

# 広領域と高精細を両立した MRI 装置

## MRI System Enabling Wide-Area Scans Concurrently with High-Resolution Imaging

日野 正章

吉田 智幸

岡本 和也

■ HINO Masaaki

■ YOSHIDA Tomoyuki

■ OKAMOTO Kazuya

近年、侵襲性が少ない特長を生かした MRI (Magnetic Resonance Imaging : 磁気共鳴イメージング) 装置を用いた検査は、単なる画像診断から治療支援へとその役割も進化しつつある。例えば、がん細胞の画像化による全身のリンパ転移確認や、非造影による心臓の冠動脈の画像化がそれにあたる。これらの進化に伴い、局所的部位の検査から広領域検査へ、更には広領域であっても高精細画像を得ることへと、装置に対する要求も広がりを見せている。

従来の RF (Radio Frequency) コイル技術では、広領域をカバーしつつ同時に局所部位においても高精細な画像を得ることは困難であったが、東芝メディカルシステムズ(株)は、クリニカルワークフローの観点から、画質に対してあくまで妥協することなく、広領域と高精細の両立、及び操作性の追求に取り組んでいる。

The low invasiveness of magnetic resonance imaging (MRI) has led to the recent expansion of MRI applications from diagnostic imaging to treatment support. Examples of treatment support applications include cancer cell imaging for the detection of lymph node metastases throughout the body and non-contrast-enhanced coronary artery imaging. As the applications have expanded, demand has increased for MRI systems capable of imaging wide areas in addition to imaging specific smaller regions. Now, there is growing demand for MRI systems capable of imaging wide areas with high resolution. Using conventional radio frequency (RF) coil technologies, however, it has been difficult to cover wide areas while maintaining high resolution for specific smaller regions.

Toshiba Medical Systems Corporation's new coil technology, which was developed from the viewpoint of clinical work flows, has addressed this important issue. It achieves coverage of a wide area while maintaining high resolution and excellent image quality, and also achieves high operability.

## 1 まえがき

MRI (Magnetic Resonance Imaging : 磁気共鳴イメージング) 装置は、1983年に最初の商用機が発売されて以来普及が進み、今日では広く臨床の場で活躍しているが、急速に普及した理由として、超音波診断装置と同様に、侵襲性の少なさが挙げられる。普及の速度に比例して技術の進歩も急速で、より短時間に、より高品質な画像を収集できるように、次々と革新的な技術が開発されてきた。

その一つの例が撮像時間の短縮技術で、高速傾斜磁場スイッチング技術や高速パルスシーケンス EPI (Echo Planar Imaging) 法の開発が進められてきた。最近ではパラレルイメージング法 SPEEDER<sup>(1)</sup>を開発し、画像のコントラストを变えることなく撮像の高速化を実現させる技術として、臨床でもあたりまえのように使われている。

当社はこれら最新の技術に加え、患者の検査環境への配慮から開放感のある短軸・大口径磁石を採用し、更に、撮像中の不快な騒音を低減させる、当社独自の静音機構 Pianissimo<sup>(2)</sup>を搭載した MRI 装置 EXCELART Vantage<sup>TM</sup> (図1)を製品化した。

一方、医療の現場では、病気の早期発見、早期治療の重



図1. EXCELART Vantage<sup>TM</sup> — 短軸・大口径磁石を採用した静音型 MRI 装置である。

EXCELART Vantage<sup>TM</sup> MRI system

要性は高まっており、これからの MRI 装置に対してもスクリーニングへの応用、更には画像による治療支援情報の提供へと、その役割の変化に応えられるように、ますます高いパフォーマンスが求められている。

そこで当社は、MRI 装置を用いた広範囲の撮像を含むスクリーニングを想定し、そのワークフローを追及するいわゆる“クリニカルワークフロー”の観点から技術開発を進めて

きた。その中でも特に、患者やオペレータとの接点が多いRFコイル技術を中心に述べる。

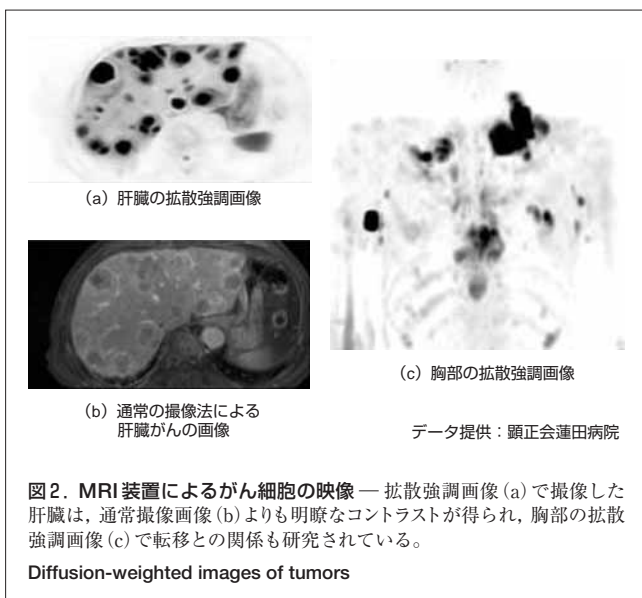
## 2 治療支援として期待されるMRI画像

最初に、MRI装置による治療支援としてその応用が期待されている画像について述べる。

### 2.1 がん診断への適用

がん細胞は発生した臓器で増殖するだけでなく、他の臓器に転移するため、転移する前に発見して治療することが望ましい。また、例えば、がん細胞の切除による外科的治療の経過観察においても、リンパ節や他の臓器への転移の有無を確認することは重要となる。

がん細胞は、正常細胞に比べて水分の拡散の程度が小さくなることが多い。水分のランダムな動きを強調して映像化できる拡散強調画像を用いると、がん細胞と正常細胞を明瞭(めいりょう)なコントラストで区別できる可能性があり、現在多くの研究が継続されている(図2)<sup>(3)</sup>。



### 2.2 心疾患診断への適用

狭心症や心筋梗塞(こくそく)に代表される虚血性心疾患は、心筋に栄養を送る冠動脈の狭窄(きょうさく)などによって引き起こされる。現在、冠動脈の映像化はX線循環器診断装置やCT(Computed Tomography)装置が主流であるが、X線を使用するうえに血管の描出には造影剤が不可欠であり、リスクを伴った検査である。心臓は動きのある臓器なのでMRI装置は苦手とされてきたが、リアルタイムな位置補正技術と高速撮像技術の進歩により、造影剤を使用せず息止めが可能な時間内で撮像することが可能となってきた。息止めした状態での冠動脈のMRI画像を図3に示す。

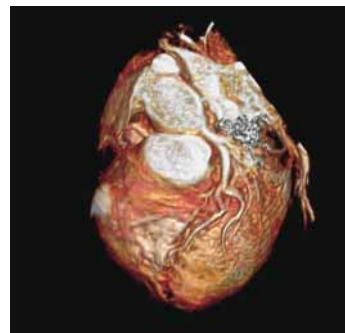


図3. 息止めによる冠動脈のMRI画像—MRIでは息止めにより、冠動脈の画像が非造影で得られる。

Whole-heart coronary MRI image with breath held

ここで課題として挙げられるのが、がん細胞の転移をスクリーニングするような全身の広範囲な撮像と、心臓検査のような局所的な関心部位に対する高精細な撮像という二律背反する技術の実現である。特にRFコイル技術にとって、RFコイル本体を取り替えることなく、広領域と高精細を両立させることは非常に困難であると言われている。

## 3 新RFコイル技術

RFコイルは、磁気共鳴信号を受信するセンサに相当し、この設計の仕方によって最終的な画像のSNR(Signal to Noise Ratio: 信号雑音比)が決定され、ひいては画像の精細度(分解能)を左右する。ここでは、高SNRなコイルを設計するために考慮されるべきことと、更に、これを広領域撮像に生かすために工夫された点について述べる。

### 3.1 高精細撮像を実現させるRFコイル技術

RFコイルは、コイル部とプリアンプ部から成る。コイル部は、導体線材(通常は銅)によるインダクタンスとコンデンサを並列接続した共振回路から成る。コイル形状を小さくすれば、その近傍からは高いSNRでMR信号を受信できるが、深いところのSNRは逆に落ちてしまう。よって、シミュレーションや実験により人体の各撮像部位に最適なコイル形状を決定した。一方、プリアンプ部は、コイル部で受信した信号をSNRを落とすことなく伝送する役割を持つ。そのために、まず低NF(ノイズフィギュア)のアンプを設計し、更に、コイル部からの信号伝送ロスを低減するため、アンプ部を小型化して、できるだけコイル部の近くに設置できるようにした。

以上のような高SNRのRFコイルを用いて広領域撮像を行うためには、複数のコイルを組み合わせてアレイコイルとして構築する。各コイルは同じ周波数に調整されているため、これらを互いに干渉することなく動作させるには、コイル間のデカップリングを行う必要がある。今回は、コイルどうし

を一部重ね合わせることによって行うデカップリング法や、コイルの共振の鋭さを表す値であるQを見かけ上低下させるQダンブ回路、更に、プリアンプ配置の最適化を行うことでコイル間の干渉を除去でき、最終的に高SNRで、かつ広い領域の撮像が可能なアレイコイルを開発できた。

### 3.2 広領域撮像を実現させるRFコイル技術

従来のアレイコイルは、部位別に専用のアレイコイルがあり、一度の検査で広範囲を撮像する場合、患者の移動を伴うコイル取替え作業が必要であった。

頭部から足先の撮像まで、前記の手間が掛からないコイル構成を実現するため、医師や検査技師のVoC (Voice of Customer) からコンセプトセレクションを行った結果に基づき、据置型の頭頸(とうけい)部用アレイコイルと脊椎(せきつい)用アレイコイル、及び患者に負荷が掛からない軽量化した腹部用アレイコイルから成るアレイコイル群を開発した(図4)。

MRI装置の撮影領域は、磁石の中心約50cmのエリア内であるが、あらかじめ撮影したい部位に一度に装着することによって、患者に移動してもらってコイルを取り替えるなどの手間を掛けずに広い領域の撮像が可能となる。全身を撮影したい場合は、頭頸部コイルと脊椎コイルに複数枚の腹部用アレイコイルを用いる。身長180cmの人であれば、腹部用コイルを3枚使うことでカバーできる。もちろん、各アレイコイルを構成するコイル形状は、各部位で最適なSNRを実現するように決められている。

各コイルには次のような特徴がある。

- (1) 頭頸部用アレイコイル 14個のコイルから成るアレイコイルである。実際の臨床では、頭部撮像、頸部撮像、及び頭頸部撮像で使用する。病気でうまくコイル内部に頭部を入れられない患者には、上部を外して補助コイルを装着することで撮影することもできる。
- (2) 脊椎用アレイコイル 頸部から骨盤までの領域を十分にカバーする長さを確保している。コイル数は32

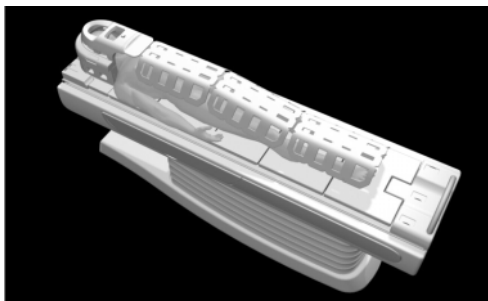


図4. 全身撮像用RFコイル — 据置型の頭頸部と脊椎用アレイコイル、患者に負荷が掛からない軽量化した腹部用アレイコイルにより全身をカバーする。

RF coils for whole-body imaging

個である。人体の構造に合わせ、脊椎部位で高いSNRを実現するために、コイル形状を若干小さくしたコイルを中央部に配置した。

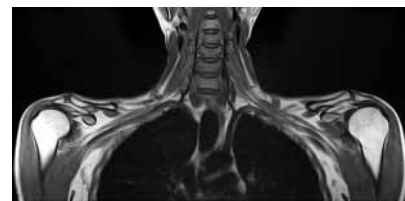
- (3) 腹部用アレイコイル 1枚当たり16個のコイルから成り、50cmの撮像領域を持っている。据置型の脊椎コイルと組み合わせることで体部の撮像を行う。更に、人体の臓器が集中する頸部から骨盤部までの領域は2枚でカバー可能である。患者の負担を減らすために軽量化を図り、重さは当社比で1/4、他社と比べても約1/2の軽量化を実現した。

これら新しいアレイコイルを用いることで、広領域と高精細の両立が実現できるだけでなく、パラレルイメージング法による高速化率の向上も可能となり、撮像時間のいっそうの短縮と、コイルセッティングの容易さからスループットの向上も期待できる。

### 3.3 広領域撮像と高精細撮像の実施例

このアレイコイルシステムで撮像した広領域で高精細な画像の例を図5に示す。

この例では整形分野での応用を想定し、最初に両肩を含む広領域を撮像した後、同じコイル設定のまま撮像条件だけを変更し、関心部位の高精細な画像を撮像している。



(a) 広領域(両肩)画像



(b) 高精細(片側の肩)画像

図5. 広領域撮像と高精細撮像両立の実施例 — コイルのセッティングを変更することなく、広領域(両肩)と高精細(片側の肩)画像を得ることができる。

Examples of wide-area, high-resolution imaging

## 4 広領域・高精細撮像を支える周辺技術

### 4.1 ロングストローク寝台と天板コイルポート

広領域撮像を実現させるうえで、RFコイルの構成と同様に重要になるのが、寝台の天板移動である。

MRI装置では撮像領域に制限があるため、患者の撮像対象部位を架台中心付近の限られたエリア内に送り込む必要がある。そこで患者の体軸方向に天板を移動させては撮像を繰り返す撮像方法を採用。全身をカバーしようとする、当然、十分な寝台天板の移動ストローク長が必要で、当社の従来装置と比較して600mmの延長を実現した。

次に、RFコイルの信号ケーブル処理について考えると、広領域を撮像するために、RFコイルを装着した状態でも自由に天板を移動できることが必要で、この場合コイルケーブルの存在が非常にじゃまになる。そこでケーブルを天板上に配置したコネクタポートに接続し、天板といっしょにケーブルも動く構造を実現させることで、この問題を解消できた。

#### 4.2 多チャンネルPAC対応のRF受信システム及び再構成アーキテクチャ

MRI装置では、RFコイルで収集したエコー信号を増幅、変調してデジタル信号としてコンピュータに取り込んだ後、再構成してMR画像を生成するが、高精細画像を得るためには、より多くの独立したコイルからの信号を処理する必要がある。そのためRFコイルだけでなく、収集系システムも進化させる必要があった。

その一つが多チャンネルPAC (Phased Array Coil) 対応RF受信システムで、複数のコイルから指定した任意の組合せを選択し、必要に応じて信号を合成させながらまとめることができるMS (Matrix Switch) ユニートを開発した。このユニットを使うことにより最大128の信号入力が可能となり、そこから対象部位に合わせて最適に選択、合成された16

チャンネルの信号を出力することができる。更に、今後32チャンネルや64チャンネルのアレイコイル対応システムの構築が可能となった。

次に、PACのチャンネル数が増えるにしたがって、再構成処理に対する負荷が重くなることを考慮しなければならない。同じコンピュータシステムで並行処理を行うのではなく、PACのチャンネル数に対応した専用再構成ユニット(アレイプロセッサ)を配置するアーキテクチャを構築することにした。

この構成により、チャンネル数増加に伴う処理時間の延長が抑えられるだけでなく、アップグレードビリティ(将来の拡張性)を容易にするシステム構成が可能となった。

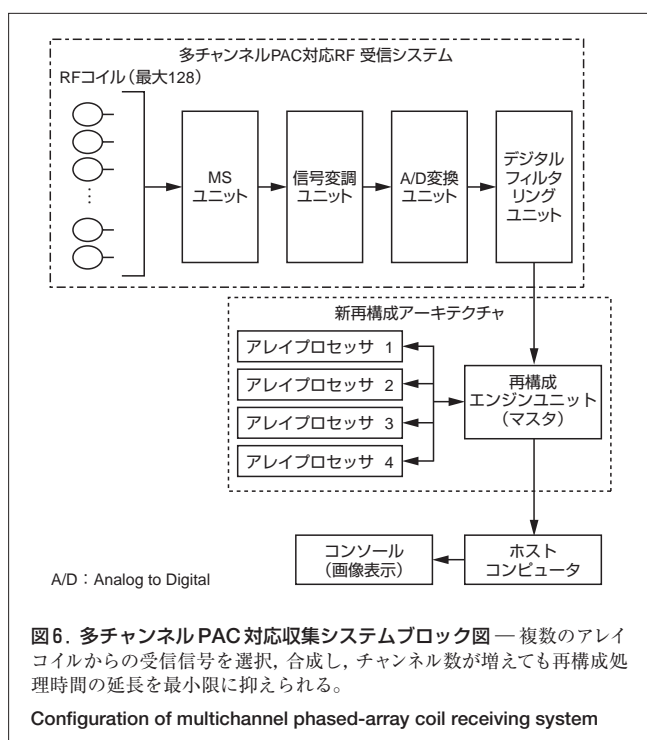
これら収集系システムの全体ブロック図を図6に示す。

## 5 あとがき

広領域と高精細を両立させる技術は、MRI装置によるスクリーニングの幅を大きく広げる可能性を秘めている。また、MRI検査における患者及び検査技師の負荷軽減にも寄与するものと期待している。病気の早期発見、早期治療という今後の医療に貢献できるよう、更なる技術革新に努めていきたい。

## 文 献

- (1) 町田好男. MRIパラレルイメージングSPEEDERの開発. メディカルレビュー. **83**, 2001, p.52-58.
- (2) 吉田智幸, ほか. 革新的な静音化を実現したMRIシステムEXCELART™. 東芝レビュー. **54**, 11, 1999, p.62-65.
- (3) 橋本 敬介, ほか. 人々の健康生活を支える医用画像診断装置. 東芝レビュー. **60**, 7, 2005, p.76-79.



日野 正章 HINO Masaaki

東芝メディカルシステムズ(株) MRI開発部長。MRIシステムの設計・開発に従事。日本磁気共鳴医学会会員。  
Toshiba Medical Systems Corp.



吉田 智幸 YOSHIDA Tomoyuki

東芝メディカルシステムズ(株) MRI開発部 システム開発担当主任。MRIシステムの設計・開発に従事。  
Toshiba Medical Systems Corp.



岡本 和也 OKAMOTO Kazuya

東芝メディカルシステムズ(株) MRI開発部 要素技術開発担当グループ長。MRIシステムのエレクトロニクス設計・開発に従事。日本磁気共鳴医学会、ISMRM会員。  
Toshiba Medical Systems Corp.