

1.5T超電導MRI装置 ECHELON OVALの特長

The features of the 1.5T super-conducting MRI system ECHELON OVAL

八杉 幸浩 Yukihiro Yasugi

青柳 和宏 Kazuhiro Aoyagi

株式会社日立メディコ CT・MR営業本部

ECHELON OVAL^{*1}は、ユニークなワイドボアを搭載し高磁場MRIの高画質を両立できるMRIとして開発した1.5T超電導MRI装置である。この装置のコンセプトはオーバル形状のワイドボアを実現するOVAL Technology、高いスループットを達成するWIT(Workflow Integrated Technology)、最新のアプリケーションの搭載である。

ECHELON OVALは被検者にやさしい検査環境を提供する新しい高磁場MRIである。

The ECHELON OVAL^{*1} is a 1.5T super-conducting MRI system incorporating a wide bore developed with an advanced design and the high image quality of the high magnetic field. The design concepts of this system are “OVAL Technology” to realize an oval-shaped wide bore, “WIT” (Workflow Integrated Technology) to achieve a high throughput and the load of the latest applications.

The ECHELON OVAL is a new high magnetic field MRI providing an examination environment friendly with examinees.

Key Words: Super-Conducting MRI, Wide Bore, OVAL Technology, Workflow, ECHELON OVAL

1. はじめに

超電導MRI装置ECHELONシリーズはECHELON Vega^{*2}(2007年発売)からECHELON RX(2011年発売)へと続く日立メディコの1.5T MRI装置のシリーズであり、最新の撮像技術と高画質を実現したことで、国内外において高い評価を得ている。

今回、従来のECHELONシリーズの特長はそのままに、新たに楕円形状のワイドボアガントリを搭載した新機種ECHELON OVAL^{*1}(図1)を市場投入した。ECHELON OVALは特にハードウェアにおいて以下に示す多彩な特長技術を搭載している。

- ・楕円形状が特長的なOVAL Patient Bore
- ・楕円形状ボアに最適な傾斜磁場を与えるOVAL Drive GC
- ・高出力2ch独立制御のRF照射システムOVAL Drive RF
- ・着脱式で斜めからのドッキングが可能なWIT Mobile Table
- ・ワークフローを考慮し検査のスループットを向上したWIT RF Coil System



図1：ECHELON OVAL外観

- ・撮像室内で各種情報が確認できる WIT Monitor
- ・受信信号を光伝送する Optical RF Transmission
(GC : gradient coil RF : radio frequency)

2. ハードウェアの特長

表1にECHELON OVALの主な仕様を示す。超電導MRIでは静磁場の均一度が最も重要である。広い撮像空間における画像の均一性や確実な脂肪抑制、新たなアプリケーションであるCSI(Chemical Shift Imaging)など、高い静磁場の均一度がますます要求される状況にあり、ワイドボアMRIの実現においても静磁場均一度は最優先に確保されるべきものと考えている。ECHELON OVALではこれまでの装置と同等の0.2ppm/40cmDSVを確保し、さらに被検者が撮像空間に入ったことによる静磁場の歪みを電氣的に補正するアクティブシミング機能HOSS(High Order Shim System)も搭載しており、特に曲線的な高次項の静磁場歪を補正する機能は画質の向上に有効性が認められている。以下、本装置のハードウェアの特長を紹介する。

表1 : 主な仕様

項目	仕様
静磁場強度	1.5T
磁場均一性	0.2ppm/40cmDSV
マグネットの長さ	1,600mm
ボア径	740mm×650mm
撮影テーブル	着脱式 電動式上下動、ロングストローク
傾斜磁場強度 最大値	34mT/m
スリューレート 最大値	150mT/m/ms

2.1 OVAL Patient Bore

寝台に横になった人体の形は楕円形をしている。快適な検査空間を追求した楕円ボアは、図2に示すように被検者の前後方向を65cm、左右方向を74cmと大幅に拡張し、検査空間を従来の60cmクラスのボア装置から約40%拡張した。これはSpineコイルを組み込んだ薄型設計テーブルによるテーブル上部の実効空間拡大による効果である。体の大きな被検者

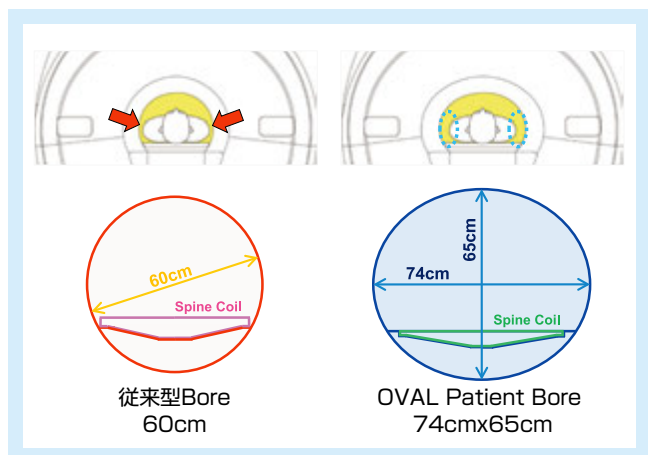


図2 : ボア開口径の比較

が入っても前後、左右方向ともに十分な余裕がある。

このOVAL Patient Boreは被検者の撮像空間の確保だけでなく、63cm幅のワイドテーブルを可能とした。特に肩関節などオフセンター部位を撮像する際には被検者を静磁場中心に移動して撮像できるので、最も磁場均一度の高い磁石のセンターを有効に利用して、より高画質な画像を得ることができる(図3)。肩関節以外にも膝関節や心臓など磁石中心に移動撮像できるメリットは大きい。

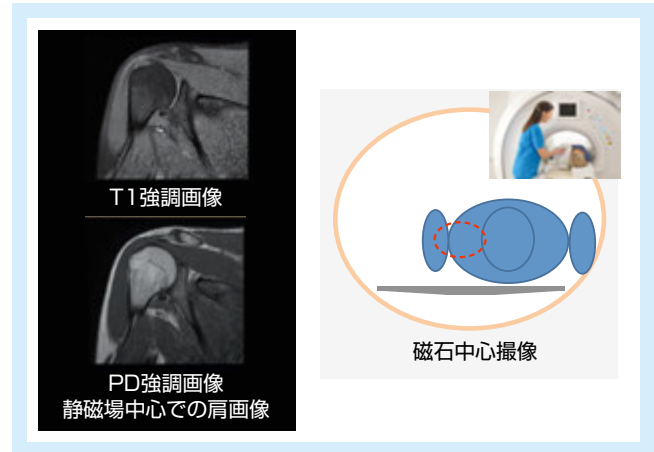


図3 : 肩関節の撮像例

2.2 OVAL Drive GC

OVAL Patient Boreは楕円形状の傾斜磁場コイルを開発することで実現した。これは日立の傾斜磁場コイルを高密度薄型化する技術と磁場を精密にコントロールする技術により達成されたものであり、OVAL Drive GCは楕円に拡張された空間にリニアリティの高い傾斜磁場を発生する。

2.3 OVAL Drive RF

快適な検査空間の実現のためにはRF照射コイルの薄型大口径化と高い照射均一度の達成が必要である。OVAL Drive RFは新開発した楕円形状の薄型RF照射コイルであり、さらに、RF照射は3T装置で用いられている照射位相とパワーを独立してコントロールできる2ch独立制御方式を採用した。これにより図4に示すように照射ムラの発生しやすい乳房撮像においてさらなる高画質を実現した。

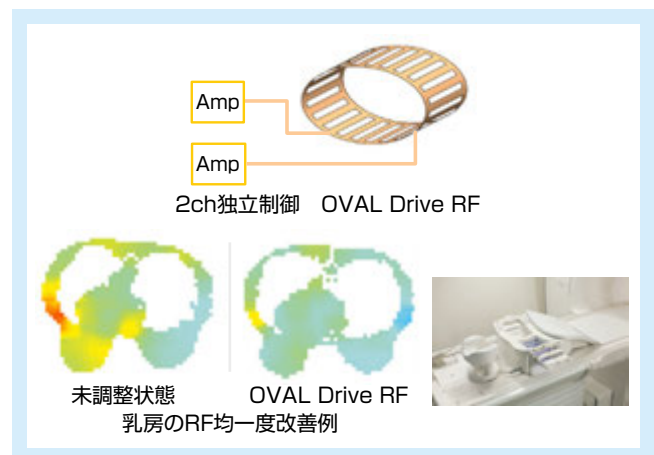


図4 : OVAL Drive RFの効果

2.4 WIT RF Coil System

昨今のMRIシステムでは撮像時間の短縮のみならず、被検者セッティングを含めたトータル時間の短縮によるワークフローの高速化が求められている。高感度受信とワークフローを両立したWIT RF Coil Systemはコイル装着にかかる時間を低減しトータル検査時間の短縮を図るものである。

WIT RF Coil Systemは頭頸部撮像においては図5に示すように下側に配置したWIT Posteriorコイルをベースに上部にWIT Anteriorアタッチメントの頭部用、頭頸部用、頸椎部用を乗せ換えるだけで頭部、頭頸部、頸椎を最適な感度分布で撮像することができる。また、体幹部撮像においては図6に示すようにテーブルに組み込まれたWIT Spineコイルと被検者上部に乗せたWIT Torsoコイルを組み合わせることで、容易にセッティングが可能である。このとき、頭部用のコイルを外す必要もなく、これまでのようなコイル棚への受信コイルの置き換えにかかる手間を無くしている。さらに、ワイドテーブルのメリットを活かして、WIT Spineコイルのサイド部分をフレキシブルなコイル構造にして体幹部に巻き付けることで、より高感度な撮像を可能とした。

WIT Spineコイルはケーブルレスでテーブルトップに着脱が可能であり、撮像部位やヘッドファースト、フィートファーストといった撮像体位に合わせて撮像範囲を移動することができる。この着脱機能はマンモコイルの装着時にはWIT Spineコイルを外すことにより被検者の前後方向により広い検査空間を確保できる。



図5：WIT RF Coil System(頭頸部)



図6：WIT RF Coil System(体幹部)

2.5 WIT Mobile Table

着脱可能なWIT Mobile Tableは被検者の乗せ換えを検査室外で行うことで持ち物などが磁石に吸着するリスクを軽減できる。このWIT Mobile Tableは図7に示すようにガントリに向かって斜めからのアプローチでも接続が可能で、これまでのように正面から接続する必要がないため使いやすく、さらに撮像室をコンパクトに設計できる利点がある。

また、2台目のWIT Mobile Tableを用意することで撮像中に次の被検者セッティングを行いスループットをより向上させることも可能である。

テーブルトップは電動による上下可動式で最低高を50cmまで下げられるので、小児や高齢者の乗り降りの負担を軽減できる。この電動昇降はテーブル本体にバッテリーを搭載しておりアンドック時でも可能である。ワンタッチで引き出せるアームボードはテーブル移動時の被検者のガードとして垂直位置まで可動できる。ワイドなOVAL Patient Boreに合わせ、拡張したテーブル幅は63cmで、広くゆとりのある検査空間は狭いところが苦手な方にも優しい設計である。



図7：WIT Mobile Tableの特長

2.6 WIT Monitor

ガントリ前面にWIT Monitor(液晶モニタ)を搭載した。心電図、脈波形、呼吸波形を表示できるほか、被検者氏名・体重・撮像姿勢の設定、接続されているコイルなどの情報を確認できる。

3. 楕円形状を実現した技術

ワイドボアMRIの実現には2つの手法が考えられる。

図8に示すように1つは磁石の大型化で、傾斜磁場コイルの厚さを確保してボア径を拡大するためには磁石が大型化して、静磁場均一度の低下や漏洩磁場の増加が生じる可能性がある。もう1つは傾斜磁場コイルを薄型化することであるが、アクティブシールド方式のメインコイルとシールドコイルとの間隔が狭くなるために傾斜磁場の発生効率とリニアリティの低下が問題となることが予想される。このため、楕円形状の傾斜磁場コイルが実現できれば超電導磁石の性能を維持したワイドボア化が可能となり、また、撮像空間の確保と傾斜磁場コイルに必要な性能の両立が実現できるが、このような特殊な形状の傾斜磁場コイルの開発はこれまで困難であった。

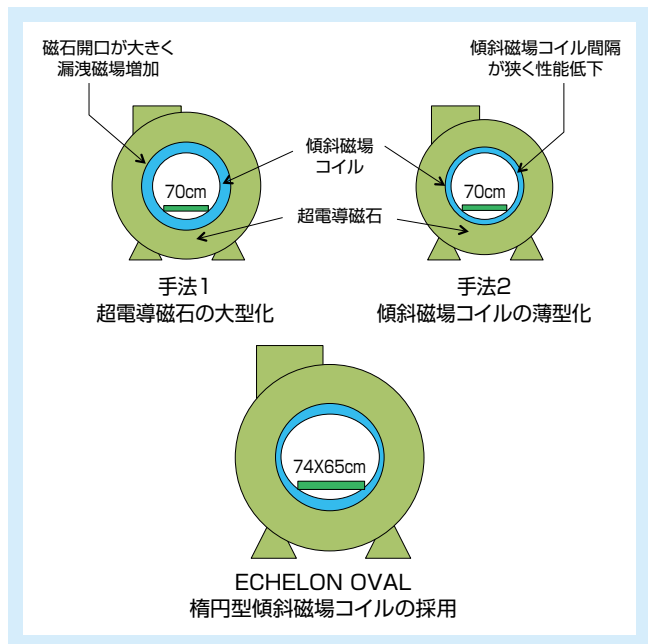


図8：MRIのワイドボア化手法

日立メディコには超電導オープンMRI OASIS^{®3}の開発で培ったフラットな傾斜磁場コイルを設計する高度な技術がある。図9に示すこの技術は、核融合装置のプラズマを制御する高精度コイルを設計するために日立が開発した解析シミュレーションプログラム DUCAS[®]である。これは従来のようにコイルパターンを入力して発生する磁場分布を計算するのではなく、発生させたい磁場分布とコイルの存在位置を入力して、逆問題を解いて任意の形状のコイルパターンを計算できるプログラムである。この技術によりECHELON OVAL



図9：OVAL Drive GCの開発

ではこれまで困難であった楕円形状の傾斜磁場コイルを実現するためのOVAL Drive GCのコイルパターンの設計を完成させた。

4. 高機能アプリケーション

高磁場MRI装置では撮像機能であるアプリケーションの充実が重要なポイントとなっている。ECHELON OVALに搭載された特長的な撮像機能について紹介する。

4.1 RADAR

RADAR (RADial Acquisition Regime) は日立独自の手法による radial scan 技術を用いたモーションアーチファクトの低減機能である。

図10に示すようにk空間を回転状に撮像する radial scan がモーションアーチファクトの低減に効果があることは知られている。モーションアーチファクトは位相エンコード方向に特異的なアーチファクトの収束が生じ、画像に大きな影響を与える。radial scanはこのアーチファクトを分散するため、影響を低減できる。また、画像のコントラストに重要なk空間の中央部のデータを毎回取得するため加算効果も期待できる。

日立メディコのRADARはこのradial scanを拡張し、一般的に用いられているFSE法だけでなくSE法やDiffusion撮像にも応用できるシーケンスの自由度が高く、撮像部位や撮像断面などによらず幅広く適用でき、ルーチン撮像に効果を発揮する。さらに、受信コイルの感度分布を利用して撮像時間を大幅に高速化するパラレルイメージング技術(RAPID: Rapid Acquisition through a Parallel Imaging Design)を併用して撮像時間を短縮することも可能である。

RADARでは従来の撮像法であるcartesian scanとradial scanを容易に切り替えて撮像でき、図10の画像例に示すように効果的にモーションアーチファクトを低減できる。

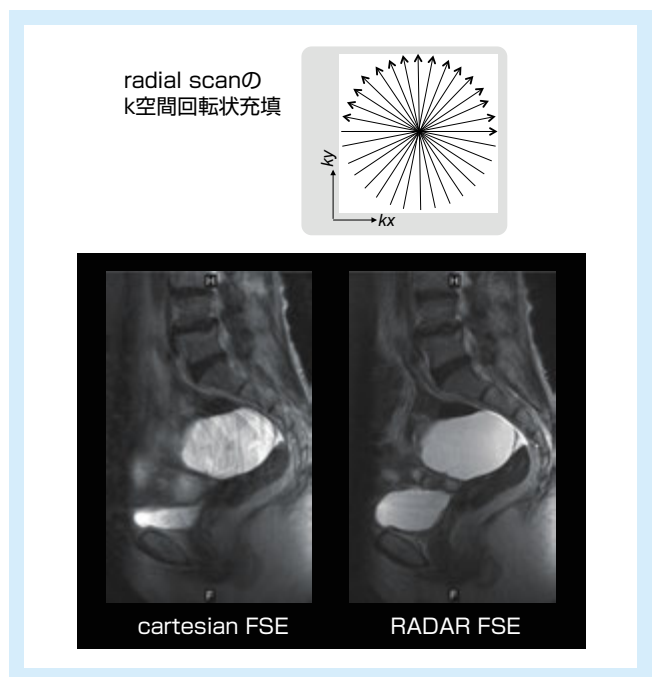


図10：radial scan RADARの効果

4.2 μ TE^{*4}

RADARのradial scan技術を応用し、TE(エコータイム)を極限まで短縮したシーケンスが μ TEである。極めて短いTEによる撮像では腱や靭帯などのこれまで撮像が困難であった低信号組織を描出できるので、特に整形領域での応用が期待されている。図11は画像例であるが、アキレス腱の画像はTE:0.25msのデータと通常のTE:10.0msのデータを差分してTEの極めて短い組織のみを画像化したものである。また、膝関節の後十字靭帯の画像はTE:0.36msとTE:10.0msの差分画像である。

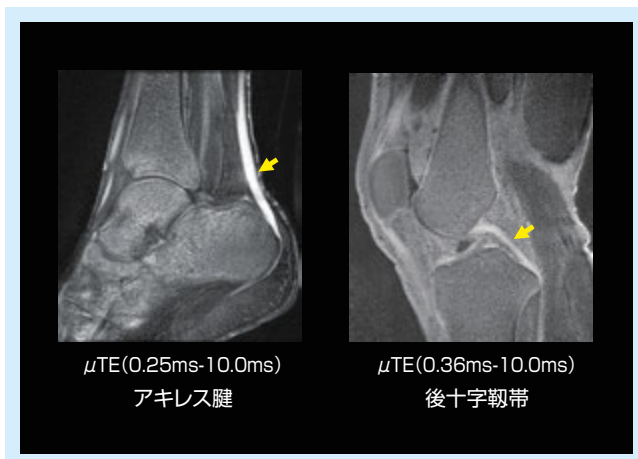


図11: μ TEの画像例

4.3 AutoPose

AutoPoseは図12に示すように、頭部の撮像時に自動的に撮像断面を設定する機能である。この機能の特長は余分な計測時間が不要で撮像位置決め用の3断面画像のみで頭部組織の解剖学的パターン認識を行い、正中線、OMラインなどの撮像断面設定を支援する機能である。このAutoPoseの活用でワークフローをさらに向上することが期待される。

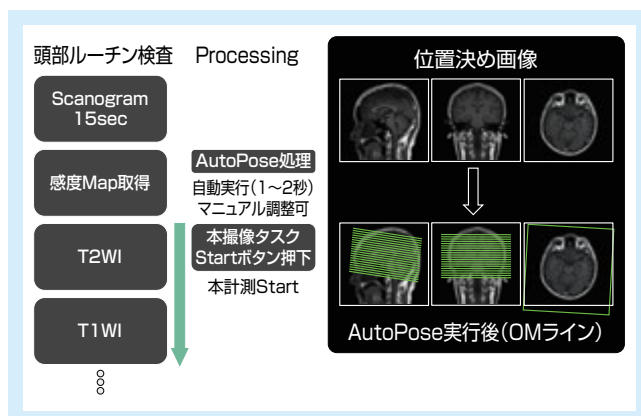


図12: 自動撮像位置設定機能 AutoPose

5. まとめ

日立メディコの新しいワイドボアMRI ECHELON OVALは楕円形状のワイドボアを実現した「OVAL Patient Bore」、

コイル装着を容易にしワークフローを改善する「WIT RF Coil System」といったハードウェアの特長に加え、高機能撮像を実現する最新のアプリケーション「RADAR」「 μ TE」「AutoPose」などを搭載したハイエンドの1.5T MRI装置である。

日立メディコが培ってきたOpenMRIの快適性と高磁場MRIの高画質を両立できるMRIとして、今後の臨床の場での活躍が期待される。

※1 ECHELON OVAL、※2 ECHELON Vega、※3 OASIS、※4 μ TEは株式会社日立メディコの登録商標です。

参考文献

- 1) Abe M, et al. : Design of compact planar GC for high field open MRI using the computational tool DUCAS, Proc. 19-th Annual Meeting Intl. Soc. Mag. Reson. Med., No. 3794, Montreal, May 2011.