(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
2013 年 1 月 24 日(24.01.2013)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2013/011815 A1

(51) 国際特許分類:
B23B 19/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/066482

(22) 国際出願日: 2012 年 6 月 28 日(28.06.2012)

(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 2011-159093 2011 年 7 月 20 日(20.07.2011) JP
特願 2011-159094 2011 年 7 月 20 日(20.07.2011) JP
特願 2011-160973 2011 年 7 月 22 日(22.07.2011) JP
特願 2011-160974 2011 年 7 月 22 日(22.07.2011) JP
特願 2011-160975 2011 年 7 月 22 日(22.07.2011) JP
特願 2011-160976 2011 年 7 月 22 日(22.07.2011) JP
特願 2011-222158 2011 年 10 月 6 日(06.10.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本精工株式会社(NSK Ltd.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎一丁目６番３号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 米山 博樹 (YONEYAMA Hiroki). 岩崎 修(IWASAKI Osamu). 小栗 翔一郎(OGURI Shoichiro). 稲垣 好史(INAGAKI Yoshifumi). 勝野 美昭 (KATSUNO Yoshiaki).

(74) 代理人: 濱田 百合子, 外(HAMADA Yuriko et al.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目７番１３号 虎ノ門イーストビルディング１０階 栄光特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

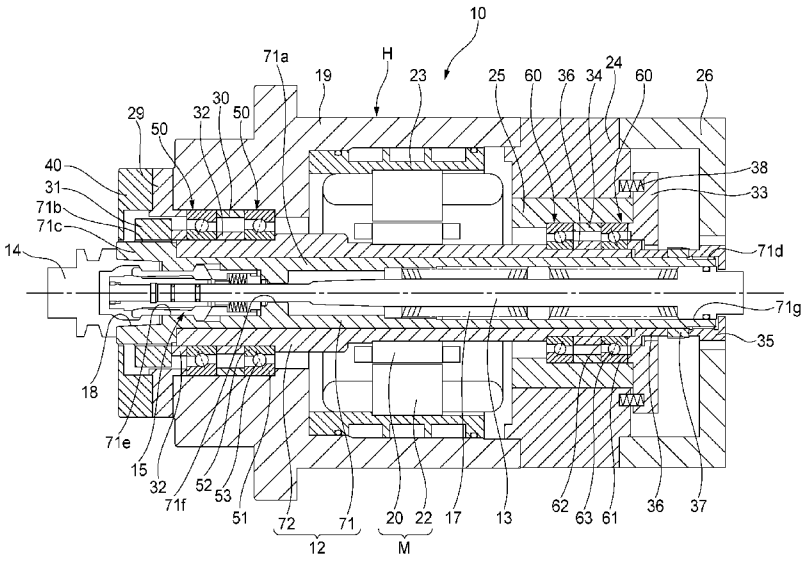
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

[続葉有]

(54) **Title**: MAIN SHAFT APPARATUS

(54) 発明の名称 : 主軸装置

[図1]



(57) **Abstract**: A main shaft apparatus (10) of a built-in motor system, wherein a rotary shaft (12) is provided with: a first cylindrical component (71) made of metal material; and a second cylindrical component (72) made of carbon fibre composite material, which is positioned on the outer peripheral surface of the first cylindrical component (71) and into the outer peripheral surface of which a rotor (20) fits. By virtue of this, the temperature increase of the rotary shaft and a bearing due to the heat produced by the rotor can be controlled and processing precision can be improved.

(57) 要約: モータビルトイン方式の主軸装置１０において、回転軸１２は、金属材料からなる第１円筒部材７１と、第１円筒部材７１の外周面に配置され、外周面にロータ２０が嵌合する、炭素繊維複合材料からなる第２円筒部材７２と、を備える。これにより、ロータの発熱による回転軸や軸受の温度上昇を抑制することができ、加工精度を向上することができる。

WO 2013/011815 A1

(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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 主軸装置

技術分野

[0001] 本発明は、主軸装置に関し、特に、門形マシニングセンタなどの主軸ヘッドや、多軸制御の工作機械等に適用され、ｄｍｎが１００万以上の高速回転可能な主軸装置に関する。

背景技術

[0002] 工作機械等に適用される主軸装置の回転軸は、高速回転を行いながら、加工荷重を受けるため、加工荷重に対する剛性、あるいは、高速回転時の遠心力に対する変形抑制特性などを維持することが必要であり、その材質としては、金属が主に使用される。また、回転軸は、工具を交換して使用することから、耐摩耗性や硬さも必要である。このため、その金属の物性に応じて、固有値や熱膨張に限界があり、回転速度や加減速時間も限られている。

[0003] 特許文献１に記載の工作機械では、回転軸に繊維強化複合材料を用いた横中ぐり盤が記載されている。この横中ぐり盤では、回転しながら、スリーブ内で軸方向に移動する回転軸が開示されており、繊維強化複合材料を用いて、軽量化・熱膨張の低減化を図るとともに、回転軸として要求される耐衝撃性、表面硬度、機械的加工による強度の観点から、回転軸の必要箇所に金属やセラミックを設けている。

[0004] また、特許文献２に記載の主軸装置では、回転軸を空気軸受によって回転可能に支持するとともに、回転軸の外周面に繊維層を形成して、回転軸の膨張を抑えるとともに、剛性を向上することが記載されている。さらに、特許文献３に記載の主軸装置では、回転軸の転がり軸受が取り付けられる外周面の両側に溝を形成して、溝内に炭素繊維層を形成することで、遠心力による膨張を抑制することが記載されている。

[0005] また、特許文献４に記載の工具ホルダでは、テーパ部とフランジ部と工具保持部とが一体に形成され、工具保持部に形成されたテーパ穴に工具に装着

されたコレットを挿入し、工具保持部の外周に形成されたねじに螺合するナットを締め付けて、工具を固定するようにしており、ナットの外周面に炭素繊維層を巻き付けてナットの変形を防止するものが記載されている。特許文献５に記載の工具ホルダにおいても、ナットの外周面に炭素繊維層を巻き付け、遠心力によるナットの膨張抑制を図ったものが開示されている。

[0006] また、従来、大物ワークと工具との三次元的な相対移動によって、切削、穴あけ等の加工を行なう複合加工工作機械として、例えば、ワークを取り付けたテーブルを直進往復運動させると共に、工具を有する主軸をＸ軸、Ｙ軸、Ｚ軸方向に制御する門形マシニングセンタが使用されている。

[0007] 門形マシニングセンタでは、２つのコラムによって支持されたクロスレールにサドルが取り付けられ、サドルに対して上下方向に移動するラムの端部に主軸ヘッドが取り付けられ、さらに、この主軸ヘッドの２本の支持アームにブラケットを介して主軸装置が旋回可能に取り付けられる。

[0008] 従来、このような工作機械に配設される主軸としては、炭素繊維又はアラミド繊維が２種類の捲付角度で巻き付けられた繊維強化複合材料からなる中空円筒状構造物と、中空円筒状構造物に内嵌固定された低熱膨張のインバー合金と、インバー合金に内嵌固定される中空円筒部材と、中空円筒状構造物の外周面に形成された被覆層である金属又はセラミックス層と、工具が嵌挿されるテーパ面を有する主軸端部材と、を備える主軸が開示されている（例えば、特許文献６参照。）。当該主軸においては、中空円筒状構造物と中空円筒部材との間に、金属又はセラミックスより低熱膨張のインバー合金を介装することによって、軽量化と共に、主軸の軸方向の熱膨張を少なくして加工精度の向上を図っている。

[0009] さらに、従来の主軸装置では、主軸の前側を固定側軸受で、主軸の後側を自由側軸受で支持し、自由側軸受の外周に軸受スリーブを外嵌して配置し、軸受スリーブとその外側に外嵌するハウジングとの間のはめあいすきまを、運転時の主軸の熱膨張を考慮して数μｍ～数十μｍ程度に設定したものがある。これにより、主軸装置は、モータの発熱や軸受の熱によって、回転側で

ある主軸の温度が固定側であるハウジングの温度より高くなり、主軸が軸方向に相対的に伸びるが、この相対膨張量差を軸受スリーブの摺動によって、主軸の後側（又は前側）に逃がすように構成されている。

[0010] 但し、軸受の発熱やロータの発熱が増加すると軸受の外側に設けている軸受スリーブに熱が伝わり軸受スリーブが熱膨張することにより、軸受スリーブとハウジングとのすきまが減少する。その結果、軸受スリーブの摺動が妨げられ摺動不良となり、固定側軸受と自由側軸受に突っ張り力が発生し、軸受の転がり接触部の面圧が増加し、予圧増加や焼付きが発生する。

[0011] また、熱膨張を考慮し、摺動性不良が起きないように初期にすきま量を大きく設けると、低速（低発熱）時に軸受スリーブとハウジング間での振動が発生したり、この振動が原因でフレッチング等による本部位の摩耗やかじりなどの問題があった。その結果、摩耗粉の軸受内部への侵入による軸受の損傷、あるいは、かじりによる摺動不良が発生し、逆効果となる場合もあった。

[0012] 特許文献７に記載の主軸装置では、軸受スリーブ、後蓋、外輪抑えの各部材を鋼よりも熱膨張係数が小さい、インバー、スーパーインバーなどの材質で構成させ、初期設定隙間の変化を小さくすることが記載されている。

[0013] また、従来、線膨張係数が異なる部材同士を嵌合する際、例えば、鋼からなる軸と、軸より線膨張係数が小さなセラミックスからなる内輪と、内周面が内輪の外周面と嵌合して軸と固く結合する間座と、を備え、軸と内輪とをすきま嵌め嵌合すると共に間座で内輪を押え込むようにして、温度上昇時に軸の熱膨張によって内輪に応力が作用しないようにして、内輪の破損を防止するようにした軸と環体との取付装置が開示されている（例えば、特許文献８参照。）。

先行技術文献

特許文献

[0014] 特許文献1：日本国特開平２－１６７６０２号公報

特許文献2：日本国特開平７－５１９０３号公報

特許文献3：日本国特開平６－２２６５０６号公報（第３図）

特許文献4：日本国特開平６－２１８６０８号公報

特許文献5：日本国特開平６－２２６５１６号公報

特許文献6：日本国特許第２７５６１５５号公報

特許文献7：日本国特開２００６－８８２４５号公報

特許文献8：日本国特開平１－２９５０２５号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0015] ところで、高速回転可能な主軸装置として、回転軸を支持する前側軸受と後側軸受との間に、モータが内蔵されたモータビルトイン方式のものが使用されている。このため、回転軸に外嵌されるロータが発熱すると、この熱が回転軸に伝わって、回転軸が膨張してしまい、加工精度に影響する可能性があった。また、回転軸に伝わった熱は、軸受の内輪にも伝わり、内輪が温度上昇して、内外輪で温度差が生じるため、軸受の予圧が過大となり、転がり接触部のＰＶ値が上昇し、焼き付きなどの不具合が発生する虞がある。

[0016] 通常、主軸装置全体の昇温による熱変位を抑えるため、ハウジング内のステータや軸受外径部近傍に冷却油を循環させる方法が用いられているが、冷却効果は回転軸には影響しにくく、回転軸の温度がハウジングの温度よりも高くなるという不均衡が生じる。このような不均衡状態により、軸方向熱膨張差が生じると、固定側の前側軸受と自由側の後側軸受の相対位置が変動し、後側軸受のスライド不具合が生じた場合には、軸受間の突っ張りによる異常荷重が発生し、軸受の焼付きなどの損傷につながる。

[0017] 特許文献１～３に記載の主軸装置では、モータビルトイン式のものについて記載されておらず、上記課題を認識するものではない。

[0018] また、工作機械の主軸用軸受は、高回転精度、且つ低振動特性が要求されるため、組込時に軸受内部のすきまをなくした、いわゆる予圧が付与された状態で組み込まれている。一方、従来のモータビルトイン方式の主軸装置においては、ロータからの熱が金属製の回転軸を介して軸受内輪に伝わるため

、軸受の内輪温度が外輪温度より高くなる傾向がある。この内外輪温度差の影響により内外輪の熱膨張が異なり、予圧荷重に加えて軸受の内部荷重が上昇する。更に、高速回転時（特に、ｄｍｎ値で１００万以上）には、玉（転動体）に作用する遠心力も加わり、軸受の内部荷重が過大となって軸受の焼付きなどの障害が発生する虞があった。

[0019] 特許文献３～５では、縦弾性係数が大きく、且つ比重が小さい炭素繊維層をナットや主軸の外周側に形成し、炭素繊維層の機械的強度を利用してナットや主軸の膨張を抑制するようにしたものであり、内輪の温度上昇や回転軸の伸びを抑制することについては考慮されていない。また、モータビルトイン式のものについて記載されておらず、上記課題を認識するものではない。

[0020] また、特許文献６に開示されている工作機械の主軸は、熱膨張による主軸の軸方向の熱膨張を抑制して加工精度の向上を図ったものであり、主軸から主軸が装着されるヘッド（ハウジング）に伝達される熱の影響については考慮されていない。また、主軸の内面側に低熱膨張のインバー合金が介装されるため、構造が複雑であり、製作し難い問題があった。

[0021] さらに、特許文献７に記載の主軸装置では、軸受スリーブをインバー、スーパーインバーなどの鋼よりも熱膨張係数が小さい材質で構成させ、初期設定隙間の変化を小さくすることが記載されており、また、これらの材料は熱伝達率が低いことが知られている。しかしながら、これらの材料は、振動に対する減衰性が低く、使用される材料により、ある数値に固定されるなど、改善の余地があった。

[0022] また、近年、工作機械主軸の高速回転化に伴い、これに対応した最適条件の設定が要望されており、高速回転に対応した軸受及びモータ設計仕様が不可欠となっている。即ち、高速回転になると、軸受内輪みぞの遠心力による膨張が大きくなることに加え、モータや主軸の温度上昇の影響で内輪の熱膨張（特に、径方向熱膨張）も大きくなる。この２つの要因が重なり、例えばアンギュラ玉軸受においては、内部すきまが減少し、軸受に予め予圧を付与した構造の場合、軸受の予圧が更に増大する。特に、高速回転中においては

、内輪みぞと玉、及び外輪みぞと玉間の転がり接触部のＰＶ値（Ｐ：接触面圧、Ｖ：すべり速度）が上昇し、潤滑油膜切れ等の潤滑不良が生じて焼付の不具合が発生する虞がある。

[0023] 特許文献８に記載の装置は、軸と内輪とをすきま嵌め嵌合としており、軸と内輪とを零以上のしめしろ嵌合とする主軸装置には適用することができない。

[0024] 本発明は、上述した事情に鑑みてなされたものであり、第１の目的は、ロータの発熱による回転軸や軸受の温度上昇を抑制することができ、加工精度を向上することができる主軸装置を提供することにある。

また、本発明の第２の目的は、主軸装置の熱が工作機械本体側に伝わり難くすることにより、工作機械本体の熱変形を小さくし加工精度を向上させるようにした主軸装置を提供することにある。

さらに、本発明の第３の目的は、ハウジングと軸受スリーブとの摺動部の初期隙間を小さくすることができ、低速時の振動を低減できるとともに、振動に対する減衰性が高く、高速回転時にも低振動な主軸装置を提供することにある。

加えて、本発明の第４の目的は、高速回転する回転軸において、熱膨張及び遠心力が軸受に及ぼす影響を抑制して、軸受の予圧の増大に起因する焼付きなどの不具合を防止することができる主軸装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0025] 本発明の上記目的は、下記の構成により達成される。

（１） 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸に外嵌されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記回転軸は、

金属材料からなる第１円筒部材と、

該第１円筒部材の外周面に配置され、外周面に前記ロータが嵌合し、前記第１円筒部材の金属材料より比弾性率が大きく、且つ線膨張係数が小さい材料からなる第２円筒部材と、

を有することを特徴とする主軸装置。

（２） 前記ロータは、前記第２円筒部材にしめしろを持って嵌合していることを特徴とする（１）に記載の主軸装置。

（３） 前記第１円筒部材は、前記第２円筒部材が配置される小径部と、前記前側軸受の軸方向位置を規制するナットが締め付けられる雄ねじ部を有する大径部と、を有することを特徴とする（１）又は（２）に記載の主軸装置。

（４） 前記前側軸受及び前記後側軸受は、前記第２円筒部材に外嵌されていることを特徴とする（１）～（３）のいずれかに記載の主軸装置。

（５） 前記第２円筒部材の前記ロータが嵌合する外周面から軸方向に離間した位置の外周面に配置され、外周面に前記前側又は後側軸受の内輪が嵌合し、金属材料からなる第３円筒部材、をさらに備えることを特徴とする（１）～（３）のいずれかに記載の主軸装置。

（６） 前記第２円筒部材は、前記第３円筒部材が配置される外周面が小径となるように段差部を有し、

前記第３円筒部材は、前記段差部の軸方向側面と前記内輪の軸方向端面との間に挟持されるフランジ部を有することを特徴とする（５）に記載の主軸装置。

（７） 前記第３円筒部材は、前記第２円筒部材の外周面に嵌合する薄肉スリーブであることを特徴とする（５）又は（６）に記載の主軸装置。

（８） 前記第３円筒部材は、前記第２円筒部材の外周面に電気的又は化学的手法により結合させた薄膜部材であることを特徴とする（５）又は（６）に記載の主軸装置。

（９） 前記第３円筒部材は、前記前側軸受と前記後側軸受の各内輪がそれ

ぞれ嵌合する二つの第３円筒部材を有することを特徴とする（５）～（８）のいずれかに記載の主軸装置。

（１０）　前記第２円筒部材は、炭素繊維複合材料であることを特徴とする（１）～（９）のいずれかに記載の主軸装置。

（１１）　回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸と一体回転可能に配置されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記回転軸と前記ロータとの間には、前記回転軸よりも熱伝達率が小さな円筒部材が配置されることを特徴とする主軸装置。

（１２）　前記円筒部材は、炭素繊維複合材料から形成されることを特徴とする（１１）に記載の主軸装置。

（１３）　回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸と一体回転可能に配置されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記ロータと前記回転軸との間には、ロータスリーブが設けられ、

前記ロータスリーブと前記回転軸との対向面のいずれか一方には、前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材が部分的に介在することを特徴とする主軸装置。

（１４）　前記ロータスリーブの内周面には、複数の環状溝を画成するように環状の内向き凸部が形成されており、

前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、前記複数の環状溝に配置されるとともに、

前記ロータスリーブの環状の内向き凸部と前記回転軸の外周面とは、しまり嵌めで嵌合することを特徴とする（１３）に記載の主軸装置。

（１５） 前記回転軸の外周面には、複数の環状溝を画成するように環状の外向き凸部が形成されており、

前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、前記複数の環状溝に配置されるとともに、

前記ロータスリーブの内周面と前記回転軸の環状の外向き凸部とは、しまり嵌めで嵌合することを特徴とする（１３）に記載の主軸装置。

（１６） 前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、炭素繊維複合材料から形成されることを特徴とする（１３）～（１５）のいずれかに記載の主軸装置。

（１７） 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸と一体回転可能に配置されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記前側及び後側軸受との間で、且つ、前記回転軸の内周面と、前記ロータ又は前記ロータが取り付けられるロータスリーブが嵌合する位置から離れた前記回転軸の外周面との少なくとも一ヶ所には、前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材が配置されることを特徴とする主軸装置。

（１８） 前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、炭素繊維複合材料から形成されることを特徴とする（１７）に記載の主軸装置。

（１９） 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

を備える主軸装置であって、

前記ハウジングは、少なくとも前記後側軸受に外嵌する金属製のインナー

スリーブと、前記インナースリーブに外嵌する炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブと、を備えることを特徴とする主軸装置。

（２０）　前記インナースリーブは前記前側軸受及び前記後側軸受に外嵌し、

前記インナースリーブと前記アウタースリーブとはすきま嵌めで嵌合することを特徴とする（１９）に記載の主軸装置。

（２１）　前記ハウジングは、前記インナースリーブ及び前記アウタースリーブの軸方向前方に、前側軸受ハウジングを更に備え、

前記前側軸受に前記前側軸受ハウジングが外嵌することを特徴とする（１９）に記載の主軸装置。

（２２）　前記インナースリーブと前記アウタースリーブとの嵌合部に、冷媒を循環供給する冷媒供給路が配置されることを特徴とする（１９）～（２１）のいずれかに記載の主軸装置。

（２３）　前記冷媒供給路を外部から封止するシール部材が、前記インナースリーブと前記アウタースリーブとの嵌合部の軸方向両端部に配置されることを特徴とする（２２）に記載の主軸装置。

（２４）　回転軸と、

内輪が前記回転軸の一端側に外嵌され、外輪がハウジングに固定される固定側軸受と、

前記回転軸の他端側に配置され、前記ハウジングにすきま嵌めで嵌合する軸受スリーブと、

内輪が前記回転軸の他端側に外嵌され、外輪が前記軸受スリーブに嵌合し、前記固定側軸受と協働して前記回転軸を回転自在に支持する自由側軸受と、

を有する主軸装置であって、

前記軸受スリーブは、該軸受スリーブと同じ軸方向長さを有する、環状の炭素繊維複合材料を少なくとも有することを特徴とする主軸装置。

（２５）　前記軸受スリーブは、その外径側に配置され、前記ハウジングに

嵌合する外周面を有する環状の外側金属部材と、その内径側に配置され、前記外輪に嵌合する内周面を有する環状の内側金属部材と、前記環状の外側金属部材と前記環状の内側金属部材との間に配置される前記炭素繊維複合材料と、を有することを特徴とする（２４）に記載の主軸装置。

（２６）　前記軸受スリーブは、その外径側に配置され、前記ハウジングに嵌合する外周面を有する環状の外側金属部材と、該外側金属部材の内側に配置され、前記外輪に嵌合する内周面を有する前記炭素繊維複合材料と、を有することを特徴とする（２４）に記載の主軸装置。

（２７）　前記軸受スリーブは、その外径側に配置され、前記ハウジングに嵌合する外周面を有する前記炭素繊維複合材料と、該炭素繊維複合材料の内側に配置され、前記外輪に嵌合する内周面を有する環状の内側金属部材と、を有することを特徴とする（２４）に記載の主軸装置。

（２８）　前記固定側軸受及び自由側軸受は、定圧予圧が付与される構成であり、

前記軸受スリーブには、前記自由側軸受の外輪の一端面に当接する外輪押さえが設けられることを特徴とする（２４）～（２７）のいずれかに記載の主軸装置。

（２９）　前記固定側軸受及び自由側軸受は、定位置予圧が付与される構成であり、

前記自由側軸受の外輪と前記軸受スリーブとは、すきま嵌めで嵌合しており、前記自由側軸受の外輪は、前記軸受スリーブから径方向内向きに突出する肩部と、前記軸受スリーブに固定される外輪押さえと、によって軸方向に位置決めされることを特徴とする（２４）～（２７）のいずれかに記載の主軸装置。

（３０）　回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

を備え、

前記回転軸と、前記前側及び後側軸受の内輪と、が零以上のしめしろで嵌合する主軸装置であって、

前記前側及び後側軸受の少なくとも一方の内輪の両側面に対向配置されて前記回転軸に外嵌する一対の内輪間座を備え、

前記内輪間座は、外周側から軸方向に突出して前記内輪の外周面の肩部に外嵌する鍔状突部を有し、前記内輪より熱膨張係数が小さく、且つ比弾性率が大きい材料から形成されることを特徴とする主軸装置。

（３１） 前記内輪の肩部の外周面は、軸方向端部に向かうに従って直径が次第に小さくなる外周テーパ部を有し、

前記内輪間座の鍔状突部の内周面は、軸方向端部に向かうに従って直径が次第に大きくなる内周テーパ部を有し、

前記内輪の外周テーパ部と、前記内輪間座の鍔状突部の内周テーパ部と、が嵌合することを特徴とする（３０）に記載の主軸装置。

（３２） 前記内輪間座は、円環状に形成されて前記回転軸に外嵌する本体部と、該本体部とは別体に形成された前記鍔状突部と、を有し、

前記鍔状突部は、前記本体部の外周面に締結固定されることを特徴とする（３０）又は（３１）に記載の主軸装置。

（３３） 前記鍔状突部は、円環状に形成されることを特徴とする（３０）～（３２）のいずれかに記載の主軸装置。

（３４） 前記鍔状突部は、周方向に離間する複数の突部から形成されることを特徴とする（３０）～（３２）のいずれかに記載の主軸装置。

（３５） 前記内輪間座は、炭素繊維複合材料により形成されることを特徴とする（３０）～（３４）のいずれかに記載の主軸装置。

（３６） 前記内輪間座に加え、更に前記回転軸が炭素繊維複合材料により形成されることを特徴とする（３５）に記載の主軸装置。

（３７） 前記主軸装置は、前記前側及び後側軸受との間で前記回転軸に外嵌されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータが配設されるモータビルトイン方式の主軸装置であることを特徴とする（

３０）～（３６）のいずれかに記載の主軸装置。

発明の効果

[0026] 本発明の主軸装置によれば、回転軸は、金属材料からなる第１円筒部材と、第１円筒部材の外周面に配置され、外周面にロータが嵌合し、第１円筒部材の金属材料より比弾性率が大きく、且つ線膨張係数が小さい材料からなる第２円筒部材と、を有する。したがって、第２円筒部材によって、ロータの発熱による回転軸や軸受の温度上昇を抑制することができ、加工精度を向上することができる。

[0027] また、第２円筒部材のロータが嵌合する外周面から軸方向に離間した位置の外周面に配置され、外周面に前側又は後側軸受の内輪が嵌合し、金属材料からなる第３円筒部材、をさらに有する。これにより、第３円筒部材と軸受の内輪との表面硬度を同等とすることができ、両者間のしめしろ嵌合を容易に行うことができ、且つ、軸受を交換するときに、嵌め合い面にかじりや傷などの不具合の発生を抑えることができる。加えて、第３円筒部材と軸受内輪内周面の嵌合部（嵌合部円周方向全面が伝熱面積となる）より軸受の発熱分を内輪間座を介して、前側軸受ナットや第１円筒部材に伝えることができる。つまり、軸受内輪で熱が停滞し、軸受内外輪温度差によって予圧過大となり、焼付きなどの不具合が発生するのを抑止することができる。

[0028] さらに、本発明の主軸装置によれば、回転軸とロータとの間には、回転軸よりも熱伝達率が小さな円筒部材が配置される。これにより、ロータの発熱が、回転軸、更には回転軸を介して前側軸受及び後側軸受の内輪に伝わり難くなり、内外輪での温度差が抑えられて適正な予圧を維持することができ、軸受の焼き付き発生を防止することができる。また、回転軸自体の膨張も抑制されるので、良好な加工精度が得られる。

[0029] また、本発明の主軸装置によれば、回転軸よりも熱伝達率が小さい部材が、ロータスリーブと回転軸との対向面のいずれか一方に部分的に介在されているため、ロータの発熱が、回転軸、更には回転軸を介して前側軸受及び後側軸受の内輪に伝わり難くなり、内外輪での温度差が抑えられて適正な予圧

を維持することができ、軸受の焼き付き発生を防止することができる。また、回転軸自体の膨張も抑制されるので、良好な加工精度が得られる。さらに、熱伝達率が小さい部材が位置する以外のロータスリーブと回転軸との対向面では、金属同士のはめあいとすることができ、嵌合部におけるしめしろの適正な管理が容易となる。

[0030] また、本発明の主軸装置によれば、前側及び後側軸受との間、且つ、回転軸の内周面と、ロータ又はロータスリーブが嵌合する位置から離れた回転軸の外周面と、の少なくとも一ヶ所に、回転軸よりも熱伝達率が小さい部材が配置されるので、ロータから回転軸に伝達された熱が、前側及び後側軸受の内輪に伝わり難くなり、内外輪での温度差が抑えられて適正な予圧を維持することができ、軸受の焼き付き発生を防止することができる。

[0031] また、本発明の主軸装置によれば、回転軸を回転自在に支持する前側及び後側軸受が配設されるハウジングは、少なくとも後側軸受に外嵌する金属製のインナースリーブと、インナースリーブに外嵌する炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブと、を備えるので、熱伝導率が小さな炭素繊維複合材料で形成されたアウタースリーブの作用により、回転軸からの熱を機械側ブラケットに伝わり難くすることができ、機械側の温度上昇による熱変形を抑制して高精度での加工を行うことができる。特に、主軸装置内に駆動用モータを内蔵したモータビルトイン型の主軸装置では、モータの発熱が、機械側に伝達されるのを抑制することができるので効果的である。更に、炭素繊維複合材料の比重が小さいので、主軸装置の質量、慣性力を低減することができ、主軸ヘッドのより高速での移動が可能となって生産効率が向上する。

[0032] また、本発明の主軸装置によれば、ハウジングにすきま嵌めで嵌合する軸受スリーブは、軸受スリーブと同じ軸方向長さを有する、環状の炭素繊維複合材料を少なくとも有する。これにより、軸受スリーブの昇温によるスリーブ外径の熱膨張を抑えることができるので、スリーブ外径とハウジング内径との隙間が減少することがない。この結果、ハウジングと軸受スリーブとの摺動部の初期隙間を小さくすることができ、摺動性を維持しつつ、低速時の

振動を低減できる。また、炭素繊維複合材料は、炭素繊維の配向方向によって異方性があり、任意に熱膨張率を変えることで、すきま設定を選択することができる。従って、軸受スリーブの昇温とハウジング側の昇温との差によるすきまの減少分が想定できると、これに応じて、最適な熱膨張率が得られるように繊維の配向方向や角度を選ぶことも可能であり、この点、従来の材料（インバーなど）に比べて、優れている。

[0033] また、本発明の主軸装置によれば、回転軸を回転自在に支持する前側及び後側軸受の内輪の少なくとも一方の側面に対向配置されて回転軸に外嵌する内輪間座を備え、内輪間座は、外周側から軸方向に突出して内輪の肩部の外周面に外嵌する鍔状突部を有し、内輪より比弾性率が大きく、且つ熱膨張係数が小さい材料から形成される。したがって、高速回転時の遠心力による内輪間座の膨張が抑制されて、内輪の肩部の外周面に外嵌する内輪間座の鍔状突部によって内輪を拘束し、内輪の遠心力膨張を抑制することができる。さらに、主軸装置の昇温に伴う内輪間座の径方向熱膨張量は、内輪の径方向熱膨張量より小さくなるため、この熱膨張量の差分で内輪を押さえ込んで、内輪の熱膨張をより小さく押え込むことができる。これによって、軸受の内部荷重の増大を抑制して焼付きなどの発生を防止することができる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]本発明の第１実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図2]回転軸の第１円筒部材と第２円筒部材との結合方法を説明するための断面図である。

[図3]第１実施形態の変形例に係る主軸装置の断面図である。

[図4]本発明の第２実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図5]第２実施形態の変形例に係る主軸装置の断面図である。

[図6]第２実施形態の他の変形例に係る主軸装置の断面図である。

[図7]本発明の第３実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図8]本発明の第４実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図9]第４実施形態の変形例に係る主軸装置の要部断面図である。

[図10]本発明の第５実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図11]第５実施形態の変形例に係る主軸装置の要部断面図である。

[図12]第４及び第５実施形態を組み合わせて適用した、本発明の変形例に係る主軸装置の要部断面図である。

[図13]本発明の第６実施形態の主軸装置が適用される門形マシニングセンタの概略図である。

[図14]本発明に係る第６実施形態の主軸装置の断面図である。

[図15]本発明に係る第７実施形態の主軸装置の断面図である。

[図16]本発明に係る第８実施形態の主軸装置の断面図である。

[図17]本発明の第９実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図18]本発明の第１０実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図19]本発明の第１１実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図20]本発明の第１１実施形態の第１変形例に係る主軸装置の断面図である。

[図21]本発明の第１１実施形態の第２変形例に係る主軸装置の断面図である。

[図22]本発明の第１２実施形態に係る主軸装置の断面図である。

[図23]（ａ）は図２２に示す主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図24]（ａ）は本発明の第１３実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図25]（ａ）は本発明の第１４実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図26]（ａ）は本発明の第１５実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図27]（ａ）は本発明の第１６実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図28]（ａ）は本発明の第１７実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図29]（ａ）は本発明の第１８実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図30]（ａ）は本発明の第１９実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図31]（ａ）は本発明の第２０実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図32]図３１に示す主軸装置において、前側内輪間座及び内輪を締結する方法を説明するための図であり、（ａ）はナット締め付け前の図であり、（ｂ）はナット締め付け後の図である。

[図33]（ａ）は本発明の第２１実施形態に係る主軸装置の前側軸受近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座の側面図、（ｃ）は前側内輪間座の正面図である。

[図34]本発明の第２２実施形態に係る主軸装置の後側軸受近傍を拡大して示す断面図である。

発明を実施するための形態

[0035] 以下、本発明の各実施形態に係る主軸装置について図面に基づいて詳細に説明する。

[0036] （第１実施形態）

図１に示すように、主軸装置１０は、モータビルトイン方式であり、その

軸方向中心部には、中空状の回転軸１２が設けられ、回転軸１２の軸芯には、ドローバー１３が摺動自在に挿嵌されている。ドローバー１３は、工具ホルダ１４を固定するコレット部１５を、皿ばね１７の力によって反工具側方向（図の右方向）に付勢しており、工具ホルダ１４は、回転軸１２のテーパ面１８と嵌合する。工具ホルダ１４には工具（図示せず。）が取り付けられており、この結果、回転軸１２は、一端（図の左側）に工具をクランプして、工具を取り付け可能としている。

[0037] また、回転軸１２は、その工具側を支承する２列の前側軸受５０，５０と、反工具側を支承する２列の後側軸受６０，６０とによって、ハウジングＨに回転自在に支持されている。なお、ハウジングＨは、工具側から順に、フロントカバー４０、前側軸受外輪押さえ２９、外筒１９、後側ハウジング２４及び後蓋２６によって構成されている。

[0038] 前側軸受５０，５０と後側軸受６０，６０間における回転軸１２の外周面には、ロータ２０が焼き嵌めにより外嵌されている。また、ロータ２０の周囲に配置されるステータ２２は、ステータ２２に焼き嵌めされた冷却ジャケット２３をハウジングＨを構成する外筒１９に内嵌することで、外筒１９に固定される。従って、ロータ２０とステータ２２はモータＭを構成し、ステータ２２に電力を供給することでロータ２０に回転力を発生させ、回転軸１２を回転させる。

[0039] 各前側軸受５０は、外輪５１と、内輪５２と、接触角を持って配置される転動体としての玉５３と、図示しない保持器と、をそれぞれ有するアンギュラ玉軸受であり、各後側軸受６０は、外輪６１と、内輪６２と、転動体としての玉６３と、図示しない保持器と、を有するアンギュラ玉軸受である。前側軸受５０，５０（並列組合せ）と後側軸受６０，６０（並列組合せ）とは、互いに協働して背面組み合わせとなるように配置されている。

[0040] 前側軸受５０，５０の外輪５１，５１は、外筒１９に内嵌されており、且つ外筒１９にボルト締結された前側軸受外輪押さえ２９によって外輪間座３０を介して外筒１９に対し軸方向に位置決め固定されている。また、前側軸

受５０，５０の内輪５２，５２は、回転軸１２に外嵌されており、且つ回転軸１２に締結されたナット３１によって内輪間座３２を介して回転軸１２に対し軸方向に位置決め固定されている。

[0041] 後側軸受６０，６０の外輪６１，６１は後側ハウジング２４の内側に後側ハウジング２４に対して軸方向に摺動自在の状態とされた軸受スリーブ２５に内嵌されており、且つ軸受スリーブ２５にボルト締結された後側軸受外輪押さえ３３によって外輪間座３４を介して軸受スリーブ２５に対し軸方向に位置決め固定されている。後側ハウジング２４と後側軸受外輪押さえ３３との間には、後側軸受外輪押さえ３３を後端側に付勢するコイルばね３８が介装されており、後側軸受外輪押さえ３３、軸受スリーブ２５、外輪６１，６１、及び外輪間座３４が一体となって後端側に移動し、各外輪６１，６１が軸方向に押圧されて、コイルばね３８の付勢力に応じた定圧予圧が付与されるようになっている。後側軸受６０，６０の内輪６２，６２は、回転軸１２に外嵌されており、回転軸１２に締結された他のナット３５によって、内輪間座３６及び速度センサの被検出部３７を介して位置決め固定されている。

[0042] ここで、回転軸１２は、高張力鋼や炭素鋼などの金属材料からなる第１円筒部材７１と、第１円筒部材７１の外周面に配置され、外周面にロータ２０が嵌合する、炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）からなる第２円筒部材７２と、を有した半径方向多層構造に構成されている。

[0043] 第２円筒部材７２の外周面には、前側軸受５０，５０の内輪５２，５２、ロータ２０、後側軸受６０の内輪６２，６２が外嵌されている。また、第１円筒部材７１の内部には、軸方向に移動するコレット部１５やドローバー１３や皿ばね１７が収容される。

[0044] 第１円筒部材７１は、第２円筒部材７２より長く形成されており、第２円筒部材７２が配置される小径部７１ａと、前側軸受５０，５０の内輪５２，５２の軸方向位置を規制するナット３１が締め付けられる雄ねじ部７１ｂを有する大径部７１ｃと、を有する。また、第２円筒部材７２から延出した小径部７１ａの反工具側端部には、後側軸受６０，６０の内輪６２，６２の軸

方向位置を規制する他のナット３５が締め付けられる雄ねじ部７１ｄが形成される。第１円筒部材７１の内周面には、コレット部１５やドローバー１３や皿ばね１７を摺動自在に案内する複数の摺接面７１ｅ，７１ｆ，７１ｇが形成され、工具側の内周面には、工具ホルダ１４が取り付けられるテーパ面１８が形成される。

[0045] 第２円筒部材７２を構成する炭素繊維複合材料は、第１円筒部材７１を構成する金属材料より比弾性率が大きく、比重が小さく、熱膨張率（線膨張係数）が小さいものが使用される。特に、炭素繊維複合材料の比弾性率は、回転軸１２の遠心力による膨張を適正な値に抑制するため、好ましくは、使用される金属材料の２倍以上、より好ましくは３倍以上とする。炭素繊維複合材料は、繊維方向により異方性であるが、かかる荷重の方向に合わせて、成形時に繊維方向を決定する。また、繊維方向を交差させることで、等方性にして使用してもよい。さらに、円周方向の比弾性率が大きくなるように、繊維方向を決定してもよい。

[0046] 第１円筒部材７１と第２円筒部材７２との結合方法は、別々に形成されたものを締まり嵌めや接着により結合してもよく、あるいは、一体成形であってもよい。さらには、図２に示すように、十分な回転トルクを伝達するため、第１円筒部材７１と第２円筒部材７２との間にキー８０を挿入したり、スプライン嵌合としてもよい。

[0047] また、径方向外側に位置する第２円筒部材７２を構成する炭素繊維複合材料は、内側に位置する第１円筒部材７１を構成する金属材料より比弾性率が大きく、比重が小さく、且つ、熱膨張率が小さいので、遠心力作用、温度変化によっても両者の嵌合部にすきまが生じることはなく、回転中の振動が大きくなったり、剛性が低下するなどの不具合が生じることがない。

[0048] 例えば、第２円筒部材７２を構成する炭素繊維複合材料は、ＰＡＮ（ポリアクリルニトリル）を主原料とした炭素繊維からなる糸を平行に引きそろえたものや、炭素繊維からなる糸で形成した織物（シート状）に、硬化剤を含むエポキシ樹脂などの熱硬化樹脂を含浸させてなるシートを多数層重ね合わ

せて、芯金などに巻きつけ、加熱硬化させることで製造される。

[0049] 炭素繊維複合材料の特性としては、例えば、東邦テナックス社の炭素繊維タイプ：ＨＴＡを使用すると引張強度２０６０ＭＰａ、引張弾性率１３７ＧＰａ、比重１．５５ｇ／ｃｃであり、従来の高張力鋼などと比べて、引張強度は同等以上であり、比重は１／５程度になる。また、熱膨張率も、繊維方向・角度を最適化することにより、－５～＋５×１０$^{-6}$（Ｋ$^{-1}$）にすることができるので、従来の炭素鋼に比べて１／２～１／１０程度にすることができる。

[0050] また、ロータ２０と第２円筒部材７２とは、焼きばめによるしめしろを持って嵌合される。遠心力によって、嵌め合い部分でのしめしろが減少すると、ねじりトルクによる回転すべりが発生してしまい、さらに、すきまとなった場合には、主軸の振動が大きくなったり、加工不良が生じる可能性がある。

[0051] このため、しめしろは、遠心力によるしめしろの減少を考慮して予め余分に設定される。例えば、遠心力によるしめしろの減少を考慮し、しめしろは、（ロータ２０の内径の遠心膨張量－第２円筒部材７２の外径の遠心膨張量）と同一の大きさか、或いは、それ以上に設定する。具体的には、炭素繊維複合材料の成型時の巻き付け角度を適切な値、例えば、「比弾性率＝Ｅ（縦弾性係数）／ρ（密度）」が適正な値となるようにしたり、ロータ２０の半径方向肉厚と炭素繊維複合材料の半径方向肉厚を適正な比や値となるようにしたり、ロータ材質と炭素繊維複合材料の選定（繊維径や結合樹脂材料の選定）などを行うことで設定される。また、これらの方法を組み合わせたり、さらに、その他の遠心膨張に影響する因子が適正な値となるようにして設定してもよい。

[0052] 加えて、成型時の巻き付け角度により、炭素繊維複合材料の線膨張係数がロータ２０のものより小さく設定されると、ロータ２０の温度上昇によりしめしろが減少し、すきまとなることも考えられる。このため、しめしろは、（上述した遠心膨張量分＋温度上昇によるしめしろの減少分）と同一の大き

さか、或いは、それ以上に設定することが好ましい。

[0053] 或いは、ロータ２０の第２円筒部材７２との間に金属製のスリーブ（図示せず）を介装してもよく、または、特許文献１に記載されたように、炭素繊維複合材料の外周面に金属メッキやセラミックを溶射するようにしてもよい。

[0054] また、しめしろを持った嵌合の他、ロータ２０と第２円筒部材７２との少なくとも一部に、スプラインやキーを形成し、炭素繊維複合材料を一体成型するようにしてもよい。

[0055] このように本実施形態の主軸装置１０によれば、第２円筒部材７２に使用される炭素繊維複合材料は熱伝導率が低いので、ロータ２０が第２円筒部材７２に外嵌することで、ロータ２０の発熱が回転軸１２を介して前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２に伝わり難くなり、内外輪５１，５２，６１，６２での温度差が抑えられ、適正な予圧が維持される。また、回転軸１２自体の膨張も抑制されるので、良好な加工精度を得る事ができる。

[0056] また、回転軸１２は、第２円筒部材７２の内側に、金属材料からなる第１円筒部材７１を備えるので、ドローバー１３の摺接面７２ｆや工具ホルダ１４が取り付けられるテーパ面１８が第１円筒部材７１によって構成され、特定部位における耐摩耗性も確保することができる。

[0057] さらに、ロータ２０は、第２円筒部材７２にしめしろを持って嵌合しているので、遠心力やロータ２０の温度上昇が発生してもすきまになることが抑制され、ロータ２０の回転すべりや、回転軸１２の振動が増大するのを抑えることができる。

[0058] また、第１円筒部材７１は、第２円筒部材７２が配置される小径部７１ａと、前側軸受５０の軸方向位置を規制するナット３１が締め付けられる雄ねじ部７１ｂを有する大径部７１ｃと、を有するので、ナット３１を雄ねじ部７１ｂに確実に締結することができる。

また、前側軸受５０，５０の内輪５２，５２自身の発熱は、内輪間座３２やナット３１から第１円筒部材７１を介して工具ホルダ１４などの金属部材

に伝達されるので、内輪５２，５２の温度上昇を抑えることができる。

[0059] また、モータビルトイン方式の主軸装置においては、前側軸受５０と後側軸受６０との距離が長くなり、回転軸のラジアル方向の固有振動数が小さくなりやすい。工作機械の主軸装置の場合、特定の回転数での使用ではなく、加工物や加工条件に応じて、最高回転数までの全ての領域で使用される可能性があり、少なくとも回転軸系の固有振動数は最高回転での周波数より大きくしないと、共振作用により加工ができない、あるいは、共振域での回転軸１２の異常振動が発生する虞がある。本実施形態では、金属材料と比較して比弾性率が大きい炭素繊維複合材料を使用するので、同一軸受スパンの場合、回転軸系の固有振動数（特に、ラジアル方向の固有振動数）を高くすることができ、主軸装置の最高回転数の増加が図られ、加工回転領域が広くできる。

[0060] また、炭素繊維複合材料は、金属材料に比べて振動減衰性に優れるので、回転軸１２の動剛性の向上が図れ、その結果、過酷な加工条件や仕上げ加工におけるびびり振動が発生しにくく、加工面粗さが良くなり、加工面の品位や光沢度の向上、並びに加工精度が安定する。

[0061] さらに、主軸装置の加工時間や減速時間は、回転イナーシャＪの大きさに依存する。ここで、中空円筒の回転イナーシャは以下の計算式によって与えられ、直径の４乗と比例した関係にある。

$$J = (D^4 - d^4) \cdot L \cdot \eta \cdot \pi / 32$$

ここで、Ｄは中空円筒の外径、ｄは中空円筒の内径、Ｌは中空円筒の軸方向長さ、ηは比重を表している。

[0062] 従って、主軸装置の主要構成部材の中で大きな重量比を占める回転軸１２として、比重が小さい炭素繊維複合材料を適用することで、回転軸１２全体の重量が下がり、また、回転中心から離れた第２円筒部材７２に炭素繊維複合材料を適用しているので、回転イナーシャが小さくでき、主軸装置の加工時間、減速時間が大幅に短くなり、加工工具交換時間の短縮化が図れ、高効率加工が可能となる。

[0063] 加えて、炭素繊維複合材料は、耐食性があるので、前側軸受５０，５０及び後側軸受６０，６０を第２円筒部材７２に外嵌することで、クーラントの浸入や付着によって回転軸１２の表面に腐食による錆が発生し、該錆が軸受内部に浸入して潤滑不良となり、軸受が焼付くことが防止される。

[0064] また、金属材料が内径側あるいは両端側に存在することで、回転軸の外径、内径仕上げ研削の基準面が確保され、高精度に仕上げ研削ができる。炭素繊維複合材料に基準面を設けると、摩耗や変形などが発生しやすく、高速主軸に必要な同軸度、真円度などが確保しにくい。同軸度、真円度が悪いと、アンバランスが大きく、高速回転時の振動発生、加工精度不良となる。

[0065] なお、図３に示す第１実施形態の変形例のように、前側軸受５０，５０の内輪５２，５２は、回転軸１２の第１円筒部材７１にしめしろを有して外嵌された固定スリーブ８１によって、回転軸１２に対し軸方向に位置決め固定されるように構成してもよい。なお、固定スリーブ８１の第１円筒部材７１への組込みは、焼嵌めによって行い、固定スリーブ８１の第１円筒部材７１からの分解は、固定スリーブ８１と第１円筒部材７１との間に設けられた油圧室８３に油圧を与えることによって行う。

[0066] このように構成した場合、固定スリーブ８１と第１円筒部材７１とがしめしろ嵌合しているので、固定スリーブ８１と第１円筒部材７１との有効接触面積が大きくなることで熱伝導性が向上し、前側軸受５０の内輪５２の発熱を固定スリーブ８１を介して第１円筒部材７１に効率的に逃がすことが可能となる。

[0067] また、固定スリーブ８１が間座等を介さず内輪５２に直接当接するように構成されているので、固定スリーブ８１の軸方向長さを長く設定することができる。したがって、固定スリーブ８１と第１円筒部材７１との嵌合部の軸方向長さが長くなり、熱伝導のための接触面積をより大きくすることができる。

[0068] このように、前側軸受５０の内輪５２の発熱を、固定スリーブ８１を介してより効率よく第１円筒部材７１側に伝達することができるので、内輪５２

の温度が下がり、内輪５２及び外輪５１の温度差を少なくすることができる。したがって、前側軸受５０の回転中の予圧増加が軽減され、内輪５２と玉５３、及び外輪５１と玉５３の転がり接触部のＰＶ値が抑制できるので、前側軸受５０が焼き付くことを防ぐことができる。

[0069] また、固定スリーブ８１と回転軸１２の第１円筒部材７１とはしめしろ嵌合しているので、回転軸１２に対して固定スリーブ８１が傾くことが抑制され、内輪５２を均一に固定することが可能となり、加工精度をより向上させることができる。

[0070] なお、上述の実施形態のように、内輪５２をナット３１によって軸方向に位置決め固定する場合であっても、ナット３１の軸方向長さを長く確保したり、ねじピッチを短くしたり（細目ねじナットの採用）、ナット３１と第１円筒部材７１、及び間座３２と第２円筒部材７２のはめあい隙間を極めて小さくしたりする（例えば、中間ばめはめあい）等の仕様とすることで、熱伝導の有効接触面積を大きくして、内輪５２の発熱を逃がすことが可能である。

また同様に、内輪５２をナット３１によって軸方向に位置決め固定する場合であっても、ナット３１組込み時にその傾き補正を行うことで、内輪５２を均一に固定し、加工精度の確保することが可能である。

[0071] なお、工具側に配設された前側軸受５０は、切削荷重を負荷する軸受であり、当該負荷により発熱量が高くなる。また、主軸装置１０の工具側には、工具ホルダ１４を保持するテーパ面１８が設けられているので、軸剛性や軸系の固有振動数を確保するために肉厚を要し、前側軸受５０の内径が大きくなる傾向にあり、その結果前側軸受５０のｄｍｎ値が大きくなる。したがって、上記のように固定スリーブ８１を設けて前側軸受５０の発熱を効率的に逃がす構成とすることは非常に効果的である。

[0072] 一方、反工具側に配設される後側軸受６０は、前側軸受５０に比べて切削荷重が直接負荷せず、前側軸受５０に比べてサイズも小さくなることから、上述の実施形態のようにナット３５によって軸方向に位置決めされる構成で

あっても差し支えない。しかしながら、軸方向のスペースが確保できる余裕がある場合等、必要に応じて、後側軸受６０，６０の内輪６２，６２が、ナット３５を用いずに、第１円筒部材７１にしめしろを有して外嵌された固定スリーブによって回転軸１２に対し軸方向に位置決め固定されるように構成してもよい（不図示）。

[0073] （第２実施形態）

次に、本発明の第２実施形態に係る主軸装置について、図４を参照して詳細に説明する。なお、第１実施形態と同一または同等部分については、同一符号を付して、説明を省略あるいは簡略化する。

[0074] 第２実施形態では、回転軸１２は、第１実施形態と同様、金属材料からなる第１円筒部材７１と、炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）からなる第２円筒部材７２と、を有するのに加え、第２円筒部材７２の外周面に配置され、外周面に前側軸受５０，５０の内輪５２，５２、及び後側軸受６０，６０の内輪６２，６２がそれぞれ嵌合する、金属材料からなる二つの第３円筒部材７３、７４と、をさらに有する。

[0075] 第２円筒部材７２は、外周面にロータ２０が嵌合する軸方向中間部に対して軸方向に離間した位置である前方部分及び後方部分において、第３円筒部材７３，７４が配置される外周面が小径となるように段差部７２ａ，７２ｂを有する。そして、第３円筒部材７３，７４は、段差部７２ａより前方及び段差部７２ｂより後方の小径となった外周面にそのスリーブ部分７３ａ，７４ａを嵌合させるとともに、スリーブ部分７３ａ，７４ａの反ナット側端部から径方向外方に延出するフランジ部７３ｂ，７４ｂを、段差部７２ａ，７２ｂの軸方向側面と内輪５２，６２の軸方向端面との間に挟持させている。

なお、フランジ部７４ｂの外径は、ロータ２０を第２円筒部材７２に嵌合する際に干渉しないように、ロータ２０が嵌合する外周面の外径以下に設定されている。

[0076] 第３円筒部材７３，７４は、第２円筒部材７２の外周面に嵌合する薄肉スリーブであり、高張力鋼や炭素鋼など、表面硬度が第１円筒部材７１と同等

となる金属材料が選定されることが好ましい。このような薄肉スリーブからなる第３円筒部材７３，７４は、焼き嵌めによって第２円筒部材７２の外周面にかぶせることで、または、軽度なしめしろと接着とを併用することで、第２円筒部材７２の外周面に結合される。そして、第３円筒部材７３，７４の外周面には、前側軸受５０，５０の内輪５２，５２、後側軸受６０，６０の内輪６２，６２が、しめしろにて嵌合される。

[0077] なお、第１円筒部材７１と結合された炭素繊維複合材料からなる第２円筒部材７２の外周面は、第３円筒部材７３，７４との適正な嵌め合いを確保するために、仕上加工が施されており、また、金属材料からなる第３円筒部材７３，７４の外周面も、各内輪５２，６２との適正な嵌め合いを確保するために、仕上加工が施されている。

[0078] ところで、第２円筒部材７２を構成する炭素繊維複合材料は、比弾性率においては金属材料に優れるものの、表面硬度は母材となる樹脂材料に依存しやすく、比較的軟らかい。また、回転軸１２と各内輪５２，６２との間の嵌め合いは、主軸の高剛性化や軸の回転精度を向上させるため、少なくともすきま０以上のしめしろ嵌合とする必要がある。

[0079] 使用回転数が比較的低い主軸では、しめしろの値は小さくても問題はないが、高速回転で使用される主軸の場合、遠心力による内輪５２，６２の膨張が回転軸１２に比べて大きくなる。このため、しめしろが小さいとすきまが大きくなり、回転軸の振動やフレッチングなどの不具合が発生することから、しめしろを大きくする必要がある。このような条件において、炭素繊維複合材料と内輪とを局所的（内輪の軸方向幅部分のみ）にしめしろ嵌合させた場合、両者間の接触面圧が局部的に増加し、炭素繊維複合材料の表面のつぶれや変形などで、嵌め合い部でうまく接合できない可能性がある。

[0080] 一方、本実施形態のように、第３円筒部材７３，７４を用いることで、炭素繊維複合材料（第２円筒部材７２）と第３円筒部材７３，７４とは軸方向で広範囲に結合することができ、また、薄肉スリーブとすることで、仮に大きなしめしろで炭素繊維複合材料と嵌合しても、第３円筒部材７３，７４側

の弾性変形も見込めるため、両者間の接触面圧を軽減することができる。なお、大きなしめしろ嵌合とする代わりに、小さなしめしろ嵌合として両者を接着接合すれば、接触面圧が大きくなることはない。

[0081] その後、さらに、第３円筒部材７３，７４の外周面に内輪５２，６２を大きなしめしろで嵌合させた場合にも直接炭素繊維複合材料の表面に局部的な面圧を与えず、第３円筒部材７３，７４を介して荷重が作用し、嵌め合いによる圧縮力が分散される。このような緩衝作用により、炭素繊維複合材料の表面につぶれや変形などが生じることがない。

[0082] また、内輪と炭素繊維複合材料とは線膨張係数が異なるので、回転増加に伴い、主軸の温度が上昇すると遠心力効果と同様に嵌め合い部のすきまが変化する。したがって、これらの条件を考慮し、運転中（例えば、対象とする主軸の最高回転時）の第３円筒部材７３，７４と内輪５２，６２との間の嵌め合いすきまが０～しめしろ側となるように組み込み時の嵌め合いを設定することが望ましい。

[0083] また、定期的なメンテナンスや突発的な軸受不具合等で軸受を交換する場合には、内輪５２，６２は金属材料からなる第３円筒部材７３，７４から引き抜かれる。この引き抜きの構造は、金属材料の回転軸に内輪が嵌合する従来構造と同様であるので、問題はない。

[0084] さらに、上述したように、第３円筒部材７３，７４にはフランジ部７３ｂ，７４ｂが設けられているので、反対側のナット３１，３５及び内輪間座３２，３６と共に、軸受５０，６０の内輪端部の軸方向固定を金属間結合とすることができる。炭素繊維複合材料は母材として合成樹脂材料を用いているので、内輪５２，６２と炭素繊維複合材料とをある荷重で密着結合させた場合、内輪端部と炭素繊維複合材料の接触部間の弾性変形は大きくなる傾向があり、ナット３１，３５による締め付け結合が弱くなる可能性がある。即ち、剛性重視で、極度に締め付け力を上げると、炭素繊維複合材料に割れや欠けなどの破損が生じる懸念がある。一方、切削精度を確保するためには、軸方向の変形剛性が必要となる。このため、第３円筒部材７３，７４にフラン

ジ部７３ｂ，７４ｂを設けることによってこれらの問題を解決することができる。

なお、炭素繊維複合材料の表面硬度が比較的高い場合は、フランジ部７３ｂ，７４ｂを設けずに、内輪５２，６２の軸方向端面と第２円筒部材７２の段差部７２ａ，７２ｂの軸方向端面とを直接接合させてもよい。

また、スリーブ部分７３ａ，７４ａとフランジ部７３ｂ、７４ｂとは、別部材によって構成されてもよい。

[0085] このように本実施形態の主軸装置１０によれば、第２円筒部材７２のロータ２０が嵌合する外周面から軸方向に離間した位置の外周面には、外周面に前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２がそれぞれ嵌合する、金属材料からなる第３円筒部材７３，７４が配置されるので、第３円筒部材７３，７４と軸受５０，６０の内輪５２，６２の表面硬度を同等とすることができ、両者間のしめしろ嵌合を容易に行うことができ、且つ、軸受５０，６０を交換するときに、嵌め合い面にかじりや傷などの不具合の発生を抑えることができる。

[0086] 加えて、第３円筒部材７３，７４と軸受内輪５２，６２の内周面の嵌合部（嵌合部円周方向全面が伝熱面積となる）より軸受の発熱分を内輪間座３２，３６を介して、前側軸受ナット３１や第１円筒部材７１に伝えることができる。つまり、軸受内輪５２，６２で熱が停滞し、軸受内外輪温度差によって予圧過大となり、焼付きなどの不具合が発生するのを抑止することができる。

[0087] また、第３円筒部材７３，７４は、第２円筒部材７２の段差部７２ａ，７２ｂの軸方向側面と内輪５２，６２の軸方向端面との間に挟持されるフランジ部７３ｂ、７４ｂを有するので、反対側のナット３１，３５を強く締め付けた場合でも、第２円筒部材７２の割れや欠けなどの破損が生じることなく、軸受５０，６０の内輪端部の軸方向固定を行うことができる。

[0088] なお、本実施形態では、第３円筒部材７３，７４は、第２円筒部材７２の外周面に嵌合する薄肉スリーブとしたが、第３円筒部材７３，７４は、第２

円筒部材７２の外周面に電気的又は化学的手法により結合させた薄膜部材であってもよい。例えば、以下のような金属めっき等を用いると、強固な被膜が形成できる。例えば、第２円筒部材７２の表面（即ち、外周面及び段差部７２ａ，７２ｂにおける軸方向端面）に、溶射のための下地処理層、金属溶射処理層、中間メッキ層及び最外メッキ層を、内側から順次形成することで、強固に結合する金属メッキ層が得られる。

[0089] ここで、下地処理層とは、例えば、熱伝導率が０．００１ｃａｌ・ｃｍ$^{-1}$・ｓｅｃ$^{-1}$・ｄｅｇ$^{-1}$以上で、λ・Ｓ≧０．０５（λ：熱伝導率、Ｓ：ｍ^{2}／ｇで表される表面積）を満足する扁平状でない無機フィラー、あるいは表面が複雑な凹凸を有する無機フィラーなどの特殊形状の金属または無機粉を熱硬化型樹脂と配合して炭素繊維複合材料表面に塗布し、熱硬化させて形成される。また、金属溶射処理層の材質はＣｕ、Ｎｉ、Ａｌ、Ｆｅなど表面に電気メッキができるものであればよく、特に制限するものではない。中間メッキ層の材質については、封孔性能と耐蝕性の点より選ばれるが、このような目的で種々実験した結果、Ｃｕ又はＮｉが特に有効である。さらに、最外メッキ層の材質としても用途によって適宜選ばれるが、Ｎｉ及びＣｕが一般的に採用され、特に表面硬度が要求される場合はＣｕメッキが好ましい。

その他の構成及び作用については、第１実施形態のものと同様である。

[0090] また、図５に示す第２実施形態の変形例においても、前側軸受５０，５０の内輪５２，５２は、回転軸１２の第１円筒部材７１にしめしろを有して外嵌された固定スリーブ８１によって、回転軸１２に対し軸方向に位置決め固定されるように構成してもよい。この場合にも、図３と同様の効果を奏する。

[0091] また、図６に示す、第２実施形態の他の変形例に係る主軸装置のように、前側軸受５０，５０及び後側軸受６０，６０にそれぞれ定位置予圧が付与される構成であってもよい。この場合、前側軸受５０，５０と後側軸受６０，６０とは、それぞれ背面組み合わせとなるように配置されている。

このような主軸装置においても、上記実施形態と同様の効果を奏すること

ができる。

[0092] さらに、本発明が適用される主軸装置としては、前側軸受５０，５０に定位置予圧が付与されるように一対のアンギュラ玉軸受で構成し、後側軸受６０を単列の円筒ころ軸受で構成するようなものであってもよい。

[0093] （第３実施形態）

次に、本発明の第３実施形態に係る主軸装置について、図７を参照して詳細に説明する。なお、第１実施形態と同一または同等部分については、同一符号を付して、説明を省略あるいは簡略化する。

[0094] 第３実施形態では、モータＭのロータ２０は、ロータスリーブ７０を介して回転軸１２と一体回転可能に配置されている。また、回転軸１２は金属材料から構成される一方、ロータスリーブ７０は、炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）から構成される。炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）としては、熱伝導率及び熱膨張率が金属材料より小さく、比弾性率が金属材料より高く、比重が金属材料より小さいものが使用される。特に、熱伝導率が小さい炭素繊維複合材料をロータスリーブ７０として、ロータ２０と回転軸１２との間に配置することで、金属と同等の強度を有したままロータ２０と回転軸１２との間を断熱することができる。これにより、ロータ２０の発熱が回転軸１２に伝わり難くなり、回転軸１２自体の熱膨張が抑制されて良好な加工精度が維持される。

[0095] 更に、ロータ２０の熱が、回転軸１２を介して前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２に伝わり難く、内輪温度の昇温が抑えられることで内外輪５１，５２，６１，６２での温度差を少なくすることができる。これにより、前側及び後側軸受５０，６０の内部荷重上昇による軸受の焼付きなどの不具合が防止される。

[0096] 具体的に、炭素繊維複合材料としては、例えば、ＰＡＮ（ポリアクリルニトリル）を主原料とした炭素繊維からなる糸を平行に引きそろえたものや、炭素繊維からなる糸で形成した織物（シート状）に、硬化剤を含むエポキシ樹脂などの熱硬化樹脂を含浸させてなるシートを多数層重ね合わせて、芯金

などに巻きつけ、加熱硬化させることで製造される。

[0097] 炭素繊維複合材料の特性としては、例えば、東邦テナックス社の炭素繊維タイプ：ＨＴＡを使用すると引張強度２０６０ＭＰａ、引張弾性率１３７ＧＰａ、比重１．５５ｇ／ｃｃであり、従来の高張力鋼などと比べて、引張強度は同等以上であり、比重は１／５程度になる。また、熱膨張率も、繊維方向・角度を最適化することにより、－５～＋５×１０$^{-6}$（Ｋ$^{-1}$）にすることができるので、従来の炭素鋼に比べて１／２～１／１０程度にすることができる。

[0098] なお、前側及び後側軸受５０，６０の外輪５１，６１の熱は、嵌合するハウジングＨを介して放熱されるのに対して、内輪５２，６２の熱は放熱され難く、外輪５１，６１より高温となる傾向がある。従って、内外輪５１，５２，６１，６２の温度差に起因する内部荷重上昇については、内輪５２，６２の温度管理が重要となる。

[0099] ロータ２０とロータスリーブ７０、及びロータスリーブ７０と回転軸１２とは、締まりばめ、接着、一体成形などによって結合される。このうち、ロータ２０とロータスリーブ７０とを締まりばめで結合する場合には、各部材の線膨張係数の違いによる径方向膨張量差、遠心力による膨張量の違いによる回転時の径方向の膨張量差を見込み、回転軸１２の回転数や回転中の温度を考慮して、回転中のロータ２０の内径とロータスリーブ７０の外径間に、少なくともすきまが発生しないように適正なしめしろを選定することが好ましい。

[0100] 例えば、遠心力によるしめしろの減少を考慮して、しめしろは、（ロータ２０の内径の遠心膨張量－ロータスリーブ７０の外径の遠心膨張量）と同一の大きさか、或いは、それ以上に設定する。具体的には、炭素繊維複合材料の成型時の巻き付け角度を適切な値、例えば、「比弾性率＝Ｅ（縦弾性係数）／ρ（密度）」が適正な値となるようにしたり、ロータ２０の半径方向肉厚と炭素繊維複合材料の半径方向肉厚を適正な比や値となるようにしたり、ロータ材質と炭素繊維複合材料の選定（繊維径や結合樹脂材料の選定）など

を行うことで設定される。また、これらの方法を組み合わせたり、さらに、その他の遠心膨張に影響する因子が適正な値となるように設定してもよい。

[0101] また、成型時の巻き付け角度により、炭素繊維複合材料の線膨張係数がロータ２０のものより小さく設定されると、ロータ２０の温度上昇によりしめしろが減少し、すきまが生じることも考えられる。このため、しめしろは、（上述した遠心膨張量分＋温度上昇によるしめしろの減少分）と同一の大きさか、或いは、それ以上に設定することが好ましい。

[0102] 更に、炭素繊維複合材料の比弾性率は、回転軸１２の遠心力による膨張を適正な値に抑制するため、好ましくは、使用される金属材料の２倍以上、より好ましくは３倍以上とするのがよい。炭素繊維複合材料は、繊維方向により異方性であるが、かかる荷重の方向に合わせて、成形時に繊維方向を決定する。また、繊維方向を交差させることで、等方性にして使用してもよい。更に、円周方向の比弾性率が大きくなるように、繊維方向を決定してもよい。

[0103] このように、炭素繊維複合材料は、熱伝導率及び熱膨張率が金属材料より小さく、金属材料より比弾性率が高く、且つ、比重が金属材料より小さいので、遠心力作用、温度変化によってもロータスリーブ７０と回転軸１２との嵌合部にすきまが生じることはなく、回転中の振動が大きくなったり、剛性が低下するなどの不具合が生じることがない。

[0104] 以上説明したように、本実施形態のモータビルトイン方式の主軸装置１０によれば、回転軸１２を回転自在に支持する前側軸受５０と後側軸受６０との間に、回転軸１２よりも熱伝導率が小さな炭素繊維複合材料から形成されるロータスリーブ７０を介して、ロータ２０が回転軸１２に外嵌固定されるので、ロータ２０の発熱が、回転軸１２、更には回転軸１２を介して前側軸受５０及び後側軸受６０の内輪５２、６２に伝わり難くなり、内外輪５１，５２，６１，６２での温度差が抑えられて適正な予圧を維持することができ、ｄｍｎ値が１００万以上となる高速回転においても、軸受５０，６０の焼き付き発生を防止することができる。また、回転軸１２自体の膨張も抑制さ

れるので、良好な加工精度が得られる。

[0105] （第４実施形態）

次に、本発明の第４実施形態に係る主軸装置について、図８を参照して詳細に説明する。なお、第１実施形態と同一または同等部分については、同一符号を付して、説明を省略あるいは簡略化する。

[0106] 第４実施形態では、ロータ２０と回転軸１２との間に配置されるロータスリーブ７０ａは、金属から構成される。また、ロータスリーブ７０ａが嵌合する回転軸１２の嵌合部の外周面には、複数の環状溝９１を画成するように環状の外向き凸部９２が形成されている。各環状溝９１には、炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）９３がリング状に配置され、しまり嵌め、接着、或いは一体成形などにより回転軸１２に一体固定される。

[0107] 炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）としては、熱伝達率及び熱膨張率が金属材料より小さく、比弾性率が金属材料より高く、比重が金属材料より小さいものが使用される。特に、熱伝達率が小さい炭素繊維複合材料９３を、ロータスリーブ７０ａと嵌合する複数の環状溝９１に配置して、ロータスリーブ７０ａと回転軸１２の金属同士の接触面積、即ち、熱伝導面積を少なくすることで、ロータ２０の発熱が回転軸１２に伝わり難くなり、回転軸１２自体の熱膨張が抑制されて良好な加工精度が維持される。

[0108] 更に、ロータ２０の熱が、回転軸１２を介して前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２に伝わり難く、内輪温度の昇温が抑えられることで内外輪５１，５２，６１，６２での温度差を少なくすることができる。これにより、金属と同等の強度を有したまま、前側及び後側軸受５０，６０の内部荷重上昇による軸受の焼付きなどの不具合が防止できる。

[0109] また、熱伝達率が小さい炭素繊維複合材料９３が位置する以外のロータスリーブ７０ａと回転軸１２との対向面、即ち、ロータスリーブ７０ａの内周面と、回転軸１２の環状の外向き凸部９２とは、金属同士のはめあいを残している。金属製のロータスリーブ７０ａが、金属と比較して表面硬度が低く弾性変形し易い炭素繊維複合材料９３とのみ嵌合する場合、はめあいの適正

な管理が難しくなる。一方、本実施形態のように、回転軸１２の環状の外向き凸部９２と、ロータスリーブ７０ａとの、金属同士のはめあいを残すことで、嵌合部におけるしめしろの適正な管理が容易となる。

[0110] 具体的に、炭素繊維複合材料９３としては、例えば、ＰＡＮ（ポリアクリルニトリル）を主原料とした炭素繊維からなる糸を平行に引きそろえたものや、炭素繊維からなる糸で形成した織物（シート状）に、硬化剤を含むエポキシ樹脂などの熱硬化樹脂を含浸させてなるシートを多数層重ね合わせて、芯金などに巻きつけ、加熱硬化させることで製造される。炭素繊維複合材料９３は、繊維方向により異方性であるが、荷重方向に合わせて繊維方向を決めることができ、成型時に繊維の方向を交差させることにより等方性にして使用するのがよい。

[0111] 炭素繊維複合材料９３の特性としては、例えば、東邦テナックス社の炭素繊維タイプ：ＨＴＡを使用すると引張強度２０６０ＭＰａ、引張弾性率１３７ＧＰａ、比重１．５５ｇ／ｃｃであり、従来の高張力鋼などと比べて、引張強度は同等以上であり、比重は１／５程度になる。また、熱膨張率も、繊維方向・角度を最適化することにより、－５～＋５×１０$^{-6}$（Ｋ$^{-1}$）にすることができるので、従来の炭素鋼に比べて１／２～１／１０程度にすることができる。

[0112] なお、回転軸１２の環状溝９１と環状の外向き凸部９２との比率、換言すれば、ロータスリーブ７０ａと回転軸１２との嵌合部における金属同士の接触面積と、金属と炭素繊維複合材料９３との接触面積との比率は、ロータスリーブ７０ａと回転軸１２との嵌合部における断熱効果と結合強度とのバランスに基づいて決定される。

[0113] また、前側及び後側軸受５０，６０の外輪５１，６１の熱は、嵌合するハウジングＨを介して放熱されるのに対して、内輪５２，６２の熱は放熱され難く、外輪５１，６１より高温となる傾向がある。従って、内外輪５１，５２，６１，６２の温度差に起因する内部荷重上昇については、内輪５２，６２の温度管理が重要となる。

[0114] 金属製のロータスリーブ７０ａとロータ２０とは、しまり嵌め、接着、或いは一体成形などで結合する。複数の珪素鋼板が積層されてなるロータ２０を、金属からなる外向き凸部９２と炭素繊維複合材料９３とが混在する軸部にしまり嵌めで嵌合させる場合、外向き凸部９２と嵌合する珪素鋼板と、金属と比較して表面硬度が低い炭素繊維複合材料９３と嵌合する珪素鋼板とでは、はめあいにばらつきが生じる可能性がある。このため、複数の珪素鋼板間でのバランスにずれが生じてモータＭの性能に影響を及ぼす虞がある。一方、本実施形態では、ロータ２０がロータスリーブ７０ａを介して回転軸１２に嵌合することで、はめあいにばらつきが生じることがなく、しめしろの管理が容易である。

[0115] ロータ２０とロータスリーブ７０ａ、及びロータスリーブ７０ａと回転軸１２とを、しまり嵌めで嵌合する場合、遠心力による膨張量の違いによる回転時の径方向の膨張量差、各部材の線膨張係数の違い（本実施形態においては金属同士の嵌合となるので略等しい）による径方向膨張量差を見込み、回転軸１２の回転数や回転中の温度を考慮して、回転中のロータ２０の内径とロータスリーブ７０ａの外径間、及びロータスリーブ７０ａの内径と回転軸１２の外径間に、少なくともすきまが発生しないように適正なしめしろを選定することが好ましい。

[0116] 以上説明したように、本実施形態のモータビルトイン方式の主軸装置１０によれば、ロータ２０と回転軸１２との間にロータスリーブ７０ａが設けられ、ロータスリーブ７０ａと対向する回転軸１２の外周面には、回転軸１２よりも熱伝達率が小さい部材である炭素繊維複合材料９３が部分的に介在するので、ロータ２０の発熱が、回転軸１２、更には回転軸１２を介して前側軸受５０及び後側軸受６０の内輪５２、６２に伝わり難くなり、内外輪５１、５２、６１、６２での温度差が抑えられて適正な予圧を維持することができ、軸受５０、６０の焼き付き発生を防止することができる。また、回転軸１２自体の膨張も抑制されるので、良好な加工精度が得られる。

[0117] また、回転軸１２の外周面に複数の環状溝９１を画成するように環状の外

向き凸部９２が形成され、複数の環状溝９１に回転軸１２よりも熱伝達率が小さい炭素繊維複合材料９３が配置され、ロータスリーブ７０ａの内周面と回転軸１２の環状の外向き凸部９２とが、しまり嵌めで嵌合するので、炭素繊維複合材料９３によりロータ２０の発熱を回転軸１２に伝わり難くすることができ、また、回転軸１２とロータスリーブ７０ａとを金属同士の安定したはめあいとすることができる。

[0118] さらに、回転軸１２よりも熱伝達率が小さい部材は、炭素繊維複合材料から形成されるので、効率的にロータ２０からの熱伝達を抑制することができる。

[0119] 図９は、第４実施形態の変形例に係る主軸装置の要部断面図である。本変形例の主軸装置１０では、炭素繊維複合材料９３の配置位置が第４実施形態と逆であり、金属製のロータスリーブ７０ａの内周面に、複数の環状溝９４を画成するように環状の内向き凸部９５が形成されている。各環状溝９４には、炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）９３がリング状に配置され、しまり嵌め、接着、或いは一体成形などにより結合される。

[0120] これにより、ロータスリーブ７０ａの内周面に熱伝達率の小さな炭素繊維複合材料９３を部分的に配置してロータスリーブ７０ａと回転軸１２との金属同士の接触面積を少なくすることで、ロータスリーブ７０ａから回転軸１２への熱伝達面積を小さくして、ロータスリーブ７０ａを介して回転軸１２に伝達されるロータ２０の熱を抑制している。

[0121] また、ロータスリーブ７０ａの内向き凸部９５と、回転軸１２の外周面との金属同士のはめあいを残して、回転軸１２とロータスリーブ７０ａとをしまり嵌めで嵌合することで、しめしろの管理が容易となる。

さらに、炭素繊維複合材料９３を別部材で形成することにより、炭素繊維複合材料９３を備えたロータスリーブ７０ａを、他の主軸装置と共用化することが可能となる。

[0122] （第５実施形態）

次に、第５実施形態の主軸装置について図１０を参照して説明する。なお

、第４実施形態と同一又は同等部分には同一符号を付して説明を省略或いは簡略化する。

[0123] 図１０に示すように、本実施形態の主軸装置１０では、ロータ２０が、回転軸１２の軸方向略中央に、直接しまり嵌めされて外嵌固定されている。

回転軸１２には、ロータ２０が嵌合する位置から軸方向両側に離れた外周面に、一対の外周側環状溝９６が形成され、また、回転軸１２の内周面には、一対の内周側環状溝９７が形成されている。外周側環状溝９６、及び内周側環状溝９７には、それぞれ回転軸１２よりも熱伝達率が小さい炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）９３がリング状に配置され、しまり嵌め、接着、或いは一体成形などにより回転軸１２と一体に結合されている。

[0124] これにより、ロータ２０と回転軸１２との嵌合部（回転軸１２の略軸方向中央部）と、前側軸受５０及び後側軸受６０との間に、熱伝達率が小さな炭素繊維複合材料９３が配置されて、熱伝導率が高い金属部の断面積（熱伝導面積）が小さくなっている。

[0125] 従って、ロータ２０の熱が、回転軸１２を介して前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２に伝わり難くなり、内輪温度の昇温を抑えることで内外輪５１，５２，６１，６２での温度差を少なくすることができる。これにより、前側及び後側軸受５０，６０の内部荷重上昇による軸受の焼付きなどの不具合が防止できる。

[0126] 以上説明したように、本実施形態のモータビルトイン方式の主軸装置１０によれば、前側及び後側軸受５０、６０との間、且つ、回転軸１２の内周面と、ロータ２０が嵌合する位置から離れた回転軸１２の外周面に、回転軸１２よりも熱伝達率が小さい炭素繊維複合材料９３が配置されるので、ロータ２０から回転軸１２に伝達された熱が、前側及び後側軸受５０、６０の内輪５２、６２に伝わり難くなり、内外輪５１、５２、６１、６２での温度差が抑えられて適正な予圧を維持することができ、軸受５０、６０の焼き付き発生を防止することができる。

また、両環状溝９６、９７と一体結合されている炭素繊維複合材料９３は

、金属と同等以上の強度を有するので、回転軸１２の強さが低下することはない。

[0127] なお、本実施形態においても、ロータ２０は、ロータスリーブを介して回転軸１２に外嵌させることもできる。

また、図１０に示す実施形態では、外周側環状溝９６と内周側環状溝９７とは、略等しい幅を有し、軸方向同一位置に形成されているが、これに限定されない。即ち、炭素繊維複合材料９３は、前側及び後側軸受５０、６０との間、且つ、回転軸１２の内周面と、ロータ２０又はロータスリーブが嵌合する位置から離れた回転軸１２の外周面との少なくとも一ヶ所に配置されればよい。

[0128] 例えば、図１１は、第５実施形態の変形例に係る主軸装置の要部断面図である。回転軸１２の内周側環状溝９７は、ロータ２０と軸方向にオーバーラップする位置に配置されている。また、内周側環状溝９７は、ロータ２０の軸方向両側に形成された外周側環状溝９６と径方向にオーバーラップして形成されている。

[0129] そして、外周側環状溝９６、及び内周側環状溝９７には、熱伝達率が小さな炭素繊維複合材料９３が、しまり嵌め、接着、或いは一体成形などにより回転軸１２と一体に結合されているので、回転軸１２のロータ２０との嵌合部と、前側軸受５０及び後側軸受６０との間の熱伝導面積が小さくなり、前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２の温度昇温を効果的に抑制することができる。

[0130] また、第４実施形態と第５実施形態とは組み合わせて適用することができる。例えば、図１２に示すように、第４実施形態の変形例と同様、内周面に設けられた環状溝９４に炭素繊維複合材料９３がリング状に配置されたロータスリーブ７０ａが、回転軸１２の外周面に嵌合している。さらに、回転軸１２には、ロータスリーブ７０ａとの嵌合部と軸方向にオーバーラップして形成された内周側環状溝９７に炭素繊維複合材料９３が配置されている。

[0131] これにより、本変形例の主軸装置１０では、ロータスリーブ７０ａ及び回

転軸１２に設けられた炭素繊維複合材料９３によって、ロータスリーブ７０ａと回転軸１２との嵌合部、及び、前側軸受５０及び後側軸受６０との間の回転軸１２において、熱伝導面積が少なくなっており、前側及び後側軸受５０，６０の内輪５２，６２の温度昇温が抑制される。

[0132] （第６実施形態）

次に、第６実施形態の主軸装置について図１３及び図１４を参照して説明する。図１３は本実施形態の主軸装置が適用される門形マシニングセンタの概略斜視図、図１４は図１３における主軸装置の断面図である。図１３に示すように、門形マシニングセンタ１では、ベッド２の上にテーブル３がＸ軸方向へ移動可能に支持されており、ベッド２の両側には一対のコラム４が立設されている。コラム４の上端にはクロスレール５が架設されており、クロスレール５には、サドル６がＹ軸方向へ移動可能に設けられる。また、サドル６には、Ｚ軸方向に昇降可能なラム７が支持されており、ラム７の下端には、本発明の主軸装置１０をＹ軸回り及びＺ軸回りに回転割出し駆動可能に保持する主軸ヘッド８が装着されている。主軸ヘッド８の２本の支持アーム８ａ内には、図示しないチルト機構が設けられており、主軸装置１０は、このチルト機構によってブラケット９を介してＹ軸回りに回転割出しされる。

[0133] 図１４に示すように、主軸装置１０は、ブラケット９に内嵌されるハウジングＨと、ハウジングＨの内部に挿入された回転軸１１３と、回転軸１１３をハウジングＨに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受１５０，１６０と、を備える。

[0134] 回転軸１１３は、中空状に形成されており、その内部には、軸方向に延びるドローバーと、ドローバーの先端側に設けられるコレットと、ドローバーと回転軸１１３との間に設けられ、コレットを反工具側に引き込む皿バネ（いずれも図示せず）と、が組み込まれている。これにより、コレットに装着された工具ホルダが、反工具側（図１４中、右側）に引き込まれることで、回転軸１１３の工具側内周面に形成されたテーパ面１１３ａと嵌合して工具が回転軸１１３に取り付けられる。

[0135] また、回転軸１１３は、その工具側（図１４中、左側）を支承する４列の前側軸受１５０と、反工具側を支承する２列の後側軸受１６０とによって、ハウジングＨに回転自在に支持されている。ハウジングＨは、複数の前側軸受１５０及び後側軸受１６０に外嵌する金属製のインナースリーブ１１１と、インナースリーブ１１１に外嵌する炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２と、を備え、アウタースリーブ１１２は、締まり嵌め、又はすきま嵌めと接着剤との併用によってインナースリーブ１１１に外嵌固定されている。

[0136] アウタースリーブ１１２は、その軸方向前端に設けられた鍔部１１２ａのボルト孔１１４にボルト（図示せず）を挿通して機械側となる主軸ヘッド８のブラケット９に固定されている。

[0137] インナースリーブ１１１とアウタースリーブ１１２との嵌合部には、より具体的にインナースリーブ１１１の外周面には、冷媒を循環供給するための冷媒供給路１１５を形成する冷却用溝１１６が螺旋状に形成されている。冷却用溝１１６は、その軸方向両端が、当該冷却用溝１１６より内径側において軸方向に沿って延設された供給孔１１７に連通しており、この供給孔１１７は、後述の後側軸受外輪押さえ１２７に形成された冷媒供給排出口１３０に連通する。そして、冷媒供給排出口１３０には、図示しない冷媒供給装置が配管を介して接続され、冷却水などの冷媒が供給孔１１７を介して冷媒供給路１１５に循環供給されて、インナースリーブ１１１を冷却する。

[0138] また、インナースリーブ１１１の外周面の軸方向両端部には、Ｏリング溝１１８が形成されており、Ｏリング溝１１８にはシール部材であるＯリング１１９が装着される。したがって、冷媒供給路１１５の軸方向両側は、Ｏリング１１９によって外部から封止され、冷媒の漏れが防止される。

[0139] 各前側軸受１５０は、外輪１５１と、内輪１５２と、接触角を持って配置される転動体としての玉１５３と、図示しない保持器と、をそれぞれ有するアンギュラ玉軸受であり、各後側軸受１６０は、外輪１６１と、内輪１６２と、転動体としての玉１６３と、図示しない保持器と、を有するアンギュラ

玉軸受である。

[0140] ４列の前側軸受１５０は、軸方向前方（図中左側）から２列ずつの前側軸受１５０が並列組合せされて対を形成し、それぞれの対同士が背面組み合わせとなるように配置されている。また、２列の後側軸受１６０は、背面組み合わせとなるように配置されている。

[0141] 各前側軸受１５０の外輪１５１は、インナースリーブ１１１に内嵌し、これらの外輪５１よりも反工具側においてインナースリーブ１１１に形成された段部１２０に突き当てられると共に、インナースリーブ１１１の軸方向前端に締結固定された前側軸受外輪押さえ１２２により外輪間座１２１を介して軸方向に位置決め固定されている。また、各前側軸受１５０の内輪１５２は、回転軸１１３に外嵌し、これらの内輪１５２よりも反工具側において回転軸１１３に形成された段部１２３に突き当てられると共に、回転軸１１３に締結されたナット１２４によって内輪間座１２５を介して回転軸１１３に対し軸方向に位置決め固定されている。

[0142] 各後側軸受１６０の外輪１６１は、インナースリーブ１１１に内嵌し、これらの外輪１６１よりも工具側においてインナースリーブ１１１に形成された段部１２６との間、及びインナースリーブ１１１の軸方向後端に締結固定された後側軸受外輪押さえ１２７との間には、軸方向隙間が形成されている。このように後側軸受１６０の外輪１６１を軸方向に固定しない構成とすることによって、回転軸１１３とハウジングＨの熱膨張差を逃がすことを可能としている。また、各後側軸受１６０の内輪１６２は、回転軸１１３に外嵌し、これらの内輪１６２よりも工具側において回転軸１１３に形成された段部１２８に突き当てられると共に、回転軸１１３に締結されたナット１２９によって位置決め固定されている。

[0143] 上記のように構成された本実施形態の主軸装置１０は、金属よりも熱伝導率の小さな炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２を介して機械側のブラケット９に固定されている。これにより、主軸装置１０側の発熱が、機械側のブラケット９に伝わり難く、機械側の熱変形を抑制することがで

き、高精度での加工が可能となる。特に、主軸装置１０内に駆動用モータを内蔵したモータビルトイン型主軸装置では、ロータ及びステータの発熱が、機械側に伝達され難いので、本発明の効果が大きい。

[0144] また、比較的体積が大きなアウタースリーブ１１２が、比重の小さな炭素繊維複合材料で形成されるので、主軸装置１０の質量が減少する。これにより、主軸装置１０を搭載した送り軸のイナーシャが小さくなり、主軸装置１０の移動加速度を大きくすることができる。したがって、工具交換時間や、加工部位への主軸装置１０の移動時間などを短縮して実加工時間を増加させることができ、加工効率が向上する。主軸旋回型加工装置においても、同様に主軸装置１０のイナーシャを小さくすることができるので、旋回加速性が向上し、高効率での加工が可能となる。

[0145] 更に、例えば、チタンなどの難削材の加工時や、刃物の切れ味が低下した際などにビビリが発生する場合があるが、炭素繊維複合材料は良好な振動減衰特性を有するので、主軸装置１０側の振動が機械側のブラケット９に伝達され難く、共振現象が防止されるので、高い加工精度が維持される。

[0146] 以上説明したように、本実施形態の主軸装置１０によれば、回転軸１１３を回転自在に支持する前側及び後側軸受１５０，１６０が配設されるハウジングＨは、少なくとも後側軸受１６０に外嵌する金属製のインナースリーブ１１１と、インナースリーブ１１１に外嵌する炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２と、を備えるので、熱伝導率が小さな炭素繊維複合材料で形成されたアウタースリーブ１１２の作用により、回転軸１１３からの熱を機械側ブラケット９に伝わり難くすることができ、機械側の温度上昇による熱変形を抑制して高精度での加工を行うことができる。特に、主軸装置１０内に駆動用モータを内蔵したモータビルトイン型の主軸装置１０では、モータの発熱が、機械側に伝達されるのを抑制することができるので効果的である。更に、炭素繊維複合材料の比重が小さいので、主軸装置１０の質量、慣性力を低減することができ、主軸ヘッドのより高速での移動が可能となって生産効率が向上する。

[0147] また、本実施形態の主軸装置１０によれば、インナースリーブ１１１とアウタースリーブ１１２との嵌合部に、冷媒を循環供給する冷媒供給路１１５が配置されるので、冷媒によってインナースリーブ１１１を効果的に冷却することができ、更に炭素繊維複合材料の低熱伝導特性と相俟って、機械側の温度上昇が抑制される。これにより、機械側の温度上昇による熱変形を抑制して高精度での加工が可能となる。

[0148] 更に、本実施形態の主軸装置１０によれば、冷媒供給路１１５を外部から封止するＯリング１１９が、インナースリーブ１１１とアウタースリーブ１１２との嵌合部の軸方向両端部に配置されるので、冷媒供給路１１５からの冷媒漏れを確実に防止することができる。

[0149] （第７実施形態）

次に、第７実施形態の主軸装置について図１５を参照して説明する。第７実施形態の主軸装置１０は、基本的構成を第６実施形態の主軸装置１０と同一とするが、インナースリーブ１１１とアウタースリーブ１１２とがすきま嵌めで嵌合し、インナースリーブ１１１がその軸方向前端に形成された鍔部１１１ａにおいてボルト１３１によってアウタースリーブ１１２に締結されている点で異なる。

[0150] ここで、作動に伴って主軸装置１０の温度が上昇すると、金属製のインナースリーブ１１１が径方向に熱膨張する。一方、炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２は、インナースリーブ１１１と比較して膨張し難く、結果としてインナースリーブ１１１を外側から押さえ込み、インナースリーブ１１１に内嵌する前側及び後側軸受１５０，１６０に影響を及ぼす可能性がある。しかし、本実施形態の主軸装置１０においては、インナースリーブ１１１とアウタースリーブ１１２とが適正な隙間ですきま嵌合しているので、アウタースリーブ１１２によるインナースリーブ１１１の押さえ込みを防止することができ、インナースリーブ１１１と前側及び後側軸受１５０，１６０とのはめあいすきま減少、ひいては軸受１５０，１６０の内部荷重に及ぼす影響が低減する。その他の作用効果は、第６実施形態の主軸装置１０

と同様である。

[0151] （第８実施形態）

次に、第８実施形態の主軸装置について図１６を参照して説明する。第８実施形態の主軸装置１０は、基本的構成を第６実施形態の主軸装置１０と同一とするので、同一部分及び相当部分には同一符号を付すことによって、その説明を簡略化又は省略し、相違部分について詳述する。

[0152] 本実施形態の主軸装置１０のハウジングＨは、インナースリーブ１１１と、アウタースリーブ１１２と、前側軸受ハウジング１３５と、から構成される。前側軸受ハウジング１３５は金属製であり、インナースリーブ１１１の軸方向前方の端面１１２ｂに固定されており、インナースリーブ１１１及びアウタースリーブ１１２の軸方向前方に配設されている。換言すれば、前側軸受ハウジング１３５は、アウタースリーブ１１２に内嵌しないように構成されている。

[0153] ４列の前側軸受１５０は、前側軸受ハウジング１３５に内嵌して配置され、インナースリーブ１１１の反工具側に配置される２列の後側軸受１６０と協働して回転軸１１３を回転自在に支持する。各前側軸受１５０の外輪１５１は、前側軸受ハウジング１３５に内嵌し、これらの外輪１５１よりも反工具側において前側軸受ハウジング１３５に形成された段部１３６に突き当てられると共に、前側軸受ハウジング１３５の軸方向前端に締結された前側軸受外輪押さえ１２２により外輪間座１２１を介して軸方向に位置決め固定されている。また、各前側軸受１５０の内輪１５２は、回転軸１１３に外嵌し、これらの内輪１５２よりも反工具側において回転軸１１３に形成された段部１３７に突き当てられると共に、回転軸１１３に締結されたナット１２４によって内輪間座１２５を介して回転軸１１３に対し軸方向に位置決め固定されている。

[0154] ここで、各前側軸受１５０に金属製のインナースリーブ１１１が外嵌し、インナースリーブ１１１に炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２が外嵌する場合、主軸装置１０の温度上昇に伴って金属製のインナースリ

ーブ１１１、回転軸１１３、外輪１５１、内輪１５２などが径方向に熱膨張するが、炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２は膨張し難いため、アウタースリーブ１１２がインナースリーブ１１１を外側から押さえ込む現象が生じ、外輪１５１を収縮させる。この結果、前側軸受１５０の内部荷重が上昇する可能性がある。比較的低速回転のときは問題ないが、例えば、ｄｍｎ値が１００万以上となる高速回転においては、玉１５３の遠心力による内部荷重増加も加わって、軸受１５０の転がり摩擦トルクが増大して発熱が大きくなってしまうため、回転数が制約される虞がある。

[0155] 特に、工具側に配設された前側軸受１５０は、切削荷重を負荷する軸受であるため、剛性確保のために、後側軸受１６０に比べて内径を大きく設定する必要がある。さらに、主軸装置１０の工具側には、工具を保持するテーパ面１１３ａが設けられているので、軸剛性や軸系の固有振動数を確保するために肉厚を要し、前側軸受１５０の内径が大きくなる。したがって、前側軸受１５０は、そのｄｍｎ値が後側軸受１６０に比べて大きくなる傾向にある。

[0156] これに対して、本実施形態の主軸装置１０は、各前側軸受１５０が内嵌する前側軸受ハウジング１３５に炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２が外嵌していないため、外側からの押さえ込み作用がなく、高速回転中であっても、上記した前側軸受１５０の内部荷重の上昇が抑えられ、焼付き等の不具合が生じることを抑制することが可能である。

[0157] また、前側軸受ハウジング１３５は、金属材料からなるインナースリーブ１１１に固定されており、適切なはめあい選定が難しい炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２との嵌合部がないため、設計が容易である。

[0158] 以上説明したように、本実施形態の主軸装置１０によれば、ハウジングＨは、インナースリーブ１１１及びアウタースリーブ１１２の軸方向前方に、前側軸受ハウジング１３５を更に備え、前側軸受１５０に前側軸受ハウジング１３５が外嵌するので、前側軸受ハウジング１３５の熱膨張が炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブ１１２によって制限されることがなく、前

側軸受ハウジング１３５に内嵌する前側軸受１５０に悪影響を及ぼすことを抑制できる。

[0159] なお、第６～第８実施形態においても、主軸装置内に駆動用モータを内蔵したモータビルトイン型の主軸装置にも適用可能である。

[0160] （第９実施形態）

次に、第９実施形態の主軸装置について図１７を参照して説明する。図１７に示すように、主軸装置１０は、モータビルトイン方式であり、その軸方向中心部には、中空状の回転軸２１２が設けられ、回転軸２１２の軸芯には、ドローバー２１３が摺動自在に挿嵌されている。ドローバー２１３は、工具ホルダ２１４を固定するコレット部２１５を、皿ばね２１７の力によって反工具側方向（図の右方向）に付勢しており、工具ホルダ２１４は、回転軸２１２のテーパ面２１８と嵌合する。工具ホルダ２１４には工具（図示せず。）が取り付けられており、この結果、回転軸２１２は、一端（図の左側）に工具をクランプして、工具を取り付け可能としている。

[0161] また、回転軸２１２は、その工具側を支承する２列の前側軸受（固定側軸受）２５０，２５０と、反工具側を支承する２列の後側軸受（自由側軸受）２６０，２６０とによって、ハウジングＨに回転自在に支持されている。なお、ハウジングＨは、工具側から順に、フロントカバー２４０、前側軸受外輪押さえ２２９、前側ハウジング２２７、外筒２１９、後側ハウジング２２４及び後蓋２２６によって構成されている。

[0162] 前側軸受２５０，２５０と後側軸受２６０，２６０間における回転軸２１２の外周面には、ロータ２２０が焼き嵌めにより外嵌されている。また、ロータ２２０の周囲に配置されるステータ２２２は、ステータ２２２に焼き嵌めされた冷却ジャケット２２３をハウジングＨを構成する外筒２１９に内嵌することで、外筒２１９に固定される。従って、ロータ２２０とステータ２２２はモータＭを構成し、ステータ２２２に電力を供給することでロータ２２０に回転力を発生させ、回転軸２１２を回転させる。

[0163] 各前側軸受２５０は、外輪２５１と、内輪２５２と、接触角を持って配置

される転動体としての玉２５３と、図示しない保持器と、をそれぞれ有するアンギュラ玉軸受であり、各後側軸受２６０は、外輪２６１と、内輪２６２と、転動体としての玉２６３と、図示しない保持器と、を有するアンギュラ玉軸受である。

[0164] 前側軸受２５０，２５０の外輪２５１，２５１は、前側ハウジング２２７に内嵌されており、且つ前側ハウジング２２７にボルト締結された前側軸受外輪押さえ２２９によって外輪間座２３０を介して前側ハウジング２２７に対し軸方向に位置決め固定されている。また、前側軸受２５０，２５０の内輪２５２，２５２は、回転軸２１２に外嵌されており、且つ回転軸２１２に締結されたナット２３１によって内輪間座２３２を介して回転軸２１２に対し軸方向に位置決め固定されている。

[0165] 後側軸受２６０，２６０の外輪２６１，２６１は後側ハウジング２２４の内側に後側ハウジング２２４に対して軸方向に摺動自在の状態とされた軸受スリーブ２２５に内嵌されている。また、外輪２６１，２６１は、且つ軸受スリーブ２２５にボルト締結された後側軸受外輪押さえ２３３に一端面が当接されており、外輪間座２３４を介して軸受スリーブ２２５に対し軸方向に位置決め固定されている。後側軸受２６０，２６０の内輪２６２，２６２は、回転軸２１２に外嵌されており、回転軸２１２に締結された他のナット２３５によって、内輪間座３６及び速度センサ２３７の被検出部２３８を介して位置決め固定されている。

[0166] 前側軸受２５０，２５０（並列組合せ）と後側軸受２６０，２６０（並列組合せ）とは、互いに協働して背面組み合わせとなるように配置されており、前側軸受２５０，２５０と後側軸受２６０，２６０には、定圧予圧が付与される構成となっている。後側ハウジング２２４と後側軸受外輪押さえ２３３との間には、バネなどの付勢部材２３９が配置されており、後側軸受外輪押さえ２３３と軸受スリーブ２２５とは、後側ハウジング２２４に対して軸方向に摺動自在となる。

[0167] ここで、軸受スリーブ２２５は、その外径側に配置され、後側ハウジング

２２４に嵌合する外周面を有する環状の外側金属部材２７１と、その内径側に配置され、外輪２６１，２６１に嵌合する内周面を有する環状の内側金属部材２７２と、外側金属部材２７１と内側金属部材２７２との間に配置される環状の炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）２７３と、を有する。外側金属部材２７１、内側金属部材２７２、及び炭素繊維複合材料２７３が、それぞれ軸受スリーブ２２５と同じ軸方向長さを有しており、軸受スリーブ２２５は、半径方向多層構造に構成されている。

[0168] 外側及び内側金属部材２７１，２７２には、炭素鋼、ＳＣＭ材、鋳鉄などの金属材料が使用される。また、炭素繊維複合材料２７３は、外側及び内側金属部材２７１，２７２を構成する金属材料より比弾性率が高く、比重が小さく、熱膨張率が小さいものが使用される。特に、炭素繊維複合材料の比弾性率は、共に軸受スリーブ２２５を形成する外側及び内側金属部材２７１，２７２の熱膨張に対応するため、好ましくは、使用される金属材料の２倍以上、より好ましくは３倍以上とする。炭素繊維複合材料は、繊維方向により異方性であるが、かかる荷重の方向に合わせて、成形時に繊維方向を決定する。また、繊維方向を交差させることで、等方性にして使用してもよい。さらに、円周方向の比弾性率が大きくなるように、繊維方向を決定してもよい。

[0169] 例えば、炭素繊維複合材料２７３は、ＰＡＮ（ポリアクリルニトリル）を主原料とした炭素繊維からなる糸を平行に引きそろえたものや、炭素繊維からなる糸で形成した織物（シート状）に、硬化剤を含むエポキシ樹脂などの熱硬化樹脂を含浸させてなるシートを多数層重ね合わせて、芯金などに巻きつけ、加熱硬化させることで製造される。

[0170] 炭素繊維複合材料２７３の特性としては、例えば、東邦テナックス社の炭素繊維タイプ：ＨＴＡを使用すると引張強度２０６０ＭＰａ、引張弾性率１３７ＧＰａ、比重１．５５ｇ／ｃｃであり、従来の高張力鋼などと比べて、引張強度は同等以上であり、比重は１／５程度になる。また、熱膨張率も、繊維方向・角度を最適化することにより、－５～＋５°×１０$^{-6}$℃にするこ

とができるので、従来の炭素鋼に比べて１／２～１／１０程度にすることができる。軸受スリーブ２２５とハウジング２２４の運転中の温度差による半径方向の膨張量差を想定し、両者間のすきまが減少することがないような適正な熱膨張率となるように繊維方向や角度を最適化してもよい。

[0171] 炭素繊維複合材料２７３と外側及び内側金属部材２７１，２７２との結合方法は、別々に形成されたものを締まり嵌めや接着により結合してもよく、あるいは、一体成形であってもよい。

[0172] このように、内側金属部材２７２の外側に炭素繊維複合材料２７３を設けることで、内側金属部材２７２の膨張を外側の炭素繊維複合材料２７３によって押さえ込むことができる。従って、軸受スリーブ２２５の外径が膨張して、後側ハウジング２２４と軸受スリーブ２２５との間の隙間が減少するのを抑制することができる。

[0173] また、炭素繊維複合材料２７３のような熱伝達率の小さい材料を用いることで、炭素繊維複合材料２７３よりも外側の部材に軸受の熱が伝達され難くなる。これにより、後側ハウジング２２４の温度が上昇し難くなり、主軸の熱変位による加工精度の悪化を防止することができる。また、炭素繊維複合材料２７３の外側にある外側金属部材２７１の温度も上がり難いので、その分も隙間が減少しにくくなる。

[0174] なお、内側金属部材２７２は、ノビナイトなどの、炭素繊維複合材料２７３により近い線膨張係数を有する低膨張鋳物部材を用いることで、後側ハウジング２２４と軸受スリーブ２２５との隙間の減少を抑制するうえでより好ましいが、例えば、後側ハウジング２２４と線膨張係数が同程度の材質であっても、炭素繊維複合材料２７３の押さえ込み作用により、効果を発揮することができる。また、炭素繊維複合材料２７３の肉厚を内側金属部材２７２に比べて厚くしておくことで、押さえ込み作用がより大きくなり好ましい。

[0175] また、本実施形態では、後側ハウジング２２４と直接接触していない、熱容量が大きい後側軸受外輪押さえ２３３と外輪２６１，２６１とを結合することで、熱を外輪押さえ２３３側に逃がすという効果もある。

この結果、後側ハウジング２２４と軸受スリーブ２２５との摺動部の初期隙間を小さくすることができ、摺動性を維持しつつ、低速（低発熱）時の振動を低減できる。また、高速回転時の発熱により軸受スリーブの外径の膨張を押さえ、隙間の減少を押さえ、軸受スリーブの摺動不良を防止することができる。

さらに、炭素繊維複合材料は、振動に対する減衰性に優れていることから、振動を抑制することができる。

[0176] また、第９実施形態においても、軸受スリーブ２２５は、第１０及び第１１実施形態と同様に、外側金属部材２７１と炭素繊維複合材料２７３との組合せや、炭素繊維複合材料２７３と内側金属部材２７２との組合せ、炭素繊維複合材料２７３のみのいずれかによって構成することができる。特に、軸受スリーブ２２５の外周面は、後側ハウジング２２４との摺動性を満足するものであれば、外側金属部材２７１によって構成されてもよいし、炭素繊維複合材料２７３によって構成されてもよい。また、炭素繊維複合材料の外周面に金属メッキやセラミックを溶射するようにしてもよい。

[0177] （第１０実施形態）

次に、本発明の第１０実施形態に係る主軸装置について、図１８を参照して説明する。なお、第９実施形態と同一又は同等部分については、同一符号を付して説明を省略或いは簡略化する。

[0178] 本実施形態では、回転軸２１２は、その工具側を支承する２列の前側軸受（固定側軸受）２５０，２５０と、反工具側を支承する２列の後側軸受（自由側軸受）２６０，２６０とによって、ハウジングＨに回転自在に支持されており、外部からの駆動力によって回転駆動される。なお、ハウジングＨは、工具側から順に、前側軸受外輪押さえ２２９、外筒２１９、及び後蓋２２６によって構成されている。

[0179] 前側軸受２５０，２５０と後側軸受２６０，２６０は、それぞれ背面組み合わせとなるように配置されており、定位置予圧が付与される構成となっている。前側軸受２５０，２５０の外輪２５１，２５１は、外筒２１９に内嵌

されており、且つ外筒２１９にボルト締結された前側軸受外輪押さえ２２９によって外輪間座２３０を介して外筒２１９に対し軸方向に位置決め固定されている。また、前側軸受２５０，２５０の内輪２５２，２５２は、回転軸２１２に外嵌されており、且つ回転軸２１２に締結されたナット２３１によって内輪間座２３２を介して回転軸２１２に対し軸方向に位置決め固定されている。

[0180] 後側軸受２６０，２６０の外輪２６１，２６１は外筒２１９に対して軸方向に摺動自在の状態とされた軸受スリーブ２２５に内嵌されて、軸受スリーブ２２５に対し軸方向に位置決め固定されている。後側軸受２６０，２６０の内輪２６２，２６２は、回転軸２１２に外嵌されており、回転軸２１２に締結された他のナット２３５によって、内輪間座２３６を介して軸方向に位置決め固定されている。

[0181] ここで、軸受スリーブ２２５は、その外径側に配置され、外筒２１９に嵌合する外周面を有する炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）２８１と、炭素繊維複合材料２８１の内側に配置され、外輪２６１，２６１に嵌合する内周面を有する環状の内側金属部材２８２と、を有した半径方向多層構造に構成されている。炭素繊維複合材料２８１と内側金属部材２８２とは、接着又は焼嵌めによって接合される。また、炭素繊維複合材料２８１の外周面の仕上げは、内側金属部材２８２との接合後に行われるのが好ましい。

[0182] さらに、軸受スリーブ２２５には回り止め部２８５が設けられており、加減速時の転がり軸受２６０の摩擦トルク増によるハウジング２１９と軸受スリーブ２２５間の円周方向滑りを防止している。

[0183] このように、軸受スリーブ２２５の外側を炭素繊維複合材料２８１、内側を内側金属部材２８２とすることで、内側金属部材２８２の膨張を炭素繊維複合材料２８１で押さえ込むことができ、外筒２１９と軸受スリーブ２２５との隙間の減少を抑制することができる。また、熱膨張量は、（熱膨張量＝線膨張係数×長さ（この場合、直径）×温度上昇）で与えられるので、径の大きい軸受スリーブ２２５の外側部位に炭素繊維複合材料２８１を配置する

ことで、効果的に軸受スリーブ２２５の膨張を押さえることができる。

[0184] （第１１実施形態）

図１９は、本実施形態の第１１実施形態に係る主軸装置１０の断面図である。この実施形態では、軸受スリーブ２２５の内周面、即ち、内側金属部材２８２の内周面と後側軸受２６０，２６０の外輪２６１，２６１の外周面とのはめあいをすきま嵌めとしている。

[0185] 軸受スリーブ２２５と外輪２６１，２６１との間のすきまは、軸受２６０，２６０が高速回転した際の玉２６３，２６３の遠心力作用による外輪２６１，２６１の半径方向膨張分より大きく設定することで、遠心力による内部予圧の増大を外輪膨張で緩和することができる。

[0186] ただし、軸受スリーブ２２５と外輪２６１，２６１との間をすきま嵌めとする場合、外輪２６１，２６１が軸受スリーブ２２５の内部で円周方向に滑らないように、外輪２６１，２６１の両端面を内側金属部材２８２の肩部２８２ａと、内側金属部材２８２にボルト締結された外輪押さえ２８４とで押さえるように構成される。また、外輪２６１，２６１の両端面を押さえることで、すきま嵌めにより懸念される軸受２６０，２６０の振動も防止することができる。

なお、その他の構成及び作用については、第１０実施形態と同様である。

[0187] 図２０は、本実施形態の第１１実施形態の第１変形例に係る主軸装置１０の断面図である。この変形例では、軸受スリーブ２２５の構成において第１１実施形態と異なる。即ち、軸受スリーブ２２５は、その外径側に配置され、外筒２１９に嵌合する外周面を有する環状の外側金属部材２８３と、外側金属部材２８３の内側に配置され、外輪２６１，２６１にすきま嵌めで嵌合する内周面を有する炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）２８１と、を有する。

[0188] この場合、軸受スリーブ２２５と外輪２６１，２６１との間のすきまは、第１１実施形態と同様、軸受２６０，２６０が高速回転した際の玉２６３，２６３の遠心力作用による外輪２６１，２６１の半径方向膨張分より大きく設定されているので、このすきまによって遠心力による内部予圧の増大を緩

和する外輪膨張が許容されている。従って、軸受スリーブ２２５の内周面は、該変形例のように、炭素繊維複合材料２８１によって構成されてもよい。

また、この場合、外輪２６１，２６１の両端面を炭素繊維複合材料２８１の肩部２８１ａと、軸受スリーブ２２５にボルト締結された外輪押さえ２８４とで抑えるように構成される。

[0189] 図２１は、本実施形態の第１１実施形態の第２変形例に係る主軸装置１０の断面図である。この変形例では、軸受スリーブ２２５全体が炭素繊維複合材料２８１によって構成されている。

[0190] この場合にも、軸受スリーブ２２５と外輪２６１，２６１との間のすきまは、第１１実施形態と同様、軸受２６０，２６０が高速回転した際の玉２６３，２６３の遠心力作用による外輪２６１，２６１の半径方向膨張分より大きく設定されているので、このすきまによって遠心力による内部予圧の増大を緩和する外輪膨張が許容されている。

[0191] （第１２実施形態）

次に、第１２実施形態の主軸装置について図２２を参照して説明する。図２２に示すように、第１２実施形態の主軸装置１０では、その軸方向中心部に、金属材料、より具体的にクロムモリブデン鋼材（ＳＣＭ材）からなる中空状の回転軸３１２が設けられおり、回転軸３１２の軸芯には、図示しないドローバーが摺動自在に挿嵌されている。ドローバーは、いずれも図示しない工具ホルダを固定するコレット部を、皿ばねの力によって反工具側方向（図の右方向）に付勢しており、工具ホルダは、回転軸３１２のテーパ面と嵌合する。工具ホルダには工具が取り付けられており、この結果、回転軸３１２は、一端（図の左側）に工具をクランプして、工具を取り付け可能としている。

[0192] 回転軸３１２は、その工具側を支承する２列の前側軸受３５０，３５０と、反工具側を支承する２列の後側軸受３６０，３６０とによって、ハウジングＨに回転自在に支持されている。なお、ハウジングＨは、工具側から順に、フロントカバー３４０、前側軸受外輪押さえ３２９、外筒３１９、後側ハ

ウジング３２４及び後蓋３２６によって構成されている。

[0193] 回転軸３１２の前側軸受３５０，３５０と後側軸受３６０，３６０間における回転軸３１２の外周面には、ロータ３２０が焼き嵌めにより外嵌されている。また、ロータ３２０の周囲に配置されるステータ３２２は、ステータ３２２に焼き嵌めされた冷却ジャケット３２３を、ハウジングＨを構成する外筒３１９に内嵌することで、外筒３１９に固定される。したがって、ロータ３２０とステータ３２２はモータＭを構成し、ステータ３２２に電力を供給することでロータ３２０に回転力を発生させ、回転軸３１２を回転させる。

[0194] 各前側軸受３５０は、外輪３５１と、内輪３５２と、接触角を持って配置される転動体としての玉３５３と、保持器３５４と、をそれぞれ有するアンギュラ玉軸受であり、各後側軸受３６０は、外輪３６１と、内輪３６２と、転動体としての玉３６３と、保持器３６４と、を有するアンギュラ玉軸受である。前側軸受３５０，３５０（並列組合せ）と後側軸受３６０，３６０（並列組合せ）とは、互いに協働して背面組み合わせとなるように配置されている。

[0195] 前側軸受３５０，３５０の外輪３５１，３５１は、外筒３１９に内嵌されており、且つ外筒３１９にボルト締結された前側軸受外輪押さえ３２９によって前側外輪間座３３０を介して外筒３１９に対し軸方向に位置決め固定されている。また、前側軸受３５０，３５０の内輪３５２，３５２は、回転軸３１２に零以上のしめしろで外嵌されており、複数の前側内輪間座３３２を介して回転軸３１２の段部３１３と、回転軸３１２に締結されたナット３３１との間に狭持されて、回転軸３１２に対し位置決めされている。

[0196] 後側軸受３６０，３６０の外輪３６１，３６１は、後側ハウジング３２４の内側において軸方向に摺動自在の状態とされた軸受スリーブ３２５に内嵌されており、且つ軸受スリーブ３２５にボルト締結された後側軸受外輪押さえ３３３によって後側外輪間座３３４を介して軸受スリーブ３２５に対し軸方向に位置決め固定されている。また、後側軸受３６０，３６０の内輪３６

２，３６２は、回転軸３１２に零以上のしめしろで外嵌されており、且つ回転軸３１２に締結された他のナット３３５によって後側内輪間座３３６を介して回転軸３１２に対し位置決め固定されている。

[0197] 次に、前側、後側内輪間座３３２，３３６、及び前側、後側軸受３５０，３６０の内輪３５２，３６２について詳細に説明する。なお、前側内輪間座３３２と前側軸受３５０、及び後側内輪間座３３６と後側軸受３６０は共に同様の構成を有するので、以後の説明においては、前側内輪間座３３２と前側軸受３５０を例に説明するものとする。

[0198] 図２３（ａ）は主軸装置１０の前側軸受３５０近傍を拡大して示す断面図、（ｂ）は前側内輪間座３３２の側面図、（ｃ）は前側内輪間座３３２の正面図であり、各内輪３５２は、その両側面に、回転軸３１２に外嵌する一対の前側内輪間座３３２が対向配置されている。

[0199] 前側内輪間座３３２は、円環状の本体部３３２ａと、本体部３３２ａの外周側から軸方向に突出して内輪３５２の肩部の外周面３５２ａに外嵌し、本体部３３２ａと一体形成される円環状の鍔状突部３３２ｂと、を有している。また、前側内輪間座３３２は、内輪３５２より熱膨張係数が小さく、且つ比弾性率が大きい材料、例えば、炭素繊維複合材料（ＣＦＲＰ）により形成されている。

[0200] 前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂは、内輪３５２の肩部の外周面３５２ａに、組み付け時において零以上のしめしろで外嵌しており、内輪３５２の肩部の外周面３５２ａは、全周に亘って鍔状突部３３２ｂによって径方向内側に押え付けられる。ここで、鍔状突部３３２ｂと内輪３５２の肩部の外周面３５２ａとを、零以上のしめしろで嵌合させるのは、主軸装置１０の運転に伴って温度上昇したとき、両者の熱膨張係数の差によってしめしろが増大する方向にあるので、両者の間にすきまが生じず、鍔状突部３３２ｂによる内輪３５２の肩部の外周面３５２ａの拘束を維持できることによる。

[0201] なお、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂと内輪３５２の肩部の外周面３５２ａとの最大しめしろ（直径法）は、前側内輪間座３３２（鍔状突部

３３２ｂ）の形状や肉厚等にもよるが、組込みの容易性を考慮すると、好ましくは６０μｍ以下、より好ましくは４０μｍ以下、さらに好ましくは２０μｍ以下とするのがよい。

[0202] また、鍔状突部３３２ｂと内輪３５２の肩部の外周面３５２ａとの嵌合部の軸方向幅は、両者の嵌合状態を強固に維持するために、内輪３５２の軸方向幅の１０％以上であることが望ましい。本実施形態においては、鍔状突部３３２ｂの外径を保持器３５４の内径よりも小径としているので、鍔状突部３３２ｂを保持器３５４と干渉させないようにしつつ、鍔状突部３３２ｂと内輪３５２の肩部の外周面３５２ａとの嵌合部の軸方向幅を大きくすることができる。

[0203] また、上記と同様の理由により、前側内輪間座３３２と回転軸３１２との嵌合、及び内輪３５２と回転軸３１２との嵌合は、組込時において、零以上のしめしろで嵌合するのがよい。これにより、温度上昇しても嵌合状態が維持されて、両者間のクリープが防止されると共に、鍔状突部３３２ｂと内輪３５２の肩部の外周面３５２ａとの嵌合状態を強固に維持することができる。

[0204] 炭素繊維複合材料からなる前側内輪間座３３２は、金属からなる内輪３５２と比較して、比弾性率が大きく、比重が小さく、且つ熱膨張係数が小さいので、運転時の遠心力による遠心力膨張が少なくなり、且つ温度上昇による熱膨張量が少なくなる。したがって、前側内輪間座３３２と内輪３５２間の膨張量の差分で内輪３５２の肩部の外周面３５２ａを鍔状突部３３２ｂで押え込み、効果的に内輪３５２の膨張を抑制することができる。このことは、回転軸３１２と内輪３５２とのはめあい維持にも寄与する。鍔状突部３３２ｂによる内輪３５２の抑え込み効果は、特に、ｄｍｎが１００万以上となるような高速回転する主軸装置１０において特に有効である。

[0205] なお、炭素繊維複合材料としては、例えば、ＰＡＮ（ポリアクリルニトリル）を主原料とした炭素繊維からなる糸を平行に引きそろえたものや、炭素繊維からなる糸で形成した織物（シート状）に、硬化剤を含むエポキシ樹脂

などの熱硬化樹脂を含浸させてなるシートを多数層重ね合わせて、芯金などに巻きつけ、加熱硬化させることで製造される。

[0206] 炭素繊維複合材料の特性としては、例えば、東邦テナックス社の炭素繊維タイプ：ＨＴＡを使用すると引張強度２０６０ＭＰａ、引張弾性率１３７ＧＰａ、比重１．５５ｇ／ｃｃであり、従来の高張力鋼などと比べて、引張強度は同等以上であり、比重は１／５程度になる。また、熱膨張率も、繊維方向・角度を最適化することにより、－５～＋５×１０$^{-6}$（Ｋ$^{-1}$）にすることができるので、従来の炭素鋼に比べて１／２～１／１０程度にすることができる。

[0207] 以上説明したように、本実施形態の主軸装置１０によれば、回転軸３１２を回転自在に支持する前側軸受３５０の内輪３５２の両側面に対向配置されて回転軸３１２に外嵌する前側内輪間座３３２を備える。前側内輪間座３３２は、外周側から軸方向に突出して内輪３５２の肩部の外周面３５２ａに外嵌する鍔状突部３３２ｂを有し、内輪３５２より比弾性率が大きく、且つ熱膨張係数が小さい材料から形成される。したがって、前側内輪間座３３２は、高速回転時の遠心力による遠心力膨張が小さいため、内輪３５２の肩部の外周面３５２ａに外嵌する鍔状突部３３２ｂによって内輪３５２を拘束し、内輪３５２の遠心力膨張を抑制することができる。さらに、主軸装置１０の昇温に伴う前側内輪間座３３２の径方向熱膨張量は、内輪３５２の径方向熱膨張量より小さくなるため、この熱膨張量の差分で内輪３５２を押さえ込んで、内輪３５２の熱膨張をより小さく押え込むことができる。これによって、軸受３５０の予圧の増加や、内部荷重の増大を抑制して焼付きなどの発生を防止することができる。

[0208] また、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂは、円環状に形成されるので、内輪３５２の肩部の外周面３５２ａ全周に亘って前側内輪間座３３２で押さえ込むことができ、確実に内輪３５２の遠心力膨張及び半径方向熱膨張を規制することができる。

[0209] また、前側内輪間座３３２は、炭素繊維複合材料により形成されるので、

適正な比弾性率及び熱膨張係数を有する前側内輪間座３３２の製作が可能となる。

[0210] 更に、前側及び後側軸受３５０，３６０との間にモータＭが内蔵して配設されたモータビルトイン方式の主軸装置１０であるので、モータＭからの発熱があっても、前側内輪間座３３２と内輪３５２との熱膨張量の差分で内輪３５２の熱膨張を小さく押え込み、モータＭの熱が前側軸受３６０に及ぼす影響を抑制して焼付きなどの発生を防止することができる。

[0211] なお、上述の通り、本実施形態の後側軸受３６０及び後側内輪間座３３６は、前側軸受３５０及び前側内輪間座３３２と同様の構成を有しているので、同様の効果を奏することは言うまでもない。

[0212]（第１３実施形態）

次に、第１３実施形態の主軸装置１０について図２４を参照して説明する。本実施形態の内輪３５２は、両側の肩部の外周面３５２ａが小径とされて小径部３５２ｂが形成されている。また、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂの内周面は、小径部３５２ｂの直径に合わせて小径となっている。換言すれば、鍔状突部３３２ｂは、第１２実施形態の鍔状突部３３２ｂと比較して肉厚に形成されており、鍔状突部３３２ｂの強度が向上するので破損し難く、内輪３５２を強固に抑え込むことができる。その他の構成及び効果は、第１２実施形態の主軸装置と同様である。

[0213]（第１４実施形態）

次に、第１４実施形態の主軸装置１０について図２５を参照して説明する。本実施形態の内輪３５２は、外輪３５１よりも軸方向幅が広く形成されており、これに合わせて鍔状突部３３２ｂは、本体部３３２ａの軸方向幅が狭く、鍔状突部３３２ｂの軸方向幅が広く形成されている。したがって、前側軸受３５０内部の構造に影響を及ぼすことなく、比較的広い軸方向幅（面積）で内輪３５２の肩部の外周面３５２ａを鍔状突部３３２ｂによって抑え込むことができる。その他の構成及び効果は、第１１実施形態の主軸装置と同様である。

[0214] （第１５実施形態）

次に、第１５実施形態の主軸装置１０について図２６を参照して説明する。本実施形態の内輪３５２は、第１３及び第１４実施形態の内輪３５２及び前側内輪間座３３２の形態を併用したものであり、内輪３５２が幅広に形成されると共に、両側の肩部の外周面３５２ａに小径部３５２ｂが形成されている。これにより、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂの強度を向上させると共に、広い軸方向幅で内輪３５２の小径部３５２ｂ（外周面３５２ａ）を強固に抑え込むことができる。その他の構成及び効果は、第１１実施形態の主軸装置と同様である。

[0215] （第１６実施形態）

次に、第１６実施形態の主軸装置１０について図２７を参照して説明する。本実施形態の内輪３５２は、保持器３５４の軸方向幅を狭くすることにより、保持器３５４と鍔状突部３３２ｂの接触（干渉）を防ぎつつ、鍔状突部３３２ｂの外径を大きくしている。これにより、鍔状突部３３２ｂは、その肉厚を厚くして強度を向上し、効果的に内輪５２の肩部の外周面３５２ａを抑え込むことができる。その他の構成及び効果は、第１１実施形態の主軸装置と同様である。

[0216] （第１７実施形態）

次に、第１７実施形態の主軸装置１０について図２８を参照して説明する。本実施形態の前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂは、互いに周方向に離間し、本体部３３２ａから軸方向に突出する複数（本実施形態では３個）の突部３３２ｃからなり、本体部３３２ａと一体に形成されている。このように、複数の突部３３２ｃを周方向に離間して設けることにより、隣接する突部３３２ｃ間に形成された隙間によって、内輪３５２の持つ熱を放熱することができる。

[0217] なお、突部３３２ｃの個数、周方向長さ、周方向間隔等は、内輪３５２の放熱性や、鍔状突部３３２ｂの強度等を考慮して適宜設定可能である。また、本実施形態の鍔状突部３３２ｂは、上述の実施形態で説明した何れの主軸

装置にも適用可能であり、上述の実施形態で説明した効果に加え、更に内輪３５２の放熱性を向上させることが可能である。その他の構成及び効果は、上述の実施形態の主軸装置と同様である。

[0218] （第１８実施形態）

次に、第１８実施形態の主軸装置１０について図２９を参照して説明する。本実施形態の前側内輪間座３３２は、円環状に形成された本体部３３２ａと、本体部３３２ａとは別体に形成された鍔状突部３３２ｂと、から構成されている。鍔状突部３３２ｂは、第１７実施形態と同様に、周方向に離間する３個の突部３３２ｃからなり、それぞれの突部３３２ｃがネジ３３７によって本体部３３２ａの外周面に締結固定され、内輪３５２の肩部の外周面３５２ａに零以上のしめしろで外嵌される。

[0219] このように、本実施形態においては、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂと、内輪３５２の肩部の外周面３５２ａと、を零以上のしめしろで嵌合させて組み付ける際、鍔状突部３３２ｂを構成する複数の突部３３２ｃをそれぞれネジ３３７によって締付ける構成としたので、組付性を向上させることが可能となる。さらに、周方向に隣り合う突部３３２ｃ間に隙間が形成されるので、この隙間から内輪３５２の熱を放熱することができる。

[0220] なお、本実施形態の主軸装置は、上述の実施形態で説明した何れの主軸装置にも適用可能であり、その他の構成及び効果は、上述の実施形態の主軸装置と同様である。

[0221] （第１９実施形態）

次に、第１９実施形態の主軸装置１０について図３０を参照して説明する。本実施形態の主軸装置１０は、第１７実施形態（図２８参照）と同一形状の内輪３５２及び前側内輪間座３３２を備えており、回転軸３１２Ａが前側内輪間座３３２と同一材料である炭素繊維複合材料により形成されている。

[0222] このように、前側内輪間座３３２に加えて回転軸３１２Ａも炭素繊維複合材料で形成することで、主軸装置１０が軽量化され、固有振動数（共振周波数）を大きくすることができる。また、同時に加減速イナーシャが小さくな

るので、主軸装置１０の加減速時間の低減が可能になり、結果として実加工時間を多く確保することで生産性が向上する。更に、モータへの負荷が軽減する。従って、加減速時間を同一とする場合、低トルク仕様のモータが採用可能であり、主軸装置１０の小型化が図れる。

[0223] なお、回転軸３１２Ａ及び前側内輪間座３３２を同一材料（炭素繊維複合材料）で形成する場合、両者の肉厚差によって回転軸３１２Ａの遠心力膨張量が前側内輪間座３３２の遠心力膨張量より小さくなる傾向にあるので、この遠心力による膨張量の差を考慮して、最高回転時においても、回転軸３１２Ａと前側内輪間座３３２との間にすきまが発生しないように適正なしめしろを選定する必要がある。仮に、回転軸３１２Ａと前側内輪間座３３２との間にすきまが生じると、内輪３５２の遠心力膨張及び熱膨張を前側内輪間座３３２で抑えきれなくなる虞がある。

[0224] なお、本実施形態の主軸装置は、上述の実施形態で説明した何れの主軸装置にも適用可能であり、その他の構成及び効果は、上述の実施形態の主軸装置と同様である。

[0225] （第２０実施形態）

図３１は第２０実施形態に係る主軸装置１０の前側軸受３５０近傍を拡大して示す断面図である。本実施形態の内輪３５２は、肩部の外周面３５２ａに、軸方向端部に向かうに従って直径が次第に小さくなる外周テーパ部３５２ｃが形成されており、軸方向端部に向かうに従って肉薄となっている。また、前側内輪間座３３２は、鍔状突部３３２ｂの内周面に、軸方向端部に向かうに従って直径が次第に大きくなる内周テーパ部３３２ｄが形成されており、軸方向端部に向かうに従って肉厚となっている。そして、内輪３５２の外周テーパ部３５２ｃと、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂの内周テーパ部３３２ｄと、が嵌合することによって、内輪３５２は径方向外側から拘束される。

[0226] 以下に、図３２を参照して、本実施形態における内輪３５２及び前側内輪間座３３２の締結方法を詳述する。まず、図３２（ａ）に示すように、内輪

３５２の外周テーパ部３５２ｃと鍔状突部３３２ｂの内周テーパ部３３２ｄとを当接させた状態で、内輪３５２と前側内輪間座３３２とが、軸方向隙間ΔＬ（＞０）を介して対向配置される。次に、前側内輪間座３３２に当接させたナット３３１（図３１参照）を軸方向後方に向かって軸方向隙間ΔＬが零となるまで締め付けることによって、内輪３５２を軸方向に位置決めするとともに、内輪３５２の外周テーパ部３５２ｃと鍔状突部３３２ｂの内周テーパ部３３２ｄとをしめしろ嵌合させる（図３２（ｂ）参照）。

[0227] このように、本実施形態の主軸装置１０によれば、ナット３３１締め付け前（図３２（ａ）に示す状態）の軸方向隙間ΔＬの値を適切に設定することによって、内輪３５２と前側内輪間座３３２の軸方向の締結力を調整し、外周テーパ部３５２ｃ及び内周テーパ部３３２ｄのはめあいを適切に調整することが可能となる。さらに、内輪３５２の外周テーパ部３５２ｃと、前側内輪間座３３２の鍔状突部３３２ｂの内周テーパ部３３２ｄと、が嵌合するので、回転軸３１２、内輪３５２、前側内輪間座３３２の軸方向の相対熱膨張差によって、内輪３５２と前側内輪間座３３２との軸方向締結力が減少することを抑制することができる。その他の構成及び効果は、上述の実施形態の主軸装置と同様であり、本実施形態の主軸装置１０は、上記実施形態のいずれの主軸装置１０にも適用可能である。

[0228] なお、内輪３５２と前側内輪間座３３２との軸方向締結力を減少させないための構成としては、本実施形態の構成に限定されず、例えば、内輪３５２、ナット３３１と前側内輪間座３３２の間に皿バネ（図示せず）などの弾性部材を配置する構成や、ナット３３１の締め付け力を大きくして、炭素繊維複合材料からなる前側内輪間座３３２を予め弾性変形させておく構成等を採用してもよい。

[0229]（第２１実施形態）

上述の実施形態の主軸装置１０においては、二列のアンギュラ玉軸受（前側軸受）５０が、並列組合せされた構成について説明したが、図３３に示した第２１実施形態の主軸装置１０のように、背面組合せされた構成としても

よい。なお、後側軸受３６０についても、同様に、背面組合わせされたアンギュラ玉軸受３５０によって構成してもよい。

[0230] （第２２実施形態）

更に、図３４に示した第２２実施形態の主軸装置のように、後側軸受３６０を円筒ころ軸受としてもよい。この場合、後側軸受３６０の両側面には、本体部３３６ａと鍔状突部３３６ｂとからなる後側内輪間座３３６が対向配置され、後側内輪間座３３６の鍔状突部３３６ｂによって内輪３６２の肩部の外周面３６２ａを抑え、内輪３６２の膨張を抑制する。

[0231] なお、第１２～第２２の実施形態では、前側軸受３５０及び前側内輪間座３３２と、後側軸受３６０及び後側内輪間座３３６と、が同様の構成を有するとしたが、必ずしも両者が同様の構成を有する必要はなく、前側及び後側軸受３５０，３６０の少なくとも一方の内輪３５２，３６２の両側面に鍔状突部３３２ｂ，３３６ｂを有する一対の内輪間座３３２，３３６が対向配置されていればよい。

[0232] 尚、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、適宜、変形、改良等が可能である。また、上述した実施形態は、実施可能な範囲において適宜、組み合わせて適用可能である。

例えば、上述した実施形態は、前側軸受、後側軸受を一対のアンギュラ玉軸受によって構成したが、軸受の種類や数はこれに限定されず、玉軸受と円筒ころ軸受との組み合わせなど、軸受の種類、列数、配置、配列などは、使用状態に応じて適宜設計することができる。

[0233] なお、本発明は、２０１１年７月２０日出願の日本特許出願（特願２０１１－１５９０９３）、２０１１年７月２０日出願の日本特許出願（特願２０１１－１５９０９４）、２０１１年７月２２日出願の日本特許出願（特願２０１１－１６０９７３）、２０１１年７月２２日出願の日本特許出願（特願２０１１－１６０９７４）、２０１１年７月２２日出願の日本特許出願（特願２０１１－１６０９７５）、２０１１年７月２２日出願の日本特許出願（特願２０１１－１６０９７６）、及び２０１１年１０月６日出願の日本特許

出願（特願２０１１－２２２１５８）に基づくものであり、その内容はここに参照として取り込まれる。

符号の説明

[0234] １０　主軸装置

１２、１１３、２１２、３１２　回転軸

２０、２２０、３２０　ロータ

２２、２２２、３２２　ステータ

２４、２２４、３２４　後側ハウジング

２５、２２５、３２５　軸受スリーブ

５０、１５０、２５０、３５０　前側軸受

５２、６２、１５２、１６２、２５２、２６２、３５２、３６２　内輪

５３、６３、１５３、１６３、２５３、２６３、３５３、３６３　玉

６０、１６０、２６０、３６０　後側軸受

７０、７０ａ　ロータスリーブ（円筒部材）

７１　第１円筒部材

７２　第２円筒部材

７３　第３円筒部材

９１、９４　環状溝

９２　外向き凸部

９３　炭素繊維複合材料（熱伝達率が小さい部材）

９５　内向き凸部

９６　外周側環状溝

９７　内周側環状溝

１１１　インナースリーブ

１１２　アウタースリーブ

１１５　冷媒供給路

１１９　Ｏリング（シール部材）

１３５　前側軸受ハウジング

２５０　前側軸受（固定側軸受）

２６０　後側軸受（自由側軸受）

２７１、２８３　外側金属部材

２７２、２８２　内側金属部材

２７３、２８１　炭素繊維複合材料

３３２　前側内輪間座（内輪間座）

３３２ａ、３３６ａ　本体部

３３２ｂ、３３６ｂ　鍔状突部

３３２ｄ　内周テーパ部

３３２ｃ　突部

３３６　後側内輪間座（内輪間座）

３５２ａ　外周面

３５２ｃ　外周テーパ部

３５４、３６４　保持器

Ｈ　ハウジング

Ｍ　モータ

ΔＬ　軸方向隙間（軸方向隙間）

請求の範囲

[請求項1] 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸に外嵌されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記回転軸は、

金属材料からなる第１円筒部材と、

該第１円筒部材の外周面に配置され、外周面に前記ロータが嵌合し、前記第１円筒部材の金属材料より比弾性率が大きく、且つ線膨張係数が小さい材料からなる第２円筒部材と、

を有することを特徴とする主軸装置。

[請求項2] 前記ロータは、前記第２円筒部材にしめしろを持って嵌合していることを特徴とする請求項１に記載の主軸装置。

[請求項3] 前記第１円筒部材は、前記第２円筒部材が配置される小径部と、前記前側軸受の軸方向位置を規制するナットが締め付けられる雄ねじ部を有する大径部と、を有することを特徴とする請求項１又は２に記載の主軸装置。

[請求項4] 前記前側軸受及び前記後側軸受は、前記第２円筒部材に外嵌されていることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項5] 前記第２円筒部材の前記ロータが嵌合する外周面から軸方向に離間した位置の外周面に配置され、外周面に前記前側又は後側軸受の内輪が嵌合し、金属材料からなる第３円筒部材、をさらに備えることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項6] 前記第２円筒部材は、前記第３円筒部材が配置される外周面が小径となるように段差部を有し、

前記第３円筒部材は、前記段差部の軸方向側面と前記内輪の軸方向端面との間に挟持されるフランジ部を有することを特徴とする請求項５に記載の主軸装置。

[請求項7] 前記第３円筒部材は、前記第２円筒部材の外周面に嵌合する薄肉スリーブであることを特徴とする請求項５又は６に記載の主軸装置。

[請求項8] 前記第３円筒部材は、前記第２円筒部材の外周面に電気的又は化学的手法により結合させた薄膜部材であることを特徴とする請求項５又は６に記載の主軸装置。

[請求項9] 前記第３円筒部材は、前記前側軸受と前記後側軸受の各内輪がそれぞれ嵌合する二つの第３円筒部材を有することを特徴とする請求項５～８のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項10] 前記第２円筒部材は、炭素繊維複合材料であることを特徴とする請求項１～９のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項11] 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸と一体回転可能に配置されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記回転軸と前記ロータとの間には、前記回転軸よりも熱伝達率が小さな円筒部材が配置されることを特徴とする主軸装置。

[請求項12] 前記円筒部材は、炭素繊維複合材料から形成されることを特徴とする請求項１１に記載の主軸装置。

[請求項13] 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸と一体回転可能に配置され

るロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記ロータと前記回転軸との間には、ロータスリーブが設けられ、

前記ロータスリーブと前記回転軸との対向面のいずれか一方には、前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材が部分的に介在することを特徴とする主軸装置。

[請求項14] 前記ロータスリーブの内周面には、複数の環状溝を画成するように環状の内向き凸部が形成されており、

前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、前記複数の環状溝に配置されるとともに、

前記ロータスリーブの環状の内向き凸部と前記回転軸の外周面とは、しまり嵌めで嵌合することを特徴とする請求項１３に記載の主軸装置。

[請求項15] 前記回転軸の外周面には、複数の環状溝を画成するように環状の外向き凸部が形成されており、

前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、前記複数の環状溝に配置されるとともに、

前記ロータスリーブの内周面と前記回転軸の環状の外向き凸部とは、しまり嵌めで嵌合することを特徴とする請求項１３に記載の主軸装置。

[請求項16] 前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、炭素繊維複合材料から形成されることを特徴とする請求項１３～１５のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項17] 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

該前側及び後側軸受との間で前記回転軸と一体回転可能に配置され

るロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータと、

を備える主軸装置であって、

前記前側及び後側軸受との間で、且つ、前記回転軸の内周面と、前記ロータ又は前記ロータが取り付けられるロータスリーブが嵌合する位置から離れた前記回転軸の外周面との少なくとも一ヶ所には、前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材が配置されることを特徴とする主軸装置。

[請求項18] 前記回転軸よりも熱伝達率が小さい部材は、炭素繊維複合材料から形成されることを特徴とする請求項１７に記載の主軸装置。

[請求項19] 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

を備える主軸装置であって、

前記ハウジングは、少なくとも前記後側軸受に外嵌する金属製のインナースリーブと、前記インナースリーブに外嵌する炭素繊維複合材料からなるアウタースリーブと、を備えることを特徴とする主軸装置。

[請求項20] 前記インナースリーブは前記前側軸受及び前記後側軸受に外嵌し、

前記インナースリーブと前記アウタースリーブとはすきま嵌めで嵌合することを特徴とする請求項１９に記載の主軸装置。

[請求項21] 前記ハウジングは、前記インナースリーブ及び前記アウタースリーブの軸方向前方に、前側軸受ハウジングを更に備え、

前記前側軸受に前記前側軸受ハウジングが外嵌することを特徴とする請求項１９に記載の主軸装置。

[請求項22] 前記インナースリーブと前記アウタースリーブとの嵌合部に、冷媒を循環供給する冷媒供給路が配置されることを特徴とする請求項１９～２１のいずれか１項に記載の主軸装置。

［請求項23］ 前記冷媒供給路を外部から封止するシール部材が、前記インナースリーブと前記アウタースリーブとの嵌合部の軸方向両端部に配置されることを特徴とする請求項２２に記載の主軸装置。

［請求項24］ 回転軸と、

内輪が前記回転軸の一端側に外嵌され、外輪がハウジングに固定される固定側軸受と、

前記回転軸の他端側に配置され、前記ハウジングにすきま嵌めで嵌合する軸受スリーブと、

内輪が前記回転軸の他端側に外嵌され、外輪が前記軸受スリーブに嵌合し、前記固定側軸受と協働して前記回転軸を回転自在に支持する自由側軸受と、

を有する主軸装置であって、

前記軸受スリーブは、該軸受スリーブと同じ軸方向長さを有する、環状の炭素繊維複合材料を少なくとも有することを特徴とする主軸装置。

［請求項25］ 前記軸受スリーブは、その外径側に配置され、前記ハウジングに嵌合する外周面を有する環状の外側金属部材と、その内径側に配置され、前記外輪に嵌合する内周面を有する環状の内側金属部材と、前記環状の外側金属部材と前記環状の内側金属部材との間に配置される前記炭素繊維複合材料と、を有することを特徴とする請求項２４に記載の主軸装置。

［請求項26］ 前記軸受スリーブは、その外径側に配置され、前記ハウジングに嵌合する外周面を有する環状の外側金属部材と、該外側金属部材の内側に配置され、前記外輪に嵌合する内周面を有する前記炭素繊維複合材料と、を有することを特徴とする請求項２４に記載の主軸装置。

［請求項27］ 前記軸受スリーブは、その外径側に配置され、前記ハウジングに嵌合する外周面を有する前記炭素繊維複合材料と、該炭素繊維複合材料の内側に配置され、前記外輪に嵌合する内周面を有する環状の内側金

属部材と、を有することを特徴とする請求項２４に記載の主軸装置。

[請求項28] 前記固定側軸受及び自由側軸受は、定圧予圧が付与される構成であり、

前記軸受スリーブには、前記自由側軸受の外輪の一端面に当接する外輪押さえが設けられることを特徴とする請求項２４～２７のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項29] 前記固定側軸受及び自由側軸受は、定位置予圧が付与される構成であり、

前記自由側軸受の外輪と前記軸受スリーブとは、すきま嵌めで嵌合しており、前記自由側軸受の外輪は、前記軸受スリーブから径方向内向きに突出する肩部と、前記軸受スリーブに固定される外輪押さえと、によって軸方向に位置決めされることを特徴とする請求項２４～２７のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項30] 回転軸と、

前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、

を備え、

前記回転軸と、前記前側及び後側軸受の内輪と、が零以上のしめしろで嵌合する主軸装置であって、

前記前側及び後側軸受の少なくとも一方の内輪の両側面に対向配置されて前記回転軸に外嵌する一対の内輪間座を備え、

前記内輪間座は、外周側から軸方向に突出して前記内輪の外周面の肩部に外嵌する鍔状突部を有し、前記内輪より熱膨張係数が小さく、且つ比弾性率が大きい材料から形成されることを特徴とする主軸装置。

[請求項31] 前記内輪の肩部の外周面は、軸方向端部に向かうに従って直径が次第に小さくなる外周テーパ部を有し、

前記内輪間座の鍔状突部の内周面は、軸方向端部に向かうに従って

直径が次第に大きくなる内周テーパ部を有し、

前記内輪の外周テーパ部と、前記内輪間座の鍔状突部の内周テーパ部と、が嵌合することを特徴とする請求項３０に記載の主軸装置。

[請求項32] 前記内輪間座は、円環状に形成されて前記回転軸に外嵌する本体部と、該本体部とは別体に形成された前記鍔状突部と、を有し、

前記鍔状突部は、前記本体部の外周面に締結固定されることを特徴とする請求項３０又は３１に記載の主軸装置。

[請求項33] 前記鍔状突部は、円環状に形成されることを特徴とする請求項３０～３２のいずれか１項に記載の主軸装置。

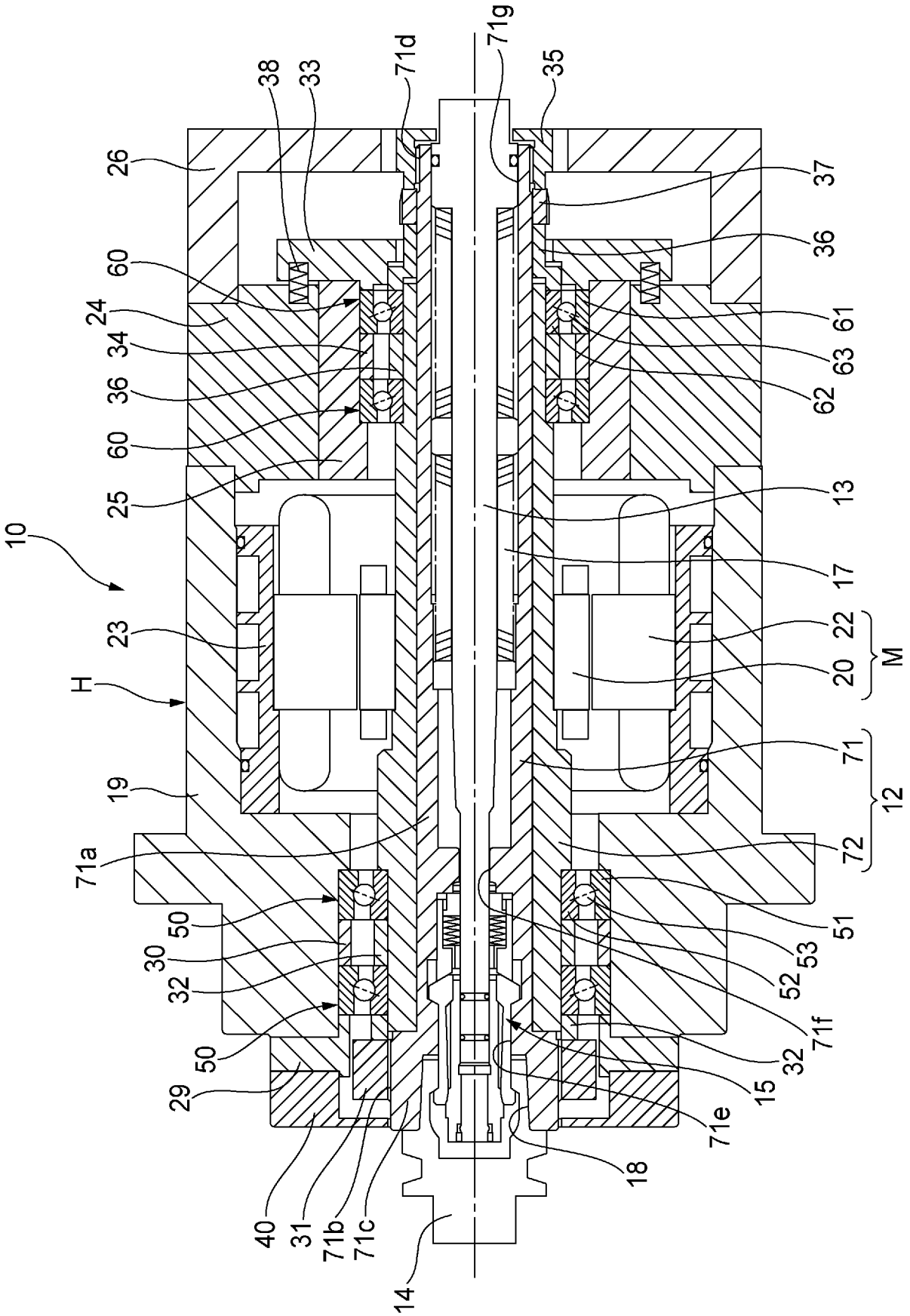
[請求項34] 前記鍔状突部は、周方向に離間する複数の突部から形成されることを特徴とする請求項３０～３２のいずれか１項に記載の主軸装置。

[請求項35] 前記内輪間座は、炭素繊維複合材料により形成されることを特徴とする請求項３０～３４のいずれか１項に記載の主軸装置。

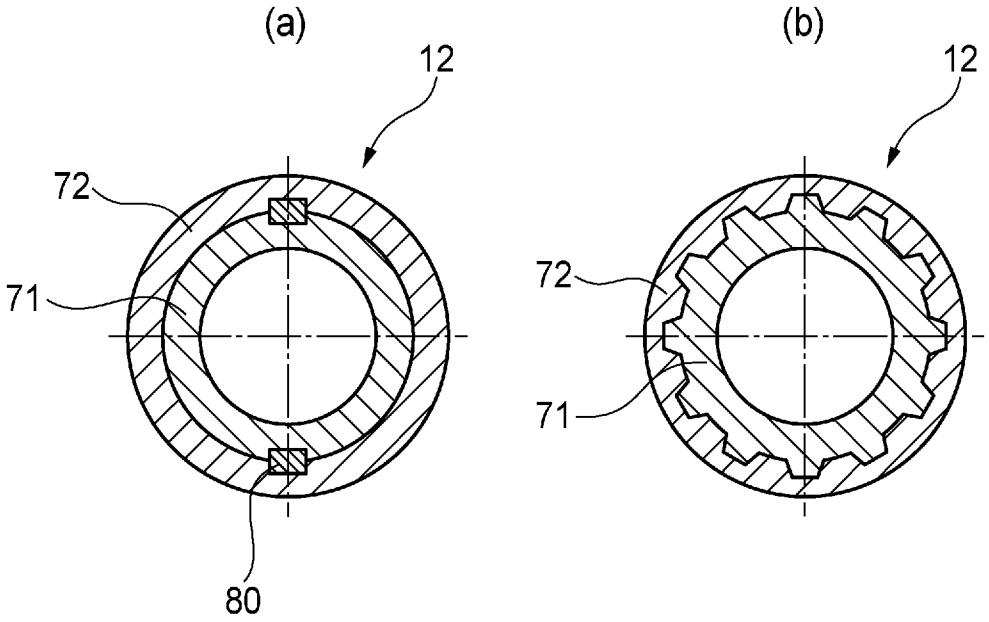
[請求項36] 前記内輪間座に加え、更に前記回転軸が炭素繊維複合材料により形成されることを特徴とする請求項３５に記載の主軸装置。

[請求項37] 前記主軸装置は、前記前側及び後側軸受との間で前記回転軸に外嵌されるロータと、該ロータの周囲に配置されるステータと、を有するモータが配設されるモータビルトイン方式の主軸装置であることを特徴とする請求項３０～３６のいずれか１項に記載の主軸装置。

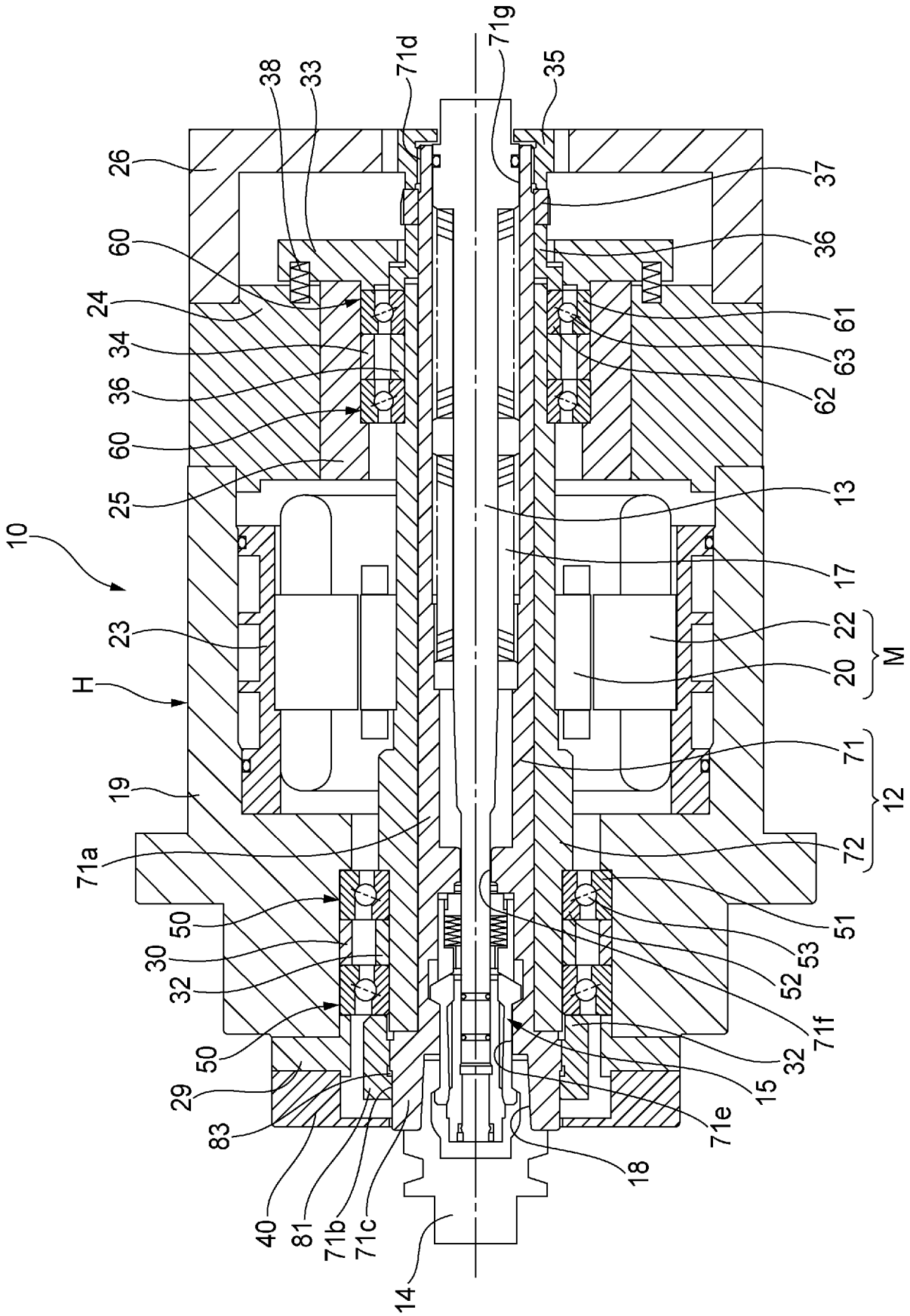
[図1]


10
H
26
60
24
34
36
60
25
23
19
71a
50
30
32
50
29
40
31
71b
71c
14
71d
38
33
71g
35
37
36
61
63
62
13
17
22
20
M
71
12
72
51
53
52
71f
32
15
71e
18

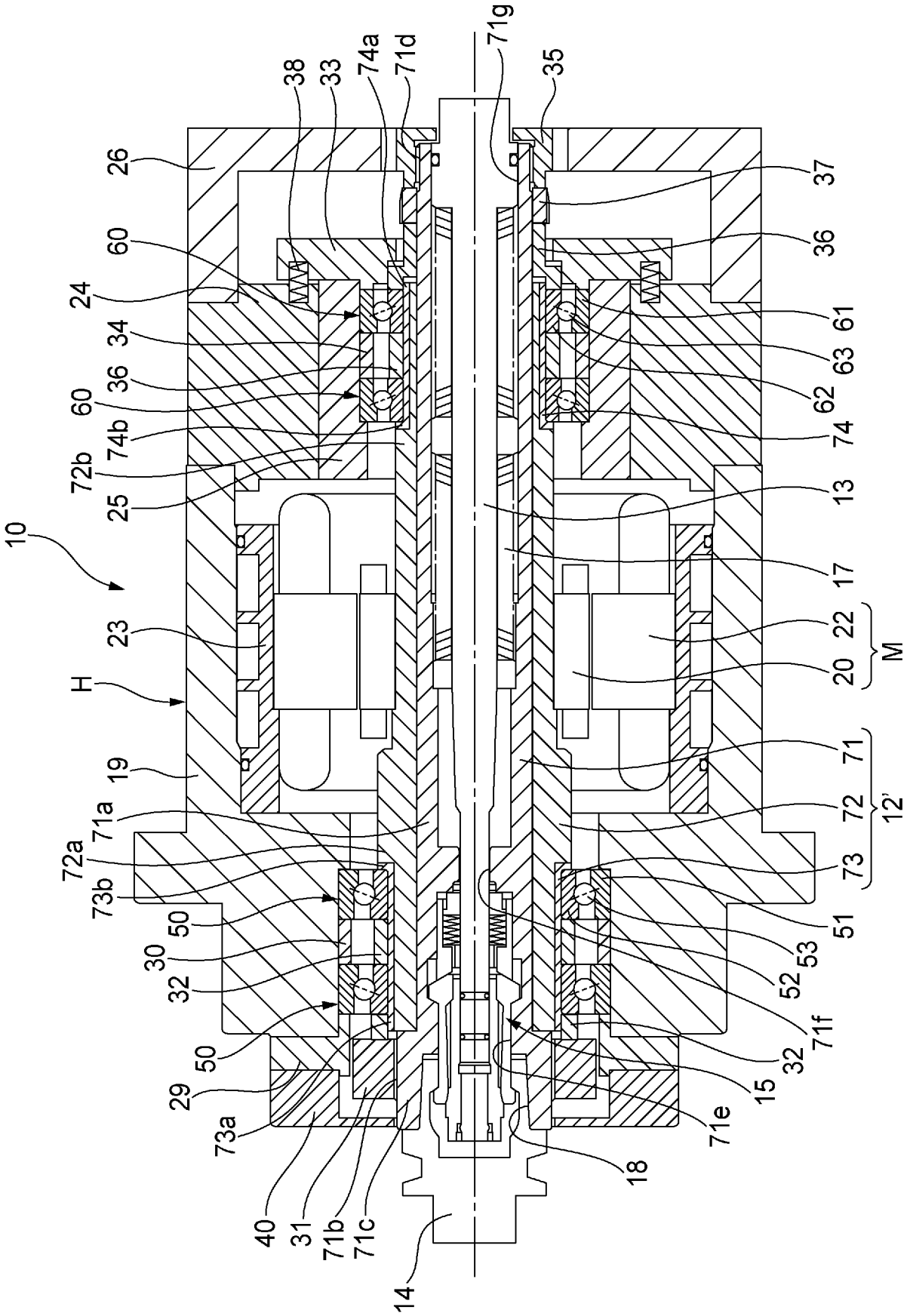
[図2]



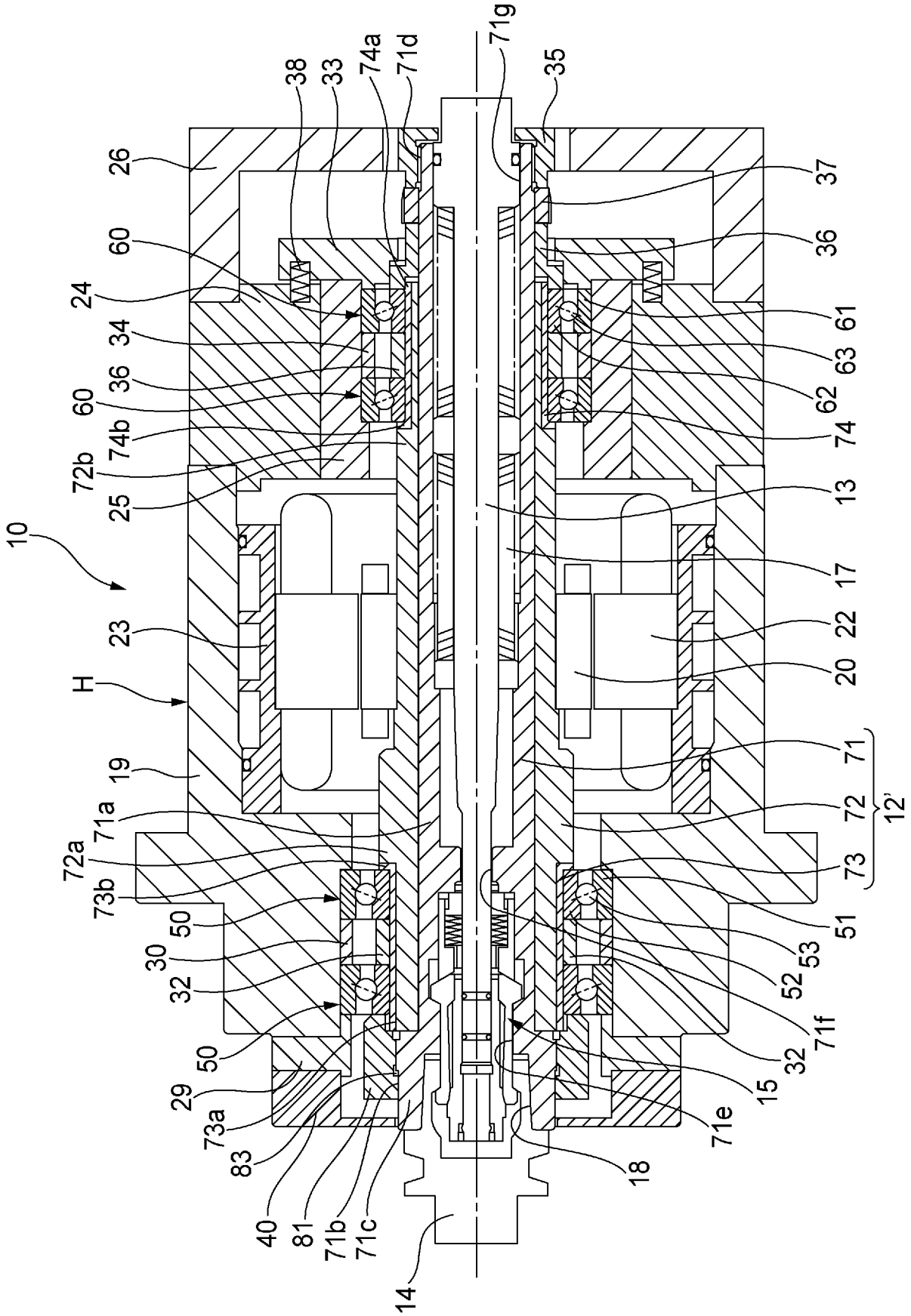
[図3]


10
H
26
60
24
34
36
60
25
23
19
71a
50
30
32
50
29
83
40
81
71b
71c
14
38
33
71d
71g
35
37
36
61
63
62
13
17
22
20
M
71
12
72
51
53
52
71f
32
15
71e
18

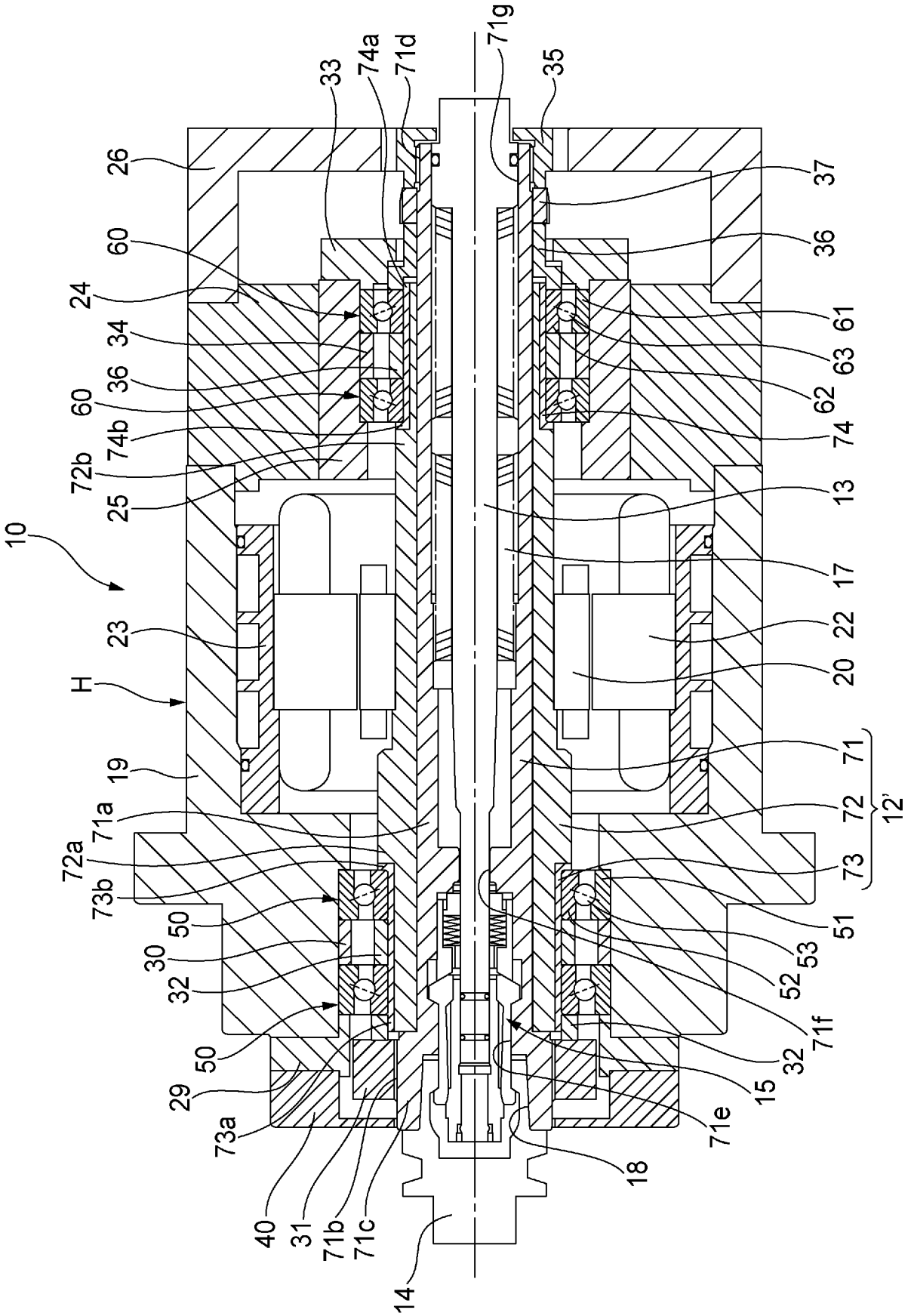
[図4]


10
H
23
19
71a
72a
73b
50
30
32
50
29
73a
40
31
71b
71c
14
26
60
24
34
36
60
74b
72b
25
38
33
74a
71d
71g
35
37
36
61
63
62
74
13
17
22
20
M
71
72
73
12'
51
53
52
71f
32
15
71e
18

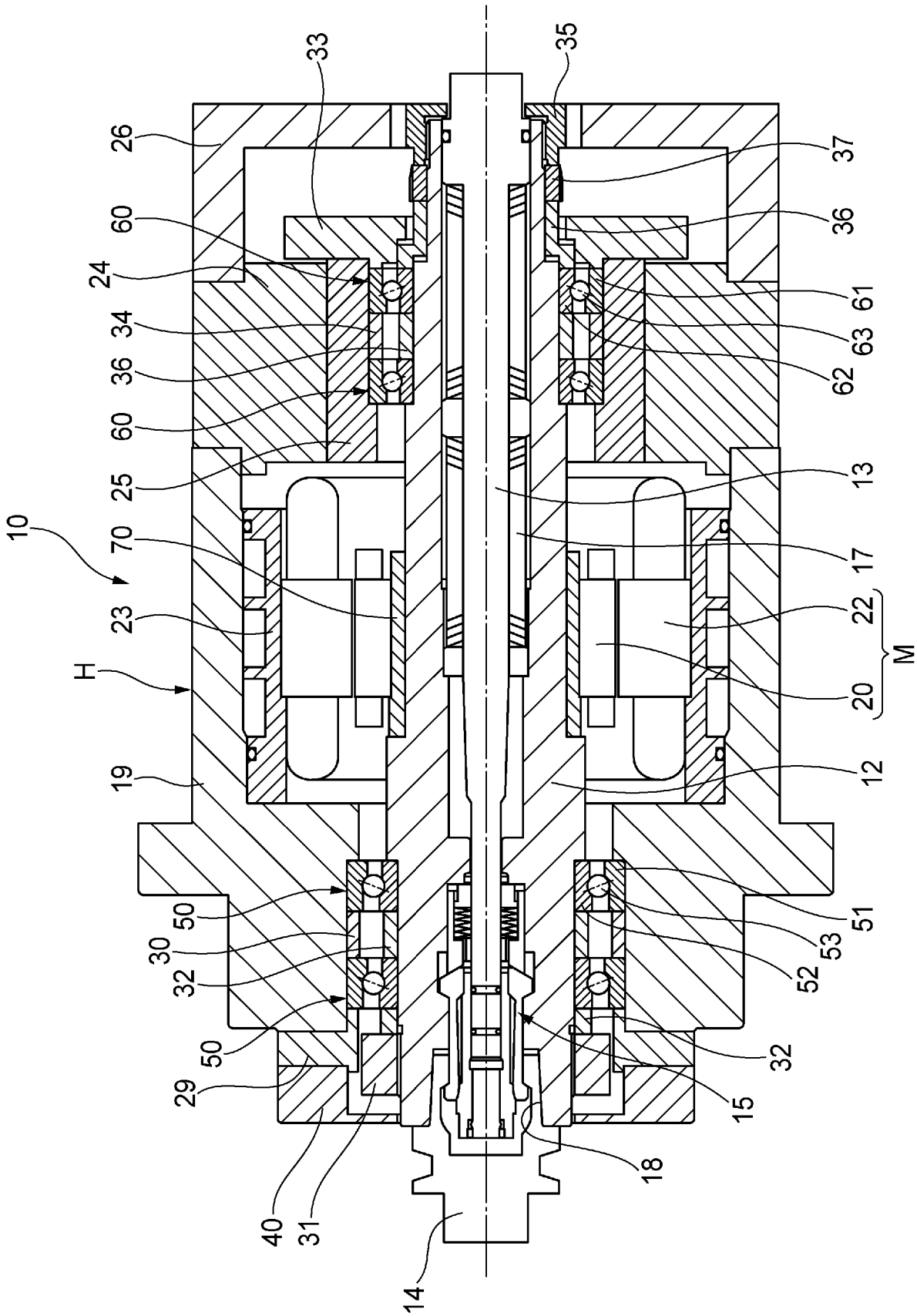
[図5]


10
H
12'
71
72
73
71a
72a
73b
73a
71b
71c
71d
71e
71f
71g
74a
74b
72b
25
26
23
19
24
34
36
60
38
33
35
37
61
63
62
74
13
17
22
20
50
30
32
29
83
40
81
14
15
18
51
52
53

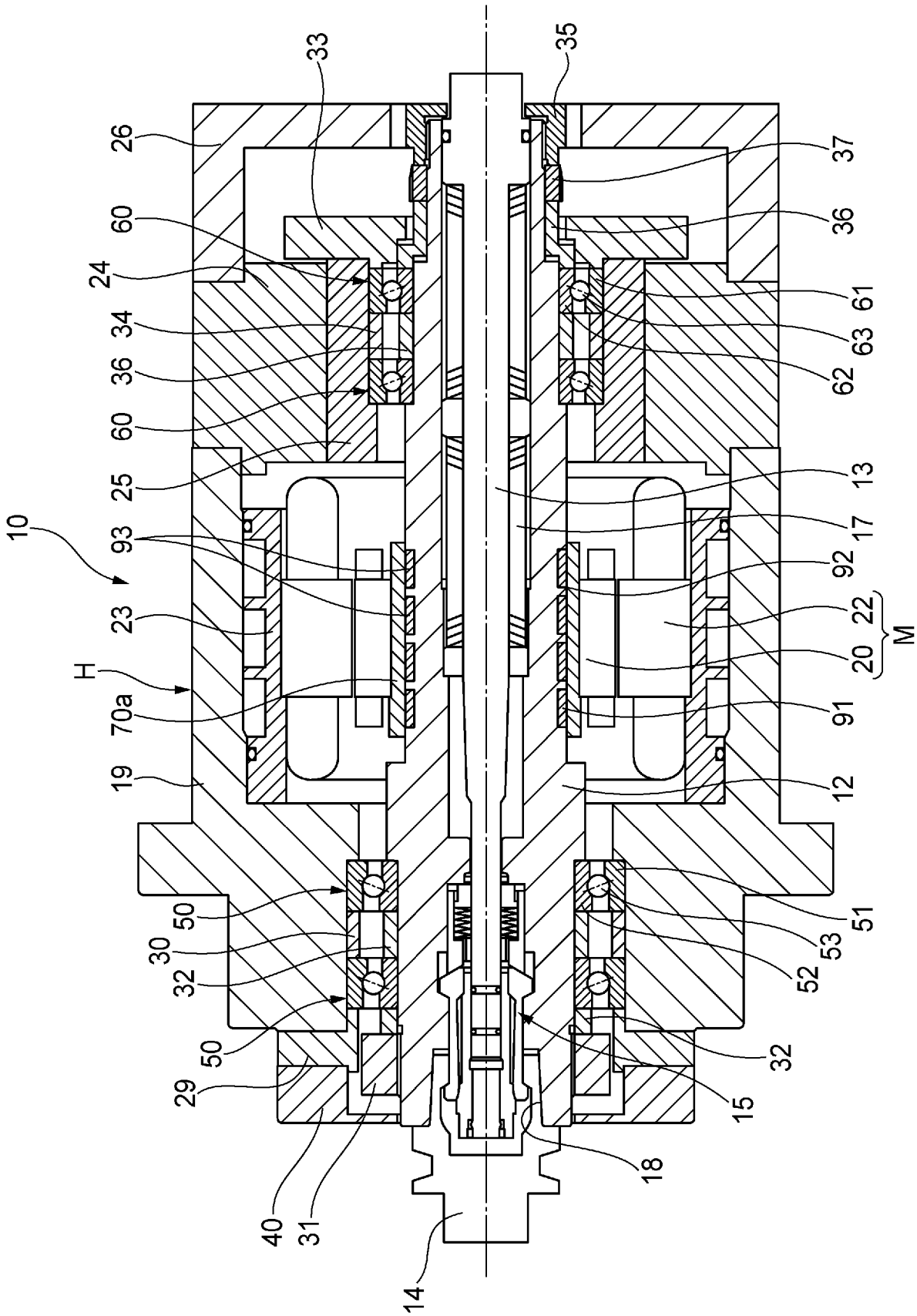
[図6]


10
H
12'
14
15
18
19
20
22
23
24
25
26
29
30
31
32
33
34
35
36
37
40
50
51
52
53
60
61
62
63
71
71a
71b
71c
71d
71e
71f
71g
72
72a
72b
73
73a
73b
74
74a
74b

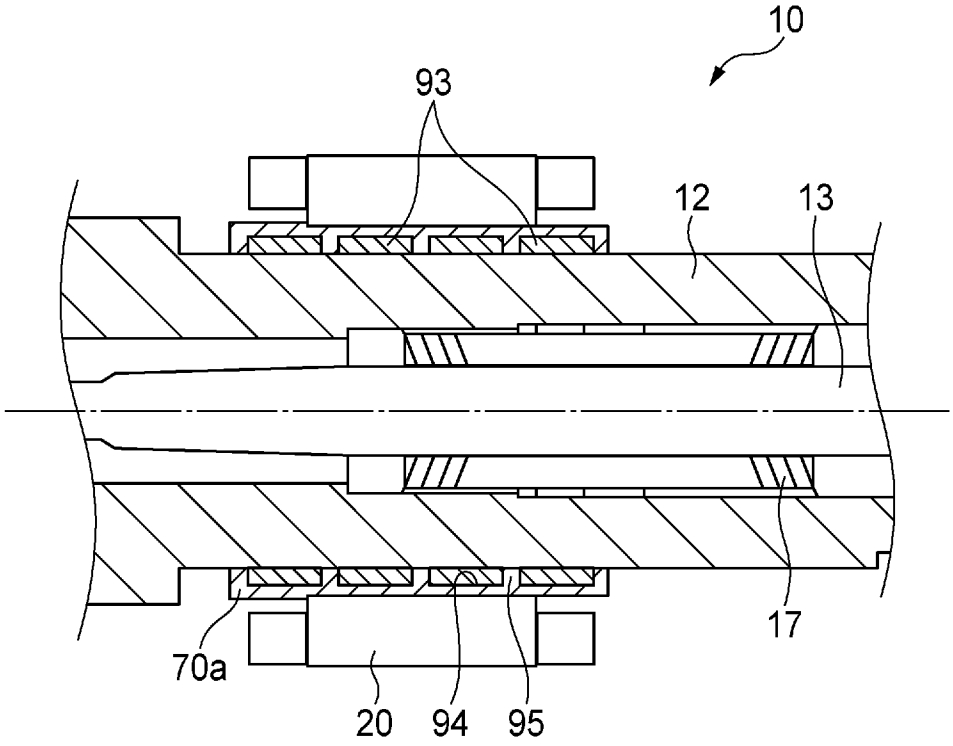
[図7]


33
35
26
37
60
36
24
61
34
63
36
62
60
25
13
10
70
17
23
22
M
H
20
19
12
50
51
30
53
32
52
50
32
29
15
18
40
31
14

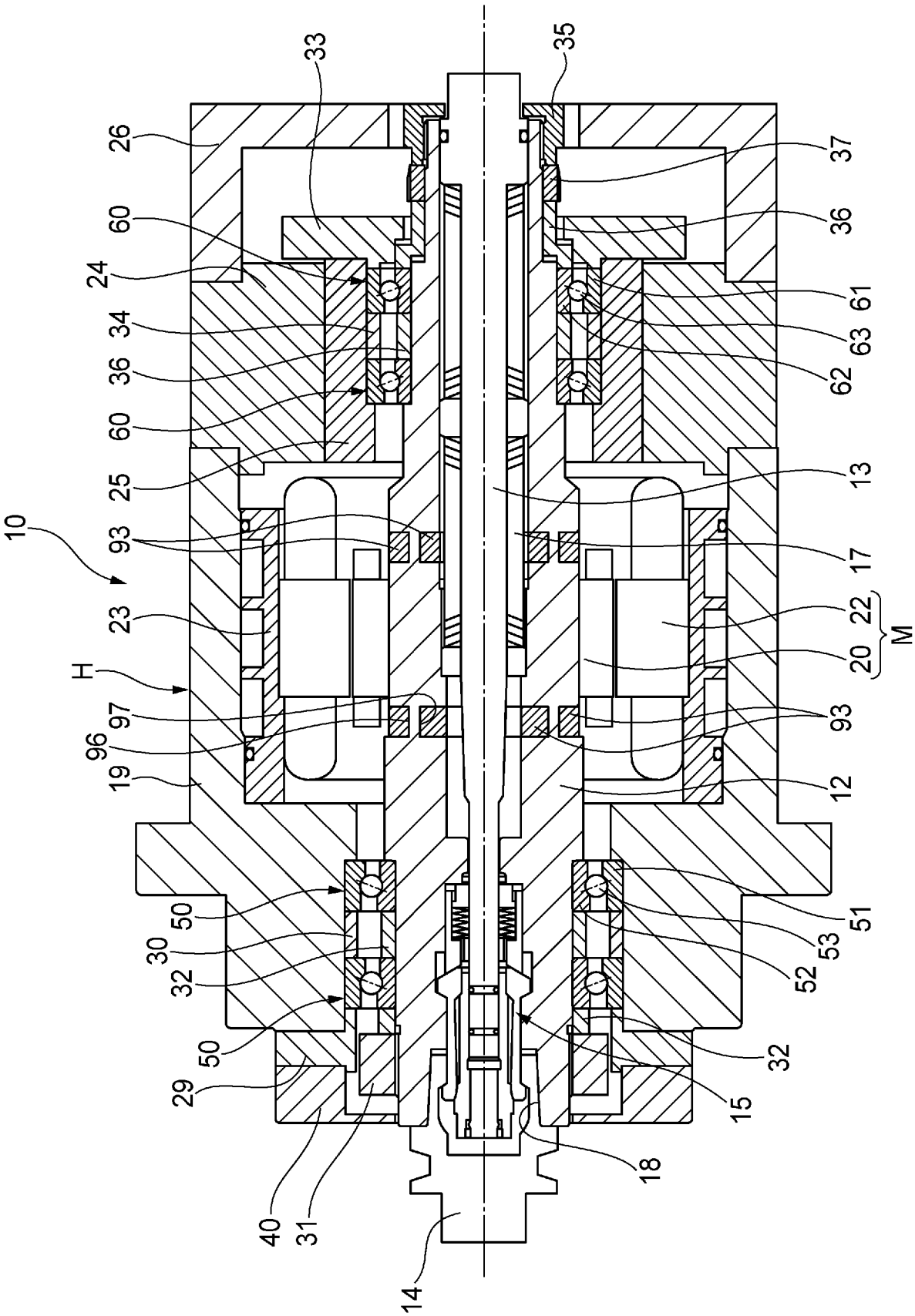
[図8]


10
H
M
14
15
18
19
20
22
23
24
25
26
29
30
31
32
33
34
35
36
37
40
50
51
52
53
60
61
62
63
70a
91
92
93
12
13
17

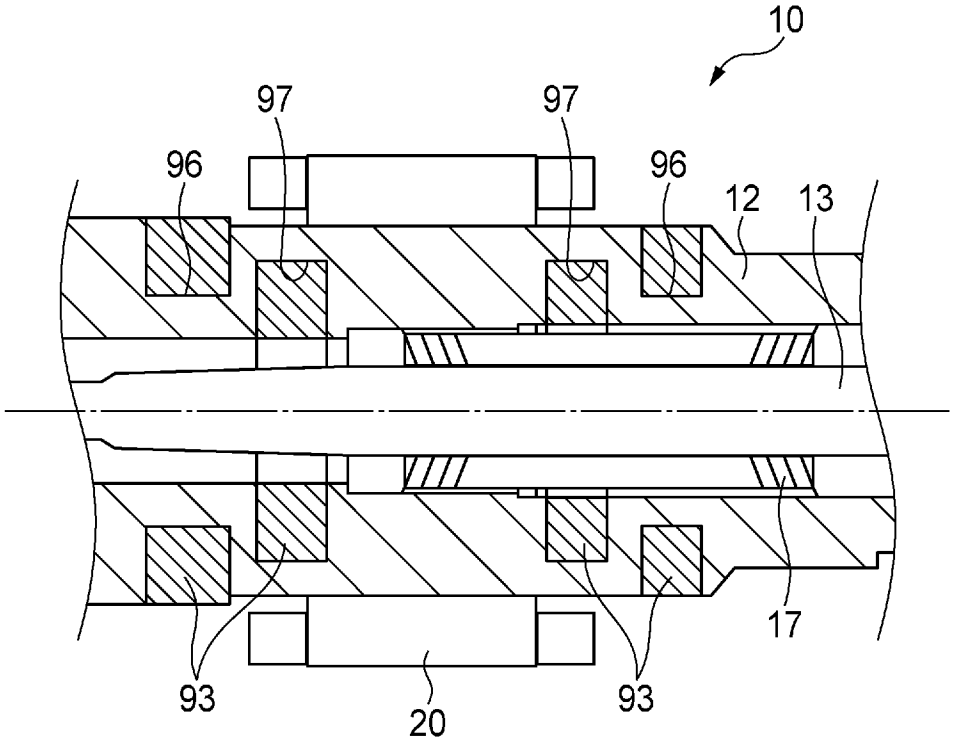
[図9]



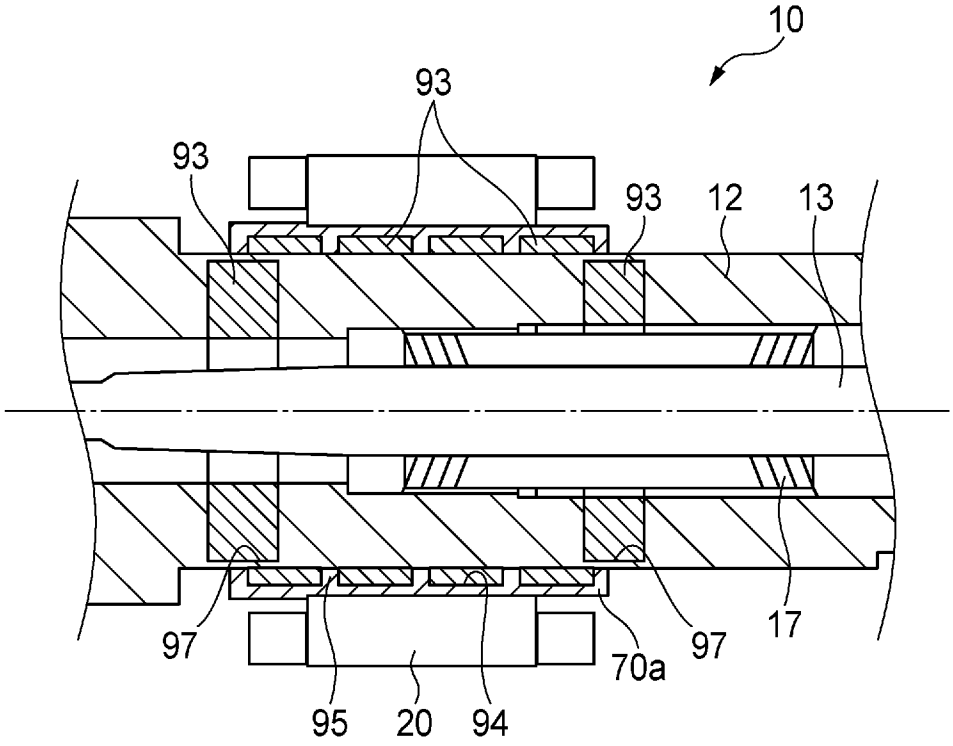
[図10]


10
H
M
14
15
18
19
20
22
23
24
25
26
29
30
31
32
33
34
35
36
37
40
50
51
52
53
60
61
62
63
93
96
97
12
13
17

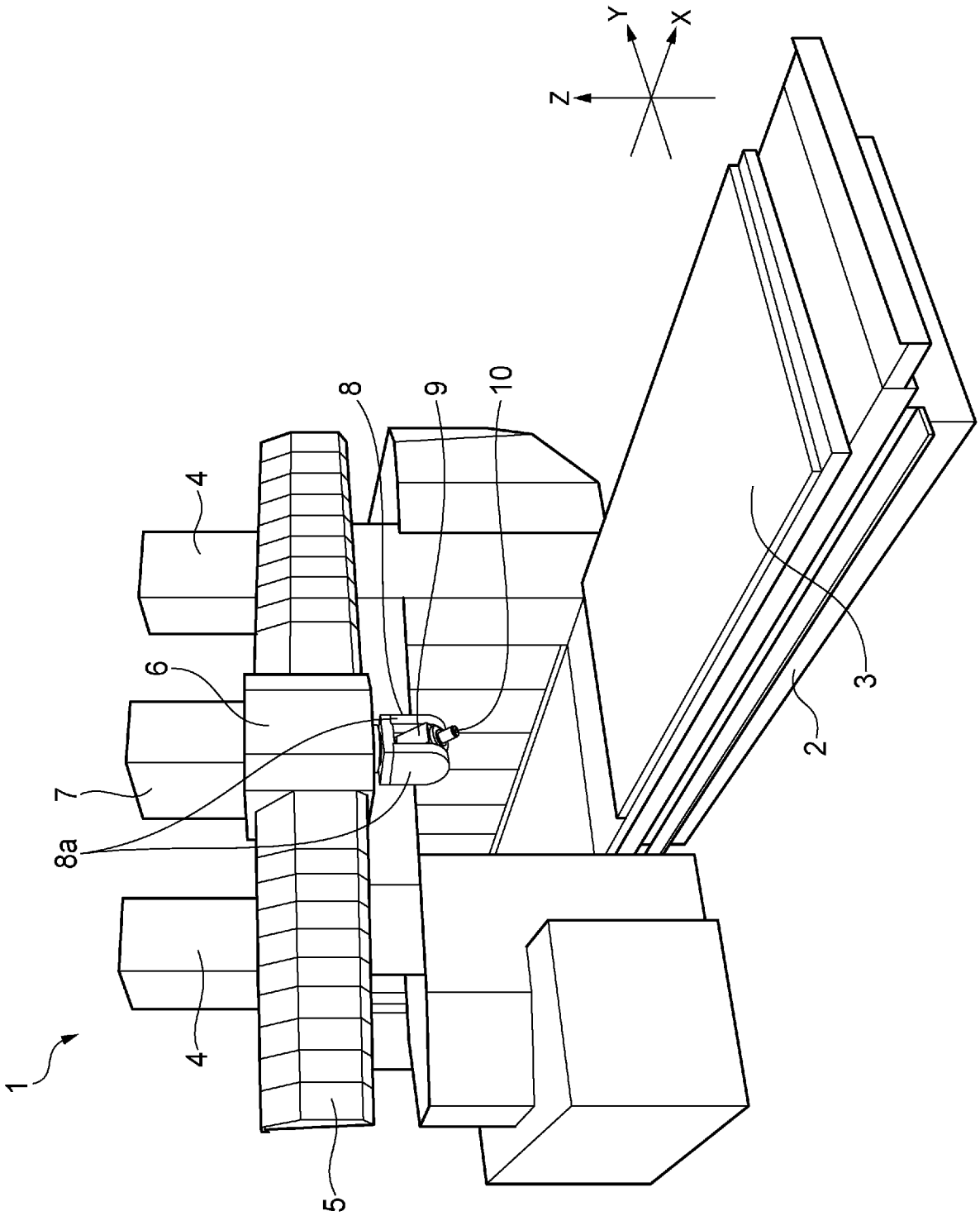
[図11]



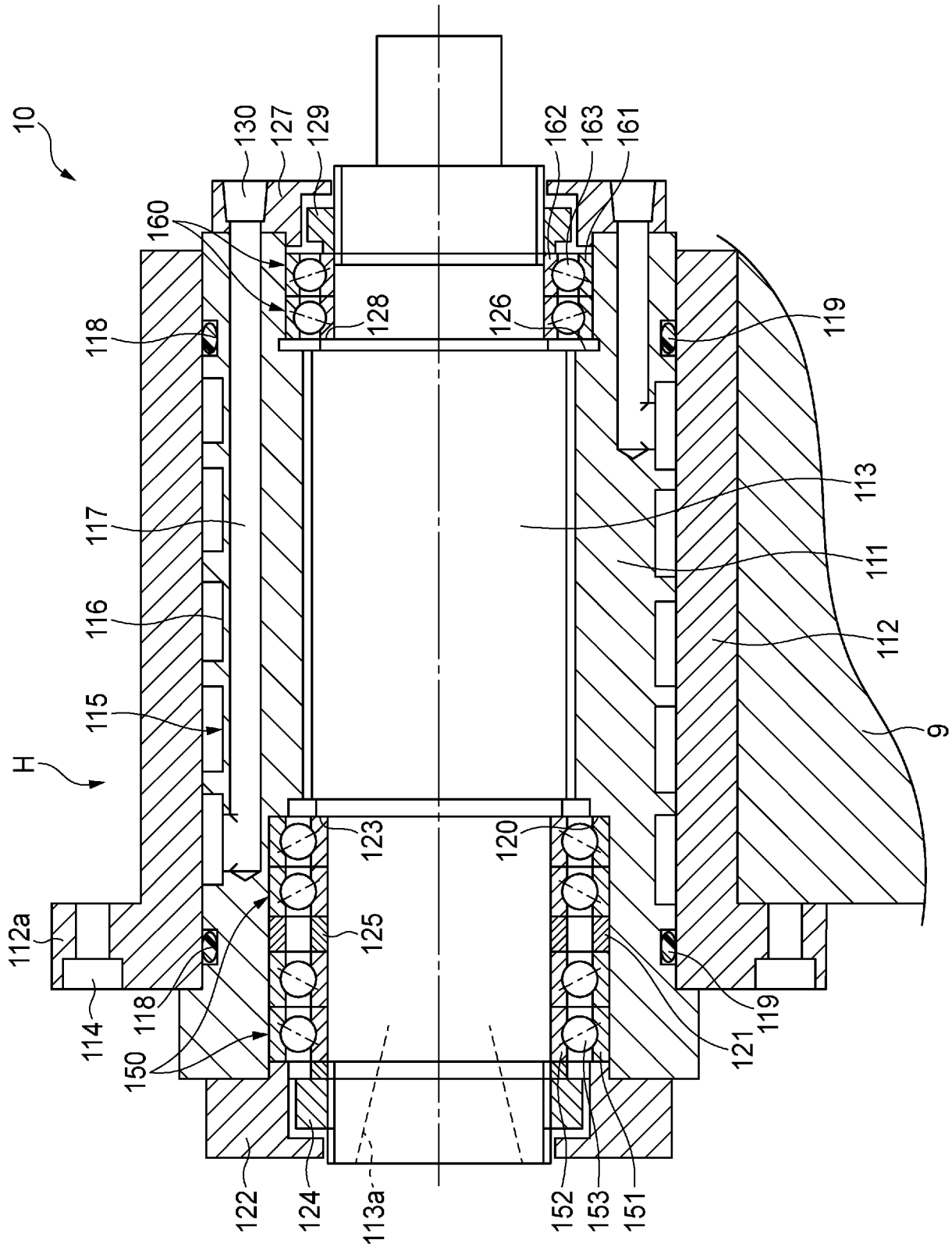
[図12]



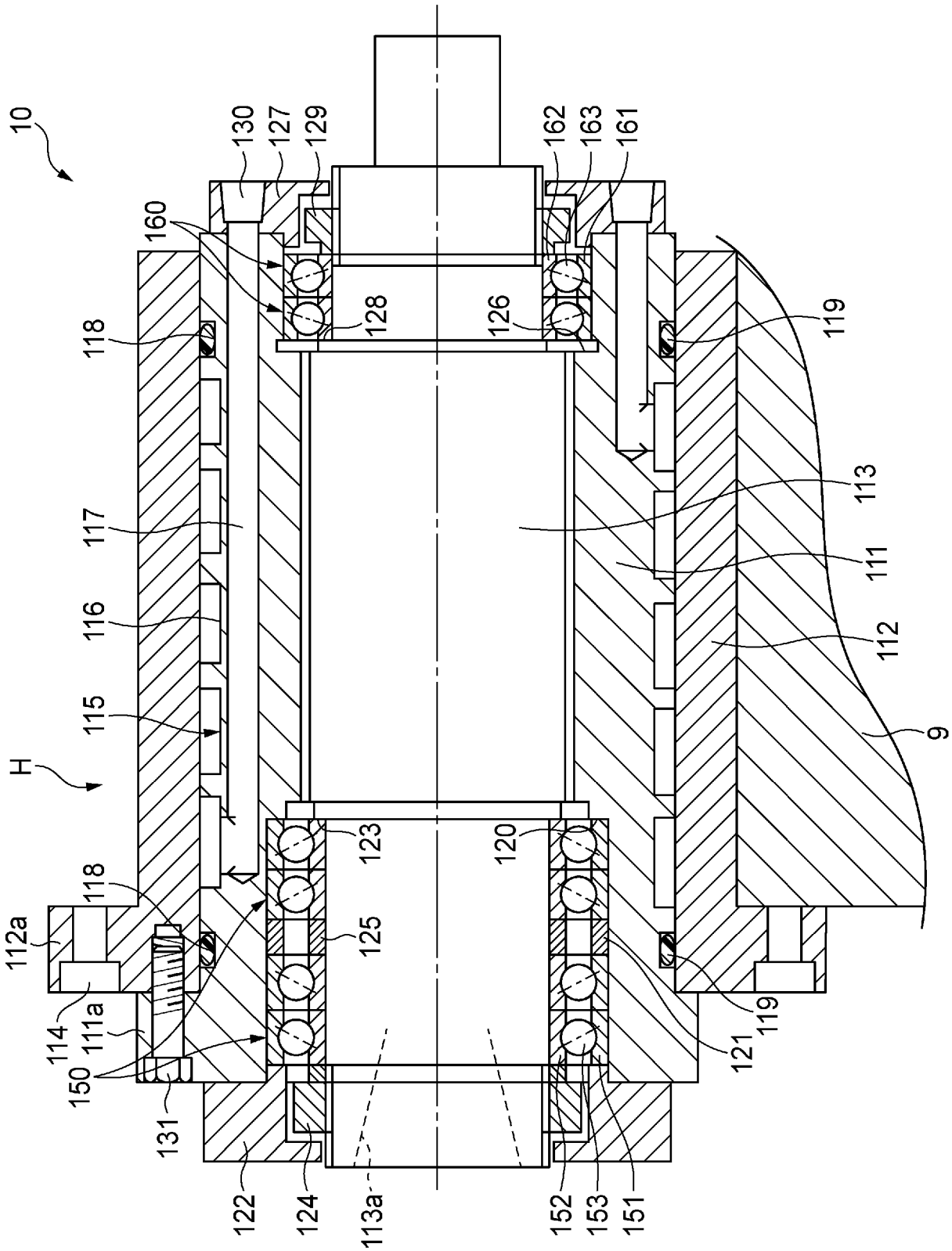
[図13]



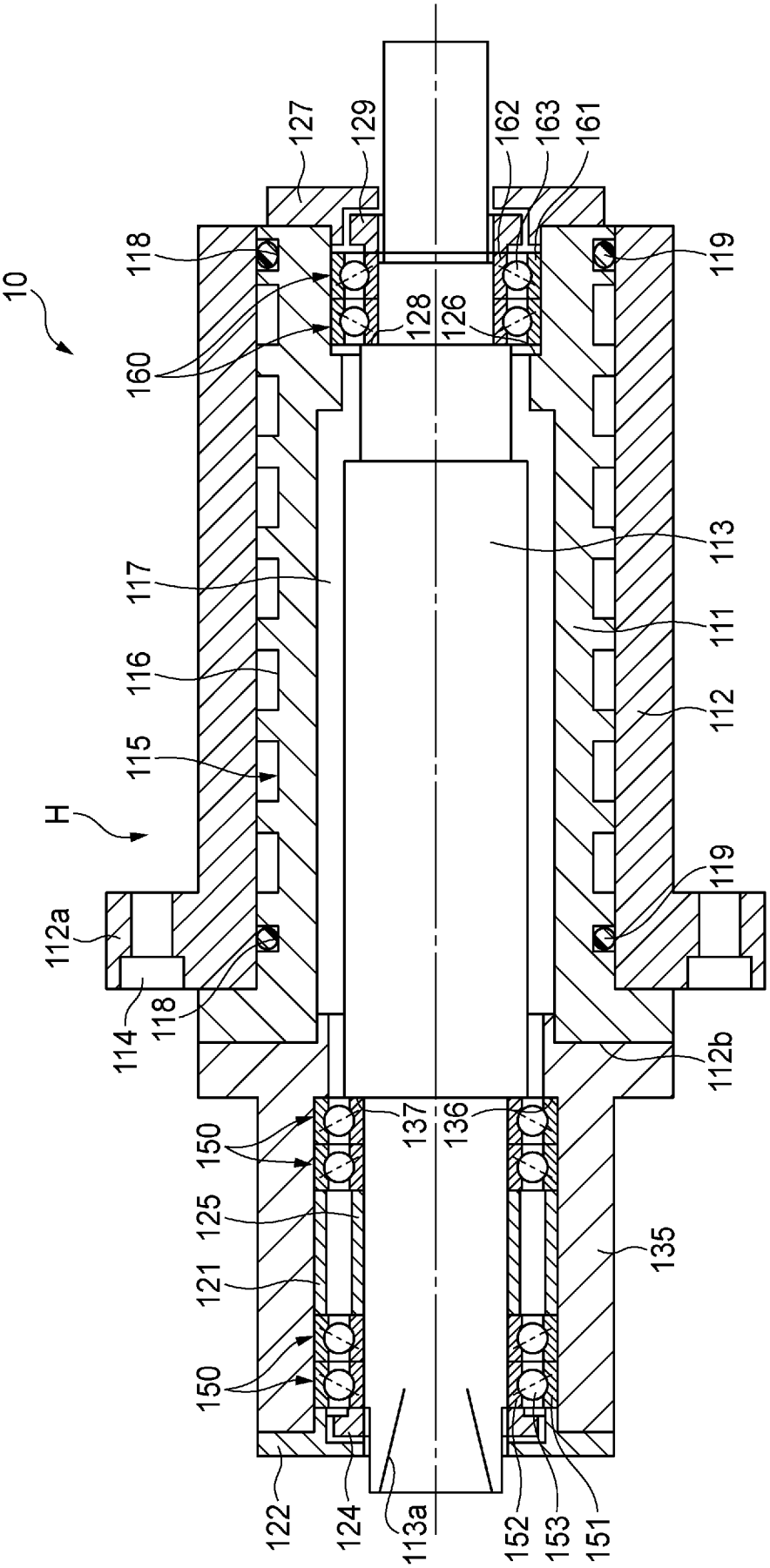
[図14]


10
130
127
129
162
163
161
160
128
126
118
119
113
117
111
116
112
115
9
H
123
120
112a
125
114
118
119
150
121
122
124
113a
152
153
151

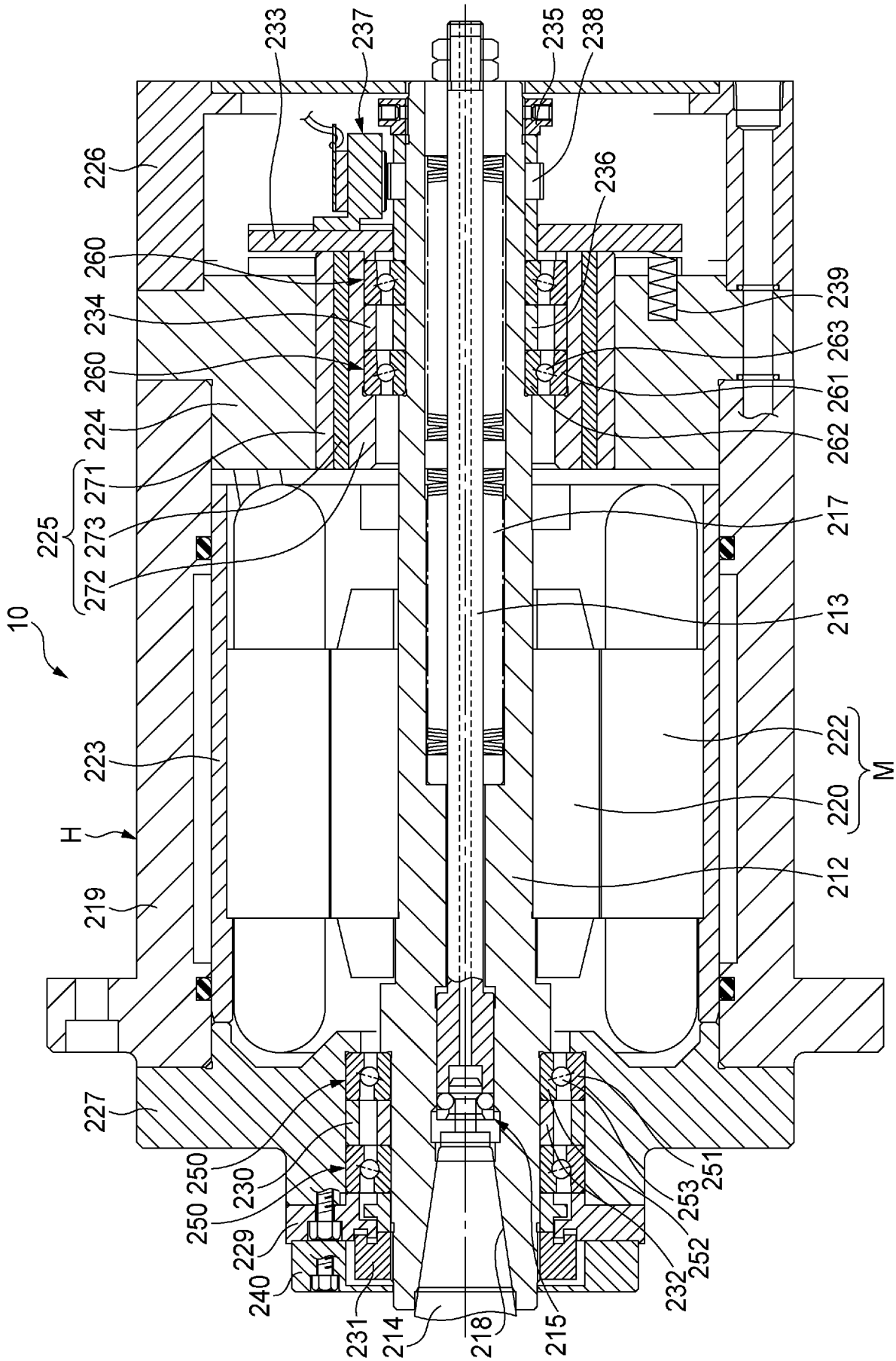
[図15]


10
130
127
129
162
163
161
160
128
126
118
119
113
117
111
116
112
115
9
H
123
120
118
125
112a
119
114
111a
121
150
131
122
124
113a
152
153
151

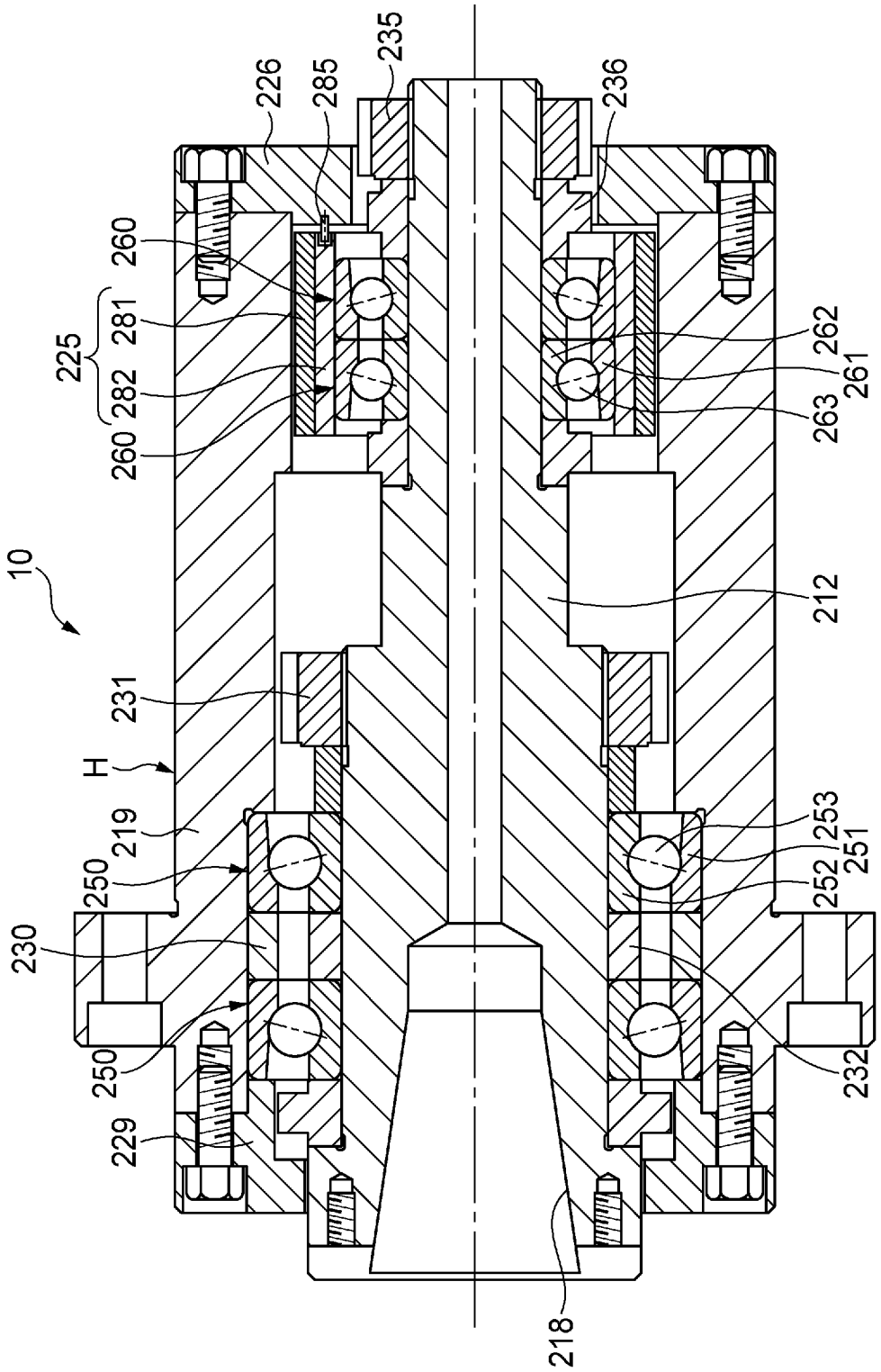
[図16]


10
H
127
129
162
163
161
118
119
128
126
160
113
117
111
116
112
115
119
112a
118
114
112b
137
136
150
125
135
121
150
122
124
113a
152
153
151

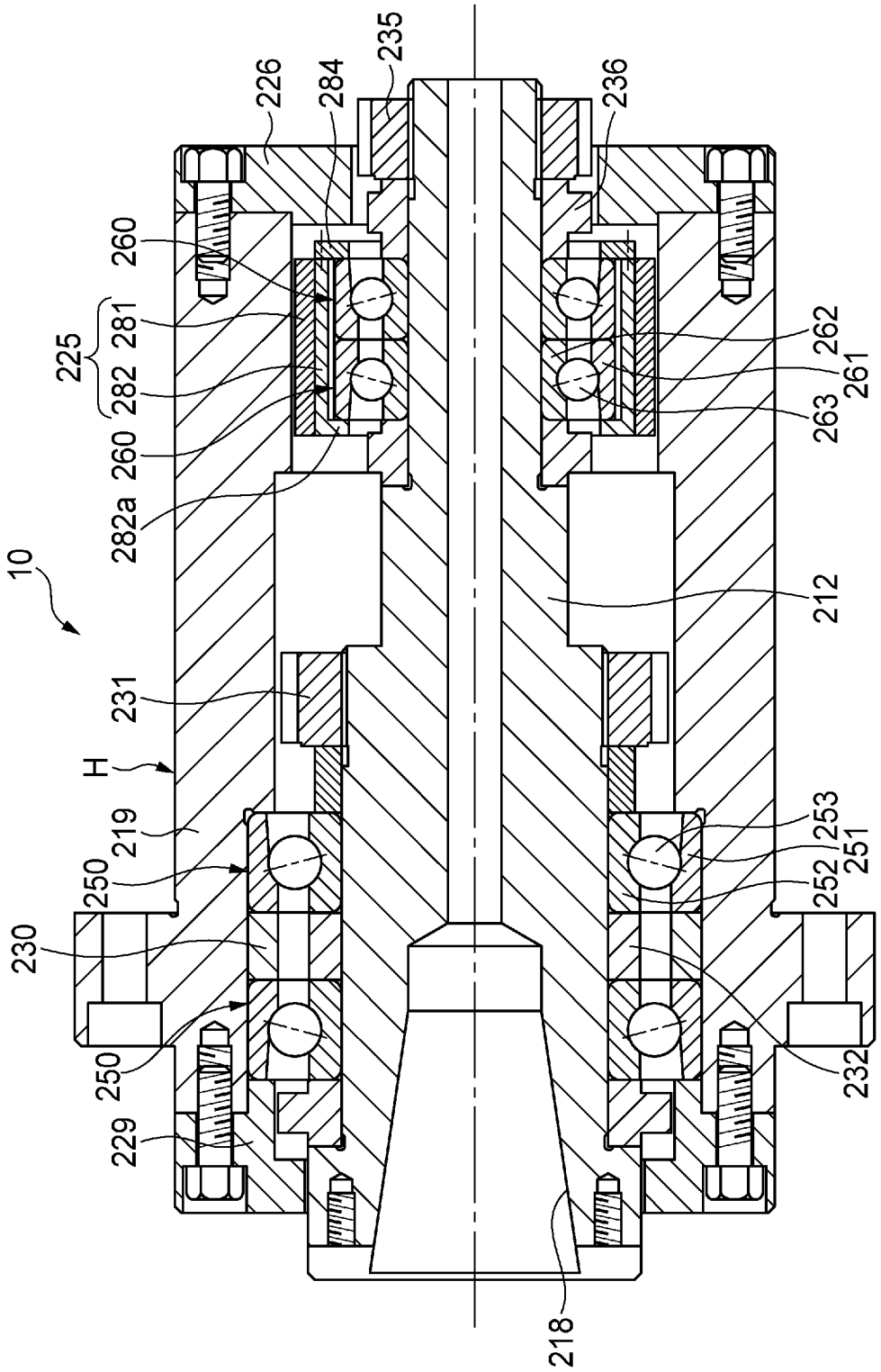
[図17]


10
H
M
212
213
214
215
217
218
219
220
222
223
224
225
226
227
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
250
251
252
253
260
261
262
263
271
272
273

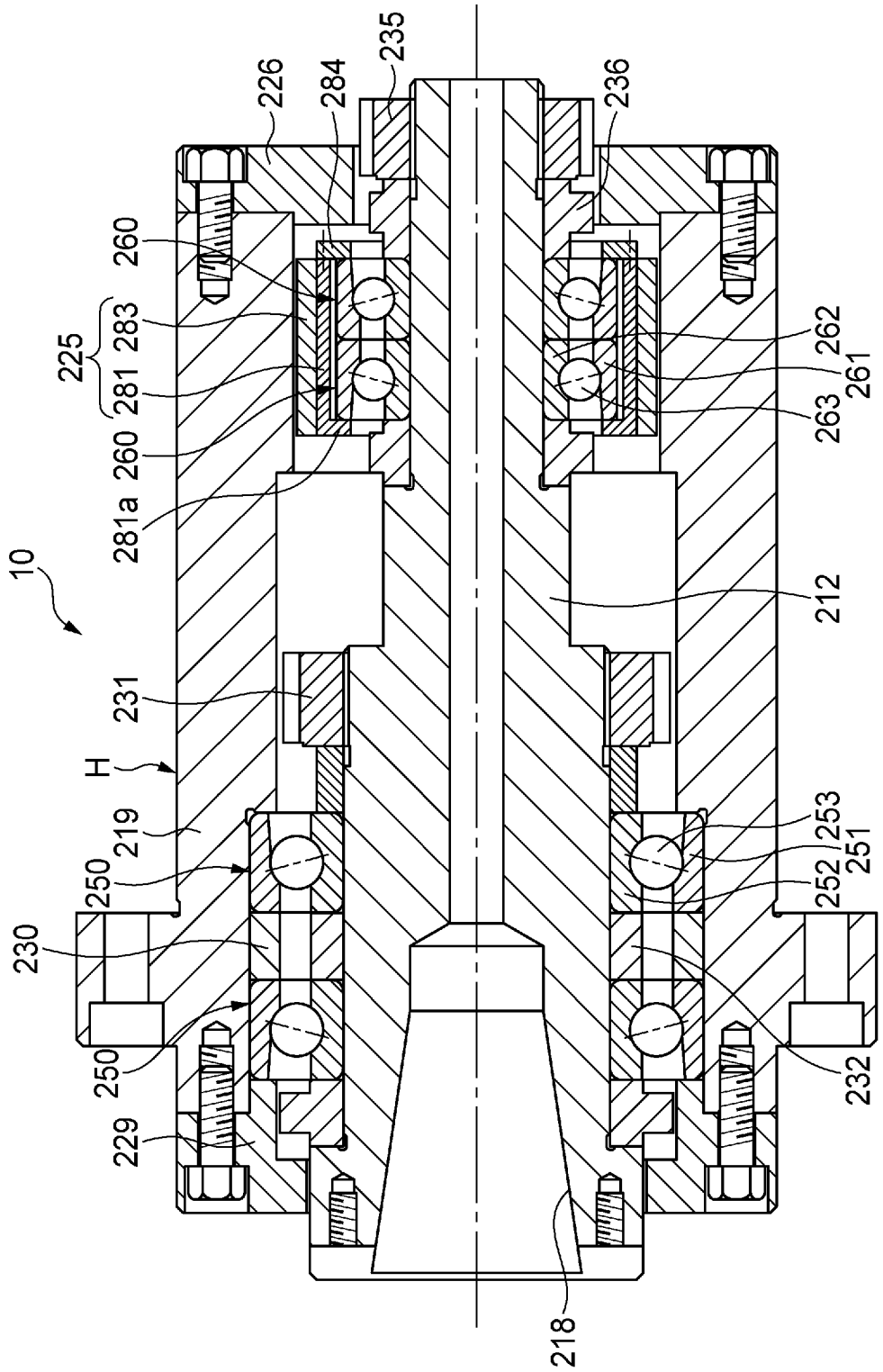
[図18]


10
225
226
285
235
236
260
281
282
260
262
261
263
212
231
H
219
250
230
250
229
218
253
251
252
232

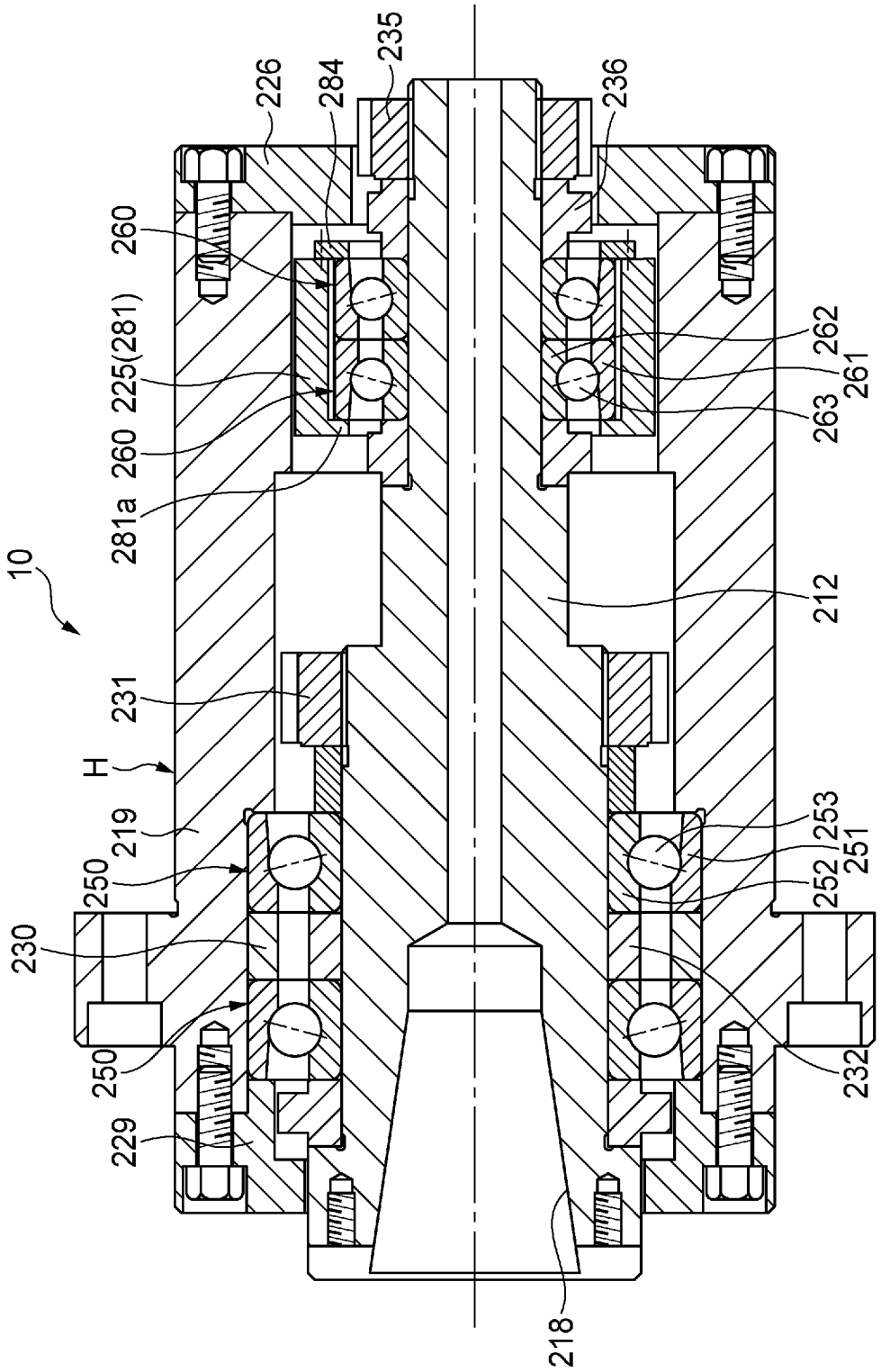
[図19]


10
H
218
219
225
226
229
230
231
232
235
236
250
251
252
253
260
261
262
263
281
282
282a
284
212

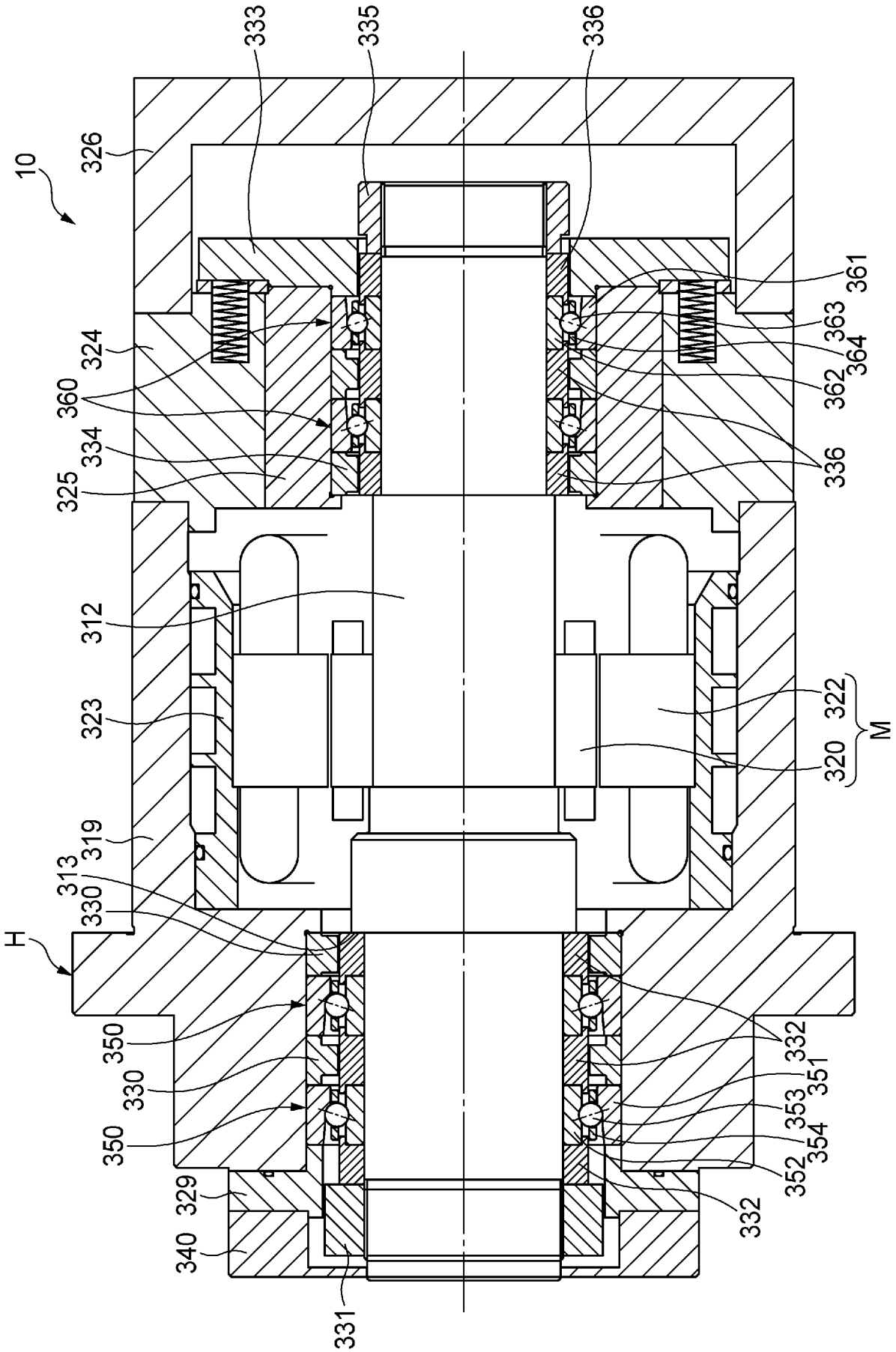
[図20]


10
H
218
219
225
226
229
230
231
232
235
236
250
251
252
253
260
261
262
263
281
281a
283
284
212

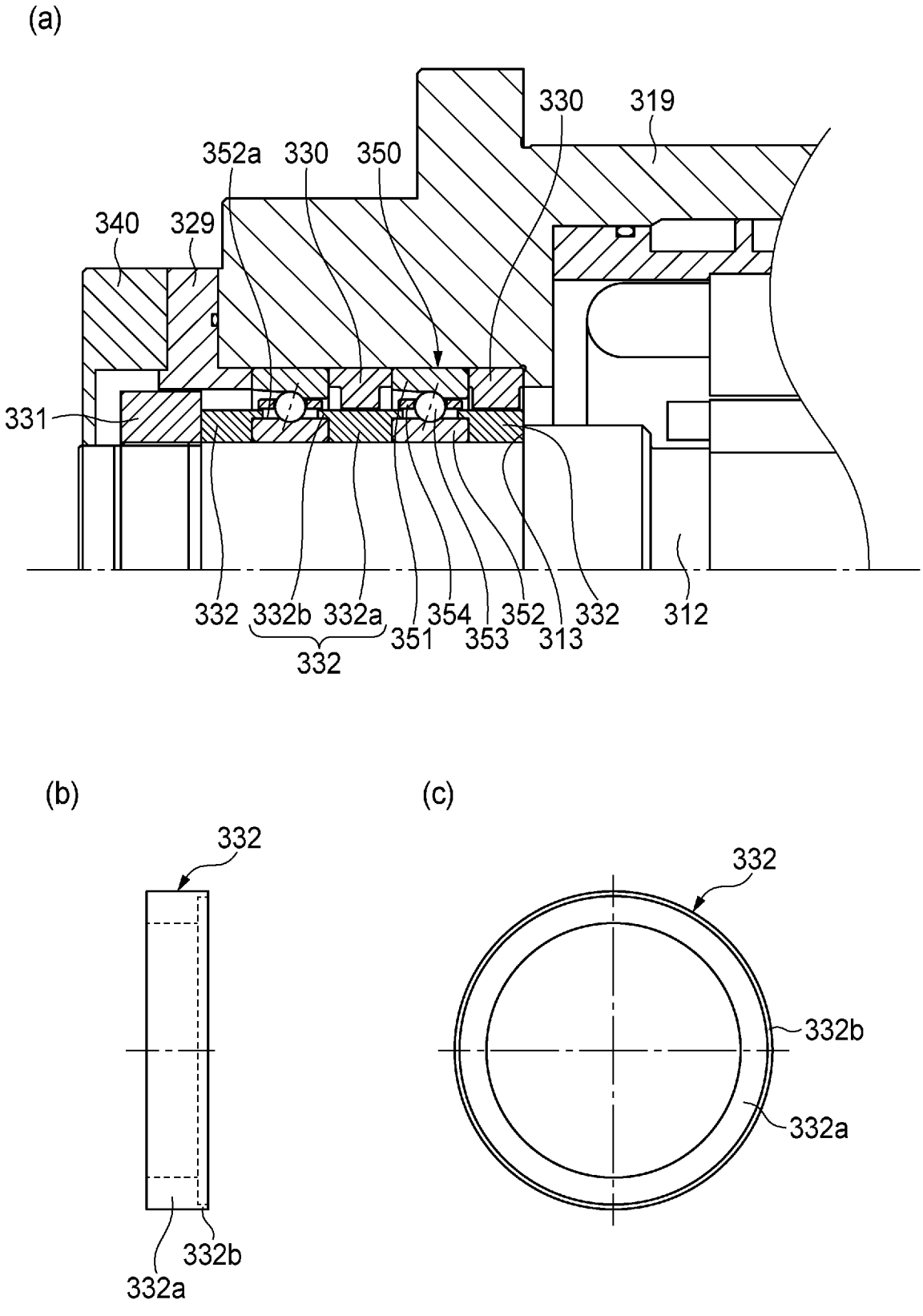
[図21]


10
H
218
219
225(281)
226
229
230
231
232
235
236
250
251
252
253
260
261
262
263
281a
284
212

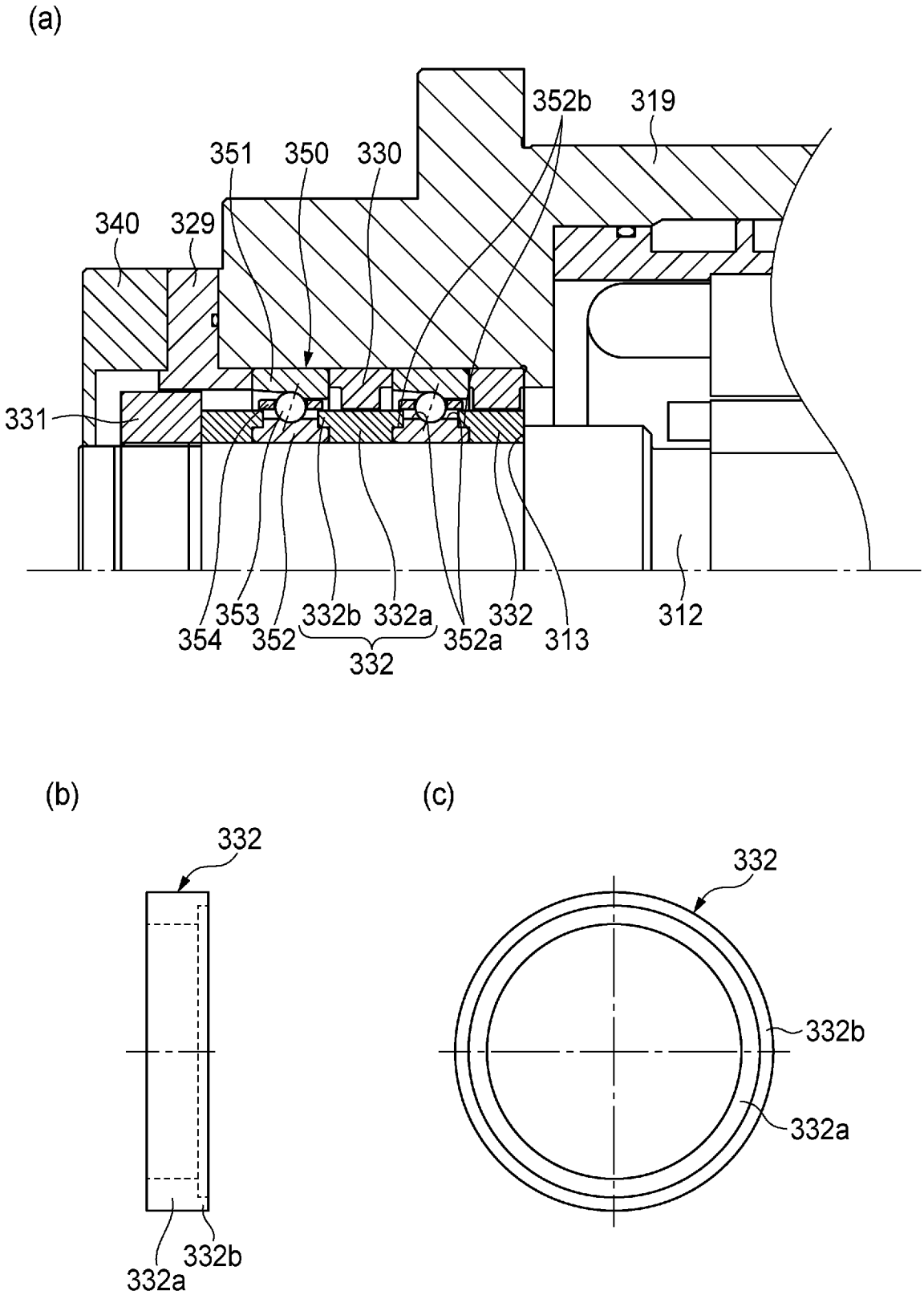
[図22]


10
326
333
335
336
361
363
364
362
324
360
334
325
336
312
323
322
320
M
319
313
330
H
350
330
350
332
351
353
354
352
332
329
340
331

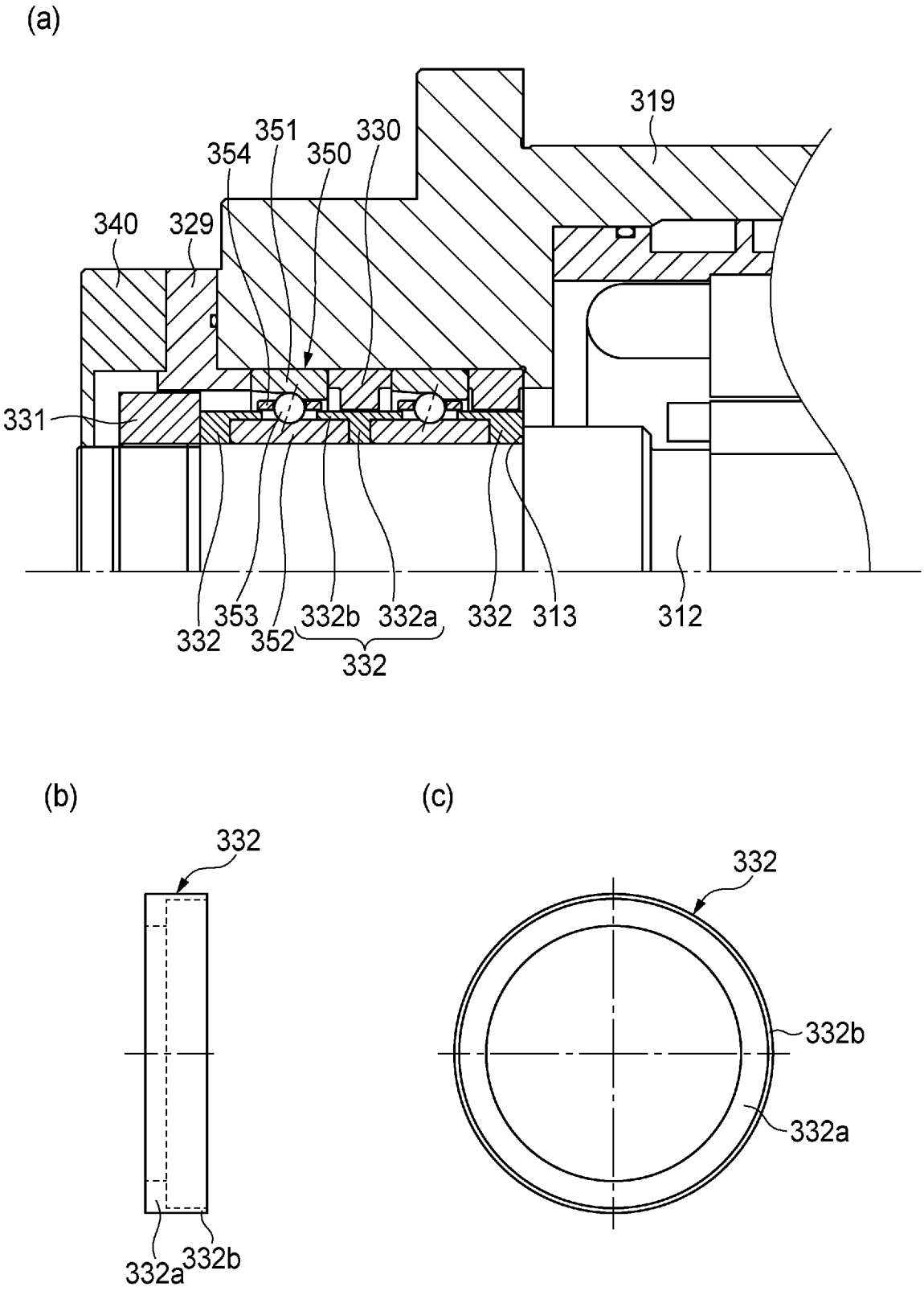
[図23]


(a)
330
319
352a
330
350
340
329
331
332
332b
332a
354
352
332
312
351
353
313
332
(b)
332
332b
332a
(c)
332
332b
332a

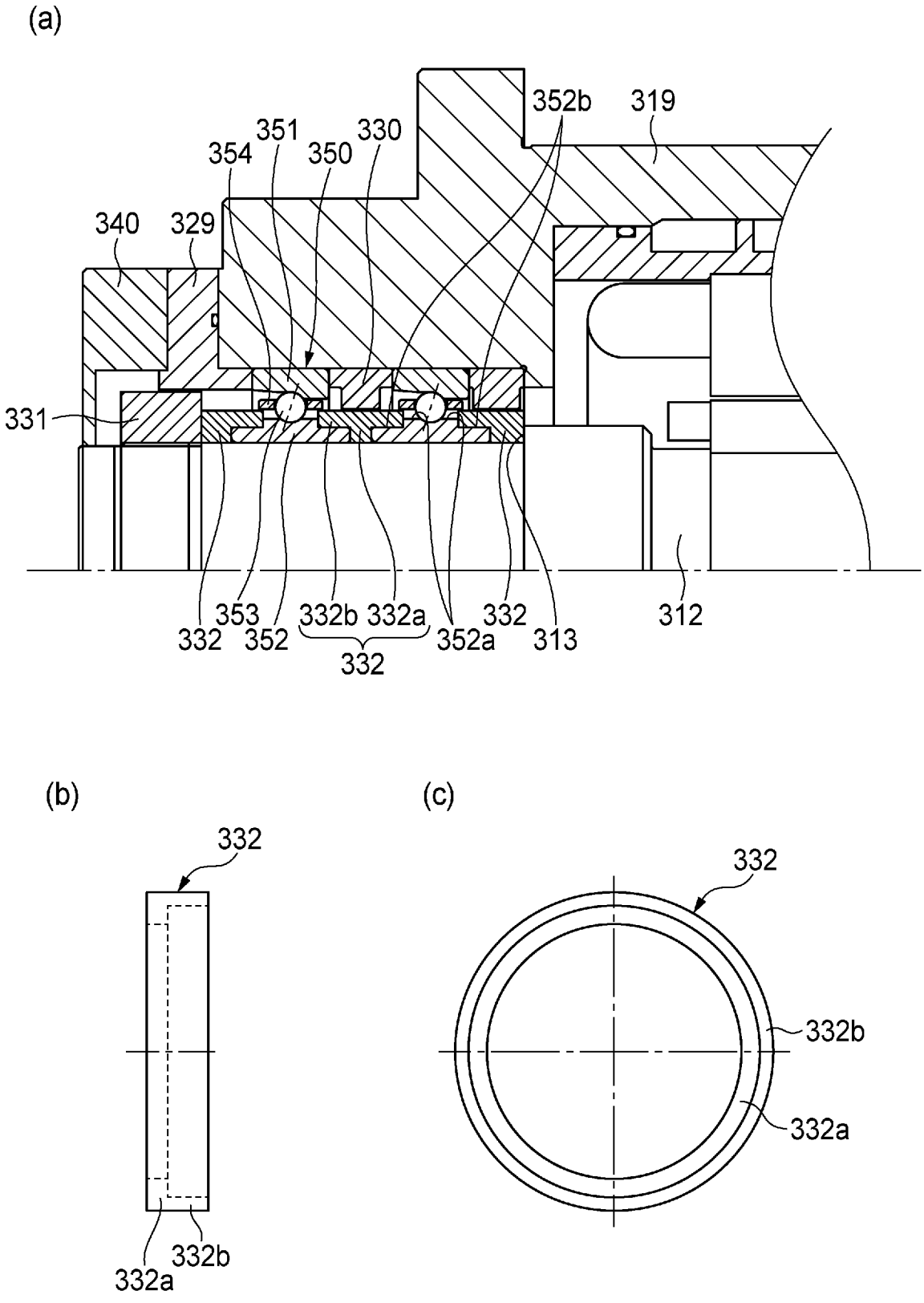
[図24]


(a)
352b
319
351
350
330
340
329
331
353
354
352
332b
332a
332
352a
313
312
332
(b)
332
332b
332a
(c)
332
332b
332a

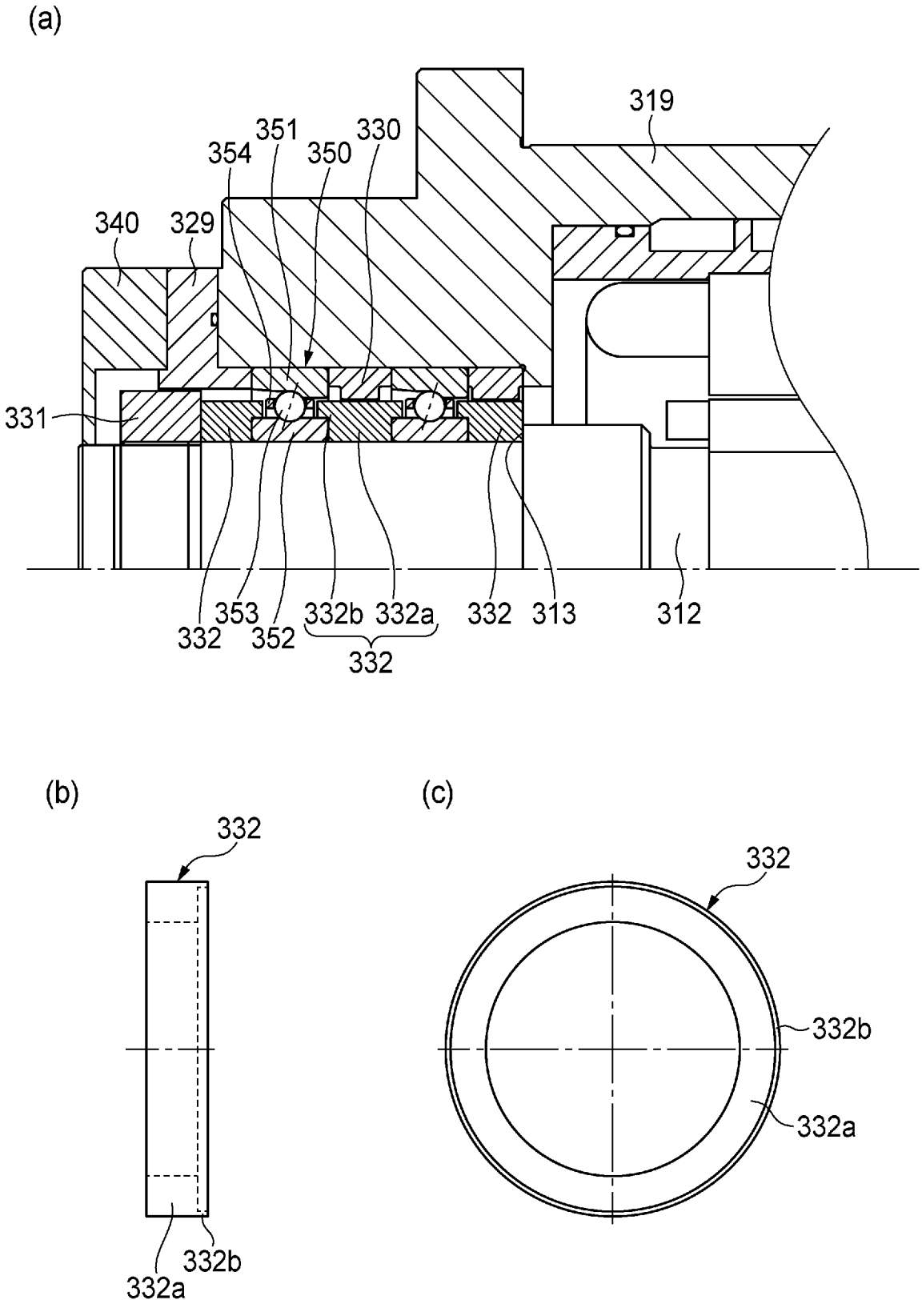
[図25]


(a)
319
351
330
354
350
340
329
331
332
353
352
332b
332a
332
313
312
332
(b)
332
332a
332b
(c)
332
332b
332a

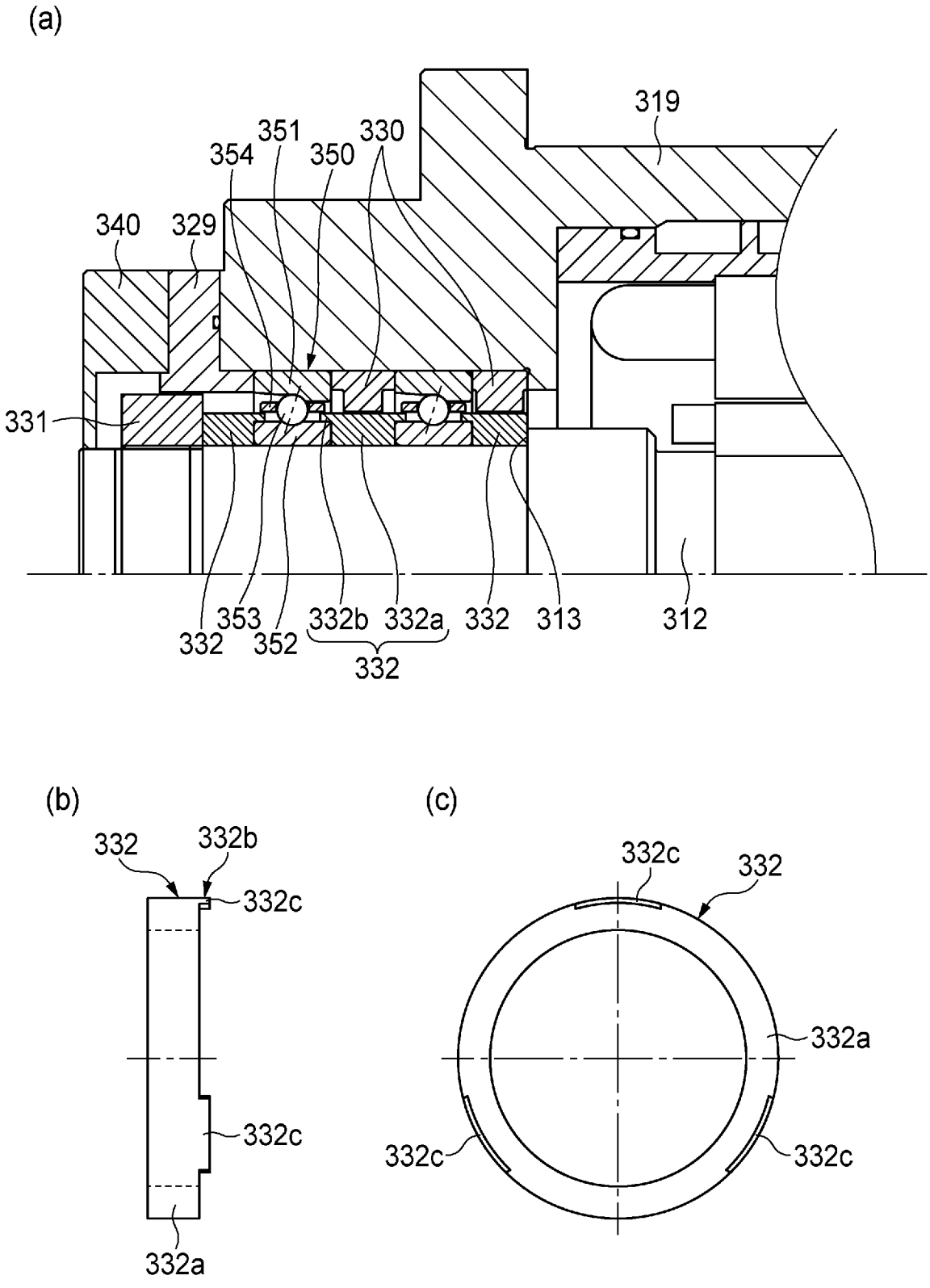
[図26]


(a)
352b
319
351
330
354
350
340
329
331
353
332b
332a
332
312
332
352
352a
313
332
(b)
332
332b
332a
(c)
332
332b
332a

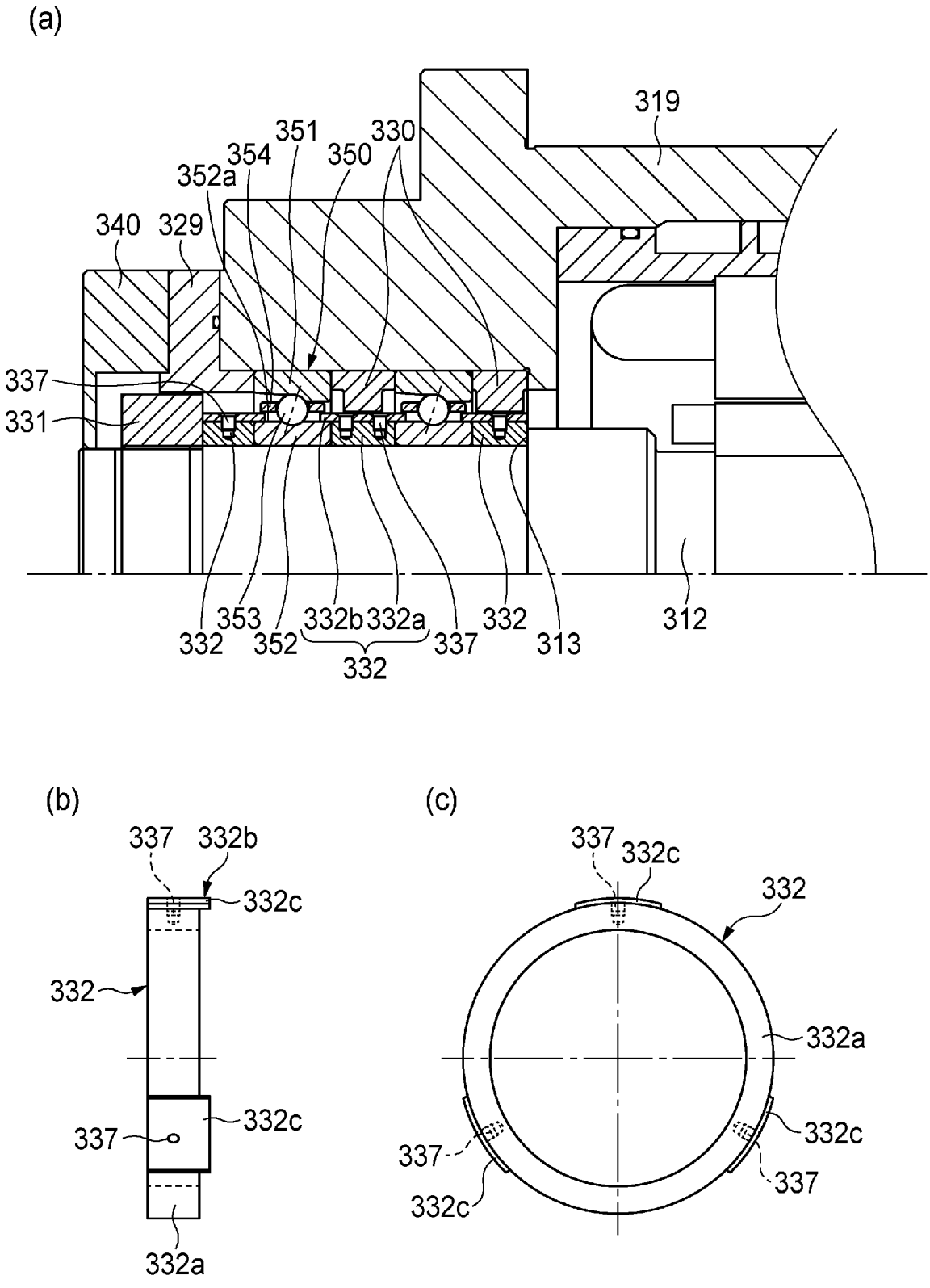
[図27]


(a)
319
351
330
354
350
340
329
331
332
353
352
332b
332a
332
332
313
312
(b)
332
332b
332a
(c)
332
332b
332a

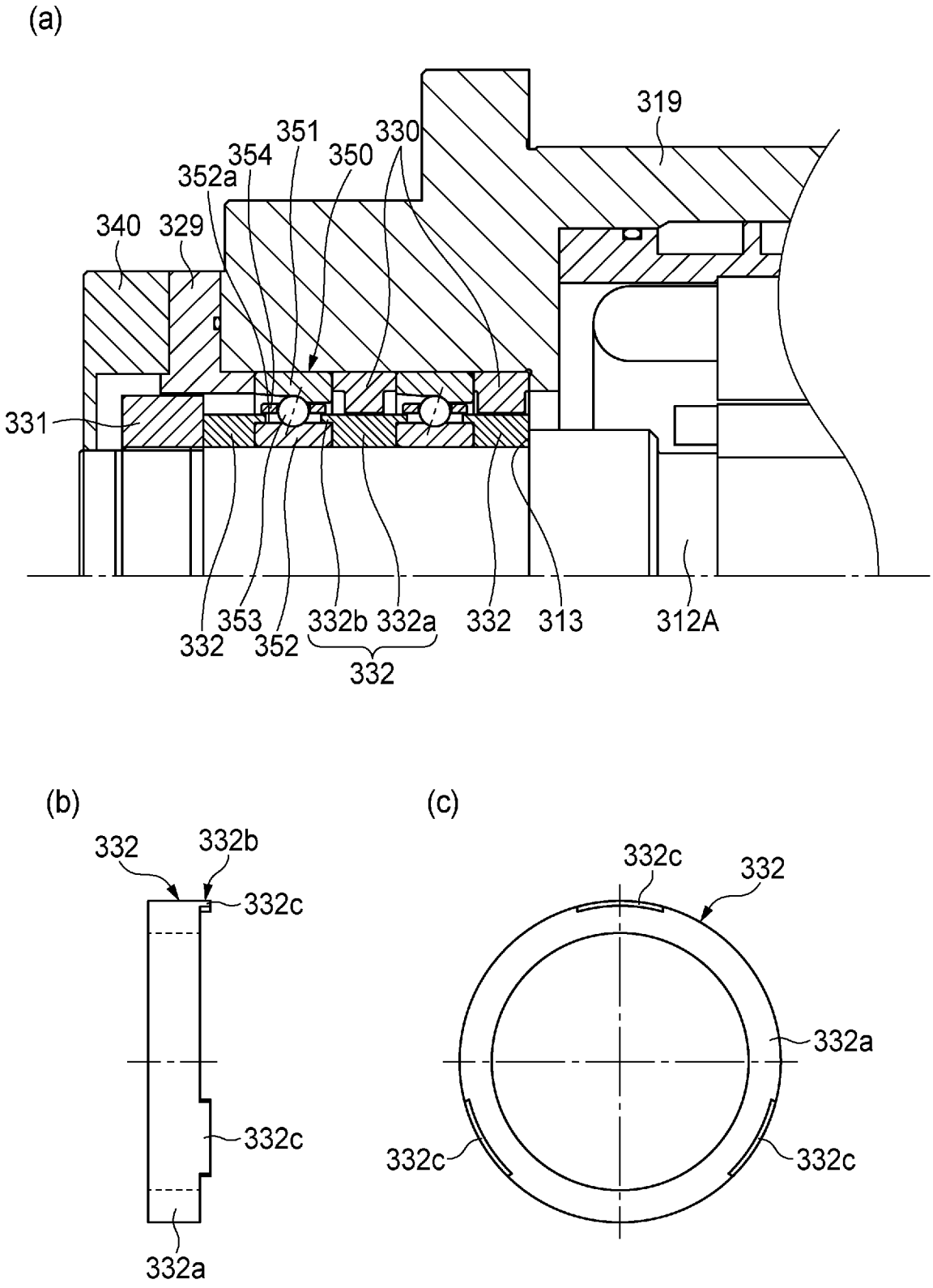
[図28]


(a)
319
351
330
354
350
340
329
331
332
353
352
332b
332a
332
313
312
332
(b)
332
332b
332c
332c
332a
(c)
332c
332
332a
332c
332c

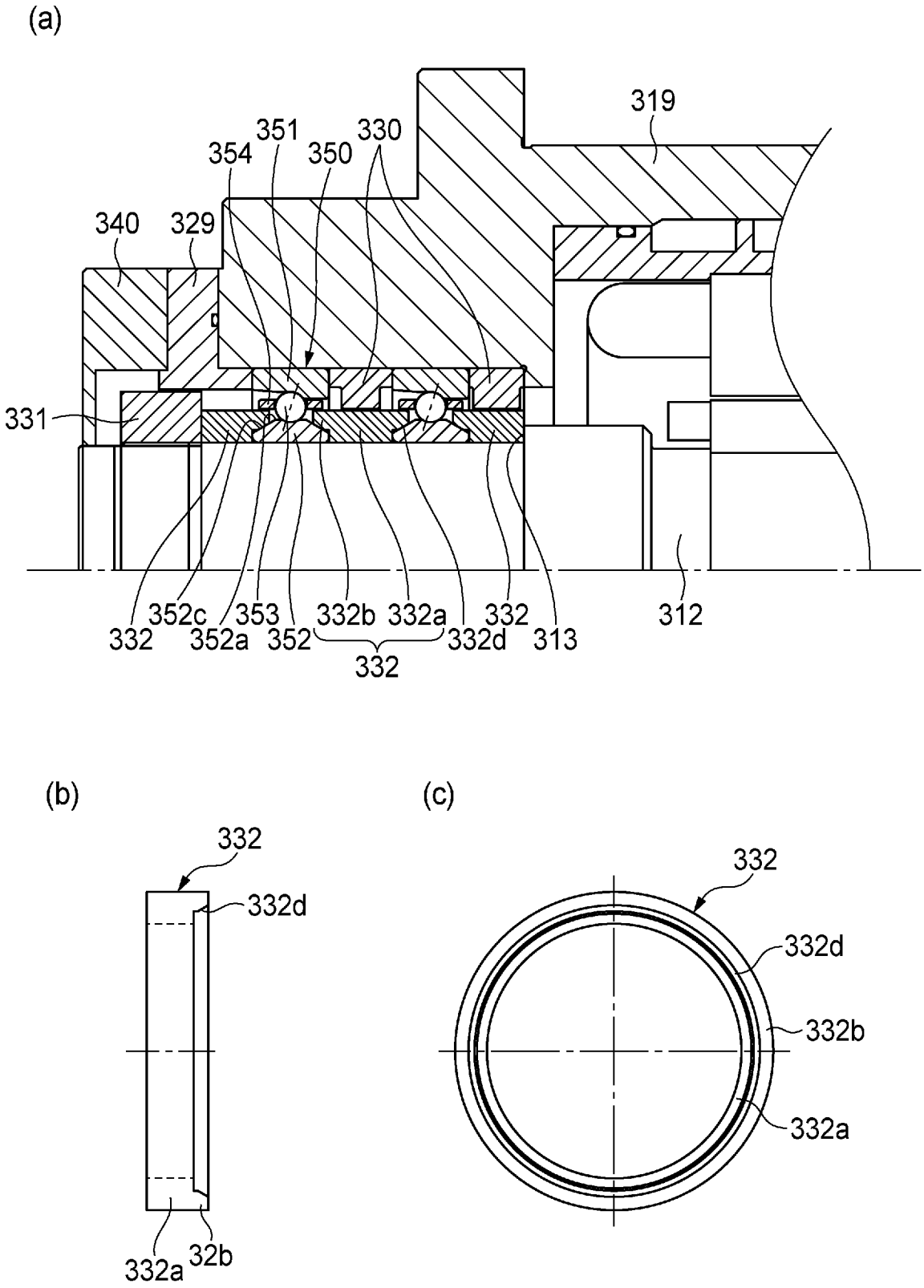
[図29]


(a)
319
351
330
354
350
352a
340
329
337
331
353
332b
332a
332
332
352
337
313
312
332
(b)
337
332b
332c
332
337
332c
332a
(c)
337
332c
332
332a
337
332c
332c
337

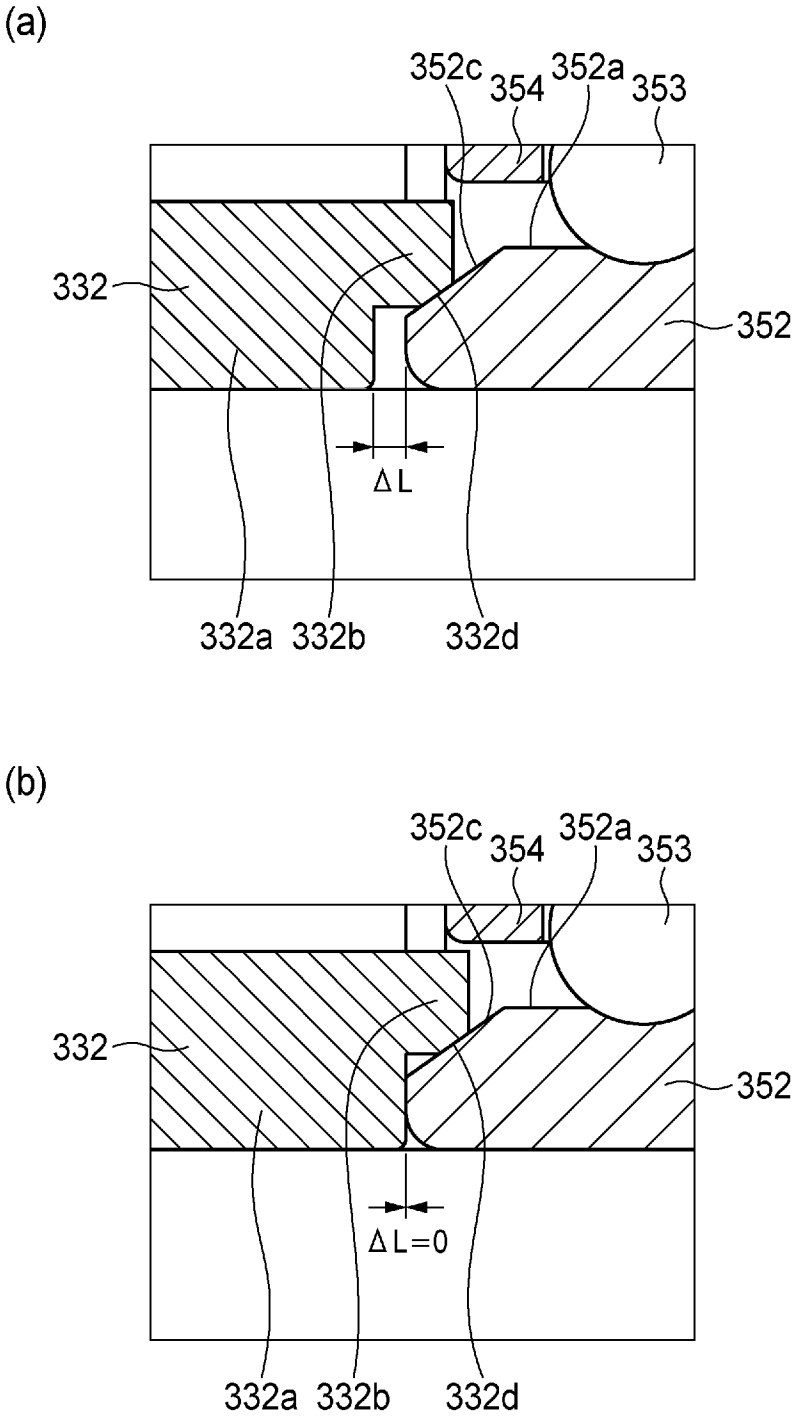
[図30]


(a)
319
351
330
354
350
352a
340
329
331
353
332b
332a
332
313
312A
332
352
332
(b)
332
332b
332c
332c
332a
(c)
332c
332
332a
332c
332c

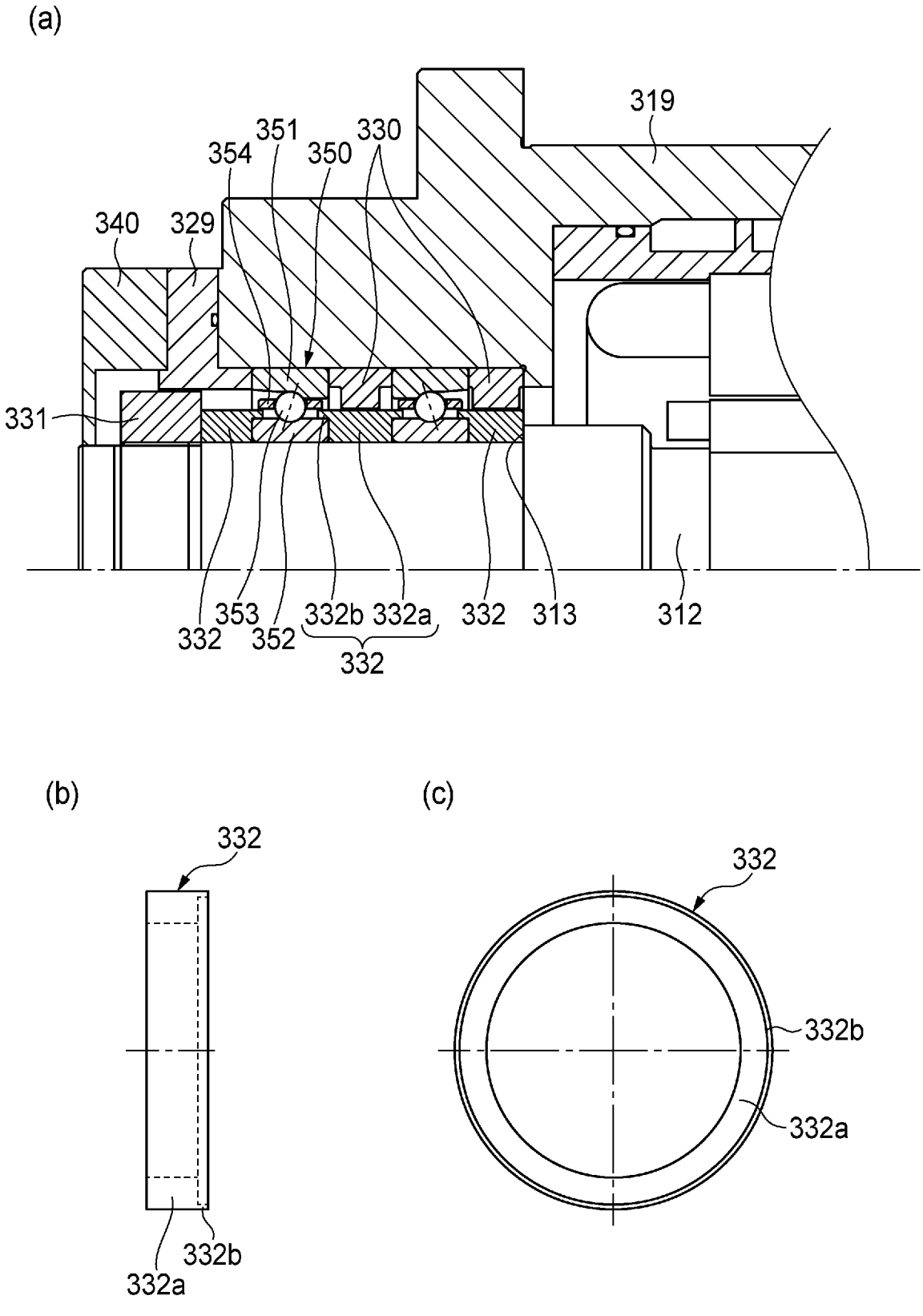
[図31]


(a)
319
351
330
354
350
340
329
331
352c
353
332b
332a
332
312
332
352a
352
332d
313
332
(b)
332
332d
332a
32b
(c)
332
332d
332b
332a

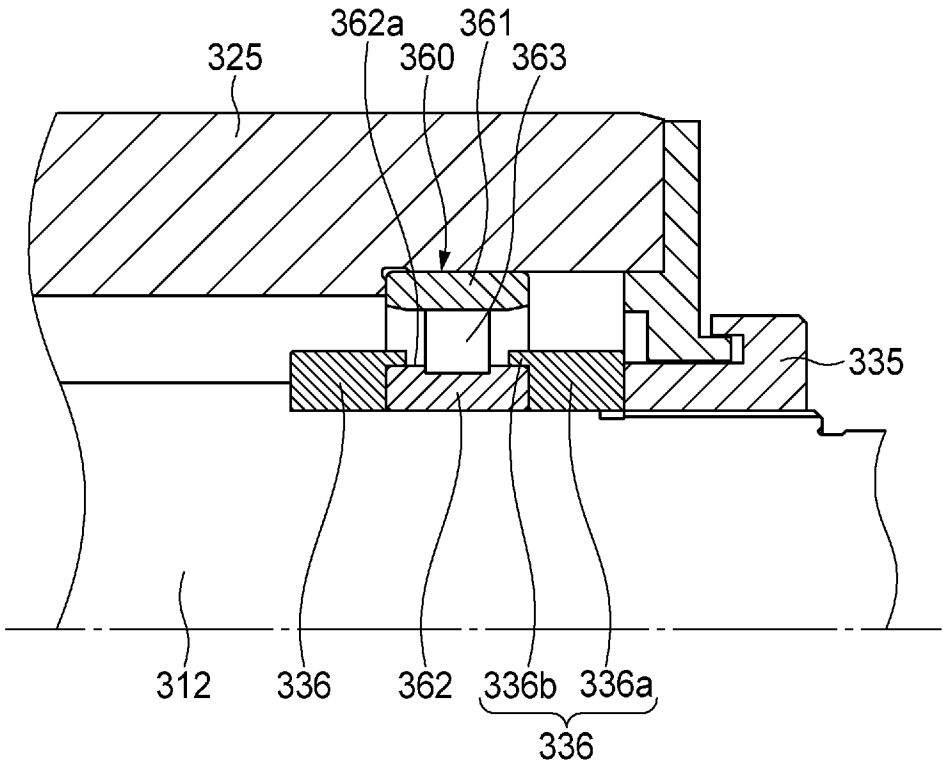
[図32]


(a)
352c
354
352a
353
332
352
ΔL
332a
332b
332d
(b)
352c
354
352a
353
332
352
ΔL=0
332a
332b
332d

[図33]


(a)
319
351
330
354
350
340
329
331
332
353
352
332b
332a
332
332
313
312
(b)
332
332b
332a
(c)
332
332b
332a

[図34]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/066482

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
B23B19/02(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)
B23B19/00-19/02, 23/00-23/04, F16C35/00-39/06, 43/00-43/08, 21/00-27/08, 19/00-19/56, 33/30-33/66

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 7-314203 A (Makino Milling Machine Co., Ltd.), 05 December 1995 (05.12.1995), paragraphs [0008] to [0010]; fig. 1 (Family: none)	17-18
Y	JP 6-226506 A (Hitachi Seiko, Ltd.), 16 August 1994 (16.08.1994), claim 2; column 2, lines 10 to 15; paragraphs [0012], [0014]; fig. 3 (Family: none)	17-18
A	JP 7-51903 A (Hitachi Seiko, Ltd.), 28 February 1995 (28.02.1995), claim 1; paragraphs [0011] to [0012]; fig. 1 (Family: none)	1-37

☒ 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	Date of mailing of the international search report
24 September, 2012 (24.09.12)	02 October, 2012 (02.10.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/066482

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2-167602 A (Toshiba Machine Co., Ltd.), 28 June 1990 (28.06.1990), claims 1, 2; page 3, upper right column, the last line; page 4, upper left column, lines 7 to 11 & US 5018915 A	1-37
A	JP 59-161202 A (Kabushiki Kaisha Okuma Tekkosho), 12 September 1984 (12.09.1984), page 2, lower right column, line 15 to page 3, upper left column, line 4; fig. 1 (Family: none)	1-10
A	Microfilm of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 94568/1987(Laid-open No. 2565/1989) (Mitsui Seiki Kogyo Co., Ltd.), 09 January 1989 (09.01.1989), claims; page 4, line 19 to page 5, line 8; fig. 1 (Family: none)	1-12,19-23
A	JP 2011-205884 A (JTEKT Corp.), 13 October 2011 (13.10.2011), claim 1; paragraph [0036]; fig. 1, 2 (Family: none)	11-16
A	JP 2003-266205 A (Deckel Maho Pfronten GmbH), 24 September 2003 (24.09.2003), column 6, lines 15 to 20; fig. 1 to 3 & US 2003/0152433 A1 & EP 1336451 A2	30-37

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/066482

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(With respect to the inventions of claims 19-37)

The invention of claim 1 and the inventions of claim 19 and claims 20-23 dependent directly or indirectly on claim 19 have a common feature, that is, "a main spindle device comprising a rotary shaft and front and rear bearings each for rotatably supporting the rotary shaft relative to a housing, wherein the main spindle device has a member which is made of a carbon fiber composite material."

(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

However, "the main spindle device comprising the rotary shaft and front and rear bearings each for rotatably supporting the rotary shaft relative to the housing" is merely such a well-known technique that would not have to be further exemplified. Furthermore, the matter that "the main spindle device has the member made of a carbon fiber composite material" is also a well-known technique which is disclosed, for example, in "(JP 6-226506 A (Hitachi Seiko, Ltd.), 16 August 1994 (16.08.1994))", "(JP 7-51903 A (Hitachi Seiko, Ltd.), 28 February 1995 (28.02.1995))", and "(JP 2-167602 A (Toshiba Machine Co., Ltd.), 28 June 1990 (28.06.1990))." Therefore, the aforementioned matters are merely an aggregate of each of the aforementioned well-known techniques and not considered to be a special technical feature as specified in PCT Rule 13.2, second sentence.

The inventions of claim 24 and claims 25-29 which directly or indirectly refer to claim 24, and the inventions of claim 30 and claims 31-37 which directly or indirectly refer to claim 30 are also same as said above.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０６６４８２

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　B23B19/02(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.　B23B 19/00-19/02,23/00-23/04, F16C 35/00-39/06,43/00-43/08, 21/00-27/08, 19/00-19/56,33/30-33/66

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	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２年

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

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 7-314203 A（株式会社牧野フライス製作所）1995.12.05, 段落【0008】-【0010】,図１（ファミリーなし）	17-18
Y	JP 6-226506 A（日立精工株式会社）1994.08.16, 【請求項２】,２欄 10-15 行,段落【0012】,【0014】,図３（ファミリーなし）	17-18
A	JP 7-51903 A（日立精工株式会社）1995.02.28, 【請求項１】,段落【0011】-【0012】,図１（ファミリーなし）	1-37

☑　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	国際調査報告の発送日
２４．０９．２０１２	０２．１０．２０１２

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）　３Ｃ　９５３１
山本　忠博
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３２４

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
A	JP 2-167602 A（東芝機械株式会社）1990.06.28, 特許請求の範囲 1,2, 3 頁右上欄末行,4 頁左上欄 7-11 行 & US 5018915 A	1-37
A	JP 59-161202 A（株式会社大隅鉄工所）1984.09.12, 2 頁右下欄 15 行-3 頁左上欄 4 行,第 1 図（ファミリーなし）	1-10
A	日本国実用新案登録出願 62-94568 号(日本国実用新案登録出願公開 64-2565 号)の願書に添付した明細書及び図面の内容を撮影したマイクロフィルム（三井精機工業株式会社）1989.01.09, 実用新案登録請求の範囲,4 頁 19 行-5 頁 8 行,第 1 図 (ファミリーなし)	1-12,19-23
A	JP 2011-205884 A（株式会社ジェイテクト）2011.10.13, 【請求項 1】,段落【0036】,図 1,2（ファミリーなし）	11-16
A	JP 2003-266205 A（デケル　マホ　プフロンテン　ゲーエムベーハー）2003.09.24, 6 欄 15-20 行,図 1-3 & US 2003/0152433 A1 & EP 1336451 A2	30-37

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０６６４８２

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項 ＿＿＿＿＿＿＿＿ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

（請求項１９－３７に係る発明について）

請求項１に係る発明と、請求項１９及び該１９を直接又は間接に引用する請求項２０－２３に係る発明に共通する事項は、「回転軸と、前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、を備える主軸装置であって、炭素繊維複合材料からなる部材を有する」事項である。

しかしながら、「回転軸と、前記回転軸をハウジングに対して回転自在にそれぞれ支持する前側及び後側軸受と、を備える主軸装置」は例示するまでもない周知技術に過ぎないし、主軸

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☑ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

第Ⅲ欄の続き

装置において「炭素繊維複合材料からなる部材を有する」点も、例えば「JP 6-226506 A（日立精工株式会社）1994.8.16 」、「JP 7-51903 A（日立精工株式会社）1995.2.28」及び「JP 2-167602 A（東芝機械株式会社）1990.6.28」に開示されている周知技術であるから、上記事項は、上記各周知技術の寄せ集めに過ぎず、ＰＣＴ規則１３．２の第２文に記載されているところの特別な技術的特徴に当たらない。

請求項２４及び該２４を直接又は間接に引用する請求項２５－２９に係る発明、並びに、請求項３０及び該３０を直接又は間接に引用する請求項３１－３７に係る発明も同様である。