

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5868224号
(P5868224)

(45) 発行日 平成28年2月24日 (2016. 2. 24)

(24) 登録日 平成28年1月15日 (2016. 1. 15)

(51) Int. Cl. F 1
F O 4 B 37/08 (2006. 01) F O 4 B 37/08
F O 4 B 37/16 (2006. 01) F O 4 B 37/16 A

請求項の数 8 (全 18 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2012-50725 (P2012-50725) | (73) 特許権者 | 000002107 |
| (22) 出願日 | 平成24年3月7日 (2012. 3. 7) | | 住友重機械工業株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2013-185480 (P2013-185480A) | | 東京都品川区大崎二丁目1番1号 |
| (43) 公開日 | 平成25年9月19日 (2013. 9. 19) | (74) 代理人 | 100105924 |
| 審査請求日 | 平成26年7月14日 (2014. 7. 14) | | 弁理士 森下 賢樹 |
| | | (74) 代理人 | 100109047 |
| | | | 弁理士 村田 雄祐 |
| | | (74) 代理人 | 100109081 |
| | | | 弁理士 三木 友由 |
| | | (74) 代理人 | 100116274 |
| | | | 弁理士 富所 輝観夫 |
| | | (72) 発明者 | 松井 孝聡 |
| | | | 東京都西東京市谷戸町二丁目1番1号 住友重機械工業株式会社田無製造所内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 クライオポンプシステム、クライオポンプシステムの運転方法、及び圧縮機ユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

室温から極低温へのクールダウンを含む準備運転と、極低温の真空排気運転と、を実行するためのクライオポンプと、

前記クライオポンプのための作動ガスの圧縮機と、

前記クライオポンプと前記圧縮機とを接続するガスラインと、

前記真空排気運転における前記ガスラインの作動ガス量を、前記準備運転に比べて増加させるよう構成されているガスボリューム調整部と、

前記ガスラインに圧力制御を提供するよう前記圧縮機を制御するための制御装置と、を備え、

前記クライオポンプは、前記真空排気運転に比べて、前記準備運転において高い冷凍能力で運転されることを特徴とするクライオポンプシステム。

【請求項 2】

前記準備運転は、前記クライオポンプの再生を含み、

前記ガスボリューム調整部は、前記準備運転における前記ガスラインの作動ガス量を、前記真空排気運転に比べて減少させるよう構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載のクライオポンプシステム。

【請求項 3】

前記ガスボリューム調整部は、前記ガスラインから排出される作動ガスを回収し、前記ガスラインに作動ガスを補給するよう構成されていることを特徴とする請求項 1 または 2

のいずれかに記載のクライオポンプシステム。

【請求項 4】

前記制御装置は、前記圧縮機の高圧と低圧との差圧を目標値に一致させるように前記圧縮機の回転数を制御することを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれかに記載のクライオポンプシステム。

【請求項 5】

前記ガスボリューム調整部は、設定された上限以下に前記圧縮機の高圧が留まるように前記作動ガス量を調整することを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれかに記載のクライオポンプシステム。

【請求項 6】

クライオポンプと、該クライオポンプのための圧縮機と、を備えるクライオポンプシステムの運転方法であって、

前記クライオポンプの準備運転から真空排気運転に移行するために、前記クライオポンプと前記圧縮機とを循環する作動ガス量を増加させることと、

前記クライオポンプと前記圧縮機とを循環する作動ガスの圧力制御のために前記圧縮機を制御することと、を備え、

前記クライオポンプは、前記真空排気運転に比べて、前記準備運転において高い冷凍能力で運転されることを特徴とする方法。

10

【請求項 7】

極低温装置のための作動ガスの圧縮機ユニットであって、

圧縮機と、

前記極低温装置と前記圧縮機とを循環する作動ガス量の調整のために設けられているガスボリューム調整部と、

作動ガスの圧力制御を提供するよう前記圧縮機を制御する制御部と、を備え、

前記ガスボリューム調整部は、前記極低温装置の通常運転のための前記作動ガス量を、室温から極低温への冷却を含む前記極低温装置の準備運転のための初期ガス量から、該初期ガス量よりも増加された通常ガス量に調整し、

前記極低温装置は、前記通常運転に比べて、前記準備運転において高い冷凍能力で運転されることを特徴とする圧縮機ユニット。

20

【請求項 8】

クライオポンプと、

圧縮機と、

前記クライオポンプと前記圧縮機とを接続するガスラインと、

前記クライオポンプの再生における前記ガスラインの作動ガス量を、前記クライオポンプの真空排気運転中に比べて減少させるよう構成されているガスボリューム調整部と、を備え、

前記クライオポンプは、前記真空排気運転に比べて、前記再生において高い冷凍能力で運転されることを特徴とするクライオポンプシステム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、クライオポンプシステム並びにその運転方法、及び、クライオポンプシステムへの使用に適する圧縮機ユニットに関する。

【背景技術】

【0002】

極低温冷凍装置と、その冷凍装置に圧縮ガスを供給するためのコンプレッサと、を備える冷凍システムが知られている。冷凍性能の低下が許される時にはコンプレッサのガス回路の静チャージ圧が緩衝ボリュームへのガス流入により減少される。高パワーの冷凍が再び要求されると緩衝ボリュームからのガス放出により静チャージ圧が回復される。静チャージ圧のみが変化され、コンプレッサは一定速度で動作している。こうして、冷凍性能の

50

低下が許される時の電力消費が低減されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2009-150645号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

クライオポンプはかなり広い温度範囲で動作する。真空排気のために極低温に冷却される一方で、再生においては室温またはそれよりいくらか高温まで加熱される。クライオポンプの運転温度に応じて作動ガス温度が変わる。クライオポンプとその圧縮機とは普通閉じた作動ガス回路で接続されており、そこに収容されている作動ガス量は一定である。よって作動ガス温度が低くなると圧縮機の運転圧力も低下する。運転圧力は消費電力に関連する。クライオポンプシステムにおいては近時、高い省エネルギー性能を提供することは最も重要な要求の1つである。

10

【0005】

作動ガス温度が高くなると圧縮機の運転圧力も高くなる。圧縮機にはたいてい、仕様上の動作範囲からの逸脱を警告するための設定が予め備えられている。例えば、作動ガスの過度の高圧を警告するための高圧設定値が電氣的にまたは機械的に定められている。したがって、作動ガス温度が高いとき、運転圧力がその高圧設定値に達する可能性が高まる。

20

【0006】

本発明のある態様の例示的な目的のひとつは、適正な作動ガス圧力で運転されるクライオポンプシステム、及びそうしたシステムに適する運転方法及び圧縮機ユニットを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明のある態様のクライオポンプシステムは、室温から極低温へのクールダウンを含む準備運転と、極低温の真空排気運転と、を実行するためのクライオポンプと、前記クライオポンプのための作動ガスの圧縮機と、前記クライオポンプと前記圧縮機とを接続するガスラインと、前記真空排気運転における前記ガスラインの作動ガス量を、前記準備運転に比べて増加させるよう構成されているガスボリューム調整部と、前記ガスラインに圧力制御を提供するよう前記圧縮機を制御するための制御装置と、を備える。

30

【0008】

この態様によると、準備運転において作動ガスが冷却され、ガスラインを循環する作動ガスの圧力、すなわち圧縮機の運転圧力が低下する。作動ガス量を増加させることによって、真空排気運転のために運転圧力を適正に回復させることができる。

【0009】

圧縮機が一定速度で動作するとき、低い運転圧力は消費電力を小さくする。しかし、消費電力を決める要因はそれだけではない。例えば、圧縮機における圧縮比もまた消費電力に関連しており、小さい圧縮比が消費電力を小さくする。ある圧力目標のもとで圧縮機が制御されるとき、運転圧力が高いほうが圧縮比は小さくなる。こうした圧力制御のもとでは、圧縮機を一定に動作させる場合とは逆に、高い運転圧力が消費電力を小さくする効果をもつ。したがって、作動ガス量の増加により運転圧力を回復させることで、圧縮機の消費電力を低減することができる。

40

【0010】

前記準備運転は、前記クライオポンプの再生を含んでもよい。前記ガスボリューム調整部は、前記準備運転における前記ガスラインの作動ガス量を、前記真空排気運転に比べて減少させるよう構成されていてもよい。

【0011】

この態様によると、クライオポンプの再生により作動ガスが昇温され、圧縮機の運転圧

50

力も上昇する。作動ガスを減少させることによって、運転圧力の過度の上昇を抑制し、適正な水準に戻すことができる。

【0012】

前記ガスボリューム調整部は、前記ガスラインから排出される作動ガスを回収し、前記ガスラインに作動ガスを補給するよう構成されていてもよい。

【0013】

この態様によると、回収された作動ガスが補給に用いられるので、ガスボリューム調整部は、作動ガスのガスラインへの出し入れを反復的に実行することができる。

【0014】

前記制御装置は、前記圧縮機の高圧と低圧との差圧を目標値に一致させるように前記圧縮機の回転数を制御してもよい。

10

【0015】

こうした差圧制御は、一定の冷凍能力をシステムに提供するための有効な手法の1つである。差圧制御のもとでは運転圧力が高いほど圧縮比が小さくなる。よって、システムの冷凍能力を維持しつつ、消費電力を低減することができる。

【0016】

前記ガスボリューム調整部は、設定された上限以下に前記圧縮機の高圧が留まるように前記作動ガスを調整してもよい。

【0017】

この態様によると、圧縮機の高圧が設定された上限を超えないように圧縮機の運転圧力を適正な水準に保つことができる。過度の高圧を回避することができるので、システムの運転継続性に寄与する。

20

【0018】

本発明の別の態様は、クライオポンプと、該クライオポンプのための圧縮機と、を備えるクライオポンプシステムの運転方法である。この方法は、前記クライオポンプの真空排気運転を開始するために、前記クライオポンプと前記圧縮機とを循環する作動ガスを増加させることと、前記クライオポンプと前記圧縮機とを循環する作動ガスの圧力制御のために前記圧縮機を制御することと、を備える。

【0019】

本発明の別の態様は、極低温装置のための作動ガスの圧縮機ユニットである。この圧縮機ユニットは、圧縮機と、前記極低温装置と前記圧縮機とを循環する作動ガス量の調整のために設けられているガスボリューム調整部と、作動ガスの圧力制御を提供するよう前記圧縮機を制御する制御部と、を備える。前記ガスボリューム調整部は、前記極低温装置の通常運転のための前記作動ガスを、室温から極低温への冷却を含む前記極低温装置の準備運転のための初期ガス量から、該初期ガス量よりも増加された通常ガス量に調整する。

30

【0020】

本発明の別の態様のクライオポンプシステムは、クライオポンプと、圧縮機と、前記クライオポンプと前記圧縮機とを接続するガスラインと、前記クライオポンプの再生における前記ガスラインの作動ガスを、前記クライオポンプの真空排気運転中に比べて減少させるよう構成されているガスボリューム調整部と、を備える。

40

【0021】

なお、以上の構成要素の任意の組み合わせや本発明の構成要素や表現を、方法、装置、システム、プログラムなどの間で相互に置換したのももまた、本発明の態様として有効である。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、適正な作動ガス圧力で運転されるクライオポンプシステム、及びそうしたシステムに適する運転方法及び圧縮機ユニットを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

50

【図 1】本発明の一実施形態に係るクライオポンプシステムの全体構成を模式的に示す図である。

【図 2】本発明の一実施形態に係るクライオポンプシステムのための制御装置の構成の概略を示すブロック図である。

【図 3】本発明の一実施形態に関連して、クライオポンプの運転方法を説明するためのフローチャートである。

【図 4】本発明の一実施形態に係るクライオポンプシステムの運転方法を説明するためのフローチャートである。

【図 5】本発明の一実施形態に係るガスボリューム調整処理を説明するためのフローチャートである。

【図 6】本発明の一実施形態に係る圧縮機ユニットの運転圧力の変化の概略を示す図である。

【図 7】本発明の他の一実施形態に係るクライオポンプシステムの全体構成を模式的に示す図である。

【図 8】本発明の他の一実施形態に係るクライオポンプシステムの全体構成を模式的に示す図である。

【図 9】本発明の他の一実施形態に係るクライオポンプシステムの全体構成を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0024】

図 1 は、本発明の一実施形態に係るクライオポンプシステム 100 の全体構成を模式的に示す図である。クライオポンプシステム 100 は、真空チャンバ 102 の真空排気をするために使用される。真空チャンバ 102 は、真空処理装置（例えばイオン注入装置やスパッタリング装置等の半導体製造工程で用いられる装置）に真空環境を提供するために設けられている。

【0025】

クライオポンプシステム 100 は、1 台又は複数台のクライオポンプ 10 を備える。クライオポンプ 10 は、真空チャンバ 102 に取り付けられて、その内部の真空度を所望のレベルにまで高めるために使用される。

【0026】

クライオポンプ 10 は、冷凍機 12 を備える。冷凍機 12 は、例えばギフォード・マクマホン式冷凍機（いわゆる GM 冷凍機）などの極低温冷凍機である。冷凍機 12 は、第 1 ステージ 14 及び第 2 ステージ 16 を備える二段式の冷凍機である。

【0027】

冷凍機 12 は、1 段膨張室を内部に画定する第 1 シリンダ 18 と、1 段膨張室に連通する 2 段膨張室を内部に画定する第 2 シリンダ 20 と、を備える。第 1 シリンダ 18 と第 2 シリンダ 20 とは直列に接続されている。第 1 シリンダ 18 はモータハウジング 21 と第 1 ステージ 14 とを接続し、第 2 シリンダ 20 は第 1 ステージ 14 と第 2 ステージ 16 とを接続する。第 1 シリンダ 18 及び第 2 シリンダ 20 にはそれぞれ、互いに連結される第 1 ディスプレーサ及び第 2 ディスプレーサ（図示せず）が内蔵されている。第 1 ディスプレーサ及び第 2 ディスプレーサの内部には蓄冷材が組み込まれている。

【0028】

冷凍機 12 のモータハウジング 21 には、冷凍機モータ 22 と、ガス流路切替機構 23 とが収容されている。冷凍機モータ 22 は、第 1 及び第 2 ディスプレーサ、及びガス流路切替機構 23 のための駆動源である。冷凍機モータ 22 は、第 1 ディスプレーサ及び第 2 ディスプレーサのそれぞれが第 1 シリンダ 18 及び第 2 シリンダ 20 の内部を往復動可能とするように第 1 ディスプレーサ及び第 2 ディスプレーサに接続されている。

【0029】

ガス流路切替機構 23 は、1 段膨張室及び 2 段膨張室での作動ガスの膨張を周期的に繰り返すために作動ガスの流路を周期的に切り替えるよう構成されている。冷凍機モータ 2

10

20

30

40

50

2 は、ガス流路切替機構 2 3 の可動バルブ（図示せず）を正逆運転可能とするように当該バルブに接続されている。可動バルブは例えばロータリーバルブである。

【 0 0 3 0 】

モータハウジング 2 1 には、高圧ガス入口 2 4 及び低圧ガス出口 2 6 が設けられている。高圧ガス入口 2 4 はガス流路切替機構 2 3 の高圧流路の末端に形成され、低圧ガス出口 2 6 はガス流路切替機構 2 3 の低圧流路の末端に形成されている。

【 0 0 3 1 】

冷凍機 1 2 は、高圧の作動ガス（例えばヘリウム）を内部で膨張させて第 1 ステージ 1 4 及び第 2 ステージ 1 6 に寒冷を発生させる。高圧作動ガスは圧縮機ユニット 5 0 から高圧ガス入口 2 4 を通じて冷凍機 1 2 に供給される。このとき、冷凍機モータ 2 2 は、高圧ガス入口 2 4 を膨張室につなぐようガス流路切替機構 2 3 を切り替える。冷凍機 1 2 の膨張室が高圧作動ガスで満たされると、冷凍機モータ 2 2 は膨張室を低圧ガス出口 2 6 につなぐようガス流路切替機構 2 3 を切り替える。作動ガスは断熱膨張し、低圧ガス出口 2 6 を通じて圧縮機ユニット 5 0 へと排出される。ガス流路切替機構 2 3 の動作に同期して、第 1 及び第 2 ディスプレーサは膨張室を往復動する。このような熱サイクルを繰り返すことで第 1 ステージ 1 4 及び第 2 ステージ 1 6 が冷却される。

【 0 0 3 2 】

第 2 ステージ 1 6 は第 1 ステージ 1 4 よりも低温に冷却される。第 2 ステージ 1 6 は例えば 1 0 K 乃至 2 0 K 程度に冷却され、第 1 ステージ 1 4 は例えば 8 0 K 乃至 1 0 0 K 程度に冷却される。第 1 ステージ 1 4 には第 1 ステージ 1 4 の温度を測定するための第 1 温度センサ 2 8 が取り付けられており、第 2 ステージ 1 6 には第 2 ステージ 1 6 の温度を測定するための第 2 温度センサ 3 0 が取り付けられている。

【 0 0 3 3 】

冷凍機 1 2 は、冷凍機モータ 2 2 の逆転運転により、いわゆる逆転昇温を提供するよう構成されている。冷凍機 1 2 は、ガス流路切替機構 2 3 の可動バルブを上述の冷却運転と逆方向に作動させることにより、作動ガスに断熱圧縮を生じさせるよう構成されている。こうして得られる圧縮熱で冷凍機 1 2 は第 1 ステージ 1 4 及び第 2 ステージ 1 6 を加熱することができる。

【 0 0 3 4 】

クライオポンプ 1 0 は、第 1 クライオパネル 3 2 と、第 2 クライオパネル 3 4 と、を備える。第 1 クライオパネル 3 2 は第 1 ステージ 1 4 に熱的に接続されるよう固定され、第 2 クライオパネル 3 4 は第 2 ステージ 1 6 に熱的に接続されるよう固定されている。第 1 クライオパネル 3 2 は熱シールド 3 6 とバッフル 3 8 とを備え、第 2 クライオパネル 3 4 を包囲する。第 2 クライオパネル 3 4 は表面に吸着剤を備える。第 1 クライオパネル 3 2 はクライオポンプハウジング 4 0 に収容されており、クライオポンプハウジング 4 0 の一端はモータハウジング 2 1 に取り付けられている。クライオポンプハウジング 4 0 の他端のフランジ部が真空チャンバ 1 0 2 のゲートバルブ（図示せず）に取り付けられる。クライオポンプ 1 0 それ自体は、任意の公知のクライオポンプであってもよい。

【 0 0 3 5 】

クライオポンプシステム 1 0 0 は、圧縮機ユニット 5 0 と、クライオポンプ 1 0 と圧縮機ユニット 5 0 とをつなぐ作動ガス回路 7 0 と、を備える。圧縮機ユニット 5 0 は、作動ガス回路 7 0 に作動ガスを循環させるために設けられている。作動ガス回路 7 0 は、クライオポンプ 1 0 を含む閉じた流体回路である。

【 0 0 3 6 】

圧縮機ユニット 5 0 は、作動ガスを圧縮するための圧縮機 5 2 と、圧縮機 5 2 を動作させるための圧縮機モータ 5 3 と、を備える。また、圧縮機ユニット 5 0 は、低圧作動ガスを受け入れるための低圧ガス入口 5 4 と、高圧作動ガスを放出するための高圧ガス出口 5 6 と、を備える。低圧ガス入口 5 4 は低圧流路 5 8 を介して圧縮機 5 2 の吸入口に接続され、高圧ガス出口 5 6 は高圧流路 6 0 を介して圧縮機 5 2 の吐出口に接続されている。

【 0 0 3 7 】

10

20

30

40

50

圧縮機ユニット50は、第1圧力センサ62と、第2圧力センサ64と、を備える。第1圧力センサ62は低圧作動ガスの圧力を測定するために低圧流路58に設けられ、第2圧力センサ64は高圧作動ガスの圧力を測定するために高圧流路60に設けられている。なお、第1圧力センサ62及び第2圧力センサ64は、圧縮機ユニット50の外部において作動ガス回路70の適切な場所に設けられていてもよい。

【0038】

作動ガス回路70は、ガスライン72と、ガスライン72の作動ガス量を調整するためのガスボリューム調整部74と、を備える。以下では、説明の便宜上、ガスライン72に收容されている作動ガスの物質量(モル)または質量を、「ガスボリューム」と呼ぶことがある。ある基準温度及び基準圧力において所与の容積を占める作動ガスの物質量または質量は一意に定まる。ガスライン72の容積は実質的に一定である。よって、あるガスボリュームがガスライン72に收容されているとき、作動ガス温度が低下すればガス圧も低下し、ガス温度が高くなればガス圧も上がる。

10

【0039】

ガスライン72は、圧縮機ユニット50からクライオポンプ10に作動ガスを供給するための高圧ライン76と、クライオポンプ10から圧縮機ユニット50に作動ガスを戻すための低圧ライン78とを備える。高圧ライン76は、クライオポンプ10の高圧ガス入口24と圧縮機ユニット50の高圧ガス出口56とを接続する配管である。低圧ライン78は、クライオポンプ10の低圧ガス出口26と圧縮機ユニット50の低圧ガス入口54とを接続する配管である。

20

【0040】

圧縮機ユニット50は、クライオポンプ10から排出された低圧作動ガスを、低圧ライン78を通じて回収する。圧縮機52は、低圧作動ガスを圧縮し、高圧作動ガスを生成する。圧縮機ユニット50は、高圧作動ガスを、高圧ライン76を通じてクライオポンプ10へと供給する。

【0041】

ガスボリューム調整部74は、バッファ容積、例えば少なくとも1つのバッファタンク80を備える。ガスボリューム調整部74は、バッファタンク80とガスライン72との接続流路を選択するための流路選択部82を備える。流路選択部82は、少なくとも1つの制御弁を備える。ガスボリューム調整部74は、バッファタンク80を流路選択部82に接続するためのバッファ流路84を備える。なお、バッファタンク80のガス圧を測定するためのバッファ圧センサが設けられていてもよい。

30

【0042】

また、ガスボリューム調整部74は、低圧ライン78へとバッファタンク80から作動ガスを流出させるためのガス補給路86と、高圧ライン76からバッファタンク80に作動ガスを流入させるためのガス回収路88と、を備える。ガス補給路86は、流路選択部82を低圧ライン78の第1分岐部90に接続し、ガス回収路88は、流路選択部82を高圧ライン76の第2分岐部92に接続する。

【0043】

流路選択部82は、補給状態と回収状態とを選択可能に構成されている。補給状態は、ガス補給路86が低圧ライン78に連通され、ガス回収路88が遮断された状態である。回収状態においては、逆に、ガス補給路86が遮断され、ガス回収路88が高圧ライン76に連通される。

40

【0044】

流路選択部82は、図示されるように、例えば三方弁を備える。三方弁の3つのポートがそれぞれ、バッファ流路84、ガス補給路86、ガス回収路88に接続されている。こうして、流路選択部82は、バッファ流路84をガス補給路86に接続して補給状態をとり、バッファ流路84をガス回収路88に接続して回収状態をとることができる。

【0045】

ガスボリューム調整部74は、圧縮機ユニット50に付属して設けられており、圧縮機

50

ユニット50の一部を構成するとみなされる。ガスボリューム調整部74は圧縮機ユニット50に内蔵されていてもよい。代案として、ガスボリューム調整部74は圧縮機ユニット50とは別体に構成され、ガスライン72の任意の場所に設置されてもよい。

【0046】

クライオポンプシステム100は、その運転を司るための制御装置110を備える。制御装置110は、クライオポンプ10（または圧縮機ユニット50）と一体に又は別体に設置されている。制御装置110は、例えば、各種演算処理を実行するCPU、各種制御プログラムを格納するROM、データ格納やプログラム実行のためのワークエリアとして利用されるRAM、入出力インターフェース、メモリ等を備える。制御装置110は、こうした構成を備える公知のコントローラを用いることができる。制御装置110は、単一のコントローラで構成されていてもよいし、各々が同一のまたは異なる機能を奏する複数のコントローラを含んでもよい。

10

【0047】

図2は、本発明の一実施形態に係るクライオポンプシステム100のための制御装置110の構成の概略を示すブロック図である。図2は、本発明の一実施形態に関連するクライオポンプシステム100の主要部分を示す。

【0048】

制御装置110は、クライオポンプ10（即ち冷凍機12）、圧縮機ユニット50、及びガスボリューム調整部74を制御するために設けられている。制御装置110は、クライオポンプ10の運転を制御するためのクライオポンプコントローラ（以下では、CPコントローラとも呼ぶ）112と、圧縮機ユニット50の運転を制御するための圧縮機コントローラ114と、を備える。

20

【0049】

CPコントローラ112は、クライオポンプ10の第1温度センサ28及び第2温度センサ30の測定温度を表す信号を受信するよう構成されている。CPコントローラ112は、例えば、受信した測定温度に基づいてクライオポンプ10を制御する。この場合例えば、CPコントローラ112は、第1（又は第2）クライオパネル32（34）の目標温度に第1（又は第2）温度センサ28（30）の測定温度を一致させるように冷凍機モータ22の回転数（例えば運転周波数）を制御する。熱負荷に応じて冷凍機モータ22の回転数を適切に調整することができるので、こうした制御はクライオポンプ10の消費電力の低減に役立つ。

30

【0050】

圧縮機コントローラ114は、ガスライン72に圧力制御を提供するよう構成されている。圧力制御を提供するために、圧縮機コントローラ114は、第1圧力センサ62及び第2圧力センサ64の測定圧力を表す信号を受信するよう構成されている。圧縮機コントローラ114は、圧力測定値を圧力目標値に一致させるように圧縮機モータ53の回転数（例えば運転周波数）を制御する。

【0051】

また、圧縮機コントローラ114は、ガスボリューム調整部74の流路選択部82を制御するよう構成されている。圧縮機コントローラ114は、必要情報に基づいて上述の補給状態または回収状態を選択し、選択結果に応じて流路選択部82を制御する。圧縮機ユニット50及びガスボリューム調整部74の制御の詳細については図4及び図5を参照して後述する。

40

【0052】

図3は、本発明の一実施形態に関連して、クライオポンプ10の運転方法を説明するためのフローチャートである。この運転方法は、準備運転（S10）と、真空排気運転（S12）と、を含む。真空排気運転が、クライオポンプ10の通常運転である。準備運転は、通常運転に先行して実行される任意の運転状態を含む。CPコントローラ112は、この運転方法を適時に反復して実行する。

【0053】

50

準備運転 (S10) は例えば、クライオポンプ10の起動である。クライオポンプ10の起動は、クライオポンプ10が設置される環境温度 (例えば室温) から極低温にクライオパネル32、34を冷却するクールダウンを含む。クールダウンの目標冷却温度は、真空排気運転のために設定される標準的な運転温度である。その標準運転温度は上述のように、第1クライオパネル32については例えば80K乃至100K程度の範囲から、第2クライオパネル34については例えば10K乃至20K程度の範囲から、選択される。

【0054】

準備運転 (S10) は、クライオポンプ10の再生であってもよい。再生は、今回の真空排気運転の終了後に、次回の真空排気運転の準備のために実行される。再生は、第1及び第2クライオパネル32、34を再生するいわゆるフル再生、または第2クライオパネル34を再生する部分再生である。

10

【0055】

再生は、昇温工程、排出工程、及び冷却工程を含む。昇温工程は、上記の標準運転温度よりも高温である再生温度にクライオポンプ10を昇温することを含む。フル再生の場合、再生温度は例えば室温またはそれよりいくらか高い温度である (例えば約290Kないし約300K)。昇温工程のための熱源は例えば、冷凍機12の逆転昇温、及び/または冷凍機12に付設されるヒータ (図示せず) である。

【0056】

排出工程は、クライオパネル表面から再気化した気体をクライオポンプ10の外部へ排出することを含む。再気化した気体は、必要に応じて導入されるパージガスとともにクライオポンプ10から排出される。排出工程においては、冷凍機12の運転は停止されている。冷却工程は、真空排気運転を再開するためにクライオパネル32、34を再冷却することを含む。冷却工程は、冷凍機12の運転状態としては、起動のためのクールダウンと同様である。

20

【0057】

準備運転期間はクライオポンプ10のダウンタイム (つまり、真空排気運転の休止期間) にあたるため、なるべく短いことが好ましい。一方、通常の真空排気運転は標準運転温度を保つための定常的な運転状態である。そのため、通常運転に比べて準備運転は、クライオポンプ10 (即ち冷凍機12) への負荷が大きくなる。例えば、クールダウン運転は通常運転よりも高い冷凍能力を冷凍機12に要求する。同様に、逆転昇温運転は高い昇温能力を冷凍機12に要求する。よって、たいていの場合、準備運転において冷凍機モータ22は、かなり高い回転数 (例えば、許容される最高の回転数の近傍) で運転される。

30

【0058】

クライオポンプ10の準備運転に並行して、圧縮機ユニット50の準備運転が行われてもよい。圧縮機ユニット50の準備運転は、本発明の一実施形態に係るガスボリューム調整のための準備動作を含んでもよい。この準備動作は、バッファタンク80の圧力を初期圧に復元するためのリセット動作を含んでもよい。この初期圧は、作動ガス回路70への作動ガスの封入圧にあたる。

【0059】

リセット動作のために、圧縮機コントローラ114は、圧縮機ユニット50の運転が停止されガスライン72の高圧と低圧とが概ね均一化されているときに、バッファタンク80をガスライン72に開放する。こうして圧縮機ユニット50の高圧と低圧との中間圧にバッファタンク80を復元することができる。準備動作は、冷凍機12の運転停止期間 (例えば、再生の排出工程) に行われる。

40

【0060】

真空排気運転 (S12) は、真空チャンバ102からクライオポンプ10へ向かって飛来する気体分子を、極低温に冷却されたクライオパネル32、34の表面に凝縮又は吸着により捕捉する運転状態である。第1クライオパネル32 (例えばバッフル38) には、その冷却温度で蒸気圧が十分に低くなる気体 (例えば水分など) が凝縮される。バッフル38の冷却温度では蒸気圧が十分に低くならない気体はバッフル38を通過して熱シール

50

ド36へと進入する。第2クライオパネル34には、その冷却温度で蒸気圧が十分に低くなる気体（例えばアルゴンなど）が凝縮される。第2クライオパネル34の冷却温度でも蒸気圧が十分に低くならない気体（例えば水素など）は、第2クライオパネル34の吸着剤に吸着される。このようにしてクライオポンプ10は真空チャンバ102の真空度を所望のレベルに到達させることができる。

【0061】

図4は、本発明の一実施形態に係るクライオポンプシステム100の運転方法を説明するためのフローチャートである。この運転方法は、ガスボリューム調整(S20)と、圧力制御(S22)と、を含む。圧縮機コントローラ114は、この運転方法を適時に反復して実行する。

10

【0062】

ガスボリューム調整(S20)は、ガスボリューム、すなわち、クライオポンプ10と圧縮機ユニット50とを循環する作動ガス量を調整する処理である。一例は図5を参照して後述する。

【0063】

圧力制御(S22)は、調整されたガスボリュームのもとで、圧力測定値を圧力目標値に一致させるように圧縮機モータ53の回転数（例えば運転周波数）を制御する処理である。この圧力制御は、クライオポンプ10の準備運転または真空排気運転に並行して継続的に実行される。

【0064】

20

圧力目標値は例えば、圧縮機52の高圧と低圧との差圧の目標値である。この場合、圧縮機コントローラ114は、第1圧力センサ62の測定圧と第2圧力センサ64の測定圧との差圧を差圧目標値に一致させるように圧縮機モータ53の回転数を制御する差圧一定制御を実行する。なお圧力目標値は、圧力制御の実行中に変更されてもよい。

【0065】

圧力制御によれば、冷凍機12の所要ガス量に応じて圧縮機モータ53の回転数を適切に調整することができるので、クライオポンプシステム100の消費電力の低減に役立つ。また、差圧によって冷凍機12の冷凍能力が決まるので、差圧一定制御によれば、冷凍機12を目標の冷凍能力に維持することができる。よって、差圧一定制御は、冷凍機12の冷凍能力の維持とシステムの消費電力低減とを両立できるという点で、クライオポンプシステム100に特に好適である。

30

【0066】

代案として、圧力目標値は、高圧目標値（または低圧目標値）であってもよい。この場合、圧縮機コントローラ114は、第2圧力センサ64（または第1圧力センサ62）の測定圧を高圧目標値（または低圧目標値）に一致させるように圧縮機モータ53の回転数を制御する高圧一定制御（または低圧一定制御）を実行する。

【0067】

図5は、本発明の一実施形態に係るガスボリューム調整処理を説明するためのフローチャートである。上述のように、ガスボリューム調整(図4のS20)のために、圧縮機コントローラ114は流路選択部82を制御する。そのために、圧縮機コントローラ114はまず、ガスボリューム調整のための必要情報の入力を受ける(S30)。

40

【0068】

必要情報は、第1圧力センサ62の測定圧、及び第2圧力センサ64の測定圧を含んでもよい。また、圧縮機コントローラ114は、この必要情報をCPコントローラ112から取得してもよい。すなわち、必要情報は、第1温度センサ28の測定温度、及び第2温度センサ30の測定温度、及びクライオポンプ10の運転状態を含んでもよい。

【0069】

圧縮機コントローラ114は、入力された必要情報に基づいて、ガスボリューム調整の要否を判定する(S32)。圧縮機コントローラ114は例えば、クライオポンプ10の運転状態からガスボリューム調整の要否を判定する。この場合、圧縮機コントローラ11

50

4 は、クールダウン運転の完了タイミング又は真空排気運転の開始タイミングにて、ガスボリューム増加を要すると判定してもよい。このようにすれば、クールダウン運転を経て圧縮機ユニット50の運転圧力が最小化された状態から、効果的に運転圧力を回復させることができる。

【0070】

一方、圧縮機コントローラ114は、真空排気運転の終了タイミング又は再生の開始タイミングにて、ガスボリューム減少を要すると判定してもよい。再生開始当初に運転圧力が比較的大きく高まるという経験的な知見がある。よって、このようにすれば、運転圧力を効果的に適正レベルに復帰させることができる。なお、真空排気運転終了に伴って冷凍機12の運転が停止される場合（すなわち逆転昇温が実施されない場合）には、圧縮機コントローラ114は、クールダウン運転に先行する任意のタイミングで、ガスボリューム減少を要すると判定してもよい。

10

【0071】

ある実施例においては、圧縮機コントローラ114は、クライオポンプ10の運転温度からガスボリューム調整の要否を判定してもよい。圧縮機コントローラ114は、クライオポンプ10の運転温度として第2温度センサ30の測定温度を用いてもよい。この場合、圧縮機コントローラ114は、第1しきい値温度を測定温度が下回ったとき、ガスボリューム増加を要すると判定してもよい。また、圧縮機コントローラ114は、第2しきい値温度を測定温度が上回ったとき、ガスボリューム減少を要すると判定してもよい。

【0072】

第1しきい値温度及び第2しきい値温度は、真空排気運転の標準運転温度に関連して設定される。例えば、第1しきい値温度は、クールダウン運転の目標冷却温度に設定されてもよい。このようにすれば、クールダウン運転の完了に合わせてガスボリュームを増加させることができる。第2しきい値温度は、標準運転温度よりも高く、かつ、例えば20K（または30K）以下の温度範囲から選択される。このようにすれば、再生の開始に合わせてガスボリュームを減少させることができる。

20

【0073】

なお、圧縮機コントローラ114は、クライオポンプ10の運転温度に代えて、作動ガス回路70の測定圧からガスボリューム調整の要否を判定してもよい。上述のように、作動ガス回路70において作動ガスの温度と圧力とは連動するため、測定圧に基づく場合にも同様にして、ガスボリューム調整の要否を適切に判定することができる。

30

【0074】

ガスボリューム調整の要否判定に続いて、圧縮機コントローラ114は、バッファ接続流路選択を実行する（S34）。ガスボリューム調整を要すると判定されている場合には、圧縮機コントローラ114は、バッファタンク80のガスライン72への接続流路を切り替える。一方、ガスボリューム調整が不要と判定されている場合には、圧縮機コントローラ114は、バッファタンク80のガスライン72への接続流路をそのまま保持する。

【0075】

ガスボリューム増加を要すると判定される場合には、圧縮機コントローラ114は、ガス回収路88を遮断し、ガス補給路86を開いてバッファタンク80を低圧ライン78につなぐ（図1参照）。バッファタンク80は低圧ライン78に対する高圧ガス源として作用する。バッファタンク80に貯留されている作動ガスがガス補給路86を通じて低圧ライン78に補給される。ガスライン72の作動ガス量は、初期ガス量から通常ガス量へと増加される。初期ガス量はクライオポンプ10の準備運転のためのガスボリュームであり、通常ガス量は通常運転（つまり真空排気運転）のためのガスボリュームである。バッファタンク80から低圧ライン78に作動ガスが放出され、バッファタンク80は降圧される。

40

【0076】

一方、ガスボリューム減少を要すると判定される場合には、圧縮機コントローラ114は、ガス補給路86を遮断し、ガス回収路88を開いてバッファタンク80を高圧ライン

50

76につなぐ。バッファタンク80は高圧ライン76に対する低圧ガス源として作用する。作動ガスが高圧ライン76からガス回収路88へと排出され、バッファタンク80へと回収される。こうして、ガスライン72の作動ガス量は、通常ガス量から初期ガス量へと減少される。バッファタンク80へと高圧ライン76から作動ガスが充填され、バッファタンク80は昇圧される。

【0077】

このようにして、ガスボリューム調整(図4のS20)は終了し、調整されたガスボリュームのもとで圧力制御(図4のS22)が実行される。なお、ガスボリューム調整のために開放されたガス補給路86またはガス回収路88は、次の調整までそのまま開放されていてよいし、それ以前に適時に閉鎖されてもよい。

10

【0078】

なお、圧縮機コントローラ114に代えて、CPコントローラ112がガスボリューム調整部74の流路選択部82を制御してもよい。この場合、CPコントローラ112は、圧縮機コントローラ114から測定圧を取得し、これら測定圧及び/またはその他の必要情報を利用して、流路選択部82を制御してもよい。

【0079】

図6は、本発明の一実施形態に係る圧縮機ユニット50の運転圧力の変化の概略を示す図である。図6において縦軸は圧力を示し、横軸は時間を示す。圧縮機ユニット50の高圧PH(すなわち、圧縮機52の吐出圧)と、圧縮機ユニット50の低圧PL(すなわち、圧縮機52の吸入圧)とについて、クライオポンプ10のクールダウン運転期間A、真空排気運転期間B、及び再生運転期間Cを通じた変動が示されている。図示の例では圧縮機ユニット50は差圧一定制御で運転されている。そのため、高圧PHと低圧PLとの差圧Pは一定に保たれている。

20

【0080】

クールダウン運転期間Aの当初、クライオポンプ10の運転温度は高温(例えば室温)であるため、圧縮機ユニット50の運転圧力も高い。クールダウン運転により冷却が進むにつれて、冷凍機12において作動ガスは降温し収縮する。そのため、冷凍機12の膨張室に滞留するガス量が増えていく。ガスライン72から冷凍機12の膨張室へと作動ガスが、いわば奪われる。こうしてガスライン72の作動ガス量が減り、図示されるように、圧縮機ユニット50の高圧PH及び低圧PLもそれぞれ下がっていく。

30

【0081】

クールダウンの目標冷却温度にまで到達するとクールダウン運転期間Aが終了する。クールダウン運転期間Aの完了時点で本運転の最低温度に到達する。これに続く真空排気運転期間Bにおいては、その冷却温度を保持するよう安定的にクライオポンプ10は運転される。よって、クールダウン運転期間Aの完了時点で、圧縮機ユニット50の運転圧力も同様に最低となる。

【0082】

クールダウンから真空排気運転への移行に際して、ガスボリューム増加調整がなされる。ガスボリューム調整部74が補給状態をとることにより、ガスライン72の作動ガス量は、初期ガス量から通常ガス量へと増加される。言い換えれば、バッファタンク80から流路選択部82を通じて低圧ライン78へと、バッファ圧が開放される。こうして、図示されるように、クールダウン運転期間Aと真空排気運転期間Bとの境界で、圧縮機ユニット50の高圧PH及び低圧PLが不連続的に昇圧される。

40

【0083】

真空排気運転期間Bにおいては、圧縮機ユニット50は、通常ガス量のもとで差圧一定制御を定常的に実行する。圧縮機ユニット50の運転圧力は、ガスボリュームの増加調整によって高められた圧力レベルに保たれる。初期ガス量のまま低い圧力レベルで差圧一定制御を実行する場合に比べて、圧縮機ユニット50における圧縮比は小さくなる。小さい圧縮比は小さい圧縮機回転数で実現できる。よって、ガスボリュームの増加調整は、真空排気運転の消費電力を低減する効果をもつ。

50

【 0 0 8 4 】

真空排気運転から再生への移行に際して、ガスボリューム減少調整がなされる。ガスボリューム調整部 7 4 が回収状態をとることにより、ガスライン 7 2 の作動ガス量は、通常ガス量から初期ガス量へと減少される。言い換えれば、高圧ライン 7 6 から流路選択部 8 2 を通じてバッファタンク 8 0 へと作動ガスが充填され、バッファ圧が回復される。こうして、図示されるように、真空排気運転期間 B と再生運転期間 C との境界で、圧縮機ユニット 5 0 の高圧 P H 及び低圧 P L が不連続的に降圧される。

【 0 0 8 5 】

再生が開始されるとクライオポンプ 1 0 の逆転昇温が行われる。クールダウンのときは逆に、冷凍機 1 2 からガスライン 7 2 へと作動ガスが解放される。ガスライン 7 2 の作動ガス量が増え、図示されるように、圧縮機ユニット 5 0 の高圧 P H 及び低圧 P L もそれぞれ高くなっていく。

10

【 0 0 8 6 】

ガスボリューム調整による運転圧力の変化量は、バッファ容積及びバッファ圧によって変わる。バッファ圧は作動ガスの作動ガス回路 7 0 への封入圧に依存する。そこで、バッファ容積及び作動ガス封入圧は運転圧力に所望の変化を与えるよう設計される。例えば、バッファ容積及び作動ガス封入圧は、作動ガスの降温による降圧量の少なくとも一部を回復するよう設計される。あるいは、バッファ容積及び作動ガス封入圧は、ガスボリューム増加調整により、上記降圧量を超えて昇圧されるよう設計されてもよい。

【 0 0 8 7 】

しかし、圧縮機ユニット 5 0 の高圧 P H が仕様上の限界圧力に到達したとき、圧縮機ユニット 5 0 は、圧を下げるための保護運転または運転停止へと、定常運転（例えば差圧一定制御）から強制的に切り替わるよう構成されている場合がある。この限界圧力は例えば、作動ガスの過度の高圧を警告するために電氣的にまたは機械的に定められている高圧設定値である。

20

【 0 0 8 8 】

これを避けるために、図示されるように、昇圧された圧縮機ユニット 5 0 の高圧 P H が設定された上限圧 P m a x 以下に留まるように、運転圧力の昇圧量が定められている。設定上限圧 P m a x は例えば、圧縮機ユニット 5 0 の限界圧力から所定の余裕を差し引いて設定される。このようにすれば、運転圧力を適正水準に保つことができる。圧縮機ユニット 5 0 の不測の運転停止または保護運転を避けることができる。

30

【 0 0 8 9 】

同様にして、バッファ容積及び作動ガス封入圧は、ガスボリューム減少調整によって、作動ガスの昇温による昇圧の少なくとも一部を吸収するよう設計される。この場合も、昇圧された圧縮機ユニット 5 0 の高圧 P H が設定上限圧 P m a x 以下に留まるように、昇圧量が定められる。

【 0 0 9 0 】

以上説明したように、本実施形態によれば、クライオポンプ 1 0 の準備運転のためにガスボリュームが減少され、通常運転のためにガスボリュームが増加される。こうして、クライオポンプ 1 0 の運転状態に応じて、圧縮機ユニット 5 0 の運転圧力を適正な水準に調整することができる。通常運転中の消費電力が低減され、準備運転中の運転継続性が向上された圧縮機ユニット 5 0 を有するクライオポンプシステム 1 0 0 が提供される。

40

【 0 0 9 1 】

以上、本発明を実施例にもとづいて説明した。本発明は上記実施形態に限定されず、種々の設計変更が可能であり、様々な変形例が可能であること、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは、当業者に理解されるところである。

【 0 0 9 2 】

ガスボリューム調整部 7 4 は、図 1 に示す具体的な構成には限られない。例えば、図 7 に示すように、流路選択部 8 2 は、複数の制御弁を備えてもよい。図示されるように、流路選択部 8 2 は、第 1 制御弁 1 2 0 と第 2 制御弁 1 2 2 とを備える。第 1 制御弁 1 2 0 及

50

び第2制御弁122は二方弁である。第1制御弁120はガス補給路86の中途に設けられ、ガス補給路86はバッファタンク80を低圧ライン78に接続する。第2制御弁122はガス回収路88の中途に設けられ、ガス回収路88はバッファタンク80を高圧ライン76に接続する。

【0093】

また、図8に示すように、ガスボリューム調整部74は複数のバッファタンクを備えてもよい。図示されるように、ガスボリューム調整部74は、第1バッファタンク124と、第2バッファタンク126と、を備える。第1バッファタンク124はガス補給路86を通じて低圧ライン78に接続され、第2バッファタンク126はガス回収路88を通じて高圧ライン76に接続されている。図7に示す実施例と同様に、ガス補給路86には第1制御弁120が設けられ、ガス回収路88には第2制御弁122が設けられている。

10

【0094】

図8に示す実施例においては、ガスボリューム増加調整により第1バッファタンク124の圧は低下する。ガスボリューム減少調整により第2バッファタンク126の圧は上昇する。よって、既述のリセット動作が適時に行われることが望ましい。つまり、圧縮機ユニット50の運転停止中に第1バッファタンク124及び第2バッファタンク126をそれぞれガスライン72に開放し、各々のガス圧を初期圧に復元する。

【0095】

図8に示す実施例においては、ガスボリューム調整部74はガス補給部128とガス回収部130とを備えるとみなすこともできる。ガス補給部128は第1バッファタンク124と第1制御弁120とを備える。ガス回収部130は第2バッファタンク126と第2制御弁122とを備える。ガス補給部128は、第1バッファタンク124に代えて、低圧ライン78よりも高圧の作動ガス源を備えてもよい。ガス回収部130は、第2バッファタンク126に代えて、高圧ライン76から作動ガスを受け入れるためのリザーバを備えてもよい。

20

【0096】

ある実施例においては、ガスボリューム調整部74は、ガス補給部128またはガス回収部130のいずれかのみを備えてもよい。ガス補給部128を備えることにより、真空排気運転のためのガスボリューム増加調整を提供することができる。例えば、再生で逆転昇温を実施しない場合には、こうした構成も有用であり得る。一方、ガス回収部130を備えることにより、準備運転のためのガスボリューム減少調整を提供することができる。

30

【0097】

また、バッファタンク80のガスライン72とのつなぎ替えタイミングとクライオポンプ運転状態の切替とは完全には同期していなくてもよい。例えば、クールダウンから真空排気運転に移行する場合には、ガスボリューム増加調整がクールダウン中に実行されてもよい。この場合、クライオポンプ10の降温に連動して段階的に（又は連続的に）、ガスボリューム調整部74からガスライン72へと作動ガスが補給されてもよい。そのために、ガスボリューム調整部74は、測定温度（又は測定圧力）に応じて制御される流量制御弁をガス補給路86に備えてもよい。また、真空排気運転開始後に、ガスボリューム増加調整が実行されてもよい。

40

【0098】

同様に、真空排気運転から再生に移行する場合には、ガスボリューム減少調整が再生中に実行されてもよい。この場合、クライオポンプ10の昇温に連動して段階的に（又は連続的に）、ガスライン72からガスボリューム調整部74へと作動ガスが回収されてもよい。そのために、ガスボリューム調整部74は、測定温度（又は測定圧力）に応じて制御される流量制御弁をガス回収路88に備えてもよい。また、真空排気運転終了前に、ガスボリューム減少調整が実行されてもよい。

【0099】

また、クライオポンプシステム100は、図9に示すように、複数のクライオポンプ10を備えてもよい。複数のクライオポンプ10は、圧縮機ユニット50及びガスボリュー

50

ム調整部74に対して並列に設けられている。1台の圧縮機ユニット50が担当するクライオポンプ10の数に比例して、ガスボリューム増加調整による消費電力低減効果が大きくなる。よって、本発明は、複数のクライオポンプ10を備えるクライオポンプシステム100に好適である。

【0100】

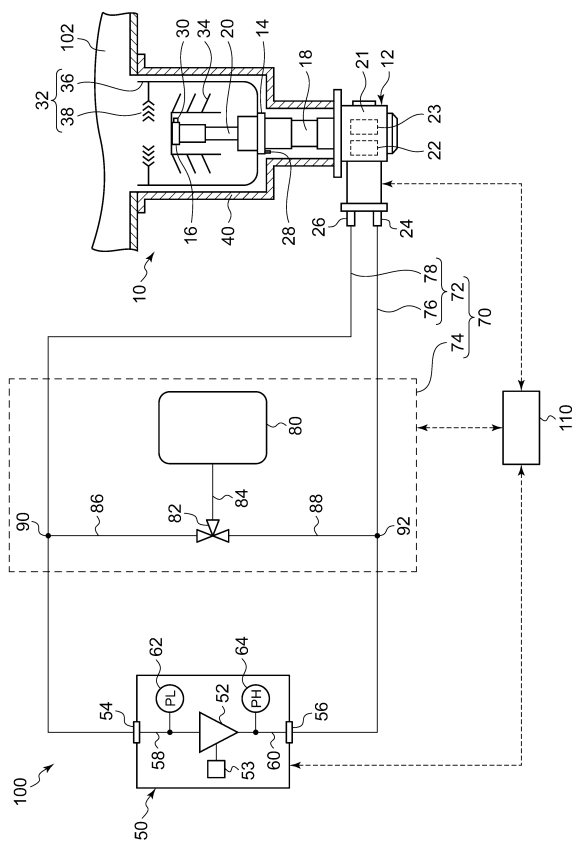
ある実施例においては、クライオポンプ10に代えて、冷凍機12を備える極低温装置が設けられていてもよい。本発明の一実施形態に係るガスボリューム調整がこうした極低温装置を備える極低温システムにも適用しうることは、当業者に明らかである。

【符号の説明】

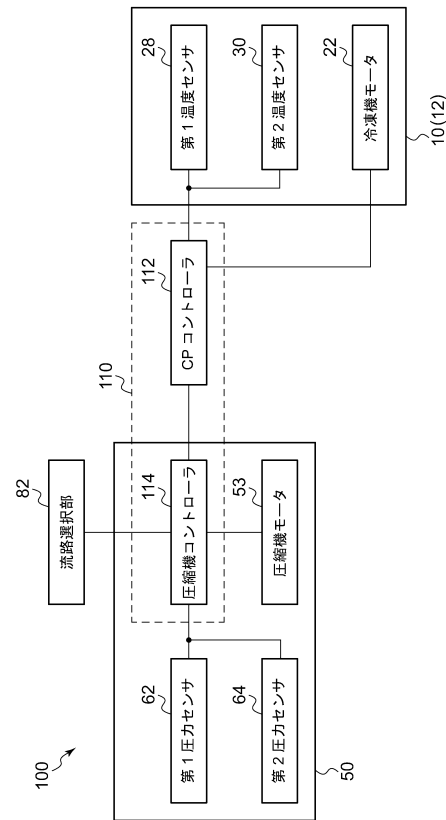
【0101】

10 クライオポンプ、 12 冷凍機、 50 圧縮機ユニット、 52 圧縮機、
72 ガスライン、 74 ガスボリューム調整部、 100 クライオポンプシステム、
110 制御装置、 114 圧縮機コントローラ。

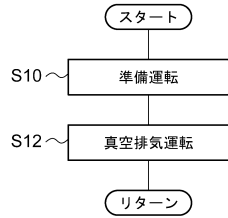
【図1】



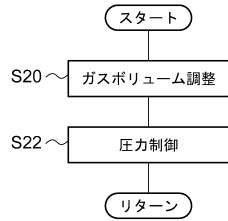
【図2】



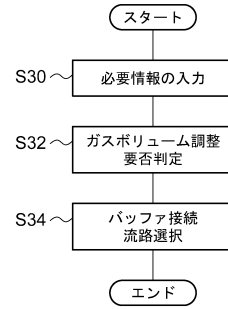
【図3】



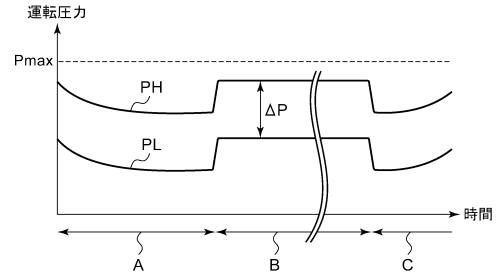
【図4】



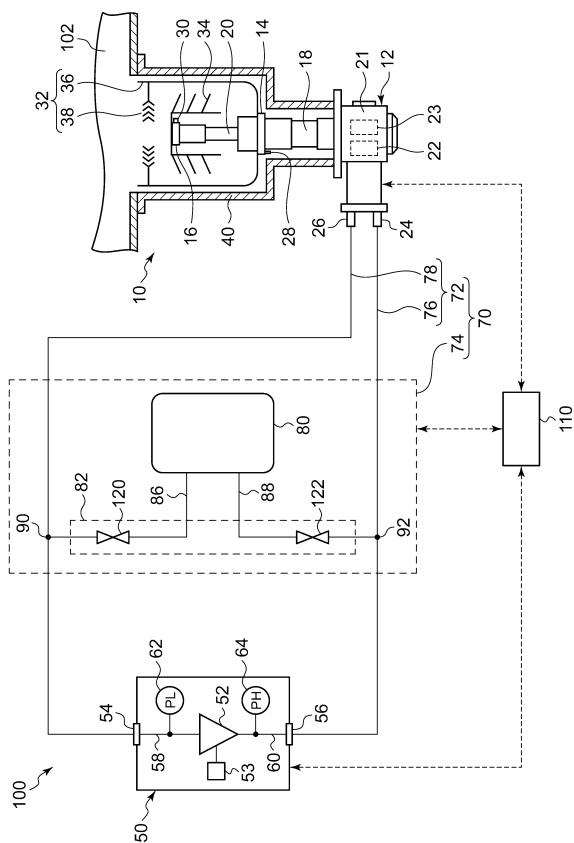
【図5】



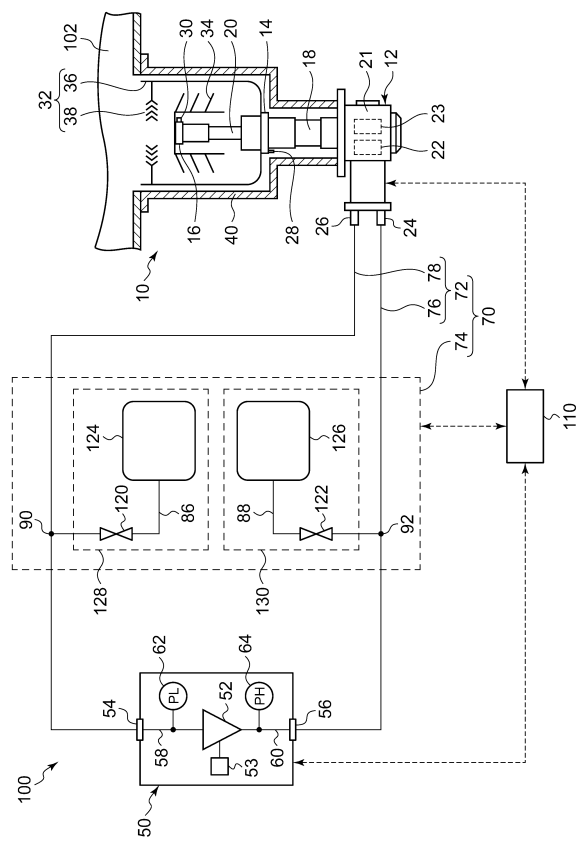
【図6】



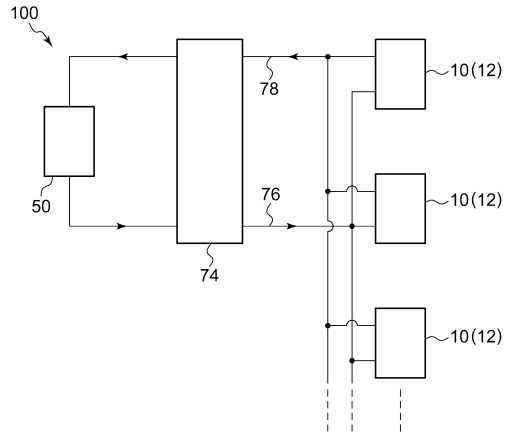
【図7】



【図8】



【 図 9 】



フロントページの続き

審査官 所村 陽一

- (56)参考文献 特開平09 - 317640 (JP, A)
特開2009 - 150645 (JP, A)
特開2009 - 275579 (JP, A)
特開2000 - 266416 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F04B 37/08
F04B 37/16