

SENSE 法¹⁾

1) Pruessmann KP, et al; SENSE: sensitivity encoding fast MRI; Magn Reson Med, 42: 952-962, 1999.

- 同一部位から発生する信号を複数のコイルで検出し、事前に測定されている各々のコイルの感度分布データから、矩形 FOV を設定した時に発生する折り返しアーチファクトをなくす技術
- Image domain での再構成法といえる(図 1 参照)
- 事前に複数のコイルの感度分布データが必要→プレスキャン

mSENSE 法

- コイルの感度分布を本撮像そのものから得る (Auto Calibration あるいは Self Calibration) を採用
- 感度分布マップと本撮像の再現性が高い
- Calibration のデータも画像再構成に利用でき、SNR が向上する
- プレスキャンが不要となる

2) Sodickson DK, Manning WJ, et al : Simultaneous Acquisition of Spatial Harmonics (SMASH): Fast Imaging with Radiofrequency Coil Arrays; Magn Reson Med, 38: 591-603, 1997.

SMASH 法²⁾

- アレイコイルにおける各エレメントの感度プロファイルが、位相エンコードグラジエントの違いによる位相プロファイルと相似していることを利用
- 各コイルエレメントの収集データから、実際には収集していない位相エンコードのデータを作成する手法である
- Raw data domain での再構成法(図 2 参照)

SENSE 法と SMASH 法の画像再構成プロセス

図 1 SENSE : SENsitivity ENCoding for FAST MRI

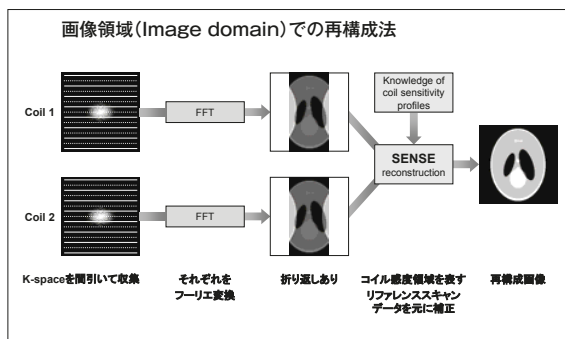
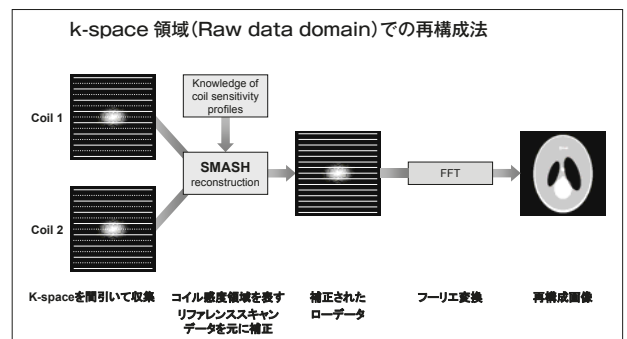


図 2 SMASH : SiMultaneous ACquisition of Spatial Harmonics



3) Griswold MA, Jakob PM, Heidemann RM, et al : CGeneralized Autocalibrating Partially Parallel Acquisitions (GRAPPA) : Magn Reson Med. 47: 1202-1210, 2002.

4) Sodickson DK, et al; Signal-to-noise ratio and signal-to-noise efficiency in SMASH imaging; Magn Reson Med. 41: 1009-1022, 1999.

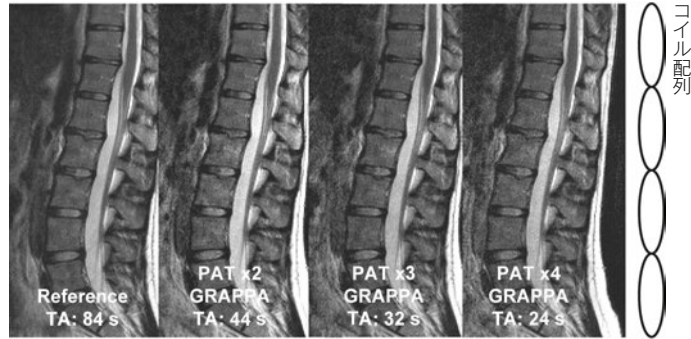
GRAPPA (GeneRALized Autocalibrating Partially Parallel Acquisition) 法³⁾

- SMASH 法の発展型
- Auto Calibration Signal(ACS)の採用
→ k-space のデータを多めに収集し、Fitting に利用することで精度向上と SNR 向上
- Sliding Block Approach を利用した各コイルごとの画像再構成
→ 複数の ACS と収集データの組み合わせが可能となり、計算精度の向上⁴⁾につながるるとともに、各コイルの再構成画像(マグニチュード画像)を最終的に合成することで、位相エラーによる信号キャンセルを防ぐ

GRAPPA の臨床的有用性

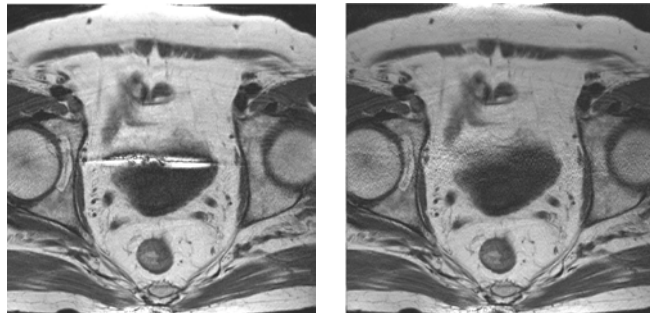
①コイルエレメント配列と撮像断面

脊椎用アレイコイルのように、コイルエレメントが直線状に配列されている場合には、このコイルエレメントの配置されている方向を位相方向に設定することで、GRAPPA 法では本来のアレイコイルの目的である高い SNR を活かすことができる。



②アーチファクト

SENSE 法をベースにした手法では、折り返しが二重になるとその重なりは元に戻すことはできないため、画像中心にアーチファクトが発生する。GRAPPA 法ではこのようなアーチファクトは発生しないため、ギリギリまで絞った矩形 F.O.V においても安心して用いることができる。

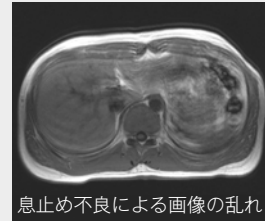


左：SENSE 法を用いた撮像
右：GRAPPA 法を用いた撮像

3D Imaging の高速化のための新しいアルゴリズム

3D Imaging の高速化の必要性

- 息止め時間の短縮
- 同じ息止め時間での高分解能化
- 経時的な撮像ポイント数の増加
 - ➔ 高いパラレル・ファクターが必要



息止め不良による画像の乱れ

問題① エリアシング

② g-factor の増加

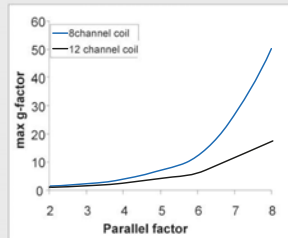
3D Imaging は 2 つのエンコード方向にパラレルファクターを適用することにより、高いパラレルファクターでの短時間撮像を可能とするが、エリアシングならびにそれに伴う g-factor の増加・アーチファクト発生の問題を解決しなければ、臨床応用は難しい。

高いパラレル・ファクターによる撮像の実情

パラレルイメージングを使用した場合の SNR は、使用しない場合の SNR に比して $\sqrt{\text{Parallel Factor}}$ の低下に留まらない。

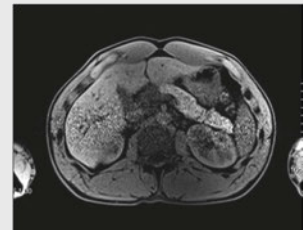
$$SNR_{\text{parallel}} = \frac{SNR_{\text{Full}}}{g\text{-factor} \times \sqrt{R_c F}}$$

- アレイコイル
 - エLEMENT数
 - 幾何学的な配置
- 画像展開アルゴリズム
- パラレル・ファクター …etc



g-factor の増加による画像劣化
アーチファクトの発生

TA = 11sec

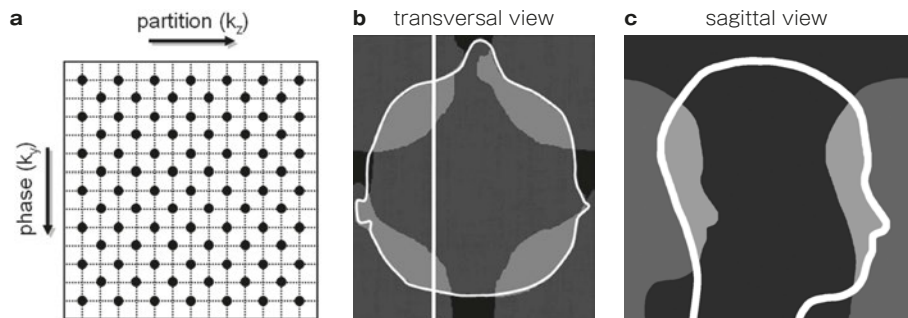


GRAPPA PAT = 3 in PE

CAIPIRINHA * 1 法

- k-space のデータサンプリングポイントをシフトさせながら充填 (下図 a)
- エリアシングの領域をシフトさせ (下図 b, c), g-factor の増加を抑える⁵⁾


* 1 CAIPIRINHA : カイピリーニア




5) Breuer FA, Blaimer M, Jakob PM, et al: Controlled aliasing in volumetric parallel imaging (2D CAIPIRINHA). Magn Reson Med. 55 (3): 549-56, 2006.

CAIPIRINHA 法の臨床応用

- 3D Imaging において高いパラレル・ファクターを撮像に用いた場合にも、アーチファクトを抑えることが可能となる
→ 短時間の息止め撮像や、同一撮像時間での画像の高分解能化への応用へ

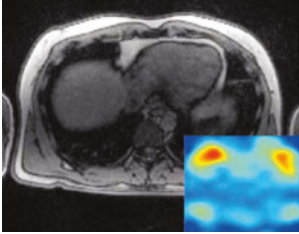
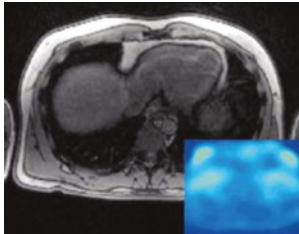


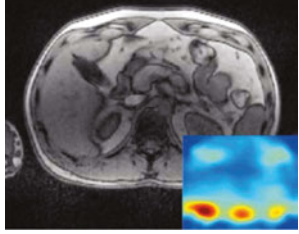
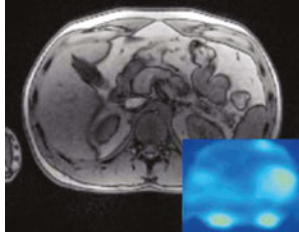
VIBE GRAPPA
2x2



VIBE CAIPIRINHA
2x2

■ がデータの k-space 上のサンプリングポイントを意味する。


4 倍速 9 秒撮影

1.5T MAGNETOM Avanto ; VIBE PAT Factor = 4, extra reference scan matrix 32 x 24 x 24, FOV 400 x 312.5 mm², matrix 320 x 170 x 50, total acquisition time 9 s breath-hold


カラー表示部が g-factor map を表している。

g-factor が顕著に増加している部分が黄色から赤色で表現されており、CAIPIRINHA 法を用いた場合には g-factor の増加が大幅に抑えられていることがわかる。

◆ 画像の比較

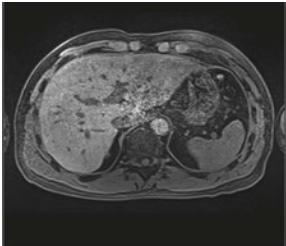
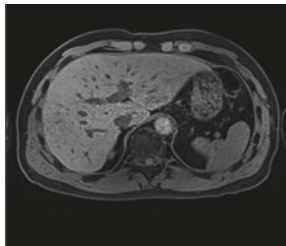


VIBE GRAPPA
2x2



VIBE CAIPIRINHA
2x2

■ がデータの k-space 上のサンプリングポイントを意味する。




4 倍速 10 秒撮影

FOV : 380, Matrix : 320 x 80 %, Slice thickness : 2mm, Partition : 64, TA : 10sec, iPAT : 2(Ky)x 2(Kz) = 4