

(43) 国際公開日
2006 年 2 月 23 日 (23.02.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/018916 A1

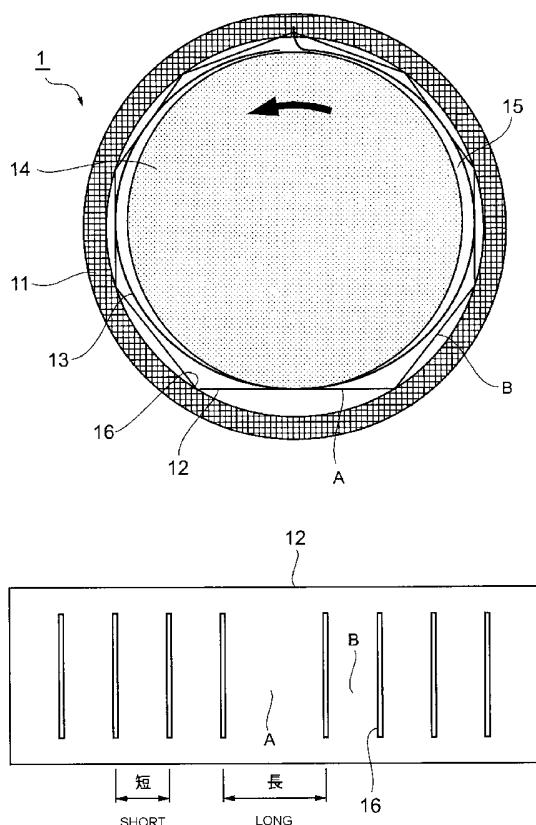
- (51) 国際特許分類⁷: F16C 27/02
 (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/003314
 (22) 国際出願日: 2005 年 2 月 28 日 (28.02.2005)
 (25) 国際出願の言語: 日本語
 (26) 国際公開の言語: 日本語
 (30) 優先権データ:
 特願2004-237380 2004 年 8 月 17 日 (17.08.2004) JP
 (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 川崎重工業株式会社 (KAWASAKI JUKOGYO KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒6508670 兵庫県神戸市中央区東川崎町三丁目 1 番 1 号 Hyogo (JP).
 (72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 和田 寿夫 (WADA, Hisao) [JP/JP]; 〒6512243 兵庫県神戸市西区井吹台西町 6-1 8-1 4 Hyogo (JP). 階戸 秀雄 (KAIDO, Hideo) [JP/JP]; 〒6510013 兵庫県神戸市垂

- 水区福田 3 丁目 4-1 8-7-1 0 2 Hyogo (JP). 西田 徹 (NISHIDA, Tooru) [JP/JP]; 〒6730005 兵庫県明石市小久保 1 2 0-5 5-A 6 0 6 Hyogo (JP).
 (74) 代理人: 吉武 賢次, 外 (YOSHITAKE, Kenji et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 富士ビル 3 2 3 号 協和特許法律事務所 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ,

[続葉有]

(54) Title: DYNAMIC PRESSURE FLUID BEARING

(54) 発明の名称: 動圧流体軸受



(57) Abstract: A foil type dynamic pressure gas bearing capable of providing excellent bearing performance by using a spring foil easily manufacturable and having excellent productivity and a dynamic pressure gas bearing capable of eliminating a restriction in a rotating direction by using an easily installable top foil fixing structure. The spring foil (12) formed of an elastic thin flat plate having a plurality of slits (16) is fitted to the inside wall of a bearing housing (11), a top foil (13) is disposed on the inside of the spring foil, and a rotating shaft (14) is disposed on the inside of the top foil. The spring foil (12) is bent at the positions of the slits (16) to form a large number of elastic beams in contact with the inside of the inside wall, and the rotating shaft (14) is elastically supported by the elastic beams.

(57) 要約: 製作がより容易で量産性に優れたスプリングフォイルを用いて軸受性能の優れたフォイル式動圧気体軸受を提供する。また、取付が容易なトップフォイル固定構造を用いて回転方向に制約がない動圧気体軸受を提供する。軸受ハウジング 11 の内壁に複数のスリット 16 を設けた弾性材料の薄板平板からなるスプリングフォイル 12 を装着し、スプリングフォイルの内側にトップフォイル 13 を配置し、トップフォイルの内側に回転軸 14 を配置して、スプリングフォイル 12 がスリット 16 の位置で折り曲がって内壁内側に接する多数の弾性梁を形成し、この弾性梁によって回転軸 14 を弾性的に支持する。



BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

明 細 書

動圧流体軸受

技術分野

- [0001] 本発明は、高速回転軸用の動圧流体軸受に関し、特に流体力学的フォイル軸受に関する。

背景技術

- [0002] 流体軸受には静圧型と動圧型があるが、周囲の空気を使用し軸の回転により圧力を生じさせる動圧型軸受は、コンプレッサなどにより外部から与圧する静圧型と比較して、コスト、軽量化、メンテナンスなどの面で有利であり、さらにオイルフリーであるという利点もあるので、特にフォイル式の動圧型流体軸受が航空機用空調装置あるいはエアサイクルマシンなど高速回転で使用される小型機械類に多用されている。フォイル式動圧型流体軸受は、軸との間に気体膜を形成するトップフォイルと、それを弾性的に支えるスプリングフォイルと、これらを保持するハウジングで構成されている。フォイル軸受のスプリングフォイルにはバンプ型やリーフ型など様々なものがある。
- [0003] 図30は、バンプフォイル空気軸受の例を示す側面断面図である。バンプ型スプリングフォイルを使用するバンプフォイル空気軸受は、特許文献1などに開示されているように、回転軸が挿入されたハウジングと回転軸との間に金属薄板を波板状に形成したバンプフォイルを設け、その内側に平らな金属薄板に固体潤滑剤を施したトップフォイルを設けて、回転軸とトップフォイルの間に形成される薄い流体膜によって回転軸を流体力学的に支持すると共に、トップフォイルがバンプフォイルを介してハウジングに対して弾性的に支持されるようになっている。
- [0004] バンプフォイル空気軸受は、バンプフォイルのバネ機能により回転軸の自己調整機構を備えるため軸受の工作精度に対する要求は厳しくないが、バンプフォイルは複雑な形状に成型する必要があるためプレスを使った精度の高い成型加工が要求され加工工程が複雑で製作や組立てが難しいので、量産に向かない。
- バンプフォイルは、剛性が高く寸法余裕が小さい。また、剛性を下げると使用により塑性変形して性能を発揮しにくくなる。

[0005] 図31は、リーフfoil空気軸受の例を示す側面断面図である。リーフ型スプリングfoilを使用するリーフfoil軸受は、軸受ハウジングの内周に複数のリーフfoilが互いに摺動できるように一部を重ね合わせて配置し、その内側に空気を引き込む隙間を隔てて回転軸を支持するようにしたもので、回転軸の軸荷重の作用に伴ってリーフfoilが回転軸にフィットするように変形して、適切な空気層を形成するようになっている。

リーフfoilも一定の形状に成型する必要があるため成型加工の手間が必要となり、また軸受を組み立てる手間が掛かる。

[0006] また、特許文献2には、スプリングfoilを1枚板から形成して組み立て工程を省略した空気軸受が開示されている。開示された空気軸受のスプリングfoilは、長方形の弾性板を長軸に沿って適宜間隔で一方に切り起こして多連の支持板としたもので、その一端をハウジングの内側の切り込みに設けた固定機構に固定してハウジングの内側に沿って配置し、支持板が回転軸を囲むトップfoilに接してばね作用で支持するようにしたものである。

開示された流体力学的箔軸受に使用するスプリングfoilも、切り起こし支持板の姿勢を維持するため成型加工を行う必要がある。

[0007] さらに、特許文献3には、軸受ハウジングの内部にスプリングfoilを最内層でほぼ4角形、中間層で7角形、最外層でほぼ6角形になるように三層巻きにして収納したfoilジャーナル軸受が開示されている。三重巻きスプリングfoilは、平板のスプリングfoilの幅を横切るように溝を形成して、この溝のところでfoilを折り曲げて溝に挟まれた部分を弾性梁とする。

特許文献3に開示された軸受は、梁部の持つ弾性と屈曲部の接触による摩擦減衰が得られて、ジャーナルの高速回転で発生する自励振動を抑制することができる。

しかし、厚さ数100 μ m以下という極めて薄いスプリングfoilの薄板平板に一定の厚みを残して溝を形成することは難しい上、溝部の板厚が極めて薄くなるため一部に亀裂が発生したときにも幅方向に進展しやすく、強度上問題である。

[0008] また、従来、トップfoilは、特許文献1や特許文献2にも記載されているように、バンプfoilあるいはスプリングfoilと一緒に一端をハウジング内筒面にねじ

や溶接で固着され、他端が周方向に移動可能な自由端とされていた。このような構造では、回転軸は自由端方向から固定端方向に向かって回転することにより空気を回転軸とバンプフォイルの間に巻き込んで空気層を形成するようになっていて、回転軸をトップフォイル固定端側から回転させると、トップフォイルが回転軸に巻き付いて空気層を形成することができないため、回転方向は1方向に限られていた。

このように、従来のトップフォイル固定方法はハウジング内面に固定するための特別な工作が必要になる上、回転軸の回転方向を一方に限定する問題があった。

特許文献1:特開2002-061645号公報

特許文献2:特開2002-364643号公報

特許文献3:実開平6-76716号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0009] 本発明が解決しようとする課題は、製作がより容易で量産性に優れたスプリングフォイルを用いて軸受性能の優れたフォイル式動圧流体軸受を提供することである。また、本発明が解決しようとする第2の課題は、さらに、取付が容易なトップフォイル固定構造を用いて回転方向に制約がない動圧流体軸受を提供することである。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記課題を解決するため本発明の動圧流体軸受は、軸受ハウジングの内壁に複数のスリットを設けた薄板平板で形成したスプリングフォイルを装着し、スプリングフォイルの内側にトップフォイルを配置し、トップフォイルの内側に回転軸を配置したフォイル式軸受であって、スプリングフォイルが剛性の小さな位置で折り曲がって内壁内側に接する多数の弾性梁を有する多角形断面を形成し、この弾性梁によって回転軸を弾性的に支持するようにしたことを特徴とする。

薄板平板で形成したスプリングフォイルにスリットを設けることにより場所によって曲げ剛性に強弱差を与えて、このスプリングフォイルを軸受ハウジングの内壁に装着すると、剛性の小さなスリット位置で折り曲がって内壁内側に接し、隣接するスリットの間には多数の弾性梁が生成して多角形断面を形成する。この弾性梁によってトップフォイルを弾性的に支持することができる。

[0011] 回転軸はトップフォイルに包まれ、回転につれて回転軸とトップフォイルの間に空気などの気体が引き込まれて気体層を形成し、回転軸を流体力学的に支持することにより高速回転を円滑に行うようになる。なお、回転軸の回転が高速になるにつれて気体層の厚みが増加しトップフォイルを軸受ハウジングの内壁に押し付けてスプリングフォイルの弾性力を増加させるので、回転軸は高速回転状態でより安定に回転するようになる。

スリットは、スプリングフォイルを軸受ハウジングに挿入したときに回転軸にほぼ平行になる方向に設けて、スリット位置でフォイルを折り曲げて節となるようにすることができる。弾性梁における曲げ剛性の強弱差はスリットに挟まれたフォイル部の長さの差によりもたらされる。

[0012] スリットの間隔を不等ピッチとすることで、弾性梁の長さに変化を与えることができる。長い弾性梁の部分では曲げ剛性が弱くなるが、また、ハウジング内壁とトップフォイルとの距離が大きくなるので軸受の内径が小さくなる。短い梁の部分では曲げ剛性が大きくなり、また、トップフォイルがハウジング内壁に近づくので軸受の内径が大きくなる。したがって、荷重が小さいときあるいは振動が小さいときは内径の小さな部分のスプリングが軸を支持し、荷重が大きいときあるいは振動が大きいときは内径が大きな部分でも軸を支持するようになるので、段階的なバネ特性を持った支持構造を有することになる。

[0013] 長さの異なるスリットを交互に配置するようにしても良い。長いスリットがある部分はフォイルが折れやすく、短いスリットがある部分はそれより折れにくい。したがって、始めは長いスリットの部分が屈折してハウジングの壁に接触し短いスリットの部分は折れないので、トップフォイルが作る筒体の内径が小さく、回転軸のぶれが小さい。回転軸が回転し始めると短いスリットの位置でもスプリングフォイルが屈折してトップフォイルがハウジング内壁に近づき、内径が拡大すると共に、弾性梁の長さが短くなりスプリングフォイルの剛性が増大する。このようにして、荷重が小さいときにはスプリングフォイルの剛性が低くトップフォイルが開き易く、荷重が大きくなると剛性が高くなるという、好ましい特性を発現する軸受を得ることができる。

[0014] スプリングフォイルのスリットの間に形成される梁の長さを等しくして、スリットの幅を

変化させるようにしてもよい。スリットの部分は回転軸を弾性的に支持する支持剛性を発生しないので、ハウジングの周方向の場所毎に適当な支持剛性差を与えるために剛性分布を比較的簡単に設計することができる。フォイル軸受の剛性に周方向の差を持たせることにより回転軸に楕円運動を生起して、振動を抑制することができる。

回転軸に平行なスリットは、等長のものを等間隔に配置することにより、弾性梁の剛性が互いにほぼ等しくなるようにしても良い。

スリットは、フォイルの側端から中央線に向かって形成されるようにしてもよい。側端でスリットが開放されていると、フォイルの側部で剛性が減少して回転軸の片当たりを防止することができる。

[0015] スリットは、三角形の2辺、長方形の3辺、など、底辺を除いた残りの辺を平板から切り離した形状にすることができる。このスプリングフォイルは、トップフォイルに沿わせて装着することにより、各スリットの位置で接線方向に延びたトング部分が軸受ハウジングの内壁に達してバネとなり、トップフォイルを支持する。

スリットを太い切り落とし形状にして、隣接するスリットの稜線までの距離が平板の端からの距離により異なるようにすることにより、剛性を変化させるようにしても良い。たとえば、切り落とし形状をスリット内に三角形や半円形が突出した形状にすると、突出した部分が支点になる間は梁の実効幅が小さく剛性が弱いが、回転が高速になりトップフォイルがハウジングに近づくにつれて剛性が強くなる。また、スリット形状が半円形になっている場合では、初めは弾性梁の長さが大きくトップフォイルが広がるにつれて短い梁が作用を及ぼすようになるので、高速回転になるにつれて急激に剛性が強化するような特性を呈することになる。

このように、スリット形状を選択することによって希望の剛性特性を得ることができる。

[0016] また、一部のスリットをスプリングフォイルの平板の側端線に平行に設けても良い。回転軸方向に幾つかのゾーンに分けることにより、回転軸方向に剛性の異なるスプリングを配置すると同じ効果を得ることができる。

1枚の薄板の一端からスプリングフォイルを形成し、回転軸を囲う程度に余らせた他端側に固体潤滑剤を施してトップフォイルとして利用することができる。トップフォイルは常時スプリングフォイルの内側に配置されるからである。

スプリングフォイルのスリット部は複数のスリットが高い密度で併設されていても良い。スリット部が屈折してハウジング内壁に接触するが、複数のスリットを高密度で併設すれば、内壁に沿う多数の稜線部分が押圧力を分担するので、接触面圧を低減することができる。

- [0017] また、スリットとスリットの間の梁となる部分の中央にスプリングフォイルの平板の側端線に平行なスリットを設けても良い。梁の中央部はトップフォイルに接触してトップフォイルに剛性を与えるが、梁の中央部に設けたスリットはスプリングフォイルとトップフォイルの接触面積を増大させて接触面圧を減少させる効果を有する。

スプリングフォイルはトップフォイルの周囲に多重に巻き付かせるようにしてもよい。特に、外側のスプリングフォイルの梁の中央位置に内側のスプリングフォイルのスリットが対応するようにして重ねるとよい。

- [0018] 多重構造にすると、トップフォイルが広がるにつれて剛性が高まるので、低速回転から高速回転まで適度な剛性で支持することができる。

スプリングフォイルを複数、相互に重なる部分を有するように配置すると、フォイル同士の摩擦を利用して軸受の振動を減衰させる効果を得ることができる。

- [0019] スプリングフォイルのスリットは、端部に丸みを持たせて、端部に生ずる応力を緩和させるようにすることが好ましい。

スリットはエッチングで製作することができる。エッチング法を用いれば、プリント基板と同様に極めて細かい寸法のスリットも正確にかつ容易に形成することができる。

- [0020] 軸受ハウジングの内孔断面を多角形に形成して、多角形の頂点にスプリングフォイルのスリットが位置するように組み立てるようにしても良い。このような頂点が存在すると、スプリングフォイルの固定が楽になる。また、スプリングフォイルのスリットの間に形成される梁の中間に軸受ハウジングの内孔断面多角形の頂角が位置するようにすると、ハウジングの壁とスプリングフォイルで作る空間の断面積が大きくなって多量の冷却流体が流通するようになり、軸受の使用可能な高速回転範囲が広がる。

- [0021] また、トップフォイルの両端が当るハウジング内壁の2カ所の位置に内壁面から立ち上がった止め壁をそれぞれ形成して、弾性平板から形成されるトップフォイルをふたつの止め壁の間に突っ張らせるようにして挿入して固定することが好ましい。なお、止

め壁表面の角度は内壁面に対して 60° から 90° の範囲であることが好ましい。

また、止め壁の前面には断面が三角形状をした掘り込みを形成して、トップfoilが自然に曲線を描いて係止されるようにすることが好ましい。

- [0022] この係止機構を用いると、トップfoilがハウジングから外れるためには、トップfoilがハウジングの幅方向に移動するか、トップfoilの筒体の軸芯位置がずれて端縁が止め壁を越えるか、トップfoilの周長が止め壁の先端位置を結ぶ円周長より短くなるまで縮まなければならない。しかし、トップfoilの幅方向移動を抑止すれば、このような条件を満たす変化は殆ど起こらないので、従来のように、トップfoilの一端をハウジング内壁にねじや溶接などで固定する方法と比較すると、この係止機構は構造や使用方法が極めて簡単でありながら確実な固定をすることができる優れた方法である。

また、トップfoilの取り外し、装置の分解も容易である。

- [0023] トップfoilの幅方向移動は、通常の装着状態でもハウジングとトップfoilの摩擦により簡単に抑制することができるが、さらに確実に阻止するために止め壁の側面に留め金をセットしたり、トップfoilの端部に耳を設けてハウジング側面に固定したりすることもできる。

この方法では、トップfoilの両端共にハウジングに固定され、いずれの固定部分からもトップfoilと回転軸の間に空気を導入することができるので、回転軸をいずれの方向に回転させても流体軸受としての性能を発揮させることができる。

また、固定部分における空間からの空気導入を促進して冷却能力を高めるため、垂直な止め壁の前面に形成する三角形状の掘り込みを大きくすることが好ましい。また、掘り込みは軸受の回転方向入口（リーディング）側を出口（トレーディング）側より深くして、空気を導入しやすくすることもできる。

- [0024] トップfoilをスプリングfoilと共に周方向に複数に分割して設けることにより、浮上性能、負荷容量を調節することができる。特に、トップfoilを不等ピッチで設けることにより、振動安定性の高い軸受動特性を得ることができる。

この係止機構では、トップfoilと一緒にスプリングfoilあるいはバンプfoilなどを固定することも可能である。

[0025] また、本発明は、上記課題を解決するため、フォイル式動圧流体軸受に使用する複数のスリットを設けた薄板平板からなるスプリングフォイルを提供するものである。

さらに、トップフォイルの両端が当るハウジング内壁の位置に内壁面に対してほぼ 60° から 90° の角度を有する止め壁とその止め壁の前面に断面が三角形状をした掘り込みを形成して構成した係止機構であって、トップフォイルを止め壁の面間に展開して挿入することにより固定するようにした各種フォイルを使用する動圧流体軸受に用いることができるトップフォイル係止機構を提供する。

[0026] 本発明の流体力学的フォイル軸受によれば、従来より簡単にかつ精度良くスプリングフォイルを製作して簡単に軸受に組み込むことができ、量産性に優れるばかりでなく、軸受の性能も要求に応じた調整代が拡大し、また高速回転時における安定性も向上する。また、本発明のフォイル軸受では回転軸はいずれの方向にも回転できる。

図面の簡単な説明

[0027] [図1]本発明の第1実施例に係る動圧流体軸受の断面図である。

[図2]第1実施例の動圧流体軸受に用いるスプリングフォイルのスリット配置図である。

[図3]スプリングフォイルのスリットの端部処理を説明する図面である。

[図4]本発明の第2実施例の特徴を構成するスプリングフォイルのスリットの状態を模式的に表す平面図である。

[図5]第2実施例に係る動圧流体軸受の断面図である。

[図6]本発明の第3実施例の特徴を構成するスプリングフォイルのスリットの状態を模式的に表す平面図である。

[図7]本発明の第4実施例の動圧流体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図8]第4実施例の動圧流体軸受におけるスプリングフォイルの組み込み状態を説明する図面である。

[図9]本発明の第5実施例の動圧流体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図10]第5実施例の動圧流体軸受におけるスプリングフォイルの組み込み状態を説明する図面である。

[図11]本発明の第6実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図12]第6実施例の動圧気体軸受におけるスプリングフォイルの組み込み状態を説明する図面である。

[図13]本発明の第7実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図14]本発明の第8実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図15]本発明の第9実施例に係る動圧気体軸受の断面図である。

[図16]第9実施例の動圧気体軸受に用いるスプリングフォイルの平面図である。

[図17]スプリングフォイルの係止機構を説明する斜視図である。

[図18]スプリングフォイルの係止機構に脱落防止機構を付加したものを説明する斜視図である。

[図19]スプリングフォイルの係止機構に別の脱落防止機構を付加したものを説明する斜視図である。

[図20]第9実施例の係止機構をバンプフォイル軸受装置に適用した状態を示す断面図である。

[図21]第9実施例の動圧気体軸受において複数の係止機構を用いた場合を説明する断面図である。

[図22]本発明の第10実施例に係る動圧気体軸受の断面図である。

[図23]第10実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図24]スプリングフォイルに形成するトングの別の形状例を示す図面である。

[図25]スプリングフォイルに形成するトングのさらに別の形状例を示す図面である。

[図26]本発明の第11実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

[図27]本発明の第12実施例に係る動圧気体軸受の断面図である。

[図28]本発明の第13実施例に係る動圧気体軸受の断面図である。

[図29]本発明の第14実施例に係る動圧気体軸受の断面図である。

[図30]従来技術の動圧気体軸受の例を示す断面図である。

[図31]従来技術の動圧気体軸受の別の例を示す断面図である。

発明を実施するための最良の形態

[0028] 以下、本発明の動圧流体軸受の最良の形態を詳細に説明する。

実施例 1

[0029] 図1は本発明の1実施例に係る動圧気体軸受の断面図、図2はこれに用いるスプリングフォイルのスリット配置図である。

本実施例の動圧気体軸受1は、筒形のハウジング11の内壁に接触するようにスプリングフォイル12が配置され、その内側にトップフォイル13が一端をハウジング内壁に固定しハウジング内壁に沿ってほぼ1周するように取付けられ、トップフォイル13が形成する筒形の中に空気層15を介して回転軸14が収納されている。

[0030] スプリングフォイル12は厚さ数 $100\mu\text{m}$ の薄い弾性金属平板で、図2に示すように、フォイルの巻き方向に平行に同じ形状のスリット16が並設されている。スリット16がある位置では金属部分が小さいため剛性が弱くなるので、動圧気体軸受1に仕込まれたときには、図1に示すようにスリット位置で折れ曲がって、スプリングフォイル12は一部が空いた多角形断面を持つ筒形になる。

[0031] 断面多角形筒形のスプリングフォイル12は、普通はスリット16の位置で折れ曲がって形成される稜線がハウジング内壁に接触し、スリット16に挟まれた部分が弾性梁となって内部のトップフォイル13を弾性的に支持する。

スプリングフォイル12のスリットの間隔が長いとその間に形成される長い弾性梁Aの剛性は小さくなり、間隔が短いところに存在する短い弾性梁Bの剛性が大きくなる。このように、スプリングフォイル12の剛性はスリットの位置により調整ができるので、軸受の周に沿った望みの位置に望みの弾性を持たせるようにすることができる。

[0032] トップフォイル13は、厚さ数 $100\mu\text{m}$ の薄い弾性金属平板に固体潤滑剤を処理して回転軸14との摩擦係数を小さくしたもので、一端がハウジング11の内壁に固定され、他端が自由端となっている。

回転軸14は、図1に矢印で示したように、トップフォイル13の自由端の方向に回転させる。回転が開始されると空気が回転軸14とトップフォイル13の間に引き込まれて

空気層15が形成される。空気層15は回転軸14の回転摩擦を著しく低減させて円滑な回転を可能とする。

ただし、本実施例の動圧気体軸受では、回転軸14が反対に固定端の方から回転すると、トップフォイル13が回転軸14の表面に巻き付いて空気を取り込むことができず、空気層の形成に失敗することになる。

[0033] 回転軸14の回転が高速になると、空気層15が発達してトップフォイル13をハウジング11の内壁の方に押し付けると梁Aが変形して弾性値が徐々に上昇するが、さらにトップフォイル13が短い弾性梁Bに接するようになると強い剛性を持つ梁Bが作用して、回転軸14はさらに強い剛性で支持されるようになる。

したがって、本実施例の構成によって、回転開始時には比較的弱い剛性で支持し、高速回転になると強い応力に逆らえる強い剛性で支持するようになり、回転速度に相応しい段階的な剛性を持った軸受装置を得ることができる。

また、弾性金属平板の厚みや材質を選択したり、スリットの数や間隔を適当に選択することにより、支持剛性やハウジングの周方向の剛性分布を容易に調整することができる。

[0034] なお、図3に模式的に示すように、スリット16の端部は丸みRを付けて応力を緩和させることが好ましい。

本実施例の動圧気体軸受は、従来のフォイル形気体軸受やリーフ形気体軸受と比較すると、スプリングフォイルにスリットを開けるだけでプレス機などを用いた成型加工をする必要がなく、製造および組立が容易である。また、スプリングフォイルの加工は、プリント基板製造などに利用されているエッチング技術を用いることができ、エッチング技術を用いれば精度が高く大量生産も容易である。

実施例 2

[0035] 図4と図5は、本発明の別の実施例を説明する図面で、図4は本実施例の特徴を構成するスプリングフォイルのスリットの状態を模式的に表す平面図である。また、図5は本実施例の動圧気体軸受の断面図で、(a)は回転始期の状態、(b)は高速化途中の段階における状態、(c)は高速回転中の状態を示す。

[0036] 本実施例に使用するスプリングフォイル21には、長さの異なるスリットが交互に配置

されている。長いスリット22がある部分は残りの平板幅が小さいため剛性が弱くフォイルが折れやすい。一方、短いスリット23がある部分はそれより折れにくい。

したがって、停止時は、図5(a)に示すように、長いスリット22の部分が屈折してハウジングの壁24に接触し、短いスリット23の部分は折れにくいので、トップフォイル25が作る筒体の内径は小さく、トップフォイル25に支持される回転軸26のぶれが小さい。

[0037] 回転軸26が回転し始めて大きな荷重が掛かると、図5(b)に示すように、回転軸26とトップフォイル25の間に空気層27が発生してトップフォイル25がハウジング内壁24に近づき、短いスリット23の位置でもスプリングフォイル21が屈折して弾性梁の長さが短くなりスプリングフォイル21の剛性が増大する。

さらに、回転軸が通常の回転をするときには、図5(c)に示すように、空気層27が発達してトップフォイル25がハウジング内壁24とほぼ同心状に十分に開き、高い剛性を持った短い弾性梁で支持される。

[0038] このようにして、長さの異なるスリットを交互に配置したスプリングフォイルを組み込んだ動圧気体軸受は、荷重が小さいときにはスプリングフォイルの剛性が低くトップフォイルが開き易く、荷重が大きくなると剛性が高くなるという、好ましい特性を発現する軸受を得ることができる。

実施例 3

[0039] 図6は、側端からスリットを切り中央部を残したスプリングフォイルの平面図である。

本実施例の動圧気体軸受は、図6に示すように、フォイル側端から切り込んでフォイル中央に一定幅の中央帯を残すようにしたスリット32を複数形成したスプリングフォイル31を組み込んだものである。このように軸受の側部でスプリングフォイルが分離しているため弾性梁が互いに移動するので側部における剛性が内部の剛性と比較して弱くなり、回転軸が傾き運動するときに回転軸の片当たりを避けることができる。

実施例 4

[0040] 図7は、第4実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図、図8は図7のスプリングフォイルの組み込み状態を説明する図面である。

本実施例に使用するスプリングフォイルは、図7に示したように、1枚の弾性材料か

らなる平板33にスプリングフォイル34の部分とトップフォイル35の部分を一緒に形成したものである。スプリングフォイル34の部分には適所にスリットを形成してあり、トップフォイル35の部分には表面に固体潤滑剤を施してある。図ではスプリングフォイル34に4個のスリットを形成して軸受に組み込んだときにスプリングフォイル部分が4角形を形成するようになっているが、もっと多数のスリットを形成しても良いことはいうまでもない。

- [0041] 図8に示す本実施例の動圧気体軸受3は、弾性平板33の固体潤滑剤を施した部分35を丸めてトップフォイルとし、さらにスリットを形成した部分34をスリット位置毎に屈折させて多角形のスプリングフォイルとして、これをハウジングの内壁36内に挿入したものである。

なお、図中点線で示すように、スプリングフォイルの端部37をハウジング内壁36まで延して固定することにより、回転軸の回転によりフォイルがずれないようにしても良い。

本実施例の動圧気体軸受は、スプリングフォイルとトップフォイルを一体化するため、軸受を構成する部品の点数が減少して、製造の合理化を図ることができる。

実施例 5

- [0042] 図9は、第5実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図、図10は図9のスプリングフォイルの組み込み状態を説明する図面である。

本実施例に使用するスプリングフォイル41は、図9に示したように、弾性梁を挟んで形成されるスリット部42に複数のスリット43を平行に隣接して設けたものである。

スプリングフォイル41をハウジング内壁44内に仕込むときは、図10に示すように、スリット部42の位置で屈折して多数のスリット43がハウジング内壁44に接触して荷重を支持するため、接触面圧を低減してハウジング内壁44の摩耗を減少させる効果をもたらす。

スプリングフォイル41と接触する位置のハウジング内壁44が極度に摩耗すると、弾性梁45の弾性値が低下したりして所期の性能を発揮しなくなる虞があり、これを防止することは再調整の手間を減少させる効果がある。

実施例 6

[0043] 図11は、第6実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図、図12は図11のスプリングフォイルの組み込み状態を説明する図面である。

本実施例に使用するスプリングフォイル47は、図11に示したように、スプリングフォイル47の幅方向に形成された縦スリット48に挟まれて弾性梁になる部分に、スプリングフォイル47の側端に平行に複数の横スリット49を形成したものである。

スプリングフォイル47をハウジング内壁46内に仕込むときは、縦スリット48の位置でハウジング内壁46に接触しながら屈折して、断面多角形の筒形のスプリングフォイルとなるが、複数の横スリット49の位置で剛性が弱くなるので、図12に示すように、スプリングフォイル47は複数の横スリット49の位置でトップフォイル50の表面に沿って面接触し接触圧を軽減させる。

実施例 7

[0044] 図13は、第7実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの図面である。

本実施例に使用するスプリングフォイル51は、同じ長さのスリット52, 53, 54を適当な間隔で形成するもので、隣りのスリットとの間に形成する弾性梁の長さを選択することにより梁の剛性を調整すると共に、スリットの幅を選択して弾性梁の分布を調整するものである。

弾性梁はスリットの端線の間に形成されるので、幅の広いスリット53, 54の部分には回転軸を弾性支持するバネが存在しないため、スリットの幅を適当に選択することにより、スプリングフォイル51の弾性分布を調整することができる。軸受の周方向に剛性差を持たせることにより、高速回転に伴う振動を抑制する振動安定化性能が向上する。

実施例 8

[0045] 図14は、第8実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

本実施例に使用するスプリングフォイル56は、スプリングフォイル56の幅方向に形成される縦スリット57に挟まれて弾性梁になる部分に、スプリングフォイル56の側端に平行に複数の横スリット58を形成して弾性梁を適当な幅で分割し、ハウジング内に組み込んだときに回転軸の軸方向に支持剛性を変化させるものである。たとえば、側

端に平行な横スリット58を側端の近くに形成して、軸受の中央部で剛性を高くし両側端部で剛性を低くすると、回転軸の片当たりを防止することができる。

実施例 9

[0046] 図15は第9実施例の動圧気体軸受を模式的に示す断面図、図16は本実施例に使用するスプリングフォイルの平面図、図17はスプリングフォイルの係止機構を説明する斜視図である。

本実施例の動圧気体軸受6は、同じ形状のスリットを等間隔に配置したスプリングフォイル62を組み込んだ気体軸受である。

軸受ハウジング61の内側にそれぞれハウジング内周とほぼ等しい長さのスプリングフォイル62とトップフォイル63を嵌入して、トップフォイル63が形成する筒の中に回転軸64を挿入する。

[0047] スプリングフォイル62はハウジング61より径の小さい筒形に丸めて、ハウジングの筒内に入れた上で緩めると、フォイルのバネ力で広がって内壁に密着する。このとき、スプリングフォイル62に形成されたスリット67の位置が稜線として内壁に接する断面多角形の筒形となって、隣り合う稜線の間に弾性梁が形成される。

トップフォイル63も、ハウジング61より径の小さい筒形に丸めて、スプリングフォイル62の内側に挿入して緩めると、自身のバネ力によりスプリングフォイル62を内側から押圧して広がる。トップフォイル63の長さは、ハウジング61の内側をほぼ1周して係止機構66の端面に届く程度にしてある。トップフォイル63の両端部は、図17に示すような係止機構66によりハウジング61の内壁に固定される。

[0048] スプリングフォイル62は厚さが数100 μ mの薄い弾性金属平板で形成されている。図16に示すように、スプリングフォイル62は長方形形状に形成されており、長手方向と短手方向を有する。スプリングフォイル62の短手方向はハウジング61内に装着されたときに回転軸の軸にほぼ平行になる方向である。同じ形状の複数のスリット67がスプリングフォイル62の長手方向に等間隔に配列されており、スリット67はスプリングフォイル62の短手方向にスリットの長手方向の長さ(スリット長)を有し、スプリングフォイル62の長手方向にスリットの溝幅(スリット幅)を有する。

スプリングフォイル62が曲げ変形する場合に、その曲げ変形はスリット67が受ける

曲げ変形と、スリット67と隣接するスリット67との間に形成される弾性梁が受ける曲げ変形とに分配される。

スプリングフォイル62の短手方向の長さに対するスリット67のスリット長が大きいほど、スプリングフォイル62はスリット67においてV字状に折れ曲がり、弾性梁は断面視において直線状になり弾性梁は平面形状になり、スプリングフォイル62の曲げ変形の大部分がスリット67によって受け持たれることになる。また、スプリングフォイル62の短手方向の長さに対するスリット67のスリット長が小さいほど、弾性梁は平面形状からずれ弾性梁は断面視において円弧状になり弾性梁は円筒面形状になり、スプリングフォイル62の曲げ変形はスリット67と弾性梁の両者によって受け持たれる傾向が強くなる。

[0049] 一方、トップフォイル63の内壁と円筒軸14の外壁との間の隙間の大きさは、フォイル式動圧流体軸受の性能を支配する重要な要因である。従って、フォイル式動圧流体軸受の製造において、この隙間の精度を所定以上の値に管理することは重要である。スプリングフォイル62やトップフォイル63には使用する板材の避けられない板厚誤差等を伴うので、フォイル式動圧流体軸受の製造において避けられない製造誤差を見込んだ上で上記の隙間の精度を所定以上の値に管理することが求められる。これによって、フォイル式動圧流体軸受は許容範囲で設計通りに機能することになる。

[0050] このように上記の隙間の精度を厳しく管理する必要のある状況下で、フォイル式動圧流体軸受は許容範囲で設計通りに機能するためには、スプリングフォイル62はスリット67においてV字状に折れ曲がり弾性梁は断面視において直線状になり弾性梁は平面形状になるように、スプリングフォイル62の曲げ変形の大部分がスリット67によって受け持たれることが好ましいことが判明した。スプリングフォイルの曲げ変形解析及び軸受性能実験によれば、スプリングフォイル62の曲げ変形をスリット67と弾性梁とで受け持つとした場合に、スプリングフォイル62の曲げ変形のうちの弾性梁が受け持つ曲げ変形の割合(弾性梁の曲げ比率という)が15%以下であることが好ましいことが判明した。弾性梁の曲げ比率が15%より大きい場合には、板厚誤差等に伴う弾性梁の曲げ変形の変動が大きくなり、スプリングフォイル62の曲げ変形した弾性梁に内接するトップフォイル63の内壁と円筒軸14の外壁との間の隙間の大きさが変動し、フ

オイル式動圧流体軸受が設計通りに機能しなくなる。

[0051] そこで、スプリングフォイル62の短手方向の長さに対するスリット67のスリット長の比（（スリット67のスリット長）／（スプリングフォイル62の短手方向の長さ））（以下にスリット長率という）に着目し、スリット長率と上記の弾性梁の曲げ比率との関係を解析により調べた。この解析によれば、スリット長率が0%のときは弾性梁の曲げ比率は29%であり、スリット長率が60%のときは弾性梁の曲げ比率は27%であり、スリット長率が70%のときは弾性梁の曲げ比率は21%であり、スリット長率が80%のときは弾性梁の曲げ比率は18%であり、スリット長率が80%のときは弾性梁の曲げ比率は14%であり、スリット長率が90%のときは弾性梁の曲げ比率は8%であり、スリット長率が95%のときは弾性梁の曲げ比率は1%以下であるという結果が得られた。また、スリット長率が90%を超える場合には、スリット67が長すぎスプリングフォイル62の強度を確保できないことが判明した。また、軸受性能実験の結果によれば、スリット長率は80%以上90%以下であることが望ましく、さらには、スリット長率は80%以上85%以下であることがさらに望ましいと判断される。スリット長率が80%より小さい場合には、弾性梁は断面視において円弧状になり弾性梁は円筒面形状になるために、トップフォイル63の内壁と円筒軸14の外壁との間の隙間の大きさが予定の許容範囲からはずれてしまう。また、スリット長率が90%より大きい場合には、スプリングフォイル62の強度が確保できず、スリット長率が85%より以下の場合にはスプリングフォイル62の強度を確実に確保することができる。

また、スリット67の溝幅（スリット幅）は、スプリングフォイル62を形成する弾性金属平板の厚さの1.0倍以上であること、あるいは、弾性金属平板の厚さの1.0倍より小さくないことが好ましい。スリット67の溝幅の上限値は、スリット67間の間隔の大きさ等を考慮し、弾性梁の曲げ比率が15%以下になるように定められる。スリット67の溝幅が弾性金属平板の厚さの1.0倍より小さい場合には、スプリングフォイル62が曲げ変形する場合に、スプリングフォイル62はスリット67においてV字状に折れ曲がりにくくなり、従って、弾性梁は断面視において直線状になりにくくなり、弾性梁の曲げ比率が15%より大きくなる。

[0052] 係止機構66は、ハウジング61の内壁に背中合せに1対の三角溝69を形成したも

のである。1対の三角溝69に挟まれて掘り残された峰70が形成され、峰70の両側はほぼ垂直の止め壁68となっている。

トップフォイル63の端部は三角溝69に落ち込んで、フォイル自身の緩もうとするバネ力によってハウジング61の内壁に押し付けられるので、容易に外れない。さらに確実に外れないためには、トップフォイル63の両端縁が止め壁68に突き当たり突っ張って止まるようにすることが好ましい。

峰70の頂面は、ハウジング61の内壁を掘り込んで形成する製造工程の都合からハウジング61の内面と同じ高さにしてあるが、機能面から見ればトップフォイル63の内周面と同じ位置まで突出していても良い。峰70の高さが高いほどトップフォイル63は外れにくい。

[0053] この係止機構66を用いると、トップフォイル63がハウジング61の幅方向に移動するか、トップフォイル63の筒体の軸芯位置がずれたり径が減少して端縁が峰70を越えるか、トップフォイル63の周長が止め壁68から反対側の止め壁68までを結ぶ円周長より極端に短くなるまで縮むなどしなければ、トップフォイルがハウジングから外れることはない。通常、トップフォイル63はバネ力でスプリングフォイル62を介してハウジング61の内壁に押し付けられているので、摩擦力が強くて幅方向には移動しにくい。また、トップフォイル63が縮んで筒体の径が小さくなる場合には、端縁が止め壁68に食い込んで外れにくくなる方向に力が掛かることになる。

[0054] 三角溝69の底面はハウジング61の内壁の断面円に接する面として形成され、トップフォイル63が形成する筒形から接線方向に延伸する端部がこの底面に沿って延びて、端縁が止め壁68に突き当たって止まるようにすることが好ましい。トップフォイル63が三角溝69に納まるところで筒形から平面に円滑に遷移するようにすれば、遷移領域で膨出しないようにすることができる。膨出部分があるとトップフォイル63が回転軸64に接触して、回転障害や、摩擦熱の発生、摩耗などを生起するので好ましくない。

[0055] 回転軸64が回転すると、係止機構66の部分にできている隙間からトップフォイル63と回転軸64の間に空気が吸い込まれて、空気層65ができる。トップフォイル63は両端がハウジング61の内壁との摩擦により拘束され自由端になっていない上に、トッ

プフォイル63と回転軸64の間に空気導入の開口を有しているため、第1実施例の軸受と異なり、回転軸64が左右いずれの方向に回転しても空気層65を生成することができる。

回転軸64の回転につれて、空気層65が発達しトップフォイル63がハウジング61の内壁に押し付けられるので、高速回転時にはスプリングフォイル62の弾性梁が変形して強い剛性により回転軸64が支持されるようになる。

[0056] なお、三角溝69を適度な深さにして、空気の供給を促進して空気層65の生成と発達を円滑にするようにすることが好ましい。

軸受の回転方向が決まっているときは、回転方向入口（リーディング）側の三角溝69を出口（トレーディング）側よりも深くして、トップフォイルと字句との間に空気を導入しやすくしてもよい。

[0057] 係止機構66は、トップフォイルの一端をねじや溶接でハウジング内壁に固定する従来方法と比較すると、極めて簡単な構造を持ち、トップフォイル63に係止するための特別な加工を施す必要がなく、しかも組立の手数が省略できる。また、軸受装置の分解も簡単で、保守や条件変更に伴う改造も容易である。

スプリングフォイル62はトップフォイル63で覆って押し付けることにより十分に支持できるが、係止機構66を使ってトップフォイル63と同様に支持して、その上からトップフォイル63を支持するようにすると、軸受装置を組み立てるときにスプリングフォイル62を固定した後でトップフォイル63を組み込むことができるので、便利である。

[0058] 図18と図19は、トップフォイル63の脱落を確実に防止するための機構を付加した状態を示す斜視図である。いずれも、トップフォイル63が軸受ハウジング61の内壁を軸方向に移動して外れることを防止する。

図18に示したものは、係止機構の峰70の側端にストッパー71をねじ止めしてトップフォイル63の幅方向の移動を制約するものである。ストッパー71の上縁は峰70の上面より下げて、回転軸の運動を妨げないようにしている。

[0059] 図19に示したものは、トップフォイル63の端部にハウジング61の端縁を抱えるような鰐72を設けたものである。トップフォイル63が何らかの力作用により軸方向に動くとしても鰐72が端縁に妨げられて動くことができない。

いずれも、簡単な機構を付帯させることにより、確実にトップフォイル63の脱落を防ぐことができる。

[0060] 図20は、バンプフォイル73を使った動圧気体軸受7に対して本実施例の係止機構66を適用した状態を示す断面図である。

本実施例の係止機構66は、本発明のスプリングフォイルを使用する場合に限らず、図17にも図示したように、端部が薄い板材になるものであれば、バンプフォイルやリーフフォイルを使った軸受装置においても同様に利用することができることは言うまでもない。

[0061] さらに、係止機構66は、軸受ハウジング61内に1個だけ配置しなければならないわけではなく、等間隔に複数の係止機構を設置して支持剛性を調整したり、図21に示すように、適当な間隔で係止機構を配置して支持剛性の不等化を生起して、たとえば振動抑制をしたり、起動時負荷と回転時負荷の変化に対応させてもよい。

実施例 10

[0062] 図22は第10実施例の動圧気体軸受を模式的に示す断面図、図23は本実施例に使用するスプリングフォイルの平面図である。

本実施例の動圧気体軸受8は、図23に示したようなスプリングフォイル82を使用したものである。スプリングフォイル82は、スリットを長方形の3辺に配して形成したトング86を全面に配置したもので、図では同じ形状のトング86を3個ずつ幅方向に並べた列が長さ方向に15列並んでいるが、これらの配置に限られるものではないことは言うまでもない。

このスプリングフォイル82は軸受ハウジング81の内側に挿入され、さらに筒形になったトップフォイル83が係止機構84により内壁に固定され、その中に回転軸85が挿入されて、軸受8が構成される。

[0063] スプリングフォイル82はトップフォイル83に沿って配置されるので、トング86がスプリングフォイル82の表面曲面から接線方向に延出してハウジング81の内壁に当って撓んでバネとして作用し、トップフォイル83を介して回転軸85に支持剛性を与える。トング86は単にバネ作用を呈するばかりでなく、押されるとハウジング81の内壁表面を摺動するので、高速回転時に摩擦減衰により振動を抑制する能力を有する。

トング86は、単にスプリングフォイル82に切り込みを入れて形成するもので、リーフフォイルと異なり、塑性変形する必要がない。切り込みは実施例1などに使用されるスプリングフォイルのスリットと同じくエッチングにより簡単かつ高精度に作成することができる。

[0064] 図24と図25は、スプリングフォイル82に形成するトングの形状を変化させた例を示す図面である。

図24のスプリングフォイル82は、軸方向に長方形のトングの幅を変化させた例である。中央のトング87を幅広に形成し、両端のトング88の幅を中央のものより小さくしてある。このようなスプリングフォイル82を組み込むことにより、軸受の軸方向中心部分で強く端部で弱い支持剛性を与えて、回転軸の片当たりを防止することができる。

[0065] 図25のスプリングフォイル82は、三角形の2辺にスリットを入れて三角形のトングを形成したもので、中央のトング89は両端のトング90より大きな三角形になっている。

三角形のトング89、90は、フォイル82とハウジング81の距離が短くなるにつれてトングの実効的な支持位置がトングの根本側の幅が広い方に変化するので、高速回転するほど支持剛性が急激に増大するような特性を持つようになる。なお、軸受の端部に近い部分ではトング90が短くハウジング81に強く押し付けられないため支持剛性が弱く、片当たりを防ぐ機能を有する。

実施例 11

[0066] 図26は第11実施例の動圧気体軸受に使用するスプリングフォイルの平面図である。

本実施例に用いるスプリングフォイルは、スリット部を幅のある切り落とし形状にしたもので、隣接するスリットの稜線までの距離がフォイル平板の端からの距離により異なるようにすることにより、剛性を変化させるようにしたものである。

[0067] たとえば、図26(a)のように、切り落とし形状をスリットの1辺から三角形あるいは円形などが突出した形状の幅広スリット92を並置したスプリングフォイル91を使用すると、トップフォイルが広がらないうちはスリット中央の突出部分がハウジングの内壁に接触して一方の支点となるため、中央部に比較的長い梁が形成され、側部には有効な梁が存在しない状態となり、回転軸は比較的弱い剛性で中央部で支持されること

になる。このように、軸受の軸方向に剛性が大きく変化するように構成することができる。

さらに、回転軸が回転してトップフォイルが広がると、スリット内の突出形状は段々根本の方までハウジング内壁に接触するようになって支持剛性が増大し、高速回転するようになるとついには弾性梁が壁に押し付けられて極めて強い剛性を呈するようになり、回転に伴う剛性の変化も大きい。

- [0068] また、図26(b)のように、スリット形状が半円形ないし弓形あるいは台形などの幅広スリット93にすると、トップフォイルが広がらない間は幅広スリット93の端部がハウジングの内壁に接触して支点となり長いスパンの梁が形成されて比較的弱い剛性が与えられるが、中央部では弾性梁が作用しないので、軸方向における剛性分布が存在する。さらに、トップフォイルが広がるにつれてスリット中央位置がハウジング内壁に接触して短いスパンの梁が有効になって剛性が大きくなり、回転に伴う剛性変化も大きい。この剛性分布と変化の状況はスリットの形状により異なる。

したがって、図26(c)など必要に応じて適当な形状の幅広スリット94を選択して、支持剛性の設計をすることができる。

実施例 12

- [0069] 図27は第12実施例の動圧気体軸受を模式的に示す断面図である。

本実施例の動圧気体軸受9は、スプリングフォイルを2重に使用したものである。ハウジング95に多角形のスプリングフォイル96を挿入し、その内側にさらに同じ角数を持った多角形のスプリングフォイル97を挿入して、さらにトップフォイル98を挿入したものである。

内側のスプリングフォイル97の角が、外側のスプリングフォイル96の弾性梁の中央部分に当るように配置することが好ましい。

- [0070] 内側と外側のスプリングフォイルの両方を同じ周位置で開切して、先に説明した係止機構を用いて両者を一緒に固定するようにすれば、配置関係を確実に規定することができる。

また、スプリングフォイルの配置を確実にするために、内側と外側のスプリングフォイルを1枚の弾性金属平板に作り込んで、2重に丸めてハウジング内にセットするように

しても良い。また、スプリングフォイルの一端をハウジング内壁に固定しても良い。

また、スプリングフォイルは2重に限らず、適当数のスプリングフォイル層を持った多重構造にしても良いことは言うまでもない。

- [0071] 多重構造にすると、トップフォイルが広がって外側のスプリングフォイルの作用が顕在化するにつれて剛性が高まるので、低速回転から高速回転まで適度な剛性で支持するように軸受を製作することができる。

また、スプリングフォイル同士が接触するところで摩擦運動をするので、軸受の振動を減衰させることができる。

実施例 13

- [0072] 図28は、スプリングフォイルを複数、相互に重なる部分を有するように配置して、フォイル同士を摩擦させて軸受の振動を減衰させるようにした動圧気体軸受を示す断面図である。

4枚のスプリングフォイル100がそれぞれハウジング内壁99に一端を等間隔に固定して、相互に半分ずつ重なり合うように配置され、なかにトップフォイル101が挿入されている。

回転軸が振動すると、トップフォイル101がスプリングフォイル100に作用して相互に摺動させるので、摩擦抵抗を生じて振動を減衰させることができる。

実施例 14

- [0073] 図29は、第14実施例の動圧気体軸受を模式的に示す断面図である。

本実施例の動圧気体軸受は、軸受ハウジング102の内孔断面を多角形に形成して、多角形の頂点にできる稜線105のところにスプリングフォイル103のスリットが位置するように組み立てたものである。

ハウジング102の内孔が形成する多角柱シリンダにおける稜線の数、スプリングフォイル103の作る多角形シリンダの稜線の数、スプリングフォイル103が作る弾性梁がハウジングの稜線を1個ずつ挟んで配置されるようにすることが好ましい。

- [0074] このような配置を採用すると、弾性梁の後ろにできる隙間が大きくなり冷却空気の流通が十分確保できて軸受の使用可能な高速回転範囲が広がる。また、スプリングフォ

イル103はスリット位置をハウジングの稜線105に合致させることで確実に固定されて、不要なずれが生じない。さらに、弾性梁の後背が大きいのでトップフォイル104の広がりに対して固有の弾性を有する範囲が拡大する。

- [0075] 上記各実施例では空気中で使用できる気体軸受を取り上げたが、上記各構造はそのまま油や水の中で使用することができる。なお、油や水などを使う流体軸受では、比較的低温で使用するため、薄板平板を金属の代りに四フッ化エチレンなどの高分子材料で形成することもできる。

請求の範囲

- [1] 軸受ハウジングの内壁に複数のスリットを設けた薄板平板で形成したスプリングフォイルを装着し、該スプリングフォイルの内側にトップフォイルを配置し、該トップフォイルの内側に回転軸を配置して、前記スプリングフォイルが剛性の小さな位置で折り曲がって内壁内側に接する多数の弾性梁を有する多角形断面を形成し、該弾性梁により前記トップフォイルを介して前記回転軸を弾性的に支持するようにしたことを特徴とするフォイル式動圧流体軸受。
- [2] 前記スプリングフォイルは、前記軸受ハウジング内に装着したときに回転軸の軸にほぼ平行になる方向にスリットを形成し、隣接するスリット間に生成される弾性梁の強度をスリット長とスリット間隔に基づいて調整することを特徴とする請求項1記載のフォイル式動圧流体軸受。
- [3] 前記スプリングフォイルは、前記軸受ハウジング内に装着したときに回転軸の軸にほぼ平行になる方向にスリットを形成し、該スリットそれぞれの幅を適宜に決定することにより前記回転軸の周方向の支持剛性を調整することを特徴とする請求項1記載のフォイル式動圧流体軸受。
- [4] 前記スプリングフォイルは、前記スリットにより発生する剛性を少なくとも2段に選択して回転軸の回転初期には弱い剛性が掛かり常用回転状態では強い剛性が掛かるようにすることを特徴とする請求項2または3記載のフォイル式動圧流体軸受。
- [5] 前記スプリングフォイルは、前記スリットを太い切り落とし形状にして、隣接するスリットの稜線までの距離が平板の端からの距離により異なるようにすることにより、剛性を変化させることを特徴とする請求項2または3記載のフォイル式動圧流体軸受。
- [6] 前記スリットは、平行に密着して形成されるスリットからなり、前記軸受ハウジングの内壁に接する複数の稜線部分が押圧力を分担することを特徴とする請求項2または3記載のフォイル式動圧流体軸受。
- [7] 前記スプリングフォイルは、前記回転軸の軸に平行なスリットに加えて、該スプリングフォイルの側端線に平行なスリットを形成して、前記弾性梁を回転軸方向に複数のゾーンに分けることを特徴とする請求項2または3記載のフォイル式動圧流体軸受。
- [8] 前記スプリングフォイルは、前記回転軸の軸に平行なスリットに加えて、前記弾性梁

の中央部に該スプリングフォイルの側端線に平行なスリットを複数形成して、該スプリングフォイルが前記トップフォイルの局面に沿って変形し面接触するようにすることを特徴とする請求項2または3記載のフォイル式動圧流体軸受。

[9] 前記スプリングフォイルは、同じ形状のスリットを等間隔に並べて形成することを特徴とする請求項2記載のフォイル式動圧流体軸受。

[10] 前記スプリングフォイルは、複数のスリットをフォイルの側端から中央線に向かって形成することを特徴とする請求項2記載のフォイル式動圧流体軸受。

[11] 前記軸受ハウジングの内孔断面を多角形に形成して、該多角形の頂点に前記スプリングフォイルのスリットが位置するように組み立てることを特徴とする請求項1、2、3、9、10のいずれかに記載のフォイル式動圧流体軸受。

[12] 前記スプリングフォイルは前記トップフォイルの周囲に多重に巻き付かせることを特徴とする請求項1、2、3、9のいずれかに記載のフォイル式動圧流体軸受。

[13] スリットにより底辺を除いた残りの辺を平板から切り離した形状を持つトングを複数形成した薄板平板からなるスプリングフォイルをトップフォイルの外側に沿わせて軸受ハウジングの内壁に装着し、該トップフォイルの内側に回転軸を配置して、前記スプリングフォイルから接線方向に突出する前記トングが前記内壁に接して多数の弾性梁を形成し、該弾性梁により前記トップフォイルを介して前記回転軸を弾性的に支持するようにしたことを特徴とするフォイル式動圧流体軸受。

[14] 前記トングは底辺から離れるにつれて幅が狭くなる形状であることを特徴とする請求項13記載のフォイル式動圧流体軸受。

[15] 前記トップフォイルの両端が当る前記ハウジング内壁の位置に内壁面から立ち上がった止め壁をそれぞれ形成し、該止め壁の前面には断面が三角形状をした掘り込みを形成して構成した係止機構を備えて、前記トップフォイルを前記ふたつの止め壁の間に展張して挿入し固定するようにしたことを特徴とする請求項1、2、3、9、10、13、14のうちのいずれかに記載のフォイル式動圧流体軸受。

[16] 前記掘り込みは該軸受の回転方向入口側が出口側より深くなっていることを特徴とする請求項15記載のフォイル式動圧流体軸受。

[17] 前記係止機構を複数対備えて、前記トップフォイルを周方向に該係止機構の対数

と同じ数に分割して係止することを特徴とする請求項15または16記載のフォイル式動圧流体軸受。

[18] 前記係止機構には前記止め壁の側面に前記トップフォイルを幅方向に移動しないように押えるストッパーを設けることを特徴とする請求項15、16に記載のフォイル式動圧流体軸受。

[19] トップフォイルの両端が当るハウジング内壁の位置に内壁面から立ち上がった止め壁をそれぞれ形成し、該止め壁の前面に断面が三角形状をした掘り込みを形成して構成した係止機構であって、前記トップフォイルを前記止め壁の面間に展張して挿入し固定するようにしたことを特徴とするフォイル式動圧流体軸受用のトップフォイル係止機構。

[20] 複数のスリットを設けた薄板平板からなるスプリングフォイルであって、前記スリットが該スプリングフォイルを軸受ハウジング内に装着したときに回転軸の軸に平行になる方向に形成されたもので、該スプリングフォイルを該軸受ハウジングに装着されたときに該スリットの位置で折り曲がってスリット間に弾性梁を形成し、多角形断面を有する筒形を形成することを特徴とするフォイル式動圧流体軸受用のスプリングフォイル。

[21] 前記スプリングフォイルは、同じ形状のスリットを等間隔に並べて形成することを特徴とする請求項20記載のフォイル式動圧流体軸受用のスプリングフォイル。

[22] スリットにより底辺を除いた残りの辺を平板から切り離した形状を持つトングを複数形成した薄板平板からなるスプリングフォイルであって、トップフォイルの外側に沿わせて軸受ハウジングの内壁に装着したときに、前記トングが該スプリングフォイルから接線方向に突出することを特徴とするフォイル式動圧流体軸受用のスプリングフォイル。

[23] 前記スプリングフォイルの短手方向の長さに対する前記スリットのスリット長の比であるスリット長率が80%以上90%以下であることを特徴とする請求項9記載のフォイル式動圧流体軸受。

[24] 前記スリット長率が80%以上85%以下であることを特徴とする請求項23記載のフォイル式動圧流体軸受。

[25] 前記スプリングフォイルが受ける曲げ変形の度合いを前記スリットと、前記スリットとこ

れに隣接する前記スリットとの間に形成される弾性梁とによって分配されるとした場合に、前記スプリングフォイルの曲げ変形のうちの前記弾性梁が受け持つ曲げ変形の割合が15%以下であることを特徴とする請求項9記載のフォイル式動圧流体軸受。

[26] 前記スリットの溝幅は、前記スプリングフォイルを形成する薄板平板の厚さの1.0倍以上であることを特徴とする請求項9記載のフォイル式動圧流体軸受。

[27] 軸受ハウジングの内壁に複数のスリットをフォイルの巻方向に平行に並設した薄板平板で形成したスプリングフォイルを装着し、該スプリングフォイルの内側にトップフォイルを配置し、該トップフォイルの内側に回転軸を配置して、前記スプリングフォイルが剛性の小さな位置で折り曲がって内壁内側に接する多数の弾性梁を有する多角形断面を形成し、該弾性梁により前記トップフォイルを介して前記回転軸を弾性的に支持するようにしたことを特徴とするフォイル式動圧流体軸受。

[28] 前記スプリングフォイルは、前記軸受ハウジング内に装着したときに回転軸の軸にほぼ平行になる方向にスリットを形成し、該スリットそれぞれの幅を適宜に決定することにより前記回転軸の支持剛性を周方向に調整することを特徴とする請求項27記載のフォイル式動圧流体軸受。

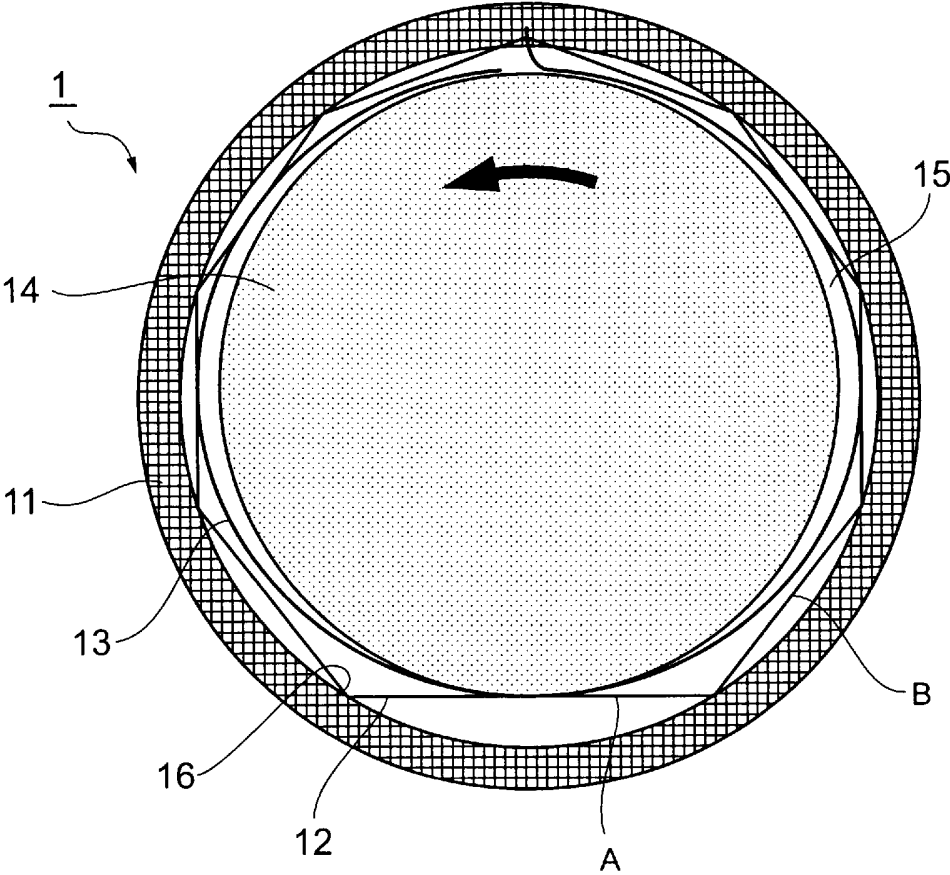
[29] 前記トップフォイルの両端が当たるハウジング内壁の位置に内壁面から立ち上がった止め壁をそれぞれ形成し、該止め壁の前面に断面が三角形状をした掘り込みを形成して構成した係止機構を有し、前記トップフォイルを前記止め壁の面間に展張して挿入し固定するようにしたことを特徴とする請求項27記載のフォイル式動圧流体軸受。

[30] 複数のスリットを設けた薄板平板からなるスプリングフォイルであって、前記スリットが該スプリングフォイルを軸受ハウジング内に装着したときに回転軸の軸に平行になる方向に並べて形成されたもので、該スプリングフォイルを該軸受ハウジングに装着されたときに該スリットの位置で折り曲がってスリット間に弾性梁を形成し、多角形断面を有する筒形を形成することを特徴とするフォイル式動圧流体軸受用のスプリングフォイル。

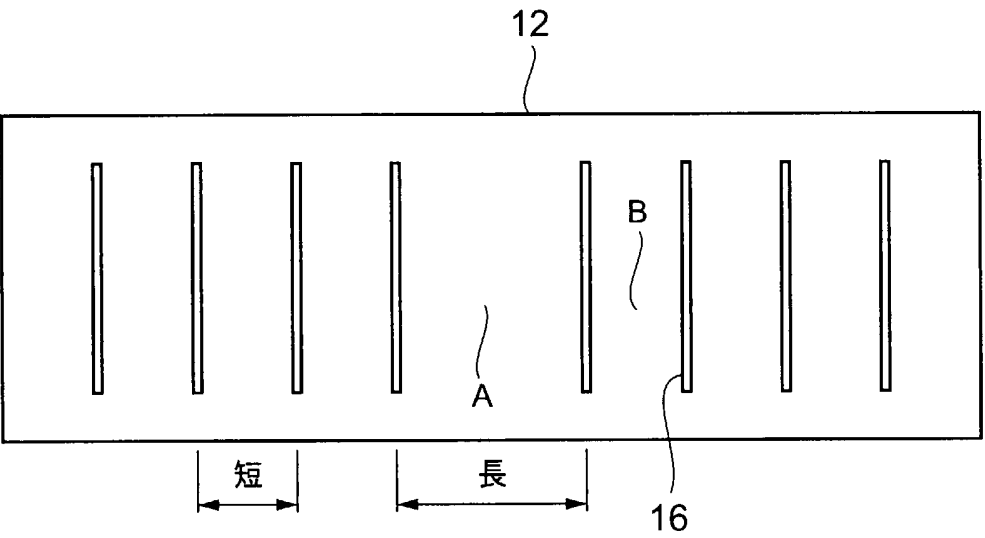
[31] 前記スプリングフォイルは、同じ形状のスリットを等間隔に並べて形成することを特徴とする請求項30記載のフォイル式動圧流体軸受用のスプリングフォイル。

- [32] 前記スプリングフォイルは、さらに前記スプリングフォイルの側端線に平行なスリットを複数形成して、該スプリングフォイルが該軸受ハウジングに装着されたときに該スリットの位置で曲面に沿って変形し面接触するようにすることを特徴とする請求項30または31のいずれかに記載のフォイル式動圧流体軸受用のスプリングフォイル。

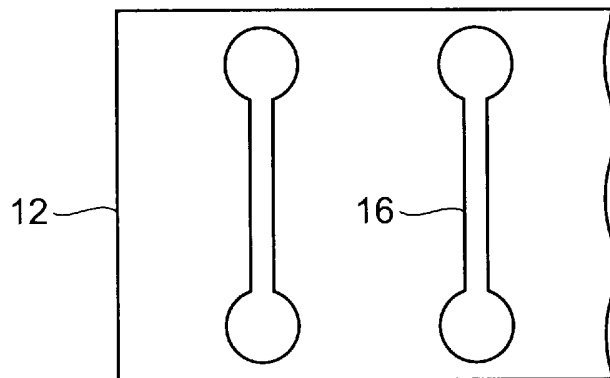
[図1]



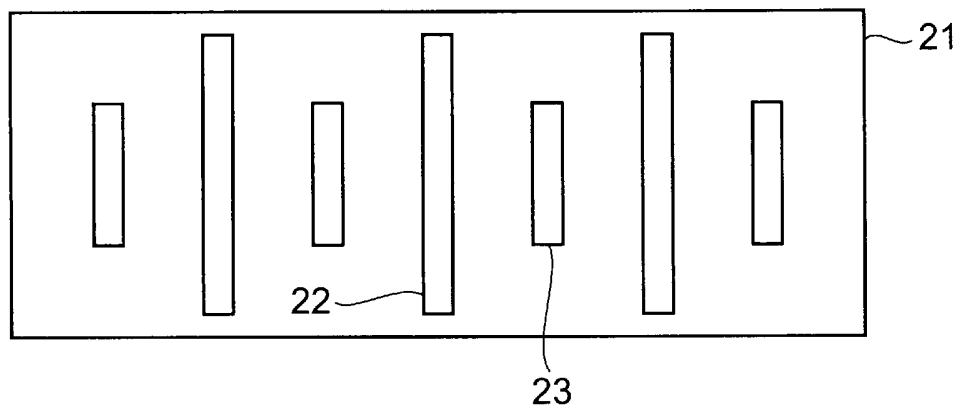
[図2]



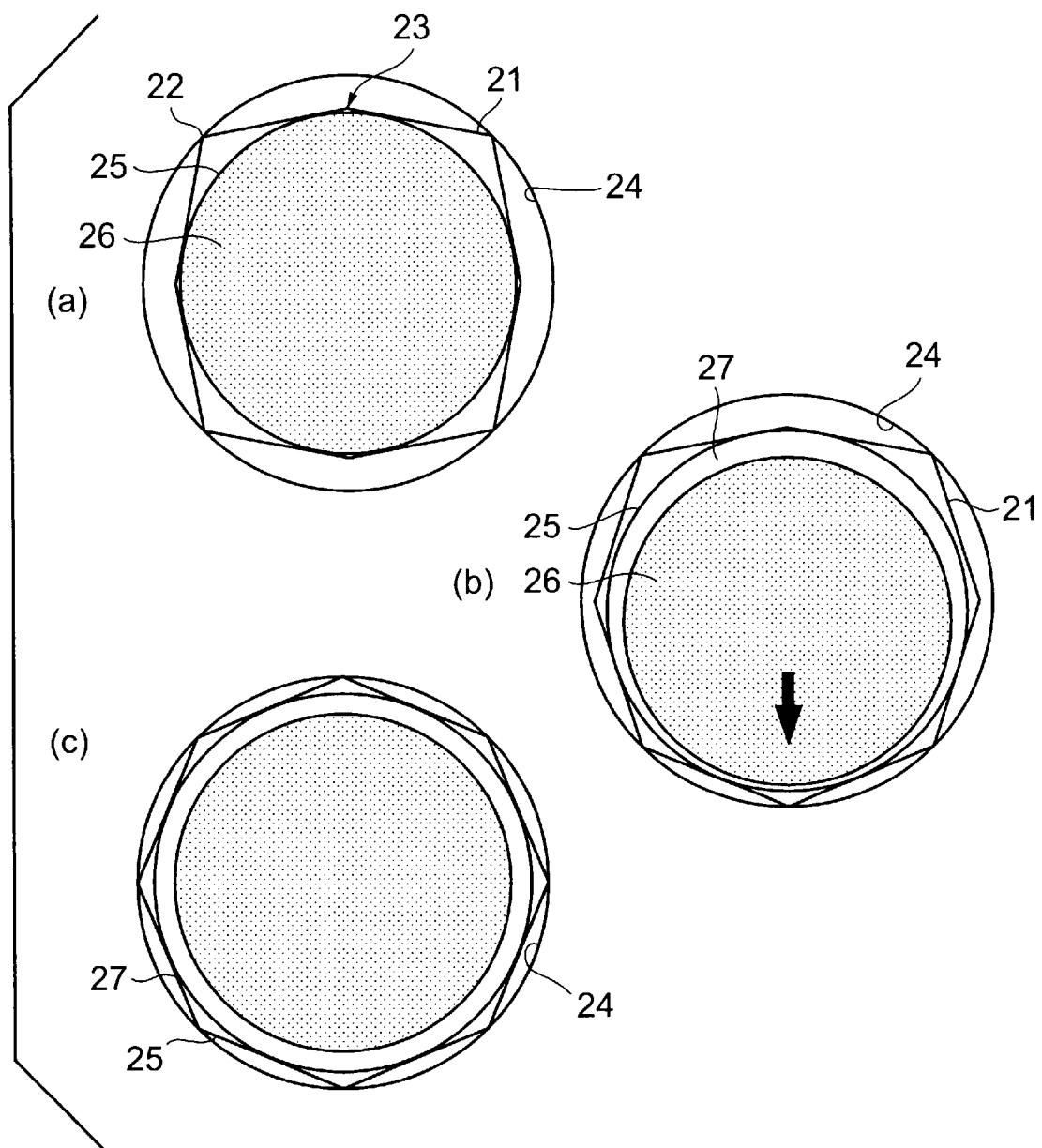
[図3]



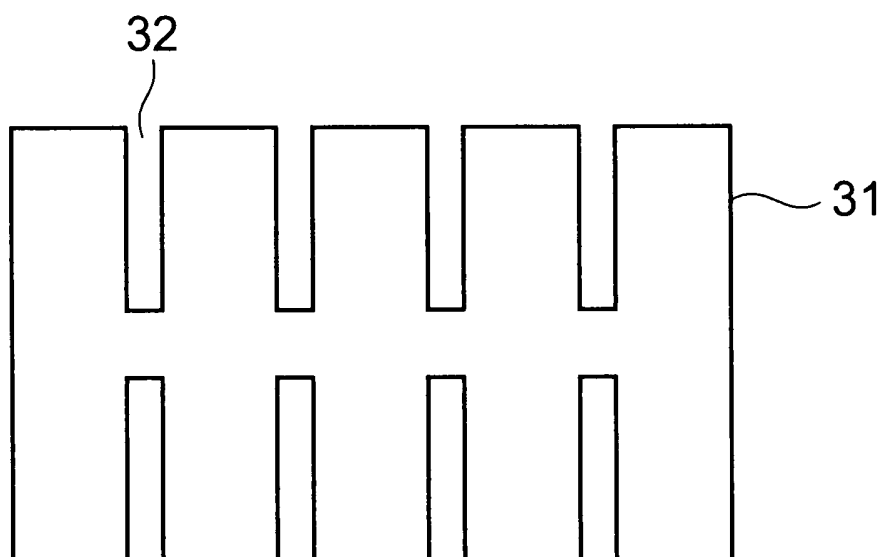
[図4]



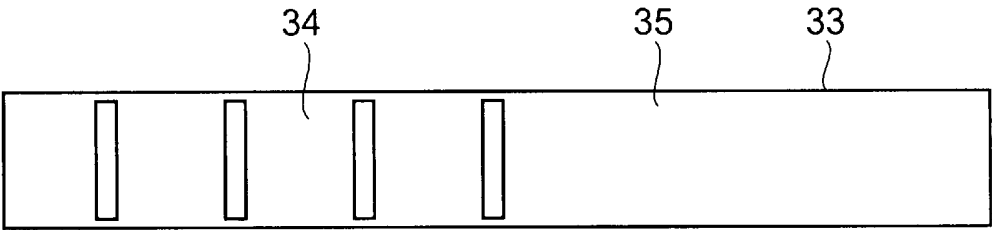
[図5]



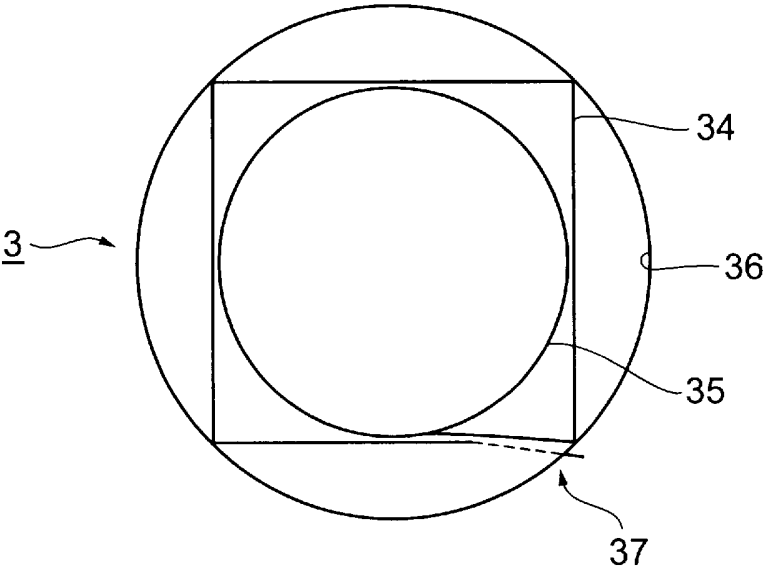
[図6]



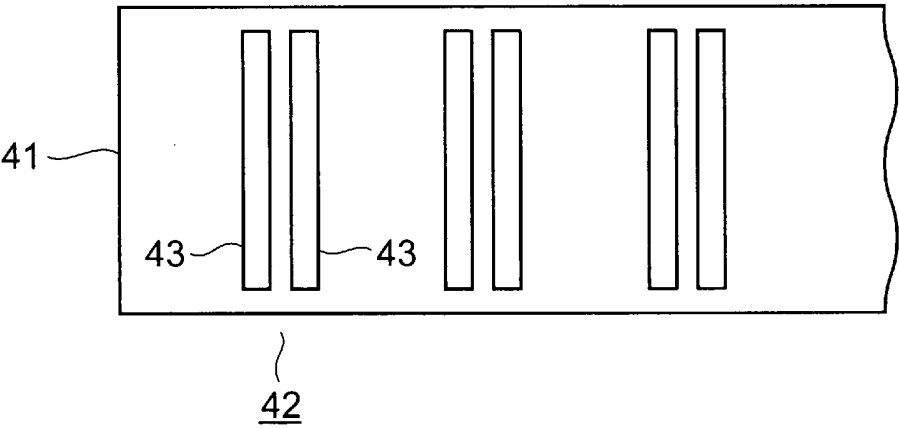
[図7]



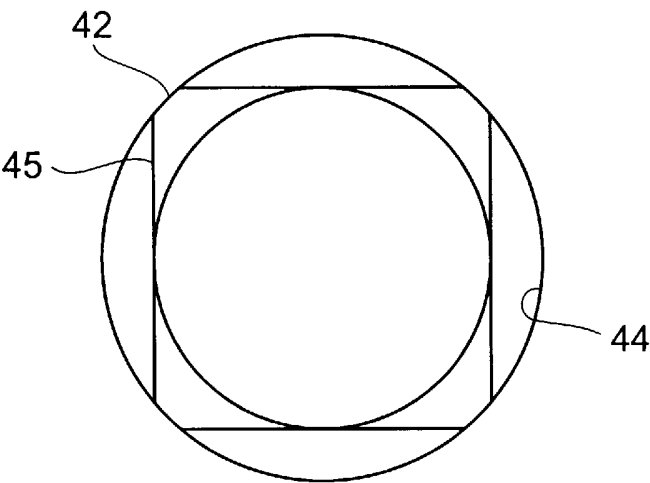
[図8]



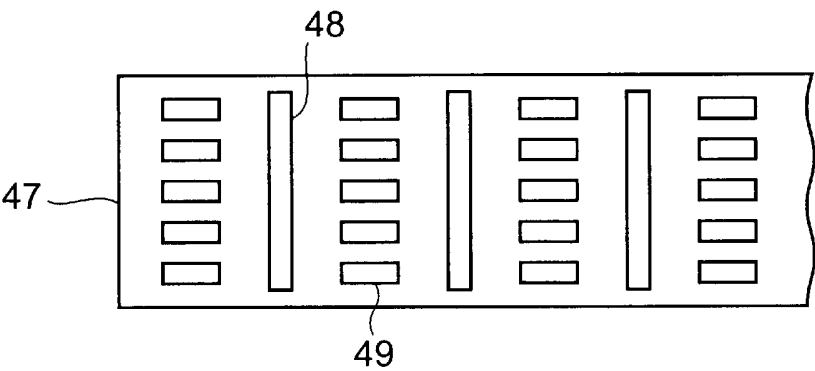
[図9]



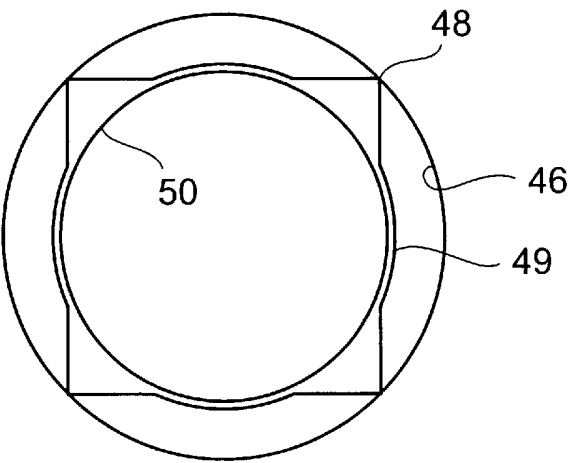
[図10]



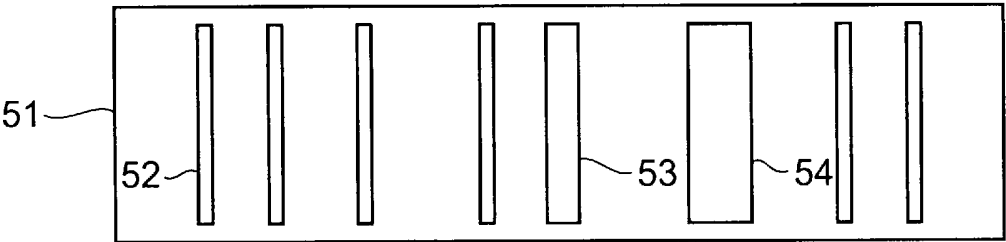
[図11]



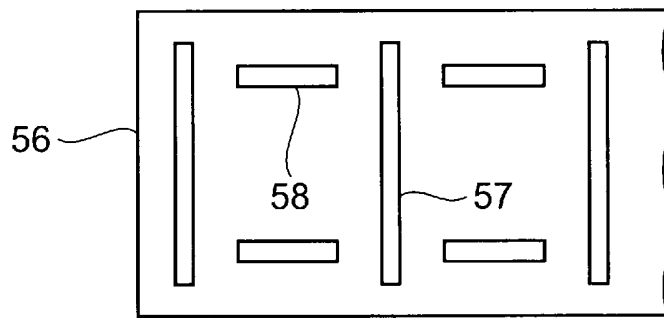
[図12]



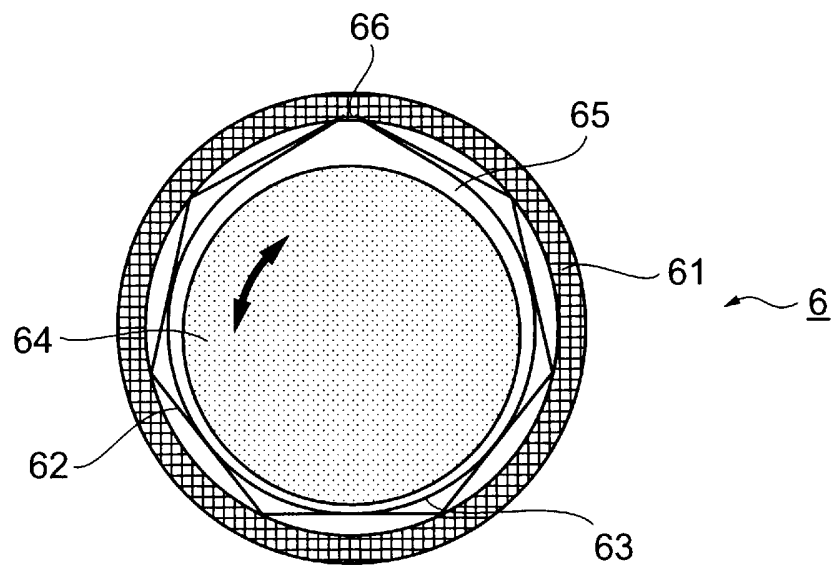
[図13]



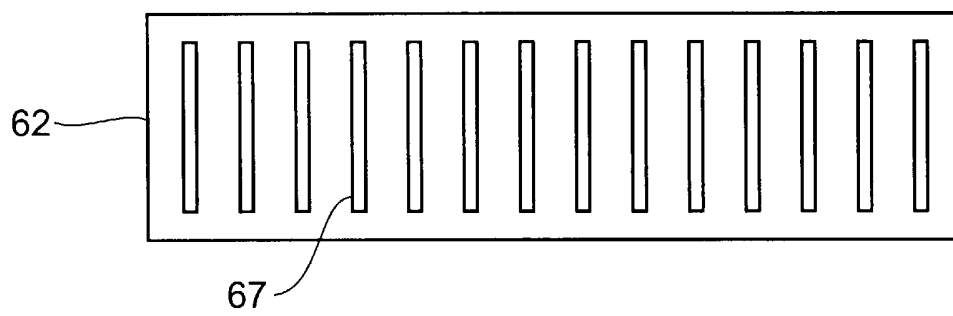
[図14]



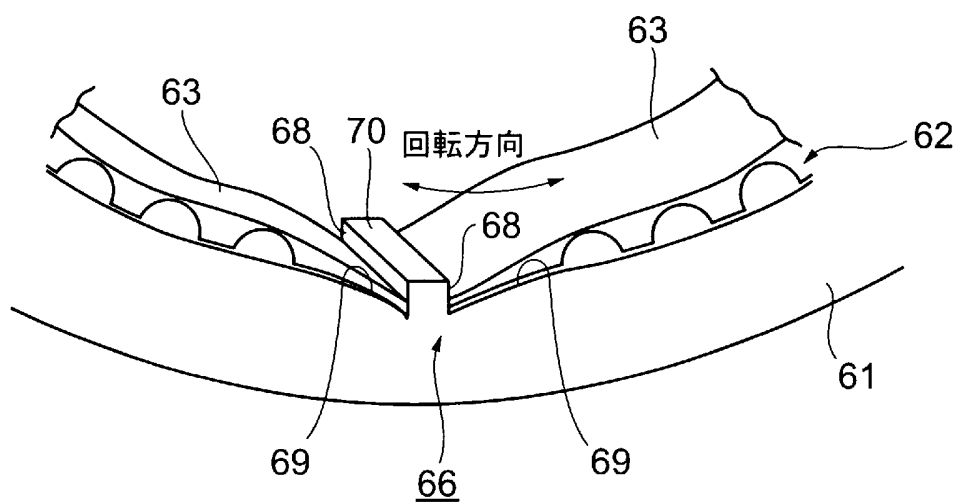
[図15]



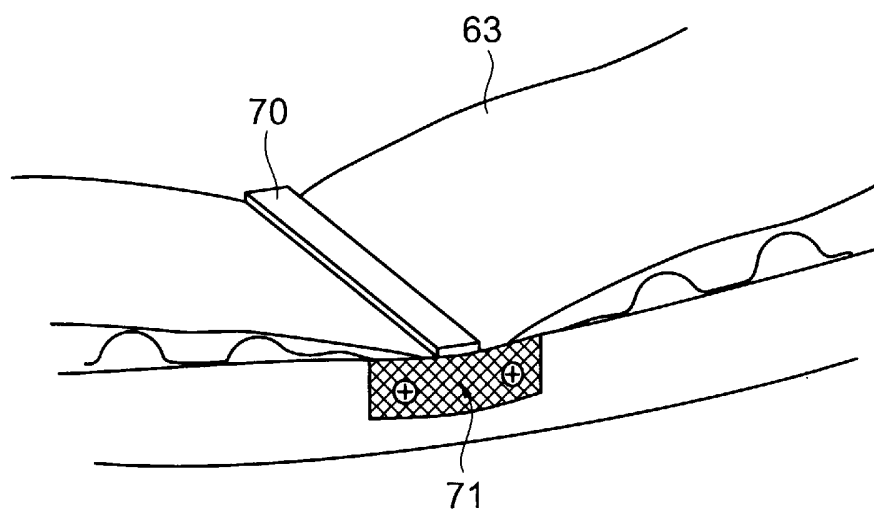
[図16]



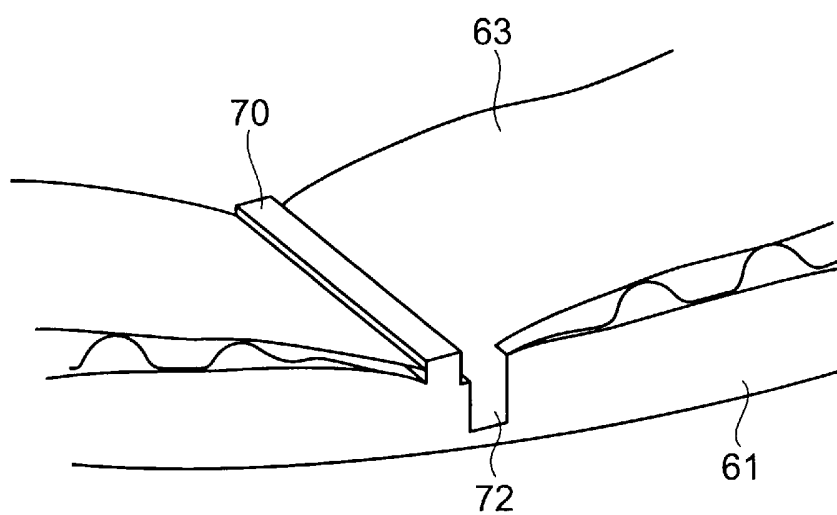
[図17]



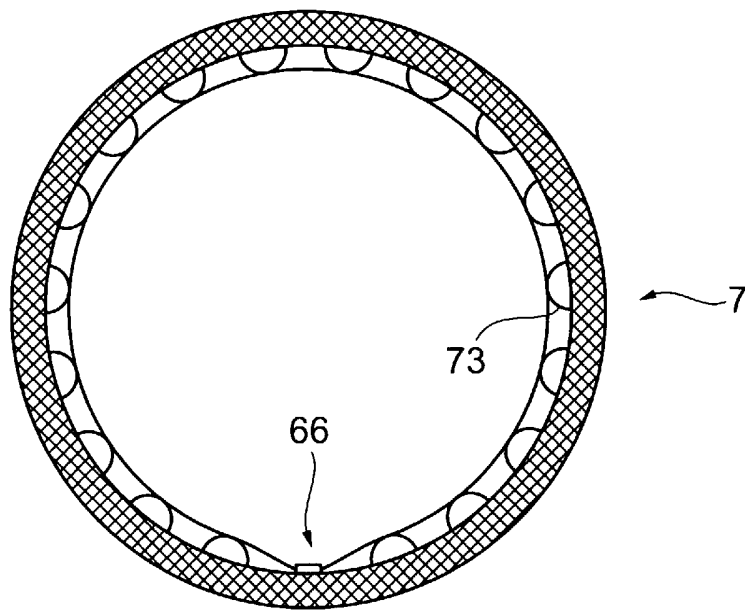
[図18]



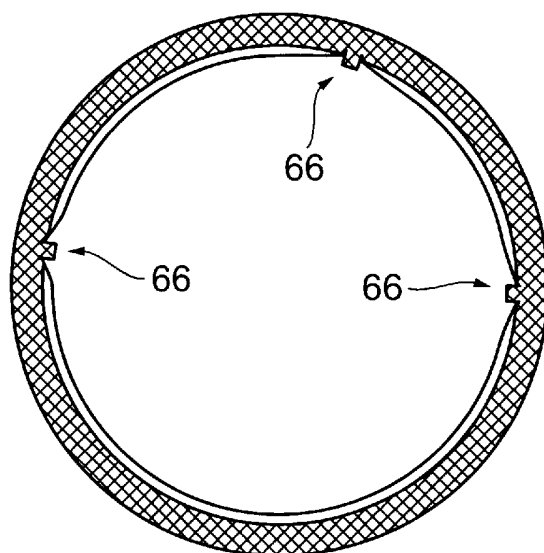
[図19]



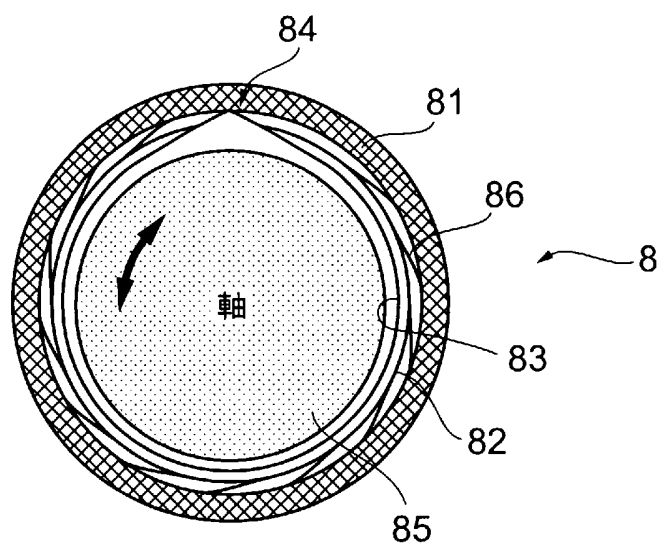
[図20]



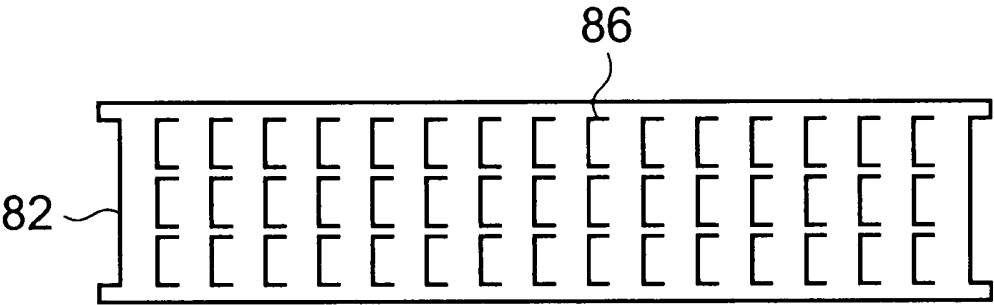
[図21]



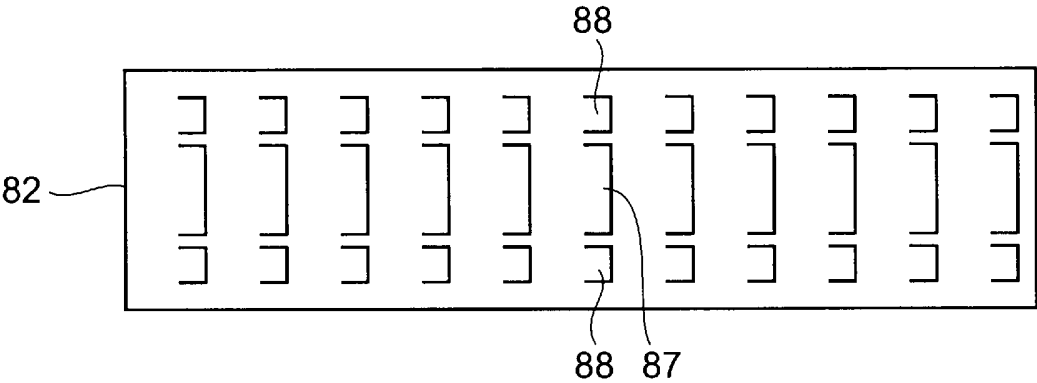
[図22]



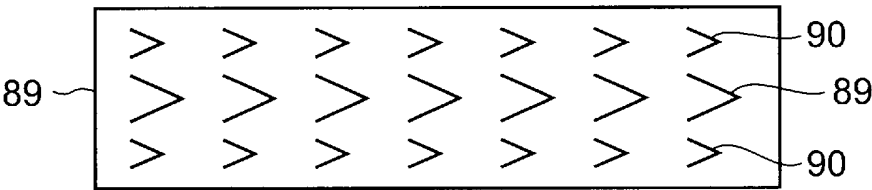
[図23]



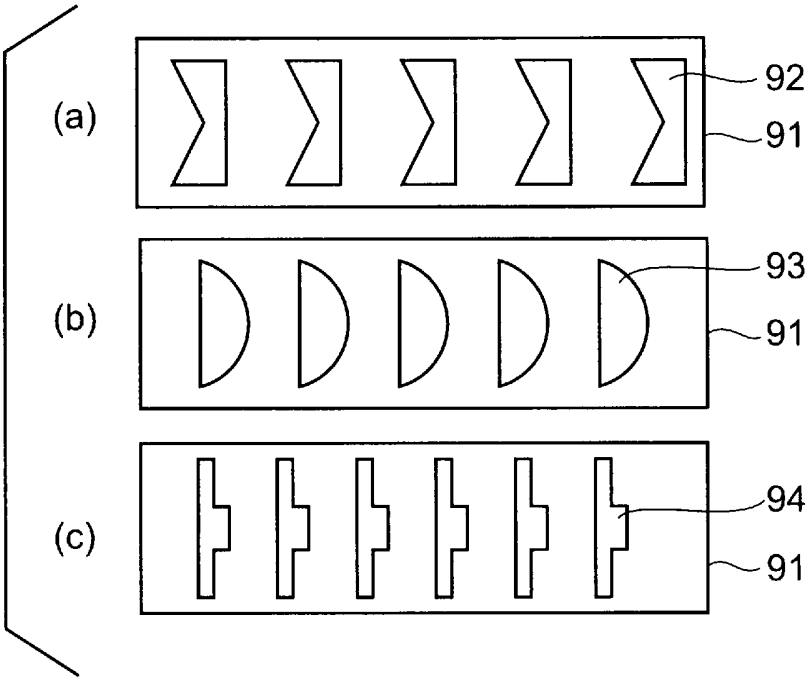
[図24]



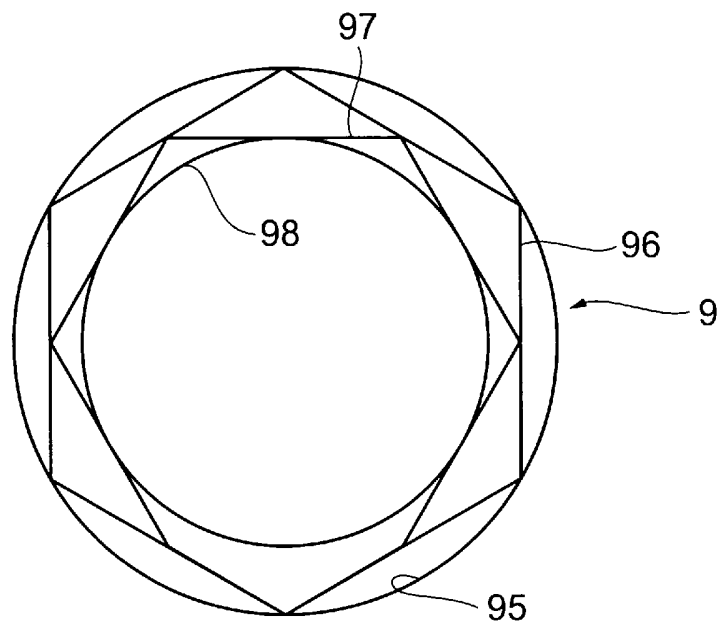
[図25]



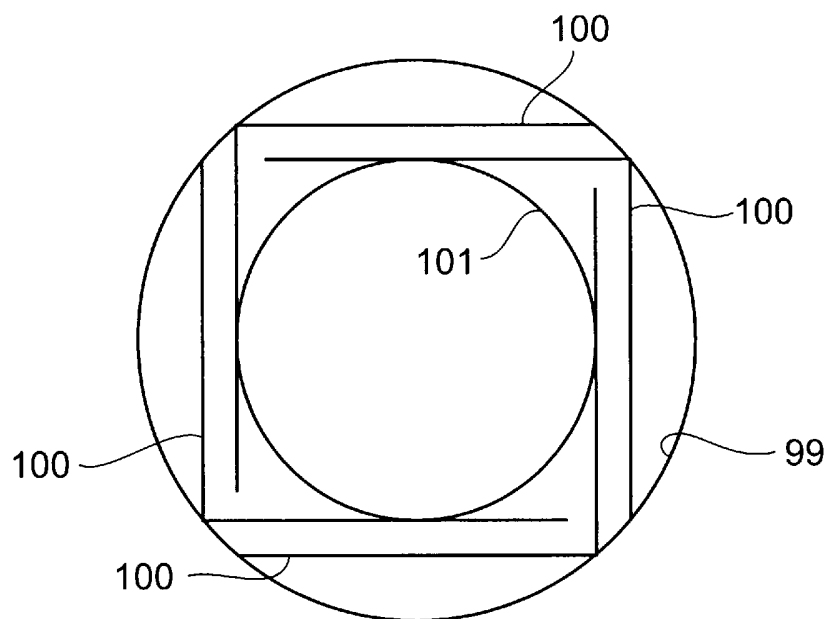
[図26]



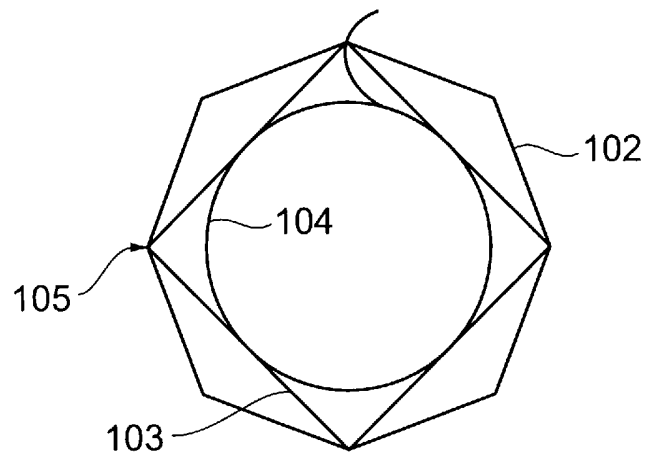
[図27]



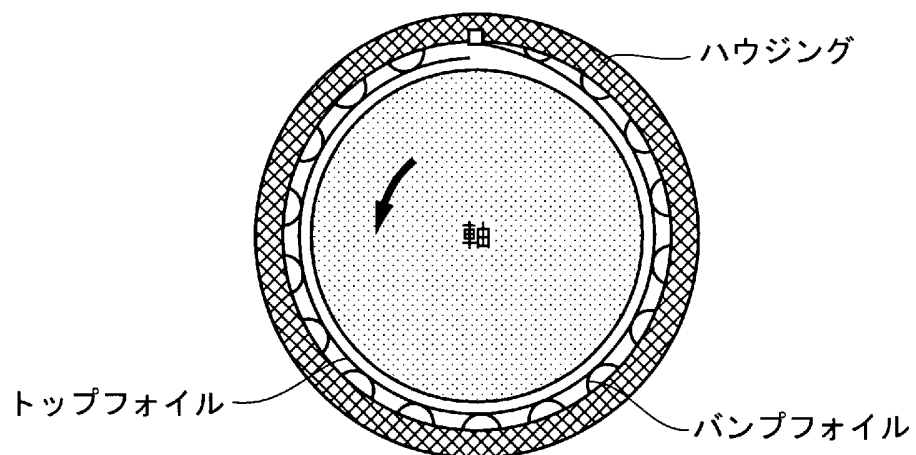
[図28]



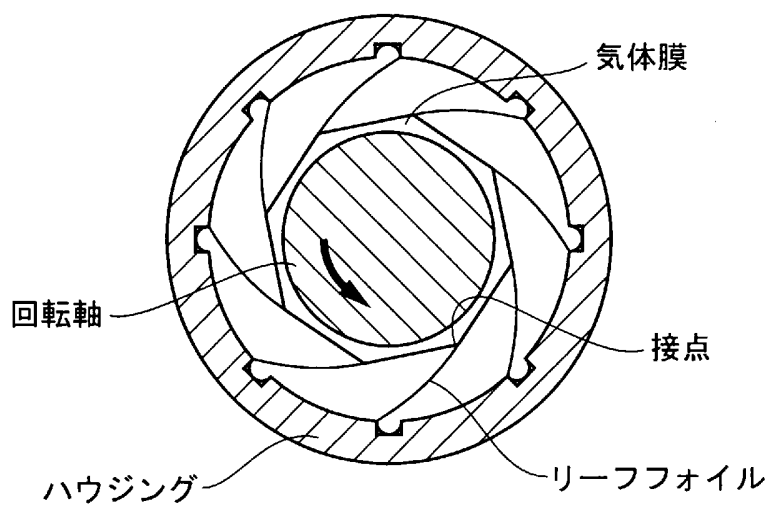
[図29]



[図30]



[図31]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003314

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ F16C27/02		
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) Int.Cl. ⁷ F16C27/02		
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 1996-2005 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005		
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.
X	JP 2004-190761 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 08 July, 2004 (08.07.04), Par. Nos. [0031] to [0038]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	1, 13, 14, 22, 27, 30, 31 12, 15-18, 29, 32 2-11, 20, 21, 23-26, 28
Y	CD-ROM of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 22015/1993 (Laid-open No. 76716/1994) (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 28 October, 1994 (28.10.94), Par. Nos. [0009] to [0011]; Fig. 1 (Family: none)	12
☒ 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, 2005 (27.05.05)		Date of mailing of the international search report 21 June, 2005 (21.06.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/003314

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 11-247844 A (Capstone Turbine Corp.), 14 September, 1999 (14.09.99), Par. Nos. [0014] to [0018]; Fig. 1 & US 5915841 A & EP 927831 A1	19 15-17, 29
Y	JP 2004-11839 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 15 January, 2004 (15.01.04), Par. No. [0027]; Fig. 1 (Family: none)	18
Y A	JP 10-331846 A (Mohawk Innovative Technology, Inc.), 15 December, 1998 (15.12.98), Full text; Fig. 9 & US 5988885 A	32 7, 8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int.Cl.⁷ F16C27/02

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.⁷ F16C27/02

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	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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 請求の範囲の番号
X	JP 2004-190761 A (光洋精工株式会社) 2004.07.08, 段落【0031】-【0038】、【図1】-【図2】(ファミリー無し)	1, 13, 14, 22, 27, 30, 31
Y		12, 15-18, 29, 32
A		2-11, 20, 21, 23-26, 28
Y	日本国実用新案登録出願5-22015号 (日本国実用新案登録出願公開6-76716号) の願書に添付した明細書及び図面の内容	12

☒ 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、一般的な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

27.05.2005

国際調査報告の発送日

21.6.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
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)

藤村 泰智

3J

3330

電話番号 03-3581-1101 内線 3328

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 請求の範囲の番号
	を記録したCD-ROM (石川島播磨重工業株式会社) 1994. 10. 28, 段落【0009】-【0011】, 【図1】(ファミリー 無し)	
X Y	JP 11-247844 A (カプストン タービン コーポレ イション) 1999. 09. 14, 段落【0014】-【0018】, 【図1】 & US 5915841 A & EP 927831 A1	19 15-17, 29
Y	JP 2004-11839 A (三菱重工業株式会社) 2004. 01. 15, 段落【0027】, 【図1】(ファミリー無し)	18
Y A	JP 10-331846 A (モホーク・イノベイティブ・テク ノロジー・インコーポレーテッド) 1998. 12. 15, 全文, 【図 9】 & US 5988885 A	32 7, 8