

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年2月27日(27.02.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/041797 A1

(51) 国際特許分類:
F04D 19/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2024/029683

(22) 国際出願日: 2024年8月21日(21.08.2024)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2023-134192 2023年8月21日(21.08.2023) JP

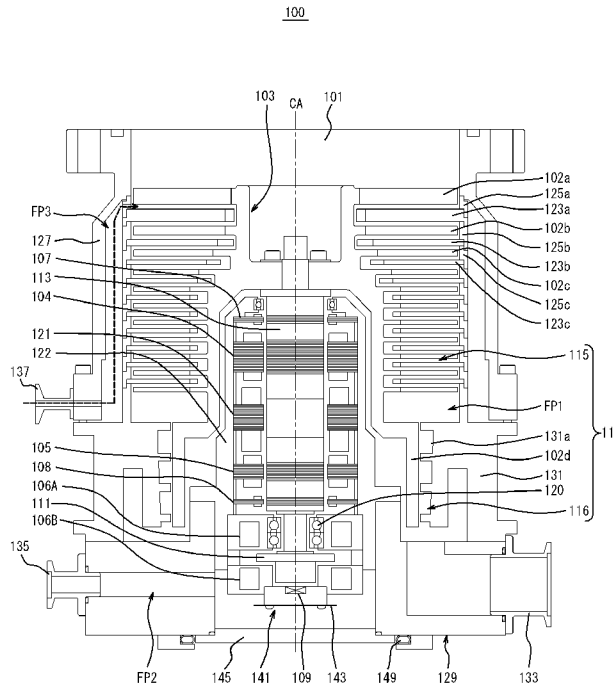
(71) 出願人: エドワーズ株式会社(**EDWARDS JAPAN LIMITED**) [JP/JP]; 〒2768523 千葉県八千代市吉橋 1 0 7 8 番地 1 Chiba (JP).

(72) 発明者: 中辻 重義 (**NAKATSUJI Shigeyoshi**); 〒2768523 千葉県八千代市吉橋 1 0 7 8 番地 1 エドワーズ株式会社内 Chiba (JP).
鈴木 春樹 (**SUZUKI Haruki**); 〒2768523 千葉県八千代市吉橋 1 0 7 8 番地 1 エドワーズ株式会社内 Chiba (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,

(54) Title: VACUUM PUMP

(54) 発明の名称: 真空ポンプ



QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

is characterized by comprising an introduction flow passage FP3 for introducing intermediate introduction gas having a higher viscosity than the intake gas. The vacuum pump 100 is also characterized in that the introduction flow passage FP3 is connected to the gas flow passage FP1 on the exhaust downstream side of the rotary blade 102 closest to the intake port 101 among the plurality of stages of rotary blades 102 in the exhaust part 114.

(57) 要約: 【課題】吸引ガスが水素ガス等であっても背圧性能に優れる真空ポンプを提案する。【解決手段】真空ポンプ100は、複数段の回転翼102と固定翼123を有するタービンポンプ部115とタービンポンプ部115よりも排気下流側に位置するドラッグポンプ部116とを含んで構成される排気部114を備え、排気部114によって吸気口101から吸引した吸気ガスをガス流路FP1を介して排気口133から排気させるものであって、吸気ガスよりも粘度が高い中間導入ガスを導入する導入流路FP3を備え、導入流路FP3は、複数段の回転翼102の中で、排気部114における吸気口101に最も近い回転翼102よりも排気下流側でガス流路FP1に接続されていることを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：真空ポンプ

技術分野

[0001] 本発明は、真空ポンプに関する。

背景技術

[0002] ターボ分子ポンプ等の真空ポンプとして、主に分子流領域の圧縮を狙いとするタービンポンプ部と、主に中間流領域から粘性流領域の圧縮を狙いとするドラッグポンプ部とを含んで構成される排気部を備える真空ポンプが知られている（例えば特許文献1の図9を参照）。

[0003] 特許文献1に示されている真空ポンプは、筒状のケーシングの内部に、タービンポンプ部として機能する複数段の回転翼と固定翼が設けられ、さらにドラッグポンプ部として機能するネジ溝部が設けられている。またケーシングの上部には吸気口が設けられ、下部には排気口が設けられている。そして真空ポンプを駆動させると、吸気口からガスが吸引され、このガスはタービンポンプ部とドラッグポンプ部を順に通過した後、排気口から排気される。

[0004] 一般に真空ポンプには、排気口側（背圧側）の圧力によってポンプの性能に影響が及ぶ背圧依存性がある。従来、背圧の影響を受けにくくする（背圧性能を高める）手段としては、特許文献1に示されているように、ネジ溝部の直径を拡大することやネジ溝部の軸方向長さを長くすることが知られている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特許第5689546号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで真空ポンプで吸引するガスが水素ガスである場合は、上記のような背圧性能を高める手段を用いても、例えば窒素ガスを吸引する場合と比較

して十分な背圧性能が得られないことがある。この点につき本願発明者が検討を重ねたところ、水素ガスは窒素ガスと比較して粘度が低く、そのため排気部（特にドラッグポンプ部）での圧縮効果が低くなり、それが背圧性能低下の要因の一つであると推察された。

[0007] 本発明は、吸引ガスが水素ガス等であっても背圧性能に優れる真空ポンプ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] 本発明は、複数段の回転翼と固定翼を有するタービンポンプ部と前記タービンポンプ部よりも排気下流側に位置するドラッグポンプ部とを含んで構成される排気部を備え、前記排気部によって吸気口から吸引した吸気ガスをガス流路を介して排気口から排気させる真空ポンプであって、前記吸気ガスよりも粘度が高い中間導入ガスを導入する導入流路を備え、前記導入流路は、前記複数段の回転翼の中で、前記排気部における前記吸気口に最も近い回転翼よりも排気下流側で前記ガス流路に接続されていることを特徴とする。

[0009] このような真空ポンプは、前記回転翼が設けられた回転体の内周側に設けられるステータコラムの内側にパージガスを供給するパージガス流路を備え、前記導入流路は前記パージガス流路から分岐したものであって、前記中間導入ガスとして前記パージガスが用いられることが好ましい。

[0010] そして前記パージガス流路は、真空ポンプの外側に位置する外側パージガス流路と真空ポンプの内側に位置する内側パージガス流路とで構成され、前記導入流路は、前記内側パージガス流路から分岐して前記ガス流路に接続されることが好ましい。

[0011] そして前記導入流路の少なくとも一部の内径は、前記パージガス流路の内径よりも小さいことが好ましい。

[0012] また前記導入流路は、前記中間導入ガスの流量を調整可能なバルブを備えることが好ましい。

[0013] そして前記導入流路は、前記タービンポンプ部と前記ドラッグポンプ部の間で前記ガス流路に接続されていることが好ましい。

発明の効果

[0014] 本発明の真空ポンプは、吸気ガスよりも粘度が高い中間導入ガスを導入する導入流路を備え、この導入流路は、複数段の回転翼の中で、排気部における吸気口に最も近い回転翼よりも排気下流側でガス流路に接続されている。このような構成により、排気部によって吸気口から吸引した吸気ガスをガス流路を介して排気口から排気させるにあたり、ガス流路では、吸気ガス及び中間導入ガスが流れる。すなわち、吸気ガスと中間導入ガスの混合ガスの粘度は吸気ガスのみに比して高くなり、それ故、排気部での圧縮効果が向上する。従って本発明の真空ポンプによれば、吸引ガスが水素ガス等であっても優れた背圧性能を得ることができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明に係る真空ポンプの一実施形態を概略的に示した縦断面図である。

[図2]図1に示した真空ポンプのアンプ回路の回路図である。

[図3]電流指令値が検出値より大きい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図4]電流指令値が検出値より小さい場合の制御を示すタイムチャートである。

[図5]図1に示した真空ポンプの部分拡大図である。

[図6]図1に示した真空ポンプの第一変形例を示した部分拡大図である。

[図7]図1に示した真空ポンプの第二変形例を示した部分拡大図である。

[図8]図1に示した真空ポンプの第三変形例を示した部分拡大図である。

[図9]図1に示した真空ポンプの第四変形例を示した部分拡大図である。

[図10]図1、図5に示した真空ポンプにおける背圧と吸圧との関係を示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、図面を参照しながら本発明に係る真空ポンプの一実施形態であるターボ分子ポンプについて、図面を参照しながら説明する。

[0017] このターボ分子ポンプ１００の縦断面図を図１に示す。ターボ分子ポンプ１００には、円筒状の外筒１２７の上端に吸気口１０１が形成されている。そして、外筒１２７の内方には、ガス（吸気ガス）を吸引排気するためのタービンプレードである複数の回転翼１０２（１０２ａ、１０２ｂ、１０２ｃ・・・）を周部に放射状かつ多段に形成した回転体１０３が備えられている。この回転体１０３の中心にはロータ軸１１３が取り付けられており、このロータ軸１１３は、例えば５軸制御の磁気軸受により空中に浮上支持かつ位置制御されている。回転体１０３は、一般的に、アルミニウム又はアルミニウム合金などの金属によって構成されている。

[0018] 上側径方向電磁石１０４は、４個の電磁石がＸ軸とＹ軸とに対をなして配置されている。この上側径方向電磁石１０４に近接して、かつ上側径方向電磁石１０４のそれぞれに対応して４個の上側径方向センサ１０７が備えられている。上側径方向センサ１０７は、例えば伝導巻線を有するインダクタンスセンサや渦電流センサなどが用いられ、ロータ軸１１３の位置に応じて変化するこの伝導巻線のインダクタンスの変化に基づいてロータ軸１１３の位置を検出する。この上側径方向センサ１０７はロータ軸１１３、すなわちそれに固定された回転体１０３の径方向変位を検出し、不図示の制御装置に送るように構成されている。

[0019] この制御装置においては、例えばＰＩＤ調節機能を有する補償回路が、上側径方向センサ１０７によって検出された位置信号に基づいて、上側径方向電磁石１０４の励磁制御指令信号を生成し、図２に示すアンプ回路１５０（後述する）が、この励磁制御指令信号に基づいて、上側径方向電磁石１０４を励磁制御することで、ロータ軸１１３の上側の径方向位置が調整される。

[0020] そして、このロータ軸１１３は、高透磁率材（鉄、ステンレスなど）などにより形成され、上側径方向電磁石１０４の磁力により吸引されるようになっている。かかる調整は、Ｘ軸方向とＹ軸方向とにそれぞれ独立して行われる。また、下側径方向電磁石１０５及び下側径方向センサ１０８が、上側径方向電磁石１０４及び上側径方向センサ１０７と同様に配置され、ロータ軸

１１３の下側の径方向位置を上側の径方向位置と同様に調整している。

[0021] さらに、軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂが、ロータ軸１１３の下部に備えた円板状の金属ディスク１１１を上下に挟んで配置されている。金属ディスク１１１は、鉄などの高透磁率材で構成されている。ロータ軸１１３の軸方向変位を検出するために軸方向センサ１０９が備えられ、その軸方向位置信号が制御装置に送られるように構成されている。

[0022] そして、制御装置において、例えばＰＩＤ調節機能を有する補償回路が、軸方向センサ１０９によって検出された軸方向位置信号に基づいて、軸方向電磁石１０６Ａと軸方向電磁石１０６Ｂのそれぞれの励磁制御指令信号を生成し、アンプ回路１５０が、これらの励磁制御指令信号に基づいて、軸方向電磁石１０６Ａと軸方向電磁石１０６Ｂをそれぞれ励磁制御することで、軸方向電磁石１０６Ａが磁力により金属ディスク１１１を上方に吸引し、軸方向電磁石１０６Ｂが金属ディスク１１１を下方に吸引し、ロータ軸１１３の軸方向位置が調整される。

[0023] このように、制御装置は、この軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂが金属ディスク１１１に及ぼす磁力を適当に調節し、ロータ軸１１３を軸方向に磁気浮上させ、空間に非接触で保持するようになっている。なお、これら上側径方向電磁石１０４、下側径方向電磁石１０５及び軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂを励磁制御するアンプ回路１５０については、後述する。

[0024] 一方、モータ１２１は、ロータ軸１１３を取り囲むように周状に配置された複数の磁極を備えている。各磁極は、ロータ軸１１３との間に作用する電磁力を介してロータ軸１１３を回転駆動するように、制御装置によって制御されている。また、モータ１２１には図示しない例えばホール素子、レゾルバ、エンコーダなどの回転速度センサが組み込まれており、この回転速度センサの検出信号によりロータ軸１１３の回転速度が検出されるようになっている。

[0025] さらに、例えば下側径方向センサ１０８近傍に、図示しない位相センサが取り付けられてあり、ロータ軸１１３の回転の位相を検出するようになっている。

。制御装置では、この位相センサと回転速度センサの検出信号を共に用いて磁極の位置を検出するようになっている。

[0026] 回転翼102（102a、102b、102c・・・）とわずかの空隙を隔てて複数枚の固定翼123（123a、123b、123c・・・）が配設されている。回転翼102（102a、102b、102c・・・）は、それぞれ吸気ガスの分子を衝突により下方方向に移送するため、ロータ軸113の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成されている。固定翼123（123a、123b、123c・・・）は、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。

[0027] また、固定翼123も、同様にロータ軸113の軸線に垂直な平面から所定の角度だけ傾斜して形成され、かつ外筒127の内方に向けて回転翼102の段と互い違いに配設されている。そして、固定翼123の外周端は、複数の段積みされた固定翼スペーサ125（125a、125b、125c・・・）の間に嵌挿された状態で支持されている。

[0028] 固定翼スペーサ125はリング状の部材であり、例えばアルミニウム、鉄、ステンレス、銅などの金属、又はこれらの金属を成分として含む合金などの金属によって構成されている。固定翼スペーサ125の外周には、わずかの空隙を隔てて外筒127が固定されている。外筒127の底部にはベース部129が配設されている。ベース部129には排気口133が形成され、外部に連通されている。チャンバ（真空チャンバ）側から吸気口101に入ってベース部129に移送されてきた吸気ガスは、排気口133へと送られる。

[0029] さらに、固定翼スペーサ125の下部とベース部129の間には、ネジ付スペーサ131が配設される。ネジ付スペーサ131は、アルミニウム、銅、ステンレス、鉄、又はこれらの金属を成分とする合金などの金属によって構成された円筒状の部材であり、その内周面に螺旋状のネジ溝131aが複数条刻設されている。ネジ溝131aの螺旋の方向は、回転体103の回転

方向に吸気ガスの分子が移動したときに、この分子が排気口１３３の方へ移送される方向である。回転体１０３の回転翼１０２（１０２a、１０２b、１０２c・・・）に続く最下部には円筒部１０２dが垂下されている。この円筒部１０２dの外周面は、円筒状で、かつネジ付スペーサ１３１の内周面に向かって張り出されており、このネジ付スペーサ１３１の内周面と所定の隙間を隔てて近接されている。回転翼１０２および固定翼１２３によってネジ溝１３１aに移送されてきた吸気ガスは、ネジ溝１３１aに案内されつつベース部１２９へと送られる。

[0030] ここで、吸気口１０１から排気口１３３に向けて吸気ガスを排気させる機能を備える部位を排気部１１４と称し、吸気口１０１から排気口１３３に至る吸気ガスが流れる流路をガス流路FP１と称する。排気部１１４は、複数段の回転翼１０２と固定翼１２３を有するタービンポンプ部１１５と、ネジ溝１３１aと円筒部１０２dを有するドラッグポンプ部１１６により構成されている。

[0031] ベース部１２９は、ターボ分子ポンプ１００の基底部を構成する円盤状の部材であり、一般には鉄、アルミニウム、ステンレスなどの金属によって構成されている。ベース部１２９はターボ分子ポンプ１００を物理的に保持すると共に、熱の伝導路の機能も兼ね備えているので、鉄、アルミニウムや銅などの剛性があり、熱伝導率も高い金属が使用されるのが望ましい。

[0032] かかる構成において、回転翼１０２がロータ軸１１３と共にモータ１２１により回転駆動されると、回転翼１０２と固定翼１２３の作用により、吸気口１０１を通じてチャンバからガスが吸気される。回転翼１０２の回転速度は通常20000rpm～90000rpmであり、回転翼１０２の先端での周速度は200m/s～400m/sに達する。吸気口１０１から吸引された吸気ガスは、回転翼１０２と固定翼１２３の間を通り、ベース部１２９へ移送される。このとき、吸気ガスが回転翼１０２に接触する際に生ずる摩擦熱や、モータ１２１で発生した熱の伝導などにより、回転翼１０２の温度は上昇するが、この熱は、輻射又は吸気ガスの気体分子などによる伝導によ

り固定翼１２３側に伝達される。

[0033] 固定翼スペーサ１２５は、外周部で互いに接合しており、固定翼１２３が回転翼１０２から受け取った熱や吸気ガスが固定翼１２３に接触する際に生ずる摩擦熱などを外部へと伝達する。

[0034] なお、上記では、ネジ付スペーサ１３１は回転体１０３の円筒部１０２ｄの外周に配設し、ネジ付スペーサ１３１の内周面にネジ溝１３１ａが刻設されているとして説明した。しかしながら、これとは逆に円筒部１０２ｄの外周面にネジ溝が刻設され、その周囲に円筒状の内周面を有するスペーサが配置される場合もある。

[0035] 本実施形態のターボ分子ポンプ１００は、吸気口１０１から吸引された吸気ガスが上側径方向電磁石１０４、上側径方向センサ１０７、モータ１２１、下側径方向電磁石１０５、下側径方向センサ１０８、軸方向電磁石１０６Ａ、１０６Ｂ、軸方向センサ１０９などで構成される電装部に侵入することのないよう、電装部は周囲をステータコラム１２２で覆われ、このステータコラム１２２内はパージガスにて所定圧に保たれている。

[0036] ベース部１２９にはパージガス導入口１３５が設けられ、このパージガス導入口１３５からステータコラム１２２の内側にパージガスが導入される。導入されたパージガスは、保護ベアリング１２０とロータ軸１１３間、モータ１２１のロータとステータ間、ステータコラム１２２と回転翼１０２の内周側円筒部の間の隙間を通じて排気口１３３へ送出される。ここで、パージガス導入口１３５からステータコラム１２２に至るパージガスが流れる流路をパージガス流路ＦＰ２と称する。

[0037] ここに、ターボ分子ポンプ１００は、機種の特定と、個々に調整された固有のパラメータ（例えば、機種に対応する諸特性）に基づいた制御を要する。この制御パラメータを格納するために、上記ターボ分子ポンプ１００は、その本体内に電子回路部１４１を備えている。電子回路部１４１は、ＥＥＰＲＯＭ等の半導体メモリ及びそのアクセスのための半導体素子等の電子部品、それらの実装用の基板１４３等から構成される。この電子回路部１４１

は、ターボ分子ポンプ100の下部を構成するベース部129の例えば中央付近の図示しない回転速度センサの下部に收容され、気密性の底蓋145によって閉じられている。

[0038] ところで、半導体の製造工程では、チャンバに導入されるプロセスガスの中には、その圧力が所定値よりも高くなり、或いは、その温度が所定値よりも低くなると、固体となる性質を有するものがある。ターボ分子ポンプ100内部では、吸気ガスの圧力は、吸気口101で最も低く排気口133で最も高い。吸気ガスが吸気口101から排気口133へ移送される途中で、その圧力が所定値よりも高くなったり、その温度が所定値よりも低くなったりすると、吸気ガスは、固体状となり、ターボ分子ポンプ100内部に付着して堆積する。

[0039] 例えば、Alエッチング装置にプロセスガスとしてSiCl₄が使用された場合、低真空（760 [torr] ~ 10⁻² [torr]）かつ、低温（約20 [°C]）のとき、固体生成物（例えばAlCl₃）が析出し、ターボ分子ポンプ100内部に付着堆積することが蒸気圧曲線からわかる。これにより、ターボ分子ポンプ100内部にプロセスガスの析出物が堆積すると、この堆積物がポンプ流路を狭め、ターボ分子ポンプ100の性能を低下させる原因となる。そして、前述した生成物は、排気口133付近やネジ付スペーサ131付近の圧力が高い部分で凝固、付着し易い状況にあった。

[0040] そのため、この問題を解決するために、従来はベース部129等の外周に図示しないヒータや環状の水冷管149を巻着させ、かつ例えばベース部129に図示しない温度センサ（例えばサーミスタ）を埋め込み、この温度センサの信号に基づいてベース部129の温度を一定の高い温度（設定温度）に保つようにヒータの加熱や水冷管149による冷却の制御（以下TMSという。TMS; Temperature Management System）が行われている。

[0041] さらに本実施形態のターボ分子ポンプ100は、ターボ分子ポンプ100内に中間導入ガスを導入するための中間導入ガス導入口137を備えている

。なお、中間導入ガス等に関する詳細な説明は後述する。

[0042] 次に、このように構成されるターボ分子ポンプ100に関して、その上側径方向電磁石104、下側径方向電磁石105及び軸方向電磁石106A、106Bを励磁制御するアンプ回路150について説明する。このアンプ回路150の回路図を図2に示す。

[0043] 図2において、上側径方向電磁石104等を構成する電磁石巻線151は、その一端がトランジスタ161を介して電源171の正極171aに接続されており、また、その他端が電流検出回路181及びトランジスタ162を介して電源171の負極171bに接続されている。そして、トランジスタ161、162は、いわゆるパワーMOSFETとなっており、そのソースドレイン間にダイオードが接続された構造を有している。

[0044] このとき、トランジスタ161は、そのダイオードのカソード端子161aが正極171aに接続されるとともに、アノード端子161bが電磁石巻線151の一端と接続されるようになっている。また、トランジスタ162は、そのダイオードのカソード端子162aが電流検出回路181に接続されるとともに、アノード端子162bが負極171bと接続されるようになっている。

[0045] 一方、電流回生用のダイオード165は、そのカソード端子165aが電磁石巻線151の一端に接続されるとともに、そのアノード端子165bが負極171bに接続されるようになっている。また、これと同様に、電流回生用のダイオード166は、そのカソード端子166aが正極171aに接続されるとともに、そのアノード端子166bが電流検出回路181を介して電磁石巻線151の他端に接続されるようになっている。そして、電流検出回路181は、例えばホールセンサ式電流センサや電気抵抗素子で構成されている。

[0046] 以上のように構成されるアンプ回路150は、一つの電磁石に対応されるものである。そのため、磁気軸受が5軸制御で、電磁石104、105、106A、106Bが合計10個ある場合には、電磁石のそれぞれについて同

様のアンプ回路150が構成され、電源171に対して10個のアンプ回路150が並列に接続されるようになっている。

[0047] さらに、アンプ制御回路191は、例えば、制御装置の図示しないデジタル・シグナル・プロセッサ部（以下、DSP部という）によって構成され、このアンプ制御回路191は、トランジスタ161、162のon/offを切り替えるようになっている。

[0048] アンプ制御回路191は、電流検出回路181が検出した電流値（この電流値を反映した信号を電流検出信号191cという）と所定の電流指令値とを比較するようになっている。そして、この比較結果に基づき、PWM制御による1周期である制御サイクル T_s 内に発生させるパルス幅の大きさ（パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} ）を決めるようになっている。その結果、このパルス幅を有するゲート駆動信号191a、191bを、アンプ制御回路191からトランジスタ161、162のゲート端子に出力するようになっている。

[0049] なお、回転体103の回転速度の加速運転中に共振点を通過する際や定速運転中に外乱が発生した際等に、高速かつ強い力での回転体103の位置制御をする必要がある。そのため、電磁石巻線151に流れる電流の急激な増加（あるいは減少）ができるように、電源171としては、例えば50V程度の高電圧が使用されるようになっている。また、電源171の正極171aと負極171bとの間には、電源171の安定化のために、通常コンデンサが接続されている（図示略）。

[0050] かかる構成において、トランジスタ161、162の両方をonにすると、電磁石巻線151に流れる電流（以下、電磁石電流 i_L という）が増加し、両方をoffにすると、電磁石電流 i_L が減少する。

[0051] また、トランジスタ161、162の一方をonにし他方をoffにすると、いわゆるフライホイール電流が保持される。そして、このようにアンプ回路150にフライホイール電流を流すことで、アンプ回路150におけるヒステリシス損を減少させ、回路全体としての消費電力を低く抑えることが

できる。また、このようにトランジスタ 161、162 を制御することにより、ターボ分子ポンプ 100 に生じる高調波等の高周波ノイズを低減することができる。さらに、このフライホイール電流を電流検出回路 181 で測定することで電磁石巻線 151 を流れる電磁石電流 i_L が検出可能となる。

[0052] すなわち、検出した電流値が電流指令値より小さい場合には、図 3 に示すように制御サイクル T_s （例えば $100\mu s$ ）中で 1 回だけ、パルス幅時間 T_{p1} に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を on にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、正極 171a から負極 171b へ、トランジスタ 161、162 を介して流し得る電流値 i_{Lmax} （図示せず）に向かって増加する。

[0053] 一方、検出した電流値が電流指令値より大きい場合には、図 4 に示すように制御サイクル T_s 中で 1 回だけパルス幅時間 T_{p2} に相当する時間分だけトランジスタ 161、162 の両方を off にする。そのため、この期間中の電磁石電流 i_L は、負極 171b から正極 171a へ、ダイオード 165、166 を介して回生し得る電流値 i_{Lmin} （図示せず）に向かって減少する。

[0054] そして、いずれの場合にも、パルス幅時間 T_{p1} 、 T_{p2} の経過後は、トランジスタ 161、162 のどちらか 1 個を on にする。そのため、この期間中は、アンプ回路 150 にフライホイール電流が保持される。

[0055] ここで、上述した中間導入ガスに関して説明する。中間導入ガスは、吸気ガスよりも粘度が高いガスであり、例えば吸気ガスが水素ガスである場合には、中間導入ガスとして窒素ガスやアルゴンガスが使用される。なお中間導入ガスは、吸気ガスと種類が異なるものに限られず、例えば吸気ガスと同一種類であって温度を上昇させて粘度を高めたガスであってもよい。

[0056] 本実施形態のターボ分子ポンプ 100 において、中間導入ガスは図 5 に示した中間導入ガス導入口 137 からターボ分子ポンプ 100 内に導入される。ターボ分子ポンプ 100 内に導入された中間導入ガスは、図示した導入流路 FP3 を流れる。本実施形態の固定翼スペーサ 125a は、固定翼スペー

サ 1 2 5 a を径方向に貫通する接続口 1 3 8 を備えていて、図示したように接続口 1 3 8 は、回転翼 1 0 2 a よりも排気下流側に位置している。すなわち導入流路 F P 3 は、接続口 1 3 8 によって、排気部 1 1 4 における吸気口 1 0 1 に最も近い回転翼 1 0 2 a よりも排気下流側でガス流路 F P 1 に接続されている。

[0057] このように構成されるターボ分子ポンプ 1 0 0 によれば、ガス流路 F P 1 では、吸気口 1 0 1 から吸引された吸気ガスだけでなく、接続口 1 3 8 を通過した中間導入ガスも流れる。すなわち、吸気ガスと中間導入ガスの混合ガスの粘度は吸気ガスのみに比して高くなり、それ故、排気部 1 1 4（特にドラッグポンプ部 1 1 6）での圧縮効果が向上する。従ってターボ分子ポンプ 1 0 0 によれば、吸引ガスが水素ガスのように粘度が低いガスであっても中間導入ガスを導入しない場合に比して背圧性能を向上させることができる。

[0058] ここで、図 1 0 を参照しながら本実施形態におけるターボ分子ポンプ 1 0 0 の背圧性能について説明する。図 1 0 において横軸は排気口 1 3 3 での圧力（背圧）を示し、縦軸は吸気口 1 0 1 での圧力（吸圧）を示す。また図 1 0 における破線は、中間導入ガスを導入せずに吸気ガスのみ吸引した場合での背圧と吸圧との関係を示し、図 1 0 における実線は、中間導入ガスを導入しつつ吸気ガスを吸引した場合での背圧と吸圧との関係を示している。また図 1 0 は、吸気ガスが水素ガスであり、中間導入ガスは窒素ガスである。

[0059] 図 1 0 から明らかなように、背圧が上昇すると吸圧も上昇するが、中間導入ガスを導入する場合は、中間導入ガスを導入しない場合に比して背圧が上昇しても吸圧の上昇が抑制されていて、背圧性能が向上していることが確認された。

[0060] ターボ分子ポンプ 1 0 0 における中間導入ガスに係わる構成は、種々の変更が可能である。例えばターボ分子ポンプ 1 0 0 は、図 6 に示した構成に変更してもよい。

[0061] 図 6 に示したターボ分子ポンプ 1 0 0 は、バルブ 1 3 9 を備えている。ま

た接続口１３８は、ネジ付スペーサ１３１の内部に設けた貫通穴の出口に設けられている。なお本実施形態において中間導入ガスが流れる導入流路ＦＰ３は、バルブ１３９から中間導入ガス導入口１３７を経て、接続口１３８に至るまでの流路である。そしてバルブ１３９は、導入流路ＦＰ３を流れる中間導入ガスの流量を調整することが可能である。

[0062] 図６に示したターボ分子ポンプ１００において、導入流路ＦＰ３は、接続口１３８によって、排気部１１４におけるドラッグポンプ部１１６の中間付近に接続されている。すなわち、排気部１１４におけるドラッグポンプ部１１６の中間付近より下流側においては、吸気ガスと中間導入ガスの混合ガスが流れるため、吸気ガスのみがガス流路ＦＰ１を流れる場合に比してこの部分での圧縮効果が向上する。従って図６に示したターボ分子ポンプ１００においても、中間導入ガスを導入しない場合に比して背圧性能を向上させることができる。なお、ガス流路ＦＰ１に導入される中間導入ガスの量が多すぎても少なすぎても圧縮効果の向上は見込めない。一方、本実施形態のようにバルブ１３９を設けておけば、中間導入ガスの量を容易に変更することができるため、中間導入ガスの量を調整して背圧性能をさらに向上させることができる。

[0063] またターボ分子ポンプ１００は、図７に示した構成に変更してもよい。図７に示したターボ分子ポンプ１００は、排気部１１４におけるタービンポンプ部１１５とドラッグポンプ部１１６の間に接続口１３８を備えている。すなわち導入流路ＦＰ３は、タービンポンプ部１１５とドラッグポンプ部１１６の間にガス流路ＦＰ１に接続されている。このような構成によって吸気ガスと中間導入ガスの混合ガスはドラッグポンプ部１１６を流れるため、ドラッグポンプ部１１６での圧縮効果が向上する。

[0064] なお、図６に示したターボ分子ポンプ１００では、吸気ガスと中間導入ガスの混合ガスは基本的にドラッグポンプ部１１６の中間付近より下流側を流れる一方、図７に示したターボ分子ポンプ１００では、混合ガスは基本的にドラッグポンプ部１１６の全域を流れることから圧縮効果が一層向上する。

また吸気ガスと中間導入ガスの混合ガスは、図5に示したターボ分子ポンプ100においてもドラッグポンプ部116の全域を流れることから、図6のターボ分子ポンプ100に比して圧縮効果の一層の向上が見込まれる。なお、図5のターボ分子ポンプ100においては、混合ガスがタービンポンプ部115を流れる際の回転翼102や固定翼123に接触するガスの分子数が吸気ガスのみの場合に比して増えることになり、これにより回転翼102や固定翼123での発熱が増える結果、許容されるターボ分子ポンプ100の上限温度に達しやすくなる。このため、温度上昇を抑えるべく吸気ガスの許容流量を抑制する必要がある。一方、図7に示したターボ分子ポンプ100では、混合ガスは基本的にタービンポンプ部115の下流側を流れるため、図5のターボ分子ポンプ100に比して、吸気ガスの許容流量を増やすことができる。

[0065] ターボ分子ポンプ100は、図8に示した構成に変更してもよい。図8に示したターボ分子ポンプ100は、パージガス導入口135を備えるパージガス継手135aがベース部129の外側で2つに分岐している。分岐した一方のパージガス継手135aは、ステータコラム122の内側に通じていて、分岐した他方のパージガス継手135aは、タービンポンプ部115とドラッグポンプ部116の間に位置する接続口138に通じている。本実施形態においてパージガス流路FP2は、パージガス導入口135から一方のパージガス継手135aを経てステータコラム122に至る流路であり、導入流路FP3は、他方のパージガス継手135aから接続口138に至る流路である。すなわち導入流路FP3はパージガス流路FP2から分岐していて、導入流路FP3を流れる中間導入ガスとしてパージガスが用いられる。

[0066] 図8に示したターボ分子ポンプ100によれば、パージガスを中間導入ガスとして利用できることから、パージガスと中間導入ガスを別異に準備する場合に比して、附帯設備も含めたターボ分子ポンプ100に係わる全体の構成を簡素化することができる。また図8のターボ分子ポンプ100を用いる場合は、吸引ガスが水素ガスであり、パージガスが窒素ガスであることが

特に好適である。すなわち窒素ガスは水素ガスよりも粘度が高いため、窒素ガスを中間導入ガスとして導入しない場合に比して背圧性能を向上させることができる。また窒素ガスは安価な不活性ガスであるため、ターボ分子ポンプ100を安全に稼働させ且つコストを抑制することができる。

[0067] ターボ分子ポンプ100は、図9に示した構成に変更してもよい。図9に示したターボ分子ポンプ100には、ベース部129とネジ付スペーサ131の内部に貫通穴が設けられている。この貫通穴の入口はパージガス流路FP2に通じている。またこの貫通穴は、タービンポンプ部115とドラッグポンプ部116の間に位置する接続口138に通じている。なお本実施形態において導入流路FP3は、この貫通穴の入口から接続口138に至る流路である。ここで、パージガス導入口135からステータコラム122の内側に通じるパージガス流路FP2について、ターボ分子ポンプ100の外側（すなわち、パージガス継手135bの内側）に位置する流路を外側パージガス流路FP2Aと称し、ターボ分子ポンプ100の内側に位置する流路を内側パージガス流路FP2Bと称する。

[0068] 図9に示したターボ分子ポンプ100において、導入流路FP3は、内側パージガス流路FP2Bから分岐してガス流路FP1に接続されている。すなわち、このターボ分子ポンプ100においても、パージガスを中間導入ガスとして利用できるため、パージガスと中間導入ガスを別異に準備する場合に比してターボ分子ポンプ100に係わる全体の構成を簡素化することができる。また図8に示したターボ分子ポンプ100は、導入流路FP3がターボ分子ポンプ100の外部に設けられていることからその分スペースを要することになるが、図9のターボ分子ポンプ100は、導入流路FP3がターボ分子ポンプ100の内部に設けられているため、ターボ分子ポンプ100の周囲にスペースを確保することができる。

[0069] なお、図8、図9に示したターボ分子ポンプ100のようにパージガスを中間導入ガスとして利用する場合は、導入流路FP3の少なくとも一部の内径は、パージガス流路FP2の内径よりも小さいことが好ましい。本実施形

態では、図 8、図 9 に示すように比較的小径の接続口 1 3 8 を用いていて、少なくともこの部分の内径がパージガス流路 F P 2 の内径よりも小さくなっている。

[0070] 中間導入ガスとして使用するパージガスの量は、一般にはステータコラム 1 2 2 内に導入されるパージガスの量よりも少なくなる。従って、導入流路 F P 3 の少なくとも一部の内径をパージガス流路 F P 2 の内径よりも小さくしておくことにより、当初から所望する背圧性能を発揮させやすくなる。また背圧性能を向上させるにあたって導入流路 F P 3 を流れるパージガスの量を調整する際、小さな内径を大きくすることは容易であるため、調整が行いやすくなる。なお、上述したバルブ 1 3 9（図 6 を参照）を用いて導入流路 F P 3 を流れるパージガスの量を調整してもよい。

[0071] 以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は係る特定の実施形態に限定されるものではなく、上記の説明で特に限定しない限り、特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨の範囲内において、種々の変形・変更、組み合わせが可能である。また、上記の実施形態における効果は、本発明から生じる効果を例示したに過ぎず、本発明による効果が上記の効果に限定されることを意味するものではない。

[0072] 例えばドラッグポンプ部 1 1 6 は、上述したネジ溝 1 3 1 a を利用したホルベック式ポンプ機構に限られず、例えばシグバーン式ポンプ機構等、他のポンプ機構により構成してもよい。

符号の説明

[0073] 1 0 0 : ターボ分子ポンプ（真空ポンプ）

1 0 1 : 吸気口

1 0 2 : 回転翼

1 0 3 : 回転体

1 1 4 : 排気部

1 1 5 : タービンポンプ部

1 1 6 : ドラッグポンプ部

1 2 2 : ステータコラム

1 2 3 : 固定翼

1 3 3 : 排気口

1 3 9 : バルブ

F P 1 : ガス流路

F P 2 : パージガス流路

F P 2 A : 外側パージガス流路

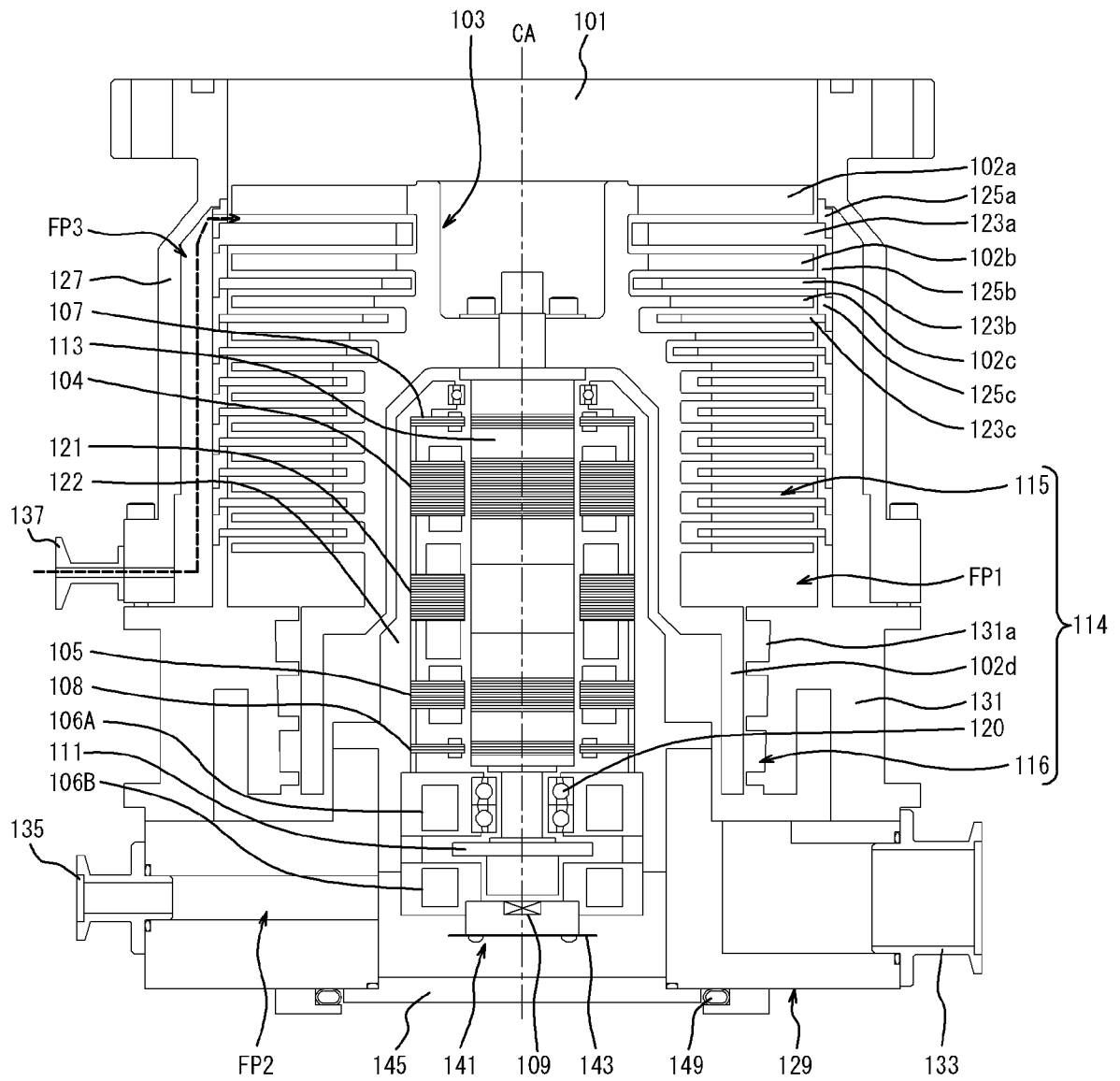
F P 2 B : 内側パージガス流路

F P 3 : 導入流路

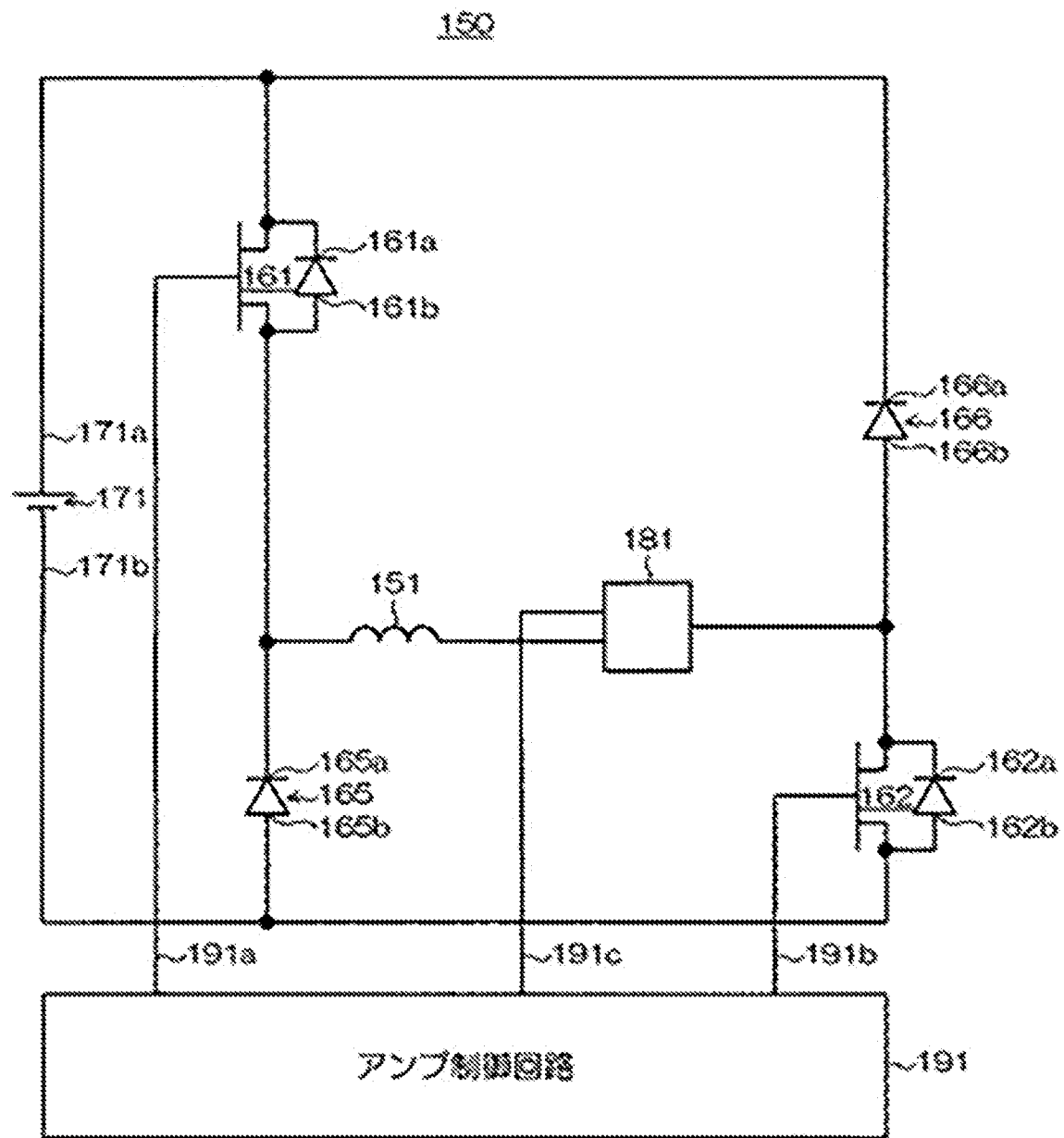
請求の範囲

- [請求項1] 複数段の回転翼と固定翼を有するタービンポンプ部と前記タービンポンプ部よりも排気下流側に位置するドラッグポンプ部とを含んで構成される排気部を備え、前記排気部によって吸気口から吸引した吸気ガスをガス流路を介して排気口から排気させる真空ポンプであって、
前記吸気ガスよりも粘度が高い中間導入ガスを導入する導入流路を備え、
前記導入流路は、前記複数段の回転翼の中で、前記排気部における前記吸気口に最も近い回転翼よりも排気下流側で前記ガス流路に接続されていることを特徴とする真空ポンプ。
- [請求項2] 前記回転翼が設けられた回転体の内周側に設けられるステータコラムの内側にパージガスを供給するパージガス流路を備え、
前記導入流路は前記パージガス流路から分岐したものであって、前記中間導入ガスとして前記パージガスが用いられることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプ。
- [請求項3] 前記パージガス流路は、真空ポンプの外側に位置する外側パージガス流路と真空ポンプの内側に位置する内側パージガス流路とで構成され、
前記導入流路は、前記内側パージガス流路から分岐して前記ガス流路に接続されることを特徴とする請求項2に記載の真空ポンプ。
- [請求項4] 前記導入流路の少なくとも一部の内径は、前記パージガス流路の内径よりも小さいことを特徴とする請求項2に記載の真空ポンプ。
- [請求項5] 前記導入流路は、前記中間導入ガスの流量を調整可能なバルブを備えることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプ。
- [請求項6] 前記導入流路は、前記タービンポンプ部と前記ドラッグポンプ部の間で前記ガス流路に接続されていることを特徴とする請求項1に記載の真空ポンプ。

[図1]

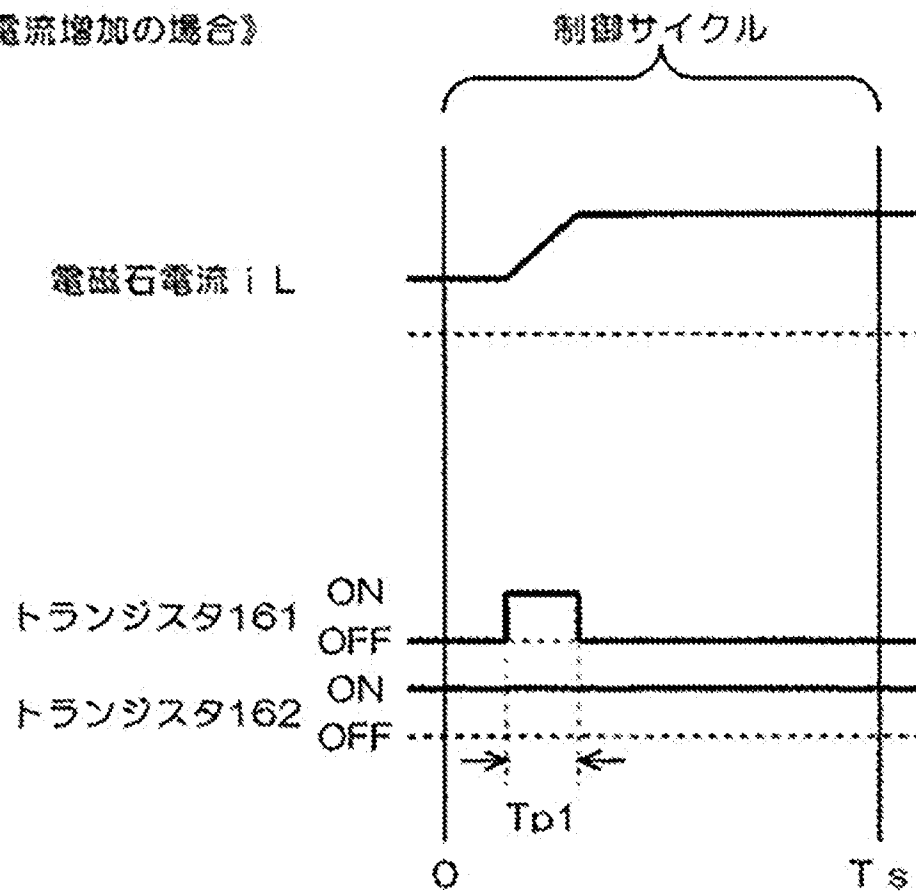
100

[図2]



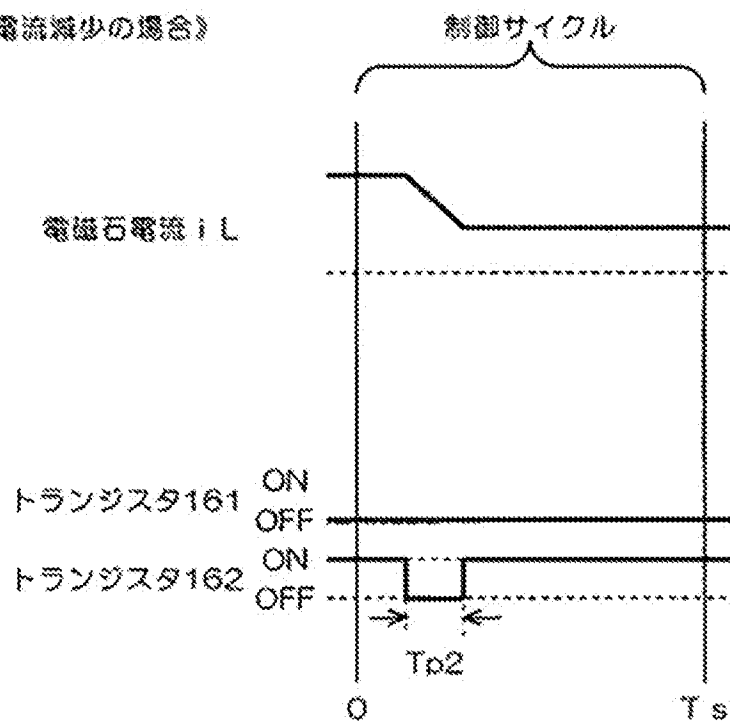
[図3]

《電流増加の場合》

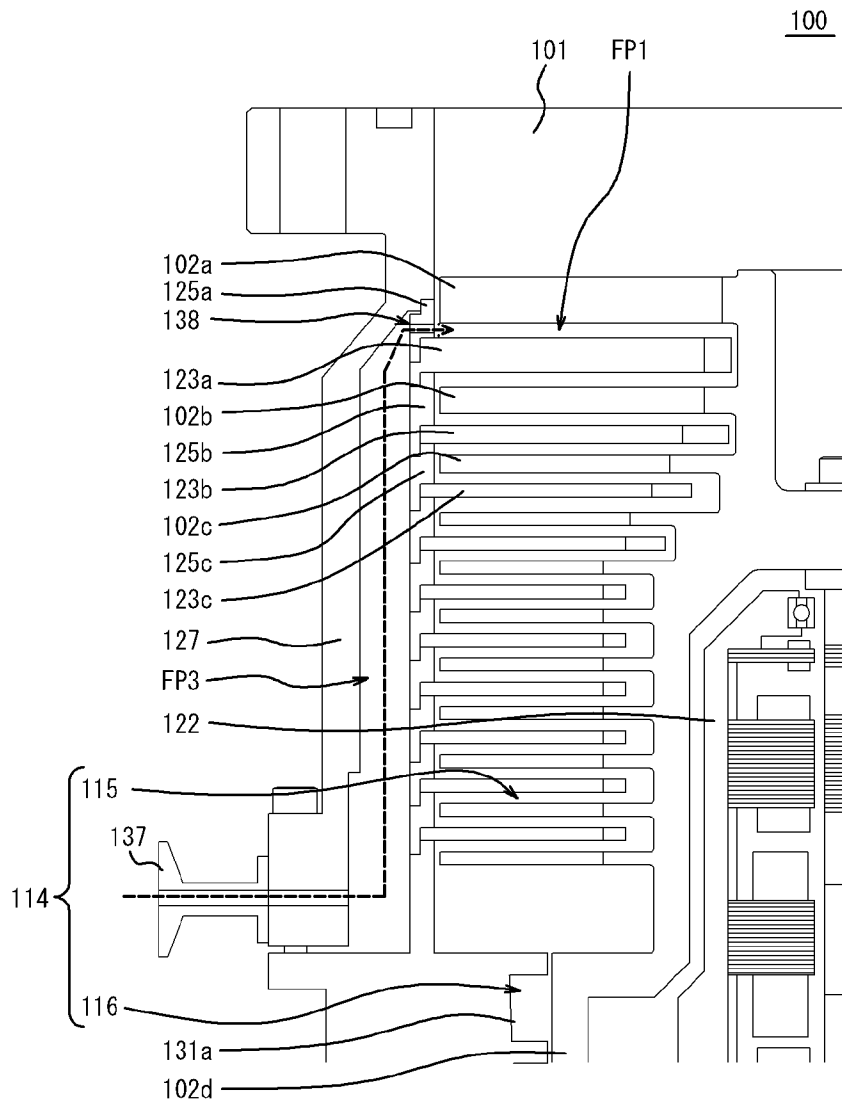


[図4]

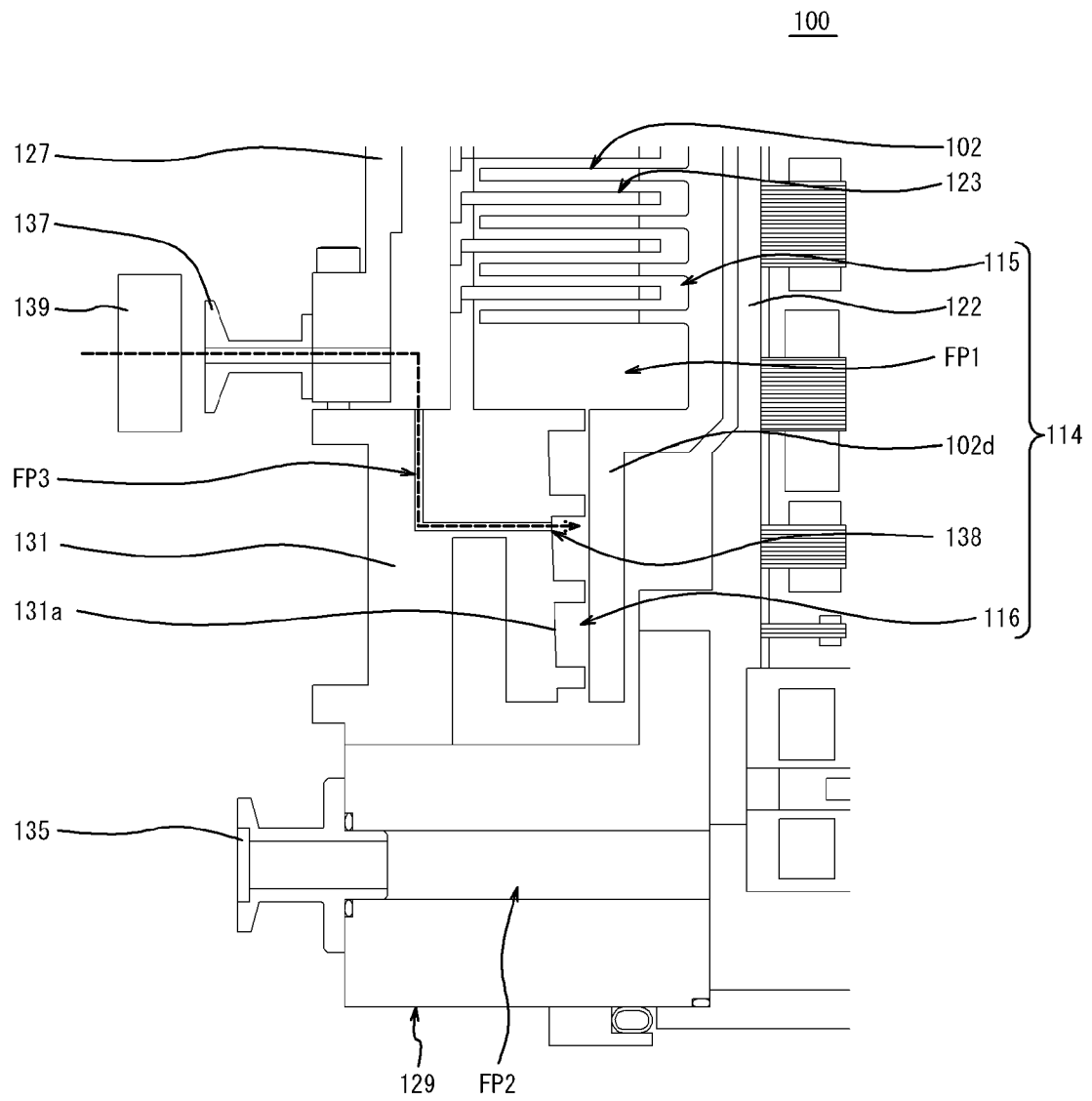
《電流減少の場合》



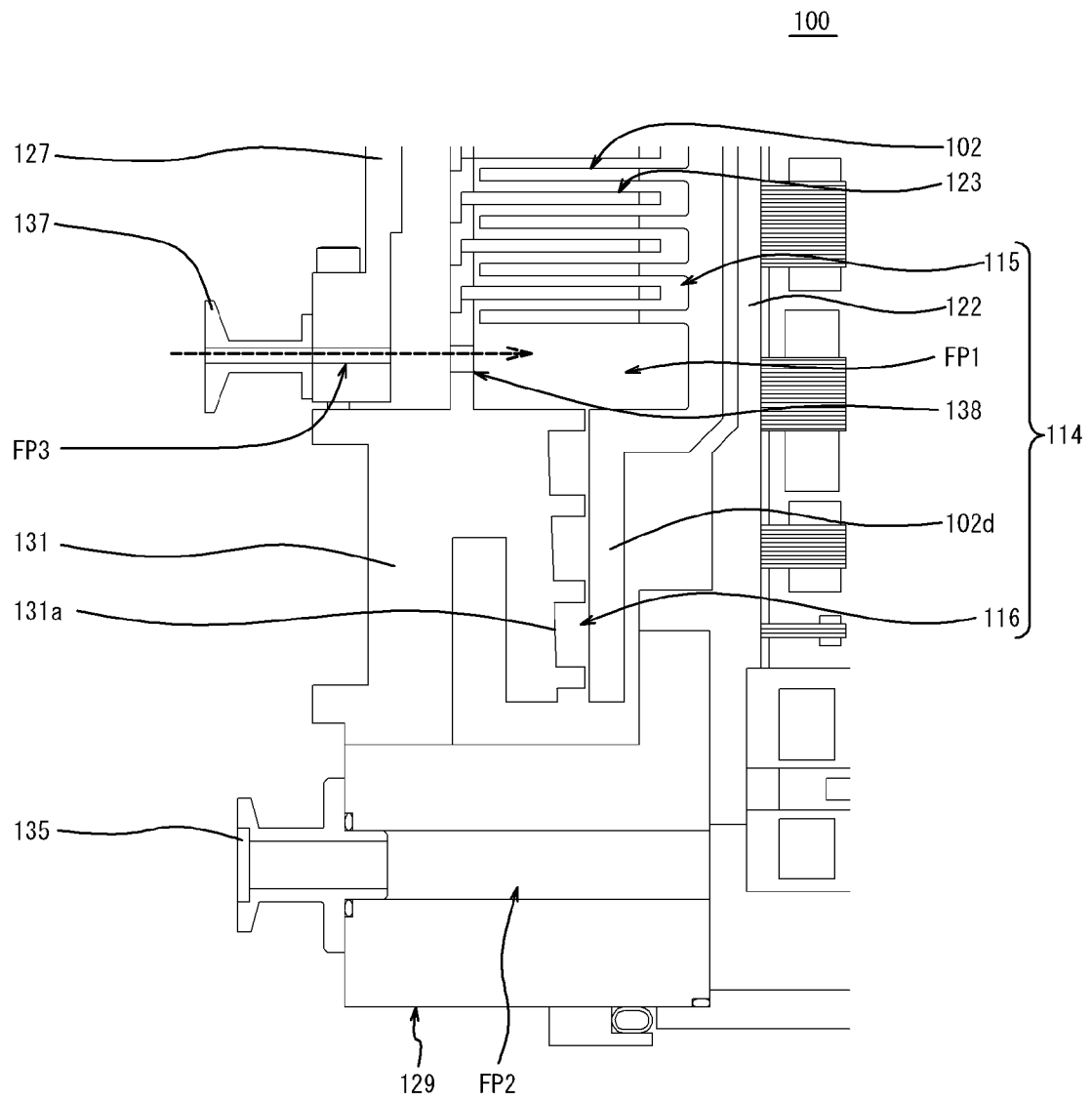
[図5]



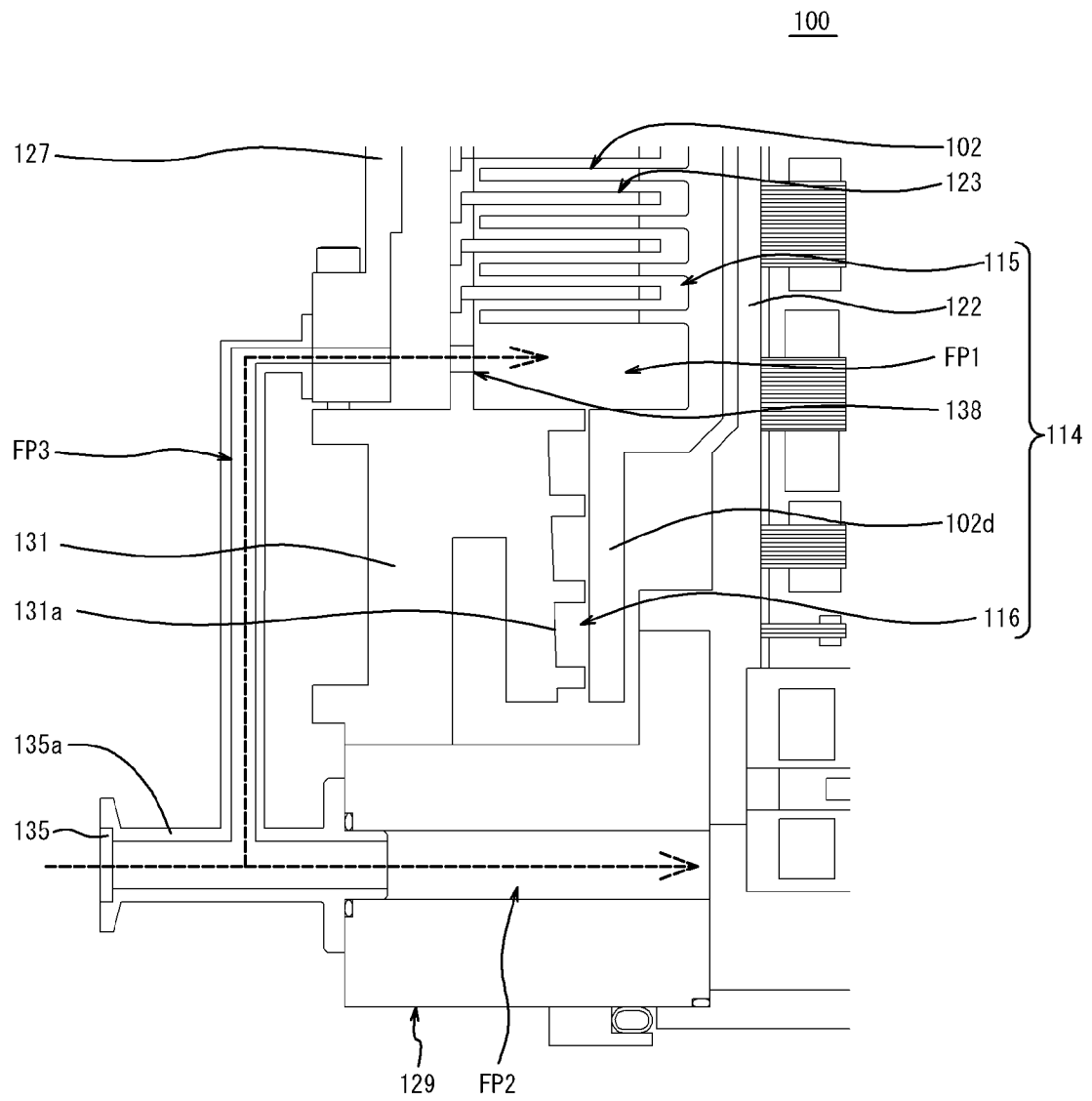
[図6]



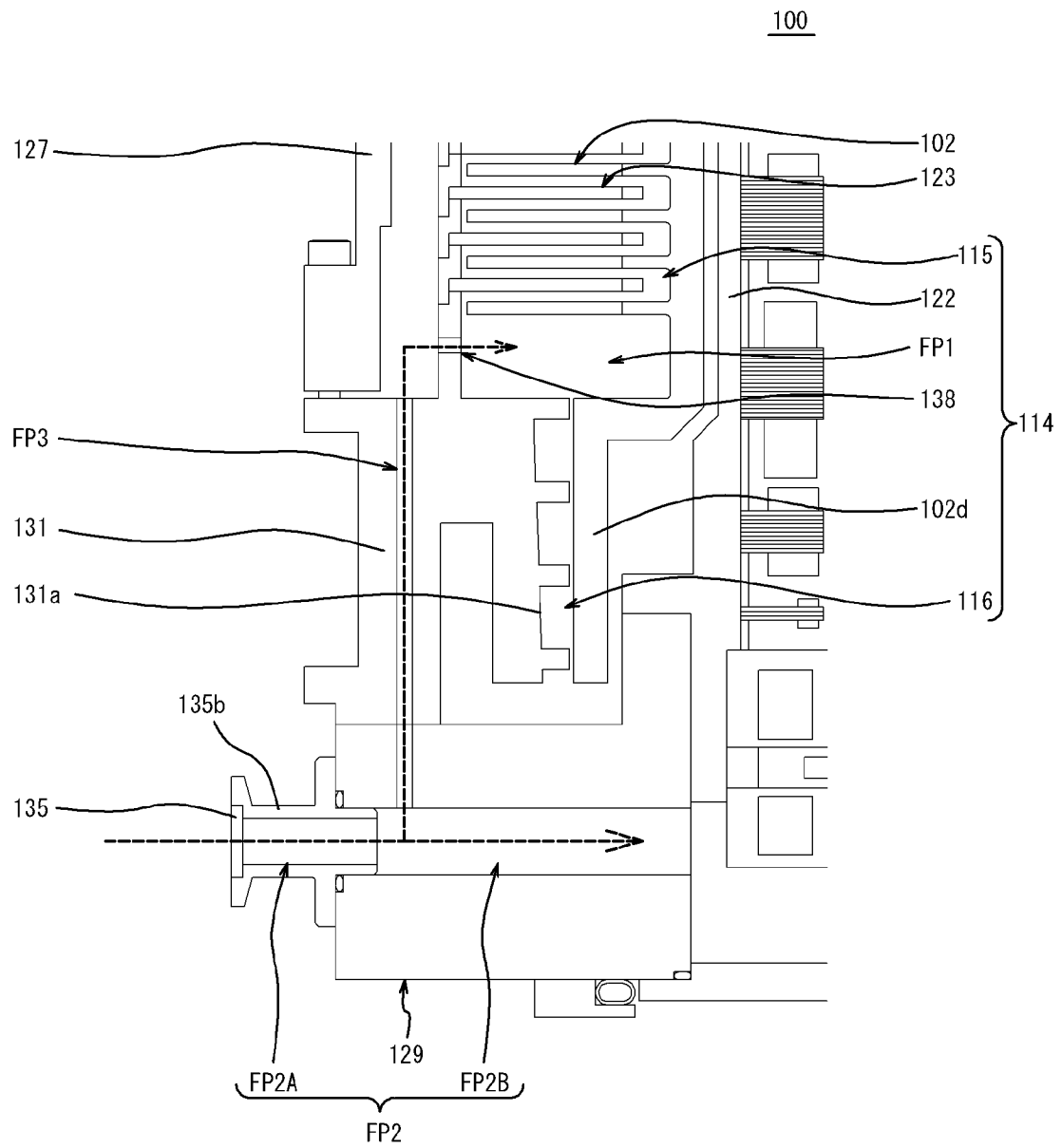
[図7]



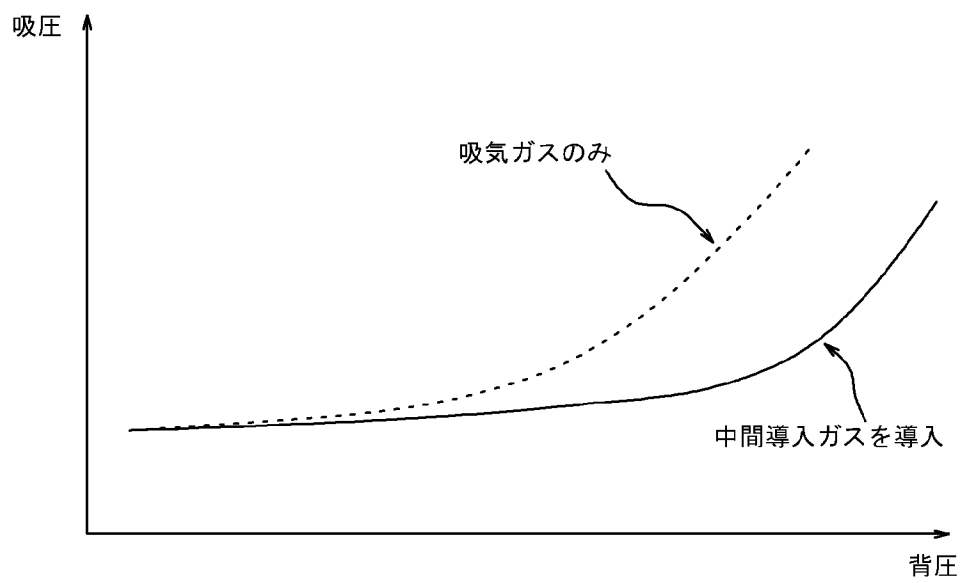
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/029683

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**F04D 19/04**(2006.01)i

FI: F04D19/04 G

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)

F04D19/04

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024

Registered utility model specifications of Japan 1996-2024

Published registered utility model applications of Japan 1994-2024

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2022-135716 A (EDWARDS KK) 15 September 2022 (2022-09-15)	1-2, 4-5
A	paragraphs [0009]-[0149], fig. 1-9	3, 6
X	JP 2019-120249 A (EDWARDS KK) 22 July 2019 (2019-07-22)	1, 5-6
A	paragraphs [0040]-[0154], fig. 1-20	2-4



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

02 December 2024

Date of mailing of the international search report

10 December 2024

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2024/029683

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2022-135716	A	15 September 2022	US 2024/0141907 A1 paragraphs [0036]-[0189], fig. 1-9 WO 2022/186076 A1 EP 4303447 A1 CN 116867976 A KR 10-2023-0154003 A	
JP	2019-120249	A	22 July 2019	US 2020/0332811 A1 paragraphs [0041]-[0182], fig. 1-20 WO 2019/131682 A1 EP 3734077 A1 CN 111448394 A KR 10-2020-0099526 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

F04D 19/04(2006.01)i
FI: F04D19/04 G

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））
F04D19/04

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 - 2024年
日本国実用新案登録公報 1996 - 2024年
日本国登録実用新案公報 1994 - 2024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）

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
X	JP 2022-135716 A（エドワーズ株式会社）15.09.2022（2022 - 09 - 15） 段落[0009]-[0149], 図1-9	1-2, 4-5
A		3, 6
X	JP 2019-120249 A（エドワーズ株式会社）22.07.2019（2019 - 07 - 22） 段落[0040]-[0154], 図1-20	1, 5-6
A		2-4

☐ 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

“D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献

“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抵触するものではなく、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

02. 12. 2024

国際調査報告の発送日

10. 12. 2024

名称及びあて先

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

権限のある職員（特許庁審査官）

岩田 健一 30 3415

電話番号 03-3581-1101 内線 3358

様式 PCT/ISA/210（第2ページ）（2022年7月）

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2024/029683

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2022-135716	A	15.09.2022	US	2024/0141907	A1	
				段落[0036]-[0189], 図1-9			
				WO	2022/186076	A1	
				EP	4303447	A1	
				CN	116867976	A	
				KR	10-2023-0154003	A	

JP	2019-120249	A	22.07.2019	US	2020/0332811	A1	
				段落[0041]-[0182], 図1-20			
				WO	2019/131682	A1	
				EP	3734077	A1	
				CN	111448394	A	
				KR	10-2020-0099526	A	
