

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4920975号
(P4920975)

(45) 発行日 平成24年4月18日 (2012. 4. 18)

(24) 登録日 平成24年2月10日 (2012. 2. 10)

(51) Int. Cl.

F 1

F O 4 D 19/04 (2006.01)

F O 4 D 19/04

D

請求項の数 5 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2006-9650 (P2006-9650)	(73) 特許権者	000000239
(22) 出願日	平成18年1月18日 (2006. 1. 18)		株式会社荏原製作所
(65) 公開番号	特開2007-192076 (P2007-192076A)		東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号
(43) 公開日	平成19年8月2日 (2007. 8. 2)	(74) 代理人	100097320
審査請求日	平成20年11月12日 (2008. 11. 12)		弁理士 宮川 貞二
		(74) 代理人	100096611
			弁理士 宮川 清
		(74) 代理人	100098040
			弁理士 松村 博之
		(74) 代理人	100123892
			弁理士 内藤 忠雄
		(74) 代理人	100100398
			弁理士 柴田 茂夫
		(74) 代理人	100131820
			弁理士 金井 俊幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ターボ型真空ポンプ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

軸方向に気体を吸い込む吸気部と、回転翼と固定翼とを交互に配置する排気部と、前記回転翼を回転させる回転軸とを備え；

前記回転翼が、前記吸い込んだ気体を前記軸方向に排気する 1 段以上のタービン翼と、前記タービン翼の後流側に位置し、前記排気された気体をさらに遠心ドラッグ作用により排気する 1 段以上の遠心翼を含んで構成され；

前記遠心翼が、該遠心翼を貫通する前記回転軸に固定され；

前記遠心翼と前記回転軸の間に配置され、前記回転軸に締め込まれた円管リングをさらに備え；

前記遠心翼が、前記円管リングに嵌合により固定して取り付けられ；

前記回転軸の吸気部側端面に固定され、さらにボス部を有するタービン翼部と；

前記タービン翼部を前記固定するネジ部材とを備え；

前記タービン翼が、前記ボス部に取り付けられ；

前記ボス部には、底部に前記ネジ部材が貫通する貫通孔が形成された中空部が形成され

；

前記中空部の内径が前記回転軸の外径より小さく形成された；

ターボ型真空ポンプ。

【請求項 2】

最下段に位置する前記タービン翼が、前記回転軸の吸気部側端面より吸気部側に位置す

る；

請求項 1 に記載のターボ真空ポンプ。

【請求項 3】

前記遠心翼の一段目と前記タービン翼の最終段との間の軸方向距離が、前記タービン翼の最終段の外径の 12 % 以上である；

請求項 1 または請求項 2 に記載のターボ型真空ポンプ。

【請求項 4】

前記遠心翼の一段目の直上流側に開口部を有する隔壁をさらに備え；

前記遠心翼の一段目が前記開口部から前記気体を吸い込むように配置され；

前記隔壁と前記タービン翼の最終段との間の軸方向距離が、前記タービン翼の最終段の外径の約 12 % 以上である；

請求項 1 または請求項 2 に記載のターボ型真空ポンプ。

【請求項 5】

前記円管リングの外径に対する前記回転軸の外径の割合が 75 % 以上である；

請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載のターボ型真空ポンプ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、比較的大流量のガスを排気する用途に適するターボ型真空ポンプに関し、特にポンプ吸気口圧力が 1 ~ 1000 Pa の領域にて大きな排気速度を有するターボ型真空ポンプに関する。

【背景技術】

【0002】

図 16 に従来のターボ型真空ポンプ 1C の一例を示す。現在、半導体製造装置などの半導体プロセス用として汎用的に使用されている真空ポンプとしてターボ分子ポンプがある。

【0003】

このターボ型真空ポンプ 1C は、垂直方向上下に配置された筒状のポンプケーシング 101 の内部に、ロータ（回転部）R とステータ（固定部）S により翼排気部 L1 及び溝排気部 L2 からなる排気部 L が構成されている。ポンプケーシング 101 の下部は、ポンプ基部 102 によって覆われ、このポンプ基部 102 には、溝排気部 L2 の排気側に連通する排気口 120 が構成されている。吸気口 101a を有するポンプケーシング 101 の上部には気体を排気すべき装置や配管に接続するためのフランジ（図 16 に不図示）が設けられている。ステータ S は、ポンプ基部 102 の中央に立設された固定筒状部 103 と、翼排気部 L1 及び溝排気部 L2 の固定側部分とから主に構成されている。

【0004】

ロータ R は、固定筒状部 103 の内部に挿入された回転軸 104 と、それに取り付けられた回転筒状部 105 とから構成されている。固定筒状部 103 は回転筒状部 105 の中空部 105a に収納されている。回転軸 104 と固定筒状部 103 の間には駆動用モータ 106 と、その上下に上部ラジアル軸受 107 及び下部ラジアル軸受 108 が設けられている。そして回転軸 104 の下部には、回転軸 104 の下端のターゲットディスク 109 と、ステータ S 側の上下の電磁石 110a、110b を有するアキシアル軸受 111 が配置されている。このような構成によって、ロータ R が 5 軸の能動制御を受けながら高速回転するようになっている。

【0005】

回転筒状部 105 の上下外周には、回転翼 112 が一体に設けられて羽根車を構成し、ポンプケーシングの内面には、回転翼 112 と交互に配置される固定翼 113 が設けられ、これらが高速回転すると回転翼 112 と静止している固定翼 113 との相互作用によって排気を行う翼排気部 L1 を構成している。固定翼 113 は、周縁部を固定翼スペーサ 114 により上下から押さえられて固定されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

さらに、翼排気部 L 1 の下方には溝排気部 L 2 が設けられている。すなわち、ステータ S には、ロータ R の外周を囲むねじ溝部スペーサ 1 1 9 が配置され、ねじ溝部スペーサ 1 1 9 にはねじ溝 1 1 9 a が形成されている。溝排気部 L 2 は、高速回転するロータ R に対向するねじ溝 1 1 9 a のドラッグ作用により排気を行う(例えば、特許文献 1)。

【 0 0 0 7 】

このように翼排気部 L 1 の下流側にはねじ溝排気部 L 2 を有することで、広い流量範囲に対応可能な広域型ターボ型真空ポンプ 1 C が構成されている。この例では、ねじ溝排気部 L 2 のねじ溝をステータ S 側に形成した例を示しているが、ねじ溝をロータ R 側に形成することも行われている。

10

【 0 0 0 8 】

上述したように、回転翼を分子流流域にて効率よく気体を排気するタービン翼とし、中間流領域にて気体を効率よく排気するねじ溝を形成したロータを組み合わせた複合型のターボ型真空ポンプが主流になってきており、この複合型は比較的多量のガスが流れる用途に適している。

【 0 0 0 9 】

【特許文献 1】特開昭 6 0 - 1 2 5 7 9 5 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

20

しかし、従来のターボ型真空ポンプでは、1 P a 以上の高圧側にて、ポンプ吸気圧力の上昇と共に排気速度が落ち込む特性を有していた。このため、大流量・低圧化に対応するためには、大型化のポンプが必要であった。

【 0 0 1 1 】

ターボ型真空ポンプの排気性能は、回転筒状部をできるだけ高速で回転させた方がよいことは言うまでもない。しかし、一般的なターボ分子ポンプ構造は、羽根車を構成する回転筒状部が、ステータを構成する固定筒状部の外側を覆って囲むような形状に形成されている。よって、ターボ型真空ポンプの回転数は、回転筒状部の最大内径部に発生する応力により制限される。従来のターボ型真空ポンプにおいて、回転数に制限があるため、流量を比較的多くし、かつ低圧にすることが求められる場合、排気速度の大きいポンプ、すなわちタービン翼径の大きいポンプが必要であり、ポンプが大型化してしまう。

30

【 0 0 1 2 】

また、回転筒状部が前述のように形成されているため、回転筒状部は一体構造とする必要があり、回転筒状部の一部が破損、変形、腐食等した場合、回転筒状部全体を交換しなければならない可能性が高く、長期的使用に対して不利であった。

【 0 0 1 3 】

そこで、本発明は、上記の点に鑑み、1 ~ 1 0 0 0 P a の圧力領域にて排気効率の高い回転翼をさらに高速で回転させ、ポンプ翼径を大型化させることなく、大流量・低圧化、すなわち排気速度を大きくでき、かつ長期的使用に対し有利なターボ型真空ポンプを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

上記目的を達成するため、第 1 の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ 1 は、例えば図 1 に示すように、軸方向に気体を吸い込む吸気部 2 3 A と、回転翼 7 0、2 4 と固定翼 7 1、2 8 とを交互に配置する排気部 5 0 と、回転翼 7 0、2 4 を回転させる回転軸 2 1 とを備え；回転翼 7 0、2 4 が、前記吸い込んだ気体を前記軸方向に排気する 1 段以上のタービン翼 7 0 と、タービン翼 7 0 の後流側に位置し、前記排気された気体をさらに遠心ドラッグ作用により排気する 1 段以上の遠心翼 2 4 を含んで構成され；遠心翼 2 4 が、該遠心翼 2 4 を貫通する回転軸 2 1 に固定され；遠心翼 2 4 と回転軸 2 1 の間に配置され、回転軸 2 1 に締め付けられた円管リング 4 1 をさらに備える。

50

【 0 0 1 5 】

このように構成するので、吸気部から気体を軸方向に吸い込み、高速回転すると回転翼と静止している固定翼との相互作用によって排気を行う。また、吸い込んだ気体はタービン翼にて軸方向に排気され、さらに遠心翼にて遠心ドラッグ作用により排気される。

【 0 0 1 6 】

上記翼構成により、比較的低压側で高い排気効率を有するタービン翼と、比較的高圧側で高い排気効率を有する遠心翼とを組み合わせるターボ型真空ポンプを構成するため、ポンプ全体にて排気効率を高くできる。また遠心翼は径方向にガスを排気するため、軸方向長さを長くすることなく、流路長さを長くできる。よって、タービン翼および遠心翼が取り付けられる回転軸部の長さを短くできるので、ロータ全体の固有振動数が高くなり、高速回転化が容易となる。

10

【 0 0 1 7 】

前記遠心翼が、該遠心翼を貫通する前記回転軸に固定されるので、遠心翼のボス部の径を小さくすることができる。また半径方向の流れを生じさせることができ、流路長さを長くすることができるので、圧縮性能が向上する。また、遠心翼と回転軸の間に配置され、回転軸に締め付けられた円管リングをさらに備えるので、円管リングが締め付けられた回転軸の曲げ剛性を高めることができ、高速回転化が可能となる。その結果、大流量ガスを吸い込む場合でも、タービン翼の排気作用により吸気圧を低压にすることができ、遠心翼の排気作用により高い圧力まで圧縮することが可能である。

20

【 0 0 1 8 】

第2の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ1は、第1の態様のターボ型真空ポンプにおいて、例えば図1に示すように、回転軸21の吸気部側端面11Bに固定され、さらにボス部74を有するタービン翼部73を備え；タービン翼70が、ボス部74に取り付けられる。

【 0 0 1 9 】

タービン翼部が、回転軸の吸気部側端面に固定されるので、タービン翼部のボス部の径を小さくすることができ、タービン翼部のボス部に作用する遠心力を低減でき、高速回転化が可能となる。その結果、大流量ガスを吸い込む場合でも、タービン翼の排気作用により吸気圧を低压にすることができ、遠心翼の排気作用により高い圧力まで圧縮することが可能である。さらに、この構造によりタービン翼と遠心翼とが、別体構造となったので、回転翼の一部の破損、変形、腐食等が生じた場合に、その回転翼を交換すればよく、回転翼全体を交換する必要がないので長期的使用に対し有利なターボ型真空ポンプとすることができる。

30

【 0 0 2 0 】

上記目的を達成するため、第3の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ1は、例えば図1、図3に示すように、軸方向に気体を吸い込む吸気部23Aと、回転翼70、24と固定翼71、28とを交互に配置する排気部50と、回転翼70、24を回転させる回転軸21とを備え；回転翼70、24が、前記吸い込んだ気体を前記軸方向に排気する1段以上のタービン翼70と、タービン翼70の後流側に位置し、前記排気された気体をさらに遠心ドラッグ作用により排気する1段以上の遠心翼24を含んで構成され；遠心翼24の一段目とタービン翼70の最終段との間の軸方向距離Lxが、タービン翼70の最終段の外径Dt(図8)の12%以上である。

40

【 0 0 2 1 】

このように構成するので、吸気部から気体を軸方向に吸い込み、高速回転すると回転翼と静止している固定翼との相互作用によって排気を行う。また、吸い込んだ気体はタービン翼にて軸方向に排気され、さらに遠心翼にて遠心ドラッグ作用により排気される。

【 0 0 2 2 】

上記翼構成により、比較的低压側で高い排気効率を有するタービン翼と、比較的高圧側で高い排気効率を有する遠心翼とを組み合わせるターボ型真空ポンプを構成するため、ポンプ全体にて排気効率を高くできる。また遠心翼は径方向にガスを排気するため、軸方向

50

長さを長くすることなく、流路長さを長くできる。よって、タービン翼および遠心翼が取り付けられる回転軸部の長さを短くできるので、ロータ全体の固有振動数が高くなり、高速回転化が容易となる。

【0023】

遠心翼の一段目とタービン翼の最終段との間の軸方向距離が、タービン翼70の最終段の外径の12%以上であるので、タービン翼の最終段を出た、軸方向に流れる気体の流れ方向が、遠心翼の一段目とタービン翼の最終段との間の空間(軸方向距離)で、遠心翼の一段目の吸気部へと滑らかに変化し、気体が遠心翼の一段目にスムーズに吸い込まれる。流れの変化が滑らかであるので、この空間での圧力損失は少なく、ターボ型真空ポンプの性能を向上させることができる。

10

【0024】

上記目的を達成するため、第4の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ1は、例えば図1、図3に示すように、軸方向に気体を吸い込む吸気部23Aと、回転翼70、24と固定翼71、28とを交互に配置する排気部50と、回転翼70、24を回転させる回転軸21とを備え；回転翼70、24が、前記吸い込んだ気体を前記軸方向に排気する1段以上のタービン翼70と、タービン翼70の後流側に位置し、前記排気された気体をさらに遠心ドラッグ作用により排気する1段以上の遠心翼24を含んで構成され；遠心翼24の一段目の直上流側に開口部43Aを有する隔壁43をさらに備え；遠心翼24の一段目が開口部43Aから前記気体を吸い込むように配置され；隔壁43とタービン翼70の最終段との間の軸方向距離 L_y が、タービン翼70の最終段の外径の約12%以上である。

20

【0025】

隔壁とタービン翼の最終段との間の軸方向距離が、タービン翼の最終段の外径の約12%以上であるので、タービン翼の最終段を出た、軸方向に流れる気体の流れ方向が、隔壁とタービン翼の最終段との間の空間(軸方向距離)で、隔壁の開口部および遠心翼の一段目の吸気部へと滑らかに変化し、遠心翼の一段目に気体がスムーズに吸い込まれる。流れの変化が滑らかであるので、この空間での圧力損失は少なく、ターボ型真空ポンプの性能を向上させることができる。

【0026】

第5の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ1は、第3の態様または第4の態様のターボ型真空ポンプにおいて、例えば図1に示すように、回転軸21の吸気部側端面11Bに固定され、さらにボス部74を有するタービン翼部73を備え；遠心翼24が、該遠心翼24を貫通する回転軸21に固定され；タービン翼70が、ボス部74に取り付けられる。

30

【0027】

前記遠心翼が、該遠心翼を貫通する前記回転軸に固定されるので、遠心翼のボス部の径を小さくすることができる。また半径方向の流れを生じさせることができ、流路長さを長くすることができるので、圧縮性能が向上する。

タービン翼部が、回転軸の吸気部側端面に固定されるので、タービン翼部のボス部の径を小さくすることができ、タービン翼部のボス部に作用する遠心力を低減でき、高速回転化が可能となる。その結果、大流量ガスを吸い込む場合でも、タービン翼の排気作用により吸気圧を低圧にすることができ、遠心翼の排気作用により高い圧力まで圧縮することが可能である。さらに、この構造によりタービン翼と遠心翼とが、別体構造となったので、回転翼の一部の破損、変形、腐食等が生じた場合に、その回転翼を交換すればよく、回転翼全体を交換する必要がないので長期的使用に対し有利なターボ型真空ポンプとすることができる。

40

【0028】

第6の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ1は、第5の態様のターボ型真空ポンプにおいて、例えば図1に示すように、遠心翼24と回転軸21の間に配置され、回転軸21に締め付けられた円管リング41をさらに備える。

50

【 0 0 2 9 】

遠心翼と回転軸の間に配置され、回転軸に締め付けられた円管リングをさらに備えるので、円管リングが締め付けられた回転軸の曲げ剛性を高めることができ、高速回転化が可能となる。その結果、大流量ガスを吸い込む場合でも、タービン翼の排気作用により吸気圧を低圧にすることができ、遠心翼の排気作用により高い圧力まで圧縮することが可能である。

【 0 0 3 0 】

第 7 の態様に係る発明によるターボ型真空ポンプ 1 は、第 1 の態様、第 2 の態様または第 6 の態様のいずれか 1 の態様のターボ型真空ポンプにおいて、例えば図 1 に示すように、円管リング 4 1 の外径に対する回転軸 2 1 の外径の割合が 7 5 % 以上である。

10

【 0 0 3 1 】

このように構成すると、円管リングが締め付けられた回転軸の曲げ剛性をより効果的に高めることができ、高速回転化が可能となる。

【 発明の効果 】

【 0 0 3 2 】

本発明は、上記翼構成により、比較的低压側で高い排気効率を有するタービン翼と、比較的高圧側で高い排気効率を有する遠心翼とを組み合わせるターボ型真空ポンプを構成するため、ポンプ全体にて排気効率を高くできる。また遠心翼は径方向にガスを排気するため、軸方向長さを長くすることなく、流路長さを長くできる。よって、タービン翼および遠心翼が取り付けられる回転軸部の長さを短くできるので、ロータ全体の固有振動数が高くなり、高速回転化が容易となり、1 ~ 1 0 0 0 P a の圧力領域にて排気効率の高い回転翼をさらに高速で回転させ、ポンプ翼径を大型化させることなく、大流量・低压化、すなわち排気速度を大きくでき、かつ長期的使用に対し有利なターボ型真空ポンプを提供することができる。

20

また、遠心翼が、該遠心翼を貫通する前記回転軸に固定すると、遠心翼のボス部の径を小さくすることができる。また半径方向の流れを生じさせることができ、流路長さを長くすることができるので、圧縮性能が向上する。また、タービン翼部を、回転軸の吸気部側端面に固定すると、タービン翼部のボス部の径を小さくことができ、タービン翼部のボス部に作用する遠心力を低減でき、高速回転化が可能となる。その結果、大流量ガスをタービン翼の排気作用により低圧にすることができ、遠心翼の排気作用により高い圧力まで圧縮することが可能となった。さらに、この構造によりタービン翼と遠心翼とが、別体構造となるので、回転翼の一部の破損、変形、腐食等が生じた場合に、その回転翼を交換すればよく、回転翼全体を交換する必要がないので長期的使用に対し有利なターボ型真空ポンプとすることができる。

30

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 3 3 】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。なお、各図において互いに同一あるいは相当する部材には同一符号を付し、重複した説明は省略する。

【 0 0 3 4 】

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係るターボ型真空ポンプ 1 の構成を示す正面断面図である。以下、図を参照して説明する。ターボ型真空ポンプ 1 (以下、適宜ポンプ 1 という)は、縦型であり、排気部 5 0 と、運動制御部 5 1 と、回転軸 2 1 と、排気部 5 0 と運動制御部 5 1 と回転軸 2 1 とを収納するケーシング 5 3 とを備える。回転軸 2 1 は鉛直方向上下に配置され、排気部 5 0 側の排気部側部 2 1 A と、運動制御部 5 1 側の運動制御部側部 2 1 B と、排気部側部 2 1 A と運動制御部側部 2 1 B の間の円板形状の大径部 5 4 とを有する。

40

【 0 0 3 5 】

ケーシング 5 3 は、上ハウジング(ポンプステータ) 2 3 と、上ハウジング 2 3 の鉛直方向(ポンプ 1 の軸方向)下方側に配置された下ハウジング 3 7 と、上ハウジング 2 3 と下ハウジング 3 7 との間に配置されたサブケーシング 4 0 を備える。上ハウジング 2 3 は、

50

最上部に形成された吸気部としての吸気ノズル 2 3 A を有し、サブケーシング 4 0 は、側面に形成された排気部としての排気ノズル 2 3 B を有する。上ハウジング 2 3 は、排気部 5 0 と回転軸 2 1 の排気部 5 0 側の排気部側部 2 1 A とを収納する。吸気ノズル 2 3 A には吸気開口部 5 5 A が形成され、排気ノズル 2 3 B には排気開口部 5 5 B が形成されている。吸気ノズル 2 3 A は、流体としてのガス(例えば、腐食性プロセスガス、または反応生成物を含むガス)を吸気開口部 5 5 A から鉛直方向下方に吸気し、排気ノズル 2 3 B は排気開口部 5 5 B から吸気されたガスを水平方向に排気する。

【 0 0 3 6 】

排気部 5 0 は、複数段(五段)からなる固定翼 7 1、2 8 と、複数段(三段)からなる回転翼としてのタービン翼 7 0 を有するタービン翼部 7 3 と、複数段(三段)からなる回転翼としての遠心翼(遠心ドラッグ翼) 2 4 とを含んで構成される。固定翼 7 1 は、三段からなりタービン翼 7 0 の直後流側に配置され、固定翼 2 8 は、二段からなり一段目及び二段目の遠心翼 2 4 の直後流側に配置されている。一段目の遠心翼 2 4 の上流側には、隔壁としての遠心隔壁 4 3 が配置され、タービン翼 7 0 を出た気体は遠心隔壁 4 3 の開口部 4 3 A を通り開口部 4 3 A から一段目の遠心翼 2 4 に吸い込まれる。

10

【 0 0 3 7 】

タービン翼 7 0 の最終段の直後流側に配置された固定翼 7 1 は、平面に形成された排気側面 7 9 (図 3)を排気側に有し、遠心隔壁 4 3 は平面に形成された排気側面 9 7 (図 3)を吸気側に有し、排気側面 7 9 と排気側面 9 7 との間には、略中空円筒状の空間が形成されている。この空間の外径は、タービン翼 7 0 の最終段の外径にほぼ等しく形成されている。

20

【 0 0 3 8 】

遠心翼 2 4 は、タービン翼 7 0 から軸方向距離 L_x だけ離れて配置されている。すなわち、タービン翼 7 0 の最終段の直後流側に配置された固定翼 7 1 の排気側面 7 9 と、遠心翼 2 4 の一段目の後述の吸気側の前端面 2 6 A (図 6 (b))との間の軸方向距離は L_x である。また、タービン翼 7 0 の最終段の固定翼 7 1 の排気側面 7 9 と、遠心隔壁 4 3 の排気側面 9 7 との間の軸方向距離は、 L_y である。

【 0 0 3 9 】

排気部 5 0 は、三段のタービン翼 7 0 を有するタービン翼部 7 3 を備える。タービン翼部 7 3 のボス部 7 4 には中空部 1 2 が形成され、中空部 1 2 の底部 1 2 B には貫通孔 5 8 が形成されている。中空部 1 2 の内径は、貫通孔 5 8 の内径より大きく形成されている。貫通孔 5 8 の内径は、回転軸 2 1 の外径より小さく形成されている。タービン翼部 7 3 の下部の端面(反吸気側部端面) 1 1 B は、端面 1 1 B から突出する段付部 1 4 が形成されている。貫通孔 5 8 は、段付部 1 4 をも貫通している。

30

【 0 0 4 0 】

回転軸 2 1 の上部の吸気部側端面 1 5 には、凹部 1 3 が形成され、凹部 1 3 の底部にはネジ穴 1 8 が形成されている。吸気部側端面 1 5 には、タービン翼部 7 3 がネジ部材としての六角ボルト 7 8 により固定して取り付けられ、回転軸 2 1 の凹部 1 3 にはタービン翼部 7 3 の段付部 1 4 が係合している。この段付部 1 4 が凹部 1 3 へ係合する構造により、タービン翼部 7 3 の回転軸 2 1 に対する同心出しが容易となり、タービン翼部 7 3 を中心軸を一致させ傾きを生じることなく取り付けることができるので、高速回転中にアンバランスが増大することを防ぎ、高速回転時の安定性を得ることができる。六角ボルト 7 8 は、貫通孔 5 8 を貫通し、ねじ穴 1 8 に挿入されている。中空部 1 2 の内径は、六角ボルト 7 8 の頭部の外径よりわずかに大きく形成し、六角ボルト 7 8 の挿入、ねじ込みに適した値とする。

40

【 0 0 4 1 】

一段目の遠心翼 2 4 は、回転軸 2 1 の吸気部側端面 1 5 から離れた位置に配置されている。図中、六角ボルト 7 8 の本数は一本であるが、軸心から等距離に等配された複数本であってもよい。

【 0 0 4 2 】

50

円管状の円管リング 4 1 が、回転軸 2 1 の排気部 5 0 側の排気部側部 2 1 A に、焼き嵌め(締め嵌め)にて取り付けられている。遠心翼 2 4 の中心部には、嵌合孔 2 5 が形成されている。円管リング 4 1 が焼き嵌めにて取り付けられた回転軸 2 1 が嵌合孔 2 5 を貫通し、遠心翼 2 4 は、回転軸 2 1 に嵌合により固定して取り付けられ、順々に積層されている。円管リング 4 1 は、回転軸 2 1 の径方向、遠心翼 2 4 と回転軸 2 1 との間に位置する。円管リング 4 1 は、回転軸 2 1 の軸方向に、三段の遠心翼 2 4 が取り付けられている箇所をカバーし、さらに遠心翼 2 4 が取り付けられていない箇所から吸気部側端面 1 5 に至る箇所をカバーする。円管リング 4 1 の遠心翼 2 4 から飛び出ている部分には円管リング 4 1 の径方向外側に軸スリーブ 4 2 が取り付けられている。

【 0 0 4 3 】

図 2 (a) は、円管リング 4 1 の斜視図、図 2 (b) は、回転軸 2 1 (排気部 5 0 側の排気部側部 2 1 A を図示)の部分斜視図、図 2 (c) は、円管リング 4 1 が焼き嵌めされた図 2 (b) の回転軸 2 1 の部分斜視図である。図 2 (d) は、円管リングが焼き嵌めされていない回転軸 2 2 1 の部分斜視図であり、図 2 (b) の回転軸 2 1 に対応する部分を図示する。円管リング 4 1 は、外径が D_1 、内径が D_2 である。回転軸 2 1 の外径は D_3 、回転軸 2 2 1 の外径は D_1 である。 $D_3 > D_2$ であるので、円管リング 4 1 は回転軸 2 1 に締め嵌めされている。回転軸 2 1 に焼き嵌めされた状態の円管リング 4 1 の外径は D_1 である。回転軸 2 1 と、円管リング 4 1 と、回転軸 2 2 1 とは、図示部分の長さが同じである。なお、図示していないが、回転軸 2 1 と、回転軸 2 2 1 との相違部分は、円管リングの有無のみであり、同じタービン翼、遠心翼が取り付けられる。

【 0 0 4 4 】

再び、図 1 を参照して説明する。前述のように本実施の形態のポンプ 1 の回転軸 2 1 には、遠心翼 2 4 が貫通固定される部分に円管リング 4 1 を焼き嵌めしている。回転軸 2 1 に円管リング 4 1 を焼き嵌めることにより、回転軸 2 1 および円管リング 4 1 に内部応力が作用し、円管リング 4 1 を含む回転軸 2 1 の軸全体の曲げ剛性(以下、剛性)が増し、固有振動数が上昇する。本実施の形態のこの構成を採用すれば、外径が D_1 の円管リング 4 1 が焼き嵌めされた外径 D_3 ($< D_1$) の回転軸 2 1 を含む軸全体の固有振動数は、円管リングが焼き嵌めされていない外径 D_1 の回転軸の固有振動数より上昇するので、(1)遠心翼 2 4 が固定される位置の回転する軸(円管リングと回転軸)の外径は D_1 であり、円管リングのない回転軸 2 2 1 (図 2)の外径 D_1 と同じであるので、同一回転数下では遠心翼 2 4 に発生する応力は同一である。(2)円管リング 4 1 を含む回転する軸の全体の剛性が増上がしているので、当該回転する軸の延長が可能であり、最終段のタービン翼 7 0 と一段目の遠心翼 2 4 との間の軸方向寸法を十分に取ることができ、タービン翼 7 0 の排気性能を向上させることができる。

【 0 0 4 5 】

焼き嵌める円管リング 4 1 の外径 D_1 に対して、回転軸 2 1 の外径 D_3 、円管リング 4 1 の内径 D_2 を小さくしすぎると、焼き嵌めによる内部応力の向上以上に、円管リング 4 1 が回転軸 2 1 に作用する負荷質量としての作用(質量、慣性モーメント)の方が大きくなってしまい、この結果、円管リング 4 1 と回転軸 2 1 を含む回転する軸全体の剛性向上を得ることはできない。

比率(D_3 / D_1)が大きくなると、回転軸 2 1 そのものの外径寸法 D_3 、円管リング 4 1 の内径 D_2 を大きく取れるので、円管リング 4 1 の負荷質量としての作用(質量、慣性モーメント)は小さくなるが、焼き嵌め円管リング 4 1 の肉厚が薄くなる。当該肉厚が薄くなりすぎると、円管リング 4 1 の回転時の内径応力が許容応力を超えてしまい、円管リング 4 1 の破損のおそれがある。

円管リング 4 1 と回転軸 2 1 の各外径寸法の比(D_3 / D_1)は、各々の材質、焼き嵌め代等により、最適値が求められる。計算結果によれば、焼き嵌める円管リング 4 1 の外径 D_1 と回転軸 2 1 の外径 D_3 の比(D_3 / D_1)は、75%以上に設定するのが好適である。当該比(D_3 / D_1)の最大値は、円管リング 4 1 と回転軸 2 1 の各外径寸法、各々の材質、焼き嵌め代、回転数等を考慮し、円管リング 4 1 の破損が生じないように適宜決めら

10

20

30

40

50

れる。

【 0 0 4 6 】

回転する軸を円管リング 4 1 と回転軸 2 1 に分けたことにより、円管リング 4 1 の材質を回転軸 2 1 のそれとは違う高ヤング率材料にすることも可能である。回転軸 2 1 の材料は、一般的にマルテンサイト系ステンレス鋼を用いており、ヤング率は、約 2 0 0 G P a である。円管リング 4 1 の材料として、チタンホウ化物粒子を複合化した高ヤング率鋼を用いれば(ヤング率：2 5 0 G P a 以上)、さらに軸全体の剛性の向上、ロータ固有振動数の向上を図ることができる。

【 0 0 4 7 】

下ハウジング 3 7 は、運動制御部 5 1 と、回転軸 2 1 の運動制御部 5 1 側の運動制御部側部 2 1 B とを収納する。運動制御部 5 1 は、上保護ベアリング 3 5 と、上ラジアル磁気軸受 3 1 と、回転軸 2 1 を回転駆動するモータ 3 2 と、下ラジアル磁気軸受 3 3 と、下保護ベアリング 3 6 と、アキシアル磁気軸受 3 4 とを、鉛直方向上方から下方にこの順序で含んで構成される。上ラジアル磁気軸受 3 1 と、下ラジアル磁気軸受 3 3 とは、回転軸 2 1 を回転自在に支持する。アキシアル磁気軸受 3 4 は、図中下方向にかかる回転体の自重による力、図中上下にかかるスラスト力を支持する。

【 0 0 4 8 】

各磁気軸受 3 1、3 3、3 4 は、いずれも能動磁気軸受である。磁気軸受 3 1、3 3、3 4 のいずれかに異常が発生したときには、上保護ベアリング 3 5 は、上ラジアル磁気軸受 3 1 の代わりに回転軸 2 1 を回転軸 2 1 の径方向に支持し、下保護ベアリング 3 6 は、下ラジアル磁気軸受 3 3 およびアキシアル磁気軸受 3 4 の代わりに、回転軸 2 1 を回転軸 2 1 の径方向および軸方向に支持する。

【 0 0 4 9 】

図 3 を参照して、タービン翼 7 0 及び遠心翼 2 4 の外径寸法について説明する。

二段目及び三段目のタービン翼 7 0 の外径は等しく、一段目のタービン翼 7 0 の外径より小さい。また、タービン翼 7 0 は全て回転軸 2 1 の吸気部側端面 1 5 より吸気部側(吸気ノズル 2 3 A 側)に位置し、タービン翼 7 0 のうち最下段(最も排気ノズル 2 3 B 側の段)、すなわち三段目のタービン翼 7 0 は、回転軸 2 1 の吸気部側端面 1 5 より吸気部側に位置している。このように構成すると、タービン翼部 7 3 のボス部の径を小さくすることができ、タービン翼部 7 3 のボス部に作用する遠心力を低減でき、高速回転化をより効果的に行うことができる。最下段に位置するタービン翼 7 0 の位置が、吸気部側端面より軸方向吸気部側にあるとは、最下段のタービン翼 7 0 の反吸気側面が吸気部側端面と軸方向同じ位置にある場合を含むものとする。なお、最下段に位置しているタービン翼 7 0 は、吸気部から最も遠くに位置する。

図に示す三段目のタービン翼 7 0 の外径 D_{tmin} は、軸方向位置が吸気部側端面 1 5 より吸気部側にあるタービン翼 7 0 の外径のうち最小外径であるといえる。一般的にタービン翼の外径は、最下段の外径が、タービン翼の外径のうち最小外径に等しい。

【 0 0 5 0 】

一段目から三段目の遠心翼 2 4 は、外径が等しく形成されている。図に示す一段目(最上段)の遠心翼 2 4 の外径 D_{gmax} は、遠心翼 2 4 の外径のうち最大外径であるとする。すなわち、全ての遠心翼の外径が等しい場合は、その外径を最大外径とする。一般的に多段の遠心翼の外径は、最上段の遠心翼の外径が、最大値となるように形成されている。

【 0 0 5 1 】

図に示すように、軸方向位置が吸気部側端面 1 5 より吸気部側にあるタービン翼 7 0 の最小外径 D_{tmin} が、遠心翼 2 4 の最大外径 D_{gmax} より大きく形成されている。このように構成すると、最小外径を有するタービン翼の排気性能を向上させることができ、高い排気性能を有するポンプ 1 とすることができる。

【 0 0 5 2 】

図 4 (a)、(b)を参照して、タービン翼部 7 3 (図 1)の構成を説明する。図 4 (a)は、タービン翼部 7 3 を吸気ノズル 2 3 A (図 1)側から見た平面図であり、タービン翼部 7

10

20

30

40

50

3については一段目のタービン翼70のみを図示し、六角ボルト78(図1)を省略した図である。図4(b)は、一段目のタービン翼70を放射状に中心に向かって見た図を平面上に部分的に展開した図である。

【0053】

タービン翼部73は、ボス部74と、タービン翼70とを有し、タービン翼70はボス部74の外周部に放射状に取り付けられた板状の複数の羽根75を備える。ボス部74には、中空部12及び貫通孔58が形成されている。羽根75は、回転軸21の中心軸線から1(例えば、10~40度)だけねじれた捩れ角をもって取り付けられている。二段目、三段目のタービン翼70の構成(図4(a)、(b)に不図示)は、一段目のタービン翼70の構成と同じであるが、羽根75の枚数、羽根75の取付角度1、ボス部74の羽根75を取り付けた部分の外径、羽根75の長さは、適宜変えてもよい。

10

【0054】

図5(a)、(b)、(c)を参照して、一段目の固定翼71の構成を説明する。図5(a)は、一段目の固定翼71を吸気ノズル23A(図1)側から見た平面図である。図5(b)は、一段目の固定翼71を放射状に中心に向かって見た図を平面上に部分的に展開した図であり、図5(c)は図5(a)のX-X断面図である。

【0055】

固定翼71は、円環状の円環部76と、円環部76の外周部に放射状に取り付けられた板状の羽根77とを備える。円環部76の内周部は軸孔60を形成し、軸孔60を回転軸21(図1)が貫通している。羽根77は、回転軸21の中心軸線から2(例えば、10~40度)だけねじれた捩れ角をもって取り付けられている。二段目、三段目の固定翼71の構成(図5(a)、(b)、(c)に不図示)は、一段目の固定翼71の構成と同じであるが、羽根77の枚数、羽根77の取付角度2、円環部76の外径、羽根77の長さは、適宜変えてもよい。

20

【0056】

図6(a)、(b)を参照して遠心翼24の構成を説明する。図6(a)は、一段目の遠心翼24を吸気ノズル23A(図1)側から見た平面図であり、図6(b)は、正面断面図である。一段目の遠心翼24は、ボス部61を有する略円板状の基部27と、基部27の一方の面である表面27A上に固定される渦巻状羽根26とを備える。遠心翼24の回転方向は、図6(a)中時計方向である。

30

【0057】

渦巻状羽根26は、図6(a)に示すような渦巻き形状の複数(6枚)の羽根からなる。渦巻状羽根26は、回転方向に対して後ろ向き(回転方向とは反対向き)にガス流れ方向に延びる構造である。吸気側の前端面26Aを有する渦巻状羽根26は、ボス部61の外周面61Aから基部27の外周部27Cまで達している。表面27Aの反対側の他方の面は裏面27Bであり、表面27Aおよび裏面27Bは、回転軸21(図1)の中心軸線に対して例えば、垂直である。なお、前述の嵌合孔25は、ボス部61に形成されている。二段目、三段目の遠心翼24の構成(図6(a)、(b)に不図示)は、一段目の遠心翼24の構成と同じであるが、渦巻状羽根26の枚数、形状、ボス部61の外径は、渦巻状羽根26により形成される流路の長さは、適宜変えてもよい。

40

【0058】

遠心翼24を製作するには、円板形状の素材(不図示)からエンドミル加工等の機械加工により、基部27から突出する凸形状を有する渦巻状羽根26を形成する方法が、翼寸法精度の向上や高比強度材料(例えば、アルミ合金、チタン合金、セラミックス等)使用の観点から、高速回転(例えば、周速300~600m/s)を行う回転翼として最も一般的な方法である。

【0059】

図7(a)、(b)を参照して一段目の固定翼28の構成を説明する。図7(a)は、固定翼28を吸気ノズル23A(図1)側から見た平面図である。図7(b)は、正面断面図である。固定翼28は、外周壁62と側壁63とを有する固定翼本体30と、側壁63の片方の

50

表面 6 3 A から突出し、断面が凸形状である渦巻状ガイド 2 9 とを備える。遠心翼 2 4 (図 1) の回転方向は、図 7 (a) 中時計方向である。

【 0 0 6 0 】

渦巻状ガイド 2 9 は、図 7 (a) に示すような渦巻き形状の複数 (6 枚) のガイドからなる。渦巻状ガイド 2 9 は、回転方向に対して前向き (回転方向と同じ向き) にガス流れ方向に延びる構造である。渦巻状ガイド 2 9 は、固定翼 2 8 の外周壁 6 2 の内周部 6 2 A から側壁 6 3 の内周部 6 3 C まで達している。回転軸 2 1 の中心軸線に直角な平面上にある、渦巻状ガイド 2 9 の端面 2 9 A は、滑らかな面である。側壁 6 3 の、渦巻状ガイド 2 9 とは反対側に位置する裏面 6 3 B は、平らで滑らかな面である。したがって、遠心翼 2 4 (図 6) の渦巻状羽根 2 6 に直接面する固定翼 2 8 の裏面 6 3 B は、遠心翼 2 4 の渦巻状羽根 2 6 の間に形成された方向 6 5 (図 6 (a)) に沿う流路を流れるガスの流れを乱すことはない。二段目の固定翼 2 8 の構成 (図 7 (a)、(b) に不図示) は、一段目の固定翼 2 8 の構成と同じであるが、渦巻状ガイド 2 9 の枚数、形状は、適宜変えてもよい。

【 0 0 6 1 】

図 8 は、単段のタービン翼 1 7 0 (図 4 のタービン翼 7 0 と同様の構造) と単段の遠心翼 1 2 4 (図 6 の遠心翼 2 4 と同様の構造) とを回転軸 1 2 1 に取り付けたターボ型真空ポンプ 1 0 1 を示す部分模式断面図である。タービン翼 1 7 0 の後流側には、タービン固定翼 1 7 1 (図 5 のタービン固定翼 7 1 と同様の構造) が配置されている。タービン翼 1 7 0 は羽根 1 7 5 を有し外径が D_t であり、遠心翼 1 2 4 は渦巻状羽根 1 2 6 を有する。タービン翼 1 7 0 と遠心翼 1 2 4 とは軸方向距離 L_x だけ離れて配置されている。タービン翼 1 7 0 と遠心翼 1 2 4 との間の軸方向距離 L_x は、タービン翼 1 7 0 の羽根 1 7 5 の基端部の後流側端面から、遠心翼 2 4 の渦巻状羽根 1 2 6 の基端部の前端面までの軸方向距離 (回転軸 1 2 1 の中心線に平行) である。図のタービン翼 1 7 0 は、図 1 の最終段のタービン翼 7 0 に対応し、図の遠心翼 1 2 4 は図 1 の 1 段目の遠心翼 2 4 に対応する。ターボ型真空ポンプ 1 0 1 は、タービン翼 1 7 0 の吸気側圧力 P_s と、排気側圧力 P_d とが、測定可能に構成されている (圧力単位はともに Torr)。

【 0 0 6 2 】

図 9 は、ターボ型真空ポンプ 1 0 1 (図 8) の前述の L_x を可変にして、 L_x / D_t (図 8) をパラメータ (8、10、12、15%) とし (タービン翼単体の場合を含む)、横軸をタービン翼 1 7 0 の排気側圧力 P_d 、縦軸を P_d / P_s にして表し、タービン翼単段での実験として、タービン翼後流に遠心隔壁 1 4 3 を配置し、遠心隔壁 1 4 3 のタービン翼性能への影響を調べた性能グラフである。遠心翼 1 2 4 をタービン翼 1 7 0 に近接し、軸方向距離 L_x が小さくなると、タービン翼 1 7 0 から排気された気体は、1 段目の遠心翼 1 2 4 の上流側にある遠心隔壁 1 4 3 に衝突し、滑らかに遠心翼 1 2 4 に吸入されない。性能グラフ上で P_d / P_s が 1 以下になっているのは、気体がタービン翼 1 7 0 に逆流していることを表す。軸方向距離 L_x を大きく取ることにより、遠心隔壁 1 4 3 の影響が低減していき、また、タービン翼 1 7 0 の最終段を出た、軸方向に流れる気体の流れ方向が、タービン翼 1 7 0 と遠心翼 1 2 4 の間の空間 (軸方向距離) を流れている間に、遠心翼 1 2 4 の吸気部へと滑らかに変化し、気体が遠心翼 1 2 4 にスムーズに吸い込まれるので、タービン翼 1 7 0 の性能が、本来のタービン翼単体の性能に近づく。

【 0 0 6 3 】

回転する軸の剛性を上げ振動固有数を上昇させることにより、タービン翼 1 7 0 と遠心翼 1 2 4 との間の軸方向寸法 L_x を大きくとることが可能となり、回転軸 1 2 1 の長さを延長することが可能となる。

図に示した性能グラフから、次の結果が得られた。すなわち、 L_x / D_t を約 15% 以上を確保すれば、以下図 1 のターボ型真空ポンプ 1 で説明すると、最終段タービン翼 7 0 と 1 段目の遠心翼 2 4 との間の軸方向寸法 L_x を最終段タービン翼 7 0 の外径の約 15% を確保すれば、タービン翼単段 7 0 の性能とほぼ同等となり、遠心隔壁 4 3 の影響はほとんどなくなるといった結果が得られた。軸方向寸法 L_x は、できるだけ長く確保できればよいが、ポンプ寸法の制約や、磁気軸受の安定制御を確保できるポンプのロータ全体の固有

10

20

30

40

50

振動数の制限を考慮すると、 L_x / D_t は12%以上を確保することが望ましい。この場合、本実施の形態では、 L_x はほぼ L_y に等しいので、 L_y / D_t は約12%以上である。またこの場合、タービン翼70の最終段の直後流側の固定翼71と遠心隔壁43との間の軸方向距離は、タービン翼70の最終段の外径の9%以上となる。本実施の形態では、当該固定翼71の軸方向幅と当該固定翼とタービン翼70の最終段との間の軸方向距離との合計は、タービン翼70の最終段の外径の3%に相当するよう構成されている。

【0064】

次に、図1～図7を適宜参照してターボ型真空ポンプ1の作用を説明する。

【0065】

一段目のタービン翼70が回転することによって、ポンプ1の吸気ノズル23Aから図1中、軸方向にガスが導入される。タービン翼70を使用することにより排気速度を大きくすることができ、比較的多量の気体を排気することができる。導入されたガスは固定翼71により減速され圧力が上昇する。同様に二段目及び三段目のタービン翼70及び固定翼71により軸方向に排気され、圧力が上昇する。

【0066】

次に、一段目の遠心翼24が回転することによって、軸方向にガスが導入される。一段目の遠心翼24に導入されたガスは、一段目の遠心翼24と一段目の固定翼28との相互作用、すなわち当該ガスの粘性によるドラッグ作用、さらに遠心翼24の回転による遠心作用により、一段目の遠心翼24の基部27の表面27Aに沿い、一段目の遠心翼24の外径側へ向かわせるガスの圧縮、排気が行われる。

【0067】

すなわち、一段目の遠心翼24に導入されたガスは、当該遠心翼24に対して図6(b)中、略軸方向64に導入され、一段目の遠心翼24の渦巻状羽根26の間に形成された流路68を通り外径側に向かう方向に流れ、圧縮され、排気される。このガスの流れの方向は、図6(a)、(b)に示す方向65であり、この方向は、一段目の遠心翼24に対するガスの流れ方向である。

【0068】

一段目の遠心翼24によって外径側へ向かって圧縮されたガスは、次に一段目の固定翼28に流れ込み、外周壁62の内周部62Aによって、図7(b)中、略軸方向66に方向を変え、渦巻状ガイド29が設けられた空間へ流れ込む。一段目の遠心翼24が回転することによって、固定翼28の渦巻状ガイド29の端面29Aと、一段目の遠心翼24の基部27の裏面27Bとのガスの粘性によるドラッグ作用によって、一段目の固定翼28の側壁63の表面63A(側壁63の渦巻状ガイド29が取り付けられている方の面)に沿い、一段目の固定翼28の内径側へ向かわせるガスの圧縮、排気が行われる。一段目の固定翼28の内径側に達したガスは、一段目の遠心翼24のボス部61の外周面61Aによって、図6(b)中、略軸方向64に方向が変わり、二段目の遠心翼24に導入される。同様の圧縮、排気が行われ、三段目の遠心翼24を経て、排気ノズル23Bから排出される。吸気圧は、1～1000Paの低圧領域であり、排気圧は、100Pa～大気圧の高圧領域である。

【0069】

回転軸21に取り付けられる回転翼(遠心翼24、後述の円周流翼88)の回転軸21の外径部への嵌合は、締めり嵌めでも、隙間嵌めでもよい。隙間嵌めの場合の優位点としては、(1)遠心翼24の回転軸21への組立が容易である。(2)遠心翼24を回転軸21に組み立てた後でも、任意の遠心翼を取り外すことが可能である。よって、例えば、オーバーホールにおいて、破損、変形、腐食等が生じた場合に、破損等の大きい翼要素のみを、交換することができる。締めり嵌めの場合の優位点としては、(1)締めり嵌め効果による回転体(ロータ)の剛性上昇により回転体全体の固有振動数が上昇し、回転数制御の余裕度が増す。

【0070】

本実施の形態のポンプ1によれば、タービン翼部73は一体材料から形成することがで

10

20

30

40

50

き、回転軸 21 の吸気部側端面 15 に固定する構造とした。すなわち、回転軸 104 を収納するステータ S と、中空部 105 a を有するロータ R とを備える従来のポンプ 1 C であって、中空部 105 a にステータ S を収納し、すなわちステータ S の外側にロータ R を配置するポンプ 1 C (図 16) とは相違する構造のポンプとしている。従来のポンプ 1 C では、中空部 105 a の内径部に発生する遠心応力により、回転数が制限されていた。しかし、本実施の形態のポンプ 1 では、タービン翼部 73 の貫通孔 58 の内径寸法は六角ボルト 78 を貫通させるに十分大きい値とすればよく、また貫通孔 58 の内径寸法は、回転軸 21 の外径寸法より小さく形成される。タービン翼部 73 の中空部 12 の内径も、貫通孔 58 の内径よりわずかに大きい値であり、回転軸 21 の外径寸法より小さく形成される。よって、貫通孔 58 の内径、中空部 12 の内径を共に、上記の中空部 105 a (図 16) の内径より大幅に小さくすることができ、発生する遠心応力を大幅に低減することができるので、高速回転化が可能である。

10

【0071】

遠心翼 24 は、中心部に形成された嵌合孔 25 に回転軸 21 を貫通させて、回転軸 21 上に積層させて取り付けの構造としたので、嵌合孔 25 の内径を上記の中空部 105 a (図 16) の内径より大幅に小さくすることができ、タービン翼 70 と同様に、嵌合孔 25 の内径に発生する遠心応力を大幅に低減することができるので、高速回転化が可能となった。また、このような構造としたことにより、軸方向に導入し外径方向に方向 65 に沿う流路に沿って流れる構造とすることができ、流路長さを大幅に長くすることができるので、排気性能、特に圧縮性能を向上させることができる。また、固定翼 28 で内径方向に流路に流れる構造とすることができ、固定翼 28 で排気する気体を長い流路 67 にそって流し流速を減速させる構造とすることができ、排気、圧縮性能を向上させることができる。

20

【0072】

軸方向位置が吸気部側端面 15 より吸気部側にあるタービン翼 70 の最小外径 D_{tmin} が、遠心翼 24 の最大外径 D_{gmax} より大きく形成されているので、最小外径を有するタービン翼 70 の排気性能を向上させることができ、高い排気性能を有するポンプ 1 とすることができる。上記のタービン翼 70 の最小外径 D_{tmin} と、上記の遠心翼 24 の最大外径 D_{gmax} の比を、好ましくは 1.2 以上とするとよい。このようにすると、最小外径を有するタービン翼 70 の排気性能をさらに向上させることができる。

30

【0073】

遠心翼 24 及び固定翼 28 が多段構造であり、各遠心翼 24 の渦巻状羽根 26、表面 27 A、及び各固定翼 28 の渦巻状ガイド 29、表面 63 A、外周壁 62 の内周部 62 A に軸方向からアクセスすることができるので、遠心翼 24 及び固定翼 28 の加工が容易になり、製作費を低減することができる。

【0074】

タービン翼部 73 を回転軸 21 の吸気部側端面 15 に取り付ける構造としたので、回転翼であるタービン翼 70 と遠心翼 24 とが別体構造となり、タービン翼 70 と遠心翼 24 のいずれか一方に破損、変形、腐食等が生じた場合に、その破損等が生じた回転翼を交換すればよく、ロータ全体を交換する必要がないので長期的使用に対し有利なポンプとすることができる。また、遠心翼 24 を多段構造とし、各遠心翼 24 を別体構造としたので、いずれかの遠心翼 24 に破損、腐食等が生じた場合に、その破損、腐食等が生じた遠心翼 24 を交換すればよく、ロータ全体を交換する必要がないので長期的使用に対し有利なポンプとすることができる。

40

【0075】

また、回転翼を上記のように複数の要素に分解して別体に構成したので、万一の回転翼破壊時に、回転翼全てが同時に破壊することは確率上極めて低いため、ポンプのケーシング側に作用する衝撃を小さくすることができ、ポンプのケーシングが破壊される可能性を極力抑え、またポンプに直接的、間接的に結合される周辺装置への衝撃力を小さくすることができ、安全なポンプとすることができる。

50

【 0 0 7 6 】

タービン翼部 7 3 の貫通孔 5 8 の内径寸法が、回転軸 2 1 の外径寸法より小さく形成されているので、貫通孔 5 8 の内径部に発生する応力を低減することができ、中空部 1 2 に過大な応力が発生することがない構造とすることができるので、高速回転化が可能である。回転軸 2 1 の外径は、回転体全体の固有振動数をできるだけ高くするため、遠心翼 2 4 または後述の円周流翼 8 8 (図 1 3) の内径応力が許す限り、太く設計することが望ましい。タービン翼部 7 3 を回転軸 2 1 の吸気部側端面 1 5 に固定する構造としたため、この構造により回転体の固有振動数が低減しても、固有振動数が運転回転数範囲に対して十分離れているように回転軸 2 1 の外径を決定する。このため、タービン翼部 7 3 を六角ボルト 7 8 により回転軸 2 1 の吸気部側端面 1 5 に取り付けるため形成された貫通孔 5 8 の内径は、回転軸 2 1 の外径より小さく形成される。

10

【 0 0 7 7 】

低圧側で高い排気効率を有するタービン翼 7 0 と、高圧側で高い排気効率を有する遠心翼 2 4 とを上述のように組み合わせてターボ型真空ポンプ 1 を構成するため、ポンプ全体にて排気効率を高くできる。また遠心翼 2 4 は径方向にガスを排気するため、軸方向長さを長くすることなく、流路長さを長くできる。よって、タービン翼 7 0 および遠心翼 2 4 が取り付けられる回転軸部の長さを短くできるので、ロータ全体の固有振動数が高くなり、高速回転化が容易となる。

【 0 0 7 8 】

本第 1 の実施の形態のポンプ 1 によれば、遠心翼 2 4 が、遠心翼 2 4 を貫通する回転軸 2 1 に固定されるので、遠心翼 2 4 のボス部 6 1 の径を小さくすることができる。また遠心翼 2 4 で半径方向の流れを生じさせることができ、流路長さを長くすることができるので、圧縮性能が向上する。また、タービン翼 7 0 を有するタービン翼部 7 3 が、回転軸 2 1 の吸気部側端面 1 5 に固定されるので、タービン翼部 7 3 のボス部 7 4 の径を小さくすることができる。タービン翼部 7 3 のボス部 7 4 に作用する遠心力を低減でき、高速回転化が可能となる。その結果、大流量ガスを吸い込む場合でも、タービン翼の排気作用により吸気圧を低圧にすることができ、遠心翼の排気作用により高い圧力まで圧縮することが可能である。さらに、この構造によりタービン翼 7 0 と遠心翼 2 4 とが、別体構造となったので、回転翼の一部の破損、変形、腐食等が生じた場合に、その回転翼を交換すればよく、回転翼全体を交換する必要がないので長期的使用に対し有利なポンプ 1 とすることができる。

20

30

【 0 0 7 9 】

本実施の形態のポンプ 1 のように、タービン翼 7 0 と遠心翼 2 4 を軸方向に直列に回転軸 2 1 に固定する構造では、最終段のタービン翼 7 0 と一段目の遠心翼 2 4 間の軸方向寸法 L_x を小さく(狭く)し過ぎると、最終段のタービン翼 7 0 の性能が悪化する。その理由は、以下の通りである。回転する一段目の遠心翼 2 4 の上流側に、軸方向の微少クリアランスを形成して、ディスク形状の遠心隔壁 4 3 が配置されている。遠心隔壁 4 3 は、開口部 4 3 A を有する。最終段のタービン翼 7 0 から排気された気体は、開口部 4 3 A を通過して、一段目の遠心翼 2 4 の内径側より吸入され、遠心力とドラッグ作用により内径側から外径側へ圧縮される。このとき、タービン翼 7 0 と遠心翼 2 4 との間の軸方向寸法 L_x が小さいと、タービン翼 7 0 から排気された気体は、遠心隔壁 4 3 に衝突し、滑らかに遠心翼 2 4 の内径部に吸入されない。若しくは、衝突した気体は、タービン翼 7 0 に逆流してしまう。

40

【 0 0 8 0 】

この軸方向寸法 L_x を大きくし、この問題を解決するためには、回転軸 2 1 の軸方向の長さを大きく取る必要があるが、こうするとロータ固有振動数が低下してしまい、磁気軸受 3 1、3 3、3 4 による安定回転が困難になる。また、回転軸 2 1 の軸方向の長さを長くし、かつ固有振動数を上げるには、回転軸 2 1 の外径寸法を大きくし、回転軸 2 1 の太軸化を図る必要がある。しかし、遠心翼 2 4 は回転軸 2 1 に貫通固定されているので、回転軸 2 1 の太軸化にともない、遠心翼 2 4 の貫通部内径が大きくなり、内径部の応力増加

50

を招いてしまい、高速回転化が図れない。

【0081】

本実施の形態では、回転軸21に円管リング41を焼き嵌め(締め嵌め)することにより、回転軸21の外径(遠心翼24の貫通部内径)を増加させることなく、軸方向寸法Lxを前述のように長くとることを可能にし、最終段のタービン翼70と一段目の遠心翼24の間の気体の流れを滑らかにし、かつロータの固有振動数を高周波数化して高速回転を実現化し、優れたポンプ排気性能を得られるターボ型真空ポンプ1を提供できる。

【0082】

図10に示すように、ポンプ1のタービン翼部73は、タービン翼部73の下部の端面(反吸気側部端面)11Bに、回転軸21に係合する円環状凸部83を有するようにしてもよい。円環状凸部83の内径は、回転軸21の外径に等しく形成する。この円環状凸部83により、タービン翼部73の回転軸21に対する同心出しが容易となり、タービン翼部73を中心軸を一致させ傾きを生じることなく取り付けることができるので、高速回転中にアンバランスが増大することを防ぎ、高速回転時の安定性を得ることができる。

【0083】

図11に示すように、ポンプ1のタービン翼部73は、タービン翼部73の下部の端面(反吸気側部端面)11Bにオネジが形成された凸部85を有し、回転軸21は、吸気部側端面15に、凸部85と螺合する、メネジが形成された凹部84を有するようにしてもよい。このように構成すると、タービン翼部73を中実構造とすることができ、タービン翼部73を回転軸21の吸気部側端面15に取り付けるための貫通孔を形成する必要がなく、タービン翼部73のボス部74(図4)に発生する応力を低減することができ、さらに高速回転化が可能である。

【0084】

図12に示すように、ポンプ1は、遠心翼24を半径方向軸中心側に押さえ付ける保持リング86A、B、Cを設けるように構成してもよい。遠心翼24のボス部61(図6)の吸気部側に前段付部87Aを形成し、排気部側に後段付部87Bを形成する。一段目の遠心翼24の前段付部87Aを保持リング86Aによって、一段目の遠心翼24の後段付部87Bと二段目の遠心翼24の前段付部87Aとを保持リング86Bによって、二段目の遠心翼24の後段付部87Bと三段目の遠心翼24の前段付部87Aとを保持リング86Bによって、三段目の遠心翼24の後段付部87Bを保持リング86Cによって、軸中心側に押さえ付ける構造とし、さらに保持リング86Bによって遠心翼24の間隔を決める構造とする。このようにすると、遠心翼24を回転軸21に強固に固定できる構造とすることができ、高速回転中に回転体のアンバランスが急速に増大することを抑えることができ、高速回転化に対処することができる。

本実施の形態では回転軸21に焼き嵌めされた円管リング41Aは、回転軸21の上部の吸気部側端面15まで達しなくてもよい。円管リング41Aは、回転軸21の3段の遠心翼24が取り付けられた部分(回転により回転軸21のたわみが生じる部分)に焼き嵌めされ、回転軸21の遠心翼24から突き出た部分には円管リングが取り付けいていない構造としてもよい。このようにすると短い円管リング41Aを用いて回転する軸(回転軸21と円管リング41A)の剛性を向上させることができる。

【0085】

図13は、本発明の第2の実施の形態に係る、遠心翼の替わりに二段の円周流翼88を用いたターボ型真空ポンプ1-1の構成を示す正面断面図である。以下、上述の図1の第1の実施の形態に係るターボ型真空ポンプ1に関する説明との相違点を述べる。

【0086】

排気部50-1は、複数段(三段)からなる固定翼71と、複数段(三段)からなる回転翼としてのタービン翼70を有するタービン翼部73と、複数段(二段)からなる回転翼としての円周流翼88とを含んで構成される。固定翼71は、タービン翼70の直下流側のみ設けられている。円周流翼88の前後には隔壁89がそれぞれ設けられている。回転翼が円周流翼88を含んで構成されるので、高い圧縮性能を有するターボ型真空ポンプとす

10

20

30

40

50

ることができ、高背圧化されたターボ型真空ポンプとすることができる。特に高圧領域において遠心翼を円周流翼にするとより効果的である。

【 0 0 8 7 】

図 1 4 に示すように、円周流翼 8 8 は、回転軸 2 1 (図 1 3) が貫通する軸孔 9 3 が形成されたボス部 9 1 と、ボス部 9 1 の外側に形成された円板部 9 2 と、円板部 9 2 の外周部に放射状に取り付けられた羽根 9 0 を有する。

【 0 0 8 8 】

図 1 5 に示すように、隔壁 8 9 は、円周流翼 8 8 から排気される気体を吸入する吸入口 9 4 と、隔壁 8 9 の内部に形成され、吸入口 9 4 から吸入された気体を円周方向に導く流路 9 6 と、流路 9 6 に導かれた気体を下流側の円周流翼 8 8 に排出する排出口 9 5 とを有する。

【 0 0 8 9 】

本実施の形態のポンプ 1 - 1 は、円周流翼 8 8 を備えるので、高い排気性能を有するポンプ 1 - 1 とすることができ、高背圧化されたターボ型真空ポンプとすることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 9 0 】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係るターボ型真空ポンプの正面断面図である。

【図 2】(a) は、円管リングの斜視図、(b) は、回転軸の部分斜視図、(c) は、円管リングが焼き嵌めされた回転軸の部分斜視図、(d) は、円管リングが焼き嵌めされていない回転軸の部分斜視図である。

【図 3】図 1 のターボ型真空ポンプのタービン翼の最小外径、遠心翼の最大外径を説明する図である。

【図 4】(a) は、図 1 のターボ型真空ポンプのタービン翼部の平面図、(b) は、タービン翼を放射状に中心に向かって見た図を平面上に部分的に展開した図である。

【図 5】(a) は、図 1 のターボ型真空ポンプのタービン翼用の固定翼の平面図、(b) は、同正面図であり、(c) は(a) の X - X 断面図である。

【図 6】(a) は、図 1 のターボ型真空ポンプの遠心翼の平面図、(b) は、同正面断面図である。

【図 7】(a) は、図 1 のターボ型真空ポンプの遠心翼用の固定翼の平面図、(b) は、同正面断面図である。

【図 8】単段のタービン翼と単段の遠心翼とを回転軸に取り付けたターボ型真空ポンプを示す部分模式断面図である。

【図 9】図 8 のターボ型真空ポンプの性能グラフである。

【図 1 0】図 1 のターボ型真空ポンプのタービン翼部の反吸気部側端面に円環状凸部を設けた場合の図である。

【図 1 1】図 1 のターボ型真空ポンプのタービン翼部の反吸気部側端面にネジ状凸部を設けた場合の図である。

【図 1 2】図 1 のターボ型真空ポンプに遠心翼を押さえ付ける保持リングを設けた場合の図である。

【図 1 3】本発明の第 2 の実施の形態に係るターボ型真空ポンプの正面断面図である。

【図 1 4】(a) は、図 1 3 のターボ型真空ポンプの円周流翼の平面図、(b) は、同正面断面図である。

【図 1 5】図 1 3 のターボ型真空ポンプの隔壁の部分平面図である。

【図 1 6】従来のターボ型真空ポンプの正面断面図である。

【符号の説明】

【 0 0 9 1 】

1、1 - 1 ターボ型真空ポンプ

1 1 B 端面

1 5 吸気部側端面

2 1 回転軸

10

20

30

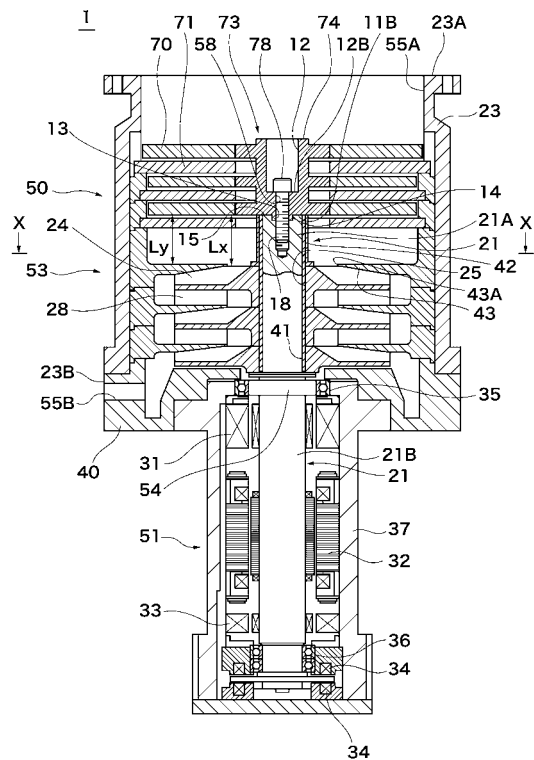
40

50

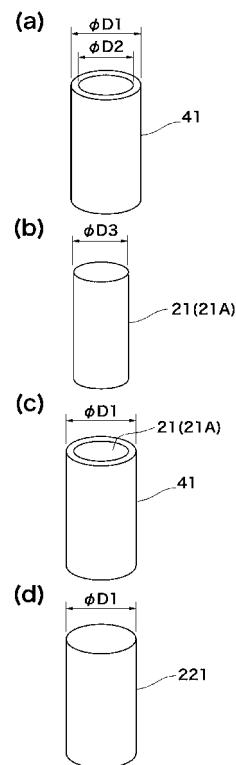
- 2 3 吸気ノズル(吸気部)
- 2 4 遠心翼(回転翼)
- 4 1 円管リング
- 4 3 遠心隔壁(隔壁)
- 4 3 A 開口部
- 5 8 貫通孔
- 7 0 タービン翼(回転翼)
- 7 3 タービン翼部
- 7 8 六角ボルト
- 8 3 円環状凸部
- 8 4 凹部
- 8 5 凸部
- 8 8 円周流翼(回転翼)
- L x、L y 軸方向距離

10

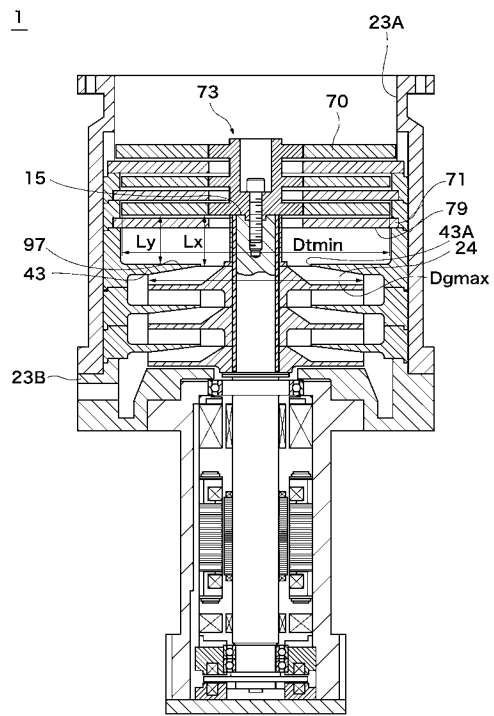
【図 1】



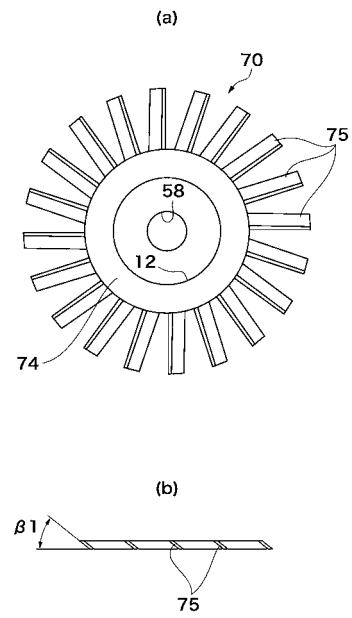
【図 2】



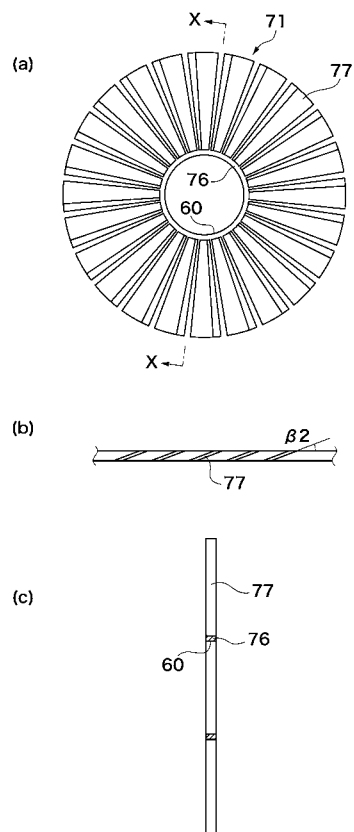
【図 3】



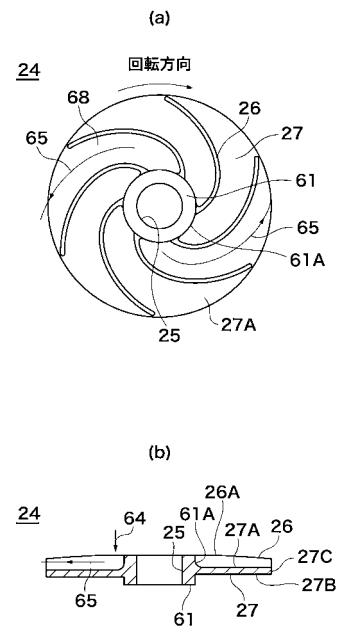
【図 4】



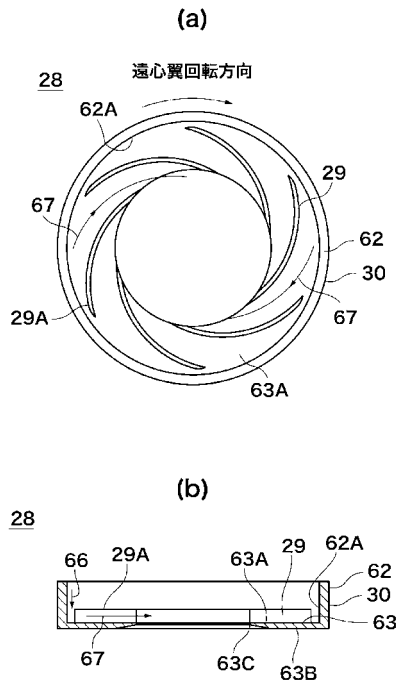
【図 5】



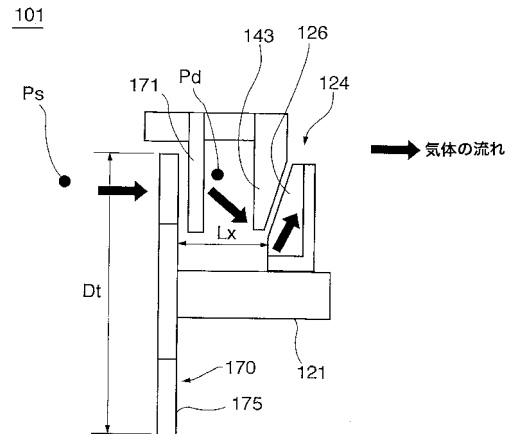
【図 6】



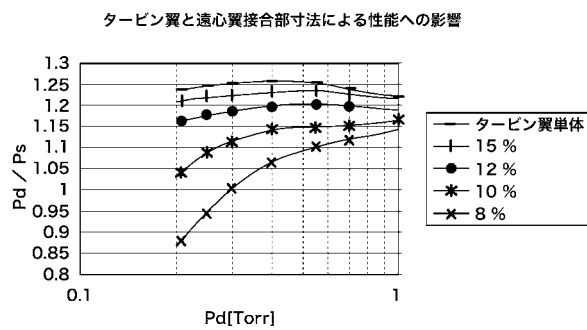
【図 7】



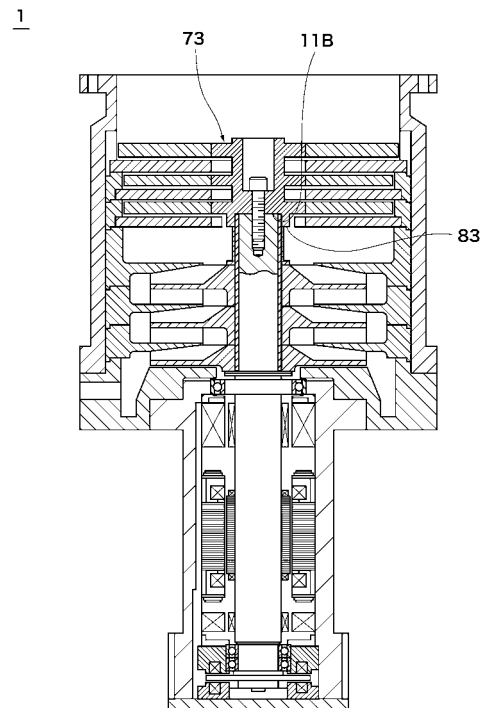
【図 8】



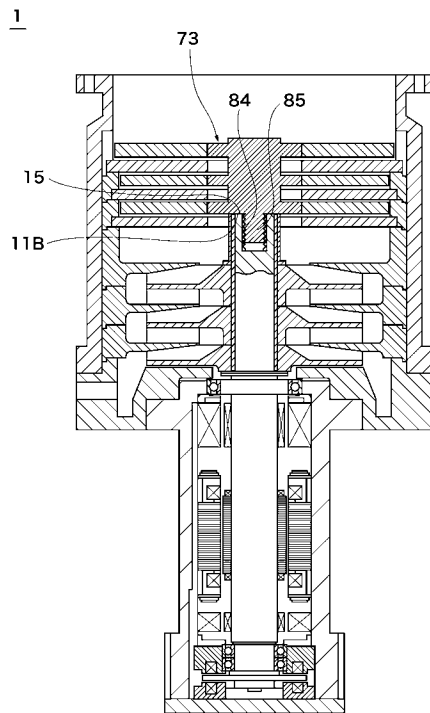
【図 9】



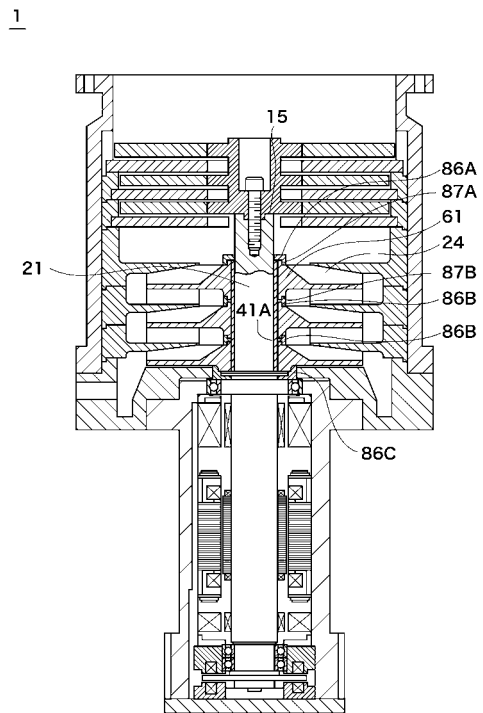
【図 10】



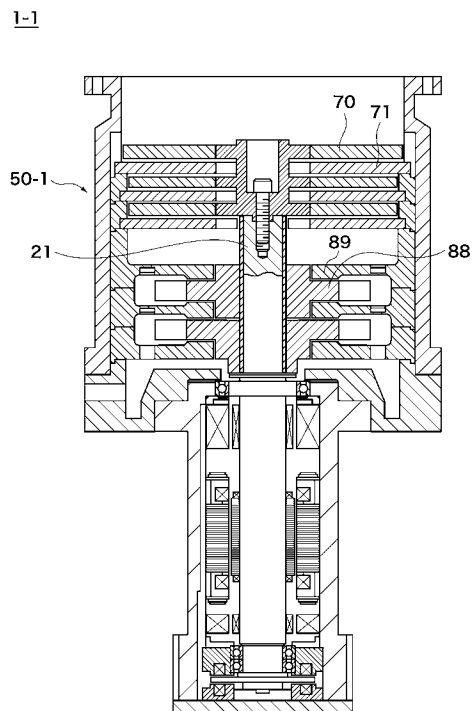
【図 1 1】



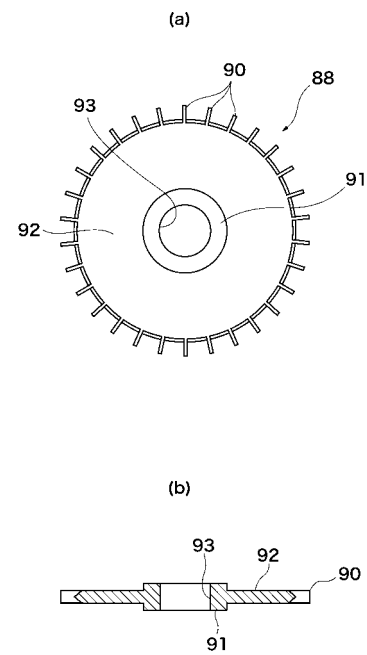
【図 1 2】



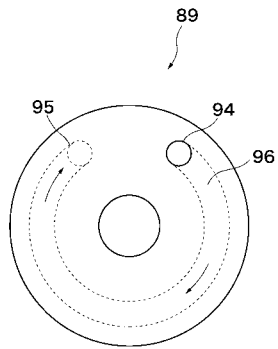
【図 1 3】



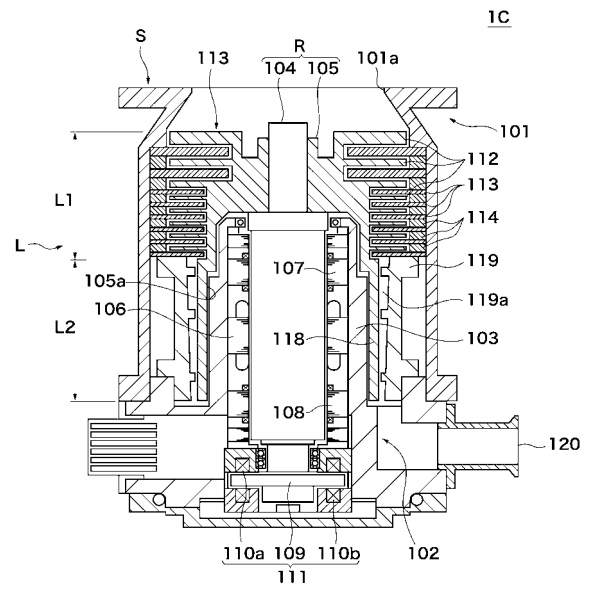
【図 1 4】



【図 15】



【図 16】



フロントページの続き

(74)代理人 100134278

弁理士 吉村 裕子

(72)発明者 川崎 裕之

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

株式会社荏原製作所内

(72)発明者 関口 信一

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

株式会社荏原製作所内

審査官 田谷 宗隆

(56)参考文献 特開平 0 8 - 0 6 6 8 0 3 (J P , A)

特開平 0 8 - 2 3 2 9 5 6 (J P , A)

特開平 0 1 - 2 6 7 3 9 2 (J P , A)

特開昭 6 0 - 1 2 5 7 9 5 (J P , A)

米国特許第 0 3 9 4 7 1 9 3 (U S , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

F 0 4 D 1 9 / 0 4