

株式会社 日立メディコ 「MRI 開発と販売戦略の現在と未来」

1. はじめに

日立は 1987 年に初めて 0.2T の MRP-20 を発売して以来、永久磁石を用いたオープン MRI を中心に開発、製品化を行ってきました。搭載機能やアプリケーションにおいても、ルーチン検査にて十分な性能を備え、近年ではさらなる高画質が得られる新シーケンスや画像処理機能を充実してまいりました。さらに、超電導 MRI 装置においても意欲的に製品化を進め、ラインナップの充実をはかり、低磁場から高磁場までフルラインナップを揃えるに至っています。

今回はトップシェアを誇る永久磁石 MRI 装置とその新技術のご紹介、そして、超電導 1.5T 装置と新たに開発された最先端 MRI 技術をご紹介します。

2. 永久磁石オープン MRI 「APERTO Inspire」

MRI 装置はその優れた軟部組織コントラストと病変検出能、断面設定の自由度により、中枢神経領域、整形外科領域などで特に威力を発揮しています。しかしながら MRI 装置といえどもその特徴をよく理解しなければ被検者に不必要なリスクを与えるおそれがあり、実際の臨床に有用な装置を提供していく必要があると考えております。さらに、近年では 3.0T など超高磁場 MRI も登場し、安全性には十分な注意が要求される状況にあります。日立はこうした高磁場装置とは異なるコンセプトでオープン MRI 装置を開発し、安全性・快適性を追求することで発展してきました。

図1は 0.4T の磁場強度を実現したオープン MRI 装置「APERTO Inspire」です。このシステムの開発コンセプトは「性能」「機能」「経済性」の高次元でのバランスであり、ガントリーデザインの特長はシングルピラー構造による究極のオープン性です。

この装置の開発課題は、

(1) より高い静磁場強度の達成

(2) 漏洩磁場空間の抑制

でした。この課題を磁場発生の効率向上技術により同時に解決し、0.4T で 13,200kg と従来に比べて軽量化を実現しつつ、従来と同じ 4m×5m の撮像室内

への設置を可能にしました。また、最大 22mT/m の傾斜磁場強度を装備することにより、高画質化・高機能化を達成しました。

永久磁石 MRI において重要なポイントとなる静磁場均一度の安定性を向上するアクティブ・シムコイル「SupreShim」を新開発して搭載しました。



図1 オープン MRI 装置「APERTO Inspire」

3. CHESS 法脂肪抑制の実現

安定した静磁場均一度は永久磁石装置でこれまで困難であった機能を可能にしました。その一つが脂肪抑制手法 CHESS (Chemical Shift Suppression) 法です。

従来から用いられていた脂肪抑制手法は IR 法で脂肪信号のヌルポイントに TI を設定して脂肪組織からの信号を抑制する STIR 法です。この方法は造影撮像に使用できないという欠点があります。また、FatSep (水・脂肪分離) 法は水と脂肪の位相ずれを利用して、マルチエコーデータ (in phase, out of phase) から計算により水画像、脂肪画像を作成する手法ですが、TE の設定に自由度がないという問題がありました。このため、CHESS 法の実現が望まれていました。ところが、3.5ppm という水と脂肪のわずかな MR 信号周波数の差を利用して、CHESS パルスにより脂肪組織のみを選択飽和させて脂肪抑制するこの手法は、周波数差の大きい超電導装置では一般的な手法ですが、周波数差の小さい永久磁石装置では、より高い静磁場均一度が要求され実現困難でした。(図2)

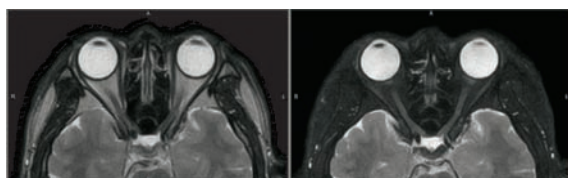
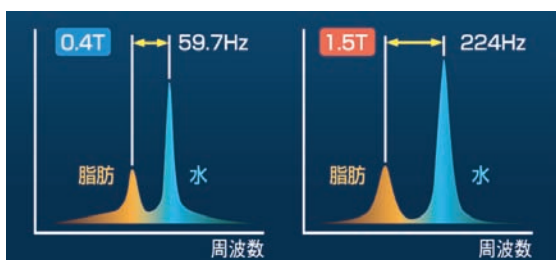


図2 CHESS 法脂肪抑制と効果(眼窩適用:右)

4. 最新のオープン MRI 「AIRIS Elite」

0.3T オープン MRI「AIRIS Elite」の外観を図3に示します。磁石のデザインはオープンマグネットで、やさしさを強調したラウンドフォルムなデザインを採用しました。高速撮像、高機能撮像に対応するため、傾斜磁場システムを大幅にパワーアップし、最大傾斜磁場強度 21[mT/m]、スリューレートは 55[T/m/s]です。患者テーブルは上級機「APERTO Inspire」と同様のガントリー内で横移動可能なラテラル・スライドテーブルを採用しています。さらに、コンソールには高速な Dual CPU を搭載し、より効率的な検査を可能としました。



図3 AIRIS Elite の外観

5. 「AIRIS Elite」開発の課題

高速撮像や高機能を実現するためには、多数の傾

斜磁場パルスを短時間に印加する必要があり、傾斜磁場が所定の強度に達するまでの所要時間は撮像時間に直結します。このため、「AIRIS Elite」では強力な傾斜磁場電源を装備しました。これにより最短 TR=4[ms]、最短 TE=2[ms]を実現しています。また、さらに画質を向上するため、新たな開発を行いました。

(1) 信号受信帯域幅の低減

強力な傾斜磁場は画質の向上にも有効です。傾斜磁場の印加時間を短縮することで時間に余裕ができ、その余裕時間を信号受信に用いることで信号受信帯域幅を低減し、画像 SN 比を改善できます。これは画像 SN 比が受信帯域の $\sqrt{\quad}$ に反比例して向上し、例えば受信帯域を 50%に低減すると、画像 SN 比は約 40%向上します。

(2) 渦電流の補正 (ECC:Eddy Current Control)

傾斜磁場パルスの印加に伴って発生する渦電流が画像に影響を与え、様々な画質劣化を引き起こします。また渦電流は強力な傾斜磁場パルスを使用するほど顕著に発生するため、特に高速、高機能撮像での障害となります。強力な傾斜磁場を備えた「AIRIS Elite」では、渦電流の発生を抑制・補正する機能が重要です。日立の永久磁石 MRI 装置は従来から渦電流の発生しにくい素材を用いてこの問題に対処してきました。今回、これに加えて渦電流の発生を予め予測し、補正する機能「ECC」を新たに開発して搭載しました。これにより渦電流の影響を大幅に抑制することができました。

(3) 温度変化の抑制

永久磁石の特性として、磁石温度の影響があります。「AIRIS Elite」は強力な傾斜磁場システムを備えており、傾斜磁場コイルに流れる電流による発熱が問題となりました。このため共鳴周波数の変動をモニターし、撮像中の周波数を一定に保つ制御機能を搭載しています。

6. 「AIRIS Elite」画像例

図4に頭部の T1 強調像、T2 強調像、FLAIR 像を図5には頸椎の T2 強調像を示します。右は脂肪抑制を

併用した画像ですが、高磁場装置では気道などにより磁場が乱されるため良好な脂肪抑制が困難な部位においても、良好な抑制効果が得られています。

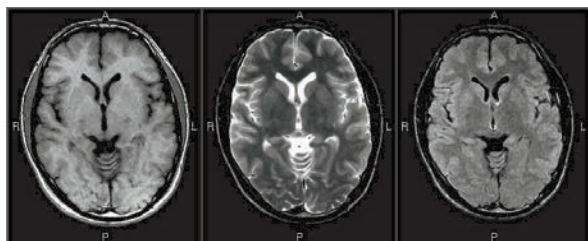


図4 頭部ルーチン画像
(左:T1強調像、中:T2強調像、右:FLAIR像)

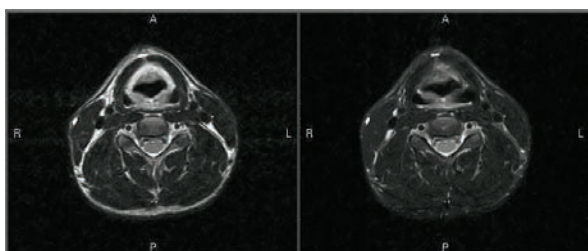


図5 頚椎画像 (左:T2強調像、右:脂肪抑制)

7. オープン MRI 最新アプリケーション

「ASCENDING 6.0」

7-1. TRAQ

TRAQ (Time Resolved Acquisition:トラック) はリアルタイムに近い時間分解能を持った造影 MRA アプリケーションです。この機能は、造影 MRA 撮像時に連続的に高速撮像を行い、時間経過に伴う造影剤の動きを画像化するものです。撮像手法は、X線を用いた DSA (Digital Subtraction Angiography) 装置のように通常画像をあらかじめ撮像しておき、造影剤注入時にサブトラクションしながら連続に高速撮像を行うものです。このとき、画像差分のやり方に2種類あり、「フィックスモード」は造影剤注入前の画像との差分、「ムーブモード」は1つ前の画像を順次差分するモードです。この「ムーブモード」では頭部のような動静脈の還流の速い領域でも動静脈の重なるの少ない画像が得られます。TRAQ は、造影検査の延長として、MR-DSA を行うことができます。通常の造影検査で、造影剤を注入している間に TRAQ を実行し、検査時間の延長がほとんどなく、造影撮像に加えて血流動

態情報を付加できます。図6は TRAQ による頭部撮像例です。動静脈奇形が明瞭に描出されています。

3D 計測でこの TRAQ を用いる場合、高速な3D 撮像技術が必要になります。日立の PAPE (Partial Phase Encoding:ペイプ) は高速撮像を連続的に行う際に、撮像情報を部分的に更新することで順次画像を得る方法です。図7に示すように、k空間を分割し、コントラストに寄与する中心部分を重点的に取得し、周辺部分を間引くことで連続した撮像時間を短縮します。PAPE を用いた3D TRAQ では5秒程度の撮像時間で3D での計測が可能です。図8の腹部適用例では腎動静脈及び門脈の時相が分離され良好な画像が得られています。

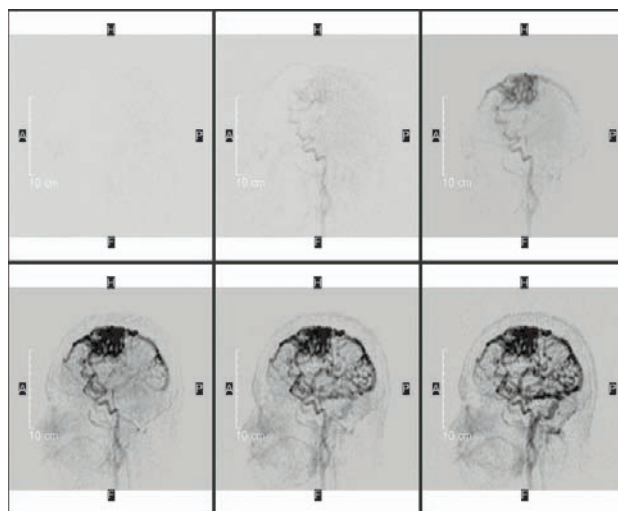


図6 TRAQ 0.3T 頭部撮像例 1フレーム/秒

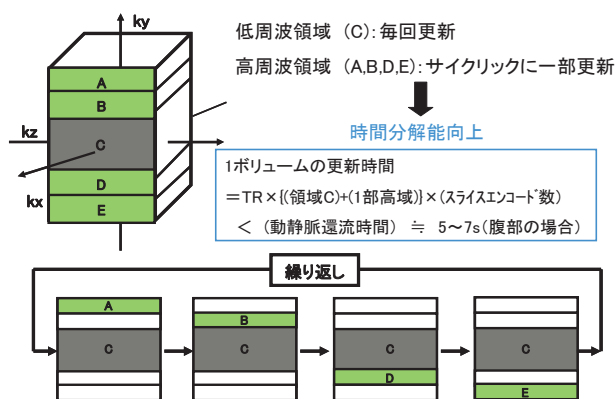


図7 PAPE の原理

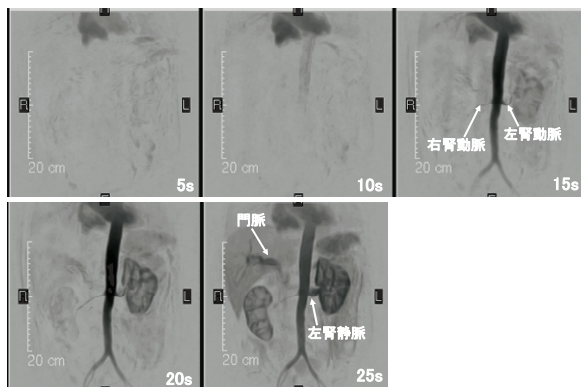


図8 3D TRAQ 画像例(0.3T) 1フレーム/5秒

7-2. FLUTE

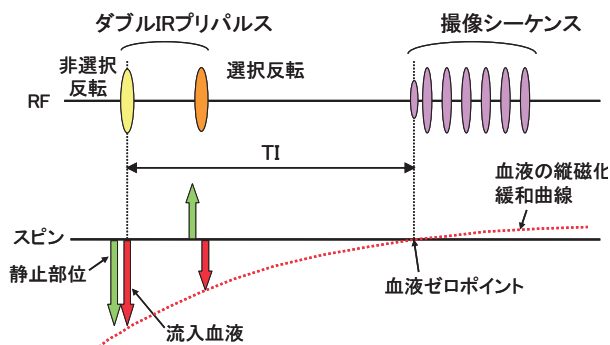
造影 MRA ではスキャンのタイミングが重要です。FLUTE(Fluoro Triggered Exam:フルート)は TRAQ による MR 透視で造影剤到達をモニターしながら造影撮像のスタートを行うものです。これまでは、テストインジェクションを行い、少量の造影剤で到達時間を観察してから撮像を行っていましたが、FLUTE は TRAQ により造影剤到達を画像で確認して撮像開始(開始は手動)するので、タイミングミスによる撮像失敗のリスクを低減することができます。

7-3. Black Blood imaging

血液の信号を抑制することにより、血管内腔の信号を落とし、心筋や血管壁を描出する手法です。

この手法の原理は、図9に示すようにスライス選択をしない全体励起によって IR(Inversion Recovery)撮像を行い、血液にフォーカスした TI を設定すると FLAIR 撮像と同様に血液の信号を落とすことができます。しかし、このままではスライス内の水成分も信号低下するので、スライス面内のみの縦磁化を回復する IR パルスをさらに印加します(ダブル IR)。このとき、撮像面内の血液は信号取得までにスライス面外に流出するので画像化されません。さらに、脂肪にフォーカスした IR パルス(トリプル IR)を用いると脂肪抑制も併用することができます。

中低磁場装置では高磁場装置と比較して、血液の T1 値が短くなるので(1.5T 約 1200ms、0.4T 約 925ms)、TI 値を短くできる利点があります。



スライス面内の血液はスライス非選択 IR パルスによりスピンの反転された後、スライス選択 IR パルス印加時には撮像スライスから流出する。流入する血液は TI を血液のゼロポイントに設定することで低信号となり、撮像スライス面内の血液を抑制できる。その他の組織はスライス選択 IR パルスの印加により、信号を生じる。

図9 Black Blood シーケンス

図10に心臓の Black Blood 適用例を示します。心内腔が低信号となり心筋の形状が明瞭に確認できます。図11の頸部適用例では血管内腔の描出が可能で、血管壁のプラークイメージングへの発展が期待されています。

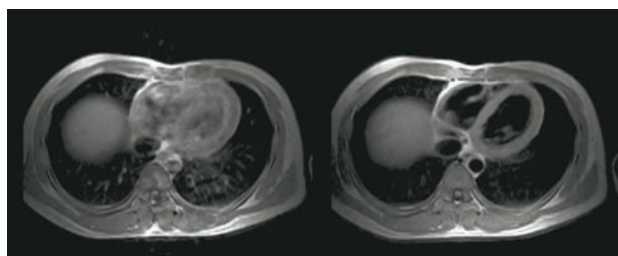


図10 0.4T Black Blood による心臓の形態画像
(左:FSE 画像 右:BB 画像)

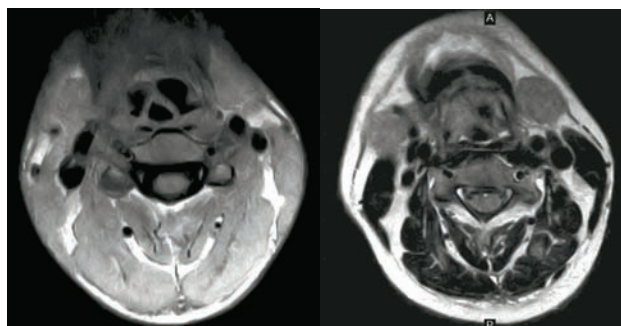


図11 0.4T 頸部 Black Blood 画像
(左:T1 強調画像 右:T2 強調画像)

臨床現場では安全で効率的な検査が求められています。その点において永久磁石によるオープン MRI は最適なソリューションを提供できると考えています。今後もさらに高性能化とオープン化に取り組み、より快適な検査環境を提供していきます。

8. 1.5T 超電導 MRI 「ECHELON Vega」

日立の超電導 MRI 装置「ECHELON Vega」は、被検者にやさしい検査環境の提供、高機能アプリケーションのサポート、将来の高い拡張性、機能と良好な操作性の両立、充実したリモートメンテナンスを特長とした最新の MRI システムです。

ガントリー長 160cm のショートボア、強力な傾斜磁場システム(33mT/m、150T/m/s)を備え、高機能撮像シーケンスが実現できる基本性能となっています。超電導 MRI 装置の高い撮像機能を実現するために、多くの新技術が開発されました。

ここではこれらの最新技術についてご紹介します。



図12 「ECHELON Vega」

8-1. HOSS

高機能アプリケーションの適用には高い静磁場均一性が必須です。これは、磁石の基本性能だけでなく、生体の磁気的影響を補正するシミング技術が鍵となります。これまで、一般的な高磁場装置では1次のシミングが用いられていました。これは空間に直線的な磁場不均一があるとみなし、その傾きに依拠してシムコイルに流す電流量を制御して磁場均一性を向上させるものです。しかし、生体に起因する静磁場不均一は生体の形状に依存し、2次以上の空間的な成分

を有します。従って、1次シムではこのような高次の静磁場不均一は補正できません。当社の検討によると、特に体軸方向の2次シミングが静磁場の均一性向上に大きな役割を果たすことがわかってきました。また、膝や手首、肩などの四肢撮像では、局所の磁場不均一を安定に抑制する、リージョナルシミングが有用であることもわかりました。このような高次シム技術は、かつては研究用にのみ用いられていましたが、補正電流の設定が困難であるため臨床装置では普及していません。「ECHELON Vega」では、高次シミングの電流決定を全自動で行うアルゴリズムを実用化し、2次のアクティブシミングとリージョナルシミングの双方が簡便な操作で可能になりました。

このように生体が存在する実際の撮像状態において、高い静磁場均一性を保つ技術 HOSS (High Order Shim System:ホス)を搭載しました。

8-2. RAPID

高磁場装置では高速撮像の必要性、SAR の低減、受信信号の効率的な利用からパラレルイメージングが重要な技術となっています。日立では RAPID (Rapid Acquisition through a Parallel Imaging Design:ラピッド)を「ECHELON Vega」において、プリスキャン・キャリブレーション法とセルフ・キャリブレーション法の選択が可能な機能を実現して搭載しました。プリスキャン・キャリブレーション法では、撮像の前に補正データを取得するため、複数の撮像シーケンスに対して補正データを共用することができます。また、セルフ・キャリブレーション法は撮像中に同時に補正データを取得するので、動きのある部位でも RAPID を効果的に適用できる利点があります。

(SAR:生体の高周波吸収率)

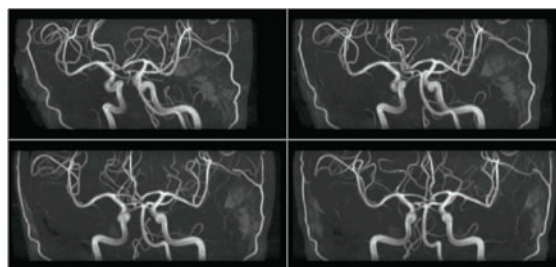


図13 RAPID による頭部 MRA 画像

8-2. RADAR

通常の撮像ではエコー信号の取得は周波数エンコード方向と位相エンコード方向が直交的で、周波数方向、位相方向の区別があります。このため、画像の位相方向に対して、動きのアーチファクト成分が結像します。そこで、これらの方向を回轉的に撮像し、放射状にデータを採取するラディアルスキャンにより動きのアーチファクトを抑制することができます。ラディアルスキャンは、画像コントラストに寄与する受信データの中心部分を密に、周辺部分を疎に採取する特徴があります。さらに、「ECHELON Vega」では直交方法とラディアルスキャンを組み合わせたハイブリッド・ラディアルスキャンも選択できる RADAR (RADial Acquisition Regime : レーダー) を搭載しました。RADAR は撮像断面やシーケンスの自由度が高い点が特長です。

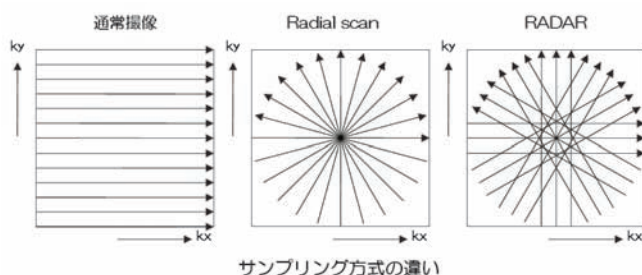


図14 ラディアルスキャンの概要

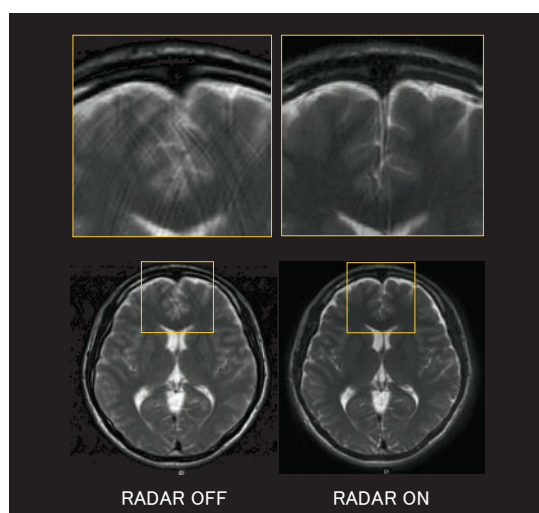


図15 RADAR 頭部適用画像例

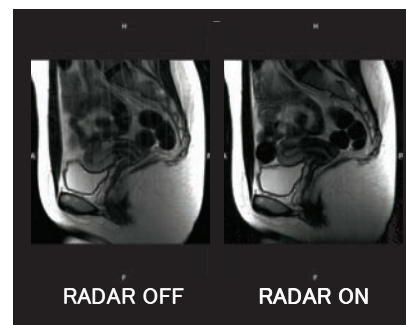
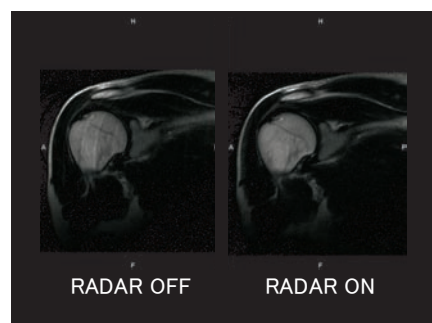


図16 RADAR 適用画像例

8-3. プロトンスペクトロスコピー (MRS) 解析機能

「ECHELON Vega」の高い基本性能を活用し、MRS解析機能を搭載しました。この機能は、これまで煩雑であった MRS の計測と信号処理において、マニュアル調整やマニュアル信号処理を排除して、臨床での利便性を高めた点が特長となっています。MRS の解析表示例を図17に示します。

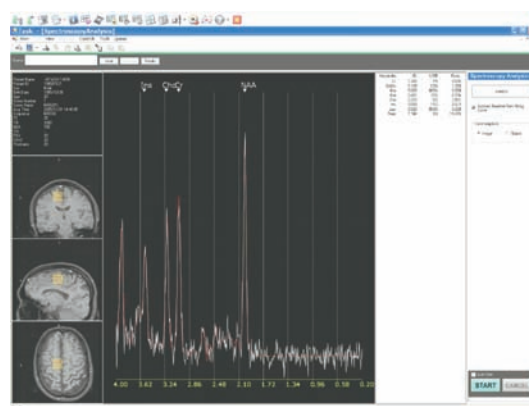


図17 MRS 解析例

8-4. prime FSE

prime FSE は進化した最新の FSE シーケンスです。ルーチン撮像で重要な FSE において、複雑な撮像パラメータを最適化し、常に画像を最適に保つことができます。まず、シーケンスパラメータの実効 TE とバンド幅の入力により、その他のパラメータが自動的に最適化され、エコーシフト時のエコー配列が滑らかにつながるようにデザインされます。これにより、画像アーチファクトを低減できます(図18)。さらに、最短 IET(インターエコータイム)が選択され、フローアーチファクトも低減します。デュアルコントラスト撮像時には、それぞれのシーケンスが独立してデザインされるため、PDWIとT2WIのコントラストを良好に保つことができます。また、Heavy T2WI 撮像時に TE の短いエコー成分を除くことで、高い画像コントラストを実現します。このように、FSE の画像を改善する様々なテクニックを総合した技術が prime FSE です。この画像例を図19、図20に示します。prime FSE ではシーケンスの最適デザインで画像のアーチファクトが改善されています。

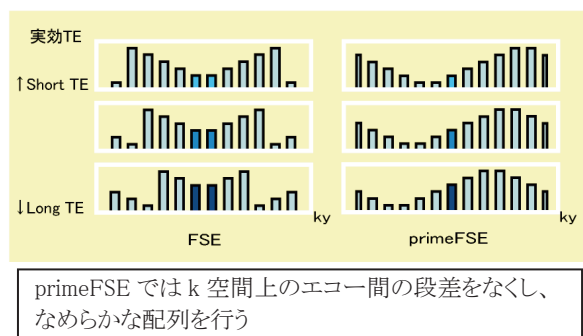


図18 primeFSE のエコー配列の違い

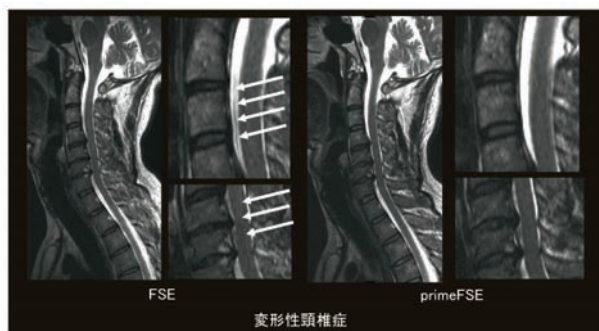


図19 アーチファクトの低減効果

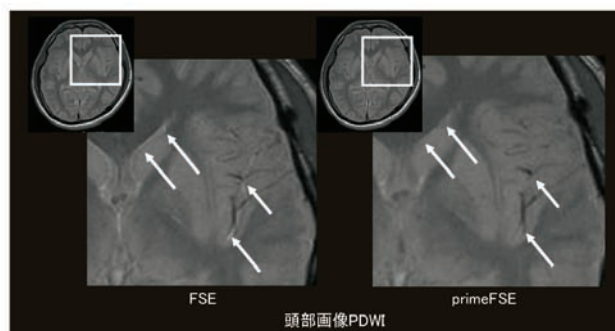


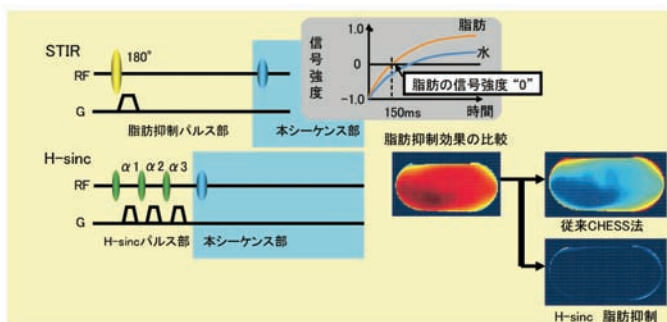
図20 エッジエンハンスの低減

8-5. 脂肪抑制手法 H-sinc

高磁場 MRI では脂肪信号の抑制が重要な技術です。「ECHELON Vega」では新たに開発した脂肪抑制パルスを開発しました。

H-sinc(H ジンク)は日立独自の広範囲脂肪抑制手法です。RF 照射不均一の影響が少ないという特長があり、体幹部などの周辺で特に高い効果があります。この手法は図21に示すように、CHESS パルスを複数回印加し、さらにその位相や信号強度を調整した最適化パルスを使用することで、安定した脂肪抑制を得るものです。STIRの効果を持たせたCHESSパルスによる脂肪抑制で、脂肪の null point である TI(約 150ms)より短い TI を設定することができます。

図22に脊椎領域と体幹部の H-sinc 脂肪抑制画像を示します。H-sinc では広範囲で高い脂肪抑制効果が得られています。図23は膀胱腫瘍と耳下腺腫瘍の脂肪抑制 T2WIですが、磁化率による不均一の影響を受けやすい頸部領域においても良好な脂肪抑制効果が得られています。



STIR の IR パルスで脂肪を選択的に励起し、さらに脂肪のスルポイントである TI:約 150ms を待たずに、より短い TI を利用できるように分割して IR パルスを照射する

図21 H-sinc の原理



図22 H-sinc 脂肪抑制の効果

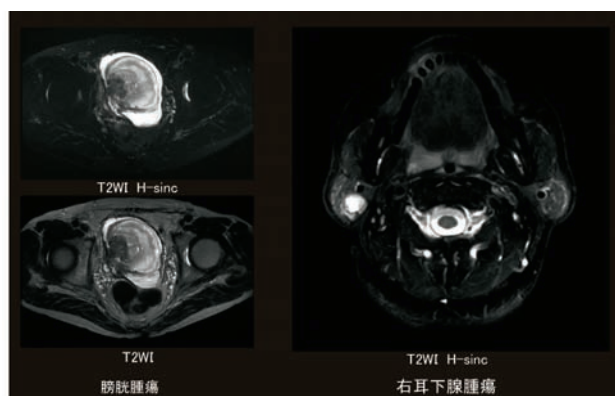
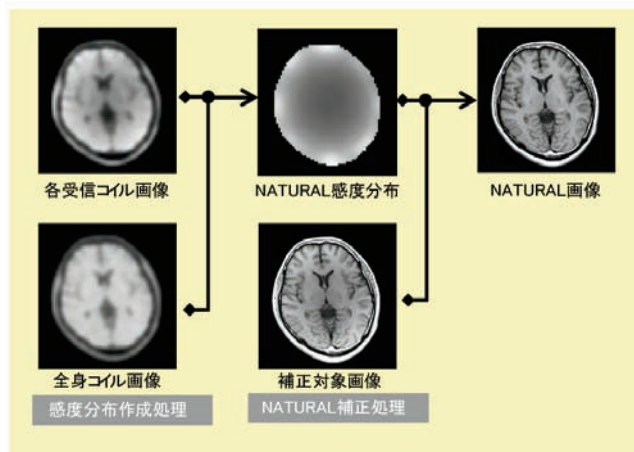


図23 H-sinc 脂肪抑制の臨床適用例

8-6. NATURAL

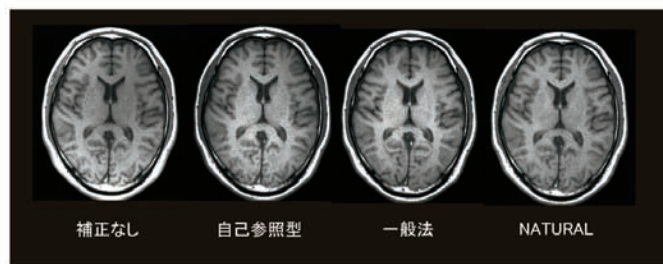
最新の高感度受信コイルは RAPID 対応も含め、マルチチャネル化が進んでいます。このような多チャネルコイルは感度が向上する反面、受信感度の均一性においては低下し、感度補正を行う必要があります。例えば、頭部において8チャンネルのマルチコイルは、コイルエレメント近傍の頭表部位は高い感度がありますが、中心部位では感度が低下し、画像が暗く表現されます。そこで、この受信コイルの感度分布をあらかじめ測定しておき、この情報と画像の大まかな明るさ分布を基に中心輝度を持ち上げる自己参照型補正手が用いられます。しかし、この手法では被写体の大きさによる感度分布変化に対応できず、不要な画像ノイズが持ち上がってしまい、病変による信号低下への影響などの問題があります。「ECHELON Vega」に搭載した新たな感度補正手法 NATURAL (NATural Uniformity Realization Algorithm: ナチュラル)は、図24に示すように、ガントリーに内蔵された均一性の高い照射コイルで受信を行い、撮像した参考

画像を基準として、感度の均一補正を行なう技術です。さらに、NATURAL は、これまでの画像自体で補正を行う自己参照型補正のアルゴリズムも併用利用することにより、より正しい感度補正を行うことができます(図25)。



個々の受信コイルから得られたそれぞれの画像と、均一な感度分布を持つガントリーコイルから受信された画像を比較して感度補正を行う

図24 NATURAL の原理



自己参照型:あらかじめ求めた受信コイル感度分布と、画像データの低周波領域から得た輝度傾向を用いて均一補正を行う
一般法 :ガントリーコイルの均一な感度分布を基準にして、マルチコイルの個々の感度を補正する
NATURAL :一般法に自己参照型のアルゴリズムも同時に用いて、より正しい補正を行う

図25 NATURAL の効果

以上、述べた新技術の搭載により、「ECHELON Vega」は高い撮像機能と高画質撮像が可能となりました。今後も高い基本性能を活用した最新のアプリケーションを開発し、搭載してまいります。

MRI 開発と販売戦略の現在と未来

GE 横河メディカルシステム (株) MR セールス&マーケティング部

打木 薫和

GE Healthcare は、第 36 回日本磁気共鳴医学会 (2008 年 9 月 11 日～13 日、旭川市民文化会館)において「Premium Volume MR」のコンセプトをもとに開発された Signa HDxt 1.5T を発表しました。

本製品は、ルーチン検査において全身各領域で高画質な Volume 撮像を可能とし、さらに従来の MRI では解決困難な局所的磁場不均一によるアーチファクトを低減した新機能を搭載する MRI です。

本稿では、今後 MRI 検査で必要とされる Volume 撮像及び、これらを発展させる新しいアプリケーションを中心に紹介します。

■Volume MR を実現する 3 つの要素

従来、MRI ルーチン検査はスライス中心の 2D 撮像がメインでした。しかし、より小さな病変の観察/診断ニーズの高まり、より高い生産性への要求、さらに MDCT (Multi Detector – row CT) や画像保管・管理システムの登場もそのニーズに拍車をかけ、特に近年、MR においても Volume 撮像へのニーズが高まってきました。Volume 撮像における最大の利点はスライス方向への高分解能化 (薄いスライスでの撮像) と、アイソトロピック (等方性) ボクセル画像の再構成による診断能の向上ですが、これを高いレベルで実現するためには S/N (信号雑音) 比の向上、高いリコンストラクション (画像再構成) 性能、各部位に適した Volume アプリケーションという三つの要件を満たす製品性能が必須となります。以下、各性能について、説明します。

1. S/N (信号雑音) 比の向上

十分な S/N (信号雑音) 比を確保するためには高性能なフェイズドアレイコイルが必須となります。従来の 2D (スライス) 撮像では 3～5mm のスライス厚によるデータ収集が一般的に用いられてきましたが、後述する Cube を始めとする Volume 撮像では 0.8～2mm のアイソトロピック (等方性) ボクセルによるデータ収集が行なわれるため、コイルに求められる性能、高い S/N を得ることが特に重要となります。Signa HDxt では、HD コイルと呼ぶ全身各領域に最適化されたデザインをもつ 8 チャンネル以上の高性能フェイズドアレイコイルを有しており、LAVA や VIBRANT、TRICKS といった GE の代表的な Volume アプリケーションと組み合わせることで高品位な画像を得ることができます。(図 1)

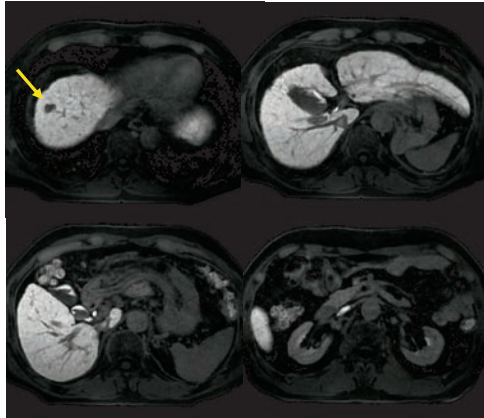


図1 (1) LAVAダイナミック

Gd-EOB-DTPAでの肝細胞造影相において
良好なコントラストが得られている。

(画像ご提供：古賀総合病院様)

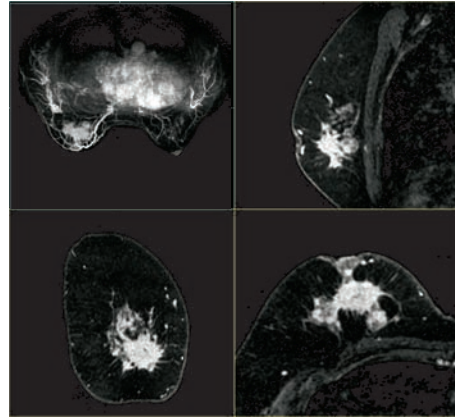


図1 (2) VIBRANT (両側同時乳房撮像)

Volumeデータとして取得後、
任意の断面にリフォーマットした例

(画像ご提供：北里大学様)

2. 高いリコンストラクション(画像再構成)性能

その一方、Volume 撮像によりもたらされる膨大な画像データが検査効率の低下を引き起こさないためにも、リコンストラクション(画像再構成)エンジンの性能の向上は非常に重要な要素となります。そこで、GE では将来性も踏まえて旧モデルから自社従来比で約4~6倍までリコンストラクションスピードを高速化したXVRE (eXtended Volume Reconstruction Engine)を搭載することによりストレスを軽減した検査環境を構築しています。

3. 各部位に適した Volume アプリケーション

従来のスライスデータ収集による撮像ではなく、アイソトロピックデータをはじめとした Volume(3D)データ収集をGE HealthcareではVolumeアプリケーションと呼んでいます。多様なVolumeアプリケーションの中でも特に評価をいただいているアプリケーションとして、腹部ダイナミック3D撮像を可能とするLAVA、両側乳房の同時3D撮像を目的としたVIBRANT、四肢/末梢血管の形態と動態を観察可能なTRICKS等は高品位な画像を提供する代表的なVolumeアプリケーションです。

これら高性能フェイズドアレイコイル、高速リコンストラクション、そしてVolumeアプリケーションが三位一体で有機的に作用するSigna HDxtは、真の「Volume MR」として、より多くの臨床情報を提供することが可能であり、今後のMR検査、診断において大きく貢献することが期待されます。(図2)

部位	HD Coil	Volume Application	Reconstruction	Volume撮像
頭頸部	 8ch	Cube / Volume Diffusion	 2700枚/秒 256×256マトリクス、 Full FOVにて	◎
脊 椎	 8ch	COSMIC		◎
乳 房	 8ch	VIBRANT		◎
体幹部	 8ch	LAVA / 3D Dual Echo		◎
心 臓	 8ch	FIESTA		◎
血 管	 8ch	TRICKS		◎
手 首	 8ch	3D SPGR		◎
膝	 8ch	Cube		◎

図 2

Volume MR を実現する 3 つの要素 (HDxt 1.5T の例)

各部位に最適化されたコイルと各領域別のアプリケーション、そして超高速リコンストラクションとがバランスよく揃っていることが重要です。

■Volume MR を発展させる新しいアプリケーション

GE Healthcare が提供する Signa HDxt シリーズでは、この Volume MR のコンセプトをさらに発展させる次世代 Volume アプリケーションとして Cube および IDEAL という新技術を搭載しています。

1. Cube

Cube は、アイソトロピックな Volume データで T2 強調画像やプロトン密度強調画像、FLAIR 画像を得ることができる撮像法です。アイソトロピックな分解能を有するため、一度撮像を行えば後から任意の断面にリフォーメーションを行なうことで高品位な画像を提供することが可能です。(図 3) 従来の 3D 高速スピネコー法では、エコートレインを長くすると、T2 減衰によるブラーリング(画像のボケ)が問題となるほか、実効 TE が延長するため、おもに MRCP などの Heavy T2 強調画像の撮像に用途が限定されていました。Cube では RF パルスの最適化を行っていることで、非常に長いエコートレインでのデータ取得と、通常の高速スピネコー法と比較して画像コントラストが大きく変わることはない、良好な高分解能画像を取得することが可能です。(図 4) さらに、今回新たに加わったパラレルイメージング手法である ARC を併用することで、FOV を絞って空間分解能を向上させたパラレルイメージングによる撮像も可能となりました。これにより、高分解能な画像が短時間で容易に取得できるようになり、Volume 撮像のメリットを最大限活かすことができます。この技術は通常の 3D 高速スピネコー法より小さな RF パルスを連続的に用いるため SAR の大幅な低減が可能で、3T のような高磁場 MRI 装置では特に有用です。

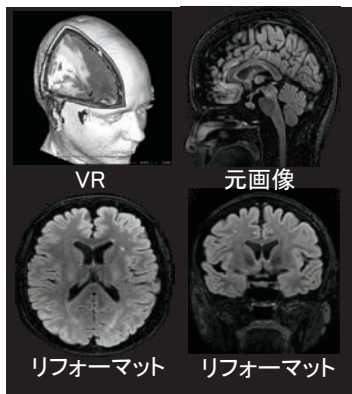
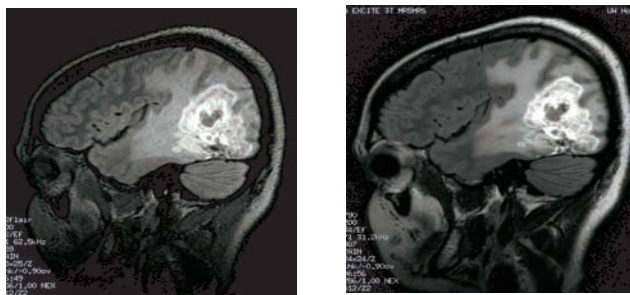


図3 Cube によるFLAIR撮像

アイソトロピックな分解能で撮像しているため
リフォーマットしても良好な画像が得られる。



a: 従来の3D FLAIR

b: CubeによるFLAIR

図4 CubeによるFLAIR撮像

Cubeではエコートレインを長くしても良好なコントラストが得られている。

2. IDEAL

IDEAL (Iterative Decomposition of water / fat using Echo Asymmetry and Least -squares estimation) は従来の MRI では解決困難な、局所的な静磁場不均一によるアーチファクトを低減する新しい撮像手法です。従来、MRI では撮像対象(人体等)が何も入っていない状態では高度な磁場均一性を有しておりますが、その中に撮像対象が入ることにより、その形状等によって局所的な磁場不均一が生じ、その結果、脂肪信号の抑制が困難になる場合があります。こういった場合にも安定した脂肪抑制を提供できる技術が IDEAL です。原理的には、一度に異なる3つのTEでデータ収集を行い、得られたデータからピクセル単位で静磁場不均一性を計算します。これを「フィールドマップ」と呼んでいます。これら3つのデータと「フィールドマップ」により水と脂肪の正確な分離画像を得ることが可能です。従来法では均一な脂肪抑制効果が得られにくかったオフセンタ等での撮像や、局所磁場不均一の影響により十分な脂肪抑制効果が得られない部位においても確実な水脂肪分離を行なうことができます。(図5) なお、IDEAL はグラディエントエコー系の撮像のみならず、ルーチン撮像で多用するFSE(高速スピネコー)法にて使用することが可能です。

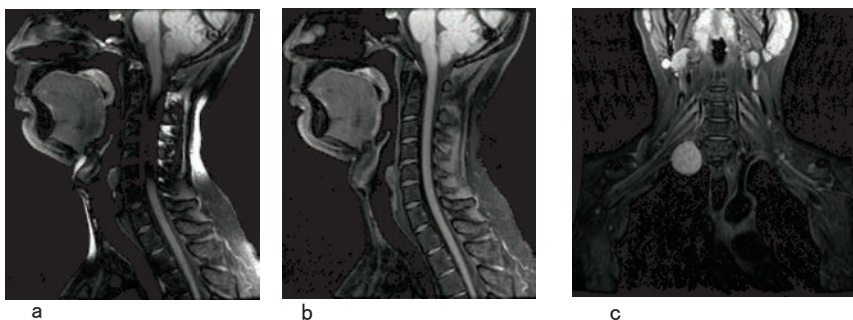


図5 IDEALの効果

a: FatSAT (CHESS法) における脂肪抑制不良の例。

b: IDEALを用いたFSE (水画像) により均一な脂肪抑制が得られている例。

c: IDEALを用いたFSE (水画像) により均一な脂肪抑制が得られ、病変部及び腕神経叢が明瞭に描出されている。

GE Healthcare は「Volume MR」のコンセプト、すなわち MR の持つ多様なコントラスト情報を活かし、特にスライス方向への空間分解能をさらに向上させ、かつ日常検査に無理なく組み込むことを目指して、今後もハードウェア、ソフトウェアの開発を目指していきます。

■MRI の今後の展望について

ここでは、本年の国際 MR 学会 (ISMRM2008) での MRI のトピックスから、MRI を用いた定量性に関する二つの技術をご紹介します。

1. MR Elastography (MR エラストグラフィー:MRE)

MR Elastography (MRE) は外部のトランスデューサーから体内へ振動波を与え、その伝播の様子を MR で撮像・解析し、非侵襲に体内組織の堅さを測定する技術です。今年の ISMRM では、臨床評価で肝臓の堅さ測定における定量性の正確さ、再現性に関する発表があり、MRE はますます研究から診断領域に近づいてきました。

大会期間中の GE のランチョンセミナーでは、MRE 研究の先駆者である Mayo クリニックの Richard L. Ehman 氏に講演頂きました。先生のご発表では肝繊維化診断において、MRE で 2.93kPa 以上の生体(組織)断性率がある場合、感度 98%、特異度 99%と高い値を示すことを発表されました。また、繊維化の程度もわかるとのことでした。すでに肝臓を対象とした 300 例以上の臨床研究が行われているようです。MRE は 1 回の息止めで広範囲に、かつ定量的な評価が可能であり、肝繊維化や肝硬変の診断に肝生検の代わりの検査法として期待されています。また、頭部、乳房などへの応用も挙げられています。

2. 脂肪/鉄の定量評価:T2*-IDEAL

前述の新技术 IDEAL は、計算過程において各ピクセルの磁場不均一量を求めた「フィールドマップ」を作成することにより、局所的に磁場が不均一な場所においても安定した水脂肪分離を可能としています。この水脂肪分離画像を用いて、脂肪の定量評価の研究も盛んに行われています。

しかしながら、肝臓において鉄の蓄積がある場合は T2*減衰の効果がデータに影響を与える可能性があります。そこで、IDEAL における収集 TE のデータ数を増やして、水・脂肪分離画像及び T2* Map (R2* Map) を計算できるようにしたのが T2*-IDEAL と呼ばれている技術です。この方法は、より正確な生体内の鉄、及び脂肪の定量評価に期待されています。ウィルス性の B 型及び C 型肝炎やアルコール性肝障害、また近年では欧米ではもとより国内においても食習慣の変化に伴い急速に増加していると言われている非アルコール性脂肪性肝炎 (NASH) など、びまん性肝疾患に対する MRI による定量的な評価にその応用が期待されています。

MRI 開発と販売戦略の現状と未来 新しい撮像技術と製品計画

東芝メディカルシステムズ株式会社
MRI 事業部 国内担当 後藤克人

——記事内容目次——

1. はじめに
— 東芝の製品開発への取り組み —
2. MRI 装置に求められるニーズの具現化
— 製品開発の歴史 —
◇ ハードウェア開発の進化
2-1 閉塞感のある検査空間を改善
2-2 検査時の騒音の緩和
2-3 患者さんに負担の少ない検査
◇ ソフトウェア開発の進化
2-4 非造影 Total Vascular Care Imaging への取り組み
Time-SLIP 法
FSBB 法
2-5 Total Care Imaging への取り組み
JET 法
Enhanced Fat Free 法
3. 東芝の装置開発と販売戦略について
4. まとめ

1. はじめに
— 東芝の製品開発への取り組み —

MRI 装置は任意断面の撮像が可能で、軟部組織のコントラスト分解能が高いことなどから、画像診断の中心的な役割を担っている。開発当初から現在に至るまでのハードウェア・ソフトウェアのめざましい進歩は、新しいさまざまな臨床応用を可能にした。

これからの MRI 装置にはさらなる診断精度の向上、検査範囲の拡大、検査効率の向上による検査待ち時間短縮、患者さんの負担の少ない検査の実

現が求められている。

東芝は、多様化するニーズに対し、検査を受ける患者さんへの優しさを中心に据えた “For The Patients” という開発視点を持ち、より診断に有用な高画質、スピーディーな検査、患者さんがリラックスできる新しい診療価値として “Made For Life” の実現を目指している。「短軸」「静音」「非造影」技術をベースにして、より高精細に、より広領域に、形態・機能・動態を見ることができる MRI 装置の技術開発を継続している。

本稿では、東芝が実現してきたハードウェアの技術革新の歴史について紹介し、現在販売している最新型 1.5T 装置 EXCELART Vantage シリーズ[図 1]で実現したソフトウェア技術と最新のアプリケーションを紹介する。



[図 1] 装置外観 EXCELART Vantage シリーズ

2. MRI 装置に求められるニーズの具現化
— 製品開発の歴史 —

◇ ハードウェア開発の進化

MRI 装置を構成する要素技術は大きく分けて、静磁場、傾斜磁場、RF システム、コンピュータ、シーケンスの 5 つの要素カテゴリに分類される。単純に個々の要素技術が優れているだけではなく各要素が目的に見合った高いレベルで融合することで、新たな臨床画像を提供することができると考えている。

また、MRI 装置性能向上には、検査における問

題点の克服が必要不可欠と考え、要求を具現化することが、臨床のゴールをめざす最善の道筋であると考えた。以下に開発の立脚点になったニーズの一部を記載する。

MRI 検査の問題点とニーズ

1. 閉塞感のある検査空間を改善したい
2. 検査時の騒音を緩和したい
3. 患者さんに負担の少ない検査を実現したい。

東芝は、EXCELART Vantage シリーズの開発にあたり上記を克服する技術革新の集積を V-Technology と名付けた。より速く、より質の高い診断情報を提供するために根幹となる要素技術に新世代のブレイクスルー技術を開発した。V-Technology によってルーチン画質から最先端アプリケーションまで、従来と比べ、高い診断能を実現したのである。

V-Technology

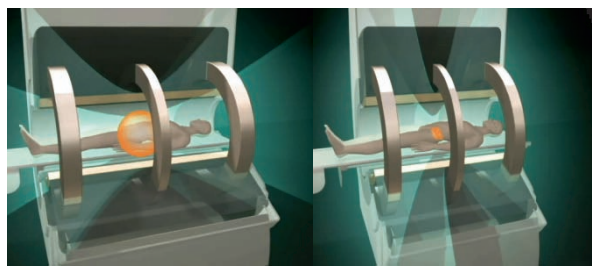
- ◇ Multi-Winding Magnet
- ◇ Multi Shielded Gradient Coil
- ◇ Atlas SPEEDER™
- ◇ Suitable Sequence Design
- ◇ Multi-Dual CPU
- ◇ Air-Slim pianissimo

2-1. 閉塞感の克服

これまでの MRI 検査は、トンネル状で奥行きのある架台の検査空間が与える患者さんの閉塞感が強かった。

架台の検査空間を作る磁石は、より長い磁石架台軸長を持たせることで、撮像に必要な、均一な磁場を作りやすい。他方患者さんの閉塞感を克服するには架台の長さをできるだけ短くかつ開口径を広くしたい。[図2] a しかし、従来の磁石製造技術をそのまま短軸化を行うと静磁場の均

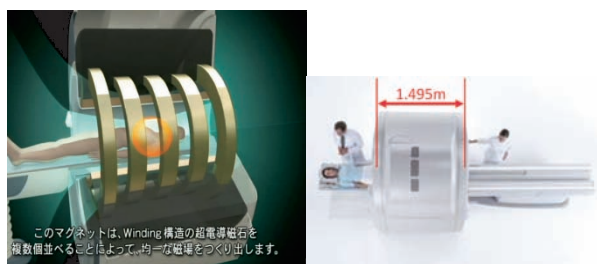
一性は著しく劣化する。[図2] b



[図2] a : 従来方式長軸マグネット
b : 従来方式短軸

従来の技術では不可能であった静磁場マグネットの短軸大口径化を可能とした技術が Multi Winding Magnet である。[図3] 東芝は、静磁場マグネットを奥行方向において 1.495m と短軸化を実現した。

磁石内部における超電導磁石の配列を複数個並べた改良を行い、短軸化による均一性の劣化なしで、従来のマグネット性能を上回る磁石性能を実現した。

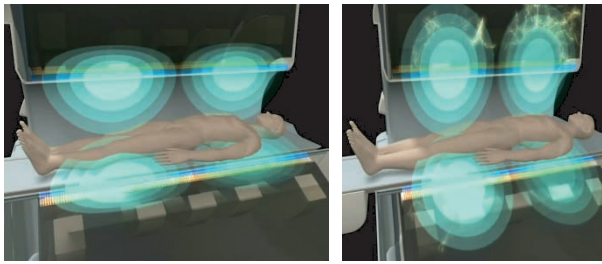


[図3] Multi Winding Magnet
(短軸化マグネット)

さらに、静磁場マグネットの短軸化に伴い、内蔵する傾斜磁場コイルについても技術革新が必要となった。

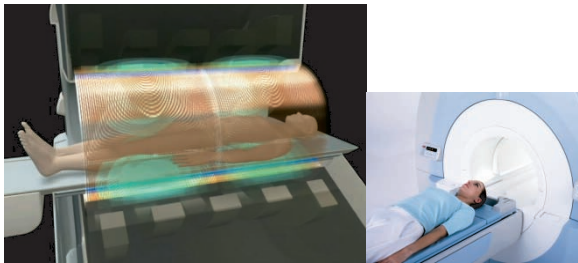
傾斜磁場コイルは、外部に漏れる磁場をアクティブシールド機構で抑制する構造になっている。これは漏洩した傾斜磁場により発生した渦電流が、画像を劣化させる影響があるためである。[図4] a

従来のアクティブシールド型傾斜磁場コイルをそのまま短軸化すると、画像に悪影響をきたす渦電流の発生が著しくなる。[図4] b



〔図 4〕 a 従来方式 長軸傾斜磁場コイル
b 従来方式 短軸傾斜磁場コイル
Active Shielded Gradient Coil

従来の技術では不可能であった精度で傾斜磁場コイルの短軸化を可能とした技術が Multi Shielded Gradient Coil である。〔図 5〕



〔図 5〕Multi Shielded Gradient Coil

傾斜磁場コイルを多層構造でシールド化することで、渦電流の発生を極限まで抑え込むことが可能になった。この傾斜磁場コイルの要素技術革新によってはじめて、短軸でありながら開口径最大 65.5cm を実現、開放感のある検査空間と高画質を同時に実現したのである。

2-2. 検査騒音の克服

MRI 検査時に発生する騒音は、傾斜磁場コイルによるものであるが、近年の新しい撮像手法や撮像の高速化に伴いこの騒音は年々大きくなる傾向にある。例えば緊急検査に頻度高く適応される頭部 Diffusion 検査においては、聴覚への保護が必要となるほどの大きな検査音が発生する。この検査時の騒音は、検査を受ける患者さんへ苦痛を与えている。

例えば傾斜磁場の出力をおさえることによ

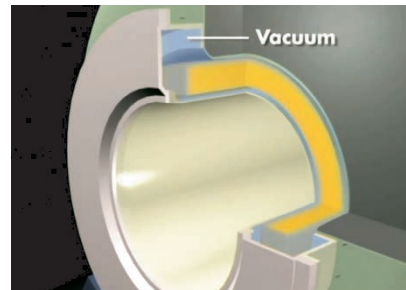
て騒音の低減は可能ではあるが、それでは撮像に必要な傾斜磁場パワーを掛けることができなくなり、結果的に画質を劣化させてしまう。

東芝は、音の発生原因の根本である傾斜磁場コイルを、遮音のための真空構造と一体化した。

(Air-Slim pianissimo 機構) 〔図 6〕

これによって画質を劣化させることなく、騒音低減を実現し、静音化と短軸化の両立を実現した。

画質を劣化させることなく、静かで開放的な検査環境で患者さんはいつでもリラックスして検査を受けられる検査環境を実現する技術が Air-Slim pianissimo 機構である。



〔図 6〕Pianissimo 機構「真空封入構造」模式図

なお、この静音機構 pianissimo を搭載した MRI 装置の出荷台数は、1,000 台を超え幅広くその開発コンセプトが支持されている。

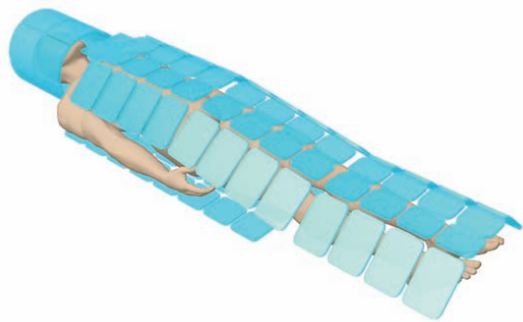
2-3. より患者さんに負担の少ない検査

従来の MRI 検査では目的とする部位に合わせた専用コイルによって撮像を行っていた。専用コイルはそれぞれの撮像部位に最適化され、高画質の撮像は可能ではあるが、撮像領域と対象部位が限定されている。したがって、検査部位が異なる毎にその都度コイル交換の手間があった。つまり、それだけ検査の時間が延び患者さんに負担を与えていたということである。

東芝は、検査をスピーディーに行いながら、高精細な撮像を可能にする新たな RF コイル技術 Atlas SPEEDER を開発した。〔図 7〕

Atlas SPEEDER は、全身撮像を可能にするマルチチャンネル方式の受信システムを採用してい

る。これによってコイルの入れ替え作業なしで、効率よく MR 信号を受信することが可能となった。体格や臓器の大きさや位置に合わせて各エレメントの配列を最適化しているため、一回の撮像で広い領域をカバーできるだけでなく、高画質化をも両立できる新しい RF コイル技術である。



[図 7]Atlas SPEEDER コイル構造

例えば、頸椎から腰椎の全体といった検査内容でも撮像を中断することなくシームレスに検査を行うことができ、検査時間を短縮する。コイル交換による煩雑さやデッドタイムをなくすことでよりスピーディーに検査を進めることができるというわけである。[図 8]



[図 8]Atlas SPEEDER コイル装着

Atlas SPEEDER コイルは患者さんへの優しさを実現している。

患者さんに装着する Atlas SPEEDER ボディコイルは、フレキシブルな装着を可能にする樹脂製素材を採用し、軽量化が図られている。装着時における圧迫感や苦痛の軽減に寄与している。また、背中や腰の痛みの強い患者さんには、コイルを装着したまま、痛みのやわらぐ側臥位の姿勢で検査

が受けられる。これまで MRI 検査の対象外であった患者さんにも対応できるなど、患者さんに負担の少ない有用な検査を提供できる。

これらの V-Technology を臨床に導入することによって、より速く、より質の高い診断情報を提供するベースが築かれたのである。

ソフトウェア開発の進化

V-Technology というハードウェアの進化の上に、ソフトウェアの進化が加わる。ここでも臨床に役立つ新しいアプリケーションの開発を行うことで、患者さんにやさしい検査をトータルに実現することを目指している。

2-4. 非造影 Total Vascular Care Imaging への取り組み

最近、全身の各領域、各臓器において非造影 MRA の話題と重要性が高まりつつある。Radiology 誌 2008 年 7 月号に Nonenhanced MR Angiography¹⁾ という題名で非造影 MRA に関する Review Paper が掲載された。日本人の筆頭著者（宮崎美津恵：Toshiba Medical Research Institute USA）によるこの非造影 MRA 総説レビュー論文には、従来から用いられている手法から、新しい撮像手法である Time-SLIP 法にいたるまでが紹介されている。日本に端を発した臨床アプリケーションの有用性が世界的に認められ全身性疾患である血管性病変への応用が広がりつつある一例であろう。

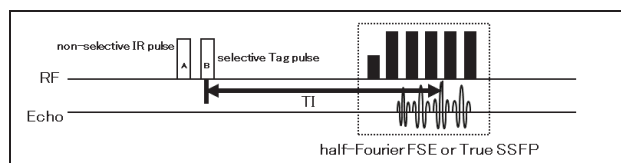
Time-SLIP 法

東芝はこれまで 10 年以上におよぶ非造影撮像技術の豊富な臨床経験を蓄積してきた。

その蓄積をベースにして、より患者さんにやさしい検査の実現を可能とする新しい非造影手法である Time-SLIP 法を開発した。

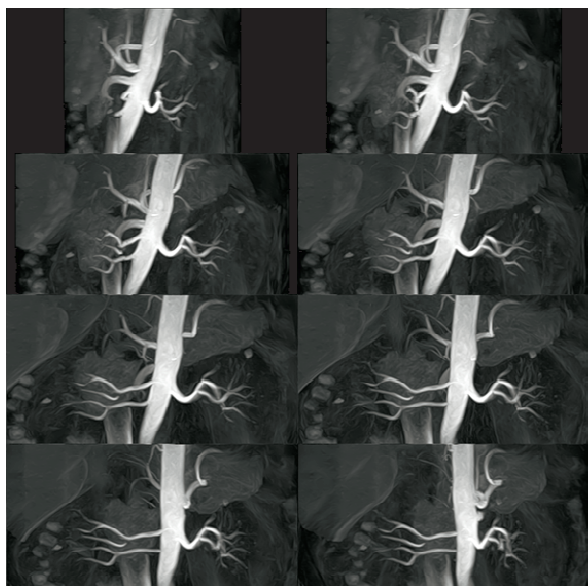
シャッタースピードに優れた高速撮像法である FASE 法、TrueSSFP 法を使った水強調画像をベ

ースに、信号収集前に IR パルスを印加することで血管描出に選択性をもたらすという考え方が基本的な撮像原理である。[図 9]



[図 9] Time-SLIP 法シーケンスチャート

IR パルスには 2 つの目的で利用される。ひとつは目的とする血管の領域に選択的に照射することで、臓器実質部の信号を抑制し、血管信号とのコントラストを高めること。ふたつめは、IR パルスと信号収集シーケンスの間の待ち時間 (TI) を任意に設定することで In flow 効果や血行動態を捉えることである。[図 10]

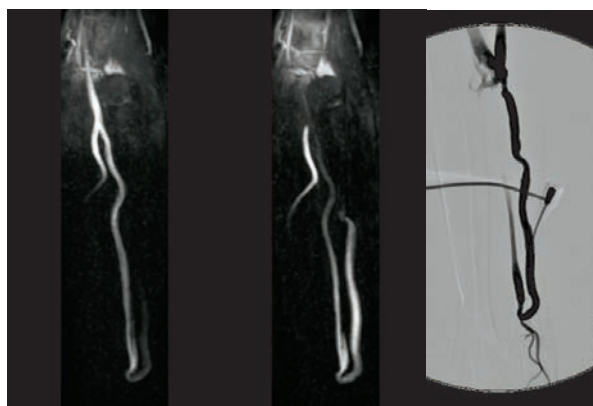


[図 10] Time-SLIP 法による腎動脈描出
(BBTI=800ms)

Time-SLIP 法の撮像対象は、躯幹部各臓器の分枝動脈から末梢動脈に至るまであらゆる血管に及ぶ。[図 11] 下肢閉塞性動脈疾患・腎動脈狭窄の診断・透析シャント評価[図 12]^{1) 1)} まで幅広く臨床で応用されている。



[図 11] 正常腹部血管：各血管を分離描出



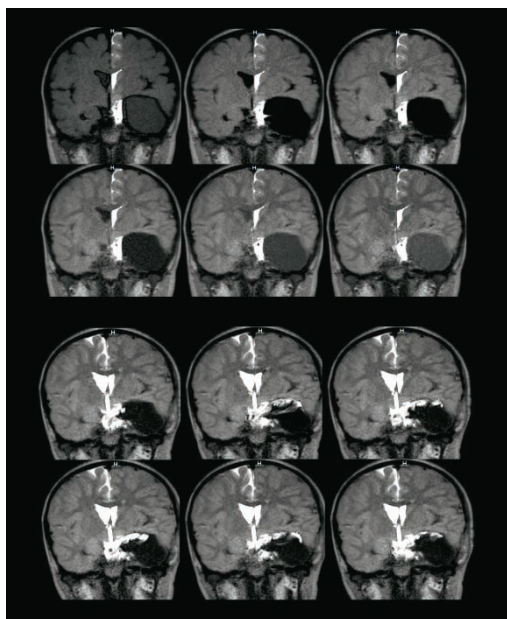
[図 12] 透析患者：シャント評価

(The BEST Image2007 優秀賞

国家公務員共済組合連合会 名城病院様)

Time-SLIP 法では、IR パルスからの待ち時間 (TI) を連続して設定・撮影することで流れの様子を連続的に表現できる。IR パルスを照射する領域を任意に設定することにより、例えば門脈の血流支配血管を描出し分けることも可能になった。

さらに、Time-SLIP 法は MRA 撮像以外に応用することも可能である。例えば脳脊髄液の循環動態可視化を目的として、従来の撮像法や他のモダリティでは得ることができなかった機能的な情報が得られることも示唆されている。[図 13]



[図 1 3]CSF フロー画像（クモ膜嚢胞）

FSBB 法

全身を診る Total Vascular Care Imaging という考え方において、中枢神経領域の血管や血行動態をより詳しく診たいというニーズがある。ところが、従来の 1.5TMRI 装置の MRA においては、微細な血管や少流量の血行動態の描出能には限界があった。

このため東芝は、より微細な血管の描出を可能にする新たな技術 FSBB（Flow Sensitive Black Blood）法を開発した。

FSBB 法は、FE（Field Echo）法の 3D 収集をベースとした高分解能 T2*強調像を用いた非造影 MRA である。この手法では Diffusion Weighted Imaging 撮像で用いられる MPG(Motion Probing Gradient) パルスを加えることで血流信号の de-Phase 効果を促進させ、血管の描出能を向上させる。従来の T2*強調画像で見られる位相情報の付加によるマジックアングルの影響がないため、血管描出における元画像の信頼性も向上している。[図 1 4]

FSBB 法を用いることで、脳底動脈穿通枝のような微細な血管を描出することができるようになり、微小な脳出血病変の描出も的確に把握できる

ようになったという報告がある。



[図 1 4] 大脳基底核穿通枝動脈

今後、虚血性脳疾患における側副血行路の描出評価や動脈吻合術のフォローアップ、血栓溶解療法（t-PA）後の血流評価への臨床応用に用いるなどその期待が高まっている。^{2) 3) 4)}

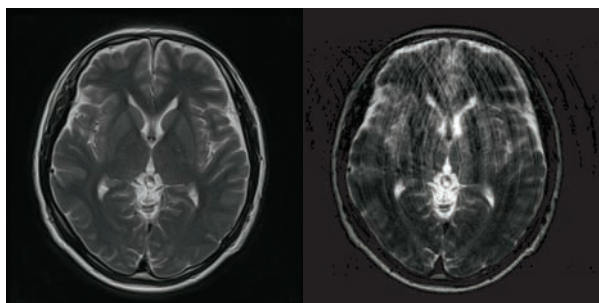
2-5. Total Care Imaging への取り組み

V-Technology をベースとした Total Vascular Care Imaging から生み出された技術成果は、MRA 画像の画質向上にとどまらず、すべてのアプリケーションの画質と診断能向上の実現へ展開できる。東芝は、Total Care Imaging とでもいえるべき新しい概念による次世代アプリケーションの展開を進めている。

JET 法

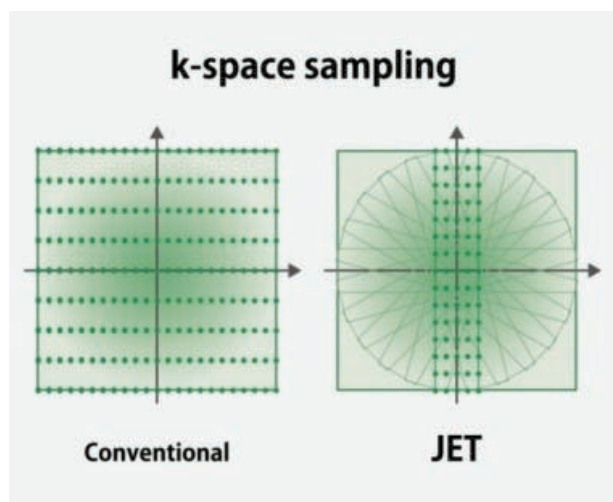
従来の MRI 撮像においては、長い撮像時間が必要であった。ハードウェアの高性能化や撮像アプリケーションの高速化が進められてはいるが、いかに撮像中の患者さんの動きは、画像上にアーティファクト（虚像）となることは避けられない。

東芝は、検査中に動いてしまう患者さんにおいても、動きの影響を抑制し画質を向上させる新しい撮像技術 JET 法を開発した。[図 1 5]



[図 1 5] a : JET 法による T2 強調像
b : 従来法による T2 強調像

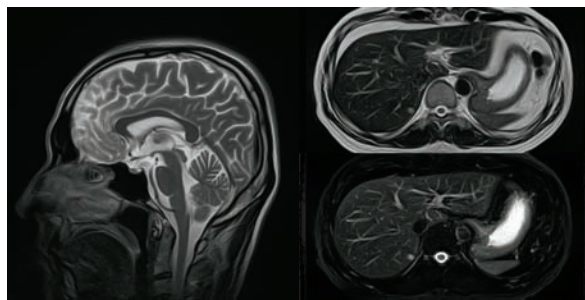
JET 法は、高速撮像法の FastSE 法にて使用される TR (繰り返し時間) 内で取得されるマルチエコーを一つのデータブロックとして扱う。k 空間と呼ばれる MR 信号収集後のデータ領域において、中心を原点にして MR 信号データを k 空間上で回転させ隈なく充填する。[図 1 6]



[図 1 6] JET 法原理 (従来方式と JET 法の違い)

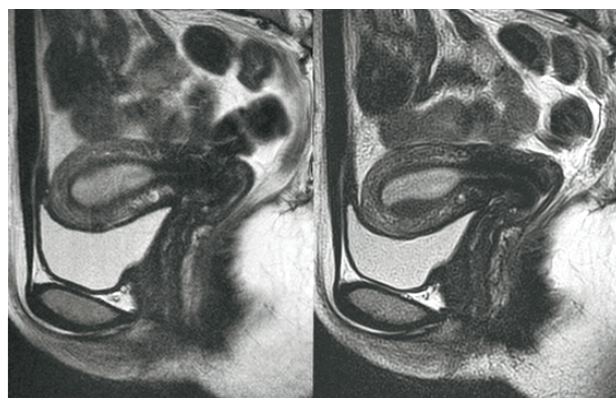
患者さんの動きの影響はひとつの TR 毎に独立したものと認識されるため、従来法のように画面いっぱいにアーティファクトが散らばってしまうことがない。JET 法は k 空間中心部のデータ密度が高く S/N の良い撮像が行える。患者さんの動きをほぼリアルタイムに補正することが可能であることから、静止が困難な患者さんにおい

ても、動きの影響が少ない検査を可能としたのである。[図 1 7]



[図 1 7] 左 : JET 法による頭部サジタル撮像
右上段 : 腹部自然呼吸下・T2 強調像
右下段 : 脂肪抑制 T2 強調画像

さらに、JET 法は、自由な断面方向の設定や、全身の各部位への応用が可能である。特に躯幹部領域においての撮像時には、意識状態が悪く息止めが難しい患者さんにおいても、自然呼吸下で撮像が可能になる。動きの影響は、呼吸のみに限られたものではなく腸管などの不随意運動にも関係している。前立腺や子宮[図 1 8]¹⁰⁾、長時間の検査になると患者さんの静止が困難になる肩や四肢において、動きの影響のない高分解能撮像が得られることが JET 法の特長といえる。



[図 1 8] a : 従来撮像法による T2 強調像
b : JET 法による T2 強調像

Enhanced Fat Free 法

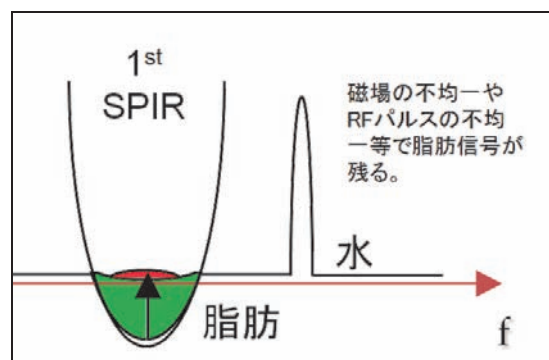
現在、脂肪抑制法は MR 画像診断の基本コントラストとして必要不可欠の撮像手法である。技術

的には様々な手法が実用化されているが、広範囲に効率よく脂肪抑制効果を得るのはどの手法においても困難であると言える。

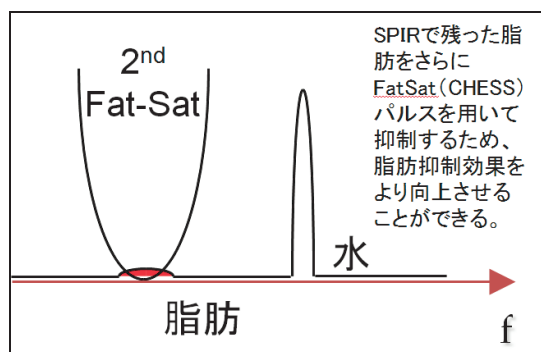
最も多く使用されている手法は、周波数選択的に脂肪を抑制する FatSat 法 (CHESS 法) である。この手法は、患者さんごとに異なる磁場の不均一性や RF パルスの不均一性の影響によって十分な脂肪信号の励起ができない場合がある。磁場不均一は、画像に信号ムラを発生させる。

他の手法として、RF パルスの照射により抑制効果を得ることを目的とした、SPIR 法などの脂肪抑制法があげられる。この手法では、良好な抑制効果を得るためには、RF パルスの印加時間を延長させることが必要になる。これは、必然的に撮像時間の延長を余儀なくされるという欠点がある。

東芝は、これまでの両手法の問題点を解決する新しい脂肪抑制技術として Enhanced Fat Free 法 [図 1 9] を開発した。



第 1 SPIR パルス照射

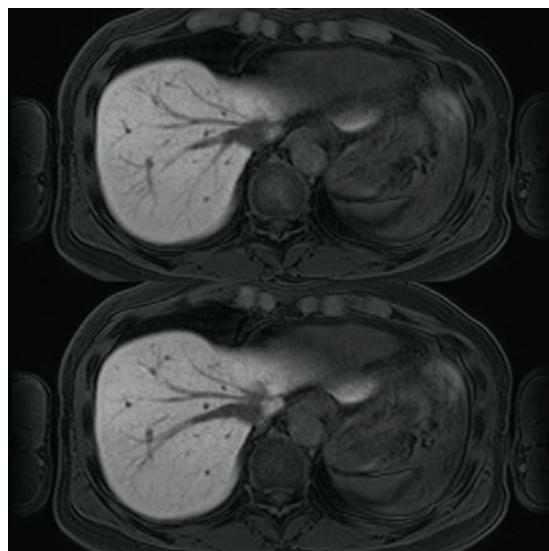


第 2 Fat Sat パルス照射

[図 1 9] Enhanced Fat Free 法原理図

Enhanced Fat Free 法は磁場不均一や RF パルスの不均一に起因する信号励起のムラを複数回の脂肪抑制パルスを照射することで効率よく改善する技術である。広範囲で均一な脂肪抑制効果が得られ、撮像時間の延長もほとんどない。例えば、患者さんの腕下ろしにて撮像を行った場合、従来は磁場の不均一の影響が大きくなり、抑制効果が不良になる場合が多かったが、Enhanced Fat Free 法は、良好な脂肪抑制効果が得られる。

Enhanced Fat Free 法の臨床への適応としては、高速 3D 撮像法である “Quick3Ds” と組み合わせ高画質の、全肝息止め造影撮像 [図 2 0] をルーチンで行うことがあげられる。^{5) 6)}



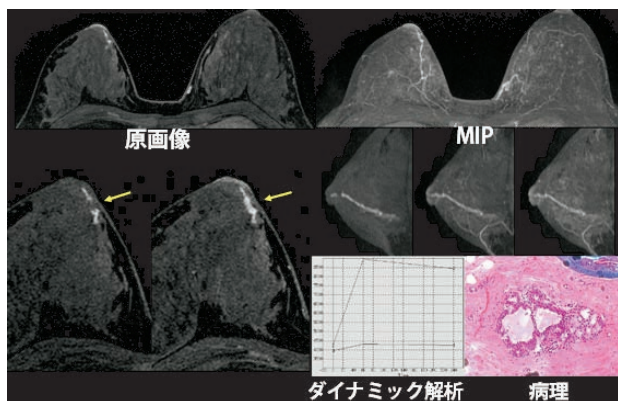
[図 2 0] Enhanced Fat Free 法+Quick3Ds による高分解能・全肝息止め撮像

昨今、肝細胞相の撮像を可能とする、新しい肝特異性陽性造影剤である Gd-EOB-DTPA (プリモビスト・EOB) を用いた肝 MRI 検査が多く施設で行われ始めている。^{5) 6)}

Enhanced Fat Free 法と Quick3Ds を用いた Dynamic 撮像を使って、最適撮像条件の検討・病変の検出等の臨床評価が進められるなど、新たな臨床情報が得られる検査として、大いに期待されている。

その他、Enhanced Fat Free 法と Quick3Ds 法の組み合わせはマンモの領域にも応用が可能であ

る。薄いスライス厚で、1回の撮像で両側同時に信号差のないボリュームデータは、診療科にわかりやすい3次元画像を提供することが可能となる。[図20]⁹⁾



[図20] 乳管内乳頭腫の高分解能3D-MRマンモグラフィ
(The BestImage2007 準優秀賞
亀田総合病院附属幕張クリニック様)

3. 東芝の装置開発と販売戦略について

V-technologyによってMRI検査に求められるニーズと患者さんの優しさの両立が可能になり、Total Vascular Care Imaging から Total Care Imaging へと続く道を実現した。この先に進むべき新たな開発の目標は、広領域撮像と高精細撮像の両立へのさらなる進化である。

広い領域の撮像をする場合、横断像にて体軸方向に領域をカバーしようとする撮像枚数に比例して撮像時間は延長する。高分解能の画像を得るために薄いスライスで撮像を行えば、さらに撮像時間が延長する。効率よく撮像するには冠状断撮像を用いるのが効果的であると言える。

ここで、Multi-Winding Magnet による広範囲の高い静磁場均一性、Multi Shielded Gradient Coil による高い傾斜磁場リニアリティ、Atlas SPEEDER による高速撮像と広いコイル受信感度という必要条件を、V-Technology が高いレベルで提供する。これによって、Wide Area 冠状断撮像による高精細画像と高い検査効率の両立が実現可能となる

のである。

例えば、頸動脈から大動脈弓部までのMRA撮像を、非造影でカバーするWide Area FBI (Fresh Blood Imaging) の試みがすでにはじまっている。⁷⁾

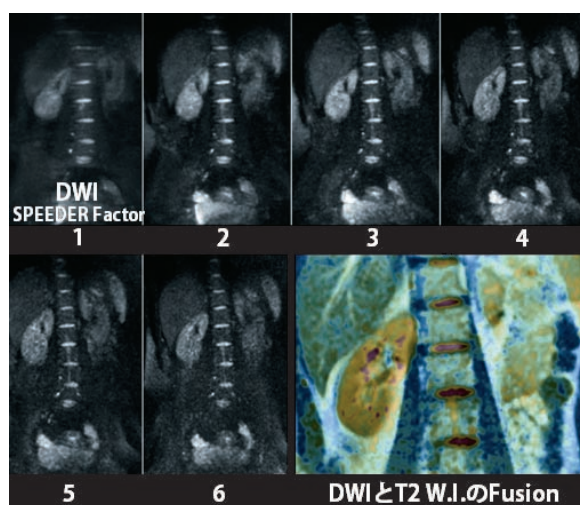
[図21]



[図21] Wide Area FBI による非造影MRA

DWI (Diffusion Weighted Imaging) では、6倍速のSPEEDER Factorを用いながら、広い領域で、歪みの少ない高画質を実現することでWide Area Coronal Diffusion Imagingの臨床応用が期待されている。⁸⁾

[図22]



[図22] Wide Area Coronal Diffusion Imaging

4. まとめ

本稿は、現在販売している装置に実装している機能と、これからの将来展望を中心に紹介した。

今回紹介した最新技術は、装置開発者の力だけで実現できたものではない。東芝の装置を利用頂いている多くのご施設より頂いた貴重な臨床評価・意見を、継続的に技術開発へフィードバックしたことが、患者さんにやさしい、患者さんに役立つ技術進化の源流となっている。

東芝はこれからも、診断に有用な画像情報をルーチン検査に提供し、新たな診断価値を目指し続けていく。

「EXCELART Vantage」, 「Atlas SPEEDER」, 「Pianissimo」「JET」は東芝メディカルシステムズ株式会社の商標です。

「The Best Image」は、画像診断における優れた撮影技術や最新臨床応用の普及、啓蒙を目指す学術的なイベントです。

お問い合わせについて

東芝メディカルシステムズ株式会社
MRI 事業部

〒133-8456

東京都文京区本郷 3-26-5

TEL : 03-3818-2091 (東京本社)

<http://www.toshiba-medical.co.jp>

参考文献

- 1) Radiology 2008 248: 20-43 (DOI: 10.1148/radiol.2481071497), State of the Art: Nonenhanced MR Angiography, Mitsue Miyazaki, Vivian S. Lee
- 2) 小玉隆男: 脳血管奇形における Susceptibility weighted imaging, 第 35 回日本磁気共鳴医学会雑誌 Vol.27 0-3-023
- 3) 岡田知久: Flow Sensitive Black Blood 撮像法によるレンズ核線状体動脈描出の検討, 第 35 回日本磁気共鳴医学会雑誌 Vol.27 0-2-039
- 4) 土屋一洋: 脳血管の血流情報を収集して動静脈を描出する FSBB (Flow Sensitive Black Blood), Digital Medicine Vol.7 No.2
- 5) 濱田祐介ほか: 脂肪抑制併用 3D gradient echo 法を用いた全肝 Dynamic study の検討, 第 35 回日本磁気共鳴医学会雑誌 Vol.27 0-1-023
- 6) 辻良憲: ボーラストラッキング法 (Visual Prep 法) を用いた Gd-EOB-DTPA によるダイナミック検査の最適撮像条件の検討, 第 36 回日本磁気共鳴医学会雑誌, Vol.28 0-2-118
- 7) 山本晃義: FBI 法による大動脈弓部分岐血管の動静脈分離の試み, 第 36 回日本磁気共鳴医学会大会雑誌, Vol.28 0-1-40
- 8) 山下祐市: Atlas SPEEDER を用いた冠状断 Body Diffusion の検討, 第 36 回日本磁気共鳴医学会大会雑誌, Vol.28 P-1-119
- 9) 片山信二: カテゴリ分類に基づいた乳腺 MRI 診断の有用性, 第 36 回日本磁気共鳴医学会大会雑誌, Vol.28 0-1-101
- 10) 高橋修司: 女性骨盤領域 MRI 検査における k 空間体動補正法 (JET) の有用性についての検討, 第 36 回日本磁気共鳴医学会大会雑誌, Vol.28 0-2-221
- 11) 山下一彰: 非造影 Time-SLIP 法による透析患者シャント血管描出のための最適条件検討, 第 36 回日本磁気共鳴医学会大会雑誌, Vol.28 0-2-202

MRI 開発の歴史、現在、未来

シーメンス旭メディテック株式会社 マーケティング本部 MR 事業部
井村千明

はじめに

今から 30 年以上前、ドイツ・エアランゲンにあるシーメンス社において、MRI 開発が始まりました。1979 年、開発中の MRI 装置で最初に得られた MRI はパブリカで、シーメンス社内においては MRI 開発の足跡の第一歩として、もっとも有名な画像の一つとして知られています。

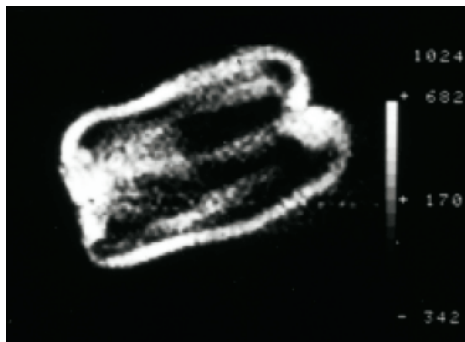


図1 1979 年に得られたパブリカの画像

以来今日に至るまで、シーメンスは世界の MRI 開発のリーダーであり続けています。本稿では 1978 年に始まった MRI 開発の歴史をたどりながら、シーメンスが世に送り出してきた MRI におけるイノベーションをご紹介します。

物理の実験道具から臨床検査装置へ

1946 年、水素原子核の磁気共鳴現象が発見され、(F.Bloch、E.Purcell : 1952 年ノーベル物理学賞) 様々な物質の測定装置として、核磁気共鳴(NMR) が用いられていました。まだこの段階では信号収集のみでしたが、1960 年に、物質信号の周波数解析にフーリエ解析を用いることで(R.Ernst : 1991 年ノーベル化学賞)より精度の高い解析を可能にしました。

1971 年、それまで物理化学における測定装置であった NMR (Nuclear Magnetic Resonance) が医療における検査装置になりうるという発見が報告されます。ラットの腫瘍組織においては正常組織よりも緩

和時間が延長するというものです(R. Damadian)。これは、NMR で信号を測定することで病気が正常かを見分けることができる可能性を示唆しました。さらに 1973 年、傾斜磁場という概念を導入し、傾斜磁場を印加しながら NMR 信号を収集すると信号の位置情報を特定でき、画像として見るができるという発見がなされます(P. Lauterbur : 2003 年ノーベル医学生理学賞)。

正常組織と病変組織の信号の区別、画像としての表現、これらの二つが合わさり、NMR は画像診断用装置として脚光を浴びることになります。

シーメンスにおいては 1965 年から NMR を生態現象の測定装置としての開発(1967 年特許)を進めてきましたが、1970 年代後半になり、画像診断装置としての開発に着手します。2003 年にノーベル賞を受賞することになる Mansfield 氏を開発の場に迎え、1978 年に最初のプロトタイプ、1979 年に最初の画像、そして 1980 年終わりには初めての人体頭部の画像を得ることに成功します。

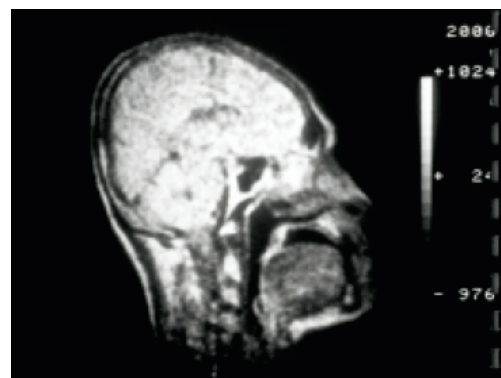


図2 最初の人体頭部画像

ただし、128 マトリクスの画像を得るのに 8 分間を要し、被検者にとっては苦痛なセッティングだったようです。

これ以降、高精細、高コントラスト、高速、さらによりよい居住性をもとめての開発が加速度的に進められます。

MRI 開発 — 磁場強度の時代 —

MR 信号は静磁場強度が高い方が信号が強く、より SNR の高い画像が得られることから、MRI 開発の初期はより高い磁場を有するマグネットの開発に力が入られました。



図3 1983 年東京大学へも導入された最初の超伝導 MRI 製品 (0.35T)

高い磁場を安定して得るには超伝導マグネットが必要とされ、当時から Nb-Ti 合金の素材を使用していました。マグネットの構造は現在のものよりも複雑で、冷媒として液体ヘリウムほかに液体窒素も必要で、液体ヘリウムは毎時 0.5 リットル、液体窒素は毎時 2 リットルも蒸発したため頻繁な補充が必要でした。

マグネットの開発は、磁場強度、磁場均一度、軽量化、経済性(冷媒消費)の面から進められました。

磁場強度は技術的な難しさから、当初は 0.5T 未満における永久磁石、常伝導に始まりましたが、より高い磁場強度を求める動きが市場でも強まりました。現在では全 MRI 装置販売台数の 80%以上が 1.5T 以上の超伝導装置になっています。

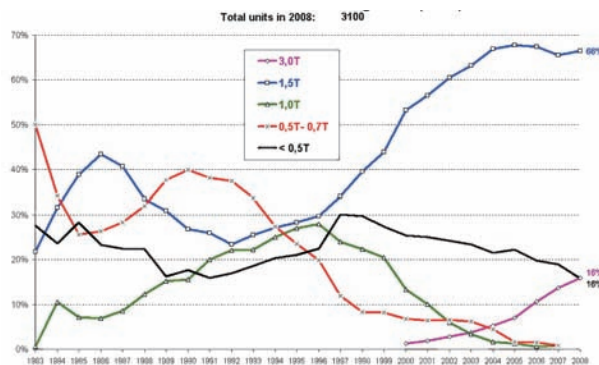


図4 磁場強度別 MRI 装置販売台数

シーメンスにおいては、特に需要の多い超伝導 1.5T 装置において、特徴のある装置ラインアップを複数取り揃え、お客様のニーズに合った提案ができるようにしています。

磁場均一度は特に高磁場装置においては重要な性能の一つです。均一度と一口にいても、マグネットそのものの均一度、被検者が入った状態での均一度があります。

マグネットそのものの均一度は測定方法によって見かけ上の数値が異なります。これは、磁場の均一度範囲は単純な同心円の球状ではなく、磁場強度の等高線を引くと、ウニの殻のようにいくつもの棘が出ているような形態をしており、どのポイントで測定するかによってどのようにも都合のよいデータが作れてしまうからです。

シーメンス製 MRI 装置 MAGNETOM においては、精度の高い測定法である、24 プレーン各 20 ポイントという多数の点で測定したデータを用いています。

被検者が入っただけでこの磁場の均一度は大きく阻害されてしまいますので、撮像を始める前に被検者入りマグネットの均一度を補正しなければなりません。この動作のことをシミングといいます。

シミングは手間と時間と経験を要する操作でしたが、MAGNETOM では、自動でのシミング機能を搭載しており、通常のイメージングだけでなく、高精度の磁場均一度が要求されるスペクトロスコピーにおいても自動シミングが可能になっています。

初期の超伝導マグネットは液体ヘリウムと液体窒素を必要とし、しかも毎月（液体ヘリウム）および毎週（液体窒素）の補充が必要でした。マグネットにおける断熱技術の進歩により液体窒素が不要になり、また液体ヘリウムの蒸発も非常に少なくなりました。現在では、理論的にはヘリウム蒸発をゼロにすることのできる冷却器を備えた「ゼロ ボイルオフ」マグネットを持つ MAGNETOM も開発され、ランニングコストを大幅に削減し経済性に役立っています。

もう一つ経済性のポイントは、5 ガウスラインです。MRI の磁力線は他の医療用具に影響を及ぼすため、MRI 装置が発する磁場強度が装置外に漏れ出して作り出した磁場をできるだけ狭い範囲に抑える必要があります。「5 ガウス」は心臓ペースメーカに影響を及ぼす磁場強度で、5 ガウスラインを MRI 検査室内にとどめる必要があります。この漏れ磁場を防ぐ技術は、初期ではセルフシールドというマグネット周囲に張り巡らした数十トンの鉄が必要でしたが、現在では主磁場と反対方向に発生する磁場を作ることによってこの漏れ磁場を抑え込んでいます（アクティブ シールド）。アクティブシールド型のマグネットにより、5 ガウスラインの範囲が狭くなったと同時に、大幅な軽量化もされました。

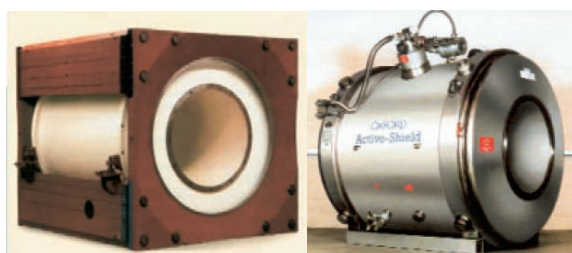


図5 セルフシールドマグネット(左)とアクティブシールドマグネット(右)

マグネットの重量は設置性に大きく影響するポイントですので軽いに越したことはありません。しかし磁場を発生させるコイル、冷媒が入るデュワーの減量には限界があります。また、万が一のクエンチ時の安全性を確保するために設置されている「クエンチバンド※」もなくすことはできません。クエンチバンドをなくせばかなりの軽量化ができることがわかっています。

すが、高磁場マグネットの安定性と安全性の面からクエンチバンドは搭載したままになっています。

※クエンチバンド: マグネットコイルの外側に配置されるもので、万が一のクエンチの際の二次災害防止や復旧期間短縮に役立ちます。

MRI 開発 — 傾斜磁場強度の時代 —

高磁場マグネットの開発が一段落すると、撮影のスピードを求めるようになりました。MRI の撮影時間は収集した生データを k-space といわれるメモリに格納する時間といってもいいのですが、k-space を充填するスピードは傾斜磁場の強度やスリューレートに関連しています。つまり傾斜磁場強度が強く、スリューレートが高いほど高速撮影が可能だとされてきました。

しかしながら、スリューレートを高くしていくと、末梢神経を電氣的に刺激してしまったり、心臓の動きを司る電位に影響を及ぼしたりする恐れがあるため、安全性を確保する制限が設けられています。ハードウェア性能としてはまだ強度を上げることのできる傾斜磁場ですが、安全性の制限からすでに高性能化することは難しくなっています。

また、日常使われる傾斜磁場強度やスリューレートは、この安全制限を越えて使われることは少ないという面からも、単に傾斜磁場強度やスリューレートを上げることのメリットは少なくなっています。

MRI 開発 — 受信コイルの時代 —

高磁場による SNR、高性能傾斜磁場によるスピードの開発が一段落すると、今度は更なる高 SNR を求めた受信コイルの高性能化、多チャンネル化へと開発がシフトしていきます。

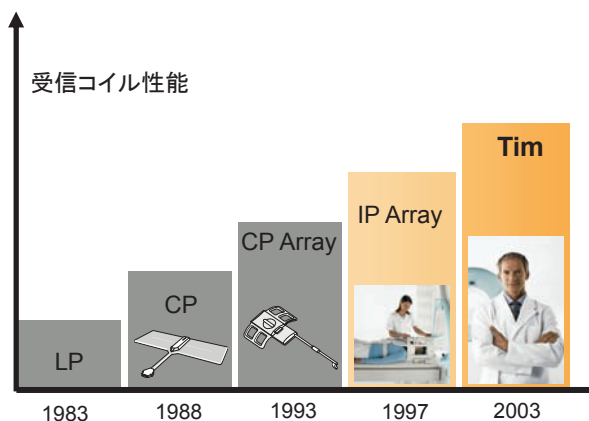


図6 コイル性能と開発の変遷

受信コイルから得られる信号は単純な LP 型よりも多くの信号を検波できる CP 型の方が SNR が高くなります。コイルのサイズでは、より小さい方が感度が高くなりますが、収集できる範囲が狭くなってしまいます。そこで開発されたのが、LP 型もしくは CP 型コイルを並べて一つのコイルにした、アレイコイルです。アレイコイルは、感度の高さと感度領域の広さを兼ね備えたコイルでしたが、それでも一つのコイルで受信できる範囲には限りがあります。

そこで MAGNETOM 装置に 1997 年に搭載されたのが、IPA(Integrated Panoramic Array)システムというコイルです。IPA においては、複数のコイルを組み合わせることでより広い範囲もカバーできるようになりました。



図7 IPA コイル組み合わせ例

Head+Neck+Spine＝頭頸部アレイ

Body+Body+Spine＝広範囲ボディアレイ

また IPA システムでは、MRI 検査におけるコイル交換の手間をできるだけ少なくするために、ヘッドコイルの下側パーツと、スパインコイルを患者テーブルの

上に置いたまま取り外す必要を廃除しました。このことにより、検査のスループットを大幅に向上させることに成功しました。

IPA システムの成功により、シーメンス以外の MR 装置各社も同様の技術を取り入れるようになりましたが、実際に製品化されてきたのは最近 5 年くらいになってからです。

2003 年には、これまでのアレイコイルの考え方を大きく転換させる、Tim (Total imaging matrix) コンセプトを発表しました。Tim は従来のアレイコイルの単なる発展ではなく全く一線を画す機能を備えたコイルシステムです。

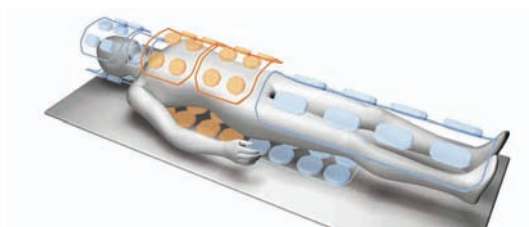


図8 Tim コイルコンセプト



図9 Tim を最初に搭載した MAGNETOM Avanto

Tim の特長は3つにまとめることができます。

- ・ Flexibility 扱いやすさ

頭部コイルとネックコイルの下側、スパインコイルは常に患者テーブルの上に置いたままなのでコイル交換の手間がありません。多チャンネル化された柔軟素材の各コイルは自由に組み合わせることができるため、従来のコイルでは設定が難しく感度の切れ目になっていた部分でも必ず高感度コイルでカバーできます。もちろん複数コイルを接続することで広範囲の撮影も可能です。

- ・ Accuracy 高画質
一つ一つのコイルが高性能な部位専用多チャンネルになっています。これらのコイルを組み合わせるので、局所用の専用コイルと広範囲用のコイルを取り替える必要がありません。
- ・ Speed 制限のないパラレルイメージング
被検者の前後、左右、頭尾どの方向にもコイルエレメントが配置されるため、高速撮影法であるパラレルイメージングの適用部位やシーケンスに制限がありません。

これら3つの特長をバックアップする機能も充実しています。

「Auto Coil Detection」は被検者に取り付けた全てのコイルの位置を認識し、ローカライズ画像上を書くコイルエレメント位置を表示します。コイルの位置を確認して検査を進められるので安心です。

「Auto Coil Selection」は複数接続したコイルエレメントのうち、実際の撮像に必要な部分だけの信号を受信し、その他のエレメントは自動的に OFF にする機能です。多くのコイルエレメントがあると撮影におけるコイル選択に戸惑うことが考えられますが、それを自動的に選択することによって検査のワークフローを向上しています。

さらに「患者への負担軽減」を考慮したデザインになっています。例えばボディマトリクスコイルはウレタン素材で 950g ですから、念のため 2 枚腹部に乗せておいても重い、痛いということがありません。

発展し続ける Tim は、扱いやすさをさらに追及した IsoCenter Matrix コイルを実現しました。IsoCenter Matrix コイルは、患者テーブルの下、ガントリの中、マグネットのアイソセンターに内蔵された 9 チャンネルのスパインコイルです。IsoCenter Matrix コイルは常に磁場の中心に位置しており、胸椎腰椎用、体幹部撮影時の背面用のコイルとして使用しますので、患者背面側のコイルセッティングは全く気にしなくて良く、検査のワークフローをより向上させるのに役立ちます。

IsoCenter Matrix コイルは最新型の 1.5T 装置 MAGNETOM ESSENZA に搭載しています。

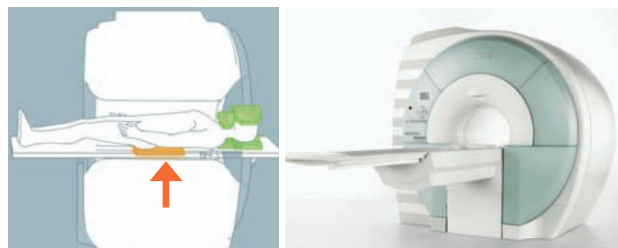


図10 IsoCenter Matrix コイル(左、矢印)と MAGNETOM ESSENZA(右)

MRI 開発 — 再びマグネットの時代 —

高磁場 MRI 装置はトンネル型マグネットデザインを採用するものがほとんどです。トンネルの内径はほとんどの装置において最大 60cm でした。

2004 年、超伝導 1.5T マグネットで初のオープンボア 70cm を有する装置を発表しました。ガントリの長さは 125cm で最も短く、一昔前のマルチスライス CT 並みのサイズです。

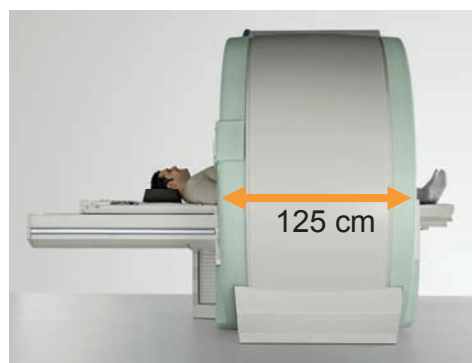


図11 MAGNETOM Espree オープンボア MRI

2008 年、超伝導 3T マグネットでも 70cm のボア径を実現した装置を導入しました。70cm のボア径は患者の快適性を重要視したデザインですが、それだけではなく、膝関節の屈伸による撮影や、横向き体位を楽に可能にするデザインです。



図12 MAGNETOM Verio 3T + 70cm + Tim

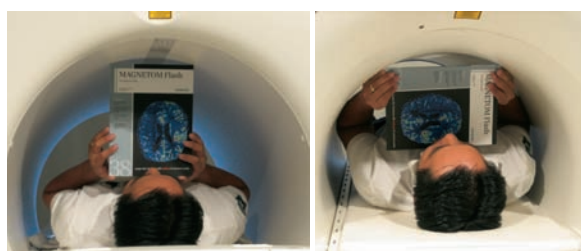


図13 70cm ボア(左)と60cm ボア(右)広さの違いを実感

MAGNETOM Verio は 3T 装置において最短のガントリ長となっていますが、ボアを広く、マグネットを短くすると磁場の均一度範囲が懸念されます。この問題と合わせて、3T 装置で課題とされてきた腹部における信号不均一を解決したのが、TrueForm テクノロジーです。

TrueForm テクノロジーは、磁場の均一度保証範囲を従来の球体ではなく、実際の撮像範囲に近い円筒形に保っています。

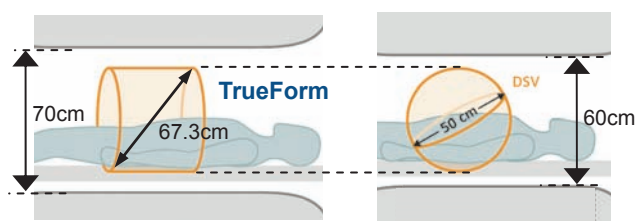


図14 TrueForm(左)と従来型磁場均一範囲(右)

円筒形に磁場均一度を保証することで、従来の球体よりも大きな撮像ボリュームを確保できていますので、広範囲の腹部撮影や下肢、全脊椎の検査に有効です。

TrueForm は 3T における RF の不均一も解消しています。従来は CP 型ボディコイルからの RF 送信をしていましたが、TrueForm では EP 型送信という新しい概念を搭載しています。EP 型送信とは、身体各部位に応じて送信コイルへ流す電流を自動的に切り替えるというものです。撮像部位の予測は、Tim の Auto Coil Detect 機能により高い精度で実現できるため、これまで課題とされてきた 3T での腹部撮影も信号不均一の懸念が無くなっています。

MR 検査の大敵

ー モーションアーチファクト対策 ー

MRI においては様々なアーチファクトが発生しますがその中でもっとも頻度が高いのが被検者の動きによるモーションアーチファクトです。MRI に求められる画像が高精細化するにしたがって、少しの動きの影響も画質を大きく左右するようになっていきます。シーメンス社の MRI では各種の体動補正ソフトウェアを搭載することで、モーションアーチファクトを抑制しています。

ナビゲータによる位置補正

代表的なものが PACE(Prospective Acquisition CorrEction)法です。PACE はリアルタイムに体動補正をする技術で、1D PACE と 2D PACE があります。それぞれ体動補正をする方向が一次元、二次元で

あることを指しています。1D は横隔膜上の一点の上下動のみをモニタするのに対し、2D は横隔膜の輪郭をモニタするため、より精度の高い呼吸動補正ができます。2D PACE の精度をさらに高めるために、撮像中の横隔膜位置変位を自動追跡する MAG (Motion Adaptive Gating) も搭載されています。

临床上最もよく使われるのは 2D PACE で、呼吸同期 T2 強調や MRCP、および息止めに利用される。最近では SAR 低減と高分解能化を目的とした SPACE (Sampling Perfection with Application optimized Contrast using different flip angle Evolution) と組み合わせて、アイソトロピックなデータ収集を可能にしています。

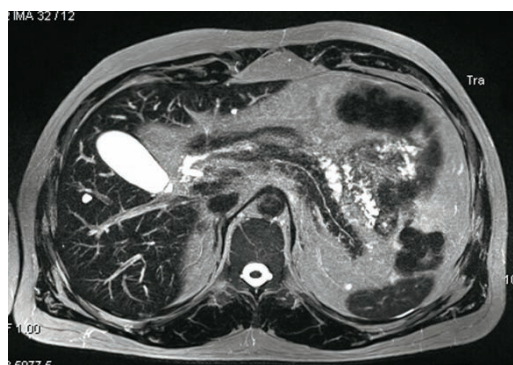


図15 2D-PACE 併用 SPACE T2 強調
空間分解能 0.6mm x 0.7mm x 2mm

また呼吸停止下の T1 強調画像においても 2D PACE は利用できます。上腹部画像においても Thin-slice 撮像が必要な場合、同じ範囲をカバーするためのスライス数が増加しますが、一度の撮像にすると TR が延長して被検者の息止め時間も長くなります。被検者の負担を減らすためにはスキャンを 2 回ないしは 3 回に分割して撮像しますが、それぞれの息止めにおいて位置ズレが懸念されます。2D PACE を用いた分割息止め撮像では、それぞれのスキャンにおける横隔膜の輪郭をモニタして位置を調整するため、位置ズレのない分割息止め撮像が可能です。

画像そのものによる位置補正

一方、ナビゲータを用いずに、収集した画像データそのものの輪郭から位置ズレ補正を行うのは、3D PACE です。3D PACE は fMRI 用に開発され、各スキャンにおける脳全体の画像データから脳の動き(平行移動、傾き)をモニタし、位置をリアルタイムで補正する。fMRI のタスクによっては頭部が動いてしまう場合もあるため、fMRI の研究だけでなく臨床応用にも有用です。

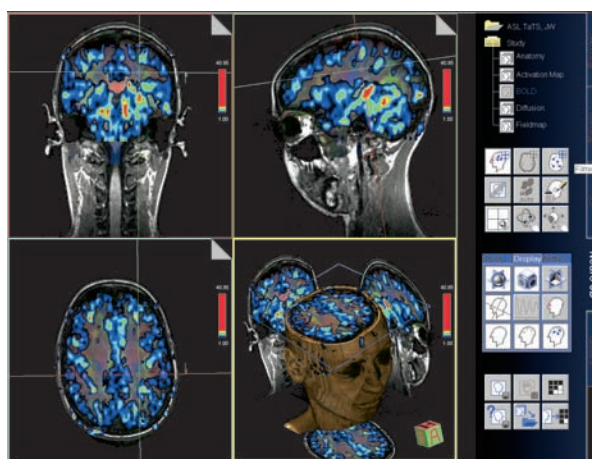


図16 ASL データの 3D 解剖画像へのフュージョン

また最新ソフトウェアバージョンで製品として供給される非造影 Perfusion 計測の ASL (Arterial Spin Labeling) にも適用できるため、多少の体動がある患者であっても高精度の脳血流測定をすることができます。

乳房における位置ズレ補正

BRACE (Breast Acquisition and Correction) は、乳房造影ダイナミックの各撮像ごとの位置ズレを補正する機能です。SPAIR (Spectral Attenuated Inversion Recovery) の併用により均一な脂肪抑制効果が得られるようになってきたが、体動があると造影前後のサブトラクション画像において解剖学的情報にズレを生じ、乳管等を MIP で描出した際の画像にも影響を与えます。

BRACE はダイナミックスキャンの全画像データ収集終了後に、各 3D データセットの乳房画像の輪郭から 3 次元的位置ズレ補正を行います。柔軟かい

組織なので多少の変形がありうるということを前提に処理されるにもかかわらず、512x512 マトリクス、80 スライスの場合補正処理を短時間に行います。

肝臓における位置ズレ補正

DynaVIBE は、肝臓造影ダイナミックの各撮像ごとの位置ズレを補正する機能です。体動の他に各スキャンにおける息止めの呼気(あるいは吸気)の仕方が異なっていることでも、サブトラクション時に位置ズレを生じたり、時間－信号強度変化曲線にも影響を及ぼしたりする可能性があります。

DynaVIBE はダイナミックスキャンの各データから肝臓の輪郭を抽出し、3 次元的な位置や形態の補正を行います。これによって、ピクセルごとの信号変化

解析を高い精度で行うことができます

おわりに

MRI の開発は、マグネット、傾斜磁場、受信コイル、ソフトウェアなどの統合力が重要になります。

シーメンスは、MRI 創世記から全てを統合的に自社開発することにこだわってイノベーションを打ち出してきました。その例が、Tim であり、TrueForm です。単に技術的に優れているというだけでなく、画像診断に役立てる画像や検査に携わる方々のワークフロー、患者の検査環境、そして病院経営に役立てる検査内容とスループット、それぞれに対するソリューションを、これからも提供してまいります。

「フィリップス社の MRI 開発と販売戦略の現在と未来」

株式会社 フィリップス エレクトロニクス ジャパン
クリニカル&クリニカル サポート部 MR 小栗 大介

1. MRI 開発の現在と未来

近年、MRI 装置の導入は、大学病院、官公庁病院、民間総合病院などの大規模な施設だけでなく、画像診断センター、単科クリニックなどの専門施設にまで広がってきています。

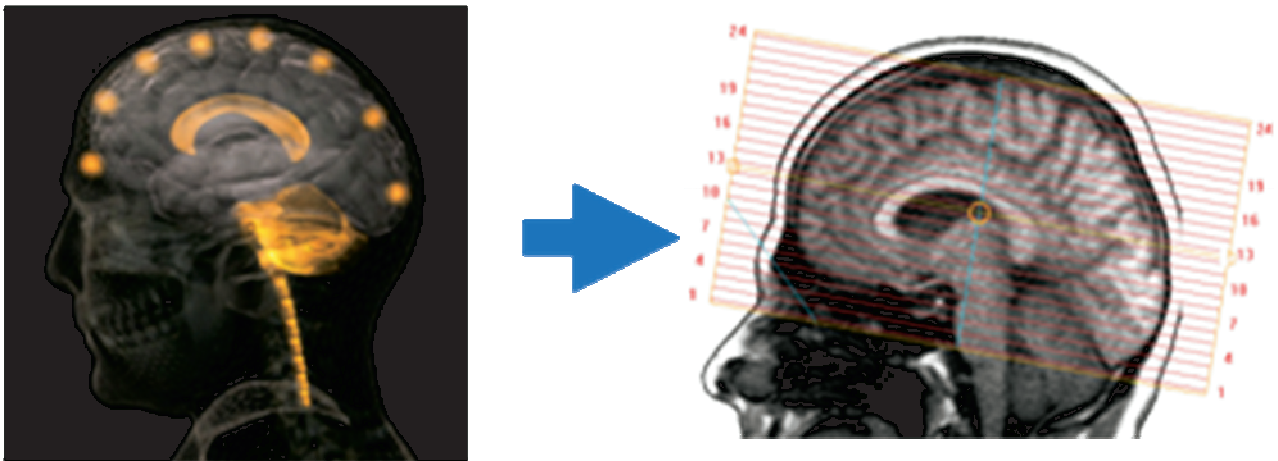
このような中、MRI に求められる性能は、病変をより鮮明に描出することはもちろん、誰にでも同じ品質（読影する上で必要な断面像、画質など）で MRI 検査ができることが、より一層重要となってきています。

そこで弊社では、高磁場 MRI 装置である 3.0T から中磁場の 1.5T までの全ての機種に対応するオペレーター支援システムや読影支援システムの開発に注力しています。

オペレーター支援システムでは、被験者毎に 3 次元の解剖学的情報を収集し、被験者に応じた撮像断面の決定（図 1）から本撮像、ポストプロセッシング（フィルタリング処理、MIP 処理、MPR 処理、サブトラクション処理、ADC/ eADC 解析、Perfusion 解析（造影、非造影の両方）、スペクトロ解析など）までをコンピュータシステムが自動的に行います。これによって、オペレーターの誤操作軽減や検査ワークフローの標準化、柔軟な緊急 MRI 検査の対応などが可能となります。

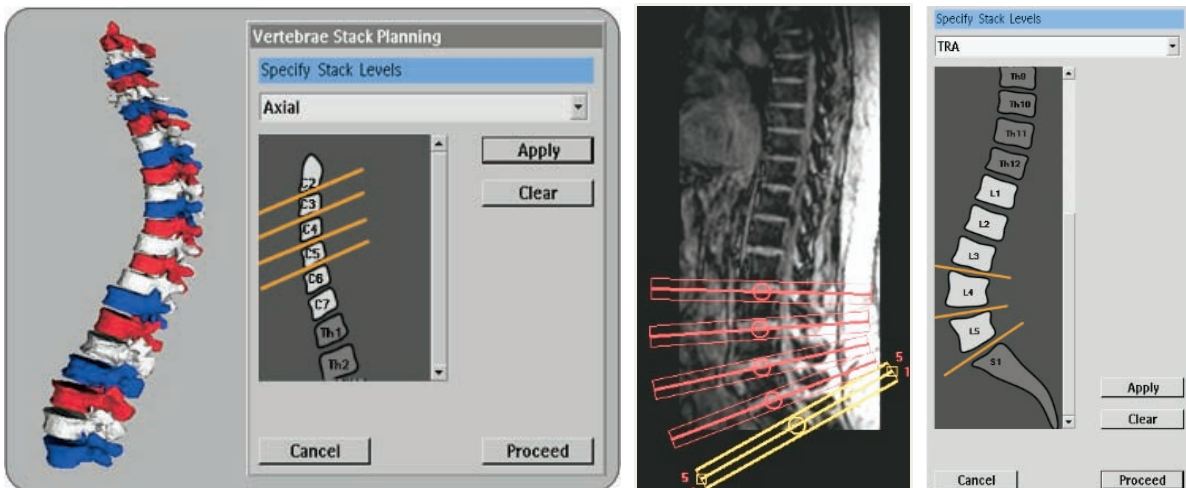
この支援システムの機能は、まず頭部領域にて開発され、現在では、脊椎（図 2）、肩関節、膝関節（図 3）という領域にまで広がっています。これによって、現段階においても MRI 検査の約 7 割程を占める領域で、オペレーター支援システムをご利用いただくことができます。

更に乳房領域や心臓領域においても同機能を装備するオペレーター支援システムの開発を進めており、これらの商品化より今後更に MRI 検査の多領域化、高度化、複雑化（多様なコントラストの撮像を多様な断面で撮像を行うという意味において）が進む中、より一層オペレーター支援に貢献できると考えます。



(図 1)

被験者の脳実質、眼窩、脳梁などを認識し、自動的に施設毎に学習した撮像断面の撮像を行う。複数の測定ポイントを基に、撮像位置を認識するため、高精度の撮像断面設定が可能となる。



(図 2)

脊椎の 3 次元情報を元に椎体のナンバーリング (位置認識) を行い、任意の撮像断面が選択可能である。前検査にて検査した椎間板の位置が分かっているならば、フォローアップの際には、その位置の椎間板を撮像する ExamCard (撮像条件等を保存しているデータフォルダ) を選択して撮像するだけで、同じ撮像断面と撮像条件下での撮像が可能となる。



(図 3)

膝関節の撮像断面の決定は、大腿骨（だいたいこつ）、脛骨（けいこつ）、膝蓋骨（しつがいこつ）、腓骨（ひこつ）の4つの骨の情報を元に決定する。

上述では、MRI 検査におけるオペレーター支援システムについてご説明をいたしました。但し、これらのオペレーター支援技術だけでは、我々フィリップスとしては高度画像診断を行う上で、未完成形であると考えます。より高度でより正確な画像診断を頂くためには、オペレーター支援システムに加えて、充実した画像診断支援システムもまた重要であると考えます。

現在、我々は、画像診断支援システム（図 4）などを開発しています。この画像診断支援システムは、高度な解析機能、3 次元画像生成機能、画像フュージョン機能などを搭載したものであり、高度なオペレーター支援システムと組み合わせることによって、よりの確な、また高度な画像診断をご提供することができるものと考えています。



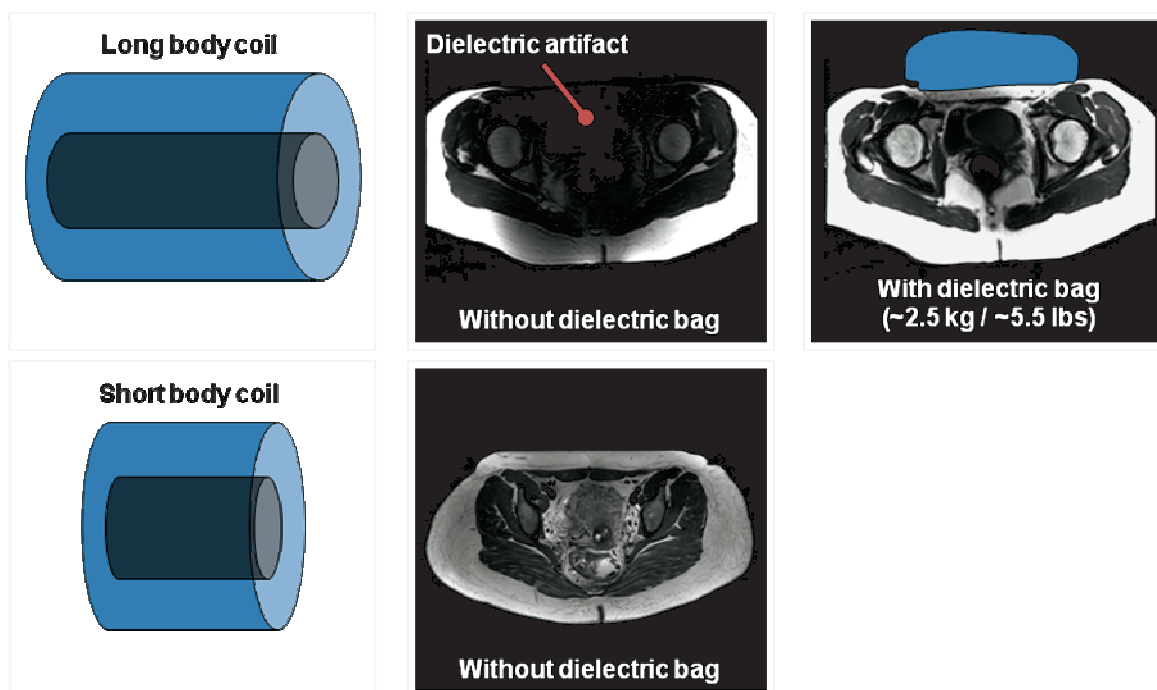
(図 4)

乳房読影支援システム

高磁場 MRI 装置である 3.0T もまた、体幹部領域の大幅な画質向上により、脳神経領域を専門とする研究機関や病院施設以外においても、その需用が一層高まっています。

現在、弊社 3.0T 装置は、プロトンの共鳴周波数が 1.5T の倍の 128MHz になり、この高い周波数の影響が起因して発生する励起 RF 波 (B1) の画像の不均一効果＝誘電効果を、誘電パット (約 2.5kg ほどの重量があり RF コイルと関心部位の間に装着。) を装着することなく、体幹部を明瞭に撮像することが可能になります (図 5)。

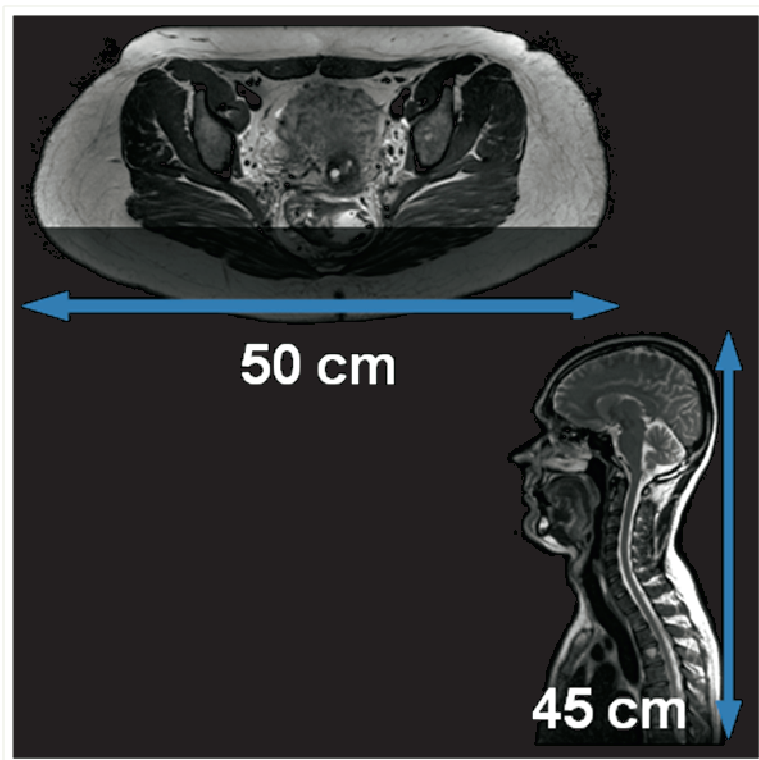
被験者に圧迫感 (体厚が薄い小児や高齢者の被験者においては、より圧迫感を与えてしまう) を感じさせることなく、誘電効果を大幅に軽減することができるこのような多様な技術を弊社では標準で搭載しています。



(図 5)

従来型の長い送信コイル (Body Coil) の場合、撮像視野は広がるが、広範囲にラジオ波を照射してしまうため、SAR が上昇するだけでなく、誘電効果も高くなってしまう。

3.0T に最適化された送信コイルの場合、撮像視野は狭くなるが (弊社 3.0T 装置ではこの技術を採用しながらも Z 軸方向の撮像視野: 45cm、X、Y 方向の撮像視野は 50cm を実現 (図 6))、ラジオ波の照射領域を狭めることができるため、SAR の軽減できるだけでなく、誘電効果も大幅に軽減することができる。

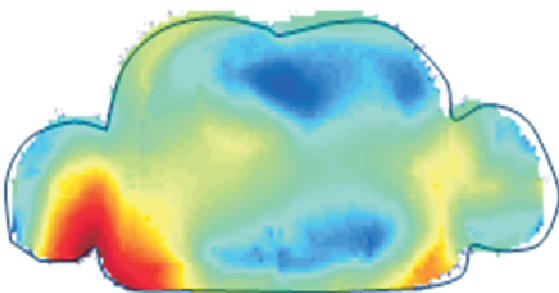


(図 6)

横手方向 50cm の撮像視野で撮像された骨盤部の画像。

頭尾方向 45cm の撮像視野で撮像された頭頂部から頸椎までの画像。

また、高い共鳴周波数による比吸収率（SAR : Specific Absorption Rate。以降 SAR と略す）の上昇によって、被験者の体温上昇が懸念されているが、弊社 3.0T 装置においては、局所的に最も SAR が上昇するであろう体内組織において、IEC、JIS 規格の基準値を超えないように厳密にシステム制御を行っています（図 7）。



(図 7)

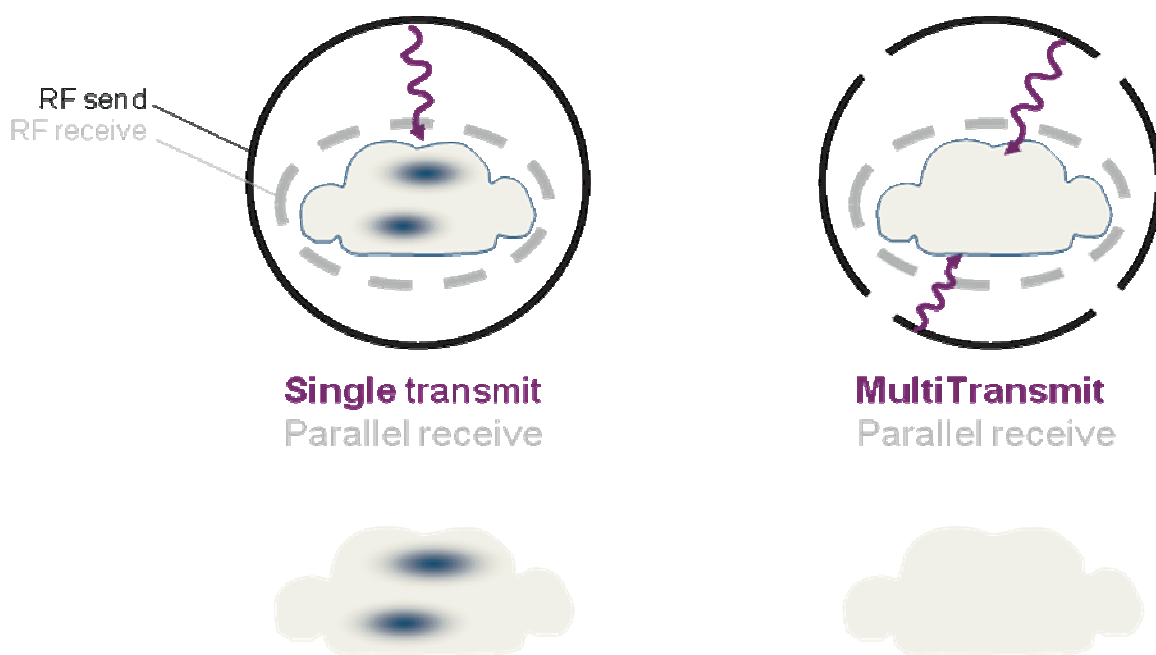
Local SAR。赤色部分が最も SAR が高い。人体においては、その組織などによって SAR が異なる。

そのため、Local SAR を考慮し、最も SAR が高くなる部位が IEC、JIS 格の基準値を超えないような多様な制御を行っている。

しかしながら、このような高度で、多様な技術を搭載しながらも、被験者の個体差によって誘電効果の発生度合いが異なり、画像の不均一効果の影響を受けてしまう場合があります。また、一般的に使用されることが多い高速 SE 法において、複数個のスピンエコー信号を発生させる複数回のリフォーカスパルス（ 180° パルス。但し、通常は“Flip Angle Sweep “という技術によって、徐々にフリップ角を低下させながら撮像することで、SAR を軽減させている）の連続照射によって SAR が上昇するため、時間短縮に寄与するエコータイム、エコートレイン数が制限されてしまいます。このため、S/N 比は高いものの、撮像時間の延長が発生してしまう場合があります。

弊社ではこれらを解決するために多数の技術を開発しており、その中の一つに、“Multi Transmit”という技術があります（図 8）。この技術は上述 3.0T の問題点である誘電効果と SAR の両方を同時に解決できる最先端技術として、世界中から注目されています。

この最先端技術は、送信ラジオ波（B1。以降 B1 と略す）の均一性を計測・解析を行い、適切な送信ラジオ波の波形を複数のチャンネルから発生させることで、被験者の個体差に依存することなく、B1 の高い均一性を実現することにより局所 SAR の上昇を防止し結果として被写体への SAR 上限予測値が改善できます。



（図 8）

“Single Transmit”（シングル送信）では、誘電効果が 2 か所に見られる。しかしながら、“Multi Transmit”（マルチ送信）では、最適化されたラジオ波の波形とマルチ送信によって均一な画像を得ることができる。



(図 9)

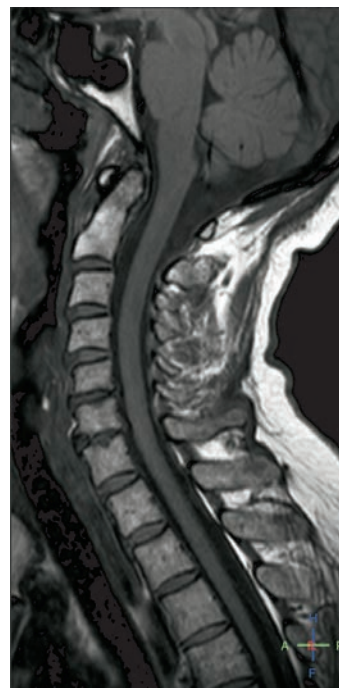
Single Transmit

T1w TSE

0.8 x 1.0 x 3.0 mm

11 slices

Scan Time : 3 min 21 sec



(図 10)

Multi Transmit

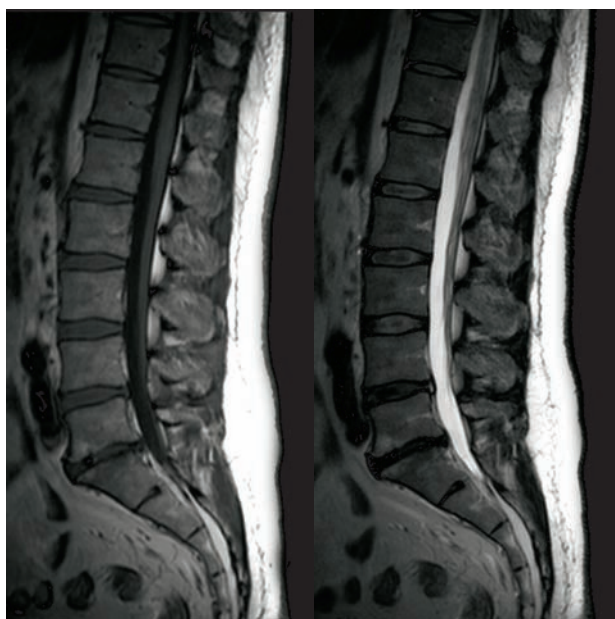
T1w TSE

0.8 x 1.0 x 3.0 mm

11 slices

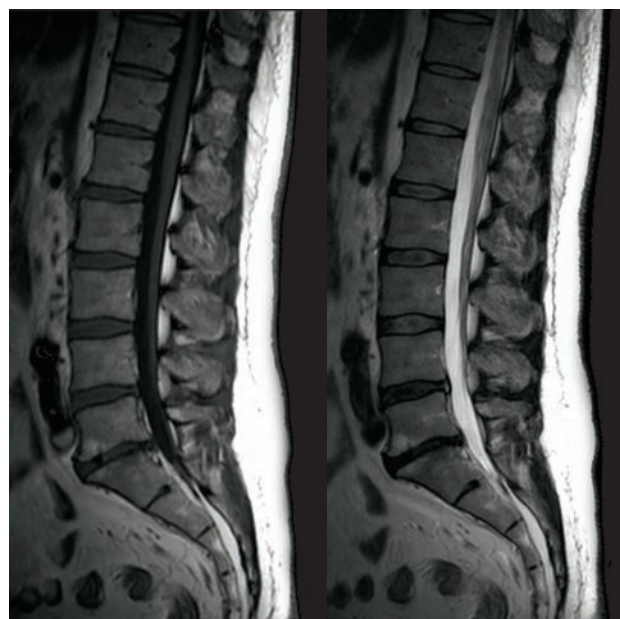
Scan Time : 2 min 33 sec

※Single Transmit に比べ、約 30%の撮像時間の短縮を実現。



(図 11)

Single Transmit



(図 12)

Multi Transmit

画像左：

T1w

Scan Time：3 min 14 sec

画像右：

T2w

Scan Time：4 min 25 sec

(合計撮像時間：7 min 39 sec)

画像左：

T1w

Scan Time：2 min 12 sec

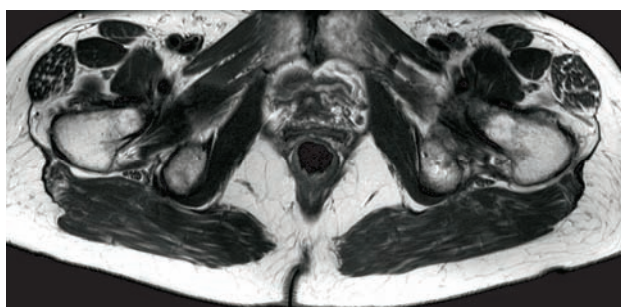
画像右：

T2w

Scan Time：2 min 23 sec

(合計撮像時間：4 min 35 sec)

※Single Transmit に比べ、約 30%以上の撮像時間の短縮を実現。



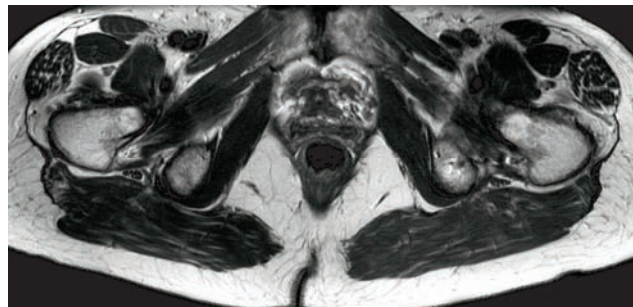
(図 13)

Single Transmit

T2w TSE

SENSE Factor：3

Scan Time：8 min



(図 14)

Multi Transmit

T2w TSE

SENSE Factor：3

Scan Time：5 min

※Single Transmit に比べ、約 30%以上の撮像時間の短縮を実現。

2. 販売戦略の現在と未来

上述でご紹介させていただきました通り、弊社では、現在、幅広い設定値、被写体において高品質な MRI 検査ができるオペレータ支援システムや読影支援システムの開発を行っております。また、国内で一番注目されている高磁場 3.0T 装置において、より一層幅広くご使用頂ける様に、基幹ハードウェアの技術改善や将来の最先端技術の開発を精力的に行っております。

弊社としましては、高い開発力の背景に得られた技術を迅速に商品化することによって、元々、非侵襲的な画像診断装置として評価が高い MRI 装置を、更により幅広い領域でご使用いただけたと考えています。また、より高品質な MRI 検査を実現することで、更に多くの医療機関・研究機関にご採用頂けるものと考えています。

高額な診断装置である MRI 装置は、ご導入後 10 年以上、お使いになられるご施設が増加しています。このような中で、弊社としましては、一度ご導入されますとアップグレードができないマグネットシステムや、MRI 装置においては頭脳に例えられるデータ収集システムを、後々、撮像機能強化を行った場

合でもデータ収集システムの性能は継続して十分に使用できる設計を行っています。

最新アプリケーションをソフトウェアの機能強化だけでもご使用頂けるため、リプレースのような導入コストが高額となってしまうご提案だけでなく、既設 MRI 装置の機能強化（アップグレード）のご紹介も積極的に行っていきたいと考えています。