

入力面寸法 40 cm の J タイプ X 線イメージインテンシファイア

J-Type X-Ray Image Intensifier of 40 cm Diameter Input Size

塚田 和順
K. Tsukada

斉藤 啓一
K. Saito

野地 隆司
T. Noji

近年の X 線診断分野における画像のデジタル化に対応したより質の高い画像を提供し、かつ広い視野サイズをもつ入力面寸法 40 cm の J タイプ X 線イメージインテンシファイア (以下、I.I.と略記) を開発した。大面積の入力窓に直接入力蛍光面を形成する技術の開発によって、高い量子検出効率特性とコントラスト特性を実現し、優れた識別分解能を備えている。さらに大視野の I.I.の問題点であった外形サイズは、従来の同等視野サイズのものに比べ容積が 16% 減少し、小型化されている。これらの結果は、発展している IVR (Interventional Radiology) などのリアルタイムに画像を判断し、または治療するための X 線診断に有効である。

We have developed a new J-type X-ray image intensifier of 40 cm diameter input size in response to the multipurpose digital X-ray requirements of recent diagnostic systems. The J-type image intensifier incorporates the technique of coupling the input screen and input window. The J-type image intensifier of 40 cm diameter input size has a higher detective quantum efficiency (DQE) and higher contrast characteristics. Moreover, because this image intensifier has smaller dimensions than current types it facilitates handling of equipment.

Adoption of the J-type X-ray image intensifier of 40 cm diameter input size in any diagnostic system will provide wide and sharper images. Further, this system is particularly suitable for application to interventional radiology (IVR).

1 まえがき

X 線 I.I.は、入射した X 線をリアルタイムに可視光に変換する電子管である。I.I.の出力像はフィルムやテレビカメラでの撮影が容易で、医療 X 線診断分野で広く用いられている。

近年、X 線透視画像のデジタル化が進み、DF (Digital Fluoroscopy) や DR (Digital Radiography) などで利用されているように、I.I.の出力像をコンピュータに取り込んでより見やすい画像にすることが可能になっている。さらに、すべての画像情報は I.I.を変換デバイスとして得られるため、I.I.の性能は診断上の画質を左右する非常に重要な要素である。また、X 線診断では頭腹部から下肢にいたる部位の多様な診断に適応するために、診断エリアの広い I.I.が求められている。

今回、入力面寸法が 40 cm の J タイプ I.I. (以下、40 cm 型 J タイプ I.I.と称す) を開発した。J タイプとは、入力窓の内側に直接入力蛍光面を形成する要素技術 (直付入力面と称す) を採用していることを意味する。40 cm 型 J タイプ I.I. は大形状の入力部を直付入力面とすることにより、従来の I.I. (アドバンストスーパーメタル I.I.⁽¹⁾: 以下、従来タイプ I.I.と称す) と比べて量子検出効率とコントラスト特性に優れている。このような特性は被写体の識別分解能の向上に寄与し、最近発展している IVR などの動画像のリアルタイムな診断・治療に優れた性能を発揮できる。また、40 cm 型

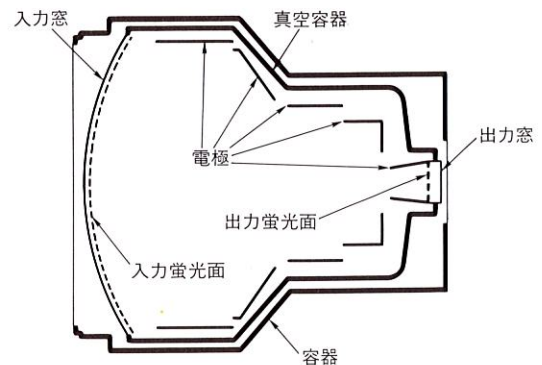


図 1. 40 cm 型 J タイプ I.I.の構造 入力窓に直接入力蛍光面が形成されている。

Structure of J-type X-ray image intensifier of 40 cm diameter input size

J タイプ I.I. は新電子レンズ構造を採用したことにより、入力面寸法の大きな I.I. での問題点であった像ひずみ、輝度一様性の改善が図られている。外形サイズの小型化は、装置の操作性の改善やコンパクト化に貢献できる。

2 40 cm 型 J タイプ I.I.の構造と動作原理

2.1 40 cm 型 J タイプ I.I.の構造

今回開発を行った 40 cm 型 J タイプ I.I.の断面構造の模式図を図 1 に示す。

2.2 I.I.の動作原理

被写体を透過した X 線は I.I.の入力蛍光面に達して光へと変換される。この光は入力蛍光面に接して作られた光電面から電子を放出させる。電子は複数の電極によって形成される電子レンズの作用により加速・集束されて出力蛍光面を蛍光させ、被写体を描出する可視光像を形成する。

3章で各要素の技術について説明する。

3 要素技術

3.1 直付入力面

40 cm 型 J タイプ I.I.の入力蛍光面の面積は 23 cm 型 J タイプ I.I.⁽²⁾と比べると約 3 倍の面積をもっているために技術課題も多い。

入力窓は真空気密を維持し、かつ高い X 線透過率をもつ必要があり、薄板のアルミニウム材を使用している。さらにこの入力窓は、電子レンズ(3.2節)のカソード面としての形状を正確に実現する必要がある。従来に入力窓は大気圧による変形のためにカソード面として使用できなかった。カソード面の形状が変化してしまうと電子の集束状態が変わり解像度の低下を引き起こすためである。入力窓が大気圧によって受ける力はその面積が大きくなるほど強くなる。変形をなくすためには入力窓の厚さを厚くすればよいが、厚くした分だけ X 線の透過率が低下してしまう。

40 cm 型 J タイプ I.I.ではコンピュータを使つての構造解析を実施し、大気圧に対する十分な応力と良好な X 線透過率を備えた入力窓を実現した。従来タイプ I.I.のように入力窓と入力基板の 2 枚構造のものと比較して、X 線が入力面に到達するまでに透過するアルミ厚は 35%薄くなり、量子検出効率(DQE: Detective Quantum Efficiency)が向上した。また、入力窓と入力基板を一体化できたことにより、入力窓での散乱線が入力面に入射することが少なくなり、従来タイプ I.I.に比べ優れたコントラスト特性を得ることができた。

入力蛍光面は微細な柱状結晶構造をしたヨウ化セシウム(CsI) 蛍光体層である。この柱状結晶構造にはファイバのように光散乱を抑制して光を伝達する作用があるため、良好な変調度伝達関数(MTF: Modulation Transfer Function)をもっている。入力蛍光面を厚くすることにより X 線の吸収率が高まり入射 X 線の微弱な情報をも有効に利用することができるので、画像の検出能力が改善される。

40 cm 型 J タイプ I.I.では、独立性の良い柱状結晶構造の CsI 蒸着層を大面積の入力窓にほぼ均一な厚さで形成することに成功し、高い MTF と同時に高い X 線変換効率を実現している。

3.2 電子レンズ

I.I.で使用されている電子レンズは電界集束型のもので、

I.I.内部に設けられた陰極(カソード)、集束電極、陽極(アノード)により静電界が形成されている。カソードから放出された電子は、この静電界により加速されて出力蛍光面でフォーカスして画像を形成する。凸面のカソードから放出された電子を、いかに均一に平面の出力蛍光面上にフォーカスさせるかが電子レンズ設計のポイントである。このフォーカス点のずれを少なくすることは、解像度の一様性の改善になる。40 cm 型 J タイプ I.I.の開発では、コンピュータを用いたシミュレーション技術の改良を行って電子レンズの設計精度を向上させている。

40 cm 型 J タイプ I.I.は、アノード、カソード、および四つの集束電極で構成する電子レンズを使用している。図 2 に電子軌道計算の例を示す。

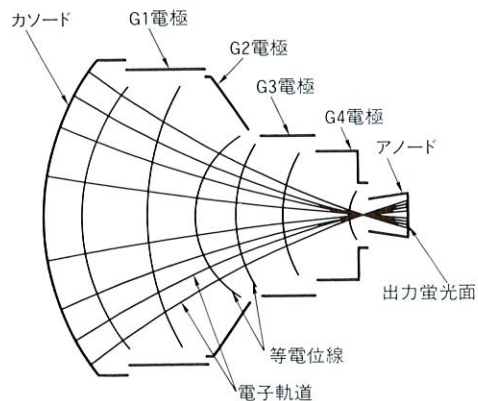


図 2. 電子軌道計算結果 カソードから放出された電子が出力蛍光面に到達する。

Calculation of electron beam orbits

電子レンズは I.I.の像ひずみ性能を決定する重要な要素である。像ひずみが良いということは、診断部位の形状や位置を正確に把握すること、および出力される輝度の一様性を改善するという利点がある。I.I.のもつ像ひずみは、視野範囲の周辺部に行くに従って割合が大きくなるのが特徴である。

像ひずみは入力面の形状に起因する部分と、電子レンズの性能に起因する部分の二つの成分に分けることができる。I.I.の X 線入射面の中心部の拡大率(出力像寸法/入力像寸法)を 1 としたとき、周辺部における二つの成分の拡大率の値を示したのが図 3 である。入力面の拡大率は、入力面形状が凸型をしているため周辺に行くに従って拡大率が大きくなる。すなわち、像ひずみが大きくなっていく。一方、電子レンズの拡大率は 1 以下であり、周辺部に行くに従って像が縮んでいくことを示している。このことは、電子レンズが周辺に行くにつれて入力面の像ひずみを改善していくことを表す。40 cm 型 J タイプ I.I.の入力面の像ひずみは

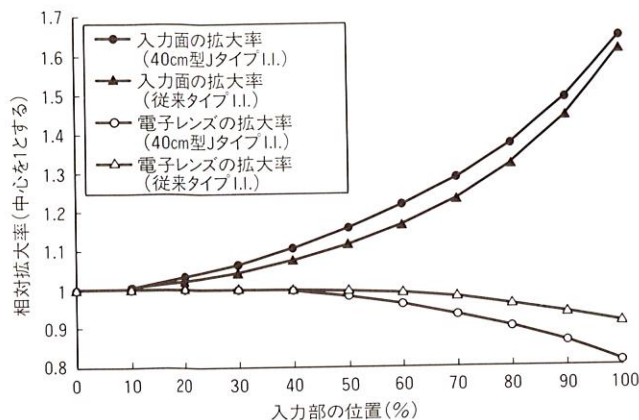


図3. I.I.の画像ひずみ 40 cm 型 J タイプ I.I.は、電子レンズにおけるひずみ改善効果が大きい。

Distortion of electron lens and input screen

ほぼ従来タイプ I.I.と同程度であるが、電子レンズの像ひずみが従来タイプ I.I.より改善されており最終的な像ひずみが良くなっている。このことには周辺部の電子密度分布も改善し、輝度の一様性向上に寄与する。輝度の一様性が良くなることは、従来暗くて利用できなかった周辺部の画像の観察も可能になることであり、視野を有効に利用することに役立つ。

3.3 出力蛍光面

40 cm 型 J タイプ I.I.の出力像の直径は 30 mm である。この小さな領域に画像情報を表示するため、出力蛍光面は固定ノイズが少なく、高い MTF 特性を有する必要がある。出力蛍光面の材料は硫化亜鉛系の化合物(分光感度:P 20 相当)で、1~2 μm の細かい粒子からなり、厚さは 4~8 μm である。

40 cm 型 J タイプ I.I.では図 4 に示すように、粒子の粒状性・緻(ち)密性に優れた蛍光面を採用することにより、構

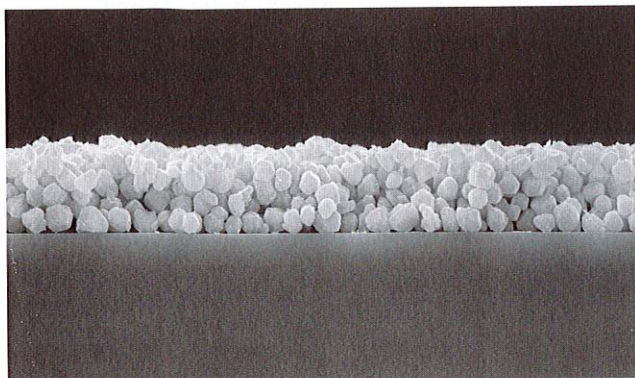


図4. 出力蛍光面の断面の電子顕微鏡写真 粒状性・緻密性に優れた出力蛍光面である。

SEM photographs of output phosphor screen

造ノイズが少なく、発光効率の優れた性能を実現している。

4 40 cm 型 J タイプ I.I.の性能

40 cm 型 J タイプ I.I.の諸特性を従来タイプ I.I.と比較して表 1 に示す。そして以下に主要な性能の特長について述べる。

表1. 40 cm 型 J タイプ I.I.の主要特性

Characteristics of J-type X-ray image intensifier of 40 cm diameter input size

	単位	40 cm 型 J タイプ I.I.	従来タイプ I.I.
入力面寸法	mm	400/310/230/170	400/310/230/170
出力像寸法	mm	30	30
中心解像度	Lp/cm	40/46/50/58	40/46/50/58
変換係数	$\frac{\text{cd/m}^2}{\mu\text{C/kg}\cdot\text{s}}$	1,550	1,550
10 %面積コントラスト比	—	30	25
10 mm直径コントラスト比	—	20	15
微分像ひずみ	%	28	35
DQE (IEC1262-5 による)	%	65	60
全長	mm	515	557
最大径	mm	460	480
質量	kg	38	48

Lp: Line pair

4.1 コントラスト特性

コントラスト特性は I.I.の中心に試験片(鉛円板)を置いて測定する。鉛円板の径を変化させたときのコントラスト特性を図 5 に示す。このときの計算式は次式を用いた。

$$\text{コントラスト}(\%) = \frac{(B-A)}{B} \times 100 \quad (1)$$

A: 試験片を置いたときの出力輝度

B: 試験片を置かないときの出力輝度

この式では数値が大きいほどコントラスト特性が優れていることを表す。測定に用いた X 線管電圧は 50 kV (フィル

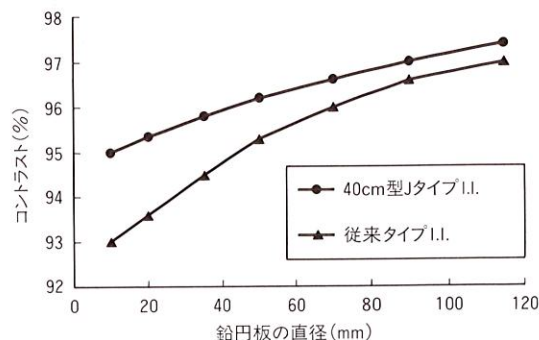


図5. 鉛円板に対するコントラスト特性 40 cm 型 J タイプ I.I.は、特に鉛円板の小さい部分で従来より優れている。

Contrast characteristics

タなし)である。40 cm 型 J タイプ I.I.のコントラスト特性は従来タイプ I.I.に比べ優れており、特に鉛径が小さいほどその差は顕著である。このために微細な診断部位の識別能が向上する。

4.2 量子ノイズ特性

40 cm 型 J タイプ I.I.の出力像を走査線 500 本相当のテレビカメラで取り込み、その信号レベル S とノイズレベル N の二乗平均値 (RMS) から量子ノイズ特性を評価した結果を図 6 に示す。測定に用いた X 線の線質は、X 線管電圧 50, 60, 70 kV で付加フィルタがない場合である。

いずれの場合でも 40 cm 型 J タイプ I.I.は従来タイプ I.I.より優れた量子ノイズ特性を示している。このことは、従来ノイズに埋もれて見えにくかった低コントラストの物体の識別に有効である。

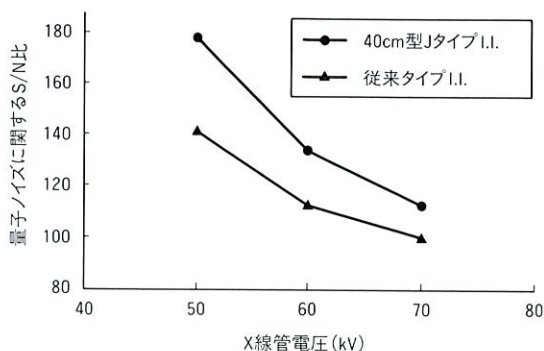


図 6. 量子ノイズ特性 40 cm 型 J タイプ I.I.は、従来タイプ I.I.に比べて量子ノイズ特性が優れている。

Quantum noise characteristics

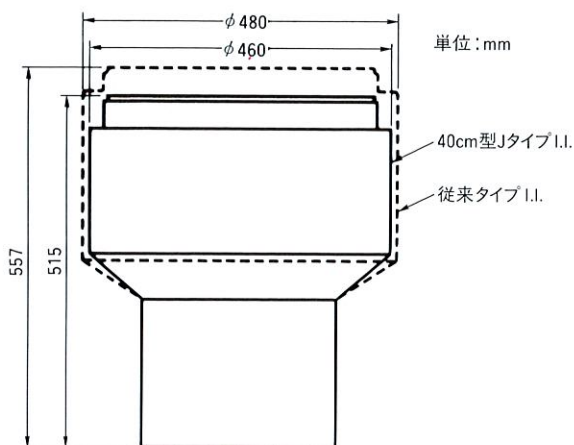


図 7. 製品外形図 40 cm 型 J タイプ I.I.は、従来タイプ I.I.よりコンパクトである。

Outline of J-type X-ray image intensifier of 40 cm diameter input size

4.3 外形寸法

外形寸法を図 7 に示す。

40 cm 型 J タイプ I.I.は従来タイプ I.I.より全長が 42 mm、最大径が 20 mm 短くなった。また、質量は約 38 kg と従来タイプ I.I.より約 10 kg 軽量となり、診断装置の操作性の改善やコンパクト化に貢献できるものである。

5 あとがき

40 cm 型 J タイプ I.I.は大形状の入力窓に直接入力蛍光面を形成する技術と、新電子レンズ構造を採用して開発した。その結果、コントラスト特性と量子ノイズ特性を向上させることができ、また外形サイズは従来タイプ I.I.に比べて小型化と軽量化が図られた。

循環器診断分野で 40 cm 型 J タイプ I.I.は、腹部や下肢部などの血管を広い範囲で観察ができる。さらに視野サイズの変更による局所拡大も可能で、汎(はん)用性も高い。また、優れた識別分解能特性をもっているため、従来タイプ I.I.では見えにくかった細い血管やより細いガイドワイヤなどの識別に有効である。このような性能の改良は近年の画像のデジタル化や多目的診断に対応した質の良い画像を提供できるものであり、今後さまざまな診断・治療への応用が期待できる。

文 献

- (1) 河村重治, 他: アドバンスド・スーパーメタル I.I., 東芝レビュー, 45, 9, pp.751-754 (1990)
- (2) 斉藤啓一, 他: J タイプ X 線イメージインテンシファイア, 東芝レビュー, 50, 10, pp.791-794 (1995)



塚田 和順 Kazunori Tsukada

東芝電子エンジニアリング(株).
X 線イメージ管の開発設計に従事。
Toshiba Electronic Engineering Corporation



斉藤 啓一 Keiichi Saito, D.Eng.

電子デバイス事業部イメージ管技術部主務, 工博。
X 線イメージ管の開発設計に従事。日本放射線技術学会会員。
Electron Tubes & Devices Div.



野地 隆司 Takashi Noji

電子デバイス事業部イメージ管技術部グループ長。
X 線イメージ管の開発に従事。日本放射線技術学会会員。
Electron Tubes & Devices Div.