

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3770026号
(P3770026)

(45) 発行日 平成18年4月26日(2006.4.26)

(24) 登録日 平成18年2月17日(2006.2.17)

(51) Int. Cl.

F I

GO 1 R 33/035 (2006.01)

GO 1 R 33/035 Z A A

HO 1 L 39/04 (2006.01)

HO 1 L 39/04

請求項の数 8 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-6056 (P2000-6056)
 (22) 出願日 平成12年1月11日(2000.1.11)
 (65) 公開番号 特開2001-194437 (P2001-194437A)
 (43) 公開日 平成13年7月19日(2001.7.19)
 審査請求日 平成16年2月4日(2004.2.4)

(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 100075096
 弁理士 作田 康夫
 (72) 発明者 佐保 典英
 茨城県土浦市神立町502番地
 株式会社 日立製作所 機械
 研究所内
 (72) 発明者 田中 弘之
 茨城県土浦市神立町502番地
 株式会社 日立製作所 機械
 研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冷媒を充填された内容器と、その内容器を囲むように設置され且つ前記内容器との間に断熱用の空隙を形成する外容器と、被検体が発する微弱磁気を検出するために前記内容器の内部に設けられピックアップコイルと、環境の磁気雑音を測定するために前記内容器の内部に設けられたリファレンスコイルとを備え、前記ピックアップコイルが拾う環境の磁気雑音を、前記リファレンスコイルの出力に基づいて取り除くように構成した磁気計測装置において、

少なくとも計測時に、前記冷媒の液面下に前記ピックアップコイルが位置する構成とし、このピックアップコイルの上方に前記リファレンスコイルを設置し、
 かつ前記リファレンスコイルを囲むように配置された断熱手段と、
 前記リファレンスコイルと直接もしくは間接的に熱的に一体化され、計測時に少なくとも一部が前記冷媒の液面に接するように配置された熱伝導手段と
 を備えていることを特徴とする磁気計測装置。

【請求項2】

冷媒を充填された内容器と、
 断熱用の空隙を形成して前記内容器を囲むように設置された外容器と、
 前記内容器内に設けられ被検体が発する磁気を検出するものであって、少なくとも計測時に、前記冷媒の液面下に位置する構成としたピックアップコイルと、
 環境の磁気雑音を測定するためのものであって、前記ピックアップコイルの上方の前記内

10

20

容器内に設けられたリファレンスコイルと、
前記リファレンスコイルを囲むように配置された断熱材と、
前記リファレンスコイルと熱的に一体化され、計測時に少なくとも一部が前記冷媒の液面に接するように配置された熱伝導体と
を備え、前記ピックアップコイルが拾う環境の磁気雑音を、前記リファレンスコイルの出力に基づいて取り除くように構成したことを特徴とする磁気計測装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、前記リファレンスコイルは複数設けられ、前記断熱材はこれらリファレンスコイル群の周りを覆うように配置されていることを特徴とする磁気計測装置。

【請求項 4】

液冷媒を収容する内容器と、
空隙を介して前記内容器を囲むように設置された外容器と、
前記内容器内に設けられ、少なくとも計測時には前記液冷媒中に位置させて被検体が発する磁気を検出するピックアップコイルと、
該ピックアップコイル上方の前記内容器内に設けられ、磁気雑音を検出するためのリファレンスコイルと、
該リファレンスコイルと直接または間接的に熱的に一体化され、計測時に少なくとも一部が前記液冷媒に接するように配置された熱伝導体と
を備えたことを特徴とする磁気計測装置。

【請求項 5】

液冷媒を収容する内容器と、
空隙を介して前記内容器を囲むように設置された外容器と、
前記内容器内に設けられ、少なくとも計測時には前記液冷媒中に位置させて被検体が発する磁気を計測するピックアップコイルと、
該ピックアップコイル上方の前記内容器内に設けられ、磁気雑音を計測するためのリファレンスコイルと、
該リファレンスコイルの周囲に設けられ、前記計測時に少なくとも一部が前記液冷媒に接するように構成された熱伝導体と
を備えたことを特徴とする磁気計測装置。

【請求項 6】

請求項 2 ～ 5 の何れかにおいて、前記熱伝導体は、短冊状の銅板または小径のエナメル被覆銅線で構成されていることを特徴とする磁気計測装置。

【請求項 7】

液冷媒を収容する内容器と、
空隙を介して前記内容器を囲むように設置された外容器と、
前記内容器内に設けられ、少なくとも計測時には前記液冷媒中に位置させて被検体が発する磁気を計測する超電導材料で構成されたピックアップコイルと、
該ピックアップコイル上方の前記内容器内に設けられ、ピックアップコイルに要求される超電導温度より高い温度で超電導状態を維持できる超電導材料で構成され、磁気雑音を計測するためのリファレンスコイルとを備え、
前記リファレンスコイルは前記外容器内または内容器内で該リファレンスコイルに要求される超電導温度以下となる部位に配置されていることを特徴とする磁気計測装置。

【請求項 8】

請求項 7 において、前記ピックアップコイルは 7 K 以下の臨界温度で超電導状態となる SQUID 素子であり、前記リファレンスコイルは 90 K 以下の高臨界温度で超電導状態となる材料で構成されていることを特徴とする磁気計測装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁気計測装置に関し、特に SQUID (Superconducting Quantum Interference Devi

10

20

30

40

50

ce：超電導量子干渉素子）を利用し、生体等から発生する微小磁界の測定に用いるのに好適な高感度磁気計測装置に関する。特に、本発明は、マルチチャネル生体磁気計測装置において、ピックアップコイルが検出する生体磁気信号に、環境の磁気雑音が混入して磁気計測装置の感度を悪化させるのを防止するものである。このため、環境の磁気雑音を測定するリファレンスコイルを用い、ピックアップコイルが拾う環境の磁気雑音を、リファレンスコイルの出力に基づいて取り除くようにした磁気計測装置に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、生体等から発生する微小磁界の測定に、SQUIDを利用した高感度な磁気計測装置が用いられている。SQUID磁気計測装置は、脳や心臓から発生する微弱な生体磁界を計測することができ、生体磁界の分布を知ることができれば磁界を発生させている電流源の推定が可能となるので、SQUID磁気計測装置は、脳機能や心機能の診断、解明を行う医療機器として注目されている。

10

【0003】

生体磁気を計測する場合、生体磁気は非常に微弱なため、環境の磁気雑音に埋もれている。そこで、環境の磁気雑音を測定するリファレンスコイルを用意し、ピックアップコイルの測定値からリファレンスコイルの測定値を差し引くという雑音除去の手法が特開平5-297087号公報に記載されている。この従来例において、リファレンスコイルは、ピックアップコイルの上部の生体磁気源から離れた位置に設けられている。

【0004】

20

リファレンスコイルは生体磁気計測を測定するピックアップコイルと異なり、環境の磁気雑音のみを計測しなければならない。リファレンスコイルに生体磁気が入り込むと、ピックアップコイル6の測定値からリファレンスコイル7の測定値を差し引く場合、実際の生体磁気を精度よく計測できない。このため、リファレンスコイルは、生体磁気源及びピックアップコイルから遠く離れた位置に配置される必要がある。しかし、リファレンスコイルは、液体ヘリウム等で超電導状態を維持できる温度に冷却される必要があるため、ピックアップコイルを収納する容器の上部で液体ヘリウムの液面に近い位置に設置することが考えられている。

【0005】

マルチチャネル生体磁気計測装置を長時間使用する場合、ピックアップコイルを収納した容器内の液体ヘリウムは外部からの浸入熱で蒸発し、液面は徐々に低下する。液面が低下すると容器上部の蒸気層の温度は外部からの熱浸入で温度が上昇し、容器上部に配置したリファレンスコイルの温度が蒸気層で加温されてリファレンスコイルを超電導状態に維持できなくなり、リファレンスコイルとして機能しなくなる。したがって、リファレンスコイルが液体ヘリウムの液面上に露出しないように絶えず液体ヘリウムを補給しなければならない、その補給作業が煩雑となり、さらに補給作業時に、補給管の熱や容器内への加温ガスの流入等により、高価な液体ヘリウムが損失し、磁気計測装置の運転コストが増加する。

30

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

40

本発明の目的は、ピックアップコイルの上部にリファレンスコイルを離して設置可能にし、ピックアップコイルの測定値から磁気雑音を除去できるようにした磁気計測装置を得ることにある。

【0007】

本発明の他の目的は、リファレンスコイルが液体ヘリウム液面から露出してもリファレンスコイルの超電導状態を維持することができるようにすることにある。

【0008】

本発明の更に他の目的は、液体ヘリウム液面からリファレンスコイルが露出しても、リファレンスコイルを、超電導状態が維持できる臨界温度以下に冷却することができる磁気計測装置を得ることにある。

50

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の第1の特徴は、冷媒を充填された内容器と、その内容器を囲むように設置され且つ前記内容器との間に断熱用の空隙を形成する外容器と、被検体が発する微弱磁気を検出するために前記内容器の内部に設けられピックアップコイルと、環境の磁気雑音を測定するために前記内容器の内部に設けられたリファレンスコイルとを備え、前記ピックアップコイルが拾う環境の磁気雑音を、前記リファレンスコイルの出力に基づいて取り除くように構成した磁気計測装置において、少なくとも計測時に、前記冷媒の液面下に前記ピックアップコイルが位置する構成とし、このピックアップコイルの上方に前記リファレンスコイルを設置し、且つ前記リファレンスコイルを囲むように配置された断熱手段と、前記リファレンスコイルと直接もしくは間接的に熱的に一体化され、計測時に少なくとも一部が前記冷媒の液面に接するように配置された熱伝導手段とを備えていることにある。

10

【 0 0 1 0 】

本発明の第2の特徴は、冷媒を充填された内容器と、断熱用の空隙を形成して前記内容器を囲むように設置された外容器と、前記内容器内に設けられ被検体が発する磁気を検出するものであって、少なくとも計測時に、前記冷媒の液面下に位置する構成としたピックアップコイルと、環境の磁気雑音を測定するためのものであって、前記ピックアップコイルの上方の前記内容器内に設けられたリファレンスコイルと、前記リファレンスコイルを囲むように配置された断熱材と、前記リファレンスコイルと熱的に一体化され、計測時に少なくとも一部が前記冷媒の液面に接するように配置された熱伝導体とを備え、前記ピックアップコイルが拾う環境の磁気雑音を、前記リファレンスコイルの出力に基づいて取り除くように構成した磁気計測装置にある。

20

【 0 0 1 1 】

ここで、前記リファレンスコイルを複数設ける場合には、前記断熱材は、各リファレンスコイルのそれぞれに対して設けても、或いはこれらリファレンスコイル群の周りを覆うように一つ配置するようにしても良い。

【 0 0 1 2 】

本発明の第3の特徴は、液冷媒を収容する内容器と、空隙を介して前記内容器を囲むように設置された外容器と、前記内容器内に設けられ、少なくとも計測時には前記液冷媒中に位置させて被検体が発する磁気を検出するピックアップコイルと、該ピックアップコイル上方の前記内容器内に設けられ、磁気雑音を検出するためのリファレンスコイルと、該リファレンスコイルと直接または間接的に熱的に一体化され、計測時に少なくとも一部が前記液冷媒に接するように配置された熱伝導体とを備えた磁気計測装置にある。

30

【 0 0 1 3 】

本発明の第4の特徴は、液冷媒を収容する内容器と、空隙を介して前記内容器を囲むように設置された外容器と、前記内容器内に設けられ、少なくとも計測時には前記液冷媒中に位置させて被検体が発する磁気を計測するピックアップコイルと、該ピックアップコイル上方の前記内容器内に設けられ、磁気雑音を計測するためのリファレンスコイルと、該リファレンスコイルの周囲に設けられ、前記計測時に少なくとも一部が前記液冷媒に接するように構成された熱伝導体とを備えた磁気計測装置にある。

40

【 0 0 1 4 】

なお、上記熱伝導体は、短冊状の銅板または小径のエナメル被覆銅線で構成すると良い。

【 0 0 1 5 】

本発明の第5の特徴は、液冷媒を収容する内容器と、空隙を介して前記内容器を囲むように設置された外容器と、前記内容器内に設けられ、少なくとも計測時には前記液冷媒中に位置させて被検体が発する磁気を計測する超電導材料で構成されたピックアップコイルと、該ピックアップコイル上方の前記内容器内に設けられ、ピックアップコイルに要求される超電導温度より高い温度で超電導状態を維持できる超電導材料で構成され、磁気雑音を計測するためのリファレンスコイルとを備え、前記リファレンスコイルは前記外容器内

50

または内容容器内で該リファレンスコイルに要求される超電導温度以下となる部位に配置されている磁気計測装置にある。

【 0 0 1 6 】

ここで、前記ピックアップコイルは 7 K 以下の臨界温度で超電導状態となる SQUID 素子であり、前記リファレンスコイルは 9 0 K 以下の高臨界温度で超電導状態となる材料で構成するとより好適である。

【 0 0 1 7 】

【 発明の実施の形態 】

現在考えられている SQUID を使用した磁気計測装置を図 5 に示す。図において、磁気計測装置 1 は、ヘリウムなどの液冷媒 2 を充填された内容容器 3、この内容容器 3 との間に断熱用の空隙 4 を形成して該内容容器 3 を囲むように設置された外容器 5、前記内容容器 3 の内部に設けられ被検体が発する微弱磁気を検出するピックアップコイル 6、前記内容容器 3 の内部に設けられ環境の磁気雑音を測定するためのリファレンスコイル 7、前記ピックアップコイル 6 が拾う環境の磁気雑音を前記リファレンスコイル 7 の出力に基づいて取り除く処理をするデータ処理装置 8 等で構成されている。

10

【 0 0 1 8 】

また、内容容器 3 を囲むように設置され常温部からの輻射熱を吸収し、内容容器 3 への輻射熱の浸入を防止する熱シールド板 9 が設置されており、この熱シールド板 9 は内容容器 3 の上部の低温部分にフランジ 1 0 を介して熱的に一体化され、温度約 7 0 K 以下に冷却されている。熱シールド板 9 には積層断熱材（図示せず）が巻き付けられている。一方、内容容器 3 の上部の空間には、ポリウレタン等の円盤状の発泡断熱材を積層して構成したインサート 1 1 が配置され、上部常温部からの熱浸入が防止される。冷媒 2 は冷媒移送管 1 2 から補給され、冷媒 2 の蒸発ガスは内容容器 3 の内面及びインサート 1 1 の外面を冷却しながら加温され排気口 1 3 から大気に放出される。インサート 1 1、冷媒移送管 1 2、排気口 1 3 はフランジ 1 4 で支持される。ピックアップコイル 6 及びリファレンスコイル 7 と、データ処理装置 8 とは計測線 1 5 で接続されている。

20

【 0 0 1 9 】

ピックアップコイル 6 とリファレンスコイル 7 は、液体ヘリウムや液体窒素等の冷媒 2 により、超電導性を発生する極低温状態、すなわち超電導状態を維持できる温度に冷却される。また、効率の良い生体磁気の計測や精度の高い電流源推定を行うために、ピックアップコイル 6 はマルチチャンネル化され、生体内の広い領域に係る磁界の分布を計測するようにしている。生体磁気は非常に微弱なため、環境の磁気雑音に埋もれており、生体磁気を計測することは難しい。そこで、環境の磁気雑音を測定するリファレンスコイル 7 を用い、ピックアップコイル 6 の測定値からリファレンスコイル 7 の測定値を差し引くという雑音除去の手法が取られている。リファレンスコイル 7 は生体磁気源から離れたピックアップコイル 6 の上部に配置されている。

30

【 0 0 2 0 】

本発明は、リファレンスコイルの周りを断熱材で覆うと共に、リファレンスコイルと直接もしくは間接的に熱的に一体化され計測時に少なくとも一部が前記冷媒（例えば液体ヘリウム）の液面に接するように配置された熱伝導体を設け、この熱伝導体を介してリファレンスコイルを下部の液冷媒で冷却するようにしたものである。これにより、ピックアップコイルの上方に離して設置したリファレンスコイルが露出しても、リファレンスコイルを超電導状態を維持しうる温度に冷却できる。したがって、ピックアップコイルの測定値からリファレンスコイルの測定値を差し引き磁気雑音を除去した高精度の磁気計測値を得ることができる。

40

【 0 0 2 1 】

さらに、本発明では、リファレンスコイルが液冷媒面から露出してもリファレンスコイルの超電導状態を維持できるから、液冷媒の補給周期を延ばすことができ、液冷媒補給時の液体ヘリウム等の液冷媒の損失を低減できる。したがって、本発明の磁気計測装置によれば、運転コストを低減することが可能となる。

50

【0022】

以下、本発明の具体的実施例を図1～図4に基づき説明する。なお、図5と同一または相当する部分には同一符号を使用している。

【0023】

図において、6はピックアップコイルで、温度約7K以下の臨界温度（例えば、大気圧の液体ヘリウム温度の4.2K）で超電導状態となるNbTi等の材料で構成されたSQUID素子、或いは温度約90K以下の高臨界温度（例えば、大気圧の液体窒素温度の77K）で超電導状態となるYBa₂Cu₃O₇等の材料で構成されている。2はこれらSQUID素子（ピックアップコイル6）の冷却媒体で、液体ヘリウムや液体窒素が一般に使用され、内容容器3内に封入されている。5は内容容器3を包囲するとともに内容容器3との間に断熱空間4を形成するように設けられた外容器である。内容容器3の内部はフランジ14で外部空気と遮断されている。15は、ピックアップコイル6からの計測電流をSQUID素子格納用極低温容器100の外部に導く計測用導線である。内容容器3と外容器5は測定磁束による渦電流の発生を防止するため、非電導体の例えばガラスエポキシ樹脂等の非磁性材料で製作される。計測用導線15は外部のデータ処理装置8と接続され、計測値から磁束分布や発生電流分布等を計算し、画像化処理等を行う。

10

【0024】

ノイズとなる渦電流が、外容器5からの磁場変動によって発生するのを低減するために、図4に示すように、短冊状の銅板9aや小径のエナメル被覆銅線9bで構成された熱シールド板9が、内容容器3の極低温部を包囲ように、断熱空間4に設けられている。また、外容器5からの輻射熱の侵入を防止するため、熱シールド板9の外部にはアルミニウム蒸着マイラー等の積層断熱材（図示せず）が巻き付けられている。

20

【0025】

ピックアップコイル6は、図2に示すように、超電導線を例えばプラスチック製のコイルボビン20にループ状に上下にそれぞれ逆方向巻きにして構成する。下端部側の入力ループ21により、被検体が発する磁気及び入力ループ21に入る外部磁気（この外部磁気は被検体99が発する磁気と大きさがほぼ同じ程度）を計測し、逆巻きにされた上部側のキャンセルループ22で入力ループ21に入る前記外部磁気とほぼ同じベクトル値を有する外部磁気を計測する。入力ループ21とキャンセルループ22を直列に構成することによって、その差分すなわち被検体が発する磁気を超電導ループ23で測定する。超電導ループ23は、微弱な磁気変化を出力電圧の大きな変化に変換するトランジスタとして動作するジョセフソン接合を含む。

30

【0026】

リファレンスコイル7は、図3、図4に示すように、入力ループ24をコイルボビン25にループ状に巻き付けて構成され、入力ループ24で外界の磁気をシールドする例えばパーマロイ製の磁気シールド体を貫通して磁気シールド体内に浸入した外部磁気を超電導ループ23で測定する。一般に、磁気シールド体内に浸入した外部磁気は被検体が発する磁気より比較的大きい。

【0027】

リファレンスコイル7の周りは、ポリウレタン等の発泡材、気泡入りエポキシ樹脂、セラミック或いはプラスチック等で構成された断熱材16で覆われている。また、リファレンスコイル7の周りは、磁場変動で生じてノイズとなる渦電流の発生し難い短冊状の銅板9aや小径のエナメル被覆銅線9bで構成された熱伝導体18で覆われ、この熱伝導体18は下部まで延長され、この熱伝導体18下部を液体ヘリウム2に浸すように構成されている（図1参照）。また、断熱材16の内側には、図3に示すように、ワックス、蠟、エポキシ樹脂或いはグリースのような非磁性の伝熱媒体26が封入され、リファレンスコイル7と熱伝導体18とが熱的に一体化されるようにしている。

40

【0028】

マルチチャネルの磁気計測装置を長時間使用する場合、ピックアップコイル6を収納した内容容器3内の液体ヘリウム2は外部からの熱浸入で蒸発し、液面は徐々に低下する。液面

50

が低下すると内容器 3 上部の蒸気層温度は外部からの熱浸入で温度が上昇し 20 K 程度まで上昇する。このため、内容器 3 の上部に配置したリファレンスコイル 7 の温度が蒸気層で加温され、リファレンスコイル 7 の超電導性が壊れ、リファレンスコイル 7 として使用できなくなる。しかし、本実施例では、図 1 に示すように、液体ヘリウム 2 の液面が低下した場合でも、断熱材 16 により、温度が約 20 K の周りの蒸発ガスからリファレンスコイル 7 が加熱されるのを防止される。熱伝導体 18 の下部は液体ヘリウム 2 の液面下に漬かっているため、熱伝導体 18 を介して伝熱媒体 26 が冷却され、伝熱媒体 26 でリファレンスコイル 7 全体を均一に超電導温度以下に冷却することができる。本実施例によれば、ピックアップコイル 6 の上部に離して設置したリファレンスコイル 7 が液体ヘリウム液面上に露出しても、リファレンスコイル 7 を超電導温度に冷却し、ピックアップコイル 6 の測定値からリファレンスコイル 7 の測定値を差し引いて磁気雑音を除去し、これにより磁気計測値の精度を向上することができる。

10

【0029】

さらに、本実施例によれば、液体ヘリウムの補給周期を延ばすことができるので、液体ヘリウム補給時の液体ヘリウム損失を減らすことができ、磁気計測装置の運転コストを低減することが可能である。なお、本実施例では、熱伝導体 9a, 9b (18) を断熱材 16 の内周部に配置した場合について説明したが、断熱材 16 の外周部に配置しても同様な効果を得ることができる。

【0030】

本発明の他の例を図 6 示す。この例では、リファレンスコイル 7 の周りは、ポリウレタン等の発泡材、気泡入りエポキシ樹脂、セラミック或いはプラスチック等で製作された断熱材 16 で覆われている。また、プラスチック製のコイルボビン 25 の内部には、上端部を熱的に一体化した、短冊状の銅板や小径のエナメル被覆銅線で構成された熱伝導体 18 が配置され、その熱伝導体 18 は下部に伸ばされ、液体ヘリウム 2 に浸すように構成されている。また、断熱材 16 内にはワックス、蠟、エポキシ樹脂或いはグリースのような非磁性の伝熱媒体を封入し、リファレンスコイル 7 と熱伝導体 18 を熱的に一体化するようにしても良い。この例によれば、液体ヘリウム 2 の液面が低下した場合でも、温度が約 20 K の周りの蒸発ガスからリファレンスコイル 7 が加熱されることを断熱材 16 により防止し、熱伝導体 18 が液体ヘリウム 2 の液面下に漬かっているため、熱伝導体 18 でリファレンスコイル 7 を直接冷却できる。したがって、リファレンスコイル 7 の全体を均一に超電導温度以下に冷却することができ、図 1 の実施例と同様な効果が得られる。

20

30

【0031】

本発明の更に他の例を図 7 示す。この例では、リファレンスコイル 7 群の周りの上部及び側部全体が、ポリウレタン等の発泡材、気泡入りエポキシ樹脂、セラミック或いはプラスチック等で製作された断熱材 27 で覆われている。プラスチック製のコイルボビン内部には、上端部を熱的に一体化した短冊状の銅板や小径のエナメル被覆銅線で構成された熱伝導体 18 が配置され、その熱伝導体 18 を下部に伸ばして液体ヘリウム 2 に浸すようにしている。また、リファレンスコイル 7 の周囲は、ワックス、蠟、エポキシ樹脂或いはグリースのような非磁性の伝熱媒体 19 で囲まれ、リファレンスコイル 7 と熱伝導体 18 とは伝熱媒体 19 を介して熱的に一体化されている。このようにすることにより、液体ヘリウム 2 の液面が低下した場合でも、断熱材 27 により、その外部の蒸発ガスの気層部からリファレンスコイル 7 が加熱されるのを防止でき、熱伝導体 18 は液体ヘリウム 2 の液面下に漬かっているため、熱伝導体 18 でリファレンスコイル 7 を直接冷却して、リファレンスコイル 7 群の全体を超電導温度以下に均一に冷却することができる。なお、リファレンスコイル 7 群の上部のみを断熱材 27 で覆うようにしても同程度の効果が得られる。

40

【0032】

本発明の更に他の例を図 8 示す。この例では、上記各例とは異なり、断熱材を使用せずにリファレンスコイル 7 群を冷却できるようにしたものである。この例では図に示すように、リファレンスコイル 7 群の周りに短冊状の銅板や小径のエナメル被覆銅線で構成した熱伝導体 18 群を下部に伸ばして配置し、熱伝導体 18 群の下部を液体ヘリウム 2 に浸すよ

50

うにしたものである。このように構成することにより、液体ヘリウム 2 の液面が下部にある場合でも、リファレンスコイル 7 群の周りの蒸発ガスの温度を超電導温度以下に維持することができ、リファレンスコイル 7 群の温度を約 5 K に維持できる。この構造では、定常時の液体ヘリウムの蒸発量は若干増すが、液体ヘリウムの補給周期がわずかに短くなるだけである。したがって、従来に比べ液体ヘリウムの補給周期を延ばすことができ、液体ヘリウム補給時の液体ヘリウムの損失を減らすことができる。

【0033】

本発明の更に他の例を図 9 示す。この例も、断熱材を使用せずにリファレンスコイル 28 群を冷却できるものである。図に示すように、液体ヘリウム 2 の液面が下部にある場合、液体ヘリウム 2 の液面から離れたリファレンスコイル 28 群の周りの蒸発ガスの温度は 20 K 程度となっている。そこで、この例ではリファレンスコイル 28 を、温度約 90 K 以下の高臨界温度（例えば、大気圧の液体窒素温度の 77 K）で超電導状態となる $YBa_2Cu_3O_7$ 等の材料で構成し、超電導状態を維持できるようにしたものである。本例によれば、液体ヘリウム 2 の液面が低下しても、高温超電導材料で構成されたリファレンスコイル 28 群の使用により、超電導状態に維持することが可能になる。なお、リファレンスコイル 28 群を高温超電導材料で構成することにより、上方のインサート材 11 中の温度が約 77 K の部位に設置することも可能になり、生体磁場源からリファレンスコイル 29 群をより離すことができるから、生体磁場の計測精度を更に向上できる。また、温度約 70 K 以下に冷却された熱シールド板 9 にリファレンスコイル 30 を熱的に一体化して取り付けることにより、より広範囲の外部磁場ノイズを計測することも可能になる。

【0034】

【発明の効果】

本発明によれば、ピックアップコイルの上部にリファレンスコイルを設けているので、ピックアップコイルの測定値から磁気雑音を除去でき、生体磁気計測値の精度を向上することができる。

【0035】

また、ピックアップコイルの上部に離してリファレンスコイルを設置でき、リファレンスコイルが液体ヘリウムの液面から露出しても、その超電導状態を維持することが可能となる。したがって、液体ヘリウムの補給周期を延ばすことができ、液体ヘリウムの補給時の液体ヘリウム損失を低減できるから、運転コストの低減が図れる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の一実施例を示す磁気計測装置の縦断面図。

【図 2】図 1 におけるピックアップコイル 6 の部分の構成を示す図。

【図 3】図 1 におけるリファレンスコイル 7 の部分の構成を示す図。

【図 4】図 3 に示すリファレンスコイルの拡大斜視断面図。

【図 5】現在考えられている SQUID を使用した磁気計測装置の縦断面図。

【図 6】本発明の他の例を示す磁気計測装置の縦断面図。

【図 7】本発明の更に他の例を示す磁気計測装置の縦断面図。

【図 8】本発明の更に他の例を示す磁気計測装置の縦断面図。

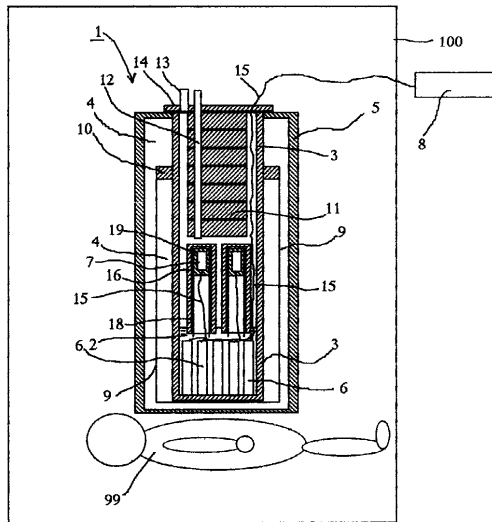
【図 9】本発明の更に他の例を示す磁気計測装置の縦断面図。

【符号の説明】

1 ... 磁気計測装置、2 ... 冷却媒体（液体ヘリウム）、3 ... 内容器、4 ... 断熱空間、5 ... 外容器、6 ... ピックアップコイル、7, 28, 30 ... リファレンスコイル、8 ... データ処理装置、9 ... 熱シールド板（9a ... 銅板、9b ... エナメル被覆銅線）、10, 14 ... フランジ、11 ... インサート（材）、12 ... 冷媒輸送管、13 ... 排気口、15 ... 計測用導線、16 ... 断熱材、18 ... 熱伝導体、19, 26 ... 伝熱媒体、20, 25 ... コイルボビン、21, 24 ... 入力ループ、22 ... キャンセルループ、23 ... 超電導ループ、100 ... SQUID 素子格納用極低温容器。

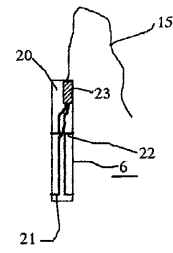
【図 1】

【図1】



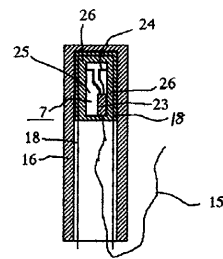
【図 2】

【図2】



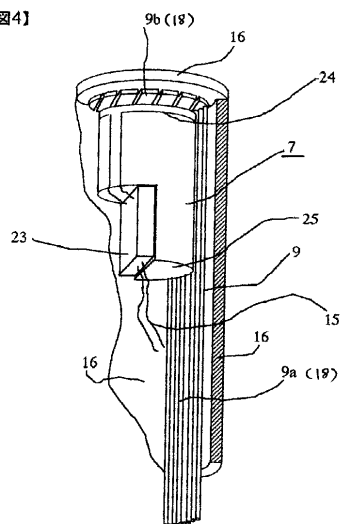
【図 3】

【図3】



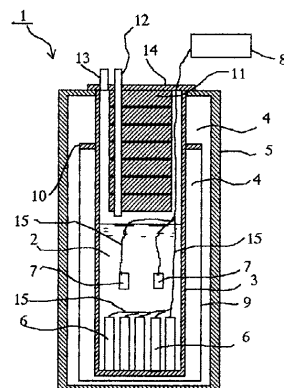
【図 4】

【図4】



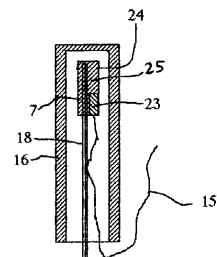
【図 5】

【図5】



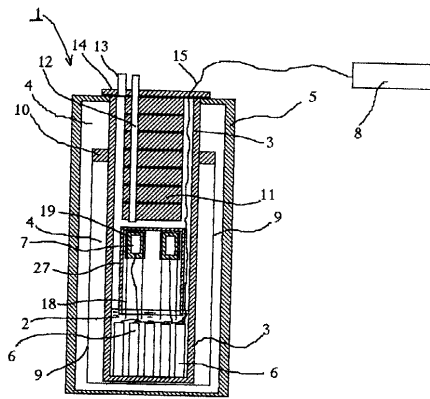
【図 6】

【図6】



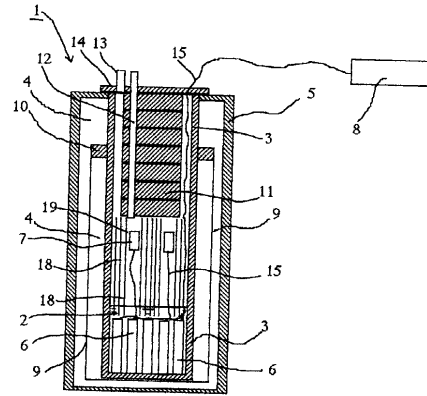
【図 7】

【図7】



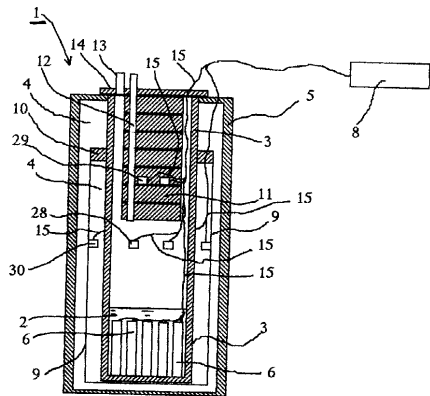
【図 8】

【図8】



【図 9】

【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 神鳥 明彦

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

(72)発明者 笹渕 仁

茨城県ひたちなか市市毛882番地

株式会社 日立製作所 計測器グループ内

審査官 堀 圭史

(56)参考文献 特表平08-511712(JP,A)

特開平11-097754(JP,A)

特開平11-237456(JP,A)

特開平08-186300(JP,A)

特開平5-297087(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01R 33/035 ZAA

H01L 39/00-24