

二層構造を有したマンモグラフィ用直接型 FPD の 画像処理パラメータの検討

要旨

二層構造を有する画素サイズ $50\ \mu\text{m}$ のマンモグラフィ用直接変換型 flat-panel detector (FPD) の画像処理パラメータについて解像特性を基準にして検討し、従来の直接変換型 FPD と描出能を比較した。二層構造直接変換型 FPD (Fuji, Amulet) と直接変換型 FPD (シーメンス, Novation DR, 以下 Novation) の MTF をエッジ法で測定した。Novation は、臨床的に画質が良好であることから、その MTF を基準にして、同じ周波数特性となるように Amulet の周波数処理係数を定めた。また、適切な階調処理の検討や Novation のスキンライン描出度に合わせて Amulet のダイナミックレンジ(DR)圧縮処理の係数を定めた。Novation と Amulet を RMI156 ファントムと臨床例で比較した。Amulet の周波数強調度を約 2.0 倍とすることで、微小石灰化の描出能が向上した。Amulet に周波数強調をした状態は、ノイズ量がやや増加したが、画素サイズが $50\ \mu\text{m}$ と小さいため、更に微細な構造の描出が可能であった。シグモイドカーブを基本とした階調処理により自然な階調を実現でき、DR 圧縮処理では、乳腺コントラストの維持には 0.05cycles/mm 以下の超低周波数の抑制が有効であった。以上の画像処理パラメータにより従来の直接変換型 FPD と等しい描出能が得られた。

I. 緒言

デジタルマンモグラフィ装置において、直接変換型 FPD と間接変換型 FPD が主流となりつつあり、その性能改善が著しい。本研究では、二層構造を有する新しいマンモグラフィ用直接変換型 flat-panel detector (FPD) の画像処理パラメータについて解像特性を基本にして検討し、従来型直接変換型 FPD と描出能を比較した。

II. 方法

二層構造直接変換型 FPD (Fuji, Amulet) と従来型直接変換型 FPD (シーメンス, Novation DR, 以下 Novation) の MTF をエッジ法で測定した。Novation は、臨床的に画質が良好であることから、その MTF を基準にして、同じ周波数特性となるように Amulet の周波数処理係数を定めた。階調処理はシグモイド曲線を基本として、新しく作成した。ダイナミックレンジ(DR)圧縮処理の係数は、用いる超低周波画像の周波数帯を変化させて、比較した。RMI156 ファントム画像と臨床例を用い、設定した画像処理パラメータにて Amulet を処理して Novation と比較した。

1) 空間周波数処理係数の算出

Fig.1 に、測定した Novation と Amulet の MTF を示す。Fig.2 は、これらから算出した Amulet を Novation と同じ周波数特性とする周波数処理係数である。この周波数処理係数は次式により算出した。

$$\text{周波数処理係数} = \frac{\text{NovationのMTF}}{\text{AmuletのMTF}} \quad \dots\dots (1)$$

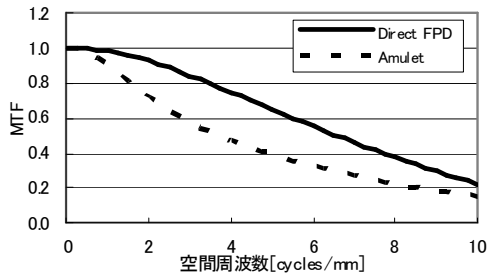


Fig.1 NovationとAmuletのMTF

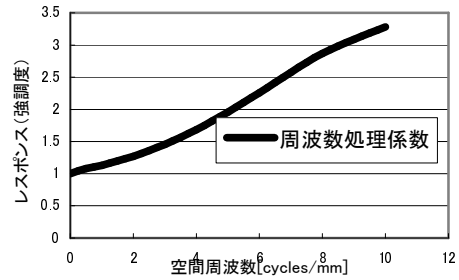


Fig.2 Novationと同一にする周波数処理係数

2) 階調特性の検討

メーカー推奨階調では肩部はフィルムライクだが、足部はなだらかとなっている (Fig.3). 作成した階調特性ではシグモイドカーブを基本とし、ガンマを調整した (Fig.4).

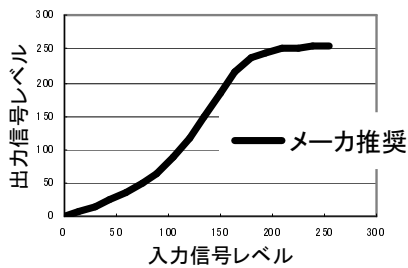


Fig.3 メーカー推奨階調

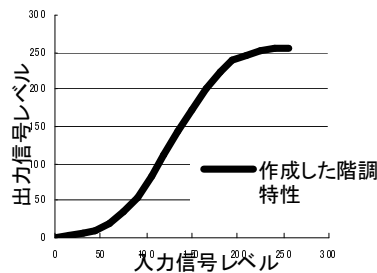


Fig. 4 作成した階調特性

3) DR 圧縮(スキンライン描出)の検討

メーカー推奨では 0.1cycles/mm までの低周波画像を利用し、信号レベルが高くなるほど強く圧縮している (Fig.5, Fig.6). 作成した DR 圧縮設定では周波数レベルを変化させ、濃度依存なしを基本とした.

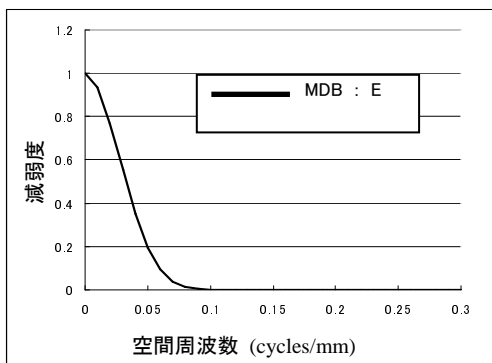


Fig.5 メーカー推奨の周波数減弱度

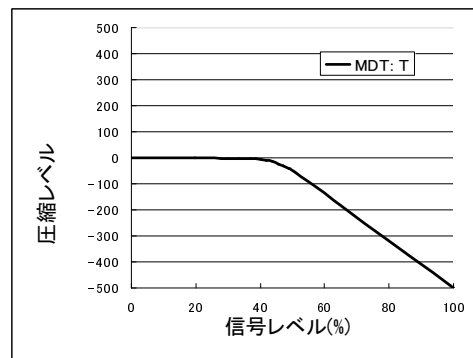


Fig.6 メーカー推奨の濃度依存係数

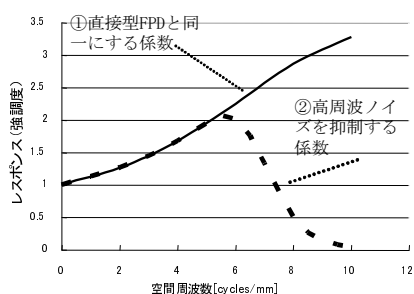
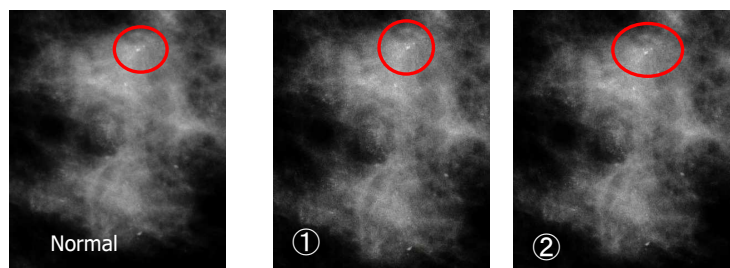


Fig.7 空間周波数処理係数



a): 処理なし b): 処理係数①で処理 c): 処理係数②で処理

Ⅲ. 結果

1) 空間周波数処理

Fig.7 に、作成した空間周波数係数と、処理画像を示す。直接変換型 FPD と同一にする係数①で処理することにより石灰化描出能が改善されたが、ややノイズが増加した。そこで、高周波ノイズを軽減する係数②を適用したところ石灰化の辺縁がややぼけた。

2) 階調処理

メーカー推奨階調処理 (Fig.8) に対して、シグモイドカーブを用い、ガンマを高くすることで自然かつ高いコントラストが得られた (Fig.9)。

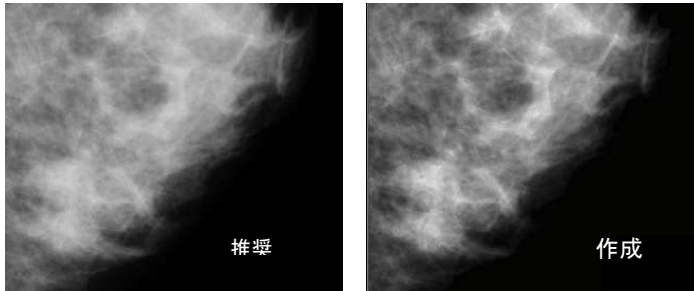


Fig.8 メーカー推奨階調処理

Fig.9 作成した階調処理

3) DR 圧縮処理(スキンライン描出)

Fig.10 は、0.1cycles/mm までを圧縮するメーカー推奨の処理と、作成した 0.05cycles/mm 以下の圧縮処理の周波数処理係数である。メーカー推奨では、乳腺及び腫瘍陰影のコントラストが低下したが、作成した処理係数ではコントラストが向上した (Fig.11, 12)。

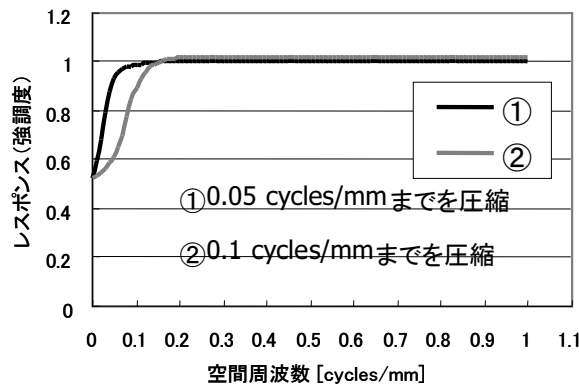


Fig.10 DR 圧縮の周波数処理係数

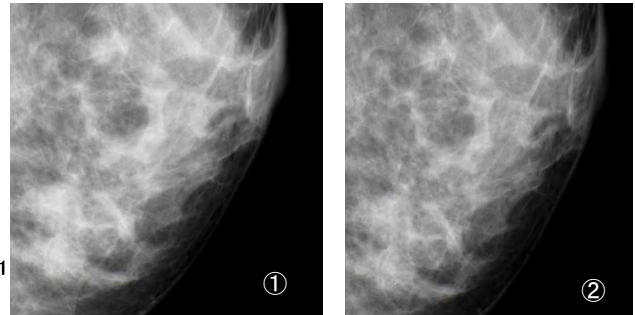


Fig.11 ①で処理した画像

Fig.12 ②で処理した画像

4) 総合処理 (RMI156 ファントム画像での比較)

Fig.13 と Fig.14 は、RMI156 ファントムの画像の比較である。総合処理により、Amulet の模擬石灰化の描出能が Novation とほぼ等しくなったが、Amulet がややノイズが増加した。

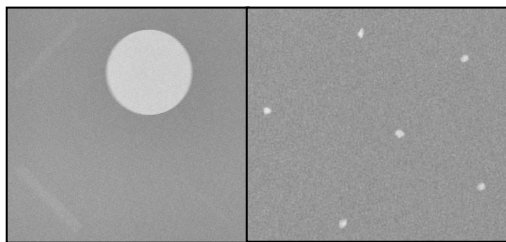


Fig.13 Amulet のファントム総合処理画像

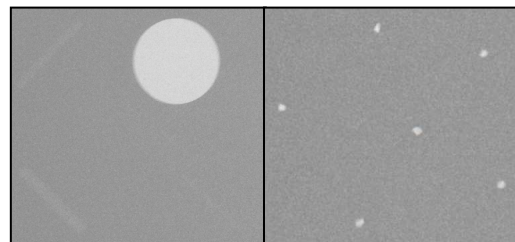
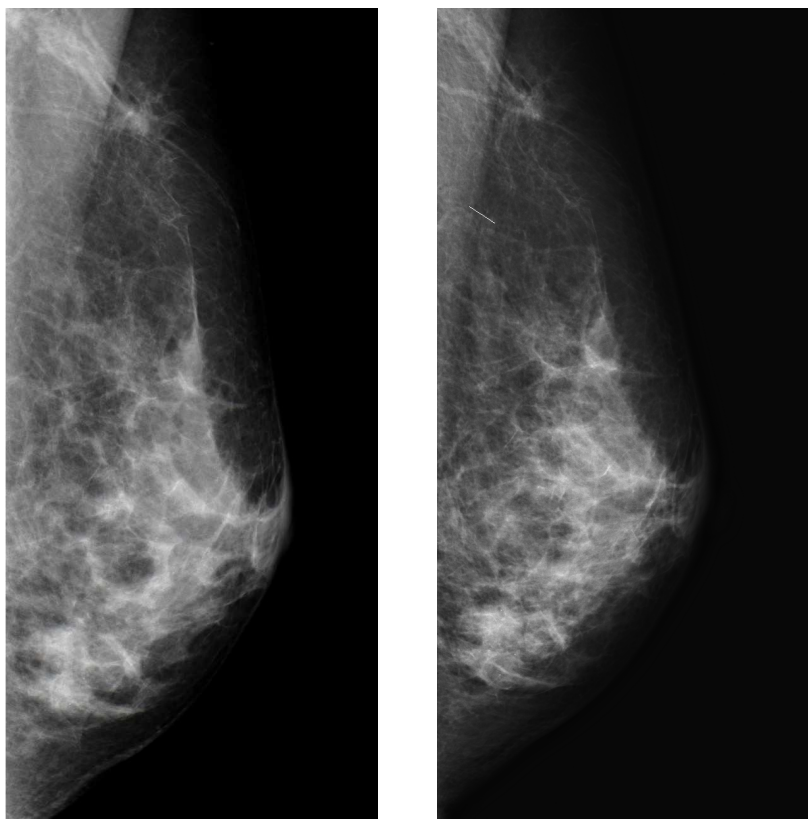


Fig.14 Novation のファントム画像

5) 臨床画像による比較

Fig.15 は、臨床画像における比較である。Amulet の総合処理により Novation とほぼ同等の描出能が得られた。



Novation

Amulet

Fig.15 臨床画像による比較

IV. 考察

微小石灰化の描出には高い MTF が不可欠であり、用いた周波数強調処理は有効であった。しかし、高周波ノイズ抑制と石灰化辺縁描出は相反関係にあった。階調特性については、シグモイドカーブを基本としたが、この特性がフィルムに近いことから、自然な階調を実現するために効果的であった。DR 圧縮処理において、乳腺及び腫瘍陰影のコントラスト維持のためには 0.05cycles/mm 以下の超低周波数の抑制が有効であった。MTF をほぼ同一にする処理は微小石灰化の描出度の改善に有効であったが、画像ノイズに違いが生じた。これは検出量子効率などの基本的物理特性によるものと考えられる。

V. まとめ

二層構造を有するマンモグラフィ用直接型 FPD の画像処理パラメータについて検討した。シグモイドカーブを基本とした階調処理、やや高めの空間周波数強調、及び乳腺コントラストを維持した DR 圧縮により、従来の直接変換型 FPD とほぼ等しい描出能が得られた。