

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4847641号
(P4847641)

(45) 発行日 平成23年12月28日(2011.12.28)

(24) 登録日 平成23年10月21日(2011.10.21)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)
 G 0 1 R 33/421 (2006.01)
 G 0 1 R 33/381 (2006.01)
 H 0 1 F 7/20 (2006.01)
 H 0 1 F 6/00 (2006.01)

A 6 1 B 5/05 3 6 2
 A 6 1 B 5/05 3 3 1
 G 0 1 N 24/02 5 4 0 A
 G 0 1 N 24/06 5 1 0 A
 H 0 1 F 7/20 C

請求項の数 9 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-348437 (P2000-348437)
 (22) 出願日 平成12年11月15日(2000.11.15)
 (65) 公開番号 特開2002-143126 (P2002-143126A)
 (43) 公開日 平成14年5月21日(2002.5.21)
 審査請求日 平成19年11月13日(2007.11.13)

(73) 特許権者 000153498
 株式会社日立メディコ
 東京都千代田区外神田四丁目14番1号
 (72) 発明者 竹島 弘隆
 東京都千代田区内神田1丁目1番14号
 株式会社日立メディコ内
 (72) 発明者 本名 孝男
 茨城県ひたちなか市市毛原坪885-16
 審査官 島田 保

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁石装置及び磁気共鳴イメージング装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

均一磁場を発生する上下に対向して配置された静磁場発生手段を具備する垂直磁場方式の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置であって、

前記静磁場発生手段が発生する磁場とほぼ逆向きの磁場を発生する打ち消し磁場発生手段が前記垂直磁場方式の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置を配置するシールドルームの天井の裏側と床の裏側に配置され、

前記打ち消し磁場発生手段の発生する磁場強度を制御する打ち消し磁場制御手段と、

前記静磁場発生手段及び前記打ち消し磁場発生手段のうちの少なくとも一方の周辺部の磁場強度を検出する磁場強度検出手段と、を具備し、

前記打ち消し磁場制御手段は、前記磁場強度検出手段の検出情報に基づき、前記打ち消し磁場発生手段が発生する磁場強度を制御する磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、

前記打ち消し磁場発生手段は打ち消しコイルを有して成り、

前記打ち消しコイルは、コイルガイドと、コイル素子を含み、

前記コイルガイドは、複数個のコイルガイド素子に分割されていることを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

【請求項2】

請求項1記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記静磁場発生手段は、超電導コイルを有し、前記打ち消し磁場制御手段は、前記超電導コイルのクエンチに基

づく前記周辺部の磁場強度の変動に対応して、前記打ち消し磁場発生手段が発生する磁場強度を制御することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

【請求項 3】

請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記打ち消し磁場発生手段に電力を供給する施設電源と、該施設電源への配電系統の停電を検知する停電検出手段と、前記施設電源が停電により送電不能になったときに前記打ち消し磁場発生手段への送電を代替するバックアップ電源とを具備することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

【請求項 4】

請求項 3 記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記施設電源が前記打ち消し磁場発生手段への送電が不能となったときに前記静磁場発生手段による磁場発生を停止させる静磁場発生停止手段を具備することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

10

【請求項 5】

請求項 4 記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記静磁場発生停止手段が、前記停電検出手段によって前記施設電源の停電を検出した後に、前記静磁場発生手段による磁場発生を自動的に停止する制御手段を具備することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

【請求項 6】

請求項 3 乃至 5 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記停電検出手段が出力する停電検出情報に基づいて警報を出力する警報手段を具備することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

20

【請求項 7】

請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記静磁場発生手段は、一对の静磁場発生源が計測空間を間に挟んで対向配置されて、対向方向の均一磁場を発生し、前記打ち消し磁場発生手段は、前記一对の静磁場発生源の少なくとも一方の側に前記静磁場発生手段が発生する磁場とほぼ逆向きの磁場を発生することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

【請求項 8】

30

請求項 1 記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、
前記打ち消し磁場制御手段は、前記打ち消しコイルの電流を制御するコイル電流制御手段であり、

前記コイルガイドは、板状体の一方の面にほぼ同心の複数個の同じ形状の溝が設けられ、絶縁材料から成り、

前記コイル素子は、前記コイルガイドの溝に収容された複数個のほぼ同心の線状導電体から成ることを特徴とする磁気共鳴イメージング装置用磁石装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージング装置用磁石装置を有することを特徴とする磁気共鳴イメージング装置。

40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気共鳴イメージング装置（以下、MRI装置という）用磁石装置に係り、特にMRI装置用磁石装置の漏洩磁場を低減する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】

MRI装置は、均一な静磁場内に置かれた被検体に電磁波を照射したときに、被検体を構成する原子の原子核に生じる核磁気共鳴現象を利用し、被検体からの核磁気共鳴信号（以下、MR信号という）を検出し、このMR信号を使って画像を再構成することにより、被検体

50

の物理的性質をあらわす磁気共鳴画像（以下、MR画像という）を得るものである。

【0003】

MR I 装置では、被検体の置かれる計測空間に均一な静磁場を作るために、水平磁場方式の円筒型磁石装置や垂直磁場方式の対向型磁石装置などの種々の磁石装置が使用されている。対向型磁石装置は、円筒型磁石装置と比べて、装置の開放性の点で優れており、対向型磁石装置の中で特に開放性を向上させたものを開放型磁石装置と呼び、本発明では主としてこの開放型磁石装置を対象とする。

【0004】

MR I 装置に使用される開放型磁石装置では、通常被検体が挿入される計測空間（均一磁場領域ともいう）を挟んで、上下方向に対向して1対の静磁場発生源が配設され、この1対の静磁場発生源によって計測空間に垂直方向（ここは上下方向）の均一な静磁場が形成される。静磁場発生源としては超電導磁石、常伝導磁石、永久磁石などが用いられる。近年、開放型磁石装置においても、MR画像の画質向上のため均一磁場領域の磁場強度を高める傾向にあり、超電導磁石装置が多く採用される傾向にある。

10

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

垂直磁場方式の開放型磁石装置においては、均一磁場領域の磁場強度を高めるにつれて、装置の中心軸方向（上下方向）の漏洩磁場が増加する傾向にあり、その結果、MR I 装置を設置した検査室の上下の室に悪影響が生じる場合がある。このため、MR I 装置用の磁石装置の漏洩磁場を抑制するために、種々の検討がなされている。以下に、上記の漏洩磁場を抑制するための従来技術の代表例について説明する。

20

【0006】

先ず、特開平12 - 102519号公報（第1の公知例）及び特開平12 - 102520号公報（第2の公知例）には、対向型超電導磁石装置において、漏洩磁場を抑制するため、主コイルの外側にシールドコイル（超電導コイル）を配設した構造が開示されている。第1、第2の公知例に開示された構造では主コイルと同じ冷却容器内にシールドコイルが配置されているため、磁石構造が複雑となり、また両コイル間に強大な電磁力が作用するために、磁気遮蔽できる漏洩磁場強度に限界がある。

【0007】

また、他の漏洩磁場抑制手段として、対向型磁石装置の周囲に鉄などの強磁性体によって磁気的なシールドルームを形成して漏洩磁場の磁気遮蔽を行う方法（パッシブシールド方式）が採られる場合がある。このシールドルームによる磁気遮蔽では、漏洩磁場が大きくなると、遮蔽のために必要な磁性材料の量が多くなり、重量が増加するため、施工が困難となり、コストも増加する。更に、上下方向の漏洩磁場を抑制するにあたっては、磁気遮蔽のための磁性材料と磁石との間の距離が近くなるため、磁性材料に磁気飽和が起こり易く、漏洩磁場の抑制が困難となる。

30

【0008】

また、特開平9 - 276246号公報（第3の公知例）には、対向型超電導磁石装置において、磁石装置の外部に漏洩磁場を打ち消すための打ち消し磁場発生手段、例えば常伝導コイルや永久磁石などを設けて、漏洩磁場を抑制している。第3の公知例に開示された構造の打ち消し磁場発生手段は、一定条件で動作するものであるため、特別な制御手段を持たず、静磁場発生源側に停電やクエンチ現象や励磁、消磁などの静磁場の磁場強度を変動させる要因が発生した場合の漏洩磁場の変動に対しては考慮されていなかった。また、打ち消し磁場発生手段に関しては、漏洩磁場の抑制に適したコイル配置については考慮されているが、コイルを配置する際の作業性などについては考慮されていなかった。

40

【0009】

上記に鑑み、本発明では、MR I 装置の漏洩磁場、特に上下方向への漏洩磁場を、安全に、かつ安価に抑制できるMR I 装置用磁石装置を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

50

上記目的を達成するため、本発明のMRI装置用磁石装置は、均一磁場を発生する静磁場発生手段と、前記静磁場発生手段が発生する磁場とほぼ逆向きの磁場を発生する打ち消し磁場発生手段と、前記打ち消し磁場発生手段の発生する磁場強度を制御する打ち消し磁場制御手段と、前記静磁場発生手段及び前記打ち消し磁場発生手段のうちの少なくとも一方の周辺部の磁場強度を検出する磁場強度検出手段と、を具備し、前記打ち消し磁場制御手段は、前記磁場強度検出手段の検出情報に基づき、前記打ち消し磁場発生手段が発生する磁場強度を制御する。

【0011】

この構成では、磁石装置における漏洩磁場を抑制する打ち消し磁場発生手段を配設しているので、磁石装置の漏洩磁場を効果的に抑制することができる。また、打ち消し磁場発生手段の磁場強度を制御する手段を設けたことにより、漏洩磁場の磁場強度に応じて、打ち消し磁場強度を決めて発生することができるので、漏洩磁場を適性に効率よく抑制することができる。

10

【0012】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記打ち消し磁場発生手段が1個以上のコイルを有する打ち消しコイルであり、前記打ち消し磁場制御手段が前記打ち消しコイルの電流を制御するコイル電流制御手段である。また、前記打ち消しコイルは常伝導物質から成る。この構成では、打ち消し磁場発生手段が打ち消しコイルであるので、製作が容易となる。また、打ち消しコイルが常伝導材で構成されているので、特別な冷却手段が不要となり、製作が容易であるとともに、安価に製作することができる。また、打ち消し磁場制御手段がコイル電流制御手段であるので、電流値を変更することで容易に磁場強度の制御ができ、容易に漏洩磁場を抑制することができる。

20

【0013】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記静磁場発生手段及び前記打ち消し磁場発生手段のうちの少なくとも一方の周辺部の磁場強度を検出する磁場強度検出手段を具備し、該磁場強度検出手段の検知情報に基づき、前記打ち消し磁場制御手段が前記打ち消し磁場発生手段が発生する磁場強度を制御する。この構成では、静磁場発生手段又は打ち消し磁場発生手段の周辺部の磁場強度を検知する磁場強度検出手段を具備しているので、静磁場発生手段が発生する磁場強度、又は打ち消し磁場発生手段の周辺部の磁場強度の値及びその変化を検知し、データとして提供することができる。この検知データに基づいて打ち消し磁場制御手段は打ち消し磁場発生手段が発生する磁場強度の制御ができるので、磁石装置の漏洩磁場を精度良く、かつ効率良く抑制することができる。

30

【0014】

この結果、静磁場発生手段が超電導コイルを含み、超電導コイルにてクエンチ現象が発生した場合などには、静磁場発生手段が発生する磁場が変化するので、この磁場の変化を磁場強度検出手段によって検知して、この検知データに基づいて打ち消し磁場制御手段が打ち消し磁場発生手段が発生する磁場を制御することにより、磁石装置の漏洩磁場に安全なレベルに保持される。

【0015】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記磁場強度検出手段は1個以上の磁気センサーである。この構成では、磁場強度検出手段がガウスメーターなどの磁気センサーであるので、打ち消し磁場発生手段などの周辺部の磁場強度を直接的に検知することができるので、打ち消し磁場制御手段による制御が極めて容易となる。

40

【0016】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記打ち消し磁場発生手段が、前記静磁場発生手段を収容し、電磁遮蔽するシールドルームの天井面の内側、或いは該天井面の外側直上、或いは前記静磁場発生手段を設置する設置室の天井面、及び前記シールドルームの床面の上、或いは該床面の下、或いは前記設置室の下位階の室の天井面のうちの少なくとも1箇所に配設される。特に、垂直磁場方式の磁石装置において、漏洩磁場強度が大きくなる静磁場発生手段の上方及び下方に位置するシールドルームの天井面又は設置室の天井面

50

、及び床面に打ち消し磁場発生手段を設置しているので、漏洩磁場の抑制を容易に行うことができるとともに、打ち消し磁場発生手段の設置作業が容易となる。

【 0 0 1 7 】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記打ち消し磁場発生手段が、前記静磁場発生手段の一方にのみ配設される。また、前記打ち消し磁場発生手段が、前記静磁場発生手段の他方にのみ配設される。これらの構成は、磁石装置を設置した設置室の上位階や下位階に人の入る部屋が無い場合などに適用可能であり、1組の打ち消し磁場発生手段を省略することが可能となるので、コスト低減に寄与する。

【 0 0 1 8 】

本発明のMRI装置用磁石装置は、計測空間に均一磁場を発生するための静磁場発生手段を具備する磁気共鳴イメージング装置用磁石装置において、前記静磁場発生手段の少なくとも一方に前記静磁場発生手段が発生する磁場とほぼ逆向きの磁場を発生する打ち消し磁場発生手段と、該打ち消し磁場発生手段に電力を供給する施設電源と、該施設電源への配電システムの停電を検知する停電検出手段と、前記施設電源が停電により送電不能になったときに前記打ち消し磁場発生手段への送電を代替するバックアップ電源とを具備する。

10

【 0 0 1 9 】

この構成では、停電検出手段とバックアップ電源を具備しているので、施設電源への配電システムで停電が起きたとき、停電検出手段にて停電を検出し、施設電源からバックアップ電源への切り替えが可能となるので、打ち消し磁場発生手段への電力供給を継続することができ、磁石装置の漏洩磁場を低レベルに保持することができる。

20

【 0 0 2 0 】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記施設電源が前記打ち消し磁場発生手段への送電が不能となったときに前記静磁場発生手段による磁場発生を停止させる静磁場発生停止手段を具備する。この構成では、施設電源の停電の際に静磁場発生手段が発生している静磁場の磁場強度を0にする静磁場発生停止手段を有しているので、停電が長時間になる場合には、バックアップ電源の稼動中に、静磁場発生停止手段を動作させて静磁場発生手段の発生する静磁場の磁場強度をほぼ0とし、これとほぼ同時に打ち消し磁場発生手段への電力供給を停止することにより、磁石装置の漏洩磁場を安全なレベルに抑制することができる。

【 0 0 2 1 】

30

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記打ち消し磁場発生手段の発生する磁場強度を制御する打ち消し磁場制御手段と、前記静磁場発生手段及び前記打ち消し磁場発生手段のうち少なくとも一方の周辺部の磁場強度を直接的又は間接的に検知する磁場強度検出手段を具備する。この構成では、静磁場発生停止手段と共に、打ち消し磁場制御手段と磁場強度検出手段を備えているため、静磁場発生停止手段と打ち消し磁場制御手段を協調させて、静磁場発生手段と打ち消し磁場発生手段の周辺部の磁場強度を磁場強度検出手段にて確認しながら、静磁場発生手段と打ち消し磁場発生手段の両者が発生する磁場をほぼ同時に0になるように制御することによって、磁石装置の漏洩磁場を極めて安全なレベルに抑制することができる。

【 0 0 2 2 】

40

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記静磁場発生停止手段が、前記停電検出手段によって前記施設電源の停電を検出した後に、前記静磁場発生手段による磁場発生を自動的に停止する制御手段を具備する。この構成では、静磁場発生手段による磁場発生が静磁場発生停止手段に含まれる制御手段によって自動的に停止されるので、静磁場発生停止手段に含まれる制御手段と打ち消し磁場制御手段とを協調させることにより、施設電源の停電が長時間続いた場合でも、静磁場発生手段の磁場発生を自動的に停止し、これと同期させて打ち消し磁場発生手段の励磁電流を低下させることができるので、磁石装置の漏洩磁場を安全に抑制し、自動的に許容範囲内に維持することができる。

【 0 0 2 3 】

本発明のMRI装置用磁石装置では、更に前記停電検出手段が出力する停電検出情報に

50

に基づいて警報を出力する警報手段を具備する。この構成では、施設電源に停電が発生したとき、打ち消し磁場発生手段への電力供給を施設電源からバックアップ電源に切り替えるとともに、停電検出手段からの停電検出情報に基づいて警報手段が停電発生警報を出力することができるので、停電が長時間続く場合には静磁場発生手段の磁場発生停止作業などを上記警報に基づいて実施することができる。

【0024】

本発明の磁石装置用打ち消しコイルは、板状体の一方の面にほぼ同心の複数個の同じ形状の溝が設けられ、絶縁材料から成るコイルガイドと、該コイルガイドの溝に収容された複数個のほぼ同心のコイル素子を含み、各コイル素子が線状導電体から成るコイル導体とを具備する。また、コイル導体は1本の可撓性を有する線状導電体から成る。この構成では、打ち消しコイルがコイルガイドとコイル導体を備え、コイル導体を構成する複数個のコイル素子がコイルガイドのほぼ同心の複数個の同じ形状の溝に収容できる用に作られているので、コイルガイドとコイル導体とを別々に加工して、磁石装置の据付現場にて打ち消しコイルに組み立てて据付けすることが可能となる。また、コイル導体が1本の可撓性を有する導電体で構成されているので、各コイル素子の線長をそれらのコイル素子が収容される溝の長さとも一致させておくことにより、コイル素子の形状と溝形状が違っても各コイル素子をコイルガイドの対応する溝に挿入することができる。この結果、1種類のコイル導体にて、種々の溝形状を持つコイルガイドとの組合せが可能となるので、打ち消しコイルの製作コスト低減に寄与する。

【0025】

本発明の磁石装置用打ち消しコイルでは、更に前記コイルガイドは複数個のコイルガイド素子に分割されている（請求項9）。この構成では、コイルガイドが複数個のコイルガイド素子に分割されているので、大きい打ち消しコイルを搬入する場合に、分割された小さいコイルガイド素子にて搬入し、現地にて大きいコイルガイドに組み立てることにより、大きい打ち消しコイルの搬入が容易になる。また、コイルガイドの製作時にも、小さいコイルガイド素子を加工すればよいので、加工が容易となり、加工コストの低減にも寄与する。

【0026】

本発明の磁石装置用打ち消しコイルでは、更に、前記コイル導体の最も内側に配置されるコイル素子に電流を導く引き出し配線と、隣接するコイル素子間を接続するコイル間接続線とが並行して配列されている。この構成では、引き出し配線とコイル間接続線を並行して配列しているので、両方の線に流れる逆向きの電流によって発生する逆向きの磁場が相殺されて消去されるので、引き出し配線やコイル間接続線による打ち消しコイルの発生する磁場に対する悪影響は取り除かれる。

【0027】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例を添付図面に沿って説明する。

図1に、本発明に係るMRI装置用磁石装置の第1の実施例の概略構成図を示す。図1において、MRI検査を行う検査室に垂直磁場方式の磁石装置の磁石本体10が配置されている。磁石本体10としては、超電導コイルを使用した磁石、常伝導コイルを使用した磁石、永久磁石を使用した磁石などが用いられるが、以後の説明では1対の超電導コイルを上下方向に配設した垂直磁場方式の超電導磁石を例示して説明する。

【0028】

本実施例の磁石本体10は、垂直磁場方式の磁石装置であるため、計測空間に垂直方向の高磁場を発生することに起因して、その漏洩磁場は水平方向よりも垂直方向に大きな広がりを持つ。このため、本実施例では、磁石本体10の上方と下方に打ち消しコイル11aと11bが配設されている。この打ち消しコイル11a、11bには通常常伝導コイルが用いられる。打ち消しコイル11a、11bは打ち消しコイル電源14に接続され、この打ち消しコイル電源14から電流の供給を受ける。

【0029】

打ち消しコイル電源14には、コイル電流の制御などを行う制御回路12が接続されている。また、制御回路12には、漏洩磁場などの磁場強度を計測する磁場強度モニター50が接続されている。本実施例の場合、この磁場強度モニター50は磁石本体10の上又は下、或いは両方に配置されて、主として磁石本体10の上下方向の漏洩磁場の磁場強度を計測し、この磁場強度モニター50の計測値に応じて、制御回路12が打ち消しコイル11a、11bに流す電流を制御するものである。磁場強度モニター50の設置は磁石本体10の上下方向の位置に限定されず、斜め方向、横方向などでもよく、磁石本体10からの上下方向の漏洩磁場強度に対応する磁場強度を計測できる位置であればよい。また、磁場強度センサーとしては、通常ガウスメータやNMRメータなどの磁気センサーが使用される。

【0030】

図2、図3には、本実施例における打ち消しコイルの配置例を示す。図2は第1の実施例の磁石装置全体の断面図、図3は第1の実施例の磁石本体と打ち消しコイルとの関係を示す斜視図である。図2において、磁石本体10はMRI検査室内に設けられたシールドルーム16内に据付け、設置されている。磁石本体10の上下に打ち消しコイル11a、11bが配置されているが、図2においては、上側の打ち消しコイル11aがシールドルーム16の天井の裏側に、下側の打ち消しコイル11bが検査室15の床17の裏側に、それぞれ配設されている。このように打ち消しコイル11a、11bを配設することにより、検査室15の上方階20及び下方階18への漏洩磁場が低減される。また、磁石本体10の上下方向の漏洩磁場を検出する磁場強度センサー12の配置に関しては、上側のセンサー12aはシールドルーム16の天井の、下側のセンサー12bはシールドルーム16の床17の面の、それぞれ打ち消しコイル11a、11bに近い位置に配設されている。

【0031】

また、図3は、磁石本体10と上側の打ち消しコイル11aの外観を示している。図3において、磁石本体10は、計測空間23を挟んで上下方向に対向して配設され、計測空間23に上下方向の均一な静磁場を発生する1対の静磁場発生源24a、24bと、上下の静磁場発生源24a、24bを所定の間隔をとって支持する支柱25とから成る。均一な静磁場が形成された計測空間23内には、テーブル22に寝載された被検体（図示せず）が挿入され、MR信号の計測が行われる。

【0032】

シールドルーム16の天井の裏側に、上側の打ち消しコイル11aが配設されている。打ち消しコイル11aは、直径の異なる複数個（図示では6個）のコイル素子から成る。コイル素子の個数は特に限定されず、1個でもよい。また、打ち消しコイル11の配置位置については、図1～図3では磁石本体10の上と下に配置したが、場合によっては上方だけ、または下方だけにしてもよい。例えば、検査室15の上方又は下方に人間が出入りする部屋がない場合などは、その方向の漏洩磁場については抑制する必要がないので、その方向の打ち消しコイルの配設を省略してもよい。

【0033】

また、上側の打ち消しコイル11aの配置位置については、図2、図3において、磁石本体10の上方であって、シールドルーム16の天井の上側に配置したものを例示しているが、その他に、シールドルーム16の天井の下側、検査室15の天井19の下側、又は上方階20の床面上などに配置することも可能である。また、下側の打ち消しコイル11bの配置については、図2において、磁石本体10の下方であって、シールドルーム16の下の方階18の天井に配置したものを例示しているが、その他に、シールドルーム16の床17面の上、又はシールドルーム16の床17面の下（埋め込み）などに配置することも可能である。

【0034】

上記において、シールドルーム16は電磁シールド（高周波シールド）を施した部屋を指すが、磁気シールドの有無については問わない。しかし、本発明の常伝導コイルの打ち消しコイルによって磁気シールドを行った場合、打ち消しコイル近傍の磁場が増大するため、通常の磁気シールド（鉄、パーマロイなどによるパッシブシールド）の効果が低減するので、これを考慮しておく必要がある。

10

20

30

40

50

【0035】

上下方向の静磁場を発生させる垂直磁場方式の磁石装置では、一般に磁石本体10の中心軸（Z軸）方向に対して同心円又は楕円形状の漏洩磁場分布を示すことが多い。図4には、磁石本体10の周りの漏洩磁場強度分布例を示す。図4（a）は床17より上方の垂直方向の分布を、図4（b）は水平方向の分布を示している。いずれも、漏洩磁束密度の等しい位置を結んだ等磁場線図で、磁石本体10に近い等磁場線26ほど磁場強度が高く、遠くなるほど磁場強度は低い。図4（a）の垂直方向の分布では、磁石本体10の上方の漏洩磁場が高くなっている（磁石本体10の下方についても同様である）。図4（b）の水平方向の分布はほぼ一様で、同心円状の分布である。

【0036】

磁石本体10の漏洩磁場が図4の如き分布である場合、打ち消しコイルとしての常伝導コイルは、その中心が最大漏洩磁場強度を示す位置にほぼ一致するように配置される。従って、打ち消しコイルは図1～図3に示すように、磁石本体10の上下に配設するのが効果的である。更に、打ち消しコイルのパターンも、漏洩磁場強度分布と相似な形状、図4の例では同心円の形状とするのが効果的である。また、打ち消しコイルの直径（円形コイルの場合）又はそれに相当する寸法（楕円形コイルの場合には長径又は短径、四角形コイルの場合に辺の長さ）は、通常磁石本体10の実効的な直径よりも大きくすることが必要である。打ち消しコイルの直径は、打ち消しの対象となる漏洩磁場の広がり方に依存しており、小さい漏洩磁場を打ち消そうとする程、対象とする領域が広い領域となるため、打ち消しコイルの直径を大きくする必要がある。

【0037】

この実施例では、漏洩磁場が磁石を中心とした同心円上に分布すると説明した。但し、漏洩磁場分布は磁石構造によって決定されるもので、前後や左右方向で非対称な分布となる場合もある。このような場合には、打ち消しコイルのパターンも漏洩磁場分布に合致するように、コイルの中心に対して非対称、非同心に配置することが必要である。

【0038】

次に、本発明に係る磁石装置用打ち消しコイルの第1の実施例の構造例について、図5～図8を用いて説明する。本発明に係る打ち消しコイルは、必要とされるコイルのパターン（形状が設定される）に合致した形状に形成され、導電体から成るコイル導体と、上記のコイルのパターンに合致した形状に形成されたコイル溝を有し、絶縁材料から成るコイルガイドとを備えている。以下、コイル導体の構造例とコイルガイドの構造例を分けて説明する。

【0039】

図5、図6には本発明に係る打ち消しコイルの具体的なコイルパターン例を示す。図5は円形に巻いたコイル素子を同心で配置した打ち消しコイルの例であり、図6は相似な四角形に巻いたコイル素子を同心で配置した打ち消しコイルの例である。図5において、同心円形状の打ち消しコイルのコイル導体28は、コイル中心点30を中心とする同心の4個の円形コイル素子31a、31b、31c、31dによって構成されている。各々の円形コイル素子31a～31dは隣り合うコイル素子同士接続され、動作時には同一電流が流れる。また、コイル電流の出し入れによって不要な磁場が発生しないように、電流の入り側線と出し側線とを組にして並行して配置している。図示の例では、入り側引き出し線32と隣接コイル素子同士をつなぐつなぎ線34a、34b、34cとをほぼ一直線上に配置し、これに出し側引き出し線33を並行して配置することになっている。また、図6において、同心四角形状の打ち消しコイルのコイル導体29は、コイル中心点30を中心とする4個の四角形コイル素子35a、35b、35c、35dによって構成されている。隣接コイル素子の接続、引き出し線の処理などについては、図5の同心円形状の打ち消しコイルのコイル導体28の場合と同様である。

【0040】

図7、図8には本発明に係る打ち消しコイルのコイルガイドの構造例を示す。図7は、同心円形状の打ち消しコイルのコイルガイドの第1の構造例である。図7において、第1の円形コイルガイド40は図5に示した同心円形状の打ち消しコイルのコイル導体28などを収容可

能なもので、ガラス繊維補強エポキシ樹脂などの機械的強度の大きい非磁性の絶縁材料で作られている。第1の円形コイルガイド40は円板44上に直径の異なる4個の円形の仕切壁43a、43b、43c、43dが設置され、直径の異なる4個の円形のコイル溝41a、41b、41c、41dが形成される。各々の仕切壁43a～43dには同じ向きに各々のコイル素子からの引き出し線を引き出すためのコイル導体引き出し口42a～42dが設けられている。この第1の円形コイルガイド40の各コイル溝41a～41dに例えば図5に示したコイル導体28を構成する同心円形状の4個のコイル素子31a～31dを這わせることにより、同心円形状の打ち消しコイルが実現される。

【0041】

図7においては、コイルガイドの構造を簡素化するために、円形コイルガイド40のコイル溝41a、～41dは仕切壁43a～43dのみで形成されている。すなわち、この仕切壁43a～43dは、その内壁にコイル導体の各コイル素子が密着したときに、コイル導体がコイルパターンを形成するように配設されている。このため、コイル溝41a～41dの幅は広がっているもので、コイル導体の各コイル素子を仕切壁43a～43dの内壁に押し当てる形で這わせ、接着又は適当なクリート材を用いて固定する。このとき、コイル導体の引き出し線やコイル素子間のつなぎ線の位置はコイル導体引き出し口42a～42dに合わせる。また、本実施例では、円形コイルガイド40の仕切壁43a～43cの外壁にコイル導体28の各コイル素子31a～31dが密着するようにコイル溝41b～41dを形成することも可能である。

【0042】

図8も同心円形状の打ち消しコイルのコイルガイドの第2の構造例であるが、中心線で切断した半分の構造を示している。図8(a)はコイルガイド全体の構造を、図8(b)は図8(a)の丸A部の拡大図を示している。図8(a)において、円形コイルガイド45は、円板47上に直径の異なる6個の円形の仕切壁48a～48fが設置され、2個ずつの仕切壁48aと48b、48cと48d、48eと48fで3個の円形のコイル溝46a、46b、46cを形成する。この幅の狭い円形のコイル溝46a～46cに同心円形状の打ち消しコイルのコイル導体のコイル素子が挿入される。本実施例では、図8(b)の拡大図に示すように、コイル溝46cがコイル導体のコイル素子49の寸法に合わせて製作されている。このため、同心円形状の打ち消しコイルを現地で組み立てる際に、コイルの位置決めがより容易となる。

【0043】

図7、図8には、同心円形状の打ち消しコイルのコイルガイドの構造例を示したが、同心四角形の打ち消しコイルや同心楕円形状の打ち消しコイルなどの場合にも、同様な手法で製作することができる。すなわち、同心四角形又は同心楕円形状の打ち消しコイルのコイルガイドと、同じ形状のコイル導体を別々に作り、現地においてコイルガイドにコイル導体を組み込むことができる。

【0044】

図5、図6には、MRI装置用磁石装置の漏洩磁場を低減するための打ち消しコイルのコイル導体の構造例を示したが、磁石装置が設置される検査室の環境は様々である。すなわち、磁石装置の漏洩磁場低減に関係する検査室の環境因子としては、シールドルームの寸法、検査室の天井の高さ、許容漏洩磁場量、磁石本体から磁場抑制領域までの距離などがあげられる。磁石装置の漏洩磁場を効果的に抑制し、打ち消しコイルのコイル素子数(又は巻回数)、電源容量を低減するためには、上記の環境因子の状況に応じて、打ち消しコイルのコイル導体の形状、すなわち電流分布を適切かつ容易に設定できる必要がある。

【0045】

また、本発明に係る打ち消しコイルの第2の実施例では、打ち消しコイルは完成時には図5～図8の例と同様なコイルガイドとコイル導体で構成されるが、コイル導体が1本のフレキシブルな導電体から成る点で第1の実施例と異なる。コイル導体は完成時には複数個のコイル素子を含むことになるため、各々のコイル素子の線長については、コイルガイドの各々のコイル素子が収容される溝の長さとも一致させておく。コイルガイドについては、各コイル素子が収容される溝の形状が異なっても、溝の長さが同じものであれば、各種のコイルパターン形状のものを作っておいてよい。上記の如き打ち消しコイルでは、コイルガイ

10

20

30

40

50

ドとコイル導体を別々に作って、据付け現地での打ち消しコイルの組み立てができるのは勿論のこと、コイル導体のコイル素子の形状とコイルガイドの溝の形状が違って、据付け現地にて各コイル素子をコイルガイドの対応する溝に挿入することができる。その結果、1種類のコイル導体にて、種々の溝形状を持つコイルガイドとの組合せが可能となるので、打ち消しコイルの製作コストを低減することができる。

【0046】

本発明に係る打ち消しコイルでは、上記のコイルガイドを分割可能な構造とすることができる。例えば、同心円形状の打ち消しコイルの場合であれば、図8(a)に示した如く、コイルガイドを中心線に沿って半円形のものに2分割し、後に2個の半円形コイルガイドを結合して円形のコイルガイドとするものである。コイルガイドの分割数は2個に限定されず、3個以上でもよい。また、コイルガイドの分割線としては、円形や楕円形のコイルガイドの場合には中心点を通る線分を用いるのがよいが、四角形のコイルガイドの場合などは、四角形の辺に平行な線分を用いてもよい。

【0047】

コイルガイドを分割可能な構造とすることにより、コイルガイドを複数個の小形のコイルガイド素子に分割して搬送し、現地にて大形のコイルガイドに組み立てることが可能となる。この結果、打ち消しコイルの搬送及び設置が容易となる。また、打ち消しコイルの直径は通常3~7mになるので、分割した小形のコイルガイド素子を現地にて大形のコイルガイドに組み立て、設置する本発明の方法を採用することにより、打ち消しコイルを精度よく配置することができる。この結果、磁石本体からの漏洩磁場を精度よく打ち消すことができる。

【0048】

図9に、本発明に係るMRI装置用磁石装置の第2の実施例の概略構成図を示す。本実施例では、磁石装置に漏洩磁場が増加するような状態が生じた場合に、その漏洩磁場の増加を検知して、増加した漏洩磁場を低減するものである。磁石装置の静磁場発生源として、例えば超電導コイルを用いた場合、(1)クエンチ現象の発生、(2)メンテナンスを実施する際の消磁などによって、磁石の発生する磁場が消失すると、磁石の発生する磁場と打ち消しコイルによる磁場とのバランスが崩れ、漏洩磁場が増加する。

【0049】

この状況を、超電導コイルのクエンチ現象の発生の場合を例に上げて説明する。図10に、超電導コイルのクエンチ現象発生後の磁石本体の中心磁場と漏洩磁場の時間的变化を示す。図10(a)は、磁石本体の中心である計測空間に形成された磁場がある時点で発生したクエンチ現象により0に向かって消失して行く状況を示す。図10(b)は、磁石本体周囲の所定の位置(漏洩磁場を許容位置以下に押さえるべき位置)における磁石本体が発生している漏洩磁場強度の変化を示す。この漏洩磁場強度は、クエンチ現象発生後0に向かって消失して行く。

【0050】

また、図10(c)は、磁石本体周囲の所定の位置における打ち消しコイルが発生している磁場強度の変化を示す。従来の打ち消しコイルでは、電流が一定に保持されているので線(1)の如くなる。すなわち、所定の位置の磁石本体が発生する漏洩磁場を打ち消すために逆極性の打ち消し磁場を発生し、その磁場強度が一定に保持される。線(2)は本発明に係る打ち消しコイルが発生する磁場強度を示したもので、この内容については後で説明する。

【0051】

図10(d)は、図10(b)と図10(c)とを重ね合わせて得られる上記の所定の位置の磁場強度を示す。図10(d)において、線(1)は従来の打ち消しコイルの場合で、打ち消しコイルの電流を一定に保持して、打ち消しコイルによる磁場を一定に保持すると、磁石本体による漏洩磁場はクエンチ現象発生後減少するため、合計の磁場強度は逆極性で量的に増加して行き、漏洩磁場の許容範囲を超過する可能性がある。

【0052】

これに対し、本実施例では、磁石本体10の磁場強度を磁気強度モニター50にて検出し、検出した磁場強度値に基づいて、打ち消しコイル11a、11bが発生する磁場強度、すなわち打ち消しコイル11a、11bの電流を制御回路12によって制御することにより、上記の所定の位置での漏洩磁場の増加を防止することができる。クエンチ現象発生時の打ち消しコイル11a、11bによる磁場の制御は、上記の所定の位置における打ち消しコイル11a、11bによる磁場が図10(c)の線(2)の如くなるようにコイル電流を制御する。このように制御することにより、上記の所定の位置における合計の漏洩磁場は図10(d)の線(2)に示す如くなり、許容範囲内に保持される。

【0053】

図9において、磁石本体10の上下方向には打ち消しコイル11a、11bが配設されている。磁石本体10の周囲に磁石本体10の発生する磁場強度をモニターする磁場強度モニター50が配設されている。この磁場強度モニター50によって、磁石本体10の磁場の变化、例えば図10(a)の如き磁場変化を検出し、この検出量に応じて制御回路12が打ち消しコイル電源14を制御し、打ち消しコイル11a、11bに流れる電流を制御する。このときの制御においては、磁石本体10の図10(a)の如き磁場変化に対して、打ち消しコイル11a、11bにはそれが発生する磁場が図10(c)の線(2)の如くなるような電流を流す必要がある。このように打ち消しコイル電源14を制御することにより、上記所定の位置における合計の磁場は図10(d)の線(2)の如くなり、漏洩磁場は許容範囲内に保持される。このとき、磁場強度モニター50としては、ガウスメーターやNMRメーターなどの磁気センサーが用いられる。

【0054】

また、本実施例の場合、磁石本体10の磁場強度の変化に伴って、打ち消しコイル11a、11bに電圧が誘起されるので、この打ち消しコイル11a、11bに誘起された電圧を測定して、この電圧を制御回路12に送ることにより、この電圧に基づいて打ち消しコイル電源14を制御してもよい。また、磁場強度モニター50によって磁石本体10の発生する磁場を測定する代わりに、超電導コイルの励磁電源の電流値をモニターして、この電流値の変化に応じて、制御回路12によって打ち消しコイル電源14の電流量を制御することができる。

【0055】

図11に、本発明に係るMRI装置用磁石装置の第3の実施例の概略構成図を示す。本実施例では、打ち消しコイル電源の一次側電源が停電した場合にバックアップ電源にて対処するものである。図11において、磁石本体10、打ち消しコイル11a、11b、打ち消しコイル電源14は図9に示す第2の実施例と同様である。打ち消しコイル電源14と、その一次側電源である施設電源54との間にバックアップ電源52が配設されている。バックアップ電源52は施設電源54が停電したときに打ち消しコイル電源14に電力を供給するものである。施設電源54にはその停電を検出する停電検出回路56が接続され、その検出結果は制御回路58に入力される。制御回路58は停電検出回路56が停電を検出した場合には、バックアップ電源52から打ち消しコイル電源14に電力を供給するように電源の切り替え制御を行う。制御回路58には、停電の警報を出力する警報手段60が接続されている。

【0056】

本実施例では、打ち消しコイル11a、11bに電流を供給している打ち消しコイル電源14の一次側電源である施設電源54が停電すると、通常打ち消しコイル11a、11bへの電流供給が停止するため磁石本体10による漏洩磁場をシールドすることが出来なくなるが、停電と同時に停電検出回路56によって施設電源54の停電が検出され、停電検出信号が制御回路58に入力される。制御回路58は、この停電検出信号に基づいて、打ち消しコイル電源14への電力の供給を施設電源54からバックアップ電源52に切り替える。この結果、打ち消しコイル11a、11bに対する施設電源54の停電の影響は回避される。

【0057】

しかし、バックアップ電源52では、現状長時間の電力供給が不可能であるため、停電が長時間になる場合には対応が出来なくなる。このため、本実施例では、停電が開始してから所定の時間が経過した後に、磁石本体の静磁場発生源による磁場発生を停止させる機能を持たせている。

【0058】

磁石本体10の磁場発生停止機構に関しては、常伝導磁石の場合には、静磁場を発生させるために常時励磁電源（通常定電流電源が用いられる）から電流が供給されるので、励磁電源側でこの励磁電流値を容易に制御することができ、この励磁電流を0まで低下させることにより、計測空間の磁場強度を0にし、消磁することができる。

【0059】

励磁電流の制御には、励磁電源側に電流制御回路を設け、励磁電源の電流を、例えば一定速度で低下させて0にするように制御することで、消磁することができる。上記の電流制御回路としては公知の電流逓減回路を用いることができる。

【0060】

ここで、常伝導磁石を消磁する場合、漏洩磁場が変化するので、打ち消し磁場発生手段11a、11bにおける漏洩磁場が許容範囲を超過しないように、バックアップ電源52と同期をとりながら、常伝導磁石の励磁電源の電流値を低下させていくことになる。また、常伝導磁石における磁場変化が急激であると、磁石の構成部品として用いられる導電体や磁石の周囲の導電体に渦電流が発生し、この渦電流により余分な磁場が発生したり、或いは余分な電磁力が作用したりする。これらの影響を軽減するため、磁石の消磁の際には、数十秒程度以上の時間をかけるのが望ましい。

【0061】

上記の常伝導磁石での磁場発生停止操作は、作業者が手動で実施することも、作業者を介在させないで自動的に実施することも可能である。手動の場合には、計測空間の磁場強度を磁場強度モニター50で監視しながら、電流制御回路にて励磁電流を1～数分程度の時間をかけて、ほぼ一定の速度で、0まで低下させて消磁する。

【0062】

自動の場合には、励磁電源の電流制御回路として電流逓減回路を用い、定格電流から0まで電流低下させる時間を1～数分程度に設定しておき、施設電源54の停電検出後、一定時間経過した時点で電流逓減回路の動作を開始させる。並行して、計測空間の磁場強度の計測を磁場強度モニター50にて計測、監視し、磁場強度に異常がある場合には、電流逓減を停止させるとか、電流逓減速度を変えるとかする。

【0063】

実際に、常伝導磁石の磁場発生停止操作を行う場合には、単独では行うことはなく、打ち消し磁場発生手段11a、11bのバックアップ電源52の電流制御と同期して、この操作を行うことになる。操作例としては、先ず、打ち消し磁場発生手段11a、11bの周辺部の漏洩磁場と計測空間の磁場強度をそれぞれに適合した磁場強度モニター50にて計測し、漏洩磁場の計測値が許容範囲を越えないこと、及び計測空間の磁場強度が予定通りに低下していることを監視しながら、磁石の励磁電源及びバックアップ電源52の電流制御を行う。次に、磁石の励磁電源及びバックアップ電源52の電流を、同期をとって、所定の時間、例えば1分の時間をかけて0まで低下させる。自動操作の場合には、磁石の励磁電源及びバックアップ電源52の各々に、所定の時間で各々の電流を0まで低下させる電流逓減回路を電流制御回路として用いればよい。

【0064】

一方、超電導磁石の場合には、超電導コイルへの熱の侵入を防ぐために、永久電流モードでの運転時には、励磁電源と超電導コイルとの間を接続する電流リードを取り外す方式が一般的である。このため、消磁を行う際には、先ず作業者が超電導コイルと励磁電源との間に電流リードを取り付ける作業を行った後に、磁石の消磁を行う。

【0065】

図12を用いて超電導磁石の消磁について説明する。図12は、超電導磁石の消磁を説明するための概念図である。図12において、超電導コイル62は冷却容器64内で冷媒65に浸漬され、超電導特性を示す温度に冷却されている。冷却容器64は真空容器66に内包されている。超電導コイル62と外部の励磁電源76との間は電源ケーブル77と電流リード78によって接続されている。電流リード78は冷却容器64に取り付けられたリード導入口80に配置されてい

10

20

30

40

50

る。超電導コイル62の端子P、Qには永久電流スイッチ68の超電導線70が接続されている。永久電流スイッチ68は公知のもので、超電導線70とこれに並行して配置したヒータ線71とヒータリード79とヒータ電源部74とから構成される。ヒータ電源部74は真空容器66の外部に配置され、ヒータ電源72とヒータスイッチ73とから成る。励磁電源76とヒータ電源部74は、制御回路75によって制御される。

【0066】

本実施例の場合、超電導磁石の消磁操作は、励磁操作と逆の操作となるので、最初に励磁操作について説明する。図12において、永久電流スイッチ68のヒータ電源部74のヒータスイッチ73をONにし、ヒータ電源72によりヒータ線71を加熱し、このヒータ線71によって超電導線70を加熱することにより、永久電流スイッチ68をOFF状態にする。この状態で励磁電源76によって超電導コイル62を定格電流まで励磁する。このとき、励磁電源76と超電導コイル62は電源ケーブル77と電流リード78によって接続されている。次に、永久電流スイッチ68のヒータ電源部74のヒータスイッチ73をOFFにし、ヒータ線71の加熱をやめ、超電導線70を冷却して、超電導状態に戻すことにより、永久電流スイッチ68はON状態となる。この状態で、励磁電源76の電流（以下、電源電流という）を減少させることにより、この電源電流の減少分が永久電流スイッチ68の超電導線70に流れることになる。電源電流が0となった後は、永久電流スイッチ68の超電導線70を流れる電流が一定となり、永久電流モードの運転に移行し、磁石の励磁が完了する。

【0067】

永久電流モード運転の間には、励磁電源76の着脱は超電導コイル62の電流に何らの影響を及ぼさないので、自由に行うことができる。手動操作の場合には、冷却容器64への熱侵入を極力減らすため、励磁電源76から電流リード78までが着脱される。電流リード78は、超電導コイル62との接続点P、Qで分離される。しかし、本実施例の自動操作の場合には、励磁電源76から電流リード78までを着脱せず、超電導コイル62に接続したままとし、作業者が着脱しないで済むようにした。

【0068】

次に、超電導磁石の消磁操作について説明する。図12において、手動操作の場合には、先ず電流リード78を冷却容器64に取り付けて、励磁電源76と超電導コイル62を電源ケーブル77と電流リード78を介して接続する。励磁電源76の接続後、永久電流スイッチ62をONにしたまま励磁電源76より電流を流し始めると、永久電流スイッチ68の超電導線70を流れている電流のうちの一部が励磁電流と入れ代わり、励磁電流が増加するにつれて、超電導線70を流れる電流が減少する。超電導線70を流れる電流が0となり、励磁電流が超電導コイル62を流れる電流と等しくなり、一定値となった時点で、超電導コイル62の消磁を始める。

【0069】

次に、永久電流スイッチ68のヒータ電源部74のヒータスイッチ73をONにして、ヒータ線71を加熱し、超電導線70の抵抗を高め、永久電流スイッチ68をOFF状態にする。この状態にて、励磁電源76の励磁電流を減少させることにより、超電導コイル62に流れる電流を減少させる。超電導コイル62を流れる電流を減少させる操作は徐々に行い、数十秒から数十分の時間をかけて、0まで低下させる。超電導コイル62を流れる電流が0になると、計測空間の静磁場の磁場強度が0となるので、励磁電源74を停止させて、磁石の消磁が完了する。

【0070】

超電導磁石の消磁を自動的に行う場合には、励磁電源76、電源ケーブル77、電流リード78を着脱せずに、接続したままとする。永久電流スイッチ68の制御及び励磁電源76の制御を制御回路75によって自動的に行う。制御回路75による制御は、主にタイマーなどを用いて励磁電源76及び永久電流スイッチ68の動作を時系列的に制御する。消磁開始時には、励磁電源76はOFF、永久電流スイッチ68はON状態にある。先ず、励磁電源76をONにし、励磁電流を定格電流まで上昇させる。この操作で、永久電流スイッチ68の超電導線70に流れている電流が励磁電流と入れ代わる。次に、永久電流スイッチ68をOFF状態にするために、ヒータ電源74のヒータスイッチ73をONにし、ヒータ線71を加熱し、超電導線70の抵抗を増加させる。次に、励磁電源76の励磁電流を0まで低減する。この操作により、超電導コイル6

2を流れる電流は0まで低下し、計測空間の静磁場の磁場強度が0となり、消磁が完了する。

【0071】

上記において、電流リード78には、酸化物超電導材などの熱侵入量の少ない高温超電導体を用いられている。これらの高温超電導体では、熱伝導率が小さいため、熱の良導体である常伝導の銅やアルミニウムなどの電気良導体と比べ、電流リードとして有利である。また、電流リード78を常時接続しておくことを考慮して、電流リード78を含めて冷却容器64を冷却するための冷凍機能力を高めておくことも必要である。

【0072】

本実施例において、超電導磁石の消磁の場合も、常伝導磁石の場合と同様に、磁石の消磁を単独で行うことはなく、打ち消し磁場発生手段11a、11bと同期して、磁場の制御が行われる。従って、この場合も、磁場強度センサー50を用いて、計測空間の磁場強度及び打ち消し磁場発生手段11a、11bの周辺部の漏洩磁場を計測し、監視しながら、打ち消し磁場発生手段11a、11bの励磁の制御と同期させて、超電導磁石の消磁の制御が行われる。このように消磁することにより、停電発生時にも、磁石の周辺部の漏洩磁場が許容範囲を越えることなく、安全に磁石の消磁を行うことができる。

【0073】

超電導磁石の磁場発生停止操作を作業者が行う場合を考慮して、本実施例では、停電の警報手段60を設けている。図11において、制御回路58が停電検出回路56からの停電検出信号を受けて、バックアップ電源52による電力供給が不可能となる時間よりも所定の時間（磁石の消磁などを実施する時間を考慮して決められる）だけ前に、警報手段60に信号を送り、警報を出力させる。この警報出力としては、音声、文字などによる表示、発光などが用いられる。この警報出力によって、停電に起因して磁石装置の漏洩磁場が許容範囲を超過する恐れがあることを警告することで、上記の磁石の消磁操作の実施など必要な対処を実行することが可能となる。

【0074】

【発明の効果】

以上説明した如く、本発明によれば、MRI装置用磁石装置において、磁石本体の上部及び下部の少なくとも一方に配置した打ち消し磁場発生手段と、この磁場強度を制御する打ち消し磁場制御手段を備えているので、漏洩磁場の磁場強度に応じて打ち消し磁場を発生することができ、磁石装置の漏洩磁場を効果的に抑制することができるばかりでなく、漏洩磁場を適当に効率良く抑制することができる（請求項1）。

【0075】

また、本発明によれば、上記の打ち消し磁場発生手段は常伝導物質などから成る打ち消しコイルであり、上記の打ち消し磁場制御手段がコイル電流制御手段であるので、特別な冷却手段が不要で、製作が容易であるため、安価に製作することができ、更に、電流値を変更することで漏洩磁場の磁場強度の制御ができるため、容易に漏洩磁場を抑制することができる（請求項2）。

【0076】

また、本発明によれば、磁石の静磁場発生源及び打ち消し磁場発生手段の周辺部の磁場強度を直接的又は間接的に検知する磁場検知手段を備え、この検知情報に基づいて打ち消し磁場発生手段を制御することができるので、磁石の漏洩磁場を精度良く、かつ効率良く抑制することができる（請求項3）。

【0077】

また、本発明によれば、MRI装置用磁石装置において、磁石本体の上部及び下部の少なくとも一方に配置した打ち消し磁場発生手段と、これに電力を供給する施設電源と、施設電源の停電を検出する停電検出手段と、停電時に施設電源の電力供給を代替するバックアップ電源とを備えているので、施設電源の停電時にもこの停電を検出し、バックアップ電源への切り替えを行うことにより、打ち消し磁場発生手段の動作を維持することができ、磁石装置の漏洩磁場を低レベルに保持することができる（請求項4）。

【0078】

また、本発明によれば、施設電源が打ち消し磁場発生手段への送電が不能となったときに、磁石の磁場発生を停止させる静磁場発生停止手段を備えているので、停電時などに、打ち消し磁場発生手段への送電不能と同期して静磁場発生停止手段によって静磁場発生源の磁場発生を停止することができ、磁石の漏洩磁場を安全なレベルに抑制することができる（請求項5）。

【0079】

また、本発明によれば、静磁場発生停止手段が、停電検出手段による停電検出後に、静磁場発生源による磁場発生を自動的に停止する制御手段を備えているので、停電検出後に前記制御手段と打ち消し磁場制御手段とを協調させることにより、停電が長時間続いた場合でも、静磁場発生源の磁場発生を自動的に停止し、これと同期させて打ち消し磁場発生手段の励磁電流を低下させることができ、磁石の漏洩磁場を安全に抑制し、自動的に許容範囲内に維持することができる（請求項6）。

10

【0080】

また、本発明によれば、停電検出手段の出力する停電検出情報に基づいて警報を出力する警報手段を備えているので、停電発生時に打ち消し磁場発生手段の電源を施設電源からバックアップ電源に切り替えるとともに、停電の警報を発することにより、この警報に基づいて停電が長時間続く場合には静磁場発生源の磁場発生停止作業などを実施することができる（請求項7）。

【0081】

20

また、本発明によれば、磁石装置用打ち消しコイルが、ほぼ同心の複数個の同じ形状の溝を有し、絶縁材料から成るコイルガイドと、この溝に収容された複数個のほぼ同心のコイル素子を含み、各コイル素子が線状導電体から成るコイル導体を備えており、またコイル導体が1本の可撓性を有する線状導電体から成るので、コイル導体の各コイル素子の線長をそれらが収容される溝の長さとも一致させておくことにより、コイル素子の形状と溝の形状が違って、各コイル素子をコイルガイドの対応する溝に挿入することができる。その結果、磁石の据付現場にコイル導体とコイルガイドを別々に搬入して現地で組立て、据付けをすることができる。更に、1種類のコイル導体にて種々の溝形状を持つコイルガイドとの組合せが可能となるので、打ち消しコイルの製作コストを低減することができる（請求項8）。

30

【0082】

また、本発明によれば、磁石装置用打ち消しコイルガイドが複数個のコイルガイド素子に分割されているので、大きい打ち消しコイルを現地に搬入する場合に、分割された小さいコイルガイド素子にて搬入し、現地にて大きいコイルガイドを組立てることにより、大きい打ち消しコイルの搬入が容易になる（請求項9）。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るMRI装置用磁石装置の第1の実施例の概略構成図。

【図2】第1の実施例の磁石装置本体部分の断面図。

【図3】第1の実施例の磁石本体と打ち消しコイルとの関係を示す斜視図。

【図4】磁石本体の周りの漏洩磁場強度分布例。

40

【図5】円形に巻いたコイル素子を同心で配置した打ち消しコイルの例。

【図6】相似な四角形に巻いたコイル素子を同心で配置した打ち消しコイルの例。

【図7】同心円形状の打ち消しコイルのコイルガイドの第1の構造例。

【図8】同心円形状の打ち消しコイルのコイルガイドの第2の構造例。

【図9】本発明に係るMRI装置用磁石装置の第2の実施例の概略構成図。

【図10】超電導コイルのクエンチ現象発生後の磁石本体の中心磁場と漏洩磁場の時間的变化。

【図11】本発明に係るMRI装置用磁石装置の第3の実施例の概略構成図。

【図12】超電導磁石の消磁を説明するための概念図。

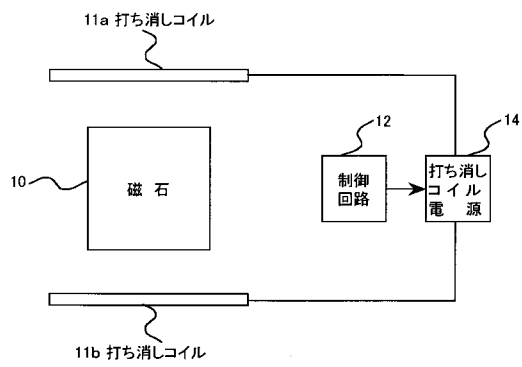
【符号の説明】

50

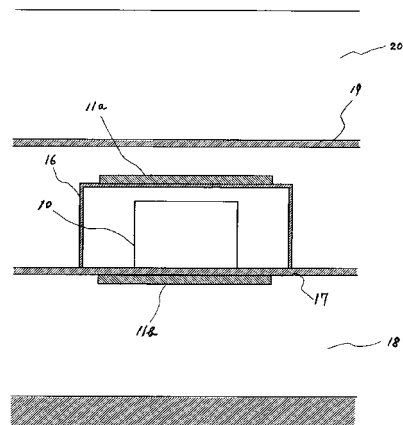
10... 磁石本体	
11、11 a、11 b ... 打ち消しコイル	
12... 制御回路	
14... 打ち消しコイル電源	
15... 検査室	
16... シールドルーム	
17... 床	
18... 下方階	
19... 天井	
20... 上方階	10
22... テーブル	
23... 計測空間	
24、24 a、24 b ... 静磁場発生源	
25... 支柱	
26... 等磁場線	
28... 同心円形状打ち消しコイルのコイル導体	
29... 同心四角形状打ち消しコイルのコイル導体	
30... コイル中心点	
31 a、31 b、31 c、31 d ... 円形コイル素子	
32... 入り側引き出し線	20
33... 出し側引き出し線	
34 a、34 b、34 c、36 a、36 b、36 c ... 接続線	
35 a、35 b、35 c、35 d ... 四角形コイル素子	
39... コイル導体	
40、45... 円形コイルガイド	
41 a、41 b、41 c、41 d、46 a、46 b、46 c ... コイル溝	
42 a、42 b、42 c、42 d ... コイル導体引き出し口	
43 a、43 b、43 c、43 d、48 a、48 b、48 c、48 d、48 e、48 f ... 仕切壁	
44、47... 円板	
49... コイル素子	30
50... 磁場強度モニター	
52... バックアップ電源	
54... 施設電源	
56... 停電検出回路	
58... 制御回路	
60... 警報手段	
62... 超電導コイル	
64... 冷却容器	
65... 冷媒	
66... 真空容器	40
68... 永久電流スイッチ	
70... 超電導線	
71... ヒータ線	
72... ヒータ電源	
73... ヒータスイッチ	
74... ヒータ電源部	
75... 制御回路	
76... 励磁電源	
77... 電源ケーブル	
78... 電流リード	50

79... ヒータリード
80... リード導入口

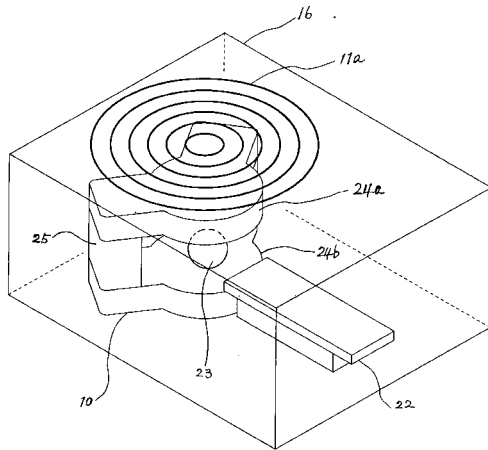
【図 1】



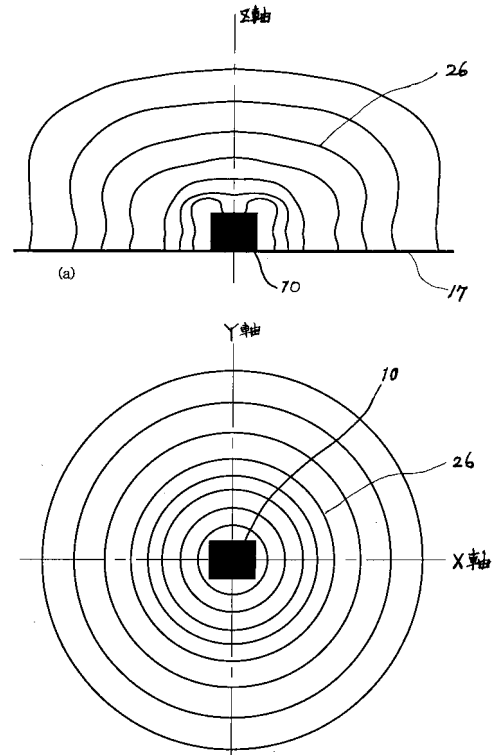
【図 2】



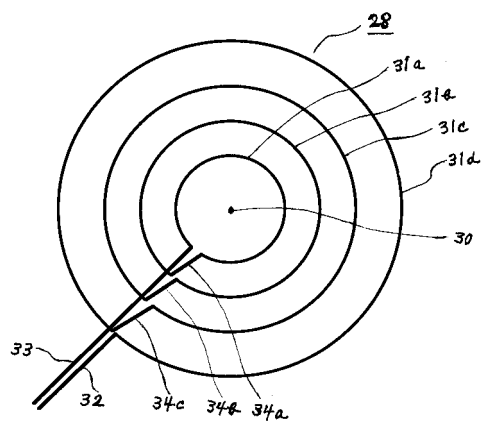
【図 3】



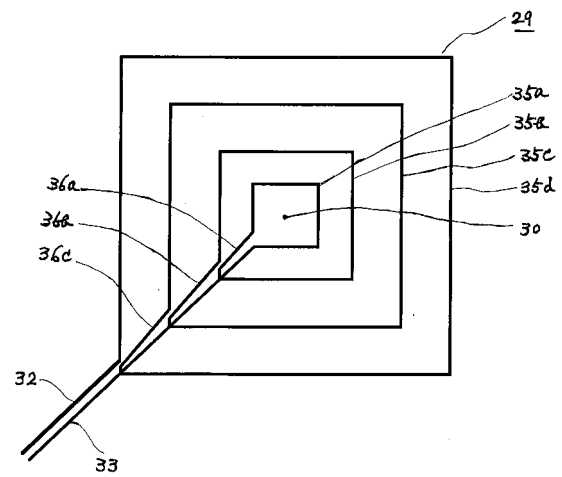
【図 4】



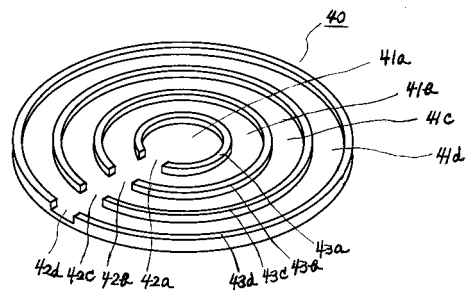
【図 5】



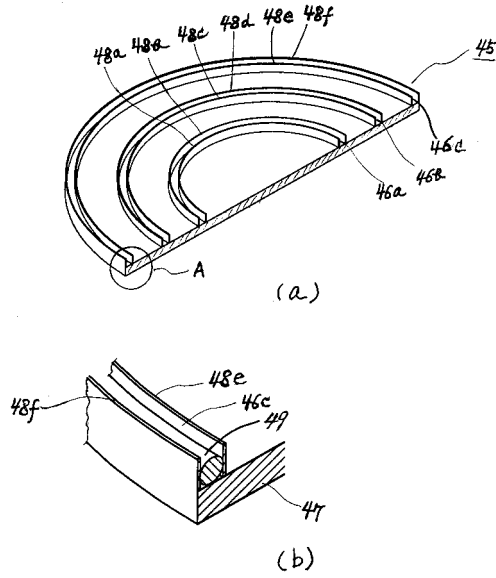
【図 6】



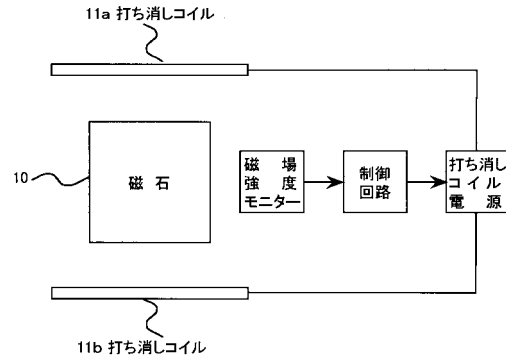
【図 7】



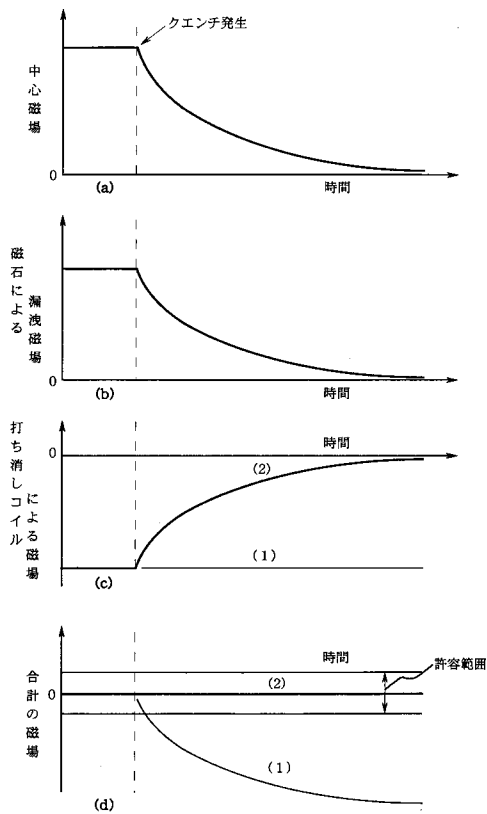
【図 8】



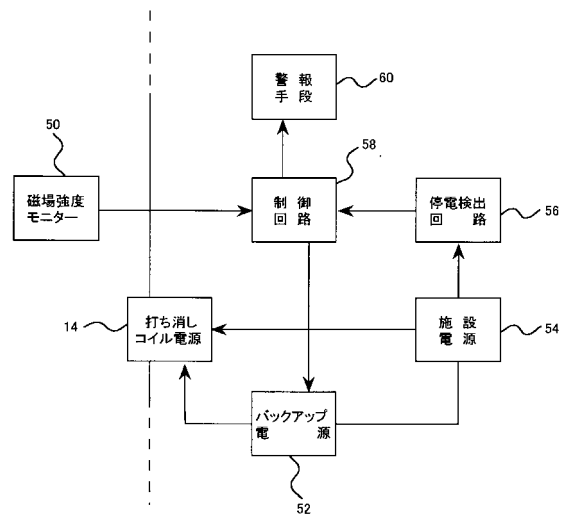
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

H 0 1 F 7/22 Z A A C

(56)参考文献 特開平 0 2 - 1 8 6 0 9 4 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 0 2 5 2 0 (J P , A)
特開平 0 6 - 2 5 4 0 6 5 (J P , A)
特開平 0 7 - 1 0 0 1 2 5 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 2 7 8 8 8 4 (J P , A)
特開平 1 1 - 1 5 5 2 4 3 (J P , A)
特開昭 6 2 - 2 2 1 0 1 5 (J P , A)
特開平 0 9 - 1 3 1 3 4 1 (J P , A)
特開平 0 2 - 1 5 9 5 9 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61B 5/055

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)