

診断と検診のそれぞれに最適なトモシンセシス撮影ができる 富士フィルムのイノベティブ・マンモグラフィ 「AMULET Innovality」

荒井 毅久*

Fujifilm's Innovative Mammography "AMULET Innovality" Provides Optimal Tomosynthesis-Imaging for Diagnosis and Screening

Takahisa ARAI*

Abstract

Two-dimensional mammography is widely used in clinical environments for early detection and diagnosis of breast cancer. In recent years, tomosynthesis has been used as a new method for breast-cancer examinations. At Fujifilm, to achieve an optimal testing performance in the diagnosis and screening of breast cancer, we developed "AMULET Innovality," a mammography device comprising tomosynthesis imaging-modes with two different exposure angles. Clinical examinations performed by multiple physicians qualified as mammography instructors in Japan verified that each mode exhibited an effective testing performance. Furthermore, this newly developed technology will reduce doses of radiation via the addition of tomosynthesis.

1. Introduction

乳がん検査でのTomosynthesisの有効性が見出され、世界中でTomosynthesisが利用されつつある^{1)~6)}。Tomosynthesisは、異なる角度から被写体を複数撮影し、その画像を再構成して被写体内の断層面の画像を生成する機能のことであり、従来のマンモグラフィ検査と比較して、腫瘍などの病変と乳腺との重なりを分離して観察できるため、従来発見が難しかった病変が確認しやすくなるなど、検査性能の向上が期待されている技術である。米国ではすでに検診に導入され、その他の国でも検診有効性を確認するためのトライアルが実施されている状況である。加えて診断目的でも使用が進んでいる。

本報では、「AMULET Innovality」の当社独自のTomosynthesis技術を中心に、画像化を支えるFlat Panel Detector (FPD)、自動露出機構 (Auto Exposure Control: AEC) や画像処理の新規技術について概説する。

1.1 Tomosynthesisの原理と特徴

Tomosynthesisは、圧迫固定した乳房を異なる角度から撮影した複数枚の画像 (投影画像) を合成して、乳房内の任意

の断層面の画像を生成 (再構成) する技術である。任意の深さの断層画像を生成することで、深さ方向 (圧迫厚み方向) に重なった乳腺や病変構造を分離して観察することが可能になる。Fig. 1にTomosynthesis撮影と断層面の画像の模式図を示す。厚み方向の重なりを分離できることにより、従来のマンモグラフィでは読影が難しかった低コントラストの病変

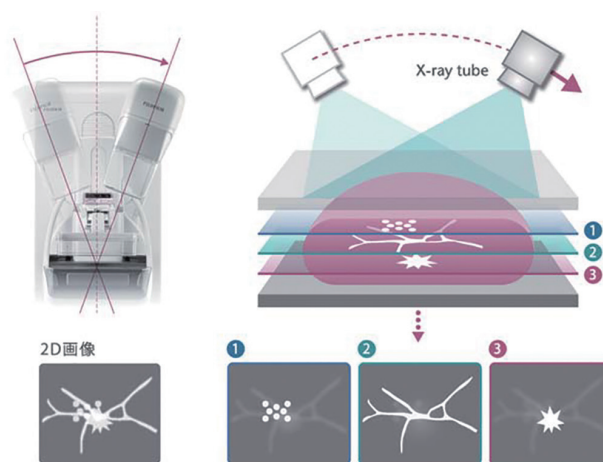


Fig. 1 Schematic of tomosynthesis imaging and sliced images

本誌投稿論文 (受理2016年10月25日)

*富士フィルム (株) R & D統括本部

メディカルシステム開発センター

〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798

*Medical Systems Research & Development Center
Research & Development Management Headquarters
FUJIFILM Corporation
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan

の描出能が向上すると共に、石灰化の3次元配置の認識も容易になっている。

被写体の周りを360°スキャンするCTと異なり、通常のマンモグラフィと同じポジショニング（圧迫）の元で検出器を固定したまま乳房をスキャンすることから、15°、40°などの限定された角度範囲で撮影を行う方式となる。構造の重なりはCTほど分離できないが、空間分解能が高いために病変の細かな性状をより詳細に描出できる。

2. AMULET InnovalityのTomosynthesisの特徴

AMULET InnovalityのTomosynthesisには、検査性能を最大限に高めるために、施設の診療目的（診断および検診）に最適化した二つの撮影モード（撮影角度および画像パターン）など、画質にこだわった当社独自の技術を搭載している。

2.1 検査シーンを想定したTomosynthesisの二つのモード

マンモグラフィ検査において、病変や組織の特徴を明瞭に描出し、さらにその周囲の組織との位置関係を明確にすることは、検出性能の向上や診断の確信度の向上につながるだけでなく、超音波や生検（バイオプシー）などの検査に際し、事前情報を提供できる点で非常に有益である。

Tomosynthesisでは、撮影角度を大きくするほど、深さ分解能が向上し、乳腺の重なりや病変構造を詳細に分離した描出が可能になる。一方、撮影角度を大きくするほど、X線管の移動距離と共に撮影時間が長くなり患者負担が増える、X線の入射角がより傾斜するため再構成で画像化できる領域が小さくなるなどのデメリットが生じることになる。ユーザーが用途および要求画質に応じて最適な選択ができるように、AMULET InnovalityのTomosynthesisでは、二つのモード（Fig. 2に撮影角度と深さ方向の分解能を示す）を搭載している。HR-modeでは、撮影時間と画像領域を考慮しつつ深さ分解能を最大限高めるために撮影角度を±20°に設計しており、ST-modeでは、高速撮影に特化し撮影角度を±7.5°に設計している。

また、断層面内の分解能を決定する画素サイズは、用途と要求画質に応じて設計した。HR-modeでは、診断用途を想定し、石灰化や腫瘍辺縁などの微小構造物の形状視認性を最

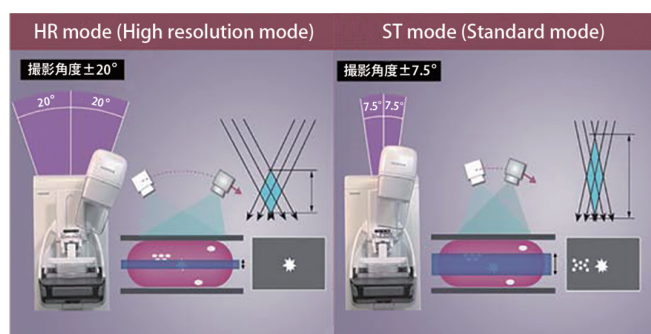


Fig. 2 Dual modes of AMULET Innovality tomosynthesis including exposure angles and depth resolution

大限高めるために、小サイズ画素が望ましいが、1画素あたりの到達線量が減りX線量子ノイズの影響で粒状が低下してしまう。加えて、HR-modeでは撮影角度が広いため実効的な乳房厚みが厚くなり検出器への到達線量が相対的に減少する。これらのバランスを考慮して、HR-modeの再構成画素サイズを100um/pixelに設計した。一方、ST-modeでは、検診用途を想定し、高速撮影と低線量撮影に特化するため、大サイズ画素が望ましいが、病変の形状視認性が低下してしまう。これらのバランスを考慮して、ST-modeの再構成画素サイズを150um/pixelに設計した。

二つのモードは、各々の深さ分解能に応じて、画像処理を最適化している。HR-modeとST-modeでは深さ分解能に応じて焦点面に写りこむ構造が異なるため、従来のマンモグラフィ画像に対して違和感の無い画像にするために、各面で合焦した構造に対する強調量を最適化している。

2.2 読影スタイルに応じた二つの画像パターン

従来のマンモグラフィ診断と同じ画質を要望するユーザーのご要望と、乳房内部の微細構造をより明瞭に把握したいユーザーの要望の両方に応えるため、AMULET InnovalityのTomosynthesisには、従来のマンモグラフィ画像に合わせた画質とCT画像に合わせた画質の2種類の再構成処理を搭載している。Fig. 3に従来マンモグラフィと従来マンモグラフィ画像に合わせた画質：Pattern 1およびCT画像に合わせた画質：Pattern 2の画像を示す。Pattern 1は、低周波を残す構成とした改良ramp filterを用い⁷⁾、相対的に低周波を強調して、従来のマンモグラフィ画像と近い自然な濃淡情報を持たせた再構成処理となっている。また、Pattern 2は、CTで一般的に使用されているramp filterをベースにしたフィルタを用い、相対的に高周波を強調して、石灰化やスピキュラなどの微細および線状構造をより明瞭に描出する再構成処理となっている。

AMULET InnovalityのTomosynthesisは、これら2種類の再構成処理を簡便に選択し表示することができる仕様となっている。

2.3 アーチファクトを抑制した独自再構成処理

Tomosynthesis撮影の再構成処理として、CTと同様に「Filtered Back Projection (FBP) 法」と「逐次再構成法」が

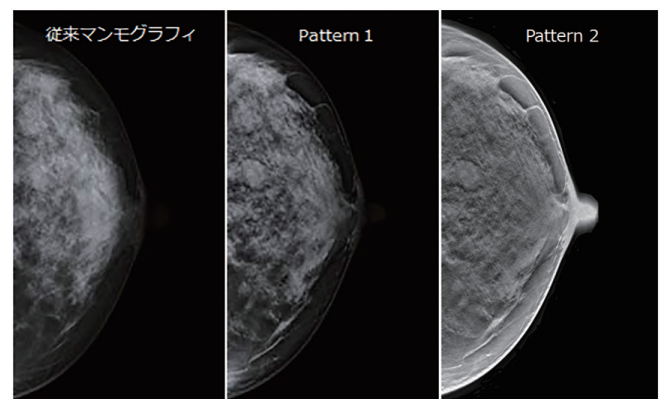


Fig. 3 (left) Conventional mammography, (center) pattern-1 image quality similar to conventional mammography, and (right) pattern 2 image quality similar to CT imaging

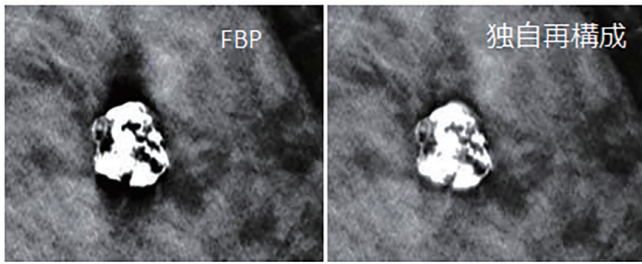


Fig. 4 Differences between the artifacts reconstructed via FBP and our unique reconstruction process

Table 1 Z-resolution of the tomosynthesis for AMULET Innovality

Tomosynthesis 撮影のモード	Z-resolution(mm) : FWHM
HR-mode	3.5
ST-mode	9.5

Table 2 Relationship between the exposure time and tomosynthesis mode in AMULET Innovality

Tomosynthesis 撮影のモード	X線照射開始から終了までの時間	撮影終了から画像表示までの時間
HR-mode	約 9 秒	約 10 秒
ST-mode	約 4 秒	約 7 秒

※撮影時に任意にモード選択・Tomosynthesis 撮影後の連続マンモグラフィ撮影の選択が可能

使われている。逐次再構成法は、FBP 法に比べて再構成に伴う石灰化など高吸収体の周辺の黒帯状のアーチファクトや、異なる焦点面の構造が写り込むリップルと呼ばれるアーチファクトの低減が可能であり、近年活発に研究されている。しかしながら、逐次再構成は膨大な演算量が必要で画像表示までの時間がかかりすぎるといった難点があった。

これに対し、AMULET Innovalityでは、アーチファクトを低減し、かつ直接変換型のFPDの鮮鋭性とノイズの特性を生かした当社独自再構成処理の開発に成功した。Fig. 4に示すように、当社独自再構成処理では周波数フィルタ処理を工夫したことで、断層面の画像のコントラストが大きい部分でも黒帯状のアーチファクトが発生していない⁸⁾。また、GPU (Graphics Processing Unit:画像処理演算に特化した集積回路)を使用した再構成処理と画像処理の並列化により、演算時間の最小化も実現した (Table 2)。

2.4 Tomosynthesisの深さ分解能⁹⁾

AMULET InnovalityのTomosynthesisの深さ分解能 (Z-resolution) はTable 1の性能となっている。EUREF (the European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services) のZ-resolution測定法に従い、再構成画像のアルミニウム球の画素値と周辺画素の平均値の差を測定し、Z-resolutionとして半値全幅 (Full Width at Half modulation : FWHM) で測定した。



Fig. 5 AMULET Innovality

2.5 撮影時間を最小にしたシステム設計

Tomosynthesisの撮影時間は、長時間圧迫による被験者の負担増や体動による画像ボケにつながるため、撮影時間を最小に抑えることが切望されている。

AMULET Innovalityでは、高出力X線照射、高速画像読み出し、X線管の動作スピードと安全性を考慮した最適設計により、Tomosynthesis撮影の両モードの撮影時間を最小化している (Table 2)。撮影終了から短時間での画像表示により、ポジショニングの良否確認をいち早くおこなうことができる。

3. AMULET InnovalityのX線画像化および撮影技術

AMULET Innovality (Fig. 5) には、Tomosynthesis以外にもマンモグラフィの検査の質を高めるために、直接変換型検出器やAECにも当社独自の新規技術を搭載している。

3.1 低線量を実現したHCP構造のFPD

AMULET Innovalityでは、微小な石灰化まで描出する高解像度の要求に応えるため、アモルファスセレン (a-Se) を使った直接変換方式を採用している。また、短時間での連続複数画像の取得を可能とするTFT方式の読み取りを採用している。

直接変換型TFT方式では、高精細化のために小画素化していくと、X線によって発生した信号電荷の収集効率 (=感度) が低下するトレードオフがあった。AMULET Innovalityでは

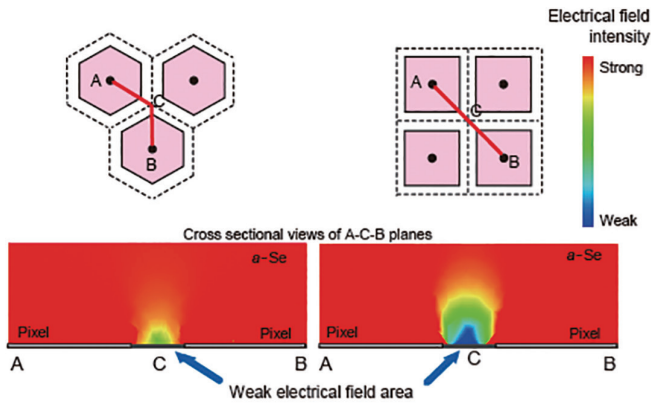


Fig. 6 Schematics of the HCP and square pixel structures and their electrical-field intensity

独自の画素電極形状を採用することで高精細化と高感度を両立した。

直接変換型 TFT 方式では電荷収集電極間に信号線と走査線を配置しており、この電極間領域は電界強度が弱くなるため、電荷収集効率の低下要因となる。われわれは従来の構造で、画素電極間の対角の隙間で急激に電界強度が低下することを解析し、従来の TFT 方式の正画面素構造よりも電極の角度を広げつつ、画素間の隙間を最小にできる独自の Hexagonal Close Pattern (HCP) 構造が、最も効率よく電界強度の低下を抑制し、効率よく電荷を収集できることをつきとめた。Fig. 6 に示すように、HCP 構造では、電界強度が弱くなりやすい画素間の対角の隙間において正画面素構造よりも高い電界強度が維持されており、正画面素構造に対して感度を約 20% 向上させることに成功した¹⁰⁾。

3.2 HCP 構造の FPD の画質性能

上述の HCP 構造 FPD を搭載した AMULET Innovality の画質性能を正画面素構造 FPD の「AMULET」と比較した。画質性能の指標として MTF と DQE を IEC62220-1-2 標準に従って測定した¹⁰⁾。

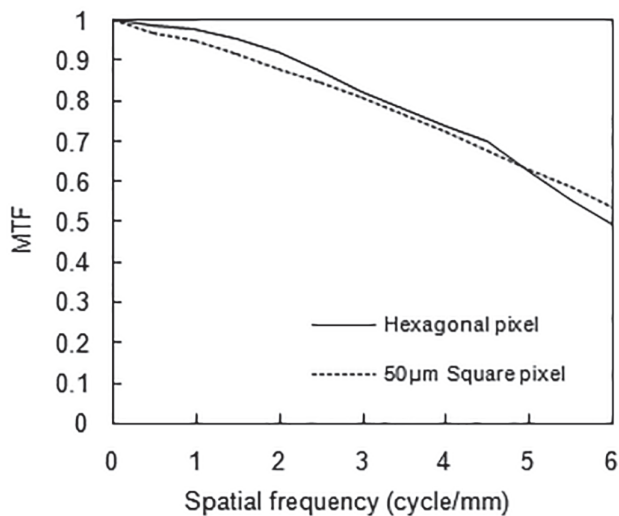


Fig. 7 Measurement results for MTF using AMULET Innovality (hexagonal pixel) and AMULET (50 μ m square pixel) with W/Rh, 28 kV, Al 2-mm filter, and 5 mR in the conventional mammography imaging mode

Fig. 7 に MTF の測定結果を示す。AMULET Innovality の空間分解能は、AMULET と同程度の高い空間分解能を有した。Fig. 8 に DQE の周波数依存性の測定結果を示す。AMULET Innovality の 0 cycle/mm の DQE は AMULET と比較して 1.3 倍に向上した。Fig. 9 に 2 cycle/mm の DQE の線量依存性の測定結果を示す。AMULET Innovality は、従来構造と比較して、測定した全線量領域にわたって DQE が向上しており、特に Tomosynthesis で使われる 0.5 mR での DQE を格段に向上させることに成功している。

AMULET Innovality では、1 回の Tomosynthesis 撮影で 15 枚の投影像を撮影するが、この HCP 構造の直接変換型 TFT 方式を採用したことで、各投影像あたりの線量を従来のマンモグラフィ撮影の約 7% まで低減してもノイズが抑制されることにより、Tomosynthesis 画像として検査に十分な高画質を達成した。

3.3 線量を適切に制御する Intelligent AEC (i-AEC)

従来の AEC では、位置が固定された複数の測光領域（プレ照射により FPD への到達線量を計測して、本照射の線量を決定する領域）の中から、入射 X 線の強度が最も低い領域を自動選択することで、乳腺密度が最も高い場所に合わせた線量を設定している。しかし、固定測光領域では、被写体やポジショニングによって、乳腺密度が最も高い場所の捕捉が難しいケースがある。また、シリコンインプラント等を含む乳房では、インプラント領域を選択し、過大な線量値になるリスクがあるため、AEC を使えないことがあった。

AMULET Innovality の Intelligent AEC (i-AEC) は、これらの問題点を克服するため、プレ照射した画像を自動解析し、被写体状況によらずに適切に乳腺領域を選択することで、線量安定化を実現する技術である。Fig. 10 に示すように、i-AEC によって、インプラントの有無やポジショニングによらず適切な乳腺領域が選択され、乳腺に合わせて適切に線量制御することが可能になった。

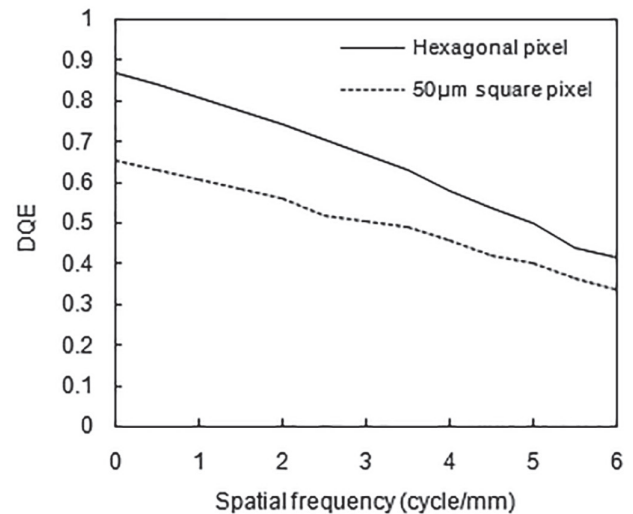


Fig. 8 Measurement results for DQE using AMULET Innovality (hexagonal pixel) and AMULET (50 μ m square pixel) with W/Rh, 28 kV, Al 2-mm filter, and 5 mR in the conventional mammography imaging mode

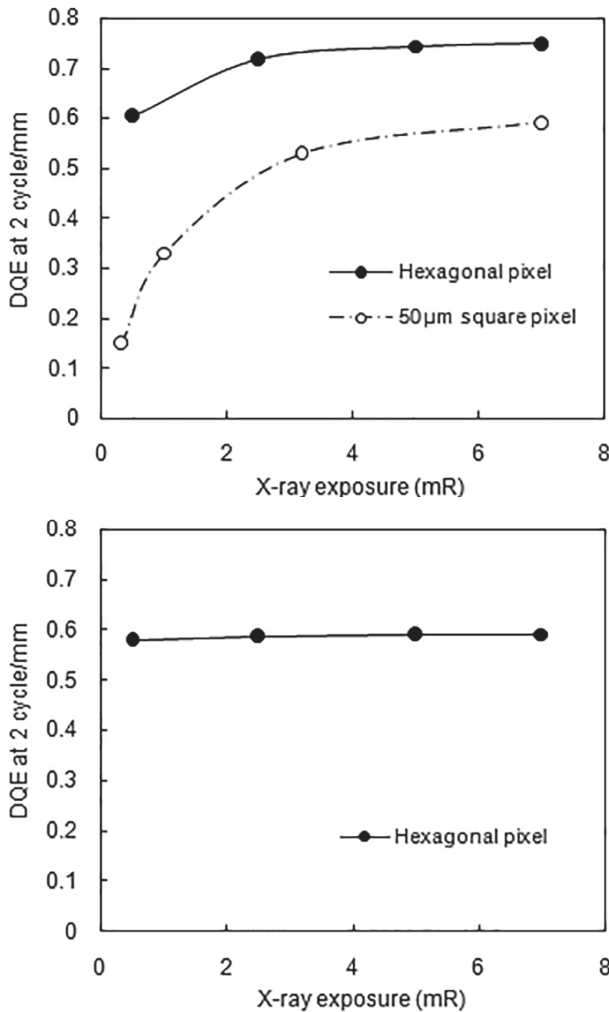


Fig. 9 Measurement results for the dose-dependence of DQE at 2 cycle/mm using AMULET Innovality (hexagonal pixel) and AMULET (50 μm square pixel) with W/Rh, 28kV, Al 2-mm filter, and 5mR in (top) the conventional mammography imaging mode and (bottom) the tomosynthesis imaging mode

4. AMULET Innovalityの臨床研究結果

当社は、AMULET Innovalityの臨床性能を研究機関の倫理審査と患者同意を得て、以下の3段階で確認してきた。AppendixにAMULET Innovalityの臨床研究結果の報告の一覧を示す。

- ①従来マンモグラフィおよびTomosynthesis (HR-mode, ST-mode) の撮影条件 (管電圧と線量) を、手術直後の乳房全摘出検体への複数水準の撮影画像と比較評価することで仮決定した。
- ②仮決定した撮影条件の妥当性を実際の患者様へprospectiveに適用させていただいて確認した。
- ③妥当性が確認された装置の臨床性能を定量的に確認した。

AMULET InnovalityのTomosynthesis画像の有効性を示した臨床研究の例について以下に紹介する。

4.1 Tomosynthesis追加の効果¹¹⁾

マンモグラフィ画像にTomosynthesis画像を追加して得られる臨床価値を明らかにするため、高画質で高分解能のHR-

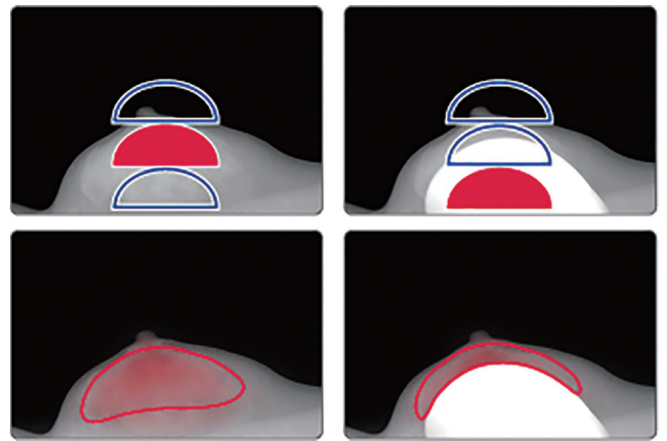


Fig. 10 Photometry areas for conventional AEC (top) and i-AEC (bottom)

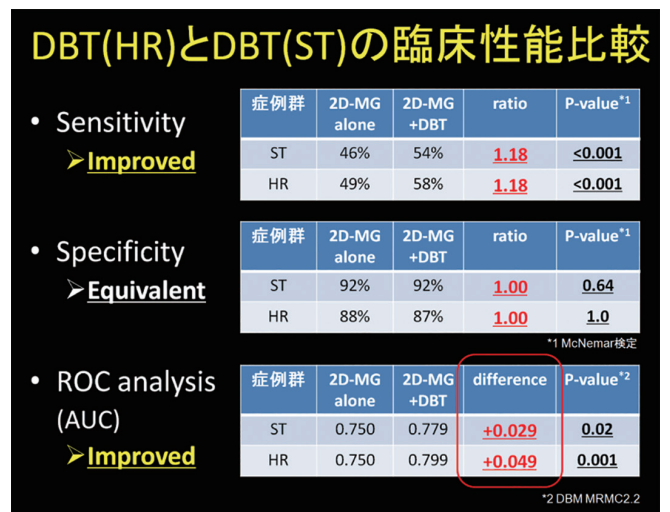


Fig. 11 Clinical performance of the HR and ST modes

mode(振り角±20°)と撮影時間が短く低被曝のST-mode(振り角±7.5°)の二つの撮影モードの追加読影を比較した。

対象は書面で同意を得た157例で、HR-mode79例、ST-mode78例であった。日本でマンモグラフィ指導医の資格を持つ読影医8人がマンモグラフィ画像単独読影後にTomosynthesis画像の追加読影を行い、病変所見や悪性度などを記載した。

結果をFig. 11に示す。HR-modeでは感度が49%から58%へ有意に上昇し(P<0.001)、特異度は同等、ROC曲線下面積は0.750から0.799へ有意に向上した(P=0.001)。ST-modeでは感度が46%から54%へ有意に上昇し(P<0.001)、特異度は同等、ROC曲線下面積は0.750から0.779へ有意に向上した(P=0.02)。Tomosynthesis画像の追加読影は、正常症例を異常と診断することで発生する不要な追加検査を増やさず、検査性能の向上に寄与することが示された。HR-modeとST-modeの比較においては、感度と特異度に対して差が認められなかったものの、ROC曲線下面積に対してHR-modeの向上分が有意に大きかった(P<0.05)。

感度が上昇した(従来マンモグラフィ画像では指摘困難

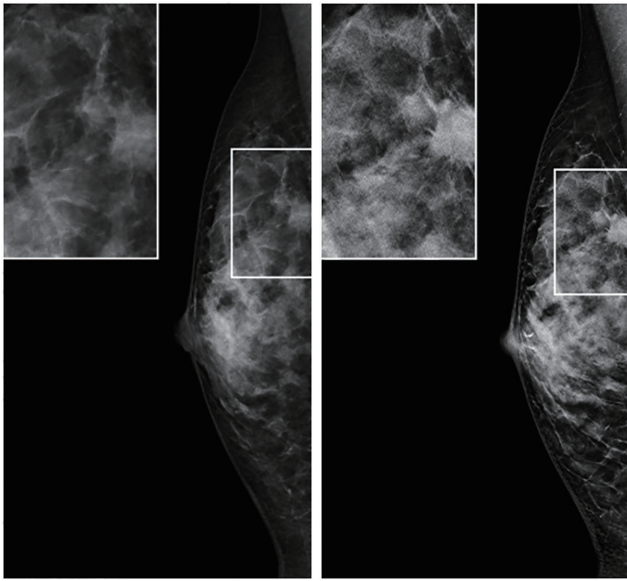


Fig. 12 Imaging of cancer: (left) conventional mammography and (right) the HR mode

ながん症例をTomosynthesis画像の追加で指摘できた) HR-modeの画像例をFig. 12に、ST-modeの画像例をFig. 13に示す。HR-modeは深さ分解能が高いため、病変の辺縁構造をより詳細に描出できるので精密検査での利用に適していると考えられる。ST-modeは感度がHR-modeと同様に向上しており、かつ、撮影時間が短く照射線量も少ないことから、病変の検出が重要な検診での利用に適していると考えられる。

5. Tomosynthesisの検査性能をさらに向上するための新しい画像処理技術

Tomosynthesis画像の追加読影は従来マンモグラフィ画像の単独読影に比べて検査性能を向上できることを示してきた。一方で、Tomosynthesisには、従来マンモグラフィに追加した撮影になるため被曝増加の課題がある。この課題に対して、当社が開発したTomosynthesisの画質向上技術は、線量低減にも寄与すると考えている。

5.1 Tomosynthesis画像の線質と散乱線の影響の補正処理

Tomosynthesis撮影は、グリッドを退避した状態で従来のマンモグラフィ撮影よりも高エネルギー条件でX線照射される。従来のマンモグラフィ撮影条件はタンゲステン陽極/ロジウムフィルター、グリッド有であり、Tomosynthesisの撮影条件はタンゲステン陽極/アルミフィルター、グリッド無である。このため、Tomosynthesis画像は、線質や散乱線の影響により従来のマンモグラフィ画像よりもコントラストが低くなる場合が多い。特に比較的厚い乳房のTomosynthesis画像でコントラスト低下が顕著である。そこで、Tomosynthesis画像のコントラスト低下問題を解決するために、線質と散乱線の影響を補正する技術を開発した。

Tomosynthesis撮影で得られた投影画像と、投影画像を再構成して得られる断層面の画像は、共に、線質と散乱線の影響を補正する技術により、従来のマンモグラフィと同等のコ

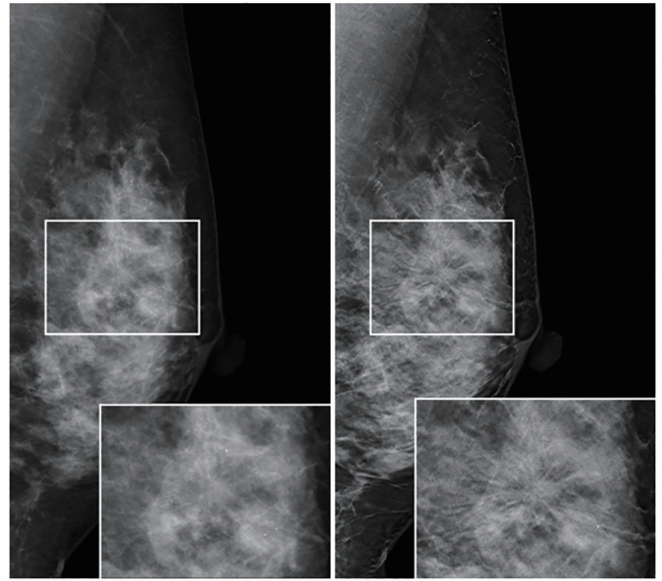


Fig. 13 Imaging of cancer: (left) conventional mammography and (right) the ST mode

ントラストに補正することができる。

Fig. 14に従来マンモグラフィの撮影条件とTomosynthesisの撮影条件でそれぞれ撮影されたRMI156ファントムの模擬腫瘍とその背景のコントラストを示す。線質と散乱線の影響を補正する技術により、Tomosynthesis画像のコントラストが従来マンモグラフィ画像のコントラストと同等にできていることが分かる。

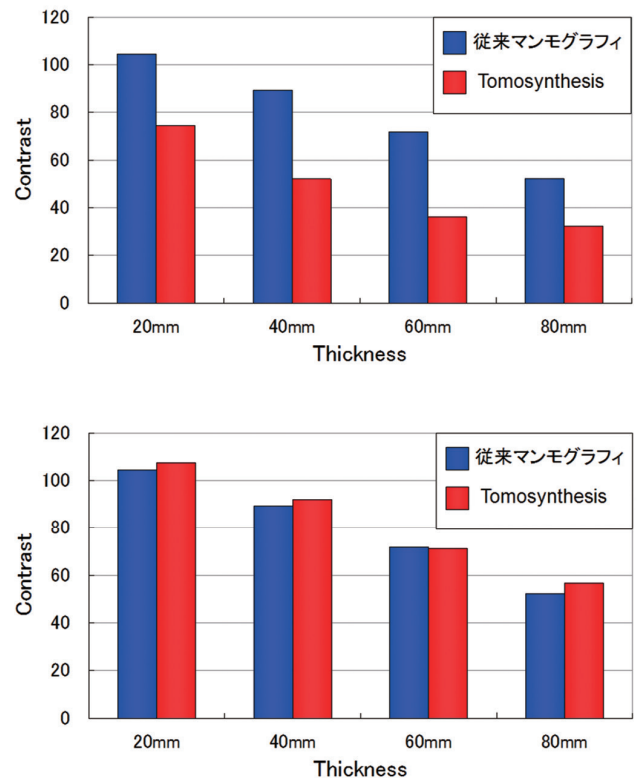


Fig. 14 Contrast of a simulated tumor mass in a RMI156 phantom and its background: (top) no correction for the radiation quality and scattered radiation and (bottom) corrected for radiation quality and scattered radiation

5.2 超解像と逐次法を応用した再構成技術¹²⁾

Tomosynthesisは、腫瘍などの病変と乳腺との重なりを分離して観察できるようになるため有用な情報が得ることができ、従来マンモグラフィと比較して劣る点も存在する。被曝量の増加、焦点面以外の構造の写り込みおよび画像鮮鋭度の低下である。これらの課題を解決するために、三つの主要な要素技術を開発した。

一つ目は、低線量撮影時の粒状改善技術である。撮影時に線量を下げると検出器に到達するX線が少なくなるために量子ノイズが相対的に増加し、信号がノイズに埋もれ読影しづらくなる問題がある。そこで、再構成時に「構造を持たないノイズ」成分を抽出し、これを低減することにより粒状性を改善した。

二つ目は、焦点面以外の構造の抑制技術である。Tomosynthesisの投影角度が制限されていることを考慮して、投影プロセス時に必要な座標計算を最適化することで演算時間を大幅に短縮し、さらにGPUを用いた超並列化演算により、実用的な演算時間を実現した。

三つ目は、鮮鋭度低下を防ぐ微細構造の復元技術である。石灰化や乳腺構造等の微細構造の視認性を向上するため超解像技術を再構成に応用した。

Fig. 15にCDMAMファントム¹³⁾の、従来の再構成技術と、それに対して線量を約40%低減して撮影して開発した技術を用いて再構成した画像の、比較測定結果を示す。従来の再構成技術で算出した曲線と、低線量撮影し開発した技術で算出した曲線はほぼ一致しており、検出性能で劣らない結果となった。

これらの要素技術を用いて開発した、新しいトモシンセシス再構成 (Iterative Super-resolution Reconstruction : ISR) 法とその臨床効果については、別の機会に報告する。

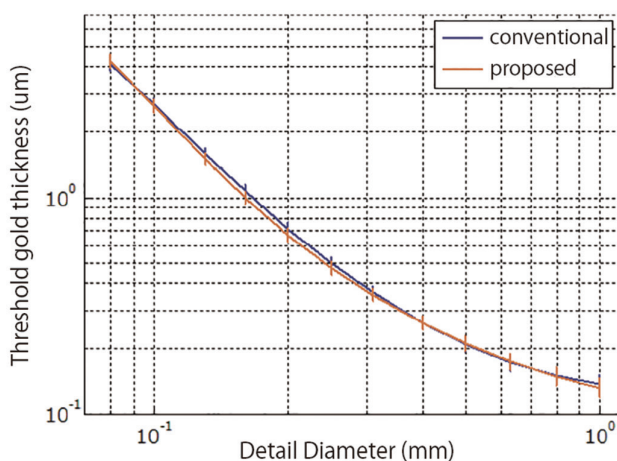


Fig. 15 Comparative measurement results for the CDMAM phantom

6. Conclusion

われわれは、AMULET Innovalityの二つの異なる撮影角度のTomosynthesisモードが乳がん診断と検診の各々の用途に対して有効であることを技術的側面および臨床的側面から概説した。これらは、当社が新規に開発した独自のX線画像化技術に支えられている。さらに、Tomosynthesis画像の線質と散乱線の影響を補正する技術および超解像と逐次法を応用した再構成技術により検査性能の向上や線量低減の可能性も紹介した。当社は、AMULET Innovalityで、乳がん検査の性能・精度向上に貢献すると共に、これからも診断技術のさらなる向上に貢献していく。

7. Acknowledgments

AMULET Innovalityの開発当初より、AMULET InnovalityとそのTomosynthesisの開発の方向性や画像の"画作り"に多大なるご助力・ご助言をいただきました名古屋医療センターの遠藤登喜子先生、大岩幹直先生、森田孝子先生、須田波子先生、放射線科の皆様、佐藤康幸先生、外科の皆様、市原周先生、病理診断科の皆様、香川県立中央病院の白岩美咲先生、浜田医療センターの吉川和明先生、東海中央病院の堀場孝雄先生、東名古屋病院の小川弘俊先生、林幸枝先生、放射線科の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Rafferty, E. A.; Park, J. M.; Philpotts, L. E.; et al. Assessing radiologist performance using combined digital mammography and breast tomosynthesis compared with digital mammography alone: results of a multicenter, multireader trial. *Radiology*. 2013, 266(1), p.104-113.
- 2) Svahn, T. M.; Chakraborty, D. P.; Ikeda, D.; et al. Breast tomosynthesis and digital mammography: a comparison of diagnostic accuracy. *British Journal of Radiology*. 2012, 85(1019), e1074-e1082.
- 3) Per Skaane, P.; Bandos, Andriy I.; Gullien, Randi, et al. Comparison of digital mammography alone and digital mammography plus tomosynthesis in a population-based screening program. *Radiology*. 2013, 267(1), p.47-56.
- 4) Ciatto, S.; Houssami, N.; Bernardi, D., et al. Integration of 3D digital mammography with tomosynthesis for population breast-cancer screening (STORM): A prospective comparison study. *Lancet Oncology*. 2013, 14(7), p.583-589.
- 5) Durand, M. A.; Haas, B. M.; Yao, X., et al. Early clinical experience with digital breast tomosynthesis for screening mammography. *Radiology*. 2015, 274(1), p.85-92.
- 6) Gilbert, Fiona J.; Tucker, Lorraine; Gillan M. G. et al.

- The TOMMY trial: a comparison of tomosynthesis with digital mammography in the UK NHS Breast Screening Programme - a multicentre retrospective reading study comparing the diagnostic performance of digital breast tomosynthesis and digital mammography with digital mammography alone. *Health Technol Assess.* 2015, 19(4), p.i-xxv, 1-136.
- 7) Ioannis Sechopoulos. A review of breast tomosynthesis. Part II. Image reconstruction, processing and analysis, and advanced applications. *Medical Physics.* 2013, 40(1), 014302.
- 8) 富士フイルム株式会社. 赤堀貞登. 放射線撮影装置. 特開 2013-31641. 2013-02-14.
- 9) Takao Kuwabara, T.; Yoshikawa, K. Physical performance testing of digital breast tomosynthesis. *Proceeding of SPIE.* 2015, 9412, *Medical Imaging 2015: Physics of Medical Imaging*, 94123C.
- 10) Okada, Y.; Sato, K.; Ito, T. Hosoi, Y.; Hayakawa, T. A newly developed a-Se mammography flat panel detector with high-sensitivity and low image artifact. *Proceeding of SPIE.* 2013, 8668, *Medical Imaging 2013: Physics of Medical Imaging*, 86685V.
- 11) Endo, T.; et al. Diagnostic Accuracy Comparison of modes in Dual-mode Digital Breast Tomosynthesis. *Breast Cancer.* 2016.
- 12) 福田航, 森田順也, 山田雅彦. 超解像と逐次法を応用したトモシンセシス再構成技術の開発. *FUJIFILM Research & Development.* 2016, no.61, p.1-6.
- 13) Karssemeijer, N. ; Thijssen, M.A.O. Determination of contrast-detail curves of mammography systems by automated image analysis. *Digital mammography '96: proceedings of the 3rd international workshop on digital mammography.* Chicago. Elsevier, 1996, P.155-160. Note : CDCOM software and sample images are posted at www.euref.org.

商標について

- ・「AMULET」「AMULET Innovality」は、富士フイルム（株）の登録商標です。
- ・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。

Appendix of clinical studies on AMULET Innovality

No.	演題名	学会名	日時	場所
1	Clinical evaluation of the dual mode Tomosynthesis with newly developed FPD and image processing for Tomosynthesis	ECR2014 - European Congress of Radiology	2014/3/6-10	vienna
2	Clinical evaluation of new mammography system with tungsten anode and Image-based Spectral Conversion technology	ECR2014 - European Congress of Radiology	2014/3/6-10	vienna
3	直接変換型 TFT 方式の新型マンモグラフィ装置の乳がん画像診断への適用	第 23 回日本乳癌画像研究会	2014/3/15	高松
4	Clinical Evaluation of Dual Mode Tomosynthesis	IWDM2014 - 12th International Workshop on Breast Imaging	2014/7/1	gifu
5	デュアルモードトモシンセシスによる臨床性能評価	第 22 回日本乳癌学会学術総会	2014/7/11	大阪
6	トモシンセシスと追加撮影の所見表示能の検討	第 24 回日本乳癌検診学会学術総会	2014/11/7	前橋
7	トモシンセシス画像の追加読影が有効であった症例の報告	第 24 回日本乳癌画像研究会	2015/2/13	東京
8	The diagnostic performance of digital breast tomosynthesis	第 74 回日本医学放射線学会総会	2015/4/17	横浜
9	デュアルモードトモシンセシスの乳がん画像診断への適用法の検討	第 23 回日本乳癌学会学術総会	2015/7/4	東京
10	デュアルモードトモシンセシスの追加撮影としての臨床的価値の検討	第 25 回日本乳癌検診学会学術総会	2015/10/30	筑波