

# 研究会記事

## \* 目 次 \*

27-1	特別講演 X線用ビジコン		
	一静岡大学	西田亮三教授	3
27-2	特別講演 軟線 X線用ビジコン		
	一静岡大学	西田亮三教授	10
27-3	テレビ像の小形電算機による定量的処理 (予稿なし)		
	一信州大学	滝沢正臣	18
27-4	映像電子管の解像度 (II)		
	一電気通信大学	桜井和明 長谷川伸	19
27-5	X線による螢光体のシンチレーションのゆらぎ		
	一電気通信大学	野瀬邦昭 長谷川伸	24
27-7	被写体の空間周波数スペクトル		
	一東大医、芝電気	竹中栄一 木下幸次郎	32
27-8	Truncation Errors in Calculating the MTF of Radiographic Screen Film Systems from the Line Spread Function		
	一シカゴ大	K. Doi, K. Strubler, K. Rossman	42
27-9	体内 R-I 密度分布推定の試み (予稿なし)		
	一名古屋大学	西沢邦秀	48

## 賛助会員名簿

従来の名簿に代えて大きく扱わせて頂くことにしました。

目次裏，裏表紙にもあります。

### 前進する島津放射線機器



X線診断装置・放射線治療装置・核医学機器  
医用電子機器・非破壊検査機器

### 島津製作所

お問い合わせと資料のご請求はもよりの営業所

京都 211-6161 大阪 541-9501 福岡 27-0331  
宇部 21-5486 札幌 231-8811 仙台 21623131  
鹿児島 22-7087 秋田 33-7844 松山 43-3088  
放射線事業部 京都市中央区西ノ京交差点 | (075) 811-1111

東京 (03) 292-5511  
名古屋 563-8111  
広島 43-4311  
高松 31-2726

### 技術のシバデン!!

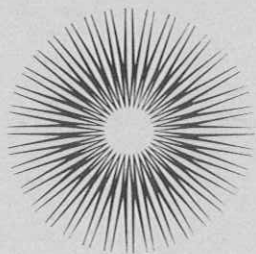
X線 TVカメラ装置  
患者監視用 TVカメラ装置  
電子顕微鏡用 TVカメラ装置



### 芝電気株式会社

本社 〒100 東京都千代田区内幸町2-1-6 日比谷会館ビル TEL 03-591-4241 代表  
八王子事業所 〒192 東京都八王子市大和田町1544 TEL 0426-42-0111 大代表

世界一の蛍光体技術が生きています



## 増感紙 蛍光板

大日本塗料株式会社 蛍光品事業部  
東京都千代田区丸の内3の2 (新東京ビル) 216-6201

## 第27回放射線イメージ・インフォメーション研究会記事

日 時 昭和46年2月20日(土) 10:30~17:00

場 所 名古屋大学医学部附属病院放射線科セミナー室

特別講師 静岡大学電子工学研究所 西田亮三教授

出席者 (敬称略)

伊藤 博, 内田 勝, 奥村 寛, 金森仁志, 木下幸次郎, 佐々木常雄, 高野正雄,  
滝沢正臣, 竹中栄一, 津田元久, 恒岡卓二, 南波一郎, 袴田祐治, 長谷川伸,  
廣瀬正治, 武士邦雄, 三浦典夫, 官代彰一, 森矢達人, 矢仲重信, 山口奉頼,  
渡辺広行

(非会員)

安藤 隆, 伊東克俊, 小原 健, 倉沢一男, 桜井和朗, 西沢邦秀, 西田亮三,  
野瀬那昭, 藤田恒治

### R. I. I. 研 究 会

会 長	高 橋 信 次		
顧 問	足 立 忠		
	立 入 弘		
	宮 川 正		
常任委員	佐々木常雄	竹 中 栄 一	津 田 元 久
	長谷川 伸		
委 員	飯 沼 武	一 岡 芳 樹	内 田 勝
	梅垣洋一郎(代理松川)		金 森 仁 志
	木下幸次郎	佐 柳 和 男	佐々木常雄
	竹 中 栄 一	高 野 正 雄	滝 沢 正 臣
	津 田 元 久	恒 岡 卓 二	野 田 峰 男
	長谷川 伸	松 田 一	三 浦 典 夫
	久保栄太郎		



明日をつくる技術の東芝

医用電子機器 医用放射線機器

●お問合せは

東芝放射線株式会社

東京都中央区日本橋区千代橋3丁目7 電話(272)4271(大代)

**nac**  
ナック

映像システム  
株式会社 ナック

本社 東京都港区西麻布1-2-7 第17興和ビル  
電話(904)2321-4

健康づくりと医療の進歩に貢献する **日立レントゲン**



診察用X線装置  
・X線テレビ装置  
胃部集団検診用装置  
・断層撮影装置  
・回診撮影装置  
治療用装置

核医学機器  
・RIデータ処理装置  
・シンチカメラ  
・ホールボディスキャンナ  
・RIレノグラム装置  
その他各種付属機器

日立レントゲン株式会社 東京都千代田区内神田1-1-4 (日立鎌倉橋別館) 電話(292)8111

Beautiful Color  
**フジカラー**





## X線用ビジコン

静岡大学電子工学研究所

西田 亮三, 岡本 忍

X線非破壊検査などに使用する目的でX線用 PbO ビジコンの研究試作を行なった。PbO ビジコンはX線を投射すると“焼付き”を生じることが多く、動く物体を撮像するときには障害となっていた。PbO ターゲットの製作法の研究改良により、“焼付き”がなく残像の少ないビジコンを試作できるようになった。試作管の構造および諸特性などについて述べ、X線用ビジコンの応用にもふれる。

### 1. ま え が き

現在、工業のX線非破壊検査は主として写真撮影あるいは蛍光板による直接透視によって行なわれている。写真撮影はフィルムの現像処理が必要であるので、検査結果を見るまでに手数と時間を要する。また直接蛍光板による透視検査は検査員に対してX線被曝の危険があり、肉眼を充分暗順応させても蛍光板の輝度不足のため、とかく透視像の細部の識別が困難なことが多い。これらの難点を解決して、X線透視検査を簡便確実に安全に行なうためにX線テレビジョンの開発が要望されている。

X線テレビジョンを利用すれば、遠隔操作によって検査員は全然X線照射を受けることなく、しかも、明るい室で明るい影像として観察できる利便がある。また、動いている物体を連続して検査することも可能であって、その応用範囲はますます広められるだろう。

現在開発が進められているX線テレビジョン装置は、主としてX線蛍光増倍管によって輝度を増強したX線透

視像を、ビジコンカメラで撮像する方式である。この方式によれば、X線蛍光増倍管の輝度増強作用のためにX線投射量をかなり減らすことができ、特に医学方面で重要視され実用化されつつある。また、X線に感ずる光導電体を使用したビジコン形撮像管<sup>1)2)</sup>で、直接透過X線を光導電膜上に受けて電気信号に変換する方式も研究が進められている。この方式は、蛍光面や光学系が介在しないので、高い解像度が得られる点ですぐれている。大面積の光導電面をもった撮像管の研究もなされたが<sup>3)4)</sup>、まだレスポンスの遅いことなど多分に問題がある。

この種のはむしろ高解像度に着目して、標準の1インチビジコンと互換性のあるX線用ビジコンを開発し、一般のITV装置と組み合わせれば、きわめて簡単に低価格でX線テレビ装置が得られ、小形物体の検査に利用することができるだろう。ことに最近電子回路が微小化され、マイクロモジュールや固体回路などが研究開発されたので、それらの非破壊検査にX線用ビジコンを使用するテレビジョンの利用が目ざされている。

筆者らの研究室でも数年来 PbO ビジコンの研究試作を続けてきたが、試作 PbO ビジコンを使用して、マイクロモジュールなどのX線透視像を直接撮像し、かなり有望な結果が得られた<sup>5)</sup>。PbO ビジコンはX線で照射されるときには“焼付き”現象をとまなうことが多く<sup>6)</sup>、運動物体のX線透視には非常に障害となるので、その除去が重要な問題となっていた。その後、当研究所における研究から PbO 光導電層の製法の改良によって、最近の試作管では“焼付き”を除去し、残像もかなり少なくすることができるようになり、一応X線用ビジコンとして実際に非破壊検査などに利用できるような段階になったので報告する。

### 筆者紹介



にしだりょうそう  
西田亮三 昭和12年、浜松高等工業学校電気工学科を卒業し、同校電機研究室に勤務。テレビ撮像管、光電管、イメージ管などの研究に従事した。現在、静岡大学教授、電子工学研究所に勤務、主としてビジコンの研究に従事している。工学博士、正会員。



おかもと しんぶ  
岡本忍 昭和17年、浜松工業専門学校通信工学科修了と同時に同校電機研究室に勤務。暗視管、ブラウン管、撮像管などの試作研究に従事した。現在、静岡大学電子工学研究所真空管研究室に所属、最近は主としてビジコンの試作研究に従事している。正会員。

“An X-Ray Sensitive Vidicon” by Ryozo Nishida and Shinobu Okamoto (Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Hamamatsu). テレビ用電子管研究委員会発表(昭和40.4)

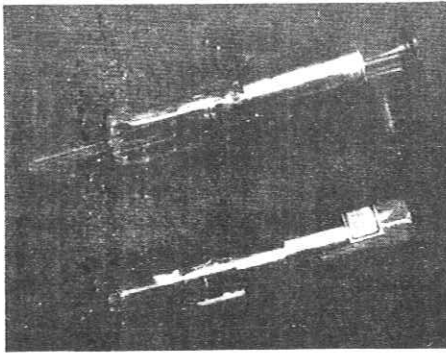


写真1 試作 X 線用 ビジコン  
 (上: PbO を蒸着する前, 下: でき上がった試作管)  
 The experimental X-ray sensitive PbO Vidicon tube; before deposition of PbO on a face plate (upper), and after seal off (lower).

## 2. 試作ビジコンの構造

写真1に試作したX線用ビジコンを示す。試作管は1インチビジコン6198あるいは6326に準じた寸法と構造をもち、電気的な定格もほとんど同じである。サイドチップがあるので6326用のコイルアセンブリを使用するか、あるいはコイルアセンブリの一部を改造して、サイドチップの部分が挿入できるようにすれば、普通のITV用ビジコンカメラにこのX線用ビジコンを入れ換えるだけで、X線テレビジョン装置として使用できる。外管およびフェースプレートはコバルガラスを用い、フェースプレートの内面には透明導電膜ネサ(SnO<sub>2</sub>)を塗付して信号板とした。信号板の上には一酸化鉛(PbO)を蒸着してX線に感ずる光導電層を作った。

PbOビジコンの試作にあたって、まず直面した問題は、PbO蒸着膜はきわめて不安定で、一度空気にふれると、ただちに特性が劣化して、特に暗抵抗が減少してしまうことであった。したがって、光導電面を蒸着した後で電子銃を封じ込んだのでは、特性が劣化するのをさげにくい。試作管ではあらかじめ、外管に電子銃を封じておいて、排気後側管よりPbO蒸発源を挿入し、PbOを蒸着する方法をとった。そのため電子銃は図1に示すように特殊な構造とした。(a)はPbOを蒸着する前、(b)はでき上がった後の電極配置を示す図である。壁陽極G<sub>3</sub>は二重の円筒から成り、外側の円筒G<sub>3</sub>'にはフィールドメッシュが取り付けられ、これは管内で動かすことができるように作られている。PbOを蒸着する前は図の(a)のようにメッシュがターゲットより約25mm離れた位置になるようにG<sub>3</sub>'を置く。側管よりポートを挿入してPbOの蒸着を行なう。封じ切り後、メッシュがターゲット直前約3mmの定位置になるよう円筒G<sub>3</sub>'を引き出す

## X線用ビジコンの電子銃構造

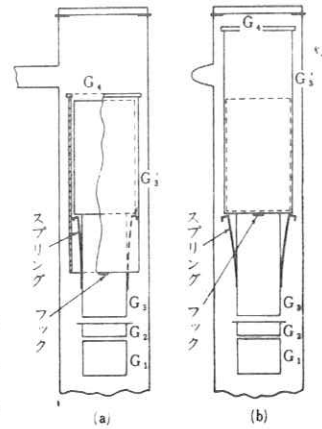


図1 試作管の電子銃の構造  
 (a) PbOを蒸着する前  
 (b) でき上がった後の電極配置

Structure of the electron gun of the experimental PbO Vidicon. Electrode configuration (a) during evaporation; G<sub>4</sub> is held back to allow deposition of PbO on face plate, and (b) after evaporation.

と、図(b)のようにスプリングが開き、これとフックとでG<sub>3</sub>'は固定される。G<sub>3</sub>'が固定された後は普通のビジコンの電子銃と同じ動作をする。

## 3. PbO ターゲット

PbO 光導電膜の製作方法には、

- (1) PbO を適当な圧力の酸素または不活性ガスの雰囲気中で蒸着する方法
- (2) PbO を高真空中で蒸着し、さらに酸素雰囲気中で熱処理して酸化する方法
- (3) 金属鉛を真空蒸着して酸素雰囲気中または空气中で熱処理を行ない酸化鉛とする方法

などが知られている。このときの酸素圧、蒸着基板(フェースプレート)の温度、蒸発源から基板までの距離、蒸着時間および熱処理などによって、PbO蒸着層の結晶、電子的構造および光電的性質は大きく影響を受ける。

PbOの蒸着膜は過剰の酸素が存在するときは $\rho$ 形に、鉛の過剰のときは $n$ 形になる。また、PbOには正方晶系(赤色)と斜方晶系(黄色)の2つの結晶があり、蒸着のとき酸素圧が比較的低いときには黄色のほうのふくまれる割合が大きくなる<sup>7)</sup>。

試作管ではPbOはJohnson Matthey社の“Specpure”を用い、蒸発源としては白金ポートを使用してネサを塗付したフェースプレートの上に蒸着した。初期の試作では、PbO蒸着膜は $1\sim 2 \times 10^{-2}$ mmHgの酸素雰囲気中でPbOを蒸着するか、あるいは高真空中でPbOを蒸着し、そのとき一部還元された鉛を酸化するために、さらに $7 \times 10^{-1}$ mmHg程度の酸素雰囲気中で熱処理をして作った。これらの酸素雰囲気中の処理はすべて排気ポン

プ系のバルブを閉じ、試作管中に酸素を導入して行なった。

このようにして作られた PbO ターゲットのビジコンは、いずれも信号電流の応答が遅く、しかも焼付き現象のはなはだしいものや、暗抵抗の低すぎるものなどが多く、ばらつきが大きくて、なかなか良い特性のものが得られなかった。このような結果になったのは、酸素雰囲気中の蒸着や熱処理の際の微量の放出ガスの影響や酸素圧の変動などがおもな原因と考えられる。よって、酸素雰囲気中の処理のときも排気を続けながら、酸素はバリアプルークバルブを通じてたえず流入させ、一定の圧力をたもつように改めた。

その後は約  $5 \times 10^{-4}$  mm Hg\*の酸素雰囲気中で PbO を蒸着し、さらに酸素雰囲気中で熱処理 (150~300°C) を行なった。この光導電ターゲットは暗電流が少なく、可視光線に対しては感度、残像特性ともに良く、“焼付き”もほとんど認められず好結果が得られた<sup>9)</sup>。

しかし、この PbO ターゲットも X 線で照射されるときには焼付き現象をともなうことが多く、運動体の X 線透視に使用するには適当でなかった。種々研究試作の結果、同様な製作方法でも数倍高い酸素圧のもとで蒸着を行ない、比較的酸化を進めて赤色正方晶系をふくむ割合が多いと思われる橙色の外観を示すような層とすると、X 線の照射に対して“焼付き”をなくするのに有効のようであることがわかった。蒸着層の厚さは 10~20  $\mu$  である。

#### 4. 試作管の諸特性

試作管は外形寸法も電気的定格も 1 インチ標準ビジコンとほとんど同様である。特性の測定は試験装置の都合で、走査線 1000 本、毎秒 60 フィールド、20 フレーム (三重飛越走査) で行なった。しかし、測定結果は標準方式によった場合と大差はないものと考えられる。X 線源には自己整流方式の X 線発生装置を使用した。試作管はフェースプレートに厚さ 2 mm のコバルガラス板を使用しているため、約 30 kVp 以下の長波長の X 線はほとんどこれに吸収されるため、X 線放射口に 2 mm 厚の Al の透過板を取り付け軟 X 線を除去した。

##### 4.1 ターゲット電圧-電流特性

一定強度の X 線を投射したときの信号出力電流および暗電流のターゲット電圧に対する特性の一例を図 2 に示す。信号出力電流の測定は X 線管焦点とビジコンのフェースプレートとの距離を 13 cm とし、X 線管電圧 50 kVp 電流 6 mA 一定として行なった。

このときのフェースプレートの位置における X 線の線

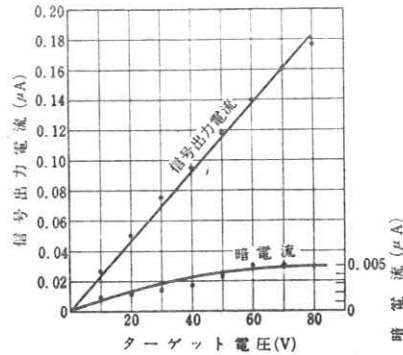


図 2 ターゲット電圧-電流特性  
Signal output current (34 r/min on tube face) and dark current versus target potential.

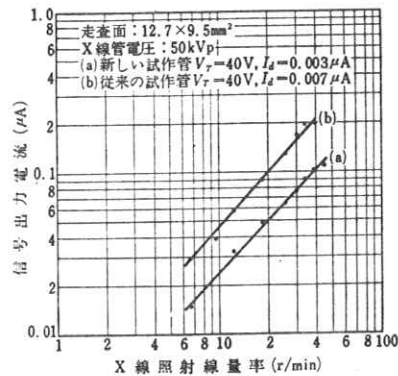


図 3 X 線に対する変換特性  
Transfer characteristics to X-ray radiation.

量率は 34 r/min である。暗電流はターゲット電圧に対しては飽和特性を示すが、信号出力電流は飽和しない。

##### 4.2 X 線に対する変換特性

X 線源から 13 cm の距離にビジコンを置き、X 線管電圧 50 kVp のとき 2 mm の Al 透過板を透過した X 線を照射した場合の、X 線量に対する信号出力電流の特性を図 3 に示す。この変換特性はターゲット電圧 40 V、走査面積を 12.7 mm × 9.5 mm とし、X 線管電流を 1~8 mA に変化させて測定した。X 線照射強度はターゲットの位置で線量率計 (島津製直示線量率計 FPH-42) を用いて測定した。図の (a) は新しい試作管の変換特性で、(b) は従来の試作管 (“焼付き”のあるもの) のものである。

両者とも変換特性は直線で、その傾斜すなわち  $\gamma$  は約 1 である。また、X 線管電圧を 60 kVp および 70 kVp に高めると、変換特性はそれぞれ約 13% および 19% 上昇して平行に移動する。フェースプレートの X 線に対する透過率は 50 kVp のとき約 54% であるが、60 kVp およ

\* 酸素圧は窒素で校正したフィリップスゲージでの測定値である。



び70 kVp のときはそれぞれ12% および18% 増加する。管電圧を上昇したときの感度増加は、主としてフェースプレートの吸収の減少によるものと思われる。

このようにフェースプレートの吸収による損失は相当大きいので、ベリリウムなどX線吸収の少ない材料をフェースプレートとして使用することが、感度を高めるためには望ましい。ことに軟X線に対しては重要な問題である。

4.3 残像特性

残像は図4に示すように、フェースプレートの前に設けた銅板のスリット(2mm幅)を通して、ターゲット走査面の約1/5を水平方向にX線で照射しておき、X線をシャ断した後、信号出力電流の減衰していく状態をシンクロスコープで観測して調べた。写真2はそのオシログラムである。写真の中の上の波形は、X線管電流の高圧トランス2次電圧(60c/s)の一部で、X線の照射からシャ断に移るときを示す。下の波形は信号出力電流で、ス

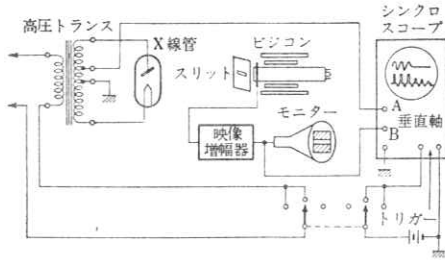


図4 残像測定  
Measurement of lag characteristics.

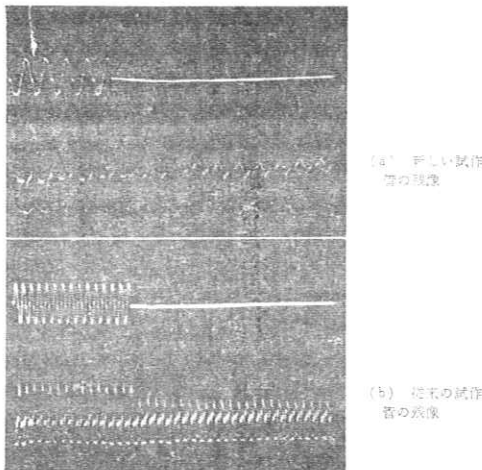


写真2 残像特性

Lag characteristics of the experimental Vidicon; applied voltage to the X-ray tube (upper), signal output of the Vidicon (lower). (a) By new evaporation process, (b) by usual process.

リット状にX線で照射されたときの、信号出力電流が各フィールドごとにパルスとして現われ、X線のシャ断後のパルスの高さの減衰で残像を示している。

照射したX線は管電圧50 kVpのもので、照射時の信号出力電流は0.08  $\mu$ Aである。写真2の(a)は新しい試作管の残像特性であって、3フィールド(50ms)後の残留信号、すなわち残像は約20%で、“焼付き”はまったく認められない。これは7038の残像特性とほとんど同じであるので、動いている物体のX線観測も充分可能である。(b)は従来の試作管の残像を示すもので、まだかなり長く“焼付き”が残る。写真3はこの種の管を使い被検物体を動かしたとき“焼付き”が残っているありさまを示す受像写真である。

4.4 解像度

可視光線に対する解像度は一般のビジコンとほとんど変わらない。中心部で500本以上の解像度が得られてい

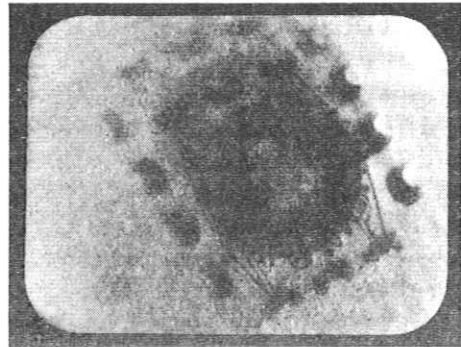


写真3 被検物体を動かした後の“焼付き”を示す受像写真

“Burn in” image, after the test object (microelement inductor) has been displaced slightly.

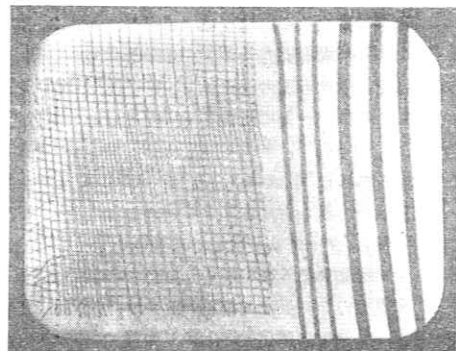


写真4 X線で撮像した銅線(0.4 mm, 0.18 mm)およびタングステン線(0.03 mm)メッシュの受像写真  
Vidicon X-ray image of tungsten mesh (wire diameter 0.03 mm) with 50 kVp X-radiation exposure (left), and that of copper wire (dia. 0.18 mm, 0.4 mm)(right).



る。X線に対する解像度は適当なテストチャートが得られなかったので、まだ解像力の限界は調べていない。

解像度を評価する方法として 0.4 mm および 0.18 mm 径の銅線を並べたものと、0.03 mm 径のタングステン線で作られた網を2枚重ねたものをフェースプレートに密着させ、X線 (50 kVp) を照射して調べた。その受像写真が写真4である。0.03 mm 径のタングステン線がかなり鮮明に観察できているので、それよりもさらに細かい線でも識別できるものと思われる。実験に使用したX線管球の焦点は 1.2 mm  $\phi$  である。0.03 mm 径の線を0.03 mm 間隔に並べた場合はほぼ300本の解像度に相当するが、微小焦点のX線管球を使用し、X線装置に絞りを付けて散乱線の防止をするなどの注意をはらえば、おそらく可視光線に対するのと同程度の解像度が期待できるであろう。

#### 4.5 寿命

長時間の寿命試験はまだ行っていないが、50 kVp, 30 r/min のX線で30分間連続照射して使用した程度では信号出力電流、暗電流、残像および“焼付き”などの諸特性にはほとんど変化が認められない。また、試作管は製作後約9カ月を経過しており、今日まで種々の実験に使用してきたが、やはり特性の劣化は認められていない。

#### 4.6 考察

PbO 層の蒸着を従来よりも数倍高い圧力の酸素雰囲気で行ない、酸化を進めて橙色の膜とすることによって、X線の照射による“焼付き”をほとんどなくすることができた。

Bigelow<sup>6)</sup>の実験によれば、“焼付き”は主としてX線照射によって PbO 層に生じる疲労のために暗導電度が增大するからであると考えられる。Bigelow は疲労の原因として次のように述べている。

伝導電子の捕獲によって、酸素が PbO の結晶表面に化学吸着されるものと考えられ、表面に近く電子の流れに対して障壁ができる。X線で照射されると、発生した正孔を化学吸着されている酸素原子が捕獲して物理吸着となる。やがてまわりの圧力と平衡するためにそれらの酸素を失い、障壁が低くなって導電度が増すのであろう。

一応この説明によるならば、筆者らの試作管の場合は PbO 層の酸化が進められているために、疲労の生じ方が弱められ、“焼付き”が認められなくなっているであろうと思われるが、なお、今後研究を続けて明らかにしたい。試作管は“焼付き”はなくなったが、感度は従来のものよりやや劣っているので、今後その増大に努力する必要がある。

## 5. X線用ビジコンの応用

試作管は光導電ターゲットの最大有効径が約18mmであるので、X線透視を行なうことのできる視野の広さもそれ以内に限定される。光導電ターゲットの大きさを、現在よりある程度大きくすることは可能であるが、残像の問題があるのであまり大きなものを製作することはむずかしい。したがって、現状では被検物体も小さなものに限られる。

しかし、試作管はかなり良い解像度を得られているので、被検物体の中の100分の数mmの部分を対象としてX線による識別検査を行なうことができ、モニターの受像画面にはつねに数十倍に拡大されたX線透視像があらわれるから、微細部分の観察や検査にはことに好都合である。また、試作管の残像は一般に実用されているビジコンと同程度であるので、動く物体のX線透視も可能である。

試作管は1インチ標準ビジコンとほとんど同じ定格であるから、一般のITVビジコンカメラに入れ換えて動作させることができる。X線透視を行なうには、カメラからレンズを取りはずして、図5に示すようにX線用ビジコンのフェースプレートの上に被検物体を置いてX線を照射すればよい。ビジコンに可視光線が入ると、X線透視像のコントラストを減少させ、また“焼付き”を生じるおそれもあるので、カメラはしゃ光に注意するか、あるいは、ビジコンに黒色塗料を塗布するのが望ましい。

写真5はITVカメラと市販の普通の受像機を使用した簡易形X線テレビジョン装置である。このようにビジコンを交換するだけで、簡便安直にX線テレビジョン装置として使用できる。さらに、他の方式のX線テレビジョン

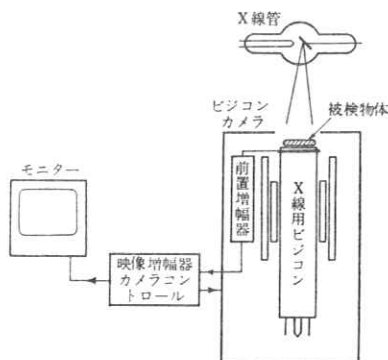


図5 ビジコンを使用するX線テレビジョン装置の系統図

Block diagram of closed-circuit TV system utilizing X-ray sensitive Vidicon.

表1 X線テレビジョンの各方式の比較  
Comparison of X-ray television systems.

構成	(螢光板)+(イメージオルシコン)	(X線螢光増倍管)+(ビジコン)	X線用ビジコン
有効視野	螢光板の大きさ (ある程度任意に大きくできる)	約230 mm φ (最大) (9インチ)	約18 mm φ**
光学系	特に明るいレンズ系が必要	明るいレンズ系が必要	使用しない
解像度	5本/cm~7本/cm* (線径 1.0~0.7 mm)	10本/cm~12本/cm* (線径 0.5~0.4 mm)	160本/cm** (線径 0.03 mm)
X線量	中	小	大
設備費	高価	高価	安価
操作 保守	むずかしい	比較的容易	最も容易

\* 文献[6]による. \*\* 本文の試作管

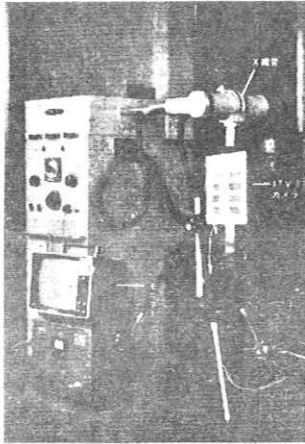


写真5 簡易X線  
テレビジョン装  
置  
Simplified X-ray  
closed circuit  
television utiliz-  
ing Vidicon.

ンと比較すると、表1に示すような優劣が見られる。以上述べたような諸点を考慮すると、X線用ビジコンの応用としては次のようなものが考えられる。

#### (1) 小形物品の非破壊検査

X線用ビジコンは解像度が良く、常に数十倍に拡大された透視像がモニター像として得られるので、小形物品のX線非破壊検査には最も適している。最近特に超小形化された電子回路部品のマイクロエレメント、マイクロモジュール、固体回路などの非破壊検査への応用が期待される。写真6~10にそれらのX線透視受像写真の例を示した。

#### (2) 生産工程中の監視

X線用ビジコンは多くの場合、運動する物体のX線透視も可能なので、流れ作業の一部で製造過程の観察調整、監視あるいは製品の検査など、たとえば、電線の偏心をさけるための監視にも利用できるであろう。写真11はシールド線を透視したものの一例である。

#### (3) こん虫などの小動物あるいは動植物組織の研究

こん虫などの小動物の生態のX線による観察、あるいは動植物の組織構造のX線的研究など生物学、医学分野

の研究手段としてX線用ビジコンが応用できるものと思われる。被検体が軟組織の場合には長波長の軟X線を利用せねばならないことが多いので、この方面の応用に対しては軟X線用ビジコンの開発が要望される。

さらに、X線用ビジコンの性能の改良ともなっており、その他の新しい応用が、たとえばビジコンの解像度の向上と、これともなつた高解像度テレビジョン装置との組み合わせによって、X線顕微鏡などの応用が開かれるものと期待される。

## 6. む す び

PbO ビジコンはX線で照射されるときに“焼付き”を生じることが多く、動く物体を撮像するときには非常に障害となっていた。PbOビジコンの研究試作を行ない、PbO ターゲットの蒸着方法の改良によって、X線に対しても“焼付き”をなくすることができるようになった。試作管は“焼付き”が認められないばかりでなく、残像も一般のビジコンと同程度に少なくなったので、動く物体のX線透視像をモニターで見ることが可能になった。また、X線に対する解像度も良いので、ターゲットの面積によって被検物体の大きさが制限されるけれども、小形の物体の非破壊検査に充分応用できることが実験で示された。

試作管はフェースプレートによるX線の吸収が大きいため、吸収の少ないベリリウム板を使用するビジコンの試作研究を行ない、光導電ターゲットの研究とあわせて、今後さらにX線、特に軟X線に対する感度の増大をはかるよう研究を進めたい。

終わりに、ご指導ごべんたつをいただいた堀井隆所長および、微小回路素子を貸与され、その非破壊検査についてご指導をいただいた武藤時雄教授に厚くお礼申し上げます。また、試作管の製作ならびに測定に協力していただいた研究室の諸氏に深謝する。(昭和40年7月10日受付)

#### [参 考 文 献]

- 1) L. Heijne, P. Schagen and H. Bruining: An Experimental Photoconductive Camera Tube for Television, Philips Tech. Rev., 16 (1954) 23-25
- 2) A. D. Cope and A. Rose: X-ray Noise Observation Using a Photoconductive Pickup Tube, J. Appl. Phys., 25(1954) 240-242
- 3) J. Jacobs and H. Berger: Large-Area Photoconductive X-Ray Pickup-Tube Performance, Elect. Engng., 75 (1956) 158-161
- 4) C. W. Smith: An X-Ray Sensitive Photoconductive Pick-up Tube, Advances in Electronics and Electron Physics, 12, Academic Press, New York and London (1960) 345-361
- 5) 西田亮三, 岡本忍: PbOビジコンについて, テレビ誌, 18(1964) 113-114

特 集 ■ 最近の撮像管技術

- 6) J. E. Bigelow and K. E. Haq : Significance of Fatigue in Lead Oxide Vidicon Target, J. Appl. Phys., 33 (1962) 2980-2982
- 7) E. F. de Haan, A. van der Drift and P. P. M. Schampers : The "Plumbicon", A New Television Camera Tube, Philips Tech. Rev., 25 (1963/64) 133-151
- 8) 小川一郎: X線テレビジョン, テレビ誌, 15 (1961) 213-230

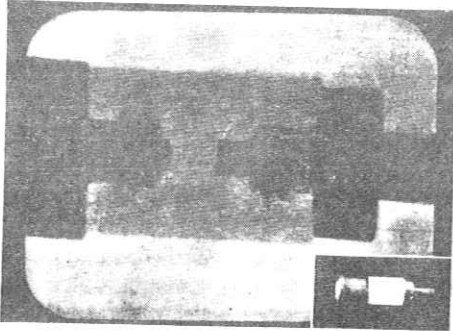


写真 6 ダイオードのX線透視受像写真  
(右下は実物, 50 kVp, 3 mA)  
Vidicon X-ray image of a diode with 50 kVp at 3 mA X-radiation exposure.

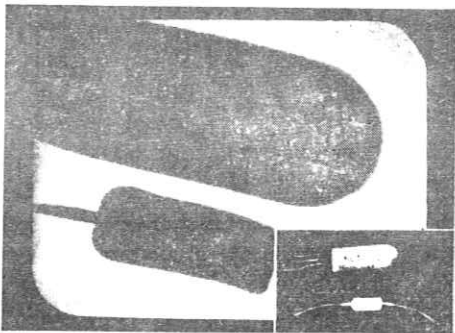


写真 7 トランジスタおよびダイオードのX線透視受像写真  
(右下は実物, 70 kVp, 2.5 mA)  
Vidicon X-ray image of diode and transistor with 70 kVp at 2.5 mA X-radiation exposure.

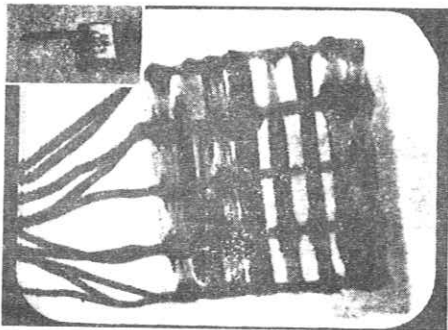


写真 8 マイクロモジュールのX線透視受像写真  
(左上は実物, 50 kVp, 3 mA)  
Vidicon X-ray image of a micromodule (limiter) with 50 kVp at 3 mA X-radiation exposure.

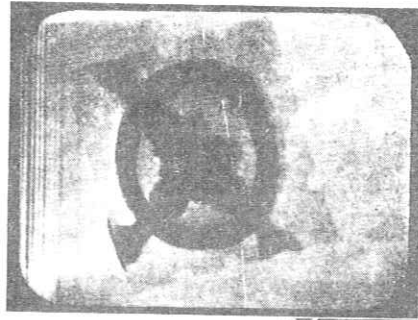


写真 9 マイクロエレメント  
トランジスタのX線  
透視受像写真  
(右下は実物, 50 kVp, 3 mA)

Vidicon X-ray image of a microelement transistor with 50 kVp at 3 mA X-radiation exposure.



写真 10 マイクロエレメント  
インダクターのX線  
透視受像写真  
(右下は実物, 50 kVp, 3 mA)

Vidicon X-ray image of a microelement inductor with 50 kVp at 3 mA X-radiation exposure.

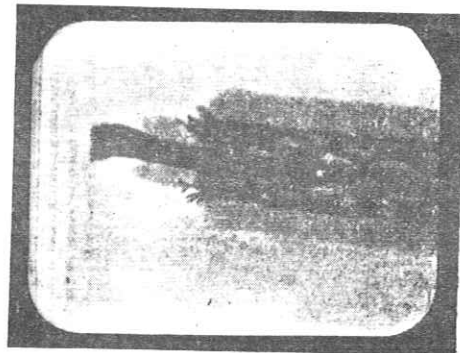


写真 11 シールド線のX線透視受像写真  
(50 kVp, 3 mA)

Vidicon X-ray image of shield wire with 50 kVp at 3 mA X-radiation exposure.

# 軟 X 線 用 ビ ジ コ ン

静岡大学 電子工学研究所 西 田 亮 三  
岡 本 忍

透過力の小さい低エネルギーの軟X線を利用した透視検査に使用する目的で、フェースプレートにベリリウム板を使用した PbO ビジコンの研究試作を行なった。ベリリウム板の封着にはインジウム冷封止の技術を応用して好結果が得られた。試作管は、低暗電流、低残像で、ガンマが 1、解像度もよく、10 kV 以下の軟X線までも感度がある。薄い生物組織の研究あるいは軽金属、合成樹脂などの非破壊検査に軟X線用ビジコンの応用が期待される。

## 1. ま え が き

最近、X線用の閉回路テレビジョン装置が次第に広く利用されるようになってきた。現在実用化が進められている装置は、主としてX線蛍光増倍管によって、輝度を増強された蛍光面上のX線の像をビジコンカメラで撮像する方式である。X線蛍光増倍管の輝度増強作用のために、投射するX線量をかなり少なくすることができるが解像度があまりよくないうらみがある。

一方、X線に感度をもつ光導電体を利用したビジコン形の撮像管は、直接X線像を撮像して電気信号に変換することができるので、解像度が良く、尖鋭な像を受像管上に現わすことができる。

X線用ビジコンに利用できる光導電体としては、一酸化鉛 (PbO) あるいは無晶形セレン (amorphous Se) などが知られている。筆者らは先に報告したように、PbO を使用して、焼付きや残像の少ないX線用ビジコンを試作することができた<sup>1)</sup>。

一般のX線透視検査には、X線管電圧が 50 kVp 以上の硬X線が使用されている。しかし、薄い物や密度の小さい物質のX線透視検査には、透過力の小さい軟X線を使用すると良好なコントラスト比が得られるので、薄い生物組織の研究、動植物の生物学的研究などに軟X線が利用され、近年、Microradiography 用として新しい応用分野が開拓されつつある。また工学、理学方面においても、軽合金や合成樹脂などの素材および加工品の非破壊検査に利用され、ことに薄膜回路のような非常に薄い

部品の検査などには透過力の小さい軟X線を使用する必要がある。

昨今、軟X線による透視検査が広まりつつあり、軟X線にも感度をもったビジコンの開発が望まれている。筆者らは、フェースプレートに軟X線を最も透過しやすい金属であるベリリウム板を使用した PbO ビジコンの研究試作を行ない、軟X線用のビジコンとして一応の成果が得られた<sup>2)</sup>。その後、実験用軟X線発生装置の電源を改造して実験を行ない、試作管は 10 kV 以下の軟X線にも感度を持ち、軟X線の特徴を生かした透視検査に利用できることが確かめられた<sup>3)</sup>。さらに今回測定した試作管の特性<sup>4)</sup>を合わせて報告する。

## 2. 実験に用いた軟 X 線発生装置

一般のX線透視検査には連続X線が使用されている。連続X線の波長は一定電圧で発生させたときに、対陰極(ターゲット)の種類に関係なく、短波長側に一定の明瞭な限界があり、その最短波長は次式で示される。

$$\lambda_0 = 12395/V$$

$\lambda_0$ : 最短波長(Å),  $V$ : X線管に加えた電圧(V)

また、連続X線の総エネルギーは、ほぼ次式で表わせる。

$$E \propto i \cdot V^2 \cdot Z$$

$E$ : 連続X線の総エネルギー,  $i$ : X線管電流

$Z$ : 対陰極金属の原子番号

X線管電圧をパラメーターにとって波長とX線強度を表わすと図1のようである。X線管電圧の増加にともなう、短波長限界および強度最大の波長が次第に短波長側に移り、X線発生効率が増加する<sup>5)</sup>。

従来から実験に使用していたX線発生装置は、高圧電

"A Soft X-ray Sensitive Vidicon" by Ryoza Nishida and Shinobu Okamoto (Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Hamamatsu)

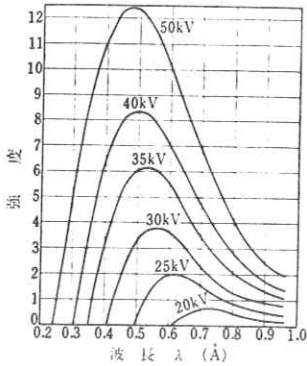


図1 タングステンの連続スペクトル<sup>3)</sup>

Energy distribution in the continuous X-ray spectrum for different voltage. (tungsten target)

源として昇圧された交流電圧を直接X線管に印加する、いわゆる自己整流方式である。X線管は放射窓にベリリウム板を使用した軟X線管で、ターゲットの材質はタングステン、焦点の大きさは0.3mmφであり、油浸冷却方式となっている。

自己整流方式のこの装置ではX線管電圧を低くしていくと、20kV位から著しくX線強度が下がり、低エネルギーの軟X線領域でのビジコンの特性を調べるには強度が不足となり、実験を進めるうえに支障が多かった。また、薄い軟組織などの透視を行なう場合には、自己整流方式では発生X線のエネルギー分布が定まらないために、コントラスト比が低下して透過像の鮮明さを欠くおそれがあった。これらの理由から、20kV以下位の軟X線に対しては自己整流方式のX線装置を使用した初期の実験では、あまり良い結果が得られなかった。その後、平滑波回路をそなえた両波整流の直流電源（最高電圧30kV）を設け、30kV以下のX線の場合には直流電源方式として動作させ好結果が得られるようになった。

本文では、自己整流方式の場合には、X線管電圧をkVp（尖頭値）で、直流電源方式ではkVで示すことにする。

### 3. フェースプレートのX線透過特性

従来試作していたX線用PbOビジコン<sup>1)</sup>は、フェースプレートにはコパールガラス（2mm厚）を使用していたが、フェースプレートでX線が相当吸収され、そのための損失が大きかった。特にX線管電圧が30kVp位より低い軟X線では、フェースプレートでほとんど吸収されて光導電層に達しないため<sup>2)</sup>、ビジコンの感度はほとんどなくなってしまった。

軟X線用ビジコンでは、フェースプレートのX線吸収

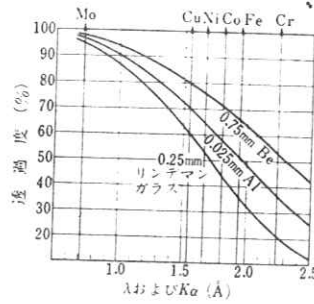


図2 X線の透過度<sup>3)</sup>  
Transmission curve of X-ray.

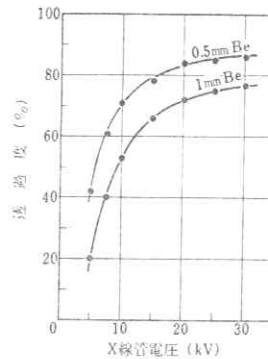


図3 ベリリウムフェースプレートのX線の透過度  
Transmission curve of X-ray for beryllium face plates.

をできるだけ少なくすることが特に重要である。ベリリウムは軟X線を最も透過しやすい金属で、フェースプレートの材料として最も適している。ベリリウム板のX線の透過度を図2に示す。図の横軸はX線の波長を示し、あわせて各種ターゲット材料の特性X線Kαの波長が記入されている。

試作ビジコンのフェースプレートには、厚さ1mmおよび0.5mmの金属ベリリウム板を使用した。試作に先立って、試作管に使用したベリリウム板について、ビジコンの使用状態に近い条件で軟X線の透過特性を実測した。測定には軟X線用に作った線量率計<sup>6)</sup>を使用して、X線管球への印加電圧に対するベリリウム板のX線の透過度を測定した。図3にその測定結果を示す。試作管には主として1mm厚のベリリウム板を使用した。軟X線に対して良好な透過特性をもち、軟X線用ビジコンのフェースプレートとして充分使用できる。しかし、特にX線管電圧10kV以下の長波長軟X線を対象とする場合には、ベリリウム板を0.5mmまたはさらに薄くしてできるだけ吸収による損失を少なくすることが望ましい

#### 4. ベリリウムフェースプレートのビジコンの試作

ベリリウムフェースプレートは、実測より 10kV 位の軟 X 線に対してもビジコンとして感度をもたせることが期待できるので、これを使用して軟 X 線用ビジコンの試作を行なった。試作にあたって第一に問題になるのは、ベリリウムのフェースプレートをガラスバルブに封着させる技術である。

第一に、コパールを仲介する封着法が考えられる。環状のコパール板をロウづけしておいてガラス管に封着させたが、ベリリウムの線膨張係数 (約  $170 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ) がコパール (約  $54 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ ) と大きく異なるために、封着時に発生した応力が直接にガラス管との封着部に加わり、クラックを生じることが多かった。ベリリウム窓の X 線管で行なわれているように、ある程度の長さをもったコパール管にベリリウム板をロウづけし、これをガラス管に封着するようにすれば、膨張係数の相違によって生ずる応力の大部分をコパール管の中で除くことができ、ガラス管との封着が可能になるものと考えられる。しかしこの場合、管球の構造、寸法などに種々の制約を受けることが多く、ベリリウムフェースプレートおよびコパール管は信号出力電極となるために、出力静電容量が増大して初段映像増幅器の周波数特性や SN 比を悪化させ好ましくない。

次いで、インジウム冷封止を試みたが、ベリリウム板を直接インジウム封止することは困難であったので、環状の純鉄板の内側にベリリウムのフェースプレートをロウづけして、純鉄板をガラス管にインジウム封止を行ない好結果が得られた。しかし、この方法もロウづけの技術に相当の熟練を要するなどの難点がある。その後、ベリリウム板に銅を電解メッキすることができるようになったので、現在はベリリウムフェースプレートの周縁だけ銅メッキをして、この部分でインジウム封止を行ない簡便確実に目的を達しようようになった。

ベリリウムフェースプレートは直径 26 mm、厚さ 1 mm で、信号板は特に設けずに、ベリリウム板上に直接 PbO を蒸着して光導電ターゲットを作った。PbO の蒸着は前報告<sup>1)</sup>と同様な方法で行なった。ベリリウム板は X 線の吸収による損失を少なくするためには薄くすることが望ましいが、フェースプレートとしてガラスバルブにインジウム封止を行なう関係上、あまり薄くするのは製作技術的にむずかしい問題が生じると予想される。しかし、先般 0.5 mm 厚のベリリウム板を入手して試作を行なったが、この程度の厚さではまだ封着に関して困難な問題は生じなかった。

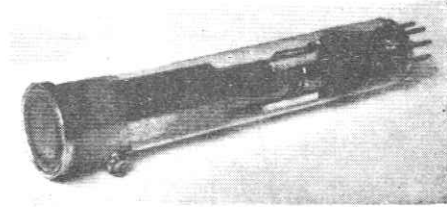
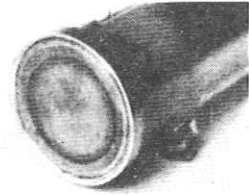


写真1 試作軟X線用ビジコンとベリリウムフェースプレートの封止部分(下) Soft X-ray sensitive vidicon, details of beryllium face plate sealed to glass bulb. (lower)



試作管は1インチビジコンに準じた寸法と構造<sup>1)</sup>をもち、電気的定格もほとんど同じであるので、普通のビジコンカメラが利用できる。写真1は試作管の写真で、右下にベリリウムフェースプレートのインジウム封止部分を拡大して示した。

#### 5. 試作管の特性

特性の測定に使用した試験装置は、走査線 525 本、毎秒 60 フィールド、30 フレームの飛越走査の標準方式に準拠したものである。特性測定中はビジコンのターゲットの走査面積は、12.7 mm × 9.5 mm の標準の大きさとした。

##### 5.1 ターゲット電圧-電流特性

図4にターゲット電圧に対する暗電流および信号出力電流の特性の一例を示す。暗電流は非常に小さく、ターゲット電圧に対して飽和特性を示す。信号出力電流は、X線管焦点とビジコンのフェースプレートとの距離を

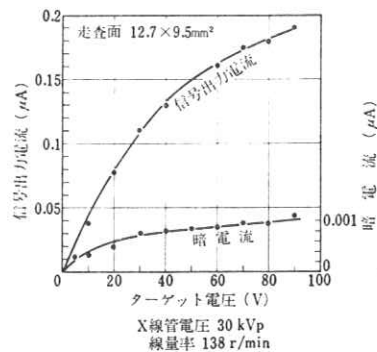


図4 ターゲット電圧-電流特性

Signal output current (138 r/min on tube face) and dark current vs target potential.

テレビジョン

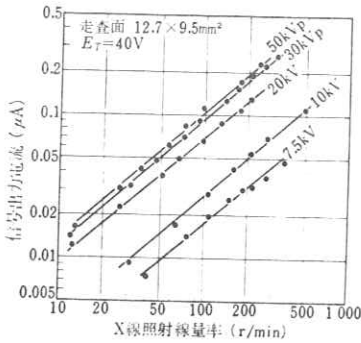


図 5 変換特性  
 Transfer characteristics.

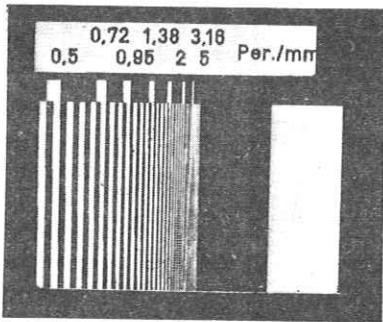


写真 2 Optiker Funk の方形波レスポンスチャート  
 (Nr. 5863)

Square wave response chart. (Optiker Funk Nr. 5863)

15 cm とし、X 線管電圧 30 kVp、電流 2.7 mA 一定として測定した。このときのフェースプレートの位置における入射 X 線の強度は 138 r/min である。

5.2 変換特性

図 5 は、ターゲット電圧 40V のとき、X 線管電圧をパラメーターとして、フェースプレート上の X 線照射強度に対する信号出力電流を示す変換特性である。この場合、X 線管の焦点からビジコンのフェースプレートまでの距離を一定 (20 kV 以上は 150 mm、10 kV 以下は 110 mm) としておき、X 線管電流を変化させて照射強度を変えた。X 線照射強度はフェースプレートの位置で線量率計で測定した。変換特性はほとんど直線で、ガンマは 1 に近く、コントラストのよい像が再現される。

5.3 解像度

解像度特性の測定には Optiker Funk の方形波レスポンスチャート (Nr. 5863) を使用した。このチャートは写真 2 に示すように、厚さ 50  $\mu$  の鉛で作られた線形の縞パターンが厚さ約 1.5 mm のプラスチック板ではさまれている。最小の線の幅は 55  $\mu$  で、9.1 line pairs/mm、

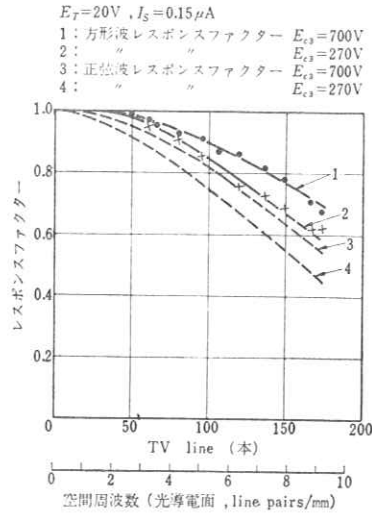


図 6 ベリリウムフェースプレートビジコンの解像度特性  
 Resolution characteristics of beryllium face plate tube.

TV line で表わすと 173 本に相当する。このチャートを試作管のフェースプレートに密着させて、X 線で照射したときの信号出力電流をシンクロスコープでラインセレクトして変調度を求めた。使用した映像増幅器は約 7 MHz まではフラットな特性である。ガラスフェースプレートの管との比較のために X 線管電圧は 50 kVp とし、X 線管焦点よりフェースプレートまでの距離は、約 125 mm とした。

図 6 はベリリウムフェースプレート (1 mm 厚) の試作管の解像度特性で、このときの信号電流は 0.15  $\mu\text{A}$  である。図の曲線 2 は通常の 1 インチビジコンと同様の動作をさせた場合の方形波レスポンスファクターで、曲線 1 は高集束磁界、高集束電界 ( $E_{c3} = 700 \text{V}$ ) で動作させた場合の特性である。磁界および電界を強くして集束すると、走査ビームを尖鋭にすることができて、解像度は 170 TV line で 10% 位良くなる。

解像度は主として走査ビームによって支配されており、ターゲット自体の解像度はさらに良いものと思われる。曲線 3 と 4 はそれぞれの正弦波レスポンスファクター<sup>8)</sup>である。X 線蛍光増倍管の解像度特性<sup>8)</sup>と比較すると、X 線用ビジコンは非常に良い値が得られている。

ここで使用した方形波レスポンスチャートでは約 170 TV line までで、それ以上の解像度を調べることはできないので、コバルトガラス (2 mm 厚) のフェースプレートの管を用いて X 線に対する解像度と白色光 (白色蛍光ランプ) に対するものと比較してみた。白色光に対する解像度の測定には、RETMA チャート (透過形) を



使用した。

図7はその測定結果で、信号電流は  $0.15 \mu\text{A}$  とした。図の曲線1はX線に対する方形波レスポンスファクター、2は正弦波レスポンスファクター、3は白色光に対する方形波レスポンスファクターである。X線に対する解像度のほうが若干良い値が得られている。ガラスフェースプレートの場合には高集束磁界、高集束電界として動作させても、X線に対してはほとんど解像度は改善されなかったが、フェースプレート中のX線の吸収特性や散乱の影響などによるものと考えられる。X線用ビジコンには、解像度の点からもベリリウム板をフェースプレートに使用したほうが有利であることがわかる。

$30 \mu$  径のタングステン線で作られたメッシュを2枚重ねたものをフェースプレートに密着させ、 $40 \text{ kVp}$  のX線で照射したときの受像写真を写真3(a)に示す。 $30 \mu$  径のタングステン線がかなり鮮明に観察でき、近接した

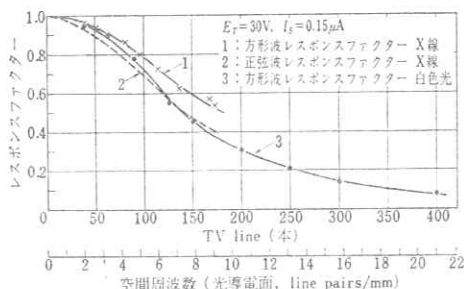


図7 ガラスフェースプレートビジコンの解像度特性  
Resolution characteristics of glass face plate tube.

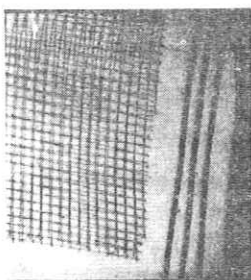


写真3(a) X線 ( $40 \text{ kVp}$ ) で撮像した銅線 ( $0.18 \text{ mm}$ )、タングステンメッシュ (線径  $30 \mu$ ) の受像写真  
X-ray TV image of tungsten mesh (wire diameter  $30 \mu$ ) and copper wire (diameter  $0.18 \text{ mm}$ ) with  $40 \text{ kVp}$  X-radiation exposure.

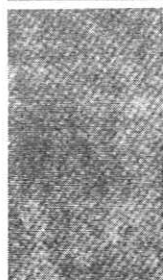


写真3(b) 銅シートメッシュ (500メッシュ/in, 線の幅  $10 \mu$ , 線の間隔  $40 \mu$ , シートメッシュの厚さ  $10 \mu$ ) のX線受像写真 ( $20 \text{ kV}$ )  
X-ray TV image of copper sheet mesh (500 mesh/inch, line width  $10 \mu$ , spacing between lines  $40 \mu$ , thickness of copper sheet  $10 \mu$ ) with  $20 \text{ kV}$  X-radiation exposure.

線も互いにはっきり分離されているので、さらに細い線でも識別できるものと思われる。 $30 \mu$  径の線を線径の間隔に並べた場合は、ほぼ  $300 \text{ TV line}$  に相等する。

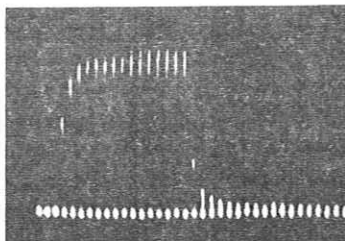
写真3(b)はビジコンのフィールドメッシュに使用されている銅のシートメッシュ (500メッシュ/in, 線の幅  $10 \mu$ , 線の間隔  $40 \mu$ , シートメッシュの厚さ約  $10 \mu$ ) を  $20 \text{ kV}$ ,  $3 \text{ mA}$  のX線で透視した受像写真である。もっともこの場合、ビジコンを正規の走査の大きさ ( $9.5 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$ ) で動作させたのでは網目を見出すことは困難であるが、走査面積を縮小してモニター上にいっそう拡大された像として出すようにすると、ようやく網目が見られるようになった。この場合、モニター (10インチ) の像は約40倍に拡大されたものである。

これらの結果からみても、図7の場合も恐らく限界解像度までX線に対する解像度は、白色光に対するものと同程度以上であるだろうと考えてさしつかえないと思われる。

#### 5.4 残像特性

フェースプレートの前面で、厚さ  $0.5 \text{ mm}$  の鉛板で作ったセクターを同期電動機で回転させてX線を断続しさらにフェースプレート上に  $2 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$  の孔をあけた鉛板のスリットを取付けて、中心部分のみを照射して残像を測定した。セクターの回転は毎秒1回で、15フィールド ( $250 \text{ ms}$ ) X線を照射し、あとは遮断した。X線の on, off の立上がりおよび立下りの時間は  $2.2 \text{ ms}$  以下になっている。

写真4はX線管電圧  $30 \text{ kV}$ 、ターゲット電圧  $20 \text{ V}$ 、信号電流  $0.1 \mu\text{A}$  の場合、X線照射に対する信号出力電流の応答特性をラインセレクトしてシンクロスコープで測定した波形である。写真の点の間隔は1フィールド ( $16.7 \text{ ms}$ ) に相当する。X線遮断後3フィールド ( $50 \text{ ms}$ ) 目の残像の値は約10%であり、また、X線照射後3フィールドにおける信号電流の立上りは90%以上に達している。試作管の残像は一般用のビジコン7038などにくらべて短く、 $1/2$  ぐらいであり、“焼付き”もほと



ターゲット電圧  
 $E_T = 20 \text{ V}$   
信号出力電流  
 $I_S = 0.1 \mu\text{A}$   
X線管電圧  
 $30 \text{ kV}$

写真4 残像測定波形  
Oscilloscope of response, signal current  $0.1 \mu\text{A}$ , target potential  $20 \text{ V}$ ,  $30 \text{ kV}$  X-radiation.

んど認められないので、動く物体のX線透視像も鮮明に観察することができる。

X線源を直流方式とした場合と自己整流方式として動作させた場合との測定結果を比較しても、立上りおよび残像特性にはほとんど変化が認められない。

### 5.5 その他

長時間連続運転の寿命試験は、X線装置の都合でまだ行っていないが、試作管には製作後1年以上を経過したものもあり、その間種々の実験に使用してきたけれども、特性の顕著な変化は認められないようである。ただ長時間連続使用してカメラの中の温度が異状に上昇すると、白点状のきずが発生する場合があるので、カメラの設計には通風に留意する必要がある。なお、ベリリウムフェースプレートインジウム封止部分からの漏洩による真空度低下などの事故は皆無であった。

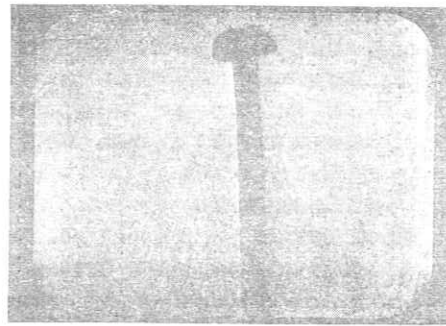
## 6. 試作管による軟X線透視実験

写真5(a)は試作管で撮像した軟X線による透視像の例で、蠅(ハエ)とこん虫ピンを30 kVp, 4 mAの軟X線で、X線管焦点より約15 cmの距離で透視したものである。これをフェースプレートがガラスの管で撮像すると、30 kVpのX線ではほとんど信号出力が得られず、モニターには何も見えない。X線管電圧を40~50 kVpまで高めると、写真5(b)のようにこん虫ピンだけがモニターに現われるけれども、蠅は透過してしまって見ることはできない。(a)と(b)の受像写真の比較によって、軟X線と硬X線との透過力の相違が明らかに示される。

前に述べたように、X線管電圧が低くなるに従って、X線発生効率が悪くなり、実験に使用した軟X線装置では自己整流方式とした場合には、20 kVp以下ではX線強度が小さく、受像の画質が非常に悪くなった。X線管



(a) ベリリウムフェースプレート, 30 kVp  
Beryllium face plate, 30 kVp.



(b) ガラスフェースプレート, 50 kVp  
Glass face plate, 50 kVp

写真5 軟X線と硬X線によるハエの透視受像写真の比較

Comparison between X-ray TV image (a fly) with soft X-radiation and that with hard X-radiation.



写真6 蜜蜂のX線透視受像写真 (12 kV, 3 mA)  
X-ray TV image of a bee with 12 kV at 3 mA X-radiation exposure.

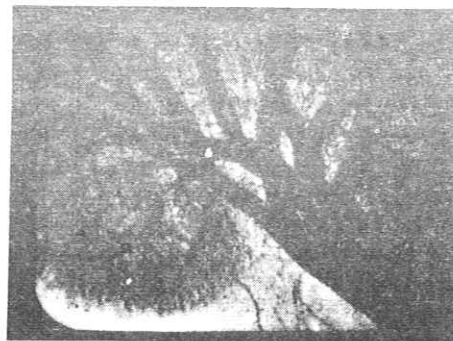


写真7 血管造影された兎の腎臓の一部のX線透視受像写真 (26 kV, 3 mA)  
X-ray TV image of a rabbit's kidney with 26 kV at 3 mA X-radiation exposure.

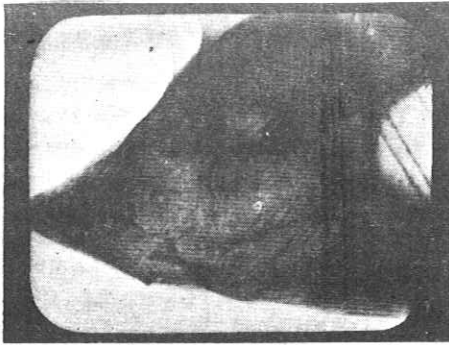


写真 8 小さい鯉の頭部のX線透視受像写真  
(25 kV, 3 mA)

X-ray TV image of a little carp's head with 25 kV at 3 mA X-radiation exposure.

の電源を直流とすると、X線の出力が増して管電圧が10 kV 程度でも良好な品位の映像が得られるようになった。

写真6は管電圧12 kV、電流3 mA、焦点より約15 cmの距離で撮像した蜜蜂(みつばち)の受像写真、写真7は同じ距離で26 kV、3 mAで透視した血管造影された兎(うさぎ)のじん臓の一部で、細い血管の形状や分布状態が観察できる。写真8は鯉の稚魚の頭部を25 kV、3 mAで透視したものである。

X線管を直流電源で動作させたために、このように軟組織の透視像のコントラスト比がよくなり、自己整流方式のX線源を用いた場合の透視像(写真5(a))に比較して、一段と鮮明な映像になった。また、残像が少ないので、蜜蜂など生きたままの状態で、内臓や足の動きなどをモニターブラウン管上に数十倍に拡大されたX線透視像として明るく鮮明に観察することができる。

## 7. 軟X線用ビジコンの応用

ベリリウム板をフェースプレートに使用したX線用ビジコンは、10 kV以下の軟X線に対しても感度を持っている。したがって、硬X線で透視したのではコントラストが弱く、識別するのが困難であるような、密度の小さい物質やごく薄い物体なども、透過力の小さい軟X線を利用し、このビジコンを使用して透視を行えば、良好なコントラスト比が得られ、識別が容易になることが期待される。光導電ターゲットの有効径は、試作管では約18 mmで、X線で透視できる視野の大きさもそれと限定される。

しかし、他のX線テレビジョン方式に比較して、X線用ビジコンは高い解像度が得られ、モニターの受像画面にはつねに数十倍(たとえば19形受像管ならば約35

倍)に拡大されたX線透視像があらわれるから、小さな被検体や小部分の微細構造の観察や検査には特に適している。また、残像も一般のビジコンより短いので、動く物体のX線透視も充分可能である。

以上の諸点から医学、動植物学などの分野で前節で示したような小動物、特に生体のままのX線の研究や観察、あるいは生物体の軟組織の微細構造の研究などに、軟X線用ビジコン独特の応用が広がるものと思われる。また理学、工学あるいは工業方面では、軽金属や合成樹脂などの素材および加工品の非破壊検査、特に薄膜電子回路部品の非破壊検査などにも有効に利用されるであろう。

試作管での実験でも、写真3のように30 $\mu$ の径のタングステン線は容易に観察され、さらに幅10 $\mu$ の銅メッシュの線も走査面を縮小してモニターの像を拡大するようにすれば見られる可能性が示されているので、今後ビジコンの解像度の向上をはかり、これにともなった高解像度テレビジョン装置を組合せれば、X線顕微鏡としての応用が期待できる。

試作管は軟X線による透視撮像を行なうのに一応実用的な感度をもっているが、応用目的によってはまだ感度が不十分な場合も少なくない。これらはビジコンを標準走査を行なって動作させた場合であるが、暗電流が小さいので、静止または動きの遅い物体ならば、低速走査(slow scan)とし、ビジコンの負荷抵抗を増大することによって、感度増加が期待できる<sup>9)</sup>。あるいは標準速度で走査する場合でも、ある期間走査ビームを遮断した後、走査し読取れば、瞬間的な映像であるが、光導電ターゲットでの信号電荷蓄積期間を延長することにより、感度を増すことができ、透視に必要なX線強度(線量率)を減減させることができる。

試作管による後者の実験で、たとえば走査ビームを遮断して蓄積時間を5 secとし、標準走査速度で4フィールド間だけ走査して読取れば、約100倍の感度上昇が容易に達せられることが示された<sup>10)</sup>。このような動作法の適用によって、静止物体を対象とする場合など、微弱なX線像の撮像も可能となり、残光性受像管あるいは蓄積管などを組合せて使用すれば、応用範囲を拡大することができるだろう。

## 8. む す び

ベリリウムをフェースプレートとする軟X線用PbOビジコンの研究試作を行なった。ベリリウムフェースプレートをガラスバルブに封着するのに、インジウム封止の技術を利用して成功し、ガラスフェースプレートのX線用PbOビジコンの製作技術を応用して、軟X線に対

してもほぼ所期の特性に近いものが得られた。ベリリウムフェースプレートは、X線の吸収損失が少ないので、硬X線に対しても感度がよくなり、好結果が得られている。

実験結果が示すように、試作管は 10 kV 以下の軟X線に対しても相当に感度があり、実用可能なことが明らかになった。試作管は残像が一般のビジコンよりも少なく、解像度も他のX線テレビジョン方式に比して格段にすぐれているので、動く物体でも鮮明にX線透視を行なうことができる。軟組織の透視や薄膜部品の非破壊検査などに、このビジコンが有効に利用され、各方面の研究や生産などに貢献できれば幸いである。

今後、さらに光導電面の感度の増加を研究するとともに、X線用ビジコンの動作方式も含めて高感度化をはかり、X線廻折装置などへの応用を検討したい。また、光導電面の大形化なども、実用化にあたって重要な研究問題である。

最後に、方形波レスポンスチャートを使用させていただき、便宜を与えられた名大医学部の飛田勝弘氏と、軟X線装置に関して種々便宜をはかっていただいた日本ソフ

テックス社社長小泉菊太氏に御礼申し上げる。また、終始で指導とごべんたつをいただいた当研究所長堀井隆博士ならびに試作および測定に協力された真空管研究室、回路研究室の諸氏に感謝する。(昭和42年8月3日受付)

#### 【参 考 文 献】

- 1) 西田亮三, 岡本忍: X線用ビジコン, テレビ誌, 20, 3 (1966) 192-198
- 2) 西田亮三, 岡本忍, 堀井隆: 軟X線用ビジコン, 第1回テレビ学会全大予, 3-4
- 3) 西田亮三, 岡本忍: 軟X線用ビジコン (第2報), 昭41年電気四学会連大予, 1170
- 4) 西田亮三, 岡本忍: X線用 PbO ビジコンの特性, 昭42年電気四学会連大予, 1596
- 5) 久保輝一郎, 加藤誠敏: X線廻折による化学分析, 日刊工業 (1955) 5-19
- 6) 西田亮三, 岡本忍: 軟X線用ビジコン (第1報), 静大電子研研究報告, 1, 2 (1966) 185-191
- 7) J. W. Coltman: The Specification of Imaging Properties by Response to a Sine Wave Input, JOSA, 44, 6 (1954) 468-471
- 8) 長谷川伸: 像変換および像増倍, テレビ誌, 20, 3 (1966) 160-163
- 9) 武井幸夫: 撮像管ビデオコンの低速走査時の特性, 第1回テレビ学会全大予, 3-1
- 10) 西田亮三, 岡本忍, 清水洋美: X線用ビジコンの電荷蓄積特性, 第2回テレビ学会全大予, 3-3

27-3

テレビ像の小型電算機による定量的処理 II

信州大

滝沢正臣

(予稿集なし)

# 映像電子管の解像度 (II)

- 1 -

桜井 和明・長谷川 伸 (電気通信大学)

映像電子管の品質評価には限界解像度や空間周波数特性が用いられているが、これでは不十分で、出力像の光学的信号雑音比が解像度特性をきめるものと推定される。高利得の管球の場合、入力の光電子の放出ゆらぎが雑音の主因を与える。例として空間周波数特性 (MTF) が Gauss 曲線と与えられ、雑音として光電子の放射雑音と熱電流のみが関与するようなイメージ管に白黒編入力を与えたときの出力像の光学的信号雑音比と限界解像度に関する解析実験結果もさきに発表した。<sup>1)</sup> その後管内何れかの雑音 (量子増倍ゆらぎ) のある場合について、その影響をしらべた。

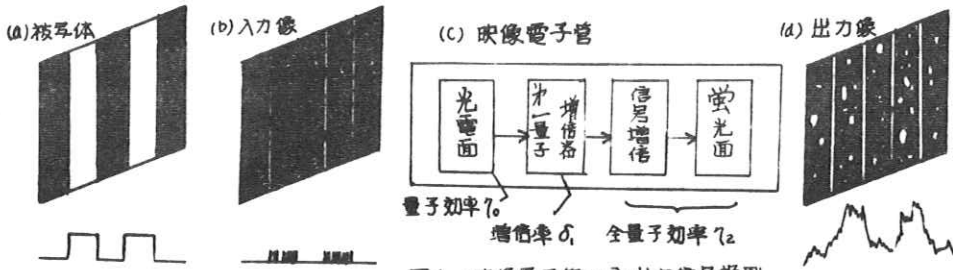


図1. 映像電子管と入出力信号模型

## 1. 信号雑音比の解析

空間周波数  $F$  本/mm の極めて暗い白黒編を撮像すると入力光子は空間的には点として示される。積分時間  $t$  sec 内の入力信号は図1(b)のように表わされる。明部の平均光子到着密度を  $M_1$   $\text{mm}^{-2}\text{sec}^{-1}$ 、暗部で0とし、信号の実効的な幅  $\epsilon$  内の事象を積分して見ると仮定して1次元  $x$  で扱う。信号と雑音は共に出力側では系のMTFにより減衰するが、これを  $\delta_1$  量子増倍倍以降で生じるとする。  
出力信号の高さ……空間周波数を  $F$ 、管のMTF を  $R(F)$  とし、実験結果に基づき  $R(F) = e^{-\alpha F^2}$  とおいて  $\alpha$  を解像係数と名づける。出力信号  $S$  は

$$S = \sqrt{2} \epsilon t \eta_0 \delta_1 M_1 \epsilon \gamma(F) \approx \sqrt{2} \epsilon t \eta_0 \delta_1 M_1 \epsilon \frac{4}{\pi} \exp(-\alpha F^2) \quad (1)$$

ただし Collman の式<sup>2)</sup>を用い、 $F_0$  が特に小さくないとして高次の項を省略した。 $\epsilon$  は光子数を明のさに変換するさいの次元定数、 $S$  の単位は (明るさ /  $x$  方向単位長) である。

量子雑音、分配雑音……光電面に入射光子に打ち確率  $\eta_0$  で光電子を放出する。沖1増倍倍に入射した電子は確率  $\eta_1$  で有効電子となり、各有効電子が平均  $M_2$  個の二次電子効果を生じ ( $M_1 \eta_1 = \delta_1$ )。1 -  $\eta_1$  部分は二次電子効果に寄与しないとする。両者で発生する雑音は共に真空管の分配雑音と同じに扱い得る。量子雑音と分配雑音の和のスペクトルは

$$\bar{e}_p^2 = 2 \epsilon^2 \sqrt{2} \eta_0 \eta_1 (M_1 M_2)^2 dF \quad (2)$$

二次電子放出雑音……沖1増倍倍で有効1次電子の  $\beta_0$  の部分が二次電子1個につき  $M_2$  個の二次電子効果を生ずるとし、van der Ziel<sup>3)</sup> に従い  $M$  を (3) 式で仮定すると雑音出力  $\bar{e}_p^2$  は (4) で与えられる。

$$\sum_{n=0}^{\infty} \beta_n = 1, \quad \sum_{n=0}^{\infty} n \beta_n = \mu_1, \quad \sum_{n=0}^{\infty} n^2 \beta_n = \mu_2 \quad (3)$$

$$\bar{i}_e = \sum_{n=0}^{\infty} 2E^2 \bar{v}_d h b \eta_0 \eta_1 \beta_n n^2 \mu_2^2 dF = 2E^2 \bar{v}_d h b \eta_0 \eta_1 \mu_2 \mu_1^2 dF \quad (4)$$

熱電子放出雑音……光電面からの熱電子(密度  $\nu_d$   $\text{mm}^2 \text{sec}$ ) の与える雑音出力  $\bar{i}_d$  は

$$\bar{i}_d = 2E^2 \bar{v}_d h b \eta_1 \mu_1 \mu_2^2 dF \quad (5)$$

出力信号雑音比……出力雑音パワー  $N$  を明暗部の平均で、二次電子放出雑音のあるときとないときの出力信号雑音比を各々  $(S/N)_w$ ,  $(S/N)_0$  と表わすことにする。

$$N = 2E^2 \left( \frac{\mu_2 \eta_0}{2} + \bar{v}_d \right) h b \eta_1 \mu_1 \mu_2^2 \int_0^{\infty} [R(F)]^2 dF \quad (6)$$

$$\left( \frac{S}{N} \right)_w = \frac{S}{N} = \frac{\bar{v}_d \sqrt{4kT} \eta_0 d_1 \frac{\mu_2}{\mu_1} R(F_1)}{\sqrt{(\mu_2 \eta_0 + 2\bar{v}_d) \eta_1 \mu_1 \int_0^{\infty} [R(F)]^2 dF}} = \left( \frac{S}{N} \right)_0 \sqrt{\frac{\eta_0 \mu_2}{\mu_1}} \quad (7)$$

## 2. 計算上の $(S/N)_w$

1) 以下が Wilcock のデータに従う場合。

W.L. Wilcock は透過形二次電子増倍面の二次電子放出数ヒストグラムを求めている。<sup>4)</sup> 代表例の端数を整理して図2に示す。透過形二次電子増倍面を用いたイメージ管の出力光パルスの高さ分布に対応する。  $n=0$  を除き次の実験式が合う。

$$\left. \begin{aligned} \beta_n &= 0.217 \exp(-0.23n) & : 0 < n < 8 \\ \beta_n &= 0.133 \exp(-0.17n) & : n > 8 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8) より  $\bar{n} = \mu_1 = 5.1$  で文献4)中の  $\sigma = \mu \eta$  測定値 4.9 とくらべて  $\mu_1 = 0.96$  を得る。(8) と(3)より、 $\mu = 10.9$  を得、(7)に入れると  $(S/N)_w$  は  $(S/N)_0$  の67%に低下することになる。

2) 以下が Poisson 分布の場合

表面形二次電子増倍面では以下が Poisson 分布に従うといわれる<sup>5)</sup> 例として  $\sigma = 2$ ,  $\sigma = 5$  の場合について考える。入射した全ての電子が有効電子になるとして  $\eta_1 = 1$ ,  $\sigma = \mu_1$  とする。  $\sigma = 2$  のヒストグラムを図3に示す。

Poisson 分布では  $\mu = 1 + \mu$  であり、(7)に入れると次の関係を得る。

$$\left. \begin{aligned} (S/N)_w &= 0.82 (S/N)_0 & : \mu_1 = 2 \\ (S/N)_w &= 0.91 (S/N)_0 & : \mu_1 = 5 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

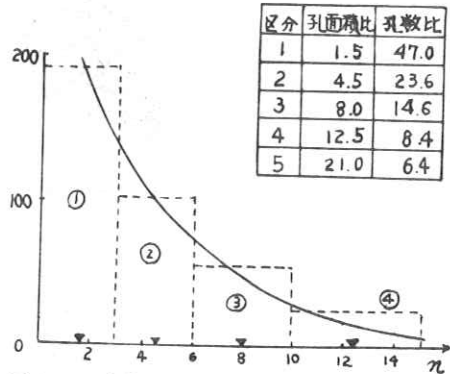


図2. 二次電子放出数ヒストグラム (Wilcock; 透過形二次電子増倍面)

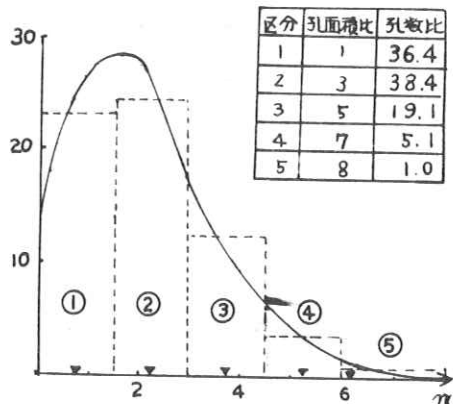


図3. 二次電子放出数ヒストグラム (Poisson分布,  $\sigma = 2$ )



### 3. 実験

前報に準じ、図1(d)で想定した像のシミュレータを作成した。黒紙全面に $\lambda$ に相当する輝点を孔をあけて作り、橋状に $\lambda$ に相当する輝点を追加した。この際図2等の分布を突線のように集約し、孔面積比が $\sigma$ の代表値比に、孔数比が分布頻度比になるようランダムに配置した。 $\lambda_0$ はイメージ管の入力面上で1.2個/mm<sup>2</sup>、 $\lambda$ は $\lambda_0$ の1, 2, 4, 8倍のものを用意した。これを図4の如くイメージ管で観察する。各シミュレータにつき数段階に $I_c$ を変え、各場合ごとにそれ以上暗くては筒を認め得ない極限での $I_L$ を読み、予備実験結果を用いて解像係数 $\alpha$ と入力像の明かさを求める。

#### 1) 明かさと $S/N$

上の実験の $\alpha$ と(7)とから出力の $S/N$ を求め、視認限の明かかるとの関係を実験して図5(a),(b)の $\bullet$ 印(直線I)を得た。次に量子増倍ゆらぎのない場合として孔径が全部等しい以外上記と同じシミュレータを用い、同じ実験を行なつて各図の $\times$ 印(直線II)を得た。共にほとんど同じような傾向を示す。

#### 2) 解像係数 - 明かかき検知限

1枚のシミュレータで $\alpha$ を変えて $S/N$ を変え、検知限の明かかさを求めた結果を図6に示す。図5等の曲線Iから期待される検知限を図6の実線に示すが、実験値とはほぼ同じ傾向を持つ。

### 4. おわりに

実験の性質上結果がきれいな直線にのらないのは已むを得ない。実験結果より量子増倍ゆらぎも他の雑音と同様に扱ひ得、 $\alpha$ の変化と雑音のパラメータ変化は目に対して異質であるが、計算上の $S/N$ が等しければ限界解像度と同じ影響を与えることが示唆される。尚イメージ管は周波数フィルタとして用いているので結果はイメージ管以外の系にも適用し得よう。イメージ管を借用した東京総研宮代主任研究室に感謝する。

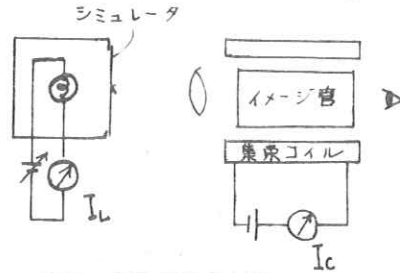


図4. 視認実験の方法

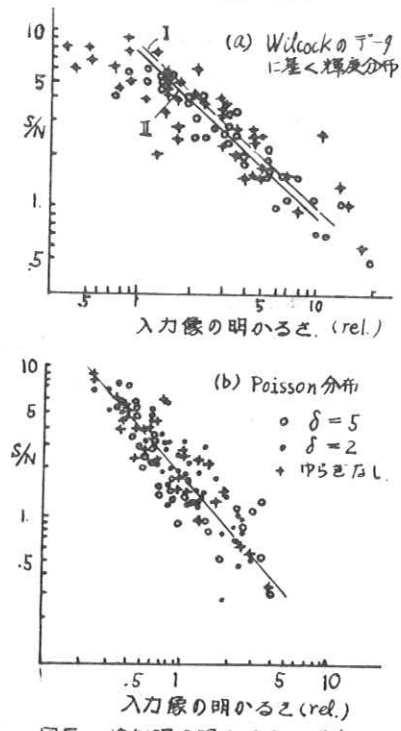


図5. 検知限の明かかき $S/N$ .

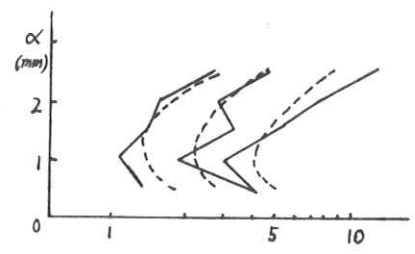


図6. 検知限の明かかき - 解像係数

1) 長谷川: RII 19-3 (68) 2) Collman J.W. JOSA 49 468 (54)  
 3) van der Ziel: NOISE: Prentice Hall, 4) Wilcock W.L. A.I.E.E. Phys. 28A 573 (69), 5) Quedener H.: Appl. Opt. 4 1446 (65)

## X線による蛍光体のシンチレーションのゆらぎ

野瀬 邦昭 長谷川 伸 (電気通信大学)

### 1. はしがき

X線蛍光増倍管, X線テレビジョンなどの出力像を入力レベルの低い状態で観測すると, X線光子が蛍光板を叩いたときに生ずるシンチレーションが光学雑音として観測される。また, 出力像が同じ明るくなるように露量を調整しても, 被検体のあるときとないときとは, その雑音の様子のちがっていることが感得されることもある。一方高感度イメージ管の解像度の性質<sup>1)</sup>からシンチレーションの発光量のゆらぎが解像度に影響することが予想されるので, X線を蛍光板にあてて生ずるシンチレーションの光量のゆらぎを測定することとした。

### 2. 測定方法.

X線源, 鉛衝立, 光電子増倍管, パルス増幅器, シュミット回路(スライサー), パルスカウンタ等を図1のように配列し, X線をPb板の小孔から(2mmφ) 蛍光板(ZnCdS)に導き, 発光させる。このとき生ずるシンチレーションを光電子増倍管で受け, 発生した電気パルスも増幅, スライスし, カウンタに入れてパルス数をカウントするようにした。X線量は発生したパルス数が毎秒数千以内になるようにした。使用したX線装置は管電圧最高50KV, 陽極はAgの回折用のものであるが, 電圧, 特性X線等の点で医用への適用は必ずしも適当でない。

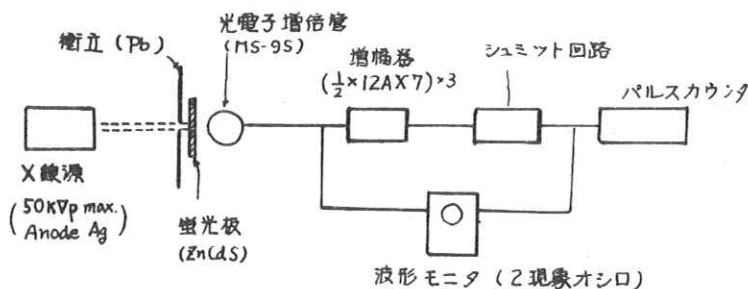


図1. X線による蛍光体シンチレーション光量ゆらぎ測定装置.

### 3. 実験結果

X線管電圧、シュミット回路のスライスレベルを設定して上記の測定を行なうが、1条件ごとに5秒ずつ5回の測定を行ない、結果を平均して各条件におけるカウント数とした、スライスレベルに対してカウント数をプロットし、次にこの曲線をスライス電圧で微分してパルス高さの分布を求めた。

管電圧 50 kV、被検体として 10 cm 厚の水を通した場合と通さない場合とにつき測定を行なった例を図2、図3に示す。図2はスライスレベルに対するパルス・カウント数、図3はパルス分布の頻度に直したもので最大値を1に正規化してある。

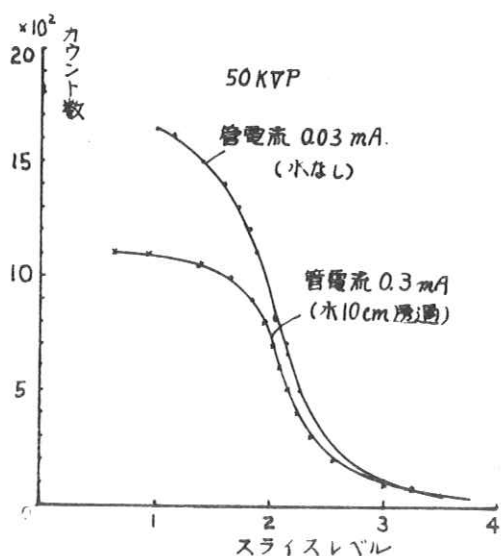


図2. スライスレベル-カウント数/5秒

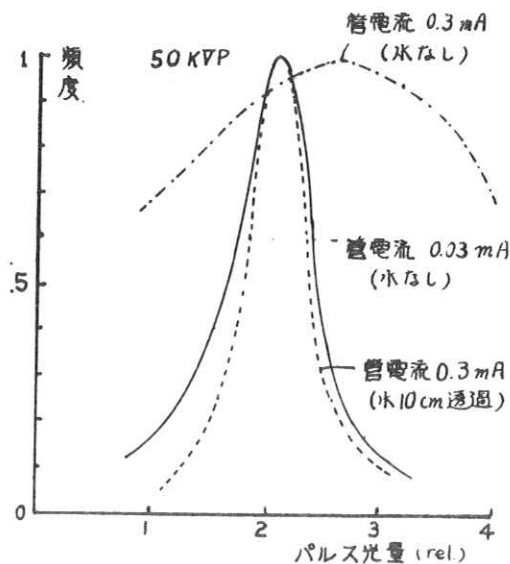


図3. 光パルスの強度分布

### 4. まとめ

本実験でわかったことから、1) この測定法でシンチレーションの分布を測り得ること、2) 本実験で用いた材料、装置の組み合わせではパルスの強度は弱く、3) 水を通しても分布は広がらないこと……などである。5秒間のカウント数が  $10^4$  をこえると見かけの分布が広がって来るが、蛍光体の時定数に起因するものと考えられる。

図3の分布から巾らさの広がりに関する係数  $k$  を求め得る。<sup>1)2)</sup> 文献1)の(3)式に図3の数値を入れて  $k$  の値を求め、これを(7)式に入れると出力線の光学的信号雑音比  $(S/N)_0$  は巾らさのない時の信号雑音比  $(S/N)_0$  に対して

$$\left(\frac{S}{N}\right)_w = 0.955 \left(\frac{S}{N}\right)_0 : \text{水なし } 50\text{KV}, \quad \left(\frac{S}{N}\right)_w = 0.962 \left(\frac{S}{N}\right)_0 : \text{水 } 10\text{cm}, 50\text{KV}$$

で与えられるだけ低下することになる。この値は管電圧、特性X線などの故に医用への適用には問題がある。今後実験を行なう予定である。

1) 長谷川, 荒島: テレビジョン学会全国大会 3-11 (1970) 2) 櫻井, 長谷川, RII 資料

# 被写体の空間周波数スペクトル

## —アナログ・コンピューターによる—

東大医放射線科 竹 中 栄 一  
芝電気研究所 木 下 幸次郎

### § 1. 序 言

X線診は主観的であり、定量的でない。X線診断は像の診断としては超音波図、サーモグラフィー、組織標本診断と同様に一種のパターン認識に属する。

また、X線像は①人体透過X線光子の空間分布であり、②情報信号そのものが雑音を含み（量子雑音）、③可知覚像とするには、被曝量の減少が必要なことと相俟って複雑なディスプレイ・システムが必要であり、これらの点から考えると、X線像の空間周波数スペクトルを測定し、知ることは次の様な意義を有する。

表 1. 被写体の空間周波数測定の意味

- (1) パターン認識の1つの特徴
- (2) パターン認識の予備処理、雑音除去、量子化、規格化
- (3) 定量診断の1つの評価尺度
- (4) 各種の複雑なX線系の入力情報

- ① パターン認識の1つの重要な特徴。
- ② パターン認識の予備処理に必要な重要な因子

特徴の抽出や観測点の選択を行う前に、雑音の除去、量子化、規格化（位置、大きさ、方向などについて）を行うには、その空間周波数スペクトルを知ることは極めて大切である。

- ③ 定量診断の1つの評価尺度

放射線像の研究第二巻、定量診断の項で述べたように、沢山の評価尺度が考えられるが、X線の変化は透過X線強度分布の変化であるから、空間周波数スペクトルとして容易に測定可能で、異なった観点からX線像を見ることができるので、定量診断として役

立ちうる。

表 2. 放射線像の定量診断の評価尺度

- (1) X線強度分布（一次元，時間的）
- (2) X線強度分布（二次元），微分像 1 次または 2 次のモーメント
- (3) 標準分布との変動差，その自乗値
- (4) 空間周波数スペクトル  
特定 M T F の周波数，特定周波数の振巾，理想スペクトルとの  
偏差，1 次，2 次 M T F モーメントエントロピー
- (5) 自己相関関数，相互相関関数
- (6) X線像所見を因子分析し，論理診断する

③ いろいろの X 線像検出提示案の入力情報として。

これらの複雑な系の総合的レスポンスや個々の構成要素のレスポンス関数や，雑音スペクトルなどとの相互関係をしるのに必要である。

我々は空間周波数測定を簡単，迅速に出来るような解析機（一種のアナログコンピューター）を作り，その性能を検査し，臨床的に使用しうるものとなったので，その結果について報告する。

§ 2. スペクトルアナライザーについて（図 1.）

1. 被測定フィルムサイズ

4 っ切，大 4 っ切大角はやゝ不便だが測定できる。

測定範囲 40 mm × 40 mm

2. 信号検出方式

フライングスポットスキャナーによる映像検出方式

映像モニタ時 走査線 525 本，每秒像数 30 枚，2 : 1 インターレース，縦横比

1 : 1

スペクトル測定時 走査線 1 本，走査周波数 1 本，走査周波数 500 Hz ，走査範囲  
フィルム面上 40 mm 手動可変

測定周波数範囲 0.025 ~ 1.75 本/mm で対象によって 5 本/mm 迄可変

### 3. 性 能

$S/N$  : 40dB 以上, スプリアス感度 : -50 dB, 分解能  $\Delta f/f$  : 15 % 以下,  
スキャン方法は三角波スキャンであり, そのブランキング時間比は 0.8 % である。

### § 3. 測 定 方 法

直接撮影フィルム (4 寸大) をフライング・スポットスキャナ (FSS) で走査し, X 線フィルムを透過した光は光電子増倍管で電気信号に変換され, 増巾器で増巾の上周波数分析器で周波数分析を行い, オシロム表示し, これをポラロイドカメラで撮影した (図 1)

なおフライングスポットは  $90^\circ$  回転できるのでフィルム上の任意の方向の空間周波数スペクトルの測定が可能であり, 二次元空間周波数スペクトルを合成することができる。

スキャン方法は三角波スキャンでありそのブランキング・タイム比は 0.8 % であり, 骨 X 線像の視覚的遮断周波数が骨梁構造で 1 ~ 1.7 本/mm のことを考えねばこのブランキング・タイム比で十分であるといえる (図 2)。

測定はフォトマルの出力を一定にして測定した。

なお, モニター像でライン・セレクトした測定範囲をモニターすることができる。

また図 3 にライン・テストパターンとして間隔をいろいろに変化させ二つの直線棒 (種々の間隔の二つの矩形波と考えてよい) の周波数分析の結果を示すが, 計算結果とよい対応を示している (図 3)。

### § 4. 考案及び結果

1) 迅速簡便に直接 X 線フィルムの空間周波数を測定できるものを試作した。これは方向を選択することで二次元スペクトルとして測定することができる。矩形波テストチャートの実測でよい対応を示した。

2) 臨床的に肺疾患, 骨の骨梁構造の年齢変化, 肝動脈撮影した肝癌, 肝硬変症のスペクトルなどを測定した。

#### a) 肺のスペクトルについて

部位によりスペクトルが著しく変化する, 体軸方向が体型の影響をうけにくい, その直角方向は体型による濃度分布の補正をせねばならない。肺門に近い方はスペクトルの変動が大だが末梢の方は一応一定している。粟粒肺結核, 脂肪栓塞症, 甲状腺癌肺転移症例でその変化をスペクトル表示で客観できた (図 5)。

肺スペクトルでは測定点を一定にすれば相互比較が可能で定量診断ができる。

b) 肝血管撮影のスペクトルについて

肝癌（原発性）、正常肝、嚢腫肝の血管撮影について空間周波数スペクトルを測定したが、Junior vessel"の多いこと、と正常肝の血管が失われている嚢腫肝と、正常肝との間の血管系のスペクトルについて明らかにスペクトル上その差を掴むことができるので、その移行型について定量診断できる（図6）。

3) グリットのスペクトル

グリットのスペクトルを測定することで装置をカリブレートすることができる。またグリットの性能検査にも使用することができる（図4）。

参 考 文 献

- 1) 竹中，木下，井内 被写体のスペクトル  
放射線像の研究第二卷
- 2) 竹中，木下ら X線像の雑音  
日医技誌 26(10)，S42  
" 26(9)，S41



× 線フィルム像・スペクトラム・アナライザーの系統図

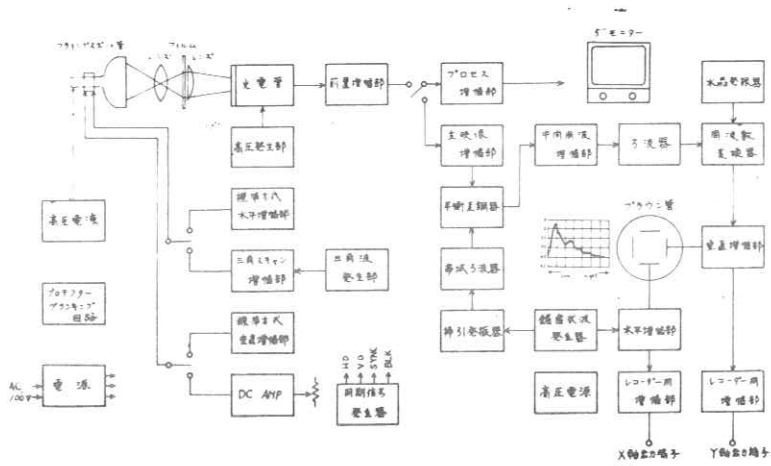


図 1.

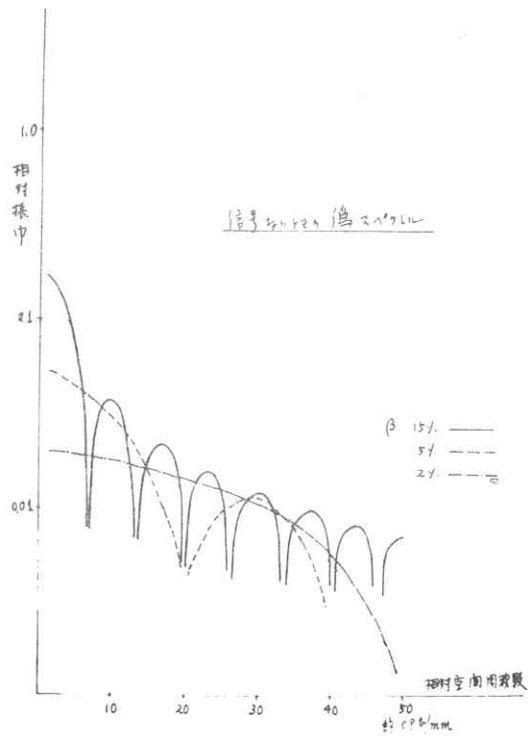


図 2.

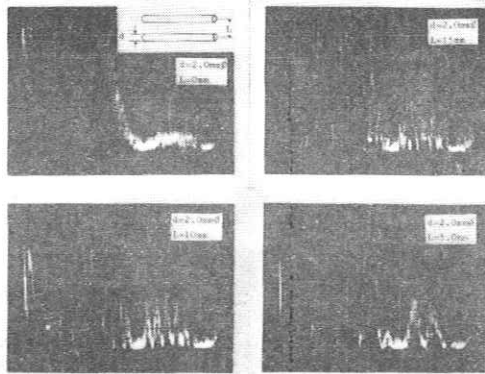


図 3. 並列直線チャートの空間周波数スペクトル

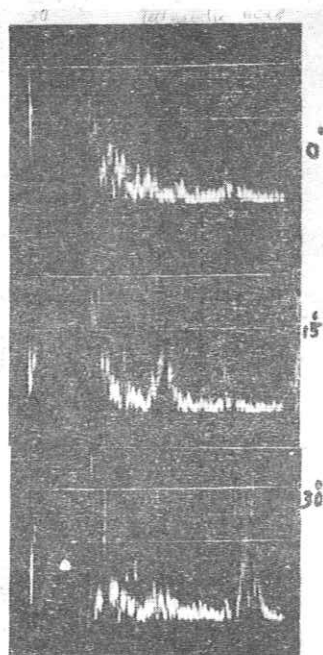


図 4. グリットの空間周波数  
スペクトル

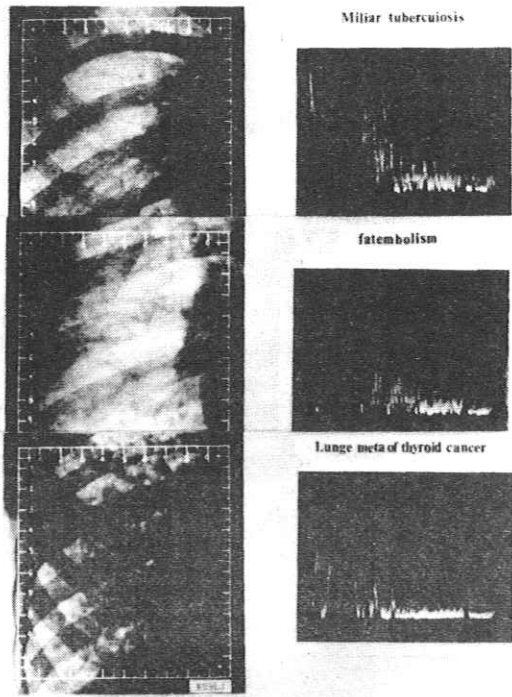


図5. 2, 3の肺疾患の空間周波数スペクトル

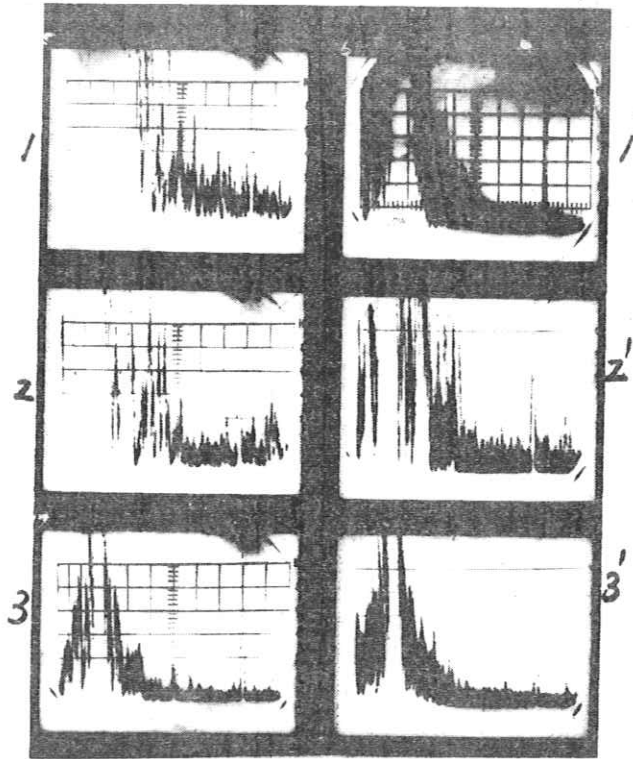


図 6. 肝血管撮影フィルム空間周波数スペクトル

1. 肝腫 2. 正常 3. 嚢腫肝

1' 2' 3' は 5 体の走査線 (近接せる) のスペクトルを重複させたもの

TRUNCATION ERRORS IN CALCULATING THE MTF OF RADIOGRAPHIC  
SCREEN-FILM SYSTEMS FROM THE LINE SPREAD FUNCTION<sup>1</sup>

Kunio Doi, D.Sc.,<sup>2</sup> Kenneth Strubler, M.S., and Kurt Rossmann, Ph.D.

Department of Radiology, The University of Chicago, and the  
Argonne Cancer Research Hospital (operated by the University  
of Chicago for the United States Atomic Energy Commission),  
Chicago, Illinois 60637.

INTRODUCTION

The modulation transfer function (MTF) has become a frequently used tool in assessing the optical characteristics of medical radiographic screen-film systems. It is, therefore, important to measure it as accurately as possible. The MTF of screen-film systems is often calculated from the line spread function (LSF) which is measured from slit exposures (1-3). Although the LSF may have an infinite spatial extent, it is usually measured to approximately 0.01 of its maximum value for experimental reasons. This in effect truncates the LSF and introduces oscillating perturbations in the MTF, thereby limiting its accuracy (4).

It is the purpose of this study to investigate what effect truncating the LSF has on the computed MTF. The results are derived in three ways. First, a theoretical analysis to estimate the error due to truncation is described; second, experimental results in typical screen-film systems are shown; and finally, a correction procedure involving extrapolation methods is developed.

THEORETICAL ESTIMATION OF TRUNCATION ERRORS

Let  $r(x)$  be the LSF of the screen-film system. This is the effective exposure distribution in the image of a narrow slit with an x-ray input of unit intensity. For simplicity, two assumptions are made: (1) the LSF is symmetric, that is,  $r(x) = r(-x)$ , and (2) the LSF is non-negative, that is,  $r(x) \geq 0$ . These conditions are usually satisfied in screen-film systems but are not necessarily satisfied in some other imaging elements in radiography, e.g., the focal spots of X-ray tubes.

In practice, truncation of the spread function occurs at some distance  $d$  from the LSF center. This corresponds to a truncation level relative to the maximum of the LSF, which shall be called simply the truncation  $t$ . The "truncated" LSF,  $r_T(x)$ , and the "tail" LSF,  $r_E(x)$ , are then defined by

$$\begin{aligned} r_T(x) &= r(x) & |x| \leq d \\ &= 0 & |x| > d \end{aligned} \quad (1)$$

and

$$\begin{aligned} r_E(x) &= r(x) & |x| > d \\ &= 0 & |x| \leq d \end{aligned} \quad (2)$$

respectively, where  $r(d) = t \cdot r(0)$  is defined. The truncated LSF is obtained experimentally, but the tail LSF, which is large in spatial extent and small in magnitude, is not ordinarily observed. From eqs. (1) and (2), the "true" LSF is described by

$$r(x) = r_T(x) + r_E(x). \quad (3)$$

Fourier transformation of both sides of eq. (3) results in

$$R(u) = R_T(u) + R_E(u), \quad (4)$$

where the Fourier transformation is defined by

$$R(u) = \int_{-\infty}^{\infty} r(x) \exp(-2\pi i u x) dx, \quad (5)$$

The MTF of the screen-film system is then given by  $R(u)/R(0)$ .

The deviation of the MTF,  $\Delta R$ , which is the difference between the "truncated" and the "true" MTF, is the truncation error is given by

$$\Delta R = \frac{R_T(u)}{R_T(0)} - \frac{R(u)}{R(0)}. \quad (6)$$

Note that division by  $R_T(0)$  and  $R(0)$  is necessary for normalization of the respective MTF's.

Substituting eq. (4) for  $R_T(u)$  and rearranging eq. (6), the truncation error becomes

$$\Delta R = \frac{R_E(0)}{R_T(0)} \left[ \frac{R(u)}{R(0)} - \frac{R_E(u)}{R_E(0)} \right]. \quad (7)$$

Since  $|R(u)/R(0)| \leq 1.0$  and  $|R_E(u)/R_E(0)| \leq 1.0$  are satisfied by the assumption of a non-negative LSF, the oscillating term in eq. (7) is bounded by

$$2 > \left| \frac{R(u)}{R(0)} - \frac{R_E(u)}{R_E(0)} \right|. \quad (8)$$

An upper bound of the truncation error  $\Delta R_{UB}$  can therefore be defined from eq. (7) by

$$\begin{aligned} \Delta R_{UB} &= \frac{2R_E(0)}{R_T(0)} \\ &= 2 \int_d^{\infty} r(x) dx / \int_0^d r(x) dx, \end{aligned} \quad (9)$$

where  $\Delta R_{UB} > \Delta R$ .

Based on eqs. (7) and (9), certain characteristics of the truncation error can be predicted. It is known that the MTF,  $R(u)/R(0)$ , is a monotonically decreasing function. The MTF,  $R_E(u)/R_E(0)$ , however, is supposedly an intensely oscillating function with positive and negative values. From eq. (7), therefore, it is expected that at low spatial frequencies the MTF deviation is mostly a positive oscillation, while at higher frequencies both positive and negative values occur. This

general behavior indicates that the maximum deviation occurs at low spatial frequencies.

Eq. (9) shows that the truncation error is related to the area of the tail portion of the LSF, i.e., the portion that is not usually measured. This indicates that a significant effect may be involved in computing the MTF from an experimentally obtained LSF. Even if the truncation for the LSF is small, it is possible that the area under the unknown tail portion is large and, therefore, results in greater error in the MTF.

For a more detailed analysis of the truncation error, the upper bound deviations in eq. (9) are calculated by using simple analytic functions for the LSF. Exponential, Lorentzian, and Gaussian distributions are used to approximate the LSF. The calculated results are listed in Table 1 and shown in Fig. 1. The Gaussian distribution gives the smallest deviation of the three. This is to be expected since it is the most rapidly decreasing function. The Lorentzian distribution, however, gives a large deviation which becomes 0.136 at a truncation level of 0.01. The exponential distribution gives an intermediate deviation. Since both the LSF and MTF of screen-film systems can be approximated by an exponential distribution (5, 6), the analytic results indicate that there may be substantial truncation errors in evaluating MTF's of radiographic systems.

The actual deviation of the MTF cannot, in general, be calculated easily. The upper bound deviation defined by eq. (9) is, therefore, a convenient tool to estimate the truncation error because of its simple relationship to the LSF. The upper bound deviation is, however, a conservative measure in the sense that it is always greater than the actual deviation. It is, therefore, compared with the actual maximum deviation of a function which is easily computed to determine the difference between the two. For the exponential LSF in Table 1, the deviation of the MTF in eq. (6) is calculated as

$$\Delta R = \frac{t}{1-t} \left[ \frac{1}{1+U^2} - \frac{1}{\sqrt{1+U^2}} \cos(TU + \Phi) \right], \quad (10)$$

where  $U = 2\pi u/c$ ,  $T = -\ln t$  and  $\Phi = \tan^{-1} U$  are used. The maximum value of eq. (10) as a parameter of the truncation  $t$  is determined numerically by using a digital computer. The comparison between the upper bound and the maximum deviation of the MTF is shown in Fig. 2. The difference decreases as the truncation assumes smaller values. For the region encountered in practical MTF calculations ( $t \sim 0.01$ ), this comparison indicates that the upper bound deviation can be used to evaluate the truncation error.

#### EXPERIMENTAL RESULTS

In practice, it is convenient to work with the LSF normalized to unity at the center of the LSF. For simplicity, therefore, all subsequent uses of the term LSF will refer to the function normalized in this manner.

To determine the truncation error in a screen-film system, the slit method for measuring the LSF was extended to permit evaluation of the LSF to less than 0.001 of its maximum value. A LSF was obtained by using a multiple exposure technique by which five parts of the LSF were independently measured from five line images corresponding to different maximum densities. The entire LSF was then completed by connecting these partial LSF's. The validity of making these connections was examined by checking that the ratio of two partial LSF's in each overlapped region was almost constant. The multiple exposure technique was employed because the toe and shoulder regions of the characteristic curve cannot be used for precise measurements.

The X-ray tube voltage used was 80 kVp. The slit apparatus (10  $\mu$ m width) has been described in a previous paper (7). The processed slit images were converted to the effective exposure distribution by using the characteristic curve of the screen-film system measured by an X-ray sensitometer (8). The screen-film systems examined are denoted as the F system (Radelin TF-2 X-ray Intensifying Screens with Kodak Blue Brand Medical X-ray Film), the M system (Dupont Par-Speed X-ray Intensifying Screens with Kodak Royal Blue Medical X-ray Film), and the S system (Dupont Detail X-ray Intensifying Screens with Kodak Royal Blue Medical X-ray Film).

The LSF's of the three screen-film systems are shown in Fig. 3. The high exposures for obtaining the longer tail region were 3.9, 7.9, 50 and 150 times larger than the lowest exposure used for the central part of the LSF in the system. The exposure factors for the M system were 6.4, 11, 49 and 250, and those for the S system were 4.9, 9.8, 32 and 122. In the F system, the overlapped regions and the percent maximum deviations of the ratios for the two adjacent exposures were 100-200 microns (1.5%) for 1 X and 3.9X, 250-450 microns (1.8%) for 3.9X and 7.9X, 500-800 microns (5.9%) for 7.9X and 50X, and 1,000-1,400 microns (4.8%) for 50X and 150X.

The high exposure conditions necessary to evaluate the LSF tail to very low levels introduced several possible sources of error. X-ray transmission through the slit jaws, as well as scattered radiation, may contribute to the measured LSF. The effects were examined independently.

The slit jaws are 2mm thick and made of a 75% platinum-25% iridium alloy. Therefore, the penetration for monoenergetic X-rays of about 80 kV is calculated to be  $4.5 \times 10^{-5}$ , ignoring the absorption discontinuity near this energy. Actual penetration, of course, will be several orders of magnitude less for heterogeneous radiation. The scattered radiation from the slit was recorded by placing the edge of the screen-film system away from the slit. No appreciable scattered radiation was observed.

The end effect, which is an error caused by the finite length of the slit, was also considered as a possible source of error in measuring an extremely wide LSF. The deviation of the LSF measurement was theoretically calculated by using the Lorentzian LSF. The relative error was under 2.5% for the 18mm long slit within a distance of 2 mm from the center of the LSF.



The highest exposures for obtaining the longest tail portions of the LSF's were made intermittently because of the capacity limits of the X-ray tube. The possibility of the intermittent exposures affecting the characteristic curve of the screen-film system was examined. The results showed that there were no changes in curve shape within experimental error.

It was concluded that the errors caused by X-ray penetration, scattered radiation, end effect and intermittent exposures do not seriously affect the LSF measurements involved in this study.

The LSF's in Fig. 3 were truncated at several positions. The corresponding MTF's were then calculated. Aliasing errors which are caused by the digital Fourier transformation of discrete LSF data were confirmed to be negligible in these calculations. LSF sampling distances were  $3.125 \mu\text{m}$  in the S system and  $6.25 \mu\text{m}$  in the F and M systems. The results for the F system are shown in Fig. 4. The MTF with  $t = 0.00033$  reduces the perturbing oscillations to a negligible level, but the MTF with  $t = 0.085$  shows excessively large oscillations. The MTF with  $t = 0.0094$ , which nearly corresponds to a routine calculation in this laboratory, is approximately equal to the MTF with  $t = 0.00033$  except in the low spatial frequency region; the difference appears small particularly when the entire MTF is plotted on linear graph paper. The deviations of the truncated MTF's from the true MTF are shown in Fig. 5 by regarding the true MTF as that calculated from the LSF with  $t = 0.00033$ . The maximum deviations occur at low spatial frequencies; this agrees with the theoretical prediction. It was also found that the envelopes of the truncation errors were nearly proportional to the MTF. This shows roughly that the relative deviations are almost constant over the entire spatial frequency range.

The maximum deviations of the MTF as a function of the truncation are shown in Fig. 6 for the three screen-film systems. Based on these curves the LSF's of the three systems should in some way be intermediate to the exponential and Lorentzian distributions. It should be stressed that the observed maximum deviations are quite large and range from 0.04 to 0.07 at the truncation level normally used in practice ( $t \sim 0.01$ ).

Figure 7 shows the MTF of the tail LSF below  $t = 0.0094$  in the F system. The MTF is an intensely oscillating function. This also agrees with the initial supposition. Furthermore, the envelope of this MTF is a more slowly decreasing function than the true MTF.

The true MTF's of the three screen-film systems are shown in Fig. 8, where the term "true" is used for the lowest truncations available in calculating the MTF's. Any resulting oscillations would be small compared with the precision ( $\pm 3\%$ ) of the experiment (7). Note that in the low spatial frequencies near the zero point the MTF's in Fig. 8 are steeper than the MTF's measured previously (7).

#### CORRECTION PROCEDURE FOR TRUNCATION ERROR

It is apparent that one method of decreasing the truncation

error is to measure the tail LSF as low as possible. This, however, is quite tedious and may, therefore, be impractical-- particularly in routine MTF measurements. Another method of reducing the truncation error is to modify the Fourier transformation program in the computer. This is done by utilizing prior information about the tail LSF. A curve approximating the tail region can be obtained by extrapolating the truncated LSF. The Fourier transformation can then be made for both the truncated and tail LSF's. This would reduce the truncation error, because the area difference between the true LSF and the LSF to be calculated would be much smaller than without the extrapolation, and according to eq. (9), the upper bound deviation is directly related to the area.

If the tail LSF is given by the following exponential approximation as

$$r_E = \begin{cases} a \exp(-b|x|) & |x| > d \\ 0 & |x| \leq d, \end{cases} \quad (11)$$

then the Fourier transformation is derived as

$$R_E(u) = 2a \exp(-bd) \frac{\cos(2\pi u d + \varphi)}{\sqrt{b^2 + (2\pi u)^2}}, \quad (12)$$

where  $\varphi = \tan^{-1}(2\pi u/b)$ . Since the tail LSF in eq. (11) is extrapolated from the truncated LSF which is directly obtained by experiment, the constants  $a$  and  $b$  can be determined by assuming that the exponential curve goes through the two points  $(x_1, t_1)$  and  $(x_2, t_2)$  on the truncated LSF. The point  $(x_2, t_2)$  is the final point of the truncated LSF, i.e.,  $x_2 = d$  and  $t_2 = t$ , where  $t_2$  equals the truncation value. The other point  $(x_1, t_1)$  is somewhat arbitrary but can be decided experimentally from the condition by which the truncation is corrected best. By using  $b = \ln(t_1/t_2)/(x_2 - x_1)$  and  $t_2 = a \exp(-bx_2)$ , the Fourier transformation (F.T.) with the correction can be written as

$$\text{MTF} = \frac{(\text{F.T. of } \frac{1}{2} \text{ LSF}) + \frac{t_2 \cos(2\pi u x_2 + \varphi)}{\sqrt{b^2 + (2\pi u)^2}}}{(\text{area of } \frac{1}{2} \text{ LSF}) + (t_2/b)},$$

where the Fourier transformation is applied to only one half of the LSF because of the LSF symmetry,

Fig. 9 shows the result corrected by this method. The deviations of the MTF's with and without the correction are shown in the S system at  $t = 0.01$ . The maximum deviation without the correction, which is 0.071, decreases to 0.022 with correction. The correction procedures were examined by using  $x_1$  equal to 1/2, 2/3, or 5/6 of  $x_2$ . Among these fractions, the condition  $x_1 = 5x_2/6$  resulted in the best correction, although the others gave nearly the same results. A similar result in the F system is shown in Fig. 10. For this system the best

correction was made by  $x_1 = 2x_2/3$  at  $t = 0.05$ . The maximum deviation is decreased from 0.136 to 0.031 by the correction. If the maximum deviations are evaluated by the equivalent truncations using Fig. 6, these maximum deviations with the correction procedure for the S and F systems correspond to approximately 0.0017 and 0.007 of the truncations, respectively. These results show that the correction procedure works well in decreasing the deviation of the MTF. The resulting deviation corresponds to a truncation level several times smaller than the actual truncation without the correction.

#### DISCUSSION AND CONCLUSION

The upper bound deviation of the MTF was introduced as a criterion for evaluating the truncation error from theoretical considerations. If LSF's of screen-film systems were similar to Gaussian distributions, little error would be introduced into the computed MTF by measuring the LSF to 1 or 2% of its maximum (Fig. 1). However, perturbing oscillations are evident at these truncation levels since the spread functions of radiographic systems are more nearly exponential and Lorentzian in character.

The correction procedure described above is a useful method for reducing truncation effects. However, the general nature of the sweeping tails exhibited in radiographic spread functions may not always or entirely be exponential. Different screen-film combinations may show LSF's with tails characteristic of either exponential or Lorentzian distributions. Therefore, while the exponential extrapolation procedure is an effective means for correcting truncation errors, other functions may be used which are even more effective.

To reduce or eliminate the truncation error, then, at least two methods are applicable. One is to measure the LSF below 0.01 until the truncation error becomes negligible. This, however, requires tedious measurements. The other is to employ the correction procedure discussed in this investigation. Only a simple modification of the computer program used in calculating the Fourier transformation is required. Finally, it is concluded that one of the two methods or a combination of them should be applied hereafter for measuring the MTF of a screen-film system accurately.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Dr. C.E. Metz for suggesting the comparison of the upper bound deviation of the MTF with the maximum deviation.

## REFERENCES

- 1) R. H. Morgan, L. M. Bates, U. V. Gopala Rao and A. Marinaro: The Frequency Response Characteristics of X-Ray Films and Screens. Am. J. Roentgenol., Rad. Therapy and Nuclear Med., 92:426-440, August 1964.
- 2) K. Rossmann: Measurement of the Modulation Transfer Function of Radiographic Systems Containing Fluorescent Screens. Phys. Med. Biol., 9:551-557, October 1964.
- 3) K. Doi: Optical Transfer Function in Radiography. IV. Combination of Screen and Film. Cyo Euturi, 35:559-564, August 1966.
- 4) G.K. Sanderson: Erroneous Perturbations of the Modulation Transfer Function Derived from the Line Spread Function. Phys. Med. Biol., 13:661-663, October 1968.
- 5) K. Rossmann, G. Lubberts and H. M. Cleare: Measurement of the Line Spread Function of Radiographic Systems Containing Fluorescent Screens. J. Opt. Soc. Am., 54: 187-190, February 1964.
- 6) M. Hiraki and K. Doi: Testing Methods of Fluorescent Screens and Intensifying Screens. Kyokko X-ray Res. Repts., 21: 13-46, June 1967.
- 7) K. Rossmann 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, February 1966.
- 8) A. G. Haus and K. Rossmann: X-Ray Sensitometer for Screen-Film Combinations Used in Medical Radiology. Radiology, 94: 673-678, March 1970.

## CAPTIONS

Table 1. Upper bound deviations of MTF's calculated for three approximated LSF's.

Fig. 1. Truncation errors expressed by upper bound deviations of MTF's calculated for three approximated LSF's.

Fig. 2 Comparison of upper bound and maximum deviations of the MTF for an exponential LSF.

Fig. 3. LSF's of three screen-film systems: F system (TF-2, Blue Brand), M system (Par Speed, Royal Blue) and S system (Detail, Royal Blue).

Fig. 4. MTF's calculated from truncated LSF's for the F system (TF-2, Blue Brand).

Fig. 5. "True" MTF and truncation errors in the F system (TF-2, Blue Brand). Dotted portions show negative values for  $t = 0.085$ .

Fig. 6. Maximum deviations of MTF's in three screen-film systems: F system (TF-2, Blue Brand), M system (par Speed, Royal Blue) and S system (Detail, Royal Blue).

Fig. 7. MTF of the tail LSF below  $t = 0.0094$  in the F system (TF-2, Blue Brand). Dashed portions show negative values.

Fig. 8. "True" MTF's of three screen-film systems: F system (TF-2, Blue Brand), M system (Par Speed, Royal Blue) and S system (Detail, Royal Blue).

Fig. 9. Comparison of deviations of the MTF with and without correction in the S system (Detail, Royal Blue) at  $t = 0.01$ .

Fig. 10. Comparison of deviations of the MTF with and without correction in the F system (TF-2, Blue Brand) at  $t=0.05$ .

#### ABSTRACT

The computed MTF of a radiographic screen-film system may exhibit erroneous oscillations resulting from the necessary truncation of the measured line spread function. The slit method was extended to permit evaluation of the LSF to approximately 0.001 of its maximum value. This reduces the MTF oscillations to a negligible level. The maximum MTF deviation was determined as a function of the truncation. Results show that for LSF's measured in the usual manner (0.01 truncation) the maximum MTF deviation is from 0.04 to 0.07, depending on the screen-film system. A theoretical analysis to estimate the error due to truncation is described, and a correction procedure is developed.

#### FOOTNOTES

<sup>1</sup>Supported in part by USPHS Grant No. GM15806-01A1.

<sup>2</sup>On leave from Kyokko Research Laboratories, Dai Nippon Toryo Company, Ltd., Chigasaki, Japan.

<sup>3</sup>This definition of the LSF includes both energy conversion and optical diffusion properties of the system. The MTF is then defined by the Fourier transformation of the LSF divided by its area. In the literature, however, the LSF is sometimes defined differently, i.e., only in terms of the optical diffusion property of the system. In this case the area under the LSF is normalized to unity, and the MTF is given directly by the Fourier

transformation of the LSF.

INDEX TERMS

Truncation error, Modulation transfer function. Line spread function, Screen-film system.

	LSF, $r(x)$	Distance, $d$	Upper Bound Deviation, $\Delta R_{0.5}$
Exponential	$\frac{c}{2} \exp(-c x )$	$-\ln(t/c)$	$\frac{2t}{1-t}$
Lorentzian	$\frac{2c}{c^2 + 4\pi^2 x^2}$	$\frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{1-t}{t}}$	$\frac{2\left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \sqrt{\frac{1-t}{t}}\right)}{\tan^{-1} \sqrt{\frac{1-t}{t}}}$
Gaussian	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$	$\sigma \sqrt{-2\ln(t)}$	$\frac{2 \operatorname{Erfc}\left(\sqrt{-2\ln(t)}\right)}{1 - \operatorname{Erfc}\left(\sqrt{-2\ln(t)}\right)}$

$t$ : truncation;  $\operatorname{Erfc}(x) = \frac{2}{\pi} \int_x^\infty e^{-y^2} dy$ : error function

Table 1

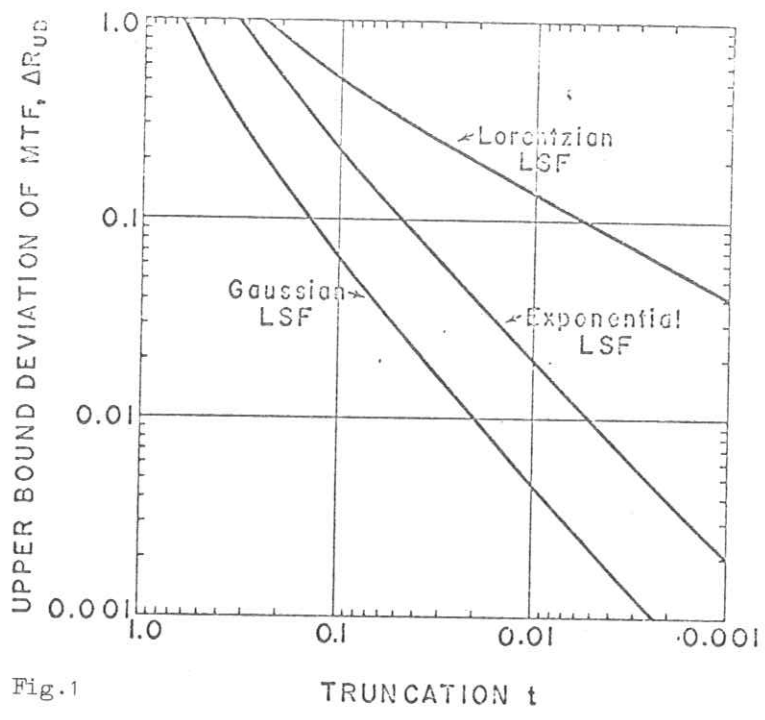


Fig.1

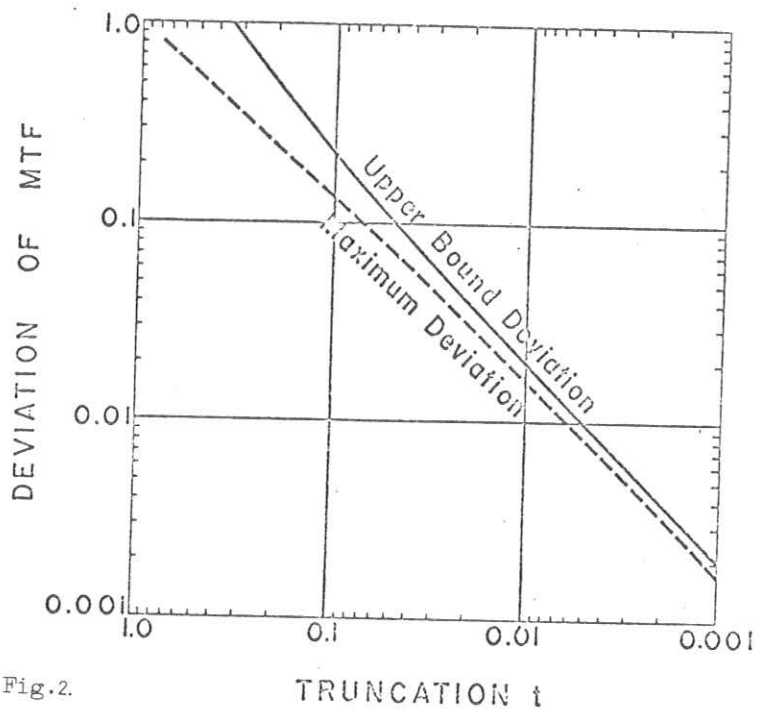


Fig.2.



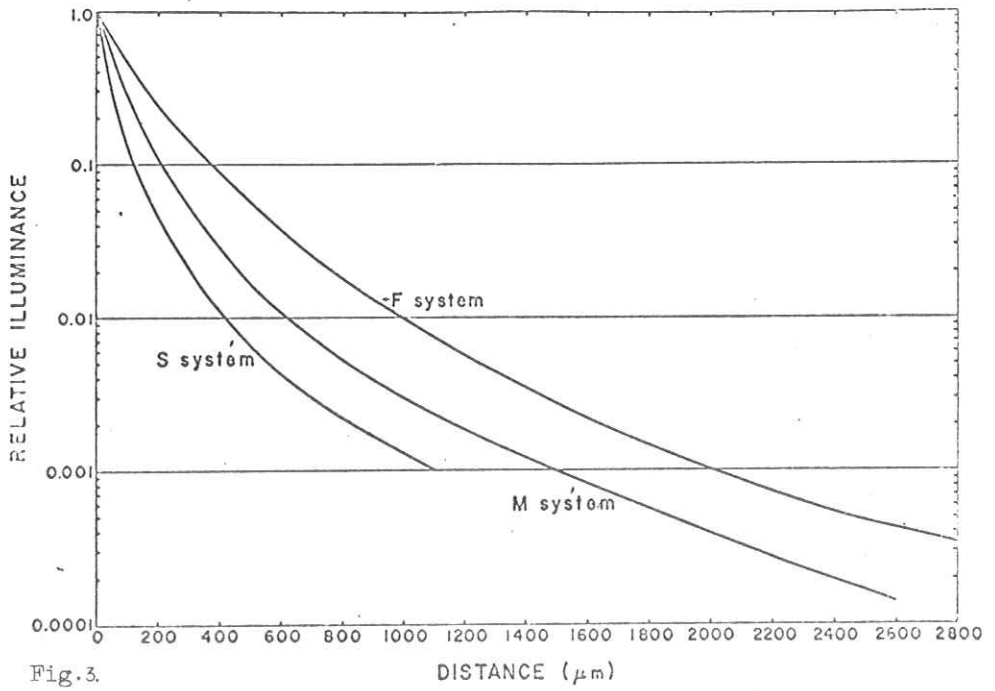


Fig.3.

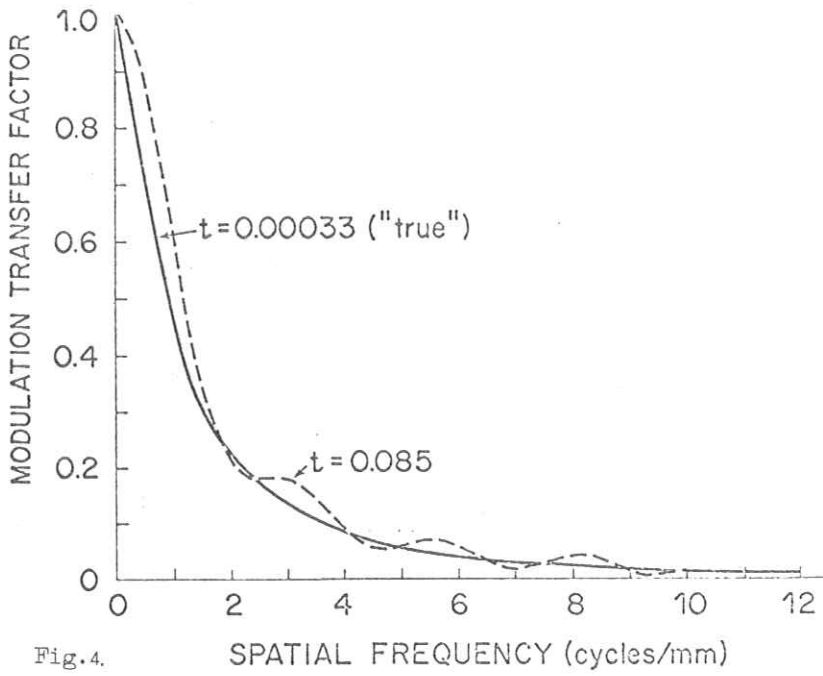


Fig.4.

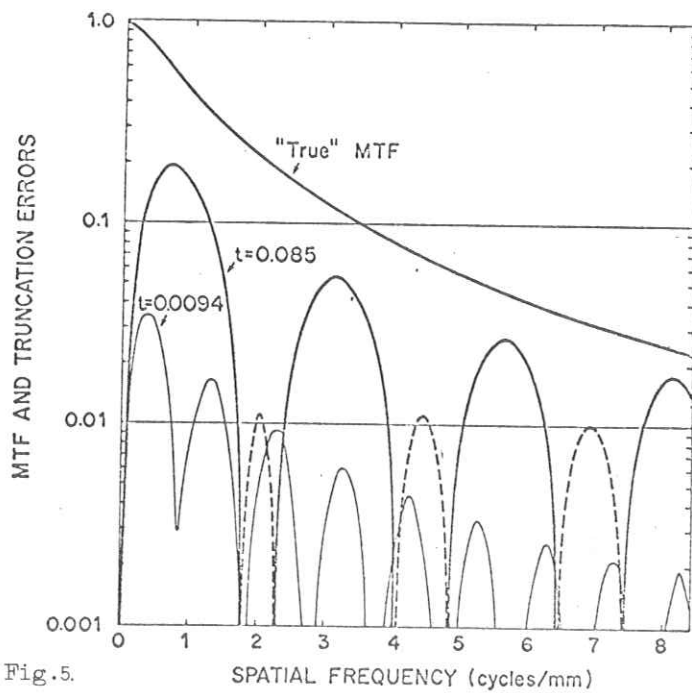


Fig.5.

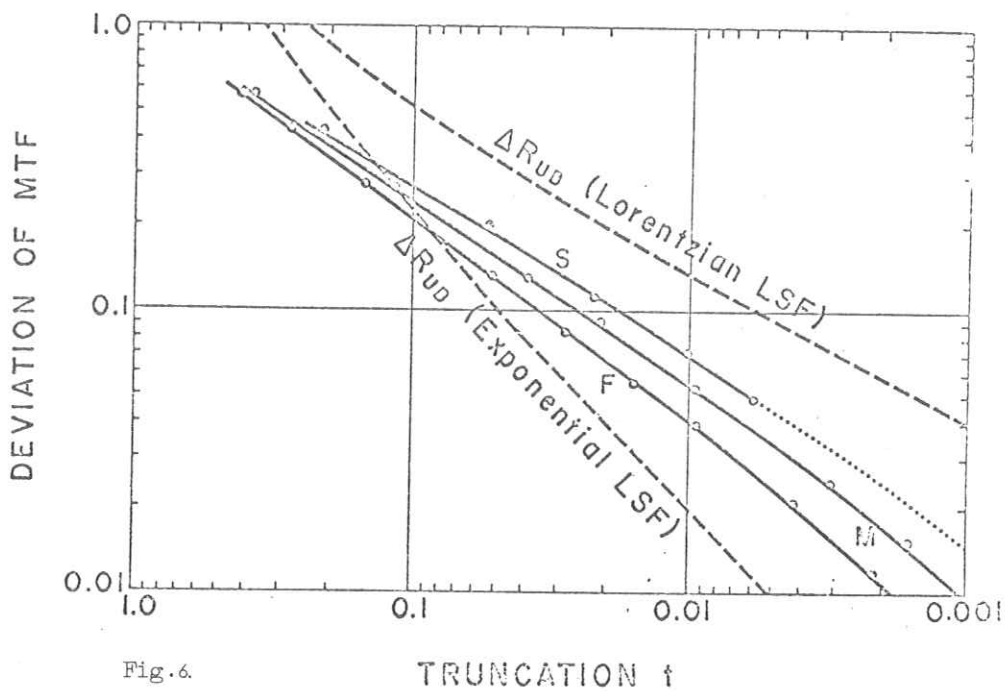


Fig.6.

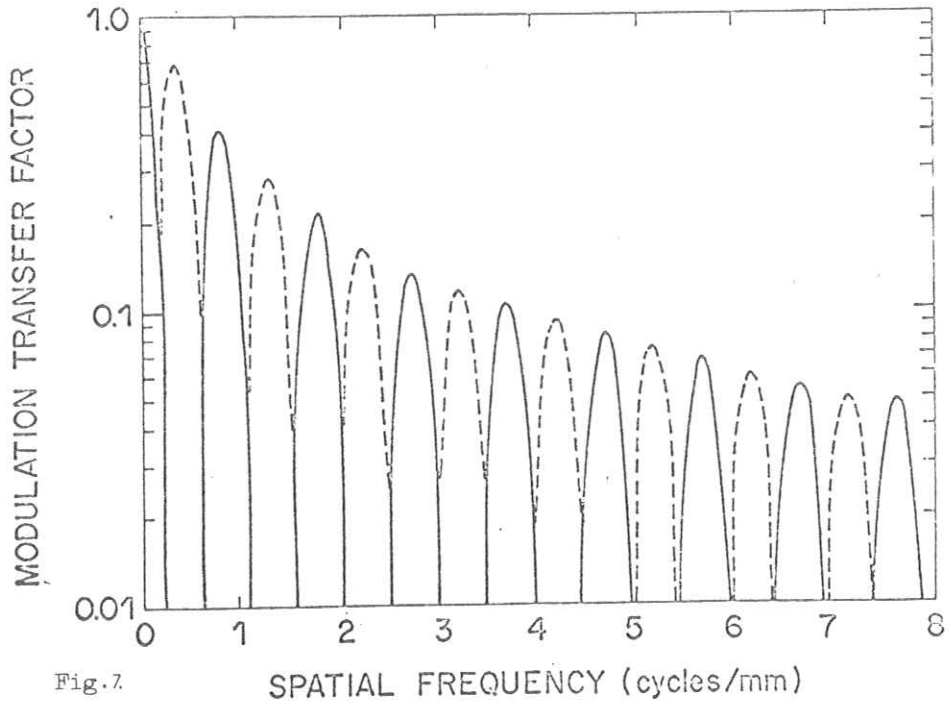


Fig. 7

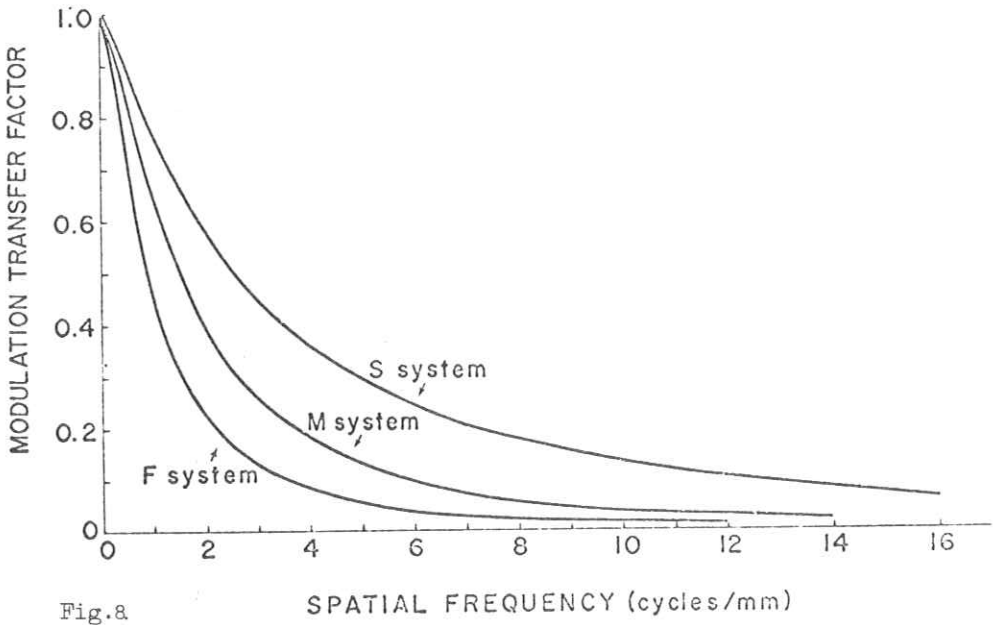


Fig. 8

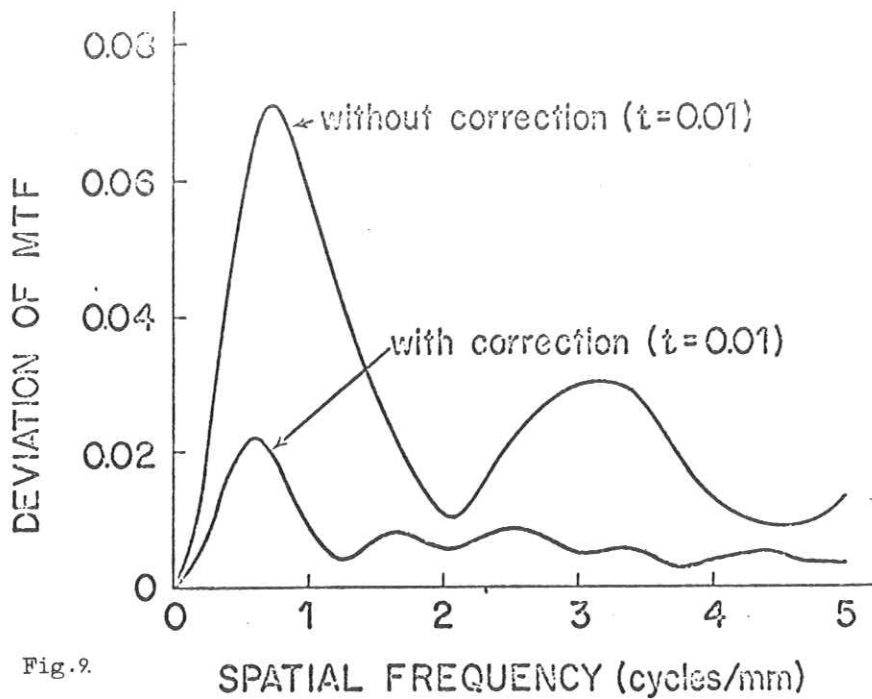


Fig. 9.

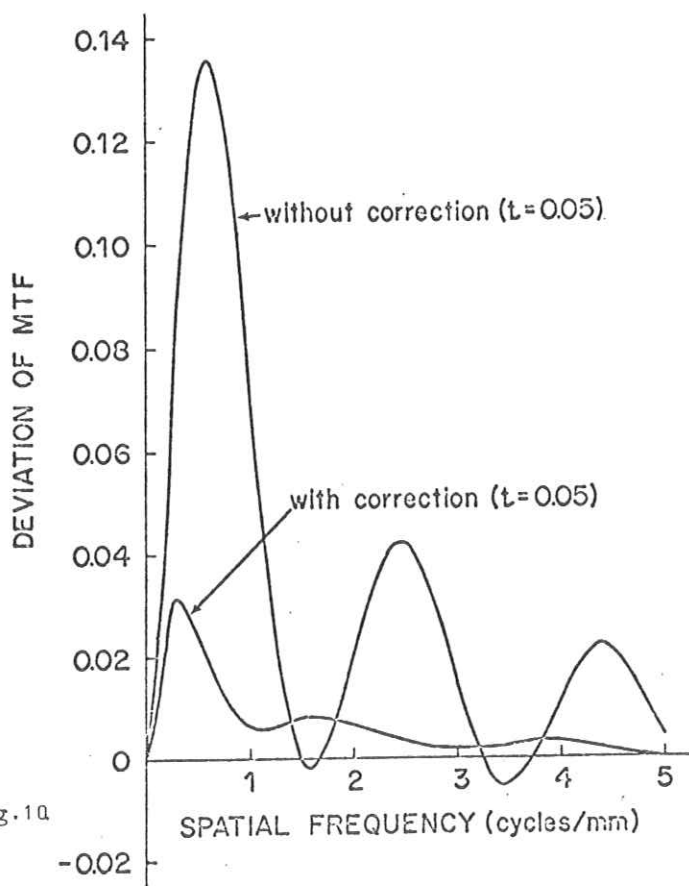


Fig. 10.

27-9 体内R-I密度分布推定の試み

名大

西 沢 邦 秀

(予稿なし)

# インフォーマルミーティング

東京で医学放射線学会が開かれたのを機に、R I I 研究会のインフォーマルミーティングを開催しました。会員外の方にも講演をお願いし討論を行いました。その概要をお伝えします。

日 時 昭和46年4月3日 18:30~22:00

場 所 社会文化会館会議室(千代田区永田町)

参加者 安藤 隆(信州大), 飯沼 武(放医研), 上柳英郎(島津), 内田 勝(宮崎大), 木下幸次郎(芝電気), 滝沢正臣(信州大), 武田俊夫(東芝), 竹村克人(信州大), 竹中英一(東大) 田辺 要(東芝), 恒岡卓二(東芝), 津田元久(島津), 鳥生敬郎(大日本塗料), 西岡敏雄(日大歯), 山口奉頼(芝電気), 芳村公男(島津), 長谷川伸(電通大)

## 1. X線テレビジョン及びディスプレイシステム

### 島津製作所 津田元久氏講演

X線テレビジョンとしてはI, I (X線蛍光増倍管)を使ったものが一般的であるが, 入力蛍光板部分のMTFの低いことが問題である。シリコンを結合剤として用いることにより, かなり改善され, さらにズームイメージ管が開発されたので, 拡大透視すれば局所の解像度はかなり良くなる。将来は直接撮影なみの画質を得たい。

I, I の時間応答も問題の一つ。シネ撮影ならば現状でも十分であるが, パルスX線によるステレオテレビではクロストークが生ずる。現用管の残像は30 msec 後で30%程ある。蛍光材料を改良したものでは時間応答は改善されるが, 量子雑音が増え効果を相殺する。ステレオ方式は数種実験されているが一長一短ある。

I, I の解像度劣化を回路的に補正する方法としてSiemens のトランシコンが話題になっている(巧みな方法で高空間周波域をブーストする)。その他I, I. とビジコンの一体化, チャンネルマルチ応用のI, I. が文献に見られる。(以下質疑)

(竹中) 解像度改良I, I. の入力部の構造?

(津田) 管内壁の蛍光層に数十Aの厚さの亜酸化硅素, 光電面を積層している。

(竹中) 雑音改善の方向?

- (津田) 蛍光剤材質を研究中、ガドリニウム化合物が効率が従来品の2倍あり、MTFも良く有望、結晶製造が困難。
- (内田) ズーム倍率に最適値があるか、電子顕微鏡との比較はどうか？
- (津田) 出力像が大きい程MTFが良い。最適倍率は経験しない。電頭とは事情が違うようだ。Niklas は原寸大の像を得ているが電子レンズがむづかしい。倍率はMTF改善と所要線量増大が天秤になる。
- (飯沼) チャンネルマルチの実用状況？出力分布？
- (津田) 現在は実験段階、解像度と一様性が困難。出力はポアソン分布。
- (長谷川) 新種の最像管は？
- (津田) オルソコンとI.I.の一体化は雑音大。アイソコンは残像の長いのが難。

## 2. マイクロホーカスX線管の技術的問題点

### 東 芝 田 辺 要 氏 講 演



微小焦点管は数年来研究と実用化が進められている。技術問題点を述べる。

第1に焦点寸法と許容負荷が問題。回転陽極管で焦点 $50\mu$ の管は許容負荷 $1\text{mA秒}$ 、 $100\mu$ 管で $8\text{mA秒}$ 程度。今後微焦点、大容量は別目的として管を選択使用することになろう。ターゲット角を小さくすれば大きい負荷がとれる。

第2点は管構造と特性の関連。高電流密度、安定、長寿命の陰極は作りにくい。回転陽極管では機械精度の点からもビーム集束がむづかしい。

第3点はコントラストで余分の電子を切り捨てる電極構造になってはいるが一部が浮遊電子となり、カブリ状の現象を呈することがある。

国際的に日本の最先端。診断側からの要求、測定法の確立が当面の課題。現在管の技術的延長でなく、抜本的に新しい発生装置の研究も望まれる。(以下質疑)

- (竹中) 本日の学会で8倍撮影の結果が発表された。
- (田辺) 管容器とヒフが密着の状態で使用したものと思う。カバレッジが問題だ。
- (津田) 従来品と焦点形状の違いは？
- (田辺) 従来の  形状の両端をおとして  状にしている。
- (内田) 等電位面は測定しているか？ハウベとの間にスパークの生ずる原因？
- (田辺) 等電位面、電子軌跡は求めてある。スパークの原因は微焦点管に限らず、発生

するとすれば管壁の荷電が因。

(竹中) 焦点の長さを短縮できないか？

(田辺) 陰極を面状にすれば理論的には可能。

(鳥生) 解像度の測定法？ 海外情況？

(田辺) 班研究の結論に従っている。30 $\mu$ の線が見えれば50 $\mu$ と称する。外国では Siemens, Philips が100 $\mu$ 管開発中。測定法はオーソライズされていない。

### 3. 超音波映像装置の医学応用

#### 東 芝 武 田 俊 夫 氏 講 演

超音波映像装置には連続透過形とパルスエコー形があるが、後者の方式を実用化して効果を上げている。

原理はレーダーに類似する。2MHzの超音波を毎秒数百回のパルスとし、ビーム状に指向性を持たせて体表から体内に送る。体内からの反射波を検出し、時間遅れと強度の情報を求める。ビームを走査しつつCRTにこの情報を書くと人体の断面構造が表示される。問題点は体表を走査する技術と、深部からのエコーの強度低下の補償。現在、体幹部の占拠性障害、妊娠子宮の観察などに適用され、異状の判別、分娩への適用技術が確立されつつある。

(多数の症例がスライドで紹介された。以下質疑)

(竹中) 直線性？

(武田) 組織の音速、減衰特性などは生体と摘出後は違うといわれる。又臓器の内外でも違う筈である。現在は平均的な値を用いている。

(鳥生) 1枚の絵を得る時間、応用上の問題点？

(武田) 体表10cm 当たり2~3秒。子宮、乳房、胆石等体表に近い部分はうまく行く。深部へは音場が入りこめないのですまい。

(長谷川) 解像度は？

ビームが直径10mm, 波長は体内で0.75mmで夫々がx, y及びZ方向の解像限界を与える。たゞし反射波のピークを検出し、良くなるようにしている。

(竹中, 飯沼) 純電氣的な走査は？

電歪素子を2分して加える信号の位相を変えればビーム走査を電氣的に行ない



得る。データ解析は面倒。

#### 4. R.I.系のディスプレイシステム

島津 上柳英郎氏講演

R Iカメラの構造原理につき解説があった。問題点はシンチレータの厚さ（経験的に0.5インチが使われる）、19本のホトマル出力から位置情報を求める計算手法など。映像を作る情報量が極めて小さいため計算機によるスムーシングも考慮の要あり。ホトマルに起因する計数値ゆらぎが精度を規定する要因となる。

#### 5. 格子形蛍光板について

芝電気 山口奉頼氏講演

蛍光板に金属箔の格子が入っており輝度は落ちず解像度も良い。金属は蛍光体のキラーにならぬようスズを使用、間隔は420 $\mu$ であるが目標は50 $\mu$ 、蛍光板の寸法は現在300×300mm、格子は1方向にだけ入れてある。

（以上司会 竹中委員，文責 長谷川委員）

## R.I.I.研究会 第10回委員会議事録

- 日時 昭和46年2月20日(土) 17:00~18:00
- 場所 名古屋大学医学部附属病院 放射線科セミナー室
- 出席者 内田 勝,金森仁志,木下幸次郎,佐々木常雄,竹中栄一,滝沢正臣,津田元  
津田元久,恒岡卓二,矢仲重信(野田代),三浦典夫
- 議題 1) インフォーマル・ミーティングの件  
2) 委員交代の件  
3) 次回予定について  
4) 名誉顧問の件
- 審議結果 1) インフォーマル・ミーティングを第30回日医放学会開催期間中に行なう  
ことについて,日時は4月3日(土)18:00~20:00とするが,会  
員に予定を通知し,出席希望の有無を問い合わせ,希望者が少い場合には中  
止することとした。
- 2) 野田委員(日立レントゲン株式会社)が職務上の都合により辞任、  
矢仲重信氏に交替することを承認した。
- 3) 次回予定について日時,特別講演テーマについて審議した。  
日時,場所については 5月22日(土) 東京とする。  
特別講演のテーマは画像工学,コンピュータ診断,サーモグラフィー,ホ  
ログラフィー,海外放射線医学事情のうちからインフォーマルミーティング  
のテーマ,講師の事情を勸案の上決定するよう常任委員に一任。

以上

## 編 集 後 記

新緑の候となりました。お元気に御精励のこととお慶び申し上げます。おくれて申し訳ございませんが、R I I研究記事第27号をお届け申し上げます。

今号は2月に名古屋で開かれた第27回研究会の記事と、4月に東京で開かれたインホームミーティングの概要を集録いたしました。前者には、静岡大学西田教授にX線ビジコンの特別講演をお願いいたしました。また、放射線医学会を機に開催いたしましたインホームミーティングには、X線装置や超音波映像に関する話題を提供していただき討論が展開されました。ハードウェアに関するものが多い感がありますが、特別講演の題目については会員諸氏の御希望を随時お聞かせ下さい。

次回は東京で5月22日第28回例会を開きます。たくさんの講演発表を期待しております。名簿を同封申し上げます。誤りもあろうかと存じますが、お気づきの点をお申しこし下さい。また新しく御入会の方をお誘い下さいますよう。

放射線像の研究第1巻(レスポンス関数)は好評のうちに残部ゼロとなりました。第2巻(解析と評価)は残部がかなりございます。御購入いただける方を御紹介下さい。これは1966~68年間のR I I研究会の御発表60件を題目内容別に分類し、章ごとに解説を加えたものでB5版443頁1,800円となっています。御用命の方は東京大学竹中委員まで。

(S.H.)

---

### 研究会記事—第二十七回

発行日 昭和四十六年五月 日

編集責任者 長谷川 伸

調布市小島町十四

電気通信大学電子工学科内

電話〇四二四一八三一二六一

内線四二〇

発行所 R I I 研究会

東京都文京区本郷七―三一―

東京大学医学部放射線

医学教室内

印刷所

東京都中央区宝町三―三

タナカ印刷株式会社  
電話〇三一五六七―二五五一