

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5362518号
(P5362518)

(45) 発行日 平成25年12月11日 (2013.12.11)

(24) 登録日 平成25年9月13日 (2013.9.13)

(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 12 (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2009-247061 (P2009-247061)
 (22) 出願日 平成21年10月27日 (2009.10.27)
 (65) 公開番号 特開2011-94834 (P2011-94834A)
 (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 関 裕治朗

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】

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で、

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パルス管側に供給し、前記低压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ように配置され、

前記複数の第2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、前記第1のトラック領域とは異なる第2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よう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】

10

20

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 に記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項 3】

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 または 2 に記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項 4】

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 乃至 3 のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。 10

【請求項 5】

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ることを特徴とする請求項 2 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
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 2 乃至 5 のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。 20

【請求項 7】

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、
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ることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。 30

【請求項 8】

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 7 に記載のパルスチューブ冷凍機。 40

【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ることを特徴とする請求項 7 または 8 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 50

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いことを特徴とする請求項 7 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 1 1】

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ることを特徴とする請求項 7 乃至 10 のいずれか一つに記載のパルスチューブ冷凍機。

【請求項 1 2】

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ように配置され、

前記複数の第 2 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、前記第 1 のトラック領域とは異なる第 2 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よう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】

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】

10

20

30

40

50

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。

10

【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。

20

【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。

30

【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、両摺動面の摩耗によって生じる摩耗粉の量が増加するという問題がある。

40

【0011】

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。

【課題を解決するための手段】

【0012】

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、

50

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、

高压の冷媒を前記蓄冷管側に供給し、低压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、

前記高压の冷媒を前記パルス管側に供給し、前記低压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ように配置され、

10

前記複数の第2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、前記第1のトラック領域とは異なる第2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よう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。

【0013】

なお、本発明による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、前記高压の冷媒が流通する第1の開口と、前記低压の冷媒が流通する第2の開口とが設置されても良い。

【0014】

20

また、本発明による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。

【0015】

また、本発明による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。

【0016】

また、本発明による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。

【0017】

また、本発明による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。

40

【0018】

また、本発明による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。

【0019】

あるいは、本発明による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、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、前記高压の冷媒を前記第1段パルス管側に供給し、前記低压の冷媒を前記第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、

50

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。

【0020】

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。

【0021】

また、本発明による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。

【0022】

また、本発明による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。

【0023】

さらに、本発明による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のポートのうちの別の一つは、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。

【0024】

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。

【0025】

また、本発明による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

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、本発明による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】

さらに、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、

10

20

30

40

50

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で、

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パルス管側に供給し、前記低压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ように配置され、

10

前記複数の第 2 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、前記第 1 のトラック領域とは異なる第 2 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よう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。

【 0 0 2 8 】

ここで、本発明によるマルチバルブ型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、前記高压の冷媒が流通する第 1 の開口と、前記低压の冷媒が流通する第 2 の開口とが設置されても良い。

【 0 0 2 9 】

20

また、本発明によるマルチバルブ型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。

【 0 0 3 0 】

また、本発明によるマルチバルブ型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。

【 0 0 3 1 】

また、本発明によるマルチバルブ型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、

30

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 3 2 】

また、本発明によるマルチバルブ型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

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。

40

【 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であり、

前記複数の第 2 のポートのうちの別の一つは、前記高压の冷媒を前記第 2 段パルス管に

50

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。

【００３５】

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。

【００３６】

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。

【００３７】

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

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。

【００３８】

さらに、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。

【００３９】

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。

【００４０】

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。

【００４１】

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。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 3 】

【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。

【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。

10

【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。

20

【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】

【 0 0 4 4 】

以下、図面を参照して、本発明を詳しく説明する。

【 0 0 4 5 】

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。

【 0 0 4 6 】

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。

30

【 0 0 4 7 】

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 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。

40

【 0 0 4 8 】

なお、通常の場合、開閉バルブ Va1 ~ Va6 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。

【 0 0 4 9 】

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

50

の上面図が示されている。ロータリーバルブ R 1 の作動時には、固定シート R 1 0 の円形摺動面 R 1 2 と、回転ディスク R 5 0 の円形摺動面 R 5 2 とは、面接触される。

【 0 0 5 0 】

回転ディスク R 5 0 は、圧縮機 1 2 の側に設けられ、固定シート R 1 0 は、蓄冷管 4 2、4 4 およびパルス管 5 0、9 0 の側に設置される。すなわち、圧縮機 1 2 からの高圧冷媒ガスは、まず回転ディスク R 5 0 の方に供給され、その後、固定シート R 1 0 を介して、蓄冷管 4 2、4 4 およびパルス管 5 0、9 0 の方に供給される。逆に、蓄冷管 4 2、4 4 およびパルス管 5 0、9 0 からの低圧冷媒ガスは、固定シート R 1 0 の側から、回転ディスク R 5 0 を介して、圧縮機 1 2 の方に戻される。

【 0 0 5 1 】

固定シート R 1 0 の摺動面 R 1 2 には、高圧冷媒ガスを、それぞれ、第 1 蓄冷管 4 0、第 1 段パルス管 5 0、および第 2 段パルス管 9 0 の方に供給するためのポート R 1 5、R 1 7、および R 1 8 が設けられている。さらに、固定シート R 1 0 の摺動面 R 1 2 には、それぞれ、第 1 段パルス管 5 0 および第 2 段パルス管 9 0 から、低圧の冷媒ガスを圧縮機 1 2 の方に戻すためのポート R 2 7 および R 2 8 が設けられている。

【 0 0 5 2 】

図 2 において、蓄冷管 4 0、8 0 用の 2 つのポート R 1 5 は、円形摺動面 R 1 2 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 T A 1) と称する。換言すれば、2 つのポート R 1 5 は、第 1 のトラック T A 1 上にある。同様に、ポート R 1 7 および R 1 8 は、第 2 のトラック T A 2 上にある。さらに、ポート R 2 7 および R 2 8 は、第 3 のトラック T A 3 上にある。なお、3 つのトラック T A 1 ~ T A 3 の直径は、

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

の関係にある。

【 0 0 5 3 】

一方、回転ディスク R 5 0 の摺動面 R 5 2 には、固定シート R 1 0 の円形摺動面 R 1 2 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) R 5 7、R 5 8 が開口されている。穴 R 5 7 は、圧縮機 1 2 側からの高圧冷媒ガスの流通路に対応し、穴 R 5 8 は、圧縮機 1 2 への低圧冷媒ガスの流通路に相当する。

【 0 0 5 4 】

ロータリーバルブ R 1 の作動時には、回転ディスク R 5 0 が矢印 F 1 の方向に回転する。この際、固定シート R 1 0 の摺動面 R 1 2 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 R 5 0 の摺動面 R 5 2 に設けられた 3 つの穴 R 5 7、R 5 8 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 R 1 の動作により、図 1 の各バルブ V 1 ~ V 6 の開閉動作に相当する動作を行うことができる。

【 0 0 5 5 】

ここで、従来のロータリーバルブ R 1 では、固定シート R 1 0 の摺動面 R 1 2 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 4 0、8 0 に供給するためのポート R 1 5 が設置される第 1 のトラック T A 1、高圧冷媒ガスを第 1 および第 2 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 が配置される第 2 のトラック T A 2、ならびに低圧冷媒ガスを第 1 および第 2 パルス管 5 0、9 0 から排気するためのポート R 2 7、R 2 8 が配置される、第 3 のトラック T A 3 が必要となる。

【 0 0 5 6 】

従って、固定シート R 1 0 の摺動面 R 1 2 の寸法は、3 つのトラック T A 1 ~ T A 3 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 R 1 の小型化には、限界がある。

【 0 0 5 7 】

次に、図 3 ~ 図 5 を参照して、本発明について説明する。

【 0 0 5 8 】

(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。

【 0 0 5 9 】

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。

【 0 0 6 0 】

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。

【 0 0 6 1 】

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。

【 0 0 6 2 】

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。

【 0 0 6 3 】

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200の作動中の、6つの開閉バルブV1～V6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200の作動時には、6つの開閉バルブV1～V6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～ t_1)

まず、時間 $t = 0$ において、開閉バルブV5のみが開にされる。これにより、圧縮機212から、第3の冷媒供給路H3を介して、すなわち第3の高圧側配管235A～共通配管299～高温端292の経路で、第2段パルス管290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V5が開状態のまま、開閉バルブV3が開にされる。これにより、圧縮機212から、第2の冷媒供給路H2を介して、すなわち第2

10

20

30

40

50

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。

【 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。

10

【 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 $t = t_5$)

20

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。

【 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。

30

【 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 $t_8 \sim t_{10}$)

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。

40

【 0 0 7 2 】

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 2 5 0 の低温端 2 5 4、および第 2 段パルス管 2 9 0 の低温端 2 9 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 0 7 3 】

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

50

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 0 7 4 】

(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 ~ 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。

【 0 0 7 5 】

図 5 には、ロータリーバルブ 3 0 0 を構成する固定シート 3 1 0 および回転ディスク 3 6 0 の模式的な上面図を示す。図 5 の左側には、固定シート 3 1 0 の円形摺動面 3 1 2 が示されており、右側には、固定シート 3 1 0 の円形摺動面 3 1 2 と面接触される、回転ディスク 3 6 0 の円形摺動面 3 6 2 が示されている。

10

【 0 0 7 6 】

図 5 の左側に示すように、固定シート 3 1 0 の摺動面 3 1 2 には、2つのポート 3 1 5 と、一つのポート 3 1 7 と、一つのポート 3 1 8 とが設けられている。図 5 の例では、ポート 3 1 5 は、実質的に円形であり、ポート 3 1 7 および 3 1 8 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、ポート 3 1 8 の幅 W 2 (摺動面 3 1 2 の円周方向の長さ)は、ポート 3 1 7 の幅 W 1 (摺動面 3 1 2 の円周方向の長さ)よりも大きい。

【 0 0 7 7 】

2つのポート 3 1 5 は、回転ディスク 3 6 0 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 2 4 0、2 8 0 の方に供給するとともに、蓄冷管 2 4 0、2 8 0 の低圧冷媒ガスを、回転ディスク 3 6 0 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 3 1 5 を、「蓄冷管用ポート」3 1 5 と称する。ポート 3 1 7 は、回転ディスク 3 6 0 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 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、回転ディスク 3 6 0 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 3 1 7 を、「第 1 段パルス管用ポート」3 1 7 と称する。また、ポート 3 1 8 は、回転ディスク 3 6 0 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 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、回転ディスク 3 6 0 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 3 1 8 を、「第 2 段パルス管用ポート」3 1 8 と

20

30

【 0 0 7 8 】

ここで、図 5 に示されているように、2つの蓄冷管用ポート 3 1 5 は、いずれも固定シート 3 1 0 の円形摺動面 3 1 2 の中心から同一半径上にある。以下、この蓄冷管用ポート 3 1 5 を通る同一半径の軌跡を、トラック T 1 と称する。同様に、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 は、いずれも固定シート 3 1 0 の円形摺動面 3 1 2 の中心から同一半径上にある。以下、これらのポート 3 1 7、3 1 8 を通る同一半径の軌跡を、トラック T 2 と称する。

【 0 0 7 9 】

図 5 から明らかなように、2つのポート 3 1 5 は、摺動面 3 1 2 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 3 1 7 および 3 1 8 は、摺動面 3 1 2 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。

40

【 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 の中心を通過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。

50

【 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） α 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 α 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 $\alpha = 0^\circ \sim 90^\circ$ ）

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（ $\alpha = \alpha_1$ ）、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 とともに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（ $\alpha = \alpha_2$ ）、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 とともに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 $\alpha = \alpha_3$ 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 $\alpha = \alpha_4$ 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 $\alpha = \alpha_5$ （ 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 $\alpha = 90^\circ \sim 180^\circ$ ）

一方、位相角 $\alpha = \alpha_5$ （ 90° ）では、回転ディスク 3 6 0 の低圧流路開口 3 6 7 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、これにより第 2 段パルス管 2 9 0 からの低圧冷媒ガスの排出が開始される。（バルブ V 6 の開に相当）。また、位相角 $\alpha = \alpha_6$ および $\alpha = \alpha_7$ では、それぞれ、回転ディスク 3 6 0 の低圧流路開口 3 6 7 が固定シート 3 1 0 の第 1 段パルス管用ポート 3 1 7、および蓄冷管用ポート 3 1 5 と順次連通される（それぞれ、バルブ V 4、V 2 の開に相当）。これにより、第 1 段パルス管 2 5 0 からの低圧冷媒ガスの排出、および蓄冷管 2 4 0、2 8 0 からの低圧冷媒ガスの排出が開始される。

【 0 0 8 7 】

次に、位相角 $\alpha = \alpha_8$ 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 V 4 の閉止に相当）。また、位相角 $\alpha = \alpha_9$ 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 V 6 の閉止に相当）。

【0088】

最後に、位相角 $\alpha = \alpha_{10}$ (180°) 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 V 2 の閉止に相当）。

10

【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 R 1 では、固定シート R 10 の摺動面 R 12 に、少なくとも T A 1 ~ T A 3 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 R 1 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、2 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粉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。

20

【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。

30

【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、逆に双方が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粉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、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、

40

(i) 従来別個に設けられていた、高圧冷媒ガスをパルス管 50、90 に供給するためのポート R 17、R 18 用の第 2 のトラック T A 2 と、低圧冷媒ガスをパルス管 50、90 から排出するためのポート R 27、R 28 用の第 3 のトラック T A 3 とを一つに統合して、総トラック数を 2 つ (T 1、T 2) に抑制したこと、ならびに

(ii) それぞれのトラック T 1、T 2 において、配置される複数のポートを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。

【0095】

50

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、2 つの蓄冷管用ポート 3 1 5 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 1 の「線」上にある必要はないことに留意する必要がある。同様に、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 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 2 の「線」上にある必要はない。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。

10

【 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。なお、図には、明確化のため、蓄冷管用ポート 3 1 5 は、示されていない。

【 0 0 9 9 】

「トラック領域」(第 1 のトラック T 1) は、以下のようにして定義される。

20

【 0 1 0 0 】

まず、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 のうち、摺動面 3 1 2 の半径方向の寸法が大きい方を選定する(この場合、第 2 段パルス管用ポート 3 1 8)。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 $L 1 < L 2$)。

【 0 1 0 1 】

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。そして、図 6 のように、摺動面 3 1 2 の半径方向の寸法が小さい方のポート(この場合、第 1 段パルス管用ポート 3 1 7)の中心(摺動面 3 1 2 の半径方向の中心)が、この「トラック領域」内にあれば、両ポートは、同一トラック(第 2 のトラック T 2)上にあるといえる。

30

【 0 1 0 2 】

蓄冷管用ポート 3 1 5 についても同様の方法により、「トラック領域」(第 1 のトラック T 1)を定めることができ、複数の蓄冷管用ポート 3 1 5 が同一トラック(第 1 のトラック T 1)上にあるかどうかを判断することができる。

【 0 1 0 3 】

(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 4 】

図 7 は、本発明の第 2 の実施例による 4 パルプ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いる。

40

【 0 1 0 5 】

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 6 】

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

50

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 と接続される。

【 0 1 0 7 】

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 8 】

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。

【 0 1 0 9 】

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 1 0 】

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 1 】

（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 2 】

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。

【 0 1 1 3 】

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 4 】

（第 2 過程：時間 t_4 ～ 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 5 】

時間 $t = t_7$ では、全ての開閉バルブ $V_1 \sim V_8$ 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 6 】

（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 7 】

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 8 】

（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 9 】

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 2 0 】

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 1 】

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 $V_1 > \text{開閉バルブ } V_7 > \text{開閉バルブ } V_5 > \text{開閉バルブ } V_3$ 、および開閉バルブ $V_2 > \text{開閉バルブ } V_8 > \text{開閉バルブ } V_6 > \text{開閉バルブ } V_4$ 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 2 】

（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 $V_1 \sim V_8$ 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 3 】

図 9 には、第 2 のロータリーバルブ 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 4 】

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

10

20

30

40

50

7、918、および919が設けられている。図9の例では、ポート915およびポート917は、実質的に円形であり、ポート918および919は、摺動面912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919の幅S3（摺動面912の円周方向の長さ）は、ポート918の幅S2（摺動面912の円周方向の長さ）よりも大きい。また、ポート918の幅S2は、ポート917の直径（S1）よりも大きい。さらに、ポート915の直径は、ポート919の幅S3よりも大きい。

【0125】

3つのポート915は、第1の冷媒供給路H1からの高圧冷媒ガスを蓄冷管240、280、440の方に供給するとともに、蓄冷管240、280、440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。以下、3つのポート915を、「蓄冷管用ポート」915と称する。ポート917は、第2の冷媒供給路H2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の低圧冷媒ガスを第2の低圧側配管L2の方に排出する役割を有する。以下、このポート917を、「第1段パルス管用ポート」917と称する。また、ポート918は、第3の冷媒供給路H3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の低圧冷媒ガスを第3の低圧側配管L3の方に排出する役割を有する。以下、このポート918を、「第2段パルス管用ポート」918と称する。さらに、ポート919は、第4の冷媒供給路H4からの高圧冷媒ガスを第3段パルス管420の方に供給するとともに、第3段パルス管420の低圧冷媒ガスを第4の低圧側配管L4の方に排出する役割を有する。以下、このポート919を、「第3段パルス管用ポート」919と称する。

【0126】

ここで、図9に示されているように、3つの蓄冷管用ポート915は、いずれもトラックT1上にある。換言すれば、3つの蓄冷管用ポート915の中心は、トラック領域T1に含まれている。同様に、第1段パルス管用ポート917と、第2段パルス管用ポート918と、第3段パルス管用ポート919とは、いずれもトラックT2上にある。換言すれば、3つのポート917、918、919の中心は、トラック領域T2に含まれている。

【0127】

一方、図9の右側に示すように、回転ディスク960の円形摺動面962は、一つの高圧流路開口965と、3つの低圧流路開口967とを有する。高圧流路開口965は、円形摺動面962の中心を通り、3方向に延在する3つの羽根状部965Aを有する。羽根状部965Aは、相互に角度 $\beta = 120^\circ$ 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967は、円形摺動面962において、円形摺動面962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965の各羽根状部965Aの間に設けられる。

【0128】

ロータリーバルブ900の作動時には、回転ディスク960の摺動面962が固定シート910の摺動面912に対して回転する。この際に、回転ディスク960の摺動面962に設けられた高圧流路開口965、および低圧流路開口967が固定シート910の摺動面912に設けられた各ポート915、917、918、919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960の摺動面962の高圧流路開口965、および低圧流路開口967と、固定シート910の摺動面912の各ポート915、917、918、919とは、回転ディスク960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。

【0129】

なお、ロータリーバルブ900の回転ディスク960の摺動面962が、図9の矢印F3で示す方向に回転した際に、固定シート910の各ポートと回転ディスク960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） α と各バルブV1～V8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。

【0130】

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。

【0131】

(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。

【0132】

図 10 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 202 は、単段式である。図 10 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。

10

【0133】

図 10 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 202 は、圧縮機 212、蓄冷管 240、パルス管 250、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。

【0134】

図 11 は、パルスチューブ冷凍機 202 の作動中の、4 つの開閉バルブ V1 ~ V4 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。

20

【0135】

(第 1 過程：時間 0 ~ t_3)

まず、時間 $t = 0$ において、開閉バルブ V3 のみが開にされる。これにより、圧縮機 212 から、第 2 の冷媒供給路 H2 を通り、パルス管 250 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 V3 が開状態のまま、開閉バルブ V1 が開にされる。これにより、圧縮機 212 から、第 1 の冷媒供給路 H1 を通り、蓄冷管 240 に高圧の冷媒ガスが供給される。また、蓄冷管 240 に流入した冷媒ガスは、蓄冷管 240 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 256 を介して、パルス管 250 に流入する。この際に、冷媒ガスは、低温端 254 に設置された熱交換器で熱交換される。

30

【0136】

次に、時間 $t = t_2$ において、開閉バルブ V1 が開状態のまま、開閉バルブ V3 が閉にされる。これにより、パルス管 250 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 V1 が閉にされると、蓄冷管 240 への高圧ガスの供給が停止される。

【0137】

(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 V4 が開にされる。これにより、パルス管 150 内の冷媒ガスは、第 2 の冷媒回収路 L2 を経由して、圧縮機 212 に戻される。

40

【0138】

時間 $t = t_4$ では、開閉バルブ V4 が開状態のまま、開閉バルブ V2 が開にされる。これにより、蓄冷管 240 からの低圧冷媒ガスが圧縮機 212 に戻される。

【0139】

次に、時間 $t = t_5$ において、開閉バルブ V4 が閉にされる。これにより、第 2 の冷媒回収路 L2 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 V2 が閉にされると、蓄冷管 240 からの第 1 の冷媒回収路 L1 を通る経路が遮断される。

【0140】

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。

50

【 0 1 4 1 】

(第 3 の ロータリーバルブ)

次に、図 1 2 を参照して、図 1 1 に示したタイミングで、各バルブ V 1 ~ V 4 の開閉に相当する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。

【 0 1 4 2 】

図 1 2 には、第 3 のロータリーバルブ 1 0 0 0 を構成する固定シート 1 0 1 0 の摺動面 1 0 1 2、および回転ディスク 1 0 6 0 の摺動面 1 0 6 2 の模式的な上面図を示す。図 1 2 の左側には、固定シート 1 0 1 0 の円形摺動面 1 0 1 2 が示されており、右側には、固定シート 1 0 1 0 の円形摺動面 1 0 1 2 と面接触される、回転ディスク 1 0 6 0 の円形摺動面 1 0 6 2 が示されている。

10

【 0 1 4 3 】

図 1 2 の左側に示すように、固定シート 1 0 1 0 の摺動面 1 0 1 2 には、ポート 1 0 1 5、および 1 0 1 7 がそれぞれ 2 つずつ設けられている。図 1 2 の例では、ポート 1 0 1 5 は、実質的に円形であり、ポート 1 0 1 7 は、摺動面 1 0 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、ポート 1 0 1 5 の直径 U 1 は、ポート 1 0 1 7 の幅 U 2 (摺動面 1 0 1 2 の円周方向の長さ) よりも大きい。

【 0 1 4 4 】

2 つのポート 1 0 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 の方に供給するとともに、蓄冷管 2 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、2 つのポート 1 0 1 5 を、「蓄冷管用ポート」1 0 1 5 と称する。ポート 1 0 1 7 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 2 5 0 の方に供給するとともに、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 1 0 1 7 を、「パルス管用ポート」1 0 1 7 と称する。

20

【 0 1 4 5 】

ここで、図 1 2 に示されているように、2 つの蓄冷管用ポート 1 0 1 5 は、いずれもトラック T 1 上にある。換言すれば、2 つの蓄冷管用ポート 1 0 1 5 の中心は、トラック領域 T 1 に含まれている。同様に、2 つのパルス管用ポート 1 0 1 7 は、いずれもトラック T 2 上にある。換言すれば、2 つのパルス管用ポート 1 0 1 7 の中心は、トラック領域 T 2 に含まれている。

30

【 0 1 4 6 】

また、図 1 2 から明らかなように、2 つのポート 1 0 1 5 は、摺動面 1 0 1 2 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 1 0 1 7 は、摺動面 1 0 1 2 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。

【 0 1 4 7 】

一方、図 1 2 の右側に示すように、回転ディスク 1 0 6 0 の円形摺動面 1 0 6 2 は、円形摺動面 1 0 6 2 の中心を通過して半径方向に延在する一つの長穴 1 0 6 5 と、摺動面 1 0 6 2 の外周端から中心に向かって延在する、2 つの小穴 1 0 6 7 とを有する。小穴 1 0 6 7 は、円形摺動面 1 0 6 2 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 1 0 6 2 内に設けられる。長穴 1 0 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」1 0 6 5 と称する。また、2 つの小穴 1 0 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」1 0 6 7 と称する。

40

【 0 1 4 8 】

ロータリーバルブ 1 0 0 0 の作動時には、回転ディスク 1 0 6 0 の摺動面 1 0 6 2 が固定シート 1 0 1 0 の摺動面 1 0 1 2 に対して回転する。この際に、回転ディスク 1 0 6 0 の摺動面 1 0 6 2 に設けられた高圧流路開口 1 0 6 5、および低圧流路開口 1 0 6 7 が固定シート 1 0 1 0 の摺動面 1 0 1 2 に設けられた各ポート 1 0 1 5、1 0 1 7 を通過すると、丁度、図 1 1 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 1 0 6 0 の摺動面 1 0 6 2 の高圧流路開口 1 0 6 5、および低圧流路開口 1 0 6 7 と、固定シート 1 0 1 0 の摺動面 1 0 1 2 の各ポート 1 0 1 5、1 0 1 7 とは、回転

50

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。

【0149】

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） α 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。

10

【0150】

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。

【0151】

（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、さらに別のロータリーバルブ（第 4 のロータリーバルブ）1100 を示す。

【0152】

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。

20

【0153】

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 $\phi 3$ は、ポート 1117 の幅 $\phi 4$ （摺動面 1112 の円周方向の長さ）よりも大きい。

30

【0154】

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。

【0155】

ここで、図 13 に示されているように、3 つの蓄冷管用ポート 1115 は、いずれもトラック T1 上にある。換言すれば、3 つの蓄冷管用ポート 1115 の中心は、トラック領域 T1 に含まれている。同様に、3 つのパルス管用ポート 1117 は、いずれもトラック T2 上にある。換言すれば、2 つのパルス管用ポート 1117 の中心は、トラック領域 T2 に含まれている。

40

【0156】

また、図 13 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。

【0157】

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 1

50

1 6 5 は、円形摺動面 1 1 6 2 の中心を通り、3 方向に延在する 3 つの羽根状部 1 1 6 5 A を有する。羽根状部 1 1 6 5 A は、相互に角度 $\beta = 120^\circ$ となるように半径方向に沿って延伸する。3 つの低压流路開口 1 1 6 7 は、円形摺動面 1 1 6 2 の中心に対してほぼ回転対称となるようにして、高压流路開口 1 1 6 5 の各羽根状部 1 1 6 5 A の間に設けられる。

【0158】

ロータリーバルブ 1 1 0 0 の作動時には、回転ディスク 1 1 6 0 の摺動面 1 1 6 2 が固定シート 1 1 1 0 の摺動面 1 1 1 2 に対して回転する。この際に、回転ディスク 1 1 6 0 の摺動面 1 1 6 2 に設けられた高压流路開口 1 1 6 5、および低压流路開口 1 1 6 7 が固定シート 1 1 1 0 の摺動面 1 1 1 2 に設けられた各ポート 1 1 1 5、1 1 1 7 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 1 1 6 0 の摺動面 1 1 6 2 の高压流路開口 1 1 6 5、および低压流路開口 1 1 6 7 と、固定シート 1 1 1 0 の摺動面 1 1 1 2 の各ポート 1 1 1 5、1 1 1 7 とは、回転ディスク 1 1 6 0 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。

【0159】

なお、ロータリーバルブ 1 1 0 0 の回転ディスク 1 1 6 0 の摺動面 1 1 6 2 が、図 13 の矢印 F 5 で示す方向に回転した際に、固定シート 1 1 1 0 の各ポートと回転ディスク 1 1 6 0 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） α と各バルブ V 1 ~ V 4 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】

【0160】

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】

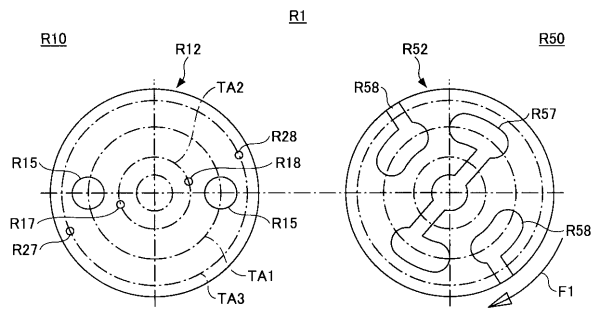
【0161】

1 0	従来の 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機	
1 2	圧縮機	30
1 5 A	第 1 の高压側配管	
1 5 B	第 1 の低压側配管	
2 0	共通配管	
2 5 A	第 2 の高压側配管	
2 5 B	第 2 の低压側配管	
3 0	共通配管	
3 5 A	第 3 の高压側配管	
3 5 B	第 3 の低压側配管	
4 0	第 1 段蓄冷管	
5 0	第 1 段パルス管	40
8 0	第 2 段蓄冷管	
9 0	第 2 段パルス管	
5 6	第 1 の配管	
8 6	第 2 の配管	
9 9	共通配管	
2 0 0	第 1 の実施例による 4 バルブ型パルスチューブ冷凍機	
2 0 1	第 2 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	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 1 2	圧縮機	
2 1 5 A	第 1 の高压側配管	50

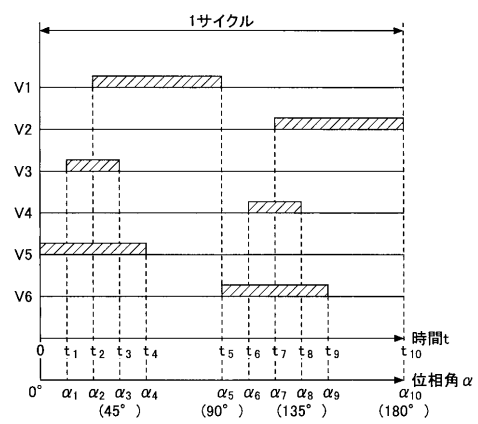
2 1 5 B	第 1 の低圧側配管	
2 2 0	共通配管	
2 2 5 A	第 2 の高圧側配管	
2 2 5 B	第 2 の低圧側配管	
2 3 0	共通配管	
2 3 5 A	第 3 の高圧側配管	
2 3 5 B	第 3 の低圧側配管	
2 4 0	第 1 段蓄冷管	
2 4 5 A	第 4 の高圧側配管	
2 4 5 B	第 4 の低圧側配管	10
2 5 0	第 1 段パルス管	
2 5 6	第 1 の配管	
2 6 0、2 6 1	オリフィス	
2 8 0	第 2 段蓄冷管	
2 8 6	第 2 の配管	
2 9 0	第 2 段パルス管	
2 9 9	共通配管	
3 0 0	ロ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

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	
1 1 6 2	回転ディスクの摺動面	
1 1 6 5	高圧流路開口	10
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	
L 4	第 4 の冷媒回収路	
O 3 ~ O 6	オリフィス	20
R 1	従来のロータリーバルブ	
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	
R 5 0	回転ディスク	
R 5 2	回転ディスクの摺動面	30
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。	

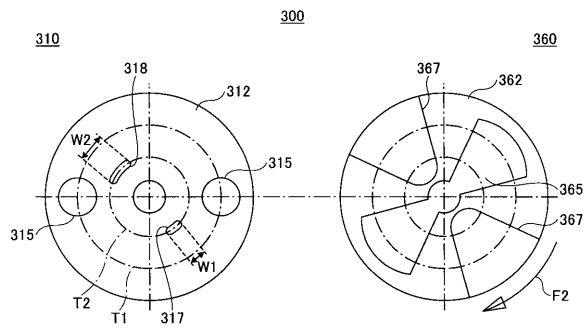
【 図 2 】



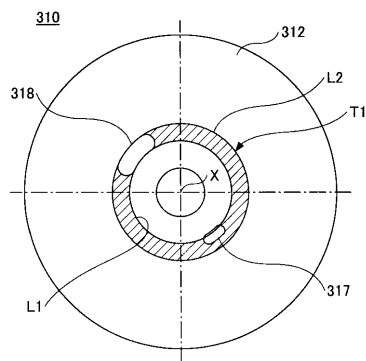
【 図 4 】



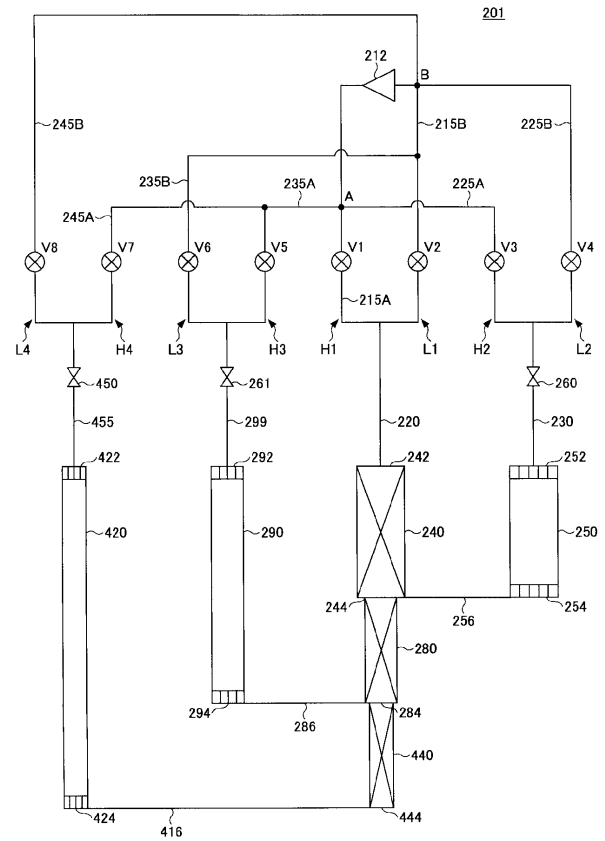
【図 5】



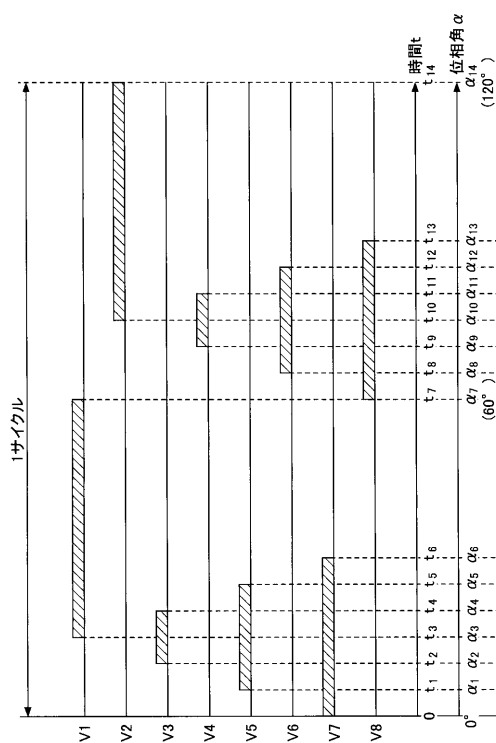
【図 6】



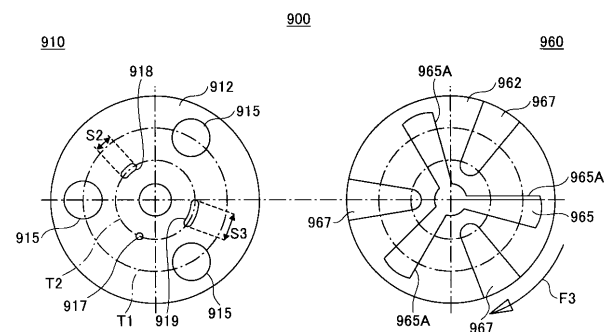
【図 7】



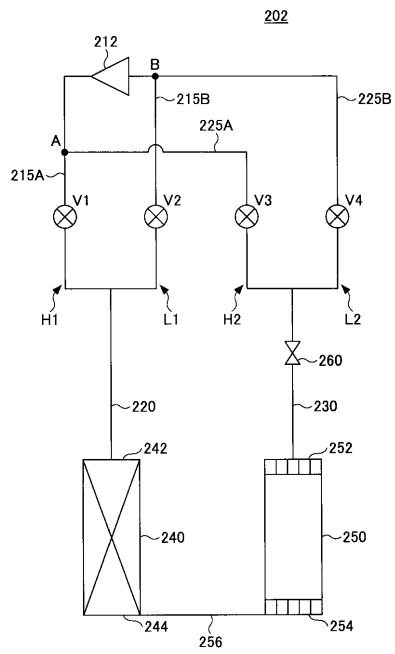
【図 8】



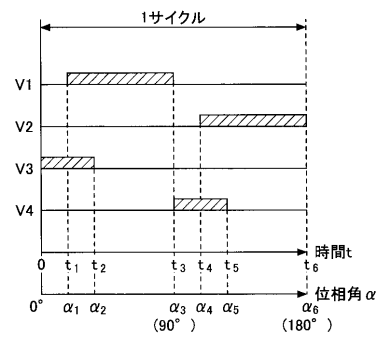
【図 9】



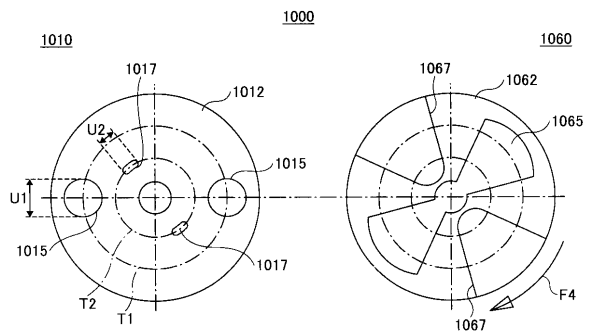
【図 10】



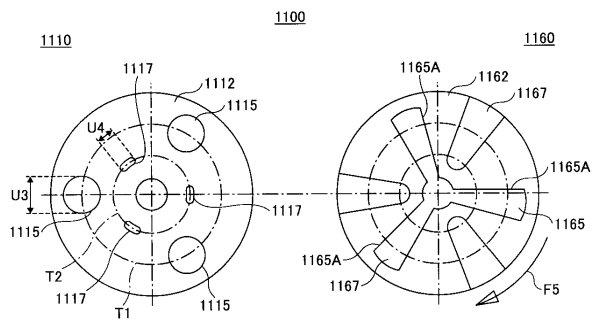
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表 2 0 0 7 - 5 2 2 4 3 1 (J P , A)
特開平 9 - 3 3 1 2 4 (J P , A)
特表平 9 - 5 0 0 9 5 0 (J P , A)
特開平 2 - 7 8 8 6 4 (J P , A)
特表 2 0 0 8 - 5 4 4 1 9 9 (J P , A)
特開平 9 - 2 9 6 9 6 3 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
F 2 5 B 9 / 0 0
F 2 5 B 9 / 1 4