

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-218665

(P2007-218665A)

(43) 公開日 平成19年8月30日(2007.8.30)

(51) Int. Cl.

G 0 1 R 33/34 (2006.01)

F I

G O 1 N 24/04 5 2 O A

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2006-37778 (P2006-37778)

(22) 出願日 平成18年2月15日 (2006.2.15)

(出願人による申告) 平成17年度文部科学省、新方式
NMR分析技術の開発(新方式NMRシステム技術の開
発) 委託研究、産業再生法第30条の適用を受けるもの

(71) 出願人 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 110000350

ポレール特許業務法人

(72) 発明者 田中 秀樹

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 和久田 毅

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(54) 【発明の名称】 核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル及び核磁気共鳴信号取得装置

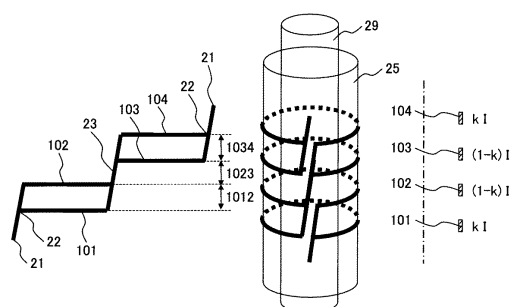
(57) 【要約】

【課題】ソレノイドコイルにより生成される高周波磁場の磁場均一度が高いソレノイドコイル及びそれを搭載したプローブを有する核磁気共鳴信号取得装置を提供する。

【解決手段】(a) インダクタンスの異なる電流路を設け、電流の分配比を調整する。(b) ソレノイドコイルの巻き線途中に電流路分岐点を設けることにより、両端の給電点に接続された電流路よりも巻き線途中での電流路を多くする。(c) 電流路半径を調整する。(d) 軸方向電流路間隔を調整する。(e) 電流路幅を調整する。(f) 正方向電流路と逆方向電流路を合わせ持つソレノイドコイルとする。以上のいずれかを具備することにより高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【選択図】 図5

図 5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイルであって、両端の給電点を結ぶ電流路が複数本で構成され、巻き線中心に電流路集結点を持ち、電流路が巻き線中心を基点として幾何学的対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 2】

核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイルであって、巻き線途中に電流路分岐点と電流路集結点を設けることにより、両端の給電点に接続された電流路よりも巻き線途中での電流路を多くしたことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 3】

核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイルであって、所定の比率で電流路の半径が異なるようにしたことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 4】

核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイルであって、コイル軸方向電流路間隔がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のソレノイドコイルにおいて、さらにコイル軸方向電流路間隔がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であるようにしたことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 6】

請求項 2 に記載のソレノイドコイルにおいて、さらにコイル軸方向電流路間隔がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であるようにしたことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 7】

請求項 3 に記載のソレノイドコイルにおいて、さらにコイル軸方向電流路間隔がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であるようにしたことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 8】

核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイルであって、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 10】

請求項 2 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 11】

請求項 3 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 12】

請求項 4 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 13】

請求項 5 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心か

10

20

30

40

50

らコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 1 4】

請求項 6 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 1 5】

請求項 7 に記載のソレノイドコイルにおいて、電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称であることを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

10

【請求項 1 6】

核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイルであって、コイル軸方向に正方向磁界を作る電流路と負方向磁界を作る電流路を併せ持つことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 1 7】

請求項 3 に記載のソレノイドコイルにおいて、コイル軸方向に正方向磁界を作る電流路と負方向磁界を作る電流路を併せ持つことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

【請求項 1 8】

請求項 4 に記載のソレノイドコイルにおいて、コイル軸方向に正方向磁界を作る電流路と負方向磁界を作る電流路を併せ持つことを特徴とする核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル。

20

【請求項 1 9】

静磁場発生装置と、静磁場均一度補正装置と、傾斜磁場発生装置と、核磁気共鳴信号用ソレノイドコイルを搭載したプローブと、前記核磁気共鳴信号用ソレノイドコイルへ高周波電流を送信し核磁気共鳴信号を取得する制御装置を具備し、前記ソレノイドコイルが両端の給電点を結ぶ電流路が複数本で構成され、巻き線中心に電流路集結点を持ち、電流路が巻き線中心を基点として幾何学的対称になっていることを特徴とする核磁気共鳴信号取得装置。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は核磁気共鳴測定に用いるソレノイドコイル及びそれを搭載した核磁気共鳴信号取得装置に係り、特に高周波送受信兼用または送信用、受信用の核磁気共鳴信号用ソレノイドコイル及びそれを搭載した核磁気共鳴信号取得装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

核磁気共鳴信号測定装置では測定対象である試料への高周波磁場の印加と、試料からの核磁気共鳴信号の取得に、鞍型コイル、鳥かご型コイル、ソレノイドコイルなどが用いられる。試料へ高周波磁場を印加する際、その磁場強度は試料空間で均一であることが必要とされる。

40

【0 0 0 3】

ソレノイドコイルは感度を上げるために複数巻きにして用いられるが、感度領域が円筒状に広がるために高周波磁場の磁場均一度が低くなる傾向にある。特許文献 1 には送信時にコイルの核ループに等しい RF (Radio Frequency) 電流が流れるようにして、送信時の磁場均一度を高めることが記載されている。

【0 0 0 4】

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 3 4 5 7 7 7 号公報 (要約)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 5 】

前述のように、ソレノイドコイルは生成される高周波磁場の磁場均一度が低いという問題点がある。

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、高周波磁場の磁場均一度を高めることができるようにしたソレノイドコイル及びそれを具備する核磁気共鳴信号取得装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の目的は、以下の(1)～(6)のいずれかの構成にすることによって達成される。

【 0 0 0 8 】

(1)ソレノイドコイルの両端の給電点を結ぶ電流路が複数本で構成され、巻き線中心に電流路集結点を持ち、電流路が巻き線中心を基点として幾何学的対称となるように構成する。これによりインダクタンスの異なる電流路を設け、電流の分配比を調整することができ、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【 0 0 0 9 】

(2)巻き線途中に電流路分岐点と電流路集結点を設け、両端の給電点に接続された電流路よりも巻き線途中での電流路を多くする。巻き線途中に電流路分岐点を設け、両端の給電点に接続された電流路よりも巻き線途中での電流路を多くし、電流を分流させることで、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【 0 0 1 0 】

(3)所定の比率で電流路の半径が異なるようにする。所定の比率で電流路の半径を変えることで、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【 0 0 1 1 】

(4)コイル軸方向電流路間隔がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称になるようにする。コイル中心に関して対称となるように、コイル軸方向電流路間隔にコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持たせることで、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【 0 0 1 2 】

(5)電流路のコイル軸方向幅がコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持ち、これらの分布がコイル中心に関して対称になるようにする。コイル中心に関して対称となるように、電流路幅にコイル中心からコイル端部に向けて所定の分布を持たせることで、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【 0 0 1 3 】

(6)コイル軸方向に正方向磁界を作る電流路と負方向磁界を作る電流路を併せ持つようにする。コイル軸方向に正方向磁界を作る電流路と負方向磁界を作る電流路を併せ持つことで、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【 0 0 1 4 】

上記した(1)～(6)を適宜組み合わせることで、高周波磁場の磁場均一度をさらに高めることができる。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、ソレノイドコイルの送信電流分布が調整され、高周波磁場均一度が高くなる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 6 】

コイル軸方向において均等に電流路を配置した場合は、コイル軸方向中心付近の磁場が大きくなり均一度が低下する。磁場の大きさは、その源となる電流の大きさに比例し、磁場観測点と電流との距離に反比例する。よって、高周波磁場の均一度を高めるためには、コイル軸中心付近の送信電流密度を低くするか、電流を観測点から遠ざければよい。その

10

20

30

40

50

ためには、電流路一本あたりに流す電流を小さくする、逆向きの電流を流す、電流路を遠ざけることが挙げられる。高周波磁場の磁場均一度を高めた例を、実施例 1 ~ 8 で説明する。

【0017】

また、核磁気共鳴信号用ソレノイドコイルには静磁場の均一度をなるべく乱さないことが望まれる。また、核磁気共鳴信号の損失を少なくできることが望まれる。これらは、ソレノイドコイルを下記の(7)~(9)のようにすることによって達成される。

【0018】

(7) 給電点、電流路、電流路分岐点、電流路集結点が金属箔または金属線で構成され、この金属の磁化率が正の場合は磁化率が負の金属を、磁化率が負の場合には磁化率が正の金属を表面に付加する。

【0019】

(8) 送受信する周波数と金属の導電率から決まる表皮深さの2倍を下限として、電流路半径方向厚さを薄くする。

【0020】

(9) 給電点、電流路、電流路分岐点、電流路集結点を超伝導薄膜で構成する。

【0021】

以上の(7)~(9)を具備する例を、実施例 9 及び 10 で説明する。

【0022】

なお、本発明では、核磁気共鳴信号の測定対称領域を拡大することになるため、大きなサンプルに均一な高周波磁場を照射し、大きなサンプルの核磁気共鳴信号測定が可能である。また、高周波磁場の磁場均一度を高めることができるという効果のほかに、相反定理より、試料からの核磁気共鳴信号を受信する際にも受信効率が高くなるという効果が得られる。

【実施例 1】

【0023】

図 1 は核磁気共鳴信号測定装置の一例を示した概略図である。静磁場発生装置 1 には静磁場を発生するための超伝導磁石や、超伝導磁石を冷却するのに必要となる液体ヘリウムや液体窒素などが内蔵されている。静磁場発生装置 1 に静磁場磁石軸方向ボア 11 からプローブ 2 を差し込み、静磁場磁石半径方向ボア 12 から測定試料を挿入し、制御装置 3 によりマグネット信号線 13 とプローブ信号線 14 を介して静磁場、傾斜磁場、高周波磁場を制御することで、核磁気共鳴信号を取得する。

【0024】

図 2 は静磁場発生装置 11 の内部を示した一部断面図である。スプリット型静磁場発生用磁石 4 は静磁場方向 5 の静磁場を試料空間 6 に発生させる。スプリット型静磁場発生用磁石 4 を用いることで、試料空間 6 への開放空間を静磁場磁石軸方向のみならず、静磁場磁石半径方向にも設けることが可能となる。この開放空間を用いて試料回転装置や試料温度調整装置、試料へ光などの刺激を与える機構など様々な装置を配置することが可能となる。静磁場均一度補正用磁石 7 に制御装置 3 で調整された電流を通電することで、試料空間 6 の磁場均一度を高める。必要に応じて傾斜磁場用磁石 8 に電流を通電することで、試料空間 6 に 1 軸ないし 3 軸方向へ傾斜磁場を発生させる。試料空間 6 を所定の磁場分布とした後、内側コイル 9 または外側コイル 10 で高周波磁場の発生と核磁気共鳴信号の受信を行う。図 2 では内側コイル 9 と外側コイル 10 のコイル 2 個の場合を示しているが、必要に応じて第三のコイルを加えてもよい。これらのコイルとプローブ信号線 14 との間にはインピーダンスマッチング回路や共鳴周波数調整回路が必要になるが、ここでは省略した。本発明のソレノイドコイルは内側コイル 9 や外側コイル 10 といった試料空間 6 に高周波磁場を印加するコイルや核磁気共鳴信号を取得するコイルに用いる。

【0025】

本発明のソレノイドコイルは全て巻き線中心を基点として幾何学的対称である。説明の便宜上、以下では、下側のリングから順番に第 1 リング、第 2 リングのように記載する。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

まず、本発明の効果を比較するための比較例を、図 3 及び図 4 を用いて説明する。図 3 は給電点 2 1 に接続された電流路が一本、巻き数が 4 ターン、コイル軸方向電流路間隔が等間隔、コイル軸方向へは階段状の変化、巻き線の断面形状が矩形のソレノイドコイルの電流路展開図である。一つのリング部分ではコイル軸方向へ変位せず、リング間で局所的にコイル軸方向位置を階段状に変化させる場合を階段状の変化と表現した。本比較例では第 1 リング 9 1 と第 2 リング 9 2 のコイル軸方向電流路間隔 9 1 2 と、第 2 リング 9 2 と第 3 リング 9 3 のコイル軸方向電流路間隔 9 2 3 と、第 3 リング 9 3 と第 4 リング 9 4 のコイル軸方向電流路間隔 9 3 4 は全て等しく、電流路半径 2 8 も全リングで等しい。

【 0 0 2 7 】

図 4 は図 3 で展開図を示した電流路をコイル状に巻き線した後の電流路形状と電流路の断面図を示している。図 3 に従ったパターンをコイル材料から作製し、図 4 に示すように円筒状ボビン 2 5 にそのパターンを巻きつけることで容易に作製することができる。図 4 は膜状材料から電流路幅 2 6、電流路厚さ 2 7 で図 3 に示したパターンを作製し、コイル状に巻いた場合の概略図であり、第 1 ~ 第 4 リングを表す矩形は電流路の断面を表している。図 4 は電流路の断面が矩形であるが、断面が円形の線を用いても作製できる。このようなソレノイドコイルに高周波電流を通電した際の試料空間 2 9 に発生する高周波磁場の均一度を下記の手段により改善する。

【 0 0 2 8 】

図 5 は電流路分岐点 2 2 と電流路集結点 2 3 を結ぶ電流路が二本であり、巻き線中心に電流路集結点 2 3 を持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。第 1 リング 1 0 1 と第 2 リング 1 0 2 のコイル軸方向電流路間隔 1 0 1 2 と第 2 リング 1 0 2 と第 3 リング 1 0 3 のコイル軸方向電流路間隔 1 0 2 3 及び第 3 リング 1 0 3 と第 4 リング 1 0 4 のコイル軸方向電流路間隔 1 0 3 4 は全て等しく、電流路半径も全リングで等しい。第 2 リング 1 0 2 は第 1 リング 1 0 1 と第 3 リング 1 0 3 に流れる電流に由来する磁束も鎖交するため、第 1、第 4 リングよりもインダクタンスが大きくなる。同様に第 3 リングも第 1、第 4 リングよりもインダクタンスが大きくなる。電流路が巻き線中心を基点として幾何学的対称であるため、第 1、第 4 リングのインダクタンスは等しく、第 2、第 3 リングのインダクタンスも等しくなる。一般的に電流が並列な電流路に分流する場合、電流路のインダクタンスに反比例して電流分流比が決まる。よって給電点 2 1 から電流 I が供給された場合、第 1、第 4 リングに流れる電流を kI 、第 2、第 3 リングに流れる電流を $(1 - k)I$ とすると、第 1、第 4 リングに流れる電流の方が大きいため、 k は $1/2$ よりも大きな値となる。その結果、比較例よりもコイル軸中心付近の電流密度が低くなり、高周波磁場均一度が改善される。

【 0 0 2 9 】

本実施例では電流路が二本の場合を示したが、三本以上の電流路を並列に配置しても実現でき、また、後述の実施例 2 のようにコイル軸方向への移動を螺旋状としても実現できる。

【 実施例 2 】

【 0 0 3 0 】

本実施例では、ソレノイドコイルの巻き線途中に電流路分岐点を設け、両端の給電点に接続された電流路よりも巻き線途中での電流路を多くした場合について説明する。ソレノイドコイル以外の部品は実施例 1 と共通であるので、ソレノイドコイルについてのみ説明する。

【 0 0 3 1 】

図 6 は給電点 2 1 に接続されたリングが第 1 リング 2 0 1 のみであり、巻き線途中の電流路分岐点 2 2 で電流路を第 2 リング 2 0 2 と第 3 リング 2 0 3 の二本に分割し、巻き線長さ中心を基点に電流路分岐点 2 2 と対称となる距離に電流路集結点 2 3 を設け、巻き線長さ中心を基点として幾何学的対称を保つように再び電流路を第 4 リング 2 0 4 に集めたソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。比

10

20

30

40

50

較例、実施例 1 とは異なり、リング間を滑らかに接続し、コイル軸方向への移動は螺旋状とした。コイル軸方向への移動が螺旋状の場合はリングの中心間を電流路間隔と定義し、本実施例ではコイル軸方向電流路間隔 2 0 1 2、2 0 2 3、2 0 3 4 を全て等しく、電流路半径も全リングで等しくした。

【0 0 3 2】

電流路分岐点 2 2 と電流路集結点 2 3 間の二本のリング 2 0 2、2 0 3 は幾何学的対称であるため、それぞれの抵抗値、インダクタンス値、周囲の構造物からの距離等が等しくなり、二本のリングのインピーダンスは等しくなる。よって給電点に送られてきた送信電流を I とすると、第 1、第 4 リングでは I がそのまま流れ、第 2、第 3 リングでは $I / 2$ ずつが流れる。このように電流分布を調整することで高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

10

【0 0 3 3】

本実施例ではコイル軸方向への移動を螺旋状としたが、実施例 1 のように階段状としても実現できる。また、本実施例では電流路分岐点を境界として電流路を一本から二本へと変化させたが、二本から三本、三本から五本などへと変化させても実現できる。

【実施例 3】

【0 0 3 4】

本実施例では電流路半径を変えた場合について説明する。ソレノイドコイル以外の部品は実施例 1 と共通であるので、ソレノイドコイルについてのみ説明する。

【0 0 3 5】

図 7 は第 2 リング 3 0 2 と第 3 リング 3 0 3 の電流路半径 2 8 を第 1 リング 3 0 1 と第 4 リング 3 0 4 の電流路半径 2 8 よりも大きくしたソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。コイル軸方向電流路間隔 3 0 1 2、3 0 2 3、3 0 3 4 は全て等しい。本実施例はコイルの断面形状が円形であり、コイル軸方向への移動が階段状であるが、実施例 1 のように矩形断面を持つ線を利用しても実現でき、実施例 2 のようにコイル軸方向への移動を螺旋状にしても実現できる。

20

【0 0 3 6】

第 2、第 3 リングの半径が大きいために、コイル軸方向中心付近へ第 2、第 3 リングが発生する磁界が弱くなり、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

【実施例 4】

【0 0 3 7】

本実施例ではコイル軸方向の電流路間隔を変えた場合について説明する。ソレノイドコイル以外の部品は実施例 1 と共通であるので、ソレノイドコイルについてのみ説明する。

【0 0 3 8】

図 8 は第 1 リング 4 0 1 と第 2 リング 4 0 2 間のコイル軸方向電流路間隔 4 0 1 2 及び第 3 リング 4 0 3 と第 4 リング 4 0 4 間のコイル軸方向電流路間隔 4 0 3 4 を、第 2 リング 4 0 2 と第 3 リング 4 0 3 間のコイル軸方向電流路間隔 4 0 2 3 よりも小さくしたソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。コイル軸方向電流路間隔 4 0 1 2 とコイル軸方向電流路間隔 4 0 3 4 は等しい。第 1、2、3、4 リングの半径は同じである。本実施例ではコイルに断面が円形の丸線を用い、また、コイル軸方向への移動を階段状としたが、実施例 1 のように矩形断面を持つ線を利用しても実現でき、実施例 2 のようにコイル軸方向への移動を螺旋状としても実現できる。

30

40

【0 0 3 9】

第 2、第 3 リングをコイル中心からコイル軸方向へ遠ざけたことで、コイル軸方向中心付近へ第 2、第 3 リングが発生する磁界が弱くなり、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。ただし、コイル軸方向電流路間隔や隣り合う電流路間の距離が短すぎると、近接効果により抵抗値が上がるので、適当な値を選ぶことが望ましい。

【実施例 5】

【0 0 4 0】

図 9 は実施例 1 と実施例 4 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路

50

巻き線状態図、電流路断面図を示している。図 10 は実施例 2 と実施例 4 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。図 11 は実施例 3 と実施例 4 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。

【0041】

このようにすることにより、高周波磁場の磁場均一度をさらに高めることができる。

【実施例 6】

【0042】

本実施例では電流路幅を調整した場合について説明する。ソレノイドコイル以外の部品は実施例 1 と共通であるので、ソレノイドコイルについてのみ説明する。

10

【0043】

図 12 は第 2 リング 502 と第 3 リング 503 の電流路幅 26 を第 1 リング 501 と第 4 リング 504 の電流路幅よりも大きくしたソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。コイル軸方向電流路間隔 5012、5023、5034 は全て等しい。本実施例では螺旋状のコイル軸方向への移動を用いているが、階段状のコイル軸方向への移動としても実現できる。

【0044】

第 2、第 3 リングの電流路幅を大きくして、電流分布をコイル軸方向へ遠ざけたことで、コイル軸方向中心付近へ第 2、第 3 リングが発生する磁界が弱くなり、高周波磁場の磁場均一度を高めることができる。

20

【実施例 7】

【0045】

図 13 は実施例 1、4、6 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。図 14 は実施例 2、4、6 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。図 15 は実施例 3、4、6 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。図 16 は実施例 4、6 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。

【0046】

このようにすることにより、高周波磁場の磁場均一度をさらに高めることができる。

30

【実施例 8】

【0047】

本実施例では、正方向電流路と逆方向電流路を持つ場合について説明する。ソレノイドコイル以外の部品は実施例 1 と共通であるので、ソレノイドコイルについてのみ説明する。

【0048】

図 17 は第 1 リング 601、第 2 リング 602、第 3 リング 603、第 4 リング 604 の電流路半径よりも、第 5 リング 605 と第 6 リング 606 の電流路半径が大きいという実施例 3 の特徴を持ち、かつ、第 1～第 4 リングを正方向電流路、第 5 リング 605 と第 6 リング 606 を逆方向電流路としたソレノイドコイルの電流路展開図、電流路巻き線状態図、電流路断面図を示している。コイル軸方向電流路間隔 6012、6023、6034 は全て等しい。本実施例では矩形断面線を用いているが、丸線を利用しても実現できる。電流路展開図の折り返し部分 30 を境界として巻き付ける方向を逆向きにすることで本実施例の電流路は作製できる。

40

【0049】

第 1～第 4 リングが試料空間 29 に発生する磁界を、電流路半径が大きな第 5、第 6 リングが発生する磁界により打ち消すことでコイル軸方向中心付近の磁場を小さくし、高周波磁場均一度を高くすることができる。

【0050】

図 18 及び図 19 に、実施例 1、2、3、4、6、8 に示したソレノイドコイルが生成

50

する高周波磁場の磁場分布を計算で求めた結果を示す。ここで、図 18 及び図 19 ではコイル軸方向電流路間隔の総和を 6 mm とし、ソレノイドコイルの半径を 3.2 mm とした場合の半径 2.0 mm における磁場分布を求めた。理想的な高周波磁場強度の分布は、ある軸方向距離の範囲において磁場強度が一定となる分布であるため、図 18 及び図 19 の磁場分布 80 で示すように矩形状の分布が理想的な分布である。4 本の巻き線が等間隔に配置され、同量の送信電流が同方向に流れる比較例のソレノイドコイルにおける磁場分布 70 と比較すると、図 18 では実施例 1 に示したコイルの磁場分布 100 と実施例 2 に示したコイルの磁場分布 200 と実施例 3 に示したコイルの磁場分布 300 は分布が矩形状に近づいている。図 19 では実施例 4 に示したコイルの磁場分布 400 と実施例 6 に示したコイルの磁場分布 500 と実施例 8 に示したコイルの磁場分布 600 は分布が矩形状に近づいている。よって、以上に示した実施例では高周波磁場の磁場均一度が改善されていることが分かる。

10

【0051】

図 20 及び図 21 は高周波磁場均一度の指標となる 810 度パルス / 90 度パルスと称される値の測定実験を、前述の実施例 1, 2, 3, 4, 6, 8 の磁場分布を元にシミュレートした結果である。ただし、磁場分布を求める範囲は半径 0 mm ~ 2.2 mm とした。横軸はコイルにパルスを送るパルス照射時間であり、縦軸は試料から得られる NMR 信号の強度を 90 度パルスで規格化したものである。パルス照射時間をゼロから増やし、最初に現れるピークが 90 度パルス、2 度目、3 度目のピークがそれぞれ 450 度パルス、810 度パルスとなる。810 度パルスにおける信号強度を 90 度パルスにおける信号強度で除した値が 810 度パルス / 90 度パルスである。

20

【0052】

4 本の巻き線が等間隔に配置され、同量の送信電流が同方向に流れる比較例のソレノイドコイルにおける指標 700 と比較すると、図 20 では実施例 1 に示したコイルの指標 1000、実施例 2 に示したコイルの指標 2000、実施例 3 に示したコイルの指標 3000 が改善されているのが分かる。図 21 では実施例 4 に示したコイルの指標 4000、実施例 6 に示したコイルの指標 5000、実施例 8 に示したコイルの指標 6000 が改善されているのが分かる。

【実施例 9】

【0053】

実施例 1 ~ 8 は高周波磁場の磁場均一度を改善するための手段であったが、核磁気共鳴信号用ソレノイドコイルは静磁場の磁場均一度もなるべく乱さないことが望ましい。本実施例では静磁場の均一度を乱さないソレノイドコイルの作製について述べる。

30

【0054】

図 22 は内側材料 50 に外側材料 51 を付加した矩形断面線及び丸線の断面図を示している。磁化率が小さく、一般的に非磁性と呼ばれる物質でも核磁気共鳴信号用ソレノイドコイルを作製する際には、その影響が大きく静磁場を乱してしまう。よって、磁化率が正の材料と負の材料を用いて、図 22 のような線を利用するのが望ましい。磁化率が正の物質としてはアルミニウム、白金などが挙げられ、磁化率が負の物質としては銅、亜鉛、銀、金などが挙げられる。このような材料を正負の組み合わせで内外に使用するのが望ましい。市販されている線としては銅に白金メッキをした線や、銅アルミニウムクラッド線などがある。

40

【0055】

また、矩形断面線を用いてソレノイドコイルを作製する場合、電流路厚さ 27 を薄くすることで静磁場均一度を乱さないコイルにできる。一方で線の材料と信号の周波数で表皮深さが決まり、高周波電流の通り道として表皮深さの分だけは線の表面から確保する必要がある。表皮深さを確保しなければコイルの抵抗値が上がり、結果として核磁気共鳴信号の損失につながるからである。よって、電流路厚さ 27 は表皮深さの 2 倍を下限として薄くするのが望ましい。

【実施例 10】

50

【 0 0 5 6 】

核磁気共鳴信号用ソレノイドコイルは超伝導材料を用いて作製することも可能である。超伝導材料を用いるとコイルの抵抗値が低くなり、結果として核磁気共鳴信号の損失を低減することが可能となる。超伝導材料には臨界磁場強度が存在するため、ソレノイドコイルを使用する静磁場の強度よりも高い臨界磁場強度を持つ材料を選択する必要がある。超伝導材料の例としてはNbTi、MgB₂、V₃Ga、YBCO、Bi銀シース線などが挙げられる。

【 実施例 1 1 】

【 0 0 5 7 】

図23は静磁場磁石半径方向ボアからプローブ2を差し込む場合を示した一部断面図である。図23ではプローブを上方から差し込むため、試料は下方から挿入することになるが、プローブを下方から差し込み、試料を上方から挿入することも可能である。実施例11では静磁場磁石軸方向ボア11が試料空間6への開放空間となっており、温度調整機構などに利用することが可能である。その他の配置は図2と同一であり、本発明による効果はすでに述べた実施例と同じである。

10

【 実施例 1 2 】

【 0 0 5 8 】

実施例1～11では試料空間6の長手方向が二つのスプリット型静磁場発生用磁石4の間に向かって伸びていたが、図24に示すように一つの静磁場発生用磁石40を用いることも可能である。ただし、この場合、試料空間6へ試料を配置するたびにプローブ2を取り外す、または試料空間6まで試料を送り込む導管を設けることが必要である。

20

【 0 0 5 9 】

静磁場方向5と試料空間6、内側コイル9、外側コイル10の位置関係は実施例1で示した図2と等しくできるため、本発明による効果はすでに述べた実施例と同じである。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 0 】

【 図 1 】 核磁気共鳴信号取得装置の概略図である。

【 図 2 】 静磁場発生装置の内部を示した断面図である。

【 図 3 】 比較例によるソレノイドコイルを展開した時の電流路図である。

【 図 4 】 比較例によるソレノイドコイルの電流路配置図と電流路断面図である。

30

【 図 5 】 実施例1のソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 6 】 実施例2のソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 7 】 実施例3のソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 8 】 実施例4のソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 9 】 実施例1，4の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

40

【 図 1 0 】 実施例2，4の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 1 1 】 実施例3，4の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 1 2 】 実施例6のソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 1 3 】 実施例1，4，6の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【 図 1 4 】 実施例2，4，6の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

50

【図 1 5】実施例 3, 4, 6 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【図 1 6】実施例 4, 6 の特徴を併せ持つソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【図 1 7】実施例 8 のソレノイドコイルの電流路展開図、電流路配置図、電流路断面図である。

【図 1 8】実施例 1, 2, 3 における計算で求めた試料空間の高周波磁場分布を示した図である。

【図 1 9】実施例 4, 6, 8 における計算で求めた試料空間の高周波磁場分布を示した図である。

【図 2 0】実施例 1, 2, 3 における計算で求めた 8 1 0 度パルス / 9 0 度パルス測定のシミュレーション結果を示した図である。

【図 2 1】実施例 4, 6, 8 における計算で求めた 8 1 0 度パルス / 9 0 度パルス測定のシミュレーション結果を示した図である。

【図 2 2】実施例 9 における線材の断面図である。

【図 2 3】実施例 1 1 における部品配置を示した断面図である。

【図 2 4】実施例 1 2 における部品配置を示した断面図である。

【符号の説明】

【 0 0 6 1 】

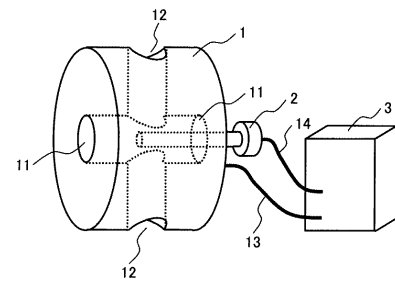
1 ... 静磁場発生装置、2 ... プローブ、3 ... 制御装置、7 ... 静磁場均一度補正用磁石、2 1 ... 給電点、2 2 ... 電流路分岐点、2 3 ... 電流路集結点、2 6 ... 電流路幅、2 7 ... 電流路厚さ、2 8 ... 電流路半径、2 9 ... 試料空間、1 0 1 2 ... コイル軸方向電流路間隔、1 0 2 3 ... コイル軸方向電流路間隔、1 0 3 4 ... コイル軸方向電流路間隔。

10

20

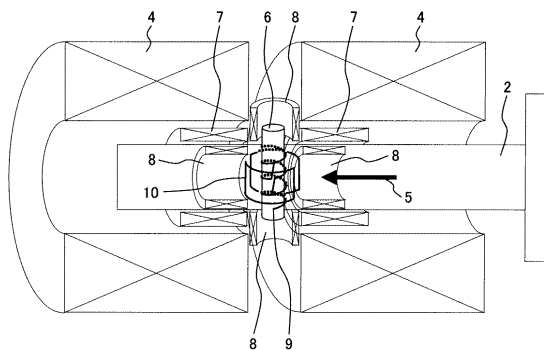
【図 1】

図 1



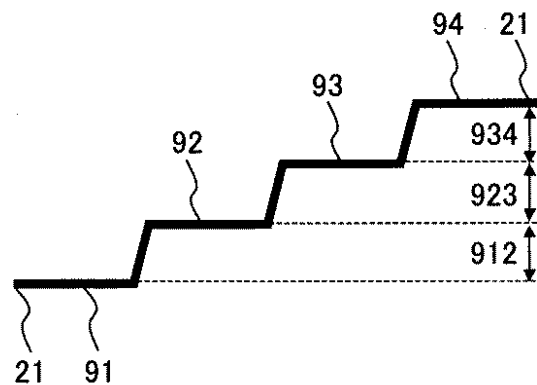
【図 2】

図 2



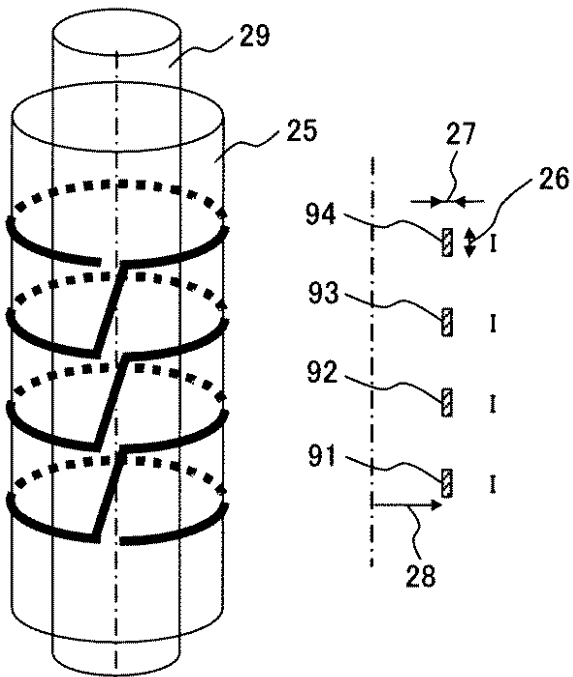
【図 3】

図 3



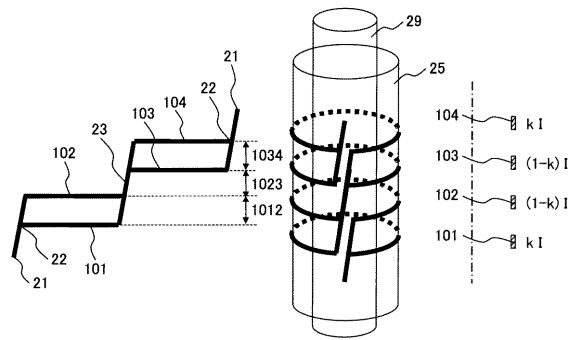
【図 4】

図 4



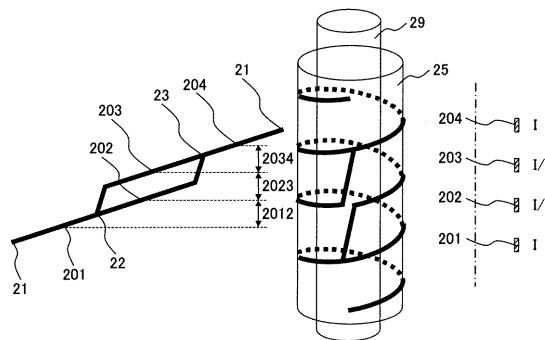
【図 5】

図 5



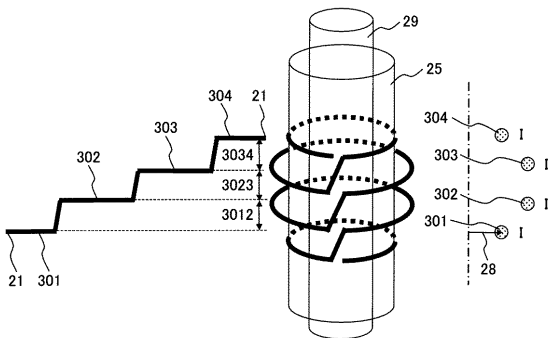
【図 6】

図 6



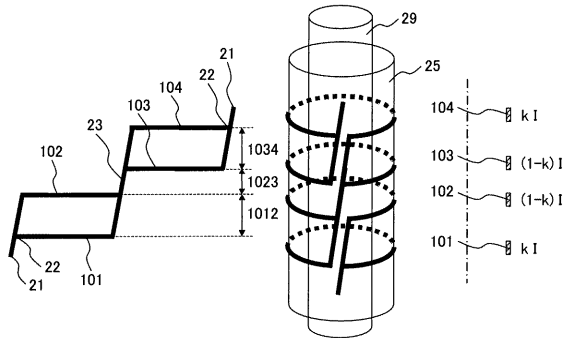
【図 7】

図 7



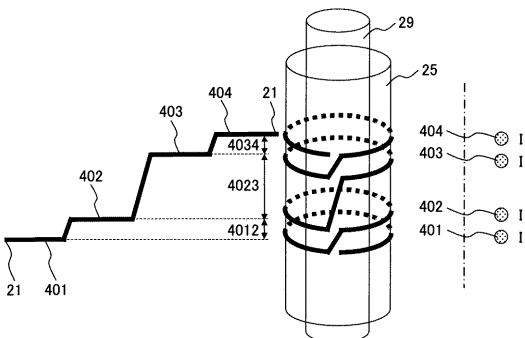
【図 9】

図 9



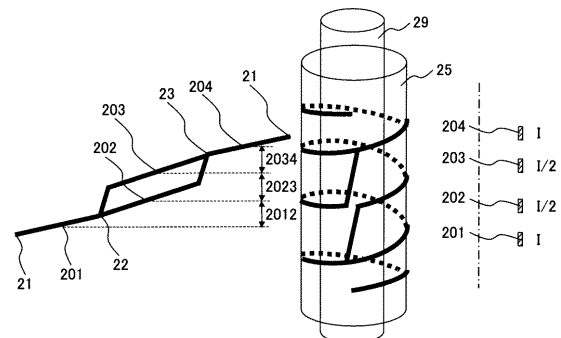
【図 8】

図 8



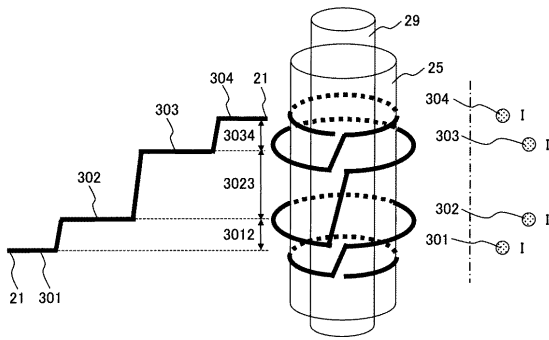
【図 10】

図 10



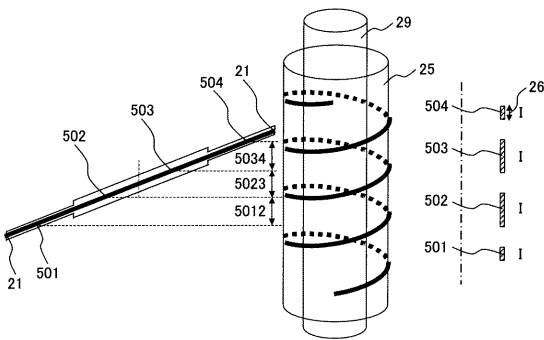
【図 1 1】

図 1 1



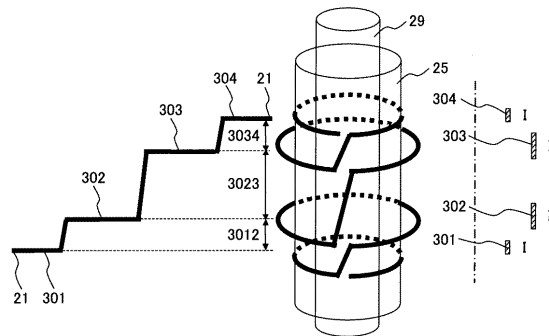
【図 1 2】

図 1 2



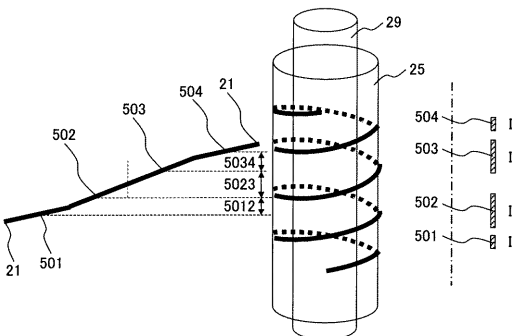
【図 1 5】

図 1 5



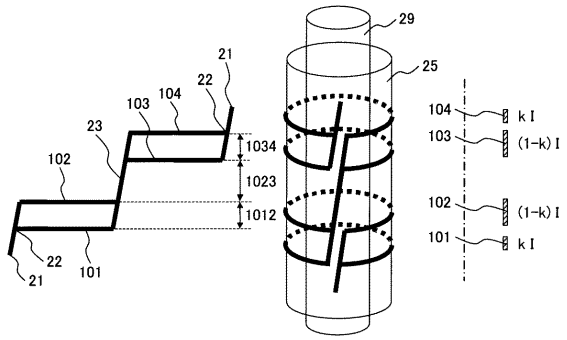
【図 1 6】

図 1 6



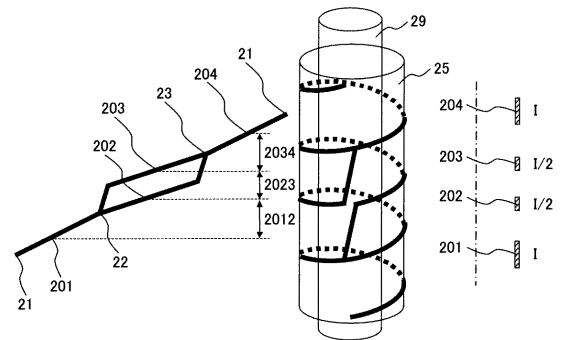
【図 1 3】

図 1 3



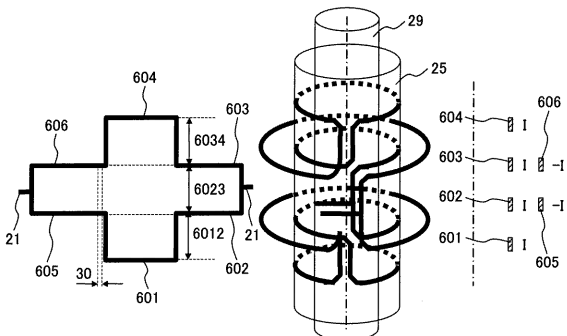
【図 1 4】

図 1 4



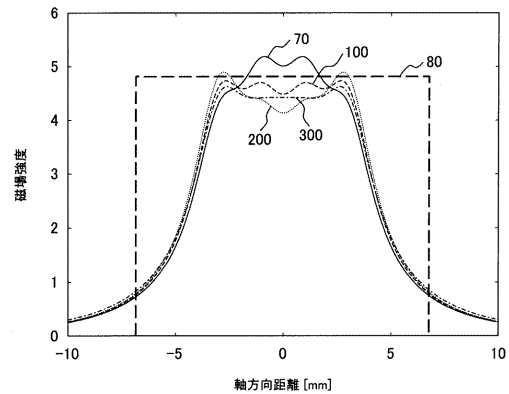
【図 1 7】

図 1 7



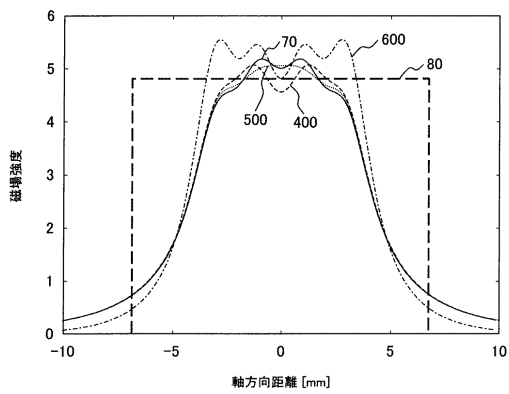
【図 1 8】

図 1 8



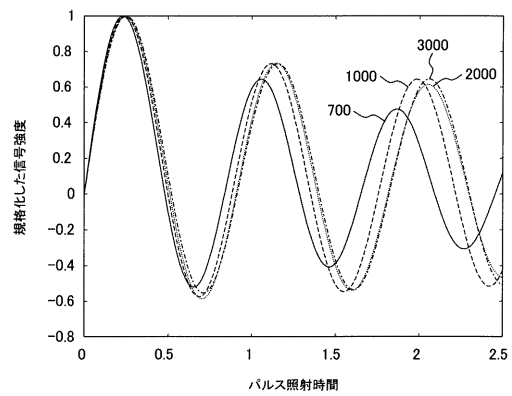
【図 19】

図 19



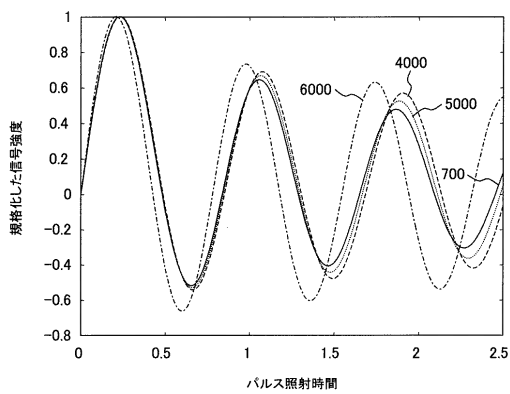
【図 20】

図 20



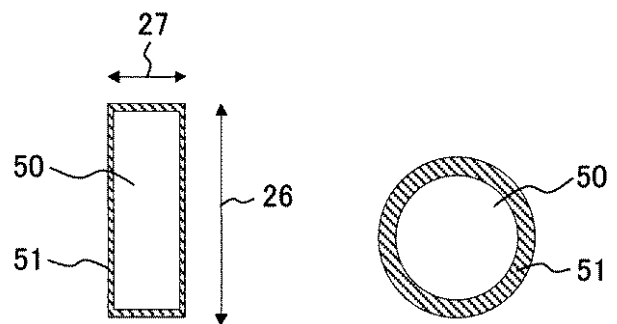
【図 21】

図 21



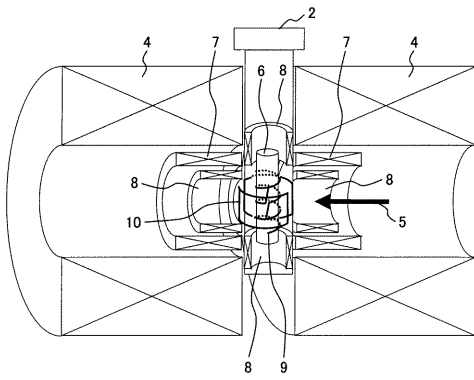
【図 22】

図 22



【図 2 3】

図 2 3



【図 2 4】

図 2 4

