

特集 最新の画像診断法とその応用～機器メーカーによる最新情報～

6. FPD搭載X線装置の小児への応用と可能性

小田和幸

株式会社日立メディコ XR戦略本部

The application and the possibility for the pediatric examination by the X-ray equipment with flat panel detector

Kazuyuki Oda

X-Ray business Marketing Division, Hitachi Medical Corporation

Abstract

In the case of pediatric examination using X-ray equipment, it is necessary to consider lowering the amount of exposure as much as possible. Furthermore, the X-ray equipment has to provide high diagnostic performance. In order to fulfill these requirements a new X-ray detector which is more sensitive than the conventional one is needed. The Flat Panel Detector (FPD) which has recently been produced is expected to be a next generation X-ray detector. The latest X-ray equipment with this FPD mounted provide us with many advantages, for example reduction of the exposure to X-ray radiation, high image quality, and examination in a comfortable environment, by using new image processing and peripheral technology.

Keywords : FPD, X-ray, Reduction radiation dose

はじめに

医用画像診断装置の歴史は、1895年レントゲン博士によるX線の発見から始まった。その後、核医学装置、超音波装置、X線CT (Computed Tomography) 装置、MR (Magnetic Resonance) 装置など新しいモダリティが開発されてきた。この100年における医用画像診断装置の発展・普及には目覚ましいものがあり、今では、医療を行なう上で必要不可欠なものとなった。

その反面、それぞれのモダリティには特有の短所を合わせ持つ。なかでも、X線を利用する装置では被検者や術者に放射線障害のリスクがある。特に、小児は活発な成長期にあり生殖腺の感受性が高いため、X線防護や低被ばく化のための様々な取り組みが必須である。術者については被写体

ではないこと、大人であることなどからX線防護の方策はいろいろ考えられるが、患児は直接X線の被ばく対象であるためできる限り被ばく量を少なくすることが必要である。しかし、X線条件を下げると画質も落ちるため、被ばくのリスクを負う以上のメリット(診断価値)を提供できなければならぬ。

一方、1980年代初頭より、撮影画像のリアルタイム表示や画像ネットワークの普及などからX線装置のデジタル化が急速に進んできた。これに対応するX線検出器として、透視撮影装置ではII/CCD (Image Intensifier/Charge Coupled Device)、一般撮影装置ではCR (Computed Radiography) 装置におけるIP (Imaging Plate) により実現しており、現在でも広く使われている。2000年代に入るとさらなる高画質化・低被ばく化・小型化のため、

FPD (Flat Panel Detector: X線平面検出器) が実用化され、これを搭載した多くのX線装置が製品化されてきた。

新しいX線検出器であるFPDを搭載した最新のX線装置が、画像処理技術やシステムを構成する各ユニットでの対応を含め、小児検査においてどのように有用であるかについて報告する。

X線装置およびX線検出器の経緯

X線装置は幅広い臨床目的で使用されており、主に透視撮影装置と撮影専用装置に大別される。本項では、X線装置のタイプとそれぞれにおける臨床ニーズ、およびそれらのニーズを満足させる技術の開発動向について述べる¹⁾。

1. 透視撮影装置

透視撮影装置は上部下部消化管検査用のいわゆるX線テレビ装置と、心臓カテーテル検査用および心臓以外の血管造影検査用の循環器検査装置、外科用透視撮影装置に大別される。いずれも、静止画としての撮影画像および連続的なX線照射により被写体の動態画像を得るための装置である。ここでは主にX線テレビ装置について述べる。

X線テレビ装置は造影剤による上部下部消化管検査を行なうための装置として、1960年代にはほぼ現行製品の基本スタイルが完成されていた。同様に、循環器検査装置も1960年代から製品化されていたが、1980年代初頭にDSA装置が開発され、撮影像のリアルタイム表示が実現された。このDSA (Digital Subtraction Angiography) 装置の普及とともにIVR (Interventional Radiology) 手技も普及してきた。

一方、上部下部消化管画像は空間分解能と濃度分解能の点で、DSA画像に比べて高いレベルを要求されることからデジタル化が遅れた。1990年代初頭、走査線数が2000本の高分解能X線テレビカメラが開発され、さらに超高精細I.I.の開発とともにX線テレビ装置に搭載され、いわゆるDR (Digital Radiography) 装置として製品化された。

I.I.の原理・構造は、入射されたX線を光に変換し、光子を加速し、2次蛍光面に集束・衝突させて明るく発光させるものである。このため内部は真空となっており、容器は円筒型、かつ入射面

は球面状になっている。また、画像の拡大率を大きくするため、入射面の視野を小さくすると、一定の輝度を確保するためにX線照射量を増やす必要がある。I.I./CCDの特徴を以下にまとめる。

- (1) 視野が円形となり、四隅は画像が欠ける。
- (2) 透視像および撮影像は2次元平面に投影されるため、視野中央部と周辺部の間で歪と輝度差が生じる。
- (3) 2次蛍光面で画像が滲む。
- (4) 検出器の容積が大きい。
- (5) 視野サイズを小さく(拡大率を大きく)するとX線照射量が増える。
- (6) 視野サイズを小さく(拡大率を大きく)すると空間分解能が上がる。
- (7) I.I.は経時的に輝度が低下する。

2. 撮影専用装置

撮影専用装置には、一般撮影装置、移動型X線撮影装置(回診車)、乳房撮影装置が含まれる。これらは、静止画として高精細な撮影画像を得るための装置である。

撮影専用装置における臨床ニーズは、やはりデジタル化である。従来、撮影画像は増感紙とX線フィルムで可視化していたが、X線フィルムでは現像という工数が発生する。その手間、現像機の管理および運用に関する手間とコストを削減したいという要望が高まってきた。さらに、インフラストラクチャとして画像ネットワークの普及もデジタル化の加速要因である。これに対し、1980年代初頭に製品化されたCR装置がデジタル化を実現した。

IPと呼ばれる新しい2次元センサに蓄積されたX線照射エネルギーはCR装置で読み出され、画像化される。読み出した後のIPは蓄積されたX線照射エネルギーを消去する必要がある。このため、撮影ごとに読み出しと消去の手間と時間を要する。IP (CR装置)の特徴を以下にまとめる。

- (1) カセット撮影が可能である(従来の撮影法を適用できる)。
- (2) カセットの交換が必要である。
- (3) IPの消耗などの管理に関する配慮が必要である。
- (4) 撮影後、画像が表示されるまでに時間を要するため、高速のくり返し撮影に制約がある。

X線平面検出器 (FPD) について

透視撮影装置ではI.I./CCD、撮影専用装置ではIP (CR装置) によりデジタル化を実現したが、高画質、低被ばく、高操作性の観点から、従来の短所を克服すべく次世代のX線検出器への期待が高まってきた。本項では、新しいX線検出器であるFPDについて述べる。なお、FPDは透視撮影装置に搭載する動画対応型と撮影専用装置に搭載する静止画用の2種類があるが原理は同じである。

1. 原理

FPDはX線の強弱を電気信号に変換する機能を持ち、直接変換方式と間接変換方式がある。

1) 直接変換方式 (Fig.1)

検出器に入射されたX線の強弱を電気信号の強弱に直接変換することから直接変換方式と呼ばれている。これは、非晶質セレン (a-Se) などの半導体膜の特性を利用してX線情報を直接電気信号に変換する方式である。半導体膜を挟んだ電極の間に10kV程度の高電圧を印加することにより半導体膜から生成された電荷を直接電極に吸収し電気信号を得る。このため、高いMTF (Modulation Transfer Function) 特性が得られる反面、S/N (Signal to Noise Ratio) 特性は低いと一般的に言われている。

2) 間接変換方式 (Fig.2)

本方式の基本的な原理はI.I./CCDと同じである。即ち、ヨウ化セシウム (CsI) などの蛍光体をX線入射面に持ち、X線の強弱を光の強弱に一時的

的に変換する。その後、フォトダイオードで光の強弱を電気信号に変換する。X線情報から電気信号を得るために光を介するため間接変換方式と呼ばれている。間接変換方式は光を介させることにより高いS/N特性が得られる反面、MTF特性は低いと一般的に言われている。

2. 性能

FPDの性能の指標として、①空間解像度を見るMTF特性、②ノイズを見るS/N特性、③画像化できる入射X線量を見る入出力特性、がある。

ここで、高解像度を得るためには1画素のサイズを小さくする必要があるが、画素が小さくなると画素に入射されるX線量が少なくなるため感度が落ち、S/Nが悪くなる。MTF特性とS/N特性は相反する関係にあり、全体の性能バランスがFPDのキーポイントである。本項では、動画対応型FPDを例にとりて各特性について述べる。

1) MTF特性

MTF特性をFig.3に示す。1 lp/mmで約65%、2 lp/mmで約30%のMTFを実現している。また、2×2画素加算モードでは1 lp/mmで約55%のMTFであるが、毎秒30画像の画像収集を実現している。

2) S/N特性

透視S/N特性をFig.4に示す。透視はFPDへの入射線量が少ないため、特に被写体の厚い低線量域でのノイズ特性に課題を有している。しかし、様々な画像処理によりI.I./CCD同等以上の高画質な透視像を表示している。なお、撮影S/N特性はI.I./CCD同等である。

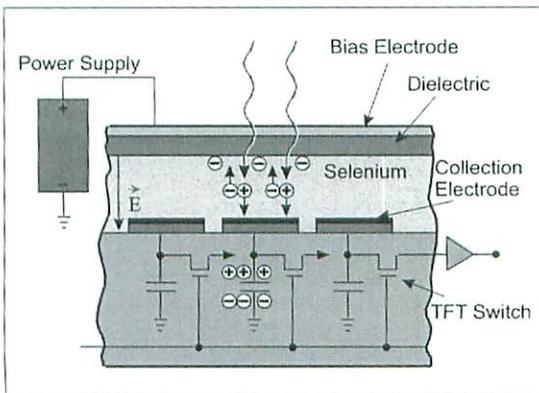


Fig.1 直接変換方式 FPD の原理

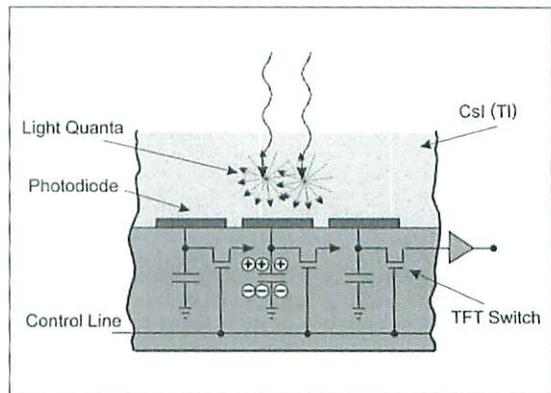


Fig.2 間接変換方式 FPD の原理

3) 入出力特性

入出力特性をFig.5に示す。I.I./CCDでの最大入射線量が約1mRであるのに対し、FPDへの最大入射線量は約4mRまでカバーできる。このため、一般撮影にも対応できる性能を有しており、被写体が薄い部位から厚い部位までを画像化でき、高い診断能を提供できる。

3. 被ばく線量

静止画用FPDの製品化は1998年、動画対応型は2000年であった。その後、I.I./CCD装置やCR装置との被ばく線量に関する臨床上またはファントム実験による性能比較が多く施設で行なわれてきた。その報告書によると、それぞれのタイプのFPDにおける被ばくに関し、ほぼ以下の傾向が見られる。

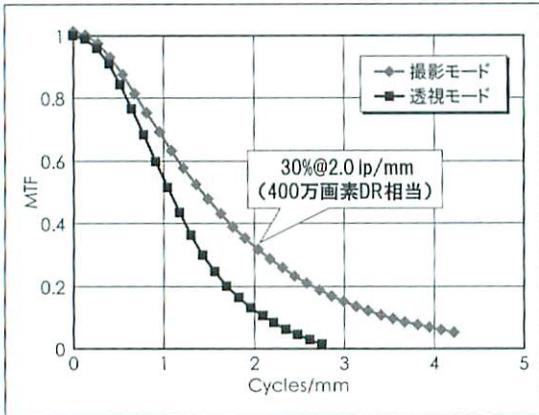


Fig.3 動画対応型 FPD MTF 特性の1例

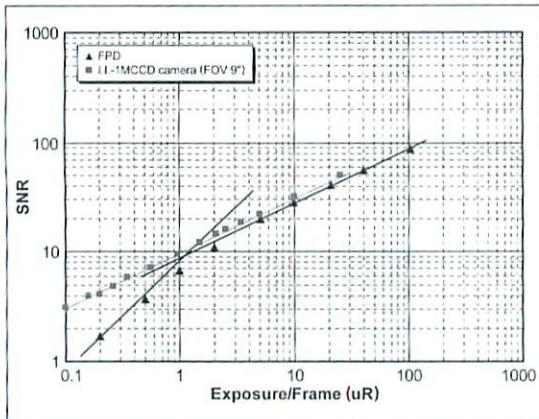


Fig.4 動画対応型 FPD S/N 特性の1例

- ・動画対応型FPDはI.I./CCDと比較して、若干被ばく低減するものの期待以上ではない^{2,3,4)}。
- ・静止画用FPDはIPと比較して、画像情報を損なうことなく大幅に被ばく低減する(低減率は最大60%程度)^{5,6,7)}。

4. 操作性

操作性の指標として、視野サイズと取り回しを挙げる。

1) 最大視野サイズ

現在製品化されているFPDのサイズは、動画対応型、静止画用を含めていろいろある。

いずれのタイプでも43cm×43cmサイズが最大サイズである。

2) 取り回し

静止画用FPDでは、近年、取り回しのよい長いケーブルを有する可搬型FPDが製品化されてきた。さらに、このケーブルが脱着できるタイプや、ケーブルレス(無線方式)のものも製品化されてきた。これらの可搬型FPDは撮影専用装置に搭載し、従来のカセット撮影と同様の使用が可能となる。

小児検査におけるX線装置の最新技術

小児は知能、精神および身体の点で成長過程にあるため、X線装置による検査を行なう上で様々な配慮が必要となる。小児は、言い聞かせることが困難、環境の変化に対する順応性に乏しい、などを認識して検査を行なうこと、そして何よりもX線に対する感受性が高いことに充分注意しなけ

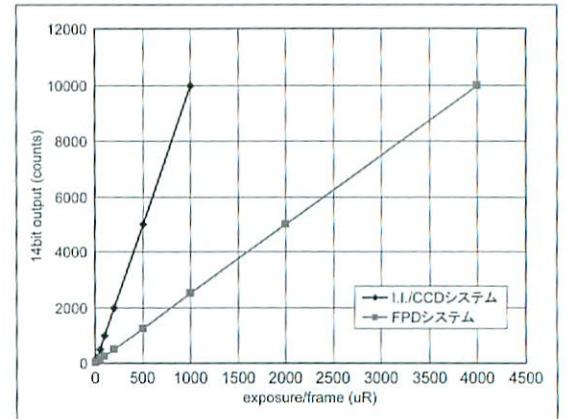


Fig.5 動画対応型 FPD 入出力特性の1例

ればならない。

本項では、小児検査特有の留意点に対応したX線装置の最新技術について述べる。

1. X線装置から見た小児検査の留意点

小児がX線検査を受ける際、以下の点に留意する必要がある^{8,9)}。

- (1)被ばく防護をすること、および被ばく量をできる限り少なくすること。
- (2)体動を抑制すること。
- (3)不安や緊張感を取り除き、泣かせず、平静な状態とすること。
- (4)患児の急激な容態変化に備えて、回診時の撮影であってもできるだけ早急に画像を見る必要がある。

2. X線装置の最新技術

前項の留意点に対応したX線装置の最新技術を透視撮影装置と撮影専用装置に分けて述べる。

1) 透視撮影装置 (Fig.6)

(1)低被ばく化

①FPD搭載

- ・高感度かつ高S/NのX線検出器による少ないX線量での検査が可能
- ・矩形かつ大視野により必要な領域を1回の撮影でカバーできる

②パルス透視

- ・1フレーム当りの画像が良好であるため位置決めのための透視像を診断用利用できる

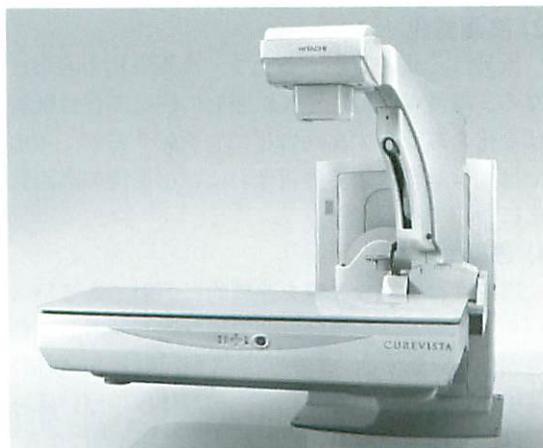


Fig.6 動画対応型 FPD 搭載透視撮影装置の1例

- ・パルス透視のレートを調整できるため被ばくを抑える
- ・X線パルス波形の立下りを急峻にすることで無効被ばくを無くす

③透視記録

- ・透視像をハイビジョンモードでデジタル録画
- ・音声とともに撮影風景や内視鏡画像などと Picture in Picture 録画することにより検査後に総合的な診断が可能

④画像処理

- ・少ないX線量でも透視像や撮影像を高画質化する様々な技術 (例: リカーシブフィルタ処理, ダイナミックレンジ圧縮処理など)

⑤アームの2次元移動

- ・嚙下造影検査時、アーム移動のみで位置決めできるため、位置決めのための透視が不要

⑥可変S.I.D. (Source-Image Distance)

- ・X線管球焦点～X線検出器距離を長くすることで低被ばく化と高画質化を実現する

⑦グリッド

- ・グリッドが脱着できることにより低被ばく化をサポートする

⑧付加フィルタ

- ・画像に寄与しない軟X線を吸収する

(2)計測

①FPD搭載

- ・距離や角度、狭窄率などの計測において、FPDは歪がないため精度の高い計測が可能

(3)ケアのしやすさ/アクセス性

①テーブル周囲のワークスペース

- ・特にテーブル奥に広いワークスペースを確保し、検査中のリスクに対応する

②テーブル端で検査可能

- ・テーブル端で透視・撮影ができるため検査環境と検査効率が向上する

(4)安心感

①テーブル固定

- ・視野の任意方向への移動時でもテーブルが固定されているため、患児がテーブルに手を扶むリスクがない
- ・視野の横移動時でもテーブルが固定されているため患児が動くことなく、安心感を与えられる

- ・点滴スタンドなどの器材とテーブルが干渉することがない

2) 撮影専用装置 (Fig.7)

(1) 低被ばく化

① FPD 搭載

- ・高感度かつ高S/NのX線検出器による少ないX線量での検査
- ・撮影から画像表示までの時間短縮により検査時間を短縮できる
- ・ポータブル化により、従来のカセット撮影に対応可能

② 画像処理

- ・少ないX線量でも撮影像を高画質化する様々な技術(例: ダイナミックレンジ圧縮処理, マルチ周波数処理など)

(2) 回診撮影画像

- ・回診車に FPD や CR 読取り機を搭載し、撮影した現場で画像を確認できる
- ・撮影オーダおよび撮影画像は無線ネットワークで送受信できるため、離れた場所にいる主治医の判断を得て、その場で再撮にも対応可能

今後の可能性

小児X線検査において、今後、求められることは、安全性や検査効率の向上も重要であるが、①低被ばく化、②高画質化、に集約される。各項目について今後の展開について検討する。



Fig.7 静止画用 FPD 搭載撮影専用装置の 1 例

1. 低被ばく化

低被ばく化を実現するためには、①信号成分として必要な1次X線の低減、②ノイズ成分としての散乱線の低減、に分けられる。

1) 1次X線の低減

1次X線量が同じであれば、X線検出器の感度が高い方が画像のS/Nは良好となる。したがって、1次X線をできる限り低減するためには、X線検出器のX線感度を高める必要がある。上記したように、現行 FPD の透視 S/N 特性は低線量域で IL/CCD よりも劣っている。これは、FPD の各画素からデータを高速で読み出すときに発生する電子回路ノイズが主な要因である。今後、電子回路ノイズを大幅に低減する技術開発が望まれる。

2) 散乱線の低減

散乱線は、画像化のために必要な1次X線が被写体やその他の物体に当たって方向を変えて発生する2次X線である。散乱線は、本来、不要なX線であり、患児や術者、介添者に対してはX線被ばくとなり、X線検出器に入射されれば画質劣化の原因となる。

散乱線を低減するには、①グリッド法、②グレーデル法その他、③圧迫により被写体厚を薄くする、④視野を絞ることが必要である。ただし、グリッド法では入射X線量を増やす必要があること、グレーデル法では拡大による画像ボケが発生すること、などの影響がある。そこで、効果的な方法として、視野を任意形状で必要最小限に設定できるX線絞りの開発に期待したい¹⁰⁾。

2. 高画質化

低被ばく化を実現する上で、高画質化も必須となる。散乱線の除去やX線照射の短時間化は低被ばく化のみならず高画質化にも貢献するが、本項では画像処理による透視像および撮影像の高画質化について検討する。

1) 透視像

透視像は微弱なX線を連続的に照射、あるいはパルス状のX線を短い周期で繰り返し照射して動態画像を収集する。このため、X線照射量(mAs値)は撮影に比べて少なくなり、被写体厚の厚い部分では信号成分が減り、ノイズが目立つようになる。このノイズは、電子回路ノイズとX線量子ノイズ

が含まれている。電子回路ノイズは前項に述べたようにハードウェア技術の開発がキーポイントとなるが、量子ノイズはオブジェクトとノイズをリアルタイムに見分けてノイズだけを低減する、などの手法の実用化が期待される¹¹⁾。

2) 撮影像

乳幼児に対する撮影では低いレートで収集したパルス透視からキャプチャした画像でも診断能は確保できる。学童に対しては、X線条件を制限した撮影が必要となるが、このとき、以下の点に配慮できる機能が望まれる。

- (1)胸部や腹部撮影に際し、呼気または吸気のタイミングに同期して撮影できる
- (2)誤嚥した異物を自動的に判断するCAD (Computer Aided Diagnosis)機能
- (3)腹部撮影時に臓器や石灰化の特定が行なえる高い濃度分解能の確保
- (4)微小な骨折を表現できる高い空間分解能

まとめ

X線装置による小児検査において、X線被ばくをできる限り抑えることと診断に供される画質を確保することの両立が必須であり、そのための最新技術について述べた。この相反する命題を実現するために、高効率のX線検出器と画像処理技術がキーとなる。近年、製品化された次世代のX線検出器であるFPDを搭載した装置は、透視撮影装置に使用される動画対応型と撮影専用装置に搭載される静止画用があり、新しい画像処理技術や周辺技術の開発とともに、従来のX線装置を越える性能を有している。

被ばく低減と高画質化はX線装置における永遠のテーマであり、様々な方向から検討を加え、メディカルとエンジニアが密接に連携して技術開発を継続的に進めなければならない。

●文献

- 1) 特許庁総務部技術調査課技術動向班：医用画像診断装置に関する特許出願技術動向調査報告。平成15年5月8日。
- 2) 山口可南子，古東正宜，根宜典行，他：FPD搭載型心血管撮影装置の使用経験－II.システムと比較して－。日本放射線技術学会近畿部会 2006：第49回学術大会抄録 No.23。
- 3) 鈴木新一，荒井 剛，山田文夫，他：FPDシステムとIIにおけるPCI時の入射皮膚線量の比較検討。日本放射線技術学会東北部会雑誌 2008；17：196-197。
- 4) 金子 満，成田信浩，水沢康彦，他：循環器領域におけるFPDとII/CCDの比較－各世代間の線量比較(第1報)－。日本放射線技術学会東北部会雑誌 2004；13：74-76。
- 5) 鈴木辰也，増子昌宏，小島正徳，他：CRとFPDの線量比較及びFPDのQC管理について。日本放射線技術学会東北部会雑誌 2005；14：172。
- 6) 中島麻美子，村井雅美，大瀬俊一，他：骨盤計測撮影におけるFPDを用いた被ばく線量低減の試み。日本放射線技術学会近畿部会 2006：第49回学術大会抄録 No.10。
- 7) 佐々木喬，稲見清和，浅野茂夫：FPDの基礎特性。日本放射線技術学会東北部会雑誌 2006；15：172-173。
- 8) 曾根原純子：当院における小児単純X線撮影マニュアルより良い画像を提供するために－。日本放射線技術学会雑誌 2003；59：268-276。
- 9) 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会：医療検討委員会嚥下造影の標準的検査法 作成に当って。日摂食嚥下リハ会誌 2004；8：71-86。
- 10) 吉野潤一：小児における撮影線量の考え方－当院における被曝線量低減方法について－。第29回日本小児放射線技術研究会 2006；シンポジウム。
- 11) 鈴木克己，重村宗作：X線TV対応透視ノイズ低減フィルタの開発。第66回日本放射線技術学会総合学術大会 2010；抄録。