

# デジタルラジオグラフィにおける 付加フィルタリングによる被ばく低減

## 要旨

デジタルラジオグラフィ (DR システム) において, Cu 付加フィルタを用いたときの被ばく線量と画質の関係を信号対雑音比を用いて評価した. X線平面検出器には, シーメンス社 LuminosDRF を用いた. 12cm 厚のアクリルファントムを, フィルタ無し: 70, 80, 90, 100 kV と, Cu 付加フィルタ 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 mm: 70kV にて入射表面線量を同一にして撮影した. 画像から粒状性 (NPS) とコントラストを測定し, エッジ法で測定した解像特性とからコントラストを考慮した信号対雑音比 (SNR<sub>c</sub><sup>2</sup>) を算出した. またバーガーファントムを撮影し, SNR<sub>c</sub><sup>2</sup> の結果を検証した. 同一表面線量下では, Cu 付加フィルタによって SNR<sub>c</sub><sup>2</sup> が増加した. SNR<sub>c</sub><sup>2</sup> を同一にした場合, コントラストの低下を抑えつつ, 0.1-mm Cu と 0.2-mm Cu でそれぞれ 27.1% と 41.9%, の被ばく低減が示唆された.

## I. 緒言

Digital Radiography (DR) システムの普及に伴い, 従来の増感紙 - フィルムシステム時代よりも, 被ばく線量はやや増加傾向にある [1]. Cu による付加フィルタ (Cu フィルタ) を用いることで, 画質を担保しつつ被ばく線量を低減できるという報告 [2] があるが, 我が国での認知度は低く, さらに最新の機器の検証報告はない. 本研究では, CsI による検出器を装備したデジタルラジオグラフィ (DR) システムにおいて, Cu フィルタを用いたときの被ばくと画質の関係を信号対雑音比の測定により検討した.

## II. 使用機器

- ・ 間接変換型 flat panel detector (FPD) 装置: AXIOM Luminos dRF (SIEMENS)  
使用蛍光体: CsI
- ・ 電離箱線量計: MODEL 660-4A (VICTOREEN)  
MODEL 20x6-6 (Radcal Corporation)
- ・ Cu フィルタ: 0.1mm 厚×4 枚
- ・ アクリル板: 120 mm 厚 (60 mm 厚×2), 2 mm 厚
- ・ 画像解析ソフト: ImageJ
- ・ バーガーファントム

## III. 方法

### 1. 対象条件

70 kV-Cu フィルタなし, 70 kV-Cu フィルタあり (Cu: 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm), 80 kV-フィルタなし, 90 kV-フィルタなし, 100 kV-フィルタなしとした.

### 2. 表面線量の測定 - 線質測定, 後方散乱係数の決定

焦点-線量計間距離を 100 cm とし, 各対象条件における半価層を測定した. アクリルファントムを 12cm, 照射野を 38cm×38cm とし, 線質と照射野から後方散乱係数を決定した.

### 3. アクリル表面線量の決定

アクリル表面線量を下式 (1) より算出した.

$$\text{アクリル表面線量}(mR) = \text{計測値} \cdot \text{後方散乱係数} \cdot \left(\frac{100}{138}\right)^2 \cdots (1)$$

各条件で, 表面線量 (0.8mGy) が同一となる mAs 値を決定した.

### 4. 定量的画質評価

#### 1) コントラスト測定

2cm×2cm, 2mm 厚のアクリル板をファントム中央に配置した. Fig. 1 のようにアクリル板上の region of interest (ROI) の平均値 M とそれらの近傍の background の平均値 B を測定し, 下式 (2) よりコントラスト C を算出した.

$$C = \frac{B-M}{B+M} \cdots (2)$$

- 2) 粒状性：NNPS(normalized noise power spectrum)測定  
 アクリル板の平坦部分の768×256ピクセル内にて256×256ピクセルの3領域を測定し、平均した。  
 測定方法は、「日本放射線技術学会監修 標準デジタルX線画像計測」に準拠した。
- 3) 解像特性：MTF(modulation transfer function)測定  
 エッジ法(1mm厚, タングステン板使用)により、「日本放射線技術学会監修 標準デジタルX線画像計測」に準拠して測定した。

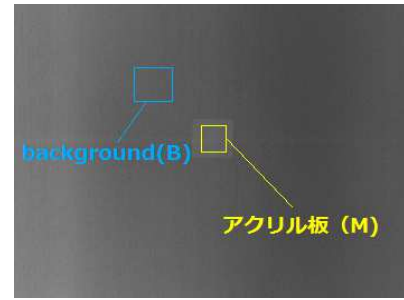


Fig.1 コントラスト測定のためのROI

- 4) 散乱線とコントラストを考慮した信号対雑音比(SNR<sub>C</sub><sup>2</sup>)の算出  
 下式(3)より、散乱線を含んだコントラストCを考慮したSNR<sub>C</sub><sup>2</sup>を算出した。

$$SNR_C^2 = \frac{MTF^2 \times C^2}{NNPS} \dots (3)$$

5. バーガーファントムによる画像比較

- 1) 同一表面線量の比較  
 基準線量(0.8mGy)で、バーガーファントム(アクリル製)を撮影し、視覚的印象を比較した。
- 2) 同一SNR<sub>C</sub><sup>2</sup>の比較  
 SNR<sub>C</sub><sup>2</sup>の線量比で線量調整した条件でバーガーファントムを撮影し、視覚的印象を比較した。

#### IV. 結果

1. 線質測定と決定mAs値

Table.1に測定した線質と、アクリル表面線量が0.8mGyとなるmAs値を示す。

Table.1 決定した線質とmAs値

条件	半価層(mmAl)	実効エネルギー(keV)	決定mAs値
70kV Cuなし	2.84	32.1	28
70kV Cu 0.1mm	4.17	37.8	56
70kV Cu 0.2mm	5.09	41.7	90
70kV Cu 0.3mm	5.79	44.7	125
70kV Cu 0.4mm	6.35	47.1	180
80kV Cuなし	3.23	33.8	20
90kV Cuなし	3.55	35.1	16
100kV Cuなし	3.96	36.9	14

2. 定量的画質評価

- (1) コントラスト測定

Table 2にコントラスト測定の結果を示す。70kV-フィルタなしを1とした時の比較をFig.2に示す。70kVでは、Cuフィルタを付加してもコントラストは、ほぼ一定であった。

Table 2 コントラスト測定結果

各条件	コントラスト
70kV Cuなし	1
70kV Cu 0.1mm	0.980448
70kV Cu 0.2mm	0.995041
70kV Cu 0.3mm	0.983778
70kV Cu 0.4mm	0.996202
80kV	0.792088
90kV	0.662885
100kV	0.553806

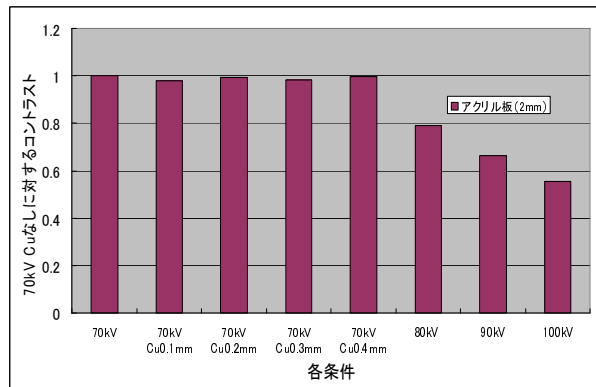


Fig.2 コントラスト測定結果

- (2) NNPS 測定(同一表面線量)

Fig. 3 にアクリル表面線量が同一となる条件で測定した NNPS の測定結果を示す. 管電圧が高く, Cu が厚くなるにつれて NNPS は低下した.

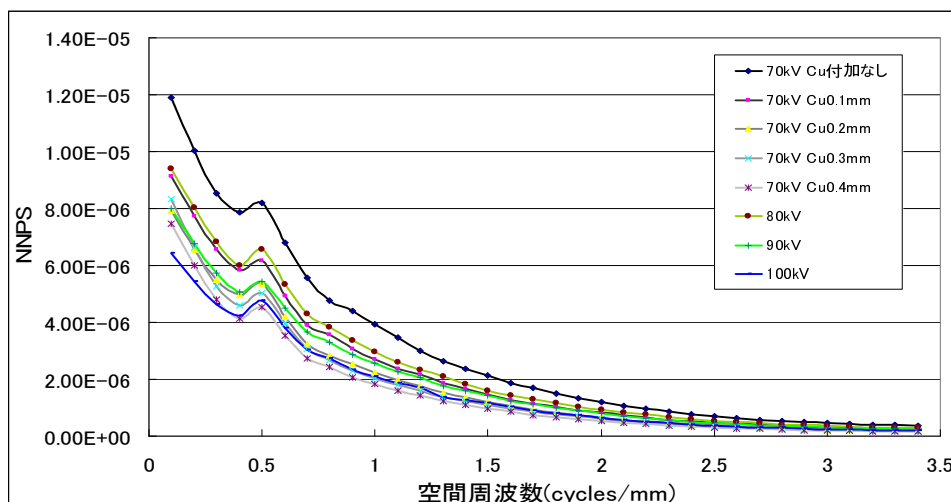


Fig. 3 NNPS 測定結果

(3) 同一表面線量の  $SNRc^2$  と  $SNRc^2$  の比で線量調節した  $SNRc^2$

Fig. 4 に同一表面線量(0.8mGy)となる条件で算出した  $SNRc^2$  の結果を示す. Cu 付加により  $SNRc^2$  は増加し, 管電圧増加により  $SNRc^2$  は低下した. Fig. 5 に  $SNRc^2$  の比で線量調節した  $SNRc^2$  を示す. 高管電圧で,  $SNRc^2$  が低下する傾向にあった.

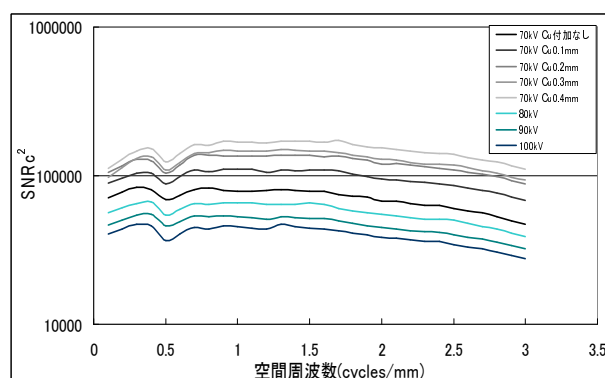


Fig. 4  $SNRc^2$  (同一表面線量)

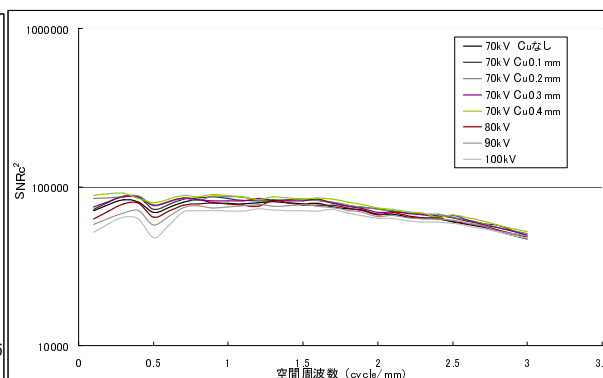


Fig. 5  $SNRc^2$  ( $SNRc^2$  の比で線量調節)

3.  $SNRc^2$  比によって調節した線量比

Table 3 に 70kV, Cu フィルタなしの  $SNRc^2$  を基準とし, 画質の同一化を試みたときの線量比を示す.

Table. 3  $SNRc^2$  比によって調節した線量比

各条件	線量比
70kV Cu なし	100%
70kV Cu 0.1 mm	72.9%
70kV Cu 0.2 mm	58.1%
70kV Cu 0.3 mm	53.7%
70kV Cu 0.4 mm	46.9%
80kV	123.4%
90kV	151.5%
100kV	178.5%

#### 4. バーガーファントムの画像

##### (1) 同一表面線量

Fig. 6 に同一表面線量(0.8 mGy)となる条件でのバーガーファントムの画像を示す. 視覚的印象は, 70 kV 0.4mm>0.3mm>0.2mm>0.1mm>Cu 付加なし>80kV>90kV>100kV であった.

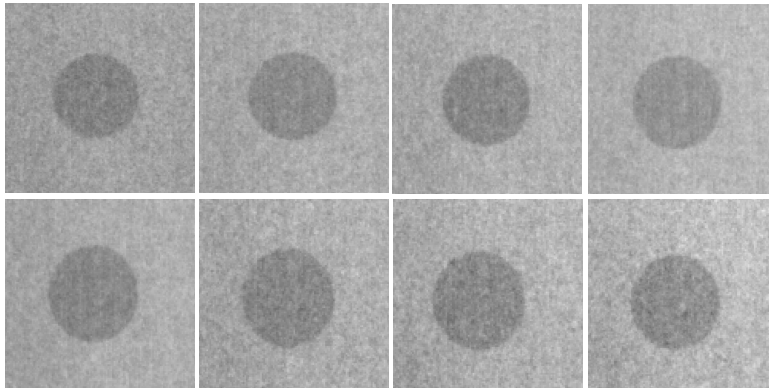


Fig. 6 バーガーファントム  
(同一表面線量)

a	b	c	d
e	f	g	h

- (a) 70kV Cu なし
- (b) 70kV Cu 0.1mm
- (c) 70kV Cu 0.2mm
- (d) 70kV Cu 0.3mm
- (e) 70kV Cu 0.4mm
- (f) 80kV (g) 90kV
- (h) 100kV

##### (2) SNRc<sup>2</sup>比で線量調節

Fig. 6 に SNRc<sup>2</sup>比で線量調節したバーガーファントムの画像を示す. 視覚的印象は, ほぼ同一であった.

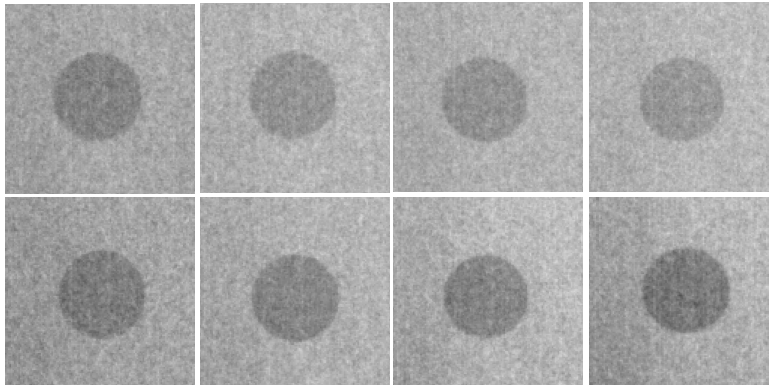


Fig. 7 バーガーファントム  
(SNRc<sup>2</sup>比で線量調節)

a	b	c	d
e	f	g	h

- (a) 70kV Cu なし
- (b) 70kV Cu 0.1mm
- (c) 70kV Cu 0.2mm
- (d) 70kV Cu 0.3mm
- (e) 70kV Cu 0.4mm
- (f) 80kV (g) 90kV
- (h) 100kV

#### V. 考察

Cu フィルタによりコントラストは変化しなかったことより, Cu フィルタにより画像に寄与しない低エネルギー成分がカットされたと考えられる. また Cu フィルタにより, 同一表面線量下では, SNRc<sup>2</sup> が向上することが確認された. これは, Cu 付加により実効エネルギーが高くなり, ファントムの透過後の線量が増加したためである. SNRc<sup>2</sup> の比で線量調節した場合, 70kV のとき画質が等しくなった. バーガーファントムの視覚的印象は, SNRc<sup>2</sup>の結果と矛盾のないものであった. よって, Cu フィルタを用いることで, 画質を担保しつつ被ばく線量の低減が可能であると示唆された. ただし, 0.3 mm 以上の Cu 付加は, 2 倍以上の mAs 値増加が必要となり, X 線管への負荷を考慮して 0.1 ないし 0.2 mm の Cu フィルタが有効と考えられた. 本研究では表面線量を指標にしたが, ファントム内の平均線量の検討も今後必要である.

#### VI. 結語

間接変換型 FPD 装置において, Cu フィルタを用いたときの, 被ばく線量とコントラストを考慮した画質の関係を信号対雑音比 (SNRc<sup>2</sup>) を用いて評価した. SNRc<sup>2</sup> を比較した結果, コントラストの低下を抑えつつ, 0.1mm-Cu では 27.1%, 0.2mm-Cu では 41.9%の被ばく低減が可能であることが示唆された.

#### VII. 参考文献

- [1]岸本健治, 有賀英司, 石垣陸太, 他: デジタル画像の被ばくを考慮した適性線量の研究, 日本放射線技術学会雑誌. 67(11), 1381-1397, 2011
- [2]CJ Martin, PhD, FIPEM, FioP, The importance of radiation quality for optimisation in radiology, Biomed Imaging Intery J, 2007 ; 3(2).