(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2012-52425
(P2012-52425A)
(43)公開日　平成24年3月15日(2012.3.15)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
F04D 7/06	(2006.01)	F04D 7/06	A	3H130
F04D 13/00	(2006.01)	F04D 13/00	D	
F04D 13/06	(2006.01)	F04D 13/06	C	
F04D 29/047	(2006.01)	F04D 29/047	A	
F04D 29/20	(2006.01)	F04D 29/20		

審査請求 未請求　請求項の数 19　ＯＬ　（全 19 頁）　最終頁に続く

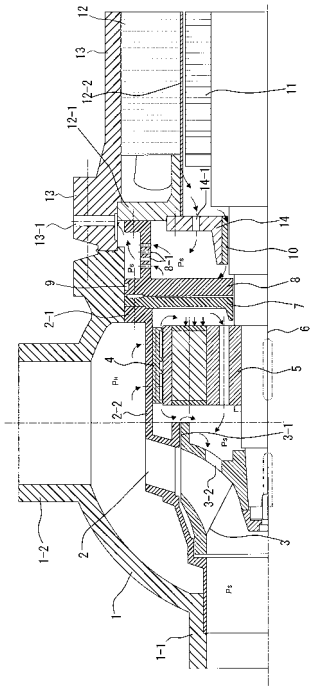
(21)出願番号　特願2010-193287 (P2010-193287)
(22)出願日　平成22年8月31日 (2010.8.31)

(71)出願人　000000239
株式会社荏原製作所
東京都大田区羽田旭町１１番１号
(74)代理人　100091498
弁理士　渡邊　勇
(74)代理人　100093942
弁理士　小杉　良二
(74)代理人　100118500
弁理士　廣澤　哲也
(72)発明者　加藤　弘之
東京都大田区羽田旭町１１番１号　株式会社荏原製作所内
(72)発明者　本田　修一郎
東京都大田区羽田旭町１１番１号　株式会社荏原製作所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】フライホイールを備えたシールレスポンプ

(57)【要約】
【課題】フライホイールの回転中の摩擦損失を低減することができ、コンパクトで振動が少なく回転バランスが良好なシールレスポンプを提供することを目的とするものである。
【解決手段】高温液体を扱うシールレスポンプであって、高温液体を加圧する羽根車３を備え、高温液体が充満するポンプ部分Ｐと、羽根車３を回転駆動するモータ１１，１２を備え、低温液体が充満するモータ部分Ｍと、液中に設けられた慣性運転維持のためのフライホイール５とを備え、フライホイール５は、高温液体と実質的に同等の温度の液中に設けられている。
【選択図】図２



【特許請求の範囲】
【請求項１】
高温液体を扱うシールレスポンプであって、
高温液体を加圧する羽根車を備え、高温液体が充満するポンプ部分と、
前記羽根車を回転駆動するモータを備え、低温液体が充満するモータ部分と、
液中に設けられた慣性運転維持のためのフライホイールとを備え、
前記フライホイールは、前記高温液体と実質的に同等の温度の液中に設けられていることを特徴とするシールレスポンプ。
【請求項２】
前記フライホイールの周囲の高温液体の温度を維持するため、前記ポンプ部分と前記モータ部分の境をなす部分に二重サーマルバリヤ部を設けたことを特徴とする請求項１記載のシールレスポンプ。
【請求項３】
前記二重サーマルバリヤ部は、高温液体と境をなす高温液側サーマルバリヤと低温液体と境をなす低温液側サーマルバリヤからなり、両サーマルバリヤ間に高温液体と低温液体の間の温度の液体層を設けたことを特徴とする請求項２記載のシールレスポンプ。
【請求項４】
前記高温液側サーマルバリヤは、前記ポンプ部分の主軸の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキー部材により、前記低温液側サーマルバリヤと熱膨張可能に同芯固定されることを特徴とする請求項３記載のシールレスポンプ。
【請求項５】
高温液体を扱うシールレスポンプであって、
高温液体を加圧する羽根車を備え、高温液体が充満するポンプ部分と、
前記羽根車を回転駆動するモータを備え、低温液体が充満するモータ部分と、
液中に設けられた慣性運転維持のためのフライホイールとを備え、
前記フライホイールの外径側に該フライホイールの外周部を支持する静圧軸受を配置したことを特徴とするシールレスポンプ。
【請求項６】
前記静圧軸受は、前記羽根車で加圧された高温液体により作動する静圧軸受であることを特徴とする請求項５記載のシールレスポンプ。
【請求項７】
前記羽根車および前記フライホイールを取り付けた主軸を回転可能に支持するすべり軸受を前記低温液体の充満する前記モータ部分に配置し、前記すべり軸受からオーバーハングする前記フライホイールを前記静圧軸受により支持するようにしたことを特徴とする請求項５または６記載のシールレスポンプ。
【請求項８】
前記静圧軸受は、２列並列ポケットを有するものであることを特徴とする請求項５乃至７のいずれか１項に記載のシールレスポンプ。
【請求項９】
高温液体を扱うシールレスポンプであって、
高温液体を加圧する羽根車を備え、高温液体が充満するポンプ部分と、
前記羽根車を回転駆動するモータを備え、低温液体が充満するモータ部分と、
液中に設けられた慣性運転維持のためのフライホイールとを備え、
前記フライホイールは、タングステン又はその合金からなる重錘部と、前記重錘部に作用する遠心力をその内径側で保持するリム、フライホイール全体を前記ポンプ部分の主軸に固定するハブとを備え、前記重錘部は全体が円筒状となるよう複数個の扇型セグメント重錘を組み合わせたものであって、
前記リム、前記ハブおよび前記重錘部は、前記リムの内径をDr、前記ハブの外径をDh、前記リム、前記重錘部および前記ハブの各材料の常温から使用温度までの平均線膨張係数をそれぞれβr、βw、βhとすると、Dh/Dr=(βr－βw)/(βh－βw)の関係式を満たすよう

に設定されていることを特徴とするシールレスポンプ。
【請求項１０】
相隣接する２つの前記扇型セグメント重錘の間の内方側に略三角形断面を有する楔型重錘部材を設けたことを特徴とする請求項９記載のシールレスポンプ。
【請求項１１】
前記フライホイールの両側面を閉止する閉止板と前記扇型セグメント重錘との間に、少なくとも1箇所の廻り止め部材を設けたことを特徴とする請求項９または１０記載のシールレスポンプ。
【請求項１２】
前記ポンプ部分を天側に、前記モータ部分を地側に配置したシールレスポンプであって、前記フライホイールの両側面を閉止する閉止板のうち天側の閉止板と前記扇状セグメント型重錘の上面との間の内径側に、略三角形断面を有する第２の楔型重錘部材を設け、この第２の楔型重錘部材と前記扇型セグメント重錘もしくは前記天側の閉止板との接触面は外径側ほど前記第２の楔型重錘部材の厚みが薄くなるテーパ面とし、前記扇型セグメント下面と地側の閉止板との接触面は平行面としたことを特徴とする請求項９乃至１１のいずれか１項に記載のシールレスポンプ。
【請求項１３】
前記ポンプ部分を天側に、前記モータ部分を地側に配置したシールレスポンプであって、前記フライホイールの両側面を閉止する閉止板のうち天側の閉止板と前記扇状セグメント型重錘の上面との間に前記扇型セグメント重錘を地側の閉止板に向かって押圧する押圧部材を設けたことを特徴とする請求項９乃至１１のいずれか１項に記載のシールレスポンプ。
【請求項１４】
前記押圧部材は皿バネからなることを特徴とする請求項１３記載のシールレスポンプ。
【請求項１５】
前記フライホイールの一部あるいは全体を保護部材で密封した二重壁構造のフライホイールを具備することを特徴とする請求項１乃至１４のいずれか１項に記載のシールレスポンプ。
【請求項１６】
前記フライホイールの前記リムと前記保護部材とは、前記保護部材の内径の熱膨張量をδcit、前記保護部材の内径の遠心力による膨張量をδciw、前記保護部材の内径の圧力による収縮量をδcip、前記リムの熱膨張量をδrot、前記リムの遠心力による膨張量をδrowとすると、δcit+δciw－δcip≧δrot+δrowの関係式を満たすように設定されていることを特徴とする請求項１５記載のシールレスポンプ。
【請求項１７】
前記フライホイールの前記リムと前記保護部材の側壁の閉止板とは、前記ポンプ部分の主軸の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキーにより、半径方向に相対変位可能に同芯固定されることを特徴とする請求項１６記載のシールレスポンプ。
【請求項１８】
前記ポンプ部分を天側に、前記モータ部分を地側に配置したシールレスポンプであって、前記羽根車、前記フライホイールを含む回転体系全体に作用する軸スラストを前記低温液体が充満したモータ部分のモータ室に設けた液中スラスト軸受で支持する構造とし、前記フライホイールの地側と相対する高温液側サーマルバリヤ部分に、複数個の旋回流防止用半径方向溝流路を設けたことを特徴とする請求項１乃至１７のいずれか１項に記載のシールレスポンプ。
【請求項１９】
前記シールレスポンプは、原子炉用の一次冷却材ポンプであることを特徴とする請求項１乃至１８のいずれか１項に記載のシールレスポンプ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】

【０００１】
本発明は、フライホイールを備えたシールレスポンプに係り、特に高温の液体を取扱うポンプであって取扱液の漏洩を防止する軸封装置を必要としないシールレスポンプに関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来から、羽根車を支持する主軸にフライホイールを取り付けたポンプが用いられている。ポンプにフライホイールを設ける目的は、停電による電力の喪失のように動力が無くなった場合にポンプの回転を慣性により一定時間維持することにより、ポンプ停止時にその吐出流量が急激に減少することにより生じる、配管の水撃（water hammer）現象やシステム反応系の暴走などを防止することにある。加圧水型原子炉用一次冷却材ポンプのフライホイールは後者を目的として設けてある。普及している加圧水型原子炉用一次冷却材ポンプは、その主軸を軸封装置を介して気中モータで回転させているため、フライホイールも気中のモータ内に配置されている。一方、最新の一部加圧水型原子炉では一次冷却材ポンプとしてシールレスポンプを用いることが想定されているため、そのフライホイールも液中に配置することを求められている。
【０００３】
フライホイールを液中に配置する場合、気中と比較して流体摩擦が著しく大きくなるため、必要な慣性回転機能を確保するためには、フライホイールを気中用より大型化しなければならないが、そのことが流体摩擦を増大させ、ポンプ全体効率の低下を招くという弊害がある。そこで、液中フライホイールに必要な慣性モーメントを確保しつつ可能な限り小型化するため、重錘として高密度合金、例えば比重が約１９のタングステン等を用いることが効果的である。また、タングステン等の高密度材料を利用したフライホイールはそれ自体では遠心力に耐える強度がないことから、強度保持用の高強度金属円筒内に収納する必要がある。
【０００４】
これについて、特許文献１には、シールレスポンプに用いる液中フライホイールの重錘としてセグメント型高密度金属重錘、例えばタングステン合金を利用したフライホイール構造の特徴が記載されている。また、特許文献２には、同様用途のポンプにおいて、高密度金属重錘を利用した液中フライホイールの外周及び側壁をラジアル軸受及びスラスト軸受として利用する方法が記載されている。また、特許文献３には、シールレスポンプの液中フライホイール構造として、大径の高強度金属製保持部材に多数のレンコン状（リボルバーのシリンダ状）の穴を開け、その部分にタングステン等の高密度金属重錘を挿入する方法が記載されている。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００５】
【特許文献１】米国特許公開第２０１０－００９１９３１号公報
【特許文献２】米国特許第４８８６４３０号公報
【特許文献３】米国特許公開第２００７－００２５８６５号公報
【非特許文献】
【０００６】
【非特許文献１】機械学会論文集３８巻３１２号（昭和４７－８）　「内管回転偏心二重管の摩擦モーメントおよび圧力分布」　中林功一、他
【非特許文献２】ターボ機械第２７巻第６号（１９９９年６月）　「浅い放射溝による旋回流の制御」　黒川淳一
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
これら従来技術においても、何れもフライホイールは、低温となるモータよりも高温に

なるポンプ羽根車に近い箇所に設置されているが、これはフライホイールの液体中の回転摩擦力は液体の密度、粘性が低いほど小さくなるため、フライホイールの運転中の摩擦損失を大きくしないためだと考えられる。しかしながら、これら従来技術では、ポンプ羽根車とフライホイールとの間に厚みの大きな隔壁状の部材が設けられており、これによってポンプ取扱液とフライホイールとの温度差が大きくなっている。（課題１）

また、タングステンは一般の高強度金属材料に比して熱膨張係数が約１／３～１／４と小さく、強度保持用の高強度金属円筒等との部材間で大きな熱膨張差が生ずるため、組立体としてのフライホイールの高温回転バランスに狂いが生じる可能性がある。これは、特に、フライホイールが高温液中に設置される場合には大きな問題になりうる。（課題２）

また、回転体系を支持する軸受装置は一般に低温のモータ室内に液中滑り軸受として配置される。大重量のフライホイールがその軸受より羽根車側にオーバーハングするため、振れ回りによる振動を起こしやすくなる。特に、フライホイールを高温液中に配置する場合、低温側との間にサーマルバリア等を設ける必要があり、モータ室内ジャーナル軸受とのオーバハングがさらに長くなりやすく、より振動が生じやすくなってしまう。（課題３）なお、特許文献２では、フライホイールを用いて滑り軸受を構成しているが、動圧軸受であって、低温に維持する必要があり、摩耗が避けられない。

【０００８】

即ち、特許文献１乃至３等の公知例では高密度金属重錘を利用したフライホイールをポンププロセス流体温度と同じ高温側に設置する方法、高温のフライホイール外周に振動防止用軸受を設ける方法について具体的記載をした例は見当たらない。

【０００９】

本発明は、上述の事情に鑑みなされたもので、フライホイールの回転中の摩擦損失を低減することができ、コンパクトで振動が少なく回転バランスが良好なシールレスポンプを提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【００１０】

上述した目的を達成するために、本発明の第１の態様は、高温液体を扱うシールレスポンプであって、高温液体を加圧する羽根車を備え、高温液体が充満するポンプ部分と、前記羽根車を回転駆動するモータを備え、低温液体が充満するモータ部分と、液中に設けられた慣性運転維持のためのフライホイールとを備え、前記フライホイールは、前記高温液体と実質的に同等の温度の液中に設けられていることを特徴とするものである。

非特許文献１によれば、内管が回転する二重円筒の摩擦トルクＭは、

$M = Cm \cdot 2\pi \cdot \rho \cdot r_m^4 \cdot \omega^2$

ここで、ρは流体の密度、r_mは内管と外管の平均半径、ωは内管の回転角速度である。Cmは実験により定まるトルク係数で、流れが乱流域の場合、

$Cm = fm \cdot R_\omega^{-0.2} = fm \cdot \{\nu/(r_m \cdot \omega \cdot \delta)\}^{0.2}$

但し、fmは偏心率により定まる係数で、偏心がない場合fm=０．００６３１となる。νは流体の動粘性係数、δは内管と外管の半径隙間である。

上記において、摩擦トルクＭを流体の温度により変化するρ、νで整理すると、

$M \propto \rho \cdot \nu^{0.2}$と表すことができる。

図８は流体が飽和蒸気圧力下における水の場合に回転円筒に作用する摩擦トルクＭを、ＰＷＲ型原子炉用一次冷却材ポンプの運転温度２９０℃の値を１として正規化して示したグラフである。即ち、回転円筒に作用する摩擦トルクＭは水温が０℃から１５０℃まで指数的に減少し、１５０℃から３２５℃までは、ほぼ直線的に減少する傾向にある。従って回転円筒、即ちフライホイールの周囲の水温が６５℃の時の摩擦トルクは、水温２９０℃の摩擦トルクの１．７倍という大きな値となる。

本発明において、高温液体とは、加圧水型原子炉の一次冷却材であれば、２８０℃以上の液体であり、加圧水型原子炉の一次冷却材は臨界以下の液相で運転され、水の臨界温度は３７４℃以下であるから、高温液体とは、２８０℃～３７４℃の液体である。そして、高温液体と実質的に同等の温度とは、高温流体の常用流体温度（図８では２９０℃）にお

ける内筒が回転する二重円筒の摩擦トルクＭに対する増加率が１０％以下の領域（即ち図８では２５０℃以上）で、上限はプロセス最高温度までとする。また、低温液体とは、摩擦トルクＭの温度に対するトルク変化率が線型から外れ、指数関数的に増加する領域、即ち図８では１５０℃以下の領域を示す。すなわち、低温液体とは、０℃～１５０℃の液体である。従って、１５０℃以上で高温液体と実質的に同等の温度以下の液体（図８では１５０℃～２５０℃の間）を中間温度液体と称することにする。

本発明のシールレスポンプが適用される一例として、加圧水型原子炉の一次冷却材ポンプの場合を説明すると、取扱液である高温液体の温度が２９０℃（５５４°Ｆ）に対して、高温液体と実質的に同等の温度とは、２５０℃から３２５℃（プロセス最高温度である蒸気発生器入口温度）の範囲である。

本発明によれば、慣性運転維持のためのフライホイールは、ポンプ取扱液である高温液体と実質的に同等の温度の液中に設けられているため、フライホイールは低密度および低粘性の液体に取り囲まれることになり、フライホイールの液体中の回転摩擦力が小さくなる。したがって、フライホイールの回転中の摩擦損失を低減することができ、フライホイールの回転に起因するポンプ効率の低下を抑制することができ、また動力損失も低減することができる。

【００１１】

本発明の好ましい態様は、前記フライホイールの周囲の高温液体の温度を維持するため、前記ポンプ部分と前記モータ部分の境をなす部分に二重サーマルバリヤ部を設けたことを特徴とする。

本発明によれば、二重サーマルバリヤ部により、高温液体が充満するポンプ部分を低温液体が充満するモータ部分から仕切ることができるため、フライホイールが配置されるポンプ部分を高温に維持し、モータ巻線やジャーナルおよびスラスト液中軸受が配置されるモータ部分を低温に維持することができる。したがって、フライホイールの回転に起因するポンプ効率の低下を抑制することができ、また動力損失も低減することができ、さらにモータ巻線の絶縁性、ジャーナルおよびスラスト液中軸受の潤滑性を確保することができる。

【００１２】

本発明の好ましい態様は、前記二重サーマルバリヤ部は、高温液体と境をなす高温液側サーマルバリヤと低温液体と境をなす低温液側サーマルバリヤからなり、両サーマルバリヤ間に高温液体と低温液体の間の温度の液体層を設けたことを特徴とする。

本発明によれば、高温液側サーマルバリヤと低温液側サーマルバリヤの２種の熱遮蔽板を配置し、さらに両サーマルバリヤの間に隙間を設けて液体層を形成することにより、フライホイールが配置されるポンプ部分を高温に維持し、モータ巻線やジャーナルおよびスラスト液中軸受が配置されるモータ部分を低温に維持することができる。

【００１３】

本発明の好ましい態様は、前記高温液側サーマルバリヤは、前記ポンプ部分の主軸の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキー部材により、前記低温液側サーマルバリヤと熱膨張可能に同芯固定されることを特徴とする。

高温液側サーマルバリヤと低温液側サーマルバリヤには温度差が生じ、これを通常のインローによる芯出し構造で結合すると、インロー部に隙間が生じるか、逆に無理な変形が生じるが、本発明によれば、高温液側サーマルバリヤと低温液側サーマルバリヤの結合面にはインローを設けず十文字キー等の放射状に配置されたキー部材で結合して半径方向の熱膨張差を吸収しつつ同芯度を維持する構造としてある。このサーマルバリヤによる熱膨張差吸収機構は、ディフューザに固定されている静圧軸受の同芯度を維持するために重要な役割を果たしている。

【００１４】

本発明の第２の態様は、高温液体を扱うシールレスポンプであって、高温液体を加圧する羽根車を備え、高温液体が充満するポンプ部分と、前記羽根車を回転駆動するモータを備え、低温液体が充満するモータ部分と、液中に設けられた慣性運転維持のためのフライ

ホイールとを備え、前記フライホイールの外径側に該フライホイールの外周部を支持する静圧軸受を配置したことを特徴とするものである。

本発明によれば、フライホイールの外径側にフライホイールの外周部を支持する静圧軸受を配置したため、フライホイールの半径方向変位を抑制することができる。したがって、フライホイールの振れ回りによる振動を抑制することができる。この場合、動圧軸受では、液体を低温に維持しないと軸受負荷容量を上げることはできないが、本発明の静圧軸受によれば、加圧された液体の圧力により作動する軸受であるため、液体の温度に拘わらず軸受負荷容量を上げることができる。

【００１５】

本発明の好ましい態様は、前記静圧軸受は、前記羽根車で加圧された高温液体により作動する静圧軸受であることを特徴とする。

本発明によれば、静圧軸受が羽根車で加圧された高温液体により作動するため、羽根車から吐出された高温液体をフライホイールの外径側にある静圧軸受に導くだけで静圧軸受を作動させることができる。

【００１６】

本発明の好ましい態様は、前記羽根車および前記フライホイールを取り付けた主軸を回転可能に支持するすべり軸受を前記低温液体の充満する前記モータ部分に配置し、前記すべり軸受からオーバーハングする前記フライホイールを前記静圧軸受により支持するようにしたことを特徴とする。

本発明によれば、羽根車およびフライホイールを取り付けた主軸が低温液体の充満するモータ部分に配置されたすべり軸受からオーバーハングするため、オーバーハングの長さが長くなるが、フライホイールを静圧軸受により支持するようにしたため、フライホイールおよび主軸の振れ回りを抑制することができ、フライホイールおよび主軸の振動を抑制することができる。

【００１７】

本発明の好ましい態様は、前記静圧軸受は、２列並列ポケットを有するものであることを特徴とする

本発明によれば、静圧軸受が２列並列ポケットを有するため、フライホイールの外周部の軸方向に離間した２箇所でフライホイールを支持することができる。したがって、フライホイールの傾きを抑制することができる。

【００１８】

本発明の第３の態様は、高温液体を扱うシールレスポンプであって、高温液体を加圧する羽根車を備え、高温液体が充満するポンプ部分と、前記羽根車を回転駆動するモータを備え、低温液体が充満するモータ部分と、液中に設けられた慣性運転維持のためのフライホイールとを備え、前記フライホイールは、タングステン又はその合金からなる重錘部と、前記重錘部に作用する遠心力をその内径側で保持するリム、フライホイール全体を前記ポンプ部分の主軸に固定するハブとを備え、前記重錘部は全体が円筒状となるよう複数個の扇型セグメント重錘を組み合わせたものであって、前記リム、前記ハブおよび前記重錘部は、前記リムの内径をDr、前記ハブの外径をDh、前記リム、前記重錘部および前記ハブの各材料の常温から使用温度までの平均線膨張係数をそれぞれβr、βw、βhとすると、Dh/Dr=(βr－βw)/(βh－βw)の関係式を満たすように設定されていることを特徴とするものである。

本発明によれば、フライホイールにおけるリム、ハブおよび重錘部の寸法および線膨張係数を上記関係式を満たすように設定することにより、フライホイールにおけるリム、ハブおよび重錘部の温度差による半径方向の隙間は常温から高温の使用温度まで常に零にできる。

【００１９】

本発明の好ましい態様は、相隣接する２つの前記扇型セグメント重錘の間の内方側に略三角形断面を有する楔型重錘部材を設けたことを特徴とする。

本発明によれば、相隣接する扇型セグメント重錘間に周方向隙間が生じても、楔型重錘

の遠心力による楔効果で、扇型セグメント重錘がリムに押し付けられるように密着し、扇型セグメント重錘が周方向に動くことはなく、フライホイールの回転バランスに狂いを生じさせることはない。

【００２０】

本発明の好ましい態様は、前記フライホイールの両側面を閉止する閉止板と前記扇型セグメント重錘との間に、少なくとも1箇所の廻り止め部材を設けたことを特徴とする。

本発明によれば、フライホイールの両側面を閉止する閉止板と扇型セグメント重錘とが加減速時等に相対回転をすることがない。

【００２１】

本発明の好ましい態様は、前記ポンプ部分を天側に、前記モータ部分を地側に配置したシールレスポンプであって、前記フライホイールの両側面を閉止する閉止板のうち天側の閉止板と前記扇状セグメント型重錘の上面との間の内径側に、略三角形断面を有する第２の楔型重錘部材を設け、この第２の楔型重錘部材と前記扇型セグメント重錘もしくは前記天側の閉止板との接触面は外径側ほど前記第２の楔型重錘部材の厚みが薄くなるテーパ面とし、前記扇型セグメント下面と地側の閉止板との接触面は平行面としたことを特徴とする。

本発明によれば、第２の楔型重錘部材のテーパ面と扇型セグメント重錘の天側の面（内径側）もしくは天側の閉止板のテーパ面との効果で、運転時に第２の楔型重錘部材が遠心力で外径側に寄ることにより、扇型セグメント重錘と天側の閉止板を軸方向に押し広げる方向の分力が発生する。そのため、扇型セグメント重錘がリムと地側の閉止板とに押し付けられるように密着するので、回転バランスに狂いを生じさせる隙間を無くすことができる。

【００２２】

本発明の好ましい態様は、前記ポンプ部分を天側に、前記モータ部分を地側に配置したシールレスポンプであって、前記フライホイールの両側面を閉止する閉止板のうち天側の閉止板と前記扇状セグメント型重錘の上面との間に前記扇型セグメント重錘を地側の閉止板に向かって押圧する押圧部材を設けたことを特徴とする。

本発明によれば、第２の楔型重錘部材に代えて押圧部材を用いることにより、扇型セグメント重錘と閉止板との間の軸方向隙間が生じても、押圧部材の反発力により扇型セグメント重錘が地側の閉止板に押し付けられるように密着するので、回転バランスに狂いを生じさせる隙間を無くすことができる。

本発明の好ましい態様は、前記押圧部材は皿バネからなることを特徴とする。

【００２３】

本発明の好ましい態様は、前記フライホイールの一部あるいは全体を保護部材で密封した二重壁構造のフライホイールを具備することを特徴とする。

フライホイールの重錘としてタングステン等の高密度合金を用い、扇型セグメント重錘の遠心力を保持するリムとして高強度のフェライト系ステンレス鋼等を加圧水型原子炉の一次冷却水中で用いると、含有する高濃度ホウ酸水で腐食する可能性があるが、本発明によれば、フライホイール重錘部・リム部を、例えばオーステナイトステンレス鋼など耐食性に優れた金属製の保護部材による二重壁構造で保護する。二重壁構造のフライホイールは、フライホイールがポンプ過回転による遠心力でラプチャー飛散（破裂飛散）した場合にも、保護部材の効果で単重壁フライホイール構造より被害を少なくする効果がある。

【００２４】

本発明の好ましい態様は、前記フライホイールの前記リムと前記保護部材とは、前記保護部材の内径の熱膨張量をδcit、前記保護部材の内径の遠心力による膨張量をδciw、前記保護部材の内径の圧力による収縮量をδcip、前記リムの熱膨張量をδrot、前記リムの遠心力による膨張量をδrowとすると、$\delta cit+\delta ciw-\delta cip \geqq \delta rot+\delta row$の関係式を満たすように設定されていることを特徴とする。

本発明によれば、運転中に、保護部材に内包されるフライホイール部材であるリムの膨張変形が生じても、リムと保護部材とが接触することはない。

【００２５】
本発明の好ましい態様は、前記フライホイールの前記リムと前記保護部材の側壁の閉止板とは、前記ポンプ部分の主軸の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキーにより、半径方向に相対変位可能に同芯固定されることを特徴とする。
本発明においては、フライホイール部材であるリムと保護部材の側壁の閉止板との間に、主軸の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキーを挿入してリムと閉止板の同芯度を維持しつつ半径方向相対移動を許容するようにしている。
【００２６】
本発明の好ましい態様は、前記ポンプ部分を天側に、前記モータ部分を地側に配置したシールレスポンプであって、前記羽根車、前記フライホイールを含む回転体系全体に作用する軸スラストを前記低温液体が充満したモータ部分のモータ室に設けた液中スラスト軸受で支持する構造とし、前記フライホイールの地側と相対する高温液側サーマルバリヤ部分に、複数個の旋回流防止用半径方向溝流路を設けたことを特徴とする。
本発明によれば、フライホイールと高温液側サーマルバリヤ部分との間に旋回流が発生することを防止できる。これにより、フライホイール重量に起因するスラスト軸受（低温のモータ室に設置する）の負荷を軽減できる。
【００２７】
本発明の好ましい態様は、前記シールレスポンプは、原子炉用の一次冷却材ポンプであることを特徴とする。
【発明の効果】
【００２８】
本発明は、以下に列挙する効果を奏する。
（１）慣性運転維持のためのフライホイールは、ポンプ取扱液である高温液体と実質的に同等の温度の液中に設けられているため、フライホイールは低密度および低粘性の液体に取り囲まれることになり、フライホイールの液体中の回転摩擦力が小さくなる。したがって、フライホイールの回転中の摩擦損失を低減することができ、フライホイールの回転に起因するポンプ効率の低下を抑制することができ、また動力損失も低減することができる。
（２）二重サーマルバリヤ部により、高温液体が充満するポンプ部分を低温液体が充満するモータ部分から仕切ることができるため、フライホイールが配置されるポンプ部分を高温に維持し、モータ巻線やジャーナルおよびスラスト液中軸受が配置されるモータ部分を低温に維持することができる。したがって、フライホイールの回転に起因するポンプ効率の低下を抑制することができ、また動力損失も低減することができ、さらにモータ巻線の絶縁性、ジャーナルおよびスラスト液中軸受の潤滑性を確保することができる。
（３）フライホイールの外径側にフライホイールの外周部を支持する静圧軸受を配置したため、フライホイールの半径方向変位を抑制することができる。したがって、フライホイールの振れ回りによる振動を抑制することができる。この場合、動圧軸受では、液体を低温に維持しないと軸受負荷容量を上げることはできないが、本発明の静圧軸受によれば、加圧された液体の圧力により作動する軸受であるため、液体の温度に拘わらず軸受負荷容量を上げることができる。
（４）フライホイールにおけるリム、ハブおよび重錘部の寸法および線膨張係数を所定の関係式を満たすように設定することにより、フライホイールにおけるリム、ハブおよび重錘部の温度差による半径方向の隙間は常温から高温の使用温度まで常に零にできる。
（５）第２の楔型重錘部材のテーパ面と扇型セグメント重錘の天側の面（内径側）もしくは天側の閉止板のテーパ面との効果で、運転時に第２の楔型重錘部材が遠心力で外径側に寄ることにより、扇型セグメント重錘と天側の閉止板を軸方向に押し広げる方向の分力が発生する。そのため、扇型セグメント重錘がリムと地側の閉止板とに押し付けられるように密着するので、回転バランスに狂いを生じさせる隙間を無くすことができる。なお、第２の楔型重錘部材に代えて皿バネ等の押圧部材を用いてもよい。
【図面の簡単な説明】

【００２９】
【図１】図１は、本発明のフライホイールを備えたシールレスポンプの全体構成を示す断面図である。
【図２】図２は、本発明のフライホイールを備えたシールレスポンプの主要部を示す断面図である。
【図３】図３（ａ），（ｂ），（ｃ）は静圧軸受の構造を示す図であり、図３（ａ）は静圧軸受の部分断面図、図３（ｂ）は静圧軸受を内径側から見て平面に展開した展開図、図３（ｃ）は図３（ａ）のIII－III線断面図である。
【図４】図４（ａ），（ｂ）はフライホイールの構造を示す図であり、図４（ａ）はフライホイールの半断面図、図４（ｂ）は図４（ａ）のIV矢視図である。
【図５】図５（ａ），（ｂ）は、フライホイールが高温・高圧かつ腐食性の液体中で用いられる場合の適用例を示す図であり、図５（ａ）はフライホイールの半断面図、図５（ｂ）は図５（ａ）のV矢視図である。
【図６】図６は、フライホイール周りの流体の流れとフライホイールの軸方向スラストバランス機構を示す断面図である。
【図７】図７は、図６のVII－VII線矢視図である。
【図８】図８は、飽和蒸気圧下における水の回転円筒に作用する摩擦トルクＭとＰＷＲ型原子炉用一次冷却材ポンプの運転温度との関係を表すグラフである。
【発明を実施するための形態】
【００３０】
以下、本発明に係るフライホイールを備えたシールレスポンプの実施形態について図１乃至図７を参照して詳細に説明する。なお、図１から図７において、同一または相当する構成要素には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。
図１は、本発明のフライホイールを備えたシールレスポンプの全体構成を示す断面図である。図１では、シールレスポンプの一例としてキャンドモータポンプを図示している。図１に示すように、本発明のフライホイールを備えたシールレスポンプは、ポンプ部分Ｐが天側に位置し、モータ部分Ｍが地側に位置するように配置される。
【００３１】
図１に示すように、モータ部分Ｍのモータ室を冷却するためにモータ室冷却用循環水を循環させる循環水配管１５が設置されている。循環水配管１５はモータ部分Ｍのモータ胴１３の上端部とモータ胴１３の下端部に固定されたモータカバー１６との間に配置されている。循環水配管１５の途中には冷却用熱交換器１７が設けられており、冷却用熱交換器１７によりモータ室の冷却により昇温したモータ室冷却用循環水を冷却するようになっている。モータ室冷却用循環水は、循環水配管１５によってモータカバー１６のモータ室冷却用循環水入口１６－１からモータ部分Ｍの内部に流入し、モータ室を冷却した後にモータ室冷却用循環水出口１３－１から循環水配管１５に戻る。図１には図示はしていないが、モータ室にはモータ室液循環用補助羽根車が設けてあり、モータ室冷却用循環水を外部の冷却用熱交換器１７に導くことにより、モータ室液温を常時低温に維持している。
【００３２】
図２は、本発明のフライホイールを備えたシールレスポンプの主要部を示す断面図である。図２に示すように、シールレスポンプは、高温液体の充満するポンプケーシング１、低温液体の充満するモータ胴１３、ポンプケーシング１の内部に収容される羽根車３、羽根車３を支持する主軸６、主軸６に固定されたフライホイール５、モータ胴１３の内部に収容されるとともに主軸６に固定されたモータ回転子１１、モータ胴１３の内部に収容されるとともにモータ胴１３に固定されたモータ巻線１２等から構成されている。
【００３３】
図２に示すように、羽根車３の半径方向外側には、羽根車３を囲むようにディフューザ２が配置されている。ディフューザ２は、流体の減速および圧力回復を目的として設けられており、ディフューザ固定フランジ２－１と円筒状のディフューザ胴２－２を備えている。フライホイール５は、羽根車３とモータ回転子１１の間の主軸６上に固定されており

、フライホイール５の外周部はディフューザ胴２－２の内部に収容された静圧軸受４により支持されている。高温液体は、ポンプケーシング１の吸込口１－１から導入され、高速回転する羽根車３で加圧された後、ディフューザ２を経て減速および圧力回復する。そして、ディフューザ２から排出された高温液体の大部分はポンプケーシング１の吐出口１－２から吐出される。羽根車３から吐出された高温液体の一部は、羽根車ウェアリング３－１から漏出し、羽根車バランスホール３－２から吸込口１－１に還流する。また、ディフューザ２から排出された高温液体の一部は、ディフューザ胴２－２の内径側に固定された静圧軸受４に導かれ、フライホイール５の外周部はディフューザ２から供給される液体の圧力で作動する静圧軸受４で支持される。この場合、フライホイール５は、羽根車３から静圧軸受４を介して導かれた高温液体に直接接触するため、その温度はプロセス側と実質的に同等の高温となる。

【００３４】

図２には、モータ回転子１１、モータ巻線１２、モータ巻線室閉止板１２－１、モータキャン１２－２が図示されている。モータ巻線室閉止板１２－１には保持部材１４が固定されており、保持部材１４の内径側にすべり軸受であるジャーナル軸受１０が保持されている。モータ室は巻線の絶縁性、ジャーナルおよびスラスト液中軸受の潤滑性を確保するため低温に維持しなければならない。そこで、フライホイール５を収容するフライホイール室を高温に維持し、隣接するモータ室を低温に維持するため、フライホイール室とモータ室との間に高温液側サーマルバリヤ７、低温液側サーマルバリヤ８の２種の熱遮蔽板を配置し、さらに両サーマルバリヤの中間にサーマルバリヤ中間隙間８－１ａを設けてある。また、低温液側サーマルバリヤ８の外径側には、ポンプ側からの高温液体が低温側へ侵入することを防止するためピストンリング９が設けてある。従って、高温液側サーマルバリヤ７と低温液側サーマルバリヤ８には温度差が生じ、これを通常のインローによる芯出し構造で結合すると、インロー部に隙間が生じるか、逆に無理な変形が生じる。そこで、高温液側サーマルバリヤ７と低温液側サーマルバリヤ８の結合面にはインローを設けず、主軸６の軸心から半径方向外側の４箇所に配置された十文字キー７－１で半径方向の熱膨張差を吸収しつつ同芯度を維持する構造としてある。ここでは十文字キーを使用したが、十文字キーに限らず、主軸の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキー部材を用いてもよい。このサーマルバリヤ７，８による熱膨張差吸収機構は、ディフューザ２に固定されている静圧軸受４の同芯度を維持するために非常に重要な役割を果たしている。高温のディフューザ２と高温液側サーマルバリヤ７との間には温度差が生じないため、両部品はディフューザフランジ２－１の部分で通常のインロー結合により同芯度を維持している。

【００３５】

図１において説明したように、モータ室冷却用循環水は、循環水配管１５によってモータカバー１６のモータ室冷却用循環水入口１６－１からモータ室内に流入する。モータ室内に流入したモータ室冷却用循環水は、図２に示すように、モータキャン１２－２とモータ回転子１１との間隙を通ってモータ回転子１１およびモータ巻線１２を冷却する。そして、モータ室冷却用循環水は、ジャーナル軸受１０と主軸６との間隙を通ってジャーナル軸受１０を冷却するとともに保持部材１４の連通孔１４－１を通って、さらに低温液側サーマルバリヤ８の連通孔８－１を通って、モータ室冷却用循環水出口１３－１から循環水配管１５に戻る。

【００３６】

図３（ａ），（ｂ），（ｃ）は静圧軸受４の構造を示す図であり、図３（ａ）は静圧軸受４の部分断面図、図３（ｂ）は静圧軸受４を内径側から見て平面に展開した展開図、図３（ｃ）は図３（ａ）のIII－III線断面図である。

図３（ａ）に示すように、静圧軸受４は概略円筒状をなし（図３（ａ）では下側の部分の図示を省略している）、静圧軸受４には、複数のオリフィス穴４－１、複数のポケット４－２、排液流路４－３がある。ポケット４－２は円周方向に所定間隔で配置されており、各ポケット４－２は円弧状の断面を有する凹部になっている。そして、各ポケット４－

２にはオリフィス穴４－１が連通されている。また、各ポケット４－２の間には排液流路４－３が形成されている。

図３（ｂ）および図３（ｃ）に示すように、ポケット４－２は、円周方向に２列並列配置されている。そして、隣接するポケット４－２の間には、溝状の排液流路４－３が形成されている。

【００３７】

図３（ａ），（ｂ），（ｃ）に示すように構成された静圧軸受４において、オリフィス穴４－１から導入された圧力液体がポケット４－２に取り込まれ、フライホイール５の外周を加圧することでフライホイール５の半径方向変位を抑制している。すなわち、フライホイール５が半径方向で一方の側に変位すると、静圧軸受４における軸受隙間が減少する側のポケット圧力が増大し、軸受隙間が増加する側のポケット圧力が減少するので、フライホイール５は中心位置に押し戻される。オリフィス穴４－１のオリフィス径を大きくすると軸受負荷容量は増大するが、漏れ流量も増大するので、通常はポケット圧力が最大差圧、即ちポンプ揚程（Ｐｄ－Ｐｓ）の０．５以下となるよう設定している。ここで、Ｐｄはポンプ吐出圧力であり、Ｐｓはポンプ吸込圧力である。ポケット４－２の個数は、円周４箇所以上で対抗配置とする。図３（ａ），（ｂ），（ｃ）に示す静圧軸受４は、半径方向の他に、角度方向変位に対するバネ剛性を有するよう２列並列ポケット配置としてある。

【００３８】

図４（ａ），（ｂ）はフライホイール５の構造を示す図であり、図４（ａ）はフライホイール５の半断面図、図４（ｂ）は図４（ａ）のIV矢視図である。図４（ｂ）においては、フライホイール５の内部構造を図示するために一部の部材を省略して図示している（後述する）。図４（ａ）に示すように、フライホイール５の左側が天側、右側が地側である。

図４（ａ）および図４（ｂ）に示すように、フライホイール５は、リム５－１、複数の扇型セグメント重錘５－２、複数の楔型重錘５－３、リム５－１の両開口端を閉塞する閉止板５－４ａ、ハブ５－５、複数のバランスホール５－６、複数の扇状楔型重錘部材５－７ａ、廻り止めピン５－８から構成される。

【００３９】

リム５－１はフライホイール５の最外周側に配置された円筒状の部材であり、リム５－１の内側に複数の扇型セグメント重錘５－２が配置されている。各扇型セグメント重錘５－２は、内外周が円弧状に形成された扇型の部材であり、所定数（図４（ａ）に示す例においては８個）の扇型セグメント重錘５－２の側面が周方向に互いに接触して配置されることにより円筒状重錘が形成される。そして、相隣接する２つの扇型セグメント重錘５－２の間には、楔型重錘５－３が配置されている。ハブ５－５は、扇型セグメント重錘５－２および楔型重錘５－３の内周側に配置された円筒状部材であり、ハブ５－５の内径側が主軸６に固定される。バランスホール５－６はハブ５－５の軸方向に形成された貫通孔である。廻り止め部材５－８は、閉止板５－４ａと扇型セグメント重錘５－２との間に設けられており、扇型セグメント重錘５－２とリム５－１，ハブ５－５とが加減速時に相対回転しないよう設けている。廻り止め部材５－８としては、図示のピン以外の構造、例えばキーなどでも良い。

【００４０】

扇状楔型重錘部材５－７ａは扇型セグメント重錘５－２と閉止板５－４との間に配置された楔型重錘部材である。扇状楔型重錘部材５－７ａは、図４（ａ）に示すように、天側の面が平坦面になっており、地側の面が内周側から外周側にいくにつれて天側に傾斜したテーパ面になっており、概略三角形状の断面を有している。そして、扇型セグメント重錘５－２は、内径側において天側の面が扇状楔型重錘部材５－７ａのテーパ面に対応して天側に傾斜したテーパ面になっている。

図４（ｂ）は図４（ａ）のIV矢視図であるが、図４（ａ）から閉止板５－４ａと廻り止め部材５－８を取り除いてフライホイール５の内部構造を図示している。図４（ｂ）に示

すように、扇状楔型重錘部材５－７ａは円周方向に所定間隔で配置されており、各扇状楔型重錘部材５－７ａは略扇型の側面を有している。

【００４１】

フライホイール５の慣性モーメントの大部分を分担する扇型セグメント重錘５－２は、高密度合金であるタングステン合金等で製作する。タングステンは、比重が約１９．５であり、通常のステンレス鋼に対して約２．５倍の比重があるが、焼結金属なので強度が弱く単独では遠心力に耐えない。そこで、ステンレス鋼などの高強度金属と組み合わせて使用することになるが、タングステン合金はステンレス鋼と比較して線膨張係数が１／３～１／４と小さく、常温で部材間の隙間を無くして組み立てても、高温では隙間が開いてしまい回転バランスに狂いが生じる可能性がある。

【００４２】

そこで、本発明においては、リム５－１、ハブ５－５およびタングステン製扇型セグメント重錘５－２の寸法と線膨張係数の関係を以下のように設定することで、図４（ｂ）に示す半径方向隙間（扇型セグメント重錘５－２とハブ５－５との隙間）δが温度にかかわらず常に零となるようにする。

$2\delta=(Dr\times\beta r-Dh\times\beta h)\times\Delta T-(2\times Fw\times\beta w)\times\Delta T$・・・（１）

$2\times Fw \quad Dr-Dh$・・・（２）

但し、Dr：リム内径、Dh：ハブ外径、Fw：扇型セグメント重錘半径方向長さ、β：線膨張係数で、添え字r：リム、h：ハブ、w：扇型セグメント重錘

上式（１）でδ=0として、（２）を代入すれば、

$Dh/Dr=(\beta r-\beta w)/(\beta h-\beta w)$・・・（３）

たとえば、リム５－１をマルテンサイトステンレス鋼、ハブ５－５をオーステナイトステンレス鋼、扇型セグメント重錘５－２をタングステン合金とすれば、線膨張係数はそれぞれ、

$\beta r=12\times10^{-6}$、$\beta h=18\times10^{-6}$、$\beta w=4\times10^{-6}$ (mm/mm・℃)

これらを（３）式に代入すれば、Dh/Dr＝０．５７となり、ハブ外径をリム内径の57％に設定すれば、線膨張係数が一定範囲で常にδ＝０となる。

【００４３】

上記のように各部材の線膨張係数と寸法を適切に設定することで、扇型セグメント重錘５－２とハブ５－５、リム５－１の温度差による半径隙間は常温から使用温度まで常に零にできる。しかしながら、扇型セグメント重錘５－２の周方向、軸方向には隙間が生じてしまう。そこで、隣接する扇型セグメント重錘５－２間に周方向隙間が生じても、楔型重錘５－３の遠心力による楔効果で、扇型セグメント重錘５－２がリム５－１に押し付けられるように密着し、扇型セグメント重錘５－２が周方向に動くことはなく、フライホイール５の回転バランスに狂いを生じさせることはない。また、扇型セグメント重錘５－２と閉止板５－４ａの間の軸方向隙間については、扇型セグメント重錘５－２の天側の面（内径側）のテーパ面と扇状楔型重錘部材５－７ａの地側の面のテーパ面の効果で、運転時に扇状楔型重錘部材５－７ａが遠心力で外径側に寄ることにより、扇型セグメント重錘５－２と天側の閉止板５－４ａを軸方向に押し広げる方向の分力が発生する。そのため、扇型セグメント重錘５－２がリム５－１と地側の閉止板５－４ａとに押し付けられるように密着するので、回転バランスに狂いを生じさせる隙間を無くすことができる。

【００４４】

図４（ｃ）は、図４（ａ）に示す扇状楔型重錘部材５－７ａに代えて皿バネ５－７ｂを用いた例を示す図であり、フライホイール５の半断面図である。図４（ｃ）に示すように、扇型セグメント重錘５－２と閉止板５－４ａとの間に皿バネ５－７ｂが配置されている。図４（ｃ）に示すように、扇状楔型重錘部材５－７ａに代えて皿バネ５－７ｂを用いることにより、扇型セグメント重錘５－２と閉止板５－４ａとの間の軸方向隙間が生じても皿バネ５－７ｂの反発力により扇型セグメント重錘５－２が地側の閉止板５－４ａに押し付けられるように密着するので、回転バランスに狂いを生じさせる隙間を無くすことができる。

【００４５】
図５（ａ），（ｂ）は、フライホイールが特に高温・高圧かつ腐食性の液体中で用いられる場合の適用例を示す図であり、図５（ａ）はフライホイール５の半断面図、図５（ｂ）は図５（ａ）のV矢視図である。図５（ｂ）においては、フライホイール５の内部構造を図示するために一部の部材を省略して図示している。
フライホイールの重錘５－２としてタングステン等の高密度合金を用い、扇型セグメント重錘５－２の遠心力を保持するリム５－１として高強度のフェライト系ステンレス鋼等を加圧水型原子炉の一次冷却水中で用いると、含有する高濃度ホウ酸水で腐食する可能性がある。そこで、フライホイール重錘部・リム部を、例えばオーステナイトステンレス鋼など耐食性に優れた金属製の外周保護円筒５－９、側壁面保護閉止板５－４ｂ、ハブ５－５からなる密閉構造で保護することが望ましい。ただし、保護部材である側壁面保護閉止板５－４ｂ、ハブ５－５、外周保護円筒５－９の組立体と、リム５－１、扇型セグメント５－２等のフライホイール部材はそれぞれ線膨張係数が著しく異なること、中空の保護部材組立体にポンプ内圧力Ｐが外圧として作用して収縮すること、保護部材には自身の重量による遠心力が作用して膨張すること、リム５－１には自身の重量による遠心力と重錘の遠心力とが作用して膨張することなどの理由から、リム５－１の外径と外周保護円筒５－９の内径の半径隙間δrc（図５（ｂ）参照）の設定には注意を要する。
即ち、δcit+δciw－δcip≧δrot+δrow・・・（４）
として、保護部材に内包されるフライホイール部材の変形が、保護部材の変形に影響を及ぼさないように設定することが望ましい。
但し、
δcit：外周保護円筒５－９の内径の熱膨張量
δciw：外周保護円筒５－９の内径の遠心力による膨張量
δcip：外周保護円筒５－９の内径の圧力による収縮量
δrot：リム５－１の熱膨張量
δrow：リム５－１の遠心力による膨張量
ここで、それぞれの数値は一般的な解析手法により算出できるため、詳細は記載を省略する。
【００４６】
図５において（４）式を満たすようにすれば、フライホイール部材５－１，５－２は保護部材５－４ｂ，５－５，５－９に対して影響を与えることなく膨張変形できるが、ハブ５－５に対する同芯度を維持するため、リム５－１と側壁面保護閉止板５－４ｂの間に、主軸６の軸心から半径方向外側の４箇所に十文字キー５－１０を挿入して同芯度を維持しつつ半径方向相対移動を許容するようにすることが望ましい。また、十文字キーに限らず主軸６の軸心から半径方向外側の３箇所以上に放射状に配置されたキー部材を用いてもよい。
図５に示す二重壁フライホイール構造は、フライホイールがポンプ過回転による遠心力でラプチャー飛散（破裂飛散）した場合にも、外周保護円筒５－９，側壁面保護閉止板５－４ｂ，ハブ５－５による保護部材の効果で図４に示す単重壁フライホイール構造より被害を少なくする効果がある。
【００４７】
図６は、フライホイール周りの流体の流れとフライホイールの軸方向スラストバランス機構を示す断面図である。図７は、図６のVII－VII線矢視図である。フライホイール５は、羽根車３から吐出された高温の液体を利用する静圧軸受４により半径方向変位が抑止されている。静圧軸受４の天側の排出液は、羽根車３のバランスホール３－２を経て吸込み側に戻される。静圧軸受４の地側の排出液は、フライホイール５のバランスホール５－６を経て羽根車３のバランスホール３－２から吸込み側に戻される。この場合、フライホイール５の天側の閉止板５－４ａと羽根車３で囲まれる部分の流体又はフライホイール５の地側の閉止板５－７ａと高温液側サーマルバリヤ７で囲まれる部分の流体は旋回運動しているため、外径側の方が内径側より圧力が高い。フライホイール５に作用する軸スラスト

は天側と地側の両閉止板の圧力差で定まるが、地側の圧力を天側より高くできれば、フライホイール重量に起因するスラスト軸受（低温のモータ室に設置する）の負荷を軽減できる。

【００４８】

ここで、低温のモータ室に設置するスラスト軸受について説明する。図１に示すモータ部分Ｍのモータカバー１６内にスラスト軸受２０が配置されている。スラスト軸受２０は、ティルティングパッド型スラスト軸受から構成されている。本パッド型スラスト軸受２０は、主軸６に固定された軸受ディスク２１と、軸受ディスク２１を挟むように設けられた上部軸受パッド２２と下部軸受パッド２３とを備えている。上部軸受パッド２２および下部軸受パッド２３は、それぞれ複数の軸受パッドからなっている。軸受負荷は、主軸６に固定された軸受ディスク２１の回転により上部軸受パッド２２及び下部軸受パッド２３との間で生じる動圧作用で支持される。なお、軸受ディスク２１に孔を開けて前記モータ室液循環用補助羽根車の機能を付与するようにしてもよい。

【００４９】

上述の軸スラストに関連して非特許文献２には、羽根車を取り囲む静止壁面に設けた複数の半径方向の浅い溝の旋回流抑制効果で、羽根車に作用する軸方向スラストを制御し得ることが記載されている。即ち、半径方向溝が設けられた側壁側は旋回流が抑制され半径方向に均一な圧力分布となるので、溝のない反対側の壁面方向に軸スラストが作用する。

そこで、本発明においては、図７に示すように、フライホイール５に対して地側の高温液側サーマルバリヤ７に、半径方向溝７－２を設ける。半径方向溝は、個数が多いほど、また幅、深さが大きいほど旋回防止効果は大となるが、ある量を超えると効果はそれ以上増えず逆に流体損失が増える傾向があるため、寸法、個数は実験等により最適値を求める必要がある。通常、溝個数は８～３２箇所、溝深さは数ｍｍで十分は旋回防止効果がある。これにより、フライホイール重量に起因するスラスト軸受２０の負荷を軽減できる。

【００５０】

これまで本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術思想の範囲内において、種々の異なる形態で実施されてよいことは勿論である。

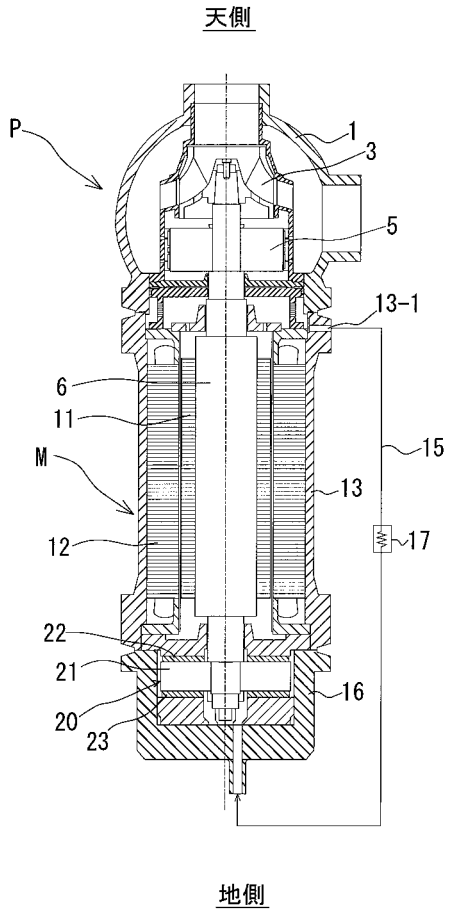
【符号の説明】

【００５１】

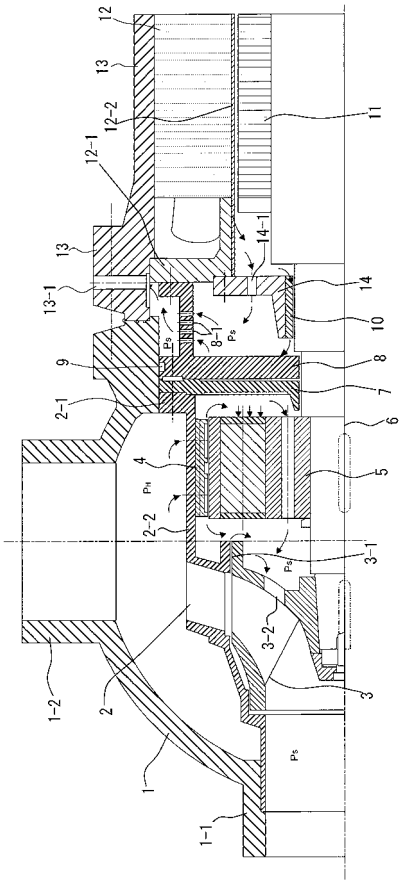
１　ポンプケーシング
１－１　吸込口
１－２　吐出口
２　ディフューザ
２－１　ディフューザ固定フランジ
２－２　ディフューザ胴
３　羽根車
３－１　羽根車ウェアリング
３－２　羽根車バランスホール
４　静圧軸受
４－１　複数のオリフィス穴
４－２　複数のポケット
４－３　排液流路
５　フライホイール
５－１　リム
５－２　扇型セグメント重錘
５－３　楔型重錘
５－４ａ　閉止板
５－４ｂ　側壁面保護閉止板
５－５　ハブ

５－６　バランスホール
５－７ａ　扇状楔型重錘部材
５－７ｂ　皿バネ
５－８　廻り止め部材
５－９　外周保護円筒
５－１０　十文字キー
６　主軸
７　高温液側サーマルバリヤ
７－１　十文字キー
７－２　半径方向溝
８　低温液側サーマルバリヤ
８－１　連通孔
８－１ａ　サーマルバリヤ中間隙間
９　ピストンリング
１０　ジャーナル軸受
１１　モータ回転子
１２　モータ巻線
１２－１　モータ巻線室閉止板
１２－２　モータキャン
１３　モータ胴
１３－１　モータ室冷却用循環水出口
１４　保持部材
１４－１　連通孔
１５　循環水配管
１６　モータカバー
１６－１　モータ室冷却用循環水入口
１７　冷却用熱交換器
２０　スラスト軸受
２１　軸受ディスク
２２　上部軸受パッド
２３　下部軸受パッド
Ｍ　モータ部分

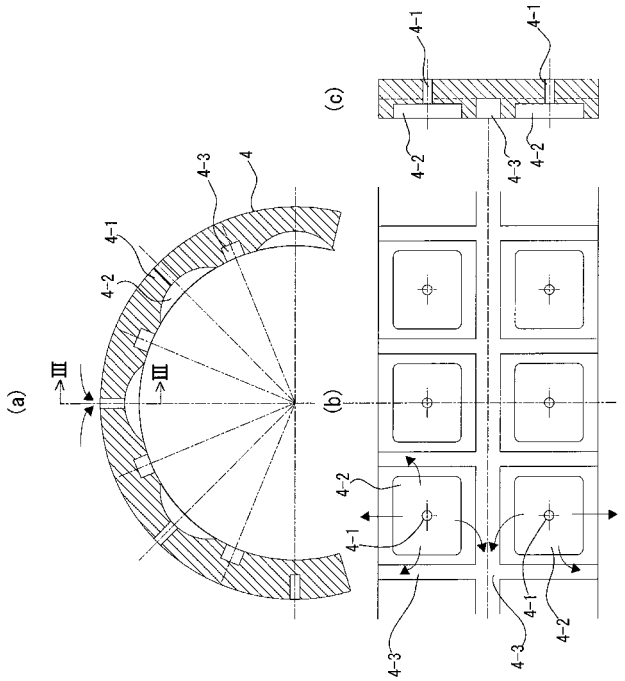
【図１】


天側
P
1
3
5
13-1
6
11
M
15
13
17
12
22
21
16
20
23
地側

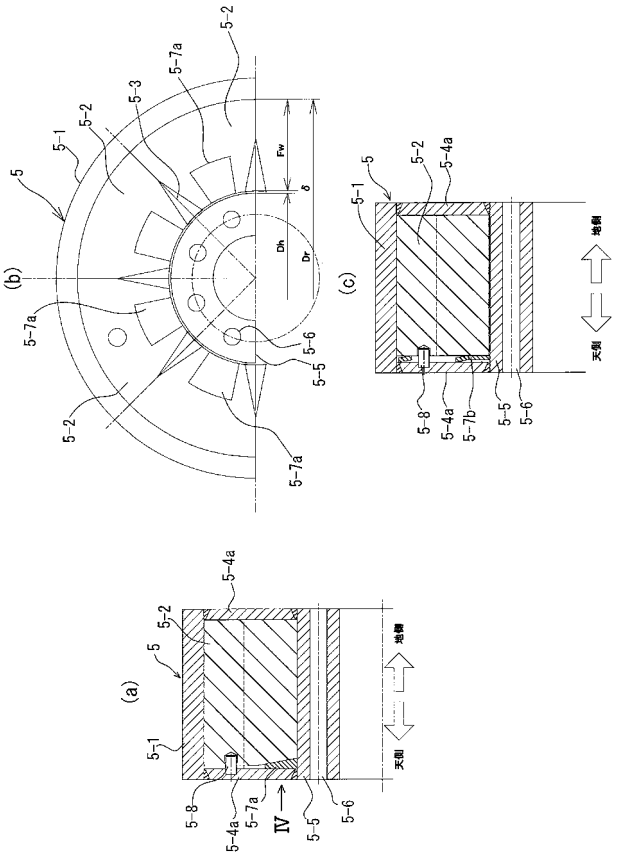
【図２】


12
13
12-2
11
12-1
14-1
13
13-1
14
10
9
8
7
2-1
6
4
5
2-2
3-1
3-2
1-2
2
3
1
1-1

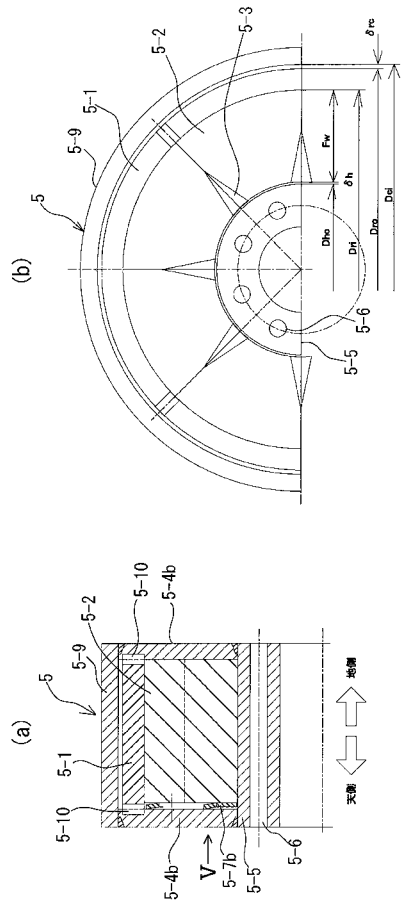
【図３】


(a)
(b)
(c)
Ⅲ
Ⅲ
4-1
4-2
4-3
4

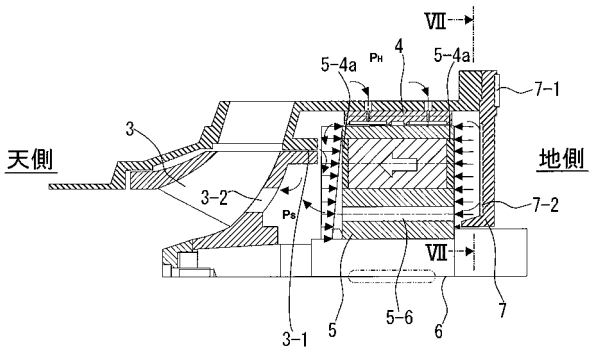
【図４】


(a)
(b)
(c)
5
5-1
5-2
5-3
5-7a
5-4a
5-6
5-5
5-8
5-7b
Fw
δ
Dh
Dr
地側
天側
Ⅳ

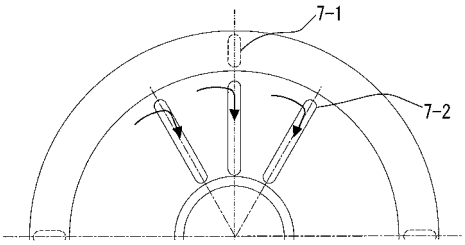
【図５】


(b)
(a)
5
5-1
5-2
5-3
5-4b
5-5
5-6
5-7b
5-9
5-10
V
地側
天側

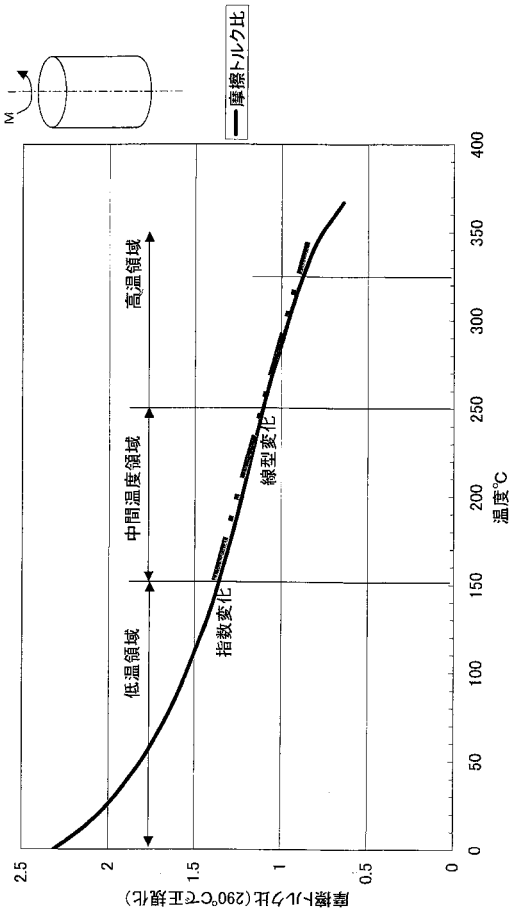
【図６】


天側
地側
3
3-1
3-2
4
5
5-4a
5-6
6
7
7-1
7-2
Ph
Ps
Ⅶ

【図７】


7-1
7-2

【図８】


摩擦トルク比
M
高温領域
中間温度領域
低温領域
線型変化
指数変化
温度℃
摩擦トルク比(290℃で正規化)
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0.5
1
1.5
2
2.5

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
Ｆ０４Ｄ　29/58	*(2006.01)*	Ｆ０４Ｄ　29/58	Ｄ	
		Ｆ０４Ｄ　29/58	Ｃ	

(72)発明者　江口　真人
東京都大田区羽田旭町１１番１号　株式会社荏原製作所内

Ｆターム(参考) 3H130 AA02 AA22 AB13 AB22 AB46 AC05 BA05D BA05E BA13E BA33G
BA66D BA68D CB07 DA02X DB04X DD04Z EB05D EC02D