

(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2012-255590

(P2012-255590A)

(43) 公開日 平成24年12月27日(2012.12.27)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
**F 2 5 B 9/14 (2006.01)** F 2 5 B 9/14 5 3 0 Z 3 H 0 7 6  
**F 0 4 B 37/08 (2006.01)** F 0 4 B 37/08

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-128662 (P2011-128662)  
 (22) 出願日 平成23年6月8日(2011.6.8)

(71) 出願人 000002107  
 住友重機械工業株式会社  
 東京都品川区大崎二丁目1番1号  
 (74) 代理人 100105924  
 弁理士 森下 賢樹  
 (74) 代理人 100109047  
 弁理士 村田 雄祐  
 (74) 代理人 100109081  
 弁理士 三木 友由  
 (74) 代理人 100116274  
 弁理士 富所 輝観夫  
 (72) 発明者 田中 秀和  
 東京都西東京市谷戸町二丁目1番1号 住  
 友重機械工業株式会社田無製造所内  
 Fターム(参考) 3H076 AA26 AA27 BB21 CC52 CC54

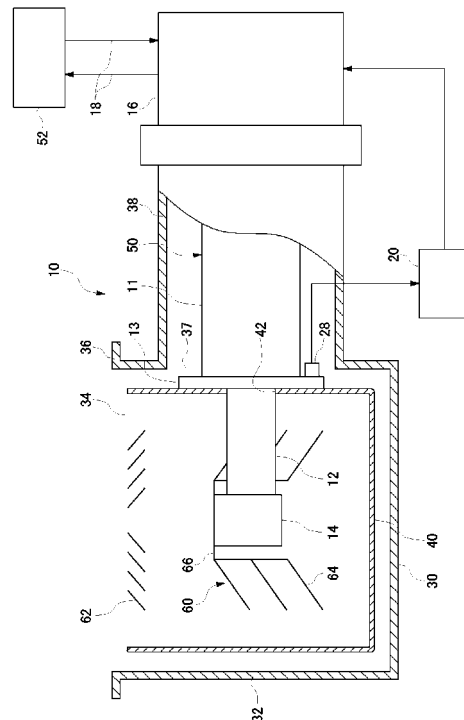
(54) 【発明の名称】 クライオポンプ及び極低温冷凍機

(57) 【要約】

【課題】適用対象により適合させた設計を可能とする極低温冷凍機、及びその冷凍機を適用したクライオポンプを提供する。

【解決手段】冷凍機50は、長手方向に隣接する2つのディスプレイサを備え、高温側のディスプレイサは蓄冷材のための主収容区画と副収容区画とを含む。2つのディスプレイサの間に作動気体の直通流路が形成されている。クライオポンプ10は、低温クライオパネル60と、低温クライオパネル60よりも高温に冷却される放射シールド40と、冷凍機50と、を備える。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

低温クライオパネルと、  
低温クライオパネルよりも高温に冷却される高温クライオパネルと、  
低温クライオパネルを冷却するための低温冷却位置と高温クライオパネルを冷却するための高温冷却位置とを提供し、低温冷却位置と高温冷却位置とが長手方向に配列されている冷凍機と、を備え、

該冷凍機は、第 1 ディスプレーサと、前記長手方向に該第 1 ディスプレーサの低温側に隣接する第 2 ディスプレーサと、を備えており、

第 1 ディスプレーサは、その主蓄冷器から第 2 ディスプレーサの蓄冷器へ向けて作動気体を案内するための直通流路を有する低温端と、該直通流路に設けられている副蓄冷器と、を備えることを特徴とするクライオポンプ。

10

**【請求項 2】**

前記直通流路は、第 1 ディスプレーサの低温端の第 2 ディスプレーサに面する対向部分に形成されている少なくとも 1 つの開口を含み、前記副蓄冷器は該少なくとも 1 つの開口に設けられていることを特徴とする請求項 1 に記載のクライオポンプ。

**【請求項 3】**

第 1 ディスプレーサの低温端は、第 2 ディスプレーサに対する非対向部分を含み、該非対向部分は、前記主蓄冷器から該低温端に隣接する膨張空間へ向けて作動気体を案内するための独立流路を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のクライオポンプ。

20

**【請求項 4】**

前記主蓄冷器から前記独立流路への流出方向を前記主蓄冷器から前記直通流路への流れ方向にそろえるように、少なくとも前記主蓄冷器から前記独立流路への進入部分の向きが定められていることを特徴とする請求項 3 に記載のクライオポンプ。

**【請求項 5】**

前記直通流路は、前記第 2 ディスプレーサの高温端を受け入れるために第 1 ディスプレーサの低温端に形成されている凹部を含み、該高温端と該凹部との隙間は、第 1 ディスプレーサと第 2 ディスプレーサとの間で該直通流路を通じた流れが支配的となるよう調整されていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載のクライオポンプ。

**【請求項 6】**

30

長手方向に隣接する低温側ディスプレイサと高温側ディスプレイサとを備え、  
高温側ディスプレイサは蓄冷材のための主収容区画と副収容区画とを含み、  
副収容区画は、前記長手方向に垂直な断面積が主収容区画よりも小さく、主収容区画と低温側ディスプレイサとの間に気体流通可能に設けられていることを特徴とする極低温冷凍機。

**【請求項 7】**

高温側からの作動気体を冷却して低温側に送出するための冷却経路を含む蓄冷器を備え、該蓄冷器は、隣接する膨張空間に作動気体を送出するための冷却経路よりも、隣接する蓄冷器に作動気体を送出するための冷却経路が長いことを特徴とする極低温冷凍機。

**【請求項 8】**

40

請求項 6 または 7 に記載の冷凍機を備えることを特徴とするクライオポンプ。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、クライオポンプ及び極低温冷凍機に関する。

**【背景技術】****【0002】**

例えば特許文献 1 には、第 1 段ディスプレイサと第 2 段ディスプレイサとの間の接続部における作動ガスの流路を 2 つの作動ガス流路に分岐させた冷凍機をもつクライオポンプが記載されている。第 1 の作動ガス流路は第 1 段蓄冷器における低温側端部から第 1 段膨

50

張室へ接続する。第2の作動ガス流路は第1段蓄冷器における低温側端部から第2段蓄冷器へ直接接続する。第2の作動ガス流路により第2段蓄冷器への流入ガスの一部が第1段膨張室内を經由せずに流入する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2002-243294号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

極低温冷凍機の典型的な適用対象の1つであるクライオポンプは、異なる温度レベルに冷却されるクライオパネルをもち、その温度差を比較的大きくすることが望まれることがある。低温のクライオパネルと高温のクライオパネルとの空間的な配置にはある程度の制約がある。例えば、外部からの輻射熱の影響を抑えるために、低温クライオパネルは高温クライオパネルに囲まれる。そうした制約は、クライオパネルを冷却するための冷凍機の構造、例えば、低い冷却温度を提供する冷却位置と高い冷却温度を提供する冷却位置との位置関係にも影響を与える。この位置関係は、それら2つの温度差を決める主な要因の1つである。

【0005】

本発明はこうした状況に鑑みてなされたものであり、そのある態様の例示的な目的のひとつは、適用対象により適合させた設計を可能とする極低温冷凍機、及びその冷凍機を適用したクライオポンプを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明のある態様のクライオポンプは、低温クライオパネルと、低温クライオパネルよりも高温に冷却される高温クライオパネルと、低温クライオパネルを冷却するための低温冷却位置と高温クライオパネルを冷却するための高温冷却位置とを提供し、低温冷却位置と高温冷却位置とが長手方向に配列されている冷凍機と、を備える。該冷凍機は、第1ディスプレイサと、前記長手方向に該第1ディスプレイサの低温側に隣接する第2ディスプレイサと、を備える。第1ディスプレイサは、その主蓄冷器から第2ディスプレイサの蓄冷器へ向けて作動気体を案内するための直通流路を有する低温端と、該直通流路に設けられている副蓄冷器と、を備える。

【0007】

本発明の別の態様は、極低温冷凍機である。この極低温冷凍機は、長手方向に隣接する低温側ディスプレイサと高温側ディスプレイサとを備え、高温側ディスプレイサは蓄冷材のための主収容区画と副収容区画とを含み、副収容区画は、前記長手方向に垂直な断面積が主収容区画よりも小さく、主収容区画と低温側ディスプレイサとの間に気体流通可能に設けられている。

【0008】

本発明の別の態様は、極低温冷凍機である。この極低温冷凍機は、高温側からの作動気体を冷却して低温側に送出するための冷却経路を含む蓄冷器を備え、該蓄冷器は、隣接する膨張空間に作動気体を送出するための冷却経路よりも、隣接する蓄冷器に作動気体を送出するための冷却経路が長い。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、適用対象により適合させた設計を可能とする極低温冷凍機、及びその冷凍機を適用したクライオポンプを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の一実施形態に係るクライオポンプを模式的に示す図である。

10

20

30

40

50

【図 2】本発明の一実施形態に係る冷凍機の要部を示す図である。

【図 3】本発明の一実施形態に係る冷凍機の吸気工程の作動気体流れを示す図である。

【図 4】本発明の一実施形態に係る冷凍機の排気工程の作動気体流れを示す図である。

【図 5】他の一例の冷凍機の吸気工程の作動気体流れを示す図である。

【図 6】他の一例の冷凍機の排気工程の作動気体流れを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の一実施形態においては、クライオポンプ 10 のための冷凍機 50 は、低温クライオパネル 60 及び高温クライオパネル 40 を冷却するために各々に対応する配置で低温冷却位置 14 及び高温冷却位置 13 を提供する。冷凍機 50 においては、高温側の第 1 ディスプレサ 68 から低温側の第 2 ディスプレサ 70 への直通流路が形成されており、その直通流路に副蓄冷器 136 が付加されている。第 1 ディスプレサ 68 から第 2 ディスプレサ 70 へは、主蓄冷器 134 と副蓄冷器 136 とを經由して作動気体が供給される。第 1 ディスプレサ 68 に隣接する第 1 膨張空間 94 へは、副蓄冷器 136 を經由せずに主蓄冷器 134 から作動気体が供給される。

10

【0012】

こうして、第 1 膨張空間 94 への供給気体温度を相対的に高く、第 2 ディスプレサ 70 への供給気体温度を相対的に低くすることができる。これは、冷凍機の第 2 段の冷凍能力向上に寄与する。また、冷凍機 50 の外観形状を保ちつつ、低温冷却位置 14 と高温冷却位置 13 との温度差を大きくすることができる。

20

【0013】

図 1 は、本発明の一実施形態に係るクライオポンプ 10 を模式的に示す図である。クライオポンプ 10 は、例えばイオン注入装置やスパッタリング装置等の真空チャンバに取り付けられて、真空チャンバ内部の真空度を所望のプロセスに要求されるレベルまで高めるために使用される。クライオポンプ 10 は、クライオポンプ容器 30 と、放射シールド 40 と、冷凍機 50 と、を含んで構成される。

【0014】

冷凍機 50 は、例えばギフォード・マクマホン式冷凍機（いわゆる GM 冷凍機）などの冷凍機である。冷凍機 50 は、第 1 シリンダ 11、第 2 シリンダ 12、第 1 冷却ステージ 13、第 2 冷却ステージ 14、パルプ駆動モータ 16 を備える。第 1 シリンダ 11 と第 2 シリンダ 12 は直列に接続される。第 1 シリンダ 11 の第 2 シリンダ 12 との結合部側には第 1 冷却ステージ 13 が設置され、第 2 シリンダ 12 の第 1 シリンダ 11 から遠い側の端には第 2 冷却ステージ 14 が設置される。

30

【0015】

図 1 に示す冷凍機 50 は、二段式の冷凍機であり、シリンダを直列に二段組み合わせにより低い温度を達成している。冷凍機 50 は、三段のシリンダが直列に接続される三段式の冷凍機またはそれよりも多段の冷凍機であってもよい。冷凍機 50 は冷媒管 18 を介して圧縮機 52 に接続される。

【0016】

圧縮機 52 は、例えばヘリウム等の冷媒ガス、すなわち作動気体を圧縮して、冷媒管 18 を介して冷凍機 50 に供給する。冷凍機 50 は、作動気体を蓄冷器を通過させることにより冷却する。第 1 シリンダ 11 の内部の膨張室で、及び第 2 シリンダ 12 の内部の膨張室で膨張させて作動気体をさらに冷却する。蓄冷器は膨張室内部に組み込まれている。第 1 シリンダ 11 に設置される第 1 冷却ステージ 13 は第 1 の冷却温度レベルに冷却され、第 2 シリンダ 12 に設置される第 2 冷却ステージ 14 は第 1 の冷却温度レベルよりも低温の第 2 の冷却温度レベルに冷却される。例えば、第 1 冷却ステージ 13 は 65 K ~ 120 K 程度、好ましくは 80 K ~ 100 K に冷却され、第 2 冷却ステージ 14 は 10 K ~ 20 K 程度に冷却される。

40

【0017】

こうして冷凍機 50 は、低温クライオパネルを冷却するための低温冷却位置と高温クラ

50

イオパネルを冷却するための高温冷却位置とを提供する。低温冷却位置と高温冷却位置とが長手方向すなわちシリンダ配列方向に配列されている。中間の冷却温度を提供する１つまたは複数の中間冷却位置が低温冷却位置と高温冷却位置との間に配列されていてもよい。

#### 【 0 0 1 8 】

膨張室で膨張することで吸熱し、各冷却ステージを冷却した作動気体は、再び蓄冷器を通過し、冷媒管 1 8 を経て圧縮機 5 2 に戻される。圧縮機 5 2 から冷凍機 5 0 へ、また冷凍機 5 0 から圧縮機 5 2 への作動気体の流れは、冷凍機 5 0 内のロータリバルブ（図示せず）により切り替えられる。バルブ駆動モータ 1 6 は、外部電源から電力の供給を受けて、ロータリバルブを回転させる。

10

#### 【 0 0 1 9 】

冷凍機 5 0 を制御するための制御部 2 0 が設けられている。制御部 2 0 は、第 1 冷却ステージ 1 3 または第 2 冷却ステージ 1 4 の冷却温度に基づいて冷凍機 5 0 を制御する。そのために、第 1 冷却ステージ 1 3 または第 2 冷却ステージ 1 4 に温度センサ 2 8 が設けられていてもよい。制御部 2 0 は、バルブ駆動モータ 1 6 の運転周波数を制御することにより冷却温度を制御してもよい。そのために制御部 2 0 は、バルブ駆動モータ 1 6 を制御するためのインバータを備えてもよい。制御部 2 0 は圧縮機 5 2 を制御するよう構成されていてもよい。制御部 2 0 はクライオポンプ 1 0 に一体に設けられていてもよいし、クライオポンプ 1 0 とは別体の制御装置として構成されていてもよい。

#### 【 0 0 2 0 】

図 1 に示されるクライオポンプ 1 0 は、いわゆる横型のクライオポンプである。横型のクライオポンプとは一般に、冷凍機の第 2 冷却ステージ 1 4 が筒状の放射シールド 4 0 の軸方向に交差する方向（通常は直交方向）に沿って放射シールド 4 0 の内部に挿入されているクライオポンプである。なお、本発明はいわゆる縦型のクライオポンプにも同様に適用することができる。縦型のクライオポンプとは、放射シールドの軸方向に沿って冷凍機が挿入されているクライオポンプである。

20

#### 【 0 0 2 1 】

クライオポンプ容器 3 0 は、一端に開口を有し他端が閉塞されている円筒状の形状に形成された部位（以下、「胴部」と呼ぶ）3 2 を有する。開口は、スパッタ装置等の真空チャンバから排気されるべき気体が進入する吸気口 3 4 として、設けられている。吸気口 3 4 はクライオポンプ容器 3 0 の胴部 3 2 の上端部内面により画定される。また胴部 3 2 には冷凍機 5 0 を挿通するための開口 3 7 が形成されている。胴部 3 2 の開口 3 7 には円筒状の冷凍機収容部 3 8 の一端が取り付けられ、他端は冷凍機 5 0 のハウジングに取り付けられている。冷凍機収容部 3 8 は冷凍機 5 0 の第 1 シリンダ 1 1 を収容する。

30

#### 【 0 0 2 2 】

またクライオポンプ容器 3 0 の胴部 3 2 の上端には径方向外側に向けて取付フランジ 3 6 が延びている。クライオポンプ 1 0 は、排気対象容積であるスパッタ装置等の真空チャンバに、取付フランジ 3 6 を用いて取り付けられる。

#### 【 0 0 2 3 】

クライオポンプ容器 3 0 は、クライオポンプ 1 0 の内部と外部とを隔てるために設けられている。上述のようにクライオポンプ容器 3 0 は胴部 3 2 と冷凍機収容部 3 8 とを含んで構成されており、胴部 3 2 及び冷凍機収容部 3 8 の内部は共通の圧力に気密に保持される。クライオポンプ容器 3 0 の外面は、クライオポンプ 1 0 の動作中、すなわち冷凍機が作動している間も、クライオポンプ 1 0 の外部の環境にさらされる。そのため、クライオポンプ容器 3 0 の外面は放射シールド 4 0 よりも高い温度に維持される。典型的にはクライオポンプ容器 3 0 の温度は環境温度に維持される。ここで環境温度とは、クライオポンプ 1 0 が設置されている場所の温度、またはその温度に近い温度をいい、例えば室温程度である。

40

#### 【 0 0 2 4 】

放射シールド 4 0 は、クライオポンプ容器 3 0 の内部に配設されている。放射シールド

50

40は、一端に開口を有し他端が閉塞されている円筒状の形状、すなわちカップ状の形状に形成されている。放射シールド40は、図1に示されるような一体の筒状に構成されていてもよく、また、複数のパーツにより全体として筒状の形状をなすように構成されていてもよい。これら複数のパーツは互いに間隙を有して配設されていてもよい。

【0025】

クライオポンプ容器30の胴部32及び放射シールド40はともに略円筒状に形成されており、同軸に配設されている。クライオポンプ容器30の胴部32の内径が放射シールド40の外径を若干上回っており、放射シールド40はクライオポンプ容器30の胴部32の内面との間に若干の間隔をもってクライオポンプ容器30とは非接触の状態に配置される。すなわち、放射シールド40の外面は、クライオポンプ容器30の内面と対向している。なお、クライオポンプ容器30の胴部32および放射シールド40の形状は、円筒形状には限られず、角筒形状や楕円筒形状などいかなる断面の筒形状でもよい。典型的には、放射シールド40の形状はクライオポンプ容器30の胴部32の内面形状に相似する形状とされる。

10

【0026】

放射シールド40は、第2冷却ステージ14およびこれに熱的に接続される低温クライオパネル60を主にクライオポンプ容器30からの輻射熱から保護する高温クライオパネルとして設けられている。放射シールド40は、低温クライオパネル60を包囲する。第2冷却ステージ14は、放射シールド40の内部において放射シールド40のほぼ中心軸上に配置される。放射シールド40は、第1冷却ステージ13に熱的に接続された状態で固定され、第1冷却ステージ13と同程度の温度に冷却される。

20

【0027】

低温クライオパネル60は、例えば複数のパネル64を含む。パネル64は例えば、それぞれが円すい台の側面の形状、いわば傘状の形状を有する。各パネル64は、第2冷却ステージ14に取り付けられているパネル取付部材66に取り付けられている。各パネル64には通常活性炭等の吸着剤(図示せず)が設けられている。吸着剤は例えばパネル64の裏面に接着されている。

【0028】

パネル取付部材66は例えば、一端が閉塞され他端が開放されている筒形状を有し、閉塞された端部が第2冷却ステージ14の上端に取り付けられ、筒状側面が第2冷却ステージ14を取り囲むように放射シールド40の底部に向けて延びている。パネル取付部材66の側面に複数のパネル64が互いに間隔をあけて取り付けられている。パネル取付部材66の側面には、冷凍機50の第2シリンダ12を通すための開口が形成されている。あるいは、パネル取付部材66は、第2冷却ステージ14への取付のための端部と、その端部から放射シールド40の底部に向けて延びるパネル取付のための平板と、を備えてもよい。

30

【0029】

放射シールド40の吸気口には、真空チャンバ等からの輻射熱から第2冷却ステージ14およびこれに熱的に接続される低温クライオパネル60を保護するために、バッフル62が設けられている。バッフル62は、例えば、ルーバ構造やシェブロン構造に形成される。バッフル62は、放射シールド40の中心軸を中心とする同心円状に形成されていてもよいし、あるいは格子状等他の形状に形成されていてもよい。バッフル62は放射シールド40の開口側の端部に取り付けられており、放射シールド40と同程度の温度に冷却される。なおバッフル62と真空チャンバの間にはゲートバルブ(図示せず)が設けられていてもよい。このゲートバルブは例えばクライオポンプ10を再生するときに閉とされ、クライオポンプ10により真空チャンバを排気するときに開とされる。

40

【0030】

放射シールド40の側面には冷凍機取付孔42が形成されている。冷凍機取付孔42は、放射シールド40の中心軸方向に関して放射シールド40側面の中央部に形成されている。放射シールド40の冷凍機取付孔42はクライオポンプ容器30の開口37と同軸に

50

設けられている。冷凍機 50 の第 2 シリンダ 12 及び第 2 冷却ステージ 14 は冷凍機取付孔 42 から放射シールド 40 の中心軸方向に垂直な方向に沿って挿入されている。放射シールド 40 は、冷凍機取付孔 42 において第 1 冷却ステージ 13 に熱的に接続された状態で固定される。

#### 【0031】

なお放射シールド 40 が第 1 冷却ステージ 13 に直接取り付けられる代わりに、接続用のスリーブによって放射シールド 40 が第 1 冷却ステージ 13 に取り付けられてもよい。このスリーブは例えば、第 2 シリンダ 12 の第 1 冷却ステージ 13 側の端部を包囲し、放射シールド 40 を第 1 冷却ステージ 13 に熱的に接続するための伝熱部材である。この構成により、放射シールド 40 を第 1 冷却ステージ 13 に直接取り付ける場合に比べて、第 2 シリンダ 12 を長くすることができる。第 1 冷却ステージ 13 と第 2 冷却ステージ 14 との温度差を大きくすることができる。

10

#### 【0032】

上記の構成のクライオポンプ 10 による動作を以下に説明する。クライオポンプ 10 の作動に際しては、まずその作動前に他の適当な粗引きポンプで真空チャンバ内部を 1 Pa 程度にまで粗引きする。その後クライオポンプ 10 を作動させる。冷凍機 50 の駆動により第 1 冷却ステージ 13 及び第 2 冷却ステージ 14 が冷却され、これらに熱的に接続されている放射シールド 40、バッフル 62、クライオパネル 60 も冷却される。

#### 【0033】

冷却されたバッフル 62 は、真空チャンバからクライオポンプ 10 内部へ向かって飛来する気体分子を冷却し、その冷却温度で蒸気圧が十分に低くなる気体（例えば水分など）を表面に凝縮させて排気する。バッフル 62 の冷却温度では蒸気圧が十分に低くない気体はバッフル 62 を通過して放射シールド 40 内部へと進入する。進入した気体分子のうちクライオパネル 60 の冷却温度で蒸気圧が十分に低くなる気体は、クライオパネル 60 の表面に凝縮されて排気される。その冷却温度でも蒸気圧が十分に低くない気体（例えば水素など）は、クライオパネル 60 の表面に接着され冷却されている吸着剤により吸着されて排気される。このようにしてクライオポンプ 10 は真空チャンバの真空度を所望のレベルに到達させることができる。

20

#### 【0034】

図 2 乃至図 4 は、本発明の一実施形態に係る冷凍機 50 の要部を示す図である。それぞれ冷凍機 50 の中心軸を含む断面を示す。図 3 は吸気工程における作動気体流れを矢印で模式的に示し、図 4 は排気工程における作動気体流れを矢印で模式的に示す。

30

#### 【0035】

冷凍機 50 は、中心軸方向すなわち長手方向に沿って互いに隣接する第 1 ディスプレーサ 68 及び第 2 ディスプレーサ 70 を備える。高温側の第 1 ディスプレーサ 68 と低温側の第 2 ディスプレーサ 70 とは連結部 72 により連結される。冷凍機 50 は、第 2 ディスプレーサ 70 の高温側の末端（図において上端）が第 1 ディスプレーサ 68 の低温端にいくらか入り込んで連結されるディスプレーサ連結構造を備える。

#### 【0036】

詳しくは後述するように、第 1 ディスプレーサ 68 は、第 1 蓄冷器 88 を備える。第 1 蓄冷器 88 は、高温側から流入する作動気体を冷却して低温側に送出するための冷却経路を含む。第 1 蓄冷器 88 は、高温側のディスプレーサに好適な蓄冷材 86 と、その蓄冷材 86 のための蓄冷材容器 87 と、を備える。第 1 蓄冷器 88 は、主蓄冷器 134 と副蓄冷器 136 とに区分することができる。第 1 ディスプレーサ 68 から主蓄冷器 134 及び副蓄冷器 136 を通じて第 2 蓄冷器 114 へ向けて作動気体を案内する直通流路が形成されている。副蓄冷器 136 を設けることにより、第 1 蓄冷器 88 は、第 1 膨張空間 94 に作動気体を送出するための冷却経路よりも、第 2 蓄冷器 114 に作動気体を送出するための冷却経路が長くなる。

40

#### 【0037】

第 1 ディスプレーサ 68 の中空構造が蓄冷材容器 87 を兼ねている。蓄冷材容器 87 は

50

、蓄冷材 86 を充填するための主収容区画 138 と副収容区画 140 とを含む。主収容区画 138 に主蓄冷器 134 が収容され、副収容区画 140 に副蓄冷器 136 が収容される。副収容区画 140 は、主収容区画 138 の低温側に主収容区画 138 と気体流通可能に設けられている。副収容区画 140 は、長手方向に垂直な断面積が主収容区画 138 よりも小さい。それによって、主蓄冷器 134 から第 1 膨張空間 94 へ向けて作動気体を案内する独立流路を、副収容区画 140 の外側に直通流路から隔てて形成することができる。

【0038】

第 1 シリンダ 11 と第 2 シリンダ 12 とは一体に形成されており、第 1 シリンダ 11 の低温端と第 2 シリンダ 12 の高温端とが第 1 シリンダ底部 74 により接続されている。第 1 シリンダ 11 及び第 2 シリンダ 12 はそれぞれ長手方向に直列に並んでいる。第 2 シリンダ 12 は第 1 シリンダ 11 と同軸に配置され、第 1 シリンダ 11 よりも小径の円筒部材である。第 1 シリンダ 11 は第 1 ディスプレーサ 68 を往復動可能に収容し、第 2 シリンダ 12 は第 2 ディスプレーサ 70 を往復動可能に収容する。

10

【0039】

第 1 シリンダ 11 の低温端の外周部に第 1 冷却ステージ 13 が取り付けられ、第 2 シリンダ 12 の低温端の外周部に第 2 冷却ステージ 14 が取り付けられている。第 1 シリンダ底部 74 は第 1 シリンダ 11 と第 2 シリンダ 12 とを各々の末端で接続する円環状の部材である。第 2 シリンダ 12 の低温端は第 2 シリンダ底部 76 で閉塞されている。第 1 シリンダ 11 の高温端の外周部にはフランジ部 78 が形成されている。

20

【0040】

第 1 シリンダ 11 の高温端に隣接して、バルブ駆動モータ 16 やロータリバルブ、スコッチヨーク機構を備える駆動機構（図示せず）が設けられている。第 1 ディスプレーサ 68 は、スコッチヨーク機構に接続されている。このスコッチヨーク機構は、バルブ駆動モータ 16 により駆動される。モータの回転はスコッチヨーク機構により直線往復運動に変換され、これにより第 1 ディスプレーサ 68 は第 1 シリンダ 11 の内側面に沿って往復移動する。第 1 ディスプレーサ 68 と第 2 ディスプレーサ 70 とは連結されているため、第 1 ディスプレーサ 68 に連動して第 2 ディスプレーサ 70 も第 2 シリンダ 12 の内側面に沿って往復移動する。

【0041】

第 1 ディスプレーサ 68 は、第 1 シリンダ 11 の内部容積形状に対応して概ね円筒状に形成されている部材である。第 1 ディスプレーサ 68 の最も大径の部分の外径は第 1 シリンダ 11 の内径に実質的に等しいかわずかに小さいことにより、第 1 ディスプレーサ 68 は第 1 シリンダ 11 に沿って摺動可能または微小間隙を有して非接触に移動可能である。

30

【0042】

第 1 ディスプレーサ 68 は、第 1 高温端 80、第 1 円筒部分 82、及び第 1 低温端 84 とを含んで構成される。第 1 高温端 80 及び第 1 低温端 84 はそれぞれ第 1 円筒部分 82 の互いに対向する端面を閉塞する。後述するように、第 1 ディスプレーサ 68 の内部と外部とを接続するための開口が第 1 高温端 80 及び第 1 低温端 84 のそれぞれに形成されている。

40

【0043】

第 1 ディスプレーサ 68 の第 1 高温端 80 と第 1 円筒部分 82 との接続部の径方向外側にシールを装着するための円環溝が形成されており、そこに円環状の第 1 シール 90 が装着されている。第 1 シール 90 は第 1 シリンダ 11 に摺動可能に密着し、第 1 ディスプレーサ 68 の外側での第 1 シリンダ 11 の高温端と第 1 膨張空間 94 との間の作動気体の流通を遮断する。第 1 ディスプレーサ 68 の第 1 円筒部分 82 の外周部分には極浅い凹部 92 がシリンダ外部との断熱性を高めるために形成されている。

【0044】

第 1 円筒部分 82 の内部に第 1 段の蓄冷材 86 が充填されている。蓄冷材 86 は例えば、金属（例えば銅、または銅と他の金属例えば亜鉛との合金）の金網の積層体である。または蓄冷材 86 はこうした金属製の多数の開口を有するプレートの積層体であってもよい

50

。第1高温端80、第1円筒部分82、及び第1低温端84に囲まれた第1ディスプレイサ68の内部容積は、蓄冷材86を保持する第1蓄冷器88であるとも言える。

【0045】

第1ディスプレイサ68はその内部に、主収容区画138と副収容区画140とを画定する。主収容区画138は第1高温端80、第1円筒部分82、及び第1低温端84に囲まれており、第1ディスプレイサ68の容積の大半を占める。副収容区画140は、主収容区画138の低温側に連続する空間であり、第1低温端84に形成されている。副収容区画140は、主収容区画138を第1ディスプレイサ68の外側に接続する単一の開口部分であってもよいし、複数の開口であってもよい。

【0046】

主収容区画138は大径の円筒空間であり、副収容区画140はそれよりも小径の円筒空間である。主収容区画138と副収容区画140とは同軸に配列されており、主収容区画138の低温側の中心部に副収容区画140がつながっている。副収容区画140は、第1ディスプレイサ68に第2ディスプレイサ70を受け入れるための凹部132の少なくとも一部であり、例えば、凹部132のうちコネクタ部材128と主収容区画138との間の領域である。

【0047】

同種の蓄冷材86が主収容区画138と副収容区画140の両方に充填されている。主収容区画138に充填されている蓄冷材86が主蓄冷器134を構成し、副収容区画140に充填されている蓄冷材86が副蓄冷器136を構成する。副蓄冷器136は、主蓄冷器134から第2ディスプレイサ70に向けて凹部132を延びる蓄冷材延長部分である。すなわち、第1ディスプレイサ68は、第1低温端84に蓄冷材延長部分を備える。

【0048】

副蓄冷器136の蓄冷材は、例えば凹部132の内壁から突き出す押さえ部（図示せず）によって副収容区画140に保持されていてもよい。あるいは、副蓄冷器136の蓄冷材は、連結部72のコネクタ部材128の上端によって、副収容区画140に保持されていてもよい。

【0049】

主収容区画138と副収容区画140とで異種の蓄冷材が充填されていてもよい。あるいは、主収容区画138と副収容区画140との少なくとも一方が更に、異種の蓄冷材のための複数の小区画に区分されていてもよい。この場合、主収容区画138と副収容区画140との境界、または隣り合う小区画の境界には、異種の蓄冷材を仕切るための仕切部材または空隙が設けられていてもよい。

【0050】

第1低温端84に隣接して、第1シリンダ11の内部には第1膨張空間94が形成されている。第1膨張空間94は第1ディスプレイサ68の往復運動により容積が変化する。第1膨張空間94は、第1ディスプレイサ68、第1シリンダ11、及び第2ディスプレイサ70で囲まれる領域である。具体的には、第1膨張空間94は、第1ディスプレイサ68の第1低温端84と、第1シリンダ11の内面と、第1ディスプレイサ68の凹部132から延びている第2ディスプレイサ70の第2円筒部分108と、により画定される。第1膨張空間94と第1低温端84の末端部とが第2ディスプレイサ70の高温端106を取り巻いている。

【0051】

第1ディスプレイサ68の第1高温端80には、第1ディスプレイサ68の外側（すなわち第1シリンダ11の高温側）と第1蓄冷器88との間で作動気体を流通させるための第1開口96が形成されている。第1開口96は、中心軸を取り巻く周方向に沿って複数箇所に設けられている。

【0052】

第1ディスプレイサ68の第1低温端84には、第1蓄冷器88と第1膨張空間94との間で作動気体を流通させるための第2開口98が形成されている。第2開口98は、中

10

20

30

40

50

心軸を取り巻く周方向に沿って第1低温端84の外周部に複数箇所にて設けられている。第2開口98は、入口部分100が第1蓄冷器88の低温端に形成され、出口部分102が第1低温端84の側面に形成されている。入口部分100から出口部分102へと屈曲流路が第1低温端84に形成される。

【0053】

ここで、入口部分100及び出口部分102は便宜上そのように呼ぶにすぎず、第2開口98は入口部分100から出口部分102に向かう作動気体流れだけでなく、出口部分102から入口部分100へ向かう作動気体流れも許容される。なお第2開口98は屈曲流路でなくてもよく、第1蓄冷器88の低温端において例えば中心軸方向またはその直交方向に沿って形成された直線的な貫通孔であってもよい。

10

【0054】

第1ディスプレイサ68の第1低温端84は、第1円筒部分82の低温側末端よりも若干小径とされている。これにより、第1低温端84の側面と第1シリンダ11の内面との間に第2開口98と第1膨張空間94とを接続する円環状の第1通路104が形成される。第1通路104は第1膨張空間94の一部であるとみなすこともできる。第1通路104によって、第2開口98の出口部分102が第1膨張空間94に接続される。

【0055】

第1通路104は第1冷却ステージ13に沿って長手方向に延びている。図示されるように、第1冷却ステージ13の長手方向の長さ、第2開口98の出口部分102の長手方向の可動範囲が含まれている。よって、第1ディスプレイサ68がいずれの長手方向位置にあるときでも第2開口98の出口部分102には第1冷却ステージ13が対向する。こうして、第1通路104を流れる作動気体と第1冷却ステージ13とが第1シリンダ11を通じて効率的に熱交換をすることができる。

20

【0056】

このようにして第1ディスプレイサ68から第2開口98を通じて第1膨張空間94に作動気体を流すための第1流路が形成されている。この第1流路は、圧縮機52及び冷媒管18から(図1参照)、第1開口96、主蓄冷器134、第2開口98、第1通路104を通じて第1膨張空間94へと作動気体を送り届ける(図3参照)。また逆方向に第1膨張空間94から圧縮機52へと作動気体を戻す(図4参照)。

【0057】

上述の第1流路は、第1ディスプレイサ68から第2ディスプレイサ70への直通流路とは独立の流路を含む。独立流路は第1ディスプレイサ68の主蓄冷器134と第1膨張空間94とをつなぐ。第1ディスプレイサ68の第1低温端84は、第2ディスプレイサ70に対する非対向部分を含む。この非対向部分は第1膨張空間94に露出されている第1低温端84の外周部130である。独立流路は、この非対向部分に形成されている。こうして、独立流路は、第1低温端84の第2ディスプレイサ70との対向部分に形成されている直通流路から分離されている。

30

【0058】

第2ディスプレイサ70は、第2シリンダ12の内部容積形状に対応して概ね円筒状に形成されている部材である。第2ディスプレイサ70の最も大径の部分の外径は第2シリンダ12の内径に実質的に等しいかわずかに小さいことにより、第2ディスプレイサ70は第2シリンダ12に沿って摺動可能または微小間隙を有して非接触に移動可能である。

40

【0059】

第2ディスプレイサ70は、第2高温端106、第2円筒部分108、及び第2低温端110とを含んで構成される。第2高温端106及び第2低温端110はそれぞれ第2円筒部分108の互いに対向する端面を閉塞する。後述するように、第2ディスプレイサ70の内部と外部とを接続するための開口が第2高温端106及び第2低温端110のそれぞれに形成されている。

【0060】

第2円筒部分108の内部に第2段の蓄冷材112が充填されている。第2高温端10

50

6、第2円筒部分108、及び第2低温端110に囲まれた第2ディスプレイサ70の内部容積は、蓄冷材112を保持する第2蓄冷器114であるとも言える。第2蓄冷器114の高温側には蓄冷材112をおさえるためのフェルトまたは金網124が設けられている。同様に低温側にも蓄冷材112をおさえるためのフェルトまたは金網が収容されていてもよい。

#### 【0061】

第2ディスプレイサ70の第2円筒部分108の径方向外側にシールを装着するための円環溝が形成されており、そこに円環状の第2シール116が装着されている。第2シール116は第2ディスプレイサ70の可動範囲にわたって第2シリンダ12に摺動可能に密着し、第2ディスプレイサ70の外側での第1膨張空間94と第2膨張空間120との間の作動気体の流通を遮断する。第2ディスプレイサ70の第2円筒部分108の外周部分には極浅い凹部118がシリンダ外部との断熱性を高めるために形成されている。第2低温端110に隣接して、第2シリンダ12の内部には第2膨張空間120が形成されている。第2膨張空間120は第2ディスプレイサ70の往復運動により容積が変化する。

10

#### 【0062】

第2ディスプレイサ70の第2高温端106には、第2ディスプレイサ70の外側（すなわち第1ディスプレイサ68の低温側）と第2蓄冷器114との間で作動気体を流通させるための第3開口122が形成されている。第3開口122は、中心軸を取り巻く周方向に沿って複数箇所または全周に設けられている。

20

#### 【0063】

第2ディスプレイサ70の第2低温端110には、第2蓄冷器114と第2膨張空間120との間で作動気体を流通させるための第4開口126が形成されている。第4開口126は、第2低温端110の側面の複数箇所に形成されている。第4開口126を第2膨張空間120に接続する流路も第1通路104と同様に第2冷却ステージ14に沿って設けられており、第2膨張空間120から第2蓄冷器114に流れる作動気体と第2冷却ステージ14とが効率的に熱交換をすることができる。

#### 【0064】

上述のように第1ディスプレイサ68と第2ディスプレイサ70とは連結部72により長手方向に沿って互いに連結される。連結部72は、コネクタ部材128を含む。第1ディスプレイサ68の第1低温端84と第2ディスプレイサ70の第2高温端106とは円柱状または角柱状のコネクタ部材128を介して連結される。

30

#### 【0065】

コネクタ部材128には、互いに直交する方向の2つの結合ピンが両端に挿通されており、一方のピンが第1ディスプレイサ68の第1低温端84とコネクタ部材128とを連結し、他方のピンが第2ディスプレイサ70の第2高温端106とコネクタ部材128とを連結する。2つのピンの挿通方向はいずれも冷凍機50の長手方向に直交する方向である。一実施例においては、連結部72は、いわゆる自在継手を含んでもよい。

#### 【0066】

こうして第1ディスプレイサ68とコネクタ部材128とは互いに結合ピンで揺動可能に接続され、第2ディスプレイサ70とコネクタ部材128とはそれと直交する方向に結合ピンで揺動可能に接続されている。よって、冷凍機50の組立工程において第1ディスプレイサ68及び第2ディスプレイサ70を第1シリンダ11及び第2シリンダ12へと挿入するとき、第1ディスプレイサ68に対し第2ディスプレイサ70はいくらかの相対移動または偏心が可能である。このため、シリンダ製造上の公差が緩和され、冷凍機50の低コスト化に寄与する。

40

#### 【0067】

第1ディスプレイサ68の第1低温端84は、外周部130を有する。外周部130は、第1円筒部分82から第1シリンダ底部74に向けて突出する環状の凸部として形成されている。外周部130の側面は第1低温端84の側面でもある。よって、外周部130の側面は第1シリンダ11の内面に対向しており、外周部130の側面と第1シリンダ1

50

1の内面との間に上述の第1通路104が形成される。外周部130に囲まれる中心部分は凹部132となっている。凹部132は第1蓄冷器88に開放されている。外周部130は、副収容区画140を形成する少なくとも1つの開口を包囲している。

【0068】

コネクタ部材128はこの凹部132に配置され、その上側の少なくとも一部が凹部132に収容されている。コネクタ部材128の上端と副蓄冷器136の間には空隙があり互いに接触していない。コネクタ部材128の第2ディスプレイサ70との接続部は、第2ディスプレイサ70の第3開口122に収容されている。コネクタ部材128の下端と第2蓄冷器114または金網124の間には空隙があり互いに接触していない。

【0069】

第1低温端84の凹部132は、第2ディスプレイサ70を受け入れるために形成されている。第2ディスプレイサ70の高温側、具体的には第2高温端106が凹部132に遊挿されている。つまり、いくらかの遊びをもって挿入されている。よって、凹部132の側面と第2ディスプレイサ70の第2高温端106の側面との間には隙間Gが形成される。凹部132の径と第2円筒部分108の径との差が隙間Gとなる。隙間Gは大きくても0.5mm以内とされる。図示されるように、第2ディスプレイサ70の高温端106が第1低温端84の端面よりも長さAだけ入り込んでいる。この進入量は例えば、多くても15mm、または多くても10mmである。

【0070】

こうして、第1ディスプレイサ68から凹部132を通じて第2ディスプレイサ70に作動気体を流すための直通流路が形成されている。直通流路は、第1ディスプレイサ68の主蓄冷器134と第2ディスプレイサ70の蓄冷器114とをつなぐ中間部分を含む。この直通流路の中間部分は、第1ディスプレイサ68の低温端84の第2ディスプレイサ70に面する対向部分に形成され、副蓄冷器136が設けられている少なくとも1つの開口を含む。

【0071】

直通流路は、圧縮機52及び冷媒管18から(図1参照)、第1開口96、主蓄冷器134、副蓄冷器136、凹部132、第3開口122、第2蓄冷器114、第4開口126を通じて第2膨張空間120へと作動気体を送り届けるために使用される(図3参照)。また逆方向に第2膨張空間120から圧縮機52へと作動気体を戻すために使用される(図4参照)。

【0072】

第1ディスプレイサ68と第2ディスプレイサ70の間での作動気体の流通はこの直通流路を通じた流れが支配的となるように隙間Gの寸法が調整されている。このようにすれば、第1蓄冷器88と第2蓄冷器114との間の作動気体流れの隙間Gを通じた漏れを抑制することができる。第1膨張空間94を経由せずに第1蓄冷器88から第2蓄冷器114へと直接流入する作動気体を多くすることができる。

【0073】

隙間Gは凹部132から第1膨張空間94に通じている。しかし、第1膨張空間94と第1ディスプレイサ68の間での作動気体の流通は第2開口98を通じた流れが支配的となるよう隙間Gの寸法が調整されている。すなわち、第1ディスプレイサ68から第2開口98を通じて第1膨張空間94に流入した作動気体は、再び第2開口98を通じて第1ディスプレイサ68に戻される。第1膨張空間94を経由し隙間Gを通じて凹部132に流入する流れは十分に抑制されている。

【0074】

好ましくは、第1ディスプレイサ68への第2ディスプレイサ70への入り込み部分の隙間Gは、実質的に作動気体が流通不能であるようシールされていてもよい。隙間Gの少なくとも一部は、冷凍機50の組立作業における第1ディスプレイサ68と第2ディスプレイサ70との揺動により完全に閉塞されていてもよい。あるいは、第1ディスプレイサ68または第2ディスプレイサ70の隙間Gの位置にシール部材が装着され、隙間Gの気

10

20

30

40

50

体流通が遮断されていてもよい。第1ディスプレイサ68と第2ディスプレイサ70とがベローズ接続されて、隙間Gの気体流通が遮断されていてもよい。第1ディスプレイサ68と第2ディスプレイサ70とが一体に成形され、隙間Gの全部またはその一部が完全に閉塞されていてもよい。

【0075】

このようにして、第1膨張空間94への作動気体流れと第2膨張空間120への作動気体流れとが分離されている。よって、第1膨張空間94に流入し第1冷却ステージ13と熱交換をした作動気体の第2ディスプレイサ70への流入は抑制されている。第1ディスプレイサ68から供給され第2膨張空間120に直接向かう作動気体は、第1膨張空間94を経由しない。こうして、冷凍機50の第1段の冷却温度が第2段の冷凍能力に与える影響を小さくすることができる。

10

【0076】

このように流れを分離する構成は、異なる冷却ステージに要求される温度差が大きい場合に特に好ましい。比較的高温に冷却される冷却ステージ及びその熱交換部(すなわち膨張空間)を経由して次段のより低温の冷却ステージ及びその熱交換部に作動気体が向かう場合には、前段の高温が後段に与える影響が大きくなる。流れを分離することにより、後段の冷凍能力への影響を抑えることができる。

【0077】

よって、例えば二段式の冷凍機50においては、第1段の冷却温度が80K以上好ましくは100K以上とされ、第2段の冷却温度が30K以下好ましくは20K以下とされる場合に上述の流れ分離構成を採用することが好ましい。また、隣り合う冷却段の温度差が少なくとも50K以上、好ましくは80K以上と大きくなる場合に流れ分離構成を採用することが好ましい。

20

【0078】

また、第2膨張空間120への直通流路を第1ディスプレイサ68から流れ出る作動気体の流れ方向と、第1膨張空間94へ向けて第1ディスプレイサ68から流れ出る作動気体の流れ方向とをそろえるように各流路が構成されている。主蓄冷器134から独立流路への流出方向を主蓄冷器134から直通流路への流れ方向にそろえるように、少なくとも主蓄冷器134から独立流路への進入部分の向きが定められている。

【0079】

そのために、凹部132は第1蓄冷器88から第2蓄冷器114に向かう流れを長手方向に流すよう形成されており、第2開口98の入口部分100も第1蓄冷器88からの流れを長手方向に流すよう形成されている。凹部132及び第2開口98の入口部分100はシリンダの中心軸方向に平行に形成された開口部である。なお上述のように第2開口98に流入した作動気体は第2開口98の内部で径方向外向きに折り曲げられ出口部分102から流出する。つまり第1蓄冷器88の外部で流れ方向が変更されている。

30

【0080】

このように第1蓄冷器88の主蓄冷器134の低温端から外側への流れ方向を揃えるように開口を形成することにより、主蓄冷器134の低温端における作動気体の流れの均一性を向上することができる。作動気体流れの均一性をよくすることにより、第1蓄冷器88の低温端における温度分布の均一性も良好となる。これは、第1蓄冷器88の低温端において全体的に低温を保つことに寄与すると考えられる。

40

【0081】

本実施例に係る第1ディスプレイサ68の蓄冷器構造は、高温側から流入する作動気体を冷却するための冷却経路または熱交換経路を局所的に長くしている。それに対して、典型的な蓄冷器は単純な円筒形であり、作動気体の流入口から流出口までの経路長さは均一である。

【0082】

本実施例に係る蓄冷器構造は副蓄冷器136が長手方向に追加されていることにより、第2ディスプレイサ70に対向する局所領域の冷却経路が、第1膨張空間94との対向領

50

域を含むその他の領域の冷却経路よりも長い。より低温の作動気体を第2ディスプレイサ70に供給することができるので、冷凍機50の第2段の冷凍能力を向上することができる。第1膨張空間94への供給気体は相対的に高温であるので、冷凍機50の第1段と第2段との温度差を大きくすることができる。

【0083】

第1ディスプレイサ68の内部に副蓄冷器136を形成しているので、既存のシリンダ形状及び寸法を維持することができる。よって、ディスプレイサの可動範囲（いわゆるストローク）も保たれるので、冷凍機50の駆動機構の設計の変更も要しない。また、既存のシリンダ形状及び寸法すなわち冷凍機50の外形が保たれているので、冷凍機50が適用される装置構造の設計への影響は少ないか存在しない。例えばクライオポンプ10において放射シールド40と低温クライオパネル60との位置関係を保ったまま、低温クライオパネル60の排気能力を向上することができる。

10

【0084】

冷凍機50の動作を説明する。図3に示す吸気工程及び図4に示す排気工程を1サイクルとし、冷凍機50はこれを繰り返す。吸気工程のある時点においては第1ディスプレイサ68及び第2ディスプレイサ70はそれぞれ、第1シリンダ11及び第2シリンダ12内の下死点に位置する。それと同時にまたはわずかにタイミングをずらしてロータリバルブにより圧縮機52の吐出側とシリンダ内部容積とが接続されることにより、圧縮機52から高圧の作動気体例えばヘリウムガスが第1ディスプレイサ68に流入する。

20

【0085】

高圧のヘリウムガスは、第1開口96から第1蓄冷器88に流入し、蓄冷材86によって冷却される。冷却されたヘリウムガスの一部は、第2開口98、第1通路104を通じて第1膨張空間94に流入する。第1膨張空間94に流入する作動気体は主蓄冷器134から供給され、副蓄冷器136は経由しない。

【0086】

冷却されたヘリウムガスの残りは、第1ディスプレイサ68の凹部132及び第2ディスプレイサ70の第3開口122を通じて第2蓄冷器114に流入する。第2蓄冷器114に流入するヘリウムガスは、主蓄冷器134と副蓄冷器136との両方によって冷却される。第2蓄冷器114の蓄冷材112によってヘリウムガスは更に冷却され、第4開口126を通じて第2膨張空間120へと流入する。

30

【0087】

こうして、第1膨張空間94及び第2膨張空間120はそれぞれ高圧状態となる。第1ディスプレイサ68及び第2ディスプレイサ70が上死点へと移動することにより、第1膨張空間94及び第2膨張空間120は拡張される。拡張された第1膨張空間94及び第2膨張空間120は高圧のヘリウムガスで満たされる。

【0088】

排気工程のある時点においては第1ディスプレイサ68及び第2ディスプレイサ70はそれぞれ、第1シリンダ11及び第2シリンダ12内の上死点に位置する。それと同時にまたはわずかにタイミングをずらしてロータリバルブの回転により圧縮機52の吸入側とシリンダ内部容積とが接続される。第1膨張空間94及び第2膨張空間120のヘリウムガスは減圧され膨張する。膨張によりヘリウムガスは低圧となり寒冷が発生する。第1膨張空間94のヘリウムガスは第1冷却ステージ13から熱を吸収して冷却し、第2膨張空間120のヘリウムガスは第2冷却ステージ14から熱を吸収して冷却する。

40

【0089】

第1ディスプレイサ68及び第2ディスプレイサ70は下死点へ向けて移動され、第1膨張空間94及び第2膨張空間120は縮小される。第1膨張空間94から第1通路104、第2開口98、第1蓄冷器88、及び第1開口96を通じて圧縮機52へと低圧のヘリウムガスは回収される。また、第2膨張空間120から第4開口126、第2蓄冷器114、第3開口122、凹部132、第1蓄冷器88、及び第1開口96を通じて圧縮機52へと低圧のヘリウムガスは回収される。このとき第1蓄冷器88の蓄冷材86及び第

50

2 蓄冷器 114 の蓄冷材 112 も冷却される。

【0090】

図5は典型的な他の冷凍機150の吸気工程を示し、図6はその冷凍機150の排気工程を示す図である。この冷凍機150は、第1ディスプレイサ168の蓄冷器構造に関して上述の図2に示す冷凍機50とは構成が異なる。第1ディスプレイサ168と第2ディスプレイサ170との連結部172についてもに関して上述の図2に示す冷凍機50とは構成が異なる点がある。第1シリンダ11、第2シリンダ12、第1冷却ステージ13、及び第2冷却ステージ14については、図2に示す冷凍機50と図5、図6に示す冷凍機150とで同一の寸法及び形状とされている。

【0091】

図5及び図6に示されるように、冷凍機150においては、第1ディスプレイサ168と第2ディスプレイサ170との間の空間である連結用凹み160が第1膨張空間194と第2蓄冷器114とを接続する流路として形成されている。第2ディスプレイサ170への十分な流れを保証するために、進入部分における第2ディスプレイサ170と第1ディスプレイサ168との間隔は少なくとも、2mm乃至3mmよりも大きくされる。

【0092】

よって、吸気工程における作動気体流れは、第1開口96、第1蓄冷器88、第2開口198、第1膨張空間194、連結用凹み160、第2蓄冷器114を経て第2膨張空間120へと供給される(図5参照)。排気工程における作動気体流れはこれとは逆方向となり、第2膨張空間120から第1開口96へと戻される(図6参照)。このように、第1蓄冷器88と第2蓄冷器114との間の作動気体流れは第1膨張空間194を経由する。このため、冷凍機150の第2段の冷凍性能は第1段の冷却温度の影響を受けやすい。

【0093】

なお冷凍機150においては、第1ディスプレイサ168の第1蓄冷器88を第1膨張空間194に連通させるための第2開口198が第1ディスプレイサ168の低温側側面に形成されている。第2開口198は、冷凍機150の中心軸から放射状に第1ディスプレイサ168の側面の複数箇所形成されている。この第2開口198は、図2に示す冷凍機50に採用することも可能である。

【0094】

図5及び図6に示す冷凍機150との対比からわかるように、図2乃至図4に示す冷凍機50の連結部72は、第1ディスプレイサ68に隣接する第1膨張空間94から第2ディスプレイサ70へと通じる隙間Gの気体流れをシールするシール構造を有するとも言える。

【0095】

このシール構造のシール性を表す1つの指標として、第2ディスプレイサ70の入り込み長さAと隙間Gとの比Xが考えられる。すなわち $X = A / G$ である。第2ディスプレイサ70の入り込み長さAが大きく、隙間Gが小さい場合には、比Xの値は大きくなる。この場合、作動気体は流れにくくなる。逆に、第2ディスプレイサ70の入り込み長さAが小さく、隙間Gが大きい場合には、比Xの値は小さくなる。この場合、作動気体は流れやすくなる。

【0096】

一実施例においては、入り込み長さAが10mm、隙間Gが0.5mmである場合には比Xは20となるから、比Xは少なくとも20以上であることが好ましい。入り込み長さAが15mm、隙間Gが0.5mmである場合には比Xは30となるから、比Xは少なくとも30以上であることがより好ましい。これに対して、図5及び図6に示される冷凍機150のように、入り込み長さAが10mm、隙間Gが2mm乃至3mmである場合には、比Xは約3.3乃至5となる。このようにして、典型的な冷凍機の連結部分に比べて、比Xの値を10倍以上の大きさとすることにより、十分なシール性を実現することが可能となる。

【0097】

10

20

30

40

50

好ましい一実施例においては、入り込み長さAが15mm以下であり、隙間Gが0.5mm以下であり、かつ比Xが30以上である。つまり、比Xを30以上とするように、入り込み長さAが15mm以下の範囲から選択され、隙間Gが0.5mm以下の範囲から選択される。こうした構成により、副蓄冷器136のための副収容区画140に十分な広さを確保しつつ、隙間Gに十分なシール性を与えることができる。

【0098】

説明したように、本発明の一実施形態によれば、2つの冷却ステージ位置及びシリンダ寸法が概ね定められている冷凍機の構成において、第1ディスプレイサ68から第2ディスプレイサ70への直通流路を形成し副蓄冷器136を付加している。長手方向に見て、第1蓄冷器88の中心部分には蓄冷材86の長い部位が形成され、第1蓄冷器88の外周部分には蓄冷材86の短い部位が形成されている。第1膨張空間94止まりの作動気体に比べて、第2ディスプレイサ70への供給気体温度を低くすることができる。

10

【0099】

これにより、冷凍機50の第1段と第2段との温度差を大きくすることができる。また、第2段への供給気体温度が低くなり、第2段の冷凍能力を向上させることもできる。クライオポンプ10は位置関係が定められている放射シールド40とその内部のクライオパネル60とを備えるから、このような冷凍機50の好ましい適用対象となる。特に、放射シールド40とその内部のクライオパネル60との温度差を大きくとることが求められる場合に好適である。

【0100】

以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。本発明は上記実施形態に限定されず、種々の設計変更が可能であり、様々な変形例が可能であること、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは、当業者に理解されるところである。

20

【0101】

副蓄冷器136は必ずしも主蓄冷器134の低温側に設けられていなくてもよい。本発明の一実施形態に係る蓄冷器構造は、高温端またはその他の部分に、熱交換的に無効のまたは蓄冷材よりも熱交換作用の小さい局所部分を有してもよい。このようにして蓄冷器構造は、冷却経路が相対的に長い領域と短い領域とを含んでもよい。例えば、副蓄冷器136を設ける代わりに、またはそれとともに、蓄冷器構造は、蓄冷材の欠落した区域を有してもよい。隣接する膨張空間に作動気体を送出するための冷却経路は、蓄冷材欠落区域を含んでもよい。このようにしても、膨張空間に向かう作動気体と、低温ディスプレイサに向かう作動気体とに温度差をつけることができる。

30

【0102】

本発明は二段式の冷凍機への適用には限られずそれよりも多段の冷凍機に適用されてもよい。その場合、第1段とそれに隣接する第2段とのうち高温側である第1段の蓄冷器構造が上述の副蓄冷器136を備えてもよいし、第2段とそれに隣接する第3段とのうち高温側である第2段の蓄冷器構造が上述の副蓄冷器136を備えてもよい。また、本発明の一実施形態に係る冷凍機は、クライオポンプのみならず任意の対象に適用することができる。

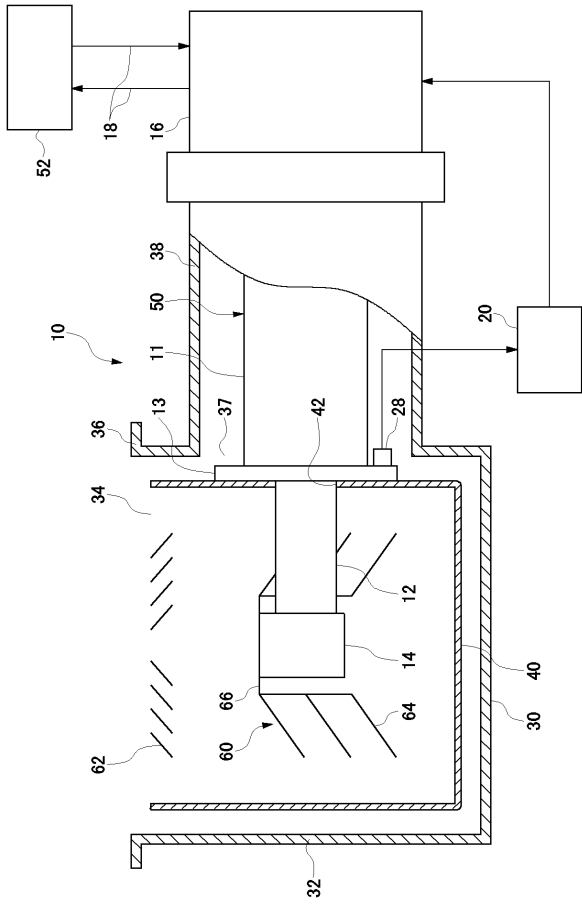
【符号の説明】

40

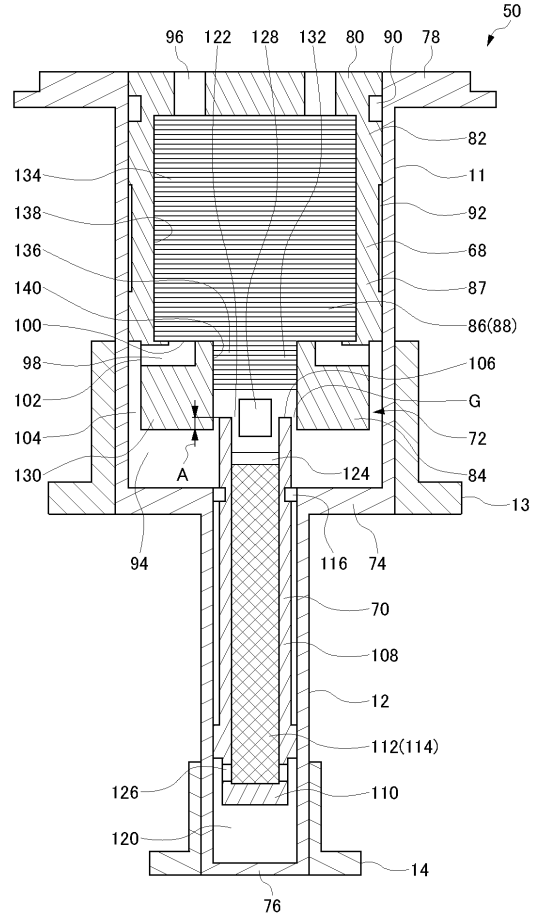
【0103】

10 クライオポンプ、 11 第1シリンダ、 12 第2シリンダ、 13 第1冷却ステージ、 14 第2冷却ステージ、 20 制御部、 30 クライオポンプ容器、 40 放射シールド、 50 冷凍機、 60 低温クライオパネル、 68 第1ディスプレイサ、 70 第2ディスプレイサ、 72 連結部、 88 第1蓄冷器、 114 第2蓄冷器、 132 凹部、 134 主蓄冷器、 136 副蓄冷器、 138 主収容区画、 140 副収容区画、 G 隙間。

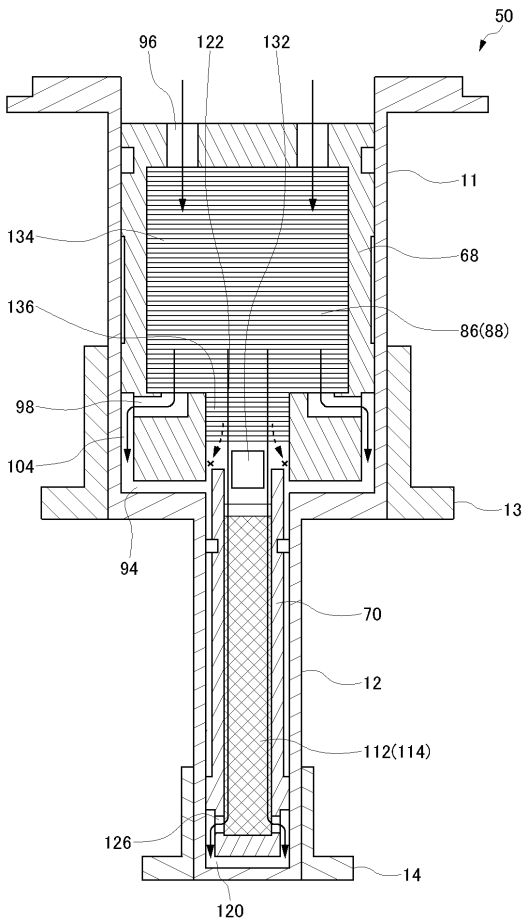
【図 1】



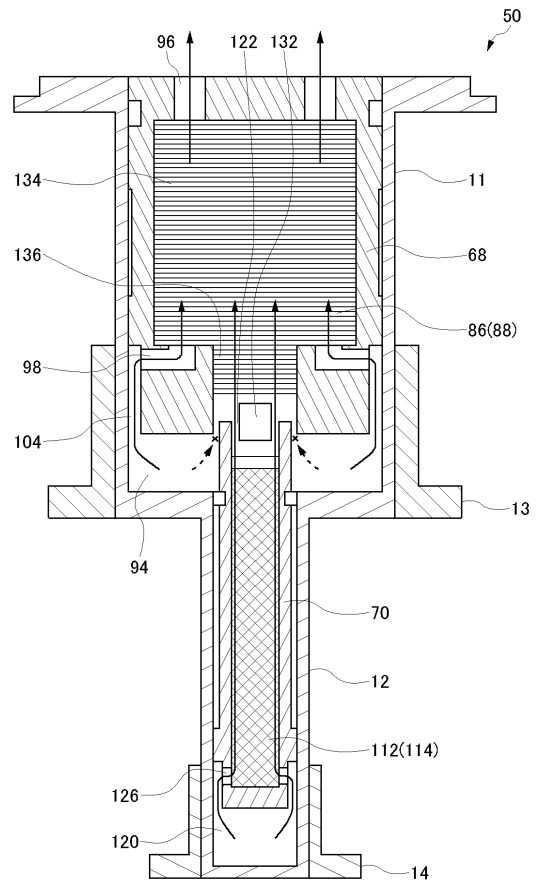
【図 2】



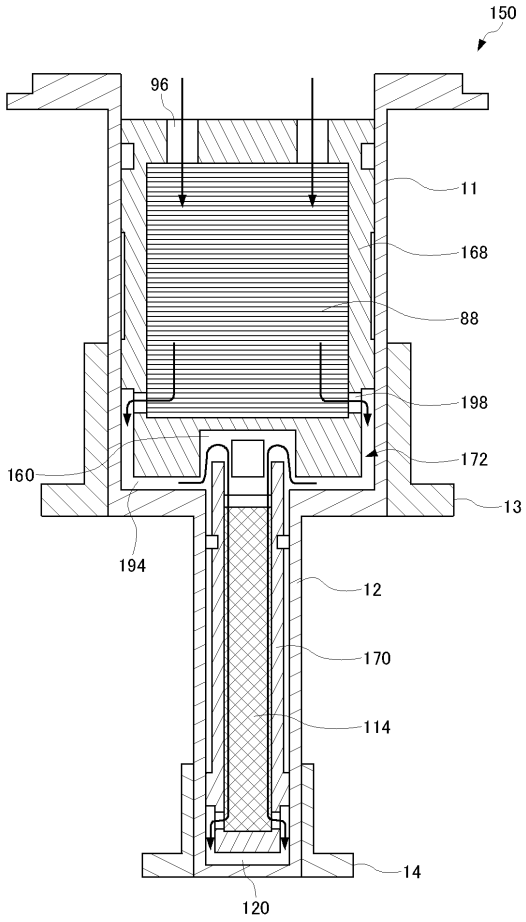
【図 3】



【図 4】



【 図 5 】



【 図 6 】

