

Title	X線管焦点の強度分布とModulation Transfer Function(MTF)
Author(s)	竹中, 栄一; 木下, 幸次郎; 中島, 緑彦
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1967, 27(1), p. 58-67
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/15301">https://hdl.handle.net/11094/15301</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

# X線管焦点の強度分布と Modulation Transfer Function (MTF)

東京大学医学部放射線医学教室 (主任 宮川正教授)

講師 竹 中 栄 一

NHK放送科学基礎研究所, 物性研究室

主任研究員 木 下 幸 次 郎 (旧姓菊地)

研究員 中 島 緑 彦

(昭和41年7月20日受付)

Intensity Distribution of X-ray Focal Spot and its Modulation Transfer Function

Eichi Takenaka, M.D.

Department of Radiology (Prof. Dr. Tadashi Miyakawa),  
Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, JAPAN.

Kojiro Kinoshita, Sci D, and Rokuhiko Kikuchi, B.St.  
Broadcasting Science Research Laboratories, Japan Broadcasting  
Corporation, Tokyo, JAPAN.

The intensity distribution of X-ray focal spot is expanded to symmetry and antisymmetry components with a base of rectangular function. And the parameters of its distribution are standardized by its modulation transfer function (MTF) and its relative cut-off frequency ( $f_{RC}$ ) (the cut-off frequency ratio of the 70.7% MTF (-3dB) of the focus with peaks to the one without peak).

1) The triple peaked intensity distribution of focal spot is decided to be quantitatively superior to the twin-peaked one. Of course the single peaked focus is the most effective one.

2) The  $f_{RC}$  in the symmetric twin or triple peaked one has the minimal value in the definite width and depth of peaks and valleys. If the permissible decrement of the  $f_{RC}$  is to be 10%, then the dimension of peaks and valleys can be selected within the limited range; width of valleys should be less than 0.4 in that or 0.6 in this.

3) The permissible decrement of the  $f_{RC}$  is determined by frequency characteristics of object necessary and desirable to diagnose or those of focal intensity distribution necessary to transmit this object and its correlation with the permissible load of X-ray tube.

4) The asymmetric focal intensity distribution has the asymmetric MTF and that the shifted origin. Even if the decrement of the  $f_{RC}$  is within permissible limit in positive frequency, some of the  $f_{RC}$  can be out of limit in negative frequency.

## 目 次

§ 1 序 言

§ 2 X線管焦点の強度分布の対称, 反対称成分への  
分解

§ 3 強度分布関数の基本形及び2, 3の分布関数と  
Modulation Transfer Function (MTF) との  
関係

3-1 基本関数形のMTF

- 3-2 Linearity
- 3-3 遷移関数系のMTF
- 3-4 2峰性強度分布のMTF
- 3-5 3峰性強度分布のMTF

§ 4 考案

§ 5 結論

§ 1. 序言

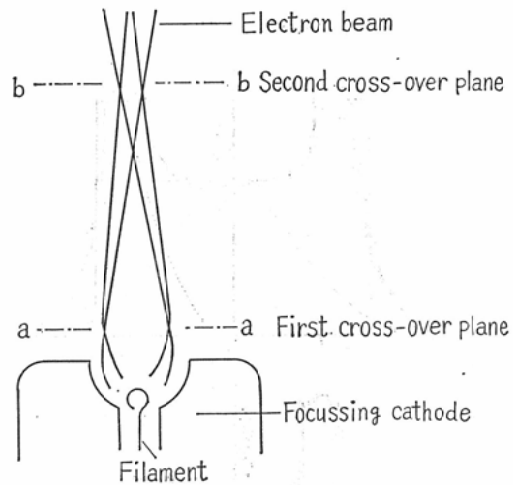
X線撮影系におけるX線像伝達には種々の要素が之に関与している。そのX線源たるX線管焦点強度分布及びその Modulation Transfer Function (MTF) については2, 3の実測した例がある<sup>1)2)</sup><sup>3)6)</sup>。併し何れの場合にもその分布型式の規格を決定したり、そのMTFとの関係について総括的な調査研究がなされていない。本報告ではその第一段階として焦点の強度分布を矩形波函数を基底として対称及び反対称成分に分解し、対称矩形波と反対称矩形波強度分布のパラメーターを設定し、どのようなパラメーターの値のときMTFが良くなるかを明らかにし、逆にMTFの面より必要なX線管焦点の強度分布を規格化した。この事はX線撮影系、XTV系 (Video系を含む)、X-cine系の像伝達系の規格を定めるに絶対必要である。

§ 2. X線管焦点の強度分布の対称成分系、反対称成分系への分解

X線管の焦点面の強度分布は陽極の物質、表面の傾斜及び形状、回転系の振動、電子ビームの形状 (フィラメント電圧、管電圧、管電流に関係する)、電子のエネルギーなどにより左右される。

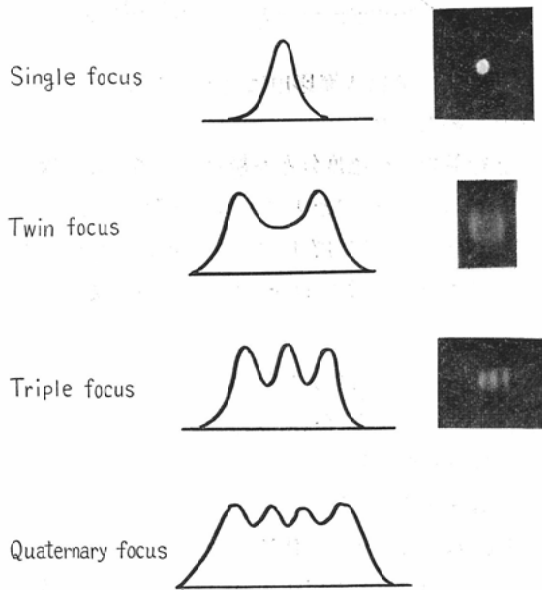
X線管では凹みの中にフィラメントを收容している陰極と対陰極との間に形成される静電的電子集束レンズにより、フィラメントからの熱電子がその対陰極上に焦点を結んでいるので、X線焦点の強度分布は電子ビームの焦点の形状に依存する。Fig. 1の様に<sup>4)</sup>フィラメントの上面からの電子群と側面からの電子群とは集束電界の作用が異なるため、一般に前者が主焦点を後者が副焦点を作る<sup>3)9)</sup>。これらの電子群は先づ a-a 面で交叉し、ついで b-b 面で交叉する。普通医療用X線管では b-b 面を使用しているのが多く、そこでは2峰性強度分布をしている。b-b 面より対陰極に近い

Fig. 1 Schematic Electron Track Converged by Electrostatic Converging Lens in Conventional X-ray Tube



(M. Yoshida and et al. Toshiba Rev. 21;397, 1966.)

Fig. 2 Intensity Distribution of X-ray Tube Focal Spot



遠いかにより、3峰性又は4峰性強度分布となる (Fig. 2)。従って普通X線管では1峰性強度分布はできないが、Pierce Gunの原理に基づく電子銃を用いるX線管などでは一峰性強度分布ができ

Fig. 3 Gaussian and Rectangular Approximation of Intensity Distribution of X-ray Tube Focal Spot (Curve A from reference 5.)

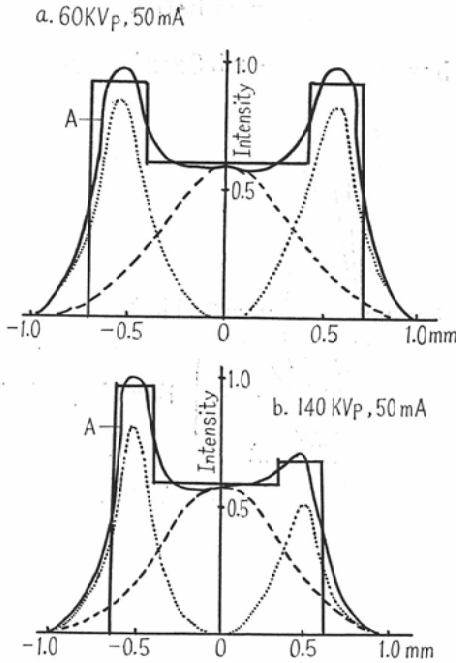


Fig. 3 (a), (b) には対称と非対称強度分布の 1 例を示す. 円中の点線は Gauss の誤差関数を用いて分離した場合を比較のため示した. 計算の簡便さからいうと矩形波分布による近似法が有利なので以下 X 線管焦点の焦点強度分布を矩形波強度分布で近似した.

§ 3. 強度分布関数の基本形及び 2, 3 の分布関数と MTF

3-1 基本関数形の MTF (Table I, II<sup>14)</sup>)

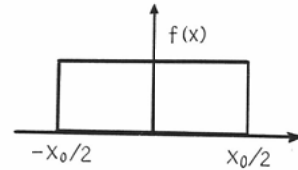
X 線管焦点の強度分布を矩形波強度分布で近似したので Fourier 変換の基本定理 (Table I) に

Table I Some Properties of Fourier Transform

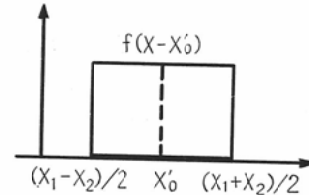
1. Definition	Function	Fourier transform
	$f(x)$	$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\exp(-2\pi ifx)dx$
2. Linearity	$af(x)$	$aF(f)$
	$f_1(x) \pm f_2(x)$	$F_1(f) \pm F_2(f)$
3. Shifting Theorem	$g(x) = f(x \pm x_0)$	$G(f) = \exp(\pm 2\pi ifx_0)F(f)$

Fig. 4 Fourier Transform of A Base

1. Definition of a base



2. Shifted base



における  $f(x)$  として次の矩形波強度分布を対応させ考える (Fig. 4)

$$f(x) = \begin{cases} A & \dots\dots\dots x_0/2 < x < x_0/2 \\ 0 & \dots\dots\dots \text{otherwise} \end{cases}$$

とすれば, その Fourier 変換  $F_0(f)$  は

る<sup>4)13)</sup>. 併し強拡大撮影用に主として用いられ<sup>7)8)</sup>. 未だ一般的でない.

X 線管焦点の強度分布を総括して考えると電子ビームの中心を原点とする基本関数と成称成分と反対称成分に分解して近似すると有利である. 即ちその程度分布  $g(x)$  はつぎのようになる.

$$g(x) = k_0 f_0(x) + K_s G_s(x) + K_{as} G_{as}(x)$$

$f_0$  = 基本関数 ( $x_0 = 0$ )

$G_s$  = 対称成分

$G_{as}$  = 反対称成分

$K_0, k_s, k_{as}$  = 各項の係数

その Fourier 変換の形は次の様になる (Table II).

$$G(f) = k_0 F_0(f) + K_s G_s(f) + K_{as} G_{as}(f) \dots\dots (1)$$

$G(f), F_0(f), G_s(f), G_{as}(f)$  は夫々  $g(x), f_0(x), G_s(x), G_{as}(x)$  の Fourier 変換形である.  $f$  は Spacial frequency (lines/unit length) である.

$$F_0(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(-2\pi xif) dx \dots\dots (2)$$

$$= a (\sin \alpha) / \alpha$$

たゞし  $a = Ax_0$

$$\alpha = \pi x_0$$

$f$  = spatial frequency (lines/unit length)

**3-2 Linearity (Table I)**

強度分布  $af(x)$  のとき Fourier 変換は  $aF_0(f)$  となる。

また強度分布  $f_1(x) \pm f_2(x)$  のとき Fourier 変換は  $F_1(f) \pm F_2(f)$  となる。

**3-3 遷移基本関数の MTF**

$f(x)$  が  $x$  軸上  $2x_1 = x_0'$  だけずれているとき、 $f(x)$  として

$$f(x-x_0') = \begin{cases} B \dots (x_1-x_2)/2 < x < (x_1+x_2)/2 \\ 0 \dots \text{otherwise} \end{cases}$$

とすればその Fourier 変換は

$$G(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x-x_0') \exp\{-2\pi if(x-x_0')\} dx$$

$$= \exp(-2\pi ifx_0') \cdot F(f) \quad (3)$$

ここに  $F(f) = b (\sin \beta) / \beta$

$$b = Bx_2$$

$$\beta = \pi x_2 f$$

すなわち遷移  $x_0'$  により  $F(f)$  が  $\exp(-2\pi ifx_0')$  だけ modify されている。

**3-4 2峰形強度分布の MTF**

X線管焦点の強度分布が Fig. 5 のようなとき、その Fourier 変換された  $G_{TW}(f)$  は (1)式を用いて、 $F_0(f)$  として  $W_0(1-b)$  の矩形波分布、 $G_s(f)$  として対称の  $w_1b$  の部方の矩形波分布、 $G_{as}(f)$  として反対称の  $W_1c$  の部方の矩形波分布の Fourier 変換されたものと考へ Linearity の式で重畳されているとすれば、Table I, II (2) (3)式を使い

$$G_{TW}(f) = W_0(1-b) \frac{\sin(\pi W_0 f)}{\pi W_0 f}$$

$$+ 2bW_1 \cos \left\{ \frac{2\pi f}{2} \frac{W_0 - W_1}{2} \right\} \times \frac{\sin(\pi W_1 f)}{\pi W_1 f}$$

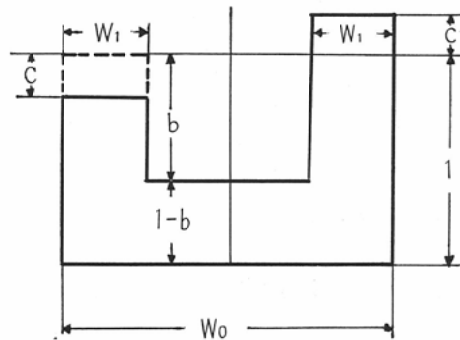
$$- 2cW_1 \sin \left\{ \frac{2\pi f}{2} \frac{W_0 - W_1}{2} \right\} \times \frac{\sin(\pi W_1 f)}{\pi W_1 f}$$

$$= W_0(1-b) F_0(f) + 2bW_1 \cos(1-q)\alpha \cdot$$

Table II Representation by Symmetry and Antisymmetry

1. Symmetry	Function $g(x) = f(x+x_0) + f(x-x_0)$ where $f(x+x_0) = f(x-x_0)$	Fourier transform $G(f) = 2\cos 2\pi f x_0 \cdot F(f)$
2. Antisymmetry	Function $g(x) = -f(x+x_0) + f(x-x_0)$ where $f(x-x_0) = -f(x+x_0)$	$G(f) = -2\sin 2\pi f x_0 \cdot F(f)$
3. General representation by symmetry and antisymmetry bases	Function $G(f) = k_o F_o(f) + k_s G_s(f) + k_{as} G_{as}(f)$ where $F_o(f)$ : Fourier transform for $x_0=0$ $G_s(f)$ : Symmetry component $G_{as}(f)$ : Antisymmetry component $k_o, k_s$ and $k_{as}$ : Bases coefficients.	

Fig. 5 Intensity Distribution of X-ray Tube Focal Spot with Twin Peaks



$$G_{TW}(f) = W_0(1-b) [F_0(f) + \frac{2q}{1-b} F(f) \{ b \cos(1-q)\alpha - c \sin(1-q)\alpha \}]$$

where  $F_0(f) = \frac{\sin \alpha}{\alpha}$ ,  $F(f) = \frac{\sin q\alpha}{q\alpha}$ ,  $\alpha = \pi W_0 f$   
 $q = W_1/W_0$

$$F(f) = 2cW_1 \sin(1-q)\alpha \cdot F(f)$$

$$= W_0(1-b) [F_0(f) + \frac{2qF(f)}{1-b} \{ b \cos(1-q)\alpha - c \sin(1-q)\alpha \}] \dots\dots\dots (4)$$

ここに  $F_0(f) = (\sin \alpha) / \alpha$

$$F(f) = (\sin q\alpha) / \alpha q$$

$$\alpha = \pi W_0 f$$

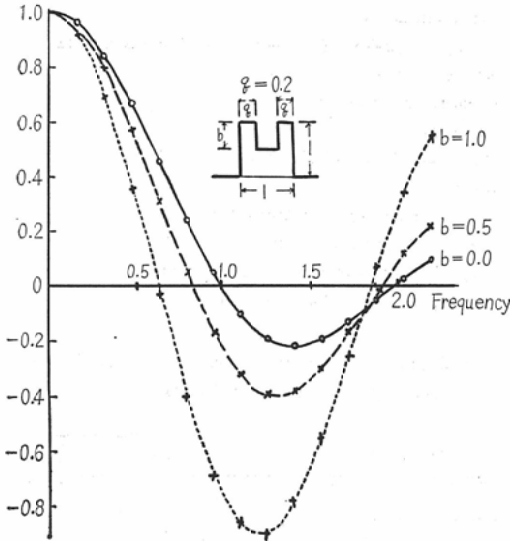
$$q = W_1/W_0$$

この係数  $c$  の符号は非対称分布が右上りのとき負の符号をとり、右下りのとき正の符号をとる (Fig. 9).

Fig. 6 Distribution Parameters of Focus and Associated MTF.

--Twin Peaks, symmetry--

The curve of  $b=0$  gives a simple rectangular intensity distribution; the curve of  $b=1$  gives a isolated two peaked intensity distribution.



3-4-1 対称性2峰形強度分布のとき

このときは(4)式にて  $c=0$  とした式で与えられる。  $W_0=1$ ,  $W_1=q$  のとき

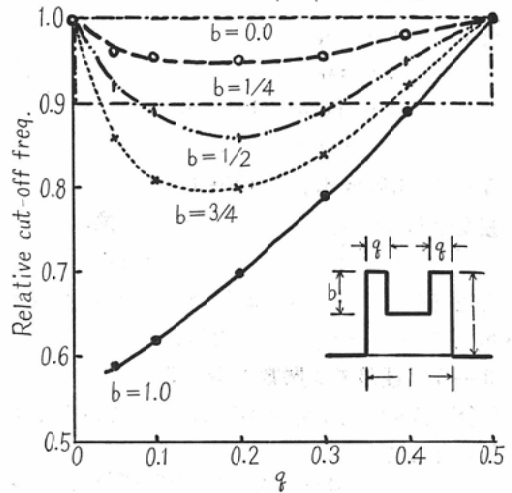
$$G_{Tw}(f) = (1-b)F_0(f) + 2qF(f)b \cos(1-q)\alpha \dots\dots\dots (4)$$

となり、  $q=0.2$ ,  $b=1.0, 0.5, 0.0$  の  $G_{Tw}(f)$  を画けば Fig. 6のそれぞれのMTFの曲線を得る。パラメーター  $b$  が大になると、すなわち谷が狭くなるとMTFが急激に悪くなり、MTFが負のとき(偽解像)の振巾も大である。 $b=0$ のときは単純な矩形波、 $b=1$ なら強度分布が2つに分れた形を示す。

いま Cut off frequency としてTV系で用いているように増巾度が70.7%に低下する(3dB 低下する)所の周波数、すなわちMTFの特性が70.7%に低下する周波数をとり<sup>12)</sup>、さらに  $b=c=0$  即ち山も谷もない矩形波のときの Cutoff frequency との比を Relative cut-off frequency (FRC) とする。対称性2峰型強度分布のとき、y軸に FRC をとり、x軸に  $q$  をとりその関係を描くと Fig. 7

Fig. 7 Distribution Parameters of Focus and Associated cut-off frequency

--Twin Peaks, symmetry--



を得る。この図で  $b$  が一定のとき  $q$  のある値で FRC が最低になることがある。

FRC で何%の低下を許すかときめると  $q$  と  $b$  の範囲が定まる。図では、10%低下のレベルを---で示してある。この範囲に  $b, q$  があると FRC が10%以内の低下であることを示す。

3-4-2 非対称性2峰形強度分布のとき

このとき(4)式にて、  $W_0=1$ ,  $W_1=q$ ,  $c=0.3$ ,  $b=0.5$ ,  $q=0.05, 0.2, 0.4$ のMTFを Fig. 8に示す。比較のため矩形波( $b=c=0$ )のMTFも同時に示してある。

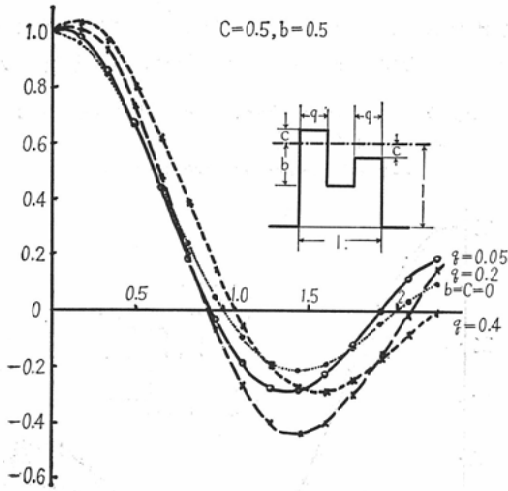
さらにこのとき  $b=0.5$ のとき  $q$  と  $c$  の FRC に対する関係を描くと Fig. 9を得る。  $c$  が大になると FRC がこれに比例して低下する。FRC で許容する低下の%を考えると、  $q, c/b$  の範囲が定まる。FRC の  $1.0 \pm 10\%$  の範囲を---で示してある。  $b=0.1$ のときも Fig. 9 とほぼ似た関係を得る。  $c$  の負符号は焦点の非対称形で右下りの場合に対応する。

3-5-3 峰形強度分布の MTF

3峰性強度分布のときは2峰性分布の中心に一つの峰を加えた形であり Fig. 5と同様に、  $W_0(1-b)$ の矩形波分布、  $W_1 b$ の対称矩形波分布、  $W_1 c$ の対称矩形波分布、  $W_1 c$ の反対称矩形波

Fig. 8 Distribution Parameters of Focus and Associated MTF.

--Twin peaks, antisymmetry--



$$G_{TR}(f) = W_0(1-b) [F_0(f) + \frac{q}{1-b} \{2b \cos(1-q)\alpha - 2c \sin(1-q)\alpha + b\} F(f)]$$

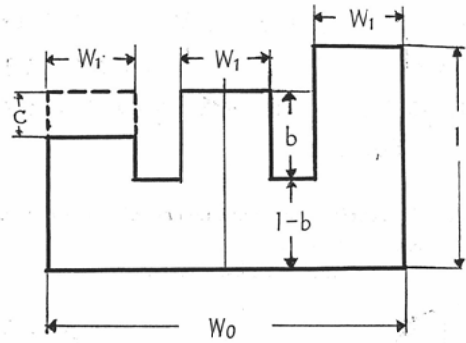
where  $F_0(f) = \frac{\sin \alpha}{\alpha}$

$$F(f) = \frac{\sin q\alpha}{q\alpha}$$

$$\alpha = W_0 f \pi$$

$$q = W_1 / W_0$$

Fig. 10 Intensity Distribution of X-ray Tube Focal Spot with Triple Peaks



が加わつたものと考えて計算すればつぎのようになる。

$$G_{TR}(f) = W_0(1-b) [F_0(f) + \frac{q}{1-b} \cdot F(f) \times \{2b \cos(1-q)\alpha - 2c \sin(1-q)\alpha + b\} \dots \dots \dots (5)$$

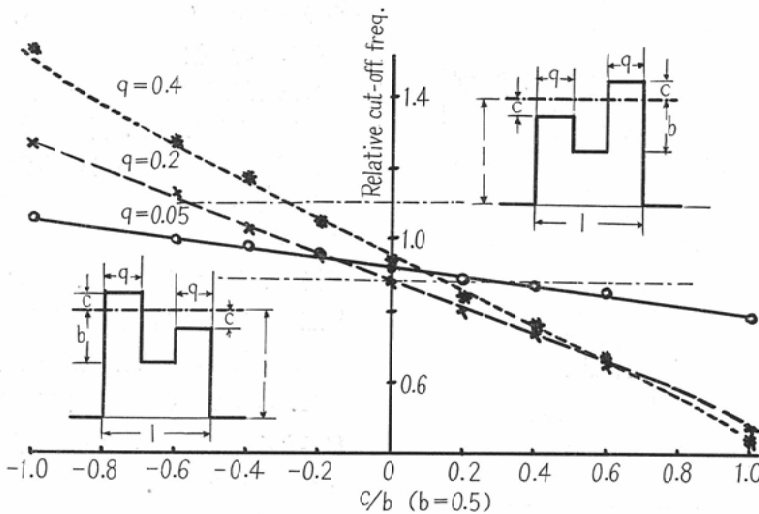
$F_0(f)$ ,  $F(f)$ ,  $\alpha$ ,  $q$  は 3-4 に示したのと同じ記号である。  $c$  は反対称性成分を示し、符号は 2 峰性のときと同様で、(4) に最後の  $b$  項が加わつただけである。

3-5-1 対称性 3 峰形強度分布のとき

1 例として  $b = 0.0, 0.5, 1.0, q = 0.1,$

Fig. 9 Distribution Parameters of Focus and Associated Cut-off Frequency

--Twin Peaks, Antisymmetry--



$c = 0$  の MTF を画くと Fig. 11 を得る. 2 峰性のとき MTF や  $F_{RC}$  と同様な傾向である MTF が負のとき振巾は小で第二 “0” Cut-off frequency より高周波で  $b = 1.0$  のときに MTF が 1.0 に達する.  $F_{RC}$  の低下も 2 峰性のときより少い (Fig. 11, 12)

Fig. 11 Distribution parameters of Focus and Associated MTF.

--Tripple peaks, symmetry--

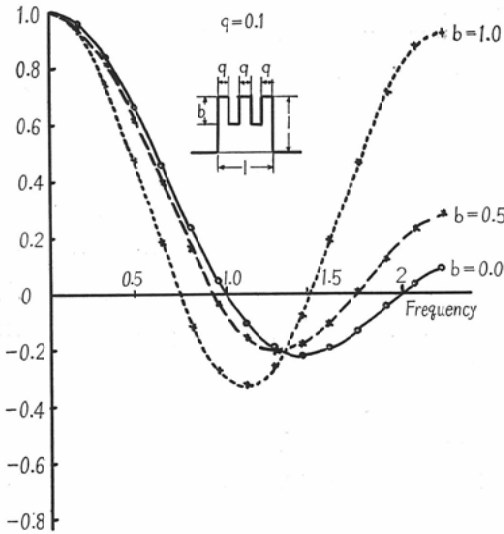
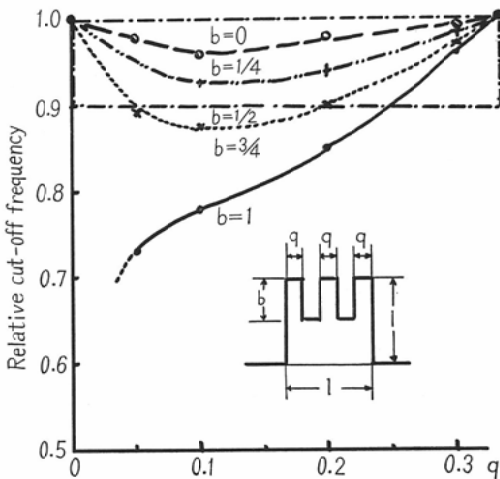


Fig. 12 Distribution Parameters of Focus and Associated Cut-off Frequency

--Tripple peaks, symmetry--

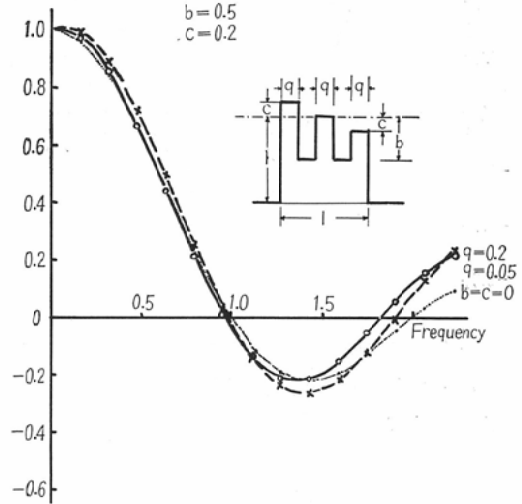


3-5 非対称性 3 峰形強度分布のとき

このときのパラメーター  $b = 0.5, c = 0.2, q = 0.2, 0.05$  の MTF と  $b = c = 0$  のときの MTF を示す. これらの 3 峰性のときは MTF と  $b = c = 0$  の MTF と大差ない (Fig. 13). またパラ

Fig. 13 Distribution Parameters of Focus and Associated M.T.F.

--Tripple peaks, antisymmetry--



メーター  $b = 0.5, q = 0.2, 0.05$  について  $F_{RC}$  との関係を示すと Fig. 14 の通りであり, 横軸の負の符号は強度分布が右下りのときである.  $F_{RC}$   $F_{RC}$  が  $1.0 \pm 0.1$  内に収まるものとするとき --- の範囲内に  $q, c/b$  があればよい.

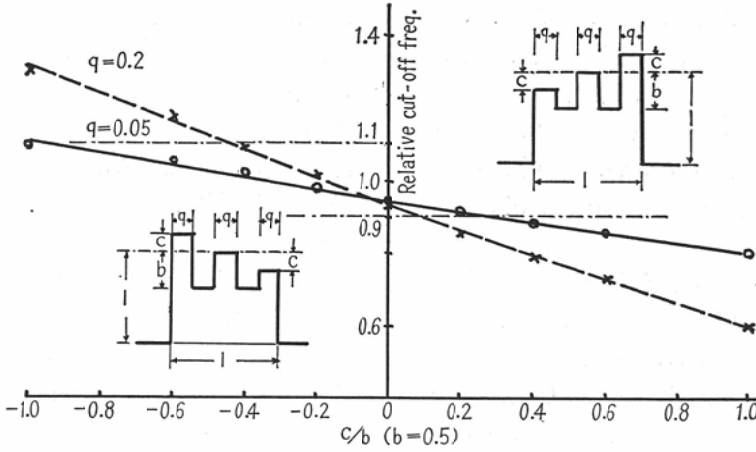
§ 4. 考 按

X線管焦点の強度分布が方向性を持つことは古くから知られている. 併し焦点強度分布の MTF の実測は 2, 3 しかなく, 偽解像の存在も最近確認されている<sup>12)25)16)</sup>が, MTF と強度分布の関係について理論的考察はなされていないし, 焦点の規格も不十分である<sup>10)15)</sup>. 我々は従来の報告から焦点強度分布に 1 峰性, 2 峰性 3 峰性などを推定し, かつ対称, 反対称矩形波分布関数に分解近似した. Fig. 3 の点線の如く基底を Gauss 分布関数にとるのが実際に近いが計算が複雑ゆえ矩形波を基底関数とした.

TV系やレンズ系では MTF はルーチンに用い



Fig. 14 Distribution Parameters of Focus and Associated Cut-off Frequency  
 -- Triple peaks, antisymmetry --



られている。X線像伝達系でもその系中にTVやレンズ系などを含むものは系全体や各要素の性能評価もそれと同様な規準で評価せねばならない。Image amplifier や焦点のMTFでも Cut-off frequencyをMTF=0や0.1のところで言ったりしている。TV系では補償回路や補正回路により特性補償を行い得る余裕を残しておくために Cut-off frequency をMTF 70.7%の所に即ちMTF 1.0から3dB 下った所にとつている。もしMTFの低い所に Cut-off frequency をとつておくと、換言すれば矩形波帯域巾を広くつくつておくと、補正したとき Noise 量が増加して画質が低下する。本論文においては焦点強度分布のMTFについて-3dBのCut-off frequency をとり比較した。更に Relative cut-off frequency (FRC) が b,q,c/b などの parameter でどう変るか調べた。

対称性2峰形強度分布 (Fig. 6, Fig. 7) のX線管では Fig. 7に明らかな如く、“b”すなわち谷の深さが深くなるほど FRC が低下し、像の画質が低下する。例へば FRC の低下を10%しか許さないとすると、谷の深さは0.4より深くてはいけない、b = 0.5なら  $q < 0.08$  か  $q > 0.33$  の範囲なら良い事になる。また  $b > 0.4$  でも  $q = 0$ 、 $q = 0.5$ の近傍では FRC 低下10%以内に収まる範囲がある。何故なら Fig. 7の FRC 0.9~1.0

の間に b,q があれば良いのだから、しかしこの両端では曲線の勾配が大でqの少量の変動に対して FRC の変動が大きいためから  $b = 0.4$ 以内にした方がよい。焦点のX線強度分布から山の巾や谷の深さを計り、此の図を用いて FRC が山や谷のないときよりどれだけ低下しているか定められる。

非対称性2峰形強度分布 (Fig. 8, Fig. 9) のMTFでは対称のときと異なり、谷が深くなつても必ずしもMTFが悪くならず、かつMTFも非対称であり、 $f = 0$ の近傍でMTF > 1の所がある。

対称性2峰形のときと同様に FRC で10%低下を許すとすると  $q = 0.2$ なら  $f > 0$ で0.9以下ゆえ規格外となる。 $q = 0.05$ なら  $c/b = 0.15$ 以下であれば、また  $q = 0.4$ なら  $c/b = 0.12$ 以下であれば共に規格内に収まる。FRC が  $1.0 \pm 0.1$ 以内に収まるようにするためにはおのおのの曲線が FRC 0.9と1.1のあいだは挟まれる範囲の c/b 以内でなければならぬ。

対称性3峰形強度分布 (Fig. 11, Fig. 12) のときのMTFは2峰性のときほど悪くならない。第二cut-off frequency ( $f = 0$ )より高周波で  $b = 1.0$ のとき即ち完全な3峰形のときそのMTFが1.0にまで達する。併しこんなに高周波の構造の被写体を普通X線撮影では伝達し得ないので臨床

医学では問題外である。FRC が 0.9以上であるためには谷の深さが 0.6以内なら良い。b = 0.75 なら  $q < 0.05q > 0.2$  でなければならぬ。b > 0.6でも q = 0, q = 0.5の近傍で FRC 低下10%以内を満足する範囲がある。併し両端近くでは曲線の勾配が急なのでできれば b < 0.6で FRC 低下10%以内の収めた方がよい。2峰性のときほど谷の深さが深くなつても FRC は悪くならない。

非対称性3峰形強度分布 (Fig. 14, Fig. 13) のとき, q = 0.2, 0.05では谷も山もないときの矩形波のMTFと殆んど変らない, 第一 Cut-off frequency (f = 0) より高周波のとき (偽解像のとき) の振巾は2峰形と比べると極めて少なく, MTFの非対称性も2峰形と比べると少なく FRCも2峰形ほど低下しない。

又 Fig. 6で焦点の大きさ1mmなら2倍拡大で1本/mmより高周波で偽解像を生ずる。又 q = 0.2, で完全な2峰形の焦点なら 0.6本/mm で偽解像を生ずる事を示す。第一 Cut-off frequency (f = 0) より高周波の範囲でのMTFの振巾は b = 0.5, q = 0.2のとき, 対称性, 非対称性2峰形 (c = 0.5) のとき共に - 0.4, 対称性3峰形 (b = 0.5, q = 0.1), 非対称性3峰形 (b = 0.5, c = 0.2q = 0.2) のときそれぞれ - 0.2くらいである。

また非対称性のとき焦点強度分布が右に低いと f = 0の近くでMTFが1以上になり, 非対称のMTFとなり, 原点が shift したMTFになる。今迄これは現像効果<sup>11)</sup>によると言われていたが, 焦点の非対称強度分布でもおこることを注意せねばならぬ。正周波数領域で FRC の変動が許容限度内でも負周波数領域で FRC の変動が限度を満足しない場合があるので, 焦点の強度分布は非対称であると不利である。

1峰形焦点がMTFやFRC上理想的であり, 前述の様に拡大撮影用に一部使用されている。医療用X線管を用いて, 普通撮影で管電圧50~80kVp (~ 150kVp), 管電流 200mA~ 500mA, 曝

射時間0.05~1 sec, であり, 近年ルーチン化したX線映画撮影で管電圧60kVp~ 110kVp, 管電流10~15mA, 曝射時間数分 (東大中央放射線部) また連続撮影で数枚/秒で10~15枚撮影が行はれると管球の連続または瞬間定格の点や費用の点などから多峰性の焦点を選ばざるを得ないから, X線を効率よく利用するために本論文のような取扱いが必要である。

## § 5. 結論

X線管焦点面上のX線強度分布を矩形波関数を基底として, 対称矩形波成分と反対称矩形成分に分解し, そのParameterと, MTFおよびRelative cut-off frequency (FRC) (70%低下MTFにCut-off frequencyの, 多峰形矩形分布と一峰形矩形分布についての比) の関係から焦点強度分布の規格を決めた。

1) 2峰形強度分布より3峰形強度分布の方がMTF上優位である事が定量的に定められた。一峰性なら勿論最も良い。

2) 対称性2峰形強度分布と対称性3峰形強度分布のときRelative cut-off frequencyを, 例えば10%以内に収めるためには谷の深さに限度がある。前者で約0.4, 後者で約0.6である。実測した焦点の強度分布の山や谷の巾や深さから, Relative cut-off frequencyの低下はいくらかと推定できる。

3) Relative cut-off frequencyの低下を何%にするかは観察対象の診断に必要な周波数特性がどれくらいかまたこれを伝達するのに必要なX線管焦点の強度分布の周波数特性とX線管の許容負荷との関係が明らかになれば本論文のパラメーターを用いて焦点強度分布の規格を与えうる。

4) 非対称性強度分布のとき, そのMTFも非対称となり, 原点が shift したMTFを示すのでこの取扱いには注意を要する。2峰性のときは3峰のときよりFRCの低下は大である。

本論文の要旨は第9回放射線イメージングフォーメーション研究会 (1966年5月), に発表した。宮川正教授の御校閲を感謝する。

## 文 献

- 1) 金森仁志, 田中義宗: 日医放誌, 24: 935, 1964.
- 2) 土井邦雄: 応用物理, 34: 190, 1965.
- 3) 田部貞夫: 島津評論, 7: 193, 1951.
- 4) 吉田元重, 村木威, 佐野忠芳: 東芝レビュー, 21: 97, 1965.
- 5) 内田勝: 応用物理, 34: 97, 1965.
- 6) 竹中栄一, 高橋照彦, 木下幸次郎, 佐藤英久: 第2回応物学会関係講演会予稿集, p. 276, 1965.
- 7) 高橋信次, 渡辺令: 日医放誌, 15: 838, 1955.
- 8) 桜井孝, 吉永春馬, 上野滋夫: 山口医学, 5: 225, 1956.
- 9) X線協議会, X線管及びX線装置の研究(V), (1957—1960), 1961. 及び(IV) (1955—1956), 1957.
- 10) 日本工業標準協会, JIS Z4102~4118, 日本規格協会, 1962.
- 11) G. Eberhard: Physikalische Zeitschrift, 13: 288, 1912.
- 12) NHK 技術管理局: NHK ハンドブック, NHK, 1964.
- 13) Karl R. Spangenberg. Vacuum Tubes. Mc Graw-Hill Book Company, N.Y., 1948.
- 14) Reference Data for Radio Engineering 4th Edition. International Telephone and Telegraph Corporation, p. 1002, N.Y., 1949.
- 15) NBS, Handbook 89, Washington,
- 16) Botden, P.J.: From "the reduction of patient dose by diagnostic radiologic instrumentation, edited by R.D. Moseley and J.H. Rust. Charles C Thomas, Springfield, Illinois, U.S.A., 1964.