

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-46896

(P2006-46896A)

(43) 公開日 平成18年2月16日(2006.2.16)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>F 2 5 B 9/00 (2006.01)</b>	F 2 5 B 9/00 H	
	F 2 5 B 9/00 K	
	F 2 5 B 9/00 3 1 1	

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2005-220785 (P2005-220785)	(71) 出願人	591148048 ブルーカー バイオシュピン アー・ゲー スイス国、フェルアンデン ツェー・ハー ー8 1 1 7、インドゥストリーシュトラ ーセ2 6
(22) 出願日	平成17年7月29日(2005.7.29)	(74) 代理人	100081880 弁理士 渡部 敏彦
(31) 優先権主張番号	102004037173.3	(72) 発明者	アニエス グレモット スイス国 チューリッヒ ツェーハーー8 0 0 6 ストルゼシュトラーセ 5
(32) 優先日	平成16年7月30日(2004.7.30)	(72) 発明者	ディートリック ヴォゲル スイス国 ウィンターサー ツェーハー ー8 4 0 0 ルンドシュトラーセ 3 6
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(72) 発明者	ダニエル エカート スイス国 ドュベンドルフ ツェーハー ー8 6 0 0 ラングハグヴェグ 4

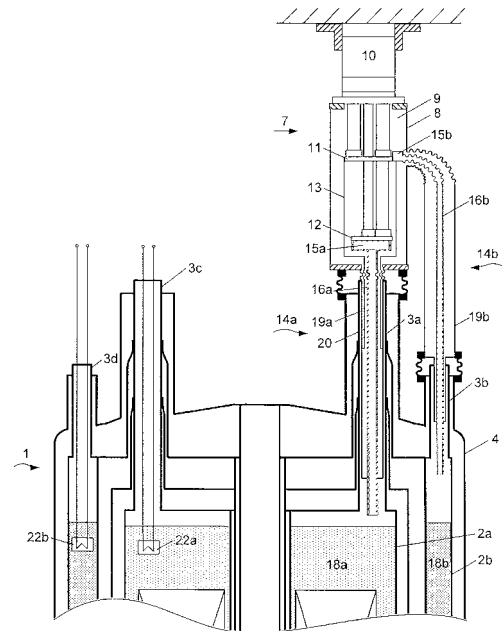
(54) 【発明の名称】 クライオスタット構造の無損失冷媒冷却装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 既存のクライオスタット構造とくに超伝導磁石を含むクライオスタット構造に容易に後付けすることができ、幾つかの冷媒を使用する場合であっても調整なしに(又は最小の調整で)ほとんど全く冷媒損失を来すことなく運転することができるようにする。

【解決手段】 真空チャンバ9を画定する外側ジャケット8と、同ジャケット内に設置され且つ少なくとも2つのコールドステージ11, 12を備えと共に放射シールド13により少なくとも部分的に包囲された低温冷凍機コールドヘッド10とを備え、冷媒ガスを再液化する冷却装置7であって、少なくとも2つの異なる冷媒液体18a, 18bを保持するクライオスタット1のネックチューブ又はサスペンションチューブ3a, 3bに挿入可能な熱伝達装置14a, 14bに、コールドヘッドの少なくとも2つのコールドステージを別々に熱伝導可能に接続した。

【選択図】 図3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

少なくとも 2 つのコールドステージ ( 1 1 , 1 2 ) を備えると共に少なくとも部分的に放射シールド ( 1 3 ) により包囲された低温冷凍機のコールドヘッド ( 1 0 ) を収容し且つ真空チャンバ ( 9 ) を画定する外側ジャケット ( 8 ) を備え、冷媒ガスを再液化する冷却装置 ( 7 ) であって、少なくとも 2 つの異なる冷媒液体 ( 1 8 a , 1 8 b ) を保持するクライオスタット ( 1 ) のネックチューブ又はサスペンションチューブ ( 3 a , 3 b ) に各々挿入可能な熱伝達装置 ( 1 4 a , 1 4 b ) に、前記コールドヘッド ( 1 0 ) の少なくとも 2 つのコールドステージ ( 1 1 , 1 2 ) が別々に熱伝導可能に接続されていることを特徴とする冷却装置 ( 7 ) 。

10

## 【請求項 2】

前記熱伝達装置 ( 1 4 a , 1 4 b ) の少なくとも一方が、開口管路とくに導管 ( 1 6 a , 1 6 b ) に接続された空洞部 ( 1 5 a , 1 5 b ) を有し、前記開口管路とくに導管は、クライオスタット ( 1 ) の液体タンク ( 2 a , 2 b ) から蒸発した冷媒 ( 1 8 a , 1 8 b ) を、前記冷媒が液化するコールドステージ上にある空洞部に導き、その後、前記冷媒を前記導管 ( 1 6 a , 1 6 b ) を通って前記クライオスタット ( 1 ) の前記液体タンク ( 2 a , 2 b ) に流れ戻すことを特徴とする請求項 1 に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

## 【請求項 3】

前記熱伝達装置 ( 1 4 a , 1 4 b ) の少なくとも一方が、熱伝導特性に優れた金属製コネクション ( 1 7 a , 1 7 b ) を有し、前記クライオスタット ( 1 ) の前記液体タンク ( 2 a , 2 b ) から蒸発した冷媒 ( 1 8 a , 1 8 b ) が前記金属製コネクションの端部で液化され、その後クライオスタット ( 1 ) の前記液体タンク ( 2 a , 2 b ) の液体槽 ( 1 8 a , 1 8 b ) に戻されることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

20

## 【請求項 4】

前記低温冷凍機はパルスチューブ冷凍機又はギボード・マクマーン冷凍機であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれか 1 項に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

## 【請求項 5】

両端が開口し且つバルブ及び又はポンプを挿入可能な少なくとも 1 つの接続管路 ( 2 3 ) を有し、最も低い沸点を有する冷媒 ( 1 8 a ) を収容すると共に熱伝達装置 ( 1 4 a ) が導入されない液体タンク ( 2 a ) の少なくとも 1 つのネックチューブ又はサスペンションチューブ ( 3 c ) に低温冷凍機の前記コールドヘッド ( 1 0 ) を前記接続管路を介して接続可能であり、前記接続管路 ( 2 3 ) は、前記コールドヘッド ( 1 0 ) の少なくとも 2 つのコールドステージ ( 1 1 , 1 2 ) および随意には最冷コールドステージ ( 1 2 ) 上の蓄冷器チューブ ( 2 5 ) と熱接触しており、前記接続管路 ( 2 3 ) は、最冷コールドステージ ( 1 2 ) との熱接触後、前記コールドヘッド ( 1 0 ) に取り付けられた空洞部 ( 1 5 a ) 内で終端し又は前記金属製コネクション ( 1 7 a ) に沿って液体タンク ( 2 a ) 内に案内されることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれか 1 項に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

30

## 【請求項 6】

低温冷凍機の最冷コールドステージ ( 1 2 ) においてヘリウムを 4 . 2 K 以下の温度で液化することができることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

40

## 【請求項 7】

低温冷凍機の前記コールドステージ ( 1 1 ) において液体窒素を 7 7 K 以下の温度で生成することができることを特徴とする請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

## 【請求項 8】

低温冷凍機の前記コールドヘッドの、最冷コールドヘッドでないコールドステージ ( 1 1 ) は、前記コールドヘッド ( 1 0 ) を少なくとも部分的に包囲する放射シールド ( 1 3 ) に熱伝導可能に接続されることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の冷却装置 ( 7 ) 。

50

## 【請求項 9】

前記熱伝達装置(14a, 14b)は少なくとも部分的に前記外側ジャケット(8)内に配置されることを特徴とする請求項1ないし8のいずれか1項に記載の冷却装置(7)。

## 【請求項 10】

前記熱伝達装置(14a, 14b)は、前記外側ジャケット(8)の外側の領域で第1チューブ(19a, 19b)により少なくとも部分的に包囲されることを特徴とする請求項1ないし9のいずれか1項に記載の冷却装置(7)。

## 【請求項 11】

前記熱伝達装置(14a, 14b)を包囲する前記第1チューブ(19a, 19b)は一端で開口しており、前記開口端は前記外側ジャケット(8)の前記真空チャンバ(9)に接続され、他端は導管(16a, 16b)または前記熱伝達装置(14a, 14b)の金属製コネクッション(17a, 17b)に気密に接続されることを特徴とする請求項10に記載の冷却装置(7)。

10

## 【請求項 12】

前記熱伝達装置(14a, 14b)を包囲する前記第1チューブ(19a, 19b)は、両端が気密に前記導管(16a, 16b)又は前記熱伝達装置(14a, 14b)の金属製コネクッション(17a, 17b)に接続され、真空排気用の別のコネクッションが設けられていることを特徴とする請求項10に記載の冷却装置(7)。

## 【請求項 13】

前記導管(16a)又は前記熱伝達装置(14a)の前記金属製コネクッション(17a)は、前記放射シールド(13)に熱伝導可能に接続された第2チューブ(20)により少なくとも部分的に包囲され、前記第2チューブ(20)は前記第1チューブ(19a)内に配置されることを特徴とする請求項1ないし12のいずれか1項に記載の冷却装置(7)。

20

## 【請求項 14】

前記導管(16a, 16b)又は熱伝導特性に優れた前記金属製コネクッション(17a, 17b)は、前記熱伝達装置(14a, 14b)を包囲するチューブを含めて、少なくとも区間的にフレキシブルであり、特に、ペローとして又はワイヤをひもに編んだ形で設計されることを特徴とする請求項1ないし13のいずれか1項に記載の冷却装置(7)。

30

## 【請求項 15】

前記冷却装置(7)は、冷媒液体(18a, 18b)を保持するクライオスタット(1)に気密に取り付け可能であることを特徴とする請求項1ないし14のいずれか1項に記載の冷却装置(7)。

## 【請求項 16】

前記冷却装置(7)は、振動を伝達しない柔らかい接続要素(31a, 31b)によりクライオスタット(1)の外側に取り付け可能であることを特徴とする請求項1ないし14のいずれか1項に記載の冷却装置(7)。

## 【請求項 17】

請求項1ないし16のいずれか1項に記載の冷却装置(7)を特徴とするクライオスタット構造。

40

## 【請求項 18】

前記冷却装置(7)は超伝導磁石装置(5)とくにクライオスタット構造を冷却する役割を奏し、前記超伝導磁石装置(5)は核磁気共鳴用の装置の一部とくに磁気共鳴画像(MRI)装置又は磁気共鳴分光装置(核磁気共鳴、NMR)の一部であることを特徴とする請求項17に記載のクライオスタット構造。

## 【請求項 19】

電気ヒータ(22a, 22b)を少なくとも1つの液体タンク(2a, 2b)のサスペンション又はネックチューブ(3c)を介して前記液体タンク(2a, 2b)に挿入可能であることを特徴とする請求項17に記載のクライオスタット構造。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、再液化冷媒ガスの冷却装置に関し、この装置は、真空チャンバを画定する外側ジャケットと同ジャケット内に設置された低温冷凍機コールドヘッドとを備え、コールドヘッドは、少なくとも2つのコールドステージを有すると共に放射シールドにより少なくとも部分的に包囲されている。

## 【背景技術】

## 【0002】

特許文献1 - 10には、低温冷凍機を用いることにより冷媒損失を殆どまたは全く来すことなしに超伝導磁石システムを冷却することが記載されている。

## 【0003】

例えば2段式の低温冷凍機のコールドヘッドは、その第1コールドステージが放射シールドに堅固に接続されると共に第2コールドステージがヘリウム容器に直接に又は固定の熱橋を介して熱伝導可能に接続されるよう、真空下にある別置のスリーブアセンブリ内に通常は設置され（例えば特許文献7に記載の如く）またはクライオスタットの真空チャンバ内に設置され（例えば特許文献6に記載の如く）、そして、ヘリウム容器は超伝導磁石を液体ヘリウム内に保持している。ヘリウムは外部からの入熱によって蒸発するが、ヘリウムがヘリウム容器内の低温接触面で再凝縮することによりヘリウム容器への入熱全体を補償することができ、これによりシステムの冷媒を略全く損失することなしに運転が行われる。これに代えて、例えば特許文献9に記載されているようにコールドヘッドをネックチューブに挿入可能であり、このネックチューブは、クライオスタットの外側真空スリーブをヘリウム容器に接続するものであり、ヘリウムガスで満たされている。2段コールドヘッドの第1コールドステージは放射シールドと固定的かつ熱的に接触しており、第2コールドステージはヘリウム雰囲気中に自由懸垂されて蒸発ヘリウムを直接液化するものである。

## 【0004】

これらのものには幾つか欠点がある。すなわち、クライオスタットの設計および構築に労力を要すると共に設計および構築が複雑になり、また、低温冷凍機のコールドヘッドを収容する更なるスリーブの設置によりコールドヘッドへの更なる入熱が発生する。コールドヘッドに更なるネックチューブを用いる場合、ヘリウムガスカラムおよびチューブ壁における熱伝導とヘリウムガスの対流とにより、ヘリウム容器や冷凍機のコールドヘッドに更なる熱が伝達される。さらに、コールドヘッドとクライオスタットとの間に固定の堅固またはフレキシブルな熱素子が接続されるが、この熱素子によりコールドヘッドの振動がクライオスタットに伝達される。さらにまた、10Kよりも低温の温度範囲では、パルスチューブ冷凍機やギボード・マクマーン冷凍機などの低温冷凍機のコールドヘッドの第2段蓄冷器で磁性蓄冷材が通常用いられ、また、蓄冷器はNMR磁石システムの磁気中心の比較的近くにある場合がある。この結果、NMRサンプルの位置における磁場の擾乱を防止すると共に蓄冷器の機能低下を防止するために蓄冷器を一般にはシールドしなければならない。最後に、低温冷凍機が故障すると不安定状態が発生し、新たな平衡状態に達するまでは放射シールドなどのクライオスタット部品の温度が連続的に変化する。例えば高分解能核磁気共鳴(NMR)分光用の磁石システムでは、磁石のシム状態が絶えず変化し、最悪の場合には磁石が消磁してクエンチするので、NMR測定が妨げられる。

## 【0005】

これらの問題を解決しつつ半ば無損失の冷媒システムを実現する1つの方法では、低温冷凍機で冷却される装置を使用しなければならない。この装置は、単一の蒸発冷媒の再液化に使用可能なものである。例えば超伝導磁石システムに従来一般に用いられるクライオスタット装置では、磁石は通常4.2Kの液体ヘリウムで満たされた容器内に設置される。ヘリウム容器への外部からの入熱が最小になるよう、ヘリウム容器は、一般にはボイロフガスで冷却される放射シールドと液体窒素で冷却される別のシールドとで包囲される

10

20

30

40

50

。また、蒸発冷媒によるパッシブ冷却のため、液体ヘリウム及び窒素を一定間隔で再充填しなければならない。

【0006】

特許文献11及び12は、既存のクライオスタット構造の窒素容器のネックチューブ又はサスペンションチューブにヒートチューブ形式の熱伝達装置を挿入し、このヒートチューブを低温冷凍機のコールドヘッドに接続して蒸発窒素を再液化することを提案している（非特許文献1も参照）。液化装置は、1段パルスチューブ冷凍機のコールドヘッドに直接にフランジ接続されると共に細いチューブで構成されており、窒素蒸気はこのチューブ内を上昇し、コールドヘッドに接触した低温表面で液化され、チューブ壁に沿って流れ落ちる。この非常に細いチューブはその上方領域が真空スリーブで包囲され、窒素ネックチューブ又はサスペンションチューブに直接挿入することができ、窒素の蒸発及び窒素損失を防止又は低減する。ここでは窒素のみを再液化しており、従って、ヘリウム損失を問題にしたものではない。

10

【0007】

同様に、ヘリウムのみを再液化が2段低温冷凍機のコールドヘッドを用いてヘリウム貯蔵容器で行われている。

【0008】

どちら（窒素液化装置またはヘリウム液化装置）の場合にも、低温冷凍機のコールドヘッドは真空チャンバを画定する外側ジャケット内にある。多段低温冷凍機が用いられる場合、コールドヘッド部分は、通常、放射シールドで包囲され、放射シールドはコールドステージ（最冷コールドステージではない）に接触しており、低温領域でコールドヘッドを熱放射から良好に絶縁するものである。

20

【0009】

上述したように、特に高分解能核磁気共鳴（NMR）分光における磁石システムに従来使用されている種々のクライオスタット構造は、2以上の冷媒を有している。液体ヘリウムが満たされ磁石を保持する容器の他に、更なる放射シールドが設けられ、この放射シールドは液体窒素で冷却される。このように、ヘリウム損失及び窒素損失の双方を低減し又は無損失運転を実現するためには、別置のヘリウム液化装置および別置の窒素液化装置を使用しなければならない。これは、装置の数、設備投資および運転コストをかなり増大させることになる。

30

【特許文献1】欧州特許出願公開第0905436号明細書

【特許文献2】欧州特許出願公開第0905524号明細書

【特許文献3】国際公開第03/036207号パンフレット

【特許文献4】国際公開第03/036190号パンフレット

【特許文献5】米国特許第5,966,944号明細書

【特許文献6】米国特許第5,563,566号明細書

【特許文献7】米国特許第5,613,367号明細書

【特許文献8】米国特許第5,782,095号明細書

【特許文献9】米国特許出願公開第2002/0002830号明細書

【特許文献10】米国特許出願公開第2003/230089号明細書

40

【特許文献11】特開平11-257770号公報

【特許文献12】特開2000-283578号公報

【非特許文献1】低温工学の進歩（Advances of Cryogenic Engineering），第45巻，p. 41 - 45

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって、本発明の目的は、少なくとも2つの冷媒を含む既存のクライオスタット構造とくに超伝導磁石装置を含むクライオスタット構造に有利にかつ簡単に後付けすることができる冷却装置であって、既存の冷媒液体の一部又は全部の損失を解消し又は従来装置

50

に比べて大幅に低減することができる冷却装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

従来技術と異なり、本発明によれば、この目的は、少なくとも2つの異なる冷媒液体を保持するクライオスタットのネックチューブ又はサスペンションチューブに挿入可能な熱伝達装置に、低温冷凍機のコールドヘッドの少なくとも2つのコールドステージをそれぞれ別々に熱伝導可能に接続することにより達成される。

【0012】

この種の冷却装置には下記の利点がある。すなわち、既存のクライオスタット構造とくに超伝導磁石を含むクライオスタット構造に調整なしに（又は若干の調整のみで）後付けすることができ、幾つかの冷媒を用いる場合にも特段のハードウェアの必要なしに且つ冷媒損失を全くまたは殆ど来すことなく運転を行うことができる。クライオスタットの再設計は不要である。装置により発生するクライオスタットへの更なる入熱は少なく、また、正しく設計された場合、更なる入熱を精密に予測することができる。熱伝達装置では冷媒が液化されるが、この熱伝達装置はクライオスタット構造のネックチューブ又はサスペンションチューブに非接触で導入できるように設計される。蒸発ガスは過熱されず、また、蒸発ガスを液化温度まで冷却する必要がないので、蒸発ガスは熱力学的に効果的に液化される。低温冷凍機のコールドヘッドは、クライオスタット内の超伝導磁石装置の磁気中心からの距離が、クライオスタットにコールドヘッドを直接組込んだ場合に比べ、磁石装置に磁性蓄冷材が及ぼす擾乱がそれほど深刻でないような距離になるように配置される。他  
20  
方、低温冷凍機の機能は磁石装置の磁場によりあまり損なわれることがない。低温冷凍機が故障し又は保守作業のために電源をオフした場合にも、クライオスタット構造は例えば超伝導磁石装置を冷却する機能を依然として果たすことができる。これにより運転の信頼性が確保される。さらに、ユーザは動作モード（従来モード又は冷媒損失なしモード）を自由に選択することができる。

【0013】

本発明の冷却装置の特に好ましい実施の形態では、少なくとも1つの熱伝達装置は空洞部を有し、この空洞部は開口管路とくに導管に接続されている。クライオスタットの液体タンクから蒸発した冷媒は導管を通過してコールドステージにある空洞部に導かれ、コールドステージで液化される。凝縮した冷媒は、導管を通過してクライオスタットの液体タンク  
30  
に流れ戻る。この熱伝達装置は、従来の熱工学ヒートパイプのように機能する。

【0014】

本発明の別の好ましい実施の形態では、少なくとも1つの熱伝達装置は熱伝達特性に優れた金属製コネク션을備え、クライオスタットの液体タンクから蒸発した冷媒が金属製コネクションの端部で液化され、その後クライオスタットの液体タンクの液体槽に流れ戻る。このコネクションの他端部は低温冷凍機のコールドヘッドのコールドステージにフランジ接続されている。熱伝達装置は種々に組み合わせることができる。熱伝達特性に優れた金属製コネク션을例えば2段コールドヘッドの第1コールドステージにフランジ接続し、第2コールドステージを導管に接続することができる。

【0015】

特に高分解能NMR法では、低温冷凍機はパルスチューブ冷凍機であることが有利である。パルスチューブ冷凍機はきわめて低振動で運転することができるからである。さらに、パルスチューブ冷凍機は動作が信頼でき、保守の必要がほとんどない。

【0016】

冷却装置はギボード・マクマーン冷凍機によっても作動可能である。パルスチューブ冷凍機と比べた場合、この低温冷凍機の欠点は振動が大きいことである。この欠点は、以下で説明するように、低温冷凍機とクライオスタット構造との間に柔らかいシール要素を設けることによって解決できる。

【0017】

特に有利には、両端が開口した少なくとも1つの接続管路を設け、沸点が最も低い冷媒

10

20

30

40

50

を収容する液体タンクの少なくとも1つのネックチューブ又はサスペンションチューブに低温冷凍機のコールドヘッドを接続する。熱伝達装置は液体タンクには挿入されない。接続管路はコールドヘッドの少なくとも2つのコールドステージと熱接触し、最冷コールドステージ上の蓄冷器チューブとも接触可能である。接続管路は、最冷コールドステージとの熱接触後、コールドヘッドに取り付けられた空洞部内で終端し又は金属製コネクシオンに沿って液体タンクに案内される。この管路内のガスは、低温冷凍機のコールドヘッドで冷却されると共に最冷コールドステージで液化され、結果として生ずる吸引によりネックチューブ又はサスペンションチューブを通して冷却装置へ至る流れが管路内に発生する。ガス流はネックチューブ又はサスペンションチューブを冷却し、これにより理想的にはネックチューブ又はサスペンションチューブを介する入熱を完全に補償する。ネックチューブ又はサスペンションチューブ用のこの循環流はクライオスタットへの入熱をさらに低減する。

10

**【0018】**

この実施の形態の更なる発展例では、ネックチューブ又はサスペンションチューブとコールドヘッドとの間の接続管路にバルブ及び又はポンプを設けてガス流を制御する。例えば、コールドヘッドにおける吸引作用が大きくてガス流がサスペンションチューブ又はネックチューブの最適冷却のために必要なものよりも大きくなった場合、必要に応じてガス流を減少させ又は最適なガス流を調整することができる。

**【0019】**

有利には、コールドヘッドの最冷コールドステージで4.2 K以下の温度でヘリウムを液化可能であり、低温領域における複数の実行可能な応用を提供する。低温冷凍機の冷却能力が十分に大きければ、ヘリウム損失及び再充填プロセスを低減し又は無損失運転を実現することができる。

20

**【0020】**

別の有利な態様では、低温冷凍機のコールドステージにおいて77 K以下で窒素を液化することができる。液体窒素の容器を有するクライオスタット構造において熱伝達装置を用いることにより、低温冷凍機の冷却能力が十分に大きければ、運転中の窒素損失を低減し又は解消することができる。

**【0021】**

有利な実施の形態では、コールドヘッドの、最冷コールドステージではないコールドステージが、コールドヘッドを少なくとも部分的に包囲する放射シールドに熱伝導可能に接続される。このようにして、コールドヘッドのより低温の部品への放射的な入熱が実質的に低減される。

30

**【0022】**

さらに有利には、熱伝達装置が少なくとも部分的に冷却装置の外側ジャケット内すなわち真空チャンバ内に静置される。これは、特に、低温冷凍機のコールドヘッドに接続された熱伝達装置部分にあてはまる。この熱伝達装置部分は、これにより外側への熱伝導に対して良好に絶縁される。

**【0023】**

また、外側ジャケットの外側の領域で熱伝達装置を第1チューブにより少なくとも部分的に包囲することが非常に有利である。このチューブは熱伝達装置を断熱する。しかし、チューブは全長にわたって一定の直径を有するものであってはならない。チューブの一部では最小可能直径を選択し、その他の部分ではより大きな直径を選択することが、構成上、より好適である場合がある。

40

**【0024】**

好ましい実施の形態では、熱伝達装置を包囲する第1チューブは一端で開口しており、この開口端が外側ジャケットの真空チャンバに接続され、他端は導管又は熱伝達装置の金属製コネクシオンに気密に接続される。この実施の形態の冷却装置の真空チャンバが真空排気されると、第1チューブにより包囲された熱伝達装置部分も真空になる。熱伝達装置はこの領域で外側への熱伝導に対して良好に絶縁される。

50

## 【0025】

別の有利な実施の形態では、熱伝達装置を包囲する第1チューブは、両端が導管又は熱伝達装置の金属製コネクションに気密に接続され、別のコネクションを介して真空排気される。これによりチューブ内が真空排気され、チューブにより包囲された熱伝達装置部分は外側への熱伝導に対して良く絶縁される。

## 【0026】

導管又は熱伝達装置の金属製コネクションは、放射シールドに熱伝導可能に接続された別の第2チューブを少なくとも部分的に包囲することが有利である。このチューブは第1チューブ内に配置され、上述のように真空絶縁を提供する。このようにして、第2チューブで包囲された熱伝達装置部分は外側への熱放射に対して良く絶縁される。

10

## 【0027】

上述の熱伝達装置を包囲するチューブは、少なくとも区間的にフレキシブルであることが特に好ましく、ベローとして設計されることが好ましい。

## 【0028】

さらに有利には、熱伝達装置は少なくとも区間的にフレキシブルであり、特にベローとして又はワイヤストランドの形式に編んだものとして設計される。本発明の冷却装置のこの実施の形態では、熱伝達装置と周りのチューブはフレキシブルであって、クライオスタット構造のネックチューブ又はサスペンションチューブへの設置がかなり容易になる。

## 【0029】

これに関連して、ネックチューブ又はサスペンションチューブと周りのチューブを、少なくとも1箇所で気密継ぎ手を用いて互いに接離可能にすることも有利である。この継ぎ手は、熱伝達装置と周りのチューブの機能が損なわれないように設計される。これは、クライオスタット構造への冷却装置の取付けを実質的に容易にする。

20

## 【0030】

本発明の別の実施の形態では、冷媒液体を保持するクライオスタットに冷却装置をネックチューブ又はサスペンションチューブにおいて取り付けることができ、又はクライオスタット構造の外側ジャケット上で取り付けることができる。

## 【0031】

別の好ましい態様では、冷却装置はクライオスタットの外側たとえばルーム天井又は別置のスタンドに取り付けられる。この場合、クライオスタット構造は冷却装置の重量を支える必要がなく、これによりクライオスタット構造の機械的安定性が増大する。

30

## 【0032】

これに関連して、振動を伝達しない柔らかい接続要素を冷却装置とクライオスタットとの間のシールとして設けることが有利である。これにより、特に高分解能NMR法において冷却装置の擾乱的な振動がほとんど全くクライオスタット構造に伝わらなくなる。

## 【0033】

別の可能性は、低温冷凍機のコールドヘッドのコールドステージに電気ヒータを取り付けることである。低温冷凍機の冷却能力に余裕がある場合、ヒータを調整してクライオスタット構造の各種容器への入熱を低温冷凍機が正確に補償するようにすることができる。

## 【0034】

本発明の冷却装置の利点は、冷却装置がクライオスタット構造の一部を構成している場合に特に良く活用される。

40

## 【0035】

特に有利には、冷却装置は、超伝導磁石を、特に核磁気共鳴装置の一部とくに磁気共鳴画像(MRI)装置又は核磁気共鳴(NMR)分光装置の一部である超伝導磁石を冷却するために用いられる。

## 【0036】

電気ヒータはまた、本発明の冷却装置を備えたクライオスタット構造の液体タンクに少なくとも1つの液体タンクのネックチューブ又はサスペンションチューブを介して導入することができる。冷却装置に統合された低温冷凍機コールドヘッドの冷却能力に余裕があ

50

る場合、これにより液体容器内の圧力を周りの圧力よりも高い一定レベルに保つことができる。しかし、低温冷凍機の動作周波数及び又は低温冷凍機の作業ガスの充填量により低温冷凍機の出力を制御可能である。

【0037】

本発明のその他の利点は以下の説明と図面から明らかになる。上述の特徴及び以下で述べる特徴は、個々にまたは任意の組み合わせで利用することもできる。図示し説明される実施の形態はすべてを列挙したものではなく、本発明を説明するための例示的な性格のものであることは言うまでもない。

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

図1は、MR用途で通常用いられる磁石装置5を備えたクライオスタット1の概略図である。クライオスタット1はヘリウムで満たされた液体タンク2aを備え、この液体タンク2aは、サスペンションチューブ3aによりクライオスタット1の外側ジャケット4に接続され、また、磁石装置5を収容している。液体タンク2aまわりには別の液体タンク2bが配置され、この液体タンク2bは窒素を含み、また、サスペンションチューブ3bによりクライオスタット1の外側ジャケット4に接続されている。窒素を含む上記液体タンク2bはサスペンションチューブ3aと熱接触している。そして、2つの液体タンク2a, 2bの間にはボイルオフガスで冷却される放射シールド6が配置され、この放射シールド6はサスペンションチューブ3aと熱接触している。

10

【0039】

図2aは、本発明による冷却装置7の実施の形態を示す。この冷却装置は、真空チャンバ9を画定する外側ジャケット8と該ジャケット内に配置されたコールドヘッド10とを含み、コールドヘッド10は、少なくとも2つのコールドステージ11, 12を備え、放射シールド13により少なくとも部分的に包囲されている。コールドヘッド10のコールドステージ11, 12は、熱伝達装置14a, 14bにそれぞれ熱伝導可能に接続されている。熱伝達装置14a, 14bは空洞部15a, 15bをそれぞれ有し、空洞部15a, 15bは導管16a, 16bにそれぞれ接続されている。

20

【0040】

図2bは本発明による冷却装置7の別の実施の形態を示し、熱伝達装置14a, 14bは、熱伝導特性に優れたコネクション17a, 17bを備えている。これらのコネクションは、例えば、一般には金属製ロッドとして設計されるコールドフィンガの形式でよい。この金属製ロッドは、該ロッドに沿う温度差が最小になるよう最大の断面を有するものでなければならない。

30

【0041】

導管16a, 16bは、クライオスタット1の液体タンク2a, 2bのサスペンションチューブ3a, 3bに挿入することができる。図3は、本発明の冷却装置7を設置状態を示す。導管16a, 16bは、液体タンク2a, 2bに配された冷媒18a, 18bの液面上方の冷媒蒸気中に位置づけられている。熱伝達装置14a, 14bは、低温冷凍機のコールドステージ11, 12にそれぞれ熱伝導可能に接続されている(図2a, 図2b及び図3)。クライオスタット1の液体タンク2a, 2bから蒸発した冷媒18a, 18bは導管16a, 16bを通過してコールドステージ12, 11上の空洞部15a, 15bにそれぞれ導かれる。冷媒18a, 18bはコールドステージ12, 11で凝縮して液化し、その後、導管16a, 16bを通過してクライオスタット1の液体タンク2a, 2bに流れ戻る。ヘリウム蒸気もまた、コールドヘッド10と接触しかつ熱伝導特性に優れた金属製コネクション17a, 17bの端部で液化可能である(図2b)。

40

【0042】

液体タンク2bからの、沸点がより高温の冷媒18bは、コールドヘッド10の第1コールドステージ11で液化され、一方、沸点がより低温の冷媒18aは、コールドヘッド10の、より低温の第2コールドステージ12で液化される。本発明は、多段コールドヘッド10を具備した冷却装置を備え、原理的にはコールドヘッド10のコールドステージ

50

の数に対応する任意の数の冷媒を液化することができるものである。

【0043】

熱伝達装置14a, 14bを入熱から隔離するべく、熱伝達装置は第1チューブ19a, 19bにより包囲されている。第1チューブは冷却装置7の外側ジャケット8の真空チャンバ9に接続され、真空チャンバ9と一緒に排気可能である(図2a, 図2b)。外部熱放射からの断熱性を高めるため、第2チューブ20が第1チューブ19a内に配置され、また、放射シールド13に熱伝導可能に接続されている。第1チューブ19aの直径は、図2a, 図2b及び図3において同チューブの長さ方向に変化している。第1チューブを液体タンク2bのサスペンションチューブ3bに非接触で挿入可能なようチューブ直径を閉塞端部で低減させなければならない場合がある。ペローは、第1チューブ19bと冷却装置7の外側ジャケット8との間のフレキシブル接続を提供する。また、ペローを第1チューブ19aと外側ジャケット8との間及び第2チューブ20の区間に介在させることもできる。図2bに示された金属製コネクシオン17a, 17bは、フレキシブルな接続要素21a, 21b(例えばひも状に編んだワイヤ)によってフレキシブルにすることができる。低温冷凍機の冷却能力に余裕がある場合、低温冷凍機のコールドヘッド10のコールドステージ11, 12に追加ヒータ(図示せず)を取り付けることができる。これに代えて或いはこれに加えて、低温冷凍機の冷却能力に余裕がある場合、ヒータ22a, 22bを用いて冷媒18a, 18bの液体タンク2a, 2b内の圧力を一定に保つことができる。ヒータ22a, 22bは、液体タンク2a, 2b内に配置され、例えば自由ネックチューブ又は自由サスペンションチューブ3c, 3dを介して挿入される。

10

20

【0044】

図4は本発明の冷却装置の有利な変形例を示し、クライオスタット1の自由ネックチューブ又は自由サスペンションチューブ3cは、両側が開口した管路23を介して、コールドヘッド10のコールドステージ11, 12と熱接触した後に空洞部15aに接続され、つまり液体タンク2aに接続されるものになっている。この種の接続は、幾本かの自由ネックチューブ又は自由サスペンションチューブ3cによっても実現することができる。サスペンションチューブ3cからの管路は最初に1つの管路23にまとめられる。管路23は、コールドヘッド10を含む冷却装置7の外側ジャケット8を貫通して案内され、熱交換機24b, 24aによりコールドヘッドの少なくとも2つのコールドステージ11, 12と熱接触する。場合によっては、例えば管路23を蓄冷器チューブ25に巻きつけて、管路23を最冷コールドステージ12の蓄冷器チューブ25とも熱接触させる。最冷コールドステージ12との接触後、管路23はコールドヘッド10に設けられた空洞部15a内で終端をなし、又は金属製コネクシオン17aに沿って冷媒18a(ヘリウム)の液体タンク2aに導かれる。管路23内のガスはコールドヘッド10で冷却され、最冷コールドステージ12で液化し、結果として生ずる吸引により、サスペンションチューブ3cを通過して冷却装置7へ向かう流れが管路23に発生する。加熱されるガス流がサスペンションチューブ3cを冷却し、これにより理想的にはサスペンションチューブ3cを介する入熱が完全に補償され又は少なくとも低減される。低温冷凍機の全体的な冷却力は追加負荷のために若干低下する。入熱の低減による利益は冷却力の低下よりも大きい。特に大型のネックチューブ又はサスペンションチューブ3cを用いるシステムの場合、低出力の低温冷凍機を使用することができる。熱伝達装置14a, 14b(ヒートチューブ又はコールドフィンガ)は2つ又は3つの部品から作ることができ、そのため気密継ぎ手(図示せず)を用いて熱伝達装置部品を分離することができる。これにより、設置および分解が容易になる。管路23はバルブ26およびポンプ27を有し、管路23を通るガス流を制御し、最適なガス流を調整することができる。管路23にこれらのデバイス(バルブ26又はポンプ27)を設けることも、これらのデバイスを完全に省くこともできる。図4の実施の形態および図3の実施の形態では、ヒータ22a, 22bが液体タンク2a, 2bに設けられている。明確化のため、図4ではコネクシオンは省略されている。

30

40

【0045】

図5aないし図5cは、冷却装置7を固定する上での種々の可能性を示す。低温冷凍機

50

のクールドヘッド10を収容する真空容器は、図5aに示されているようにクライオスタット1の外側ジャケット4に直接取り付けられるか、又は、外部たとえばルーム天井28(図5b)又は別置のスタンド29(図5c)に取り付けることができる。クライオスタット1に取り付けるにはシールド30を用いなければならない。外部に懸垂させる場合、真空チャンバ9とクライオスタット1の外側ジャケット4との間に別のシールド要素31a, 31bを用いるだけであり、結果として、低温冷凍機の振動はクライオスタット1に全く伝わらず又は最小の振動しか伝わらない。超伝導磁石装置5を収容したクライオスタット構造の冷却に冷却装置7を用いる場合、特に超伝導磁石装置5が核磁気共鳴装置の一部とくに核磁気共鳴画像装置(MRI)又は核磁気共鳴分光(核磁気共鳴、NMR)の一部である場合、これは特に有利である。したがって、本発明の冷却装置によれば高分解能NMR法が可能になる。 10

【0046】

要約すると、既存のクライオスタット構造とくに超伝導磁石を収容する構造に調整なしに(又は僅かな調整だけで)後付けすることができ、幾つかの冷媒を用いる場合にも冷媒損失を全くあるいは殆ど来すことなしに運転可能な冷却装置が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】冷媒液体用の2つの液体タンクを備えたクライオスタット構造を示す。

【図2a】空洞部を有する熱伝達装置を具備した本発明の冷却装置を示す。

【図2b】熱伝達特性に優れた金属製コネクションを備える熱伝達装置を具備した本発明の冷却装置を示す。 20

【図3】クライオスタットに設置された図2aによる冷却装置を示す。

【図4】クライオスタットに設置された本発明による冷却装置を、低温冷凍機のクールドヘッドを液体タンクのサスペンションチューブに接続する接続管路と共に示す。

【図5a】クライオスタットに取り付けられた本発明による冷却装置を示す。

【図5b】ルーム天井に取り付けられた本発明による冷却装置を示す。

【図5c】スタンドに取り付けられた本発明による冷却装置を示す。

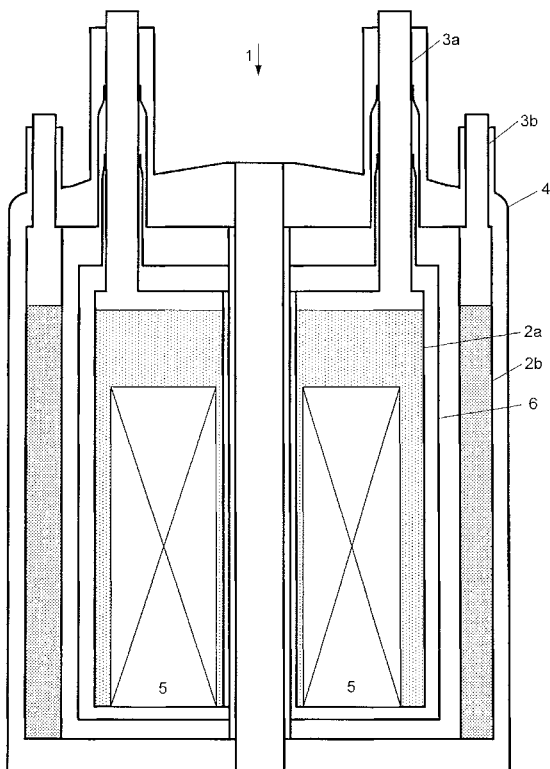
【符号の説明】

【0048】

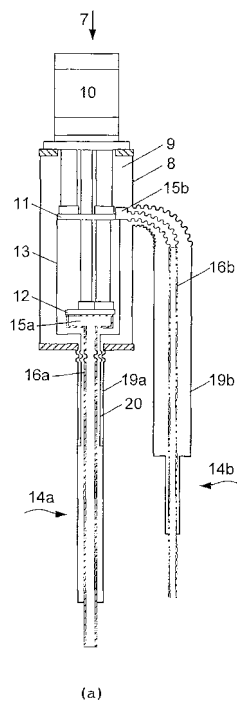
- 1 クライオスタット 30
- 2 a, 2 b 液体タンク
- 3 a, 3 b, 3 c, 3 d サスペンションチューブ
- 4 外側ジャケット
- 5 磁石装置
- 6 クライオスタットの放射シールド
- 7 冷却装置
- 8 冷却装置の外側ジャケット
- 9 真空チャンバ
- 10 コールドヘッド
- 11 第1コールドステージ 40
- 12 第2コールドステージ
- 13 冷却装置の放射シールド
- 14 a, 14 b 熱伝達装置
- 15 a, 15 b 空洞部
- 16 a, 16 b 導管
- 17 a, 17 b コネクション
- 18 a, 18 b 冷媒
- 19 a, 19 b 第1チューブ
- 20 第2チューブ
- 21 a, 21 b 接続要素 50

- 2 2 a , 2 2 b ヒータ
- 2 3 開口した管路
- 2 4 a , 2 4 b 熱交換器
- 2 5 蓄冷器チューブ
- 2 6 バルブ
- 2 7 ポンプ
- 2 8 ルーム天井
- 2 9 スタンド
- 3 0 シール
- 3 1 a , 3 1 b シール要素

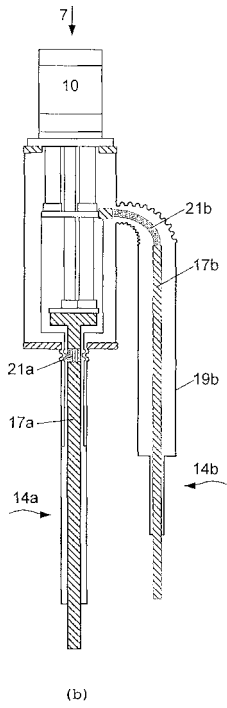
【 図 1 】



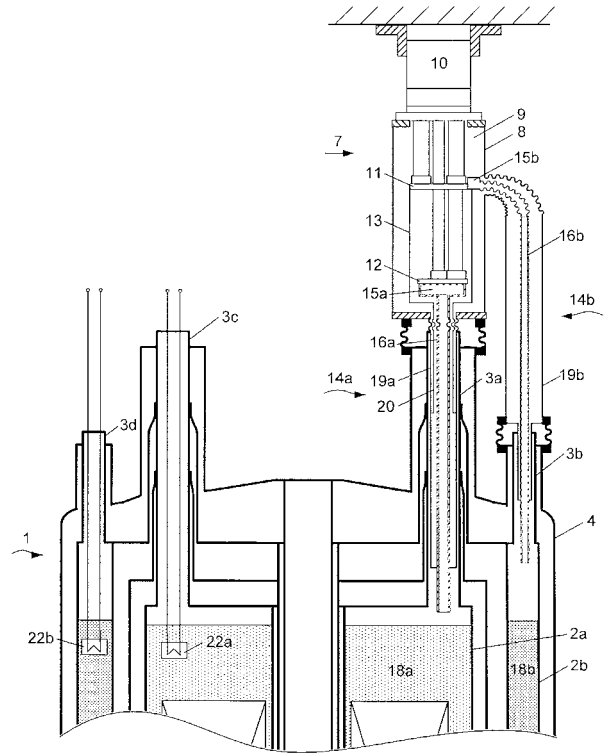
【 図 2 a 】



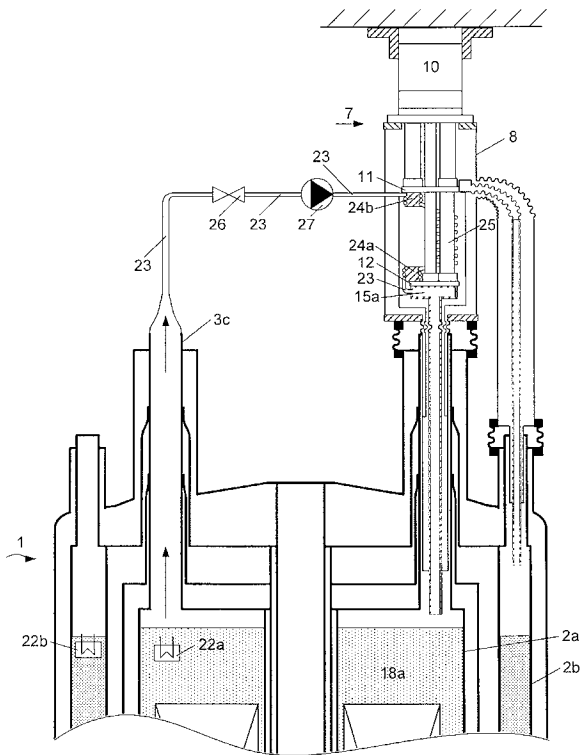
【 図 2 b 】



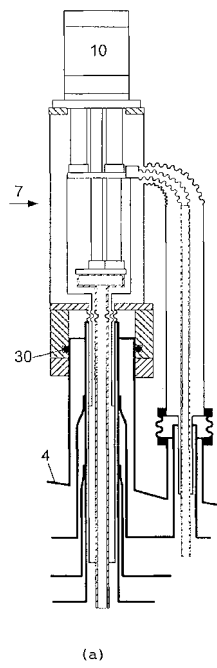
【 図 3 】



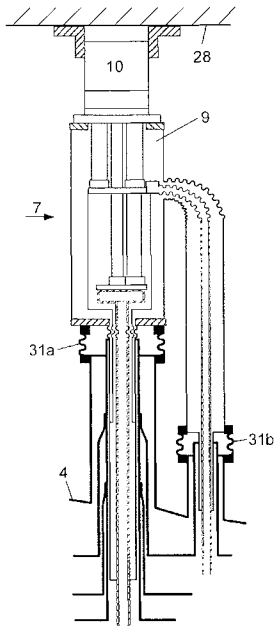
【 図 4 】



【 図 5 a 】

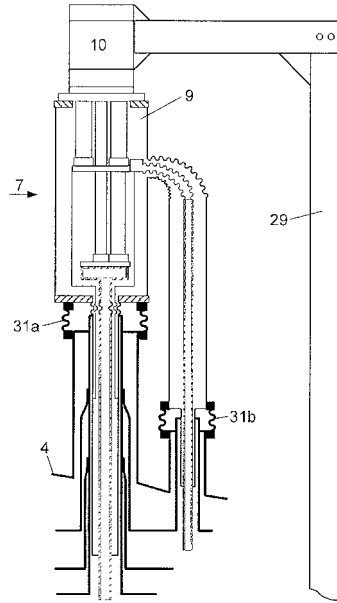


【 図 5 b 】



(b)

【 図 5 c 】



(c)

【外国語明細書】

2006046896000001.pdf

2006046896000002.pdf

2006046896000003.pdf

2006046896000004.pdf