

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4977451号  
(P4977451)

(45) 発行日 平成24年7月18日 (2012. 7. 18)

(24) 登録日 平成24年4月20日 (2012. 4. 20)

(51) Int. Cl.

F I

H O 1 F 6/00 (2006.01)

H O 1 F 7/22

F

H O 1 F 6/04 (2006.01)

H O 1 F 7/22

G

請求項の数 10 外国語出願 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2006-318055 (P2006-318055)  
(22) 出願日 平成18年11月27日 (2006. 11. 27)  
(65) 公開番号 特開2007-150318 (P2007-150318A)  
(43) 公開日 平成19年6月14日 (2007. 6. 14)  
審査請求日 平成21年11月19日 (2009. 11. 19)  
(31) 優先権主張番号 11/164, 520  
(32) 優先日 平成17年11月28日 (2005. 11. 28)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)

(73) 特許権者 390041542  
ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
クタディ、リバーロード、1 番  
(74) 代理人 100137545  
弁理士 荒川 聡志  
(74) 代理人 100105588  
弁理士 小倉 博  
(74) 代理人 100129779  
弁理士 黒川 俊久  
(72) 発明者 シャンルイ・ファン  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ  
トン・パーク、デヴォー・ドライブ、16  
番

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超伝導マグネット及び冷媒冷却回路向けの離散的経路及び実質的に伝導性のカブラを伴うコールドマス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

超伝導マグネット・システム ( 1 0 ) 向けのコールドマス ( 2 0 2 ) であって、  
コイル通路 ( 5 0 4 )、カブラ通路 ( 5 0 6 ) 及び、冷却回路通路 ( 5 0 8 ) を備える本  
体を有する支持体 ( 2 0 8 ) と、

熱伝導材料で作成され、前記カブラ通路 ( 5 0 6 ) 内に配置された伝導性カブラ ( 7 0 2  
 ) と、

超伝導コイルを備え、該超伝導コイルの一部が前記支持体 ( 2 0 8 ) の前記コイル通路 ( 5 0 4 ) に配置される、超伝導マグネット ( 2 0 3 ) と、

冷媒冷却回路 ( 2 0 6 ) と、

を備え、

前記冷媒冷却回路 ( 2 0 6 ) の一部が前記支持体 ( 2 0 8 ) の前記冷却回路通路 ( 5 0 8 ) に配置され、

前記伝導性カブラ ( 7 0 2 ) が前記超伝導マグネット ( 2 0 3 ) と前記冷媒冷却回路 ( 2 0 6 ) の両方に熱的に結合され、前記超伝導マグネット ( 2 0 3 ) を冷媒冷却する、  
コールドマス ( 2 0 2 ) 。

【請求項 2】

前記超伝導マグネット ( 2 0 3 ) は更に第 2 の超伝導コイル ( 2 0 4 ) とを備え、

前記冷媒冷却回路 ( 2 0 6 ) が第 2 の冷媒冷却回路部を備え、

前記支持体 ( 2 0 8 ) の本体に第 2 の伝導性カブラが配置され、

10

20

該第 2 の伝導性カブラが前記第 2 の超伝導コイル ( 2 0 4 ) と前記第 2 の冷媒冷却回路部の両方に熱的に結合され、前記第 2 の超伝導コイル ( 2 0 4 ) を冷媒冷却すること、を特徴とする請求項 1 に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

【請求項 3】

前記支持体 ( 2 0 8 ) の本体が第 2 のカブラ通路を備え、  
第 2 の伝導性カブラの一部が前記第 2 のカブラ通路に配置され、  
前記超伝導マグネット ( 2 0 3 ) は更に前記第 2 の伝導性カブラと熱的に結合された第 2 の超伝導コイル ( 2 0 4 ) とを備え、  
前記第 2 の伝導性カブラが前記第 2 の超伝導コイル ( 2 0 4 ) と前記冷媒冷却回路の両方に熱的に結合され、前記第 2 の超伝導コイル ( 2 0 4 ) を冷媒冷却すること、  
を特徴とする請求項 1 に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

10

【請求項 4】

前記伝導性のカブラ ( 7 0 2 ) は前記マグネット / 冷却回路支持体 ( 2 0 8 ) の軸方向に実質的に沿うように整列している、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

【請求項 5】

前記伝導性のカブラ ( 7 0 2 ) は前記マグネット / 冷却回路支持体 ( 2 0 8 ) の円筒状壁の中間位置に配置されている、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

【請求項 6】

前記伝導性のカブラ ( 7 0 2 ) は前記マグネット / 冷却回路支持体 ( 2 0 8 ) の表面に配置されている、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

20

【請求項 7】

前記伝導性のカブラ ( 7 0 2 ) は、該実質的に伝導性のカブラ ( 7 0 2 ) 内部の交流電流 ( A C ) 損失を制限する役割をする電気絶縁された完全転置式のワイヤ組を備えている、請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

【請求項 8】

前記マグネット / 冷却回路支持体 ( 2 0 8 ) は多層式支持体 ( 2 0 8 ) を備えており、前記伝導性のカブラ ( 7 0 2 ) は該多層式支持体 ( 2 0 8 ) の伝導性のカブラ層内に配置されている、請求項 1 に記載のコールドマス ( 2 0 2 ) 。

30

【請求項 9】

M R システムを備える M R 装置であって、該 M R システムは、  
請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載のコールドマス ( 2 0 2 ) と、  
偏向磁場を印加するために前記コールドマスのマグネットボアの周りに位置決めされた複数の傾斜コイルと、 R F コイル・アセンブリに M R 画像を収集させる R F 信号を送るようにパルスモジュールにより制御を受ける R F 送受信器システム及び R F スイッチと、  
を備える M R 装置。

【請求項 10】

カブラ通路 ( 5 0 6 ) 及び、冷却回路通路 ( 5 0 8 ) を備える支持体 ( 2 0 8 ) であって、  
超伝導マグネット・システム ( 1 0 ) 向けのコールドマス ( 2 0 2 ) の支持体 ( 2 0 8 ) に関連する金属を超伝導マグネット ( 2 0 3 ) と前記冷却回路通路 ( 5 0 8 ) に配置される冷媒冷却回路 ( 2 0 6 ) を熱的に結合する熱伝導材料で作成された伝導性カブラ ( 7 0 2 ) に制限する工程を含み、  
前記伝導性カブラ ( 7 0 2 ) の一部が前記支持体 ( 2 0 8 ) の前記カブラ通路 ( 5 0 6 ) に配置され、  
前記カブラ通路 ( 5 0 6 ) が前記超伝導マグネット ( 2 0 3 ) と前記冷媒冷却回路 ( 2 0 6 ) の間の実質的に直接的な経路を提供する、  
処理法。

40

【発明の詳細な説明】

50

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は全般的には超伝導マグネット・システムに関し、さらに詳細には交流電流（AC）環境で動作する超伝導マグネットに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

AC環境で動作する例示的な超伝導マグネット・システムには、変圧器、発電機、モータ、超伝導磁気エネルギー貯蔵（SMES）、磁気共鳴（MR）システムが含まれる。従来のMRマグネットはDCモードで動作しているが、幾つかのMRマグネットはマグネットに対する傾斜漏洩磁場が高い場合に傾斜コイルからのAC磁場下で動作することがある。こうしたAC磁場はマグネット内にAC損失を発生させる。説明を目的として、MRシステムの例示的な詳細に関する例証的検討を提示することにする。

10

## 【0003】

人体組織などの物質を均一な磁場（偏向磁場 $B_0$ ）にかけると、組織中のスピンの個々の磁気モーメントはこの偏向磁場と整列しようとして、この周りをラーモアの特性周波数によってランダムな秩序で歳差運動することになる。この物質や組織に、 $x-y$ 平面内にありラーモア周波数に近い周波数をもつ磁場（励起磁場 $B_1$ ）がかけられると、正味の整列モーメント（すなわち、「縦磁化」） $M_z$ は、 $x-y$ 平面内に来るように回転させられ（すなわち、「傾けられ（*tippe d*）」）、正味の横方向磁気モーメント $M_t$ が生成される。励起信号 $B_1$ を停止させた後、励起したスピンにより信号が放出され、さらにこの信号を受信し処理して画像を形成させることができる。

20

## 【0004】

これらの信号を用いて画像を作成する際には、磁場傾斜（ $G_x$ 、 $G_y$ 及び $G_z$ ）が利用される。典型的には、撮像しようとする領域が、使用する具体的な位置特定方法に従ってこれらの傾斜を変更させている一連の計測サイクルによりスキャンを受ける。結果として得られる受信した核磁気共鳴（NMR）信号の組はデジタル化されかつ処理され、よく知られている多くの再構成技法のうちの1つを用いて画像が再構成される。

## 【0005】

MRシステムの一例として、コールドマスは、超伝導マグネット、マグネットコイル支持構造及びヘリウム容器を備える。ヘリウム容器内に包含された液体ヘリウムは、超伝導マグネットに対して冷却を提供すると共に、超伝導動作のために超伝導マグネットを低い温度に維持していることは当業者であれば理解されよう。この液体ヘリウムは、概ね及び／または実質的に4.2ケルビン（K）の液体ヘリウム温度に超伝導マグネットを維持している。熱的に分離させるために、この液体ヘリウムを包含するヘリウム容器は一例として、圧力容器を真空容器の内部に備えている。

30

## 【0006】

コールドマスは一例として、かなり大きくかつ／または大規模な金属構成要素を備える。ヘリウム容器は、かなり大きなステンレス鋼及び／またはアルミニウム片を備える。マグネットコイル支持構造は複合材料及び／またはかなり広範な金属分布を備える。

## 【0007】

MRシステム向けの超伝導マグネットがAC場環境で動作する場合、コールドマスの金属内にうず電流が誘導される。うず電流はヘリウム容器のかなり大きな金属構成要素内に誘導される。別の例では、うず電流はマグネットコイル支持構造のかなり大規模な金属構成要素内に誘導される。

40

## 【0008】

うず電流は熱を発生させる。うず電流が発生させた熱はMRシステムを動作させるために消費する必要がある熱に追加される。超伝導マグネットは超伝導動作のために低い温度に維持する必要があるため、うず電流はMRシステムに対してAC損失を意味する。

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

50

## 【 0 0 0 9 】

したがって、超伝導マグネット・システム内のうず電流及びこれによるＡＣ損失に寄与する金属の存在及び／または規模の低減を促進することが望ましい。超伝導マグネットからの熱除去を促進するために、超伝導マグネット・システムにおいて液体ヘリウムの冷却フロー及びヘリウム蒸気ロック（vapor lock）の回避を促進することが望ましい。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 1 0 】

本発明の一態様では、超伝導マグネット・システム向けのコールドマスは、超伝導マグネット、冷媒冷却回路、及びマグネット／冷却回路支持体を備える。このマグネット／冷却回路支持体は、超伝導マグネットと冷媒冷却回路を結合させる役割をする離散的経路内に実質的に伝導性のカブラを備えている。

10

## 【 0 0 1 1 】

本発明の別の態様では、ＭＲ装置のＭＲシステムは、偏向磁場を印加するためにコールドマスのマグネットボアの周りに位置決めされた複数の傾斜コイルと、ＲＦコイル・アセンブリにＭＲ画像を収集させるＲＦ信号を送るようにパルスモジュールにより制御を受けるＲＦ送受信器システム及びＲＦスイッチと、を備える。このＭＲシステムのコールドマスは、コールドマスのマグネットと冷媒冷却回路を結合させる役割をする離散的経路内に実質的に伝導性のカブラを備えたマグネット／冷却回路支持体を備える。

20

## 【 0 0 1 2 】

本発明のさらに別の態様では、超伝導マグネット・システム向けのコールドマスのマグネット／冷却回路支持体に関連する金属は、超伝導マグネットと冷媒冷却回路を結合する１つまたは複数の離散的経路に制限されている。

## 【 0 0 1 3 】

本発明に関する別の様々な特徴及び利点は、以下の詳細な説明及び図面から明らかとなる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【 0 0 1 4 】

図面では、本発明を実施するために目下のところ企図される好ましい実施形態を図示している。

30

## 【 0 0 1 5 】

図１を参照すると、超伝導マグネット・システム１０は一例として、交流電流（ＡＣ）環境で動作する超伝導マグネット・システムを含む。例示的な超伝導マグネット・システムは、変圧器、発電機、モータ、超伝導磁気エネルギー貯蔵（ＳＭＥＳ）、及び／または磁気共鳴（ＭＲ）システムを備える。従来のＭＲマグネットはＤＣモードで動作するが、幾つかのＭＲマグネットはマグネットに対する傾斜漏洩磁場が高いときに傾斜コイルからのＡＣ磁場下で動作することがある。こうしたＡＣ磁場によってマグネット内にＡＣ損失が発生する。磁気共鳴及び／または磁気共鳴撮像（ＭＲＩ）装置及び／またはシステムの例示的な詳細に関する例証検討を、説明を目的として提示することにする。

## 【 0 0 1 6 】

40

ＭＲシステムの動作は、キーボードその他の入力デバイス１３、制御パネル１４及び表示スクリーン１６を含むオペレータ・コンソール１２から制御を受けている。コンソール１２は、オペレータが画像の作成及び表示スクリーン１６上への画像表示を制御できるようにする独立のコンピュータ・システム２０と、リンク１８を介して連絡している。コンピュータ・システム２０は、バックプレーン２０ａを介して互いに連絡している多くのモジュールを含んでいる。これらのモジュールには、画像プロセッサ・モジュール２２、ＣＰＵモジュール２４、並びに当技術分野でフレーム・バッファとして知られている画像データ・アレイを記憶するためのメモリ・モジュール２６が含まれる。コンピュータ・システム２０は、画像データ及びプログラムを記憶するためにディスク記憶装置２８及びテープ駆動装置３０とリンクしており、さらに高速シリアルリンク３４を介して独立のシステ

50

ム制御部 3 2 と連絡している。入力デバイス 1 3 は、マウス、ジョイスティック、キーボード、トラックボール、タッチ作動スクリーン、光学読取り棒、音声制御器、あるいは同様な任意の入力デバイスや同等の入力デバイスを含むことができ、また入力デバイス 1 3 は対話式幾何学指定のために使用することができる。

【 0 0 1 7 】

システム制御部 3 2 は、バックプレーン 3 2 a により互いに接続させたモジュールの組を含んでいる。これらのモジュールには、CPU モジュール 3 6 や、シリアルリンク 4 0 を介してオペレータ・コンソール 1 2 に接続させたパルス発生器モジュール 3 8 が含まれる。システム制御部 3 2 は、実行すべきスキャンシーケンスを指示するオペレータからのコマンドをこのリンク 4 0 を介して受け取っている。パルス発生器モジュール 3 8 は、各システム構成要素を動作させて所望のスキャンシーケンスを実行させ、発生させる無線周波数 (RF) パルスのタイミング、強度及び形状、並びにデータ収集ウィンドウのタイミング及び長さを指示するデータを発生させている。パルス発生器モジュール 3 8 は、スキャン中に発生させる傾斜パルスのタイミング及び形状を指示するために 1 組の傾斜増幅器 4 2 と接続させている。パルス発生器モジュール 3 8 はさらに、生理学的収集制御器 4 4 から患者データを受け取ることができ、この生理学的収集制御器 4 4 は、患者に装着した電極からの ECG 信号など患者に接続した異なる多数のセンサからの信号を受け取っている。また最終的には、パルス発生器モジュール 3 8 はスキャン室インタフェース回路 4 6 と接続されており、スキャン室インタフェース回路 4 6 はさらに、患者及びマグネット・システムの状態に関連付けした様々なセンサからの信号を受け取っている。このスキャン室インタフェース回路 4 6 を介して、患者位置決めシステム 4 8 は患者を所望のスキャン位置に移動させるコマンドを受け取っている。

【 0 0 1 8 】

パルス発生器モジュール 3 8 が発生させる傾斜波形は、Gx 増幅器、Gy 増幅器及びGz 増幅器を有する傾斜増幅器システム 4 2 に加えられる。各傾斜増幅器は、収集する信号の空間エンコードに使用する磁場傾斜を生成させるように全体を番号 5 0 で示す傾斜コイル・アセンブリ内の物理的に対応する傾斜コイルを励起させている。傾斜磁場コイル・アセンブリ 5 0 は、偏向マグネット 5 4 及び全身用 RF コイル 5 6 を含むマグネット・アセンブリ 5 2 の一部を形成している。システム制御部 3 2 内の送受信器モジュール 5 8 は、RF 増幅器 6 0 により増幅を受けて送信 / 受信スイッチ 6 2 により RF コイル 5 6 に結合されるようなパルスを発生させている。患者内の励起された原子核が放出して得られた信号は、同じ RF コイル 5 6 により検知し、送信 / 受信スイッチ 6 2 を介して前置増幅器 6 4 に結合させることができる。増幅した MR 信号は、送受信器 5 8 の受信器部分で復調され、フィルタ処理され、さらにデジタル化される。送信 / 受信スイッチ 6 2 は、パルス発生器モジュール 3 8 からの信号により制御し、送信モードでは RF 増幅器 6 0 をコイル 5 6 と電氣的に接続させ、受信モードでは前置増幅器 6 4 をコイル 5 6 に接続させている。送信 / 受信スイッチ 6 2 によりさらに、送信モードと受信モードのいずれに関しても独立した RF コイル (例えば、表面コイル) を使用することが可能となる。

【 0 0 1 9 】

RF コイル 5 6 により取り込まれた MR 信号は送受信器モジュール 5 8 によりデジタル化され、システム制御部 3 2 内のメモリ・モジュール 6 6 に転送される。未処理の k 空間データのアレイをメモリ・モジュール 6 6 内に収集し終わると 1 回のスキャンが完了となる。この未処理の k 空間データは、各画像を再構成させるように別々の k 空間データアレイの形に配置し直しており、これらの各々は、データをフーリエ変換して画像データのアレイにするように動作するアレイ・プロセッサ 6 8 に入力される。この画像データはシリアルリンク 3 4 を介してコンピュータ・システム 2 0 に送られ、コンピュータ・システム 2 0 において画像データはディスク記憶装置 2 8 内などの記憶装置内に格納される。この画像データは、オペレータ・コンソール 1 2 から受け取ったコマンドに応じて、テープ駆動装置 3 0 上などの長期記憶内にアーカイブしたり、画像プロセッサ 2 2 によりさらに処理してオペレータ・コンソール 1 2 に伝達しディスプレイ 1 6 上に表示させたりするこ

とができる。

#### 【 0 0 2 0 】

図 2 を参照すると、マグネット・アセンブリ 5 2 ( 図 1 ) は、超伝導マグネット・システム 1 0 向けのコールドマス 2 0 2 を備える。このコールドマス 2 0 2 は、1 つまたは複数の超伝導コイル 2 0 4 を備えた 1 つまたは複数の超伝導マグネット 2 0 3 を備える。コールドマス 2 0 2 は、1 つまたは複数の冷却回路 2 0 6 を備える。コールドマス 2 0 2 は、1 つまたは複数の支持体 2 0 8 を備える。コールドマス 2 0 2 は、複数の超伝導コイル 2 0 4、冷却回路 2 0 6 及び支持体 2 0 8 を備えた超伝導マグネット 2 0 3 を備える。支持体 2 0 8 は、円筒状の形状を備える。支持体 2 0 8 は、例えば 1 つまたは複数の伝導性カブラ 7 0 2 ( 図 7 ) などの 1 つまたは複数の実質的に伝導性のカブラを備える。例示的な伝導性カブラ 7 0 2 は、本明細書に記載したように超伝導マグネット 2 0 3 の 1 つまたは複数の超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 を結合させる役割をする離散的経路内に配置させた熱伝導性カブラを備える。

10

#### 【 0 0 2 1 】

図 2 は、コールドマス 2 0 2 を例示的に水平の向きとした例示的な冷却回路 2 0 6 を表している。このコールドマス 2 0 2 は、図 1 に示すようなマグネット・アセンブリ 5 2 の実質的に水平の向きと連係及び / または整合するような実質的に水平の向きを備える。偏向マグネット 5 4 ( 図 1 ) は、超伝導コイル 2 0 4 を備えた超伝導マグネット 2 0 3 を備える。超伝導コイル 2 0 4 は、支持体 2 0 8 上に巻かれた 1 つまたは複数の導体を含む。一例として、超伝導コイル 2 0 4 は、タイプ 2 の超伝導体ケーブルの 1 本または複数本のワイヤを備える。例えば超伝導コイル 2 0 4 は、ニオブチタン ( Nb T i ) を備える。

20

#### 【 0 0 2 2 】

超伝導コイル 2 0 4 は支持体 2 0 8 に接着 ( b o n d ) されている。エポキシは超伝導コイル 2 0 4 を支持体 2 0 8 に接着する役割をする。接着は、超伝導コイル 2 0 4 及び冷却回路 2 0 6 を伝導性カブラ 7 0 2 及び 1 つまたは複数のスペーサ 7 0 4 ( 図 7 ) を含む支持体 2 0 8 と接続状態に保つ役割をする。接着は、1 つまたは複数の超伝導コイル 2 0 4 及び / または冷却回路 2 0 6 の 1 つまたは複数の部分を 1 つまたは複数の伝導性カブラ 7 0 2 及び / またはスペーサ 7 0 4 を含む支持体 2 0 8 と接続状態に保つ役割をする。エポキシは、接着を実行する役割をする。例えば超伝導コイル 2 0 4 は、エポキシを用いて巻きつけられかつブラッシングされる。一例として、その超伝導コイル 2 0 4 にエポキシを含浸させる。伝導性カブラ 7 0 2 はエポキシと一緒に超伝導コイル 2 0 4 及び冷却回路 2 0 6 上に置き、これを硬化させて物理的な接着を生成させている。

30

#### 【 0 0 2 3 】

冷却回路 2 0 6 は、冷媒冷却回路を備える。別の例では、冷却回路 2 0 6 は、1 つまたは複数の冷却回路区画を備える。冷却回路 2 0 6 は、インレット経路及びアウトレット経路を備える。冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、実質的に下向きのインレット経路を備える。冷却回路 2 0 6 のインレット経路によって、伝導性カブラ 7 0 2 との直接的な伝導性の熱係合が回避される。冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は、実質的に上向きのアウトレット経路を備える。冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は、伝導性カブラ 7 0 2 と直接的な伝導性の熱係合を備える。

40

#### 【 0 0 2 4 】

冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、支持体 2 0 8 の上側部分から実質的に下向きに延びる入り口を備える。冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、冷却回路 2 0 6 の伝導性カブラ 7 0 2 との直接的な伝導性の熱係合並びに超伝導コイル 2 0 4 から冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路までの熱負荷との実質的な熱係合を遅延させる役割をする。冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は、伝導性カブラ 7 0 2 との直接的な伝導性の熱係合並びに超伝導コイル 2 0 4 からの熱負荷との実質的な熱係合を備える。一例として、冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は、支持体 2 0 8 の下側部分から上側部分まで概ね及び / または実質的な半円形で支持体 2 0 8 を横断し実質的に上向きに延びる 1 つまたは複数の対応するアウトレットで終わる 1 つまたは複数のカーブを備える。

50

## 【 0 0 2 5 】

冷却回路 2 0 6 は、冷却を提供するために概ね及び／または実質的な半円形を備える。冷却回路 2 0 6 は超伝導冷却作用のためにヘリウムを移送する。このヘリウムは、概ね及び／または実質的に 4 . 2 ケルビン ( K ) の液体ヘリウム温度に超伝導マグネット 2 0 4 を維持している。冷却回路 2 0 6 は、冷却を提供するように配列させたチューブを備える。冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は少なくともその一部が支持体 2 0 8 内に埋め込まれている。例えば冷却回路 2 0 6 は、支持体 2 0 8 内に埋め込まれた閉ループ冷却チューブを備える。

## 【 0 0 2 6 】

冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は少なくともその一部で、伝導性カブラ 7 0 2 と接触した面積をかなり大きくさせる役割をする矩形断面冷却チューブを備える。冷却回路 2 0 6 の冷却チューブ断面は、伝導性カブラ 7 0 2 と接触した面積をかなり大きくさせるように矩形としている。一例として、冷却回路 2 0 6 は、ステンレス鋼、アルミニウム、銅、及び／またはセラミックのうちの 1 つまたは幾つかを備える。冷却回路 2 0 6 はヘリウム漏洩防止性である。

## 【 0 0 2 7 】

一例として冷却回路 2 0 6 が金属を含む場合、金属を切断して電気絶縁体が挿入される。電気絶縁体は一例として、電気絶縁性のチューブを備える。例えばその電気絶縁体は、セラミック絶縁体を備える。電気絶縁体は、冷却回路 2 0 6 のループ状実現形態の一部分を備える。電気絶縁体は、A C 損失を低下させるために冷却回路 2 0 6 内のうず電流を切断する役割をする。冷却回路 2 0 6 は、冷却回路 2 0 6 の構成金属からの A C 損失の低減を促進するためにかなり薄い壁をもつ金属チューブを備える。冷却回路 2 0 6 の金属チューブは、0 . 0 1 0 インチから 0 . 0 2 0 インチまで ( 0 . 2 5 ミリメートルから 0 . 5 ミリメートルまで ) の壁厚を備える。

## 【 0 0 2 8 】

冷却回路 2 0 6 の上側部分は、冷却回路 2 0 6 の最上部を成す。冷却回路 2 0 6 の下側部分は、冷却回路 2 0 6 の最底部を成す。例えば冷却回路 2 0 6 の下側部分は、冷却回路 2 0 6 の最底面を成す。液体ヘリウムは冷却回路 2 0 6 の最底部まで流れると共に、ヘリウム気体バブルが冷却回路 2 0 6 の最上部から上に流れて出てくる。冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路内の液体ヘリウムは、伝導性カブラ 7 0 2 に対して直接的に、したがって超伝導コイル 2 0 4 とは間接的に熱的結合されている。超伝導コイル 2 0 4 からの熱の吸収によって、液体ヘリウムがヘリウム気体バブルに変換される。

## 【 0 0 2 9 】

冷却回路 2 0 6 のインレット経路及びアウトレット経路は、インレット経路内における蒸気ロックを防止するように配列させている。冷却回路 2 0 6 内の液体ヘリウムは、アウトレット経路内において比較的高い熱負荷下で蒸気ヘリウムに変換されており、蒸気ロックを生じることなく蒸気をバブル排除することができる。冷却回路 2 0 6 のインレット経路の伝導性カブラ 7 0 2 との直接的な熱結合を回避することによって冷却回路 2 0 6 のインレット経路内においては、冷却回路 2 0 6 内の液体ヘリウムが高い熱負荷下で蒸気ヘリウムに変換され蒸気ヘリウムが蓄積するのが回避される。

## 【 0 0 3 0 】

図 2 に示した冷却回路 2 0 6 は、支持体 2 0 8 の最上部の周辺において支持体 2 0 8 の端面に沿って下向きに延びている垂直方向を向いた液体ヘリウム向けの入り口を備える。この冷却回路 2 0 6 の入り口は、支持体 2 0 8 の最底面の下側で実質的に水平方向に延び実質的に水平の中間通路と実質的に直角に繋がり、冷却回路 2 0 6 の 1 つまたは複数のカーブの位置において支持体 2 0 8 の最底面と出会うまで実質的に直角で垂直方向上向きに延びている。冷却回路 2 0 6 の例示的なカーブの 1 つは、最底面から最上部まで概ね及び／または実質的な半円形で支持体 2 0 8 を横断している。このカーブは、支持体 2 0 8 の最上部から実質的に垂直で上向きに延びる冷却回路 2 0 6 のアウトレット内で終わっている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 1 】

図 2 に示した冷却回路 2 0 6 の形状によって、蒸気ロックの回避が促進される。支持体 2 0 8 の最上部から冷却回路 2 0 6 の 1 つまたは複数のカーブに出会うまで下向きに延びる液体ヘリウム向けの入り口からの冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、超伝導マグネット 2 0 3 の超伝導コイル 2 0 4 からの熱負荷との冷却回路 2 0 6 の直接的で伝導性の熱係合を遅延させる役割をする。さらに、1 つまたは複数のカーブに出会うまでの冷却回路 2 0 6 のインレット経路によって、冷却回路 2 0 6 の残りの経路が 1 つまたは複数のカーブ及び対応する 1 つまたは複数のアウトレットを通して実質的に垂直で上向きに延びるまで、超伝導コイル 2 0 4 からの熱負荷との冷却回路 2 0 6 の直接的で伝導性の熱係合が先送りされる。ヘリウムによる熱吸収は液体ヘリウムからヘリウム蒸気への変換を生じさせ、これが上向きで冷却回路 2 0 6 の冷却チューブを通してコールドマス 2 0 2 から離れるバブルとなる。例えば、液体ヘリウムからヘリウム蒸気への変換を生じさせるヘリウムによる熱吸収によって、ヘリウム蒸気が上向きで冷却回路 2 0 6 のカーブからアウトレットを通してコールドマス 2 0 2 から離れるバブルとなるために、熱フローが継続されることになる。ヘリウムガスが支持体 2 0 8 の最上部の冷却回路 2 0 6 の入り口の位置に溜まって行き場が無くなることはないように保証することによって蒸気フローが継続される。

10

## 【 0 0 3 2 】

図 3 は、コールドマス 2 0 2 を例示的に垂直向きにした例示的な冷却回路 2 0 6 を表している。このコールドマス 2 0 2 は、マグネット・アセンブリ 5 2 ( 図 1 ) の実質的に垂直の向きと連係及び / または整合するように実質的に垂直の向きを備えていることは当業者であれば理解されよう。冷却回路 2 0 6 は、冷却を提供するために概ね及び / または実質的なスパイラル形状を備える。冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、支持体 2 0 8 の上側部分から実質的に下向きに延びる入り口を備える。冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路は、下側部分から上側部分まで支持体 2 0 8 を横断し実質的に上向きに延びるアウトレット内で終わっているスパイラルを備える。液体ヘリウムは冷却回路 2 0 6 の最底部まで流れると共に、ヘリウム気体バブルが冷却回路 2 0 6 の最上部から上に流れて出てくる。

20

## 【 0 0 3 3 】

冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、支持体 2 0 8 の最上部の位置において支持体 2 0 8 の側面に沿って垂直で下向きに延びる実質的に真っ直ぐで垂直方向を向いた液体ヘリウム向けの入り口を備える。冷却回路 2 0 6 の入り口は、冷却回路 2 0 6 のアウトレットのスパイラルに出会うまで支持体 2 0 8 の側面と実質的に水平に延びる実質的に水平の通路と実質的に直角に繋がっている。冷却回路 2 0 6 のスパイラルは、支持体 2 0 8 上で垂直方向で上向きに巻きつけられ、支持体 2 0 8 の側面から実質的に直角に外方に延びる別の実質的に水平の通路内で終わっている。この通路は、実質的に垂直で上向きに延びる冷却回路 2 0 6 のアウトレット内で終わっている。

30

## 【 0 0 3 4 】

図 3 に示した冷却回路 2 0 6 の形状によって、蒸気ロックの回避が促進される。支持体 2 0 8 の最上部から冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路のスパイラルに出会うまで下向きに延びる液体ヘリウム向けの入り口からの冷却回路 2 0 6 のインレット経路は、超伝導マグネット 2 0 3 の超伝導コイル 2 0 4 からの熱負荷との冷却回路 2 0 6 の直接的で伝導性の熱係合を遅延させる役割をする。さらに、アウトレット経路のスパイラルに出会うまでの冷却回路 2 0 8 のインレット経路によって、冷却回路 2 0 6 のアウトレットの残りの経路がスパイラルを通してアウトレットまで実質的に垂直で上向きに延びるまで、超伝導コイル 2 0 4 からの熱負荷との冷却回路 2 0 6 の直接的で伝導性の熱係合が先送りされる。ヘリウムによる熱吸収は液体ヘリウムからヘリウム蒸気への変換を生じさせ、これが上向きで冷却回路 2 0 6 の冷却チューブを通してコールドマス 2 0 2 から離れるバブルとなる。例えば、液体ヘリウムからヘリウム蒸気への変換を生じさせるヘリウムによる熱吸収によって、ヘリウム蒸気が上向きで冷却回路 2 0 6 のスパイラルからアウトレットを通してコールドマス 2 0 2 から離れるバブルとなるために、熱フローが継続されることになる。ヘリウムガスが支持体 2 0 8 の最上部の冷却回路 2 0 6 のインレット経路の入り口の位置

40

50



に溜まって行き場が無くなることないように保証することによって蒸気フローが継続される。

#### 【 0 0 3 5 】

図 2 及び 3 を参照すると、コールドマス 2 0 2 の冷却回路 2 0 6 と超伝導コイル 2 0 4 を結合させる伝導性カブラ 7 0 2 との直接的な伝導性の熱係合を回避するために、超伝導マグネット・システム 1 0 用のコールドマス 2 0 2 の冷却回路 2 0 6 のインレット経路内の液体の形でヘリウムがチャンネル移送される。別の例では、伝導性カブラ 7 0 2 と直接的な伝導性の熱係合を伴うような冷却回路 2 0 6 のアウトレット経路内の液体及び / または蒸気の流れでヘリウムがチャンネル移送される。一例として、冷却回路 2 0 6 のインレット内には、蒸気ロックの発生に至らない程度の量の蒸気ヘリウムが存在することがある。

10

#### 【 0 0 3 6 】

図 4 は、コールドマス 2 0 2 を例示的に水平の向きにした別の例示的な冷却回路 2 0 6 を表している。この冷却回路 2 0 6 は、冷却を提供するために概ね及び / または実質的な全円形を備える。一例として、冷却回路 2 0 6 の冷却チューブのうちの数組が、支持体 2 0 8 上の異なる軸方向位置にクランプされかつエポキシ接着されている。

#### 【 0 0 3 7 】

図 5 を見ると、コールドマス 2 0 2 の支持体 2 0 8 は体部 5 0 2 を備える。体部 5 0 2 は、1 つまたは複数のコイル通路 5 0 4、1 つまたは複数のカブラ通路 5 0 6、及び / または 1 つまたは複数の冷却回路通路 5 0 8 を備える。体部 5 0 2 は、AC 損失を生じさせるうず電流を可能にさせる金属の存在を低減させるためにかなり非伝導性の構造を備える。

20

#### 【 0 0 3 8 】

支持体 2 0 8 は、複数の層及び / または多重層 (multiple layers) を備える。支持体 2 0 8 の多重層は、1 つまたは複数の非伝導層と、例えば 1 つまたは複数の伝導性カブラ 7 0 2 を成す 1 つまたは複数の離散的な伝導層と、を備える。支持体 2 0 8 の多重層は、複数の非伝導層と、1 つまたは複数の伝導性カブラ 7 0 2 を成す 1 つまたは複数の離散的な伝導層と、を備える。支持体 2 0 8 の多重層は、多数の非伝導層と、例えば離散的でありかつ支持体 2 0 8 の伝導性カブラ 7 0 2 のすべて及び / または実質的にすべてを成す少数の伝導層と、を備える。この少数の伝導層は、超伝導マグネット 2 0 3 と冷却回路 2 0 6 を結合する役割をする複数の離散的経路内に複数の伝導性カブラ 7 0 2 を備える。少数の伝導層は、超伝導マグネット 2 0 3 の 1 つまたは複数の超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 を結合する役割をする複数の離散的経路内に複数の伝導性カブラ 7 0 2 を備える。

30

#### 【 0 0 3 9 】

支持体 2 0 8 の体部 5 0 2 は一例として、ガラス繊維複合材またはプラスチックを備える。体部 5 0 2 のガラス繊維複合材は、コイル通路 5 0 4、カブラ通路 5 0 6、及び / または冷却回路通路 5 0 8 を形成するように、機械加工、成型加工または鋳造を受ける。コイル通路 5 0 4、カブラ通路 5 0 6、及び / または冷却回路通路 5 0 8 のうちの 1 つまたは幾つかは体部 5 0 2 内で溝を成している。

#### 【 0 0 4 0 】

40

支持体 2 0 8 に対して、コイル通路 5 0 4 はフープ (hoop) 方向に延びており、カブラ通路 5 0 6 は軸方向に延びており、かつ / または冷却回路通路 5 0 8 はフープ方向に延びている。カブラ通路 5 0 6 は、支持体 2 0 8 を基準とした半径方向で体部 5 0 2 の中間の高さ位置に配置されている。一例として、そのカブラ通路 5 0 6 は、支持体 2 0 8 を基準とした半径方向でコイル通路 5 0 4 の深度全体の半分の位置に配置されている。

#### 【 0 0 4 1 】

図 6 を見ると、超伝導コイル 2 0 4 はコイル通路 5 0 4 内に配置されている。超伝導コイル 2 0 4 は、超伝導ワイヤを巻きつけることによってコイル通路 5 0 4 内に据え付けられる。例えば超伝導コイル 2 0 4 のワイヤは、1 層あたり 2 0 ~ 4 0 周回で隣り合わせて巻きつけられている。超伝導コイル 2 0 4 の導体の連続する層を、完成層の上に配置させ

50

ている。導体の周回と超伝導コイル 204 の導体層とは、エポキシによって相互に接着されている。超伝導コイル 204 は、コイル通路 504 内で中間の深度まで（例えば、真ん中の位置まで）部分的に巻きつけられている。

#### 【0042】

図 7 を見ると、伝導性カブラ 702 がカブラ通路 506 内に配置されている。この伝導性カブラ 702 同士の間には、スペーサ 704 を 1 つまたは幾つか配置させている。伝導性カブラ 702 は、伝導性の金属を含む。一例として、その伝導性カブラの 1 つまたは幾つかは銅を備える。別の例では、その伝導性カブラの 1 つまたは幾つかはアルミニウムを備える。

#### 【0043】

伝導性カブラ 702 は、細線で (fine-stranded) 完全転置式の (fully transposed) 導体を含む。例示的な伝導性カブラ 702 は、Litsワイヤ及び/またはケーブルを含む。例示的な伝導性カブラ 702 は、かなり細い（例えば、1/8 インチ × 3/8 インチ (3 ミリメートル × 10 ミリメートル)）。

#### 【0044】

超伝導コイル 204 が支持体 208 の半径方向においてかなり厚い場合は、複数の伝導性カブラ 702 が利用される。伝導性カブラ 702 の数は、超伝導コイル 204 からの熱負荷及び超伝導コイル 204 の厚さに応じて様々な値とすることができる。伝導性カブラ 702 は、超伝導コイル 204 が支持体 208 の半径方向においてかなり厚い場合に利用されるような実質的に伝導性の層を備える。実質的に伝導性の層にある伝導性カブラ 702 の数は、超伝導コイル 204 からの熱負荷及び超伝導コイル 204 の厚さに応じて様々な値とすることができる。伝導性カブラ 702 は、超伝導コイル 204 が支持体 208 の半径方向においてかなり厚い場合に利用されるような複数の実質的に伝導性の層を備える。伝導性カブラ 702 の実質的に伝導性の層の数は、超伝導コイル 204 からの熱負荷及び超伝導コイル 204 の厚さに応じて様々な値とすることができる。

#### 【0045】

例示的なスペーサ 704 は、支持体 208 の半径方向に対して概ね及び/または実質的に同じ厚さの伝導性カブラ 702 を備える。スペーサ 704 は、伝導性カブラ 702 同士の間のスペースを埋める役割をする。伝導性カブラ 702 とスペーサ 704 は支持体 208 の同じ層内に配置される。

#### 【0046】

一例として、スペーサ 704 は、実質的に非伝導の材料を備える。別の例では、スペーサ 704 は、実質的に伝導性の材料を備える。スペーサ 704 と伝導性カブラ 702 は、実質的に同じ材料を備える。スペーサ 704 に関する実質的に伝導性の材料の利用は、支持体 208 の軸方向での超伝導コイル 204 から冷却回路 206 への軸方向熱伝導性を促進する役割をする。

#### 【0047】

伝導性カブラ 702 は、互いから電氣的に絶縁させたワイヤを備える。例えば伝導性カブラ 702 は、実質的に均一パターンのねじり及び撚り長さで束状または編組みにした個別に薄膜絶縁したワイヤから製作されるワイヤを備える。伝導性カブラ 702 の多重撚り構成は、無線周波数電流が伝導性カブラ 702 の表面位置に集中する表皮効果または傾向のために、中実の導体で見られるようなパワー損失を低減させる役割をする。この効果に対抗するために一例として、伝導性カブラ 702 のサイズをあまり大きくすることなく、伝導性カブラ 702 の表面積を増大させている。伝導性カブラ 702 の Lits 製作における個々の各撚り線は、中心から所与の長さだけ外側で後ろ方向に移動させた実質的に均一パターンで位置決めされる。伝導性カブラ 702 の単位長さあたりのねじりの数を変更することによって伝導性カブラ 702 の効率を向上させることが可能である。伝導性カブラ 702 は、AC 磁場に曝されたときに生じる交流電流 (AC) 損失が最小となるように Lits ワイヤ・ケーブルとして電気絶縁されかつねじられた編み組状の銅繊維を備える。伝導性カブラ 702 内の銅編み組は、AC 磁場に曝されたときに生じる AC 損失がかな

10

20

30

40

50

り小さくなるように絶縁された銅繊維からなる L i t s ワイヤ・ケーブルを含む。

【 0 0 4 8 】

伝導性カブラ 7 0 2 は、支持体 2 0 8 の軸方向において十分な熱伝導率を提供する。伝導性の導体 7 0 2 で使用される L i t s ワイヤは、カブラ通路 5 0 6 内に据え付けるために切断した場合にも構成ワイヤが完全転置式であるために電氣的にショートすることがない。伝導性カブラ 7 0 2 のワイヤが完全転置式であるために、A C 磁場は一例として、正味の電流を発生させることがない。伝導性カブラ 7 0 2 の繊維のすべては、他の任意の繊維と同様に実質的に等しいすなわち同じ電磁カプリングを備える。例示的な伝導性カブラ 7 0 2 は、A C 損失の低下を促進する役割をする電気絶縁された完全転置式のワイヤ組を備える。電気絶縁された完全転置式のワイヤ組は、伝導性カブラ 7 0 2 内部の A C 損失を制限する役割をする。

10

【 0 0 4 9 】

カブラ通路 5 0 6 内において、伝導性カブラ 7 0 2 は、例えばコイル通路 5 0 4 内の超伝導コイル 2 0 4 の巻き線の間位置において超伝導コイル 2 0 4 と交差して配置されている。伝導性カブラ 7 0 2 は、コイル通路 5 0 4 内の超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路通路 5 0 8 内の冷却回路 2 0 6 の一区画とを結合させる役割をする離散的経路内に配置されている。

【 0 0 5 0 】

一例として伝導性カブラ 7 0 2 は、支持体 2 0 8 の円筒状壁の間位置に配置されている。別の例では伝導性カブラ 7 0 2 は、支持体 2 0 8 の表面位置に配置されている。支持体 2 0 8 の対応する複数の表面位置に複数の伝導性カブラ 7 0 2 が配置されている。1つまたは複数の伝導性カブラ 7 0 2 が支持体 2 0 8 の円筒状壁の間位置に配置される、かつ/または1つまたは複数の伝導性カブラ 7 0 2 が支持体 2 0 8 の対応する表面位置に配置される。図 1 2 は、伝導性カブラ 7 0 2 のそれぞれの伝導層を成す支持体 2 0 8 の内側層及び外側層を有する例示的なコールドマス 2 0 2 を表している。超伝導コイル 2 0 4 は、コイル巻き線の内径及び外径における局所磁場が超伝導コイル 2 0 4 のコイル巻き線の間と比べてかなり大きいため、支持体 2 0 8 の内側層及び外側層の位置で伝導性カブラ 7 0 2 の伝導層によって提供される冷却は、超伝導コイル 2 0 4 の安定性にとって妥当である。

20

【 0 0 5 1 】

図 8 を見ると、コイル通路 5 0 4 内に超伝導コイル 2 0 4 が完全に巻きつけられており、また冷却回路 2 0 6 の例示的な区画が冷却回路通路 5 0 8 内に据え付けられている。超伝導コイル 2 0 4 及び冷却回路 2 0 6 のこの区画は、伝導性カブラ 7 0 2 と適度に接触した状態で配置されている。支持体 2 0 8 の体部 5 0 2、超伝導コイル 2 0 4、冷却回路 2 0 6 のこの区画は、例えば超伝導コイル 2 0 4 から冷却回路 2 0 6 の当該区画への熱伝導が促進されるようにエポキシ含浸によって相互接続されている。

30

【 0 0 5 2 】

例示的な伝導性カブラ 7 0 2 は、超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 を結合させる役割をする離散的経路を備える。別の例では、伝導性カブラは、超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 の間に実質的に直接の経路を備える。伝導性カブラ 7 0 2 は、実質的に支持体 2 0 8 の軸方向に沿って整列させる。コイル通路 5 0 4 内において超伝導コイル 2 0 4 が支持体 2 0 8 に対して半径方向の向きで配置されており、かつ冷却回路通路 5 0 8 内において冷却回路 2 0 6 のその区画が支持体 2 0 8 に対して半径方向の向きで配置されている場合、通路 5 0 6 内における伝導性カブラ 7 0 2 の軸方向が、超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 の間の最も直接的及び/または最短の経路を成す。

40

【 0 0 5 3 】

伝導性カブラ 7 0 2 は、金属を含むと共に、超伝導マグネット 2 0 3 の超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 とに対する支持体 2 0 8 に関連付けされている。例えば支持体 2 0 8 は伝導性カブラ 7 0 2 を備える。伝導性カブラ 7 0 2 の金属は、超伝導コイル 2 0 4 と冷却回路 2 0 6 を結合する 1 つまたは複数の離散的経路に制限される。伝導性カブラ 7 0

50

2の離散的経路は支持体208の軸方向に沿って整列させている。

【0054】

コールドマス202は超伝導マグネット203を備える。コールドマス202は、超伝導マグネット203を形成する複数の超伝導コイル204を備える。伝導性カブラ702は超伝導マグネット203と冷却回路206を結合させる役割をしている。伝導性カブラ702は超伝導マグネット203の超伝導コイル204と冷却回路206とを結合させる役割をしている。カブラ通路506内の伝導性カブラ702は、対応するコイル通路504内に配置させた超伝導コイル204と体部502の対応する冷却回路通路508内に配置させた冷却回路206の1つまたは複数の区画とを熱的に係合させている。カブラ通路506内の伝導性カブラ702の離散的経路は、対応するコイル通路504内に配置させた超伝導コイル204と体部502の対応する冷却回路通路508内に配置させた冷却回路206の区画とを結合させる役割をする。

10

【0055】

支持体208は、超伝導コイル204と冷却回路206を結合する役割をする複数の離散的経路内に配置させた複数の伝導性カブラ702を備える。支持体208は、第1の超伝導コイル204と冷却回路206を結合させる役割をする離散的経路内に配置させた第1の伝導性カブラ702と、第2の超伝導コイル204と冷却回路206を結合させる役割をする離散的経路内に配置させた第2の伝導性カブラ702と、を備える。支持体208は、第1の超伝導コイル204と冷却回路206の第1の区画を結合させる役割をする離散的経路内に配置させた第1の伝導性カブラ702と、第2の超伝導コイル204と冷却回路206の第2の区画を結合させる役割をする離散的経路内に配置させた第2の伝導性カブラ702と、を備える。

20

【0056】

図9を見ると、伝導性カブラ702は伝導層を備える。伝導性カブラ702は、コールドマス202の支持体208の表面に対する伝導層を形成するようにエポキシ接着されている。伝導性カブラ702は、軸方向に伝導性のシリンドラを形成するためにエポキシが注入されている。伝導層内で伝導性カブラ702は、支持体208の円筒形状の内径の位置に円筒状の内側スリーブを備える。

【0057】

伝導層内において伝導性カブラ702は一例として、軸方向で高い伝導率を提供するように平坦にしたL i t sワイヤを備える。伝導性カブラ702のケーブルは、銅フィラメント自体に関するAC損失を制限した伝導を提供するための例えばゲージ30、36または40など電気絶縁された細い銅フィラメントを備える。伝導性カブラ702の伝導層では、軸方向に伝導性のシリンドラが形成されるようにL i t sワイヤ・ケーブルはエポキシが注入されている。

30

【0058】

図10を見ると、冷却回路206の一区画が伝導性カブラ702の伝導層と繋がっている。例えば、伝導性カブラ702のL i t sワイヤ伝導性シリンドラに対して、冷却回路206のステンレス鋼製冷却チューブをクランプしかつエポキシ接着させている。

【0059】

40

図11を見ると、支持体208の体部502が伝導性カブラ702の伝導層上に据え付けられていると共に、冷却回路206の別の区画が冷却回路通路508内に据え付けられている。例えば、支持体208の内径位置において伝導性カブラ702のL i t sワイヤシリンドラに対して、体部502のガラス繊維複合材シリンドラをクランプしかつエポキシ接着させている。支持体208は、熱的な相互接続を伴うコイル巻型及びコイル支持構造を備える。冷却回路206の冷却チューブの組は、体部502の外径位置において表面に対してクランプさせている。

【0060】

体部502は、コイル通路504及び冷却回路通路508に対する溝と、円筒状の支持体208の内径位置において冷却回路206の区画の端部が円筒状の支持体208の外径

50

まで突き通ることができるための半径方向孔と、を備えた精度事前形成のガラス繊維リングを備える。体部 502 のガラス繊維リングは、支持体 208 の内径位置で内側表面を成す伝導性カブラ 702 の伝導層の周りに巻きつけられており、支持体 208 の内径位置において伝導性カブラ 702 の伝導層上の冷却チューブ上にある冷却回路 206 の区画が既に占有している空間と干渉することはない。体部 502 内のコイル通路 504 によって、冷却回路 206 の区画及び支持体 208 の内径位置にある伝導性カブラ 702 から下まで超伝導コイル 204 を巻きつけて熱接着を得ることが可能である。超伝導コイル 204 はコイル通路 504 内で、冷却回路 206 の別の区画と結合された伝導性カブラ 702 の別の層を成す支持体 208 の外径のところまで巻きつけて熱接着を得ている。

【0061】

10

図 12 を見ると、コイル通路 504 内に超伝導コイル 204 が据え付けられると共に、支持体 208 の体部 502 上に伝導性カブラ 702 の別の例示的な伝導性カブラ層が据え付けられている。超伝導コイル 204 は体部 502 上に巻かれると共に、コールドマス 202 の内側表面を成す伝導性カブラ 702 の L i t s ワイヤ・ケーブルシリンダにエポキシ接着されている。コールドマス 202 の外側表面では、超伝導コイル 204 の外径と、体部 502 の外径位置における冷却回路区画の外径との間の熱経路を形成するように、L i t s ワイヤ・ケーブルが超伝導コイル 204 の外径及び体部 502 を横断して軸方向に配置されている。

【0062】

伝導性カブラ 702 は、超伝導マグネット 203 と冷却回路 206 を結合する 1 つまたは複数の離散層内の 1 つまたは複数の離散的経路に制限された金属を含む。伝導性カブラ 702 は、超伝導マグネット 203 の超伝導コイル 204 と冷却回路 206 を結合する 1 つまたは複数の離散層内の 1 つまたは複数の離散的経路に制限された金属を含む。離散的経路と伝導性カブラ 702 の離散層は、支持体 208 の軸方向に沿って整列させている。伝導性カブラ 702 の複数の離散的経路は支持体 208 の同じ層内に配置されていると共に、超伝導マグネット 203 と冷却回路 206 を結合する役割をしている。伝導性カブラ 702 の複数の離散的経路は支持体 208 の同じ層内に配置されていると共に、超伝導マグネット 203 の超伝導コイル 204 と冷却回路 206 を結合する役割をしている。

20

【0063】

コールドマス 202 の 1 つまたは複数の実現形態は一例として、冷却回路 206 の任意の実現形態を備える。図 2 に示したコールドマス 202 の実現形態は図 2、3 及び / または 4 に示した冷却回路 206 の 1 つまたは複数の実現形態を利用する。図 3 に示したコールドマス 202 の実現形態は図 2、3 及び / または 4 に示した冷却回路 206 の 1 つまたは複数の実現形態を利用する。図 12 に示したコールドマス 202 の実現形態は図 2、3 及び / または 4 に示した冷却回路 206 の 1 つまたは複数の実現形態を利用する。

30

【0064】

コールドマス 202 の 1 つまたは複数の実現形態は一例として、任意の向き（例えば、水平向き、斜方向向きまたは垂直向き）を成している。超伝導マグネット・システム 10 及び / または超伝導マグネット・システム 10 の 1 つまたは複数の構成要素（例えば、マグネット・アセンブリ 52 及び / またはコールドマス 202 の 1 つまたは幾つか）の 1 つまたは複数の実現形態は一例として、任意の向き（例えば、水平向き、斜方向向きまたは垂直向き）を成しており、本明細書の説明及び図面は 1 つまたは複数の実現形態の 1 つまたは複数の例示的な向きを説明を目的として図示したものである。

40

【0065】

超伝導マグネット・システム 10 の一実現形態は一例として、1 つまたは複数の電子的構成要素、ハードウェア構成要素、及び / またはコンピュータ・ソフトウェア構成要素などの複数の構成要素を備える。超伝導マグネット・システム 10 の一実現形態において、こうした多数の構成要素を組み合わせること、あるいは分割することが可能である。

【0066】

本発明を好ましい実施形態に関して記載してきたが、明示的に記述した以外に等価、代

50

替及び修正が可能であり、これらも添付の特許請求の範囲の域内にあることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【図1】一例としてMRシステムを含む超伝導マグネット・システムのブロック概要図である。

【図2】コールドマスを例示的に水平向きとした例示的な冷却装置を表している超伝導マグネット・システム向けの例示的なコールドマスの側面斜視図である。

【図3】図2と同様であるが、コールドマスを例示的に垂直向きとした例示的な冷却装置を表した図である。

【図4】図2と同様であるが、コールドマスを例示的に水平向きとした別の例示的な冷却装置を表した図である。

【図5】図2のコールドマスの支持体の例示的な体部に関する部分的な上側破断拡大斜視図である。

【図6】図5と同様であるが、さらに支持体の体部上での例示的な超伝導マグネット・コイルの巻き線の一部も表した図である。

【図7】図6と同様であるが、さらに支持体の例示的な伝導性カブラに関する据え付けも表した図である。

【図8】図7と同様であるが、さらに支持体上における超伝導マグネット・コイルの巻き線の全体及び例示的な冷却回路区画の据え付けも表した図である。

【図9】超伝導マグネット・システム向けの例示的なコールドマスの支持体の表面の例示的な伝導性カブラ層に関する部分斜視概念図である。

【図10】図9と同様であるが、さらに伝導性カブラ層における例示的な冷却回路区画の据え付けも表した図である。

【図11】図10と同様であるが、さらにコールドマスの支持体の体部及び別の例示的な冷却回路区画の据え付けも表した図である。

【図12】図11と同様であるが、さらに例示的な超伝導マグネット及び支持体の体部上での別の例示的な伝導性カブラ層の据え付けも表した図である。

【符号の説明】

【0068】

- 10 超伝導マグネット・システム
- 12 オペレータ・コンソール
- 13 キーボードその他の入力デバイス
- 14 制御パネル
- 16 表示スクリーン
- 18 リンク
- 20 単独のコンピュータ・システム
- 20a バックプレーン
- 22 画像プロセッサ・モジュール
- 24 CPUモジュール
- 26 メモリモジュール
- 28 ディスク記憶装置
- 30 テープ駆動装置
- 32 単独のシステム制御
- 32a バックプレーン
- 34 高速シリアルリンク
- 36 CPUモジュール
- 38 パルス発生器モジュール
- 40 シリアルリンク
- 42 傾斜増幅器組

10

20

30

40

50

- 4 4 生理学的収集制御器
- 4 6 スキャン室インタフェース回路
- 4 8 患者位置決めシステム
- 5 0 傾斜コイル・アセンブリの全体
- 5 2 マグネット・アセンブリ
- 5 4 偏向マグネット
- 5 6 全身用 R F コイル
- 5 8 送受信器モジュール
- 6 0 R F 増幅器
- 6 2 送信 / 受信スイッチ
- 6 4 前置増幅器
- 6 6 メモリモジュール
- 6 8 アレイ・プロセッサ
- 2 0 2 コールドマス
- 2 0 3 超伝導マグネット
- 2 0 4 超伝導コイル
- 2 0 6 冷却回路
- 2 0 8 支持体
- 5 0 2 体部
- 5 0 4 コイル通路
- 5 0 6 カプラ通路
- 5 0 8 冷却回路通路
- 7 0 2 伝導性カプラ
- 7 0 4 スペース

10

20

【図 1】

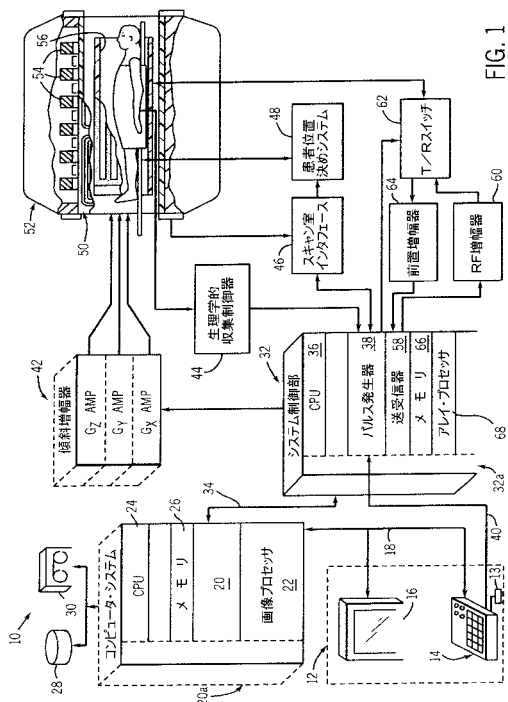


FIG. 1

【図 2】

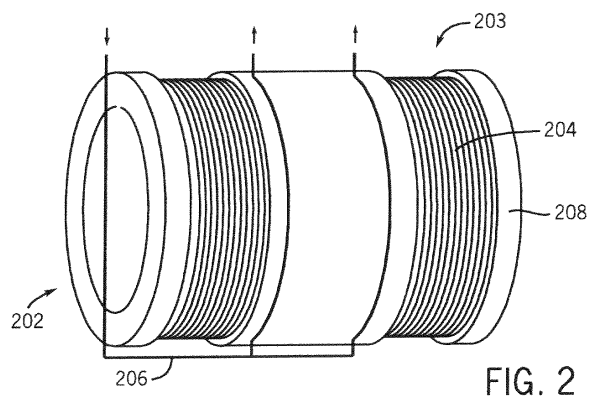


FIG. 2

【図 3】

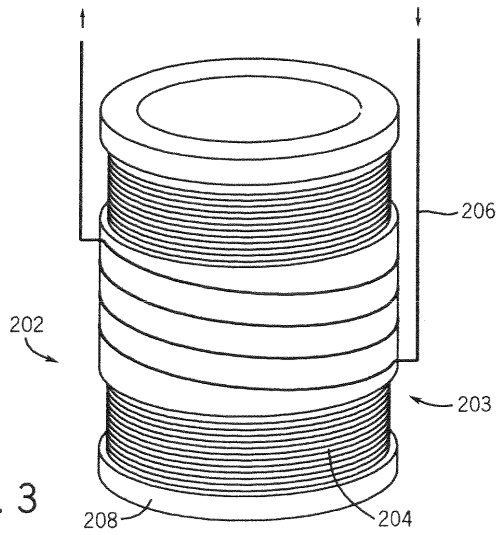


FIG. 3

【図 4】

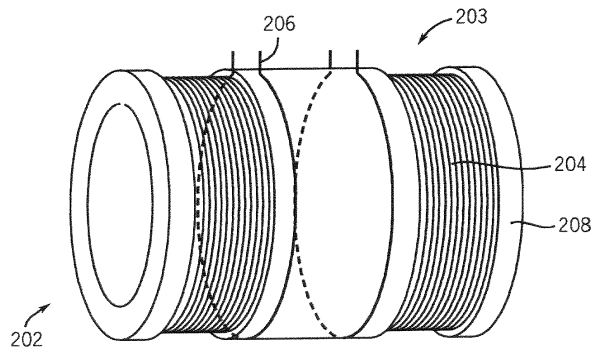


FIG. 4

【図 5】

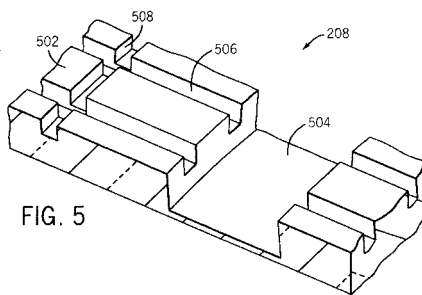


FIG. 5

【図 6】

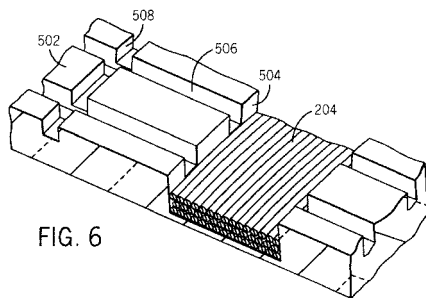


FIG. 6

【図 8】

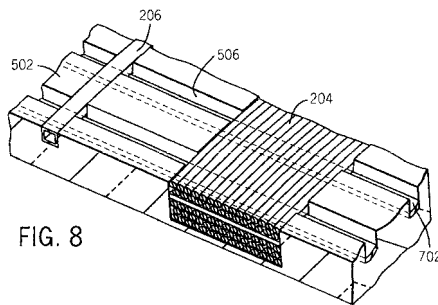


FIG. 8

【図 7】

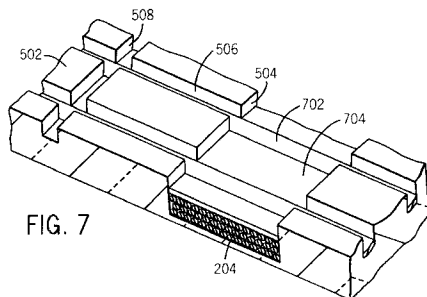


FIG. 7

【図 9】

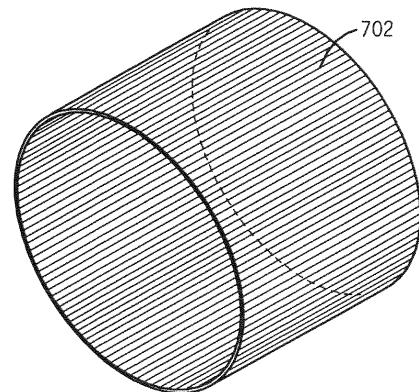
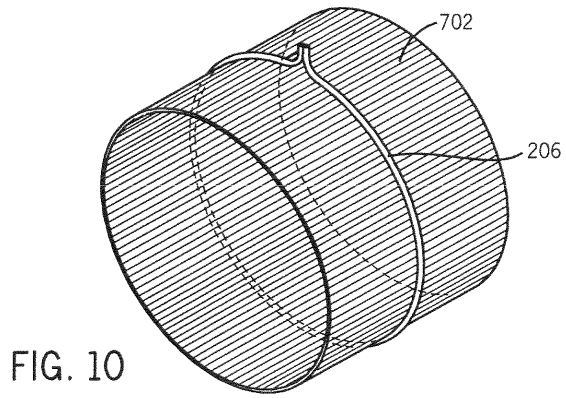


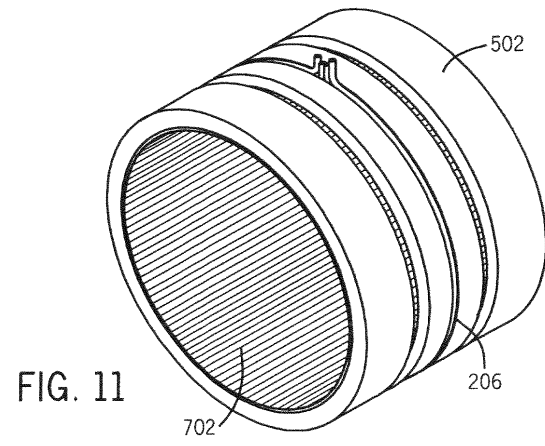
FIG. 9



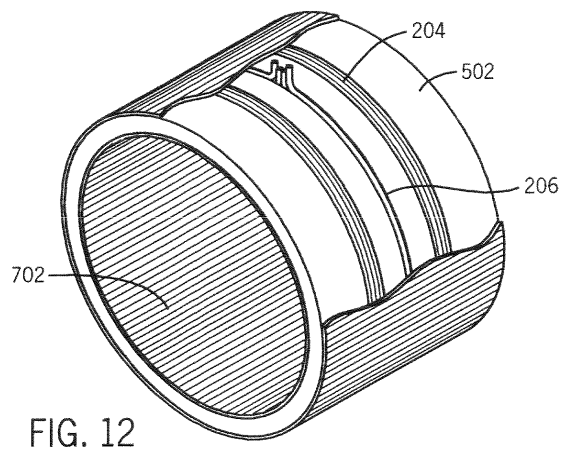
【図 10】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ポール・シャッドフォース・トンブソン

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スティーヴン・タウン、ティンリー・ロード、62番

(72)発明者 エヴァンジェロス・トリフォン・ラスカリス

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネクタディ、クリムゾン・オーク・コート、15番

審査官 酒井 朋広

(56)参考文献 特開平11-233334(JP,A)

特開昭61-179508(JP,A)

特開昭62-093914(JP,A)

特開2004-202245(JP,A)

特開昭61-271804(JP,A)

特開2002-043117(JP,A)

特開平03-032006(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01F 6/00

H01F 6/04