

CsBr 蛍光体を用いた蒸着型 CR プレートの開発

Development of Vapor Deposition Type CR Plate Using CsBr Phosphor

本田 哲*
Honda, Satoshi

柳多貴文*
Yanagita, Takafumi

笠井恵民*
Kasai, Shigetami

中野 寧*
Nakano, Yasushi

要旨

臭化セシウム（以下CsBr）蛍光体を用いた蒸着型のCR（Computed Radiography）プレートを開発した。

輝尽性蛍光体としてCsBrを新たに採用し、それを耐熱性基板上に真空蒸着法にて均一に成膜させ、さらに表面に保護層を設けることにより17インチサイズのCRプレートとして形成した（Fig. 1）。

CsBr蛍光体プレートは、X線吸収特性に優れ、また柱状構造をとるように形成させたことから、従来の塗布型蛍光体プレートに比べて画像鮮鋭性、および画像粒状性に優れる特性を示した。

これらの特性に基づき、検出量子効率（DQE：Detective Quantum Efficiency）を求めた結果、CsBr蛍光体プレートでは塗布型プレートの2倍以上であることが確認された。

Abstract

CR (computed radiography) plate of a vapor deposition type using CsBr phosphor has been developed.

A 17-inch size CR plate was formed by newly employing CsBr as a photostimulable phosphor, which was uniformly deposited on a heat-resistant substrate via a vapor deposition method, and by further providing a protective layer on its surface.

The CsBr phosphor plate showed excellent characteristics of X-ray absorption, image sharpness and image granularity, compared with a coated plate, since the CsBr phosphor plate was formed as a pillar structure.

DQE (Detective Quantum Efficiency) was calculated based on these evaluation results to confirm that the performance of the CsBr phosphor plate was equal to or more than double that of a coated plate.

1 はじめに

X線による透過像撮影は簡便な診断、解析方法として各種医療用途、および非破壊解析分野などで広く用いられている。1983年、富士写真フィルムによるCRシステム¹⁾の市場展開以降、コダック、アグファ、そしてコニカミノルタ（当時コニカ）などの感材フィルムメーカーは次いでCR方式のデジタル画像システムを上市し、X線画像のデジタル化が飛躍的に進んだ。デジタルの持つ画像保存、画像処理、データ伝送、等多くのメリットは市場の支持を得て浸透しており、現在、普及期に入っている。

このCRシステムにおいては、登場当初から従来の増感紙/フィルム方式に比べて画像粒状性、鮮鋭性の改善が課題として挙げられ、各CRメーカーでは画像性能の向上に向けた取り組みを進めてきた。コニカミノルタにおいても、CRプレート、カセット、読み取り装置、画像処理等による性能改良を検討しており^{2, 3)}、その中でもマンモ（乳房）撮影用のPCM（Phase Contrast Mammography）システムではX線源、および撮影方式を工夫することで被写体の描出能を大幅に向上することに成功している^{4, 5)}。

画質向上のためには限られたX線情報を有効活用し、画像情報として効率的に変換することは重要であり、そのため、X線情報のメモリー材料であるCRプレートの改良を検討した。



Fig.1 CsBr phosphor plate of a 17-inch size

2 CsBr 蛍光体の基本特性

CRシステムに求められる蛍光体プレートの主な特性は次頁の項目である。

* コニカミノルタエムジー(株) 開発センター MIシステム開発室

- ① X線吸収特性に優れる
- ② 輝尽励起、発光スペクトルと読み取りシステムとのマッチングに優れる。
- ③ 吸収したX線情報の検出効率が高い
- ④ 繰り返し利用のための消去性能に優れる。
- ⑤ X線照射から読み出しまでの情報消失（フェーディング）が少ない。
- ⑥ 繰り返し耐久性、信頼性に優れる。

2. 1 X線吸収特性

X線画像の粒状性は画像形成因子に関連するノイズのうち、X線量子ノイズが支配的であるため、X線吸収の高い材料を蛍光体として選択することは画像粒状性向上のために重要なポイントである。

Fig. 2 に各種蛍光体材料のX線吸収特性を示す。Seltzer and Hubbellの方法⁶⁾により、化合物の質量減弱係数を求めた。輝尽発光を示す材料は限られており、現在までに臭化ルビジウム（以下RbBr）、ハロゲン化フッ化バリウム（以下BaFX(Xはハロゲンイオン））などが実用化されている。セシウム（Cs）は原子番号が55と大きく、また臭素（Br）は低電圧域での質量減弱係数がヨウ素（I）に比べて高い特徴があるため、CsBrは比較的広い領域でX線吸収率が高く、蛍光体材料として優れているといえる。さらにCsBrは蒸着法での成膜が可能であり、それに伴う充填率の向上が見込まれるため、これら材料の中では最も有利である。

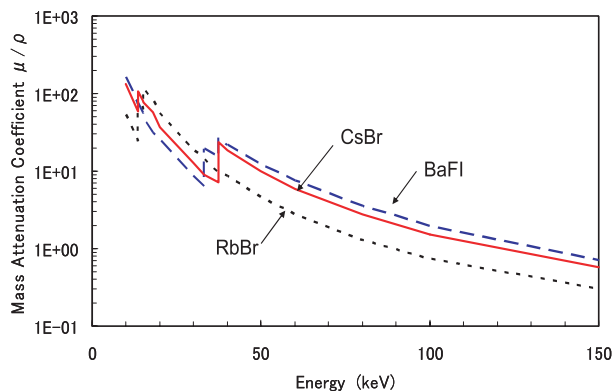


Fig.2 X-ray absorption coefficient of phosphoric materials

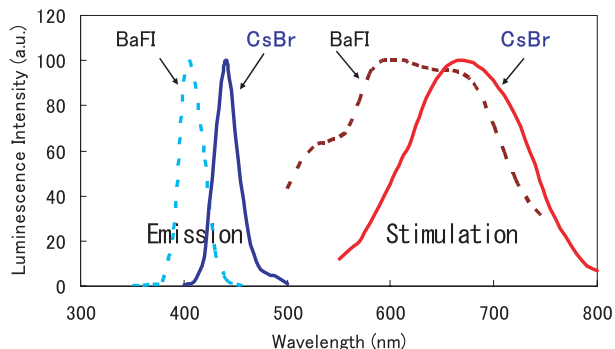


Fig.3 Emission and stimulation spectra

2. 2 輝尽発光特性

Fig. 3 にCsBr蛍光体、ヨウ化フッ化バリウム（以下BaFI）蛍光体の輝尽発光スペクトル、および輝尽励起スペクトルを示す。CRシステムではX線情報の読み取りにLaser Diode（以下LD）が使用されるが、CsBr蛍光体の輝尽励起スペクトルがLDの波長に適合し、また輝尽発光スペクトルが受光系感度に適合しているため、BaFI蛍光体同様に効率の良い情報の読み取りが可能である。輝尽発光の増加は画像粒状性のうち、光量子ノイズの低減に寄与する。

2. 3 柱状構造

BaFX（Xはハロゲンイオン）系の蛍光体を用いたCRプレートではそれら蛍光体粒子を樹脂バインダーに分散し、塗布成膜する方式が用いられてきた。塗布型プレートでは蛍光体粒子、および樹脂界面での光散乱が発生し、読み取り時にLD光の散乱により画像の鮮鋭性が低下する。また蛍光体層の下層で捉えたX線情報による輝尽発光は、散乱のため表層側にある受光部で検出する際にロスを生じやすい。蒸着型プレートで蛍光体を柱状に形成することは、そのライトガイド効果で、読み取りのLD光の層内散乱を抑えるとともに、輝尽発光を効率的に受光部に導くことが可能となる点でCRプレートの高画質化を図る有効な技術ポイントである（Fig. 4）。

CsBr蛍光体は従来の蛍光体に比べX線吸収特性、輝尽発光特性に優れ、真空蒸着法により柱状構造を形成可能である点で有望である。

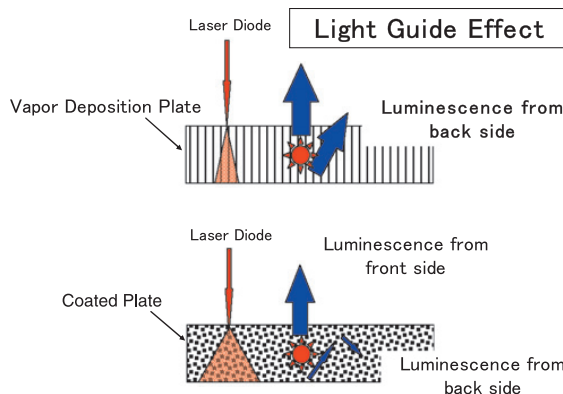


Fig.4 Light guide effects of a pillar structure

3 蒸着型プレートの作製

3. 1 蛍光体成膜

蛍光体の成膜は、真空蒸着法を用いて蛍光体が柱状の結晶構造を形成するように、真空度、基板温度などの蒸着条件を調整することで行なった。

大型の真空チャンバー内に耐熱性を有する17×17inchサイズの平滑な基板を設置し、基板温度、チャンバー内の真空度を制御しながら、蒸着材料を加熱蒸発させること

で蒸着領域内の均一化を図った。蛍光体層の膜厚はプレート画像性能の鮮鋭性、粒状性を調整しながら決定し、BaFI蛍光体からなる塗布型プレートのおよそ1.5倍となるようにした。

3. 2 保護層の形成

成膜されたCsBr蛍光体は表層にガスバリア性の高い保護層を形成し、外界からの環境変化に対しても安定な特性を示すようにした。また、蛍光体層と保護層の間には低屈折率層を設け、保護層による画像性能の低下のないようにした⁷⁾。

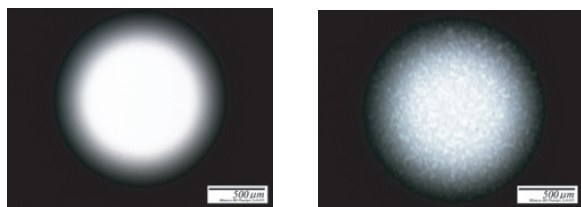
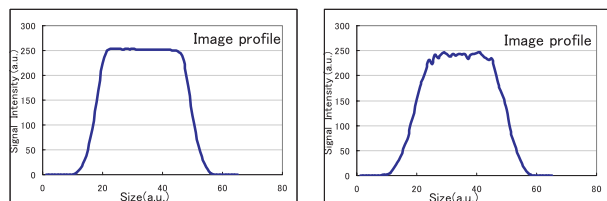
4 プレートの評価

4. 1 結晶形状

成膜されたCsBrの結晶形状は蛍光体層の断面を走査型電子顕微鏡 (S800型; 日立製作所製) を用いて観察することで行なった。その結果、Fig. 5 に示すようにCsBr蛍光体は柱状構造を形成していることが確認された。



Fig.5 Sectional scanning electron micrograph view of CsBr phosphor



a) Vapor deposition plate b) Coated plate

Fig.6 Transmittance images of phosphor layer

また、蛍光体層を基板から分離し、裏面側からスポット光を照射し、表側から観察したところ、蒸着型プレートでは塗布型プレートに比べて明瞭な像となることが確認された (Fig. 6)。蒸着成膜したCsBr蛍光体層のライトガイド性が高いことが推測される。

4. 2 画像評価

CsBr蒸着型プレートのX線画像性能はRegius370を用いて87.5 μ mの読み取りピッチで行なった。比較にはBaFI蛍光体からなる塗布型プレートを用いた。鮮鋭性は藤田らの方法⁸⁾に従い、80kVp、10mAsのX線を用いて鉛スリット法にて変調伝達関数 (以下MTF: Modulation Transfer Function) として求めた。画像粒状性は80kVp、1mAs (0.13mR: 3.35 \times 10E-08C/kg) のX線を照射した際のウィナスペクトル (以下WS: Wiener Spectrum) を算出することで求めた。

CRプレートの画像視認性に関しては、人体ファントムをX線撮影することで行い、模擬骨、模擬血管の描写性、画像粒状性等を評価した。

4. 2. 1 鮮鋭性, 画像粒状性

Fig. 7 にプリサンプリングMTF曲線, Fig. 8 にWSを示す。蒸着型プレートでは蛍光体層が厚いにもかかわらず、塗布型プレートに比べ、測定した全周波数領域に渡り高い鮮鋭性を示しており、また、画像粒状性についてもX線量子ノイズ、光量子ノイズの低減された良好な結果を得た。これらの結果は、蛍光体層によるX線吸収率の増加と厚膜化した際の鮮鋭性の低下が柱状構造により抑えられたことに起因するものと推測している。

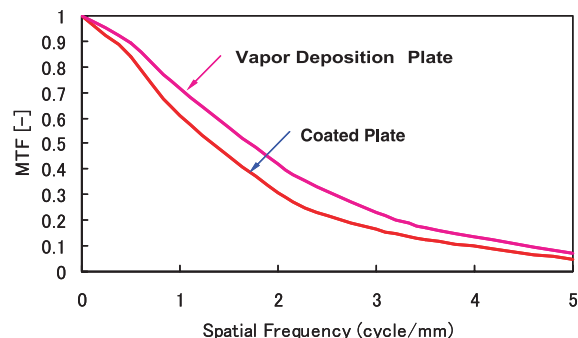


Fig.7 MTF curve of CR plate
Vapor Deposition Plate
Coated Plate

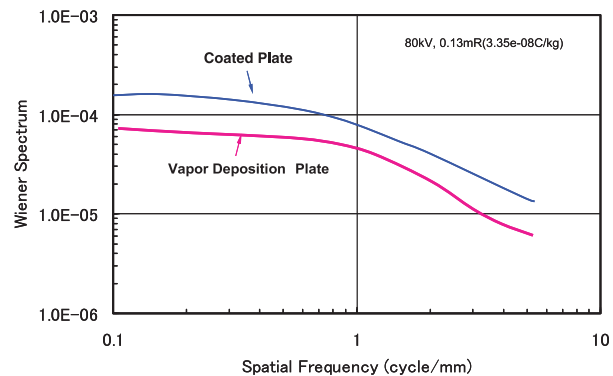


Fig.8 Wiener spectrum of CR plate
Vapor Deposition Plate
Coated Plate

4. 2. 2 DQE

MTF, WS等の画像性能の評価結果を用いて蒸着型プレートのDQEを算出した。DQEは画像性能の指標として用いられる評価値である。

DQEは所定のX線光子数に対するMTF, WSなどの画像性能への変換効率を示した特性値であり、数値が大きいほど、入力信号/ノイズ比(以下S/N比)に対する出力のS/N比の低下が少ないことになる。すなわち、DQEが高いほど出力画像のS/N比が高く、視認性の高い画像となる。

空間周波数 u におけるDQE(u)は式(1)で表される⁹⁾。

$$DQE(u) = \{ \gamma^2 \cdot MTF^2(u) / WS(u) \} / q \quad \dots (1)$$

q = 入射X線光子数

γ = 画像コントラスト

式(1)によって求められた蒸着型プレートのDQEは塗布型プレートに比べ、2倍以上であることが算出された。この結果より、蒸着型プレートではX線情報の画像性能への変換効率が高いことが確認された。

4. 2. 3 消去特性

CRプレートは画像読み取り後、白色光などでX線の残存情報を消去することにより再利用が可能となる。この消去に必要なエネルギーは少ない方が消費電力の低減に

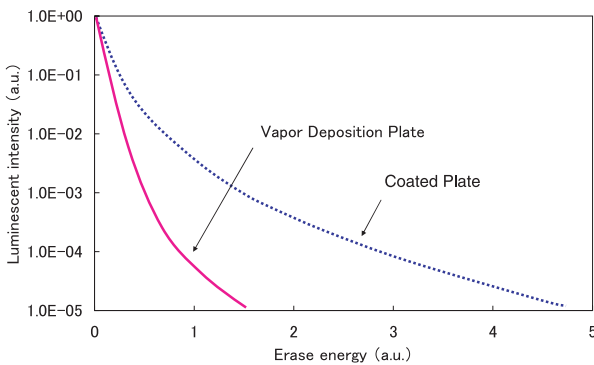
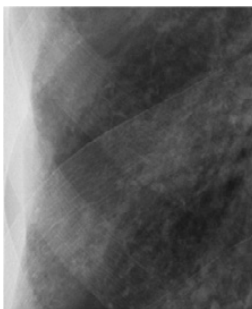
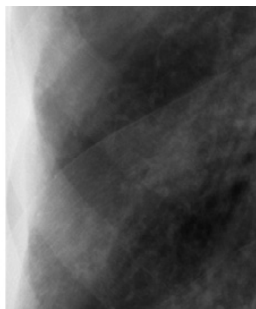


Fig.9 Erasability of a CR plate
Vapor Deposition Plate
Coated Plate



a) Vapor deposition plate



b) Coated plate

Fig.10 Chest phantom X-ray images of
a) Vapor deposition plate
b) Coated plate

寄与し、また消去時間に振り分けた場合サイクルタイムが短くなり、安定した連続撮影が可能となるなどシステム上のメリットとなる。X線エネルギーを照射した際の残存信号量の消去エネルギー依存性をFig. 9に示す。蒸着型プレートでは同じ桁数までの消去に対して、塗布型プレートの約1/3のエネルギーで良いことが確認された。

4. 2. 4 画像視認性

蒸着型プレートを用いて、胸部ファントームを撮影し、模擬人体構造の画像視認性を評価した。

Fig.10に胸部肋骨部の拡大写真を示す。

蒸着型プレートではその画像性能に応じて、画像の鮮鋭性、粒状性も大幅に向上し、塗布型プレートに比べて胸部肋骨の骨稜、および肺野部組織陰影の視認性に優れた結果が得られた。

5 まとめ

CsBr蛍光体を用いた蒸着型CRプレートの開発により以下の結果を得た。

- ・蒸着型CRプレートは、従来の塗布型プレートに比べ画像鮮鋭性と粒状性に優れ、画像性能の指標であるDQEは2倍以上に向上した。
- ・ファントームを用いた画像視認性評価の結果、塗布型のプレートに比べ胸部肋骨の骨稜、および肺野部組織陰影の画像視認性が向上した。
- ・システムの消去特性は塗布型プレートに比べて良好であることが確認された。

●参考文献

- 1) M.Sonoda, M.Takano, J.Miyahara, and H.Kato, Radiology, **148**, 833(1983).
- 2) 米川久, 根木渉, 手塚英剛, 渡辺和彦, Konica Tech. Rep., Vol. **16**, 121(2003).
- 3) 柳多貴文, 若松秀明, 中野寧, 本田哲, Konica Tech. Rep., Vol. **16**, 129(2003).
- 4) 大原弘, 本田凡, 石坂哲, 島田文生, KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol. **1**, 131(2004).
- 5) 山下裕史, 萩原清志, 若松英明, 本田哲, KONICA MINOLTA Tech. Rep., Vol. **2**, 41(2005).
- 6) S.H.Seltzer and J.H.Hubbell, “光子減弱係数データブック”, 日本放射線技術学会(1995).
- 7) M.Nakazawa, O.Morikawa, M.Nitta, H.Tsutino, and F.Shimada, Medical Imaging IV:Image Formation, SPIE **1231**, 350(1990).
- 8) H. Fujita, Du-Yih Tsai, Takumi Itoh, Kunio Doi, Junji Morishita, Katsuhiko Ueda, and Akiyoshi Ohtsuka, IEEE Trans. Med. Imaging, **11** (1), 34(1992).
- 9) W.Hillen, U.Schiebel, and T.Zaengel, Med.Phys., **14**(5), 744(1987).