙—フイルム及び撮影系のレスポンス関数を求め, その撮影系の線像強度分布を求めた.

(御討議下さった大日本塗料株式会社研究部土井邦雄氏及び御協力下さった名古屋大学総合計算室の諸氏に深く感謝の意を表する).

(本研究の要旨は昭和41年7月24日第31回日本医学放射線学会中部地方会で報告した.)

文 献

1) Morgan, R. H.: The frequency response function; Variable means of expressing the informational recording capability of diagnostic X-ray. Am. J. Roentgenol. 88 : 175—186, 1962.
2) Morgan, R.J., L.M. Bates, U.V. Gopalarao and A. Marinaro.: The frequency response characteristic of X-ray films and screens. Am. J. Roentgenol. 92 : 426—440, 1964.
3) Rossmann, K.: Modulation transfer function of radiographic system using fluorecent screens. J. Opt. Soc. Am. 52 : 774—777, 1962.
4) Rossmann, K.: Image-forming quality of rabiographic screen-film system; The line spread-function. Am. J. Roentgenol. 90 : 178—183, 1963.
5) Rossmann, K.: Measurement of the modulation transfer function of radiographic systems containing fluorescent screens. Phys. Med. Biol. 9 : 551—557, 1964.
6) Rossmann, K. and G. Lubberts: Some characteristics of the line spread-function and modulation transfer function of medical radiographic films and screen-film systems. Radiology 86 : 235—241, 1966.
7) 土井邦雄：X線撮影系のレスポンス関数(I) X線用螢光板. 応用物理, 33 : 721—726, 1964.
8) 土井邦雄：X線撮影系のレスポンス関数(II) X線管焦点. 応用物理, 34 : 190—196, 1965.
9) Doi, K.: Optical transfer functions of the focal spot of X-ray tubes. Am. J. Roentgenol. 94 : 712—718, 1965.
10) 金森仁志, 田中義宗：X線管焦点のレスポンス関数. 日医放会誌, 24 : 45—49, 1964.
11) 内田勝：X線管焦点のX線強度分布のフーリエ解析. 応用物理, 34 : 97—107, 1965.
12) Coltman, J.W.: Specfication of image propreties by response to a sine wave input. J. Opt. Soc. Am. 44 : 55—58, 1954.
13) 綾川良雄, 佐久間貞行, 奥村寛：レスポンス関数よりみた拡大撮影の至適拡大率. 日医放会誌印刷中.
14) 佐柳和男：X線直接拡大率の最適拡大率. 応用物理, 26 : 134—135, 1957.