UDC 681.323.06 : 621.397.3 : [616-073 : 537.635 : 539.143.43]

超電導MRイメージング装置 VISTA-E50用ソフトウェア

中峠 史朗(なかたお しろう)　飯野 光俊(いいの みつとし)　福田 和彦(ふくだ かずひこ)

1 まえがき

MRイメージング装置（Magnetic Resonance Imaging, 以下MRIと略す）は，他の画像撮影装置に比べ，①電離放射線を用いないため安全性が高い，②任意断面撮像可能，③軟部組織コントラストがよく，その調整が可能，④造影剤なしで血管造影可能（MRアンギオグラフィ）などで有利な面があり，従来問題とされた撮像時間が長い，撮像操作が複雑などの不利な面も，⑤高速イメージング法，⑥操作性の向上，などで解消されつつあり，現在最も注目を浴びているコンピュータ断層撮像装置である。

VISTA-E50は，コンパクト，軽量，省スペース，省エネルギーなどのシステム特長のほかに，高画質，高速イメージング，自動調整による高い患者スループット，AI（人工知能）技術を採用した操作の簡単化などのソフトウェアも重要な特長となっている。

本文では，VISTA-E50のシステムソフトウェア及びアプリケーションソフトウェアについて，各々，機能・特長を述べる（**表1**）。

2 システムソフトウェアの機能と特長

2.1 撮像用パルスシーケンス

スピンエコー（SE）法，反転回復（IR）法，フィールドエコー（FE）法，マルチスライス・マルチエコー機能，ダイレクトオブリーク機能，心電同期法などの基本機能は標準装備である。これらのパルスシーケンスは，自動波形変換プログラムによりエコー時間（T_E），反転時間（T_I），繰返し時間（T_R）を1ミリ秒きざみで指定可能である。

2.2 画像再構成

二次元及び三次元フーリエ変換法を搭載しており，画像再構成時間は，実測で1.8秒（256×512データ）である。

図1に頭部矢状断像，**図2**に腹部冠状断像の例を示す。

2.3 自動調整

図1　頭部矢状断像（SE 500 /20，5mm厚スライス，正常例）

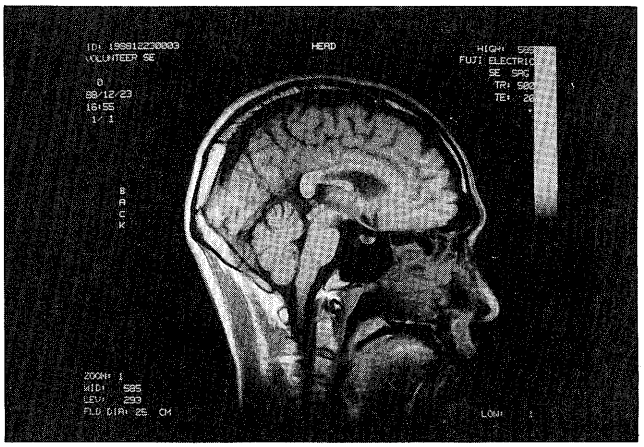
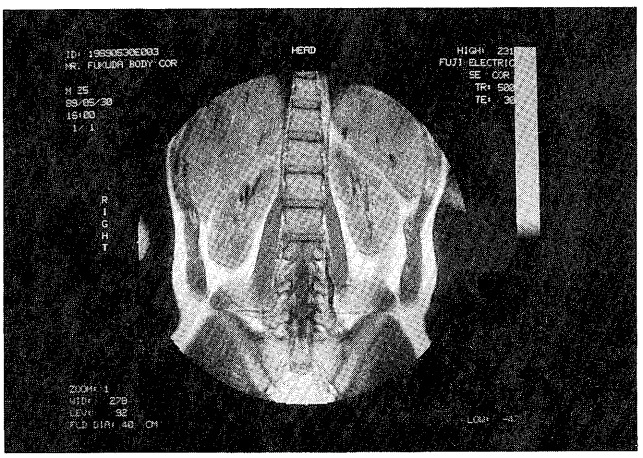


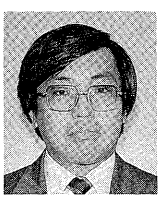
図2　腹部冠状断像（SE 500/30，10mm厚スライス，正常例）



高周波（RF）コイルの共振回路の自動調節，RFスケールファクタ，シンセサイザ，アテニュエーションの自動調節機能のほかに，前述の自動波形変換プログラムと結合したこう配磁場波形チューニングや，信号処理補正（位相補正，DC補正）などの機能をもっている。

2.4 自己診断

コンピュータ自身の診断機能はもとより，システム（主



中峠 史朗

昭和50年入社。上水道プロセス，公共プロセス，MRイメージング装置コンピュータシステムの応用ソフトウェアの開発に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第七システム部課長補佐。

飯野 光俊

昭和58年入社。ソフトウェア品質保証，MRイメージング装置コンピュータシステムの応用ソフトウェア開発に従事。現在，富士ファコム制御(株)システム本部第七システム部。

福田 和彦

昭和53年入社。産業用画像処理・パターン認識技術及びMRイメージングなど医用画像処理技術の研究開発に従事。現在，富士ファコム制御(株)技術本部第六技術部課長補佐。

表1　システムソフトウェアの主要仕様

スライス選択法	選択励起法，三次元FFT法
撮像断面	トランスバース，サジタル，コロナル，ダイレクトオブリーク
イメージング法	SE（スピンエコー） FE（フィールドエコー） IR（反転回復） 心電同期法 ＊高速スキャン ＊フローアナリシス ＊アンギオグラフィ ＊水・脂肪分離画像 ＊運動性アーティファクト抑制法
スライス厚（mm）	2.5，5，10，40
マルチスライス数	隙間なしで最大32枚
マルチエコー	最大4エコー（非倍数TE2エコー）
撮影視野（cm）	10，15，25，30，40
画像再構成法	二次元/三次元フーリエ変換
再構成マトリックス	64×128，128×128，128×256，256×256，256×512，512×512
表示マトリックス	512×512
計算値像	T_1，T_2計算値像，加減算値像，最大値像 ＊合成画像
イメージディスプレイ	ROI（関心領域）処理（平均密度，標準偏差，面積，回転，移動，距離と角度の測定） プロフィール，ヒストグラム，アノテーション，マルチビュー，コラージュ，スタック，スケール表示，ウィンドウコントロール，オートウィンドウ，デュアルウィンドウ，ウィンドウグラフ表示，アイソデンシティ，白黒反転，ズーミング，ローミング，シネモード，フィルタ処理ほか
光ディスク装置	12インチ形（2.6Gバイト） 5インチ形（0.6Gバイト）
その他	PACSリンク ＊スキャンエキスパートシステム ＊スキャン計画エキスパートシステム

〈注〉(1) オプション供給のものもあり。
(2) ＊はアプリケーションソフトウェア。

磁場，RF波形，こう配磁場波形)の診断機能もあり，MRI全体のRAS (Reliability, Availability, Serviceability) 機能を高めている。

2.5　リモートコントローラ

オペレータはリモートコントローラを用いてガントリーやコンソールから離れた所からでも患者テーブルの操作，撮像指令を行うことができる。

2.6　コンソール

(1)　撮像操作

プリセットボタンによりルーチン検査を容易にし，また，多様なプロトコルが部位ごとにプリセットされている。

キーボードはランプ点滅ガイド方式とし，操作の正確化を図っている。

(2)　画像処理機能

イメージディスプレイは，**表1**に示すように豊富な画像処理機能をもっている。

表示画像の処理は撮像と同時に並行して行うことができ，オペレータは画像の読影やファイリング処理を効率良く行うことができる。

(3)　データベース

データベースは，撮像やファイリングに適した木(Tree)構造となっており，画像の検索・保管が容易で，磁気ディスクのほかに，大容量の光ディスクをサポートしている。データベースのイメージは，画像圧縮機能により2～3倍の効率でファイリングされる。2.6Gバイト光ディスクの場合，画像(256×256ピクセル)の最大保存枚数は4万枚である。

(4)　PACSとの結合

富士画像管理システムEFPACS（イーエフパックス，Efferctive Fuji Picture Archiving and Communications System）シリーズと接続することにより，病院の総合画像管理システムを構築可能である。

3　アプリケーションソフトウェアの特長

3.1　高性能化ソフトウェア

臨床アプリケーションの高速撮像・高画質の実現のため，以下の高速撮像・高画質ソフトウェアを開発した。

3.1.1　高速撮像法

高速撮像法としては，以下のパルスシーケンス用ソフトウェアを用意している。

(1)　高速FE法及びSSFP法（定常自由歳差運動法）

いずれのシーケンスにおいても最短T_R＝20ms，最短T_E＝10msが可能であり，256×256マトリックス画像の場合，最短スキャン時間5秒を実現している。また，任意可変RFフリップ角を用いているため，高速撮像法においてもT_1，T_2の各強調像の撮像を行うことができる。

(2)　富士高速撮像法

高速FE及びSSFP法よりも高速かつ高画質な撮像法として，富士電機のオリジナルでスキャン時間3秒が可能な高速撮像シーケンス（**図3**）を開発した。

更に，これらの高速シーケンスは(3)，(4)のソフトウェアと組み合わせて，より高速化することができる。

(3)　エンコードリダクション法

位相エンコード回数を減らし画像再構成を行うことにより，スキャン時間を減少させることが可能である。

(4)　ハーフフーリエエンコード法

半数エンコードデータから共役複素数計算により補完デ

図3　富士高速撮像法パルスシーケンス

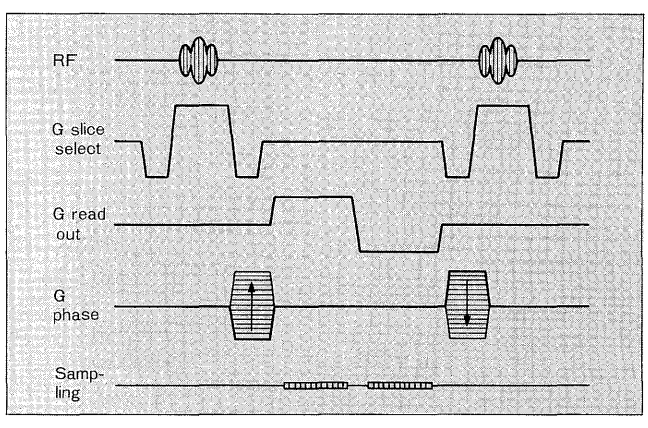
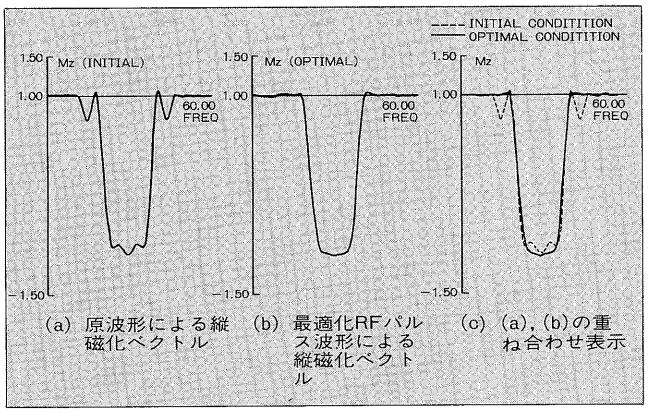


図4　最適化 RF パルス波形シミュレーション例



(a) 原波形による縦磁化ベクトル　(b) 最適化RFパルス波形による縦磁化ベクトル　(c) (a), (b)の重ね合わせ表示

一タを求め画像再構成を行う方法で，(3)の方法よりも良好な画像を得ることができる。VISTA-E50 では位相ひずみの補正を行い，補完の精度を向上させている。

3.1.2 高画質ソフトウェア

画質改善あるいはアーティファクト抑制ソフトウェア（パルスシーケンス）として以下のものを用意している。

(1) 運動性アーティファクト抑制法

MRI 撮像においては，人体の各部の動きにより，信号の低下とアーティファクトが引き起こされる。心拍動，呼吸などの体動については心，肺動作に同期したスタートパルスを用いる同期法により，動きに伴うアーティファクトを抑えることができるが，スキャン時間が増大するうえ，同期パルスをモニタできない動き（例えば，眼球の動き，脳せき髄液の流れ，血液など）には適用できない。本項の運動性アーティファクト抑制法はスキャン時間を延長することなく，モニタできない動きによるアーティファクトを抑制し，画質を大幅に改良できる方法である。また，同期法とも併用でき，表面コイルと組み合わせれば，臨床上極めて有効な画像が得られる。

(2) 最適化 RF パルス波形

MRI においては，特定のスライス面選択のために AM 変調された励起用 RF パルスが用いられており，変調波形に伴い選択されるスライスのプロファイルをいかに精度良く生成するかが重要な課題である。

これは，特にマルチスライス法におけるスライス間隔のギャップレス化及び三次元スキャンにおける Thin Slice（薄スライス）の精度向上のための重要因子である。

RF プロファイル波形（変調波形）の最適化のために，磁気共鳴スピン励起過程を記述する Bloch の非線形状態方程式を用い，動的最適化手法により波形の最適化を行った結果を，最適化前の原波形と比較し，縦磁化ベクトルとして**図 4** に示す。サイドローブを極力抑え，かつエッジの立ち上がり特性を改善したことが分かる。

(3) 富士位相エンコード法

富士位相エンコード法は，任意の位相エンコードのビューについて，信号の加算回数及びデータ補完方式を設定することができる方法である。したがって，同一の検査時間で画像の S/N を向上させることが可能となる。

3.2 臨床応用ソフトウェア

VISTA-E50 では，診断に有用な臨床応用ソフトウェア（パルスシーケンス）を各種用意している。以下にその一部を紹介する。

3.2.1 MR アンギオグラフィ（MRA）

MRA 法としては，次に示すパルスシーケンスが可能である。

(1) Time of flight 法

断層面内に流入する物質からの信号に着目した撮像法で，断層面に垂直な血管の描出に有効な手法である。

(2) 二次元位相コントラストアンギオグラフィ

血液の流れの持つ位相情報に注目して血管を描出する方法である。Time of flight 法とは異なり，比較的厚い断層面（40mm 程度）内を走行する血管を描出することができ，通常の二次元フーリエ変換法により実行する。

(3) 三次元位相コントラストアンギオグラフィ

位相コントラストアンギオグラフィシーケンスと三次元フーリエ変換法（3DFT 法）とを組み合わせた撮像法である。二次元位相コントラストアンギオグラフィに比べて Partial volume effect（部分体積効果）を避けることができ，また S/N も向上するため，より微細な血管構造の描出が可能である。

(4) MR シネアンギオグラフィ

心電同期法を併用して撮像した画像を連続して動画表示することにより，心臓，脳せき髄液(CSF) フロー（脳室拍動）などの動態解析を行うことができる。

3.2.2 フロー計測

フローエンコードグラディエントパルスを用いて流速を MR 信号の位相情報にマッピングして位相画像を生成することにより，血液，CSF などの流れを定量的に画像化することができる。しかし，位相画像はシステムの位相ひずみ（磁場不均一などの要因による）に敏感であるため，VISTA-E50 では，位相ひずみの補正（位相補正）を行っている。これにより高精度のフロー計測が可能である。フロー計測は，血液などの流速の変化を敏感に検知することから，血管部の病変の診断に有効である。

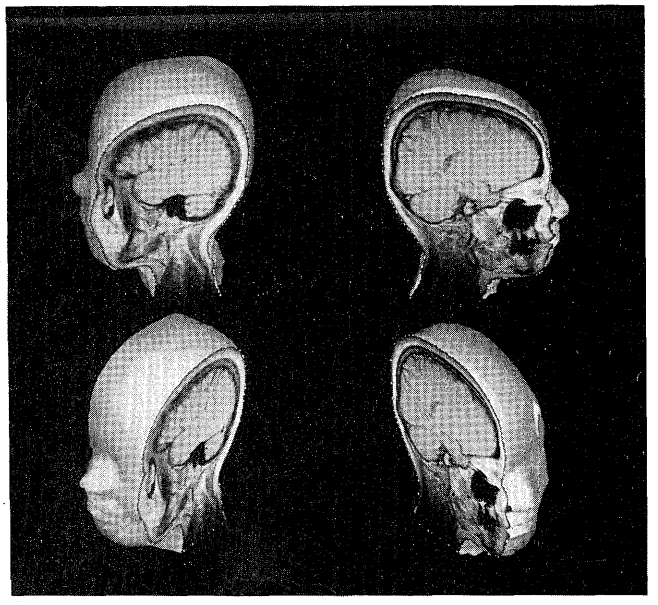
3.2.3 水・脂肪分離画像

水・脂肪分離画像では，水分子に含まれる水素原子と脂肪分子に含まれる水素原子とのケミカルシフトを利用して，水＋脂質（in-phase）画像及び水－脂質（opposed-phase）画像を撮像し，これら二つの画像から計算により水プロトン画像と脂質プロトン画像を生成する。これにより脂肪の多い組織においても水プロトンからの信号だけを得ることができ，ケミカルシフトアーティファクトを抑制した画像を得ることができる。

3.2.4 計算画像

MRI 画像信号強度は，一般にプロトン密度，縦緩和時間（T_1），横緩和時間（T_2），流速などのパラメータの影響が混在する形で表されており，また撮像パラメータ T_R, T_E などにより，影響の重みづけが違ってくる。

図5　三次元表面表示像の例



計算画像は，MRI画像のパラメータの相互関係を明確にすることにより，実スキャンでは撮れないが臨床上有効な画像をコンピュータ内で人工的に合成したものである。

(1)　T_1・T_2計算画像

T_1又はT_2計算画像とは，2種類の異なる撮像パラメータで採取した同一スライス面における画像からT_1又はT_2を計算し，T_1又はT_2値をそのまま画像データ強度値として表したものである。

T_1計算画像は，T_Eが等しい条件で，SE像とIR像を撮像し，SE像の信号強度とIR像の信号強度との比から作成することができる。

T_2計算画像は，T_Rが等しい条件で，T_Eがそれぞれ異なる二つのSE像を撮像し，二つのSE画像の信号強度の比から作成することができる。

(2)　人工画像

人工画像は，実スキャンで得られない撮像条件の下に人工的に合成された画像であり，以下のような方式がある。

SE及びIRの両シーケンスからなる画像群から画素ごとのρ，T_1，T_2の値を求め，この値を用いて逆に，任意のT_R及びT_Eで撮像した画像を作成する。これにより$T_R \sim \infty$，$T_E \fallingdotseq 0$のような，実スキャンでは不可能な画像を人工的に作成できる。

なお，MRI画像濃度値を構成するMRパラメータの適切な選定により，臨床的に有効な画像を得る方式を，開発・検証中である。

3.2.5　3DFT法と三次元画像処理

既に述べたが，VISTA-E50では2DFT法に加えて3DFT法による撮像も可能である。3DFT法を用いたソフトウェアの一例を以下に示す。

(1)　Thin Slice画像

3DFT法によると，2DFT法で可能な最も薄いスライス厚2.5mmに比べ，更に薄いスライス厚1 mmでの撮像が可能である。したがって，微細な組織構造の知見を必要とする診断の場合，有用な機能である。

(2)　三次元表面表示

3DFT又はマルチスライス法で収集したボリュームデータから，組織表面の三次元立体視像を再構築することができる。これにより，組織表面の立体構造と同時に，元の二次元断層面の知識を得ることもできる（**図5**参照）。

(3)　ステレオ三次元表示

3DFT法又はマルチスライス法により収集したボリュームデータから，ステレオ画像を生成し，これらを高速に切り換えながら液晶シャッタ付眼鏡を装着して見ることにより，表示された画像を立体として見ることができる。特にMRA像など，対象物の三次元的な位置関係を把握する必要のある場合に有用な機能である。

以上に述べた臨床応用ソフトウェアは高速撮像法と併用することにより，より効果的な検査が可能となる。

3.3　高操作性ソフトウェア

(1)　スキャンエキスパートシステム

撮像操作で必要とするプロトコル(シーケンス)選択時に，不慣れな情報の代わりに，観察部位，主要組織名，疾患組織名などの医療関係者の精通した情報入力で最適プロトコルを容易に選択できるシステムである。

(2)　スキャンエキスパート計画システム

1週間前に撮像予約が可能なスケジューリングシステムであり，撮像予約時のプロトコル入力には，スキャンエキスパートシステムが使用できる。

4　あとがき

MRIの進歩は急速であり，特にソフトウェアは著しく高度化しつつある。VISTA-E50のソフトウェアは，今後更に機能・性能の充実化と操作性の向上を図り，独創性のあるシステムとして発展させていく所存である。

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。