

有用性と快適性を追求した3テスラMRI装置 Vantage Titan™ 3T

Vantage Titan™ 3T 3-tesla MRI System with Enhanced Serviceability and Comfort

金澤 仁 岡本 和也 山本 貴雄
 ■KANAZAWA Hitoshi ■OKAMOTO Kazuya ■Yamamoto Takao

磁場強度が3テスラ (T) のMRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴イメージング) 装置が市場に登場して以来、臨床現場からは、臨床的に有用であるという評価だけでなく、様々な課題も挙げられてきた。そのため当初、3 T MRI装置は研究色の強い大学病院などの施設でしか運用できない難しい装置、というイメージがあった。

東芝メディカルシステムズ(株) が今回開発したVantage Titan™ 3Tは、3 T MRI装置の臨床的有用性を維持したまま、検査環境の改善はもちろん、閉所恐怖症や体格の大きな患者など、これまでMRI検査を行うことが難しかった患者への適用が期待できるMRI装置である。更に、既に1.5 T MRI装置で高い評価を得ている静音化技術Pianissimo™を搭載しており、従来に比べて静かで開放的な検査環境の実現によって患者のストレス低減を図っている。

Since 3-tesla magnetic resonance imaging (MRI) systems appeared on the market, in addition to their clinical usefulness a variety of issues have been pointed out in the clinical setting. The 3-tesla MRI system has therefore gained a reputation as a difficult system suitable only for hospital facilities including university hospitals that specialize in medical research.

To rectify this situation, Toshiba Medical Systems Corporation has developed the Vantage Titan™ 3T, which is expected to not only improve the MRI examination environment, but also to be applicable to patients with claustrophobia and those with large physiques for whom MRI examination has not been appropriate until now, while maintaining the clinical usefulness of the 3-tesla MRI system. The Vantage Titan™ 3T system also incorporates the Pianissimo™ noise reduction mechanism, which has already been introduced in our 1.5-tesla MRI system and has been highly evaluated by the market. This reduces the stress of patients by providing a quieter and more open examination environment compared with conventional MRI systems.

1 まえがき

MRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴イメージング) 装置は、磁石が作る高磁場中での核磁気共鳴現象を利用した医用画像診断装置である。東芝メディカルシステムズ(株) は、磁場強度が0.15 Tの国内初のMRI装置を1983年5月に商品化して以来、医療施設からの要望を受けて多くの製品を開発してきた。

原理的には磁場強度が上がるほど信号対雑音比 (SN比) が向上し、より細かい解剖学的構造や病変が描出できる。また、機能や代謝に関する情報が得やすくなるため、年々より高い磁場強度の装置が開発されている。現在では、超電導磁石によって磁場強度が1.5 TのMRI装置が主流になってきている。

一方、国内外の医療施設が直面している近年の状況は非常に厳しく、検査の品質と効率の両面にわたる改善が今まで以上に強く求められている。

今回当社は、近年の顧客のニーズに即ち的確に応えるため、従来の2倍になる磁場強度を備えた3 T MRI装置 Vantage Titan™ 3T を開発した。

ここでは、この装置の機能と性能を実現した技術、及びその特長について述べる。

2 顧客ニーズの把握

国内外の医療施設から寄せられた近年の様々な要望を分析し、主要な顧客ニーズとして次の五つにまとめた。

- (1) 様々な患者への対応 様々な状態の患者を広く受け入れて検査したい
- (2) 高分解能と広視野 高い空間分解能でより広い視野を検査したい
- (3) 快適性と効率性 快適な操作で効率良く検査したい
- (4) 臨床的な有用性 3 Tならではの臨床的有用性の高い検査をしたい
- (5) 環境への対応 環境に配慮した装置を使いたい

3 顧客ニーズを実現した開発技術

ここでは、2章で述べた五つの主要な顧客ニーズについて、それらを実現した方法と必要な技術について述べる。

3.1 様々な患者への対応

従来の医療施設のMRI検査では、体格の大きい患者や、腰の曲がった患者、体を伸ばして寝ることができない患者、閉所恐怖症で狭い空間に入ること自体に心理的抵抗がある患者な

どへの対応は難しかった。

Vantage Titan™ 3Tでは、撮像領域を円筒形に取り囲む傾斜磁場コイルの肉厚を新規設計によって従来よりも薄くして、患者開口径（患者が入るトンネルの径）を従来の655 mmから710 mmへと55 mm広げるとともに、寝台の天板の高さを30 mm下げた。架台に関しては、3 T装置としては軸長の短い磁石を使ってトンネル部分を短くするとともに、閉所恐怖症の患者の意見を参考に開口部の曲面形状などを見直し、より開放感を感じるよう配慮した（図1）。

また、磁場強度が向上すると、傾斜磁場コイルに流れる電流で生じるローレンツ力も増大する。この結果、同じ撮像条件でも、原理的には従来の1.5 T MRI装置より6 dB高い音圧レベルの騒音が発生する。当社のMRI装置には、発生源になる傾斜磁場コイルを真空封入する静音化技術 Pianissimo™ を10年前から搭載しているが、今回、これを3 T装置用に改良した。これによって、騒音を聴感上で1/10に、また音圧レベルで33 dB低減し、3 Tという高い磁場強度でも騒音によるストレスの少ない検査ができるようになった。これらの開発によって、幅広い患者を受け入れて検査できる装置を実現した。

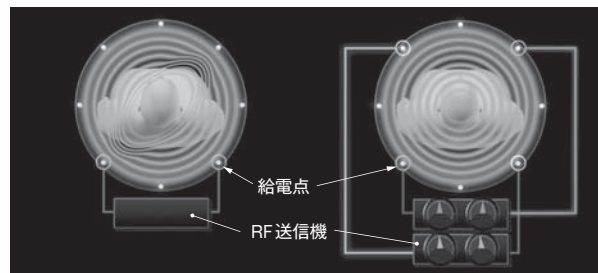
3.2 高分解能と広視野

3 T装置では、人体内部での高周波磁界の強度むらが大きくなり画像のむらが起きやすいという、1.5 Tまでの装置にはない技術的な課題があり、広い視野の画像を撮るための妨げになっていた。当社は、図2に示すように、従来は1系統であった高周波（RF）送信を2系統に分けることと、撮像の状況に応じて系統間の振幅比と位相差を変更することで、患者の体型や撮像する部位による体内の高周波強度むらを改善する“Multi-Phase Transmission”技術を開発した。



図1. 開放感を感じるようにデザインされた開口部 — 患者開口径を710 mmに広げるとともに、開口部の曲面形状などもより開放感を感じるようにデザインした。

Gantry aperture designed to provide open feeling



(a) 従来装置のRF送信方式（直交送信） (b) Vantage Titan™ 3TのRF送信方式（Multi-Phase送信）

図2. 従来装置とVantage Titan™ 3TのRF送信方式の比較（イメージ）— RF送信を2系統に分け、給電点を4か所にとすること、系統間の振幅比と位相差を変更することで、患者の体型や撮像する部位による体内のRF強度むらを改善した。

Comparison of radio frequency (RF) transmission methods of conventional system and Vantage Titan™ 3T

また、広い領域を撮像する場合は、脂肪組織の信号を抑制する脂肪抑制撮像のむらを低減させることが不可欠で、これには、超電導磁石が作る磁場の均一性を高く保つ技術の開発と、磁場の均一性が悪くても安定した脂肪抑制画像を撮像するためのソフトウェアの開発の両方が必要であった。

当社は、磁場を円筒形状の範囲で最適化する“Conform Technology”という技術と、ロバスト性を改善した脂肪抑制のためのRFパルス技術である“Enhanced Fat Free”を撮像用ソフトウェアに搭載することにより、広範囲にわたってむらの少ない脂肪抑制画像を実現した（図3）。

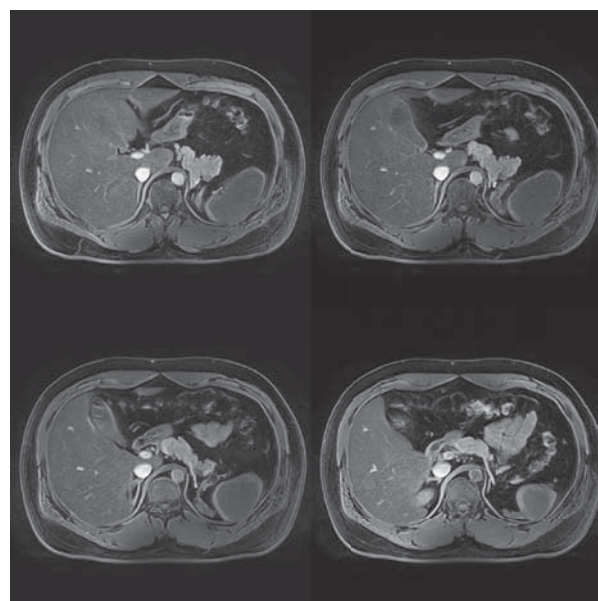


図3. 腹部の均一な脂肪抑制画像 — ロバスト性を改善した脂肪抑制RFパルス技術を搭載して、広範囲にわたってむらの少ない脂肪抑制画像を実現した。

Uniform fat-suppressed images of abdomen

3.3 快適性と効率性

MRI装置では、信号を受信するセンサとして検査部位ごとに異なる形状のRFコイルが必要になる。従来は、検査部位が変わるたびにRFコイルを取り替えて患者に装着しなおさなければならず、手間と時間が掛かる作業であった。この問題を解決するために当社が開発したAtlas SPEEDER™⁽¹⁾は、体をよるいのように継ぎ目なくカバーする複数のRFコイルを用い、これを電子的に切り替えるシステムである(図4)。このシステムの採用によって、検査部位が変わるたびに発生していた、寝台上でのRFコイルの取替えや患者の位置や姿勢の変更をなくし、毎日の臨床検査のワークフローを大きく改善した。

また、コンソール上の操作に関しても抜本的な見直しを行った。近年標準になったワイドモニタの採用を前提に、新たに開発したプラットフォーム“M-Power”上で操作画面の再設計を行った。画面デザインでは、ユニバーサルデザインを採用することで、色弱の操作技師でも見やすい色調を用いるとともに、従来よりも文字による表示を削減し、シンプルで見やすい構成にした。

3.4 臨床的な有用性

磁場強度が高くなると、同一の撮像時間でより高いSN比の撮像ができ、より高い空間分解能の画像が得られる。特に、高い空間分解能が要求される頭部領域や関節などの整形領域で評価が高い(図5)。

更に、MRS (Magnetic Resonance Spectroscopy) などケミカルシフトを利用した撮像法の周波数分解能が向上したり(図6)、磁化率に加えて流れによる信号変化を積極的に利

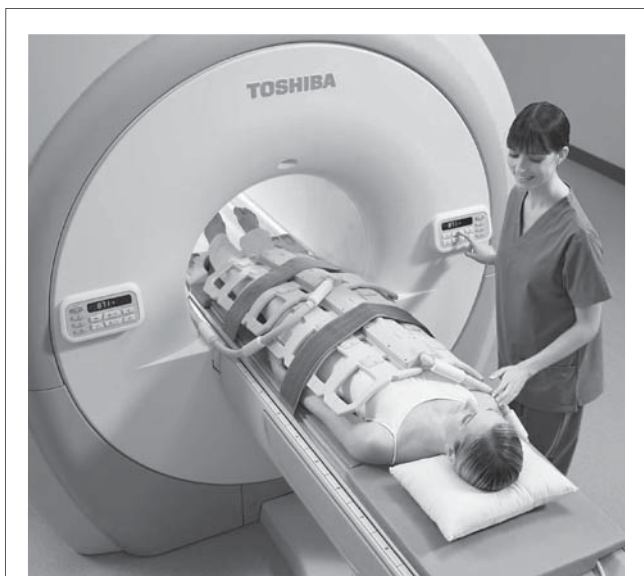


図4. 患者の体に装着されたAtlas SPEEDER™ — 広い範囲を高感度で一度に検査でき、コイル交換の手間を省くことができる。また、患者に位置や姿勢を変更してもらう必要がなく、効率的な検査ができる。
Atlas SPEEDER™

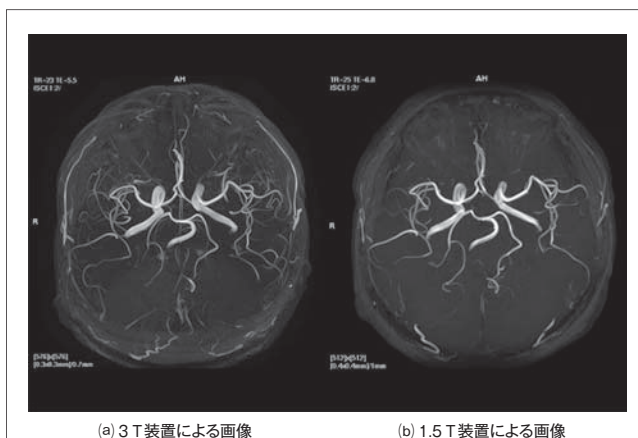
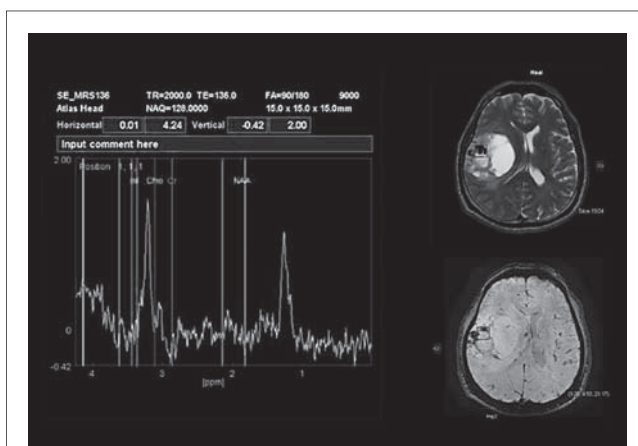


図5. 3 T装置と1.5 T装置による頭部の血管像比較 — 頭部領域は特に高い空間分解能が要求され、3 T装置ではより細かい血管像が得られる。
Comparison of brain MR angiography with 3-tesla and 1.5-tesla MR systems



データ提供：杏林大学医学部付属病院

図6. MRSにおける周波数分解能の向上 — 磁場強度が高くなると、MRSなどケミカルシフトを利用した撮像法の周波数分解能が向上する。
Improvement of frequency resolution in 3-tesla MR spectroscopy

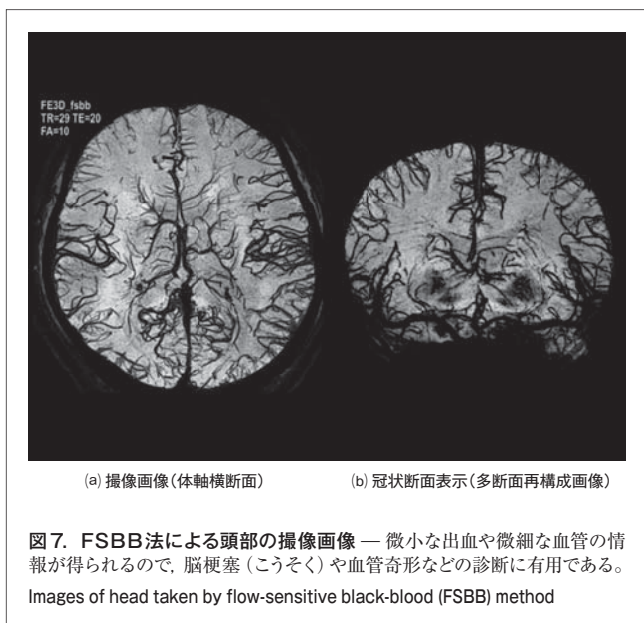
用した当社独自の撮像法である“FSBB法”(Flow-Sensitive Black Blood法)(図7)⁽²⁾の画質が向上したりするという効果も得られる。

3.5 環境への対応

環境に対する配慮は病院でも重要な要素になっており、環境面で十分に配慮された装置を使いたいというニーズが高まっている。

超電導磁石は、液体ヘリウムを定期的に補充して超電導状態を保つ必要がある。Vantage Titan™ 3Tでは、非常に高性能な冷凍機を採用して、液体ヘリウムの蒸発量をほぼ0に抑え、従来の1.5 T MRI装置に比べて年間で約500 Lの液体ヘリウムを節約できる。

また、前述の静音化技術Pianissimo™では、構造を簡略化し小型化して、再利用が難しいと言われていたFRP(繊維強



化樹脂)を重量比で38%削減した。更に、デジタル系の制御基板の集積化を進め、5種類の基板を1枚に統合するなど省資源にも努めている。

4 あとがき

Vantage Titan™ 3Tは、診断上の有用性、及び検査の快適性と効率性という顧客ニーズの実現を目指して開発した、当社として初めての3T MRI装置である。これまでの3T MRI装置は、研究志向の強い大学病院などの施設でしか運用できない難しい装置というイメージがあったが、今後、国内外を通して、一般の病院でも普及が進むと期待される。

当社はこれからも、顧客のニーズを的確に捉え、商品展開に生かしていく。

文 献

- (1) 日野正章 他. 広領域と高精細を両立したMRI装置. 東芝レビュー. 62, 1, 2007, p.20-23.
- (2) Kimura, T. et al. "Flow-Sensitive Susceptibility-Weighted Imaging". Proceedings of the 15th Annual Meeting of ISMRM. Berlin, 2007-05, International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM), 2007, No.3015.



金澤 仁 KANAZAWA Hitoshi

東芝メディカルシステムズ(株) MRI事業部 MRI開発部部長。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.



岡本 和也 OKAMOTO Kazuya

東芝メディカルシステムズ(株) MRI事業部 MRI開発部主幹。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.



山本 貴雄 YAMAMOTO Takao

東芝メディカルシステムズ(株) 営業本部 営業推進部。MRIシステムの臨床応用開発に従事。日本磁気共鳴医学会会員。

Toshiba Medical Systems Corp.