

明 細 書

発明の名称： 冷却システム

技術分野

[0001] 本発明の実施の形態は、減圧による冷媒の温度降下を利用する冷却システムに関する。

背景技術

[0002] 蒸気圧縮式の冷凍装置は、多くの分野で広く利用されている。

[0003] 蒸気圧縮式の冷凍装置では、圧縮機で冷媒が圧縮され、圧縮機から流出する冷媒が凝縮器で冷却される。凝縮器から流出する冷媒は膨張弁で膨張され、膨張弁から流出する冷媒は、蒸発器で温度制御対象と熱交換を行う。冷媒は、蒸発器で温度制御対象の熱を吸収することで冷却を行う。蒸発器から流出する冷媒は圧縮機に循環し、その後、凝縮器で熱を放出する。

[0004] 蒸気圧縮式の冷凍装置で使用される冷媒は、通常、フッ素系冷媒である。フッ素系冷媒は、温室効果ガスであり、燃性を有する場合もあるが、高効率の運転を実現できる等の種々のメリットを有する。

[0005] 一方で、フッ素系冷媒が環境に与える影響を考慮し、従前より、地球温暖化係数（GWP）を低く抑えることのできる蒸気圧縮式用のフッ素系冷媒の開発が進められている。そして、非常にGWPの低い蒸気圧縮式用のHFO系冷媒が既に実用化されている。具体的には、例えばGWPが10以下のHFO系冷媒が実用化されている。しかしながら、この冷媒は、燃性や毒性について安全性が十分に確保されているとは必ずしも言えない状況である。そのため、低GWP且つ安全性を確保できる蒸気圧縮式用の冷媒の開発は、現在も盛んに行われている。

[0006] また、蒸気圧縮式の冷凍装置で用いられる圧縮機は、長期にわたり運転を行う。そのため、回転部分等の駆動部分を潤滑油で潤滑する必要がある。ただし、潤滑油は、冷媒側への流出の問題がある。そして、この潤滑油の流出により、圧縮機における油切れが生じることがあり、圧縮機の運転の安定性

が損なわれることがある。また、蒸発器に潤滑油が滞留することにより、蒸発器の冷却効率が損なわれることがある。そのため、蒸気圧縮式の冷凍装置は、圧縮機を使用する点でも種々改善の余地を有している。

[0007] 一方で、圧縮機を使用しない冷却装置としては、例えばJP2011-142298A、WO2017/119113A1、及びJP2021-162195Aに開示されるような沸騰冷却装置が知られている。

[0008] 沸騰冷却装置は、液体を温度制御対象と熱交換させる際に、液体を気化させることで、潜熱による吸熱により効率的に温度制御対象を冷却できる。そして、通常、液体又はこれが気化した気体を循環させるためのポンプが必要になるが、ポンプは、潤滑油が不要か又は必要であっても少量で済む。また、ポンプのエネルギー消費量は比較的小さい。したがって、沸騰冷却装置は、環境性能に優れた装置と言える。

[0009] ただし、沸騰冷却装置では、通常、循環させる液体の温度が大気圧下での沸点近傍となり、例えば0℃を大きく下回る温度帯での冷却はできず、冷却温度及び温度制御対象が非常に制約される。そのため、沸騰冷却装置により、低温又は超低温の温度帯で高い冷凍能力を確保することは困難である。

発明の概要

[0010] 近年、上述したようにHFO系冷媒の開発が進められる一方で、環境負荷の小さい不凍液の開発も進められている。そして、GWPが低く且つ不燃性の、不凍液として使用され得るHFO系溶剤が実用化された。このような溶剤は、大気圧下での沸点が例えば70℃以上であるため、蒸気圧縮式の冷凍装置には適合しない。しかしながら、このようなHFO系溶剤を用いて熱サイクルを実現できれば、現在強く求められている低環境負荷、高い安全性及び高い冷凍能力を確保し得る冷却システムを実現できる可能性がある。

[0011] そこで、本件発明者は、例えば上述したようなHFO系溶剤を熱サイクルの冷媒として使用可能とすることができる新規の冷却システムの実現のために鋭意研究を行った。より一般化して言うと、蒸気圧縮式の冷凍装置で使用可能であった冷媒の範囲とは異なる範囲の物質を、熱サイクルで使用可能な

冷媒にシフトさせることができる新規の冷却システムの実現のために鋭意研究を行った。そして、減圧により冷媒の温度を降下させて冷却させた後、大気圧下で冷媒が吸収した熱を放出する構造により、上記冷却システムを実現し得ることを知見し、本発明を創案するに至った。

[0012] すなわち、本発明の課題は、従来の冷凍方式では使用されることがなかった物質を熱サイクルの冷媒として使用できるようになる、又は、熱サイクルの冷媒として使用できる物質の範囲を拡大させることができる冷却システムを提供することである。

[0013] 本発明の一実施の形態は、以下の態様「１」～「１８」に関連する。

[0014] [１] 流出口及び流入口を含み、液状の冷媒を貯留する容器と、
前記流出口に接続し、前記流出口を通して前記容器から気体を吸引することとで前記容器内の圧力を大気圧よりも小さい圧力に調節する減圧装置と、
前記減圧装置と前記流入口とに接続される冷媒流路を含み、前記減圧装置が前記容器から吸引した前記気体から液化した液状の前記冷媒を、前記流入口を通して前記容器に流入させる冷媒循環装置と、を備え、
前記容器内の前記冷媒により、温度制御対象を冷却する、冷却システム。

[0015] [２] 前記減圧装置は、
前記流出口に接続される気体流路と、
前記気体流路に設けられ、前記容器から前記気体流路に前記気体を吸引する気体吸引ポンプと、
前記気体流路に接続され、前記気体流路から流出する前記気体及び／又は前記気体から液化した液状の前記冷媒を貯留するリザーバタンクと、を含み、
前記冷媒流路は、前記リザーバタンクに接続する、[１]に記載の冷却システム。

[0016] [３] 前記リザーバタンク内の圧力は、前記容器内の圧力よりも高く、前記リザーバタンクは、前記気体流路から流出する前記気体の少なくとも一部を液状の前記冷媒に液化し、液状の前記冷媒を貯留する、[２]に記載の冷

却システム。

[0017] [4] 前記冷媒循環装置は、前記冷媒流路に設けられ、前記リザーバタンクから液状の前記冷媒を前記冷媒流路に引き込む循環ポンプをさらに含む、
[2] 又は [3] に記載の冷却システム。

[0018] [5] 前記減圧装置は、前記気体流路における前記気体吸引ポンプの下流側の部分及び／又は前記リザーバタンクを冷却する冷却部をさらに含む、
[2] 乃至 [4] のいずれかに記載の冷却システム。

[0019] [6] 前記冷媒循環装置は、前記冷媒流路の一部を形成するように前記冷媒流路に設けられ、液状の前記冷媒を貯留する緩衝容器をさらに含み、
前記リザーバタンクから前記冷媒流路に引き込まれる液状の前記冷媒は、前記緩衝容器を通過した後、前記容器に流入する、
[2] 乃至 [5] のいずれかに記載の冷却システム。

[0020] [7] 前記冷媒流路に接続し、前記冷媒流路を通流する液状の前記冷媒を冷却する熱交換器をさらに備え、

前記緩衝容器は、前記冷媒流路における前記熱交換器が接続する部分よりも上流側の部分に設けられる、
[6] に記載の冷却システム。

[0021] [8] 前記リザーバタンクは、前記緩衝容器の上方に配置される、
[6] 又は [7] に記載の冷却システム。

[0022] [9] 前記気体吸引ポンプは、モータの回転により前記気体を吸引するように構成され、

前記気体吸引ポンプは、前記モータの回転数を、前記容器内の温度、前記容器内の圧力、前記冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は前記温度制御対象の温度に応じて調節する、
[2] 乃至 [8] のいずれかに記載の冷却システム。

[0023] [10] 前記気体流路における前記気体吸引ポンプの上流側又は下流側の部分に、開度の調節により前記気体流路を通流する前記気体の流量を制御する流量制御弁が設けられ、

前記流量制御弁は、その開度を、前記容器内の温度、前記容器内の圧力、

又は前記冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は前記温度制御対象の温度に応じて調節する、〔２〕乃至〔９〕のいずれかに記載の冷却システム。

[0024] 〔１１〕 前記容器内にガスを供給するガス供給装置をさらに備え、

前記ガス供給装置は、前記容器内に供給する前記ガスの量を、前記容器内の温度、前記容器内の圧力、前記冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は前記温度制御対象の温度に応じて調節する、〔２〕乃至〔１０〕のいずれかに記載の冷却システム。

[0025] 〔１２〕 前記冷媒流路に接続し、前記冷媒流路を通流する液状の前記冷媒を冷却する熱交換器をさらに備え、

前記冷媒循環装置は、前記冷媒流路における前記熱交換器が接続する部分よりも下流側の部分に設けられ、第１ポート、第２ポート及び第３ポートを含む三方弁を含み、

前記三方弁は、前記第１ポートに流入し前記第２ポートから流出する前記冷媒の流量と、前記第１ポートに流入し前記第３ポートから流出する前記冷媒の流量とを調節可能であり、

前記三方弁は、前記第１ポート及び前記第２ポートの間の流路で前記冷媒流路の一部を構成し、

前記第３ポートと、前記冷媒流路における前記熱交換器が接続する部分よりも上流側の部分とは、バイパス流路によって接続されている、〔１〕乃至〔１１〕のいずれかに記載の冷却システム。

[0026] 〔１３〕 前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを越えた場合に、前記第１ポートに流入し前記第２ポートから流出する前記冷媒の流量を減少させ、前記第１ポートに流入し前記第３ポートから流出する前記冷媒の流量を増加させ、

前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを下回った場合に、前記第１ポートに流入し前記第２ポートから流出する前記冷媒の流量を増加させ、前記第１ポートに流入し前記第３ポートから流出する前記冷媒の流量を減少させる、〔１２〕に記載の冷却システム。

[0027] [14] 前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを越えた場合に、前記第1ポートに流入し前記第2ポートから流出する前記冷媒の通流を遮断し、前記第1ポートに流入し前記第3ポートから流出する前記冷媒の通流を許容し、

前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを下回った場合に、前記第1ポートに流入し前記第2ポートから流出する前記冷媒の通流を許容し、前記第1ポートに流入し前記第3ポートから流出する前記冷媒の通流を遮断する、[12]に記載の冷却システム。

[0028] [15] 熱媒体を通流させる熱媒体流路を含む熱媒体通流装置をさらに備え、

前記熱媒体流路は、前記容器内に配置され、前記熱媒体と前記冷媒とを熱交換させる熱交換部を含み、

前記熱媒体流路は、前記容器の外部から前記熱交換部に前記熱媒体を送り、前記熱交換部で熱交換した前記熱媒体を前記容器の外部に送る、[1]乃至[14]のいずれかに記載の冷却システム。

[0029] [16] 前記冷媒は、大気圧下での沸点が30℃以上となる物質である、[1]乃至[15]のいずれかに記載の冷却システム。

[0030] [17] 前記冷媒は、GWPが10以下である、[1]乃至[16]のいずれかに記載の冷却システム。

[0031] [18] 前記冷媒は、HFO-1336mzz-Zである、[1]乃至[17]のいずれかに記載の冷却システム。

[0032] 本発明によれば、従来の冷凍方式では使用されることがなかった物質を熱サイクルの冷媒として使用できるようになる、又は、熱サイクルの冷媒として使用できる物質の範囲を拡大させることができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]第1の実施の形態に係る冷却システムを概略的に示す図である。

[図2]図1の冷却システムを構成するコントローラの機能構成を示すブロック図である。

[図3]図1の冷却システムで用いる冷媒の一例のp-h線図である。

[図4]第2の実施の形態に係る冷却システムを概略的に示す図である。

[図5]第3の実施の形態に係る冷却システムを概略的に示す図である。

[図6]第4の実施の形態に係る冷却システムを概略的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下、各実施の形態を説明する。

[0035] <第1の実施の形態>

図1は、第1の実施の形態に係る冷却システムS1の概略図である。まず、冷却システムS1の構成について説明する。

[0036] (冷却システムの構成)

図1示すように、第1の実施の形態に係る冷却システムS1は、密封容器10と、減圧装置20と、冷媒循環装置30と、熱交換器40と、熱媒体通流装置50と、ガス供給装置60と、コントローラ100と、を備えている。

[0037] 冷却システムS1では、密封容器10に液状の冷媒が貯留される。減圧装置20は密封容器10と接続し、密封容器10内に存在する気体又は密封容器10内で気化した気体を吸引することにより、密封容器10内の圧力を減圧する装置である。そして、冷媒循環装置30は減圧装置20と接続し、減圧装置20が密封容器10から吸引した気体から液化した液状の冷媒を通流させ、密封容器10に流入させて戻す。また、冷媒循環装置30は、密封容器10の外部で熱交換器40と接続する。これにより、冷媒循環装置30が通流させる冷媒は、密封容器10と熱交換器40との間で循環する。そして、冷却システムS1は、密封容器10内で熱媒体通流装置50が通流させる熱媒体を冷却し、熱媒体通流装置50は冷却された熱媒体を温度制御対象Tに送る。また、冷媒循環装置30は、冷媒が熱媒体から吸収した熱を熱交換器40から放出する。さらに、本実施の形態では、減圧装置20が後述の冷却部25からも熱を放出する。これにより、熱媒体が連続的に冷却される。

[0038] 冷却システムS1では、後述するように、密封容器10内の圧力が減圧装

置 2 0 によって大気圧よりも小さい圧力に減圧される。一方で、密封容器 1 0 外である冷媒循環装置 3 0 における冷媒通流環境及び熱交換器 4 0 の冷媒通流環境は、密封容器 1 0 内の圧力よりも大きい圧力であって、例えば大気圧に設定される。このような環境において、熱交換器 4 0 から密封容器 1 0 内に冷媒が流入すると、冷媒は膨張し、冷媒の温度は密封容器 1 0 内で降温する。これにより、密封容器 1 0 内で降温された冷媒により、熱媒体を冷却できる。この際、冷媒は熱媒体との熱交換により蒸発し、この場合は、冷媒の気化潜熱により熱媒体を効率的に冷却できる。そして、上記蒸発した冷媒は気体の状態であり、減圧装置 2 0 によって吸引される。

[0039] 冷媒循環装置 3 0 が循環させる冷媒は特に限定されないが、例えば大気圧下で且つ標準的な環境温度（例えば 2 5 °C）で液状となる物質であって、この状態から例えば 0 . 1 気圧の環境で膨張された場合に - 5 °C 以下になる物質であり、望ましくは 0 . 0 1 気圧の環境で膨張された場合に - 3 0 °C 以下になる物質である。このような物質を冷媒として用いた場合には、低温域までの冷却が可能となる。なお、本明細書において大気圧とは、1 気圧であって、言い換えると 0 . 1 M P a (A b s) を意味する。以下、冷却システム S 1 の各部について詳述する。

[0040] 密封容器 1 0 は、第 1 流出口 1 1、第 2 流出口 1 2、流入口 1 3、ガス受入口 1 4、熱媒体入口 1 5、及び熱媒体出口 1 6 を含み、これら各口部（1 1 ~ 1 6）以外の部分からの気体及び液体の流出及び漏出が防止される容器である。密封容器 1 0 は、内部の圧力を減圧された際にその形状を維持できる構造に構成され、いわゆる真空断熱容器である。

[0041] 減圧時の密封容器 1 0 の形状の維持は、減圧される内部の圧力にもよるが、例えば 0 . 1 気圧まで減圧される場合には、密封容器 1 0 の外殻部分は、厚さの大きい硬質の金属等から形成されることが好ましい。ただし、密封容器 1 0 の具体的な構造は、減圧を予定する程度に応じて適宜決定されればよく、特に限定されない。また、密封容器 1 0 は、開口を有する容器本体と、開口を開閉する蓋とを備えてもよい。この場合には、蓋を閉じた際の十分な

気密性及び密封性を確保することが必要となる。

- [0042] 密封容器１０は、液状の冷媒を貯留するようになっており、符号Ｌｆは、液状の冷媒の液溜まりを示し、符号をＧｆは、気相部分を示す。すなわち、本実施の形態では、密封容器１０が、液状の冷媒を気相部分Ｇｆを形成しつつ貯留している。後述する減圧装置２０は、密封容器１０内の気体を吸引することにより、密封容器１０内の圧力を減圧する。ここで、気相部分Ｇｆが形成される場合、減圧装置２０に液状の冷媒が進入することが防止され、減圧装置２０の運転状態を安定させることができる。また、減圧装置２０の故障を抑制できる。
- [0043] 密封容器１０内で液状の冷媒と気相部分Ｇｆとを並存させる環境は、減圧装置２０、冷媒循環装置３０、及びガス供給装置６０の動作を制御することにより、形成できる。
- [0044] 第１流出口１１は、減圧装置２０に接続され、気体を流出させることが予定された開口である。したがって、密封容器の気相部分Ｇｆで開口することが好ましい。また、ガス受入口１４は後述するようにガス供給装置６０に接続され、このガス受入口１４も、第１流出口１１と同様に、密封容器１０の気相部分Ｇｆに開口することが好ましい。第１流出口１１及びガス受入口１４は、密封容器１０の上壁又は側壁の上部に設けられることが好ましい。図示の例では、第１流出口１１及びガス受入口１４が密封容器１０の上壁に形成されている。
- [0045] 第２流出口１２は密封容器１０内の液状の冷媒を排出するための開口である。流入口１３は、冷媒循環装置３０が通流させる液状の冷媒を受け入れる開口である。第２流出口１２及び流入口１３は、密封容器１０の液相部分に開口することが好ましく、密封容器１０の底壁又は側壁の下部に設けられることが好ましい。図示の例では、第２流出口１２が密封容器１０の底壁に形成され、流入口１３は密封容器１０の側壁の上下方向の中間位置よりも下方に形成されている。また、熱媒体入口１５及び熱媒体出口１６は密封容器１０の液相部分に開口することが好ましく、図示の例では、熱媒体入口１５及

び熱媒体出口 16 が密封容器 10 の底壁に形成されている。

[0046] 減圧装置 20 は、第 1 流出口 11 に接続し、第 1 流出口 11 を通して密封容器 10 から気体を吸引することで密封容器 10 内の圧力を大気圧よりも小さい圧力に調節する装置である。詳しくは、本実施の形態における減圧装置 20 は、第 1 流出口 11 に接続される気体流路 21 と、気体流路 21 上に設けられ、密封容器 10 から気体流路 21 に気体を吸引する気体吸引ポンプ 22 と、気体流路 21 の下流端 21 B に接続され、下流端 21 B から流出する気体を貯留するリザーバタンク 23 と、を含む。

[0047] 気体流路 21 は、第 1 流出口 11 に接続される上流端 21 A と、リザーバタンク 23 に接続される下流端 21 B と、を含む。気体吸引ポンプ 22 は、気体流路 21 における上流端 21 A と下流端 21 B との間の部分に設けられている。

[0048] 気体吸引ポンプ 22 の形式は特に限られないが、潤滑油が吸引経路（気体流路 21）側に流出しない又はほとんど流出しないドライ真空ポンプであることが好ましい。ドライ真空ポンプは、ダイアフラム型ドライ真空ポンプ、揺動ピストン型ドライ真空ポンプ、回転翼型ドライ真空ポンプ、スクロール型ドライ真空ポンプ等でもよく、以上に例示した方式とは異なるものである。ただし、気体吸引ポンプ 22 は湿式の真空ポンプでもよい。

[0049] 本実施の形態における気体吸引ポンプ 22 はドライ真空ポンプである。そして、気体吸引ポンプ 22 は、例えば交流モータ、ブラシレス直流モータ等、インバータにより制御されるモータ 22 M を含む。そして、気体吸引ポンプ 22 は、モータ 22 M の回転数を調節することにより、気体の吸引量を調節し、密封容器 10 内の圧力を調節可能となっている。モータ 22 M の回転数は、詳しくはモータ 22 M に供給される交流電流の周波数を図示しないインバータにより調節することで行われる。

[0050] また、本実施の形態では、気体流路 21 に流量制御弁 24 が設けられ、流量制御弁 24 の開度を調節することによっても、密封容器 10 内の圧力を調節可能となっている。流量制御弁 24 は、その開度を調節することにより、

気体流路 2 1 を通流する気体の流量を調節できる。これにより、気体の吸引量が調節されるため、密封容器 1 0 内の圧力の調節が可能となる。

[0051] 気体吸引ポンプ 2 2 及び流量制御弁 2 4 は、同時に動作して密封容器 1 0 内の圧力を調節してもよい。また、気体吸引ポンプ 2 2 の運転状態が一定に維持され、流量制御弁 2 4 の開度が調節されてもよいし、流量制御弁 2 4 の開度が一定に維持され、気体吸引ポンプ 2 2 の運転状態が制御されてもよい。

。

[0052] 流量制御弁 2 4 は、本実施の形態では気体流路 2 1 における気体吸引ポンプ 2 2 の上流側の部分に設けられるが、気体吸引ポンプ 2 2 の下流側の部分に設けられてもよい。流量制御弁 2 4 は例えばバタフライバルブで構成されるが、特に限られるものではない。

[0053] 気体吸引ポンプ 2 2 及び流量制御弁 2 4 は、コントローラ 1 0 0 に電氣的に接続され、コントローラ 1 0 0 によって制御される。本実施の形態では、気体吸引ポンプ 2 2 が、図示しないインバータを介してコントローラ 1 0 0 に電氣的に接続される。流量制御弁 2 4 は、例えばステッピングモータやサーボモータ等の電気モータにより弁体の開度を調節する弁でもよい。この場合、コントローラ 1 0 0 は上記電気モータに電氣的に接続する。なお、流量制御弁 2 4 は電磁比例弁などでもよい。

[0054] リザーバタンク 2 3 内の圧力は、密封容器 1 0 内の圧力よりも高くなっており、例えば大気圧に設定される。これにより、リザーバタンク 2 3 は、気体流路 2 1 の下流端 2 1 B から流出する気体の少なくとも一部を液状の冷媒に液化して、液状の冷媒を貯留し易くなる。リザーバタンク 2 3 は、圧力上昇時の気体吸引ポンプ 2 2 の消費電力を抑えるため、安全性のため、また冷媒の充填又は補給のため、例えば開閉可能な蓋を有してもよい。すなわち、リザーバタンク 2 3 は、開口を有する容器本体と、開口を開閉する蓋とを備えてもよい。この場合には、蓋を閉じた際の十分な気密性及び密封性を確保することが必要となる。

[0055] 本実施の形態では、減圧装置 2 0 が、気体流路 2 1 における気体吸引ポン

プ 2 2 の下流側の部分を冷却する冷却部 2 5 をさらに含む。これにより、気体流路 2 1 の下流端 2 1 B から流出する気体の液化が促進され、例えばリザーバタンク 2 3 内の圧力上昇が抑制され得る。冷却部 2 5 は、例えば冷却ファンで構成される。ただし、冷却部 2 5 の構成は特に限られるものではなく、熱交換器等でもよい。なお、冷却部 2 5 は、リザーバタンク 2 3 を冷却してもよい。この場合、冷却部 2 5 は、リザーバタンク 2 3 の内部を冷却してもよいし、外部を冷却してもよい。

[0056] 冷媒循環装置 3 0 は、減圧装置 2 0 と流入口 1 3 とに接続する冷媒流路 3 1 と、冷媒流路 3 1 に設けられ、リザーバタンク 2 3 内の液状の冷媒を冷媒流路 3 1 に引き込む循環ポンプ 3 2 とを含む。詳しくは、冷媒流路 3 1 は、減圧装置 2 0 におけるリザーバタンク 2 3 に接続されている。冷媒循環装置 3 0 は、リザーバタンク 2 3 から受け入れた液状の冷媒を通流させ、流入口 1 3 から密封容器 1 0 に流入させる。

[0057] また、本実施の形態における冷媒循環装置 3 0 は、冷媒流路 3 1 に設けられる緩衝容器 3 3 及び三方弁 3 4 をさらに含む。本実施の形態では、循環ポンプ 3 2、緩衝容器 3 3 及び三方弁 3 4 がそれぞれ冷媒流路 3 1 の一部を構成するように冷媒流路 3 1 に設けられる。緩衝容器 3 3 の下流側に循環ポンプ 3 2 が配置され、循環ポンプ 3 2 の下流側に三方弁 3 4 が配置されるが、このような配置は特に限られるものではない。

[0058] 冷媒流路 3 1 は、リザーバタンク 2 3 に接続される上流端 3 1 A と、流入口 1 3 に接続される下流端 3 1 B と、を含む。上流端 3 1 A は、リザーバタンク 2 3 の底壁に接続され、リザーバタンク 2 3 に連通する。循環ポンプ 3 2、緩衝容器 3 3 及び三方弁 3 4 はそれぞれ、冷媒流路 3 1 における上流端 3 1 A と下流端 3 1 B との間の部分に設けられている。

[0059] 循環ポンプ 3 2 の形式は特に限られず、非容積式のポンプでもよいし、容積式のポンプでもよい。循環ポンプ 3 2 は、例えば交流モータ、ブラシレス直流モータ等、インバータにより制御されるモータ 3 2 M を含む。そして、循環ポンプ 3 2 は、モータ 3 2 M の回転数を調節することにより、液体の引

き込み量を調節し、冷媒流路31を通流する冷媒の流量を調節可能となっている。モータ32Mの回転数は、詳しくはモータ32Mに供給される交流電流の周波数を図示しないインバータにより調節することで行われる。

[0060] また、冷媒が循環ポンプ32を通過する際に、冷媒の圧力は昇圧される。冷媒が昇圧されると、冷媒の温度は上がる。冷媒流路31には上述した熱交換器40が接続されるが、熱交換器40は、循環ポンプ32の下流側で冷媒流路31に接続される。これにより、熱交換器40は、冷媒を効率的に冷却できる。

[0061] 緩衝容器33は、リザーバタンク23内から引き込まれた冷媒を受け入れる受入口33Aと、冷媒を流出させる排出口33Bとを含む。これにより、リザーバタンク23内から冷媒流路31に引き込まれる液状の冷媒は、受入口33Aから排出口33Bを通して緩衝容器33を通過した後、密封容器10に流入する。

[0062] 緩衝容器33は一定量の液状の冷媒を貯留するようになっており、本実施の形態における緩衝容器33は、その貯留空間が満たされるように液状の冷媒を貯留する。緩衝容器33の貯留空間は液状の冷媒に満たされなくてもよい。ただし、緩衝容器33の貯留空間を占める液状の冷媒の量が多いほうが、排出口33Bから冷媒をスムーズに排出できる。この観点で、緩衝容器33の貯留空間は液状の冷媒で満たされることが好ましく、そうでない場合であっても、緩衝容器33の貯留空間における液状の冷媒が貯留される量は、上記貯留空間に対する体積割合で50%以上がよく、70%以上、80%以上、90%以上でもよい。

[0063] 本実施の形態では排出口33Bが、緩衝容器33の側壁の下部に設けられる。これにより、冷媒が緩衝容器33をスムーズに通過し得る。

[0064] 緩衝容器33は、液状の冷媒を受入口33Aから受け入れるが、本実施の形態では、リザーバタンク23が緩衝容器33の上方に配置されることにより、リザーバタンク23に貯留される液状の冷媒をその自重によって緩衝容器33にスムーズに送ることが可能となる。受入口33Aは、緩衝容器33

の上部、具体的には上壁に設けられ、これにより冷媒流路 3 1 におけるリザーバタンク 2 3 と緩衝容器 3 3 との間の部分の配管長が抑制され得る。

[0065] 緩衝容器 3 3 は、基本的には液状の冷媒を受入口 3 3 A から受け入れるが、液化していない気化冷媒を含む気体を受け入れる場合もある。ここで、緩衝容器 3 3 に受け入れられる液状の冷媒又は気体は比較的溫度が高い場合があるが、リザーバタンク 2 3 からの液状の冷媒又は気体が、液状の冷媒を貯留する緩衝容器 3 3 に流入される場合には、冷媒循環装置 3 0 が循環させる冷媒の溫度が不所望に乱れることが抑制され得る。すなわち、緩衝容器 3 3 に受け入れられる液状の冷媒又は気体は比較的溫度が高い場合であっても、当該冷媒又は気体は既に緩衝容器 3 3 に貯留された液状の冷媒に混ぜられた後に、緩衝容器 3 3 から流出し得るため、緩衝容器 3 3 の下流側を通流する冷媒の溫度が不所望に乱れることが抑制され得る。

[0066] 三方弁 3 4 は、冷媒流路 3 1 における後述の熱交換器 4 0 が接続する部分よりも下流側の部分に設けられている。三方弁 3 4 は、第 1 ポート 3 4 1、第 2 ポート 3 4 2 及び第 3 ポート 3 4 3 を含む。そして、三方弁 3 4 は、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 2 ポート 3 4 2 から流出する冷媒の流量と、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 3 ポート 3 4 3 から流出する冷媒の流量とを調節可能である。

[0067] 三方弁 3 4 は、第 1 ポート 3 4 1 及び第 2 ポート 3 4 2 の間の流路で冷媒流路 3 1 の一部を構成している。また、第 3 ポート 3 4 3 は、冷媒流路 3 1 における熱交換器 4 0 が接続する部分よりも上流側の部分と、バイパス流路 3 8 によって接続されている。詳しくは、バイパス流路 3 8 は、緩衝容器 3 3 と接続している。これにより、本実施の形態では、三方弁 3 4 は、冷媒流路 3 1 において熱交換器 4 0 で冷却された冷媒の一部又は全部を、密封容器 1 0 に送らずに、緩衝容器 3 3 に送ることができる。

[0068] 密封容器 1 0 内に貯留される液状の冷媒の量は、冷却システム S 1 の運転状態に応じて増減し得る。密封容器 1 0 内に貯留される液状の冷媒の量が過剰に多くなった場合には、減圧装置 2 0 が液状の冷媒を吸引するリスクが高

まる。例えばこのような場合に、三方弁34は、密封容器10側へ通流する冷媒の流量を減少させる又は遮断することにより、密封容器10内の液状の冷媒が過剰に多くなる状況を回避できる。

[0069] 本実施の形態における三方弁34は、比例式の三方弁である。三方弁34は、例えばステッピングモータやサーボモータ等の電気モータにより弁体の開度を調節する弁でもよく、この場合、コントローラ100に上記電気モータを電氣的に接続する。ただし、三方弁34は電磁比例式の三方弁でもよいし、二位置の三方弁でもよい。

[0070] また、上述したように密封容器10における第2流出口12は密封容器10内の液状の冷媒を排出するための開口であるが、本実施の形態では、第2流出口12は、ベント流路28により、冷媒流路31に、詳しくは緩衝容器33に接続されている。そして、ベント流路28にはベント制御弁29が設けられている。ベント流路28は、ベント制御弁29を開放されることで密封容器10内の液状の冷媒を緩衝容器33に直接的に流入させることができる。ベント制御弁29は、密封容器10内に貯留される液状の冷媒の量が過剰に多くなった場合に開放されてもよい。

[0071] 熱交換器40は、冷媒流路31における循環ポンプ32の下流側であって三方弁34の上流の部分に接続する。上述したように冷却システムS1は、密封容器10内で熱媒体通流装置50が通流させる熱媒体を冷却する。そして、冷媒循環装置30は、冷媒が熱媒体から吸収した熱を熱交換器40から放出する。すなわち、熱交換器40は、冷媒流路31を通流する液状の冷媒を冷却する。

[0072] 本実施の形態における熱交換器40は液冷式の熱交換器であり、冷媒を冷却するための冷却水を通流させる冷却水流路44に接続されている。冷却水は水でもよいし、他の液体でもよい。また、熱交換器40は空冷式の熱交換器でもよい。

[0073] 熱媒体通流装置50は、熱媒体を通流させる熱媒体流路51と、熱媒体流路51に設けられた熱交換部52及びポンプ53と、を含む。本実施の形態

における熱媒体通流装置 50 では、熱媒体流路 51 の上流端 51 A と下流端 51 B との間に熱交換部 52 及びポンプ 53 が設けられ、熱媒体流路 51 の上流端 51 A と下流端 51 B とが温度制御対象 T に接続される。これにより、熱媒体通流装置 50 は、熱媒体を温度制御対象 T を介して循環させる。

[0074] 詳しくは、本実施の形態における熱媒体流路 51 は、密封容器 10 における熱媒体入口 15 から密封容器 10 に入り込み、その後、熱媒体出口 16 から密封容器 10 の外部に延び出す。そして、熱媒体流路 51 の上流端 51 A、下流端 51 B 及び温度制御対象 T は密封容器 10 の外部に位置する。また、本実施の形態に係る熱媒体通流装置 50 では、熱交換部 52 が熱媒体流路 51 における密封容器 10 内に位置する部分に設けられ、すなわち、熱交換部 52 が密封容器 10 内に配置される。これにより、熱媒体流路 51 は、密封容器 10 の外部から熱交換部 52 に熱媒体を送り、熱交換部 52 で熱交換した熱媒体を密封容器 10 の外部に送る。

[0075] 熱媒体は特に限られるものではないが、本実施の形態では不凍液である。熱媒体は、密封容器 10 及び熱交換器 40 との間で循環される冷媒と同じでもよい。すなわち、熱媒体は、例えば大気圧下で且つ標準的な環境温度（例えば 25℃）の状態から例えば 0.1 気圧の環境で膨張された場合に、-5℃以下になる物質であり、望ましくは 0.01 気圧の環境で膨張された場合に -30℃以下になる物質である。冷媒と熱媒体とが同じである場合、製造効率やコスト面で有利になる。ただし、熱媒体は水等でもよい。

[0076] 熱交換部 52 は、通流させる熱媒体を密封容器 10 内の冷媒と熱交換させる。熱交換部 52 はフィンチューブ等の熱交換器で構成されてもよいし、管材から構成され密封容器 10 とともにシェルアンドチューブのような構成を形成するものでもよい。また、熱交換部 52 は、密封容器 10 の外面に接するような構造物でもよい。この場合、熱媒体通流装置 50 の全体が密封容器 10 の外部に配置されることになる。

[0077] ポンプ 53 は、熱媒体流路 51 における密封容器 10 の外部に位置する部分に設けられている。ポンプ 53 の形式は特に限られず、非容積式のポンプ

でもよいし、容積式のポンプでもよい。ポンプ53は、例えば交流モータ、ブラシレス直流モータ等、インバータにより制御されるモータ53Mを含む。そして、ポンプ53は、モータ53Mの回転数を調節することにより、液体の引き込み量を調節し、熱媒体流路51を通流する冷媒の流量を調節可能となっている。モータ53Mの回転数は、詳しくはモータ53Mに供給される交流電流の周波数を図示しないインバータにより調節することで行われる。

[0078] なお、本実施の形態では、熱媒体流路51の上流端51Aと下流端51Bとが温度制御対象Tに接続される。ただし、熱媒体通流装置50は熱媒体流路51の上流端51Aと下流端51Bとを接続する温度制御部を有し、温度制御部と温度制御対象Tとを熱交換させる構成でもよい。また、熱媒体通流装置50は、下流端50Bから熱媒体を放水する構成でもよい。

[0079] ガス供給装置60は、密封容器10のガス受入口14に接続し、密封容器10内にガスを供給することが可能となっている。ガス供給装置60は、例えば密封容器10内の圧力の急降下を抑制するために設けられている。詳しくは、ガス供給装置60は、密封容器10内に供給するガスの量を、密封容器10内の温度、密封容器10内の圧力、又は冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は温度制御対象Tの温度に応じて調節することができる。

[0080] ガス供給装置60は、詳しくは、ガス流路61と、ガス流路61に設けられたガス流量調節弁62と、ガス流路61の上流端に接続し、ガス流路61にガスを供給するガス源63と、を含む。ガス流量調節弁62は、コントローラ100に電氣的に接続され、コントローラ100によって制御される。ガス流量調節弁62は、例えばステッピングモータやサーボモータ等の電気モータにより弁体の開度を調節する弁でもよい。この場合、コントローラ100は上記電気モータに電氣的に接続する。なお、ガス流量調節弁62は電磁比例弁などでもよい。

[0081] ガス源63が貯蔵するガスは本実施の形態では窒素である。ただし、ガス源63が貯蔵するガスは、例えばネオン、アルゴン等の不活性ガスでもよい。

。供給されるガスは、密封容器 10 内に供給された際に、密封容器 10 内の冷媒と同程度の温度に制御されていることが望ましい。

[0082] また、冷却システム S1 は、密封容器 10 内の温度を検出する冷媒温度センサ 71 と、密封容器 10 の圧力を検出する圧力センサ 72 と、密封容器 10 内の液状の冷媒の液面高さを検出する液面センサ 73 と、密封容器 10 内で冷媒に冷却されて密封容器 10 の外部に流出した熱媒体の温度を検出する熱媒体温度センサ 74 と、をさらに備えている。

[0083] 冷媒温度センサ 71 は、密封容器 10 内における液状の冷媒の温度を検出し、検出した温度を密封容器 10 内の温度として特定する。ただし、冷媒温度センサ 71 は、密封容器 10 における気相部分の温度を検出し、これを密封容器 10 内の冷媒の温度として特定してもよい。

[0084] 圧力センサ 72 は、密封容器 10 内における気相部分 Gf の圧力を検出し、検出した圧力を密封容器 10 内の圧力として特定する。液面センサ 73 は、レーザ変位計等の光学式のセンサであり、冷媒の液面に密封容器 10 の上壁から光を照射するとともに、反射光を受光して、液面の高さを演算する。ただし、液面センサ 73 はフロート式のセンサでもよい。熱媒体温度センサ 74 は、熱媒体流路 51 における熱交換部 52 の下流側であって密封容器 10 の外部を通流する熱媒体の温度を検出する。各センサ（71～74）は、コントローラ 100 に電氣的に接続され、各センサの検出結果は、コントローラ 100 に送られる。

[0085] コントローラ 100 は、上述の各センサ（71～74）に電氣的に接続されるとともに、気体吸引ポンプ 22、流量制御弁 24、循環ポンプ 32、三方弁 34、ガス流量調節弁 62 に電氣的に接続されている。コントローラ 100 は、例えば CPU、ROM 等を有するコンピュータで構成されてもよい。この場合、ROM に格納されたプログラムに従い、各種処理を行う。なお、コントローラ 100 は、その他のプロセッサや電気回路（例えば FPGA（Field Programmable Gate Array）等）で構成されてもよい。

[0086] (コントローラの機能構成)

図2は、コントローラ100の機能構成を示すブロック図である。図2に示すように、コントローラ100は、センサ情報取得部101と、循環ポンプ調節部102と、バイパス量調節部103と、回転数調節部104と、弁開度調節部105と、ガス供給量調節部106と、を有している。なお、コントローラ100は、例えば一つのコンピュータで構成されてもよいし、複数のコンピュータで構成されてもよい。複数のコンピュータで構成される場合、上記複数の機能部は、複数のコンピュータに振り分けられてもよい。

[0087] センサ情報取得部101は、上述した冷媒温度センサ71、圧力センサ72と、液面センサ73、及び熱媒体温度センサ74からそれぞれの検出結果を取得する部分である。センサ情報取得部101は、取得した検出結果に関する情報の一つ又は複数を、バイパス量調節部103、回転数調節部104、弁開度調節部105及びガス供給量調節部106に提供する。

[0088] 循環ポンプ調節部102は、循環ポンプ32に電氣的に接続され、循環ポンプ32の動作を制御する部分である。詳しくは、循環ポンプ調節部102は、循環ポンプ32におけるモータ32Mにインバータを介して接続する。そして、循環ポンプ調節部102は、インバータからモータ32Mに供給する交流電流の周波数を調節することで、冷媒流路31を通流する冷媒の流量を調節する。

[0089] 循環ポンプ調節部102には、例えば図示しない入力装置により冷媒の目標流量が入力されて保持され、循環ポンプ調節部102は、冷媒の流量が目標流量に一致するように循環ポンプ32のモータ32Mの回転数を調節する。

[0090] バイパス量調節部103は、三方弁34に電氣的に接続され、三方弁34の動作を制御する部分である。詳しくは、バイパス量調節部103には、例えば図示しない入力装置により、密封容器10内の液状の冷媒の液面の目標高さが入力され、保持されている。そして、バイパス量調節部103は、密封容器10内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さとしての上記目標高さに

維持されるように、液面センサ 7 3 からの検出結果を使って三方弁 3 4 を制御する。すなわち、液面センサ 7 3 からの検出結果である液面高さと、目標高さととの差分に応じて、三方弁 3 4 が制御される。

[0091] 具体的に本実施の形態では、バイパス量調節部 1 0 3 からの指令に応じて、三方弁 3 4 は、密封容器 1 0 内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さを越えた場合に、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 2 ポート 3 4 2 から流出する冷媒の流量を減少させ、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 3 ポート 3 4 3 から流出する冷媒の流量を増加させる。また、三方弁 3 4 は、密封容器 1 0 内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さを下回った場合に、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 2 ポート 3 4 2 から流出する冷媒の流量を増加させ、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 3 ポート 3 4 3 から流出する前記冷媒の流量を減少させる。

[0092] なお、三方弁 3 4 は、密封容器 1 0 内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さを越えた場合に、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 2 ポート 3 4 2 から流出する冷媒の通流を遮断し、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 3 ポート 3 4 3 から流出する冷媒の通流を許容してもよい。一方で、三方弁 3 4 は、密封容器 1 0 内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さを下回った場合に、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 2 ポート 3 4 2 から流出する冷媒の通流を許容し、第 1 ポート 3 4 1 に流入し第 3 ポート 3 4 3 から流出する冷媒の通流を遮断してもよい。

[0093] 回転数調節部 1 0 4 は、気体吸引ポンプ 2 2 に電気的に接続され、気体吸引ポンプ 2 2 の動作を制御する部分である。詳しくは、回転数調節部 1 0 4 は、気体吸引ポンプ 2 2 におけるモータ 2 2 M にインバータを介して接続する。そして、回転数調節部 1 0 4 は、インバータからモータ 2 2 M に供給する交流電流の周波数を調節することで、減圧装置 2 0 における気体流路 2 1 を通流する気体の流量を調節する。

[0094] 回転数調節部 1 0 4 には、例えば図示しない入力装置により、熱媒体通流装置 5 0 が循環させる熱媒体の目標温度が入力されて保持され、回転数調節部 1 0 4 は、例えば熱媒体温度センサ 7 4 が検出する温度が目標温度に一致

するように気体吸引ポンプ２２のモータ２２Ｍの回転数を調節し、密封容器１０内を減圧する。すなわち、気体吸引ポンプ２２は、熱媒体温度センサ７４からの検出結果である熱媒体の温度と、目標温度との差分に応じて制御されてもよい。

[0095] なお、以上に説明した制御例では、熱媒体の温度が目標温度に一致するように減圧装置２０の気体吸引ポンプ２２が制御されるが、これに代えて、密封容器１０内の温度（冷媒温度センサ７１の検出結果）、温度制御対象Ｔの温度（図示しない温度センサの検出結果）、又は密封容器１０内の圧力が、それぞれの目標値に一致するように、モータ２２Ｍの回転数が調節されてもよい。

[0096] また、弁開度調節部１０５は、流量制御弁２４に電氣的に接続され、流量制御弁２４の動作を制御する部分である。弁開度調節部１０５は、流量制御弁２４の開度を調節することで、減圧装置２０における気体流路２１を通過する気体の流量を調節する。

[0097] 弁開度調節部１０５は、密封容器１０内の温度（冷媒温度センサ７１の検出結果）、密封容器１０内の圧力（圧力センサ７２の検出結果）、冷媒により冷却された熱媒体の温度（熱媒体温度センサ７４の検出結果）、又は温度制御対象Ｔの温度（図示しない温度センサの検出結果）に応じて、流量制御弁２４の開度を調節してもよい。本実施の形態では、このような流量制御弁２４の制御は、熱媒体の温度が目標温度に一致するように気体吸引ポンプ２２が制御され、気体吸引ポンプ２２の運転状態を一定に維持した後に行われてもよい。実際に冷却動作が開始すると、密封容器１０内の冷媒の温度又は圧力が変動する場合がある。このような場合に、目標温度又は目標圧力に一致するように、密封容器１０内の温度、密封容器１０内の圧力、冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は温度制御対象Ｔの温度に応じて流量制御弁２４の開度が調節されてもよい。

[0098] なお、気体吸引ポンプ２２及び流量制御弁２４は、同時に動作してもよい。また、気体吸引ポンプ２２の運転状態が一定に維持され、流量制御弁２４

の開度が調節されてもよいし、流量制御弁 24 の開度が一定に維持され、気体吸引ポンプ 22 の運転状態が制御されてもよい。

[0099] また、ガス供給量調節部 106 は、ガス流量調節弁 62 に電氣的に接続され、ガス流量調節弁 62 の動作を制御する部分である。ガス供給量調節部 106 は、ガス流量調節弁 62 の開度を調節することで、密封容器 10 内に供給するガスの量を調節する。

[0100] ガス供給装置 60 は、ガス供給量調節部 106 によりガス流量調節弁 62 を制御されることで、密封容器 10 内に供給するガスの量を、密封容器 10 内の温度（冷媒温度センサ 71 の検出結果）、密封容器 10 内の圧力（圧力センサ 72 の検出結果）、冷媒により冷却された熱媒体の温度（熱媒体温度センサ 74 の検出結果）、又は温度制御対象 T の温度（図示しない温度センサの検出結果）に応じて、調節してもよい。

[0101] （冷媒の構成）

次に、冷却システム S1 で循環させる冷媒について説明する。上述したように、本実施の形態では、冷媒として、例えば大気圧下で且つ標準的な环境温度（例えば 25℃）で液状となる物質であって、この状態から例えば 0.1 気圧の環境で膨張された場合に -5℃ 以下になる物質であり、望ましくは 0.01 気圧の環境で膨張された場合に -30℃ 以下になる物質である。また、冷媒は、地球温暖化係数（GWP）が 10 以下の低環境負荷の冷媒であることが望ましい。

[0102] 具体的に本実施の形態では、冷媒として、GWP が 2 で不燃性の、HFO-1336mzz-Z が好適に用いられ得る。この場合、熱媒体通流装置 50 が循環させる熱媒体も、HFO-1336mzz-Z でもよい。より具体的には、冷媒は、三井・ケマーズフロロプロダクツ株式会社製の Opteon SF33 (TM) でもよい。

[0103] 図 3 は、HFO-1336mzz-Z の p-h 線図である。HFO-1336mzz-Z は、大気圧近傍の約 0.100 MPa で、温度が常温に近い約 33℃ である状態 (St1) から、0.0149 MPa まで減圧されるこ

とで、約 -10°C まで降温する（S t 2）。また、 0.001MPa まで減圧されることで、約 -50°C 以下まで降温する。そして、約 -10°C まで降温した状態S t 2から、ある程度吸熱すると、蒸発し（S t 3）、この状態S t 3から、大気圧近傍の約 0.100MPa まで膨張されると、気相のまま常温よりも大きい約 50°C まで昇温する（S t 4）。そして、状態S t 4から常温で冷却されることで、気液混相に凝縮しつつ、約 33°C でまで冷却される。

[0104] このようなHFO-1336mzz-Zは、熱交換器40で冷却されて上記の状態S t 1に移行し、その後、密封容器10内に流入することで減圧されて、例えば状態S t 2に移行できる。そして、HFO-1336mzz-Zは、熱媒体と熱交換することで、状態S t 2から状態S t 3まで移行でき、その後、密封容器10から減圧装置20の外部に流出することで、状態S t 3から状態S t 4に移行できる。したがって、HFO-1336mzz-Zは、冷却システムS 1で好適に用いられ得る。

[0105] 冷却システムS 1で使用可能な冷媒は、他にも種々存在し、例えば水、エタノールでもよい。

[0106] （動作）

以下、冷却システムS 1の動作の一例について説明する。

[0107] まず、冷却システムS 1では、熱媒体通流装置50が循環させる熱媒体の目標温度が入力され、保持される。そして、密封容器10、リザーバタンク23、及び緩衝容器33に所定の量の液状の冷媒が充填された後、冷媒循環装置30の循環ポンプ32及び熱媒体通流装置50のポンプ53が駆動される。この際、密封容器10内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さになるように三方弁34及びベント制御弁29が制御される。そして、密封容器10内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さに一致した後、三方弁34は、第1ポート341に流入し第2ポート342から流出する冷媒の通流を遮断し、第1ポート341に流入し第3ポート343から流出する冷媒の通流を許容する。すなわち、冷媒循環装置30から液状の冷媒が密封容器10に流入し

ない状態を形成する。

[0108] その後、減圧装置 20 が駆動され、密封容器 10 内の圧力が減圧装置 20 によって大気圧よりも小さい圧力に減圧される。減圧装置 20 は、熱媒体温度センサ 74 が検出する温度が目標温度に一致するまで、気体吸引ポンプ 22 のモータ 22 M の回転数を調節される。そして、熱媒体温度センサ 74 が検出する温度が目標温度に一致した後は、気体吸引ポンプ 22 のモータ 22 M の回転数、流量制御弁 24 の開度及びガス供給装置 60 のガス流量調節弁 62 の開度のうちの少なくともいずれかが、目標温度の維持のために制御される。以上により、起動運転が完了する。熱媒体温度センサ 74 が検出する温度が目標温度に一致するように気体吸引ポンプ 22 のモータ 22 M の回転数が調節された後の状態では、密封容器 10 内の圧力が減圧装置 20 によって大気圧よりも小さい圧力に減圧され、密封容器 10 外である冷媒循環装置 30 における冷媒通流環境及び熱交換器 40 の冷媒通流環境は、密封容器 10 内の圧力よりも大きい圧力であって、例えば大気圧になるように設定される。ただし、冷媒循環装置 30 における冷媒通流環境及び熱交換器 40 の冷媒通流環境は、厳密に大気圧でなくてもよく、大気圧よりやや低い圧力でもよい。

[0109] その後は、熱媒体通流装置 50 が通流させる熱媒体が温度制御対象 T を冷却する状態に移行される。冷媒は、密封容器 10 から流出して、冷却部 25 及び熱交換器 40 で冷却された後、密封容器 10 に再度流入する。これにより、熱媒体が、冷媒によって継続的に冷却される。

[0110] すなわち、図 3 を使って冷却システム S1 における運転状態を説明すると、熱媒体の熱を吸収した冷媒は、密封容器 10 から流出した後、冷却部 25 及び熱交換器 40 で冷却されて図 3 の状態 S t 4 から状態 S t 1 に移行する。その後、冷媒は、密封容器 10 内に流入することで減圧されて、状態 S t 2 に移行する。そして、冷媒は、密封容器 10 で熱媒体と熱交換することで、状態 S t 2 から状態 S t 3 まで移行する。その後、冷媒は、密封容器 10 から減圧装置 20 外に流出することで、状態 S t 3 から状態 S t 4 に移行す

る。そして、冷媒は、冷却部 25 及び熱交換器 40 で冷却され、状態 S t 4 から状態 S t 1 に移行する。これにより、熱媒体が、冷媒によって継続的に冷却される。

[0111] 以上に説明した第 1 の実施の形態に係る冷却システム S 1 は、第 1 流出口 11 及び流入口 13 を含み、液状の冷媒を貯留する密封容器 10 と、第 1 流出口 11 に接続し、第 1 流出口 11 を通して密封容器 10 から気体を吸引することで密封容器 10 内の圧力を大気圧よりも小さい圧力に調節する減圧装置 20 と、減圧装置 20 と流入口 13 とに接続される冷媒流路 31 を含み、減圧装置 20 が密封容器 10 から吸引した気体から液体した液状の冷媒を、流入口 13 を通して密封容器 10 に流入させる冷媒循環装置 30 と、を備え、密封容器 10 内の冷媒により、温度制御対象 T を冷却する。

[0112] このような冷却システム S 1 によれば、従来の冷凍方式では使用されることがなかった物質を熱サイクルの冷媒として使用できるようになる、又は、熱サイクルの冷媒として使用できる物質の範囲を拡大させることができる。

[0113] すなわち、上述したように本実施の形態では、一例であるが、冷媒として、例えば大気圧下で且つ標準的な環境温度（例えば 25℃）で液状となる物質であって、この状態から例えば 0.1 気圧の環境で膨張された場合に -5℃以下になる物質を用いることができる。これに対して、上記の物質を、これまで普及してきた蒸気圧縮式の冷凍サイクルで使用すると、例えば圧縮機が液を圧縮することになるため、圧縮機が適正に機能せず、蒸発器において物質が蒸発しない。したがって、蒸気圧縮式の冷凍サイクルでは、上記の冷媒は適合しない。これに対して、冷却システム S 1 は、圧縮を利用せず、上記の冷媒を密封容器 10 内で減圧させることで熱媒体を冷却することが可能となり、熱媒体の熱を冷却部 25 及び熱交換器 40 から放出でき、熱サイクルを実現できる。したがって、本実施の形態によれば、従来の冷凍方式では使用されることがなかった物質を熱サイクルの冷媒として使用できるようになる、又は、熱サイクルの冷媒として使用できる物質の範囲を拡大させることができる。なお、本実施の形態では、減圧装置 20 が冷却部 25 を備える

ことで、冷却部 25 と熱交換器 40 とで放熱が行われる。一方で、熱交換器 40 を設けずに冷却部 25 だけで放熱を行う構成が採用されてもよいし、冷却部 25 を設けずに熱交換器 40 だけで放熱を行ってもよい。

[0114] そして、冷却システム S1 は、上述したように、例えば GWP が 2 で不燃性の HFO-1336mzz-Z 等を冷媒として使用できるようにする。これにより、蒸気圧縮式の冷凍サイクルでは、現状実現できていない低 GWP 且つ安全性を確保した冷却動作を実現できる。このような低 GWP で、環境負荷が小さく、且つ安全性を確保した冷却システム S1 は、他の冷却方式を含めて知られていない。よって、このような冷却システム S1 の実現は、地球環境保護に大きく貢献する可能性を有している。また、冷却システム S1 では圧縮機が用いられないため、潤滑油が冷媒側へ流出する状況が抑制され、この点でも有益である。

[0115] また、本実施の形態では、冷却システム S1 を経済的及び安定的に運転させるための種々の工夫を有する。

[0116] 例えば、減圧装置 20 は、第 1 流出口 11 に接続される気体流路 21 と、気体流路 21 に設けられ、密封容器 10 から気体流路 21 に気体を吸引する気体吸引ポンプ 22 と、気体流路 21 の下流端 21B に接続され、下流端 21B から流出する気体を貯留するリザーバタンク 23 と、を含む。これにより、リザーバタンク 23 で気体を気化させ易くなり、気体の状態の冷媒が冷媒循環装置 30 により密封容器 10 に戻る状況が抑制される。

[0117] 特に本実施の形態では、リザーバタンク 23 内の圧力が、密封容器 10 内の圧力よりも高く、リザーバタンク 23 は、気体流路 21 の下流端 21B から流出する気体の少なくとも一部を液状の冷媒に液化し、液状の冷媒を貯留する。これにより、気体の状態の冷媒が冷媒循環装置 30 により密封容器 10 に戻る状況が効果的に抑制され得る。

[0118] また、冷媒循環装置 30 は、冷媒流路 31 の一部を形成するように冷媒流路 31 に設けられ、液状の冷媒を貯留する緩衝容器 33 をさらに含む。そして、リザーバタンク 23 に貯留される気体又は気体の少なくとも一部が液化

した液状の冷媒を緩衝容器 33 に流入させる。この構成では、リザーバタンク 23 からの気体又は液状の冷媒が、緩衝容器 33 に貯留された液状の冷媒に混ぜられた後に、緩衝容器 33 から流出し得る。これにより、緩衝容器 33 の下流側を通流する冷媒の温度が不所望に乱れることが抑制され得る。

[0119] また、冷媒循環装置 30 は、冷媒流路 31 における熱交換器 40 が接続する部分よりも下流側の部分に設けられ、第 1 ポート 341、第 2 ポート 342 及び第 3 ポート 343 を含む三方弁 34 を含む。そして、三方弁 34 は、第 1 ポート 341 及び第 2 ポート 342 の間の流路で冷媒流路 31 の一部を構成する。また、第 3 ポート 343 と、冷媒流路 31 における熱交換器 40 が接続する部分よりも上流側の部分（本実施の形態では緩衝容器 33）とは、バイパス流路 38 によって接続されている。

[0120] これにより、冷却システム S1 を安定的に運転させることが可能となり、温度制御の精度を向上できる。例えば、密封容器 10 内に貯留される液状の冷媒の量が過剰に多くなった場合には、減圧装置 20 が液状の冷媒を吸引するリスクが高まる。この場合、減圧装置 20 が不安定になるか又は減圧装置 20 が損傷するリスクがある。例えばこのような場合に、三方弁 34 は、密封容器 10 側へ通流する冷媒の流量を減少させる又は遮断することにより、密封容器 10 内の液状の冷媒が過剰に多くなる状況を回避できる。

[0121] <第 2 の実施の形態>

次に、第 2 の実施の形態に係る冷却システム S2 について図 4 を参照しつつ説明する。なお、本実施の形態における構成部分のうちの第 1 の実施の形態と同一のものには同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0122] 本実施の形態は、密封容器 10 と緩衝容器 33 とを接続するベント流路 28 及びベント流路 28 上のベント制御弁 29 が設けられていない点で第 1 の実施の形態と異なる。このような第 2 の実施の形態に係る冷却システム S2 によっても、第 1 の実施の形態と同様の効果が得られる。そして、本実施の形態によれば、装置構成を簡素化できる。

[0123] <第 3 の実施の形態>

次に、第３の実施の形態に係る冷却システムＳ３について図５を参照しつつ説明する。なお、本実施の形態における構成部分のうちの第１及び第２の実施の形態と同一のものには同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0124] 本実施の形態では、冷媒循環装置３０が、循環ポンプ３２及び三方弁３４を備えていない。そして、緩衝容器３３の内部に熱交換器４０が配置されている。なお、熱交換器４０は緩衝容器３３の外壁と接するような構成でもよいし、冷媒流路３１における緩衝容器３３の上流側又は下流側の部分に接続されてもよい。

[0125] また、本実施の形態では冷媒流路３１にリターン量調整弁８０が設けられる。リターン量調整弁８０は、リザーバタンク２３から密封容器１０に流入する液状の冷媒の流量を調整する弁である。詳しくは、リターン量調整弁８０はコントローラ１００により制御され、例えば密封容器１０内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さに維持されるように密封容器１０に流入する液状の冷媒の流量を調整する。リターン量調整弁８０は開閉弁でもよいし、比例弁でもよい。

[0126] 以下、冷却システムＳ３の動作の一例について説明する。

[0127] まず、冷却システムＳ３では、熱媒体通流装置５０が循環させる熱媒体の目標温度が入力され、保持される。そして、密封容器１０、リザーバタンク２３、及び緩衝容器３３に所定の量の液状の冷媒が充填された後、熱媒体通流装置５０のポンプ５３が駆動される。この際、密封容器１０内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さになるようにリターン量調整弁８０が制御される。本実施の形態では、リターン量調整弁８０が開くと、液状の冷媒が自重によって自然に密封容器１０に流入するが、循環ポンプ３２が設けられてもよい。そして、密封容器１０内の液状の冷媒の液面高さが所定の高さに一致した後、リターン量調整弁８０は閉じられる。

[0128] その後、減圧装置２０が駆動され、密封容器１０内の圧力が減圧装置２０によって大気圧よりも小さい圧力に減圧される。減圧装置２０は、熱媒体温度センサ７４が検出する温度が目標温度に一致するまで、気体吸引ポンプ２

2のモータ22Mの回転数を調節される。そして、熱媒体温度センサ74が検出する温度が目標温度に一致した後は、気体吸引ポンプ22のモータ22Mの回転数、流量制御弁24の開度及びガス供給装置60のガス流量調節弁62の開度のうちの少なくともいずれかが、目標温度の維持のために制御される。以上により、起動運転が完了する。熱媒体温度センサ74が検出する温度が目標温度に一致するように気体吸引ポンプ22のモータ22Mの回転数が調節された後の状態では、密封容器10内の圧力が減圧装置20によって大気圧よりも小さい圧力に減圧され、密封容器10外である冷媒循環装置30における冷媒通流環境は、密封容器10内の圧力よりも大きい圧力であって、例えば大気圧になるように設定される。ただし、冷媒循環装置30における冷媒通流環境は、厳密に大気圧でなくてもよく、大気圧よりやや低い圧力でもよい。

[0129] その後は、熱媒体通流装置50が通流させる熱媒体が温度制御対象Tを冷却する状態に移行される。冷媒は、密封容器10から流出して、冷却部25及び熱交換器40で冷却された後、密封容器10に再度流入する。これにより、熱媒体が、冷媒によって継続的に冷却される。

[0130] このような第3の実施の形態に係る冷却システムS3によっても、第1の実施の形態と同様の効果が得られるとともに、装置構成を簡素化できる。

[0131] <第4の実施の形態>

次に、第4の実施の形態に係る冷却システムS4について図6を参照しつつ説明する。なお、本実施の形態における構成部分のうちの第1乃至第3の実施の形態と同一のものには同一の符号を付し、重複する説明は省略する。

[0132] 本実施の形態は、第3の実施の形態における冷媒循環装置30から緩衝容器33を取り除くとともに、熱交換器40も使用しないことで、さらなる簡略化を図っている。冷却システムS4は、第3の実施の形態で説明した動作で運転することができる。このような実施の形態は、装置の簡素化の点で有益である。

[0133] 以上、本発明の各実施の形態を説明したが、本発明は以上に説明した実施

の形態に限られるものではなく、上述の実施の形態にはさらなる種々の変更を加えることができる。

請求の範囲

- [請求項1] 流出口及び流入口を含み、液状の冷媒を貯留する容器と、
前記流出口に接続し、前記流出口を通して前記容器から気体を吸引することで前記容器内の圧力を大気圧よりも小さい圧力に調節する減圧装置と、
前記減圧装置と前記流入口とに接続される冷媒流路を含み、前記減圧装置が前記容器から吸引した前記気体から液化した液状の前記冷媒を、前記流入口を通して前記容器に流入させる冷媒循環装置と、を備え、
前記容器内の前記冷媒により、温度制御対象を冷却する、冷却システム。
- [請求項2] 前記減圧装置は、
前記流出口に接続される気体流路と、
前記気体流路に設けられ、前記容器から前記気体流路に前記気体を吸引する気体吸引ポンプと、
前記気体流路に接続され、前記気体流路から流出する前記気体及び／又は前記気体から液化した液状の前記冷媒を貯留するリザーバタンクと、を含み、
前記冷媒流路は、前記リザーバタンクに接続する、請求項1に記載の冷却システム。
- [請求項3] 前記リザーバタンク内の圧力は、前記容器内の圧力よりも高く、前記リザーバタンクは、前記気体流路から流出する前記気体の少なくとも一部を液状の前記冷媒に液化し、液状の前記冷媒を貯留する、請求項2に記載の冷却システム。
- [請求項4] 前記冷媒循環装置は、前記冷媒流路に設けられ、前記リザーバタンクから液状の前記冷媒を前記冷媒流路に引き込む循環ポンプをさらに含む、請求項3に記載の冷却システム。
- [請求項5] 前記減圧装置は、前記気体流路における前記気体吸引ポンプの下流

側の部分及び／又は前記リザーバタンクを冷却する冷却部をさらに含む、請求項3に記載の冷却システム。

[請求項6] 前記冷媒循環装置は、前記冷媒流路の一部を形成するように前記冷媒流路に設けられ、液状の前記冷媒を貯留する緩衝容器をさらに含み、

前記リザーバタンクから前記冷媒流路に引き込まれる液状の前記冷媒は、前記緩衝容器を通過した後、前記容器に流入する、請求項3に記載の冷却システム。

[請求項7] 前記冷媒流路に接続し、前記冷媒流路を通流する液状の前記冷媒を冷却する熱交換器をさらに備え、

前記緩衝容器は、前記冷媒流路における前記熱交換器が接続する部分よりも上流側の部分に設けられる、請求項6に記載の冷却システム。

[請求項8] 前記リザーバタンクは、前記緩衝容器の上方に配置される、請求項6に記載の冷却システム。

[請求項9] 前記気体吸引ポンプは、モータの回転により前記気体を吸引するように構成され、

前記気体吸引ポンプは、前記モータの回転数を、前記容器内の温度、前記容器内の圧力、前記冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は前記温度制御対象の温度に応じて調節する、請求項2に記載の冷却システム。

[請求項10] 前記気体流路における前記気体吸引ポンプの上流側又は下流側の部分に、開度の調節により前記気体流路を通流する前記気体の流量を制御する流量制御弁が設けられ、

前記流量制御弁は、その開度を、前記容器内の温度、前記容器内の圧力、又は前記冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は前記温度制御対象の温度に応じて調節する、請求項2に記載の冷却システム。

[請求項11] 前記容器内にガスを供給するガス供給装置をさらに備え、

前記ガス供給装置は、前記容器内に供給する前記ガスの量を、前記容器内の温度、前記容器内の圧力、前記冷媒により冷却された熱媒体の温度、又は前記温度制御対象の温度に応じて調節する、請求項 10 に記載の冷却システム。

[請求項12] 前記冷媒流路に接続し、前記冷媒流路を通流する液状の前記冷媒を冷却する熱交換器をさらに備え、

前記冷媒循環装置は、前記冷媒流路における前記熱交換器が接続する部分よりも下流側の部分に設けられ、第 1 ポート、第 2 ポート及び第 3 ポートを含む三方弁を含み、

前記三方弁は、前記第 1 ポートに流入し前記第 2 ポートから流出する前記冷媒の流量と、前記第 1 ポートに流入し前記第 3 ポートから流出する前記冷媒の流量とを調節可能であり、

前記三方弁は、前記第 1 ポート及び前記第 2 ポートの間の流路で前記冷媒流路の一部を構成し、

前記第 3 ポートと、前記冷媒流路における前記熱交換器が接続する部分よりも上流側の部分とは、バイパス流路によって接続されている、請求項 1 に記載の冷却システム。

[請求項13] 前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを越えた場合に、前記第 1 ポートに流入し前記第 2 ポートから流出する前記冷媒の流量を減少させ、前記第 1 ポートに流入し前記第 3 ポートから流出する前記冷媒の流量を増加させ、

前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを下回った場合に、前記第 1 ポートに流入し前記第 2 ポートから流出する前記冷媒の流量を増加させ、前記第 1 ポートに流入し前記第 3 ポートから流出する前記冷媒の流量を減少させる、請求項 12 に記載の冷却システム。

[請求項14] 前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを越えた場合に、前記第 1 ポートに流入し前記第 2 ポートから流出

する前記冷媒の通流を遮断し、前記第 1 ポートに流入し前記第 3 ポートから流出する前記冷媒の通流を許容し、

前記三方弁は、前記容器内の液状の前記冷媒の液面高さが所定の高さを下回った場合に、前記第 1 ポートに流入し前記第 2 ポートから流出する前記冷媒の通流を許容し、前記第 1 ポートに流入し前記第 3 ポートから流出する前記冷媒の通流を遮断する、請求項 12 に記載の冷却システム。

[請求項15] 熱媒体を通流させる熱媒体流路を含む熱媒体通流装置をさらに備え、

前記熱媒体流路は、前記容器内に配置され、前記熱媒体と前記冷媒とを熱交換させる熱交換部を含み、

前記熱媒体流路は、前記容器の外部から前記熱交換部に前記熱媒体を送り、前記熱交換部で熱交換した前記熱媒体を前記容器の外部に送る、請求項 1 に記載の冷却システム。

[請求項16] 前記冷媒は、大気圧下での沸点が 30℃以上となる物質である、請求項 1 に記載の冷却システム。

[請求項17] 前記冷媒は、GWP が 10 以下である、請求項 16 に記載の冷却システム。

[請求項18] 前記冷媒は、HFO-1336mzz-Zである、請求項 17 に記載の冷却システム。