

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4671770号
(P4671770)

(45) 発行日 平成23年4月20日(2011.4.20)

(24) 登録日 平成23年1月28日(2011.1.28)

(51) Int.Cl.

F 1

A 6 1 B 5/05 (2006.01)

A 6 1 B 5/05

A

G 0 1 R 33/035 (2006.01)

G 0 1 R 33/035

H 0 5 K 9/00 (2006.01)

H 0 5 K 9/00

H

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号

特願2005-170300 (P2005-170300)

(22) 出願日

平成17年6月10日 (2005.6.10)

(65) 公開番号

特開2006-340937 (P2006-340937A)

(43) 公開日

平成18年12月21日 (2006.12.21)

審査請求日

平成20年1月30日 (2008.1.30)

(73) 特許権者 501387839

株式会社日立ハイテクノロジーズ

東京都港区西新橋一丁目24番14号

(74) 代理人 100100310

弁理士 井上 学

(72) 発明者 鈴木 大介

東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

審査官 小島 寛史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁場計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

両端が開放の筒型に形成された第1の磁気遮蔽装置と、

磁場検出方向が前記第1の磁気遮蔽装置の筒軸方向と略直交するよう配置され、前記第1の磁気遮蔽装置内に配置された単数もしくは複数の磁気センサーと、

両端もしくは、計測対象物に近いほうの1方向が開放の筒型に形成され、筒軸方向が前記磁場検出方向と略平行で、前記第1の磁気遮蔽装置内に配置され、筒内部に前記磁気センサーが配置される第2の磁気遮蔽装置と、

前記第2の磁気遮蔽装置により歪められた前記磁気センサーにより得られた信号を補正する演算手段とを有することを特徴とする磁場計測装置。

10

【請求項 2】

両端が開放の円筒型に形成され、前記円筒の長さが前記円筒直径の2倍よりも短い第1の磁気遮蔽装置と、

磁場検出方向が前記第1の磁気遮蔽装置の筒軸方向と略直交するよう配置され、前記第1の磁気遮蔽装置内に配置された単数もしくは複数の磁気センサーと、

両端もしくは、計測対象物に近いほうの1方向が開放の筒型に形成され、筒軸方向が前記磁場検出方向と略平行で、前記第1の磁気遮蔽装置内に配置され、筒内部に前記磁気センサーが配置される第2の磁気遮蔽装置と、

前記第2の磁気遮蔽装置により歪められた前記磁気センサーにより得られた信号を補正する演算手段とを有することを特徴とする磁場計測装置。

20

【請求項 3】

前記第2の磁気遮蔽装置は断面が円もしくは正多角形の筒型形状であることを特徴とする請求項1または2記載の磁場計測装置。

【請求項 4】

前記演算手段は前記磁気センサーにより得られた信号に、前記磁気センサーの位置により決まる関数を掛け合わせることにより補正を行うことを特徴とする請求項1記載の磁場計測装置。

【請求項 5】

前記演算手段は、前記第2の磁気遮蔽装置内の領域毎に異なる補正演算を施すことを特徴とする請求項1記載の磁場計測装置。

10

【請求項 6】

前記磁気センサーは、前記磁気センサーの開口端の位置が前記第2の磁気遮蔽装置の開口端から前記第2の遮蔽装置の内側に向かって10mm～50mmの位置となるような位置に配置されることを特徴とする請求項1または2記載の磁場計測装置。

【請求項 7】

前記第2の磁気遮蔽装置の中心軸の位置を0、筒壁の位置を1として正規化したとき、前記磁気センサーは、0から0.9の範囲内に配置されることを特徴とする請求項1または2記載の磁場計測装置。

【請求項 8】

前記第1、第2の磁気遮蔽装置は、高透磁率材料からなることを特徴とする請求項1または2記載の磁場計測装置。

20

【請求項 9】

前記高透磁率材料はパーマロイおよびミューメタルであることを特徴とする請求項8記載の磁場計測装置。

【請求項 10】

前記第1の磁気遮蔽装置は円筒型であり、前記円筒の長さが前記円筒直径の2倍よりも短いことを特徴とする請求項1記載の磁場計測装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

30

本発明の属する技術分野は磁気センサーや電磁界センサーを用いて微弱な磁気及び電磁波信号を計測する磁場計測装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

通常、磁気遮蔽は、計測領域よりも十分大きな領域を高透磁率材料で完全に覆うことで実現する。しかし、この場合、人体から発生する磁場を計測する装置では、人体よりも大きな空間を高透磁率で覆う必要があるため、2m×2m×2m(奥行き、横、高さ)と大きな空間が必要があった(たとえば、非特許文献1)。非特許文献1に示されるような磁気遮蔽装置では高い磁気遮蔽効果が得られるが、広い設置空間が必要であり、たとえば、病院内に設置する場合は大型病院などに限られてしまう問題点があった。また、完全に閉空間を構成するので、被験者にとっては心因的不安感を増大させるなどの弊害もあった。そこで別の方法としては、径の異なる複数の高透磁率材料で構成された円筒を順次同心状に配置し、各円筒の間に空隙を形成した磁気遮蔽装置が報告されている(特許文献1)。両端開放の高透磁率材料からなる円筒を同軸状に組合せることにより、占有空間が大きい問題点を解決できる。なお、特許文献1には、従来の技術として、Ni-Fe系の高透磁率の合金材料であるパーマロイの板を多数枚用いてプレハブ部屋のようなシールドルームを作成する記載がある。この従来技術には、磁気シールドの製作に長時間を要し、部品点数が多く、磁気シールドが非常に高価になるという問題があり、生体磁気計測機器の価格で磁気シールドの占める割合は大きく、磁気シールドの低価格化が望まれているとの記載がある。また、非特許文献1の磁気遮蔽装置内でより高い磁気遮蔽効果を得るために、磁気

40

50

遮蔽装置内部の一部空間を高透磁率磁性体で覆い、その一部空間の磁気遮蔽効果を高める技術が報告されている（特許文献2）。さらには非特許文献1、特許文献1、2では遮蔽技術として高透磁率材料を用いていたが、それとは逆に磁気をまったく透過させない超伝導体の円筒を用いた磁気遮蔽装置（特許文献3）も報告されている。特許文献3では両端開放の超伝導体円筒を用い、その両開放端に板状超伝導体でふさぐ構造となっている。磁場遮蔽材料として超伝導体を用いた場合、超伝導状態にする必要があるため、冷却機構が必要であり、装置の複雑化、増大化が避けられず、また、開口部をふさぐ構造となっているため、内部への出入りが煩雑になる。狭い閉空間になってしまふなどの問題点がある。

【0003】

【特許文献1】特開平9-214166号公報

10

【0004】

【特許文献2】特開平11-128193号公報

【特許文献3】特開平6-97696号公報

【非特許文献1】IEEE Tran. MAG. Vol. MAG-18, No.1, pp260-270, Jan. 1982

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

(1) 特許文献1では、円筒両端部が開口構成なため、円筒軸方向の磁気成分の遮蔽効果は円筒軸垂直方向の磁気遮蔽効果よりも低いという問題があり、特に、円筒の長さが円筒開口部直径の2倍よりも短くなると、円筒軸垂直成分の磁気が円筒開口部より進入する量が大きくなり、磁気遮蔽効果が低くなる問題があった。

20

(2) また、特許文献2では計測部近傍に高透磁率材料を配置することにより、外部の磁気信号を遮蔽するが、本来の目的である計測信号そのものを歪めてしまう問題点があった。特に、高透磁率材料付近のセンサーからの信号は高透磁率磁性体へ曲げられるため、多数のセンサーを用いた磁場分布測定を行う場合や、分布から信号源推定を行う場合、2次元分布パターンの変化や、位置推定の誤差を生じる問題があった。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明では、磁気測定を行う両端が開放の筒型に形成された第1の磁気遮蔽装置において、両端もしくは、計測対象物に近いほうの1方向が開放の筒型に形成され、筒軸方向が前記磁場検出方向と略平行で、前記第1の磁気遮蔽装置内に配置され、筒内部に磁気センサーが配置される第2の磁気遮蔽装置を配置することにより、第1の磁気遮蔽装置が遮蔽できなかつた磁場成分を磁気センサー周辺で遮蔽する。

30

(1) 特に第1の磁気遮蔽装置が両端開放している円筒形の場合、センサーは主磁気遮蔽装置の円筒軸に対して略垂直方向磁場を計測する方向に配置される。そのとき、主磁気遮蔽円筒の長さが円筒径の2倍以下のような形状の場合、円筒開口端から侵入する円筒軸に垂直な成分は十分に遮蔽することができない。そこで、第1の磁気遮蔽筒の筒軸に対して第2の磁気遮蔽筒の筒軸が垂直方向となる配置で、センサーを覆うことにより侵入する磁場を磁気遮蔽する。第2の磁気遮蔽筒は径の異なる複数の筒を同軸上に組み合わせて使用することも可能である。

40

(2) また、計測対象から発生する磁気成分は第2の磁気遮蔽筒が近接しているため、第2の磁気遮蔽筒軸に近づくにつれて、第2の磁気遮蔽筒を構成している高透磁率磁性体方向へ曲げられる。特に、計測センサーが配置される計測面が第2の磁気遮蔽筒の開口部端部より筒内側に配置される場合、第2の磁気遮蔽筒壁に近い周辺部センサーの計測磁場は、第2の磁気遮蔽筒がない場合に比べて大きくゆがめられる。そのため、計測された磁場からの等高線図を生成や、その分布図から信号源位置を推定した場合、第2の磁気筒遮蔽がない場合のパターン分布と異なるパターンが得られ、実際の電流源位置とずれた場所に推定されてしまう問題が生じる。そこで、前記第2の磁気遮蔽筒により歪められた前記磁気センサーにより得られた信号を補正する演算手段を設けて、例えば、その歪められた磁場分布を各センサーの第2の磁気遮蔽筒中心からの距離を第2の磁気遮蔽筒半径で正規化

50

した値と計測対象側の第2の磁気遮蔽筒開口端面とセンサー配置面との距離、第2の磁場筒の磁性体の厚みや形状、透磁率などで決められる係数などを用い、実際に検出した垂直成分である信号量から第2の磁気遮蔽筒が無い場合の垂直成分磁場信号量を数値補正する。数値補正に使用する係数はシミュレーションにより算出、または、実際の装置構成から実験値により決定する。

【発明の効果】

【0007】

本発明により従来より小型で遮蔽効率の高い磁気遮蔽装置を構成することが可能となる。特に(1)第1の磁気遮蔽装置の円筒の長さが開口部直径の2倍以下でも、従来より高い遮蔽効率が得られ、円筒の長さを短くすることができるため、より小型の磁気遮蔽装置を実現することが可能となる。(2)また、磁場センサー周辺の磁気遮蔽装置による信号の歪みの影響を低減できる。

10

【実施例1】

【0008】

図1に第1の磁気遮蔽装置1が円筒形状であり、生体磁気、主に、心臓から発せする磁場を計測する場合の実施例の斜視図を示す。第1の磁気遮蔽装置1は単数または複数の径の異なる両端開放の円筒から構成される。実施例1では第1の円筒1—1と第2の円筒1—2から構成される。第1の磁気遮蔽装置1を構成する各円筒の配置は各円筒の中心軸が同軸で重なるように配置する。図1では第1の磁気遮蔽装置1を構成する円筒数は2つの場合の例を図示しているが、構成としては各円筒の厚み、長さ、円筒径によって磁気遮蔽率が決まるので、必要とする遮蔽率により円筒数は異なる。一般的な構成としては、第1の磁気遮蔽装置1を構成する円筒数は1から3の場合が適当である。第1の磁気遮蔽装置1を構成する円筒は高透磁率材料であるニッケルと鉄を主成分とするパーマロイ、ミュー・メタルより構成され、比透磁率は40000から20000程度となる。第1の磁気遮蔽装置1を構成する各円筒の厚みは0.5mmから3mmで、円筒径は0.5mから2m、円筒の長さは1mから2m程度となる。図2に実施例1の構成の断面図を示す。第2の磁気遮蔽装置3は第1の磁気遮蔽装置1の中央に配置され、第2の磁気遮蔽装置3の軸方向は第1の磁気遮蔽装置1の軸方向に対して略垂直に配置されている。略垂直方向に配置する理由は、垂直に配置した場合が第2の磁気遮蔽装置3による磁気遮蔽効果が最も高くなるからである。第2の磁気遮蔽装置3の筒両端は開放構成となっている。計測対象の磁場を計測するセンサー5は第2の磁気遮蔽装置3の筒内部に配置されセンサー5の磁場計測方向は第2の遮蔽装置3の軸と略平行に配置する。略平行に配置する理由は、センサー5の計測方向と第2の遮蔽装置3の軸とが平行の場合が最も磁気遮蔽効果が高く、また、計測される磁気信号の補正が容易に行うことができるからである。センサー5は複数配置されており、センサー配置面は第2の遮蔽装置3の計測対象側の開放短部面より10mmから50mm内部に配置される。この距離は、センサーがデュワー4内に配置されており、また、より内部に配置されることにより遮蔽効果が高くなるが、あまり内部に配置されるとセンサーと信号源との距離が離れるため、計測信号が弱くなってしまうことを考慮して決定している。

20

【0009】

本実施例では高感度な磁場センサーとしてSQUID(超伝導量子干渉素子)を用いる。ただし、本技術は他の磁気センサー、たとえばフラックスゲートなどにも応用可能な技術である。SQUIDは超伝導状態にして動作させるため、低温に冷却する必要がある。そのためSQUIDはデュワー4内に配置され、液体窒素、液体ヘリウムなどの冷媒により冷却されている。

30

【0010】

図3に実際に作成した円筒型磁気遮蔽装置内に第2の遮蔽装置3を設置した場合と設置しなかった場合の環境磁気雑音の測定結果を示す。図中、縦軸は環境磁場値、横軸は周波数成分を示している。作成した円筒型磁気遮蔽装置は長楕円形の2重の磁気遮蔽装置で、長さが1.6m、開口部は長軸方向が1.4m、短軸方向が1.0m、各円筒壁間隔は0

40

50

. 1 mで、各遮蔽円筒の磁性体の厚みは2 mm、磁性体の比透磁率は約60000と見積もられている。この円筒型磁気遮蔽装置の磁気遮蔽率は約32 dBである。この円筒型磁気遮蔽装置の中央に、直径0.4 m、長さ0.6 m、比透磁率約40000、磁性体厚み2 mmの第2の遮蔽装置を設置した。図3では、シンボルで示されたのが第2の磁気遮蔽装置がない場合の環境磁気雑音スペクトル22、シンボルで示されたのが第2の磁気遮蔽装置を設置した場合の環境磁気雑音スペクトル23である。環境磁気雑音スペクトル22と環境磁気雑音スペクトル23を比較すると、10 Hz以下の周波数帯域で、環境磁気雑音スペクトル23の方が2から5倍程度低い磁場値を示しており、第2の遮蔽装置3を設置したほうが環境磁気雑音の磁気遮蔽効果が高いことを示している。

【0011】

10

図4に第2の磁気遮蔽装置3を有したことにより、同じ磁気遮蔽効果を保ちながら第1の磁気遮蔽装置1の長さを短くできることを示す。図4において、縦軸が第1の磁気遮蔽装置1の中心軸上の磁場の絶対値を示し、位置xは第2の磁気遮蔽装置3の中心軸を0としたときの第1の磁気遮蔽装置1の中心軸上の位置を示す。図4は数値シミュレーションにより得られた結果である。シミュレーション条件は、磁性体の比透磁率を40000、磁性体の厚みを5 mm、第1の磁気遮蔽装置1の長さを2 mと1.6 m、第1の磁気遮蔽装置1の直径を1 m、第2の磁気遮蔽装置3の長さを0.5 m、第2の磁気遮蔽装置3の直径を0.25 mとし、第1の磁気遮蔽装置1外部の磁場を300 nT加えたときの結果である。外部磁場印加方向は第1の磁気遮蔽装置の中心軸と平行である。図中、シンボルで示すのが第1の磁場遮蔽装置1の長さが2 m、第2の磁場遮蔽装置3がない場合の磁場値線24、*シンボルで示すのが第1の磁場遮蔽装置1の長さが1.6 m、第2の磁場遮蔽装置3がない場合の磁場値線25、シンボルで示すのが第1の磁場遮蔽装置1の長さが1.6 m、第2の磁場遮蔽装置3がある場合の磁場値線26である。シンボルはシンボルとほぼ同等で、さらに磁場の平坦度が優れている。図4の結果は、第2の磁場遮蔽装置3を設置することにより第1の磁場遮蔽装置の長さを2 mから1.6 mに短くしてもほぼ同等な磁場遮蔽効果が得られ、さらに第2の磁場遮蔽装置3内部での磁場平坦度が高い磁場遮蔽効果が得られる事を示している。

20

【0012】

信号の計測は図5に示すように、センサー駆動回路34によりセンサー5を駆動し、センサー5からの信号を演算装置35に収録し、表示する。センサー駆動回路34は演算装置により制御される。

30

【0013】

計測される磁場は第2の磁場遮蔽装置3を配置したことにより、第1の磁場遮蔽装置1の外側にある磁気雑音をより遮蔽することが可能となるが、計測対象の磁場、特に第2の遮蔽装置3に近い磁場は、第2の磁場遮蔽装置3が高透磁率材料で構成されているためにゆがめられる。そのゆがんだ磁場を模式的に表示したものを図6に示す。図6中(A)が第2の磁場遮蔽装置3がない従来構成を示しており、(B)が第2の磁場遮蔽装置3がある場合の構成となっている。紙面表から裏へ流れる信号源電流10_1と紙面裏から表へ流れる信号源電流10_2が流れることにより発生する磁場において、第2の磁場遮蔽装置がない場合は磁力線11、第2の磁場遮蔽装置がある場合は磁力線12として示しており、第2の磁場遮蔽装置がない場合のセンサー位置での磁場成分13と、第2の磁場遮蔽装置がある場合のセンサー位置での磁場成分14と、第2の磁場遮蔽装置がない場合のセンサーにより計測される垂直磁気成分15と第2の磁場遮蔽装置がある場合のセンサーにより計測される垂直磁気成分16を矢印で示している。第2の磁場遮蔽装置3がある場合、磁力線12は高透磁率材料から構成される第2の磁場遮蔽装置3へ引き寄せられるため、第2の磁場遮蔽装置3がない場合に比べ水平方向に曲がっている。そのため垂直方向の磁場成分16は小さくなる。磁場成分の大きさの違いを表示するため、第2の磁場遮蔽装置3がない場合の垂直磁気成分15の大きさを示す補助線27と第2の磁場遮蔽装置3がある場合の垂直磁気成分16の大きさを示す補助線28を示す。

40

【0014】

50

第2の磁場遮蔽装置3による垂直磁気成分の大きさの違いが信号源推定や、分布表示の誤差となるため、数値的に補正を行う。補正処理は演算装置35で行う。その数値補正方法は第2の磁場遮蔽装置3の半径drを正規化し、半径drを1とする。第2の磁場遮蔽装置3の中心軸18からセンサー5までの距離をdsとする。センサー5で計測した磁場の値をBz'とする。

【0015】

このときの補正磁場Bzを補正式(数1)とし計算する。図7にセンサー5の位置、第2の磁場遮蔽装置3の半径dr、第2の磁場遮蔽装置3の中心軸18からセンサー5までの距離をdsを示す。

10

$$Bz = Bz' \times (+ e^{-(1 - ds) \times \dots}) \quad \dots \quad (\text{数1})$$

(数1)においてeは自然対数の底とする。、は第2の磁場遮蔽装置3の大きさ、磁性体の比透磁率、磁性体の厚さ、第2の磁気遮蔽装置3の計測対象側の開口端から、センサー計測面までの距離dhなどによって決まる値で、その決定には数値シミュレーションや実際に作製した第2の磁場遮蔽装置3の外部磁場に対する内部磁場分布を計測することにより決定する。シミュレーション及び実測方法は第2の磁気遮蔽装置の中心軸中央に、直径10から50mm程度の磁場発生コイル32を第2の磁気遮蔽装置3の計測面端部から10から100mm程度離した距離に配置して、第2の磁気遮蔽装置3内部の磁場分布を計算もしくは計測する。前記計算もしくは計測した結果と、第2の磁気遮蔽装置3がない場合の磁場分布の計算もしくは計測した値を用い(数1)における、を決定する。

20

【0016】

図8に第2の磁場遮蔽装置3がある場合とない場合の磁気シミュレーション値とその第2の磁場遮蔽装置3がある場合の磁場値から(数1)を用いて補正した値を示す。図8では縦軸が磁場値、横軸が正規化した第2の磁場遮蔽装置の中心軸から第2の磁場遮蔽装置の筒壁までの距離を示し、0から1までの値をとる。縦軸の磁場値は極性があるが、図8では磁場値の大きさを比較しやすくするために絶対値を表示している。図8中、シンボルで示す線が第2の磁場遮蔽装置3がない場合の磁場シミュレーション値29、*シンボルで示す線が第2の磁場遮蔽装置3がある場合のシミュレーション磁場値30、シンボルで示す線が(数1)により補正したシミュレーション磁場値31である。図9に図8の数値シミュレーションを行った、第2の磁場遮蔽装置3、センサー5、磁場発生コイル32の配置を示した断面図を示す。シミュレーションの条件は第2の磁場遮蔽装置3の比透磁率を40000、第2の磁場遮蔽装置3の円筒半径を200mm、第2の磁場遮蔽装置3の円筒の厚みを1mm、第2の磁場遮蔽装置3の円筒の長さを400mm、第2の磁気遮蔽装置3の計測面側端部を示す補助線8からセンサー5の計測面を示す補助線9までの距離を15mm、磁場発生コイル32の直径を10mm、磁場発生コイル32の巻き数を1回、磁場発生コイル32のコイル面33と第2の磁気遮蔽装置3の計測面側端部を示す補助線8との距離を55mm、磁場発生コイル32のコイル軸は第2の磁場遮蔽装置3の円筒軸と同じく配置し、磁場発生コイル32に流す電流値を1nAとした。上記条件での(数1)の係数、はそれぞれ、=1.05、=11。その結果、図8に示すように第2の磁場遮蔽装置3がある場合、第2の遮蔽装置の中心軸を示す補助線18から第2の磁気遮蔽装置の筒壁を示す補助線20までの距離drを1として正規化した時の第2の遮蔽装置の中心軸を示す補助線18からセンサー5の計測点を示す補助線20までの距離dsが0.3以下までは第2の磁場遮蔽装置3がない場合の磁場シミュレーション値29と第2の磁場遮蔽装置3がある場合のシミュレーション磁場値30との差が少ないが、dsが0.3を超えると差が生じ始め、第2の磁気遮蔽装置の筒壁を示す補助線20(つまり、dsが1)に近づくにつれて差が大きくなる。一方、(数1)により補正したシミュレーション磁場値3はdsが0.9以下の範囲で第2の磁場遮蔽装置3がない場合の磁場シミュレーション値29と一致している。従って、(数1)による補正式を使用する場合、

30

40

50

センサー 5 は d_s が 0 から 0 . 9 の範囲内に配置される。

【実施例 2】

【0017】

図 10 に第 2 の磁気遮蔽装置 2_1 が四角柱状であり、生体磁気、主に、心臓から発生する磁場を計測する場合の実施例の斜視図を示す。第 1 の磁気遮蔽装置 1 は単数または複数の径の異なる両端開放の円筒から構成される。実施例 2 では第 1 の円筒 1_1 と第 2 の円筒 1_2 から構成される。第 1 の磁気遮蔽装置 1 を構成する各円筒の配置は各円筒の中心軸が同軸で重なるように配置する。図 10 では第 1 の磁気遮蔽装置 1 を構成する円筒数は 2 つの場合の例を図示しているが、構成としては各円筒の厚み、長さ、円筒径によって磁気遮蔽率が決まるので、必要とする遮蔽率により円筒数は異なる。一般的な構成としては、第 1 の磁気遮蔽装置 1 を構成する円筒数は 1 から 3 の場合が適当である。第 1 の磁気遮蔽装置 1 を構成する円筒は高透磁率材料であるニッケルと鉄を主成分とするパーマロイ、ミューメタルより構成され、比透磁率は 40000 から 200000 程度となる。第 1 の磁気遮蔽装置 1 を構成する各円筒の厚みは 0 . 5 mm から 3 mm で、円筒径は 0 . 5 m から 2 m、円筒の長さは 1 m から 2 m 程度となる。10

【0018】

第 2 の磁気遮蔽装置 2_1 の筒形状は、4 面からなり、筒軸に垂直となる断面は 4 角形となる形状場合の構成図を示す。図 10 では第 2 の磁場遮蔽装置の断面が 4 角形の場合を示しているが、第 2 の磁場遮蔽装置 2_1 の断面形状は 4 角形だけに限らず、多角形で形成される筒により実現可能である。磁気遮蔽効果は実施例 1 と同様であり、第 2 の磁気遮蔽装置 2_1 内部の磁場分布のゆがみ補正方法も実施例 1 と同様に行なうことが可能である。第 2 の磁気遮蔽装置 2_1 の形状は、磁気センサー 5 を遮蔽するような形状であれば磁気遮蔽効果が得られるが、ゆがみ補正の演算のしやすさを考慮すると、磁気センサー 5 と平行な筒状であり、筒の断面が円または正多角形であることが望ましい。20

【実施例 3】

【0019】

図 11 に補正領域を複数に分けて、それぞれの領域において補正式を距離の多項式に近似して補正を行う場合方法を示す。図では 3 つに分けている。演算装置 3_5 で行なう数値補正において、第 2 の磁場遮蔽装置 3 の半径 d_r を正規化し、半径 d_r を 1 とする。 d_r は 3 つの領域に分けられ、第 2 の磁場遮蔽装置 3 の中心軸から筒壁の順に d_{r_1} 、 d_{r_2} 、 d_{r_3} とする。各領域内の補正磁場は第 2 の磁場遮蔽装置 3 の中心軸から筒壁の順に B_{z_1} 、 B_{z_2} 、 B_{z_3} とする。第 2 の磁場遮蔽装置 3 の中心軸 1_8 からセンサー 5 までの距離を d_s とする。センサー 5 で計測した磁場の値を B_z' とする。30

【0020】

このときの補正磁場 B_z を領域 d_{r_1} では補正式(数 2)、領域 d_{r_2} では補正式(数 3)、領域 d_{r_3} では補正式(数 4)とし計算する。図 7 にセンサー 5 の位置、第 2 の磁場遮蔽装置 3 の半径 d_r 、第 2 の磁場遮蔽装置 3 の中心軸 1_8 からセンサー 5 までの距離を d_s を示す。

$$B_{z_1} = B_{z'} \times (-_{1_1} \times d_s^2 + -_{1_1} \times d_s + -_{1_1})$$

... (数 2)

$$B_{z_2} = B_{z'} \times (-_{2_2} \times d_s^2 + -_{2_2} \times d_s + -_{2_2})$$

... (数 3)

$$B_{z_3} = B_{z'} \times (-_{3_3} \times d_s^2 + -_{3_3} \times d_s + -_{3_3})$$

... (数 4)

(数 2) (数 3) (数 4)において、それぞれ $_{1_1}$ 、 $_{1_1}$ 、 $_{1_1}$ 、 $_{2_2}$ 、 $_{2_2}$ 、 $_{2_2}$ 、 $_{3_3}$ 、 $_{3_3}$ 、 $_{3_3}$ は第 2 の磁場遮蔽装置 3 の大きさ、磁性体の比透磁率、磁性体の厚さ、第 2 の磁場遮蔽装置 3 の計測対象側の開口端から、センサー計測面までの距離 d_h などに50

よって決まる値で、その決定には数値シミュレーションや実際に作製した第2の磁場遮蔽装置3の外部磁場に対する内部磁場分布を計測することにより決定する。シミュレーション及び実測方法は第2の磁気遮蔽装置の中心軸中央に、直径10から50mm程度の磁場発生コイル32を第2の磁気遮蔽装置3の計測面端部から10から100mm程度離した距離に配置して、第2の磁気遮蔽装置3内部の磁場分布を計算もしくは計測する。前記計算もしくは計測した結果と、第2の磁気遮蔽装置3がない場合の磁場分布の計算もしくは計測した値を用い(数2)(数3)(数4)における $\text{ }_1\text{、 }_1\text{、 }_1\text{、 }_2\text{、 }_2$
 $\text{ }_2\text{、 }_3\text{、 }_3\text{、 }_3$ を決定する。実施例3では $d\ r$ の領域を3つに分けているが、いくつに分けても同様に補正することが可能である。一般的には2から4が適当である。さらに補正式はセンサー5で計測した磁場の値を B_z' に $d\ s$ の2次関数を掛け合せて補正しているが、多次関数でも可能である。一般的には2から3次関数が適当である。補正領域を複数に領域分けすることの利点としては補正近似の精度が向上する。
10

【実施例4】

【0021】

演算装置35で行う数値補正において、(数1)及び(数2)(数3)(数4)における係数 $\text{ }_1\text{、 }_1\text{、 }_1\text{、 }_2\text{、 }_2\text{、 }_2\text{、 }_3\text{、 }_3\text{、 }_3$ を決定するための数値シミュレーションや実際に作製した第2の磁場遮蔽装置3の外部磁場に対する内部磁場分布を計測する方法として、第2の磁気遮蔽装置外部に、第2の磁気遮蔽装置3の直径及び長さより大きな直径を持つヘルムホルツコイルを用い、第2の磁気遮蔽装置3に軸に平行な一様磁場を加え、第2の磁気遮蔽装置内の磁場分布を計算もしくは計測を行う。
20

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施例1の磁場計測装置の構成を示す斜視図。

【図2】本発明の実施例1の磁場計測装置の構成を示す断面図。

【図3】実際に作成した円筒型磁気遮蔽装置の環境磁気雑音の測定結果。

【図4】磁場遮蔽装置内部の磁場値を数値シミュレーションした結果。

【図5】センサー駆動回路34及び演算装置35を含めた磁場計測装置の構成を示す斜視図。

【図6】第2の磁場遮蔽装置が計測磁場をゆがめること示した模式図。
30

【図7】第2の磁場遮蔽装置及びセンサーの配置を示した図。

【図8】第2の磁場遮蔽装置の磁場シミュレーション結果。

【図9】数値シミュレーションを行った配置を示した図。

【図10】本発明の実施例2の磁場計測装置の構成を示す斜視図。

【図11】本発明の実施例3の補正領域を複数に分けたときの磁場遮蔽装置及びセンサーの配置を示した図。

【符号の説明】

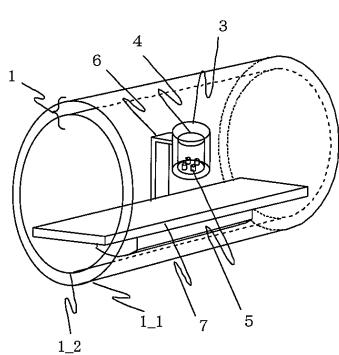
【0023】

1 . . . 第1の磁気遮蔽装置、1_1 . . . 第1の円筒、1_2 . . . 第2の円筒、3 . . . 第2の磁気遮蔽装置、4 . . . デュワー、5 . . . センサー、6 . . . ガントリー、
40
 7 . . . ベッド、8 . . . 第2の磁気遮蔽装置3の計測面側端部を示す補助線、9 . . . センサー5の計測面を示す補助線、10_1 . . . 紙面表から裏へ流れる信号源電流10_1、10_2 . . . 紙面裏から表へ流れる信号源電流、11 . . . 第2の磁気遮蔽装置がない場合の磁力線図、12 . . . 第2の磁気遮蔽装置がある場合の磁力線図、13 . . . 第2の磁気遮蔽装置がない場合のセンサー計測点での計測磁場ベクトル、14 . . . 第2の磁気遮蔽装置がある場合のセンサー計測点での磁場ベクトル、15 . . . 第2の磁気遮蔽装置がない場合のセンサー計測点での計測磁場ベクトル、16 . . . 第2の磁気遮蔽装置がある場合のセンサー計測点での計測磁場ベクトル、17 . . . センサー計測点、18 . . . 第2の遮蔽装置の中心軸を示す補助線、19 . . . センサー5の計測点を示す補助線、20 . . . 第2の磁気遮蔽装置の筒壁を示す補助線、21 . . . 実施例2における
50

第2の磁気遮蔽装置、22・・・第2の磁気遮蔽装置がない場合の環境磁気雑音スペクトル、23・・・第2の磁気遮蔽装置を設置した場合の環境磁気雑音スペクトル、24・・・第1の磁場遮蔽装置1の長さが2m、第2の磁気遮蔽装置3がない場合の磁場値線、25・・・第1の磁気遮蔽装置1の長さが1.6m、第2の磁気遮蔽装置3がない場合の磁場値線、26・・・第1の磁気遮蔽装置1の長さが1.6m、第2の磁気遮蔽装置3がある場合の磁場値線、27・・・第2の磁場遮蔽装置3がない場合の垂直磁気成分15の大きさを示す補助線、28・・・第2の磁場遮蔽装置3がある場合の垂直磁気成分16の大きさを示す補助線、29・・・第2の磁場遮蔽装置3がない場合の磁場シミュレーション値、30・・・第2の磁場遮蔽装置3がある場合のシミュレーション磁場値、31・・・(数1)により補正したシミュレーション磁場値、32・・・磁場発生コイル、33・・・・磁場発生コイル32のコイル面、34・・・センサー駆動回路、35・・・演算装置。 10

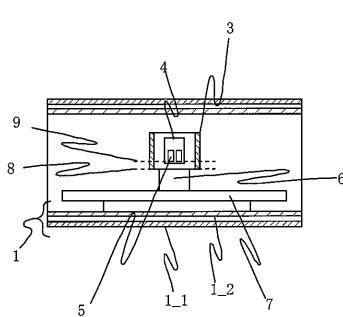
【図1】

図1



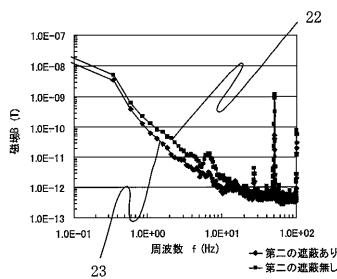
【図2】

図2



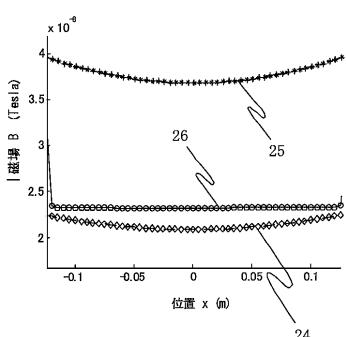
【図3】

図3



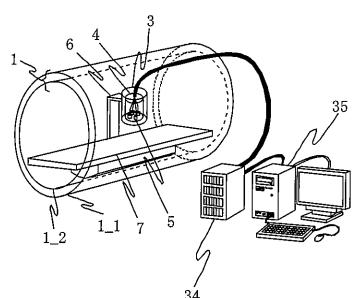
【図4】

図4



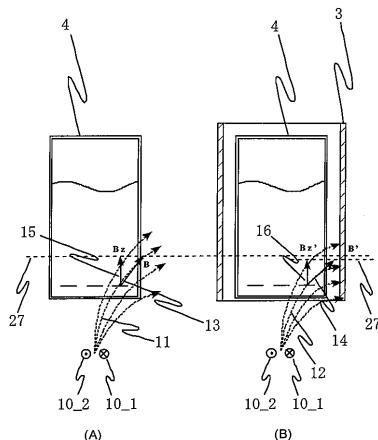
【図5】

図5



【図6】

図6

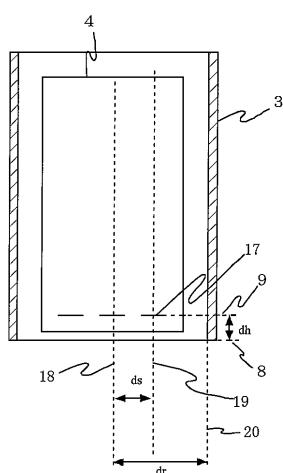


(A)

(B)

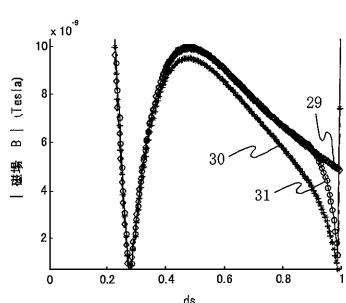
【図7】

図7



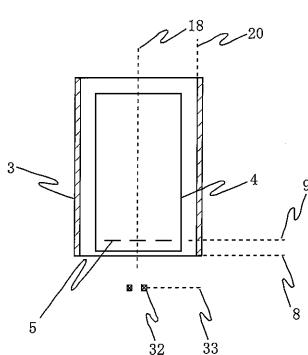
【図8】

図8



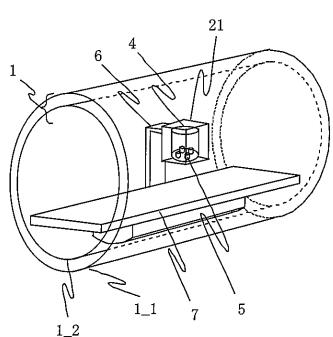
【図9】

図9



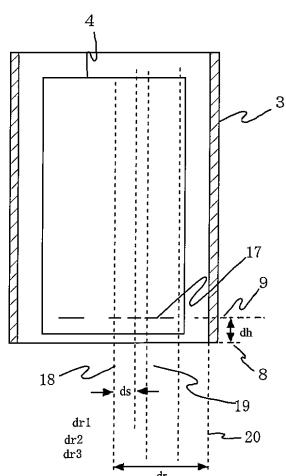
【図10】

図10



【図11】

図11



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-337478(JP,A)
特開2005-131149(JP,A)
特開2003-339659(JP,A)
特開2002-136492(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 B	5 / 0 5
G 0 1 R	3 3 / 0 3 5
H 0 5 K	9 / 0 0