

デジタル X 線画像システムにおける感度測定を試み

要旨

デジタル X 線画像システム (DR システム) における、感度測定を雑音等価量子数 (noise equivalent quanta: NEQ) と検出量子効率 (detective quantum efficiency: DQE) の測定値から概算する方法について検討した。X 線検出器は、間接変換型 flat panel detector (FPD) 装置 2 機種 (シーメンス社 AXIOM Luminos, コニカミノルタ社 PLAUDR-C50) と computed radiography (CR) 装置 (コニカミノルタ社 REGIUS Model210) を用いた。それぞれの modulation transfer function (MTF)、normalized noise power spectrum (NNPS) から DQE と NEQ を測定し、空間周波数 0.75~2.0 cycles/mm の範囲の平均 DQE 比を感度指標とした。DQE 比で線量調節したときの NEQ とバーガーファントムを撮影した画像 (解像特性を同一処理後) の視覚的印象を確認し、その正当性を検討した。FPD 装置間では DQE から求めた線量比で撮影することで、NEQ はほぼ等しくなり、バーガーファントム画像の視覚的印象もほぼ等しくなった。FPD 装置と CR 装置間では DQE 比以上の線量が必要であった。FPD 装置間では DQE 比での線量調節で画質を等しくできたことから、感度指標としての適用の可能性が示唆された。高周波数領域で DQE の低い CR 装置では DQE 比の適用は困難であった。

I. 緒言

DR システムは従来の増感紙・フィルムシステムのような濃度の概念が存在せず、感度測定が困難である。DR システムの普及に伴い複数システムが同一施設で設置され、装置間の撮影条件の調整の必要性が生じてきた。また性能比較の簡便で有効な指標も必要であるため、DR システムにおける感度測定が可能となることが望まれる。本研究では比較対象として間接型 FPD 2 機種、CR 装置 1 機種を用い、平均 DQE 比の感度指標としての利用の可能性を物理的画質評価と視覚的印象から検討した。

II. 使用機器

- ・間接変換型 FPD 装置: SIEMENS 社製 AXIOM Luminos dRF (以下, FPD1)
- ・間接変換型 FPD 装置: KONICA 社製 PLAUDR C50 (以下, FPD2)
- ・CR 装置: KONICA 社製 REGIUS model 210 (以下, CR)
- ・CR カセット: KONICA 社製 REGIUS RC-110
- ・電離箱線量計: VICTOREEN MODEL660-4A
- ・タングステン板: 100mmx100mm, 1mm 厚
- ・バーガーファントム

III. 方法

1) 線質の決定と入出力特性の確認

IEC (International Electrotechnical Commission) 62220-1 で規定された RQA3, RQA5 の線質を半価層測定により決定し、線量はそれぞれ約 1mR(8.764 μ Gy) となるように定めた。以下、この線量を基準線量とする。入出力特性 RQA5 の線質で測定し、直線性が良好であることとバイアス値を確認した。

2) エッジ法による MTF の測定

RQA3, RQA5 の線質間で MTF に差はみられないため、RQA5 の線質のみで測定した。線量は基準線量とし、タングステンエッジを約 2.5° 傾けて撮影した。得られた画像から edge spread function (ESF) を取得し、これを微分し line spread function (LSF) に変換し、フーリエ変換して MTF を算出した。

3) NNPS の測定

RQA3, RQA5 の線質を用い、一様曝射した画像からノイズによる変動成分のパワースペクトルを算出して、ピクセルサイズなどの係数を乗じて NNPS を測定した。なお線量は基準線量となるよう定めた。

4)DQE の測定と平均 DQE 比の算出

以下の式により、測定した MTF と NNPS の値から算出した。

$$DQE(u) = MTF^2(u) / (q \cdot NNPS(u)) \cdot \cdot (1) \quad (q: 1\text{mm}^2\text{あたりの入射 X 線量子数})$$

0.75~2.0cycles/mm の範囲で 0.25 cycles/mm 間隔に DQE 比を算出し、それを平均した平均 DQE 比を感度指標として算出し、平均 DQE 比による感度指標の検討を行った。

5)NEQ による検証

各システム間の平均 DQE 比で線量調節して照射した NNPS を測定し、線量調節前と線量調節後の NEQ を算出して比較することで DQE 比の利用の可能性を検証した。以下に NEQ の算出式を示す。

$$NEQ(u) = MTF^2(u) / NNPS(u) \cdot \cdot \cdot (2)$$

6) バーガーファントムによる画像比較

基準線量と平均 DQE 比によって調節した線量でバーガーファントム(アクリル製, 厚さ 15mm)を撮影し、直径 8mm, 深さ 1mm のホールを観察した。空間周波数処理を施し、FPD1 と CR の解像特性をもっとも MTF の低い FPD2 の解像特性と等価とした画像を比較し、DQE の結果及び DQE 比による線量調節後の NEQ の結果を視覚的印象にて確認した。

IV. 結果

1) 線質の決定と入出力特性の確認

Table.1 に決定した線質の結果を示した。入出力特性の直線性は良好であった。

Table.1 決定した管電圧

	FPD1	FPD2	CR
RQA3	51kV	51kV	51kV
RQA5	73kV	74kV	74kV

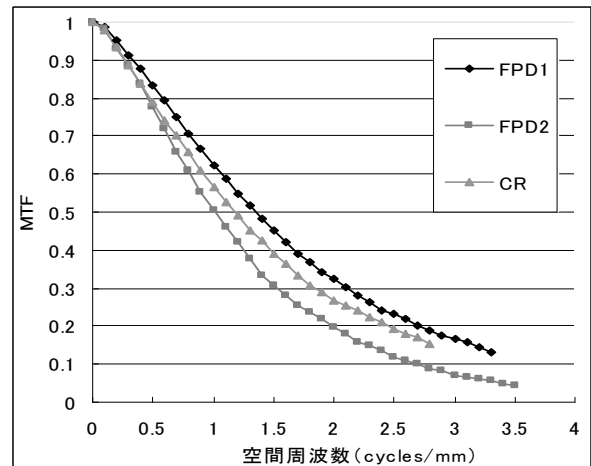


Fig.1 MTF

2) エッジ法による MTF の測定

Fig.1 に MTF の結果を示した。優れているほうから順に FPD1, CR, FPD2 の結果となった。

3)NNPS の測定

RQA3, RQA5 の結果を Fig.2, Fig.3 に示した。CR はどちらの線質でも NNPS は最も劣り、低周波領域では FPD 1 が、高周波領域では FPD2 が最も優る結果となった。

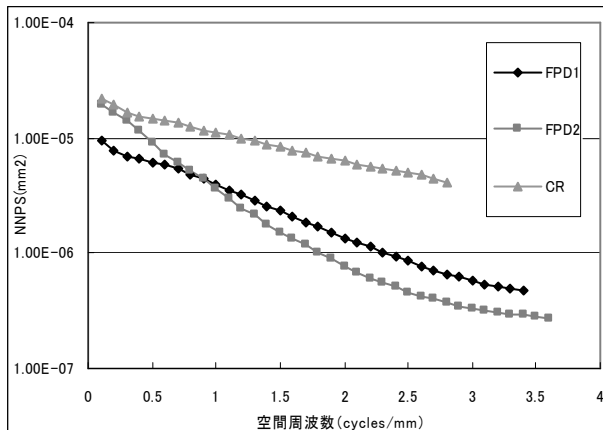


Fig.2 NNPS(RQA3)

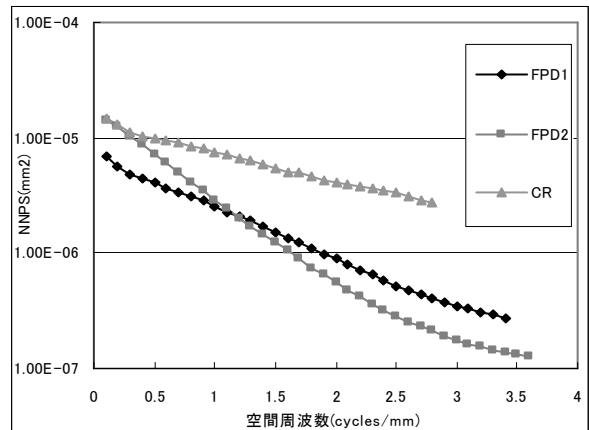


Fig.3 NNPS(RQA5)

4)DQE の測定と平均 DQE 比の算出

RQA3, RQA5 の結果を Fig.4, Fig.5 に示した. どちらの線質も優れているほうから順に FPD1, FPD2, CR の結果となった. また, 平均 DQE 比は RQA3 では FPD1 に対し FPD2 は 1.35 倍, CR は 2.52 倍となった. RQA5 では FPD1 に対し FPD2 は 1.64 倍, CR は 3.11 倍となった.

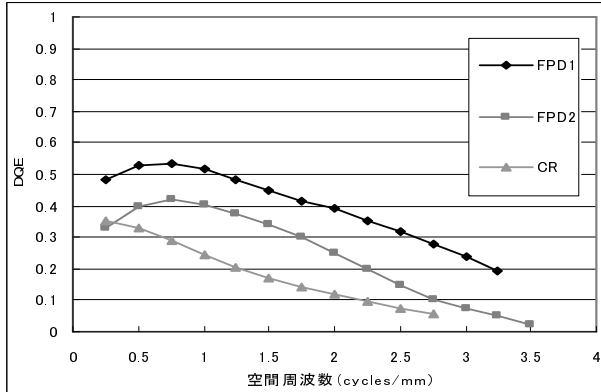


Fig.4 DQE(RQA3)

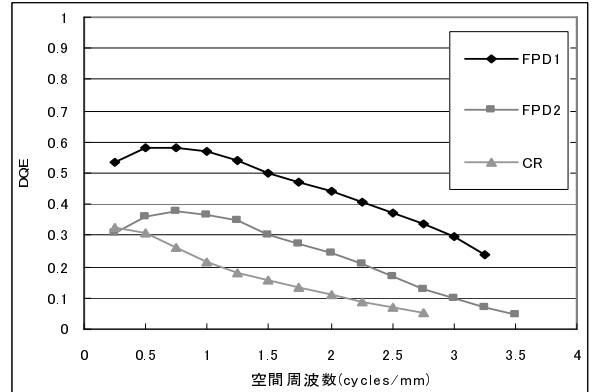


Fig.5 DQE(RQA5)

5)NEQ による検証

基準線量での NEQ の結果を Fig.6, Fig.7 に, 平均 DQE 比で線量調節した NEQ の結果を Fig.8, Fig.9 に示した. 基準線量では, どちらの線質も優れているほうから順に FPD1, FPD2, CR の結果となった. 線量調節後ではどちらの線質も FPD2 は FPD1 に近づいたが, CR は FPD1 と同一にすることはできなかった. また, CR を平均 DQE 比の 2 倍になるよう線量調節すると, NEQ は低周波領域で優り, 高周波領域で劣る結果となった.

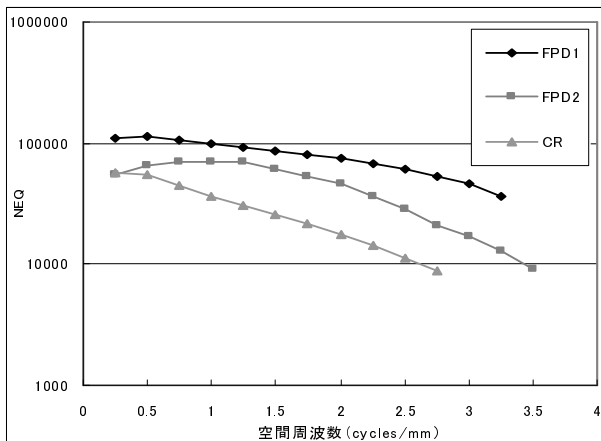


Fig.6 基準線量での NEQ(RQA3)

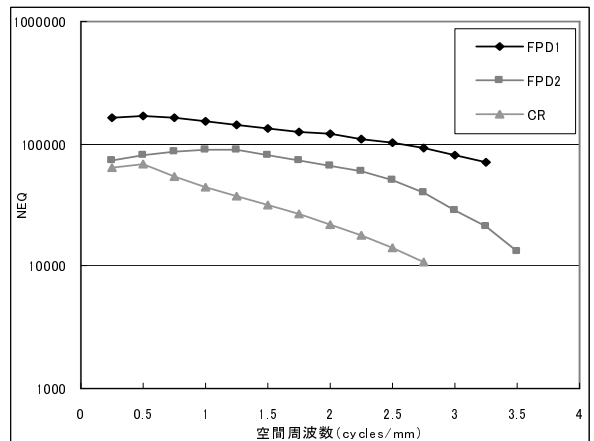


Fig.7 基準線量での NEQ(RQA5)

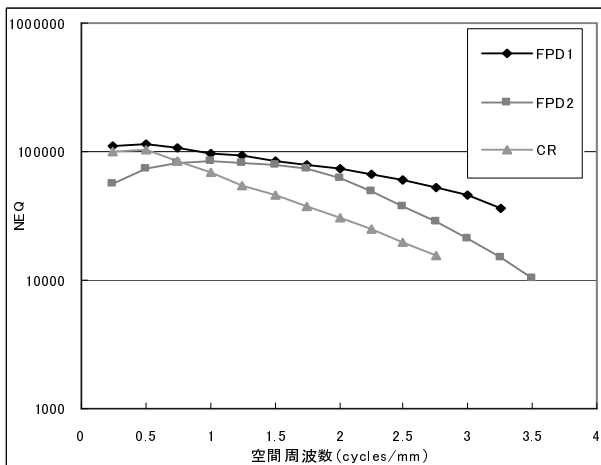


Fig.8 線量調節後の NEQ(RQA3)

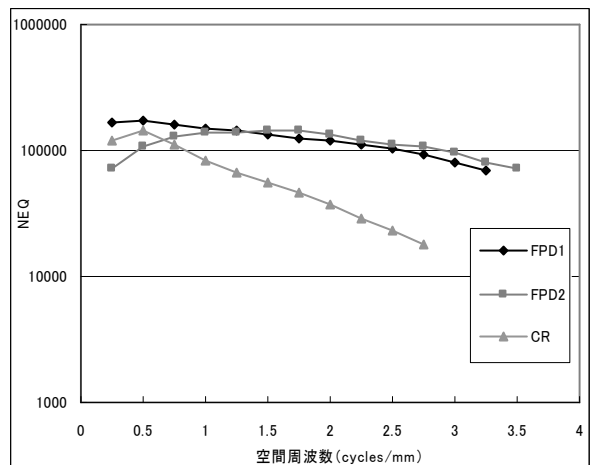


Fig.9 線量調節後の NEQ(RQA5)

6) バーガーファントムによる画像比較

基準線量と平均 DQE 比で線量調節した撮影した RQA3 の画像を Fig.10 に RQA5 の画像を Fig.11 に示した. どちらの線質も, 視覚的印象は優れているほうから FPD1, FPD2, CR の順となり, DQE の順序と同様であった. 平均 DQE 比で線量調節後の画像は FPD2, CR とともに FPD1 に視覚的印象は近づいた.

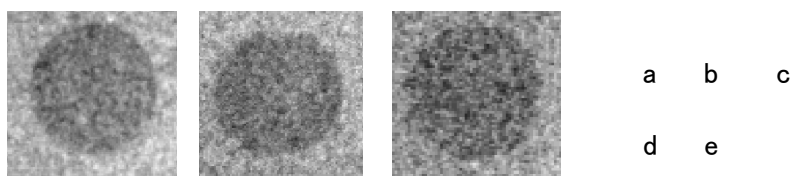


Fig.10 バーガーファントムによる画像比較 (RQA3)

- (a) FPD1(基準線量)
- (b) FPD2(基準線量)
- (c) CR(基準線量)
- (d) FPD2(線量調節後)
- (e) CR(線量調節後)

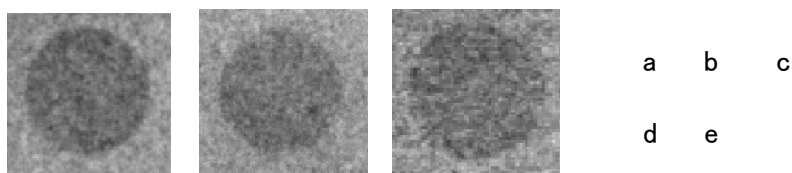


Fig.11 バーガーファントムによる画像比較 (RQA5)

- (a) FPD1(基準線量)
- (b) FPD2(基準線量)
- (c) CR(基準線量)
- (d) FPD2(線量調節後)
- (e) CR(線量調節後)

V. 考察

DQE 比で撮影した画像の NEQ は FPD 間ではおよそ一致したが, CR では DQE 比以上の線量が必要であった. これは CR は構造ノイズが多く, FPD と比べ線量増加しても NNPS の改善がみられないことによると考えられる. CR を線量調節しても低周波数と高周波数のバランスが異なり, 画質を FPD と同一にすることが困難であった. よって FPD と CR 間では平均 DQE 比を用いた画質による感度指標は困難と考えられる. FPD 間ではバーガーファントムの視覚的印象は DQE および NEQ の結果と矛盾無いものであったため, FPD の感度判断基準として妥当と考えられる.

VI. 結語

DR システムの感度指標を DQE 比で求める方法では, FPD 間では DQE 比での線量調節で画質を等しくできたことから感度指標としての適用の可能性が示唆された. CR システムでは高周波数領域で DQE の低いため, DQE 比の適用は困難であった.