

(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2018-161492

(P2018-161492A)

(43) 公開日 平成30年10月18日(2018.10.18)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

F 1

A 6 1 B	5/055	3 3 0
A 6 1 B	5/055	4 0 0
A 6 1 B	5/055	3 3 1
A 6 1 B	5/055	3 3 2
A 6 1 B	5/055	3 4 0

テーマコード(参考)

4 C 0 9 6

審査請求 有 請求項の数 22 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号

特願2018-104096 (P2018-104096)

(22) 出願日

平成30年5月30日 (2018.5.30)

(62) 分割の表示

特願2015-557977 (P2015-557977)

の分割

原出願日

平成25年2月14日 (2013.2.14)

(71) 出願人

515222780
ジェイ.エス.パスリチャ エンタープラ
イジス, エルエルシー
アメリカ合衆国 テキサス州 78258
, サンアントニオ, 51 チャンピオンズ
ウェイ

(74) 代理人

110000578
名古屋国際特許業務法人

(72) 発明者

カーバンダ, ハーディヴ, エス.
アメリカ合衆国 テキサス州 78258
, サンアントニオ, 51 チャンピオンズ
ウェイ

F ターム(参考) 4C096 AA13 AB42 AB47 CA03 CB19

(54) 【発明の名称】 単一の厚いループを用いた磁気共有イメージング

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】極めて高い電流の複数の電圧源を必要とせずに、合計された電流構成を介して1つ又は複数の他の磁界パターンとともにB₀界を確立することが可能な構造を提供する。

【解決手段】伝導ループが、厚い断面積を有し、極めて高い電流を発生することが可能な单一の電圧源によって電力供給される。ループの逆並列セグメントは互いに極めて近接して持つてこれら、このループにおける不对セグメントは均一なB₀界を集合的に形成するように整形される。電圧源は、この厚いループ内の電流の再分配が得られることにより、そのB₀界に加えて、必要とされる傾斜界及び/又はシミング界をそれが同時に確立することが可能になるように、電流をこの厚いループの1つのポイントから別のポイントに短絡する。

【選択図】図2

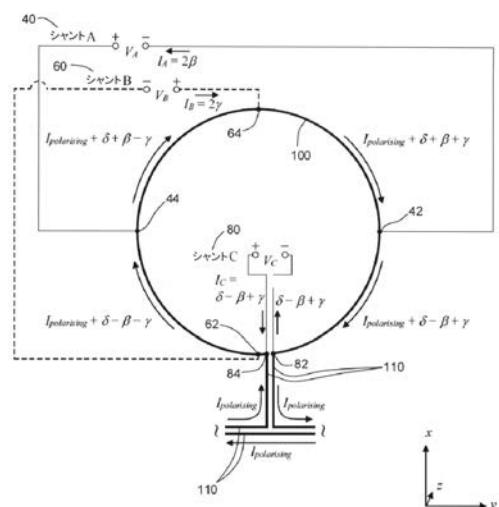


Fig. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

イメージングボリューム内での、均一 B_0 界の一部又は全部の生成のための、ならびに必要とされる傾斜界及び / 又はシミング界の同時生成のためのデバイスであって、前記デバイスは：

厚い断面積をもつ伝導ループと；

極めて高い電流を発生することが可能な单一の電圧源、又は、極めて高い電流を発生することが可能な单一の実効電圧源と、

前記单一の実効電圧源が、直列に及び / 又は並列に接続された電圧源のグループからなることと、

極めて高い電流を発生することが可能な前記单一の電圧源又は单一の実効電圧源が、厚い断面積をもつ前記伝導ループと直列に接続されること；

厚い断面積をもつ前記伝導ループが、

1 つ又は複数の消去セグメント対と、

2 つ以上の寄与セグメントと

を含むように整形されることと、

各前記消去セグメント対の 2 つの消去セグメントが、

互いに極めて近接して持ってこられた厚い断面積をもつ前記伝導ループの逆並列セグメントであり、

及び、

前記デバイスの前記イメージングボリューム内でほぼ 0 の磁界に寄与することと、各前記寄与セグメントが、

厚い断面積をもつ前記伝導ループの不対セグメントであることと、

前記寄与セグメントが、複数の不完全なループにグループ化されることと、

各前記不完全なループが、

1 つ又は複数の前記寄与セグメントからなり、

その円周に 1 つ又は複数の小さいギャップを有する完全なループと等価であり、及び、

共通の軸を中心とするものであることと、

前記不完全なループの全体が、

前記イメージングボリューム内で前記均一 B_0 界の一部又は全部を集合的に形成するように整形されることと、

各前記消去セグメント対の前記 2 つの消去セグメントが、

少なくとも 1 つの寄与セグメントによって厚い断面積をもつ前記伝導ループの全長に沿って分離され、

厚い断面積をもつ前記伝導ループの前記全長のそれぞれの端部に両方とも配置されるのではないことと；

複数の電流シャントと、各前記電流シャントが、

1 つ又は複数のシャント導体セグメントと、前記 1 つ又は複数のシャント導体セグメント内に挿入された少なくとも 1 つのシャント電圧源とを備えることと、

前記シャント導体セグメントが、厚い断面積をもつ前記伝導ループとは別個であること、

前記少なくとも 1 つのシャント電圧源が、極めて高い電流を発生することが可能な前記单一の電圧源又は单一の実効電圧源とは別個であり物理的に分離していることと、

各前記電流シャントが、電流を、厚い断面積をもつ前記伝導ループの 1 つ又は複数のポイントから、厚い断面積をもつ前記伝導ループの 1 つ又は複数の他のポイントに短絡するように構成され、

各前記不完全なループについて、

前記不完全なループの前記円周における前記 1 つ又は複数の小さいギャップの両側が、シャント伝導セグメントの終端に接続されることと、

10

20

30

40

50

前記不完全なループのうちの少なくとも 2 つの各不完全なループについて、

前記不完全なループの前記円周上の 4 つの位置が、シャント伝導セグメントの終端に接続されることと、前記 4 つの位置が、前記軸によって定義される座標システム内で 90° のアジマス分離を有することと、

前記不完全なループのうちの前記少なくとも 2 つのすべてについて、

前記 4 つの位置のそれぞれのアジマスが同一であることと；
を備え、それにより、前記デバイスは：

極めて高い電流を発生することが可能な前記単一の電圧源又は単一の実効電圧源からの前記電流を用いて、磁気共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための、あるいは電子常磁性共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための前記均一 B_0 界の一部又は全部を発生すること；

ならびに、

前記シャント電圧源を介して厚い断面積をもつ前記伝導ループ内で電流を再分配することを通して前記均一 B_0 界の一部又は全部と同時に前記必要とされる傾斜界及び / 又はシミング界を確立すること

の両方が可能になる、デバイス。

【請求項 2】

各前記不完全なループが、正確に 1 つの前記寄与セグメントからなる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 3】

各前記不完全なループが、1 つ以上の前記寄与セグメントからなる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 4】

各前記不完全なループのどちらか一方が、垂直な前記消去セグメント対又は前記消去セグメント対の垂直部分をその下に配置させる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 5】

前記軸によって定義される前記座標システム内で 90° のアジマス分離を有する 4 つの位置が前記シャント伝導セグメントの終端に接続される、各前記不完全なループについて、

第 1 の電流シャントが、前記 4 つの位置のうちの第 1 の位置と第 2 の位置との間に結合され、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置とが、前記不完全なループ上で互いに直径の反対側にあり、

第 2 の電流シャントが、前記 4 つの位置のうちの第 3 の位置と第 4 の位置との間に結合され、前記第 3 の位置と前記第 4 の位置とが、前記不完全なループ上で互いに直径の反対側にあり、前記第 3 の位置と前記第 4 の位置とがその上にあるラインが、それにより、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置とがその上にあるラインに対して 90° 回転される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 6】

前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との中間の前記第 1 の電流シャントの一部分が、2 つの分岐に分けられ、

前記第 3 の位置と前記第 4 の位置との中間の前記第 2 の電流シャントの一部分も、2 つの分岐に分けられる、

請求項 5 に記載のデバイス。

【請求項 7】

前記不完全なループが、

円形に形成され、

及び、

前記軸に垂直な面に位置する、

請求項 6 に記載のデバイス。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

前記電流シャントの少なくとも 1 つが何らかの可変抵抗を持つ、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 9】

前記電流シャントが細長い真空チューブ内に置かれる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 10】

前記単一の実効電圧源が、並列に配線され絶縁ゲートバイポーラトランジスタを採用する複数の整流器コントローラユニットから形成された、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 11】

前記単一の実効電圧源が、並列に配線されサイリスタ又は他の半導体技術を採用する複数の整流器コントローラユニットから形成された、請求項 1 に記載のデバイス。

10

【請求項 12】

任意の 2 つの隣接する寄与セグメントが、2 つあるいは 3 つの消去セグメント対に属する消去セグメントによって、厚い断面積をもつ前記伝導ループの前記全長に沿って分離される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 13】

任意の 2 つの隣接する寄与セグメントが、1 つの単一の消去セグメントによって、厚い断面積をもつ前記伝導ループの前記全長に沿って分離される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 14】

前記寄与セグメントの幾何学的中心が、すべて前記軸上で整合される、請求項 1 に記載のデバイス。

20

【請求項 15】

前記寄与セグメントの幾何学的中心が、すべて前記軸上で整合されるものではない、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 16】

前記消去セグメント対の前記 2 つの消去セグメントの磁界消去が、前記消去セグメントの一方の、他方の消去セグメント内のテレスコーピングを伴う、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 17】

前記消去セグメント対の前記 2 つの消去セグメントの磁界消去が、前記 2 つの消去セグメントの交互絡合を伴う、請求項 1 に記載のデバイス。

30

【請求項 18】

すべての前記消去セグメント対に関連する電流消去の度合いが、前記デバイスの前記イメージングボリューム内での磁界汚染の指定された最大しきい値を超えない磁界汚染のレベルに対応する、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 19】

磁界汚染の前記指定された最大しきい値が、前記 B_0 界の大きさに関して 1 パートパーセントと 50 パートパーセントとの間の値である、請求項 18 に記載のデバイス。

【請求項 20】

厚い断面積をもつ前記伝導ループが、成形品からアセンブルされる、請求項 1 に記載のデバイス。

40

【請求項 21】

イメージングボリューム内で、均一 B_0 界の一部又は全部を生成するための、ならびに必要とされる傾斜界及び / 又はシミング界を同時に生成するための方法であって、前記方法は：

厚い断面積をもつ伝導ループと直列に、極めて高い電流を発生することが可能である単一の電圧源、あるいは直列に及び / 又は並列に接続された電圧源のグループを接続するステップと；

1 つ又は複数の消去セグメント対と、

2 つ以上の寄与セグメントと

50

を含むように厚い断面積をもつ前記伝導ループを整形するステップと、各前記消去セグメント対の2つの消去セグメントが、

互いにまだ極めて近接してはいなかったが互いに極めて近接して持つてこられたか、又は効果的に互いに締め付けられた、厚い断面積をもつ前記伝導ループの逆並列セグメントであり、

及び、

スキャナの前記イメージングボリューム内でほぼ0の磁界に寄与することと、各前記寄与セグメントが、

厚い断面積をもつ前記伝導ループの不対セグメントであり、

及び、

前記寄与セグメントが前記イメージングボリューム内で前記均一B₀界の一部又は全部を集合的に形成するように整形されることと；

ならびに、

厚い断面積をもつ前記伝導ループにシャント電圧源を取り付けるステップと、各前記シャント電圧源が、電流を、厚い断面積をもつ前記伝導ループの1つ又は複数のポイントから、厚い断面積をもつ前記伝導ループの1つ又は複数の他のポイントに短絡するように構成されることと；

を備え、それにより、前記方法は：

極めて高い電流を発生することが可能な前記単一の電圧源又は単一の実効電圧源からの前記電流を用いて、磁気共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための、あるいは電子常磁性共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための前記均一B₀界の一部又は全部を発生すること；

及び、

前記シャント電圧源を介して厚い断面積をもつ前記伝導ループ内で電流を再分配することを通して前記均一B₀界の一部又は全部と同時に前記必要とされる傾斜界及び/又はシミング界を確立すること

の両方が可能になる、方法。

【請求項22】

厚い断面積をもつ前記伝導ループの1つ又は複数のポイントから、厚い断面積をもつ前記伝導ループの1つ又は複数の他のポイントへの電流の前記短絡が、可変抵抗を伴う、請求項21に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、国際出願第PCT/US2012/050462号に対応する日本出願であり、前記国際出願は、2011年8月10日に出願された特許文献1の利益を主張している、2012年8月10日に出願された特許文献2に関連する。

【0002】

連邦出資の研究及び開発に関する声明

本開示は連邦支援の研究及び開発の主題でなかった。

【0003】

本開示は、電流の印加を介した磁界パターンの確立に関し；より詳細には、本開示は、磁気共鳴イメージング(MRI)スキャナのコンテキストにおける、ならびに、対象からの情報の導出のために正確な磁界パターンの確立を同じく必要とする核磁気共鳴スペクトロスコピー、電子常磁性共鳴イメージング、及び電子常磁性共鳴スペクトロスコピーなどの他のシステムのコンテキストにおける磁界パターンの確立に関する。

【背景技術】

【0004】

磁気共鳴イメージング(MRI)スキャナ及び他の同様のデバイスは、対象内に本質的

に存在する磁気モーメントの配向を正確に操作するように磁界を確立するシステムである。この操作により、磁気モーメントがスキャナ内に電気信号を生成し、次にこれらの信号が使用されて、対象の内部組成の詳細な画像が構築される。

【0005】

イメージング中にMRIスキャナ内で見られる磁界は、通常、スキャナによって発生された2つ以上の極めて異なる磁界パターンの合計である。これらのパターンは、それらのネット効果が、イメージングのために特に指定されたスキャナのボリューム内で特定の時点において所望される磁気モーメント配向を発生するように、慎重に設計され、タイミングをとられなければならない。MRI画像取得にとって重要であると見なされる磁界パターンは、極めて強くて均一である B_0 界；無線周波数において変動する B_1 界；ならびに、各々の大きさが x 方向、 y 方向、及び z 方向においてそれほど線形的に変化する x 傾斜界、 y 傾斜界、及び z 傾斜界である。 B_0 界の均一性の改善のために、シミング磁界も頻繁に使用される。

10

【0006】

上記の磁界パターンの各々は、通常、スキャナ内の別個の構造によって発生され、そのような各構造は、電流の構成であるか又は永久磁石の構成である。抵抗性MRIスキャナの場合、磁界パターンのすべてが非超伝導電気的構造によって発生される。

【0007】

MRIイメージングは、病気診断に対する大きい成功を伴って適用されている。しかしながら、癌検査を含む、病気検査へのMRIの拡張は、残念ながら比較的限定されている。検査のためのMRIの使用を著しく限定する2つの要因は、スキャナ構築に一般に関連する比較的高いコスト、及びMRIスキャナ内に見られる典型的に小さい患者空間に関連する不快感である。

20

【0008】

スキャナをより安価で広々としたものにし、したがって、特に病気検査のほうを指向したスキャナを開発するための1つの手法は、MRIにおいて使用される複数の磁界パターンを、それらのそれぞれの電流の合計を搬送する構成を用いて同時に生成することであろう。 B_0 界、傾斜界、及びシミング界のすべてのベクトルは主に単一の方向、慣例によれば z 方向に配向されることになるので、原理上はこれらの界の電流を合計することが考えられる。

30

【0009】

しかしながら、合計された電流構成とともに複数の傾斜界及び/又はシミング界を発生することに極めて成功しているように思われる方法は開発されたが、特に B_0 界を傾斜界及び/又はシミング界と合成するための実際的な手段はまだ導入されていない。例えば、ゲーブハルトらの特許文献3の図14は、異なる磁界パターンを同時に確立することができ、ループの平面に直角に配向された規則正しく離間したラインセグメントによって接続される一連の並列同心ループからなる電気的構成を示している。 B_0 界に必要な電流は、ループ巻線が使用されないときは数万アンペア程度であるので、仮定的 B_0 界に寄与するこの構造中の各ループは、極めて大きい電流を供給することが可能な電圧源を有しなければならないであろう。十分均一な B_0 界のために最低4つのループを仮定すると、その構造がそれの他の磁界パターンの中でも B_0 界を発生するためには、したがって、極めて大きい電流のための4つの電圧源が必要とされよう。

40

【0010】

ワトキンズらの特許文献4の図1は、個々のループが、独立した電圧源をもつ別個のループセグメント又はアークと交換された電気的構成を開示している。各セグメント化されたループにおける、及び全体としての構造における電流パターンは、異なるMRI磁界パターンに関連付けられた電流パターンの合計を表すことが明らかに可能である。ただし、ここでは、仮定的 B_0 界に寄与するために使用されるあらゆるセグメントが、数万アンペアを生成することが可能な電圧源を必要とするであろう。ここでも、 B_0 界のために最低4つのループのアセンブリを仮定し、さらに、ワトキンズらの構造の各セグメント化され

50

たループが少なくとも 4 つのセグメントからなると仮定すると、この構造がそれの他の磁界パターンとともに B_0 界を同時に発生した場合、極めて高い電流の 16 個の電源が必要とされよう。その極めて実際的でない要件以上に、 B_0 界に寄与する各セグメントに関連付けられた極めて高い復帰電流が、エネルギーの浪費につながり得、さらにスキャナのイメージングボリューム内の磁界を著しくひずませる可能性があり得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献 1】米国仮特許出願第 61/574,823 号

10

【特許文献 2】国際出願第 PCT/US2012/050462 号

【特許文献 3】米国特許第 6,492,817 号

【特許文献 4】米国特許第 6,933,724 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

極めて高い電流の複数の電圧源を必要とせずに又は上述の他の問題に対処する必要なしに、合計された電流構成を介して 1 つ又は複数の他の磁界パターンとともに B_0 界を確立することが可能な構造を提供することが、本開示の目的である。

【課題を解決するための手段】

【0013】

この目的は、本開示に従って、厚い断面積をもつ伝導ループ、及び極めて高い電流を発生することが可能な単一の電圧源を伴う実施形態を通して達成される。ループの逆並列セグメントは互いに極めて近接して持ってこられ、これは、ループが 1 つ又は複数のロケーションにおいて効果的に「締め付けられ」、逆並列セグメントの各ペアがスキャナのイメージングボリューム内でほぼ 0 の磁界に寄与することを意味する。このループにおける不対セグメントは、均一な B_0 界を集合的に形成するように整形される。電圧源は、次いで、この厚いループ内の電流の再分配が得られることにより、その B_0 界に加えて、必要とされる傾斜界及び / 又はシミング界をそれが同時に確立するように、電流をこの厚いループの 1 つのポイントから別のループに短絡する。

【0014】

30

単一の厚いループを用いた B_0 界及び他の磁界パターンの同時確立のための開示されるシステム及び方法のさらにより良い理解が、以下の図面を参照することによって得られよう：

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】 B_0 界、 x 傾斜界、 y 傾斜界、及び z 傾斜界を発生することが可能な、電流シャントが取り付けられた、単一の厚いループを太線として示す概略回路図である。

【図 2】図 1 の単一の厚いループ内の円形構造のいずれか 1 つに関連付けられ得る実際の電流を示す概略回路図である。

【図 3】図 1 によって表される概略回路図実施形態が MRI スキャナにおいて実際にどのように見え得るかを示す。

【図 4】共有電流構成を介して B_0 界及び他の磁界パターンをも同時に生成する図 1 の代替実施形態を提示する。

【図 5】共有電流構成を介して B_0 界及び他の磁界パターンをも同時に生成する図 1 の代替実施形態を提示する。

【図 6 A】 z 傾斜界を形成するために単一の薄いループが使用され、取り付けられた電流シャントにより、この単一の薄いループが x 傾斜界及び y 傾斜界をも確立することが可能になる、図 1 に類似する構造を示す。

【図 6 B】図 6 A の構造の音響振動がどのように低減され得るかを示す。

【図 6 C】図 6 A の構造の音響振動がどのように低減され得るかを示す。

40

50

【発明を実施するための形態】

【0016】

図1は、極めて高い電流 $I_{polarizing}$ を生成することが可能な单一の電圧源 V_{HIGH_I} から電力を受け取る、太い黒線によって表される、单一の厚い伝導ループ 100 を示す概略回路図である。電圧源 V_{HIGH_I} に取り付けられることが通常は予想されるであろう逆並列電流に加えて逆並列電流のいくつかのセグメント 110 が対合されるように、厚いループ 100 は曲げられている。そのような各セグメント対は、イメージングのために指定されたスキヤナのボリューム内でほぼ0に等しい合成磁界を有するものと理解され、それは、例えば、所与のセグメント対が、セグメントを互いに極めて近くに置くこと、一方のセグメントを他方のセグメント内にテレスコーピングすること、又は2つのセグメントを互いに交差結合することを通して達成され得る。絶縁及び/又はエアーギャップは、対の中のセグメントが、互いに直接的な物理的接触を生じること、又は互いに直接的に電気的に伝導することを防止する。4つの円形構造(部分ループ)を形成する、100の非対セグメントは、それらの円形構造が適切にサイズ決定され、配置されると、電流 $I_{polarizing}$ をもつ B_0 界を発生する。3つの電流シャント 20 が 100 の4つの円形構造の各々に接続される。各電流は電圧源 V から電力を受け取り、電流シャント 20 のアクティブ化により、100 によって発生された B_0 界に x 傾斜界、y 傾斜界、及び/又は z 傾斜界が加えられるように厚いループ 100 中で電流が再分配される。シャントは、それらが互いに視覚的に区別されるのを助けるために、本出願全体にわたって実線と破線の両方で描かれている。

10

20

30

40

50

【0017】

図2は、図1の厚いループ 100 内の円形構造のいずれかの1つに関連付けられ得る実際の電流を示す概略回路図である。図2に示された軸に一致して、円形構造は、x-y 平面に対して平行であり、z 軸を中心とするものであると理解される。シャント A 40 は y 軸上のポイント 42 から y 軸上のポイント 44 に電流を伝え、シャント B 60 は x 軸上のポイント 62 から x 軸上のポイント 64 に電流を伝え、シャント C 80 は、図2中の垂直セグメント対の一方のセグメント 110 からのポイント 82 から、垂直セグメント対の他方のセグメント 110 上のポイント 84 に電流を伝える。当業者は、電圧源によって発生された電流 、 、 及び が、スキヤナのイメージングボリューム内の x 傾斜界、y 傾斜界、及び/又は z 傾斜界にそれぞれ寄与し得ることを認識するであろう。当業者はさらに、図2に示された電流 、 、 及び のために必要とされるシャント電圧の大きさについて容易に解くために、キルヒホッフの接合法則及びループ法則が使用され得ることを諒解するであろう。これらの電圧は以下の通りである：

$$V_A = (2) R_A + 2 (I_{polarizing} + +) R_q$$

$$V_B = (2) R_B + 2 (I_{polarizing} + +) R_q$$

$$V_C = (- -) R_C + 4 (I_{polarizing} +) R_q,$$

ただし、 R_q は円形構造の各 1/4 の抵抗であり、 R_A はシャント A に関連する総抵抗であり、 R_B はシャント B に関連する総抵抗であり、 R_C はシャント C に関連する総抵抗である。

【0018】

図3は、図1の概略実施形態が MRI スキヤナにおいて実際に物理的にどのように見えるかを示す。図3Aは、図3Bの予備図であり、削除されている図1の垂直セグメント対を示す。図1の垂直セグメント対は、 B_0 界を実際に発生する 100 の非対セグメントから対合されたセグメント 110 をよりはっきり視覚的に分離することによって本実施形態がより良く理解されるのを助けるが、それらは本実施形態の動作のために必要ではなく、実際は、それらの電流はエネルギーの浪費を表す可能性があり得る。図3Bは、各円形構造が図2の円形構造と同じ配向を有する、図1の概略回路図の実際の物理的顯示を示す。当業者は、構造のうちの最初の 2 つの円形構造及び最後の 2 つの円形構造にそれぞれ関連する対抗 電流が z 傾斜界の生成に一致し、一方、中間の 2 つのループの並列 電流及び中間の 2 つのループの並列 電流が x 傾斜界及び y 傾斜界のそれぞれの生成に一致する

ことを認識するであろう。

【0019】

図3Bに関するいくつかの実際的な注記がここで行われ得る。第1に、各シャントは、z軸に直角に進むとき、2つの分岐に分かれることがわかる。この分岐に関連する正確な構成は、スキャナによって発生されるx及びy傾斜磁界パターンを保存するように示され得る。当業者は、本開示に関連するシャントは、スキャナのイメージングボリューム内で所望される磁界パターンをひずませないように概して構築されていることを確認できるであろう。第2に、図3Bの厚いループは、その内の渦電流の形成を防止するスロットを含んでいなければならないことがある。これらのスロットは、ループから生じる磁界パターンの全体的な精度に影響を及ぼさないように設計されるべきである。第3に、この厚いループのインダクタンスを克服するためにシャント中に電流を駆動する電圧源が使用され得、このようにして、この厚いループによって確立される磁界が、典型的にはMRISキャニングのために必要とされるときのように迅速に（すなわち、約1/2ミリ秒中に）変更されることが可能になることがわかる。第4に、関連する電圧源V_{HIGH}は、この厚いループに関連する極めて高い電流及び極めて低い抵抗を特に取り扱うように構築される必要がある可能性があり得る。これは、例えば、並列に互いに配線された整流器コントローラユニットのスタックの使用によって、及び絶縁ゲートバイラトランジスタ（IGBT）、サイリスタ、又は他の半導体技術を採用することによって達成され得る。

10

【0020】

図3Cは、それにより図3Bの円形構造が図3Bの管状構造によって互いに接続される手段を示し、それは図1の水平セグメント対に集合的に対応する。明らかに、管状構造と図3Bの各円形構造との間には、これらの構造が構築される導体の厚みのみのために、図3Aによって示された垂直セグメント対が削除された場合でも、短い逆電流セグメント対が存在することになる。

20

【0021】

図3Dは、図1の水平セグメント対に対応する電流がスキャナのイメージングボリューム内で合計でほぼ0になることを保証するのを助けるためのテレスコーピングの使用を示す。当業者なら、最高度の電流消去を達成するための方法に気づいているはずであり、この電流消去の精度は、スキャナのイメージングボリューム内で許容される対応する磁界汚染の最大しきい値に関して指定され得る（例えば、選択肢の中でも、B₀界の大きさに関して、1パートパーミリオン、5ppm、10ppm、50ppm）。

30

【0022】

図4Aは、シャントが、同じ円形構造内のポイントとは対照的に異なる円形構造間のポイントを接続する、図1の実施形態の変形形態を示す。図4Bは、B₀界が、4つの円形構造とは対照的に6つの半円形構造及び1つの円形構造によって発生される、図1の実施形態の変形形態を示す。

【0023】

図5Aは、2つの別個のシャントが厚いループの同じポイントに接続され得ることを示す図1の実施形態の変形形態である。図5Bは、シャントが厚いループの3つ以上のポイントに接続され得ることを示す変形形態である。図5Cは、厚いループがB₀界及び傾斜界に加えてシミング界を生成することを特に可能にするものと当業者が認識するであろう変形形態である。図5Dは、2つのシャントがノードにおいて交差することができることを示し、図5Eは、2つのシャントが、円、ポリゴン、又はより複雑な構造を介して交差することができることをさらに示唆する。

40

【0024】

図5Fは、厚いループ又は極めて大きい電流を生成することが可能な電圧源のいずれかを実際に使用せずに、合計された電流構造を用いてB₀界及び他の磁界パターンを達成するための方法を示す図1の実施形態の変形形態である。特に、図1の厚いループは、わずか数十アンペア程度の電流を搬送する薄いループと交換される。さらに、図1の場合のように、硬い円形構造をそれぞれ形成するループの不対セグメントの代わりに、各不対セグ

50

メントは、何回も並列に巻かれ得る極めて長いフレキシブルなセグメントである。図 5 F の上部の 3 つの薄い円形構造は、1 つのそのような長いフレキシブルなセグメントの個々の巻線を表すと仮定される。巻かれた長いフレキシブルな各セグメントに関連するアンペア回数の総数は、図 5 F の不対セグメントが、図 1 に関連する B_0 界程度の B_0 界を発生するのに十分大きい。さらに、各巻線と、図 5 F の下部の近くの垂直セグメント対とに取り付けられたシャントは、 x 傾斜界、 y 傾斜界、及び / 又は z 傾斜界がその B_0 界と同時に発生されることを可能にする。

【 0 0 2 5 】

図 6 は、図 5 F のように、極めて大きい電流を搬送しない薄いループ 100' を使用する図 1 の変形形態である。ただし、図 6 の構造は、図 5 F の構造が含んでいるように長いフレキシブルなセグメント及び巻線を含んでおらず、したがって、図 6 の回路は、 B_0 界を発生するようにはまったく意図されていない。代わりに、図 6 は、図 1 の類似物を示すように意図されており、ここでは、主要な薄いループが非 B_0 電磁界パターンを確立し、その初期非 B_0 電磁界パターンに他の磁界パターンをアドオンするために、主要な薄いループ 100' に取り付けられたシャントが使用される。図 6 の特定の場合、主要な薄いループ 100' は z 傾斜界を発生し得、そのループに接続されたシャント 20 は、次いで、その z 傾斜界に x 傾斜界及び / 又は y 傾斜界を加えるはずである。

10

【 0 0 2 6 】

当業者によく知られているように、極めて強い磁界にさらされ、また時間とともに変化している電流を含んでいる構造は、概してローレンツ力から振動し、それにより、音響雑音を発生する。変化している電流をもつ厚いループ 100 のセグメントは、概して、厚いループは数千キログラム程度の重さがある可能性があることにより、厚いループの他のセグメントから発する界に関連するローレンツ力からの影響を受けないことが予想され得る。一方、 B_0 界発生構造の近くに置かれた薄いループ 100' は、明らかにローレンツ力の影響を受けやすいことがある。その問題を緩和するための 1 つの方法が図 6 B に示されている。薄いループ 100' と B_0 界を発生する構造の両方が円形断面を有し、 B_0 界を発生する構造 400 の一部において対称的に形成されている中空円形トンネル 402 中に、薄いループの一部が対称的に入れられている。同様に、図 6 C では、薄いループ 100' と B_0 界を発生する構造の両方がこの場合も円形断面を有するが、今度は、薄いループ 100' の一部において対称的に形成されている中空円形トンネル 502 中に、 B_0 界を発生する構造 500 の一部が対称的に入れられている。当業者なら、図 6 B 及び図 6 C に示された構成の対称性により、 B_0 界を発生する構造の内部に置かれるか又はその一部を包囲するようにされる薄いループ 100' の一部の音響振動は、 B_0 界を発生する構造に 100' のその一部が単に隣接するままにされた場合に 100' のその一部が受けるであろう振動に対して、低減される可能性があり得ることを理解するであろう。振動ののような低減は、同心にされた薄いループ 100' の一部と B_0 界を発生する構造の一部とが比較的大きい曲率半径を有する場合、より著しくなることが予想されるであろう。

20

【 0 0 2 7 】

当業者は、上記の図において提示されたもの以外に、本開示に関連する多くの他の変形形態があることを理解するであろう。いくつかの実施形態では、厚いループが分岐し再結合するようにされるか、あるいは複数の厚いループが一緒に配置され得るが、電流の全体的な構造は、図 1 の実施形態について説明されたものと依然として等価であり得る。厚いループは、いくつかの実施形態では、スキナに必要とされる B_0 界の一部のみを発生するが、場合によっては図 1 に示されているように現れ得る。各電流シャントは、いくつかの実施形態では、その電圧源に加えて厚いループ内の必要とされる電流の分配を達成するのを助けるために使用され得る何らかの可変抵抗を持ち得る。各電流シャントは、いくつかの実施形態では、厚いループの複数のポイントからの電流、厚いループの複数のポイントへの復帰電流、又は両方をピックアップし得る。上記で論じられたいかなる所与の電圧源も、いくつかの実施形態では、例えば厚いループスキナのループに電力供給するために使用される高電流電圧源の場合に当てはまる可能性があり得るように、直列及び / 又

30

40

50

は並列に接続された電圧源のグループと交換され得る。本開示は、明らかに、磁界パターンを発生するM R Iスキャナ以外のシステムにおいて使用され得る。核磁気共鳴スペクトロスコピー、電子常磁性共鳴スペクトロスコピー、及び電子常磁性共鳴イメージングは、本開示が適用され得る非M R I方法の3つの例である。

【産業上の利用可能性】

【0028】

今や本開示のシステム及び方法を開示したので、当業者は、以下の段落において説明される利点の一部又は全部が可能にされ得ることを理解するであろう。以下の段落では、図1に描かれた回路の物理的実施形態は「厚いループスキャナ」と呼ばれる。

【0029】

厚いループスキャナの第1の利点は、M R Iにおいて B_0 界磁界パターンの精度が特に重要であるとすれば、厚いループスキャナのループが、抵抗性M R Iスキャナにおける典型的な B_0 界発生構造の位置、直径、及び厚みに等しいか又はほぼ等しい位置、直径、及び厚みを有するように設計される可能性があり得るということからわかるであろう。これは、シャントの経路が、図3Bの場合のように厚いループによって囲まれたボリュームの外部にあるように設定されると仮定すると、広さの観点から、厚いループスキャナは、 B_0 界及び B_1 界発生構造のみを含んでいるM R Iスキャナと等価になることを意味する。無線周波数コイルセットのサイズは、厚いループスキャナ内で解放される空間により、通常よりも大きくされることが可能であり得る。大幅に増加した広さの感覚は、病気検査を一般集団にとってより快いものにする可能性があり得、肥満した個人のイメージング、閉所恐怖症をもつ個人のイメージング、獣医学イメージング、及び介入性又は外科的手技中のイメージングのための機会をも増加させるであろう。

10

20

30

40

50

【0030】

厚いループスキャナの第2の有利な特徴は、比較的低い予想製造コストである。 B_1 界発生構造以外のただ1つの有意な磁界発生構造がスキャナのために製造される必要があり得る。さらに、厚いループは、おそらく成形品からアセンブルされ、したがって、ワイヤを慎重に繰り返し巻くことから形成される構造と比較して、作成するのによりコスト効率的であり得る。成形構造はまた、巻かれた構造よりも輸送の機械的応力から生じる誤差を受けにくく、その理由で、例えば、発展途上国への寄付のために、多数の巻線をもつスキャナの場合に当てはまり得るよりも、厚いループスキャナを分解し、それを他の場所で再アセンブルすることがより経済的であり得る。電流シャントは、厚いループスキャナの厚いループとともに製造され、その厚いループに取り付けられなければならないことは、真実である；しかしながら、厚いループ自体のように、電流シャントは比較的単純な構造である。

【0031】

厚いループスキャナの第3の有利な特徴は、比較的静かな動作を提供するその能力である。標準のM R Iでは、様々な構造がしばしば、密嵌している同心シリンダーの形態で互いの内に配置される；しかしながら、上記で説明されたように、厚いループスキャナは、比較的大量の自由空間を有することが予想される。この増加した空間の一部は、電流シャントの周りの細長い真空チューブの配置に充てられ得、それにより、それらの電流の値が変化するときにシャントに作用するローレンツ力から生じる雑音伝送が著しく低減され得る。シャントが図3Bに示された配置を有することになった場合、シャントを囲むために使用される真空チューブは、単に、8つのまっすぐな真空チューブ、及び2つの円形真空リングから構成され得る。厚いループはおそらく1000kg程度の重さになり、したがって、その電流が変化したときに著しく振動する可能性が低くなり得るので、真空チューブは、厚いループ自体のどの部分の周りにも配置される必要はないであろう。

【0032】

今や B_0 界及び他の磁界パターンの同時確立のための開示されたシステム及び方法を読んで理解したので、当業者は、上記の開示によって可能にされている他の利点、変形形態、及び実施形態を認識するであろう。そのような利点、変形形態、及び実施形態は、添付

の特許請求の範囲及びそれらの法的均等物の範囲及び意味の一部であると見なされるべきである。

【0033】

上記では特定の実施形態について説明されたが、これらの実施形態は、特定の特徴に関して1つの実施形態しか説明されていない場合でも、本開示の範囲を限定するものではない。本開示において提供される特徴の例は、別段に記載されていない限り、限定的ではなく例示的であるように意図されている。上記の説明は、本開示の利益を有する当業者に明らかであるはずのそのような代替形態、変更形態、及び等価形態を包含するものである。

【0034】

本開示の範囲は、それが本明細書において対処された問題のいずれか又はすべてを緩和するか否かにかかわらず、(明示的にあるいは暗黙的に)本明細書で開示された任意の特徴又は特徴の組合せ、あるいはそれらの任意の一般化を含む。本開示の様々な利点について本明細書で説明されたが、特許請求の範囲によってカバーされる実施形態は、そのような利点の一部、全部を提供するか、又はそのような利点をまったく提供しないことがある。

10

【図1】

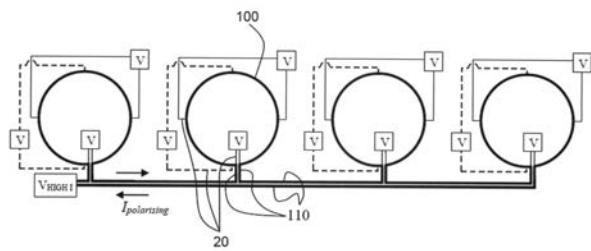


Fig. 1

【図2】

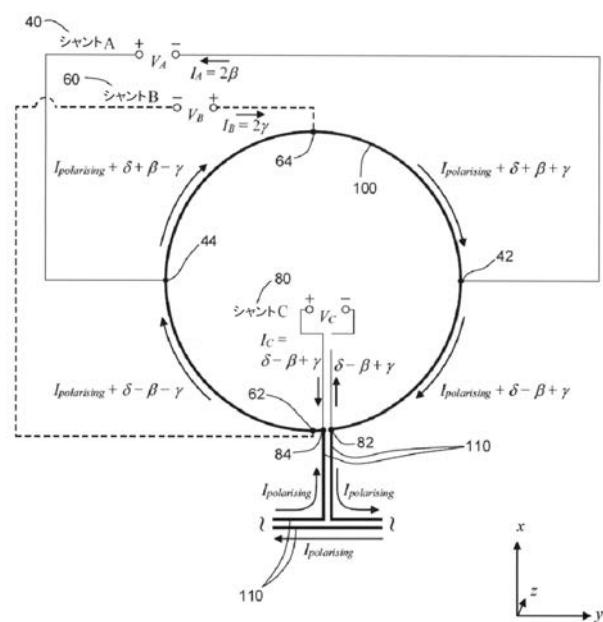
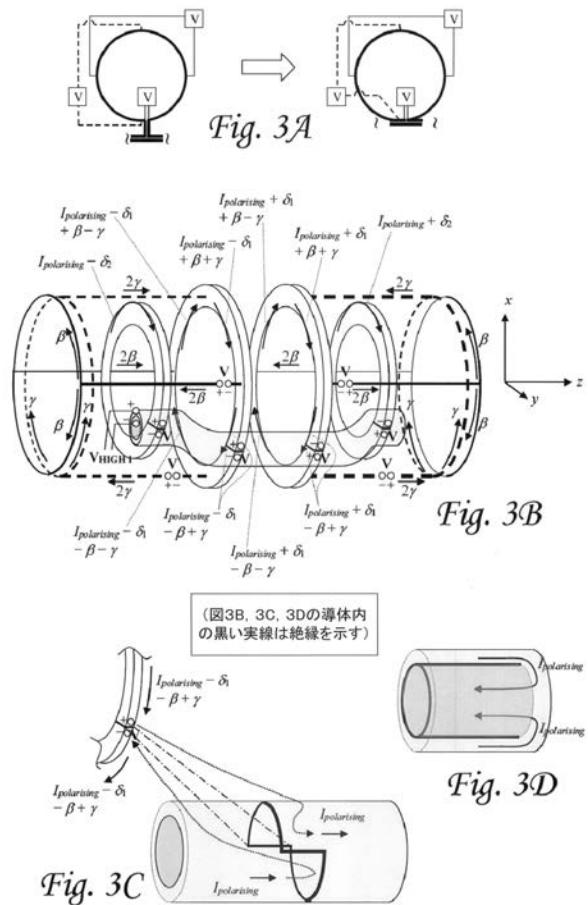
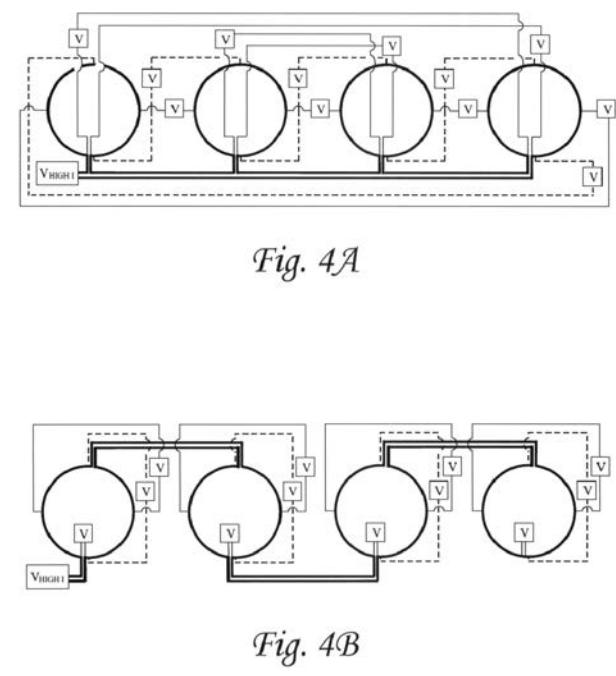


Fig. 2

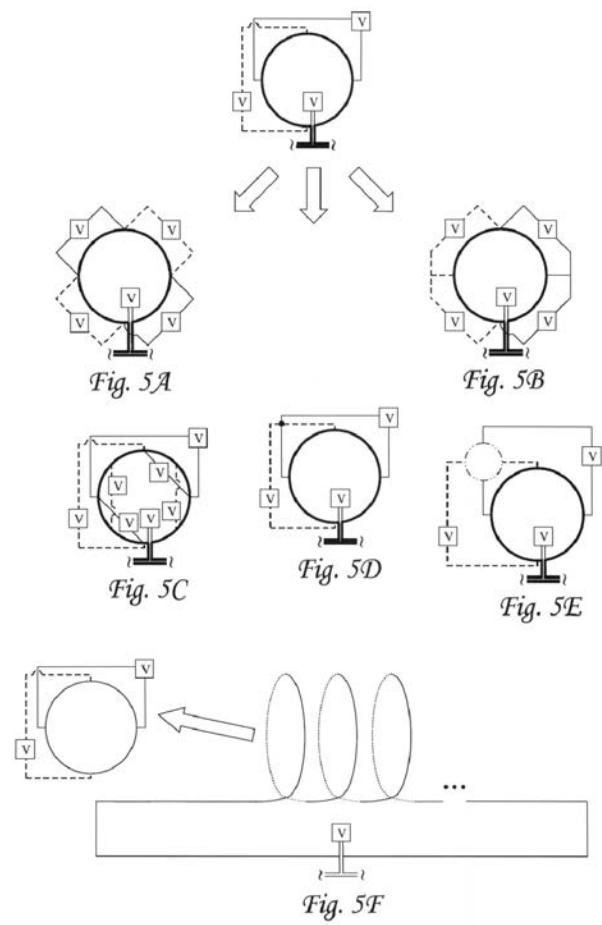
【図3】



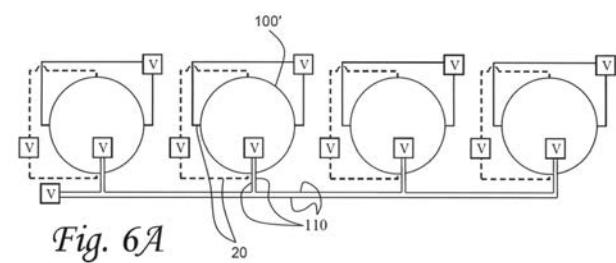
【図4】



【図5】



【図6A】



【図6B】

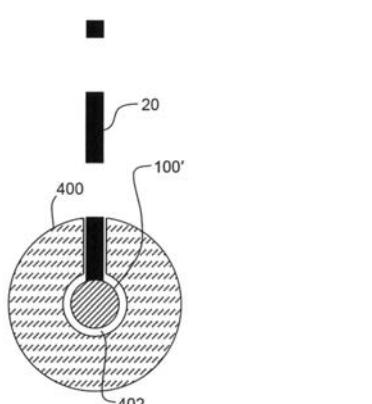


Fig. 6B

【図 6 C】

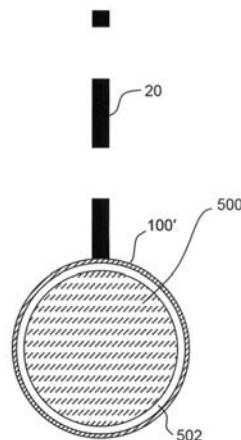


Fig. 6C

【手続補正書】

【提出日】平成30年6月29日(2018.6.29)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

イメージングボリューム内での、均一 B_0 界の一部又は全部の生成のための、ならびに必要とされる傾斜界及び / 又はシミング界の同時生成のためのデバイスであって、前記デバイスは：

厚い断面積をもつ伝導ループと；

極めて高い電流を発生することが可能な单一の電圧源、又は、極めて高い電流を発生することが可能な单一の実効電圧源と、

前記单一の実効電圧源が、直列に及び / 又は並列に接続された電圧源のグループからなることと、

極めて高い電流を発生することが可能な前記单一の電圧源又は单一の実効電圧源が、厚い断面積をもつ前記伝導ループと直列に接続されること；

厚い断面積をもつ前記伝導ループが、

1つ又は複数の消去セグメント対と、

2つ以上の寄与セグメントと

を含むように整形されることと、

各前記消去セグメント対の2つの消去セグメントが、

電流が逆平行であるように、互いに極めて近接して持てこられた厚い断面積をも

つ前記伝導ループのセグメントであり、

及び、

前記デバイスの前記イメージングボリューム内でほぼ0の磁界に寄与することと、各前記寄与セグメントが、

厚い断面積をもつ前記伝導ループの不対セグメントであることと、

前記寄与セグメントが、複数の不完全なループにグループ化されることと、

各個々の前記不完全なループが、

1つ又は複数の前記寄与セグメントからなり、

その円周に1つ又は複数の小さいギャップを有する完全なループと等価であり、及び、

共通の軸を中心とするものであることと、

前記不完全なループの全体が、

前記デバイスの前記イメージングボリューム内で前記均一B₀界の一部又は全部を集合的に形成するように整形されることと、

各前記消去セグメント対の前記2つの消去セグメントが、

少なくとも1つの寄与セグメントによって厚い断面積をもつ前記伝導ループの全長に沿って分離され、

厚い断面積をもつ前記伝導ループの前記全長のそれぞれの端部に両方とも配置されるのではないことと；

複数の電流シャントと、各前記電流シャントが、

1つ又は複数のシャント導体セグメントと、前記1つ又は複数のシャント導体セグメント内に挿入された少なくとも1つのシャント電圧源とを備えることと、

前記シャント導体セグメントが、厚い断面積をもつ前記伝導ループとは別個であることと、

前記少なくとも1つのシャント電圧源が、極めて高い電流を発生することが可能な前記単一の電圧源又は単一の実効電圧源とは別個であり物理的に分離していることと、

各前記電流シャントが、電流を、厚い断面積をもつ前記伝導ループの1つ又は複数のポイントから、厚い断面積をもつ前記伝導ループの1つ又は複数の他のポイントに短絡するように構成され、

各前記不完全なループについて、

前記不完全なループの前記円周における1つの前記小さいギャップの両側が、シャント伝導セグメントの終端に接続されることと、

前記不完全なループのうちの少なくとも2つの各不完全なループについて、

前記不完全なループの前記円周上の4つの位置が、シャント伝導セグメントの終端に接続されることと、前記4つの位置が、前記共通の軸によって定義される座標システム内で90°のアジマス分離を有することと、

前記不完全なループのうちの前記少なくとも2つのすべてについて、

前記4つの位置のそれぞれのアジマスが同一であることと；

を備え、それにより、前記デバイスは：

極めて高い電流を発生することが可能な前記単一の電圧源又は単一の実効電圧源からの前記電流を用いて、磁気共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための、あるいは電子常磁性共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための前記均一B₀界の一部又は全部を発生すること；

ならびに、

前記シャント電圧源を介して厚い断面積をもつ前記伝導ループ内で電流を再分配することを通して前記均一B₀界の一部又は全部と同時に前記必要とされる傾斜界及び/又はシミング界を確立すること

の両方が可能になる、デバイス。

【請求項2】

各前記不完全なループが、正確に1つの前記寄与セグメントからなる、請求項1に記載

のデバイス。

【請求項 3】

前記不完全なループのうち 1 つを除く全てが、1 つより多い前記寄与セグメントからなる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 4】

各個々の前記不完全なループのいずれかが、垂直な前記消去セグメント対又は前記消去セグメント対の垂直部分をその下に配置させる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 5】

前記共通の軸によって定義される前記座標システム内で 90° のアジマス分離を有する 4 つの位置が前記シャント伝導セグメントの終端に接続される、各前記不完全なループについて、

第 1 の電流シャントが、前記 4 つの位置のうちの第 1 の位置と第 2 の位置との間に結合され、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置とが、前記不完全なループ上で互いに直径の反対側にあり、

第 2 の電流シャントが、前記 4 つの位置のうちの第 3 の位置と第 4 の位置との間に結合され、前記第 3 の位置と前記第 4 の位置とが、前記不完全なループ上で互いに直径の反対側にあり、前記第 3 の位置と前記第 4 の位置とがその上にあるラインが、それにより、前記第 1 の位置と前記第 2 の位置とがその上にあるラインに対して 90° 回転される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 6】

前記第 1 の位置と前記第 2 の位置との中間の前記第 1 の電流シャントの一部分が、2 つの分岐に分けられ、

前記第 3 の位置と前記第 4 の位置との中間の前記第 2 の電流シャントの一部分も、2 つの分岐に分けられる、

請求項 5 に記載のデバイス。

【請求項 7】

前記不完全なループが、

円形に形成され、

及び、

前記共通の軸に垂直な面に位置する、

請求項 6 に記載のデバイス。

【請求項 8】

前記電流シャントの少なくとも 1 つが何らかの可変抵抗を持つ、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 9】

前記電流シャントが細長い真空チューブ内に置かれる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 10】

前記単一の実効電圧源が、並列に配線され絶縁ゲートバイポーラトランジスタを採用する複数の整流器コントローラユニットから形成された、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 11】

前記単一の実効電圧源が、並列に配線されサイリスタを採用する複数の整流器コントローラユニットから形成された、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 12】

任意の 2 つの隣接する寄与セグメントが、2 つあるいは 3 つの消去セグメント対に属する消去セグメントによって、厚い断面積をもつ前記伝導ループの前記全長に沿って分離される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 13】

任意の 2 つの隣接する寄与セグメントが、1 つの単一の消去セグメントによって、厚い断面積をもつ前記伝導ループの前記全長に沿って分離される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 1 4】

前記寄与セグメントの幾何学的中心が、すべて前記共通の軸上で整合される、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 1 5】

前記寄与セグメントの幾何学的中心が、すべて前記共通の軸上で整合されるものではない、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 1 6】

前記消去セグメント対の前記 2 つの消去セグメントの磁界消去が、前記消去セグメントの一方の、他方の消去セグメント内のテレスコーピングを伴う、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 1 7】

前記消去セグメント対の前記 2 つの消去セグメントの磁界消去が、前記 2 つの消去セグメントの交互絡合を伴う、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 1 8】

すべての前記消去セグメント対に関連する電流消去の度合いが、前記デバイスの前記イメージングボリューム内での磁界汚染の指定された最大しきい値を超えない磁界汚染のレベルに対応する、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 1 9】

磁界汚染の前記指定された最大しきい値が、前記 B_0 界の大きさに関して 1 パートパー ミリオンと 50 パートパー ミリオンとの間の値である、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 2 0】

厚い断面積をもつ前記伝導ループが、成形品からアセンブルされる、請求項 1 に記載のデバイス。

【請求項 2 1】

スキャナのイメージングボリューム内で、均一 B_0 界の一部又は全部を生成するための、ならびに必要とされる傾斜界及び / 又はシミング界を同時に生成するための方法であつて、前記方法は：

厚い断面積をもつ伝導ループと直列に、極めて高い電流を発生することが可能である単一の電圧源、あるいは直列に及び / 又は並列に接続された電圧源のグループを接続するステップと；

1 つ又は複数の消去セグメント対と、

2 つ以上の寄与セグメントと

を含むように厚い断面積をもつ前記伝導ループを整形するステップと、

各前記消去セグメント対の 2 つの消去セグメントが、

電流が逆平行であるように、互いにまだ極めて近接してはいなかつたが互いに極めて近接して持つてこられたか、又は効果的に互いに締め付けられた、厚い断面積をもつ前記伝導ループのセグメントであり、

及び、

前記スキャナの前記イメージングボリューム内でほぼ 0 の磁界に寄与することと、各前記寄与セグメントが、

厚い断面積をもつ前記伝導ループの不対セグメントであり、

及び、

前記寄与セグメントが前記スキャナの前記イメージングボリューム内で前記均一 B_0 界の一部又は全部を集合的に形成するように整形されることと；

ならびに、

厚い断面積をもつ前記伝導ループにシャント電圧源を取り付けるステップと、各前記シャント電圧源が、電流を、厚い断面積をもつ前記伝導ループの 1 つ又は複数のポイントから、厚い断面積をもつ前記伝導ループの 1 つ又は複数の他のポイントに短絡するように構成されることと；

を備え、それにより、前記方法は：

極めて高い電流を発生することが可能な前記单一の電圧源又は单一の実効電圧源からの前記電流を用いて、磁気共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための、あるいは電子常磁性共鳴イメージング又はスペクトロスコピーのための前記均一 B_0 界の一部又は全部を発生すること；

及び、

前記シャント電圧源を介して厚い断面積をもつ前記伝導ループ内で電流を再分配することを通して前記均一 B_0 界の一部又は全部と同時に前記必要とされる傾斜界及び／又はシミング界を確立すること

の両方が可能になる、方法。

【請求項 2 2】

厚い断面積をもつ前記伝導ループの 1 つ又は複数のポイントから、厚い断面積をもつ前記伝導ループの 1 つ又は複数の他のポイントへの電流の前記短絡が、可変抵抗を伴う、請求項 2 1 に記載の方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

関連出願の相互参照

本出願は、2013年2月14日に出願された、国際出願第 PCT/US2013/026006号に対応する日本出願であり、前記国際出願は、2011年8月10日に出願された特許文献 1 の利益を主張している、2012年8月10日に出願された特許文献 2 に関連する。

【0 0 0 2】

連邦出資の研究及び開発に関する声明

本開示は連邦支援の研究及び開発の主題でなかった。

【0 0 0 3】

本開示は、電流の印加を介した磁界パターンの確立に関し；より詳細には、本開示は、磁気共鳴イメージング (MRI) スキャナのコンテキストにおける、ならびに、対象からの情報の導出のために正確な磁界パターンの確立を同じく必要とする、核磁気共鳴スペクトロスコピー、電子常磁性共鳴イメージング、及び電子常磁性共鳴スペクトロスコピーなどの、他のシステムのコンテキストにおける磁界パターンの確立に関する。

【背景技術】

【0 0 0 4】

磁気共鳴イメージング (MRI) スキャナ及び他の同様のデバイスは、対象内に本質的に存在する磁気モーメントの配向を正確に操作するように磁界を確立するシステムである。この操作により、磁気モーメントがスキャナ内に電気信号を生成し、次にこれらの信号が使用されて、対象の内部組成の詳細な画像が構築される。

【0 0 0 5】

イメージング中に MRI スキャナ内で見られる磁界は、通常、スキャナによって発生された 2 つ以上の極めて異なる磁界パターンの合計である。これらのパターンは、それらのネット効果が、イメージングのために特に指定されたスキャナのボリューム内で特定の時点において所望される磁気モーメント配向を発生するように、慎重に設計され、タイミングをとられなければならない。MRI 画像取得にとって重要であると見なされる磁界パターンは、極めて強くて均一である B_0 界；無線周波数において変動する B_1 界；ならびに、各々の大きさが x 方向、 y 方向、及び z 方向においてそれほど線形的に変化する x 傾斜界、 y 傾斜界、及び z 傾斜界である。 B_0 界の均一性の改善のために、シミング磁界も

頻繁に使用される。

【0006】

上記の磁界パターンの各々は、通常、スキャナ内の別個の構造によって発生され、そのような各構造は、電流の構成であるか又は永久磁石の構成である。抵抗性MRIスキャナの場合、磁界パターンのすべてが非超伝導電気的構造によって発生される。

【0007】

MRIイメージングは、病気診断に対する大きい成功を伴って適用されている。しかしながら、癌検査を含む、病気検査へのMRIの拡張は、残念ながら比較的限定されている。検査のためのMRIの使用を著しく限定する2つの要因は、スキャナ構築に一般に関連する比較的高いコスト、及びMRIスキャナ内に見られる典型的に小さい患者空間に関連する不快感である。

【0008】

スキャナをより安価で広々としたものにし、したがって、特に病気検査のほうを指向したスキャナを開発するための1つの手法は、MRIにおいて使用される複数の磁界パターンを、それらのそれぞれの電流の合計を搬送する構成を用いて同時に生成することであろう。B₀界、傾斜界、及びシミング界のすべてのベクトルは主に単一の方向、慣例によればz方向に配向されることになるので、原理上はこれらの界の電流を合計することが考えられる。

【0009】

しかしながら、合計された電流構成とともに複数の傾斜界及び/又はシミング界を発生することに極めて成功しているように思われる方法は開発されたが、特にB₀界を傾斜界及び/又はシミング界と合成するための実際的な手段はまだ導入されていない。例えば、ゲーブハルトらの特許文献3の図14は、異なる磁界パターンを同時に確立することができ、ループの平面に直角に配向された規則正しく離間したラインセグメントによって接続される一連の並列同軸ループからなる電気的構成を示している。B₀界に必要な電流は、ループ巻線が使用されないときは数万アンペア程度であるので、仮定的B₀界に寄与するこの構造中の各ループは、極めて大きい電流を供給することが可能な電圧源を有しなければならないであろう。十分均一なB₀界のために最低4つのループを仮定すると、その構造がそれの他の磁界パターンの中でもB₀界を発生するためには、したがって、極めて大きい電流のための4つの電圧源が必要とされよう。

【0010】

ワトキンズらの特許文献4の図1は、個々のループが、独立した電圧源をもつ別個のループセグメント又はアークと交換された電気的構成を開示している。各セグメント化されたループにおける、及び全体としての構造における電流パターンは、異なるMRI磁界パターンに関連付けられた電流パターンの合計を表すことが明らかに可能である。ただし、ここでは、仮定的B₀界に寄与するために使用されるあらゆるセグメントが、数万アンペアを生成することが可能な電圧源を必要とするであろう。ここでも、B₀界のために最低4つのループのアセンブリを仮定し、さらに、ワトキンズらの構造の各セグメント化されたループが少なくとも4つのセグメントからなると仮定すると、この構造がそれの他の磁界パターンとともにB₀界を同時に発生した場合、極めて高い電流の16個の電源が必要とされよう。その極めて実際的でない要件以上に、B₀界に寄与する各セグメントに関連付けられた極めて高い復帰電流が、エネルギーの浪費につながり得、さらにスキャナのイメージングボリューム内の磁界を著しくひずませる可能性があり得る。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0011】

【特許文献1】米国仮特許出願第61/574,823号

【特許文献2】国際出願第PCT/US2012/050462号

【特許文献3】米国特許第6,492,817号

【特許文献4】米国特許第6,933,724号

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0012】**

極めて高い電流の複数の電圧源を必要とせずに又は上述の他の問題に対処する必要なしに、合計された電流構成を介して1つ又は複数の他の磁界パターンとともに B_0 界を確立することが可能な構造を提供することが、本開示の目的である。

【課題を解決するための手段】**【0013】**

この目的は、本開示に従って、厚い断面積をもつ伝導ループ、及び極めて高い電流を発生することが可能な単一の電圧源を伴う実施形態を通して達成される。ループの逆並列セグメントは互いに極めて近接して持ってこられ、これは、ループが1つ又は複数のロケーションにおいて効果的に「締め付けられ」、逆並列セグメントの各ペアがスキヤナのイメージングボリューム内でほぼ0の磁界に寄与することを意味する。このループにおける不対セグメントは、均一な B_0 界を集合的に形成するように整形される。電圧源は、次いで、この厚いループ内の電流の再分配が得られることにより、その B_0 界に加えて、必要とされる傾斜界及び/又はシミング界をそれが同時に確立するように、電流をこの厚いループの1つのポイントから別のループに短絡する。

【0014】

単一の厚いループを用いた B_0 界及び他の磁界パターンの同時確立のための開示されるシステム及び方法のさらにより良い理解が、以下の図面を参照することによって得られよう：

【図面の簡単な説明】**【0015】**

【図1】図1は、 B_0 界、x傾斜界、y傾斜界、及びz傾斜界を発生することが可能な、電流シャントが取り付けられた、単一の厚いループを太線として示す概略回路図である。

【図2】図2は、図1の単一の厚いループ内の円形構造のいずれか1つに関連付けられる実際の電流を示す概略回路図である。

【図3】図3は、図1によって表される概略回路図実施形態がMRIスキヤナにおいて実際にどのように見え得るかを示し、図3Aは、物理的な実施形態への変換に備えるために、図1の概略回路図になされた変更を示し、図3Bは、図1の実際の物理的実施形態がどのように現れるかを示し、図3Cは、図3Bの物理的実施形態の環状構造および管状構造がどのように互いに接続されているかを示し、図3Dは、図3Bの物理的実施形態の管状構造内での入れ子式の使用を図示する。

【図4】図4は、共有電流構成を介して B_0 界及び他の磁界パターンをも同時に生成する図1の代替実施形態を提示する。

【図5】図5もまた、共有電流構成を介して B_0 界及び他の磁界パターンをも同時に生成する図1の代替実施形態を提示する。

【図6A】図6Aは、z傾斜界を形成するために単一の薄いループが使用され得て、取り付けられた電流シャントにより、この単一の薄いループがx傾斜界及びy傾斜界をも確立することができる、図1に類似する構造を示す。

【図6B】図6Bは、図6Aの構造の音響振動がどのように低減され得るかを示す。

【図6C】図6Cもまた、図6Aの構造の音響振動がどのように低減され得るかを示す。

【発明を実施するための形態】**【0016】**

図1は、極めて高い電流 $I_{polarizing}$ を生成することが可能な単一の電圧源 V_{HIGH} から電力を受け取る、太い黒線によって表される、単一の厚い伝導ループ100を示す概略回路図である。電圧源 V_{HIGH} に取り付けられることが通常は予想されるであろう逆並列電流に加えて逆並列電流のいくつかのセグメント110が対合されるように、厚いループ100は曲げられている。そのような各セグメント対は、イメージングのために指定されたスキヤナのボリューム中でほぼ0に等しい合成磁界を有するも

のと理解され、それは、例えば、所与のセグメント対が、セグメントを互いに極めて近くに置くこと、一方のセグメントを他方のセグメント内にテレスコーピングすること、又は2つのセグメントを互いに交互絡合することを通して達成され得る。絶縁及び／又はエアーギャップは、対の中のセグメントが、互いに直接的な物理的接触を生じること、又は互いに直接的に電気的に伝導することを防止する。4つの円形構造（部分ループ）を形成する、100の非対セグメントは、それらの円形構造が適切にサイズ決定され、配置されると、電流 $I_{\text{polarizing}}$ をもつ B_0 界を発生する。3つの電流シャント 20 が 100 の4つの円形構造の各々に接続される。各電流シャント 20 は電圧源 V から電力を受け取り、電流シャント 20 のアクティブ化により、100 によって発生された B_0 界に x 傾斜界、y 傾斜界、及び／又は z 傾斜界が加えられるように厚いループ 100 中で電流が再分配される。シャントは、それらが互いに視覚的に区別されるのを助けるために、本出願全体にわたって実線と破線の両方で描かれている。

【0017】

図 2 は、図 1 の厚いループ 100 内の円形構造のいずれかの1つに関連付けられ得る実際の電流を示す概略回路図である。図 2 に示された軸に一致して、円形構造は、x - y 平面に対して平行であり、z 軸を中心とするものであると理解される。シャント A 40 は y 軸上のポイント 42 から y 軸上のポイント 44 に電流を伝え、シャント B 60 は x 軸上のポイント 62 から x 軸上のポイント 64 に電流を伝え、シャント C 80 は、図 2 中の垂直セグメント対の一方のセグメント 110 上のポイント 82 から、垂直セグメント対の他方のセグメント 110 上のポイント 84 に電流を伝える。当業者は、電圧源によって発生された電流 、 、及び が、スキャナのイメージングボリューム内の x 傾斜界、y 傾斜界、及び／又は z 傾斜界にそれぞれ寄与し得ることを認識するであろう。当業者はさらに、図 2 に示された電流 、 、及び のために必要とされるシャント電圧の大きさについて容易に解くために、キルヒホッフの接合法則及びループ法則が使用され得ることを諒解するであろう。これらの電圧は以下の通りである：

$$V_A = (2) R_A + 2 (I_{\text{polarizing}} + +) R_q$$

$$V_B = (2) R_B + 2 (-I_{\text{polarizing}} - +) R_q$$

$$V_C = (- +) R_C + 4 (I_{\text{polarizing}} +) R_q,$$

ただし、 R_q は円形構造の各 1/4 の抵抗であり、 R_A はシャント A に関連する総抵抗であり、 R_B はシャント B に関連する総抵抗であり、 R_C はシャント C に関連する総抵抗である。

【0018】

図 3 は、図 1 の概略実施形態が MRI スキャナにおいて実際に物理的にどのように見えるかを示す。図 3 A は、図 3 B の予備図であり、削除されている図 1 の垂直セグメント対を示す。図 1 の垂直セグメント対は、 B_0 界を実際に発生する 100 の非対セグメントから対合されたセグメント 110 をよりはっきり視覚的に分離することによって本実施形態がより良く理解されるのを助けるが、それらは本実施形態の動作のために必要ではなく、実際は、それらの電流はエネルギーの浪費を表す可能性があり得る。図 3 B は、各円形構造が図 2 の円形構造と同じ配向を有する、図 1 の概略回路図の実際の物理的顯示を示す。当業者は、構造のうちの最初の 2 つの円形構造及び最後の 2 つの円形構造にそれぞれ関連する対抗 電流が z 傾斜界の生成に一致し、一方、中間の 2 つの部分ループの並列 電流及び中間の 2 つの部分ループの並列 電流が x 傾斜界及び y 傾斜界のそれぞれの生成に一致することを認識するであろう。

【0019】

図 3 B に関するいくつかの実際的な注記がここで行われ得る。第 1 に、各シャントは、z 軸に直角に進むとき、2つの分岐に分かれることがわかる。この分岐に関連する正確な構成は、スキャナによって発生される x 及び y 傾斜磁界パターンを保存するように示され得る。当業者は、本開示に関連するシャントは、スキャナのイメージングボリューム内で所望される磁界パターンをひずませないように概して構築されていることを確認できるであろう。第 2 に、図 3 B の厚いループは、その内の渦電流の形成を防止するスロットを含

んでいなければならないことがある。これらのスロットは、ループから生じる磁界パターンの全体的な精度に影響を及ぼさないように設計されるべきである。第3に、この厚いループのインダクタンスを克服するためにシャント中に電流を駆動する電圧源が使用され得、このようにして、この厚いループによって確立される磁界が、典型的にはM R Iスキャニングのために必要とされるときのように迅速に（すなわち、約1/2ミリ秒中に）変更されることが可能になることがわかる。第4に、関連する電圧源V_{HIGH}は、この厚いループに関連する極めて高い電流及び極めて低い抵抗を特に取り扱うように構築される必要がある可能性があり得る。これは、例えば、並列に互いに配線された整流器コントローラユニットのスタックの使用によって、及び絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）、サイリスタ、又は他の半導体技術を採用することによって達成され得る。

【0020】

図3Cは、それにより図3Bの円形構造が図3Bの管状構造によって互いに接続される手段を示し、それは図1の水平セグメント対に集合的に対応する。明らかに、管状構造と図3Bの各円形構造との間には、これらの構造が構築される導体の厚みのみのために、図3Aによって示された垂直セグメント対が削除された場合でも、短い逆電流セグメント対が存在することになる。

【0021】

図3Dは、図1の水平セグメント対に対応する電流がスキャナのイメージングボリューム内で合計でほぼ0になることを保証するのを助けるためのテレスコーピングの使用を示す。当業者なら、最高度の電流消去を達成するための方法に気づいているはずであり、この電流消去の精度は、スキャナのイメージングボリューム内で許容される対応する磁界汚染の最大しきい値に関して指定され得る（例えば、選択肢の中でも、B₀界の大きさに関して、1パートパーミリオン、5 ppm、10 ppm、又は50 ppm）。

【0022】

図4Aは、シャントが、同じ円形構造内のポイントとは対照的に異なる円形構造間のポイントを接続する、図1の実施形態の変形形態を示す。図4Bは、B₀界が、4つの円形構造とは対照的に6つの半円形構造及び1つの円形構造によって発生される、図1の実施形態の変形形態を示す。

【0023】

図5Aは、2つの別個のシャントが厚いループの同じポイントに接続され得ることを示す図1の実施形態の変形形態である。図5Bは、シャントが厚いループの3つ以上のポイントに接続され得ることを示す変形形態である。図5Cは、厚いループがB₀界及び傾斜界に加えてシミング界を生成することを特に可能にするものと当業者が認識するであろう変形形態である。図5Dは、2つのシャントがノードにおいて交差することができるることを示し、図5Eは、2つのシャントが、円、ポリゴン、又はより複雑な構造を介して交差することができることをさらに示唆する。

【0024】

図5Fは、厚いループ又は極めて大きい電流を生成することが可能な電圧源のいずれかを実際に使用せずに、合計された電流構造を用いてB₀界及び他の磁界パターンを達成するための方法を示す図1の実施形態の変形形態である。特に、図1の厚いループは、わずか数十アンペア程度の電流を搬送する薄いループと交換される。さらに、図1の場合のように、硬い円形構造をそれぞれ形成するループの不対セグメントの代わりに、各不対セグメントは、何回も並列に巻かれ得る極めて長い、フレキシブルなセグメントである。図5Fの上部の3つの薄い円形構造は、1つのそのような長い、フレキシブルなセグメントの個々の巻線を表すと仮定される。巻かれた長い、フレキシブルな各セグメントに関連するアンペア回数の総数は、図5Fの不対セグメントが、図1に関連するB₀界程度のB₀界を発生するのに十分大きい。さらに、各巻線と、図5Fの下部の近くの垂直セグメント対とに取り付けられたシャントは、x傾斜界、y傾斜界、及び/又はz傾斜界がそのB₀界と同時に発生されることを可能にする。

【0025】

図 6 A は、図 5 F のように、極めて大きい電流を搬送しない薄いループ 100' を使用する図 1 の変形形態である。ただし、図 6 A の構造は、図 5 F の構造が含んでいるように長い、フレキシブルなセグメント及び巻線を含んでおらず、したがって、図 6 A の回路は、B₀ 界を発生するようにはまったく意図されていない。代わりに、図 6 A は、図 1 の類似物を示すように意図されており、ここでは、主要な薄いループが非 B₀ 電磁界パターンを確立し、その初期非 B₀ 電磁界パターンに他の磁界パターンをアドオンするために、主要な薄いループ 100' に取り付けられたシャントが使用される。図 6 A の特定の場合、主要な薄いループ 100' は z 傾斜界を発生し得、そのループに接続されたシャント 20 は、次いで、その z 傾斜界に x 傾斜界及び / 又は y 傾斜界を加えるはずである。

【0026】

当業者によく知られているように、極めて強い磁界にさらされ、また時間とともに変化している電流を含んでいる構造は、概してローレンツ力から振動し、それにより、音響雑音を発生する。変化している電流をもつ厚いループ 100' のセグメントは、概して、厚いループは数千キログラム程度の重さがある可能性があることのみにより、厚いループの他のセグメントから発する界に関連するローレンツ力からの影響を受けないことが予想され得る。一方、B₀ 界発生構造の近くに置かれた薄いループ 100' は、明らかにローレンツ力の影響を受けやすいことがある。その問題を緩和するための 1 つの方法が図 6 B に示されている。薄いループ 100' と B₀ 界を発生する構造の両方が円形断面を有し、B₀ 界を発生する構造 400 の一部において対称的に形成されている中空円形トンネル 402 中に、薄いループの一部が対称的に入れられている。同様に、図 6 C では、薄いループ 100' と B₀ 界を発生する構造の両方がこの場合も円形断面を有するが、今度は、薄いループ 100' の一部において対称的に形成されている中空円形トンネル 502 中に、B₀ 界を発生する構造 500 の一部が対称的に入れられている。当業者なら、図 6 B 及び図 6 C に示された構成の対称性により、B₀ 界を発生する構造の内部に置かれるか又はその一部を包囲するようにされる薄いループ 100' の一部の音響振動は、B₀ 界を発生する構造に 100' のその一部が単に隣接するままにされた場合に 100' のその一部が受けるであろう振動に対して、低減される可能性があり得ることを理解するであろう。振動ののような低減は、同心にされた薄いループ 100' の一部と B₀ 界を発生する構造の一部とが比較的大きい曲率半径を有する場合、より著しくなることが予想されるであろう。

【0027】

当業者は、上記の図において提示されたもの以外に、本開示に関連する多くの他の変形形態があることを理解するであろう。いくつかの実施形態では、厚いループが分岐し再結合するようにされるか、あるいは複数の厚いループが一緒に配置され得るが、電流の全体的な構造は、図 1 の実施形態について説明されたものと依然として等価であり得る。厚いループは、いくつかの実施形態では、スキヤナに必要とされる B₀ 界の一部のみを発生するが、場合によっては図 1 に示されているように現れ得る。各電流シャントは、いくつかの実施形態では、その電圧源に加えて厚いループ内の必要とされる電流の分配を達成するのを助けるために使用され得る何らかの可変抵抗を持ち得る。各電流シャントは、いくつかの実施形態では、厚いループの複数のポイントからの電流、厚いループの複数のポイントへの復帰電流、又は両方をピックアップし得る。上記で論じられたいかなる所与の電圧源も、いくつかの実施形態では、例えば厚いループスキヤナのループに電力供給するために使用される高電流電圧源の場合に当たはまる可能性があり得るように、直列及び / 又は並列に接続された電圧源のグループと交換され得る。本開示は、明らかに、磁界パターンを発生する M R I スキヤナ以外のシステムにおいて使用され得る。核磁気共鳴スペクトロスコピー、電子常磁性共鳴スペクトロスコピー、及び電子常磁性共鳴イメージングは、本開示が適用され得る非 M R I 方法の 3 つの例である。

【産業上の利用可能性】

【0028】

今や本開示のシステム及び方法を開示したので、当業者は、以下の段落において説明される利点の一部又は全部が可能にされ得ることを理解するであろう。以下の段落では、図

1に描かれた回路の物理的実施形態は「厚いループスキャナ」と呼ばれる。

【0029】

厚いループスキャナの第1の利点は、MRIにおいて B_0 界磁界パターンの精度が特に重要であるとすれば、厚いループスキャナの部分ループが、抵抗性MRIスキャナにおける典型的な B_0 界発生構造の位置、直径、及び厚みに等しいか又はほぼ等しい位置、直径、及び厚みを有するように設計される可能性があり得るということからわかるであろう。これは、シャントの経路が、図3Bの場合のように、厚いループによって囲まれたボリュームの外部にあるように設定されると仮定すると、広さの観点から、厚いループスキャナは、 B_0 界及び B_1 界発生構造のみを含んでいるMRIスキャナと等価になることを意味する。無線周波数コイルセットのサイズは、厚いループスキャナ内で解放される空間により、通常よりも大きくされることが可能であり得る。大幅に増加した広さの感覚は、病気検査を一般集団にとってより快いものにする可能性があり得、肥満した個人のイメージング、閉所恐怖症をもつ個人のイメージング、獣医学イメージング、及び介入性又は外科的手技中のイメージングのための機会をも増加させるであろう。

【0030】

厚いループスキャナの第2の有利な特徴は、比較的低い予想製造コストである。 B_1 界発生構造以外のただ1つの有意な磁界発生構造がスキャナのために製造される必要があり得る。さらに、厚いループは、おそらく成形品からアセンブルされ、したがって、ワイヤを慎重に繰り返し巻くことから形成される構造と比較して、作成するのによりコスト効率的であり得る。成形構造はまた、巻かれた構造よりも輸送の機械的応力から生じる誤差を受けにくく、その理由で、例えば、発展途上国への寄付のために、多数の巻線をもつスキャナの場合に当てはまり得るよりも、厚いループスキャナを分解し、それを他の場所で再アセンブルすることがより経済的であり得る。電流シャントは、厚いループスキャナの厚いループとともに製造され、その厚いループに取り付けられなければならないことは、真実である；しかしながら、厚いループ自体のように、電流シャントは比較的単純な構造である。

【0031】

厚いループスキャナの第3の有利な特徴は、比較的静かな動作を提供するその能力である。標準のMRIでは、様々な構造がしばしば、密嵌している同心シリンダーの形態で互いの内に配置される；しかしながら、上記で説明されたように、厚いループスキャナは、比較的大量の自由空間を有することが予想される。この増加した空間の一部は、電流シャントの周りの細長い真空チューブの配置に充てられ得、それにより、それらの電流の値が変化するときにシャントに作用するローレンツ力から生じる雑音伝送が著しく低減され得る。シャントが図3Bに示された配置を有することになった場合、シャントを囲むために使用される真空チューブは、単に、8つのまっすぐな真空チューブ、及び2つの円形真空リングから構成され得る。厚いループはおそらく1000kg程度の重さになり、したがって、その電流が変化したときに著しく振動する可能性が低くなり得るので、真空チューブは、厚いループ自体のどの部分の周りにも配置される必要はないであろう。

【0032】

今や B_0 界及び他の磁界パターンの同時確立のための開示されたシステム及び方法を読んで理解したので、当業者は、上記の開示によって可能にされている他の利点、変形形態、及び実施形態を認識するであろう。そのような利点、変形形態、及び実施形態は、添付の特許請求の範囲及びそれらの法的均等物の範囲及び意味の一部であると見なされるべきである。

【0033】

上記では特定の実施形態について説明されたが、これらの実施形態は、特定の特徴に関して1つの実施形態しか説明されていない場合でも、本開示の範囲を限定するものではない。本開示において提供される特徴の例は、別段に記載されていない限り、限定的ではなく例示的であるように意図されている。上記の説明は、本開示の利益を有する当業者に明らかであるはずのそのような代替形態、変形形態、及び等価形態を包含するものである。

【0034】

本開示の範囲は、それが本明細書において対処された問題のいずれか又はすべてを緩和するか否かにかかわらず、(明示的にあるいは暗黙的に)本明細書で開示された任意の特徴又は特徴の組合せ、あるいはそれらの任意の一般化を含む。本開示の様々な利点について本明細書で説明されたが、特許請求の範囲によってカバーされる実施形態は、そのような利点の一部、全部を提供するか、又はそのような利点をまったく提供しないことがある。

【手続補正3】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図1】

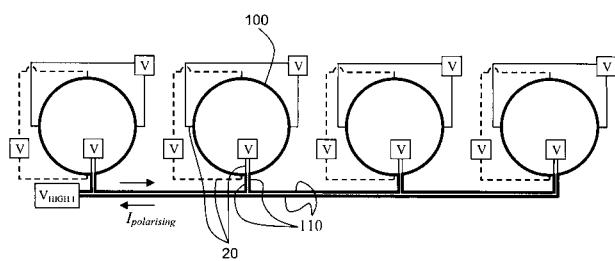


Fig. 1

【図2】

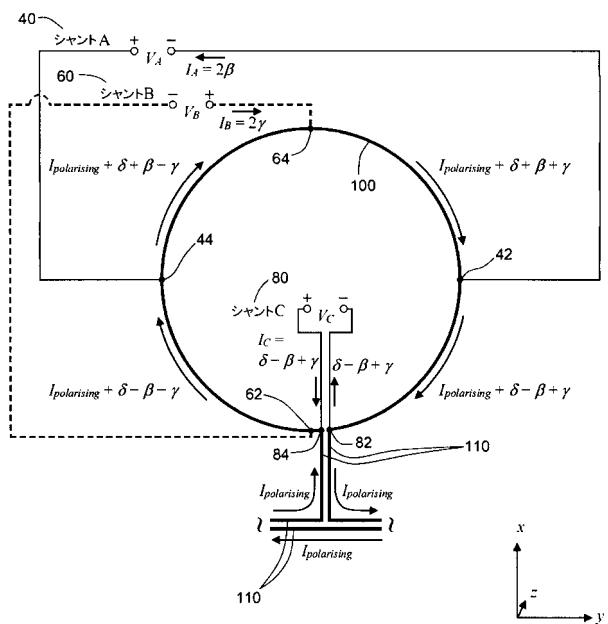
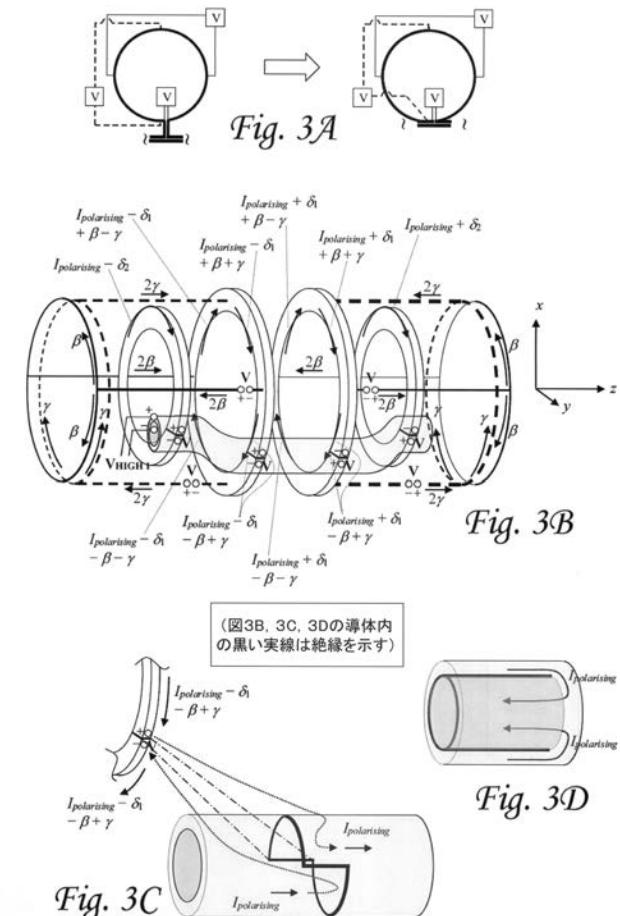
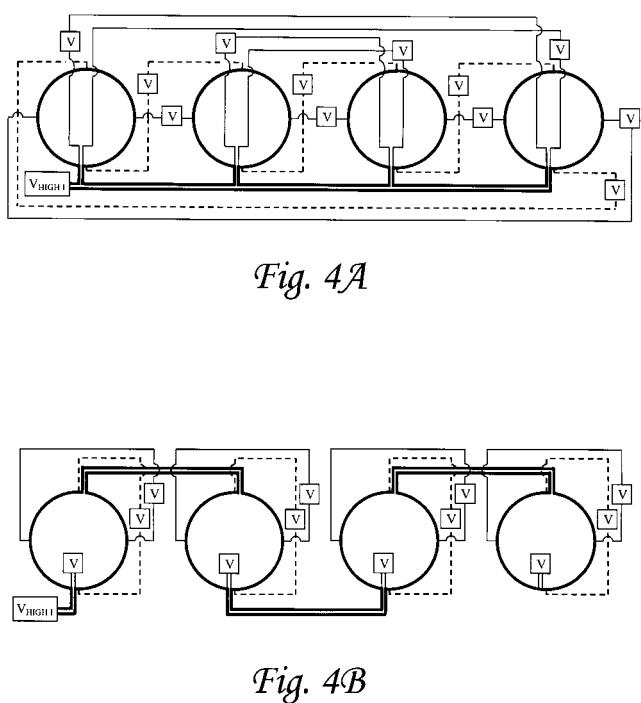


Fig. 2

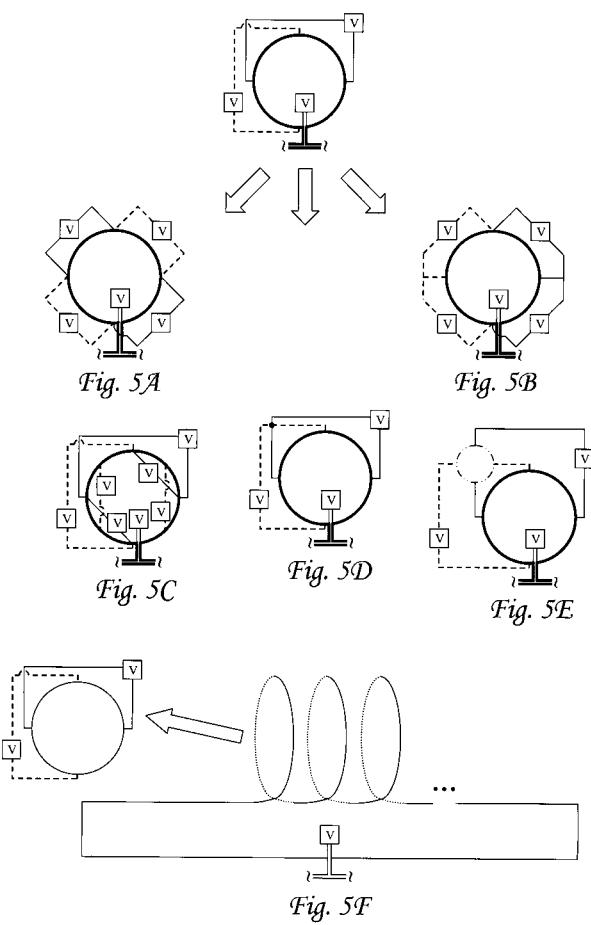
【図3】



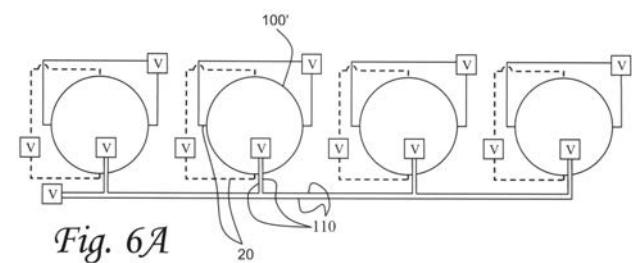
【図4】



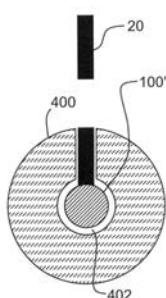
【図5】



【図6A】



【図6B】



【図 6 C】

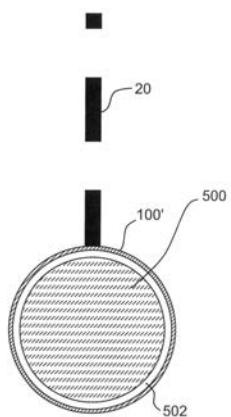


Fig. 6C