

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
【部門区分】第5部門第3区分  
【発行日】令和1年6月27日(2019.6.27)

【公開番号】特開2018-84347(P2018-84347A)  
【公開日】平成30年5月31日(2018.5.31)  
【年通号数】公開・登録公報2018-020  
【出願番号】特願2016-226059(P2016-226059)  
【国際特許分類】

F 2 5 B 9/00 (2006.01)

F 2 8 D 15/02 (2006.01)

【F I】

F 2 5 B 9/00 Z A A Z

F 2 8 D 15/02 R

【手続補正書】

【提出日】令和1年5月24日(2019.5.24)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】極低温冷却装置

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、超電導磁石を冷却する極低温冷却装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、クライオスタットの冷却手段として、液体Heに代わり極低温冷凍機（以下、単に「冷凍機」という）が使用されている。

メンテナンス又は供給熱量の調整等の観点から、Wシリンダ構造を有する冷凍機の開発がなされている。

【0003】

冷却ステージと冷却対象である超電導コイルとを熱的に接続する伝熱体の構造を切り離し可能な2以上の部材で構成することで、冷凍機の引き抜きが可能になる。

切り離し部分は、例えば、いずれも伝熱性の高い金属で組成された伝熱ヘッド及びこの伝熱ヘッドに接触する伝熱ブロックで構成される。

【0004】

また、このシリンダ構造によって真空容器内の真空環境や温度環境等が変化しないように、冷却ステージを有する冷凍機シリンダは両端が密閉されたスリーブで包囲される。

スリーブ内を真空にすることで、冷凍機シリンダのみ常温にして引き抜くことができる。

また、冷凍機を空気などの混入を防ぐガスバッグを利用すれば、装置本体の真空断熱を破ることなく極低温冷凍機を引き抜くことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開昭62-90910号公報

【特許文献2】特開2007-303814号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

しかしながら、上述した従来の技術では、極低温帯での冷凍機とスリーブの熱収縮差により伝熱ヘッドと伝熱ブロックとが十分に密着せず、熱抵抗が増加して伝熱効率が低下するという課題があった。

また、冷凍機が多段式の場合、全ての伝熱ヘッドを対応する伝熱ブロックに密着させることが困難であった。

よって、2段冷却ステージにおいては、伝熱ヘッドと伝熱ブロックとの隙間をHeなどのガスで充填してこのガスによる熱伝導を用いていたため、伝熱効率が低下していた。

## 【0007】

本発明はこのような事情を考慮してなされたもので、伝熱効率を向上させたシリンダ構造を有する極低温冷却装置を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

本実施形態に係る極低温冷却装置は、真空容器の外部から内部の熱シールドで包囲された内部閉空間に差し込まれる冷凍機と、前記内部閉空間内で前記冷凍機の第1伝熱ヘッドに接触して冷却される第1伝熱ブロックと、前記冷凍機の冷凍機シリンダを包囲する筒状のスリーブのうち前記第1伝熱ヘッドに接続される第1スリーブメンバと、前記第1スリーブメンバの胴部に設けられる第1ベローズと、変位する前記第1伝熱ブロックに追従して接触を維持して前記第1伝熱ブロックから超電導コイルへ伝熱する第1フレキシブル伝熱部材と、を備えるものである。

## 【発明の効果】

## 【0009】

本発明により、伝熱効率を向上させたシリンダ構造を有する極低温冷却装置が提供される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0010】

【図1】第1実施形態に係る極低温冷却装置の概略構成図。

【図2】第1実施形態に係る極低温冷却装置の4Kフレキシブル伝熱部材の概略斜視図。

【図3】4Kフレキシブル伝熱部材の第1の変形例の概略斜視図。

【図4】4Kフレキシブル伝熱部材の第2の変形例の概略斜視図。

【図5】4Kフレキシブル伝熱部材の第3の変形例の概略斜視図。

【図6】(A)第1実施形態に係る極低温冷却装置のON時の冷凍機周辺の拡大図、(B)同・OFF時の冷凍機周辺の拡大図。

【図7】第1実施形態に係る極低温冷却装置の変形例の概略構成図。

【図8】第2実施形態に係る極低温冷却装置の概略構成図。

【図9】直管シリンダ及び4Kベローズ付シリンダについての4K伝熱ヘッドの引き上げ長さと熱侵入量との関係を示す図。

【図10】4K伝熱ヘッドからスリーブへの熱侵入を説明する図。

【図11】スリーブにおける4K伝熱ヘッドの高さとスリーブの各地点の温度との関係を示す図。

【図12】第1実施形態に係る極低温冷却装置の冷却効果を確認した実験結果を示す図。

【図13】第3実施形態に係る極低温冷却装置の概略構成図。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0011】

以下、本発明の実施形態を添付図面に基づいて説明する。

## 【0012】

## (第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係る極低温冷却装置10(以下、単に「冷却装置10」という

)の概略構成図である。

第1実施形態に係る冷却装置10は、図1に示されるように、第1ペローズ11と、第1フレキシブル伝熱部材12と、を備える。

【0013】

以下、詳細を説明する。

冷却装置10は、真空容器13の内部に熱シールド14が設けられ、この熱シールド14の内部に収容された超電導コイル16を冷却する。

熱シールド14は、真空容器13との温度差を考慮して、真空容器13の天井面から断熱体17で吊り下げられる。

【0014】

真空容器13の内部は、この熱シールド14で包囲される内部閉空間と、外部閉空間と、で構成されることになる。

冷凍機18は、真空容器13の外部から内部閉空間に差し込まれて固定される。

なお、超電導コイル16も同様に断熱体で吊り下げられるが、図示は省略する。

【0015】

冷凍機18は、例えば、1段冷却ステージ19及び2段冷却ステージ21の2つの冷却ステージを有する2段式冷凍機である。

1段冷却ステージ19は外部閉空間に配置され、50K伝熱ヘッド(第2伝熱ヘッド)22が設けられる。

2段冷却ステージ21は内部閉空間に配置され、4K伝熱ヘッド(第1伝熱ヘッド)23が設けられる。

【0016】

以下、冷却装置10の稼働時に50K程度に冷却される部材には「50K」、4K程度に冷却される部材には「4K」を付加して名称を統一する。

ただし、これら「50K」及び「4K」の表記は温度を限定するものではない。例えば、50K伝熱ヘッド22は、最適冷却温度が70Kや、100Kであることもある。

【0017】

4K伝熱ヘッド23は、4K伝熱ブロック(第1伝熱ブロック)24に接触してこの4K伝熱ブロック24に冷熱を伝熱する。

4K伝熱ブロック24は、4Kフレキシブル伝熱部材12を介して超電導コイル16に熱的に接続される。

【0018】

50K伝熱ヘッド22も同様に、50K伝熱ブロック(第2伝熱ブロック)27に接触してこの50K伝熱ブロック27に冷熱を伝熱する。

50K伝熱ブロック27は、例えば熱シールド14の外表面に直接接触して固定される。

50K伝熱ブロック27を介した1段冷却ステージ19の冷熱の伝熱により、熱シールド14は、50K前後に冷却される。

【0019】

4K伝熱ヘッド23及び50K伝熱ヘッド22を含む冷凍機シリンダ15全体は、周囲をスリーブ29で包囲される。

スリーブ29は、真空容器13外に有する一端をフランジ付きの上蓋28で、他端を4K伝熱ブロック24で気密に封止される。

スリーブ29は、例えば、4K側スリーブメンバ(第1スリーブメンバ)29a、50K側スリーブメンバ(第2スリーブメンバ)29b、及びスリーブメンバ29cの、この順に並んだ3つの部材で構成される。

【0020】

4K側スリーブメンバ29aは、4K伝熱ブロック24から50K伝熱ブロック27までの、主に内部閉空間内のスリーブ区間を構成する。

50K側スリーブメンバ29bは、50K伝熱ブロック27から真空容器13までの、

主に外部閉空間 内のスリーブ区間を構成する。

スイッチ切替用スリーブメンバ 29 c は、主に真空容器 13 外において、50 K 側スリーブメンバ 29 b 及び上蓋 28 のそれぞれとフランジ 31 で接続される。

【0021】

これらのスリーブメンバ 29 a ~ 29 c の内空間同士は連通され、一連のシリンダ空間 32 を形成する。

スリーブメンバ 29 c の胴部にベローズ等を設けて上下に伸縮させることで、冷凍機シリンダ 15 がシリンダ空間 32 の気密性を維持してスリーブ 29 に沿って変位可能にされる。

【0022】

スリーブ 29 全体の自然長を 冷凍機シリンダ 15 よりも短くすることで、50 K 伝熱ブロック 27 と 50 K 伝熱ヘッド 22 との接触 / 非接触と、4 K 伝熱ブロック 24 と 4 K 伝熱ヘッド 23 との接触 / 非接触とを連動させることができる。

この伝熱ブロック 27 , 24 と伝熱ヘッド 22 , 23 との接触 / 非接触が、冷凍機 18 の熱スイッチ機能の ON / OFF になる。

【0023】

そして、第 1 実施形態に係る冷却装置 10 では、4 K 側スリーブメンバ 29 a の胴部に、ベローズ (4 K ベローズ : 第 1 ベローズ) 11 が設けられる。

また、第 1 実施形態に係る冷却装置 10 では、超電導コイル 16 に固定的に接続された 4 K フレキシブル伝熱部材 12 が 4 K 伝熱ブロック 24 に追従して 4 K 伝熱ブロック 24 との接触を維持する。

【0024】

ここで、図 2 は、第 1 実施形態に係る冷却装置 10 の 4 K フレキシブル伝熱部材 12 の概略斜視図である。

4 K フレキシブル伝熱部材 12 は、図 2 に示されるように、30 枚程度の薄く柔軟な長寸のアルミ板 33 を束ねたものである。

アルミ板 33 は、長手方向両端部から 1 / 3 程度が毎葉ハンダ付けにより結束されて、固定端領域 34 (34 a , 34 b ) を形成する。

一方の固定端領域 34 a が 4 K 伝熱ブロック 24 に接続され、他方の固定端領域 34 b が超電導コイル 16 に接続される。

【0025】

一方、4 K フレキシブル伝熱部材 12 の中央部は、拘束を受けずアルミ板 33 が単に積層されたままの状態を維持して、自由に撓む。

冷凍機シリンダ 15 の押し込みの際、4 K フレキシブル伝熱部材 12 の中央部が撓むことで、固定端領域 34 との接触を維持して 4 K 伝熱ブロック 24 を変位させることができる。

【0026】

また、図 3 ~ 図 5 は、いずれも、第 1 実施形態に係る冷却装置 10 の 4 K フレキシブル伝熱部材 12 の変形例の概略斜視図である。

図 3 に示されるように、図 2 の 4 K フレキシブル伝熱部材 12 の形状を維持して、薄く柔軟なアルミ板 33 に代えて、平編線 30 で 4 K フレキシブル伝熱部材 12 a を構成してもよい。

【0027】

また、図 4 に示されるように、4 K 伝熱ブロック 24 と超電導コイル 16 に接続される伝熱板 37 とをベローズ (伝熱ベローズ) 38 a が設けられた伝熱筒部材 38 で接続するものを 4 K フレキシブル伝熱部材 12 b としてもよい。

【0028】

さらに、図 5 に示されるように、内径 1 mm 程度の細いパイプ 39 a を螺旋状に巻回したヒートパイプ 39 を 4 K フレキシブル伝熱部材 12 c にしてもよい。

超電導コイル 16 上に例えば、伝熱板 37、ヒートパイプ 39、及び 4 K 伝熱ブロック

24をこの順に積層して、4K伝熱ブロック24の冷熱を超電導コイル16に伝熱する。  
ヒートパイプ39は、4K程度に冷却されるパイプ39aの内部にHeを充填することで、Heが気化と液化とを繰り返して伝熱板37に熱を運ぶ。

例えば、パイプ39aの垂直部の一部にS字状の屈曲部41を設けることで、4K伝熱ブロック24が変位しても、パイプ39aが撓んで接触を維持させることができる。

【0029】

4K伝熱ヘッド23が4K伝熱ブロック24に有限角を有して押し込まれても、4Kベローズ11及び4Kフレキシブル伝熱部材12がこの有限角を相殺するように変形する。

つまり、4Kベローズ11と4Kフレキシブル伝熱部材12とを組み合わせることで、各部材の熱収縮の差異や、4Kベローズ11の水平方向への撓みを吸収して4K伝熱ヘッド23と4K伝熱ブロック24とを全面で密着させることができる。

【0030】

図1に戻って説明を続ける。

4K伝熱ヘッド23と4K伝熱ブロック24との熱接触面を大きくするため、例えば4K伝熱ヘッド23が凸形状で4K伝熱ブロック24が凹形状の錘形状に設計される。

4K伝熱ヘッド23が大きな熱接触面を有して4K伝熱ブロック24に嵌り込むことで、4K伝熱ブロック24への伝熱効率を向上させることができる。

【0031】

次に、図6(A)、(B)を用いて、熱スイッチのON時及びOFF時の状態を説明する。

図6(A)は、第1実施形態に係る冷却装置10のON時の冷凍機18周辺の拡大図である。

図6(B)は、第1実施形態に係る冷却装置10のOFF時の冷凍機18周辺の拡大図である。

【0032】

シリンダ空間32には、真空度を調節するための調節管42がスリーブメンバ29cのフランジ31から差し込まれる。

熱スイッチのON時には、供給弁26が開放され、調節管42からシリンダ空間32にヘリウム43が供給される。

【0033】

例えば熱シールド14と50K伝熱ブロック27との接触面等、密着させる2部材間にはインジウム等の高展性金属(図示省略)が配置される。

両部材を高展性金属ごと強固にネジ止めすることで、高展性金属が変形して両部材に密着して両部材間の伝熱ロスを軽減し、伝熱効率を向上させている。

【0034】

しかし、4K伝熱ヘッド23と4K伝熱ブロック24とは、熱スイッチとしてON/OFFが切り替わるので、高展性金属で密着性を高めることができない。

そこで、4K伝熱ヘッド23と4K伝熱ブロック24との接触面44にできる微小な空隙にヘリウム43を流入させて、4K伝熱ヘッド23による伝熱効率を向上させる。

【0035】

また、熱スイッチのOFF時には、4K伝熱ヘッド23の冷熱が4K伝熱ブロック24に伝導することを防止するため、排出弁25を開放して調節管42からヘリウム43を排出する。

このように、熱スイッチの切り替えに合わせて真空調整をすることで、OFF時の熱遮断性を維持しながら、4K伝熱ヘッド23と4K伝熱ブロック24との伝熱効率をより向上させることができる。

【0036】

また、図7は、第1実施形態に係る冷却装置10Aの変形例の概略構成図である。

冷却装置10Aは、図7に示されるように、4Kベローズ11をブリッジして4K側スリーブメンバ29aに設けられるスタッド46と、スタッド46に4Kベローズ11の収

縮力と同じ向きに反発力を発生させるバネ 47 と、を備えてもよい。

【0037】

4 K 伝熱ヘッド 23 を 4 K 伝熱ブロック 24 に押し込んだ際、4 K ベローズ 11 のみでは、4 K 伝熱ブロック 24 に十分な反発力を付与することができないことがある。

十分な反発力が付与されない場合、4 K 伝熱ヘッド 23 と 4 K 伝熱ブロック 24 との間の隙間が広がる。

そこで、スタッド 46 に設けられたバネ 47 で 4 K ベローズ 11 の収縮力を補強することで、4 K 伝熱ヘッド 23 と 4 K 伝熱ブロック 24 とを十分に密着させることが望ましい。

【0038】

以上のように、第 1 実施形態に係る冷却装置 10 によれば、4 K 伝熱ヘッド 23 を 4 K 伝熱ブロック 24 に密着させることができるので、超電導コイル 16 への伝熱効率を向上させることができる。

【0039】

(第 2 実施形態)

図 8 は、第 2 実施形態に係る冷却装置 10 B の概略構成図である。

【0040】

第 2 実施形態に係る冷却装置 10 B は、図 8 に示されるように、4 K 伝熱ヘッド 23 のヘッド先端が 4 K ベローズ 11 の下端より上まで引き抜かれた位置を熱切断時の定位置にされる。

熱スイッチの OFF 時には、熱遮断性を高めるため、4 K 伝熱ヘッド 23 から 4 K 伝熱ブロック 24 への伝熱を補助するヘリウム 43 を調節管 42 から排出してシリンダ空間 32 を真空にする。

しかし、熱スイッチの OFF 後に冷凍機 18 が停止され室温へ上昇すると、これに伴って超電導コイル 16 も温度上昇してしまうことが確認された。

この温度上昇は、冷凍機シリンダ 15からの輻射熱によるものと考えられる。

【0041】

熱スイッチの熱遮断性が低い場合、例えば図 8 のように、伝熱板 37 に主冷凍機 18 b 及び補助冷凍機 18 a の 2 台が接続される冷却装置 10 B の場合に問題になる。

つまり、熱スイッチを有する補助冷凍機 18 a を必要時にのみ ON にして、常時稼働する主冷凍機 18 b による冷却の補助に用いる場合である。

このような冷却装置 10 B では、低熱負荷時には補助冷凍機 18 a の熱スイッチを OFF にした後に稼働を停止させることで、省エネ運転を実現する。

【0042】

この場合、補助冷凍機 18 a を OFF にしても、内部閉空間 を 4 K 程度の極低温に維持する必要がある。

そこで、第 2 実施形態では、熱スイッチの OFF 時には、4 K 伝熱ヘッド 23 のヘッド先端を、4 K ベローズ 11 の下端より上まで引き抜いて熱輻射の影響を低減させる必要がある。

【0043】

ここで、図 9 は、直管スリーブ及び 4 K ベローズ付スリーブについての 4 K 伝熱ヘッド 23 の引き上げ長さ<sup>と</sup>熱侵入量との関係を示す図である。

また、図 10 は、4 K 伝熱ヘッド 23 からスリーブ 29 への熱侵入を説明する図である。

さらに、図 11 は、4 K ベローズ 11 における 4 K 伝熱ヘッド 23 の高さ<sup>と</sup>、4 K ベローズ 11 の各地点の温度との関係を示す図である。

【0044】

図 9 に表されるように、4 K ベローズ付シリンダへの熱侵入量は、直管シリンダへの熱侵入量と比較して、実測値及び解析値ともに常時小さい結果になった。

この結果は、図 10 で示されるように、輻射によって 4 K 伝熱ヘッド 23 からスリーブ

29へ侵入した熱が、スリーブ29を伝導する過程で熱が上下に分かれて減衰したものと理解できる。

この現象に基づくと、侵入熱 $Q_{rad}$ は、侵入箇所Sにおける4Kペローズ11の長さの逆比に従ってスリーブ29を伝熱する。

【0045】

また、4Kペローズ11は細く長い熱経路を構成するので、熱抵抗が大きく、4Kペローズ11以外の4K側スリーブメンバ29aの伝熱経路長は無視することができる。

つまり、50K伝熱ブロック27側へ上昇する伝熱量を $Q_1$ 、4K伝熱ブロック24側へ下降する伝熱量を $Q_2$ とし、4Kペローズ11を50K伝熱ブロック27側からL1:L2に分ける点を熱の侵入箇所Sとすると次式(1)が成り立つ。

$$Q_1 : Q_2 = L_2 : L_1 \quad (1)$$

よって、熱の侵入箇所Sから4Kペローズ11の下端までの長さL2を大きな値にすることで、4K伝熱ブロック24に下降する伝熱量 $Q_2$ を小さくすることができる。

【0046】

また、このような現象に基づくと、スリーブ29の各地点での温度と、4K伝熱ヘッド23の高さとの関係は図11のようになる。

4K伝熱ヘッド温度が300Kである場合、4K伝熱ヘッド23と同地点のスリーブ29の温度は、300K程度になる。

スリーブ29の温度は、この地点を最高温度にこの地点からの距離に比例して、小さくなる。

【0047】

また、この熱侵入量の低下の勾配は、 $Q_1$ と $Q_2$ との分配で決定されるため、4K伝熱ヘッド23のヘッド先端を高く引き上げる程、4K伝熱ブロック24への熱侵入量を小さくすることができる。

特に、ヘッド先端を4Kペローズ11の下端から1/2以上に引き上げると、過半数の熱が上昇し、熱侵入量は4Kペローズ11の範囲で大きく変化する。

【0048】

このように4K側スリーブメンバ29aに4Kペローズ11を設け、熱スイッチのOFF時に、4K伝熱ヘッド23のヘッド先端を4Kペローズ11の下端より高く引き上げることで、補助冷凍機18aから超電導コイル16への熱侵入量を大幅に低減させることができる。

【0049】

次に、図12は、第1実施形態に係る冷却装置10Bの冷却効果を確認した実験結果を示す図である。

横軸は4K伝熱ヘッド23及び伝熱板37の平均温度、縦軸は熱抵抗を示す。

【0050】

比較例では、3.8K~4.5Kの温度帯で2.0[K/W]~1.3[K/W]の熱抵抗であった。

一方、4Kペローズ11及び4Kフレキシブル伝熱部材12を備えた冷却装置10Bの同条件での実施例では、4.1K~4.9Kの温度帯で0.4[K/W]~0.3[K/W]の熱抵抗であった。

計測できた温度帯は多少異なるものの、熱抵抗が有意に低くなっていることが確認することができた。

つまり、4Kペローズ11を設けることで、4K伝熱ヘッド23を押し付けた時の熱抵抗の低減効率を大きくすることができることが確認された。

【0051】

図8に戻って説明を続ける。

4K側スリーブメンバ29aと同様に、50K側スリーブメンバ29bの腹部にもペローズ(第2ペローズ:50Kペローズ)51を設けてもよい。

この場合、50Kペローズ51の位置は、OFF時の50K伝熱ヘッド22のヘッド先

端の定位置が50Kペローズ51の下端より上になるように設計される。

50Kペローズ51は、4Kペローズ11と同様に、50K伝熱ヘッド22からの輻射熱が50K伝熱ブロック27に伝熱することを防止する。

【0052】

なお、熱切断時の伝熱ヘッド(22, 23)の定位置をペローズ(11, 38)の下端より上方にすること以外は、第2実施形態は第1実施形態と同じ構造及び動作手順となるので、重複する説明を省略する。

図面においても、共通の構成または機能を有する部分は同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【0053】

このように、第2実施形態に係る冷却装置10Bによれば、第1実施形態の効果に加え、熱スイッチのOFF時に熱輻射による伝熱ブロック(24, 27)への伝熱を阻止することができるので、熱スイッチのOFF時の熱遮断性を向上させることができる。

【0054】

(第3実施形態)

図13は、第3実施形態に係る冷却装置10Cの概略構成図である。

【0055】

第3実施形態に係る冷却装置10Cは、図13に示されるように、50K伝熱ブロック27に追従して接触を維持して50K伝熱ブロック27から熱シールド14へ伝熱する50Kフレキシブル伝熱部材(第2フレキシブル伝熱部材)54を備える。

【0056】

第1実施形態では、50K伝熱ブロック27は、その伝熱対象である熱シールド14に固定されている例で説明した。

しかし、50K伝熱ブロック27も変位可能にすることで、50K伝熱ブロック27と50K伝熱ヘッド22とをより強固に密着させることができる。

【0057】

そこで、第3実施形態では、50K伝熱ブロック27を熱シールド14に固定せずに、50Kペローズ51の伸縮で変位可能にする。

そして、50K伝熱ヘッド22との接触等で変位する50K伝熱ブロック27と、熱シールド14と、を50Kフレキシブル伝熱部材54で接続する。

50Kフレキシブル伝熱部材54は、図2～図5で例示される4Kフレキシブル伝熱部材12と同様な構成を有する。

【0058】

このように第3実施形態によれば、50K伝熱ヘッド22及び接触等で変位する50K伝熱ブロック27と、4K伝熱ヘッド23及び接触等で変位する4K伝熱ブロック24と、の両者を同時に密着させることができる。

【0059】

なお、50Kフレキシブル伝熱部材54で50K伝熱ブロック27を変位可能にすること以外は、第3実施形態は第1実施形態と同じ構造及び動作手順となるので、重複する説明を省略する。

図面においても、共通の構成または機能を有する部分は同一符号で示し、重複する説明を省略する。

【0060】

このように、第3実施形態に係る冷却装置10Cによれば、第1実施形態の効果に加え、50K伝熱ヘッド22を50K伝熱ブロック27に密着させることができるので、冷却装置10C全体の伝熱効率を向上させることができる。

【0061】

以上述べた少なくとも一つの実施形態の冷却装置10によれば、4K伝熱ヘッド23を4K伝熱ブロック24に密着させることができるので、超電導コイル16への伝熱効率を向上させることが可能となる。

## 【 0 0 6 2 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。

これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更、組み合わせを行うことができる。

これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 6 3 】

10 ( 10 A ~ 10 C ) ... 極低温冷却装置 ( 冷却装置 )、11 ... 4 K ベローズ ( 第 1 ベローズ )、12 ( 12 a ~ 12 c ) ... 4 K フレキシブル伝熱部材 ( 第 1 フレキシブル伝熱部材 )、13 ... 真空容器、14 ... 熱シールド、15 ... 冷凍機シリンダ、16 ... 超電導コイル、17 ... 断熱体、18 ( 18 a , 18 b ) ... 冷凍機 ( 補助冷凍機 , 主冷凍機 )、19 ... 1 段冷却ステージ、21 ... 2 段冷却ステージ、22 ... 50 K 伝熱ヘッド ( 伝熱ヘッド )、23 ... 4 K 伝熱ヘッド ( 伝熱ヘッド )、24 ... 4 K 伝熱ブロック ( 伝熱ブロック )、25 ... 排出弁、26 ... 供給弁、27 ... 50 K 伝熱ブロック ( 伝熱ブロック )、28 ... 上蓋、29 ( 29 a ~ 29 c ) ... スリーブ ( 4 K 側スリーブメンバ , 50 K 側スリーブメンバ , スリーブメンバ )、30 ... 平編線、31 ... フランジ、32 ... シリンダ空間、33 ... アルミ板、34 ( 34 a , 34 b ) ... 固定端領域、36 ... ハンダ、37 ... 伝熱板、38 ( 38 a ) ... 伝熱筒部材 ( ベローズ部 )、39 ( 39 a ) ... ヒートパイプ ( パイプ )、41 ... 屈曲部、42 ... 調節管、43 ... ヘリウム、44 ... 接触面、46 ... スタッド、47 ... パネ、51 ... 50 K ベローズ、54 ... 50 K フレキシブル伝熱部材、Q r a d ... 侵入熱、S ... 侵入箇所、... 内部閉空間、... 外部閉空間。

## 【 手続補正 2 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

真空容器の外部から内部の熱シールドで包囲された内部閉空間に差し込まれる冷凍機と、前記内部閉空間内で前記冷凍機の第 1 伝熱ヘッドに接触して冷却される第 1 伝熱ブロックと、

前記冷凍機の冷凍機シリンダを包囲する筒状のスリーブのうち前記第 1 伝熱ヘッドに接続される第 1 スリーブメンバと、

前記第 1 スリーブメンバの胴部に設けられる第 1 ベローズと、

変位する前記第 1 伝熱ブロックに追従して接触を維持して前記第 1 伝熱ブロックから超電導コイルへ伝熱する第 1 フレキシブル伝熱部材と、を備えることを特徴とする極低温冷却装置。

【 請求項 2 】

前記第 1 伝熱ヘッドのヘッド先端は、前記第 1 ベローズの下端より上まで引き抜かれた位置を熱切断時の定位置とする請求項 1 に記載の極低温冷却装置。

【 請求項 3 】

前記真空容器と前記熱シールドとで閉じられた外部閉空間に配置される前記冷凍機の第 2 伝熱ヘッドと、

前記第 2 伝熱ヘッドに接触して冷却される第 2 伝熱ブロックと、

変位する前記第 2 伝熱ブロックに追従して接触を維持して前記第 2 伝熱ブロックから前記熱シールドへ伝熱する第 2 フレキシブル伝熱部材と、を備える請求項 1 または請求項 2 に記載の極低温冷却装置。

【 請求項 4 】

前記第 1 伝熱ブロックと前記第 1 伝熱ヘッドとは錐形状を有して嵌り合う請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の極低温冷却装置。

【請求項 5】

前記スリーブで包囲されたシリンダ空間に接続されて前記シリンダ空間の真空調整をする調節管を備える請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の極低温冷却装置。

【請求項 6】

前記熱シールドの外部閉空間に配置された前記冷凍機の第 2 伝熱ヘッドに接触する第 2 伝熱ブロックと、

前記スリーブのうち前記第 2 伝熱ブロックに接続される第 2 スリーブメンバと、

前記第 2 スリーブメンバの腹部に設けられる第 2 ペローズと、を備え、前記第 2 伝熱ヘッドのヘッド先端は、前記第 2 ペローズの下端より上まで引き抜かれた位置を熱切断時の定位置とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の極低温冷却装置。

【請求項 7】

前記第 1 スリーブメンバに前記第 1 ペローズをブリッジして設けられるスタッドと、

前記スタッドに前記第 1 ペローズの収縮力と同じ向きに反発力を発生させるバネと、を備える請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の極低温冷却装置。

【請求項 8】

前記超電導コイルに熱的に常時接続される主冷凍機を備える請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の極低温冷却装置。