

軽量レトロフィット・カセットDR 「CALNEO C」の開発

田中 哲哉*, 榎本 淳*, 鍋田 敏之*, 吉田 太*, 小田 泰史*, 北田 信*

Development of “CALNEO C”, the Light-weight DR Cassette Compatible with Conventional Cassette

Tetsuya TANAKA*, Jun ENOMOTO*, Toshiyuki NABETA*, Futoshi YOSHIDA*,
Yasufumi ODA*, and Makoto KITADA*

Abstract

We have developed a new digital radiography system FUJIFILM DR CALNEO C, of 384 × 460 mm in size and 14mm thick, equivalent to a CR (Computed Radiography) cassette. The other main features are the light-weight of 2.8 kg and high quality images with low dose. Since CALNEO C is the same size as a CR cassette, it can be set to an existing X-Ray Table and Stand. The 2.8 kg case having a light carbon & resin frame provides a user-friendly workflow to technologists. DQE (Detective Quantum Efficiency) of the ‘Irradiation Side Sampling (ISS) method’ FPD (Flat Panel Detector) shows a 1.7 times higher level than our existing model of FCR VELOCITY.

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 (被曝線量低減) 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, 従来と表裏逆に配置することで高画質化を実現した「ISS (Irradiation Side Sampling) 方式」の検出器¹⁾を採用し, CR カセットとサイズコンパチ (以下レトロフィット) のカセット DR システム「FUJIFILM DR CALNEO C (カルネオ・シー)」(Fig. 1) を 2010 年 4 月に上市した。本システムは従来 FCR の DQE (Detective Quantum Efficiency) に対して約 1.7 倍の高画質化を達成するとともに, 病院側が保有する立位スタンド・臥位テーブルをそのまま使用することができるレトロフィットを実現することで, FCR/CR カセットからの置き換えを狙った高画質/高スループットのカセット DR システムである。また CR カセットで培った筐体技術をモディファイし, カセット DR において軽量化を達成することで, ハンドリング性に優れた快

適なワークフローを提供し, 従来の FCR 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, 筐体の軽量化技術開発, FPD の高画質化技術, FUJIFILM DR CALNEO C (型式: DR-ID 600) のシステム特長と諸性能について報告する。



Fig. 1 FUJIFILM DR CALNEO C.

本誌投稿論文 (受理 2011 年 1 月 28 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 Research & Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

2. パネルの筐体技術開発

2.1 筐体構造概要

CALNEO Cは、CRカセットで培った柔構造筐体をモディファイし採用することで2.8kg台の軽量化と強度のバランスを実現した。また最小限の筐体構成部材で熱拡散構造、ノイズシールド構造を実現することで、X線を必要以上に遮蔽することなく高画質を確保した。

2.2 軽量化

DRカセットの使用形態として従来の立位/臥位撮影台にセットする撮影と、パネル単体を患者に直接接触させるフリー撮影とがある。フリー撮影は技師が片手でDRカセットを操作するため、パネルが軽量であることが必須条件となる。また、フリー撮影はカセットの筐体に患者の体重がかかるため強度が必要であり、強度と軽量化を両立することが開発上の大きな課題であった。

このような技術課題に対し、CALNEO Cでは以下の施策によって2.8kg台の軽量化を実現した。

- (1) 筐体:CRカセットで実績がある「カーボン板+樹脂板」の強度をインサートしたフレームで調整する工法で最適化を行ない、必要な全体剛性を最小重量で実現。
- (2) エレキシャーシ:導通性・ノイズシールド性などの電気的特性を確保しつつ強度を持たない材料を実験的に求め、最軽量の「薄板金属板」で構成。
- (3) カセット全体の変形を許容する「柔構造」とすることで、その他部材を徹底的に最小&軽量化。

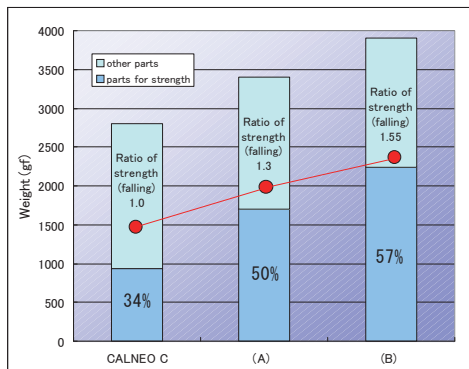


Fig. 2 Comparison of weight and strength.

Fig. 2は各社DRパネルの重量と落下強度の関係をプロットしたものである。CALNEO Cは、すべての部品を強度部材とその他部材に区分けして、重量の決め手となる強度部材の重量比率を最小限とすることで、重量と強度のバランスを確保している。

Fig. 3はパネル落下時の状態を変形シミュレーションで解析した結果と、高速度カメラで撮影した実験の結果である。カセット全体がしなって衝撃を吸収しているのがわかる。筐体の変形量は、全体剛性の最適化を行ない、TFTガラスと回路基板が破壊限界に達しないよう調整されている。

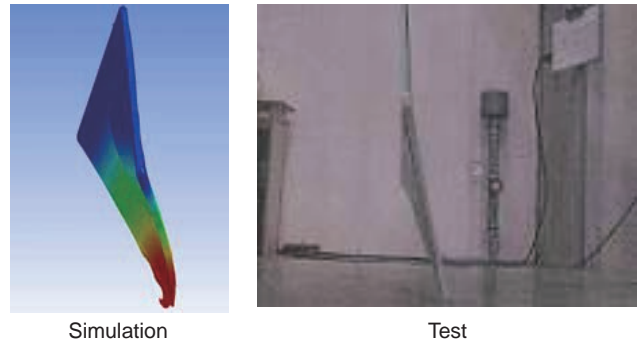


Fig. 3 Panel flexibility when falling.

2.3 放熱設計

DRカセットを長時間安定的に動作させるためには内部回路からの放熱対策が重要となる。カセット内部温度が上昇することで、チャージアンプ、TFT (Thin Film Transistor) パネルなどの特性が変化し、画像ムラやノイズ発生の原因となる。

温度対策の観点としては、内部部品の絶対温度を下げると同時に、TFTパネル面内あるいは各チャージアンプの温度差を最小限に抑えることがポイントとなる。

CALNEO Cの冷却構造は、以下の施策により内部温度の均一化、および絶対温度低下を図っている。

- (1) 裏面カバー (非撮影面) 側からの放熱を主な放熱面として構成し、熱シミュレーションで熱伝達経路と熱容量を最適化し、残留熱量を最小化
- (2) エレキシャーシを熱伝導性の良い金属板と断熱材などで積層配置することで、熱を分散させて、TFT面内温度を均一化。

Fig. 4は、熱対策前後でのパネル内温度分布を示したものである。上記の最適化により、面内温度分布で $\Delta T < 3k$ 、絶対温度で $t < 40^{\circ}C$ を達成した。

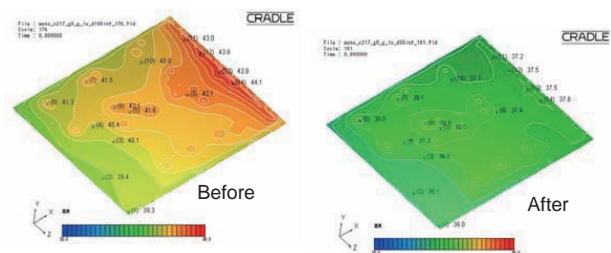


Fig. 4 Cooling effect (simulation).

2.4 ノイズシールド構造

DRカセットはTFTパネルや回路基板が薄い筐体で囲まれているため、外部ノイズや静電気の影響を非常に受けやすい構造となっている。このためTFTデバイスおよび回路基板をそれぞれ導体で囲うシールド構造を取っている。シールド部材は、ネジ止め・カシメ等により締結され、メンテナンスで開閉される外周部は、導電ガス

ケットにより完全シールドされている。

このような構造を取ることで、EMC試験を十分クリアできる性能が確保できた。

3. FPDの高画質化技術

3.1 CALNEO C搭載のFPD

CALNEO Cは、X線を可視光に変換するシンチレータと、可視光を電荷に変化するフォトダイオード、読み出し回路であるTFTを組み合わせた「間接変換型FPD」である。間接変換型FPDはシンチレータとフォトダイオードを含む検出部が平面で一体化しており、装置の薄型・軽量化が可能である。従来の間接変換型FPDでは、X線の入射面（被写体側）にシンチレータ層、出射面にフォトダイオードを含む検出部を配置したPSS（Penetration Side Sampling）方式がとられている¹⁾。今回、CALNEO Cに搭載したFPDは、入射面に検出部、出射面シンチレータを配置する当社独自の「ISS方式」を採用した（Fig. 5）。

3.2 ISS方式の特長とPSS方式との比較

間接変換型FPDの高画質化には、シンチレータ層のX線吸収量を増大させること、X線によって発生した光の検出効率を高めること、発生した光の広がりを抑え、ボケを少なくするように設計することなどのアプローチがある。

X線吸収を高めるためにはシンチレータ層の膜厚を増やすこと、発生した光の利用効率を高めるためには、検出部までの発光の減衰をできるだけ小さくすることが有効である。ISS方式は、間接変換型FPDの検出メカニズムに注目し、上記の2つのアプローチを同時に行ない、高画質を達成する技術である。

入射したX線はシンチレータ層内で吸収され、指数的に減衰しながら進行するため、シンチレータの膜厚方向の発光量はX線入射側で非常に大きく、出射側で小さい分布となる。また、シンチレータ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を散乱させるために、シンチレータ層内における光の減衰も発生する。

Fig. 6に膜厚に対する感度の変化を示す。PSS方式においてはシンチレータ層内の光の発生が最も多い場所は、最も検出部から遠くなるため、X線吸収量の増加を狙い膜厚を上げると、散乱の影響を大きく受ける。一方、

ISS方式では光の発生が最大場所は検出部から最も近い部分であり、膜厚による感度低下は見られない（Fig. 8 (a),(c)）。

X線が入射しシンチレータ内で発光した光は、等方的に発光強度を持ち、さらにシンチレータ層内で拡散される。このため、光の発生場所が検出部から遠ければ遠いほど、光の広がりが大きく、いわゆるボケが生じる。

Fig. 7は膜厚に対するMTF（Modulation Transfer Function）の依存性を示す。PSS方式においては、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。X線入射側の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。一方ISS方式は、強度の最も高い入射側の発光は膜厚による光の広がりは存在しない。膜厚増加分に対応する発光は広がりを

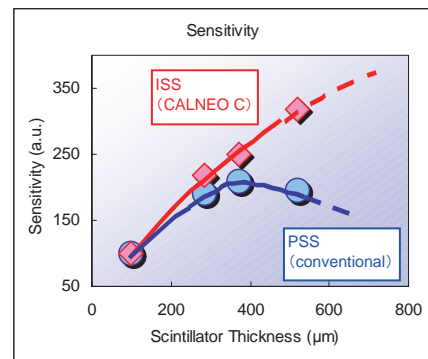


Fig. 6 Relation between scintillator thickness and sensitivity.

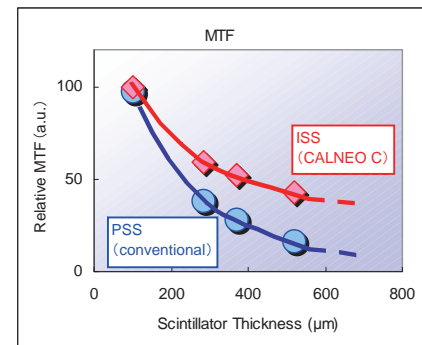


Fig. 7 Relation between scintillator thickness and MTF.

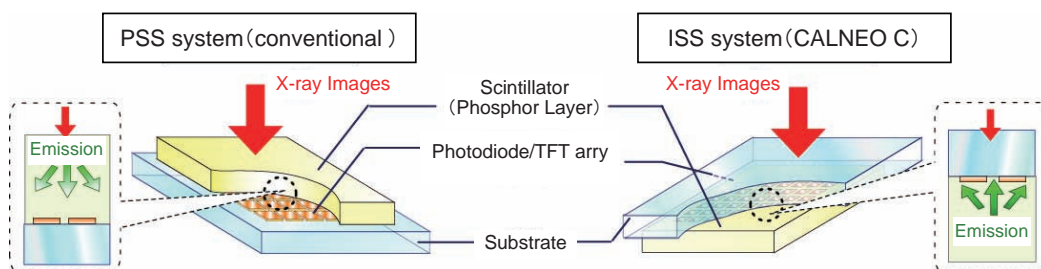


Fig. 5 Schematic view and cross section of conventional and newly developed flat panel detectors.

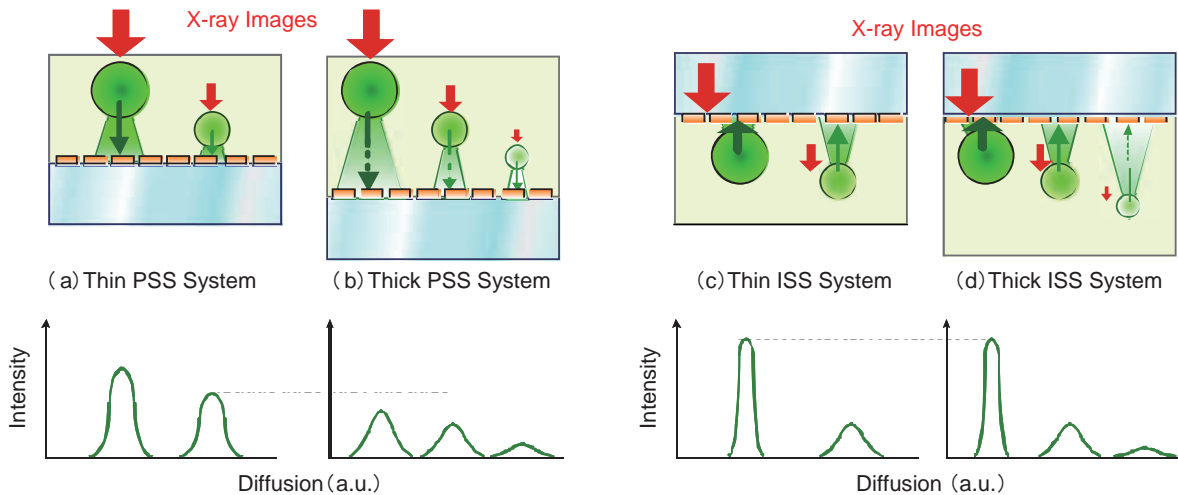


Fig. 8 Schematic diagram of intensity and diffusion of detected lights.

持つので、その広がりMTFへの影響は、相対的に小さい (Fig. 8 (b), (d))。

このように当社独自技術であるISS方式の間接変換型FPDは従来のPSS方式と比べ高画質・高分解能を達成しており、製品の画質競争力に大きく貢献することができる。

4. FUJIFILM DR CALNEO Cのシステム特長

4.1 画質性能

Fig. 9, Fig. 10にCALNEO Cと当社従来機種であるFCR PROTECT CSのDQE, MTFを示す。線質はIEC規格²⁾のRQA5, 撮影線量は1mRである。CALNEO CはFCR PROTECT CSに対して約1.7倍のDQEを示しており、MTFについても約1.25倍の値を確保している。これにより従来機種と同等以上の画質を維持しつつ、撮影線量を低減できる。

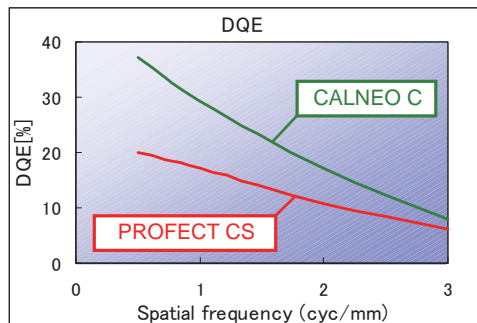


Fig. 9 DQE.

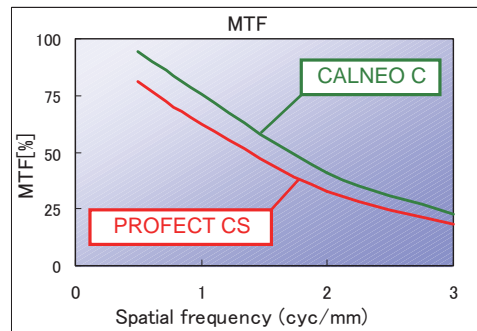


Fig. 10 MTF.

4.2 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、ベルトインタタイプのCALNEOに近い高スループット化を実現した。

これにより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。

4.3 FCRとの親和性

画像データハンドリングとして、通常DRで使われているリニアデータではなく、ログデータを採用することにより、FCRで培ってきた画像処理エンジンをそのまま活用できる。これにより当社既設機画像との親和性が高く、安定した画像処理が行なえるため、読影医の負担を軽減することができる。さらにFCRと同じコンソールで撮影することが可能となるため、FCRを併設している施設でも、技師は一つのコンソールで患者情報の入力や撮影後の操作を行なえるため、効率のよい作業が可能となる。

5. まとめ

今回開発したFUJIFILM DR CALNEO Cの筐体技術、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、さらには人々のクオ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) Beutel, J. et al. Handbook of Medical Imaging, Vol.1. Physics and Psychophysics. SPIE, 2000, chapter 4.
- 2) IEC62220-1-1 : Medical electrical equipment - Characteristics of digital X-ray imaging devices - Part 1: Determination of the detective quantum efficiency Ed. 1.0 (2003).

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