

短 報

人工知能 (AI) 技術を用いた CT 画像再構成法の物理特性の検討

佐渡総合病院、放射線科；診療放射線技師

こばやし こうき
小林 光貴

目的：令和3年2月に当院に導入された Computed Tomography (以下 CT とする) 装置において、人工知能 (以下 AI とする) 技術を用いた新たな画像再構成法が追加された。この再構成法は、Deep Learning Reconstruction (以下 DLR とする)、Canon 社では Advanced intelligent Clear-IQ Engine (以下 AiCE とする) という。今回、AI 技術を利用した新たな画像再構成法である AiCE や、当院で現在使用している逐次近似応用再構成法の Adaptive Iterative Dose Reduction 3D (以下 AIDR 3D とする) 等の各再構成法の物理特性を評価して有用性を検討することを目的とする。

方法：物理特性の評価として、①ノイズ評価 (Radial frequency 法を用いた Noise Power Spectrum (以下 NPS とする) 測定)、②低コントラスト分解能評価 (自作ファントムを用いた Contrast to Noise Ratio (以下 CNR とする) 測定)、③空間分解能評価 (円形エッジ法を用いた Modulation Transfer Function (以下 MTF とする) 測定) を行った(1)。撮影条件は腹部領域を想定し、管電流を変化させ、4種類の再構成法 (フィルタ補正逆投影法 (Filtered Back Projection) (以下 FBP とする)、AIDR 3D Mid、AIDR 3D Enhanced Mid、AiCE Body Mid) で比較検討した。

成績：NPS 測定、CNR 測定、MTF 測定にて、どの mAs 値においても概ね AiCE が最も優れた結果を示した。ただし、NPS 測定の低周波領域では AiCE は他の再構成法と比較して大きな差がなかった。また、再構成時間を AIDR 3D と AiCE で比較したところ、AiCE は AIDR 3D の 3~4 倍の再構成時間がかかった。

結論：今回、腹部条件下で検討した3つの物理特性において、AiCE は AIDR 3D より優れており、画質面では有用性がある。しかし、再構成時間も加味すると、AiCE 画像の運用は検査の進行に影響が出る可能性を考慮する必要がある。

キーワード：Advanced intelligent Clear-IQ Engine (AiCE)、物理特性、Noise Power Spectrum (NPS)、Contrast to Noise Ratio (CNR)、Modulation Transfer Function (MTF)、Deep Learning Reconstruction (DLR)

緒 言

CT の画像再構成法には、以下に挙げる方法がある。FBP は以前から CT で一般的に使用されており、高速に再構成ができるがノイズと空間分解能がトレードオフの関係にある(2)。逐次近似応用再構成 (Hybrid Iterative Reconstruction: Hybrid IR) 法である AIDR 3D は、ノイズ低減処理が行われているが、ノイズと空間分解能がトレードオフの関係にある(2)。逐次近似再構成 (Model-Based Iterative Reconstruction: MBIR) 法である Forward projected model-based Iterative Reconstruction (以下 FIRST とする) は、ノイズ低減と空間分解能の維持を両立しているが、長い再構成時間がかかる(2)。

AiCE は、AI 技術における深層学習 (deep learning) 技術を利用した再構成法である。FIRST よりも短い再構成時間で、空間分解能を維持しながら高いノイズ低減効果を得ることが可能であると述べられている(2)。今回は、新たに導入された AiCE や、当院で現在使用している AIDR 3D 等の各再構成法の物理特性 (ノイズ、低コントラスト分解能、空間分解能) を評価して有用性を検討した。

方 法

使用装置、使用機器、撮影条件、評価方法を以下に示す。

1. 使用装置
80列 CT 装置：Aquilion Lightning Helios Edition/Canon
2. 使用機器
 - ①. NPS 測定：水ファントム (32 cm 径)、CTmeasure ver. 0.97b2/日本 CT 技術学会
 - ②. CNR 測定：800 ml プラスチック容器 (約 13 cm 径)、20 ml プラスチック容器 4 個、グルーガン、グルースティック、水 (CT 値 0 HU)、牛乳 (33 HU)、カルピス (30 HU)、生理食塩水 (15 HU)、希釈造影剤 (10 HU)
 - ③. MTF 測定：TOS ファントム (メーカー付属品) (32 cm 径)、CTmeasure ver. 0.97b2/日本 CT 技術学会
3. 撮影条件、評価方法
表 1 の撮影条件にて、以下の方法で撮影、解析を行った。
 - ①. NPS 測定：管電流値を 200 mA、300 mA、350

mA、400 mA と変化させて撮影し、4 種類の画像再構成法で再構成。ヘリカルスキャンで 5 スライス分のデータを取得し、CTmeasure にて解析を行い、画像 5 枚の加算平均値を算出(1)。

②. CNR 測定：管電流値を表 1 の 8 段階で変化させて撮影し、4 種類の画像再構成法で再構成。ヘリカルスキャンで 5 スライス分のデータを取得し、中央のスライスのデータを解析に使用。解析は CT コンソール上の計測ツール使用し、3 回撮影した平均値を算出。

③. MTF 測定：管電流値を 200 mA、300 mA、350 mA、400 mA と変化させて撮影し、4 種類の画像再構成法で再構成。ヘリカルスキャンで 5 スライス分のデータを取得し、CTmeasure にて解析を行い、画像 5 枚の加算平均値を算出(1)。

再構成時間は、約100枚と約2500枚の画像を AIDR 3D と AiCE で再構成して時間を計測して比較した。

結 果

NPS 測定の結果は、100、150、175、200 mAs のいずれの mAs 値で撮影しても、低周波領域では各再構成法での差は小さく AIDR 3D が AiCE より僅かに低い値を示した (図 1)。また、高周波領域になるに従い各再構成法の差が開き、AiCE、AIDR 3D、AIDR 3D Enhanced、FBP の順に低い値を示した (図 1)。

CNR 測定の結果は、CT 値差が異なる 4 種類のいずれの試料で測定しても、各 mAs 値において、AiCE、AIDR 3D Enhanced、AIDR 3D、FBP の順に高い値を示した (図 2)。

MTF 測定の結果は、100、150、175、200 mAs のいずれの mAs 値で撮影しても、AiCE、AIDR 3D Enhanced、FBP、AIDR 3D の順に高い値を示した (図 3)。

TOS ファントムの一部を 150 mAs で撮影した画像において、信号体のノイズ感FBPが最も多く、AIDR 3D と AiCE は少ないように見られた (図 4)。また、信号体の辺縁は AIDR 3D が最もボケがあり、AiCE はボケが少ないように見られた (図 4)。

再構成時間は、約100枚の画像を再構成した場合、AIDR 3D で約25秒、AiCE で約1分30秒かかった。約2500枚の画像を再構成した場合、AIDR 3D で約50秒、AiCE で約3分30秒かかった。

考 察

NPS 測定の結果から、ノイズ特性において AiCE は特に高周波領域で顕著に優れていた (図 1)。これは、Deep Learning 技術における AiCE 特有のニューラルネットワークを構築する段階で、優れた教師画像で学習が行われているためであると考えられる (2)。また、AiCE が低周波領域での低減がみられず、他の再構成法との差が小さかった理由として、腹部領域を想定している場合、ノイズが目立つ高周波領域を低減することで軟部領域の観察を良好にしておき、低周波領域での改善があまり見られなかったためであると考えられる (図 1)。

CNR 測定の結果から、低コントラストの描出は AiCE が最も優れていた (図 2)。これは、他の再構成法と比

較して高周波ノイズをより低減できているためであると考えられる。

MTF 測定の結果から、AiCE の空間分解能が最も優れていた (図 3)。これは、AiCE のニューラルネットワークを構築する段階で、優れた教師画像で学習が行われているためであると考えられる (2)。

以上より、再構成関数を持つ FBP や AIDR 3D はノイズと空間分解能がトレードオフの関係にあるが、AiCE はこの再構成関数の概念から脱却しており、Deep Learning 技術で優れた教師画像を使用しているため、ある程度の空間分解能を維持しながらも大幅なノイズ低減が可能であると考えられる (2)。

今回、腹部領域を想定して評価したノイズ特性、低コントラスト分解能、空間分解能において、AI 技術を用いた再構成法 (AiCE) は、逐次近似応用再構成 (AIDR 3D) より優れており、画質面では有用性があると期待されるが、再構成時間も加味すると、検査の進行に影響が出る可能性を考慮する必要があると考える。

文 献

1. 市川勝弘、村松禎久. 標準 X 線 CT 画像計測. 2 版. 日本放射線技術学会; 2018. 27頁、52-60頁、74頁、86-9 頁、102-5 頁.
2. 岡部貴浩. 被ばく低減に貢献する Deep Learning を用いた新しい CT 画像再構成技術. 日本放射線技術学会画像部会 画像通信 2019; 42(2): 33-8.

英 文 抄 録

Brief report

Investigation of the Physical Characteristics of CT Image Reconstruction using Artificial Intelligence (AI) Technology

Department of Radiology, Sado General Hospital; Radiologic technologist
Koki Kobayashi

Objective : A new image reconstruction method using artificial intelligence (AI) was added to the computed tomography (CT) device introduced at the hospital in February 2021. This reconstruction method is deep learning reconstruction (DLR) known as Advanced intelligent Clear-IQ Engine (AiCE) at Canon. This study is conducted to evaluate the physical characteristics of the various reconstruction methods, including AiCE, which is a new image reconstruction method utilizing AI technology, and adaptive iterative dose reduction 3D (AIDR 3D), which is the iterative reconstruction method currently being used at the hospital.

Study design : For the assessment of physical characteristics, the following evaluations were conducted : (i) noise evaluation (measurement of noise power spectrum (NPS) by radial frequency method), (ii) evaluation of low-contrast resolution (measurement

of contrast to noise ratio (CNR) using an in-house phantom), and (iii) evaluation of spatial resolution (measurement of modulation transfer function (MTF) by radial edge method) (1). For imaging conditions, the tube current was changed with the assumption for the imaging of the abdominal area with a comparison between four construction methods (filtered back projection (FBP), AIDR 3D Mid, AIDR 3D Enhanced Mid, and AiCE Body Mid).

Results : AiCE demonstrated the best results overall for all mAs values in the measurement of NPS, CNR, and MTF. However, no marked difference was observed with AiCE and other reconstruction methods in the low frequency area of the NPS measurement. Also, comparison of the reconstruction time between AIDR 3D and AiCE showed the reconstruction time

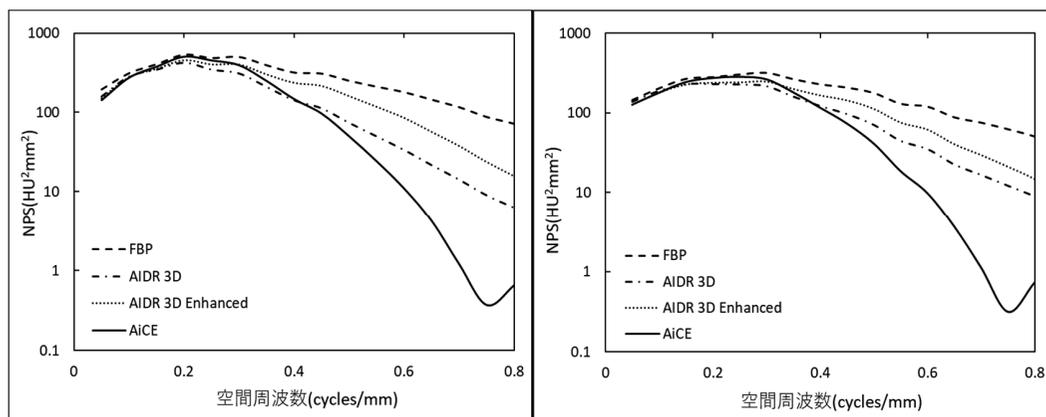
for AiCE to be three to four times longer than AIDR 3D.

Conclusion : AiCE was found to be superior to AIDR 3D in the three physical characteristics investigated in this study under abdominal conditions, suggesting the usefulness of AiCE from the perspective of image quality. However, taking in account the reconstruction time, consideration must be provided for the possible impact of the operation of AiCE images on the progress of examination.

Key words : Advanced intelligent Clear-IQ Engine (AiCE), physical characteristics, noise power spectrum (NPS), contrast to noise ratio (CNR), modulation transfer function (MTF), deep learning reconstruction (DLR)

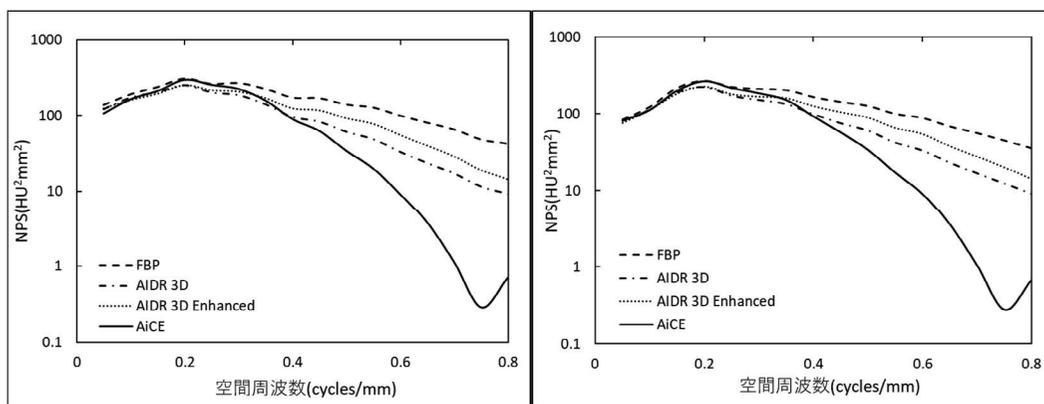
表1. 撮影条件

	NPS	CNR	MTF
管電圧 (kV)	120		
管電流 (mA)	50、100、150、200、250、300、350、400		
スキャン時間 (sec/rot)	0.5		
撮影スライス厚	0.5 mm×80列 (ビーム幅 40 mm)		
D-FOV (C-FOV) (mm)	200 (L)	400 (L)	320 (L)
再構成スライス厚/間隔 (mm)	5 mm/5 mm		
再構成方法	FBP、AIDR 3D Mid、AIDR 3D Enhanced Mid、AiCE Body Mid		
再構成関数	FC03 (腹部標準関数)		
WL/WW	35/280		



a. 100mAs

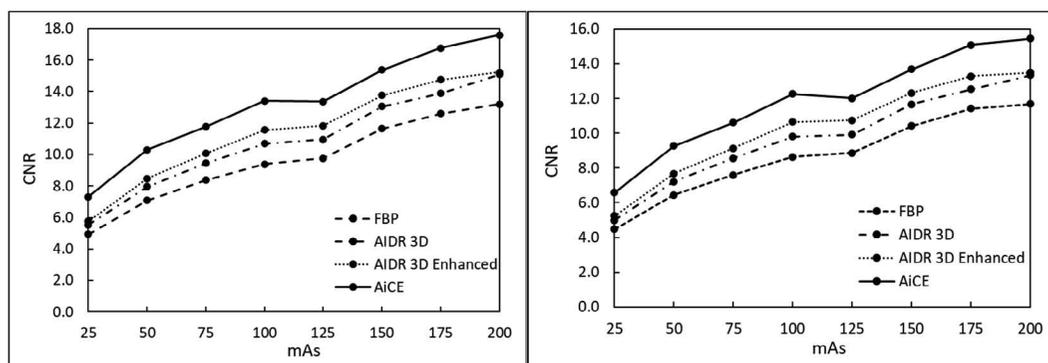
b. 150mAs



c.175mAs

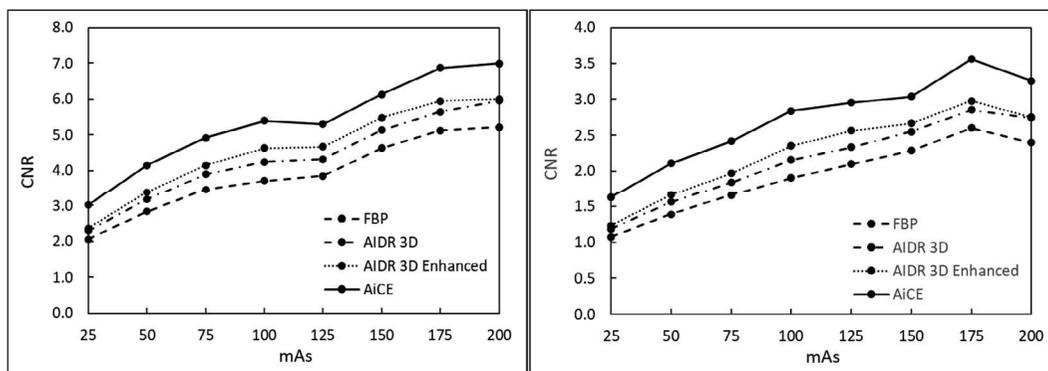
d.200mAs

図1 NPSの測定結果



a.牛乳 (33HU)

b.カルピス (30HU)



c.生理食塩水 (15HU)

d.希釈造影剤 (10HU)

図2 CNRの測定結果

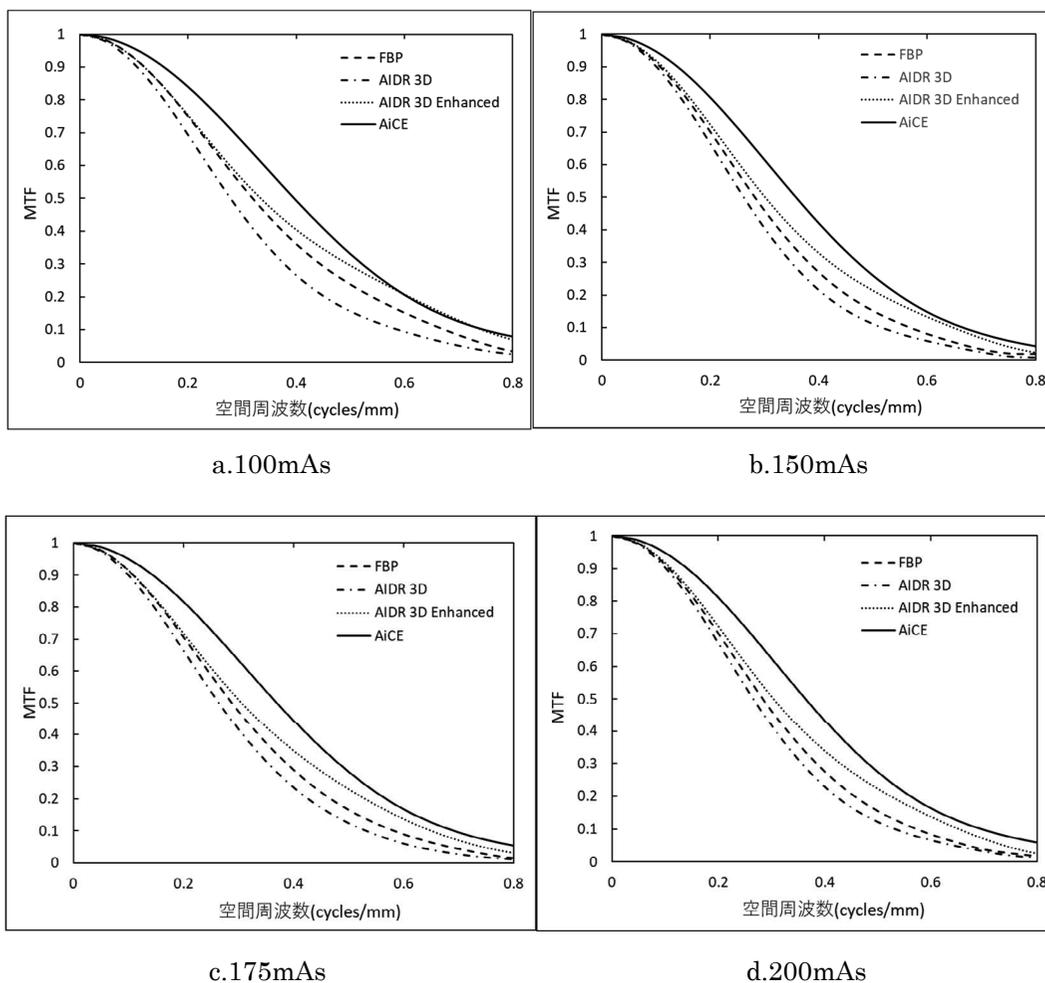


図3 MTFの測定結果

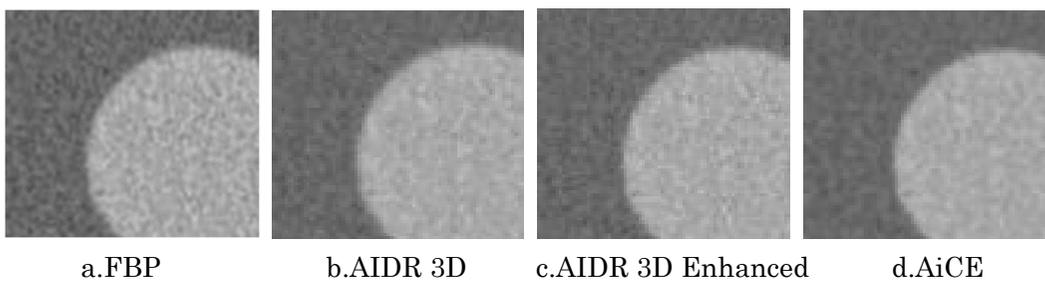


図4 TOSファントムの画像 (150 mAs)