

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6153905号  
(P6153905)

(45) 発行日 平成29年6月28日(2017.6.28)

(24) 登録日 平成29年6月9日(2017.6.9)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

A 6 1 B 5/05 3 5 0

A 6 1 B 5/05 3 3 0

A 6 1 B 5/05 3 5 5

請求項の数 10 (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願2014-181324 (P2014-181324)  
 (22) 出願日 平成26年9月5日(2014.9.5)  
 (65) 公開番号 特開2016-54785 (P2016-54785A)  
 (43) 公開日 平成28年4月21日(2016.4.21)  
 審査請求日 平成28年9月23日(2016.9.23)

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 110000888  
 特許業務法人 山王坂特許事務所  
 (72) 発明者 大竹 陽介  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内  
 (72) 発明者 越智 久晃  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内  
 (72) 発明者 岩澤 浩二郎  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高周波コイルおよび磁気共鳴撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導体からなる第一のループコイル部を有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第一のサブコイルと、

導体からなる第二のループコイル部を有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第二のサブコイルと、を備え、

前記第一のサブコイルは、送受信対象の前記核磁気共鳴信号の周波数である核磁気共鳴周波数と当該第一のサブコイル単独の共振周波数とが異なり、かつ、前記第二のサブコイルと磁気結合することにより、前記第一のループコイル部のループと前記第二のループコイル部のループとに、それぞれ、周回する電流経路を形成して前記核磁気共鳴周波数で共

振するよう、配置および調整されること

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、

前記第二のサブコイルは、前記核磁気共鳴周波数と当該第二のサブコイル単独の共振周波数が異なり、かつ、前記第一のサブコイルと磁気結合することにより、前記第一のループコイル部のループと前記第二のループコイル部のループとに、それぞれ、周回する電流経路を形成するとともに前記核磁気共鳴周波数で共振す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 3】

請求項 1 記載の高周波コイルであって、

前記第一のサブコイルは、前記第一のループコイル部と当該第一のサブコイルが接続される第一の低インピーダンス信号処理回路とを接続する第一の磁気結合調整部、をさらに備え、

前記第一のループコイル部は、

前記ループのインダクタ成分に対して直列に挿入される第一の直列キャパシタと、

前記インダクタ成分に対して直列に挿入され、当該第一のループコイル部を並列共振回路とする第一の並列キャパシタと、を備え、

前記第二のサブコイルは、前記第二のループコイル部と当該第二のサブコイルが接続される第二の低インピーダンス信号処理回路とを接続する第二の磁気結合調整部、をさらに備え、

10

前記第二のループコイル部は、

前記ループのインダクタ成分に対して直列に挿入される第二の直列キャパシタと、

前記インダクタ成分に対して直列に挿入され、当該第二のループコイル部を並列共振回路とする第二の並列キャパシタと、を備え、

前記第一の磁気結合調整部は、キャパシタおよびインダクタの少なくとも一方を第一の調整回路要素として備え、

前記第二の磁気結合調整部は、キャパシタおよびインダクタの少なくとも一方を第二の調整回路要素として備え、

前記第一のサブコイルおよび前記第二のサブコイルは、前記第一の調整回路要素、前記第二の調整回路要素、前記第一の直列キャパシタ、前記第二の直列キャパシタ、前記第一の並列キャパシタおよび前記第二の並列キャパシタの値を調整することにより、調整されること

20

を特徴とする高周波コイル。

#### 【請求項 4】

請求項 1 記載の高周波コイルであって、

前記第一のサブコイルと前記第二のサブコイルとは、磁気結合可能な位置に配置されること

を特徴とする高周波コイル。

#### 【請求項 5】

30

請求項 1 記載の高周波コイルであって、

前記第一のサブコイルは、第一の結合インダクタをさらに備え、

前記第二のサブコイルは、第二の結合インダクタをさらに備え、

前記第一のサブコイルと前記第二のサブコイルとは、前記第一の結合インダクタと前記第二の結合インダクタとにより、磁気結合すること

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、

導体からなる第三のループコイル部を有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第三のサブコイルをさらに備え、

40

前記第三のサブコイルは、前記核磁気共鳴周波数と当該第三のサブコイル単独の共振周波数とが異なり、かつ、前記第二のサブコイルと磁気結合することにより、前記第三のループコイル部のループと前記第二のループコイル部のループとに、それぞれ、周回する電流経路を形成するとともに前記核磁気共鳴周波数で共振するよう、配置および調整されること

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、

導体からなる第四のループコイル部を有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第四のサブコイルをさらに備え、

50

前記第四のサブコイルは、前記第四のループコイル部が、前記第一のループコイル部および前記第二のループコイル部それぞれとオーバーラップ領域を有するように配置され、

前記オーバーラップ領域の面積は、前記第四のサブコイルが、前記第一のサブコイルおよび前記第二のサブコイルそれぞれと磁気結合しないよう定められること

を特徴とする高周波コイル。

【請求項 8】

請求項 1 記載の高周波コイルであって、

前記第一のサブコイルおよび前記第二のサブコイルは、それぞれ、低入力インピーダンス信号処理回路に接続され、前記核磁気共鳴信号の受信を行う受信コイルとして機能すること

10

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、

前記第一のサブコイルおよび前記第二のサブコイルは、低出力インピーダンス信号処理回路に接続され、前記核磁気共鳴信号の送信を行う送信コイルとして機能すること

を特徴とする高周波コイル。

【請求項 10】

静磁場を形成する静磁場形成部と、

傾斜磁場を形成する傾斜磁場形成部と、

高周波磁場を生成する高周波磁場生成部と、

20

前記高周波磁場を検査対象に照射する送信コイルと、

前記検査対象からの核磁気共鳴信号を検出する受信コイルと、

前記検出した核磁気共鳴信号から画像を再構成する画像再構成部と、を備え、

前記送信コイルおよび前記受信コイルの少なくとも一方が、請求項 1 記載の高周波コイルであり、

前記送信コイルと前記受信コイルとは、それぞれ、当該送信コイルと当該受信コイルとの間の磁気結合を防止する磁気結合防止回路を備えること

を特徴とする磁気共鳴撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、磁気共鳴撮像 (MRI: Magnetic Resonance Imaging) 装置に関わり、特に高周波磁場を照射するとともに、核磁気共鳴信号を検出する RF コイル (Radio Frequency Coil: 高周波コイル) に関する。

【背景技術】

【0002】

MRI 装置は、核磁気共鳴現象を用いて被写体を横切る任意の断面を画像化するイメージング装置である。具体的には、MRI 装置は、空間的に均一な磁場 (静磁場) 中に置かれた被写体に対し高周波磁場を照射して磁気共鳴を起こし、発生する核磁気共鳴信号を検出し、検出した信号に画像処理を施すことで断面画像を取得する。

40

【0003】

被写体に高周波磁場を照射したり、被写体から発生する核磁気共鳴信号を検出したりする装置を RF コイルと呼ぶ。RF コイルは、照射および検出を行うループ部 (コイルループ) を有する。このコイルループを小さくすればするほど感度領域は狭くなるものの、感度が高くなる。一方、コイルループを大きくすれば感度領域を広げることができる。このように、RF コイルでは、感度の高さと、感度領域の広さとは、トレードオフの関係にある。また、核磁気共鳴信号は、静磁場と垂直な方向に生じる回転磁場の信号であるため、RF コイルは静磁場と垂直な方向に磁場を照射、検出できる向きに配置することが好ましい。

【0004】

50

前述の通り、RFコイルは、小さくするほど感度は高くなるが、感度領域が狭くなる。これを解決するものとして、RFコイルをアレイ状に複数配置した多チャンネルアレイコイルがある（例えば、非特許文献1参照）。多チャンネルアレイコイルは高感度と広い感度領域を有するため現在の受信RFコイルの主流となっている。なお、以下、多チャンネルアレイコイルにおいて、個々のRFコイルをサブコイルと呼ぶ。

#### 【0005】

通常同じ共振特性を持ったRFコイルが互いに近くに配置されると、それらは磁気結合により干渉する。磁気結合によりRFコイルの性能は劣化するため、多チャンネルアレイコイルでは、サブコイル間の磁気結合の除去は必須である。非特許文献1では、隣り合ったサブコイルのコイルループの一部が重なり合うように配置することで、磁気結合を最大限低下させる。さらに低入力のプリアンプとインダクタとキャパシタとを用いて、コイルループの一部を高インピーダンスにすることによって、当該サブコイル以外からの干渉を低減させる。

#### 【0006】

また近年では、多チャンネルアレイコイルの各サブコイルの空間的な感度の差を用いた高速イメージング（例えば、非特許文献2参照）が普及している。高速イメージングはチャンネル数が多いほど高速化が可能となる。そのため近年、多チャンネルアレイコイルのさらなる多チャンネル化が進み、現在では32チャンネルや128チャンネルといった超多チャンネルアレイコイルが普及している。

#### 【先行技術文献】

##### 【非特許文献】

#### 【0007】

【非特許文献1】Roemer PB他著、「NMR フェーズドアレイ(The NMR Phased Array)」、ジャーナル オブ マグネティックレゾナンス(Journal of Magnetic Resonance)、USA、1990、16、p.192-225

【非特許文献2】Klaas PP他著、「SENSE：高速MRIのための感度変調(SENSE: Sensitivity Encoding for Fast MRI)」、ジャーナル オブ マグネティックレゾナンス(Journal of Magnetic Resonance)、USA、1999、42、p.952-962

#### 【発明の概要】

##### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0008】

しかしながら、多チャンネル化により、アレイコイルを構成する各サブコイルが小型化すると、感度領域の狭いサブコイルの集合となるアレイコイルでは、全体の感度領域の深度が狭くなる。そのため高速化イメージングのために開発された超多チャンネルアレイコイルの深部感度は、少ないチャンネルで構成されたアレイコイルより低くなる。故に、被写体深部では綺麗な画像が得られにくい。

#### 【0009】

また、アレイコイル実現のために実施されている磁気結合除去は、磁気結合を最大限低下させるものであり、完全に磁気結合を除去するものではない。それ故、磁気結合が強く生じる位置に配置されるサブコイルの組み合わせでは、少なからず磁気結合が残り、アレイコイルの性能が劣化する。

#### 【0010】

残存する磁気結合をできるだけ小さくするため、複数の磁気結合除去手段を施すことも可能である。しかし磁気結合除去手段自体も実際は若干の損失を持つ。そのため複数の磁気結合除去手段を施すことは、磁気結合除去だけでなく、アレイコイルの感度低下を引き起こす。また超多チャンネルアレイコイルの場合、複数のサブコイルとの磁気結合を除去する必要があり、構成が複雑化する。

#### 【0011】

また、多チャンネルアレイコイルは、表面コイルが被写体を覆うように配置されることが一般的である。しかし、アレイコイルを構成する１つのサブコイルが作る磁場が、静磁場の作る磁場の向きとほとんど同じになる様な場合（静磁場方向が地面に対して水平なトンネル型MRIでは、例えば被写体頭頂部等。静磁場方向が地面に対して垂直なオープン型MRIでは、例えば腹部前面もしくは背面等。）は、感度領域がより狭くなるため、信号受信効率が悪い。この場合、多チャンネル化のためにサブコイルの数を増やしても、実質的な感度はほとんど上がらない。

【００１２】

本発明は、上記事情に鑑みて成されたもので、MRI装置の多チャンネルのアレイコイルにおいて、構成を複雑化せずに広い感度領域と深部の高感度とを両立させ、高速化と高画質とを両立させる技術を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【００１３】

本発明は、複数のサブコイルを備えるMRI装置のRFコイル（アレイコイル）を提供する。少なくとも１つのサブコイルは、単独での共振周波数が核磁気共鳴周波数とは異なる第一のサブコイルである。第一のサブコイルは、少なくとも１つの他のサブコイルである第二のサブコイルと意図的に磁気結合することで核磁気共鳴周波数と同じ周波数で共振するように調整される。第一のサブコイルと第二のサブコイルの入出力端子は、それぞれ異なる低入出力インピーダンス信号処理回路に接続される。

【発明の効果】

20

【００１４】

本発明によれば、MRI装置のRFコイルにおいて、多チャンネルと、広く深い感度領域とが両立し、高画質の画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】（a）および（b）は、第一の実施形態のMRI装置の概観図である。

【図２】第一の実施形態のMRI装置のブロック図である。

【図３】第一の実施形態の送信RFコイルと受信RFコイルの接続を説明するための説明図である。

【図４】（a）は、第一の実施形態の送信RFコイルとして用いる鳥かご型RFコイルの構成を説明するための説明図であり、（b）は、第一の実施形態の送受間磁気結合防止回路を説明するための説明図である。

30

【図５】（a）は、第一の実施形態の受信RFコイルとして用いるアレイコイルの構成を説明するための説明図であり、（b）および（c）は、第一の実施形態の送受間磁気結合防止回路を説明するための説明図である。

【図６】（a）および（b）は、第一の実施形態のアレイコイルの配置を説明するための説明図である。

【図７】（a）～（c）は、第一の実施形態のアレイコイルの動作を説明するための説明図である。

【図８】（a）および（b）は、一般の並列共振回路の動作を説明するための説明図である。

40

【図９】（a）および（b）は、第一の実施形態のアレイコイルによる感度分布のシミュレーション結果を、（c）および（d）は、従来のアレイコイルによる感度分布のシミュレーション結果を、それぞれ説明するための説明図であり、（e）は、第一の実施形態のアレイコイルおよび従来のアレイコイルの感度プロファイルのグラフである。

【図１０】第一の実施形態の変形例を説明するための説明図である。

【図１１】第一の実施形態の調整時に用いる共振周波数を変化させた際の感度プロファイルのグラフである。

【図１２】第一の実施形態の変形例を説明するための説明図である。

【図１３】第一の実施形態の変形例を説明するための説明図である。

50

【図１４】第一の実施形態の変形例を説明するための説明図である。

【図１５】（ａ）～（ｃ）は、第一の実施形態の変形例の動作を説明するための説明図である。

【図１６】第二の実施形態のアレイコイルを説明するための説明図である。

【図１７】（ａ）および（ｂ）は、第三の実施形態のアレイコイルを説明するための説明図である。

【図１８】（ａ）は、第四の実施形態の送信アレイコイルを説明するための説明図であり、（ｂ）は、第四の実施形態の送受間磁気結合防止回路を説明するための説明図である。

【発明を実施するための形態】

【００１６】

10

<< 第一の実施形態 >>

本発明を適用した第一の実施形態を説明する。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】

[ M R I 装置構成 ]

まず、本実施形態の M R I 装置の全体構成について図１を用いて説明する。図１は、本実施形態の M R I 装置の外観図である。図１（ａ）は、ソレノイドコイルで静磁場を生成するトンネル型磁石を用いた水平磁場方式の M R I 装置 １００である。図１（ｂ）は、開放感を高めるために磁石を上下に分離したハンバーガー型（オープン型）の垂直磁場方式の M R I 装置 １０１である。これらの M R I 装置 １００、１０１は、検査対象 １０３を載置するテーブル １０２を備える。本実施形態は、水平磁場方式のマグネット １１０を備える M R I 装置 １００、および、垂直磁場方式のマグネット １１１を備える M R I 装置 １０１のいずれも適用可能である。

20

【００１８】

以下、水平磁場方式のマグネット １１０を有する M R I 装置 １００を例にあげて説明する。本実施形態では、これらの外観を有する M R I 装置のいずれを用いることもできる。なお、これらは一例であり、本実施形態の M R I 装置はこれらの形態に限定されるものではない。本実施形態では、装置の形態やタイプを問わず、公知の各種の M R I 装置を用いることができる。

30

【００１９】

また、静磁場方向を z 方向、それに垂直な 2 方向を、それぞれ x 方向および y 方向とする座標系 ０９０を用いる。以下、本明細書の全図において同様とする。

【００２０】

図２は、M R I 装置 １００の概略構成を示すブロック図である。本図に示すように、M R I 装置 １００は、水平磁場方式のマグネット １１０、傾斜磁場コイル １３１、送信 R F コイル １５１、受信 R F コイル １６１と、傾斜磁場電源 １３２と、シムコイル １２１、シム電源 １２２と、高周波磁場発生器 １５２と、受信器 １６２と、磁気結合防止回路駆動装置 １８０と、計算機 １７０と、シーケンサ １４０と、表示装置 １７１と、を備える。なお、１０２は、検査対象 １０３を載置するテーブルである。

40

【００２１】

傾斜磁場コイル １３１は、傾斜磁場電源 １３２に接続され、傾斜磁場を発生させる。シムコイル １２１は、シム電源 １２２に接続され、磁場の均一度を調整する。送信 R F コイル １５１は、高周波磁場発生器 １５２に接続され、検査対象 １０３に高周波磁場を照射（送信）する。受信 R F コイル １６１は、受信器 １６２に接続され、検査対象 １０３からの核磁気共鳴信号を受信する。磁気結合防止回路駆動装置 １８０は、磁気結合防止回路（後述）に接続される。なお、磁気結合防止回路は、送信 R F コイル １５１および受信 R F コイル １６１にそれぞれ接続される、送信 R F コイル １５１と受信 R F コイル １６１との間の磁気結合を防止する回路である。

【００２２】

50

シーケンサ 140 は、傾斜磁場電源 132、高周波磁場発生器 152、磁気結合防止回路駆動装置 180 に命令を送り、それぞれ動作させる。命令は、計算機 170 からの指示に従って送出する。また、計算機 170 からの指示に従って、受信器 162 で検波の基準とする核磁気共鳴周波数をセットする。例えば、シーケンサ 140 からの命令に従って、高周波磁場が、送信 RF コイル 151 を通じて検査対象 103 に照射される。高周波磁場を照射することにより検査対象 103 から発生する核磁気共鳴信号は、受信 RF コイル 161 によって検出され、受信器 162 で検波が行われる。

#### 【0023】

計算機 170 は、MRI 装置 100 全体の動作の制御、各種の信号処理を行う。例えば、受信器 162 で検波された信号を A/D 変換回路を介して受信し、画像再構成などの信号処理を行う。その結果は、表示装置 171 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 132 に保存される。また、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シーケンサ 140 に命令を送出させる。さらに、静磁場均一度を調整する必要があるときは、シーケンサ 140 により、シム電源 122 に命令を送り、シムコイル 121 に磁場均一度を調整させる。

#### 【0024】

マグネット 110 は、静磁場を形成する静磁場形成部を構成し、傾斜磁場コイル 131 および傾斜磁場電源 132 は、傾斜磁場を形成する傾斜磁場形成部を構成し、高周波磁場発生器 152 は、高周波磁場を生成する高周波磁場生成部を構成し、送信 RF コイル 151 は、前記高周波磁場を検査対象 103 に照射する送信コイルであり、受信 RF コイル 161 は、前記検査対象からの核磁気共鳴信号を検出する受信コイルであり、計算機 170 は、前記検出した核磁気共鳴信号から画像を再構成する画像再構成部を構成する。

#### 【0025】

##### [送信 RF コイルおよび受信 RF コイルの概要]

次に、本実施形態の送信 RF コイル 151 および受信 RF コイル 161 の詳細を説明する。本実施形態では、一例として、送信 RF コイル 151 として鳥かご型形状を有する RF コイル（鳥かご型 RF コイル）300 を使用し、受信 RF コイル 161 としてループ形状を有する RF コイル（表面コイル）を二つ並べたアレイコイル 400 を使用する場合は例にあげて説明する。

#### 【0026】

送信 RF コイル 151 として用いる鳥かご型 RF コイル 300 の共振周波数は、励起対象元素の共鳴周波数に調整される。本実施形態では、水素原子核の励起が可能な、水素原子核の磁気共鳴周波数に調整される。受信 RF コイル 161 として用いるアレイコイル 400 は、鳥かご型 RF コイル 300 が励起可能な元素の核磁気共鳴信号を検出可能に調整される。

#### 【0027】

##### [送信 RF コイルおよび受信 RF コイルの配置および接続態様]

まず、送信 RF コイル 151 として用いる鳥かご型 RF コイル 300 および受信 RF コイル 161 として用いるアレイコイル 400 の配置と、鳥かご型 RF コイル 300、アレイコイル 400、高周波磁場発生器 152、受信器 162、および、磁気結合防止回路駆動装置 180 の接続態様とを、図 3 を用いて説明する。

#### 【0028】

本図に示すように、鳥かご型 RF コイル 300 は、その軸が、マグネット 110 の中心軸と同軸となるよう配置される。そして、アレイコイル 400 は、鳥かご型 RF コイル 300 内に配置される。また、上述のように、鳥かご型 RF コイル 300 は、高周波磁場発生器 152 に接続される。また、アレイコイル 400 は、受信器 162 に接続される。

#### 【0029】

さらに、本実施形態では、鳥かご型 RF コイル 300 は、アレイコイル 400 との磁気結合を防止する磁気結合防止回路 210 を備える。この磁気結合防止回路 210 は、送信 RF コイル 151（鳥かご型 RF コイル 300）と、受信 RF コイル 161（アレイコ

10

20

30

40

50

ル４００）との間の磁気結合を防止する回路であり、送受間磁気結合防止回路２１０と呼ぶ。この送受間磁気結合防止回路２１０は、鳥かご型ＲＦコイル３００の直線導体（後述する）に直列に挿入される。

#### 【００３０】

アレイコイル４００は、鳥かご型ＲＦコイル３００との磁気結合を防止する磁気結合防止回路２２０を備える。磁気結合防止回路２２０も、送信ＲＦコイル１５１（鳥かご型ＲＦコイル３００）と、受信ＲＦコイル１６１（アレイコイル４００）との間の磁気結合を防止する送受間磁気結合防止回路である。この送受間磁気結合防止回路２２０は、アレイコイル４００を構成する各表面コイルに直列に挿入される。

#### 【００３１】

磁気結合防止回路駆動装置１８０は、これらの送受間磁気結合防止回路２１０および送受間磁気結合防止回路２２０にそれぞれ接続される。

#### 【００３２】

##### [鳥かご型ＲＦコイル]

次に、本実施形態の送信ＲＦコイル１５１として用いる鳥かご型ＲＦコイル３００について図４を用いて説明する。本実施形態の鳥かご型ＲＦコイル３００は、上述のように励起対象元素の共鳴周波数（核磁気共鳴周波数）が共振周波数となるよう調整され、当該核磁気共鳴周波数の高周波磁場を照射する。以後、照射する高周波磁場の核磁気共鳴周波数を $f_0$ と呼ぶ。

#### 【００３３】

図４（ａ）は、本実施形態の鳥かご型ＲＦコイル３００の構成を説明するためのブロック図である。本実施形態の鳥かご型ＲＦコイル３００は、複数の直線導体３０１と、各直線導体３０１の端部を接続する端部導体３０２と、端部導体３０２に挿入されるキャパシタ３０３と、を備える。上述の送受間磁気結合防止回路２１０は、各直線導体３０１に直列に挿入される。

#### 【００３４】

また、本実施形態の鳥かご型ＲＦコイル３００は、二つの入力ポート３１１、３１２を備える。第一の入力ポート３１１と第二の入力ポート３１２とは、位相が９０度異なった送信信号が入力され、効率よく被写体（検査対象）１０３に高周波磁場が加えられるよう構成される。

#### 【００３５】

##### [送受間磁気結合除去]

図４（ｂ）は、鳥かご型ＲＦコイル３００の直線導体３０１に挿入される送受間磁気結合防止回路２１０の構成および磁気結合防止回路駆動装置１８０との接続を説明するための図である。送受間磁気結合防止回路２１０は、ＰＩＮダイオード２１１と制御用信号線２１２とを備える。ＰＩＮダイオード２１１は、直線導体３０１に直列に挿入され、制御用信号線２１２はＰＩＮダイオード２１１の両端に接続される。制御用信号線２１２は磁気結合防止回路駆動装置１８０に接続される。制御用信号線２１２には、高周波の混入を避けるためチョークコイルが挿入される。

#### 【００３６】

ＰＩＮダイオード２１１は、通常は高抵抗（オフ）を示し、ＰＩＮダイオード２１１の順方向に流れる直流電流の値が一定値以上となると概ね導通状態（オン）となる特性を持つ。本実施形態ではこの特性を利用し、磁気結合防止回路駆動装置１８０から出力される直流電流によりＰＩＮダイオード２１１のオン／オフを制御する。すなわち、高周波信号送信時には、ＰＩＮダイオード２１１を導通状態とする制御電流を流し、鳥かご型ＲＦコイル３００を送信ＲＦコイル１５１として機能させる。また、核磁気共鳴信号受信時には、制御電流を停止し、鳥かご型ＲＦコイル３００を高インピーダンス化し、開放状態とする。

#### 【００３７】

このように、本実施形態では、磁気結合防止回路駆動装置１８０からの直流電流（制御

10

20

30

40

50



電流)を制御することにより、高周波信号送信時には鳥かご型RFコイル300を送信RFコイル151として機能させ、核磁気共鳴信号受信時には、開放状態として受信RFコイル161であるアレイコイル400との磁気結合を除去する。

【0038】

[アレイコイル]

次に、本実施形態の受信RFコイル161として用いるアレイコイル400について、図5(a)から図7(c)を用いて説明する。上述のように、本実施形態のアレイコイル400は、2つのサブコイル410を備える。2つのサブコイルは、それぞれが核磁気共鳴信号の受信が可能なもので、それぞれが1つのチャンネルとして機能する。

【0039】

図5(a)は、本実施形態のアレイコイル400の構成を説明するためのブロック図である。本実施形態のアレイコイル400を構成する2つのサブコイル410を、それぞれ、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bと呼ぶ。第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bは、それぞれ、平面上に構成されたループを有する表面コイルである。また、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bは、それぞれ、核磁気共鳴信号を受信する。受信した信号は、受信器162に送られる。

【0040】

以下、アレイコイル400を構成する各サブコイル410の構成要素について、特にサブコイル410毎に区別する必要がない場合は、符号の最後の英文字を省略する。

【0041】

第一のサブコイル410Aは、核磁気共鳴信号を受信するループコイル部420(第一のループコイル部420A)と、低(入力)インピーダンス信号処理回路430(第一の低インピーダンス信号処理回路430A)と、ループコイル部420と低インピーダンス信号処理回路430とを接続する磁気結合調整部441(第一の磁気結合調整部441A)と、を備える。磁気結合調整部441は、キャパシタもしくはインダクタの少なくとも一方から構成される。

【0042】

第一のループコイル部420Aのループ部分(第一のループ421A)は、導体で形成される。そして、第一のループコイル部420Aは、第一のループ421Aのインダクタ成分に対して直列に挿入されるキャパシタ424Aを備える。このインダクタ成分とキャパシタ424Aとは、並列共振回路を構成する。このキャパシタ424Aを、他のキャパシタと区別するため、第一の並列キャパシタ424Aと呼ぶ。

【0043】

また、第一のループ421Aには、共振周波数を調整するキャパシタ422Aと、送受間磁気結合防止回路220とが直列に挿入される。このキャパシタ422Aを、他のキャパシタと区別するため、第一の直列キャパシタ422Aと呼ぶ。なお、ここでは、第一の直列キャパシタ422Aを2つ備える場合を例示するが、第一の直列キャパシタ422Aの数は1以上であればよい。

【0044】

このように、本実施形態の第一のサブコイル410Aは、調整用の回路素子として、第一の磁気結合調整部441Aと、第一のループ421Aのインダクタ成分に対して直列に挿入される第一の直列キャパシタ422Aと、前記インダクタ成分に対して直列に挿入され、第一のループコイル部420Aを並列共振回路とする第一の並列キャパシタ424Aと、を備える。

【0045】

低インピーダンス信号処理回路430のループコイル部420側の一方の端子は、磁気結合調整部441を介してループコイル部420の並列キャパシタ424の一方の端に接続される。低インピーダンス信号処理回路430のループコイル部420側のもう一方の端子は、直接ループコイル部420の並列キャパシタ424の他方の端に接続される。低

10

20

30

40

50

インピーダンス信号処理回路 430 のループコイル部 420 側でない他方の端子は、受信器 162 に接続される。

【0046】

送受間磁気結合防止回路 220 は、送信 RF コイル 151 である鳥かご型 RF コイル 300 との間の磁気結合を除去する。

【0047】

第二のサブコイル 410 B も第一のサブコイル 410 A と同様の構成を有する。すなわち、第二のサブコイル 410 B は、並列共振回路である第二のループコイル部 420 B と、第二の低インピーダンス信号処理回路 430 B と、第二のループコイル部 420 B と第二の低インピーダンス信号処理回路 430 B とを接続する第二の磁気結合調整部 441 B と、を備える。また、第二のループコイル部 420 B は、導体で形成されるループ（第二のループ 421 B）と、第二のループ 421 B のインダクタ成分に対して直列に挿入される第二の直列キャパシタ 422 B と、当該インダクタ成分に対して直列に挿入され、第二のループコイル部 420 B を並列共振回路とする第二の並列キャパシタ 424 B と、を備える。

10

【0048】

[送受間磁気結合除去]

送受間磁気結合防止回路 220 による送信 RF コイル 151（鳥かご型 RF コイル 300）と受信 RF コイル 161（アレイコイル 400）との間の磁気結合除去について説明する。図 5（b）は、ループ 421 に挿入される送受間磁気結合防止回路 220 の構成、および当該送受間磁気結合防止回路 220 と磁気結合防止回路駆動装置 180 との接続を説明するための図である。

20

【0049】

送受間磁気結合防止回路 220 は、PIN ダイオード 221 とインダクタ 222 と制御用信号線 223 とを備える。

【0050】

PIN ダイオード 221 とインダクタ 222 とは直列に接続され、キャパシタ 423 に並列に接続される。なお、キャパシタ 423 は、ループ 421 に挿入されるキャパシタである。また、PIN ダイオード 221 の両端には制御用信号線 223 が接続される。そして、制御用信号線 223 は磁気結合防止回路駆動装置 180 に接続される。制御用信号線 223 には高周波の混入を避けるためチョークコイルが挿入されている（不図示）。インダクタ 222 とキャパシタ 423 とは、受信する核磁気共鳴信号の周波数で並列共振するように調整される。

30

【0051】

並列共振回路は、一般に共振周波数で高インピーダンス（高抵抗）となる特性を持つ。よって、PIN ダイオード 221 に電流が流れると、PIN ダイオード 221 はオンになり、ループ 421 のキャパシタ 423 は、受信する核磁気共鳴信号の周波数でインダクタ 222 と共に並列共振して高インピーダンス状態となる。従って、受信する核磁気共鳴信号の周波数で、ループコイル部 420 は、その一部が高インピーダンスとなり、開放状態となり、そのループコイル部 420 を有するサブコイル 410 も開放状態となる。

40

【0052】

このように、PIN ダイオード 221 に電流が流れてオンとなることによって、各サブコイル 410 A および 410 B と鳥かご型 RF コイル 300 との磁気結合は除去される。従って、各サブコイル 410 をコイル素子とするアレイコイル 400 と鳥かご型 RF コイル 300 との磁気結合も除去される。

【0053】

なお、サブコイル 410 に挿入される送受間磁気結合防止回路 220 の数はこれに限定されない。各ループ 421 に、二つ以上挿入されても良い。複数挿入することで磁気結合を十分に低下させることができる。

【0054】

50

また、送受間磁気結合防止回路220の構成は、上記構成に限定されない。例えば、図5(c)に示す送受信間磁気結合防止回路220mの変形例のように、PINダイオード221の代わりに、クロスダイオード221mを用いてもよい。これにより、ループ421を構成する導体に大きな信号が流れた場合、クロスダイオード221mはオンになり、ループ421のキャパシタ423は、受信する核磁気共鳴信号の周波数でインダクタ222と共に並列共振して高インピーダンス状態となる。この場合、磁気結合防止回路駆動装置180は備えなくてもよい。

【0055】

〔各サブコイルの配置および調整〕

本実施形態のアレイコイル400では、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bは、それぞれ、核磁気共鳴信号を受信可能なように調整される。そして、第一のサブコイル410Aは、当該第一のサブコイル410A単独の共振周波数が送受信対象の核磁気共鳴信号の周波数である核磁気共鳴周波数とは異なるように調整される。また、第一のサブコイル410Aは、第二のサブコイル410Bと磁気結合可能な位置もしくは構成で配置され、意図的に磁気結合することにより、前記第一のループ421Aと前記第二のループ421Bとに、それぞれ、周回する電流経路が形成されるとともに核磁気共鳴周波数で共振するよう、調整される。具体的には、サブコイル410A単独の共振周波数特性が、第二のサブコイル410Bの有無で変化する位置に配置され、調整される。

【0056】

〔配置〕

アレイコイル400では、第一のサブコイル410Aと第二のサブコイル410Bとは、磁気結合が可能な位置に配置される。すなわち、第一のサブコイル410Aのループコイル部420Aと、第二のサブコイル410Bのループコイル部420Bとが、略同一平面上に配置され、かつ、第一のサブコイル410Aと第二のサブコイル410Bが作る磁場が互いに干渉しうる位置に配置される。なお、第一のサブコイル410Aと第二のサブコイル410Bとの磁気結合が生じる位置であればコイルエレメントの一部を重ね合わせるような配置でもよい。

【0057】

このような配置の具体例を図6(a)および図6(b)を用いて説明する。図6(a)および図6(b)は、本実施形態の受信RFコイル161として用いられるアレイコイル400を構成する第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bの配置を説明するための図である。

【0058】

図6(a)では、座標系090に示す通り、紙面縦方向をX軸方向、横方向をY軸方向、紙面に垂直方向をZ軸方向とする。また、図6(b)では、座標系090に示す通り、紙面縦方向をZ軸方向、横方向をX軸方向、垂直方向をY軸方向とする。

【0059】

図6(a)および図6(b)に示す通り、本実施形態では、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bは、それぞれのループコイル部420のループ421が形成する面が、磁場方向(Z軸方向)に垂直な面に比較的近い面となるよう配置される場合を例にあげて説明する。また、ループコイル部420のループ421を円形とする。

【0060】

例えば、第一のループコイル部420Aおよび第二のループコイル部420Bそれぞれのループ421A、421Bの直径を100mmとする。この場合、磁気結合が生じる距離、位置として、第一のサブコイル410Aは、XY面から、Y軸を回転軸として、XY面から20度、反時計回りに回転させた面に配置され、第二のサブコイル410Bは、XY面から、Y軸を回転軸として20度時計回りに回転させた面に配置される。また、2つのサブコイル410の、各円形ループ421の円の原点間距離は132mmとする。

【0061】

なお、2つのサブコイル410A、410Bが、磁気結合が生じる位置関係に配置され

10

20

30

40

50

た場合の、相互インダクタンスの大きさMは、以下の式(1)で表される。

【数1】

$$M = k\sqrt{L_{11}L_{21}} \cdots (1)$$

ここでkは磁気結合係数であり、第一のサブコイル410Aが作る磁束のうち第二のサブコイル410Bと結合する割合を示す値である。磁気結合係数kは、0から1の値を取る。また、 $L_{11}$ は、第一のサブコイル410Aのループ421Aのインダクタ成分の大きさである。 $L_{21}$ は第二のサブコイル410Bのループ421Bのインダクタ成分の大きさである。

【0062】

なお、図6(a)では、第一の低インピーダンス信号処理回路430A、第二の低インピーダンス信号処理回路430Bとして、低入力インピーダンス信号増幅器431A、431Bを用いる場合を例示する。

【0063】

なお、低インピーダンス信号処理回路430として、低入力インピーダンス信号増幅器431を用いることにより、ループコイル部420が検出した信号をすぐに増幅することができるため、ノイズの少ないデータを取得できる。低入力インピーダンス信号増幅器431の入力インピーダンスの大きさは2のものを用いた。なお、低インピーダンス信号処理回路430は、低入力インピーダンスの信号増幅器431に限定されない。

【0064】

〔回路素子の調整〕

次に、アレイコイル400の各回路素子の調整について説明する。以下の説明では、受信時の動作を主眼に置いて説明する。本実施形態では送受間磁気結合防止回路210、220を用いて、上述の手法で送信RFコイル151と、受信コイル161との間の磁気結合を除去する。ここでは、送信RFコイル151は常に開放状態とし、送信RFコイル151と受信RFコイル161との磁気結合の除去についての説明は省略する。

【0065】

本実施形態のアレイコイル400の第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bは、第一の磁気結合調整部441A、前記第二の磁気結合調整部441B、第一の直列キャパシタ422A、423A、第二の直列キャパシタ422B、423B、第一の並列キャパシタ424Aおよび第二の並列キャパシタ424Bの値を調整することにより、上記機能を実現する。

【0066】

各回路素子の調整を、アレイコイル400の等価回路を用いて説明する。

【0067】

図7(a)は、本実施形態のアレイコイル400の等価回路600である。本図において、インダクタ621Aの値 $L_{11}$ は、第一のループ421Aのインダクタ成分であり、直列キャパシタ622Aの値 $C_{11}$ は、第一のループ421Aに挿入される直列キャパシタ(422A、423A)の合成値である。同様に、インダクタ621Bの値 $L_{21}$ は、第二のループ421Bのインダクタ成分であり、直列キャパシタ622Bの値 $C_{21}$ は、第二のループ421Bに挿入される直列キャパシタ(422B、423B)の合成値である。

【0068】

また、並列キャパシタ624Aの値 $C_{14}$ は、並列キャパシタ424Aの値であり、並列キャパシタ624Bの値 $C_{24}$ は、並列キャパシタ424Bの値である。

【0069】

磁気結合調整部441には、インダクタを用いる。インダクタ641Aの値 $L_{12}$ は、第一の磁気結合調整部441Aのインダクタの値である。インダクタ641Bの値 $L_{22}$ は、第二の磁気結合調整部441Bのインダクタの値である。なお、本実施形態では磁気結合調整部441にインダクタを用いたがこれに限定されない。通常、並列キャパシタ624と磁気結合調整部441とは、導体で接続される。当該導体もインダクタ成分を有するた

10

20

30

40

50

め、更にインダクタを追加しなくても、並列キャパシタ 6 2 4 と、磁気結合調整部 4 4 1 と、それらを接続する導体のインダクタ成分とで並列共振回路が形成される。この並列共振回路の共振周波数を何らかの方法で調整できれば、磁気結合調整部 4 4 1 はキャパシタであってもよい。またキャパシタとインダクタの並列回路でもよい。なお、以下の説明では、説明簡略化のため、並列キャパシタ 6 2 4 と磁気結合調整部 4 4 1 とを接続する導体のインダクタ成分は無いものとする。

【 0 0 7 0 】

インピーダンス 6 3 2 A の値  $Z_{11}$  は、第一の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 A として用いる、低入力インピーダンス信号増幅器 4 3 1 A の入力インピーダンスの値である。インピーダンス 6 3 2 B の値  $Z_{21}$  は、第二の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 B として用いる低入力インピーダンス信号増幅器 4 3 1 B の入力インピーダンスの値である。なお、これらのインピーダンス  $Z_{11}$ 、 $Z_{21}$  は、十分に低いインピーダンスであるため、以降 0 (短絡回路) として考える。

10

【 0 0 7 1 】

相互インダクタンス M は、第一のループコイル部 4 2 0 A ( 6 2 0 A ) と第二のループコイル部 4 2 0 B ( 6 2 0 B ) との相互インダクタンスの値である。

【 0 0 7 2 】

また、検出する核磁気共鳴信号の周波数 (核磁気共鳴周波数) を  $f_0$  とする。第一のサブコイル 4 1 0 A ( 6 1 0 A ) 単体での共振周波数を  $f_{10}$ 、第二のサブコイル 4 1 0 B ( 6 1 0 B ) 単体での共振周波数を  $f_{20}$  とする。並列共振回路である第一のループコイル部 4 2 0 A ( 6 2 0 A ) の共振周波数を  $f_{12}$ 、第二のループコイル部 4 2 0 B ( 6 2 0 B ) の共振周波数を  $f_{22}$  とする。さらに、図 6 ( a ) および図 6 ( b ) に示すように配置されたとき、信号受信時の、第一の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 A ( 6 3 1 A ) から見た、この第一の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 A ( 6 3 1 A ) を除いた第一のサブコイル 4 1 0 A ( 6 1 0 A ) (以下、第一の共振部と呼ぶ。)の共振周波数を  $f_{11}$ 、第二の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 B ( 6 3 1 B ) から見た、この第二の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 B ( 6 3 1 B ) を除いた第二のサブコイル 4 1 0 B ( 6 1 0 B ) (以下、第二の共振部と呼ぶ。)の共振周波数を  $f_{21}$  とする。

20

【 0 0 7 3 】

本実施形態のアレイコイル 4 0 0 の各回路素子は、以下の式 ( 2 ) ~ 式 ( 5 ) を満たすよう調整される。

30

$$f_{11} = f_{22} = f_{20} = f_0 \quad \dots (2)$$

$$f_{10} \quad f_0 \quad \dots (3)$$

【 数 4 】

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{22}C_{24}}} \neq f_0 \quad \dots (4)$$

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{12}C_{14}}} = f_0 \quad \dots (5)$$

40

【 0 0 7 4 】

式 ( 4 ) に従って、各回路素子を調整することにより、第二のサブコイル 4 1 0 B ( 6 1 0 B ) の調整インダクタ 4 4 1 B ( 6 4 1 B ) と並列キャパシタ 4 2 4 B ( 6 2 4 B ) とによる並列共振回路 (以下、 $L_{22}C_{24}$  共振回路と呼ぶ。)の共振周波数は、核磁気共鳴周波数  $f_0$  とは異なるものとなる。従って、信号受信時は、第二のサブコイル 4 1 0 B のキャパシタ 4 2 4 B の両端は高抵抗とならず、第一のサブコイル 4 1 0 A と磁気結合する。

【 0 0 7 5 】

50

上記調整により、第一のループコイル部 4 2 0 A と第二のループコイル部 4 2 0 B とが磁気結合した状態の、第一の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 A ( 6 3 1 A ) からみた、当該低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 A ( 6 3 1 A ) を除いた第一のサブコイル 4 1 0 A ( 第一の共振部 ) の等価回路 6 0 1 を図 7 ( b ) に示す。

【 0 0 7 6 】

すなわち、信号受信時、第一のサブコイル 4 1 0 A の第一の共振部は、図 7 ( b ) に示すように、第一のループ 4 2 1 A のインダクタ成分 (  $L_{11}$  ) と第二のループ 4 2 1 B のインダクタ成分 (  $L_{21}$  ) とが磁気結合により結合した回路 6 0 1 となる。

【 0 0 7 7 】

本図において、インダクタ 6 2 7 は、相互インダクタンス  $M$ 、インダクタ 6 2 6 A の値  $L_{11} - M$  およびインダクタ 6 2 6 B の値  $L_{21} - M$  は、それぞれ、ループ 4 2 1 のインダクタ成分から相互インダクタンス  $M$  を除いたものである。

【 0 0 7 8 】

なお、このとき、各回路素子の値を、図 7 ( b ) に示すように、磁気結合によって、第一のループ 4 2 1 A には、右回り ( 時計回り ) の周回電流  $I_1$  が、第二のループ 4 2 1 B には左回り ( 反時計回り ) の周回電流  $I_2$  が流れるように調整すれば、実効的にはループ 4 2 1 A とループ 4 2 1 B とで蝶型コイルの様な電流経路が形成され、電流が流れる ( 図 7 ( b ) )。

【 0 0 7 9 】

また、回路素子の値を、第一のループ 4 2 1 A と第二のループ 4 2 1 B とに、共に右回り ( 時計回り ) の周回電流が流れるように調整した場合は、実効的には、ループ 4 2 1 A とループ 4 2 1 B とで二つのループコイルを一つのループコイルにした様な電流経路が形成され、電流が流れる ( 不図示 )。

【 0 0 8 0 】

また、式 ( 5 ) に従って、各回路素子を調整することにより、第一のサブコイル 4 1 0 A ( 6 1 0 A ) の調整インダクタ 4 4 1 A ( 6 4 1 A ) と並列キャパシタ 4 2 4 A ( 6 2 4 A ) とによる並列共振回路 ( 以下、 $L_{12}C_{14}$  共振回路と呼ぶ。 ) の共振周波数は、核磁気共鳴周波数  $f_0$  となる。従って、信号受信時は、第一のサブコイル 4 1 0 A のキャパシタ 4 2 4 A の両端は高抵抗となる。故に、第二のサブコイル 4 1 0 B は、第一のサブコイル 4 1 0 A と磁気結合しない。

【 0 0 8 1 】

式 ( 5 ) に従って調整された場合の、第二の低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 B ( 6 3 1 B ) からみた、当該低インピーダンス信号処理回路 4 3 0 B ( 6 3 1 B ) を除いた第二のサブコイル 4 1 0 B ( 第一の共振部 ) の等価回路 6 0 2 を図 7 ( c ) に示す。

【 0 0 8 2 】

信号受信時、第一のサブコイル 4 1 0 A は、第一のサブコイル 4 1 0 B と磁気結合を防止するよう調整されている。従って、信号受信時、第二のサブコイル 4 1 0 B の共振部は、図 7 ( c ) に示すように、第二のサブコイル 4 1 0 B 単体の場合と同じ回路 6 0 2 となる。

【 0 0 8 3 】

また、式 ( 3 ) に従って、各回路素子を調整することにより、第一のサブコイル 4 1 0 A の単独の共振周波数  $f_{10}$  は、核磁気共鳴周波数  $f_0$  とは異なるものとなる。

【 0 0 8 4 】

そして、式 ( 2 ) に従って、各回路素子を調整することにより、第二のサブコイル 4 1 0 B 単独の共振周波数  $f_{20}$  と、信号受信時の第一の共振部の共振周波数  $f_{11}$  と、第二のループコイル部 4 2 0 B の共振周波数  $f_{22}$  とが、核磁気共鳴周波数  $f_0$  に等しくなる。これにより、第二のサブコイル 4 1 0 B は、単独で、核磁気共鳴信号を検出可能となる。また、上述のように、信号受信時は、第一のサブコイル 4 1 0 A は、第二のサブコイル 4 1 0 B と磁気結合する。このとき、第一の共振部の共振周波数が核磁気共鳴周波数  $f_0$  に等しくなる。従って、サブコイル 4 1 0 A も、磁気結合した状態で、核磁気共鳴信号を検出で

10

20

30

40

50

きる。

【 0 0 8 5 】

なお、調整は、上述のように、直列キャパシタ 6 2 2、並列キャパシタ 6 2 4、および、調整インダクタ 6 4 1 の値により行う。また、本実施形態では、ループ 4 2 1 のインダクタ 6 2 1 の値は、ループ 4 2 1 の形状で定まるため、変更できない。また、相互インダクタンスの値  $M$  は、形状と配置関係により定まる。

【 0 0 8 6 】

以上のように調整することにより、各サブコイル 4 1 0 は、検出対象の核磁気共鳴信号を、それぞれ受信できる。

【 0 0 8 7 】

また、受信時、第一のサブコイル 4 1 0 は、図 7 ( b ) に示すように、第二のサブコイル 4 1 0 と磁気結合し、広く深い感度領域を持つサブコイルとして機能する。さらに磁気結合調整部 4 4 1 のキャパシタもしくはインダクタの値を調整することで磁気結合の大きさを変え、感度分布を調整できる。

【 0 0 8 8 】

一方、第二のサブコイル 4 1 0 は、第一のサブコイル 4 1 0 と磁気結合せず、図 7 ( c ) に示すように、単独のサブコイルとして機能する。従って、信号受信時、第一のサブコイル 4 1 0 A と第二のサブコイル 4 1 0 B とは、撮影領域に対して異なる感度分布を示す。よって、多チャンネルコイルとして機能する。

【 0 0 8 9 】

[ 調整例 ]

以下、本実施形態の各回路素子の調整手順を、具体例で説明する。ここでは、アレイコイル 4 0 0 が、水素の原子核の磁気共鳴周波数  $124\text{ MHz}$  で共振するよう調整する ( $f_0 = 124\text{ MHz}$  とする) 場合を例にあげて説明する。また、ここでは、図 7 ( b ) に示すように、第一のサブコイル 4 1 0 A が第二のサブコイル 4 1 0 B と磁気結合したとき、実効的に、ループ 4 2 1 A とループ 4 2 1 B とにより、蝶型コイルの様な電流経路が形成されるように、第一のループ 4 2 1 A には、右回りの電流、第二のループ 4 2 1 B には左回りの電流が流れるように調整する。具体的には、本実施形態のループ 4 2 1 A とループ 4 2 1 B との配置では、インダクタ 6 4 1 B と並列キャパシタ 6 2 4 B とが作る並列共振回路 ( $L_{22}C_{24}$  共振回路) の共振周波数が  $f_0$  より小さくなるよう設定する。

【 0 0 9 0 】

まず、第二のサブコイル 4 1 0 B の各回路素子の調整を行う。このとき、第一のサブコイル 4 1 0 A のループコイル部 4 2 0 A は、開放状態とする。

【 0 0 9 1 】

直列キャパシタ 6 2 2 B の容量  $C_{21}$  および並列キャパシタ 6 2 4 B の容量  $C_{24}$  の値を調整する。ここでは、図 7 ( c ) に示す、等価回路 6 0 2 が、 $124\text{ MHz}$  で共振し、インダクタ 6 4 1 B と並列キャパシタ 6 2 4 B との直列回路の両端のインピーダンスが  $50$  となるように、これらの値を調整する。

【 0 0 9 2 】

また、同時に、インダクタ 6 4 1 B の値  $L_{22}$  と並列キャパシタ 6 2 4 B の値  $C_{24}$  は、式 ( 4 ) を満たすように調整される。

【 0 0 9 3 】

このとき、結合時の電流の流れを上述のようにするため、調整インダクタ 6 4 1 B と並列キャパシタ 6 2 4 B とが作る並列共振回路が、キャパシタとして動作するよう、 $L_{22}$  および  $C_{24}$  の値を決定する。これは、並列共振回路の特性原理に基づいて調整する。この並列共振回路の特性原理は後述する。具体的には、インダクタ 6 4 1 B と並列キャパシタ 6 2 4 B とが作る並列共振回路 ( $L_{22}C_{24}$  共振回路) の共振周波数が  $f_0$  より小さい値になるよう、これらの値を調整する。 $f_0$  より小さい値として、例えば、 $90\text{ MHz}$  を用いる。

【 0 0 9 4 】

10

20

30

40

50

次に、第一のサブコイル 4 1 0 A の各回路素子の調整を行う。このとき、第二のサブコイル 4 1 0 B の各回路素子は、前記の通り調整してあるものとする。

【 0 0 9 5 】

ここでは、図 7 ( b ) に示す、等価回路 6 0 1 が、1 2 4 M H z で共振し、かつ、インダクタ 6 4 1 A と並列キャパシタ 6 2 4 A (  $C_{14}$  ) との直列回路の両端のインピーダンスが 5 0 となるように、直列キャパシタ 6 2 2 A の値  $C_{11}$  および並列キャパシタ 6 2 4 A の値  $C_{14}$  を調整する。

【 0 0 9 6 】

また、同時に、第二のサブコイル 4 1 0 B が第一のサブコイル 4 1 0 A と磁気結合しないようにするため、調整インダクタ 6 4 1 A の値  $L_{12}$  および並列キャパシタ 6 2 4 A の値  $C_{14}$  を、式 ( 5 ) を同時に満たす様に調整する。これにより、第二のサブコイル 4 1 0 B から見ると、第一のサブコイル 4 1 0 A は、その第一のループ 4 2 1 A に高インピーダンスが挿入された回路と見ることができる。従って、第二のサブコイル 4 1 0 B は、第一のサブコイル 4 1 0 A と磁気結合しない。

【 0 0 9 7 】

なお、これら第一のサブコイル 4 1 0 A、第二のサブコイル 4 1 0 B の調整は、必要に応じて数回繰り返しても良い。

【 0 0 9 8 】

$f_0$  より小さい値として、9 0 M H z を用いた場合の、上記調整により調整されたパラメータの値は、例えば、 $C_{11} = 7.7 \text{ pF}$ 、 $C_{14} = 148 \text{ pF}$ 、 $C_{21} = 98 \text{ pF}$ 、 $C_{24} = 7.9 \text{ pF}$ 、 $L_{12} = 11 \text{ nH}$ 、 $L_{22} = 26 \text{ nH}$  となる。

【 0 0 9 9 】

このように調整することで本実施形態のアレイコイル 4 0 0 は、核磁気共鳴周波数で共振し、核磁気共鳴信号を受信する。また、2つのサブコイル 4 1 0 A および 4 1 0 B を磁気結合させることで、実効的にコイルの大きさを拡大し感度領域を広げる。そして、蝶型コイル、もしくは大きな表面コイルのような電流分布を構成させ、小さな二つの表面コイルのみでは得られなかった感度分布を構成し、効率よく（感度高く）信号を取得する。すなわち、トンネル型 M R I （水平磁場方式の M R I 装置 1 0 0 ）での被写体頭頂部や、オープン型 M R I （垂直磁場方式の M R I 装置 1 0 1 ）での腹部前面など、静磁場方向と R F コイルの磁場の関係から、感度を高めることが困難であった領域でも、本実施形態を用いることで感度を高めることが可能となる。

【 0 1 0 0 】

[ 並列共振回路の特性原理 ]

ここで、一般の並列共振回路の動作を説明する。図 8 ( a ) および図 8 ( b ) は、並列共振回路の動作を説明するための図である。

【 0 1 0 1 】

並列共振回路 5 0 0 は、図 8 ( a ) に示すように、インダクタ 5 0 2 (  $L$  ) とキャパシタ 5 0 1 (  $C$  ) とが並列に接続される。並列共振回路 5 0 0 に印加される電圧の周波数を  $f$ 、角周波数を (  $= 2\pi f$  ) とすると、並列共振回路 5 0 0 の両端のインピーダンス  $Z$  は、以下の式 ( 6 ) で表される。

【数 6】

$$\frac{1}{Z} = j\omega C + \frac{1}{j\omega L} \quad \dots (6)$$

【 0 1 0 2 】

インピーダンス  $Z$  は、印加する周波数  $f$  に依存して図 8 ( b ) に示すように変化し、周波数  $f = f_R$  で共振する。すなわち、並列共振回路 5 0 0 の両端のインピーダンス  $Z$  は周波数  $f_R$  で最大となる。

【 0 1 0 3 】

並列共振回路 5 0 0 の共振周波数  $f_R$  より低い各周波数 (  $f < f_R$  ) では、インピーダン

10

20

30

40

50



ス $Z$ は、式(7)で表され、並列共振回路500は、誘導性リアクタンス(インダクタ)として動作する。

【数7】

$$Z = \frac{1 - (f/f_R)^2}{j2\pi fL} \quad \dots (7)$$

ここで、並列共振回路500の見かけのインダクタンスの値 $L'$ は、式(8)で表される。

【数8】

$$L' = \frac{L}{1 - (f/f_R)^2} \quad \dots (8)$$

【0104】

一方、並列共振回路500の共振周波数 $f_R$ より高い各周波数( $f > f_R$ )では、インピーダンス $Z$ は、式(9)で表され、並列共振回路500は、容量性リアクタンス(キャパシタ)として動作する。

【数9】

$$Z = j2\pi fC \frac{(f/f_R)^2 - 1}{(f/f_R)^2} \quad \dots (9)$$

ここで、並列共振回路500の見かけのキャパシタンスの値 $C'$ は、式(10)で表される。

【数10】

$$C' = \frac{(f/f_R)^2 - 1}{(f/f_R)^2} C \quad \dots (10)$$

【0105】

このように、並列共振回路500は、印加する電圧の周波数 $f$ に応じて、その共振周波数 $f_R$ 境に異なる動作をする。本実施形態では、並列共振回路500のこの性質を利用し、上述のように、アレイコイル400の各回路素子を調整する。

【0106】

<シミュレーション結果>

図9(a)~図9(e)に、電磁界シミュレータで計算した結果を示す。図9(a)および図9(b)は、それぞれ、第一のサブコイル410Aの感度分布511と、第二のサブコイル410Bの感度分布512である。図9(c)および図9(d)は、従来の2チャンネルのアレイコイル(RFコイル)の第一のチャンネル(第一のサブコイル410A)の感度分布513および第二のチャンネル(第二のサブコイル410B)の感度分布514である。

【0107】

また、図9(e)は、本実施形態の、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bの感度を合成した後の、Z軸上の感度プロファイル521(破線)である。ここでは、調整インダクタ641B( $L_{22}$ )と並列キャパシタ624B( $C_{24}$ )とが作る並列共振回路( $L_{22}C_{24}$ 共振回路)の共振周波数が、 $f_0$ より小さい値である90MHzとなるよう調整した。一方、実線522は、従来のRFコイルの、磁気結合を除去した場合の感度分布プロファイルである。

【0108】

これらの図から分かるように、本実施形態のアレイコイル400は、磁気結合によって

10

20

30

40

50

感度領域が広がり、被写体（検査対象）１０３領域で高い感度を有している。

【０１０９】

以上説明したように、本実施形態のMRI装置１００は、静磁場を形成する静磁場形成部と、傾斜磁場を形成する傾斜磁場形成部と、高周波磁場を生成する高周波磁場生成部と、前記高周波磁場を検査対象に照射する送信コイル１５１と、前記検査対象からの核磁気共鳴信号を検出する受信コイル１６１と、前記検出した核磁気共鳴信号から画像を再構成する画像再構成部と、を備え、前記受信コイルは１６１、導体からなる第一のループコイル部４２０Ａを有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第一のサブコイル４１０Ａと、導体からなる第二のループコイル部４２０Ｂを有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第二のサブコイル４１０Ｂと、を備え、前記第一のサブコイル４１０Ａは、当該第一のサブコイル４１０Ａ単独の共振周波数が送受信対象の前記核磁気共鳴信号の周波数である核磁気共鳴周波数とは異なり、かつ、前記第二のサブコイル４１０Ｂと磁気結合することにより前記第一のループコイル部のループと前記第二のループコイル部のループとに、それぞれ、周回する電流経路を形成するとともに前記核磁気共鳴周波数で共振するように配置され、かつ、調整される高周波コイル（アレイコイル４００）であり、前記送信コイル１５１と前記受信コイル１６１とは、それぞれ、当該送信コイル１５１と当該受信コイル１６１との間の磁気結合を防止する磁気結合防止回路２１０、２２０を備える。

10

【０１１０】

前記第一のサブコイル４１０Ａは、前記第一のループコイル部４２０Ａと当該第一のサブコイル４１０Ａが接続される第一の低インピーダンス信号処理回路４３０Ａとを接続する第一の磁気結合調整部４４１Ａ、をさらに備える。前記第一のループコイル部４２０Ａは、前記ループ４２１Ａのインダクタ成分に対して直列に挿入される第一の直列キャパシタ４２２Ａと、前記インダクタ成分に対して直列に挿入され、当該第一のループコイル部４２０Ａを並列共振回路とする第一の並列キャパシタ４２４Ａと、を備える。前記第二のサブコイル４１０Ｂは、前記第二のループコイル部４２０Ｂと当該第二のサブコイル４１０Ｂが接続される第二の低インピーダンス信号処理回路４３０Ｂとを接続する第二の磁気結合調整部４４１Ｂ、をさらに備える。前記第二のループコイル部４２０Ｂは、前記ループ４２１Ｂのインダクタ成分に対して直列に挿入される第二の直列キャパシタ４２２Ｂと、前記インダクタ成分に対して直列に挿入され、当該第二のループコイル部４２０Ｂを並列共振回路とする第二の並列キャパシタ４２４Ｂと、を備える。前記第一の磁気結合調整部４４１Ａは、キャパシタおよびインダクタの少なくとも一方を第一の調整回路要素として備える。前記第二の磁気結合調整部４４１Ｂは、キャパシタおよびインダクタの少なくとも一方を第二の調整回路要素として備える。前記第一のサブコイル４１０Ａおよび前記第二のサブコイル４１０Ｂは、前記第一の調整回路要素、前記第二の調整回路要素、前記第一の直列キャパシタ４２２Ａ、前記第二の直列キャパシタ４２２Ｂ、前記第一の並列キャパシタ４２４Ａおよび前記第二の並列キャパシタ４２４Ｂの値を調整することにより、調整される。

20

30

また、前記第一のサブコイル４１０と前記第二のサブコイルとは、磁気結合可能な位置に配置される。

【０１１１】

上述のように配置され、調整された本実施形態のアレイコイル４００は、核磁気共鳴周波数 $f_0$ に同調する。また、信号受信時に、第一のサブコイル４１０Ａが、第二のサブコイル４１０Ｂと、ループコイル部４２０Ａおよび４２０Ｂを共有して感度領域を広げて信号を検出し、第二のサブコイル４１０Ｂは、第一のサブコイル４１０Ａと磁気結合することなく高い感度で信号を検出できる。このように、本実施形態のアレイコイル４００によれば、小さな二つの表面コイルでは得られなかった感度分布を構成し、効率よく（感度高く）信号を取得できる。

40

【０１１２】

また、第一のサブコイル４１０Ａおよび第二のサブコイル４１０Ｂが、撮影領域に対し、異なる感度分布を持つ。このため、本実施形態のアレイコイル４００は、撮影領域内で

50

の感度分布が異なる複数のコイルで構成されるという多チャンネル特性を維持し、高速イメージングを可能とする。

【0113】

このように、本実施形態のアレイコイル400によれば、多チャンネルと広く深い感度領域とを両立できる。また、この多チャンネルと、広い感度領域、および、高感度を、配置と回路素子の値の調整とにより実現する。従って、構成が複雑化することもない。そして、このアレイコイル400を受信RFコイル161として用いることにより、本実施形態のMRI装置は、高速に高画質の画像を得ることができる。

【0114】

<低インピーダンス信号処理回路の他の例>

10

また、本実施形態では、低インピーダンス信号処理回路430に、低入力インピーダンス信号増幅器431を用いた。しかし、低インピーダンス信号処理回路430として用いる回路要素は、これに限られない。例えば、低入力のインピーダンス変換回路などでも良い。第一のサブコイル410Aのループコイル部420と第二のサブコイル410Bのループコイル部420とが磁気結合したとき、第一のサブコイル410Aから見て、第二の低インピーダンス信号処理回路430が低インピーダンスとなる回路であればよい。

【0115】

低インピーダンス信号処理回路430を変更することで、開発するアレイコイル400の最適化が可能となり感度が向上する。

【0116】

20

<相互インダクタンスの調整の他の例>

また、本実施形態では、相互インダクタンスMの大きさを、配置時の第一のサブコイル410Aと第二のサブコイル410Bとの位置関係により調整する。しかし、相互インダクタンスMの大きさの調整手法は、これに限定されない。

【0117】

例えば、図10に示す通り、各ループ421の一部に、それぞれ、結合インダクタ451を配置し、これを用いて磁気結合を調整しても良い。

【0118】

すなわち、第一のサブコイル410Aは、第一の結合インダクタ451Aをさらに備え、第二のサブコイル410Bは、第二の結合インダクタ451Bをさらに備える。そして、第一のサブコイル410Aと第二のサブコイル410Bとは、第一の結合インダクタ451Aと第二の結合インダクタ451Bとにより、磁気結合する。

30

【0119】

結合インダクタ451を取り付けるのは、一方のサブコイル410だけでも良い。結合インダクタ451を用いることで、相互インダクタンスMの大きさを、両サブコイル410の配置位置によらず、自由に調整できる。

【0120】

このとき、図10に示すように、ループ421の一部を延長させ、延長した先に結合インダクタ451を配置してもよい。このように構成することで、2つのサブコイル410Aおよび410Bが、比較的離れた位置に配置される場合であっても、磁気結合させることができる。従って、アレイコイル400は、結合インダクタ451を備えることにより、両サブコイル410の配置位置の制約が低減する。例えば、両者を離れた位置に配置することにより、全体として大きなコイルループを構成でき、深部感度が向上する。

40

【0121】

<各サブコイルの配置位置の他の例>

なお、本実施形態では比較的磁場方向に垂直な面に近い角度の面にアレイコイル400を配置した場合を示した。しかし配置面はこれに限定されない。アレイコイル400が関心領域に作り出す性磁場と垂直な向きの回転磁場が、各サブコイル410単独よりも、効率よく検出もしくは生成できる配置であればよい。例えば、磁場方向に平行な面に近い角度の面にアレイコイル400を配置しても良い。また、第一のサブコイル410Aが磁場

50

と垂直な面に配置され、第二のサブコイル 4 1 0 B が磁場と水平な面に配置されてもよい。このように配置角度を変えることで、サブコイル 4 1 0 単独では実現できない回転磁場を検出もしくは生成することが可能となり、関心領域で高い感度で核磁気共鳴信号を取得することができる。

#### 【 0 1 2 2 】

また、本実施形態では第一のサブコイル 4 1 0 A および第二のサブコイル 4 1 0 B を、それぞれ、磁場垂直面に対して 2 0 度回転させた面に配置する例を示した。しかし、配置角度はこの角度に限定されない。同一平面上に両者を配置してもよいし、互いに直角に接する面上にそれぞれ配置してもよいし、平行な 2 つの異なる面上に配置してもよい。また、ループ 4 2 1 A とループ 4 2 1 B にそれぞれ流れる電流の位相差から、回転磁場を効率よく検出もしくは生成できるような配置にしてもよい。

10

#### 【 0 1 2 3 】

配置角度を変えることでアレイコイル 4 0 0 の配置の最適化が可能となり、高い感度で核磁気共鳴信号を取得することができる。

#### 【 0 1 2 4 】

< 回路素子調整の他の例 >

上述の調整の具体例では、本実施形態では、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数の調整に用いる  $f_0$  ( 1 2 4 M H z ) より小さい値として、9 0 M H z を用いているが、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数は、他の値でもよい。

#### 【 0 1 2 5 】

20

図 1 1 に、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数を 1 2 3 M H z、1 1 1 M H z、1 0 0 M H z、9 0 M H z と変化させたときの感度プロファイル 5 3 1、5 3 2、5 3 3、5 3 4 を示す。いずれも本実施形態の第一のサブコイル 4 1 0 A および第二のサブコイル 4 1 0 B の感度を合成した後の、Z 軸上の感度プロファイルである。本図に示すとおり、本実施形態のアレイコイル 4 0 0 は、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数を、 $f_0$  とは異なる周波数に設定することによって感度が上昇する。 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数と  $f_0$  との差の大きさは限定されない。しかしながら、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数と  $f_0$  との差は 1 0 % 以上異なることが望ましい。

#### 【 0 1 2 6 】

すなわち、本実施形態のアレイコイル 4 0 0 は、 $L_{22}C_{24}$  共振回路を、 $f_0$  ( 1 2 4 M H z ) とは異なる周波数に調整し、二つのサブコイル 4 1 0 を積極的にカップリングさせることで感度を上昇させることができる。

30

#### 【 0 1 2 7 】

また、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数を  $f_0$  より高い周波数に設定し、各回路素子を調整しても良い。このように調整することで、第一のループ 4 2 1 A と第二のループ 4 2 1 B とに、共に右周り ( 時計回り ) の周回電流が流れ、第一のループ 4 2 1 A と第二のループ 4 2 1 B とにより、大きな表面コイルのような電流の分布を形成することができる。この場合も、 $f_0$  より低い周波数に設定した場合と同様に、共振周波数を変化させてカップリング量を変えることで、アレイコイル 4 0 0 の感度を向上させることができる。

#### 【 0 1 2 8 】

40

なお、第一のループ 4 2 1 A と第二のループ 4 2 1 B との結合係数の正負の符号が本実施形態とが逆となるよう各ループ 4 2 1 を配置した場合は、共振周波数と電流の流れとの関係が逆になる。すなわち、 $L_{22}C_{24}$  の共振回路の共振周波数が  $f_0$  ( 1 2 4 M H z ) より大きい場合は、実効的に蝶型コイルのような電流経路が形成され、 $f_0$  より小さい場合は、実効的に大きな表面コイルのような電流分布が形成される。

#### 【 0 1 2 9 】

このように、各回路素子調整時の、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数には、大きな制約はない。従って、本実施形態のアレイコイル 4 0 0 は、ループ 4 2 1 の設計の自由度が高い。

#### 【 0 1 3 0 】

50

<各サブコイルのサイズ、形状の他の例>

また、本実施形態では、第一のループ421Aおよび第二のループ421Bとして、同サイズ、同形状のループを用いる。しかしながら、両者は形状が異なってもよいし、大きさが異なってもよい。異なる形状、大きさのループ421をそれぞれ用いることで、配置パターンの自由度が増す。ループ421の形状および/またはサイズの制約を低減することで、また、磁気結合の大きさを調整することが容易になり、感度が向上する。

【0131】

なお、本実施形態では、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bに、同形状のコイルを用いているが、形状、大きさの組み合わせを限定するものではない。異なっても良い。異なる形状を組み合わせることで、被写体(検査対象)103に合った最適のコイルを実現できる。また磁気結合の強さを調整できる。またキャパシタは、ループコイル部420のループ421中に3つ挿入しているが、これに限定されるわけではない。少なくとも1つ以上挿入されていれば良い。

【0132】

<コイル部の形状の変形例>

なお、本実施形態では、各サブコイル410のループ421の形状は、略平面上の矩形、あるいは、円形の一重ループを例にあげて説明した。しかし、ループ421の形状は、これらに限定されない。その等価回路が等価回路600と同等となるものであれば良い。

【0133】

例えば、図12に示すように、第一のループ462Aと、第二のループ462Bとは、円柱状に向かい合って配置される鞍型の形状を有していても良い。図12に、鞍型のループを備えるアレイコイル(鞍型アレイコイル)402を示す。図中、座標系090のz軸方向は静磁場方向である。

【0134】

また、図13に示すように、第一のループ463Aと、第二のループ463Bとは、ソレノイドコイル形状を有し、隣り合うように配置されていても良い。図13に、ソレノイド型のループを備えるアレイコイル(ソレノイド型アレイコイル)403を示す。図中、座標系090のz軸方向は静磁場方向である。

【0135】

なお、これらのアレイコイル402、403は、上記アレイコイル400とはループの形状並びに相互インダクタンスが異なるため、それに応じて、並列キャパシタ、直列キャパシタおよび調整インダクタの値を調整する。調整は、上記同様、式(2)~式(5)を満たすようになされる。

【0136】

鞍型アレイコイル402、ソレノイド型アレイコイル403は、それぞれ、等価回路600で表されるため、本実施形態のアレイコイル400と動作原理は同じである。すなわち、第一のサブコイル410Aのループ462A、463Aは、第二のサブコイル410Bのループ462B、463Bと結合して動作する。一方、第二のサブコイル410Bは、単体として動作する。

【0137】

上述のように調整されるため、鞍型アレイコイル402およびソレノイド型アレイコイル403を構成する各サブコイル410は、検出対象の核磁気共鳴信号に対して感度を有する。また、第一のサブコイル410Aのループ462A、463Aは、磁気結合によって第二のサブコイル410Bのループ462B、463Bと結合するため、大きなコイルループと見なすことができ感度領域が広がる。また、第二のサブコイル410Bは、第一のサブコイル410Aとは結合せず、感度領域を有する。このため、撮影領域における両サブコイルの感度分布は異なり、チャンネル数を維持できる。従って、チャンネル数を維持しながら広い感度領域を持つアレイコイル402、403を実現できる。

【0138】

さらに、鞍型アレイコイル402は、ループ462が鞍型形状を有していることから、

10

20

30

40

50

図 1 2 に示すように、鞍型形状のループ 4 6 2 の中に、被写体の腕や足、胴体などの検査対象 1 0 3 を配置する。これにより、検査対象 1 0 3 の表面に加えて深部方向の領域からの核磁気共鳴信号を高感度で検出することができる。

#### 【 0 1 3 9 】

また、ソレノイド型アレイコイル 4 0 3 は、ループ 4 6 3 がソレノイド形状を有していることから、図 1 3 に示すように、ソレノイド形状のループ 4 6 3 の中に、被写体の腕や足、胴体などの検査対象 1 0 3 を配置する。これにより、検査対象 1 0 3 の表面に加えて深部方向の領域からの 2 種類の核磁気共鳴信号を高感度かつ均一な分布で検出することができる。また、ソレノイド型アレイコイル 4 0 3 は、鞍型アレイコイル 4 0 2 と比べて、より広い領域で均一な感度分布を持つ。

10

#### 【 0 1 4 0 】

なお、これらの変形例においても、ループ 4 6 2、4 6 3 に、直列キャパシタ 4 2 2 を 1 つ設置する場合を例示しているが、上記実施形態同様、挿入するキャパシタ数に限定はない。複数の直列キャパシタを挿入してもよい。

#### 【 0 1 4 1 】

なお、これらの変形例では、第一のループ 4 6 2 A、4 6 3 A および第二のループ 4 6 2 B、4 6 3 B に、それぞれ、同形状、同サイズのループを用いている。しかし、両者のサイズ、形状は異なってもよい。第一のサブコイル 4 1 0 A、第二のサブコイル 4 1 0 B それぞれに、異なる形状、サイズのループを用いることで配置パターンの自由度が増す。また、磁気結合の大きさを調整が容易になる。

20

#### 【 0 1 4 2 】

##### < 磁気結合の変形例 >

また、上記実施形態及び変形例では、2つのサブコイル 4 1 0 のうち、信号受信時に、第一のサブコイル 4 1 0 A は第二のサブコイル 4 1 0 B 他方と磁気結合をし、第二のサブコイル 4 1 0 B は第一のサブコイル 4 1 0 A と磁気結合しない。しかし、いずれのサブコイル 4 1 0 も、信号を受信する際、他方と磁気結合するよう構成してもよい。

#### 【 0 1 4 3 】

すなわち、第二のサブコイル 4 1 0 B は、当該第二のサブコイル 4 1 0 B 単独の共振周波数が、核磁気共鳴周波数とは異なり、かつ、第一のサブコイル 4 1 0 A と磁気結合することにより、前記第一のループ 4 2 1 A と前記第二のループ 4 2 1 B とに、それぞれ、周回する電流経路を形成するとともに核磁気共鳴周波数で共振するよう調整されてもよい。

30

#### 【 0 1 4 4 】

本変形例のアレイコイル 4 0 4 の構成は、図 1 4 に示すように、本実施形態のアレイコイル 4 0 0 の構成と同じである。ただし、構成する各回路素子（調整インダクタ 4 4 1、直列キャパシタ 4 2 2、並列キャパシタ 4 2 4）の値の調整方法が異なる。以下、図 1 5 に示す、アレイコイル 4 0 4 の等価回路 6 0 4 を用いて、アレイコイル 4 0 4 の、各回路素子の値の調整方法を説明する。

#### 【 0 1 4 5 】

なお、以下、各キャパシタおよびその値、各インダクタおよびその値、各回路の共振周波数は、上記実施形態の等価回路 6 0 0 と同じ符号で表す。

40

#### 【 0 1 4 6 】

高感度と多チャンネルを両立するため、アレイコイル 4 0 4 を構成する各回路素子は、以下の式 ( 1 1 ) ~ 式 ( 1 5 ) を満たすよう調整される。

$$\begin{aligned} f_{11} &= f_{22} = f_0 \quad \cdots (11) \\ f_{10} &= f_0 \quad \cdots (12) \\ f_{20} &= f_0 \quad \cdots (13) \end{aligned}$$

【数 1 4】

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{22}C_{24}}} \neq f_0 \quad \dots (14)$$

$$\frac{1}{2\pi\sqrt{L_{12}C_{14}}} \neq f_0 \quad \dots (15)$$

【0 1 4 7】

10

式(14)に従って、各回路素子を調整することにより、第二のサブコイル410B(610B)の $L_{22}C_{24}$ 共振回路の共振周波数は、核磁気共鳴周波数 $f_0$ とは異なるものとなる。従って、信号受信時は、第二のサブコイル410Bのキャパシタ424Bの両端は高抵抗とならず、第一のサブコイル410Aと磁気結合する。

【0 1 4 8】

上記調整により、第一のループコイル部420Aと第二のループコイル部420Bとが磁気結合した状態の、第一のサブコイル410Aの第一の共振部の等価回路605を図15(b)に示す。すなわち、信号受信時、第一のサブコイル410Aの第一の共振部は、図15(b)に示すように、第一のループコイル部420Aと第二のループコイル部420Bとが磁気結合により結合した回路605となる。

20

【0 1 4 9】

また、式(15)に従って、各回路素子を調整することにより、第一のサブコイル410A(610A)の $L_{12}C_{14}$ 共振回路の共振周波数は、核磁気共鳴周波数 $f_0$ とは異なるものとなる。従って、信号受信時は、第一のサブコイル410Aのキャパシタ424Aの両端は高抵抗とならず、第二のサブコイル410Bと磁気結合する。

【0 1 5 0】

上記調整により、第一のループコイル部420Aと第二のループコイル部420Bとが磁気結合した状態の、第二のサブコイル410Bの第二の共振部の等価回路606を、図15(c)に示す。すなわち、信号受信時、第二のサブコイル410Bの第二の共振部は、図15(c)に示すように、第一のループコイル部420Aと第二のループコイル部420Bとが磁気結合により結合した回路606となる。

30

【0 1 5 1】

また、式(12)および式(13)に従って、各回路素子を調整することにより、第一のサブコイル410Aおよび第二のサブコイル410Bの単独の共振周波数 $f_{10}$ 、 $f_{20}$ は、それぞれ、核磁気共鳴周波数 $f_0$ とは異なるものとなる。

【0 1 5 2】

そして、式(11)に従って、各回路素子を調整することにより、信号受信時の第一の共振部の共振周波数 $f_{11}$ と、第二の共振部の共振周波数 $f_{22}$ とが、核磁気共鳴周波数 $f_0$ に等しくなる。これにより、サブコイル410Aおよびサブコイル410Bは、磁気結合した状態で、核磁気共鳴信号を検出できる。

40

【0 1 5 3】

例えば、核磁気共鳴周波数 $f_0$ を静磁場強度3T(テスラ)における水素の核磁気共鳴周波数124MHzとして各回路素子の調整を具体例で説明する。

【0 1 5 4】

上記実施形態同様、図15(b)および図15(c)に示す等価回路605および606が、それぞれ、124MHzで共振し、かつ、インダクタ641Aと並列キャパシタ624A( $C_{14}$ )との直列回路の両端のインピーダンスが50となるよう各回路素子を調整する。そして、調整インダクタ641の値と、並列キャパシタ624の値とを、上記各式を満たし、かつ、結合時の電流の流れが、所望の態様になるよう、並列共振回路の特性原理に基づいて、調整する。

50

## 【 0 1 5 5 】

なお、本変形例の場合、第一のサブコイル 4 1 0 A , 第二のサブコイル 4 1 0 B のいずれを先に調整してもよい。

## 【 0 1 5 6 】

一方のサブコイル 4 1 0 の回路素子の値を調整することにより、他方のサブコイル 4 1 0 の共振特性も影響を受けるため、各サブコイル 4 1 0 の各回路素子の値の調整を数回繰り返して、第一のサブコイル 4 1 0 A と第二のサブコイル 4 1 0 B とが、1 2 4 M H z で共振するように調整する。

## 【 0 1 5 7 】

$f_0$  より小さい値として、9 0 M H z を用いた場合の、上記調整により調整されたパラメータは、例えば、 $C_{11} = 7.7 \text{ p F}$ 、 $C_{14} = 148 \text{ p F}$ 、 $C_{21} = 98 \text{ p F}$ 、 $C_{24} = 7.9 \text{ p F}$ 、 $L_{12} = 11 \text{ n H}$ 、 $L_{22} = 26 \text{ n H}$ となる。

## 【 0 1 5 8 】

このように調整することで本変形例のアレイコイル 4 0 4 は、核磁気共鳴周波数で共振し、核磁気共鳴信号を受信する。

## 【 0 1 5 9 】

また、第一のサブコイル 4 1 0 A が、第二のループ 4 2 1 B を共有して感度領域を広げると共に、第二のサブコイル 4 1 0 B が第一のループ 4 2 1 A を共有して感度領域を広げる。

## 【 0 1 6 0 】

このように、アレイコイル 4 0 4 を構成する各サブコイルは、受信する核磁気共鳴信号に感度を有する。同時に、第一のサブコイル 4 1 0 A は磁気結合によって第二のループ 4 2 1 B と結合するため大きなコイルループと見なすことができ感度領域が広がる。具体的には蝶型コイルの様な感度分布を持つため深部感度が得られるようになる。同様に、第二のサブコイル 4 1 0 B は磁気結合によって第一のループ 4 2 1 A と結合されるため、大きなコイルループと見なすことができ感度領域が広がる。具体的には蝶型コイルの様な感度分布を持つため深部感度が得られるようになる。

## 【 0 1 6 1 】

また、両サブコイルの撮影領域内の感度分布が異なる。従って、本変形例のアレイコイル 4 0 4 は、チャンネル数を減らすことなく、広い感度領域を持ち、かつ、高い感度を持つアレイコイルとして動作する。よって、多チャンネルでありながら感度領域の広いコイルのアレイコイルとなるため、本変形例のアレイコイル 4 0 4 は、互いに磁気結合し、多チャンネルと、広く深い感度領域とを、両立する。また、これを、各サブコイル 4 1 0 の配置と回路素子の値の調整で実現するため、構造も複雑化することがない。

## 【 0 1 6 2 】

なお、本実施形態の変形例では、各回路素子の調整時に  $L_{12}C_{14}$  共振回路と  $L_{22}C_{24}$  共振回路との共振周波数として、同じ値 ( 9 0 M H z ) を用いたが、これに限定されない。両者はそれぞれ異なっても良い。両者に異なる値を用いることで、磁気結合先に流れる電流が変化するため、目的にあった感度領域の設計が可能となる。これらの共振回路の共振周波数と  $f_0$  との差の大きさは、限定されない。しかしながら、 $L_{22}C_{24}$  共振回路の共振周波数と  $f_0$  との差は 1 0 % 以上異なることが望ましい。

## 【 0 1 6 3 】

< < 第二の実施形態 > >

次に、本発明の第二の実施形態を説明する。第一の実施形態では、2つのサブコイルを組み合わせアレイコイルを構成している。本実施形態では、3つ以上のサブコイルを組み合わせ、アレイコイルを構成し、多チャンネルと広い感度領域と高感度を実現する例を示す。複数のコイルと用いることで感度を向上させることができる。

## 【 0 1 6 4 】

本実施形態の M R I 装置は、基本的に第一の実施形態の M R I 装置 1 0 0 と同様の構成を有する。以下、本実施形態について、第一の実施形態と異なる構成に主眼をおいて説明



する。

【0165】

図16は、本実施形態のアレイコイル700を説明するための図である。本図に示す通り、本実施形態のアレイコイル700は、第一のサブコイル710Aと、第二のサブコイル710Bと、第三のサブコイル710Cと、を備える。これらは、この順番で並び、隣り合ったチャンネル(サブコイル710)が磁気結合可能な位置に配置される。

【0166】

第一のサブコイル410A及び第三のサブコイル710Cの構成は、それぞれ、第一の実施形態の第一のサブコイル410Aと同じである。また、第二のサブコイル410Bは、第一の実施形態の第二のサブコイル410Bと同じである。それぞれのキャパシタ及び

10

【0167】

すなわち、本実施形態の高周波コイル(アレイコイル700)は、第一のサブコイル710Aおよび第二のサブコイル710Bに、核磁気共鳴信号の送受信が可能な第三のサブコイル710Cをさらに備え、前記第三のサブコイル710Cは、当該第三のサブコイル710C単独の共振周波数が前記核磁気共鳴周波数とは異なり、かつ、前記第二のサブコイル710Bと磁気結合することにより、前記第三のループコイル部720Cのループと前記第二のループコイル部720Bのループとに、それぞれ、周回する電流経路を形成するとともに前記核磁気共鳴周波数で共振するよう調整される。

【0168】

20

まず、本実施形態の各サブコイル710A、710B、および710Cは、検出対象原子の核磁気共鳴周波数で共振するよう調整される。例えば、静磁場強度3T(テスラ)における水素の核磁気共鳴周波数124MHzで共振するよう調整される。そして、第二のサブコイル710Bの各回路素子は、 $L_{22}C_{23}$ 共振回路が核磁気共鳴周波数で共振しないよう調整される。すなわち、この周波数の信号受信時に高抵抗とならないよう調整される。また、第一のサブコイル710Aおよび第三のサブコイル710Cは、 $L_{12}C_{14}$ 共振回路が、核磁気共鳴周波数で共振し、この周波数の信号受信時に高抵抗となるよう調整される。

【0169】

第一のサブコイル710Aのループコイル部720Aは、信号受信時に第二のサブコイル710Bのループコイル部720Bと磁氣的に結合する。これは、第一のサブコイル710Aと第二のサブコイル710Bとが、磁気結合可能な位置に配置され、かつ、第二のサブコイル710Bの各回路素子が、上記式(4)に従って調整されることにより、信号受信時に高抵抗とならない(磁気結合除去が施されていない)ためである。ここで、この場合の、第一のサブコイル710Aと第二のサブコイル710Bとの相互インダクタンスの大きさをM1とする。

30

【0170】

一方、第一のループコイル部720Aは、第三のサブコイル710Cのループコイル部720Cとは、ほとんど磁氣的に結合しない。逆も同様である。これは、両者が距離的に離れていることと、 $L_{12}C_{14}$ 共振回路が、核磁気共鳴周波数で共振し、この周波数の信号

40

【0171】

同様に、第三のループコイル部720Cは、信号受信時に第二のループコイル部720Bと磁氣的に結合する。これは、第三のサブコイル710Cと第二のサブコイル710Bとが、磁氣的に結合可能な位置に配置され、かつ、第二のサブコイル710Bの各回路素子が、上記式(4)に従って調整されることにより、信号受信時に高抵抗とならない(磁気結合除去がほどこされていない)ためである。ここで、この場合の、第三のサブコイル710Cと第二のサブコイル710Bとの相互インダクタンスの大きさをM2とする。

【0172】

また、第二のループコイル部720Bは、信号受信時に第一のループコイル部720A

50

にも第三のループコイル部 720C にも磁気結合しない。これは、第一のサブコイル 710A および第三のサブコイル 710C は、ともに、上記式 (5) に従って各回路素子が調整され、信号受信時に高抵抗となるためである。

【0173】

よって、本実施形態のアレイコイル 700 の、第一のサブコイル 710A は、信号受信時に、その第一のループコイル部 720A が第二のループコイル部 720B と磁氣的に結合することで、実効的には、蝶型コイルと同様の電流経路を形成する。第二のサブコイル 710B は、信号受信時にいずれのサブコイルとも磁氣的に結合しないため、一般的な表面コイルの電流経路を有する。第三のサブコイル 710C は、信号受信時に、その第三のループコイル部 720C が第二のループコイル部 720B と磁氣的に結合することで、実効的には、蝶型コイルと同様の電流経路を形成する。

10

【0174】

従って、各サブコイル 710 は、検出対象の核磁気共鳴周波数で共振する。また、第一のサブコイル 710A および第三のサブコイル 710C は、信号受信時にそれぞれ第二のサブコイル 710B と磁気結合し、実効的には、蝶型コイルと同様の電流経路を形成する。従って、広く深い感度領域を有する。一方、第二のサブコイル 710B は、信号受信時に他のサブコイル 710 とは磁気結合しない。よって、各サブコイル 710 は、それぞれ、撮像領域に対し、異なる感度分布を示す。

【0175】

従って、本実施形態のアレイコイル 700 は、広い感度領域と、高感度と、多チャンネルとを実現する。

20

【0176】

<変形例；サブコイルの数>

なお、本実施形態では 3 つのサブコイル 710A、710B、710C を組み合わせる場合を例にあげて説明したが、サブコイル 710 の数は、これに限定されない。4 つ以上のサブコイル 710 を用いても良い。サブコイル 710 の個数を増やすことにより、より広い領域で感度を持たせることができる。

【0177】

<変形例：磁気結合パターン>

なお、本実施形態では、信号受信時、第一のサブコイル 710A は、第二のサブコイル 710B と結合し、第三のサブコイル 710C は、第二のサブコイル 710B と結合し、第二のサブコイル 710B は、いずれとも結合しないよう各回路素子を調整している。

30

【0178】

しかし、磁気結合のパターンは本構成に限られない。例えば、第一のサブコイル 710A および第二のサブコイル 710B が第三のサブコイル 710C とそれぞれ磁気結合し、第三のサブコイル 710C は、いずれとも結合しないよう、各回路素子を調整してもよい。また、第二のサブコイル 710B および第三のサブコイル 710C が、それぞれ、第一のサブコイル 710A と磁気結合し、第一のサブコイル 710A はいずれとも結合しないよう、各回路素子を調整してもよい。

【0179】

さらに、第一のサブコイル 710A が、第二のサブコイル 710B に結合し、第二のサブコイル 710B は、第三のサブコイル 710C と結合し、第三のサブコイル 710C は、いずれのサブコイル 710 ととも結合しないよう、構成してもよい。この場合、第三のサブコイル 710C が、第一のサブコイル 710A と第二のサブコイル 710B とに磁気結合しないよう、ループコイル部 720 の一部をオーバーラップさせて磁気結合を除去するなどの磁気結合除去手段を設けてもよい。これによって、本実施形態とは異なる感度分布を実現できるため、感度領域の設計の自由度が向上する。

40

【0180】

さらに、一方向の磁気結合が生じるものとして、各回路素子を調整する場合を例にあげて説明したが、これに限定されない。第一の実施形態の変形例と同様に、第二のサブコイ

50

ル 7 1 0 B も、第一および第三のサブコイル 7 1 0 A、7 1 0 C に磁気結合するよう、各回路素子を調整してもよい。

【 0 1 8 1 】

いずれの結合態様であっても、本実施形態のアレイコイル 7 0 0 およびその変形例のアレイコイルは、チャンネル数を減らすことなく、広い感度領域を持ったアレイコイルとして動作させることができる。また、これを、各サブコイル 7 1 0 の配置と回路素子の値の調整で実現するため、構造も複雑化することがない。従って、本実施形態のアレイコイル 7 0 0 によれば、簡易な構成で、多チャンネルと広く深い感度領域とを両立できる。そして、このアレイコイル 7 0 0 を受信 R F コイル 1 6 1 として用いることにより、本実施形態の M R I 装置は、高速に高画質の画像を得ることができる。

10

【 0 1 8 2 】

本実施形態では、磁気結合させるサブコイルの組合せを自由に選択可能であるため、選択によって、各種の感度分布を実現できる。従って、感度領域の設計の自由度が向上する。

【 0 1 8 3 】

なお、低インピーダンス信号処理回路に用いる回路素子の種類、回路素子調整時に用いる共振周波数、各サブコイルの配置位置、結合インダクタの有無、ループ形状、各サブコイルのサイズ等の第一の実施形態の変形例は、本実施形態にも適用可能である。

【 0 1 8 4 】

< 第三の実施形態 >

20

次に、本発明の第三の実施形態を説明する。本実施形態では、隣接するサブコイル同士が、一部オーバーラップして配置し、当該サブコイル間の磁気結合を防止する。

【 0 1 8 5 】

本実施形態の M R I 装置は、基本的に第一の実施形態の M R I 装置 1 0 0 と同様の構成を有する。以下、本実施形態について、第一の実施形態と異なる構成に主眼をおいて説明する。

【 0 1 8 6 】

図 1 7 ( a ) および図 1 7 ( b ) は、本実施形態のアレイコイル 8 0 0 を説明するための図である。ここでは、アレイコイル 8 0 0 が、5 つのサブコイル 8 1 0 により構成される場合を例にあげて説明する。しかし、アレイコイル 8 0 0 を構成するサブコイル 8 1 0 の数は、これに限定されない。

30

【 0 1 8 7 】

上から順に、第一のサブコイル 8 1 0 A、第四のサブコイル 8 1 0 D、第二のサブコイル 8 1 0 B、第五のサブコイル 8 1 0 E、第三のサブコイル 8 1 0 C とする。

【 0 1 8 8 】

各サブコイル 8 1 0 の構成は、第一の実施形態のサブコイル 4 1 0 と同様である。すなわち、各サブコイル 8 1 0 は、ループコイル部 8 2 0 とサブコイル 8 1 0 が接続される第一の低インピーダンス信号処理回路 8 3 0 とを接続する第一の磁気結合調整部 8 4 1、をさらに備え、第一のループコイル部 8 2 0 は、ループ 8 2 1 のインダクタ成分に対して直列に挿入される第一の直列キャパシタ 8 2 2 と、前記インダクタ成分に対して並列に挿入され、当該第一のループコイル部 8 2 0 を並列共振回路とする第一の並列キャパシタ 8 2 4 と、を備える。

40

【 0 1 8 9 】

また、各サブコイル 8 1 0 は、本図に示すように、隣接するサブコイル 8 1 0 と、互いのループコイル部 8 2 0 のループ 8 2 1 の一部が重なるように(オーバーラップするように)配置される。このとき、オーバーラップ量は、隣接するサブコイル 8 1 0 間の磁気結合が除去されるように決定される。すなわち、隣接するサブコイル 8 1 0 は、磁気結合が除去されるよう、オーバーラップして配置される。

【 0 1 9 0 】

すなわち、本実施形態のアレイコイル 8 0 0 では、例えば、第四のループコイル部 8 2

50

0 D が、第一のループコイル部 8 2 0 A および第二のループコイル部 8 2 0 B それぞれとオーバーラップ領域を有するよう配置され、前記オーバーラップ領域の面積は、前記第四のサブコイル 8 1 0 D が、前記第一のサブコイル 8 1 0 A および前記第二のサブコイル 8 1 0 B それぞれと磁気結合しないよう定められる。

【 0 1 9 1 】

また、第五のコイル部 8 2 0 E も同様に、第二のループコイル部 8 2 0 B および第三のループコイル部 8 2 0 C それぞれとオーバーラップ領域を有するよう配置され、前記オーバーラップ領域の面積は、前記第五のサブコイル 8 1 0 E が、前記第二のサブコイル 8 1 0 B および前記第三のサブコイル 8 1 0 C それぞれと磁気結合しないよう定められる。

【 0 1 9 2 】

[ 回路素子の調整 ]

基本的に第一のサブコイル 8 1 0 A、第二のサブコイル 8 1 0 B、及び第三のサブコイル 8 1 0 C、それぞれの回路素子は、第二の実施形態の、それぞれのサブコイル 8 1 0 が、信号受信時に隣接するサブコイルと磁気結合を生じる変形例と同様に調整される。以下、第四のサブコイル 8 1 0 D 及び第五のサブコイル 8 1 0 E の各回路素子の調整について、図 1 7 ( b ) を用い、第四のサブコイル 8 1 0 D を例に説明する。

【 0 1 9 3 】

第四のサブコイル 8 1 0 D から、低インピーダンス信号処理回路 8 3 0 D を除いた回路が、検出対象の核磁気共鳴周波数  $f_0$  ( 水素の場合、1 2 4 M H z ) で共振し、かつ、インダクタ 6 4 1 A と並列キャパシタ 6 2 4 A (  $C_{14}$  ) との直列回路の両端のインピーダンスが 5 0 となるように、各直列キャパシタ 8 2 2 D (  $C_{12}$  )、8 2 3 D (  $C_{13}$  ) の値を調整する。また、ループコイル部 8 2 0 D のループを除いた回路が、 $f_0$  ( 水素の場合、1 2 4 M H z ) で高インピーダンスとなるよう調整インダクタ 8 4 1 D (  $L_{22}$  ) を調整する。

【 0 1 9 4 】

第五のサブコイル 8 1 0 E の各回路素子も同様に調整する。

【 0 1 9 5 】

本実施形態のアレイコイル 8 0 0 は、上記のように各回路素子が調整される。これにより、第二の実施形態の動作に加え、その間に設置される第四のサブコイル 8 1 0 D 及び第五のサブコイル 8 1 0 E が 1 2 4 M H z で共振し、核磁気共鳴信号の取得が可能となる。

【 0 1 9 6 】

これらにより、本実施形態は、第二の実施形態の効果に加え、より多くのコイルを配置できるため感度が向上する。また、感度領域の設計の自由度が向上し、感度が向上する。

【 0 1 9 7 】

また、本実施形態では、サブコイル 8 1 0 を 5 つ備える場合を例にあげて説明したが、サブコイル数はこれに限定されない。

【 0 1 9 8 】

例えば、第一のサブコイル 8 1 0 A、第二のサブコイル 8 1 0 B、第四のサブコイル 8 1 0 D の 3 つであってもよい。この場合、第一のサブコイル 8 1 0 A および第二のサブコイル 8 1 0 B は、第一の実施形態のサブコイル 4 1 0 と同様に調整される。

【 0 1 9 9 】

また、本実施形態においても、第一のサブコイル 8 1 0 A、第二のサブコイル 8 1 0 B、第三のサブコイル 8 1 0 C の磁気結合パターンは、上記例に限定されない。第二の実施形態同様の多様なパターンを適用可能である。

【 0 2 0 0 】

なお、低インピーダンス信号処理回路 8 3 0 に用いる回路素子の種類、回路素子調整時に用いる共振周波数、各サブコイル 8 1 0 の配置位置、結合インダクタの有無、ループ形状、各サブコイル 8 1 0 のサイズ等の第一の実施形態の変形例は、本実施形態にも適用可能である。

【 0 2 0 1 】

10

20

30

40

50

## &lt; 第四の実施形態 &gt;

次に、本発明の第四の実施形態を説明する。上記各実施形態では、信号受信時に隣接するサブコイルと磁気結合し、感度領域を拡大するアレイコイルを、受信RFコイル161に用いる。しかし、本実施形態では、このアレイコイルを、送信RFコイル151に用いる。

## 【0202】

本実施形態のMRI装置は、基本的に第一の実施形態のMRI装置100と同様の構成を有する。以下、本実施形態について、第一の実施形態と異なる構成に主眼をおいて説明する。

## 【0203】

上述のように、本実施形態では、上記各実施形態の鳥かご型RFコイル300の代わりに、送信RFコイル151に、複数のサブコイル410で構成されるアレイコイル（送信RFコイル）を用いる。

## 【0204】

図18(a)は、本実施形態の送信RFコイル151として用いる、送信アレイコイル900を説明するための図である。本実施形態の送信アレイコイル900は、第一の実施形態のアレイコイル400同様、複数のサブコイル910を備える。ここでは、2つのサブコイル910Aおよび910Bを備える場合を例にあげて説明する。なお、サブコイル910の数は、これに限定されない。

## 【0205】

各サブコイル910は、第一の実施形態のサブコイル410と、基本的に同様の構成を有する。ただし、ループコイル部920が、磁気結合調整部941を介して接続されるのは、低入力インピーダンス信号処理回路430ではなく、低出力インピーダンス信号処理回路930である。ここでは、低（出力）インピーダンス信号処理回路930として、低出力インピーダンスのRFアンプ（低出力インピーダンス信号増幅器）931を備える場合を例にあげて説明する。

## 【0206】

また、送信アレイコイル900は、送信RFコイル151と受信RFコイル161との間の磁気結合を防止する送受信間磁気結合防止回路として、送受信間磁気結合防止回路210を備える。

## 【0207】

図18(b)は、送受信間磁気結合防止回路210の構成および接続を説明するための図である。なお、送受信間磁気結合防止回路210は、図4(b)に示す送受信間磁気結合除去回路210と同じであるため、前述と同じ動作をする。以後、高周波磁場送信時の動作のみに着目し、受信RFコイル161は開放状態として説明する。

## 【0208】

各回路素子の調整も、基本的に第一の実施形態のアレイコイル400と同様とする。調整は、ループコイル部920Aのループ921に直列に挿入される直列キャパシタ922と、並列に挿入される並列キャパシタ924と、磁気結合調整部941とにより行われる。

## 【0209】

本実施形態の送信アレイコイル900の詳細な動作を説明する。

## 【0210】

信号送信時、送信アレイコイル900を構成する各サブコイル910それぞれからみた低出力インピーダンス信号増幅器931は、低インピーダンスであるため、等価回路は、図7(a)に示す等価回路600と同様になる。

## 【0211】

従って、送信アレイコイル900の各サブコイル910は、第一の実施形態のアレイコイル400の各サブコイル410と同じ電流分布を構成し、例えば、静磁場強度3T（テスラ）における水素の核磁気共鳴周波数124MHzで共振する。

10

20

30

40

50

## 【0212】

以上説明したように、本実施形態のMRI装置100は、静磁場を形成する静磁場形成部と、傾斜磁場を形成する傾斜磁場形成部と、高周波磁場を生成する高周波磁場生成部と、前記高周波磁場を検査対象に照射する送信コイル151と、前記検査対象からの核磁気共鳴信号を検出する受信コイル161と、前記検出した核磁気共鳴信号から画像を再構成する画像再構成部と、を備え、前記送信コイルは151は、導体からなる第一のループコイル部920Aを有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第一のサブコイル910Aと、導体からなる第二のループコイル部920Bを有し、核磁気共鳴信号の送信および受信が可能な第二のサブコイル910Bと、を備え、前記第一のサブコイル910Aは、当該第一のサブコイル910A単独の共振周波数が送受信対象の前記核磁気共鳴信号の周波数である核磁気共鳴周波数とは異なり、かつ、前記第二のサブコイル910Bと磁気結合することにより、前記第一のループコイル部920Aのループ921Aと前記第二のループコイル部920Bのループ921Bとに、それぞれ、周回する電流経路を形成するとともに前記核磁気共鳴周波数で共振するよう、配置および調整される高周波コイル（送信アレイコイル900）であり、前記送信コイル151と前記受信コイル161とは、それぞれ、当該送信コイル151と当該受信コイル161との間の磁気結合を防止する磁気結合防止回路210、220を備える。

10

## 【0213】

以上のように、本実施形態の送信アレイコイル900を構成する各サブコイル910は、所望の周波数（例えば、124MHz）で共振するため、効率良くRFを送信できる。同時に、第一のサブコイル910Aの第一ループコイル部920Aの第一のループ921Aは、磁気結合によって第二のサブコイル910Bの第二ループコイル部920Bの第二ループ921Bと結合する。このため、第一のサブコイル910Aは、大きなコイルループを持つと見なすことができ、RF送信可能領域が広がる。第一のサブコイル910Aは、例えば、蝶型コイルの様な感度分布を持つため深部感度が得られる。

20

## 【0214】

また、第二のサブコイル910Bは、第一のサブコイル910Aの第一のループコイル部920Aの第一のループ921Aとは結合せず、第一のサブコイル910Aとは異なる感度領域を有する。このため、マルチチャンネルとして機能する。

## 【0215】

よって、本実施形態の送信アレイコイル900は、チャンネル数を維持しながら広いRF送信領域を持つコイルを実現できる。また、これを、各サブコイル910の配置と回路素子の値の調整で実現するため、構造も複雑化することがない。

30

## 【0216】

なお、低インピーダンス信号処理回路に用いる回路素子の種類、回路素子調整時に用いる共振周波数、各サブコイルの配置位置、結合インダクタの有無、ループ形状、各サブコイルのサイズ、磁気結合態様等の第一の実施形態の変形例は、本実施形態にも適用可能である。

## 【0217】

なお、本発明の実施形態では、水平磁場方式のマグネット110を備えるMRI装置100に適用する場合を例示したが、上述のように、垂直磁場方式のMRI装置101でも適用可能である。すなわち、垂直磁場方式のMRI装置101においても、従来、利用が困難であった表面コイルを複数用いた多チャンネルアレイコイル（例えば、図17に示すアレイコイル800）が利用できるようになる。これにより、垂直磁場方式のMRI装置101においても、アレイコイルの設計の自由度が広がり、感度を向上させることができる。また、自由度が広がったことで、アレイコイルの簡素化も可能となるため、軽量なアレイコイルの設計も可能となる。これにより、操作者、並びに被写体（検査対象）の負担を低減させることができる。

40

## 【符号の説明】

## 【0218】

50

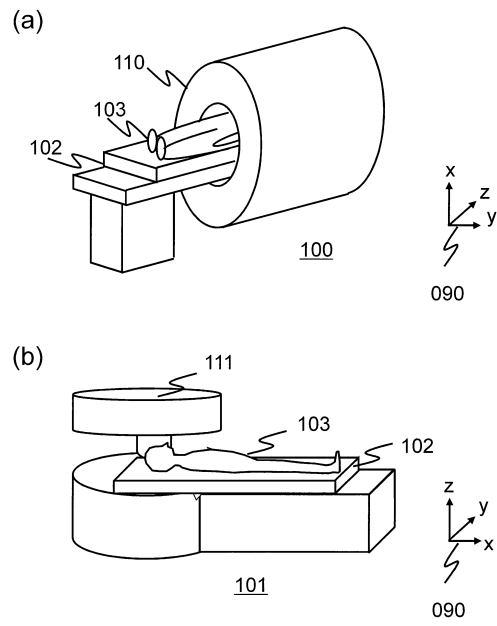
090 : 座標系、100 : MRI装置、102 : テーブル、103 : 検査対象、110 : マグネット、111 : マグネット、121 : シムコイル、122 : シム電源、131 : 傾斜磁場コイル、132 : 記憶媒体、132 : 傾斜磁場電源、140 : シーケンサ、151 : 送信RFコイル、152 : 高周波磁場発生器、161 : 受信RFコイル、162 : 受信器、170 : 計算機、171 : 表示装置、180 : 磁気結合防止回路駆動装置、210 : 送受間磁気結合防止回路、211 : PINダイオード、212 : 制御用信号線、220 : 送受間磁気結合防止回路、220m : 送受信間磁気結合防止回路、221 : PINダイオード、221m : クロスダイオード、222 : インダクタ、223 : 制御用信号線、300 : 鳥かご型RFコイル、301 : 直線導体、302 : 端部導体、303 : キャパシタ、311 : 入力ポート、312 : 入力ポート、400 : アレイコイル、401 : アレイコイル、402 : 鞍型アレイコイル、403 : ソレノイド型アレイコイル、404 : アレイコイル、410 : サブコイル、420 : ループコイル部、421 : ループ、422 : 直列キャパシタ、423 : キャパシタ、424 : キャパシタ、424 : 並列キャパシタ、430 : 低インピーダンス信号処理回路、431 : 低入力インピーダンス信号増幅器、441 : 磁気結合調整部、451 : 結合インダクタ、462 : コイル部、463 : コイル部、500 : 並列共振回路、501 : キャパシタ、502 : インダクタ、511 : 感度分布、512 : 感度分布、513 : 感度分布、514 : 感度分布、521 : 感度プロファイル、522 : 感度プロファイル、531 : 感度プロファイル、532 : 感度プロファイル、533 : 感度プロファイル、534 : 感度プロファイル、600 : 等価回路、601 : 等価回路、602 : 等価回路、604 : 等価回路、605 : 等価回路、606 : 等価回路、621 : インダクタ、622 : 直列キャパシタ、624 : 並列キャパシタ、626 : インダクタ、627 : インダクタ、632 : インピーダンス、641 : 調整インダクタ、700 : アレイコイル、710 : サブコイル、720 : ループコイル部、730 : 低インピーダンス信号処理回路、800 : アレイコイル、810 : サブコイル、820 : ループコイル部、822 : 直列キャパシタ、823 : 直列キャパシタ、824 : 並列キャパシタ、830 : 低インピーダンス信号処理回路、841 : 調整インダクタ、900 : 送信アレイコイル、910 : サブコイル、920 : ループコイル部、921 : ループ、930 : 低インピーダンス信号処理回路、931 : 低出力インピーダンス信号増幅器

10

20

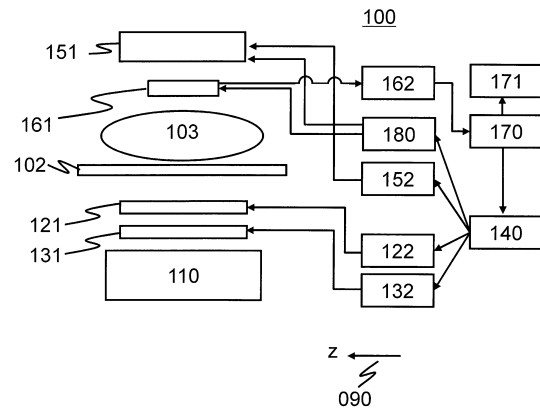
【図1】

図1



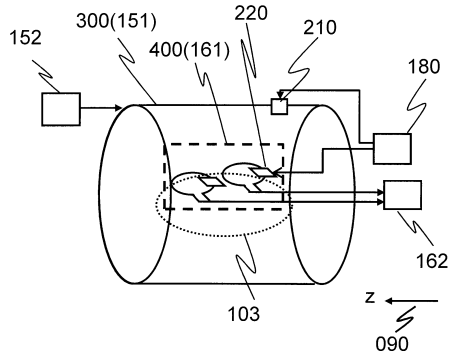
【図2】

図2



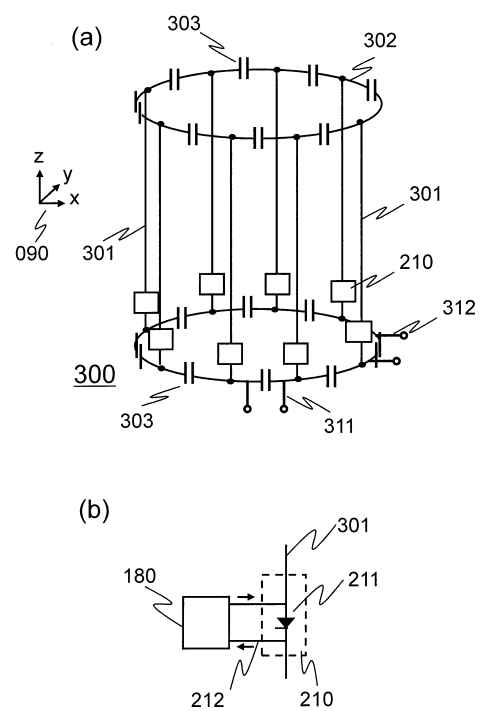
【図3】

図3



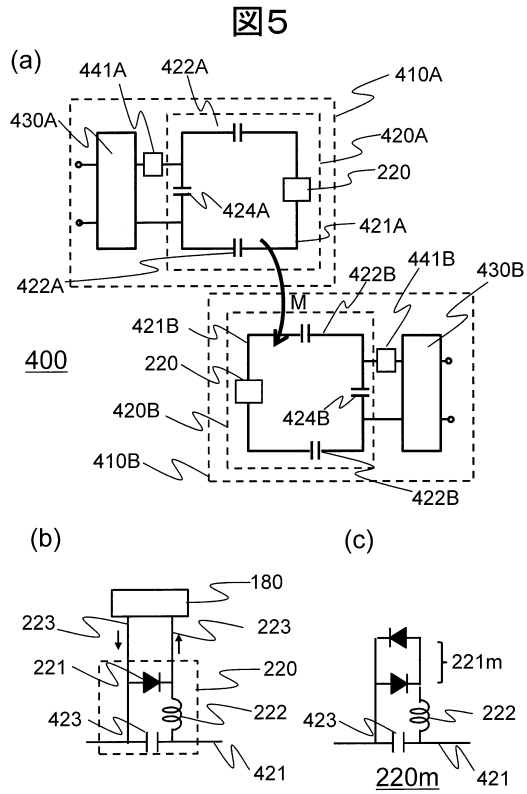
【図4】

図4

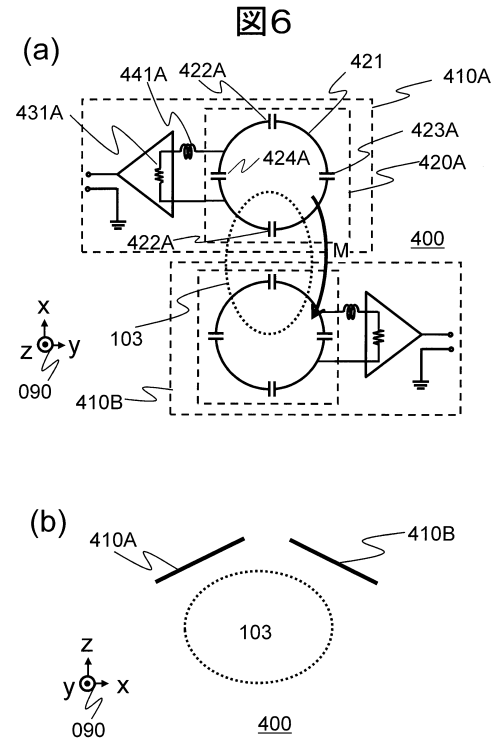




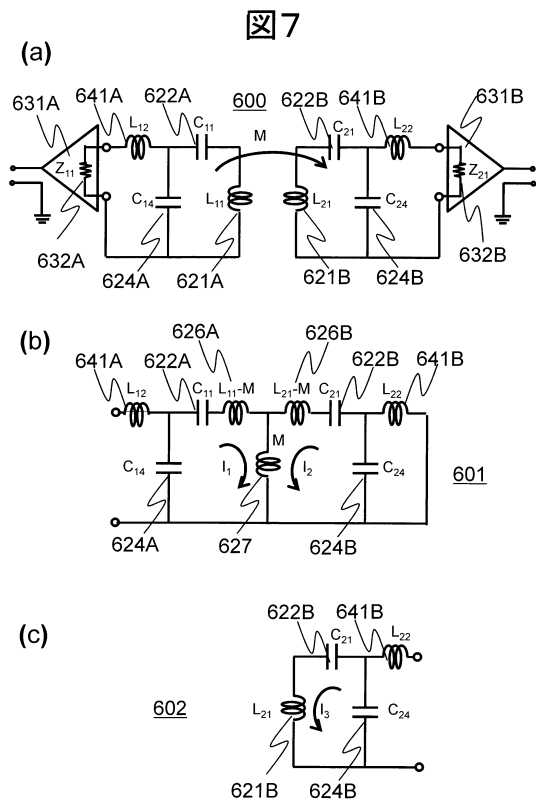
【 図 5 】



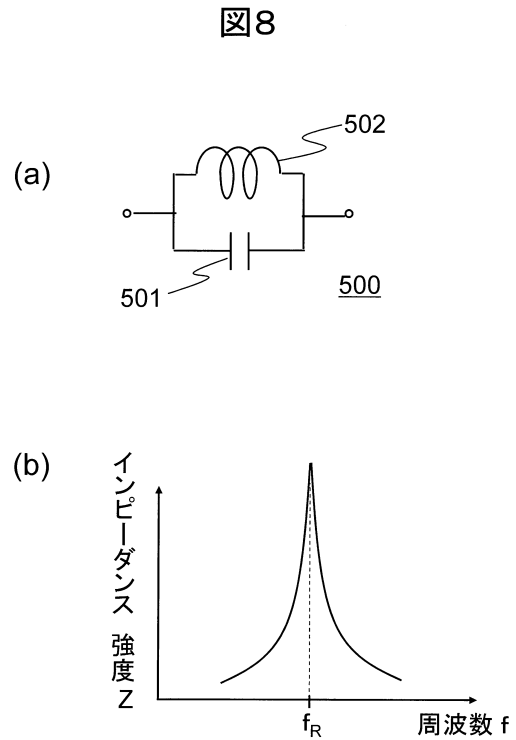
【 図 6 】



【圖 7】

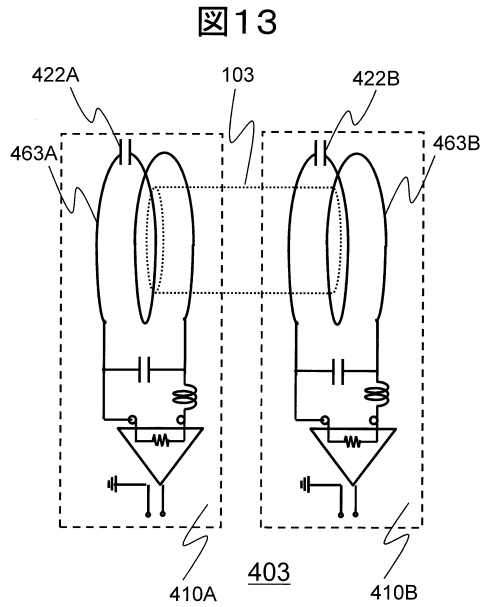


【 図 8 】

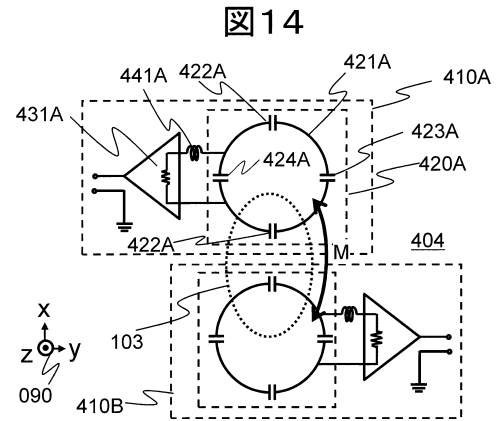




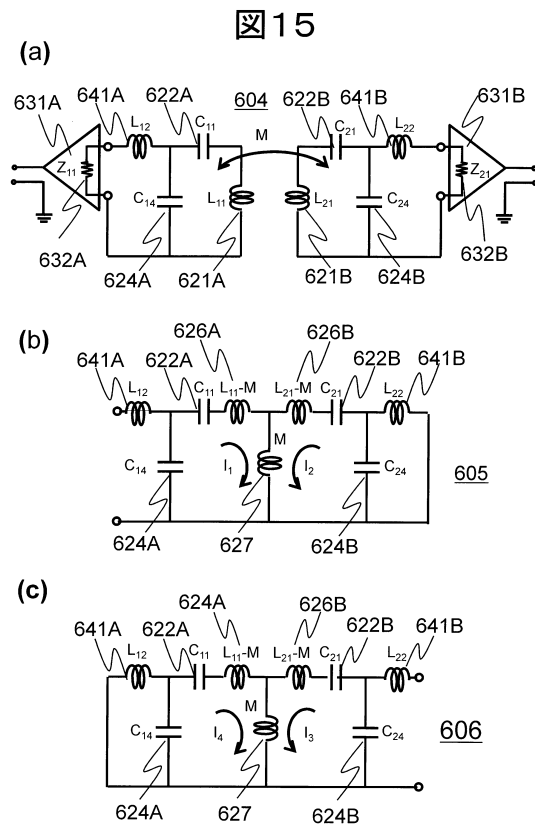
【図 13】



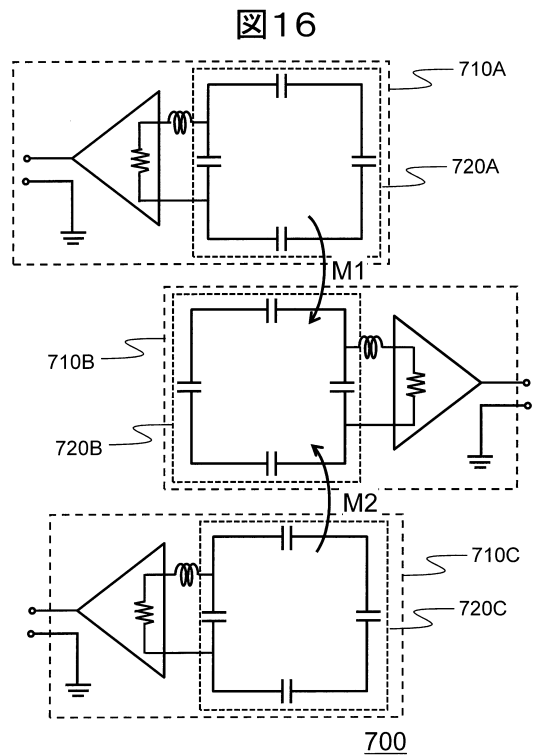
【図 14】



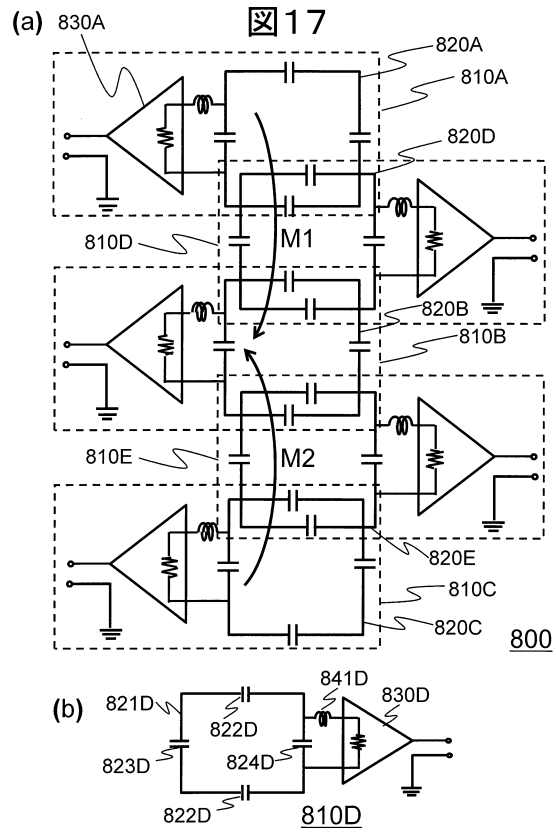
【図 15】



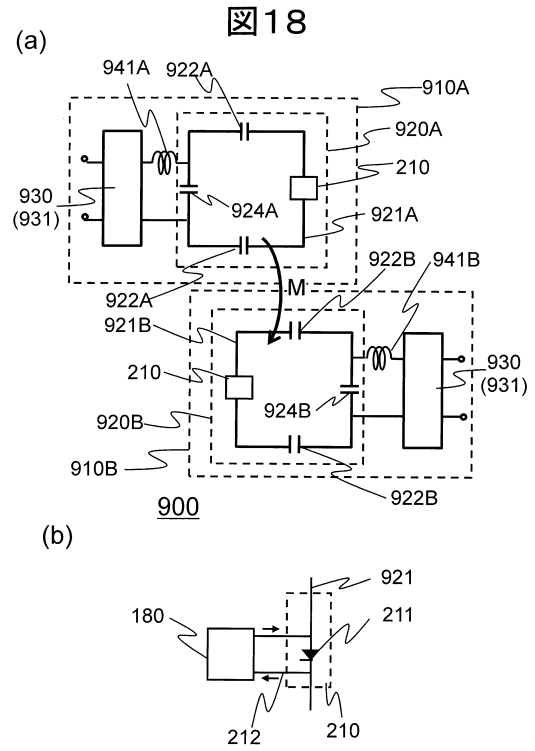
【図 16】



【図 17】



【図 18】



---

フロントページの続き

審査官 安田 明央

(56)参考文献 国際公開第2011/122084(WO, A1)

B. Wu, Capacitor/Inductor Decoupling and Its New Application to Microstrip Array, Proceedings of International Society for Magnetic Resonance in Medicine  
Nikolai I. Avdievich Nikolai I. Avdievich, Novel Inductive Decoupling for Single- and Double-Tuned Transceiver Phased Arrays to Compensate for both Reactive and Resistive Components of the Mutual Impedance, Proceedings of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (2012年)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/055