

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-171825

(P2005-171825A)

(43) 公開日 平成17年6月30日(2005.6.30)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

テーマコード (参考)

F O 4 D 13/06

F O 4 D 13/06

D

3 H O 2 2

F O 4 D 1/00

F O 4 D 1/00

3 H O 3 3

F O 4 D 29/00

F O 4 D 29/00

B

3 H O 3 4

F O 4 D 29/04

F O 4 D 29/04

G

F O 4 D 29/22

F O 4 D 29/04

R

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-410940 (P2003-410940)

(22) 出願日 平成15年12月9日 (2003. 12. 9)

(71) 出願人 000000239

株式会社荏原製作所

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

(74) 代理人 100091498

弁理士 渡邊 勇

(74) 代理人 100092406

弁理士 堀田 信太郎

(74) 代理人 100093942

弁理士 小杉 良二

(74) 代理人 100109896

弁理士 森 友宏

(72) 発明者 佐藤 忠

神奈川県藤沢市本藤沢 4 丁目 2 番 1 号 株式会社荏原総合研究所内

最終頁に続く

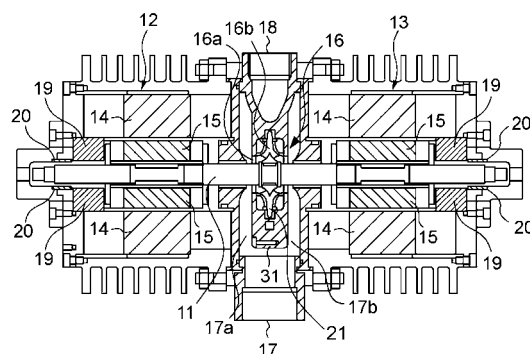
(54) 【発明の名称】 流体搬送機械

(57) 【要約】

【課題】 高速運転が可能で、小型コンパクト化した構造の流体搬送機械を提供する。

【解決手段】 回転軸に両吸込型の羽根車 21 を備え、該羽根車を取囲むように配置したポンプケーシング 31 と共に両吸込型のポンプ 16 を構成し、回転軸 11 は、ラジアル磁気軸受機能とモータ機能を兼ね備えた磁気浮上モータ 12、13 により非接触支持されると共に回転駆動され、両吸込型のポンプ 16 は、回転軸をアキシャル方向に位置決めする圧力バランス機構を備えた。ここで、両吸込型のポンプ 16 は、回転軸 11 のほぼ中央に配置され、回転軸 11 のポンプ 16 の両側に二台の磁気浮上モータ 12、13 が配置されていることが好ましい。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

回転軸に両吸込型の羽根車を備え、該羽根車を取囲むように配置したポンプケーシングと共に両吸込型のポンプを構成し、

前記回転軸は、ラジアル磁気軸受機能とモータ機能を兼ね備えた磁気浮上モータにより非接触支持されると共に回転駆動され、

前記両吸込型のポンプは、前記回転軸をアキシャル方向に位置決めする圧力バランス機構を備えたことを特徴とする流体搬送機械。

## 【請求項 2】

前記両吸込型のポンプは、前記回転軸のほぼ中央に配置され、該回転軸の前記ポンプの両側に二台の前記磁気浮上モータが配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の流体搬送機械。

## 【請求項 3】

前記ポンプケーシングが、ダブルポリユートを備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の流体搬送機械。

## 【請求項 4】

前記ポンプケーシングが、ディフューザを備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の流体搬送機械。

## 【請求項 5】

前記回転軸をアキシャル方向に位置決めする圧力バランス機構は、前記両吸込型の羽根車の両側とケーシングとの間に一对の可変の隙間を備え、該一对の可変の隙間の大きさにより、前記両吸込型の羽根車の両側における圧力のバランスを取ることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の流体搬送機械。

## 【請求項 6】

前記磁気浮上モータは、ステータに極数が  $\pm 2$  異なる 2 つの回転磁界を形成し、ロータを回転駆動すると共に磁気浮上支持するものであることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の流体搬送機械。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、流体搬送機械に係り、特に高速運転に好適なポンプ等の流体機械に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

通常の電動機では固定子・回転子間の空隙磁束分布は回転対称であり、原理上、半径方向の磁気浮上力は発生しない。これに対して、磁気浮上モータは、その回転子・固定子間の 2 つの回転磁界が重畳した磁束分布を偏配することにより、半径方向力を発生することができる。すなわち、ステータに極数が  $\pm 2$  だけ異なる 2 つの回転磁界を形成し、極数の異なる 2 つの回転磁界の重畳により、ロータに半径方向の静止磁気力を付与すると共に、ロータに回転駆動力を付与する磁気浮上モータが知られている（特許文献 1、非特許文献 1、2 参照）。

## 【0003】

すなわち、この磁気浮上モータでは、ラジアル磁気軸受とモータの機能を兼ね備えたものであり、ロータに対して回転駆動力を発生しつつ、ロータを磁気浮上力によりラジアル方向に非接触で支持する機能を有している。このラジアル方向に非接触で回転軸を支持する機能により、通常の軸受が使用できない環境、例えば超低温の真空中の雰囲気下でも非接触で回転軸の軸支持が可能になる。また、回転軸が非接触で支持されるので、摩擦や摩擦が一切発生せず、例えば超純水のように極端に不純物の混入を嫌う流体の搬送機械にも好適である。

## 【0004】

【特許文献 1】特開平 8 - 144987 号公報

10

20

30

40

50

【非特許文献１】「ベアリングレスドライブ内外の試作・応用」平成１４年度電気学会産業応用部門大会 講演論文集〔１〕p 23 - 28. 平成１４年８月、鹿児島大学

【非特許文献２】Christian Redmann, Paeul Meuter, Angelo Ramella, Thomas Gempp:「30kW Bearingless Cannedmotor Pump on The Test Bed」Seventh International Symp. on Magnetic Bearings, ETH Zurich(2000)

【０００５】

また、通常の遠心ポンプは、運転時に、吸込み方向（軸方向）に流体力が発生し、アキシャル軸受への負荷が増大する。したがって回転数を上げるなどの操作で、ポンプの出力を大きくした場合は、回転軸に付与されるアキシャル力が増大する。増大したアキシャル力に対して支持を行うためにはアキシャル磁気軸受を大型化して対応せざるを得ないので、さらに軸寸法は長くなる。 10

【０００６】

また、回転軸端に羽根車やアキシャル磁気軸受をつけた場合は、回転軸中央にこれらがある場合に比べて、回転軸の曲げ周波数が低下するので、曲げ周波数で決まる回転速度限界が低下してしまうという問題がある。さらに、回転軸の曲げによる偏心量が大きくなるので、回転軸の重量アンバランスが増大し、高速回転では大きな振動が発生する場合がある。

【０００７】

また、遠心ポンプは回転数の上昇に伴い出力が増大するので、同出力ならば、高速回転運転により羽根車は小型化できる。この小型化により、回転体の重量を軽減でき、軸の共振周波数が上昇し、磁気浮上制御が容易になる。しかしながら、ポンプの高速運転はキャビテーションを誘引し、羽根車の破損につながるので、回転速度の高速化には限界がある。 20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

本発明は上記事情に鑑みてなされたもので、高速運転が可能で、小型コンパクト化した構造の流体搬送機械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】

【０００９】

本発明の流体搬送機械は、回転軸に両吸込型の羽根車を備え、該羽根車を取囲むように配置したポンプケーシングと共に両吸込型のポンプを構成し、前記回転軸は、ラジアル磁気軸受機能とモータ機能を兼ね備えた磁気浮上モータにより非接触支持されると共に回転駆動され、前記両吸込型のポンプは、前記回転軸をアキシャル方向に位置決めする圧力バランス機構を備えたことを特徴とするものである。 30

【００１０】

上記本発明によれば、回転軸が磁気浮上モータによりラジアル方向に非接触支持されるとともに、両吸込型ポンプの圧力バランス機構によりスラスト方向に位置決めされるので、アキシャル軸受および回転軸のアキシャルディスクを省略することができる。このため、回転軸の軸長を短縮することができる。また、回転軸は磁気浮上モータにより非接触支持されるので、軸受の摩擦・摩耗が発生せず、さらに回転軸の短縮による曲げ周波数で決まる回転速度限界が上昇し、高速運転に適した構造が得られる。そして、両吸込型の羽根車を備えたポンプを配置することで、キャビテーションが発生し始める回転速度を上昇することができ、これにより高速運転を行ってもキャビテーションが発生し難く、安定したポンプの高速運転が可能となる。そして、回転速度の高速化によりポンプの高出力化、小型コンパクト化を達成することができる。 40

【００１１】

ここで、前記両吸込型のポンプは、前記回転軸のほぼ中央に配置され、該回転軸の前記ポンプの両側に二台の前記磁気浮上モータが配置されていることが好ましい。これにより、軸固有値の周波数が上昇し、浮上安定領域が高い周波数まで拡大し、浮上安定性の向上 50

に寄与することができる。

【 0 0 1 2 】

また、前記ポンプケーシングが、ダブルポリユートを備えることが好ましい。これにより、回転体に作用する流体力のラジアル成分を減らすことができ、エネルギー損失の低減を図ることができる。また、前記ポンプケーシングが、ディフューザを備えるようにしてもよい。これによっても、回転体に作用する流体力のラジアル成分を減らすことができ、エネルギー損失の低減を図ることができる。

【 0 0 1 3 】

また、前記回転軸をアキシャル方向に位置決めする圧力バランス機構は、前記両吸込型の羽根車の両側とケーシングとの間に一对の可変の隙間を備え、該一对の可変の隙間の大きさにより、前記両吸込型の羽根車の両側における圧力のバランスを取ることが好ましい。これにより、アキシャルディスクおよびアキシャル軸受を用いることなく、ポンプ羽根車を備えた回転軸をアキシャル方向に容易に且つ確実に位置決めすることができる。

10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

総じて本発明によれば、軸長を短縮し、キャビテーションの影響を最小限に抑え、高速運転を可能とし、これにより小型コンパクト化すると共に高出力化したポンプ等の流体搬送機械を提供することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 5 】

以下、本発明の実施形態について、添付図面を参照して説明する。なお、各図中、同一の機能を有する部材または要素には同一の符号を付して、その重複した説明を省略する。

20

【 0 0 1 6 】

図 1 は、本発明の一実施形態の両吸込型のポンプ（流体搬送機械）を示す。流体搬送機械は、中央部に両吸込型のポンプ 16 を備え、その回転軸 11 がポンプ 16 の両側に配置された磁気浮上モータ 12, 13 により回転駆動されると共にラジアル磁気軸受として非接触支持されている。磁気浮上モータ 12, 13 の両側には変位センサ 19 が配置され、計測した回転軸 11 の変位に基づいて図示しないコントローラにより、磁気浮上モータを制御し、回転軸 11 を所定位置に浮上支持する。変位センサ 19 のさらに両側には、タッチダウン軸受 20 が配置されている。

30

【 0 0 1 7 】

両吸込型ポンプ 16 は、左右対称の羽根車 21 を備え、左右両側から軸方向に吸い込んだ流体を遠心方向（半径方向および外周の接線方向）に加圧する遠心ポンプである。すなわち、吸込口 17 から吸い込まれた流体は、ポンプケーシング 31 の両側の流路 17 a, 17 b を流れ、ケーシングの開口部 16 a からポンプ室 16 b 内に軸方向に流れ、羽根車 21 により遠心方向に加圧され、図 2 に示すダブルポリユート 22 を経て吐出口 18 より吐出される。

【 0 0 1 8 】

図 2 は、このポンプ 16 の要部の断面構成を示す。回転軸 11 には両吸込型の羽根車 21 が固着され、羽根車 21 の回転により遠心方向に加圧された流体をポリユート 22 を介して吐出口 18 に導く。ポリユート 22 には隔壁 23 を備え、これにより 2 本のポリユート 22 a, 22 b を形成することができ、全体としてダブルポリユートとなっている。ポリユート 22 a, 22 b は、それぞれの流入口 A, B を備え、この流入口 A, B は回転軸に対して、180° 回転した回転対称位置に配置されている。このようにケーシング内部のポリユート流入口 A, B を 2 箇所に備えたダブルポリユートタイプにすることで、羽根車により加圧される流体力のラジアル方向成分を大幅に減らすことができる。これによりポンプの効率を高めることができ、静粛な運転が可能となる。

40

【 0 0 1 9 】

図 3 は、ポンプケーシング内部の拡大断面構成を示す。上述したように回転軸 11 に固着された羽根車 21 は、両吸込型の左右対称の構造を有しており、軸方向に左右両側のケ

50

ーシング 3 1 の開口部 1 6 a から吸込んだ流体を回転する羽根車 2 1 の羽根（ブレード）により遠心方向に加圧し、上述したようにダブルポリュート 2 2（2 2 a，2 2 b）を経て吐出口 1 8 より吐出する。

【0020】

すなわち、両吸込型のポンプ 1 6 においては、回転軸 1 1 の軸方向に沿って左右両側から流体が吸い込まれ、回転する羽根車 2 1 によりシュラウド 3 2，3 2 の内部を半径方向（および外周の接線方向）に流体が加圧される。したがって、アキシャル方向の軸推力（スラスト力）は左右均等に生じるため、基本的にアキシャル軸受は不要である。そして、このポンプ 1 6 においては、回転軸 1 1 を両吸込型のポンプ 1 6 によりアキシャル方向に位置決めする圧力バランス機構を備えている。

10

【0021】

羽根車 2 1 には左右対称のシュラウド 3 2，3 2 を備え、その凸部 3 2 a，3 2 b がそれぞれケーシング 3 1 の内面と対面し、それぞれ隙間を形成している。すなわち、シュラウド 3 2 の凸部 3 2 a とケーシング 3 1 の内側面との間に一对の隙間  $C_{AL}$  および  $C_{AR}$  が形成され、加圧された流体が羽根車の吸込側に戻る隙間抵抗を構成している。同様に、シュラウド 3 2 の凸部 3 2 b とケーシング 3 1 の内周面との間にも一对の隙間  $C_R$ ， $C_R$  が形成され、同様に加圧流体の吸込側への戻り流路の隙間抵抗を構成している。

【0022】

この圧力バランス機構の動作は次の通りである。仮に、回転軸 1 1 が図中左側に移動すると、左側の隙間  $C_{AL}$  が小さくなり、右側の隙間  $C_{AR}$  が大きくなる。したがって、室 3 5 L の圧力  $P_L$  が高くなり、一方、室 3 5 R の圧力  $P_R$  が小さくなる。このため、この圧力  $P_L$ ， $P_R$  の大小差により、シュラウド 3 2，3 2 とこれに固定された回転軸 1 1 が室 3 5 L，3 5 R の略中央部に戻され、ここに位置決めされる。なお、シュラウド 3 2 の凸部 3 2 b はケーシング 3 1 の内周面 3 1 b に沿って十分な軸方向長さが存在するので、回転軸 1 1 が軸方向に移動しても隙間  $C_R$  を一定に保つことができる。これにより、ポンプで加圧された流体の室 3 5 L，3 5 R への戻り流路における隙間抵抗を一定に保つことができる。

20

【0023】

次に、キャビテーションについて検討する。通常のいわゆる片吸込ポンプでは、キャビテーション発生限界の指標となる吸込比速度  $S$  は、その要求有効吸込ヘッド： $H_{NPSH}$  [m]、流量： $Q$  [ $m^3/min$ ] と回転速度  $n_s$  [ $min^{-1}$ ] を用いて

30

【数 1】

$$S = \frac{n_s \cdot Q^{1/2}}{H_{NPSH}^{3/4}}$$

で求められる。

【0024】

両吸込ポンプはアキシャル方向に対称な形状であり、軸に対して両方向が吸込口であることを特徴としており、その回転速度を  $n_d$  とすると、吸込比速度を

40

【数 2】

$$S = \frac{n_d (Q/2)^{1/2}}{H_{NPSH}^{3/4}}$$

により求めることができる。同じ揚程かつ同じ流量の片吸込ポンプと両吸込ポンプでは、それぞれのキャビテーション発生限界の回転速度は上の 2 つの式より

【数 3】

$$\sqrt{2}n_g = n_d$$

で関係づけられる。これにより両吸込ポンプにおいては、理論上、キャビテーションが発生し始める回転速度は片吸込ポンプに比べ 2 倍になり、その分だけ高速回転が実用上可能になることを意味している。

【0025】

次に、磁気浮上モータ 12, 13 による回転軸の支持および駆動について説明する。磁気浮上モータ 12, 13 は、ステータ 14 に備えた図示しない巻線により極数が ±2 異なる 2 つの回転磁界を形成し、回転軸 11 に固着されたロータ 15 を回転駆動すると共に磁気浮上支持するものである。すなわち、ステータ 14 に例えば 2 極と 4 極の回転磁界を形成することで、2 極の回転磁界によりモータとしてロータ 15 を回転駆動すると共に、2 極の回転磁界と 4 極の回転磁界との重畳により半径方向の静止磁束分布が形成され、この大きさを制御することによりラジアル磁気軸受として回転軸 11 を任意の位置に浮上支持することができる。

【0026】

なお、回転軸 11 の浮上位置の制御は、変位センサ 19 により回転軸の位置を検出し、所定の位置に回転軸 11 を支持するように図示しない制御装置によりステータ 14 に供給する 4 極回転磁界（制御磁界）の大きさおよび位相を調整することにより行うことができる。

【0027】

独立したモータと磁気軸受に代わり、磁気浮上モータを採用することにより、部品点数を減らせるだけでなく、回転軸長の短縮が可能になる。これにより、高速回転やコスト面の向上が達成される。なお、磁気浮上モータ 12, 13 による回転軸 11 の非接触支持は、ラジアル方向についてのみであるが、回転体を完全非接触で支持する場合は、従来技術ではさらにアキシアル磁気軸受が必要である。

一般的なアキシアル磁気軸受の構造は、軸に固定された円盤と、その円盤を軸方向から挟み込むように対向配置された電磁石により構成される。アキシアル磁気軸受を有する回転機械の構成では、回転軸全長が長くなる。このため軸の危険周波数が低下し、高速回転が困難になることは上述したとおりである。また、アキシアル軸受を追加したため、回転体の表面積が増えることになり、表面積増加に伴い、回転体を取り巻く流体の摩擦損失が増加し、その結果、機器のエネルギー損失も大きくなる。

【0028】

しかしながら、上述した圧力バランス機構を備えた両吸込ポンプ 16 を磁気浮上モータ 12, 13 と組合せることにより、アキシアル磁気軸受が完全に不要となる。この結果、回転軸を短縮できるので、共振周波数を高くすることができ、また、アキシアル磁気軸受部分で発生していた流体損失を皆無にできる。さらに両吸込ポンプ 16 を軸中央に配置し、その両端に磁気浮上モータ 12, 13 を配置することで、軽量・コンパクトな装置となり、回転軸の重量アンバランスをなくすることができる。その結果、軸固有値の周波数が上昇し、回転体の浮上安定性に寄与することができる。

【0029】

この配置で、さらにポンプ両側に位置するモータの寸法を等しくすれば、回転軸 11 はポンプ部分を含めて完全に軸方向に対称な構造にすることができ、軸固有値は、同一軸長なら最大値をとることができる。加えて、二台の磁気浮上モータの寸法が等しいことで、二台の磁気浮上モータの軸支持剛性が完全に一致するので、軸受アンバランスが発生せず、高速回転が容易になる。また、二台のモータ構造を同一にすることにより、量産効果が生じる。

【0030】

さらにポンプケーシングを上述したダブルポリュートタイプにすることで、回転体に作

10

20

30

40

50

用する流体力のラジアル成分を大幅に減らすことができ、これにより、磁気浮上支持される回転体のラジアル変位は微小となり、振動の少ない流体搬送機械を提供できる。このラジアル方向の振動低減の効果は、上述のようなダブルポリュートケーシングの形状でなくても、図4に示すような適正に配置されたディフューザ26によっても、回転体に作用する流体力のラジアル成分を大幅に減らすことができ、同様な効果を得ることもできる。

#### 【0031】

以上の説明から明らかなように、両吸込ポンプと磁気浮上モータを組み合わせたことで、アキシアル磁気軸受を不要とすることができ、軸長を短くすることが可能となり、軽量、コンパクトな流体搬送機械を提供することができる。さらにこの軸長短縮と両吸込ポンプのキャビテーションの発生し難さが相まって、従来に比べて高速回転が可能になるので、ポンプ部分の小型化・高出力化にも有用である。 10

#### 【0032】

尚、上記実施形態は本発明の実施例の一態様を述べたもので、本発明の趣旨を逸脱することなく種々の変形実施例が可能なのは勿論である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0033】

【図1】本発明の一実施形態の流体搬送機械の正面断面図である。

【図2】図1に示す流体搬送機械のポリュート部分の構成例を示す断面図である。

【図3】図1に示す流体搬送機械のポンプ内部の構成例を示す正面断面図である。

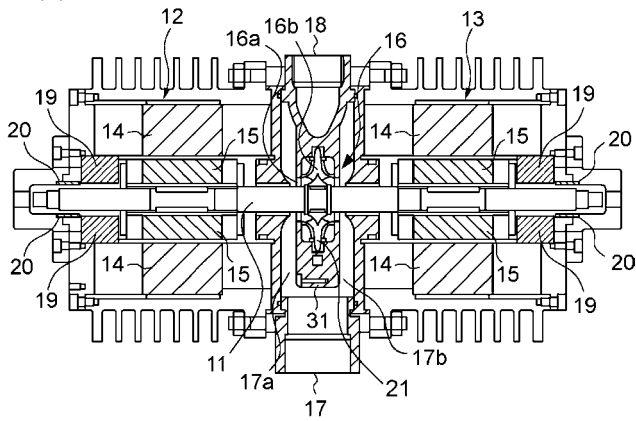
【図4】図1に示す流体搬送機械のポリュート部分の他の構成例を示す断面図である。 20

#### 【符号の説明】

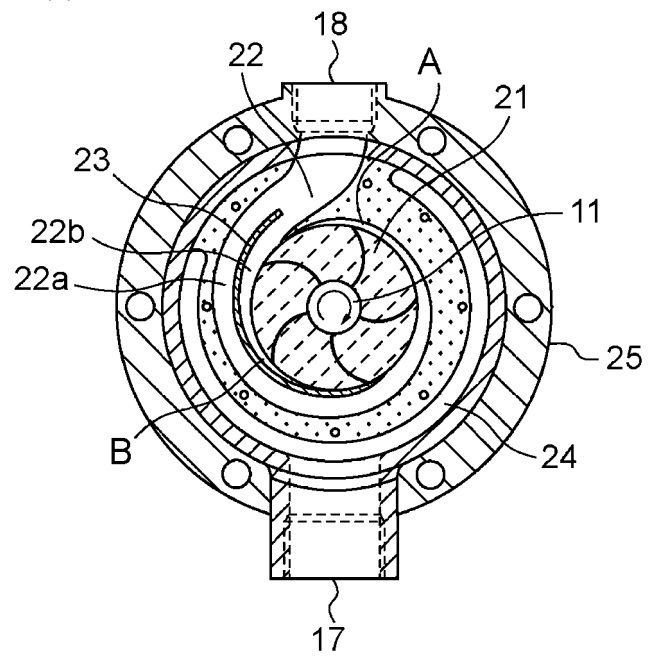
#### 【0034】

- 11 回転軸
- 12, 13 磁気浮上モータ
- 14 ステータ
- 15 ロータ
- 16 両吸込型ポンプ
- 16a 開口部
- 16b ポンプ室
- 17 吸込口 30
- 17a, 17b 流路
- 18 吐出口
- 19 変位センサ
- 21 羽根車
- 22, 22a, 22b ポリュート
- 23 隔壁
- 26 ディフューザ
- 31 ケーシング
- 31b ケーシングの内周面
- 32 シュラウド 40
- 32a, 32b 凸部
- 35L, 35R 室
- $C_{AL}$ ,  $C_{AR}$ ,  $C_R$  隙間
- $P_L$ ,  $P_R$  圧力

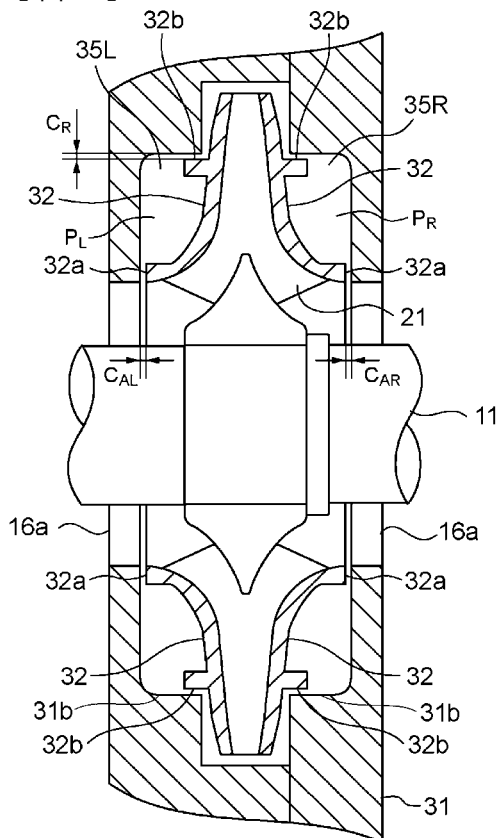
【図 1】



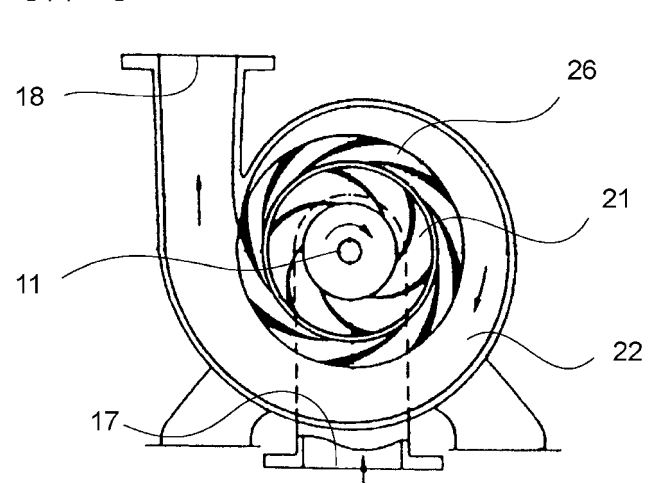
【図 2】



【図 3】



【図 4】





---

 フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード(参考)
F 0 4 D 29/44	F 0 4 D 29/22	A
	F 0 4 D 29/22	E
	F 0 4 D 29/44	A

(72)発明者 森 敏

神奈川県藤沢市本藤沢4丁目2番1号 株式会社荏原総合研究所内

(72)発明者 加藤 弘之

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

Fターム(参考) 3H022 AA01 BA01 BA03 BA04 BA06 BA07 CA06 CA16 CA48 CA50  
 CA56 DA00 DA08 DA09 DA12 DA20  
 3H033 AA01 AA11 BB01 BB06 BB11 CC01 CC03 CC05 CC06 CC07  
 DD01 DD03 DD06 DD29 DD30 EE00 EE07 EE09 EE10 EE14  
 EE15  
 3H034 AA01 AA11 BB01 BB06 BB11 CC01 CC03 CC05 CC06 CC07  
 DD05 DD06 DD08 DD28 DD30 EE00 EE07 EE09 EE10 EE12  
 EE15