

REGIUS210用 柱状結晶型 CR カセット/プレート CP1S200の開発

Development of a Columnar Crystal CR Cassette/Plate Designed for the REGIUS210

岡村 真一*
Shinichi OKAMURA

伊佐 寛*
Hiroshi ISA

齋藤 智子*
Tomoko SAITO

葛原 豪*
Takeshi KUZUHARA

要旨

高画質および低被曝条件におけるX線撮影に優れたカセット/プレート CP1S200 をCR (Computed Radiography) システム REGIUS210用として開発した。CP1S200には結晶成長パラメータを精密に制御した柱状CsBr (臭化セシウム) 蛍光体を採用し、X線吸収効率が高く、輝尽発光の高効率検出に適したプレートを搭載した。CP1S200のDQE (Detective Quantum Efficiency: 検出量子効率) は従来の粒子状蛍光体カセット/プレートの1.5倍以上の値を示し、REGIUS210システムにより得られた胸部ファントム画像の比較において、X線量を標準線量の1/2に低減させたCP1S200の画像は、標準線量で撮影された粒子状蛍光体カセット/プレート画像と同等の視認性であった。

Abstract

The cassette/plate CP1S200 for X-ray photography provides high image quality and low radiation exposure, and was developed for the REGIUS210 CR (computed radiography) system. Columnar CsBr (cesium bromide) phosphor produced by precise control of crystal growth parameters was adopted for the CP1S200, and a plate having high X-ray absorption efficiency, appropriate for high-efficiency detection of photostimulable luminescence, was installed in the CP1S200. The DQE (detective quantum efficiency) value of the CP1S200 is at least 1.5 times greater than that of the current granulous phosphor cassette/plate. Further, in a comparison of images obtained with the REGIUS system, a chest phantom image was obtained by the CP1S200 in which the standard radiation dosage was reduced by half, and the phantom image showed detail equivalent to an image obtained by a granulous phosphor cassette/plate taken with a standard dosage.

1 はじめに

デジタル医用画像分野において、CRシステムではX線検出器として輝尽性蛍光体 (以下、蛍光体) プレートが用いられている。当社では、RbBr (臭化ルビジウム) 蛍光体プレートを搭載したCRシステム REGIUS330/530¹⁾ の発売以来、高充填化が可能であり読み取り時のレーザー光散乱を抑え、蛍光体からの輝尽発光を効率的に取り出すことが可能な柱状結晶型蛍光体を用いたCRシステムの開発を継続的に取り組んできた。

蛍光体材料としてX線吸収率に優れるCsBrを採用した立位/臥位撮影専用のREGIUS370/570システム²⁾、さらにマンモグラフィー用カセット/プレートCP1M200³⁾の実用化を経てCRの利便性、簡便性と柱状結晶型蛍光体により達成される高画質、高診断性を兼ね備えた上記システムは市場で幅広く支持されてきた。

一方で、一般部位の撮影分野では幅広く普及している粒子状蛍光体を用いた塗布型プレートとの並列使用が可能であり、多様な撮影シーンに対応できる耐久性を備え、かつ柱状結晶型CRプレート固有の特性を生かした高画質/低被曝撮影が可能なカセット型CRシステムの実現が望まれていた。

当社は、柱状結晶型蛍光体の特徴をカセットタイプの一般撮影用途に展開するために、高電圧域のX線吸収を高め、使用環境における機械的耐久性と信頼性を備えた新規柱状CsBr蛍光体の開発に取り組み、CP1S200カセット/プレート (以下、CP1S200 Fig. 1) の実用化に至った。

本報告ではCP1S200に導入した蛍光体技術、及びカセットタイプCRシステムとして新規開発されたREGIUS210の特徴について報告する。



Fig. 1 CP1S200 cassette/plate.

* コニカミノルタエムジー(株)
開発センター 開発部

2 蛍光体プレートの作製と評価

2.1 柱状結晶型蛍光体の作製

特性の優れた柱状蛍光体を得るためには、プレートに入射するX線を高効率で吸収して潜像を形成する；励起光拡散を抑制して基板近傍の潜像まで導き励起する；高効率で発生した輝尽発光を無駄なくプレート外に放出し検出器に到達させる、など複数の条件を満足する必要がある。

CP1S200の開発では、基板と蛍光体の接着性を確保し、結晶が不安定になりやすい結晶成長初期段階から柱状の先端部分に至るまで、非常に高い配向性と最適な充填率を保持しながら結晶成長を制御する技術に取り組んだ。

具体的には、一定のガス雰囲気中でCsBr蛍光体原料を熔融蒸発させ柱状蛍光体を基板の上に形成させる際に、下記結晶成長パラメータを結晶の成長段階に応じて連続的に変化させ精密に制御することにより、非常に独立性の高い柱状構造を有するCsBr蛍光体層を形成した。

基板温度:	100 ~ 180°C
蛍光体原料加熱温度:	700 ~ 800°C
結晶成長速度:	1.0 ~ 4.0 μm/min
雰囲気ガス流量:	30 ~ 60 sccm

2.2 柱状結晶の観察

成膜した蛍光体の結晶形状を評価するため、走査型電子顕微鏡を用いて下記条件により厚さ方向の蛍光体層断面観察を行なった。

走査型電子顕微鏡 S-4800 (日立製作所製)
撮影条件 加速電圧 10kV

Fig. 2 に走査型電子顕微鏡による蛍光体層の断面写真を示す。非常に細長い柱状の蛍光体結晶が基板側 (図中下側) から蛍光体層表面方向 (図中上側) に直線的に形成されており、独立した光ファイバー様の組織構造を形成していることが分かる。

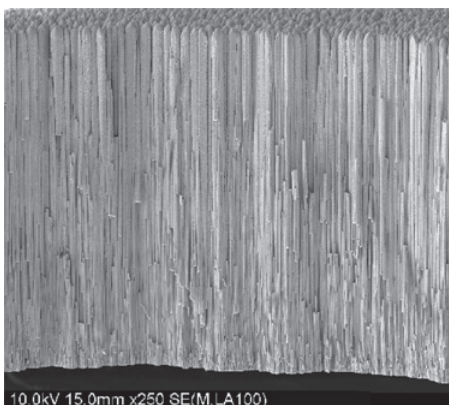


Fig. 2 Cross-sectional scanning electron micrograph of the phosphor layer.

2.3 X線回折による結晶配向性評価

形成された蛍光体の配向性評価には下記X線回折装置を使用し、柱状結晶の成長初期段階である蛍光体層/基板界面付近および成長最終段階である蛍光体層表面のX線回折スペクトルを測定した。また、ランダム配向の比較試料として、CsBr粉末を同様に測定した。

装置: PANalytical製 X'Pert-Pro MPD
使用管球: Cu 1.8kW (45kV, 40mA)
入射光学系: Line Focus, 発散スリット 1°
0.04rad ソーラスリット
受光光学系: X'Celerator
0.04rad ソーラスリット

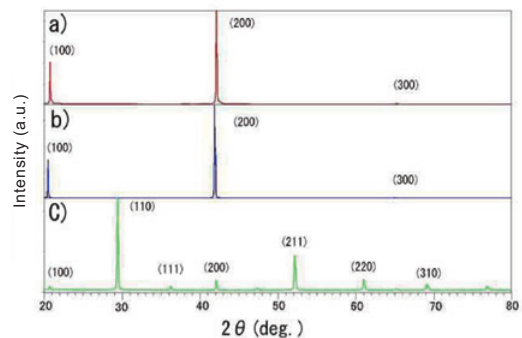


Fig. 3 X-ray diffraction spectra of phosphor layer.

- a) Surface region,
- b) Phosphor layer/substrate interface region,
- c) CsBr powder

Fig. 3 に蛍光体層表面(a)および蛍光体層/基板界面付近(b)のX線回折スペクトルを示す。両者にはいずれも(100)面と等価な面以外の回折線が認められないことからCP1S200の柱状蛍光体は基板に対して非常に強い{001}配向性を有することが分かる。

3 画像評価

3.1 X線撮影と画像読み取り

プレートの画像性能としてはIEC62220-1 (RQA5線質)で25.8nC/KgのX線を照射し、画像粒状性、画像の鮮鋭性 (MTF: Modulation Transfer Function), 及びDQEを算出した。CP1S200の比較として、蛍光体がBaFI (ヨウ化フッ化バリウム)からなる粒子状蛍光体プレート (以下, RP4S110) を使用し、同様に撮影・評価した。

X線露光されたカセット/プレートはREGIUS210を用いて画素ピッチ 87.5 μm による読み取りをおこないX線デジタル画像を取得した。

REGIUS210 (Fig. 4) はREGIUS170からREGIUS190へと継承された高性能、高信頼性を元に、更なる高画質を実現するコニカミノルタCRの最上位機として開発され、従来機に対する処理能力向上、動作音低減、高画質化が達成されている。



Fig. 4 REGIUS210.

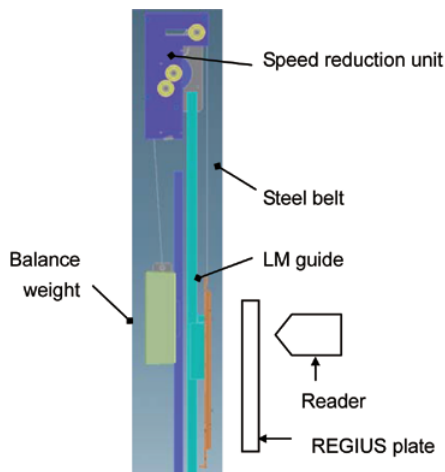


Fig. 5 A schematic diagram of sub-scanning unit.

画像読み取りの機構面では、Fig. 5 に示すように、搬送の主要部品であるLM (Linear Motion) ガイドの構成変更とバランスウェイト等の周辺部品を含めた最適化設計により、搬送精度のロバストネス向上が図られている。

更に、コンソールでは得られた画像信号に対してパラメータを最適化した画像処理（ハイブリッド・スムーズ処理⁴⁾）により、画像粒状性向上と画像内でのコントラストとノイズのバランス適正化が図られ、読影のし易さに配慮されたCRシステムとなっている。

3.2 画像粒状性評価結果

CRシステムにおける画像粒状性はX線量子ノイズ、光量子ノイズ、構造ノイズに大別でき、これらのノイズの総和が画像粒状性を支配する。この中で特に影響が強い因子はX線量子ノイズである。

読み取り画像のノイズを小川ら⁵⁾と同様の方法を用いて、上記各ノイズ成分に分離した結果、CP1S200のX線量子ノイズはRP4S110のノイズに比べ約20%低い値を示し、画像粒状性の改良が確認できた。

3.3 鮮鋭性評価結果

Fig. 6 に示すCP1S200、及びRP4S110のMTF測定結果によりCP1S200がRP4S110と同等以上の鮮鋭性を有することが分かる。

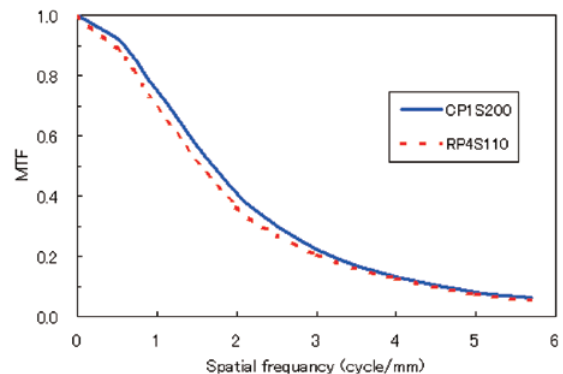


Fig. 6 MTF curves of CP1S200 and RP4S110.

3.4 DQE評価結果

DQEはX線量子に対する鮮鋭性、画像粒状性などの画像性能への変換効率を示した特性値であり、数値が大きいほど出力画像のS/N比が高く画質が良好であることを示している⁶⁾。

CP1S200、及びRP4S110のDQE特性をFig. 7 に示す。CP1S200はRP4S110に対して広い空間周波数領域において高いDQEを示し、特に一般撮影で重要な1 cycle/mmにおいては1.5倍以上の向上が認められている。

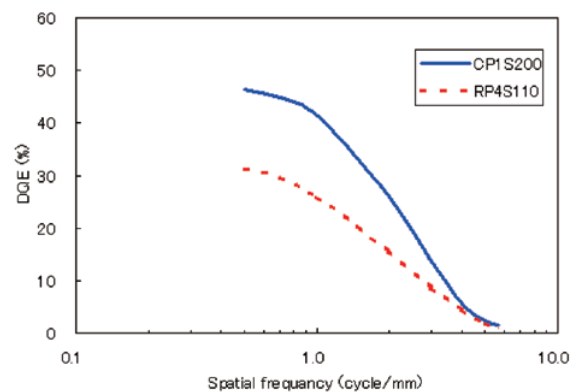


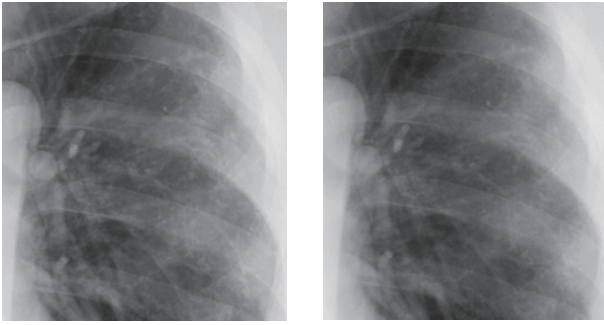
Fig. 7 DQE curves of CP1S200 and RP4S110.

3.5 画像視認性評価結果

画像視認性は人体胸部ファントムを用いて標準線量(120kV, 2mAs, SID1.8m, グリッド: 60本/cm, 12:1)、及び照射線量を低減させた撮影を行い、肺野部血管、気管支、骨の辺縁等を評価した。CP1S200の比較としてRP4S110を使用し、同様に撮影・評価した。

人体胸部ファントム肺野部を標準線量で撮影し、画像を比較した結果をFig. 8 に示す。

RP4S110画像に比べ、CP1S200画像は画像粒状性に優れ、血管、気管支など肺野部組織の走行が明確に追いつく、肋骨の辺縁形成も認識し易いことが分かる。



a) CP1S200 image

b) RP4S110 image

Fig. 8 X-ray images of chest phantom.

120kV, 200mA, 10msec, SID1.8m, Grid (60lines/cm, 12:1).

一方で、CP1S200撮影時のX線量を標準線量の1/2に低減させ、REGIUS210システムで画像処理を施した画像の視認性を評価した結果、CP1S200（線量1/2）画像はRP4S110（標準線量）画像と同等の視認性を示した。

低線量条件における上記CP1S200の優れた特性は、

- ・被ばく量を極力抑えたい小児（新生児・乳幼児）などの被写体、あるいは生殖器などの部位の撮影で低線量撮影が可能となる、
- ・同一被写体に対して撮影枚数が多い場合、累計の被ばく線量を低減することができる、
- ・X線の照射時間を短く設定できることにより、体動の影響が回避できる

など、様々な実技上の利点に繋がることを期待できる。

4 まとめ

CRシステムREGIUS210用に開発したカセット／プレートCP1S200に、結晶成長パラメータを精密に制御した柱状CsBr蛍光体を採用することで画像粒状性を改良した。その結果、*DQE*は従来の粒子状蛍光体プレートRP4S110の1.5倍以上に向上し、REGIUS210システムにより得られたファントム画像では、血管、気管支、骨の辺縁形成などの視認性が大幅に向上することが確認できた。またX線照射線量を1/2に低減させても、上記の視認性は標準線量で撮影したRP4S110と同等の視認性であった。CP1S200には一般撮影用途における高画質化、診断性向上、または被爆量低減効果があり、小児（新生児・乳幼児）の撮影用途においては特に有用と考えられる。

●参考文献

- 1) K. Amitani, A. Kano, H. Tsuchino, F. Shimada, SPSE Conference & Exhibition on Imaging, Advance Printing of Paper Summaries, 26th Fall Symposium, 13 (1986)
- 2) S. Honda, T. Yanagita, S. Kasai, Y. Nakano, Konica Minolta Tech. Rep., **3**, 72 (2006)
- 3) T. Yanagita, M. Iijima, T. Saito, K. Maeda, S. Honda, Konica Minolta Tech. Rep., **5**, 35 (2008)
- 4) 高木達也, 梶大介, 原口剛, Konica Minolta Medical Network, No.270, **58** (1), 45-47 (2007)

5) E. Ogawa, M. Arakawa, Proceedings of SPIE Vol.2432, 421-431 (1995)

6) 岡部哲夫, 瓜谷富三 編: 医用画像工学 (医用放射線科学講座14). 東京, 医歯薬出版 (1998)