

REGIUS MODEL 170用輝尽性蛍光体プレートの開発

The Development of a BaFl:Eu Photostimulable Phosphor Plate for REGIUS MODEL 170

柳 多 貴 文* 若 松 秀 明* 本 田 哲* 中 野 寧*
Yanagita, Takafumi Wakamatsu, Hideaki Honda, Satoshi Nakano, Yasushi

New technologies were adapted to the photostimulable phosphor plate in the REGIUS MODEL 170: light-weight cassette to use the strengthened plastic, the high rate of compaction of the photostimulable phosphor, and the control of the excitation laser. The REGIUS MODEL 170 provides high usability and high-quality diagnostic images by using these technologies.

1 はじめに

病院内におけるデジタル画像診断は普及期に入り、CR (Computed Radiography) は、単純X線画像診断市場において設置台数を伸ばしている。

1998年、コニカはX線吸収率の高い、ヨウ素元素(I)を含有するBaFl:EuプレートRP-1Sを開発し、カセット型CR (レジウス150) を上市した^{1) 2) 3) 4) 5)}。2002年発売のレジウス170用プレートには、プラスチック素材によるカセット軽量化と、プレート構成素材の改良による画質特性向上を実現したプレート (RP-3S) を開発した。

Fig. 1 にプレート外観図を示す。本報告では、RP-3Sに使用した基本技術について紹介する。



Fig.1 RP-3S plates been used for REGIUS MODEL 170

2 コニカレジウス170用プレートの基本技術

2. 1 レジウス170用カセット及びトレイ

通常CRカセットは落下等の衝撃より内部のプレートを守るため、高い剛性が要求される。そのため、部材として剛性の高い金属を多用し、カセットとしては重くなる傾向にあった。そこで、RP-3Sカセットは強化プラスチックを多く使用し、軽量化を計った。更にプレートを保持

* MGカンパニー MG開発センター MIシステムグループ

するトレイには、プラスチック板を使用した。軽量化の結果、半切1枚で約400gの軽量化を実現した。

カセットの繰り返し耐久性については、使用するプラスチックの素材剛性および形状を検討し、従来カセット同等以上を達成した。

2. 2 BaFl:Eu 蛍光体の粒子合成技術

これまで、輝尽性蛍光体の種類として、実用化されたものとしては、塗布型材料としてBaFBr:Eu、とBaF(Br,I):Euがあり、蒸着型材料としては、1984年コニカが見いだしたRbBr:Tl蛍光体があった⁶⁾。輝度特性やX線吸収で、これまで魅力ある特性を持つといわれながら^{7) 8) 9)}、実用化されていなかったBaFl:Euの実用化に、コニカは1998年に成功した。

CR画質において、画像のノイズを示す粒状性は、X線量子モトルと光量子モトル、さらに構造モトルの3つの総和である。構造モトルはプレートの構造的なムラによる物であり、大線量のX線照射時に問題になる。光量子モトルは、輝尽発光の時間的ゆらぎであり、プレート発光量に依存する。X線量子モトルはX線量子のバラツキであり、低い線量撮影で問題になる。X線撮影では、被爆線量低減の観点より、X線曝射量は低下傾向にある。そのため、X線量子モトルを低減させることは、今後のX線画像における画質向上のポイントになる。X線量子モトル低減のためには、プレートのX線吸収率の向上が必須である。X線吸収特性は主に蛍光体吸収特性や蛍光体充填率によって決まる。蛍光体としては、分子量が大きいほどX線吸収率は高くなる。たとえば、BaFBr:EuやBaF(Br_{0.8}, I_{0.2}):Euよりも大きい分子量を持つBaFl:EuのX線吸収率は高い。

RP-3Sプレートでは従来プレートで採用したBaFl:Euの特性を更に引き出すために蛍光体の合成方法に着目し、検討を行った。レジウスに使用されているBaFl:Eu蛍光体は、晶析により粒子を形成し、焼成により輝尽発光を発現するように合成されている。これらの工程の中で、晶析工程における反応系のばらつきにより、粒子の均一性や、発光効率が変化していることを見いだした。

ここでいう晶析反応系のばらつきとは反応温度および、元素の反応系内での濃度の時間的、部分的なゆらぎである。晶析時のこれらのばらつきを押さえることにより、反応速度がより精度良く制御できるため、粒子の均一性が向上し、更には、発光効率が向上するためと考えられる。

Fig. 2にRP-3Sに使用した蛍光体の原子間力顕微鏡 (Atomic Force Microscopy) 写真像を示す。写真より蛍光体構成原子が整然と配置し、均一な蛍光体を形成していることがわかる。

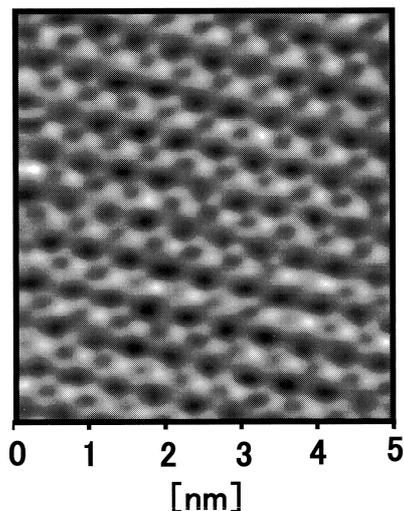


Fig.2 AFM image of BaFl:Eu

ばらつきの制御は反応釜内での反応液流動に着目し、装置的な改良により温度、濃度分布を制御した。データは、反応釜内の温度と反応釜内での元素濃度を複数カ所サンプリングし、反応時間より単位時間あたりの分布を求めた。Fig. 3に反応系におけるばらつきと合成された蛍光体の輝度の関係を示す。反応系のばらつきを約半分に押さえることによって蛍光体の輝度が約25%向上した。

2. 3 蛍光体分散による充填率向上技術

X線量子モトルの低減には、蛍光体素材の選択以外に蛍光体層における蛍光体充填率の向上が上げられる。蛍光体充填率の向上は、単位体積あたりのX線吸収を増加させ、プレートのX線吸収の均一性を増すことができ、その結果としてX線量子モトルを低減できる。

蛍光体プレートは蛍光体以外に樹脂及び溶剤、各種添加剤を調整した蛍光体塗料を作成し、その蛍光体塗料を塗布、乾燥することにより形成されている。溶剤は乾燥時にプレート外に放出される。プレート内には蛍光体と樹脂、各種添加剤が残るが、樹脂は蛍光体に次いで、プ

レート内で大きな部分を占めている。

蛍光体と樹脂の分散性が悪いと、塗料中で樹脂と蛍光体が分離を生じ、樹脂が凝集する。凝集した樹脂は、塗膜が乾燥する時に蛍光体が充填することを阻害し、充填率が低下してしまう。

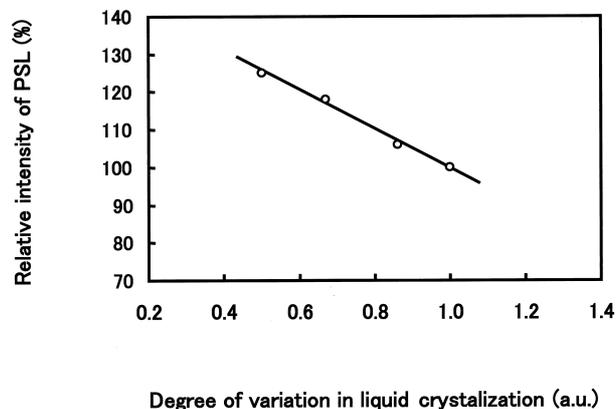


Fig.3 Relationship between the degree of variation in liquid crystalization and the value of photostimulable luminescence

分散性を向上させるためには樹脂を形成する有機高分子鎖の電気的な極性と蛍光体表面の極性の、2つのパラメーターをマッチングさせることが重要であることがわかった。有機高分子鎖は親油性であり、親水性表面を持つBaFl:Eu蛍光体とは相互作用を持ちにくい。有機高分子中に親水性の極性基を導入すると、蛍光体表面に極性基が吸着し蛍光体表面を樹脂が覆うため分散が進行する。データは示さないが、極性基の導入量と分散度を比較したところ、極性基量と分散度には相関があった。

RP-3Sプレートでは樹脂と蛍光体のマッチングを向上させるため、極性基及び樹脂高分子鎖の極性についての検討を行い分散度向上を試みた。Fig. 4に分散度と充填率の関係を示す。ここで示す分散度は樹脂を変更したときの塗料に存在する最大凝集物粒径と比較品塗料に存在する最大凝集物粒径の比で、数値が大きいほど分散度が高い、つまり凝集物が小さくことを示す。Fig. 4より樹脂の分散度を向上することによって、塗料の分散度は従来比で倍以上になり、充填率は約20%向上した。

2. 4 保護層内励起光制御技術

従来のレジウスプレートの保護層は励起光散乱層を設けることによって、レーザーの輝尽励起光が通過する際の散乱による鮮鋭性¹⁰⁾低下を防いでいる。RP-3Sでは、励起光散乱防止層に加え、励起光吸収層を設けることにより、画質コントラストの向上を図った。Fig. 5にRP-3Sプレートと従来プレートの層構成を示す。レーザー光の散乱解析により、レーザーが保護層に入射する時に、その表面で若

少量の散乱が生じていることが解った。この散乱励起光により、直接励起すべき蛍光体層とは違う部分の蛍光体層を励起することによって、画像におけるコントラストが悪化する。励起光吸収層を設けることにより、散乱励起光を吸収し、画像のコントラストを向上させることができた。

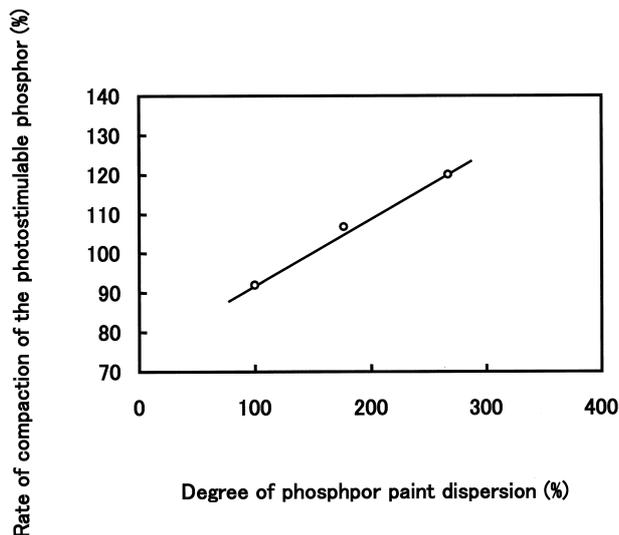


Fig.4 Relationship between the degree of phosphor paint dispersion and the rate of Conpaction of the photostimulable phosphor

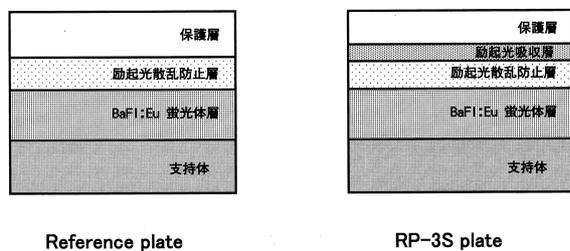


Fig.5 Layer composition of REGIUS plates

レジウス基準プレートおよびRP-3Sでの画像のコントラスト測定をおこなった。測定方法としては、厚さの異なるアクリル円形板をそれぞれのプレートについてX線撮影し、画像データを得た。画像はドライイメージャーDryPro752を使用し、フィルム濃度0.5から2.5における画像階調度3.0に画像処理を行い、レーザーフィルムに出力した。得られた画像のエッジ部分の濃度差についてコニカデンシトメーターPDA25を使用して測定し、その差をコントラストとして評価した。Fig. 6より励起光吸収層を導入したRP-3Sプレートはアクリル板と周辺部の濃度差が大きく、特にアクリルの厚みが薄いの方がより差が広がった。つまり、X線吸収差が小さい被写体をより明瞭に描出可能であることを示唆している。

The ratio of signal value on an edge of the acrylic disk

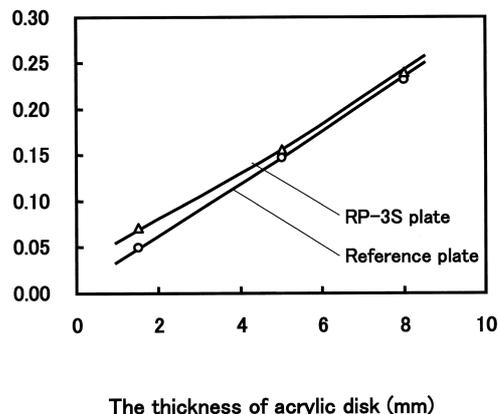


Fig.6 Contrast of RP-3S plate and reference plate

3 画質評価

RP-3Sの画質評価をレジウス170CRシステム(コニカ)を用いて行った。比較として基準プレートをを用いた。まず、全モトルの評価を行った。同一条件でX線撮影を行い、その画像を元にウィナースペクトルを求めた。Fig. 7にウィナースペクトルの測定結果を示す。RP-3Sの方が、基準プレートよりウィナースペクトル、すなわち全モトルが低く、粒状性が良いことがわかった。

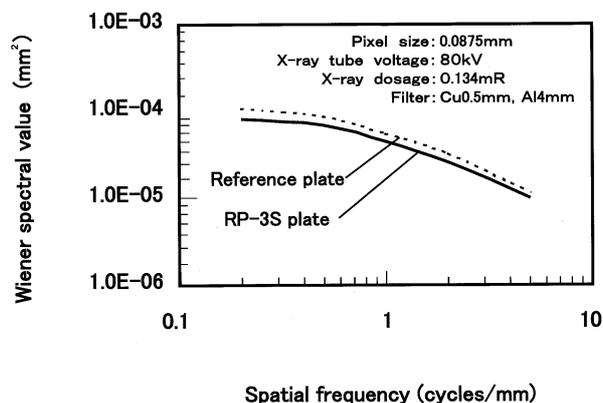


Fig.7 Wiener spectrum of RP-3S plate and reference plate

次にDQEをW.Hillen¹¹⁾に基づき、プレートの鮮鋭性MTFと粒状性であるウィナースペクトル(WS)より求めた。空間周波数uにおけるDQE(u)は下記式により現される。

$$DQE(u) = MTF^2(u) / \{q \times WS(u)\}$$

q: 入射X線フォトン数

DQEは、大きい値ほど画質が良好であることを示す¹²⁾。
Fig. 8 に従来プレートとRP-3SプレートのDQE特性¹³⁾ について、空間周波数を横軸にとって示した。**Fig. 8** よりRP-3Sが基準プレートに対して画質指標であるDQEが向上していることがわかる。

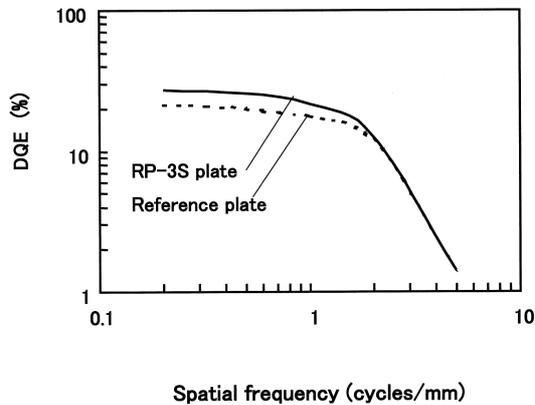


Fig.8 DQE of RP-3S plate and reference plate

4 まとめ

RP-3Sプレート開発の検討により、以下の結果を得た。

- (1) 蛍光体晶析合成速度制御により BaFLEu 結晶構造の均一性が向上し、輝度が25%向上した。
- (2) 蛍光体粒子径の制御、および樹脂分散性の向上により、蛍光体層の充填率が20%向上した。
- (3) 励起光散乱防止層を導入した保護層を採用し、コントラストが向上した。
- (4) 新規技術の導入により、画質が向上した。

●参考文献

- 1) 中野寧、若松秀明、本田哲、日本写真学会誌、**64**(2),100(2001).
- 2) 中野寧、画像通信、**23**(2),32(2000).
- 3) 中野寧、若松秀明、本田哲、CR研究会誌、**21-30**,84(2000).
- 4) 中野寧、Konica Medical Network、**52**(259),34(2001).
- 5) Y.Nakano, T.Gido, S.Honda, A.Maezawa, H.Wakamatsu, T.Yanagita, Med.Phys.**29**(4),592(2002).
- 6) Amitani,K., Kano,A., Tsuchino,H., Shimada,F.,SPSE Conference & Exhibition on Imaging,Advance Printing of Paper Summaries, 26th Fall Symposium, **13**(1986).
- 7) T.Aaraki, H.Komori, E.Kusano, A.Kinbaru, H.Nanto, K.kawabata and Y.Nakano,Proceeding of the 15th Workshop on Radiation Detectors and Their Uses, 155(2001).
- 8) H.Nanto, T.Aaraki, M.Daimon, E.Kusano, A.Kinbaru, K.kawabata and Y.Nakano,The 13th Inter.Conf. on Solid State Dosimetry (held at Athens,Greece)(2001).
- 9) 荒木健、大門正和、上條圭一、更井発、草野英二、金原梁、南戸秀仁、川畑香苗、中野寧、蛍光体同学会、第292回講演会予稿、April 3rd ,3E24(2002).
- 10) H. Fujita, Du-Yih Tsai, Takumi Itoh, Kunio Doi, Junji Morishita, Katsuhiko Ueda, and Akiyoshi Ohtsuka, IEEE Trans. Med. Im-

aging **11**(1),34(1992).

- 11) W.Hillen, U.Schiebel, and T. Zaengel,Med.Phys.**14**(5),744(1987).
- 12) 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.
- 13) J. T. Dobbins III, D. L. Ergun, L. Rutz, D. A. Hinshaw, H. Blume, D. C. Clark, Med. Phys. **22**(10),1581(1995).