



マンモグラフィのための デジタルデュープシステムに関する研究

Study on digital duplicated system for mammograms

篠原 範充^{1,2)} (51653) 堀田 勝平²⁾ 遠藤 登喜子^{2,3)}

1) 岐阜医療科学大学保健科学部放射線技術学科 教員, 診療放射線技師

2) NPO法人マンモグラフィ検診精度管理中央委員会 NPO法人事務局, 診療放射線技師

3) 国立病院機構名古屋医療センター 放射線科 医師

Key words: digital duplicated film, mammogram, high optical density

【Abstract】

The digital duplication film system by using digital image technology was used for educational purpose and medical suits as materials to show lesion findings. These kind of system have already applied to chest radiograms, but it was not used in mammograms because those images had very high optical density relative to other X-ray films. Because mammograms were beyond the optical density of laser scanner and the range of a laser imager, this system cannot output films of high quality. In this paper, we proposed digital duplicated system for high optical density that considers the characteristics of a laser scanner and laser imager. Original films were digitized, and the digital values were converted into the optical density range that the laser imager was able to output. The conversion method employed two techniques based on the density in the breast region. We applied this method to 7,800 mammograms and printed digital duplicated films. The experts at mammogram evaluated the digital duplicated films based on a mammography guideline and judged whether the diagnosis obtained from the original films was the same as that from the digital duplicated films. The results suggested that digital duplicated films can be used for short courses and for research. However, when using the digital duplicated films it was necessary to bear in mind that the contrast is lower at high optical density compared with the original films.

【要旨】

講習会や医事問題などにおいては、デジタル画像処理を利用したフィルム複製技術によるデジタルデュープフィルムがよく用いられる。本研究では、レーザースキャナーとレーザーイメージャーの階調特性を画像ごとに調整し、元フィルムと視覚的に同等な印象を持つデジタルデュープフィルムの作成法を提案する。本手法を7,800枚のマンモグラムに適用し、デジタルデュープフィルムを作成した。マンモグラムに習熟した医師によりマンモグラフィガイドラインを用いてデジタルデュープフィルムの視覚評価を行った。その結果元フィルムと同等の診断が可能であり、読影講習会などにおいて使用可能であると判断された。

07

1. 緒言

画像診断の重要性が高まり、X線写真を題材とした講習会や研究活動が活発に行われている。現在、X線画像の多くはデジタル画像となり、元のデジタルデータから同質な複数のフィルムを得ることは容易である

が、講習会などの教育目的においては過去のX線フィルムを教材とすることもよく行われている。このようなX線フィルムは、慎重に保管すべき対象であるため、それを教材とする場合には、多人数で見ること考え、デュープを作成して利用する機会が多い。

デュープフィルムを作成する場合には、デジタル画像技術を利用したデジタルデュープシステムが用いられる。ここでは、まずレーザースキャナーを用いてX線フィルムをデジタル化し、その後、そのデジタルデータをレーザーイメージャーでフィルムに出力する。このデジタルデュープフィルムの作成において、レーザースキャナーとレーザーイメージャーそれぞれの出力特性を把握することはデュープフィルムの質を高めるために非常に重要である。レーザースキャナーは、X線フィルムの光学濃度をデジタル化して画素値に変換する。レーザーイメージャーは、画素値を基にフィルムを作成する。レーザースキャナーとレーザーイメージャーの濃度域が合致し、直線性がある場合に

Norimitsu Shinohara^{1,2)} (51653),
Katsuhei Horita²⁾, Tokiko Endo^{2,3)}

1) Department of Radiological Technology, Faculty of Health Sciences, Gifu University of Medical Science

2) The Central Committee on Quality Control of Mammographic Screening

3) Department of Radiology, National Hospital Organization Nagoya Medical Center

は、デジタルデュープフィルムの作成に大きな問題はない。しかし、高濃度X線フィルムでは、レーザースキャナーとレーザーイメージャーの濃度域が合致しないため、デジタルデュープフィルムの作成には、機器の設定調整や画像処理が必要となる。汎用のX線フィルムの最高光学濃度は3.0程度であるため、そのデジタル複製フィルムは、一般的なレーザースキャナーとレーザーイメージャーを用いて十分に作成することが可能であり、胸部単純X線写真においてはすでに実用化されている。

乳がん検出のための信頼性ある画像診断法として、乳がん検診にマンモグラフィが用いられている。わが国においても、厚生省（現 厚生労働省）からの通達¹⁾により、平成13年度から乳がん検診にマンモグラフィを導入する自治体が増加している。そのためマンモグラムに習熟した医師らにより典型症例や判別が困難な症例などを使用した講習会^{2, 3)}が活発に開催されている。従ってマンモグラムの複製に関しては、指導を行うための多くの症例と医師の読影に対応できる品質が期待されている。しかし、マンモグラムのような高光学濃度領域を多く持つX線フィルムは、レーザースキャナーとレーザーイメージャーの入出力特性に直線性がある濃度範囲を超える場合が多い。そのため高光学濃度X線フィルムは、一般的なシステムを用いて元フィルムと同等の診断能を有するデジタル複製フィルムを作成することは困難といえる。

マンモグラム専用フィルムの特性曲線⁴⁾のガンマは年々高くなり、最高光学濃度は3.5を超えている。しかし、現在の一般的なレーザーイメージャーで出力できる最高光学濃度は3.7程度である。そのためフィルムの光学濃度3.7以上の濃度階調は、デジタルデュープフィルムでは画像化されない領域になってしまう。マンモグラムのスキンラインは、特に光学濃度が高く、それらの領域はマンモグラムの印象を変えることが多い。これらはレーザーイメージャーの出力特性を変化させることで画像化されない領域を減少できる。しかし、単純な階調変換を用いた場合には、デジタルデュープフィルムのコントラストが著しく低下するため、診断能に影響を与える可能性がある。また各マンモグラムで濃度域と最高濃度が異なるため、画像ごとに装置の出力特性を手動で調整することは再現性が悪く、多くの作成時間を要する。

そこで本研究では、レーザースキャナーとレーザーイメージャーの設定を調整することなく、デジタル画像処理を用いて、レーザースキャナーによりデジタル

化されたデータを画像ごとにレーザーイメージャーが出力可能な画像データに変換する、高光学濃度X線写真のためのデジタルデュープシステムを提案する。

2. システムの構成

デジタルデュープシステムの作成に用いる機器を示す。レーザースキャナーはKonica製LD-5500を使用した。レーザーイメージャーは、Konica製Li-8を用いた。自動現像機はKonica製TCX201を用い、処理時間は90秒、現像温度は約36℃、乾燥温度は約50℃で出力した。フィルムはKonica製LP607Tを用いた。

2.1 レーザースキャナーの階調特性

マンモグラム上での病変を診断するには、0.1mm以下の情報が必須とされる。そのためサンプリング間隔0.05mm、そのビーム径を最小（0.07mm）を用いてデジタル化を行った。このとき、光学濃度0.0～4.0の範囲が4096階調（12bit）に変換される。この入出力特性を測定した結果をFig. 1に示す。横軸は元フィルムの光学濃度、縦軸はレーザースキャナーで元フィルムをデジタル化した画素値である。元フィルムでの低い光学濃度は、デジタル化すると低い画素値に変換される。光学濃度が0.20～4.0の範囲を含む3枚のステップ画像を使用して測定した。ここでは同じステップ画像を5回測定し、その平均をプロットした。元フィルムの光学濃度Xとデジタル化した画素値

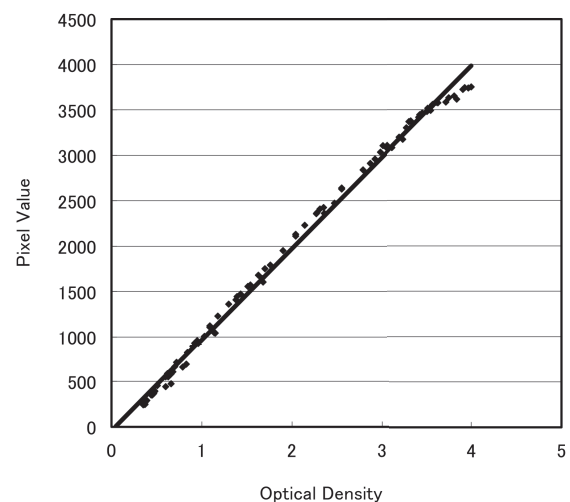


Fig. 1 Characteristics of a laser scanner. The vertical axis represents the optical density of the original film, and the horizontal axis represents the pixel value.

Yの関係を式(1)に示す。

$$Y = 1006.8X - 41.864 \quad (1)$$

元フィルムの光学濃度とデジタル化した画素値の関係は、高光学濃度部分でやや直線性が失われている。光学濃度0.0~3.7の範囲では直線性があるが、光学濃度3.7~4.0の範囲は、0.0~3.7の範囲に比べてコントラストが低下する。この濃度範囲は、マンモグラムにおいてスキラインに相当し、必ずしも乳房領域と同等のコントラストを必要としない可能性がある。本実験では、コントラストはやや低下しているが、階調が大きく欠損していないため、元フィルムの光学濃度が0~4.0の範囲において、光学濃度とデジタル化した画素値の間には直線性があると仮定した。

2.2 レーザーイメージャーの階調特性

レーザーイメージャーが出力可能な最高濃度および出力の直線性を評価するためにデジタルチャートを作成した(Fig. 2)。このデジタルチャートのデジタルデータは、各段画素値50刻みで変化しており、画素値145~4095までの間を80段で構成している。この



Fig. 2 A digital chart with 80 steps that changes by pixel value 50 between 145 and 4095 was used in order to control the highest optical density and linearity of the laser imager.

デジタルチャートをレーザーイメージャーから出力することにより、レーザーイメージャーに入力した画素値とデジタルデュープフィルムの光学濃度の関係が明らかになる。また同時にその直線性について評価できる。その結果をFig. 3に示す。横軸はレーザーイメージャーに入力した画素値、縦軸はデジタルデュープフィルムの光学濃度である。レーザーイメージャーに入力した画素値Yとデジタルデュープフィルムの光学濃度Zの関係を式(2)に示す。

$$Z = 0.001Y + 0.0021 \quad (2)$$

レーザーイメージャーに入力した画素値と、デジタルデュープフィルムの光学濃度との関係には直線性があった。そこで画素値0から3700の範囲では、レーザーイメージャーによる階調の欠損はないと仮定して実験を行った。画素値3700を超える領域は、濃度階調が欠損することを確認した。

2.3 解決が必要な問題

これらの結果より、元フィルム上の光学濃度3.7をデジタル化した場合、式(1)よりその画素値は3684となり、さらにこれをレーザーイメージャーでデジタルデュープフィルムとして出力した場合、式(2)より光学濃度は3.69となる。同様に元フィルム上の光学濃度3.9をデジタル化した場合、式(1)よりその画素値は3885となる。これをレーザーイメージャーで出力した場合、デジタルデュープフィルムの光学濃度は約3.7となる。つまり元フィルム上で光学濃度差は、0.2であったが、デジタルデュープフィルム上で

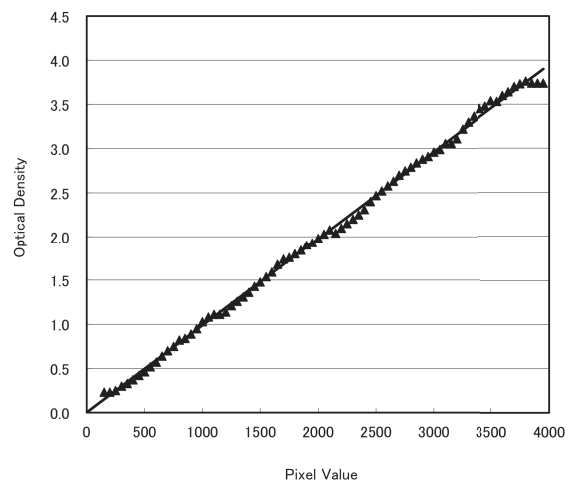


Fig. 3 Characteristics of a laser imager. The vertical axis represents the pixel value, and the horizontal axis represents the optical density of the digital duplicated films.

は、0.01として出力される。

マンモグラムのスキンライン付近は、光学濃度3.7以上になる画像が多く、スキンラインの欠損は、デジタルデュプレフィルム全体の印象を変える場合が多い。この問題は、画像ごとにレーザーイメージャーの出力特性を変化させることで回避できるが、出力特性を調整するためには、メンテナンス技術者が作業を行う必要がある。大量にデジタルデュプレフィルムを作成する場合、画像ごとに装置の出力特性を変更することは現実的ではない。また画像ごとに出力特性を変化させることで、デジタルデュプレフィルム全体のコントラストが大幅に低下するため、元フィルムと同等の診断能を得ることができない可能性がある。

3. 方法

本手法では、乳房領域のコントラストを低下させず、その他の領域のコントラストを圧縮して、レーザーイメージャーが出力可能な範囲の画素値にデータを変換する。階調変換の流れをFig. 4に示す。第1事象は、Fig. 1で示した元フィルムの光学濃度とレーザーイメージャーによりデジタル化した画素値の関係を示す。第2事象は、第1事象により得られた画素値を、レーザーイメージャーが出力可能な範囲の画素値に変換す

る変換である。横軸は元フィルムをデジタル化した画素値、縦軸はレーザーイメージャーが出力可能な範囲に変換した画素値を表す。第3事象は、Fig. 3で示したレーザーイメージャーに入力した画素値とデジタルデュプレフィルムの光学濃度の関係を示す。

デジタルデュプレフィルムの作成手順をFig. 5に示す。元フィルムをレーザーキャナーによりデジタル化する。その画像をレーザーイメージャーが出力可能な画像データに変換する。変換する方法を決定するために画像全体の特徴を調べる。対象画像の最低画素値 (MIN) は300程度であり、最高画素値 (MAX) は各画像で異なるため、全ての画像に同一の変換を用いることは困難である。次に、病変が存在する乳房領域の画素値を調べるため、CADシステムの要素技術であるダイナミックレンジ圧縮を用いて乳房辺縁領域の強調処理⁵⁾を用いてスキンラインを抽出し、その内側を乳房領域と定義した。乳房領域の最高画素値は、多くの画像で3180以下であった。しかし、一部の画像で最高画素値が3180を超えていた。そのため乳房領域の最高画素値が3180未満の場合には、変換1を使用して画像データを変換し(以下、変換法1)、3180を以上の場合には、変換2を使用して画像データを変換する(以下、変換法2)。変換法1と変換法2の選択は、プログラム内で画像内の最高画素値を基に

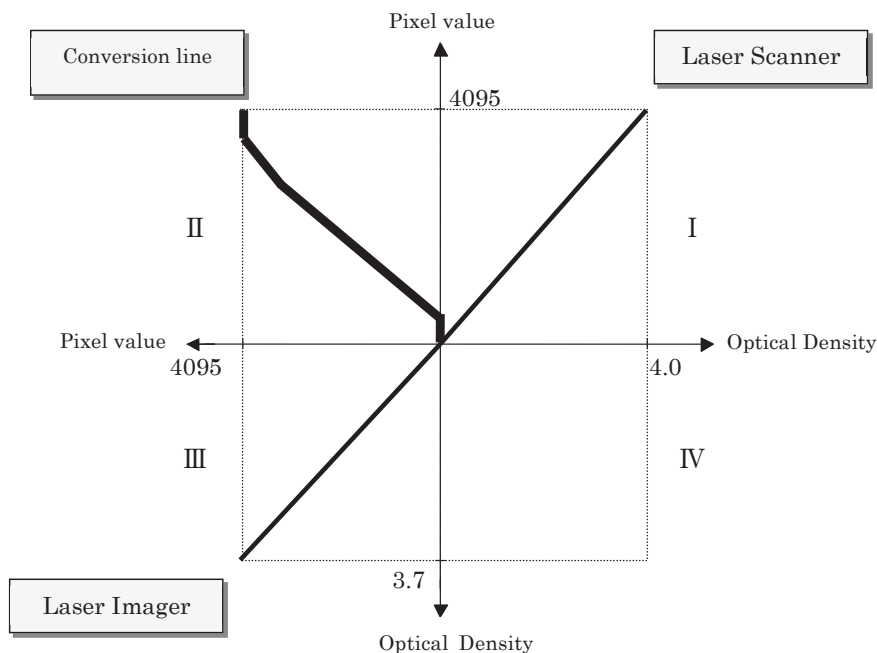


Fig. 4 Overall scheme for printing digital duplicated films. The first phenomenon represents the characteristic of a laser scanner. The second phenomenon represents a conversion line for digital duplicated films. The third phenomenon represents the characteristic of a laser imager.

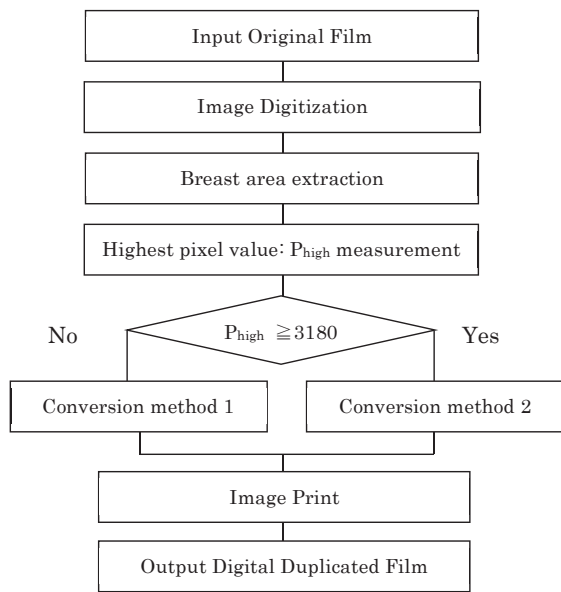


Fig. 5 Flowchart for printing digital duplicated films

自動で選択する。具体的な手法は以下に示す。最後に、データ変換した画像をレーザーイメージャーによりデジタルデュープフィルムとして出力する。

またDICOMファイル内の個人情報不要となるため、プログラム上でデータ変換を行う時に全ての個人情報を管理番号へと変換する。

3.1 変換法1

本手法は、乳房領域の最高画素値が3180以下である画像に用いる。変換法1は、乳房領域の光学濃度とコントラストを変化させず、高光学濃度の領域のコントラストを圧縮して、レーザーイメージャーが出力可

能な範囲にデータを変換する方法である。変換法1の変換をFig. 6に示す。第2事象の横軸は、レーザーイメージャーでデジタル化した画素値、縦軸は変換後の画素値である。第3事象の横軸は、変換後の画素値を基にレーザーイメージャーで出力したデジタルデュープフィルムの光学濃度である。

式(1)より画素値3180は、元フィルムでは光学濃度3.2である。本手法は、元フィルム上の光学濃度0から3.2の濃度の範囲が、デジタルデュープフィルムでも光学濃度0から3.2になるように変換する必要がある。式(2)より変換後の画素値が3198であれば、デジタルデュープフィルムの光学濃度は3.2となる。よって画素値0から3180を(0, 0)と(3180, 3198)を結ぶ直線に変換すれば、元フィルムとデジタルデュープフィルムの光学濃度とコントラストが同程度になる。画素値3180以上は(3180, 3198)と(MAX, 3700)を結ぶ直線に変換した。MAXとは画像全体の最高画素値であり、3700とは2.2よりレーザーイメージャーの入出力特性に直線性がある最高画素値である。これにより、元フィルム上の光学濃度3.2から最高光学濃度の範囲は、デジタルデュープフィルムの光学濃度3.2から3.7の濃度の範囲として出力される。そのためこの濃度域では、デジタルデュープフィルム上のコントラストは圧縮されて濃度変化が緩やかになるが、濃度変化が画像化されない領域はなくなる。

3.2 変換法2

本手法は、乳房領域の最高画素値が3180以上である画像に用いる。変換法2は、乳房領域のコントラ

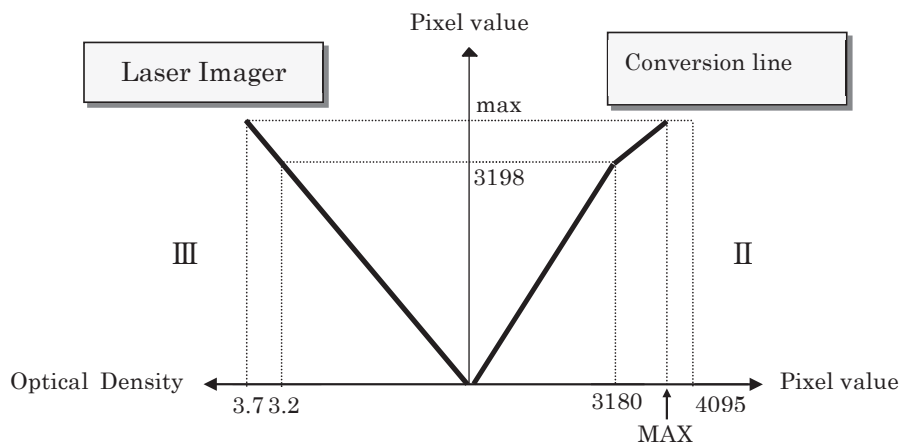


Fig. 6 The conversion line was changed so that the contrast might be equal in the original films and the digital duplicated films.

トを変化させず、低光学濃度と高光学濃度の領域のコントラストを圧縮して、レーザーイメージャーが出力可能な範囲にデータを変換する方法である。変換法2の変換をFig. 7に示す。横軸はレーザーキャナーでデジタル化した画素値、縦軸は変換後の画素値である。乳房領域を認識するために抽出したスキンラインより200画素(1mm)外側をスキンラインの外側領域と定義し、その領域における平均をOut_Aveとした(Fig. 8(a))。また同様にスキンラインの200画素内側をスキンラインの内側領域と定義し、その領域における平均をIn_Aveとした(Fig. 8(b))。スキンラインの内側は、乳房領域において最も画素値の高い領域である。画像中の最低画素値は多くの画像で300であった。そのため画素値300からIn_Aveが乳房領域であり、Out_AveからIn_Aveがスキンラインであると仮定する。

これらの結果より、画素値300からIn_Aveは(300, 0)と(In_Ave, In_Ave - 300)を結ぶ傾き1の直線で変換をした。これにより乳房領域内の変換前後の

画素値の差は同等である。

スキンライン付近を含む画像データは(In_Ave, In_Ave-300)と(MAX, 3700)を結ぶ直線で変換した。直線の傾きは1以下であり、その傾きは画像ごとに異なる。これによりスキンラインの外側と内側の画素値の差Out_Ave - In_Aveは、変換後には $3700 - (In_Ave - 300)$ に圧縮される。そのためこの濃度域でのデジタルデュープフィルム上のコントラストは、圧縮されて濃度変化が緩やかになるが、濃度変化が画像化されない領域はなくなる。また変換法2を用いた場合、元フィルムに比べてデジタルデュープフィルムの乳房領域内の光学濃度は低く出力されている。

4. 結果

はじめに、微小石灰化像100症例、腫瘍性病変100症例を含んだ200症例左右400枚のマンモグラム(元フィルム)を用いて、習熟した医師5名により読影を行った。読影は、マンモグラフィガイドライン⁶⁾を用

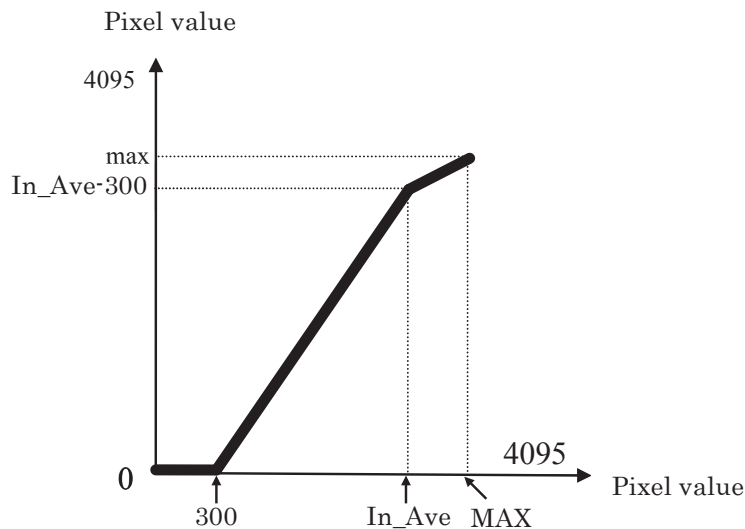


Fig. 7 The conversion line was changed so that optical density and contrast in the breast region might equal those in the original films and digital duplicated films.



Fig. 8 Extraction inside and outside the skin line to which the technology utilized by the computer aided diagnosis system was applied. (a) The extracted region outside a skin line. (b) The extracted region inside a skin line.

いて行い、合議制にて所見とカテゴリー判別を決定した。次にデジタルデュープフィルムを用いて同様の読影を行った。元フィルムの読影とデジタルデュープフィルムの読影は、3カ月の間隔を空けて、独立して行った。200症例中178症例は変換法1を適用しており、乳房領域内の最高画素値が高い22症例に対して変換法2を適用した。変換法1により作成したデジタルデュープフィルムは、全ての症例で元フィルムと同様の所見とカテゴリー判定を得ることができた。また変換法2により作成したデジタルデュープフィルムも、全ての症例で元フィルムと同様の所見とカテゴリー判定を得ることができた。

さらに元フィルムとデジタルデュープフィルムを隣り合わせてシャウカステンに掲示し、5名の医師により、画像全体の印象について視覚評価を行った。対象症例は、微小石灰化像20症例、腫瘍性病変20症例である。変換法1により作成したデジタルデュープフィルムの印象は、全ての症例で元フィルムと同等の光学濃度とコントラストであると評価された。変換法2により作成したデジタルデュープフィルムの印象は、全ての症例でコントラストに関しては問題ないことを確認した。光学濃度に関しては低く出力されているため、やや異なる印象であると評価された。しかし、使用方法を講習会や研究活動に限定すれば問題ないことを確認した。

5. 考 察

変換法1と変換法2を併用することにより、デジタルデュープフィルムを作成することが可能になった。変換法2は、画像ごとにパラメータを変化させないため、拡大撮影や標本撮影などのスキニング抽出処理プログラムが困難な症例にも適用可能である。すでに本手法を用いて、約7800枚のデジタルデュープフィルムを作成した。

ドライイメージャー (Konica製DRYPRO MODEL793)^{7,8)}を用いた追加実験により、光学濃度4.0の出力が可能であることを確認している。これによりさらに良好なデジタルデュープフィルムの作成が期待できる。しかし、レーザースキャナーは、著者の知る限り光学濃度4.0以上に対応した機種はなく、本手法の適用範囲は光学濃度4.0である。

近年、マンモグラフィの読影にモニターを使用する施設が増えている。しかし、モニターもレーザイメージャーと同様に最高輝度値や濃度分解能に限界が

ある。そのため今後、本手法を応用した観察画像の提示方法についての実験も行う予定である。

6. まとめ

デジタル画像処理を用いて、レーザースキャナーによりデジタル化されたデータを、画像ごとにレーザイメージャーが出力可能な画像データに変換する高光学濃度X線写真のためのデジタルデュープシステムを提案した。作成したデジタルデュープフィルムは、マンモグラフィに習熟した医師により元フィルムと同等の診断能を有することが確認された。ただし、デジタルデュープフィルムは、元フィルムと比較して高光学濃度部分のコントラストを圧縮しているため、講習会や研究活動など使用方法を限定することが適切である。さらに今後、客観的評価^{9,10)}により、本システムの有効性を確認する必要がある。

参考文献

- 厚生省老人保健福祉局：がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針とがん検診実施上の留意事項。pp. 34-42, 2000.
- 遠藤登喜子, 岩瀬拓士, 大貫幸二, 他：マンモグラフィ読影医師の実態調査報告。日本乳癌検診学会誌, 7(3), 257-266, 1998.
- 遠藤登喜子, 池田 充, 岩瀬拓士, 他：マンモグラム読影の教育効果と読影医の現状。日本乳癌検診学会誌, 7(3), 350, 1998.
- 篠原範充, 藤田広志, 原 武史, 他：リン酸カルシウムステップウェッジを用いたブートストラップ法によるマンモグラフィ特性曲線の測定。医用画像情報学会雑誌, 20(1), 48-51, 2003.
- 原 武史, 李 鎔範, 藤田広志, 他：ダイナミックレンジ圧縮を適用したマンモグラムCADにおける乳房辺縁領域の強調処理。医用画像情報学会雑誌, 13(2), 78-82, 1996.
- マンモグラフィガイドライン委員会：マンモグラフィガイドライン。医学書院, 東京, 1999.
- 山道洋次, 新井和幸, 田口あきら, 他：医用ドライイメージャーDRYPRO793の開発。Konica Minolta Tech. Rep., 2, 45-48, 2005.
- 三觜 剛, 鈴木哲也, 森田聖和, 他：医用ドライイメージング感光材料の高画質化技術の開発。Konica Minolta Tech. Rep., 2, 49-52, 2005.
- 藤田広志, 山下一也, 内田 勝：X線デュープフィルムのエントロピー解析。日本写真学会誌, 45(6), 428-435, 1982.
- 藤田広志, 志村一男, 白石順二, 他：ROC解析の基礎と最近の進歩—デジタル画像のROC解析検討班報告—。日本放射線技術学会雑誌, 49(9), 1685-1703, 1993.