

「富士フィルムが開発した小児撮影に関わる技術のご紹介」

富士フィルムメディカル株式会社
モダリティソリューション部 畔柳 宏之

FUJIFILM

1. はじめに

1983年6月ベルギーのブリュッセルで開催された国際放射線学会（ICR）で Fuji Computed Radiography（以下 FCR）が発表され、第一世代 FCR101 が発売された（図1）。これがX線画像のデジタル画像処理の幕開けで、その後、1985年、第二世代の FCR201（図2）、1988年、第三世代の FCR7000（図3）と続き、現在では第六世代の機器が発売されている。



世界初のデジタルX線装置「FCR101」

図1 FCR101

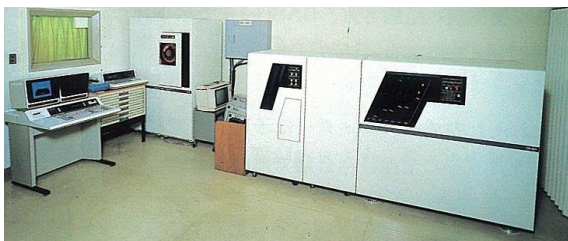


図2 FCR201



図3 FCR7000

昨今は、更なる低線量化や検査効率の向上が期待出来る Flat Panel Detector（以下、FPD）への移行が進んでいる。

富士フィルムの一般X線のデジタルシステムはこのように進化を続け、まもなく35年を迎えるが、本稿では特に小児X線撮影に関わる技術の変遷とそれに関連した技術を紹介する。

2. 長尺撮影システム開発の変遷

小児の脊椎、脊椎側弯症の観察において、アナログ、デジタルシステムに関係なく、長尺撮影は必要な検査である。

FCR用のカセットサイズは最大で半切（14×17インチ）であるため、長尺撮影を行うには長尺用カセットに複数のイメージングプレート（以下、IP）を重ね合せて配置し、撮影後、カセットに詰め替え、読取り処理を行う必要があった。この操作は煩雑で他の一般撮影に比べて、検査効率が悪く、メーカーとしても克服すべき重要な開発テーマとしていたが、長らく解決することが出来なかった。

以下に富士フィルムが開発した長尺撮影システムの変遷やそれに関わる技術を紹介する。

2-1 FCR7501Sの開発

1988年に発売されたFCR7000シリーズでは、カセット処理タイプのFCR7000C、透視装置等のマガジンに対応したFCR7000M、カセット処理とマガジン処理の兼用可能なFCR7000、そして立位撮影用途のFCR7501を発売した。

FCR7501は撮影部、読取り部、消去部、待機部等のユニットから構成され、装置内をIPが循環する仕組みを採用することで、立位の連続撮影を可能にした装置である。

そこで、FCR7501で培った技術を応用した立位長尺撮影システムの開発に取り組み、1991年に、

FCR7501S を発売した。本装置の外観を図4、図5に示す。本装置は図に示すように撮影部を大型化し、半切サイズの倍の長さである14×34インチのIPによる撮影が可能である。14×34インチの画像領域を有することで小児の頸椎から腰椎・骨盤部まで領域をカバーすることが出来る。また、3枚のIPを搭載することで、連続した撮影にも対応した。本装置は小児専門病院にも導入され、従来に比べ、撮影者、受診者の負担軽減や待ち時間の短縮に貢献することが出来た。

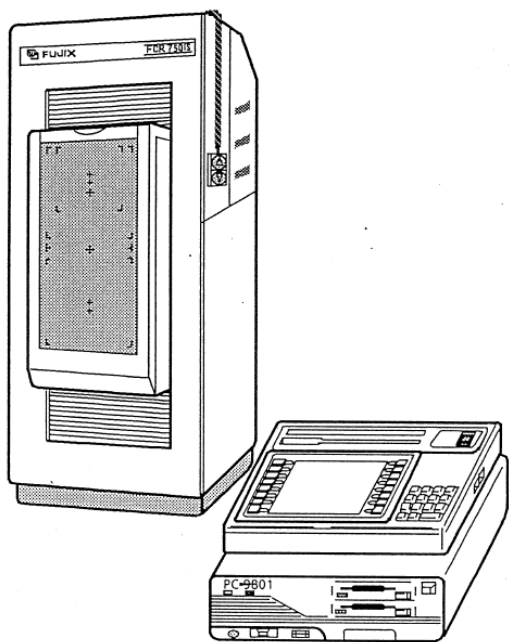


図4 FCR7501Sの外観

立位長尺撮影台画像読取装置

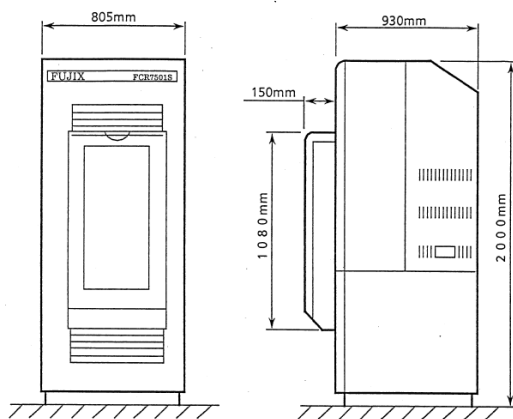


図5 FCR7501Sの寸法図

2-2 新たなFCR用長尺カセットの開発

FCR7501Sは、立位長尺撮影に対応したが、導入コストが高いことやAECに対応できない等、一般撮影用との兼用装置として選択するには幾つかの問題点があった。このような状況も鑑み、次の長尺撮影システムには、比較的低価格で汎用性のあるシステムを提供する事をコンセプトとして開発に取り組んだ。その結果、新タイプのカセットによる長尺撮影システムを開発し、発売することができた。以下に示す長尺撮影システムは、広く普及し、現在でも多くの施設でご使用頂いている。

まず、一般撮影用FCRカセットの機構について解説する。

FCR7000、第四世代のFCR9000では、カセットからIPを取り出す際、裏蓋全面を開口し、IPを吸着し、搬送する構造となっている。この方式では、カセット全体を装置にセットする必要があり、装置の小型化や高速化への障壁にもなっていた。

そこで1993年に発売したAC-3以降、カセットの構造を一新した。図6に示すとおり、カセット裏面は全面が開口せず、一部が開く形状をしている。操作者がカセットを装置に差し込む動作を利用して裏蓋のロックを外し、開口する仕組みとなっている。この機構は現在FCR機器でも踏襲されており、装置の小型化や高速化に寄与する。そしてこの形状の変更により、カセット設計の自由度が拡がり、長尺撮影用カセットの開発に繋がった。

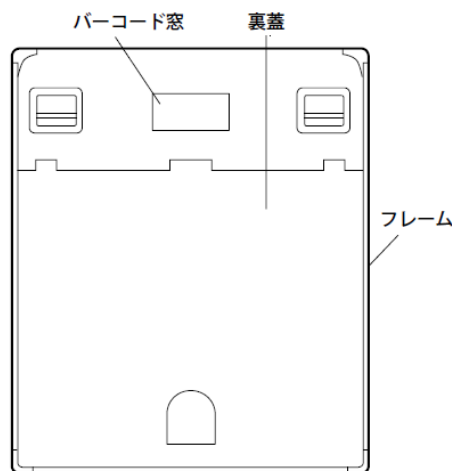


図6 FCR 一般撮影用カセット

図7にFCR長尺撮影用カセット(*1)の外観図を示す。二つのカセットを対称的に繋げた形状で、両端にIP取り出し用の裏蓋を備える。2枚のIPが収納される空間は、構造的に分かれているが、カセット長手方向の中央部でIPの画像領域が重なるようになっている。また、IPが重なる部分には、位置合せ用のマーカーが2箇所埋め込まれている。

実際の撮影では、撮影後、片側を読取装置に装填し、読取り終了後、カセットの向きを変えて装填することで完了する。



図7 FCR 長尺カセット

長尺カセットの開発では、複数の画像をソフト的に合成する技術の開発も合わせて開発した。

カセット処理を利用した長尺撮影では、出力したフィルムをテープで貼り合わせるという方法があるが、手作業でフィルムを貼り合わせる作業が非常に複雑である。そこで、作業効率や繋ぎあわせの精度向上を目的として、複数の画像データを合成して全脊椎等の長尺画像を生成する長尺合成処理(Image Stitching、以下IS)を開発した。

この技術は、複数IPの濃度コントラストの安定処理、繋ぎ合わせ処理、重複部分の補正処理から構成される。CRコンソール(*2)で長尺撮影用メニューを選択すると、WS(WHOLE SPINE)モードに遷移し、最初に読み取りで算出されたS,L値が後処理する画像にも適用される。この方法により、複数の画像の濃度コントラストが同一になる。

繋ぎ合わせ処理においては、カセット内に配置された位置合せ用マーカーとIPの重複部分を検

出し、精度良く自動で繋ぎ合わせている。

またIPの重なり部分では、表側のIPにX線が吸収されて裏側のIPへの到達X線量が少なくなり、単純に画像を重ね合わせただけでは、裏側IPの重複部分の一部が残り、また合成画像上に白い線が出来てしまう(図8,9)。本処理ではその部分の濃度を画像処理で補正することで、より自然な合成画像を生成することが出来る(図10,11)。

このように新たな長尺撮影用カセットを開発することで、当初の構想通り、低価格で且つ汎用性を持った長尺撮影システムを提供することが出来た。



図8 合成前の画像



図9 補正処理をせず合成した画像



図 10 補正処理をして合成した画像



図 11 補正処理をして合成した画像

2-3 長尺撮影用 FPD の開発

冒頭にも書いたとおり、CR から FPD 化への移行が急速化しているが、長尺撮影を FPD 運用に移行するには克服すべき課題が多い。

まず、図 12 に一般撮影用カセット FPD を使用した長尺撮影システムを示す。この方式は、X線管球と撮影台の FPD を連動させて撮影する方式である。一般撮影用のカセット FPD が使用できるメリットはあるものの、一方で長尺の画像領域を確保するため複数回の照射が必要であるため、小児撮影では撮影中の受診者の体動が懸念される。

このような理由から小児の長尺撮影を行う施設から 1 回の照射で長尺撮影が出来る FPD システムの開発が要望されていたことは言うまでも無い。

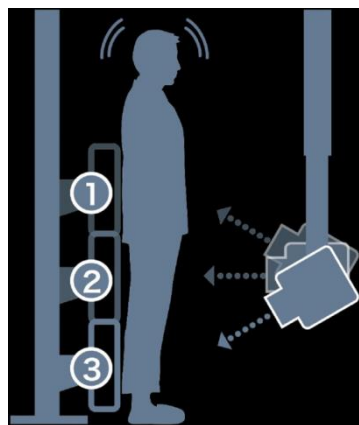


図 12 3 回の照射を行う長尺撮影のイメージ

そこで、次の課題を主なコンセプトとし、新たな FPD の開発に取り組んだ。

- ・ 1 回の照射で長尺撮影ができること。
- ・ CR 方式に比べ、大幅な検査効率の向上が図れること。
- ・ 低線量・高画質であること。

1 回の照射で長尺撮影を可能にするためには、FPD 自体の大型化が必須になる。2014 年に FUJIFILM DR CALNEO Smart(*3)を発売したが、そこで培った技術を応用し、長尺撮影用 FPD の開発に取り組み、2015 年に FUJIFILM DR CALNEO GL1 (*4) を発売した。図 13 に外観を示す。本装置は図中左の FPD と図中右の昇降型撮影台(*5)の組合せで構成される。図 13 のシステムは立位専用で、現在では図 14 に示す立臥位撮影台(*6)も提供している。

以下、装置の特長を紹介する。

パネルの画像領域は、17×49 インチで、長手方向、短手方向とも CR 長尺システムよりも拡大し、様々な長尺撮影に対応出来る。特に小児撮影で懸念された体動の影響も最小限に抑えることが可能になった。また、両下肢撮影、前屈撮影など、従来困難であった撮影にも対応できるため、新たな診断価値も期待されている。

検査効率の面では、CR 運用のようにカセットの取り外しや読み取り処理が不要で、検査効率の向上が期待出来る。



図 13 立位撮影用 CALNEO GL の外観



図 14 立臥位撮影対応用 CALNEO GL の外観

画質の観点では FPD の特長を生かし、低線量・高画質化を図っている。図 14 に FCR と CALNEO GL の DQE の比較を示す。小児の撮影の中でも特に長尺撮影での低線量化が望まれているが、図の通り、1 cyc/mm の DQE を比較すると、FCR と比較し、約 1.7 倍の向上を実現している。

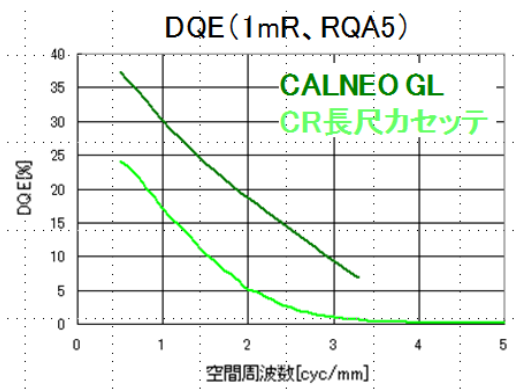


図 15 FCR と FPD の DQE の比較

3 FCR での線量低減への取り組み

小児の一般撮影においては、特に低線量・高画質化が望まれている。ここでは、第 6 世代である FCR PROTECT にて開発した技術を紹介する。

3-1 FCR の高画質化技術

FCR PROTECT の IP 両面集光技術

一般的な FCR では、図 16 に示すように、X 線を受光する IP を表面もしくは裏面のいずれか 1 方向からレーザー光を用いて読み取る片面集光読み取り方式を採用している。富士フィルムは図 17 に示すとおり、裏面からも X 線情報を読み取る両面集光読み取り方式を採用する FCR PROTECT を開発した。

両面集光読み取り方式で用いる IP は、透明な支持体上に蛍光体層を形成させる。そして IP に蓄積された X 線情報を表側から照射されるレーザー光により輝尽発光させて可視光とし、表面と裏面の両面から読み取っている。裏面から読み出す画像は、表面から読み出す画像に比べて、IP 内部での可視光の内部散乱の影響を受けるため、小さな構造情報を有する高周波成分はノイズが多くなる。しかし、大きな構造情報を有する低周波成分は、信号強度をある程度維持できる。

図 18 の横軸は表面画像と裏面画像の加算割合を示しており、縦軸は加算後画像の NEQ (noise equivalent quanta : 雑音等価量子数) を示している。この図から、低周波側 (0.5 cycles/mm) では、表面画像と裏面画像の加算比率を 1 : 1 にした場合に最も NEQ の値が高くなり、逆に高周波側 (3.0 cycles/mm) では、高周波ノイズの影響を受けるため、表面画像を主として加算することで最も高い NEQ を得ることが出来る。これにより、両面集光読み取り方式は片面集光読み取り方式に比べて、DQE の値が相対で 30% 程度向上している。

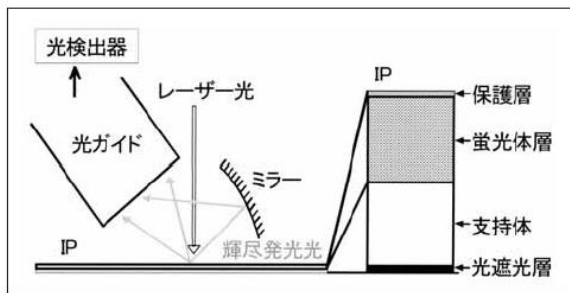


図 16 CR の片面読取り方式

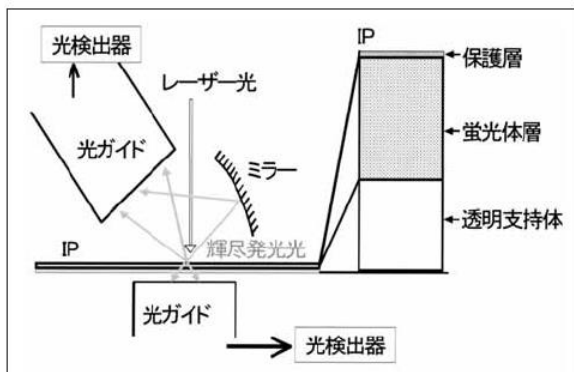


図 17 CR の両面読取り方式

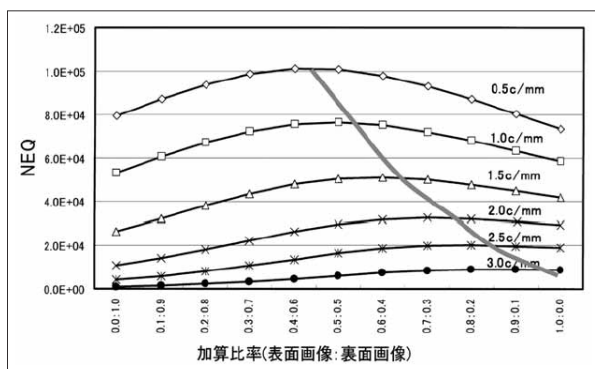


図 18 表面画像と裏面画像の加算比率

以下、小児撮影の片面、両面読取り装置を CNR で評価した実験結果を示す。¹⁾

一般的に画像の物理評価では、DQE 値が用いられるが、DQE の測定は、画像処理をかけずに測定することが原則である。その一方で、画像診断は、階調処理、周波数処理などの各種画像処理が施された最終画像で行われる。そのため、今回の物理評価実験では、できるだけ臨床の撮影条件に近い状態での S/N 改善効果を評価するため、CNR (contrast to noise ratio) を使用して評価を行った。

尚、CNR は、次の計算式で算出される。図 19 に一般的な測定方法を図 18 に示す。

$$CNR = \frac{(\text{バックグラウンドの平均濃度} - \text{信号の平均濃度})}{\sqrt{(\text{バックグラウンドの分散})^2}}$$

CNR の測定では、幼児胸部の撮影を模擬するため、図 19 に示すような幾何学的配置の下、幼児胸部ファントムを用いて、心臓、横隔膜濃度が 0.7 となる撮影条件を F/S システムを用いて測定した。

次に F/S システムで求めた撮影条件を用いて、アクリルファントムの厚みを変化させ、F/S システムにおいて、平均濃度が 0.7 となるアクリル厚を求め、幼児胸部ファントムと等価なアクリルファントムとした。

また、F/S システムで求めた撮影条件を 100% 線量と定義し、照射線量を 30%, 50%, 70%, 100%, 150%, 200% と変化させ、各線量に対する CNR 値を測定した。

CNR 測定用の信号源として、厚さ 10mm のアクリル板中央に 5mm ずつ深さを变化させた溝を掘ったファントムを用意し使用した。

使用機器、撮影条件は図 20、21 のとおりである、

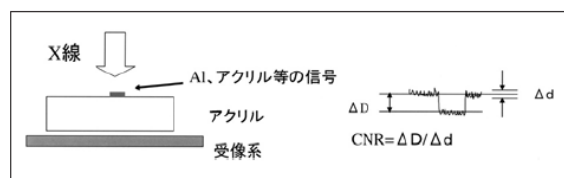


図 19 一般的な CNR の測定方法

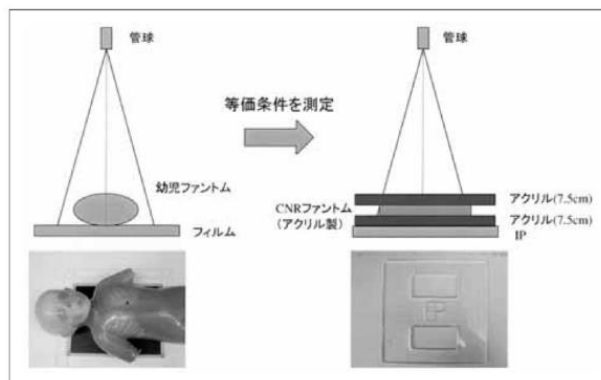


図 20 CNR の測定撮影実験の幾何学的配置

撮影装置	東芝社製 KXO-80G
撮影距離	100cm
スクリーン	HR6
フィルム	SHR-S30
読取装置	PROFECT CS
IP	ST-VI (片面) / ST-BD (両面)
線量計	QA Multi-O-Meters 303
CNRファントム	自作 (アクリル製)
撮影メニュー	幼児胸部 (EDR: M7207)
パラメータ	1.2 D#1.6 0.00 B Y 0.3 A J 0.0

図 21 使用機器

管電圧	60kV
焦点サイズ	0.6mm
照射線量	5.9mRを100%として30, 50, 70, 100, 150, 200%線量で撮影

図 22 撮影条件

以下、実験結果を示す。

図22に示すとおり、すべてのアクリル厚 (信号源) に対して、両面集光読取方式は片面集光読取方式よりも高いCNR値を示し、S/Nが向上していることが分かる。

線量変化に対するCNR値の変化を見ると、すべての線量域に対して、両面集光読取方式は片面集光読取方式よりも高いCNR値を示す結果となった。図23のグラフより、CNR値 3 を得るためには、片面集光読取方式では、11mRの線量が必要であったが、両面集光読取方式を用いることで、6mRに低減できることが分かる。

今回の実験により、両面集光読取方式を幼児胸部領域に用いることで、従来の片面集光読取方式よりも被ばく線量を低減できる可能性が示された。

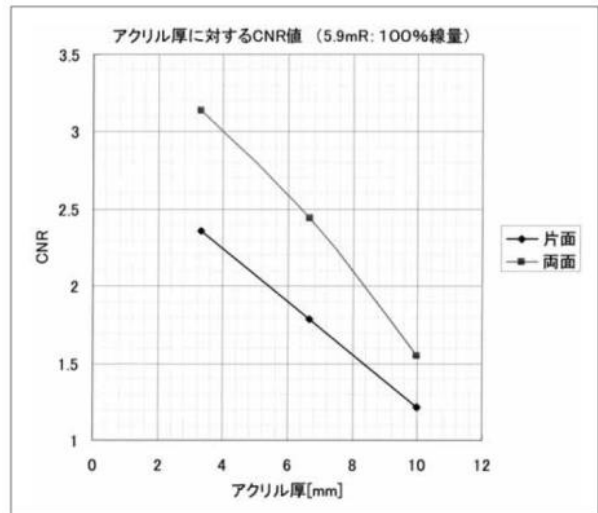


図 23 アクリル厚に対する CNR 値変化

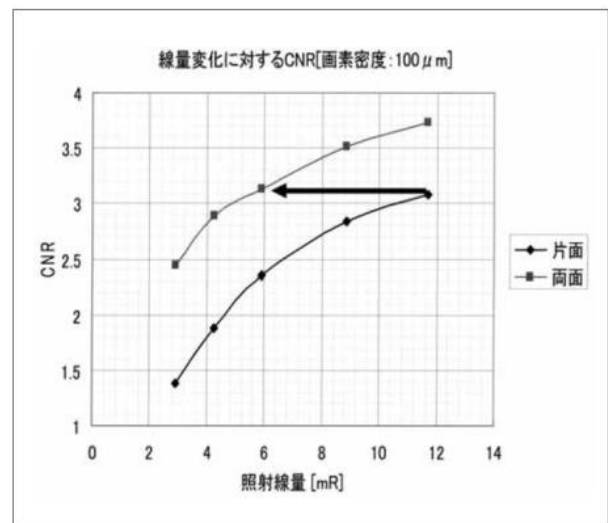


図 24 照射線量に対する CNR 値変化

4. ガーゼ・カテーテル等の強調表示技術

体内にある医療用カテーテル等の医療器具の位置を確認するため、X線撮影されることがある。しかし、乳児に挿入されるカテーテルは特に細く、心臓や横隔膜等の体内構造と重なる場合に、通常のX線画像では視認し難いことがある。

そこでカテーテルやX線造影糸入り手術用ガーゼ(以下、X線ガーゼと呼ぶ)等の細かい信号の視認性を向上させることを目的に特化した画像処理技術を開発した。

本技術はガーゼ、カテーテル等の存在確認用に調整したパラメータにて強調することにより、細かい信号の視認性を向上させる技術である。通常の画像観察に使用する画像とは強調の程度が大きく異なるがCRコンソール操作画面にて、ボタン一つで通常の観察用画像と強調画像とを切り替えられる機能を開発することにより、スムーズに画像確認できる。

図24に体内にカテーテルを挿入した画像例を示す。本技術を適用していない画像(図中左)では、カテーテルのコントラストが低く、存在の視認が難しい。それに対して本技術を適用した画像(図中右)では、カテーテルのコントラストが高く、先端部の位置を確認し易やすくなっていることが分かる。

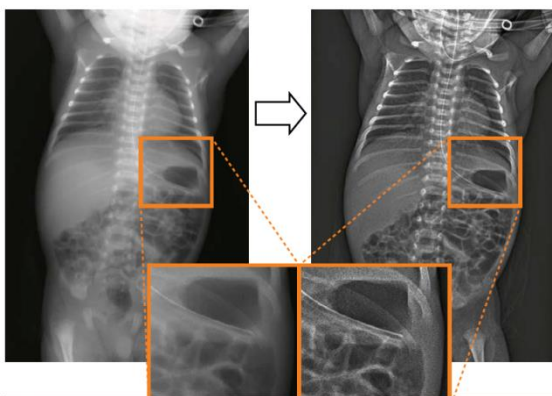


図 24 ガーゼ・カテーテル等の強調表示の違い

5. おわりに

本稿では富士フイルムが過去より開発した技術の中から、特に小児X線撮影に関わる幾つかの技術を紹介した。今後とも小児撮影の領域においても更なる技術の向上を目指し、医療に貢献してゆきたいと考えている。

- *1 FCR 長尺撮影用カセット：
薬事販売名 FUJI IP LONG VIEW CASSETTE
(届出番号 14B2X10002000017)
- *2 CR コンソール：
富士コンピューテッドラジオグラフィ
CR-IR 348 型 の付属品
(認証番号 21300BZZ00064000)
- *3 FUJIFILM DR CALNEO Smart：
薬事販売名デジタルラジオグラフィ
DR-ID 1200
(認証番号：第 226ABBZX00085000 号)
- *4 FUJIFILM DR CALNEO GL：
薬事販売名：デジタルラジオグラフィ
DR-ID 1300
(認証番号 226ABBZX00149000 号)
- *5 電動昇降式撮影台
(販売名：ロングパネル用立位撮影台 FSL-LP)
(届出番号：第 27B3X00066000022 号)
製造販売業者 株式会社三協
- *6 立臥位撮影台：
(販売名：電動式撮影台 FM-PL1)
(届出番号：第11B2X00011000043 号)
製造販売業者 株式会社大林製作所

参考文献

- 1) 網本直也 「一般胸部画像領域における新しい画像処理最新技術トピックス」
日本放射線技術学会雑誌、2006 年