(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5660979号
(P5660979)

(45)発行日　平成27年1月28日(2015.1.28)　(24)登録日　平成26年12月12日(2014.12.12)

(51)Int.Cl.　　F I
F25B 9/14 (2006.01)　　F25B 9/14 530Z
F04B 37/08 (2006.01)　　F04B 37/08

請求項の数 8　(全 19 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)
(65)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)
審査請求日　平成25年8月9日(2013.8.9)

(73)特許権者　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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】クライオポンプ及び極低温冷凍機

(57)【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第２冷却ステージと、高温クライオパネルを冷却するための第１冷却ステージと、第１冷却ステージを低温端に有し長手方向に延在する第１シリンダと、第２冷却ステージを低温端に有し前記長手方向に延在する第２シリンダと、を備え、第１シリンダの低温端と第２シリンダの高温端とが接続されて第２冷却ステージと第１冷却ステージとが前記長手方向に配列されている冷凍機と、を備え、
該冷凍機は、前記長手方向に往復移動可能に第１シリンダに収容されている第１ディスプレーサと、前記長手方向に往復移動可能に第２シリンダに収容され前記長手方向に該第１ディスプレーサの低温側に隣接して第１ディスプレーサに連結されている第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、
第１ディスプレーサの高温端から低温端へと蓄冷材を充填してなる主蓄冷器と、
第１ディスプレーサの低温端に設けられ、前記主蓄冷器の低温端から前記長手方向に沿って第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と、
該直通流路に設けられ、前記長手方向において前記主蓄冷器より低温側に配置さ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。
【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膨張空間が第１シリンダの内部において第１ディスプレーサの低温端に隣接して形成されており、

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、前記主蓄冷器の低温端から第１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。

【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】

長手方向に隣接する低温側ディスプレーサと高温側ディスプレーサとを備え、

高温側ディスプレーサは、高温側ディスプレーサの高温端から低温端へと及ぶ蓄冷材のための主収容区画と、前記長手方向において該主収容区画の低温側に連続する蓄冷材のための副収容区画と、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ー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第１蓄冷器を備え、長手方向に往復移動可能である高温側ディスプレーサと、

第１蓄冷器によって冷却された作動気体を更に冷却するための第２蓄冷器を備え、第１ディスプレーサとともに前記長手方向に往復移動可能である低温側ディスプレーサと、を備える極低温冷凍機であって、

第１蓄冷器は、その高温端から低温端へと延在する蓄冷材容器と、該蓄冷材容器に充填されている蓄冷材と、第１蓄冷器の高温端における前記蓄冷材への作動気体入口と、第１蓄冷器の低温端に隣接する膨張空間への前記蓄冷材からの作動気体出口と、第１蓄冷器の低温端から第２蓄冷器への作動気体通路と、を備え、

第１蓄冷器は、前記長手方向における前記作動気体入口から前記作動気体出口への蓄冷材長さよりも前記作動気体入口から前記作動気体通路への蓄冷材長さが長くなるように、前記作動気体通路に蓄冷材延長部分を備えることを特徴とする極低温冷凍機。

【請求項８】

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、

請求項６または７に記載の冷凍機と、を備え、

前記冷凍機は、低温クライオパネルを冷却するための第２冷却ステージと、高温クライオパネルを冷却するための第１冷却ステージと、第１冷却ステージを低温端に有し前記長手方向に延在する第１シリンダと、第２冷却ステージを低温端に有し前記長手方向に延在する第２シリンダと、を備え、第１シリンダの低温端と第２シリンダの高温端とが接続されて第２冷却ステージと第１冷却ステージとが前記長手方向に配列され、

高温側ディスプレーサは、前記長手方向に往復移動可能に第１シリンダに収容され、低温側ディスプレーサは、前記長手方向に往復移動可能に第２シリンダに収容され前記長手

方向に高温側ディスプレーサの低温側に隣接して高温側ディスプレーサに連結されてい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段ディスプレーサと第２段ディスプレー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段膨張室内を経由せずに流入する。

【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、を備える。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。

【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ーサと高温側ディスプレーサとを備え、高温側ディスプレー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ー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。

【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ディスプレーサ６８から低温側の第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８から第２ディスプレーサ７０へは、主蓄冷器１３４と副蓄冷器１３６とを経由して作動気体が供給される。第１ディスプレーサ６８に隣接する第１膨張空間９４へは、副蓄冷器１３６を経由せずに主蓄冷器１３４から作動気体が供給される。

【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ディスプレーサ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。

【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、バルブ駆動モータ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。

【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て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６５Ｋ～１２０Ｋ程度、好ましくは８０Ｋ～１００Ｋに冷却され、第２冷却ステージ１４は１０Ｋ～２０Ｋ程度に冷却される。

【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。

【００１８】

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１８を経て圧縮機５２に戻される。圧縮機５２から冷凍機５０へ、また冷凍機５０から圧縮機５２への作動気体の流れは、冷凍機５０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１６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。

【００１９】

冷凍機５０を制御するための制御部２０が設けられている。制御部２０は、第１冷却ステージ１３または第２冷却ステージ１４の冷却温度に基づいて冷凍機５０を制御する。そのために、第１冷却ステージ１３または第２冷却ステージ１４に温度センサ２８が設けられていてもよい。制御部２０は、バルブ駆動モータ１６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２０は、バルブ駆動モータ１６を制御するためのインバータを備えてもよい。制御部２０は圧縮機５２を制御するよう構成されていてもよい。制御部２０はクライオポンプ１０に一体に設けられていてもよいし、クライオポンプ１０とは別体の制御装置として構成されていてもよい。

【００２０】

図１に示されるクライオポンプ１０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１４が筒状の放射シールド４０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４０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。

【００２１】

クライオポンプ容器３０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）３２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３４として、設けられている。吸気口３４はクライオポンプ容器３０の胴部３２の上端部内面により画定される。また胴部３２には冷凍機５０を挿通するための開口３７が形成されている。胴部３２の開口３７には円筒状の冷凍機収容部３８の一端が取り付けられ、他端は冷凍機５０のハウジングに取り付けられている。冷凍機収容部３８は冷凍機５０の第１シリンダ１１を収容する。

【００２２】

またクライオポンプ容器３０の胴部３２の上端には径方向外側に向けて取付フランジ３６が延びている。クライオポンプ１０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３６を用いて取り付けられる。

【００２３】

クライオポンプ容器３０は、クライオポンプ１０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３０は胴部３２と冷凍機収容部３８とを含んで構成されており、胴部３２及び冷凍機収容部３８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３０の外面は、クライオポンプ１０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１０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３０の外面は放射シールド４０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３０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１０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。

【００２４】

放射シールド４０は、クライオポンプ容器３０の内部に配設されている。放射シールド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とは非接触の状態で配置される。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。

【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。

【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。

【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６

２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と真空チャンバと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。

【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。

【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１Ｐａ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充分に低くなる気体（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充分に低くなら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充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充分に低くならない気体（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。

【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。

【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。

【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、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。

【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。

【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。

【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。

【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。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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ６８に第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ６８、第１シリンダ１１、及び第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８の第１低温端８４と、第１シリンダ１１の内面と、第１ディスプレーサ６８の凹部１

３２から延びている第２ディスプレーサ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ディスプレーサ７０の高温端１０６を取り巻いている。

【００５１】

第１ディスプレーサ６８の第１高温端８０には、第１ディスプレーサ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ディスプレーサ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はなく、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。

【００５４】

第１ディスプレーサ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の長手方向の長さに、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ディスプレーサ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。

【００５６】

このようにして第１ディスプレーサ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ディスプレーサ６８から第２ディスプレーサ７０への直通流路とは独立の流路を含む。独立流路は第１ディスプレーサ６８の主蓄冷器１３４と第１膨張空間９４とをつなぐ。第１ディスプレーサ６８の第１低温端８４は、第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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。

【００５８】

第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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。

【００５９】

第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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１０６、第２円筒部分１０８、及び第２低温端１１０に囲まれた第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ７０の往復運動により容積が変化する。

【００６２】

第２ディスプレーサ７０の第２高温端１０６には、第２ディスプレーサ７０の外側（すなわち第１ディスプレーサ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。

【００６３】

第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８と第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８の第１低温端８４と第２ディスプレーサ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。

【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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ６８及び第２ディスプレーサ７０を第１シリンダ１１及び第２シリンダ１２へと挿入するときに、第１ディスプレーサ６８に対し第２ディスプレーサ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。

【００６７】

第１ディスプレーサ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１１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と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ディスプレーサ７０との接続部は、第２ディスプレーサ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と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ディスプレーサ７０を受け入れるために形成されている。第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ６８から凹部１３２を通じて第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８の主蓄冷器１３４と第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８の低温端８４の第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８と第２ディスプレーサ７０と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ディスプレーサ６８と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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ６８への第２ディスプレーサ７０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ディスプレーサ６８と第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８または第２ディスプレーサ７０の隙間Ｇの位置にシール部材が装着され、隙間Ｇの気体流通が遮断されていてもよい。第１ディスプレーサ６８と第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８と第２ディスプレーサ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ディスプレーサ７０への流入は抑制されている。第１ディスプレーサ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。

【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。

【００７８】

また、第２膨張空間１２０への直通流路を第１ディスプレーサ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ディスプレーサ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。

【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。

【００８１】

本実施例に係る第１ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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、ディスプレーサの可動範囲（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においては放射シールド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。

【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ディスプレーサ６８及び第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８に流入する。

【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ディスプレーサ６８の凹部１３２及び第２ディスプレーサ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。

【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ディスプレーサ６８及び第２ディスプレーサ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ディスプレーサ６８及び第２ディスプレーサ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。

【００８９】

第１ディスプレーサ６８及び第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ１６８と第２ディスプレーサ１７０との連結部１７２についても上述の図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ディスプレーサ１６８と第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ１７０と第１ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ１６８の側面の複数箇所に形成されている。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ディスプレーサ６８に隣接する第１膨張空間９４から第２ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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ディスプレーサ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】

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ディスプレーサ６８から第２ディスプレーサ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ディスプレーサ７０への供給気体温度を低くすることができる。

【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。

【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、低温ディスプレーサに向かう作動気体とに温度差をつけることができる。

【０１０２】

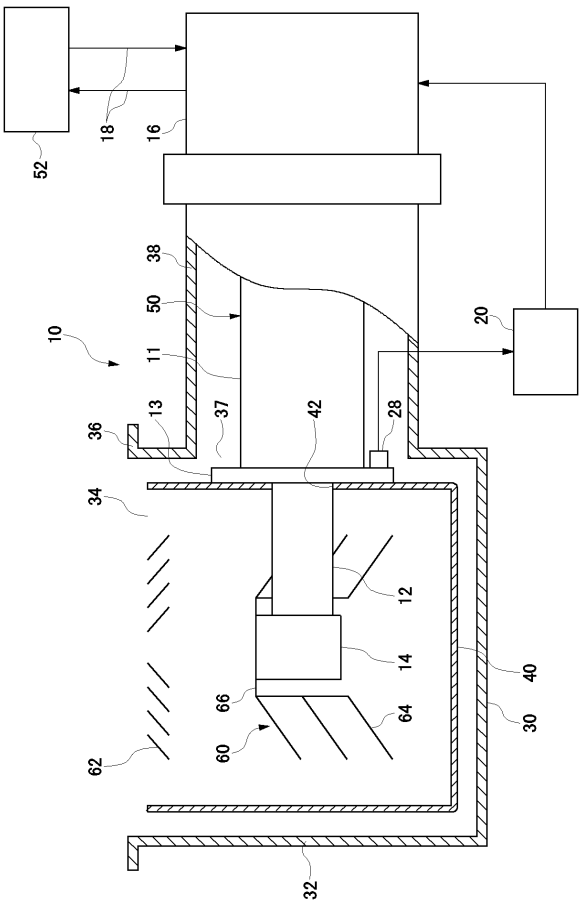
本発明は二段式の冷凍機への適用には限られずそれよりも多段の冷凍機に適用されてもよい。その場合、第１段とそれに隣接する第２段とのうち高温側である第１段の蓄冷器構造が上述の副蓄冷器１３６を備えてもよいし、第２段とそれに隣接する第３段とのうち高温側である第２段の蓄冷器構造が上述の副蓄冷器１３６を備えてもよい。また、本発明の一実施形態に係る冷凍機は、クライオポンプのみならず任意の対象に適用することができる。

【符号の説明】

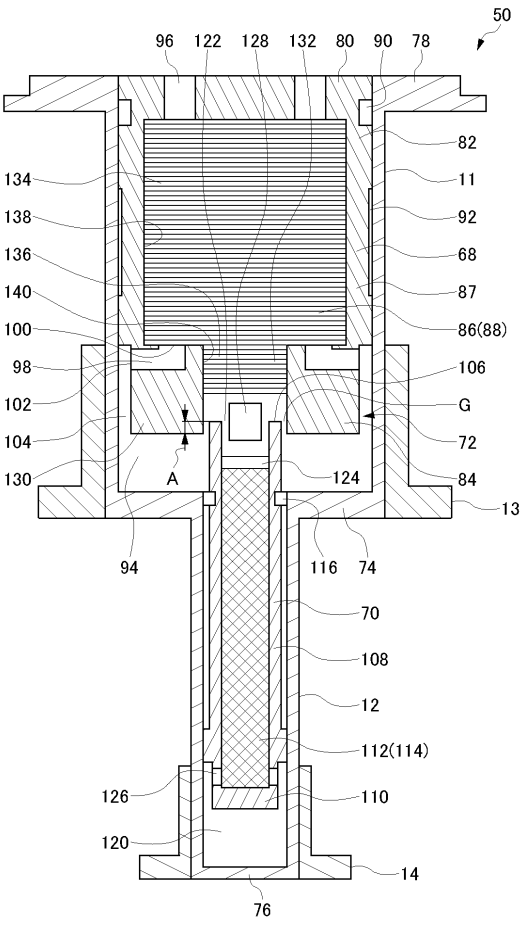
【０１０３】

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ディスプレーサ、　７０　第２ディスプレーサ、　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。

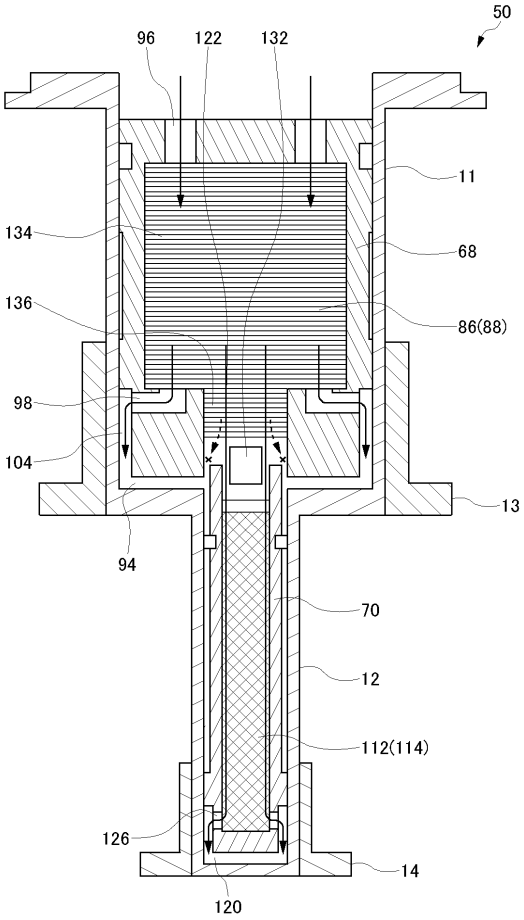
【図１】



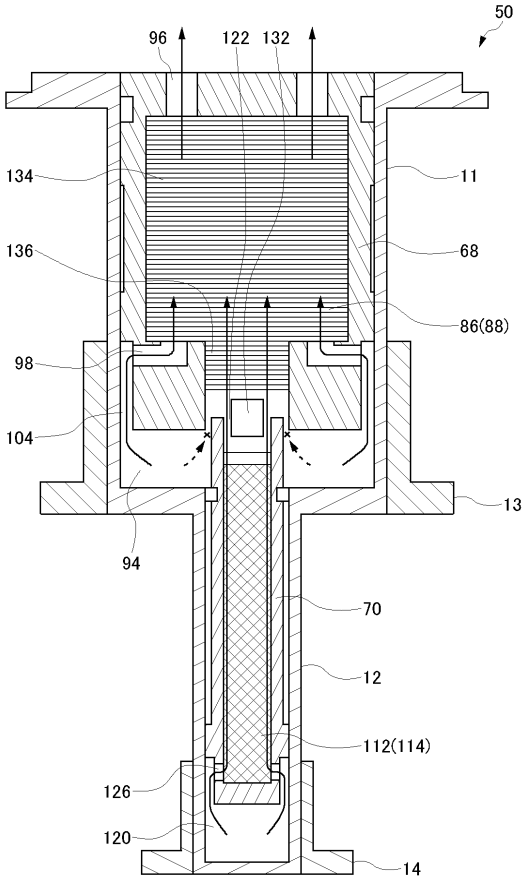
【図２】



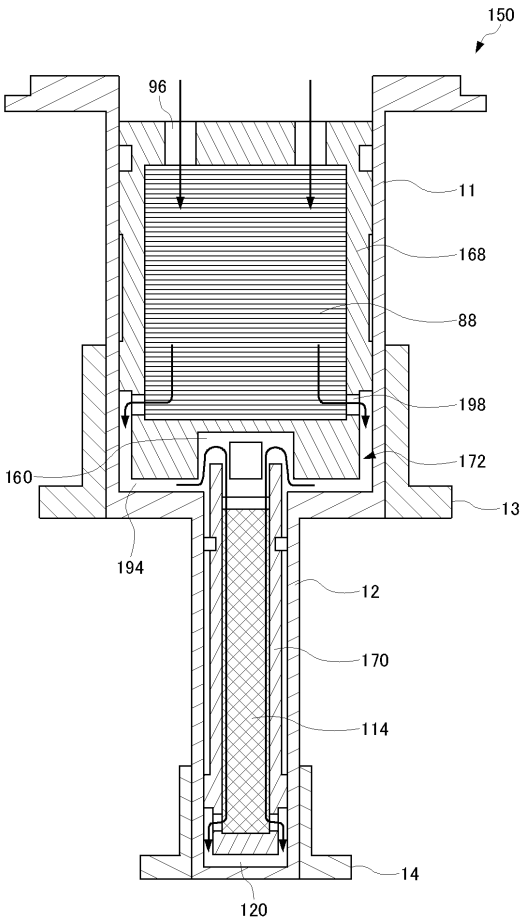
【図３】


50
96
122
132
11
134
68
136
86(88)
98
104
13
94
70
12
112(114)
126
14
120

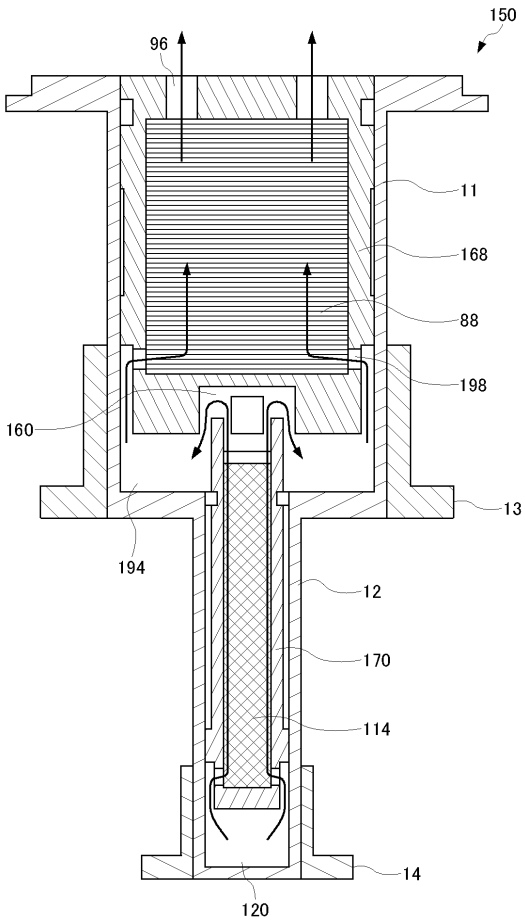
【図４】


50
96
122
132
134
11
136
68
86(88)
98
104
13
94
70
12
112(114)
126
120
14

【図５】


150
96
11
168
88
198
160
172
13
194
12
170
114
14
120

【図６】


150
96
11
168
88
198
160
13
194
12
170
114
14
120

フロントページの続き

審査官　新井　浩士

(56)参考文献　特開平０６－２０７７５４（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２４３２９４（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１７８２７８（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－０９０６４８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ２５Ｂ　　９／１４
Ｆ０４Ｂ　３７／０８