

(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
2015年6月18日(18.06.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/087677 A1

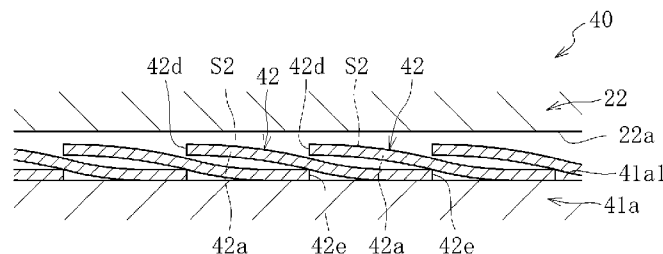
- (51) 国際特許分類:
F16C 27/02 (2006.01) *F16C 17/10* (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/080678
- (22) 国際出願日: 2014年11月19日(19.11.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-256848 2013年12月12日(12.12.2013) JP
特願 2014-003584 2014年1月10日(10.01.2014) JP
特願 2014-004266 2014年1月14日(14.01.2014) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): NTN株式会社(NTN CORPORATION) [JP/JP]; 〒5500003 大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
- (71) 出願人(米国についてのみ): 吉野 真人(YOSHINO Masato) [JP/JP]; 〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内 Mie (JP). 藤原 宏樹(FUJIWARA Hiroki) [JP/JP]; 〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘5丁目105番 NTN株式会社内 Mie (JP).
- (74) 代理人: 城村 邦彦, 外(SHIROMURA Kunihiko et al.); 〒5500002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目15番26号 江原特許事務所 Osaka (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, 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: THRUST FOIL BEARING, RADIAL FOIL BEARING, AND METHOD FOR MANUFACTURING SAID THRUST AND RADIAL FOIL BEARINGS

(54) 発明の名称: スラストフォイル軸受、ラジアルフォイル軸受、及びこれらの製造方法



(57) Abstract: This foil bearing (thrust foil bearing (40)) is provided with: a foil holder (41); and foils (42) arranged side by side circumferentially. Each of the foils (42) has: a body section (42a) having a thrust bearing surface (S2); and an extension section (42b) extended from the body section (42a) to the outer diameter side. One circumferential end (42d) of the body section (42a) of each of the foils (42) is disposed overlapping the body section (42a) of an adjacent foil (42). The extension sections (42b) of the foils (42) are affixed to the same flat surface of the foil holder (41).

(57) 要約: 本発明に係るフォイル軸受(スラストフォイル軸受40)は、フォイルホルダ41と、周方向に並べて配された複数のフォイル42とを備える。各フォイル42は、スラスト軸受面S2を有する本体部42aと、本体部42aから外径側に延びる延在部42bとを有する。各フォイル42の本体部42aの周方向一方側の端部42dは、隣接するフォイル42の本体部42aの上に重ねて配置される。複数のフォイル42の延在部42bは、フォイルホルダ41の同一平面上に固定される。

WO 2015/087677 A1

明 細 書

発明の名称：

スラストフォイル軸受、ラジアルフォイル軸受、及びこれらの製造方法
技術分野

[0001] 本発明は、スラストフォイル軸受、ラジアルフォイル軸受、及びこれらの製造方法に関する。

背景技術

[0002] ガスタービンやターボチャージャ等のターボ機械の主軸を支持する軸受には、高温・高速回転といった過酷な環境に耐え得ることが要求される。このような条件下での使用に適合する軸受として、フォイル軸受が着目されている。フォイル軸受は、曲げに対して剛性の低い可撓性を有する薄膜（フォイル）で軸受面を構成し、軸受面のたわみを許容することで荷重を支持するものである。軸の回転時には、軸の外周面とフォイルの軸受面との間に流体膜（例えば空気膜）が形成され、軸が非接触支持される。

[0003] また、ガスタービンや過給機の軸には、タービンの高速回転により発生する気流のスラスト方向の反力が加わるため、軸をラジアル方向だけでなくスラスト方向にも支持する必要がある。例えば下記の特許文献１～３には、回転部材（スラストカラー）をスラスト方向に支持するスラストフォイル軸受の一種として、リーフ型のスラストフォイル軸受が示されている。このスラストフォイル軸受は、円盤状のフォイルホルダの端面の円周方向複数箇所に複数のリーフを設けたものであり、各リーフの円周方向一端は自由端とされ、各リーフの円周方向他端が固定部材の端面に固定される。回転部材が回転すると、各リーフの軸受面とこれに対向する回転部材の端面との間にスラスト軸受隙間が形成され、このスラスト軸受隙間の流体膜により回転部材がスラスト方向に非接触支持される。

[0004] 上記のスラストフォイル軸受では、各リーフが円周方向に離間して設けられているため、リーフの円周方向間領域は軸受面として機能せず、支持力が

不足する恐れがある。また、上記のスラストフォイル軸受では、リーフの下方にバックフォイル（バンプフォイル、スプリングフォイル）を配することでリーフに弾性力を付与し、これにより、各リーフの軸受面と回転部材との間の隙間（スラスト軸受隙間）を調整している。しかし、このようにバックフォイルを設けることで、部品数が多くなってコストが高くなる。

[0005] 例えば、下記特許文献4に示されているスラストフォイル軸受110では、図42に示すように、各フォイル312の周方向一方側（軸の回転方向先行側）の端部312aが自由端とされ、この端部312aが、隣接するフォイル312の上に重ねて配置される。各フォイル312の周方向一方側の端部312aを含む領域は、スラスト軸受面S1'を有するトップフォイル部A'を構成する。各フォイル312の周方向他方の端部312bを含む領域は、隣接するフォイル312のトップフォイル部A'を背後（図中下方）から支持するバックフォイル部B'を構成する。

[0006] このように、隣接するフォイル312を重ねることで、スラスト軸受面S1'を全周に連続して設けることができると共に、バックフォイルを省略してコストを低減できる。また、このスラストフォイル軸受では、各リーフの外径端をリング状の連結部で連結し、この連結部をフォイルホルダに固定しているため、軸受面を形成するリーフの下方に、他のリーフとフォイルホルダとの固定箇所が配されない。リーフはフォイルホルダに対して固定部材や溶接等により固定されるため、通常、固定箇所には凹凸が形成されるが、上記のように軸受面の下方に固定箇所が配されないことで、固定箇所の凹凸が軸受面に悪影響を及ぼす事態を回避し、支持力の低下を防止できる。

[0007] また、下記特許文献5には、図53に示すようなフォイル512を有するフォイル軸受（ラジアルフォイル軸受）が示されている。各フォイル512の周方向一方の端部（以下、前端512a）及び周方向他方の端部（以下、後端512b）は、軸方向両端から軸方向内側へ向けて周方向一方側（軸の回転方向先行側）に傾斜した、いわゆるヘリングボーン形状を成している。図54に示すように、各フォイル512の前端512aは自由端とされ、各

foil 512の前端512aを含む領域は、軸受面を有するトップfoil部A'として機能する。各foil 512の後端512bを含む領域は、隣接するfoil 512のトップfoil部A'を背後から支持するバックfoil部B'として機能する。尚、特許文献5では、複数のfoil 512が連結部で連結されているが、図53では連結部を省略して示している。また、図51及び図52では、理解しやすいように、foil 512を3枚のみ示し、各foil 512を軸方向（図中上下方向）に少しずらして示している。

先行技術文献

特許文献

- [0008] 特許文献1：実開昭61-36725号公報
特許文献2：実開昭61-38321号公報
特許文献3：特開昭63-195412号公報
特許文献4：特開2013-61024号公報
特許文献5：特開2013-79719号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0009] 上記特許文献4のスラストfoil軸受は、以下のような手順で組み立てられる。まず、図22の上段に示すように、複数のリーフ131, 131'をリング状の連結部132, 132'で連結した2枚のfoil部材130, 130'を用意する。そして、各リーフ131, 131'を隣接するリーフ131', 131の上に乗り上げさせながら、2枚のfoil部材130, 130'を重ねる（図22の中段および下段参照）。こうして重ねた2枚のfoil部材130, 130'を、foilホルダ120に固定する（図23参照）。この場合、下側のfoil部材130のリーフ131は、上側のfoil部材130'のリーフ131'に乗り上げることで湾曲する。これにより、リーフ131の軸受面131cと回転部材106との間に、周方

向一方側（軸の回転方向先行側）へ向けて漸次縮小したスラスト軸受隙間が形成される。また、リーフ１３１が湾曲することで弾性力が付与され、スラスト軸受隙間の調整機能を果たすことができる。

[0010] 一方、上側のフォイル部材１３０’のリーフ１３１’（特に、各リーフ１３１’の外径部分）は、下側のフォイル部材１３０のリーフ１３１よりも上方に配置されるため、図示のように上側のフォイル部材１３０’のリーフ１３１’がほとんど湾曲せずに、軸受面１３１ｃ’が周方向で略平坦となる恐れがある。この場合、略平坦な軸受面１３１ｃ’と回転部材１０６との間に形成されるスラスト軸受隙間が周方向で略一定となるため、スラスト軸受隙間の流体圧が十分に高まらず、支持力の低下を招く恐れがある。また、リーフ１３１’が湾曲しないと、リーフ１３１’に十分な弾性力が付与されないため、スラスト軸受隙間の調整機能が働かず、やはり支持力の低下を招く恐れがある。

[0011] 上記のような問題は、スラストフォイル軸受に限らず、ラジアルフォイル軸受においても同様に生じ得る。

[0012] 本発明は、フォイル軸受の支持力を高めることを第１の目的とする。

[0013] また、図４２に示すフォイル軸受３１０において、スラストカラー３０１が図中矢印方向に回転すると、各フォイル３１２のスラスト軸受面Ｓ１’とスラストカラー３０１の端面３０１ａとの間にスラスト軸受隙間Ｔ’が形成される。このとき、各フォイル３１２のトップフォイル部Ａ’が、隣接するフォイル３１２のバックフォイル部Ｂ’に乗り上げていることで、スラスト軸受隙間Ｔ’の大きさが場所によって異なる。具体的には、各フォイル３１２のトップフォイル部Ａ’のうち、隣接するフォイル３１２のバックフォイル部Ｂ’に乗り上げている部分（前方部分Ａ１’）とスラストカラー３０１の間には、隙間幅が相対的に小さいスラスト軸受隙間（小隙間部Ｔ１’）が形成される。一方、各フォイル３１２のトップフォイル部Ａ’のうち、隣接するフォイル３１２のバックフォイル部Ｂ’に乗り上げていない部分（後方部分Ａ２’）とスラストカラー３０１の間には、隙間幅が相対的に大き

いスラスト軸受隙間（大隙間部 T 2'）が形成される。この場合、スラスト軸受隙間 T' の流体は、小隙間部 T 1' で圧力が高められた直後に、大隙間部 T 2' で圧力が急激に低下するため、大隙間部 T 2' の流体に負圧が生じ、スラストフォイル軸受 310 の負荷容量が低下する恐れがある。特に、流体の粘度が小さい場合や、軸の回転速度が大きい場合、負圧が生じる恐れが高くなる。

[0014] 上記のような問題は、スラストフォイル軸受に限らず、ラジアルフォイル軸受においても同様に生じる。

[0015] 本発明は、各フォイルの周方向一方の端部を隣接するフォイルの上に重ねて配置したフォイル軸受において、軸受隙間における負圧の発生を防止して、負荷容量の低下を回避することを第 2 の目的とする。

[0016] また、図 5 3 及び図 5 4 のフォイル軸受に支持された軸 502 が回転すると、軸受隙間の流体の圧力が高まる。この流体圧で、各フォイル 512 のトップフォイル部 A' が、その背後のバックフォイル部 B' に押し付けられる。これにより、図 5 5 に示すように、各フォイル 512 のトップフォイル部 A' が、バックフォイル部 B' に設けられたヘリングボーン形状の後端 512b に倣って湾曲し、各フォイル 512 が、バックフォイル部 B' の軸方向中央部 B1 を底としてトップフォイル部 A' の先端及び軸方向両端が反り上がった舟形に変形する。このように、各フォイル 512 を舟形に変形させることで、軸受隙間を流れる流体が軸受面に沿って軸方向中央部に集められ（鎖線矢印参照）、流体圧が効率良く高められる。

[0017] 上記のように各フォイル 512 を舟形に湾曲させようとする、バックフォイル部 B の軸方向中央部 B1 に軸方向両側から圧縮応力が加わる。このとき、軸方向中央部 B1 が突っ張ることで、バックフォイル部 B の変形が阻害され、特に、軸の低速回転時などの軸受隙間の流体圧が比較的低いときに、各フォイル 512 を舟形に変形させることができない恐れがある。

[0018] 上記のような問題は、軸をラジアル方向に支持するラジアルフォイル軸受に限らず、軸に設けられたスラストカラーをスラスト方向に支持するスラス

トフォイル軸受においても同様に生じる。

[0019] 本発明は、軸の回転時に、フォイル軸受のフォイルを所望の形状に変形させて、流体圧を効率良く高めることを第3の目的とする。

課題を解決するための手段

[0020] [本願第1発明]

上記第1の目的を達成するため、本願第1発明は、フォイルホルダと、前記フォイルホルダに取り付けられ、周方向に並べて配された複数のフォイルとを備え、周方向一方に相対回転する軸をスラスト方向に支持するフォイル軸受（スラストフォイル軸受）であって、各フォイルが、軸受面を有する本体部と、前記本体部から外径側に延びる延在部とを有し、各フォイルの本体部の周方向一方側の端部が、隣接するフォイルの本体部の上に重ねて配置され、前記複数のフォイルの延在部を、前記フォイルホルダの同一平面上に固定したものである。

[0021] また、上記第1の目的を達成するため、本願第1発明は、フォイルホルダと、前記フォイルホルダの内周面に取り付けられ、周方向に並べて配された複数のフォイルとを備え、周方向一方に相対回転する軸をラジアル方向に支持するフォイル軸受（ラジアルフォイル軸受）であって、各フォイルが、軸受面を有する本体部と、前記本体部から軸方向一方側に延びる延在部とを有し、各フォイルの本体部の周方向一方側の端部が、隣接するフォイルの本体部の上に重ねて配置され、前記複数のフォイルの延在部を、前記フォイルホルダの同一円筒面上に固定したものである。

[0022] このように、各フォイルの延在部をフォイルホルダの同一平面上（あるいは同一円筒面上）に固定することで、全てのフォイルが、隣接するフォイルに乗り上げて、同様に湾曲する。これにより、各フォイルの軸受面と、支持対象である回転部材との間に、周方向一方側（軸の相対回転方向先行側）へ向けて漸次縮小した軸受隙間が形成される。また、各フォイルが同様に湾曲することで、各フォイルに十分な弾性力が付与されるため、この弾性力により軸受隙間の調整機能を果たすことができる。

[0023] 例えば図 1 4 に示す例では、foil 4 2 の延在部 4 2 b が、本体部 4 2 a から半径方向沿って外径側に延び、延在部 4 2 b の外径部分（クロスハッチングで示す）が foil ホルダ（ホルダ本体 4 1 a）に固定されている。この場合、軸の回転に伴う流体の流動により、foil 4 2 の本体部 4 2 a が周方向一方側（矢印方向）に引っ張られることで、延在部 4 2 b の内径部分 P にせん断力が加わり、foil が損傷する恐れがある。これに対し、図 7 に示す例では、foil 4 2 の延在部 4 2 b が、本体部 4 2 a から外径側に向けて周方向他方側に傾斜した方向に延び、この延在部 4 2 b の外径部分（クロスハッチングで示す）が foil ホルダ 4 1 に固定されている。この場合、軸の回転に伴って foil が周方向一方側に引っ張られたときに、延在部 4 2 b の内径部分 P に加わる力の方向が主に引張方向となるため、この内径部分 P に加わるせん断力を低減し、foil の損傷を防止できる。

[0024] 上記のスラスト foil 軸受は、例えば、軸受面を有する本体部、及び、前記本体部から外径側に延びる延在部を有する複数の foil と、前記複数の foil の外径側に設けられ、前記複数の foil の延在部を連結する連結部とを有する複数の foil 部材を形成する工程と、前記複数の foil 部材を重ね、各本体部の周方向一方側の端部を、隣接する本体部の上に重ねて配置する工程と、前記複数の foil 部材の延在部を、foil ホルダの同一平面上に固定する工程と、前記複数の foil 部材の連結部を前記 foil から分離する工程とを順に経て製造することができる。

[0025] また、上記のラジアル foil 軸受は、例えば、軸受面を有する本体部、及び、前記本体部から軸方向一方側に延びる延在部を有する複数の foil と、前記複数の foil の軸方向一方側に設けられ、前記複数の foil の延在部を連結する連結部とを有する複数の foil 部材を形成する工程と、前記複数の foil 部材を重ね、各 foil 部材の本体部の周方向一方側の端部を、隣接する foil 部材の本体部の上に重ねて配置する工程と、前記複数の foil 部材の延在部を、foil ホルダの同一円筒面上に固定する工程と、前記複数の foil 部材の連結部を前記 foil から分離する工程

とを順に経て製造することができる。

[0026] 上記のように、複数のファイルを連結部で連結したファイル部材をファイルホルダに取り付けることで、各ファイルを一枚ずつファイルホルダに取り付ける場合と比べて、組み付け工程が簡略化され、生産性を高めることができる。

[0027] 上記の製造方法において、前記ファイル部材の前記連結部と前記延在部との境界の周方向寸法を、前記延在部の端部（スラストファイル軸受の場合は外径端、ラジアルファイル軸受の場合は軸方向一方の端部）の周方向寸法よりも小さくすれば、連結部とファイルとを容易に分離することができる。

[0028] [本願第2発明]

また、上記第2の目的を達成するためになされた本願第2発明は、周方向一方に回転する軸に設けられたスラストカラーと軸方向に対向するファイルホルダと、前記ファイルホルダの端面に取り付けられ、周方向に並べて配された複数のファイルとを備え、各ファイルの周方向一方の端部を自由端とし、各ファイルの周方向一方の端部を含む領域が、スラスト軸受面を有するトップファイル部を構成すると共に、各ファイルの周方向他方の端部を含む領域が、隣接するファイルの前記トップファイル部を背後から支持するバックファイル部を構成し、前記スラスト軸受面と前記スラストカラーの端面との間に形成されるスラスト軸受隙間の流体圧で前記軸をスラスト方向に回転自在に支持するファイル軸受（スラストファイル軸受）であって、各ファイルの前記トップファイル部のうち、当該トップファイル部の周方向一方の端部を含む領域と前記スラストカラーの端面との間に、前記スラスト軸受隙間の小隙間部が形成され、各ファイルの前記トップファイル部のうち、当該トップファイル部の周方向他方の端部を含む領域と前記スラストカラーの端面との間に、前記スラスト軸受隙間の大隙間部が形成され、前記大隙間部と、前記ファイルと前記ファイルホルダとの間の空間とを連通する連通路を設けたことを特徴とするものである。

[0029] また、上記第2の目的を達成するためになされた本願第2発明は、内周に

軸が挿入されたファイルホルダと、前記ファイルホルダの内周面に取り付けられ、周方向に並べて配された複数のファイルとを備え、各ファイルの周方向一方の端部を自由端とし、各ファイルの周方向一方の端部を含む領域が、ラジアル軸受面を有するトップファイル部を構成すると共に、各ファイルの周方向他方の端部を含む領域が、隣接するファイルを背後から支持するバックファイル部を構成し、前記ラジアル軸受面と前記軸の外周面との間に形成されるラジアル軸受隙間の流体圧で前記軸をラジアル方向に回転自在に支持するファイル軸受（ラジアルファイル軸受）であって、各ファイルの前記トップファイル部のうち、当該トップファイル部の周方向一方の端部を含む領域と前記軸の外周面との間に、前記ラジアル軸受隙間の小隙間部が形成され、各ファイルの前記トップファイル部のうち、当該トップファイル部の周方向他方の端部を含む領域と前記軸の外周面との間に、前記ラジアル軸受隙間の大隙間部が形成され、前記大隙間部と、前記ファイルと前記ファイルホルダとの間の空間とを連通する連通路を設けたことを特徴とするものである。

[0030] 上記のように、本願第2発明のファイル軸受では、軸受隙間の大隙間部と、ファイルとファイルホルダとの間の空間とが、連通路を介して連通される。これにより、大隙間部が常に大気圧に近い状態となるため、大隙間部における負圧の発生が防止され、ファイル軸受の負荷容量の低下を回避できる。

[0031] 連通路は、例えば、各ファイルのトップファイル部と、このトップファイル部を背後から支持するバックファイル部との間に形成することができる。具体的には、例えば、各ファイルのトップファイル部と、このトップファイル部を背後から支持するバックファイル部との間に支持部材を設け、この支持部材に連通路を設けることができる（図27及び図28参照）。あるいは、各ファイルのトップファイル部、及び、このトップファイル部を背後から支持するバックファイル部のうち、互いに対向する面の少なくとも一方に溝を形成し、この溝で連通路を構成することができる（図29参照）。

[0032] この他、ファイルに厚さ方向の貫通孔を形成し、この貫通孔で連通路を構成することができる。また、ファイルに切り欠きを形成し、この切り欠きで

連通路を構成することができる。

[0033] [本願第3発明]

上記第3の目的を達成するためになされた本願第3発明のフォイル軸受（ラジアルフォイル軸受）は、内周に、周方向一方に回転する軸が挿入されたフォイルホルダと、前記フォイルホルダの内周面に周方向に並べて取り付けられた複数のフォイルとを備え、各フォイルの周方向一方の端部が自由端とされ、各フォイルの周方向一方の端部を含む領域が、ラジアル軸受面を有するトップフォイル部を構成すると共に、各フォイルの周方向他方の端部を含む領域が、隣接するフォイルの前記トップフォイル部を背後から支持するバックフォイル部を構成し、各フォイルの周方向他方の端部が、軸方向両端側から軸方向中央側へ向けて周方向一方側に傾斜した一对の傾斜部を有し、各フォイルの前記バックフォイル部の軸方向中間部に、その軸方向両側の領域よりも圧縮応力に対する強度が低い脆弱部を設けたことを特徴とするものである。

[0034] また、上記第3の目的を達成するためになされた本願第3発明のフォイル軸受（スラストフォイル軸受）は、周方向一方に回転する軸に設けられたスラストカラーと軸方向で対向するフォイルホルダと、前記フォイルホルダの端面に周方向に並べて取り付けられた複数のフォイルとを備え、各フォイルの周方向一方の端部が自由端とされ、各フォイルの周方向一方の端部を含む領域が、スラスト軸受面を有するトップフォイル部を構成すると共に、各フォイルの周方向他方の端部を含む領域が、隣接するフォイルの前記トップフォイル部を背後から支持するバックフォイル部を構成し、各フォイルの周方向他方の端部が、半径方向両端側から半径方向中央側へ向けて周方向一方側に傾斜した一对の傾斜部を有し、各フォイルの前記バックフォイル部の半径方向中間部に、その半径方向両側の領域よりも圧縮応力に対する強度が低い脆弱部を設けたことを特徴とするものである。

[0035] このように、本願第3発明のフォイル軸受では、各フォイルのバックフォイル部の中間部（ラジアルフォイル軸受では軸方向中間部、スラストフォイ

ル軸受では半径方向中間部）に脆弱部を設けた。すなわち、軸の回転に伴って軸受隙間に生じる流体圧により、各フォイルが、その背後のバックフォイル部に設けられたヘリングボーン形状の端部（傾斜部）に押し付けられた際、圧縮応力が加わる各フォイルのバックフォイル部の中間部に脆弱部を設けた。これにより、軸受隙間の流体圧が比較的低い場合でも、各フォイルの脆弱部を容易に圧縮変形させることができるため、各フォイルを所望の形状（舟形）に変形させることが可能となる。

[0036] 例えば、バックフォイル部に周方向に延びるスリットを形成することにより、脆弱部を構成することができる。この場合、スリットの互いに対向する内壁を離隔させれば、脆弱部に圧縮応力が加わったときに、両内壁を互いに接近させることで、脆弱部を容易に変形させることができる。また、バックフォイル部の周方向他方の端部は、特に圧縮応力が加わりやすいため、上記のスリットは、各フォイルの周方向他方の端部まで達するように形成することが好ましい。

発明の効果

[0037] 以上のように、本願第1発明のフォイル軸受によれば、複数のフォイルの延在部をフォイルホルダの同一平面上あるいは同一円筒面上に固定することで、全てのフォイルが同様に湾曲する。これにより、全てのフォイルが、周方向一方側へ向けて漸次縮小した軸受隙間を形成すると共に、軸受隙間の調整機能を有するため、支持力を高めることができる。

[0038] また、本願第2発明のフォイル軸受によれば、連通路を設けることで、軸受隙間（特に大隙間部）における負圧の発生を防止して、負荷容量の低下を回避することができる。

[0039] また、本願第3発明のフォイル軸受によれば、各フォイルのバックフォイル部に脆弱部を設けることで、軸の回転時に各フォイルを所望の形状に変形させて、流体圧を効率良く高めることができる。

図面の簡単な説明

[0040] [図1]ガスタービンの構成を概念的に示す図である。

[図2]上記ガスタービンにおけるロータの支持構造を示す断面図である。

[図3]上記支持構造に組み込まれたフォイル軸受ユニットの断面図である。

[図4]上記フォイル軸受ユニットに組み込まれたラジアルフォイル軸受の断面図である。

[図5A]上記ラジアルフォイル軸受のフォイルの斜視図である。

[図5B]図5Aのフォイルを3枚用いて仮組みした状態の斜視図である。

[図6A]本願第1発明の実施形態に係る第1スラストフォイル軸受の平面図である。

[図6B]本願第1発明の実施形態に係る第2スラストフォイル軸受の平面図である。

[図7]第1スラストフォイル軸受のフォイルの平面図である。

[図8]第1スラストフォイル軸受の断面図である。

[図9A]複数のフォイルを連結してなるフォイル部材の平面図である。

[図9B]複数のフォイルを連結してなるフォイル部材の平面図である。

[図10]図9Aおよび図9Bのフォイル部材を仮組みした状態を示す平面図である。

[図11]仮組した2枚のフォイル部材をフォイルホルダのホルダ本体上に配置した状態を示す平面図である。

[図12]図11のホルダ本体に固定部材を取り付けた状態を示す平面図である。

[図13]他の実施形態に係るフォイルの平面図である。

[図14]他の実施形態に係るフォイルの平面図である。

[図15]上段は、他の実施形態に係るスラストフォイル軸受に用いられる2枚のフォイル部材の平面図、中段は仮組みした2枚のフォイル部材の平面図、下段はスラストフォイル軸受の平面図である。

[図16]図15下段のスラストフォイル軸受の断面図である。

[図17]本願第1発明の実施形態に係るラジアルフォイル軸受の正面図である。

[図18]図17のラジアルフォイル軸受のフォイルの平面図である。

[図19]図17のラジアルフォイル軸受の平面展開図である。

[図20A]複数のフォイルを連結したフォイル部材の平面図である。

[図20B]複数のフォイルを連結したフォイル部材の平面図である。

[図21]図20Aおよび図20Bのフォイル部材を仮組みした状態を示す平面図である。

[図22]上段は、従来のスラストフォイル軸受に用いられる2枚のフォイル部材の斜視図、2枚のフォイル部材を仮組みする途中の様子を示す斜視図、下段は2枚のフォイル部材を仮組みした状態を示す斜視図である。

[図23]図22のフォイルを有するスラストフォイル軸受の断面図である。

[図24]本願第2発明の実施形態に係るスラストフォイル軸受の断面図である。

[図25]図24のスラストフォイル軸受の平面図である。

[図26]図25の $X_{26}-X_{26}$ 線における断面図である。

[図27]図25の $X_{27}-X_{27}$ 線における断面図である。

[図28]本願第2発明の他の実施形態に係るスラストフォイル軸受の断面図である。

[図29]本願第2発明のさらに他の実施形態に係るスラストフォイル軸受のフォイルの斜視図である。

[図30]図29のフォイルを有するスラストフォイル軸受の断面図である。

[図31]本願第2発明のさらに他の実施形態に係るスラストフォイル軸受の平面図である。

[図32]本願第2発明のさらに他の実施形態に係るスラストフォイル軸受の平面図である。

[図33]図32の $X_{33}-X_{33}$ 線における断面図である。

[図34]本願第2発明のさらに他の実施形態に係るスラストフォイル軸受の平面図である。

[図35]図34の $X_{35}-X_{35}$ 線における断面図である。

[図36]本願第2発明のさらに他の実施形態に係るスラストフォイル軸受の平面図である。

[図37]本願第2発明のさらに他の実施形態に係るスラストフォイル軸受の平面図である。

[図38]本願第2発明の実施形態に係るラジアルフォイル軸受の断面図である。

[図39]上記ラジアルフォイル軸受の展開平面図である。

[図40]図38の拡大図である。

[図41]図40の $X_{41}-X_{41}$ 線における断面図である。

[図42]従来のスラストフォイル軸受の断面図である。

[図43]本願第3発明の実施形態に係るラジアルフォイル軸受の断面図である。

[図44]図43のラジアルフォイル軸受に組み込まれるフォイルの平面図である。

[図45]図43のラジアルフォイル軸受の内周面の平面展開図である。

[図46A]図45の $X_{46}-X_{46}$ 線における断面図であり、軸停止時の状態を示す。

[図46B]図45の $X_{46}-X_{46}$ 線における断面図であり、軸回転時の状態を示す。

[図47]上記フォイルが舟形に変形する様子を示す斜視図である。

[図48A]舟形に変形した上記フォイルの平面図である。

[図48B]図48Aの拡大図である。

[図49]本願第3発明の実施形態に係るスラストフォイル軸受の断面図である。

[図50]図49のスラストフォイル軸受の平面図である。

[図51]図49のスラストフォイル軸受に組み込まれるフォイルの平面図である。

[図52A]図49のスラストフォイル軸受の断面図であり、軸停止時の状態を示

す。

[図52B]図49のスラストフォイル軸受の断面図であり、軸回転時の状態を示す。

[図53]従来のフォイル軸受に組み込まれるフォイルの平面図である。

[図54]上記フォイル軸受の断面図である。

[図55]図53のフォイルが舟形に変形する様子を示す斜視図である。

発明を実施するための形態

[0041] 以下、本願第1発明の実施形態を、図1～図21に基づいて説明する。

[0042] 図1に、ターボ機械の一種であるガスタービンの構成を概念的に示す。このガスタービンは、翼列を形成したタービン1および圧縮機2と、発電機3と、燃焼器4と、再生器5とを主に備える。タービン1、圧縮機2、および発電機3には、水平方向に延びる共通の軸6が設けられ、この軸6と、タービン1および圧縮機2とで一体回転可能なロータが構成される。吸気口7から吸入された空気は、圧縮機2で圧縮され、再生器5で加熱された上で燃焼器4に送り込まれる。この圧縮空気に燃料を混合して燃焼させ、高温、高压のガスでタービン1を回転させる。タービン1の回転力が軸6を介して発電機3に伝達され、発電機3が回転することにより発電し、この電力がインバータ8を介して出力される。タービン1を回転させた後のガスは比較的高温であるため、このガスを再生器5に送り込んで燃焼前の圧縮空気との間で熱交換を行うことで、燃焼後のガスの熱を再利用する。再生器5で熱交換を終えたガスは、排熱回収装置9をってから排ガスとして排出される。

[0043] 図2に、上記ガスタービンにおけるロータの軸6を支持するフォイル軸受ユニット10を示す。フォイル軸受ユニット10は、軸6に固定された回転部材20と、軸6及び回転部材20をラジアル方向に支持するラジアルフォイル軸受30と、軸6及び回転部材20をスラスト方向に支持する第1スラストフォイル軸受40及び第2スラストフォイル軸受50とを備える。フォイル軸受ユニット10は、ガスタービンのハウジングに固定され、周方向一方に回転する軸6をラジアル方向およびスラスト方向に支持するものである。

。

[0044] 回転部材20は、図3に示すように、スリーブ部21と、スリーブ部21から外径に突出した円盤状のフランジ部22とを備える。フランジ部22は例えば炭素繊維強化複合材で形成され、スリーブ部21は例えば炭素焼結材で形成される。

[0045] ラジアルフォイル軸受30は、図4に示すように、筒状（図示例では円筒状）のフォイルホルダ31と、フォイルホルダ31の内周面に取り付けられた複数（図示例では3枚）のフォイル32とを有する。複数のフォイル32は、フォイルホルダ31の内周面に周方向に並べて配置される。

[0046] フォイルホルダ31の内周面31aには、溝31bが形成される。本実施形態では、フォイルホルダ31の円周方向等間隔の複数箇所（図示例では3箇所）に、軸方向に沿って延びる溝31bが設けられる。フォイルホルダ31は金属で形成され、例えば溝31bを含めて一体に型成形される。本実施形態のフォイルホルダ31は、焼結金属で一体に型成形される。尚、フォイル軸受ユニット10が比較的低温環境で使用される場合、フォイルホルダ31を樹脂で型成形してもよい。

[0047] 各フォイル32は、図5Aに示すように、周方向一端に設けられた凹部32dと、周方向他端に設けられた凸部32cとを備える。各フォイル32の凸部32cと凹部32dとは、軸方向で同じ位置に設けられる。図5Bに示すように、各フォイル32の凸部32cを、隣接するフォイル32の凹部32dに嵌め込むことで、3枚のフォイル32を筒状に仮組みすることができる。この場合、図4に示す軸方向視において、各フォイル32の周方向他端（凸部32c）と、隣接するフォイル32の周方向一端（凹部32dの軸方向両側の凸部32e）とが交差した状態となる。この状態で、各フォイル32の周方向両端が、フォイルホルダ31に保持される。具体的には、各フォイル32の周方向一端の凸部32eがフォイルホルダ31の溝31bに差し込まれ、各フォイル32の周方向他端の凸部32cが、隣接するフォイル32の外径面32bとフォイルホルダ31の内周面31aとの間に配される。

この場合、複数のfoil 32の周方向一方側への移動は、各foil 32の凸部32eが溝31bの角部31b1に突き当たることで規制されるが、複数のfoil 32の周方向他方側への移動は規制されていない。これにより、複数のfoil 32が、foilホルダ31に対して周方向移動可能とされる。

[0048] 各foil 32の内径面32aは、ラジアル軸受面S1として機能する（図4参照）。図示例では、3枚のfoil 32で多円弧型のラジアル軸受面S1を形成している。foilホルダ31の内周面31aと各foil 32との間には、foil 32に弾性力を付与するための部材（バックfoil等）は設けられておらず、foil 32の外径面32bとfoilホルダ31の内周面31aとが摺動可能とされる。各foil 32の凸部32cは、隣接するfoil 32のラジアル軸受面S1の外径側に配され、アンダーfoil部として機能する。

[0049] 本発明の実施形態に係る第1スラストfoil軸受40は、回転部材20のフランジ部22を軸方向一方側から支持するものであり、図6Aに示すように、foilホルダ41と、foilホルダ41に取り付けられた複数のfoil 42とを備える。foilホルダ41は、軸心に穴を有する円盤状のホルダ本体41aと、ホルダ本体41aの端面41a1の外径端に設けられた固定部材41bとを有する。本実施形態では、第1スラストfoil軸受40のfoilホルダ41のホルダ本体41aと、ラジアルfoil軸受30のfoilホルダ31とが一体に形成される（図3参照）。また、本実施形態では、固定部材41bが環状を成している。

[0050] 第1スラストfoil軸受40の各foil 42は、図7に示すように、本体部42aと、本体部42aから外径側に延びる延在部42bとを一体に備える。本体部42aの周方向他方側（軸6の回転方向後方側）の縁42eは、少なくとも外径端が、内径側へ向けて周方向一方側（軸6の回転方向先行側）へ傾斜した方向に延びている。図示例では、本体部42aの周方向他方側の縁42eが、中央部を周方向一方側へ突出した略V字形状（いわゆる

ヘリングボーン形状)を成している。また、図示例では、本体部42aの周方向一方側の縁42dも、中央部を周方向一方側へ突出した略V字形状を成している。本体部42aの縁42d、42eの中央部は、円弧状に丸まっている。延在部42bは、本体部42aの外径端から、外径側に向けて周方向他方側に傾斜した方向に延びている。詳しくは、延在部42bの周方向両側の縁が、何れも、外径側に向けて周方向他方側に傾斜した方向に延びている。

[0051] 各フォイル42の延在部42bは、フォイルホルダ41の同一平面上に固定される。本実施形態では、各延在部42bが、フォイルホルダ41のホルダ本体41aの端面41a1の外径端に固定される。具体的には、各延在部42bが同一円周上に配され、フォイルホルダ41のホルダ本体41aと環状の固定部材41bとで各延在部42bが挟持固定される。本実施形態では、各フォイル42の延在部42bの外径部分(図7にクロスハッチングで示す)がフォイルホルダ41に固定される。

[0052] 複数のフォイル42は、円周方向等ピッチで配される(図6A参照)。図示例では、複数のフォイル42を、各フォイル42の半分だけ位相をずらして重ね合わせている。各フォイル42の周方向一方側の縁42dは、隣接するフォイル42の上(フランジ部22側)に配される(図8参照)。すなわち、各フォイル42の周方向一方側の縁42dを含む領域は、隣接するフォイル42の周方向他方側の縁42eを含む領域に乗り上げている。本実施形態では、各フォイル42の延在部42bがフォイルホルダ41の同一平面上(図示例では、ホルダ本体41aの端面41a1上)に配置されるため、全てのフォイル42が隣接するフォイル42に乗り上げて同様に湾曲する。各フォイル42の本体部42aのうち、フランジ部22の一方の端面22aと直接対向している部分(図6Aで見えている部分)が、スラスト軸受面S2として機能する。

[0053] 本発明の実施形態としての第2スラストフォイル軸受50は、回転部材20のフランジ部22を軸方向他方側から支持するものであり、図6Bに示す

ように、フォイルホルダ51と、フォイルホルダ51に固定された複数のフォイル52とを備える。フォイルホルダ51は、軸心に穴を有する円盤状のホルダ本体51aと、ホルダ本体51aの端面51a1の外径端に設けられた固定部材51bとを有する。各フォイル52は、本体部52aと、本体部から外径側に延びる延在部52bとを有する。各フォイル52の本体部52aのうち、フランジ部22の他方の端面22bと直接対向している部分（図6Bで見えている部分）が、スラスト軸受面S3として機能する。尚、第2スラストフォイル軸受50の各部材の形状や固定方法は、第1スラストフォイル軸受40と同様であるため、重複説明を省略する。

[0054] フォイル32, 42, 52は、ばね性に富み、かつ加工性のよい金属、例えば鋼材料や銅合金からなる厚さ $20\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ 程度の金属フォイルで形成される。本実施形態のように流体膜として空気を用いる空気動圧軸受では、雰囲気潤滑油が存在しないため、金属フォイルとしてステンレス鋼もしくは青銅製のものを使用するのが好ましい。

[0055] 上記構成のフォイル軸受ユニット10は、以下のような手順で組み立てられる。まず、ラジアルフォイル軸受30の内周に、回転部材20のスリーブ部21を挿入する。その後、回転部材20のフランジ部22を軸方向両側から挟み込むように、第2スラストフォイル軸受50を第1スラストフォイル軸受に取り付ける。具体的に、第1フォイル軸受40のフォイルホルダ41の固定部材41bと、第2フォイル軸受50のフォイルホルダ51の固定部材51bとを当接させ、この状態で、図示しないボルト等で両フォイルホルダ41, 51を軸方向に固定する。以上により、フォイル軸受ユニット10が完成する。

[0056] 組み立てられたフォイル軸受ユニット10の回転部材20の内周に、軸6を圧入すると共に、フォイル軸受30, 40, 50のフォイルホルダ31, 41, 51の一部又は全部をガスタービンのハウジングに固定する。このとき、ラジアルフォイル軸受30及びスラストフォイル軸受40, 50と回転部材20とがフォイル軸受ユニット10として一体化されているため、ガス

タービンに容易に組み付けることができる。

- [0057] 軸6が円周方向一方（図4及び図7の矢印方向）に回転すると、ラジアルフォイル軸受30のフォイル32のラジアル軸受面S1と回転部材20のスリーブ部21の外周面21aとの間にラジアル軸受隙間が形成され、このラジアル軸受隙間に生じる空気膜の圧力により回転部材20及び軸6がラジアル方向に支持される。これと同時に、第1スラストフォイル軸受40のフォイル42のスラスト軸受面S2と回転部材20のフランジ部22の一方の端面22aとの間、及び、第2スラストフォイル軸受50のフォイル52のスラスト軸受面S3と回転部材20のフランジ部22の他方の端面22bとの間にそれぞれスラスト軸受隙間が形成され、各スラスト軸受隙間に生じる空気膜の圧力により、回転部材20及び軸6が両スラスト方向に支持される。
- [0058] このとき、フォイル32、42、52が有する可撓性により、各フォイル32、42、52の軸受面S1、S2、S3が、荷重や軸6の回転速度、周囲温度等の運転条件に応じて任意に変形するため、ラジアル軸受隙間及びスラスト軸受隙間は運転条件に応じた適切幅に自動調整される。そのため、高温・高速回転といった過酷な条件下でも、ラジアル軸受隙間及びスラスト軸受隙間を最適幅に管理することができ、回転部材20及び軸6を安定して支持することが可能となる。
- [0059] また、第1スラストフォイル軸受40（第2スラストフォイル軸受50も同様、以下省略）では、図8に示すように、各フォイル42が隣接するフォイル42に乗り上げることで弾性が付与されるため、バックフォイルを省略して部品点数を削減することができ、低コスト化が図られる。また、各フォイル42のうち、軸受面S2よりも外径側に設けた延在部42bをフォイルホルダ41に固定することで、フォイル42とフォイルホルダ41との固定箇所が軸受面S2の下方に設けられないため、固定箇所に起因した凹凸が軸受面S2に設けられることがない。従って、軸受面S2全域を有効に機能させることができ、支持力が高められる。
- [0060] また、第1スラストフォイル軸受40では、各フォイル42の延在部42

bが同一平面上（ホルダ本体41aの端面41a1上）に配置されることで、全てのフォイル42が、隣接するフォイル42に乗り上げて同様に湾曲する。詳しくは、全てのフォイル42の本体部42aの半径方向全域が、ホルダ本体41aの端面41a1から隣接するフォイル42に乗り上げて湾曲する。このとき、各フォイル42の本体部42aの周方向他方側の縁42eが、半径方向全域でホルダ本体41aの端面41a1に接触していることが好ましい。これにより、全てのフォイル42のスラスト軸受面S2と回転部材20のフランジ部22の端面22aとの間に、周方向一方側（図8の左側）へ向けて漸次縮小したスラスト軸受隙間が形成される。また、各フォイル42が湾曲することで、各フォイル42に適当な弾性力が付与される。この弾性力と、スラスト軸受隙間の流体の圧力との釣り合いにより、スラスト軸受隙間の隙間幅を常に適正に保つことができ、優れた支持力を得ることができる。

[0061] また、各フォイル42の本体部42aの周方向他方側の縁42eの外径端が、内径側へ向けて周方向一方側へ傾斜した方向に延びていることにより、隣接するフォイル42の本体部42aがこの縁42eに乗り上げたときに、本体部42aの軸受面S2の外径端に、内径側へ向けて周方向一方側へ傾斜した段差が形成される。この段差に沿って、軸受面S2の周囲の流体（空気）を積極的にスラスト軸受隙間に流入させることができるため、スラスト軸受隙間の流体の圧力を高めることができる。特に、本実施形態では、各フォイル42の本体部42aの周方向他方側の縁42eをヘリングボーン形状とすることで、軸受面S2の半径方向中央に流体を集めて、スラスト軸受隙間の流体の圧力をさらに高めることができる。

[0062] また、軸6の回転による流体の流動に伴い、スラストフォイル軸受40の各フォイル42は、周方向一方側に引っ張られる。このとき、各フォイル42の延在部42bの内径部分P（図7参照）が、外径側に向けて周方向他方側に傾斜した方向に延びていることで、この内径部分Pに主に加わる力の方向を、せん断方向ではなく、引張方向とすることができる。これにより、各

foil 42の破損を防止し、foil 42の耐久性が高められる。

[0063] 尚、軸6の停止直前や起動直後の低速回転時には、各foilの軸受面（特にラジアルfoil軸受30のfoil 32の軸受面）と回転部材20が接触摺動するため、これらの何れか一方または双方に、DLC膜、チタンアルミナイトライド膜、二硫化タングステン膜、あるいは二硫化モリブデン膜等の低摩擦化被膜を形成してもよい。また、軸6の回転時には、foil 32, 42, 52と各foilホルダ31, 41, 51との間の微小摺動により、軸6の振動を抑制することができる。この微小摺動による摩擦力を調整するために、foil 32, 42, 52と各foilホルダ31, 41, 51との何れか一方または双方に、上記のような低摩擦化被膜を形成してもよい。

[0064] 以下、第1スラストfoil軸受40の製造方法の一例を示す。尚、第2スラストfoil軸受50の製造方法は、第1スラストfoil軸受40と同様であるため、重複説明を省略する。また、第1スラストfoil軸受40のfoilホルダ41のホルダ本体41aには、ラジアルfoil軸受30のfoilホルダ31が一体に設けられるが、以下の説明ではfoilホルダ31は省略する。

[0065] まず、図9A及び図9Bに示すように、2枚のfoil部材60を形成する。尚、2枚のfoil部材60は同形状であるが、図9～12では、理解しやすいように、一方のfoil部材60に散点を付して示している。各foil部材60は、一枚のfoilにプレス加工を施して一体に形成される。各foil部材60は、複数のfoil 42と、その外径端を連結する連結部61とを有する。図示例では、連結部61が環状を成している。各foil部材60には、第1スラストfoil軸受40に組み込まれるfoil 42の半数のfoil 42が、円周方向等間隔に設けられる。各foil 42の延在部42bと連結部61との境界（後に切断される切断面）の周方向寸法L1は、各foil 42の延在部42bの外径端の周方向寸法L2よりも小さい。本実施形態では、連結部61に、内径に突出した複数の突起61

aを設け、この突起61aと各foil42との境界の周方向寸法L1が、延在部42bの外径端の周方向寸法L2よりも小さく、例えばL1がL2の1/5以下とされる。

[0066] 次に、図10に示すように、2枚のfoil部材60を仮組みする。具体的には、まず、2枚のfoil部材60を重ねる。そして、上側のfoil部材60のfoil42と下側のfoil部材60のfoil42とを半ピッチずらしながら、各foil42の本体部42aの周方向一方側の縁42dを、隣接するfoil42の本体部42aの周方向他方側の縁42eを含む領域の上（紙面手前側）に重ねて配置する。

[0067] その後、図11に示すように、仮組みした2枚のfoil部材60を、ホルダ本体41aの端面41a1上に配置する。このとき、各foil42の延在部42bの外径端が、ホルダ本体41aの端面41a1の外径端に沿って配される。また、foil部材60の連結部61は、ホルダ本体41aよりも外径側に配される。この状態で、図12に示すように、各foil42をfoilホルダ41に固定する。本実施形態では、ホルダ本体41aに、環状の固定部材41bを図示しないボルト等により固定する。これにより、ホルダ本体41aと固定部材41bとで各foil42の延在部42bの外径部分が挟持され、各foil42がfoilホルダ41に固定される。こうして、全てのfoil42の延在部42bが、foilホルダ41の同一平面上（ホルダ本体41aの端面41a1上）に固定される。

[0068] その後、各foil部材60の連結部61を、foil42から分離する。本実施形態では、連結部61の突起61aとfoil42との境界を切断することで、連結部61がfoil42から分離・除去される。以上により、図6Aに示す第1スラストfoil軸受40が完成する。

[0069] 本発明は、上記の実施形態に限られない。以下、本発明の他の実施形態を説明するが、上記の実施形態と同様の機能を有する箇所には同一の符号を付して重複説明を省略する。

[0070] 上記の実施形態では、スラストfoil軸受40のホルダ本体41aと固

定部材 4 1 b とで各フイル 4 2 の延在部 4 2 b を挟持固定する場合を示したが、これに限らず、各フイル 4 2 を、ホルダ本体 4 1 a あるいは固定部材 4 1 b に溶接や接着等により固定してもよい。図 1 3 に示す実施形態では、各フイル 4 2 の延在部 4 2 b が、ホルダ本体 4 1 a に溶接（例えばスポット溶接）により固定される。この場合、延在部 4 2 b のうち、溶接点 W の内径側に隣接した領域（延在部 4 2 b の内径部分 P）が、外径側に向けて周方向他方側に傾斜した方向に伸びている。この場合も、上記の実施形態と同様に、軸 6 の回転に伴って延在部 4 2 b の内径部分 P に加わる力の方向を、主に引張方向とすることができる。尚、ホルダ本体 4 1 a と固定部材 4 1 b とによるフイル 4 2 の挟持固定と、フイルホルダ 4 1 への溶接あるいは接着によるフイル 4 2 の固定とを併用してもよい。この場合、溶接あるいは接着によりフイル 4 2 とフイルホルダ 4 1 との固定力が十分であれば、固定部材 4 1 b を省略したり、あるいは固定部材 4 1 b を単なるスペーサとして機能させてもよい。尚、図 1 3 では各フイル 4 2 の延在部 4 2 b を一箇所の溶接点 W でホルダ本体 4 1 a に固定しているが、これに限らず、各延在部 4 2 b を二箇所以上の溶接点 W でホルダ本体 4 1 a に固定してもよい。

[0071] 図 1 4 に示す実施形態では、フイル 4 2 の延在部 4 2 b が、本体部 4 2 a の外径端から半径方向外方に伸び、この延在部 4 2 b の外径部分が固定部材 4 1 b とホルダ本体 4 1 a とで挟持固定される。この場合も、延在部 4 2 b がフイルホルダ 4 1 の同一平面上に固定されるため、上記の実施形態と同様に、全てのフイル 4 2 を隣接するフイル 4 2 に乗り上げさせて湾曲させることができる。ただし、延在部 4 2 b の内径部分 P が半径方向に伸びているため、軸 6 の回転に伴う空気の流動によって、フイル 4 2 の本体部 4 2 a が周方向一方側へ引っ張られると、延在部 4 2 b の内径部分 P に主にせん断方向の力が働くため、フイル 4 2 の損傷を招く恐れがある。従って、フイル 4 2 の耐久性の観点からは、図 7 あるいは図 1 3 に示す実施形態の方が好ましい。

[0072] また、上記の実施形態では、スラストフォイル軸受40の複数のフォイル42を連結部61で連結したフォイル部材60を用いて、第1スラストフォイル軸受40の組立を行う場合を示したが、これに限らず、例えば、複数のフォイル42を連結部61で連結せずに、溶接や接着により一枚ずつフォイルホルダ41に取り付けてもよい。

[0073] 図15に示すスラストフォイル軸受40は、複数のフォイル部材60、60'が、連結部61、61'を含めてフォイルホルダ41に固定されている。尚、2枚のフォイル部材60、60'は同一形状であるが、図16では、理解の容易化のため、一方のフォイル部材60'に散点を付すと共に、一方のフォイル部材60'の各部位の符号に「'」を付して示す。このスラストフォイル軸受40は、以下のような手順で組み立てられる。まず、複数のフォイル42、42'の外径端を連結部61、61'で連結した2枚のフォイル部材60、60'を形成する（図15の上段参照）。次に、各フォイル42、42'の周方向一方側の端部を、隣接するフォイル42'、42の上に重ねながら、2枚のフォイル部材60を重ねて仮組みする（図15の中段参照）。そして、仮組みした2枚のフォイル部材60、60'をホルダ本体41aの上に載せ、固定部材41bを用いてフォイルホルダ41に固定する（図15の下段参照）。固定部材41bは、図16に示すように、環状部41b1と、環状部41b1から下方に突出した押さえ部41b2とを有する。押さえ部41b2は、例えば環状部41b1の全周に設けられる。固定部材41bの環状部41b1とホルダ本体41aとで、重ねられた2枚の連結部61、61'が挟持固定される。これと同時に、固定部材41bの押さえ部41b2とホルダ本体41aとで、各フォイル42、42'の延在部42b、42b'が挟持固定される。これにより、全てのフォイル42、42'の延在部42b、42b'が、フォイルホルダ41の同一平面上（ホルダ本体41aの端面41a1上）に固定される。

[0074] 以上の実施形態では、ラジアルフォイル軸受30を多円弧軸受で構成した場合を示したが、これに限らず、各フォイルの周方向一端をフォイルホルダ

31の内周面31aに取り付けると共に、各フォイルの周方向他端を自由端とした、いわゆるリーフ型のラジアル軸受フォイルや、円筒状のトップフォイルの外径に波型のバックフォイルを配した、いわゆるバンプフォイル型のラジアル軸受フォイルを使用してもよい。

[0075] また、フォイルの形状は、本発明に本質的な影響を与えない範囲で変更可能である。例えば、スラストフォイル軸受のフォイルをスパイラル形状としたり、ラジアルフォイル軸受のフォイルをヘリングボーン形状としてもよい。

[0076] また、以上の実施形態では、ラジアルフォイル軸受30及びスラストフォイル軸受40、50をフォイル軸受ユニット10として一体化した後、これをガスタービンに取り付ける場合を示したが、これに限らず、各フォイル軸受30、40、50をそれぞれ別々にガスタービンに取り付けてもよい。

[0077] また、以上の実施形態では、フォイル部材60の連結部61が環状を成しているが、これに限らず、例えば周方向一箇所に切れ目のあるC型連結部を用いてもよい。あるいは、環状の連結部を周方向の複数個所で分断し、分断された各連結部に複数のフォイルを設けてもよい。

[0078] 図17に、本発明の一実施形態に係るラジアルフォイル軸受70を示す。このラジアルフォイル軸受70は、筒状（図示例では円筒状）のフォイルホルダ71と、フォイルホルダ71の内周面に取り付けられた複数（図示例では8枚）のフォイル72とを有する。複数のフォイル72は、フォイルホルダ71の内周面に周方向に並べて配置される。

[0079] フォイルホルダ71の内周面71aは円筒面とされる。フォイルホルダ71は金属で形成され、例えば焼結金属で一体に型成形される。

[0080] 各フォイル72は、図18に示すように、軸受面を有する本体部72aと、本体部72aから軸方向一方側（図中上側）に延びる延在部72bとを有する。本体部72aの周方向他方側（図18の矢印と反対側）の縁72cは、軸方向他方側（図中下側）へ向けて周方向一方側に傾斜した方向に延びている。本体部72aの周方向一方側の縁72dは、周方向他方側の縁72c

と平行である。

[0081] 延在部 7 2 b は、本体部 7 2 a から軸方向一方側へ向けて、周方向他方側に傾斜した方向に延びている。図 1 9 に示すように、各フォイル 7 2 の本体部 7 2 a の周方向一方側の端部（縁 7 2 d）は、隣接するフォイル 7 2 の本体部 7 2 a の上（内径側）に重ねて配置される。各フォイル 7 2 の延在部 7 2 b は、フォイルホルダ 7 1 の内周面 7 1 a の同一円筒面状に固定される。本実施形態では、延在部 7 2 b がフォイルホルダ 7 1 の内周面 7 1 a に溶接により固定される。

[0082] 各フォイル 7 2 の内径面は、ラジアル軸受面 S 1 として機能する（図 1 7 参照）。フォイルホルダ 7 1 の内周面 7 1 a と各フォイル 7 2 との間には、フォイル 7 2 に弾性力を付与するための部材（バックフォイル等）は設けられておらず、フォイル 7 2 の外径面とフォイルホルダ 7 1 の内周面 7 1 a とが摺動可能とされる。各フォイル 7 2 の本体部 7 2 a の周方向他方側の端部を含む領域は、隣接するフォイル 7 2 のラジアル軸受面 S 1 の外径側に配され、アンダーフォイル部として機能する。

[0083] 以下、ラジアルフォイル軸受 7 0 の製造方法の一例を示す。まず、図 2 0 A 及び 2 0 B に示すように、2 枚のフォイル部材 8 0 を形成する。尚、2 枚のフォイル部材 8 0 は同形状であるが、図 2 0 及び図 2 1 では、理解しやすいように、一方のフォイル部材 8 0 に散点を付して示している。各フォイル部材 8 0 は、一枚のフォイルにプレス加工を施して一体に形成される。各フォイル部材 8 0 は、複数のフォイル 7 2 と、その外径端を連結する帯状の連結部 8 1 とを有する。各フォイル部材 8 0 には、ラジアルフォイル軸受 7 0 に組み込まれるフォイル 7 2 の半数（すなわち 4 枚）のフォイル 7 2 が、円周方向等間隔に設けられる。各フォイル 7 2 の延在部 7 2 b と連結部 8 1 との境界（後に切断される切断面）の周方向寸法は、各フォイル 7 2 の延在部 7 2 b の軸方向一方の端部（図中上端）の周方向寸法よりも小さい。本実施形態では、連結部 8 1 に、内径に突出した複数の突起 8 1 a を設け、この突起 8 1 a と各フォイル 7 2 とを連結している。

[0084] 次に、図 21 に示すように、2 枚のfoil部材 80 を仮組みする。具体的には、2 枚のfoil部材 80 を重ね、上側のfoil部材 80（散点なし）のfoil 72 と下側のfoil部材 80（散点あり）のfoil 72 とを半ピッチずらしながら、各foil 72 の本体部 72 a の周方向一方側の端部 72 d を、隣接するfoil 72 の本体部 72 a の上（紙面手前側）に重ねて配置する。その後、仮組みした 2 枚のfoil部材 80 を丸めながら、foilホルダ 71（図 21 に鎖線で示す）の内周面 71 a 上に配置する。このとき、各foil 72 の延在部 72 b の軸方向端部が、foilホルダ 71 の内周面 71 a の外径端に沿って配される。また、foil部材 80 の連結部 81 は、foilホルダ 71 の軸方向外側に配される。この状態で、図 19 に示すように、各foil 72 の延在部 72 b をfoilホルダ 71 に溶接により固定する。こうして、全てのfoil 72 の延在部 72 b が、foilホルダ 71 の同一円筒面上（内周面 71 a 上）に固定される。

[0085] その後、各foil部材 80 の連結部 81 を、foil 72 から分離する。本実施形態では、連結部 81 の突起 81 a とfoil 72 との境界を切断することで、連結部 81 がfoil 72 から分離・除去される。以上により、図 17 に示すラジアルfoil軸受 70 が完成する。

[0086] 以上の実施形態では、foil軸受の組立後に連結部 61, 81 を除去しているが、連結部 61, 81 を除去しなくてもfoil軸受として成立する。ただし、組立後には、連結部は何ら機能を有しないため、上記の実施形態のように連結部を除去することで、foil軸受の寸法を小さくすることができ、ひいてはターボ機械全体を小型、軽量化することが可能となる。

[0087] 本発明にかかるスラストfoil軸受及びラジアルfoil軸受の適用対象は、上述したガスタービンに限られず、例えば過給機のロータを支持する軸受としても使用することができる。また、本発明にかかるfoil軸受は、ガスタービンや過給機等のターボ機械に限らず、潤滑油などの液体による潤滑が困難である、エネルギー効率の観点から潤滑油循環系の補機を別途設けることが困難である、あるいは液体のせん断による抵抗が問題になる等の

制限下で使用される自動車等の車両用軸受、さらには産業機器用の軸受として広く使用することが可能である。

[0088] また、以上に説明した各フォイル軸受は、圧力発生流体として空気を使用した空気動圧軸受であるが、これに限らず、圧力発生流体としてその他のガスを使用することもでき、あるいは水や油などの液体を使用することもできる。

[0089] 次に、本願第2発明の実施形態を、図24～図41に基づいて説明する。

[0090] 図24に、本発明の一実施形態に係るフォイル軸受としてのスラストフォイル軸受210を示す。このスラストフォイル軸受210は、例えばターボ機械の一種であるガスタービンに組み込まれ、周方向一方に回転する軸201に取り付けられた円盤状のスラストカラー202をスラスト方向に支持するものである。

[0091] スラストフォイル軸受210は、図25に示すように、フォイルホルダ211と、フォイルホルダ211に取り付けられた複数（図示例では8枚）のフォイル212とを備える。フォイルホルダ211は、軸心に穴を有する円盤状を成している。フォイルホルダ211の端面211aは、スラストカラー202の端面202aと軸方向に対向している（図24参照）。尚、以下では、説明の便宜上、各フォイル212に対して軸方向でスラストカラー202側を上方、各フォイル212に対して軸方向でフォイルホルダ211側を下方と言うが、これはスラストフォイル軸受210の使用態様を限定する趣旨ではない。本実施形態では、図24に示すように、軸201が水平方向に配される。

[0092] フォイル212は、ばね性に富み、かつ加工性のよい金属、例えば鋼材料や銅合金からなる厚さ20 μ m～200 μ m程度の金属フォイルで形成される。金属フォイルとしては、ステンレス鋼もしくは青銅製のものを使用するのが好ましい。

[0093] 複数のフォイル212は、フォイルホルダ211の端面211aに周方向等間隔に並べて配置される。図26に示すように、各フォイル212の周方

向一方の端部 2 1 2 a（以下、前端 2 1 2 a）は自由端とされ、隣接するフォイル 2 1 2 の上に軸方向で重ねて配置される。各フォイル 2 1 2 の前端 2 1 2 a を含む領域は、スラスト軸受面 S 1 を有するトップフォイル部 A を構成する。複数のフォイル 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 は、周方向全周に連続して設けられる。一方、各フォイル 2 1 2 の周方向他方の端部 2 1 2 b（以下、後端 2 1 2 b）を含む領域は、隣接するフォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A を背後（下方）から支持するバックフォイル部 B を構成する。すなわち、各フォイル 2 1 2 のバックフォイル部 B は、隣接するフォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A とフォイルホルダ 2 1 1 との間に配される。各フォイル 2 1 2 のバックフォイル部 B は、フォイルホルダ 2 1 1 の端面 2 1 1 a に溶接等の手段により固定される。尚、図 2 6 では、支持部材 2 1 3 の大きさを誇張して示しているため、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A と、これに隣接するフォイル 2 1 2 のバックフォイル部 B とが接触していないが、実際には、支持部材 2 1 3 の上下方向寸法が図示よりも小さく、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A が、隣接するフォイル 2 1 2 のバックフォイル部 B で下方から接触支持される。

[0094] 各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A と、これを下方から支持するバックフォイル部 B との間には、支持部材 2 1 3 が設けられる。本実施形態では、支持部材 2 1 3 が、各フォイル 2 1 2 の前端 2 1 2 a の下方に設けられる。支持部材 2 1 3 は、各フォイル 2 1 2 の前端 2 1 2 a に沿った形状を成している。図示例では、各フォイル 2 1 2 の前端 2 1 2 a が半径方向に延びる直線状に形成され、この前端 2 1 2 a に沿って、各フォイル 2 1 2 の半径方向全長にわたって支持部材 2 1 3 が延びている。

[0095] 図 2 6 及び図 2 7 に示すように、支持部材 2 1 3 には、連通路としての貫通孔 2 1 3 a が形成される。貫通孔 2 1 3 a は、支持部材 2 1 3 の周方向両端面に開口している。支持部材 2 1 3 は、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A の下面、あるいは、このトップフォイル部 A を下方から支持するバックフォイル部 B の上面の何れか一方に固定される。本実施形態では、支持部

材 2 1 3 が、各フォイル 2 1 2 のバックフォイル部 B の上面に固定され、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A には固定されない。

[0096] 軸 2 0 1 及びスラストカラー 2 0 2 が一体に回転すると、図 2 6 に示すように、各フォイル 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 とスラストカラー 2 0 2 の端面 2 0 2 a との間にスラスト軸受隙間 T が形成される。このスラスト軸受隙間 T の流体（例えば空気）の圧力が高められることで、スラストカラー 2 0 2 がスラスト方向一方に非接触支持される。このとき、フォイル 2 1 2 が有する可撓性により、各フォイル 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 が、荷重や軸 2 0 1 の回転速度、周囲温度等の運転条件に応じて任意に変形するため、スラスト軸受隙間 T は運転条件に応じた適切幅に自動調整される。そのため、高温・高速回転といった過酷な条件下でも、スラスト軸受隙間 T を最適幅に管理することができ、軸 2 0 1 を安定して支持することが可能となる。

[0097] このとき、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A のうち、前端 2 1 2 a を含む領域（以下、前方部分 A 1）が、隣接するフォイル 2 1 2 のバックフォイル部 B で下方から支持される。一方、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A のうち、当該トップフォイル部 A の後端（バックフォイル部 B との境界）を含む領域（以下、後方部分 A 2）は、バックフォイル部 B で下方から支持されず、フォイルホルダ 2 1 1 の端面 2 1 1 a と直接対向している。これにより、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A が湾曲し、トップフォイル部 A の前方部分 A 1 が、後方部分 A 2 よりもスラストカラー 2 0 2 に近接する。こうして、各トップフォイル部 A の前方部分 A 1 のスラスト軸受面 S 1 とスラストカラー 2 0 2 の端面 2 0 2 a との間に、隙間幅が相対的に小さいスラスト軸受隙間（小隙間部 T 1）が形成される。また、各トップフォイル部 A の後方部分 A 2 のスラスト軸受面 S 2 とスラストカラー 2 0 2 の端面 2 0 2 a との間に、隙間幅が相対的に大きいスラスト軸受隙間（大隙間部 T 2）が形成される。特に、図示例では、各フォイル 2 1 2 のトップフォイル部 A が、支持部材 2 1 3 で下方から支持されているため、小隙間部 T 1 と大隙間部 T 2 との差が大きくなる。

[0098] 軸 2 0 1 の回転に伴ってスラスト軸受隙間 T を流れる流体は、大隙間部 T 2 から小隙間部 T 1 に流れ込むことで圧力が高められ、これによりスラストカラー 2 0 2 を支持する力が発生する。このとき、小隙間部 T 1 で圧力が高められた流体は、大隙間部 T 2 に流れ込むことで圧力が急激に低下するため、大隙間部 T 2 における負圧の発生が懸念される。本実施形態では、支持部材 2 1 3 に設けられた連通路（貫通孔 2 1 3 a）により、大隙間部 T 2 と、各フォイル 1 2 とフォイルホルダ 2 1 1 との間の空間 P とが連通しているため、大隙間部 T 2 の圧力が低下すると、貫通孔 2 1 3 a を介して上記の空間 P から流体が流入し、大隙間部 T 2 の圧力が維持される。これにより、大隙間部 T 2 が常に大気圧に近い状態となり、大隙間部 T 2 における負圧の発生が防止される。

[0099] 尚、軸 2 0 1 の停止直前や起動直後の低速回転時には、各フォイル 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 とスラストカラー 2 0 2 の端面 2 0 2 a とが接触摺動するため、これらの何れか一方または双方に、D L C 膜、チタンアルミナトライド膜、二硫化タングステン膜、あるいは二硫化モリブデン膜等の低摩擦化被膜を形成してもよい。また、軸受の運転中におけるフォイル 2 1 2 とフォイルホルダ 2 1 1 との間の摩擦力を調整するために、これらの何れか一方または双方に、上記のような低摩擦化被膜を形成してもよい。

[0100] 本発明は、上記の実施形態に限られない。以下、本発明の他の実施形態を説明するが、上記の実施形態と同様の機能を有する部位には同一の符号を付して重複説明を省略する。

[0101] 上記の実施形態では、支持部材 2 1 3 の貫通孔 2 1 3 a で連通路を構成した場合を示したが、連通路はこれに限られない。例えば、図 2 8 に示すように、支持部材 2 1 3 として、凹凸を有する板状部品を使用してもよい。図示例では、波型の板状部品を使用し、この部品で形成される隙間で連通路が構成される。この他、周方向溝を有する板状部品や、ディンプル状の突起を有する板状部品で、連通路を構成してもよい（図示省略）。

[0102] 図 2 9 及び図 3 0 に示す実施形態では、各フォイル 2 1 2 のトップフォイ

ル部Aの前方部分A1の下面212cに、周方向溝212dが形成される。周方向溝212dの周方向一方の端部は、各foil212の前端212aに開口し、周方向溝212dの周方向他方の端部は、このfoil212を支持するバックfoil部Bよりも周方向他方側まで延びている。各foil212に設けた周方向溝212dが、大隙間部T2と、各foil212の下方の空間Pを連通する連通路として機能する。また、図31に示すように、各foil212のバックfoil部Bの上面212eに、連通路として機能する周方向溝212fを形成してもよい。周方向溝212dの周方向一方の端部は、当該foil212のトップfoil部Aの後方部分A2に達し、周方向溝212dの周方向他方の端部は、当該foil212の後端212bに開口している。あるいは、これらの周方向溝212d、212fの双方を形成してもよい。

[0103] 上記の実施形態では、連通路を介して、各foil212の上方に形成される大隙間部T2と、隣接するfoil212の下方の空間Pとを連通する場合を示したが、これに限られない。例えば図32及び図33に示すように、連通路として、各foil212を厚さ方向に貫通する貫通孔212gを形成してもよい。この場合、貫通孔212gを介して、各foil212の上方に形成される大隙間部T2と、このfoil212の下方に形成される空間Pとが連通される。図示例では、各foil212のトップfoil部Aの後方部分A2に貫通孔212gが形成され、特にバックfoil部Bとの境界付近に形成される。また、図示例では、各foil212に複数の貫通孔212gが形成され、特に、半径方向に離隔した複数箇所（図示例では3箇所）に形成される。

[0104] 図34及び図35に示す実施形態では、各foil212に形成した切り込み212hで、連通路を構成している。図示例では、各foil212の後端212bから、バックfoil部Bを介してトップfoil部Aの後方部分A2に至る周方向の切り込み212hが形成される。また、図示例では、各foil212に、半径方向に離隔した複数の切り込み212hが形成

される。軸 2 0 1 の回転時には、各foil 2 1 2 に設けた切り込み 2 1 2 h を介して、各foil 2 1 2 の上方に形成される大隙間部 T 2 が、このfoil 2 1 2 の下方に形成される空間 P、及び、隣接するfoil 2 1 2 の下方に形成される空間 P の双方と連通される。

[0105] foil 2 1 2 の形状は上記の実施形態に限られない。例えば、図 3 6 に示す実施形態では、各foil 2 1 2 の後端 2 1 2 b が、中央部を周方向一方側に突出させたヘリングボーン形状を成している。このヘリングボーン形状の後端 2 1 2 b に、隣接するfoil 2 1 2 の前端 2 1 2 a が乗り上げることで、foil 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 にヘリングボーン形状の段差が形成され、周方向一方に流れる流体が半径方向中央に集められる。尚、図示例では、各foil 2 1 2 の前端 2 1 2 a も、後端 2 1 2 b と同様のヘリングボーン形状を成している。また、図 3 6 に示すfoil軸受 2 1 0 には、上記の実施形態で示したような連通路が設けられるが、連通路の図示は省略している。

[0106] また、foil 2 1 2 のfoilホルダ 2 1 1 への固定方法は上記の実施形態に限られない。例えば、図 3 7 に示す実施形態では、各foil 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 よりも外径側に延在部 2 1 2 i を設け、この延在部 2 1 2 i をfoilホルダ 2 1 1 の端面 2 1 1 a に溶接等の手段で固定している。この場合、各foil 2 1 2 のスラスト軸受面 S 1 の下方には、foil 2 1 2 とfoilホルダ 2 1 1 との固定部は設けられない。尚、図 3 7 に示すfoil軸受 2 1 0 には、上記の実施形態で示したような連通路が設けられるが、連通路の図示は省略している。

[0107] 次に、本発明を適用したラジアルfoil軸受について説明する。

[0108] 図 3 8 に、本発明の一実施形態にかかるfoil軸受としてのラジアルfoil軸受 2 2 0 を示す。このラジアルfoil軸受 2 2 0 は、例えばターボ機械の一種であるガスタービンに組み込まれ、周方向一方に回転する軸 2 0 1 をラジアル方向に支持するものである。

[0109] ラジアルfoil軸受 2 2 0 は、内周に軸 1 が挿入された円筒状のfoil

ルホルダ 221 と、ファイルホルダ 221 の内周面 221 a に取り付けられた複数（図示例では 8 枚）のファイル 222 とを備える。

[0110] 複数のファイル 222 は、ファイルホルダ 221 の内周面 221 a に周方向等間隔に並べて配置される。各ファイル 222 の周方向一方の端部 222 a（以下、前端 222 a）は、隣接するファイル 222 の内径側に重ねて配置される。図 39 及び図 40 に示すように、各ファイル 222 の前端 222 a を含む領域は、ラジアル軸受面 S2 を有するトップファイル部 A を構成する。複数のファイル 222 のラジアル軸受面 S2 は、周方向全周に連続して設けられる。一方、各ファイル 222 の周方向他方の端部 222 b（以下、後端 222 b）を含む領域は、隣接するファイル 222 のトップファイル部 A を背後（外径側）から支持するバックファイル部 B を構成する。すなわち、各ファイル 222 のバックファイル部 B は、隣接するファイル 222 のトップファイル部 A とファイルホルダ 221 との間に配される。各ファイル 222 のバックファイル部 B は、ファイルホルダ 221 の内周面 221 a に溶接等の手段により固定される。ファイル 222 の材質や厚さは、上記のラストファイル軸受 210 のファイル 212 と同様である。

[0111] 各ファイル 222 のトップファイル部 A と、これを下方から支持するバックファイル部 B との間には、支持部材 223 が設けられる（図 40 参照）。本実施形態では、支持部材 223 が、各ファイル 222 の前端 222 a の外径側に設けられる。支持部材 223 は、各ファイル 222 の前端 222 a に沿った形状を成している。図示例では、各ファイル 222 の前端 222 a が軸方向に延びる直線状に形成され、この前端 222 a に沿って、各ファイル 222 の軸方向全長にわたって支持部材 223 が延びている（図 39 参照）。

[0112] 支持部材 223 には、連通路として、支持部材 223 の周方向両端面に開口した貫通孔 223 a が形成される。本実施形態では、図 41 に示すように、軸方向に離隔した複数箇所に貫通孔 223 a が形成される。支持部材 223 は、各ファイル 222 のトップファイル部 A の外径面、あるいは、このト

トップfoil部Aを下方から支持するバックfoil部Bの内径面の何れか一方に固定される。本実施形態では、支持部材223が、各foil222のバックfoil部Bの内径面に固定され、各foil222のトップfoil部Aには固定されない。

[0113] 軸201が回転すると、図40に示すように、各foil222のラジアル軸受面S2と軸201の外周面201aとの間にラジアル軸受隙間Rが形成され、このラジアル軸受隙間Rの流体（例えば空気）の圧力が高められることで、軸201がラジアル方向に非接触支持される。

[0114] このとき、各foil222のトップfoil部Aのうち、前端222aを含む領域（以下、前方部分A1）が、隣接するfoil222のバックfoil部Bで外径側から支持される。一方、各foil222のトップfoil部Aのうち、当該トップfoil部Aの後端（バックfoil部Bとの境界）を含む領域（以下、後方部分A2）は、バックfoil部Bで下方から支持されず、foilホルダ221の内周面221aと直接対向している。これにより、各foil222のトップfoil部Aが湾曲し、トップfoil部Aの前方部分A1が、後方部分A2よりも軸201の外周面201aに近接する。こうして、各トップfoil部Aの前方部分A1のラジアル軸受面S2と軸201の外周面201aとの間に、隙間幅が相対的に小さいラジアル軸受隙間（小隙間部R1）が形成される。また、各トップfoil部Aの後方部分A2のラジアル軸受面S2と軸201の外周面201aとの間に、隙間幅が相対的に大きいラジアル軸受隙間（大隙間部T2）が形成される。

[0115] 軸201の回転に伴ってラジアル軸受隙間Rを流れる流体は、大隙間部R2から小隙間部R1に流れ込むことで圧力が高められ、これにより軸201を支持する力が発生する。このとき、小隙間部R1で圧力が高められた流体は、大隙間部R2に流れ込むことで圧力が急激に低下するため、大隙間部R2における負圧の発生が懸念される。本実施形態では、支持部材223に設けられた連通路（貫通孔223a）により、大隙間部R2と、各foil2

２２とフォイルホルダ２２１との間の空間Ｑとが連通しているため、大隙間部Ｒ２の圧力が維持され、大隙間部Ｒ２における負圧の発生が防止される。

[0116] 尚、各フォイル２２２のラジアル軸受面Ｓ２及び軸２０１の外周面２０１ａの何れか一方または双方に、ＤＬＣ膜、チタンアルミナイトライド膜、二硫化タングステン膜、あるいは二硫化モリブデン膜等の低摩擦化被膜を形成してもよい。また、フォイル２２２の外径面及びフォイルホルダ２２１の内周面２２１ａの何れか一方または双方に、上記のような低摩擦化被膜を形成してもよい。

[0117] ラジアルフォイル軸受２２０においても、スラストフォイル軸受２１０で示した他の実施形態（図２８～図３７参照）を適用することができる。

[0118] 本発明にかかるフォイル軸受は、ガスタービンや過給機等のターボ機械に限らず、自動車等の車両用軸受、さらには産業機器用の軸受として広く使用することが可能である。

[0119] また、以上に説明した各フォイル軸受は、圧力発生流体として空気を使用した空気動圧軸受であるが、これに限らず、圧力発生流体としてその他のガスを使用することもでき、あるいは水や油などの液体を使用することもできる。

[0120] 次に、本願第３発明の実施形態を、図４３～図５２に基づいて説明する。

[0121] 図４３に、本発明の一実施形態にかかるフォイル軸受としてのラジアルフォイル軸受４０１を示す。このラジアルフォイル軸受４０１は、例えばターボ機械の一種であるガスタービンに組み込まれ、周方向一方に回転する軸４０２をラジアル方向に支持するものである。ラジアルフォイル軸受４０１は、内周に軸４０２が挿入された筒状（図示例では円筒状）のフォイルホルダ４１０と、フォイルホルダ４１０の内周面４１１に周方向に並べて取り付けられた複数（図示例では８枚）のフォイル４２０とを備える。

[0122] フォイル４２０は、ばね性に富み、かつ加工性のよい金属、例えば鋼材料や銅合金からなる厚さ２０μｍ～２００μｍ程度の金属フォイルで形成される。金属フォイルとしては、ステンレス鋼もしくは青銅製のものを使用する

のが好ましい。

[0123] 各フォイル420は、図44に示すように、本体部421と、本体部421の軸方向一方側（図中上側）に設けられた固定部422とを一体に有する。各フォイル420の固定部422は、フォイルホルダ410の内周面411に溶接等の適宜の手段で固定される。本体部421の周方向一方の端部（以下、前端421a）及び周方向他方の端部（以下、後端421b）は、何れもヘリングボーン形状を成している。具体的に、前端421aは、軸方向両端から軸方向中央側へ向けて周方向一方側へ傾斜した一对の傾斜部421a1を有する。一对の傾斜部421a1の間には、これらを滑らかに連続する略円弧状の頂部421a2が設けられる。後端421bは、軸方向両端から軸方向中央側へ向けて周方向一方側へ傾斜した一对の傾斜部421b1を有する。一对の傾斜部421b1の間には、これらを滑らかに連続する略円弧状の頂部421b2が設けられる。図示例では、後端421bの頂部421b2が、後述するスリット421cにより分断されている。尚、前端421a及び後端421bの形状は上記に限らず、例えば、一对の傾斜部421a1や一对の傾斜部421b1を、軸方向の直線状の頂部で連結してもよい。あるいは、一对の傾斜部421a1や一对の傾斜部421b1を直接連結してもよい。

[0124] 図45及び図46Aに示すように、各フォイル420の本体部421の前端421aは、隣接するフォイル420の本体部421の上（内径側）に配される。各フォイル420の前端421aを含む領域は、ラジアル軸受面S1を有するトップフォイル部Aを構成する。複数のフォイル420のラジアル軸受面S1は、周方向全周に連続して設けられる。一方、各フォイル420の後端421bを含む領域は、隣接するフォイル420のトップフォイル部Aを背後（外径側）から支持するバックフォイル部Bを構成する。各フォイル420のバックフォイル部Bは、隣接するフォイル420のトップフォイル部Aとフォイルホルダ410との間に配される。

[0125] 図44に示すように、各フォイル420のバックフォイル部Bの軸方向中

間部には、脆弱部Pが設けられる。脆弱部Pは、その軸方向両側の領域よりも圧縮応力に対する強度（以下、圧縮強度）が低く、特に軸方向の圧縮強度が低い。本実施形態では、バックfoil部Bの軸方向中央部に、周方向に延びるスリット421cを形成することで、脆弱部Pの圧縮強度を低下させている。スリット421cの互いに対向する内壁421c1は、軸方向に離隔している。スリット421cは、本体部421の後端421bまで達している。図示例のスリット421cは、本体部421の後端421bの頂部421b2から周方向一方側に延びている。スリット421cは、トップfoil部Aには達しておらず、バックfoil部Bの領域内に形成される（図45参照）。

[0126] 軸402が回転すると、図46Bに示すように、各foil420のラジアル軸受面S1と軸402の外周面402aとの間に形成されるラジアル軸受隙間Rの流体（例えば空気）の圧力が高められ、この流体圧により軸402がラジアル方向に非接触支持される。このとき、foil420が有する可撓性により、各foil420のラジアル軸受面S1が、荷重や軸402の回転速度、周囲温度等の運転条件に応じて任意に変形するため、ラジアル軸受隙間Rは運転条件に応じた適切幅に自動調整される。そのため、高温・高速回転といった過酷な条件下でも、ラジアル軸受隙間Rを最適幅に管理することができ、軸2を安定して支持することが可能となる。

[0127] このとき、ラジアル軸受隙間Rの流体圧により、各foil420が外径側に押し付けられる。これにより、図47に示すように、各foil420が、その背後（外径側）に配されたバックfoil部Bのヘリングボーン形状の後端421b（傾斜部421b1）に沿って舟形に変形する。具体的には、各foil420のトップfoil部Aの前端421a及び軸方向両端が内径側に反り上がる。これにより、軸402の回転に伴ってラジアル軸受隙間Rを流れる流体が、トップfoil部Aに沿って軸方向中央側に集められ（図47の鎖線矢印参照）、軸方向中央部における流体圧が効率的に高められる。

[0128] このように各フォイル420が舟形に変形する際、バックフォイル部Bの軸方向中央部には、図48Aに矢印で示すように軸方向両側から圧縮応力が加わる。本実施形態では、バックフォイル部Bの軸方向中央部に脆弱部Pを設けているため、この脆弱部Pが上記の圧縮応力により容易に変形する。具体的には、図48Bに示すように、スリット421cの軸方向両側の内壁421c1が互いに接近することで、脆弱部Pが軸方向に圧縮変形する。図示例では、スリット421cが、圧縮応力が加わりやすい本体部421の後端421bまで達しているため、脆弱部Pの圧縮変形がより一層促される。以上により、軸402が低速で回転するときでも、各フォイル420を舟形に変形させ、ラジアル軸受隙間Rの流体圧を効率良く高めて軸402を非接触支持することが可能となる。

[0129] 尚、各フォイル420のラジアル軸受面S1及び軸402の外周面402aの何れか一方または双方に、DLC膜、チタンアルミナイトライド膜、二硫化タングステン膜、あるいは二硫化モリブデン膜等の低摩擦化被膜を形成してもよい。また、フォイル420の外径面及びフォイルホルダ410の内周面411の何れか一方または双方に、上記のような低摩擦化被膜を形成してもよい。

[0130] 次に、本発明を適用したスラストフォイル軸受について説明する。

[0131] 図49及び図50に、本発明の一実施形態に係るフォイル軸受としてのスラストフォイル軸受403を示す。このスラストフォイル軸受403は、例えばターボ機械の一種であるガスタービンに組み込まれ、周方向一方に回転する軸402に取り付けられたスラストカラー404をスラスト方向に支持するものである。スラストフォイル軸受403は、フォイルホルダ430と、フォイルホルダ430に周方向に並べて取り付けられた複数のフォイル440とを備える。

[0132] フォイルホルダ430の端面431は、スラストカラー404の端面404aと軸方向に対向している。フォイルホルダ430は、軸心に穴を有する円盤状を成している。尚、以下では、説明の便宜上、各フォイル440に対

して、軸方向でスラストカラー４０４側を上方、フォイルホルダ４３０側を下方と言うが、これはスラストフォイル軸受４０３の使用態様を限定する趣旨ではない。本実施形態では、図４９に示すように、軸４０２が水平方向に配される。

[0133] フォイル４０の材質や厚さは、上記のラジアルフォイル軸受４０１のフォイル４２０と同様である。各フォイル４４０は、図５１に示すように、本体部４４１と、本体部４４１の外径側に設けられた固定部４４２とを一体に有する。各フォイル４４０の固定部４４２は、フォイルホルダ４３０の端面４３１に溶接等の適宜の手段で固定される。本体部４４１の周方向一方の端部（以下、前端４４１ａ）及び周方向他方の端部（以下、後端４４１ｂ）は、何れもヘリングボーン形状を成している。具体的に、前端４４１ａは、軸方向両端から軸方向中央側へ向けて周方向一方側へ傾斜した一对の傾斜部４４１ａ１を有する。一对の傾斜部４４１ａ１の間には、これらを滑らかに連続する略円弧状の頂部４４１ａ２が設けられる。後端４４１ｂは、軸方向両端から軸方向中央側へ向けて周方向一方側へ傾斜した一对の傾斜部４４１ｂ１を有する。一对の傾斜部４４１ｂ１の間には、これらを滑らかに連続する略円弧状の頂部４４１ｂ２が設けられる。

[0134] 図５２Ａに示すように、各フォイル４４０の本体部４４１の前端４４１ａは、隣接するフォイル４４０の本体部４４１の上（スラストカラー４０４側）に配される。各フォイル４４０の前端４４１ａを含む領域は、スラスト軸受面Ｓ２を有するトップフォイル部Ａを構成する。複数のフォイル４４０のスラスト軸受面Ｓ２は、周方向全周に連続して設けられる。一方、各フォイル４４０の後端４４１ｂを含む領域は、隣接するフォイル４４０のトップフォイル部Ａを背後（下方）から支持するバックフォイル部Ｂを構成する。各フォイル４４０のバックフォイル部Ｂは、隣接するフォイル４４０のトップフォイル部Ａとフォイルホルダ４３０との間に配される。

[0135] 図５１に示すように、各フォイル４４０のバックフォイル部Ｂの半径方向中間部には、脆弱部Ｐが設けられる。脆弱部Ｐは、その半径方向両側の領域

よりも半径方向の圧縮強度が低い。本実施形態では、バックfoil部Bの半径方向中間部に、周方向に延びるスリット441cを形成することで、脆弱部Pの圧縮強度を低下させている。スリット441cの互いに対向する内壁は、半径方向に離隔している。スリット441cは、本体部441の後端441bまで達している。図示例では、スリット441cが、本体部441の後端441bの頂部441b2から周方向一方側に延びている。スリット441cは、トップfoil部Aには達しておらず、バックfoil部Bの領域内に形成される。

[0136] 軸402が回転すると、図52Bに示すように、各foil440のスラスト軸受面S2とスラストカラー404の端面404aとの間に形成されるスラスト軸受隙間Tの流体（例えば空気）の圧力が高められ、この流体圧によりスラストカラー404及び軸402がスラスト方向一方に非接触支持される。このとき、スラスト軸受隙間Tの流体圧により、各foil440が下方（foilホルダ430側）に押し付けられる。これにより、各foil440が、その背後（下方）に配されたバックfoil部Bのヘリングボーン形状の後端441b（傾斜部441b1）に沿って舟形に変形する（図示省略）。具体的には、各foil440のトップfoil部Aが、前端441a及び軸方向両端が内径側に反り上がる。これにより、軸402の回転に伴ってスラスト軸受隙間Tを流れる流体が、トップfoil部Aに沿って半径方向中央側に集められ、半径方向中央部における流体圧が効率的に高められる。

[0137] このように各foil440が舟形に変形する際、バックfoil部Bの半径方向中間部には、半径方向両側から圧縮応力が加わる。本実施形態では、バックfoil部Bの半径方向中間部に脆弱部Pが設けられているため、この脆弱部Pが上記の圧縮応力により容易に変形する。具体的には、スリット441cの半径方向両側の内壁が互いに接近することで、脆弱部Pが半径方向に圧縮変形する。これにより、軸402の回転速度が遅いときでも、各foil440を舟形に変形させ、スラスト軸受隙間Tの流体圧を効率良く

高めて軸 4 0 2 を非接触支持することができる。

[0138] 尚、各foil 4 4 0 のスラスト軸受面 S 2 及びスラストカラー 4 0 4 の端面 4 0 4 a の何れか一方または双方に、D L C 膜、チタンアルミナイトライド膜、二硫化タングステン膜、あるいは二硫化モリブデン膜等の低摩擦化被膜を形成してもよい。また、foil 4 4 0 の下面及びfoilホルダ 4 3 0 の端面 4 3 1 の何れか一方または双方に、上記のような低摩擦化被膜を形成してもよい。

[0139] 本発明は、上記の実施形態に限られない。例えば、上記の実施形態では、foil 4 2 0, 4 4 0 のバックfoil部 B にスリット 4 2 1 c, 4 4 1 c を設けることで、脆弱部 P を形成する場合を示したが、これに限られない。例えば、バックfoil部を厚さ方向に貫通する複数の穴を形成したり、バックfoil部を部分的に薄肉化したりすることで、脆弱部 P を形成することもできる。

[0140] 本発明にかかるfoil軸受は、ガスタービンや過給機等のターボ機械に限らず、自動車等の車両用軸受、さらには産業機器用の軸受として広く使用することが可能である。

[0141] また、以上に説明した各foil軸受は、圧力発生流体として空気を使用した空気動圧軸受であるが、これに限らず、圧力発生流体としてその他のガスを使用することもでき、あるいは水や油などの液体を使用することもできる。

[0142] 以上で示した本願第 1 発明～第 3 発明の実施形態では、各foil軸受を固定し、軸を回転させる場合を示したが、これとは逆に、軸を固定し、各foil軸受を回転させてもよい。ただし、foil軸受を回転させる場合、薄膜のfoilが遠心力の影響を受けて変形しやすくなるため、上記の各実施形態のように、各foil軸受は固定側とすることが好ましい。

[0143] また、以上で示した本願第 1 発明～第 3 発明の実施形態の各構成は、適宜組み合わせることができる。

符号の説明

[0144] 6 軸

- 1 0 フォイル軸受ユニット
- 2 0 回転部材
- 2 1 スリーブ部
- 2 2 フランジ部
- 3 0 ラジアルフォイル軸受
- 3 1 フォイルホルダ
- 3 2 フォイル
- 4 0, 5 0 スラストフォイル軸受
- 4 1, 5 1 フォイルホルダ
- 4 1 a, 5 1 a ホルダ本体
- 4 1 b, 5 1 b 固定部材
- 4 2, 5 2 フォイル
- 4 2 a, 5 2 a 本体部
- 4 2 b, 5 2 b 延在部
- 6 0 フォイル部材
- 6 1 連結部
- 7 0 ラジアルフォイル軸受
- 7 1 フォイルホルダ
- 7 2 フォイル
- 8 0 フォイル部材
- 8 1 連結部
- S 1 ラジアル軸受面
- S 2 スラスト軸受面
- S 3 スラスト軸受面

請求の範囲

- [請求項1] フォイルホルダと、前記フォイルホルダに取り付けられ、周方向に並べて配された複数のフォイルとを備え、周方向一方に相対回転する軸をスラスト方向に支持するフォイル軸受であって、
- 各フォイルが、軸受面を有する本体部と、前記本体部から外径側に延びる延在部とを有し、各フォイルの本体部の周方向一方側の端部が、隣接するフォイルの本体部の上に重ねて配置され、
- 前記複数のフォイルの延在部を、前記フォイルホルダの同一平面上に固定したフォイル軸受。
- [請求項2] 前記延在部が、前記本体部から外径側に向けて周方向他方側に傾斜した方向に延びている請求項1記載のフォイル軸受。
- [請求項3] 前記フォイルホルダが、前記軸に設けられたスラストカラーと軸方向に対向し、
- 各フォイルの周方向一方側の端部を含む領域が、スラスト軸受面を有するトップフォイル部を構成すると共に、各フォイルの周方向他方側の端部を含む領域が、隣接するフォイルの前記トップフォイル部を背後から支持するバックフォイル部を構成し、
- 前記軸の相対回転に伴って、前記スラスト軸受面と前記スラストカラーの端面との間にスラスト軸受隙間が形成され、
- 各フォイルの前記トップフォイル部のうち、当該トップフォイル部の周方向一方側の端部を含む領域と前記スラストカラーの端面との間に、前記スラスト軸受隙間の小隙間部が形成され、各フォイルの前記トップフォイル部のうち、当該トップフォイル部の周方向他方側の端部を含む領域と前記スラストカラーの端面との間に、前記スラスト軸受隙間の大隙間部が形成され、
- 前記大隙間部と、前記フォイルと前記フォイルホルダとの間の空間とを連通する連通路を設けた請求項1記載のフォイル軸受。
- [請求項4] 各フォイルに切り欠きを形成し、この切り欠きで前記連通路を構成

した請求項3記載のフォイル軸受。

[請求項5] 各フォイルの周方向一方側の端部を含む領域が、スラスト軸受面を有するトップフォイル部を構成すると共に、各フォイルの周方向他方側の端部を含む領域が、隣接するフォイルの前記トップフォイル部を背後から支持するバックフォイル部を構成し、

各フォイルの周方向他方側の端部が、半径方向両端側から半径方向中央側へ向けて周方向一方側に傾斜した一对の傾斜部を有し、

各フォイルの前記バックフォイル部の半径方向中間部に、その半径方向両側の領域よりも圧縮応力に対する強度が低い脆弱部を設けた請求項1記載のフォイル軸受。

[請求項6] 前記バックフォイル部に周方向に延びるスリットを形成することにより、前記脆弱部を構成した請求項5記載のフォイル軸受。

[請求項7] フォイルホルダと、前記フォイルホルダの内周面に取り付けられ、周方向に並べて配された複数のフォイルとを備え、周方向一方に相対回転する軸をラジアル方向に支持するフォイル軸受であって、

各フォイルが、軸受面を有する本体部と、前記本体部から軸方向一方側に延びる延在部とを有し、各フォイルの本体部の周方向一方側の端部が、隣接するフォイルの本体部の上に重ねて配置され、

前記複数のフォイルの延在部を、前記フォイルホルダの同一円筒面上に固定したフォイル軸受。

[請求項8] 前記延在部が、前記本体部から軸方向一方側へ向けて周方向他方側に傾斜した方向に延びている請求項7記載のフォイル軸受。

[請求項9] 各フォイルの周方向一方側の端部を含む領域が、ラジアル軸受面を有するトップフォイル部を構成すると共に、各フォイルの周方向他方側の端部を含む領域が、隣接するフォイルの前記トップフォイル部を背後から支持するバックフォイル部を構成し、

前記軸の相対回転に伴って、前記ラジアル軸受面と前記軸の外周面との間にラジアル軸受隙間が形成され、

各フォイルの前記トップフォイル部のうち、当該トップフォイル部の周方向一方側の端部を含む領域と前記軸の外周面との間に、前記ラジアル軸受隙間の小隙間部が形成され、各フォイルの前記トップフォイル部のうち、当該トップフォイル部の周方向他方側の端部を含む領域と前記軸の外周面との間に、前記ラジアル軸受隙間の大隙間部が形成され、

前記大隙間部と、前記フォイルと前記フォイルホルダとの間の空間とを連通する連通路を設けた請求項 7 記載のフォイル軸受。

[請求項10] 各フォイルに切り欠きを形成し、この切り欠きで前記連通路を構成した請求項 9 記載のフォイル軸受。

[請求項11] 各フォイルの周方向一方側の端部を含む領域が、スラスト軸受面を有するトップフォイル部を構成すると共に、各フォイルの周方向他方側の端部を含む領域が、隣接するフォイルの前記トップフォイル部を背後から支持するバックフォイル部を構成し、

各フォイルの周方向他方側の端部が、軸方向両端側から軸方向中央側へ向けて周方向一方側に傾斜した一对の傾斜部を有し、

各フォイルの前記バックフォイル部の軸方向中間部に、その軸方向両側の領域よりも圧縮応力に対する強度が低い脆弱部を設けた請求項 7 記載のフォイル軸受。

[請求項12] 前記バックフォイル部に周方向に延びるスリットを形成することにより、前記脆弱部を構成した請求項 11 記載のフォイル軸受。

[請求項13] 周方向一方に相対回転する軸をスラスト方向に支持するフォイル軸受の製造方法であって、

軸受面を有する本体部、及び、前記本体部から外径側に延びる延在部を有する複数のフォイルと、前記複数のフォイルの外径側に設けられ、前記複数のフォイルの延在部を連結する連結部とを有する複数のフォイル部材を形成する工程と、

前記複数のフォイル部材を重ね、各フォイル部材の本体部の周方向

一方側の端部を、隣接するフォイル部材の本体部の上に重ねて配置する工程と、

前記複数のフォイル部材の延在部を、フォイルホルダの同一平面上に固定する工程と、 前記複数のフォイル部材の連結部を前記フォイルから分離する工程とを順に経て行うフォイル軸受の製造方法。

[請求項14] 前記フォイル部材の前記連結部と前記延在部との境界の周方向寸法が、前記延在部の外径端の周方向寸法よりも小さい請求項 1 3 記載のフォイル軸受の製造方法。

[請求項15] 周方向一方に相対回転する軸をラジアル方向に支持するフォイル軸受の製造方法であって、

軸受面を有する本体部、及び、前記本体部から軸方向一方側に延びる延在部を有する複数のフォイルと、前記複数のフォイルの延在部を連結する連結部とを有する複数のフォイル部材を形成する工程と、

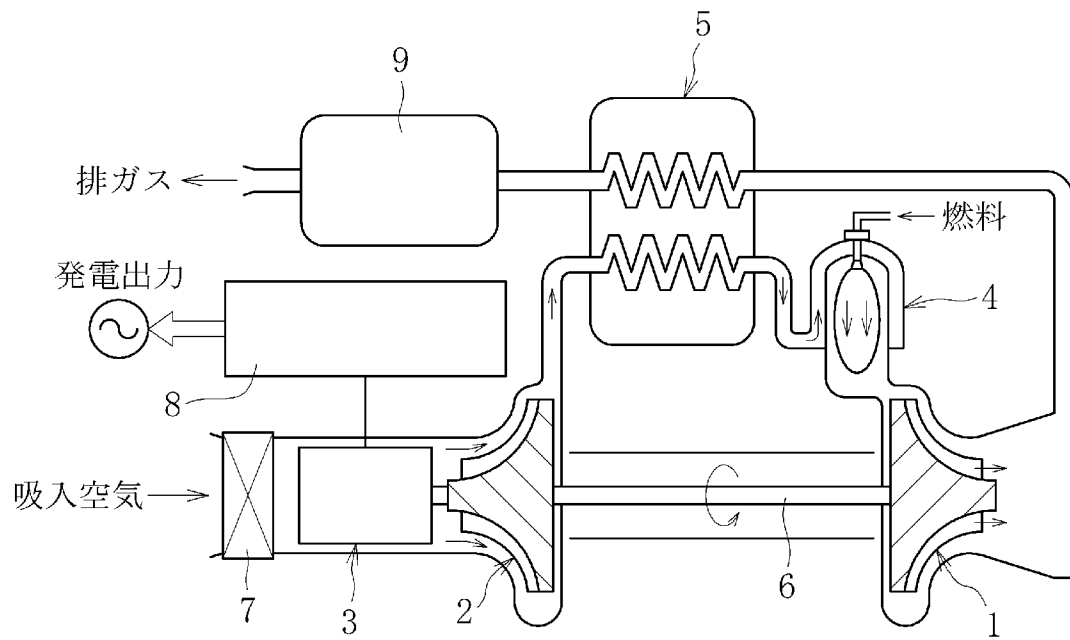
前記複数のフォイル部材を重ね、各フォイル部材の本体部の周方向一方側の端部を、隣接するフォイル部材の本体部の上に重ねて配置する工程と、

前記複数のフォイル部材の延在部を、フォイルホルダの同一円筒面上に固定する工程と、

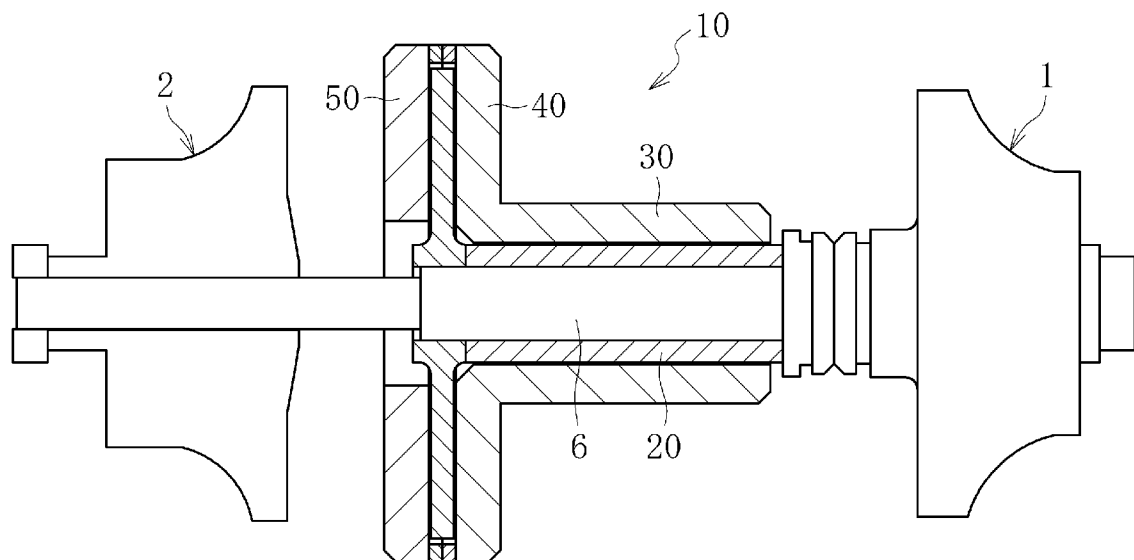
前記複数のフォイル部材の連結部を前記フォイルから分離する工程とを順に経て行うフォイル軸受の製造方法。

[請求項16] 前記フォイル部材の前記連結部と前記延在部との境界の周方向寸法が、前記延在部の軸方向一方の端部の周方向寸法よりも小さい請求項 1 5 記載のフォイル軸受の製造方法。

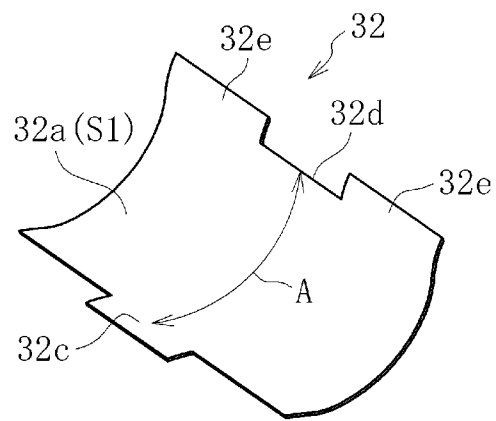
[図1]



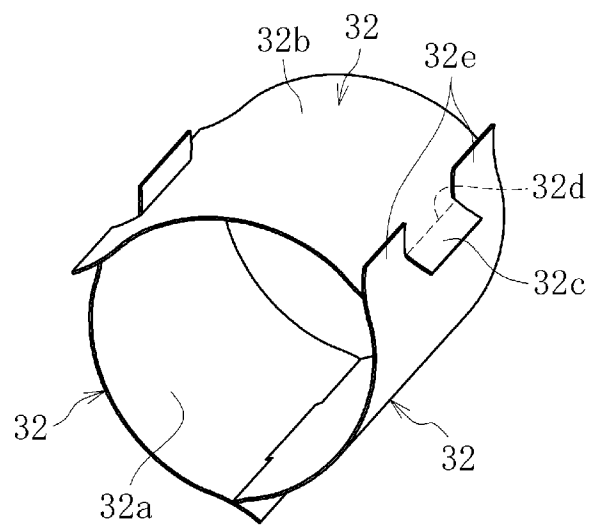
[図2]



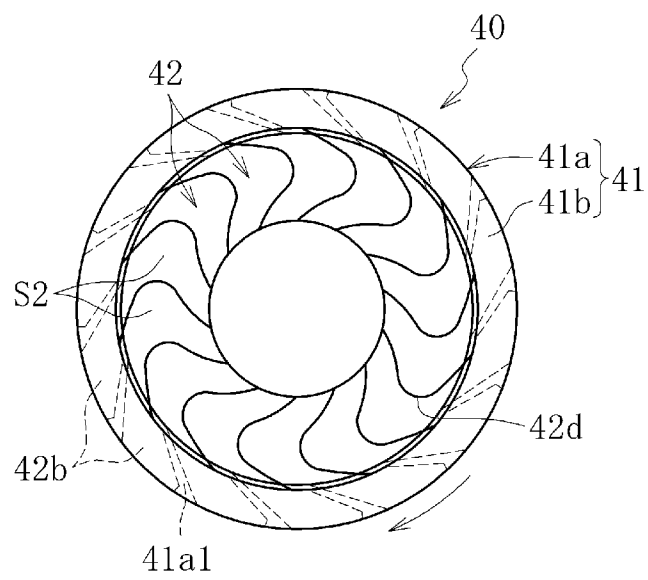
[図5A]



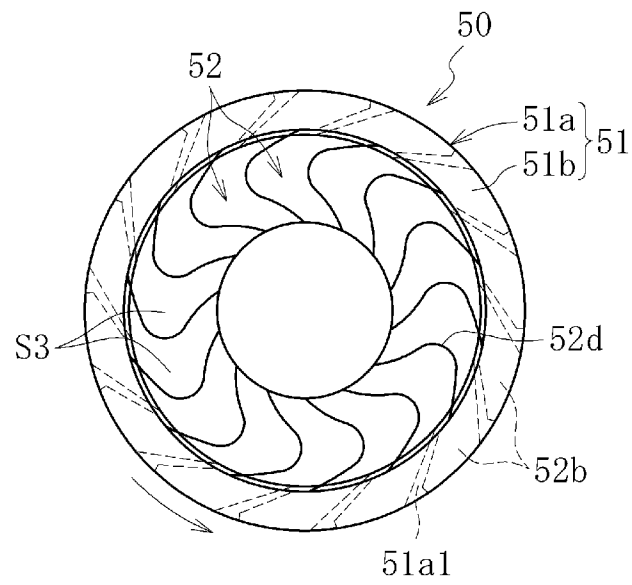
[図5B]



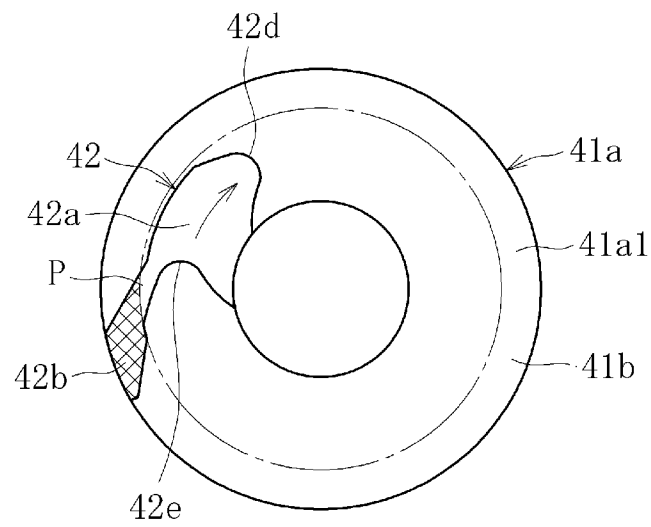
[図6A]



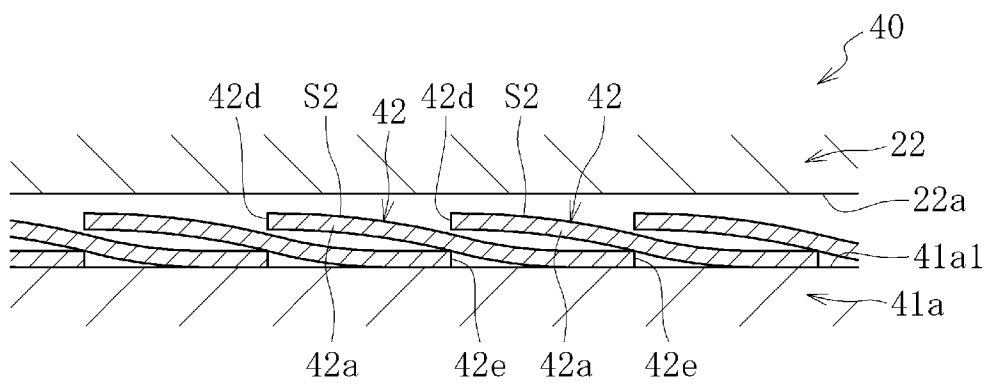
[図6B]



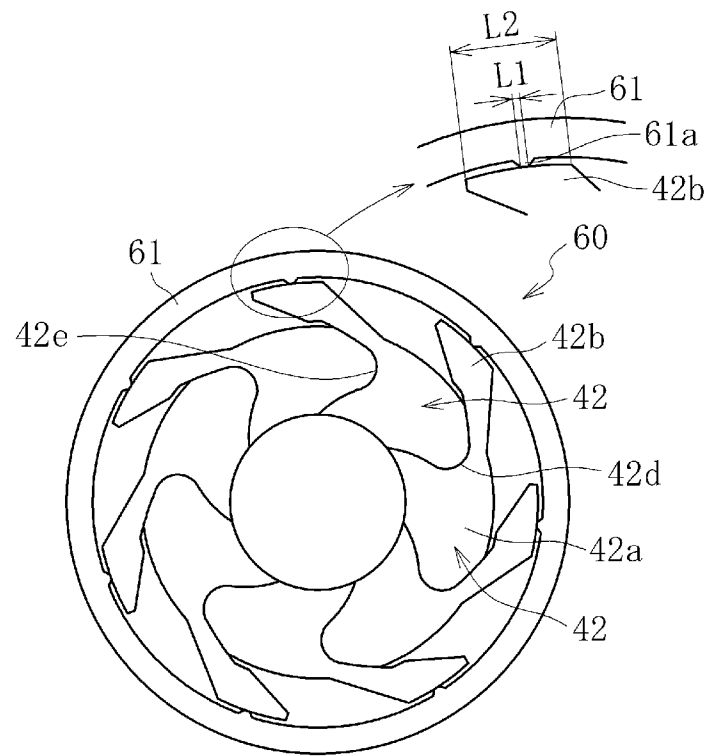
[図7]



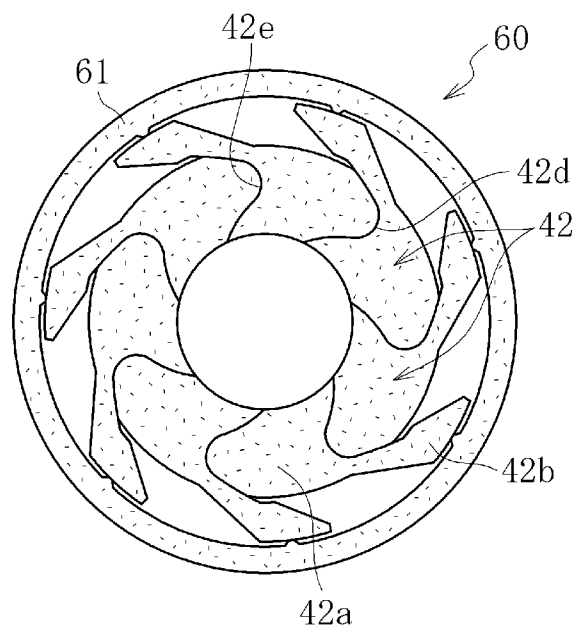
[図8]



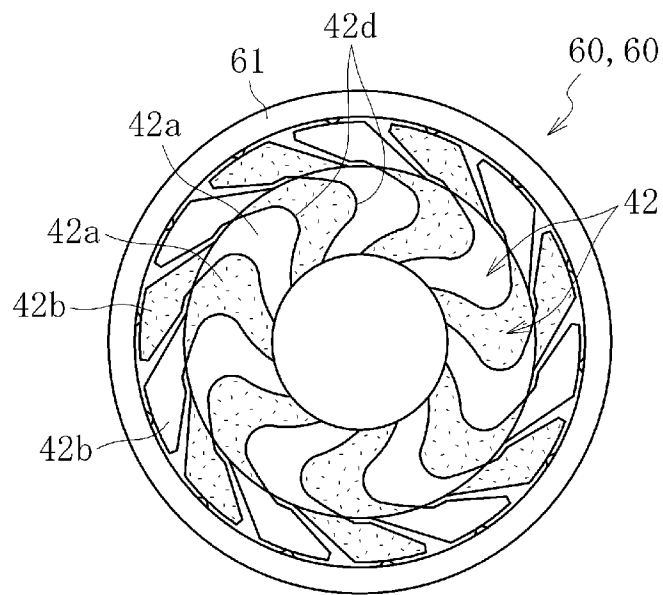
[図9A]



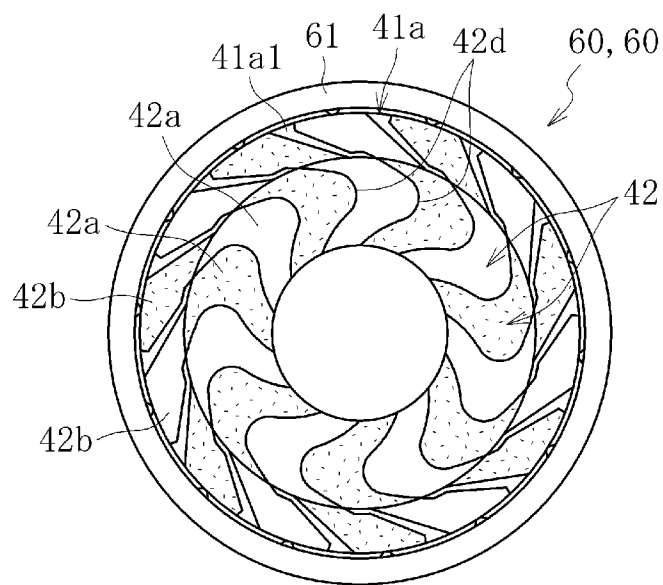
[図9B]



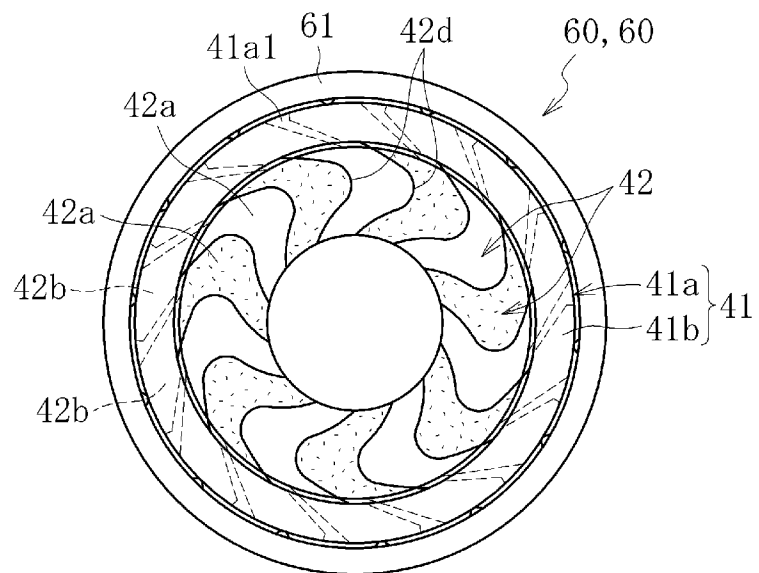
[図10]



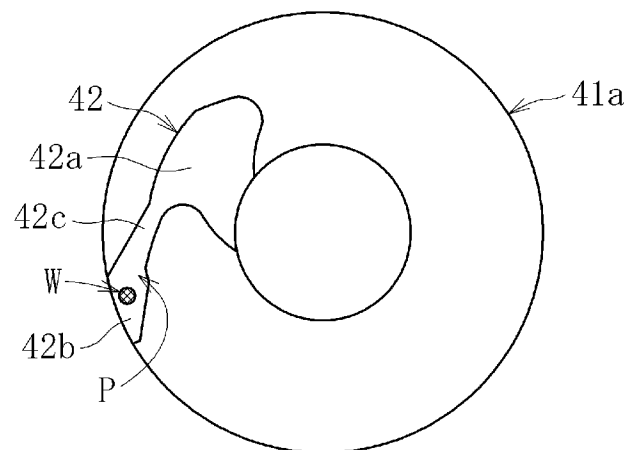
[図11]



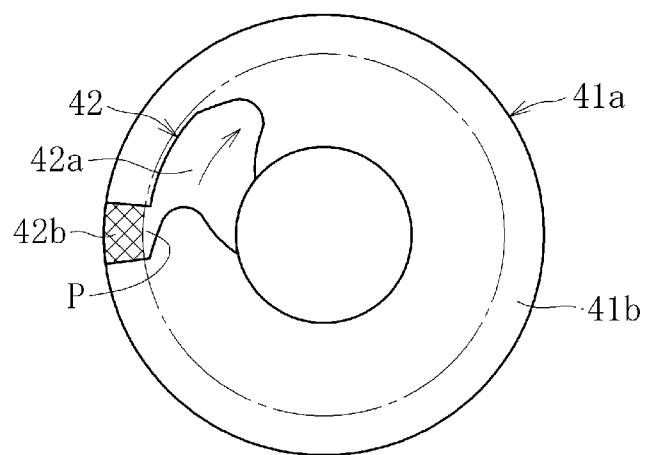
[図12]



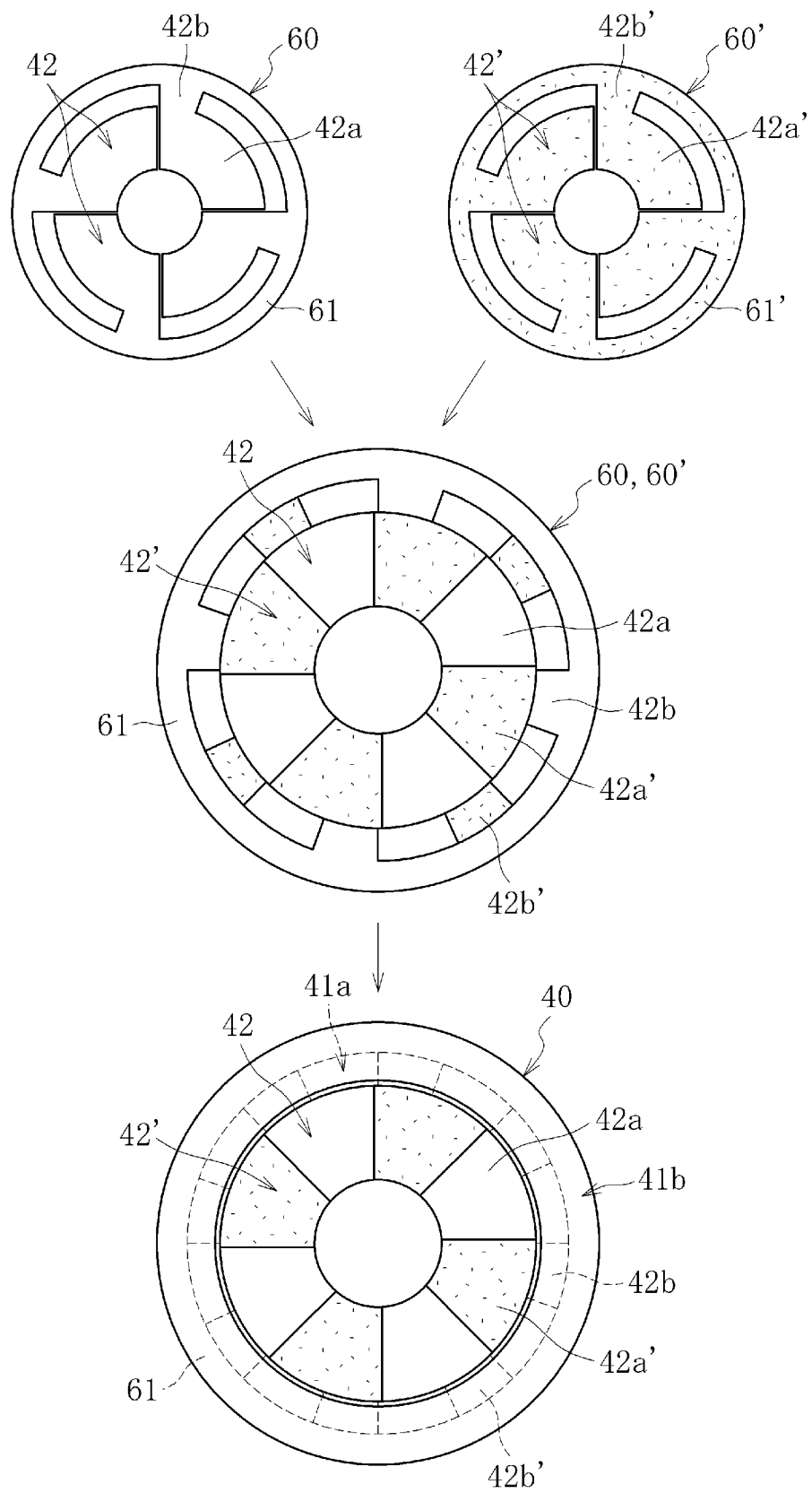
[図13]



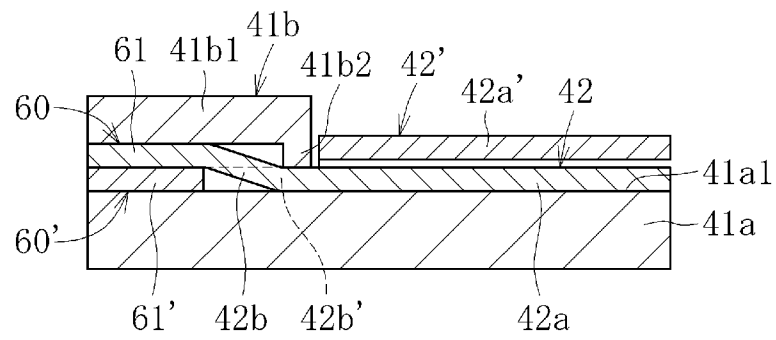
[図14]



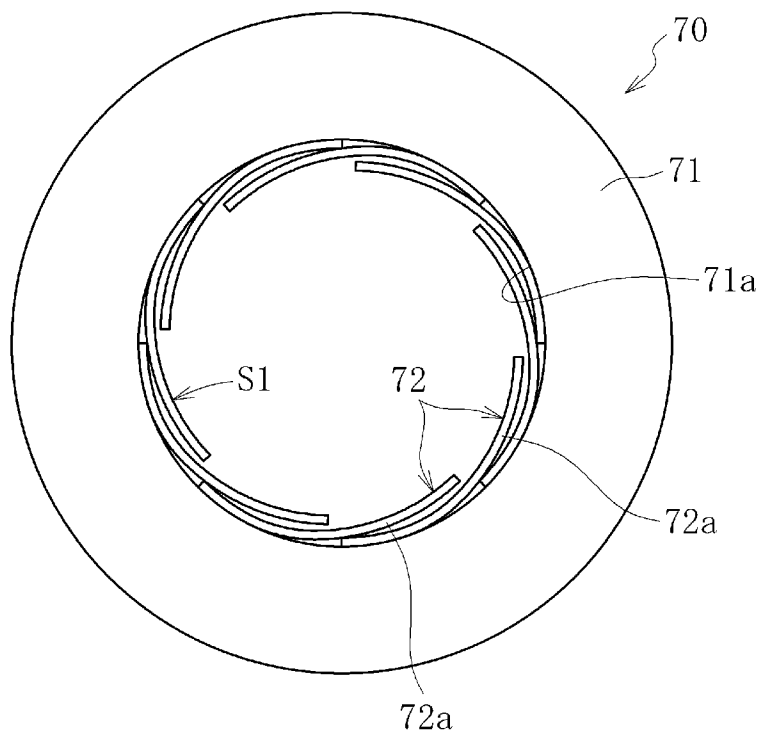
[図15]



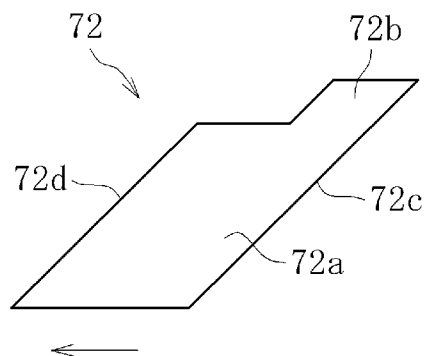
[図16]



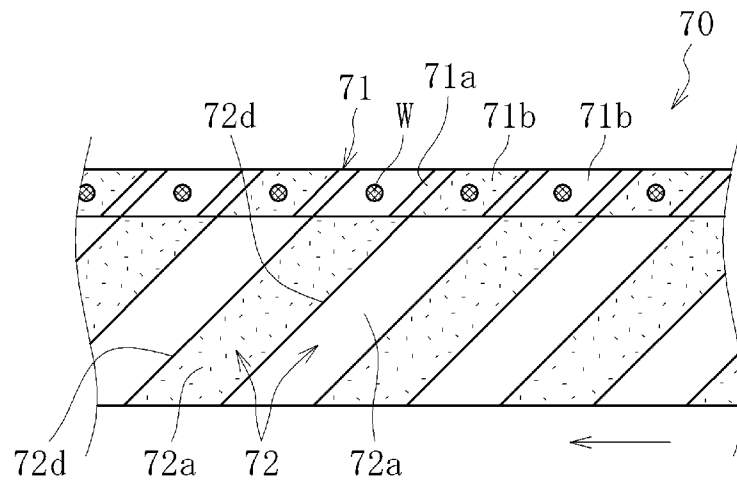
[図17]



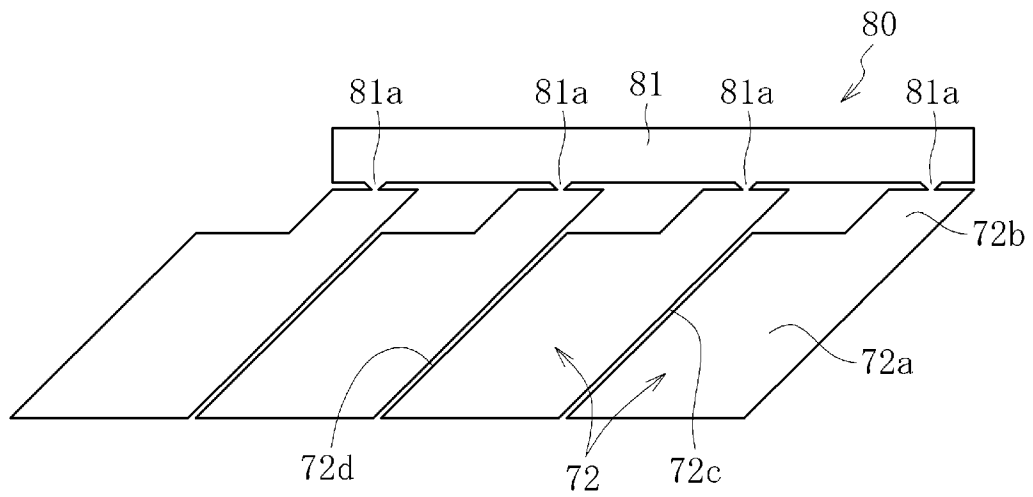
[図18]



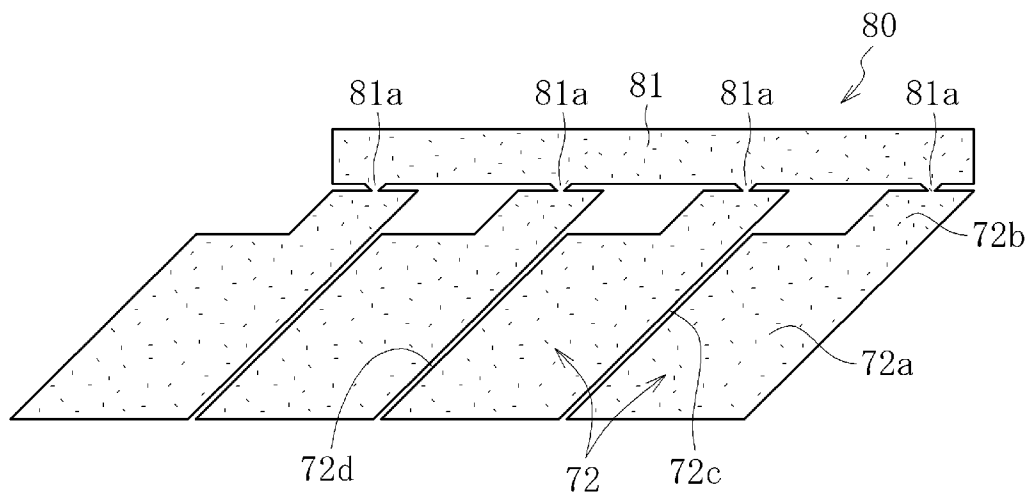
[図19]



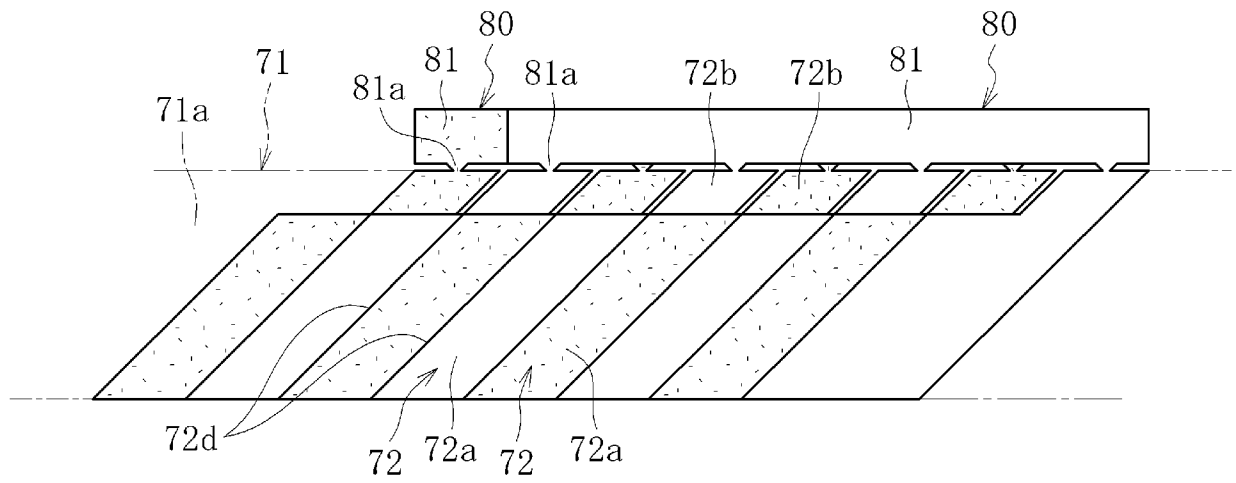
[図20A]



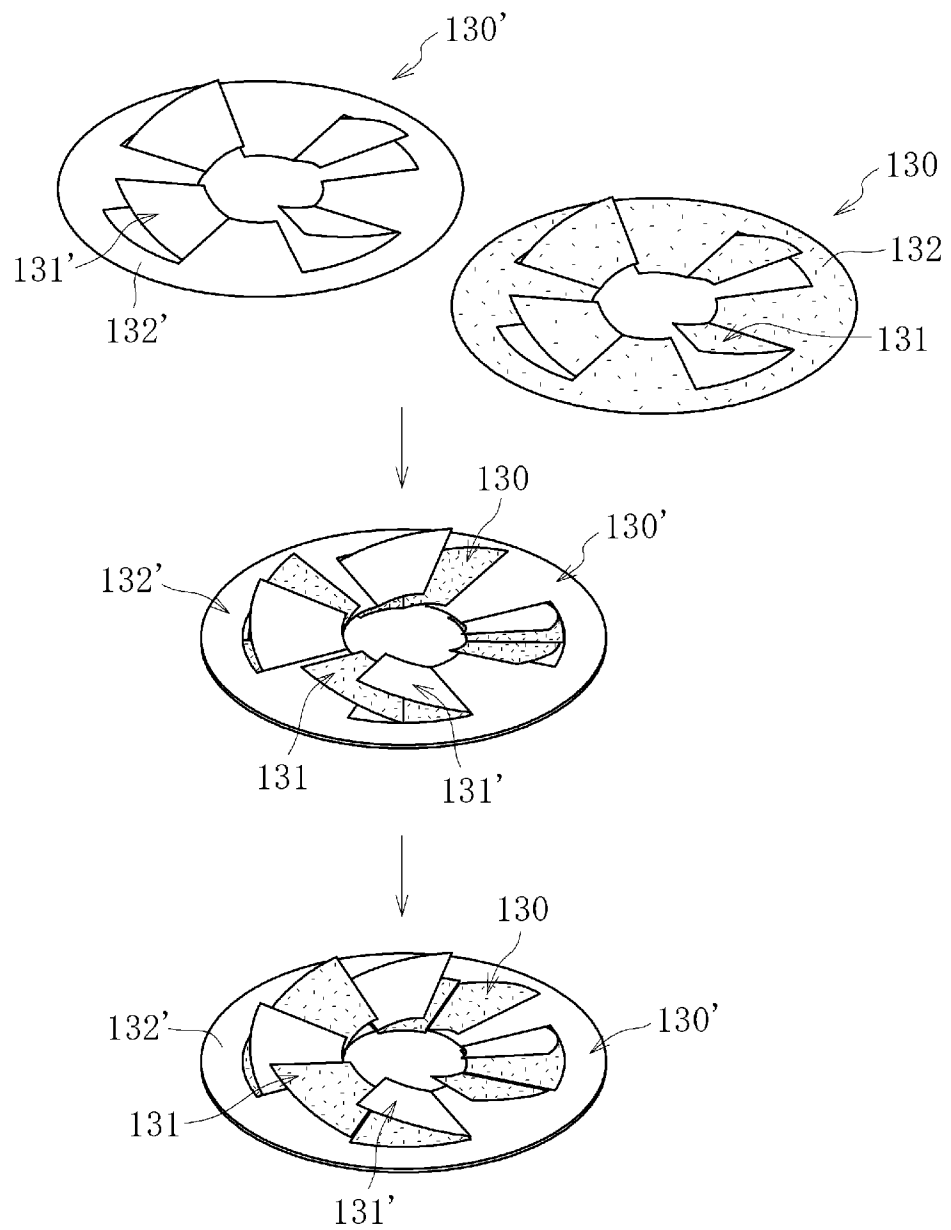
[図20B]



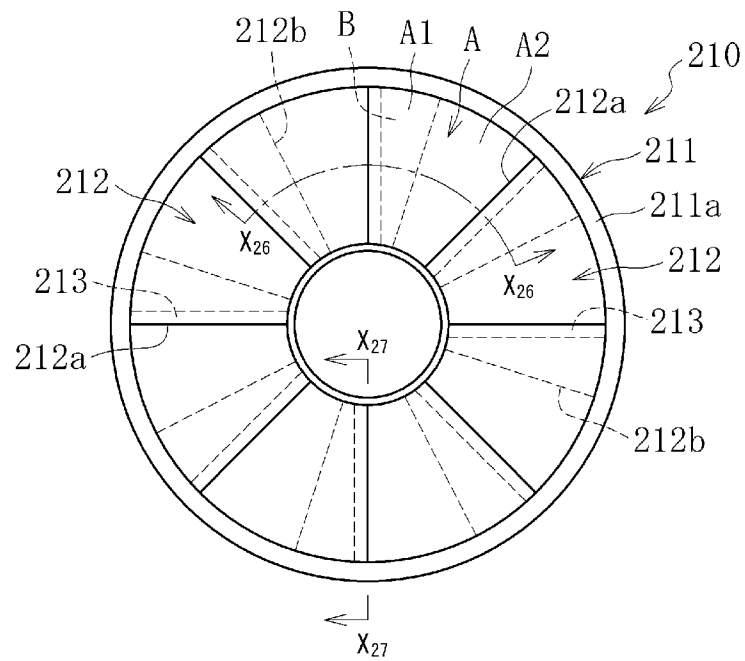
[図21]



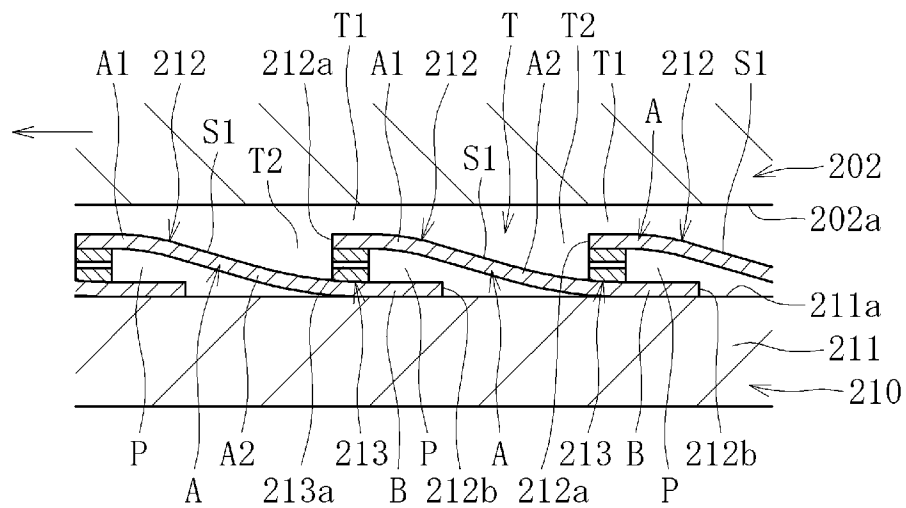
[図22]



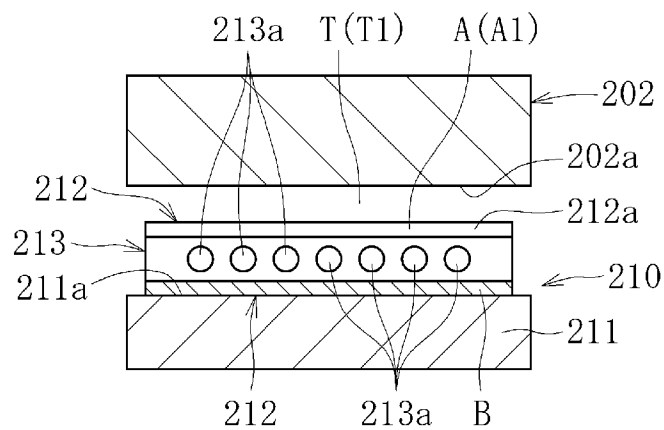
[図25]



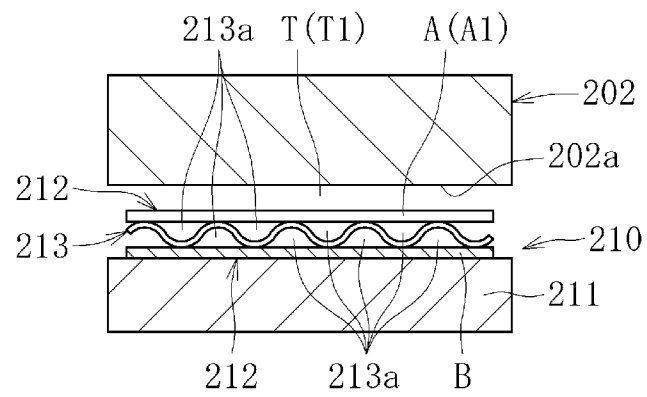
[図26]



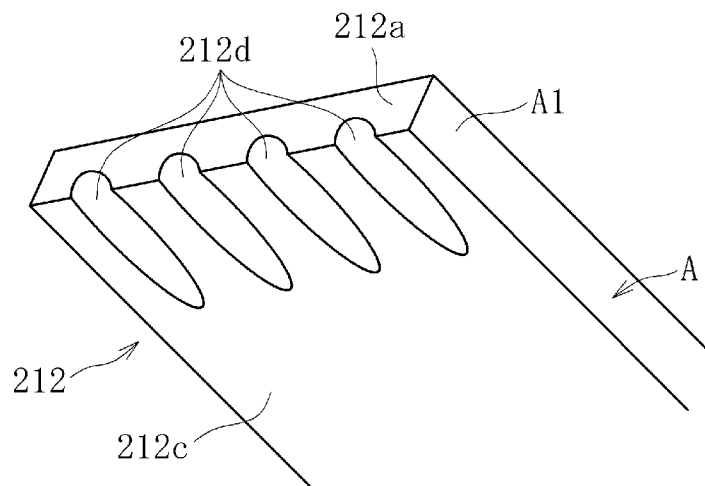
[図27]



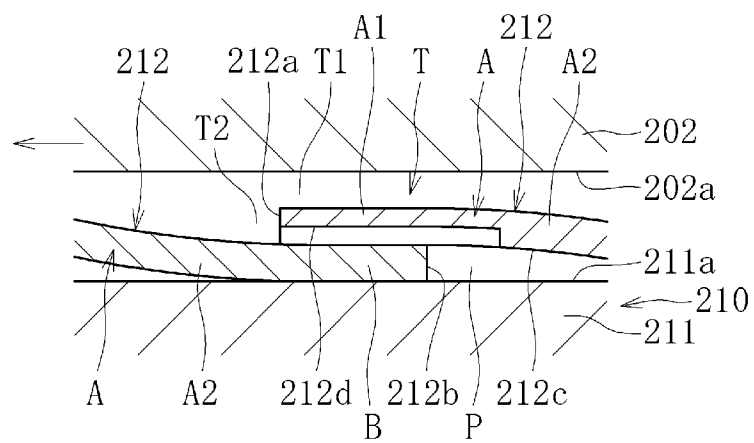
[図28]



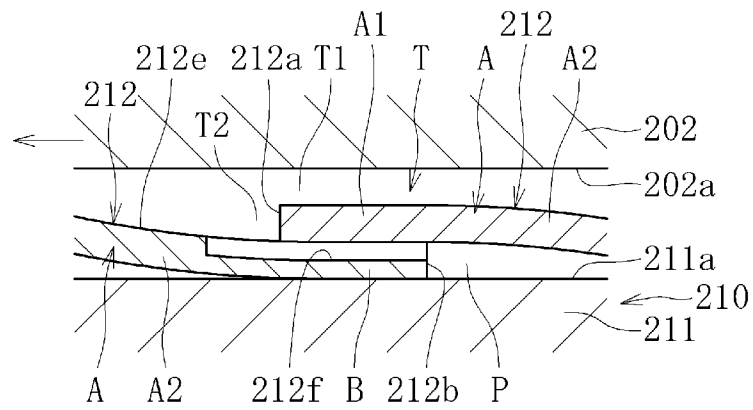
[図29]



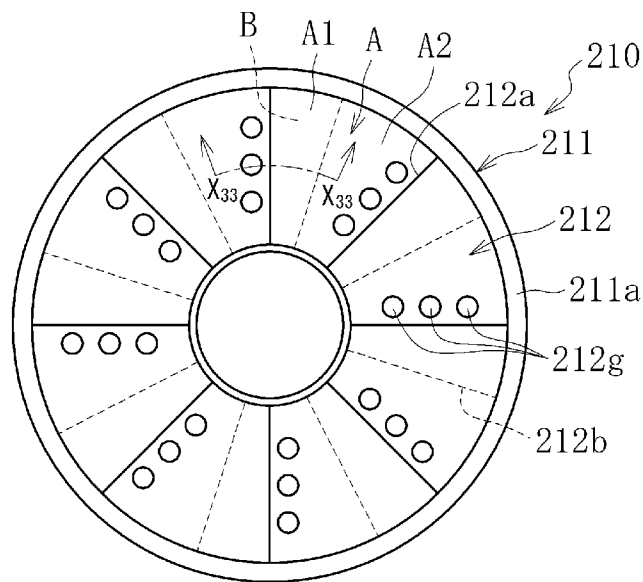
[図30]



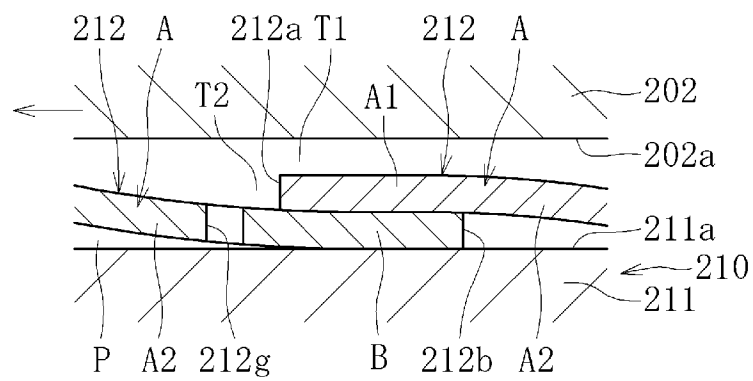
[図31]



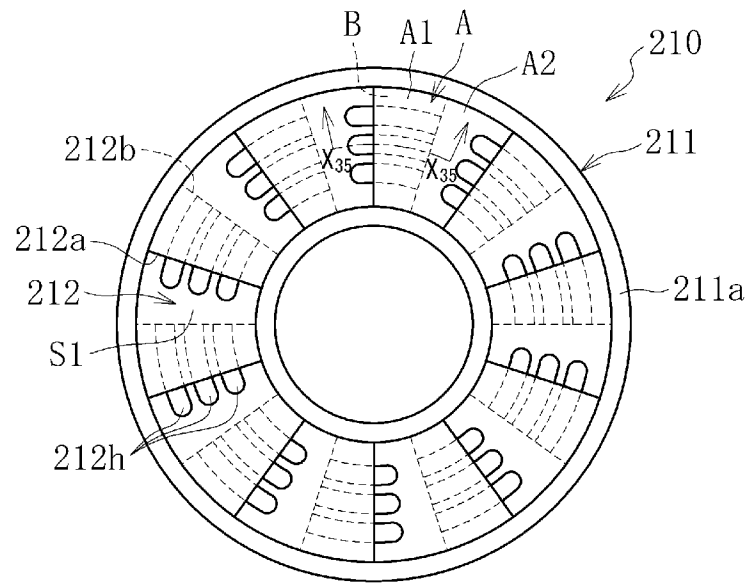
[図32]



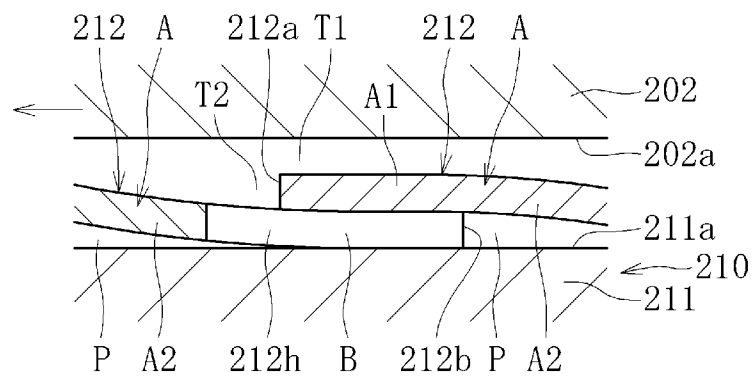
[図33]



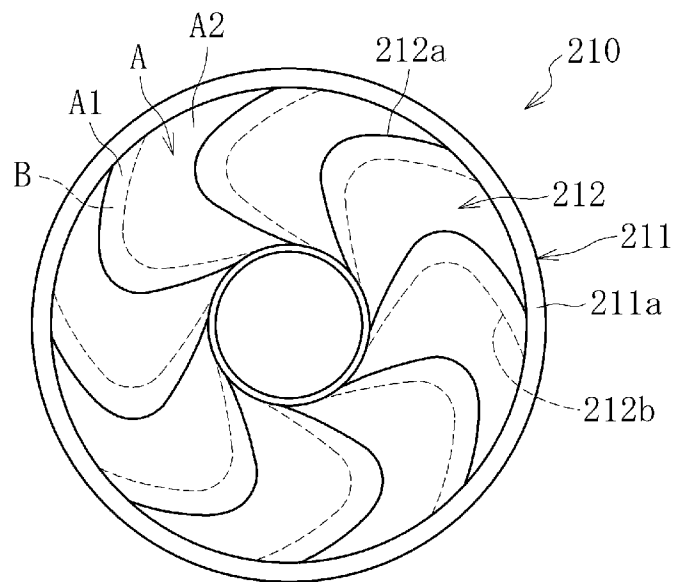
[図34]



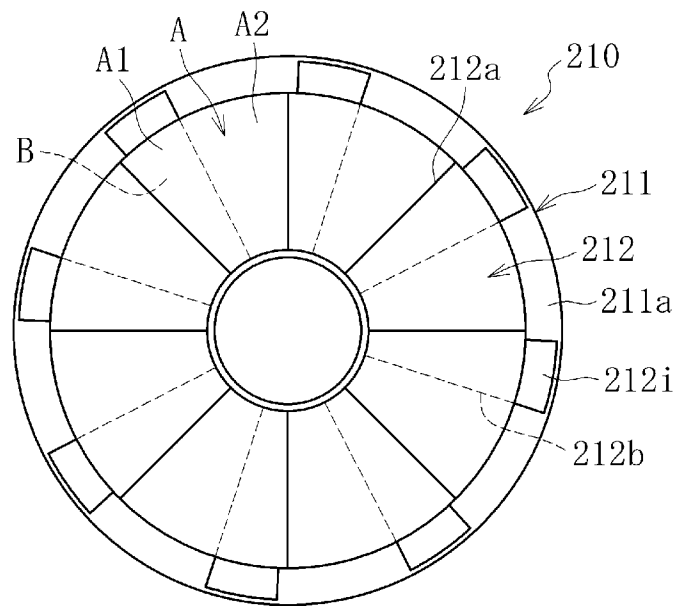
[図35]



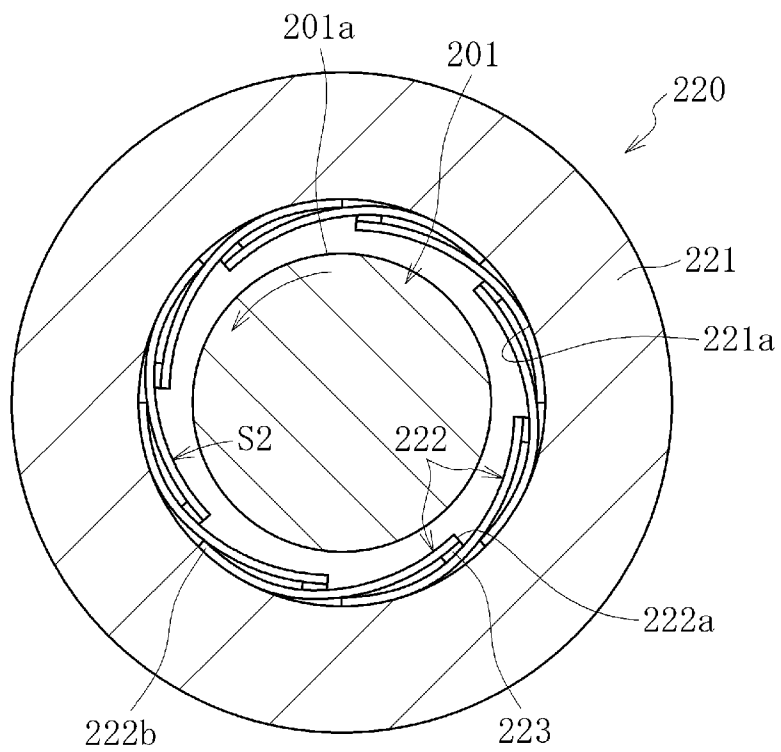
[図36]



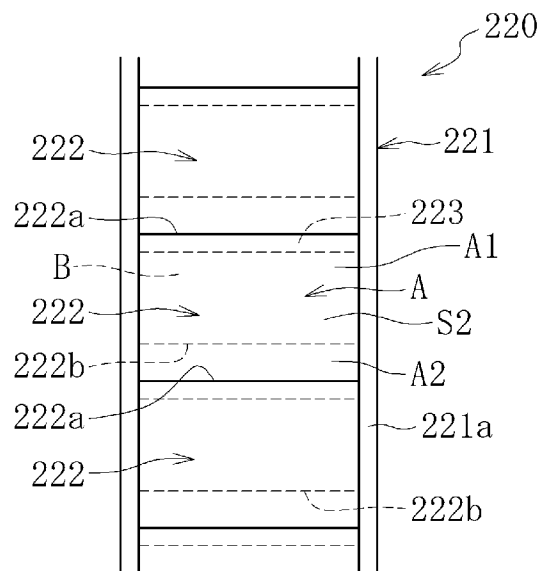
[図37]



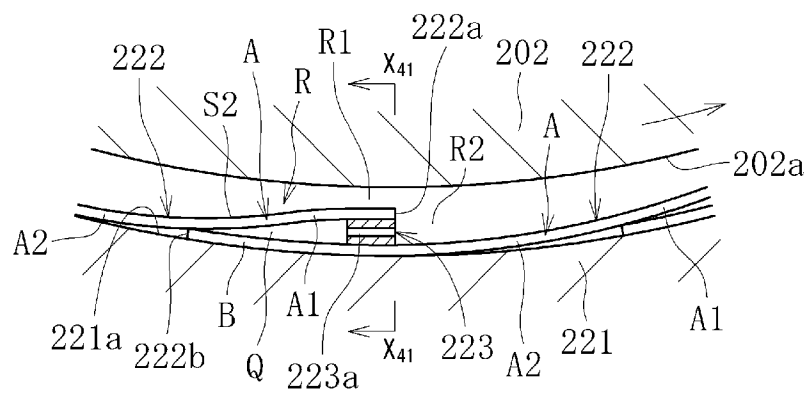
[図38]



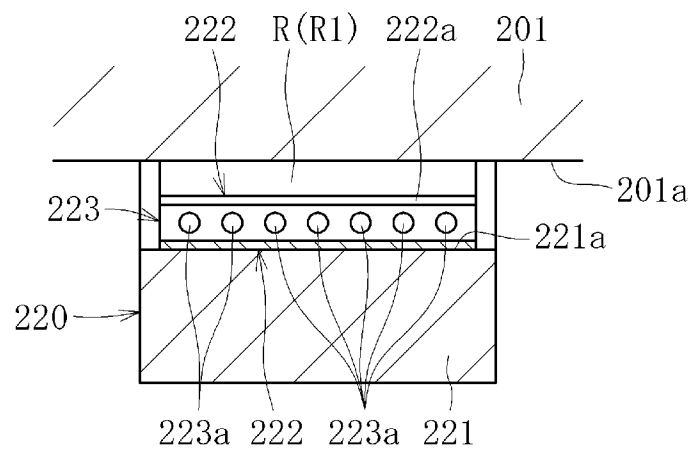
[図39]



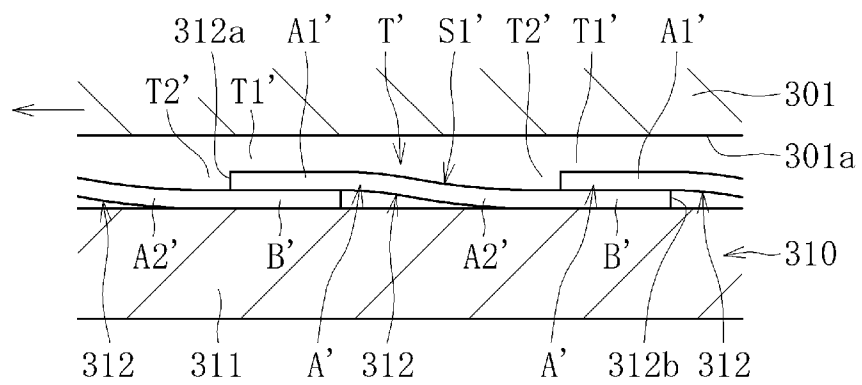
[図40]



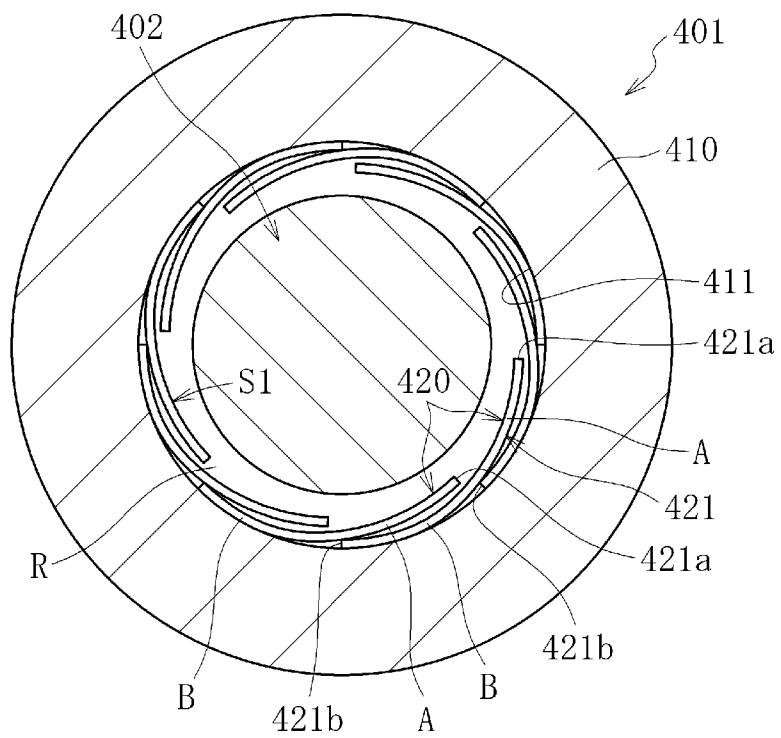
[図41]



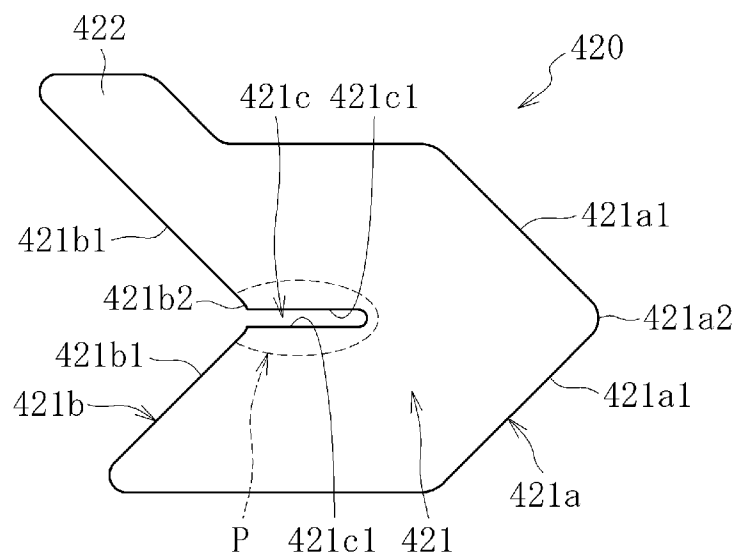
[図42]



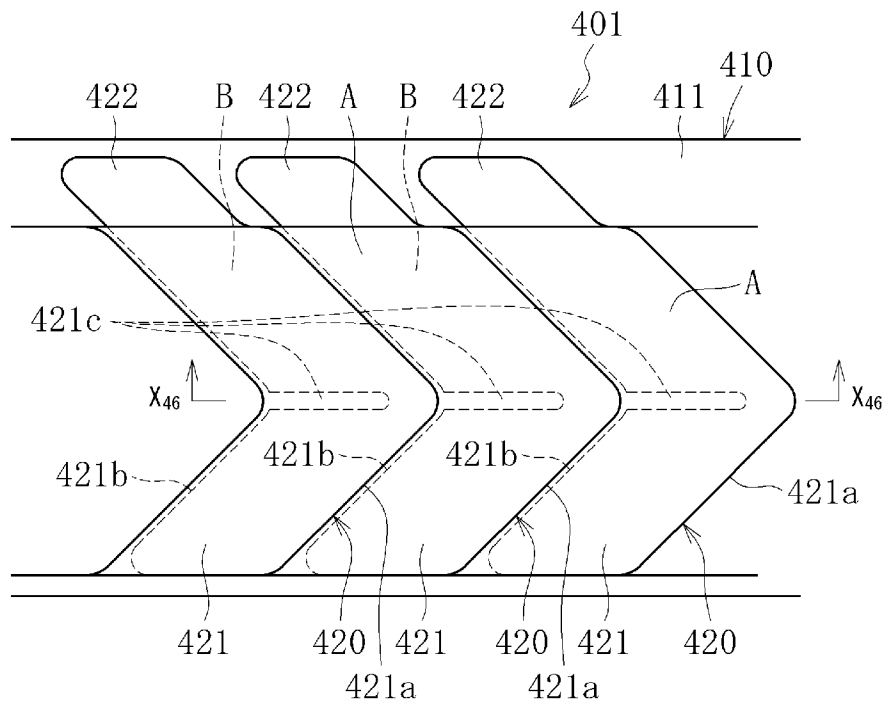
[図43]



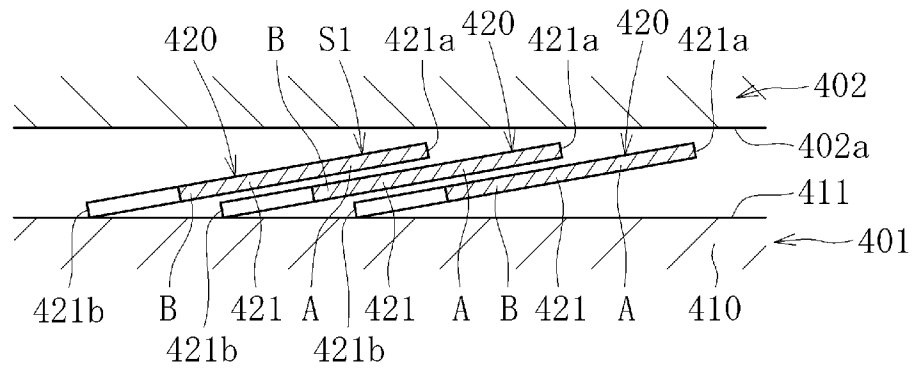
[図44]



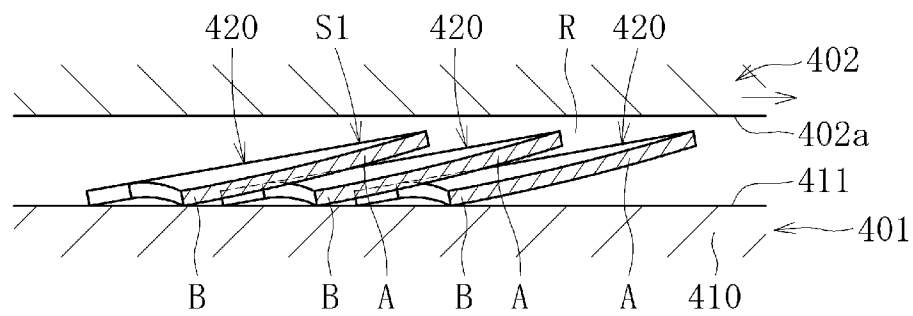
[図45]



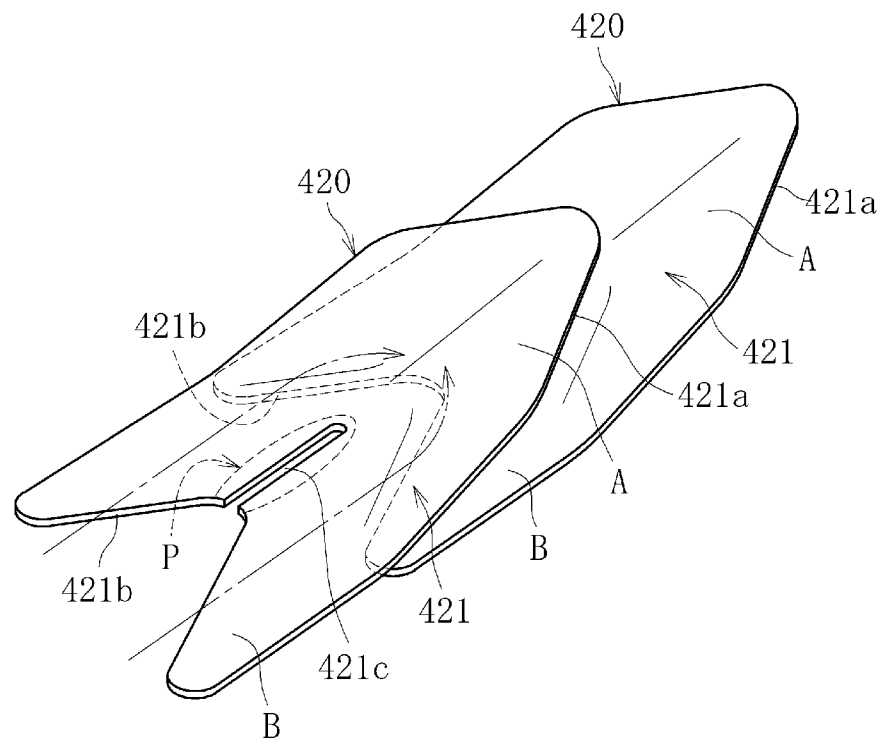
[図46A]



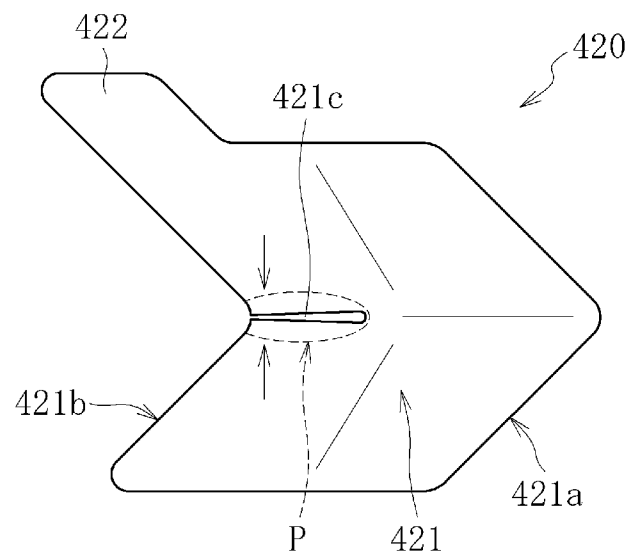
[図46B]



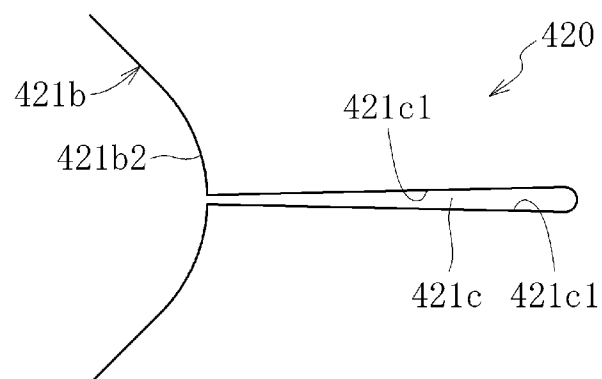
[図47]



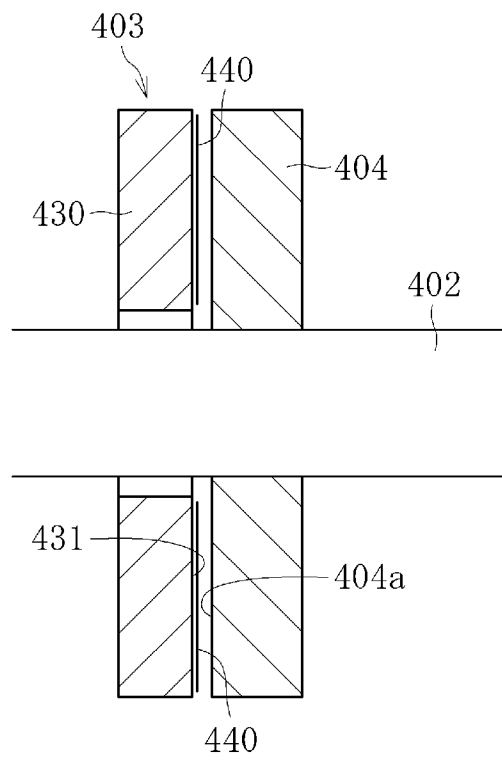
[図48A]



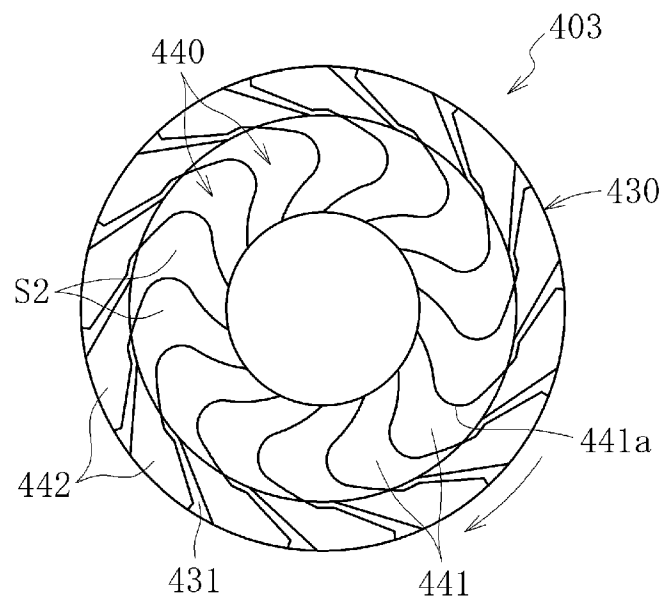
[図48B]



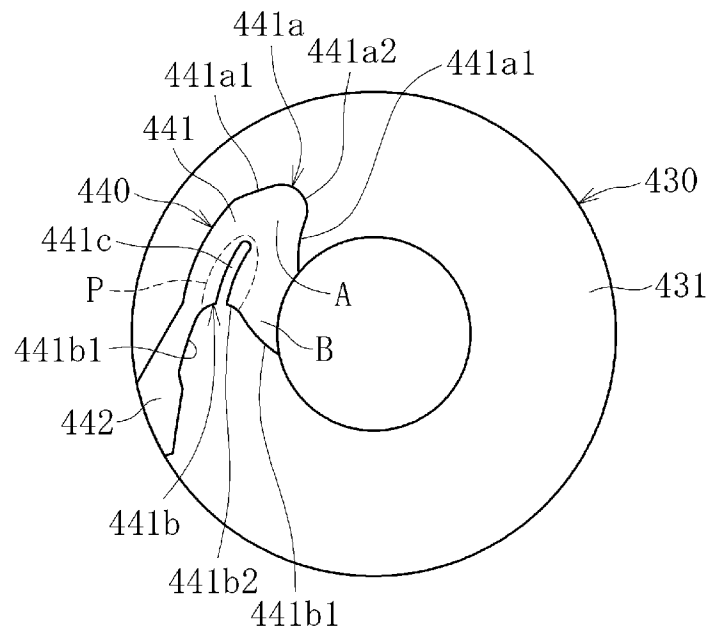
[図49]



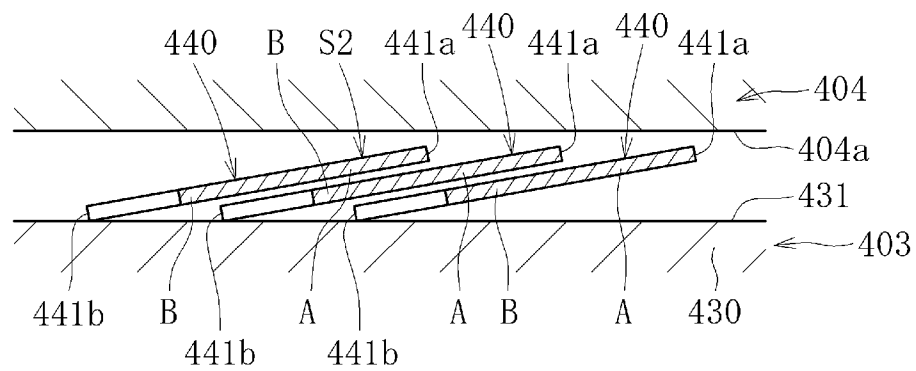
[図50]



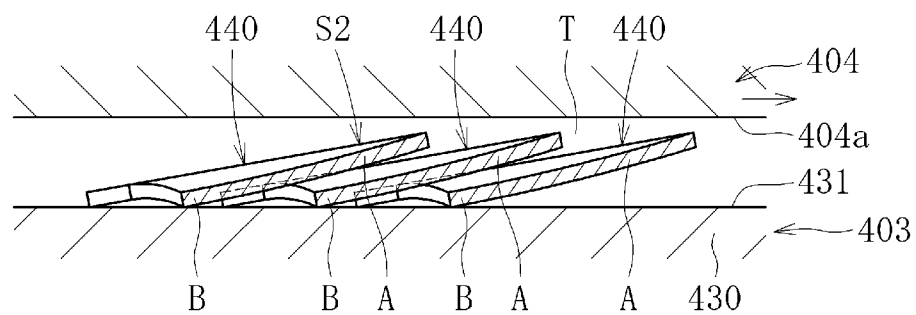
[図51]



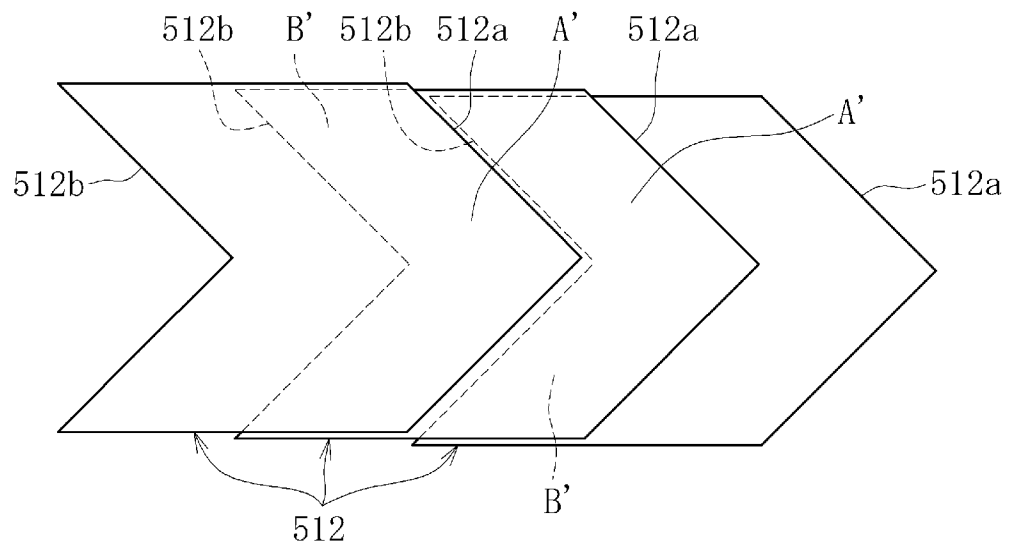
[図52A]



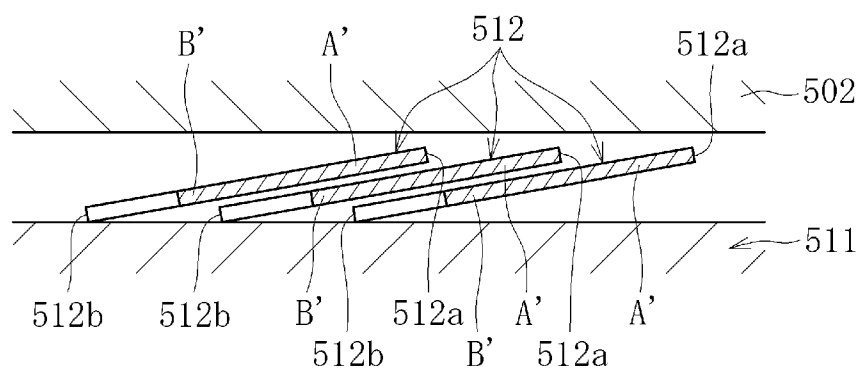
[図52B]



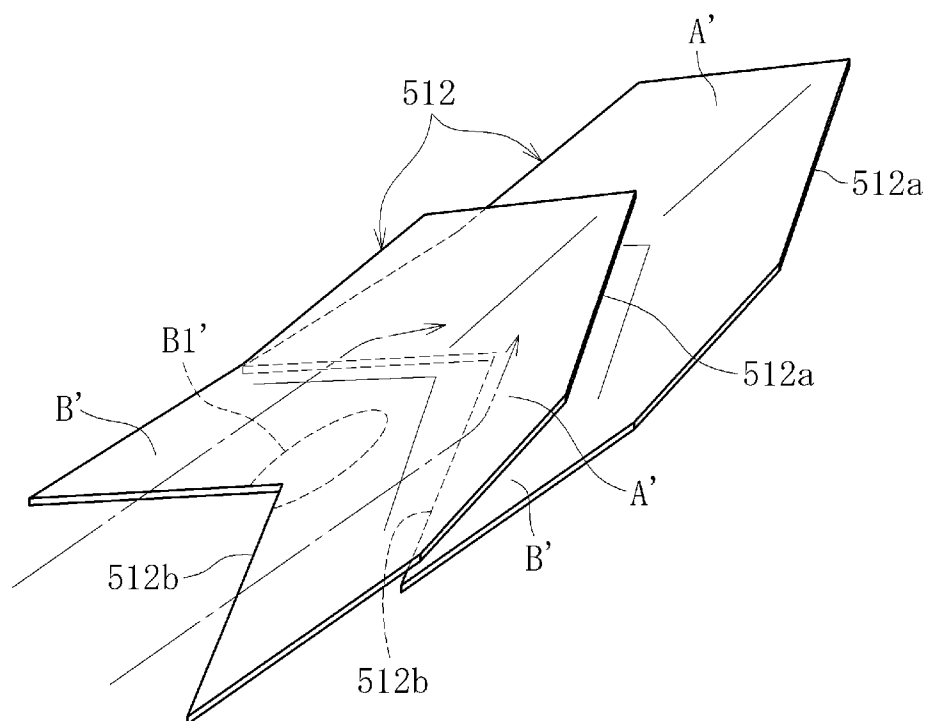
[図53]



[図54]



[図55]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/080678

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C27/02(2006.01) i, F16C17/10(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)

F16C27/02, F16C17/10

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	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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 A	JP 55-166525 A (The Garrett Corp.), 25 December 1980 (25.12.1980), page 2, lower right column, line 14 to page 3, upper left column, line 12; page 3, upper right column, lines 8 to 18; fig. 2, 4 & US 4348066 A & EP 21711 A1 & CA 1141807 A & AT 3459 T	1, 7 2-6, 8-16
X A	JP 2011-144845 A (Shimadzu Corp.), 28 July 2011 (28.07.2011), paragraphs [0022] to [0029]; fig. 1 to 4 (Family: none)	7 1-6, 8-16
X A	US 2003/0118257 A1 (Lee et al.), 26 June 2003 (26.06.2003), paragraph [0006]; fig. 1 & KR 10-2002-0062078 A	7 1-6, 8-16

☒ 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
06 February 2015 (06.02.15)

Date of mailing of the international search report
17 February 2015 (17.02.15)

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/JP2014/080678

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2013-53645 A (NTN Corp.), 21 March 2013 (21.03.2013), paragraphs [0023] to [0025]; fig. 3 & US 2014/0169707 A1 & EP 2740951 A1 & WO 2013/018605 A1 & CN 103717926 A	7 1-6, 8-16
X A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 50171/1983 (Laid-open No. 155321/1984) (Nissan Motor Co., Ltd.), 18 October 1984 (18.10.1984), page 2, line 7 to page 3, line 1; fig. 1 to 2 (Family: none)	7 1-6, 8-16
A	JP 2006-52837 A (Samsung Electronics Co., Ltd.), 23 February 2006 (23.02.2006), fig. 3 to 5 & US 2006/0045396 A1 & EP 1643142 A2 & KR 10-2006-0015094 A	1-16
A	JP 2012-92967 A (NTN Corp.), 17 May 2012 (17.05.2012), fig. 4, 8 to 10 & WO 2012/043416 A1	1-16

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F16C27/02(2006.01)i, F16C17/10(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（I P C））

Int.Cl. F16C27/02, F16C17/10

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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
X A	JP 55-166525 A（ザ・ギヤレット・コーポレーション）1980.12.25, 第2ページ右下欄第14行－第3ページ左上欄第12行, 第3ペー ジ右上欄第8－18行, 図2, 4 & US 4348066 A & EP 21711 A1 & CA 1141807 A & AT 3459 T	1, 7 2-6, 8-16
X A	JP 2011-144845 A（株式会社島津製作所）2011.07.28, 段落【00 22】－【0029】, 図1－4（ファミリーなし）	7 1-6, 8-16

☒ 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

0 6 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / 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）

久島 弘太郎

3 J

9 7 2 5

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 2 8

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
X A	US 2003/0118257 A1 (Lee et al.) 2003.06.26, 段落 [0006], 第1図 & KR 10-2002-0062078 A	7 1-6, 8-16
X A	JP 2013-53645 A (NTN株式会社) 2013.03.21, 段落【0023】 －【0025】, 図3 & US 2014/0169707 A1 & EP 2740951 A1 & WO 2013/018605 A1 & CN 103717926 A	7 1-6, 8-16
X A	日本国実用新案登録出願 58-50171 号(日本国実用新案登録出願公開 59-155321 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 (日産自動車株式会社) 1984.10.18, 第2ページ第 7行－第3ページ第1行, 第1－2図 (ファミリーなし)	7 1-6, 8-16
A	JP 2006-52837 A (三星電子株式会社) 2006.02.23, 図3－5 & US 2006/0045396 A1 & EP 1643142 A2 & KR 10-2006-0015094 A	1-16
A	JP 2012-92967 A (NTN株式会社) 2012.05.17, 図4, 8－10 & WO 2012/043416 A1	1-16