

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年8月10日(10.08.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/134963 A1

- (51) 国際特許分類:
F16C 17/03 (2006.01) *F04D 29/057* (2006.01)
F01D 25/00 (2006.01) *F16C 33/06* (2006.01)
F01D 25/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/088673
- (22) 国際出願日: 2016年12月26日(26.12.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-019968 2016年2月4日(04.02.2016) JP
- (71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 Tokyo (JP). 三菱重エコンプレッサ株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES COMPRESSOR CORPORATION) [JP/JP]; 〒1080014 東京都港区芝五丁目3番6号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 嶋原 拓造 (SHIGIHARA Takuzo); 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 林 慎之 (HAYASHI Noriyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目

1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 西岡 忠相 (NISHIOKA Tadasuke); 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 永尾 英樹 (NAGAO Hideki); 〒7338553 広島県広島市西区観音新町4丁目6番22号 三菱重エコンプレッサ株式会社内 Hiroshima (JP).

(74) 代理人: 森 隆一郎, 外 (MORI Ryuichirou et al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一丁目9番2号 Tokyo (JP).

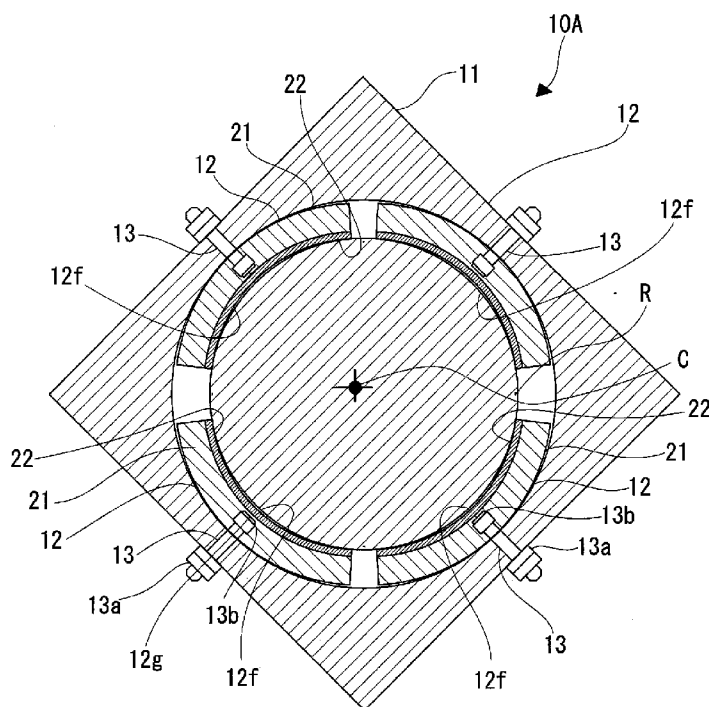
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD,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

[続葉有]

(54) Title: TILTING PAD GAS BEARING

(54) 発明の名称: ティルティングパッドガス軸受



(57) Abstract: A gas bearing device (10A) is provided with a plurality of bearing pads (12) that are arranged around the circumferential direction of a rotor (R) and that form a gas membrane with the outer peripheral surface of the rotor (R) to support the rotor (R), and pivot members (13) that oscillatably support the bearing pads (12). The bearing pads (12) are provided with pad bodies (21) supported by the pivot members (13), and insulating material layers (22) formed on the pad bodies (21) on the sides facing the outer peripheral surface of the rotor (R) and formed from a material having lower thermal conductivity than the pad bodies (21).

(57) 要約: ガス軸受装置 (10A) は、ロータ (R) の周方向に複数配され、ロータ (R) の外周面との間に気膜を形成してロータ (R) を支持する軸受パッド (12) と、軸受パッド (12) を揺動可能に支持するピボット部材 (13) と、を備える。軸受パッド (12) は、ピボット部材 (13) に支持されるパッド本体 (21) と、パッド本体 (21) においてロータ (R) の外周面に対向する側に形成され、パッド本体 (21) よりも熱伝導率の低い材質で形成された断熱材層 (22) と、を備える。



MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ロシア (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))
- 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第 19 条(1))

明 細 書

発明の名称： ティルティングパッドガス軸受

技術分野

[0001] この発明は、ティルティングパッドガス軸受に関する。

本願は、2016年2月4日に、日本に出願された特願2016-19968号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 例えば、圧縮機、タービン、ポンプ、エンジン等、ロータを有した各種の回転機械においては、ロータを回転可能に支持するために軸受装置が用いられている。

[0003] 軸受装置として、ティルティングパッドを備えたガス軸受装置が知られている。このティルティングパッドは、ロータに摺接するパッド面を有する軸受パッドを、揺動可能に支持したものである。ガス軸受装置は、ロータの周囲に存在する気体が、ロータの回転に伴ってロータの外周面と軸受パッドの内周面との間に引き込まれて、この気体からなる膜（気膜）を形成することで、ロータを回転可能に支持する。ここで、気体は、ロータの外周面と軸受パッドの内周面との間に引き込まれることで圧縮され、動圧が発生する。この動圧により、ロータは、軸受パッドに直接接触することなく支承される。

[0004] 例えば、特許文献1、2には、このような軸受装置として、気膜による動圧が小さいときに軸受パッドとロータとの間に生じる摩擦抵抗を抑えるため、軸受パッドの内周面に、それぞれセラミックコーティングと、固定潤滑剤による被覆を施す構成が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平3-121306号公報

特許文献2：特開平7-317752号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 軸受パッドとロータとの間に気膜を介在させるガス軸受装置は、軸受パッドとロータとの間に油膜を介在させる油軸受装置に比較すると、気膜の粘度が小さい。そのため、ガス軸受装置は、軸受装置で支持できる負荷容量が小さい。ガス軸受装置において、その負荷容量を高めるには、気膜の厚さを小さくする必要がある。

しかし、気膜の厚さを小さくしていくと、気膜による動圧が小さいときに軸受パッドとロータとが直接接触し易くなってしまう。その結果、軸受パッドとロータとが摺動することで生じる摩擦熱等によって、軸受パッドが加熱されて熱変形することがある。

軸受パッドの熱変形は、軸受パッドを揺動可能に支持するピボット点を支点として生じる。そのため、軸受パッドに熱変形が生じると、ピボット点から遠い位置ほど変形量が大きく、軸受パッドとロータとの当たり具合の均一性が損なわれて、軸受装置における負荷容量を高めることが困難になる。

この発明は、軸受パッドの熱変形を抑えることで、気膜の厚さを小さくし、負荷容量を高めることができるティルティングパッドガス軸受を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] この発明の第一態様によれば、ティルティングパッドガス軸受は、軸受パッドと、ピボット部材と、を備える。軸受パッドは、ロータの周方向に複数配されている。軸受パッドは、ロータの外周面との間に気膜を形成してロータを支持する。ピボット部材は、軸受パッドを揺動可能に支持する。軸受パッドは、パッド本体と、断熱材層と、を備える。パッド本体は、前記ピボット部材に支持されている。断熱材層は、パッド本体においてロータの外周面に対向する側に形成されている。断熱材層は、パッド本体よりも熱伝導率の低い材質で形成されている。

[0008] 軸受パッドにおいて、ロータの外周面に対向する側に断熱材層を備えることで、気膜による動圧が小さく、ロータと断熱材層とのクリアランスが小さ

い状態であっても、ロータの回転時に生じる摩擦熱等がパッド本体に伝わるのを抑えることができる。これにより、パッド本体が変形し難くなる。

[0009] この発明の第二態様によれば、第一態様に係る前記断熱材層は、 1.0 W/m K 以下の熱伝導率を有するようにしてもよい。

このように構成することで、断熱材層における断熱効果を高め、パッド本体の変形を有効に抑えることができる。

[0010] この発明の第三態様によれば、第一又は第二態様に係るパッド本体は、 200 W/m K 以上の熱伝導率を有する材質で形成されているようにしてもよい。

このように、パッド本体を熱伝導率の高い材質で形成することで、ロータとの摺動面側から熱が伝わってきたときに、パッド本体に温度分布が生じにくい。そのため、パッド本体の熱変形を抑えることができる。

[0011] この発明の第四態様によれば、第一から第三態様の何れか一つの態様に係るパッド本体は、 $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ 以下の線膨張係数を有する材質で形成されていてもよい。

このように、パッド本体を線膨張係数が低い材質で形成することで、ロータとの摺動面側から熱が伝わってきても、パッド本体が熱変形し難くなる。

[0012] この発明の第五態様によれば、第一から第四態様の何れか一つの態様に係る断熱材層は、パッド本体よりも低いヤング率を有する材質で形成されていてもよい。

このように構成することで、ロータの回転によって発生した圧力により断熱材層がロータの曲率に沿うように変形する。そのため、ロータと断熱材層との間において隙間の狭い領域を増やすことができる。その結果、ティルティングパッドガス軸受における負荷能力を向上させることができる。

[0013] この発明の第六態様によれば、第一から第五態様の何れか一つの態様に係るティルティングパッドガス軸受において、ロータの外周面に対向する軸受パッドの摺動面とロータの外周面との間に気体を供給する気体供給手段を備えるようにしてもよい。

ロータが停止している場合や、ロータの回転速度が低い場合等、軸受パッドの摺動面とロータの外周面との間に介在する気膜による圧力が低い場合に、気体供給手段によって軸受パッドの摺動面とロータの外周面との間に気体を供給することで、気膜の圧力を高めることができる。その結果、軸受パッドとロータとが直接接触するのを抑え、軸受パッドとロータとの間における摩擦熱の発生を抑えることができる。気体供給手段によって供給する気体によって、更に、軸受パッドの摺動面を冷却することもできる。したがって、軸受パッドの熱変形の発生を抑えることができる。

[0014] この発明の第七態様によれば、第六態様に係る気体供給手段が、軸受パッドの摺動面に形成された吹出口と、吹出口に気体を供給する気体供給源と、吹出口からの気体の吹出を制御する制御部と、を備えるようにしてもよい。

このように構成して吹出口からロータの外周面に気体を吹き付けることで、ロータと軸受パッドとの間に気体を効率よく供給して気膜を形成することができる。制御部によって、更に軸受パッドの摺動面とロータの外周面との間に気体を供給するタイミングを制御することができる。したがって、ロータが停止している場合や、ロータの回転速度が低い場合等、軸受パッドの摺動面とロータの外周面との間の気膜の圧力が低い場合に、適切なタイミングで気体を供給することができる。

[0015] この発明の第八態様によれば、第七態様に係る吹出口は、ロータの中心軸よりも下方に位置する軸受パッドに形成されていてもよい。

ロータの自重により、ロータの中心軸よりも下方に位置する軸受パッドにおいては、軸受パッドの摺動面とロータの外周面との間の気膜の圧力が低い場合、軸受パッドの摺動面とロータの外周面とが接触しやすくなる。そこで、ロータの中心軸よりも下方に位置する軸受パッドに吹出口を形成している。これにより、ロータの中心軸よりも下方において、ロータと軸受パッドとの間に気膜を形成することができる。したがって、ロータと軸受パッドとが直接接触するのを抑えることができる。

[0016] この発明の第九態様によれば、第七又は第八態様に係る制御部は、ロータ

の回転開始時及び回転停止時の少なくとも一方で、気体を供給するようにしてもよい。

ロータの回転開始時や回転停止時には、ロータの中心軸よりも下方において、気膜の圧力が低くなり、ロータと軸受パッドとが直接接触しやすい。そこで、ロータの回転開始時や回転停止時に、ロータと軸受パッドとの間に気体を供給することで、ロータと軸受パッドとが直接接触するのを抑えることができる。

発明の効果

[0017] 上記ティルティングパッドガス軸受によれば、軸受パッドの熱変形を抑えることで、気膜の厚さを小さくし、負荷容量を高めることが可能となる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]この発明の第一実施形態に係るティルティングパッドガス軸受の全体構成を示す図であり、ロータの中心軸方向から見た断面図である。

[図2]上記ティルティングパッドガス軸受の構成を示す図であり、ロータの中心軸に沿った断面図である。

[図3]パッド本体にインバー合金、銅合金を用いつつ、断熱材層を備えた上記実施形態で示した構成の場合と、断熱材層を備えず、パッド本体をS S 4 0 0材で形成した場合の熱変形量の度合いを示す図である。

[図4]この発明の第二実施形態に係るティルティングパッドガス軸受の全体構成を示す図であり、ロータの中心軸方向から見た断面図である。

[図5]上記ティルティングパッドガス軸受の構成を示す図であり、ロータの中心軸に沿った断面図である。

[図6]軸受パッドに形成した吹出口の配置を示す図であり、軸受パッドを摺動面側から見た図である。

[図7]ピボット中心に対する吹出口の周方向における位置と、負荷容量及び合計流量との関係を示す図である。

[図8]ピボット中心に対する吹出口の軸方向における位置と、負荷容量及び合計流量との関係を示す図である。

[図9]ガス供給機構の制御部によって実行される、静圧ガスの供給制御の流れを示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下、この発明の実施形態に係るティルティングパッドガス軸受を図面に基づき説明する。

(第一実施形態)

図1は、この発明の第一実施形態に係るティルティングパッドガス軸受の全体構成を示す図であり、ロータの中心軸方向から見た断面図である。図2は、上記ティルティングパッドガス軸受の構成を示す図であり、ロータの中心軸に沿った断面図である。

図1、図2に示すように、この第一実施形態のガス軸受装置（ティルティングパッドガス軸受）10Aは、回転機械（図示無し）のロータRを回転自在に支持する。ガス軸受装置10Aは、ハウジング11と、軸受パッド12と、を備える。

[0020] ハウジング11は、ロータRの中心軸C方向に連続する筒状をなしている。ハウジング11は、断面円形の内部空間を有している。

軸受パッド12は、ハウジング11の内側に、中心軸Cを中心とする周方向に複数個（図1の例では4個）設けられている。各軸受パッド12は、ピボット部材13を介し、ハウジング11に揺動可能に支持されている。

[0021] 各軸受パッド12は、ロータRの中心軸Cに向かって凹となる断面円弧状に湾曲した板状に形成されている。軸受パッド12の湾曲方向内側の摺動面12fは、その曲率半径が、ロータRの外周面の曲率半径よりやや大きく形成されている。即ち、軸受パッド12の摺動面12f全面がロータRと同時に接触することはない。

[0022] ピボット部材13は、その基端部13aがハウジング11に固定されている。ピボット部材13は、ハウジング11を貫通し、中心軸Cに向かってハウジング11の内部空間に突出している。ピボット部材13の先端部13bは、軸受パッド12の湾曲方向外周側の外周面に形成された凹部12gに突

き当たっている。ピボット部材 13 の先端部 13 b は、軸受パッド 12 との接触部が、半球状に形成されている。これにより、軸受パッド 12 は、ピボット部材 13 の先端部 13 b に揺動可能に支持されている。

[0023] 軸受パッド 12 は、パッド本体 21 と、断熱材層 22 と、を備えている。

[0024] パッド本体 21 は、熱変形を抑えるため、熱伝導率が高い材料や、線膨張係数が小さい材料から形成されている。

パッド本体 21 を形成する材料の熱伝導率は、 200 W/mK 以上とすることができ、さらには 300 W/mK 以上とすることができる。このように熱伝導率が高い材料としては、例えば、銅合金（例えば、クロム銅など）を用いることができる。ここで、銅合金としては、クロム、ジルコニウム、銅からなる合金とすることができる。さらに、熱伝導率が高い材料としては、銅合金以外に、主成分がアルミニウムからなるアルミニウム合金を用いることもできる。

[0025] パッド本体 21 を形成する材料の線膨張係数は、 $5 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ 以下とすることができ、さらには $1.2 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ 以下とすることができる。このように、線膨張係数が小さい材料としては、例えば、例えばインバー（登録商標）合金を用いることができる。ここで、インバー（登録商標）合金としては、鉄、ニッケルからなる合金とすることができる。さらに、線膨張係数が小さい材料としては、インバー（登録商標）合金以外に、鉄、ニッケル、および、コバルトからなるコバル合金を用いることもできる。

[0026] 断熱材層 22 は、熱がロータ R 側からパッド本体 21 に伝達されることを抑制する。断熱材層 22 は、パッド本体 21 よりも熱伝導率が低い材料で形成されている。断熱材層 22 は、その断熱効果を効率よく発揮するため、例えば、熱伝導率が、 1.0 W/mK 以下とすることができ、さらには、 0.3 W/mK 以下とすることができる。このように熱伝導率が低い材料としては、例えば、ジルコニア（熱伝導率： 1.0 W/mK ）等のセラミック系材料、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン，Polyetheretherketone）樹脂（熱伝導率： 0.25 W/mK ）等の樹脂材料等を用

いることができる。PEEKとしては炭素繊維を含まないものを用いることができる。このようにすることで、炭素繊維を含むPEEKよりも軟らかく形成することができ、ロータRとの接触時に摩耗して馴染み易くなる。このようなPEEKを用いることで、表面粗さが小さくなるとともに焼き付きリスクを低減することができる。炭素繊維を含まないPEEKは、圧力により変形してロータRと軸受パッド12との間において、隙間の狭い領域を増加させ、負荷能力を向上することができる。

断熱材層22にPEEK樹脂を用いる場合、予めPEEK樹脂を焼結しておき、パッド本体21に接着剤等で貼り付ける。断熱材層22にジルコニアを用いる場合、ジルコニアをパッド本体21に溶射する。

[0027] 断熱材層22は、十分な断熱効果を得るために、例えば、3mm程度の厚さを有するようにしてもよい。この実施形態における断熱材層22は、その厚さが均一に形成されている場合を例示している。

断熱材層22は、パッド本体21よりも低いヤング率を有する材質で形成されていてもよい。このように構成することで、ロータRの回転によって発生した圧力により断熱材層22がロータRの曲率に沿うように変形する。そのため、ロータRと断熱材層22との間において隙間の狭い領域を増やすことができる。その結果、ガス軸受装置10Aにおける負荷能力を向上させることができる。

[0028] 上述した第一実施形態のガス軸受装置10Aは、軸受パッド12において、ロータRの外周面に対向する側に断熱材層22を備える。そのため、熱がロータR側からパッド本体21に伝わるのを抑えることができる。これにより、ロータRと軸受パッド12との間に介在する気膜の圧力が低く、ロータRとパッド本体21との間で摩擦熱が生じてしまうような場合等であっても、パッド本体21に熱が伝わりにくく、軸受パッド12の熱変形を抑えることができる。

[0029] 低い熱伝導率を有する材料で形成された断熱材層22は、断熱材層22における断熱効果をさらに高め、パッド本体21の変形を有効に抑えることが

できる。

[0030] 高い熱伝導率を有する材質で形成されたパッド本体 21 は、ロータ R との摺動面 12f 側から熱が伝わってきたときであっても、パッド本体 21 に温度分布が生じにくく、パッド本体 21 の熱変形を抑えることができる。

[0031] 線膨張係数が低い材料で形成されたパッド本体 21 は、ロータ R との摺動面 12f 側から熱が伝わってきても熱変形し難くなる。

このようにして、軸受パッド 12 の熱変形を抑えることで、気膜の厚さを小さくできる。そのため、ガス軸受装置 10A における負荷容量を高めることが可能となる。

[0032] 図 3 は、パッド本体にインバー合金、銅合金を用いつつ、断熱材層を備えた上記実施形態で示した構成の場合と、断熱材層を備えず、パッド本体を S S 4 0 0 材で形成した場合との熱変形量の度合いを示す図である。

パッド本体 21 にインバー合金を用い、断熱材層 22 を備えた場合を (1) とする。パッド本体 21 に銅合金を用い、断熱材層 22 を備えた場合を (2) とする。S S 4 0 0 材のみで軸受パッドを形成した場合を (3) とする。すると、図 3 に示すように、断熱材層 22 を備えとともに、熱伝導率が高い銅合金、線膨張率が低いインバー合金でそれぞれパッド本体 21 を形成した場合である (1)、(2) の方が、S S 4 0 0 材のみで軸受パッドを形成した場合 (3) よりも大幅に熱変形量が小さくなっている。

[0033] (第二実施形態)

次に、この発明に係るティルティングパッドガス軸受の第二実施形態について説明する。以下に説明する第二実施形態においては、第一実施形態とガス供給機構 30 を備える構成のみが異なるので、第一実施形態と同一部分に同一符号を付して説明するとともに、重複説明を省略する。

図 4 は、この発明の第二実施形態に係るティルティングパッドガス軸受の全体構成を示す図であり、ロータの中心軸方向から見た断面図である。

図 4 に示すように、この実施形態のガス軸受装置 (ティルティングパッドガス軸受) 10B は、第一実施形態と同様に、ロータ R を回転自在に支持す

る。ガス軸受装置10Bは、ハウジング11と、軸受パッド12と、を備える。

[0034] 軸受パッド12は、ハウジング11の内側に設けられている。軸受パッド12は、中心軸Cを中心とする周方向に複数個（図4の例では4個）設けられている。各軸受パッド12は、ピボット部材13を介し、ハウジング11に揺動可能に支持されている。

[0035] 各軸受パッド12は、ロータRの中心軸C方向から見たときに円弧状に湾曲した板状に形成されている。軸受パッド12の湾曲方向内側の摺動面12fは、その曲率半径が、ロータRの外周面の曲率半径よりやや大きく形成されている。

[0036] 図5は、上記ティルティングパッドガス軸受の構成を示す図であり、ロータの中心軸に沿った断面図である。

図5に示すように、ピボット部材13は、その基端部13aがハウジング11に固定されている。ピボット部材13は、ハウジング11の内側に突出するように形成されている。ピボット部材13は、その先端部13bが、軸受パッド12の湾曲方向外周側に形成された凹部12gに突き当たっている。ピボット部材13の先端部13bは、軸受パッド12の凹部12gとの接触部が、半球状に形成されている。これにより、軸受パッド12は、ピボット部材13の先端部13bに揺動可能に支持されている。

ピボット部材13は、軸受パッド12の中心軸Cに沿った軸方向Lの長さの中心と、軸受パッド12の周方向 θ （図4参照）に沿った長さの中心とが交差する位置（以下、この位置をピボット中心C_pと称する）に、先端部13bが突き当たっている。

[0037] 図4に示すように、ガス軸受装置10Bにおいて、ロータRの中心軸Cよりも下方に位置する軸受パッド12Lには、軸受パッド12LとロータRとの間に静圧ガスを供給するためのガス供給機構（気体供給手段）30が設けられている。

[0038] 図6は、軸受パッドに形成した吹出口の配置を示す図であり、軸受パッド

を摺動面側から見た図である。

図5、図6に示すように、ガス供給機構30は、各軸受パッド12LにおいてロータRの外周面に対向する摺動面12fに吹出口31を有している。吹出口31は、軸受パッド12Lにおいてピボット部材13の先端部13bが突き当たるピボット中心Cpの外周側に等間隔をあけて複数個所に形成されている。図6の例では、吹出口31は、ピボット中心Cpを中心とした同心円上に、等間隔に4つの吹出口31が形成されている。

[0039] 図5に示すように、ハウジング11およびピボット部材13には、吹出口31に連通するガス供給路32、33が形成されている。図4に示すように、ハウジング11に形成されたガス供給路32には、図示しないポンペ等、静圧ガスを供給するガス供給源35が接続されている。ピボット部材13に形成されたガス供給路33は、ハウジング11のガス供給路32と、吹出口31とを連通するように形成されている。

ガス供給路32には、ガス供給源35からの静圧ガス供給を断続する開閉弁34が設けられている。ガス供給源35から供給する静圧ガスとしては、例えば、空気、窒素、メタン等の雰囲気ガスを用いることができる。

[0040] ガス供給機構30は、ガス供給源35からガス供給路32、33を経て供給された静圧ガスを、軸受パッド12Lの摺動面12fとロータRの外周面との間に吹き出す。吹き出した静圧ガスにより、軸受パッド12Lの摺動面12fとロータRの外周面との間に気膜が形成され、軸受パッド12Lの摺動面12fとロータRの外周面とが直接接触するのを抑える。

[0041] このようなガス供給機構30において、各吹出口31は、軸受パッド12Lのピボット中心Cpからの周方向 θ の離間寸法 $\theta 1$ 、軸方向Lの離間寸法L1を、以下のように設定することができる。

ロータRの中心軸C回りの周方向 θ では、軸受パッド12Lの外周部からピボット中心Cpまでの寸法 $\theta 0$ に対し、

$$\theta 1 / \theta 0 = 0.5 \sim 0.6$$

となるよう、吹出口31を配置することができる。

[0042] 図7は、ピボット中心に対する吹出口の周方向における位置と、負荷容量及び合計流量との関係を示す図である。

この図7に示すように、負荷容量と合計流量のバランスから、 $\theta 1 / \theta 0 = 0.5 \sim 0.6$ の範囲としている。これにより、より少ない流量で大きな負荷容量が得られる。

[0043] ロータRの軸方向Lでは、軸受パッド12Lの外周部からピボット中心Cpまでの寸法L0に対し、

$$L1 / L0 = 0.4$$

となるよう、吹出口31を配置することができる。

[0044] 図8は、ピボット中心に対する吹出口の軸方向における位置と、負荷容量及び合計流量との関係を示す図である。

この図8に示すように、 $L1 / L0 \leq 0.4$ とすると、負荷容量が収束する。

ロータRが回転しているときの動圧は、ピボット中心付近でもっとも高くなる。つまり、負荷能力に与える影響は、ピボット中心付近で大きくなり、仮に吹出口31がピボット中心付近に配置されていると負荷能力が低下するリスクがある。そのため、吹出口31の軸方向における位置と、負荷容量及び合計流量との関係は、上述した $L1 / L0 = 0.4$ とした場合、負荷容量が低下するリスクを低減できる点で有利となる。

[0045] ガス供給機構30は、開閉弁34の開閉等を制御する制御部36を備えている。制御部36では、ロータRを備えた回転機械（図示無し）が起動されたこと、または回転機械（図示無し）の運転が停止されたことを検知した場合、吹出口31から軸受パッド12LとロータRとの間に、静圧ガスを供給する。

[0046] 図9は、ガス供給機構の制御部によって実行される、静圧ガスの供給制御の流れを示す図である。

図9に示すように、制御部36は、ロータRを備えた回転機械（図示無し）を起動するための所定の操作が行われたことを検知すると（ステップS1

の「起動」）、開閉弁３４を開き、ガス供給源３５から静圧ガスを供給する（ステップＳ２）。静圧ガスは、ガス供給路３２を通り、吹出口３１から軸受パッド１２ＬとロータＲとの隙間に送り出される。すると、静圧ガスの圧力によって、ロータＲが自重に抗して浮上し、軸受パッド１２ＬとロータＲとの間に適正なクリアランスが形成される。ここで、静圧ガスの流路が吹出口３１で絞られる（いわゆる自成絞り）ことで、静圧ガスの供給時における負荷能力を高めることができる。

[0047] 静圧ガスの供給開始後、ロータＲの回転を開始する（ステップＳ３）。

[0048] ロータＲの回転を開始してから所定時間が経過したら、制御部３６は、開閉弁３４を閉じる。これにより、静圧ガスの供給が停止され（ステップＳ４）、回転機械は、通常運転状態に移行する。この通常運転状態においては、下側の軸受パッド１２Ｌを含む全ての軸受パッド１２とロータＲとの間に、ロータＲの回転によって周囲から軸受パッド１２とロータＲとの間に引き込まれた気体の動圧による気膜が形成されている。

[0049] 回転機械（図示無し）を停止させるための所定の操作が行われたことを制御部３６が検知すると（ステップＳ１の「停止」）と、制御部３６は、開閉弁３４を開き、ガス供給源３５から静圧ガスを供給する（ステップＳ１２）。静圧ガスは、ガス供給路３２、３３を通り、吹出口３１から軸受パッド１２ＬとロータＲとの隙間に送り出される。

[0050] 制御部３６は、静圧ガスの供給開始後、ロータＲの回転を停止させる（ステップＳ１３）。これにより、ロータＲが通常運転状態から停止するまでの間、気膜の圧力（動圧）が徐々に低下していくが、静圧ガスによって気膜の圧力が補われる。これにより、ロータＲは、気膜を介して軸受パッド１２に支持され続ける。

[0051] 制御部３６は、ロータＲの停止後、開閉弁３４を閉じ、静圧ガスの供給を停止する（ステップＳ４）。

[0052] 上述した第二実施形態のガス軸受装置１０Ｂは、ガス供給機構３０を備える。このガス供給機構３０によって、軸受パッド１２の摺動面１２ｆとロー

タ R の外周面との間に介在する気膜の圧力が低い場合においても、軸受パッド 1 2 の摺動面 1 2 f とロータ R の外周面との間に静圧ガス（気体）を供給することができる。これにより、軸受パッド 1 2 とロータ R とが直接接触するのを抑えることができる。そのため、軸受パッド 1 2 とロータ R との間における摩擦熱の発生を抑えることができる。さらに、供給する静圧ガスによって、軸受パッド 1 2 の摺動面 1 2 f やロータ R を冷却することができる。

したがって、軸受パッド 1 2 の熱変形の発生を抑えることができる。

[0053] ガス供給機構 3 0 は、制御部 3 6 によって、軸受パッド 1 2 の摺動面 1 2 f とロータ R の外周面との間に静圧ガスを供給するタイミングを制御することができる。したがって、軸受パッド 1 2 の摺動面 1 2 f とロータ R の外周面との間の気膜の圧力が低い場合等、適切なタイミングで静圧ガスを供給することができる。

[0054] さらに、吹出口 3 1 は、ロータ R の中心軸よりも下方に位置する軸受パッド 1 2 に形成されている。ロータ R の中心軸よりも下方に位置する軸受パッド 1 2 においては、ロータ R の自重により、軸受パッド 1 2 の摺動面 1 2 f とロータ R の外周面との間の気膜が不足した場合、軸受パッド 1 2 の摺動面 1 2 f とロータ R の外周面とが接触しやすい。そこで、ロータ R の中心軸よりも下方に位置する軸受パッド 1 2 に吹出口 3 1 を形成することで、ロータ R の中心軸よりも下方において、ロータ R と軸受パッド 1 2 とが直接接触するのを抑えることができる。

[0055] ロータ R の回転開始時（言い換えれば、ロータ R の回転を開始させるとき）や回転停止時（言い換えれば、ロータ R の回転を停止させるとき）には、ロータ R の中心軸よりも下方において、気膜が不足し、ロータ R と軸受パッド 1 2 とが直接接触しやすい。そこで、制御部 3 6 により、ロータ R の回転開始時や回転停止時に、ロータ R と軸受パッド 1 2 との間に静圧ガスを供給することで、ロータ R と軸受パッド 1 2 とが直接接触するのを抑えることができる。

[0056] さらに、上記第一実施形態と同様、軸受パッド 1 2 において、ロータ R の

外周面に対向する側に断熱材層 22 を備えることで、ロータ R の回転時に生じる摩擦熱等がパッド本体 21 に伝わるのを抑えることができる。これにより、パッド本体 21 が変形しにくくなる。

さらに、断熱材層 22 を、低い熱伝導率を有する材料で形成することで、断熱材層 22 における断熱効果を高め、パッド本体 21 の変形を有効に抑えることができる。

さらに、パッド本体 21 を、高い熱伝導率を有する材質で形成することで、ロータ R との摺動面 12 f 側から熱が伝わってきたときに、パッド本体 21 に温度分布が生じにくく、パッド本体 21 の熱変形を抑えることができる。

さらに、パッド本体 21 を、線膨張係数が低い材料で形成することで、ロータ R との摺動面 12 f 側から熱が伝わってきても、パッド本体 21 が熱変形しにくくなる。

このようにして、軸受パッド 12 の熱変形を抑えることで、気膜の厚さを小さくし、ガス軸受装置 10 B における負荷容量を高めることが可能となる。

[0057] (その他の変形例)

この発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、この発明の趣旨を逸脱しない範囲において、上述した実施形態に種々の変更を加えたものを含む。すなわち、実施形態で挙げた具体的な形状や構成等は一例にすぎず、適宜変更が可能である。

例えば、上記第二実施形態では、ロータ R の回転開始時や回転停止時に、静圧ガスを供給するようにしたが、静圧ガスを供給するタイミングは、これに限られない。ロータの回転開始時のみ、または回転停止時のみに静圧ガスを供給してもよいし、ロータの通常運転状態であっても静圧ガスを供給するようにしてもよい。

[0058] 軸受パッド 12 の摺動面 12 f を研磨加工によって鏡面仕上げとし、軸受パッド 12 とロータ R との間に生じる摩擦を小さくしてもよい。摺動面 12

fにDLC（ダイヤモンドライクカーボン（Diamond-like Carbon））コーティング等の表面処理を施すことで、摺動面12fの摩擦係数をさらに小さくしてもよい。

これにより、万が一軸受パッド12とロータRとが直接接触した場合に、損傷を防ぐことができる。

[0059] 上記したようなガス軸受装置10A, 10Bで支持するロータRを備えた回転機械は、その用途や構成について何ら限定されるものではない。

産業上の利用可能性

[0060] この発明は、ティルティングパッドガス軸受に適用できる。このティルティングパッドガス軸受によれば、軸受パッドの熱変形を抑えることで、気膜の厚さを小さくし、負荷容量を高めることが可能となる。

符号の説明

[0061] 10A, 10B ガス軸受装置（ティルティングパッドガス軸受）

11 ハウジング

12 軸受パッド

12L 軸受パッド

12f 摺動面

12g 凹部

13 ピボット部材

13a 基端部

13b 先端部

21 パッド本体

22 断熱材層

30 ガス供給機構（気体供給手段）

31 吹出口

32, 33 ガス供給路

34 開閉弁

35 ガス供給源（気体供給源）

3 6 制御部

C 中心軸

C p ピボット中心

R ロータ

請求の範囲

- [請求項1] ロータの周方向に複数配され、前記ロータの外周面との間に気膜を形成して前記ロータを支持する軸受パッドと、
前記軸受パッドを揺動可能に支持するピボット部材と、を備え、
前記軸受パッドは、前記ピボット部材に支持されるパッド本体と、
前記パッド本体において前記ロータの外周面に対向する側に形成され、前記パッド本体よりも熱伝導率の低い材質で形成された断熱材層と、
を備えるティルティングパッドガス軸受。
- [請求項2] 前記断熱材層は、 1.0 W/mK 以下の熱伝導率を有する請求項1に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項3] 前記パッド本体は、 200 W/mK 以上の熱伝導率を有する材質で形成されている請求項1又は2に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項4] 前記パッド本体は、 $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の線膨張係数を有する材質で形成されている請求項1から3の何れか一項に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項5] 前記断熱材層は、前記パッド本体よりも低いヤング率を有する材質で形成されている請求項1から4の何れか一項に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項6] 前記軸受パッドにおいて前記ロータの外周面に対向する摺動面と前記ロータの外周面との間に気体を供給する気体供給手段を備える請求項1から5の何れか一項に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項7] 前記気体供給手段は、
前記軸受パッドの前記摺動面に形成された吹出口と、
前記吹出口に前記気体を供給する気体供給源と、
前記吹出口からの前記気体の吹出を制御する制御部と、
を備える請求項6に記載のティルティングパッドガス軸受。

[請求項8] 前記吹出口は、前記ロータの中心軸よりも下方に位置する前記軸受パッドに形成されている請求項7に記載のティルティングパッドガス軸受。

[請求項9] 前記制御部は、前記ロータの回転開始時及び回転停止時の少なくとも一方で、前記気体を供給する請求項7又は8に記載のティルティングパッドガス軸受。

補正された請求の範囲
[2017年4月28日(28.04.2017) 国際事務局受理]

- [請求項 1] (補正後) ロータの周方向に複数配され、前記ロータの外周面との間に気膜を形成して前記ロータを支持する軸受パッドと、
前記軸受パッドを揺動可能に支持するピボット部材と、を備え、
前記軸受パッドは、前記ピボット部材に支持されるパッド本体と、
前記パッド本体において前記ロータの外周面に対向する側に形成され、前記パッド本体よりも熱伝導率の低い材質で形成された断熱材層と、
を備え、
前記軸受パッドは、湾曲した形状を有し、湾曲方向外周側の外周面に凹部が形成され、
前記ピボット部材の基端部は、前記ハウジングに固定され、
前記ピボット部材は、前記ハウジングを貫通し、前記ロータの中心軸に向かって前記ハウジングの内部空間に突出する突出部を備え、
前記ピボット部材の前記突出部は、前記軸受パッドに形成された前記凹部に突き当たるように構成されているティルティングパッドガス軸受。
- [請求項 2] 前記断熱材層は、1. 0 W/mK 以下の熱伝導率を有する請求項 1 に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項 3] 前記パッド本体は、2 0 W/mK 以上の熱伝導率を有する材質で形成されている請求項 1 又は 2 に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項 4] 前記パッド本体は、 $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下の線膨張係数を有する材質で形成されている請求項 1 から 3 の何れか一項に記載のティルティングパッドガス軸受。
- [請求項 5] 前記断熱材層は、前記パッド本体よりも低いヤング率を有する材

質で形成されている請求項 1 から 4 の何れか一項に記載のティルティングパッドガス軸受。

[請求項 6] 前記軸受パッドにおいて前記ロータの外周面に対向する摺動面と前記ロータの外周面との間に気体を供給する気体供給手段を備える請求項 1 から 5 の何れか一項に記載のティルティングパッドガス軸受。

[請求項 7] 前記気体供給手段は、
前記軸受パッドの前記摺動面に形成された吹出口と、
前記吹出口に前記気体を供給する気体供給源と、
前記吹出口からの前記気体の吹出を制御する制御部と、
を備える請求項 6 に記載のティルティングパッドガス軸受。

[請求項 8] (補正後) 前記吹出口は、前記ロータの前記中心軸よりも下方に位置する前記軸受パッドに形成されている請求項 7 に記載のティルティングパッドガス軸受。

[請求項 9] 前記制御部は、前記ロータの回転開始時及び回転停止時の少なくとも一方で、前記気体を供給する請求項 7 又は 8 に記載のティルティングパッドガス軸受。

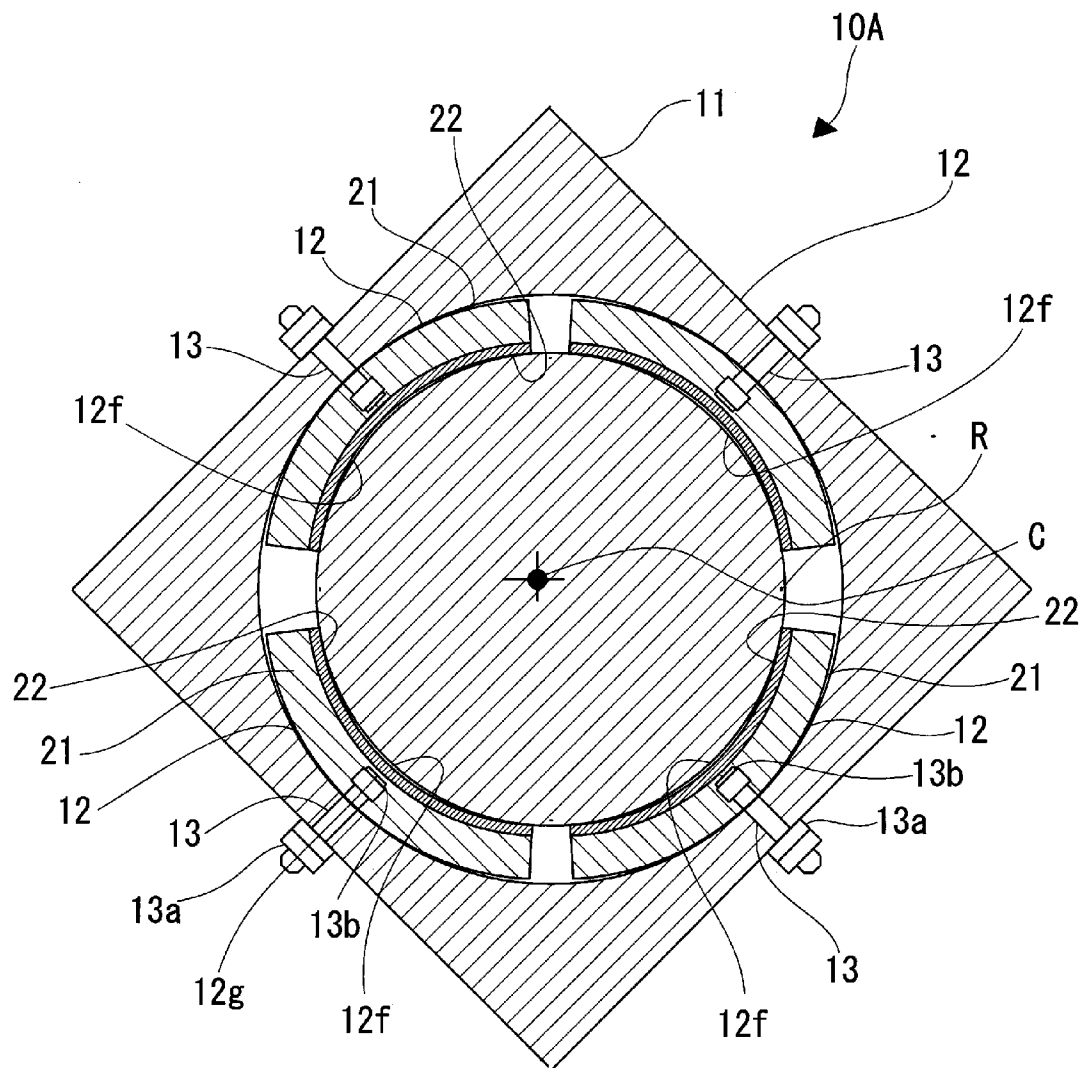
条約第19条(1)に基づく説明書

本願請求項1の補正は、出願当初明細書の[0019], [0021], [0022]段落の記載に基づいています。

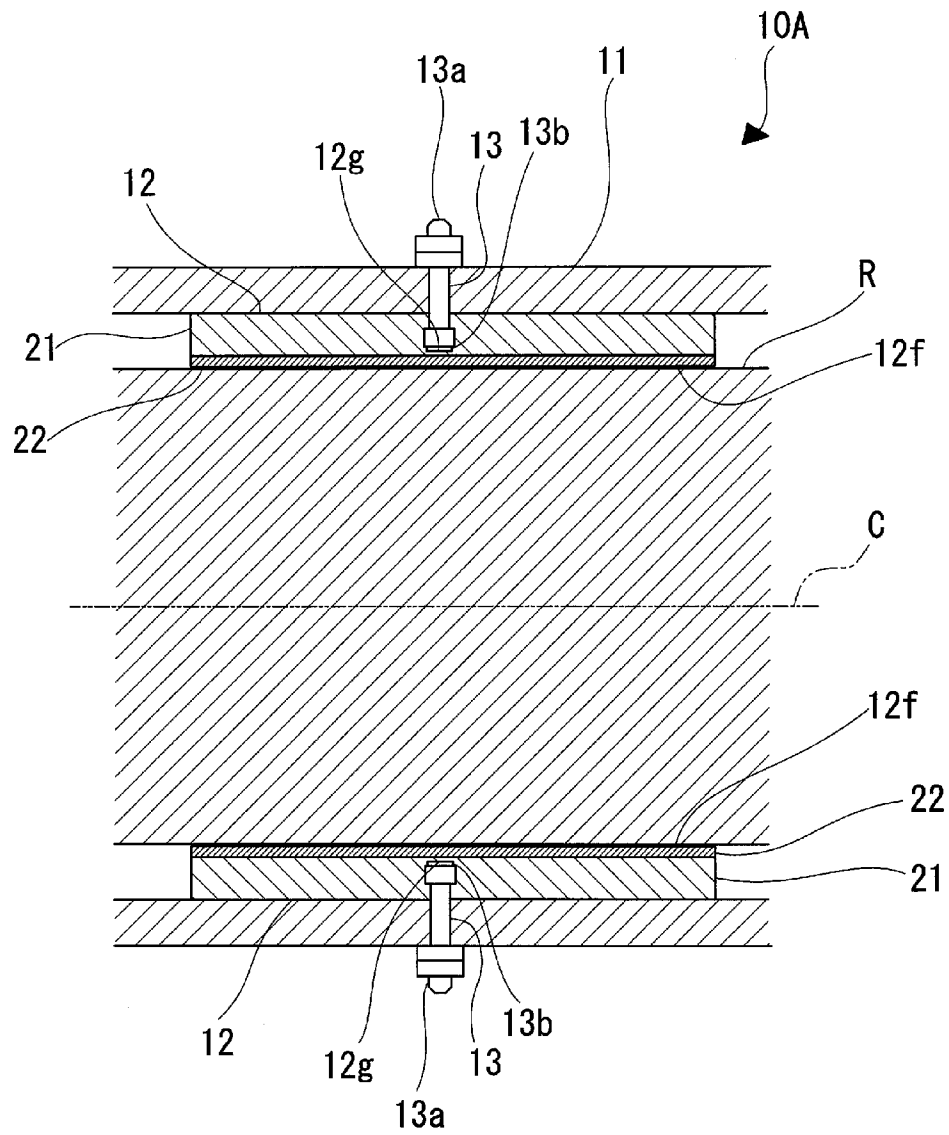
本願請求項8の補正は、補正前の「中心軸」との記載を「前記中心軸」としたものであって、明確化を目的としています。

したがって、当該補正は、新規事項の追加ではありません。

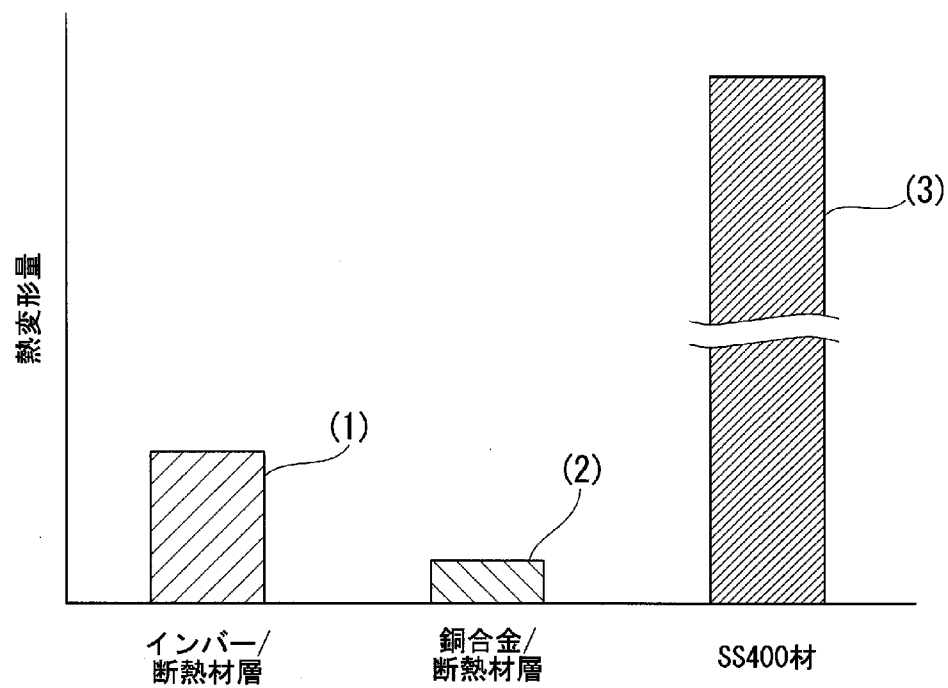
[図1]



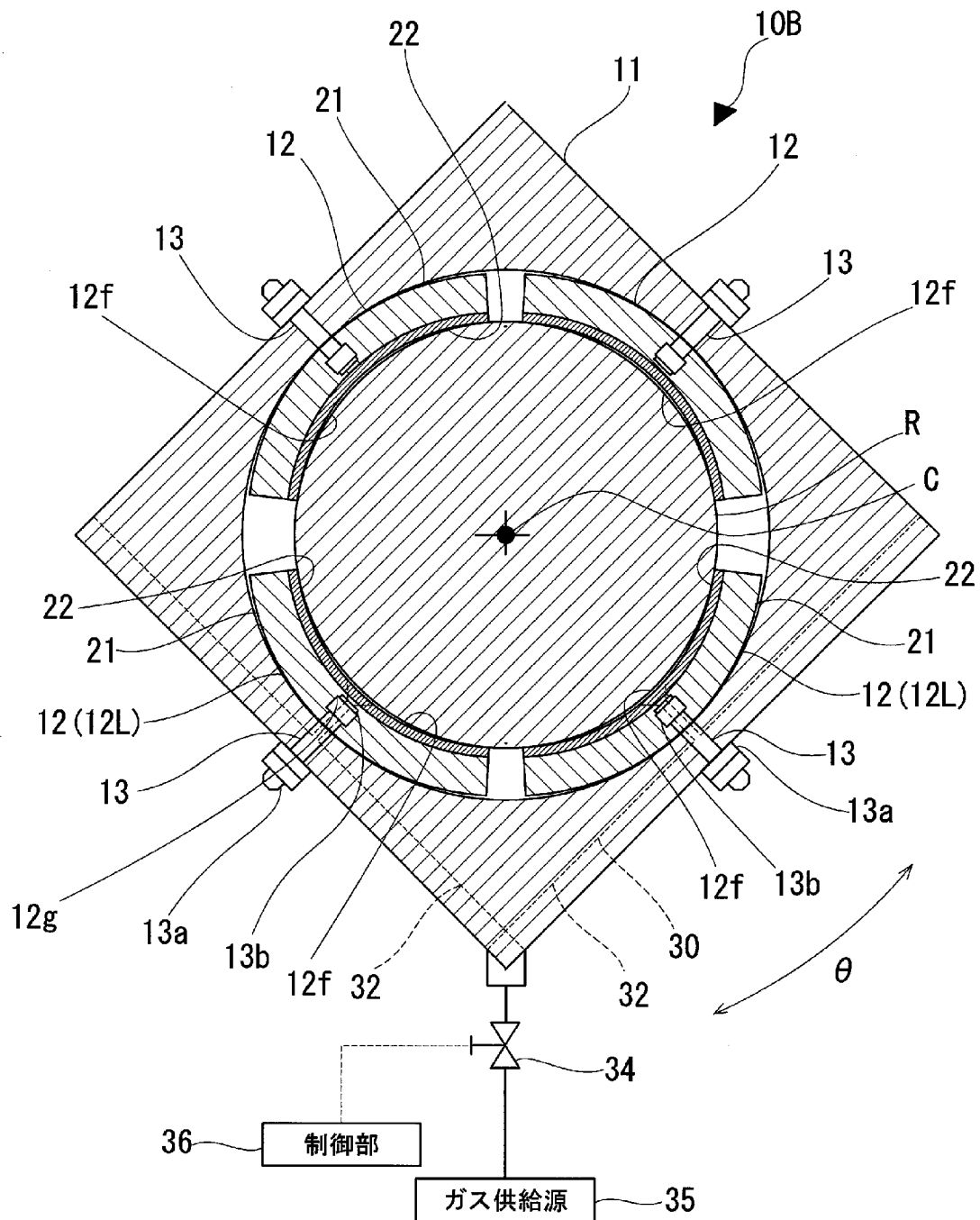
[図2]



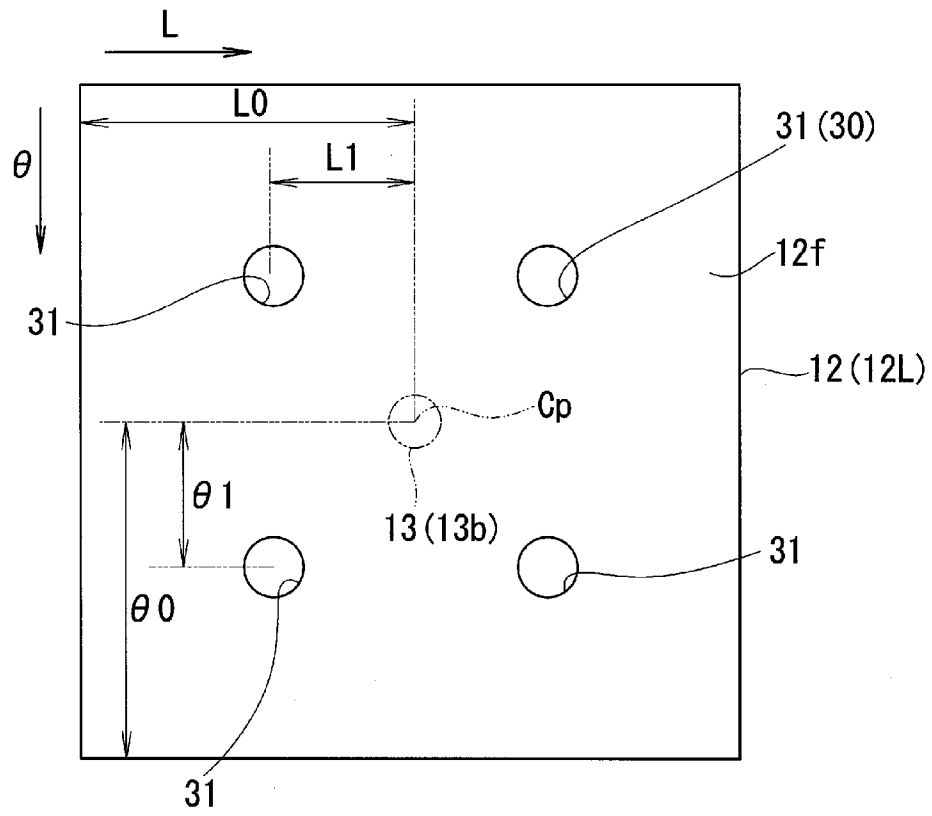
[図3]



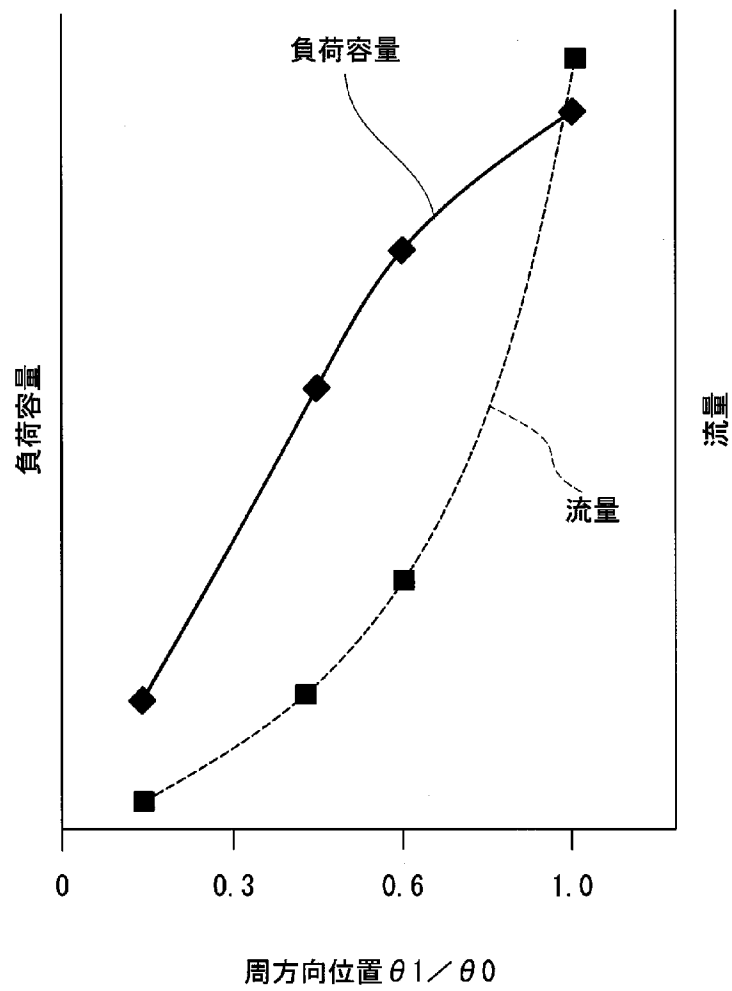
[図4]



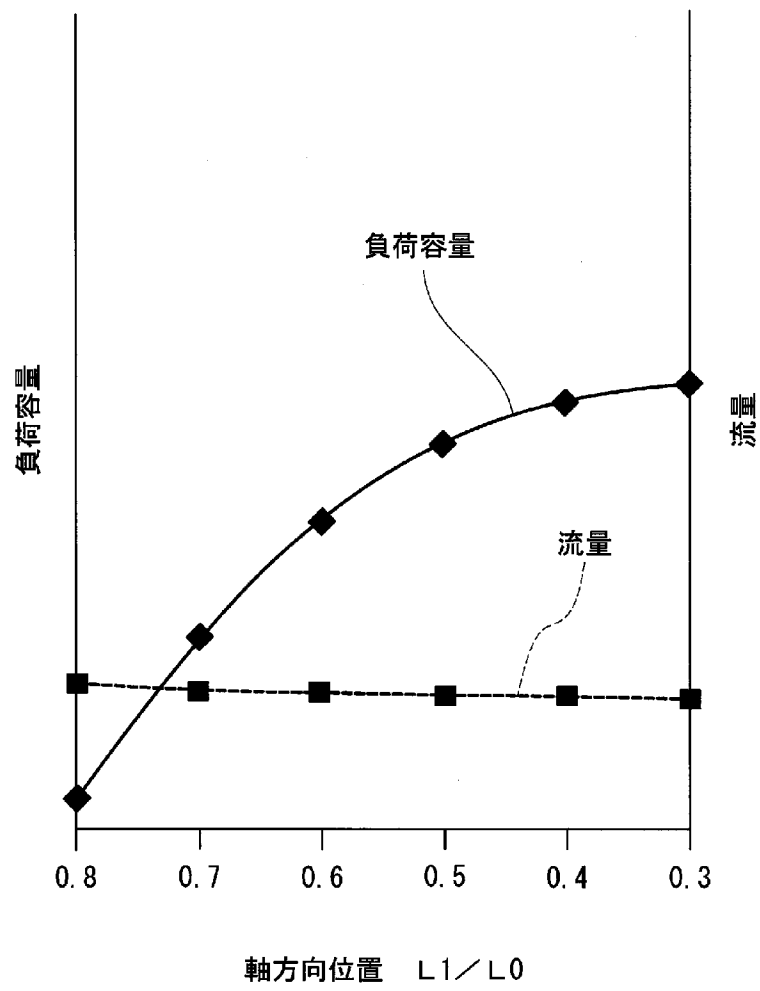
[図6]



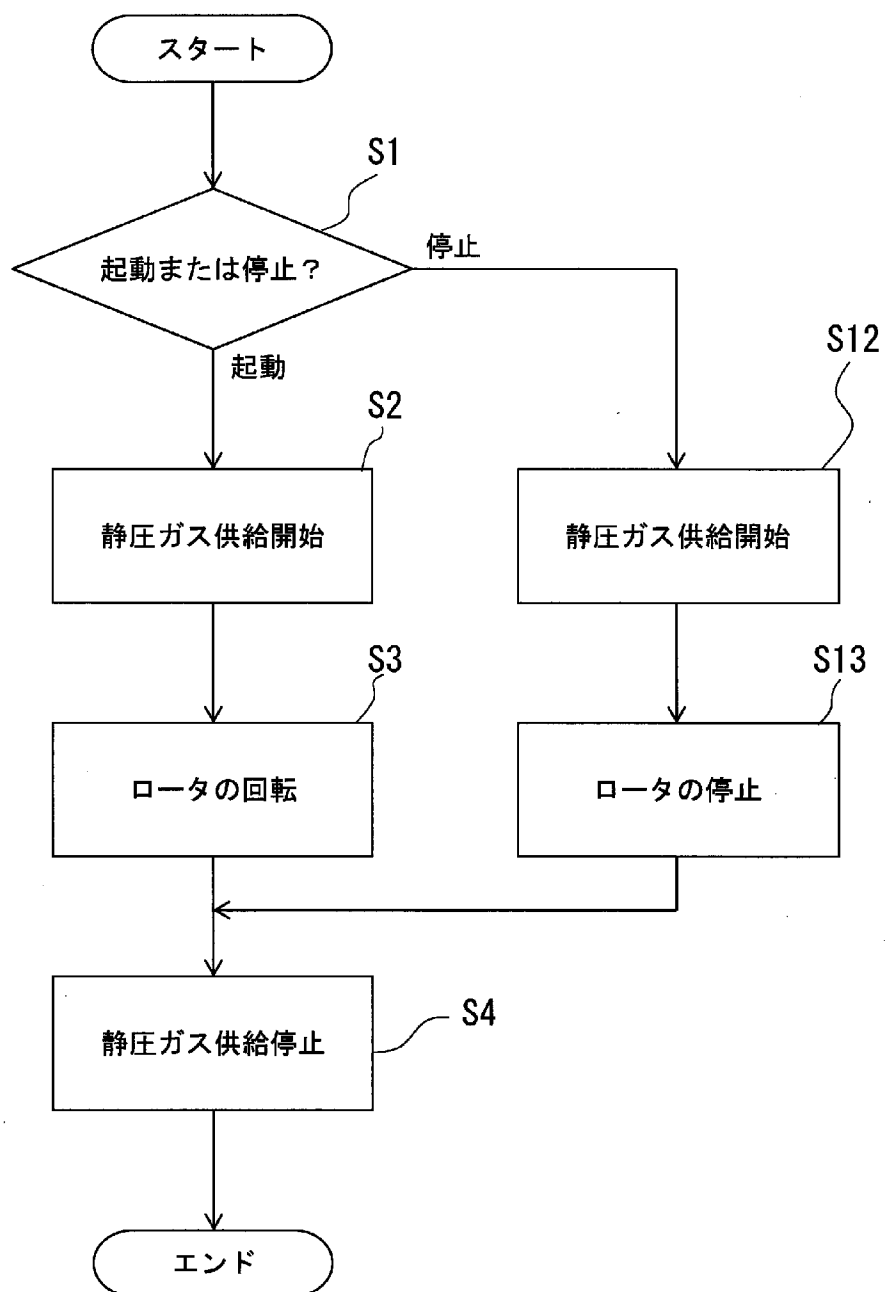
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/088673

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C17/03(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F01D25/16(2006.01)i, F04D29/057(2006.01)i, F16C33/06(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)

F16C17/03, F01D25/00, F01D25/16, F04D29/057, F16C33/06

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	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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 Y	JP 2001-124062 A (Hitachi, Ltd.), 08 May 2001 (08.05.2001), paragraphs [0017], [0025]; fig. 16 (Family: none)	1-2 3-9
Y	JP 2005-282692 A (Daido Metal Co., Ltd.), 13 October 2005 (13.10.2005), paragraph [0033] (Family: none)	3-9
Y	JP 8-105447 A (Director General, Agency of Industrial Science and Technology), 23 April 1996 (23.04.1996), paragraphs [0035], [0038] & US 5700546 A columns 7 to 8 & EP 685439 A2	4-9

☒ 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
21 February 2017 (21.02.17)

Date of mailing of the international search report
28 February 2017 (28.02.17)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/088673

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 084391/1973 (Laid-open No. 31342/1975) (Hitachi, Ltd.), 07 April 1975 (07.04.1975), page 2, lines 9 to 14; page 3, lines 6 to 19; fig. 2 (Family: none)	6-9
A	JP 7-317752 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 08 December 1995 (08.12.1995), paragraphs [0009], [0012]; fig. 1 (Family: none)	1-9
A	JP 2015-152147 A (Mitsubishi Hitachi Power Systems, Ltd.), 24 August 2015 (24.08.2015), paragraphs [0003] to [0005], [0027] to [0028] (Family: none)	1-9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16C17/03(2006.01)i, F01D25/00(2006.01)i, F01D25/16(2006.01)i, F04D29/057(2006.01)i, F16C33/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. F16C17/03, F01D25/00, F01D25/16, F04D29/057, F16C33/06

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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 Y	JP 2001-124062 A (株式会社日立製作所) 2001.05.08, 段落 0017, 0025, 図 16 (ファミリーなし)	1-2 3-9
Y	JP 2005-282692 A (大同メタル工業株式会社) 2005.10.13, 段落 0033 (ファミリーなし)	3-9
Y	JP 8-105447 A (工業技術院長) 1996.04.23, 段落 0035, 0038 & US 5700546 A, 第 7-8 欄 & EP 685439 A2	4-9

☑ 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

21.02.2017

国際調査報告の発送日

28.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

堀内 亮吾

3 J

4 6 5 1

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 請求項の番号
Y	日本国実用新案登録出願 48-084391 号(日本国実用新案登録出願公開 50-31342 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 (株式会社日立製作所) 1975. 04. 07, 第 2 ページ第 9-14 行, 第 3 ページ第 6-19 行, 第 2 図 (ファミリーなし)	6-9
A	JP 7-317752 A (三菱重工業株式会社) 1995. 12. 08, 段落 0009, 0012, 図 1 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 2015-152147 A (三菱日立パワーシステムズ株式会社) 2015. 08. 24, 段落 0003-0005, 0027-0028 (ファミリーなし)	1-9