

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010 年 2 月 25 日(25.02.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/021222 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 5/055 (2006.01) G01R 33/34 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/063107
- (22) 国際出願日: 2009 年 7 月 22 日(22.07.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-209485 2008 年 8 月 18 日(18.08.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 日立メディコ (HITACHI MEDICAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1010021 東京都千代田区外神田四丁目 1 4 番 1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 五月女 悦久 (SOUTOME, Yoshihisa) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社 日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 羽原 秀太 (HABARA, Hideta) [JP/JP]; 〒1858601 東

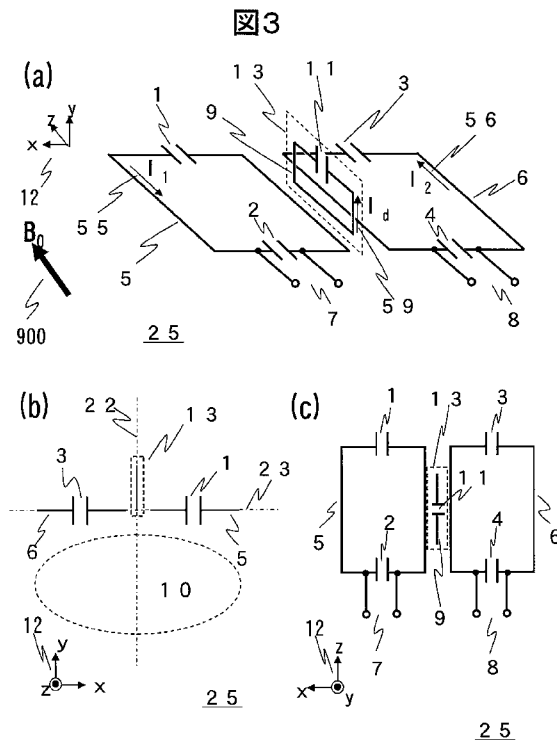
京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社 日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 尾藤 良孝 (BITO, Yoshitaka) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目 2 8 0 番地 株式会社 日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 特許業務法人 山王坂特許事務所 (Sannoza Patent Law Firm); 〒2210835 神奈川県横浜市神奈川区鶴屋町 2 丁目 2 6 番地 2 第 4 安田ビル 9 階 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: HIGH-FREQUENCY COIL AND MAGNETIC RESONANCE IMAGING DEVICE

(54) 発明の名称: 高周波コイル及び磁気共鳴撮像装置



(57) Abstract: Provided is a high-frequency coil for reception of an MRI device formed by a plurality of surface coils arranged at an interval. The high-frequency coil can reproducibly and easily reduce the electromagnetic coupling between the adjacent surface coils. Between two adjacent surface coils is arranged an electromagnetic coupling preventing coil which cancels a magnetic flux interlinking the other RF coil by a magnetic flux generated by one of the two adjacent surface coils. The electromagnetic coupling preventing coil includes a capacitor which adjusts the electromagnetic coupling to be minimum within a range having the resonance frequency lower than that of the surface coil.

(57) 要約: MRI 装置の受信用高周波コイルにおいて、間隔を空けて配置された複数の表面コイルの中で隣接する表面コイルの間の電磁氣的結合を、再現性が高くかつ容易に低減することが可能な高周波コイルを提供する。隣接する表面コイル間に、一方の表面コイルが発生する磁束で他方のRFコイルに鎖交する磁束を打ち消す磁束を発生可能な電磁氣的結合防止用コイルを配置する。電磁氣的結合防止用コイルは、キャパシタを備え、その共振周波数が表面コイルの共振周波数より低くなる範囲で、電磁氣的結合が最も低くなるよう、キャパシタにより調整する。



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ,

CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 高周波コイル及び磁気共鳴撮像装置

技術分野

[0001] 本発明は、磁気共鳴撮像（MRI：Magnetic Resonance Imaging）装置に関わり、特に、磁気共鳴信号の検出を行う高周波コイルに関する。

背景技術

[0002] MRI装置は、検査対象を横切る任意の断面内の原子核に磁気共鳴を起こさせ、発生する磁気共鳴信号からその断面内における断層像を得る医用画像診断装置である。静磁場中におかれた生体に対して傾斜磁場を印加しながら高周波コイル（RFコイル）により高周波磁場を照射すると、生体内の原子核、例えば、水素原子核が励起され、励起された水素原子核が平衡状態に戻るときに磁気共鳴信号として円偏波磁界が発生する。この信号をRFコイルで検出し、信号処理を施して生体内の水素原子核分布を画像化する。高精度かつ高解像度の画像を得るためには、磁気共鳴信号を検出するRFコイルに対して、受信感度やSN比の向上等が求められている。

[0003] 近年、感度分布の異なる複数のRFコイルを用いて、位相エンコードを間引いた撮像シーケンスを実行し、各RFコイルの感度分布を利用した演算によって画像の折り返しアーチファクトを除去するパラレルイメージングと呼ばれる手法が用いられている（例えば、非特許文献1参照）。パラレルイメージングによれば、位相エンコードを間引く分、撮像時間が短縮される。このパラレルイメージングにおいても、RFコイルは、受信感度やSN比の向上が求められている。

[0004] また、複数のRFコイルを用いて行う撮像として、検出範囲の拡大を目的とするものがある。例えば、複数の表面コイルを用いて被検体からの磁気共鳴信号を検出し、各表面コイルの出力信号を合成し、広範囲に高いSN比を有する画像を得る技術がある（例えば、特許文献1参照）。ここでは、被検

体の撮影対象領域の近くに複数の表面コイルを配置し、これら複数の表面コイルを用いて被検体からの磁気共鳴信号を検出する。それぞれの表面コイルで検出された磁気共鳴信号にそれぞれ信号処理を施し、表面コイルごとに画像データを生成する。そして、生成した画像内の、同じ位置に対応する画素データ同士を、それぞれの表面コイルの感度分布から得られた重み付け係数を乗じて加算する。

[0005] 複数の表面コイルを用いて撮影を行う場合、用いる複数の表面コイルの間に電磁氣的結合が生じると、一方の表面コイルに生じた高周波信号が、他方の表面コイル上に所定の割合で誘導される。誘導された高周波信号によりノイズが上昇し、出力信号のS/N比が低下する。このため、表面コイルの間の電磁氣的結合を防止する必要がある。

[0006] コイル間の電磁氣的結合を防止する手法には、隣接するコイルの一部を互いに重ね合わせ、重なり合ったループの面積を調整するもの（例えば、非特許文献2参照）、それぞれのコイルのループ導線に直列に挿入したインダクタを近づけて、電磁氣的結合をキャンセルする方法（例えば、特許文献2参照）、隣接するコイルのループ導線に挿入した一部のキャパシタをコイル間で共有し、キャパシタの値を調整することで、電磁氣的結合を防止する方法（例えば、非特許文献3参照）、隣接するコイルの一部をキャパシタで構成される中和回路で接続する方法（例えば、特許文献3参照）。隣接する2つのコイルに8の字形またはループ状コイルを重ねて配置する方法（例えば、特許文献4参照）。コイルが検出した磁気共鳴信号を増幅するプリアンプの入力インピーダンスを低くする方法（例えば、非特許文献2参照）、コイルとプリアンプとの間に、インピーダンス調整回路を接続する方法（例えば、非特許文献4参照）等がある。

[0007] ここで、検出に用いる複数のRFコイルのループの一部が互いに重なり合っている場合、重なり合う部分のRFコイルの感度分布は同様の傾向を示し、両者のRFコイルの感度分布の差が小さくなる。パラレルイメージングでは、感度分布の差が小さくなると、画像の折り返しアーチファクトを除去す

るための演算においてSN比が低下する。このため、パラレルイメージングでは、複数のRFコイルを間隔をあけて配置した方が、一部を重ねて配置する場合に比べて、取得画像のSN比が高くなることが知られている（例えば、非特許文献5参照）。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：米国特許第4825162号明細書

特許文献2：特許第3216938号公報

特許文献3：米国特許出願公開2002/0169374号明細書

特許文献4：特開2001-128956号公報

非特許文献

[0009] 非特許文献1：K. P. Pruessmann他著、「SENSE：高速MRIのための感度エンコーディング法（SENSE：Sensitivity Encoding for Fast MRI）」、マグネティック レゾナンス イン メディシン（Magnetic Resonance in Medicine）、Vol. 42、pp. 952-962（1999）

非特許文献2：P. B. Roemer他著、「核磁気共鳴用フェイズドアレイ（The NMR Phased Array）」、マグネティック レゾナンス イン メディシン（Magnetic Resonance in Medicine）、Vol. 16、pp. 192-225（1990）

非特許文献3：J. Wang 著、「MRI用表面コイルの信号結合を減らす新しい方法（A Novel Method to Reduce the Signal Coupling of Surface Coils for MRI）」、プロシーディングス オブ フォース アニュアル ミーティング オブ ジ インターナショナル ソサエティ オブ マグネティック レゾナンス イン メディシン（Proceedings of

the 4th International Society of Magnetic Resonance in Medicine)、Vol. 3、pp. 1434 (1996)

非特許文献4：R. F. Lee他著、「MRI用フェイズドアレイに向けたコイル間の結合および結合防止理論とその応用 (Coupling and Decoupling Theory and Its Application to the MRI Phased Array)」、マグネティック レゾナンス イン メディシン (Magnetic Resonance in Medicine)、Vol. 48、pp. 203-213 (2002)

非特許文献5：M. Weiger他著、「SENSE法用コイルの詳細設計：6エレメント心臓用アレイコイル (Specific Coil Design for SENSE: A Six-Element Cardiac Array)」、マグネティック レゾナンス イン メディシン (Magnetic Resonance in Medicine)、Vol. 45、pp. 495-504 (2001)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0010] パラレルイメージングでは、間隔をあけて配置される複数のRFコイル間の電磁氣的結合を防止する必要がある。従って、上述の、非特許文献2および非特許文献3に開示されている手法は用いることができない。また、特許文献2に開示の手法は、適用可能ではあるが、インダクタの位置と形状との微調整を手作業で行う必要があり、調整に手間がかかるとともに再現性が低い。また、特許文献3に開示の手法は、複数のキャパシタ値を変化させながらの調整が必要であり、調整の難易度が高い。同様に、特許文献4に開示の手法では、重なるRFコイルの形状と配置とにより電磁氣的結合の度合いが大きく変化するため、再現性が低く、調整の難易度も高い。さらに、非特許文献2に開示の手法は、電磁氣的結合を防止するのに十分な効果を発揮する

ためには、入力インピーダンスの値を $1\ \Omega$ 以下の小さな値にする必要があるが、入力インピーダンスを低下させることでプリアンプの増幅率の低下を招き、結果的に取得画像の S/N 比が低下する。非特許文献 4 に開示の手法は、インピーダンス調整回路が複数のインダクタとキャパシタとで構成されているため、複数のインダクタとキャパシタとの値を変化させながら調整する必要がある、調整の難易度が高い。さらに、RF コイルの数が増えるに従って、電磁氣的結合を防止するための調整箇所が増加するため、調整に手間と時間がかかり、結果的に RF コイルの作製コストを上昇させる。

[0011] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、間隔を空けて配置される複数の RF コイルを備える MRI 装置において、隣接する RF コイル間の電磁氣的結合を防止する技術であって、再現性が高く、かつ、調整が容易な技術を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明は、隣接する RF コイルの間に、一方の RF コイルから発生し他方の RF コイルに鎖交する磁束を打ち消す磁束が発生可能な手段を配置する。

[0013] 具体的には、複数の表面コイルを備え、共振周波数が所定の核の磁気共鳴信号の周波数である磁気共鳴撮像装置の高周波コイルであって、前記複数の表面コイルの中の隣接した表面コイル間の電磁氣的結合を防止する電磁氣的結合防止手段を備え、前記複数の表面コイルは、第一の方向に間隔を空けて配列され、前記電磁氣的結合防止手段は、キャパシタを備えるループ導体を備え、前記ループ導体は、隣接する 2 つの前記表面コイルと磁気結合を生じさせ、かつ、前記隣接する 2 つの表面コイルの一方の表面コイルから生じた磁束であって他方の表面コイルに鎖交する磁束を打ち消す方向の磁束が発生する位置に当該隣接する両表面コイルに接触しないよう配置され、前記ループ導体のインダクタンスと前記キャパシタの値とは、他方の前記表面コイルに鎖交する磁束の総和が最小となり、かつ、当該電磁氣的結合防止手段の共振周波数が当該高周波コイルの共振周波数より小さくなるよう調整されることを特徴とする高周波コイルを提供する。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、複数のRFコイルを備えるMRI装置において、間隔を空けて配置された隣接するRFコイル間の電磁氣的結合を、再現性が高く、かつ、調整が容易な手法で防止することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]第一の実施形態のMRI装置の外観図であり、(a)は、水平磁場方式のMRI装置であり、(b)は、垂直磁場方式のMRI装置である。

[図2]第一の実施形態のMRI装置の概略構成を示すブロック図である。

[図3]第一の実施形態のRFコイルユニットの構成図であり、(a)は、俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図、(c)は、y軸に対向する方向から見た図である。

[図4](a)、(b)、および(c)は、第一の実施形態のRFコイルユニットにおける高周波磁場がコイルに鎖交する状態を説明するための図である。

[図5](a)および(b)は、電磁氣的結合防止用コイルの等価回路示す図である。

[図6]電磁氣的結合防止コイルのインピーダンスの周波数特性を示す図である。

[図7]第一の実施形態のRFコイルユニットの等価回路示す図である。

[図8]第一の実施形態のRFコイルユニットの変形例の構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図、(c)は、y軸に対向する方向から見た図である。

[図9](a)、(b)、および(c)は、第一の実施形態の変形例のRFコイルユニットにおける高周波磁場がコイルに鎖交する状態を説明するための図である。

[図10]第二の実施形態のRFコイルユニットの構成図である。

[図11](a)、(b)、および(c)は、第二の実施形態のデカップリング回路の一例を示す図である。

[図12](a)、(b)、および(c)は、第二の実施形態のデカップリング

回路の他の例を示す図である。

[図13] 第三の実施形態のRFコイルユニットの構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図、(c)は、y軸に対向する方向から見た図である。

[図14] (a)、(b)、および(c)は、第三の実施形態のRFコイルユニットにおける高周波磁場がコイルに鎖交する状態を説明するための図である。

[図15] 第四の実施形態のRFコイルユニットの構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図である。

[図16] (a)、(b)、および(c)は、第四の実施形態のRFコイルユニットにおける高周波磁場がコイルに鎖交する状態を説明するための図である。

[図17] 第四の実施形態のRFコイルユニットの変形例の構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図である。

[図18] 第四の実施形態のRFコイルユニットの変形例の他の構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図である。

[図19] 第五の実施形態のRFコイルユニットの構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図であり、(c)は、本RFコイルユニットを2個用いる場合の例をz軸に対向する方向から見た図である。

[図20] (a)、(b)、および(c)は、第五の実施形態のRFコイルユニットにおける高周波磁場がコイルに鎖交する状態を説明するための図である。

[図21] 第五の実施形態のRFコイルユニットの変形例の構成図であり、(a)は俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図である。

[図22] 第一の実施形態のRFコイルユニットの他の構成図であり、(a)は、俯瞰図、(b)は、z軸に対向する方向から見た図、(c)は、y軸に対向する方向から見た図である。

[図23] 第一の実施形態のRFコイルユニットを送受信用コイルとして用いる場合のMRI装置の概略構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0016] <第一の実施形態>

以下、本発明を適用する第一の実施形態について説明する。以下、本発明の実施形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

[0017] まず、本実施形態のMRI装置の全体構成について説明する。図1は本実施形態のMRI装置の外観図であり、図中、座標系12のz軸の方向が静磁場方向である。図1(a)は水平磁場方式のマグネット101を備えたMRI装置100で、被検体10は、テーブル301に寝かせられた状態でマグネット101のボア内の撮像空間に挿入され、撮像される。図1(b)は、垂直磁場方式のマグネット201を備えたMRI装置200で、被検体10は、テーブル301に寝かせられた状態で上下一対のマグネット201の間の撮像空間に挿入され、撮像される。本実施形態では、水平磁場方式、垂直磁場方式のいずれであってもよい。以下、水平磁場方式である場合を例にあげて説明する。

[0018] 図2は、本実施形態のMRI装置100の概略構成を示すブロック図である。図1と同じ要素は同じ符号で示している。本実施形態のMRI装置100は、水平磁場方式のマグネット101、傾斜磁場コイル102、静磁場均一度を調整するためのシムコイル112、シーケンサ104、高周波磁場を発生する送信用RFコイル107、被検体10から発生した磁気共鳴信号を受信する受信用RFコイル114を備える。傾斜磁場コイル102及びシムコイル112とは、それぞれ傾斜磁場電源105、シム電源113に接続される。送信用RFコイル107は、高周波磁場発生器106に、受信用RFコイル114は、検波回路とA/D変換器で構成される受信器108に接続される。なお、受信用RFコイル114が複数ある場合は、各受信用RFコイル114に対して、それぞれ受信器108が接続される。

- [0019] シーケンサ 104 は、傾斜磁場電源 105、シム電源 113 及び高周波磁場発生器 106 に命令を送り、それぞれ傾斜磁場及び高周波磁場を発生させる。高周波磁場は、送信用 RF コイル 107 を通じて被検体 10 に印加される。高周波磁場を印加することにより被検体 10 から発生する磁気共鳴信号は受信用 RF コイル 114 によって検出される。
- [0020] 送信用 RF コイル 107 および受信用 RF コイル 114 は、それぞれ、デカップリング回路を備え、デカップリング回路駆動装置 115 に接続される。シーケンサ 104 は、デカップリング回路駆動装置 115 に命令を送り、送信用 RF コイル 107 および受信用 RF コイル 114 の動作、非動作を制御するデカップリング信号を送信させる。すなわち、高周波磁場が送信用 RF コイル 107 を介して被検体 10 に印加される時は、シーケンサ 104 から送られた命令によりデカップリング回路駆動装置 115 は、受信用 RF コイル 114 にデカップリング信号を送信する。これを受け、受信用 RF コイル 114 は、デカップリング回路により非動作状態となり、送信用 RF コイル 107 との電磁氣的結合が防止される。また、被検体 10 から発生した磁気共鳴信号を受信用 RF コイル 114 が受信する時は、シーケンサ 104 から送信された命令により、デカップリング回路駆動装置 115 は、送信用 RF コイル 107 にデカップリング信号を送信する。これを受け、送信用 RF コイル 107 は、デカップリング回路により非動作状態となり、受信用 RF コイル 114 との電磁氣的結合が防止される。
- [0021] 受信用 RF コイル 114 によって検出された磁気共鳴信号は、プリアンプにより増幅され、受信器 108 で検波される。受信器 108 での検波の基準とする磁気共鳴信号の周波数（以後、磁気共鳴周波数と呼ぶ）は、シーケンサ 104 によりセットされる。検波された信号は A/D 変換器を通して計算機 109 に送られ、ここで画像再構成などの信号処理が行われる。その結果は、ディスプレイ 110 に表示される。検波された信号や測定条件は、必要に応じて、記憶媒体 111 に保存される。シーケンサ 104 は、予めプログラムされたタイミング、強度で各装置が動作するように制御を行う。

[0022] 本実施形態のMRI装置100は、受信用RFコイル114として、間隔を空けて配置された2つの表面コイルと2つの表面コイルの電磁氣的結合を防止する手段とにより構成されるRFコイルユニットを備える。以下、このRFコイルユニットの詳細を説明する。

[0023] 図3は、本実施形態のRFコイルユニット25の構成を説明するための図である。ここでは、水平磁場方式のマグネット101が発生する静磁場900の向きを座標系12のz軸方向とする。図3(a)は、RFコイルユニット25を、斜めから俯瞰した図であり、図3(b)は、RFコイルユニット25をz軸に対向する方向から見た図である。また、図3(c)は、RFコイルユニット25をy軸に対向する方向から見た図である。

[0024] 図3(a)に示すように、本実施形態のRFコイルユニット25は、方形のループ導体に第一キャパシタ1および第二キャパシタ2が挿入された第一の表面コイル5と、方形のループ導体に第三キャパシタ3および第四キャパシタ4が挿入された第二の表面コイル6と、方形のループ導体9にキャパシタ11が挿入された電磁氣的結合防止用コイル13と、第一の信号線7と、第二の信号線8と、を備える。なお、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6は、それぞれ、送信用RFコイル107との電磁氣的結合を防止するデカップリング回路を備える。ただし、図3では、図を見易くするため、このデカップリング回路の記載を省略する。また、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6の電磁氣的結合防止用コイル13自体が持つインダクタンスおよび抵抗の表記も省略する。

[0025] 第一の信号線7および第二の信号線8は、それぞれ、第二キャパシタ2および第四キャパシタ4の両端に接続される。なお、第一の信号線7および第二の信号線8は、それぞれコモンノイズを除去する balan（平衡－不平衡変換器：不図示）に接続され、balanはプリアンプ（前置増幅器：不図示）に接続される。さらに、プリアンプの出力は同軸ケーブルを介して受信器108に接続される。

[0026] 図3(b)、(c)に示すように、第一の表面コイル5および第二の表面

コイル6は、静磁場900の向きに直交する方向（ここでは、座標系12のx軸方向）に、被検体10の近傍に間隔を空けて配置される。電磁氣的結合防止用コイル13は、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との間に配置される。このとき、図3（b）に示すように、電磁氣的結合防止用コイル13が実質的に位置する第一面22と、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6とが実質的に位置する第二面23とのなす角度が90度程度になるように配置される。ここで、程度とは、コイルの製造誤差に起因する角度の誤差範囲のことである。また、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9の一部が、第二面23上に位置するように配置される。

[0027] 上記形態を有する本実施形態のRFコイルユニット25において、第一の表面コイル5におけるループ導体のインダクタンス L_1 、第一キャパシタ1の値 C_1 、および第二キャパシタ2の値 C_2 と、第二の表面コイル6におけるループ導体のインダクタンス L_2 、第三キャパシタ3の値 C_3 、および第四キャパシタ4の値 C_4 と、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9のインダクタンス L_d およびキャパシタ11の値 C_d とは、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との間の電磁氣的結合が防止され、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6とが所定の元素の磁気共鳴周波数で共振し、かつ、所定の元素の磁気共鳴周波数において、両表面コイルのインピーダンス値が同じ所定の値となるよう、それぞれ調整される。

[0028] まず、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6それぞれが単体で、検出対象の元素（例えば、プロトン）の磁気共鳴周波数（ f_H （MHz））で共振し、かつ、インピーダンスが所定の値（ K （ Ω ））となるよう、第一キャパシタ1、第二キャパシタ2、第三キャパシタ3および第四キャパシタ4それぞれの値 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 を調整する。次に、電磁氣的結合防止用コイル13の共振周波数（ f_d ）が、 f_H より小さくなり、かつ以下の式（1）を満たす条件の中で、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合が最小となるよう、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9のインダクタンス L_d およびキャパシタ11の値 C_d を決定する。

[数1]

$$\frac{\omega_H^2 L_d C_d}{Q_H (\omega_H^2 L_d C_d - 1)} < \frac{1}{20} \quad (1)$$

ここで、 Q_H は電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9を周波数 f_H で共振させた場合のQ値であり、 ω_H は f_H の角周波数（ $\omega_H = 2\pi f_H$ ）である。

[0029] なお、調整は、第一の表面コイル5、第二の表面コイル6および電磁氣的結合防止用コイル13を、実際の配置に近い状態に配置して行う。また、コイルの寸法および配置をモデル化し、電磁界シミュレータによる数値計算によってそれぞれの値を求めてもよい。調整の詳細については、後述する。

[0030] 次に、以上のように調整されたRFコイルユニット25が、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を防止し、受信用RFコイル114として動作することを説明する。

[0031] まず、図3に示すRFコイルユニット25において、第一の表面コイル5から発生する磁束が第二の表面コイル6に鎖交する様子を図4を用いて説明する。図4（a）に示すように、第一の表面コイル5に第一の高周波磁場17が生じると、第一の高周波磁場17は、第二の表面コイル6に鎖交するとともに、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9にも鎖交する。これにより、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9上に鎖交する磁束の時間変化を打ち消す誘導起電力が発生し、誘導電流16が誘起される。

[0032] 電磁氣的結合防止用コイル13は、図5（a）に示すように、ループ導体9のインダクタンス19（ L_d ）と、キャパシタ11（ C_d ）と、ループ導体9の抵抗および高周波損失からなる等価抵抗99（ R_d ）と、が互いに接続された等価回路14で表される。なお、カッコ内の、 L_d 、 C_d 、 R_d は、それぞれのインダクタンス、キャパシタの値、抵抗値である。以下、本明細書において同様である。第一の表面コイル5に第一の高周波磁場17が生じると、電磁氣的結合防止用コイル13ではループ導体9に沿って誘導起電力が発生する。従って、等価回路14は、図5（b）に示すように、ループ導体9に

生じる誘導起電力が交流電源 15 として挿入された回路で表される。このとき、交流電源 15 から見た等価回路 14 は、抵抗を有する直列共振回路となり、そのインピーダンス Z_d は、以下の式 (2) で表される。

[数2]

$$Z_d = R_d + \frac{1 - \omega^2 L_d C_d}{j\omega C_d} \quad (2)$$

ここで、 ω は角周波数 ($\omega = 2\pi f$) である。

[0033] 図 6 にインピーダンス Z_d の周波数特性を示す。本図に示すように、等価回路 14 のインピーダンス Z_d は、共振周波数 $f_d (= (L_d C_d)^{-1/2} / 2\pi)$ より高い周波数領域では、周波数とともに増加する傾向を示し、誘導性リアクタンス L' として動作する。一方、共振周波数 f_d より低い周波数領域では、インピーダンス Z_d は周波数に反比例して減少する傾向を示し、容量性リアクタンス C' として動作する。

[0034] 前述のように、キャパシタ 11 の値 C_d は、電磁氣的結合防止用コイル 13 の共振周波数 f_d が第一の表面コイル 5 の共振周波数 f_H より低くなるよう調整される。このため、周波数 f_H における電磁氣的結合防止用コイル 13 の等価回路 14 は、誘導性リアクタンスとして動作する。よって、図 4 (b) に示すように、電磁氣的結合防止用コイル 13 には、第一の高周波磁場 17 を打ち消すように第二の高周波磁場 18 が発生する。

[0035] その結果、図 4 (c) に示すように、第二の表面コイル 6 には、第一の高周波磁場 17 と、第二の高周波磁場 18 とが鎖交する。このとき、第一の高周波磁場 17 の向き 20 と第二の高周波磁場 18 の向き 21 とは、反対となる。従って、第一の高周波磁場 17 と第二の高周波磁場 18 との磁束の量が等しくなれば、第二の表面コイル 6 に鎖交する両者の磁束は互いにキャンセルされ、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合が防止される。

[0036] 次に、電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とを調整することにより、第一の表面コイル 5 と第

二の表面コイル6との電磁氣的結合が防止されることを以下に説明する。

- [0037] 図3に示すRFコイルユニット25の等価回路54を図7に示す。第一の表面コイル5は、第一の表面コイル5の等価インダクタンス L_1 と、第一キャパシタ1(C_1)と、コイル導体の抵抗成分と被検体10との損失からなる等価抵抗 R_1 と、が直列に接続された回路が第二キャパシタ2(C_2)に並列に接続され、第一の信号線7が第二キャパシタ2の両端に接続された回路として表される。
- [0038] 第二の表面コイル6は、第二の表面コイル6の等価インダクタンス L_2 と、第三キャパシタ3(C_3)と、コイル導体の抵抗成分と被検体10との損失からなる等価抵抗 R_2 と、が直列に接続された回路が第四キャパシタ4(C_4)に並列に接続され、第二の信号線8が第四キャパシタ4の両端に接続された回路として表される。
- [0039] 電磁氣的結合防止用コイル13は、図5(a)と同様にループ導体9のインダクタンス L_d と、キャパシタ11(C_d)と、ループ導体9の抵抗および高周波損失からなる等価抵抗 R_d と、が互いに接続された回路として表される。
- [0040] 第一の表面コイル5、第二の表面コイル6、および電磁氣的結合防止用コイル13は互いに電磁氣的に結合しているため、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との間に相互インダクタンス(M_{12})が、第一の表面コイル5と電磁氣的結合防止用コイル13との間に相互インダクタンス(M_{1d})が、第二の表面コイル6と電磁氣的結合防止用コイル13との間に相互インダクタンス(M_{2d})が、それぞれ生じる。各相互インダクタンスの値(M_{12} 、 M_{1d} 、 M_{2d})は、各コイルに流れる電流(I_1 、 I_2 、 I_d)の向きを図3(a)に示すようにとると、各コイルの位置関係から、 M_{2d} は正の値、 M_{12} 、 M_{1d} は負の値となる。
- [0041] このとき、第一の表面コイル5の第一の信号線7に発生する高周波電圧 V_1 は、以下の式(3)で表され、第二の表面コイル6の第二の信号線8に発生する高周波電圧 V_2 は、以下の式(4)で表される。

[数3]

$$V_1 = \left(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) I_1 + j\omega M_{12} I_2 + j\omega M_{1d} I_d \quad (3)$$

[数4]

$$V_2 = \left(R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_3} \right) I_2 + j\omega M_{12} I_1 + j\omega M_{2d} I_d \quad (4)$$

ここで、 ω は角周波数（ $\omega = 2\pi f$ ）である。また、電磁氣的結合防止用コイル13では、キルヒホッフの法則より以下の式（5）が成立する。

[数5]

$$\left(R_d + j\omega L_d + \frac{1}{j\omega C_d} \right) I_d + j\omega M_{1d} I_1 + j\omega M_{2d} I_2 = 0 \quad (5)$$

式（5）を式（3）、（4）にそれぞれ代入して I_d を消去すると、式（3）で表される高周波電圧 V_1 は、以下の式（6）で、式（4）で表される高周波電圧 V_2 は、以下の式（7）で表される。

[数6]

$$V_1 = \left(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{\omega^2 M_{1d}^2}{R_d + jX_d} \right) I_1 + j\omega \left(M_{12} - \frac{j\omega M_{1d} M_{2d}}{R_d + jX_d} \right) I_2 \quad (6)$$

[数7]

$$V_2 = \left(R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_3} + \frac{\omega^2 M_{2d}^2}{R_d + jX_d} \right) I_2 + j\omega \left(M_{12} - \frac{j\omega M_{1d} M_{2d}}{R_d + jX_d} \right) I_1 \quad (7)$$

式（6）の右辺第2項は第二の表面コイル6との電磁氣的結合により第一の表面コイル5に生じる高周波電圧を表し、式（7）の右辺第2項は第一の表面コイル5との電磁氣的結合により第二の表面コイル6に生じる高周波電圧を表す。なお、 X_d は、以下の式（8）で表される。

[数8]

$$X_d = \omega L_d - \frac{1}{\omega C_d} \quad (8)$$

ここで、等価抵抗 R_d と X_d の比 (R_d/X_d) は、以下の式 (9) で表される。

[数9]

$$\frac{R_d}{X_d} = \frac{R_d \cdot \omega C_d}{\omega^2 L_d C_d - 1} = \frac{R_d}{\omega L_d} \cdot \frac{\omega^2 L_d C_d}{\omega^2 L_d C_d - 1} \quad (9)$$

等価抵抗 R_d は、電磁氣的結合防止用コイル 13 を周波数 f_H で共振させたときの Q 値 (Q_H) を用いて、 $R_d = \omega_H L_d / Q_H$ で表される。これを式 (9) に代入すると、周波数 f_H における式 (9) は、式 (1) の左辺に一致する。よって、式 (1) から、 $R_d/X_d < 1/20$ となる。このとき、 $R_d + jX_d \doteq jX_d$ とみなすことができるため、式 (6) は式 (1) に、式 (7) は、式 (11) にそれぞれ変形できる。

[数10]

$$V_1 = \left(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{\omega^2 M_{1d}^2}{jX_d} \right) I_1 + j\omega \left(M_{12} - \frac{\omega M_{1d} M_{2d}}{X_d} \right) I_2 \quad (10)$$

[数11]

$$V_2 = \left(R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C_3} + \frac{\omega^2 M_{2d}^2}{jX_d} \right) I_2 + j\omega \left(M_{12} - \frac{\omega M_{1d} M_{2d}}{X_d} \right) I_1 \quad (11)$$

前述の通り、 M_{2d} は正の値、 M_{12} 、 M_{1d} は負の値である。また、 X_d は、電磁氣的結合防止用コイル 13 の共振周波数 (f_d) が f_H より小さい範囲において正の値となる。 X_d が正の値となる範囲で、以下の式 (12) を満たすように、ループ導体 9 のインダクタンスの値 L_d およびキャパシタ 11 の値 C_d を調整すると、式 (10)、(11) の右辺第 2 項はともに 0 となり、第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合により第一の表面コイル 5 に生じる高周波電圧、および、第一の表面コイル 5 との電磁氣的結合により第二の表面コイル 6 に生じる高周波電圧はそれぞれ 0 となる。よって、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合が互いに防止される。

[数12]

$$X_d = \frac{\omega_H M_{1d} M_{2d}}{M_{12}} \quad (12)$$

[0042] 以上、等価回路54で説明したように、本実施形態のRFコイルユニット25では、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9のインダクタンス L_d とキャパシタ11の値 C_d とを調整することにより、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を防止することができる。

[0043] また、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6は、それぞれ、周波数 f_H で共振するよう、第一キャパシタ1および第二キャパシタ2の値(C_1 、 C_2)と、第三キャパシタ3および第四キャパシタ4の値(C_3 、 C_4)と、が調整される。このため、第一表面コイル5および第二表面コイル6は、電磁氣的に結合することなく、同時に、被検体10から発生する磁気共鳴周波数 f_H を有する磁気共鳴信号を検出することができる。

[0044] 以上説明したように、本実施形態によれば、受信用RFコイル114として動作するRFコイルユニット25の第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9のインダクタンス L_d およびキャパシタ11の値 C_d を調整することにより防止することができる。特に、式(1)を満たす範囲でループ導体9のインダクタンスの値 L_d を予め固定しておく、と、キャパシタ11の値 C_d のみ式(12)を満たすように調整すればよい。このため、調整が、1のキャパシタの値を変化させるだけで済み、容易であるとともに、再現性も高い。従って、調整にかかる手間と時間とを低減することができ、RFコイルの作製コストを抑えることができる。

[0045] なお、本実施形態では、図3(b)に示すように、電磁氣的結合防止用コイル13は、そのループ導体9の一部が、第二面23上に位置するように配置される。しかし、電磁氣的結合防止用コイル13は、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との相互インダクタンス(M_{12})と、第一の表面コイル5と電磁氣的結合防止用コイル13との相互インダクタンス(M_{1d})と、

第二の表面コイル 6 と電磁氣的結合防止用コイル 13 との相互インダクタンス (M_{2d}) とが、以下の式 (13) を満たすよう配置されていればよい。

[数13]

$$\frac{M_{1d}M_{2d}}{M_{12}} > 0 \quad (13)$$

[0046] また、本実施形態では、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 にループコイルを用いる場合を例にあげて説明しているが、表面コイルの形状はこれに限られない。一定の方向に間隔を空けて配置可能な平面型のコイルであればよい。以下、変形例を示す。

[0047] 図 8 は、本実施形態の RF コイルユニット 25 の変形例である RF コイルユニット 25A を示す図である。図 8 (a) は、RF コイルユニット 25A を斜めから俯瞰した図であり、図 8 (b) は、RF コイルユニット 25A を z 軸に対向する方向から見た図であり、図 8 (c) は、RF コイルユニット 25A を y 軸に対向する方向から見た図である。本変形例では、第一の表面コイル 5A および第二の表面コイル 6A に、8 の字型コイルを用いる。

[0048] RF コイルユニット 25A において、第一の表面コイル 5A から発生する磁束が、第二の表面コイル 6A に鎖交する様子を図 9 を用いて説明する。図 9 (a) に示すように、第一の表面コイル 5A に生じる第一の高周波磁場 17 は、8 の字型コイルの交差点 24 より電磁氣的結合防止用コイル 13 に近い側のループと遠い側のループとで磁場の向きが逆転するよう分布する。これは、8 の字型コイルの形状に起因するものである。このとき、電磁氣的結合防止用コイル 13 および第二の表面コイル 6A には、第一の表面コイル 5A のうち 8 の字型コイルの交差点 24 より電磁氣的結合防止用コイル 13 に近い側のループから生じる第一の高周波磁場 17 が主に鎖交する。よって、図 9 (b) に示すように、電磁氣的結合防止用コイル 13 には、電磁氣的結合防止用コイル 13 に鎖交する第一の高周波磁場 17 を打ち消すように第二の高周波磁場 18 が発生する。その結果、図 9 (c) に示すように、第二の表面コイル 6A には、第一の高周波磁場 17 と、第一の高周波磁場 17 によ

って誘起された電磁氣的結合防止用コイル 13 が発する第二の高周波磁場 18 とが鎖交する。このとき、第一の高周波磁場の向き 20 と第二の高周波磁場の向き 21 とは、反対の方向となる。従って、8 の字型コイルの場合であっても、図 3 に示す RF コイルユニット 25 の場合と同様に、ループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d を調整することで、コイル間の電磁氣的結合を防止することができる。

[0049] よって、図 8 に示す RF コイルユニット 25 A では、第一の表面コイル 5 A と第二の表面コイル 6 A との電磁氣的結合が防止される。従って、第一の表面コイル 5 A および第二の表面コイル 6 A が、 f_H で共振するよう調整される場合、これらの表面コイルを備える RF コイルユニット 25 A は、電磁氣的に結合することなく、この周波数の核磁気共鳴信号を検出する受信用 RF コイル 114 として動作する。 f_H は、例えば、3 テスラにおける水素原子核の磁気共鳴周波数 ($= 128 \text{ MHz}$) などである。

[0050] また、本実施形態では、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 の一方がループ型コイルであり他方が 8 の字型コイルであってもよい。また、本実施形態では、電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 に 1 ターンのループコイルを用いているが、ループ導体 9 に複数のターンを持つループコイルを用いてもよい。

[0051] 以下、上記形態を有する本実施形態の RF コイルユニット 25 において、第一の表面コイル 5 のループ導体のインダクタンス (L_1)、第一キャパシタ 1 および第二キャパシタ 2 の値 (C_1 , C_2) と、第二の表面コイル 6 のループ導体のインダクタンス (L_2)、第三キャパシタ 3 および第四キャパシタ 4 の値 (C_3 , C_4) と、電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス (L_d) およびキャパシタ 11 の値 (C_d) との、具体的な調整法およびその値の実例を示す。ここでは、静磁場強度 3 テスラにおける水素原子核の磁気共鳴周波数 ($f_H = 128 \text{ MHz}$) において共振し、かつ、 f_H で第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 のインピーダンスが 50Ω となるようこれらの値を調整する場合を例にあげて説明する。

- [0052] まず、撮影条件に基づき、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6の寸法を決定し、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6がそれぞれ単体で128MHzで共振し、かつ、両コイルのインピーダンスがそれぞれ50Ωとなるように、第一キャパシタ1および第二キャパシタ2の値(C_1 , C_2)と、第三キャパシタ3および第四キャパシタ4の値(C_3 , C_4)とを調整する。
- [0053] 次に、キャパシタの値を調整後の第一の表面コイル5および第二の表面コイル6を、所定の間隔を空けて配置し、第一の信号線7および第二の信号線8をそれぞれ第一の表面コイル5および第二の表面コイル6に接続する。両コイルを配置する際は、位置の再現性を高めるため、両コイルをそれぞれ固定できるボビンの上に配置することが望ましい。
- [0054] 次に、電磁氣的結合防止用コイル13の共振周波数が128MHzとなるようにキャパシタ11の値(C_d)を調整後、電磁氣的結合防止用コイル13のQ値(Q_H)を測定する。Q値測定後、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との間に電磁氣的結合防止用コイル13を配置する。このとき、電磁氣的結合防止用コイル13のキャパシタ11の値(C_d)は、電磁氣的結合防止用コイル13の共振周波数が128MHzより低くなるように選ぶ。その後、第一の信号線7および第二の信号線8をネットワークアナライザの2つのポートにそれぞれ接続し、周波数128MHzにおける、第一の表面コイル5から第二の表面コイル6への信号の伝送特性(S_{12})を計測する。ここで、 S_{12} は、一方のポートから入射した信号がもう一方のポートから出力される割合であり、 S_{12} の値が小さいほど第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合が弱いことを示す。そこで、 S_{12} の値が小さくなるように、キャパシタ11の値(C_d)を変化させる。そして、 S_{12} の値を予め決められた値以下とする値、または、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を最小とする値を、キャパシタ11の値 C_d と決める。
- [0055] キャパシタ11の値 C_d を決めた後、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6の周波数128MHzにおけるインピーダンスをそれぞれ測定し、

第一キャパシタ 1 および第二キャパシタ 2 の値 (C_1 , C_2) と、第三キャパシタ 3 および第四キャパシタ 4 の値 (C_3 , C_4) とを再び調整する。ここでは、両コイルが 128 MHz で共振し、両コイルのインピーダンスがそれぞれ 50 Ω となるようこれらの値を調整する。調整後に再び S_{12} を計測し、電磁氣的結合が変化している場合にはキャパシタ 11 の値 C_d を再調整する。

[0056] キャパシタ 11 の値 C_d を決定した後、電磁氣的結合防止用コイル 13 の共振周波数 (f_d) を測定し、 f_d および Q_H の値によって、式 (1) の条件が満たされていることを確認する。式 (1) の条件が満たされない場合は、電磁氣的結合防止用コイル 13 の大きさや配置を変更して、式 (1) の条件を満たすように上記の調整を繰り返す。

[0057] なお、上述の各素子の値は、電磁界シミュレータによる数値計算により求めてもよい。例えば、図 3 に示す本実施形態の RF コイルユニット 25 において、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 を、それぞれ、一辺 100 mm の正方形のコイルとし、電磁氣的結合防止用コイル 13 を幅 (図 3 (a) に示す z 軸方向の長さ) 100 mm、高さ (図 3 (a) に示す y 軸方向の長さ) 25 mm の長方形のコイルとする。また、各コイルに用いる導体は直径 4 mm の銅線とし、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との間隔は 10 mm とする。ここで、間隔は、両コイルの銅線の中心からの距離である。また、第二面 23 上に位置する電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 の一部が、第一の表面コイル 5 の第二の表面コイル 6 に隣接している側から 5 mm の位置に配置されるものとする。また、RF コイルユニット 25 は、導電率 = 0.3 S/m、比誘電率 7.8 の直方体 (30 × 30 × 20 cm) の 30 × 30 cm の面上に設置されているものとする。以上の条件で、電磁界シミュレータによるシミュレーションで求めた第一キャパシタ 1 および第二キャパシタ 2 の値 (C_1 , C_2) と、第三キャパシタ 3 および第四キャパシタ 4 の値 (C_3 , C_4) と、電磁氣的結合防止用コイル 13 のキャパシタ 11 の値 (C_d) とは、それぞれ、 $C_1 = 6.5$ pF、 $C_2 = 64.0$ pF、 $C_3 = 6.5$ pF、 $C_4 = 64.0$ pF、 $C_d = 23.0$ pF となる。このとき

式（１）の左辺の値は、 0.0097 であり、式（１）の条件である $1/20$ 未満を満たしている。

[0058] <第二の実施形態>

次に、本発明の第二の実施形態について説明する。本実施形態のMRI装置は基本的に第一の実施形態と同様である。しかし、RFコイルユニットが備える電磁氣的結合防止用コイルの構成が異なる。図10は、本実施形態のRFコイルユニット26の構成を説明するための図である。本図に示すように、本実施形態のRFコイルユニット26の電磁氣的結合防止用コイル13Bは、送信用RFコイル107との磁気結合を防止するデカップリング回路48を、その導体ループ9に備える。他の構成は、第一の実施形態のRFコイルユニット25と基本的に同様である。なお、本実施形態においても、座標系12のz軸方向を水平磁場方式のマグネット101が発生する静磁場900の向きとする。また、図3では図示を省略した第一の表面コイル5および第二の表面コイル6にそれぞれ挿入されたデカップリング回路49およびデカップリング回路50を図10では図示する。以下、RFコイルユニット26は、周波数 f_H の磁気共鳴信号を検出するものとして説明する。また、第一の実施形態同様、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6のインピーダンス値は、それぞれ同じ所定の値Kとなるよう調整されているものとする。例えば、 f_H は、静磁場強度3テスラにおける水素原子核の磁気共鳴周波数128MHz、インピーダンス値Kは50Ωとすることができる。

[0059] デカップリング回路48は、図11（a）に示すように、インダクタ51とPINダイオード61とが直列接続される回路と、その回路に並列に接続されるキャパシタ47とを備える。PINダイオード61は、ダイオードの順方向に流れる直流電流の値が一定値以上で概ね導通状態となる特性を持ち、直流電流によりオン／オフが制御される。デカップリング回路49は、図11（b）に示すように、第一のキャパシタ1と、第一のキャパシタ1に並列に接続されるインダクタ52およびPINダイオード61が直列接続される回路とにより構成される。また、デカップリング回路50は、図11（c

）に示すように、第三のキャパシタ 3 と、第三のキャパシタ 3 に並列に接続されるインダクタ 5 3 および P I N ダイオード 6 1 が直列接続される回路とにより構成される。デカップリング回路 4 8、デカップリング回路 4 9 およびデカップリング回路 5 0 において、P I N ダイオード 6 1 の両端には、デカップリング回路駆動装置 1 1 5 の出力端子が接続される。

[0060] 第一の表面コイル 5 におけるループ導体のインダクタンス L_1 および第一キャパシタ 1 および第二キャパシタ 2 の値 (C_1 , C_2) と、第二の表面コイル 6 におけるループ導体のインダクタンス L_2 および第三キャパシタ 3 および第四キャパシタ 4 の値 (C_3 , C_4) とは、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 が、 f_H で共振し、その時の両表面コイルのインピーダンス値がそれぞれ $K\Omega$ となるよう調整される。調整の手法は、第一の実施形態と同様である。

[0061] また、キャパシタ 4 7 の値 C_{47} およびインダクタ 5 1 の値 L_{51} は、P I N ダイオード 6 1 がオンのときにデカップリング回路 4 8 が f_H MHz で共振するよう調整され、キャパシタ 1 1 の値 C_d は、P I N ダイオード 6 1 がオフのときに電磁氣的結合防止用コイル 1 3 B が第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との間の電磁氣的結合を防止するように調整される。キャパシタ 1 1 の値 C_d の調整方法も第一の実施形態と同様である。インダクタ 5 2、5 3 の値 L_{52} 、 L_{53} は、それぞれ、P I N ダイオード 6 1 がオンのときにデカップリング回路 4 9 とデカップリング回路 5 0 とが f_H MHz で共振するように調整される。

[0062] 次に、以上のように調整された R F コイルユニット 2 6 の動作を説明する。まず、高周波磁場が送信用 R F コイル 1 0 7 を通じて被検体 1 0 に印加される時には、デカップリング回路駆動装置 1 1 5 から R F コイルユニット 2 6 に磁気結合を防止するための制御電流 6 6 が流れる。制御電流 6 6 は、デカップリング回路 4 8、4 9、5 0 それぞれの P I N ダイオード 6 1 に流れ、P I N ダイオード 6 1 がオンとなる。このとき、デカップリング回路 4 8、4 9、5 0 は、それぞれ並列共振回路となり f_H MHz で共振するため、第

一の表面コイル 5、第二の表面コイル 6 および電磁氣的結合防止用コイル 13 B の導体ループは、概ね開放状態となる。その結果、第一の表面コイル 5、第二の表面コイル 6 および電磁氣的結合防止用コイル 13 B にはほとんど電流が流れず、磁界もほとんど発生しない。従って、送信用 RF コイル 107 と RF コイルユニット 26 との磁氣結合が無くなり、送信用 RF コイル 107 は、磁氣結合による共振周波数の移動やコイルの Q 値の低下無しに、 f_H MHz を主成分とする高周波磁場を被検体 10 に照射する。

[0063] 高周波磁場を照射した後、被検体 10 から発生した RF 信号を受信するときは、デカップリング回路駆動装置 115 から PIN ダイオード 61 に流れる制御電流 66 の値が 0 となる。このため、RF コイルユニット 26 における PIN ダイオード 61 はオフとなり、デカップリング回路 48、49、50 は、それぞれ、キャパシタ 47、第一のキャパシタ 1、第三のキャパシタ 3 として動作する。このとき、キャパシタ 11 とキャパシタ 47 とは、合成して一つのキャパシタとみなすことができるため、本実施形態の RF コイルユニット 26 の等価回路は、第一の実施形態の RF コイルユニット 25 の等価回路と同じとなる。よって、第一の実施形態の RF コイルユニット 25 と同様に、本実施形態の RF コイルユニット 26 は、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合を防止し、受信用 RF コイル 114 として動作する。

[0064] このとき、送信用 RF コイル 107 には、デカップリング回路駆動装置 115 からデカップリング信号が送られ、送信用 RF コイル 107 に挿入されたデカップリング回路が開放状態となって非動作状態となる。従って、被検体 10 から発せられる磁氣共鳴信号を受信する際、RF コイルユニット 26 と送信用 RF コイル 107 との磁氣結合が無くなり、RF コイルユニット 26 は、磁氣結合による共振周波数の移動やコイルの Q 値の低下無しに、 f_H MHz を主成分とする磁氣共鳴信号を受信する。

[0065] 以上説明したように、本実施形態によれば、受信用 RF コイル 114 として動作する RF コイルユニット 26 の第一の表面コイル 5 と第二の表面コイ

ル6との電磁氣的結合を、ループ導体9のインダクタンス L_d とキャパシタ11の値 C_d とを調整することにより防止することができる。特に、式(1)を満たす範囲でループ導体9のインダクタンスの値 L_d を予め固定しておく、と、キャパシタ11の値 C_d のみ式(12)を満たすように調整すればよく、1のキャパシタの値を変化させるだけの調整で済む。従って、本実施形態のRFコイルユニット26によれば、電磁氣的結合防止のための調整作業が容易となる。また、容易であるとともに再現性が高い。従って、調整にかかる手間と時間とを低減することができ、RFコイルの作製コストを抑えることができる。さらに、送信用RFコイル107が高周波磁場を照射するとき、デカップリング回路48が電磁氣的結合防止用コイル13Bを開放状態とする。このため、送信用RFコイル107と電磁氣的結合防止用コイル13Bとの磁氣結合による送信用RFコイル107の特性変化を抑え、高周波磁場によって電磁氣的結合防止用コイル13B上に誘起される不要な高周波磁場を十分に小さくすることができる。

[0066] なお、本実施形態では、デカップリング回路48、49、50として、図11に示す回路を用いる場合を例にあげて説明したが、デカップリング回路はこれに限られない。例えば、図11に示すデカップリング回路48、49、50の代わりに、図12(a)、(b)、(c)に示すデカップリング回路48'、49'、50'を用いてもよい。これは、図11に示すPINダイオード61の代わりにクロスダイオード62を用いたものである。クロスダイオード62は、印加される高周波磁場によってオンの状態となる。従って、送信用コイル107との磁氣結合を防止するための制御電流66が不要となり、より簡単にデカップリング回路を構成することができる。

[0067] <第三の実施形態>

次に、本発明の第三の実施形態について説明する。本実施形態のMRI装置は基本的に第一の実施形態と同様である。しかし、RFコイルユニットの構成が異なる。図13は、本実施形態のRFコイルユニット27の構成を説明するための図である。本図に示すように、本実施形態のRFコイルユニッ

ト 27 の電磁氣的結合防止用コイル 13 C は、ループ導体 9 の一部が板状導体 91 で構成される。この板状導体 91 の一方の面は、電磁氣的結合防止用コイル 13 C の中心を向いて配置される。他の構成は、第一の実施形態の RF コイルユニット 25 と基本的に同様である。

[0068] 図 13 (a) は、RF コイルユニット 27 を斜めから俯瞰した図であり、図 13 (b) は、RF コイルユニット 27 を z 軸に対向する方向から見た図である。また、図 13 (c) は、RF コイルユニット 27 を y 軸に対向する方向から見た図である。なお、本実施形態においても、座標系 12 の z 軸方向を水平磁場方式のマグネット 101 が発生する静磁場 900 の向きとする。以下、RF コイルユニット 27 は、周波数 f_H の磁気共鳴信号を検出するものとして説明する。また、第一の実施形態同様、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 のインピーダンス値は、それぞれ同じ所定の値 K となるよう調整されているものとする。すなわち、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 の共振周波数が f_H 、インピーダンス値が K となるよう各キャパシタの値 (C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4) およびインダクタンス (L_1 、 L_2) が調整されるものとする。例えば、 f_H は、静磁場強度 3 テスラにおける水素原子核の磁気共鳴周波数 128 MHz、インピーダンス値 K は 50 Ω とすることができる。また、本実施形態においても、電磁氣的結合防止用コイル 13 C のキャパシタ 11 の値 C_d は、電磁氣的結合防止用コイル 13 C の共振周波数 f_d が表面コイルの共振周波数 f_H より低くなるように調整されるものとする。

[0069] 第一の表面コイル 5 から発生する磁束が、第二の表面コイル 6 に鎖交する様子を図 14 を用いて説明する。まず、図 14 (a) に示すように、第一の表面コイル 5 に生じる第一の高周波磁場 17 は、第二の表面コイル 6 に鎖交するとともに電磁氣的結合防止用コイル 13 C に鎖交する。このとき、電磁誘導の法則に従い電磁氣的結合防止用コイル 13 C の板状導体 91 の上に、鎖交する磁束の時間変化を打ち消すように誘導起電力が発生し、板状導体 91 の面上に誘導電流 16 が誘起される。キャパシタ 11 の値 C_d は、電磁氣的

結合防止用コイル 13 C の共振周波数 f_d が表面コイルの共振周波数 f_H より低くなるように調整されるため、周波数 f_H における電磁氣的結合防止用コイル 13 C は、誘導性リアクタンスとして動作する。よって、図 14 (b) に示すように電磁氣的結合防止用コイル 13 C には、第一の高周波磁場 17 を打ち消すように第二の高周波磁場 18 が発生する。

[0070] その結果、図 14 (c) に示すように、第二の表面コイル 6 には、第一の高周波磁場 17 と、第一の高周波磁場 17 によって誘起された電磁氣的結合防止用コイル 13 C が発する第二の高周波磁場 18 とが鎖交する。ここで、第一の高周波磁場の向き 20 と第二の高周波磁場の向き 21 とは反対の方向となる。従って、本実施形態においても、第一の実施形態の RF コイルユニット 25 の場合と同様に、ループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とを調整することで、コイル間の電磁氣的結合が防止される。よって、図 13 に示す RF コイルユニット 27 は、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合が防止され、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 は、検出対象の元素の磁気共鳴周波数 f_H で共振し、受信用 RF コイル 114 として動作する。

[0071] 上述してきたように、本実施形態によれば、受信用 RF コイル 114 として動作する RF コイルユニット 27 の第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合を、電磁氣的結合防止用コイル 13 C のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とを調整することにより防止する。特に、式 (1) を満たす範囲でループ導体 9 のインダクタンスの値 L_d を予め固定しておく、と、キャパシタ 11 の値 C_d のみ式 (12) を満たすように調整すればよい。このため、調整が、1 のキャパシタの値を変化させるだけで済み、容易であるとともに、再現性も高い。従って、調整にかかる手間と時間とを低減することができ、RF コイルの作製コストを抑えることができる。さらに、本実施形態によれば、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との間隔を広げても、板状導体 91 の幅をそれに対応して広げることで、一方の表面コイルによって誘起された高周波磁場を効率よく他方の表面コ

イル6に伝えることができる。第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との間隔が広い場合にも電磁氣的結合を効果的に防止することができる。

[0072] <第四の実施形態>

次に、本発明の第四の実施形態について説明する。本実施形態のMRI装置は基本的に第一の実施形態と同様である。しかし、RFコイルユニットの構成が異なる。図15は、本実施形態のRFコイルユニット28を説明するための図である。本実施形態のRFコイルユニット28は、アレイコイルとして構成される。以下、アレイコイル28と呼ぶ。図15(a)は、アレイコイル28を斜めから俯瞰した図であり、図15(b)は、アレイコイル28をz軸に対向する方向から見た図である。

[0073] アレイコイル28は、図15(b)に示すように、第一の実施形態のRFコイルユニット25を4個備える。これらのRFコイルユニット25は、円筒形のボビン31の側面に沿って円周方向32に間隔を空けて並べられている。本実施形態では、RFコイルユニット25が備える第一の表面コイル5と第二の表面コイル6とを区別する必要がない場合、表面コイル33と総称する。また、アレイコイル28では、RFコイルユニット25間にも、それぞれ、第一の実施形態のRFコイルユニット25が備える電磁氣的結合防止用コイル13が配置される。RFコイルユニット25内の電磁氣的結合防止用コイル13およびRFコイルユニット25間に配置される電磁氣的結合防止用コイル13は、それらが実質的に位置する第一面22がボビン31の中心軸30を通るよう、ボビン31の側面上に配置される。

[0074] なお、図15では、図を見やすくするため、RFコイルユニット25の各表面コイル33に挿入されるデカップリング回路は省略する。また、表面コイル33及び電磁氣的結合防止用コイル13自体が持つインダクタンス及び抵抗の表記も省略する。なお、アレイコイル28を構成する各表面コイル33の出力は、それぞれコモンモードノイズを除去する balan（平衡－不平衡変換器：不図示）に接続され、balanはプリアンプ（前置増幅器：不図示）に接続される。さらに、プリアンプの出力は同軸ケーブルを介して複数の受信

器 108 に接続される。例えば、本実施形態では、表面コイル 33 を 8 つ備えるため、8 つの受信器 108 に接続される。

[0075] 上記の本実施形態のアレイコイル 28 の RF コイルユニット 25 を構成する導体ループのインダクタンスおよびキャパシタの値は、隣接する表面コイル 33 間の電磁氣的結合が防止され、各表面コイル 33 が所定の元素の磁気共鳴周波数 f_H で共振し、かつ、所定の元素の磁気共鳴周波数 f_H において各表面コイル 33 のインピーダンスが所定の値 ($K \Omega$) となるよう、それぞれ調整される。また、図 15 (a) に示す電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とは、電磁氣的結合防止用コイル 13 の共振周波数 f_d が表面コイル 33 の共振周波数 f_H より低くなるように調整されるとともに、電磁氣的結合防止用コイル 13 に隣接する 2 つの表面コイル 33 の間の電磁氣的結合が防止されるように調整される。キャパシタ 11 の値 C_d の調整方法は第一の実施形態と同様である。例えば、 f_H は、静磁場強度 3 テスラにおける水素原子核の磁気共鳴周波数 128 MHz、インピーダンスの値 K は、 50Ω とすることができる。

[0076] 図 15 に示すアレイコイル 28 の中で隣接して並んでいる 3 つの表面コイル 33 を取り上げ（第一の表面コイル 33 a、第二の表面コイル 33 b および第三の表面コイル 33 c）、磁束の鎖交状態を説明する。図 16 は、第一の表面コイル 33 a から生じる第一の高周波磁場が第二の表面コイル 33 b および第三の表面コイル 33 c に鎖交する状態を説明するための図である。ここでは、第一の表面コイル 33 a と第二の表面コイル 33 b との間に配置される電磁氣的結合防止用コイル 13 を 13 a、第一の表面コイル 33 a と第三の表面コイル 33 c との間に配置される電磁氣的結合防止用コイル 13 を 13 b とする。

[0077] まず、図 16 (a) に示すように、第一の表面コイル 33 a に生じる第一の高周波磁場 17 は、第二の表面コイル 33 b および第三の表面コイル 33 c に鎖交するとともに、第一の表面コイル 33 a の両側に配置された 2 つの電磁氣的結合防止用コイル 13 a、13 b に鎖交する。このとき、電磁誘導

の法則に従い電磁氣的結合防止用コイル 13 a、13 b に、鎖交する磁束の時間変化を打ち消すように誘導起電力が発生し、誘導電流 16 が誘起される。キャパシタ 11 の値 C_d は、各電磁氣的結合防止用コイル 13 の共振周波数 f_d が各表面コイル 33 の共振周波数 f_H より低くなるように調整されるため、周波数 f_H において電磁氣的結合防止用コイル 13 は、誘導性リアクタンスとして動作する。よって、図 16 (b) に示すように電磁氣的結合防止用コイル 13 a、13 b には、第一の高周波磁場 17 を打ち消すように第二の高周波磁場 18 a、18 b が発生する。その結果、図 16 (c) に示すように、第二の表面コイル 33 b には、第一の高周波磁場 17 と、第一の高周波磁場 17 によって誘起された電磁氣的結合防止用コイル 13 a が発する第二の高周波磁場 18 a とが鎖交する。また、第三の表面コイル 33 c には、第一の高周波磁場 17 と、第一の高周波磁場 17 によって誘起された電磁氣的結合防止用コイル 13 b が発する第二の高周波磁場 18 b とが鎖交する。このとき、両表面コイル 33 b、33 c に鎖交する第一の高周波磁場 17 の向き 20 と第二の高周波磁場 18 a、18 b の向き 21 とは、反対の方向となる。

[0078] 従って、電磁氣的結合防止用コイル 13 a のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d と、電磁氣的結合防止用コイル 13 b のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とをそれぞれ調整することで、第一の表面コイル 33 a と第二の表面コイル 33 b との間および第一の表面コイル 33 a と第三の表面コイル 33 c との間の電磁氣的結合を防止することができる。

[0079] なお、図 15 に示すアレイコイル 28 は、表面コイル 33 と電磁氣的結合防止用コイル 13 とが、円周方向 32 に交互に繰り返し配置されている。円周方向 32 に隣接する表面コイル 33 の間の電磁氣的結合は、電磁氣的結合防止用コイル 13 のキャパシタ 11 の値 C_d をそれぞれ調整することで防止することができる。また、それぞれの表面コイル 33 は、 f_H MHz で共振し、インピーダンスが $K\Omega$ となるように調整されているため、周波数 f_H である磁

気共鳴信号を検出できる。従って、図 15 に示すアレイコイル 28 は、隣接する表面コイル 33 間の電磁氣的結合が防止され、8 個の表面コイル 33 それぞれが、周波数が f_H である磁気共鳴信号を検出可能な受信用 RF コイル 114 として動作する。

[0080] 上述したように、本実施形態によれば、アレイコイル 28 の、隣接する表面コイル 33 間の電磁氣的結合は、その間に配置される電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とを調整することで防止することができる。特に、式 (1) を満たす範囲でループ導体 9 のインダクタンスの値 L_d を予め固定しておく、と、キャパシタ 11 の値 C_d のみ式 (12) を満たすように調整すればよい。このように、1 のキャパシタの値のみの調整で電磁氣的結合を防止できるため、作業が容易であるとともに、再現性も高い。さらに、本実施形態によれば、表面コイル 33 が円周状に配置されているため、ボビン 31 の内部に被検体を置くことで、8 つの表面コイル 33 を同時に用いた撮影が可能となる。すなわち、被検体全体に渡って SN 比が高い画像の撮影が可能であり、特に、頭部や膝部の撮影に有効である。また、本実施形態のアレイコイル 28 を用いてパラレルイメージングを行う場合、例えば、非特許文献 1 に示されている方法を用いて図 15 に示す座標系 12 の x 方向および y 方向に位相エンコードを間引くよう構成すると、隣接する表面コイル 33 の間に間隔が空けられているため、隣接する表面コイルの一部が重なり合っているコイルを用いる場合に比べ、取得した画像の SN 比が向上する。

[0081] なお、本実施形態では、表面コイル 33 にループコイルを用いているが、用いる表面コイルの形状はこれに限られない。一定の方向に間隔を空けて配置可能な平面型のコイルであればよい。例えば、図 8 に示す 8 の字型コイルでもよい。また、本実施形態では、8 個の表面コイル 33 を用いているが、表面コイル 33 の個数はこれに限られない。例えば、16 個や 24 個、32 個でもよい。

[0082] さらに、本実施形態では、表面コイル 33 をボビン 31 の円周方向 32-

方向に配置しているが、表面コイル 3 3 の配置は 1 つの方向に限られない。
各表面コイル 3 3 を、間隔を空けて配置できればよい。

[0083] 以下、アレイコイル 2 8 の変形例（アレイコイル 2 8 A）を図 1 7 に示す。
図 1 7（a）は、アレイコイル 2 8 A を斜めから俯瞰した図であり、図 1 7（b）は、アレイコイル 2 8 A を z 軸に対向する方向から見た図である。
図 1 7（a）に示すように、アレイコイル 2 8 A は、アレイコイル 2 8 を z 軸方向に間隔を空けて 2 列配置したものである。一例として、各列の表面コイル 3 3 の個数を 8 個とする。各列の表面コイル 3 3 は、隣接する表面コイルの間隔の位置が z 方向に揃うように配置される。また、 z 方向に隣接する表面コイル 3 3 間にも、電磁氣的結合防止用コイル 1 3' が配置される。各列の表面コイル 3 3 の個数に対応し、電磁氣的結合防止用コイル 1 3' の個数も 8 個である。

[0084] 本変形例では、円周方向 3 2 については、上記実施形態同様、隣接する表面コイル 3 3 間の電磁氣的結合は、表面コイル 3 3 の間に配置された電磁氣的結合防止用コイル 1 3 によって防止される。また、上述のように、本変形例では、各列の z 方向に隣接する表面コイル 3 3 の間には、電磁氣的結合防止用コイル 1 3' が配置されている。これらの位置関係は、図 3 に示す RF コイルユニット 2 5 と同じである。よって、 z 方向に隣接する 2 つの表面コイル 3 3 の間の電磁氣的結合についても、電磁氣的結合防止用コイル 1 3' により防止される。

[0085] 従って、図 1 7 に示すアレイコイル 2 8 A は、隣接する表面コイル 3 3 間の電磁氣的結合を防止する。また、全表面コイル 3 3 は、予め調整された所望の原子核の磁気共鳴信号（例えば、3 テスラにおける水素原子核の磁気共鳴信号）を同時に検出するため、アレイコイル 2 8 A は、受信用 RF コイル 1 1 4 として動作する。なお、本変形例では、表面コイル 3 3 が x 、 y 、 z 3 方向に間隔を空けて配置される。このため、非特許文献 1 に示されている方法でパラレルイメージングを行う場合、位相エンコードを間引く方向を x 、 y 、 z 方向のいずれに設定しても、隣接する表面コイルの一部が重なり合

っているコイルに比べて、取得した画像のSN比が向上する。

[0086] なお、本変形例では表面コイル33がボビン31の円周方向およびz方向に表面コイルの位置が揃うように配置されているが、図18に示すアレイコイル28Bのように、z方向における表面コイル33の位置が揃っていなくても良い。このとき、表面コイル33が間隔を空けて隣接する部分に電磁氣的結合防止用コイル13'が適宜配置される。この場合、円周方向32については、上記実施形態同様、隣接する表面コイル33間の電磁氣的結合は、表面コイル33の間に配置された電磁氣的結合防止用コイル13によって防止される。また、各列のz方向に隣接する表面コイル33間には、電磁氣的結合防止用コイル13'が配置されている。これらの位置関係は、表面コイル33の位置が若干異なるものの、図3に示すRFコイルユニット25と同じ等価回路で表される。従って、z方向に隣接する2つの表面コイル33の間の電磁氣的結合についても、電磁氣的結合防止用コイル13'により防止される。

[0087] <第五の実施形態>

次に、本発明の第五の実施形態について説明する。本実施形態のMRI装置は基本的に第一の実施形態と同様である。しかし、本実施形態では、受信用RFコイル114は、アレイコイルで構成される。図19は、本実施形態の受信用RFコイル114として用いられるアレイコイル29を説明するための図である。図19(a)は、アレイコイル29を斜めから俯瞰した図であり、図19(b)は、アレイコイル29をz軸に対向する方向から見た図であり、図19(c)は、アレイコイル29を2個用いる場合の例を、z軸に対向する方向から見た図である。

[0088] アレイコイル29は、図19(a)に示すように、第一の表面コイル33aと、第二の表面コイル33bと、第三の表面コイル33cと、2つの電磁氣的結合防止用コイル13a、13bとを備える。以下、各表面コイルを区別する必要がある場合は、表面コイル33と総称し、各電磁氣的結合防止用コイルを区別する必要がある場合は、電磁氣的結合防止用コイル13と総称

する。第一の表面コイル 3 3 a、第二の表面コイル 3 3 b および第三の表面コイル 3 3 c は、第一の実施形態の第一の表面コイル 5 と同様に、方形の導体ループに第一のキャパシタ 1 および第二キャパシタ 2 が挿入され、第二のキャパシタの両端に接続された信号線 7 を備える。

[0089] 第一の表面コイル 3 3 a と、第二の表面コイル 3 3 b と、第三の表面コイル 3 3 c とは、図 1 9 (b) に示すように、座標系 1 2 の x 方向に間隔を空けて、それぞれの表面コイル 3 3 の面が被検体 1 0 に対向するように配置される。図 1 9 においては、x 方向に配置された 3 つの表面コイル 3 3 のうち、中央のコイルを第一の表面コイル 3 3 a とし、第一の表面コイル 3 3 a の両側の表面コイル 3 3 をそれぞれ第二の表面コイル 3 3 b、第三の表面コイル 3 3 c とする。また、2 つの電磁氣的結合防止用コイル 1 3 a、1 3 b は、それぞれ、第一の表面コイル 3 3 a と第二の表面コイル 3 3 b との間、および、第一の表面コイル 3 3 a と第三の表面コイル 3 3 c との間に配置される。

[0090] このとき、図 1 9 (b) に示すように、電磁氣的結合防止用コイル 1 3 a を構成するループ導体 9 a は、第一の表面コイル 3 3 a が実質的に位置する第一面 4 1 と第二の表面コイル 3 3 b が実質的に位置する第二面 4 2 との交線を含む面 4 4 上に配置される。一方、電磁氣的結合防止用コイル 1 3 b を構成するループ導体 9 b の一部は、第一の表面コイル 3 3 a が実質的に位置する第一面 4 1 と第三の表面コイル 3 3 b が実質的に位置する第三面 4 3 との交線を含む面 4 5 上に配置される。このとき、ループ導体 9 b の面積が、交線の両側で異なるよう配置される。また、電磁氣的結合防止用コイル 1 3 a は、面 4 1 と面 4 4 とが成す角度と、面 4 2 と面 4 4 とがなす角度とが、互いに同じ程度になるよう配置される。電磁氣的結合防止用コイル 1 3 b も同様に、面 4 1 と面 4 5 とが成す角度と、面 4 3 と面 4 5 とがなす角度とが、互いに同じ程度になるよう配置される。ここで、程度とはコイルの製造誤差に起因する角度の誤差範囲のことである。

[0091] 上記形態を有する本実施形態のコイルアレイ 2 9 において、コイルアレイ

29を構成する各表面コイル33のループ導体のインダクタンスおよびキャパシタの値は、第一の表面コイル33aと第二の表面コイル33bとの間の電磁氣的結合、および、第一の表面コイル33aと第三の表面コイル33cとの間の電磁氣的結合が防止され、かつ、第一の表面コイル33a、第二の表面コイル33bおよび第三の表面コイル33cが所定の元素の磁気共鳴周波数 f_H で共振し、所定の元素の磁気共鳴周波数 f_H において、第一の表面コイル33a、第二の表面コイル33bおよび第三の表面コイル33cのインピーダンスが所定の値 K となるように、それぞれ調整される。例えば、 f_H は、静磁場強度3テスラにおける水素原子核の磁気共鳴周波数128MHz、インピーダンスは、50 Ω とすることができる。また、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bのそれぞれのキャパシタ11a、11bの値は、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bの共振周波数 f_d が各表面コイル33の共振周波数 f_H より低くなるように調整される。

[0092] まず、第一の表面コイル33aから発生する磁束が、第二の表面コイル33bと第三の表面コイル33cとに鎖交する状態について図20を用いて説明する。図20(a)に示すように、第一の表面コイル33aに生じる第一の高周波磁場17は、第二の表面コイル33bおよび第三の表面コイル33cに鎖交するとともに、第一の表面コイル33aの両側に配置された2つの電磁氣的結合防止用コイル13a、13bに鎖交する。このとき、電磁誘導の法則に従い、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bに、鎖交する磁束の時間変化を打ち消すように誘導起電力が発生し、誘導電流16が誘起される。上述のように、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bのキャパシタ11の値が、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bの共振周波数 f_d が表面コイル33の共振周波数 f_H より低くなるように調整されるため、周波数 f_H において、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bは、誘導性リアクタンスとして動作する。よって、図20(b)に示すように電磁氣的結合防止用コイル13a、13bには、第一の高周波磁場17を打ち消すように第二の高周波磁場18a、18bが発生する。

[0093] その結果、図20(c)に示すように、第二の表面コイル33bには、第一の高周波磁場17と、第一の高周波磁場17によって誘起された電磁氣的結合防止用コイル13aが発する第二の高周波磁場18aとが鎖交し、第三の表面コイル33cには、第一の高周波磁場17と、第一の高周波磁場17によって誘起された電磁氣的結合防止用コイル13bが発する第二の高周波磁場18bとが鎖交する。このとき、表面コイル33b、33cに鎖交する第一の高周波磁場17の向き20と第二の高周波磁場18a、18bの向き21とは、反対の方向となる。従って、第一の表面コイル33aと第二の表面コイル33bとの間に位置する電磁氣的結合防止用コイル13aのループ導体9aのインダクタンス L_{da} とキャパシタ11aの値 C_{da} と、第一の表面コイル33aと第三の表面コイル33cとの間に位置する電磁氣的結合防止用コイル13bのループ導体9bのインダクタンス L_{db} とキャパシタ11bの値 C_{db} と、をそれぞれ調整することで、第一の表面コイル33aと第二の表面コイル33bとの間、および、第一の表面コイル33aと第三の表面コイル33cとの間の電磁氣的結合がそれぞれ防止される。それぞれの表面コイル33は、 f_H MHzで共振し、インピーダンスが $K\Omega$ となるよう調整されているため、本実施形態のアレイコイル29は、隣接する表面コイル間の電磁氣的結合を防止し、所望の磁気共鳴信号を検出する、受信用RFコイル114として動作する。

[0094] 上述のように、本実施形態によれば、受信用RFコイル114として動作するアレイコイル29の第一の表面コイル33aと第二の表面コイル33bとの電磁氣的結合、および、第一の表面コイル33aと第三の表面コイル33cとの電磁氣的結合を、電磁氣的結合防止用コイル13a、13bのループ導体9a、9bのインダクタンス(L_{da} 、 L_{db})とキャパシタ11a、11bの値(C_{da} 、 C_{db})との調整により防止することができる。特に、式(1)を満たす範囲でループ導体9a、9bのインダクタンス(L_{da} 、 L_{db})を予め固定しておく、キャパシタ11a、11bの値(C_{da} 、 C_{db})のみ式(12)を満たすように調整すればよい。このため、調整が、それぞれ1

つのキャパシタの値を変化させるだけで済み、容易であるとともに、再現性も高い。さらに、本実施形態によれば、図 19 (c) に示すように、被検体 10 を挟むように 2 個のアレイコイル 29 を配置し、非特許文献 1 に示されている方法を用いて、図 19 (c) に示す座標系 12 の y 方向に位相エンコードを間引いてパラレルイメージングを行う場合、隣接する表面コイルの一部が重なり合っているコイルと比べて、画像の SN 比が向上する。

[0095] なお、本実施形態では、結合防止用コイル 13 を、電磁氣的結合防止用コイル 13 が実質的に位置する面と上記 3 つの表面コイル 33 が実質的に位置する面とがなす角度がそれぞれ互いに同じ程度となるよう配置しているが、電磁氣的結合防止用コイル 13 が配置される面は、これに限られない。表面コイル 33 の感度分布が変化しない範囲において、その角度が異なってもよい。

[0096] また、本実施形態では、第一の表面コイル 33 a と、第二の表面コイル 33 b と、第三の表面コイル 33 c とは、図 19 (b) に示すように、座標系 12 の x 方向に間隔を空けて配置している。しかし、表面コイル 33 の配置は 1 つの方向に限るものではなく、表面コイル 33 を間隔を空けて配置できればいずれの方向であってもよい。

[0097] 以下、アレイコイル 29 の変形例（アレイコイル 29 A）を図 21 に示す。図 21 (a) は、アレイコイル 29 A を斜めから俯瞰した図であり、図 21 (b) は、アレイコイル 29 A を z 軸に対向する方向から見た図である。このアレイコイル 29 A は、図 21 (a) に示すように、図 19 に示すアレイコイル 29 を z 軸方向に間隔を空けて 2 列配置したものである。また、各列の表面コイル 33 がそれぞれ z 方向に揃うように配置され、z 方向に隣接する 2 つの表面コイル 33 は、電磁氣的結合防止回路 39 で接続される。ここで、電磁氣的結合防止回路 39 は、例えば、特許文献 2 で開示されているもので、2 つのインダクタを近づけて電磁氣的結合を生じさせるように配置した回路である。

[0098] この場合、座標系 12 の x 方向に間隔をあけて配置された 3 個の表面コイ

ル 3 3 の隣接するコイル間の電磁氣的結合は、電磁氣的結合防止用コイル 1 3 によって防止され、座標系 1 2 の z 方向に間隔をあけて配置された 2 個の表面コイル 3 3 の電磁氣的結合は、電磁氣的結合防止回路 3 9 によって防止される。

[0099] 従って、図 2 1 に示すアレイコイル 2 9 A は、隣接する表面コイル 3 3 間の電磁氣的結合が防止され、例えば、3 テスラにおける水素原子核の磁気共鳴信号といった、所望の磁気共鳴信号を同時に検出し、受信用 R F コイル 1 1 4 として動作する。また、本変形例では、 z 方向の感度領域を拡大することが可能である。なお、電磁氣的結合防止回路 3 9 の代わりに電磁氣的結合防止用コイル 1 3 を備えるよう構成してもよい。

[0100] 上記の各実施形態では、第一から第四のキャパシタ 1、2、3、4 およびキャパシタ 1 1 として一般のキャパシタを使用する場合を例にあげて説明した。しかし、これらにトリマキャパシタを使用してもよい。以下、第一の実施形態を例に、トリマキャパシタを使用する例を説明する。

[0101] 図 2 2 は、第一の実施形態の R F コイルユニット 2 5 において、第一から第四キャパシタ 1、2、3、4、キャパシタ 1 1 を、トリマキャパシタに置き換えた R F コイルユニット 2 5' の構成を説明するための図である。図 2 2 (a) は、R F コイルユニット 2 5' を、斜めから俯瞰した図であり、図 2 2 (b) は、R F コイルユニット 2 5' を z 軸に対向する方向から見た図であり、また、図 2 2 (c) は、R F コイルユニット 2 5' を y 軸に対向する方向から見た図である。本図に示すように、R F コイルユニット 2 5' は、第一キャパシタ 1 と第二キャパシタ 2 と第三キャパシタ 3 と第四キャパシタ 4 とがそれぞれ、第一トリマキャパシタ 7 1 と第二トリマキャパシタ 7 2 と第三トリマキャパシタ 7 3 と第四トリマキャパシタ 7 4 とに置き換えられ、キャパシタ 1 1 は第五トリマキャパシタ 7 5 に置き換えられている。

[0102] 上述のように、第一の表面コイル 5 および第二の表面コイル 6 の共振周波数およびインピーダンスは、第一キャパシタ 1 (7 1) の値 C_1 、第二キャパシタ 2 (7 2) の値 C_2 、第三キャパシタ 3 (7 3) の値 C_3 および第四キャ

パシタ 4 (74) の値 C_4 を調整することにより、所望の値 (例えば、共振周波数 128 MHz、インピーダンス 50 Ω) とする。また、両表面コイル間の電磁氣的結合の防止は、電磁氣的結合防止用コイル 13 のキャパシタ 11 (75) の値 C_d を調整することにより実現する。さらに、ネットワークアナライザを用いて第一の表面コイル 5 から第二の表面コイル 6 への信号の伝送特性 (S_{12}) を計測し、その結果を見ながら、各キャパシタの値の再調整も行う。

[0103] このように、第一の実施形態の RF コイルユニット 25 では、各キャパシタを調整することにより、受信用 RF コイルとしての働きと電磁氣的結合の防止とを実現している。本変形例では、各キャパシタがトリマキャパシタであるため、キャパシタの取り外し及び取り付け作業無しにキャパシタの値を変更できる。このため、上記の調整作業をより簡単に行うことができる。従って、より調整に係る手間と時間とを低減でき、容易に隣接する表面コイル間の電磁氣的結合を防止することができる。

[0104] 上記各実施形態では、本発明を適用したコイルを、受信用 RF コイルとして用いる場合を例に挙げて説明した。しかし、本発明を適用したコイルは、送信用 RF コイル、および、送受信用 RF コイルとして用いることもできる。

[0105] 以下、第一の実施形態で用いた RF コイルユニット 25 を送信用 RF コイル 107 として用いる例を説明する。本実施形態の MRI 装置 100 の概略構成は第一の実施形態と同じである。また、RF コイルユニット 25 の構造および素子の値の調整方法は、第一の実施形態と同様である。以下では、第一の実施形態と異なる部分について説明する。

[0106] 図 3 に示す RF コイルユニット 25 を送信用 RF コイル 107 として用いる場合、図 3 に示す第一の信号線 7 および第二の信号線 8 は、それぞれコモンノードノイズを除去するバラン (平衡-不平衡変換器: 不図示) に接続され、バランは送信用パワーアンプ (不図示) に接続される。さらに、送信用パワーアンプの出力は同軸ケーブルを介して高周波磁場発生器 106 に接続

される。

[0107] なお、第一の実施形態場合と同様に、第一の表面コイル5および第二の表面コイル6がそれぞれ備える、受信用RFコイル114との電磁氣的結合を防止するデカップリング回路は記載を省略する。また、送信用RFコイル107が複数ある場合は、各送信用RFコイル107に対して高周波磁場発生器106がそれぞれ接続される。受信用RFコイル114には、用途に応じて、表面コイルや、鳥かご型コイル、RFコイルユニット25が用いられる。

[0108] 次に、以上のように調整されたRFコイルユニット25が、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を防止し、送信用RFコイル107として動作することを説明する。

[0109] 高周波磁場発生器106から送られた高周波磁場は、送信用パワーアンプで増幅され、バランを通りRFコイルユニット25の第一の信号線7および第二の信号線8にそれぞれ印加される。相反定理から、RFコイルユニット25に高周波磁場が印加された場合の第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合の状態は、RFコイルユニット25が高周波磁場を検出する場合と同じである。よって、第一の実施形態場合と同様に、図3に示すRFコイルユニット25の電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9のインダクタンス L_d とキャパシタ11の値 C_d とを調整することにより、第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を防止することができる。従って、RFコイルユニット25は電磁氣的結合を生じることなく、高周波磁場が被検体10に印加される。

[0110] 以上説明したように、本実施形態によれば、送信用RFコイル107として動作するRFコイルユニット25の第一の表面コイル5と第二の表面コイル6との電磁氣的結合を、電磁氣的結合防止用コイル13のループ導体9のインダクタンス L_d とキャパシタ11の値 C_d との調整により防止することができる。特に、ループ導体9のインダクタンス L_d を予め固定しておくと、キャパシタ11の値 C_d のみ式(12)を満たすように調整すればよい。このため

、調整が、１のキャパシタの値を変化させるだけで済み、容易であるとともに、再現性も高い、従って、調整にかかる手間と時間とを低減することができる。RFコイルの作製コストを抑えることができる。

[0111] 次に、第一の実施形態で用いたRFコイルユニット２５を送受信RFコイルとして用いる例を説明する。図２３は、第一の実施形態のRFコイルユニット２５を送受信RFコイルとして用いる場合のMRI装置１００'の概略構成図である。本実施形態のMRI装置１００'の概略構成は第一の実施形態とほぼ同じであるが、本図に示すように、デカップリング回路駆動装置１１５が不要であること、送信用RFコイル１０７と受信用RFコイル１１４の代わりに送受信RFコイル１１６が用いられている点、送受信RFコイル１１６が送信・受信切替スイッチ１０３に接続され、送信・受信切替スイッチ１０３の２つの出力が高周波磁場発生器１０６と受信器にそれぞれ接続されている点が第一の実施形態と異なる。なお、図２３では省略されているが送信・受信切替スイッチ１０３はシーケンサ１０４に接続されている。RFコイルユニット２５の構造および素子の値の調整方法は、第一の実施形態と同様である。以下では、第一の実施形態と異なる部分について説明する。

[0112] 図３に示すRFコイルユニット２５を送受信RFコイル１１６として用いる場合、図３に示す第一の信号線７および第二の信号線８は、それぞれコモンモードノイズを除去するバラン（平衡－不平衡変換器：不図示）にそれぞれ接続され、バランの出力は２つの送信・受信切替スイッチ１０３にそれぞれ接続される。

[0113] 次に、以上のように調整されたRFコイルユニット２５が、第一の表面コイル５と第二の表面コイル６との電磁氣的結合を防止し、送受信RFコイル１１６として動作することを説明する。

[0114] 高周波磁場発生器１０６から送られた高周波磁場は、送信用パワーアンプで増幅され、シーケンサ１０４によって送信がオンとなった送信・受信切替スイッチ１０３を通り、バランを通してRFコイルユニット２５の第一の信

号線 7 および第二の信号線 8 にそれぞれ印加される。相反定理から、RF コイルユニット 25 に高周波磁場が印加された場合の第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との磁気結合の状態は、RF コイルユニット 25 が高周波磁場を検出する場合と同じである。よって、第一の実施形態場合と同様に、図 3 に示す RF コイルユニット 25 の電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とを調整することにより、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合を防止することができる。従って、RF コイルユニット 25 は電磁氣的結合を生じることなく、高周波磁場が被検体 10 に印加され、送信用 RF コイルとして動作する。また、被検体 10 に高周波磁場を印加した後、被検体 10 から発生した磁気共鳴信号を RF コイルユニット 25 で検出する際にも、第一の実施形態場合と同様に、図 3 に示す RF コイルユニット 25 の電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d とを調整することにより、第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合を防止することができる。よって、RF コイルユニット 25 は電磁氣的結合を生じることなく、磁気共鳴信号を検出し、検出した信号はシーケンサ 104 によって受信がオンとなった送信・受信切替スイッチ 103 を通り、受信器 108 に伝送される。以上から、RF コイルユニット 25 は、電磁氣的結合を生じることなく送受信用 RF コイル 116 として動作する。

[0115] 以上説明したように、本実施形態によれば、送受信用 RF コイル 116 として動作する RF コイルユニット 25 の第一の表面コイル 5 と第二の表面コイル 6 との電磁氣的結合を、電磁氣的結合防止用コイル 13 のループ導体 9 のインダクタンス L_d とキャパシタ 11 の値 C_d との調整により防止することができる。特に、ループ導体 9 のインダクタンス L_d を予め固定しておく、と、キャパシタ 11 の値 C_d のみ式 (12) を満たすように調整すればよい。このため、調整が、1 のキャパシタの値の値を変化させるだけで済み、容易であるとともに、再現性も高い、従って、調整にかかる手間と時間とを低減することができる、RF コイルの作製コストを抑えることができる。

符号の説明

[0116] 1 : 第一キャパシタ、2 : 第二キャパシタ、3 : 第三キャパシタ、4 : 第四キャパシタ、5 : 第一の表面コイル、6 : 第二の表面コイル、7 : 第一の信号線、8 : 第二の信号線、9 : ループ導体、10 : 被検体、11 : キャパシタ、12 : 座標系、13 : 電磁氣的結合防止用コイル、14 : 電磁氣的結合防止用コイルの等価回路、15 : 交流電源、16 : 誘導電流、17 : 第一の高周波磁場、18 : 第二の高周波磁場、19 : ループ導体9の等価インダクタンス、20 : 第一の高周波磁場の向き、21 : 第一の高周波磁場の向き、22 : 第一面、23 : 第二面、24 : 8の字コイルの交差点、25 : RFコイルユニット、25' : RFコイルユニット、25A : RFコイルユニット、25B : RFコイルユニット、26 : RFコイルユニット、27 : RFコイルユニット、28 : アレイコイル、28A : アレイコイル、29 : アレイコイル、29A : アレイコイル、30 : 中心軸、31 : ボビン、32 : 円周方向、33 : 表面コイル、34 : RFコイルユニット、35 : RFコイルユニット、36 : RFコイルユニット、37 : 第三の表面コイル、39 : デカップリング回路、41 : 第一面、42 : 第二面、43 : 第三面、44 : 面、45 : 面、47 : キャパシタ、48 : デカップリング回路、49 : デカップリング回路、50 : デカップリング回路、51 : インダクタ、52 : インダクタ、53 : インダクタ、54 : RFコイルユニット25の等価回路、55 : 第一の表面コイル5に流れる電流、56 : 第二の表面コイルに流れる電流、59 : ループ導体9に流れる電流、61 : PINダイオード、62 : クロスダイオード、66 : 制御電流、71 : 第一トリマキャパシタ、72 : 第二トリマキャパシタ、73 : 第三トリマキャパシタ、74 : 第四トリマキャパシタ、75 : 第五トリマキャパシタ、85 : 第一の表面コイル5の等価インダクタンス、86 : 第二の表面コイル6の等価インダクタンス、91 : 板状導体、95 : 第一の表面コイル5の等価抵抗、96 : 第二の表面コイル6の等価抵抗、99 : ループ導体9の等価抵抗、100 : MRI装置、101 : 水平磁場方式のマグネット、102 : 傾斜磁場コイル、103 : 送信・受信

切替スイッチ、１０４：シーケンサ、１０５：傾斜磁場電源、１０６：高周波磁場発生器、１０７：送信用ＲＦコイル、１０８：受信器、１０９：計算機、１１０：ディスプレイ、１１１：記憶媒体、１１２：シムコイル、１１３：シム電源、１１４：受信用ＲＦコイル、１１５：デカップリング回路駆動装置、１１６：送受信用ＲＦコイル、１１７：プリアンプ、１５８：制御用信号線、２００：ＭＲＩ装置、２０１：垂直磁場方式のマグネット、３０１：テーブル、９００：静磁場

請求の範囲

[請求項1] 複数の表面コイルを備え、共振周波数が所定の核の磁気共鳴信号の周波数である磁気共鳴撮像装置の高周波コイルであって、

前記複数の表面コイルの中の隣接した表面コイル間の電磁氣的結合を防止する電磁氣的結合防止手段を備え、

前記複数の表面コイルは、第一の方向に間隔を空けて配列され、

前記電磁氣的結合防止手段は、キャパシタを備えるループ導体を備え、

前記ループ導体は、隣接する2つの前記表面コイルと磁気結合を生じさせ、かつ、前記隣接する2つの表面コイルの一方の表面コイルから生じた磁束であって他方の表面コイルに鎖交する磁束を打ち消す方向の磁束を発生する位置に当該隣接する両表面コイルに接触しないよう配置され、

前記ループ導体のインダクタンスと前記キャパシタの値とは、他方の前記表面コイルに鎖交する磁束の総和が最小となり、かつ、当該電磁氣的結合防止手段の共振周波数が当該高周波コイルの共振周波数より小さくなるよう調整されること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項2] 請求項1記載の高周波コイルであって、前記ループ導体のインダクタンス L_d と前記キャパシタの値 C_d と、前記共振周波数における前記ループ導体のQ値 Q_H と、前記共振周波数の角周波数 ω_H と、が

[数1]

$$\frac{\omega_H^2 L_d C_d}{Q_H (\omega_H^2 L_d C_d - 1)} < \frac{1}{20}$$

の関係を有すること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項3] 請求項1記載の高周波コイルであって、

前記ループ導体は、前記隣接する2つの表面コイルの間に配置され

、かつ、前記隣接する表面コイルの一方が実質的に位置する第一面と他方が実質的に位置する第二面との交線を含む第三面に実質的に配置されること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項4]

請求項3記載の高周波コイルであって、

前記第一面と前記第三面とが成す角度と、前記第二面と前記第三面とが成す角度とは等しいこと

を特徴とする高周波コイル。

[請求項5]

請求項3記載の高周波コイルであって、

前記ループ導体の一部が、前記第一面と前記第二面とが交差する部分に配置されること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項6]

請求項1記載の高周波コイルであって、

前記第一の方向は、円周方向であること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項7]

請求項1記載の高周波コイルであって、

前記表面コイルは、前記第一の方向に加え、当該第一の方向と異なる第二の方向に配列されること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項8]

請求項7記載の高周波コイルであって、

前記電磁氣的結合防止手段は、前記第一の方向および前記第二の方向の少なくとも1方向の、前記隣接する表面コイル間に配置されること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項9]

請求項1記載の高周波コイルであって、

前記表面コイルは、ループコイルであること

を特徴とする高周波コイル。

[請求項10]

請求項1記載の高周波コイルであって、

前記表面コイルは、８の字型コイルであること
を特徴とする高周波コイル。

[請求項11] 請求項１記載の高周波コイルであって、
前記電磁氣的結合防止手段が備えるキャパシタの少なくとも１つは、
トリマキャパシタであること、
を特徴とする高周波コイル。

[請求項12] 請求項１記載の高周波コイルであって、
前記電磁氣的結合防止手段の前記ループ導体は、少なくとも一部が
板状導体で構成され、
前記板状導体の一方の面が、前記ループ導体によるループの中心を
向いていること
を特徴とする高周波コイル。

[請求項13] 請求項１記載の高周波コイルであって、
当該高周波コイルは、前記所定の核の磁気共鳴信号を検出する受信
用コイルとして動作し、
前記電磁氣的結合防止手段の前記ループ導体は、送信用コイルとの
磁気結合を防止するデカップリング手段を備えること
を特徴とする高周波コイル。

[請求項14] 請求項１記載の高周波コイルであって、
前記デカップリング手段は、PINダイオードとインダクタとを直
列接続した回路にキャパシタが並列に接続された回路であること
を特徴とする高周波コイル。

[請求項15] 請求項１記載の高周波コイルであって、
前記デカップリング手段は、クロスダイオードとインダクタとを直
列接続した回路にキャパシタが並列に接続された回路であること
を特徴とする高周波コイル。

[請求項16] 静磁場を形成する静磁場形成手段と、傾斜磁場を形成する傾斜磁場
形成手段と、高周波磁場を形成する高周波磁場形成手段と、被検体に

前記高周波磁場を照射する送信用コイルと、前記被検体から発生する磁気共鳴信号を検出する受信用コイルと、前記検出した磁気共鳴信号を受信する受信手段と、前記傾斜磁場形成手段、前記高周波磁場形成手段および前記受信手段を制御する制御手段と、を備える磁気共鳴撮像装置であって、

前記受信用コイルは、請求項 1 記載の高周波コイルであり、

前記高周波コイルは、前記送信用コイルとの磁気結合を防止するデカップリング手段を備えること

を特徴とする磁気共鳴撮像装置。

[請求項17]

静磁場を形成する静磁場形成手段と、傾斜磁場を形成する傾斜磁場形成手段と、高周波磁場を形成する高周波磁場形成手段と、被検体に前記高周波磁場を照射する送信用コイルと、前記被検体から発生する磁気共鳴信号を検出する受信用コイルと、前記検出した磁気共鳴信号を受信する受信手段と、前記傾斜磁場形成手段、前記高周波磁場形成手段および前記受信手段を制御する制御手段と、を備える磁気共鳴撮像装置であって、

前記送信用コイルは、請求項 1 記載の高周波コイルであり、

前記高周波コイルは、前記受信用コイルとの磁気結合を防止するデカップリング手段を備えること

を特徴とする磁気共鳴撮像装置。

[請求項18]

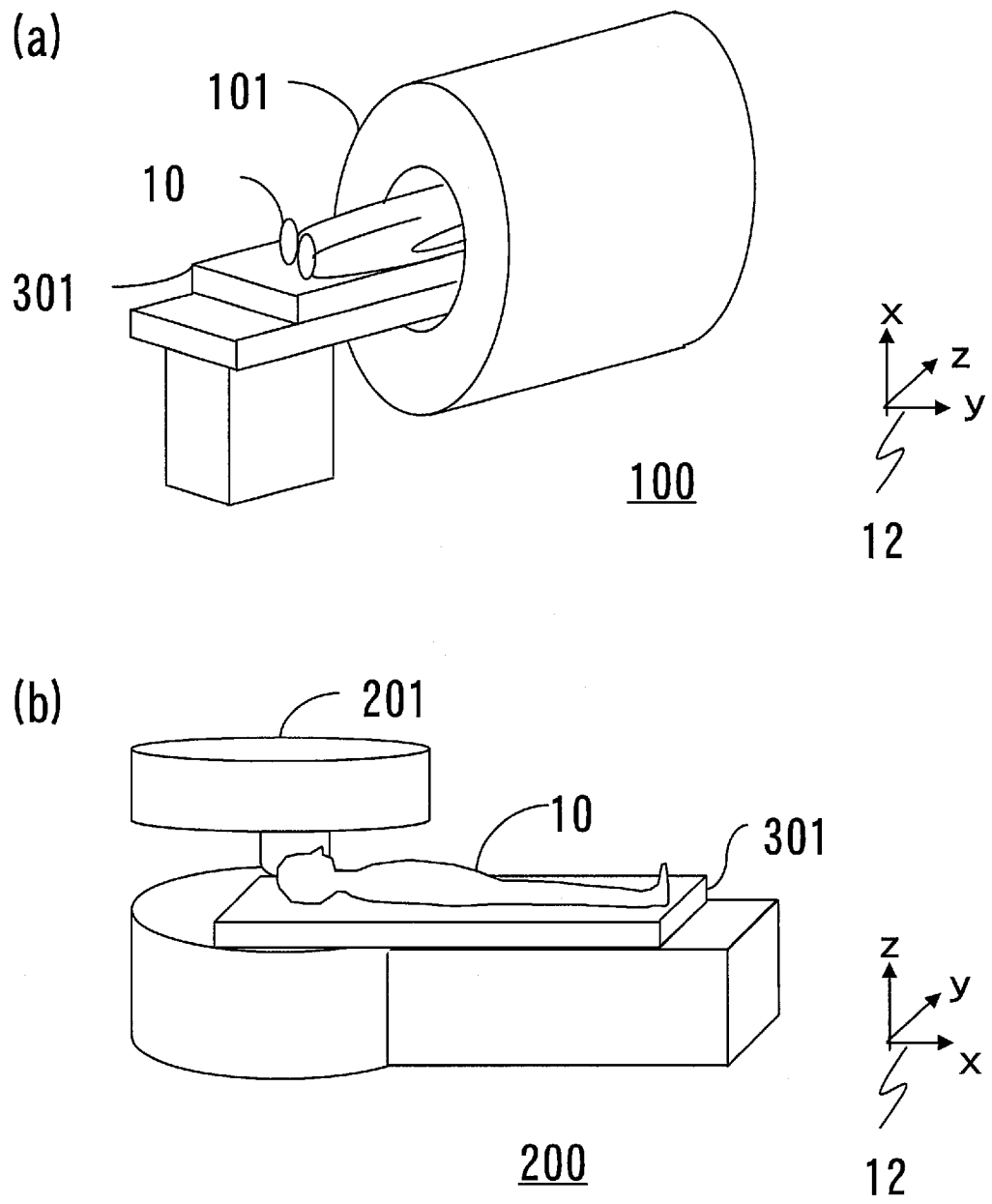
静磁場を形成する静磁場形成手段と、傾斜磁場を形成する傾斜磁場形成手段と、高周波磁場を形成する高周波磁場形成手段と、被検体に前記高周波磁場を照射するとともに前記被検体から発生する磁気共鳴信号を検出する送受信用コイルと、前記検出した磁気共鳴信号を受信する受信手段と、前記傾斜磁場形成手段、前記高周波磁場形成手段および前記受信手段を制御する制御手段と、を備える磁気共鳴撮像装置であって、

前記送受信用コイルは、請求項 1 記載の高周波コイルであること

を特徴とする磁気共鳴撮像装置。

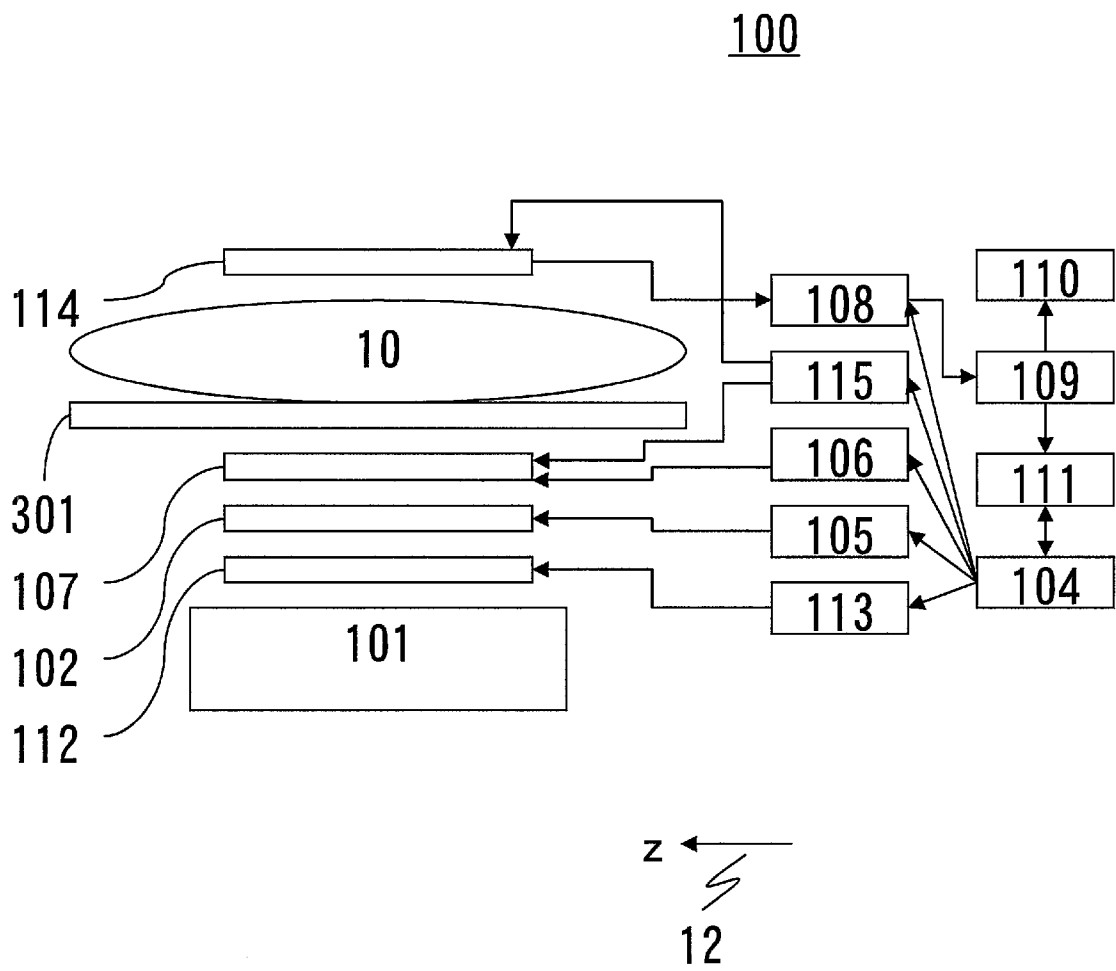
[図1]

図 1



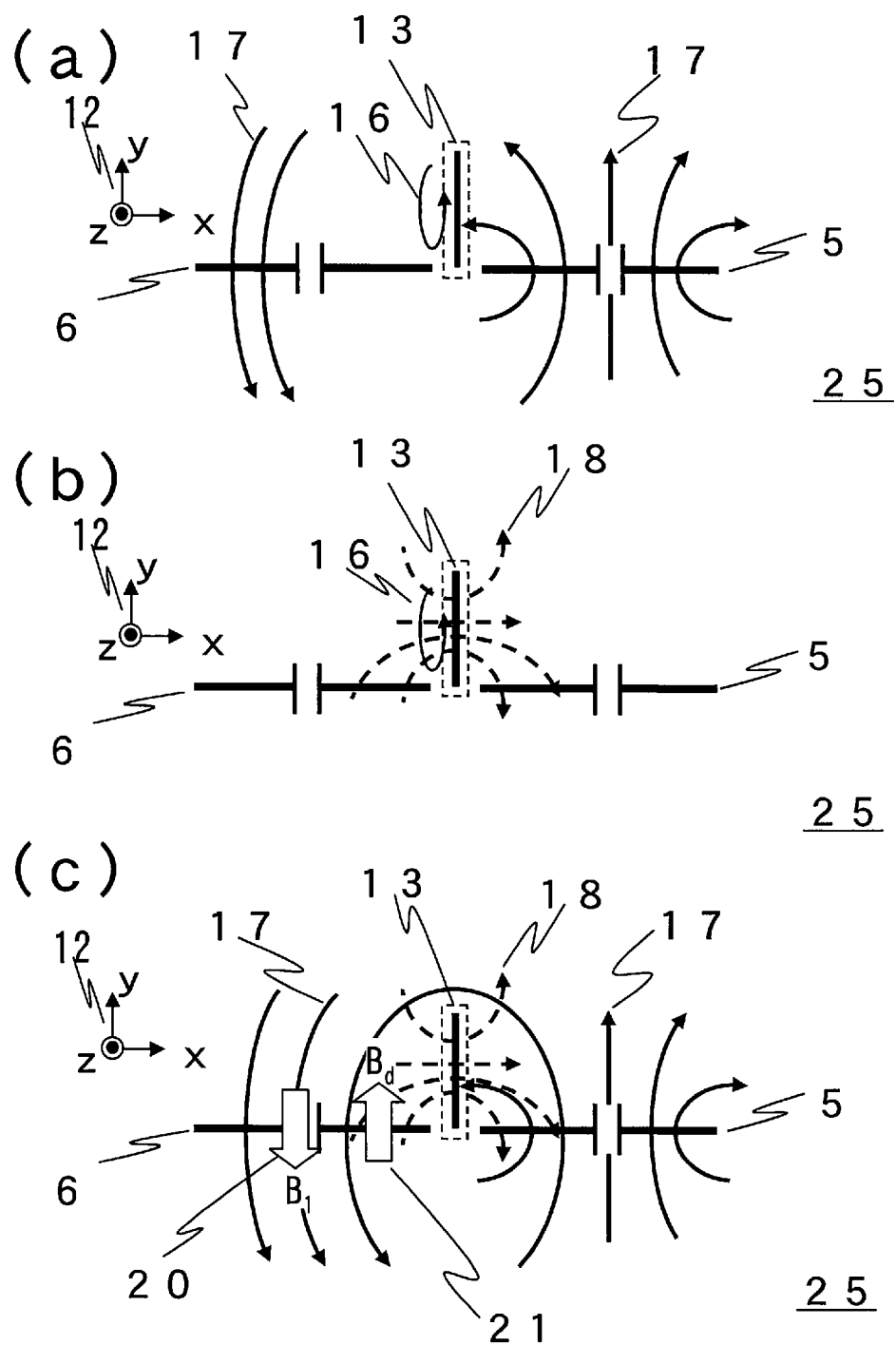
[図2]

図2



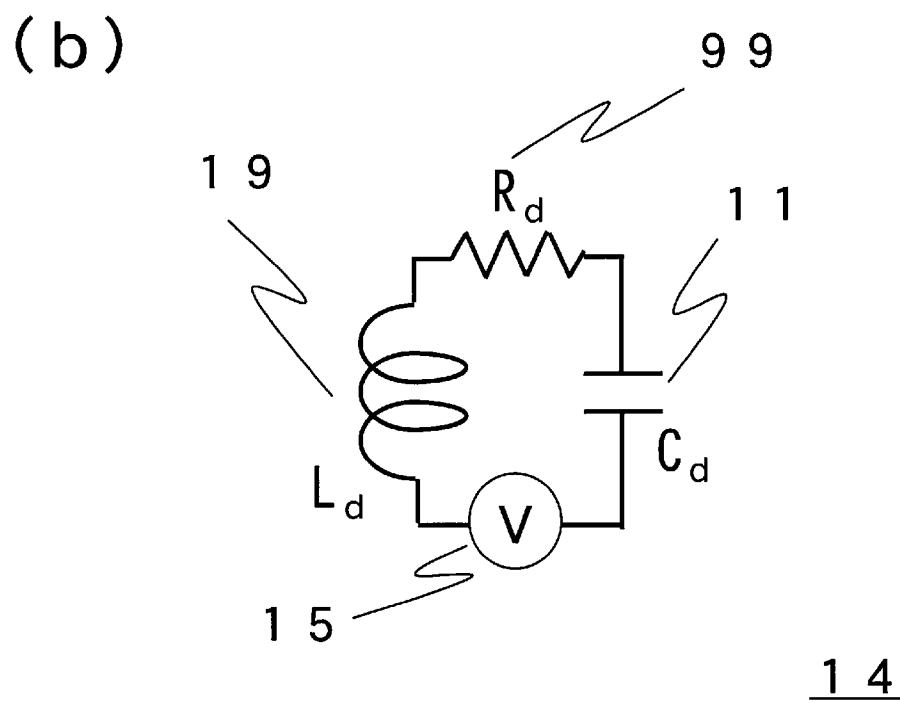
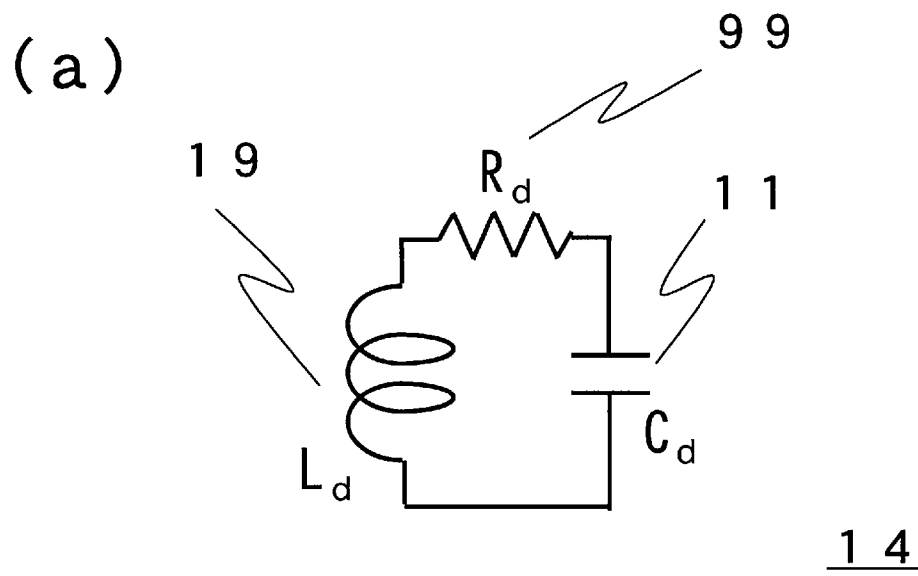
[図4]

図4



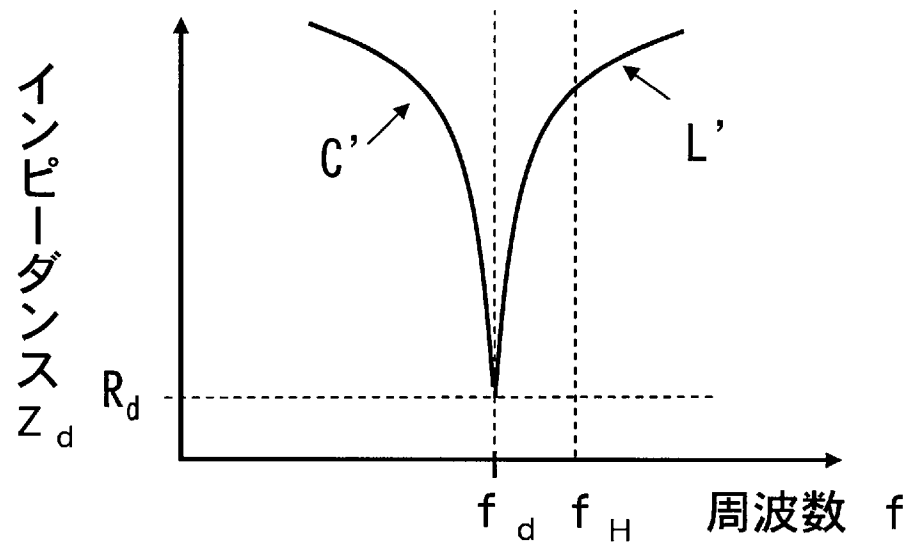
[図5]

図5



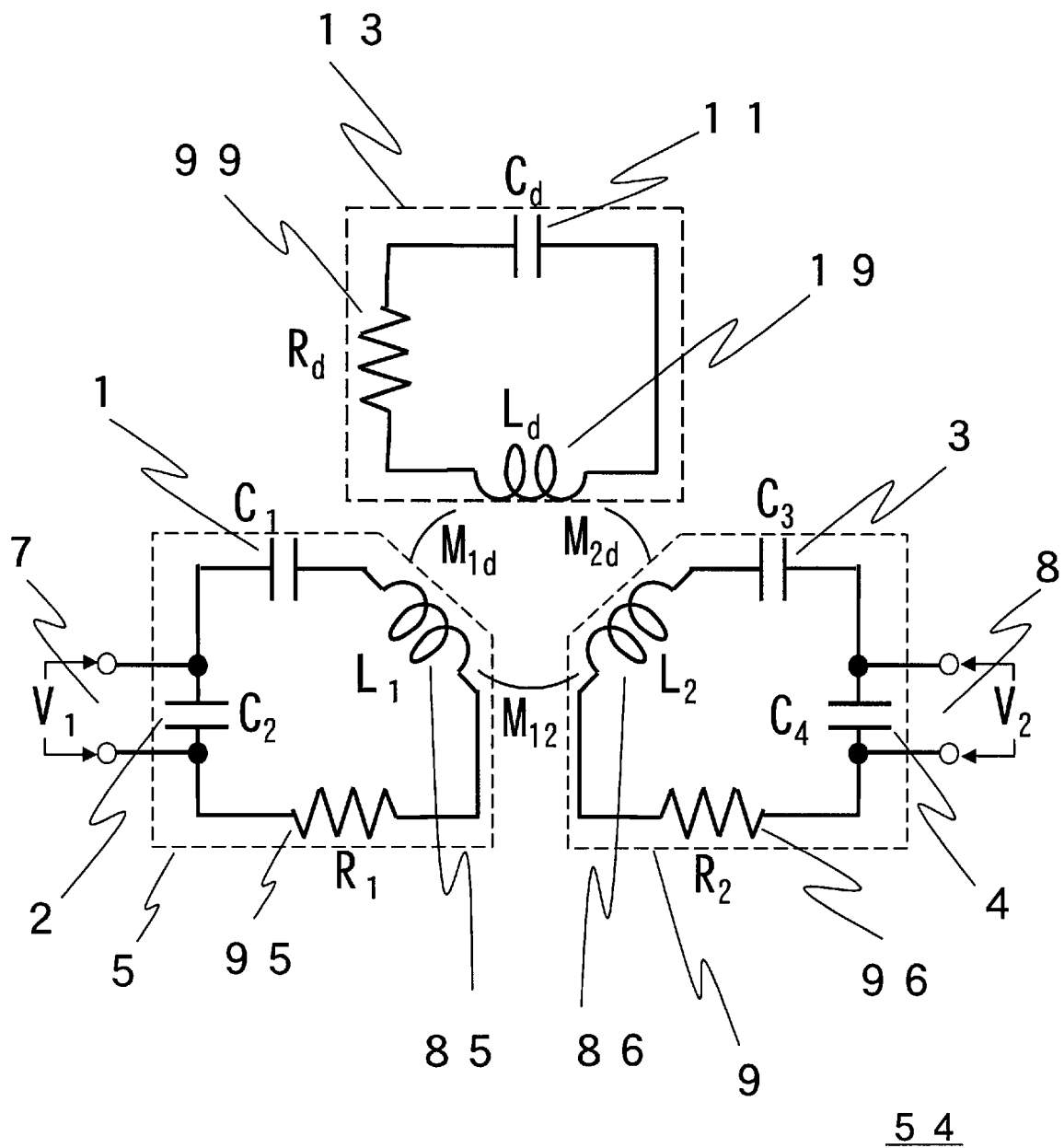
[図6]

図6



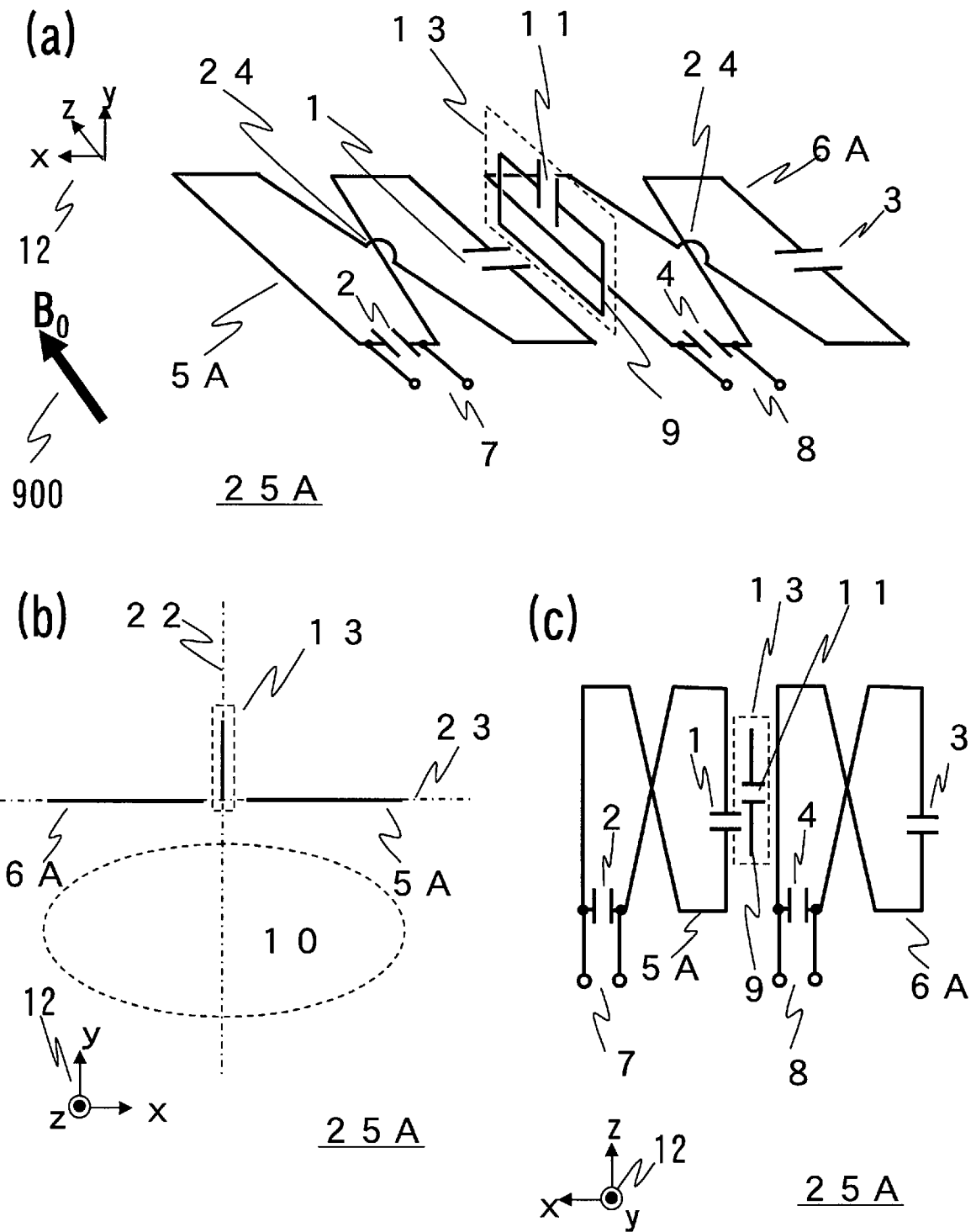
[図7]

図7



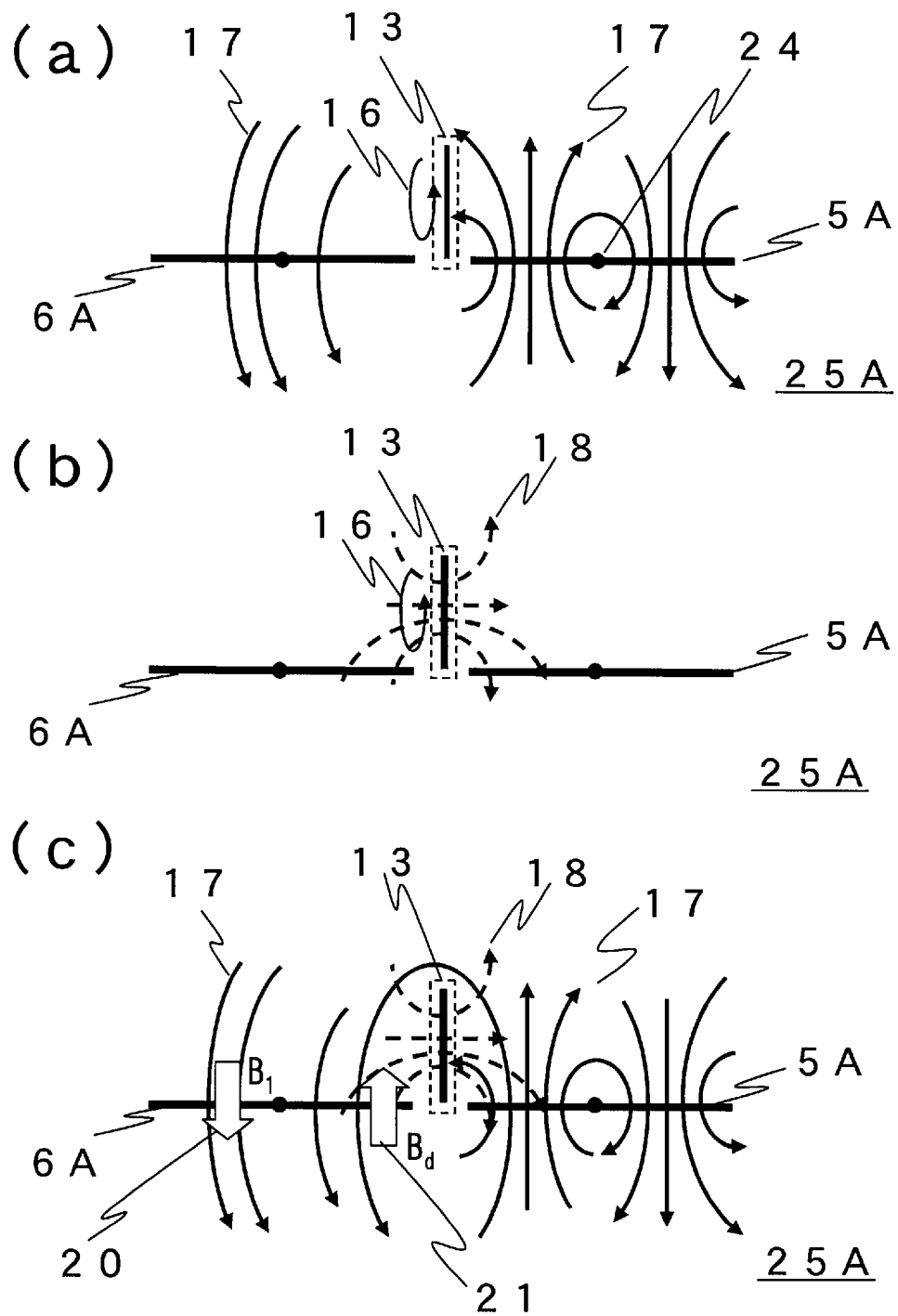
[図8]

図8



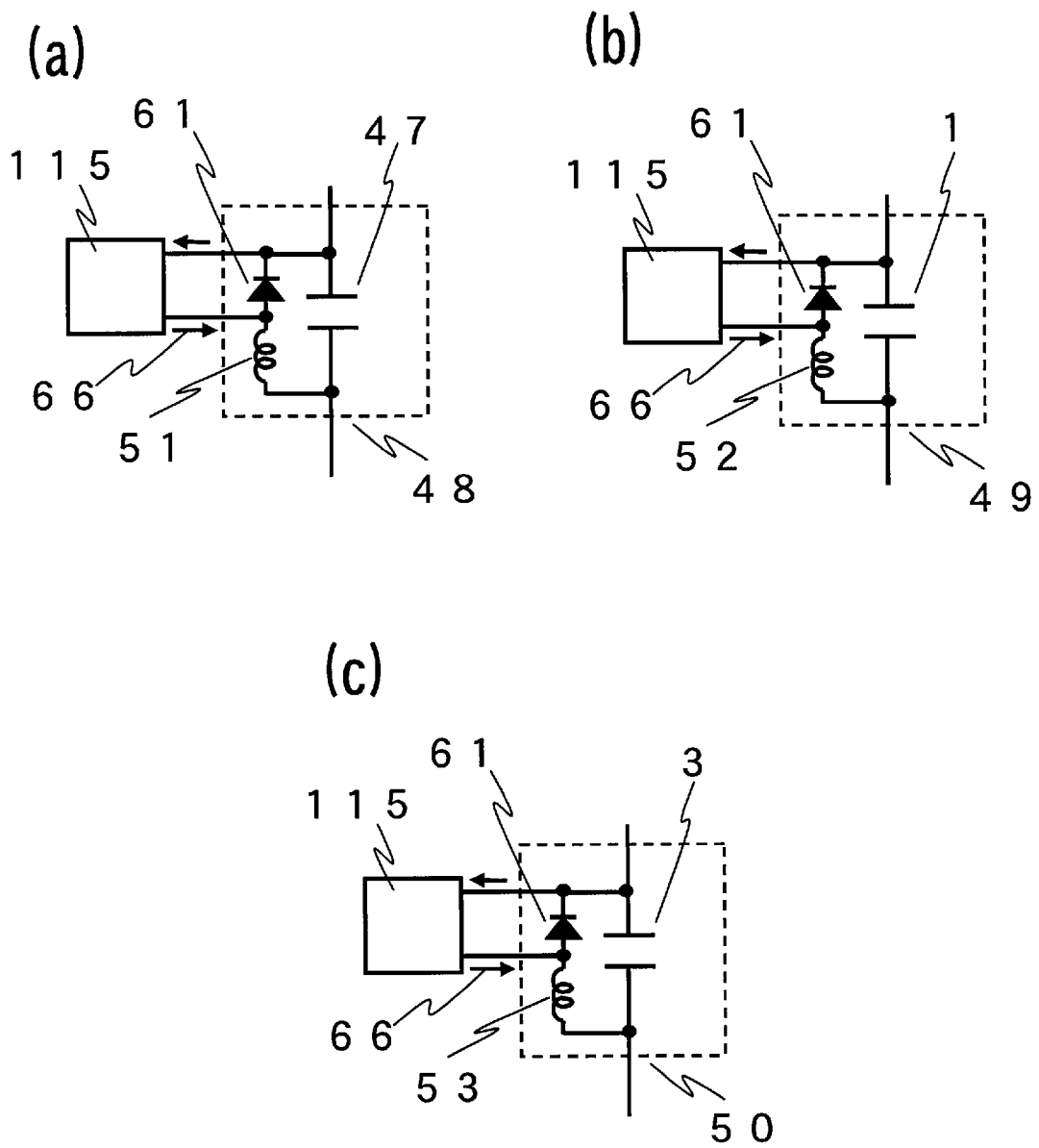
[図9]

図9



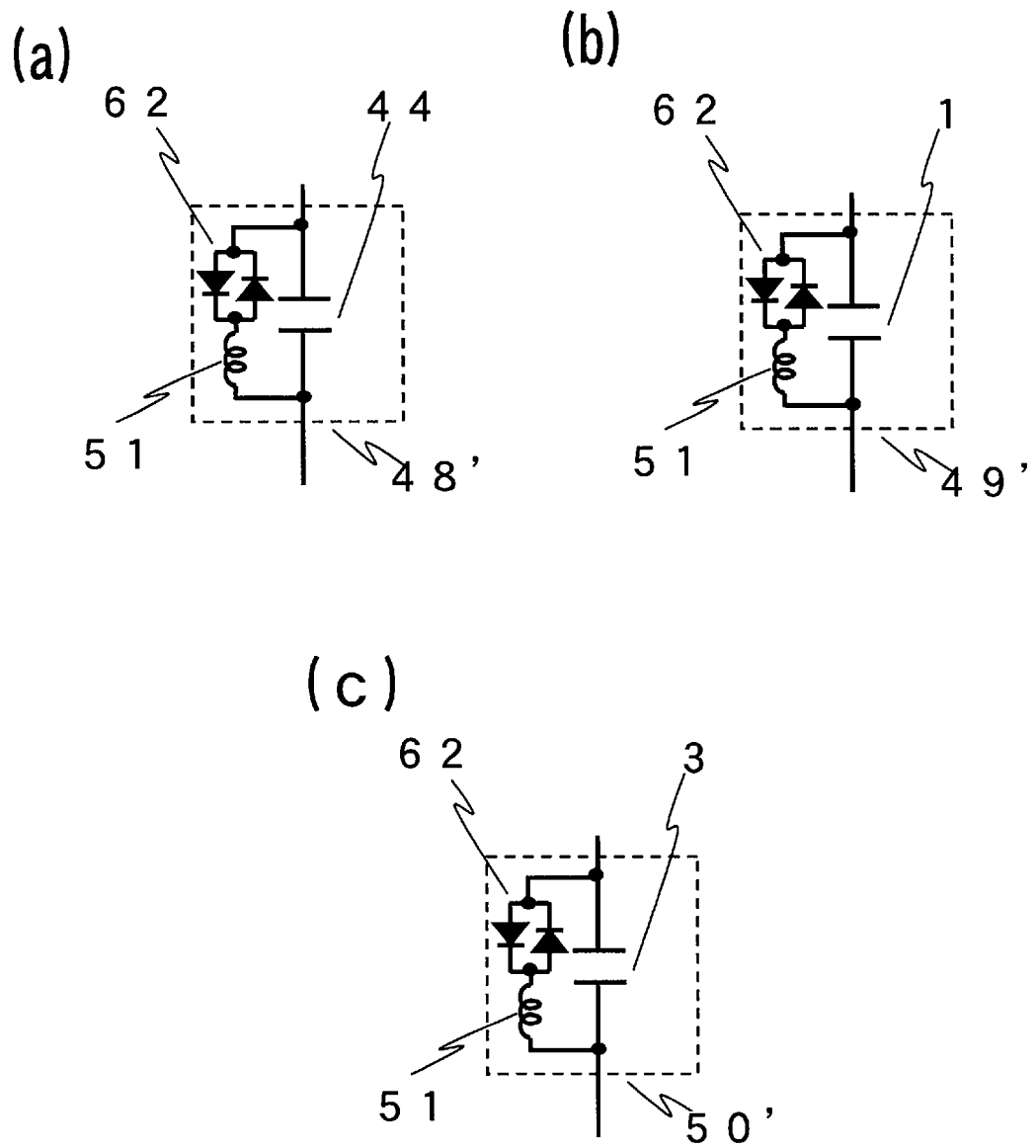
[図11]

図11



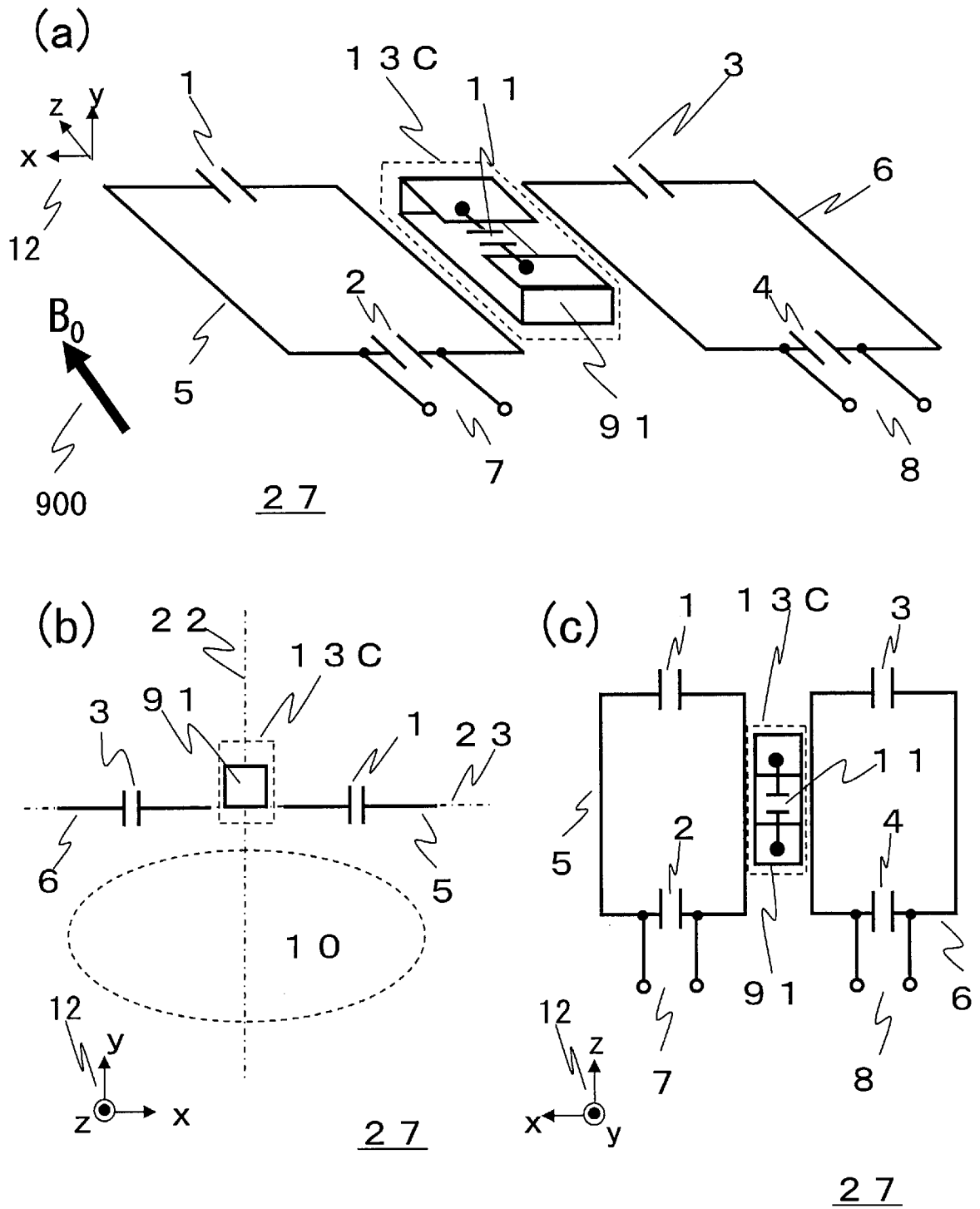
[図12]

図12



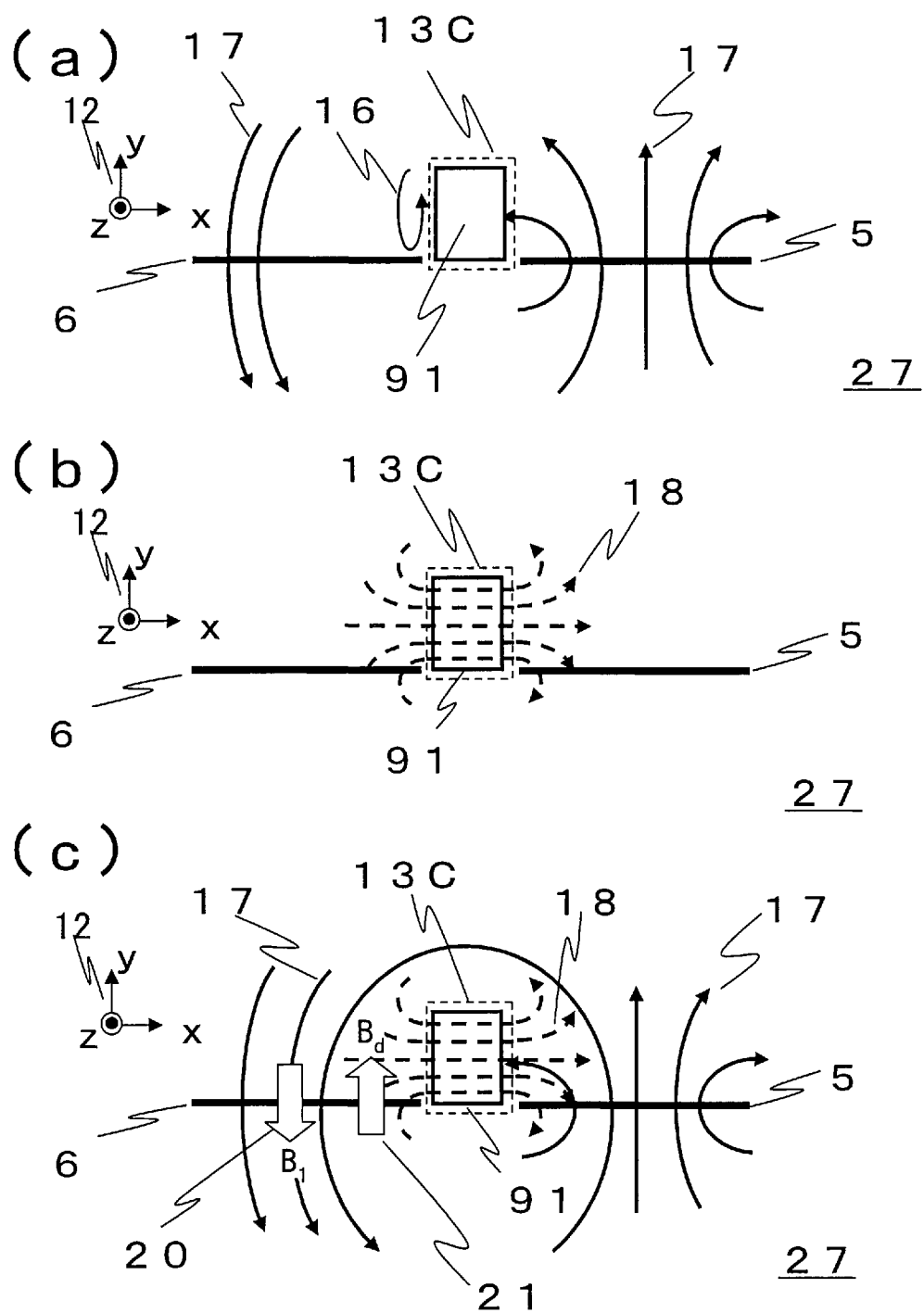
[図13]

図13



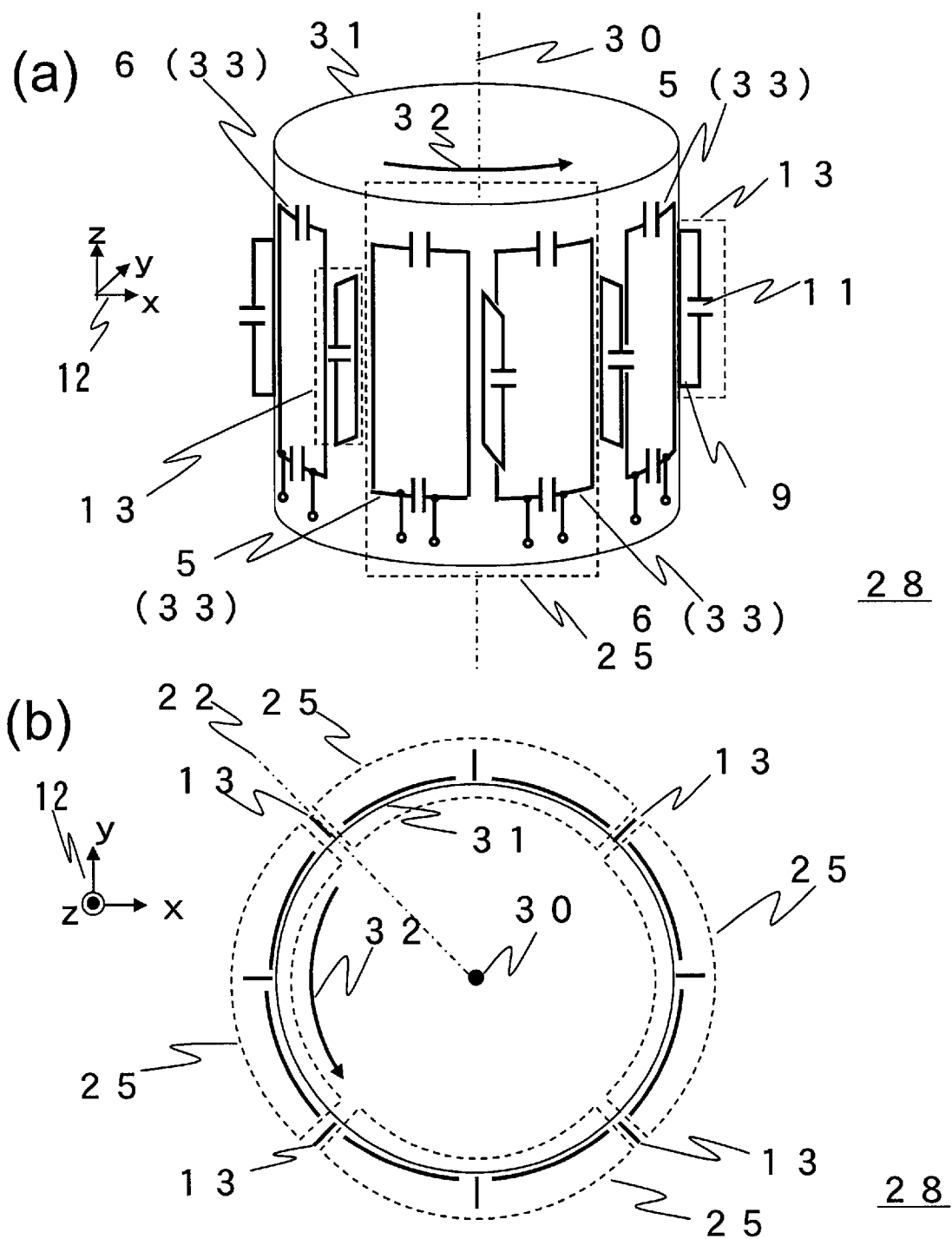
[図14]

図14



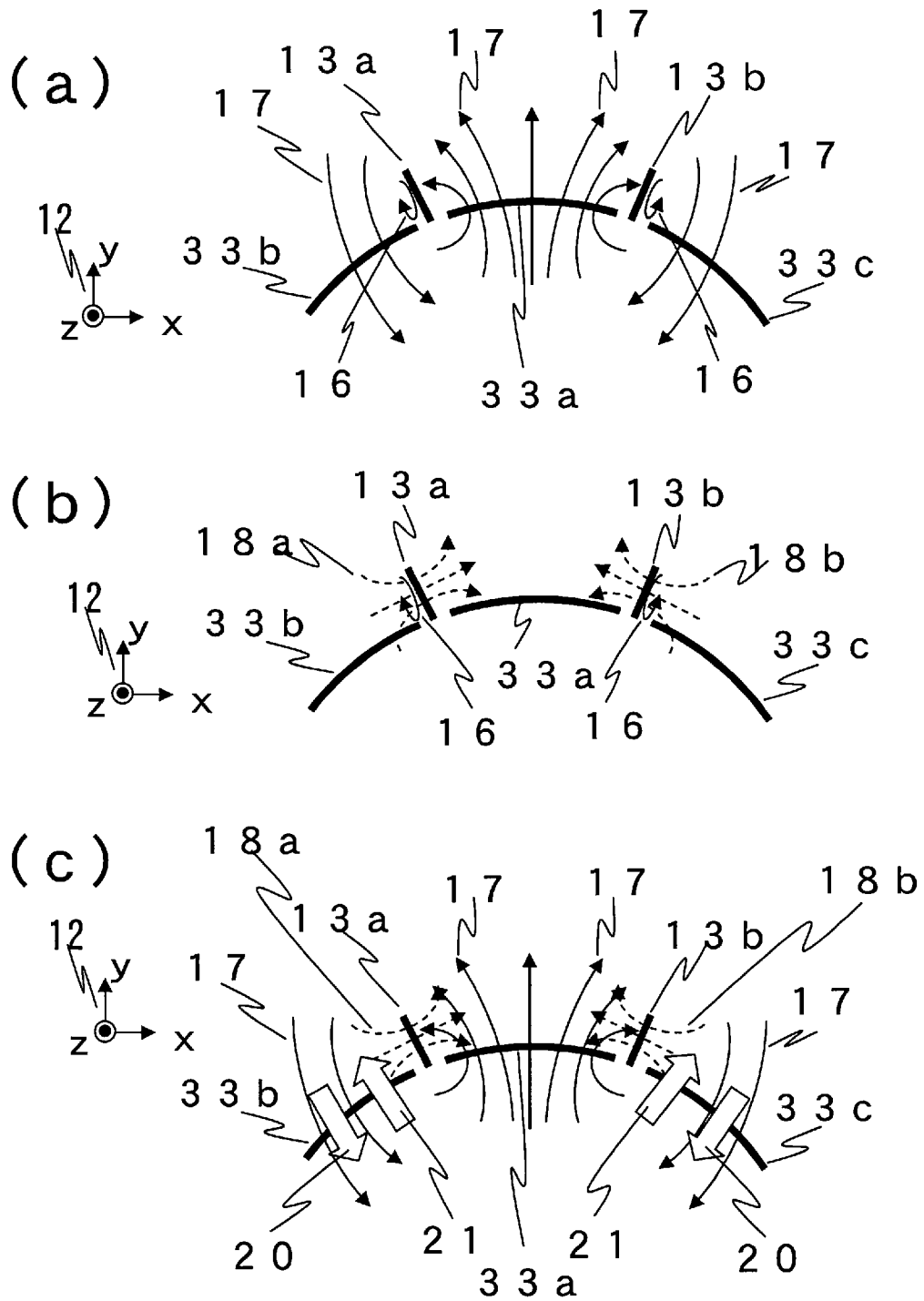
[図15]

図 15



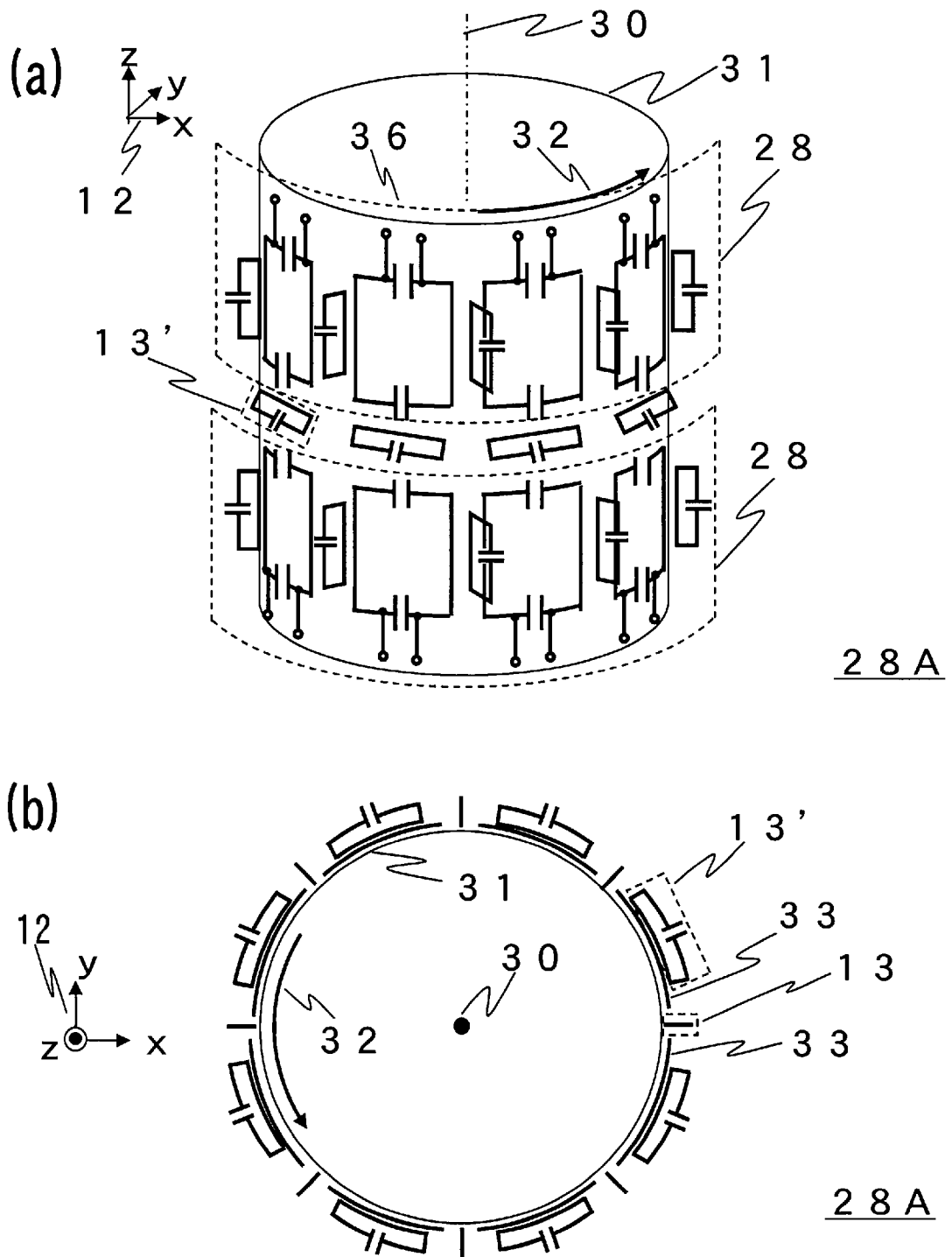
[図16]

図16



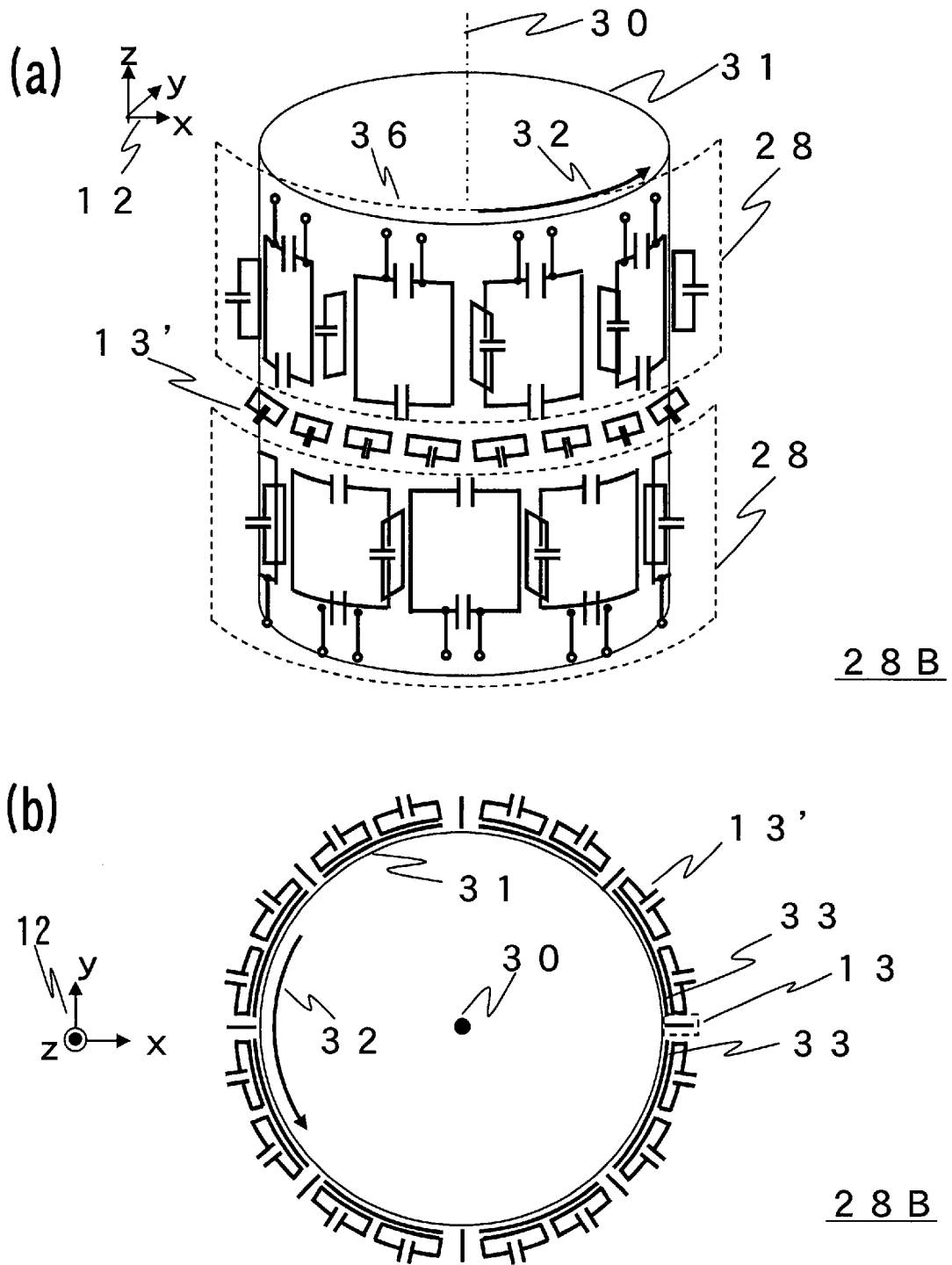
[図17]

図17



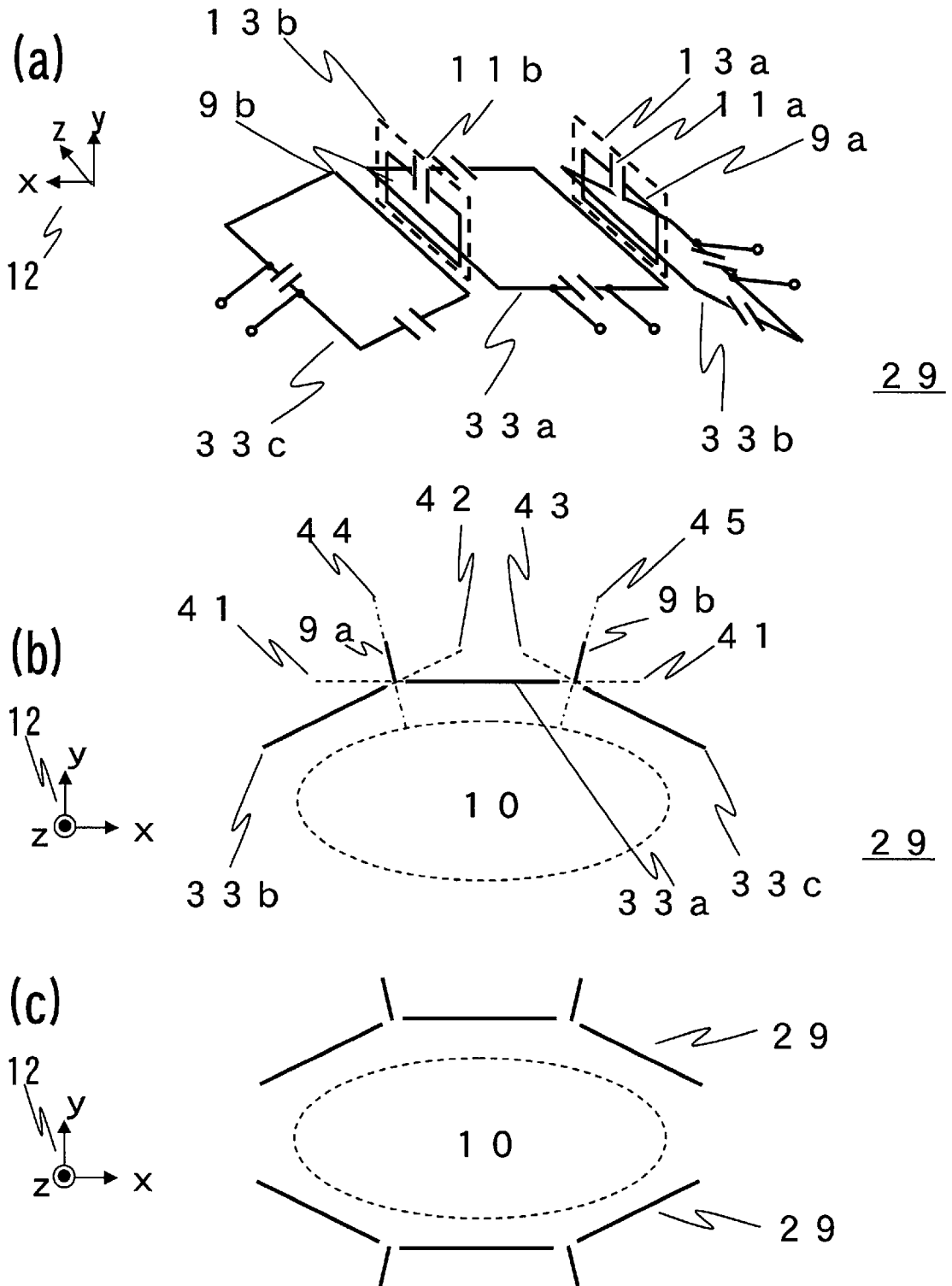
[図18]

図18



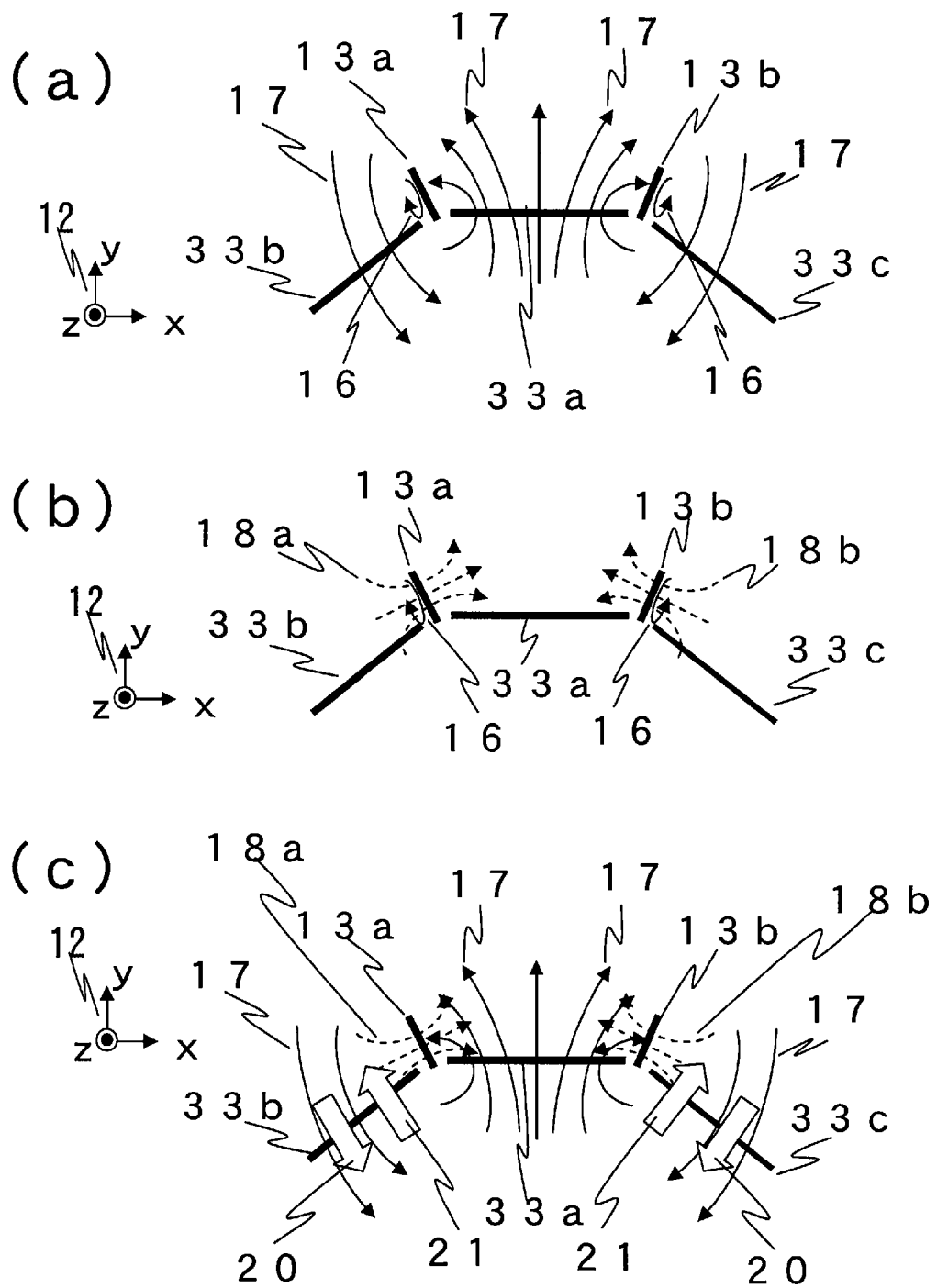
[図19]

図19



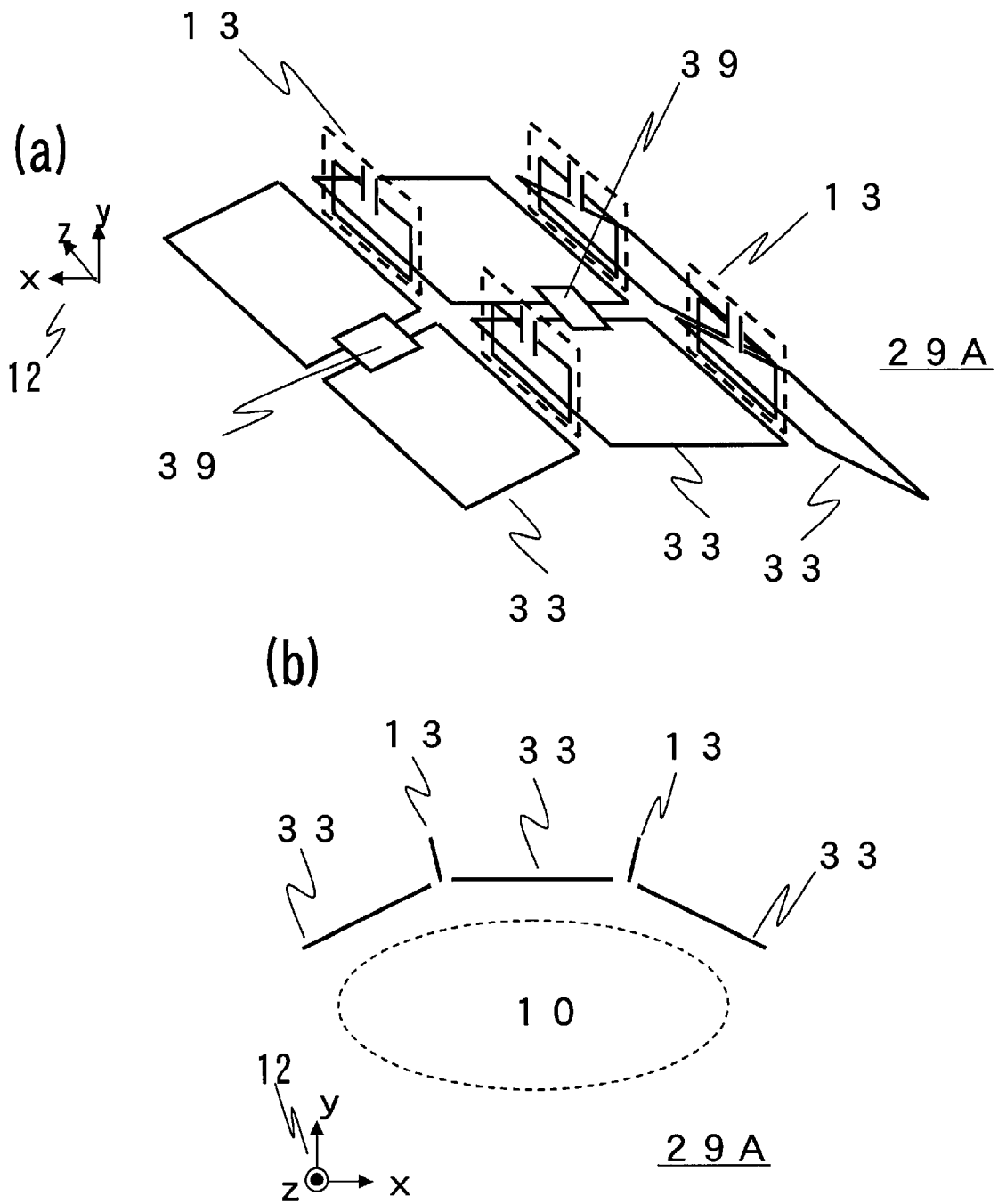
[図20]

図20



[図21]

図21



[図22]

図22

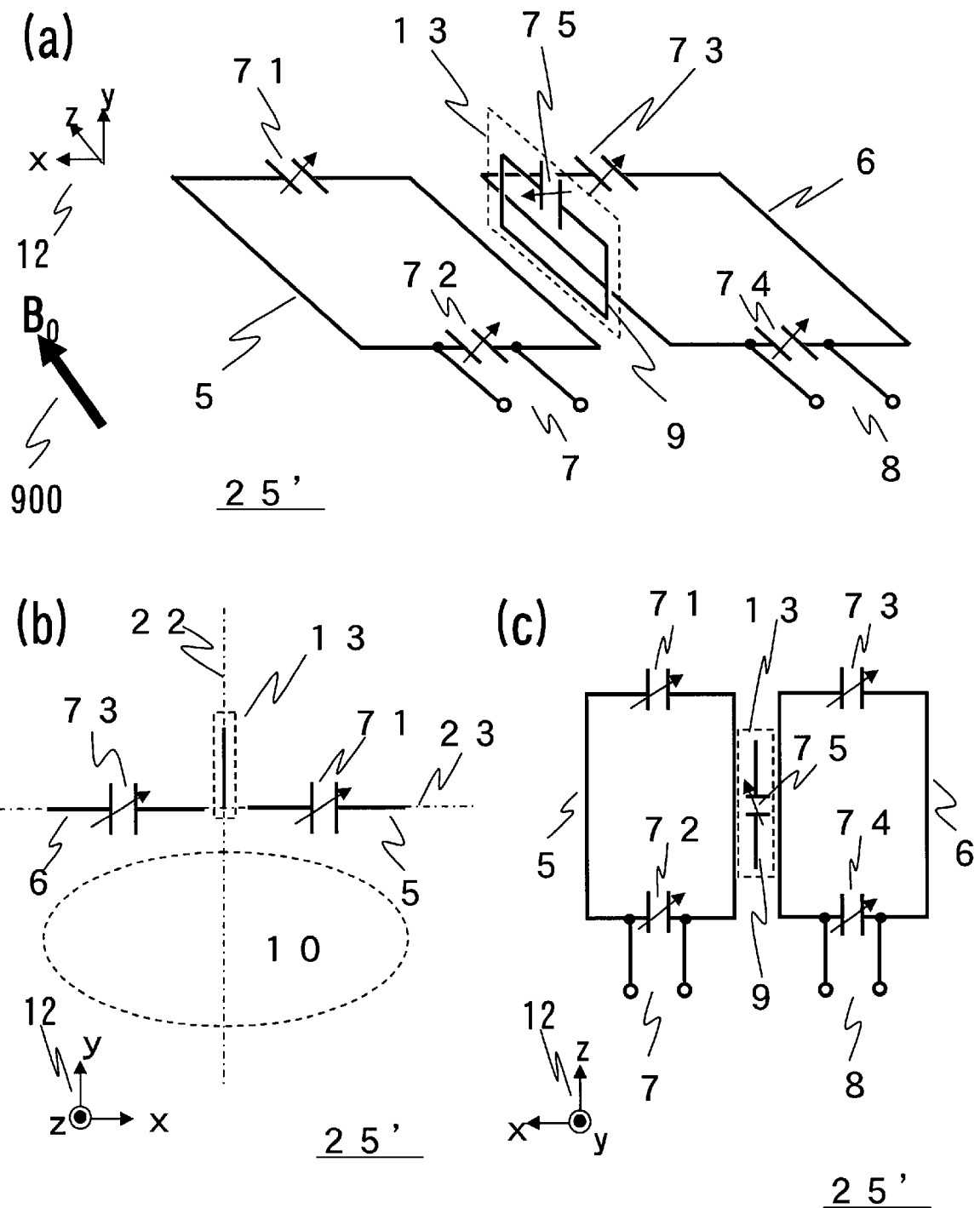
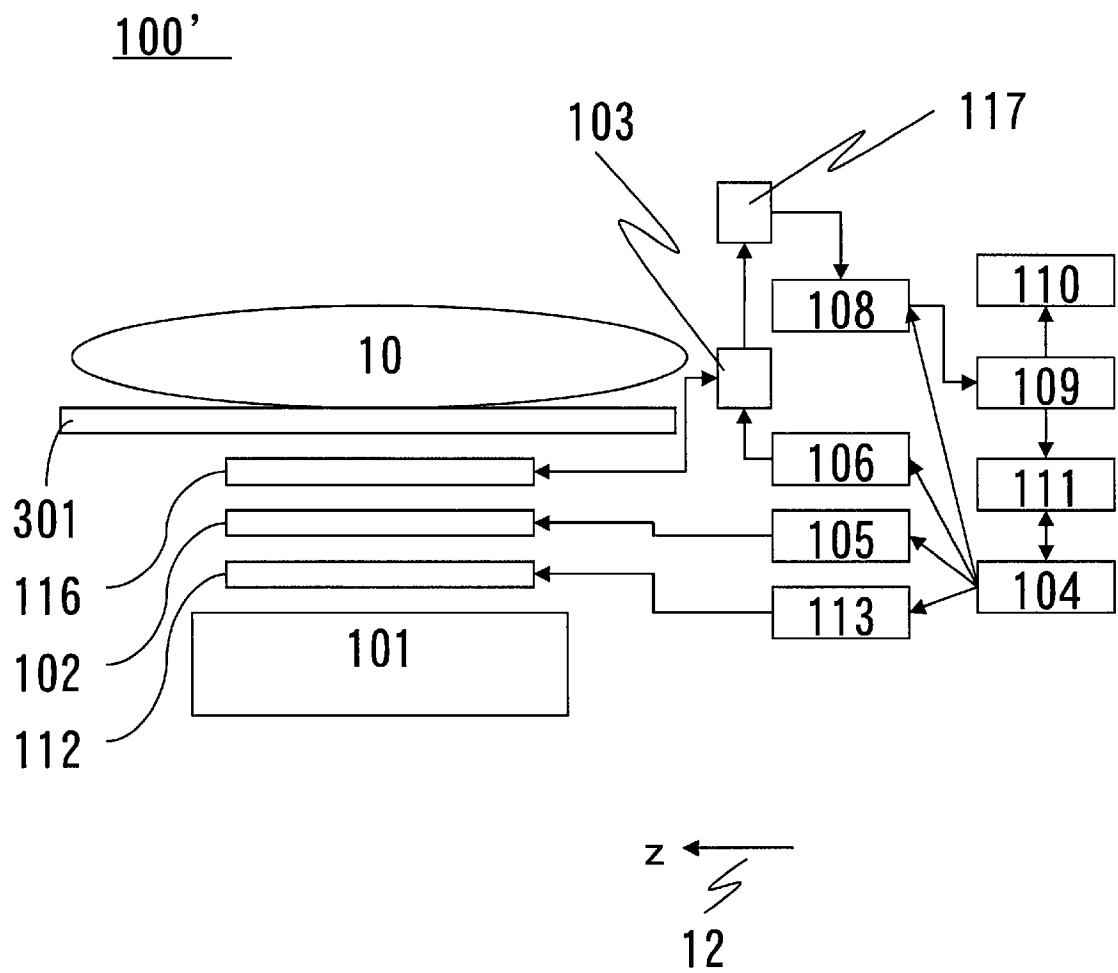


図23



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/063107

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B5/055(2006.01) i, G01R33/34(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B5/055, G01R33/34

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PubMed, Wiley InterScience

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-225104 A (Toshiba Corp.), 15 August 2000 (15.08.2000), paragraphs [0049] to [0060], [0071] to [0073], [0081], [0086]; fig. 5 to 6, 9, 12 to 13 (Family: none)	1-2, 9-10, 16 17-18
Y	JP 2003-180659 A (Koninklijke Philips Electronics N.V.), 02 July 2003 (02.07.2003), paragraphs [0039] to [0040]; fig. 6 & US 2003/0122546 A1	17-18
A	Z.Xie, X.Zhang, A novel decoupling technique for non-overlapped microstrip array coil at 7T MR imaging, Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2008.05.09, #1068	1-2, 9-10, 16-18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
07 October, 2009 (07.10.09)

Date of mailing of the international search report
20 October, 2009 (20.10.09)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/063107

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	P.Qu, B.Wu, G.X.Shen, A Shielding-based Decoupling Technique for Coil Array Design, Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2004.05.21, #1605	1-2, 9-10, 16-18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/063107

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Paragraphs [0049]-[0060], [0071]-[0073], [0081], [0086], and fig. 5-6, 9, 12-13 of JP 2000-225104 (hereinafter, referred to as "Document 1") disclose a method of decoupling between a plurality of coils using a closed coil C having a capacitor so as to adjust the capacity of the capacitor of the closed coil for performing an inductive function.

When compared to the invention of Document 1, the inventions of claims 1-2 have no novelty or no special technical feature.

(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-2, 9-10, 16-18

Remark on Protest
the

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/063107

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

When consideration is taken on special technical features at the moment when payment of an additional fee is instructed for the dependent claims of claim 1, the present application can be divided into the following five groups of inventions linked by respective special technical features.

It should be noted that the inventions of claims 1-2 having no special technical feature are classified into the first group.

[First group of inventions] claims 1-2, 9-10, 16-18

A high-frequency coil in which adjustment is made so that the total of the interlinking magnetic fluxes is minimum and the resonance frequency is smaller than the resonance frequency of the high-frequency coil

[Second group of inventions] claims 3-8

Arrangement of the high-frequency coil

[Third group of inventions] claim 11

The type of the capacitor

[Fourth group of inventions] claim 12

A high-frequency coil having a plate-shape conductor

[Fifth group of inventions] claims 13-15

Decoupling from the transmission coil

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. A61B5/055 (2006.01)i, G01R33/34 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. A61B5/055, G01R33/34

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

PubMed, Wiley InterScience

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2000-225104 A (株式会社東芝) 2000.08.15, 【0049】 - 【0060】、【0071】 - 【0073】、【0081】、【0086】及び図5 - 6, 9, 12 - 13 (ファミリーなし)	1-2, 9-10, 16 17-18
Y	JP 2003-180659 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ) 2003.07.02, 【0039】 - 【0040】及び図6 & US 2003/0122546 A1	17-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 7 . 1 0 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

2 0 . 1 0 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

谷 垣 圭二

2 Q

3 8 0 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

C（続き）． 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	Z. Xie, X. Zhang, A novel decoupling technique for non-overlapped microstrip array coil at 7T MR imaging, Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2008.05.09, #1068	1-2, 9-10, 16-18
A	P. Qu, B. Wu, G. X. Shen, A Shielding-based Decoupling Technique for Coil Array Design, Proceedings of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine, 2004.05.21, #1605	1-2, 9-10, 16-18

第Ⅱ欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、
2. ☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。

JP 2000-225104 A（以下、「文献1」とする。）の【0049】－【0060】、【0071】－【0073】、【0081】、【0086】及び図5－6，9，12－13には、複数のコイル間のデカップリング手法として、コンデンサを有する閉コイルCを配置し、この閉コイルのコンデンサの容量を調整することでインダクティブに機能させて複数のコイル間のデカップリングを行うことが記載されており、請求項1－2に係る発明は、文献1に記載された発明に対して新規性が認められず、特別な技術的特徴を有さない。そこで、請求項1の従属請求項について手数料の追加納付命令時点での特別な技術的特徴を判断すると、以下に示す各特別な技術的特徴で連関する5の発明が含まれるものと認められる。

[補充欄]に続く

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項1－2，9－10，16－18

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- ☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

[補充欄]

< 第Ⅲ欄の続き >

なお、特別な技術的特徴を有さない請求項 1 - 2 に係る発明は、発明 1 に区分する。

(発明 1) 請求項 1 - 2, 9 - 10, 16 - 18 に係る発明

鎖交する磁束の総和が最小でかつ共振周波数が高周波コイルの共振周波数よりも小さくなるよう調整された高周波コイルについて

(発明 2) 請求項 3 - 8 に係る発明

高周波コイルの配置について

(発明 3) 請求項 11 に係る発明

キャパシタの種類について

(発明 4) 請求項 12 に係る発明

板状導体を有する高周波コイルについて

(発明 5) 請求項 13 - 15 に係る発明

送信コイルとのデカップリングについて