

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5497404号
(P5497404)

(45) 発行日 平成26年5月21日 (2014. 5. 21)

(24) 登録日 平成26年3月14日 (2014. 3. 14)

(51) Int. Cl.

F 1

F 2 5 B 9/00 (2006. 01)

F 2 5 B 9/00 3 1 1

F 2 5 B 9/14 (2006. 01)

F 2 5 B 9/14 5 3 0 B

請求項の数 11 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2009-247060 (P2009-247060)
 (22) 出願日 平成21年10月27日 (2009. 10. 27)
 (65) 公開番号 特開2011-94833 (P2011-94833A)
 (43) 公開日 平成23年5月12日 (2011. 5. 12)
 審査請求日 平成24年9月14日 (2012. 9. 14)

(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 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 許 名堯
 東京都西東京市谷戸町2丁目1番1号 住
 友重機械工業株式会社 田無製造所内
 審査官 仲村 靖

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロータリーバルブおよびパルスチューブ冷凍機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1段パルス管および第2段パルス管を含む複数のパルス管と、蓄冷管と、ロータリーバルブとを有するマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機であって、

前記ロータリーバルブは、固定シートの摺動面に対して、回転ディスクの摺動面が面接触したまま回転することにより、冷媒の流路を切り替えることができ、

前記固定シートの摺動面には、

高压の冷媒を前記蓄冷管に供給し、低压の冷媒を前記蓄冷管から排出するための、複数の第1のポートと、

前記高压の冷媒を前記各パルス管側に供給し、前記低压の冷媒を前記各パルス管側から排出するための、複数の第2のポートと、

が設けられ、

前記第2のポートは、

前記高压の冷媒を前記第1段パルス管に供給し、前記低压の冷媒を前記第1段パルス管から排出するための第1段パルス管用ポートと、

前記高压の冷媒を前記第2段パルス管に供給し、前記低压の冷媒を前記第2段パルス管から排出するための第2段パルス管用ポートと、

を有し、

前記複数の第1のポートは、前記固定シートの摺動面の中心から同一半径位置にある第1のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配

10

20

置され、

前記複数の第2のポートは、前記第1のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置されることを特徴とするマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機。

【請求項2】

前記回転ディスクの1回転は、当該パルスチューブ冷凍機の2回以上の冷却サイクルに相当することを特徴とする請求項1に記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項3】

前記第1のポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第1の全長を有し、
前記第2のポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第2の全長を有し、
前記第1の全長は、前記第2の全長と同等以上であることを特徴とする請求項1または2に記載のパルスチューブ冷凍機。

10

【請求項4】

前記第1段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第3の全長を有し、

前記第2段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第4の全長を有し、

前記第4の全長は、前記第3の全長と同等以上であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項5】

20

当該パルスチューブ冷凍機は、さらに、第3段パルス管を有し、

前記複数の第2のポートのうちの一つは、前記高圧の冷媒を前記第3段パルス管に供給し、前記低圧の冷媒を前記第3段パルス管から排出するための第3段パルス管用ポートであることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項6】

前記回転ディスクの摺動面には、前記高圧の冷媒が流通する第1の開口と、前記低圧の冷媒が流通する第2の開口とが設置されることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項7】

前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、
前記第1の開口は、前記第1のポートと連通される前に、前記第2のポートと連通され、または

30

前記第2の開口は、前記第1のポートと連通される前に、前記第2のポートと連通され、または

前記第1の開口は、前記第1のポートと連通される前に、前記第2のポートと連通され、かつ前記第2の開口は、前記第1のポートと連通される前に、前記第2のポートと連通されることを特徴とする請求項6に記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項8】

前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、
前記第1の開口が前記第1のポートと連通される時間は、前記第1の開口が前記第2のポートと連通される時間よりも長く、または

40

前記第2の開口が前記第1のポートと連通される時間は、前記第2の開口が前記第2のポートと連通される時間よりも長く、または

前記第1の開口が前記第1のポートと連通される時間は、前記第1の開口が前記第2のポートと連通される時間よりも長く、かつ前記第2の開口が前記第1のポートと連通される時間は、前記第2の開口が前記第2のポートと連通される時間よりも長いことを特徴とする請求項6または7に記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項9】

前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、
前記第1の開口は、前記第1段パルス管用ポートと連通される前に、前記第2段パルス

50

管用ポートと連通され、または

前記第 2 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通され、または

前記第 1 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通され、かつ前記第 2 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通されることを特徴とする請求項 6 乃至 8 のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項 10】

前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 1 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、または

前記第 2 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、または

前記第 1 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 1 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、かつ前記第 2 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長いことを特徴とする請求項 6 乃至 9 のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項 11】

第 1 段パルス管および第 2 段パルス管を含む複数のパルス管と蓄冷管とを有するマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機用のロータリーバルブであって、

当該ロータリーバルブは、固定シートの摺動面に対して、回転ディスクの摺動面が面接触したまま回転することにより、冷媒の流路を切り替えることで、

前記固定シートの摺動面には、

高圧の冷媒を前記蓄冷管側に供給し、低圧の冷媒を前記蓄冷管側から排出するための、複数の第 1 のポートと、

前記高圧の冷媒を各パルス管側に供給し、前記低圧の冷媒を各パルス管側から排出するための、複数の第 2 のポートと、

が設けられ、

前記第 2 のポートは、

前記高圧の冷媒を前記第 1 段パルス管に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 1 段パルス管から排出するための第 1 段パルス管用ポートと、

前記高圧の冷媒を前記第 2 段パルス管に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 2 段パルス管から排出するための第 2 段パルス管用ポートと、

を有し、

前記複数の第 1 のポートは、前記固定シートの摺動面の中心から同一半径位置にある第 1 のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置され、

前記複数の第 2 のポートは、前記第 1 のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置されることを特徴とするロータリーバルブ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、パルスチューブ冷凍機のロータリーバルブに関し、特に、マルチバルブ型パルスチューブ冷凍機のロータリーバルブに関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、極低温環境が必要となる装置、例えば、核磁気共鳴診断装置（MRI）等を冷却する際に、パルスチューブ冷凍機が使用されている。

【0003】

10

20

30

40

50

パルスチューブ冷凍機では、圧縮機により圧縮された作動流体である冷媒ガス（例えば、ヘリウムガス）が蓄冷管およびパルス管に流入する動作と、作動流体がパルス管および蓄冷管から流出され、圧縮機に回収される動作を繰り返すことで、蓄冷管およびパルス管の低温端に寒冷が形成される。また、これらの低温端に、被冷却対象を熱的に接触させることで、被冷却対象から熱を奪うことができる。

【0004】

特に、マルチバルブ型パルスチューブ冷凍機は、高い冷却効率を有するという特徴を有し、様々な分野での適用が期待されている。

【0005】

なお、マルチバルブ型パルスチューブ冷凍機では、所定のタイミングで冷媒ガスを適正な部位および方向に流通させるため、複数のバルブを相互に関連付けて、これらを所定のタイミングで開閉する必要がある。そのため、通常の場合、各バルブの機能を統合させた部材として、ロータリーバルブが使用される（例えば特許文献1）。

【0006】

ロータリーバルブは、回転体である回転ディスクと、静止状態にある固定シートとを備える。回転ディスクの略円形の平坦面（摺動面）には、圧縮機の高圧側および低圧側に連通された複数の穴（溝）が開口されている。また、固定シートの略円形の平坦面（摺動面）には、蓄冷管およびパルス管に連通された複数のポートが開口されている。従って、固定シートの摺動面を回転ディスクの摺動面に押し付けた状態で、回転ディスクを回転させた際、両摺動面の相対位置（より具体的には穴とポートの相対位置）が第1の所定の関係になると、圧縮機から蓄冷管および／またはパルス管までの高圧冷媒ガスの供給流路が形成される。また、両摺動面の相対位置（より具体的には穴とポートの相対位置）が第2の所定の関係になると、蓄冷管および／またはパルス管から圧縮機への低圧冷媒ガスの排出流路が形成される。このように、ロータリーバルブは、回転ディスクを回転させることにより冷媒ガスの流路を交互に切り換えることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2007-522431号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1に示すような通常のロータリーバルブにおいて、固定シートの摺動面には、高圧冷媒ガスを蓄冷管に導入するための複数の第1ポートと、高圧冷媒ガスを第1段パルス管に導入するための第2ポートと、低圧冷媒ガスを第1段パルス管から排出するための第3ポートと、高圧冷媒ガスを第2段パルス管に導入するための第4ポートと、低圧冷媒ガスを第1段パルス管から排出するための第5ポートとが設けられる。このうち、複数の第1ポートは、固定シートの摺動面の中心からの距離（すなわち半径）が等しい第1の円周（トラック）上に設置される。また、第2ポートおよび第4ポートは、固定シートの摺動面の中心からの距離（すなわち半径）が等しい第2の円周（トラック）上に設置される。さらに、第3ポートおよび第5ポートは、固定シートの摺動面の中心からの距離（すなわち半径）が等しい第3の円周（トラック）上に設置される。

【0009】

換言すれば、固定シートの摺動面は、第1のポート、第2および第4のポート、ならびに第3および第5のポートの、それぞれのための3つの異なるトラックを有する必要がある。なお、例えば、蓄冷管用の第1ポートの長さ（摺動面の半径方向における長さ）は、例えば10mm程度であり、この第1のトラックの摺動面の中心からの距離（半径）は、約20mm程度である。

【0010】

しかしながら、このような構成では、固定シートの摺動面の直径を、3トラック分未満

10

20

30

40

50

まで狭めることは物理的に不可能である。このため、固定シートおよび回転ディスクの摺動面は、必然的に大きな直径を有することになり、従って、ロータリーバルブも必然的に大型化してしまう。なお、ロータリーバルブが大きくなると、パルスチューブ冷凍機内のロータリーバルブの設置位置が限定される他、回転ディスクの回転に必要なトルクが大きくなるという問題がある。また、ロータリーバルブが大きくなると、両摺動面の摩擦によって生じる摩擦粉の量が増加するという問題がある。

【 0 0 1 1 】

本発明は、このような背景に鑑みなされたものであり、本発明では、小型化の可能なロータリーバルブ、およびそのようなロータリーバルブを有するマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明では、少なくとも一つのパルス管と蓄冷管とを有するマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機用のロータリーバルブであって、

当該ロータリーバルブは、固定シートの摺動面に対して、回転ディスクの摺動面が面接触したまま回転することにより、冷媒の流路を切り替えることができ、

前記固定シートの摺動面には、

高圧の冷媒を前記蓄冷管側に供給し、低圧の冷媒を前記蓄冷管側から排出するための、複数の第 1 のポートと、

前記高圧の冷媒を前記パルス管側に供給し、前記低圧の冷媒を前記パルス管側から排出するための、複数の第 2 のポートと、

20

が設けられ、

前記複数の第 1 のポートは、前記固定シートの摺動面の中心から同一半径位置にある第 1 のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置され、

前記複数の第 2 のポートは、前記第 1 のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置されることを特徴とするロータリーバルブが提供される。

【 0 0 1 3 】

ここで、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面には、前記高圧の冷媒が流通する第 1 の開口と、前記低圧の冷媒が流通する第 2 の開口とが設置されても良い。

30

【 0 0 1 4 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの 1 回転は、前記パルスチューブ冷凍機の 2 回以上の冷却サイクルに相当しても良い。

【 0 0 1 5 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記第 1 のポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 1 の全長を有し、

前記第 2 のポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 2 の全長を有し、

前記第 1 の全長は、前記第 2 の全長と同等以上であっても良い。

40

【 0 0 1 6 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口は、前記第 1 のポートと連通される前に、前記第 2 のポートと連通され、および / または

前記第 2 の開口は、前記第 1 のポートと連通される前に、前記第 2 のポートと連通されても良い。

【 0 0 1 7 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

50

前記第 1 の開口が前記第 1 のポートと連通される時間は、前記第 1 の開口が前記第 2 のポートと連通される時間よりも長く、および / または

前記第 2 の開口が前記第 1 のポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 2 のポートと連通される時間よりも長くても良い。

【 0 0 1 8 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記パルスチューブ冷凍機は、単一のパルス管を有する単段式パルスチューブ冷凍機であっても良い。

【 0 0 1 9 】

あるいは、前記パルスチューブ冷凍機は、第 1 段および第 2 段のパルス管を有し、

前記複数の第 2 のポートのうちの一つは、前記高圧の冷媒を前記第 1 段パルス管側に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 1 段パルス管側から排出するための第 1 段パルス管用ポートであり、

10

前記複数の第 2 のポートのうちの別の一つは、前記高圧の冷媒を前記第 2 段パルス管側に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 2 段パルス管側から排出するための第 2 段パルス管用ポートであっても良い。

【 0 0 2 0 】

またこの場合、前記第 1 段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 3 の全長を有し、

前記第 2 段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 4 の全長を有し、

20

前記第 4 の全長は、前記第 3 の全長と同等以上であっても良い。

【 0 0 2 1 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通され、および / または

前記第 2 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通されても良い。

【 0 0 2 2 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

30

前記第 1 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 1 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、および / または

前記第 2 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長くても良い。

【 0 0 2 3 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記マルチバルブ型パルスチューブ冷凍機は、さらに、第 3 段のパルス管を有し、

前記複数の第 2 のポートのうちの一つは、前記高圧の冷媒を前記第 3 段パルス管側に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 3 段パルス管側から排出するための第 3 段パルス管用ポートであっても良い。

40

【 0 0 2 4 】

この場合、前記第 3 段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 5 の全長を有し、

前記第 5 の全長は、前記第 4 の全長と同等以上であっても良い。

【 0 0 2 5 】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口は、前記第 2 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 3 段パルス管用ポートと連通され、および / または

50

前記第２の開口は、前記第２段パルス管用ポートと連通される前に、前記第３段パルス管用ポートと連通されても良い。

【００２６】

また、本発明のロータリーバルブにおいて、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第１の開口が前記第３段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第１の開口が前記第２段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、および／または

前記第２の開口が前記第３段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第２の開口が前記第２段パルス管用ポートと連通される時間よりも長くても良い。

【００２７】

また、本発明では、少なくとも一つのパルス管と、蓄冷管と、ロータリーバルブとを有するマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機であって、

前記ロータリーバルブは、固定シートの摺動面に対して、回転ディスクの摺動面が面接触したまま回転することにより、冷媒の流路を切り替えることができ、

前記固定シートの摺動面には、

高圧の冷媒を前記蓄冷管に供給し、低圧の冷媒を前記蓄冷管から排出するための、複数の第１のポートと、

前記高圧の冷媒を前記パルス管側に供給し、前記低圧の冷媒を前記パルス管側から排出するための、複数の第２のポートと、

が設けられ、

前記複数の第１のポートは、前記固定シートの摺動面の中心から同一半径位置にある第１のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置され、

前記複数の第２のポートは、前記第１のトラック領域内に、前記固定シートの摺動面の中心に対して回転対称となる位置に配置されることを特徴とするマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機が提供される。

【００２８】

ここで、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面には、前記高圧の冷媒が流通する第１の開口と、前記低圧の冷媒が流通する第２の開口とが設置されても良い。

【００２９】

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの１回転は、当該パルスチューブ冷凍機の２回以上の冷却サイクルに相当しても良い。

【００３０】

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記第１のポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第１の全長を有し、

前記第２のポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第２の全長を有し、

前記第１の全長は、前記第２の全長と同等以上であっても良い。

【００３１】

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第１の開口は、前記第１のポートと連通される前に、前記第２のポートと連通され、および／または

前記第２の開口は、前記第１のポートと連通される前に、前記第２のポートと連通されても良い。

【００３２】

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第１の開口が前記第１のポートと連通される時間は、前記第１の開口が前記第２のポートと連通される時間よりも長く、および／または

10

20

30

40

50

前記第 2 の開口が前記第 1 のポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 2 のポートと連通される時間よりも長くても良い。

【 0 0 3 3 】

また、当該パルスチューブ冷凍機は、単一のパルス管を有する単段式パルスチューブ冷凍機であっても良い。

【 0 0 3 4 】

あるいは、当該パルスチューブ冷凍機は、第 1 段および第 2 段のパルス管を有し、

前記複数の第 2 のポートのうちの一つは、前記高圧の冷媒を前記第 1 段パルス管に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 1 段パルス管から排出するための第 1 段パルス管用ポートであり、

10

前記複数の第 2 のポートのうちの別の一つは、前記高圧の冷媒を前記第 2 段パルス管に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 2 段パルス管から排出するための第 2 段パルス管用ポートであっても良い。

【 0 0 3 5 】

この場合、前記第 1 段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 3 の全長を有し、

前記第 2 段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 4 の全長を有し、

前記第 4 の全長は、前記第 3 の全長と同等以上であっても良い。

【 0 0 3 6 】

20

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通され、および / または

前記第 2 の開口は、前記第 1 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 2 段パルス管用ポートと連通されても良い。

【 0 0 3 7 】

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 1 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、および / または

30

前記第 2 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 1 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長くても良い。

【 0 0 3 8 】

また、当該パルスチューブ冷凍機は、さらに、第 3 段のパルス管を有し、

前記複数の第 2 のポートのうちの一つは、前記高圧の冷媒を前記第 3 段パルス管に供給し、前記低圧の冷媒を前記第 3 段パルス管から排出するための第 3 段パルス管用ポートであっても良い。

【 0 0 3 9 】

また、この場合、前記第 3 段パルス管用ポートは、前記固定シートの摺動面の円周方向に沿って第 5 の全長を有し、

40

前記第 5 の全長は、前記第 4 の全長と同等以上であっても良い。

【 0 0 4 0 】

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口は、前記第 2 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 3 段パルス管用ポートと連通され、および / または

前記第 2 の開口は、前記第 2 段パルス管用ポートと連通される前に、前記第 3 段パルス管用ポートと連通されても良い。

【 0 0 4 1 】

50

また、本発明によるパルスチューブ冷凍機において、前記回転ディスクの摺動面が前記固定シートの摺動面に対して回転した際に、

前記第 1 の開口が前記第 3 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 1 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長く、および / または

前記第 2 の開口が前記第 3 段パルス管用ポートと連通される時間は、前記第 2 の開口が前記第 2 段パルス管用ポートと連通される時間よりも長くても良い。

【発明の効果】

【0042】

本発明では、小型化の可能なロータリーバルブ、およびそのようなロータリーバルブを有するマルチバルブ型パルスチューブ冷凍機を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0043】

【図 1】従来の 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機を概略的に示した図である。

【図 2】従来の 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機に使用されるロータリーバルブの摺動面を概略的に示した図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の一例を概略的に示した図である。

【図 4】図 3 に示した 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の作動の際の、6 つのバルブの開閉状態を時系列的に示した図である。

【図 5】本発明によるロータリーバルブの摺動面を概略的に示した図である。

20

【図 6】トラック領域の概念を説明するため、固定シートの摺動面を模式的に示した図である。

【図 7】本発明の第 2 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の一例を概略的に示した図である。

【図 8】図 7 に示した 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の作動の際の、8 つのバルブの開閉状態を時系列的に示した図である。

【図 9】本発明による第 2 のロータリーバルブの摺動面を概略的に示した図である。

【図 10】本発明の第 3 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の一例を概略的に示した図である。

【図 11】図 10 に示した 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の作動の際の、4 つのバルブの開閉状態を時系列的に示した図である。

30

【図 12】本発明による第 3 のロータリーバルブの摺動面を概略的に示した図である。

【図 13】本発明による第 4 のロータリーバルブの摺動面を概略的に示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0044】

以下、図面を参照して、本発明を詳しく説明する。

【0045】

まず最初に、図 1 を参照して、従来の典型的な 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の構成について、簡単に説明する。

【0046】

40

図 1 には、従来の 2 段式の 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の概略構成図を示す。従来の 2 段式の 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機 10 は、圧縮機 12、第 1 段および第 2 段の蓄冷管 40、80、第 1 段および第 2 段のパルス管 50、90、第 1 および第 2 の配管 56、86、オリフィス O3 ~ O6、ならびに開閉バルブ Va1 ~ Va6 等を備える。

【0047】

第 1 段蓄冷管 40 は、高温端 42 および低温端 44 を有し、第 2 段蓄冷管 80 は、高温端 44 (第 1 段の低温端 44 に相当) および低温端 84 を有する。第 1 段パルス管 50 は、高温端 52 および低温端 54 を有し、第 2 段パルス管 90 は、高温端 92 および低温端 94 を有する。第 1 段および第 2 段のパルス管 50、90 の各高温端 52、92 および低温端 54、94 には、熱交換器が設置されている。第 1 段蓄冷管 40 の低温端 44 は、第

50

1の配管56を介して、第1段パルス管50の低温端54と接続される。また、第2段蓄冷管80の低温端84は、第2の配管86を介して、第2段パルス管90の低温端94と接続される。

【0048】

なお、通常の場合、開閉バルブV a 1～V a 6の機能は、ロータリーバルブと呼ばれる単一の部材で代替される。ロータリーバルブは、圧縮機12と、蓄冷管40およびパルス管50、90との間に配置される。

【0049】

図2には、そのようなロータリーバルブR1を構成する固定シートおよび回転ディスクの摺動面の一例を模式的に示す。図2の左側には、固定シートR10の円形摺動面R12の上面図が示されている。また図2の右側には、回転ディスクR50の円形摺動面R52の上面図が示されている。ロータリーバルブR1の作動時には、固定シートR10の円形摺動面R12と、回転ディスクR50の円形摺動面R52とは、面接触される。

【0050】

回転ディスクR50は、圧縮機12の側に設けられ、固定シートR10は、蓄冷管42、44およびパルス管50、90の側に設置される。すなわち、圧縮機12からの高圧冷媒ガスは、まず回転ディスクR50の方に供給され、その後、固定シートR10を介して、蓄冷管42、44およびパルス管50、90の方に供給される。逆に、蓄冷管42、44およびパルス管50、90からの低圧冷媒ガスは、固定シートR10の側から、回転ディスクR50を介して、圧縮機12の方に戻される。

【0051】

固定シートR10の摺動面R12には、高圧冷媒ガスを、それぞれ、第1蓄冷管40、第1段パルス管50、および第2段パルス管90の方に供給するためのポートR15、R17、およびR18が設けられている。さらに、固定シートR10の摺動面R12には、それぞれ、第1段パルス管50および第2段パルス管90から、低圧の冷媒ガスを圧縮機12の方に戻すためのポートR27およびR28が設けられている。

【0052】

図2において、蓄冷管40、80用の2つのポートR15は、円形摺動面R12の中心から同一半径で描かれた軌跡上にある。この軌跡のことを、以下、「トラック」(第1のトラックTA1)と称する。換言すれば、2つのポートR15は、第1のトラックTA1上にある。同様に、ポートR17およびR18は、第2のトラックTA2上にある。さらに、ポートR27およびR28は、第3のトラックTA3上にある。なお、3つのトラックTA1～TA3の直径は、

$$\begin{aligned} & \text{第2のトラックTA2の直径} < \text{第1のトラックTA1の直径} < \\ & \text{第3のトラックTA3の直径} \end{aligned}$$

の関係にある。

【0053】

一方、回転ディスクR50の摺動面R52には、固定シートR10の円形摺動面R12に形成された各ポートに対応する配置で、合計3つの穴(溝)R57、R58が開口されている。穴R57は、圧縮機12側からの高圧冷媒ガスの流通路に対応し、穴R58は、圧縮機12への低圧冷媒ガスの流通路に相当する。

【0054】

ロータリーバルブR1の作動時には、回転ディスクR50が矢印F1の方向に回転する。この際、固定シートR10の摺動面R12に設けられた各ポートが、所定のタイミングで回転ディスクR50の摺動面R52に設けられた3つの穴R57、R58と連通/遮断され、これにより、所定の流通路が形成される。また、このようなロータリーバルブR1の動作により、図1の各バルブV1～V6の開閉動作に相当する動作を行うことができる。

【0055】

ここで、従来のロータリーバルブR1では、固定シートR10の摺動面R12に、少な

くとも3つのトラック、すなわち、高圧冷媒ガスを蓄冷管40、80に供給するためのポートR15が設置される第1のトラックTA1、高圧冷媒ガスを第1および第2パルス管50、90に供給するためのポートR17、R18が配置される第2のトラックTA2、ならびに低圧冷媒ガスを第1および第2パルス管50、90から排気するためのポートR27、R28が配置される、第3のトラックTA3が必要となる。

【0056】

従って、固定シートR10の摺動面R12の寸法は、3つのトラックTA1～TA3の配置による制限を受け、あまり小さくすることはできない。また、このため、ロータリーバルブR1の小型化には、限界がある。

【0057】

次に、図3～図5を参照して、本発明について説明する。

【0058】

(第1の実施例)

図3は、本発明の第1の実施例による4バルブ型パルスチューブ冷凍機の一例を概略的に示した図である。このパルスチューブ冷凍機200は、2段式の構造となっている。

【0059】

図3に示すように、パルスチューブ冷凍機200は、圧縮機212、第1段および第2段の蓄冷管240、280、第1段および第2段パルス管250、290、第1および第2の配管256、286、オリフィス260、261、ならびに開閉バルブV1～V6等を備える。

【0060】

第1段蓄冷管240は、高温端242および低温端244を有し、第2段蓄冷管280は、高温端244(第1段の低温端244に相当)および低温端284を有する。第1段パルス管250は、高温端252および低温端254を有し、第2段パルス管290は、高温端292および低温端294を有する。第1段および第2段のパルス管250、290の各高温端252、292および低温端254、294には、熱交換器が設置されている。第1段蓄冷管240の低温端244は、第1の配管256を介して、第1段パルス管250の低温端254と接続される。また、第2段蓄冷管280の低温端284は、第2の配管286を介して、第2段パルス管290の低温端294と接続される。

【0061】

圧縮機212の高圧側(吐出側)の冷媒用流路は、A点で、3方向に分岐されており、第1～第3の冷媒供給路H1～H3が構成される。第1の冷媒供給路H1は、圧縮機212の高圧側～開閉バルブV1が設置された第1の高圧側配管215A～共通配管220～第1段の蓄冷管240で構成される。第2の冷媒供給路H2は、圧縮機212の高圧側～開閉バルブV3が接続された第2の高圧側配管225A～オリフィス260が設置された共通配管230～第1段パルス管250で構成される。第3の冷媒供給路H3は、圧縮機212の高圧側～開閉バルブV5が接続された第3の高圧側配管235A～オリフィス261が設置された共通配管299～第2段パルス管290で構成される。

【0062】

一方、圧縮機212の低圧側(吸込側)の冷媒用流路は、第1～第3の冷媒回収路L1～L3の、3方向に分岐されている。第1の冷媒回収路L1は、第1段の蓄冷管240～共通配管220～開閉バルブV2が設置された第1の低圧側配管215B～B点～圧縮機212の経路で構成される。第2の冷媒回収路L2は、第1段パルス管250～オリフィス260が設置された共通配管230～開閉バルブV4が設置された第2の低圧側配管225B～B点～圧縮機212の経路で構成される。第3の冷媒回収路L3は、第2段パルス管290～オリフィス261が設置された共通配管299～開閉バルブV6が設置された第3の低圧側配管235B～B点～圧縮機212の経路で構成される。

【0063】

次に、このように構成された4バルブ型パルスチューブ冷凍機200の動作について、簡単に説明する。

【 0 0 6 4 】

図 4 は、パルスチューブ冷凍機 2 0 0 の作動中の、6 つの開閉バルブ V 1 ~ V 6 の開閉状態を時系列的に示した図である。パルスチューブ冷凍機 2 0 0 の作動時には、6 つの開閉バルブ V 1 ~ V 6 の開閉状態は、以下のように周期的に変化する。

【 0 0 6 5 】

(第 1 過程 : 時間 $0 \sim t_1$)

まず、時間 $t = 0$ において、開閉バルブ V 5 のみが開にされる。これにより、圧縮機 2 1 2 から、第 3 の冷媒供給路 H 3 を介して、すなわち第 3 の高圧側配管 2 3 5 A ~ 共通配管 2 9 9 ~ 高温端 2 9 2 の経路で、第 2 段パルス管 2 9 0 に高圧冷媒ガスが供給される。その後、時間 $t = t_1$ において、開閉バルブ V 5 が開状態のまま、開閉バルブ V 3 が開にされる。これにより、圧縮機 2 1 2 から、第 2 の冷媒供給路 H 2 を介して、すなわち第 2 の高圧側配管 2 2 5 A ~ 共通配管 2 3 0 ~ 高温端 2 5 2 の経路で、第 1 段パルス管 2 5 0 に高圧冷媒ガスが供給される。

10

【 0 0 6 6 】

(第 2 過程 : 時間 $t_2 \sim t_3$)

次に、時間 $t = t_2$ において、開閉バルブ V 5、V 3 が開いた状態で、開閉バルブ V 1 が開にされる。これにより、高圧冷媒ガスは、圧縮機 2 1 2 から、第 1 の冷媒供給路 H 1 を介して、すなわち第 1 の高圧側配管 2 1 5 A ~ 共通配管 2 2 0 ~ 高温端 2 4 2 の経路で、第 1 段および第 2 段の蓄冷管 2 4 0、2 8 0 に導入される。冷媒ガスの一部は、第 1 の配管 2 5 6 を介して、第 1 段パルス管 2 5 0 に、低温端 2 5 4 の側から流入する。また冷媒ガスの他の一部は、第 2 段の蓄冷管 2 8 0 を通り、第 2 の配管 2 8 6 を介して、第 2 段パルス管 2 9 0 に、低温端 2 9 4 の側から流入する。

20

【 0 0 6 7 】

(第 3 過程 : 時間 $t_3 \sim t_5$)

次に、時間 $t = t_3$ において、開閉バルブ V 1 が開状態のまま、開閉バルブ V 3 が閉にされ、その後、時間 $t = t_4$ において、開閉バルブ V 5 も閉にされる。圧縮機 2 1 2 からの冷媒ガスは、第 1 の冷媒供給路 H 1 のみを介して、第 1 段蓄冷管 2 4 0 に流入するようになる。冷媒ガスは、その後、両パルス管 2 5 0 および 2 9 0 内に、低温端 2 5 4 および 2 9 4 の側から流入する。

【 0 0 6 8 】

(第 4 過程 : 時間 $t = t_5$)

時間 $t = t_5$ において、全ての開閉バルブ V 1 ~ V 6 が閉にされる。第 1 段および第 2 段パルス管 2 5 0、2 9 0 の圧力上昇のため、第 1 段および第 2 段パルス管 2 5 0、2 9 0 内の冷媒ガスは、両パルス管の高温端 2 5 2、2 9 2 の側に設置されたりザーバ (図示されていない) の方に移動する。

30

【 0 0 6 9 】

(第 5 過程 : 時間 $t_5 \sim t_7$)

その後、時間 $t = t_5$ において、開閉バルブ V 6 が開かれ、第 2 段パルス管 2 9 0 内の冷媒ガスは、第 3 の冷媒回収路 L 3 を通って圧縮機 2 1 2 に戻る。その後、時間 $t = t_6$ において、開閉バルブ V 4 が開かれ、第 1 段パルス管 2 5 0 内の冷媒ガスは、第 2 の冷媒回収路 L 2 を通って圧縮機 2 1 2 に戻る。これにより、両パルス管 2 5 0、2 9 0 の圧力が低下する。

40

【 0 0 7 0 】

(第 6 過程 : 時間 $t_7 \sim t_8$)

次に、時間 $t = t_7$ において、開閉バルブ V 6、V 4 が開状態のまま、開閉バルブ V 2 が開かれる。これにより、両パルス管 2 5 0、2 9 0、および第 2 段蓄冷管 2 8 0 内の冷媒ガスの大部分は、第 1 段の蓄冷管 2 4 0 を通り、第 1 の冷媒回収路 L 1 を介して、圧縮機 2 1 2 に戻るようになる。

【 0 0 7 1 】

(第 7 過程 : 時間 $t_8 \sim t_{10}$)

50

次に、時間 $t = t_8$ において、開閉バルブ V_2 が開いた状態で、開閉バルブ V_4 が閉止され、その後、時間 $t = t_9$ において、開閉バルブ V_6 も閉にされる。その後、時間 $t = t_{10}$ において、開閉バルブ V_2 が閉止され、1 サイクルが完了する。

【0072】

以上のサイクルを1サイクルとして、サイクルを繰り返すことにより、第1段パルス管250の低温端254、および第2段パルス管290の低温端294に寒冷が発生し、被冷却対象を冷却させることができる。

【0073】

なお、図4のタイミング図では、各開閉バルブの開状態の時間長さは、開閉バルブ V_1 > 開閉バルブ V_5 > 開閉バルブ V_3 、および開閉バルブ V_2 > 開閉バルブ V_6 > 開閉バルブ V_4 の順となっている。ただし、これは一例であって、各開閉バルブの開状態の時間長さとして、別の組み合わせを採用しても良いことは、当業者には明らかである。

【0074】

(ロータリーバルブ)

次に、図5を参照して、図4に示したタイミングで、各バルブ $V_1 \sim V_6$ の操作を行うためのロータリーバルブの構成について説明する。

【0075】

図5には、ロータリーバルブ300を構成する固定シート310および回転ディスク360の模式的な上面図を示す。図5の左側には、固定シート310の円形摺動面312が示されており、右側には、固定シート310の円形摺動面312と面接触される、回転ディスク360の円形摺動面362が示されている。

【0076】

図5の左側に示すように、固定シート310の摺動面312には、2つのポート315と、一つのポート317と、一つのポート318とが設けられている。図5の例では、ポート315は、実質的に円形であり、ポート317および318は、摺動面312の円周方向に沿って延伸した略長円状の形状を有する。なお、ポート318の幅 W_2 (摺動面312の円周方向の長さ) は、ポート317の幅 W_1 (摺動面312の円周方向の長さ) よりも大きい。

【0077】

2つのポート315は、回転ディスク360を介して供給される、第1の冷媒供給路 H_1 からの高圧冷媒ガスを蓄冷管240、280の方に供給するとともに、蓄冷管240、280の低圧冷媒ガスを、回転ディスク360を介して、第1の低圧側配管 L_1 の方に排出する役割を有する。以下、2つのポート315を、「蓄冷管用ポート」315と称する。ポート317は、回転ディスク360を介して供給される、第2の冷媒供給路 H_2 からの高圧冷媒ガスを第1段パルス管250の方に供給するとともに、第1段パルス管250の低圧冷媒ガスを、回転ディスク360を介して、第2の低圧側配管 L_2 の方に排出する役割を有する。以下、このポート317を、「第1段パルス管用ポート」317と称する。また、ポート318は、回転ディスク360を介して供給される、第3の冷媒供給路 H_3 からの高圧冷媒ガスを第2段パルス管290の方に供給するとともに、第2段パルス管290の低圧冷媒ガスを、回転ディスク360を介して、第3の低圧側配管 L_3 の方に排出する役割を有する。以下、このポート318を、「第2段パルス管用ポート」318と称する。

【0078】

ここで、図5から明らかなように、2つのポート315は、摺動面312の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置されている。同様に、ポート317および318は、摺動面312の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置されている。

【0079】

また、4つの全てのポート(すなわち蓄冷管用ポート315、第1段パルス管用ポート317、および第2段パルス管用ポート318)は、いずれも、固定シート310の円形摺動面312の中心から同一半径の軌跡上にある。以下、各ポートを通る、この円形摺動

面 3 1 2 の中心から同一半径の軌跡のことを、トラック T と称する。

【 0 0 8 0 】

一方、図 5 の右側に示すように、回転ディスク 3 6 0 の円形摺動面 3 6 2 は、円形摺動面 3 6 2 の中心を通して半径方向に延在する、一つの長穴 3 6 5 と、摺動面 3 6 2 の外周端から中心に向かって延在する、2 つの小穴 3 6 7 とを有する。小穴 3 6 7 は、円形摺動面 3 6 2 の中心に対して回転対称となるようにして、円形摺動面 3 6 2 内に設けられる。長穴 3 6 5 は、高圧冷媒ガスの流通路に相当するため、以降、「高圧流路開口」3 6 5 と称する。また、2 つの小穴 3 6 7 は、低圧冷媒ガスの流通路に相当するため、以降、「低圧流路開口」3 6 7 と称する。

【 0 0 8 1 】

なお、図 5 の例では、回転ディスク 3 6 0 の摺動面 3 6 2 の中心には、高圧冷媒ガス用の通路が開口されており、この通路は、「高圧流路開口」3 6 5 と連通されている。また、回転ディスク 3 6 0 の摺動面 3 6 2 の外側には、低圧冷媒ガス用の空間が形成されており、「低圧流路開口」3 6 7 は、この空間と連通されている。

【 0 0 8 2 】

ロータリーバルブ 3 0 0 の作動時には、回転ディスク 3 6 0 の摺動面 3 6 2 が固定シート 3 1 0 の摺動面 3 1 2 に対して回転する。この際に、回転ディスク 3 6 0 の摺動面 3 6 2 に設けられた高圧流路開口 3 6 5、および低圧流路開口 3 6 7 が固定シート 3 1 0 の摺動面 3 1 2 に設けられた各ポート 3 1 5、3 1 7、3 1 8 を通過すると、丁度、図 4 に示すようなタイミングで冷媒ガスの流通が行われる。換言すれば、回転ディスク 3 6 0 の摺動面 3 6 2 の高圧流路開口 3 6 5、および低圧流路開口 3 6 7 と、固定シート 3 1 0 の摺動面 3 1 2 の各ポート 3 1 5、3 1 7、3 1 8 とは、回転ディスク 3 6 0 が図 5 の矢印 F 2 で示す方向に回転した際に、図 4 に示すようなタイミングで、冷媒ガスの流通が行われる相対位置関係となるように、寸法および配置が定められる。

【 0 0 8 3 】

以下、前述の図 4 を参照して、ロータリーバルブ 3 0 0 の回転ディスク 3 6 0 の回転角（位相角）と、図 3 に示した各バルブ V 1 ~ V 6 の開閉の関係について説明する。なお、図 4 には、第 2 の横軸として、位相角 が示されていることに留意する必要がある。

【 0 0 8 4 】

（位相角 = $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ）

まず、回転ディスク 3 6 0 の高圧流路開口 3 6 5 が固定シート 3 1 0 の第 2 段パルス管用ポート 3 1 8 に連通されると、高圧冷媒ガスが第 2 段パルス管 2 9 0 に導入される。これは、図 4 において、バルブ V 5 が開いた状態（時間 $t = 0$ ）に相当する。さらに回転ディスク 3 6 0 が回転すると（ $= \theta_1$ ）、今度は、回転ディスク 3 6 0 の高圧流路開口 3 6 5 が固定シート 3 1 0 の第 1 段パルス管用ポート 3 1 7 とも連通されるようになり、高圧冷媒ガスが第 1 段パルス管 2 5 0 に導入される。これは、図 4 において、バルブ V 3 が開いた状態（時間 $t = t_1$ ）に相当する。さらに回転ディスク 3 6 0 が回転すると（ $= \theta_2$ ）、回転ディスク 3 6 0 の高圧流路開口 3 6 5 は、蓄冷管用ポート 3 1 5 とも連通されるようになり、高圧冷媒ガスが蓄冷管 2 4 0 に導入される。これは、バルブ V 1 が開いた状態（時間 $t = t_2$ ）に相当する。

【 0 0 8 5 】

その後、さらに回転ディスク 3 6 0 の摺動面 3 6 2 が回転すると、まず、位相角 = θ_3 において、高圧流路開口 3 6 5 が第 1 段パルス管用ポート 3 1 7 と連通されなくなり、さらに、位相角 = θ_4 において、高圧流路開口 3 6 5 が第 2 段パルス管用ポート 3 1 8 と連通されなくなる。従って、第 1 段パルス管 2 5 0 への高圧冷媒ガスの供給、および第 2 段パルス管 2 9 0 への高圧冷媒ガスの供給が停止される（バルブ V 3、V 5 の閉止に相当）。さらに、位相角 = θ_5 （ 90° ）になると、蓄冷管 2 4 0 への高圧冷媒ガスの供給も停止される（バルブ V 1 の閉止に相当）。

【 0 0 8 6 】

（位相角 = $90^{\circ} \sim 180^{\circ}$ ）

10

20

30

40

50

一方、位相角 $= \theta_5 (90^\circ)$ では、回転ディスク 360 の低圧流路開口 367 が固定シート 310 の第 2 段パルス管用ポート 318 に連通され、これにより第 2 段パルス管 290 からの低圧冷媒ガスの排出が開始される。(バルブ V6 の開に相当)。また、位相角 $= \theta_6$ および $= \theta_7$ では、それぞれ、回転ディスク 360 の低圧流路開口 367 が固定シート 310 の第 2 段パルス管用ポート 318、および蓄冷管用ポート 315 と順次連通される(それぞれ、バルブ V4、V2 の開に相当)。これにより、第 1 段パルス管 250 からの低圧冷媒ガスの排出、および蓄冷管 240、280 からの低圧冷媒ガスの排出が開始される。

【0087】

次に、位相角 $= \theta_8$ では、回転ディスク 360 の低圧流路開口 367 が固定シート 310 の第 1 段パルス管用ポート 317 と連通されなくなり、第 1 段パルス管 250 からの低圧冷媒ガスの排出が停止される(開閉バルブ V4 の閉止に相当)。また、位相角 $= \theta_9$ では、回転ディスク 360 の低圧流路開口 367 が固定シート 310 の第 2 段パルス管用ポート 318 とも連通されなくなり、第 2 段パルス管 290 からの低圧冷媒ガスの排出が停止される(開閉バルブ V6 の閉止に相当)。

【0088】

最後に、位相角 $= \theta_{10} (180^\circ)$ では、回転ディスク 360 の低圧流路開口 367 が固定シート 310 の蓄冷管用ポート 315 と連通されなくなり、蓄冷管 240、280 からの低圧冷媒ガスの排出が停止する(開閉バルブ V2 の閉止に相当)。

【0089】

回転ディスク 360 が 180° 回転すると、以上のような冷却サイクルが 1 回行われる。従って、図 5 に示したロータリーバルブ 300 の場合、回転ディスク 360 の 1 回転が、冷却サイクルの 2 サイクル分に相当する。

【0090】

ここで、前述のように、従来のロータリーバルブ R1 では、固定シート R10 の摺動面 R12 に、少なくとも TA1 ~ TA3 の 3 つのトラックが必要である。従って、ロータリーバルブ R1 の寸法を小さくすることには、限界がある。

【0091】

これに対して、本発明によるロータリーバルブ 300 では、固定シート 310 の摺動面 312 におけるトラックの数は、1 つに低減されている。従って、固定シート 310 の摺動面 312 の直径を小さくすることができる。また、これにより、ロータリーバルブ 300 を小型化することが可能となり、さらにはロータリーバルブ 300 を回転させる際に必要となるトルクが低減される。また、固定シート 310 の摺動面 312、および回転ディスク 360 の摺動面 362 が小さくなるため、両摺動面 312、362 の摩耗によって生じる摩耗分の発生量を有意に抑制することができるという効果が得られる。

【0092】

さらに、本発明におけるロータリーバルブ 300 では、2 つのポート 315 は、固定シートの摺動面 312 の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置される。また、ポート 317 および 318 は、摺動面 312 の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置される。

【0093】

従って、本発明によるロータリーバルブでは、回転ディスクの回転中に、双方の摺動面が安定に面接触され、両者の間に隙間が生じたり、逆に極度に強接触されたりすることが抑制される。また、これにより、ロータリーバルブの安定な動作が可能となるとともに、摺動面の摩耗による摩耗分の発生が有意に抑制される。さらに、このようなロータリーバルブを備えるマルチバルブ型パルス管冷凍機では、長期にわたって、安定な冷却特性を維持することができる。

【0094】

なお、図 5 に示した各ポートと各穴の形状および相対的な位置関係は、一例であって、図 5 に示すものとは異なる形状および相対的な位置関係にも、本発明が適用できることは

10

20

30

40

50

、当業者には明らかである。すなわち、本発明において重要なことは、

(i) 従来別個に設けられていた、高圧冷媒ガスを蓄冷管 4 0 に供給し、また低圧冷媒ガスを蓄冷管 4 0 から排出させるためのポート R 1 5 用の第 1 のトラック T A 1、高圧冷媒ガスをパルス管 5 0、9 0 に供給するためのポート R 1 7、R 1 8 用の第 2 のトラック T A 2、および低圧冷媒ガスをパルス管 5 0、9 0 から排出するためのポート R 2 7、R 2 8 用の第 3 のトラック T A 3、を一つに統合して、総トラック数を一つに抑制したこと、ならびに

(i i) 単一トラック T において、2 つの蓄冷管用ポート 3 1 5 を、摺動面 3 1 2 の中心に対して回転対称となる位置に配置するとともに、第 1 段パルス管用ポート 3 1 7 と第 2 段パルス管用ポート 3 1 8 を、摺動面 3 1 2 の中心に対して回転対称となる位置に配置したこと、

であり、この思想が維持される限り、その他の構成も本発明の範囲に属する。

【 0 0 9 5 】

また、図 5 を参照して示した上記記載では、回転ディスク 3 6 0 の 1 回転が冷却サイクルの 2 回分に相当する、いわゆる「 1 回転 2 サイクル方式」について説明した。しかしながら、本発明は、このような方式に限定されるものではなく、本発明では、「 1 回転 3 サイクル方式」など、他の方式とすることも可能である。

【 0 0 9 6 】

ここで、本願において、4 つのポート 3 1 5、3 1 7、3 1 8 のそれぞれの中心は、必ずしも、摺動面 3 1 2 の中心から同一距離にあるトラック T の「線」上にある必要はないことに留意する必要がある。この意味では、「トラック」は、線ではなく、ある領域を有する概念である。そのため、本願では、「トラック」を「トラック領域」とも称する場合がある。

【 0 0 9 7 】

以下、そのような「トラック」または「トラック領域」の概念について説明する。

【 0 0 9 8 】

図 6 は、「トラック領域」の概念を示すために描かれた、固定シート 3 1 0 の摺動面 3 1 2 の模式図である。

【 0 0 9 9 】

「トラック領域」T は、以下のようにして定義される。

【 0 1 0 0 】

まず、2 つの蓄冷管用ポート 3 1 5、第 1 段パルス管用ポート 3 1 7、および第 2 段パルス管用ポート 3 1 8 のうち、摺動面 3 1 2 の半径方向の寸法が最も大きいポートを選定する(図の例の場合、蓄冷管用ポート 3 1 5 の寸法がより大きい。また、どちらの蓄冷管用ポート 3 1 5 の寸法もほぼ等しいため、便宜的に左側の蓄冷管用ポート 3 1 5 を採用する)。次に、選定されたポートが丁度含まれるようにして、摺動面 3 1 2 の中心 X を中心とする同心円 L 1、L 2 を描く(ただし $L 1 < L 2$)。このようにして得られた同心円 L 1 と L 2 で囲まれた領域(図のハッチ部分)が「トラック領域」となる。

【 0 1 0 1 】

そして、他のポートの中心(ポートの形状が楕円形など、円形でない場合は、摺動面 3 1 2 の半径方向の中心) P 1 ~ P 3 がこのトラック領域内にあれば、各ポートは、同一(単一)のトラック領域内にあると言え、本願では、この状態を、「同一(単一)のトラック上にある」と表現している。

【 0 1 0 2 】

(第 2 の実施例)

次に、図 7 ~ 図 9 を参照して、本発明の第 2 の実施例について説明する。

【 0 1 0 3 】

図 7 は、本発明の第 2 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の一例を概略的に示した図である。このパルスチューブ冷凍機 2 0 1 は、3 段式の構造となっている。なお、図 7 において、前述の図 3 と同様の部材には、図 3 のものと同じ参照番号が付されて

10

20

30

40

50

いる。

【 0 1 0 4 】

３段式のパルスチューブ冷凍機 2 0 1 は、前述の２段式のパルスチューブ冷凍機 2 0 0 と同様の構成を有する。ただし、３段式のパルスチューブ冷凍機 2 0 1 は、さらに第３段蓄冷管 4 4 0 および第３段パルス管 4 2 0 を有する。

【 0 1 0 5 】

第３段蓄冷管 4 4 0 は、高温端 2 8 4（第２段蓄冷管 2 8 0 の低温端に相当する）および低温端 4 4 4 を有する。第３段パルス管 4 2 0 は、高温端 4 2 2 および低温端 4 2 4 を有し、各高温端 4 2 2、4 2 4 には、熱交換器が設置されている。第３段蓄冷管 4 4 0 の低温端 4 4 4 は、第３の配管 4 1 6 を介して、第３段パルス管 4 2 0 の低温端 4 2 4 と接

10

【 0 1 0 6 】

圧縮機 2 1 2 の高圧側（吐出側）の冷媒用流路は、図 3 のような第 1 ～第 3 の冷媒供給路 H 1 ～H 3 の他、第 4 の冷媒供給路 H 4 を有する。また、圧縮機 2 1 2 の低圧側（吸込側）の冷媒用流路は、図 3 のような第 1 ～第 3 の冷媒回収路 L 1 ～L 3 の他、第 4 の冷媒回収路 L 4 を有する。

【 0 1 0 7 】

第 4 の冷媒供給路 H 4 は、圧縮機 2 1 2 の高圧側～開閉バルブ V 7 が接続された第 4 の高圧側配管 2 4 5 A～オリフィス 4 5 0 が設置された共通配管 4 5 5～第 3 段パルス管 4 2 0 で構成される。第 4 の冷媒回収路 L 4 は、第 3 段パルス管 4 2 0～オリフィス 4 5 0 が設置された共通配管 4 5 5～開閉バルブ V 8 が設置された第 4 の低圧側配管 2 4 5 B～B 点～圧縮機 2 1 2 の経路で構成される。

20

【 0 1 0 8 】

次に、このように構成された 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機 2 0 1 の動作について、簡単に説明する。

【 0 1 0 9 】

図 8 は、パルスチューブ冷凍機 2 0 1 の作動中の、８つの開閉バルブ V 1 ～V 8 の開閉状態を時系列的に示した図である。パルスチューブ冷凍機 2 0 1 の作動時には、８つの開閉バルブ V 1 ～V 8 の開閉状態は、以下のように周期的に変化する。

【 0 1 1 0 】

30

（第 1 過程：時間 0 ～ t_3 ）

まず、時間 $t = 0$ において、開閉バルブ V 7 のみが開にされる。これにより、圧縮機 2 1 2 から、第 4 の冷媒供給路 H 4 を介して、すなわち第 4 の高圧側配管 2 4 5 A～共通配管 4 5 5～高温端 4 2 2 の経路で、第 3 段パルス管 4 2 0 に高圧冷媒ガスが供給される。その後、時間 $t = t_1$ において、開閉バルブ V 7 が開状態のまま、開閉バルブ V 5 が開にされる。これにより、圧縮機 2 1 2 から、第 3 の冷媒供給路 H 3 を介して、すなわち第 3 の高圧側配管 2 3 5 A～共通配管 2 9 9～高温端 2 9 2 の経路で、第 2 段パルス管 2 9 0 に高圧冷媒ガスが供給される。

【 0 1 1 1 】

次に、時間 $t = t_2$ において、開閉バルブ V 7、V 5 が開いた状態で、開閉バルブ V 3 が開にされる。これにより、高圧冷媒ガスは、圧縮機 2 1 2 から、第 2 の冷媒供給路 H 2 を介して、すなわち第 2 の高圧側配管 2 2 5 A～共通配管 2 3 0～高温端 2 5 2 の経路で、第 1 段パルス管 2 5 0 に供給される。

40

【 0 1 1 2 】

次に、時間 $t = t_3$ において、開閉バルブ V 7、V 5、V 3 が開いた状態で、開閉バルブ V 1 が開にされる。これにより、高圧冷媒ガスは、第 1 段～第 3 段の蓄冷管 2 4 0、2 8 0、4 4 0 に導入される。冷媒ガスの一部は、第 1 の配管 2 5 6 を介して、第 1 段パルス管 2 5 0 に、低温端 2 5 4 の側から流入する。また冷媒ガスの別の一部は、第 2 段の蓄冷管 2 8 0 を通り、第 2 の配管 2 8 6 を介して、第 2 段パルス管 2 9 0 に、低温端 2 9 4 の側から流入する。冷媒ガスのさらに別の一部は、第 3 段の蓄冷管 4 4 0 を通り、第 3 の

50

配管 4 1 6 を介して、第 3 段パルス管 4 2 0 に、低温端 4 2 4 の側から流入する。

【 0 1 1 3 】

(第 2 過程 : 時間 $t_4 \sim t_7$)

次に、時間 $t = t_4$ において、開閉バルブ V 1、V 5、V 7 が開状態のまま、開閉バルブ V 3 が閉にされ、その後、開閉バルブ V 5、V 7 も順次閉にされる (時間 $t = t_5$ 、および $t = t_6$) これに対応して、圧縮機 2 1 2 からの冷媒ガスは、第 1 の冷媒供給路 H 1 のみを介して、第 1 段蓄冷管 2 4 0 に流入するようになる。冷媒ガスは、その後、3つのパルス管 2 5 0、2 9 0、4 2 0 内に、低温端 2 5 4、2 9 4、4 2 4 の側から流入する。

【 0 1 1 4 】

時間 $t = t_7$ では、全ての開閉バルブ V 1 ~ V 8 が閉にされる。第 1 段 ~ 第 3 段パルス管 2 5 0、2 9 0、4 2 0 の圧力上昇のため、第 1 段 ~ 第 3 段パルス管 2 5 0、2 9 0、4 2 0 内の冷媒ガスは、両パルス管の高温端 2 5 2、2 9 2、4 2 2 の側に設置されたりザーバ (図示されていない) の方に移動する。

【 0 1 1 5 】

(第 3 過程 : 時間 $t_7 \sim t_{10}$)

その後、時間 $t = t_7$ において、開閉バルブ V 8 が開かれ、第 3 段パルス管 4 2 0 内の冷媒ガスは、第 4 の冷媒回収路 L 4 を通って圧縮機 2 1 2 に戻る。その後、時間 $t = t_8$ において、開閉バルブ V 6 が開かれ、第 2 段パルス管 2 9 0 内の冷媒ガスは、第 3 の冷媒回収路 L 3 を通って圧縮機 2 1 2 に戻る。これにより、両パルス管 4 2 0、2 9 0 の圧力が低下する。その後、時間 $t = t_9$ において、開閉バルブ V 4 が開かれ、第 1 段パルス管 2 5 0 内の冷媒ガスは、第 2 の冷媒回収路 L 2 を通って圧縮機 2 1 2 に戻る。これにより、第 1 段パルス管 2 5 0 の圧力が低下する。

【 0 1 1 6 】

さらに、時間 $t = t_{10}$ において、開閉バルブ V 8、V 6、V 4 が開状態のまま、開閉バルブ V 2 が開かれる。これにより、各パルス管 4 2 0、2 9 0、2 5 0、および蓄冷管 2 4 0、2 8 0、4 4 0 内の冷媒ガスの大部分は、第 1 段の蓄冷管 2 4 0 を通り、第 1 の冷媒回収路 L 1 を介して、圧縮機 2 1 2 に戻るようになる。

【 0 1 1 7 】

(第 4 過程 : 時間 $t_{11} \sim t_{14}$)

次に、時間 $t = t_{11}$ において、開閉バルブ V 2、V 6、V 8 が開いた状態で、開閉バルブ V 4 が閉止され、その後、開閉バルブ V 6、V 8 が順次閉止される (時間 $t = t_{12}$ および $t = t_{13}$)。

【 0 1 1 8 】

最後に、時間 $t = t_{14}$ において、開閉バルブ V 2 が閉止され、1 サイクルが完了する。

【 0 1 1 9 】

以上のサイクルの繰り返しにより、第 1 段パルス管 2 5 0 の低温端 2 5 4、第 2 段パルス管 2 9 0 の低温端 2 9 4、および第 3 段パルス管 4 2 0 の低温端 4 2 4、に寒冷が発生し、被冷却対象を冷却させることができる。

【 0 1 2 0 】

なお、図 8 のタイミング図では、各開閉バルブの開状態の時間長さは、開閉バルブ V 1 > 開閉バルブ V 7 > 開閉バルブ V 5 > 開閉バルブ V 3、および開閉バルブ V 2 > 開閉バルブ V 8 > 開閉バルブ V 6 > 開閉バルブ V 4 の順となっている。ただし、これは一例であって、各開閉バルブの開状態の時間長さとして、別の組み合わせを採用しても良いことは、当業者には明らかである。

【 0 1 2 1 】

(第 2 のロータリーバルブ)

次に、図 9 を参照して、図 8 に示したタイミングで、各バルブ V 1 ~ V 8 の操作を行うための第 2 のロータリーバルブの構成について説明する。

【 0 1 2 2 】

図 9 には、ロータリーバルブ 9 0 0 を構成する固定シート 9 1 0 の摺動面 9 1 2、および回転ディスク 9 6 0 の摺動面 9 6 2 の模式的な上面図を示す。図 9 の左側には、固定シート 9 1 0 の円形摺動面 9 1 2 が示されており、右側には、固定シート 9 1 0 の円形摺動面 9 1 2 と面接触される、回転ディスク 9 6 0 の円形摺動面 9 6 2 が示されている。

【 0 1 2 3 】

図 9 の左側に示すように、固定シート 9 1 0 の摺動面 9 1 2 には、ポート 9 1 5、9 1 7、9 1 8、および 9 1 9 が設けられている。図 9 の例では、ポート 9 1 5 およびポート 9 1 7 は、実質的に円形であり、ポート 9 1 8 および 9 1 9 は、摺動面 3 1 2 の円周方向に沿って延伸した略長円状の形状を有する。なお、図 9 の例では、ポート 9 1 9 の幅 S 3 (摺動面 9 1 2 の円周方向の長さ)は、ポート 9 1 8 の幅 S 2 (摺動面 9 1 2 の円周方向の長さ)よりも大きい。また、ポート 9 1 8 の幅 S 2 は、ポート 9 1 7 の直径 S 1 よりも大きい。さらに、ポート 9 1 5 の直径は、ポート 9 1 9 の幅 S 3 よりも大きい。

【 0 1 2 4 】

3 つのポート 9 1 5 は、第 1 の冷媒供給路 H 1 からの高圧冷媒ガスを蓄冷管 2 4 0、2 8 0、4 4 0 の方に供給するとともに、蓄冷管 2 4 0、2 8 0、4 4 0 の低圧冷媒ガスを第 1 の低圧側配管 L 1 の方に排出する役割を有する。以下、3 つのポート 9 1 5 を、「蓄冷管用ポート」9 1 5 と称する。ポート 9 1 7 は、第 2 の冷媒供給路 H 2 からの高圧冷媒ガスを第 1 段パルス管 2 5 0 の方に供給するとともに、第 1 段パルス管 2 5 0 の低圧冷媒ガスを第 2 の低圧側配管 L 2 の方に排出する役割を有する。以下、このポート 9 1 7 を、「第 1 段パルス管用ポート」9 1 7 と称する。また、ポート 9 1 8 は、第 3 の冷媒供給路 H 3 からの高圧冷媒ガスを第 2 段パルス管 2 9 0 の方に供給するとともに、第 2 段パルス管 2 9 0 の低圧冷媒ガスを第 3 の低圧側配管 L 3 の方に排出する役割を有する。以下、このポート 9 1 8 を、「第 2 段パルス管用ポート」9 1 8 と称する。さらに、ポート 9 1 9 は、第 4 の冷媒供給路 H 4 からの高圧冷媒ガスを第 3 段パルス管 3 2 0 の方に供給するとともに、第 3 段パルス管 4 2 0 の低圧冷媒ガスを第 4 の低圧側配管 L 4 の方に排出する役割を有する。以下、このポート 9 1 9 を、「第 3 段パルス管用ポート」9 1 9 と称する。

【 0 1 2 5 】

ここで、図 9 に示されているように、全てのポートは、いずれもトラック T 上にある。換言すれば、3 つの蓄冷管用ポート 9 1 5、第 1 段パルス管用ポート 9 1 7、第 2 段パルス管用ポート 9 1 8、および第 3 段パルス管用ポート 9 1 9 の各中心は、トラック領域 T に含まれている。

【 0 1 2 6 】

一方、図 9 の右側に示すように、回転ディスク 9 6 0 の円形摺動面 9 6 2 は、一つの高圧流路開口 9 6 5 と、3 つの低圧流路開口 9 6 7 とを有する。高圧流路開口 9 6 5 は、円形摺動面 9 6 2 の中心を通り、3 方向に延在する 3 つの羽根状部 9 6 5 A を有する。羽根状部 9 6 5 A は、相互に角度 $\theta = 120^\circ$ となるように半径方向に沿って延伸する。3 つの低圧流路開口 9 6 7 は、円形摺動面 3 6 2 において、円形摺動面 9 6 2 の中心に対してほぼ回転対称となるようにして、高圧流路開口 9 6 5 の各羽根状部 9 6 5 A の間に設けられる。

【 0 1 2 7 】

ロータリーバルブ 9 0 0 の作動時には、回転ディスク 9 6 0 の摺動面 9 6 2 が固定シート 9 1 0 の摺動面 9 1 2 に対して回転する。この際に、回転ディスク 9 6 0 の摺動面 9 6 2 に設けられた高圧流路開口 9 6 5、および低圧流路開口 9 6 7 が固定シート 9 1 0 の摺動面 9 1 2 に設けられた各ポート 9 1 5、9 1 7、9 1 8、9 1 9 を通過すると、丁度、図 8 に示すようなタイミングで冷媒ガスの流通が行われる。換言すれば、回転ディスク 9 6 0 の摺動面 9 6 2 の高圧流路開口 9 6 5、および低圧流路開口 9 6 7 と、固定シート 9 1 0 の摺動面 9 1 2 の各ポート 9 1 5、9 1 7、9 1 8、9 1 9 とは、回転ディスク 9 6 0 が回転した際に、図 8 に示すようなタイミングで、冷媒ガスの流通が行われる相対位置関係となるように、寸法および配置が定められる。

【 0 1 2 8 】

なお、ロータリーバルブ 9 0 0 の回転ディスク 9 6 0 の摺動面 9 6 2 が、図 9 の矢印 F 3 で示す方向に回転した際に、固定シート 9 1 0 の各ポートと回転ディスク 9 6 0 の各開口との相対位置関係により、図 8 に示すような関係（すなわち、回転角（位相角）と各バルブ V 1 ~ V 8 の関係）が得られることは、当業者には明らかである。そのため、ここでは、回転角と各バルブの開閉タイミングの関係については、これ以上説明しない。ただし、図 9 に示したロータリーバルブの構成は、「1 回転 3 サイクル方式」に相当することに留意する必要がある。

【 0 1 2 9 】

第 2 の実施例においても、第 1 の実施例の場合と同様の効果が得られ、すなわち摺動面の直径の低減、およびロータリーバルブの小型化が可能となることは明らかであろう。

10

【 0 1 3 0 】

（第 3 の実施例）

次に本発明の第 3 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機について説明する。

【 0 1 3 1 】

図 1 0 は、本発明の第 3 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機の一例を概略的に示した図である。第 3 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機 2 0 2 は、単段式である。図 1 0 において、図 3 の部材と同様の部材には、図 3 の部材と同様の参照符号が付されている。

【 0 1 3 2 】

図 1 0 に示すように、本発明の第 3 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機 2 0 2 は、圧縮機 2 1 2、蓄冷管 2 4 0、パルス管 2 5 0、およびこれらに接続された各配管類を備える。なお、各部材については、既に図 3 を参照して説明しているため、ここではこれ以上説明しない。

20

【 0 1 3 3 】

図 1 1 は、パルスチューブ冷凍機 2 0 2 の作動中の、4 つの開閉バルブ V 1 ~ V 4 の開閉状態を時系列的に示した図である。以下、各過程について説明する。

【 0 1 3 4 】

（第 1 過程：時間 0 ~ t_3 ）

まず、時間 $t = 0$ において、開閉バルブ V 3 のみが開にされる。これにより、圧縮機 2 1 2 から、第 2 の冷媒供給路 H 2 を通り、パルス管 2 5 0 に高圧の冷媒ガスが供給される。次に、時間 $t = t_1$ において、開閉バルブ V 3 が開状態のまま、開閉バルブ V 1 が開にされる。これにより、圧縮機 2 1 2 から、第 1 の冷媒供給路 H 1 を通り、蓄冷管 2 4 0 に高圧の冷媒ガスが供給される。また、蓄冷管 2 4 0 に流入した冷媒ガスは、蓄冷管 2 4 0 内に設置された蓄冷材で冷却される。冷却された冷媒ガスは、第 1 の配管 2 5 6 を介して、パルス管 2 5 0 に流入する。この際に、冷媒ガスは、低温端 2 5 4 に設置された熱交換器で熱交換される。

30

【 0 1 3 5 】

次に、時間 $t = t_2$ において、開閉バルブ V 1 が開状態のまま、開閉バルブ V 3 が閉にされる。これにより、パルス管 2 5 0 への高圧冷媒ガスの供給が停止される。次に、時間 $t = t_3$ において、開閉バルブ V 1 が閉にされると、蓄冷管 2 4 0 への高圧ガスの供給が停止される。

40

【 0 1 3 6 】

（第 2 過程：時間 t_3 ~ t_6 ）

次に、時間 $t = t_3$ において、開閉バルブ V 4 が開にされる。これにより、パルス管 2 5 0 内の冷媒ガスは、第 2 の冷媒回収路 L 2 を経由して、圧縮機 2 1 2 に戻される。

【 0 1 3 7 】

時間 $t = t_4$ では、開閉バルブ V 4 が開状態のまま、開閉バルブ V 2 が開にされる。これにより、蓄冷管 2 4 0 からの低圧冷媒ガスが圧縮機 2 1 2 に戻される。

【 0 1 3 8 】

50

次に、時間 $t = t_5$ において、開閉バルブ V_4 が閉にされる。これにより、第 2 の冷媒回収路 L_2 を通る経路が遮断される。さらに、時間 $t = t_6$ において、開閉バルブ V_2 が閉にされると、蓄冷管 240 からの第 1 の冷媒回収路 L_1 を通る経路が遮断される。

【0139】

以上の過程を 1 サイクルとして、サイクルが繰り返されることにより、パルス管 250 の低温端 254 に設置された被冷却対象が冷却される。

【0140】

(第 3 のロータリーバルブ)

次に、図 12 を参照して、図 11 に示したタイミングで、各バルブ $V_1 \sim V_4$ の開閉に相当する操作を行うための第 3 のロータリーバルブの構成について説明する。

10

【0141】

図 12 には、第 3 のロータリーバルブ 1000 を構成する固定シート 1010 の摺動面 1012 、および回転ディスク 1060 の摺動面 1062 の模式的な上面図を示す。図 12 の左側には、固定シート 1010 の円形摺動面 1012 が示されており、右側には、固定シート 1010 の円形摺動面 1012 と面接触される、回転ディスク 1060 の円形摺動面 1062 が示されている。

【0142】

図 12 の左側に示すように、固定シート 1010 の摺動面 1012 には、ポート 1015 、および 1017 がそれぞれ 2 つずつ設けられている。図 12 の例では、ポート 1015 は、実質的に円形であり、ポート 1017 は、摺動面 1012 の円周方向に沿って延伸した略長円状の形状を有する。なお、ポート 1015 の直径 U_1 は、ポート 1017 の幅 U_2 (摺動面 1012 の円周方向の長さ) よりも大きい。

20

【0143】

2 つのポート 1015 は、第 1 の冷媒供給路 H_1 からの高圧冷媒ガスを蓄冷管 240 の方に供給するとともに、蓄冷管 240 の低圧冷媒ガスを第 1 の低圧側配管 L_1 の方に排出する役割を有する。以下、2 つのポート 1015 を、「蓄冷管用ポート」 1015 と称する。ポート 1017 は、第 2 の冷媒供給路 H_2 からの高圧冷媒ガスをパルス管 250 の方に供給するとともに、パルス管 250 の低圧冷媒ガスを第 2 の低圧側配管 L_2 の方に排出する役割を有する。以下、このポート 1017 を、「パルス管用ポート」 1017 と称する。

30

【0144】

ここで、図 12 に示されているように、各ポートは、いずれもトラック T 上にある。換言すれば、2 つの蓄冷管用ポート 1015 、および 2 つのパルス管用ポート 1017 の各中心は、トラック領域 T に含まれている。

【0145】

また、図 12 から明らかなように、2 つのポート 1015 は、摺動面 1012 の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置されている。同様に、2 つのポート 1017 は、摺動面 1012 の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置されている。

【0146】

一方、図 12 の右側に示すように、回転ディスク 1060 の円形摺動面 1062 は、円形摺動面 1062 の中心を通過して半径方向に延在する一つの長穴 1065 と、摺動面 1062 の外周端から中心に向かって延在する、2 つの小穴 1067 とを有する。小穴 1067 は、円形摺動面 1062 の中心に対してほぼ回転対称となるようにして、円形摺動面 1062 内に設けられる。長穴 1065 は、高圧冷媒ガスの流路に相当するため、以降、「高圧流路開口」 1065 と称する。また、2 つの小穴 1067 は、低圧冷媒ガスの流路に相当するため、以降、「低圧流路開口」 1067 と称する。

40

【0147】

ロータリーバルブ 1000 の作動時には、回転ディスク 1060 の摺動面 1062 が固定シート 1010 の摺動面 1012 に対して回転する。この際に、回転ディスク 1060 の摺動面 1062 に設けられた高圧流路開口 1065 、および低圧流路開口 1067 が固

50

定シート1010の摺動面1012に設けられた各ポート1015、1017を通過すると、丁度、図11に示すようなタイミングで冷媒ガスの流通が行われる。換言すれば、回転ディスク1060の摺動面1062の高圧流路開口1065、および低圧流路開口1067と、固定シート1010の摺動面1012の各ポート1015、1017とは、回転ディスク1060が回転した際に、図11に示すようなタイミングで、冷媒ガスの流通が行われる相対位置関係となるように、寸法および配置が定められる。

【0148】

なお、ロータリーバルブ1000の回転ディスク1060の摺動面1062が、図12の矢印F4で示す方向に回転した際に、固定シート1010の各ポートと回転ディスク1060の各開口との相対位置関係により、図11に示すような関係（すなわち、回転角（位相角）と各バルブV1～V4の関係）が得られることは、前述の記載から明らかである。そのため、ここでは、回転角と各バルブの開閉タイミングの関係については、これ以上説明しない。ただし、図12に示したロータリーバルブの構成は、「1回転2サイクル方式」に相当することに留意する必要がある。

【0149】

第3の実施例においても、第1および第2の実施例の場合と同様に、摺動面の直径の低減、およびロータリーバルブの小型化が可能となることは明らかであろう。

【0150】

（第4のロータリーバルブ）

図13には、図11に示したタイミングで、各バルブV1～V4の開閉に相当する操作を行うための、さらに別の（第4の）ロータリーバルブ（第4のロータリーバルブ）1100を示す。

【0151】

図13には、第4のロータリーバルブ1100を構成する固定シート1110の摺動面1112、および回転ディスク1160の摺動面1162の模式的な上面図を示す。図13の左側には、固定シート1110の円形摺動面1112が示されており、右側には、固定シート1110の円形摺動面1112と面接触される、回転ディスク1160の円形摺動面1162が示されている。

【0152】

図13の左側に示すように、固定シート1110の摺動面1112には、ポート1115、および1117がそれぞれ3つずつ設けられている。図13の例では、ポート1115は、実質的に円形であり、ポート1117は、摺動面1112の円周方向に沿って延伸した略長円状の形状を有する。なお、ポート1115の直径U3は、ポート1117の幅U4（摺動面1112の円周方向の長さ）よりも大きい。

【0153】

3つのポート1115は、蓄冷管用ポートであり、第1の冷媒供給路H1からの高圧冷媒ガスを蓄冷管240の方に供給するとともに、蓄冷管240の低圧冷媒ガスを第1の低圧側配管L1の方に排出する役割を有する。3つのポート1117は、パルス管用ポートであり、第2の冷媒供給路H2からの高圧冷媒ガスをパルス管250の方に供給するとともに、パルス管250の低圧冷媒ガスを第2の低圧側配管L2の方に排出する役割を有する。

【0154】

ここで、図13に示されているように、全てのポートは、いずれもトラックT上にある。換言すれば、3つの蓄冷管用ポート1115、および3つのパルス管用ポート1117の各中心は、トラック領域Tに含まれている。

【0155】

また、図12から明らかなように、3つのポート1115は、摺動面1112の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置されている。同様に、3つのポート1117は、摺動面1112の中心に対して、実質的に回転対称な位置に設置されている。

【0156】

10

20

30

40

50

一方、図13の右側に示すように、回転ディスク1160の円形摺動面1162は、一つの高圧流路開口1165と、3つの低圧流路開口1167とを有する。高圧流路開口1165は、円形摺動面1162の中心を通り、3方向に延在する3つの羽根状部1165Aを有する。羽根状部1165Aは、相互に角度 $\theta = 120^\circ$ となるように半径方向に沿って延伸する。3つの低圧流路開口1167は、円形摺動面1162の中心に対してほぼ回転対称となるようにして、高圧流路開口1165の各羽根状部1165Aの間に設けられる。

【0157】

ロータリーバルブ1100の作動時には、回転ディスク1160の摺動面1162が固定シート1110の摺動面1112に対して回転する。この際に、回転ディスク1160の摺動面1162に設けられた高圧流路開口1165、および低圧流路開口1167が固定シート1110の摺動面1112に設けられた各ポート1115、1117を通過すると、丁度、図11に示すようなタイミングで冷媒ガスの流通が行われる。換言すれば、回転ディスク1160の摺動面1162の高圧流路開口1165、および低圧流路開口1167と、固定シート1110の摺動面1112の各ポート1115、1117とは、回転ディスク1160が回転した際に、図11に示すようなタイミングで、冷媒ガスの流通が行われる相対位置関係となるように、寸法および配置が定められる。

【0158】

なお、ロータリーバルブ1100の回転ディスク1160の摺動面1162が、図13の矢印F5で示す方向に回転した際に、固定シート1110の各ポートと回転ディスク1160の各開口との相対位置関係により、図11に示すような関係（すなわち、回転角（位相角）と各バルブV1～V4の関係）が得られることは、当業者には明らかである。そのため、ここでは、回転角と各バルブの開閉タイミングの関係については、これ以上説明しない。ただし、図13に示したロータリーバルブの構成は、「1回転3サイクル方式」に相当することに留意する必要がある。

【産業上の利用可能性】

【0159】

本発明は、マルチバルブ型パルスチューブ冷凍機に適用することができる。

【符号の説明】

【0160】

- | | | |
|-----|--------------------------|--|
| 10 | 従来の4バルブ型パルスチューブ冷凍機 | |
| 12 | 圧縮機 | |
| 15A | 第1の高圧側配管 | |
| 15B | 第1の低圧側配管 | |
| 20 | 共通配管 | |
| 25A | 第2の高圧側配管 | |
| 25B | 第2の低圧側配管 | |
| 30 | 共通配管 | |
| 35A | 第3の高圧側配管 | |
| 35B | 第3の低圧側配管 | |
| 40 | 第1段蓄冷管 | |
| 50 | 第1段パルス管 | |
| 80 | 第2段蓄冷管 | |
| 90 | 第2段パルス管 | |
| 56 | 第1の配管 | |
| 86 | 第2の配管 | |
| 99 | 共通配管 | |
| 200 | 第1の実施例による4バルブ型パルスチューブ冷凍機 | |
| 201 | 第2の実施例による4バルブ型パルスチューブ冷凍機 | |
| 202 | 第3の実施例による4バルブ型パルスチューブ冷凍機 | |

10

20

30

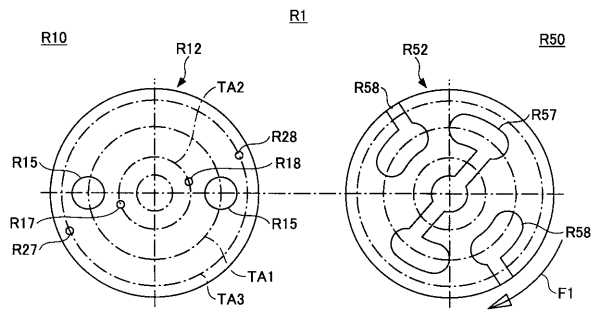
40

50

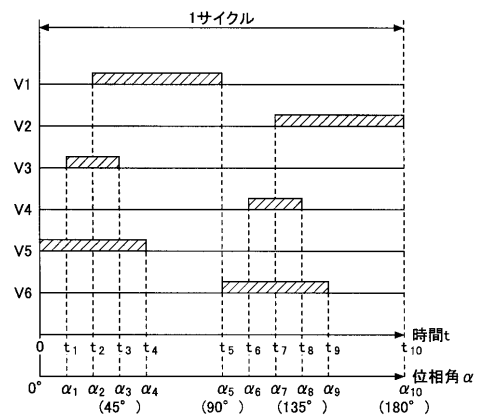
2 1 2	圧縮機	
2 1 5 A	第 1 の高圧側配管	
2 1 5 B	第 1 の低圧側配管	
2 2 0	共通配管	
2 2 5 A	第 2 の高圧側配管	
2 2 5 B	第 2 の低圧側配管	
2 3 0	共通配管	
2 3 5 A	第 3 の高圧側配管	
2 3 5 B	第 3 の低圧側配管	
2 4 0	第 1 段蓄冷管	10
2 4 5 A	第 4 の高圧側配管	
2 4 5 B	第 4 の低圧側配管	
2 5 0	第 1 段パルス管	
2 5 6	第 1 の配管	
2 6 0、2 6 1	オリフィス	
2 8 0	第 2 段蓄冷管	
2 8 6	第 2 の配管	
2 9 0	第 2 段パルス管	
2 9 9	共通配管	
3 0 0	ロータリーバルブ	20
3 1 0	固定シート	
3 1 2	固定シートの摺動面	
3 1 5	蓄冷管用ポート	
3 1 7	第 1 段パルス管用ポート	
3 1 8	第 2 段パルス管用ポート	
3 6 0	回転ディスク	
3 6 2	回転ディスクの摺動面	
3 6 5	高圧流路開口	
3 6 7	低圧流路開口	
4 1 6	第 3 の配管	30
4 2 0	第 3 段パルス管	
4 4 0	第 3 段蓄冷管	
4 5 0	オリフィス	
4 5 5	共通配管	
9 0 0	ロータリーバルブ	
9 1 0	固定シート	
9 1 2	固定シートの摺動面	
9 1 5	蓄冷管用ポート	
9 1 7	第 1 段パルス管用ポート	
9 1 8	第 2 段パルス管用ポート	40
9 1 9	第 3 段パルス管用ポート	
9 6 0	回転ディスク	
9 6 2	回転ディスクの摺動面	
9 6 5	高圧流路開口	
9 6 7	低圧流路開口	
1 0 0 0	ロータリーバルブ	
1 0 1 0	固定シート	
1 0 1 2	固定シートの摺動面	
1 0 1 5	蓄冷管用ポート	
1 0 1 7	パルス管用ポート	50

1 0 6 0	回転ディスク	
1 0 6 2	回転ディスクの摺動面	
1 0 6 5	高圧流路開口	
1 0 6 7	低圧流路開口	
1 1 0 0	ロータリーバルブ	
1 1 1 0	固定シート	
1 1 1 2	固定シートの摺動面	
1 1 1 5	蓄冷管用ポート	
1 1 1 7	パルス管用ポート	
1 1 6 0	回転ディスク	10
1 1 6 2	回転ディスクの摺動面	
1 1 6 5	高圧流路開口	
1 1 6 7	低圧流路開口	
H 1	第 1 の冷媒供給路	
H 2	第 2 の冷媒供給路	
H 3	第 3 の冷媒供給路	
H 4	第 4 の冷媒供給路	
L 1	第 1 の冷媒回収路	
L 2	第 2 の冷媒回収路	
L 3	第 3 の冷媒回収路	20
L 4	第 4 の冷媒回収路	
O 3 ~ O 6	オリフィス	
R 1	従来 of ロータリーバルブ	
R 1 0	固定シート	
R 1 2	固定シートの摺動面	
R 1 5	蓄冷管用ポート	
R 1 7	第 1 段パルス用高圧冷媒ガスのポート	
R 1 8	第 2 段パルス用高圧冷媒ガスのポート	
R 2 7	第 1 段パルス用低圧冷媒ガスのポート	
R 2 8	第 2 段パルス用低圧冷媒ガスのポート	30
R 5 0	回転ディスク	
R 5 2	回転ディスクの摺動面	
R 5 7	高圧冷媒ガス用の開口	
R 5 8	低圧冷媒ガス用の開口	
T A 1、T A 2、T A 3	トラック	
T 1、T 2	トラック	
V 1 ~ V 8	開閉バルブ	
V a 1 ~ V a 6	開閉バルブ。	

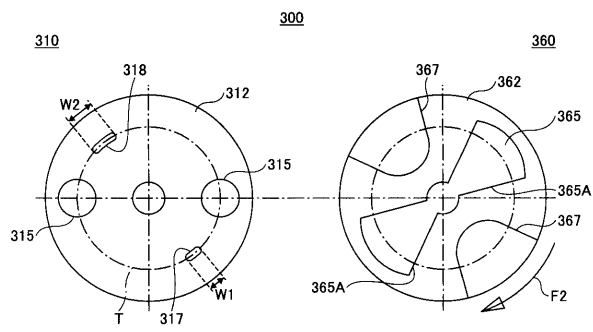
【 図 2 】



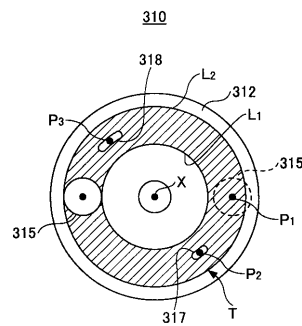
【 図 4 】



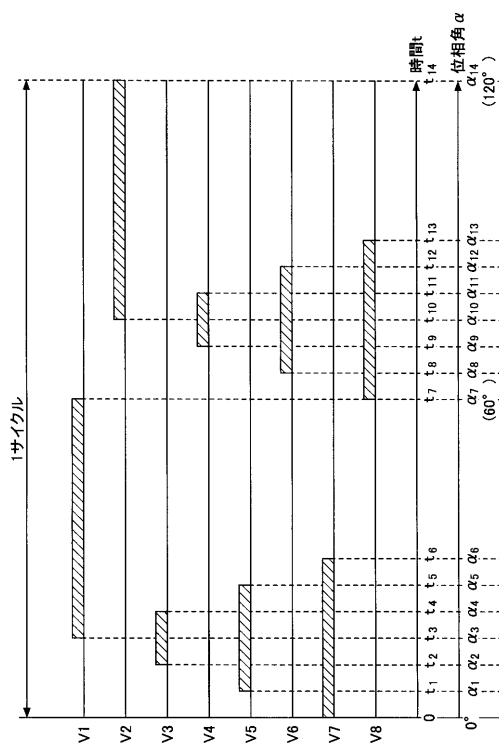
【図 5】



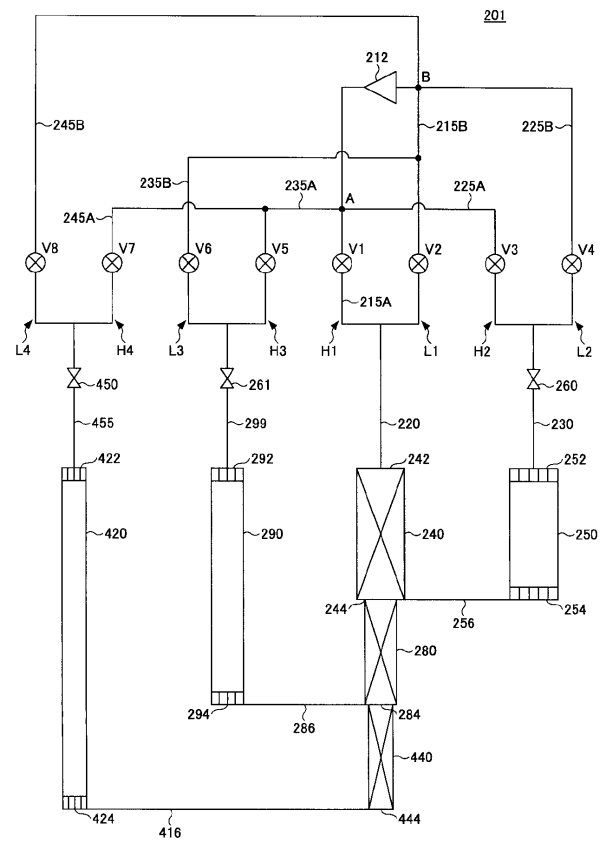
【図 6】



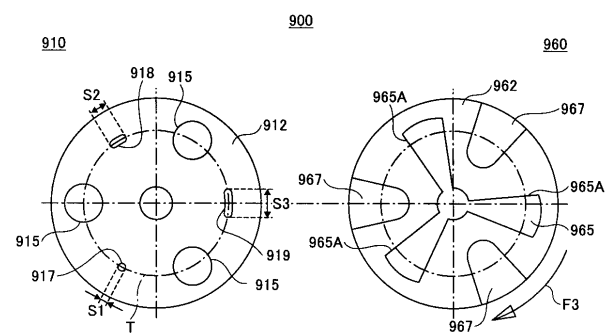
【図 8】



【図 7】



【図 9】



【 図 1 1 】

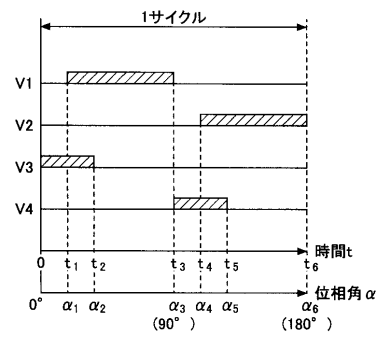


FIG. 10 shows two cross-sectional views of a second embodiment of a circular device. The left view is labeled **1110** and the right view is labeled **1160**. Both views show a circular body with internal components. In view 1110, labels include 1117, 1115, 1112, U4, U3, 1115, 1117, and T. In view 1160, labels include 1165A, 1162, 1167, 1165A, 1165, F5, and 1167.

フロントページの続き

(56)参考文献 特表2007-522431(JP,A)
特開平09-033124(JP,A)
特表2008-544199(JP,A)
特開平09-296963(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
F25B 9/00
F25B 9/14