



Title	拡大デジタル乳房撮影による微小石灰化検出能の改善
Author(s)	東田, 善治; 羽手村, 昌宏; 吉田, 彰 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1998, 58(9), p. 473-478
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/19060">https://hdl.handle.net/11094/19060</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

# 拡大デジタル乳房撮影による微小石灰化検出能の改善

東田 善治<sup>1)</sup> 羽手村昌宏<sup>2)</sup> 吉田 彰<sup>3)</sup> 高田 卓雄<sup>2)</sup> 高橋 睦正<sup>2)</sup>

1)熊本大学医療技術短期大学部(現,九州大学医療技術短期大学部)  
2)熊本大学医学部附属病院中央放射線部 3)広島県立保健福祉短期大学

## Improvement of Detectability of Microcalcifications by Magnification Digital Mammography

Yoshiharu Higashida<sup>1)</sup>, Masahiro Hatemura<sup>2)</sup>,  
Akira Yoshida<sup>3)</sup>, Takao Takada<sup>2)</sup>  
and Mutsumasa Takahashi<sup>2)</sup>

Our aim in this study was to evaluate the potential utility of magnification mammography with a CR system by investigating the basic imaging parameters and detectability of microcalcifications in comparison with those of conventional screen-film systems. The basic imaging parameters were evaluated by measuring scatter fraction, modulation transfer function (MTF), Wiener spectrum, and incident dose for the various magnification factors. The detection of simulated microcalcifications in radiographs of a mammographic phantom and breast specimens were evaluated subjectively and quantitatively for screen-film and CR techniques with various magnification factors. The scatter fraction of digital magnification mammography decreased with increasing magnification factor. MTF of magnification digital mammography improved with increasing magnification factor. The detectability of microcalcifications with the CR system was significantly improved by magnification technique. From the above results, it is expected that the use of magnification mammography with a CR system will improve the detectability of microcalcification.

Research Code No. : 207, 521

Key words : Digital radiography, Mammography,  
Microcalcification

Received Jan. 9, 1998; revision accepted Jun. 18, 1998

- 1) Department of Radiological Technology, Kumamoto University College of Medical Science (Present Address: Department of Radiological Technology, Kyushu University School of Health Sciences)
- 2) Department of Radiology, Kumamoto University Hospital
- 3) Department of Radiological Technology, Hiroshima Prefectural College of Health and Welfare

## はじめに

乳房X線検査における微小石灰化の存在は、病変が良性か悪性かを決定する上で大きな意味を持っており、特に非浸潤癌や触知不能乳癌などの症例におけるX線撮影では微小石灰化の検出が重要になる<sup>1)</sup>。乳房撮影は、X線写真の中でも特に微細構造の検出が要求されるので、通常片面増感紙-片面乳剤フィルム(片面システム)システムが用いられているが、最近デジタル装置を用いた撮影も報告されている<sup>2)-6)</sup>。しかし、Computed Radiography (CR)システムに代表されるデジタルシステムは、有限のピクセルサイズを持っているため、微細石灰化の検出に問題があることが報告されている<sup>4),7)</sup>。われわれもこれまで、CRシステムを用いたときの乳房微小石灰化の検出に関する定量的な解析を試みた。その結果CRシステムを用いたときの微小石灰化の検出能は、従来の増感紙-フィルム系に比べ悪くなることを明らかにした<sup>4)</sup>。これを改善するため本研究では、拡大デジタル乳房撮影を行い、画像特性を測定した。また微小石灰化の検出能に関する視覚評価を行い、優れた結果を得たので報告する。

## 実験方法

### 1. 拡大撮影における画像特性と定性的な視覚評価

実験に用いたCR装置はCR201(富士フィルム)である。イメージングプレート(Imaging Plate: IP)は、20.0cm×25.4cmのHR-III<sub>N</sub>を使用しピクセル寸法0.1mm×0.1mm、濃度分解能は10ビットである。すべてのCR画像は、増感紙-フィルム系と同等サイズで片面乳剤フィルムにプリントした。撮影には公称焦点サイズ0.3mm/0.1mmを有する乳房撮影専用装置(東芝MAMMO ACE MGU-20C)を用いたが、密着撮影には、焦点サイズ0.3mmを用い、すべての拡大撮影には0.1mm焦点を用いた。焦点-フィルタの組み合わせは、Mo/Moであり、撮影における焦点-検出器(フィルムまたはIP)間距離は60cmである。

拡大CR撮影の画像特性を検討する目的で、散乱線含有率、被曝線量、解像特性、粒状特性などを測定した。また微小石灰化の検出能について乳房ファントムに含まれる模擬石灰化の視覚評価を行った。CRシステムによる撮影は、密着撮影と5種類の拡大撮影(1.2, 1.4, 1.6, 1.8, および

2.0倍拡大)で行った。拡大CR画像の画像特性を増感紙フィルムと比較するため、乳房撮影で広く用いられている2種類の増感紙フィルム系(コダック: Min-R/MRM, Min-R Med/MRM)を用いたが、これらの系による拡大撮影は行わなかった。2種類の増感紙の相対感度は、1:2である。

拡大CR撮影における散乱線含有率は、鉛ディスク法を用いて測定した<sup>8)</sup>。厚さ3mm、直径2.5mmから10mmまでの4種類の鉛ディスク(2.5, 5.0, 7.5, 10mm)をルサイトファントムの表面に置き、IPと片面乳剤フィルム(富士: MINH)を組合せてIPの瞬時発光を利用して鉛ディスクを撮影した。鉛ディスクの内側(散乱線)と周囲(直接線+散乱線)の濃度を測定し、MINHフィルムの特性曲線を用いて濃度から相対X線強度に変換し散乱線含有率を計算した。測定は、ファントム厚1, 2, 4 cmの3種類を用い、撮影電圧は25kVから33kVまで2kV間隔で変化させた。拡大CR撮影を行うと被写体とX線焦点の距離が短くなるため被曝線量が増加する。このため拡大撮影におけるファントムへの入射線量をシャローチャンパー(軟線用30-330)にて測定した。

解像特性はMTF(Modulation Transfer Function)を求めることによって評価した。2種類の増感紙フィルム系のMTFは、通常露光と倍数露光で撮影した幅10mmのスリット像と特性曲線を濃度計でスキャンし、線像強度分布(Line Spread Function: LSF)のフーリエ変換によって求めた。拡大撮影におけるCRの解像特性は、焦点のMTFとIPのプリサンプリングMTF<sup>9)</sup>から求めた。まず焦点の線像強度分布を求めるため、幅10mmのスリットを用いてNEMA標準<sup>10)</sup>にしたがって焦点の撮影を行った。撮影したスリット像と片面乳剤フィルム(MINH)の特性曲線から焦点の線像強度分布を求めフーリエ変換することによって焦点のMTFを計算した。プリサンプリングMTFはエアリングの影響を含まないようにするため、スリットを走査方向に対してわずかに角度をつけて( $\theta < 2$ 度)撮影した<sup>9)</sup>。撮影したスリット像からLSFを求め、CRのプリサンプリングMTFを計算した。焦点のMTF、CRのプリサンプリングMTFおよび拡大率から、CR拡大撮影におけるトータルのMTFを計算した<sup>11)</sup>。

ノイズ特性は、WS(Wiener spectrum)によって定量化した。乳房撮影を模擬するために、厚さ4cmのルサイトを用いた。増感紙フィルム系を真空カセットに挿入し、撮影時間と距離を調節して、同一写真濃度(1.0±0.01)のノイズサンプルを作成した。CR画像はレーザーイメージャーで出力したフィルムをノイズサンプルにした。ノイズサンプルを濃度計でスキャンし高速フーリエ変換によってWSを求めた。

拡大撮影における微小石灰化の検出能の違いを比較するため、2種類の増感紙フィルム系と、CRシステムで乳房ファントム(コダックITO 1890)を撮影した。ファントムに含まれる模擬石灰化の数を数えることによって定性的な評価を行い、検出能が改善される至適拡大率の見当をつけた。

## 2. 微小石灰化の検出に関するROC解析

拡大CR撮影における微小石灰化の検出能を定量的に検討するためROC(Receiver Operating Characteristic)解析による視覚評価を行った。ROC解析に用いる観察試料は、人体摘出乳房と脂肪を含む豚肉を組み合わせた模擬乳房を撮影することによって作成した。模擬乳房の厚さは、約2~5cm、

直径10~15cmである。また微小石灰化は直径100mm~200mmの乾燥骨で模擬した。約15個以上の微小石灰化を含むクラスターを厚さ2mmのルサイト板に固定し、模擬乳房の上に重ねて撮影した。このとき観察試料が類似の写真濃度や背景構造にならないように、模擬乳房上のクラスターの位置を変化させた。撮影は、1種類の増感紙フィルム系(Min-R/MRM)、CR密着撮影、1.2倍および1.4倍拡大で行い、すべて同一条件で撮影したが、拡大撮影では焦点-乳房間距離が短くなるため乳房への入射線量が増加する(後述)。このため、2つの拡大撮影では、乳房への入射線量が同一になる条件で撮影した試料を加えた(以後低線量撮影)。したがって計6種類で撮影した試料をROC解析に用いた。撮影電圧は28kVである。2種類の拡大率を選択した理由は、先に行った石灰化の定性的な観察結果から、1)1.2倍および1.4倍拡大程度で増感紙フィルム系と同等かそれ以上の検出能が期待できること、2)拡大率が大きくなるとX線写真の拡大により6ツ切りサイズのIPが使用できないこと、による。CRの画像処理は当大学で使用しているもの(GA: ガンマ=1.2, RN: 周波数=0, RE: 強調度=0.6)を用いた。観察試料は、1種類の撮影方法で40枚(微小石灰化のクラスターを含むもの20枚, 含まないもの20枚)である。模擬石灰化を含むすべての観察試料は、乳房写真の診断を行っている外科医によって、臨床で見られるものと類似していることを確認した。

観察はシャーカステン付きデジタイザーとパーソナルコンピュータを用いて行った<sup>4)</sup>。実験に先立ち観察フィルムに含まれるすべての微小石灰化の位置をデジタイザーによってコンピュータに入力した。観察方法は、0-100の連続確信度法で行い、確信度レベルが51を越える場合は、ライトペンによって微小石灰化の位置を示すよう依頼した。観察は2名の乳腺外科医と8名の放射線技師で行った。各観察者の結果からMetzのプログラム(LABROC1)を用いてROC曲線を計算し、平均のROC曲線の面積(Az)によって6種類の撮影法による検出能を比較した<sup>12), 13)</sup>。また観察者が石灰化を認めた場合、ライトペンによって位置を確認しているの、位置の正確さを含めた真の陽性率(True Positive Localization Fraction: TPLF)も検出能の指標として評価に用いた<sup>4)</sup>。なお今回の研究では、グリッドは使用しなかった。

## 結 果

### 1. 画像特性と定性的な視覚評価

Fig.1に密着撮影および拡大率を1.2倍から2.0倍まで変化させたときのいろいろなX線質に対する散乱線含有率を示す。ファントム厚は4cmである。結果から明らかのように散乱線含有率は密着撮影で最も多くなり、拡大率の増加とともに減少するが線質に依存しない。このため以後の撮影は28kVを使用した。またここには示していないが、散乱線含有率は、ファントム厚に大きく依存し、ファントムが厚くなれば増加する。

Fig.2に拡大率を変化させたときのファントム入射線量(左軸)とIP入射線量(右軸)の関係を示す。測定はファントム厚4cm、線質28kVで行った。拡大率が大きくなると、ファン

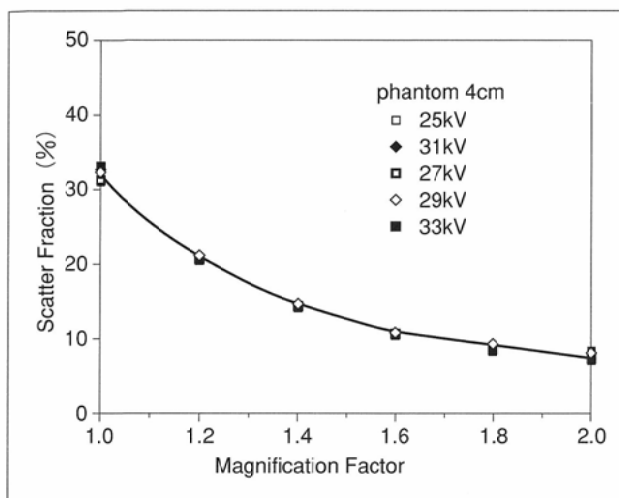


Fig.1 Dependence of scatter fractions on the tube potential.

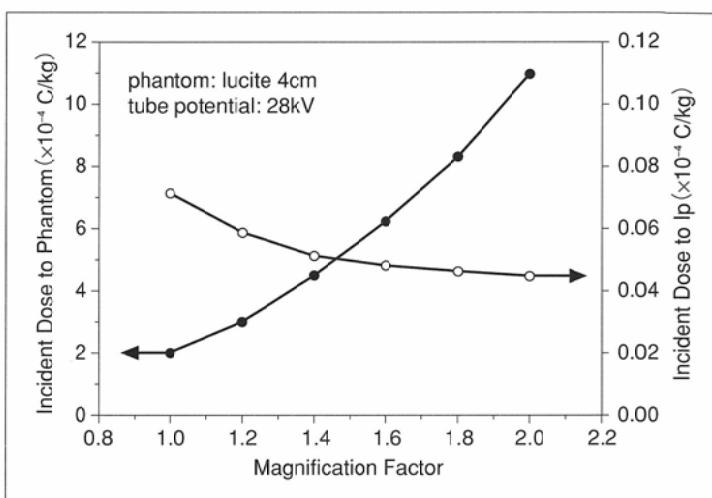


Fig.2 Incident dose to IP (imaging plate) and phantom with various magnification factors.

トム-焦点間距離が短くなるため、ファントムへ入射する線量は急激に増加する(1.2倍で143%, 1.4倍で200%)。一方IP入射線量の減少は、ファントム-IP間距離が長くなり、ファントムからの散乱線の寄与が減ることによる。

Fig.3に2種類の増感紙-フィルム系(Min-R/MRM, Min-R Med/MRM)のMTFとCR拡大撮影におけるトータルのMTFの比較を示す。CRのMTFは密着撮影で最も悪いが、1.2倍、2倍と拡大率が大きくなるにしたがい大きく改善される。図には示していないが、1.4倍から1.8倍のトータルのMTFは1.2倍と2倍の間に位置するが、1.4倍以上では改善の割合は少ない。拡大撮影によってCRのMTFは改善するが、増感紙-フィルム系に比べて低い値を示す。この違いの主な理由は、0.1mmのピクセル寸法でデジタル化していることによる。2種類の増感紙のMTFの違いは感度が異なるためである。

Fig.4に増感紙-フィルム(Min-R/MRM), CR密着および2種類の拡大率におけるWSの比較を示す。CRシステムのWSは、増感紙-フィルムと同等線量で測定したものである。低空間周波数領域におけるCRシステムのWSは増感紙-フィルム系に比較して高い値を示し粒状特性が悪くなっている。また拡大率が増加するにしたがい粒状特性が悪くなる。この理由はIPに到達する線量の減少によるものである。増感紙-フィルム系のWSが高空間周波数領域で高い値を示すのは、MTFが高いためである。

乳房ファントムに含まれる微小石灰化の検出能の観察結果をFig.5に示す。2種類の増感紙-フィルム系(MiR/MRM, MiR-M/MRM)の観察試料は密着撮影によるものである。CR画像は、密着撮影に加え、1.2倍から2倍拡大で撮影したものである。縦軸は8名の放射線技師による平均の検出個数と標準偏差を示す。CR密着撮影における微小石灰化の検出能は、2種類の増感紙-フィルム系に比べ悪くなっている。しかし拡大することによって検出能は大きく改善し、1.2倍拡大で低感度システムの増感紙-フィルム系と同等レベルに達する。また1.4倍以上では、2種類の増感紙-フ

ィルム系より優れた結果を示すが、1.6倍以上では改善の割合は少なくなる。

2. ROC解析

Fig.6にROC解析に用いた6種類の模擬乳房画像の1例を示す(増感紙-フィルム, CR密着, 1.2倍, 1.4倍同等線量および低線量画像)。増感紙-フィルム系とCR密着画像では石灰化の描出能に明らかな差は見られないが、CR画像は、拡大率の増加とともに石灰化の検出が容易になる。しかし、1.4倍拡大低線量撮影ではややノイズが目立つ。

Fig.7に6種類の画像から得られたROC面積を示す。石灰化の検出能は高い順から同等線量および低線量の1.4倍拡大, 1.2倍拡大, および増感紙-フィルムとCR密着撮影の3つのグループに分かれており、CR画像では拡大率が大きいほど検出能が高くなった。また同一拡大率における同等線量と低線量の検出能には差が見られなかった(1.4倍拡大Az: 0.832 vs 0.819, 1.2倍拡大Az: 0.779 vs 0.782)。1.4倍拡大同等線量と1.2倍同等線量, CR密着(Az: 0.727), 増感紙-フィルム(Az: 0.736)には、それぞれ有意差を認めた(p < 0.05)。また1.4倍拡大同等線量と1.2倍低線量にも、有意差を認めた

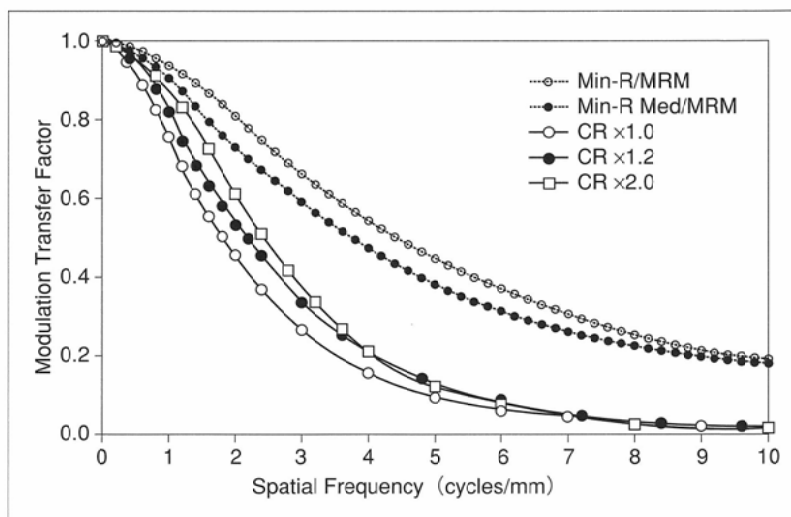


Fig.3 MTFs of screen-film systems and total MTFs of magnification digital techniques.

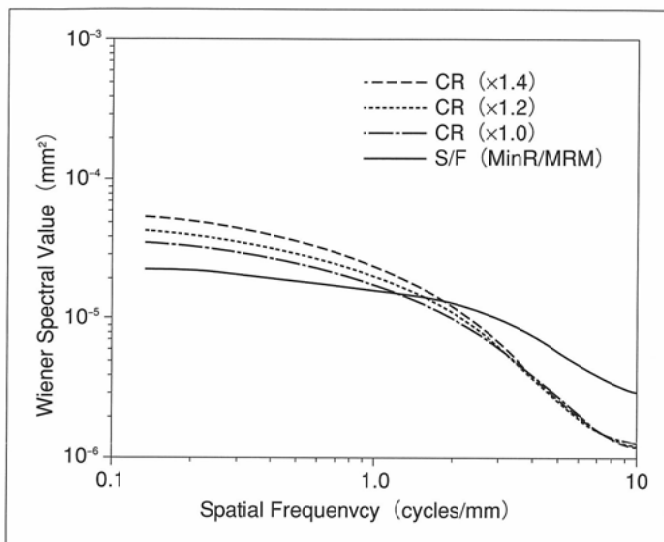


Fig.4 Comparison of Wiener spectra for screen-film and digital systems.

( $p < 0.1$ ). 1.4倍拡大低線量とCR密着および増感紙-フィルム間にも、有意差を認めた( $p < 0.05$ ,  $p < 0.1$ ). CR 1.2倍同等低線量と、CR密着および増感紙-フィルム画像にも有意差を認めた( $p < 0.1$ ).

Fig.8に6種類の画像における8名の観察者のTPF(True Positive Fraction)とTPLF(True Positive Localization Fraction)の比較を示す。横軸に各観察者のTPの割合、縦軸にはTPの中で正確に石灰化の位置を指摘した割合を示す。観察者がTPと答えて石灰化のある場所をすべて正しく指摘するとTPFとTPLFが一致するため対角線に重なることになる。6種類の中では同等線量によるCR 1.4倍拡大が最もTPFおよびTPLFが大きい。低線量によるCR 1.4倍拡大のTPFは、CR 1.2倍同等線量、低線量およびCR密着撮影と同程度である。しかし、CR密着撮影による画像では位置の正確さを含めた正解率が6種類の系の中では最も小さい。増感紙-フィルム系のTPFは最も小さいが、CR密着に比べTPLFが大きい。またTPFとTPLFの差が少なく、石灰化があると答えた中の大部分が正しく位置まで指摘している。

## 考 察

CRシステムは多くの施設に導入されており、撮影線量に左右されることなく常に安定した写真濃度を得ることが出来るので、最近では乳房撮影にも用いられている。しかし乳房写真は、他の部位に比較して特に微細な構造を観察する必要があるため、デジタルシステムを用いることの有用性については一定の結論が出ていない<sup>4)7)</sup>。この研究では、石灰化の検出能を改善するために拡大デジタル撮影を行い、2つの実験からその有効性について検討した。

最初の実験では、拡大デジタル撮影における画像特性を測定した。また乳房ファントムに含まれる石灰化の検出に関する定性的な視覚評価を行い、現在乳房用に用いているIP(20.0×25.4cm)が利用でき、かつ検出能が改善する拡大率を求めた。画像特性の中で、拡大デジタル撮影のトータルの解像力は、デジタルシステムのプリサンプリン

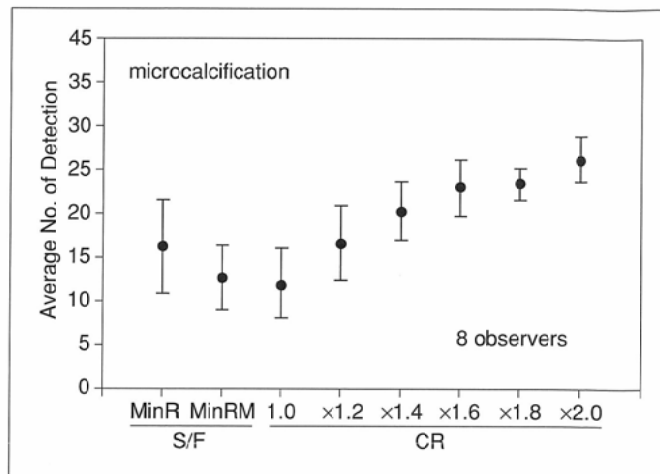


Fig.5 Difference in the detection of simulated microcalcifications for contact screen-film and CR radiographs and various magnification digital radiographs.

グMTFと焦点のMTFおよび拡大率によって決定される。プリサンプリングMTFは拡大率が大きくなれば改善し、焦点による不鋭は拡大率とともに大きくなる。今回の結果から、0.1mmの小焦点と組み合わせたCR拡大撮影は、拡大率2倍程度までは改善するが1.4倍以上では改善の割合は少なかった。また拡大率が大きくなると、乳房と焦点距離が短くなるため被曝線量が大幅に増加する。一方、粒状特性に関しては、これまでの報告と同様に、同一線量におけるCRシステムのWSは増感紙-フィルム系に比較して低周波数領域でやや悪い結果を示した。乳房ファントムに含まれる微小石灰化の検出では、拡大率が大きくなると検出の割合は高くなったが、1.6倍以上では改善の割合は少なく、拡大撮影における解像特性の改善と矛盾しない結果を示した。これらの画像特性と被曝線量および実用性の観点から1.2倍あるいは1.4倍程度の拡大撮影を行うことによって、微小石灰化の検出能を改善することができると推察された。

したがって、次の実験ではこの拡大率を用いて微小石灰化を含む模擬乳房のROC解析を行った。模擬乳房のROC解析では、1.4倍、1.2倍と拡大率が大きい画像の検出能が優れた結果を示し、同一線量および低線量撮影による差は見られなかった。しかし石灰化の位置の情報を含んだTPLFの解析では、増感紙-フィルム系と同一線量で撮影した1.4倍拡大が最も良い結果を示し、1.4倍の低線量撮影は1.2倍撮影とほぼ同じTPLFであった。また1.2倍撮影では、同一線量と低線量撮影にTPLFの差がなく、CR密着による検出能が最も低い値を示した。1.4倍拡大による低線量撮影のTPLFが低かった理由としては、X線量子ノイズの増加による粒状性の悪化が考えられる。(Fig.2で示したように、同一撮影条件による拡大撮影では焦点-乳房間距離が短くなるため乳房への入射線量が1.2倍で143%、1.4倍で200%に増加する。したがって被写体への入射線量が同一になるように設定した低線量撮影では、1.2倍で70%線量、1.4倍で50%線量となる)。

今回の研究から、微小焦点と組み合わせた拡大デジタル撮影では、拡大による焦点のボケに比べ見かけのピクセル寸法が小さくなる効果の方が優り、結果として総合的なMTFが改善した。検出の面では、微小石灰化が拡大される

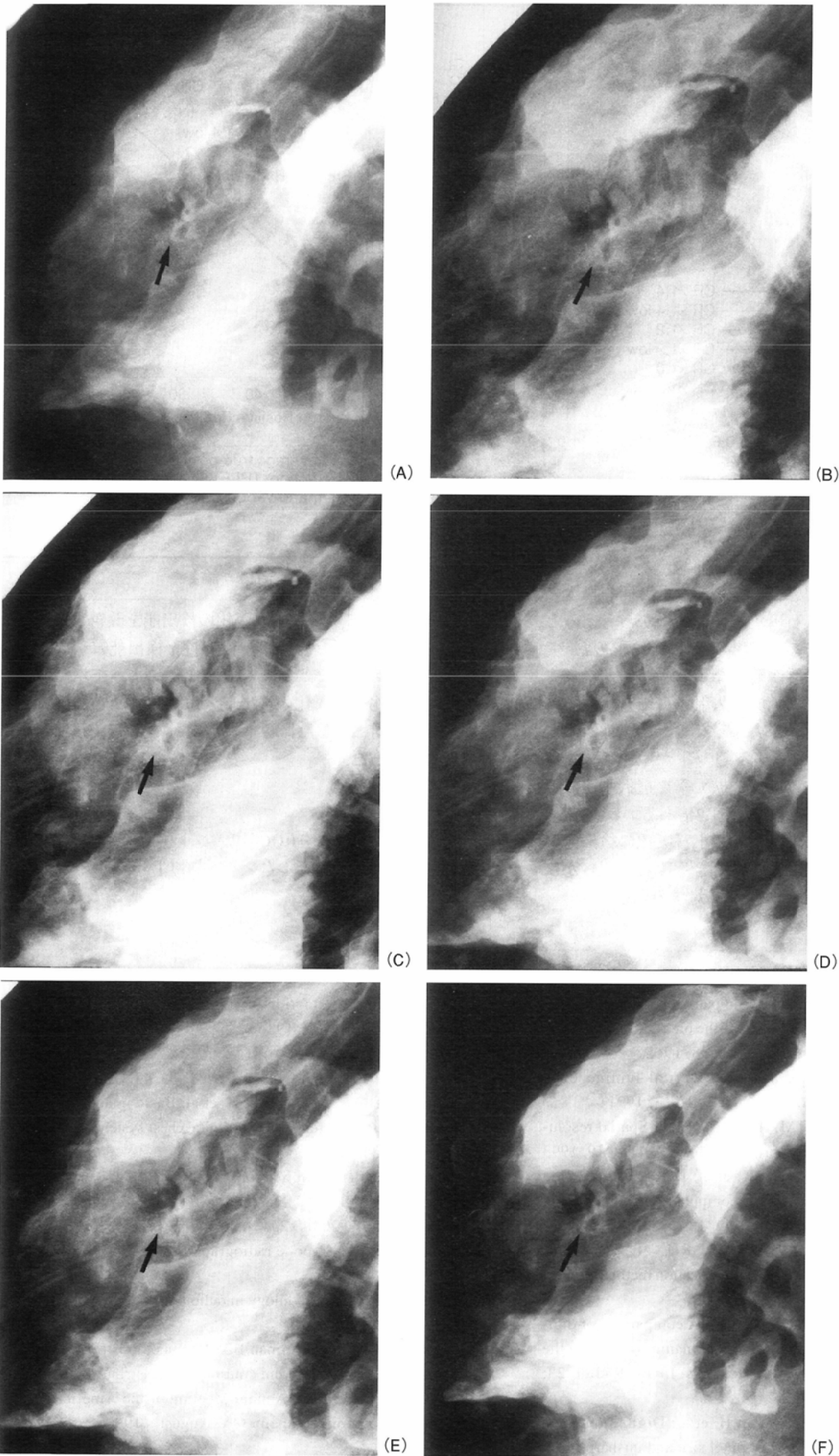


Fig.6 Close-up radiographs of simulated microcalcifications used for evaluation of the detector task. (A)screen-film, (B)CR, (C)CR x 1.2 (iso dose), (D)CR x 1.2 (low dose), (E)CR x 1.4 (iso dose), (F)CR x 1.4 (low dose) are shown.

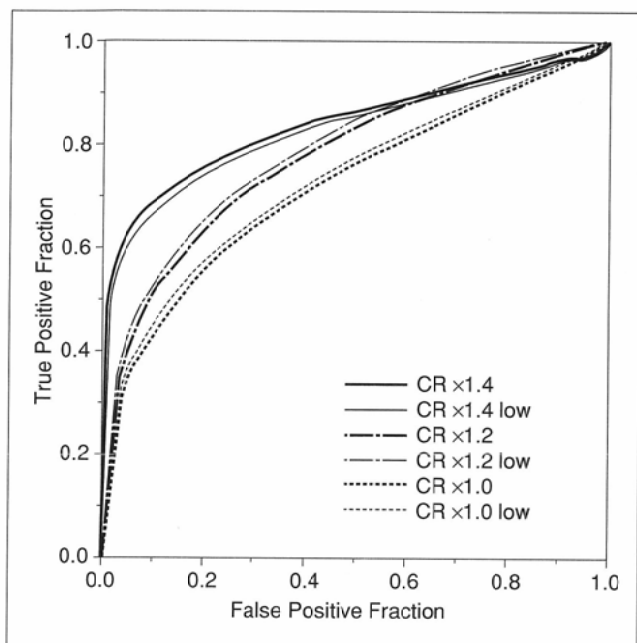


Fig.7 ROC curves for detection of microcalcifications with various radiographic techniques.

ため検出が容易になり、増感紙-フィルム系と同等以上の検出能の改善が見られた。石灰化の拡大効果から考えると大きな拡大率の方が効果があると思われるが、同一線量で撮影すると焦点-乳房間距離が短くなり乳房線量が増加するため実用的ではない。また乳房に入射する線量を同一にした低線量撮影では、拡大率が大きくなると粒状性が悪くなる。したがって拡大効果によるメリットが生かされ、被曝線量あるいは粒状性が許容できる拡大率を選択することが重要と思われる。今回の結果から、1.2倍あるいは1.4倍程度の拡大率を用いることによって、微小石灰化の検出能を増感紙-フィルム系と同等以上に改善できることが明らかになったが、1.2倍の拡大撮影では乳房に対する入射線量とが示唆された。

## 文 献

- 1) Black JW, Young B: Radiological and pathological study of the incidence of calcification in diseases of the breast and neoplasms of other tissues. *Br J Radiol.* 38: 596-598, 1965
- 2) Jarlman O, Samuelsson L, Braw M: Digital luminescence mammography. *Acta Radiologica* 32: 110-113, 1991
- 3) Karssemeijer N, Frieling JTM, Hendriks JHCL: Spatial resolution in digital mammography. *Invest Radiol* 28: 413-419, 1993
- 4) Higashida Y, Moribe N, Morita K, et al: Detection of subtle microcalcifications: comparison of computed radiography and screen-film mammography. *Radiology* 183: 483-486, 1992
- 5) Kimme-Smith C, Bassett LW, Gold RH, et al: Digital mammography: a comparison of two digitization methods. *Invest Radiol* 24: 869-875, 1989
- 6) Oestmam JW, Kopams D, Hall DA, et al: A comparison of digitized storage phosphors and conventional mammography in the detection of malignant microcalcifications. *Invest Radiol* 23: 725-728, 1988
- 7) Chan HP, Vyborny CJ, MacMahon H, et al: Digital mammography: ROC study of the effect of pixel size and unsharp-mask

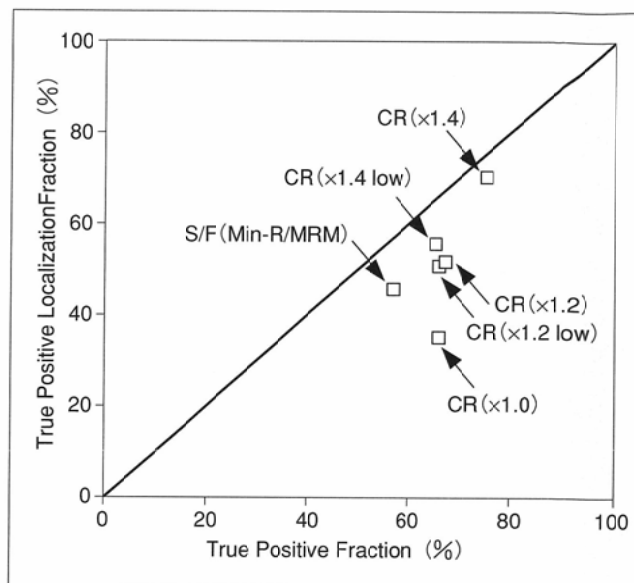


Fig.8 Comparison of average true-positive fraction (TPF) and true positive localization fraction (TPLF) for detection of microcalcifications on screen-film and various CR techniques.

## 結 論

CRシステムによる微小石灰化の検出能を改善するため拡大デジタル撮影を行い、画像特性と検出能について検討した。拡大デジタル撮影を行うことによって増感紙-フィルム系に比べ石灰化の検出能が改善された。乳房に入射する線量を同一にした低線量拡大撮影でも、CR密着撮影に比べ改善された。

## 謝辞

本研究を行うにあたりROC解析ソフト(LABROC1)を使用する機会を与えていただきましたシカゴ大学CEMetz教授にお礼を申し上げます。

- filtering on the detection of subtle microcalcifications. *Invest Radiol* 22: 581-589, 1986
- 8) 勝田 昇, 東田善治, 洞田貫誠志, 他: X線診断領域におけるCFRPカセットの評価. *日放技学誌* 43: 621-627, 1986
- 9) Fujita H, Doi K, MacMahon H, et al: Basic imaging properties of a large image intensifier-TV digital chest system. *Invest Radiol* 22: 328-335, 1985
- 10) NEMA standards publication No. XR-5. 1984
- 11) Higashida Y, Baba Y, Hatemura M, et al: Physical and clinical evaluation of a 2048 x2048-matrix image intensifier TV digital imaging system in bone radiography. *Acad Radiol* 3, 842-848, 1996
- 12) Metz CE: ROC methodology in radiologic imaging. *Invest Radiol* 21: 720-733, 1986
- 13) Metz CE, Shen JH, Herman BA: New methods for estimating a binormal ROC curve from continuously-distributed test results. Presented at the 1990 Annual Meeting of the American Statistical Association, Anaheim CA, August, (1990)