

平成22年 3月31日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18591356  
 研究課題名（和文） イメージングプレートを用いた医用X線管焦点測定法に関する研究  
 研究課題名（英文） Focal-spot measurement technique of diagnostic x-ray tube using imaging plate  
 研究代表者  
 阿部 慎司（ABE SHINJI）  
 茨城県立医療大学・保健医療学部・教授  
 研究者番号：00274978

研究成果の概要（和文）：直接照射X線フィルムとイメージングプレート(IP)を用いた医用X線管焦点測定について比較検討した。その結果、スリットカメラ法では、直接照射X線フィルムを用いた場合に比べ、IPでは小焦点でわずかに大きくなる傾向を示したが、微小焦点ではその傾向が大きく許容差の範囲を超える過大評価となった。スターパターンカメラ法では、その違いはわずかであった。よって、IPを用いた大焦点と小焦点の寸法測定の有用性が示された。

研究成果の概要（英文）：Comparisons of focal-spot size measurements with a direct-exposure X-ray film and an imaging plate (IP) were carried out for the slit and star resolution pattern camera techniques. As a result, compared with the direct-exposure X-ray film method, the measurements with IP were slightly large for large and small focal spots although the measurement of the micro focal-spot size was overestimated extending the tolerance level due to the sampling. For the star pattern camera technique, the differences by two kinds of detectors were little. Therefore, it was thought that the measurement of the focal-spot size with IP would become practical for the large and small focal spots if this method were aimed at the quality control in medical facilities.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	700,000	0	700,000
2007年度	500,000	150,000	650,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	2,200,000	450,000	2,650,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：内科系臨床医学・放射線科学

キーワード：画像診断学・品質管理

## 1. 研究開始当初の背景

近年、放射線診療における度重なる医療事故、さらに多くの自治体での乳がん検診に導入されたマンモグラフィにおける精度管理

の重要性の指摘などにより、国民の放射線診療における品質管理に対する意識が高まり、品質管理の重要性が益々大きくなっている。  
X線管焦点と放射線画像の画質は密接な

関係があり、半陰影、幾何学的不鋭等、放射線写真像の鮮鋭度に影響を与える重要な因子の一つである。よって、診断価値の高い画像を提供する上において、焦点測定は重要な品質管理の一つである。

現在、X線管焦点測定は、JISにより増感紙を用いないで微粒子X線フィルムを使用して計測する方法（直接照射フィルム法）で行なうように定められている。しかし、今日の急速なデジタルイメージングシステムの普及により明室化が進み、さらに、排水・廃液設備を必要としない利点から、現像方式もウェット式からドライ式に移行している。このため、すべての施設でウェット方式の現像設備を設置しているとは限らない。そのような施設においては必ずしもウェット処理を必要とする直接照射フィルム法による測定が行えるとは限らない。よって、イメージングプレート（IP）を用いた焦点測定の手法の確立が望まれる。

## 2. 研究の目的

医用X線装置の品質管理においては、医用画像のデジタル化が進んだ今日においても、X線管焦点測定では直接照射X線フィルムを用いた測定法が日本工業規格（JIS）で定められている。

本研究では、IPを用いた焦点測定法の標準化を目的として、焦点サイズ測定とMTF測定について検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 焦点サイズ測定

焦点測定の対象としたX線発生装置は、単相全波DR-150-1（X線管装置UH-6GE-31T、焦点の呼び 大焦点1.0 mm 小焦点0.6 mm）、単相インバータDHF-155H（X線管装置UH-6GB-11T、焦点の呼び 大焦点1.0 mm 小焦点0.1 mm）、三相12パルスDH-158HM（X線管装置UH-6GC-410T 焦点の呼び 大焦点1.0 mm 小焦点0.65 mm）、三相インバータDHF-155H（X線管装置UH6GE-31T 焦点の呼び 大焦点1.0 mm 小焦点0.6 mm）とした。使用した焦点測定テストスタンドはModel 07-623（VICTOREEN社）である。

#### ①スリット法

スリットカメラModel107-624（10 μm幅、Gammex社）を用いて行った。

#### ①-1 JIS法に基く測定

X線管負荷条件は、管電圧75kV、管電流は管電圧75kVにおいて撮影時間0.1 secとした時の最大許容管電流の1/2、撮影時間はスリット像の濃度が正味濃度で0.8～1.2になるような時間を選択した。

拡大率は、焦点の呼びが0.4 mmより大きく1.0mm以下のものに対しては、スリットフィルム間距離62 cm、焦点ースリット

間距離31 cmの2倍とした。焦点の呼びが0.4 mm以下のものに対しては、スリットフィルム間距離78 cm、焦点ースリット間距離26 cmの3倍とした。

直接照射X線フィルムとして歯科用X線フィルムDIK-10（阪神技術研究所）を用いて、焦点の長さ幅について3枚ずつ撮影した。

撮影したフィルムの現像には、現像液にレンドール（富士写真フィルム）、定着液にレンフィックス（富士写真フィルム）を用い、現像温度24℃、現像30秒、定着5分で行った。

撮影されたスリット像の管軸方向に平行方向（長さ）、垂直方向（幅）について拡大鏡（0.1mm目盛、10倍）を用いて肉眼的に読み取り、拡大率で除して焦点寸法を求めた。

#### ①-2 IPを用いた測定

マンモグラフィ用IP HR-V（富士メディカルシステムズ）を用いた。直接照射X線フィルムと同様にスリット像を撮影した。

撮影したIPはCRシステムFCR9000HQ（富士メディカルシステムズ）を用い、リニア階調、S値200で読み取り、フィルム出力した。出力されたスリット像について直接照射X線フィルムと同様の測定を行い、焦点寸法を求めた。

#### ②スターパターン法

スリット法で測定した4種類のX線発生装置について測定した。使用したフィルムはマンモグラフィ用フィルムUM-MA HC（富士写真フィルム）である。このフィルムの現像処理は、現像液XD-SR（Konica）、定着液XF-SR（Konica）、自動現像機SRX-101

（Konica）を用いて、現像温度30℃、現像時間170秒に設定し、現像を行った。フィルムカセットはEC-MA（富士写真フィルム）を用いた。IPはマンモグラフィ用IP HR-V（富士メディカルシステム）を用い、これをCRシステムFCR9000HQ（富士メディカルシステム）でリニア階調、S値200で読み取りフィルムを出力した。CRで使用したフィルムはCR780-H（富士写真フィルム）である。

スターパターンチャートTYPE6；扇角2°（極光）、Model107-543；扇角1°（VICTOREEN）および07-503；扇角0.5°（VICTOREEN）を用いて以下の手順で行った。

#### ②-1 焦点スターパターン写真の撮影

スターパターンカメラ法によりX線フィルム、IPの2種類の検出器を用いて、各装置の大・小焦点の焦点スターパターン写真の2倍拡大撮影を行った。大焦点（1.0 mm）には扇角2°、小焦点（0.6 mm、0.65 mm）には扇角1°、微小焦点（0.1 mm）には扇

角  $0.5^\circ$  のスターチャートを用いた。一つの条件について、試料は3枚作成をした。各装置における撮影条件はJISに基づき、管電圧は75kV、管電流は試験管電圧における0.1秒の最大許容管電流の50%、撮影時間はデンシトメータPDA-65 (Konica) を用いて、像の最も濃い部分が、露光されない部分の濃度に対して、0.8~1.2大きい濃度になるように設定した。

### ②-2 焦点寸法の測定

JISに基づき、撮影した焦点スターパターン写真についてX線管焦点の幅方向(管軸と垂直方向:短軸方向)と長さ方向(管軸と平行方向:長軸方向)について第一解像限界間  $D$  を肉眼により測定し、焦点サイズ  $F$  を次式から求めた。

$$F = \frac{\pi D \theta}{180^\circ (M-1)} \quad (1)$$

ここで、 $\theta$  は扇角(ラジアン単位)、 $M$  は拡大率を表す。

### ③簡便法

本研究では、図1に示すように、焦点サイズテストツール Model 112B (RMI) を使用した。円筒形プラスチック容器の上部中心に、12対の互いに直角な三本の線からなるテストチャートがマウントされている。焦点の寸法や形状に応じて、撮影されたテストチャートのX線画像は3本の平行線を解像できず偽解像を生じる。このテストチャートを撮影し、そのX線画像で解像された最小の線のグループから、表1に示す焦点寸法表から焦点サイズを推定する。ただし、この方法では、スターパターンチャートと異なり、チャートの周波数が離散的であるため、1ステップ分の誤差が生じる可能性があることに留意する必要がある。



図1 焦点サイズテストツール Model 112B (RMI)

直接露光フィルムを用いた測定ではマンモグラフィ用X線フィルム(Kodak MIN-R2000)、IPを用いた測定では、マンモグラフィ用IP HR-V(富士メディカルシステムズ社)で撮影し、CRシステムFCR9000HQ(富士メディカルシステムズ社)を用いて読み取り(S=200, リニア階調)とフィルム出力を行った。また、S/F系ではMIN-R2000システム(Kodak)を用いた。撮影はJISのスリット法に従って、管電圧と管電流を設定して行った。

大焦点の場合は、撮影台にカセットを置いて、その上にテストツールを乗せ、X線焦点とテストチャート間距離を46cm、テストチャート-フィルム間距離を15.5cmに設定し、SID61.5cm、拡大率4/3で撮影した。小焦点の場合は、撮影台の下にテストチャート-フィルム間距離が34.5cmとなるようスペーサを置いた。X線管焦点-テストチャート間は46cmに設定し、SIDは80.5cm、拡大率7/4で撮影した。

表1 焦点寸法表

テストフィルム上ではっきり見える最も小さい線のグループの番号	そのグループの線の間隔 (lp/mm)	焦点寸法(mm)	
		4/3	7/4
1	0.84	4.3	2.6
2	1	3.7	2.1
3	1.19	3.1	1.8
4	1.41	2.6	1.5
5	1.68	2.2	1.3
6	2	1.8	1.1
7	2.38	1.5	0.9
8	2.83	1.3	0.8
9	3.36	1.1	0.6
10	4	0.9	0.5
11	4.78	0.8	0.5
12	5.66	0.7	0.4

撮影条件は、焦点像の最も濃い部分が、ベース濃度よりも0.8~1.2大きい濃度になるように、X線フィルムおよびIPで撮影を行った。試料はそれぞれ3組ずつ作成した。ただし、IPについては、管軸方向に対して主走作方向が平行および直交するように配置して撮影した。

フィルムを現像処理後、拡大鏡により観察した。テストフィルム上ではっきり見える最も小さい線(反転する直前)のグルー

プを読み取り、表1より焦点寸法を求めた。

#### ④IPの違いによる測定値への影響

解像力とサンプリング間隔の異なる2種類のIPについて、スリット法におけるIPの違いによる測定値への影響を検討した。

焦点測定の対象としたX線発生装置は、日立メディコ社製の三相12パルスインバータ式DHF-155H(X線管装置UH-6GE-3IT、焦点の呼び:大焦点1.0mm、小焦点0.6mm)である。

直接照射フィルム法では、マンモグラフィ用フィルムMIN-R 2000(Kodak)を使用した。現像処理は、自動現像機(SRX-101(Konica))を現像温度30°C、現像処理時間170secで、現像処理を行った。現像液はXD-SR(Konica)、定着液はXF-SR(Konica)を使用した。

CRシステム法では、サンプリング間隔が50 $\mu$ mで、両面集光方式のマンモグラフィ用IP ST-BD、カセット IP CASSETTE D 18 $\times$ 24 cm(富士フィルムメディカルシステム)と、サンプリング間隔が100 $\mu$ mで、片面集光方式のIP ST-VI、カセット type CC 20.1 $\times$ 25.2 cm(富士フィルムメディカルシステム)を用いた。これらをCRシステムFCR PROTECT CS(富士メディカルシステム)でリニア階調、S値200で読み取り、DRY PIX4000(富士メディカルシステム)でフィルムを出力した。

直接照射フィルム法では、X線管負荷条件と撮影条件は、JISに基づいて設定し、スリット像の濃度が、正味濃度で0.8~1.2なるように撮影した。拡大率は、大焦点、小焦点ともに2倍(スリット-フィルム間距離60cm、焦点-スリット間距離30cm)で撮影した。

CRシステム法では、X線管負荷条件と撮影条件は、直接照射フィルム法と同様に設定した。どちらのIPも、拡大率は、大焦点、小焦点ともに2倍(スリット-フィルム間距離60cm、焦点-スリット間距離30cm)で撮影した。また、走査方法による違いを見るため、主走査と副走査について撮影した。

#### (2)焦点MTF測定

使用したフィルムは歯科用X線フィルムDIK-10(阪神技術研究所)を用いた。このフィルムの現像にあたっては、現像液レンドール(富士写真フィルム)、定着液レンドフィックス(富士写真フィルム)を用いて、現像温度20°C、現像時間30秒、定着温度20°C、定着時間5分の条件で、手現像した。IPはマンモグラフィ用IP HR-V(富士メディカルシステムズ)を用いた。CRはCRシステムFCR 9000 HQ(富士メディカルシステムズ)を用い、取り込みモードはFIXモードを用い、リニア階調、S値(感度の指

標)200、100 $\mu$ mピッチで読み取り、拡大率100%でフィルム出力した。CRで使用したフィルムはCR780-H(富士写真フィルム)である。X線発生装置はDHF-158HM(X線管装置UH-6GC-410T 焦点の呼び 大焦点 1.0mm 小焦点 0.65mm 日立メディコ)を用いた。

#### ①フィルムの特性曲線の測定

フィルム、現像液、定着液、IP及びIP読取装置は方法1と同じものを用い、同じ条件で現像および読み取りを行った。X線発生装置は三相12パルスDHF-155HA(日立メディコ)を用いた。平行光濃度の測定はマイクロデンストメータModel-2405(阿部設計)を用いた。管電圧75kV、管電流100mAで、距離法によりX線強度を変化させて撮影を行うことで作成した。なお、撮影時間は0.2secでFFDを56.5cmから448.8cmに変化させ、相対露光量の対数比を0.2間隔で測定した。現像した試料より特性曲線を描いた。

#### ②IPの特性曲線の測定

管電圧60kV、管電流100mA、撮影時間1.0msecで時間スケール法を用い測定をした。なお、このとき、Pixel Valueを読み出す条件として、各照射面積の中心部のPixel Valueを平均したものとした。読み取ったデータより特性曲線を描いた。

#### ③MTF測定

MTFの測定には、スリットカメラ(スリット幅10 $\mu$ m)(ガメックス)、ピンホールカメラ(30 $\mu$ m $\phi$ )(ミック)を用いた。IPでは、ピンホールカメラ法と、スリットカメラ法を用い、X線フィルムではスリットカメラ法を用いて、焦点像を撮影した。ただし、スリットカメラ法ではX線管軸の長軸方向、短軸方向の2方向について撮影を行った。また、IPは常に主走査方向を管軸と平行になるように配置した。スリットカメラ法により得られたデータを処理する際には、スリット像の中心部の5Pixels(500 $\mu$ m幅)の範囲のデータからMTFを求めた。

#### ③-1 プリサンプリングMTF

IPのプリサンプリングMTFの測定には、合成LSF(Line Spread Function)法を用いた。管電圧60kV、管電流100mA、撮影時間0.8sec、8回露光、FFD200cmの条件で撮影した。LSF(Line Spread Function)を合成して、実効的なサンプリング間隔が細くなった1本のLSFを得るためにスリットはIPに対して、1.33°(Pixel Valueから算出)傾けるように配置した。得られたデータを求めた特性曲線を用いて露光量変換を行い、LSFを算出し、フーリエ変換することで副走査方向のプリサンプリングMTFを求めた。

### ③-2 ピンホールカメラ法

管電圧 75 kV、管電流 200 mA、撮影時間 0.4 sec、焦点—ピンホール間距離 30 cm、ピンホール—IP 間距離 60 cm で 2 倍拡大撮影した IP を読み取った。次に、求めた特性曲線を用いて露光量変換を行い、フーリエ変換を行った後、プリサンプリング MTF で除して同じ条件で撮影した 3 つのデータを平均して MTF を求めた。

### ③-3 スリットカメラ法

管電圧 75 kV、管電流 320 mA、撮影時間 0.5 sec、2 回露光、焦点—スリット間距離 33.3 cm、スリット—フィルム間距離 43.3 cm で 1.3 倍拡大撮影した X 線フィルムを現像し、スリット長 500  $\mu\text{m}$ 、スリット幅 10  $\mu\text{m}$  で走査し濃度分布を求めた。これを方法 2-(2) で求めた特性曲線を用いて露光量変換を行い、フーリエ変換することで長軸、短軸方向それぞれの MTF を 3 つのデータを平均して求めた。

また、IP の場合は、管電圧 75 kV、管電流 500 mA、撮影時間 0.8 sec、焦点—スリット間距離 33.3 cm、スリット—IP 間距離 43.3 cm で 1.3 倍拡大撮影した IP を読み取り、焦点像の長軸方向、短軸方向の MTF を 3 つのデータを平均して求めた。

## 4. 研究成果

### (1) 結果

#### ①スリット法

直接照射 X 線フィルム、IP で撮影したスリット像の一例を図 2 に示す。管軸方向に平行方向（長さ）、垂直方向（幅）に関して肉眼的に測定した結果を表 2 に示す。直接照射 X 線フィルム、IP で焦点寸法の測定結果に大きな違いは見られなかった。

#### ②スターパターン法

撮影した焦点スターパターン写真を図 3 に示す。得られた焦点スターパターン像から、短軸方向の第一解像限界間の直径と長軸方向の第一解像限界間の直径を測定し、式 (4) を用いて焦点寸法を求めた結果を表 3 に示す。表 1 から肉眼的な測定の為、わずかな違いはあるが、2 種類の検出器で比較しても大きな違いは見られなかった。微小焦点 (0.1mm) ははずんだ部分が検出されなかったため測定はできなかった。

#### ③簡便法

図 4 に、得られたテストチャートの画像を示す。簡便法による X 線管焦点サイズの測定結果を表 4 にそれぞれ示す。焦点サイズの測定値には、IP と X 線フィルムとの間で違いが見られなかった。また、単相インバータ装置の微小焦点では、すべてのパターンが観察でき、偽解像が生じなかった。

#### ④IP の違いによる測定値への影響

測定結果を表 5 に示す。IP の違いによる影響はみられない。ただし、直接照射フィルム法と CR システム法を比べると、CR システムで得られた値のほうが若干大きくなる傾向が見られた。

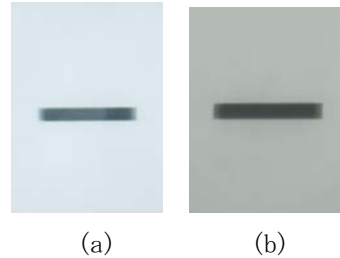


図 2 スリット方向が管軸に垂直であるときのスリット像（三相 12 パルス、大焦点）(a)直接照射 X 線フィルム、(b) IP

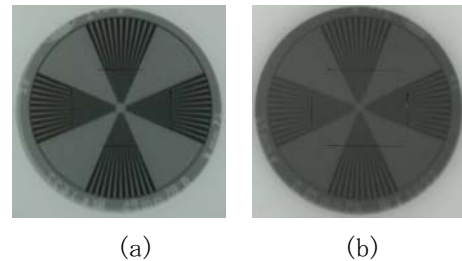


図 3 スターパターンカメラ法で得られた焦点スターパターン写真（三相インバータ整流方式 X 線装置）。(a) X 線フィルム、(b) IP。

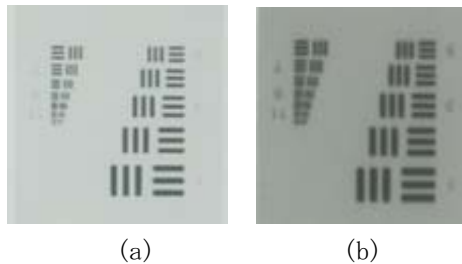


図 4 テストチャートの X 線写真。(a) X 線フィルム、(b) IP。

表2 JIS法とIP法による焦点寸法の測定結果（スリットカメラ法）

装置	焦点の呼び[mm]	JIS法 [mm]	IP法 [mm]	
単相全波	1	幅	1.6	1.6
		長さ	1.9	2
	0.6	幅	0.7	0.88
		長さ	1.2	1.3
単相インバータ	1	幅	1.4	1.5
		長さ	1.9	1.9
	0.1	幅	0.11	0.22
		長さ	0.27	0.4
三相12ハルス	1	幅	1.1	1.3
		長さ	1.6	1.6
	0.65	幅	0.9	0.98
		長さ	1.1	1.2
三相インバータ	1	幅	1.3	1.4
		長さ	1.9	1.9
	0.6	幅	0.7	0.93
		長さ	1.1	1.2

表3 JIS法とIP法による焦点寸法の測定結果（スターパターン法）

装置	焦点の呼び[mm]	JIS法 [mm]	IP法 [mm]	
単相全波	1	幅	1.3	1.3
		長さ	1.7	1.6
	0.6	幅	0.79	0.81
		長さ	0.96	0.96
単相インバータ	1	幅	1.3	1.3
		長さ	1.6	1.5
	0.1	幅	-	-
		長さ	-	-
三相12ハルス	1	幅	1.2	1.2
		長さ	1.3	1.3
	0.65	幅	0.9	0.92
		長さ	0.96	0.96
三相インバータ	1	幅	1.3	1.3
		長さ	1.7	1.6
	0.6	幅	0.63	0.64
		長さ	0.89	0.9

表4 フィルム法とIP法による焦点寸法の測定結果（簡便法）

装置	焦点の呼び[mm]	フィルム法[mm]	IP法 [mm]	
単相全波	1	幅	1.5	1.5
		長さ	1.8	1.8
	0.6	幅	0.9	0.9
		長さ	1.1	1.1
単相インバータ	1	幅	1.5	1.5
		長さ	1.8	1.8
	0.1	幅	-	-
		長さ	-	-
三相12ハルス	1	幅	1.3	1.3
		長さ	1.5	1.5
	0.65	幅	1.1	1.1
		長さ	1.1	1.1
三相インバータ	1	幅	1.5	1.5
		長さ	1.8	1.8
	0.6	幅	0.8	0.8
		長さ	1.1	1.1

表5 直接露光フィルムとIPを用いた測定結果（スリット法）

焦点の呼び (mm)	直接照射フィルム (mm)	ST-BD (mm)		ST-VI (mm)	
		主走査	副走査	主走査	副走査
1.0	幅	1.3	1.5	1.5	1.5
	長さ	2.0	2.1	2.0	2.1
0.6	幅	0.7	1.1	1.1	1.0
	長さ	1.2	1.3	1.3	1.3

⑤焦点MTF測定

図5にIPの特性曲線を、図6にX線フィルムの特性曲線をそれぞれ示す。IPの特性曲線は横軸にIPへ入射した相対X線量を取り、縦軸にPixel Valueをプロットした。X線フィルムの特性曲線は横軸に相対露光量比、縦軸にフィルム濃度をプロットした。図5から、測定を行った線量域でIPの線量とPixel Valueの関係は指数関数的に直線関係があることが分かる。図7にプリサンプリングMTFを示す。IPは微粒子X線フィルムに比べ解像力が低く、ボケを生じるため、焦点像の評価を行う際にはIP自身のMTFで全体のMTFを

割らなければならない。図8と図9にピンホールカメラ法とスリットカメラ法により求めた大焦点 MTF の比較のグラフを示す。3つの測定法において大焦点の MTF は長軸方向、短軸方向ともにフィルム法で求めた MTF とほぼ同程度の結果が得られた。

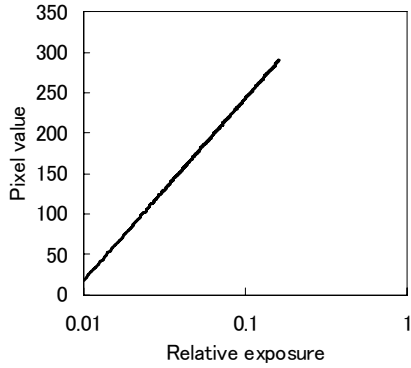


図5 IPの特性曲線

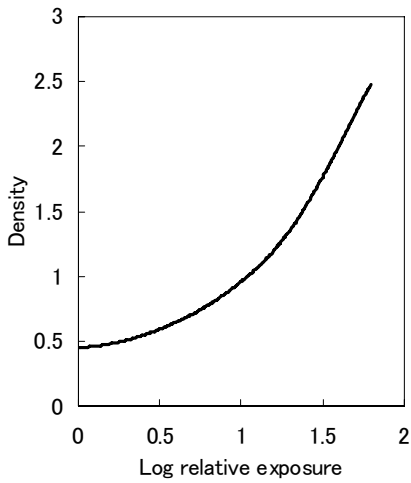


図6 X線フィルムの特性曲線

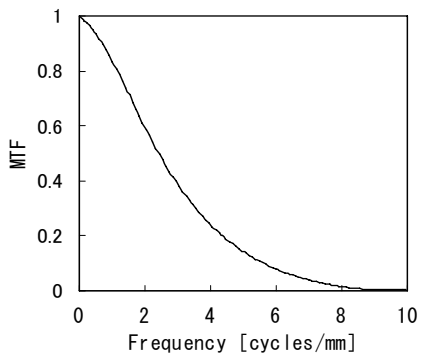
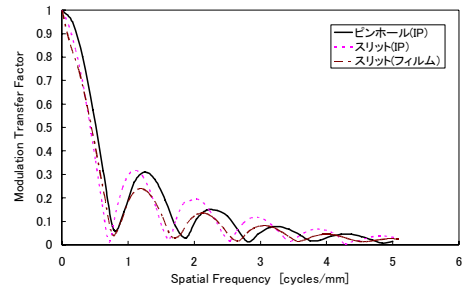
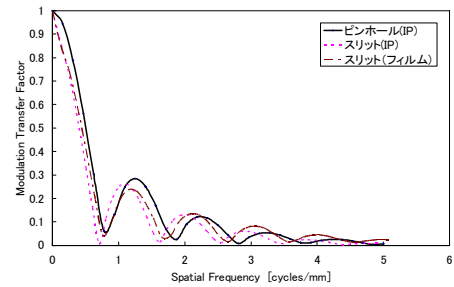


図7 プリサンプリング MTF

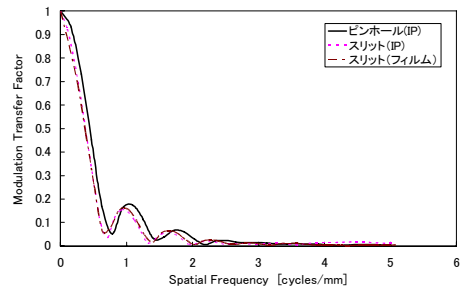


(a)

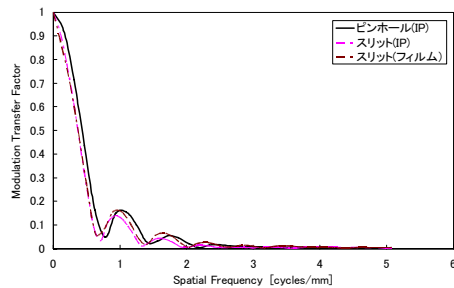


(b)

図8 大焦点短軸方向のピンホールカメラ法、スリットカメラ法による MTF の比較。(a)MTF 補正あり、(b)MTF 補正なし。



(a)



(b)

図9 大焦点短軸方向のピンホールカメラ法、スリットカメラ法による MTF の比較。(a)MTF 補正あり、(b)MTF 補正なし。



## (2) 考察

表2からわかるように、直接照射X線フィルムに比べて、IPではわずかに大きな焦点寸法が測定されたが、大きな差は見られなかった。このことは、スリット法を用いたX線管焦点寸法の測定において、IPを用いることは有用であることを示している。IPの読み取りに用いたリニア階調は直接照射X線フィルムの特性曲線に似ているため、スリット像辺縁部にすそを同程度に生じる。そのため、直接照射フィルムで測定した焦点寸法とIPで測定した焦点寸法とは近い値となる。ただし、IPの方が、ボケが大きいと若干大きな値となったと考えられる。

表3からわかるように、直接照射X線フィルムとIPで得られた結果に大きな違いは見られなかった。このことから、スターパターンカメラ法ではデジタル化の影響が測定結果に影響せず、IPを用いたスターパターンカメラ法によるX線管焦点の測定は有用だといえる。微小焦点(0.1mm)でははずんだ部分が検出されなかった。これは、大焦点と小焦点は矩形に近いことに対し、微小焦点ではガウス分布型に近い。ガウス関数のフーリエ変換は漸近的にゼロに近づいていくために、第一解像限界が現れない。したがって、焦点スターパターン像にははずんだ部分が現れない。このような場合には、スターパターンカメラ法を用いることはできない。

IPの焦点スターパターン写真は、X線フィルムやS/Fに比べてスリット-格子間の濃度差が小さかったため、はずんだ部分が読み取りにくかった。これは、IPをリニア階調で出力したため、コントラストがつきにくいと考えられる。このため、今後はIPでの適切な出力条件を検討する必要がある。

簡便法では、表4から分かるように、焦点寸法にはX線フィルムとIPで差は見られなかった。これは、IPではボケが見られたものの偽解像の生じ方には影響を与えなかったため、焦点寸法には違いが表れなかったと考えられる。またIPの配置の違いによる差も見られなかった。このことは、簡便法において、X線管焦点の測定においてIPを用いることは有用であることを示している。

微小焦点については、スターパターン法と同様に測定することが出来なかった。今後、適切な拡大率に設定した測定の検討が必要である。よって、X線管焦点の厳密な測定はJISなどによる方法によらなければならないが、簡便法はテストチャートより、焦点サイズを容易に推定できるため、長期にわたる継続的な管理には非常に有効である。

サンプリング間隔の異なる2種類のIPについては、ほとんど違いが見られなかった。しかし、サンプリング間隔が100 $\mu$ mのIPに、微小焦点(0.1mm)で大きな過大評価に

なるという報告もされており、サンプリング間隔やプレサンプリングMTFの異なる場合、微小焦点での測定値に与える影響について検討する必要がある。

フィルム法による焦点のMTF測定ではX線強度分布を得る目的でスリットカメラ法を用いるために、長軸方向、短軸方向の2方向での撮影を必要とする。これに対して、CRシステムによる焦点MTF測定では、2次元でのX線強度分布を直接得られるのでピンホールカメラ法により撮影することで長軸方向、短軸方向のデータを得られる。これを2方向についてそれぞれ積分し、フーリエ変換を行うことで一度の撮影で2方向のMTFを求めることができる。また、IPは現像処理を必要とせず、デジタルデータで処理できるため簡便で、現像過程で生じていた不確定要素を排除でき、一定条件でのデータ収集が可能である。ただし、微粒子X線フィルムは、撮影される周波数域でのMTFはほぼ1であるのに対して、IPは、フィルムと比べMTFが劣る。このことから、IPに撮影した像はボケを生じてしまう。真のMTFを求めるためには焦点像を撮影して得られたMTFのボケ補正をしなければならない。この際に、CR読取装置は、主走査方向では像が流れてしまうことが知られている。このことから、走査方向の違いによるMTFへの影響についての検討が必要である。プリサンプリングMTFによる補正の結果は、図8-(b)、図9-(b)からも分かるように、MTF補正をすることで、フィルム法による測定値に近づいている。このことは、長軸方向において顕著に現れたが、短軸方向では、多少のずれが見られた。ボケ補正の過程における誤差を小さくするために、高分解能のIPを使用する必要がある。

以上のことから、IPを用いたX線管焦点の測定は臨床上有用であることが示唆される。しかし、使用した線量域ではIPの特性曲線は直線であるが、低線量域、高線量域では直線性が失われることが知られている。また、読み取り条件、走査方向によっても特性曲線が変化することも知られている。そこで、これらの因子に関して、検討することが必要である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 畑中星吾、藤崎達也、阿部慎司、明上山温、藤田幸男、宮下久之、齋藤秀敏、リニアアクターゲット面における光子の空間的強度分布の測定、医学物理、査読無、2009; 29 [Sup.2]: 236-237
- ② 畑中星吾、藤崎達也、阿部慎司、明上山温、藤田幸男、宮下久之、齋藤秀敏、タ



ターゲット入射電子の空間的強度分布の測定、日本放射線腫瘍学会誌、査読無、2008；20[Suppl 1]：167

- ③ 畑中星吾、齋藤秀敏、藤崎達也、阿部慎司、明上山温、齋藤公明、リニアックのX線焦点サイズおよび形状の測定  
医学物理、査読無、2007；27 [Suppl.4]：59-61
- ④ 阿部慎司、宮田幸枝、加藤那美、藤崎達也、西村克之、門間正彦、齋藤秀敏、望月安雄、山口弘次郎、IPを用いた簡便法による診断用X線管焦点サイズ測定、医学物理、査読無、2007；27 [Suppl.4]：141-142
- ⑤ 阿部慎司、岸辺秀昭、藤崎達也、西村克之、齋藤秀敏、望月安雄、山口弘次郎、イメージングプレートを用いたピンホール法によるX線管焦点のMTF測定、医学物理、査読無、2006；26 [Suppl.3]：169-170

〔学会発表〕（計1件）

- ① 畑中星吾、リニアックターゲット面における光子の空間的強度分布の測定、日本放射線腫瘍学会第20回学術大会、2007年12月、福岡

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

阿部 慎司 (ABE SHINJI)  
茨城県立医療大学・保健医療学部・教授  
研究者番号：00274978

### (2) 研究分担者

西村 克之 (NISHIMURA KATSUYUKI)

茨城県立医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：10129158

藤崎 達也 (FUJISAKI TATSUYA)

茨城県立医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：00285058