

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年1月19日(19.01.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/010146 A1

- (51) 国際特許分類:
F16J 15/44 (2006.01) F04D 29/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/063529
- (22) 国際出願日: 2016年5月2日(02.05.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-138799 2015年7月10日(10.07.2015) JP
- (71) 出願人: 株式会社荏原製作所 (EBARA CORPORATION) [JP/JP]; 〒1448510 東京都大田区羽田旭町1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 渡邊 裕輔 (WATANABE, Yusuke); 〒1448510 東京都大田区羽田旭町1番1号 株式会社荏原製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 小野 新次郎, 外(ONO, Shinjiro et al.); 〒1000004 東京都千代田区大手町二丁目2番1号 新大手ビル206区 ユアサハラ法律特許事務所 Tokyo (JP).

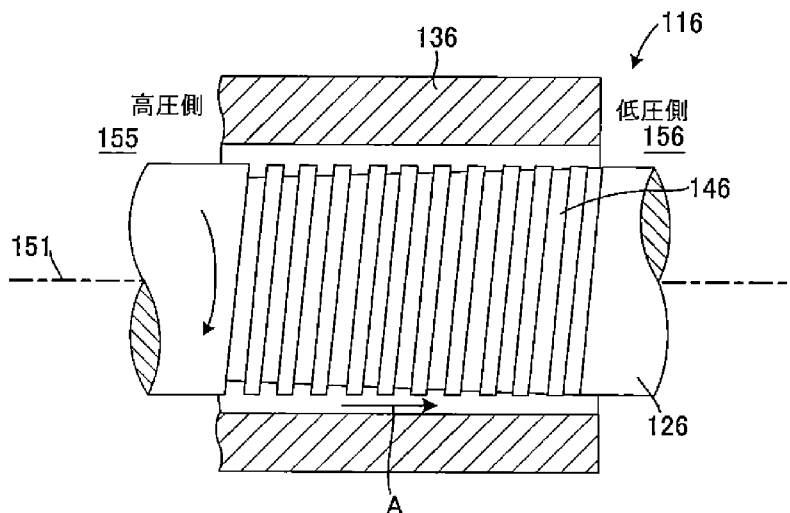
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: NON-CONTACT ANNULAR SEAL AND ROTARY MACHINE PROVIDED THEREWITH

(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



155 High-pressure side
156 Low-pressure side

(57) Abstract: Provided are a non-contact annular seal and rotary machine provided therewith that reduce the amount of leakage which occurs when a lead angle is increased in order to enhance a pumping effect. The non-contact annular seal is for sealing a fluid which flows from a high-pressure side to a low-pressure side through a gap between a rotating body and a fixed body, and the seal has a screw groove provided to a surface of the rotating body or a surface of the fixed body which form the gap. The screw groove has a region in which a cross-sectional area of the screw groove on the low-pressure side is smaller than a cross-sectional area of the screw groove on the high-pressure side. The screw groove has at least four threads. The rotary machine has the non-contact annular seal.

(57) 要約: ポンピング効果を大きくするためにリード角を大きくした際に伴う漏れ量を低減する非接触環状シール及びこれを備えた回転機械を提供する。非接触環状シールは、回転体と固定体との隙間を高圧側から低圧側に流れる流体をシールする

ための非接触環状シールであって、隙間を形成する回転体の表面又は固定体の表面に設けられるネジ溝を有する。ネジ溝は、低圧側のネジ溝の断面積が高圧側のネジ溝の断面積よりも小さい領域を有する。前記ネジ溝の条数は、4条以上である。回転機械は、この非接触環状シールを有する。



WO 2017/010146 A1

明 細 書

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

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。ケーシングの吸入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14は、従来の平行溝シールの部分断面図である。図14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15及び図16は、従来のダンパーシールの部分断面図である。図15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15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16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16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17は、従来のネジ溝シールの部分断面図である。図17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18と図19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 D_1 とすれば、展開した横方向の長さは $D_1 \times \pi$ 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18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18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19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19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18及び図19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 20 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 20 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 の隙間を图中矢印 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（图中矢印 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 20 に示したネジ溝シール 115 も、図 17 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（ネジ溝の条数を増加させて）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し、前記ネジ溝の条数は、4条以上である。

[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、を備え、前記主軸は回転部を有し、前記ケーシングは固定部を有し、前記回転部及び前記固定部は、第1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を有する。

発明の効果

[0031] 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（ネジ溝の条数を増加させても）、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。

[0032] 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。

[0033] 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

[0034] [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1及び比較例1のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図13] 実験例2及び比較例2のシミュレーション結果を示すグラフである。

[図14] 従来の平行溝シールの部分断面図である。

[図15] 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16] 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17] 従来のネジ溝シールの部分断面図である。

[図18] 1条ネジを展開した模式図である。

[図19] 4条ネジを展開した模式図である。

[図20] 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

[0035] 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。

[0036] 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 2 1 a, 2 1 b, 2 1 c と、羽根車 2 1 a, 2 1 b, 2 1 c を收容するケーシング 3 1 と、ケーシング 3 1 に取り付けられた軸受 4 5 a, 4 5 b とを備える。軸受 4 5 a, 4 5 b は、主軸 1 1 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 1 1 の左端に嵌合されたカップリング 1 3 を介して主軸 1 1 に連結される。

[0037] ケーシング 3 1 は流体、即ち水などの液体を外部から吸い込むための吸入口 3 3 と、吸い込んだ流体を吐出するための吐出口 3 7 を有する。主軸 1 1 に嵌合された 1 段目羽根車 2 1 a は、主軸 1 1 の回転に伴って回転し、吸入口 3 3 から流体をケーシング 3 1 内に吸い込む。1 段目羽根車 2 1 a により吸い込まれ、昇圧された流体は、第 1 流路 3 5 a を通過し、2 段目羽根車 2 1 b へ到達する。2 段目羽根車 2 1 b によって昇圧された流体は、第 2 流路 3 5 b を通過し、3 段目羽根車 2 1 c へ到達する。流体は、3 段目羽根車 2 1 c でさらに昇圧され、吐出口 3 7 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 2 1 a、2 段目羽根車 2 1 b 及び 3 段目羽根車 2 1 c によって昇圧される。

[0038] 流体には、各羽根車 2 1 a, 2 1 b, 2 1 c 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。

[0039] 図 2 は、図 1 に示した高圧ポンプ 1 の 1 段目羽根車 2 1 a の拡大断面図である。図示のように、1 段目羽根車 2 1 a は流体を吸い込む吸入口 2 3 と、流体を吐出する吐出口 2 5 とを有する。ここで、流体の圧力は、吸入口 2 3 側が低圧になり、吐出口 2 5 側が高圧となる。即ち、吸入口 2 3 は低圧部 3 6 であり、吐出口 2 5 は高圧部 3 8 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 2 3 の外周面とケーシング 3 1 a との対向部位 X と、羽根車 2 1 a の背面の外周面とケーシング 3 1 b 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 4 1, 4 3 が設けられる。

[0040] 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 2 1 a と固定部としてのケーシング 3 1 a, 3 1 b の隙間に、それぞれ非接触環状シール 4 1, 4 3 を設け、その隙間を狭くしている。

[0041] 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 2 1 a 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。

[0042] 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、ダンパーシール、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。

[0043] 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。

[0044] 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。

[0045] 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。

[0046] 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。

[0047] 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。

[0048] 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。

[0049] 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。

[0050] 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。

[0051] 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。

[0052] 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 a_0 及び深さ b_0 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 a_1 及び深さ b_1 を有する矩形状の断面である。ここで、幅 a_0 は幅 a_1 と等しく、深さ b_0 は深さ b_1 よりも大きい。即

ち、ネジ溝 1 4 6 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 1 1 6 は、ネジ溝 1 4 6 の断面積 1 5 8 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。

[0053] 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 1 4 6 の断面積 1 5 8 を高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 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 1 4 6 全長における断面積 1 5 8 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 とし、低圧側の終わりの断面積を B としたとき、面積比 B/A を、 $0 \leq B/A < 1$ とすると、その結果、非接触環状シール 1 1 6 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 1 1 6 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 1 5 5 の断面積が大きく且つ低圧側 1 5 6 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。

[0054] なお、上記の実施形態では、ネジ溝 1 4 6 の断面積 1 5 8 が、ネジ溝 1 4 6 の全長に亘って高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 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 1 4 6 の全長のうち少なくとも一部分において、断面積 1 5 8 が高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって小さくなる領域を有するようにネジ溝 1 4 6 が形成されていれば、同様の効果を奏することができる。

[0055] 上記の実施形態では、ネジ溝 1 4 6 は回転体 1 2 6 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 1 4 6 は固定体 1 3 6 の内面に設けられてもよい。

[0056] 図 6 は、固定体 1 3 6 の内面にネジ溝 1 4 6 が設けられた非接触環状シール 1 1 7 を示す図である。図示のように、固定体 1 3 6 は、その内面にネジ

溝 1 4 6 を備えている。このネジ溝 1 4 6 の深さは、高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 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 1 4 6 の断面積は高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 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 1 4 6 の断面積が高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 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 1 4 6 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 1 1 7 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 1 2 6 及び固定体 1 3 6 の両方にネジ溝 1 4 6 が設けられていてもよい。

[0057] 以上で説明した非接触環状シールのネジ溝 1 4 6 は、その断面が矩形状であり、ネジ溝深さが高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 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 1 4 6 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 1 0 に示す断面形状であってもよい。

[0058] 図 7 A 及び図 7 B 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 7 A に示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅 a_0 及び深さ b_0 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 a_1 及び深さ b_1 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（ $a_0 : b_0$ ）は、低圧側のネジ溝断面の縦横比（ $a_1 : b_1$ ）と同一である。また、幅 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 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。

[0059] 図 7 B に示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅 a_0 及び深さ b_0 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 a_1 及び深さ b_1 を有する矩形状の断面である。ここで、幅 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 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。

[0060] 図8Aないし図8Cは、三角形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 a_0 及び深さ b_0 を有する三角形形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅 a_1 及び深さ b_1 を有する三角形形状の断面である。ここで、高圧側のネジ溝断面の縦横比（ $a_0 : b_0$ ）は、低圧側のネジ溝断面の縦横比（ $a_1 : b_1$ ）と同一である。また、幅 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 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。

[0061] 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 a_0 及び深さ b_0 を有する三角形形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅 a_1 及び深さ b_1 を有する三角形形状の断面である。ここで、幅 a_0 は幅 a_1 と等しく、深さ b_0 は深さ b_1 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。

[0062] 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 a_0 及び深さ b_0 を有する三角形形状の断面である。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅 a_1 及び深さ b_1 を有する三角形形状の断面である。ここで、幅 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 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。

[0063] 図9 Aないし図9 C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9 Aに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅 a_0 及び深さ b_0 を有する矩形状断面と、半径 R_0 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 a_1 及び深さ b_1 を有する矩形状断面と、半径 R_1 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（ $a_0 : b_0 : R_0$ ）は、低圧側のネジ溝断面の比（ $a_1 : b_1 : R_1$ ）と同一である。また、幅 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 よりも大きく、半径 R_0 は半径 R_1 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。

[0064] 図9 Bに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅 a_0 及び深さ b_0 を有する矩形状断面と、半径 R_0 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 a_1 及び深さ b_1 を有する矩形状断面と、半径 R_1 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 a_0 は幅 a_1 と等しく、深さ b_0 は深さ b_1 よりも大きく、半径 R_0 は半径 R_1 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。

[0065] 図9 Cに示すネジ溝の高圧側（シール入口側）のネジ溝断面は、幅 a_0 及び深さ b_0 を有する矩形状断面と、半径 R_0 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 a_1 及び深さ b_1 を有する矩形状断面と、半径 R_1 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 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 と等しく、半径 R_0 は半径 R_1 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。

[0066] 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 a_0 、深さ b_0 及び半径 R_0 を有する半円形状の断面である。ここで、幅 a_0 は半径 R_0 の二倍に等しく、深さ b_0 は半径 R_0 と等しい。また、低圧側（シール出口側）のネジ溝断面は、幅 a_1 、深さ b_1 及び半径 R_1 を有する半円形状断面の断面である。ここで、幅 a_1 は半径 R_1 の二倍に等しく、深さ b_1 は半径 R_1 と等しい。ここで、高圧側のネジ溝断面の比（ $a_0 : b_0$ ）は、低圧側のネジ溝断面の比（ $a_1 : b_1$ ）と同一である。また、幅 a_0 は幅 a_1 よりも大きく、深さ b_0 は深さ b_1 よりも大きく、半径 R_0 は半径 R_1 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。

[0067] 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 a_0 、深さ b_0 及び半径 R_0 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 R_1 であり、幅 a_1 及び深さ b_1 を有する円弧状の断面である。ここで、幅 a_0 は幅 a_1 より大きく、深さ b_0 は深さ b_1 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压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。

[0068] 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、低压側（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压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。

[0069] 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压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。

[0070] 次に、ネジ溝の断面積が高圧側から低压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間隙を有するように、固定体137の内部に配置される。

[0071] 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、低压側156（シール出口側）が

最も浅く（ネジ溝 1 4 7 の底部径が最も大きく）形成されている。

[0072] また、ネジ溝 1 4 7 の底部径は、高圧側 1 5 5 から数段（ネジの溝の数）ずつ $d_1 < d_2 < d_3$ となるように形成されている。シール入口側（高圧側 1 5 5）から 3 段は、ねじ溝の底部径が d_1 であり、最も溝底部径が小さい（溝深さが最も深い）。次の 4 段は d_2 であり、 d_1 と d_3 との中間の径である。シール出口側（低圧側 1 5 6）の 4 段の溝底部径は最も大きい。即ち、一つのネジ溝 1 4 7 に階段状の段差をつけ、高圧側 1 5 5 のシール入口の溝断面積が最も広く、低圧側のシール出口の断面積が最も狭くなるように、ネジ溝断面積を三段階に変化させている。

[0073] 言い換えれば、ネジ溝 1 4 7 は、高圧側 1 5 5 のネジ溝 1 4 7 の深さが最も大きく、低圧側 1 5 6 に向かって数ピッチ毎にネジ溝 1 4 7 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 1 5 5 からネジ溝 1 4 7 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 1 4 7 に連続して、ネジ溝 1 4 7 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 1 4 7 に連続して、ネジ溝 1 4 7 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）。

[0074] したがって、ネジ溝 1 4 7 は、高圧側 1 5 5 から 3 ピッチ分に亘り、ネジ溝 1 4 7 の底部径の大きさが d_1 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 4 7 は次の 4 ピッチ分に亘り、ネジ溝 1 4 7 の底部径の大きさが d_1 より大きい d_2 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 1 5 6 のネジ溝 1 4 7 は 4 ピッチ分に亘り、ネジ溝 1 4 7 の底部径の大きさが d_2 よりも大きい d_3 となるように形成される（図中第 3 段目の範囲）。

[0075] 以上で説明したようにネジ溝 1 4 7 が形成されているので、この非接触環状シール 1 1 8 は、高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって、ネジ溝 1 4 7 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（ネジ溝の条数を増加させても）、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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[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。

[0079] 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。

[0080] 図 1 1 に示した非接触環状シール 1 1 8 では、ネジ溝 1 4 7 は回転体 1 2 7 に形成されているが、これに代えて、ネジ溝 1 4 7 は固定体 1 3 7 の内面に設けられてもよい。また、回転体 1 2 7 及び固定体 1 3 7 の両方にネジ溝 1 4 7 が設けられていてもよい。

[0081] 図 1 1 に示した非接触環状シール 1 1 8 では、ネジ溝 1 4 7 の進行方向に沿って所定の長さ毎にネジ溝 1 4 7 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 1 4 7 の進行方向に沿ってネジ溝 1 4 7 の幅を変化させて、高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって、ネジ溝 1 4 7 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。

[0082] 図 3 及び図 1 1 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。

[0083] また、図 3 及び図 1 1 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 1 4 に示した平行溝や、図 1 5 及び図 1 6 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。

[0084] 図 3 及び図 1 1 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 4 1、4 3 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。

[0085] [実験例 1]

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。

[0086] [比較例1]

比較例1として、図17に示した回転体124に一樣な断面積Aのネジ溝144を形成した非接触環状シール114、及び図20に示した固定体134に一樣な断面積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。

[0087] 図12は、実験例1及び比較例1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($\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$)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 $4.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ となり、図20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 $6.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 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。

[0088] 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 $4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ となり、図17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 $6.2 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 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。

[0089] なお、図12に示したシミュレーション結果に基づく、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。

[0090] [実験例2]

図6に示した固定体136に条数の異なるネジ溝146を形成した複数の非接触環状シール117に対して、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、高压側155と低压側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、複数の非接触環状シール117がそれぞれ有するネジ溝146の条数は、1条、2条、4条、8条、12条である。また、高压側のネジ溝始まりのネジ溝146の断面積はAとし、低压側に向けて連続的に断面積を小さくし、低压側の最終のネジ溝146の断面積Bを0としたものである。

[0091] [比較例2]

比較例2として、図20に示した固定体134に条数の異なるネジ溝144を形成した複数の非接触環状シール115に対して、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、高压側と低压側との圧力差は0.6MPaとし、それぞれの回転体の回転数は3000rpmとした。なお、複数の非接触環状シール117がそれぞれ有するネジ溝144の条数は、1条、2条、4条、8条、12条である。また、ネジ溝144は、一様な断面積Aを有する。

[0092] 図13は、実験例2及び比較例2のシミュレーション結果を示すグラフである。縦軸は漏れ量(m^3/s)を示す。図13においては、ネジ溝ポンピング効果による漏れ低減量(図中、「ネジ溝ポンピング効果」として示される)と、差圧によりネジ溝内を流路として通過する流体の漏れ量(図中、「

ネジ溝内漏れ量」として示される)と、非接触環状シール全体の総漏れ量(図中、「シール漏れ量」として示される)が、条数毎に示されている。ネジ溝ポンピング効果による漏れ低減量(以下、漏れ低減量という)は、差圧によるネジ溝内の漏れ量(以下、ネジ溝内漏れ量という)と逆向きの液体の移動量を示すので、負数で表されている。非接触環状シール全体の総漏れ量(以下、シール漏れ量という)は、漏れ低減量とネジ溝内漏れ量の和に加えて、ネジ溝以外の部分での漏れ量も含んでいる。

[0093] 図示のように、実験例2のシール漏れ量は、ネジ溝の条数が多い方が小さい傾向があることが分かる。一方で、比較例2のシール漏れ量は、ネジの条数が多い方が大きい傾向があることが分かる。即ち、ネジ溝の条数が1条及び2条の場合は、実験例2のシール漏れ量と比較例2のシール漏れ量との差がわずかであるが、ネジ溝の条数が4条以上の場合は、実験例2のシール漏れ量は、比較例2のシール漏れ量に対して格段に小さい。

[0094] また、実験例2及び比較例2の両方の場合において、漏れ低減量は、ネジ溝の条数が増加するにつれて、ほぼ同様に増加している(つまり、漏れ量が低減している)。

[0095] 一方で、実験例2において、ネジ溝内漏れ量は、ネジ溝の条数が増加しても、1条又は2条のネジ溝内漏れ量と、4条以上のネジ溝内漏れ量は、ほとんど変わらないことが分かる。これに対して、比較例2におけるネジ溝内漏れ量は、ネジ溝の条数が増加するにしたがって、大幅に増加していることが分かる。

[0096] 以上の結果から、比較例2では、ネジ溝の条数を増やすことにより、ネジ溝のリード角が大きくなって漏れ低減量が増加する一方で、これを上回るネジ溝内漏れ量の増加が生じ、シール漏れ量を低減することができていないことが分かる。一方で、実験例2では、ネジ溝の条数を増やすことにより生じていたネジ溝内漏れ量の増加を抑制することができている。このため、実験例2では、ネジ溝の条数を増やす(ネジ溝のリード角を大きくする)ことにより生じる漏れ低減量の増加分が、ネジ溝内漏れ量の増加分を上回り、結果

としてシール漏れ量を低減することができている。

[0097] 図示の結果から、ネジ溝の条数が4条以上の場合に、比較例2のシール漏れ量と実験例2のシール漏れ量との差が非常に大きいことが分かる。この理由は、ネジ溝の条数が4条以上の場合に、実験例2の非接触環状シールにおいて、ネジ溝のポンピング効果が大幅に増加し且つネジ溝内漏れ量の増加を効果的に抑制することができているからである。したがって、本実施形態に係るネジ溝は、4条以上である場合に、その効果が顕著である。換言すれば、ネジ溝の条数が1条又は2条の場合は、実験例2は、比較例2に比べてそれほど顕著な効果がない。

[0098] 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。また、本実施例による非接触環状シールの軸封特性は、ネジ溝の条数が4条以上の場合に、従来の非接触環状シールの軸封特性に比べて、極めて良好であることが分かった。

[0099] なお、実験例2及び比較例2では、ネジ溝が固定体に形成された非接触環状シールを用いているが、ネジ溝が回転体に形成された非接触環状シール又はネジ溝が回転体及び固定体に形成された非接触環状シールを用いた場合も、ほぼ同様の結果になることが推測される。

産業上の利用可能性

[0100] 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

- [0101] 1 … 高圧ポンプ
 1 1 … 主軸
 1 3 … カップリング
 2 1 a … 羽根車
 2 3 … 吸込口
 2 5 … 吐出口

3 1 …ケーシング
3 1 a …ケーシング
3 1 b …ケーシング
3 3 …吸込口
3 5 a …第 1 流路
3 5 b …第 2 流路
3 6 …低圧側
3 7 …吐出口
3 8 …高圧側
4 1 …非接触環状シール
4 1 a …回転体
4 1 b …固定体
4 5 a …軸受
4 5 b …軸受
1 1 4 …非接触環状シール
1 1 5 …非接触環状シール
1 1 6 …非接触環状シール
1 1 7 …非接触環状シール
1 1 8 …非接触環状シール
1 2 4 …回転体
1 2 6 …回転体
1 2 7 …回転体
1 3 4 …固定体
1 3 6 …固定体
1 3 7 …固定体
1 4 4 …溝
1 4 5 …溝
1 4 6 …溝

1 4 7 …溝

1 5 1 …回転軸

1 5 5 …高压側

1 5 6 …低压側

1 5 7 …山

1 5 7 a …ランド部

1 5 8 …断面積

X …対向部位

Y …対向部位

A …矢印

G …隙間

W …溝幅

a 0 …幅

a 1 …幅

R 0 …半径

R 1 …半径

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し、
前記ネジ溝の条数は、4条以上である、
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、

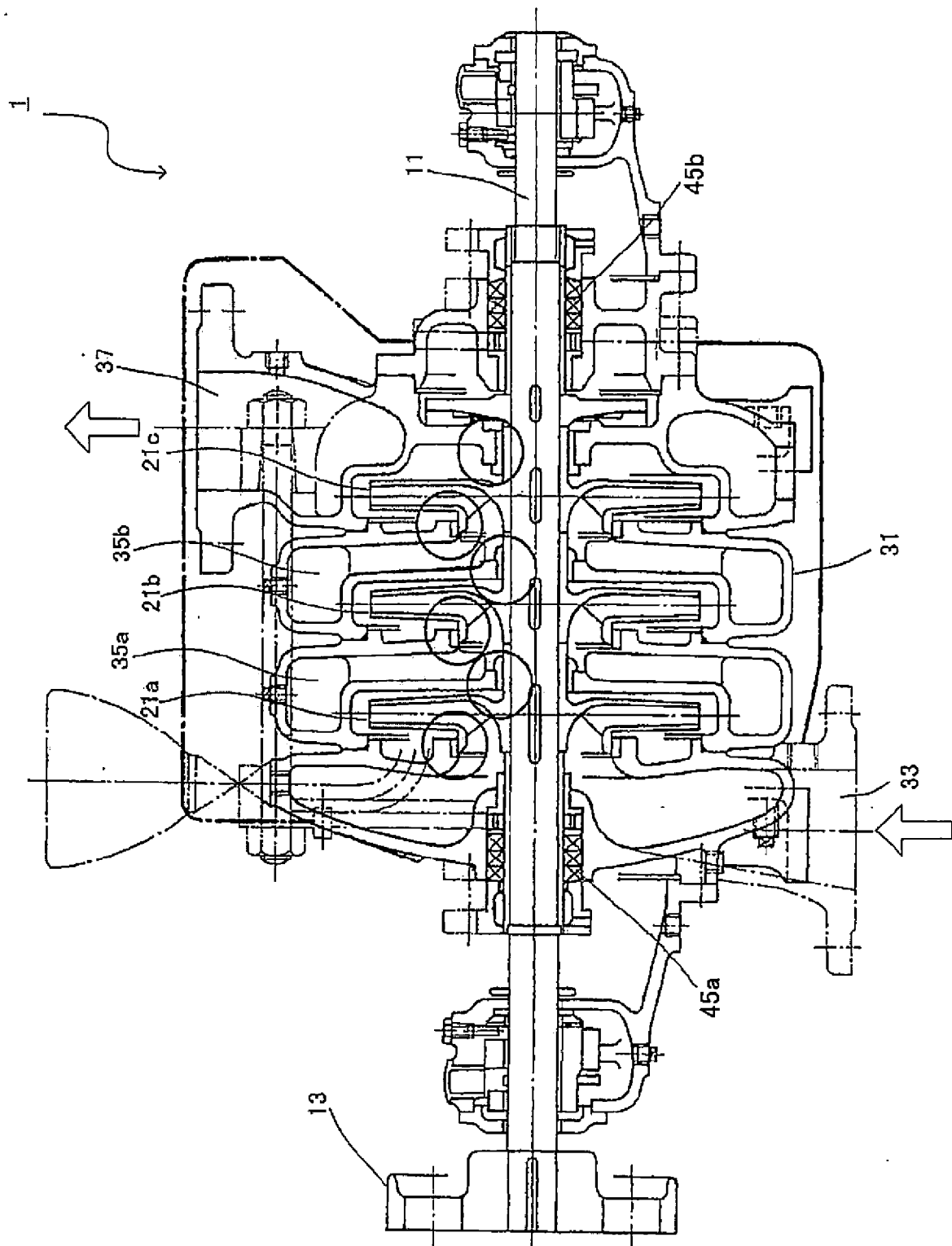
前記ケーシングに取り付けられ、前記主軸を回転可能に支持する軸受と、を備え、

前記主軸は回転部を有し、

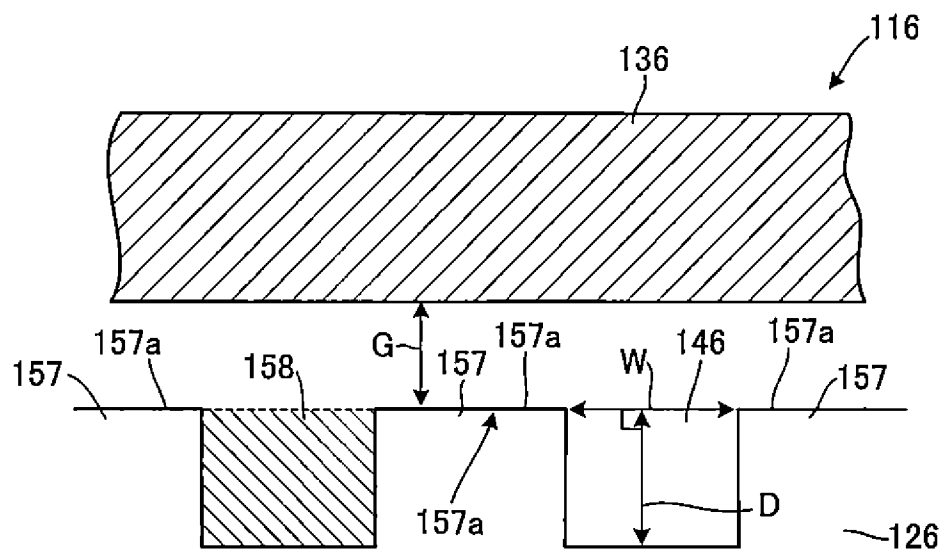
前記ケーシングは固定部を有し、

前記回転部及び前記固定部は、請求項1ないし7のいずれか一項に記載された非接触環状シールを有する、回転機械。

[図1]

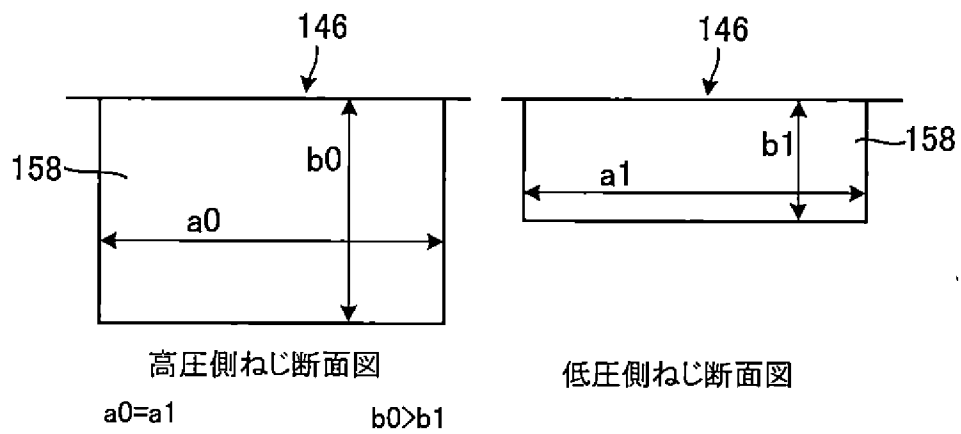


[図4]

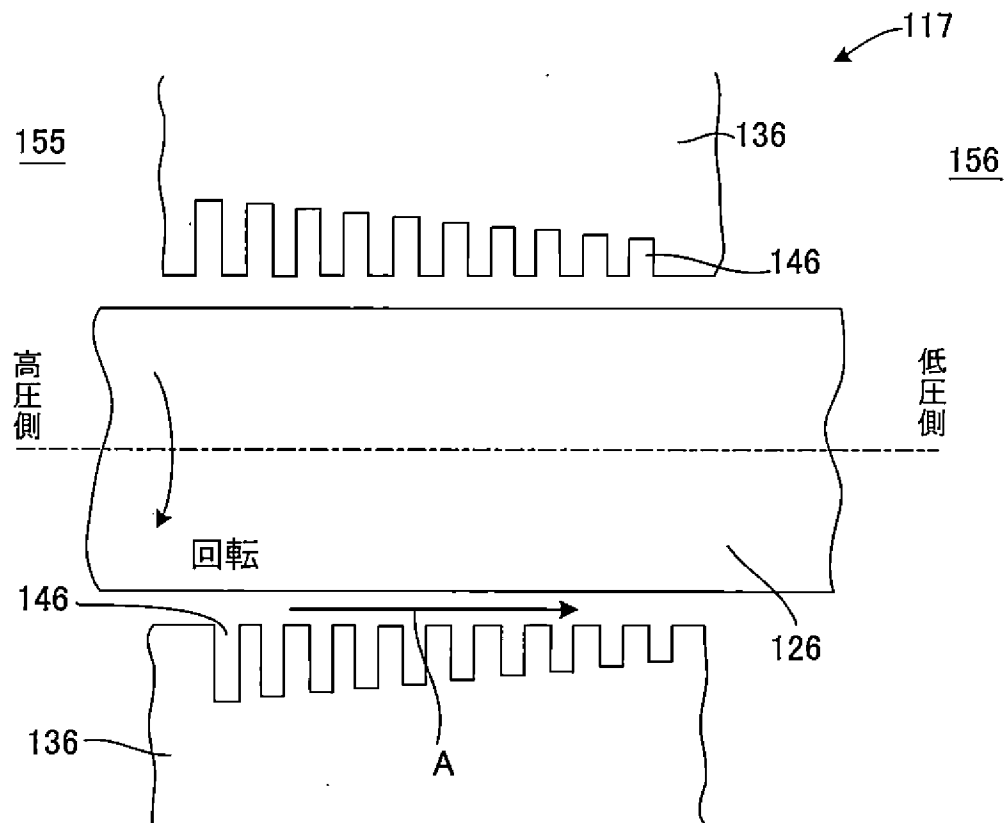


回転側

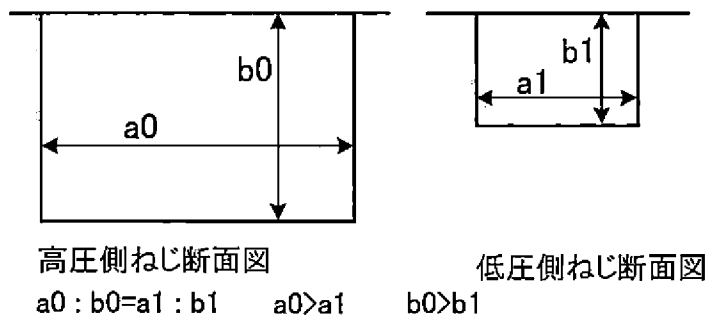
[図5]



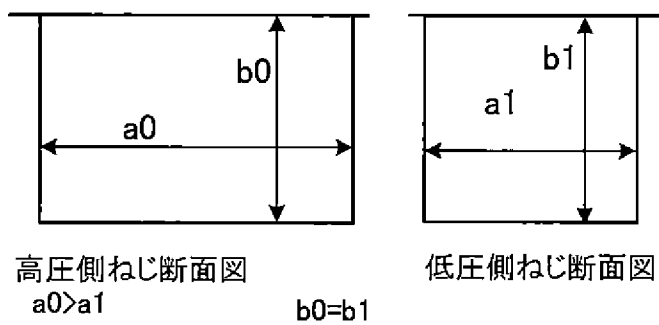
[図6]



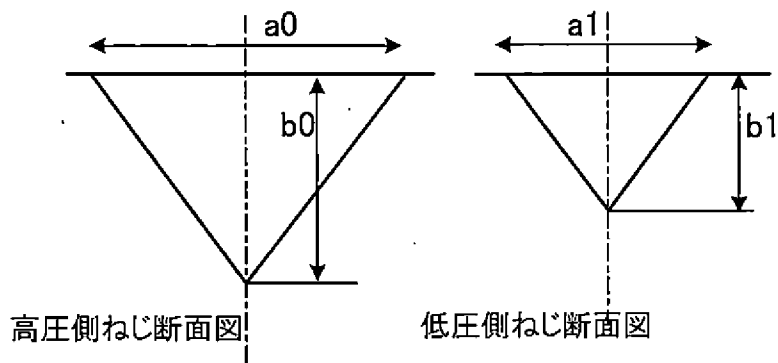
[図7A]



[図7B]

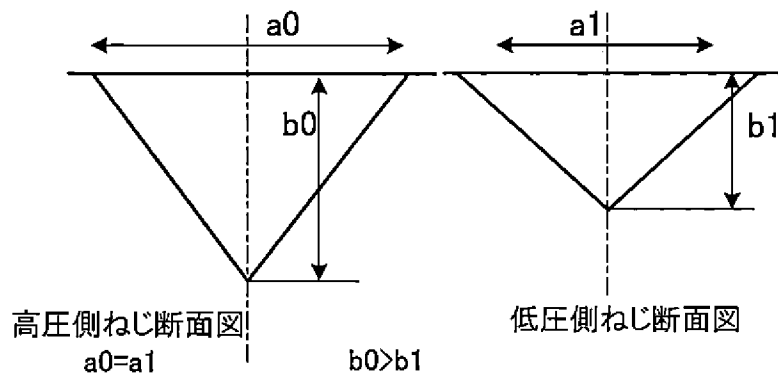


[図8A]

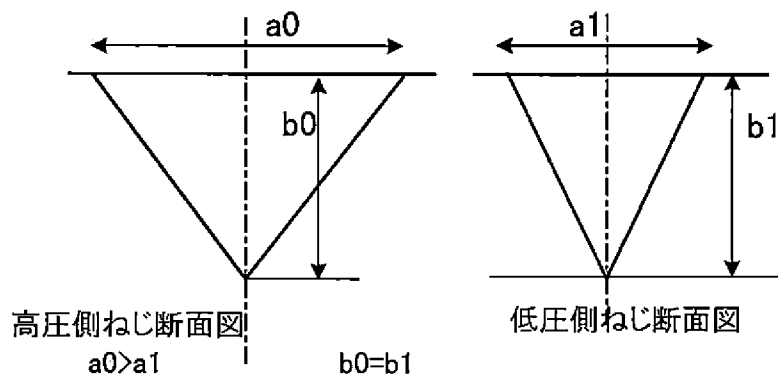


$$a0 : b0 = a1 : b1 \text{ かつ } a0 > a1 \quad b0 > b1$$

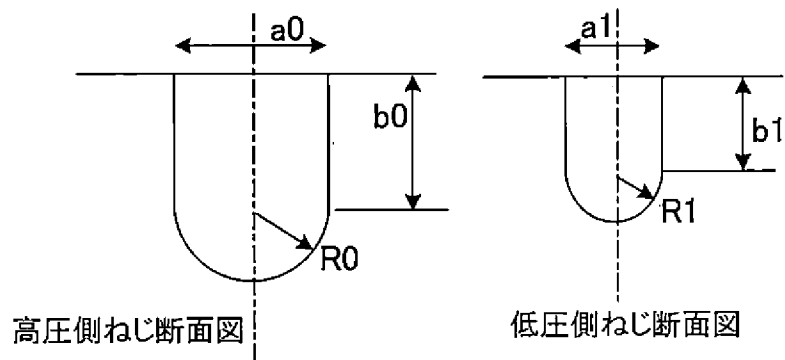
[図8B]



[図8C]

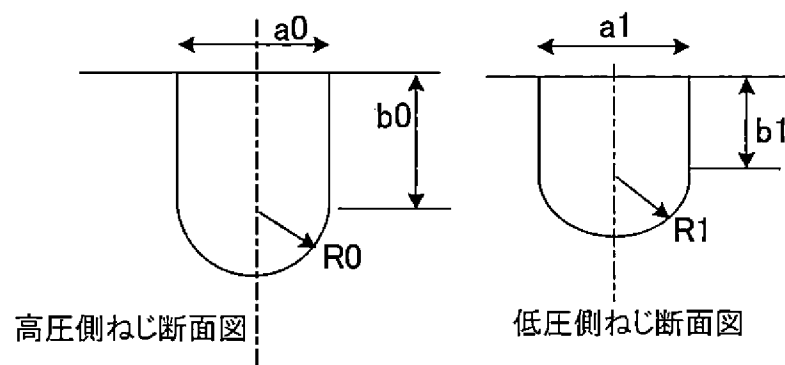


[図9A]



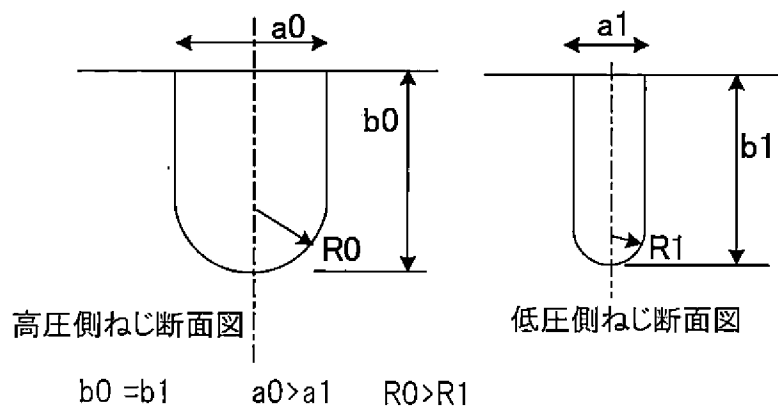
$$a_0:b_0 : R_0 = a_1:b_1 : R_1 \quad \text{かつ} \quad a_0 > a_1 \quad b_0 > b_1 \quad R_0 > R_1$$

[図9B]



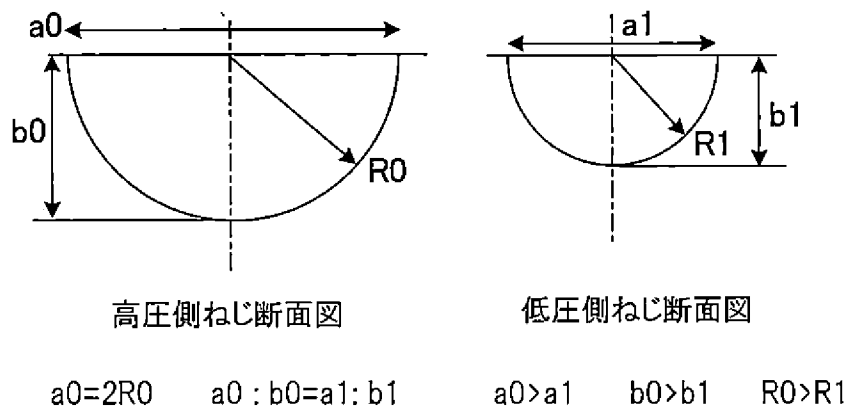
$$a_0 = a_1 \quad b_0 > b_1 \quad R_0 = R_1$$

[図9C]

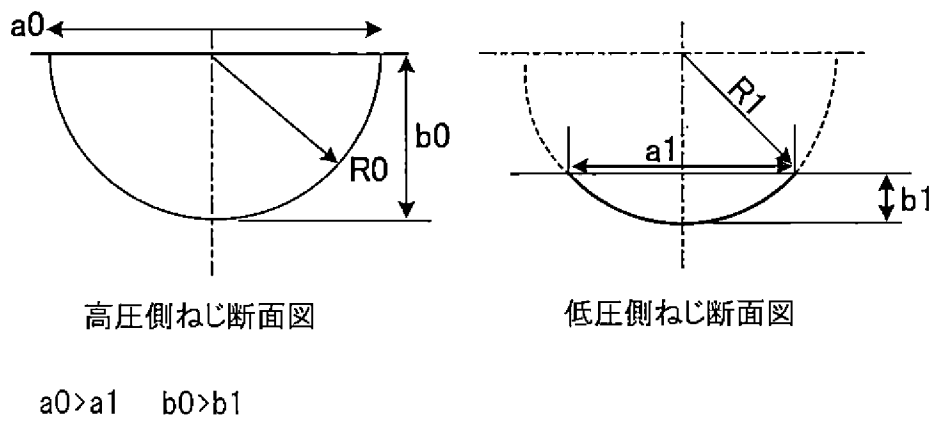


$$b_0 = b_1 \quad a_0 > a_1 \quad R_0 > R_1$$

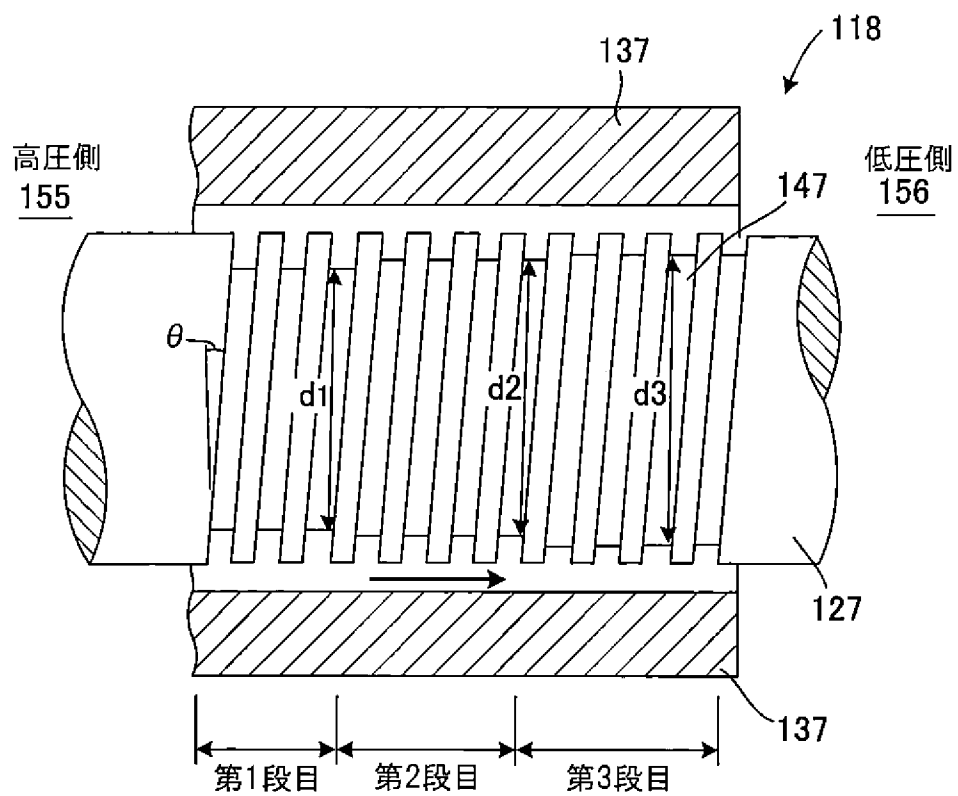
[図10A]



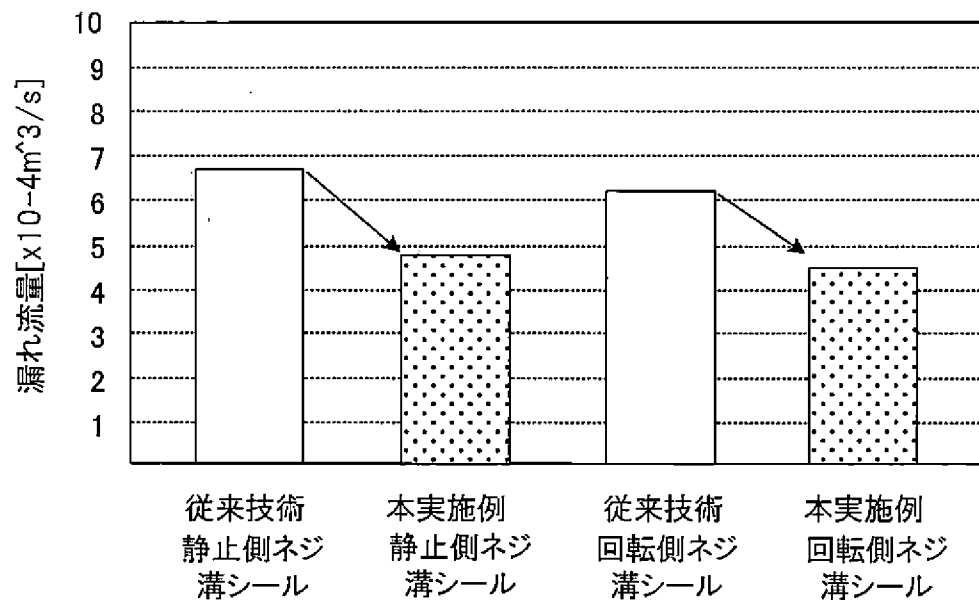
[図10B]



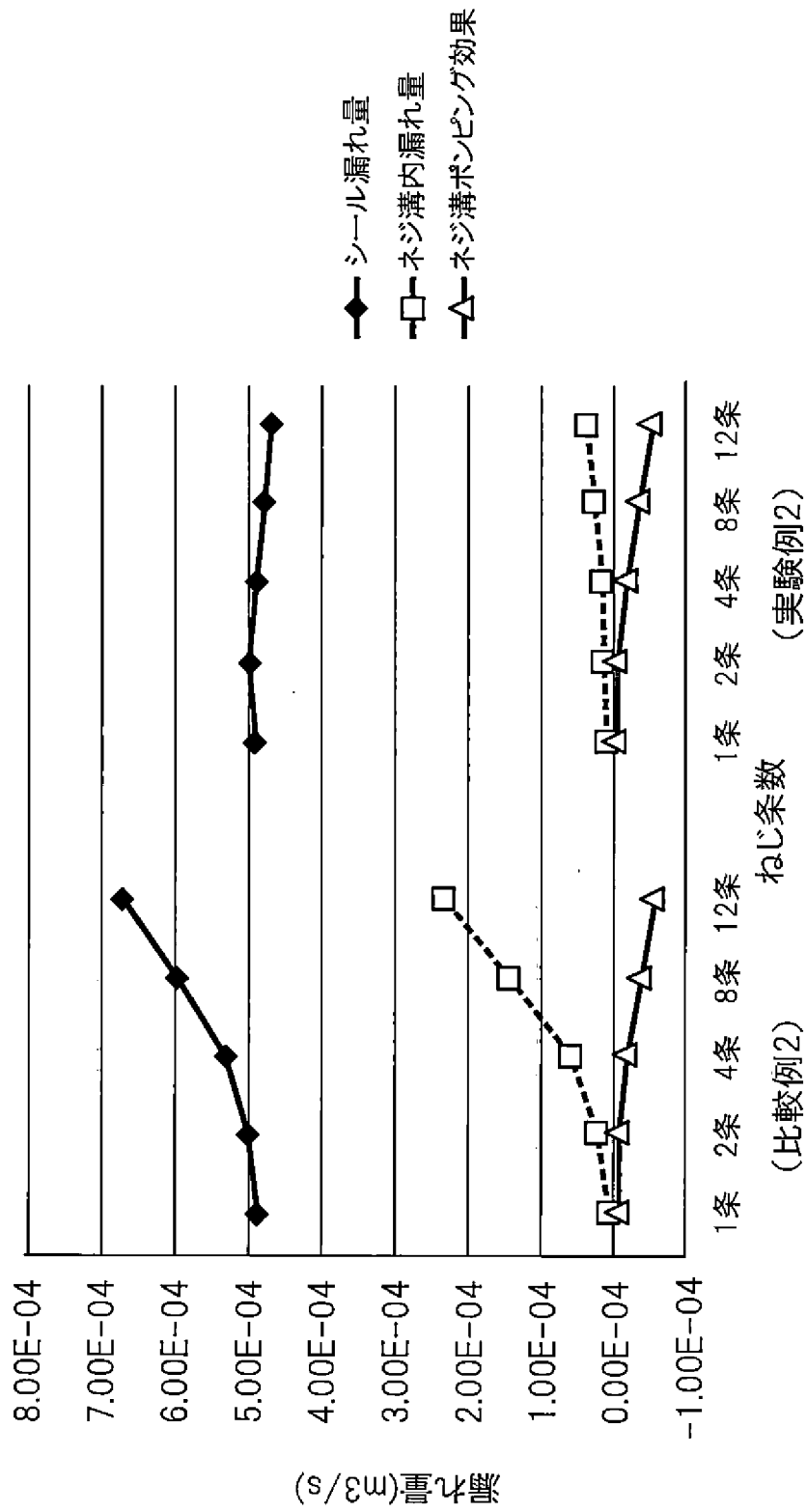
[図11]



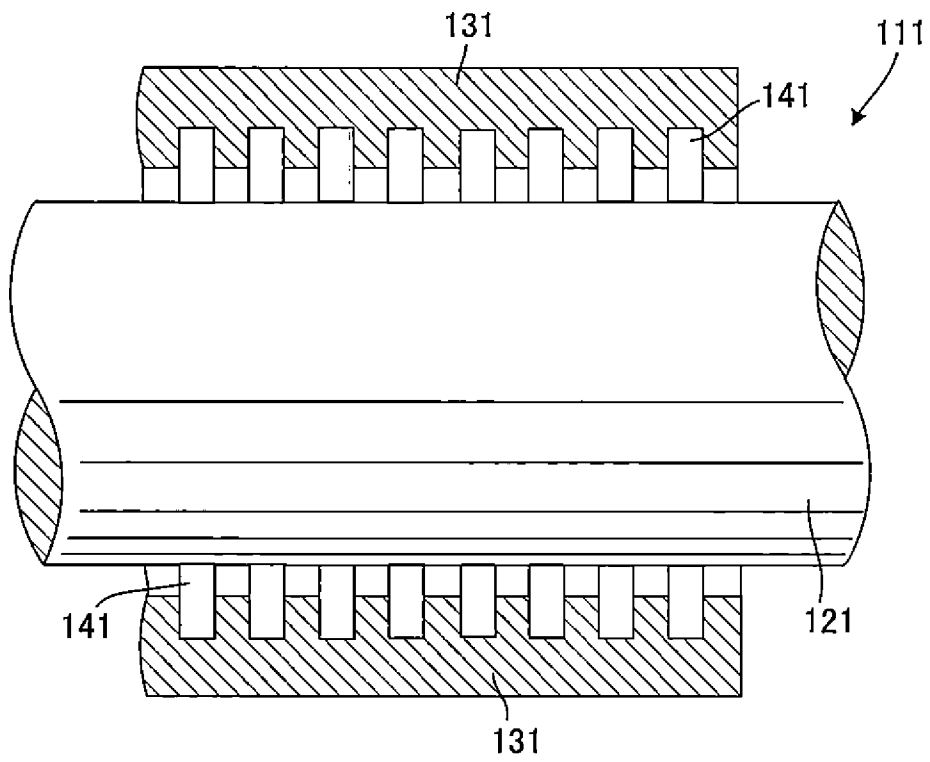
[図12]



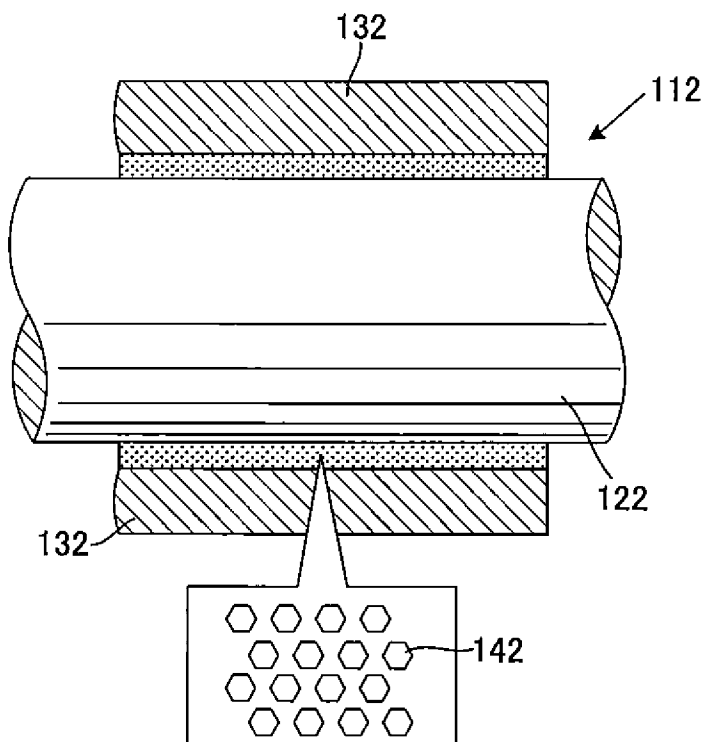
[図13]



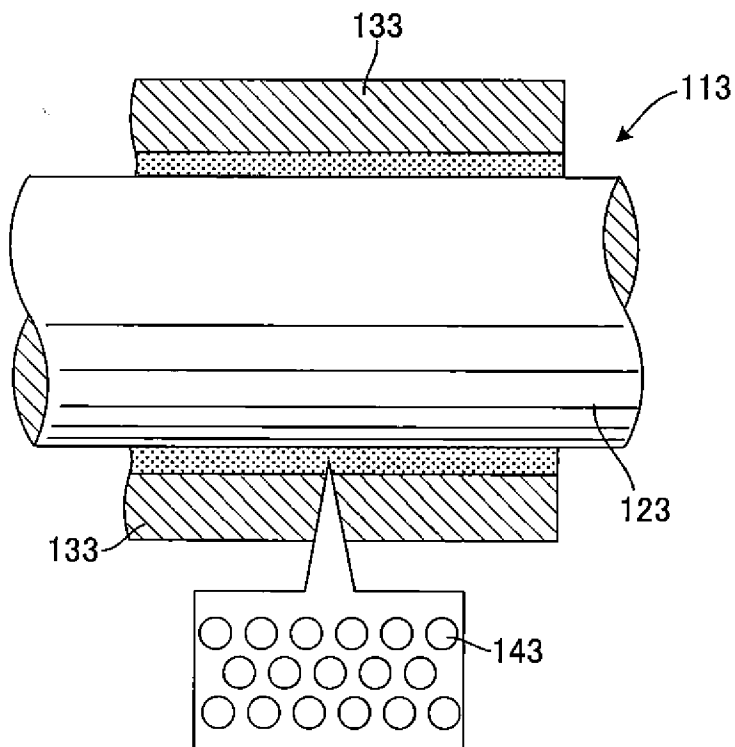
[図14]



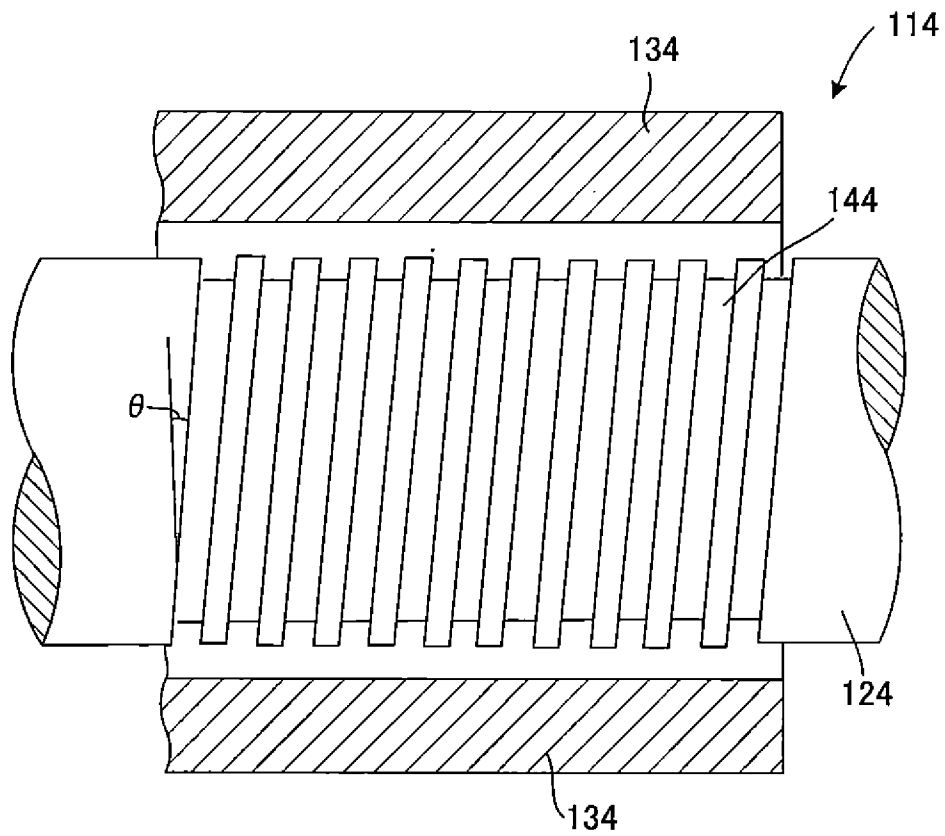
[図15]



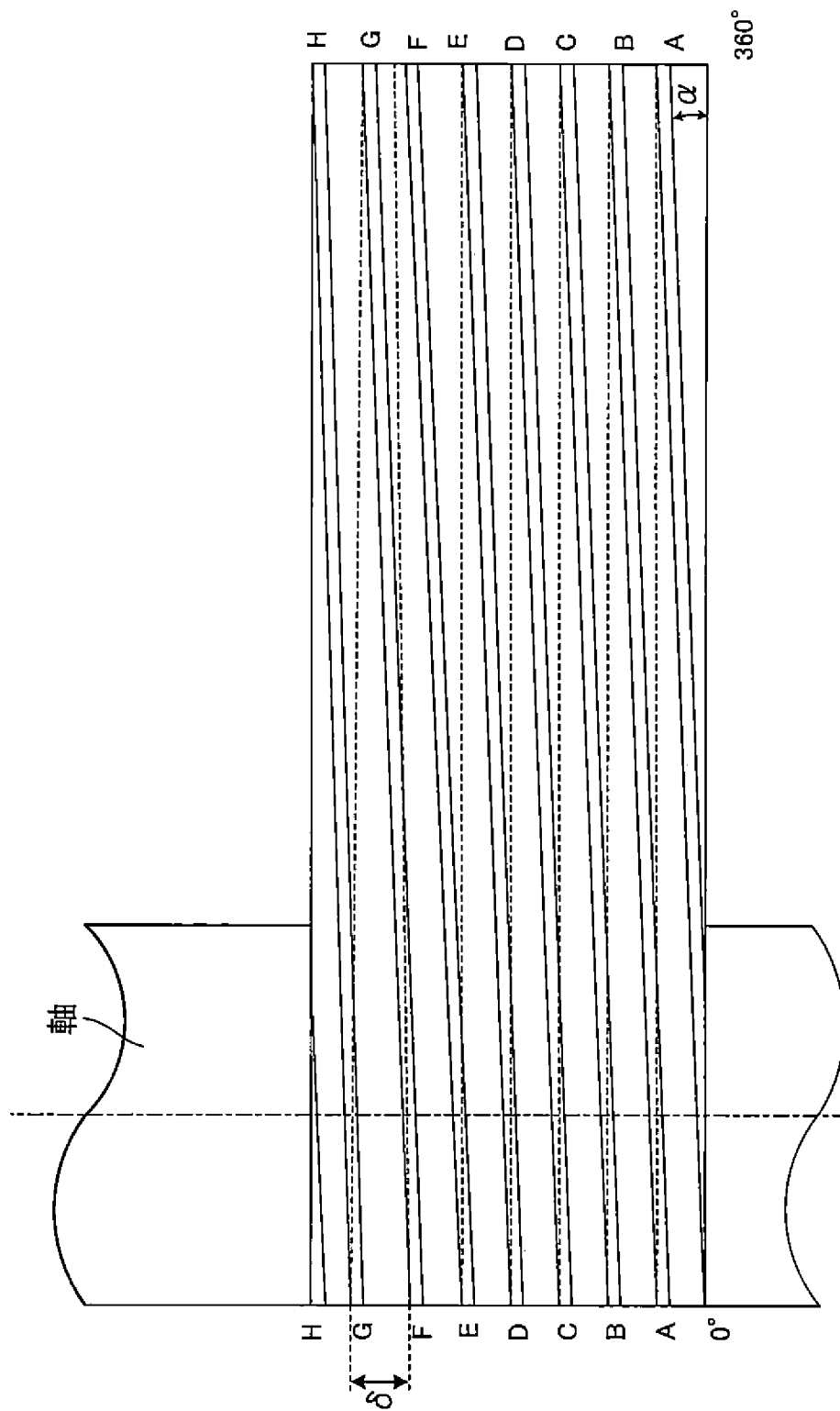
[図16]



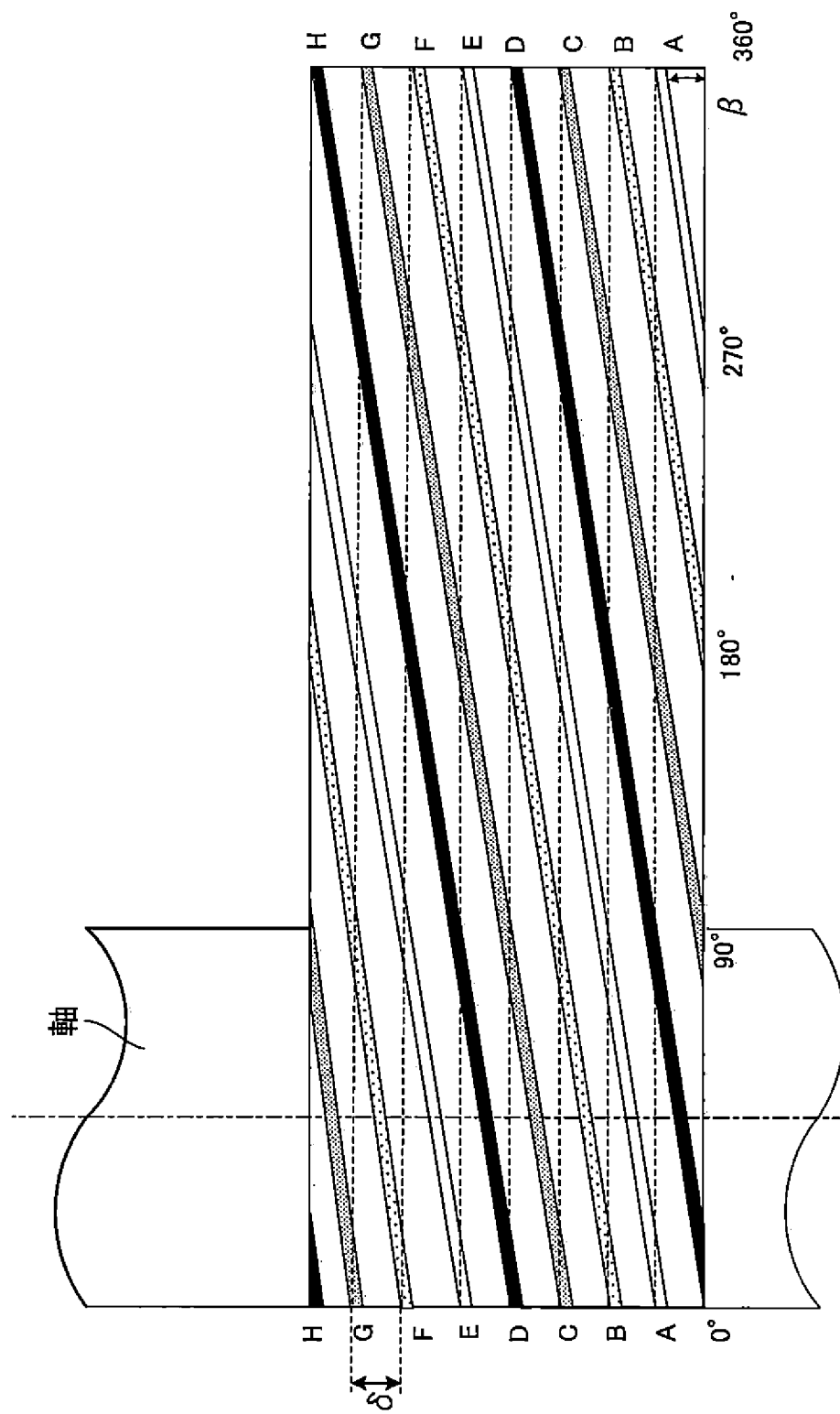
[図17]



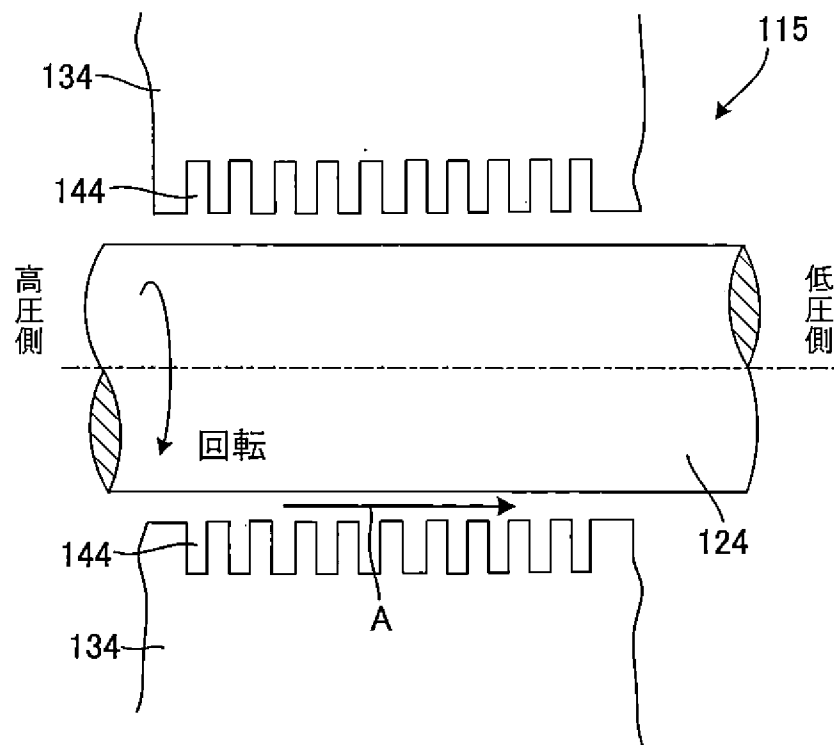
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/063529

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16J15/44(2006.01)i, F04D29/16(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16J15/44, F04D29/16

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 55-155961 A (Mitsubishi Electric Corp.), 04 December 1980 (04.12.1980), claims; page 4, upper left column, line 3 to lower left column, line 10; fig. 1 to 6 (Family: none)	1-8
Y	JP 2003-301793 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 24 October 2003 (24.10.2003), paragraph [0008]; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-8
Y	JP 2014-185627 A (Sekisui Plastics Co., Ltd.), 02 October 2014 (02.10.2014), paragraph [0050]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
31 May 2016 (31.05.16)

Date of mailing of the international search report
07 June 2016 (07.06.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/063529

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 193434/1985 (Laid-open No. 101093/1987) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 27 June 1987 (27.06.1987), fig. 1 to 2 (Family: none)	6-7
A	JP 51-007362 A (Masao MORIYAMA), 21 January 1976 (21.01.1976), fig. 1 to 5 (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F16J15/44(2006.01)i, F04D29/16(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. F16J15/44, F04D29/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 55-155961 A（三菱電機株式会社）1980.12.04, [特許請求の範囲], 第4頁左上欄第3行-同頁左下欄第10行, 第1-6図 (ファミリーなし)	1-8
Y	JP 2003-301793 A（三菱重工株式会社）2003.10.24, [0008], 図1-3 (ファミリーなし)	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.05.2016

国際調査報告の発送日

07.06.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

長谷井 雅昭

3W

3940

電話番号 03-3581-1101 内線 3367

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-185627 A (積水化成工業株式会社) 2014. 10. 02, [0 0 5 0], 図 1 - 4 (ファミリーなし)	1 - 8
Y	日本国実用新案登録出願 60-193434 号 (日本国実用新案登録出願公開 62-101093 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマ イクロフィルム (三菱重工業株式会社) 1987. 06. 27, 第 1 - 2 図 (ファミリーなし)	6 - 7
A	JP 51-007362 A (森山正夫) 1976. 01. 21, 第 1 - 5 図 (ファミリーなし)	1 - 8