

# 人体の立体構造推定に基づくX線画像の診断画質向上技術

高橋 知幸\*, 大原 佳也\*, 山田 雅彦\*

## Improving X-ray Image Quality based on Human-Body Thickness and Structure Recognition

Tomoyuki TAKAHASHI\*, Yoshiya OHARA\*, and Masahiko YAMADA\*

### Abstract

The compatibility of “higher contrast” and “whole anatomic structure visualization” is difficult to achieve in conventional processing. Dynamic Visualization II, which is a new image-processing method, solves this problem. This processing method is based on a new technology that estimates a patient’s thickness and structure from X-ray image information, which penetrates through the patient’s body. This processing method can improve the visualization of an entire body part and can minimize the need for additional adjustments in the X-ray image’s density and contrast.

### 1. はじめに

近年、一般X線撮影において、デジタルX線ディテクタ“Flat Panel Detector”的普及に伴い、一般X線画像の高画質化が加速し、同時に普及が進むモニタ診断により、撮影・診断現場での業務ワークフローの効率化が進んでいる。一方、より診断しやすい画像として、コントラストの向上を要望されているが、画像のコントラストを高くすることは、厚さが異なる被写体領域全体の可視化、および粒状性と相反するため、高いコントラストで、かつ診断に適した画像を提供するのは困難であった。

そのため、診療現場では、被写体内で特に注視すべき関心領域に対し、撮影条件の調整や、濃度・コントラスト調整を併用するなど、診療現場のノウハウに頼る面もあった。

そこで、上記課題を解決する画像処理「Dynamic Visualization II(以下Dynamic処理)」を開発した。本稿では、最初に従来処理の課題と、それを解決するDynamic処理の技術を紹介する。続いて、物理実験と臨床画像への適用結果に基づいて、Dynamic処理の効果を示す。

### 2. Dynamic Visualization IIの特徴

富士フィルムでは、1983年のFCR (Fuji Computed Radiography) 登場時から、関心領域の高コントラスト化と、低ノイズ、被写体全体の可視化という課題に取り組んでいる。

Dynamic処理では、人体の立体構造を推定する最新の認識技術を導入することで、FCRから続く画像処理を進化させた。

従来処理では、①体型によってコントラストが一貫しないこと、②体厚差が大きい被写体で被写体全体を可視化できないこと、③臓器全体や大きな骨構造などに対応する低周波構造を強調できること、④強調を強めるとノイズ成分も強調され、撮影条件によっては視認性向上に繋がらないこと、が問題であった。Dynamic処理では、濃度・コントラスト安定化処理に、人体を透過したX線情報から、被写体の体厚や組成を認識する立体構造推定技術を導入することで①②を、周波数強調処理の適用範囲を拡大することで③を、3章で後述する粒状改善技術と組合せることで④を解決している。以降で各処理技術の詳細を説明する。

#### 2.1 濃度・コントラスト安定化処理

従来処理では、被写体領域全体を描出するために、画像のヒストグラムから被写体領域の最大画素値、最小画素値を推定し、これらを、所定の画素値に変換して出力できるように、出力濃度とコントラストを決定していた。これにより、特に大柄の人では、被写体の最大画素値と最小画素値の差が広がるため、コントラストが低下した(Fig. 1)。さらに、厚い被写体によるX線吸収効果や、線質硬化、散乱線などの物理現象の影響で、骨や臓器とその周囲とのX線吸収量の差が、標準体型の人と比べると小さくなることにより、コントラストの低下が顕著になった。

本誌投稿論文（受理2016年12月19日）

\*富士フィルム（株）R & D統括本部

画像技術センター

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

\*Imaging Technology Center

Research & Development Management Headquarters

FUJIFILM Corporation

Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa

258-8538, Japan

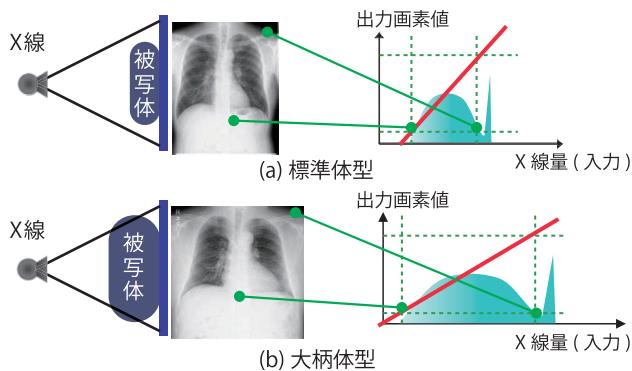


Fig. 1 Contrast control method of conventional processing

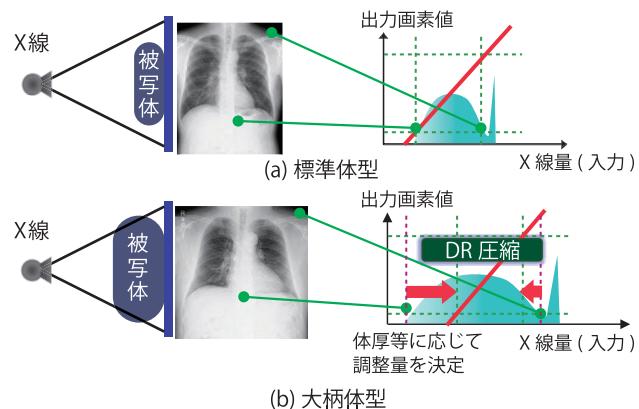


Fig. 2 Contrast control method of Dynamic Visualization II

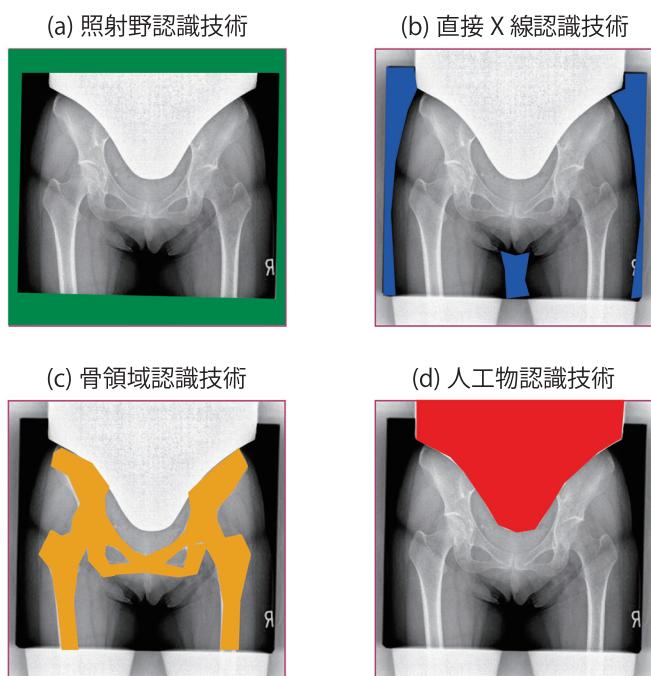


Fig. 3 Image recognition of Dynamic Visualization II

そこで、Dynamic処理では、標準体型を想定したコントラストに固定することで、物理現象に起因するコントラストの変動のみを描出できるようにした。また、被写体領域を認識することで得られる、体厚に関する情報に基づいて、ダイナミックレンジ圧縮(DR圧縮)の量を制御することで、被写体全体の可視化を両立した(Fig. 2)。

また、Dynamic処理の濃度制御は、疾患の病期を濃度変化として捉えられるように、例えば、観察したい部分が骨の場合、骨傍の軟部組織の領域で濃度を合わせるようにした。

これらを、高精度に実現するためには、被写体の体厚や組成情報を正確に把握する必要がある。そこで、画像解析技術として、照射野外領域(Fig. 3a)、直接X線領域(Fig. 3b)、骨部領域(Fig. 3c)、金属領域(Fig. 3d)の認識技術を開発した。画像認識には、機械学習の一手法であるAdaBoostを用いた。

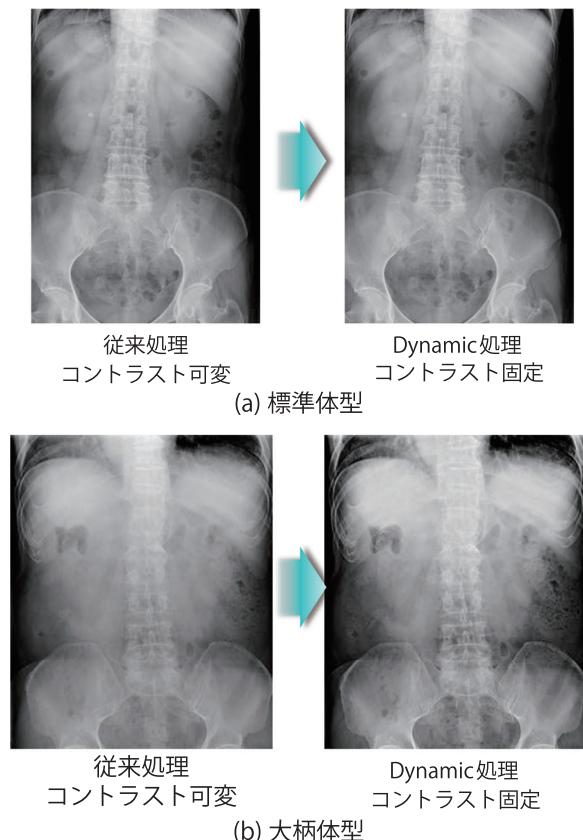


Fig. 4 Difference in contrast control effect of conventional processing and Dynamic Visualization II

入力画像の各画素において、着目画素およびその周辺領域画素から、認識対象に関連する特徴量を算出し、AdaBoostで予め学習された判別器を使用して画素毎に認識した。そして、各領域の認識結果を組み合わせることで、濃度やダイナミックレンジ圧縮の制御に必要な領域が正確に検出可能となつた。

Fig. 4に、本処理方式の効果を示す。Fig. 4aの標準体型の例では、従来処理に対し、Dynamic処理も、ほぼ同じ濃度・コントラストを実現している。Fig. 4bの大柄体型の例では、従来処理で見られるコントラスト低下を抑制しつつ、画像が飽和することなく、適正な濃度で被写体全体を可視化できている。

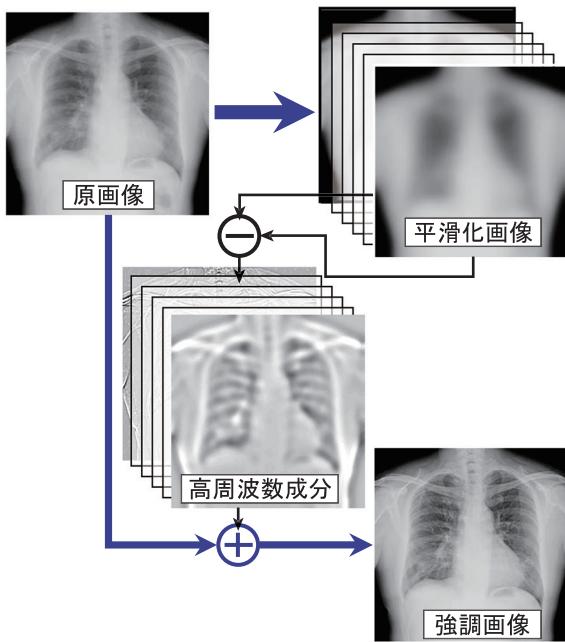


Fig. 5 Processing flow of multi-frequency processing

#### パターン毎の粒状改善

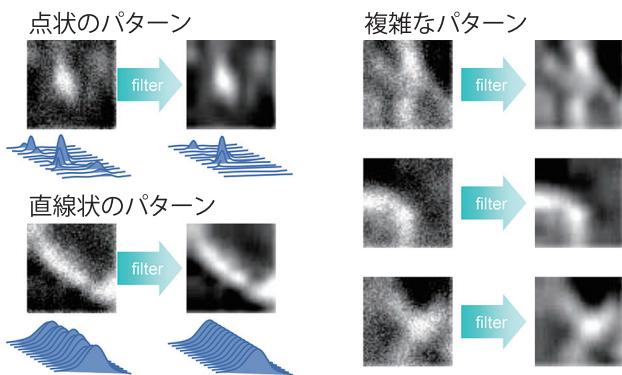


Fig. 8 Processing which separates noise from body structure

## 2.2 周波数強調処理

従来のマルチ周波数処理では、自然かつ鮮明な画像で読影できるようにするために、入力画像を空間周波数が異なる複数の画像成分に分解し、各帯域の画像成分の強調量を調整することで、デジタル画像処理の不自然さをなくし、診断しやすい画像にした (Fig. 5)。

しかし、従来処理では、強調可能な空間周波数成分が中高周波に限定されており、臓器全体や大きな骨構造など、低周波構造成分の強調は十分にできなかった (Fig. 6a)。Dynamic 処理では、従来のマルチ周波数処理をさらに進化させ、超低周波成分まで、強調量を最適化することにより、大きな被写体構造でも視認性の向上を可能にした (Fig. 6b)。

また、従来処理では、淡い信号を強調するために、強調量を大きくすると、金属周辺にアーチファクトが生じることがあった (Fig. 7a)。そこで、Dynamic 処理では、強調特性を見直し、淡い信号の視認性向上とアーチファクト抑制を両立させた (Fig. 7b)。

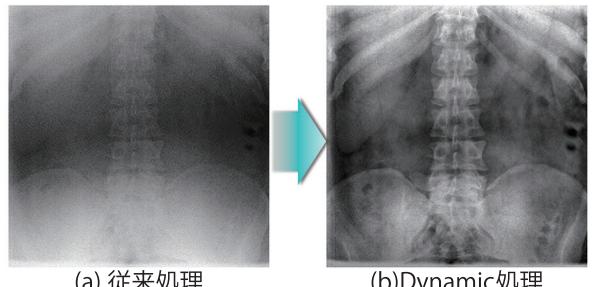


Fig. 6 Effect of extremely low spatial frequency image enhancement

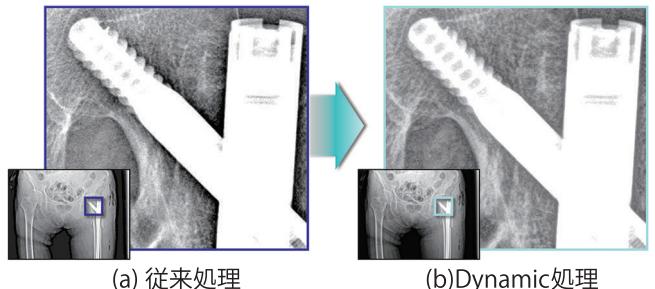


Fig. 7 Artifact around big edge with high enhancement

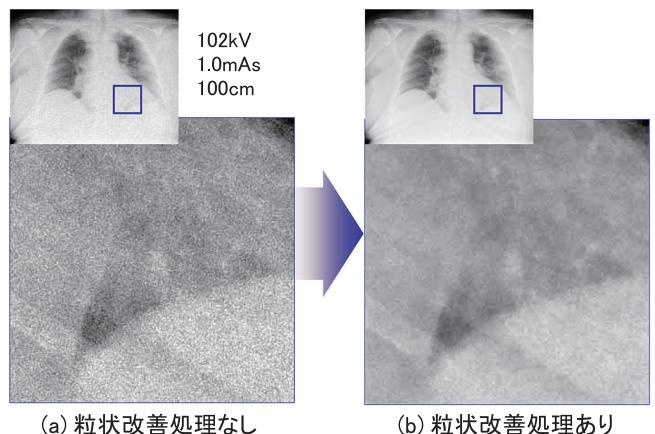


Fig. 9 Effect of FNC2 (new flexible noise control)

## 3. 粒状改善技術

周波数強調処理などで画像のコントラストを上げると、同時にノイズも目立つようになるため、撮影条件によっては、被写体構造の視認性向上に繋がらない場合がある。このようなケースでは、粒状改善処理により、構造を持たないノイズ成分を抽出して低減することで、画像の粒状度を改善し、被写体構造の視認性を向上させることができる。

従来の粒状改善処理 (FNC : Flexible Noise Control) は、単純な点や線構造のみからなる構造パターンに基づいて、ノイズ成分を抽出していたが、Dynamic 処理と組み合わされる新しい粒状改善処理 (FNC2) では、線構造が交差するような、複雑な構造も認識可能となり、ノイズと被写体構造の分離性能が向上した。そして、認識した構造パターンに応じたフィルタを適用することで、被写体構造に重なったノイズ成分を低減している (Fig. 8)。Dynamic 処理と、FNC2とを組み合わせることで、ノイズ成分を目立たせることなく、被写体構

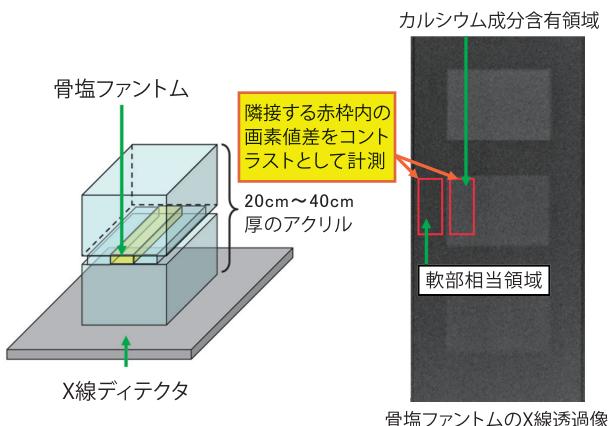


Fig. 10 Layout of bone mineral phantom and contrast measurement method

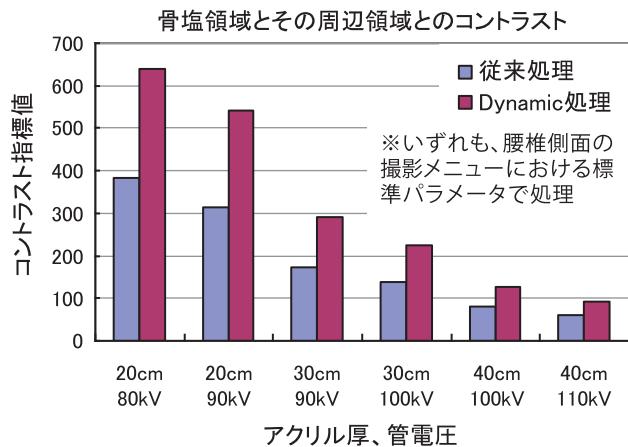


Fig. 11 Contrast of bone mineral phantom

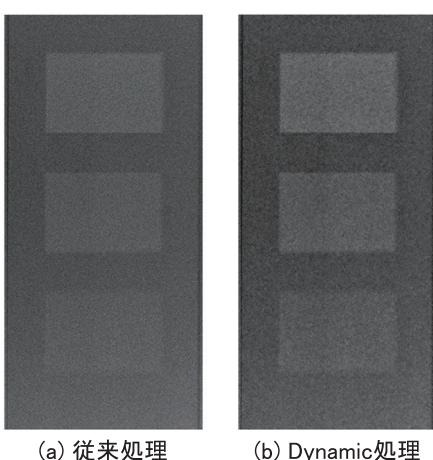


Fig. 12 100-kV image example of 30-cm thickness phantom

造の視認性を向上できるようになった。

Fig. 9に、胸部を撮影した臨床画像に対してFNC2を適用した結果を示す。FNC2を適用したFig. 9bは、適用前のFig. 9aと比較して、被写体構造の信号を消すことなく、粒状度が大幅に改善されていることがわかる。

#### 4. 物理指標による定量評価

##### 4.1 X線吸収差が小さい構造間のコントラスト改善効果

腰椎など、従来処理では十分なコントラストで描出できなかった部位でも、Dynamic処理によって、視認性の向上が可能である。この効果を、骨部を模した骨塩ファントムを使って示す。腰椎撮影を想定し、Fig. 10のように、骨塩ファントムを挟み込んだ合計20cm、30cm、40cm厚のファントムを、20cm厚においては、80kVと90kV、30cm厚では90kVと100kV、40cm厚においては100kVと110kVの管電圧で撮影した。そして、撮影画像に対して、従来処理とDynamic処理を適用し、骨塩部分とその周辺部との画素値差を計測した。

計測結果をFig. 11に示す。Dynamic処理によって、骨塩ファントム近傍のコントラストは、アクリル厚や撮影条件に

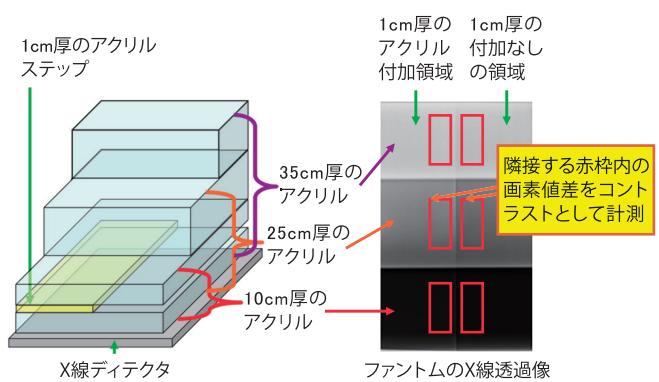


Fig. 13 Layout of step phantom and contrast measurement method

よらず向上した。Fig. 12は、合計30cmのアクリルで挟んだ骨塩ファントムを、100kVで撮影した画像例である。Fig. 12aの従来処理画像に比べ、Fig. 12bのDynamic処理画像は骨塩部周辺がより視認しやすくなっている。

##### 4.2 体厚差がある被写体における被写体全体の可視化効果

Dynamic処理は、体厚などに応じてダイナミックレンジ圧縮量を制御することによって、被写体全体を可視化できる。これにより、例えば胸腰椎画像において、肺野内に写る胸椎と、厚い軟部と重なる腰椎のいずれも、高いコントラストで描出できるようになる。この効果を示すため、Fig. 13のように、肺野内の胸椎部を模した合計10cm厚のアクリル、肺野外への移行部を模した合計25cm厚のアクリル、腰部を模した合計35cm厚のアクリルそれぞれに、厚さ1cmのアクリルステップを挟みこんで撮影した。そして、撮影画像に対し、25cm厚部分の出力濃度が揃うように従来処理とDynamic処理を適用後、アクリルステップ領域内外のコントラストを計測した。

結果、Fig. 14のグラフのように、Dynamic処理を適用した画像は、アクリル厚によらず、アクリルステップのコン

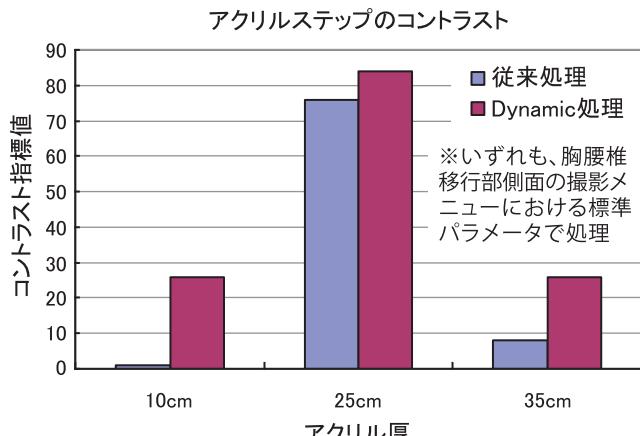


Fig. 14 Contrast of step phantom

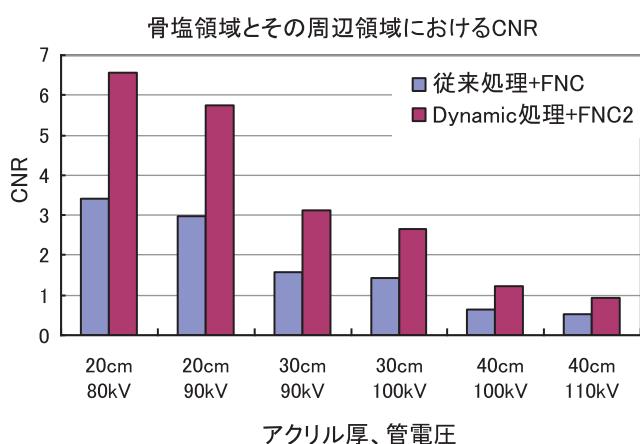


Fig. 16 Difference in CNR (contrast noise ratio) of conventional processing + FNC1 and Dynamic Visualization II + FNC2

トラストが向上した。画像例をFig. 15で示す。Fig. 15bのDynamic処理画像は、Fig. 15aの従来処理画像と比較して、35cmアクリル部、10cmアクリル部のいずれも、コントラストが向上し、視認性には大きな差が認められた。

#### 4.3 粒状性

4.1の実験で撮影した、Fig. 12の骨塩ファントム画像において、Dynamic処理とFNC2を組み合わせた画像と、従来処理とFNCを組み合わせた画像とで、コントラストノイズ比(CNR)を比較した。比較結果をFig. 16に示す。Dynamic処理とFNC2との組合せ画像は、従来処理とFNCとの組合せ画像と比べて、撮影条件や被写体厚によらず、CNRが向上した。この結果から、コントラストを上げても、粒状悪化が抑えられ、被写体の視認性向上が期待できる。

### 5. 臨床画像への適用結果

#### 5.1 コントラスト向上および被写体全体可視化の効果

Dynamic処理の画像例を図に示す。Fig. 17は股関節軸位の画像である。Fig. 17aの従来処理画像では、ポジショニング

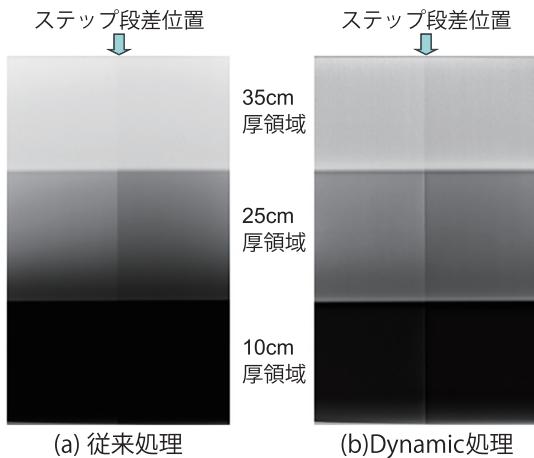


Fig. 15 Image example of step phantom

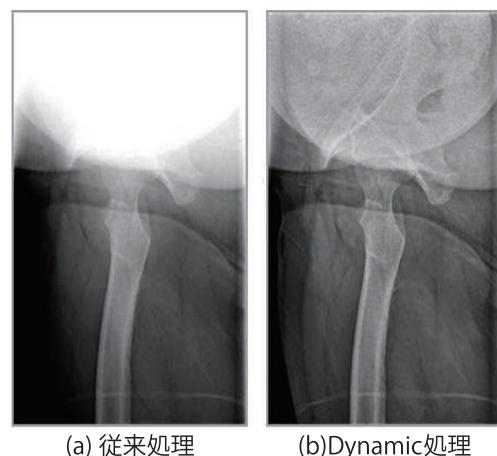


Fig. 17 Image example of hip-joint axis

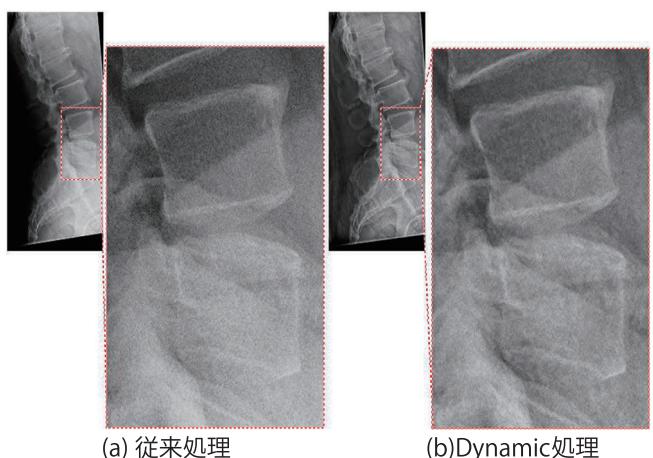


Fig. 18 Image example of lumbar-spine lateral

グにより大腿臀部と重なった股関節付近が低濃度となりコントラストが低下しているが、Fig. 17bのDynamic処理画像では、体厚に応じてダイナミックレンジ圧縮量を制御しているため、大腿臀部と重なった股関節の構造まで可視化できている。Fig. 18は腰椎側面の画像である。Fig. 18bのように、Dynamic処理とFNC2を組み合わせることで、コントラストを上げてもノイズの影響が少ない画像を実現している。

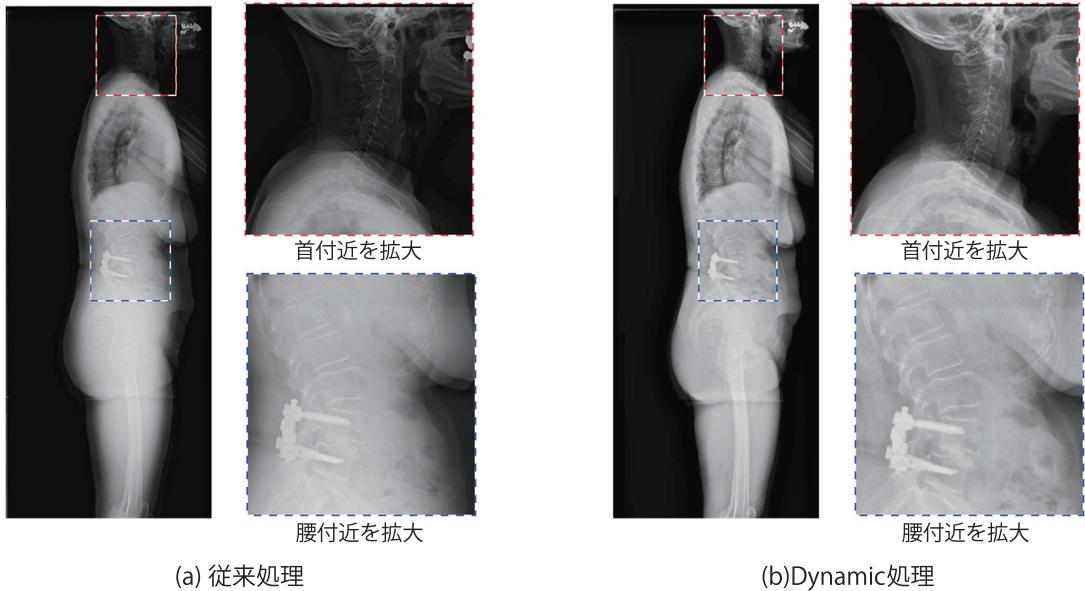


Fig. 19 Image example of whole-spine lateral

従来処理 (全991例)

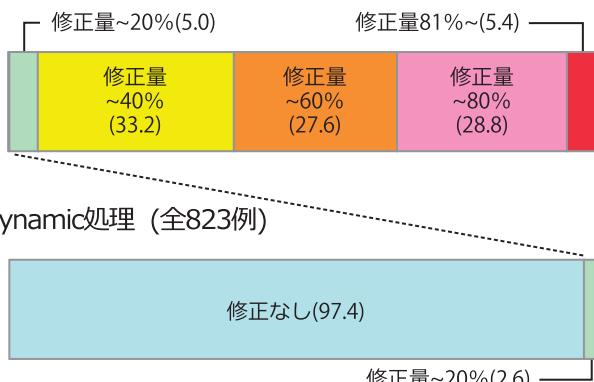


Fig. 20 Contrast correction frequency in whole spine images

Fig. 19は長尺撮影の全脊椎側面の画像である。Fig. 19bのDynamic処理は、X線吸収差が大きな領域の撮影であっても、首付近の薄い部分、腰付近の厚い部分の双方で、椎体構造をよく描出している。

## 5.2 濃度・コントラストの安定性

体厚差が大きい部位を同時に写す全脊椎長尺撮影が多い国内施設の画像にて、Dynamic処理導入前後で、画像ごとに自動的に決定された濃度・コントラストの安定性を評価した。手動修正後、最終的に決定された濃度・コントラストと比較すると、導入前後で顕著な差が見られた。

Fig. 20は、自動決定されたコントラストに対する修正量の分布である。分布図から、従来処理においては、ほぼ全例でコントラストを修正していたことがわかる。一方で、Dynamic処理ではコントラスト修正頻度が大幅に低下して

従来処理 (全991例)

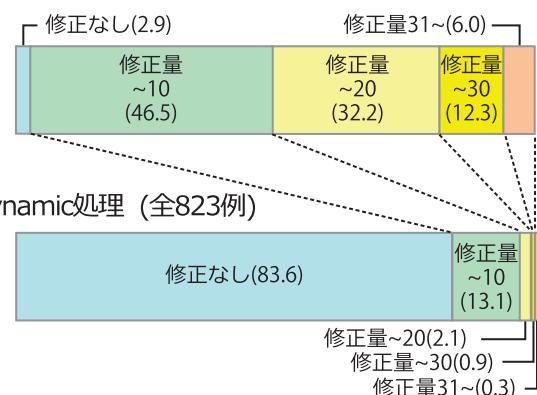


Fig. 21 Density correction frequency in whole spine images

おり、コントラストを修正した画像数は、全体の3%弱に低下した。

Fig. 21は、自動決定された濃度に対する修正量の分布である。分布から、Dynamic処理になることで、濃度の修正頻度、修正量ともに大幅に低下していることがわかる。濃度変化を明確に認識できる修正量10を超える画像数に着目すると、従来処理の約50%に対し、Dynamic処理では約3%に低下した。

## 6. まとめ

本稿では、人体を透過したX線情報から、被写体の体厚や組成を認識する技術を導入することで、関心領域のコントラストを高め、被写体全体を観察しやすくする画像処理「Dynamic Visualization II」を紹介した。

本処理の適用結果から、特に軸位撮影などポジショニング

により被写体厚が変化するような難しい撮影や、全脊椎などX線吸収差の大きな領域の撮影に対して、被写体全体の視認性が向上すること、濃度・コントラストの修正頻度が低下し、画像調整の手間を軽減する可能性があることを示した。

今後本処理が、病院内のあらゆる場所での撮影画像の確認や画像診断に利用され、撮影および診断の効率化に貢献していくことを期待する。

### 商標について

- ・本文中にある「FUJIFILM」、「Dynamic Visualization」は富士フイルム（株）の商標または登録商標です。
- ・その他、本論文中で使われている会社名、システム・製品名は、一般に各社の商標または登録商標です。