

高変換効率の間接変換型デジタルラジオグラフィシステム 「CALNEO」の開発

佐藤 圭一郎*, 成行 書史*, 桑原 健*, 福井 真一郎*, 岡田 美広*,
鍋田 敏之*, 細井 雄一*, 榎本 淳*, 笹尾 正典*, 瀬口 佳則*

Development of “CALNEO”, an Indirect-conversion Digital Radiography System with High-conversion Efficiency

Keiichiro SATO*, Fumito NARIYUKI*, Takeshi KUWABARA*, Shinichiro FUKUI*,
Yoshihiro OKADA*, Toshiyuki NABETA*, Yuichi HOSOI*, Jun ENOMOTO*,
Masanori SASAO*, and Yoshinori SEGUCHI*

Abstract

We have developed a new digital radiography system “CALNEO” which has realized dose reduction, a faster workflow, and space saving. Newly developed detection technology “Irradiation Side Sampling” and an optimized scintillator made it possible to utilize a signal from the scintillator without attenuation and spreading of the emission. DQE of the Irradiation Side Sampling system detector is 1.2 times higher than that of conventional Penetration Side Sampling system detectors, and 1.7 times that of our existing model of FCR VELOCITY. The combination of a thin and durable imaging unit and a newly developed console “Console Advance” enables a quick review of the image, making it highly suitable for any X-ray rooms or examination vehicles.

1. はじめに

当社はスクリーン/フィルム(S/F)システム, FCR (Fuji Computed Radiography), DR (Digital Radiography) と進化するX線診断モダリティの開発を一貫して手がけ、高画質化による被曝線量の低減や診断性能の向上、撮影室のワークフロー改善に取り組んでいる。DRシステムにおいては、X線平面検出器 (Flat Panel Detector; 以下FPD)の検出面を従来とは逆に配置する、世界初の「ISS方式」の開発によりさらなる高画質化に成功し、本検出器を搭載した「FUJIFILM DR CALNEO (カルネオ)」(Fig. 1)を2009年9月に上市した。本システムは従来FCRに対して約1.7倍の高画質化を達成するとともに、省スペース化、高スループット化を実現した高画質DRシステムである。さらに新開発コンソール「Console Advance (コンソール アドバンス)」の採用により快適なワークフローを提供し、従来のFCRと同様の操作感で使用可能なDRシステムとなっている。本報告では、

FPDの高画質化技術とともに、FUJIFILM DR CALNEO (型式: DR-ID 300)の特長と諸性能について報告する。

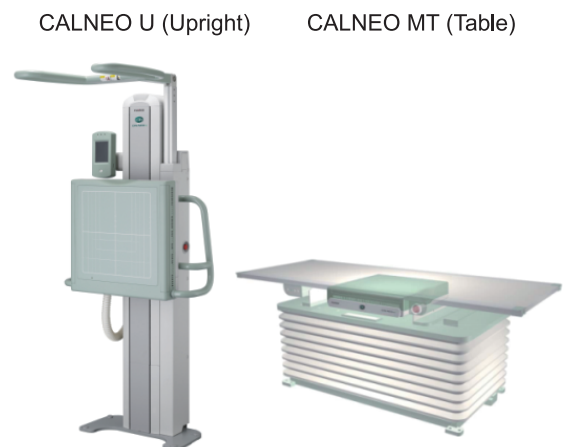


Fig. 1 External view of digital radiograph system “FUJIFILM DR CALNEO”.

本誌投稿論文 (受理2009年11月25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 System Equipment Research & Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

2. FPDの高画質化技術

2.1 CALNEOに搭載したFPDの特長

「CALNEO」に搭載したFPDは、X線を可視光に変換するシンチレーターと、可視光を電荷に変換するフォトダイオードを備えたTFTを組み合わせた「間接変換型FPD」と呼ばれる検出器である。TFTを駆動させることにより、フォトダイオードで発生した電荷を読み出し、増幅回路、アナログ-デジタル変換器を通してデジタル画像に変換することができる。間接変換型FPDはシンチレーターとフォトダイオードが平面で一体化しているため、光のロスすなわちX線情報の損失が小さい、画像表示の即時性に優れる、装置の薄型化が可能、などの特長を持つ。間接変換型FPDでは、従来からX線の入射面（被写体側）にシンチレーター層、X線の出射面にフォトダイオードを配置したPSS（Penetration Side Sampling）方式がとられている¹⁾。しかし、CALNEOに搭載したFPDでは入射側から見たFPDの裏表の関係をPSS方式と反対にする、世界初の「ISS（Irradiation Side Sampling）方式」を採用した（Fig. 2）。

シンチレーターには、X線変換効率と、性能安定性の観点からGOS（ $Gd_2O_2S:Tb$ ）を使用している。GOSはX線変換効率が高く、経時やX線に対する劣化が小さい優れた材料であり、長期にわたって安定した画質性能が期待できる。また、従来からスクリーン/フィルム（S/F）システムの増感紙に広く利用されており、S/Fシステム

に慣れた読影者にも材料のX線吸収特性の違いに起因する違和感を与えない。

CALNEOのFPDは、ISS方式の採用に加え、ISS方式に適したシンチレーターを独自設計することで、大幅な画質向上を達成しており、以下にその高画質化技術の詳細を述べる。

2.2 ISS方式とPSS方式

X線検出器の高画質化には、X線情報の利用効率を高めることと、X線情報の広がりを小さくすることが重要である。間接変換型FPDにおいては、シンチレーター層のX線吸収を高めること、発光の検出効率を高く（減衰を小さく）すること、さらに発光の広がり（ボケ）が小さくなるようにコントロールすることが、高画質化を達成する上のポイントとなる。

X線吸収を高めるにはシンチレーター層の膜厚と密度を大きくすること、発光の検出効率を高めるためにはフォトダイオードまでの発光の減衰を小さくすることが重要である。入射したX線はシンチレーター層内で吸収され、減衰しながら進行するため、シンチレーターの膜厚方向の発光量はX線入射側で大きく、出射側で小さい分布となる。さらに、GOSシンチレーターは蛍光体粒子が密に充填された構造であり、蛍光体粒子自体が光の散乱を起こすため、シンチレーター層内での光の減衰が無視できない。以下に、上記のシンチレーター膜厚方向のX線の減衰と光の散乱に伴う受光強度とボケの違いを図示した、Fig. 3（簡略化したLubberts effect²⁾の模式図）

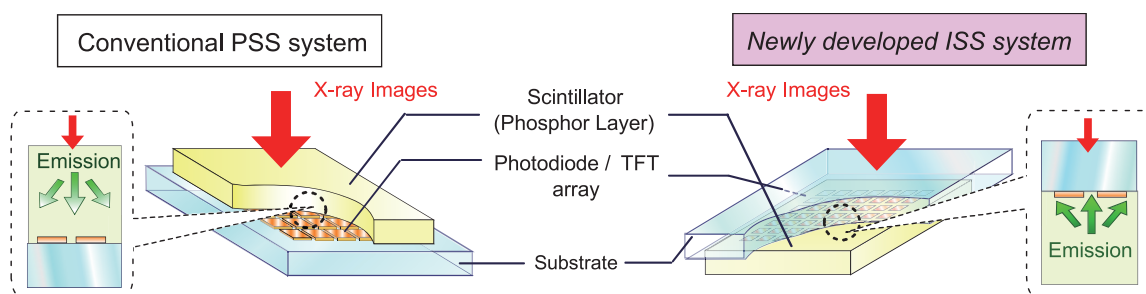


Fig. 2 Schematic view and cross section of conventional and newly developed flat panel detectors.

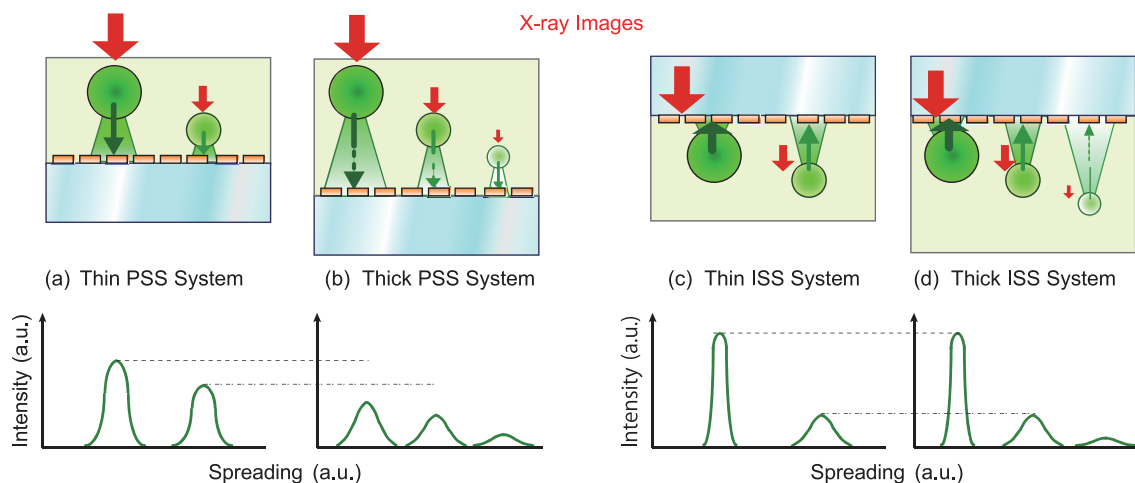


Fig. 3 Schematic diagram of intensity and blur of detected light signals.

を参照しながら、検出効率と光の広がりの方式による違いについて説明する。

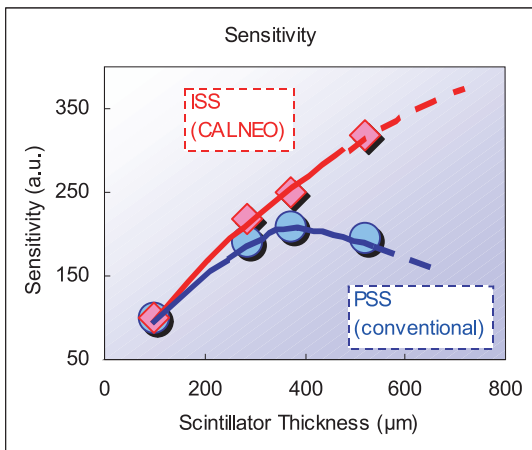


Fig. 4 Relation between scintillator thickness and sensitivity.

Fig. 4 にシンチレーター層の膜厚に対する感度の変化を示す。PSS方式でも膜厚が比較的薄い領域においては、膜厚に対して感度が増加しておりX線吸収量を増やすことが可能である。しかし、膜厚を大きくしすぎると感度が逆に低下する。これは膜厚を大きくしすぎると発光が大きくなる効果よりも、フォトダイオードで受光されるまでの減衰距離が長くなるデメリットが大きくなっているためと考えられる (Fig. 3 (a),(b))。このためPSS方式では、膜厚を大きくしても実効的なX線吸収量を大きくすることには限界がある。一方、ISS方式においては膜厚を大きくしても感度が低下する傾向は見られない。ISS方式の場合、膜厚を大きくしてもX線入射側に位置する蛍光体からの発光は強度、フォトダイオードまでの減衰距離とも変化しない。X線出射に位置する、膜厚増加分に対応する蛍光体だけは、発光強度が相対的に小さく減衰距離が長くなるものの、入射側の蛍光体に対して悪影響することはない (Fig. 3 (c),(d))。また、ISS方式ではX線がシンチレーター層に入射する前にフォトダイオードでわずかに減衰するが、フォトダイオードのX線吸収量が比較的小さいため、PSS方式に対して感度が劣化することはない (Fig. 4)。このためISS方式においては、PSS方式の限界を超えるX線吸収の増加が可能である。

発光の広がりについても、ISS方式が有利である。シンチレーターの発光は層内で散乱されるため、PSS方式では膜厚を大きくすると、フォトダイオードで光が検出されるまでに広がりが大きくなる (Fig. 3 (b))。特にX線入射側に位置する蛍光体は発光強度が高く、拡散した光も相対的に大きく検出されることから、画像のボケへの影響が顕著となる。ISS方式では、X線入射側の蛍光体からの発光は膜厚を大きくしても広がりの程度は変化しない (Fig. 3 (c),(d))。フォトダイオードから遠い位置にある、膜厚増加分に対応する蛍光体の発光は広がりやすくなるものの、X線入射側に比べ発光強度が小さいため、画像ボケへの寄与は相対的に小さくなる (Fig. 3 (d))。

Fig. 5に膜厚に対するMTFの依存性を示す。すべての膜厚領域において、PSS方式よりもISS方式が高いMTFを示しており、ISS方式は画像ボケについても有利な方式であることがわかる。

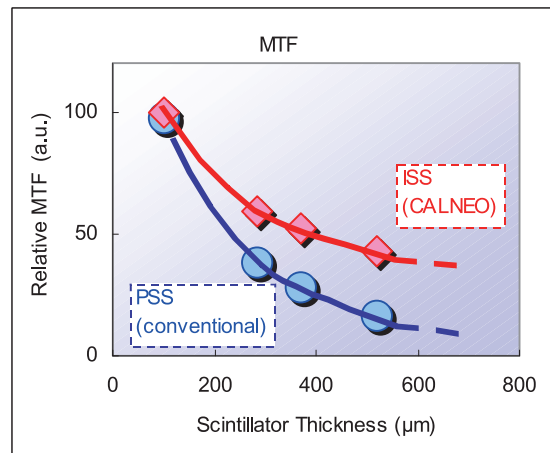


Fig. 5 Relation between scintillator thickness and spatial resolution.

2.3 シンチレーター層の独自設計

ISS方式の採用により、CALNEOのシンチレーターは画像品位を低下することなく、従来よりも大幅に厚膜化することが可能になった。前述のとおり、X線情報をより多く利用するためにはシンチレーター層の膜厚と密度、そして蛍光体粒子の発光効率を高めることが有効である。前者の密度は蛍光体粒子間にできる空隙をできる限り小さくすること、後者の発光効率については最適な粒子サイズを選択することが重要である。これは、蛍光体粒子が小さくなると発光効率が低下し、大きくなると発光の広がりが大きくなるトレードオフがあるためである。CALNEOにおいては、当社がIP (Imaging Plate) で培った粒子の高密度充填技術をGOSシンチレーターに応用し、発光量の大きい大粒子蛍光体と発光がボケにくい小粒子蛍光体を適切に配合している (Fig. 6)。この結果、蛍光体粒子の体積充填密度として75%と非常に高い値を実現し、単位膜厚当たりのX線吸収を高めるとともに、発光強度と画像ボケを両立することに成功した。

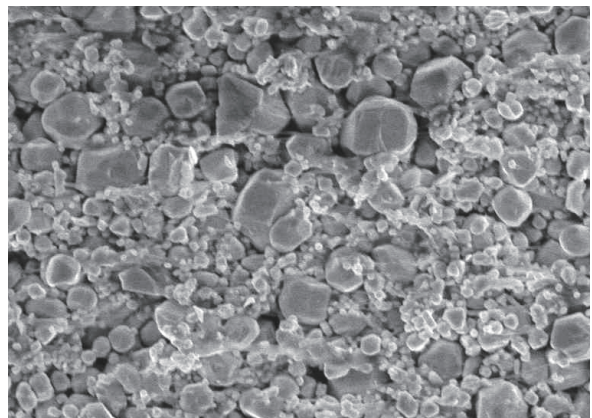


Fig. 6 A cross-sectional image of a GOS scintillator.

3. FUJIFILM DR CALNEOのシステム特長

3.1 画質性能

Fig. 7, Fig. 8にISS方式のFPD (CALNEO) とPSS方式のFPD, および当社従来機種であるFCR VELOCITYのDQE, MTFを示す。線質はIEC規格³⁾のRQA5, 撮影線量は1mRである。CALNEOはPSS方式のFPDに対して約1.2倍, VELOCITYに対しては約1.7倍のDQEを示しており, 原理的にはいずれの装置に対しても撮影線量の低減が可能である。MTFについても, CALNEOは1.5cy/mm以上の高周波数領域において値が向上しており, 骨梁や肺野血管などの人体の微細な構造の描写性に優れることが期待できる。

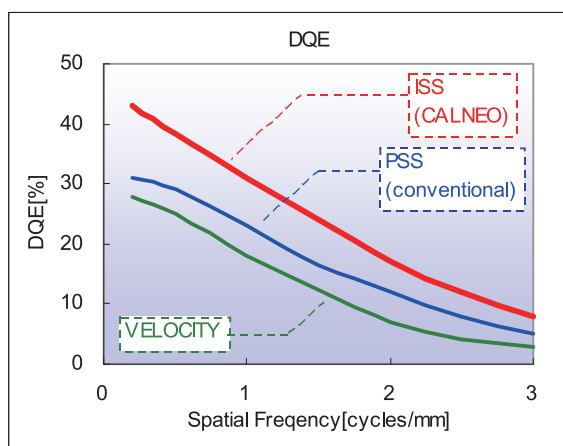


Fig. 7 DQE.

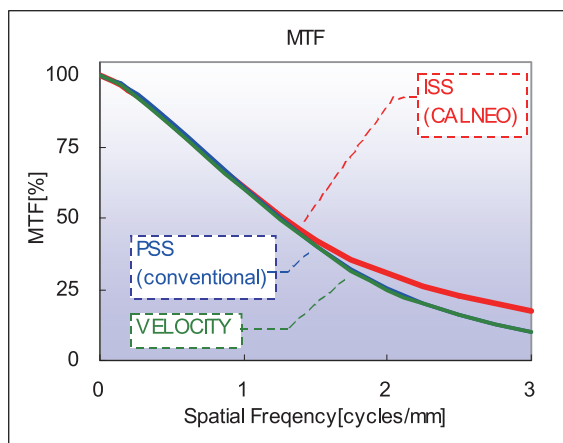


Fig. 8 MTF.

3.2 コンパクト設計

CALNEOのシステムは, 設置環境を選ばないよう, 装置外観, システム構成ともにコンパクトな設計とした。

撮像部は, 当社従来機種のFCR VELOCITYに対して50%以上の薄型化を実現した。本設計は, FPDの薄さに

加えメカ設計技術を駆使することで高密度化を実現した。撮影室のスペースが限られている施設においても設置しやすい, スマートな撮像部であり, 特に撮影室のスペースが狭くなりがちな検診車にも有効なサイズである。

コンソール (操作部) は「FDR AcSelerate」と同様にConsole Advanceを採用した。撮影室の複数の作業を1台で行なえるため, 一つの撮影室に多くのパソコンを設置する必要がなく, 撮影室内だけでなく撮影者の装置操作環境も含めてコンパクトかつシンプルなシステム設計となっている。

3.3 高スループット

FPDの残像低減技術と, 高速の読取技術により, FDR AcSelerate同等の高スループット化を実現した。撮影数の多い施設においてもストレスのないワークフローが構築できる。

4. まとめ

今回当社が開発したFUJIFILM DR CALNEOの高画質化技術と特長, およびそのシステム性能を概説した。本装置および開発した諸技術は, 被曝線量の低減やワークフローの改善を可能としており, 広く利用されることを期待する。

今後も医療の質の向上, さらには人々のクォリティオブ ライフの向上に貢献するため, 新たな技術に挑戦し, コストパフォーマンスの高い装置を提供していく。

参考文献

- 1) J. Beutel, et al. Handbook of medical imaging, Volume.1. Physics and Psychophysics, chapter 4, SPIE (2000).
- 2) R.M. Nishikawa, et al. Effect of finite phosphor thickness on detective quantum efficiency. Med. Phys., **16** (5), 773-780 (1989).
- 3) IEC62220-1-1 : Medical electrical equipment- Characteristics of digital X-ray imaging devices- Part1: Determination of the detective quantum efficiency Ed. 1.0 (2003).

(本報告中にある“CALNEO”, “FCR”は富士フイルム (株) の登録商標です。)