

Deep learningを用いた 画像再構成法の線量低減 に関する検討

宮崎県立宮崎病院

藤本一真

detectability index (d') について...

CNR vs d'

● Contrast-to-noise ratio

- コントラスト
- ノイズ (SD)

$$CNR = \frac{\textit{Contrast}}{\textit{SD}}$$

● detectability index

- 想定する信号の大きさ
- コントラスト
- 解像特性 (TTF)
- ノイズ特性 (NPS)

● CNRは・・・

- 周波数特性が考慮されていない
- 非線形システム (IRなど) の評価には不十分・・・

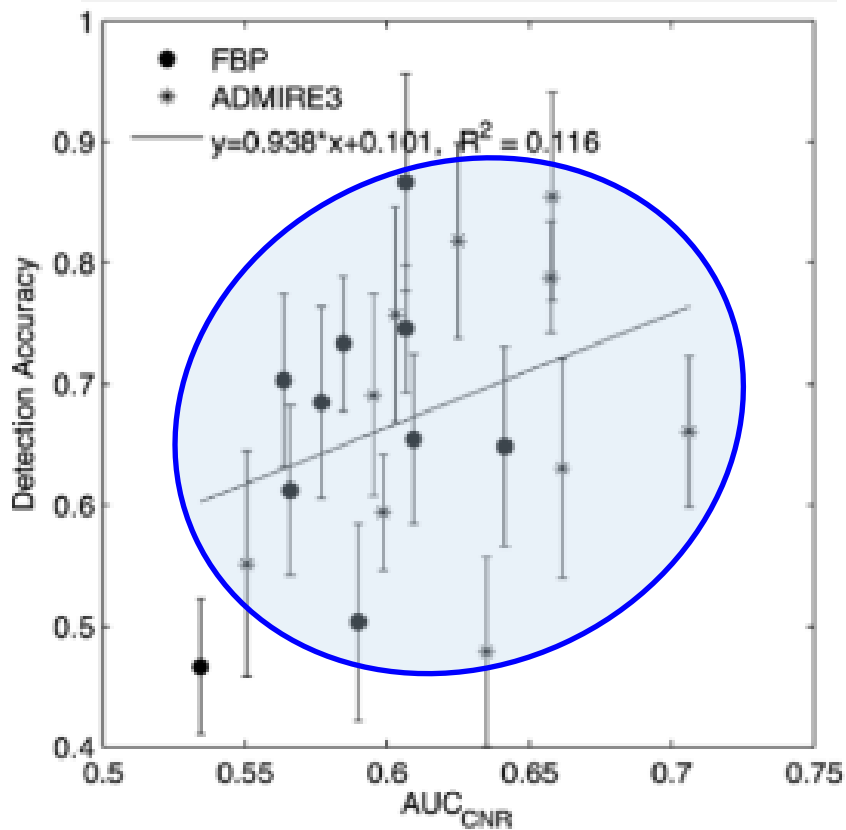
● d' は・・・

- 非線形システムの評価に対応

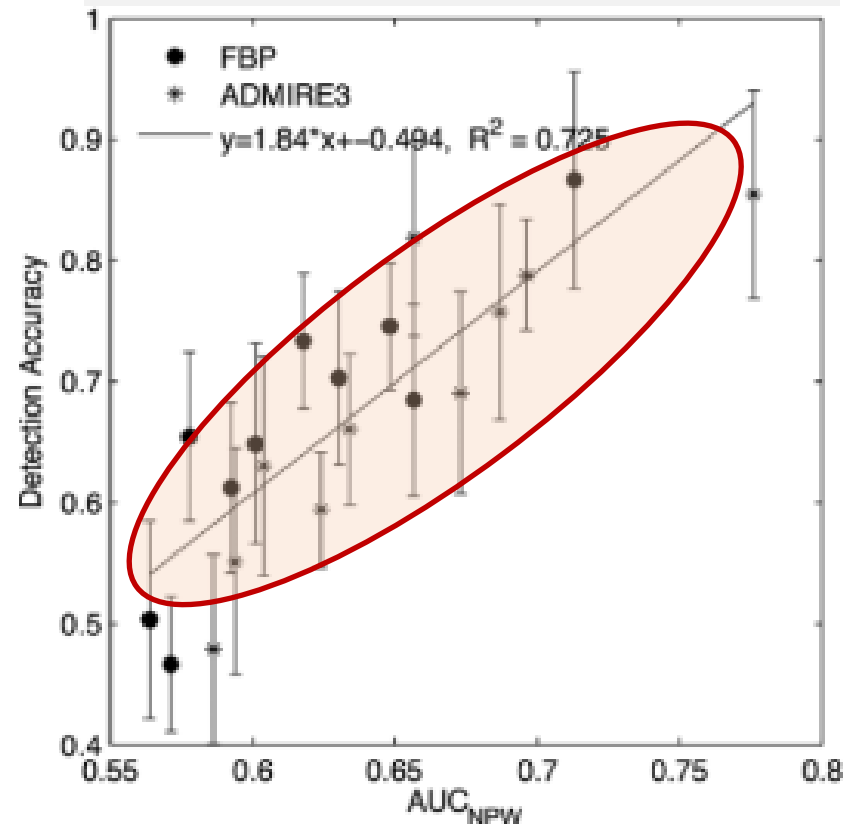
CNR vs d'

- d' は視覚的な特性と一致する

Contrast-to-noise ratio



detectability index



➤ *J Solomon, Radiology. 2015*

detectability index (d')

● Non-pre-whitening matched filter SNR model

$$d'^2 = 2\pi [HU]^2 \frac{[\int W_{task}^2(f) TTF^2(f) f df]^2}{\int W_{task}^2(f) TTF^2(f) NPS(f) f df}$$

➤ AAPM TG233

● 想定するタスク信号

- 腫瘍: $\Phi 10$ mm

$$W_{task}(f) = \frac{r}{f} J_1(2\pi r f)$$

r : 想定するタスクサイズの半径
 J_1 : 一次のBessel関数

➤ Racine, *Physica Medica*, 2020

非線形システムに対応した画質評価指標

Deep learningを用いた 画像再構成法の線量低減 に関する検討

この研究発表の内容に関する利益相反事項は,

ありません

Introduction

- CT画像再構成技術の開発が盛んに行われている
⇒低被ばくのCT検査を実現

- 小児は、成人と比較して、放射線感受性が高い

- 発がんリスクも高い

➤ *Brenner DJ, N Engl J Med, 2007*

- 小児CT検査の線量低減の取り組み

- 低管電圧

- Iterative reconstruction:IR

⇒更なる線量低減が求められる

Deep learning Image Reconstruction (DLIR)

● TFI : True Fidelity Image (GE Healthcare)

- Deep learningを用いた画像再構成法
- 教師画像はHigh dose FBPを使用
- 画質の違和感等を抑えた高画質の画像

FBP



DLIR



Motivation

●DLIRとIRの比較

- DLIRはIRよりも線量の最適化が可能

➤ *J Greffier, et al. Eur Radiol. 2020*

- 成人の腹部造影検査において線量低減が可能

➤ *Y Noda, et al, Br J Radiol. 2021*

●小児の撮影条件を想定した画質計測結果についてはほとんど報告されていない

- 小児の撮影条件における画質計測
- 線量低減の可能性

※近年では小児の画質評価を行った報告も出てきているようです

➤ *SL Brady, Radiology. 2021*

➤ *Y Nagayama, ALR Am J Roentgenol. 2022*

Purpose of this study

- **小児CT検査を想定した撮影条件において、DLIRを用いた際の被ばく線量低減の可能性を物理的画質特性から推定すること**

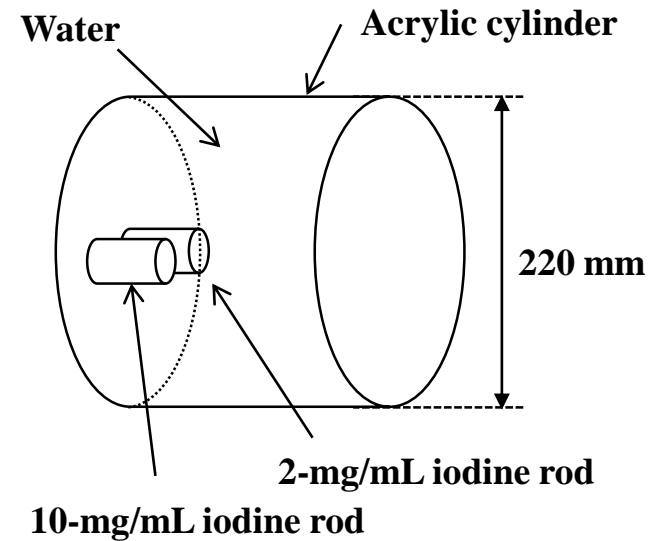
Data acquisition

●CT装置

- Revolution CT (GE healthcare)

●ファントム

- 22 cm径円柱水ファントム(12歳程度)
- ヨード含有ロッド(Gammex)



●撮像条件

- 管電圧 = 100 kV
- $CTDI_{vol} = 1, 3, 5, 7, 9$ mGy

DRLs 2020
10~15歳: 9 mGy

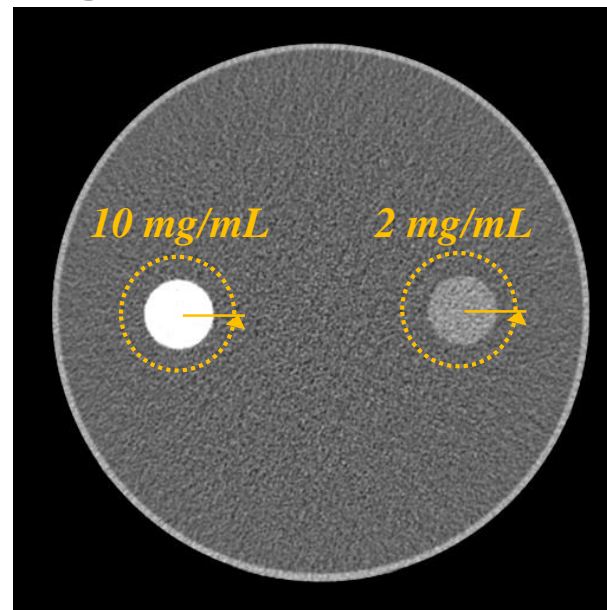
基準線量

- 画像再構成法 = FBP, ASiR-V 50%(IR50), DLIR-Medium(DLIR-M)
- 再構成関数 = Standard
- スライス厚 = 0.625 mm
- Pitch = 0.992
- Rotation time = 0.5 s
- Coverage = 80 mm

Evaluation of Image quality

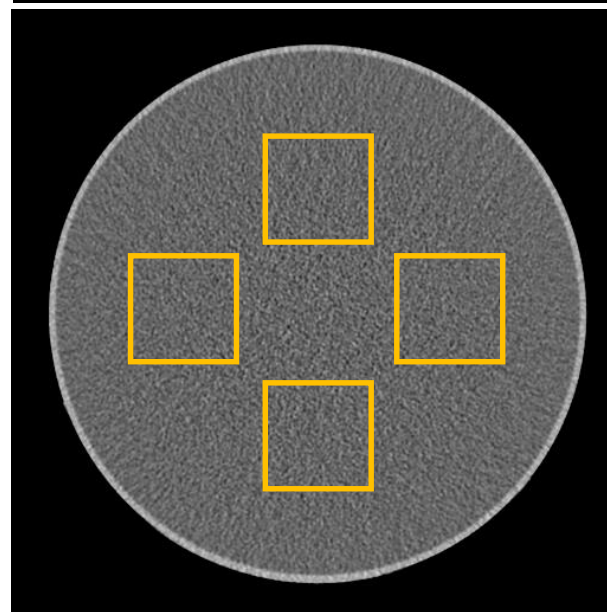
● Task transfer function (TTF)

- Circular edge法
- ヨード含有ロッド
 - $2 \text{ mg/mL} = 70 \text{ HU@100 kV}$
 - $10 \text{ mg/mL} = 285 \text{ HU@100 kV}$



● Noise power spectrum (NPS)

- Radial frequency法
- ROI = 128×128 pixels
- 平均周波数 (f_A) を算出



Evaluation of Image quality

● Detectability index (d')

- Non-pre-whitening matched filter SNR model

$$d'^2 = 2\pi[HU]^2 \frac{[\int \underline{W_{task}}^2(f) TTF^2(f) f df]^2}{\int \underline{W_{task}}^2(f) TTF^2(f) NPS(f) f df}$$

➤ AAPM TG233

● 想定するタスク信号

- 薄い濃染の腫瘍: $\Phi 10$ mm
(コントラスト & TTF: 2 mgI/mL)
- 造影された血管: $\Phi 3$ mm
(コントラスト & TTF: 10 mgI/mL)

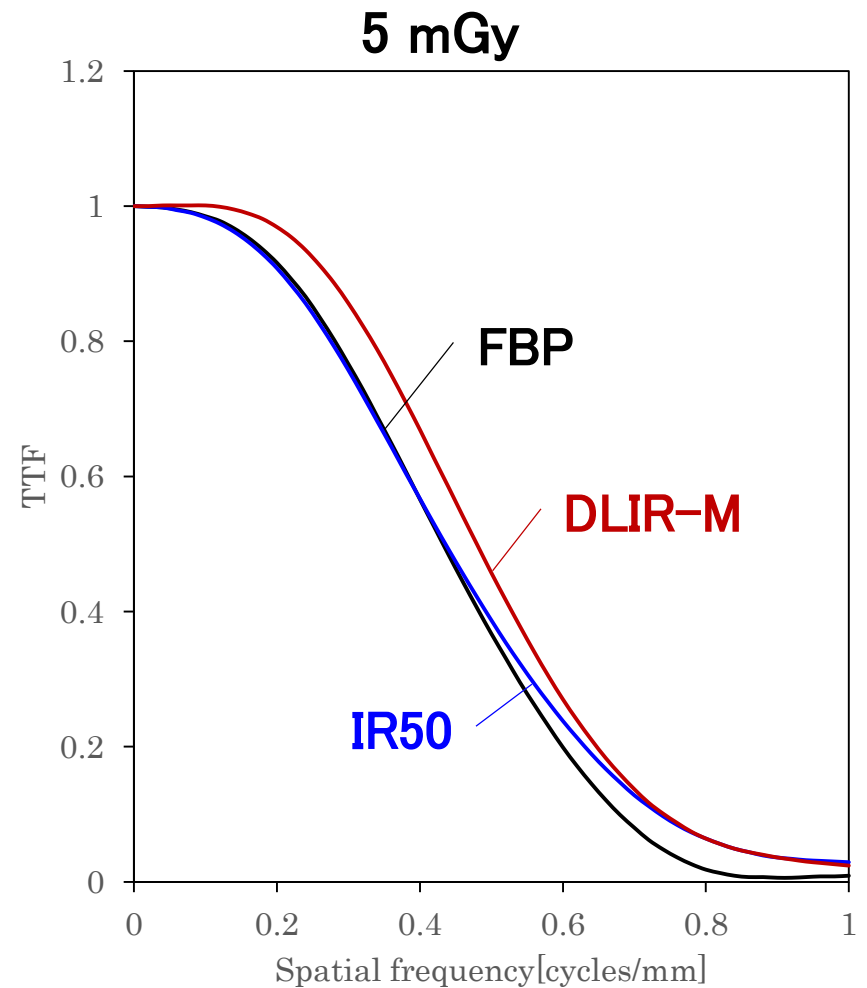
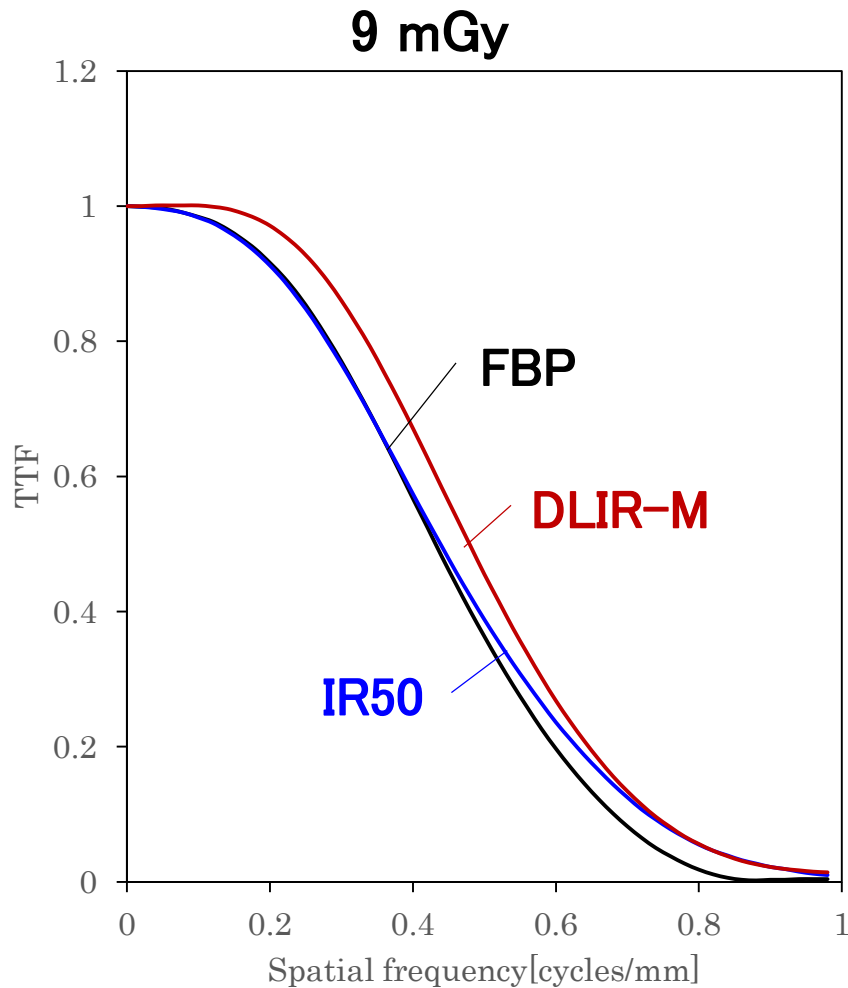
$$\underline{W_{task}(f)} = \frac{r}{f} J_1(2\pi r f)$$

r : 想定するタスクサイズの半径
 J_1 : 一次のBessel関数

➤ Racine, *Physica Medica*, 2020

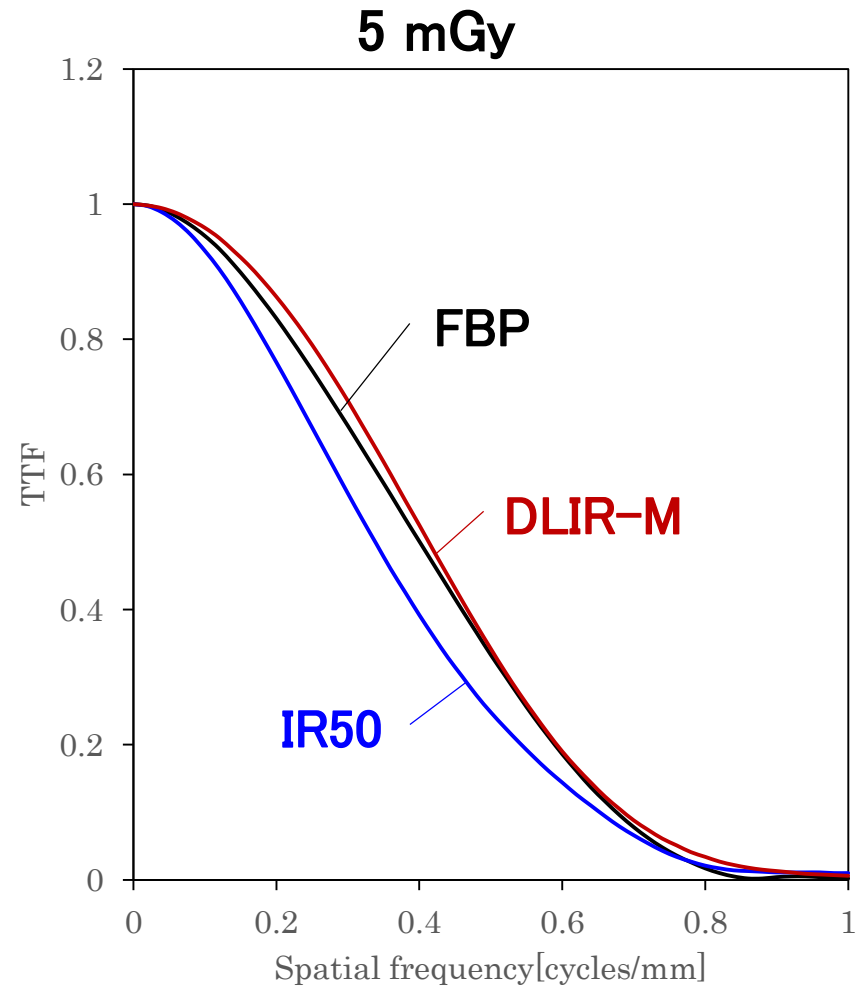
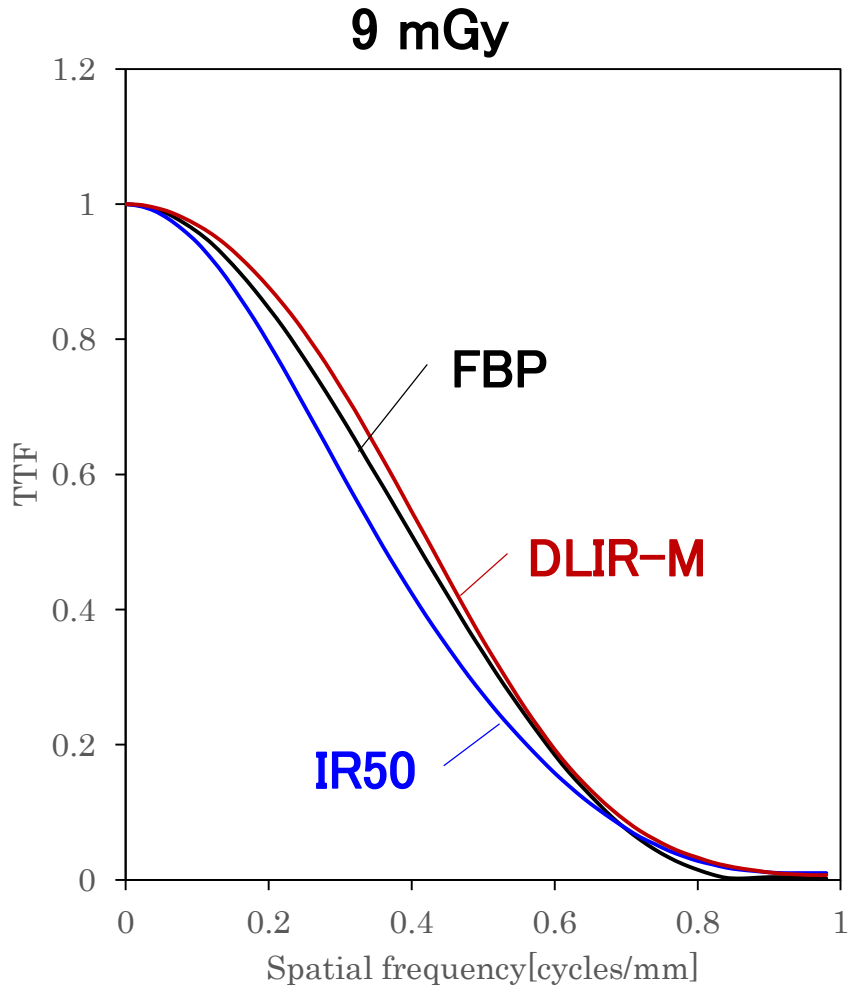
Results TTF (10 mgI/mL, 285 HU)

- DLIRはFBP以上の解像特性
- 線量を変更した際も同様の傾向



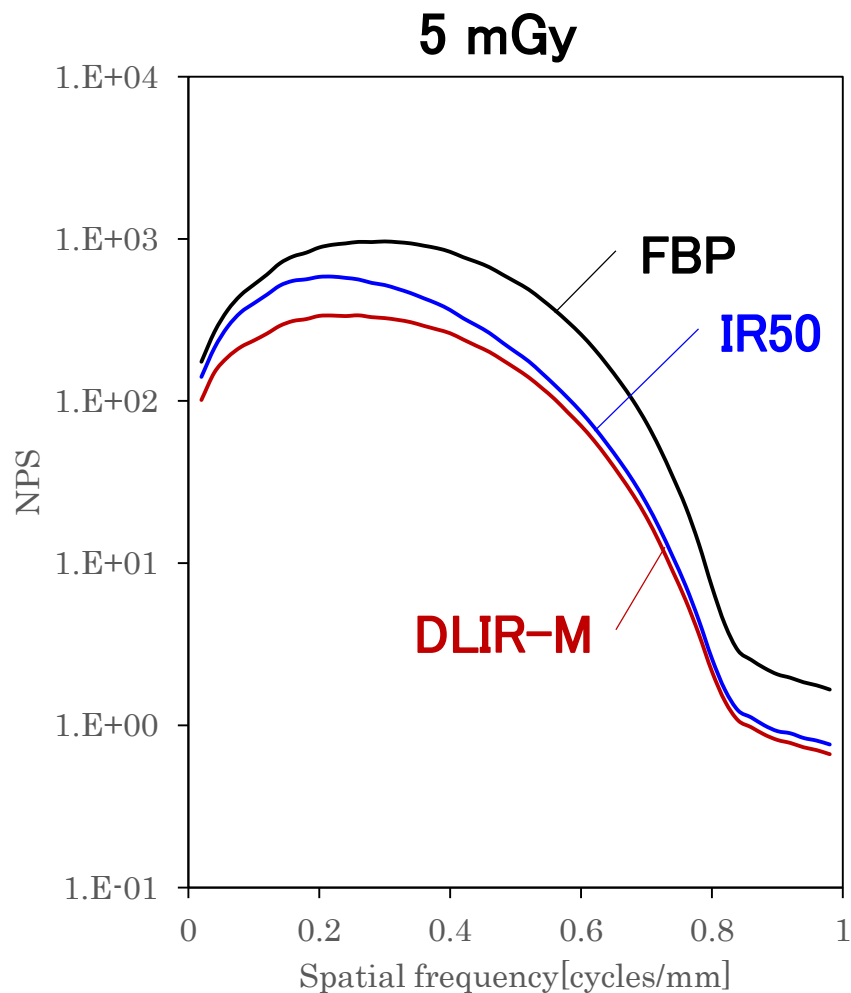
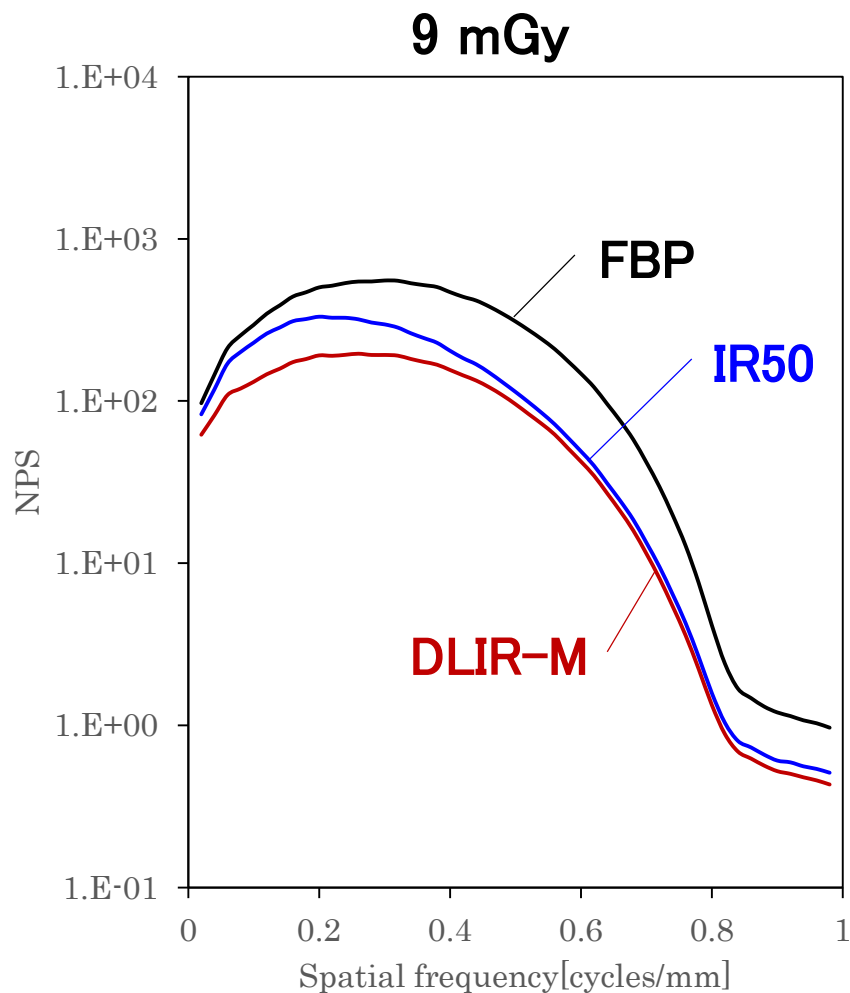
Results TTF (2 mgI/mL, 70 HU)

- DLIRはFBPと同程度
- 線量を変更した際も同様の傾向



Results NPS

- DLIRは高いノイズ低減効果
- IRと比べ、低周波領域からノイズ低減



FBP

IR50

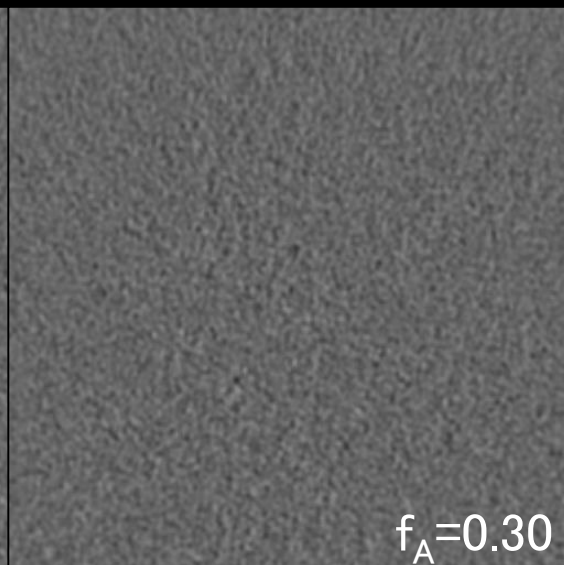
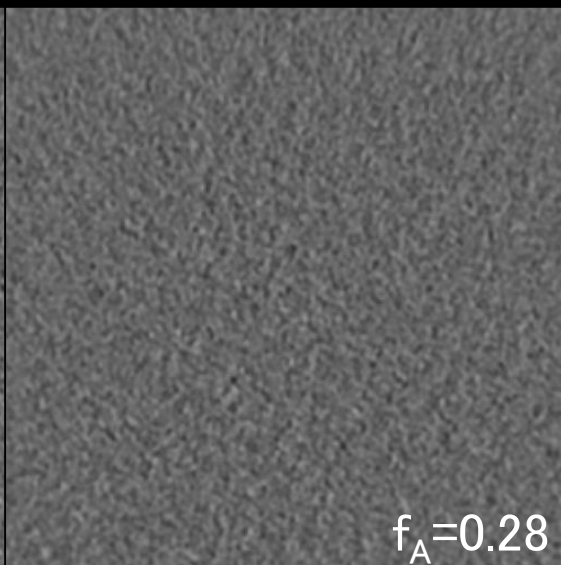
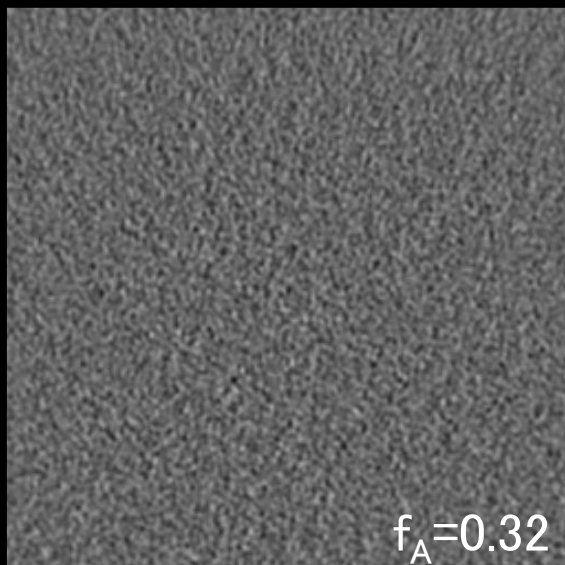
DLIR-M

**9
mGy**

$f_A=0.32$

$f_A=0.28$

$f_A=0.30$

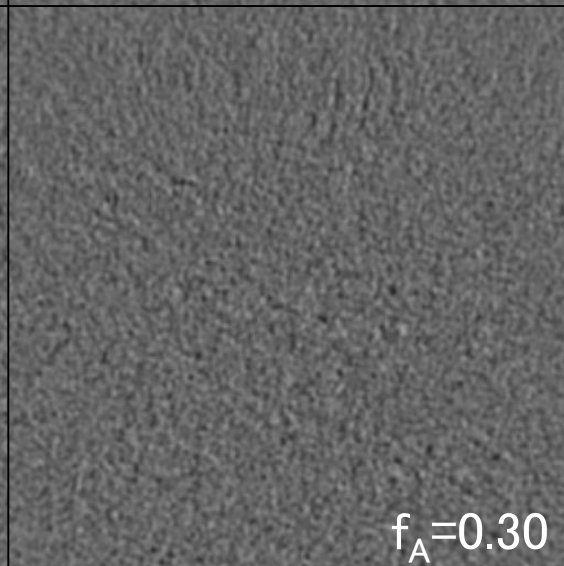
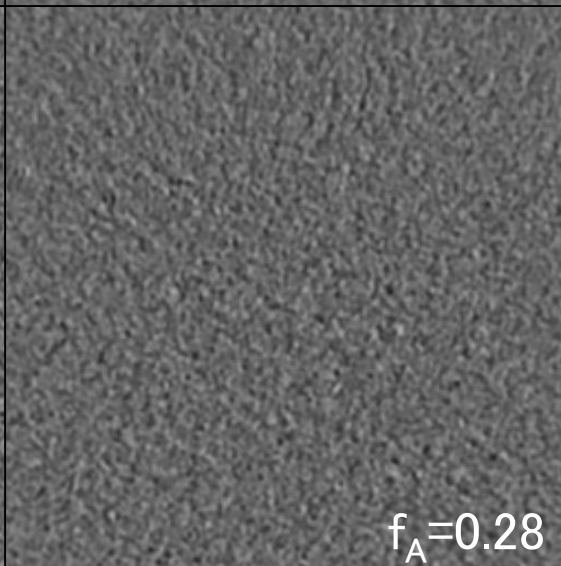
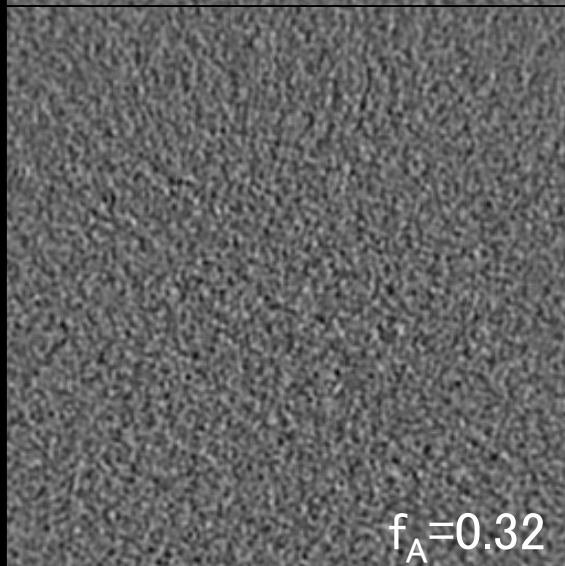


**5
mGy**

$f_A=0.32$

$f_A=0.28$

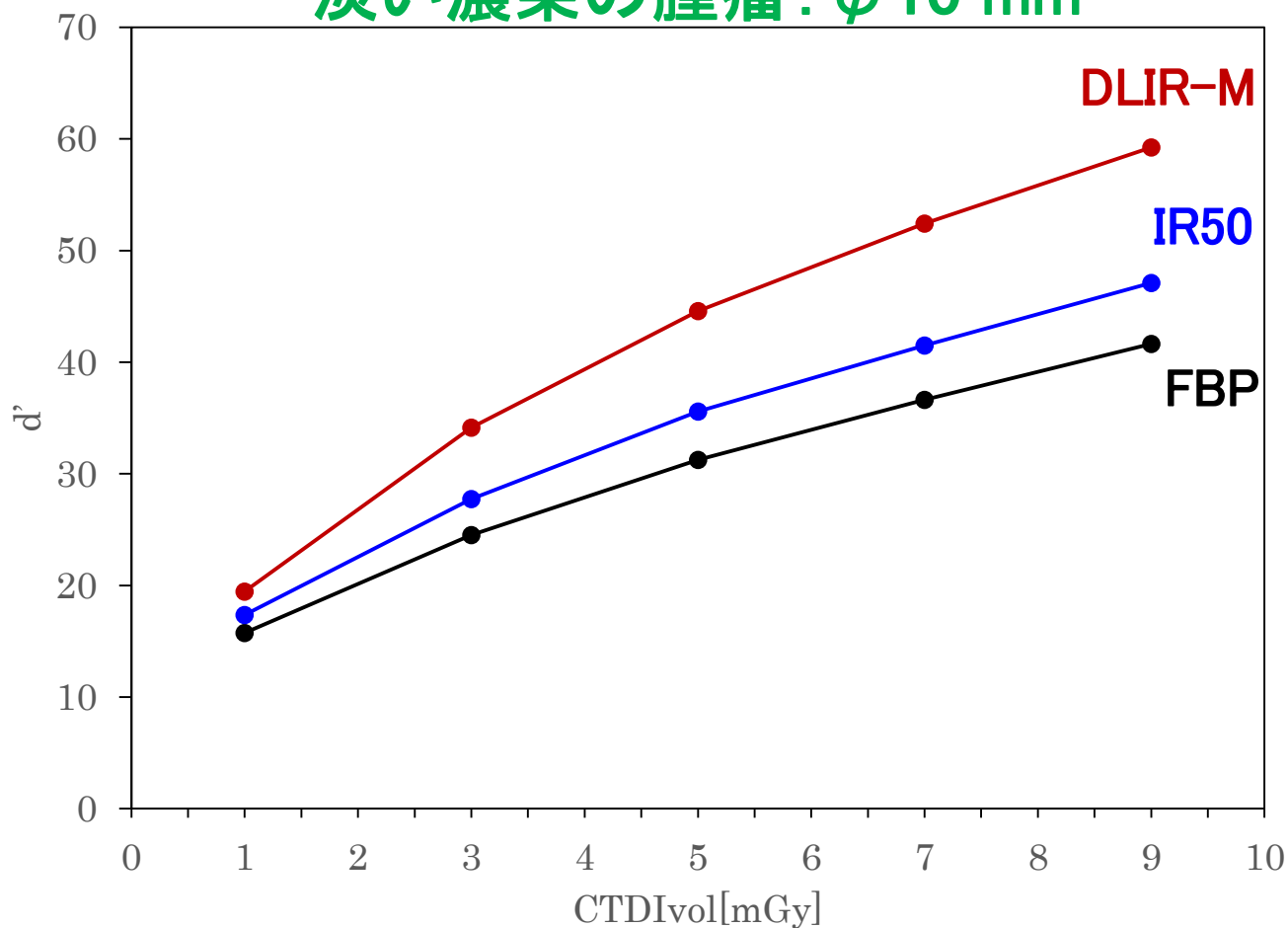
$f_A=0.30$



Results detectability index

- 線量の増加とともに d' は増加
- DLIRはFBP, IRと比較して大幅に画質を改善

淡い濃染の腫瘍: $\phi 10$ mm

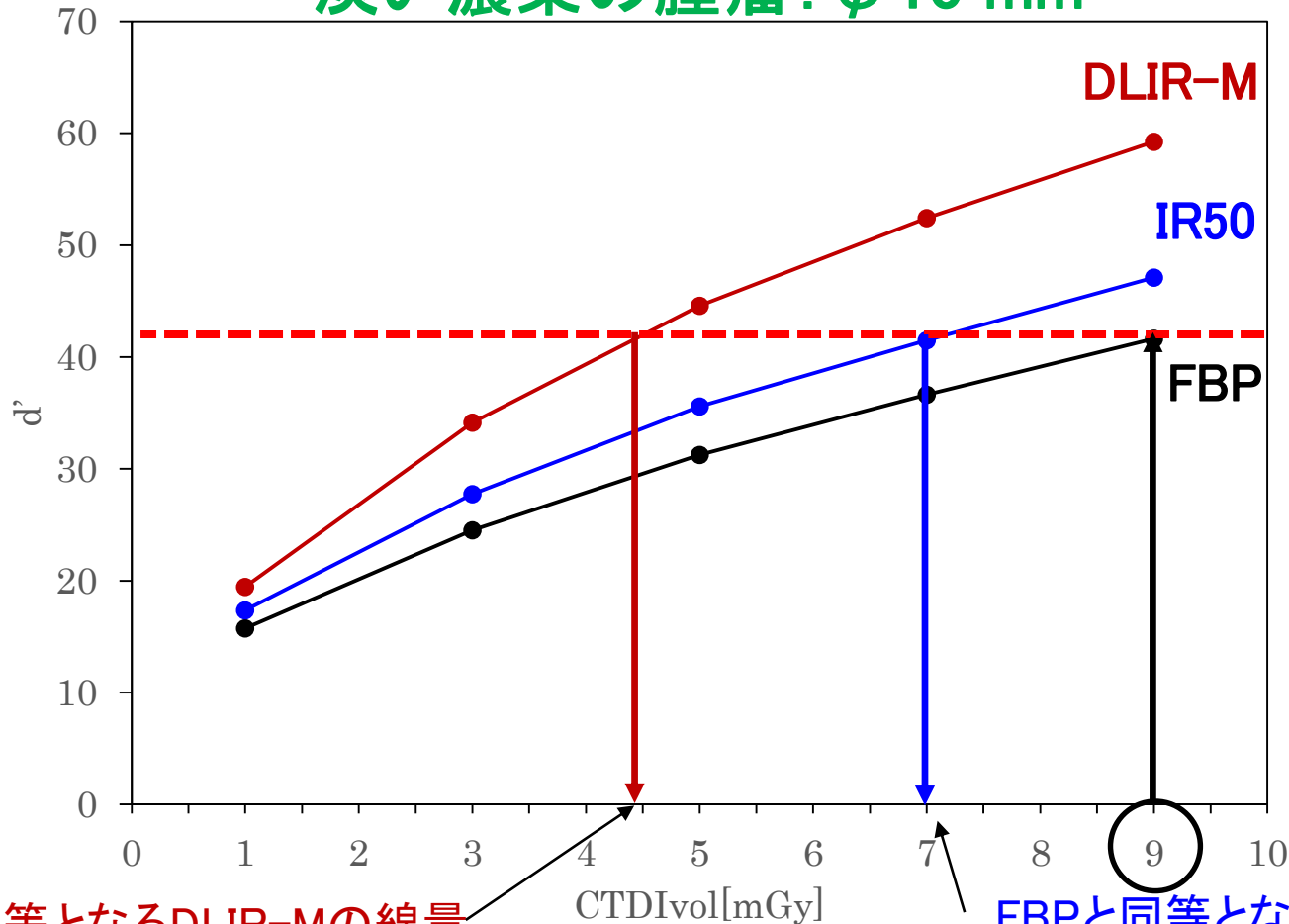


Results detectability index

●線量低減率

- IR50 = 21.6% (7.0 mGy), DLIR-M = 50.6% (4.4 mGy)

淡い濃染の腫瘍: ϕ 10 mm



FBPと同等となるDLIR-Mの線量

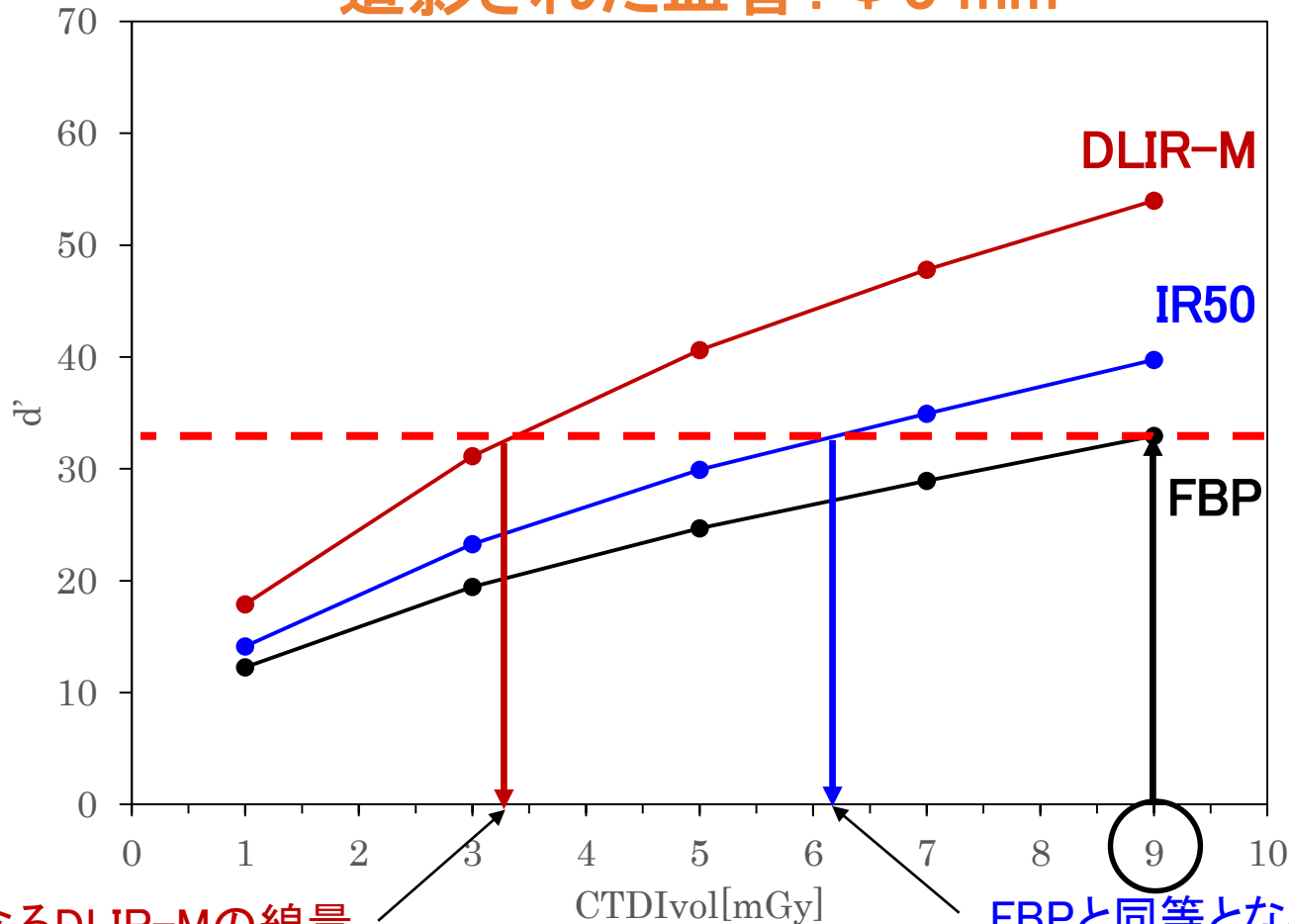
FBPと同等となるIR50の線量

Results detectability index

●線量低減率

- IR50 = 31.0% (6.2 mGy), DLIR-M = 62.4% (3.3 mGy)

造影された血管: $\Phi 3$ mm



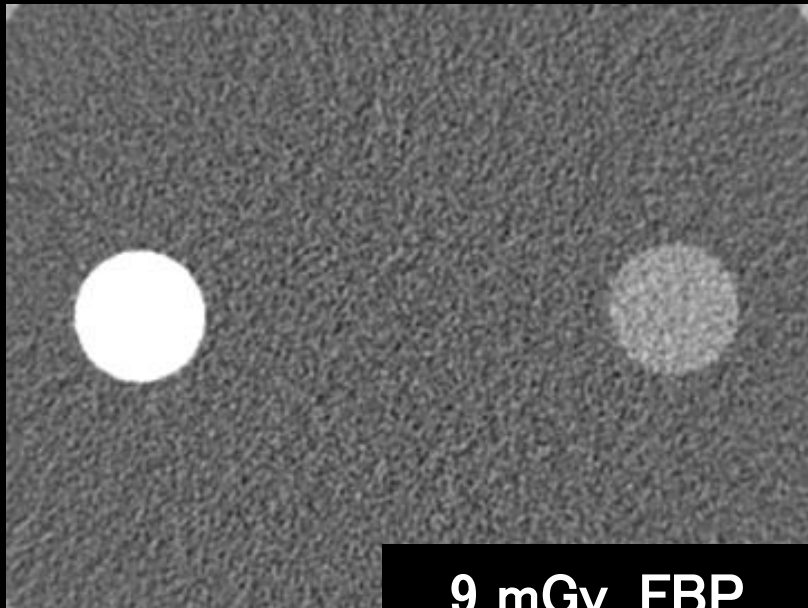
FBPと同等となるDLIR-Mの線量

FBPと同等となるIR50の線量

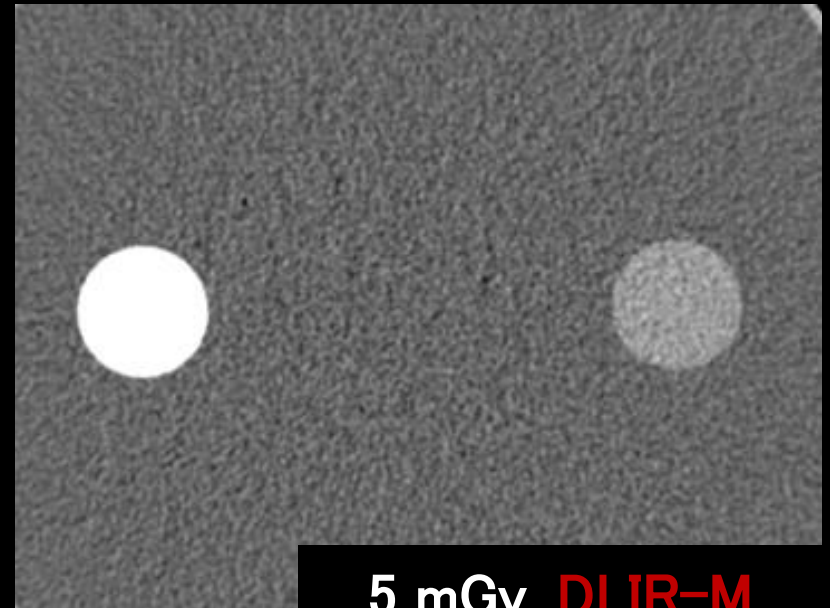
Discussion

●DLIRの画質特性について

- IRで見られた解像度の低下はなく, FBPと同等以上
 - IR以上に高いノイズ低減効果
 - 平均周波数の低周波シフトはわずか
- ⇒IRよりもエッジの保存性能を有したノイズ低減処理
テクスチャの変化も少ない



9 mGy, FBP



5 mGy, DLIR-M

Discussion

●DLIRの線量低減について

- 基準線量のFBPから算出した線量低減率
 - 薄い濃染の腫瘍 ⇒ IR:21.6%, DLIR:50.6%
 - 造影された血管 ⇒ IR:31.0%, DLIR:62.4%
- IRよりも高い線量低減率

●線量低減に関する過去の報告

- IRは25%の線量低減が限界である
 - Mileto A, *Radiology*, 2019
- DLIRは65%低減した線量でも画質を維持できる
 - Jensen CT, *Radiology*, 2022

この傾向は本研究の結果と一致

DLIRは少なくとも50%以上の線量低減が推定された

Conclusion

- 小児のCT検査を想定した場合，DLIRを用いることで50%以上の線量低減が画質計測より推定された
- IRよりも大幅な線量低減の可能性がある
- 今後，本研究の測定結果に基づいた臨床画像評価を行う必要がある