(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6510983号
(P6510983)
(45)発行日　令和1年5月8日(2019.5.8)　(24)登録日　平成31年4月12日(2019.4.12)

(51)Int.Cl.			F I		
F16J	15/44	(2006.01)	F16J	15/44	B
F04D	1/08	(2006.01)	F04D	1/08	Z
F04D	29/16	(2006.01)	F04D	29/16	

請求項の数 9　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2015-559899(P2015-559899)
(86)(22)出願日　平成27年1月22日(2015.1.22)
(86)国際出願番号　PCT/JP2015/051656
(87)国際公開番号　WO2015/115300
(87)国際公開日　平成27年8月6日(2015.8.6)
審査請求日　平成29年11月17日(2017.11.17)
(31)優先権主張番号　特願2014-17177(P2014-17177)
(32)優先日　平成26年1月31日(2014.1.31)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　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　100140109
弁理士　小野　新次郎
(74)代理人　100106208
弁理士　宮前　徹
(74)代理人　100146710
弁理士　鐘ヶ江　幸男
(74)代理人　100186613
弁理士　渡邊　誠
(72)発明者　渡邊　裕輔
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】非接触環状シール及びこれを備える回転機械

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

回転機械の回転部に設けられる回転体と、

前記回転機械の固定部に設けられる固定体と、を有し、

前記回転体と前記固定体との隙間を満たして流れる液体をシールするように構成された非接触環状シールであって、

前記隙間を形成する前記回転体の表面及び前記固定体の表面の少なくとも一方に設けられるネジ溝を有し、

前記ネジ溝は、高圧側の前記ネジ溝の断面積が低圧側の前記ネジ溝の断面積よりも大きい領域を有する、

非接触環状シール。

【請求項２】

請求項１に記載された非接触環状シールであって、

前記領域は、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の断面積が連続的に小さくなるように形成された縮小領域を有する、

非接触環状シール。

【請求項３】

請求項２に記載された非接触環状シールであって、

前記縮小領域は、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の深さが連続的に小さくなるように形成された領域を有する、

非接触環状シール。
【請求項４】
請求項２又は３に記載された非接触環状シールであって、
前記縮小領域は、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の幅が連続的に小さくなるように形成された領域を有する、
非接触環状シール。
【請求項５】
請求項２ないし４に記載された非接触環状シールであって、
前記縮小領域は、前記ネジ溝の深さと幅の比率が一定となるように形成された領域を有する、
非接触環状シール。
【請求項６】
請求項１に記載された非接触環状シールであって、
前記領域は、高圧側から低圧側に向かって断面積が段階的に小さくなるように形成された縮小領域を有する、
非接触環状シール。
【請求項７】
請求項６に記載された非接触環状シールであって、
前記縮小領域は、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の深さが段階的に小さくなるように形成された領域を有する、
非接触環状シール。
【請求項８】
電動機と、
前記電動機と連結されて回転可能に構成される主軸と、
前記主軸に嵌合され、該主軸とともに回転可能に構成される羽根車と、
前記羽根車を収容するケーシングと、
前記ケーシングに取り付けられ、前記主軸を回転可能に支持する軸受と、
前記主軸の回転部に設けられる回転体と前記ケーシングの固定部に設けられる固定体とを有し、
前記回転体と前記固定体とが互いに隙間を介して相対し、
前記回転体と前記固定体との前記隙間を満たして流れる液体をシールするように構成された非接触環状シールであって、
前記隙間を形成する前記回転体の表面及び前記固定体の表面の少なくとも一方にネジ溝が設けられ、
前記ネジ溝は高圧側の前記ネジ溝の断面積が低圧側の前記ネジ溝の断面積よりも大きい領域を有する、非接触環状シールと、を備えた、
回転機械。
【請求項９】
請求項８に記載された回転機械であって、
前記非接触環状シールは、請求項２ないし請求項７のいずれか一項に記載された非接触環状シールである、
回転機械。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、非接触環状シール及びこれを備える回転機械に係り、特に、水や油などの液体、換言すれば非圧縮性流体を扱う回転機械における、羽根車等とケーシングとの間の流体の漏洩量を低減し且つ振動を少なくし、安定した軸封特性を発揮する非接触環状シール、及びこれを備える回転機械に関する。
【背景技術】

【０００２】
液体を移送する回転機械（例えば、ポンプ等。以下、「ポンプ」という）は、発電、化学プロセス、下水道、上水道等を目的とするプラント又は設備に幅広く使用されている。ポンプは、ケーシングと、羽根車を装着した回転軸とを有する。回転軸は、ケーシング内部に配置され、軸受により回転可能に支持される。ケーシングの吸込口から吸い込まれた液体は、羽根車の回転により昇圧され、ケーシングの吐出口から吐出される。即ち、ポンプ内部の流路においては、高圧の領域と低圧の領域とが形成され、高圧領域から低圧領域へと流体が流れる。ここで、ケーシング（固定部）と回転軸（回転部）との僅かな隙間において、高圧の領域からこの隙間を介して低圧の領域へと流体が移動（漏洩）すると、ポンプ効率が低下する。このため、ケーシングと回転軸との隙間は非接触環状シールによりシールされる。これにより、昇圧された液体が低圧側へ漏洩することが抑制される。
【０００３】
例えば、図１に示す典型的な多段遠心ポンプ（ＪＩＳハンドブック　ポンプ　第１版　第７４頁から引用）では、非接触環状シールは、図中丸で囲まれた部位に用いられる。即ち、羽根車の入口部、前段の羽根車と後段の羽根車との間、最後段の羽根車出口部と低圧側との間等に用いられる。特に、羽根車出口部と低圧側との間は差圧が大きく、流体の漏洩が大きいので、この部分における流体の漏洩はポンプ性能に与える影響が大きい。このため、流体の漏洩量を減らすことができる様々な構造の非接触環状シールが知られている。
【０００４】
最も基本的な非接触環状シールとしては、平滑シールが知られている。平滑シールは、平滑な面を有する円筒を二重に配置して形成されたシールである。平滑シールのような非接触環状シールの漏れ量を低減するためには、非接触環状シールの回転側と静止側の径方向の隙間を小さくすることが効果的である。しかしながら、回転軸の振動やたわみ等の実用上の問題から、径方向の隙間を極端に小さくすることはできない。このため、径方向の隙間を小さくすることなく漏れ量を低減する非接触環状シールが必要とされる。このような非接触環状シールとして、平行溝シール、ダンパーシール、ネジ溝シール等が知られている。以下、従来の非接触環状シールの例を説明する。
【０００５】
図１３は、従来の平行溝シールの部分断面図である。図１３においては、固定体１３１を断面図で示し、回転軸１２１を側面図で示している。平行溝シール１１１は、外周面が平滑な回転体である回転軸１２１と、回転軸１２１と対向する面に同心円状の溝１４１が複数設けられた固定体１３１とを有する。この平行溝シール１１１は、回転軸１２１と固定体１３１との隙間を流れる流体が溝１４１を通過する際に発生する渦によるエネルギー損失や、流路の急拡大及び急縮小により発生する圧力損失等により、流体の漏洩量（移動量）を低減することができる。
【０００６】
図１４及び図１５は、従来のダンパーシールの部分断面図である。図１４はダンパー構造としてハニカムパターンを採用したダンパーシールを示す。図１４においては、固定体１３２を断面図で示し、回転軸１２２を側面図で示している。ダンパーシール１１２は、外周面が平滑な回転体である回転軸１２２と、回転軸１２２と対向する面に複数の凹部１４２が設けられた固定体１３２とを有する。図示の例では、凹部１４２として六角形状のハニカムパターンが用いられている。このダンパーシール１１２は、回転軸１２２と固定体１３２との隙間を流れる流体が凹部１４２を流れる際に発生する流体の圧力損失により、流体の漏洩量を低減することができる。
【０００７】
図１５はダンパー構造としてホールパターンを採用したダンパーシールを示す。図１５においては、固定体１３３を断面図で示し、回転軸１２３を側面図で示している。このダンパーシール１１３は、外周面が平滑な回転体である回転軸１２３と、回転軸１２３と対向する面に複数の凹部１４３が設けられた固定体１３３とを有する。図示の例では、凹部

１４３として円形凹状のホールパターンが用いられている。このダンパーシール１１３は、回転軸１２３と固定体１３３との隙間を流れる流体が凹部１４３を流れる際に発生する流体の圧力損失により、流体の漏洩量を低減することができる。

【０００８】

図１６は、従来のネジ溝シールの部分断面図である。図１６においては、固定体１３４を断面図で示し、回転軸１２４を側面図で示している。ネジ溝シール１１４は、内周面が平滑な円筒状の固定体１３４と、固定体１３４と対向する面にネジ溝１４４が形成された回転軸１２４とを有する。ネジ溝シール１１４は、回転軸１２４が回転すると、回転方向に応じてポンピング効果により流体を高圧側に押し戻し、漏洩量を大きく低減させることができる。このネジ溝シール１１４は、ポンピング効果によって流体を高圧側に押し戻すことができるので、水などの液体である非圧縮性流体をシールする場合に、流体の漏れを特に低減することができる。

【０００９】

ネジ溝シール１１４の上記ポンピング効果は、ネジ溝１４４のリード角θの大きさに影響を受ける。即ち、リード角θが小さければポンピング効果は小さく、リード角θが大きければポンピング効果は大きい。しかしながら、所定の直径の回転軸１２４、所定の内径の固定体１３４、及び所定の溝ピッチを有するネジ溝シール１１４において、リード角θを大きくするためには、ネジ溝の条数を増加させる必要がある。

【００１０】

図１７と図１８はそれぞれ、1条ネジと４条ネジを展開した模式図である。軸方向のネジ溝の数は８本であり、軸方向の溝間隔（ピッチ）はδである。軸径をＤ１とすれば、展開した横方向の長さはＤ１×πであり、縦方向の長さは任意の長さＬである。したがって、展開された部分は略長方形になる。

【００１１】

図１７は１条ネジの模式図である。ネジ溝に沿って左端下から上に進むと、右辺のＡに至るが、ここで軸を１周したことになるので、溝の続きは左辺のＡに移る。左辺のＡから右辺のＢに至ることで、軸をさらに１周したことになる。図１７に示した１条ネジにおいては、軸方向の溝の間隔（ピッチ）はδであり、８周してネジ溝の上端部Ｈに至る。また、リード角はαである。

【００１２】

図１８は４条ネジの模式図である。ネジ溝の始まる箇所は、径方向で９０度毎に４つあるので、１条ネジの溝に比べて流路が４倍である。左端下の０度から始まるネジ溝に沿って上に進むと、右辺のＤに至るが、ここで軸を１周したことになるので、溝の続きは左辺のＤに移る。左辺のＤからさらに進むと右辺のネジ溝の上端部Ｈに到達する。他の角度から始まる３つのネジ溝も同じである。すなわち、ネジ溝が２周して上端部に到達する。また、図１８に示した４条ねじのリード角はβである。

【００１３】

ネジ溝によるポンピング性能は、１回転で、ネジ溝中の媒体を軸方向へどれだけ移動できるかということに依存する。したがって、同一の溝幅、深さ、ピッチの条件であれば、リード角が大きいほうが、１回転あたりの軸方向の移動量が大きくなるので良い。図１７及び図１８に示したように、１条ネジのリード角αは４条ネジのβよりも小さい。そして１条ネジよりも４条ネジの方が１本の溝あたりのポンピング性能は勝っている。

【００１４】

しかしながら、ネジ溝数は４倍になり、この場合、ネジ溝の条数が増加することでネジ溝１４４の断面積も増加する。ネジ溝１４４の断面積が増加すると、高圧側から低圧側へ流れる漏洩量が多くなる。場合によってはポンピング効果により低減される漏洩量より、ネジ溝１４４の断面積の増加により増加する漏洩量が多くなり、結果として全体的な漏洩量が多くなる。

【００１５】

以上のように、ネジ溝シール１４４においてリード角θを大きくすると、ポンピング効

果が向上するが、ネジ溝１４４の断面積が大きくなる。即ち、ネジ溝シール１４４は、ポンピング効果とネジ溝１４４の断面積との間にトレードオフの関係が存在するという問題を有する。

【００１６】

なお、ネジ溝が静止側に形成されたネジ溝シールも同様の問題を有する。図１９は、ネジ溝が静止側に形成された従来のネジ溝シールの概略部分断面図である。図１９においては、固定体１３４を断面図で示し、回転軸１２４を側面図で示している。ネジ溝シール１１５は、外周面が平滑な回転体である回転軸１２４と、回転軸１２４と対向する面にネジ溝１４４が形成された固定体１３４とを有する。回転軸１２４と固定体１３４の隙間を図中矢印Ａの方向に流れる流体は、回転する回転軸１２４の摩擦力により、回転方向の力を受ける。これにより、ネジ溝１４４に沿って低圧側から高圧側に向かう流れ（図中矢印Ａとは逆向きの流れ）が生じ、いわゆるポンピング効果が生じる。

【００１７】

図１９に示したネジ溝シール１１５も、図１６に示したネジ溝シール１１４と同様に、リード角を大きくすると、ポンピング効果が向上するが、ネジ溝１４４の断面積が大きくなる。その結果、全体的な漏洩量が多くなる場合がある。

【００１８】

ところで、実開昭６２－９８７９８号公報（特許文献１）と実開昭６２－１０１０９３号公報（特許文献２）では、ネジ溝シール部において、高圧側から低圧側に向けてネジ深さやネジ深さと幅によるネジ断面積が連続的あるいは段階的に広くなる構成のシール技術が開示されている。このような構成のネジ溝シールは、空気などの大気圧以下の状態の流体にはそれなりのシール効果があったが、水などの非圧縮性流体の場合には、シール流路断面積が下流ほど広くなることでネジ溝シール内の流れが不安定となり、軸の振れまわりに悪影響を及ぼす場合があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００１９】

【特許文献１】実開昭６２－９８７９８号公報

【特許文献２】実開昭６２－１０１０９３号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００２０】

本発明は、上記従来の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的の一つは、ネジ溝シールのポンピング効果による漏洩量低減効果を効果的に利用するためにリード角を大きくした際に伴う漏洩量増大の影響を小さくすることを目的としている。言い換えれば、リード角を大きくしてネジ溝シールのポンピング効果の最大化を図りつつ、それに伴う漏れ量を低減することである。

【００２１】

また、本発明の他の目的の一つは、ネジ溝シール内の流れを安定化し、軸が安定した回転ができるネジ溝シールを提供することである。

【００２２】

また、本発明の他の目的の一つは、羽根車を取付けた回転軸を回転させ、流体を移送する回転機械であって、羽根車によって昇圧された流体が低圧側に漏れることを低減し、ポンプ効率を上げる回転機械を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【００２３】

本発明の第１の形態に係る非接触環状シールは、回転機械の回転部に設けられる回転体と、前記回転機械の固定部に設けられる固定体と、を有し、前記回転体と前記固定体との隙間を流れる流体をシールするように構成された非接触環状シールであって、前記隙間を形成する前記回転体の表面及び前記固定体の表面の少なくとも一方に設けられるネジ溝を

有し、前記ネジ溝は、高圧側の前記ネジ溝の断面積が低圧側の前記ネジ溝の断面積よりも大きい領域を有する。

【００２４】

本発明の第２の形態に係る非接触環状シールは、上記第１の形態の非接触環状シールにであって、前記領域が、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の断面積が連続的に小さくなるように形成された縮小領域を有する。

【００２５】

本発明の第３の形態に係る非接触環状シールは、上記第２の形態の非接触環状シールであって、前記縮小領域が、シール入口側からシール出口側に向かって前記ネジ溝の深さが連続的に小さくなるように形成された領域を有する。

【００２６】

本発明の第４の形態に係る非接触環状シールは、上記第２又は第３の形態の非接触環状シールであって、前記縮小領域が、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の幅が連続的に小さくなるように形成された領域を有する。

【００２７】

本発明の第５形態に係る非接触環状シールは、上記第２ないし第４の形態のいずれかの非接触環状シールであって、前記縮小領域は、前記ネジ溝の深さと幅の比率が一定となるように形成された領域を有する。

【００２８】

本発明の第６の形態に係る非接触環状シールは、上記第１の形態の非接触環状シールであって、前記領域が、高圧側から低圧側に向かって断面積が段階的に小さくなるように形成された縮小領域を有する。

【００２９】

本発明の第７の形態に係る非接触環状シールは、上記第６の形態の非接触環状シールであって、前記縮小領域が、高圧側から低圧側に向かって前記ネジ溝の深さが段階的に小さくなるように形成された領域を有する。

【００３０】

本発明の第８の形態に係る回転機械は、電動機と、前記電動機と連結されて回転可能に構成される主軸と、前記主軸に嵌合され、該主軸とともに回転可能に構成される羽根車と、前記羽根車を収容するケーシングと、前記ケーシングに取り付けられ、前記主軸を回転可能に支持する軸受と、前記主軸の回転部に設けられる回転体と前記ケーシングの固定部に設けられる固定体とを有する非接触環状シールであって、前記回転体と前記固定体とが互いに隙間を介して相対し、前記隙間を形成する前記回転体の表面及び前記固定体の表面の少なくとも一方にネジ溝が設けられ、前記ネジ溝は高圧側の前記ネジ溝の断面積が低圧側の前記ネジ溝の断面積よりも大きい領域を有する、非接触環状シールと、を備える。

【００３１】

本発明の第９の形態に係る回転機械は、第８の形態に係る回転機械であって、前記非接触環状シールが、第２の形態ないし第７の形態のいずれか一つに記載された非接触環状シールである。

【発明の効果】

【００３２】

本発明の一形態によれば、ネジ溝を有する非接触環状シールにおいて、ポンピング効果を大きくするためにネジ溝のリード角を大きくしても、ネジ溝の断面積はシールの軸方向の平均で考えると小さくなり、漏洩量を大きく減少させることができる。このように本発明の一形態によれば、非接触シールの径方向隙間を小さくすることなく、高い軸封性能を有する非接触シールを実現することができる。

【００３３】

更に、高圧側から低圧側に向かうにつれて、ネジ溝断面積が連続的あるいは断続的に小さくなっているという構造なので、ネジ溝シール内の流れが安定的となり、軸が安定して回転できるようになった。

【００３４】
　また、本発明の一形態によれば、羽根車を取付けた回転軸を回転させ、流体を移送する回転機械であって、羽根車によって昇圧された流体が低圧側に漏れることを低減し、ポンプ効率を上げる回転機械を提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【００３５】
【図１】本実施形態に係る非接触環状シールを適用することができる高圧ポンプの断面図である。
【図２】高圧ポンプの１段目羽根車の拡大断面図である。
【図３】本実施形態の非接触環状シールを示す部分断面図である。
【図４】図３の非接触環状シールを回転軸に沿って切断したときの部分断面図である。
【図５】本実施形態の非接触環状シールの高圧側のネジ溝断面と低圧側のネジ溝断面とを示す図である。
【図６】固定体の内面にネジ溝が設けられた非接触環状シールを示す図である。
【図７Ａ】矩形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図７Ｂ】矩形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図８Ａ】三角形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図８Ｂ】三角形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図８Ｃ】三角形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図９Ａ】Ｕ字形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図９Ｂ】Ｕ字形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図９Ｃ】Ｕ字形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図１０Ａ】半円形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図１０Ｂ】半円形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。
【図１１】他の実施形態の非接触環状シールを示す部分断面図である。
【図１２】実験例及び比較例のシミュレーション結果を示すグラフである。
【図１３】従来の平行溝シールの部分断面図である。
【図１４】ハニカムパターンを採用した従来のダンパーシールを示す部分断面図である。
【図１５】ホールパターンを採用した従来のダンパーシールを示す部分断面図である。
【図１６】従来のネジ溝シールの部分断面図である。
【図１７】１条ネジを展開した模式図である。
【図１８】４条ネジを展開した模式図である。
【図１９】ネジ溝が静止側に形成された従来のネジ溝シールの部分断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００３６】
　次に、図面を参照しながら、本願発明の一実施形態について説明する。なお、以下の説明はあくまでも実施形態を例示するものであり、本願発明の技術的範囲が以下の実施形態に限定されるものではない。また、以下に説明する各構成要素は、単独又は任意の組み合わせで、発明を構成することができる。
【００３７】

図１は、本実施形態に係る非接触環状シールを適用することができる、回転機械である高圧ポンプ（多段遠心ポンプ）の断面図を示す。この高圧ポンプ１は、図示しない電動機に連結されて回転する主軸１１と、主軸１１に嵌合された羽根車２１ａ，２１ｂ，２１ｃと、羽根車２１ａ，２１ｂ，２１ｃを収容するケーシング３１と、ケーシング３１に取り付けられた軸受４５ａ，４５ｂとを備える。軸受４５ａ，４５ｂは、主軸１１を回転可能に支持する。高圧ポンプ１を回転駆動するための図示しない電動機は、主軸１１の左端に嵌合されたカップリング１３を介して主軸１１に連結される。

【００３８】

ケーシング３１は流体、即ち水などの液体を外部から吸い込むための吸込口３３と、吸い込んだ流体を吐出するための吐出口３７を有する。主軸１１に嵌合された１段目羽根車２１ａは、主軸１１の回転に伴って回転し、吸込口３３から流体をケーシング３１内に吸い込む。１段目羽根車２１ａにより吸い込まれ、昇圧された流体は、第１流路３５ａを通過し、２段目羽根車２１ｂへ到達する。２段目羽根車２１ｂによって昇圧された流体は、第２流路３５ｂを通過し、３段目羽根車２１ｃへ到達する。流体は、３段目羽根車２１ｃでさらに昇圧され、吐出口３７より吐出され、図示しない配管を通じて移送される。即ち、流体は、１段目羽根車２１ａ、２段目羽根車２１ｂ及び３段目羽根車２１ｃによって昇圧される。

【００３９】

流体には、各羽根車２１ａ，２１ｂ，２１ｃの吸込側と吐出側との間に圧力差が生じる。即ち、吸込側が低圧側になり、吐出側が高圧側になる。この圧力差が生じると、僅かな隙間を通じて、高圧側の流体の一部は低圧側へ漏洩する。本実施形態の非接触環状シールは、その漏洩を低減する。図１に示した高圧ポンプ１では、円で囲んだ部位に本実施形態の非接触環状シールが設けられる。図１に示した高圧ポンプ１は多段遠心ポンプであるので、流体の圧力が単段遠心ポンプに比べて高くなり、流体の漏洩量は必然的に多くなる。漏洩量が多ければ、ポンプ効率は低下する。

【００４０】

図２は、図１に示した高圧ポンプ１の１段目羽根車２１ａの拡大断面図である。図示のように、１段目羽根車２１ａは流体を吸い込む吸込口２３と、流体を吐出する吐出口２５とを有する。ここで、流体の圧力は、吸込口２３側が低圧になり、吐出口２５側が高圧となる。即ち、吸込口２３は低圧部３６であり、吐出口２５は高圧部３８である。ここで、高圧ポンプ１における流体の漏洩箇所は主に、吸込口２３の外周面とケーシング３１ａとの対向部位Ｘと、羽根車２１ａの背面の外周面とケーシング３１ｂとの対向部位Ｙである。これら各対向部位Ｘ，Ｙに形成される隙間に、本実施形態に係る非接触環状シール４１，４３が設けられる。

【００４１】

流体の漏洩に起因する高圧ポンプ１のポンプ効率低下を低減するために、図２に示すように、回転部としての羽根車２１ａと固定部としてのケーシング３１ａ，３１ｂの隙間に、それぞれ非接触環状シール４１，４３を設け、その隙間を狭くしている。

【００４２】

しかし、高圧ポンプ１のように流体を高圧にするポンプの場合、羽根車２１ａの背面の高圧側の圧力と低圧側の圧力の差が大きく、平滑な面同士が対向する非接触環状シールが作り出すような隙間程度（数百μｍ）では、流体の漏洩量は大きい。このため、漏洩量を低減するためには、更にその隙間を狭くして、軸封特性を向上させなくてはならない。しかし、漏洩防止のために隙間を狭くすると、回転部と固定部の接触などの問題が生じるため、隙間を狭くするにはおのずと限界がある。

【００４３】

この漏洩を防ぐためのシール構造に関し、過去様々な工夫がされてきた。具体的には、上述した平行溝シール、ダンバーシール、ネジ溝シールなどがそれである。これらのシール構造は、シールの対向部位の表面に、溝や凹凸を設けて圧力損失を増やし、流体の圧力を低下させて漏洩流量を減少させるものである。

【００４４】
上記非接触シールの中でも、ネジ溝シールはネジ溝のポンピング効果によって、漏洩量を小さくすることができる、優れたシール構造であり、回転側にネジ溝を設ける場合や、静止側にネジ溝を設ける場合、両側にネジ溝を設ける場合など様々な形態が存在する。
【００４５】
ネジ溝シールの利点であるポンピング効果を大きくするためにはネジのリード角を大きくすることが有効であるが、そうするとおのずとネジの条数が増える。そのためシールの回転軸に直交する断面でのシール隙間断面積が大きくなり、その分シール漏洩量が増えることになり、ポンピング効果による漏洩量低減効果を打ち消してしまう。
【００４６】
上記のようなネジ溝シールの軸封特性に鑑み、ネジ溝シールのポンピング効果を最大限利用するためのネジ溝の形状を考案した。
【００４７】
非接触環状シール４１，４３は、高圧ポンプ１の回転部である羽根車２１ａに設けられる回転体４１ａ，４３ａと、固定部であるケーシング３１ａ，３１ｂに設けられる固定体４１ｂ，４３ｂと、を有する。なお、図示の例では回転体４１ａ，４３ａが羽根車２１ａとは別の部材として設けられているが、回転体４１ａ，４３ａは羽根車２１ａと一体に形成されていてもよい。同様に、図示の例では固定体４１ｂ，４３ｂがケーシング３１ａ，３１ｂとは別の部材として設けられているが、固定体４１ｂ，４３ｂはケーシング３１ａ，３１ｂと一体に形成されていてもよい。
【００４８】
図３は、図２に示した非接触環状シール４１，４３に適用可能な本実施形態の非接触環状シールを示す部分断面図である。図３においては、固定体１３６を断面図で示し、回転体１２６を側面図で示している。
【００４９】
図示のように、本実施形態の非接触環状シール１１６は、図２に示した回転部である羽根車２１ａに設けられる回転体１２６と、図２に示した固定部であるケーシング３１ａ，３１ｂに設けられる固定体１３６とを備える。回転体１２６は、羽根車２１ａとともに回転可能に構成され、その表面にらせん状に形成されたネジ溝１４６を備える。即ち、本実施形態の非接触環状シール１１６はネジ溝シールである。固定体１３６は略円筒状に形成される。回転体１２６は、固定体１３６の内径よりも小さい外径を有する略円筒状の部材である。回転体１２６は、固定体１３６の内面に対して所定の隙間を有するように、固定体１３６の内部に配置される。
【００５０】
非接触環状シール１１６が図１に示した高圧ポンプ１に適用されるとき、流体は、固定体１３６と回転体１２６との隙間を、高圧側１５５（シール入口側）から低圧側１５６（シール出口側）に向かって、即ち図中矢印Ａの方向に向かって漏洩する。回転体１２６は、回転軸１５１を中心として所定の方向に回転することで、ポンピング効果により、漏洩する流体を高圧側に押し戻すことができる。
【００５１】
図４は、図３の非接触環状シール１１６を回転軸１５１に沿って切断したときの部分断面図である。以下、図４を用いて図３に示したネジ溝１４６について詳細に説明する。図示のように、回転体１２６は、その表面に所定のリード角θでらせん状に形成されたネジ溝１４６とネジ山１５７とを有する。固定体１３６と回転体１２６は、所定の隙間Ｇを有するように離間して配置されている。ここで隙間Ｇとは、固定体１３６の内面とネジ山１５７の頂部（ランド部１５７ａ）との最短距離をいう。ネジ溝１４６は所定のネジ溝幅Ｗ及びネジ溝深さＤを有する。ここで、ネジ溝幅Ｗは、隣り合うランド部１５７ａを最短で結ぶ直線の長さをいい、ネジ溝深さＤは、隣り合うランド部１５７ａを最短で結ぶ直線からネジ溝１４６の底部に引いた垂線の距離のうち最も長い距離をいう。また、ネジ溝１４６の断面積１５８（シール隙間断面積）とは、隣り合うランド部１５７ａの最短直線と、

ネジ溝１４６を形成する外郭部とに囲まれた面積（図中斜線部で示す領域）をいう。即ち、本実施形態のネジ溝１４６の断面形状は矩形状である。

【００５２】

図３及び図４に示した本実施形態の非接触環状シール１１６では、ネジ溝１４６の全長に亘って、ネジ溝幅Ｗが一定であり、且つネジ溝深さＤが高圧側１５５（シール入口側）から低圧側１５６（シール出口側）に向かって連続的に小さくなるように形成されている。したがって、高圧側１５５におけるネジ溝１４６のネジ溝深さＤが最も大きく、低圧側１５６のネジ溝深さＤが最も小さくなるように形成されている。即ち、非接触環状シール１１６は、ネジ溝１４６の断面積１５８が高圧側１５５から低圧側１５６に向かって連続的に小さくなるように形成されている。

【００５３】

図５は、本実施形態の非接触環状シール１１６の高圧側のネジ溝断面と、低圧側のネジ溝断面とを示す図である。図示のように、ネジ溝１４６の高圧側のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する矩形状の断面である。また、低圧側のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する矩形状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１と等しく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きい。即ち、ネジ溝１４６は、ネジ溝幅を一定としたまま、ネジ溝深さが高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、非接触環状シール１１６は、ネジ溝１４６の断面積１５８が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。

【００５４】

図３ないし図５に示したように、ネジ溝深さＤを変化させてネジ溝１４６の断面積１５８を高圧側１５５から低圧側１５６に向かって連続的に小さくすることで、ポンピング効果を向上させるためにリード角θを大きくしても、ネジ溝の断面積が一様に大きい場合に比べて、ネジ溝１４６全長における断面積１５８の平均値を小さくすることができる。高圧側のネジ溝始まりの断面積をＡに対し、低圧側の終わりの断面積Ｂとしたとき、面積比Ｂ／Ａを、０≦Ｂ／Ａ＜１とすると、その結果、非接触環状シール１１６から漏洩する流体の流量を低減することができる。したがって、本発明の一形態によれば、非接触環状シール１１６の径方向隙間を小さくすることなく、高い軸封性能を有する非接触環状シールを実現することができる。また、高圧側１５５の断面積が大きく且つ低圧側１５６の断面積が小さく形成されることで、ネジ溝シール内の流れが安定化し、軸が安定して回転できるという効果を有する。

【００５５】

なお、上記の実施形態では、ネジ溝１４６の断面積１５８が、ネジ溝１４６の全長に亘って高圧側１５５から低圧側１５６に向かって小さくなるように形成されている。しかしながら、ネジ溝１４６の全長のうち少なくとも一部分において、断面積１５８が高圧側１５５から低圧側１５６に向かって小さくなる領域を有するようにネジ溝１４６が形成されていれば、同様の効果を奏することができる。

【００５６】

上記の実施形態では、ネジ溝１４６は回転体１２６に形成されているが、これに代えて、図６に示すようにネジ溝１４６は固定体１３６の内面に設けられてもよい。

【００５７】

図６は、固定体１３６の内面にネジ溝１４６が設けられた非接触環状シール１１７を示す図である。図示のように、固定体１３６は、その内面にネジ溝１４６を備えている。このネジ溝１４６の深さは、高圧側１５５から低圧側１５６に向かって小さくなるように形成されている。即ち、ネジ溝１４６の断面積は高圧側１５５から低圧側１５６に向かって小さくなるように形成されている。このように、ネジ溝１４６の断面積が高圧側１５５から低圧側１５６に向かって小さくなるように形成されているので、ネジ溝１４６全長における断面積の平均値を小さくすることができる。その結果、非接触環状シール１１７から漏洩する流体の流量を低減することができる。なお、回転体１２６及び固定体１３６の両方にネジ溝１４６が設けられていてもよい。

【００５８】
以上で説明した非接触環状シールのネジ溝１４６は、その断面が矩形状であり、ネジ溝深さが高圧側１５５から低圧側１５６に向かって小さくなるように形成されている。しかし、ネジ溝１４６の断面形状はこれに限定されない。たとえば、以下で説明する図７ないし図１０に示す断面形状であってもよい。
【００５９】
図７Ａ及び図７Ｂは、矩形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。図７Ａに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する矩形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する矩形状の断面である。ここで、高圧側のネジ溝断面の縦横比（ａ０：ｂ０）は、低圧側のネジ溝断面の縦横比（ａ１：ｂ１）と同一である。また、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きい。即ち、ネジ溝の断面は、その縦横比を一定としたまま、ネジ溝幅及びネジ溝深さが、高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。
【００６０】
図７Ｂに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する矩形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する矩形状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１と等しい。即ち、ネジ溝の断面は、ネジ溝深さを一定としたまま、ネジ溝幅が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。
【００６１】
図８Ａないし図８Ｃは、三角形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。図８Ａに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する三角形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する三角形状の断面である。ここで、高圧側のネジ溝断面の縦横比（ａ０：ｂ０）は、低圧側のネジ溝断面の縦横比（ａ１：ｂ１）と同一である。また、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きい。即ち、ネジ溝の断面は、その縦横比を一定としたまま、ネジ溝幅及びネジ溝深さが、高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。
【００６２】
図８Ｂに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する三角形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する三角形状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１と等しく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きい。即ち、ネジ溝の断面は、ネジ溝幅を一定としたまま、ネジ溝深さが高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、非接触環状シールは、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。
【００６３】
図８Ｃに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する三角形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する三角形状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１と等しい。即ち、ネジ溝の断面は、ネジ溝深さを一定としたまま、ネジ溝幅が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。
【００６４】

図９Ａないし図９Ｃは、Ｕ字形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。図９Ａに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する矩形状断面と、半径Ｒ０を有する半円形状断面とを組み合わせたＵ字形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する矩形状断面と、半径Ｒ１を有する半円形状断面とを組み合わせたＵ字形状の断面である。ここで、高圧側のネジ溝断面の比（ａ０：ｂ０：Ｒ０）は、低圧側のネジ溝断面の比（ａ１：ｂ１：Ｒ１）と同一である。また、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きく、半径Ｒ０は半径Ｒ１より大きい。即ち、ネジ溝の断面は、その比を一定としたまま、ネジ溝幅、ネジ溝深さ及びネジ溝半径が、高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。

【００６５】

図９Ｂに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する矩形状断面と、半径Ｒ０を有する半円形状断面とを組み合わせたＵ字形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する矩形状断面と、半径Ｒ１を有する半円形状断面とを組み合わせたＵ字形状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１と等しく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きく、半径Ｒ０は半径Ｒ１と等しい。即ち、ネジ溝の断面は、ネジ溝幅及びネジ溝半径を一定としたまま、ネジ溝深さが高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、非接触環状シールは、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。

【００６６】

図９Ｃに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０及び深さｂ０を有する矩形状断面と、半径Ｒ０を有する半円形状断面とを組み合わせたＵ字形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１及び深さｂ１を有する矩形状断面と、半径Ｒ１を有する半円形状断面とを組み合わせたＵ字形状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１と等しく、半径Ｒ０は半径Ｒ１より大きい。即ち、ネジ溝の断面は、ネジ溝深さを一定としたまま、ネジ溝幅及びネジ溝半径が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。

【００６７】

図１０Ａ及び図１０Ｂは、半円形状の断面を有するネジ溝の高圧側の断面と低圧側の断面とを示す図である。図１０Ａに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０、深さｂ０及び半径Ｒ０を有する半円形状の断面である。ここで、幅ａ０は半径Ｒ０の二倍に等しく、深さｂ０は半径Ｒ０と等しい。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅ａ１、深さｂ１及び半径Ｒ１を有する半円形状断面の断面である。ここで、幅ａ１は半径Ｒ１の二倍に等しく、深さｂ１は半径Ｒ１と等しい。ここで、高圧側のネジ溝断面の比（ａ０：ｂ０）は、低圧側のネジ溝断面の比（ａ１：ｂ１）と同一である。また、幅ａ０は幅ａ１よりも大きく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きく、半径Ｒ０は半径Ｒ１より大きい。即ち、ネジ溝の断面は、その比を一定としたまま、ネジ溝幅、ネジ溝深さ及びネジ溝半径が、高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。これにより、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝を形成することができる。

【００６８】

図１０Ｂに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅ａ０、深さｂ０及び半径Ｒ０を有する半円形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、曲率半径がＲ１であり、幅ａ１及び深さｂ１を有する円弧状の断面である。ここで、幅ａ０は幅ａ１より大きく、深さｂ０は深さｂ１よりも大きい。即ち、ネジ溝の断面は、ネジ溝幅及びネジ溝深さが高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成さ

れている。これにより、非接触環状シールは、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に小さくなるように形成されている。

【００６９】

なお、図７ないし図１０に示した断面形状以外の形状でも、高圧側（シール入口側）のネジ溝の断面積が広く、低圧側（シール出口側）のネジ溝の断面積が狭く、且つ断面積が高圧側から低圧側に向かって連続的に変化する形状であれば、本実施形態の非接触環状シールに採用することができる。

【００７０】

また、図７ないし図１０に示した断面形状を有するネジ溝は、ネジ溝の全長のうち少なくとも一部分において、断面積が高圧側から低圧側に向かって小さくなる領域を有するように形成されていれば、上述した本実施形態の効果を奏することができる。

【００７１】

次に、ネジ溝の断面積が高圧側から低圧側に向かって段階的に小さくなる、本発明の他の実施形態に係る非接触環状シールについて説明する。図１１は、図２に示した非接触環状シール４１，４３に適用可能な他の実施形態の非接触環状シールを示す部分断面図である。図１１においては、固定体１３７を断面図で示し、回転体１２７を側面図で示している。非接触環状シール１１８は、図２に示した回転部である羽根車２１ａに設けられる回転体１２７と、図２に示した固定部であるケーシング３１ａ，３１ｂに設けられる固定体１３７とを備える。回転体１２７は、羽根車２１ａとともに回転可能に構成され、その表面にらせん状に形成されたネジ溝１４７を備える。即ち、本実施形態の非接触環状シール１１８はネジ溝シールである。固定体１３７は略円筒状に形成される。回転体１２７は、固定体１３７の内径よりも小さい外径を有する略円筒状の部材である。回転体１２７は、固定体１３７の内面に対して所定の隙間を有するように、固定体１３７の内部に配置される。

【００７２】

らせん状に形成されたネジ溝１４７は、溝の進行方向に沿って所定の長さ毎にネジ溝１４７の深さが段階的に小さくなるように形成されている。ネジ溝１４７の幅は入口側から出口側まで一定である。ネジ溝１４７の深さは、高圧側１５５（シール入口側）が最も深い、即ちネジ溝１４７の底部径が最も小さい。また、ネジ溝１４７の深さは、低圧側１５６（シール出口側）を最も浅く（ネジ溝１４７の底部径が最も大きく）形成されている。

【００７３】

また、ネジ溝１４７の底部径は、高圧側１５５から数段（ネジの溝の数）ずつｄ１＜ｄ２＜ｄ３となるように形成されている。シール入口側（高圧側１５５）から３段は、ねじ溝の底部径がｄ１であり、もっとも溝底部径が小さい（溝深さが最も深い）。次の４段はｄ２とｄ１とｄ３との中間の径である。シール出口側（低圧側１５６）の４段の溝底部径は最も大きい。即ち、一つのネジ溝シール１１８に階段状の段差をつけ、高圧側１５５のシール入口の溝断面積がもっとも広く、低圧側のシール出口の断面積がもっとも狭くなるように、ネジ溝断面積を三段階に変化させている。

【００７４】

言い換えれば、ネジ溝１４７は、高圧側１５５のネジ溝１４７の深さが最も大きく、低圧側１５６に向かって数ピッチ毎にネジ溝１４７の深さが段階的に小さくなるように形成されている。具体的には、高圧側１５５からネジ溝１４７は略３周の長さに亘って、第１の深さに形成されている（図中第１段目の範囲）。第１の深さに形成されたネジ溝１４７に連続して、ネジ溝１４７は、略４周の長さに亘って第１の深さよりも小さい第２の深さに形成されている（図中第２段目の範囲）。続いて、第２の深さに形成されたネジ溝１４７に連続して、ネジ溝１４７は、略４周の長さに亘って第２の深さよりも小さい第３の深さに形成されている（図中第３段目の範囲）。

【００７５】

したがって、ネジ溝１４７は、高圧側１５５から３ピッチ分に亘り、ネジ溝１４７の底部径の大きさがｄ１となるように形成される（図中第１段目の範囲）。続いて、ネジ溝１

４７は次の４ピッチ分に亘り、ネジ溝１４７の底部径の大きさがｄ１より大きいｄ２となるように形成される（図中第２段目の範囲）。最後に、低圧側１５６のネジ溝１４７は４ピッチ分に亘り、ネジ溝１４７の底部径の大きさがｄ２よりも大きいｄ３となるように形成される（図中第３段目の範囲）。

【００７６】

以上で説明したようにネジ溝１４７が形成されているので、この非接触環状シール１１８は、高圧側１５５から低圧側１５６に向かって、ネジ溝１４７の断面積が段階的に小さくなるように形成されている。このようにネジ溝１４７の断面積を段階的に小さくすることにより、ポンピング効果を向上させるためにリード角θを大きくしても、ネジ溝１４７全長における断面積の平均値を小さくすることができる。その結果、非接触環状シール１１８から漏洩する流体の流量を低減することができる。したがって、本実施形態によれば、非接触環状シール１１６の径方向隙間を小さくすることなく、高い軸封性能を有する非接触環状シールを実現することができる。また、高圧側１５５の断面積が大きく且つ低圧側１５６の断面積が小さく形成されることで、ネジ溝シール内の流れが安定化し、軸が安定して回転できるという効果を有する。

【００７７】

なお、図１１に示した非接触環状シール１１８では、ネジ溝１４７の断面積が、ネジ溝１４７の全長に亘って高圧側１５５から低圧側１５６に向かって段階的に小さくなるように形成されている。しかしながら、ネジ溝１４７の全長のうち少なくとも一部分において、断面積が高圧側１５５から低圧側１５６に向かって段階的に小さくなる領域を有するようにネジ溝１４６が形成されていれば、同様の効果を奏することができる。

【００７８】

また、図１１に示した非接触環状シール１１８では、ネジ溝１４７の断面積が、図中第１段目から第３段目までの３段階に分けて小さくなるように形成されている。しかしながら、これに限らず、回転機械の仕様に応じて、２段階、又は４段階以上に分けて断面積が小さくなるように形成されていてもよい。

【００７９】

また、図１１に示した非接触環状シール１１８では、ネジ溝１４７の深さが３ピッチ又は４ピッチ毎に段階的に小さくなるように形成されている。しかしながら、これに限らず、回転機械の仕様に応じて、２ピッチ毎又は５ピッチ以上毎にネジ溝１４７の深さが段階的に小さくなるように形成されてもよい。

【００８０】

また、ネジ溝１４７の深さは、ピッチ毎ではなく、ネジ溝１４７の所定の周方向長さ毎に段階的に小さくなるように形成してもよい。即ち、ネジ溝１４７の周方向長さで半周の長さ毎に断面積を段階的に小さくしてもよいし、１周以上の所定の長さ毎又は２周以上の所定の長さ毎に断面積を段階的に小さくしてもよい。

【００８１】

図１１に示した非接触環状シール１１８では、ネジ溝１４７は回転体１２７に形成されているが、これに代えて、ネジ溝１４７は固定体１３７の内面に設けられてもよい。また、回転体１２７及び固定体１３７の両方にネジ溝１４７が設けられていてもよい。

【００８２】

図１１に示した非接触環状シール１１８では、ネジ溝１４７の進行方向に沿って所定の長さ毎にネジ溝１４７の深さが段階的に小さくなるように形成されている。しかし、これに限らず、ネジ溝１４７の進行方向に沿ってネジ溝１４７の幅を変化させて、高圧側１５５から低圧側１５６に向かって、ネジ溝１４７の断面積が段階的に小さくなるように形成されてもよい。

【００８３】

図３及び図１１に示した非接触環状シールの回転体及び固定体は、例えば、ＳＵＳ（ステンレス鋼）材、ＳＳ（一般構造圧延鋼）材、ＮＩ系合金、及び黄銅等の金属系材料で形成される。要求される仕様に応じて、複合材料、セラミックス材料、樹脂材料等が用いら

れてもよい。また、ネジ溝の最適なネジ溝形状（ピッチ、幅、溝深さ等）は、非接触環状シールに求められる条件によるが、流体の漏洩を低減できる形状であればよく、特定の形状に限定されるものではない。

【００８４】

また、図３及び図１１に示した本実施形態の非接触環状シールにおいて、ネジ溝が形成されていない低圧側または高圧側の固定体は平滑面であり、図６に示した本実施形態の非接触環状シールにおいて、ネジ溝が形成されていない低圧側または高圧側の回転体は平滑面であるが、これに限らず、ネジ溝が形成されていない面は、図１３に示した平行溝や、図１４及び図１５に示したダンパー構造を有するように形成されてもよい。

【００８５】

図３及び図１０に示した非接触環状シールを、図２に示す非接触環状シール４１，４３に適用し、図１に示す高圧ポンプ１を運転したところ、軸封特性が良くなり揚水性能が数％向上した。

【００８６】

［実験例］

図３に示した回転体１２６にネジ溝１４６を形成した非接触環状シール１１６、及び図６に示した固定体１３６にネジ溝１４６を形成した非接触環状シール１１７を用いた場合の、液体の漏れ流量シミュレーションを行った。シミュレーションの条件として採用した作動流体は水である。また、高圧側１５５と低圧側１５６との圧力差は０．６ＭＰａとし、回転体１２６の回転数は３０００ｒｐｍとした。なお、このときのネジ溝１４６の条数は１２条である。また、高圧側のネジ溝始まりのネジ溝１４６の断面積はＡとし、低圧側に向けて連続的に断面積を小さくし、低圧側の最終のネジ溝１４６の断面積Ｂを０としたものである。

【００８７】

［比較例］

比較例として、図１６に示した回転体１２４に一様な断面積Ａのネジ溝１４４を形成した非接触環状シール１１４、及び図１９に示した固定体１３４に一様な断面積Ａのネジ溝１４４を形成した非接触環状シール１１５を用いた場合の、液体の漏れ流量シミュレーションを行った。シミュレーションの条件として採用した作動流体は水である。また、高圧側と低圧側との圧力差は０．６ＭＰａとし、それぞれの回転体の回転数は３０００ｒｐｍとした。なお、このときのそれぞれのネジ溝１４４の条数は１２条である。

【００８８】

図１２は、実験例及び比較例のシミュレーション結果を示すグラフである。縦軸は漏れ流量（×１０$^{-4}$ｍ^{3}／ｓ）を示す。図６に示した非接触環状シール１１７（本実施例静止側ネジ溝シール）の漏れ量は、約４．７×１０$^{-4}$ｍ^{3}／ｓとなり、図１９に示した非接触環状シール１１５（従来技術静止側ネジ溝シール）の漏れ量は、約６．７×１０$^{-4}$ｍ^{3}／ｓとなった。従って、本実施例静止側ネジ溝シールの漏れ量は、従来技術静止側ネジ溝シールの漏れ量の７０％程度となった。

【００８９】

また、図３に示した非接触環状シール１１６（本実施例回転側ネジ溝シール）の漏れ量は、約４．５×１０$^{-4}$ｍ^{3}／ｓとなり、図１６に示した非接触環状シール１１４（従来技術回転側ネジ溝シール）の漏れ量は、約６．２×１０$^{-4}$ｍ^{3}／ｓとなった。したがって、本実施例回転側ネジ溝シールの漏れ量は、従来技術回転側ネジ溝シールの漏れ量の７２％程度となった。

【００９０】

なお、図１２に示したシミュレーション結果に基づくと、回転体１２６及び固定体１３６の両方にネジ溝１４５を有する本実施例の非接触環状シールの漏れ量は、回転体１２４及び固定体１３４の両方にネジ溝１４４を有する従来の非接触環状シールの漏れ量に対して、７０％程度になることが推測される。

【００９１】

以上のシミュレーション結果より、本実施例による非接触環状シールの軸封特性は、従来の非接触環状シールの軸封特性に比べて良好であることが分かった。

【産業上の利用可能性】

【００９２】

本発明は、ポンプ等の回転機械の非接触環状シールに利用することができる。

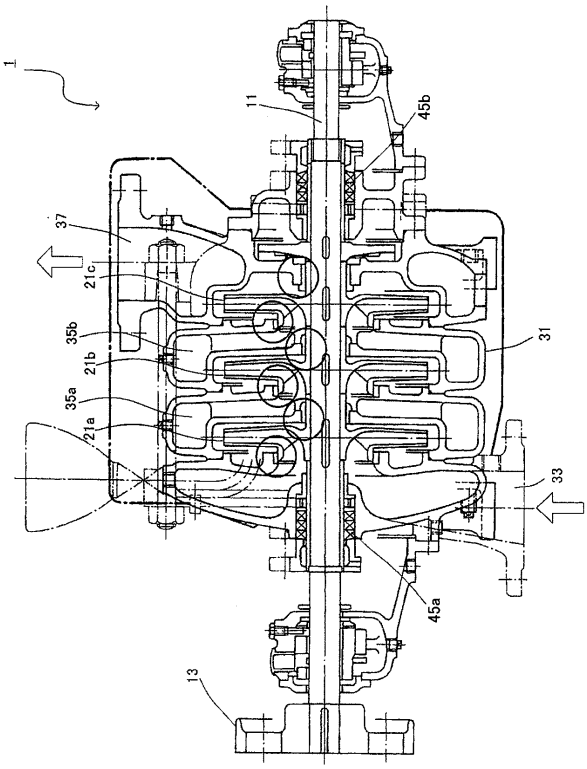
【符号の説明】

【００９３】

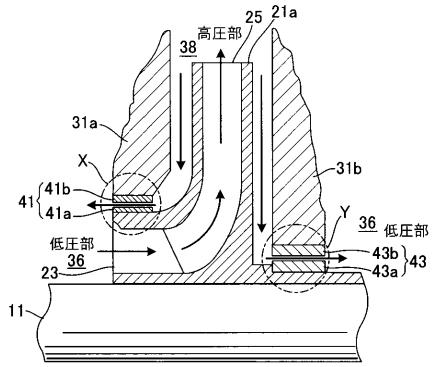
１…高圧ポンプ
１１…主軸
１３…カップリング
２１ａ…羽根車
２３…吸込口
２５…吐出口
３１…ケーシング
３１ａ…ケーシング
３１ｂ…ケーシング
３３…吸込口
３５ａ…第１流路
３５ｂ…第２流路
３６…低圧側
３７…吐出口
３８…高圧側
４１…非接触環状シール
４１ａ…回転体
４１ｂ…固定体
４５ａ…軸受
４５ｂ…軸受
１１４…非接触環状シール
１１５…非接触環状シール
１１６…非接触環状シール
１１７…非接触環状シール
１１８…非接触環状シール
１２４…回転体
１２６…回転体
１２７…回転体
１３４…固定体
１３６…固定体
１３７…固定体
１４４…溝
１４５…溝
１４６…溝
１４７…溝
１５１…回転軸
１５５…高圧側
１５６…低圧側
１５７…山
１５７ａ…ランド部
１５８…断面積
Ｘ…対向部位
Ｙ…対向部位

Ａ…矢印
Ｇ…隙間
Ｗ…溝幅
ａ０…幅
ａ１…幅
Ｒ０…半径
Ｒ１…半径

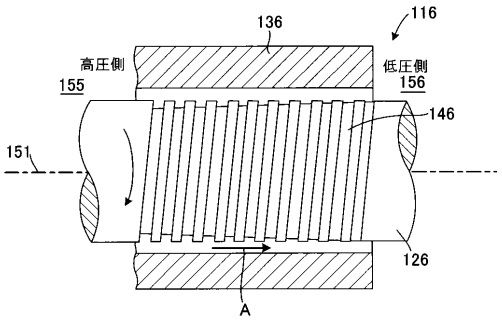
【図１】



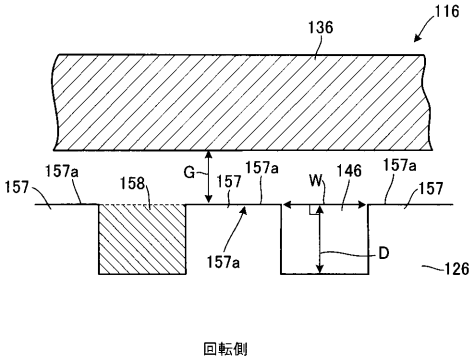
【図２】



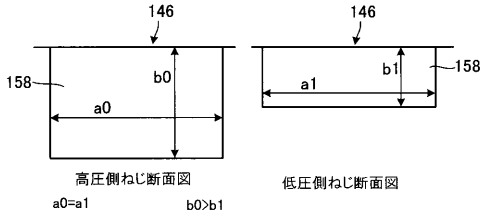
【図３】



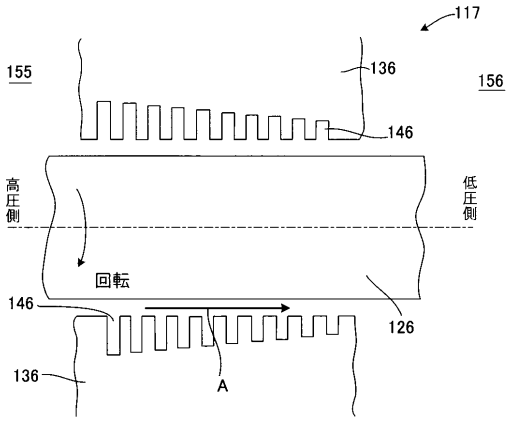
【図４】



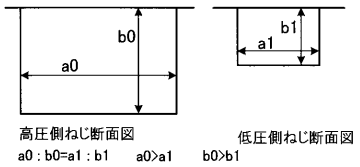
【図５】



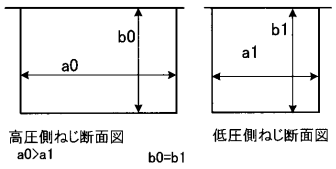
【図６】



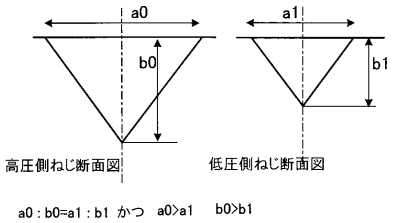
【図７Ａ】



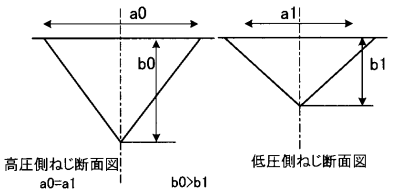
【図７Ｂ】



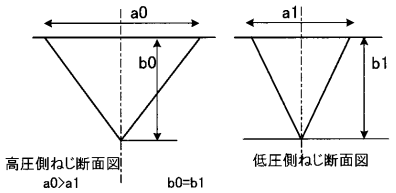
【図８Ａ】



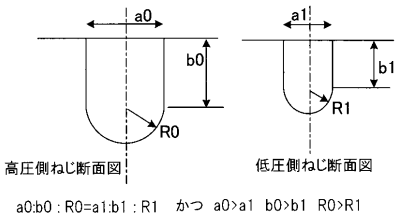
【図８Ｂ】



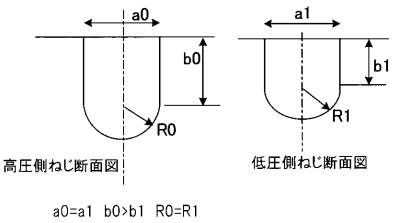
【図８Ｃ】



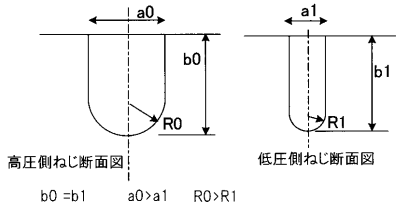
【図９Ａ】



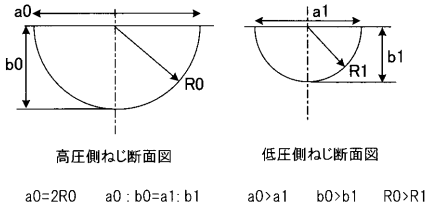
【図９Ｂ】



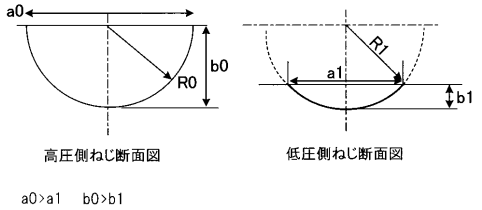
【図９Ｃ】



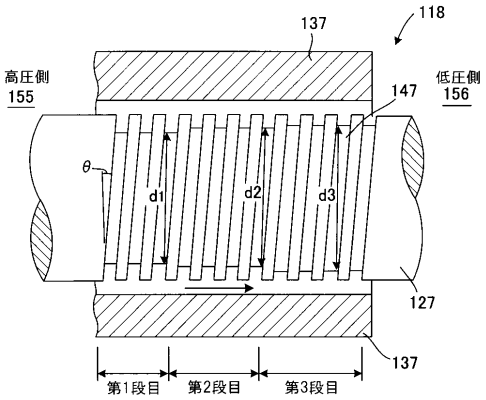
【図１０Ａ】



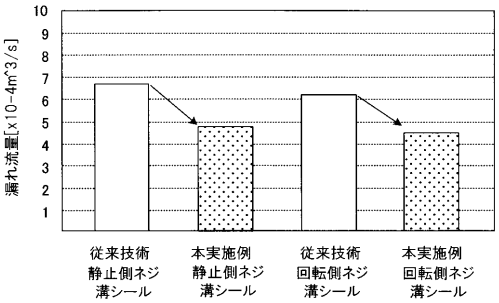
【図１０Ｂ】



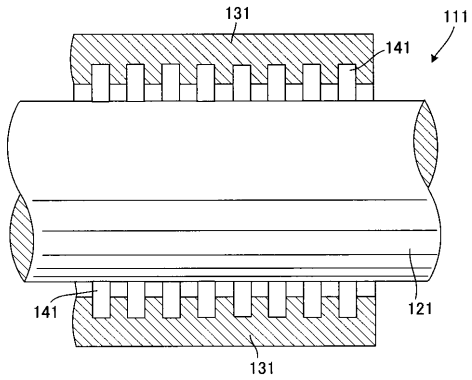
【図１１】



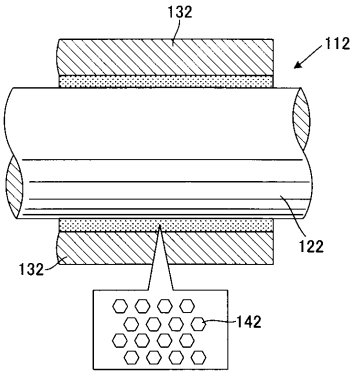
【図１２】



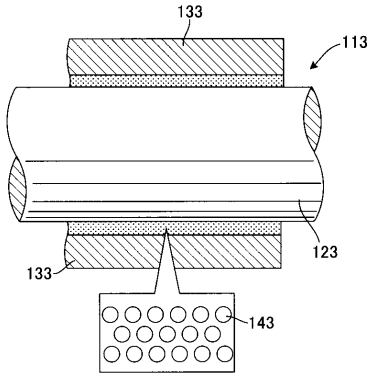
【図１３】



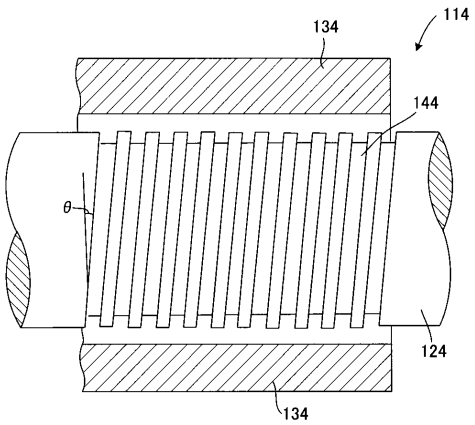
【図１４】



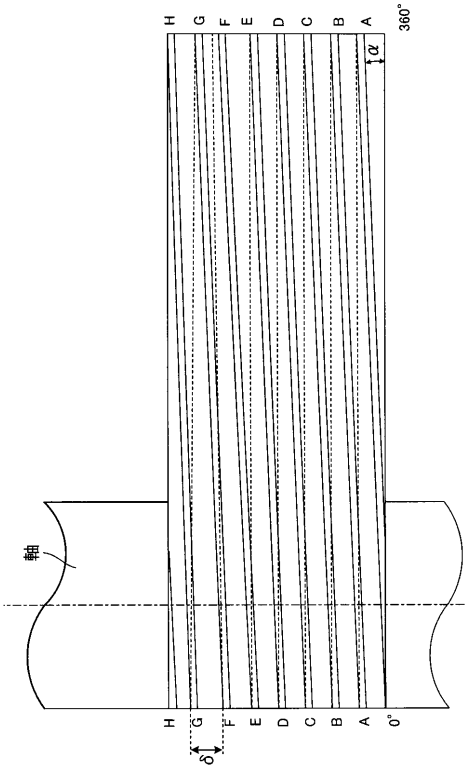
【図１５】



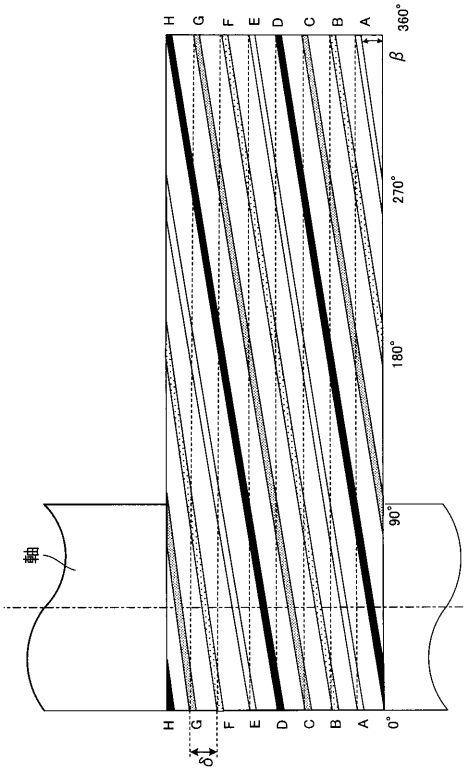
【図１６】



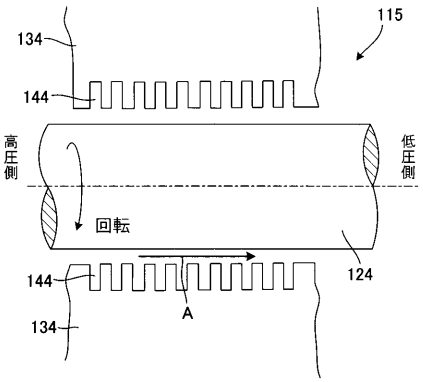
【図１７】



【図１８】



【図１９】



フロントページの続き

審査官　竹村　秀康

(56)参考文献　実開昭６４－０１８６７３（ＪＰ，Ｕ）
実開昭６２－１０１０９３（ＪＰ，Ｕ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ１６Ｊ　１５／４０－１５／５６
Ｆ０４Ｄ　１／０８
Ｆ０４Ｄ　２９／１６