

# 高画質・高信頼性 a-Se デテクターを搭載した 直接変換方式デジタルラジオグラフィシステム「FDR AcSelerate」の開発

渡野 弘隆\*, 成行 書史\*, 今井 真二\*\*, 鍋田 敏之\*, 細井 雄一\*,  
辻 哲矢\*, 渡邊 敬太\*, 榎本 淳\*, 佐藤 優\*

## Development of High-image quality and High-durability direct conversion Digital Radiography System “FDR AcSelerate”

Hiroataka WATANO\*, Fumito NARIYUKI\*, Shinji IMAI\*\*, Toshiyuki NABETA\*, Yuichi HOSOI\*,  
Tetsuya TSUJI\*, Keita WATANABE\*, Jun ENOMOTO\*, and Masaru SATO\*

### Abstract

FUJIFILM's newly-developed “AcSelerate”, a digital radiography system, simultaneously realizes high-image quality, low-dose image acquisition and highly improvement on durability. “AcSelerate” contains a new direct conversion detector using a fullerene (C60)-doped polymer layer added on a thick amorphous selenium (a-Se) layer coupled to an amorphous silicon thin film transistor (a-Si TFT) array. The C60-doped polymer layer changes the electronic junction between a-Se and the electron-transporting layer smoothly, leading to the improved lag reduction characteristics. This polymer layer also improves the durability of the detector. The crystallization of a-Se which causes the pixel defects is drastically prevented by the polymer layer. With respect to low dose examination, the preview image is available on the Console Advance screen in only 2 seconds, allowing quick review of the image. Additionally, cycle time between exposures is approximately 4 seconds, allowing the technologist to work efficiently and make the process smoother for the patient. Moreover, “AcSelerate” can relieve the technologist of calibration work.

### 1. はじめに

当社は、被写体を通過したX線信号をアモルファスセレン半導体（以下 a-Se）を用いて電気信号に「直接変換」し、これを a-Si TFT 素子により読出することでデジタル

画像化するX線画像センサーの開発に成功した。本センサーは、a-Se半導体を用いた直接変換型センサーの特徴である高画質に加えて、残像の低減およびa-Se半導体層の耐久性のさらなる向上を実現した。本センサーを搭載した「FDR AcSelerate（以下 AcSelerate）」

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 Systems Research & 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  
先端コア技術研究所  
〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島577

\*\*Frontier Core-Technology Laboratories  
Research & Development Management Headquarters  
FUJIFILM Corporation  
Ushijima, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa  
258-8577, Japan

Fig. 1は、高画質と被曝線量の低減および高いスループットを両立したデジタルラジオグラフィシステムである。本報告においては、その開発背景、システム構成と特徴、および諸性能について概説する。



Fig. 1 System configuration of "AcSelerate" (FDR200).

## 1.1 開発の背景

近年、医療現場のデジタル化とともにX線診断分野においてもデジタルラジオグラフィシステム (DR) の導入が進んでいる。当社は、世界に先駆けてコンピュータドラジオグラフィ (CR) 方式によるX線診断画像のデジタル化に成功して以来、デジタルX線画像診断機器を市場に供給し続け、既存のX線装置に組み合わせて容易にデジタル化が可能との評判を得ている。

デジタルラジオグラフィでは、従来のスクリーン/フィルム (S/F) やCR方式に比べてX線利用効率が高いため、画質に優れ、被曝線量の低減が可能である。特に、アモルファスセレン (a-Se) 半導体を用いた「直接変換」方式のフラットパネルディテクタ (FPD) は、高鮮鋭度と高感度の両立を実現することができる。一方、a-Seを用いたFPDは、残像低減によるスループット向上およびa-Se層の結晶化によって発生する画像欠陥の低減が望まれていた。

このような背景から、高感度・高鮮鋭による診断能の向上と快適なスループットをはじめとしたワークフロー、および高信頼性を実現した「AcSelerate」(型式:FDR200)を開発した。

## 1.2 AcSelerateのシステム構成

Fig. 1に示すように、「AcSelerate」は撮影装置部 (X線源部、画像センサー部) とコンソール (操作卓) 部から成る。撮影装置部のシステム構成としては、1管球2パネル (立臥位システム)、あるいは1管球1パネル (立位システム、あるいは臥位システム) が選択可能である。撮影装置部で撮影された画像は、コンソール部で画像処理および表示がされ、ネットワークを介して外部のサーバーやアプリケーションにおいて保存および利用が可能となる。撮影装置部は、X線を発するX線源部と被検者を透過したX線像を検出する新規に開発された画像センサー部から成る。以下に「AcSelerate」の特徴をなす画像センサーとそれを搭載したシステム性能について述べる。

## 2. 画像センサー

「AcSelerate」は、アモルファスセレン半導体と、残像低減および高信頼性を両立するための高分子保護層を有することを特徴とした高画質X線センサーを搭載している。Fig. 2に画像センサーの概観を示す。センサーは、信号読み出し用TFT基板上に、正孔輸送層 (Hole-transporting layer)、X線光導電層 (X-ray PCL)、保護層 (Protective layer)、電子輸送層 (Electron-transporting layer)、上部電極 (Top electrode) が形成されている。以下に、本センサーの各層の機能と画像化原理を説明する。

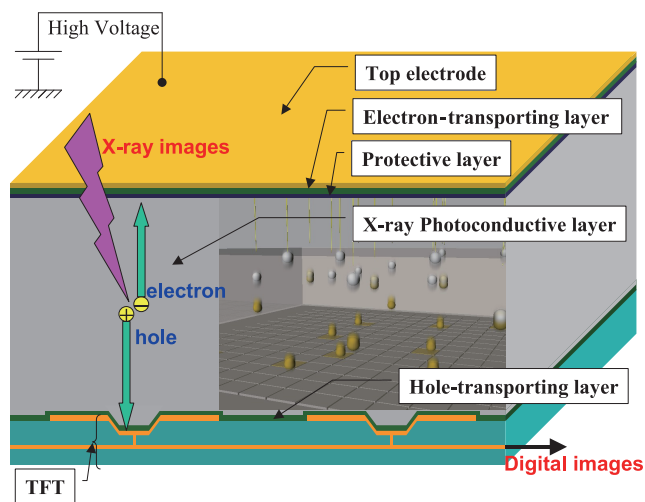


Fig. 2 Schematic view of the image sensor.

## 2.1 画像センサーの画像化原理

電圧が印加された半導体層にX線が入射すると、X線量子のエネルギーが半導体内で吸収され、最終的に生成された電子と正孔が、電界に沿って輸送される。「直接変換」方式では、この光導電現象を利用してX線信号を電気信号に変換する。

Fig. 2のセンサー断面図に示すように上部電極に正電

圧を印加した状態でX線が入射すると、生成された正孔が電界によって画素電極に収集される。続いてTFT素子を制御して各画素の電荷が読出され、増幅回路、ADC回路を通してデジタル信号に変換されることで画像情報が取得される。

## 2.2 信頼性の向上

半導体であるa-Seはガラス転移点が40℃程度と低いため、室温でも結晶化が進行し、導体である結晶セレンへと徐々に転移する。このため、a-Seを用いたFPDは、センサーに水冷などの強制冷却機構が必要とされ、使用環境温度の制限も限定されていた。

これに対し、「AcSelerate」では高分子を含有する保護層を導入し、a-Seの温度耐性を改良することで、空冷化および使用環境温度の緩和を実現した。a-Se表面に接合した高分子保護層は、a-Se層最表面から進行する結晶化を抑制している<sup>1)</sup>。

## 2.3 残像の低減

「直接変換」方式のFPDでは、X線光導電層で発生した自由電荷の輸送遅延によって残像が発生しやすいことが、もうひとつの課題として指摘されていた。電荷輸送遅延の原因の1つとして、各層間の界面におけるエネルギー障壁が挙げられる。

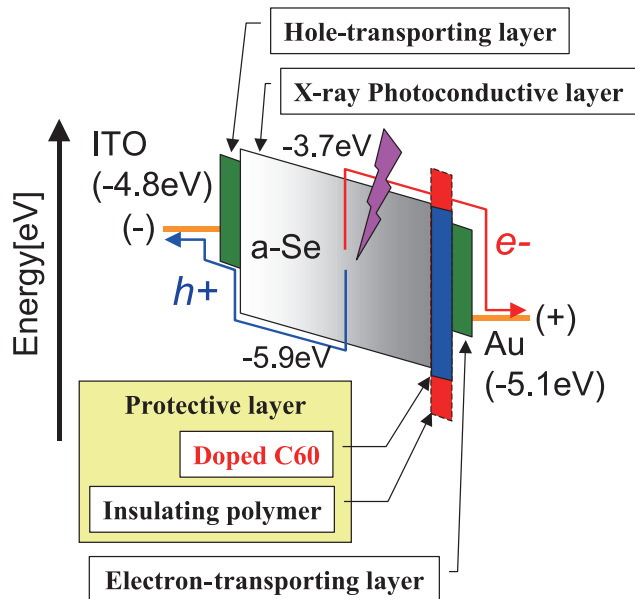


Fig. 3 Proposed energy level diagram of the detector stack.

「AcSelerate」では、自由電子の輸送性向上のため、高分子保護層 (Protective layer) にフラーレン (C60) をドーピングした層を導入している。Fig. 3に、デバイスのエネルギー準位図を示す。C60をドーピングした高分子保護層は、X線光導電層と電子輸送層との間の接合を改善し、X線光導電層で発生した自由電子の輸送性を向上させている。また、上部電極に印加されたバイアスからの正孔

注入を抑制し、暗電流の低減に寄与している。この電気特性によって、「AcSelerate」では安定な残像低減を実現した<sup>1)</sup>。

## 3. システム性能

### 3.1 画質性能

画質評価の総合的な指標としてDQEとMTFが広く用いられている。Fig. 4に、「AcSelerate」と当社従来機種である「FCR VELOCITY」のDQEとMTFを示す。線質はIEC規格<sup>2)</sup>に準拠し、RQA5とした。Fig. 4から、「VELOCITY」と比べて「AcSelerate」はMTFが高く、アモルファスセレンを用いた直接変換の効果が顕著に表われている。またDQEに関しても、一般撮影の標準的な線量である1mRでは、「AcSelerate」は「VELOCITY」よりも高い値となっている (1cyc/mmで25倍、2cyc/mmで5倍程度)。さらに、低線量域の0.3mRでもDQEが高く、「AcSelerate」の被曝線量低減のポテンシャルを示唆している。

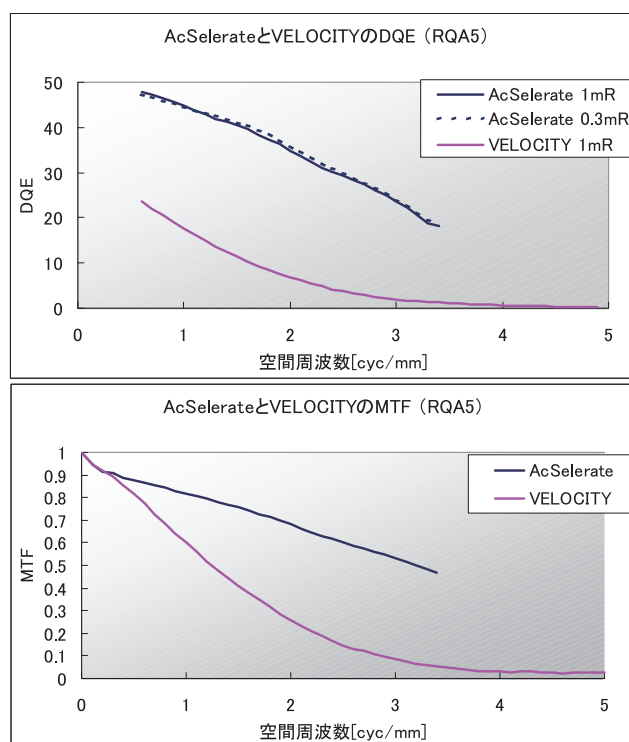


Fig. 4 DQE and MTF of AcSelerate and VELOCITY.

### 3.2 ワークフロー

「AcSelerate」は、下記のような機能を備え、効率的な検査ができる快適なワークフローを実現している。

#### (1) 快適なスループット

照射時間が短い低線量撮影時には、電荷を蓄積する時間、および蓄積した電荷を読み出す時間などを最適化したことにより、プレビュー表示2秒、処理済み画像表示4秒を達成した。これにより、迅速な画像の確認と、検査時間の短縮が可能である。

- (2) ユーザーによるキャリブレーション作業が不要
- (3) CR/DR共通のコンソール

DRの操作と画像処理を行なう制御装置には、FCRでも好評を得ているCRコンソールを進化させた、「Console Advance」を採用した。現在、FCRを使用している施設では、従来操作でDR撮影が可能であることはいうまでもなく、初めて操作する方にも直感的に使用できるインターフェースとなっている。さらに、1台で「AcSelerate」と、FCRカセットのデジタル画像読取装置（当社指定の読取機）の両方を操作できるため、画像処理が統一できる利点もある。撮影室に複数の撮影装置が存在する施設においても、RIS（Radiography Information System）からの振り分けや、PACS（Picture Archiving and Communication Systems）への画像送信などの作業重複が無く、Console Advance 1台で快適なワークフローを実現している（Fig. 5）。

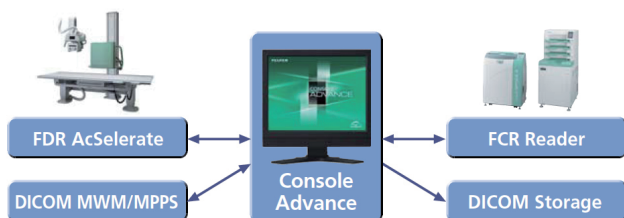


Fig. 5 Possible system configuration.

- (4) オートポジショニング機能  
5軸モーターを搭載した天井走行式X線管懸垂器が撮影メニューと連動し、予め設定した位置までX線管を自動で移動させることが可能である。
- (5) チルト機能  
立位パネルが $-20 \sim 90^\circ$ の範囲でチルト可能である。
- (6) 面積線量計（DAP） ※オプション機能  
画像ごとに面積線量を記録し、患者の被曝管理が可能である。
- (7) グリッド交換方向の左右選択が可能  
撮影室内の設置場所が制限されない。

## 4. まとめ

デジタルラジオグラフィシステム「AcSelerate」は、アモルファスセレンによる直接変換を特徴とする画像センサーを搭載しているため、高感度・高鮮鋭に画像が取得できる。また、これまで課題として指摘されていた残像性能と、セレンの結晶化による画像欠陥発生を改善した。また、高周波でも高いMTFを維持するため、細かい骨梁などの視認性向上が期待される。DQEも低線量域まで高い値を維持するため、被曝線量の低減が期待できる。本システムのような、画質とスループット性能を合わせた製品は現時点でほかになく、検診・診断の精度および効率の向上、被検者の被曝低減に貢献できると期待している。

## 参考文献

- 1) F. Nariyuki et al., Proc. SPIE **7622**, (2010), to be published.
- 2) IEC62220-1 : Medical electrical equipment - Characteristic of digital X-ray imaging devices - Part1: Determination of the detective quantum efficiency, Ed. 1.0 (2003).

（本報告中にある“FCR”は富士フィルム（株）の登録商標です。）