



Title	電離槽線量計とレスポンス関数
Author(s)	速水, 昭宗
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1967, 27(9), p. 1173-1178
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/14951">https://hdl.handle.net/11094/14951</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# 電離槽線量計とレスポンス関数

大阪大学医学部放射線医学教室（主任 立入弘教授）

速水 昭宗

(昭和42年3月13日受付)

The Resolving Power of A Finite Sized Ionization Chamber

by Means of The Modulation Transfer Function

By

Akimune Hayami

Department of Radiology, Osaka University Medical School

(Director: H. Tachiiri)

The resolving power of a finite sized ionization chamber has been discussed by several workers, but the Modulation Transfer Function (MTF) has never been introduced into their analysis. It is the purpose of this paper to determine the resolving power by means of MTF.

A finite sized ionization chamber was examined in air by theoretical calculations and basic experiments, leading to one dimensional MTF. The experimental results were in good agreement with those of calculations. It is found that the resolving power and the sharpness of a finite sized ionization chamber can be determined using this method. It might be interesting that there was spurious resolution observed probably because of the cylindrical shape of ionization chamber.

This method appear to merit for the determination of the true dose distribution, cutting off the experimental errors such as the influence of the diameter of cylindrical ionization chamber.

## 1. はじめに

近年、放射線医学の領域にレスポンス関数 (Modulation Transfer Function<sup>⑥</sup>)、以下 MTF と略) が導入され、それを駆使した成果が発表されてきている。しかし、その大部分は光学系との類似性から放射線による像形成系の各素子の解析に適用<sup>②③⑥⑦⑨⑩⑪⑭～⑯⑰⑲⑳</sup>されたもので、放射線測定系について適用<sup>⑧</sup>されたのはほとんどないのが現状である。

一方、放射線治療の場では線量分布を正確に知ることが基礎的な問題として大切であり、一般には電離槽を使用するか Film Dosimetry によるかして必要な知識を得ている。電離槽を使用するときには、これを必要な面に平行に走査してその面の線量分布の断面を求めているが、このときに使用する電離槽直径の大小によって線量分布の立ち

上がりの形、いいかえれば線量分布が異なる問題があり、これについてはすでに報告<sup>④⑤⑯</sup>がある。したがつて、実用上の例外<sup>⑤⑯</sup>はあつても理想的には無限小の電離槽を使用しない限りこの問題は避けられず、真の線量分布を知ることはできないと考えられる。しかし、現実にはこのような電離槽を使用することは不可能であり、現有の電離槽についての解決を図らねばならない。

この問題は有限の大きさを持つ電離槽を使用することで、真の線量分布がボケることに相当しているから、ボケを扱うのに適した MTF を問題解決のために導入できると考えられる。ここでは円筒形電離槽の空気中での一次元 MTF を計算と実測から求めることにより、前述の問題に新しい見地から検討を加えようとするものである。

## 2. 計 算

計算のみから一次元MTFを求めるために電離槽、その周辺の線量分布および増巾器と記録計について次の仮定をおいた。

1) 電離槽の形は半径  $a$  の直円筒型とし、電離電流は電離容積中放射線の照射を受けている体積、したがつて電離槽断面積中照射を受けている面積に比例する。

2) 放射線入射方向は、電離槽軸（y軸）に直角な一方向（z軸）のみであり、y軸に沿つた線量分布は一様であつて、それと直角（x軸）方向の線量分布（x-z平面）は階段状の変化をしている。

3) 増巾器と記録計は入出力の間に直線関係がある。

Fig. 1 Solid line shows X-ray intensity distribution immediately behind lead knife edge. Dotted line shows typical result for scan by 2a mm diameter ionization chamber.

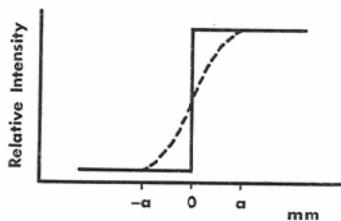
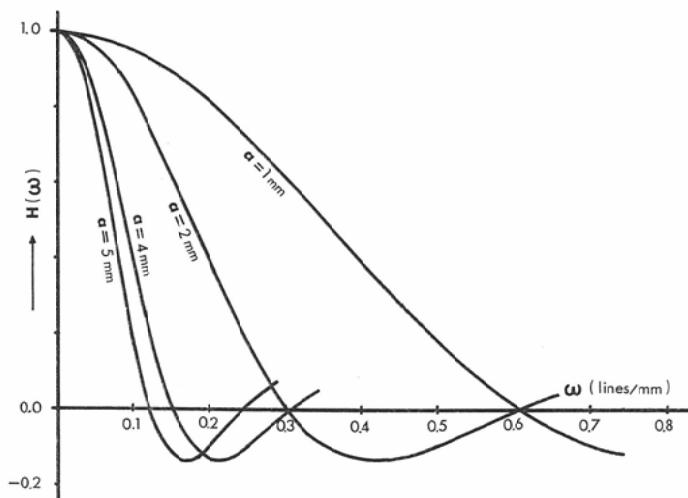


Fig. 2 MTF of finite sized cylindrical ionization chamber according to the chamber radius obtained from theoretical calculations; radius,  $a$ : 1, 2, 4 and 5mm.



第2図に数種の  $a$  について (2)式の計算結果を示すが、おのおのについて  $\omega = 0$  の所で  $H(\omega) = 1$  になるように (3)式で正規化してある。

$a$  が小さくなるにしたがつて、それぞれのMTF が高周波領域に移動することがわかる。  $H(\omega)$  が負側に出ているのは、円筒形電離槽には本質的に後述の偽解像現象が存在することを示している。

### 3. 実験

#### 3.1. 使用装置、実験方法

線量計：電離槽直径10mm、深さ2mm、電離容積0.16ccの shallow chamber とその増巾器

X線源：単相全波整流X線発生装置、43.5kVp, HVT 0.46mmAl の条件で使用

記録計：電子管式自動平衡形記録計

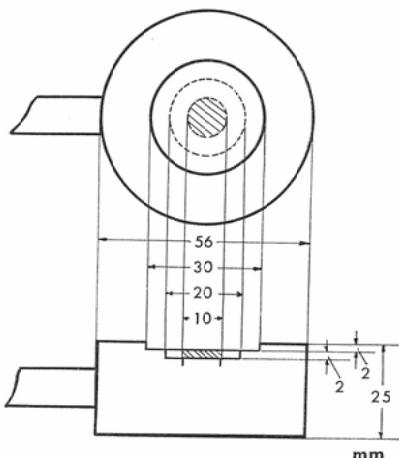
スリット：1mm, 17.8mm巾の2種、0.3mm厚鉛板

矩形波連続チャート：公比  $\sqrt{2}$ 、0.3mm厚鉛板

スリット・チャート移動装置：移動速度 1.07 cm/min

線量計には、第2図の計算結果からみて  $a$  が大きいと  $\omega$  が低周波数のところで  $H(\omega) = 0$  になる、すなわち矩形波連続チャートの格子間隔の広いところで偽解像が表われる可能性のあることと、格子間隔が広いと製作し易いことから  $a = 5$  mmのshallow chamber を使用した。ただし、この

Fig. 3 Schematic diagram of shallow chamber used for measurements.



線量計の場合には、計算のときおいた仮定と条件が異なり、X線入射方向が電離槽軸と一致するが、この実験について本質的な問題はない。

ナイフエッジを使用せず、スリットで走査したのは、前者の場合出力波形を数値微分した上でフーリエ積分しなければならないが、後者ではフーリエ積分だけで補正（3.2参照）をすればよいからである。1mm, 17.8mm巾と2種のスリットを使用したのは、スリットと線量計との間に線型の性質があるかないかを知る目的で、両者によつて得られるMTF が一致すれば線型の性質がある。

MTF を出力波形のフーリエ積分をしないで実験から直接求めるには、正弦波連続チャートを使用する直接走査法によればよいが、放射線領域でこの実験に適した正弦波連続チャート<sup>27)19)</sup>の製作は困難である。したがつて公比  $\sqrt{2}$  の矩形波連続チャートを使用した。 $\sqrt{2}$  の値は予備実験から決めたが、製作できるならばより小さい公比のチャートの使用が、 $\omega$  に対する  $H(\omega)$  の変化がゆるやかであるから望ましい。

線源—電離槽間距離は62cm、チャート・スリットはX線管焦点のMTF が混入することを避けるため、電離槽直前に配置し移動できるようにした。移動速度が1.07cm/min であるため、電源周波数によるX線の出力変動、増巾器および記録計の過度特性は無視できる。

#### 3.2. 実験結果

shallow chamber をスリットで走査してえられた出力強度分布  $f'(x)$  を第4図に示す。

Fig. 4 Solid line shows X-ray intensity distribution for scan by a slit of 1 mm width. Dotted line shows X-ray intensity distribution for scan by a slit of 17.8 mm width. The slit made of 0.3mm thickness and 60mm height lead plate.

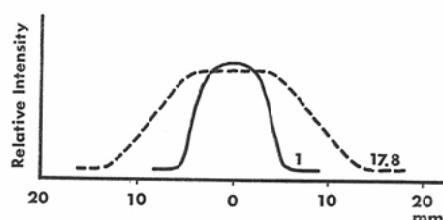
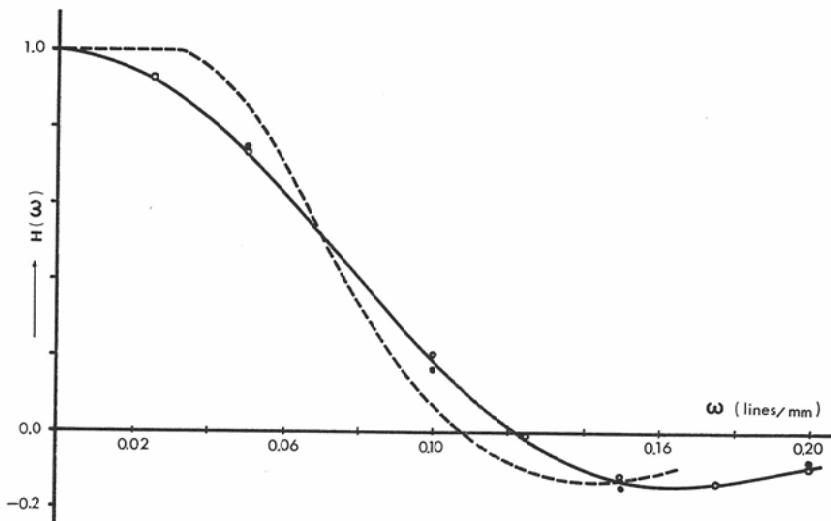


Fig. 5 Comparison of MTF between experiments and calculations.

○ mark obtained with a slit of 1 mm width, and ● mark obtained with a slit of 17.8 mm width. Dotted line shows square wave MTF with lead line test chart. Solid line shows result from theoretical calculations by 5 mm chamber radius.



系に線型の性質があると、電離槽とスリットの強度分布をそれぞれの座標で  $h'(x)$ ,  $s(x_0)$  とすれば  $f'(x)$  との間に

$$f'(x) = \int_{-\infty}^{\infty} h'(x_0) s(x-x_0) dx_0 \quad (4)$$

の convolution 積分が成立つ。この関係は、大文字をおののおの対応する小文字で書かれた関数のフーリエ積分とすると

$$F'(\omega) = H'(\omega) S(\omega) \quad (5)$$

で表わされる。したがつて  $H'(\omega)$  を知るために  $F'(\omega)$  と  $S(\omega)$  がわかれればよい。ここで  $F'(\omega)$  は

$$F'(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f'(x) e^{-i 2 \pi \omega x} dx \quad (6)$$

であり第4図から求められる。この計算は Simpson の数値積分法で行なつた。 $S(\omega)$  はスリット巾を  $2b$  とすると、これの正規化されたMTFは

$$S(\omega) = \frac{\sin 2 \pi b \omega}{2 \pi b \omega} \quad (7)$$

で計算が可能であり、 $H'(\omega)$  は

$$H'(\omega) = \frac{F'(\omega)}{S(\omega)} \quad (8)$$

で求められる。

第5図に実験による電離槽の MTF,  $H'(\omega)$  を示す。

図中○印は 1 mm, ●印は 17.8 mm 巾のスリットに

よるものであり、参考のため計算から得た  $a = 5$  mm の場合を実線で記入した。なお点線は矩形波連続チャートによる矩形波MTFである。矩形波MTFは Coltman<sup>13</sup> の式

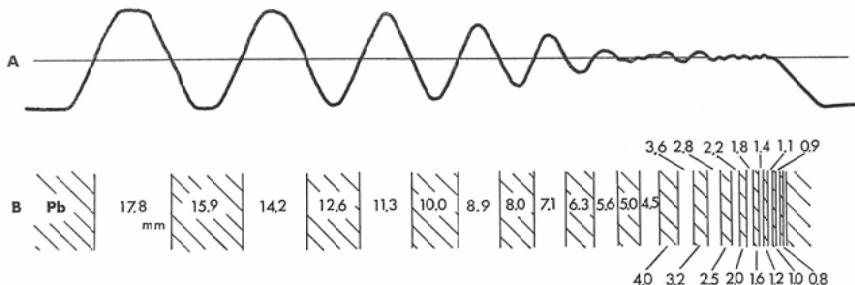
$$H(\omega) = \frac{\pi}{4} \left\{ H_{sq}(\omega) + \frac{1}{3} H_{sq}(3\omega) - \frac{1}{5} H_{sq}(5\omega) + \dots \right\} \quad (9)$$

を使つて正弦波MTFに変換するか、または走査のときに電気的フィルターで出力の第1高調波<sup>12)</sup>を取りださない限り、直接そのままでスリットからの正弦波MTFとの比較はできないが、矩形波連続チャート製作の都合上、測定できた周波数範囲が狭いので換算しても誤差が入り、また実験時に基本波のみを取り出すこともできなかつたので、矩形波MTFのまま  $\omega = 0.03$  lines/mm で  $H(\omega) = 1$  に正規化したものを示してある。

第6図に矩形波連続チャートと、それに対応する位置での shallow chamber による出力分布を示す。この包絡線が矩形波MTFになる。

convolution 積分ができること、すなわち電離槽とスリットの間に線型の性質があることを前提として実験結果の整理を行なつたが、それは第5図からみて正しいといえる。

Fig. 6 A: X-ray intensity distributions measured with shallow chamber under the lead line test chart. B: Diagram of the lead line test chart used for measurement. This diagram correspond to curve A on its abscissa.



#### 4. 考 察

##### 4.1. 偽解像

第2・5・6図から明らかなように、すでに光学系<sup>11)</sup>、放射線撮影系<sup>8)10)19)</sup>でみられている偽解像の現象が円筒形電離槽にも存在することを認めた。

具体的にこの現象を直視することのできる第6図をみると、出力は格子間隔の狭くなる、いいかえれば空間周波数 $\omega$ が高くなるにしたがつて振巾がだんだん小さくなり、ついには出力からは格子模様がわからなくなるところがある。この第1零点の空間周波数 $\omega$ が解像限界で、いわゆる解像力を与えるが、さらに空間周波数が高くなると再び出力に格子模様が表われてくる。これは解像限界以上であるのにもかかわらず、解像しているよう見えるので偽解像と称する。偽解像の第1零点と第2零点の間の部分では、電離槽軸が鉛板格子の下にあるとき出力が大きく、格子と枝子の間にあるとき出力が小さいというように、出力の位相が $\pi$ だけずれて、本来あるべき出力波形の反転したものになつてゐる。したがつて、この偽解像をおこす空間周波数の周期構造をもつた被照射体を透過してくる線量分布を測定するときには、注意しないと間違つた知識を得る恐れがある。

なお、第2図から明らかなように、この現象は線源およびその他の影響によるものではなく、電離槽の形が円筒形であることに起因するものである。

##### 4.2. 電離槽の解像力と鮮鋭度

前項でも少しふれたが、第2・5図で  $H(\omega)=0$  の空間周波数 $\omega$ は解像力を与える。しかし解像力だけでは特定の値にしかすぎないが、MTFは空間周波数 $\omega$ の正弦波入力がどのような波形で出力にでてくるかを $\omega$ の関数として示した曲線であるから、ただ一つの値の解像力よりも電離槽の特性をよく表わしている。

解像力と異なり、鮮鋭度は主として低空間周波数領域でのMTFによって左右される<sup>18)</sup>。したがつて、鮮鋭度についてもMTFを知れば充分にその様子をみることができる。

しかし、MTFを使用する利点は、ただ従来の解像力鮮鋭度と一応別々であつた概念を統一して解釈できるだけのものではない。

##### 4.3. 真の線量分布

MTFを用いる利点は、ある線型の系を構成している素子毎のMTFがわかつているときに、その素子をカスケードに連ねるとときの全体の総合された系のMTFが、全素子MTFの積で与えられることである。

例えれば、電離槽直径の大小に影響を受けていない真の線量分布  $I(x)$  を実測結果から求めたいとすると、実測で得た線量分布のMTFを  $I'(\omega)$  とし、測定に使用した電離槽のMTFを  $H(\omega)$  とすれば、(5)式と同様

$$I'(\omega) = I(\omega)H(\omega) \quad (10)$$

ただし  $I(\omega)$  : 真の線量分布  $I(x)$  のMTFが成立し、 $I'(\omega)$  と  $H(\omega)$  は既知であるから  $I(\omega)$  は求められる。その  $I(\omega)$  を逆フーリエ変換する

ことにより眞の線量分布  $I(x)$  を知ることができ  
る。

### 5. まとめ

電離槽線量計に一次元MTFが導入できること、および解像力・鮮鋭度の概念もとり入れられることを述べ、円筒形電離槽には本質的に偽解像の現象が存在することを計算と実験から明らかにした。また、電離槽にMTFを導入することの最大の利点として、電離槽直径に影響を受けない眞の線量分布をうることのできる可能性を示した。

本研究は、大阪大学医学部附属診療エックス線技師学校においておこなつた。また要旨は、第7回放射線イメージ・インフォーメーション(R.I.I.)研究会(1965年12月)および第25回日本医学放射線学会総会(1966年4月)において発表した。

終に臨み、日頃の御指導と御校閲の労をとられた立入弘教授、ならびに終始御懇篤なる御指導を戴いた恩師内田勝先生に心からの敬意と感謝の意を捧げる。また実験に際し多大の便宜を与えられ、絶えず討論して戴いた山崎武博士、ならびに終始御援助戴いた東巣教官、森嘉信技官、さらにチャートを作つて戴いた春田

修氏に深く感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1) Coltman, J.W.: J. Opt. Soc. Am., 44 (1954) 468.
- 2) 土井邦雄他：応用物理，33 (1964) 721.
- 3) 土井邦雄：応用物理，34 (1965) 190, 663.
- 4) Green, D.: Brit. J. Appl. Phys., 8 (1957) 239.
- 5) Green, D.: Brit. J. Radiol., 35 (1962) 856.
- 6) Holm, T.: Radiology, 83 (1964) 319.
- 7) Höfert, M.: Act. Radiol., 1 (1963) 1111.
- 8) 井上多門：応用物理，33 (1964) 328.
- 9) 井上多門他：応用物理，34 (1965) 801.
- 10) 金森仁志他：日医放会誌，24 (1964) 935.
- 11) 久保田広：生産研究，8 (1956) 315.
- 12) 久保田広：科学，35 (1965) 77.
- 13) 木村幾生他：日医放会誌，25 (1965) 564.
- 14) Morgan, R.H. et al.: Am. J. Roentgenol., 92 (1964) 426.
- 15) Morgan, R. H.: Am. J. Roentgenol., 93 (1965) 982.
- 16) Rossman, K.: Am. J. Roentgenol., 90 (1963) 863.
- 17) 滝沢達児他：日医放会誌，23 (1963) 1029.
- 18) 内田勝：富士Xレイ研究，No. 69 (1965) 14.
- 19) 内田勝：応用物理，34 (1965) 97.
- 20) 内田勝：応用物理，35 (1966) 708.