(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号

特開2005-152657

(P2005-152657A)

(43)公開日　平成17年6月16日(2005.6.16)

(51)Int.Cl.⁷	F I			テーマコード（参考）
A61B　5/055	A61B	5/05	351	4C096
G01R　33/36	A61B	5/05	370	
G01R　33/48	G01N	24/04	530Y	
	G01N	24/08	520Y	

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　外国語出願　（全 23 頁）

(21)出願番号　特願2004-342627(P2004-342627)

(22)出願日　平成16年11月26日(2004.11.26)

(31)優先権主張番号　10/723,312

(32)優先日　平成15年11月26日(2003.11.26)

(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ

GENERAL　ELECTRIC　COMPANY

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタデイ、リバーロード、1番

(74)代理人　100093908

弁理士　松本　研一

(74)代理人　100105588

弁理士　小倉　博

(74)代理人　100106541

弁理士　伊藤　信和

(74)代理人　100129779

弁理士　黒川　俊久

最終頁に続く

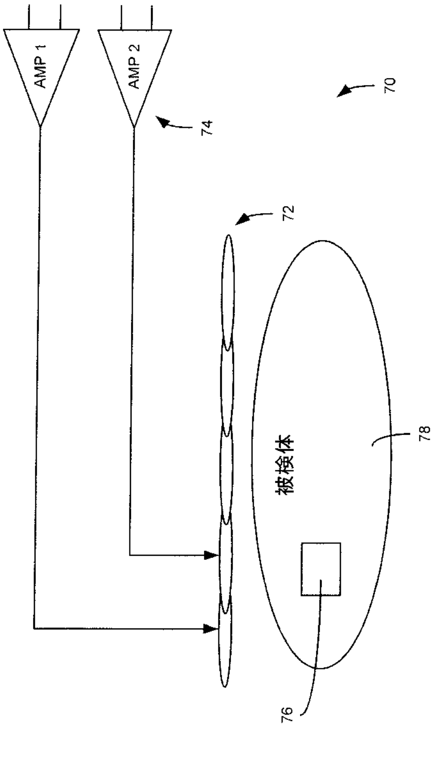
(54)【発明の名称】送信コイルアレイを用いて望ましい励起プロフィールに一致するＲＦ励起を発生する方法及び装置

(57)【要約】

【課題】　本発明は、一般に、ＭＲイメージングに関し、より詳細には、望ましい励起プロフィールを実現するための、送信コイルアレイによる並列励起の方法及び装置に関する。

【解決手段】　対応するＲＦパルス合成増幅器（７４）を備える複数送信コイル（７０、７２）から構成されるシステムが開示される。また、コンポジットB_1磁場の空間時間変動を誘起する各送信コイル（７２）に特有のＲＦパルスを設計する方法が開示される。本発明は、望ましい励起プロフィールの正確な形成に対応し、どのようなコイルアレイ幾何形状の使用にも適合する。本発明はまた、励起パルス長の低減にも対応する。各送信コイルに対する効果的なB_1磁場マップにより、相互結合及び他のコイル間相関関係がＲＦパルス設計において考慮される。

【選択図】　図２



【特許請求の範囲】
【請求項１】
分極磁場を印加するマグネット（５２）と、磁場勾配を加えるためのマグネット（５２）ボアの周りに配置された複数の勾配コイル（５０）と、ＭＲ画像を収集するＲＦコイル組立体（５６）にＲＦ信号を送信するようにパルスモジュール（３８）によって制御されるＲＦ送受信器システム（５８）及びＲＦスイッチ（６２）とを有する磁気共鳴イメージング（ＭＲＩ）システム（１０）と、
送信コイルアレイ（７０）によるＲＦ発生を制御して、イメージングボリュームにわたって結果として得られる全体のＲＦ発生が実質的に望ましいＲＦ励起プロフィールと一致するように構成された複数のＲＦパルス波形を印加するようプログラミングされたコンピュータ（１２、２４、２２、３２、３６）と、
を備えるＭＲＩ装置。
【請求項２】
コンピュータは更に、前記送信コイルアレイ（７０）の各送信コイル（７２）によって全体のＲＦ発生に対して加えられる効果的な空間的重み付けを求め、結合誘起されたコイル間相関関係を折り込むように前記複数のＲＦパルス波形を設計するようプログラミングされていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項３】
各送信コイル（７２）によって加えられる前記効果的な空間重み付けは、前記送信コイルアレイ（７０）に接続された独立制御ＲＦ信号源によって誘起される少なくとも空間周波数重み付け、前記送信コイルアレイの送信コイル間で相互結合に関連する重み付け、及びそれぞれのＢ$_1$磁場を含むことを特徴とする請求項２に記載のＭＲＩ装置。
【請求項４】
前記複数のＲＦパルス波形が更に、励起ｋ空間サンプリング密度の低下により短い時間スパンの励起ｋ空間横断を行うよう構成されていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項５】
前記コンピュータ（１２、２４、２２、３２、３６）が更に、結果として得られる全体のＲＦ発生が送信コイルアレイ（７０）幾何形状と独立した望ましいＲＦ励起プロフィールに実質的に一致するようにＲＦ発生を制御するようプログラミングされていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項６】
前記コンピュータ（１２、２４、２２、３２、３６）が更に、ＭＲＩシステム（１０）の較正中に各送信コイルに対する効果的なＢ$_1$磁場を求めるようプログラミングされていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項７】
前記送信コイルアレイ（７０）が線形に配列されており、更にＭＲ信号を受信するように構成されてることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項８】
前記送信コイルアレイ（７０）が更に、並列励起パルスの駆動に基づいてＲＦ磁場を誘起するよう構成されていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項９】
前記複数の波形が更に、前記イメージングボリュームにわたる全体のＲＦ発生におけるエイリアシング・サイドローブを低減するよう構成されていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【請求項１０】
前記コンピュータ（１２、２４、２２、３２、３６）が更に、前記送信コイルアレイ（７０）に印加されることになる複数のＲＦパルス波形を設計するようプログラミングされていることを特徴とする請求項１に記載のＭＲＩ装置。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】
【０００１】
本発明は、一般に、ＭＲイメージングに関し、より詳細には、望ましい励起プロフィールを実現するための、送信コイルアレイによる並列励起の方法及び装置に関する。更に本発明は、コイルアレイのコイル間の相互結合を考慮し且つ任意のコイル幾何形状に適用される並列励起パルス設計方法に関する。更に本発明は、ＭＲイメージングを高速化するためのイメージングボリューム全体にわたる目標ＲＦ励起に関する。
【背景技術】
【０００２】
ヒト組織などの物質が均一な磁場（分極磁場B_0）にさらされると、組織内のスピンの個々の磁気モーメントは、この分極磁場と整列しようとするが、これら固有のラーモア周波数で分極磁場の周りをランダムに歳差運動する。物質又は組織が、ｘ－ｙ平面内にあり且つラーモア周波数の近傍にある磁場（励起磁場B_1）にさらされると、正味の整列したモーメント、又は「縦磁化」Ｍｚは、ｘ－ｙ平面に向かって回転又は「傾斜」して、正味の横磁気モーメントＭｔを生成することができる。励起信号B_1を停止させた後、励起されたスピンによって信号が放出され、この信号を受信して処理し、画像を形成することができる。
【０００３】
これらの信号を利用して画像を作成する際には、磁場勾配（Ｇｘ、Ｇｙ及びＧｚ）が用いられる。典型的には、撮像対象領域は、使用される特定の局所化方法に従ってこれらの勾配が変化する一連の測定サイクルによって走査される。結果として得られた受信ＮＭＲ信号のセットは、多くの周知の再構成技法のうちの１つを用いてデジタル化され、処理され、画像が再構成される。
【０００４】
空間的選択励起は、信号寄与ボリュームのサイズを制限しながら横方向磁化を励起するためにＭＲイメージングにおいて広く使用される。スライス選択励起は最も一般的に使用されており、信号寄与ボリュームを信号収集中の空間エンコーディングを簡素化する固定スライスに限定して、データ収集又は走査時間を短縮させる。1つよりも多い次元に沿った局所化をもたらす多次元励起が、走査時間のこの短縮を促進するために使用されてきた。例えば、局在化スペクトロスコピー、関心領域の縮小された撮影領域走査、独特な形状の目標生体組織のイメージング、及び短縮されたエコートレイン長を用いるエコープラナー・イメージング（ＥＰＩ）は、これらが短縮された走査時間に対応していることから通常実施されるアプリケーションである。更に、選択励起を用いるかなり大きなボリュームにわたるプロフィール（反転、位相及び周波数）制御が、B_0の不均一性又は勾配の非直線性の存在下における励起プロフィール忠実度を改善するため及び磁化率アーチファクトを低減するために利用されている。
【０００５】
選択的励起は、全ボリュームにわたって送信し比較的均一なB_1磁場をもたらす、例えばバードケージコイルである単一送信コイルを用いて通常実施される。高性能パルスアルゴリズムが、このような構成に適合する励起パルスを設計するために開発されている。これらのパルス設計ツールによって達成された利点にもかかわらず、技術的な問題が依然としてある。励起パルス持続、励起プロフィール精度、及びＲＦ電力吸収（ＳＡＲ）に伴う諸問題は、種々の用途における未解決の課題の一部を示すものである。１Ｄ励起と比較して、２Ｄ又は３Ｄ励起での多次元に沿ったフレキシブル・プロフィール制御は、パルス機能の増強を必然的に伴い、且つ試験中のパルス持続を維持するために強力な勾配を必要とする場合が多い。この制限は、一般用の勾配を用いるスキャナへの多次元励起の適用を妨げる。波動作用の増大から生じるB_1磁場の大きい被検体依存性及び高周波での信号源－被検体相互作用もまた、励起プロフィール制御を困難にする。高周波での高い割合のＲＦ電力蓄積は、ＲＦ送信モジュール及び／又は励起パルスの設計及び適用に対して有意に影響する追加要因を示すものである。

【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００６】
断熱パルスの使用は、Ｂ$_1$の不均質性に関係する励起プロフィール制御の問題に対処するパルス設計方法を示している。この方法は、特定のプロフィールへの適用に限られ、高いＲＦ出力を伴う傾向にあることから限定的なものである。Ｂ$_1$の全体的な均質性を最大化することを目的とするＢ$_1$磁場最適化方法は、送信モジュールの改善を通じてこの制御問題に対処するものである。送信コイル幾何形状又は駆動機構の適合性は、Ｂ$_1$の不均質性を低減することが分かっている。しかしながら、高周波では磁場最適化の能力には限界がある。駆動ポート重み付けの較正誘導調整を行っても、コンポジットＢ$_1$磁場の空間的変動が望ましいレベルに近づく度合いは、各コンポジットＢ$_1$磁場の特性に高度に依存し、この結果は相当な残留非均質性を受ける傾向にある。
【０００７】
励起パルス長を低減する別の提案される解決策は、並列励起アーキテクチャ、すなわち独立した駆動回路によって駆動される複数の送信素子に基づくものである。個々のＢ$_1$磁場パターンを利用して、励起ｋ空間におけるサンプリング密度の低下により起こるエイリアシング・ローブを抑制する。並列励起構造により励起パルス長の低減が達成されたにもかかわらず、このような構造の適用では、特定の送信素子が充分には考慮されていないことが分かった。すなわち、これらの既知の並列送信アーキテクチャは、送信素子間の相互結合を考慮しておらず、極めて単純な送信アレイ幾何形状に依存する場合が多い。従って、送信素子によって生成される空間的変動は、充分には活用されていない。
【０００８】
従って、望ましい励起プロフィールを実現し、且つ、適切なＢ$_1$磁場の空間時間的な変動が送信コイルアレイにより生成されるコンポジットＢ$_1$磁場で生じる並列送信素子アーキテクチャを用いることによって励起パルス長を低減させることができるシステム及び方法を有することが望ましい。
【課題を解決するための手段】
【０００９】
本発明は、前述の欠点を克服する、送信コイルアレイにより生成されるコンポジットＢ$_1$磁場における効果的な空間時間的変動を生じさせるシステム及び方法を提供する。
【００１０】
本発明は、複数送信コイルの統合駆動による多次元励起の加速に関する。本発明は、望ましい励起プロフィールの正確な形成を加速しながら多次元パルス長の管理を改善するために、コンポジットＢ$_1$磁場における適切なＢ$_1$の空間時間的変動を生じる複数送信素子の調整に重点を置く。本発明はまた、空間的及び空間周波数領域重み付けを用いる並列励起パルスの設計に関する。
【００１１】
従って、本発明の１つの態様によれば、望ましいＲＦ励起プロフィールを求める段階を含む方法が提示される。本方法は更に、送信コイルアレイによって生成される結果として得られる全体の励起が望ましいＲＦ励起プロフィールと実質的に一致するように、送信コイルアレイの各送信コイルを駆動する段階を含む。
【００１２】
本発明の別の態様によれば、ＭＲＩ装置は、分極磁場を印加するマグネットと、磁場勾配を加えるためのマグネットボアの周りに配置された複数の勾配コイルとを有するＭＲＩシステムを含む。ＲＦ送受信器システム及びＲＦスイッチは、ＭＲ画像を収集するためのＲＦコイル組立体とＲＦ信号を送受するパルスモジュールにより制御される。ＭＲＩ装置はまた、イメージングボリュームにわたって結果として得られる全体のＲＦ発生が、送信コイルアレイ幾何形状と独立した望ましいＲＦ励起プロフィールと実質的に一致するように、送信コイルアレイによるＲＦ発生の制御用に構成されている複数のＲＦパルス波形を設計するようプログラミングされたコンピュータを含む。

【００１３】
本発明の別の態様によれば、本発明は、コンピュータによって実行されたときに、該コンピュータに送信コイルアレイの複数の送信コイルによるＲＦ送信を制御させて、同期した状態にある適切な勾配変化が伴うコンポジットB_1磁場の空間及び時間変動が、ＲＦ送信完了時に望ましい励起プロフィールを生成するようにする命令を有する、コンピュータ可読記憶媒体上に格納されたコンピュータプログラムにおいて具現化される。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１４】
本発明の、種々の他の特徴、目的及び利点は、以下の発明の実施の形態及び図面から明らかとなるであろう。
【００１５】
図面は、本発明を実施するために現在企図されている１つの好ましい実施形態を示す。
【００１６】
図１を参照すると、本発明を組込んだ好ましい磁気共鳴イメージング（ＭＲＩ）システム１０の主要な構成要素が示されている。本システムの動作はキーボード又は他の入力デバイス１３、制御パネルパネル１４、及び表示画面１６を含むオペレータコンソール１２から制御される。コンソール１２は、オペレータが画像の作成及び表示スクリーン１６上への表示を制御可能にする別個のコンピュータシステム２０とリンク１８を介して通信する。コンピュータシステム２０は、バックプレーン２０ａを介して互いに通信する幾つかのモジュールを含む。これらは、画像プロセッサモジュール２２、ＣＰＵモジュール２４、及び画像データアレイを格納するためのフレームバッファとして当該技術分野で公知のメモリモジュール２６を含む。コンピュータシステム２０は、画像データ及びプログラムを格納するためのディスク記憶装置２８及びテープドライブ３０にリンクしており、更に高速シリアルリンク３４を介して別個のシステム制御装置３２と通信する。入力デバイス１３は、マウス、ジョイスティック、キーボード、トラックボール、タッチ作動スクリーン、光学読み取り棒、音声制御装置、又は類似の任意の入力デバイスもしくは同等の入力デバイスを含むことができ、更に対話式の幾何学的指定に用いることができる。
【００１７】
システム制御装置３２は、バックプレーン３２ａによって共に接続されたモジュールセットを含む。これらは、ＣＰＵモジュール３６、及びシリアルリンク４０を介してオペレータコンソール１２に接続しているパルス発生器モジュール３８を含む。システム制御装置３２は、実行すべき走査シーケンスを示すオペレータからの指令をリンク４０を介して受け取る。パルス発生器モジュール３８は、システム構成要素を作動させて所望の走査シーケンスを実行し、発生されたＲＦパルスのタイミング、振幅及び形状、並びにデータ収集ウィンドウのタイミング及び長さを示すデータを発生する。パルス発生器モジュール３８は、走査中に発生される勾配パルスのタイミング及び形状を示すために勾配増幅器４２のセットに接続されている。パルス発生器モジュール３８はまた、患者に装着された電極からのＥＣＧ信号などの患者に接続された幾つかの異なるセンサからの信号を受け取る生理学的収集制御装置４４からの患者データを受け取ることができる。更に最終的に、パルス発生器モジュール３８は、患者の状態及びマグネットシステムと関連する種々のセンサからの信号を受け取る走査室インターフェース回路４６に接続されている。患者位置決めシステム４８は、この走査室インターフェース回路４６を介して走査のために患者を所望の位置に移動させる指令を受け取る。
【００１８】
パルス発生器モジュール３８によって発生される勾配波形は、Ｇｘ、Ｇｙ、及びＧｚ増幅器を有する勾配増幅器システム４２に印加される。各勾配増幅器は、全体を５０で示す勾配コイル組立体内の対応する物理勾配コイルを励起して、収集された信号を空間的に符号化するために用いられる磁場勾配を発生する。勾配コイル組立体５０は、分極マグネット５４及び全身型ＲＦコイル５６を含むマグネット組立体５２の一部を形成する。システム制御装置３２内の送受信器モジュール５８はパルスを発生し、該パルスはＲＦ増幅器６

０によって増幅され、送信／受信スイッチ６２によってＲＦコイル５６に結合される。結果として、患者内の励起原子核によって放出された信号は、同じＲＦコイル５６によって感知され、送信／受信スイッチ６２を介して前置増幅器６４に結合することができる。増幅されたＭＲ信号は、送受信器５８の受信器部において復調され、フィルタ処理され、及びデジタル化される。送信／受信スイッチ６２は、パルス発生器モジュール３８からの信号によって制御されて、送信モード中はＲＦ増幅器６０をコイル５６に電気的に接続し、受信モード中は前置増幅器６４をコイル５６に接続する。更に、送信／受信スイッチ６２により、別個のＲＦコイル（例えば、表面コイル）を送信モード又は受信モードのいずれにおいても使用することが可能になる。

【００１９】

ＲＦコイル５６によって取り込まれたＭＲ信号は、送受信器モジュール５８によりデジタル化されて、システム制御装置３２内のメモリモジュール６６に転送される。未処理ｋ空間データのアレイをメモリモジュール６６内に収集完了すると１回の走査が完了する。この未処理ｋ空間データは、再構成されることになる各画像に対して別個のｋ空間データアレイに再配置され、これらの各々は、データをフーリエ変換して画像データのアレイにするよう動作するアレイプロセッサ６８に入力される。この画像データは、シリアルリンク３４を介してコンピュータシステム２０に送られ、該コンピュータシステム２０においてディスク記憶装置２８などのメモリ内に格納される。オペレータコンソール１２から受け取った指令に応答して、この画像データをテープドライブ３０上などの長期記憶装置にアーカイブしてもよく、或いは画像プロセッサ２２によって更に処理してオペレータコンソール１２に送るか、又はディスプレイ１６上に表示することができる。

【００２０】

本発明は、複数の送信コイルによってＲＦパルス送信を加速する方法及びシステムに関する。このような送信コイルアレイが図２に示される。送信コイルアレイ組立体７０は、並列ＲＦ送信用に設計された複数のＲＦコイル又は素子７２と、複数のＲＦ増幅器７４とを含む。１つの好ましい実施形態においては、各送信コイル７２は専用のＲＦ増幅器７４によって駆動される。この点に関して、各ＲＦ増幅器は、ＭＲＩシステム内の被検体７８の励起ボリュームを定めて操向するためにそれぞれのコイル内に制御電流を発生させるように構成される。また後述されるように、送信コイルの各々は、コイル間の相関関係すなわち相互結合が考慮されるような方法で制御される。図２に示されるように、送信コイルは実質的に線形で配置される。更に、より詳細に後述されるように、ＲＦ増幅器は、ＲＦ励起を特定の関心領域内に局所化して被検体へのＲＦ電力蓄積を低減できるように、複数のＲＦ送信コイルを駆動する。更に後述されるように、送信コイルの各々はＲＦ電力蓄積が更に低減されるような方法で制御される。

【００２１】

次に図３を参照すると、別の実施形態における送信コイルアレイ組立体７０が示される。この実施形態において、送信コイル７２は、ラップアラウンド方式で位置付けられる。この点に関して、コイルは被検体の周囲に分配された様態で配置される。図２に関して図示され且つ説明されたのと同様に、各ＲＦコイル７２は専用のＲＦ増幅器７４に接続される。図２－図３は、送信コイルアレイのコイルの可能な配列のペアを例証するものであり、具体的には示されていない他の配列も可能であり企図されることは、当業者であれば容易に理解するであろう。

【００２２】

上で示されたように、本発明は、送信コイルによるＲＦ励起が並列に行われるように送信コイルアレイを用いて実施可能な方法及びシステムに関する。この並列励起は、ＲＦパルスの加速及び目標励起の局所化による走査時間の短縮に対応する。

【００２３】

本発明は、小先端角度励起に関して説明されることになるが、本発明が他の励起レジームにも拡張できることは当業者であれば理解するであろう。単励起コイルを用いた小先端角度励起により得られる横方向磁化は、励起中に横断され重み付けされたｋ空間トラジェ

クトリのフーリエ変換によって解析することができる。

【００２４】

【数１】

$$M(\mathbf{x}) = j\gamma\ M_0(\mathbf{x})\ b(\mathbf{x})\int_{\mathbf{k}} W(\mathbf{k})S(\mathbf{k})e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}d\mathbf{k} \quad \text{式1}$$

【００２５】

式中Ｓ（ｋ）は、スイッチング勾配によって制御される空間周波数サンプリングトラジェクトリを表し、Ｗ（ｋ）は、駆動ＲＦ信号源によって誘起される空間周波数重み付けであり、ｂ（ｘ）は、コイルのB_1磁場パターンによって誘起される空間重み付けである。

【００２６】

数セットのパルス合成器及び増幅器が、励起中対応するコイルを同時に駆動する並列ＲＦ信号源を形成するときに、多重空間周波数及び空間重み付けは、横方向磁化の生成に影響を与える。小先端角度近似の範囲内で、式１によって表されるｋ空間透視図は、直線性の特性に基づいて並列励起系を解析するために拡張することができ、

【００２７】

【数２】

$$M(\mathbf{x}) = j\gamma\ M_0(\mathbf{x})\ \sum_{n=1}^{N} b_n(\mathbf{x})\int_{\mathbf{k}}\sum_{l=1}^{N} c_{n,l}W_l(\mathbf{k})S(\mathbf{k})e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}d\mathbf{k} \quad \text{式2}$$

【００２８】

である。

【００２９】

式２において、Ｎは送信コイルの全体の数を示し、ｎ及びｌはコイルの指数であり、$c_{n,l}$はコイル間の相互結合を特徴付ける係数であり、W_l（ｋ）は独立して制御されるＲＦ信号源によって誘起される空間周波数重み付けを表し、b_n（ｘ）は、コイルのそれぞれのB_1磁場パターンによって誘起される空間重み付けを表す。

【００３０】

式２で励起プロフィールを定める項をｇ（ｘ）で示すと、ｇ（ｘ）は

【００３１】

【数３】

$$g(\mathbf{x}) = \sum_{l=1}^{N}\left(\sum_{n=1}^{N} c_{n,l}b_n(\mathbf{x})\right)\int_{\mathbf{k}} W_l(\mathbf{k})S(\mathbf{k})e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}d\mathbf{k} = \sum_{l=1}^{N}\hat{b}_l(\mathbf{x})\int_{\mathbf{k}} W_l(\mathbf{k})S(\mathbf{k})e^{j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}}d\mathbf{k}$$

式3

【００３２】

として表され、この式は、並列送信系の解析において、

【００３３】

【数４】

$$\hat{b}_l(\mathbf{x}) \equiv \sum_{n=1}^{N} c_{n,l}b_n(\mathbf{x})$$

【００３４】

である有効空間重み付けが、結合誘起されたコイル間相関関係を説明するために使用できることを示している。

【００３５】

１つの実施例として、２Ｄ励起の場合が考察され、ここで、k_xがスロー方向であり且つΔ_{kx}がサンプリング周期として、エコープラナー（k_x、k_y）トラジェクトリが使用され、且つ、｛（ｘ、ｙ）｜$x_{min} \leqq x \leqq x_{max}$、$y_{min} \leqq y \leqq y_{max}$｝が、被検体が収容されている撮影領域を特定する。ｋ空間重み付け及びサンプリングは、２Ｄ励起プロフィールを生じさせ、該プロフィールは、式３によって定められるような、Ｎ周

期関数の重み付けされた重ね合わせであり、すなわち、

【００３６】

【数５】

$$g(\mathrm{x},y)=\sum_{l=1}^{N}\hat{b}_l(\mathrm{x},\mathrm{y})\sum_{m=-\infty}^{+\infty}u_l(x-m\Delta,y) \qquad \text{式4}$$

【００３７】

式４において、記号u_l（ｘ）及びΔは、それぞれ、

【００３８】

【数６】

$$\int W_l(k)\, e^{i2\pi k\cdot x}\, dkt$$

【００３９】

と、$1/\Delta_{kx}$を表す。Ｚ－従属項は簡略化のため削除されている。

【００４０】

式４から、k_xに沿った離散的性質が、ｘに沿ったエイリアシング・ローブを必然的に示すことは明らかである。有意には、式４はサイドローブの抑制が空間

【００４１】

【数７】

$$\left(\hat{b}_l(\mathbf{x})\right)$$

【００４２】

及び空間周波数（W_l（ｋ））領域における多重重み付けによって達成することができることを示している。このことは、ボディコイル（ｂ（ｘ）　１であるボリュームコイル）を用いた励起の場合と比較することができ、ここで、典型的なパルス設計は、サンプリング周期Δｋｘを１／Ｄ（Ｄ＝$x_{max}-x_{min}$）未満であるように制限することによって被検体の外側に突き出たサイドローブを有する。

【００４３】

小先端角度レジームの範囲内で、望ましい励起プロフィールが与えられる勾配及びＲＦパルスの設計は、式３によって定められる逆問題を解くことによって得ることができる。例証の目的で、２Ｄ励起を説明する。

【００４４】

ｇ（ｘ，ｙ）によって与えられ、u_l（ｘ，ｙ）＝h_l（ｘ，ｙ）ｇ（ｘ，ｙ）の型の解を伴う２Ｄ励起プロフィールを得るため、式４は次式のように書換えられる。すなわち、

【００４５】

【数８】

$$g(\mathrm{x},y)=\sum_{m=-\infty}^{+\infty}g(\mathrm{x}-m\Delta,y)\sum_{l=1}^{N}h_l(x-m\Delta,y)\hat{b}_l(\mathrm{x},\mathrm{y}) \qquad \text{式5}$$

【００４６】

これは、撮影領域内の全ての（ｘ，ｙ）について、一般的に次式の関係を必要とする。

【００４７】

【数９】

$$\sum_{l=1}^{N}h_l(x-m\Delta,y)\hat{b}_l(\mathrm{x},\mathrm{y})=\begin{cases}1, & m=0\\ 0, & \text{otherwise}\end{cases} \qquad \text{式6}$$

【００４８】

式を並べかえることによって（例えば変数を変えることによって）、｛h_l（ｘ，ｙ），ｌ＝１，．．．，Ｎ｝は、典型的には、各（ｘ，ｙ）で式７のＫ個の一次方程式（Ｋは

D／Δ以上である最小の整数として定められる）により制約され、
【００４９】
【数１０】
$$\mathbf{C}_{(x,y)}\mathbf{h}_{(x,y)} = \mathbf{e}_1 \qquad \text{式7}$$
【００５０】
式中、
【００５１】
【数１１】
$$\mathbf{C}_{(x,y)} = \begin{bmatrix} \hat{b}_1(x,y) & \hat{b}_2(x,y) & \dots & \hat{b}_N(x,y) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hat{b}_1(x+m\Delta,y) & \hat{b}_2(x+m\Delta,y) & \dots & \hat{b}_N(x+m\Delta,y) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \end{bmatrix} \qquad \text{式8}$$
【００５２】
【数１２】
$$\mathbf{h}_{(x,y)} = \left[h_1(x,y) \quad h_2(x,y) \quad \dots \quad h_N(x,y)\right]^T \qquad \text{式9}$$
【００５３】
【数１３】
$$\mathbf{e}_1 = \left[1 \quad 0 \quad \dots \quad 0\right]^T \qquad \text{式10}$$
【００５４】
であり、｛ｘ，．．．，ｘ＋ｍΔ（ｍ≠０），．．．｝は撮影領域内のｘ座標のセットを表し、これらは均等に間隔を置いて配置され、且つエイリアシングによって相互に結合されている。１／Ｄより大きいサンプリング周期Δ_{kx}を用いたとき、式７の第１の方程式を除いた全てのものは、撮影領域内に位置するエイリアシング・サイドローブの抑制を表す。
【００５５】
撮影領域全体にわたる位置について式７を繰り返し解くと、h_l（ｘ，ｙ）が得られ、これは、式１１に従ったｋ空間重み付けの計算を可能にする。
【００５６】
【数１４】
$$W_l(\mathbf{k}) = \int_{\mathbf{x}} h_l(\mathbf{x}) g(\mathbf{x}) e^{-j2\pi\mathbf{k}\cdot\mathbf{x}} d\mathbf{x} \qquad \text{式11}$$
【００５７】
従って、ｋ空間重み付け及びｌ番目コイルに関連するＲＦパルス波形は、望ましい励起プロフィールの空間的に重み付けされたバージョンのフーリエ変換を用いて計算することができ、その場合、空間重み付けは、各送信コイルのB_1磁場マップ及びｋ空間横断トラジェクトリから導出される。
【００５８】
B_1磁場マップの品質は、励起プロフィール精度に対し直接の影響を及ぼす。マップは１つずつ実験的に較正することができる。この手法では、各較正は、送信用に送信アレイの単一素子（他の素子への入力をゼロとする）を用い、受信用にボディコイルを用いるイメージング試験を含む。被検体コントラストの変調を除去するためにこの結果を基準画像で除算すること、及びノイズの影響を抑制するために追加の処理をすることにより、送信コイルに付随する有効B_1マップの推定が得られる。別法として、B_1マップは相反性の

原理に基づく感度マップから推測することができる。較正時間を短縮するために複数の感度マップを並行して較正できる点に留意されたい。しかしながら、送信及び受信間のコイル結合特性における逆位相及び起こり得る変化は、考慮されない場合には、推定された有効B_1マップの精度を損なう可能性がある。

【００５９】

２Ｄ励起の実施例におけるシステムの２つの型を比較すると、本発明はシングルチャンネルのボディコイル・システムを越える最大Ｎ倍の励起加速をもたらす。形式的には、このことは、ボディコイル送信の場合における、Δ_{kx}≦１／Ｄのより厳しい要件とは対照的である、Ｎ≧Ｄ／Δ或いは同等にΔ_{kx}≦Ｎ／Ｄの場合に式７が少なくとも１つの解を可能とすることにより示される。直感的には、励起ｋ空間サンプリング密度の低下によりエイリアシング・ローブを被検体内に位置付けるようにし、空間周波数領域重み付け（W_1（ｋ））の適切な設計が、空間領域重み付け

【００６０】

【数１５】

$$\left(\hat{b}_l(\mathbf{x})\right)$$

【００６１】

とエイリアシングパターン（サンプリングによって決定されるような）とを結合してインコヒーレントな付加にすることができ、その結果エイリアシング・ローブの最終振幅の低減又は消滅が実現することを認識することによって、加速能力或いは励起ｋ空間サンプリング密度の低下が、恐らくは最もよく理解される。

【００６２】

Ｎより小さい加速係数、或いは同等にＮ／Ｄよりも小さいサンプリング周期については、式７が次元Ｎ－Ｋの一群の解を可能とする。これにより、望ましい励起プロフィールに適合するメインローブを全て生成することができ、適用時には同時にエイリアシング・ローブを抑制する励起パルス設計の選択をもたらす。最小ノルムの意味で式７を解くことによって計算されたh_1（ｘ，ｙ）を使用する特定の設計は、変動に対する励起プロフィールの感度を低下させ、或いはＲＦ増幅器への出力要件を低減させる傾向があるので、これは注目に値することである。

【００６３】

また、送信コイルアレイの送信コイルの独立駆動はＳＡＲ管理をサポートする。単一送信コイルを用いる被検体ボリュームの均一な可能範囲と比較して、極めて接近したコイルを使用することによって分散型局所送信コイルのアレイを用いる関心領域のみの集中励起は、領域外への大きなＲＦ電力蓄積を防止する。更に、信号源を統合して所望の励起プロフィールを実現する多くの方法から、結果として起こるＲＦ電力蓄積ができるだけ少ないＥ磁場を誘起するものを選択することができる。

【００６４】

本発明は、幾つかのＳＡＲ低減技法、すなわち集中ＲＦ励起をサポートするが、被検体ボリューム及び励起周期にわたって平均されたＳＡＲの最小化を中心とするＳＡＲ管理をより詳細に以下に説明する。該平均化されたＳＡＲは次式によって定められる。

【００６５】

【数１６】

$$\mathrm{SAR}_{\mathrm{ave}} = \frac{1}{P}\sum_{p=0}^{P-1}\frac{1}{V}\int\frac{\sigma(\mathbf{x})}{2\rho(\mathbf{x})}\left|\mathbf{E}(\mathbf{x},p\Delta t)\right|^2 dv \qquad \text{式１２}$$

【００６６】

式１２において、σは組織の伝導率、ρは密度、Ｖは照射される被検体ボリュームの大きさ、Ｐは時間的平均を定量化するために使用されるタイムポイントの合計を表す。

【００６７】

例えば、伝導性材料の大型スラブの表面に面して配置された複数のループコイルを仮定する。低周波数において、スラブ内部の磁場は、コイル内電流によって生成される入射磁場が支配的な傾向にある。近距離電場及び磁場の解析における準静的手法に続いて、該磁場は次式のベクトルポテンシャルＡを用いて特徴付けることができ、

【００６８】

【数１７】

$$\mathbf{A} = \sum_{l=1}^{N} \frac{\mu I_l}{4\pi} \oint_{C_l} \frac{d\mathbf{s}'}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}'|} \qquad \text{式１３}$$

【００６９】

この場合、コイル内電流にわたる線積分は、コイル導体のフィラメント近似に基づいており、磁場は、

Ｂ＝∇×Ａ

及び

Ｅ＝－ｄＡ／ｄｔ

に関連する。この場合、式１２の｜Ｅ（ｘ，ｐΔｔ）｜^{2}の項は、次式で評価することができ、

【００７０】

【数１８】

$$|\mathbf{E}(\mathbf{x}, p\Delta t)|^2 = |-j\omega \mathbf{A}(\mathbf{x}, p\Delta t)|^2 = \left| \sum_{l=1}^{N} I_l(p\Delta t) \left(\frac{-j\omega\mu}{4\pi} \oint_{C_l} \frac{d\mathbf{s}'}{|\mathbf{x}-\mathbf{x}'|} \right) \right|^2 = \left| \sum_{l=1}^{N} I_l(p\Delta t) \mathbf{\Phi}_l(\mathbf{x}) \right|^2$$

式１４

【００７１】

該式は、時間ｐΔｔでの電流波形の値を有するベクトル［I_1（ｐΔｔ）I_2（ｐΔｔ）．．．I_N（ｐΔｔ）］の２次形式である。ボリューム積分及び時間的総和を解けば、SAR_{ave}は電流波形のサンプルの２次関数として次式で表すことができ、

【００７２】

【数１９】

$$SAR_{ave} = \mathbf{s}^H \mathbf{F}\, \mathbf{s} \qquad \text{式１５}$$

【００７３】

この場合、上付き文字Ｈは共役転置を示し、行列Ｆは式１２及び式１４に基づいて評価された成分を有し、且つベクトルｓは電流波形のＮ×Ｐサンプルの全体を対応する順序で収集する。

【００７４】

電場が適用される信号源関数によって線形的に拡縮する条件では、平均ＳＡＲと信号源関数サンプルとの間で式５の形式における２次関係が一般に保たれる。しかしながら、生物学的被検体の存在或いは高い周波数では、マックスウェル方程式を解くことは困難であり、場合によってはＦ行列の構成は、較正結果或いは直接のＥ磁場測定に依存する必要がある。

【００７５】

適用された信号源関数に関する吸収速度及び横方向磁化の依存性を仮定すれば、最小のＳＡＲを誘起しながら望ましい励起プロファイールを生成する調整された信号源関数のセットを決定することが可能である。小先端角度レジーム又はブロッホ方程式の線形処理が適切である拡張においては、多次元励起設計において閉じた形の解が存在し、広い設計スペースを探す必要が無くなる。

【００７６】
前述の２Ｄ励起の実施例を続けると、エイリアシング・ローブを回避しながら被検体内に望ましいメインローブを生成する必要性に由来する、式７の形の方程式は、$h_l(x)$の空間パターンを全体として制約する。従って、これらの方程式を共にプールすれば、行列形式で次式で表すことができる設計制約が得られる。
【００７７】
【数２０】

$$\mathbf{C}_{all}\mathbf{h}_{all}=\mathbf{e}_{all} \qquad \text{式16}$$

【００７８】
式１６において、C_{all}は、対角線上の成分が$C_{(x,y)}$で他のいずれの成分もゼロであるブロック対角行列であり、h_{all}及びe_{all}は、連結された$h_{(x,y)}$及びe_lをそれぞれ表すベクトルである。重み付け関数のサンプルの移動が一定の速度で行われる場合、$W_l(k(t))$は電流波形に比例する。$W_l(k)$と$h_l(k)$との間のフーリエ変換関係により、式１５をh_{all}に関して書き換えることができる。
【００７９】
【数２１】

$$\mathrm{SAR}_{ave}=\mathbf{h}_{all}^{H}\mathbf{V}\mathbf{h}_{all} \qquad \text{式17}$$

【００８０】
フーリエ変換のままである２次形式は、$h_l(x)$から$W_l(k)$への線形写像を定義する。可変サンプルレートは、行列Ｖの成分を勾配振幅の変化に一致するように修正するだけである。従って、ＳＡＲ管理のためのパルス設計は、線形の制約を受ける２次関数を最小化することによって達成することができる。
【００８１】
【数２２】

$$\mathbf{C}_{all}\mathbf{h}_{all}=\mathbf{e}_{all}\text{に従って}$$
$$\mathbf{h}_{all}^{H}\mathbf{V}\mathbf{h}_{all}\text{を最小化} \qquad \text{式18}$$

【００８２】
上式は、公知の数値計算法を用いて解くことができる。
【００８３】
上述のような小先端角度並列励起パルスの設計原理をシミュレーション実験及びファントム実験によって評価した。加速多次元励起の設計原理を評価するために、送信コイルアレイを用いる並列励起がシミュレーションスタディで最初に試験された。送信アレイは、ｘ軸方向に沿って一列に平形に並べられた９個の同じ１９．８ｃｍ×６．４ｃｍループコイルから構成された。このアレイは、アレイ表面の下の薄いスラブ対象物に面していた。並列励起パルスを用いて、$g(x)=g_x(x)\cdot g_z(z)$の形の該対象物にわたる望ましい励起プロフィールを有する２Ｄ励起を試みた。この場合において、均等にΔ_{kx}の間隔を空けたk_x＝一定ラインからなるエコープラナーk_x-k_zトラジェクトリ、局所的ボリュームにおいて無視できるｙ方向及びｚ方向B_1変動、及び$g(x)$の可分性を使用すると、形式$W_l(k)=U_{kx,l}(k_x)\cdot U_{kz}(k_z)$の式１１に対する解が得られた。ここで、
【００８４】
【数２３】

$$U_{kx,l}(k_x)=\int_x h_l(x)g_x(x)e^{-j2\pi xk_x}dx$$
$$U_{kz}(k_z)=\int_z g_z(z)e^{-j2\pi zk_z}dz$$

【００８５】
である。

【００８６】
この第１の実験のために、式７の形式の方程式が構成され、ｋ$_{x}$－ｋ$_{z}$にわたる重み付けが決定された。次いで、ＲＦパルス波形が式１１に基づいて計算された。対照として、同じ２Ｄ局所化を目的としたボディコイル励起パルスが設計された。

【００８７】
加速励起の設計原理をファントムスタディで更に評価し、１．５テスラＭＲＩスキャナ（ＣＶｉ、ＧＥ Ｍｅｄｉｃａｌ Ｓｙｓｔｅｍｓ、ウィスコンシン州ウォーキシャ所在）で上述のシミュレーションスタディとほぼ同様の設定を用いて行った。当該送信コイルは同じ幾何形状のものであり、水を満たした４１×１９×１ｃｍ^{3}のブリックファントムの３ｃｍ上に置かれた。スキャナは単一チャンネルのＲＦパルス送信だけに対応するものであったので、該スタディは、一連の９つの単一チャンネル実験を通して９つのアレイ素子の同時駆動を模擬することにより間接的に並列励起を試験した。該手法の正当性は、小先端角度レジームにおける線形特性によって裏付けられ、これにより、単一チャンネル励起実験から観測された横方向磁化分布の重ね合せから並列励起実験の結果を予測することができる。

【００８８】
詳細には、１９．８ｃｍ×６．４ｃｍサイズの単一送信／受信ループコイルがスキャナのＲＦインターフェースに取付けられた。９つの実験の間、コイルは一度に１つの構成で配置されて駆動され、各々、シミュレートを望む仮想コイルアレイの９つの素子の１つに対応する位置及びＲＦパルスを有していた。各送信の完了後にコイルは直ちに受信機能に切換えられたが、スキャナのボディコイルは、実験中はデチューン状態に維持された。２Ｄ励起及び収集は、勾配エコーシーケンスを用いて行われた。１つの実験から別の実験に至るまで、励起ｋ空間横断は同様に保たれた（すなわち、ｋ$_{x}$がスロー方向であるエコープラナーｋ$_{x}$－ｋ$_{z}$トラジェクトリ）が、重み付け（ＲＦパルス）は、励起パルス設計に従って変更された。２Ｄ収集は、ｘ及びｚ方向に沿って水ファントムを描いた（且つ１ｃｍスラブの垂直方向であるｙ方向に沿って投影された）画像を生成した。２Ｄ横方向磁化分布は、画像からコイルの感度プロフィールを除去することによって定量化された。次いで、該分布は重ね合され、対応する並列励起実験から結果として得られる分布の推定値をもたらした。このスタディの設計に関しては、コイル結合は要因ではない。ビオーサバールの法則に基づいて推定されたＢ$_{1}$マップは、ＲＦパルス計算及び感度プロフィール除去の両方において使用された。

【００８９】
励起加速の別のスタディにおいて、オールアラウンド・アレイ幾何形状が試験された。アレイは７つの送信素子からなり、これらはスキャナの患者ボア内部にラップアラウンド形式で方位方向に分布された。コンピュータシミュレーションにより、ｘ及びｙ次元の両方に沿って局所化する２Ｄ励起設計が評価された。素子間の結合は無視できず、相互インダクタンス計算から決定された結合行列により考慮された。該設計は、当初の式７及び式１１を用いた。

【００９０】
並列パルス設計に統合されて上述されたＳＡＲ管理方式の有効性が更に評価された。評価は、式７の代わりに式１８によって定められた設計の形式の並列励起パルスを適用したことを除いては、第１のシミュレーションスタディと同じ様式で行われた。計算されたｈ$_{l}$（ｘ，ｙ）を用いて、式１１がｋ$_{x}$－ｋ$_{z}$にわたる重み付けを与え、これがＲＦパルス波形を決定した。得られた励起プロフィール及び平均ＳＡＲは、第１のシミュレーションスタディものと比較された。

【００９１】
上述の実験の結果の論議は次の通りである。スラブ対象物の内側のｘ＝８ｃｍ及びｚ＝０に中心を置く５ｃｍ×５ｃｍ領域の集束励起が、第１のシミュレーションスタディで調べられた。ボディ送信コイルに基づき、対照設計は、$\Delta_{k\,x}$＝１／３１．６サイクル／ｃｍで５７のｋ$_{x}$＝一定ラインを横断するパルスを使用した。この対照設計から得られたｘ

方向局所化が図４－図７に示される。並列励起設計は、送信コイルアレイを使用する２Ｄ局所化処理を達成する。４倍加速を表す場合には、設計はΔ_{kx}＝１／７サイクル／ｃｍで１４のｋ$_{x}$＝一定ラインを横断するパルスを使用した。ｘ＝４ｃｍ及びｘ＝８ｃｍにそれぞれ位置したコイルによって与えられたｋ$_{x}$方向重み付けＵ$_{kx,4}$（ｍΔ_{kx}）及びＵ$_{kx,7}$（ｍΔ_{kx}）は、図５及び図６に示される。９個のコイルの各々によるｘに沿った局所化は図７に示される。サンプリング密度の低減の結果として第１のエイリアシング・サイドローブはターゲットに４．５倍近接した（中心－中心の間隔＝７ｃｍ）、これらの最終振幅、並びに４０ｃｍＦＯＶ内に位置する他のエイリアシング・ローブは、図４に示されるようにインコヒーレント付加により無視される点に留意されたい。ボディコイル手法の結果と比較すると、並列励起の局所化は、同様に再集束され（図示されない虚数成分は無視された）、匹敵する空間分解能のものであった。図４を参照されたい。

【００９２】

ファントムスタディにおいて、エイリアシング・サイドローブへのインコヒーレント付加の効果が調査の中心であった。この目的のため、２Ｄ励起パルスは、中心素子の真下の水ファントムの領域を対象とするように設計された。調査を容易にするために、パルス計算は９つの素子のアレイの代わりに拡張線形アレイを更に想定した。設計されたパルスの長さは５．７ミリ秒であった。中心素子実験において、図８は、印加ＲＦパルス（振幅及び位相）と共に、連続の全ての実験で同様に実行される勾配パルスGx、Gzを示す。結果として得られる画像からのコイルの感度プロフィールの除去は、図９に示されるように、素子によって誘起される２Ｄ横方向磁化分布の推定値をもたらす。図１０は、使用されたＢ$_{1}$／感度マップを示す。参考として、図１１は、ボディコイル送信－受信実験での非選択性励起からの横方向磁化分布を示す。感度プロフィール除去において用いられた分割操作に基づくノイズ増幅作用が図９において顕著であり、これは感受領域から遠い程極めて大きくなる傾向がある。過度のノイズ増幅により調査が曖昧なものとならないように、分割操作は遠位領域内に抑えられた。

【００９３】

全ての９つの試験からの結果は図１２に要約され、実験の各々に対応するマッピングされた横方向磁化を列１から列９までに示している。最も下の列（列１０）は、対応する並列励起の結果予測として意図された、個々のマップを重ね合わせた結果を示している。この場合も同様に、インコヒーレント付加に起因するエイリアシング・サイドローブの実質的な減少が観測された。この設定では、メインローブの構築における素子からの寄与及びエイリアシング・ローブの抑制が容易に理解された。中心素子単独からの結果、及び中央の５つの素子と中央の９つの素子からの結果は、局所励起プロフィール制御が主として近くのコイルによって達成されることを示唆している。パルス計算において拡張アレイの使用を想定することにより、９素子アレイの境界に向けた残留エイリアシング（不完全な消滅）のほとんどが明らかになった。９を越える素子でアレイを増強すると、この影響を是正することができる。９素子アレイのパルス設計もこの影響を取り除くことができ、この場合においては、境界コイルの重み付けは最大の変化を受けることになる。

【００９４】

ラップアラウンド型アレイの２Ｄ並列励起パルスが設計され評価された。シミュレーションは、４０ｃｍ×２３ｃｍの軸方向撮影領域内で任意に位置決付けられた局所ボリュームを選択的に励起する処理に集中した。式７が、有効Ｂ$_{1}$磁場パターン及びΔ_{kx}＝１／６．９サイクル／ｃｍでの１４のｋ$_{x}$＝一定ラインを含むＥＰＩトラジェクトリに基づいて繰り返し解かれた。次いで、ｌ＝１，２，．．．，７であるｌ番目のコイルについて、計算されたｈ$_{l}$（ｘ，ｙ）での望ましい２Ｄ局所化プロフィールの積がフーリエ変換され、並列励起によるコイルのｋ空間重み付け及びＲＦパルス波形が導出された。最終結果は、実質的にエイリアシング・サイドローブがなく、４倍長い従来型のＲＦパルスのボディコイル送信を含む対照励起に対して優れた一致を示した。

【００９５】

最後のシミュレーションスタディの設計は、第１のシミュレーションスタディのパルス

とは形状の異なった並列励起パルスをもたらした。図１３－図１６は、図４－図７の形式と類似した形式を有する結果を示す。パルスは、第１のシミュレーションスタディのパルスと同じレベルの局所化精度及び空間分解能が維持された（図１３）が、設計変更は平均ＳＡＲにおける３８％の低下をもたらし、統合ＳＡＲ管理方式の大きい影響が確認された。

【００９６】

本発明では、設計されたＲＦパルスが合成され、増幅され、対応する送信素子に並列に供給されてコンポジットＢ$_1$磁場の空間的及び時間的変化の両方を誘起し、該コンポジットＢ$_1$磁場は、同期して繰り出される適切な勾配変化に付随して、励起の完了時に望ましい励起プロフィールを生成する。このことは、コイル幾何形状の設計及び駆動ポートの位相／振幅のオフセットがＢ$_1$磁場の空間的均一性を目標とし、且つ励起中に出すＲＦパルスがＢ$_1$磁場の時間的変化のみを処理するように限定される従来型手法とは対照的である。励起に対する適切なＢ$_1$の時間空間的変動の誘起は、ＲＦ励起機能に有意な派生的影響を有することは当業者であれば理解されるであろう。すなわち、並列励起は、望ましい励起プロフィールの形成精度を実質的に犠牲にすることなく励起加速及び／又はＳＡＲ制御に対応する。

【００９７】

要約すれば、送信素子を駆動するＲＦパルスは、望ましい励起プロフィールの空間的重み付けされたバージョンのフーリエ変換を用いて計算することができ、ｋ空間サンプリング密度の低減による多次元励起を加速する能力は、エイリアシング・ローブの抑制に左右されると共に、適切に設計された駆動パルス（空間周波数領域重み付け）によって獲得することができ、ＳＡＲ管理は、駆動信号源の二次関数を最小化することによって達成することができ、該管理は望ましい励起プロフィール及び／又は加速を実現するため信号源を統合しながら結果として起こるＲＦ電力蓄積が最小のＥ磁場を誘起する方法を探索する。

【００９８】

応用の観点から見ると、高速イメージングは、本発明の並列励起手法が特に適用できる分野である。関心のある解剖学的構造が例えば局所領域に入っている状況下では、該領域に「スポットライトを当てる」多次元励起が、信号収集に対して加えられた空間エンコーディングの負荷を軽減することによりイメージングの加速を可能とする。従来型励起を越える改善が示されると、何倍も早い並列励起は、イメージングボリュームの画定／操向をサポートすると共に、これまで多次元パルスの実際的な使用を妨げていた時間的コスト障壁を打破する。並列収集手法の使用と比較すれば、並列励起手法に基づいた集束イメージングは、幾何形状因子によって説明される固有のＳＮＲ劣化の影響を受けない。２つの手法を組合せて使用することが可能であり、更に大きな走査時間短縮能力をもたらすことができる。本明細書で報告された実験は２Ｄ局所化に集中したが、並列励起手法は、磁場不完全誘起効果の補正及び非フーリエ空間エンコーディングを含むユーティリティを用いて、一般的な２Ｄ励起プロフィールの形成及び加速に適用される。また、本発明は３Ｄ収集にも適用できる。

【００９９】

強磁場イメージングにおいて、説明された送信システム及び駆動手段はまた、励起プロフィールの管理とＲＦ電力蓄積の調整の両方に使用することができる。励起パルスの集積処理及び送信コイルを具体化すると、本発明は励起プロフィール制御を容易にする。分配された並列システムを用いる送信、励起の加速、及びＳＡＲの管理は更に、強磁場強度での電力蓄積に対する解決策を提供する。

【０１００】

本発明は更に、望ましいＲＦ励起プロフィールを求める段階と、送信コイルアレイによって生成される結果として得られる全体の励起が望ましいＲＦ励起プロフィールと実質的に一致するように送信コイルアレイの各送信コイルを独立して駆動する段階とを含むＭＲイメージングの方法が提供される。図２及び図３に関して説明されるように、各送信コイルは、対応する送信コイルのＲＦ励起を制御するよう設計された望ましいＲＦ増幅器に接

続されている。更に詳細には、各ＲＦ増幅器又は他の制御手段は、対応する送信コイルに特有のＲＦパルス波形を表す制御信号を供給し、コンポジットＲＦ励起が、望ましいＲＦ励起プロフィールと一致するイメージングボリュームにわたって発生されるようにする。本方法は更に、望ましいＲＦ励起プロフィールの空間的に重み付けされたバージョンから各送信コイルに対するＲＦパルス波形を求める段階を含む。上述のように、各送信コイルの空間的重み付けは、送信コイルアレイのコイル間の相互結合を折り込むよう考慮される。

【０１０１】

本発明はまた、分極磁場を印加するマグネットと、磁場勾配を加えるためのマグネットボアの周りに配置された複数の勾配コイルと、ＭＲ画像を収集するＲＦコイル組立体にＲＦ信号を送信するようにパルスモジュールによって制御されるＲＦ送受信器システム及びＲＦスイッチとを有するＭＲＩシステムを備えるＭＲＩ装置に関する。ＭＲＩ装置はまた、イメージングボリュームにわたって結果として得られる全体のＲＦ発生が送信コイルアレイ幾何形状と独立した望ましいＲＦ励起プロフィールと実質的に一致するように、送信コイルアレイによるＲＦ発生の制御用に構成されている複数のＲＦパルス波形を設計するようプログラミングされたコンピュータを含む。このコンピュータはまた、送信コイルアレイの各送信コイルによって全体のＲＦ発生に対して加えられる効果的な空間的重み付けを求め、結合誘起されたコイル間相関関係を折り込むように複数のＲＦパルス波形を印加するようにプログラミングされている。各送信コイルによって加えられる効果的な空間的重み付けは、送信コイルのＲＦ励起を制御するよう構成されたＲＦ信号源により誘起される空間周波数重み付け、送信コイルアレイの送信コイル間の相互結合に関係する重み付け、並びにアレイの各送信コイルにおけるそれぞれの$Ｂ_1$磁場に関係する重み付けを含む。コンピュータはまた、送信コイルアレイ、従って送信コイルを線形、ラップアラウンド形式、或いは他の任意の配置で配列することができる場合に、複数のＲＦパルス波形を設計するようにプログラミングされる。更に、１つ又はそれ以上の送信コイルはまた、ＭＲ信号を受信するよう設計することができる。

【０１０２】

本発明はまた、コンピュータによって実行されたときに、該コンピュータに送信コイルアレイの複数の送信コイルによるＲＦ送信を制御させて、コンポジット$Ｂ_1$磁場の空間及び時間変動がＲＦ送信完了時に望ましい励起プロフィールを誘起するようにする命令セットを表すコンピュータプログラムが格納されたコンピュータ可読記憶媒体において具現化することができる。命令セットは更に、コンピュータに対して、ＲＦ送信の空間的及び時間的変動の発生と同期するようにイメージングボリュームにおける勾配の印加を制御させる。命令セットは更に、コンピュータに対して、複数の送信コイルによるＲＦ励起が並行して発生するよう複数の送信コイルへの制御信号の印加を制御させる。また、少なくとも１つの送信コイルの効果的な$Ｂ_1$磁場マップにより誘起されることになる空間的及び時間的変動を求めるようにコンピュータに行わせる。各送信コイルに対する効果的な$Ｂ_1$磁場マップは、複数のコイルの相互結合を反映する。好ましくは、効果的な$Ｂ_1$磁場マップは、送信コイルアレイの較正中に生成される。

【０１０３】

本発明を好ましい実施形態に関して説明してきたが、明記したものの他に、均等物、代替物、及び変更物が可能であり、これらは添付の請求項の範囲内にあることが認識される。

【図面の簡単な説明】

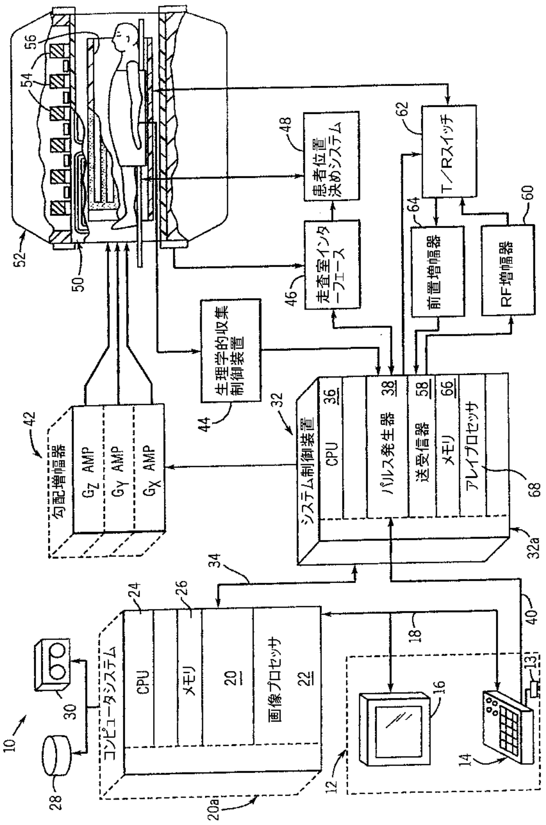
【０１０４】

【図１】本発明で使用するためのＭＲイメージングシステムの概略ブロックダイアグラム。

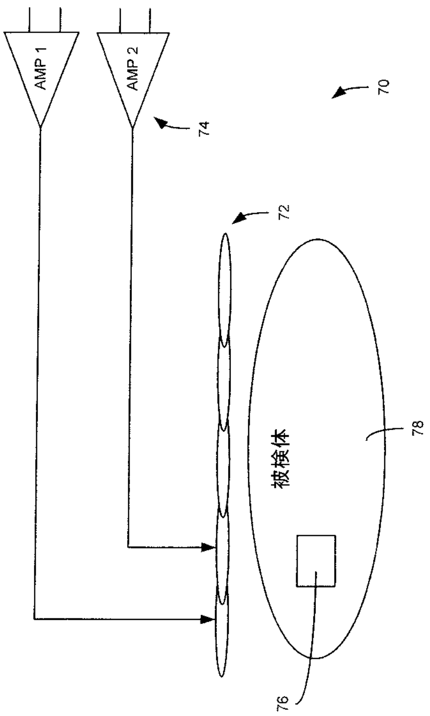
【図２】本発明の１つの態様による直線状送信コイルアレイ組立体を示すブロックダイアグラム。

【図３】本発明の別の態様によるラップアラウンド型送信コイルアレイ組立体を示すブロックダイアグラム。
【図４】本発明による送信コイルアレイを用いて達成できるＲＦ励起プロフィールを示すグラフ。
【図５】２つのｘ－軸位置に配置された送信コイルアレイのコイルによる$ｋ_{ｘ}$方向重み付け寄与を示すプロット。
【図６】２つのｘ－軸位置に配置された送信コイルアレイのコイルによる$ｋ_{ｘ}$方向重み付け寄与を示すプロット。
【図７】送信コイルアレイの各コイルについてｘ軸に沿った局所化プロフィールの大きさを示す図。
【図８】本発明の１つの態様によるパルスシーケンスをグラフ的に示した図。
【図９】収集された画像からコイル感度重み付けを除去することによって評価されて得られた２Ｄ横方向磁化分布を示す図。
【図１０】例示的な送信コイルアレイのコイルについての$Ｂ_{1}$磁場マップを示す図。
【図１１】参照ボディコイルにおける非選択的励起からの横方向磁化分布を示す図。
【図１２】送信コイルアレイの各コイルについての$Ｂ_{1}$磁場マップ、並びに個々の$Ｂ_{1}$磁場マップの重ね合わせによって生成されたコンポジット磁場マップを示す図。
【図１３】本発明の別の態様によるＲＦ送信を制御し且つ被検体へのＲＦ蓄積を最小化するＲＦパルス・プロトコルの結果を示す図。
【図１４】本発明の別の態様によるＲＦ送信を制御し且つ被検体へのＲＦ蓄積を最小化するＲＦパルス・プロトコルの結果を示す図。
【図１５】本発明の別の態様によるＲＦ送信を制御し且つ被検体へのＲＦ蓄積を最小化するＲＦパルス・プロトコルの結果を示す図。
【図１６】本発明の別の態様によるＲＦ送信を制御し且つ被検体へのＲＦ蓄積を最小化するＲＦパルス・プロトコルの結果を示す図。
【符号の説明】
【０１０５】
７０　送信コイル組立体
７２　送信コイル
７４　ＲＦ増幅器
７６　励起ボリューム
７８　被検体

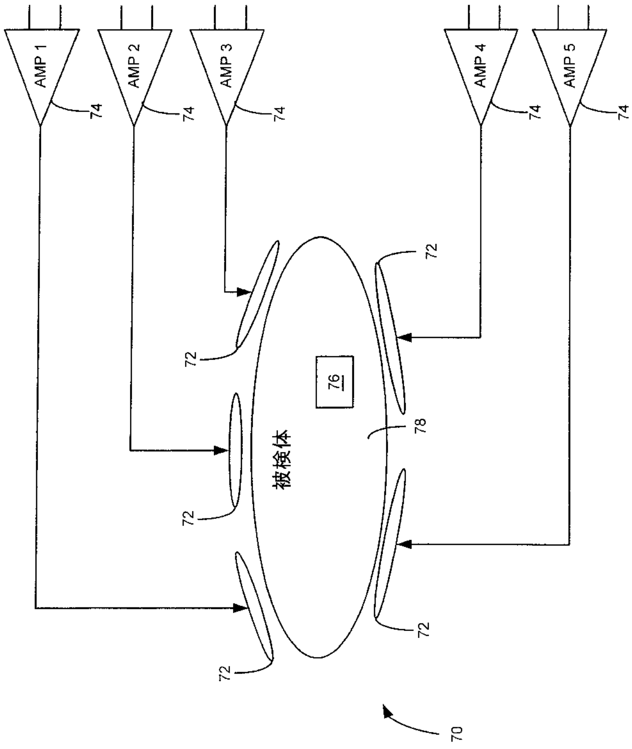
【図１】


システム制御装置
CPU
パルス発生器
送受信器
メモリ
アレイプロセッサ
勾配増幅器
G_Z AMP
G_Y AMP
G_X AMP
生理学的収集制御装置
走査室インターフェース
患者位置決めシステム
T／Rスイッチ
前置増幅器
RF増幅器
コンピュータシステム
CPU
メモリ
画像プロセッサ

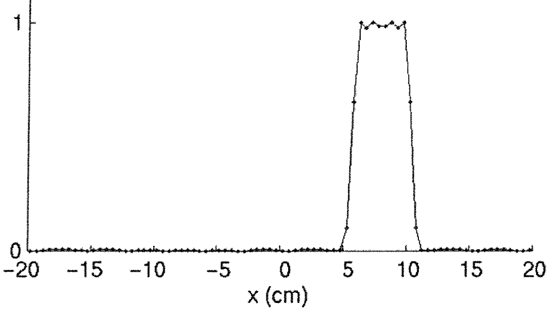
【図２】


AMP 1
AMP 2
被検体

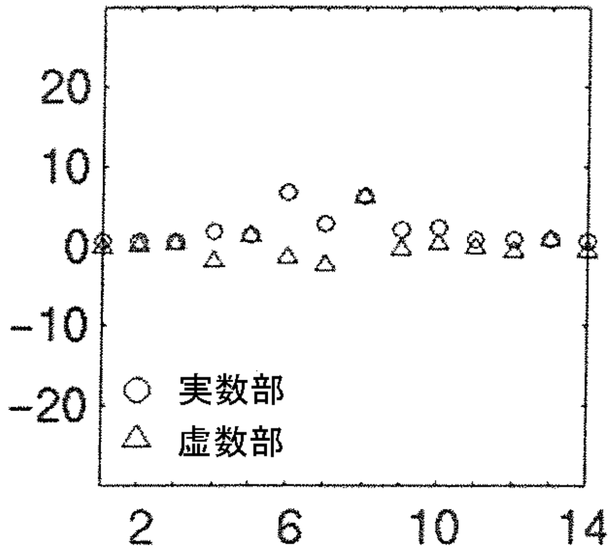
【図３】


AMP 1
AMP 2
AMP 3
AMP 4
AMP 5
被検体

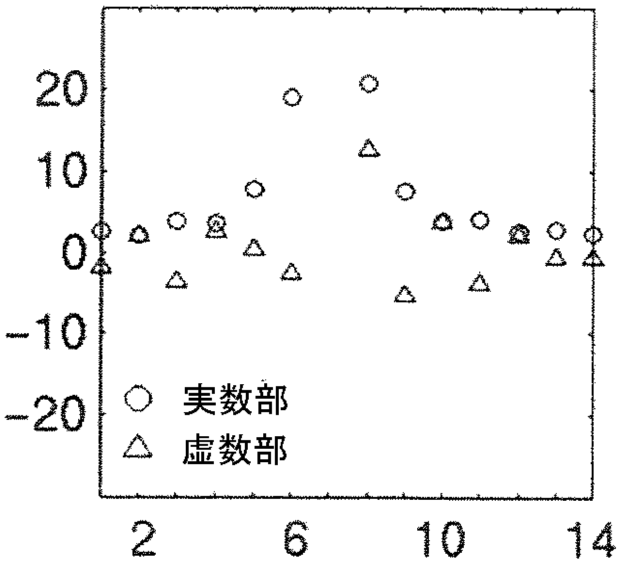
【図４】


1
0
−20 −15 −10 −5 0 5 10 15 20
x (cm)

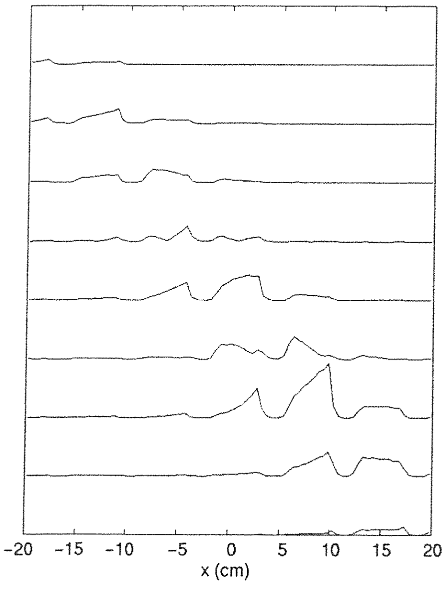
【図５】



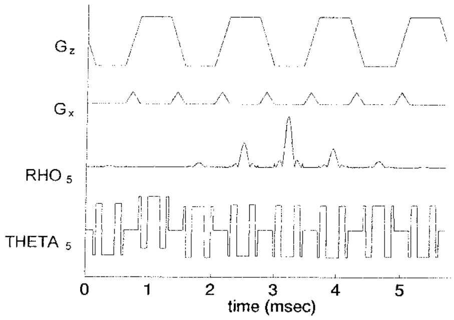
【図６】



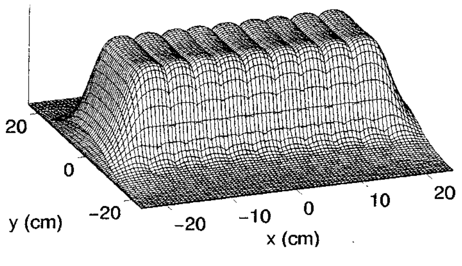
【図７】



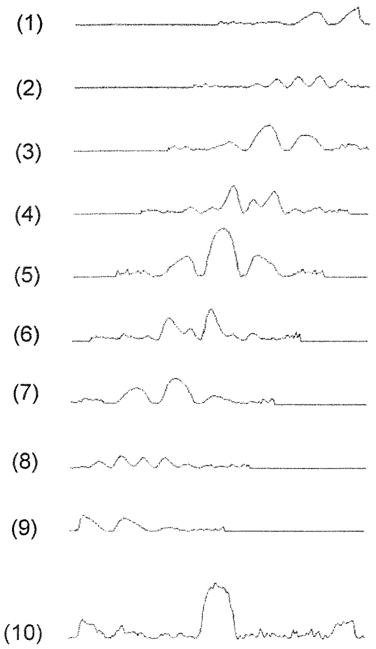
【図８】



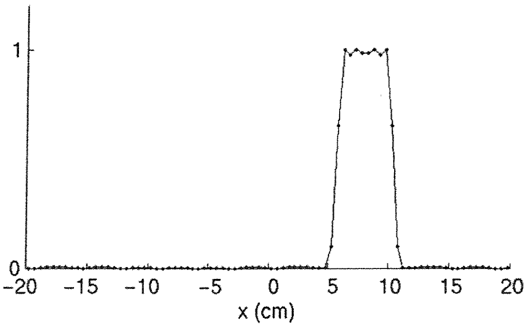
【図１０】



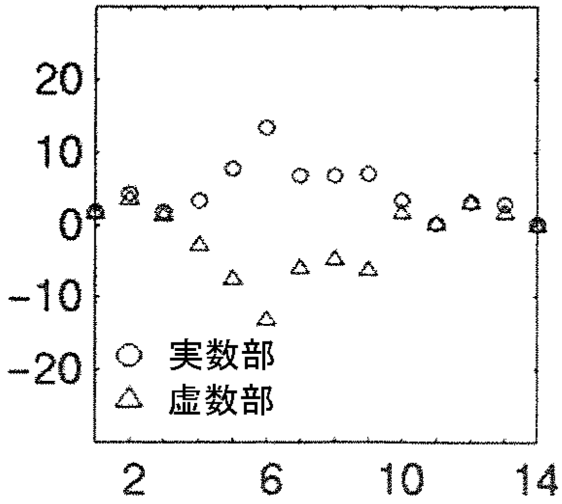
【図１２】



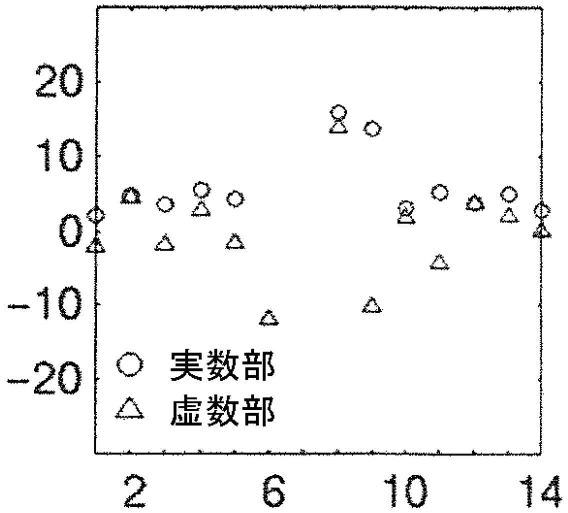
【図１３】



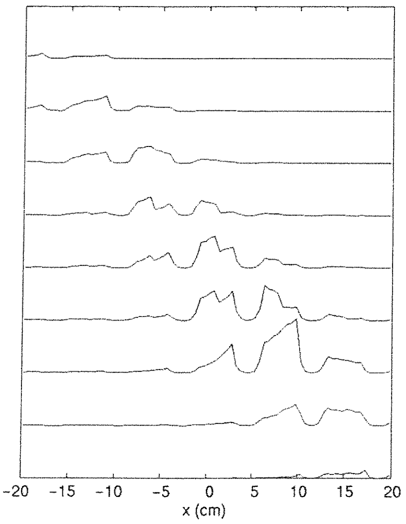
【図１４】



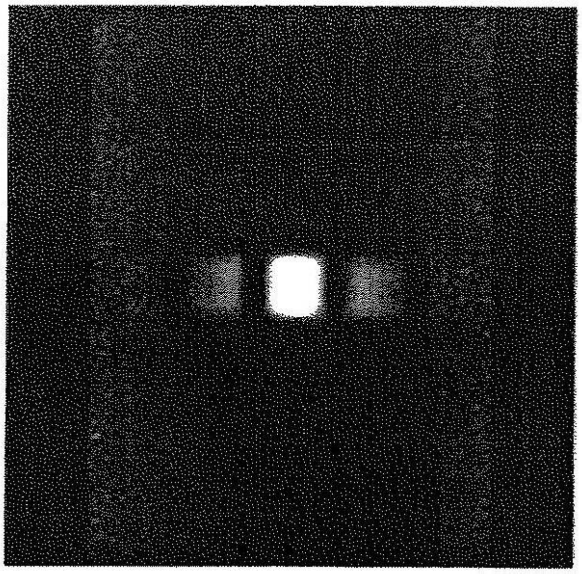
【図１５】



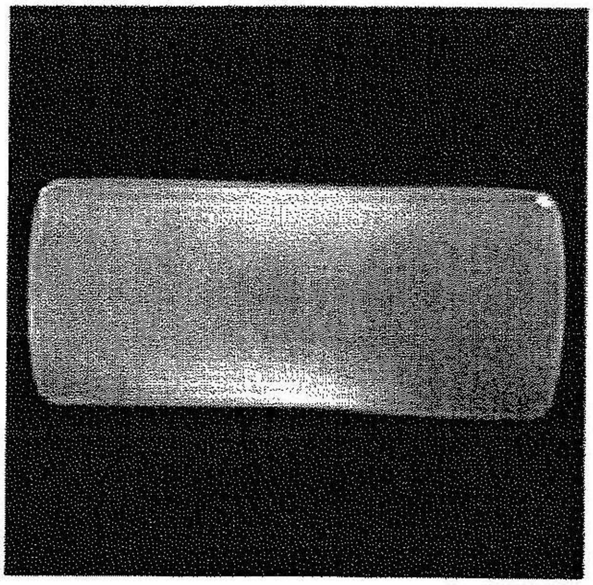
【図１６】



【図９】



【図１１】



フロントページの続き

(72)発明者　ユドン・チュー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフトン・パーク、ホランデール・レーン、３１ジー（番地なし）

Ｆターム(参考) 4C096 AA20 AB25 AB34 AD10 AD24 CC06 CC19 CC26 DA04 DA15
FB01

【外国語明細書】

2005152657000001.pdf