

(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26日(26.01.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/013922 A1

- (51) 国際特許分類:
F16J 15/447 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/063530
- (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 2015-142967 2015年7月17日(17.07.2015) 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 新大手町ビル206区 ユアサハラ法律特許事務所 Tokyo (JP).

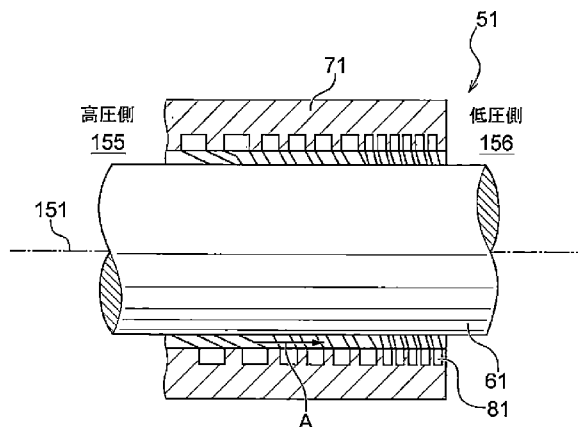
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, 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 WITH SAME

(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: The increase in the flow rate of a fluid passing through a seal interior is minimized, while the effect of minimizing unstable vibration caused by circumferential swirl flow about an axis of rotation is improved. According to the present invention, a non-contact annular seal is provided which has a rotational solid provided to a rotating section of a rotary machine, and a fixed solid provided to a fixed section of the rotary machine, and which is configured so as to seal a fluid flowing through a gap between the rotational solid and the fixed solid. The non-contact annular seal has a screw groove provided to the surface of the rotational solid and/or the surface of the fixed solid that form the gap, a lead angle of the screw groove relative to a plane intersecting the axial direction of the rotational solid is established, and the lead angle of the screw groove on a seal inlet side is greater than the lead angle of the screw groove on a seal outlet side.

(57) 要約: 回転軸の周方向の旋回流に起因する不安定振動の抑制効果の向上を図りつつ、シール内部を通過する流体の漏れ量の増加を抑制する。本発明によれば、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が提供される。非接触環状シールは、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、前記回転体の軸方向に直交する平面に対する前記ネジ溝のリード角を画定し、シール入口側の前記ネジ溝の前記リード角は、シール出口側の前記ネジ溝の前記リード角よりも大きい。



WO 2017/013922 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関し、特に、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（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（ポンプ入口圧力）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ため、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18は、従来の平行溝シールの部分断面図である。図18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19及び図20は、従来のダンパーシールの部分断面図である。図19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19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20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20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21は、従来のネジ溝シールの部分断面図である。図21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、漏洩量を低減させる効果がある。ネジ溝144はシール入口側（高圧側）からシール出口側（低圧側）までの連続した溝である。ネジ溝シール114の入口側と出口側との圧力差が大きい場合は圧力差による漏れ流れが大きくなるので、リード角を小さくした方が漏れ量を小さくできる場合が多い。

[0009] なお、ターボ分子ポンプ等の流体機械に用いられる非接触環状シールが、実開昭62-98798号公報（特許文献1）等の開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：実開昭62-98798号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] ところで、非接触環状シールでは、シール内部を通過する流体が回転軸の外周を旋回することにより、回転軸に不安定振動（自励振動とも呼ばれる）が発生し、回転軸に異常な振動状態が生じる場合がある。この不安定振動の

発生のし難さが非接触環状シールの重要な特性の一つとなっている。この不安定振動は、シール内部の回転軸の周方向の旋回流が大きいほど発生し易くなることがわかっている。

[0012] ネジ溝シールの場合、固定体に適切な溝を設けることで、回転軸の回転に伴うシール内部の流体の旋回流を低減させることができる。このため、固定体にネジ溝を有するネジ溝シールは、不安定振動を抑制する手段としてしばしば用いられる。この固定体に設けられるネジ溝による不安定振動を抑制する作用はネジ溝のリード角が大きいほど顕著であることが分かった。しかしながら、上述したように、ネジ溝のリード角を大きくすると漏れ量が大きくなることが多く、不安定振動を抑制する作用と漏れ量を低減する作用はトレードオフの関係にあるということが出来る。したがって、漏れ量を低減することと不安定振動を抑制することとを高いレベルで両立させることは困難であった。

[0013] 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、回転軸の周方向の旋回流に起因する不安定振動の抑制効果の向上を図りつつ、シール内部を通過する流体の漏れ量の増加を抑制することである。

[0014] 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において、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てポンプ効率を上げつつ、シール内部を通過する流体による不安定振動を抑制することである。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明者らは、上記問題点に対して鋭意検討した結果、以下の知見を得た。即ち、ネジ溝のリード角が比較的大きいネジ溝シールにおいては、低圧側（シール出口側）における不安定振動を抑制する作用よりも、高圧側（シール入口側）における不安定振動を抑制する作用が大きいことが分かった。また、ネジ溝のリード角が比較的小さいネジ溝シールは、その低圧側と高圧側とで、ほぼ同等の漏れ量を低減する効果を有することが分かった。

[0016] 本発明は、上記知見に基づきなされた。本発明の一形態によれば、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が提供される。この非接触環状シールは、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、前記回転体の軸方向に直交する平面に対する前記ネジ溝のリード角を画定し、シール入口側の前記ネジ溝の前記リード角は、シール出口側の前記ネジ溝の前記リード角よりも大きい。これによれば、不安定化振動を抑制する作用が大きい高压側（シール入口側）においては、ネジ溝のリード角が相対的に大きくされるので、不安定化振動を抑制する作用を向上させることができる。また、低压側（シール出口側）においては、ネジ溝のリード角が相対的に小さくされるので、シールを通過する流体の漏れ量の増加を抑制することができる。したがって、本発明の一形態によれば、非接触環状シールの不安定振動を抑制する効果と高い軸封性能とを両立することができる。

[0017] 本発明の他の一形態によれば、上記非接触環状シールの一形態において、前記ネジ溝は、前記ネジ溝のリード角がシール入口側からシール出口側に向かって段階的に小さくなるように形成される。これによれば、上記非接触環状シールは、リード角の異なるネジ溝を有する複数の非接触環状シールを互いに接合することで製造され得る。このため、上記非接触環状シールは、例えば、従来から存在する非接触環状シールを利用する等して、容易に製造することができる。

[0018] 本発明の他の一形態によれば、上記非接触環状シールの一形態において、前記ネジ溝は、前記ネジ溝のリード角がシール入口側から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る。これによれば、ネジ溝のリード角を、軸方向位置に応じて適切な角度に細かく設定することができる。ひいては、非接触環状シールの不安定振動を抑制する効果と軸封性能とより向上させることができる。

[0019] 本発明の他の一形態によれば、上記非接触環状シールの一形態において、

シール入口側の前記ネジ溝の深さは、シール出口側の前記ネジ溝の深さよりも大きい。非接触環状シールにおいて所定の条数を有するネジ溝のリード角を大きくした場合、ネジ溝の幅を大きくせざるを得ず、ネジ溝の断面積の総和が大きくなる。また、所定の幅を有するネジ溝のリード角を大きくした場合は、条数を増加せざるを得ず、ネジ溝の断面積の総和が大きくなる。ネジ溝の断面積の総和が大きくなると、流体がシール間を流れやすくなる。本発明の一形態によれば、非接触環状シールのネジ溝の断面積の総和を小さくすることができるので、シール間を通過する流体の漏れ量をさらに低減することができる。

[0020] 本発明の他の一形態によれば、上記非接触環状シールの一形態において、前記ネジ溝は、少なくとも前記固定体の前記表面に形成される。ネジ溝が少なくとも固定体の表面に形成されることにより、不安定振動を抑制する作用を向上させつつ、漏れ量の増加を抑制することができる。ところで、非接触環状シールの回転体にもネジ溝を設けた場合、回転体の回転により流体を高圧側に押し戻すポンピング効果が増加する。一方で、回転体の回転により、回転体の周囲の流体が旋回し、不安定振動が助長される可能性がある。ここで、固定体の表面に上記ネジ溝が形成されていれば、回転体の表面にネジ溝が形成されていても、回転体の回転により生じる流体の旋回を固定体の表面のネジ溝により抑制することができる。また、この場合、回転体の表面に形成されたネジ溝によるポンピング効果により、一層流体の漏れ量を低減することができる。したがって、固定体と回転体の両方に上記ネジ溝が形成されている場合は、不安定振動を抑制しつつ、漏れ量を一層抑制することができる。

[0021] 本発明の他の一形態によれば、回転機械が提供される。この回転機械は、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、上記非接触環状シールを有する。

発明の効果

[0022] 本発明の一つによれば、回転軸の周方向の旋回流に起因する不安定振動の抑制効果の向上を図りつつ、シール内部を通過する流体の漏れ量の増加を抑制することができる。

[0023] また、本発明の一つによれば、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において、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てポンプ効率を上げつつ、シール内部を通過する流体による不安定振動を抑制することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [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を示す。

[図2]図1に示した高圧ポンプの1段目羽根車の拡大断面図である。

[図3]図2に示した非接触環状シール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4A]固定体に形成されるネジ溝の断面形状の他の例を示す図である。

[図4B]固定体に形成されるネジ溝の断面形状の他の例を示す図である。

[図4C]固定体に形成されるネジ溝の断面形状の他の例を示す図である。

[図5]図3に示した固定体の、中心軸を含む平面で切断した場合の断面図である。

[図6]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体の他の例を示す断面図である。

[図7]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。

[図8]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。

[図9]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。

す断面図である。

[図10]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。

[図11]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。

[図12]図3に示した非接触環状シールに使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。

[図13]図2に示した非接触環状シール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14]図2に示した非接触環状シール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15]図2に示した非接触環状シール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16]図2に示した非接触環状シール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17]評価試験の結果を示すグラフである。

[図18]従来の平行溝シールの部分断面図である。

[図19]従来のダンパーシールの部分断面図である。

[図20]従来のダンパーシールの部分断面図である。

[図21]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

[0025] 以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。以下で説明する図面において、同一の又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。なお、以下で説明する実施形態では、本発明の回転機械の一例として高圧ポンプが説明される。

[0026] 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 を収容するケーシング 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。

[0027] ケーシング 3 1 は水等の非圧縮性流体（以下、単に流体という）を外部から吸い込むための吸込口 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、吸込口 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。

[0028] 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。

[0029] 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込口 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、吸込口 2 3 側が低圧になり、吐出口 2 5 側が高圧となる。即ち、吸込口 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。

[0030] 非接触環状シール 4 1, 4 3 は、高圧ポンプ 1 の回転部である羽根車 2 1 a に設けられる回転体 4 1 a, 4 3 a と、固定部であるケーシング 3 1 a, 3 1 b に設けられる固定体 4 1 b, 4 3 b と、を有する。なお、図示の例では回転体 4 1 a, 4 3 a が羽根車 2 1 a とは別の部材として設けられているが、回転体 4 1 a, 4 3 a は羽根車 2 1 a 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 4 1 b, 4 3 b がケーシング 3 1 a, 3 1 b とは別の部材として設けられているが、固定体 4 1 b, 4 3 b はケーシング 3 1 a, 3 1 b と一体に形成されていてもよい。

[0031] 図 3 は、図 2 に示した非接触環状シール 4 1, 4 3 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 7 1 を断面図で示し、回転体 6 1 を側面図で示している。

[0032] 図示のように、本実施形態の非接触環状シール 5 1 は、図 2 に示した回転部である羽根車 2 1 a に設けられる回転体 6 1 と、図 2 に示した固定部であるケーシング 3 1 a, 3 1 b に設けられる固定体 7 1 とを備える。回転体 6 1 は、羽根車 2 1 a とともに回転可能に構成される。回転体 6 1 は、中心軸 1 5 1 を中心として所定方向に回転する。なお、中心軸 1 5 1 は、例えば、図 1 及び図 2 に示した主軸 1 1 の軸心と一致する。

[0033] また、固定体 7 1 は、その内表面にらせん状に形成されたネジ溝 8 1 を備える。即ち、本実施形態の非接触環状シール 5 1 はネジ溝シールである。固定体 7 1 は略円筒状に形成される。回転体 6 1 は、固定体 7 1 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 6 1 は、固定体 7 1 の内面に対して所定の隙間を有するように、固定体 7 1 の内部に配置される。

[0034] 非接触環状シール 5 1 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 7 1 と回転体 6 1 との隙間を、高圧側 1 5 5 (シール入口側)

から低圧側 1 5 6（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。

[0035] 図 3 に示すように、固定体 7 1 に形成されるネジ溝 8 1 の断面形状は略矩形である。しかしながら、これに限らず、図 4 A に示すようにネジ溝 8 1 の断面形状は略三角形であってもよい。また、図 4 B に示すように、ネジ溝 8 1 の断面形状は略 U 字形であってもよい。さらに、図 4 C に示すように、ネジ溝 8 1 の断面形状は略半円形であってもよい。なお、ネジ溝 8 1 の断面形状としては、図 3 及び図 4 A - 4 C に示した断面形状以外の任意の断面形状を採用することもできる。

[0036] 上述したように、本発明者らは、鋭意検討により以下の知見を得た。即ち、ネジ溝のリード角が比較的大きいネジ溝シールにおいては、低圧側（シール出口側）における不安定振動を抑制する作用よりも、高圧側（シール入口側）における不安定振動を抑制する作用が大きいことが分かった。また、ネジ溝のリード角が比較的小さいネジ溝シールは、その低圧側と高圧側とで、ほぼ同等の漏れ量を低減する効果を有することが分かった。

[0037] このため、図 3 に示した本実施形態に係る非接触環状シール 5 1 では、高圧側 1 5 5（シール入口側）のネジ溝 8 1 のリード角が、低圧側 1 5 6（シール出口側）のネジ溝 8 1 のリード角よりも大きくなるように、ネジ溝 8 1 が形成される。即ち、本実施形態に係る非接触環状シール 5 1 では、高圧側におけるネジ溝 8 1 により不安定振動を効率よく抑制し、且つ低圧側におけるネジ溝 8 1 により漏れ量を低減する。したがって、本実施形態に係る非接触環状シール 5 1 は、不安定振動を抑制する効果と高い軸封性能とを両立することができる。

[0038] 図 5 は、図 3 に示した固定体 7 1 の、中心軸 1 5 1 を含む平面で切断した場合の断面図である。図示のように固定体 7 1 は、高圧側 1 5 5（シール入口側）に位置するネジ溝 8 1 A と、低圧側 1 5 6（シール出口側）に位置するネジ溝 8 1 C と、ネジ溝 8 1 A とネジ溝 8 1 C との間に位置するネジ溝 8 1 B とを有する。ここでは、ネジ溝 8 1 A、8 1 B、8 1 C の全体の総称と

してネジ溝 8 1 と呼ぶ。ネジ溝 8 1 A, 8 1 B, 8 1 C は、それぞれ、回転体 6 1 (図 3 参照) の軸方向 (中心軸 1 5 1 の軸方向) に直交する平面に対するリード角 $\theta 1 A$, $\theta 1 B$, $\theta 1 C$ を画定する。また、ネジ溝 8 1 A, 8 1 B, 8 1 C は、それぞれ、幅 $W 1 A$, $W 1 B$, $W 1 C$ を有する。ここで、幅 $W 1 A$, $W 1 B$, $W 1 C$ は、ネジ溝 8 1 A, 8 1 B, 8 1 C の側面の任意の点からの幅方向の最短距離を示す。なお、ネジ溝 8 1 A, 8 1 B, 8 1 C の深さは全て同一である。

[0039] ネジ溝 8 1 は、ネジ溝 8 1 のリード角が変化する境界部 1 6 1, 1 6 2 を有する。具体的には、ネジ溝 8 1 A のリード角 $\theta 1 A$ は、境界部 1 6 1 においてネジ溝 8 1 B のリード角 $\theta 1 B$ に変化する。また、ネジ溝 8 1 B のリード角 $\theta 1 B$ は、境界部 1 6 2 においてネジ溝 8 1 C のリード角 $\theta 1 C$ に変化する。境界部 1 6 1, 1 6 2 は実質的な幅を有していないので、ネジ溝 8 1 は、固定体 7 1 の表面に連続的に形成される。なお、本実施形態では、境界部 1 6 1, 1 6 2 は、中心軸 1 5 1 に直交する平面と平行に形成される。しかしながら、この境界部 1 6 1, 1 6 2 は、平面状又は直線状に形成される場合に限らず、任意の形状であってもよい。また、後述するように、境界部 1 6 1, 1 6 2 の数は、2 つに限らず、1 又は 3 以上であってもよい (図 1 0 及び図 1 1 参照)。

[0040] ここで、リード角 $\theta 1 A$ は、リード角 $\theta 1 B$ よりも大きい。また、リード角 $\theta 1 B$ は、リード角 $\theta 1 C$ よりも大きい。したがって、ネジ溝 8 1 のリード角は、高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって段階的に小さくなるように形成される。即ち、不安定化振動を抑制する作用が大きい高圧側 1 5 5 においては、ネジ溝 8 1 A のリード角 $\theta 1 A$ が相対的に大きくされるので、不安定化振動を抑制する作用を向上させることができる。また、低圧側 1 5 6 においては、ネジ溝 8 1 B のリード角 $\theta 1 B$ 及びネジ溝 8 1 C のリード角 $\theta 1 C$ が相対的に小さくされるので、非接触環状シール 5 1 を通過する流体の漏れ量の増加を抑制することができる。

[0041] また、ネジ溝 8 1 は、そのリード角が高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向

かって段階的に小さくなるように形成されるので、この固定体 7 1 にネジ溝 8 1 を容易に加工することができる。具体的には、ネジ溝 8 1 は、固定体 7 1 の内周面に、一定幅のネジ溝 8 1 A、8 1 B、8 1 C をそれぞれ加工することで形成することができる。又は、例えばネジ溝 8 1 A を有する固定体と、ネジ溝 8 1 B を有する固定体と、ネジ溝 8 1 C を有する固定体とそれぞれ製造し、これらの固定体を組み合わせることで固定体 7 1 を容易に製造することができる。

[0042] ネジ溝 8 1 A の条数と、ネジ溝 8 1 B の条数と、ネジ溝 8 1 C の条数は、それぞれ同一である。ネジ溝 8 1 は、条数が一定の場合、リード角が小さくなるに従って、ネジ溝 8 1 の幅が小さくなる。このため、境界部 1 6 1 よりも高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 A の幅 $W 1 A$ は、境界部 1 6 1 よりも低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 B の幅 $W 1 B$ よりも大きい。また、境界部 1 6 2 よりも高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 B の幅 $W 1 B$ は、境界部 1 6 2 よりも低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 C の幅 $W 1 C$ よりも大きい。即ち、ネジ溝 8 1 の幅は、高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって段階的に小さくなるように形成される。なお、後述するように、ネジ溝 8 1 A の条数と、ネジ溝 8 1 B の条数と、ネジ溝 8 1 C の条数は、それぞれ異なってもよい（図 7 参照）。また、後述するように、幅 $W 1 A$ と、幅 $W 1 B$ と、幅 $W 1 C$ とは、互いに同一の大きさであってもよい（図 7 参照）。

[0043] 図示のように、境界部 1 6 1 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 A の断面積は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 B の断面積と同一である。同様に、境界部 1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 B の断面積は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 C の断面積と同一である。なお、後述するように、境界部 1 6 1、1 6 2 における高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 の断面積は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 の断面積と異なってもよい（図 7 参照）。

[0044] また、図示のように、境界部 1 6 1、1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 に連続して形成される。言い換えれば、境界部 1 6 1、1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 の断面が、

低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 の断面と一致する。具体的には、境界部 1 6 1 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 A の断面は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 B の断面と一致する。また、境界部 1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 B の断面は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 C の断面と一致する。これにより、ポンピング効果が境界部 1 6 1, 1 6 2 におけるネジ溝 8 1 によって阻害されることを抑制することができる。なお、後述するように、境界部 1 6 1, 1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 に連続しないように形成されてもよい（図 6、図 7 参照）。

[0045] 以上で説明したように、図 3 に示した非接触環状シール 5 1 は、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 のリード角が低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 のリード角よりも大きい固定体 7 1 を有する。この非接触環状シール 5 1 は、例えば以下で説明するような他の固定体を備えることもできる。

[0046] 図 6 は、図 3 に示した非接触環状シール 5 1 に使用される固定体の他の例を示す断面図である。図 6 においては、図 3 に示した中心軸 1 5 1 を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図 6 に示す固定体 7 2 は、図 5 に示した固定体 7 1 に比べて、境界部 1 6 1, 1 6 2 においてネジ溝 8 1 が不連続である点が異なる。固定体 7 2 の他の部分については、図 5 に示した固定体 7 1 と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。

[0047] 図示のように、境界部 1 6 1, 1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 の断面は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 の断面と一致しないように形成される。具体的には、境界部 1 6 1 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 A の断面は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 B の断面と一致しない。また、境界部 1 6 2 において、高圧側 1 5 5 のネジ溝 8 1 B の断面は、低圧側 1 5 6 のネジ溝 8 1 C の断面と一致しない。

[0048] 図 7 は、図 3 に示した非接触環状シール 5 1 に使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。図 7 においては、図 3 に示した中心軸 1 5 1 を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図 7 に示す固定体 7 3 は

、図5に示した固定体71に比べて、高圧側155のネジ溝81の断面積が低圧側156に比べて異なる点、境界部161、162においてネジ溝81が不連続である点、及びネジ溝81の幅が一定である点が異なる。

固定体73の他の部分については、図5に示した固定体71と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。

[0049] 図示のように、境界部161において、高圧側155のネジ溝81Aの断面積は、低圧側156のネジ溝81Bの断面積と異なる。また、境界部162において、高圧側155のネジ溝81Bの断面積は、低圧側156のネジ溝81Cの断面積と異なる。ネジ溝81の断面積が境界部161、162において変化するようにネジ溝81が形成されるので、境界部161、162の前後においてネジ溝81の条数を変化させることができる。このため、ネジ溝81A、81B、81Cのリード角 $\theta 1A$ 、 $\theta 1B$ 、 $\theta 1C$ をより柔軟に設定することができる。

[0050] また、境界部161、162において、高圧側155のネジ溝81の断面積は、低圧側156のネジ溝81の断面と一致しないように形成される。具体的には、境界部161において、高圧側155のネジ溝81Aの断面は、低圧側156のネジ溝81Bの断面と一致しない。また、境界部162において、高圧側155のネジ溝81Bの断面は、低圧側156のネジ溝81Cの断面と一致しない。

[0051] また、図示のように、固定体73においては、境界部161よりも高圧側155のネジ溝81Aの幅 $W1A$ が、境界部161よりも低圧側156のネジ溝81Bの幅 $W1B$ と同一である。また、境界部162よりも高圧側155のネジ溝81Bの幅 $W1B$ が、境界部162よりも低圧側156のネジ溝81Cの幅 $W1C$ と同一である。これにより、ネジ溝81Aの条数と、ネジ溝81Bの条数と、ネジ溝81Cの条数とが異なっている。具体的には、ネジ溝81Aの条数は、ネジ溝81Bの条数よりも多く、ネジ溝81Bの条数は、ネジ溝81Cの条数よりも多い。

[0052] 図8は、図3に示した非接触環状シール51に使用される固定体のさらに

他の例を示す断面図である。図8においては、図3に示した中心軸151を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図8に示す固定体74は、図5に示した固定体71に比べて、境界部161、162が所定の幅を有する点異なる。固定体74の他の部分については、図5に示した固定体71と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。

[0053] 図8に示すように、ネジ溝81Aとネジ溝81Bとの間の境界部161が所定の幅を有する。また、ネジ溝81Bとネジ溝81Cとの間の境界部162が所定の幅を有する。言い換えれば、ネジ溝81は、固定体74の表面に間欠的に形成される。このように、ネジ溝81が固定体74の表面に間欠的に形成されても、図5に示した固定体71と同様の作用を奏し得る。

[0054] 図9は、図3に示した非接触環状シール51に使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。図9においては、図3に示した中心軸151を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図9に示す固定体75は、図5に示した固定体71に比べて、ネジ溝81の深さが段階的に浅くなるように形成されている点異なる。固定体75の他の部分については、図5に示した固定体71と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。

[0055] 図示のように、ネジ溝81A、81B、81Cは、それぞれ、深さD1A、D1B、D1Cを有する。境界部161より高圧側155のネジ溝81Aの深さD1Aは、境界部161より低圧側156のネジ溝81Bの深さD1Bよりも大きい。また、境界部162より高圧側155のネジ溝81Bの深さD1Bは、境界部162より低圧側156のネジ溝81Cの深さD1Cよりも大きい。

[0056] 一般的に、非接触環状シールにおいて、所定の条数を有するネジ溝のリード角を大きくする場合、ネジ溝の幅を大きくせざるを得ず、ネジ溝の断面積の総和が大きくなる。また、所定の幅を有するネジ溝のリード角を大きくする場合は、条数を増加せざるを得ず、ネジ溝の断面積の総和が大きくなる。ネジ溝の断面積の総和が大きくなると、流体がシール間を流れやすくなる。

- [0057] 図9に示す固定体75のように、所定の条数を有するネジ溝81のうち、ネジ溝81Aのリード角 $\theta 1A$ を相対的に大きくした場合、ネジ溝81Aの幅が相対的に大きくなり、ネジ溝81の断面積の総和が大きくなる。そこで、図9に示す固定体75のように、高圧側155から低圧側156に向かって、ネジ溝81の深さを段階的に浅くなるように形成することにより、ネジ溝81の断面積の総和を小さくすることができる。これにより、シール間を通過する流体の漏れ量をさらに低減することができる。
- [0058] なお、図7に示した固定体73のように、所定の幅を有するネジ溝81のうち、ネジ溝81Aのリード角 $\theta 1A$ を相対的に大きくした場合、ネジ溝81Aの条数が相対的に多くなる。このような場合にも、シール間を通過する流体の漏れ量をさらに低減するためには、ネジ溝81の深さを段階的に浅くなるように、ネジ溝81を形成することが有効である。
- [0059] 図10は、図3に示した非接触環状シール51に使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。図10においては、図3に示した中心軸151を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図10に示す固定体76は、図5に示した固定体71に比べて、リード角の変化位置（境界部）が多い点が異なる。固定体76の他の部分については、図5に示した固定体71と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。
- [0060] 図10に示すように、固定体76は、境界部161、162に加えて、高圧側155に境界部163を有する。したがって、固定体76は、ネジ溝81A、81B、81Cに加えて、高圧側にネジ溝81Dを有する。ネジ溝81Dのリード角 $\theta 1D$ は、ネジ溝81Aのリード角 $\theta 1A$ よりも大きい。このように、境界部161、162、163により、ネジ溝81のリード角が、図5に示した固定体71に比べてより多くの位置で変化する。したがって、ネジ溝81のリード角を、軸方向位置に応じて適切な角度に細かく設定することができる。ひいては、非接触環状シール51の不安定振動を抑制する効果と軸封性能とより向上させることができる。なお、境界部161、162、163の数は、3つに限らず、4以上としてもよい。

- [0061] 図 1 1 は、図 3 に示した非接触環状シール 5 1 に使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。図 1 1 においては、図 3 に示した中心軸 1 5 1 を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図 1 1 に示す固定体 7 7 は、図 5 に示した固定体 7 1 に比べて、リード角の変化位置（境界部）が少ない点異なる。固定体 7 7 の他の部分については、図 5 に示した固定体 7 1 と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。
- [0062] 図 1 1 に示すように、固定体 7 7 は、境界部 1 6 1 のみを有する。したがって、固定体 7 7 は、図 5 に示したネジ溝 8 1 C を有さず、ネジ溝 8 1 A 及びネジ溝 8 1 B のみを有する。このように、固定体 7 1 が、少なくとも 1 つの境界部 1 6 1 を有し、少なくとも 2 つのネジ溝 8 1 A 及びネジ溝 8 1 B を有していれば、図 5 に示した固定体 7 1 と同様の作用を奏し得る。
- [0063] 図 1 2 は、図 3 に示した非接触環状シール 5 1 に使用される固定体のさらに他の例を示す断面図である。図 1 2 においては、図 3 に示した中心軸 1 5 1 を含む平面で切断した場合の固定体の断面図を示す。図 1 2 に示す固定体 7 8 は、図 5 に示した固定体 7 1 に比べて、ネジ溝 8 1 のリード角 $\theta 1$ が連続的に小さくなる点異なる。
- [0064] 図 1 2 に示すように、固定体 7 8 には、リード角 $\theta 1$ が高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって連続的に小さくなるようにネジ溝 8 1 が形成される。したがって、固定体 7 8 は、図 3 に示した境界部 1 6 1, 1 6 2 のような、リード角 $\theta 1$ が変化する境界部は有していない。
- [0065] 図 1 2 に示す固定体 7 8 においては、高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 の間で、ネジ溝 8 1 の条数が変化することなく、ネジ溝 8 1 の幅が高圧側 1 5 5 から低圧側 1 5 6 に向かって連続的に小さくなるように、ネジ溝 8 1 が形成される。
- [0066] 図 1 2 に示す固定体 7 8 によれば、ネジ溝 8 1 のリード角 $\theta 1$ が、図 5 に示した固定体 7 1 に比べてより多くの位置で変化する。したがって、ネジ溝 8 1 のリード角 $\theta 1$ を、軸方向位置に応じて適切な角度に細かく設定することができる。ひいては、非接触環状シール 5 1 の不安定振動を抑制する効果

と軸封性能とより向上させることができる。なお、図 12 に示すネジ溝 81 のようにリード角が連続的に変化する部分を、図 5 - 図 11 に示した固定体に組み込むことも可能である。

[0067] 以上で説明したネジ溝 81 は、固定体に設けられるものとして説明したが、これに限らず、図 3 に示した回転体 62 の外周面に設けられてもよい。しかしながら、上記ネジ溝 81 は、少なくとも固定体の表面に形成されることが好ましい。ネジ溝 81 が少なくとも固定体の表面に形成されることにより、不安定振動を抑制する作用を向上させつつ、漏れ量の増加を抑制することができる。

[0068] 次に、図 3 に示した非接触環状シール 51 とは異なる非接触環状シールの例を説明する。図 13 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 13 に示す非接触環状シール 52 は、図 3 に示した非接触環状シール 51 に比べて、回転体 62 の構成が異なる。非接触環状シール 52 の他の部分については、図 3 に示した非接触環状シール 51 と同一であり、その効果も同一であるので、詳細な説明は省略する。なお、図 13 に示す非接触環状シール 52 は、固定体 71 に代えて、図 6 ないし図 12 に示した固定体 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78 のいずれかを有してもよい。

[0069] 非接触環状シール 52 は、その表面にネジ溝 91A, 91B, 91C が形成された回転体 62 を有する。ここでは、ネジ溝 91A, 91B, 91C の全体の総称としてネジ溝 91 と呼ぶ。ネジ溝 91A, 91B, 91C は、固定体 71 に形成されたネジ溝 81A, 81B, 81C と同様の形状を有する。即ち、ネジ溝 91 は、ネジ溝 91 のリード角が変化する境界部 164, 165 を有し、ネジ溝 91 のリード角は、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る。

[0070] 非接触環状シール 52 の回転体 62 にネジ溝 91 を設ける場合、回転体 62 の回転により流体を高圧側 155 に押し戻すポンピング効果が増加する。一方で、回転体 62 の回転により、回転体 62 の周囲の流体が旋回し、不安

定振動が助長される可能性がある。しかしながら、ネジ溝 8 1 が固定体 7 1 の表面に形成されることにより、回転体 6 2 の表面にネジ溝 9 1 が形成されていても、回転体 6 2 の回転により生じる流体の旋回を固定体 7 1 の表面のネジ溝 9 1 により抑制することができる。また、この場合、回転体 6 2 の表面に形成されたネジ溝 9 1 によるポンピング効果により、流体の漏れ量をより低減することができる。したがって、固定体 7 1 と回転体 6 2 に、それぞれ、高圧側 1 5 5 のリード角が低圧側 1 5 6 リード角よりも大きいネジ溝 8 1, 9 1 が形成されている場合は、不安定振動を抑制しつつ、漏れ量を一層抑制することができる。

[0071] また、非接触環状シール 5 2 は、図 1 4 に示すように、回転体 6 2 の表面に平行溝 9 2 を有してもよい。さらに、非接触環状シール 5 2 は、図 1 5 に示すように、回転体 6 2 の表面にハニカムパターンを採用したダンパーシール 9 3 を有してもよく、図 1 6 に示すように、回転体 6 2 の表面にホールパターンを採用したダンパーシール 9 4 を有してもよい。

[0072] 次に、本実施形態に係る非接触環状シールを用いたポンプにおける不安定化力と漏れ量の評価試験の結果について説明する。本評価試験では、図 3 に示した非接触環状シール 5 1 を使用したポンプ（実施例）を運転したときの不安定化力（不安定振動）と、シール間を漏洩する液体量（漏れ量）を評価した。評価試験の条件は以下の通りである。なお、固定体 7 1 の最小内径とは、固定体 7 1 のネジ山位置における内径を意味する。

固定体 7 1 の軸方向長さ／固定体 7 1 の最小内径：0.817

固定体 7 1 の内周面と回転体 6 1 の外周面との隙間／固定体 7 1 の最小内径：0.004

ネジ条数：8

ポンプ回転数：3000 rpm

シール入口側とシール出口側との差圧：1.0 MPa

[0073] ネジ溝 8 1 A と、ネジ溝 8 1 B と、ネジ溝 8 1 C の軸方向長さは同一である。即ち、固定体 7 1 の内周面の高圧側 1 5 5 の 1／3 の領域にネジ溝 8 1

Aが、低圧側156の1/3の領域にネジ溝81Cが、残りの1/3の中間領域にネジ溝81Bが形成されている。また、固定体71のネジ溝81Aのリード角 $\theta 1A$ と、ネジ溝81Bのリード角 $\theta 1B$ と、ネジ溝81Cのリード角 $\theta 1C$ の関係は、以下の通りとした。

$$\text{リード角 } \theta 1B = 1/2 \times \text{リード角 } \theta 1A = 2 \times \text{リード角 } \theta 1C$$

[0074] 比較例として、図3に示した非接触環状シール51のネジ溝81のリード角を一定に形成した非接触環状シールを使用したポンプを運転したときの不安定化力と漏れ量を評価した。比較例1は、ネジ溝81のリード角がリード角 $\theta 1B$ である非接触環状シールを使用したポンプである。比較例2は、ネジ溝81のリード角がリード角 $\theta 1A$ である非接触環状シールを使用したポンプである。比較例3は、ネジ溝81のリード角がリード角 $\theta 1C$ である非接触環状シールを使用したポンプである。

[0075] 図17は、本評価試験の結果を示すグラフである。本評価試験の結果を比較するために、比較例1の不安定化力及び漏れ量を100%として、比較例2、比較例3、及び実施例の不安定化力及び漏れ量を示す。

[0076] 図17に示すように、相対的に大きいリード角 $\theta 1A$ の比較例2において、不安定化力は31%に抑制されており、比較例1に比べて不安定振動が低減されているが、漏れ量が128%に増加している。また、相対的に小さいリード角 $\theta 1C$ の比較例3においては、漏れ量が92%に減少しており、比較例1に比べて漏れ量は抑制されているが、不安定化力が200%に増加していることが分かる。

[0077] 一方で、実施例においては、不安定化力が42%であり、漏れ量が100%である。即ち、実施例においては、不安定振動が効果的に抑制されつつ、シール内部を通過する流体の漏れ量の増加も抑制することができていることが分かる。

[0078] 以上、本発明の実施形態について説明したが、上述した発明の実施の形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定するものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良され得るとと

もに、本発明にはその等価物が含まれることはもちろんである。また、上述した課題の少なくとも一部を解決できる範囲、または、効果の少なくとも一部を奏する範囲において、特許請求の範囲及び明細書に記載された各構成要素の任意の組み合わせ、又は省略が可能である。

符号の説明

- [0079] 1 高圧ポンプ
- 1 5 5 高圧側
- 1 5 6 低圧側
- 1 6 1, 1 6 2, 1 6 3, 1 6 4 境界部
- 6 1, 6 2 回転体
- 7 1, 7 2, 7 3, 7 4, 7 5, 7 6, 7 7, 7 8 固定体
- 5 1, 5 2 非接触環状シール
- 8 1, 8 1 A, 8 1 B, 8 1 C, 8 1 D, 9 1, 9 1 A ネジ溝
- θ 1, θ 1 A, θ 1 B, θ 1 C, θ 1 D リード角
- W 1 A, W 1 B, W 1 C 幅
- D 1 A, D 1 B, D 1 C 深さ
- 1 1 主軸
- 2 1 a, 2 1 b, 2 1 c 羽根車
- 3 1, 3 1, 3 1 b ケーシング
- 4 5 a, 4 5 b 軸受

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、前記回転体の軸方向に直交する平面に対する前記ネジ溝のリード角を画定し、
 シール入口側の前記ネジ溝の前記リード角は、シール出口側の前記ネジ溝の前記リード角よりも大きい、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において、
 前記ネジ溝は、前記ネジ溝のリード角がシール入口側からシール出口側に向かって段階的に小さくなるように形成される、非接触環状シール。
- [請求項3] 請求項1に記載された非接触環状シールにおいて、
 前記ネジ溝は、前記ネジ溝のリード角がシール入口側から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る、非接触環状シール。
- [請求項4] 請求項1ないし3のいずれか一項に記載された非接触環状シールにおいて、
 シール入口側の前記ネジ溝の深さは、シール出口側の前記ネジ溝の深さよりも大きい、非接触環状シール。
- [請求項5] 請求項1ないし4のいずれか一項に記載された非接触環状シールにおいて、
 前記ネジ溝は、少なくとも前記固定体の前記表面に形成される、非接触環状シール。
- [請求項6] 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、

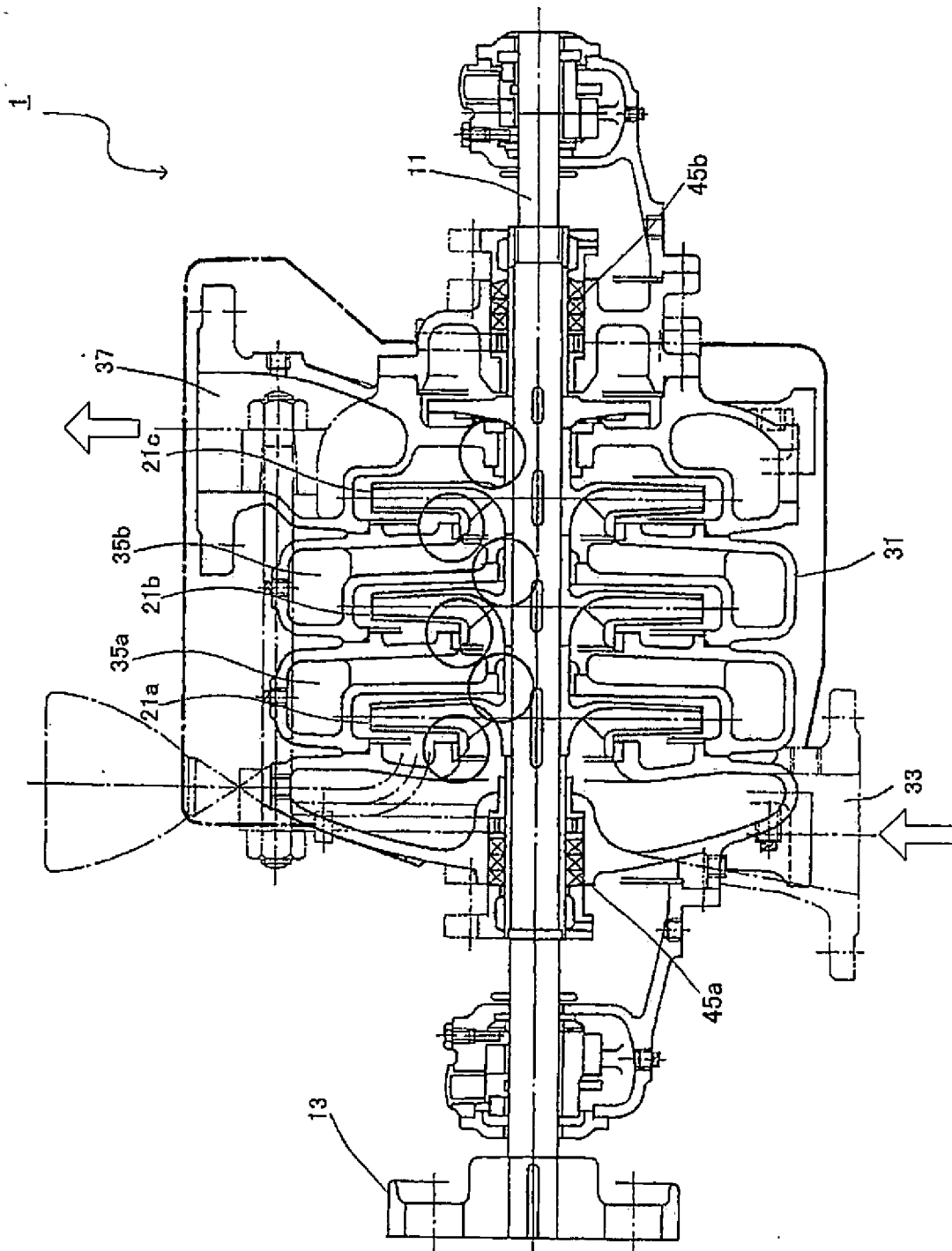
前記ケーシングに取り付けられ、前記主軸を回転可能に支持する軸受と、を備え、

前記主軸は回転部を有し、

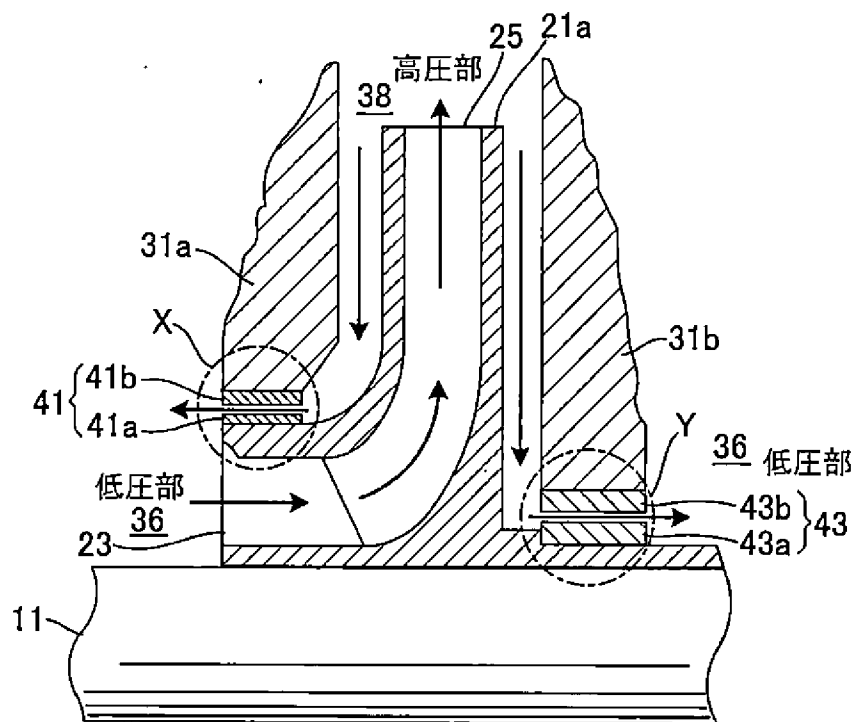
前記ケーシングは固定部を有し、

前記回転部及び前記固定部は、請求項 1 ないし 5 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。

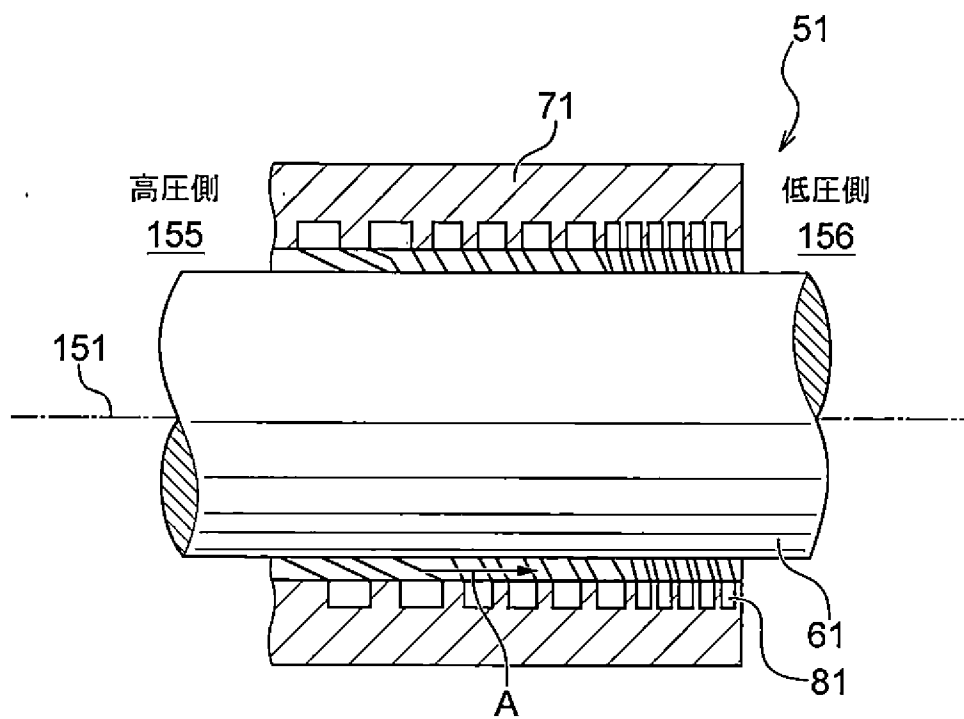
[図1]



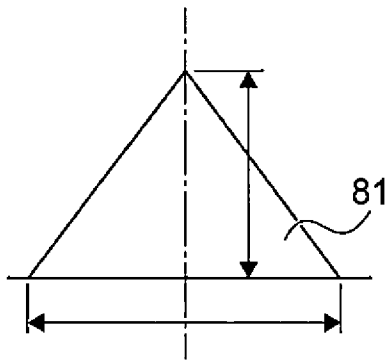
[図2]



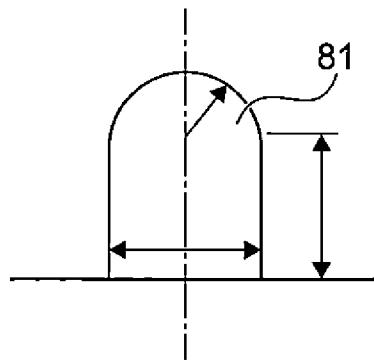
[図3]



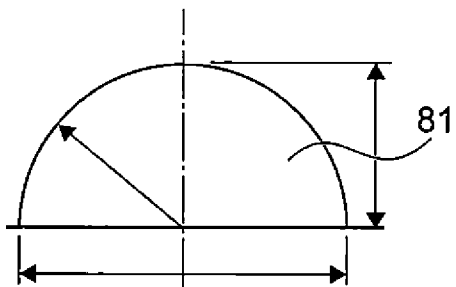
[図4A]



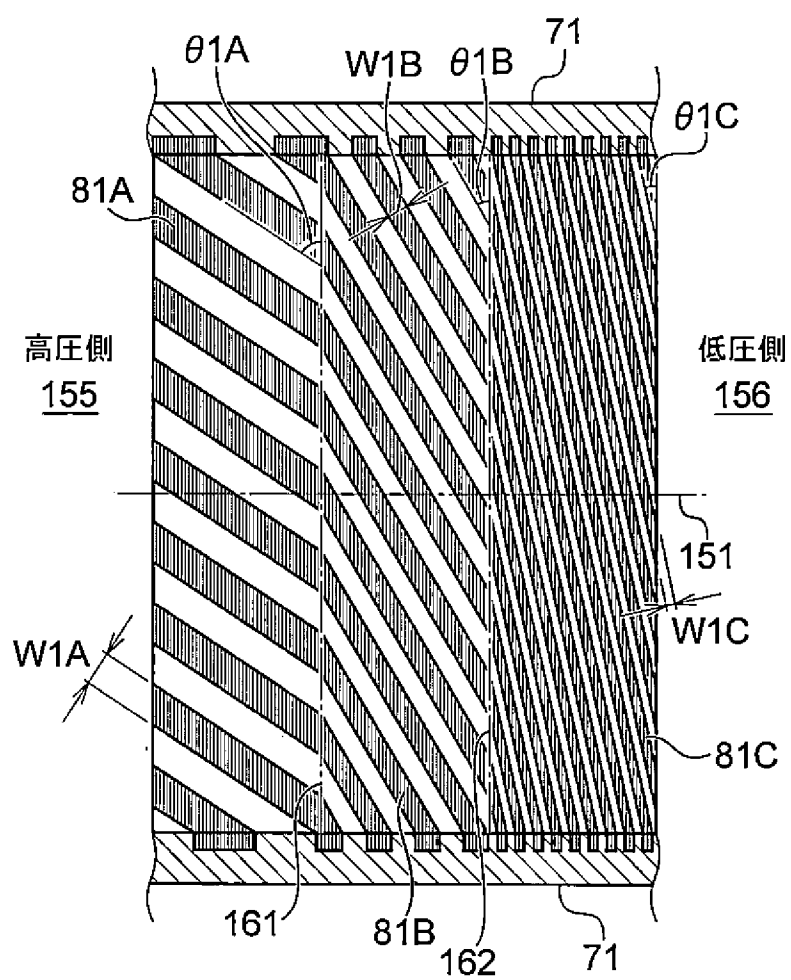
[図4B]



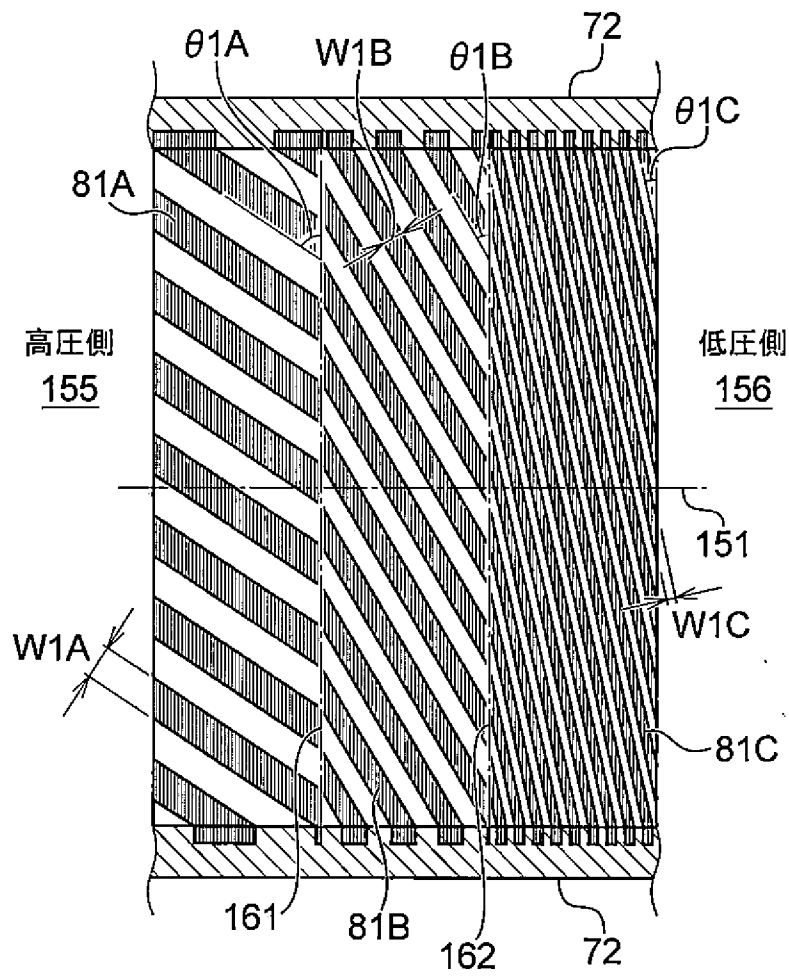
[図4C]



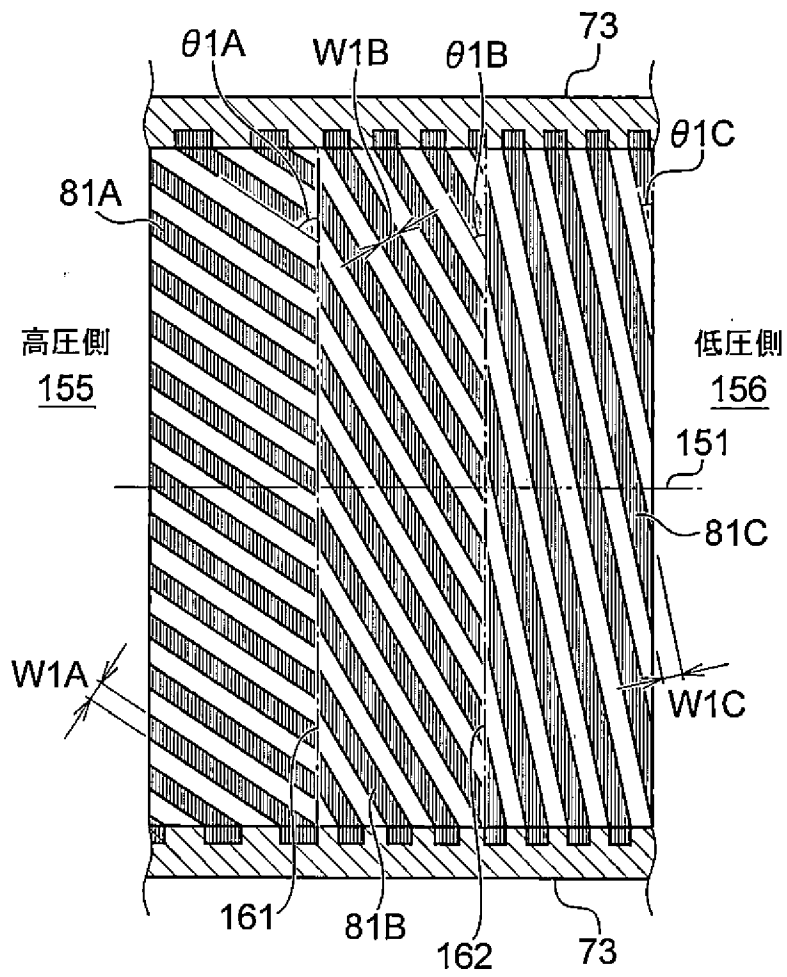
[図5]



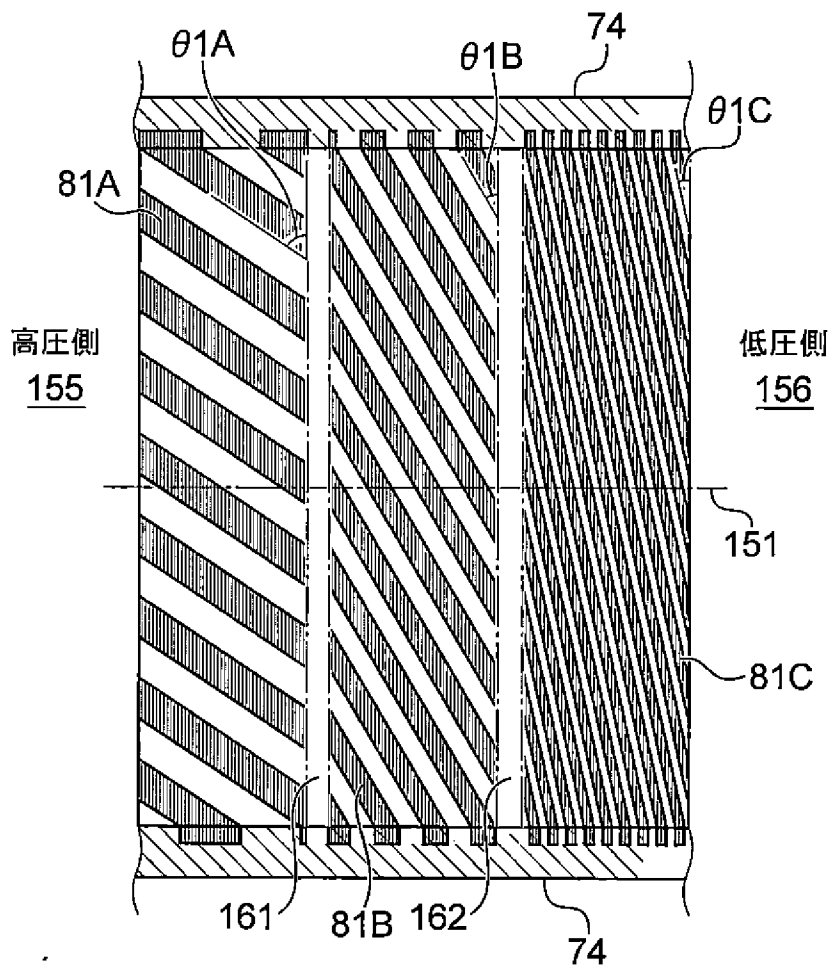
[図6]



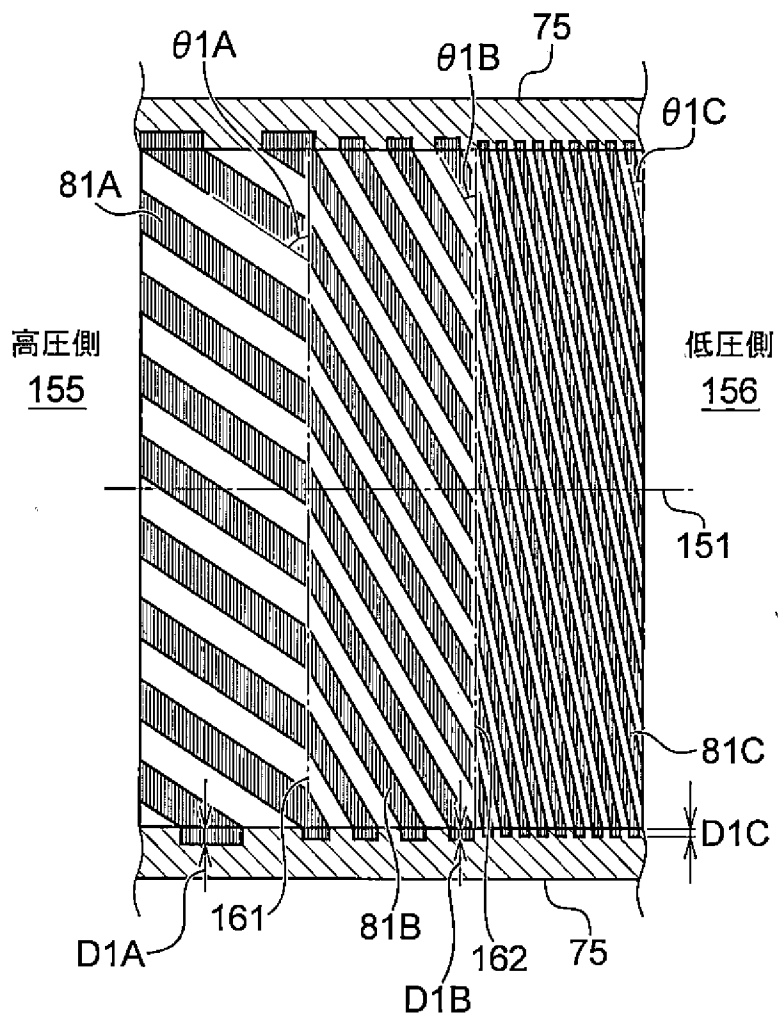
[図7]



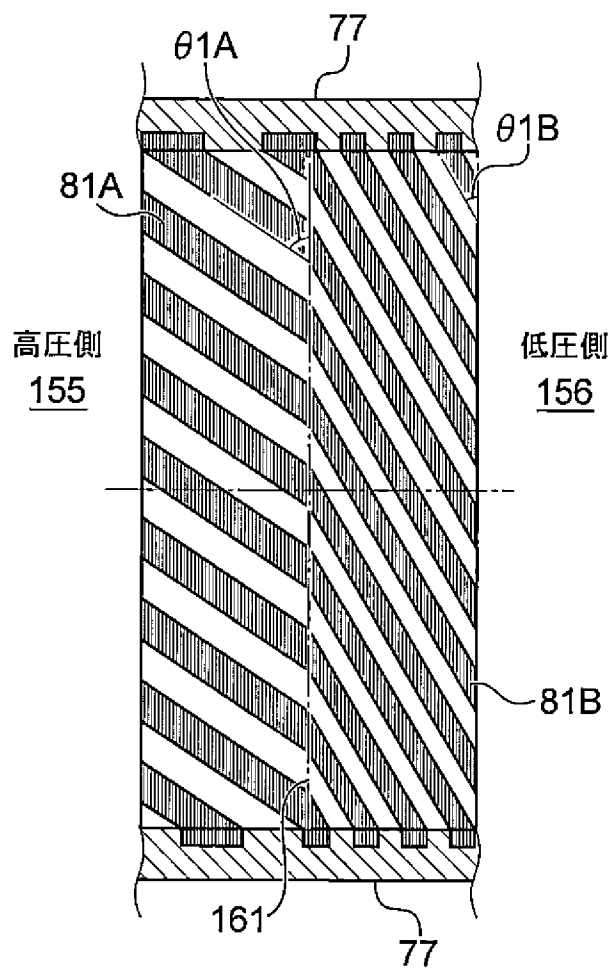
[図8]



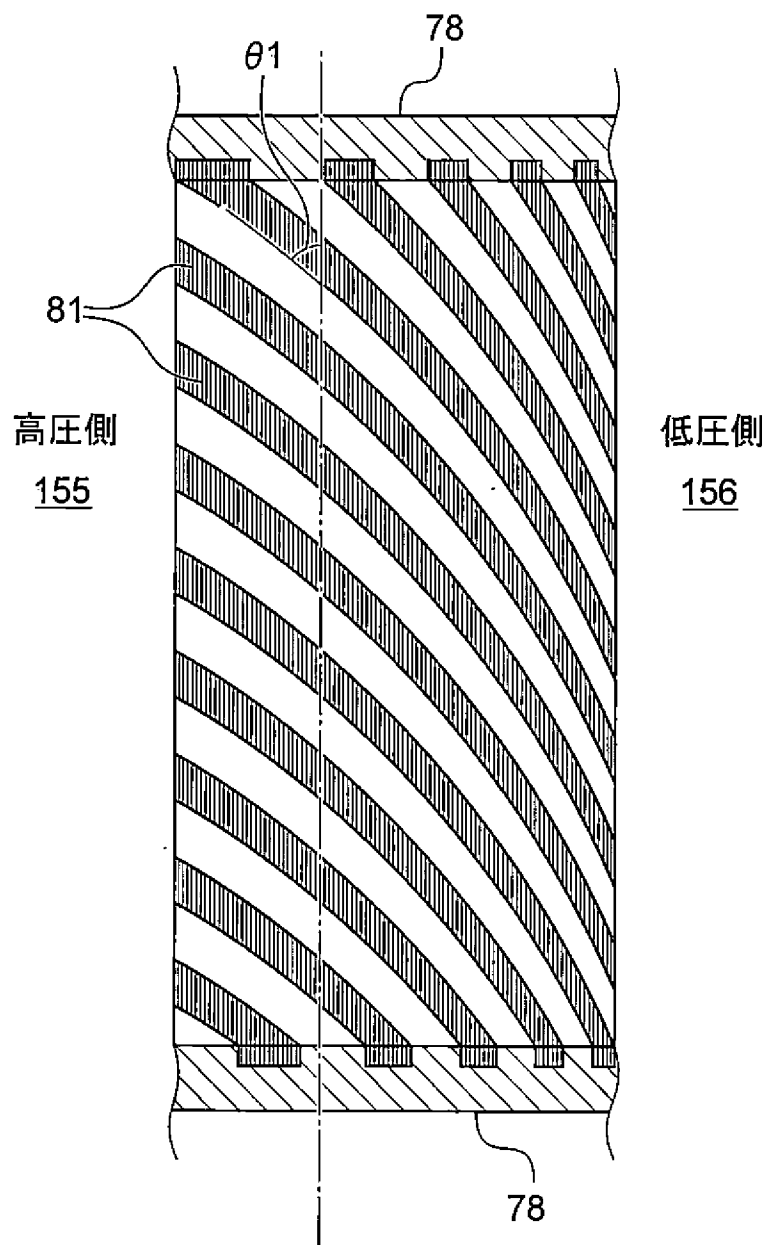
[図9]



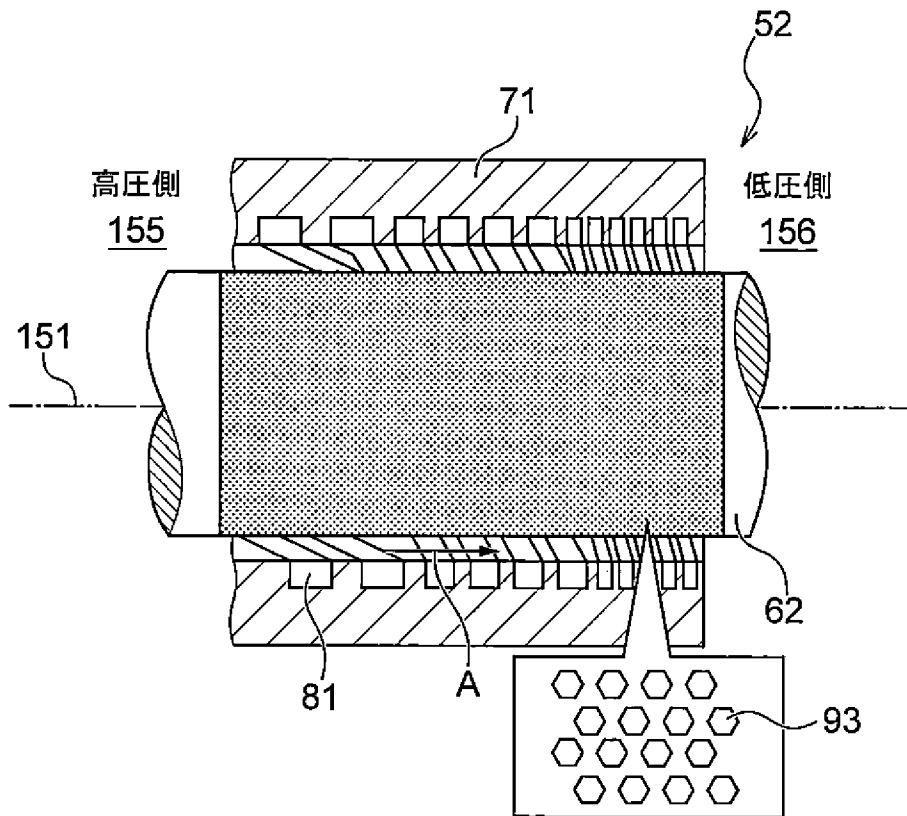
[図11]



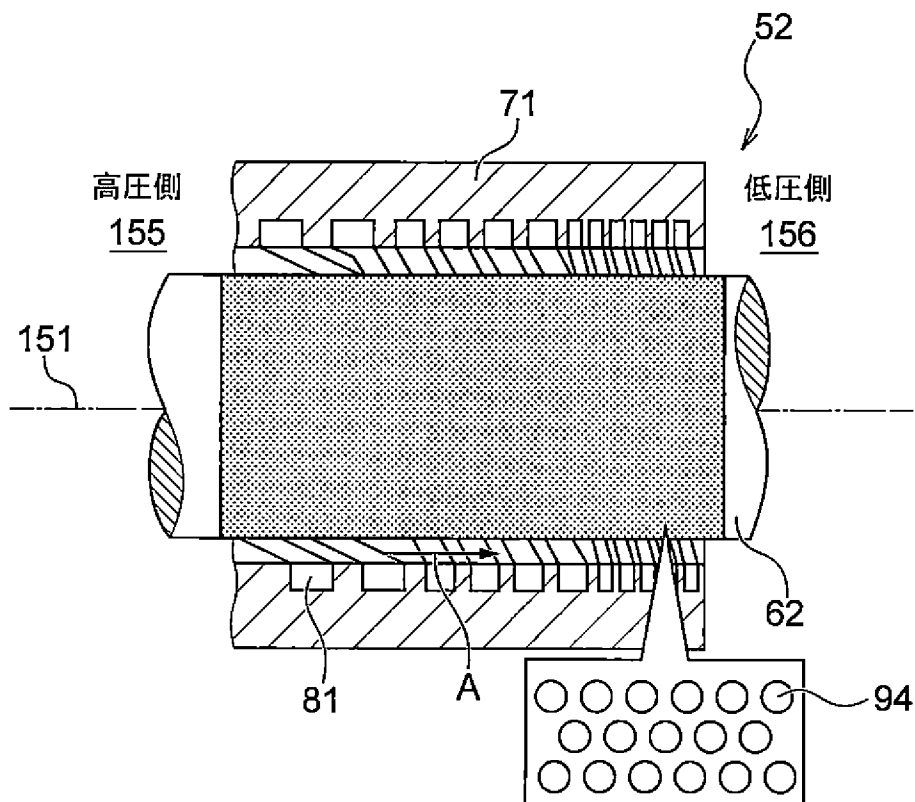
[図12]



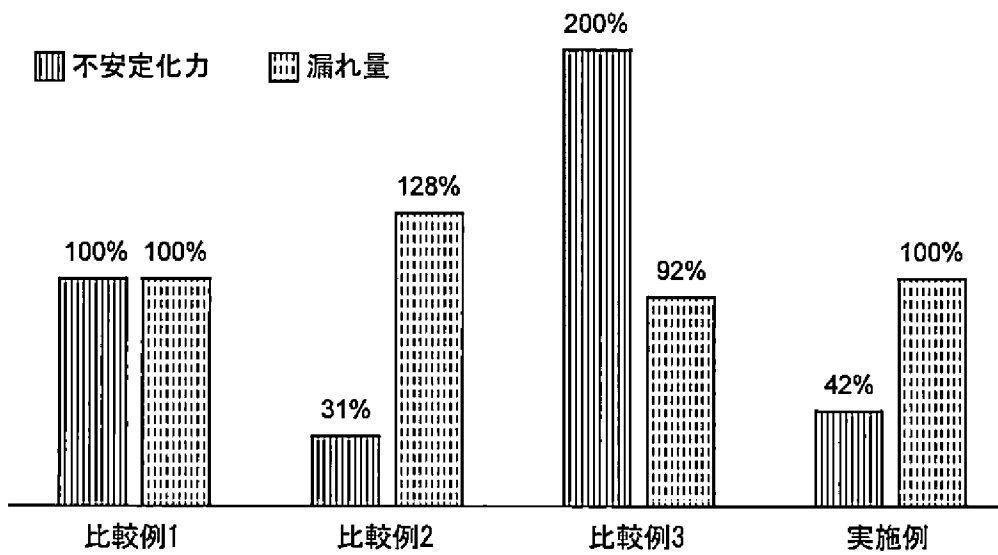
[図15]



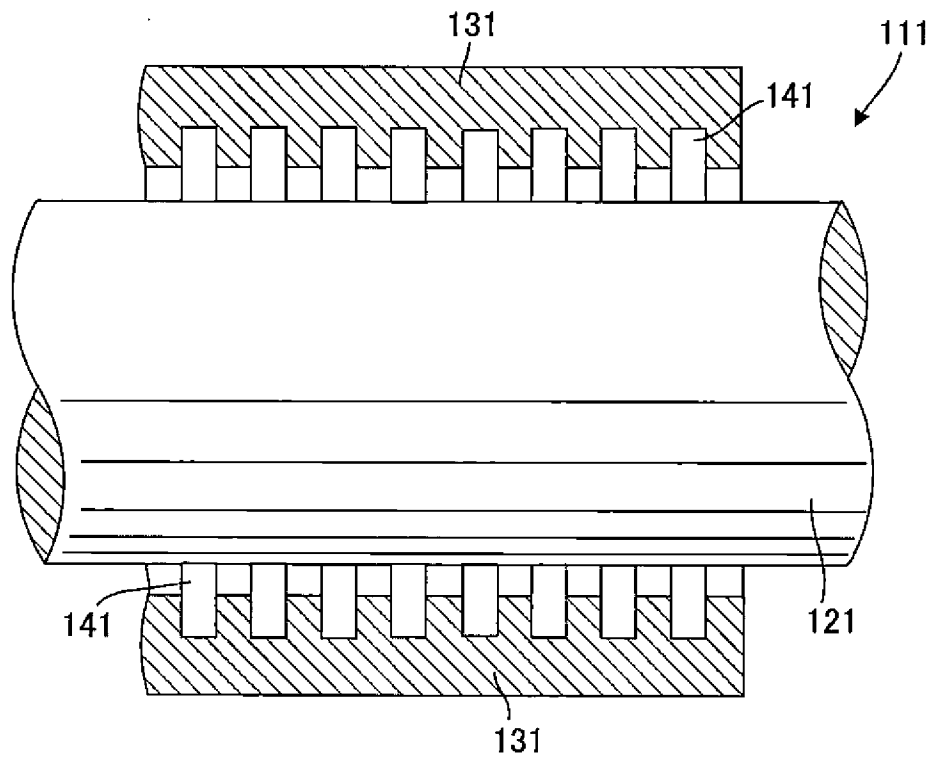
[図16]



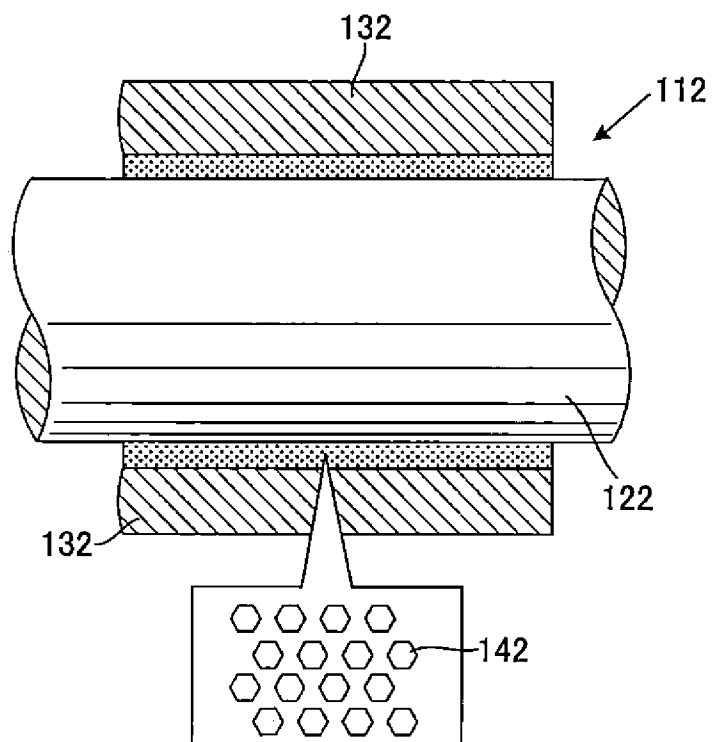
[図17]



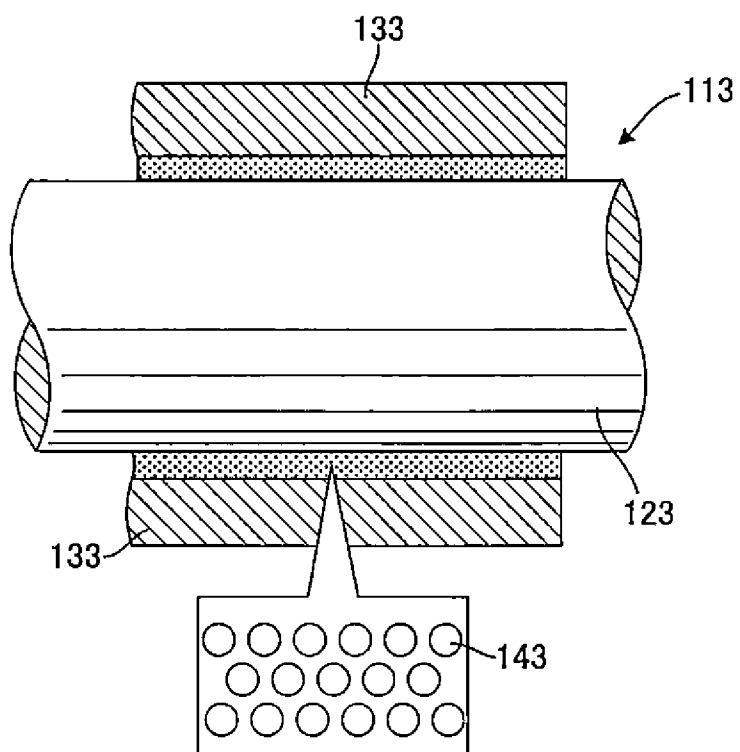
[図18]



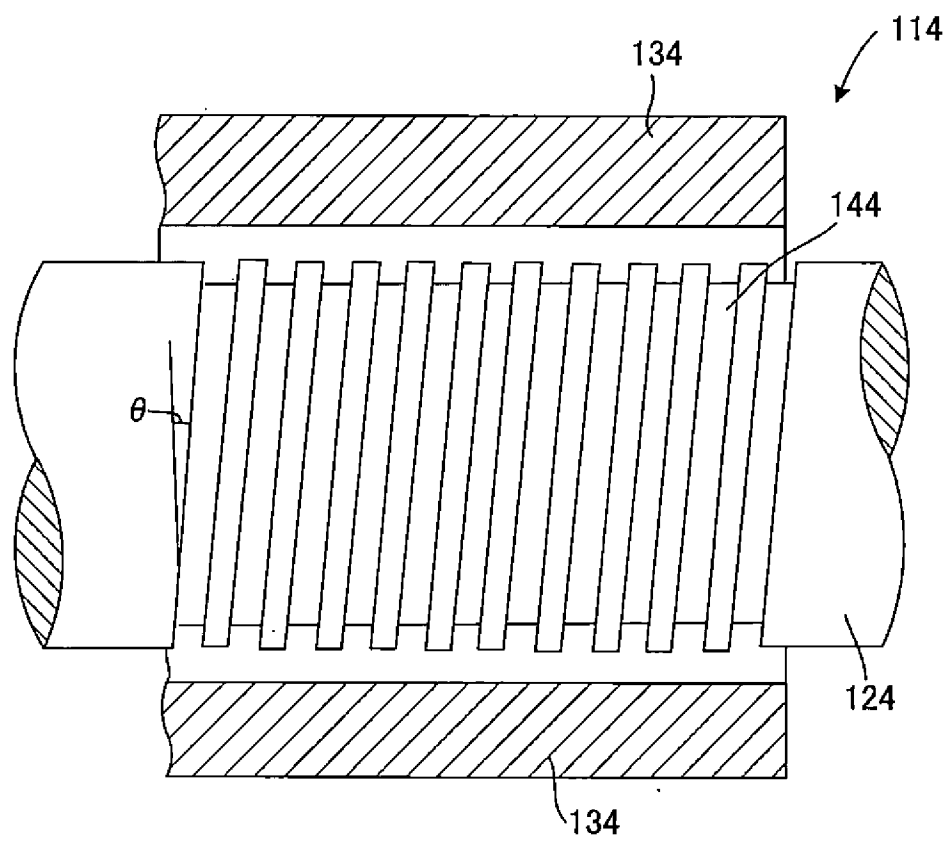
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/063530

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16J15/447(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)

F16J15/447

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	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 190980/1985 (Laid-open No. 098798/1987) (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 23 June 1987 (23.06.1987), fig. 1 to 4 (Family: none)	1-3, 5, 6
Y	JP 57-029856 A (Hitachi, Ltd.), 17 February 1982 (17.02.1982), fig. 1 to 5 (Family: none)	1-3, 5, 6

☒ 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
27 May 2016 (27.05.16)

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/JP2016/063530

C (Continuation). 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), page 4, upper left column, line 3 to lower left column, line 10; fig. 1 to 6 (Family: none)	4
Y	JP 2005-344610 A (BOC Edwards Japan Ltd.), 15 December 2005 (15.12.2005), paragraph [0022] & WO 2005/119060 A1 & EP 1811176 A1	4

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16J15/447(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. F16J15/447

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	日本国実用新案登録出願60-190980号(日本国実用新案登録出願公開62-098798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) 1987.06.23, 第1-4図 (ファミリーなし)	1-3, 5, 6
Y	JP 57-029856 A (株式会社日立製作所) 1982.02.17, 第1-5図 (ファミリーなし)	1-3, 5, 6

☒ 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

27.05.2016

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 55-155961 A (三菱電機株式会社) 1980. 12. 04, 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)	4
Y	JP 2005-344610 A (BOCエドワーズ株式会社) 2005. 12. 15, [0022] & WO 2005/119060 A1 & EP 1811176 A1	4