

明 細 書

発明の名称： 冷凍システム

技術分野

[0001] 本開示は、ブレイトン冷凍サイクルを利用した冷凍システムに関する。

背景技術

[0002] 冷凍サイクルとして、ブレイトン冷凍サイクルを利用した冷凍システムが知られている。ブレイトン冷凍サイクルは、断熱圧縮工程、等圧加熱工程、断熱膨張行程、及び、等圧冷却工程から構成される熱力学的サイクルであり、冷媒が循環する冷媒ライン上に各工程に対応する要素が配置されて構成される。冷凍サイクルを構成するこれらの要素は、冷凍機に要求される冷凍能力に応じて設計される。

[0003] 特許文献 1 には、ブレイトン冷凍サイクルを利用した冷凍システムの一例が開示されている。特許文献 1 では、断熱圧縮工程に対応する圧縮機ユニットとして、冷媒ライン上に直列接続された複数段の圧縮機を備えることで適切な圧縮比を実現し、要求される冷凍能力に対応している。また複数段の圧縮機の一部は、断熱膨張行程に対応する膨張機と共通の回転軸を有する膨張機一体型圧縮機として構成されることで、膨張機で発生する動力を圧縮機を駆動する動力の一部として利用し、効率向上が図られている。更に特許文献 1 では、圧縮機ユニットを構成する各圧縮機を並列化することで、冷凍サイクルを循環する冷媒量を増加し、冷凍能力を向上している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献 1：特開 2014-219125 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] この種の冷凍システムにおいて、冷凍能力が異なる製品仕様のバリエーションを展開しようとする場合、一般的に、冷凍システムの各構成要素を新規

設計しており、開発に要する費用や時間の削減が課題となっている。例えば冷凍システムを構成する圧縮機や膨張機は、冷凍システムの製品仕様に依りて異なる型式を用意しておく必要があり、既存の型式で対応が難しい場合には、新たな型式を新規開発しなければならず、開発には多くの費用や時間がかかっていた。

[0006] このような新規開発に要する費用や時間を削減するための手法として、例えば既存の冷凍機より高い冷凍能力を有する冷凍機を開発する場合、前述の特許文献1のように、冷凍サイクルの既存構成を並列化することが考えられるが、必要な部品点数や専有面積の増加が避けられず、十分とは言えない。

[0007] 本開示の少なくとも一実施形態は上述の事情に鑑みなされたものであり、要求される冷凍能力に応じて開発に要する費用や時間、及び、設置時の専有面積を抑制しつつ柔軟な設計変更が可能な冷凍システム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

[0008] 本開示の少なくとも一実施形態に係る冷凍システムは、上記課題を解決するために、

冷媒経路上に配置された圧縮機ユニットによって圧縮された冷媒を用いて冷熱を発生させるブレイトンサイクルを利用した冷凍システムであって、

前記圧縮機ユニットは、

前記冷媒経路に対して互いに並列に配置された複数台の圧縮機と、

前記複数台の圧縮機をそれぞれ駆動するための複数の第1モータと、

前記圧縮機ユニットで圧縮された前記冷媒を膨張可能な膨張機と一体的に構成された膨張機一体型圧縮機と、

前記膨張機一体型圧縮機を駆動するための第2モータと、

を含み、

前記複数台の圧縮機は、前記膨張機一体型圧縮機より多い台数を有する。

発明の効果

[0009] 本開示の少なくとも一実施形態によれば、要求される冷凍能力に応じて開

発に要する費用や時間、及び、設置時の専有面積を抑制しつつ柔軟な設計変更が可能な冷凍システムを提供できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]一実施形態に係る冷凍システムの全体構成を概略的に示す図である。

[図2]図1の同軸圧縮機の断面構造を概略的に示す図である。

[図3]図1の膨張機一体型圧縮機の断面構造を概略的に示す図である。

[図4]図1の冷凍システムの起動方法を示すフローチャートである。

[図5A]2台の同軸圧縮機及び1台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの一態様を示す模式図である。

[図5B]2台の同軸圧縮機及び1台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

[図6A]3台の同軸圧縮機及び1台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの一態様を示す模式図である。

[図6B]3台の同軸圧縮機及び1台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

[図6C]3台の同軸圧縮機及び1台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

[図7A]3台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの一態様を示す模式図である。

[図7B]3台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

[図7C]3台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

[図8A]4台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの一態様を示す模式図である。

[図8B]4台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

[図8C]4台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システ

ムの他の態様を示す模式図である。

[図8D] 4台の同軸圧縮機及び2台の膨張機一体型圧縮機を備える冷凍システムの他の態様を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0011] 以下、図面を参照しながら、本開示の幾つかの実施形態に係る冷凍システムについて説明する。

ただし、これらの実施形態に記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状及びその相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

例えば、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

例えば、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

一方、一つの構成要素を「備える」、「具える」、「具備する」、「含む」、又は「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

[0012] まず図1を参照して一実施形態に係る冷凍システム100の全体構成について説明する。図1は一実施形態に係る冷凍システム100の全体構成を概略的に示す図である。

[0013] 冷凍システム100は、冷媒が流れる冷媒経路101上に、冷媒を圧縮するための圧縮機ユニット102（110A、110B、110C）と、冷媒

を膨張する膨張機１０３と、冷媒と冷却対象との熱交換を行うための熱交換器からなる冷却部１０４と、冷却部１０４を通過後の冷媒に残存する冷熱を回収するための冷熱回収熱交換器１０５とを順に備えることにより、定常循環流れの冷凍サイクルによる向流型熱交換器方式のブレイトンサイクルが形成されている。

[0014] 冷凍システム１００は、冷却対象として、極低温状態で超電導を発現可能な超電導体を利用した超電導機器１０６を有する。超電導機器１０６は、例えば超電導ケーブルである。冷凍システム１００は、超電導機器１０６の極低温状態を維持するために冷却部１０４によって冷却された液体窒素が循環する冷媒経路１０７を有する。冷媒経路１０７は、冷却部１０４を介して冷凍システム１００の冷媒経路１０１を流れる冷媒と熱交換可能に構成されており、液体窒素を循環させるためのポンプ１０８が設けられている。これにより、超電導機器１０６の熱負荷によって昇温された冷媒経路１０７を流れる液体窒素が、冷凍システム１００によって冷却された冷媒経路１０１を流れる冷媒と熱交換することによって、冷却されるようになっている。

[0015] 尚、冷凍システム１００の冷媒経路１０１には冷媒としてネオンなどが用いられるが、これに限られるものではなく、冷却温度などに応じて適宜、ガスの種類を変更可能である。

[0016] 冷凍システム１００では、比較的低温な冷媒が流れる膨張機１０３、冷却部１０４及び冷熱回収熱交換器１０５は、外部と断熱可能なコールドボックス１０９内に收容される。

コールドボックス１０９は、例えば内外表面間に真空の断熱層を有することにより、外部からの熱侵入を防止し、コールドボックス１０９内に收容される膨張機１０３、冷却部１０４及び冷熱回収熱交換器１０５における熱損失を低減する。一方で、冷凍システム１００のうち圧縮機ユニット１０２は、比較的高温な冷媒が流れるため、上述のコールドボックス１０９の外部に配置されている。

[0017] コールドボックス１０９は、圧縮機ユニット１０２に比べて冷却対象であ

る超電導機器 106 に近い位置に配置される。これにより、コールドボックス 109 で発生させた冷熱を、少ない損失で冷却対象に供給することができ、良好な冷凍効率を達成することができる。圧縮機ユニット 102 はコールドボックス 109 と別体として構成されているため、レイアウトの自由度が上がり、例えばコールドボックス上に配置することによって冷凍システムの設置スペースを削減することができる。

[0018] 圧縮機ユニット 102 は、冷媒経路 101 に対して互いに直列に接続された複数の圧縮機 110 を含む。本実施形態では、圧縮機ユニット 102 は、冷媒経路 101 に対して互いに直列に接続された、流体を圧縮可能な低段圧縮機 110A と、低段圧縮機 110A で圧縮された流体を更に圧縮可能な中段圧縮機 110B と、中段圧縮機 110B で圧縮された流体を更に圧縮可能な高段圧縮機 110C とを含むことで、3 段階にわたって多段圧縮可能に構成される。

尚、圧縮機ユニット 102 における圧縮段数は任意でもよい。

[0019] また圧縮機ユニット 102 のうち、複数の圧縮機 110 の各々の下流側には、断熱圧縮によって昇温した冷媒を、冷却水との間で熱交換することにより冷却するための熱交換器 112 が設けられる。具体的には、低段圧縮機 110A の下流側には熱交換器 112A が配置され、中段圧縮機 110B の下流側には熱交換器 112B が配置され、高段圧縮機 110C の下流側には熱交換器 112C が配置されている。

[0020] 冷媒経路 101 を流れる冷媒は、まず最上流側にある低段圧縮機 110A によって断熱圧縮されて温度が上昇した後、下流側に設けられた熱交換器 112A において冷却水と熱交換することにより冷却される。その後、冷媒は再び中段圧縮機 110B によって断熱圧縮されて温度が上昇した後、下流側に設けられた熱交換器 112B において冷却水と熱交換することにより冷却される。そして更に、冷媒は再度、高段圧縮機 110C によって断熱圧縮されて温度が上昇した後、下流側に設けられた熱交換器 112C において冷却水と熱交換することにより冷却される。

- [0021] このように圧縮機ユニット１０２では、複数段に亘って圧縮機１１０による断熱圧縮と、熱交換器１１２による冷却とを繰り返すことによって効率向上が図られている。すなわち、断熱圧縮と冷却との繰り返しを複数段に亘って行うことで、ブレイトンサイクルの圧縮工程を理想的な等温圧縮に近づけている。この段数は多い程、等温圧縮に近似することになるが、段数が増えることによる圧縮比の選択、装置構成の複雑化、運用の簡易性などを考慮して段数を決定するとよい。
- [0022] 圧縮機ユニット１０２で圧縮された冷媒は、冷熱回収熱交換器１０５によって冷却された後、膨張機１０３によって断熱膨張され、冷熱を生成する。膨張機１０３から排出された冷媒は、冷却部１０４において、冷却対象側の冷媒経路１０７を流れる液体窒素と熱交換され、熱負荷によって温度が上昇する。
- [0023] 冷却部１０４で昇温された冷媒は、冷熱回収熱交換器１０５に導入され、圧縮機ユニット１０２内の熱交換器１１２Ｃを通った高温の圧縮冷媒と熱交換することにより、残存する冷熱が回収される。これにより、膨張機１０３に導入される冷媒の温度が低下して、より低温の冷熱を得ることができる。
- [0024] このように冷凍システム１００では、圧縮機ユニット１０２に含まれる複数の圧縮機１１０や膨張機１０３のような複数の回転機を用いてブレイトンサイクルが構成されている。ここで低段圧縮機１１０Ａ及び高段圧縮機１１０Ｃは、共通の動力源である第１モータ１１４Ａの出力軸１１６Ａ（図２を参照）の両端にそれぞれ連結された同軸圧縮機１１８として構成されることで、部品点数の削減、並びに、少ない設置スペースへの敷設が可能になっている。中段圧縮機１１０Ｂ及び膨張機１０３もまた、共通の動力源である第２モータ１１４Ｂの出力軸１１６Ｂ（図３を参照）の両端にそれぞれ連結された膨張機一体型圧縮機１２０として構成されることで、部品点数の削減、並びに、少ない設置スペースへの敷設が可能になり、更に、膨張機１０３で発生した動力が中段圧縮機１１０Ｂの圧縮動力に寄与することによって、効率化が図られている。

[0025] 尚、圧縮機ユニット１０２に含まれる複数の圧縮機１１０のうち、どれを同軸圧縮機１１８として構成し、またどれを膨張機一体型圧縮機１２０として構成するかは任意に変更可能である。

[0026] ここで同軸圧縮機１１８及び膨張機一体型圧縮機１２０の構成について、図２及び図３を参照して説明する。図２は図１の同軸圧縮機１１８の断面構造を概略的に示す図であり、図３は図１の膨張機一体型圧縮機１２０の断面構造を概略的に示す図である。

[0027] 図２に示すように、同軸圧縮機１１８は、第１モータ１１４Ａの出力軸１１６Ａの両側に低段圧縮機１１０Ａ及び高段圧縮機１１０Ｃが連結されて構成される。本実施形態では第１モータ１１４Ａは、低段圧縮機１１０Ａ及び高段圧縮機１１０Ｃの間に配置されているが、他の実施形態では、低段圧縮機１１０Ａ及び高段圧縮機１１０Ｃの外側に配置されていてもよい（例えば、出力軸１１６Ａの軸方向において、第１モータ１１４Ａ、低段圧縮機１１０Ａ、高段圧縮機１１０Ｃの順に配置されていてもよい）。

[0028] 第１モータ１１４Ａの出力軸１１６Ａは、低段圧縮機１１０Ａ及び高段圧縮機１１０Ｃの間に配置されたラジアル磁気軸受１２２－１及びスラスト磁気軸受１２６－１によって、モータケーシング１３０－１に対して非接触で回転可能に支持される。ラジアル磁気軸受１２２－１は、出力軸１１６Ａの軸方向において第１モータ１１４Ａの両側に設けられ、磁力によって出力軸１１６Ａを浮上させてラジアル荷重を負担する。スラスト磁気軸受１２６－１は、出力軸１１６Ａの軸方向において第１モータ１１４Ａの一方の側（図２に示す実施形態では第１モータ１１４Ａ及び低段圧縮機１１０Ａとの間）に設けられ、出力軸１１６Ａに設けられたアキシャルロータディスク１２７－１との間にギャップが形成されるように磁力によって出力軸１１６Ａのスラスト荷重を負担する。

尚、スラスト磁気軸受１２６－１及びアキシャルロータディスク１２７－１は、高段圧縮機１１０Ｃ及び第１モータ１１４Ａの間に設けられてもよい。また本実施形態では、アキシャルロータディスク１２７－１は主に流体摩

擦損失を抑制するために第1モータ114Aの一方の側に設けられているが、第1モータ114Aの出力軸116Aの外径が大きい場合には、組み立て上の理由等により、両側に設けられていてもよい。

[0029] 同軸圧縮機118のケーシング128-1は、出力軸116Aの軸方向に沿って、モータケーシング130-1と、低段圧縮機用インペラケーシング132-1と、高段圧縮機用インペラケーシング132-3とが互いに連結されて構成される。モータケーシング130-1は、第1モータ114Aの外殻を規定するケーシングであり、内部に出力軸116Aと一体的に構成されたロータ136Aと、ロータ136Aの周りに配置されたステータ138Aとを収容する（ロータ136Aは出力軸116Aと一体的に構成されている）。低段圧縮機用インペラケーシング132-1は、出力軸116Aの一端側に取り付けられ低段圧縮機110Aのインペラ140Aを収容する。高段圧縮機用インペラケーシング132-3は、出力軸116Aの他端側に取り付けられた高段圧縮機110Cのインペラ140Cを収容する。

[0030] 図3に示すように、膨張機一体型圧縮機120は、第2モータ114Bの出力軸116Bの両側に中段圧縮機110B及び膨張機103が連結されて構成される。本実施形態では第2モータ114Bは中段圧縮機110B及び膨張機103の間に配置されているが、他の実施形態では、中段圧縮機110B及び膨張機103の外側に配置されていてもよい（例えば、出力軸116Bの軸方向において、第2モータ114B、中段圧縮機110B、膨張機103の順に配置されていてもよい）。

[0031] 第2モータ114Bの出力軸116Bは、中段圧縮機110B及び膨張機103の間に配置されたラジアル磁気軸受122-2及びスラスト磁気軸受126-2によって、モータケーシング130-2に対して非接触で回転可能に支持される。ラジアル磁気軸受122-2は、出力軸116Bの軸方向において第2モータ114Bの両側に設けられ、磁力によって出力軸116Bを浮上させてラジアル荷重を負担する。スラスト磁気軸受126-2は、出力軸116Bの軸方向において第2モータ114Bの一方の側（図3に示

す実施形態では第2モータ114B及び中段圧縮機110Bとの間)に設けられ、出力軸116Bに設けられたアキシャルロータディスク127-2との間にギャップが形成されるように磁力によって出力軸116Bのスラスト荷重を負担する。

尚、スラスト磁気軸受126-2及びアキシャルロータディスク127-2は、膨張機103及び第2モータ114Bの間に設けられてもよい。また本実施形態では、アキシャルロータディスク127-2は主に流体摩擦損失を抑制するために第2モータ114Bの一方の側に設けられているが、第2モータ114Bの出力軸116Bの外径が大きい場合には、組み立て上の理由等により、両側に設けられていてもよい。

[0032] 膨張機一体型圧縮機120のケーシング128-2は、出力軸116Bの軸方向に沿って、モータケーシング130-2と、中段圧縮機用インペラケーシング132-2と、膨張機用インペラケーシング134-1とが互いに連結されて構成される。モータケーシング130-2は、第2モータ114Bの外殻を規定するケーシングであり、内部に出力軸116Bと一体的に構成されたロータ136B(ロータ136Bは出力軸116Bと一体的に形成される)と、ロータ136Bの周りに配置されたステータ138Bとを収容する。中段圧縮機用インペラケーシング132-2は、出力軸116Bの一端側に取り付けられた中段圧縮機110Bのインペラ140Bを収容する。膨張機用インペラケーシング134-1は、出力軸116Bの他端側に取り付けられた膨張機103のインペラ142を収容する。

[0033] 図1に戻って、圧縮機ユニット102は、冷媒経路101に対して互いに並列に配置された複数台の同軸圧縮機118を含む。圧縮機ユニット102に含まれる同軸圧縮機118はそれぞれ共通(同一仕様)であり、その台数は、圧縮機ユニット102に含まれる膨張機一体型圧縮機120より多く、且つ、冷凍システム100に要求される冷凍能力に応じて設定される。本実施形態では、圧縮機ユニット102は、1台の膨張機一体型圧縮機120に対して、2台の同軸圧縮機118A及び118Bを備えているが、3台以上

の同軸圧縮機 118 を備えることで、更に大きな冷凍能力に対応することも可能である。更に、膨張機一体型圧縮機 120 が 2 台ある場合には、3 台以上の同軸圧縮機 118 を備えることもできる。

[0034] 圧縮機ユニット 102 に含まれる同軸圧縮機 118 の台数は、冷凍システム 100 に要求される冷凍能力に応じて設定される。例えば、冷凍システム 100 に要求される冷凍能力が大きくなると、冷媒経路 101 を流れる冷媒の流量が多くなるため、同軸圧縮機 118 の台数を多くすることで対応可能である。そのため冷凍システム 100 は、圧縮機ユニット 102 に含まれる同軸圧縮機 118 の台数を調整することで、異なる冷凍能力を有する仕様を少ない開発負担で実現できる。膨張機一体型圧縮機 120 は中段圧縮機 110B のインペラ 140B 及び膨張機インペラ 142 と関連する部品（インペラケーシング 132-2 及び 134-1）のみの設計変更で対応可能であるため、冷凍システム 100 に必要な部品の種類、冷凍能力に応じた同軸圧縮機の開発期間やコストを効果的に抑えることができる。また冷凍システム 100 を複数台並列に配置して要求される冷凍能力に対応する場合に比べて、専有面積を小さくすることができる。

[0035] また冷凍システム 100 では、同軸圧縮機 118 が有する第 1 モータ 114A と、膨張機一体型圧縮機 120 が有する第 2 モータ 114B とが共通である。このように同軸圧縮機 118 と膨張機一体型圧縮機 120 との間においても、駆動用のモータを共通仕様にするることにより、異なる冷凍能力を有する冷凍システム 100 を開発負担を軽減しながら実現することができる。

[0036] 尚、複数の第 1 モータと第 2 モータとが「共通」であるとは、両者の仕様の少なくとも一部が共通していることを意味する。仕様の少なくとも一部が共通するとは、例えば、モータの出力、回転数、寸法などの少なくとも一部が同じであることを意味してもよいし、互いに代替可能であることを意味してもよいし、モータ以外の部品の組み立てに影響しない程度に設計が同じであることを意味してもよい。

[0037] 一例を交えて説明すると、例えば冷凍システム 100 に要求される冷凍能

力が5 kWである場合、同軸圧縮機118に用いられる第1モータに対する要求出力は45 kWであり、膨張機一体型圧縮機120に用いられる第2モータに対する要求出力は15 kWであると仮定する。このような前提条件をベースに、冷凍能力が倍である10 kWの冷凍システム100を開発する場合、冷媒経路101を流れる冷媒量が倍増することから、第1モータに対する要求出力は90 kW ($= 45 \text{ kW} \times 2$) であり、第2モータに対する要求出力は30 kW ($= 15 \text{ kW} \times 2$) となる。本実施形態の冷凍システム100では、このような要求に対して、図1に示すように、ベース設計と同一仕様の出力が45 kWの第1モータを有する2台の同軸圧縮機118を冷媒経路101に対して並列に設けることで、同軸圧縮機の新規設計を要することなく対応可能である。このとき、膨張機一体型圧縮機120では第2モータ114Bとして、第1モータ114Aと同様に45 kWの出力仕様を採用することで、要求出力である30 kWを賄うことができる。

[0038] このように第1モータ114A及び第2モータ114Bとして共通（同一仕様）のものを採用することにより、第1モータ114A及び第2モータ114Bの周辺構成の共通化も進めることができる。例えば、第1モータ114A及び第2モータ114Bが共通（同一仕様）となることで、出力軸116A及び出力軸116Bが同一軸径となり、その結果、同軸圧縮機118で出力軸116Aを支持する軸受（ラジアル磁気軸受122-1、スラスト磁気軸受126-1）、及び、膨張機一体型圧縮機120で出力軸116Bを支持する軸受（ラジアル磁気軸受122-2、スラスト磁気軸受126-2）を共通（同一仕様）にすることができる。また第1モータ114Aのモータケーシング130-1、及び、第2モータ114Bのモータケーシング130-2もまた共通（同一仕様）にすることができる。

[0039] 尚、これらの軸受やモータケーシングが「共通」であるとは、両者の仕様の少なくとも一部が共通していることを意味する。仕様の少なくとも一部が共通するとは、互いに代替可能であることを意味してもよいし、モータ以外の部品の組み立てに影響しない程度に設計が同じであることを意味してもよい。

い。

[0040] 尚、第1モータ114Aの低段圧縮機用インペラケーシング132-1及び高段圧縮機用インペラケーシング132-3と、第2モータ114Bの中段圧縮機用インペラケーシング132-2及び膨張機用インペラケーシング134-1とは、各々に收容されるインペラの形状に応じて異なる設計にしてもよい。

[0041] このように冷凍システム100では圧縮機ユニット102に含まれる第1モータ114A及び第2モータ114B、及び、それらの周辺構成を共通（同一仕様）にすることで、冷凍システム100に要求される冷凍能力が変化した場合でも、少ない開発負担で効率的に設計することができる。

[0042] 図1では、圧縮機ユニット102に2台の同軸圧縮機118が含まれる場合が例示されている。2台の同軸圧縮機118は、冷媒経路101に対して互いに並列に設けられている。冷媒経路101は、冷熱回収熱交換器105から圧縮機ユニット102に冷媒が供給される第1ライン144と、第1ライン144の下流側から2台の同軸圧縮機118の低段圧縮機110Aに対してそれぞれ分岐する第2ライン146A、146Bと、2台の低段圧縮機110Aで圧縮された冷媒がそれぞれ流れる第3ライン148A、148Bと、第3ライン148A、148Bが下流側で合流して中段圧縮機110Bに接続される第4ライン150と、中段圧縮機110Bで圧縮された冷媒が流れる第5ライン152と、第5ライン152の下流側から2台の同軸圧縮機118の高段圧縮機110Cに対してそれぞれ分岐する第6ライン154A、154Bと、高段圧縮機110Cで圧縮された冷媒がそれぞれ流れる第7ライン156A、156Bと、第7ライン156A、156Bが下流側で合流して、コールドボックス109側の冷熱回収熱交換器105に接続される第8ライン158とを含む。

[0043] 第2ライン146A、146Bの一方（図1では、第2ライン146B）には、第1バルブ160が設けられることにより、2台の同軸圧縮機118の低段圧縮機110Aに対する冷媒の分配比率が調整可能に構成されている

。また2台の低段圧縮機110Aで圧縮された冷媒が流れる第3ライン148A、148Bの一方(図1では第3ライン148B)には、第2バルブ162が設けられることにより、2台の低段圧縮機110Aからの冷媒の排出比率が調整可能に構成されている。

尚、第3ライン148A、148Bには、それぞれ前述の熱交換器112Aが設けられる。

[0044] 第7ライン156A、156Bの一方(図1では、第7ライン156B)には、第3バルブ164が設けられることにより、2台の同軸圧縮機118の高段圧縮機110Cからの冷媒の排出比率が調整可能に構成されている。

尚、第7ライン156A、156Bには、それぞれ前述の熱交換器112Cが設けられる。

[0045] また冷凍システム100では、2台の同軸圧縮機118の低段圧縮機110Aの上流側と下流側とを連通する第1バイパスライン166が設けられる。第1バイパスライン166上には第1バイパスバルブ168が設けられている。また中段圧縮機110Bの上流側と下流側とを連通する第2バイパスライン170が設けられる。第2バイパスライン170上には第2バイパスバルブ172が設けられている。また2台の同軸圧縮機118の高段圧縮機110Cの上流側と下流側とを連通する第3バイパスライン174が設けられる。第3バイパスライン174上には第3バイパスバルブ176が設けられている。

[0046] また冷媒経路101のうち高段圧縮機110Cの下流側と冷熱回収熱交換器105との間の高圧冷媒ライン178と、冷熱回収熱交換器105と低段圧縮機110Aとの間の低圧冷媒ライン180との間を連通する第4バイパスライン182が設けられる。第4バイパスライン182上には、冷媒を貯留可能なバッファタンク184と、バッファタンク184の上流側及び下流側にそれぞれ設けられた第4バルブ186及び第5バルブ188が配置される。

[0047] これらのバルブ類は、冷凍システム100のコントロールユニットである

制御装置200からの制御信号に基づいて開度が制御されることにより、冷媒経路101における冷媒の流路を適宜切替可能に構成される。制御装置200は、例えばコンピュータ等の電子演算装置からなるハードウェア構成に対して、所定の制御が実行するためのプログラムがインストールされることによって構成される。

[0048] 尚、前述した冷凍システム100における各バルブ及びバイパスバルブの配置は、同等の制御が実現可能な範囲において適宜変更可能である。

[0049] 続いて上記構成を有する冷凍システム100の起動方法について説明する。図4は図1の冷凍システム100の起動方法を示すフローチャートである。

[0050] まず冷凍システム100の初期状態として、膨張機103の入口における冷媒温度が常温（約300K）である場合を想定する。停止状態にあった冷凍システム100では、冷媒経路101に残存している冷媒の温度が、常温近傍（約300K）まで上昇することによって、冷媒経路101内で冷媒の圧力が高くなっている。この状態では、冷媒経路101のうち高段圧縮機110Cから膨張機103までの高圧冷媒ライン178と、膨張機103から低段圧縮機110Aまでの低圧冷媒ライン180との冷媒の圧力が均衡（高圧が均圧）する。このような状態は、低圧冷媒ライン180側の圧力が通常運転時よりも高く、この冷媒圧力が高くなった状態で冷凍システム100を起動運転すると、高圧冷媒ライン178側の圧力が過大に上昇しやすく、特にモータ駆動の膨張機一体型圧縮機120を備えて構成されていることにより、モータ負荷が高くなるおそれがある。

[0051] そこで制御装置200は、高圧冷媒ライン178の圧力と、バッファタンク184の内部の圧力との圧力差 ΔP が所定の閾値 ΔP_1 （例えば10kPa）を超える場合（ステップS1：YES）に、第4バルブ186を開制御し（ステップS2）、冷媒経路101を流れる冷媒の一部をバッファタンク184に回収する（ステップS3）。これにより、圧力差 ΔP が減少し、高圧冷媒ライン178の圧力が過大に上昇することを防止し、その結果、過大

なモータ負荷が生じることを好適に回避できる。その後、制御装置200は、圧力差 ΔP が閾値 ΔP_1 以下になった場合（ステップS4：YES）、第4バルブ186を閉制御する（ステップS5）。

尚、圧力差 ΔP が閾値 ΔP_1 より大きい場合には（ステップS4：NO）、制御装置200は制御をステップS2に戻す。

[0052] 尚、圧力差 ΔP は、例えば、高圧冷媒ライン178に設けられた圧力センサと、バッファタンク184内に設置された圧力センサとの検出値の差分により取得可能である。

[0053] ここで冷媒経路101には、定格運転条件で最も密度が高くなる膨張機103入口付近の流路に最小断面が存在する。予冷時には膨張機103の吸入温度が定格条件に比べて高くなる（冷媒密度が低い）ため、当該箇所における冷媒流量が少なくなる膨張機103のチョーク現象によって圧縮機のサージングが発生するおそれがある。続くステップS6では、このような課題を解決するために、圧縮機ユニット102に含まれる2台の同軸圧縮機118のうち一方（同軸圧縮機118A）のみを膨張機一体型圧縮機120とともに起動する（すなわち2台の同軸圧縮機118のうち一方のみを膨張機一体型圧縮機120とともに運転する、いわゆる台数制御運転を開始する）。これにより、膨張機103における冷媒の流量を少なくした状態で起動が可能となるため、圧縮機におけるサージング発生を効果的に防止できる。

[0054] 続いて制御装置200は、第2バイパスバルブ172の開度を、膨張機103の入口における冷媒の温度 T_{in} に基づいて制御する（ステップS7）。ステップS7では、第2バイパスバルブ172の開度が、膨張機103の入口における冷媒の温度 T_{in} に基づいて制御されることにより、冷媒経路101を流れる冷媒の一部が第2バイパスライン170を介して中段圧縮機110Bをバイパスされる。その結果、中段圧縮機110Bに供給される冷媒の流量が増加し、上述のような圧縮機におけるサージングをより効果的に防止できる。

[0055] またステップS7における第2バイパスバルブ172の開度制御は、膨張

機 103 の入口における冷媒の温度 T_{in} に基づいて連続的に行われてもよいし、段階的（ステップ状）に行われてもよい。このとき、冷熱回収熱交換器 105 における冷媒の冷却速度が略一定（例えば 60 K/h ）になるように、ステップ S6 で起動した一方の同軸圧縮機 118 又は膨張機一体型圧縮機 120 の少なくとも一方の回転数を協調制御してもよい。

[0056] 尚、膨張機 103 の入口における冷媒の温度 T_{in} は、膨張機 103 の入口に設置された温度センサ（不図示）により取得可能である。

[0057] 尚、ステップ S7 において、第 1 バルブ 160、第 2 バルブ 162 及び第 3 バルブ 164、第 1 バイパスバルブ 168 及び第 3 バイパスバルブ 176 は閉状態に制御される。

[0058] 続いて膨張機 103 の入口における温度 T_{in} が第 1 目標値 T_1 （例えば $180 \sim 200\text{ K}$ ）以下になると（ステップ S8：YES）、制御装置 200 は第 1 バイパスバルブ 168、第 3 バイパスバルブ 176 及び第 1 バルブ 160 を開制御する（ステップ S9）。

[0059] 続いて制御装置 200 は、サージングの有無を判定する（ステップ S10）サージングが有ると判定された場合（ステップ S10：YES）、ステップ S6 で起動した一方の同軸圧縮機 118A の回転数を減少するように制御する（ステップ S11）。ステップ S11 で制御される一方の同軸圧縮機 118A の回転数は、仮に圧縮機ユニット 102 に含まれる 2 台の同軸圧縮機 118 を両方起動させた場合に、各圧縮機でサージングが発生しない回転数まで減少するように制御される。

尚、ステップ S11 では一方の同軸圧縮機 118A の回転数を減少した結果、一時的に停止状態にしてもよい。またサージングが無いと判定された場合には（ステップ S10：NO）、ステップ S11 における回転数の減少制御は実施されない。例えば、回転数が比較的低い場合（例えば、熱交換器の冷却速度などの制限によって予冷時の回転数が低い場合）にはサージングが発生しにくい傾向があるため、運転条件によっては、ステップ S11 のような回転数の減少制御は不要とすることができる。

- [0060] 続いて制御装置200は、第1バイパスバルブ168及び第3バイパスバルブ176を開制御し（ステップS12）、圧縮機ユニット102に含まれる他方の同軸圧縮機118Bを起動する（ステップS13）。このとき、他方の同軸圧縮機118Bの回転数は、ステップS6で回転数が減少された一方の同軸圧縮機118Aに等しくなるように制御される。そして、制御装置は2台の同軸圧縮機118の圧力条件が同等になった場合（ステップS14：YES）、第1バイパスバルブ168及び第3バイパスバルブ176を閉制御する（ステップS15）。
- [0061] 続いて制御装置200は、第2バルブ162及び第3バルブ164を開制御することで、冷媒経路101に対して他方の同軸圧縮機118Bの接続を完了させる（ステップS16）。このようにして、ステップS3で先に起動された一方の同軸圧縮機118Aの回転数を一旦減少させた状態で、他方の同軸圧縮機118Bを起動させることで、各圧縮機にサージングが発生することを防止しながら、1台の同軸圧縮機118Aによる片側運転から、2台の同軸圧縮機118A、118Bによる両側運転にスムーズに移行することができる。
- [0062] 制御装置200は、引き続き膨張機103の入口における冷媒の温度 T_{in} や冷熱回収熱交換器105における冷媒の冷却速度に基づいて第2バイパスバルブ172の開度及び同軸圧縮機118又は膨張機一体型圧縮機120の少なくとも一方の回転数を制御しながら予冷運転を進める。そして制御装置200は、膨張機103の入口における温度 T_{in} が第2目標温度 T_2 （例えば100～120K）以下になると（ステップS17：YES）、第2バイパスバルブ172を閉制御し（ステップS18）、予冷を完了して通常運転に移行することで、一連の冷凍システム100の起動制御が終了する（ステップS19）。
- [0063] 尚、冷凍システム100が3台以上の同軸圧縮機118を備える場合には、上記制御に倣って、起動状態にある同軸圧縮機118の数を順に増やすように制御することで、温度 T_{in} を所望の値にすることができる。

[0064] 以上説明したように、冷凍システム１００の起動方法では、起動初期段階では、圧縮機ユニット１０２に含まれる一部の同軸圧縮機１１８を起動し、予冷が進行するに従って（膨張機１０３の入口における温度 T_{in} が低下するに従って）同軸圧縮機１１８の起動台数が増加するように制御される。各段階における同軸圧縮機１１８の起動台数は、例えば、膨張機１０３の入口における温度 T_{in} に応じて、以下のように制御してもよい。

[0065] 音速とマッハ数、断熱流れの関係より、膨張機１０３を通過する冷媒の質量流量 G は、以下のように膨張機１０３の入口における冷媒の温度 T_{in} の関数として表される（ここでは、膨張機１０３を通過する冷媒が臨界状態になり、すなわち膨張機１０３のノズル出口流速が音速に達しておらず、且つ、冷媒が理想気体であると仮定する）。

[数1]

$$G = A \cdot P_{in} \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa - 1} \cdot \frac{1}{R \cdot T_{in}} \left[\left(\frac{P_{ex}}{P_{in}} \right)^{2/\kappa} - \left(\frac{P_{ex}}{P_{in}} \right)^{(\kappa + 1)/\kappa} \right]} \quad (1)$$

ここで、 A は膨張機１０３のノズルスロット面積であり P_{in} 、 P_{ex} はそれぞれ膨張機１０３の入口及び出口における圧力であり、 κ は冷媒の比熱比であり、 R は理想気体のガス定数である。式（１）より、膨張機１０３の入口における温度 T_{in} に対する冷媒流量 G を概算することができる。そのため、同軸圧縮機１１８の１台当たりの吐出流量を R とすると、起動すべき同軸圧縮機１１８の台数 D は次式により得られる（端数は切り上げ）。

$$D = G / R \quad (2)$$

[0066] 図１のように圧縮機ユニット１０２に２台の同軸圧縮機１１８が含まれる場合、膨張機１０３の入口における温度 T_{in} が第１目標値 T_1 （例えば１８０～２００Ｋ）になるまでは、一方の同軸圧縮機１１８のみを起動することで効率よく予冷ができるが、第２目標値 T_2 （例えば１２０～２００Ｋ）では効率が低下してしまうため、他方の同軸圧縮機１１８を起動して２台での運転をすることが好ましい。このように温度領域に応じて同軸圧縮機１１８

の運転台数を変化させる場合には、サージングの発生が懸念される運転条件において上述のように起動済の同軸圧縮機 1 の回転数を一旦減少させることで、サージングの発生を防止しながらスムーズな運転台数の移行が可能となる。

[0067] 上記実施形態では、1 台の膨張機一体型圧縮機に対して 2 台の同軸圧縮機 118 を備える冷凍システム 100 について説明したが、冷凍システム 100 が備える膨張機一体型圧縮機 120 及び同軸圧縮機 118 の台数は任意でもよい。以下、冷凍システム 100 の幾つかのバリエーションについて図 5 ～図 8 を参照して具体的に説明する。

尚、図 5 ～図 8 では冷凍システム 100 のうち同軸圧縮機 118、膨張機一体型圧縮機 120、第 1 モータ 114 A、第 2 モータ 114 B が抽出して簡易的に示されており、その他の構成については上記実施形態に倣うものとして詳述は省略する。

[0068] 図 5 A ～図 5 B は 2 台の同軸圧縮機 118 A、118 B 及び 1 台の膨張機一体型圧縮機 120 を備える冷凍システム 100 A-1 ～100 A-2 を示す模式図である。図 5 A に示す冷凍システム 100 A-1 では、前述の実施形態と同様に、同軸圧縮機 118 A を駆動するための第 1 モータ 114 A-1、同軸圧縮機 118 B を駆動するための第 1 モータ 114 A-2、及び、膨張機一体型圧縮機 120 を駆動するための第 2 モータ 114 B が全て共通である。この場合、全ての第 1 モータ 114 A 及び第 2 モータ 114 B を共通にすることで、冷凍システム 100 A に用いられるモータの種類を最小限にでき、開発に要する費用や時間を効果的に削減できる。

[0069] 図 5 B に示す冷凍システム 100 A-2 では、同軸圧縮機 118 A を駆動するための第 1 モータ 114 A-1、及び、膨張機一体型圧縮機 120 を駆動するための第 2 モータ 114 B が共通である一方で、同軸圧縮機 118 B を駆動するための第 1 モータ 114 A-2 が異なる（別仕様である）。このように冷凍システム 100 に用いられる第 1 モータ 114 A、第 2 モータ 114 B の共通化を極力進めつつ、一部のモータのみを別仕様とすることで、

冷凍システム１００に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

[0070] 続いて図６Ａ～図６Ｃは、３台の同軸圧縮機１１８Ａ、１１８Ｂ、１１８Ｃ及び１台の膨張機一体型圧縮機１２０を備える冷凍システム１００Ｂ－１～１００Ｂ－３を示す模式図である。図６Ａに示す冷凍システム１００Ｂ－１では、同軸圧縮機１１８Ａを駆動するための第１モータ１１４Ａ－１、同軸圧縮機１１８Ｂを駆動するための第１モータ１１４Ａ－２、同軸圧縮機１１８Ｃを駆動するための第１モータ１１４Ａ－３、及び、膨張機一体型圧縮機１２０を駆動するための第２モータ１１４Ｂが全て共通である。この場合、全ての第１モータ１１４Ａ及び第２モータ１１４Ｂを共通にすることで、冷凍システム１００Ａに用いられるモータの種類を最小限にでき、開発に要する費用や時間を効果的に削減できる。

[0071] 図６Ｂに示す冷凍システム１００Ｂ－２では、同軸圧縮機１１８Ａを駆動するための第１モータ１１４Ａ－１、同軸圧縮機１１８Ｂを駆動するための第１モータ１１４Ａ－２、及び、膨張機一体型圧縮機１２０を駆動するための第２モータ１１４Ｂが共通である一方で、同軸圧縮機１１８Ｃを駆動するための第１モータ１１４Ａ－３が異なる（別仕様である）。このように冷凍システム１００に用いられる第１モータ１１４Ａ、第２モータ１１４Ｂの共通化を極力進めつつ、一部のモータのみを別仕様とすることで、冷凍システム１００に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

[0072] 図６Ｃに示す冷凍システム１００Ｂ－３では、同軸圧縮機１１８Ａを駆動するための第１モータ１１４Ａ－１、及び、膨張機一体型圧縮機１２０を駆動するための第２モータ１１４Ｂが互いに共通である一方で、同軸圧縮機１１８Ｂを駆動するための第１モータ１１４Ａ－２、及び、同軸圧縮機１１８Ｃを駆動するための第１モータ１１４Ａ－３が互いに共通である。このように冷凍システム１００に用いられる各モータについて、互いに異なる複数の仕様についてそれぞれ共通化を進めることによっても、冷凍システム１００に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

- [0073] 続いて図7A～図7Cは、3台の同軸圧縮機118A、118B、118C及び2台の膨張機一体型圧縮機120A、120Bを備える冷凍システム100C-1～100C-3を示す模式図である。図7Aに示す冷凍システム100C-1では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、同軸圧縮機118Cを駆動するための第1モータ114A-3、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が全て共通である。この場合、全ての第1モータ114A及び第2モータ114Bを共通にすることで、冷凍システム100Aに用いられるモータの種類を最小限にでき、開発に要する費用や時間を効果的に削減できる。
- [0074] 図7Bに示す冷凍システム100C-2では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が共通である一方で、同軸圧縮機118Cを駆動するための第1モータ114A-3が異なる（別仕様である）。このように冷凍システム100に用いられる第1モータ114A、第2モータ114Bの共通化を極力進めつつ、一部のモータのみを別仕様とすることで、冷凍システム100に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。
- [0075] 図7Cに示す冷凍システム100C-3では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が互いに共通である一方で、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、及び、同軸圧縮機118Cを駆動するための第1モータ114A-3が互いに共通である。このように冷凍システム100に用いられる各モータについて、互いに異なる複数の仕様についてそれぞれ共通化を進めることによっても、冷凍システム1

00に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

[0076] 図8A～図8Dは、4台の同軸圧縮機118A、118B、118C、118D及び2台の膨張機一体型圧縮機120A、120Bを備える冷凍システム100D-1～100D-4を示す模式図である。図8Aに示す冷凍システム100D-1では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、同軸圧縮機118Cを駆動するための第1モータ114A-3、同軸圧縮機118Dを駆動するための第1モータ114A-4、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が全て共通である。この場合、全ての第1モータ114A及び第2モータ114Bを共通にすることで、冷凍システム100Aに用いられるモータの種類を最小限にでき、開発に要する費用や時間を効果的に削減できる。

[0077] 図8Bに示す冷凍システム100D-2では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、同軸圧縮機118Cを駆動するための第1モータ114A-3、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が共通である一方で、同軸圧縮機118Dを駆動するための第1モータ114A-4が異なる（別仕様である）。このように冷凍システム100に用いられる第1モータ114A、第2モータ114Bの共通化を極力進めつつ、一部のモータのみを別仕様とすることで、冷凍システム100に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

[0078] 図8Cに示す冷凍システム100D-3では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が互いに共通である一方で、同軸圧縮機118C

を駆動するための第1モータ114A-3、及び、同軸圧縮機118Dを駆動するための第1モータ114A-4が互いに共通である。このように冷凍システム100に用いられる各モータについて、互いに異なる複数の仕様についてそれぞれ共通化を進めることによっても、冷凍システム100に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

[0079] 図8Dに示す冷凍システム100D-4では、同軸圧縮機118Aを駆動するための第1モータ114A-1、膨張機一体型圧縮機120Aを駆動するための第2モータ114B-1、及び、膨張機一体型圧縮機120Bを駆動するための第2モータ114B-2が互いに共通である一方で、同軸圧縮機118Bを駆動するための第1モータ114A-2、同軸圧縮機118Cを駆動するための第1モータ114A-3、及び、同軸圧縮機118Dを駆動するための第1モータ114A-4が互いに共通である。このように冷凍システム100に用いられる各モータについて、互いに異なる複数の仕様についてそれぞれ共通化を進めることによっても、冷凍システム100に要求される仕様に対して柔軟に対応することもできる。

[0080] 上述の実施形態に記載の内容は、例えば以下のように把握される。

[0081] (1) 一態様に係る冷凍システムは、

冷媒経路（例えば上記実施形態の冷媒経路101）上に配置された圧縮機ユニット（例えば上記実施形態の圧縮機ユニット102）によって圧縮された冷媒を用いて冷熱を発生させるブレイトンサイクルを利用した冷凍システム（例えば上記実施形態の冷凍システム100）であって、

前記圧縮機ユニットは、

前記冷媒経路に対して互いに並列に配置された複数台の圧縮機（例えば上記実施形態の複数の同軸圧縮機118）と、

前記複数台の圧縮機をそれぞれ駆動するための複数の第1モータ（例えば上記実施形態の複数の第1モータ114A）と、

前記圧縮機ユニットで圧縮された前記冷媒を膨張可能な膨張機（例えば上記実施形態の膨張機103）と一体的に構成された膨張機一体型圧縮機（例

えば上記実施形態の膨張機一体型圧縮機 1 2 0) と、

前記膨張機一体型圧縮機を駆動するための第 2 モータ (例えば上記実施形態の第 2 モータ 1 1 4 B) と、

を含み、

前記複数台の圧縮機は、前記膨張機一体型圧縮機より多い台数を有する。

[0082] 上記 (1) の態様によれば、異なる冷凍能力を有する冷凍システムを開発する場合においても、圧縮機ユニットの一部構成である圧縮機の台数を変更することで対応可能であるため、設計変更に伴う部品点数や専有面積の増加を良好に抑えることができる。

[0083] (2) 他の態様では、上記 (1) の態様において、

前記複数の第 1 モータ及び前記第 2 モータは共通である。

[0084] 上記 (2) の態様によれば、圧縮機ユニットに含まれる複数の圧縮機をそれぞれ駆動するための複数の第 1 モータと、膨張機一体型圧縮機を駆動するための第 2 モータとが共通となる。これにより、冷凍システムに用いられるモータの種類を削減し、開発に要する費用や時間を効果的に削減できる。

[0085] 尚、本明細書において複数の第 1 モータと第 2 モータとが「共通」であるとは、複数の第 1 モータと、第 2 モータとはそれぞれ別体のモータであり、仕様の少なくとも一部が共通していることを意味する。仕様が共通するとは、例えば、モータの出力、回転数、寸法の少なくとも一部が同じであることを意味してもよいし、互いに代替可能であることを意味してもよいし、モータ以外の部品の組み立てに影響しない程度に設計が同じであることを意味してもよい。

[0086] (3) 他の態様では、上記 (1) 又は (2) の態様において、

前記複数台の圧縮機を制御するための制御装置 (例えば上記実施形態の制御装置 2 0 0) を備え、

前記制御装置は、前記冷凍システムの起動時に、前記膨張機の入口における前記冷媒の温度に基づいて、前記複数台の圧縮機の一部を動作するように、前記複数台の圧縮機を制御する。

- [0087] 上記（３）の態様によれば、冷凍システムの起動時に複数台の圧縮機の一部を動作することで、同軸圧縮機におけるサージング発生を効果的に防止できる。
- [0088] （４）他の態様では、上記（３）の態様において、
前記制御装置は、起動状態にある前記圧縮機の回転数を減少するように制御した後、前記複数台の圧縮機の起動台数を変更するように制御する。
- [0089] 上記（４）の態様によれば、複数台の圧縮機の起動台数を変更する場合には、先に起動された圧縮機の回転数を減少させることで、各圧縮機にサージングが発生することを防止しながら、スムーズに起動台数を変更できる。
- [0090] （５）他の態様では、上記（１）から（４）のいずれか一態様において、
前記冷媒経路は、前記膨張機一体型圧縮機が有する圧縮機（例えば上記実施形態の中段圧縮機１１０Ｂ）の上流側及び下流側をバイパスするように構成されたバイパスライン（例えば上記実施形態の第２バイパスライン１７０）と、
前記バイパスライン上に設けられたバイパスバルブ（例えば上記実施形態の第２バイパスバルブ１７２）と
を備える。
- [0091] 上記（５）の態様によれば、バイパスラインに設けられたバイパスバルブの開度を調整することで、各圧縮機におけるサージングを効果的に防止できる。
- [0092] （６）他の態様では、上記（５）の態様において、
前記バイパスバルブは、前記膨張機の入口における前記冷媒の温度に基づいて、前記膨張機一体側圧縮機が有する圧縮機における前記冷媒の流量が所定値以上になるように制御される。
- [0093] 上記（６）の態様によれば、膨張機の入口における冷媒の温度が上昇することでサージングが発生するおそれがある場合には、バイパスバルブの開度を制御し、膨張機一体型圧縮機が有する圧縮機における冷媒流量を所定値以上に確保することでサージング発生を防止できる。

[0094] (7) 他の態様では、上記(6)の態様において、

前記冷媒の冷却速度が略一定になるように、前記圧縮機又は前記膨張機一体型圧縮機の回転数が前記バイパスバルブの開度と協調制御される。

[0095] 上記(7)の態様によれば、バイパスバルブの開度制御とともに圧縮機又は膨張機一体型圧縮機の回転数を協調制御することで、冷媒経路を流れる冷媒の冷却速度が略一定にされる。これにより、起動時から通常運転時までの予冷期間において、冷却速度を調整／修正し、冷媒温度を精度よく制御することが可能となる。

[0096] (8) 他の態様では、上記(1)から(7)のいずれか一態様において、

前記複数台の圧縮機の各々は、前記冷媒経路に対して直列接続された複数の圧縮機を含む同軸圧縮機（例えば上記実施形態の同軸圧縮機118）である。

[0097] 上記(8)の態様によれば、複数台の圧縮機として同軸圧縮機（多段圧縮機）を用いることで、単段圧縮機に比べて大きな圧縮比を得るとともに、高効率化を図ることができる。

符号の説明

[0098] 100 冷凍システム

101 冷媒経路

102 圧縮機ユニット（110A, 110B, 110C）

103 膨張機

104 冷却部

105 冷熱回収熱交換器

106 超電導機器

107 冷媒経路

108 ポンプ

109 コールドボックス

110 圧縮機

110A 低段圧縮機

110B 中段圧縮機
110C 高段圧縮機
112 (112A, 112B, 112C) 熱交換器
114A 第1モータ
114B 第2モータ
116A, 116B 出力軸
118 (118A, 118B) 同軸圧縮機
120 膨張機一体型圧縮機
122-1, 122-2 ラジアル磁気軸受
126 スラスト磁気軸受
127-1, 127-2 アキシアルロータディスク
128 ケーシング
130 モータケーシング
132-1 低段圧縮機用インペラケーシング
132-2 中段圧縮機用インペラケーシング
132-3 高段圧縮機用インペラケーシング
134-1 膨張機用インペラケーシング
136A, 136B ロータ
138A, 138B ステータ
140A, 140B, 140C, 142 インペラ
144 第1ライン
146A, 146B 第2ライン
148A, 148B 第3ライン
150 第4ライン
152 第5ライン
154A, 154B 第6ライン
156A, 156B 第7ライン
158 第8ライン

- 1 6 0 第1バルブ
- 1 6 2 第2バルブ
- 1 6 4 第3バルブ
- 1 6 6 第1バイパスライン
- 1 6 8 第1バイパスバルブ
- 1 7 0 第2バイパスライン
- 1 7 2 第2バイパスバルブ
- 1 7 4 第3バイパスライン
- 1 7 6 第3バイパスバルブ
- 1 7 8 高圧冷媒ライン
- 1 8 0 低圧冷媒ライン
- 1 8 2 第4バイパスライン
- 1 8 4 バッファタンク
- 1 8 6 第4バルブ
- 1 8 8 第5バルブ
- 2 0 0 制御装置

請求の範囲

- [請求項1] 冷媒経路上に配置された圧縮機ユニットによって圧縮された冷媒を用いて冷熱を発生させるブレイトンサイクルを利用した冷凍システムであって、
- 前記圧縮機ユニットは、
- 前記冷媒経路に対して互いに並列に配置された複数台の圧縮機と、
- 前記複数台の圧縮機をそれぞれ駆動するための複数の第1モータと、
- 、
- 前記圧縮機ユニットで圧縮された前記冷媒を膨張可能な膨張機と一体的に構成された膨張機一体型圧縮機と、
- 前記膨張機一体型圧縮機を駆動するための第2モータと、
- を含み、
- 前記複数台の圧縮機は、前記膨張機一体型圧縮機より多い台数を有する、冷凍システム。
- [請求項2] 前記複数の第1モータ及び前記第2モータは共通である請求項1に記載の冷凍システム。
- [請求項3] 前記複数台の圧縮機を制御するための制御装置を備え、
- 前記制御装置は、前記冷凍システムの起動時に、前記膨張機の入口における前記冷媒の温度に基づいて、前記複数台の圧縮機の一部を動作するように、前記複数台の圧縮機を制御する、請求項1又は2に記載の冷凍システム。
- [請求項4] 前記制御装置は、起動状態にある前記圧縮機の回転数を減少するように制御した後、前記複数台の圧縮機の起動台数を変更するように制御する、請求項3に記載の冷凍システム。
- [請求項5] 前記冷媒経路は、前記膨張機一体型圧縮機が有する圧縮機の上流側及び下流側をバイパスするように構成されたバイパスラインと、
- 前記バイパスライン上に設けられたバイパスバルブと
- を備える、請求項1から4のいずれか一項に記載の冷凍システム。

- [請求項6] 前記バイパスバルブは、前記膨張機の入口における前記冷媒の温度に基づいて、膨張機一体側圧縮機が有する圧縮機における前記冷媒の流量が所定値以上になる、請求項5に記載の冷凍システム。
- [請求項7] 前記冷媒の冷却速度が略一定になるように、前記圧縮機又は前記膨張機一体型圧縮機の回転数が前記バイパスバルブの開度と協調制御される、請求項6に記載の冷凍システム。
- [請求項8] 前記複数台の圧縮機の各々は、前記冷媒経路に対して直列接続された複数の圧縮機を含む同軸圧縮機である、請求項1から7のいずれか一項に記載の冷凍システム。