

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6456367号
(P6456367)

(45) 発行日 平成31年1月23日 (2019. 1. 23)

(24) 登録日 平成30年12月28日 (2018. 12. 28)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

A 6 1 B 5/055 3 4 0

請求項の数 13 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2016-518525 (P2016-518525)
 (86) (22) 出願日 平成26年6月16日 (2014. 6. 16)
 (65) 公表番号 特表2016-523620 (P2016-523620A)
 (43) 公表日 平成28年8月12日 (2016. 8. 12)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2014/062528
 (87) 国際公開番号 WO2014/202514
 (87) 国際公開日 平成26年12月24日 (2014. 12. 24)
 審査請求日 平成29年6月9日 (2017. 6. 9)
 (31) 優先権主張番号 13172199.5
 (32) 優先日 平成25年6月17日 (2013. 6. 17)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 KONINKLIJKE PHILIPS
 N. V.
 オランダ国 5656 アーエー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5
 High Tech Campus 5,
 NL-5656 AE Eindhoven
 (74) 代理人 100122769
 弁理士 笛田 秀仙

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気共鳴イメージング傾斜コイル

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気共鳴イメージングシステムのための磁石アセンブリであって、

磁石であって、前記磁石は、複数の超電導コイルを備える超電導磁石であり、各々の低減された磁場領域のまわりに同軸で中心に置かれる、前記複数の超電導コイルから選択される超電導コイルがもたらされる、当該磁石と、

磁場を生成するように動作可能であるアクティブ遮蔽された磁気傾斜コイルであって、前記磁場は円筒形対称軸を有し、前記傾斜コイルは、前記円筒形対称軸と平行な長さを有し、前記磁気傾斜コイルは外部表面を有し、前記磁場は、前記外部表面の外側の外部磁場を有し、前記外部磁場は、前記磁場の強さが、前記長さに沿った前記磁場の強さの平均より少ない、前記長さに沿った、少なくとも四つの低減された磁場領域を有する、当該磁気傾斜コイルと、
 を有する、磁石アセンブリ。

【請求項 2】

前記長さに沿って測定される、前記低減された磁場領域の各々の線形寸法は、二つの隣接する、前記低減された磁場領域の間の距離の、少なくとも10%である、請求項 1 に記載の磁石アセンブリ。

【請求項 3】

前記低減された磁場領域の何れか一つの範囲内の前記外部磁場の前記強さは、前記長さに沿った前記磁場の強さの前記平均より少なくとも2.5倍小さくなり、

10

20

前記低減された磁場領域の何れか一つの範囲内の前記外部磁場の前記強さは、前記長さに沿った前記磁場の強さの前記平均より少なくとも5倍小さくなり、

前記低減された磁場領域の何れか一つの範囲内の前記外部磁場の前記強さは、前記長さに沿った前記磁場の強さの前記平均より少なくとも10倍小さくなり、又は

前記低減された磁場領域の何れか一つの範囲内の前記外部磁場の前記強さは、前記長さに沿った前記磁場の強さの前記平均より少なくとも20倍小さくなる、

うちの何れか一つになる、請求項1又は2に記載の磁石アセンブリ。

【請求項4】

前記傾斜コイルは、内部導電層及び外部導電層を有し、前記内部導電層は、直列に接続される第一のセットの個別電流ループを有し、前記外部導電層は、直列に接続される第二のセットの個別電流ループを有し、前記第一のセットは、前記第二のセットに直列に接続される、請求項1乃至3の何れか一項に記載の磁石アセンブリ。

10

【請求項5】

前記傾斜コイルは、三つの直交傾斜コイルを有し、前記直交傾斜コイルの前記低減された磁場領域は、前記超電導磁石の少なくともいくつかの前記コイルの代表的な位置に一致する、請求項1乃至4の何れか一項に記載の磁石アセンブリ。

【請求項6】

前記磁石は、常温ボア管及び放射線スクリーンを有し、前記放射線スクリーンは、前記常温ボア管と前記複数の超電導コイルとの間に前記放射線スクリーンの内部シリンダを有する、請求項1に記載の磁石アセンブリ。

20

【請求項7】

前記常温ボア管及び前記放射線スクリーンの前記内部シリンダは、非導電性であり、若しくは方位角方向において、前記シリンダの軸方向における電気インピーダンスより高い電気インピーダンスを持ち、及び/又は前記内部シリンダは誘電体から形成される、請求項6に記載の磁石アセンブリ。

【請求項8】

前記放射線スクリーンの前記内部シリンダは、前記磁気傾斜コイルの前記外部磁場によって生成される渦電流をブロックするように動作可能なスロットを備える導電性物質から形成され、又は前記放射線スクリーンの前記内部シリンダは、誘電体から形成される、請求項7に記載の磁石アセンブリ。

30

【請求項9】

前記常温ボア管は、前記磁気傾斜コイルを有する、請求項6乃至8の何れか一項に記載の磁石アセンブリ。

【請求項10】

前記磁石は無冷媒磁石である、請求項9に記載の磁石アセンブリ。

【請求項11】

前記磁気傾斜コイルは、前記外部磁場を、各々の超電導コイルの間に広がるように、生成するように動作可能である、請求項1乃至10の何れか一項に記載の磁石アセンブリ。

【請求項12】

請求項1乃至11の何れか一項に記載の磁石アセンブリを有する、磁気共鳴イメージングシステム。

40

【請求項13】

磁気共鳴イメージングシステムのための磁気傾斜コイルであって、前記磁気傾斜コイルはアクティブ遮蔽され、前記磁気傾斜コイルは、磁場を生成するように動作可能であり、前記磁場は円筒形対称軸を有し、前記傾斜コイルは、前記円筒形対称軸と平行な長さを有し、前記磁気傾斜コイルは外部表面を有し、前記磁場は、前記外部表面の外側の外部磁場を有し、前記外部磁場は、前記磁場の強さが、前記長さに沿った前記磁場の前記強さの平均より少ない、前記長さに沿った、少なくとも四つの低減された磁場領域を有し、前記長さに沿って測定される、前記低減された磁場領域の各々の線形寸法は、二つの隣接する、前記低減された磁場領域の間の距離の、少なくとも10%である、磁気傾斜コイル。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気共鳴イメージング、特に磁気傾斜コイルの設計及び構成に関する。

【背景技術】

【0002】

磁場は、患者の体内において画像を生成するためのプロシーダの部分として、原子の核スピンをアラインするために、磁気共鳴イメージングにおいて使われる。この磁場は、B0磁場と称される。MRIスキャンの間、送信器又はアンプ及びアンテナによって生成される無線周波数（RF）パルスは、ローカル磁場に摂動をもたらし、B0磁場に対して核スピンの方向を操作するために用いられることができる。磁気スピンの空間エンコーディングは、磁場傾斜をB0磁場の上に重ねるために用いられる、いわゆる傾斜コイルを用いることによって実現されてもよい。核スピンのことによって発されるRF信号は、受信器コイルによって検出され、これらのRF信号は、MRI画像を構成するために用いられる。

10

【0003】

通常B0磁場を生成するために用いられる磁石は、超電導コイルを使う。傾斜コイルによって生成される磁場は、超電導コイル内において、渦電流を引き起こし得る。これらの渦電流は、アクティブ（能動）遮蔽を備える傾斜コイルを用いることによって低減されることができ、又は避けられることができる。US 4,733,189は、磁気共鳴イメージングシステムの傾斜形成コンポーネントについてのアクティブ遮蔽を開示する。JP2008-229360から知られるアクティブ遮蔽傾斜磁場コイルは、漏れ傾斜磁場が広がる、三つの縦領域を有し、放射状に広がる電界分布を有する。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、独立請求項に記載の、磁気傾斜コイルの方法及び設計、磁気傾斜コイル、磁石アセンブリ、並びに磁気共鳴イメージングシステムを提供する。実施例は、従属請求項にもたらされる。

【課題を解決するための手段】

【0005】

当業者によって正しく理解されるように、本発明の態様は、装置、方法又はコンピュータプログラムプロダクトとして具体化することができる。従って、本発明の態様は、完全にハードウェアの実施形態、完全にソフトウェアの実施形態（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロコード等を含む）、又は、ソフトウェア及びハードウェアの態様を組み合わせた実施形態の形をとってもよく、その全てが全般的に、本明細書において「回路」、「モジュール」又は「システム」と呼ばれてもよい。さらに、本発明の態様は、一つ又は複数のコンピュータ可読媒体において具体化されるコンピュータプログラムプロダクトの形をとってもよく、その上でコンピュータにより実行可能なコードを具体化させている。

30

【0006】

一つ又は複数のコンピュータ可読媒体のいかなる組合せも利用することができる。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ可読信号媒体又はコンピュータ可読記憶媒体であってもよい。本明細書において使用される場合「コンピュータ可読記憶媒体」は、コンピュータ計算デバイスのプロセッサによって実行可能な命令を格納することができるいかなる有形の記憶媒体も包含する。コンピュータ可読記憶媒体は、コンピュータ可読非一時的記憶媒体と呼ぶことができる。コンピュータ可読記憶媒体は、有形のコンピュータ可読媒体と呼ぶこともできる。一部の実施形態において、コンピュータ可読記憶媒体は、コンピュータ計算デバイスのプロセッサによって利用され得るデータを格納することもできる。コンピュータ可読記憶媒体の例として：フロッピー（登録商標）ディスク、磁気ハードディスクドライブ、固体ハードディスク、フラッシュメモリ、USBサムドライブ、ランダムア

40

50

クセメモリ（ＲＡＭ）、リードオンリーメモリ（ＲＯＭ）、光ディスク、光磁気ディスク及びプロセッサのレジスタファイルが挙げられるがそれらに限定されない。光ディスクの例として、コンパクトディスク（ＣＤ）、及び、例えばＣＤ－ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＷ、ＣＤ－Ｒ、ＤＶＤ－ＲＯＭ、ＤＶＤ－ＲＷ又はＤＶＤ－Ｒディスク等のデジタル多機能ディスク（ＤＶＤ）が挙げられる。コンピュータ可読記憶媒体という用語は、ネットワーク又は通信リンクを介してコンピュータ装置によって利用され得る種々のタイプの記録媒体も意味する。例えば、データは、モデム上、インターネット上、又は、ローカルエリアネットワーク上で検索することができる。コンピュータ可読媒体上で具体化されるコンピュータにより実行可能なコードは、無線、有線、光ファイバケーブル、ＲＦ等又はそのいかなる適した組合せを含むがそれらに限定されないいかなる適切な媒体を使用して伝達されてもよい。

10

【０００７】

コンピュータ可読信号媒体は、伝播されるデータ信号を含んでもよく、その中でコンピュータにより実行可能なコードが、例えばベースバンドで又は搬送波の一部として具体化されている。このような伝播される信号は、電磁気、光又はそのいかなる適した組合せも含むがそれらに限定されない種々の形のうちのいずれの形をとってもよい。コンピュータ可読信号媒体は、コンピュータ可読記憶媒体ではなく且つ命令実行システム、装置若しくはデバイスによって又はそれらに関連させて使用するためのプログラムを伝える、伝播する又は運ぶことができるいかなるコンピュータ可読媒体であってもよい。

【０００８】

20

「コンピュータメモリ」又は「メモリ」は、コンピュータ可読記憶媒体の一例である。コンピュータメモリは、プロセッサにも直接利用可能ないかなるメモリでもある。「コンピュータ記憶装置」又は「記憶装置」は、コンピュータ可読記憶媒体のさらなる例である。コンピュータ記憶装置は、いかなる不揮発性のコンピュータ可読記憶媒体でもある。一部の実施形態において、コンピュータ記憶装置は、コンピュータメモリであってもよく、逆もまた同様である。

【０００９】

本明細書において使用される場合「プロセッサ」は、プログラム又は機械により実行可能な命令又はコンピュータにより実行可能なコードを実行することができる電子部品を包含する。「プロセッサ」を含むコンピュータ計算デバイスへの言及は、二つ以上のプロセッサ又は処理コアをおそらく含有しているとして解釈されるべきである。プロセッサは、例えば、マルチコアプロセッサであってもよい。プロセッサは、単一のコンピュータシステム内のプロセッサの集合も意味することができ、又は、多数のコンピュータシステムの間で分布することができる。コンピュータ計算デバイスという用語は、一つ又は複数のプロセッサをそれぞれ含むコンピュータ計算デバイスの集合又はネットワークをおそらく意味すると解釈されるべきでもある。コンピュータにより実行可能なコードは、同じコンピュータ計算デバイス内にあり得るか又は多数のコンピュータ計算デバイスにわたって分布することさえできる多数のプロセッサによって実行されてもよい。

30

【００１０】

コンピュータにより実行可能なコードは、プロセッサに本発明の一態様を行わせる機械により実行可能な命令又はプログラムを含んでもよい。本発明の態様に対する作動を実施するコンピュータにより実行可能なコードは、Ｊａｖａ（登録商標）、Ｓｍａｌｌｔａｌｋ、Ｃ＋＋等のオブジェクト指向プログラム言語、及び、「Ｃ」プログラム言語又は類似のプログラム言語等の従来の手続き型プログラム言語を含む一つ又は複数のプログラム言語のいかなる組合せで書かれてもよく、さらに、機械により実行可能な命令にコンパイルされてもよい。一部の例において、コンピュータにより実行可能なコードは、高水準言語の形又は事前コンパイルの形であってもよく、さらに、オンザフライで機械により実行可能な命令を生成するインタープリタと共に使用されてもよい。

40

【００１１】

コンピュータにより実行可能なコードは、ユーザのコンピュータ上で完全に、ユーザの

50

コンピュータ上で部分的に、スタンドアロンのソフトウェアパッケージとして、ユーザのコンピュータ上で部分的に且つ遠隔コンピュータ上で部分的に、又は、遠隔コンピュータ若しくはサーバー上で完全に実行されてもよい。最後の筋書きにおいて、遠隔コンピュータは、ローカルエリアネットワーク（LAN）又は広域ネットワーク（WAN）を含むいかなるタイプのネットワークを介してユーザのコンピュータに接続されてもよく、又は、その接続は、（例えば、インターネットサービスプロバイダーを使用したインターネットを介して）外部のコンピュータに対して行われてもよい。

【0012】

本発明の態様は、本発明の実施形態による方法、装置（システム）及びコンピュータプログラムプロダクトの流れ図、説明図及び／又はブロックダイアグラムを参考にして記載される。流れ図、説明図及び／又はブロックダイアグラムの各ブロック又はブロックの一部は、適用できる場合にコンピュータにより実行可能なコードの形のコンピュータプログラムの命令によって実行することができるということが理解されることになる。互いに矛盾しない場合に、異なる流れ図、説明図及び／又はブロックダイアグラムにおけるブロックの組合せを組み合わせることができるということがさらに理解される。これらのコンピュータプログラムの命令は、コンピュータ又は他のプログラム可能データ処理装置のプロセッサを介して実行される命令が流れ図及び／又はブロックダイアグラムの一つ又は複数のブロックにおいて特定される機能／行動を実行する手段を作製するように、汎用コンピュータ、専用コンピュータ又は機械を生成する他のプログラム可能データ処理装置のプロセッサに提供されてもよい。

【0013】

これらのコンピュータプログラムの命令はコンピュータ可読媒体に格納することでもでき、コンピュータ可読媒体に格納された命令が流れ図及び／又はブロックダイアグラムの一つ又は複数のブロックにおいて特定される機能／行動を実行する命令を含む製品を生成するように、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置又は他のデバイスに特定の様式で機能するよう指示することができる。

【0014】

コンピュータプログラムの命令は、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置又は他のデバイス上にロードして、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置又は他のデバイス上で一連の作動ステップが行われるようにし、コンピュータ又は他のプログラム可能装置上で実行される命令が流れ図及び／又はブロックダイアグラムの一つ又は複数のブロックにおいて特定される機能／行動を実行するプロセスを提供するように、コンピュータにより実行されるプロセスを生成することでもできる。

【0015】

本明細書において使用される場合「ユーザインターフェース」は、ユーザ又はオペレータがコンピュータ又はコンピュータシステムと相互作用することを可能にするインターフェースである。「ユーザインターフェース」は、「ヒューマンインターフェースデバイス」と呼ぶこともできる。ユーザインターフェースは、オペレータに情報若しくはデータを提供してもよく、及び／又は、オペレータから情報若しくはデータを受信してもよい。ユーザインターフェースは、オペレータからの入力、コンピュータによって受信されるのを可能にしてもよく、さらに、コンピュータからユーザに出力を提供してもよい。言い換えると、ユーザインターフェースは、オペレータがコンピュータを制御又は操作することを可能にしてもよく、さらに、インターフェースは、コンピュータがオペレータの制御又は操作の効果を示すのを可能にしてもよい。ディスプレイ又はグラフィカルユーザインターフェース上のデータ又は情報の表示は、オペレータに情報を提供することの一例である。キーボード、マウス、トラックボール、タッチパッド、ポインティングスティック、グラフィックスタブレット、ジョイスティック、ゲームパッド、ウェブカム、ヘッドセット、ギアスティック、ステアリングホイール、ペダル、ワイヤドグローブ、ダンスパッド、遠隔操作装置及び加速度計を介したデータの受信は全て、オペレータからの情報又はデータの受信を可能にするユーザインターフェース構成要素の例である。

【 0 0 1 6 】

本明細書において使用される場合「ハードウェアインターフェース」は、コンピュータシステムのプロセッサが、外部のコンピュータ計算デバイス及び／若しくは装置と相互作用する並びに／又はそれらを制御することを可能にするインターフェースを包含する。ハードウェアインターフェースは、プロセッサが制御信号又は命令を外部のコンピュータ計算デバイス及び／又は装置に送るのを可能にしてもよい。ハードウェアインターフェースは、プロセッサが外部のコンピュータ計算デバイス及び／又は装置とデータを交換するのも可能にしてもよい。ハードウェアインターフェースの例として：ユニバーサルシリアル槽、IEEE 1394ポート、パラレルポート、IEEE 1284ポート、シリアルポート、RS-232ポート、IEEE-488ポート、Bluetooth（登録商標）接続、無線ローカルエリアネットワーク接続、TCP/IP接続、Ethernet（登録商標）接続、制御電圧インターフェース、MIDIインターフェース、アナログ入力インターフェース及びデジタル入力インターフェースが挙げられるがそれらに限定されない。

10

【 0 0 1 7 】

本明細書において使用される場合「ディスプレイ」又は「ディスプレイデバイス」は、画像又はデータを表示するために適応された出力デバイス又はユーザインターフェースを包含する。ディスプレイは、視覚的、聴覚的及び／又は触覚的データを出力してもよい。ディスプレイの例として：コンピュータモニター、テレビスクリーン、タッチスクリーン、触覚電子ディスプレイ、点字スクリーン、陰極線管（CRT）、蓄積管、双安定ディスプレイ、電子ペーパー、ベクトルディスプレイ、フラットパネルディスプレイ、真空蛍光表示管（VF）、発光ダイオード（LED）ディスプレイ、エレクトロルミネッセントディスプレイ（ELD）、プラズマディスプレイパネル（PDP）、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオードディスプレイ（OLED）、プロジェクター及びヘッドマウントディスプレイが挙げられるがそれらに限定されない。

20

【 0 0 1 8 】

磁気共鳴（MR）データは、磁気共鳴画像法の走査の間に磁気共鳴装置のアンテナによる原子スピンによって放たれる無線周波信号の記録される測定値であるとして本明細書において規定される。磁気共鳴データは、医用画像データの一例である。磁気共鳴画像法（MRI）の画像は、磁気共鳴画像法データ内に含有される解剖学的データの再構成された二次元又は三次元の可視化であるとして本明細書において規定される。この可視化は、コンピュータを使用して行うことができる。

30

【 0 0 1 9 】

一つの局面において、本発明は、磁気共鳴イメージングシステムのための磁気傾斜コイルをもたらす。磁気傾斜コイルは、アクティブ遮蔽される。アクティブ遮蔽磁気傾斜コイルは、傾斜コイルによって生成される磁場を適合させるために用いられるワインディングを備える複数の層を有する。イメージングが被検体上において実行されている領域において磁気傾斜場を作成することは概して所望される。傾斜コイルからの外部磁場は、磁気共鳴イメージングのために使われる主磁場又はいわゆるB0磁場を生成するために使われる超電導磁石に干渉し得る。このような磁気カップリングは、（不必要な磁場を生成する）誘導電流、加熱、極端な場合、主磁場磁石の場の緩やかな、又は急なロスさえも結果としてもたらし得る。

40

【 0 0 2 0 】

アクティブ遮蔽磁気傾斜コイルの遮蔽ワインディングは、その外側における磁気傾斜コイルによって生成される磁場を低減又は除去するために使用される。磁気傾斜コイルは、磁場を生成するように動作可能である。主磁場磁石は、円筒形対称軸を有する。主磁場（B0）は、この対称軸に沿って方向付けられる。例えば、傾斜コイルは、円筒形対称軸に沿って方向付けられる磁場成分における所定の傾斜を生成するように設計され、磁束の保存の理由のために、他の磁場成分ももたらされるであろう。いくつかの例において、対称軸が、磁気傾斜コイルのケース又はハウジングに対して、機械的な対称軸であってもよいが、これが事実である必要はない。例えば、傾斜コイルアセンブリの内部の境界線は、円

50

筒形である必要はない。それは楕円、プリズムであってもよく、上又は下の方向で非対称であってもよい。傾斜コイルは、円筒形対称軸と平行な長さを持つ。ここで用いられる長さは、単に空間における方向又は経路である。磁気傾斜コイルは、外部表面を有する。磁場は、外部表面の外側で外部磁場を有する。外部磁場は、磁場係数が、長さに沿った磁場係数の平均より少ない、長さに沿った少なくとも四つの低減された磁場領域を有する。言い換えると、人が傾斜コイルの外部表面において磁気傾斜コイルの外側に行って、円筒形対称軸と平行である、方向付けられた経路に沿った磁場を測定する場合、磁場係数が、長さに沿った磁場係数の平均より少ない、長さに沿った少なくとも四つの領域がもたらされるであろう。

【0021】

従来の磁気傾斜コイルは、傾斜コイルの外部境界を直接囲む全てのボリュームにおいて磁気傾斜コイルの外側の磁場が低減されるように、設計される。本発明の実施例は、低減された磁場領域が、ディスクリットな位置のみにおいて存在するように、設計される。これらは、主磁石におけるコイルにアラインされ、又は整列させられてもよい。磁気傾斜コイルの外側の磁場を見ることによって、0である実施例N1により磁気傾斜コイルを区別することは簡単である。ここに記述するような磁気傾斜コイルは、いくつかの異なる利点を有する。まず最初に、磁場は、基本的に、主磁石におけるコイルが位置され得る位置の間で広がるのが可能である。これにより、磁気傾斜コイルは、主磁石との不必要な磁気カップリングを低減する一方、より効率的になることが可能になる。これにより、ここでも、低減された電力要求で電源の使用が可能になる。電力要求における低減により、低減された電力要求及び/又は電力消費で磁気傾斜コイル電源の使用が可能になる。

【0022】

磁気共鳴イメージングが実行されるとき、ここで用いられる磁気傾斜コイルは、いわゆる傾斜磁場をイメージングゾーン又は領域の上に重ねるために一つ又はそれより多くのコイルを含む。磁気傾斜コイルが、核スピンを空間エンコードするために使われるので、空間的に分解された画像は再構成されることができる。「傾斜コイル」又は「一つの傾斜コイル」について言及すると、一つ若しくはそれより多く、又は一組の傾斜コイルと解釈されるべきである。複数の傾斜コイルが、三次元で空間エンコーディングを実行するために、磁気共鳴イメージングシステムにおいて使われる。円筒形の磁石のために、対称軸は、z軸と称される。z-傾斜コイルは、z-軸に沿ってエンコーディングを実行する。二つの他の傾斜コイルは通常、x軸及びy軸に沿って傾斜を生成するために用いられる。これらの他の2本の軸は通常、互いに対して、及びz軸に対して直交するように、選択される。x軸及びy軸に対応する傾斜コイルは通常、それぞれx-傾斜コイル及びy-傾斜コイルと称される。実施例は、一つ又はそれより多くの従来の傾斜コイルを、ここに記載される傾斜コイルに置き換えることを含む。x-傾斜コイル、y-傾斜コイル、及びz-傾斜コイルの各々は、傾斜コイル又は傾斜コイルアセンブリにおいて自身の分離層を持つ。

【0023】

ある例において、x-傾斜コイル、y-傾斜コイル、及びz-傾斜コイルは、実施例により構成される。他の例において、x-傾斜コイル及びy-傾斜コイルは、実施例により構成され、z-傾斜コイルは、従来のアクティブ遮蔽傾斜コイルである。

【0024】

他の実施例において、長さに沿って測定される、低減された磁場領域の各々の線形範囲は、二つの隣接する、低減された磁場領域の間の距離の、少なくとも10%である。低減された磁場領域が、実際は大きなボリュームであり、磁場の強さが低減される、単なる単一のポイントでもないため、これは有益である。

【0025】

他の実施例において、低減された磁場領域の何れかの一つの範囲内の外部磁場の係数は、長さに沿った磁場の係数の平均より少なくとも2.5倍小さくなる。磁場における低減が、主磁石において磁気傾斜コイル及び複数のコイルの間のカップリングを低減するため、この実施例は有益になり得る。

【0026】

他の実施例において、低減された磁場領域の何れかの一つの範囲内の外部磁場の係数は、長さに沿った磁場係数の平均より少なくとも5倍小さくなる。

【0027】

他の実施例において、低減された磁場領域の何れかの一つの範囲内の外部磁場の係数は、長さに沿った磁場係数の平均より少なくとも10倍小さくなる。

【0028】

他の実施例において、低減された磁場領域の何れかの一つの範囲内の外部磁場の係数は、長さに沿った磁場係数の平均より少なくとも20倍小さくなる。

【0029】

代わりの実施例において、低減された磁場領域の全ての範囲内の外部磁場の係数は、長さに沿った磁場係数の平均より少なくとも20、10、5、又は2.5倍小さくなる。

【0030】

他の実施例において、傾斜コイルは、内部導電層及び外部導電層を有する。内部導電層及び外部導電層は、コイルによって形成される。内部導電層は、直列に接続される第一のセットのディスクリット電流ループを有し、外部導電層は、直列に接続される第二のセットのディスクリット電流ループを有する。第一のセットは、第二のセットに直列に接続される。

【0031】

他の実施例において、磁気傾斜コイルは、3次元空間エンコーディングを実行する三つの異なった傾斜コイルを有する。全三つの傾斜コイルの低減された磁場ゾーンは、超電導磁石の一次コイルの通常的位置に一致し、対応する。これらは、例えば、磁気共鳴イメージングのために使われる超電導ホールボディ磁石の一次コイルであってもよい。

【0032】

他の局面において、本発明は、磁石及び本発明の実施例によるアクティブ遮蔽傾斜コイルを有する磁気共鳴イメージングシステムのための磁石アセンブリをもたらす。本磁石は、複数の超電導コイルを備える超電導磁石である。本磁石は、無冷媒磁石である（磁石のセクションが大量の液体ヘリウムに浸漬されないが、アクティブ冷却器に対する熱接触によって冷却され、主磁石のセクションの間のスペースは、槽冷却磁石のヘリウムを含むタンクのような、大量の導電物質を含まないことを意味する）。

【0033】

無冷媒磁石は、大量の液体寒剤を使わない磁石とみなされてもよい。

【0034】

無冷媒磁石は、従来の低温超電導体が使われる場合、低温絶縁システムを使用して、磁石を約4Kの温度に冷却することが可能であり、高温超電導体が使われる場合、おそらく30-50Kの温度に冷却することが可能であろう。低温絶縁は、外部真空容器を有し、完全に磁石を包含し、非常に低い圧力でコールドマスのまわりの絶縁真空が可能になる。絶縁は、真空容器の常温表面からもたらされる放射熱を遮るための機能を有する、真空スペースの内側における少なくとも一つの放射シールドも特徴とする。この放射シールドを冷却器に熱的に接続することによって、この放射熱のほぼ全ては、システムから除去される。シールドはそれから、室温壁よりはるかに少ない熱を放射する、磁石の冷たい内側部分に対向するコールド表面をもたらす。従来の（槽冷却）磁石は通常、磁石コイルを囲むタンクにおいて1000-2000リットルの液体ヘリウムを含む。無冷媒磁石は、数リットルのヘリウム在庫で作用することができる。

【0035】

各々の低減された磁場領域のまわりに同軸で中心に置かれる、複数の超電導コイルから選択される超電導コイルがもたらされる。言い換えると、超電導コイルのコイルは、低減された磁場領域において、アラインされるか、又は位置される。これは、たとえ磁気傾斜コイル及び超電導磁石の複数のコイルの間に低減されたカップリングがあるとしても、磁場は磁石の超電導コイルの間で広がることができるため、有益である。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 6 】

磁気傾斜コイルが設計される、磁気共鳴イメージング磁石が、鏡面对称を持つ場合、低減された磁場領域のパターンも、Zが磁石の磁場の対称軸であるZ0平面に対して鏡面对称又は逆対称を持つ。

【 0 0 3 7 】

他の実施例において、磁石は、常温ボア管及び放射線スクリーンを有する。放射線スクリーンは、常温ボア管及び複数の超電導コイルの間に放射線スクリーンの内部シリンダを有する。

【 0 0 3 8 】

他の実施例において、常温ボア管及び放射線スクリーンの内部シリンダは、非導電性であるか、又は方位角方向において、シリンダの軸方向のものよりも非常により高い電気インピーダンスを持つ。実施例は、磁場が常温ボア管及び放射線スクリーンの内部シリンダを透過することを可能にするため、有益となり得る。

【 0 0 3 9 】

他の実施例において、内部シリンダは、誘電体から形成される。

【 0 0 4 0 】

他の実施例において、放射線スクリーンの内部シリンダは、磁気傾斜コイルの外部磁場によって生成される渦電流をブロックするように動作可能なスロットを備える導電性物質から形成される。これは、放射線スクリーンがメタルのような高い熱伝導性物質から形成され得るため、有益であるが、磁場がそれを通過することをまだ可能にする。例えば、傾斜コイル又は磁石の中心軸と平行な、一連のスリットカットは、これを可能にし得る。

【 0 0 4 1 】

他の実施例において、放射線スクリーンの内部シリンダは、誘電体から形成される。

【 0 0 4 2 】

他の実施例において、常温ボア管は、磁気傾斜コイルを有する。この実施例は、傾斜コイルが、常温ボア管を形成するために用いられるので、有益となり得る。これは、コンポーネントを除去する。

【 0 0 4 3 】

他の実施例において、磁石は無冷媒磁石である。無冷媒磁石は、液体ヘリウムのない磁石である。MRI磁石の超電導ワインディングは、導電ヘリウムタンクに包含されないが、真空によって囲まれる。磁石のコイルは、熱伝導によって冷却され、又は冷却管における液体及び/又は循環ガスで冷却される。これらの冷却管は、冷却器に接続されてもよい。他のケースにおいて、磁石は、ヘリウム槽によって冷却されてもよいが、ヘリウムタンクは、一つのケースにおいて液体ヘリウムを絶縁真空から分離する非導電性内部シリンダを有してもよい。

【 0 0 4 4 】

他の実施例において、傾斜コイルは、それが各々の超電導コイルの間に広がるように、外部磁場を生成するように動作可能である。これは、磁気傾斜コイルを給電するために必要なエネルギー量を低減するため、有益である。

【 0 0 4 5 】

他の局面において、本発明は、本発明の実施例により磁石アセンブリを有する磁気共鳴イメージングシステムをもたらす。

【 0 0 4 6 】

他の局面において、本発明は、磁気設計ソフトウェアを用いて、磁気共鳴イメージングシステムのための磁気傾斜コイルを設計する方法をもたらす。ここで用いられる磁気設計ソフトウェアは、磁気傾斜コイルの設計をもたらすため、生成される磁場に関する入力制約として受け入れ、ワインディングの位置を計算するためにその情報を使うソフトウェアを含む。このような磁気設計ソフトウェアの使用は通常、磁気共鳴イメージングシステムの設計者によって使われる。このように、磁気傾斜コイルを設計する方法は、通常実行されるものとは異なる態様で制約を規定することによって、知られている方法から基本的に区

10

20

30

40

50

別される。

【0047】

本方法は、傾斜コイルの外部導電層及び内部導電層に対応するメッシュ又は円筒表面を規定するステップを有する。随意に、このステップは、内部導電層及び外部導電層を接続する導電性フランジ領域を規定するステップを含んでいてもよい。本方法は更に、制約を規定し、傾斜コイルの内側のイメージングボリューム内において所定の線形性を備える磁場傾斜をもたらすステップを有する。磁気傾斜コイルは、外部表面を有する。本方法は、超電導磁石の超電導コイルの位置に対応する少なくとも四つの低減された磁場領域が存在するように、外部表面を囲む外部磁場のための制約限界を規定するステップを更に有する。

10

【0048】

代わりに、又はこのステップを含むステップは、これらのリングにおいて誘導される電流、又はこれらの低減された電流によってもたらされる消費に対する制約を規定するステップにおいて、低減された磁場領域の位置において受動導電リングとして作用する表面を規定するステップを含んでいてもよい。先行する三つのステップは、すべての制約を満たし、磁気保存エネルギーの消費及び/又は最小限の磁気保存エネルギーを持つ表面をもたらす、内部及び外部磁場における電流分布を見つけるための最適化問題を規定する。本方法は、最適化問題を解決するステップを更に有する。これは、例えば、磁気設計ソフトウェアによって自動的に実行され得る。

【0049】

本方法は、最適化の結果として得られる連続ストリーム関数を、ディスクリット電流ループのパターンに変換するステップを更に有する。ストリーム関数は、何れの2ポイントの間のストリーム関数値における差も、これらの2ポイントの間を通る電流の量であるという特性を備える、表面上におけるスカラー量である。ある一定のステップ-サイズを備える、ストリーム関数のアイソコンターラインプロットは、このステップ-サイズに等しい電流を各々運ぶ、個々のワインディングの形状をもたらす。ストリーム関数の理論は、博士論文(G.N.Peeren、最適な表面電流を決定するためのストリーム関数アプローチ、博士論文、アイントホーヴェン工科大学(Technische Universiteit)、2003)において記載される。

20

【0050】

これらの連続ストリーム関数は、ディスクリット電流ループのパターンに近似されることが出来る。このステップは、傾斜コイル設計を規定するため、直列にこれらのディスクリット電流ループを接続するステップを有する。

30

【0051】

他の実施例において、本方法は、傾斜コイル設計によって傾斜コイルを製造するステップを更に有する。これは、他の方法ステップと組み合わせて、磁気傾斜コイルを生成する方法であると考えられてもよい。

【0052】

電流ループパターンは、例えば、巻かれたワイヤ、プリント回路基板、又は銅シートパンチコイルパーツとして生成されてもよい。

40

【0053】

本発明の上述の実施形態のうち一つ又は複数の実施形態が、組み合わされた実施形態が相互に矛盾しない限り、組み合わされてもよいということが理解されたい。

【0054】

以下において、本発明の好ましい実施形態が、単に例として、図面を参考にして記載される。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】磁気共鳴イメージングシステムの断面及び機能図の例を示す。

【図2】磁気共鳴イメージングシステムの断面及び機能図の更なる例を示す。

50

【図3】磁気傾斜コイルを設計する方法を例示するフロー図を示す。

【図4】2層において磁気傾斜コイルを規定するメッシュ、及び超電導磁石のコイルに対して規定されるメッシュを表す、ラベリングされる、より小さなシリンダを示す。

【図5】緩和された外部磁場の代表的な分解能の例を示す。

【図6】保存エネルギー対コイル外半径のグラフを示す。

【図7】保存エネルギーの代わりにエネルギーの消費が示されることを除いて、図6の条件に対して同じプロットを示す。

【図8】超電導コイルによって規定される磁石のモデルにおける磁場コンターを示す。

【図9】外半径415及び425mmに対して、部分的及び完全に遮蔽される傾斜コイル対内半径の、保存エネルギーを示す。

【図10】エネルギー消費対内半径を示す。

【図11】図5に示されたコイルジオメトリの視覚化を示す。

【図12】内部導電層の導体パターンを示す。

【図13】外部導電層の導体パターンを示す。

【発明を実施するための形態】

【0056】

これらの図において同じように番号がつけられた要素は、同等の要素であるか、又は、同じ機能を行う。以前に考察された要素は、その機能が同等である場合に、後の図において必ずしも考察されるというわけではない。

【0057】

図1は、磁気共鳴イメージングシステム100の断面及び機能図を示す。磁気共鳴イメージングシステム100は、磁石102を有するように示される。図1に示される磁石102は、円筒形タイプの超電導磁石である。磁石102は、その中心を貫通するボア104を持つ。しかしながら、他の磁石も、本発明の実施例にも適用され得る。磁石102は、低温保持装置（クリオスタット）106を持つ。低温保持装置106の内側において、超電導コイル108の集合体をもたらされる。超電導コイル108は、導電ヘリウムタンクにおいて包含されない。ヘリウムタンクは、液体ヘリウムを絶縁真空から分離する、非導電性内部シリンダを持ち、又は磁石のコイルは、熱伝導又は循環ガスによって冷却される。代替の、又は追加の特徴として、冷却管における少量のガス状又は液体ヘリウムが、超電導コイルを冷却するために用いられてもよく、冷却管は冷却器に接続される。磁石のすべての詳細が、図1において示されるというわけではない。

【0058】

磁石のボア内において、磁石102のイメージングゾーン114内における対象物を空間エンコードするため、磁気共鳴データの収集のために使われる磁場傾斜コイル110がもたらされる。磁場傾斜コイル110は、磁場傾斜コイル電源112に接続される。磁場傾斜コイル110は、代表例である。磁場傾斜コイルは通常、三つの直交空間方向で空間エンコードするために、コイルの三つの別々のセットを含む。イメージングゾーン114は、磁石102の中心において位置される。

【0059】

イメージングゾーン114内における磁気スピンの方向を操作するため、及びここでもイメージングゾーン114内におけるスピンから無線通信を受信するための無線周波数コイル116は、イメージングゾーン114に隣接する。無線周波数コイル116は、無線周波数トランシーバ118に接続される。無線周波数コイル116及び無線周波数トランシーバ118は、別々の送信コイル及び受信コイル並びに別々の送信器及び受信器によって置換されてもよい。無線周波数コイル116及び無線周波数トランシーバ118は、異なる可能性を表すものと理解される。

【0060】

被検体120も、磁石の中心内において位置する。被検体120は、被検体支持部122上において横たわるように示される。破線130は、円筒形対称軸を表す。それは、磁気傾斜コイル110及び/又は磁石102に対して対称軸となり得る。この場合、軸130は、磁石102及び磁

10

20

30

40

50

石傾斜コイル110の両方のハウジングに対して対称である。ライン132は、磁気傾斜コイル134の外部表面に沿って走る軸130と平行な長さ又は方向付けられた経路である。磁石102及び傾斜コイル134を一連のセクションに分割する破線がもたらされる。これらは、135、136、137、138、139、140、141、142、及び143とラベルをつけられる。領域136、138、140、及び142は、いわゆる低減された磁場領域である。経路132に沿った磁場は、全ての経路132に沿った平均より少ない。領域135、137、139、141、及び143は、より高い磁場領域であり、傾斜コイル110からの磁場は、これらの領域に広げられることが可能である。

【0061】

無線周波数トランシーバ118及び磁場傾斜コイル電源112は、コンピュータシステム150のハードウェアインターフェース152に接続されるように示される。コンピュータシステム150は、磁気共鳴イメージングシステム100を制御するために、プロセッサ154を使う。

10

【0062】

図1に示されるコンピュータシステム150は、代表的である。複数のプロセッサ及びコンピュータシステムは、この単一のコンピュータシステム150によって例示される機能を表すために用いられてもよい。コンピュータシステム150は、プロセッサ154が、磁気共鳴イメージングシステム100のコンポーネントにメッセージを送信及び受信することを可能にするハードウェアインターフェース152を有する。プロセッサ154は、ユーザインタフェース156、コンピュータ記憶装置158、及びコンピュータメモリ160にも接続される。

【0063】

高周波トランシーバ118及び磁気傾斜コイル電源112は、コンピュータシステム150のハードウェアインターフェース152に接続される。コンピュータ記憶装置158は、パルスシーケンスを含むように示される。

20

【0064】

コンピュータ記憶装置158は、パルスシーケンス162を含みように示される。パルスシーケンス162は、磁気共鳴データを収集するため磁気共鳴イメージングシステム100の動作を制御するための命令を生成するために用いられてもよい、一連の命令又は情報である。コンピュータ記憶装置は、パルスシーケンス162を使って収集された磁気共鳴データ164を含むように示される。コンピュータ記憶装置158は、磁気共鳴データ164から再構成された磁気共鳴映像166を含むように示される。

【0065】

30

コンピュータメモリ160は、制御モジュール168を含みように示される。制御モジュール168は、プロセッサ154が、磁気共鳴イメージングシステム100の動作及び機能を制御することを可能にする、コンピュータ実行可能なコードを含む。これは、磁気共鳴データ164を収集するためにパルスシーケンス162を使うステップを含む。コンピュータメモリ160は、画像再構成モジュール170を含むようにさらに示される。画像再構成モジュールは、プロセッサ154が、磁気共鳴映像166を再構成するため、磁気共鳴データ164に関する数学的関数を実行することを可能にする、コンピュータ実行可能コードを含む。

【0066】

図2は、図1に示されるものと類似の磁気共鳴イメージングシステム200を示すが、この例において、磁石102の更なる詳細が示される。また、この図において、傾斜コイルは、常温ボア206として使われる。

40

【0067】

超電導コイルのシステムは、室温で外部真空容器によって包含される。真空領域202が、外部真空容器の内側においてもたらされる。超電導コイル108は、真空部202の内側に位置され、冷却又は冷凍システムに接続される、液体又はガスの何れかの冷却システムによって個々に冷却される。この磁石102は、磁気傾斜コイル110によって形成される常温ボア206を持つ。磁石102の壁、常温ボア206、及び接続コイル108の間の放射シールド204がもたらされる。常温ボア206及び超電導コイル108の間の放射シールドの内部シリンダ208がもたらされる。常温ボア206及び放射シールド208の内半径の両方は、傾斜コイル110からの磁場が、それを通過することを可能にするように作用可能である。これは、誘電物質を

50

使用することによって、又は特に放射シールド208の内部シリンダの場合、導電性物質を使用するがそれにスロットを切って、磁場が、より高い磁場領域135、136、139、141、及び143に広がることを可能にすることによって実現され得る。

【0068】

図3は、磁気傾斜コイルを設計する方法を例示するフロー図を表す。ステップ300は、傾斜コイルの内部導電層及び外部導電層に対応する円筒表面又はメッシュを規定しており、随意に、内部導電層及び外部導電層を接続する導電フランジ領域を規定している。次にステップ302において、傾斜コイル内側のイメージングボリウム内における所定の線形性を備える磁気傾斜場をもたらす制約が規定される。イメージングボリウムは、イメージングゾーンであってもよい。磁気傾斜コイルは、外部表面を有する。次にステップ304において、外部表面を囲む磁場を制限する制約は、超電導磁石の超電導コイルの位置に対応する少なくとも四つの低減された磁場領域がもたらされるように規定される。これは、随意に、又は低減された磁場領域の位置において受動導電リングとして作用する表面を規定することにより、若しくはこれらのリングにおいて誘導される電流若しくはこれらの誘導電流によってもたらされる消費のための制約を規定することにより、実行される。

【0069】

ステップ300、302、及び304は、最小磁気保存エネルギー及び/又は消費を持ち、すべての制約を満たす内部及び外部磁場生成表面における電流分布を見つけるための最適化問題を規定する。これらの内部及び外部磁場生成表面はそれから、電流ループ設計にもたらされる。次にステップ306において、最適化問題は、磁気設計ソフトウェアを使用して解決される。最後にステップ308において、最適化パターンの結果として決定された、内部及び外部磁場生成表面における電流分布を規定する、得られる連続ストリーム関数は、ディスクリット電流ループのパターンに変換され、傾斜コイル設計を規定するために、これらのディスクリット電流ループを直列に接続している。内部及び外部磁場生成表面における電流分布は、連続ストリーム関数によって規定される。

【0070】

超電導磁石セクションの位置における傾斜コイルのみをアクティブ遮蔽し、外部磁場がこれらのセクションの間の領域において制約されないようにすることにより、傾斜システムの効率は、完全なアクティブ遮蔽構成と比較して2倍改善され得る。これは、狭いボアの低コストスキャナのために現在開発されている、無冷媒磁石に類似する磁石を用いて広いボアシステムを構築することを可能にする。アクティブ遮蔽傾斜コイルは、大部分の磁場エネルギーが、一次及び遮蔽ワインディングの間の領域に位置されるため、本来的に効率が悪い。

【0071】

磁場を外部スペースに広げることを可能にすることにより、コイルは、より効率的になるが、主磁石との不必要な磁気カップリングが結果としてもたらされ得る。このような不必要なカップリングは、ここで開示されるコイル設計を用いることによって回避され得る。

【0072】

傾斜コイルの外部磁場は、主磁石の超電導コイルセクションが位置される所でのみ遮蔽され、磁石ワインディングの間のスペースにおける磁石環境に自由に広がる。

【0073】

放射線スクリーンは、導電シリンダにおいて多数の軸中断をもたらすことによって、AC磁場に対して透過的になることが可能である。磁石ボアは、非導電性物質から構成されることが可能であり、随意に、傾斜コイルは、低温保持ボア管としての役割を果たすことができる。効率の改善は、患者ボアを増やすために用いられることができる。700mm直径の患者スペース及び10mT/mにおける5ジュール未満の保存エネルギーと互換性を持つ傾斜コイルは、886mmのコイルIDを備える磁石の内側に適合されることができる。従来の傾斜コイルが使われるとき、このサイズの磁石は、狭いボアスキャナのためにまさに十分な大きさになり得る。外部磁場形成概念は、内部傾斜ワインディングの非円筒形状と結合され得る

が、結合される必要はない。本概念は、狭いボアスキャナのための磁石のコスト及び直径を減らすために用いられることもできる。z-傾斜に適用されるとき、外部磁場は、正味のフラックスが主磁石セクションに結合されないように、形成されなければならない。

【0074】

超電導磁石が、液体ヘリウムで満たされる従来のタンクにおいて包含されない場合、及び他の導電シリンダが、磁石セクションの間にもたらされない場合、傾斜コイルの外部磁場は、磁石ワインディングの位置においてのみ制約される必要がある。適切な傾斜設計ツールを用いて、これを利用することが可能であり、傾斜磁場が、これらの磁石セクションの間に「バブルアウト」する、傾斜設計をもたらすことが可能である。ここに記述されるシミュレーションの結果は、傾斜コイルの効率が1.5-2倍に改善されることができるとある。このゲインは、傾斜コイルの一次及び遮蔽コイルの間の距離を減少させるために用いられることができ、これにより、傾斜コイルの外側における磁石のサイズ及びコストが低減させられるか、又は一定の磁石直径における患者ボアが増加させられる。

【0075】

超電導磁石のセクションは、通過する外部傾斜磁場のためのスペースを最大化するために再度最適化されてもよいが、これは、単純に磁石設計の問題である。

【0076】

この概念において使われるべき傾斜コイルは、異なる形状を持つが、現在製品において使用される従来のアクティブ遮蔽傾斜コイルと同じ技術を用いて構成されることができ

1. イントロダクション

【0077】

ホールボディMRシステムにおける傾斜システムは、システムにおける主なコストドライバの一つである。それは主磁場磁石及びRFシステムを備える患者スペースの間でしばられ、これら（より大きなボア、より小さな、より安い磁石）の何れも最適化することは、傾斜システムのコスト及び複雑さを吊り上げる。従来のアクティブ遮蔽傾斜コイルが非常に大きなスペースを取る理由の一つは、電流設計が、超電導磁石及びその低温保持装置と相互作用することから、傾斜コイルの外部磁場を減らそうとするという事実にある。傾斜管の外部表面から漏れる何れの磁場も、低温保持装置の導電シリンダにおいて渦電流を誘導し、超電導磁石ワインディングにおける磁場変調は、コールドマスにおける増加される消費をもたらすであろう。アクティブ遮蔽層を取り去ることができる場合、一次傾斜ワインディングは、低温保持装置の内部ボアの近くに位置され得る。しかしながら、このような非遮蔽傾斜コイルは、従来のヘリウム槽冷却MRI磁石の低温環境において、過度な磁場をもたらし得る。

1.1. 目的

【0078】

シミュレーションは、傾斜コイルの外部磁場条件を緩和することが有意義であるかどうか知るために実行され、超電導主磁場磁石のワインディングから分離された状態はまだ保たれるが、これらのワインディングセクションの間のスペースにおける磁場が可能になる。見つけられる解決策に対して、傾斜コイル（保存エネルギー、消費）の重要な特性は、計算されて、従来の方法及び条件を使用して設計される、同等の傾斜コイルの同じパラメータと比較された。

2. シミュレーションモデル及び方法

【0079】

傾斜コイルは、二つの同中心の円筒形メッシュとして普通の態様でモデル化された。すべてのシミュレーションにおいて、コイルの内側の磁場の質は、10mT/mの傾斜強さにおける0.3mTの線形傾斜磁場からの最大偏差により、半径方向に450mm延在し、z-方向に360mm延在する楕円ボリウムに関する一組の制約ポイントによって規定された。完全な漂遊磁場補償のレファレンスケースは、外部傾斜層の外側の10mmの半径で二次表面における誘導電流を制限することによって、従来の態様でモデル化された。緩和された漂遊磁場モデル

に対して、超電導磁石のセクションは、超電導体束の外部境界をカバーする、ドーナツ型二次表面としてモデル化された（壁厚1mm、抵抗率 10^{-9} Ohm.m）。磁石は、コイルセクションのより短い長さ/厚さ比を備える、小型ボア1.5T磁石設計（常温ボア～820 mm）の修正バージョンであった。この変更は、導体上においてピーク磁場を増やすが、導体の量に大きな影響を及ぼすことはない。傾斜コイルの外半径の各々の値に対して、新たな磁石がもたらされた。モデルジオメトリの例は図4に示される。

【0080】

図4は、2層において磁気傾斜コイルを規定するメッシュ400、及び超電導磁石のコイルに対して規定されるメッシュを表す、402とラベリングされる、より小さなシリンダを示す。

10

【0081】

超電導ワイヤによって占められるボリウムから傾斜コイルの外部磁場を維持する目的は、ドーナツ型ワイヤボリウムのすべての境界表面上における磁場の通常のコンポーネントを制限する制約としてモデル化されることができた。本目的を実現するより単純な方法は、コイルを境界付ける表面における消費を制限することである。これは、コスト関数に対して、この消費の寄与に関する、重い重み付けファクタを与えることによって、及び消費を最小化させることに全最適化を偏らせることによってなされ得る。

【0082】

図5は、緩和された外部磁場の代表的な解決策の例を示す。500は、内部導電層の設計を示す。円の線は電流ループを示し、502は磁気傾斜コイルの外部導電層を表す。108とラベリングされるシリンダは、ここでも超電導磁石の部分であり、磁気設計ソフトウェアによって計算される解決策が、内部導電層500、外部導電層502、及び超電導コイル108の上に示される。超電導磁石の隣接する導体の間の磁場504の拡大がもたらされることは理解され得る。

20

【0083】

緩和された外部磁場制約を用いる解決策の代表例が図5に示される。遮蔽コイルの電流パターンは、まだ古典的なアクティブ遮蔽コイルに類似するが、ワインディングの形状は、より不規則になった。図5において示される磁場プロットは、磁場がコイルセクションの間のスペースに膨れることを明らかに実証する。次のセクションにおいて更に詳細に示されるように、外部磁場を強く緩和させることにより、傾斜コイルにおける消費及び保存エネルギーが低減される。通常、両方の数は、緩和された遮蔽ケースに対して、少なくとも1.5倍低い。

30

【0084】

シミュレーションにおいて使用される制約により、磁石セクションにおける代表的な消費は、（10mT/m RMS、100%デューティサイクルに対して）約0.5W又はそれより低い。コイルの境界は、抵抗率 10^{-9} オーム-m、ヘリウム温度における1mm厚の銅シートとしてモデル化された。（閉導電ループが形成されないような態様で）このような銅ライナにおいて実際の磁石のセクションが包含される場合、消費が冷却器の冷却の範囲内において保たれることができる。

3. パラメータの研究の結果

40

【0085】

原則として、外部磁場制約を緩和させることから結果としてもたらされる効率のゲインは、二つの方法で使われることができる。システムの外部ディメンションは、患者ボアの一定のサイズで低減されることができ、又は患者ボアは磁石の一定のサイズで増やされることができ、この何れかである。両方の経路は、この研究において探究された。

3.1. 600mmの患者ボアにおける磁石の圧縮

【0086】

325mmの内半径を備える傾斜コイルに対して、コイルの外半径は、360及び425mmの間で変化させられた。結果は、図6及び図7に示される。作用遮蔽は、従来の完全な遮蔽傾斜コイルを示し、形成される作用は、コイルに対して不足しており、磁場は、磁石ワインディ

50

ングの鮮明さを保つように形成される。

【0087】

図6は、保存エネルギー600対コイル外半径602のグラフを示す。コイル外半径は、メートルで与えられ、保存エネルギーは、任意の単位で与えられる。これは、従来態様で遮蔽される、完全な遮蔽傾斜コイル604対磁場形成傾斜コイルの例に対して示される。磁場形成傾斜コイルの形状は、超電導コイルを避ける磁場を生成するように作用可能である。保存エネルギーは、磁場形成のためにかなりより低いことが理解され得る。

【0088】

図7は、保存エネルギーの代わりにエネルギー702の消費が示されることを除いて、図6の条件に対して同じプロットを示す。磁場形成傾斜コイル606は、完全な遮蔽コイル604よりかなり少ないエネルギー消費を持つことが、ここでも理解され得る。図6及び7は、ここに記述される磁気傾斜コイルの例が、従来の磁気傾斜コイルと比較されるとき、保存エネルギー及び消費の量を大幅に低減することができることを示す。

【0089】

図6及び7は、完全な遮蔽の代わりに、アクティブ磁場形成が、完全なアクティブ遮蔽コイルよりかなりより効率的なコイルを結果としてもたらすことを明らかに示す。保存エネルギーにおける差は、コイルディメンションの全ての範囲を超えてほぼ1.5倍であり、不完全な遮蔽の利点は、コイルの外半径を低減することに関して、いくらか増大させられる。図3は、緩和された傾斜設計の保存エネルギーが完全な遮蔽コイルのレベルに達するまで、約100mmで磁石の直径を低減することができることを示す。

【0090】

消費も、コイル設計に関して外部遮蔽条件を緩和することによって、1.5倍低減され、コイルの外半径が減らされるにつれてその比率は増加する。消費値は、2mmの銅の厚さに対する電流パターンのためのモデラーによって計算される値である。

3.2. 部分的な遮蔽傾斜のための磁石

【0091】

以降のすべてのシミュレーションにおいて、コイル内半径は443mmにセットされ、コイル構成は不変に保たれた。これらのシミュレーションにおいて使われる磁石は、図8に示される。それは、横方向に430mm及び軸方向に360mm延在する、変形された楕円内における良好な均一性を備える古典的な6+2構成である。

【0092】

図8は、超電導コイル108によって規定される磁石のモデルにおける、磁場コンター800を示す。図8は、443mm内部コイル径を備える主磁場磁石を示し、コンターは3、10、30、及び100uTである。傾斜シミュレーションは、超電導セクションの正確な位置が、これらのコイルの間の空スペースを使用する傾斜設計の実現可能性に重大な影響を及ぼさないことを示した。アプローチの成功にとってより重要なことは、磁石ワインディングの形状であり、磁石ワインディングがほぼ四角の断面を有するとき（終端コイルを除いて、これらは高アスペクト比になり得る）、最適な傾斜設計は得られる。

3.3. 小型ボア磁石の内側のより広いボア傾斜コイル

【0093】

一連の傾斜コイルは、415mmの一定の外半径及び内半径を増やしてシミュレーションされた。これらのコイルの最も小さなものは、600mm患者ボアに対応し、最も大きなものは、広いボアシステムのためにほとんど十分に大きい。比較のために、同等の完全なアクティブ遮蔽傾斜も（415mmの外半径で）シミュレーションされた。前に理解されたことと同様、傾斜コイルが圧縮されるとき、アクティブ磁場形成の可能な利点は増大される。

【0094】

グラフは、シリーズで最も大きなコイルに対してさえ、コイルの効率は従来設計と類似していることを示す。予測された消費はより高いが、まだ許容され得るレベルにある。図9及び図10は、425mmの外半径を備えるコイルのためにいくつかのポイントも含む。外部コイルを磁石の近くに持ってくることにより、保存エネルギーはほんのわずかに改善されるが

10

20

30

40

50

、消費に重要な影響が及ぼされる。

【 0 0 9 5 】

図9及び10は、415mmの一定の外半径及び内半径を増やしてシミュレーションされた一連の傾斜コイルに対する、いくつかのシミュレーションの結果を示す。図9は、保存エネルギー602対内半径900を示す。内半径はメートルで与えられ、保存エネルギー602は任意の単位で与えられる。図10は、消費対内半径を示す。内半径は、ここでも900とラベリングされて、メートルで与えられ、消費702は任意の単位で与えられる。これらのプロットは、415mmの一定の外半径902に対して示され、425mmの外半径に対しても、いくつかのケースにおいてここでも示される。906とラベリングされる曲線は、完全なアクティブ遮蔽のための結果を示す。908とラベリングされる点は、没入部を備える内部コイルを示す。図9は、外半径415(425)mm及び磁石半径443mmに対して、部分的及び完全な遮蔽傾斜コイルの保存エネルギー対内半径を示す。点は、没入部を備える内部のコイル、360/380mm、O R 425mm、没入部の長さ600mmを示す。

10

【 0 0 9 6 】

図10は、図9と同じジオメトリで、部分的及び完全な遮蔽傾斜コイルにおける消費対内半径を示す。

【 0 0 9 7 】

すべてのシミュレーションにおいて、主磁石セクションにおける、予測された消費は、1mmのコールド銅に対して0.5Wを下回ったままである。傾斜システムの外半径が増やされたとき、磁石における、予測された消費は、あまり変わらなかった。

20

3.4. 磁場及び導体パターン

【 0 0 9 8 】

部分的な遮蔽傾斜コイルの外部磁場の代表例は、図2に示される。磁場は、主磁石コイルの領域においてうまく制約され、コイルの間のスペースにおいて、外向きに広がる。下の図11は、250アンペアの導体への離散化後の、同じコイルジオメトリ及び磁場データの他の視覚化である。システムのz軸を通る斜めの平面において、磁場は、磁石コイルの間でここでも小さくなり、その間で非常により大きくなる。ここで、磁場は、方位角成分も持ち、フラックスは、z=0平面を通じて、部分的にx=0平面を通じて、部分的に運ばれる。この方位角的に方向付けられた戻り磁場の重要な結論は、放射線スクリーンが、一度ループボアを介してシステムのまわりにもたらされると、閉ループを形成しないということである (end_flange1 – outer_rollup – end_flange2)。この条件も、コールドマスの内側の内部配線のためにも保持される。

30

【 0 0 9 9 】

図11は、図5に示されたコイルジオメトリの視覚化を示す。

【 0 1 0 0 】

図11内において、傾斜内半径は370mmであり、外半径は425mmであり、磁石内半径は443mmである。

【 0 1 0 1 】

このコイルに対応する平らな導体パターンは、図12及び13に示される。ごく少数のターンであっても、外部磁場は、連続電流分布において見つけられるコンターを正確にたどる。動作電流のこの選択により、このコイルのインダクタンスは、155マイクロヘンリーになり得る。

40

【 0 1 0 2 】

図12は、導電層500の導体パターン1200を示す。導電層500は円筒形なので、図12は、平らにレイアウトされる導体パターン1200を示す。同様に、図13は外部導電層502の導体パターン1300を示す。

3.5. 没入一次コイルオブション

【 0 1 0 3 】

コイルの内直径の更なる増加は、おそらく所望される値より高い消費をもたらし得る。患者ボアを更に増大させるための一つの方法は、一次コイルにおいて没入部をもたらし、

50

この没入部においてRFコイルを位置させることであろう。図9及び図10は、内部没入部を備える傾斜コイルのための一つのデータポイントを含み、これにより、患者ボアのスペースにおける更なる増加が可能になる。没入部は、20mmの深さ及び（長くて良質のRFコイルを可能にする）600mmの全長を持っていた。一般的に、アクティブ磁場形成概念は、（内部ボアの非円筒形及び／又は対称断面を含む）傾斜効率を改善するために、他の全ての方法と結合されることができる。

3.6.Z-傾斜コイル

【0104】

z-傾斜コイルは通常、横断コイルよりも非常に効率的なので、その効率を最適化しようとするにあまり緊急性はない。いくつかのサンプルシミュレーションは、不完全な遮蔽がこのチャンネルに対しても効果的かどうか見るためになされた。z-傾斜が、主磁石のセクションに誘導結合されることができるため、これらのコイルに対して外部磁場を緩和することは注意してなされなければならない。傾斜コイルが、主コイルのセクションのいずれかにおいて正味のフラックスをもたらず場合、これは、傾斜コイルがスイッチされるとき、大きな誘導電圧をもたずすることができる。したがって、主磁石ワインディングにおいて磁場を最小化することに加えて、緩和外部磁場遮蔽を備えるz-傾斜システムは、各々の磁石セクションによる相互インダクタンスがゼロに近くなるという条件も満たさなければならない。部分的な遮蔽z-傾斜コイルは、内半径370mm、外半径425mm、及び磁石半径435mmを備える横断コイルのものと同じメッシュ上にもたらされた。結果としてもたらされるコイルは、図10に示される。コンターステップサイズ0.1mT（@10mT/m）を用いて、等高線は磁場係数を示す。このコイルは、2.8J（10mT/m@250Aで90マイクロヘンリー）の保存エネルギーを有する。磁石における、予測された消費は、100mW未満である。これは、何れのさらなる技術的困難性ももたらされることなく、適切なz-傾斜が概念に取り込まれることができるという確信を持つのに十分である。

4. 実際の実施例のための考察

【0105】

主な差は、超電導磁石並びに磁石及び傾斜コイルの間のインターフェースにおいてもたらされるであろう。概念が働くことを容易化するために、磁石セクションは、好ましくはz-方向においてショートしており、その間に最大の自由空間がもたらされる。磁石の支持構造は、好ましくは渦電流をサポートしない。いくらかの残留外部傾斜磁場が常にもたらされるため、磁石ワインディングは、銅又はアルミニウムライナを必要とする（磁石セクションを動作温度に維持するため、それはおそらくもたらされるであろう）。導電ライナは、好ましくはコイルを完全に包含するべきである。

【0106】

放射線スクリーン及び磁石ボア管は、渦電流をサポートしないように、形成されなければならない。室温ボアのために、これは、利用可能な技術を使用してなされることができる。1989年以前のすべての磁石は、グラスファイバ強化プラスチックボア管を持っていた。この壁のための一つのオプションは、外部真空容器の内壁として、傾斜コイルの外部シリンドラを使用することであろう。前の章のパラメータ分析は、より厚い壁に囲まれたボア管の内側の別々の傾斜コイルに対する不利益があまり大きくないことを示す。非導電磁石ボアの有益な副作用は、渦電流がそれに誘導され得ないことにある。これにより、システムによって生成される音響ノイズは低減される可能性がある。

【0107】

軸方向において十分な熱伝導率を備えるが、方位角方向において高い熱及び電気抵抗を備える、スリット放射線スクリーンは、導電要素が主に軸方向に方向付けられる態様で、互いに貼り合わされる、2-3mm厚のプレートの二つのスリットパターンから形成され得る。導電ストリップはそれから、長さに沿った何処かで中断をもたずとき、交互にフランジの一端に接続されるか、又は両方に接続される。

【0108】

本発明は、図面及び上記の説明において詳細に例示及び記述されてきたけれども、この

10

20

30

40

50

ような例示及び記述は、例示的又は例証的であり、拘束性はないと考慮されることになり；本発明は、開示された実施形態に限定されない。

【 0 1 0 9 】

開示された実施形態に対する変化は、請求された発明を実行する際に、図面、明細書、及び付随の特許請求の範囲の調査から当業者により理解する及びもたらすことができる。特許請求の範囲において、「含む」という用語は、他の要素又はステップを除外せず、不定冠詞はその複数形を除外しない。一つのプロセッサ又は他のユニットは、特許請求の範囲において列挙された、いくつかの項目の機能を満たすことができる。特定の手段が互いに異なる従属項において記載されているという単なる事実は、これらの手段の組合せを役立つよう使用することができないと示しているわけではない。コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に若しくはその一部として供給される、光記憶媒体又は固体記憶媒体等、適したメディア上に記憶／分散させてもよいが、インターネット又は他の有線若しくは無線の通信システムを介して等、他の形状で分散させてもよい。特許請求の範囲におけるいかなる参照番号も、その範囲を限定するとして解釈されるべきではない。

【 符号の説明 】

【 0 1 1 0 】

参照番号のリスト

100	磁気共鳴イメージング	
102	磁石	
104	磁石のボア	20
106	低温保持装置	
108	超電導コイル	
110	磁気傾斜コイル	
112	磁気傾斜コイル電源	
114	イメージングゾーン	
116	無線周波数コイル	
118	無線周波数トランシーバ	
120	被検体	
122	被検体支持部	
130	円筒形対称軸	30
132	軸130と平行な長さ	
134	磁気傾斜コイルの外部表面	
150	コンピュータシステム	
152	ハードウェアインターフェース	
154	プロセッサ	
156	ユーザインターフェース	
158	コンピュータ記憶装置	
160	コンピュータメモリ	
162	パルスシーケンス	
164	磁気共鳴データ	40
166	磁気共鳴画像	
168	制御モジュール	
170	画像再構成モジュール	
200	磁気共鳴イメージングシステム	
202	真空部	
204	放射線シールド	
206	常温ボア	
208	放射線シールドの内部シリンダ	
400	メッシュ規定傾斜コイル	
402	メッシュ規定超電導コイル	50

- 500 内部導電層
- 502 外部導電層
- 504 磁場の広がり
- 600 コイルの外半径 [m]
- 602 保存エネルギー [A.U.]
- 604 完全な遮蔽傾斜コイル
- 606 超電導コイルを避けるために形成されるシールド
- 702 エネルギーの消費 [A.U.]
- 800 磁場コンター
- 900 内半径 [m]
- 1200 導体パターン
- 1300 導体パターン

【図 1】

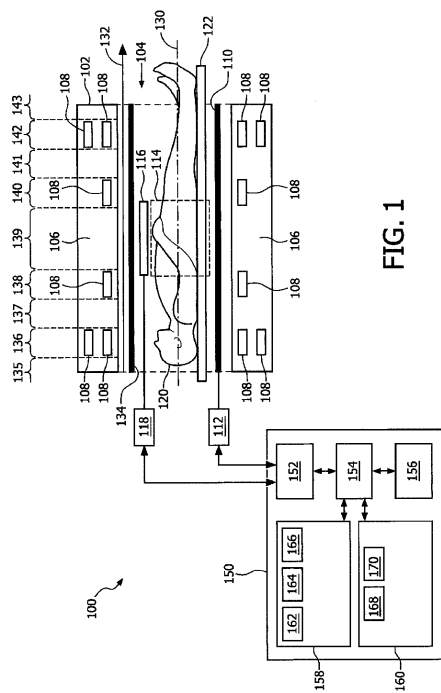


FIG. 1

【図 2】

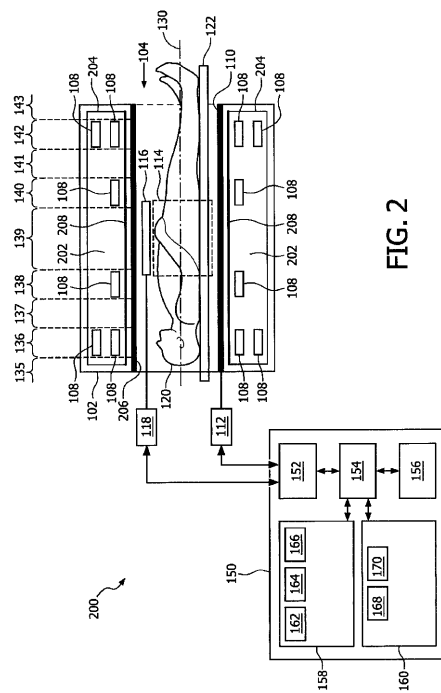


FIG. 2

【図 3】

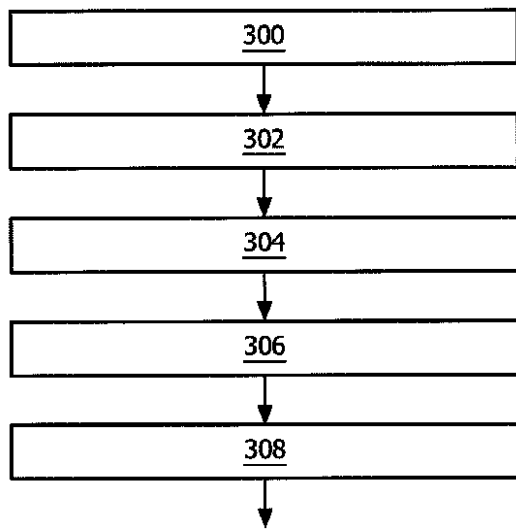


FIG. 3

【図 4】

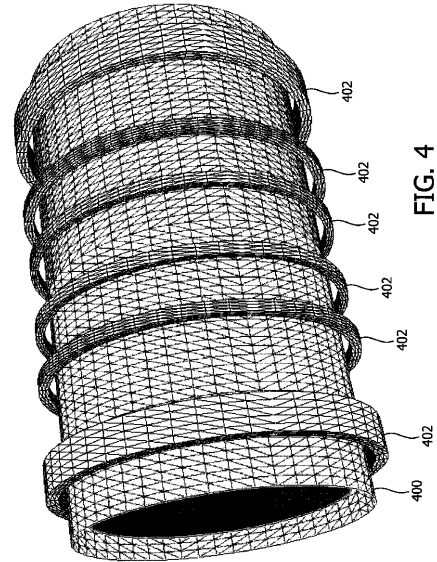


FIG. 4

【図 5】

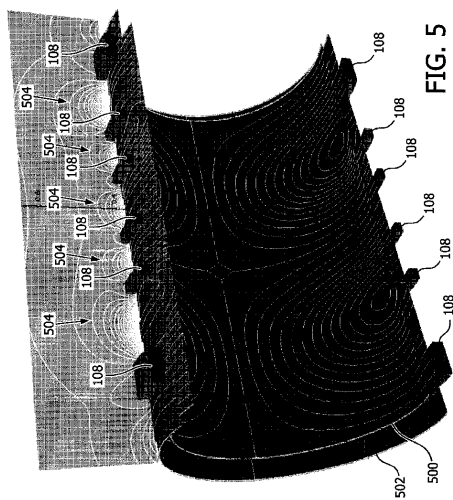
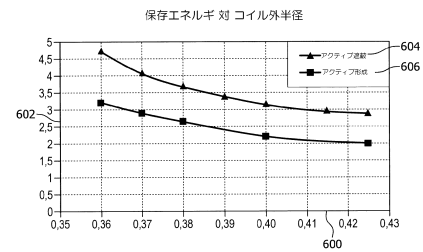
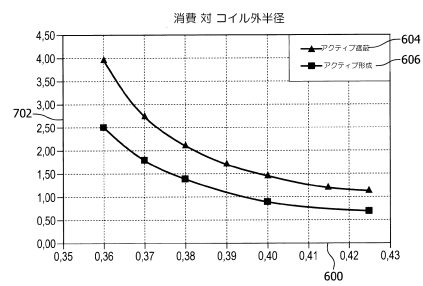


FIG. 5

【図 6】



【図 7】



【図 8】

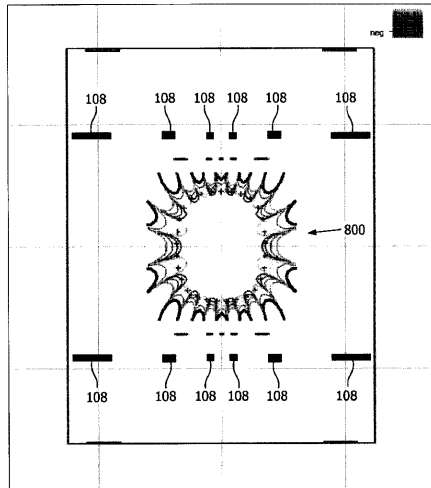
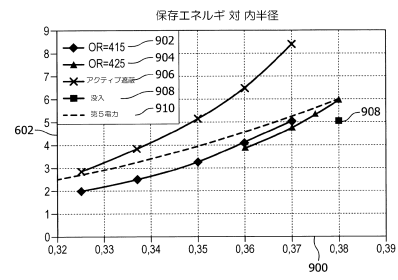
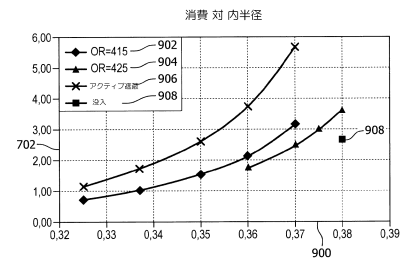


FIG. 8

【図 9】



【図 10】



【図 11】

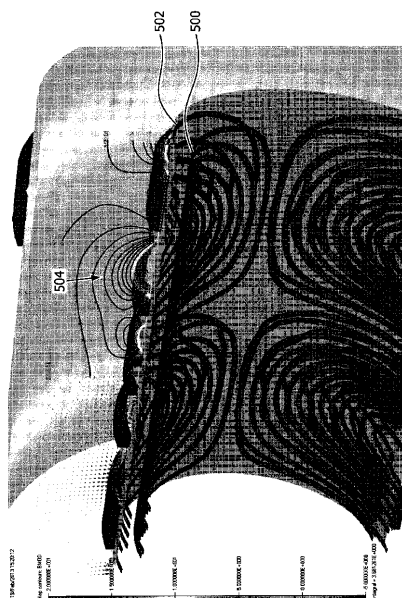


FIG. 11

【図 12】

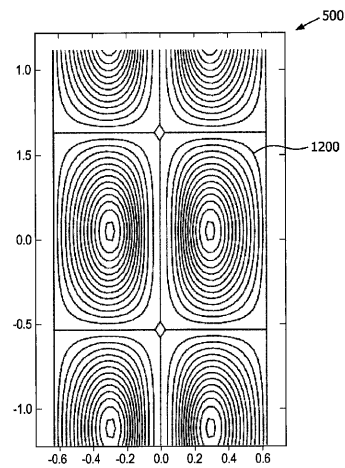


FIG. 12

【図 13】

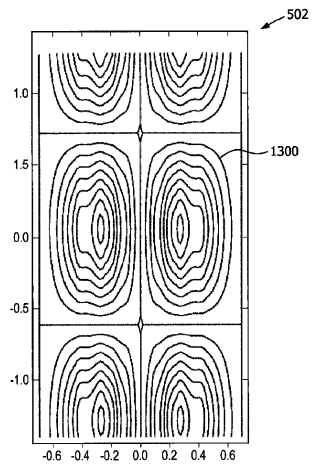


FIG. 13

フロントページの続き

(72)発明者 オーバーウェグ ヨハネス アドリアヌス
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 伊藤 幸仙

(56)参考文献 特開平 0 7 - 2 9 9 0 4 8 (J P , A)
特開平 0 7 - 1 9 4 5 6 8 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 1 2 5 1 1 7 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 1 2 1 0 7 (J P , A)
特開 2 0 0 8 - 2 2 9 3 6 0 (J P , A)
米国特許第 0 6 0 5 4 8 5 4 (U S , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 1 3 9 2 2 1 (U S , A 1)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
A 6 1 B 5 / 0 5 5
G 0 1 R 3 3 / 4 2