

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6438584号
(P6438584)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月22日(2018.11.22)

(51) Int.Cl.	F 1
H 01 L 39/04 (2006.01)	H 01 L 39/04 Z A A
A 61 B 5/05 (2006.01)	A 61 B 5/05
G 01 N 24/00 (2006.01)	G 01 N 24/00
F 25 B 9/00 (2006.01)	F 25 B 9/00 H
H 01 F 6/04 (2006.01)	H 01 F 6/04

請求項の数 10 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-531246 (P2017-531246)
(86) (22) 出願日	平成27年12月1日(2015.12.1)
(65) 公表番号	特表2018-506173 (P2018-506173A)
(43) 公表日	平成30年3月1日(2018.3.1)
(86) 國際出願番号	PCT/IB2015/059233
(87) 國際公開番号	W02016/092417
(87) 國際公開日	平成28年6月16日(2016.6.16)
審査請求日	平成30年7月5日(2018.7.5)
(31) 優先権主張番号	62/091,175
(32) 優先日	平成26年12月12日(2014.12.12)
(33) 優先権主張国	米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	590000248 コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ KONINKLIJKE PHILIPS N. V. オランダ国 5656 アーネー アイン ドーフェン ハイテック キャンパス 5 High Tech Campus 5, NL-5656 AE Eindhoven
(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】冷却喪失時に超伝導マグネットシステム内の真空を維持するシステムおよび方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部空間を囲む 1 つ以上の壁を有する真空チャンバーと、
 真空チャンバー内に配置された熱シールドであって、前記熱シールド内の前記真空チャンバーの内部領域と、前記熱シールドと前記真空チャンバーの前記 1 つ以上の壁との間に配置された前記真空チャンバーの外部領域とを画定する熱シールドと、
 前記真空チャンバーの内部領域内に配置された超伝導マグネットと、
 超伝導マグネットを冷却するように構成されたクライオクーラーであって、前記真空チャンバーの前記内部領域内にコールドステーションを提供するクライオクーラーと、
 真空チャンバーの内部領域内に配置され、真空チャンバー内の漂遊分子を吸収するよう構成されたゲッター材料と、
 前記ゲッター材料に隣接して配置され、前記ゲッター材料からの熱を吸収するように前記ゲッター材料と熱的に連通するサーマルマスであって、前記コールドステーションが配置される高さよりも低い高さに配置されるサーマルマスと、
 前記サーマルマスと前記コールドステーションとの間に接続され、前記コールドステーションが前記サーマルマスよりも低い温度にあるとき、サーマルマスを対流的に冷却し、前記コールドステーションが前記サーマルマスよりも高い温度にあるとき、サーマルマスをコールドステーションから熱的に分離する対流冷却ループとを有する、
 装置。

【請求項 2】

10

20

前記装置は、磁気共鳴イメージング（MRI）装置であり、
患者を保持するように構成された患者テーブルと、
MRI装置が画像を生成する患者の部分を少なくとも部分的に囲むように構成された勾
配コイルと、
無線周波信号を患者の部分に印加し、磁場のアライメントを変更するように構成された
無線周波数コイルと、
前記無線周波信号に起因する磁場の変化を検出するように構成されたスキヤナとを有す
る、

請求項1に記載の装置。

【請求項3】

10

前記クライオクーラーから熱を除去するように接続されたコンプレッサと、
前記超伝導マグネットへの通電動作を制御するように構成されたマグネットコントロー
ラとをさらに有する、
請求項1に記載の装置。

【請求項4】

前記サーマルマスは氷のサーマルマスを含む、

請求項1に記載の装置。

【請求項5】

20

さらに、前記熱シールドを前記真空チャンバーの1つ以上の外壁に接続する複数の第1
の低熱伝導支持要素を有し、熱シールドは、第1の低熱伝導支持要素を除いて真空チャン
バーの外壁から隔離される、

請求項1に記載の装置。

【請求項6】

前記真空チャンバーの内部領域内に配置された独立構造と、

前記独立構造を前記熱シールドに接続する複数の第2の低熱伝導支持要素とをさらに有
し、

前記独立構造は、第2の低熱伝導支持要素を除いて熱シールドから隔離されている、
請求項5に記載の装置。

【請求項7】

30

前記サーマルマスを前記独立構造に接続する複数の第3の低熱伝導支持要素をさらに有
し、

前記サーマルマスは、第3の低熱伝導支持要素を除いて熱独立構造から隔離されている

、
請求項6に記載の装置。

【請求項8】

真空チャンバー内に、漂遊分子を吸収するゲッター材料と、前記ゲッター材料に隣接し
、前記ゲッター材料からの熱を吸収するように前記ゲッター材料と熱的に連通するサーマ
ルマスとを提供するステップと、

前記サーマルマスが配置されている高さよりも高い高さに配置された、前記真空チャン
バー内に配置されたコールドステーションを有するクリオクーラーで、前記真空チャンバ
ー内の超伝導磁石を冷却するステップとを有し、

40

対流冷却ループが、前記サーマルマスと前記コールドステーションとの間をつなぎ、前
記コールドステーションが前記サーマルマスよりも低い温度にあるとき、前記サーマルマ
スを対流冷却し、前記コールドステーションが前記サーマルマスよりも高い温度にあると
き、前記コールドステーションから前記サーマルマスを実質的に熱的に隔離するように構
成される、

方法。

【請求項9】

前記ゲッター材料を20°C未満の温度に冷却するステップをさらに含む、

請求項8に記載の方法。

50

【請求項 10】

複数の低熱伝導支持要素により前記真空チャンバーの外部から前記サーマルマスを熱的に隔離するステップをさらに含む、

請求項 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、概して、超伝導マグネットシステムが展開される極低温環境の冷却が失われた場合に、超伝導マグネットシステム内の真空を維持するシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

10

【0002】

超伝導マグネットは、核磁気共鳴（NMR）分析および磁気共鳴イメージング（MRI）を含む様々な状況で使用される。超伝導を実現するために、マグネットは、絶対零度に近い温度の極低温環境に維持される。一般的には、マグネットは、クライオスタット内に配置され、電流が循環して磁場を発生する1つ以上の導電コイルを含む。

【0003】

超伝導マグネットの導電コイルを極低温に維持して、通常の動作中に超伝導状態に留まるようにする多くの方法がある。

【0004】

20

いくつかの超伝導マグネットシステム（例えば、いわゆる「クライオフリーシステム」）では、マグネットは真空中に維持され、密封システム（例えば、コールドステーションまたはコールドプレート）によって冷却される。密封システムは、比較的少量の低温流体、例えば1リットルまたは2リットルの液体ヘリウムで満たされ、導電コイルからコールドヘッドに熱を伝達するようになっている。低温流体は圧縮機を介して冷却される。

【0005】

そのようなシステムでは、非常に低い温度（例えば、20°K未満）に維持されるゲッターを真空中に設け、真空中に放出され得る漂遊分子を吸収するようにすることが有益である。そのような漂遊分子は熱伝導の機構となり得るからである。特に、ゲッター材料は時間の経過と共に、非常に小さな漏れから真空中に入る可能性がある気体分子を蓄積する。

30

【0006】

しかし、コールドヘッドが動作不能になる可能性がある。例えば圧縮機の誤動作のため、または圧縮機を動作させるためのAC電源の喪失のためである。これにより、超伝導マグネットシステムの冷凍が停止する。このような冷凍シャットダウンは、輸送中、停電中、または装置の故障時に起こり得る。これらの場合、低温で熱容量が小さい超伝導マグネットシステム（例えば、密封システム内に少量の液体ヘリウムのみを有するクライオフリーシステム）は、急速に20°K以上に暖まってしまうことがある。

【0007】

一方、ゲッターが加熱されると、ゲッターで捕獲された漂遊分子が、超伝導マグネットを保持する真空中またはクライオスタットに放出されることがある。そうなると、放出された分子を除去するために、クライオスタットの費用と時間のかかる排気が必要となることがある。

40

【0008】

したがって、超伝導マグネットシステムが展開される極低温環境の冷却が失われた場合に、超伝導マグネットシステム内の真空を維持するシステムおよび方法を提供することが望ましい。

【0009】

本発明の一態様は、装置を提供する。該装置は、真空中に配置され、真空中の漂遊分子を吸収する構成された第1のゲッター材料と、前記第1のゲッター材料に隣接して配置され、前記第1のゲッター材料と熱的に連通するサーマルマス

50

と、前記真空チャンバー内の、前記サーマルマスが配置されている高さよりも高いところに配置されたコールドステーションと、前記サーマルマスと前記コールドステーションとの間に接続され、前記コールドステーションが前記サーマルマスよりも低い温度にあるとき、サーマルマスを対流的に冷却し、コールドステーションがサーマルマスよりも高い温度にあるとき、サーマルマスをコールドステーションから熱的に分離する対流冷却ループとを有していてもよい。

【0010】

幾つかの実施形態では、前記サーマルマスは水の氷のサーマルマスを含み得る。

【0011】

幾つかの実施形態では、前記コールドステーションは4°Kコールドステーションであり得る。 10

【0012】

幾つかの実施形態では、本装置は、さらに、真空チャンバーを内部領域と外部領域とに分割する真空チャンバー内に配置された熱シールドと、前記熱シールドを前記真空チャンバーの1つ以上の外壁に接続する複数の第1の低熱伝導支持要素とを有してもよく、前記熱シールドは、第1の低熱伝導支持要素を除いて、真空チャンバーの外壁から隔離されていてもよい。

【0013】

幾つかの実施形態では、本装置は、さらに、前記真空チャンバーの内部領域内に配置された独立構造と、前記独立構造を前記熱シールドに接続する複数の第2の低熱伝導支持要素とを有してもよく、前記独立構造は、第2の低熱伝導支持要素を除いて熱シールドから隔離されていてもよい。 20

【0014】

幾つかの実施形態では、本装置は、さらに、前記サーマルマスを前記独立構造に接続する複数の第3の低熱伝導支持要素を有してもよく、前記サーマルマスは、第3の低熱伝導支持要素を除いて熱独立構造から隔離されていてもよい。

【0015】

幾つかの実施形態では、本装置はさらに、前記サーマルマスと前記熱シールドとの間の第1の領域内に配置された熱反射構造を有してもよい。

【0016】

幾つかの実施形態では、前記第1のゲッター材料は活性化炭材料を含んでいてもよい。 30

【0017】

幾つかの実施形態では、本装置はさらに、前記第1のゲッター材料からは分離され、前記コールドステーションに隣接して配置され、熱的に連通した第2のゲッター材料を含んでいてもよい。

【0018】

幾つかの実施形態では、本装置はさらに、前記真空チャンバーの外部に配置され、前記コールドステーションに接続され、前記コールドステーションから前記真空チャンバーの外部に熱を伝導するように構成されたコンプレッサを有してもよい。

【0019】

本発明の他の一態様は、装置を提供する。該装置は、前記真空チャンバーの内部空間を囲む1つ以上の壁を有する真空チャンバーと、真空チャンバー内に配置された熱シールドであって、前記熱シールド内の前記真空チャンバーの内部領域と、前記熱シールドと前記真空チャンバーの前記1つ以上の壁との間に配置された前記真空チャンバーの外部領域とを画定する熱シールドと、前記真空チャンバーの内部領域内に配置された超伝導マグネットと、超伝導マグネットを冷却するように構成されたクライオクーラーであって、前記真空チャンバーの前記内部領域内に少なくとも1つのコールドステーションを提供するクライオクーラーと、真空チャンバーの内部領域内に配置され、真空チャンバー内の漂遊分子を吸収するように構成されたゲッター材料と、前記ゲッター材料に隣接して配置され、前記ゲッター材料と熱的に連通するサーマルマスであって、前記少なくとも1つのコールド 40

ステーションが配置される高さよりも低いところに配置されるサーマルマスと、前記サーマルマスと前記コールドステーションとの間に接続され、前記コールドステーションが前記サーマルマスよりも低い温度にあるとき、サーマルマスを対流的に冷却し、コールドステーションがサーマルマスよりも高い温度にあるとき、サーマルマスをコールドステーションから熱的に分離する対流冷却ループとを有してもよい。

【0020】

幾つかの実施形態では、前記装置は、磁気共鳴イメージング（MRI）装置であってもよく、さらに、患者を保持するように構成された患者テーブルと、MRI装置が画像を生成する患者の部分を少なくとも部分的に囲むように構成された勾配コイルと、無線周波信号を患者の部分に印加し、磁場のアライメントを変更するように構成された無線周波数コイルと、前記無線周波信号に起因する磁場の変化を検出するように構成されたスキヤナとを有してもよい。

10

【0021】

幾つかの実施形態では、本装置は、さらに、前記クライオクーラーから熱を除去するように接続されたコンプレッサと、前記超伝導マグネットへの通電動作を制御するように構成されたマグネットコントローラとを有してもよい。

【0022】

幾つかの実施形態では、前記サーマルマスは水の氷のサーマルマスを含み得る。

【0023】

幾つかの実施形態では、本装置は、さらに、前記熱シールドを前記真空チャンバーの1つ以上の外壁に接続する複数の第1の低熱伝導支持要素を有してもよく、熱シールドは、第1の低熱伝導支持要素を除いて真空チャンバーの外壁から隔離されてもよい。

20

【0024】

幾つかの実施形態では、本装置はさらに、前記真空チャンバーの内部領域内に配置された独立構造と、前記独立構造を前記熱シールドに接続する複数の第2の低熱伝導支持要素とを有してもよく、前記独立構造は、第2の低熱伝導支持要素を除いて熱シールドから隔離されていてもよい。

【0025】

幾つかの実施形態では、本装置は、さらに、前記サーマルマスを前記独立構造に接続する複数の第3の低熱伝導支持要素を有してもよく、前記サーマルマスは、第3の低熱伝導支持要素を除いて熱独立構造から隔離されていてもよい。

30

【0026】

本発明のさらに別の一態様は、方法を提供する。該方法は、真空チャンバー内にゲッター材料に隣接し、ゲッター材料からの熱を吸収するようにゲッター材料と熱的に連通するサーマルマスを提供するステップと、真空チャンバー内の、サーマルマスがサーマルマスが配置されている高さよりも高いところに配置されたコールドステーションでサーマルマスを冷却するステップであって、冷却はサーマルマスとコールドステーションとの間に接続された対流冷却ループを介して行われる、ステップと、真空チャンバー内の漂遊分子を、冷却されたゲッター材料で吸収するステップとを含んでも良く、前記対流冷却ループは、前記コールドステーションが前記サーマルマスよりも高い温度にあるとき、前記コールドステーションから前記サーマルマスを実質的に熱的に隔離してもよい。

40

【0027】

幾つかの実施形態では、本方法はさらに、前記ゲッター材料を20°K未満の温度に冷却するステップを含んでいてもよい。

【0028】

幾つかの実施形態では、本方法はさらに、複数の低熱伝導支持要素により前記真空チャンバーの外部から前記サーマルマスを熱的に隔離するステップを含んでいてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0029】

本発明は、添付図面に関連して以下に提示される例示的な実施形態の詳細な説明からよ

50

り容易に理解されるであろう。

【図1】磁気共鳴イメージング（MRI）システムの例示的実施形態を示す図である。

【図2】MRI装置に含まれ得る超伝導マグネットシステムの例示的な実施形態を示す図である。

【図3】MRI装置に含まれ得る超伝導マグネットシステムに使用され得るゲッターのための冷却装置の例示的な実施形態を示す図である。

【図4】冷却が中断されたときの超伝導マグネットシステム内の真空を維持する方法のいくつかの例示的な要素を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

10

以下、本発明の実施形態を示した添付図面を参照して、本発明をより詳しく説明する。しかし、本発明は、異なる形式で実施でき、ここに開示した実施形態だけに限定されると解釈してはならない。むしろ、これらの実施形態は、本発明の教示例として提供される。本開示および特許請求の範囲において、何かがおおよそ一定の値を持っていると言うとき、それはその値の10%以内であることを意味し、何かがある値を持っていると言うとき、それはその値の25%以内であることを意味する。

【0031】

20

図1は、磁気共鳴イメージング（MRI）システム100の例示的実施形態を示す図である。MRI装置100は、マグネット102と；患者10を保持するように構成された患者テーブル104と；MRI装置100が画像を生成する患者10の少なくとも一部を少なくとも部分的に取り囲むように構成された勾配コイル106と；イメージングされている患者10の少なくとも一部に高周波信号を印加し、磁場のアライメントを変更するように構成された高周波コイル108と；高周波信号に起因する磁場の変化を検出するように構成されたスキャナ110とを含む。

【0032】

MRI装置の一般的な動作は周知であるので、ここでは繰り返さない。

【0033】

30

図2は、MRI装置に含まれ得る超伝導マグネットシステム200の例示的な実施形態を示す。特に、超伝導マグネットシステム200は、MRI装置100のマグネット102の一実施形態であってもよい。さらに、超伝導マグネットシステム200は、超伝導マグネットシステムの一例であって、超伝導マグネットシステムが展開される極低温環境の冷却が失われた場合に真空を維持するために、以下に説明するシステムおよび方法を提供することができるものである。そのようなシステムおよび方法の例を、以下により詳細に説明する。

【0034】

40

超伝導マグネットシステム200は、クライオスタッフ210と、クライオスタッフ210の外壁またはエンクロージャによって確成された密閉空間内に配置された熱シールド213とを含む。熱シールド213は、第1の内部断熱領域212a（以下、「内部領域212a」）と、第2の外部断熱領域212b（以下、「外部領域212b」）を確成し、その各々は、以下に説明するように、気体、液体などが除去された排気空間であってもよく、導電リードおよび他の構成要素によって占められている領域を除いて真空である。したがって、クライオスタッフ210は真空チャンバーであると考えることもできる。

【0035】

超伝導マグネットシステム200は、1つ以上の導電コイル230として形成された超伝導マグネットと、クライオスタッフ210の内部領域212a内に配置された永久電流スイッチ240とを含む。超伝導マグネットシステム200はまた、圧縮機270によって駆動され、クライオスタッフ210を冷却する第1の冷却段302および第2の冷却段303を有するコールドヘッド301を含む低温冷却器と；超伝導マグネット（すなわち、導電コイル230）への通電動作を制御するように構成されたマグネットコントローラ280とを含む。

50

【0036】

超伝導マグネットシステム200はさらに、第1および第2の導電リード201および202と、第3および第4の導電リード203および204と、第5および6の導電リード205および206と、第7および第8の導電リード207および208とを含む。

【0037】

超伝導マグネットシステム200は、「クライオフリー(cryofree)」システムまたは密封システムであり、クライオスタッフ210には、極低温材料(例えば、液体ヘリウム)を加える手段は設けられていない。従って、超伝導マグネットシステム200は、コールドヘッド301に接続され、コールドヘッド301によって冷却されるコールドプレート260を含む。有益にも、コールドプレート260は、極低温流体、例えば液体ヘリウムで満たされ、それを循環させる閉鎖系であってもよい。次に、コールドプレート360は、導電コイル230を約4°Kの温度まで冷却する。この温度で導電コイル230は超伝導になる。

10

【0038】

したがって、動作中、いくつかの例示的な実施形態では、内部領域212aの温度は約4.2°Kであり得る。さらに、熱シールド213の温度は、約40°Kであってもよい。この場合、クライオスタッフ210の外部の周囲室温が例えば300°Kである場合、内部領域212aによって確成される空間における温度降下は、約4.2°Kから約40°Kまでの範囲にあってもよく、外部領域212bによって確成される空間における温度降下は、約40°Kから約300°Kまでの範囲内にあってもよい。

20

【0039】

永久電流スイッチ240は、小さなヒータに取り付けられた第7および第8の導電リード207および208を介して導電コイル230の両端に接続された一片の超伝導体ワイヤを有しても良い。

【0040】

マグネットコントローラ280は、と、不揮発性メモリおよび揮発性メモリを含むメモリとを備えることができる。不揮発性メモリは、プロセッサに、超伝導マグネットシステム280の動作を制御する1つ以上のアルゴリズム、例えば、導電コイル230に通電するプロセスを実行させるプログラミングコードまたは命令(ソフトウェア)を格納することができる。マグネットコントローラ280は、スイッチ215、225と、第1および第2の導電リード202、204に接続され、それらの動作を制御することもできる。

30

【0041】

いくつかの実施形態では、第5および第6の導電リード205および206はそれぞれ、低損失リードであり、クライオスタッフ210の内部領域212aに最小量の外部熱を伝導する。有益にも、第5および第6の導電リード205および206はそれぞれ、比較的高い温度、例えば50°Kを超える温度、特に77°K付近の温度で超伝導を示す材料からできてもよい。有益にも、第3および第4の導電リード203および204、ならびに第5および第6の導電リード205および206は、熱シールド213に熱的に固定されてもよい。いくつかの実施形態では、第3および第4の導電リード203および204は、銅または真ちゅうでできてもよい。

40

【0042】

一変形例では、超伝導マグネットシステム200は、クライオスタッフ210内に配置され、導電(超伝導)コイル230への通電中に、マグネットコントローラ280によって制御される、第1および第2の導電リード201および202を第3および第4の導電リード203および204に選択的に接続するように構成されている第1および第2のスイッチ215および225を含む。

【0043】

超伝導マグネットシステム200の別の変形例では、第1および第2の導電リード201および202はそれぞれ、マグネットコントローラ280の制御のもとで引き込み可能かつ伸長可能な引き込み可能なリードであってもよい。第1および第2の導電リード20

50

1 および 202 は、格納位置では、クライオスタッフ 210 の完全に外部に、または実質的に完全に外部に配置される、伸長位置では、クライオスタッフ 210 内に延在し、第3 および第4 の導電リード 203 および 204 と係合し、(例えば、接点または転送スイッチ 215 および 225 を介して) 電気的に接続されるように設定可能であってもよい。

【 0044 】

超伝導マグネットシステム 200 の始動動作の間、永久電流スイッチ 240 内のワイヤはその転移温度より高い温度に加熱され、それにより抵抗性になる。マグネットコントローラ 280 は、スイッチ 235 を閉じ、外部電源を、第1 および第2 の導電リード 201 および 202 に接続し、それによって(例えば、第5、第6、第7 および第8 の導電リード 205, 206, 207 および 208 を介して) 導電コイル 230 に接続する。いくつかの実施形態では、これは、マグネットコントローラ 280 が、第1 および第2 の導電リード 201 および 202 を、クライオスタッフ 210 内に延在させて、(例えば、接触または転送スイッチ 215 および 225 を介して) 第3 および第4 の導電リード 203 および 204 と係合し、電気的に接続されることを意味する。他の実施形態では、これは、マグネットコントローラ 280 が、第1 および第2 のスイッチ 215 および 225 を閉じて、第1 および第2 の導電リード 201 および 202 を、第3 および第4 の導電リード 203 および 204 に接続することを意味し得る。

【 0045 】

導電コイル 230 は、外部電源によって最初に通電され、導電コイル 230 に電流を流す。永久電流スイッチ 240 内のワイヤは、始動動作中に加熱されているので、その抵抗は、導電コイル 230 の抵抗よりも大幅に大きく、外部電源からの電流は、導電コイル 230 を通る。導電コイル 230 は、コールドプレート 260 によって冷却されるので、導電コイル 230 は、超伝導状態になり、超伝導マグネットとして機能する。

【 0046 】

永久モードに移行するために、導電コイル 230 を通る電流は、所望の磁場が得られるまで調整され、永久電流スイッチ 240 のヒータがオフにされる。ヒータがオフにされた後、永久電流スイッチ 240 内の超伝導体ワイヤは、上述したように、その超伝導温度まで冷却され、導電コイル 230 を短絡する。次に、マグネットコントローラ 280 は、第1 および第2 の導電リード 201 および 202 を、それぞれ第3 および第4 の導電リード 203 および 204 から切り離し、それにより外部電源を導電コイル 230 から切り離す。いくつかの実施形態では、これは、マグネットコントローラ 280 が、クライオスタッフ 210 からの第1 および第2 の導電リード 201 および 202 を第3 および第4 の導電リード 203 および 204 から引き離し、第3 および第4 の導電リード 203 および 204 から電気的に切り離すことを意味する。他の実施形態では、これは、マグネットコントローラ 280 が、第1 および第2 のスイッチ 215 および 225 を開き、第1 および第2 の導電リード 201 および 202 を、第3 および第4 の導電リード 203 および 204 から切断することを意味し得る。その後、導電(超伝導) コイル 230 は、コールドプレート 260 内を循環する極低温流体(例えば、液体ヘリウム) を介して、コールドヘッド 301 によって冷却され続ける。

【 0047 】

上記のように、漂遊分子(s t r a y m o l e c u l e s) が、非常に小さな漏れからクライオスタッフ 210 の真空空間に放出され得る。このような漂遊分子は、熱伝導の機構となり得る。従って、ゲッター(図2 には図示せず) が、クライオスタッフ 210 内、特に、非常に低い温度(例えば、20 °K 未満) に維持されたクライオスタッフの内部領域 212a 内に設けて、それらの漂遊分子を吸収することができる。しかしながら、このゲッターが、例えば圧縮機 270 の機能不全のために、または A C 電源の喪失のために、または他の理由により加熱された場合、ゲッターによって捕捉されていた漂遊分子がクライオスタッフ 210 に放出され得る。これが超伝導コイル 230 を加熱して、磁場のクエンチが発生する。その場合は、開始プロセスを繰り返す必要があります。また、放出された分子を除去するために、クライオスタッフの費用と時間のかかる排気が必要となるこ

10

20

30

40

50

とがある。

【0048】

したがって、冷却が失われた場合に、超伝導マグネットシステム 200 のような超伝導マグネットシステムのクライオスタッフ内の真空を維持するシステムおよび方法が開発されている。このようなシステムおよび方法の例を、図 3 および図 4 に関して説明する。

【0049】

図 3 は、MRI 装置に含まれ得る超伝導マグネットシステムに使用され得るゲッターのための冷却装置 300 の例示的な実施形態を示す。特に、装置 300 は、超伝導マグネットシステム 200 に含まれてもよく、MRI 装置 100 に含まれてもよい。

【0050】

図 3 は、図 2 にも示されているように、真空チャンバー / クライオスタッフ 210 と、熱シールド 213 と、内部領域 212a と、外部領域 212b と、第 1 のステージ 302 および第 2 のステージ 303 を含むコールドヘッド 301 を示す。図 3 はまた、コールドヘッド 301 によって提供される第 1 のコールドステーション 311 および第 2 のコールドステーション 312 と、第 1 のゲッター材料 310 および第 2 のゲッター材料 320 と、対流冷却ループ 330 と、サーマルマス 340 と、熱反射構造 350 と、複数の第 1 の低熱伝導支持要素 360 と、複数の第 2 の低熱伝導支持要素 362 と、複数の第 3 の低熱伝導支持要素 364 と、低温チャンバー 370 を含む。

【0051】

第 1 のコールドステーション 311、第 1 および第 2 のゲッター材料 310 および 320、対流冷却ループ 330、サーマルマス 340、熱反射構造 350、第 2 の低熱伝導支持要素 362、第 3 の低熱伝導支持要素 364 および低温チャンバー 370 は、すべて内部領域 212a 内に配置される。動作中、内部領域 212a は、20°K 未満の温度に維持されてもよく、いくつかの実施形態では約 4.2°K の温度に維持されてもよい。その場合、第 1 のコールドステーション 311 は、4°K コールドステーションと呼ぶことができる。第 2 のコールドステーション 312 および第 1 の低熱伝導支持要素 360 は、外部領域 212b 内に配置される。動作中、内部領域 212b は、70°K 未満の温度に維持されてもよく、いくつかの実施形態では、約 40°K の温度に維持されてもよい。その場合、第 2 のコールドステーション 312 は、40°K コールドステーションと呼ぶことができる。さらに、低温チャンバー 370 は、4°K チャンバーと呼ぶことができる。

【0052】

いくつかの実施形態では、対流冷却ループ 330 は、加圧された極低温ガス、例えば加圧されたヘリウムガスで満たされた 1 つ以上の金属（例えばステンレス鋼）管を含む。対流冷却ループ 330 は、サーマルマス 340 と第 1 のコールドステーション 311 との間に接続される。

【0053】

サーマルマス 340 は、第 1 のゲッター材料 310 に隣接し、第 1 のゲッター材料 310 から熱を吸収するように第 1 のゲッター材料 310 と熱的に連通している。ここで、「隣接する」とは、非常に近いことを意味し、必ずしも直接接触している必要はない。しかしながら、いくつかの実施形態では、サーマルマス 340 は、第 1 のゲッター材料 310 と直接接触していてもよい。いくつかの実施形態では、サーマルマス 340 は、熱伝導ワッシャー、熱グリースなど、熱抵抗が非常に低い幾つかの中間結合要素を介して、第 1 のゲッター材料 310 に熱的に結合していてもよい。中間結合要素は、第 1 のゲッター材料 310 から第 1 のコールドステーション 311 への熱エネルギーの全てまたはほとんどすべてを効果的に熱的に結合することができる。有益にも、サーマルマス 340 は、非常に低い温度、例えば約 20°K 未満の温度で、第 1 のゲッター材料 310 から多くの熱エネルギーを吸収することができる。有益にも、サーマルマス 340 は、第 1 のコールドステーション 311 よりも非常に大きい熱容量を有する。いくつかの実施形態では、サーマルマス 340 は、4°K から 20°K までの温度変化に対して、少なくとも 10 キロジュールの熱エネルギーを吸収することができる。いくつかの実施形態では、サーマルマス 34

10

20

30

40

50

0は、4°Kから20°Kまでの温度変化に対して、少なくとも50キロジュールの熱エネルギーを吸収することができる。

重要なことに、第1のコールドステーション311は、真空チャンバー／クライオスタート310内の、サーマルマス340

が配置されている高さよりも高いところに配置される。すなわち、第1のコールドステーション311は、真空チャンバー／クライオスタート310内の、地球に関してサーマルマス340の上（ただし、必ずしもその真上にあるとは限らない）に配置される。

【0054】

有益にも、図示された実施形態では、サーマルマス340は、追加的に、熱反射構造350によって、超伝導マグネット（導電コイル230）からある程度熱的に絶縁される。熱反射構造350は、サーマルマス340と熱シールド213との間の内部領域212aに配置され、サーマルマス340を部分的に取り囲んでいる。いくつかの実施形態では、熱反射構造350を省略することができる。

【0055】

また、図示された実施形態では、サーマルマス340は、複数の第3の低熱伝導支持要素364によって低温チャンバー370に接続されているが、熱的に隔離されている。有利にも、第3の低熱伝導支持要素364を除いて、サーマルマス340は低温チャンバー370から絶縁されている。さらに、低温チャンバー370は、複数の第2の低熱伝導支持要素362によって、熱シールド213に接続されているが、熱シールド213から熱的に分離されている。有利にも、第2の低熱伝導支持要素362を除いて、低温チャンバー370は熱シールド213から熱的に分離される。したがって、低温チャンバー370は、サーマルマス340のための構造的支持フレームとして機能することができる、内部領域212a内の独立した構造とすることができます。最後に、熱シールド213は、複数の第1の低熱伝導支持要素360によって、真空チャンバー／クライオスタート210の1つ以上の壁に接続され、取り付けられるが、熱的に分離される。有益にも、第1の低熱伝導支持要素350を除いて、熱シールド213は、真空チャンバー／クライオスタート210の壁から分離される。

【0056】

いくつかの実施形態では、第1、第2および第3の低熱伝導支持要素360、362および364はそれぞれ、高い機械的強度および低い熱伝導率を有するガラス繊維、PVCまたはセラミックバンドを含むことができる。

30

【0057】

ここで、要素360、362および364の熱伝導率が「低い」と言うとき、これは、言うまでもなく、要素間の与えられた温度差に対して、その要素が与えることができる最大熱エネルギー移動によって定義され得る。特に、いくつかの実施形態では、第1の低熱伝導支持要素360は、熱シールド213における40°Kからクライオスタート310の壁における300°Kまでの温度差に対して、数ワット以下の最大熱伝導を集合的に支持することができる。いくつかの実施形態では、これらの条件下での最大熱伝導は、1ワット以下であり得る。同様に、いくつかの実施形態では、第2の低熱伝導支持要素362は、低温チャンバー370における4°Kから熱シールド213における40°Kまでの温度差に対して、100ミリワット以下の最大熱伝導を集合的にサポートすることができる。いくつかの実施形態では、これらの条件下での最大熱伝導は、50ミリワット以下であり得る。最後に、いくつかの実施形態では、第3の低熱伝導支持要素364は、サーマルマス340における20°Kから低温チャンバー370における80°Kまでの温度差に対して、10ミリワット以下の最大熱伝導を集合的にサポートすることができる。いくつかの実施形態では、これらの条件下での最大熱伝導は、5ミリワット以下であり得る。

40

【0058】

ここで、図3に示されたシステムまたは装置300が、コールドヘッド301からの冷却が失われた場合に、長期の間にクライオスタート210内の真空を、どのように維持することができるかについて説明する。

【0059】

50

通常の動作では、コールドヘッド 301 は、第 1 のコールドステーション 311 を低温まで、例えば約 4 °K まで冷却する。一方、対流冷却ループ 330 はサーマルマス 340 を冷却し、サーマルマス 340 は第 1 のゲッター材料 310 を冷却する。すなわち、サーマルマス 340 が第 1 のコールドステーション 311 よりもクライオスタット 210 内のより低いところにあるので、熱はサーマルマス 340 から第 1 のコールドステーションまでの対流冷却ループを通って上昇する。第 1 のコールドステーションは、第 1 の冷却ループ 330 を介して第 1 のゲッター材料 310 を冷却する。第 1 のゲッター材料 310 は、十分に低い温度（例えば 20 °K 未満）に達すると、クライオスタット 210 内にあり得る漂遊分子 5 を吸収する。コールドヘッド 301 は、作動している限り、対流冷却ループ 330 およびサーマルマス 340 の作用を介して、第 1 のゲッター材料 310 を、十分に低い温度またはそれ以下の温度に維持する。

【0060】

冷却能力が失われると、すなわち、コールドヘッド 301 がもはや動作していないとき、（例えば圧縮機 270 の機能不全、AC 電源の喪失、クライオスタット 210 が設置されている MRI 装置（例えば、MRI 装置 100）の輸送中）、暗いスタット 210 内の温度は、超伝導マグネット（導電コイル 230）が発熱するにつれて上昇し始める。これが起こると、第 1 のコールドステーション 311 の温度もまた上昇し始める。

【0061】

一般に、サーマルマス 340 は、十分に大きな熱容量を有し、第 1 のコールドステーション 311 よりも非常に低い熱伝導率を有する。その結果、第 1 のコールドステーション 311 の温度は、サーマルマス 340 の温度よりも急速に上昇する。そして、第 1 のコールドステーション 311 の温度がサーマルマス 340 の温度よりも高い温度に上昇すると、対流冷却ループ 330 はサーマルマス 340 を第 1 のコールドステーション 311 から実質的に熱的に隔離する。この理由は、対流冷却ループ 330 が、対流を介して、したがって熱が上昇する方向に、熱を伝達することである。しかしながら、第 1 のコールドステーション 311 は、真空チャンバー／クライオスタット 310 内の、サーマルマス 340 が配置される高さよりも高い高さに配置されるので、第 1 のコールドステーション 311 の温度がサーマルマス 340 の温度よりも高い場合には、第 1 のコールドステーション 311 からの熱は、対流冷却ループによってサーマルマス 340 に伝達され得ない。言うまでもなく、対流冷却ループ 330 の金属管またはパイプの伝導を介して、サーマルマス 340 からコールドステーション 311 に、伝達される熱量は、はるかに少ない。ここで、「実質的に熱的に分離する」という用語は、具体的な意味、すなわち 2 つの構成要素間の対流冷却が防止され、残りの熱的接続は伝導のみによるものであると理解される。

【0062】

サーマルマス 340 は第 1 のゲッター材料 310 から熱を吸収し続け、それにより、第 1 のゲッター材料 310 が活性状態のままである期間が延び、クライオスタット 310 内に存在しうる漂遊分子 5 を捕捉して保持する。さらに、熱は、サーマルマス 340 によりその周囲から容易に吸収されない。サーマルマス 340 は、第 1 、第 2 、第 3 の低熱伝導支持体 360, 362 および 364 によって熱シールド 213 および真空チャンバー／クライオスタット 213 の壁に対して基本的に熱的に浮いているからである。したがって、クライオスタット 310 内の真空が長期間維持され、低温冷却器が作動していない期間を乗り切ることができる。

【0063】

いくつかの実施形態では、第 1 および第 2 のゲッター材料 310 および 320 は、それぞれ活性炭を含むことができる。いくつかの実施形態では、第 2 のゲッター材料 320 を設けて、サーマルマス 340 および第 1 のゲッター材料 310 が依然として動作温度（例えば、20 °K 未満）まで冷却されている間に、漂遊分子 5 を捕捉してもよい。いくつかの実施形態では、第 2 のゲッター材料 320 を省略することができる。

【0064】

いくつかの実施形態では、サーマルマス 340 は水の氷のサーマルマスを含んでもよい

10

20

30

40

50

。水の氷は比較的安価であり、さらに、20 °Kの温度まで銅の20倍のエンタルピーを有し、コールドヘッド301からの冷却が失われた場合に、捕捉された分子を放出し始める温度よりも低い温度にゲッター320の温度を維持するのに有利な材料となる。

【0065】

図4は、冷却が中断されたときの超伝導マグネットシステム内の真空を維持する方法400のいくつかの例示的な要素を示す図である。

【0066】

方法400の要素410では、サーマルマスが真空チャンバーの外壁から熱的に分離される。上述したように、いくつかの実施形態では、これは、複数の低熱伝導支持要素を介して行われてもよい。

10

【0067】

方法400の別の要素420では、サーマルマスは、ゲッター材料に隣接して真空チャンバー内に配置され、ゲッター材料と熱的に連通して、第1ゲッター材料から熱を吸収する。

方法400の別の要素430では、真空チャンバー内の、サーマルマスが配置されている高さよりも高いところに配置されたコールドステーションは、サーマルマスを冷却し、次にゲッター材料を冷却する。ここでは、冷却は、サーマルマスとコールドステーションとの間に接続された対流冷却ループを介して行われる。

【0068】

方法400の別の要素440では、冷却されたゲッター材料は、真空チャンバー内の漂遊分子を吸収する。

20

【0069】

方法400の別の要素450では、コールドステーションがサーマルマスよりも高い温度にあるとき、例えばコールドステーションを冷却するクライオクーラーが機能していない場合、対流冷却ループは、サーマルマスをコールドステーションから実質的に熱的に隔離する。結果として、真空チャンバー／クライオスタットに冷却がもはや提供されなくとも、ゲッター材料は、長い期間、その適切な動作のために必要な低温のままである。

【0070】

好ましい実施形態が本明細書に開示されているが、本発明の概念および範囲内に留まる多くの変形が可能である。そのような変形は、本明細書、図面および特許請求の範囲を調べれば、当業者には明らかになるであろう。したがって、本発明は、添付の特許請求の範囲を除き、限定されるものではない。

30

【図1】

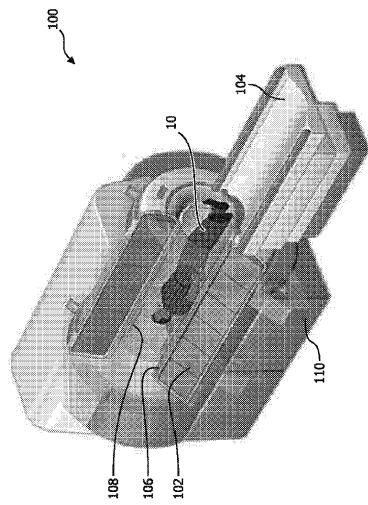
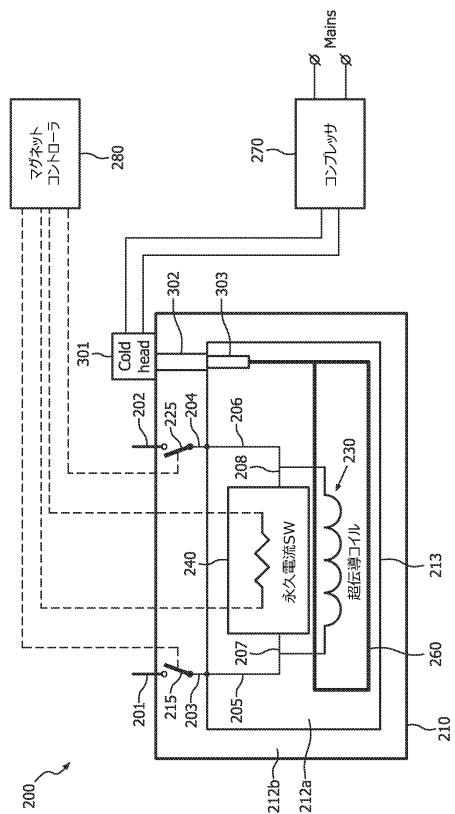


FIG. 1

【図2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
G 0 1 R 33/3815 (2006.01) G 0 1 R 33/3815

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 ヨナス, フィリップ アレクサンデル
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイテック キャンパス ビルディング
5

(72)発明者 ヴォス, マシュー
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイテック キャンパス ビルディング
5

(72)発明者 メントゥール, フィリペ アベル
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイテック キャンパス ビルディング
5

審査官 恩田 和彦

(56)参考文献 特開平10-026427 (JP, A)
国際公開第2014/096995 (WO, A1)
特表2010-523204 (JP, A)
国際公開第2015/011679 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 3 9 / 0 4
G 0 1 N 2 4 / 0 0
G 0 1 R 3 3 / 3 8 1 5
H 0 1 F 6 / 0 4