

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：膨張タービン装置

技術分野

[0001] 本発明は、膨張タービン装置に関し、特に静圧気体軸受を備える膨張タービン装置の漏洩防止技術に関する。

背景技術

[0002] 一般に、水素ガス、ヘリウムガス等の原料ガスを液化する液化システムは、原料ガスを送るフィードライン、冷媒ガスを循環させる冷媒循環ライン、及び冷媒で原料ガスを冷却するための熱交換器を備えている。冷媒循環ラインを循環する冷媒ガスは、圧縮機で圧縮された後、膨張タービンにより断熱膨張されて降温する。原料ガスは降温された冷媒ガスと熱交換器で熱交換する事により冷却される。

[0003] 膨張タービンには回転軸を支持するための軸受が必要になる。軸受として潤滑油を用いた液体軸受を適用すると、潤滑油が膨張タービンを通過する冷媒ガスに混入する恐れがある。そのため、軸受には、冷媒ガスと同じ種類のガスを用いた気体軸受を適用することが好ましい。気体軸受の内、静圧気体軸受は、液化システムの始動時及び停止時に軸受面と回転軸との間の摩擦を小さく抑える事が可能であり、また超高速回転に適している。このため、静圧気体軸受は膨張タービンの軸受として使用される（例えば特許文献1を参照）。

[0004] 静圧気体軸受を用いる膨張タービンは、静圧気体軸受に冷媒ガスと同じ種類の軸受ガスを供給するための軸受供給ラインと、静圧気体軸受を通過した軸受ガスを排気する軸受排気ラインを備える。膨張タービン内部の軸受室には回転軸が挿設され、軸受供給ラインと軸受排気ラインが連通されている。回転軸の一端に設けられたタービンインペラは、膨張室に收容される。膨張室は、タービンインペラの外周側には冷媒ガスが流入する膨張室入口が形成され、中心部軸方向には冷媒ガスが流出する膨張室出口が形成される。一方

、回転軸の他端に設けられたブレーキンペラは、制動ガス室に收容される。制動ガス室には、制動ガス室の出口と入口とを連通させる連通路が形成され、ブレーキンペラを含む閉回路が形成される。

[0005] 膨張タービンのタービンインペラの背面には、膨張室から軸受室へ低温の冷媒ガスが漏洩するのを抑制するためにラビリンスシールが設けられる（例えば特許文献2を参照）。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2000-55050号公報

特許文献2：特開平6-26301号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかし、ラビリンスシールは回転軸との間に一定の隙間があるため、シール差圧がある限り漏洩を完全に防ぐ事はできない。膨張室から軸受室への低温ガスの漏洩が増加すると、膨張タービンの効率が低下するとともに、軸受室が冷却されるために回転軸とラジアル静圧軸受の隙間寸法が変化し、場合によっては回転軸とラジアル静圧軸受との接触が生じる。

[0008] そこで、本発明は、静圧気体軸受を備える膨張タービンにおいて低温ガスのシール漏洩を抑制することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様に係る膨張タービン装置は、内部に膨張室と制動ガス室と軸挿通孔とが形成され、且つ前記軸挿通孔は前記膨張室と前記制動ガス室とを連通し且つ回転軸が挿通可能なように形成された本体と、前記膨張室に收容され、冷媒ガスを膨張させるタービンインペラと、前記制動ガス室に收容され、前記冷媒ガスと同じ種類の制動ガスによって制動されるブレーキンペラと、前記軸挿通孔に隙間を有して挿通され、一方の端部に前記タービンインペラが設けられ、他方の端部に前記ブレーキンペラが設けられた前記

回転軸と、前記軸挿通孔に設けられ、入口から供給され且つ出口から排出される前記冷媒ガスと同じ種類の軸受ガスの静圧によって前記回転軸を回転可能に支持する静圧気体軸受と、前記軸受室の前記膨張室側の端と前記静圧気体軸受が設けられた部分との間の部分に設けられた第１ラビリンスシールと、前記軸受ガスと前記第１ラビリンスシールを通じて前記膨張室から前記軸受室に漏洩する冷媒ガスとの混合ガスを排出する混合ガス排出経路と、前記混合ガス排出経路に設けられ、前記静圧気体軸受の背圧を調整する第１背圧調整弁と、前記混合ガス排出経路に設けられ、前記混合ガスの温度を計測する温度センサと、前記混合ガス排出経路を流れる前記混合ガスの温度が低下した場合に前記静圧気体軸受の背圧を上昇させるように第１背圧調整弁を制御する制御装置と、を備える。

[0010] 上記構成によれば、第１ラビリンスシールを通じて膨張室から軸受室に漏洩する冷媒ガスが増加すると混合ガス排出経路を流れる混合ガスの温度が低下するが、混合ガスの温度が低下すると制御装置が静圧気体軸受の背圧を上昇させる。これにより、第１ラビリンスシールの差圧が小さくなるので、漏洩量を抑制することができる。

[0011] 上記膨張タービン装置では、前記静圧気体軸受が、前記回転軸を径方向において回転可能に支持する第１及び第２ラジアル静圧軸受と、前記回転軸を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受と、を備え、前記軸受室に、前記膨張室から前記制動ガス室に向かって、前記第１ラジアル静圧軸受、前記スラスト静圧軸受、及び前記第２ラジアル静圧軸受が順に位置するように設けられ、且つ前記第１ラビリンスシールは、前記軸受室の前記膨張室側の端と前記第１ラジアル静圧軸受が設けられた部分との間の部分に設けられ、前記第１ラジアル静圧軸受の出口に前記混合ガス排出経路の上流端が接続され、前記スラスト静圧軸受の出口及び前記第２ラジアル静圧軸受の出口に軸受ガス専用排出経路の上流端が接続されてもよい。

[0012] 上記構成によれば、膨張室側に位置する第１ラジアル静圧軸受に対してのみ、他の軸受とは独立した背圧制御が実施される。背圧制御は背圧を上げ過

ざると軸受性能が低下するという弊害を伴う場合があるが、上記構成によれば、第1ラビリンスシールに隣接する膨張室側の第1ラジアル静圧軸受のみを制御してその目的を果たすことができ、且つその他の軸受の背圧設定の自由度が増し、好適な制御が実現できる。

[0013] 上記膨張タービン装置では、前記静圧気体軸受が、前記回転軸を径方向において回転可能に支持する第1及び第2ラジアル静圧軸受と、前記回転軸を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受と、を備え、前記軸受室に、前記膨張室から前記制動ガス室に向かって、前記第1ラジアル静圧軸受、前記スラスト静圧軸受、及び前記第2ラジアル静圧軸受が順に位置するように設けられ、且つ、前記軸受室の前記第1ラジアル静圧軸受と前記スラスト静圧軸受との間の部分に設けられた第2ラビリンスシールと、前記スラスト静圧軸受の出口及び前記第2ラジアル静圧軸受の出口に上流端が接続された軸受ガス専用排出経路と、前記軸受ガス専用排出経路に設けられ、前記スラスト静圧軸受及び前記第2ラジアル静圧軸受の背圧を調整する第2背圧調整弁と、前記制動ガス室の出口に一端が接続され、且つ、前記制動ガス室の入口に他端が接続された制動ラインと、前記制動ラインに一端が接続され、且つ、前記軸受ガス専用排出経路に他端が接続された通気経路と、を更に備えてもよい。

[0014] 上記構成によれば、通気経路を介して、制動ラインの圧力とスラスト静圧軸受及び第2ラジアル静圧軸受の背圧とを均一にさせ、第1ラジアル静圧軸受の軸受背圧とは独立した圧力制御を行うことができる。更に、上記構成によれば、第2ラビリンスシールを第1ラジアル静圧軸受とスラスト静圧軸受の間に移動することにより、第2ラジアル静圧軸受と膨張室の間の距離を短縮する事が可能で、第2ラジアル静圧軸受から膨張室側への回転軸の軸長も短縮でき、回転体質量を軽減し振動安定性の向上を図る事が可能である。

[0015] 上記膨張タービン装置では、前記静圧気体軸受は、前記回転軸を径方向において回転可能に支持する第1及び第2ラジアル静圧軸受と、前記回転軸を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受と、を備え、前記軸受

室に、前記膨張室から前記制動ガス室に向かって、前記第 1 ラジアル静圧軸受、前記スラスト静圧軸受、及び前記第 2 ラジアル静圧軸受が順に位置するように設けられ、且つ前記第 1 ラビリンスシールは、前記軸受室の前記膨張室側の端と前記第 1 ラジアル静圧軸受が設けられた部分との間の部分に設けられ、前記第 1 ラジアル静圧軸受の前記膨張室側の出口に前記混合ガス排出経路の上流端が接続され、前記第 1 ラジアル静圧軸受の前記制動ガス室側の出口、前記スラスト静圧軸受の出口及び前記第 2 ラジアル静圧軸受の出口に軸受ガス専用排出経路の上流端が接続されていてもよい。

[0016] 上記構成によれば、第 1 ラビリンスシールに最も隣接する第 1 ラジアル静圧軸受の膨張室側の出口に対してのみ背圧制御を実施するので、背圧設定の自由度が増し、好適な制御が実現できる。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、静圧気体軸受を備える膨張タービン装置において低温ガスのシール漏洩を抑制することができる。これにより、タービンの効率低下、軸受室の冷却を抑制することができる。

[0018] 本発明の上記目的、他の目的、特徴、及び利点は、添付図面参照の下、以下の好適な実施態様の詳細な説明から明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第 1 実施形態に係る膨張タービン装置の構造を示す一部断面図である。

[図2]図 1 のラジアル静圧軸受の構成を示す概略図である。

[図3]図 1 のスラスト静圧軸受の構成を示す概略図である。

[図4]図 1 のラビリンスシールの構成を示す模式図である。

[図5]図 1 の膨張タービン装置の全体的な構成を示す概略図である。

[図6]第 2 実施形態に係る膨張タービン装置の構成を示す模式図である。

[図7]第 3 実施形態に係る膨張タービン装置の構成を示す模式図である。

[図8]第 4 実施形態に係る膨張タービン装置の構成を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明に係る実施形態について図面を参照しつつ説明する。以下で

は、全ての図面を通じて同一又は相当する要素には同じ符号を付して、重複する説明は省略する。

[0021] (第1実施形態)

図1は、第1実施形態に係る膨張タービン装置の構造を示す一部断面図である。図1に示すように、膨張タービン装置1は、本体10内部に膨張室21と制動ガス室20と軸挿通孔22とが形成される。本体10は、例えば、ケーシング形状に形成される。軸挿通孔22は、膨張室21と制動ガス室20とを連通し且つ回転軸13が挿通可能なように形成される。

[0022] 回転軸13は、軸挿通孔22に隙間を有して挿通され、一方の端部にタービンインペラ11が設けられ、他方の端部にブレーキインペラ12が設けられる。回転軸13は、本体10内で上下方向に延び、上下軸線回りに回転可能に支持されている。

[0023] タービンインペラ11は、膨張室21に收容され、冷媒ガスを膨張させるように構成される。タービンインペラ11は、回転軸13の下端部に形成されている。本体10下部には、膨張室入口24及び膨張室出口26が形成され、これによりタービンインペラ11を收容している膨張室21が本体10外部のタービンライン16（図5参照）に連通する。タービンライン16から膨張室入口24に流入した冷媒は、タービンインペラ11に向けて噴射される。冷媒ガスは、タービンインペラ11の回転に伴い膨張及び降温した後に、膨張室出口26から本体10外部に流出する。

[0024] ブレーキインペラ12は、制動ガス室20に收容され、冷媒ガスと同じ種類の制動ガスによって制動される。ブレーキインペラ12は、回転軸13の上端部に形成されている。本体10上部には、制動ガス室入口27及び制動ガス室出口29が形成され、これによりブレーキインペラ12を收容している制動ガス室20が本体10外部の制動ライン15（図5参照）に連通する。制動ライン15から制動ガス室入口27に流入した常温の制動ガスは、ブレーキインペラ12に向けてそのまま流入する。制動ガスは、ブレーキインペラ12の回転に伴い圧縮されて昇圧及び昇温した後に、制動ガス室出口2

9から制動ライン15を経て制動ガス室入口27へ戻る。

[0025] 静圧気体軸受14は、軸挿通孔22に形成された軸受室23に設けられ、膨張室入口24から供給され且つ膨張室出口26から排出される冷媒ガスと同じ種類の軸受ガスの静圧によって回転軸13を回転可能に支持する。静圧気体軸受14は、回転軸13を径方向において回転可能に支持するラジアル静圧軸受14a及び14dと、回転軸13を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受14b及び14cとを備える。これらの静圧気体軸受14a～14dは、略円筒状に形成され、回転軸13の外周側を取り囲むようにして設けられる。軸受室23に、膨張室21から制動ガス室20に向かって、第1ラジアル静圧軸受14d、第1スラスト静圧軸受14c、第2スラスト静圧軸受14b、ラジアル静圧軸受14aが順に位置するように設けられる。第2スラスト静圧軸受14b及び第1スラスト静圧軸受14cは、回転軸13の上下中央部から径方向に突出するスラストカラー34を上下方向に挟むようにして配置される。

[0026] 本体10内には、第1共通給気通路35aと、第2共通給気通路35bと、共通排気通路36が形成される。第1共通給気通路35aと、第2共通給気通路35bと、共通排気通路36は、周方向に異なる位置に形成される。第1共通給気通路35aは、軸受ガス入口49と連通し、軸受ガスを第2ラジアル静圧軸受14a、第1ラジアル静圧軸受14dの隙間に供給される軸受ガスが流れる通路であり、第2共通給気通路35bは、軸受ガス入口49と連通し、軸受ガスを第2スラスト静圧軸受14b、第1スラスト静圧軸受14cの隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。本実施形態では、第1共通給気通路35aと第2共通給気通路35bは独立に構成されているが、共通に構成されてもよい。共通排気通路36は、軸受ガス出口50と連通し、各静圧気体軸受14a～14dの隙間から排出された軸受ガスが流れる通路である。

[0027] 第1共通給気通路35aは、第1給気通路37及び第2給気通路38に分歧される。第2共通給気通路35bは、第3給気通路43及び第4給気通路

4 4 に分岐される。第 1 給気通路 3 7 は、第 2 ラジアル静圧軸受 1 4 a の隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。第 2 給気通路 3 8 は、第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。第 3 給気通路 4 3 は、第 2 スラスト静圧軸受 1 4 b の隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。第 4 給気通路 4 4 は、第 1 スラスト静圧軸受 1 4 c の隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。

[0028] 共通排気通路 3 6 は、第 1 排気通路 3 9 と、第 2 排気通路 4 0 と、第 3 排気通路 4 1 と、第 4 排気通路 4 2 と連通している。第 1 排気通路 3 9 は、第 2 ラジアル静圧軸受 1 4 a の隙間から上側に排出された軸受ガスが流れる通路である。第 2 排気通路 4 0 は、第 2 ラジアル静圧軸受 1 4 a の隙間から下側に排出された軸受ガス及び、第 2 スラスト静圧軸受 1 4 b の隙間から上側に排出された軸受ガスが流れる通路である。第 3 排気通路 4 1 は、第 1 スラスト静圧軸受 1 4 c の隙間から下側に排出された軸受ガス及び第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の隙間から上側に排出された軸受ガスが流れる通路である。第 4 排気通路 4 2 は、第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の隙間から下側に排出された軸受ガスが流れる通路であるとともに、第 4 排気通路 4 2 には、第 1 ラビリンスシール 3 0 を通じて膨張室 2 1 から第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の軸受室 2 3 に漏洩する冷媒ガスが流入する。

[0029] 図 2 は、第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の断面図を模式的に示している。図 2 に示すように、回転軸 1 3 の外周側を取り囲むようにして略円筒状に軸受部材 5 1 が形成されている。軸受部材 5 1 は、回転軸 1 3 との間に隙間を有する。軸受部材 5 1 には複数のノズル穴（軸受入口）5 1 a が円周方向に形成される。図 1 の第 1 共通給気通路 3 5 a から分岐された第 2 給気通路 3 8 を流れる軸受ガスはノズル穴 5 1 a から回転軸 1 3 に噴射される。第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の軸受膜（点線）が、軸受部材 5 1 の内周面と回転軸 1 3 の外周面との間に形成される。第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d の隙間の一端（軸受出口）から上側に排出された軸受ガス（点線矢印）は、図 1 の第 3 排気通路 4 1 から共通排気通路 3 6 を通って排出される。第 1 ラジアル静圧軸

受 1 4 d の隙間（軸受出口）から下側に排出された軸受ガス（点線矢印）は図 1 の第 4 排気通路 4 2 から共通排気通路 3 6 を通って排出される。

図 1 の第 2 ラジアル静圧軸受 1 4 a も第 1 ラジアル静圧軸受 1 4 d と同様な構成を備えており、軸受ガスによる軸受膜が形成され、第 2 ラジアル静圧軸受 1 4 a の隙間の両端（軸受出口）から上下に排出された軸受ガスは第 1 排気通路 3 9 及び第 2 排気通路 4 0 を通って共通排気通路 3 6 に導かれる。

[0030] 図 3 は、スラスト静圧軸受 1 4 b 及び 1 4 c の断面図を模式的に示している。図 3 に示すように、回転軸 1 3 及びスラストカラー 3 4 は、本体 1 0 内部において隙間を有して配置される。ここで第 3 給気通路 4 3 は、図 1 の第 2 共通給気通路 3 5 b から分岐され、第 2 スラスト静圧軸受 1 4 b の隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。第 4 給気通路 4 4 は、第 2 共通給気通路 3 5 b から分岐され、第 1 スラスト静圧軸受 1 4 c の隙間に供給される軸受ガスが流れる通路である。

[0031] 第 3 給気通路 4 3 を流れる軸受ガスはノズル穴（軸受入口）4 3 a から噴射され、第 2 スラスト静圧軸受 1 4 b の軸受膜（点線）が、軸挿通孔 2 2 の内壁 2 2 a の下端面とスラストカラー 3 4 の上端面との間に形成される。第 4 給気通路 4 4 を流れる軸受ガスはノズル穴 4 4 a から噴射され、第 1 スラスト静圧軸受 1 4 c の軸受膜（点線）が、軸挿通孔 2 2 の内壁 2 2 a の上端面とスラストカラー 3 4 の下端面との間に形成される。第 2 スラスト静圧軸受 1 4 b の隙間の一端（軸受出口）から上側に排出された軸受ガス（点線矢印）は図 1 の第 2 排気通路 4 0 から共通排気通路 3 6 を通って排出される。第 1 スラスト静圧軸受 1 4 c の隙間（軸受出口）から下側に排出された軸受ガス（点線矢印）は図 1 の第 3 排気通路 4 1 から共通排気通路 3 6 を通って排出される。尚、第 2 スラスト静圧軸受 1 4 b の隙間の一端（軸受出口）から下側に流出した軸受ガス（点線矢印）及び第 1 スラスト静圧軸受 1 4 c の軸受隙間（軸受出口）から上側に流出した軸受ガス（点線矢印）も共通排気通路 3 6 を通って排出される。

[0032] 図 1 の本体 1 0 は、軸受ガス入口 4 9 及び軸受ガス出口 5 0 を有している

。軸受ガス入口４９は、第１共通給気通路３５ａ及び第２共通給気通路３５ｂと連通している。軸受ガス出口５０は、共通排気通路３６と連通している。軸受ガス入口４９から、膨張タービン装置１の本体１０内の静圧気体軸受１４ａ～１４ｄに軸受ガスが供給される。軸受ガスには冷媒ガスと同じ種類のガスが使用される。静圧気体軸受１４ａ～１４ｄの隙間に軸受ガスが供給されることにより、回転軸１３を本体１０内で回転可能に支持することができ、回転軸１３のラジアル荷重及びスラスト荷重を良好に支持することができる。起動時及び停止時に、回転軸１３の外周面と、静圧気体軸受１４ａ～１４ｄの内周面との間で摩擦が生じない。このため、膨張タービン装置１の長寿命化を図ることができる。

[0033] また、軸受室２３の膨張室２１側の端と第１ラジアル静圧軸受１４ｄが設けられた部分との間の部分には第１ラビリンスシール３０が設けられる（図１参照）。図４は、第１ラビリンスシール３０の構成を示す模式図である。図４に示すように、第１ラビリンスシール３０は、回転軸１３と一定間隔を空けて回転軸１３の外周側を取り囲むような内周面を有する。内周面の表面には凹凸の隙間が複数設けられている。冷媒が隙間に進入する毎に漏れ圧が徐々に低下する。膨張室２１で断熱膨張された極低温の冷媒ガスと軸受ガスとの相互の冷媒の漏洩が抑制される。なお、制動ガス室２０側の端と第２ラジアル静圧軸受１４ａが設けられた部分との間の部分にも同様な構造の第２ラビリンスシール３１が設けられる（図１参照）。制動ガス室２０の制動ガスと軸受ガスとの相互の冷媒の漏洩が抑制される。

[0034] 図５は、図１の膨張タービン装置１の全体的な構成を示す概略図である。以下では既に説明した構成については説明を省略する。図５に示すように、膨張タービン装置１は、本体１０と、制動ライン１５と、タービンライン１６と、軸受供給ライン１７と、排気ライン１８と、温度センサ６０と、第１背圧調整弁８０と、制御装置９０と、を備える。

[0035] 制動ライン１５は、制動ガスを循環させ、ブレーキインペラ１２に制動ガスを供給するための配管である。制動ライン１５の一端は、図１の制動ガス

室 20 の制動ガス室入口 27 に接続され、制動ライン 15 の他端は、制動ガス室 20 の制動ガス室出口 29 に接続される。制動ライン 15 の途中には熱交換器 53 が設けられる。

[0036] 熱交換器 53 は、制動ライン 15 を循環する制動ガスを降温及び降圧する。また、制動ライン 15 を循環する制動ガスは、ブレーキンペラ 12 を通過する過程で、圧縮されて昇温及び昇圧するが、熱交換器 53 を通過することにより、降温及び降圧される。

[0037] タービンライン 16 は、タービンインペラ 11 に冷媒ガスを供給するための配管である。タービンライン 16 の一端は、図 1 の膨張室 21 の膨張室入口 24 に接続され、タービンライン 16 の他端は、膨張室 21 の膨張室出口 26 に接続される。膨張室 21 の膨張室入口 24 の上流において圧縮機（図示せず）により圧縮された低温高圧の冷媒がタービンインペラ 11 へ導かれる。タービンインペラ 11 は低温高圧の冷媒を、断熱膨張により降温及び降圧させる。

[0038] 軸受供給ライン 17 は、静圧気体軸受 14 a ~ 14 d に軸受ガスを供給するように構成される。軸受供給ライン 17 の一端は、例えば液化システムの原料ガスを送るフィードラインに接続され、軸受供給ライン 17 の他端は、本体 10 の軸受ガス入口 49 に接続される（図 1 参照）。軸受供給ライン 17 は、第 2 ラジアル静圧軸受 14 a と、第 2 スラスト静圧軸受 14 b と、第 1 スラスト静圧軸受 14 c と、第 1 ラジアル静圧軸受 14 d のそれぞれに軸受ガスを供給するように構成されている。軸受供給ライン 17 は、図 1 の第 1 共通給気通路 35 a 及び第 2 共通給気通路 25 b に連通されている。第 1 共通給気通路 35 a から分岐された第 1 給気通路 37 及び第 2 給気通路 38 を通じて第 2 ラジアル静圧軸受 14 a、第 1 ラジアル静圧軸受 14 d に軸受ガスが供給され、第 2 共通給気通路 35 b から分岐された第 3 給気通路 43 及び第 4 給気通路 44 を通じて、第 1 スラスト静圧軸受 14 c 及び第 2 スラスト静圧軸受 14 b に軸受ガスが供給される（図 1 参照）。

[0039] 排気ライン 18 は、静圧気体軸受 14 a ~ 14 d の軸受室 23 出口に上流

端が接続され、静圧気体軸受 14 a ~ 14 d を通過した軸受ガスを排出する。本実施形態では、排気ライン 18 の上流端は図 1 の軸受ガス出口 50 に接続される。排気ライン 18 は、図 1 の第 1 排気通路 39 と、第 2 排気通路 40 と、第 3 排気通路 41 と、第 4 排気通路 42 と、共通排気通路 36 とを含む（図 1 参照）。排気ライン 18 は、静圧気体軸受 14 a ~ 14 d を通過した軸受ガスと第 1 ラビリンスシール 30 を通じてタービンライン 16（膨張室）から第 1 ラジアル静圧軸受 14 d の軸受室 23 に漏洩する冷媒ガスとの混合ガスを排出するように構成された混合ガス排出経路である。

[0040] 温度センサ 60 は、排気ライン 18 に設けられ、排気ライン 18 の軸受排気温度 T_1 を計測するように構成される。温度センサ 60 は、計測した温度情報を制御装置 90 に出力するように構成される。

[0041] 第 1 背圧調整弁 80 は、排気ライン 18 に設けられ、制御装置 90 の指令に基づいて排気ライン 18 の背圧を調整するように構成される。

[0042] 制御装置 90 は、排気ライン 18 に設けられ、温度センサ 60 で計測された軸受排気温度 T_1 に基づいて第 1 背圧調整弁 80 の開閉を制御する。本実施形態では、制御装置 90 は、膨張タービン装置 1 のみならず、圧縮機等のその他の装置を制御する機能を有する。制御装置 90 は、例えば、CPU、ROM 及び入出力インターフェイスを主体として構成されたマイクロコンピュータである。制御装置 90 の入力側には排気ライン 18 の圧力及び温度の測定値、タービン回転数等のプロセスデータが入力される。制御装置 90 の出力側には、第 1 背圧調整弁 80、供給弁、排出弁等が接続されている。CPU は、ROM に記憶されている制御プログラムを実行する。CPU は、プロセスデータの温度測定値を監視しながら、軸受背圧が設定どおり得られるように第 1 背圧調整弁 80 を制御する。制御装置 90 は、軸受排気温度 T_1 が基準値 T_s よりも低下した場合に、軸受背圧 P_1 を上げるように制御する。ここで温度基準値 T_s は正常時における所定の値又は一定の範囲の値である。

[0043] 次に、以上のような構成の膨張タービン装置 1 の動作について図 5 を用いて説明する。膨張タービン装置 1 はタービンライン 16 を通じて供給された

低温高压の冷媒により超高速回転する。膨張タービン装置 1 の運転中において、軸受供給ライン 17 からタービン本体 10 の静圧気体軸受 14 a ~ 14 d の隙間に軸受ガスが供給される。これにより、回転軸 13 が本体 10 内で回転可能に支持され、回転軸 13 のラジアル荷重及びスラスト荷重が支持される。排気ライン 18 からは静圧気体軸受 14 a ~ 14 d の軸受ガスが排出される。タービンインペラ 11 が収容された軸受室 23 の膨張室 21 側の端と第 1 ラジアル静圧軸受 14 d が設けられた部分との間の部分には第 1 ラビリンスシール 30 が設けられているが、第 1 ラビリンスシール 30 を通じてタービンライン 16 (膨張室) から軸受室 23 に漏洩する冷媒ガスが存在する。このため、排気ライン 18 には、軸受ガスと漏洩した冷媒ガスとの混合ガスが含まれる。第 1 ラビリンスシール 30 を通じてタービンライン 16 (膨張室) から軸受室 23 に漏洩する冷媒ガスが増加した場合、温度センサ 60 で計測される排気ライン 18 の温度が低下する。第 1 ラビリンスシール 30 の差圧が大きいほど漏洩量が増大する。第 1 ラビリンスシール 30 の入口又は出口はセンサの設置が難しく正確な圧力計測は困難である。そこで、制御装置 90 は、排気ライン 18 の軸受排気温度 T_1 が基準値 T_s よりも低下した場合に、軸受背圧 P_1 を上げるように制御する。これにより、第 1 ラビリンスシール 30 の差圧が小さくなるので、漏洩量を抑制することができる。

[0044] (第 2 実施形態)

次に、第 2 実施形態について、図 6 を用いて説明する。以下では、第 1 実施形態と共通する構成の説明は省略し、相違する構成についてのみ説明する。

[0045] 図 6 は、第 2 実施形態に係る膨張タービン装置 1 A の構成を示す模式図である。図 6 に示すように、膨張タービン装置 1 A は、第 1 実施形態 (図 5) と比較すると、第 1 ラジアル静圧軸受 14 d の出口に排気ライン (混合ガス排出経路) 18 の上流端が接続され、第 1 スラスト静圧軸受 14 c 及び第 2 スラスト静圧軸受 14 b の出口及び第 2 ラジアル静圧軸受 14 a の出口に軸受排気ライン (軸受ガス専用排出経路) 18 a の上流端が接続されている点

が相違する。排気ライン 18 は、第 1 ラジアル静圧軸受 14 d を通過した軸受ガスを排出するように構成される。軸受排気ライン 18 a は、スラスト静圧軸受 14 b、14 c、及び第 2 ラジアル静圧軸受 14 a を通過した軸受ガスを排出するように構成される。本実施形態では、軸受排気ライン 18 a の下流端は排気ライン 18 の途中で合流するように構成されている。また、第 1 ラジアル静圧軸受 14 d と第 1 スラスト静圧軸受 14 c との間の部分には第 3 ラビリンスシール 32 が設けられる。

[0046] 更に、本実施形態では、排気ライン 18 に温度センサ 60 と、第 1 背圧調整弁 80 が設けられている。軸受排気ライン 18 a に圧力センサ 100 と、第 2 背圧調整弁 110 が設けられている。圧力センサ 100 及び第 2 背圧調整弁 110 により、静圧気体軸受 14 a、14 b、14 c の圧力制御を行う。更に、膨張室 21 側に位置する第 1 ラジアル静圧軸受 14 d に対してのみ、他の静圧気体軸受 14 a、14 b、14 c とは独立した背圧制御が実施される。背圧制御は背圧を上げ過ぎると軸受性能が低下するという弊害を伴う場合があるが、本実施形態によれば第 1 ラビリンスシール 30 に隣接する膨張室 21 側の第 1 ラジアル静圧軸受 14 d のみを制御してその目的を果たすことができ、且つその他の静圧気体軸受 14 a、14 b、14 c の背圧設定の自由度が増し、好適な制御が実現できる。

[0047] (第 3 実施形態)

次に、第 3 実施形態について、図 7 を用いて説明する。以下では、上記実施形態と共通する構成の説明は省略し、相違する構成についてのみ説明する。

[0048] 図 7 は、第 3 実施形態に係る膨張タービン装置 1 B の構成を示す模式図である。図 7 に示すように、膨張タービン装置 1 B は、第 1 実施形態（図 5）と比較すると、第 2 ラビリンスシール 31 が、第 1 ラジアル静圧軸受 14 d と第 1 スラスト静圧軸受 14 c との間の部分に設けられる。第 1 ラジアル静圧軸受 14 d の出口に排気ライン（混合ガス排出経路）18 の上流端が接続され、第 1 スラスト静圧軸受 14 c 及び第 2 スラスト静圧軸受 14 b の出口

及び第2ラジアル静圧軸受14aの出口に軸受排気ライン（軸受ガス専用排出経路）18aの上流端が接続されている。更に、軸受排気ライン18aに圧力センサ100と、第2背圧調整弁110が設けられている。そして、本実施形態では、制動ライン15に一端が接続され、且つ、軸受排気ライン18aに他端が接続された通気経路15bを更に備える点が相違する。

[0049] 上記構成によれば、第2実施形態による効果に加え、通気経路15bを介して、制動ライン15の圧力とスラスト静圧軸受14b、14c及び第2ラジアル静圧軸受14aの背圧とを均一にすることができ、その圧力を圧力センサ100及び第2背圧調整弁110により制御を行なう事ができる。

[0050] また、上記構成によれば、第2ラビリンスシール31を第1ラジアル静圧軸受14dとスラスト静圧軸受14cの間に移動することにより、第2ラジアル静圧軸受14aと膨張室21の間の距離を短縮する事が可能で、第2ラジアル静圧軸受14aから膨張室21側への回転軸13の軸長も短縮でき、回転体質量を軽減し振動安定性の向上を図る事が可能である。

[0051] （第4実施形態）

次に、第4実施形態について、図8を用いて説明する。以下では、上記実施形態と共通する構成の説明は省略し、相違する構成についてのみ説明する。

[0052] 図8は、第4実施形態に係る膨張タービン装置1Cの構成を示すブロック図である。図8に示すように、膨張タービン装置1Cは、第1実施形態（図5）と比較すると、排気ライン18の上流端が、第1ラジアル静圧軸受14dの膨張室側の出口のみに接続される点、及び軸受排気ライン18aの上流端が、第1ラジアル静圧軸受14dの制動ガス室側の出口、スラスト静圧軸受14b、14cの出口及び第2ラジアル静圧軸受14aの出口に接続される点が相違する。排気ライン18は、第1ラジアル静圧軸受14dの隙間から膨張室側に排出された軸受ガスと第1ラビリンスシール30を通じて膨張室21から軸受室23に漏洩する冷媒ガスとの混合ガスを排出する。

[0053] 上記構成によれば、第1ラビリンスシール30に最も隣接する第1ラジアル

ル静圧軸受 1 4 d の膨張室側の出口に対してのみ背圧制御を実施するので、漏洩した低温ガスの温度対策を効果的に実施できる。また、背圧設定の自由度が増し、好適な制御が実現できる。

[0054] 上記説明から、当業者にとっては、本発明の多くの改良や他の実施形態が明らかである。従って、上記説明は、例示としてのみ解釈されるべきであり、本発明を実行する最良の態様を当業者に教示する目的で提供されたものである。本発明の精神を逸脱することなく、その構造及び機能の一方又は双方の詳細を実質的に変更できる。

産業上の利用可能性

[0055] 本発明は、静圧気体軸受を備える膨張タービンに有用である。

符号の説明

- [0056] 1, 1 A, 1 B, 1 C 膨張タービン装置
- 1 0 タービン本体
 - 1 1 タービンインペラ
 - 1 2 ブレーキインペラ
 - 1 3 回転軸
 - 1 4 静圧気体軸受
 - 1 4 a 第 2 ラジアル静圧軸受（制動ガス室側）
 - 1 4 b 第 2 スラスト静圧軸受（制動ガス室側）
 - 1 4 c 第 1 スラスト静圧軸受（膨張室側）
 - 1 4 d 第 1 ラジアル静圧軸受（膨張室側）
 - 1 5 制動ライン
 - 1 6 タービンライン
 - 1 7 軸受供給ライン
 - 1 8 排気ライン（混合ガス排出経路）
 - 1 8 a 軸受排気ライン（軸受ガス専用排出経路）
 - 2 0 制動ガス室
 - 2 1 膨張室

- 2 2 軸挿通孔
- 2 3 軸受室
- 2 4 膨張室入口
- 2 6 膨張室出口
- 2 7 制動ガス室入口
- 2 9 制動ガス室出口
- 3 0 第 1 ラビリンスシール（膨張室側）
- 3 1 第 2 ラビリンスシール（制動ガス室側）
- 3 2 第 3 ラビリンスシール
- 6 0 温度センサ
- 8 0 第 1 背圧調整弁
- 9 0 制御装置
- 1 0 0 圧力センサ
- 1 1 0 第 2 背圧調整弁

請求の範囲

- [請求項1] 内部に膨張室と制動ガス室と軸挿通孔とが形成され、且つ前記軸挿通孔は前記膨張室と前記制動ガス室とを連通し且つ回転軸が挿通可能なように形成された本体と、
- 前記膨張室に収容され、冷媒ガスを膨張させるタービンインペラと、
- 前記制動ガス室に収容され、前記冷媒ガスと同じ種類の制動ガスによって制動されるブレーキインペラと、
- 前記軸挿通孔に隙間を有して挿通され、一方の端部に前記タービンインペラが設けられ、他方の端部に前記ブレーキインペラが設けられた前記回転軸と、
- 前記軸挿通孔内に形成された軸受室に設けられ、入口から供給され且つ出口から排出される前記冷媒ガスと同じ種類の軸受ガスの静圧によって前記回転軸を回転可能に支持する静圧気体軸受と、
- 前記軸受室の前記膨張室側の端と前記静圧気体軸受が設けられた部分との間の部分に設けられた第1ラビリンスシールと、
- 前記軸受ガスと前記第1ラビリンスシールを通じて前記膨張室から前記軸受室に漏洩する冷媒ガスとの混合ガスを排出する混合ガス排出経路と、
- 前記混合ガス排出経路に設けられ、前記静圧気体軸受の背圧を調整する第1背圧調整弁と、
- 前記混合ガス排出経路に設けられ、前記混合ガスの温度を計測する温度センサと、
- 前記混合ガス排出経路を流れる前記混合ガスの温度が低下した場合に前記静圧気体軸受の背圧を上昇させるように前記第1背圧調整弁を制御する制御装置と、
- を備える、膨張タービン装置。
- [請求項2] 前記静圧気体軸受は、前記回転軸を径方向において回転可能に支持

する第 1 及び第 2 ラジアル静圧軸受と、前記回転軸を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受と、を備え、

前記軸受室に、前記膨張室から前記制動ガス室に向かって、前記第 1 ラジアル静圧軸受、前記スラスト静圧軸受、及び前記第 2 ラジアル静圧軸受が順に位置するように設けられ、且つ

前記第 1 ラビリンスシールは、前記軸受室の前記膨張室側の端と前記第 1 ラジアル静圧軸受が設けられた部分との間の部分に設けられ、

前記第 1 ラジアル静圧軸受の出口に前記混合ガス排出経路の上流端が接続され、

前記スラスト静圧軸受の出口及び前記第 2 ラジアル静圧軸受の出口に軸受ガス専用排出経路の上流端が接続されている、請求項 1 に記載の膨張タービン装置。

[請求項 3]

前記静圧気体軸受は、前記回転軸を径方向において回転可能に支持する第 1 及び第 2 ラジアル静圧軸受と、前記回転軸を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受と、を備え、

前記軸受室に、前記膨張室から前記制動ガス室に向かって、前記第 1 ラジアル静圧軸受、前記スラスト静圧軸受、及び前記第 2 ラジアル静圧軸受が順に位置するように設けられ、且つ

前記軸受室の前記第 1 ラジアル静圧軸受と前記スラスト静圧軸受との間の部分に設けられた第 2 ラビリンスシールと、

前記スラスト静圧軸受の出口及び前記第 2 ラジアル静圧軸受の出口に上流端が接続された軸受ガス専用排出経路と、

前記軸受ガス専用排出経路に設けられ、前記スラスト静圧軸受及び前記第 2 ラジアル静圧軸受の背圧を調整する第 2 背圧調整弁と、

前記制動ガス室の出口に一端が接続され、且つ、前記制動ガス室の入口に他端が接続された制動ラインと、

前記制動ラインに一端が接続され、且つ、前記軸受ガス専用排出経路に他端が接続された通気経路と、を更に備える、請求項 1 に記載の

膨張タービン装置。

[請求項4] 前記静圧気体軸受は、前記回転軸を径方向において回転可能に支持する第1及び第2ラジアル静圧軸受と、前記回転軸を軸方向において回転可能に支持するスラスト静圧軸受と、を備え、

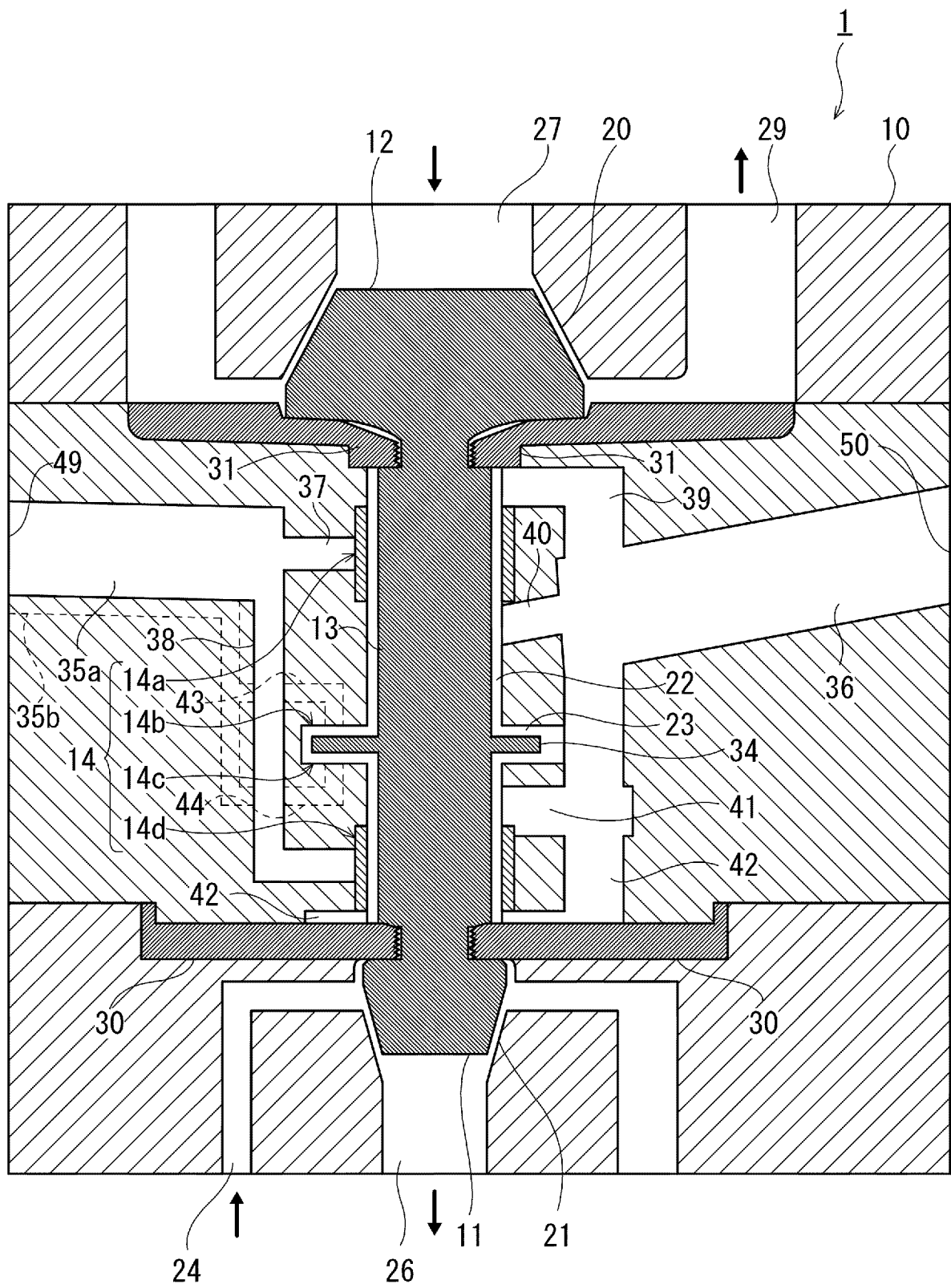
前記軸受室に、前記膨張室から前記制動ガス室に向かって、前記第1ラジアル静圧軸受、前記スラスト静圧軸受、及び前記第2ラジアル静圧軸受が順に位置するように設けられ、且つ

前記第1ラビリンスシールは、前記軸受室の前記膨張室側の端と前記第1ラジアル静圧軸受が設けられた部分との間の部分に設けられ、

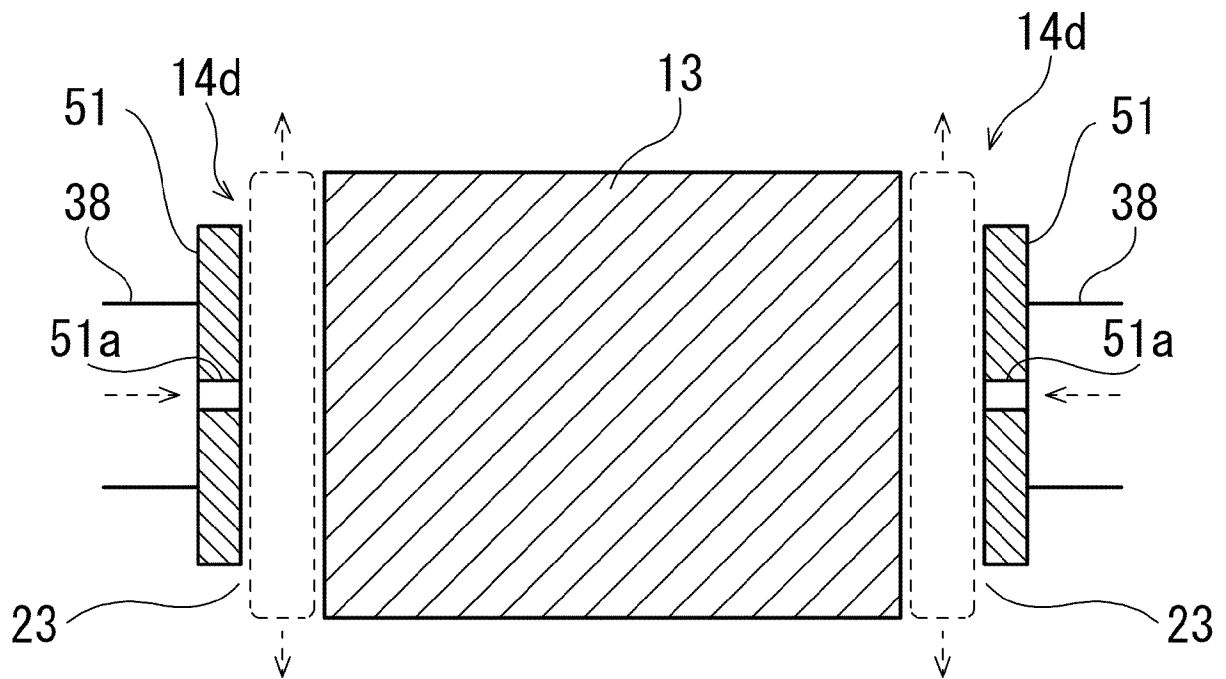
前記第1ラジアル静圧軸受の前記膨張室側の出口に前記混合ガス排出経路の上流端が接続され、

前記第1ラジアル静圧軸受の前記制動ガス室側の出口、前記スラスト静圧軸受の出口及び前記第2ラジアル静圧軸受の出口に軸受ガス専用排出経路の上流端が接続されている、請求項1に記載の膨張タービン装置。

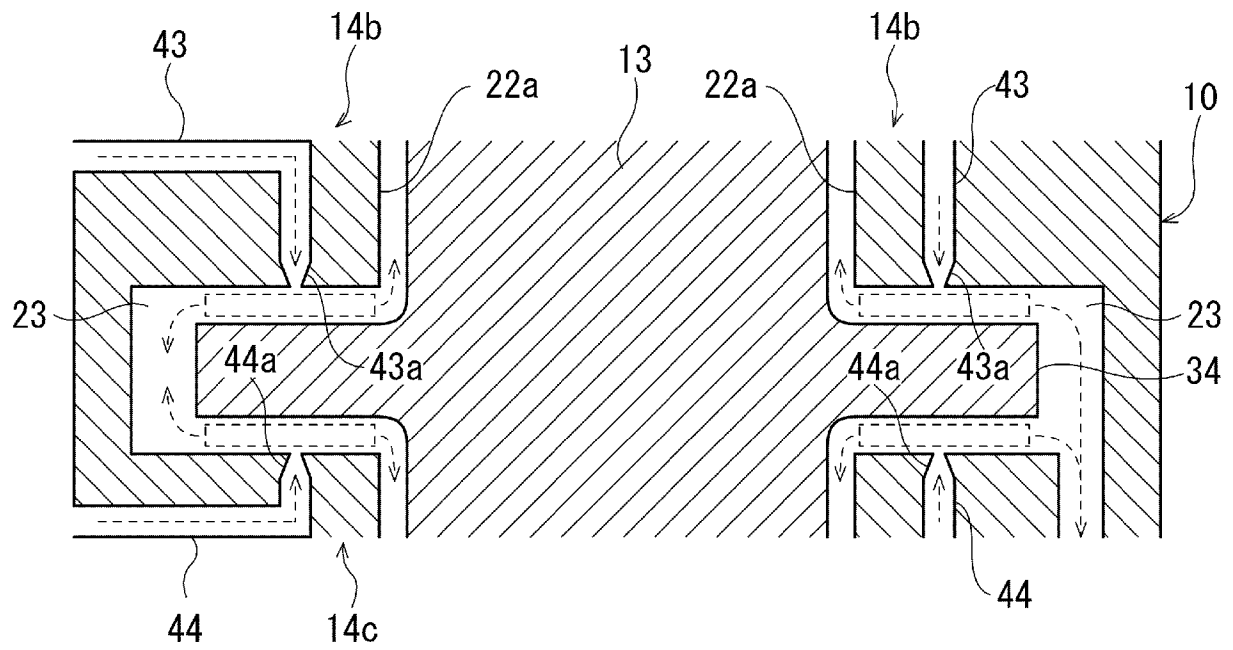
[図1]



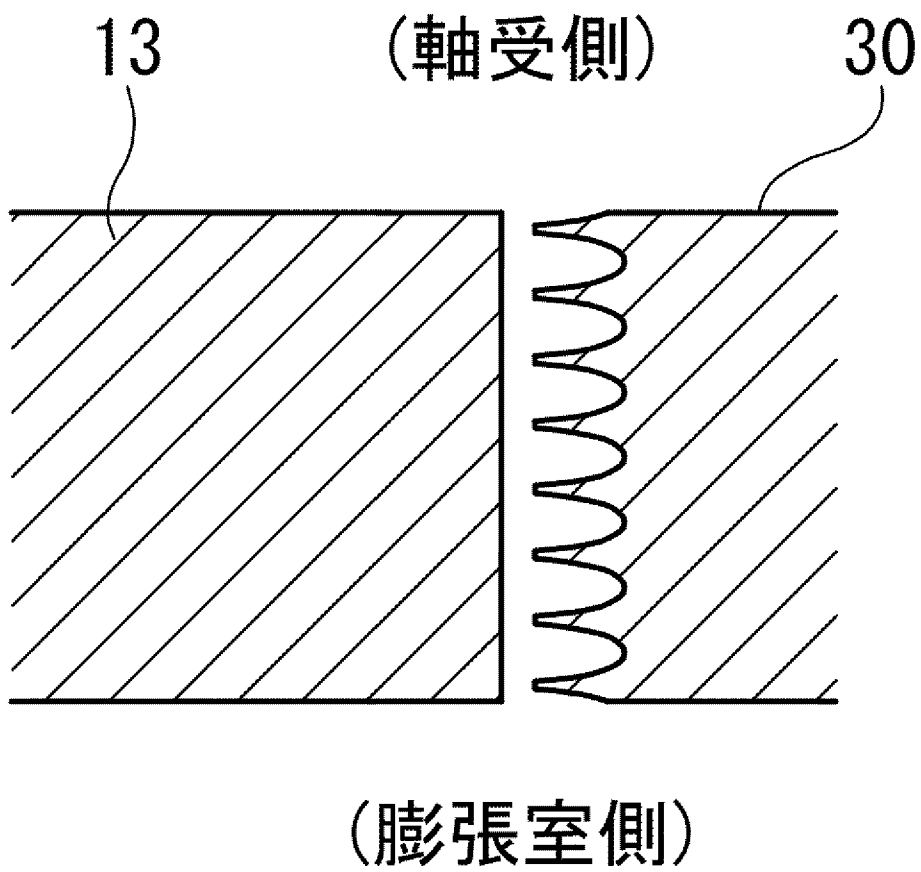
[図2]



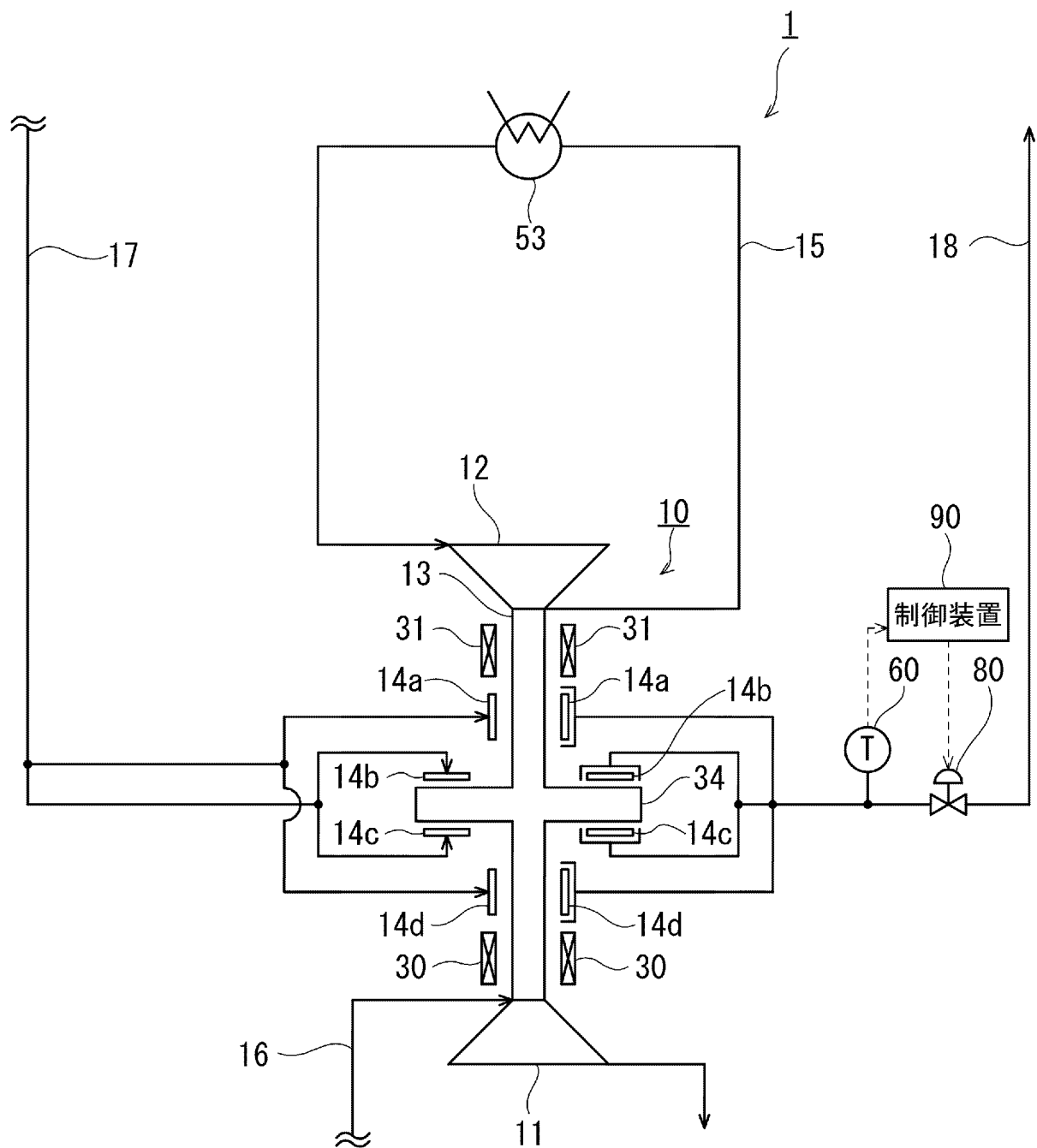
[図3]



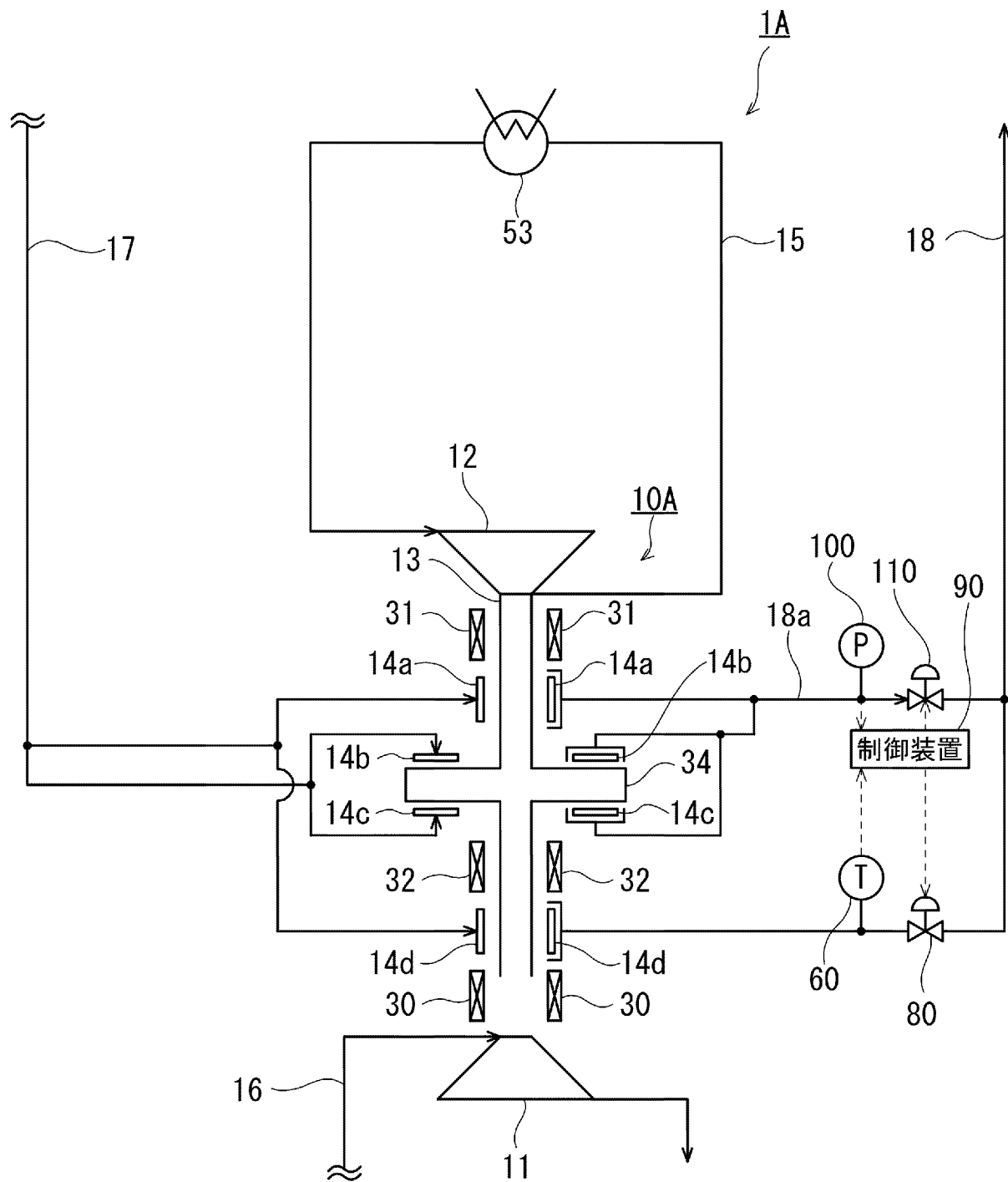
[図4]



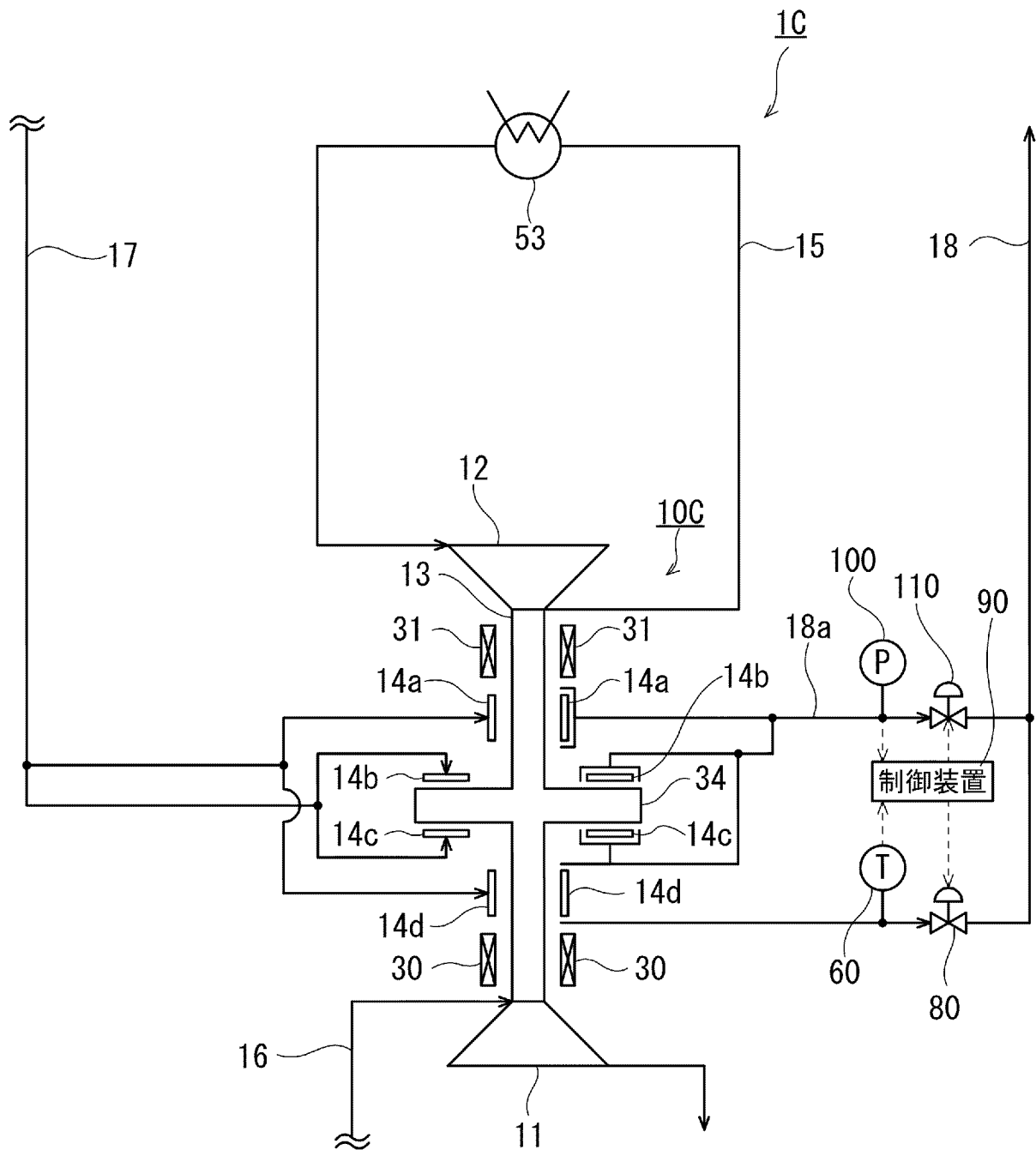
[図5]



[図6]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/002899

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F01D25/18(2006.01)i, F01D25/16(2006.01)i, F01D25/22(2006.01)i, F16C32/06(2006.01)i, F16C33/80(2006.01)i, F16J15/447(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F01D25/18, F01D25/16, F01D25/22, F16C32/06, F16C33/80, F16J15/447

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
DWPI(Thomson Innovation)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2012-219711 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 12 November 2012 (12.11.2012), entire text; drawings & US 2014/0053598 A1 & WO 2012/137270 A1 & AU 2011365154 A & CN 103477174 A	1-4
A	US 3038318 A (SULZER FRERES, S.A.), 12 June 1962 (12.06.1962), entire text; drawings (Family: none)	1-4
A	US 3105631 A (SULZER FRERES, S.A.), 01 October 1963 (01.10.1963), entire text; drawings (Family: none)	1-4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 July 2016 (15.07.16)

Date of mailing of the international search report
02 August 2016 (02.08.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/002899

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 7-259855 A (Hitachi, Ltd.), 09 October 1995 (09.10.1995), entire text; drawings (Family: none)	1-4
A	JP 6-101498 A (Hitachi, Ltd.), 12 April 1994 (12.04.1994), entire text; drawings (Family: none)	1-4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F01D25/18(2006.01)i, F01D25/16(2006.01)i, F01D25/22(2006.01)i, F16C32/06(2006.01)i,
F16C33/80(2006.01)i, F16J15/447(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F01D25/18, F01D25/16, F01D25/22, F16C32/06, F16C33/80, F16J15/447

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

DWPI (Thomson Innovation)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2012-219711 A (川崎重工業株式会社) 2012.11.12, 全文及び図面 & US 2014/0053598 A1 & WO 2012/137270 A1 & AU 2011365154 A & CN 103477174 A	1-4
A	US 3038318 A (SULZER FRERES, S.A.) 1962.06.12, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-4
A	US 3105631 A (SULZER FRERES, SOCIETE ANONYME) 1963.10.01, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-4

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.07.2016

国際調査報告の発送日

02.08.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

山崎 孔徳

3 S

4 0 2 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3391

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 7-259855 A (株式会社日立製作所) 1995. 10. 09, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-4
A	JP 6-101498 A (株式会社日立製作所) 1994. 04. 12, 全文及び図面 (ファミリーなし)	1-4