

最新医療を支える高画質 X 線イメージング

High-Quality X-ray Imaging Technologies for Advanced Medical Care

坂口 卓弥

落合 理絵

田中 秀明

■SAKAGUCHI Takuya

■OCHIAI Rie

■TANAKA Hideaki

シンプルな動作原理でありながら、広視野、高空間分解能、高時間分解能などの特長を備える X 線イメージングは、広範囲な疾患の診断と治療の支援に使われている。この分野で X 線イメージングに求められているのは、臨床現場での的確な診断や治療に必要で十分な高画質と、被ばくを最小限に抑えることである。

東芝メディカルシステムズ(株)は、近年著しい進歩を遂げているデジタル技術を応用した新技術とそれを搭載した製品の開発を続け、高性能な検査の実現に貢献してきた。常に、臨床現場の要求を反映し、高度な医療の実現に向けて技術革新を続けている。

With their notable features such as simplicity, a large field of view, high spatial resolution, and high temporal resolution, X-ray imaging systems are applied to diagnosis of and treatment support for a broad range of diseases. X-ray imaging is required to provide both high image quality that allows accurate diagnosis and treatment in clinical practice, and minimized dose to the patient and operator.

Toshiba Medical Systems Corporation has been contributing to the realization of advanced medical care by developing new technologies based on cutting-edge digital technologies and supplying new X-ray imaging systems equipped with these technologies. We are making continuous efforts to innovate technologies in order to meet various requirements in the clinical setting.

1 まえがき

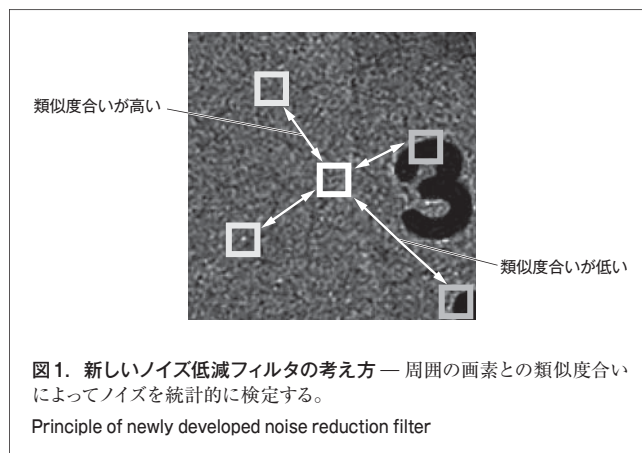
発明から100年を超えた X 線イメージングは、頭から足先に至るまで、様々な疾患の診断と治療の支援に使われている。X 線イメージングには、臨床現場において“見たいものを見ることが出来る”ようにするための画質の向上と、被ばくの低減という課題が常に課せられている。東芝メディカルシステムズ(株)も、近年進歩が著しいデジタル技術を積極的に応用した新技術の開発と製品への搭載を続けるなど、X 線イメージングを通して診断と治療の高性能化をサポートし貢献している。

ここでは、当社がこの分野で先進的な技術レベルを誇る、四つの代表的な疾患に対する X 線イメージングについて、高画質化と低被ばく化の観点から述べる。

2 高画質化・低被ばく化技術

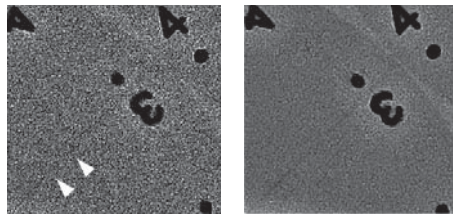
X 線イメージングの画質は、X 線発生器、通過物体、X 線検出器、画像処理装置、表示装置などに依存する。そこで当社は、最新の技術を統合した新画質コンセプト PureBrain™ を開発し、被ばくを抑えつつ、画質を最良にするという相反する要求を満たす試みを続けている。

PureBrain™ は、X 線制御技術、画像安定化技術、及び画像処理技術から成り立つ。このうち画像処理技術では、新しいノイズ低減フィルタを開発した^{(1),(2)}。一般的な時空間フィル



タにおいては、例えば平滑化フィルタでは対象のぼけや残像の発生があり、エッジ強調フィルタではノイズの増強があり、また、物体認識技術においては、誤認識の解消に限界があるとともにリアルタイム処理の計算コストが高い、といった問題がある。開発したフィルタでは、対象画素と周囲の画素との類似性に着目し、類似度合いによってノイズを統計的に検定し、ノイズを抑制する(図1)。

この結果、空間分解能と時間分解能を維持したまま、物体をぼかすことなく、また、残像などの違和感も生じさせることなくノイズを大幅に低減させ、信号対ノイズ比(SNR)を向上させて視認性を高めることが可能になった(図2)。



(a) ノイズ低減処理前 (b) ノイズ低減処理後

図2. ノイズ低減効果の例 — ピアノ線 (△印) を回転するディスク上に配置して撮像した。処理前の画像(a)では線がノイズに埋もれているが、処理後の画像(b)ではノイズが低減され、線の視認性が高まっている。

Example of noise reduction effect

3 乳がんのX線イメージング

近年の生活様式の変化に伴い、わが国では女性の乳がん罹患(りかん)率が年々増加している。現在では、早期発見と早期治療により高い生存率が期待できるが、乳がん検診の受診率は欧米諸国に比べてまだ低く、わずか20%程度にとどまっているのが現状である。マンモグラフィ検診の普及により、触診や超音波検査では発見することができない、ごく早期の非触知乳がんをマンモグラフィ画像の微細石灰化陰影により発見できる機会が増えているため、検査の不快感を緩和し、受診率を向上させることが重要である。

以下に、当社が、高い技術レベルを誇るマンモグラフィ装置の大手国産メーカーとして、わが国の女性の体格や特性に合わせて開発した、最新機種(図3)の特長について述べる。

3.1 高画質化・低被ばく化技術

微細石灰化の形状や分布の評価が要求されるマンモグラフィに適した高画質を実現するため、アモルファスセレンを用いた直接変換方式の平面X線検出器(FPD)を採用した。X線



図3. デジタルマンモグラフィ装置 Pe·ru·ru™ DIGITAL — ラウンドフォルムとパール色のデザインにより、受診者に清潔感と安心感を与える。
"Pe·ru·ru™ DIGITAL" mammography system

をデジタル信号に直接変換する際の光の拡散によるぼけを減らすことができ、高解像度の画像を得ることができる。この方式はアナログシステムと異なり、フィルム/スクリーン系の感度や表示特性によって撮影条件が左右されることがなくなるため、FPDの線質特性に合わせてX線撮影条件を最適化することができる。

また、愛知県がんセンターとともに、従来のアナログシステムよりX線管電圧を高く設定して、X線の被ばくをそのままにSNRやコントラストノイズ比(CNR)の向上を実現するPe·ru·ruショット機能を開発し、搭載している。

更に、セカンドモニタとして高精細な500万画素の液晶ディスプレイ(LCD)を搭載でき、検査時に鮮明な撮影画像を確認することができる。

3.2 安心感を与えるデザイン

マンモグラフィは痛くて怖い検査だという受診者のイメージを一新するため、女性スタッフを中心に装置のデザインや配色を検討した。撮影台は、受診者が装置に体を預けやすく、緊張を和らげるようなラウンドフォルムを採用し、パール色仕上げの外観が受診者に清潔感と安心感を与える。また、当社独自の柔軟な圧迫板と圧迫制御方式の採用により、乳房の圧迫による痛みや不快感が低減され、好評である。2009年にグッドデザイン賞を受賞している。

4 整形領域のX線イメージング

整形領域で、もっとも一般的に行われる画像検査は、汎用X線診断装置による骨格系のX線単純撮影(2次元の静止画像の撮影)である。骨折及び脱臼といった外傷や、リウマチ及び骨粗しょう症、加齢に伴う変形関節症といった疾病など、適用される臨床範囲は極めて広い。

検査や治療の方法が進歩しているなか、100年以上にわたって行われている検査であるにもかかわらず、X線単純撮影の重要性はますます高くなっている。その理由としては、①骨と他の組織が明確に分離して表現され空間分解能が高い、②可搬型検出器により自由度の高い撮影体位がとれる、③検査時間が短く検査費用が安い、などが挙げられる。

4.1 高画質化・低被ばく化技術

汎用X線診断装置においても、低被ばく、画像表示の即時性、及び高い検査効率という特長により、近年はイメージングプレートを用いたCR(Computed Radiography)システムからFPDを用いたシステムへの移行が進んでいる。

デジタル一般撮影システムRADREX™-i(図4)は、高感度で高精細の430×430mmの固定型FPDと、430×350mmの可搬型FPDを組み合わせることができるようにし、高画質化を実現している。

また、RADREX™-iでは、全ての撮影において被ばく線量

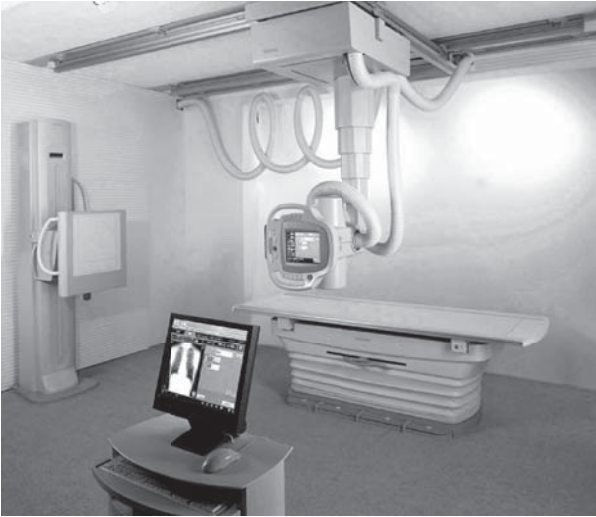


図4. デジタル一般撮影システムRADREX™-i — FPDと統合化されたLCDタッチパネルにより、高い検査効率を実現した。
RADREX™-i digital radiography system

の目安となる患者の表面線量を計算し、表示と保存ができる。保存した値はDICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine) ネットワークを介して転送され、サーバなどで患者ごとの線量管理に利用される。

4.2 長尺撮影機能

ここでは、RADREX™-iの検査支援機能のうち、脊椎(せきつい)や下肢など検出器よりも広い視野を、複数の撮影画像を貼り合わせて表示する長尺撮影機能について述べる。

脊柱が側方へ湾曲する脊柱側湾症のうち、約70%は原因不明の特発性側湾症で、その大部分が思春期前後の女性に多い思春期性側湾症である。早期に発見して進行を抑制することが必要なため、学校保健法で脊柱検診が義務付けられている。この検診は、前屈試験などにより学校医が目視で行い、疑いがある場合は整形外科で側湾症の程度(側湾度)が調べられる。側湾度はX線単純撮影像から導き出されるCobb(コブ)角で表され、それに応じて治療方針が決定される。

脊柱全体の画像を得るために、従来は複数のカセットを並べたり、特殊な長尺フィルムを用いたりしており、この方法では、撮影の準備や撮影後のCobb角の計測に時間が掛かるうえ、デジタルで画像を保存するのが難しかった。

RADREX™-iでは、撮影したい範囲をX線絞りの光照射野^(注1)を用いて設定すると、自動的にFPDが移動して、2枚又は3枚の撮影像を合成した長尺画像を得ることができる。これにより、検査時間を大幅に短縮できるとともに、デジタル画像上でのCobb角の計測やファイルの保存が容易になる。

(注1) X線が照射される範囲と同じ範囲を可視光で示したもので、X線絞りに内蔵されたランプによって被写体表面に投影される。

5 血管内治療のX線イメージング

血管疾患の治療法として、近年は、患者への負担が少ないインターベンション治療が好まれるようになってきている。ここでインターベンション治療とは、皮膚に開けた穴から細いチューブを挿入し、そのチューブを通して行う治療のことを指す。特に、虚血性心疾患、不整脈、脳動脈瘤(りゅう)といった疾患では、血管内インターベンションが多数行われている。

血管内インターベンションにおけるイメージングの主な役割は、治療時のイメージガイドである。患者は事前にCT(コンピュータ断層撮影)やMRI(磁気共鳴イメージング)といった診断機器を利用して十分な診断がなされ、治療方針が定まった後にインターベンション治療が適用される。そのため、この治療が開始されるときには既に治療対象や、治療方法、治療ゴールなどが定まっている場合が多い。医師はその計画に従って治療を進めるが、外から見えない体内で器具を操作することになるため危険を伴う。そこでイメージング装置を利用し、体内での器具の操作を可視化する。

すなわちイメージング装置には、長時間の使用に耐え、次の瞬間に器具をどのように操作すべきかなどの判断を支援するイメージガイドの機能が求められる。

5.1 高画質・低被ばく化技術

ここで医師が可視化したいのは、器具や造影された血管であり、臓器というよりも体外から挿入した人工物であることが多い。例えば、虚血性心疾患において心臓冠状動脈に留置するステントは金属製である。そこでイメージング装置としては、これらの人工物を鮮明に映し出すことが重要である。これらの人工物の特徴として生体組織と原子番号が大きく異なる場合が多いため、ノイズを除去し、生体組織を圧縮し、人工物を強調するといった技術を適用して、人工物の視認性を向上させることが考えられる。前述のノイズ低減フィルタでは、こうした特徴に着目し、背景ノイズを低減させて人工物を強調する。

また、このフィルタは、ノイズの低減により画質を向上させるという使い方ができる一方、画質を従来レベルに抑えることで逆に被ばく線量を下げるといった使い方もできる。近年、症例が複雑化したことで透視時間が増加しており被ばくも増えてきている。ここで述べた技術を用いることで、透視時間が増加しても、被ばくを抑制する効果が期待できる。

5.2 イメージガイド機能

医師の操作を支援する機能として、リアルタイム画像とともに画像を用いた支援機能も有用である。例えば、ステントのサイズを決めるためにステントを仮想的に画像内に重ねて表示する機能(Stent Planner)や、ステントの拡張状態を見やすく表示する機能(Stent Optimizer)、血管造影画像と非造影画像を重ねて表示する機能(3D Roadmap)などを開発し、X線循環器診断システム(図5)に搭載して臨床で活用している。

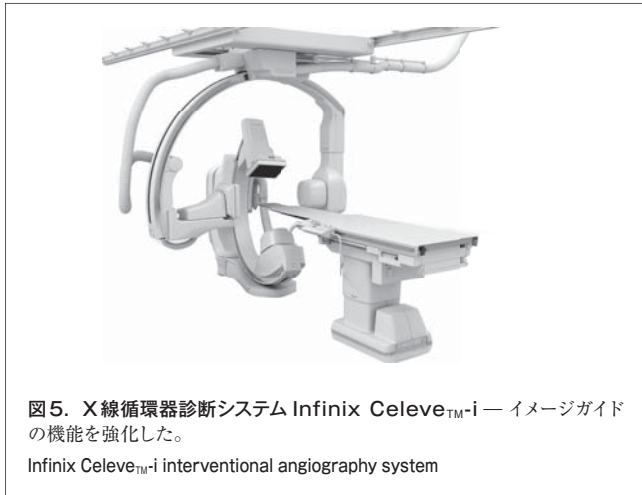


図5. X線循環器診断システム Infinix Celeve™-i — イメージガイドの機能を強化した。
Infinix Celeve™-i interventional angiography system

6 消化器系のX線イメージング

消化器系の疾患，例えば胃の検査の場合，複雑な形状の中の微細な構造を抽出する必要があり，造影剤がたまってコントラストが強くX線強度が弱い領域と，消化管組織だけの，コントラストが弱くX線強度が強い領域を，1枚の画像の中で見やすく表現しなくてはならない。また，低被ばく，簡便な操作，及び画像処理条件の詳細設定などの要求を満たすことも必要である。

そこで，X線TVシステムでは，動画に対応した高精細FPDや前述のPureBrain™を高級システムだけでなく中級システムにまで搭載し，大病院から中小の病院や検診施設にまで提供している。このシステムの代表例として，ZEXIRA™の外観を図6に示す

6.1 高画質化・低被ばく化技術

消化管の造影検査における残像の少ない透視画像，低線量時に目だつカンタムノイズの低減，及び良好な画質を確保したままの低被ばく化，という要求に応えた前述のノイズ低減



図6. デジタルX線TVシステム ZEXIRA™ — 大視野かつ高精度で情報量の多い画像の提供を実現した。
ZEXIRA™ digital X-ray TV system

フィルタを新たに開発し搭載した。これにより，微細な構造を残したまま粒状性ノイズを低減することに成功した。

また，フィルタによるノイズ低減効果を被ばく線量の低減に置き換えることで，より低被ばくの検査が実現する。

6.2 画質安定化技術

透視画像及び撮影画像を，診断に重要な情報を残したままもっとも観察しやすい濃度に調整し表示するため，高濃度部と低濃度部の明るさを自動補正するデジタル補償フィルタ機能を開発した。従来の画像処理では観察が困難であった腸管ガスの重なりやスキンライン（皮膚との境目）などが黒つぶれする場合，また，体厚が厚くカテーテルが見にくい場合などに有効である。

また，実際の撮影では，被検者の体格及び部位や直接X線の影響で，撮影ごとに画像レベルの頻度分布（ヒストグラム）が大きく変化する。そのため，既定のウィンドウ値やガンマカーブから選択しただけでは適正な画像が得られない。開発したオートウィンドウ処理機能は，画像ヒストグラムに応じたウィンドウ値とガンマカーブを自動作成し，適正な濃度分布の画像を提供する。

7 あとがき

X線イメージングは，多種多様な診断と治療をサポートしている。今後も，画質向上と被ばく低減に重点を置きながら，臨床現場の要求を反映した，臨床の課題解決に有用な技術とシステムの開発を進め，最新医療を支えていく。

文 献

- (1) Nishiki, M. et al. Method for reducing noise in X-ray images by averaging pixels based on the normalized difference with the relevant pixel. Radiological Physics and Technology. 1, 2, 2008, p.188 - 195.
- (2) 南部恭二郎 他. 「フル」オロスコーピーを新しくする. CI研究. 32, 2, 2010, p.141 - 146.



坂口 卓弥 SAKAGUCHI Takuya

東芝メディカルシステムズ(株) X線事業部 X線開発部主任。
循環器装置の開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



落合 理絵 OCHIAI Rie

東芝メディカルシステムズ(株) X線事業部 X線開発部。
マンモグラフィ装置の開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.



田中 秀明 TANAKA Hideaki

東芝メディカルシステムズ(株) X線事業部 X線開発部参事。
X線TVシステムの開発に従事。
Toshiba Medical Systems Corp.