

臼井 嘉行
Y. Usui

山形 仁
H. Yamagata

五老 健彦
T. Gorô

新シリーズ MRI (Magnetic Resonance Imaging) システムの第 1 弾、第 2 弾である FLEXART™ (0.5T)、MRT-200/GP (1.5T) で培ってきた技術をベースとして、1.5T MRI システム VISART™ を製品化した。VISART™ は、VISion (視覚、想像力、未来像) と state-of-the-ART (最先端技術) を組み合わせた造語で、このシステムの愛称である。より高い分解能の画像をより短い時間に撮影できる能力を求める市場のニーズにこたえるために、傾斜磁場システムをパワーアップするとともに、新しい高速撮影法を開発した。VISART™ は最高級機市場のシステムに要求される高画質、高い患者処理能力、豊富な臨床応用ソフトウェア、優れた操作性を備えている。

We have developed VISART™, a 1.5 T high-field magnetic resonance imaging (MRI) system based on technology developed for both the FLEXART™ (0.5T) and MRT-200/GP (1.5T) systems as the first and second products, respectively, of a new series of MRI systems. VISART™ is a newly coined word combining VISion and state-of-the-ART. A higher power gradient system and new high-speed imaging techniques have been developed to meet the market demand for higher resolution images and shorter scan times.

The product concepts of VISART™ are high image quality, high patient throughput, flexible clinical application, and ease of use, all of which are essential features for an MRI system in the high-field MRI market segment.

1 まえがき

MRI システムは、核磁気共鳴現象^(注1)を利用して人体の断層像や血管像などを得る医療用画像診断装置である。

1983 年、当社は国産初の MRI システム、MRT-15A (静磁場強度 0.15T) を製品化した⁽¹⁾。また、1986 年には、当社初の超電導 MRI システム、MRT-50A (0.5T) を、1988 年には、小型自己磁気シールド型の 1.5T MRI システム、MRT-200 をそれぞれ製品化した^{(2),(3)}。

1989 年の TAMI (Toshiba America MRI Inc.) 社設立後、新コンピュータ・制御システムをプラットフォームとした新 MRI シリーズを開発するために、日米共同開発プロジェクトを発足した。その成果の第 1 弾として、1994 年 3 月に 0.5T MRI システム、FLEXART™ を製品化した⁽⁴⁾。

さらに 1995 年 2 月には、FLEXART™ で培った技術をベースに、新 MRI シリーズの第 2 弾として、1.5T の MRI システム、MRT-200/GP を製品化した⁽⁵⁾。従来からの高い

基本性能に加え、新しいプラットフォームが生み出す高速処理、高精度制御により、高画質、高い患者処理能力を実現した。

1.5T MRI システムの市場は最高級機の市場であり、各社とも最高の技術を投入するもつとも性能競争の激しい市場である。1.5T の MRI には、低磁場や中磁場の MRI システムでは得られない高い分解能の画像を、より短い時間で撮影できることが求



図 1. VISART™ の磁石架台、寝台、コンソールの外観 VISART™ は、1.5 テスラ超電導 MRI システムである。

External view of superconducting magnet, patient couch, and console of VISART™

(注 1) 核磁気共鳴現象は、NMR (Nuclear Magnetic Resonance) 現象とも略され、強力な磁場のもとにある物体に高周波を加えたとき、その物体内の磁性をもつ原子核が特定の周波数で共鳴し、高周波を吸収・放出する現象である。生体組織が対象である MRI システムでは、水や脂肪のなかに数多く存在する水素原子核の共鳴をとらえる。

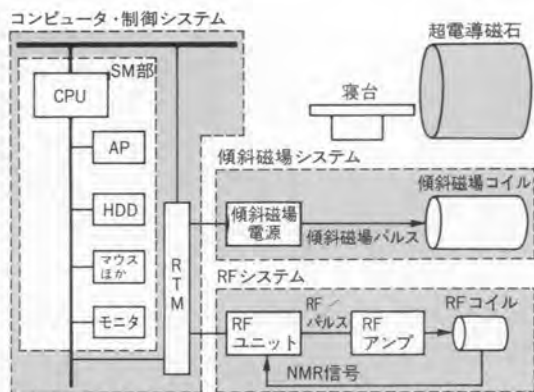


図2. VISART™のシステム構成 磁石を中心に、コンピュータ・制御システム、傾斜磁場システム、RFシステムから構成される。
System block diagram of VISART™

められている。

この市場のニーズにこたえるために、MRT-200/GP システムに対して傾斜磁場システムをパワーアップするとともに、新しい高速撮影法を搭載した1.5Tシステム、VISART™を製品化した。外観を図1に示す。

2 システム構成

VISART™のシステム構成を図2に示す。

1.5Tの静磁場を発生する超電導磁石をキーユニットとして、以下に示す三つのシステムから構成されている。各システムにはそれぞれ専用のCPUを配置し、高速な分散制御を実現している。

2.1 コンピュータ・制御システム

コンピュータ・制御システムは、SM(System Manager)部とRTM(Realtime Manager)から構成される。

SM部は、撮影条件の設定、画像再構成、画像表示、画像処理、フィルミング、画像データの保存などのシステム操作にかかわるすべての処理を制御する。概略仕様を示す。

- (1) CPU 32ビット高速RISC(縮小命令セットコンピュータ)型CPU、メモリ容量64Mバイト
- (2) AP(Array Processor) 64ビット、メモリ容量16Mバイト
- (3) HDD(磁気ディスク) 3.4Gバイト、画像保存枚数約4,800枚(256×256画像)

RTMは、指定された撮影条件に応じて、RF(Radio Frequency)システム、傾斜磁場システムなどの制御を行う。

なお、基本ソフトウェアには業界標準であるUNIX^(注2)、X-Window^(注3)、Motif^(注4)を採用し、オープンなアーキテ

(注2) UNIXは、X/Openカンパニーリミテッドがライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標。

(注3) X-Windowは、Massachusetts Institute of Technologyの登録商標。

(注4) Motifは、Open Software Foundation(OSF)の登録商標。

クチャとした。

2.2 傾斜磁場システム

傾斜磁場電源と傾斜磁場コイルから構成される。

傾斜磁場電源は、RTMから送られてきた制御信号を増幅し、磁石架台内に配置された傾斜磁場コイルに傾斜磁場パルスを提供する。傾斜磁場コイルは供給された傾斜磁場パルスに応じて磁石架台内に直交三方向(X,Y,Z方向)の傾斜磁場をつくる。傾斜磁場コイルにはシールド型を使用し、画質劣化の原因となる過電流の影響のない理想的な波形の傾斜磁場パルスが得られるようにしている。

VISART™では、MRT-200/GPに対して傾斜磁場電源を大出力・高速スイッチング化し、最大傾斜磁場強度、最大スリューレートを大きくした(従来比、1.7倍)。

傾斜磁場システムの主な仕様を示す。

- (1) 最大傾斜磁場強度 17 mT/m
- (2) 最大スリューレート 23 mT/m/ms

従来よりも薄いスライス厚や小さい撮影領域で撮影できるほか、高速スイッチングによって、従来よりも短いエコー時間(RFパルスの印加から信号収集までの時間)で撮影できる能力をそなえている。

2.3 RFシステム

RFユニット、RFアンプ、RFコイルから構成される。

RFユニットは、高周波(約63.9 MHz)の送受信回路である。RFユニット(送信部)は、RTMから送られてきた制御信号に応じてRFパルスを生成し、RFアンプに送る。RFアンプは、これを電力増幅し、磁石架台内に配置されたRFコイルに供給する。RFコイルは、患者にRF磁場を印加するとともに、核磁気共鳴現象によって発生した信号を検出する。RFユニット(受信部)は、RFコイルによって検出された信号を検波してデジタル信号に変換し、RTMに送る。

3 特長および仕様

3.1 高画質

MRIシステムで使用するすべての磁場(静磁場、傾斜磁場、RF磁場)の基本性能を向上させるとともに、撮影法(ソフトウェア)にも新技術を投入し、より高い品質の診断情報を提供できるようにした。

3.1.1 高均一静磁場システム 患者が磁石架台内に設定されたときに生ずる静磁場の乱れを自動的に補正する、AAS(Auto Active Shimming)法を搭載した。脂肪抑制法など、高い均一性が必要な撮影法の画質の向上に寄与している。

3.1.2 ハイパー傾斜磁場システム シールド型傾斜磁場コイルの働きによって得られる理想的な波形制御と大出力、高速スイッチング能力とによって、従来よりもさらに高い分解能の画像をより高速に得ることができる。

図3に高分解能画像の一例として頭部を撮影した例を示



図3. 頭部の高分解能画像 傾斜磁場の大出力化、高速スイッチング化によって、従来よりも高い分解能の画像が得られる。

High-resolution image of head

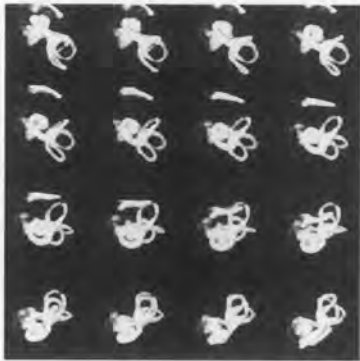


図4. 内耳の高分解能画像 蝸牛管や三半規管などの内耳の微細構造が描出されている。

High-resolution image of inner ear

す。また、図4に内耳を撮影した例を示す。三次元フーリエ変換法による高速SE(Spin Echo)法を使用して収集したデータを基にして、観察方向をさまざまに変えて作成した画像である。蝸牛管や三半規管などの微細な構造が描出されていることがわかる。

3.1.3 高精度RFシステム RFユニット回路のデジタル化によりRFパルスの波形や位相の制御の精度を格段に向上させた。

4断面を同時に励起することを可能とした当社独自の撮影法、QuadScan法⁶⁾は、この機能により実現させた。

3.2 高い患者処理能力

3.2.1 高速撮影法 FastASE(Fast Advanced Spin Echo)法をはじめとした最新の高速撮影法を装備している。

FastASE法は、従来の高速SE法をさらに進化させた高速撮影法である。高速SE法は、複数のエコー信号にそれぞれ異なる位相エンコード情報を付加することで画像再構成に必要な生データを短時間に収集する高速撮影法である⁷⁾。

高速SE法では、撮影時間を短縮するためにエコー数を増加させようとする、画像のコントラストを決定する実効的なエコー時間が延長し、診断上の有効性が減少してしまうという問題があった。FastASE法は、この問題を解決するこ

とを目的としてTAMIと当社研究開発センターが共同開発したものである。

VISARTTMでは、傾斜磁場の高速スイッチングやコンピュータ・制御システムの高速度処理能力により、従来のSE法に対する撮影時間の短縮率として、世界最高の1/384を実現している(当社従来比：約10倍)。

これにより、従来十数秒から数十秒の時間を必要としていたT2強調画像の撮影が、繰返し収集が不要な数秒のワンショットで可能な領域に達した。

緊急患者、重篤患者、老人や乳幼児など長時間の静止が困難な患者を対象とした検査に有用である。また、これまでMRI検査の対象ではなかった部位を対象とした新しい臨床応用への期待が寄せられている。

3.2.2 高速処理 画像再構成のための二次元FFT(Fast Fourier Transform)処理に要する時間は、わずか88msである(256×256)。

また、MRアンギオ撮影の後処理であるMIP(Maximum Intensity Projection：最大値投影)処理に要する時間は、6秒である(256×256×64マトリックス)。

3.2.3 同時並行処理能力 患者の撮影中にも、画像再構成、MIP処理、フィルミング、画像の保存などの処理を並行して行うことができる能力をもっている。

3.3 豊富な臨床応用ソフトウェア

3.3.1 MRアンギオ 撮影部位や流速に応じた複数の種類の撮影法を装備しているため、頭部、頸(けい)部をはじめとしたさまざまな部位の高画質MRアンギオ像(血管像)を得ることができる。

図5に頭部MRアンギオ像の一例を示す。

血管の描出をさまざまに脳実質からの信号を選択的に抑制するSORS-STC(Slice-selective Off-Resonance Sinc pulse-Saturation Transfer Contrast)法⁸⁾を使用して撮影したものである。

3.3.2 MRCP(MR Cholangio Pancreatography)

FastASE法の高速度性を利用した新しい臨床応用として、MRCPがあげられる。FastASE法を使用すれば、造影剤を使用することなく非侵襲に胆管・膵(すい)管像が得られる。

図6に三次元フーリエ変換法を用いたFastASE法によるMRCPの一例を示す。三次元的に情報を収集しているので、撮影後に観察方向を任意に設定できる利点がある。従来、MRIの適用が少なかった消化器系の診断の可能性が期待されている。FastASE法は、このほかにも、脳表面像(SAS像)による術前情報の収集やMRミエログラフィーなどの撮影にも有用である。

3.3.3 MRフルオロスコーピー(MR透視撮影法)

VISARTTMの特長である高速処理能力を最大限に利用する新しい臨床応用ソフトウェアである。撮影、画像再構成、画像表示、撮影条件変更の四つの処理を高速に連続並行処理す



図5. 頭部MRアンギオ像 脳実質からの信号を抑制するSORS-STC法を併用して撮影したものである。

Head MR angiography



図6. FastASE法の臨床応用例(MRCP) FastASE法の高速性を利用すると、胆管・膵管の画像が得られる。

Example of FastASE (MRCP)

る撮影法である。最適なスライス位置のロケータ画像を収集するリアルタイムロケータとしての使用や、関節の動態検査、造影剤を用いた連続ダイナミックスキャンなどへの応用が期待されている。

3.4 優れた操作性

マウス操作によるマルチウィンドウ環境を採用し、優れた操作性を実現している。

3.4.1 グラフィックユーザインタフェース 基本操作のメニューをアイコン(絵文字)化したり、処理後の結果を推定しやすい表示法を採用するなど、視覚に訴えるユーザインタフェースとした。

3.4.2 日本語対応 患者の氏名などの情報表示はもちろんのこと、対話の表示にも日本語を多用し、直観的に理解できるようにした。

3.4.3 インテリジェントPAS(Programable Anatomical Scan) 撮影部位、疾患ごとの推奨撮影条件をプリセットする機能を搭載した。複雑な撮影条件の設定に迷うことなく、だれにでもすぐに高い画質の画像を得ることができる。

3.5 アップグレードビリティ

新しい撮影法や、新しい臨床応用ソフトウェアの拡張など

将来のアップグレードのニーズにこたえる能力をもっている。

4 あとがき

従来のシステムに対して、傾斜磁場システムの性能を向上するとともに、撮影法(ソフトウェア)の面からも改良を加えたことにより、従来よりも高い品質の診断情報を提供できる1.5T MRIシステム、VISARTTMを開発した。

このたび開発したFastASEは、傾斜磁場の高速スイッチング能力やRTMなどの高速処理能力を活用して実現した高速撮影法である。その優れた高速性を生かし、特に消化器領域への臨床応用への可能性が期待されている。

今後、臨床ニーズを的確に把握し、独創的な臨床応用ソフトウェアの開発を進めるとともに、さらに傾斜磁場システムの性能を向上させ、高速撮影法の可能性を拡大していきたい。

文献

- (1) 巨瀬勝美, 他: NMR-CT スキャナー, 東芝レビュー, **38**, 8, pp. 669-676(1983)
- (2) 杉本 博, 他: 超電導MRIシステム MRT-50A, 東芝レビュー, **42**, 2, pp.76-79(1987)
- (3) 藤束 修, 他: 超電導MRIシステム MRT-200, 東芝レビュー, **44**, 2, pp.145-148(1989)
- (4) 鈴木宏和, 他: 超電導MRIシステム FLEXARTTM, 東芝レビュー, **49**, 2, pp.81-84(1994)
- (5) 磁気共鳴イメージング装置 MRT-200/GP, 東芝レビュー, **50**, 3, p.165(1995)
- (6) Ching Yao, et al: Parallel Multi-slice Imaging with limited Peak RF Power, Contributed Paper to Society of Magnetic Resonance in Medicine(1993)
- (7) J. Henning, et al: RARE Imaging: A Fast Imaging Method for Clinical MR, Magn. Resona. Med., **3**, pp.823-833(1986)
- (8) M. Miyazaki, et al: A Novel Saturation Transfer Contrast Method for 3D Time-of-Flight Magnetic Resonance Angiography: A Slice-Selective Off-Resonance Sinc Pulse (SORS) Technique, Magn. Resona. Med., **32**, pp.852-859(1994)



臼井 嘉行 Yoshiyuki Usui

1984年入社。MRI装置の開発に従事。現在、那須工場第四技術部主務。
Nasu Works



山形 仁 Hitoshi Yamagata, D.Eng.

1983年入社。MRI装置の企画および開発に従事。現在、医用機器技術研究所主査, 工博。
Medical Engineering Lab.



五老 健彦 Takehiko Gorô

1969年入社。X線CT装置, MRI装置の企画および開発に従事。現在、那須工場第四技術部部长。
Nasu Works