



Title	X線映画の解像力に関する研究
Author(s)	田坂, 皓; 竹中, 栄一
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1961, 21(7), p. 693-706
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16885
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

X線映画の解像力に関する研究

東京大学医学部放射線医学教室（主任 宮川正教授）

助教授 田坂 昭 大学院学生 竹中栄一

（昭和36年10月19日受付）

Studies on the Resolving Power of the Cinefluorography by Image Amplifier

By

Akira Tasaka and Eiichi Takenaka

Department of Radiology (Prof. Dr. T. Miyakawa)

Faculty of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, Japan

Analysis and considerations on the resolving power of the cinefluorography with a Shimazu's image amplifier is reported, and factors which can influence the total resolving power are examined: optical system accessory to the viewing fluorescent screen of the image amplifier, cine lenses, 16 mm cine cameras and cinefilms for cinefluorography, in collaboration with Prof. Koana's Laboratory, Department of Physics, Faculty of science, Tokyo University (Prof. Dr. J. Koana). The following results are obtained

- 1) Film for 16 mm cinefluorography. (Table-2).
A and B film made in Japan and Gevart Scopic G for Odelca camera have the resolving power of 65,85, and 60 lines/mm, respectively.
- 2) Combination of viewing optical system and cine lens (Table-3)
In direct observation by microscope, 350 lines/mm are resolved at the center and it's vicinity of cine film plane, but much poor at the periphery.
In photograph using special high resolution plate for measuring resolving power of lenses (panchromatic), 180 lines/mm are resolved at the center, but much less than in the direct observation, particularly at the periphery.
- 3) Cine lenses (Table-4).
Cine Nikkor (f/1.2, f=25 mm), Cooke Ivotal Anastigmat (f/1.4, f=1 inch and f/1.4, f=2 inches) have good resolutions. But some of fast lenses have a poor resolution (less than 40 lines/mm) at the periphery. Fastness and Resolution of a lens should be taken into consideration with equal attention.
- 4) Cine film sending mechanism (Table-5).
In combination with cine cameras (Kodak k-100, Bell and Howell 70-DA and 70-DR) Cine Nikkor (f/1.2, f 25 mm) and Sakura and Fuji X-ray film made in Japan are examined.
Bell and Howell's cine camera sends it's film accurately and has a resolving power

of 50-55 lines/mm at center and periphery with B film, and less fluctuation in a single frame and in series, also. Kodak K-100 has the resolving power of less than 35 lines/mm at center and periphery with A film.

- 5) The image amplifier has the worst resolving power among these factors and 0.4 mm wires at center are resolved at the front of the fixation frame of image amplifier, in the best condition.
- 6) And in our cine film 0.5 mm wires are resolved at the front of the fixation frame of the image amplifier: 14.5 lines/mm on cinefilm.

The total resolution cannot be calculated theoretically, even if the resolution of each component is known. But the fineness of the viewing fluorescent screen is acutally degraded when each component such as optical system, cine lens, cine camera and cine film are combined. Even if each compomental resolution by itself might be satisfactory to accept the fluorescent screen image, the author could not be satisfied at present with each resolution in order to project the very screen image on cinefilm (Fig. 11). Of course, improvements of image amplifier should be made at first. Mutual and organic studies and improvements of each component are neccessary to have the more beautiful cinefluorography.

目 次

- §1 緒 言
- §2 X線映画の解像力に影響を及ぼす因子
- §3 試験体の細かさと装置の各結像における像の細かさとの関係
- §4 螢光増倍管の解像力（視感で測定）
- §5 X線映画撮影用フィルムの解像力試験
- §6 島津螢光増倍管観察 螢光面附属光学系解像力試験一肉眼的観察ならびに撮影試験
- §7 16mm映画撮影用レンズの解像力試験
- §8 16mm映画撮影用カメラのフィルム送り機構の解像力に及ぼす影響
- §9 現在使用中の螢光増倍管 X線映画撮影装置の総合解像力
- §10 総括ならびに考案
- §11 結語
附記
参考文献
図—Fig. 1～Fig. 11 (11枚)
表—Table 1～Table 5 (5枚)

§1 諸 言

1895年にX線が発見せられると、直ぐに Macintyre (1897), Roux and Balthazard (1898) らはX線直接撮影を連續的に行ない、そのフィルムを縮小して映画とする方法 (Direct cinefluorography) を試みたが¹⁾、この方法は1930年頃ま

では対象が人間以外の動物であつたり、撮影速度も毎秒1～2枚で総撮影枚数も少なく、映画を作るという興味だけで医学的には意義が少なかつた。その後フィルムを急速に交換する装置が進歩したので、連続撮影法 (Serial radiograph) として心臓血管造影などに現在も使用されており、直接撮影された一連の連続像を個々に読影する目的に用いられ、映画を作ることは行われていない。また一方螢光板の像を光学系でX線写真フィルム上に縮小撮影する間接撮影法の技術の進歩に伴つて、螢光板の像を映画カメラで映画フィルム上に撮影する間接X線映画法 (Indirect cinefluorography) が行われ、Renolds (1928) (1935) (1938), Stewart (1937), Watson ら (1952), Ramsey ら (1949), Janker (1950)(1953) などにより発達して來た。この方法は明るいレンズ²⁾ (Fナンバー0.85程度) を使用し、感度の大きなフィルムを使用し、シネ・カメラのシャッターとX線照射を同調させて撮影するのであるが、それでも被検患者に10秒間で数十レントゲンの被曝量があるので、ルティーンに使用することは不可能である。

しかるに一方、螢光像を電子工学的に明るくす

る方法については Langmuir の特許²⁾が早くからあつたが、Coltman (1948)³⁾, Teves and Tol (1952)⁴⁾によりそれぞれ Westinghouse 社, Philips 社から螢光増倍管として製作発表されてから急速に脚光を浴びて来た。これは真空管の一端に X線を受けて螢光を出す受像螢光面およびその後ろに光電面があり、螢光面の輝度に応じて光電子を放出する。光電面を陰極として、一方観察螢光面を取巻く陽極との間に電圧をかけ、光電子を集め加速して観察螢光面にあてこれを励起し、螢光による明るい像を結ばせる。この像を観察光学系で拡大し、透視観察または映画撮影する。受像螢光面と観察螢光面の像の縮小比 $1/5 : 1/9$ であるから、輝度増倍率25~80倍となり、さらに電子の集束加速8~12倍で、結局200倍~1000倍に螢光像の輝度を増大させることができる。

最近ではX線テレビ法の進歩に伴い、X線映画法には、螢光板、螢光増倍管、光増倍管、ヴィディコン (Vidicon), オルシコン (Orthicon), X-icon のうち1~3個のいろいろの組み合わせで⁵⁾できた明るい像をシネ・カメラで撮影する方法が行われるようになった。このうちで螢光増倍管

式X線映画撮影法が、比較的経済的なので、徐々に使用範囲が拡大されて来た。われわれの教室には1958年夏から、島津製作所螢光増倍管式X線映画撮影装置が設置され、消化管（咽頭、食道、胃腸）、発声、関節運動、心臓血管造影に使用し、臨床検査の一部として着々と成果を挙げている。

X線映画は現象をフィルム上に永久記録し、動的かつ繰返し再現し観察し得る点に大きな利点があるが、X線映画は写真としての解像力が個々の直接X線写真と比較すると大分おちるのが最大欠点である。本論文は当教室の島津製作所製螢光増倍管式X線映画撮影装置について、これを構成する各種の要素、すなわち観察螢光面附属光学系、シネ・レンズ、シネ・カメラ、X線映画用フィルムなどのおののにつき、その解像力を解析し、総合解像力との関係を追究し、より解鋭なX線映画を作るには、いかなる部面において解像力を改善すべきかについて研究し述べたものである。

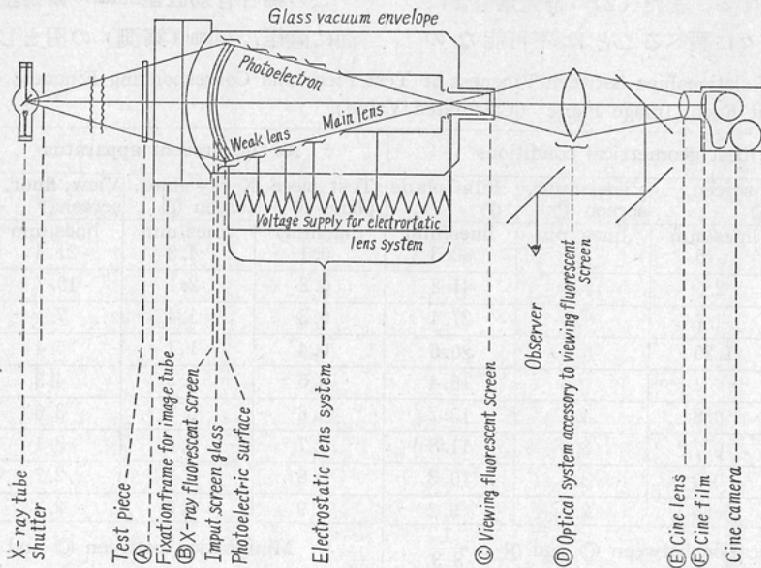
§ 2 X線映画の解像力に影響を及ぼす因子

螢光増倍管式X線映画の解像力に影響を及ぼす因子を列挙すると (Fig. 1),

(1) X線管球

① X線の焦点の大きさ、焦点外X線の影響、

Fig. 1 Apparatus for Cinefluorography by Image Amplifier



② 焦点、被検体、螢光面の相互位置、さらにX線束の絞り、管電圧の高さにより散乱線、コントラストが変化して間接的に解像に影響する。

(2) 融光増倍管

観察螢光面附属光学系	融光増倍管自体	1)受像螢光面の解像力、同面 支持ガラスの厚さ
		2)静電レンズ系の性能
		3)観察螢光面の解像力
		4)受像ならびに観察螢光面の 残像(動体撮影のとき)

(3) 映画撮影機

- 1) 撮影レンズの解像力、
- 2) フィルム送り機構の規則性、
- 3) 撮影レンズのピント調整の精度。

(4) 映画フィルム

解像力、コントラスト、感色性、パーフォレーション(耳穴)の規則性

(5) 仕上りフィルムの観察装置関係

- 1) 映写機(映写レンズの性能、フィルム送り機構の規則性)
- 2) フィルム編集機の性能
- 3) 連続映写と1コマ映写との解像力差の問題

この中(1)は普通X線写真や間接撮影法などで詳しく研究され、その結果がそのまま適用されるので本論文では省略する。また(2)の融光増倍管に関する各因子を個々に調べることは不可能な

で、融光増倍管全体としての総合解像力を取り扱つた。

§ 3 試験体の細かさと装置の各結像における像の細かさとの関係(計算値)(Table-1)

X線解像力試験体として直径0.2mm~0.6mmの12種の銅線をそれぞれ4本ずつ、その直径に等しい間隔だけあけて平行に並らべ、合成樹脂板に固定したもの(Fig. 2)を使用した。この試験体を融光増倍管の前面、特定の位置に置いてX線で照射した場合、融光増倍管の受像螢光面に生ずる像の細かさ(本/mm)、同観察螢光面に生ずる像の細かさ(本/mm)ならびにこれをフィルム上に特定の縮小率で結像されたときのフィルム上における像の細かさ(本/mm)をつぎの二通りの場合について計算してTable-1に示した。この計算に用いたデータはつぎの通りである。

A) 現装置について

- a) X線管の焦点と試験体との距離L = 800mm
- b) 試験体と受像螢光面との距離l = 142mm
- c) 融光増倍管内における電子レンズ系の倍率
(島津製作所のデータによる)⁶⁾ $m_1 = \frac{1}{5}$
- d) 融光増倍管の観察螢光面に対する撮影光学系の倍率 $m_2 = \frac{1}{3.4} = \frac{7.25}{25}$

この場合有効直径25mmの観察螢光面はフィルム面に直径7.25mm(実測)の円として想像される。

Table 1 Relationships between Fineness of Test Piece and Corresponding Fineness of Image at Each Image Plane (Calculated Value)

At the best geometrical conditions			At the present apparatus			
X ray fluor. screen, Test piece ④	View. fluor. screen ⑤	Film plane ⑥	Test piece plane ④	X ray fluor. screen ④	View. fluor. screen ⑤	Film plane ⑥
dia (mm) 0.1	lines/mm 5	lines/mm 25	lines/mm 82.3	dia (mm) 0.1	lines/mm 4.3	lines/mm 21.4
0.2	2.5	12.5	41.2	0.2	2.1	10.7
0.3	1.7	8.3	27.4	0.3	1.4	7.1
0.4	1.25	6.3	20.6	0.4	1.1	5.4
0.5	1	5	16.4	0.5	0.9	4.3
0.6	0.8	4.2	13.7	0.6	0.7	3.6
0.7	0.7	3.6	11.8	0.7	0.6	3.1
0.8	0.6	3.1	10.3	0.8	0.5	2.7
0.9	0.55	2.8	9.2	0.9	0.5	2.4
Minification between ⑤ and ⑥ = $\frac{1}{3.3}$			Minification between ⑤ and ⑥ = $\frac{1}{3.4}$			

B) 以上の条件がより良く改善された場合として、試験体が受像螢光面に密着し、フィルム上に投影された円の直径が 7.6mm となつた場合 (16mm フィルム上につぎつぎに相接する円像が並んだ場合) すなわち、

$$\begin{array}{ll} a) & L = 800\text{mm} \\ b) & l = 0 \\ c) & m_1 = \frac{1}{5} \\ d) & m_2 = \frac{1}{3.4} = \frac{7.6}{25} \end{array}$$

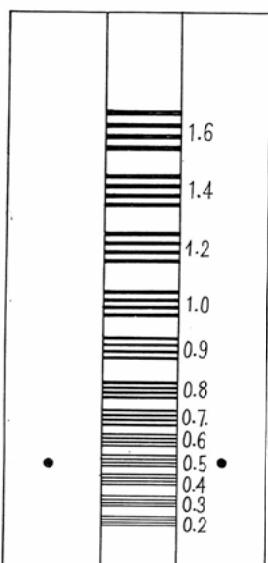
この表より例えば最後のフィルム上において被検体の 0.4mm の部分が辛うじて解像し、それより細かい部分はすべて解像してない場合、フィルムまで含めた装置の総合解像力は約 21 本/mm ということが知られる。

§ 4 融光増倍管の解像力（視感で測定）

われわれの装置における蛍光増倍管について、Fig. 2 に示したテスト・ピースを蛍光増倍管取付枠前面 (Fig. 1 のⒶ面) に置いて、受像螢光面の大きさと一致するように X 線照射野を絞り、

①観察光学系を付けないで観察螢光面をルーベで見るとほど一様に 0.4mm 線を解像しているが、

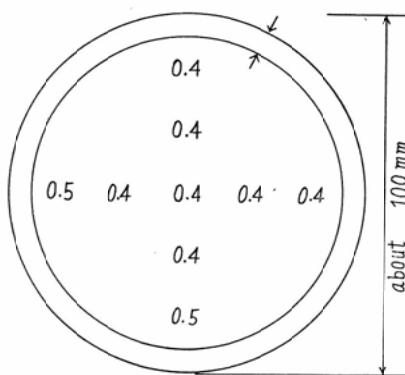
Fig. 2 Test Piece for Image Amplifier.



Four copper wires are pallaleled respectively at each diameter's distance. Unit: mm.

Fig. 3 Image Amplifier's Resolution
(Image amplifier + optical system)

Only 0.6 mm
wires are resolved
in marginal region
of 10 mm width.



②観察光学系を付けて、測定した結果は Fig. 3 の通りである。

すなわち視野の中央ならびに大部分では 0.4mm の銅線を解像し、それより細かい銅線は解像していない。また周辺より約 10mm の巾の領域では解像力が低下して 0.6mm の銅線を解像するのみとなっている。これは静電レンズ系の各電極の電位ならびに電位の配分を中央の解像力が最良になるよう調整した場合の測定値である。もし周辺部の解像力が良くなるように調整したとすると、周辺部は 0.5mm の銅線を解像するようになるが、中央部は 0.5mm すら解像しなくなる。

なおこの蛍光増倍管についての、メーカーたる島津製作所の発表する所によると⁶⁾、

1) 受像螢光面 (ZnCdS) 単独では、これに密着された試験体の、直径 0.14mm の線まで解像する。ただし支持ガラス (厚さ 0.15~0.19mm) を加えた場合には、直径 0.2mm の線まで解像するにとどまる。

2) 融光増倍管の総合的性能 (電子レンズ系の作用と観察螢光面の性能を含む) は、われわれの試験体を受像螢光面に密着した場合、その直径 0.4mm までの線を解像するとのことである。

(注) Philip 社製のある蛍光増倍管 (虎の門病院) では、著者が上と同じように観察測定したと

き、0.3mm線を解像していた。

§ 5 X線間接撮影用フィルムの解像力試験

A) 使用フィルム

- 1) 間接撮影用富士X線フィルム
- 2) "さくらX線フィルム
- 3) Gevart Scopic G Film for Odelca Camera

この3種はどれもX線間接撮影用の35mmフィルムであるが、X線16mm映画用フィルムもこれと同性質のものと思われる所以、これらについて測定を行つた。

なお現像はつぎのとおりの条件で行つた。

1) 同上富士フィルム

レンドール 20°C, 5分

2) 同上さくらフィルム

コニドール 20°C, 5分

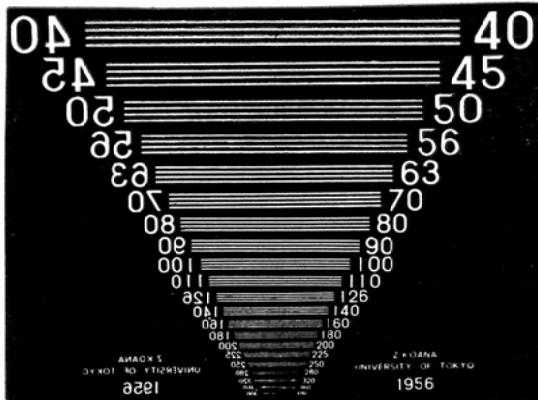
3) 同上 Gevart フィルム

レンドール 20°C, 5分

B) 測定装置 Fig. 4 に示すような解像力試験

Fig. 4. Test Piece for Resolving Power of Film

(原寸大)



体を波長5461Åの緑色単色光（水銀灯とWratten 77Aフィルターとの組合せ）で透過照明し、これを高解像力の写真レンズによって $1/40$ の大きさに被検フィルム上に結像させ、ピント位置ならびに露出時間を種々に変えて撮影を行ない、最高の解像力が得られるようなネガ像について解像力の値を求めた。

なおFig. 4 の試験体に附記された数値は、これ

を $1/40$ に縮写したときの像の細かさを、本/mm 単位で表したものである。使用写真レンズは、Cannon lens C-8, 1 : 1.4, f=13mmで、その最良絞り 1 : 2.8 を用いて撮影した。この時の上記単色光についてのレンズ固有の解像力は、倍率 $1/40$ において約 520本/mmである。

Table 2 Comparison of Cine film's Resolving Powers

B film made in Japan.	85 lines/mm
A film made in Japan	65 lines/mm
Gevart Scopic G for Odelca Camera	60 lines/mm

C) 測定結果 Table 2 に示す。現在国産螢光増倍管の解像力はその前面におかれた銅線の直径で 0.4mm (Philips 型のあるもので 0.3mm) で、これをフィルム面に換算すると 約18本/mm くらいにすぎないから、フィルムの解像力はいずれも約3倍あることになり、一応十分と思われる。

なお参考のため、上記3種のフィルムの感色性を測定した結果はFig. 5 のとおりである。感色性測定の装置は島津製作所製の回析格子分光写真

Fig. 5 Spectral Distribution of Film

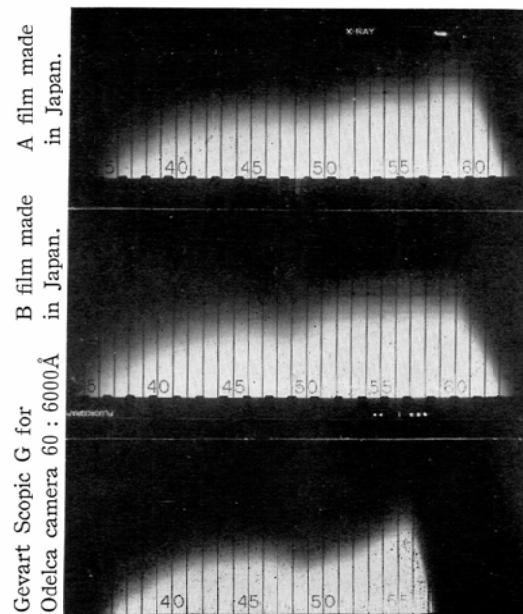
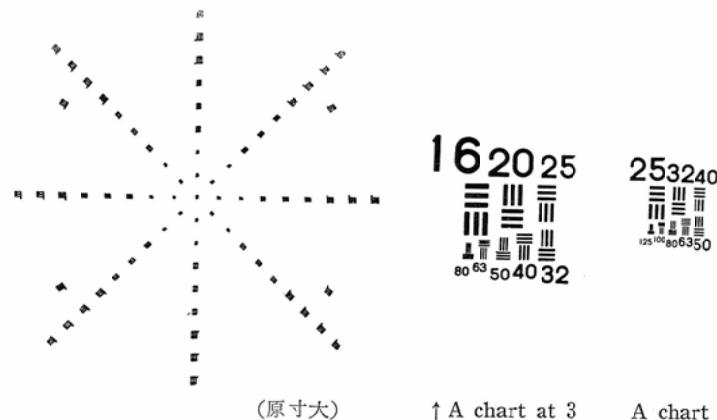


Fig. 6 Test Piece for Resolving Power of Viewing Optical system



↑ A chart at 3 zone and 4 zone is enlarged.
A chart at center, 1 zone and 2 zone is enlarged.

器を小穴教授が改造したもの、光源は 500W タングステン電球である。これより国産 2 種はパンクロマティックであり、Gerart Scopic G フィルムは赤色光に感じないオーソクロマティックであることが知られる。観察螢光面の波長分布は島津製作所のデータでは 4600\AA ~ 6000\AA であるから⁶⁾、もし感度が十分であるならば、オーソクロマティックの方が種々の点で望ましいと思われる。

§ 6 島津螢光増倍管の観察螢光面附属光学系解像力試験—肉眼的観察ならびに撮影試験

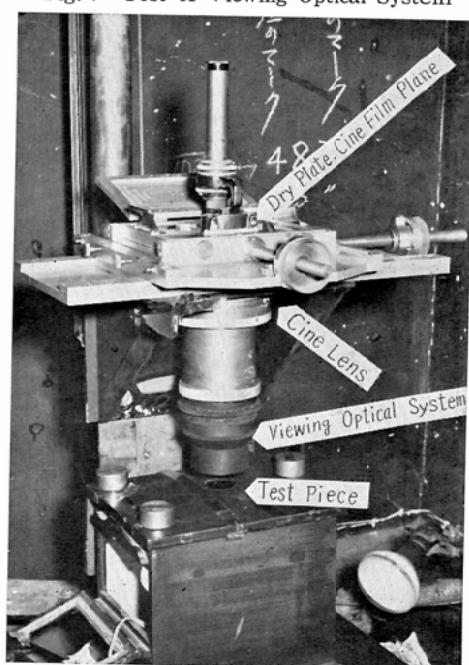
われわれの装置における観察光学系は、螢光増倍管の観察螢光面の直後におかれた口径比約 1 : 1、焦点距離 75mm の複雑なレンズで、これによつて観察螢光面上の像からでる光をほど平行光線束にして、レンズ後面から約 175mm 離れた映画撮影用レンズに入射させる役目をしている。この光学系の性能は、これと組み合せて使用すべきシネ・レンズとの組み合せにおいて測定した。

シネ・レンズとしては、1) Cine Nikkor 1 : 1.4, f = 25mm を絞り 1 : 4 で使用、2) Cine Nikkor 1 : 1.2, f = 25mm を絞り開放ならびに絞り 1 : 1.4 で使用した。

また測定方法としては撮影および空中像の顕微鏡観察という二通りを用いた。

また測定装置は垂直型で (Fig. 7, Fig. 8), 観察螢光面に相当するところに、透過型解像力試験

Fig. 7 Test of Viewing Optical System



体 (Fig. 6) をおき、これを観察螢光面の分光組成と近似した緑色光 (タングステン光 + マツダ V G 1 フィルター) で照明し、その真上に被検光学系、およびさらに現装置とはほど等しい間隔をおいてシネ・レンズをおき、試験体の大きさの $1/2.8$ の像をフィルム面に相当する位置に結像させ、これを解像力乾板 (さくら解像力測定用乾板、解像力

約300本/mm)に撮影、もしくはこれを顕微鏡で拡大観察した。撮影の場合には、画面全体が平均的に最も良くなるようなピント位置について測定を行ない、また肉眼観察の場合には、画面の各点毎にピントを合わせ直して最高の解像力値を測定した。

試験体に附記された数字は、試験体自身の像の細かさ(本/mm)を示しているので、 $1/2.8$ に縮小された場合の像の細かさは、当然上記の数字の2.8倍となるわけである。また試験体の同心円間隔は3mmなので、縮小された結像面では、その間隔は

1.07mmとなる。

Ⓐ 肉眼的観察の結果

測定結果はTable 3に示した。Sag (Sagittal)は、中心より放射方向に並んだ平行線について観測した解像力の値(本/mm)であり、Tan (Tangential)は、それに垂直な方向についての値である。各ゾーン(Zone)間の間隔は像面に於て1.07mmである。ここで例えば(350-)というのは、350本/mm解像すると云い難いが、それより一段下の280本/mmよりははるかに良い場合であり、(280+)というのは、280本/mmよりは、いくら

Table 3 Resolving Power Test of Optical System Accessory to Viewing Fluorescent Screen of a Shimazu's Image Amplifier (1)

A. Direct Observation by Microscope (1)

Cine Nikkor f/1.4 f=25 mm stopped down at f/4

	Sagittal	Tangential	Chromatic aberration	
Center	350		(-)	
1 Zone	350-	224-	(+)	Tangentially much chromatic aberration
2 Zone	350- 280+	112	(+)	Sagittally flowing and tangentially widening lines
3 Zone	350- 280+	90-	(+)	Sagittally flowing and tangentially widened lines
4 Zone	280	90-	(+)	More than above zone
Unit: Lines/mm.				

A. Direct Observation by Microscope (2)

Cine Nikkor f/1.2 f=25 mm at full aperture

	Sagittal	Tangential	Chromatic aberration	
Center	350-		(-)	Halo, prevailed
1 Zone	350-	177	(+)	Tangentially widened lines
2 Zone	224	112	(++)	Sagittally flowing and tangentially widening lines
3 Zone	224	<45	(++)	Sagittally more flowing lines
4 Zone	280-	70-	(++)	Sagittally more flowing lines
Unit: Lines/mm.				

Cine Nikkor f/1.2 f=25 mm Stopped down at f/1.4

	Sagittal	Tangential	Chromatic aberration	
Center	350+		(-)	Halo, prevailed
1 Zone	350-	224-	(±)	Astigmatism
2 Zone	350-	112	(+)	Astigmatism
3 Zone	224-	<45	(++)	
4 Zone	280-	70-	(++)	Color fulled between lines.
Unit: Lines/mm				

B. Photograph

Dry Plate Sakura's special high resolution plate for measuring resolving power of lenses (panchromatic)

Development D-27, 1 : 2 dilution, 2'30"

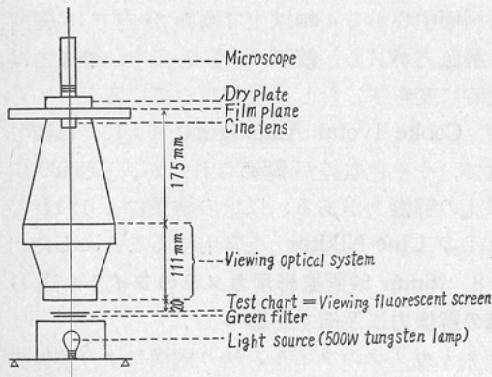
Ⓐ Combination of optical system and cine
Nikkor (f/1.4 stopped down at f/4)

	Sagittal	Tangential
Center	177,224—	
1 Zone	177	177
2 Zone	70	70—
3 Zone	<45	<45
4 Zone	<45	<45

Ⓑ Combination of optical system and cine
Nikkor (f/1.2 stopped down at f/1.4)

	Sagittal	Tangential
Center	140	
1 Zone	112	70
2 Zone	70—	70—
3 Zone	<45	<45
4 Zone	<45	<45

Fig. 8. Test of View. Optical System



か良い場合である。

顕微鏡を用いた肉眼的観察によれば、Cine Nikkor 1 : 1.4 を 1 : 4 に絞つて使用したときの合成解像力は、中心部で 350 本/mm であるが、第 4 ゾーンの Tan. では、90 本/mm が解像しないくらいである。また我々の現在使用中の Cine Nikkor 1 : 1.2 との組合せでは、開放でも、1 : 1.4 に絞つた時でも、中心部及び Sag. の方向は良いが、Tan. の方向が悪く、第 3 ゾーンは 45 本/mm 以下で

ある。開放および絞り 1 : 1.4 ではハロ、像の流れ、非点収差、色収差などが Table 3 に示すように表わされてくる。

われわれの螢光増倍管の解増力は、最良の場合、その前面で 0.4mm の銅線を解像しているが、これを我々の試験装置の結像面に換算すると、約 20 本/mm となるので、観察光学系 + 映画撮影レンズの解像力は、画面中心部ならびにその附近では一応充分といえるが、画面周辺部については必ずしも満足しがたい。

Ⓑ 撮影試験の結果

Table 3 に見られるように、画面中心部並びに、その附近では充分であるが、画面周辺部は肉眼的観察よりもさらに解像力が低下している。これは画面の各点でいちいちピントを合わせることなく、平均位置で同時に撮影したためである。

(注) われわれの観察螢光面 (Fig 1 の②面) に (Fig 6) の試験体を密着しておいて撮影を行えば、螢光増倍管以後の総合解像が、直接求められるわけだが、装置の構造上これが不可能なので、上記のような方法を用いたわけである。観察光学系単独の解像力は測定しなかつたが、Cine Nikkor 1 : 1.4 を 1 : 4 に絞つて併用したときの測定値がそれに近いと考えてよいと思われる。なお画面周辺部で解像力が著しく低下するのは、シネ・レンズによるものではなく、主として観察光学系によるものであることは、シネ・レンズの解像力より考えて明らかである。これはこの観察光学系では口径比約 1 : 1, f = 75mm の複雑なレンズで観察螢光面の像を平行光線として、シネ・レンズに入射させており、かつ光学系の射出瞳を眼の射出瞳に比べて大きくとつてあり、容易に透視観察出来るように、考えてある点などで、光学系にその負担がかかつってきたためと思われる。

§ 7 16mm 映画撮影レンズの解像力試験

シネ・レンズは単体として、どれくらいの解像力があるかを知るために、つぎのような試験を行った。すなわち、Fig 9. のような試験体を投影試験器に取付け、これを背後からタンクスランプで照明し、試験体前方に被検レンズを置いて、試験体の像を遠方のスクリーン上に投影して観察した。

Fig. 9 Test Piece for Projecting Test of Lens

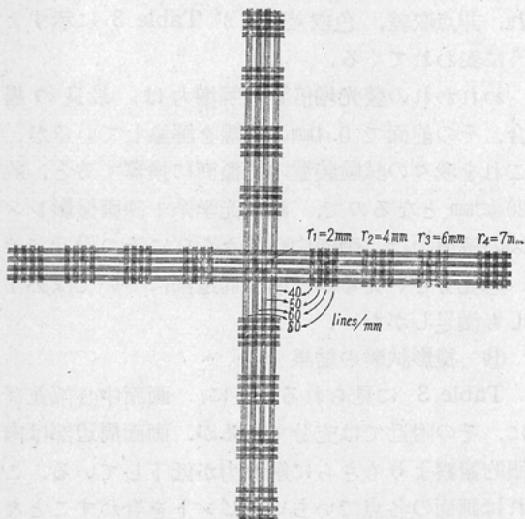
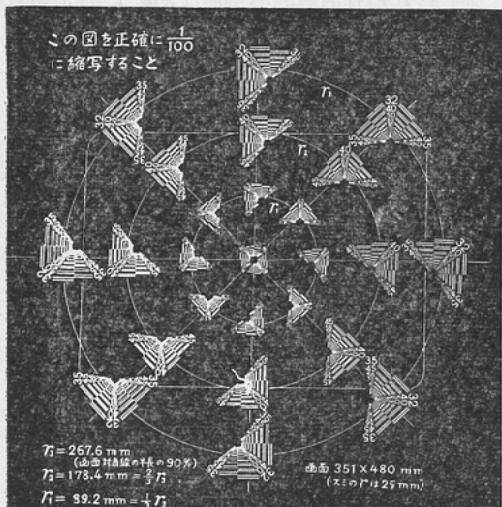


Fig. 10. Test Chart for 8 mm Cine.



試験体は Fig. 9 のようなもので、彫刻線は、80, 60, 50, 40本/mmの4種類のみであり、それ以上ならびにそれ以下は読めない。

A) 試験したレンズ

- 1) Cine Nikkor 1:1.2, f=25mm
- 2) Nominar 1:0.95, f=1 inch
- 3) Cooke Ivotal Anastigmat 1:1.4, f=1 inch
- 4) Cooke Filmo Special 1:1.8, f=1 inch
- 5) Cooke Ivotal Anastigmat 1:1.4, f=

2 inches

B) 測定結果は Table 4 に示す。

1) Cine Nikkor 1:1.2 は周辺部において Sag. Tan. 両面像とも内方に彎曲しているため、絞り開放では周辺部の解像力がややおちるが、1:5.6 に絞れば全画面80本/mm以上の解像力を示す。

2) Nominar 1:0.95 は画面全体にハロが大きく、1:2まで絞つてもこのハロは消えず、周辺部では、Tan. と Sag. の両画面の開きが大で、絞り 1:0.95~1:1.4 では周辺部の Tan. は40本/mm をも解像しない。偏心が多く、画面の対称性が非常に悪い。

3) Cooke Ivotal 1:1.4 はレンズの光軸の偏心がやや見うけられ、絞り開放で画面中心から、4 mm, 6 mm の地点の Tan. にやや色収差があり、また 1:5.6 に絞ると全体として良くなるが、画面中心から 6 mm の地点の Tan. がいくらかおちる。

4) Cooke Filmo Special 1:1.8 は絞り開放では画面中心から 4 mm 以上で像面が内方に彎曲し、解像力がおち、絞り 1:5.6 でも、解像力は開放時に変らず、むしろ悪くなっている。

5) Cooke Ivotal Anastigmat 1:1.4 は絞り開放で、やや色収差が認められるが、全面80本/mm以上の解像力がある。以上の結果によりわれわれは①の Cine-Nikkor を常用することにした。

§ 8 16mm 映画撮影用カメラのフィルム送り機構の解像力に及ぼす影響

シネ・カメラのフィルム送り機構により解像力がどの程度低下するかを調べた。例えばフィルムを16コマ/秒で送ったとすれば各コマの静止時間は約 $1/35$ 秒で、この静止時間中に露出が行われるのが正規の状態であるが、フィルムがまだ静止し終らないうちに露出が始まつたり、あるいは静止時間中にフィルムにいくらかの移動があつたとすれば、撮影された像はぼけ、解像力は低下するわけである。この試験には16mmカメラ3種とフィルム2種を用い、16mmシネ・レンズとしては Cine Nikkor 1:1.2, f=25mm たゞ一種を使用した。

A) 測定方法および条件 Fig. 10 に示すよう

Table 4 Comparison of Resolving Power of 16 mm Cine Lens (by Projecting Test)

Cine Lens	Iris f=	Center	$r_1 = 2 \text{ mm}$		$r_2 = 4 \text{ mm}$		$r_3 = 6 \text{ mm}$		
			Sag.	Tan.	Sag.	Tan.	Sag.	Tan.	
Cine Nikkor $f/1.2 \text{ f} = 25\text{mm}$	1.2	80	80	80	80	80	50	50	Slight distortion at periphery
Nominar f/0.95 $f = 1 \text{ inch}$	5.6	80	80	80	80	80	80	80	Strong halo, prevailed, even if at $f/2$
	0.95	80	80	80	60	50	40	<40	Asymmetry
	1.2	80	80	80	80	50	50	<40	
	5.6	80	80	80	80	50	50	80	
Cooke Ivotal Anastig- mat f/1.4 $f = 1 \text{ inch}$	1.4	80	80	80	80	80	80	80	Eccentric optical axis?
	5.6	80	80	80	80	80	80	60	
Cooke Films Special $f/1.8 \text{ f} = 2\text{inch}$	1.8	80	80	80	80	80	<40	60	Distortion
	5.6	80	80	80	<40	60	<40	40	Dislocation of focus
Cooke Ivotal Anastigm- at $f/1.4 \text{ f} = 2 \text{ inches}$	1.4	80	80	80	80	80	80	80	Slight astigmatism
	5.6	80	80	80	80	80	80	80	

Note ; On test piece are each group of 80, 60, 50 and 40 lines/mm carved, respectively, and more than 80 lines/mm and less than 40 lines/mm cannot be read.

Table 5 Comparison of Film Sending Mechanism of 16mm Cine Camera.

	①Kodak+B film	②Kodak+A film		③B.H. 70DR+B film		④B.H. 70DA+B film	
		Sag.	Tan.	Sag.	Tan.	Sag.	Tan.
16 frame/sec	Center	45		<40		50	
	1 zone	45	45	35	35	55	55
	2 zone	55	40	35	35	55	55
24 frame/sec	Center	40±		<40		55	
	1 zone	50	45	32	32	55	55
	2 zone	50	45	32	32	50	50
32 frame/sec	Center	40±		<40		55	
	1 zone	50	40	32—	32—	55	55
	2 zone	50	40	40	35	55	55
48 frame/sec	Center	40±		<40		55	
	1 zone	45	40	40	35	55	50
	2 zone	55	35	50	35	45	45
64 frame/sec	Center	40±		<40		55	
	1 zone	50	45	45	35	55	40
	2 zone	55	45	50	35	55	45

1) Cine Nikkor f/1.2
 $f=25\text{mm}$ is used at full
aperture.

4) 1 zone=1.78mm from center.
2 zone=3.57mm from center

2) Koana's test piece for 8mm
cine is photographed at 1/50
ratio.

4) Cine Cameras : Kodak K-100,
Bell & Howell 70DR, and Bell
& Howell 70 DA.

3) Green filter (Matuda GVI
Filter) is used.

6) A and B film made in Japan.

な 8mm シネ・レンズ用試験体(撮影用)を試験しようとする 16mm カメラで正確に $1/50$ の大きさに撮影した。レンズ前方には § 6 で記したマツダ VG 1 フィルターを取り付けた。カメラとフィルムの組合せは Table-5 のとおりで、フィルム送り速度は

16, 24, 32, 48, 64コマ/秒 でおのおのの速度でフィルムの露出が大体均一になるように試験体への照明を調節した。ピント位置は数回のトライアルで画面全体が平均的に最良となるような位置を求め、撮影は数秒間行なつた。撮影されたフィル

ムを調べるには顕微鏡を用いた。一連のフィルム中にはときどきひどく像の悪いコマが見受けけることもあつたが Table-5 は最良のコマについての解像力値を掲げた。

B) 使用カメラ

- 1) Kodak K-100
- 2) Bell & Howell 16mm Camera 70—DR (BH' と略記する)
- 3) Bell & Howell 16mm Camera 70—DA (BH'' と略記する)

C) 測定結果 Table-5 に示す。第1ゾーン(zone) は16mmフィルムの中心から1.78mm、第2ゾーンは同じく3.75mmの同心円である。

1) フィルムに撮影された像で中央部と周辺部の解像力は大差なく、①②の組合せでは中央部の解像力が周辺よりやゝ低下している。

2) 各コマ間の解像力の動搖は BH' < BH'' < Kodak の順に悪くなる。ときには解像力値表の数段くらい解像力のおちたコマが混つたりする。BH' は最も良く、解像力の悪いコマが混つたりすることは少い。

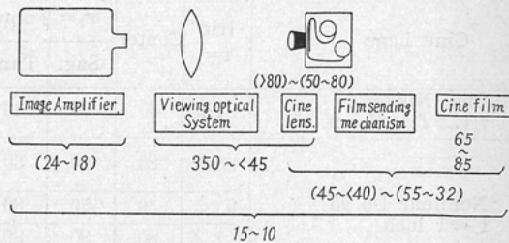
3) シネ・レンズ、シネ・フィルム、シネ・カメラの組合せでは Kodak では中央45本/mm以下 (<40~45)、周辺部32~55本/mm で、A フィルムとの組合せとが最も悪い。フィルム送り機構の性能は BH' > BH'' > Kodak の順である。Kodak のフィルム押え板が一端ヒンヂでバネが弱いが、Bell and Howell は強いバネの圧力板でフィルムを押えているのでこれが関係して1)2)のように表われたと思う。

フィルム自身の解像力がこのようにこの組合せの総合解像力に影響してくるから、一部のフィルム、カメラ共に改良の余地があると思う。

§ 9 現在使用中の 融光増倍管式 X 線映画撮影装置の総合解像力

Fig. 2 に示した試験体を蛍光増倍管取付枠前面に密着してその背後からX線を照射して映画撮影したとき、フィルム上でその試験体の銅線がどこまで見えるか調べた。カメラのピント調整、および静電レンズ系の調整（加速電圧、電圧比を一定

Fig. 11 Diagram of Examined Resolving Power



にしてその大きさ、電圧の配分) が最良で露出が適当なとき、最良点は中央部およびその附近で0.5mmの線が漸く解像しているが、周辺部は0.6~0.7mmくらい低下する。これはフィルム面に換算すると、それぞれ14.5本/mm~10~12本/mmとなる。

§ 10 総括ならびに考察

われわれは現在使用している島津製作所製螢光増倍管式X線映画撮影装置を主にして、X線映画の総合解像力およびそれに影響を及ぼす因子のうち、X線映画用フィルム、観察螢光面附属光学系、シネ・レンズ、16mmシネ・カメラについて個々に解像力の測定を行つた。これらの結果を要約すれば次の通りである (Fig. 11)。

① フィルムの解像力は国産Bフィルムが85本/mm、国産Aフィルムが65本/mm、Gevart Scopic G フィルムが60本/mm であった。すなわちフィルム単独の解像力は螢光増倍管の解像力の3~4倍あることになる。

② 観察光学系とシネ・レンズの組合せは、肉眼的観察では、フィルム面に相当するところで中央部及びその附近は 350本/mm である。たゞし周辺部はとくに低下する。解像力測定用乾板による撮影試験では画面の中心部で 180本/mm では、中心から約2mmで70本/mm に低下し、特に3mm以上では甚しく低下する。

③ シネ・レンズ Cine Nikkor, Cooke Ivotal Anastigmat などは良い解像力を有するが、一部のレンズで周辺部の解像力が40本/mm以下のものがあつた。レンズの明るさと解像力は共に注意して

用いねばならぬ。

④ シネ・カメラのフィルム送り機構としては、われわれの使用レンズ、シネ・カメラ、フィルムなどを用いいろいろのフィルム送り速度で撮影したが、フィルム解像力の優劣がこの組合せの総合解像力に表われており、16コマ/秒および24コマ/秒のフィルム送り速度のとき、Bell & Howell 70DRと国産Bフィルムのときが中央部および周辺部とも50~55本/mm解像しており、Kodak K-100と国産Aフィルムが最も悪く、中央部および周辺部とも35本/mm以下および35本位である。又各コマ間の1コマずつの解像力の動搖はBell & Howell 70DRが最も少く、最良であつた。

⑤ 融光増倍管の解像力はその前面に試験体をおいたとき、0.4mm銅線を解像しているが、これはフィルム面に換算すると、約20本/mmとなりX線映画の解像力に影響する要素中最も悪い。

⑥ 実際にX線映画撮影したフィルムの総合解像力は最良条件で最良点で約15本/mmであり、受像融光面前面の銅線0.5mmを解像している。

さて我々の測定結果によると融光増倍管の解像力が最も悪く18本/mm(シネ・フィルム上の換算値)である。撮影されたフィルム上の解像力には、観察融光面附属光学系、シネ・レンズ、シネ・カメラ・フィルム送り機構、シネ・フィルムのそれぞれの解像力が影響を及ぼすが、著者らの測定ではそれらのうち、融光増倍管の解像力に近い解像力を有するものが、一部の因子のうちにある。

現在個々の解像力から総合解像を理論的に算定できない。しかしながらフィルムとレンズの場合にはKatzの法則⁷⁾、すなわち

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_F}$$

や江藤博士の式⁸⁾ $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_L} + \frac{1}{R_F} - \frac{1}{R_L + R_F}$

などの式があるが、たゞフィルムとレンズの二種の場合にすぎないし、それでも測定値と一致しない。また最近ではレスポンス函数による解析⁹⁾¹⁰⁾も試みられているが、漸く緒についたばかりである。とくに本論文の様に多くの因子があり、しかもそれぞれの解像力が本質的に異なる機構から生

ずる場合、総合解像力を論することは極めて難しい。

しかし現実に撮影されたシネ・フィルムの解像力は融光増倍管の解像力以下である。それは融光増倍管の解像力に大きく左右され、しかもさらに観察光学系、シネ・レンズ、シネ・カメラ・フィルム機構、シネ・フィルムなどの解像力のために低下すると思われる。そのうち観察光学系、シネ・カメラのフィルム送り機構の影響が比較的大きいと思われる。融光増倍管の像ができるだけフィルム上に忠実に再現するには、シネ・フィルム、シネ・レンズの解像力も、以上の4因子が互に関係するから、必ずしも満足すべきものとはいえない。まして融光増倍管の解像力が、現在より少しでも良くなればなおさらである。

しかし乍ら“Resolving power is not a well defined physical quality.”と言われるが¹⁰⁾、われわれも解像力のみで、X線映画の細部識別に関する問題は解決するとは思わないが、われわれの一連の実験の意義は否定できぬと思う。

§ 11 結 語

われわれは現在使用中の島津融光増倍管式X線映画撮影装置につき、X線映画の総合解像力および、それに影響を及ぼす因子のうち、X線映画用16mmフィルム、シネ・レンズ、シネ・カメラ、観察融光面附属光学系について、それぞれ解像力の測定を行ない、たがいの関係につき考察した。その結果、融光増倍管の解像力が最も悪い。かつその解像力をフィルム上に再現するには、総合解像力に影響する上記のそれぞれの因子の解像力は、単独ではなくすべて同時に組合わされるときに十分と言い難い。しかも単独の解像力においても、融光増倍管の解像力に近いものがその一部の要素及びその像面の周辺において存在するからなおさらである。

われわれは融光増倍管の改善、およびその解像力をできるだけ低下させないでフィルム上に再現させるために、シネ・フィルム、シネ・レンズ、シネ・カメラ、観察光学系の各要素の解像力の改善などが、相互の関連において早急になされることが望む。

(附記) 本論文の要旨は日本放射線学会関東部会第119回に発表した。測定実験に大変御協力戴き、かつ御指導、御校閲を賜った本学理学部小穴純教授、ならびに教室主任宮川正教授に心から感謝しています。なお本研究は昭和34年、35年度文部省科学研究費の助成をうけた。

参考文献

- 1) 田坂皓、竹中栄一、木暮喬：X線映画撮影法、医学のあゆみ、30巻：642頁、1959。—2) Langmuir: I.U.S. Patent 2,198,479 (April, 23, 1940).—3) Coltman, J.W.: Feroscopic Image Brightening by electronic means. Radiology. Vol. 51 :
- 359, 1948. —4) Teves, M.C., and Tol, T.: Electronic Intensification of Fluoroscopic Images Philips, Tech. Rev. Vol. 14 : 33, 1952—53. —5) 河村文夫：X線映画法の研究、日医放誌、21巻：300頁、1961。—6) 田部貞夫、津田元久、西村憲一、日笠延和：島津X線螢光増倍管装置、島津評論、14巻：313頁、1957。—7) Katz, A.H.: Aerial Photographic Equipments and Applications to Reconnaissance. J.O.S.A. Vol. 38, 604, 1948.
- 9) 江藤秀雄：解像力に関する考察(Ⅱ、Ⅲ) 日医放誌、12巻9号、30頁、昭27。—9) 久保田広：応用光学、岩波全書、1959。—10) G. Toraldo di Francia: Resolving Power and Information. J.O.S.A. Vol. 45 : 497, 1955.