

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第3556052号
(P3556052)

(45) 発行日 平成16年8月18日(2004.8.18)

(24) 登録日 平成16年5月21日(2004.5.21)

(51) Int.Cl.⁷

A 6 1 B 5/055

GO 1 R 33/385

F I

A 6 1 B 5/05 3 4 O

GO 1 N 24/06 5 1 O Y

請求項の数 18 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願平8-193476	(73) 特許権者	000003078
(22) 出願日	平成8年7月23日(1996.7.23)		株式会社東芝
(65) 公開番号	特開平9-94244		東京都港区芝浦一丁目1番1号
(43) 公開日	平成9年4月8日(1997.4.8)	(74) 代理人	100058479
審査請求日	平成14年9月10日(2002.9.10)		弁理士 鈴江 武彦
(31) 優先権主張番号	特願平7-191612	(74) 代理人	100084618
(32) 優先日	平成7年7月27日(1995.7.27)		弁理士 村松 貞男
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100068814
			弁理士 坪井 淳
		(74) 代理人	100092196
			弁理士 橋本 良郎
		(74) 代理人	100091351
			弁理士 河野 哲
		(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気共鳴イメージング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

撮影領域内に静磁場を形成する手段と、
前記撮影領域内に第1軸に関する傾斜磁場を形成する第1の傾斜磁場発生手段と、
前記撮影領域内に第2軸に関する傾斜磁場を形成する第2の傾斜磁場発生手段と、
前記撮影領域内に第3軸に関する傾斜磁場を形成する第3の傾斜磁場発生手段と、
前記撮影領域内に置かれた被検体の原子核を励起するために、高周波磁場を発生する手段と、
前記励起された原子核からの磁気共鳴信号を検出する手段と、
前記検出された磁気共鳴信号に基づいて、磁気共鳴画像を再構成する手段とを備え、
前記第1、第2及び第3の傾斜磁場発生手段の少なくとも1つは、前記傾斜磁場を形成するための少なくとも1つの主コイルと、前記主コイルから発生された磁場を外界に対して磁氣的に遮蔽するための少なくとも1つのシールドコイルとが直列接続された複数のグループと、前記グループ各々に対して個別に電流を供給する駆動手段とを有することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 2】

前記グループの数は偶数であることを特徴とする請求項1記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 3】

前記主コイルと前記シールドコイルとは前記グループに等分に分割されることを特徴とす

る請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 4】

前記グループの数は 2 であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 5】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 2 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割され、前記第 1 のグループは前記第 2 のグループに対して X - Y 面を挟んで分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

10

【請求項 6】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 3 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割され、前記第 1 のグループは前記第 2 のグループに対して X - Y 面を挟んで分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 7】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 1 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割され、前記第 1 のグループは前記第 2 のグループに対して X - Y 面を挟んで分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

20

【請求項 8】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 2 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割され、前記第 1 のグループは前記第 2 のグループに対して Y - Z 面を挟んで分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 9】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 3 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割される、前記第 1 のグループは前記第 2 のグループに対して X - Z 面を挟んで分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

30

【請求項 10】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 2 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割され、前記第 1 のグループは (+X, +Z) の領域と (-X, -Z) の領域とに設けられ、前記第 2 のグループは (-X, +Z) の領域と (+X, -Z) の領域とに設けられることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

40

【請求項 11】

前記第 1 軸は前記静磁場の向きと平行な Z 軸であり、前記第 2 軸は前記 Z 軸に直交する X 軸であり、前記第 3 軸は前記 Z 軸及び前記 X 軸に直交する Y 軸であり、前記第 3 の傾斜磁場発生手段の前記主コイルと前記シールドコイルとは第 1 のグループと第 2 のグループとに分割され、前記第 1 のグループは (+Y, +Z) の領域と (-Y, -Z) の領域とに設けられ、前記第 2 のグループは (-Y, +Z) の領域と (+Y, -Z) の領域とに設けられることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 12】

前記駆動手段は、前記複数のグループから磁場を同時に発生させるための手段を有するこ

50

とを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 1 3】

前記駆動手段は、前記複数のグループから磁場を同時に発生させるために、前記複数のグループ各々を駆動するための電流の発生タイミングをグループ間でずらすための手段を有することを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 1 4】

前記駆動手段は、前記複数のグループそれぞれに設けられる複数のアンプと、前記複数のアンプに個別にトリガ信号を発生するトリガ手段と、前記複数のグループから磁場を同時に発生させるために、前記トリガ手段と前記複数のアンプの少なくとも 1 つとの間に設けられた少なくとも 1 つの遅延回路とを有することを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イ

10

【請求項 1 5】

前記主コイルと前記シールドコイルとの少なくとも 1 つのコイルは、第 1 のコイルセグメントと第 2 のコイルセグメントとに分離され、前記第 1 のコイルセグメントの一部は折り返され、前記第 2 のコイルセグメントの一部は前記第 1 のコイルセグメントの折り返された部分に重ねられることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

【請求項 1 6】

前記主コイルと前記シールドコイルとの少なくとも 1 つのコイルは、第 1 のコイルセグメントと、前記第 1 のコイルセグメントの周囲に設けられる第 2 のコイルセグメントとに分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置。

20

【請求項 1 7】

前記主コイルと前記シールドコイルとの少なくとも 1 つのコイルは、第 1 のコイルセグメントと、前記第 1 のコイルセグメントと共に 2 重スパイラルコイルを形成する第 2 のコイルセグメントとに分離されることを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置

。

【請求項 1 8】

前記駆動手段は、遮蔽精度を向上させるために、前記シールドコイル各々に流れる電流を補正する補助アンプを有することを特徴とする請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置

。

【発明の詳細な説明】

30

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、高周波磁場で被検体内の原子核を励起し、励起された原子核からの磁気共鳴信号に基づいて、磁気共鳴画像を再構成する磁気共鳴イメージング装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

磁気共鳴イメージング装置において、傾斜磁場を形成する傾斜磁場ユニットは重要な構成要素の 1 つである。

傾斜磁場ユニットは、直交 3 軸 (X, Y, Z) の傾斜磁場を個別に形成することができるように、3 組のコイルセットと、3 つのアンプとを有している。

40

【0003】

X 軸の傾斜磁場 G_X、Y 軸の傾斜磁場 G_Y、Z 軸の傾斜磁場 G_Z はそれぞれ単独であるいは合成されて、磁気共鳴信号の周波数を空間的にエンコードするためのリードアウト傾斜磁場 (G_R)、磁気共鳴信号の位相を空間的にエンコードするための位相エンコード傾斜磁場 (G_E)、被検体のイメージング領域を選択するためのスライス選択傾斜磁場 (G_S) として用いられる。

【0004】

ところで、この傾斜磁場コイルは一般に対を成してこのコイル対の間 (撮影領域) に線形的に磁場強度が変化するような磁場分布を生成するように構成されている。そして、この傾斜磁場が外界に漏洩して周囲導体に渦電流が発生するのを抑制するため、傾斜磁場生成

50

用の主コイルの外側にこの主コイルが生成する磁場と逆向きの磁場を生成する磁場遮蔽用のコイルを配置したアクティブシールド型傾斜磁場コイル装置と呼ばれる傾斜磁場コイル装置が知られている。図29に1軸の傾斜磁場を形成する回路を示す。この回路は、傾斜磁場を形成するための主コイル1～4と、主コイル1～4から発生する磁場を外界に対して磁氣的に遮蔽するためのシールドコイル5～8と、これらのコイルに電流を供給するアンプとからなる。一方、近年エコープレナーイメージング法(Echo Planar Imaging method (EPI法))に代表される超高速イメージング法が実用化されてきている。この高速イメージング法は、1枚の磁気共鳴画像を再構成するのに必要な複数のエコーを数10msecのオーダーで収集することができ、その有用性は高い。

【0005】

10

ところが、いわゆる標準的なスピンエコー法では例えば磁場強度10mT/mの傾斜磁場を1msecで立ち上げればよいのに対し、EPI法では例えば30mT/mの傾斜磁場を0.1msecで立ち上げ、しかも高速に交番することが要求される。このような高速の交番磁場によって周囲導体に発生する渦電流を抑制するためにはアクティブシールド型の傾斜磁場コイル装置が必要不可欠となる。

【0006】

しかし、直列に接続された主コイル1～4とシールドコイル5～8とを1つのアンプ10で駆動して、エコープレナー法を満足させるような比較的高い強度の傾斜磁場を短時間で立ち上げることは、非常に困難で、例えば4kV以上の高出力のアンプが必要とされる。

【0007】

20

さらに高出力のアンプの採用は、絶縁性を向上させることや、傾斜磁場コイルに対する周囲金属や静磁場コイル、静磁場補正コイル、RFコイル等の周囲のコイル群との磁氣的なカップリングを防止すること等の様々な改良を要求する。

【0008】

なお、主コイルとシールドコイルとの間のスペースを広げて、傾斜磁場コイルのインピーダンスを少しでも低下させ、それによりアンプの要求仕様を緩和させることができる。しかし、これは磁石架台を大型化してしまうので好ましくない。また、上記磁氣的なカップリングの問題も傾斜磁場コイルと静磁場コイルとの間のスペース、傾斜磁場コイルとRFコイルとの間のスペースを広げることにより、緩和することができるが、同様に磁石架台を大型化してしまうので好ましいとは言えない。

30

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

本発明の目的は、比較的低出力の傾斜磁場アンプで、エコープレナー法等の超高速イメージング法の要求を満足させることのできる磁気共鳴イメージング装置を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明による磁気共鳴イメージング装置は、撮影領域内に静磁場を形成する手段と、前記撮影領域内に第1軸に関する傾斜磁場を形成する第1の傾斜磁場発生手段と、前記撮影領域内に第2軸に関する傾斜磁場を形成する第2の傾斜磁場発生手段と、前記撮影領域内に第3軸に関する傾斜磁場を形成する第3の傾斜磁場発生手段と、前記撮影領域内に置かれた被検体の原子核を励起するために、高周波磁場を発生する手段と、前記励起された原子核からの磁気共鳴信号を検出する手段と、前記検出された磁気共鳴信号に基づいて、磁気共鳴画像を再構成する手段とを備え、前記第1、第2及び第3の傾斜磁場発生手段の少なくとも1つは、前記傾斜磁場を形成するための少なくとも1つの主コイルと、前記主コイルから発生された磁場を外界に対して磁氣的に遮蔽するための少なくとも1つのシールドコイルとが直列接続された複数のグループと、前記グループ各々に対して個別に電流を供給する駆動手段とを有することを特徴とする。

40

【0013】

【発明の実施の形態】

50

以下、図面を参照して、本発明の磁気共鳴イメージング装置の好ましい実施形態を説明する。

図1は、本実施形態の磁気共鳴イメージング装置の構成図である。磁石架台11は、撮影領域内に静磁場B0を形成するための静磁場コイル12を有する。静磁場コイル12は、常電導コイル又は超電導コイルである。静磁場コイル12に代えて、永久磁石を用いてもよい。

【0014】

なお、説明の便宜上、撮影領域の中心を原点とする直交3軸(X軸、Y軸、Z軸)を次のように定義する。Z軸は静磁場B0と平行である。X軸はZ軸に直交する。Y軸はX軸とZ軸とに直交する。

10

【0015】

また、磁石架台11は、撮影領域内に置かれた被検体内の原子核を励起するために高周波磁場を発生し、また励起された原子核からの磁気共鳴信号を検出するための高周波コイル13を有する。なお、高周波コイル13は、1つのコイルで高周波磁場の発生と磁気共鳴信号の検出とを兼用してもよいし、高周波磁場の発生のためのコイルと磁気共鳴信号の検出のためのコイルとを別々に設けていてもよい。

【0016】

また、磁石架台11は、撮影領域内に直交3軸(X、Y、Z)に関する3種類の傾斜磁場を形成するための傾斜磁場コイルユニット14を有する。さらに、磁石架台11は、被検体を撮影領域内にセットするための寝台15を有する。

20

【0017】

静磁場コイル12が常電導コイルであれば、静磁場アンプ20は、撮影領域内に静磁場B0を継続的に形成するために、静磁場コイル12に定電流を継続的に供給する。静磁場コイル12が超電導コイルであれば、静磁場アンプ20から静磁場コイル12に一度だけ電流を流してしまえば、超電導状態を解除しない限り電流は流れ続ける。勿論、静磁場コイル12に代えて永久磁石を用いる場合は、静磁場アンプ20は不要である。

【0018】

送信器21は、高周波磁場を発生するために高周波コイル13に高周波電流を供給する。受信器22は、高周波コイル13を介して、励起された原子核からの磁気共鳴信号を検出する。プロセッサ23は、検出された磁気共鳴信号に基づいて、磁気共鳴画像を再構成する。ディスプレイ24は、再構成された磁気共鳴画像を表示する。

30

【0019】

傾斜磁場コイルユニット14は、X軸に関する傾斜磁場を発生するためのX軸コイルセットと、Y軸に関する傾斜磁場を発生するためのY軸コイルセットと、Z軸に関する傾斜磁場を発生するためのZ軸コイルセットとを有する。

【0020】

3つのコイルセット各々は、対応する傾斜磁場を形成するための複数の主コイルと、複数の主コイルから発生する磁場を外界に対して磁氣的に遮蔽するための複数のシールドコイルとを有する。

【0021】

尚ここで、主コイル、シールドコイルと便宜上呼んでいるが、主コイルのみが傾斜磁場形成を担当し、シールドコイルのみが遮蔽磁場形成を担当してゐるわけではない。

40

【0022】

主コイル及びシールドコイルが総合的に形成する磁場が、得ようとしている傾斜磁場であり、主コイルが撮影領域への傾斜磁場形成を主に担当し、シールドコイルが外界への磁場漏洩の遮蔽を主に担当しているということである。主コイル、シールドコイルとの呼称はこのような意味での使い分けである。

【0023】

3つのコイルセット各々を構成する複数の主コイルと複数のシールドコイルとは、複数、ここでは第1、第2の2つのグループに分割される。第1のグループには、複数の主コイ

50

ルと複数のシールドコイルとの中の少なくとも2つのコイル、好ましくは半数ずつのコイルが含まれる。第2のグループには、複数の主コイルと複数のシールドコイルとの中の第1のグループに含まれない残りのコイルが含まれる。好ましくは、2つのグループ各々には、少なくとも1つの主コイルと少なくとも1つのシールドコイルとが混在して含まれる。同じグループに含まれる複数のコイルは直列に接続される。複数のコイルの2つのグループへの割振りの詳細は後述する。

【0024】

傾斜磁場電源25は、傾斜磁場コイルユニット14の複数(6つ)のグループ各々に対して個別に電流を供給することができるように、複数(6つ)のアンプ26~31を有している。アンプ26は、X軸コイルセットの第1グループに電流を供給する。アンプ27は、X軸コイルセットの第2グループに電流を供給する。アンプ28は、Y軸コイルセットの第1グループに電流を供給する。アンプ29は、Y軸コイルセットの第2グループに電流を供給する。アンプ30は、Z軸コイルセットの第1グループに電流を供給する。アンプ31は、Z軸コイルセットの第2グループに電流を供給する。

10

【0025】

遅延回路群32は、複数(6つ)の遅延回路33~38を有する。複数(6つ)の遅延回路33~38は、傾斜磁場コイルユニット14の複数(6つ)のグループにそれぞれ設けられる。同じ軸のコイルセットに対応するペアの遅延回路(33と34、35と36、37と38)の遅延時間の差 τ は、当該2つのグループから磁場が同時に発生されるように、設定されている。同じ軸のコイルセットに含まれる2つのグループ各々から磁場が時間的にずれて発生されてしまう主な原因は、これら2つのグループ各々のインピーダンスの若干の相違や個々のアンプの特性の違いによる。

20

【0026】

波形整形器群39は、3つの波形整形器40~42を有する。波形整形器40は、シーケンサ19からの矩形信号(トリガ信号)を例えば台形波信号に整形し、X軸に対応するペアの遅延回路(33と34)に同時に台形波信号を供給する。波形整形器41は、シーケンサ19からの矩形信号を例えば台形波信号に整形し、Y軸に対応するペアの遅延回路(35と36)に同時に台形波信号を供給する。波形整形器42は、シーケンサ19からの矩形信号を例えば台形波信号に整形し、Z軸に対応するペアの遅延回路(37と38)に同時に台形波信号を供給する。

30

【0027】

ここで、波形整形器40~42では、渦電流に起因する波形の歪みを補償する波形整形を加えることもできる。

シーケンサ19は、例えばエコーブレナー法のパルスシーケンスを実行するために、タイムダイアグラムデータにしたがって送信器21、受信器22、波形整形器群39各々に制御信号を供給する。

【0028】

システムコントローラ44はシステム全体の制御中枢である。システムコントローラ44には、オペレータが様々なイメージング条件を入力したり、イメージング開始等の様々なコマンドを入力するために、コンソール43が接続される。また、寝台15には、オペレータが寝台15をスライドしたり昇降するためにコンソール43が接続される。

40

【0029】

図2に、一般的な円筒方式のY軸コイルセットの構造を示している。図3に、垂直方式のY軸コイルセットの構造を示している。Y軸コイルセットは、円筒方式、垂直方式、その他の方式のいずれでも構わない。図4に、図2、図3の1つのコイルのコイルパターンの一例を示している。コイルパターンは図4に示したようなスパイラルタイプには限定されない。なお、図2、図3の矢印は電流の向きを表している。この矢印は他の図面でも同様に電流の向きを表している。

【0030】

Y軸コイルセットは、4つの主コイル51~54と、4つのシールドコイル55~58と

50

を有する。主コイル 5 1 と 5 3 とは、X - Y 面に関して対称に、Z 軸に沿ってアレイされる。主コイル 5 2 と 5 4 とは、X - Y 面に関して対称に、Z 軸に沿ってアレイされる。主コイル 5 1 と 5 2 とは、X - Z 面を挟んで向かい合わせに配置される。主コイル 5 3 と 5 4 とは、X - Z 面を挟んで向かい合わせに配置される。

【 0 0 3 1 】

主に主コイル 5 1 が発生する磁場を外界に対して遮蔽するためのシールドコイル 5 5 は、主コイル 5 1 の外側に配置される。主に主コイル 5 2 が発生する磁場を外界に対して遮蔽するためのシールドコイル 5 6 は、主コイル 5 2 の外側に配置される。主に主コイル 5 3 が発生する磁場を外界に対して遮蔽するためのシールドコイル 5 7 は、主コイル 5 3 の外側に配置される。主に主コイル 5 4 が発生する磁場を外界に対して遮蔽するためのシールドコイル 5 8 は、主コイル 5 4 の外側に配置される。

10

【 0 0 3 2 】

Y 軸コイルセットは、4 つのペアを有する。第 1 のペアは、主コイル 5 1 とシールドコイル 5 5 とからなる。第 2 のペアは、主コイル 5 2 とシールドコイル 5 6 とからなる。第 3 のペアは、主コイル 5 3 とシールドコイル 5 7 とからなる。第 4 のペアは、主コイル 5 4 とシールドコイル 5 8 とからなる。1 つのペアを構成する主コイルとシールドコイルとは、両者の物理的距離が最も近く、磁氣的結合が最も強いコイルどうしが選択される。あるシールドコイルは、それとペアを構成する主コイルからの磁場を外界に対して遮蔽する効果が、対応しない主コイルからの磁場を外界に対して遮蔽する効果よりも大きい、4 つの主コイル 5 1 ~ 5 4 と 4 つのシールドコイル 5 5 ~ 5 8 とは、1 つのペアを 1 つの単位として複数のグループへ割当てられる。

20

【 0 0 3 3 】

図 5 に示すように、第 1 のグループは第 1 のペア (5 1 , 5 5) と第 2 のペア (5 2 , 5 6) とからなり、第 2 のグループは第 3 のペア (5 3 , 5 7) と第 4 のペア (5 4 , 5 7) とからなる。

【 0 0 3 4 】

また、図 6 に示すように、第 1 のグループは第 1 のペア (5 1 , 5 5) と第 3 のペア (5 3 , 5 7) とからなり、第 2 のグループは第 2 のペア (5 2 , 5 6) と第 4 のペア (5 4 , 5 8) とからなるようにしてもよい。

【 0 0 3 5 】

さらに、図 7 に示すように、第 1 のグループは第 1 のペア (5 1 , 5 5) と第 4 のペア (5 4 , 5 8) とからなり、第 2 のグループは第 2 のペア (5 2 , 5 6) と第 3 のペア (5 3 , 5 7) とからなるようにしてもよい。

30

【 0 0 3 6 】

第 1 のアンプ 2 8 は、Y 軸コイルセットの第 1 のグループに含まれる 2 つの主コイルと 2 つのシールドコイルとに電流を供給する。第 2 のアンプ 2 9 は、Y 軸コイルセットの第 2 のグループに含まれる 2 つの主コイルと 2 つのシールドコイルとに電流を供給する。

【 0 0 3 7 】

なお、X 軸コイルセットは、Y 軸コイルセットと同様に、4 つの主コイルと、4 つのシールドコイルとを有し、その構造は Y 軸コイルセットを Z 軸に関して 90 ° 回転したものに相当する。X 軸コイルセットの 4 つの主コイルと 4 つのシールドコイルとを 2 つのグループに分割することは、上述した Y 軸コイルセットのグループ分けと同一であるので、説明を省略する。また、第 1 のアンプ 2 6 は、X 軸コイルセットの第 1 のグループに含まれる 2 つの主コイルと 2 つのシールドコイルとに電流を供給し、第 2 のアンプ 2 7 は、X 軸コイルセットの第 2 のグループに含まれる 2 つの主コイルと 2 つのシールドコイルとに電流を供給する。

40

【 0 0 3 8 】

図 8 に、一般的な円筒方式の Z 軸コイルセットの 2 つの主コイルを示している。図 9 に、一般的な円筒方式の Z 軸コイルセットの 2 つのシールドコイルを示している。図 10 に、垂直方式の Z 軸コイルセットの 2 つの主コイルと 2 つのシールドコイルとを示している。

50

なお、図 8、図 9、図 10 において矢印は電流の向きを表している。コイルパターンはソレノイドタイプやスパイラルタイプには限定されない。Z 軸コイルセットは、2 つの主コイル 6 1 ~ 6 2 と、2 つのシールドコイル 6 3 ~ 6 4 とを有する。主コイル 6 1 と 6 2 とは、X - Y 面に関して対称に、Z 軸に沿ってアレイされる。主に主コイル 6 1 が発生する磁場を外界に対して遮蔽するためのシールドコイル 6 3 は、主コイル 6 1 の外側に配置される。主に主コイル 6 2 が発生する磁場を外界に対して遮蔽するためのシールドコイル 6 4 は、主コイル 6 2 の外側に配置される。

【0039】

Z 軸コイルセットは、2 つのペアを有する。第 1 のペアは、主コイル 6 1 とシールドコイル 6 3 とからなる。第 2 のペアは、主コイル 6 2 とシールドコイル 6 4 とからなる。図 1 1 に示すように、第 1 のグループは一方のペア (6 1 , 6 3) からなり、第 2 のグループは他方のペア (6 2 , 6 4) からなる。

【0040】

第 1 のアンプ 3 0 は、Z 軸コイルセットの第 1 のグループに含まれる 1 つの主コイルと 1 つのシールドコイルとに電流を供給し、第 2 のアンプ 3 1 は、Z 軸コイルセットの第 2 のグループに含まれる 1 つの主コイルと 1 つのシールドコイルとに電流を供給する。

【0041】

このようにコイルセットの複数の主コイルと複数のシールドコイルとを複数のグループに分割し、グループ各々に別々のアンプから個別に電流を供給するようにしたので、1 つのアンプから見た 1 グループのインピーダンスは低下する。したがって、比較的 low 性能のアンプでも、エコープレナー法等の超高速イメージング法が要求する例えば 30 mT / m という高い磁場を 0 . 1 m s e c という非常に短い時間で立ち上げることができる。

【0042】

また、1 つの主コイルとその主コイルからの磁場を外界に対して主に遮蔽する 1 つのシールドコイルとを 1 つのペア、つまり物理的距離が最も近く、磁氣的結合が最も強い 2 つのコイルを 1 つのペアとして、このペアを崩さないようにペア単位でグループ分けを行ったので、インピーダンスを好適に低下させることができる。

【0043】

なお、コイルセットを、主コイルのみのグループと、シールドコイルのみのグループとに分割するようにしてもよい。この場合、遮蔽精度を向上させるために、シールドコイルに供給する電流を、主コイルに供給する電流に対して意図的に相違させることができる。

【0044】

次に、同じ軸のコイルセットに含まれるペアの遅延回路 (3 3 と 3 4 、 3 5 と 3 6 、 3 7 と 3 8) の遅延時間の差 t の設定について説明する。図 1 2 にこの設定のためのユニットの構成を示している。第 1、第 2 のグループの回路にそれぞれ電流計 7 1 , 7 2 が設けられる。電流計 7 1 は、第 1 のグループの回路に流れる電流の時間波形 $A 1 (t)$ を検出する (図 1 3 参照) 。電流計 7 2 は第 2 のグループの回路に流れる電流の時間波形 $A 2 (t)$ を検出する (図 1 4 参照) 。

【0045】

差分プロセッサ 7 3 は、差分波形 $S (t)$ を計算するために、 $A 1 (t)$ から $A 2 (t)$ を引き算する。2 つのグループ各々からの磁場の発生時刻がずれているとき、差分波形 $S (t)$ は図 1 5 に示すように、2 つのスパイクを含む。2 つのグループ各々からの磁場の発生時刻が完全に同期しているとき、差分波形 $S (t)$ は図 1 6 に示すように、ゼロで安定する。

【0046】

遅延時間コントローラ 7 4 は、差分波形 $S (t)$ が図 1 6 に示した状態になる又はその状態に近似するように、遅延回路 3 3 , 3 4 各々の遅延時間 t_1 , t_2 の差 t を調整する。この調整は、差分波形 $S (t)$ をディスプレイに表示して、オペレータがマニュアルで行うようにしてもよい。なおこの遅延時間は設定後の経時的変動はないとみなすことができれば、設定後に、電流計 7 1 , 7 2、差分プロセッサ 7 3、遅延時間コン

10

20

30

40

50

トローラ 7 4 を取り去ってもよい。

【 0 0 4 7 】

このような遅延時間の調整により、2つのグループ各々から磁場を同時に発生することができる。

なお、上述した実施形態は次のように変形することができる。

【 0 0 4 8 】

上述では、主コイルとこの主コイルと磁氣的結合の最も強いシールドコイルとをペアとして、ペアを崩さないようにグループに分割すると説明したが、ペアに関わりなく複数の主コイルと複数のシールドコイルとを任意の組み合わせで複数のグループに分割するようにしてもよい。また、複数の主コイルだけで1つのグループを構成し、複数のシールドコイルだけで1つのグループを構成するようにしてもよい。この場合、複数の主コイルと複数のシールドコイルとに供給する電流の大きさを個別に調整して、遮蔽効果を適正化できるという効果が得られる。

10

【 0 0 4 9 】

また、上述では、1つのコイルセットに含まれる2つのグループで1つの波形整形器を共有する構成を説明したが、図 1 7 に示すように2つのグループ各々に1つずつ波形整形器 4 1 1 , 4 1 2 を設けるようにしてもよい。さらに、図 1 8 に示すように、遅延回路 3 5 , 3 6 と、波形整形器 4 1 1 , 4 1 2 とを入れ替えて、シーケンサ 1 9 からの矩形信号に対して遅延をかけた後に、波形整形するようにしてもよい。

【 0 0 5 0 】

20

また、同じ軸のコイルセットに対応する複数の遅延回路の中において、最も磁場の発生タイミングが遅い少なくとも1つのグループ(このグループからの磁場の発生タイミングを基準として他のグループに対応する遅延時間が調整される)に対応する少なくとも1つの遅延回路を構成要素から排除することができる。

【 0 0 5 1 】

また、同じ軸のコイルセットに含まれる複数のグループから磁場が同時に発生されるという目的を達成するために、上述したような信号遅延の代わりに、最も早く磁場が発生するグループの磁場発生タイミングを基準として、他の遅いグループに対応するアンプへの制御信号の供給タイミングを早めるようにしてもよい。

【 0 0 5 2 】

30

また、上述では、遅延時間調整のために、グループ各々の電流を計測するようにしたが、磁場中心での磁場強度の時間変化を計測し、これに基づいて遅延時間を調整するようにしてもよい。グループ各々からの磁場が同期して発生するなら、この磁場中心での磁場強度は、静磁場強度で安定していなければならない。したがって、この磁場中心での磁場強度が静磁場強度で安定するように、遅延時間を調整すればよい。

【 0 0 5 3 】

また、上述では、Y軸コイルセット(X軸コイルセット)を2つのグループに分割すると説明したが、図 1 9 に示すように、Y軸コイルセットを3つのグループに分割し、3つのグループを3つのアンプ 8 1 ~ 8 3 で個別に駆動するようにしてもよい。3つのグループに対する4つの主コイルと4つのシールドコイルとの割振りは、ペアを1単位とすることを最適とするが、これに限定されない。

40

【 0 0 5 4 】

また、図 2 0 に示すように、Y軸コイルセット(X軸コイルセット)を4つのグループに分割し、4つのグループを4つのアンプ 8 1 ~ 9 4 で個別に駆動するようにしてもよい。4つのグループに対する4つの主コイルと4つのシールドコイルとの割振りは、主コイルとそれからの磁場を外界に対して主に遮蔽するシールドコイルとのペアを1つのグループとすることを最適とするが、これに限定されない。

【 0 0 5 5 】

さらに、同軸に対応する複数の主コイルと複数のシールドコイルとを4を越える複数のグループ、例えば8グループに分割し、個々に駆動するようにしてもよい。この場合、1つ

50

のコイルは複数、例えば2つのコイルセグメントに分離される。第1の方法では、図21に示すように、1つのコイルは当該1つのコイルの中心付近でZ軸方向に関して2つのコイルセグメント131, 132に分離される。図22に示すように、一方のコイルセグメント131の一部は折り返され、その上に他方のコイルセグメント132の一部が重ねられることにより、連結される。このような重ね合わせ連結は、一方のコイルセグメント131が折り返された部分から発生する磁場が、他方のコイルセグメント132の重ね合わせられる部分から発生する磁場によってキャンセルされ、2つのコイルセグメント131, 132のメイン部分から発生する磁場の合成磁場の磁場分布が、図4に示されるような1つのコイルの発生する磁場の磁場分布とほぼ等価となる。

【0056】

10

また、1つのコイルを2つのコイルセグメントに分離する第2の方法は、図23に示すように、1つのコイルを、その中央部分のコイルセグメント131と、その周囲のコイルセグメント132とに分割する方法である。また、1つのコイルを2つのコイルセグメントに分離する第3の方法は、図24に示すように、2つのコイルセグメント131, 132を2重螺旋にパターンするという方法である。これら図23、図24のコイルセグメントの分離方法は、図21のような連結の工夫を不要とする。

【0057】

図21、図23、図24のいずれかの方法により、図25に示すように、Y軸コイルセット(X軸コイルセット)の4つの主コイルは8つのコイルセグメント51-131、52-131、53-131、54-131、51-132、52-132、53-132、54-132に分離され、また4つのシールドコイルは、8つのコイルセグメント55-131、56-131、57-131、58-131、55-132、56-132、57-132、58-132に分離される。合計16のコイルセグメントに分離されたY軸コイルセットは、主コイルのコイルセグメントと、それからの磁場を外界に対して主に遮蔽するシールドコイルのコイルセグメントとを1つのペアとして1つのグループを構成し、全部で8つのグループに分割される。8つのグループを個別に駆動するように8つのアンプ141~148が設けられ、8つのアンプ141~148に対応して8つの遅延回路151~158が設けられる。

20

【0058】

Z軸コイルセットのコイル各々も、同様にコイルセグメントに分離されることが可能である。図26に示すように、1つのソレノイドコイルが略中央で2つのコイルセグメント161, 162に分離される。または、2つのコイルセグメント161, 162を2重螺旋に形成して、1つのコイルを構成するようにしてよい。

30

【0059】

図27に示すように、Z軸コイルセットの2つの主コイルは4つのコイルセグメント61-161, 62-161, 61-162, 62-162に分離され、また2つのシールドコイルは、4つのコイルセグメント63-161, 64-161, 63-162, 64-162に分離される。合計8つのコイルセグメントに分離されたZ軸コイルセットは、主コイルのコイルセグメントと、それからの磁場を外界に対して主に遮蔽するシールドコイルのコイルセグメントとを1つのペアとして1つのグループを構成し、全部で4つのグループに分割される。4つのグループを個別に駆動するように4つのアンプ171~174が設けられ、4つのアンプ171~174に対応して4つの遅延回路181~184が設けられる。

40

【0060】

X, Y, Z各軸のコイルセットを分割するグループ数やその割振りは、上述に限定されず、任意に変更することができる。

また、図28に示すように、例えば4つのシールドコイル55~58の電流を、4つの補助アンプ101~104により補正して、所望の遮蔽効果を得るようにしてもよい。勿論、主コイル51~54に補助アンプを設け、所望の遮蔽効果を得るようにしてもよい。

【0061】

50

以上のように、本実施形態によれば、複数の主コイルと複数のシールドコイルとは複数のグループに分割され、複数のグループを個別に駆動するようにしたので、1個のアンプから見た負荷インピーダンスは数分の一に低減する。従って、比較的低出力でコストの安価なアンプでも、エコープレナー法に適用できるような例えば30 mT/mという高い強度の傾斜磁場を0.1 msecという非常に短い時間で立ち上げることができる。

本発明は、上述した実施形態に限定されることなく種々変形して実施可能であるのは勿論である。

【0062】

【発明の効果】

磁気共鳴イメージング装置は、静磁場に置かれた被検体に、傾斜磁場と高周波磁場とを印加することにより、原子核を励起し、磁気共鳴信号を発生させる。磁気共鳴信号に基づいて、磁気共鳴画像が再構成される。傾斜磁場は傾斜磁場コイルにより形成される。高速な交番磁場を必要とするエコープレナー法等の高速イメージング法では、能動的遮蔽型傾斜磁場コイル(Active Shielded Gradient Coil)、つまり主コイルから発生した磁場をシールドコイルにより外界に対して磁氣的に遮蔽する傾斜磁場コイルを使用するのが好ましい。主コイルとシールドコイルとを1つのアンプで駆動して、比較的高い強度の傾斜磁場を短時間で立ち上げることは、非常に困難である。主コイルとシールドコイルとを複数のグループに分け、グループ各々に対して個別に電流を供給することにより、比較的高い強度の傾斜磁場を短時間で立ち上げることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例による磁気共鳴イメージング装置の構成図。

【図2】図1のGyコイルセットの構造図。

【図3】図1のGyコイルセットの他の構造図。

【図4】図2、図3の1つのコイルのコイルパターンの一例を示す図。

【図5】図1のGyコイルセットの2グループへの割当てと、シーケンサから波形整形器及び遅延回路を経てアンプまでの信号変化を示す図。

【図6】図1のGyコイルセットの他のグループ割りを示す図。

【図7】図1のGyコイルセットのさらに他のグループ割りを示す図。

【図8】図1のGzコイルセットの主コイルの構造図。

【図9】図1のGzコイルセットのシールドコイルの構造図。

【図10】図1のGzコイルセットの他の構造図。

【図11】図1のGzコイルセットのグループ割りと、シーケンサから波形整形器及び遅延回路を経てアンプまでの信号変化を示す図。

【図12】図1のGzコイルセットに対応する2つの遅延回路各々の遅延時間を調整するためのユニットの構成図。

【図13】図12のA1(t)を示す図。

【図14】図12のA2(t)を示す図。

【図15】図12のS(t)を示す図。

【図16】遅延時間調整後の理想的なS(t)を示す図。

【図17】図1のGyコイルセットに対応する波形整形器及び遅延回路の他の構成例を示す図。

【図18】図1のGyコイルセットに対応する波形整形器及び遅延回路のさらに他の構成例を示す図。

【図19】図1のGyコイルセットを3グループに分割するグループ割りを示す図。

【図20】図1のGyコイルセットを4グループに分割するグループ割りを示す図。

【図21】図1のGyコイルセットのコイル各々を2つのコイルセグメントに分離したコイルパターンを示す図。

【図22】図21の実装された2つのコイルセグメントの側面図。

【図23】1つのコイルを2つのコイルセグメントに分離した他のコイルパターンを示す図。

10

20

30

40

50

【図 2 4】1つのコイルを2つのコイルセグメントに分離した他のコイルパターンを示す図。

【図 2 5】図 1 の G y コイルセットのコイル各々を2つのコイルセグメントに分離して8グループに分割するグループ割りを示す図。

【図 2 6】図 1 の G z コイルセットのコイル各々を2つのコイルセグメントに分離したコイルパターンを示す図。

【図 2 7】図 1 の G z コイルセットのコイル各々を2つのコイルセグメントに分離して4グループに分割するグループ割りを示す図。

【図 2 8】図 2 0 の4グループの補助アンプを示す図。

【図 2 9】図 1 は、従来の傾斜磁場コイルユニットの回路図。

10

【符号の説明】

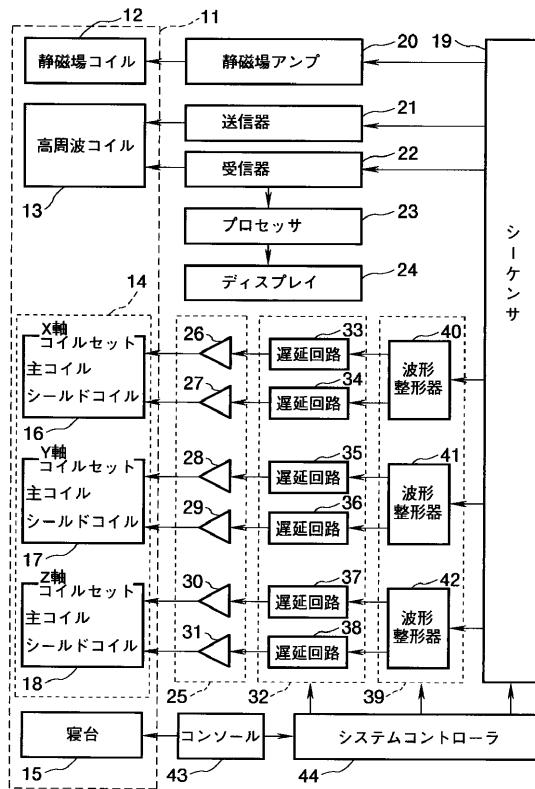
- 1 1 ... 磁石架台、
- 1 2 ... 静磁場コイル、
- 1 3 ... 高周波コイル、
- 1 4 ... 傾斜磁場コイルユニット、
- 1 5 ... 寝台、
- 1 6 ... X 軸コイルセット、
- 1 7 ... Y 軸コイルセット、
- 1 8 ... Z 軸コイルセット、
- 1 9 ... シーケンサ、
- 2 0 ... 静磁場アンプ、
- 2 1 ... 送信器、
- 2 2 ... 受信器、
- 2 3 ... プロセッサ、
- 2 4 ... ディスプレイ、
- 2 5 ... 傾斜磁場電源、
- 2 6 ... アンプ、
- 2 7 ... アンプ、
- 2 8 ... アンプ、
- 2 9 ... アンプ、
- 3 0 ... アンプ、
- 3 1 ... アンプ、
- 3 2 ... 遅延回路群、
- 3 3 ... 遅延回路、
- 3 4 ... 遅延回路、
- 3 5 ... 遅延回路、
- 3 6 ... 遅延回路、
- 3 7 ... 遅延回路、
- 3 8 ... 遅延回路、
- 3 9 ... 波形整形器群、
- 4 0 ... 波形整形器、
- 4 1 ... 波形整形器、
- 4 2 ... 波形整形器、
- 4 3 ... コンソール、
- 4 4 ... システムコントローラ。

20

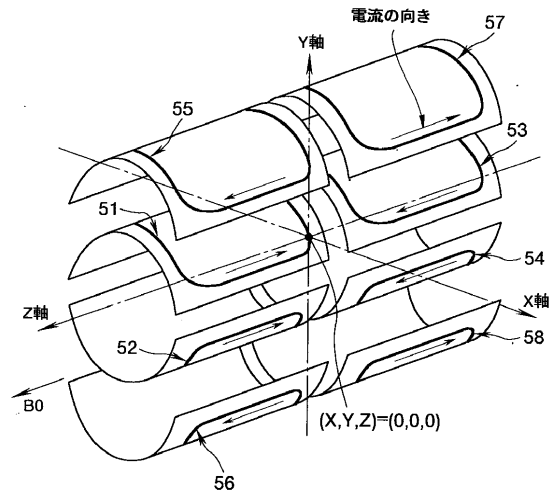
30

40

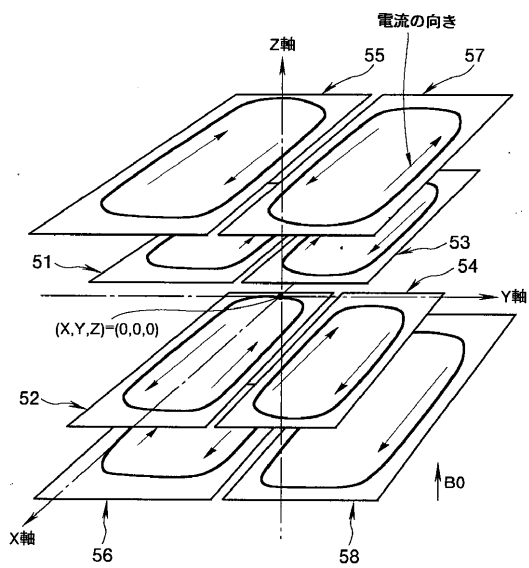
【図 1】



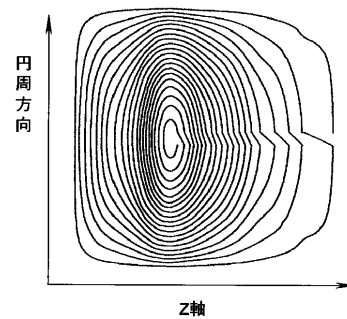
【図 2】



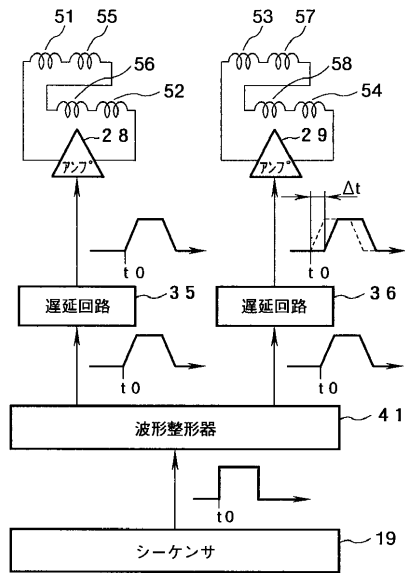
【図 3】



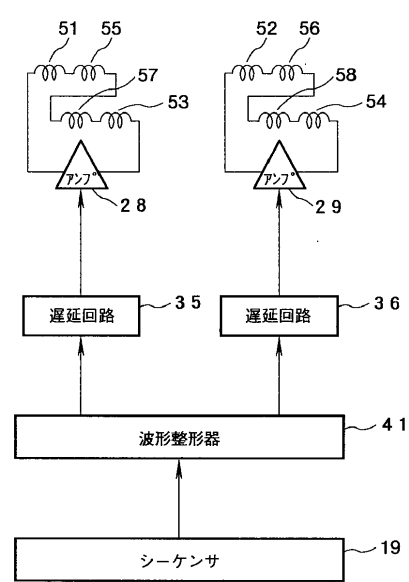
【図 4】



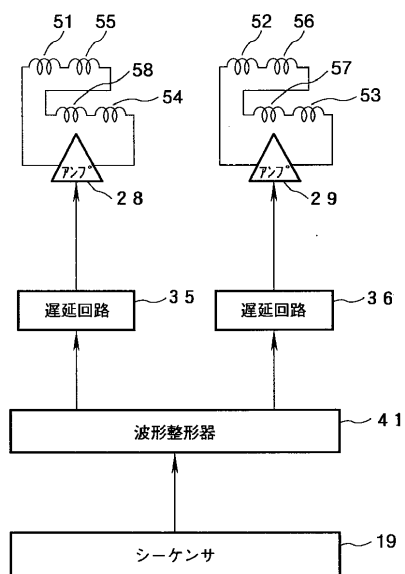
【図 5】



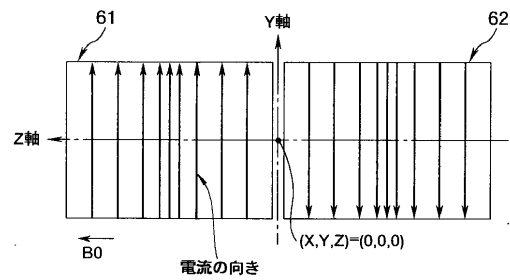
【図 6】



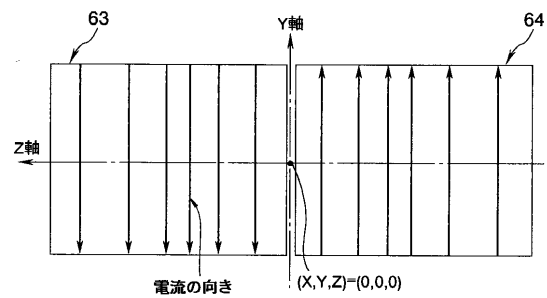
【図 7】



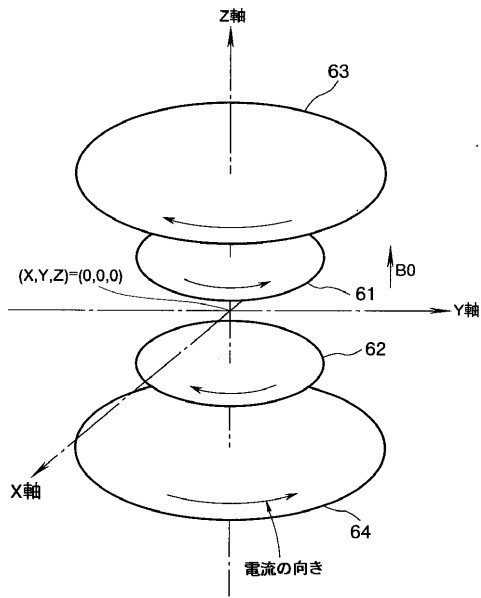
【図 8】



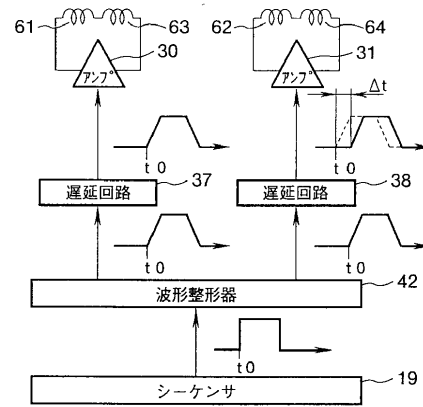
【図 9】



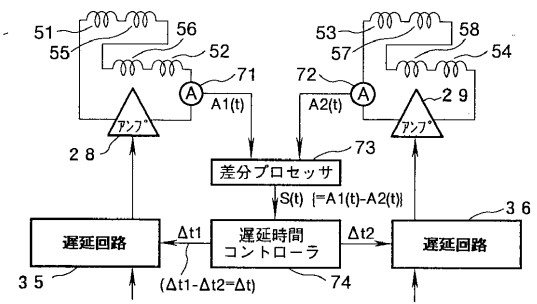
【図 10】



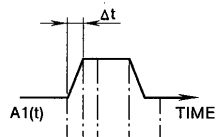
【図 11】



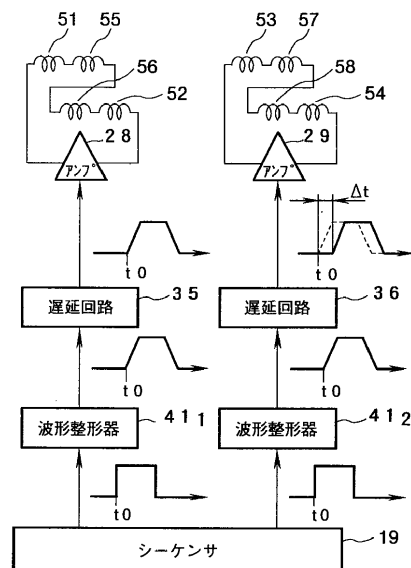
【図 12】



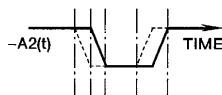
【図 13】



【図 17】



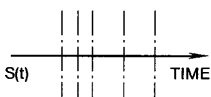
【図 14】



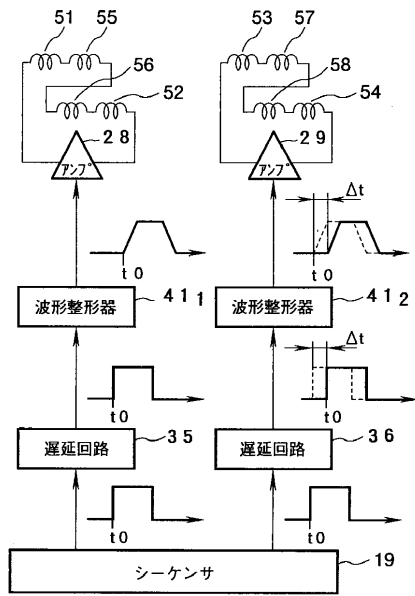
【図 15】



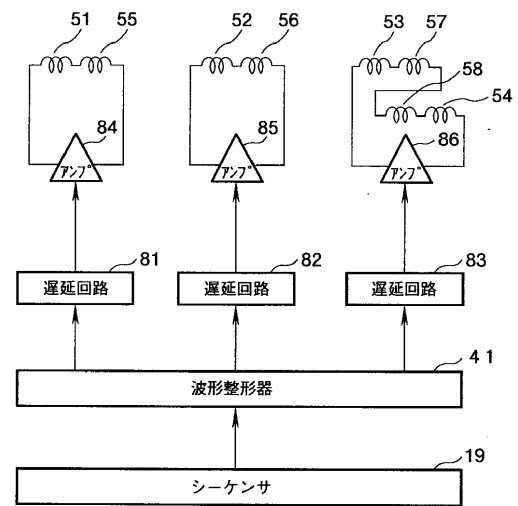
【図 16】



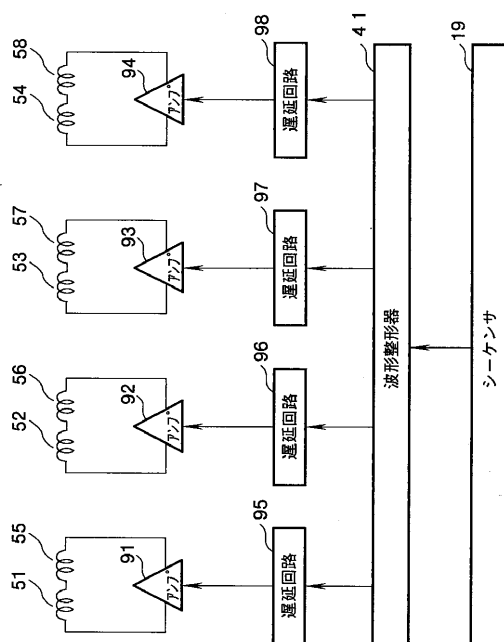
【図 18】



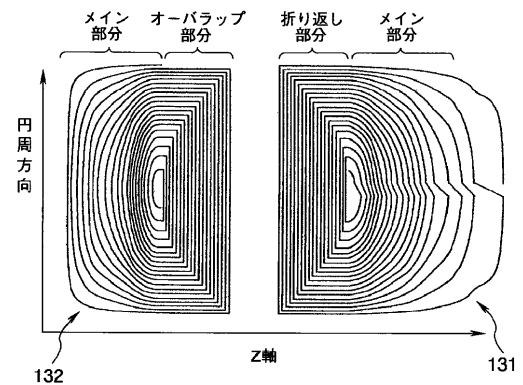
【図 19】



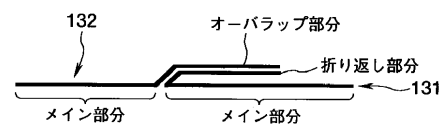
【図 20】



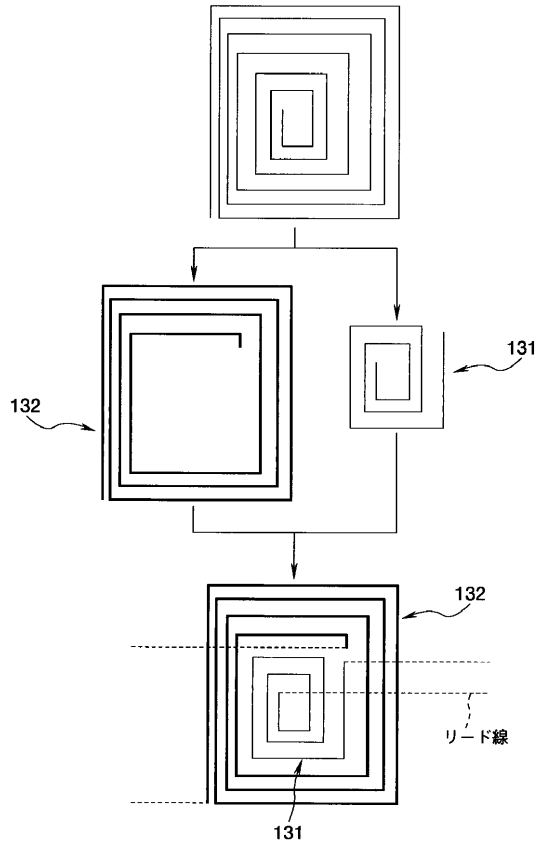
【図 21】



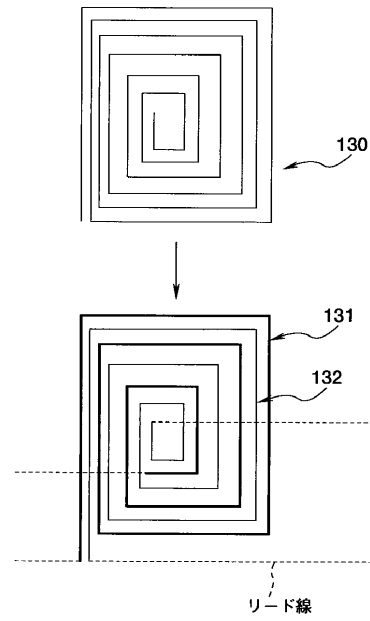
【図 22】



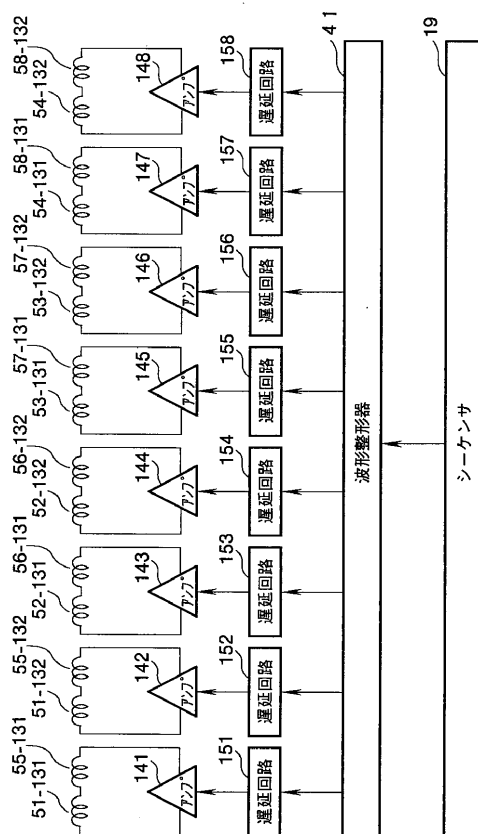
【図 23】



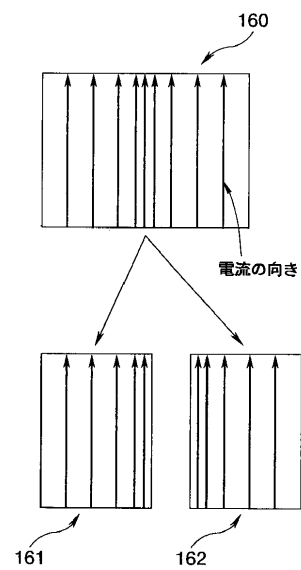
【図 24】



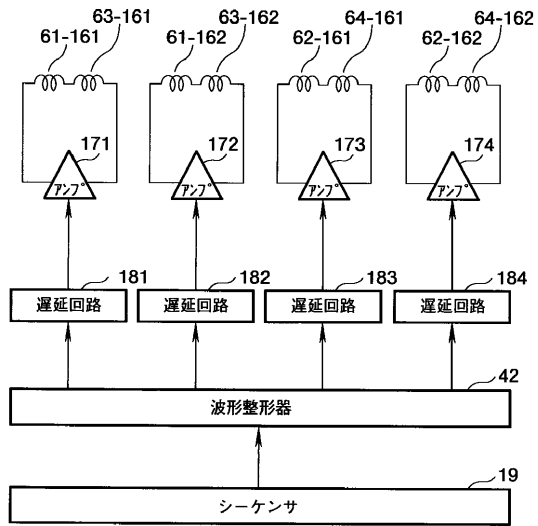
【図 25】



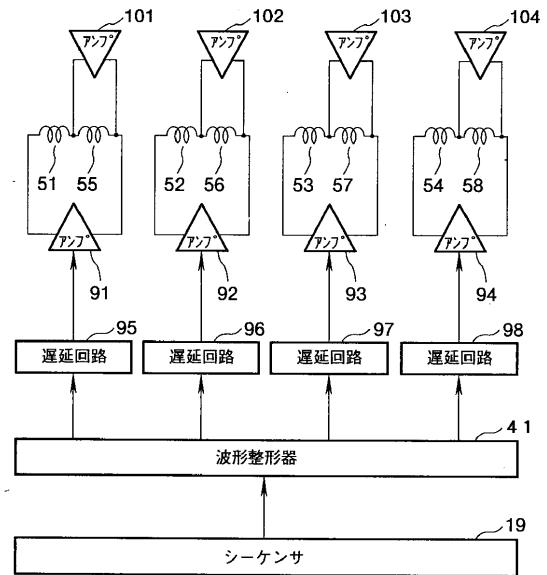
【図 26】



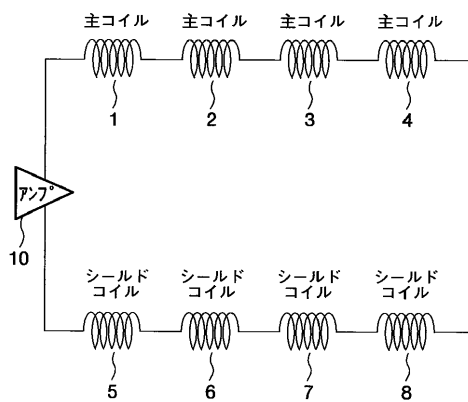
【図 27】



【図 28】



【図 29】



フロントページの続き

(74)代理人 100070437

弁理士 河井 将次

(72)発明者 河本 宏美

栃木県大田原市下石上1385番の1 株式会社東芝那須工場内

審査官 神谷 直慈

(56)参考文献 特開平07-148136(JP,A)

特開平01-110354(JP,A)

特開平03-289938(JP,A)

特開平07-163540(JP,A)

特開平07-178069(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

A61B 5/055