

「CRからFPDに変わった際の撮影条件を考えよう」 ～基礎的な特性から～

座長 医療法人社団 共生会 中条中央病院 関川 高志 (Sekikawa Takashi)

【座長集約】

今回は「CRからFPDに変わった際の撮影条件を考えよう」というテーマで、撮影条件を考えるうえで必要な基礎的な特性を測定し実際に撮影条件を検討した結果を2名の方に報告していただきました。

新潟大学医歯学総合病院の田崎かおりさんには、マンモグラフィ装置での撮影条件について平均乳腺線量、CNR、SCTFの比較検討をし、撮影条件を検討した報告をしていただきました。

東北大学病院の小野寺崇さんには、DQEを測定し比較することにより、一般撮影領域での撮影条件を検討した報告をしていただきました。

さて、デジタルラジオグラフィ(DR)が登場してから30年以上が経過し、殆どの施設において単純X線撮影装置はデジタル化されているものと推測されます。

アナログシステム時代の撮影条件は、露光量(増感紙の発光量)と黒化度(写真濃度)に相関関係があり、線量不足や線量過多の際には一目瞭然でした。また、使用しているシステムが同じであれば、撮影条件はある一定の範囲内に収まっていたものと思われます。

一方、デジタルシステムでは装置に搭載されている、自動感度調整機能の働きによりX線量が変化してもある一定の出力値を保つ為、検出器に到達したX線量と出力画像のピクセル値が相関しません。その為、線量過多や線量不足においてもある一定の濃度範囲で出力されるため、撮影条件は同じシステムを使用していたとしてもある一定の範囲内に収まら

なくなることが容易に想像できます。

最初に普及したデジタルシステムであるCRでは、一般論としてアナログシステムとはほぼ同等の撮影条件で使用できるという触れ込みだった為、アナログ時代の条件のまま使用している施設が多かったかと思われます。しかし、時代の流れとともにFPDが登場し、更に2000年代に入り可搬型FPDの登場によって、FPDだけで全ての撮影に対応できるようになり、それまでの主流であったCRに変わり急速な勢いで普及をしています。一般的にFPDはCRに比較し、視覚評価や物理評価によってX線の変換効率の上昇が認められている為、従来のシステムと比較し線量低減が可能であると言われてい

ます。しかし、実際にはどの程度まで線量を下げればよいのか？また、どのようにその画像を評価すればよいのか？また撮影部位や撮影目的によっても適正な線量は変わってくると思われます。適正な撮影条件とは、より少ない線量でより多くの診断情報を得ることができるのがベストではないかと私は考えています。

今回のテクニカルミーティングでは、あくまでも基礎的な事柄を検討させていただきました。今回の2名の方の発表が、皆様方の施設での今後の撮影条件設定の際の一助となれば幸いです。

最後に、会場にお集まり下さいました皆様、演者の田崎さん、小野寺さん、そして質問をして会場を盛り上げてくださった過去のテクニカルミーティングの演者の方々をはじめ、関係各位の皆様にご感謝申し上げます。

DQEの基礎と当院における撮影線量低減について

東北大学病院 診療技術部放射線部門 ○小野寺 崇 (Onodera Syu)

【はじめに】

近年、Flat Panel Detector(FPD)システムが普及しComputed Radiography(CR)システムでの撮影時とくらべて、撮影線量の低減が可能となった。しかし、具体的にどの程度、線量を低減できるのかを把握したうえでFPDシステムを使用している施設は少ないと想像できる。この問題を解決してくれるツールの1つにDetective Quantum Efficiency(DQE)がある。DQEは量子の検出効率を表わしており、検出器がX線量子をどの程度有効利用して画像形成に寄与させているかの指標となる。DQEは現在、Digital Radiography(DR)システムの画質を総合的に評価するうえで最も適した指標とされ

ており、新旧システムのDQEの比がそのまま線量低減への最大のヒントとなる。

【システム更新時】

FPDシステムを導入した際は旧システムであるCRシステムでの撮影時とくらべて線量を低減できること自体は周知のとおりである。しかし、本当に大事なことは各施設にて旧システムとくらべて新システムで撮影時の具体的な線量低減率の数値を知っておくことだと考える。これを実現するためには旧システムで「線量と画質の最適化」がなされていなければならない。上述したとおり、DQEは線量低減率を得るう

Table1 当院の一般撮影システム

	System	Manufacturer	Technology	Sampling pitch (mm)	
一般撮影	DR BENEEO	Fujifilm medical	Direct FPD	0.15	new
	FCR Speedia cs		CR	0.1	old
回診撮影	Aero DR	Konica Minolta	Indirect FPD (Csl)	0.175	new
	REGIUS MODEL 190		CR	0.0875 or 0.175	old

えて最大のヒントとなるものであり、FPDシステムへの更新を控えている施設、もしくはFPDシステムとCRシステムを混在して使用している施設は旧システムのDQE値を把握し、すぐにでも線量と画質の最適化に努めていただきたい。

【DQEの基礎】

DQEは信号対雑音比(SNR)の観点から画質を評価するための有用な評価尺度であり、入力と出力のSNRの二乗の比と定義されている。ここで(S/R)_{out}²はNormalized Noise power Spectrum(NNPS)の逆数で表わされることと、NNPSが空間周波数の関数であることから(S/R)_{out}²も空間周波数に依存する値となる。さらに、NNPSの測定値は系のModulation Transfer Function(MTF)により変調された信号値に基づいていることを考慮すると(S/R)_{out}²は次式のようになる。

$$(S/R)_{out}^2(f) = \frac{MTF^2(f)}{NNPS(f)} \dots (1)$$

ここで、入射X線量子がポアソン分布に従うとすれば、入力のS/Nは単位面積あたりの入射X線光子数qの平方根と等しくなるため、その二乗値はqに等しい。つまり、

$$(S/R)_{in}^2 = (\sqrt{q})^2 = q \dots (2)$$

が成り立つ。よって(1)式、(2)式よりDQEは以下の式となる。

$$DQE(f) = \frac{MTF^2(f)}{q \times NNPS(f)} \dots (3)$$

(3)式から分かるようにDQEを求めるにはDRシステムの入出力特性、MTF、NNPSの値が必要となり、その測定精度が重要となる。また、入射X線光子数qで規格化された値であることから、ダイナミックレンジの広いデジタルシステムの評価にはNoise Equivalent Quanta(NEQ)よりもDQEのほうが

適切である¹⁾。

【当院での撮影線量低減】

当院で使用している一般撮影システムをTable 1に示す。一般撮影室ではFPDシステムとして DR BENEEO (以下BENEEO)、CRシステムとして FCR Speedia cs (以下speedia)、回診撮影においてはFPDシステムとしてAero DR (以下Aero DR)、CRシステムとしてREGIUS MODEL 190 (以下REGIUS)を使用している。

・一般撮影システム

これから示す各物理特性の値は水平方向、垂直方向の平均値としている。Fig.1に各システムのpresampled MTFの結果を示す。CRシステムであるspeediaにくらべ直接変換型FPDであるBENEEOは十分に高い値を示した。Fig.2にNNPSの結果を示す。一般撮影時の実際の検出器到達線量を想定したため基準線質RQA5、1mRにおける値を比較した。BENEEOは高い解像特性の影響で高周波数域でもNNPSの値は低下しなかった。Fig.3に各システムのDQEの結果を示す。BENEEOは全周波数域においてspeediaよりも高い値を示した。1cycle/mmにおけるDQE値はBENEEOが約0.5、speediaが約0.25でその比は2倍となり、高周波数域になるにつれDQE比は大きくなる傾向にあった。このことから、BENEEO使用時はspeediaと同等画質を得るのに1/2の線量で撮影が行えると考えられる。

・回診撮影システム

これから示す各物理特性の値は水平方向、垂直方向の平均値としている。Fig.4に各システムのpresampled MTFの結果を示す。間接変換型FPDであるAero DRはCRシステムであるREGIUSにくらべて全周波数域で低い値となった。また、Fig.5にNNPSの結果を示す。一般撮影時の実際の検出器到達線量を想定したため基準線質RQA7、1mRにおける

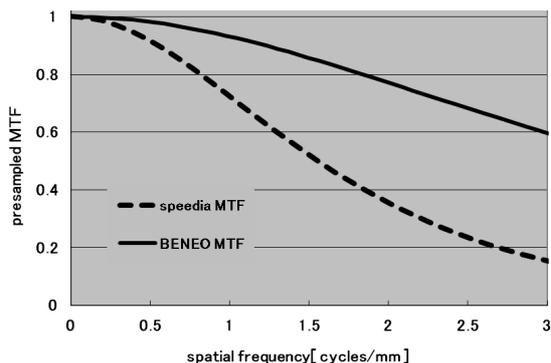


Fig.1 一般撮影システムの MTF

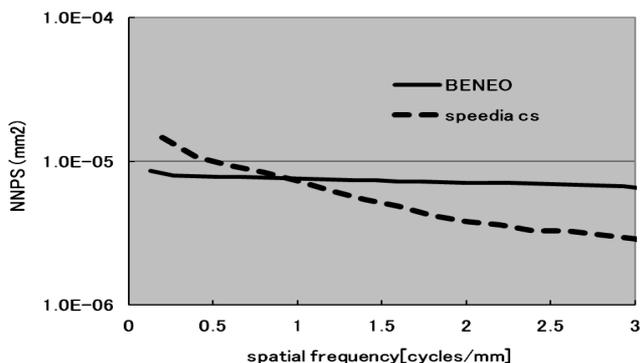


Fig.2 一般撮影システムの NNPS

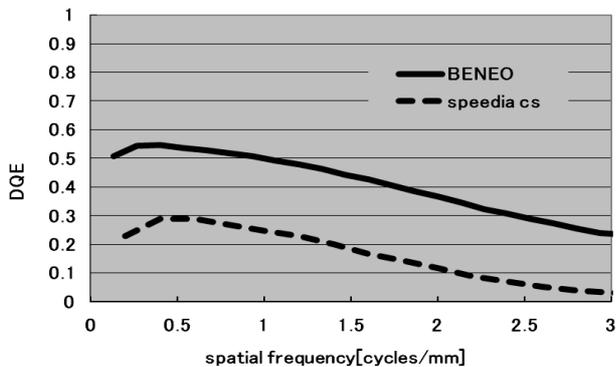


Fig.3 一般撮影システムのDQE

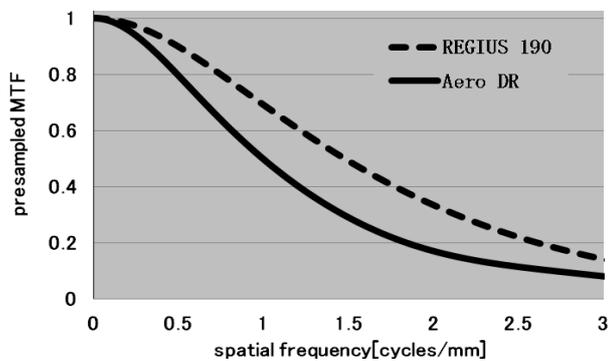


Fig.4 回診撮影システムのMTF

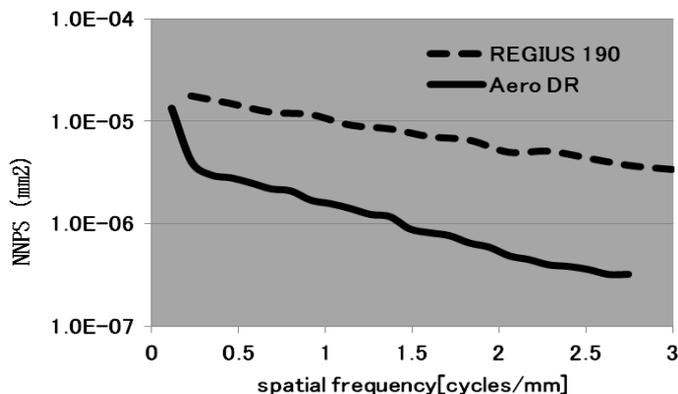


Fig.5 回診撮影システムのNNPS

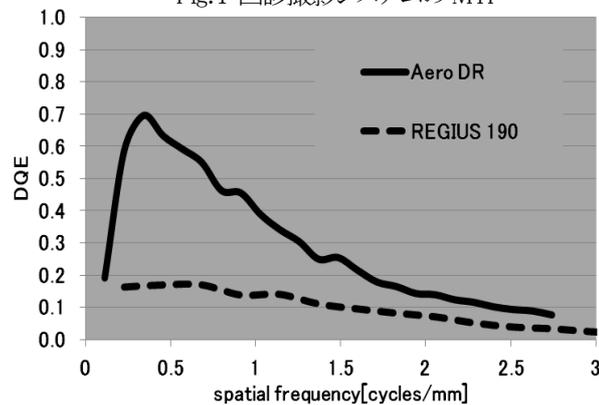


Fig.6 回診撮影システムのDQE

値を比較した。Aero DRは非常に良いノイズ特性を示し、高周波数域となるに従い値が低下した。シンチレータにヨウ化セシウム(CsI)を用いている間接変換方式のFPDはこの優れたノイズ特性が最大の特徴であるといえる。

Fig.6に両システムのDQEの結果を示す。Aero DRは全周波数域でREGIUSより高い値となった。1cycle/mmにおけるDQE値はAero DRが約0.4、REGIUSが約0.15で、その比は約2.66となり、高周波数域になるにつれDQE比は小さくなる傾向にあった。このことからAero DRはREGIUSと同等画質を得るのに60%程度線量を低減して撮影が行える可能性を示唆している。しかし、1cycle/mmのDQE値から撮影線量を決定した場合、Aero DRにおいては高周波数域で線量不足となる可能性がある。そこで、Table 2に示すようにAからEまでの5枚の胸部ファントム画像(腫瘍、血管陰影あり)を用意し、医師10名を観察者として視覚評価を行った。

Table 2 視覚評価用画像の詳細と撮影条件

X-ray tube voltage:90kV SID:100cm Grid ratio: 8:1				
image	Technology	current time product	HF-TYPE	Exposure dose
A	FPD	1.6	HF-STANDARD5 H0.3	0.301
B	FPD	1.6	HF-STANDARD6 H0.3	0.301
C	FPD	2.0	HF-STANDARD5 H0.3	0.377
D	FPD	2.0	HF-STANDARD6 H0.3	0.377
E	CR	4.0	HF-STANDARD5 H0.3	0.753

unit : mGy

画像Eが従来のCRシステムであるREGIUSで撮影した画像である。画像A、BはFig6の結果を踏まえ、Aero DRにてCRシステムよりも線量を60%程度低減して撮影した画像であり、さらに画像Bには高周波数域での線量不足の可能性を考慮し、高周波数域を強調するパラメータを用いている。画像C、DはAero DRにてCRシステムよりも50%程度線量を低減

して撮影した画像であり、画像Dには高周波数域を強調するパラメータを用いている。これら5枚の胸部画像を診断可能な最低基準を50point、最大値を100pointとすることを観察者に説明し、各画像を得点化した。そして各画像の平均スコアについて有意差検定を行った結果をFig7に示す。従来のCRシステムの画像Eと従来の撮影条件より線量を60%程度低減し、さらに高周波数域を強調するパラメータを用いた画像Bに有意差はみられなかった。本来であれば、両システムから得られた画像が同等であることを証明するためにはNoninferiority Testなどを施行しなければならないが、本研究においては上述した方法で評価し、観察者を含む臨床医からは問題ないとのコメントを得ている。

このようにして当院ではFPDシステム導入時から線量低減に取り組んだ。

【まとめ】

本稿ではFPDシステムを使用していくにあたり線量低減に取り組むうえでのDQEの有用性と、当院の撮影システム

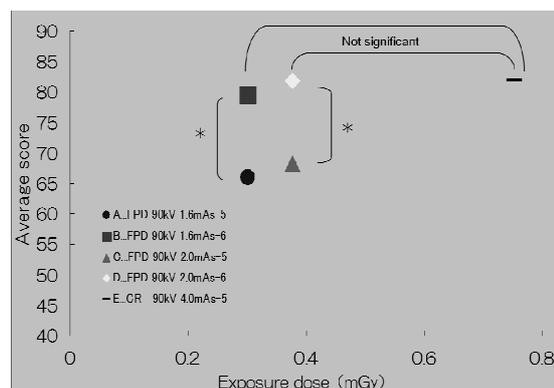


Fig.7 視覚評価の結果

における線量低減の実例を記した。DQE値を得るには各システムの入出力特性、presampled MTF、NNPSの値が必要であり、その測定精度がカギとなる。実際の測定は煩雑であり苦勞も多いが各施設、ぜひ取り組んでいただきたい。

また、当院ではCRシステム使用時に対し、FPDシステム使用時は約50～60%程度の線量低減が可能となっている。この数値は、おそらく大半のCRシステムとFPDシステムに対

して通用するものと考えられるが、シンチレータにGd₂O₂Sを用いた間接変換方式のFPDは例外となるので注意が必要となる²⁾。

最後に、線量を低減して撮影した新システムの画像を臨病的に評価することが最も重要となる。医用画像は画質はもちろんのこと、診断における有用性を兼ね備えてこそ患者に有益であるものだと考える。

【参考文献】

- 1) 加野亜紀子 DQEの基礎と応用.INNERVISION(18.5) 2003
- 2) 岸本健治、有賀英司、他. デジタル画像の画質と被ばくを考慮した適正線量の研究 日放技学誌2011;67(11):1381-1397

フラットパネルによるマンモグラフィの撮影条件の検討と画像評価

新潟大学医歯学総合病院 診療支援部放射線部門 ○田崎 かおり (Tasaki Kaori) 吉田 恭子

【はじめに】

現在、デジタルマンモグラフィの読み取り方式はComputed Radiography(以下、CR)からFlat Panel Detector(以下、FPD)に移行する施設が増えている。

FPD装置の特徴の1つとして、ダイナミックレンジが広い事が挙げられる。CR装置では軟部組織のコントラストを表現するために軟線を利用したモリブデンターゲット・モリブデンフィルタ(以下、Mo/Mo)を主に利用していた。それに対してFPD装置では硬い線質のタングステンターゲット・ロジウムフィルタ(以下、W/Rh)を利用しても乳腺のコントラストを表現できるとされており、被ばく線量の低減が期待されている。

2011年の4月に、シーメンス社製のMAMMOMAT3000を利用したCR装置から、同社製の直接変換型のFPD装置MAMMOMAT Inspirationに更新した。導入当初の撮影条件は、全ての乳房厚に対してW/Rhを使用していた。しかし、薄い乳房の撮影の際にコントラスト不良となり、診断に苦慮した症例を経験したため、乳房厚に応じたモリブデンターゲットを使用する条件に変更した(Table 1)。そこで、装置の更新とターゲットの変更による線量や画質特性の比較検討を行った。

【使用機器】

CRシステム : MAMMOMAT 3000(SIEMENS)
FCR PROPECT CS(FUJI FILM)
FPDシステム : MAMMOMAT Inspiration
ファントム : MMA
Oneshot Phantom(FUJI FILM)
線量計 : Radcal Accu-Pro(TOYO MEDIC)

解析ソフト: Excel 2007
Image-J

【方法】

まず、タングステンターゲットの使用による被ばく線量の低減を確認するために平均乳腺線量の測定を行った。

次に、線質が硬い事によるコントラストの変化を乳房厚ごとに評価するために、各装置のターゲット・フィルタごと、厚さごとのコントラストノイズ比(以下、CNR)の測定を行った。

また、読み取り方式が変わったことによる分解能の変化を評価するために、装置間の空間分解能の評価を行った。

なお、臨床に近い画像で比較するために、AECを使った条件で検討を行った。

・平均乳腺線量(AGD:Average Glandular Dose)評価

- ①各撮影装置で、AECモードを使用し、厚さ4cmのPMMAファントム(以下、PMMA)を3回撮影して平均mAs値を求める
- ②マンモグラフィ装置で設定できる値で、平均値に最も近いものを撮影条件として使用する
- ③PMMAを取り除き、線量計を所定の位置に設置する
- ④②の条件にマニュアルで設定してX線を照射する
- ⑤得られた値(mGy)で式(1)から平均乳腺線量を求める

$$AGD=K \cdot g \cdot s \cdot c \quad \dots (1)$$

K:入射空気カーマ(mGy)

g:乳腺線量50%に相当する係数(mGy/mGy)

S:ターゲットとフィルタの組み合わせに関する係数

c:乳腺線量50%からの乳腺線の補正係数

・CNR評価

- ①各撮影装置で、AECモードを使用し、厚さ4cmのPMMAを3回撮影して平均mAs値を求める
- ②マンモグラフィ装置で設定できる値で、平均値に最も近いものを撮影条件として使用する
- ③PMMAに0.2mm厚のアルミニウム板を配置し、②の条件で撮影し、画像を解析する(Fig.1)

Table 1 設定条件

		MAMMOMAT 3000	MAMMOMAT Inspiration	
撮影条件	乳房厚	CR	FPD(推奨)	FPD(変更後)
	2cm	Mo/Mo(24kV)	W/Rh(24kV)	Mo/Mo(25kV)
	4cm	Mo/Mo(28kV)	W/Rh(28kV)	Mo/Rh(28kV)
	6cm	Mo/Mo(32kV)	W/Rh(32kV)	W/Rh(32kV)



Fig.1 計測位置

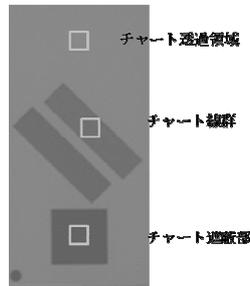


Fig.2 計測位置

- ④アルミニウム板遮蔽部と非遮蔽部のそれぞれの平均画素値 m と標準偏差 σ を用い、
- (2)式によりCNRを計算する
- ⑤FPDにおいて、各ターゲット・フィルタの組み合わせについて同様に2cm, 6cmのPMMAでも撮影、解析する

$$CNR = \frac{m_{BG} - m_{Al}}{\sqrt{\frac{\sigma_{BG}^2 - \sigma_{Al}^2}{2}}} \quad \dots (2)$$

・System Contrast Transfer Function(以下, SCTF)測定による空間分解能評価

- ①各撮影装置でAECモードを使用し、厚さ4cmのPMMAを3回撮影して平均mAs値を求める
- ②マンモグラフィ装置で設定できる値で、平均値に最も近いものを撮影条件として使用する
- ③ワンショットファントムを撮影し、画像を解析する(Fig.2)
- ④チャート線群、チャート透過領域、チャート遮蔽部にROIを設定し、平均画素値 m と標準偏差 σ を用い、(3)式によりSCTFを求める

$$SCTF = \frac{\sqrt{\sigma_f^2 - \sigma^2}}{M_0} \quad \dots(3) \quad \text{ただし,}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_a^2 + \sigma_t^2}{2} \quad M_0 = \frac{\sqrt{2}}{\pi} |m_a - m_t|$$

【結果・考察】

・平均乳腺線量

旧CR装置に比べ、FPDのタングステンターゲット使用で大幅な線量低減、モリブデンターゲットでも低減を認めた。(Table 2)

Table 2 平均乳腺線量の結果

	CR	FPD(W/Rh)	FPD(Mo/Rh)
AGD(mGy)	1.97	1.05	1.51

Table 3 空間分解能の結果

	CR	FPD(W/Rh)	FPD(Mo/Rh)
SCTF	19.7	66.0	66.7

・CNR

PMMA厚4cmにおいて、FPDのどのターゲット・フィルタの組み合わせを利用しても、旧CR装置よりCNRが高くなり、コントラストの向上が確認できた。(Fig.3)

FPDにおいて、PMMA厚2cm, 4cmではMo/Mo, Mo/Rh, W/Rhの順で高いCNRとなり、PMMA厚6cmの時にはW/Rh, Mo/Rh, W/Rhの順で高い値となった。この結果から、PMMA厚2cmのときにはMo/Moが最も高いCNRとなることが確認できた。PMMA厚4cmではMo/MoのほうがMo/Rhよりも高い値となり、PMMA厚6cmではMo/RhとW/Rhの差はほとんどないが、短時間撮影と被曝線量低減を考慮すると、PMMA厚4cmではMo/Rh, 6cmではW/Rhの使用が適当と考える。

・SCTF

FPDのW/Rh, Mo/Rhはほぼ同じ値で、旧CR装置と比べて高い値となった。(Table 3)したがって、空間分解能はターゲットによる差はほとんどなく、その値は旧CR装置より向上していることを確認した。

【まとめ】

臨床で用いる条件下での平均乳腺線量, CNR, SCTFの比較検討をした結果、旧CR装置と比べてFPD装置では線量低減, コントラストの向上, 空間分解能の向上を確認できた。また、適切なターゲット・フィルタが選択されていることが確認できた。

条件設定においては、画質と線量の関係を比較して、実際の臨床画像において適応される処理も考慮しながら、読影医と検討を行う必要があると考える。

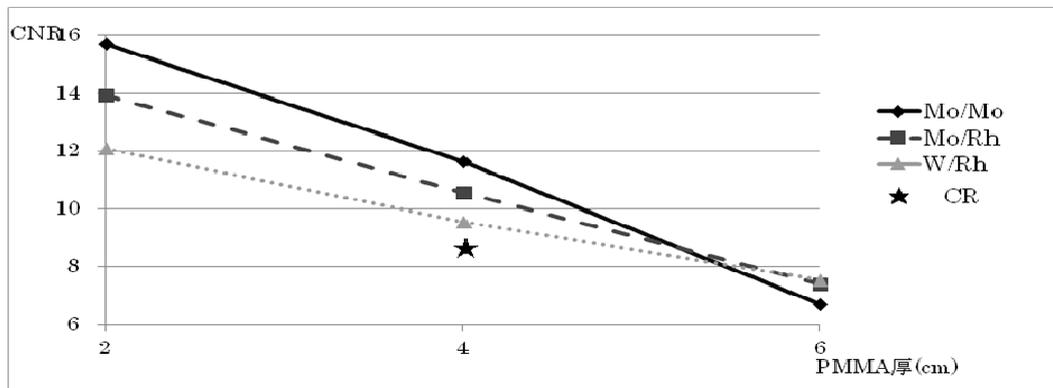


Fig.3 CNRの結果

【参考文献・図書】

- 1) NPO法人 マンモグラフィ検診精度管理中央委員会 : デジタルマンモグラフィ品質管理マニュアル
- 2) 社団法人 日本放射線技術学会 : 乳房撮影精度管理マニュアル