

# 1. MRI 技術のCutting edge — Deep Learning Reconstruction など AI を中心に 4) SENSE と DLR の融合: 「SmartSpeed AI」

小原 真 / 上田 優 / 権 池 勲 / 米山 正己 / ヴァンカウテレン マルク  
(株) フィリップス・ジャパンMRクリニカルサイエンス

MRIの高速化は、臨床導入開始と同時に本格化し、現在もお追いつけられていない普遍的なテーマと言えるだろう。

2022年の北米放射線学会で、フィリップスは「Compressed Sensitivity Encoding (C-SENSE)」<sup>1)</sup>のsparse変換&denoise部分をAIに置換した「SmartSpeed AI」<sup>2)</sup>の発表を行った。wavelet変換から得られる空間周波数に限定されることなく、大量のパラメータから高速化に必要な特徴を抽出することで、さらなる高速化の実現をねらう。また、画像再構成AI (deep learning reconstruction: DLR) の一般論として、フルサンプリングされた教師データは入力する学習データに比べてSNRが高くアーチファクトが少ないことから、完成したアルゴリズムは本質的に高画質化AIとなる。本稿では、高速化&高画質化AIプラットフォームSmartSpeed AIを解説し、本特集のテーマである循環器領域における応用例を紹介する。

## ■ 高速化 & 高画質化 DLR: physics-driven

図1に、DLRにおいて代表的な post-processing type (a) と physics-driven type (b) の2つの画像再構成スキームを示す。post-processing type は、フーリエ変換 (FT) や parallel imaging (PI) など従来法による画像再構成後に DLR 処理を行う。教師データにフルサンプリング、高加算、あるいは高分解能画像を用いて学習することで、画質の向上を実現する。高速化技術とは、k空間データのアンダーサンプリングにより発生する折り返しを展開あるいは除去することなので、post-processing type の画像再構成では、高速化そのもの (つまり折り返しの展開) はPIで完了し、高速化に伴い上昇するノイズの低減など高画質化をDLRで行うという役割分担型スキームとなる。

一方、DLRを高画質化だけでなく高速化にも活用するアプローチが physics-driven type である。このアルゴリズムは、FTやPIといった既存の画像再構成技術にDLRを統合する。PIは通常1回のプロセスで折り返しを展開するが、physics-drivenとして用いる場合は、ある適当な初期値を出発点に段階的に折り返しを展開する逐次的 (iterative) アルゴリズムとなり、そこにDLR処理を挟み込んでいく。DLR処理されたデータは再びコイルごとのk空間データに戻され、実収集データとの整合性をチェックした後、次の折り返し展開プロセスへと移行する。折り返しの展開、除去をPIとDLRのハイブリッドで実行することから高速化AIと定義できる。一方、post-processing type 同様、教師データにはフルサンプリングされた画像を用いるので、高画質化機能も備わる。

## ■ SENSE & DLR の ONE-GO physics-driven コンセプト

SmartSpeed AIは、physics-driven のPI部分にiterative SENSEを採用し、同じ繰り返しループの中でSENSEとDLRを実行する (ONE-GO)、ハイブリッド高速化スキームである (図2)。一般論として、PIによる高速化の課題は、g-factorノイズの増幅を低くコント

ロールすることである。g-factorとはPI起因のノイズレベルを示すパラメータで、サンプリングパターン、コイル素子数とそれぞれの感度分布、被写体の大きさおよびコイルとの幾何学的な位置関係によって決まる。SENSEには、ノイズキャンによる各コイルのノイズレベル、リファレンススキャンによるコイルの感度強度や位相分布と被写体の信号分布など、プリスキャンによる事前情報を用いた制約付き重み付け最小二乗法によるg-factorノイズの最小化アルゴリズムが備わっている。さらに、SmartSpeed AIではDLRとの融合を考慮して、k空間内でサンプリング密度が異なる最適ランダムアンダーサンプリングを用いていることから、サンプリング密度に応じた計算の信頼性も重み付け要素に加えて最適解の繰り返し探索を行う。

SmartSpeed AIのAI部分には、「Adaptive-CS-Net」と呼ばれるアーキテクチャを使用している<sup>2)</sup>。Compressed Sensing (CS) やC-SENSEで用いられるwavelet変換は、画像の空間周波数成分を高分解能から低分解能までマルチスケールに変換してマッピングするが、Adaptive-CS-Netもwavelet変換に触発されたU-Net like構造によるマルチスケールアーキテクチャとなっている。このねらいは、高速化に有用なsparseと

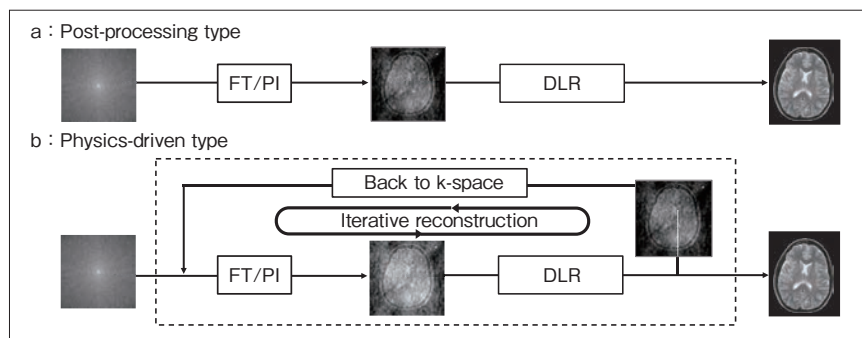


図1 DLRを用いた画像再構成タイプ  
a: フーリエ変換 (FT) あるいはPIなど、従来画像再構成後にDLR処理を行う post-processing type。  
b: FTあるいはPIとDLRをハイブリッドで用いる physics-driven type。DLR処理後、画像空間からk空間に再変換し (back to k-space)、再びFT/PIを行っていく反復スキームとなる。