

柱状結晶を有する蒸着型イメージングプレート (FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200) の開発

岩渕 康夫*, 田崎 誠二*, 安田 裕昭*,
高須 厚徳**, 磯田 勇治**, 柏谷 誠***, 細井 雄一*

Development of Vapor Deposition Type Imaging Plate (FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200) with Columnar Crystal Structure

Yasuo IWABUCHI*, Seiji TAZAKI*, Hiroaki YASUDA*,
Atsunori TAKASU**, Yuji ISODA**, Makoto KASHIWAYA***, and Yuuichi HOSOI*

Abstract

In radiographic diagnosis, X-ray dose reduction is a consistent target to be challenged. With this aim, we have developed a new Imaging Plate (FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200) having a columnar-structured phosphor layer.

The columnar structure, which plays the role of light guide, makes it possible to improve X-ray absorption by increasing the thickness of the phosphor layer without accompanying sharpness degradation. The FPP-based system (FUJIFILM DR PRELIO U) proved to have a DQE value twice as high as that of the existing system (FCR VELOCITY).

1. はじめに

当社は、世界に先駆けて¹⁾ CR システムの市場導入を行なって以来、リーディングカンパニーとして診断性能の向上、被ばく線量の低下など、種々技術開発を行ってきた^{2),3)}。そして、昨年の北米放射線学会 (RSNA2005) にて、新規蒸着型イメージングプレート (FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200) を搭載した高画質デジタルラジオグラフィーシステム (国内/海外製品名: FUJIFILM DR PRELIO U / FUJIFILM DR VELOCITY Ufp) (Fig. 1) を発表し、従来の約半分の線量で撮影しても、同等の診断性能が得られると好評を得ている。

本報告では、蒸着技術を使ったイメージングプレートの技術と特徴について紹介する。併せて、本技術を搭載した高画質デジタルラジオグラフィーシステム FUJIFILM DR PRELIO U の特徴および性能について報告する。



Fig. 1 External view of FUJIFILM DR PRELIO U.

本誌投稿論文 (受理 2006 年 11 月 24 日)

* 富士フイルム (株) R&D 統括本部
メディカルシステム開発センター
〒 258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798

* Medical Systems Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

** 富士フイルム (株) R&D 統括本部
産業機器システム開発センター
〒 258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台 798

** Industrial Equipment Systems Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

*** 富士フイルム (株) R&D 統括本部
生産技術センター
〒 250-0001 神奈川県小田原市扇町 2-12-1

*** Production Engineering & Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Ohgi-cho, Odawara, Kanagawa 250-0001, Japan

2. FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200の開発

2.1 高画質化の原理

X線検出器の高画質化を実現するためには、より多くのX線情報を有効利用すると共に、ボケを最小限とすることが重要である。

X線情報を有効に利用するためには、①吸収能力の大きな蛍光体材料を用いること、②蛍光体層の膜厚を厚くすること、③蛍光体層の密度をあげること、であり、一方、ボケを抑えるためには、蛍光体層を膜厚方向には光散乱が小さく、膜面方向には散乱が大きい柱状結晶構造とすることである。Fig. 2は柱状結晶から成る蛍光体層と従来の粉体から成る蛍光体層において、レーザー光とPSL（輝尽発光）の広がりの様子を模式的に表わしたものである。これらの観点から、われわれはCsBr:Eu²⁺蛍光体を柱状結晶化する蒸着技術を開発した。

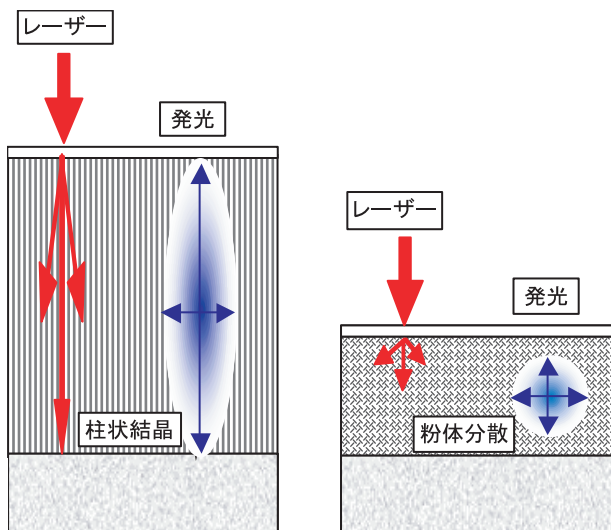


Fig. 2 Schematic diagram showing the spread of the excitation laser beam and the PSL blur.

2.2 CsBr:Eu²⁺ 蛍光体

イメージングプレートは、X線情報を電子/正孔トラップに蓄積し、次にレーザーなどの光を照射することにより、蓄積されたX線情報を光として放出する機能を有している^{4), 5)}。従って、イメージングプレートに使用する蛍光体には、電子/正孔を蓄積するトラップ性能と、蓄積されたX線情報を光に変換する性能が必要である。われわれは長年の開発で培った材料開発・評価技術を駆使し、CsBr:Eu²⁺蛍光体を材料として選択した。

その理由は、CsBr:Eu²⁺蛍光体が上記性能に優れた結果を示したのはもちろんであるが、そのほかに、Fig. 3に示すように従来の蛍光体 (BaFX:Eu²⁺) に比べ、少ない励起エネルギーでX線情報を読み出すことができること、Fig. 4に示すように、従来の蛍光体と同様に励起と発光スペクトルピーク波長の間隔が200nm程度あるため、励起と発光光の分離が容易にできることなどが挙げられる。

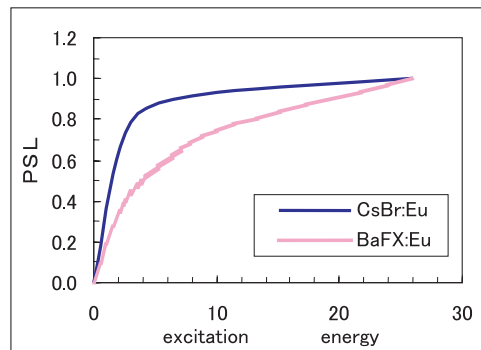


Fig. 3 PSL as the function of excitation energy for two kinds of phosphors.

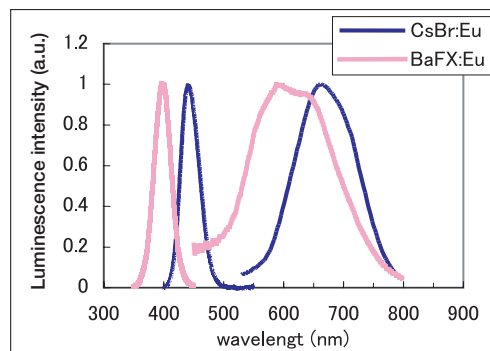


Fig. 4 Luminescence and excitation spectra for two kinds of phosphors.

2.3 蒸着法による柱状結晶

1970年代にイメージインテンシファイヤー (X線テレビ) のシャープネス向上を目的に、蒸着により柱状結晶を造ることが検討され、実用化されている^{6), 7)}。われわれは、それらの技術を参考にしつつ独自の蒸着技術開発を行ない、理想的な高アスペクト比の柱状結晶を作成した (Fig. 5参照)。

また、蒸着により柱状結晶を形成すると同時に、前述したようにイメージングプレートとしての性能を付与する必要がある、特に、発光中心となるEu²⁺の制御技術が重要であった。われわれは、従来の蛍光体BaFX:Eu²⁺のEu²⁺制御技術・解析技術を導入・展開することにより、高い発光性能と耐久性を実現した。

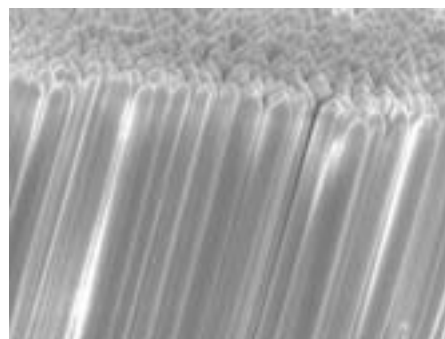


Fig. 5 Columnar structure.

2.4 柱状結晶の効果

柱状結晶による異方性散乱の効果を確認するために、膜厚を変えた柱状結晶蛍光体層と従来の粉体蛍光体層を準備し、発光量とボケ状態の膜厚依存性を調べた (Fig. 6, Fig. 7)。

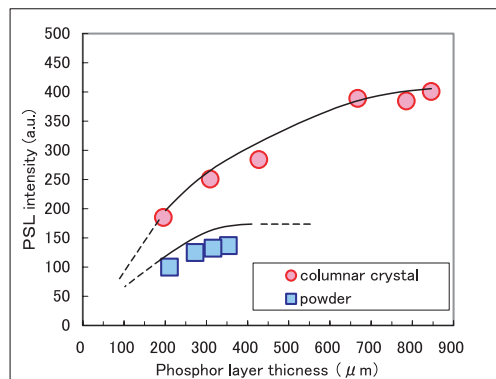


Fig. 6 Dependence of PSL on the phosphor layer thickness.

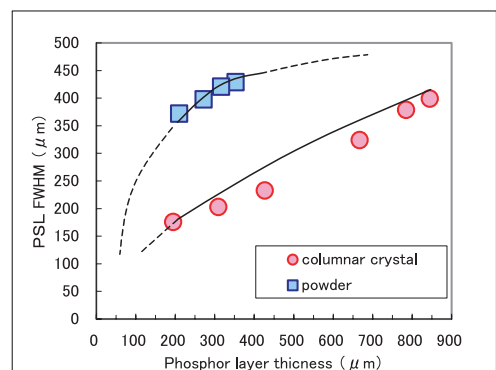


Fig. 7 Dependence of PSL blur on the phosphor layer thickness.

柱状結晶蛍光体は膜厚を厚くすると、ほぼX線の吸収量に比例した形で発光量 (PSL強度)が増加し、ボケ (PSL発光の半値全幅で表わされる)もほぼ直線的に増加する。一方、粉体蛍光体層は、膜厚増加に伴い発光量、ボケともに悪いレベルで飽和してしまい、厚膜化の効果が得られていないことがわかる。

これらの結果は、柱状結晶蛍光体層が理想的なライトガイド効果を発現していることを示している。また、粉体蛍光体層と同じボケになるように柱状結晶蛍光体層を設計すると、2倍以上の膜厚化と発光量を実現することができることを示している。

3. 高画質デジタルラジオグラフィーシステム FUJIFILM DR PRELIO U

3.1 物理評価 (MTF&DQE)

従来システム (FCR VELOCITY) と、前述の蒸着技術により作成した柱状結晶を有する蒸着型イメージング

プレート FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200を採用した本システム (FUJIFILM DR PRELIO U)での鮮鋭度性を表わすMTF (Modulation Transfer Function)の比較をFig. 8に、画質性能を表わすDQE (Detective Quantum Efficiency)の比較をFig. 9に示す。これらの測定は、IEC62220-1-1: Medical electrical equipment - Characteristics of digital X-ray imaging devices - Part1: Determination of the detective quantum efficiencyに準じた方法で行なっている。測定線質はRQA5、DQE評価線量は1mR ($2.58 \times 10^{-7}C/kg$)である。本システムでは、従来システムと比較し、約2倍のDQEが得られている。

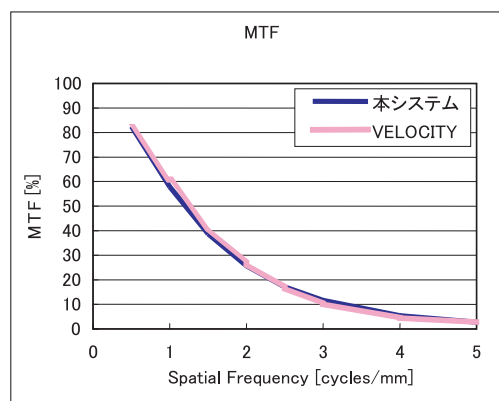


Fig. 8 MTF.

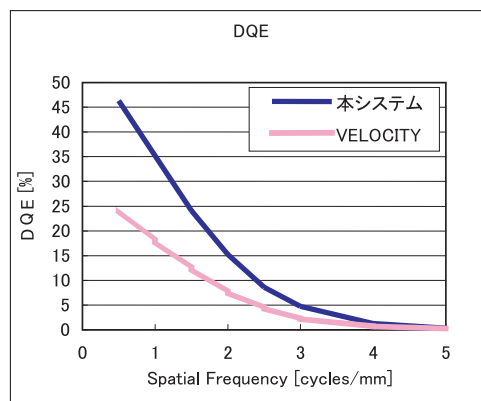


Fig. 9 DQE.

3.2 主な特徴および技術ポイント

FUJIFILM DR PRELIO Uは、柱状結晶X線検出デバイス (FPP-200) とHD LINESCAN Technology^{※1}を組み合わせて、従来FCRと比較し約2倍の高画質を実現すると共に、装置の小型化、処理速度の高速化を実現した高画質デジタルラジオグラフィーシステムである。

※1 フラットなプレート状のX線検出デバイス上を、ラインレーザーとラインCCDで構成されたコンパクトな読取ユニットを高速で移動させることにより画像を読取る技術

①高画質化

柱状結晶 X線検出デバイス (FPP-200) の性能を最大限引き出し、読取装置からの出力画質を向上するため、読取ユニットの最適化設計を行ない、従来FCRと比較して約2倍の高画質化を実現した。

②装置の小型化

FCR VELOCITY Uと同様にHD LINESCAN Technologyを採用し、さらに高密度メカ設計技術により撮影部内の省スペースを実現し、撮影部サイズを小型化すると共に、装置全体の小型化を実現した。

③処理速度高速化

X線検出デバイスから読取った画像データを高速転送、高速画像処理するハードウェアを開発し、CR Consoleのモニタ表示時間、次の撮影スタンバイまでの間隔を短縮した。

3.3 主な性能、仕様

主な性能を Table 1 に示す。

Table 1 Major Specification of FUJIFILM DR PRELIO U.

項目	FUJIFILM DR PRELIO U	備考
寸法 (mm)	645 (W) × 450 (D) × 1,835 (H) ※2	
重量	約 220kg ※2	
電源 (定格消費電流)	AC200V ± 10 % 単相 50/60Hz (5.0A)	
X線検出デバイス	FPP-200	
読取論理サイズ (インチ)	17"×17", 17"×14", 14"×17", 14"×14", 10"×12", 12"×10", 10"×8", 8"×10", 18cm×43cm	
処理能力 (枚/時)	約 240	設置環境温度, FPPへの到達最大 X線量など により変化します。

※2：オプションを含まず

4. おわりに

新規開発した FOCUSED PHOSPHOR PLATE-200 の技術と特徴、および本技術を搭載した高画質デジタルラジオグラフィシステム FUJIFILM DR PRELIO U の性能について報告した。高画質 X線デバイスは検出能の向上と被曝線量の軽減を可能にするものである。今後コストパフォーマンスの良い高画質システムを開発していきたい。

参考文献

- 1) M. Sonoda; M. Takano; J. Miyahara; H. Kato. Radiology. **148**, 833 (1983).
- 2) S. Arakawa; M. Nakajo; K. Tajima; H. Suzuki; K. Kohda. Fujifilm Medical Review. No. 9, 3-16 (2000).
- 3) K. Takahashi. Fujifilm Medical Review. No.11, 22-40 (2002).
- 4) K. Takahashi; K. Kohda; J. Miyahara; Y. Kanemitsu; K. Amitani; S. Shionoya. J. Lumin.. **31&32** 266 (1984).
- 5) Y. Iwabuchi; N. Mori; K. Takahashi; T. Matsuda; S. Shionoya. Jpn. J. Appl. Phys.. **33**, 178 (1994).
- 6) A. L. N. Stevels; A. D. M. Schrama-de PAUM. Philips Res. Repts. **29**, 340-352 (1974).
- 7) A. L. N. Stevels; A. D. M. Schrama-de PAUM. Philips Res. Repts. **29**, 353-362 (1974).

(本報告中にある“FOCUSED PHOSPHOR”, “FUJIFILM”, “FCR”, “PRELIO” は富士フイルム(株)の商標です。)