

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 12 月 23 日(23.12.2015)



(10) 国際公開番号

WO 2015/194609 A1

- (51) 国際特許分類:
G01L 5/00 (2006.01) F16C 33/58 (2006.01)
F16C 19/06 (2006.01) F16C 41/00 (2006.01)
F16C 19/52 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/067525
- (22) 国際出願日: 2015 年 6 月 17 日(17.06.2015)
- (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 2014-124709 2014 年 6 月 17 日(17.06.2014) JP
特願 2014-124710 2014 年 6 月 17 日(17.06.2014) JP
特願 2014-124711 2014 年 6 月 17 日(17.06.2014) JP
特願 2014-135908 2014 年 7 月 1 日(01.07.2014) JP
特願 2014-135909 2014 年 7 月 1 日(01.07.2014) JP
特願 2014-135910 2014 年 7 月 1 日(01.07.2014) JP
特願 2014-167338 2014 年 8 月 20 日(20.08.2014) JP
特願 2014-167791 2014 年 8 月 20 日(20.08.2014) JP
特願 2014-167792 2014 年 8 月 20 日(20.08.2014) JP

特願 2014-171105 2014 年 8 月 26 日(26.08.2014) JP
特願 2014-187231 2014 年 9 月 16 日(16.09.2014) JP

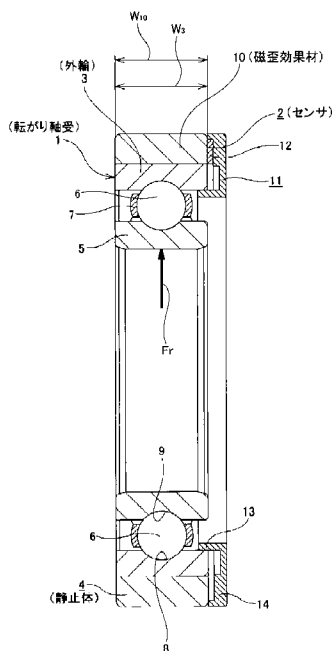
(71) 出願人: 日本精工株式会社(NSK LTD.) [JP/JP]; 〒1418560 東京都品川区大崎一丁目 6 番 3 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 植田 徹(UEDA Tohru); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 齋藤 智治(SAITO Tomoharu); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 小野 潤司(Ono Junji); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 金子 優香(KANEKO Yuka); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP). 疋田 真史(HIKIDA Masafumi); 〒2518501 神奈川県藤沢市鵠沼神明一丁目 5 番 5 0 号 日本精工株式会社内 Kanagawa (JP).

[続葉有]

(54) Title: ROTARY SUPPORT DEVICE

(54) 発明の名称: 回転支持装置



- 1 Rolling-element bearing
2 Sensor
3 Outer race
4 Stationary body
10 Magnetostrictive-effect material

(57) Abstract: This rotary support device comprises a rolling-element bearing and a sensor. The rolling-element bearing comprises a stationary body that does not rotate during use and a plurality of rolling elements that roll along a track formed in part of the stationary body. At least part of the stationary body is a magnetostrictive-effect section, the magnetic permeability of which changes in accordance with the applied load. The sensor is supported, positioned near the magnetostrictive-effect section, by a part that does not rotate during use. The sensor changes an output signal in accordance with magnetic flux that passes through a detection unit in the sensor and changes depending on the magnetic permeability of the magnetostrictive-effect section.

(57) 要約: 回転支持装置は、転がり軸受とセンサとを備える。転がり軸受は、少なくとも一部分に負荷荷重に応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有すると共に、使用時にも回転しない静止体と、静止体の一部に形成された軌道上を転走する複数個の転動体と、を備える。センサは、磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させる。



(74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所, 外
(EIKOH PATENT FIRM, P.C. 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 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG,
ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL,
IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,
LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG,
PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG,
SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,
MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 回転支持装置

技術分野

[0001] 本発明は、回転支持装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、自動車の分野では、パワートレイン（動力伝達機構）を構成する回転軸により伝達されるトルクを測定し、その測定結果を利用して動力源（エンジンや電動モータ等）の出力制御や変速機の変速制御を実行するシステムの開発が進んでいる。

[0003] 特許文献 1 には、回転軸により伝達されるトルクを測定する装置が記載されている。当該装置では、回転軸をハウジングに対して回転自在に支持する為の転がり軸受が設けられる。そして、当該転がり軸受を構成する静止輪である外輪に歪ゲージを接着し、この歪ゲージの出力信号に基づいて、トルクを測定する。この従来構造による、具体的なトルクの測定原理は、次の通りである。まず、外輪には転がり軸受の負荷荷重に応じた歪が発生するが、この負荷荷重はトルクに応じて変化する。従って、予め、歪ゲージの出力信号と負荷荷重との関係、及び、負荷荷重とトルクとの関係を調べておけば、これらの関係を利用して、歪ゲージの出力信号からトルクを求められる。

[0004] ところが、特許文献 1 の従来構造の場合には、負荷荷重の作用方向に応じて、外輪に対する歪ゲージの接着位置が狭い範囲に限定される為、設計の自由度が低い。又、歪ゲージは、温度変化が測定精度に及ぼす影響が大きい為、温度変動の大きい転がり軸受に接着して使用する事は、好ましくない。

[0005] 又、特許文献 1 の従来構造の場合、変速機を構成するハウジングの内部等の、油中、高温、振動環境下で使用される場合には、外輪の表面から歪ゲージが剥がれ易く、長期間に亘り正常な測定機能を維持する事が難しい。

[0006] 特許文献 2 には、回転軸により伝達しているトルクを測定する装置が記載されている。当該装置では、回転軸に外嵌固定した磁歪を有するリングを周

方向に着磁する。そして、リングの外周面と対向する位置に、検出部としてホール素子等を備えたセンサを配置している。この様な従来構造の場合、リングを外嵌固定した回転軸にトルクが加わる事により、回転軸と共にリングが捩れ変形すると、逆磁歪効果に基づいて、リングの透磁率が変化し、リングの外部に漏れ磁束が発生する。従って、当該漏れ磁束をセンサにより検出する事によって、トルクを測定する事ができる。

[0007] 特許文献2の従来構造を、回転軸を回転自在に支持する為の軸受と組み合わせて実施する場合に、軸受として滑り軸受を採用すると、滑り軸受の摩擦損失が大きい事から、トルクの伝達効率が悪くなる。

[0008] 又、特許文献2の従来構造に於いて、磁歪効果部であるリングを軸受鋼等の磁性鋼により構成する場合、磁性鋼中に含まれる非金属介在物は、応力の集中源となる。この為、非金属介在物の数が多くなると、磁歪効果部の逆磁歪特性（加えられる応力と透磁率との関係）が不安定になり、結果として、高精度なトルク測定を行う事が難しくなる。ここで、磁性鋼中に含まれる代表的な非金属介在物の種類としては、 Al_2O_3 に代表される酸化物系、 TiN に代表されるチタン系、 MnS に代表される硫化物系がある。従って、高精度なトルク測定を行える様にする為には、磁性鋼に関して、非金属介在物の生成元素である、酸素、チタン、硫黄の濃度を規制する事により、非金属介在物の数を少なくする事が重要となる。

[0009] 又、特許文献2の従来構造に於いて、磁歪効果部であるリングを軸受鋼等の磁性鋼により構成する場合、磁性鋼中の析出物は、応力の集中源となる。この為、析出物の数が多くなると、磁歪効果部の逆磁歪特性（加えられる応力と透磁率との関係）が不安定になり、結果として、高精度なトルク測定を行う事が難しくなる。ここで、磁性鋼中に含まれる析出物の種類としては、炭化物及び窒化物がある。炭化物及び窒化物の生成元素である、炭素及び窒素は、鋼製部材の強度を向上させる添加元素であるが、その量が多くなり過ぎると、炭化物、窒化物の数も増え、上述の様に高精度なトルク測定を行えなくなる。従って、高精度なトルク測定を行える様にする為には、磁性鋼に

関して、炭素及び窒素の濃度を規制する等により、炭化物及び窒化物の数を少なくする事が重要となる。

[0010] 又、特許文献2の従来構造に於いて、トルクが作用する回転軸の外周面のうち、リングを外嵌固定した（リングの内周面を接触させた）部分である取付面に、非金属介在物や表面粗さに基づく凹凸の様な応力集中部が存在すると、非金属介在物の周辺や凹部（谷部）に局所的な塑性変形が生じ、これに伴って、取付面に接触しているリングに局所的な永久歪が生じる。この為、トルクの測定精度が悪化する。従って、高精度なトルク測定を行う為には、取付面に存在する非金属介在物の大きさや取付面の粗さを小さくする事が重要となる。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：日本国特開2003-166888号公報

特許文献2：日本国特開2008-26209号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 本発明は、上述の様な事情に鑑み、荷重を測定できる回転支持装置を実現すべく発明されたものである。

課題を解決するための手段

[0013] 本発明の回転支持装置は、転がり軸受と、センサと、を備えてもよい。

転がり軸受は、少なくとも一部分に負荷荷重に応じて透磁率が変化する（即ち、逆磁歪効果を発揮する）磁歪効果部を有すると共に、ハウジング等に支持されて使用時にも回転しない静止体と、この静止体の一部に形成された軌道上を転走する複数個の転動体とを備える。使用時に、これら各転動体は、この静止体の一部に形成された軌道上を転走すると共に、転がり軸受の構成部材に加えられる回転輪に形成された軌道上、又は、回転軸等の回転部材に形成された軌道上を転走する。

又、センサは、磁歪効果部に対して近接配置された状態で、ハウジングや静止体等の使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過（貫通）し且つ磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させる。

[0014] 好ましくは、磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、この磁歪効果部の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上の非金属介在物の数が 1000 個以下（好ましくは、 500 個以下）である。

尚、当該非金属介在物の数は、磁性鋼中の酸素、チタン、硫黄の濃度によって調整する事ができる。

[0015] 好ましくは、磁歪効果部を構成する磁性鋼を、酸素濃度が 20 ppm 以下（好ましくは 15 ppm 以下）、チタン濃度が 100 ppm 以下（好ましくは 50 ppm 以下）、硫黄濃度が 0.05% 以下（好ましくは 0.03% 以下）の磁性鋼とする。

[0016] 好ましくは、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分（例えば、使用時に出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きくなる部分や、センサの検出部を対向させる部分）の算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{ m}$ の範囲（好ましくは $0.3\text{ }\mu\text{ m}$ 未満）に収める。

[0017] 又、例えば、静止体を、軌道を直接形成した部材である静止輪のみから成るものとし、この静止輪を磁歪効果部として機能させる事ができる。

この様な構成を採用する場合には、例えば、静止輪の中心軸を含む仮想平面内で負荷荷重の作用方向に対して直角な方向に関する、静止輪の外幅寸法を、この負荷荷重の作用方向に関する一部の箇所では他の箇所よりも小さくする構成を採用する事ができる。そして、この様な構成を採用する事により、一部の箇所に加わる応力を大きくする事で、負荷荷重の変化に対するセンサの出力信号の変化を大きくする事ができる。

[0018] 又、例えば、静止体を、軌道を直接形成した部材である静止輪と、磁歪効果部として機能する磁歪効果材とを組み合わせて成るものとする事ができる。

このような構成を採用する場合には、例えば、

(A 1) 磁歪効果材を環状に構成すると共に、この磁歪効果材を静止輪に締め嵌めで嵌合固定する構成（この静止輪の表面のうち、この磁歪効果材を嵌合固定する部分を取付面とする構成）、

(A 2) 磁歪効果材を、静止輪の表面に形成した凹溝等の凹部の内側に配置する構成（この凹部の内面を取付面とする構成）、

(A 3) 磁歪効果材を、転がり軸受の負荷荷重の作用方向に関して、静止輪とハウジング等の使用時にも回転しない部分との間に挟まれる位置に配置する構成（この静止輪の表面のうち、磁歪効果材と接触する、負荷荷重の作用方向に向いた面を取付面とする構成）、

(A 4) 磁歪効果材を、静止輪の表面に膜として固定する構成（この静止輪の表面のうち、この磁歪効果材の膜を固定する部分を取付面とする構成）、等を採用する事ができる。

又、このうちの(A 3)の構成を採用する場合には、例えば、静止輪の中心軸を含む仮想平面内で負荷荷重の作用方向に対して直角な方向に関する、磁歪効果材の外幅寸法を、当該直角な方向に関する、静止輪の外幅寸法よりも小さくする構成を採用する事ができる。そして、このような構成を採用する事により、磁歪効果材に加わる応力を大きくして、負荷荷重の変化に対するセンサの出力信号の変化を大きくする事ができる。

[0019] 又、例えば、静止体を、軌道を直接形成した部材である静止輪と、磁歪効果部として機能する磁歪効果材とを、1乃至複数個の隣接部材を介して組み合わせて成るものとする事ができる。

このような構成を採用する場合には、例えば、

(B 1) 隣接部材を環状に構成すると共に、この隣接部材を静止輪に締め嵌めで嵌合固定する構成、

(B 2) 磁歪効果材を環状に構成すると共に、この磁歪効果材を隣接部材に締め嵌めで嵌合固定する構成（この隣接部材の表面のうち、この磁歪効果材を嵌合固定する部分を取付面とする構成）、

(B 3) 磁歪効果材を、隣接部材の表面に形成した凹溝等の凹部の内側に配置する構成（この凹部の内面を取付面とする構成）、

(B 4) 磁歪効果材を、転がり軸受の負荷荷重の作用方向に関して、隣接部材とハウジング等の使用時にも回転しない部分との間に挟まれる位置に配置する構成（隣接部材の表面のうち、磁歪効果材と接触する、負荷荷重の作用方向に向いた面を取付面とする構成）、

(B 5) 磁歪効果材を、隣接部材の表面に膜として固定する構成（この隣接部材の表面のうち、この磁歪効果材の膜を固定する部分を取付面とする構成）、

等を採用する事ができる。

又、このうちの (B 4) の構成を採用する場合には、例えば、静止輪の中心軸を含む仮想平面内で負荷荷重の作用方向に対して直角な方向に関する、磁歪効果材の外幅寸法を、当該直角な方向に関する、静止輪の外幅寸法よりも小さくする構成を採用する事ができる。そして、このような構成を採用する事により、磁歪効果材に加わる応力を大きくして、負荷荷重の変化に対するセンサの出力信号の変化を大きくする事ができる。

[0020] 又、(A 1)、(B 1)、(B 2) の構成を採用する場合には、互いに嵌合する 2 つの周面の耐摩耗性を確保する為に、これら両周面の表面硬さを、それぞれ H V（ビッカース硬さ）400 以上とする事が好ましい。

[0021] 又、例えば、センサを、静止体（例えば、静止輪と、隣接部材と、磁歪効果材とのうちの何れか）に取り付けられたセンサ支持部材により支持する事ができる。このような構成を採用すれば、センサをハウジング等に対して支持する構成に比べて、このセンサの検出部と磁歪効果材との位置関係が振動によって変動する事を抑えられる。従って、その分、高精度な荷重測定を行える。

[0022] 又、例えば、磁歪効果部が磁性鋼により構成し、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分（例えば、センサの検出部が対向する部分、又は、使用時に出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きくなる部分）に於ける、

炭化物の面積率が20%以下（好ましくは10%以下）とし、且つ、窒化物の面積率が3.0%以下（好ましくは1.0%以下）としても良い。

尚、当該炭化物（又は窒化物）の面積率は、磁性鋼中の炭素（又は窒素）の濃度を、製鉄時又は製鋼時の炭素（又は窒素）の添加量を変える事によって調整できる他、浸炭処理（又は窒化処理）等の表面処理によっても調整できる。

[0023] 又、例えば、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分（炭化物、窒化物の面積率を規制する部分）に於ける、炭素濃度を1.5%以下（好ましくは1.3%以下）とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下（好ましくは0.2%以下）とする。

[0024] 又、好ましくは、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分（例えば、センサの検出部が対向する部分、又は、使用時に出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きくなる部分）に於ける算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収める。算術平均粗さ R_a を規制する部分である「少なくとも一部分」は、上述した炭化物、窒化物の面積率を規制する部分と、同一の部分であっても良いし、異なる部分であっても良い。

[0025] 例えば、磁歪効果部が、静止体のうち、この磁歪効果部以外の部分であって且つ軌道から外れた部分に設けられた取付面に接触しても良い。この場合、磁歪効果部は、膜として固定（メッキ、溶射被膜等の被膜として固定、フィルム状にして接着固定等）されていたり、部材として嵌合固定又は接着固定されていたりしても良いし、単に当接していても良い。

[0026] 更に、取付面に存在する非金属介在物の長径 a と短径 b との積の平方根である $\sqrt{a \cdot b}$ の最大値（別な言い方をすれば、取付面に存在する最大の非金属介在物の $\sqrt{a \cdot b}$ ）を $80 \mu m$ 以下（好ましくは、 $40 \mu m$ 以下）としても良い。

尚、取付面に存在する非金属介在物の $\sqrt{a \cdot b}$ は、この取付面を備えた部材の材料中に含まれる、非金属介在物の生成元素（酸素、チタン、硫黄等）の濃度によって調整する事ができる。

[0027] 尚、取付面の最大高さ R_z (JIS B 0601) を $12\mu\text{m}$ 以下 (好ましくは、 $5\mu\text{m}$ 以下) としても良い。

[0028] 又、好ましくは、取付面の硬さをHV400以上とする。

又、好ましくは、取付面に於ける最大結晶粒径を $80\mu\text{m}$ 以下に規制する。

又、好ましくは、取付面に於ける残留オーステナイト量を45容量%以下に規制する。

[0029] 本発明の回転支持装置は、外輪と、回転体と、複数の転動体と、センサと、を備えてもよい。

このうちの外輪は、内周面に外輪軌道を有し、ハウジング等に支持されて使用時にも回転しない。

又、回転体は、少なくとも一部分に、加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する。

又、各転動体は、回転体の外周面又はこの回転体と共に回転する他の部材の外周面に設けられた内輪軌道と外輪軌道との間に転動自在に設けられる。

又、センサは、磁歪効果部に対して近接配置された状態で、ハウジングや外輪やこの外輪に取り付けられたセンサ支持部材等の使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過 (貫通) し且つ磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させる。

[0030] 例えば、回転体を、回転軸とする事ができる。

[0031] 又、例えば、回転体を、使用時に回転軸の外周面に外嵌固定される、外周面に内輪軌道を有する内輪とする事ができる。

[0032] 又、例えば、回転体を、使用時に回転軸の外周面に外嵌固定される、外周面に内輪軌道を有しない筒状のスリーブとする事ができる。

[0033] 又、例えば、外輪の軸方向片端部にセンサ支持部材を取り付けると共に、このセンサ支持部材のうち外輪の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した部分にセンサを支持する事ができる。

[0034] 又、例えば、外輪が、軸方向片側部分に、軸方向他側に隣接する部分に比

べて径方向の肉厚が小さくなった支持筒部を備えると共に、センサが、この支持筒部の内径側に配置された状態で、この支持筒部と共に、合成樹脂製のホルダ内に包埋されている構成を採用する事ができる。

[0035] 本発明の回転支持装置は、回転体と、センサと、を備えてもよい。

このうちの回転体は、少なくとも一部分に、加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する。

又、センサは、磁歪効果部に対して近接配置された状態で、ハウジングや転がり軸受を構成する静止輪である外輪等の使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させる。

[0036] 好ましくは、磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、この磁歪効果部の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上の非金属介在物の数が 1000 個以下（好ましくは 500 個以下）である。

尚、当該非金属介在物の数は、磁性鋼中の酸素、チタン、硫黄の濃度によって調整する事ができる。

[0037] 例えば、磁歪効果部を構成する磁性鋼を、酸素濃度が 20 ppm 以下（好ましくは 15 ppm 以下）、チタン濃度が 100 ppm 以下（好ましくは 50 ppm 以下）、硫黄濃度が 0.05% 以下（好ましくは 0.03% 以下）の磁性鋼とする。

[0038] 又、例えば、外輪と、複数個の転動体と、を備えたものとする。

このうちの外輪は、内周面に外輪軌道を有し、ハウジング等に支持されて使用時にも回転しない。

又、各転動体は、回転体の外周面又は回転体と共に回転する他の部材の外周面に設けられた内輪軌道と外輪軌道との間に転動自在に設けられる。

[0039] 又、好ましくは、磁歪効果部の表面のうち、少なくともセンサと径方向に対向する部分に於ける算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{ m}$ の範囲（好ましくは $0.3\text{ }\mu\text{ m}$ 未満）に収める。

[0040] 又、例えば、回転体を、回転軸とする事ができる。

又は、回転体を、使用時に回転軸の外周面に外嵌固定される、外周面に内輪軌道を有する内輪とする事もできる。

又は、回転体を、使用時に回転軸の外周面に外嵌固定される、外周面に内輪軌道を有しない筒状のスリーブとする事もできる。

[0041] 又、例えば、外輪の軸方向片端部にセンサ支持部材を取り付けると共に、センサ支持部材のうち外輪の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した部分にセンサを支持する事ができる。

このような構成を採用すれば、センサをハウジング等に支持する場合に比べて、センサと磁歪効果部との対向間隔を正確に管理する事が容易となる。更には、センサを外輪の内周面に支持する場合に比べて、外輪の軸方向寸法を小さくする事が容易となる。

[0042] 好ましくは、磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、磁歪効果部の表面のうち、少なくともセンサと径方向に対向する部分に於ける、炭化物の面積率が20%以下（好ましくは10%以下）であり、且つ、窒化物の面積率が3.0%以下（好ましくは1.0%以下）である。

尚、当該炭化物（又は窒化物）の面積率は、磁性鋼中の炭素（又は窒素）の濃度を、製鉄時又は製鋼時の炭素（又は窒素）の添加量を変える事によって調整できる他、浸炭処理（又は窒化処理）等の表面処理によっても調整できる。

[0043] 又、例えば、磁歪効果部の表面のうち、少なくともセンサと径方向に対向する部分（炭化物、窒化物の面積率を規制する部分）に於ける、炭素濃度を1.5%以下（好ましくは1.3%以下）とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下（好ましくは0.2%以下）とする。

[0044] 好ましくは、磁歪効果部が、回転体のうち、磁歪効果部以外の部分の外周面に設けられた取付面に接触している {例えば、膜として固定（メッキ、溶射被膜等の被膜として固定、フィルム状にして接着固定等）されていたり、部材として嵌合固定又は接着固定されていたりしても良いし、単に当接していても良い}。

[0045] 好ましくは、取付面に存在する非金属介在物の長径 a と短径 b との積の平方根である $\sqrt{a \cdot b}$ の最大値が $80 \mu\text{m}$ 以下（別な言い方をすれば、取付面に存在する最大の非金属介在物の $\sqrt{a \cdot b}$ が $80 \mu\text{m}$ 以下（好ましくは、 $40 \mu\text{m}$ 以下）になっている）。

尚、取付面に存在する非金属介在物の $\sqrt{a \cdot b}$ は、取付面を備えた部材の材料中に含まれる、非金属介在物の生成元素（酸素、チタン、硫黄等）の濃度によって調整する事ができる。

[0046] 好ましくは、取付面の最大高さ R_z （JIS B 0601）が $12 \mu\text{m}$ 以下（好ましくは、 $5 \mu\text{m}$ 以下）になっている。

[0047] 又、例えば、外輪と、複数個の転動体と、を備えたものとする。

このうちの外輪は、内周面に外輪軌道を有し、ハウジング等に支持されて使用時にも回転しない。

又、各転動体は、回転体の外周面又はこの回転体と共に回転する他の部材の外周面に設けられた内輪軌道と外輪軌道との間に転動自在に設けられる。

尚、上述の様に、外輪と複数個の転動体とを含んで構成される転がり軸受を備えた構成を採用する場合、この転がり軸受と、センサ及び磁歪効果部とは、軸方向に離隔して配置する事もできる。

[0048] 又、例えば、センサを、外輪に取り付けられたセンサ支持部材により支持する事ができる。

この様な構成を採用すれば、センサをハウジング等に対して支持する構成に比べて、このセンサの検出部と磁歪効果部との位置関係が振動によって変動する事を抑えられる。従って、その分、高精度なトルク測定を行える。

[0049] 又、好ましくは、取付面の硬さを $HV 400$ 以上とする。

又、好ましくは、取付面に於ける最大結晶粒径を $80 \mu\text{m}$ 以下に規制する。

又、好ましくは、取付面に於ける残留オーステナイト量を 45 容量%以下に規制する。

[0050] 本発明の回転支持装置は、転がり軸受と、磁歪部材と、センサと、を備え

ても良い。

磁歪部材は、転がり軸受を構成する静止輪に対して同心に組み合わされると共に、円周方向に関して転がり軸受の負荷荷重が加わる位置（方向）に、負荷荷重に応じて透磁率が変化する部位であって、その円周方向両側に隣接する部分がそれぞれ除肉部（例えば、透孔、切り欠き等）になった部位である、柱部を有する。尚、磁歪部材は、環状であれば良い。軸方向から見た磁歪部材の内周面形状や外周面形状は、それぞれ円形である必要はなく、例えば内周面や外周面を嵌合させる相手部材の周面の形状に合わせて、楕円形や多角形等の種々の形状としても良い。

又、センサは、磁歪部材に取り付けられた（例えば、柱部や柱部の近傍に取り付けられた）状態で柱部に隣接配置され、柱部の透磁率の変化を検出する。この様なセンサとしては、自身を貫通し、且つ、柱部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるもの（例えば、コイル、又は、ホール素子、ホールIC、MR素子、GMR素子、AMR素子、TMR素子、MI素子等の磁気検出素子）を採用する事ができる。

[0051] 転がり軸受が、ラジアル転がり軸受である場合には、例えば、磁歪部材を、静止輪の内外両周面のうち、軌道を設けた周面と反対側の周面である反軌道側周面（静止輪が外輪の場合は外周面、静止輪が内輪の場合は内周面）に嵌合固定する。これにより、使用状態で、静止輪の反軌道側周面とハウジング等の使用時にも回転しない部分の周面との間に挟まれた磁歪部材の柱部に、転がり軸受に負荷されるラジアル荷重が加わる様にする。

又、転がり軸受が、アキシアル荷重を支承可能なラジアル転がり軸受（アングュラ玉軸受、円すいころ軸受等）である場合には、アキシアル荷重を測定可能とする為に、例えば、磁歪部材を、静止輪の側面に対し、直接又は間座等の介在部材を介して、軸方向に重ねて配置する。これにより、使用状態で、静止輪の側面とハウジング等の使用時にも回転しない部分の側面との間に挟まれた磁歪部材の柱部に、転がり軸受に負荷されるアキシアル荷重が加わる様にする。

又、転がり軸受が、スラスト転がり軸受である場合には、例えば、磁歪部材を、静止輪の両側面のうち、軌道を設けた側面と反対側の側面である反軌道側側面に対し、直接又は間座等の介在部材を介して、軸方向に重ねて配置する。これにより、使用状態で、静止輪の反軌道側側面とハウジング等の使用時にも回転しない部分の側面との間に挟まれた磁歪部材の柱部に、転がり軸受に負荷されるスラスト荷重が加わる様にする。

[0052] 例えば、センサを、柱部に巻回されたコイルとする事ができる。

又、例えば、磁歪部材として、加えられる負荷荷重の向きが異なる円周方向複数の位置に、それぞれ柱部を有するものを採用すると共に、センサを、各柱部に対して1つずつ隣接配置する（センサが柱部に巻回されたコイルである場合には、センサであるコイルを、各柱部に対して1つずつ巻回する）。

この場合に、好ましくは、磁歪部材として、柱部毎に構成された、互いに独立した（互いに重畳しない）磁気回路部を備えたものを採用する。

又、より好ましくは、2個の柱部に巻回した2個のコイル（抵抗）と2個の抵抗器とから成るブリッジを含んだ温度補償回路を備えたものとする。そして、温度補償回路の出力（ブリッジの midpoint 電圧）に基づいて、温度変化による誤差を低減乃至解消した負荷荷重（又は負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量）の測定を行える様にする。

[0053] 本発明の回転支持装置は、転がり軸受と、磁歪材と、コイルと、磁路部材と、を備えても良い。

磁歪材は、転がり軸受を構成する静止輪に対して（直接又は他の部材を介して）、転がり軸受の負荷荷重に応じた応力が加わる様に組み合わせられ、この応力に応じて透磁率が変化する。

又、コイルは、磁歪材の透磁率の変化を検出する為のもので、静止輪に対して（直接又は他の部材を介して）組み合わせられている。

又、磁路部材は、静止輪に対して（直接又は他の部材を介して）、磁歪材及びコイルを覆う様に組み合わせられた状態で、少なくとも磁歪材と共に、コ

イルに電流を流す事により発生した磁束が流れる閉磁路を構成する。

尚、本明細書に於いて、閉磁路とは、磁路の全体（全長）が磁性体（互いに組み合わされた複数の磁性体）により繋がっているものを言う。

[0054] 好ましくは、磁歪材を、静止輪に対して組み合わされた、転がり軸受の負荷荷重に応じて歪を生じる起歪部材（好ましくは静止輪よりも大きな歪を生じる部材）に対して、この歪に応じた応力が加わる様に取り付ける。又、コイルを、起歪部材に巻回する。又、磁路部材を、起歪部材に対して組み合わせる。そして、この状態で、磁路部材が、少なくとも起歪部材及び磁歪材と共に、閉磁路を構成する様にする。

尚、磁路部材と起歪部材とは、ヒステリシス特性が小さい磁性材料である、軟磁性材料製である事が好ましい。この理由は、ヒステリシス特性の影響を抑えられ、測定回路の出力の線形性を向上させる事ができ、精度の高い測定を行える為である。

[0055] 又、転がり軸受をラジアル転がり軸受とする場合には、例えば、起歪部材を、静止輪の反軌道側周面（軌道を設けた周面と反対側の周面）に嵌合固定する。これにより、使用状態で、静止輪の外周面とハウジング等の固定の部分の内周面との間に挟まれた起歪部材に、転がり軸受に負荷されるラジアル荷重が加わる様にする事で、起歪部材にこのラジアル荷重に応じた歪が生じる様にする。

又、転がり軸受を、アングュラ玉軸受、円すいころ軸受等の、アキシアル荷重を支承可能なラジアル転がり軸受とする場合には、例えば、起歪部材を、静止輪の側面に対して直接又は間座等の他の部材を介して軸方向に重ねて配置する。これにより、使用状態で、静止輪の側面とハウジング等の固定の部分の側面との間に挟まれた起歪部材に、転がり軸受に負荷されるアキシアル荷重が加わる様にする事で、起歪部材にこのアキシアル荷重に応じた歪が生じる様にする。

又、転がり軸受をスラスト転がり軸受とする場合には、例えば、起歪部材を、静止輪の反軌道側側面（軌道を設けた側面と反対側の側面）に対して直

接又は間座等の他の部材を介して軸方向に重ねて配置する。これにより、使用状態で、静止輪の反軌道側側面とハウジング等の固定の部分の側面との間に挟まれた起歪部材に、転がり軸受に負荷されるスラスト荷重が加わる様にする事で、起歪部材にこのスラスト荷重に応じた歪が生じる様にする。

[0056] 又、例えば、磁歪材を、静止輪又は起歪部材の表面に形成された、転がり軸受の負荷荷重に応じて幅寸法が弾性的に変化（収縮）する凹溝内に設置し、この幅寸法の変化によって磁歪材に加えられる応力が変化する様にする。又は、磁歪材を、静止輪に対して、静止輪とハウジング等の固定の部分との間で（転がり軸受の負荷荷重の方向に）圧縮される様に組み合わせる事もできる。又は、磁歪材を、静止輪又は起歪部材の表面のうち、転がり軸受の負荷荷重に応じて歪を生じる部分に、メッキ、溶射被膜等の膜として固定する事もできる。

[0057] 例えば、コイル及び閉磁路の組み合わせを、静止輪の円周方向に関して複数箇所に設ける事ができる。

この場合に、好ましくは、2個のコイル（抵抗）と2個の抵抗器とから成るブリッジを含んだ温度補償回路を備えたものとする。そして、この温度補償回路の出力（ブリッジの midpoint 電圧）に基づいて、温度変化による誤差を低減乃至解消した負荷荷重（又はこの負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量）の測定を行える様にする。

発明の効果

[0058] 本発明の回転支持装置の場合、静止体の磁歪効果部は、転がり軸受の負荷荷重の作用方向に拘わらず、この負荷荷重に応じた応力が加わる位置に存在していれば良い為、転がり軸受に負荷される荷重を測定できる回転支持装置に関して、設計の自由度を高くできる。

[0059] 磁歪効果部を磁性鋼により構成する場合、磁性鋼中に含まれる非金属介在物は、応力の集中源となる。この為、非金属介在物の数が多くなると、磁歪効果部の逆磁歪特性（加えられる応力と透磁率との関係）が不安定になり、結果として、高精度な荷重測定を行う事が難しくなる。ここで、磁性鋼中に

含まれる代表的な非金属介在物の種類としては、 Al_2O_3 に代表される酸化物系、 TiN に代表されるチタン系、 MnS に代表される硫化物系がある。従って、高精度な荷重測定を行える様にする為には、磁性鋼に関して、非金属介在物の生成元素である、酸素、チタン、硫黄の濃度を規制し、非金属介在物の数を少なくする事が重要となる。

この点に関して、磁歪効果部を構成する磁性鋼中に含まれる、応力の集中源となる非金属介在物の数を少なくすれば、磁歪効果部の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。この為、高精度な荷重測定を行える。

又、磁歪効果部の表面が粗い凹凸形状になっていると、凹凸形状の凹部に対応する部分に応力が集中し易くなり、その分、磁歪効果部の逆磁歪特性が不安定になる。これに対して、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分の表面粗さが良好とすれば（ $Ra < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっている）、磁歪効果部の逆磁歪特性が安定化し、より高精度な荷重測定を行える。

[0060] 磁歪効果部を磁性鋼により構成する場合、磁性鋼中の析出物は、応力の集中源となる。この為、析出物の数が増えると、磁歪効果部の逆磁歪特性（加えられる応力と透磁率との関係）が不安定になり、結果として、高精度な荷重測定を行う事が難しくなる。ここで、磁性鋼中に含まれる析出物の種類としては、炭化物及び窒化物がある。これらの生成元素である、炭素及び窒素は、鋼製部材の強度を向上させる添加元素であるが、その量が多くなり過ぎると、炭化物、窒化物の数も増え、上述の様に高精度な荷重測定を行えなくなる。従って、高精度な荷重測定を行える様にする為には、磁性鋼に関して、炭素及び窒素の濃度を規制する等により、炭化物及び窒化物の数を少なくする事が重要となる。

この点に関して、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分（例えば、センサの検出部が対向する部分、又は、使用時に出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きくなる部分）に存在する、応力の集中源となる析出物（炭化物及び窒化物）の数を少なくすれば、磁歪効果部の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。この為、高精度な荷重測定を行える。

又、磁歪効果部の表面が粗い凹凸形状になっていると、この凹凸形状の凹部に対応する部分に応力が集中し易くなり、その分、磁歪効果部の逆磁歪特性が不安定になる。これに対して、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分（例えば、センサの検出部が対向する部分、又は、使用時に出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きくなる部分）の表面粗さが良好とすれば（ $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっている）、磁歪効果部の逆磁歪特性が安定化し、より高精度な荷重測定を行える。

[0061] 転がり軸受の負荷荷重によって応力が作用する静止体の取付面に、非金属介在物や表面粗さに基づく凹凸の様な応力集中部が存在すると、これら非金属介在物の周辺や凹部（谷部）に局所的な塑性変形が生じる。これに伴って、取付面に接触している磁歪効果部に局所的な永久歪が生じる。この為、転がり軸受の負荷荷重の測定精度が悪化する。従って、高精度な荷重測定を行える様にする為には、取付面に存在する非金属介在物の大きさ（ $\sqrt{area}$ ）や取付面の粗さ（最大高さ R_z ）を小さくする事が重要となる。

この点に関して、静止体の取付面に存在する非金属介在物の大きさ（ $\sqrt{area}$ ）を小さくしたり、取付面の粗さ（最大高さ R_z ）を小さくすれば、取付面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制し、取付面に接触している磁歪効果部に局所的な永久歪が生じる事を抑制できる。従って、高精度な荷重測定を行える。

[0062] ハウジング等の使用時にも回転しない部分に対して回転軸を回転自在に支持する軸受が、外輪と複数個の転動体とを含んで構成される転がり軸受である場合、この転がり軸受は、滑り軸受に比べて摩擦損失が小さい。この為、回転軸によるトルクの伝達効率を良好にしつつ、このトルクの測定を行える。

又、好ましくは、外輪の軸方向片端部に取り付けられたセンサ支持部材のうち、外輪の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した部分にセンサが支持されている。この為、センサを、外輪を含んで構成される転がり軸受と一体に取り扱う事ができる。従って、使用箇所への組み付けを容易に行える。又

、ハウジングにセンサが支持されている構造に比べて、センサと磁歪効果部との対向間隔を正確に管理する事が容易となる。更には、外輪の内周面にセンサが支持されている構造に比べて、外輪の軸方向寸法を小さくできる。

又、好ましくは、センサが、外輪の軸方向片側部分に設けられた支持筒部に対して（この支持筒部の内径側に配置された状態で、この支持筒部と共に合成樹脂製のホルダ内に包埋される態様で）支持されている。この為、センサを、外輪を含んで構成される転がり軸受と一体に取り扱う事ができる。従って、使用箇所への組み付けを容易に行える。又、センサがハウジングに支持されている構造に比べて、センサと磁歪効果部との対向間隔を正確に管理する事が容易となる。又、センサを支持する支持筒部は、外輪の一部である為、この外輪に対するセンサの支持強度を高くする事ができる。又、支持筒部は、軸方向他側に隣接する部分に比べて径方向の肉厚が小さい為、この支持筒部を設ける事に伴う外輪の重量の増大を少なく抑えられる。更には、センサがホルダ内に包埋されている為、このセンサに、トルクの測定精度を悪化させる様な磁性粉等の異物が付着する事を防止できる。

[0063] 磁歪効果部を構成する磁性鋼中に含まれる、応力の集中源となる非金属介在物の数を少なくすれば、この磁歪効果部の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。この為、高精度なトルク測定を行える。

又、磁歪効果部の表面が粗い凹凸形状になっていると、この凹凸形状の凹部に対応する部分に応力が集中し易くなり、その分、前記磁歪効果部の逆磁歪特性が不安定になる。これに対して、磁歪効果部の表面のうち、少なくとも前記センサと径方向に対向する部分に於ける表面粗さが良好とすれば（ $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっている）、磁歪効果部の逆磁歪特性が安定化し、より高精度なトルク測定を行える。

[0064] 磁歪効果部の表面のうち、センサと対向する部分に存在する、応力の集中源となる析出物（炭化物及び窒化物）の数を少なくすれば、磁歪効果部の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。この為、高精度なトルク測定を行える。

[0065] 回転体の取付面に存在する非金属介在物の大きさ ($\sqrt{\text{area}}$) を小さくしたり、取付面の粗さ (最大高さ R_z) を小さくすれば、取付面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制し、取付面に接触している磁歪効果部に局所的な永久歪が生じる事を抑制できる。この為、高精度なトルク測定を行える。

[0066] 磁歪部材を構成する柱部の透磁率の変化をセンサにより検出する構成によれば、転がり軸受の負荷荷重 (又はこの負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量) を測定できる。特に、負荷荷重が、磁歪部材のうち、円周方向両側に隣接する部分がそれぞれ除肉部になった部位である柱部に加わる為、柱部に作用する応力を大きくできる。従って、負荷荷重 (又はこの負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量) を高感度で測定できる。

又、磁歪部材は、転がり軸受を構成する静止輪に対して接着されている必要はなく、円周方向に関して転がり軸受の負荷荷重が加わる位置 (方向) に柱部が配置されていれば良い。従って、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、長期間に亘り正常な測定機能を維持できる。

又、磁歪部材にセンサが取り付けられており、磁歪部材とセンサとを一体として取り扱う事ができる為、部品管理や組立作業等の容易化を図れる。

[0067] 又、磁歪部材を構成する各柱部の透磁率の変化を各センサにより検出する事に基づいて、互いに異なる向きの負荷荷重 (又は負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量) を測定できる。

更に、各柱部を流れる磁束 (各柱部の透磁率を各センサにより検出する為に利用される磁束) が、それぞれ他の柱部を流れる磁束に対して影響を及ぼす事を、実質的に防止できる。この為、互いに異なる向きの負荷荷重 (又は負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量) の測定の信頼性を高められる。

[0068] 転がり軸受と、磁歪材と、コイルと、磁路部材と、を備える回転支持装置の場合、転がり軸受の負荷荷重に応じて、磁歪材の透磁率が変化すると、コイルのインダクタンスが変化する。この為、インダクタンスに基づいて、負荷荷重 (又は負荷荷重と相関関係のあるトルク等の物理量) を測定できる。

又、磁歪材は、転がり軸受を構成する静止輪に対して接着されている必要はなく、転がり軸受の負荷荷重に応じた応力が加わる様に設置されていれば良い為、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、長期間に亙り正常な測定機能を維持できる。

又、コイルに電流を流す事により発生した磁束は、少なくとも磁歪材と磁路部材とを含んで構成される閉磁路内を流れる。この為、磁束の値を大きくする事ができ、その分、信頼性の高い測定を行える。又、周囲空間への磁束漏れを僅少乃至ゼロにできる為、周辺機器等に悪影響を及ぼす事を抑制乃至防止できる。

[0069] 又、転がり軸受として一般的なものを使用できると共に、起歪部材と磁歪材とコイルとを一体として取り扱う事ができる為、部品管理や組立作業等の容易化を図れる。

又、各コイルのインダクタンスに基づいて、互いに異なる向きの負荷荷重（又はこの負荷荷重と相関関係のある物理量）を測定できる。更には、各コイル毎に閉磁路が構成されている為、互いに異なる向きの負荷荷重（又は負荷荷重と相関関係のある物理量）を、他のコイルで発生した磁束の影響を実質的に受ける事なく測定できる。この為、その分、信頼性の高い測定を行える。

図面の簡単な説明

[0070] [図1]実施形態の第1例を示す断面図。

[図2]実施形態の第2例を示す断面図。

[図3]実施形態の第3例を示す断面図。

[図4]実施形態の第4例を示す断面図。

[図5]実施形態の第5例を示す断面図。

[図6]転がり軸受及び磁歪効果材を取り出して示す分解斜視図。

[図7]実施形態の第6例を示す断面図。

[図8]実施形態の第7例を示す断面図。

[図9]実施形態の第8例を示す断面図。

- [図10]実施形態の第9例を示す断面図。
- [図11]実施形態の第10例を示す断面図。
- [図12]実施形態の第11例を示す断面図。
- [図13]実施形態の第12例を示す断面図。
- [図14]実施形態の第13例を示す断面図。
- [図15]実施形態の第14例を示す断面図。
- [図16]実験1の結果を示す線図。
- [図17]実験2の結果を示す線図。
- [図18]実験3の結果を示す線図。
- [図19]実験4の結果を示す線図。
- [図20]実験5の結果を示す線図。
- [図21]実験6の結果を示す線図。
- [図22]実験7の結果を示す線図。
- [図23]実施形態の第15例を示す断面図。
- [図24]実施形態の第16例を示す断面図。
- [図25]実施形態の第17例を示す断面図。
- [図26]実施形態の第18例を示す断面図。
- [図27]実施形態の第19例を示す断面図。
- [図28]実施形態の第20例を示す断面図。
- [図29]実施形態の第21例を示す断面図。
- [図30]実施形態の第22例を示す断面図。
- [図31]実施形態の第23例を示す斜視図。
- [図32]実施形態の第23例において、ホルダを省略して示す分解斜視図。
- [図33]実施形態の第23例を示す断面図。
- [図34]図33のA部拡大図。
- [図35]実験8の結果を示す線図。
- [図36]実験9の結果を示す線図。
- [図37]実験10の結果を示す線図。

[図38]実験 1 1 の結果を示す線図。

[図39]実験 1 2 の結果を示す線図。

[図40]実施形態の第 2 4 例を示す断面図。

[図41]実施形態の第 2 5 例を示す断面図。

[図42]実施形態の第 2 6 例を示す断面図。

[図43]実施形態の第 2 7 例を示す断面図。

[図44]実施形態の第 2 8 例を示す断面図。

[図45]実施形態の第 2 9 例を示す断面図。

[図46]実施形態の第 3 0 例を示す断面図。

[図47]実験 1 3 の結果を示す線図。

[図48]実験 1 4 の結果を示す線図。

[図49]実施形態の第 3 1 例を示す側面図。

[図50]図 4 9 の A - A 断面図。

[図51]センサである 1 対のコイルを含む測定回路のブロック図。

[図52]実施形態の第 3 2 例を示す斜視図。

[図53]図 5 2 の背面側から見た分解斜視図。

[図54]実施形態の第 3 2 例の断面図。

[図55]図 5 4 の上部拡大図。

[図56]図 5 4 の A - A 断面図。

[図57]実施形態の第 3 3 例を示す斜視図。

[図58]図 5 7 の背面側から見た分解斜視図。

[図59]実施形態の第 3 3 例の断面図。

[図60]図 5 9 の B - B 断面図。

[図61]1 対のコイルを含む測定回路のブロック図。

発明を実施するための形態

[0071] [実施形態の第 1 例]

本発明の実施形態の第 1 例について、図 1 を参照しつつ説明する。本例の回転支持装置は、転がり軸受 1 と、センサ 2 と、を備える。

[0072] 転がり軸受 1 は、ラジアル深溝玉軸受である。転がり軸受 1 は、使用時にも回転しない静止体 4 と、使用時に回転する回転輪である内輪 5 と、それぞれが転動体である複数個の玉 6、6 と、保持器 7 と、を備える。静止体 4 は、使用時にも回転しない静止輪である外輪 3 を含んで、環状に構成される。各玉 6、6 は、保持器 7 に保持された状態で、外輪 3 の内周面に直接形成された深溝型の外輪軌道 8 と、内輪 5 の外周面に直接形成された深溝型の内輪軌道 9 と、の間に転動自在に設けられている。各玉 6、6 は、外輪 3 に対して内輪 5 が回転する事に伴い、外輪軌道 8 及び内輪軌道 9 上を転走する。この様な転がり軸受 1 を構成する部材のうち、少なくとも、外輪 3 と、内輪 5 と、各玉 6、6 とは、J I S に規定されている、S U J 2、S U J 3 等の軸受鋼、S C r 4 2 0、S C M 4 2 0 等の浸炭鋼、S 5 3 C 等の炭素鋼、S K 5 等の工具鋼等の磁性鋼製である。

[0073] 静止体 4 は、外輪 3 と、磁歪効果部である磁歪効果材 1 0 と、を組み合わせる。磁歪効果材 1 0 は、磁性金属により円筒状に造られたもので、外輪 3 の外周面に締め嵌めで外嵌固定されている。この為、磁歪効果材 1 0 の内周面は、この外輪 3 の外周面に対し、全周に互に接触している。磁歪効果材 1 0 は、磁性金属により造られている為、応力が加わると、逆磁歪効果により、透磁率が変化する。本例の場合には、磁歪効果材 1 0 を構成する磁性金属として、例えば、J I S（日本工業規格）に規定されている、S U J 2、S U J 3 等の軸受鋼、S C r 4 2 0、S C M 4 2 0 等の浸炭鋼、S 5 3 C 等の炭素鋼、S K 5 等の工具鋼のような各種磁性鋼のうち、酸素濃度が 2 0 p p m 以下、チタン濃度が 1 0 0 p p m 以下、硫黄濃度が 0. 0 5 % 以下のものを使用している。即ち、磁歪効果材 1 0 を構成する磁性金属として、非金属介在物の生成元素となる、酸素、チタン、硫黄の濃度を十分に抑えた磁性鋼を使用している。これに伴って、本例の場合には、磁歪効果材 1 0 の表面の面積 1 0 0 m m²中に存在する、面積の平方根が 5 μ m 以上の非金属介在物の数が、1 0 0 0 個以下に収まっている。又、互いに締め嵌めで嵌合している、外輪 3 の外周面と磁歪効果材 1 0 の内周面との耐摩耗性を確保して、

これら両周面の摩耗を低減する為に、これら両周面の表面硬さを、それぞれHV400以上としている。この為に、これら両周面のそれぞれに対し、必要に応じて、硬さを向上させる為の高周波焼入れ等の熱処理を施している。又、図1に示す様な、外輪3及び磁歪効果材10の中心軸を含む仮想平面内で、転がり軸受1に負荷されるラジアル荷重 F_r の作用方向に対して直角な方向（図1の左右方向）に関する、磁歪効果材10の外幅寸法 W_{10} が、外輪3の外幅寸法 W_3 と等しく（ $W_{10}=W_3$ ）している。又、磁歪効果材10を軸方向に着磁する事で、この磁歪効果材10の軸方向両側面を1対の磁極面とし、この磁歪効果材10の内外に磁場を発生させる様にしている。更に、磁歪効果材10の表面のうち、少なくともセンサ2と対向する軸方向片側面（図1の右側面）の算術平均粗さ R_a （JIS B 0601）を、研磨加工等により $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収めている。尚、磁歪効果材10の軸方向片側面全体の表面粗さを上記範囲に規制する事もできるが、この軸方向片側面のうち、センサ2と対向する部分のみの表面粗さを上記範囲に規制する事もできる。

[0074] 又、センサ2は、検出部を磁歪効果材10の軸方向片側面の円周方向1箇所に対向（当接）させる事により、この磁歪効果材10に対して近接配置された状態で、外輪3に取り付けられたセンサ支持部材11に支持されている。センサ2の検出部として、ホール素子、ホールIC、MR素子、GMR素子、AMR素子、TMR素子、MI素子等の磁気検出素子12を使用している。センサ支持部材11は、外輪3の軸方向片端部に締り嵌めで内嵌固定された円筒状の嵌合筒部13と、嵌合筒部13の軸方向片端部から径方向外方に延出する状態で設けられた円輪状の支持部14と、を備える。センサ2は、この支持部14に支持されている。

[0075] 上述の様な構成を有する本例の回転支持装置は、内輪5を、自動車のパワートレインを構成する回転軸（変速機を構成する回転軸、デファレンシャルギヤを構成する回転軸、プロペラシャフト、ドライブシャフト等）に外嵌すると共に、静止体4をハウジングに内嵌した状態で使用される。そして、自

動車の運転時に、磁歪効果材 10 の透磁率の変化をセンサ 2 により検出する事に基づいて、転がり軸受 1 の負荷荷重や、この負荷荷重と等価な回転軸の伝達トルクを測定する。

[0076] 即ち、自動車の運転時に、転がり軸受 1 には、例えば歯車反力によりラジアル荷重 F_r が負荷される。この歯車反力は、回転軸の伝達トルクに応じて変化する為、ラジアル荷重 F_r も、この伝達トルクに応じて変化する。又、磁歪効果材 10 は、ラジアル荷重 F_r の作用方向である径方向に関して、外輪 3 とハウジングとの間に挟まれた位置に配置されている。この為、磁歪効果材 10 には、ラジアル荷重 F_r に応じた応力が加わり、この応力によって、磁歪効果材 10 の透磁率が変化する。具体的には、ラジアル荷重 F_r が大きくなる程、磁歪効果材 10 の軸方向に関する透磁率が高くなる。更に、センサ 2 の出力信号は、磁歪効果材 10 の透磁率に応じて変化する。この理由は、磁歪効果材 10 の透磁率が変化すると、センサ 2 の検出部である磁気検出素子 12 を通過する磁束の大きさが変化する為である。従って、予め、センサ 2 の出力信号とラジアル荷重 F_r との関係、及び、ラジアル荷重 F_r と伝達トルクとの関係（又は、センサ 2 の出力信号と伝達トルクとの関係）を調べておけば、これらの関係を利用して、センサ 2 の出力信号からラジアル荷重 F_r 及び伝達トルクを求められる。尚、これらラジアル荷重 F_r 及び伝達トルクを求める演算は、図示しない演算器により行う。

[0077] 上述した様な本例の回転支持装置の場合には、磁歪効果材 10 を外輪 3 の外周面に締め嵌めで外嵌固定している為、変速機を構成するハウジングの内部等の、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、磁歪効果材 10 が設置箇所である外輪 3 の外周面から脱落する事を防止できる。従って、長期間に亘り、信頼性の高い荷重（トルク）測定を行える。

[0078] 又、本例の場合には、磁歪効果材 10 を構成する磁性金属として、酸素濃度が 20 ppm 以下、チタン濃度が 100 ppm 以下、硫黄濃度が 0.05 % 以下の S U J 2 等の磁性鋼を使用している。又、これに伴って、磁歪効果材 10 の表面の面積 100 mm² 中に存在する、面積の平方根が 5 μ m 以上の

非金属介在物の数が、1000個以下に収まっている。この為、本例の回転支持装置によれば、磁歪効果材10を構成する磁性鋼中に含まれる、応力の集中源となる非金属介在物の数を少なくして、磁歪効果材10の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。更に、本例の場合には、磁歪効果材10の表面のうち、少なくとも軸方向片側面（出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きい磁極面であり、且つ、センサ2の検出部が対向している面）の表面粗さが良好になっている（ $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっている）為、磁歪効果材10の逆磁歪特性をより安定化させる事ができる。この結果、本例の場合には、高精度な荷重測定（負荷荷重測定、トルク測定）を行える。

[0079] [実施形態の第1例の第1変形例]

磁歪効果材10を構成する磁性金属として、外輪3を構成する磁性鋼よりも磁歪定数が大きいもの（例えば、純Ni、Fe-Ni系合金、Fe-Co系合金、Fe-Al系合金、非晶質合金等の、逆磁歪効果を発揮し易いもの）を使用してもよい。

[0080] [実施形態の第1例の第2変形例]

磁歪効果材10を構成する磁性金属として、磁性鋼を使用しても良い。そして、磁歪効果材10の表面のうち、少なくともセンサ2と対向する面であり且つ磁極面（出入りする磁束の密度が他の部分に比べて大きくなる部分）である軸方向片側面（図1の右側面）に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下とする。この為に、磁歪効果材10を構成する磁性金属として、例えば、JISに規定されている、SUJ2、SUJ3等の軸受鋼、SCr420、SCM420等の浸炭鋼、S53C等の炭素鋼、SK5等の工具鋼と言った各種磁性鋼のうち、析出物である炭化物及び窒化物の生成元素である、炭素及び窒素の濃度が所定値以下のもの（製鉄時又は製鉄時に炭素及び窒素の添加量を所定値以下に規制したもの）を使用する。これにより、磁歪効果材10の軸方向片側面（を含む全表面）に於ける、炭素濃度を1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下とする事で、磁歪効果材10の軸方向片側面（を含む全表面）に於ける、

炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下とする。

[0081] 本変形例の場合には、磁歪効果材10を構成する磁性金属として、磁性鋼を使用すると共に、磁歪効果材10の表面のうち、少なくとも軸方向片側面（を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下としている。つまり、磁歪効果材10の表面のうち、少なくとも軸方向片側面（を含む全表面）に存在する、応力の集中源となる析出物（炭化物及び窒化物）の数を十分に少なくしている。この為、磁歪効果材10の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。更に、本変形例の場合には、磁歪効果材10の表面のうち、少なくとも軸方向片側面の表面粗さが良好になっている（ $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっている）為、磁歪効果材10の逆磁歪特性をより安定化させる事ができる。この結果、本変形例の場合には、高精度な荷重測定（負荷荷重測定、トルク測定）を行える。

[0082] [実施形態の第1例の第3変形例]

磁歪効果材10の取付面である、外輪3の外周面に存在する非金属介在物の長径aと短径bとの積の平方根である $\sqrt{a \cdot b}$ の最大値（外輪3の外周面に存在する最大の非金属介在物の寸法である $\sqrt{a \cdot b}$ ）を $80 \mu m$ 以下に規制している。この為に、外輪3を構成する磁性鋼中に含まれる、非金属介在物の生成元素（酸素、チタン、硫黄等）の濃度を調整している。又、外輪3の外周面の最大高さ R_z を、研磨加工等により $12 \mu m$ 以下に規制している。更に、外輪3に関して、材料に応じた適切な熱処理条件を選択する等により、外輪3の外周面に関して、硬さをHV400以上とし、最大結晶粒径を $80 \mu m$ 以下とし、残留オーステナイト量を45容量%以下としている。

[0083] このように、本変形例の場合には、外輪3の外周面に存在する非金属介在物の $\sqrt{a \cdot b}$ の最大値を $80 \mu m$ 以下に規制し、且つ、外輪3の外周面の最大高さ R_z を $12 \mu m$ 以下に規制している。この為、外輪3の外周面に存在する非金属介在物及び粗さの凹凸に基づく応力集中部を少なくして、外輪

3の外周面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制できる。

又、外輪3の外周面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制する為には、外周面に於いて、表面硬さの不足や結晶粒の粗大化が生じるのを防止する事が重要となる。この点に関して、本変形例の場合には、外輪3の外周面の硬さをHV400以上に規制し、且つ、外輪3の外周面に於ける最大結晶粒径を $80\mu\text{m}$ 以下に規制している。この為、外輪3の外周面に局所的な塑性変形が生じる事を更に抑制できる。

又、外輪3の外周面に於ける残留オーステナイト量が多いと、高温時に外輪3の外周面に寸法変化が生じ易くなる。この点に関して、本変形例の場合には、外輪3の外周面に於ける残留オーステナイト量を45容量%以下に規制している。この為、高温時に外輪3の外周面に生じる寸法変化を抑制できる。

以上の様に、本変形例の場合には、外輪3の外周面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制できると共に、高温時に外輪3の外周面に生じる寸法変化を抑制できる為、外輪3の外周面に締り嵌めで外嵌固定されている磁歪効果材10に永久歪が生じる事を抑制できる。この為、高精度な荷重測定（負荷荷重測定、伝達トルク測定）を行える。

尚、本変形例の構造に関しては、取付面である外輪3の外周面の全体ではなく、外周面のうち、円周方向に関してラジアル荷重 F_r の負荷圏（センサ2の設置位置）に対応する部分を含む一部の範囲の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さ R_z 、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）のみを、上述の様に規制する事もできる。

[0084] [実施形態の第2例]

本発明の実施形態の第2例について、図2を参照しつつ説明する。

本例の場合には、外輪3の外周面に締り嵌めで外嵌固定した磁歪効果材10aの構成が、上述した実施形態の第1例の場合と異なる。即ち、本例の場合には、図2に示す様な、外輪3及び磁歪効果材10aの中心軸を含む仮想平面内で、転がり軸受1に負荷されるラジアル荷重 F_r の作用方向に対して

直角な方向（図2の左右方向）に関する、磁歪効果材10aの外幅寸法 W_{10a} を、外輪3の外幅寸法 W_3 よりも小さく（ $W_{10a} < W_3$ ）している。更に、磁歪効果材10aを、径方向に関して外輪軌道8と重なる位置である、外輪3の外周面の軸方向中央部に配置している。又、これに伴い、磁歪効果材10aの軸方向片側面の円周方向1箇所に対向（当接）させたセンサ2を、外輪3の軸方向片端部の外径側に配置している。この為に、センサ2を支持する部分である、センサ支持部材11aの支持部14aの一部も、外輪3の軸方向片端部の外径側に配置している。

[0085] この様な構成を有する本例の回転支持装置の場合には、磁歪効果材10aの外幅寸法 W_{10a} を外輪3の外幅寸法 W_3 よりも小さく（ $W_{10a} < W_3$ と）した分、上述した実施形態の第1例の場合に比べて、磁歪効果材10aに加わる応力が大きくなる。この為、転がり軸受1に負荷されるラジアル荷重 F_r 、及び、転がり軸受1を構成する内輪5を外嵌した回転軸の伝達トルクの測定感度を向上させる事ができる。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第1例の場合と同様である。

[0086] [実施形態の第2例の第1変形例]

実施形態の第2例の場合には、外輪3の外周面のうち、磁歪効果材10aを外嵌固定した部分である幅方向中間部が、磁歪効果材10aの取付面となる。この為、外輪3の外周面のうち、少なくともこの取付面の性状（非金属材料の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さ R_z 、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、上述した実施形態の第1例の第3変形例の場合と同様に規制しても良い。

[0087] [実施形態の第3例]

本発明の実施形態の第3例について、図3を参照しつつ説明する。

本例の場合には、センサ2aの構成が、図1に示した実施形態の第1例の場合と異なる。即ち、本例の場合には、センサ2aの検出部として、コイル15を使用している。そして、コイル15を、磁歪効果材10と同心に配置

した状態で、磁歪効果材 10 の軸方向片側面の全周に対向させている。又、使用時に、コイル 15 に交流電圧を印加して、コイル 15 の周囲に交流磁場を発生させる様にしている。その代わりに、本例の場合には、磁歪効果材 10 を着磁していない。又、本例の場合には、磁歪効果材 10 の全表面の算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。

[0088] この様な構成を有する本例の回転支持装置の場合も、センサ 2 a の出力信号は、磁歪効果材 10 の透磁率に応じて変化する。この理由は、磁歪効果材 10 の透磁率が変化すると、センサ 2 a の検出部であるコイル 15 の内側を通過する磁束が変化し、これに伴って、コイル 15 のインダクタンス（インピーダンス）が変化する為である。従って、本例の場合も、前述した実施形態の第 1 例の場合と同様にして、センサ 2 a の出力信号から、転がり軸受 1 に負荷されるラジアル荷重 F_r 、及び、転がり軸受 1 を構成する内輪 5 を外嵌した回転軸の伝達トルクを求められる。特に、本例の場合には、ラジアル荷重 F_r が負荷される円周方向位置に拘わらず、ラジアル荷重 F_r に応じて、コイル 15 のインダクタンスが変化する。この為、運転状況に応じてラジアル荷重 F_r が負荷される円周方向位置が変化する用途に、好適に使用できる。又、本例の構造の場合には、製造時に磁歪効果材 10 の着磁工程を省略できる分、製造コストを抑えられる。

その他の構成及び作用効果は、前述した実施形態の第 1 例の場合と同様である。

[0089] [実施形態の第 3 例の第 1 変形例]

磁歪効果材 10 の全表面に於ける、炭化物の面積率を 20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を 3.0%以下としても良い。この為に、磁歪効果材 10 の全表面に於ける、炭素濃度を 1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を 0.5%以下としている。

[0090] [実施形態の第 4 例]

本発明の実施形態の第 4 例について、図 4 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、センサ 2 b の検出部を構成するコイル 15 a の設置箇所

が、上述した実施形態の第3例の場合と異なる。即ち、本例の場合には、外輪3 aの外周面の軸方向中央部に全周に亙る凹溝1 6を形成すると共に、凹溝1 6内にコイル1 5 aを設置している。これにより、センサ2 bを支持する為のセンサ支持部材1 1（図3参照）を省略し、部品点数の減少に伴うコストの低減及び小型化を図っている。尚、外輪3 aの外周面には、凹溝1 6とは別に、コイル1 5 aに接続したハーネスを軸方向に引き出す為の溝（図示せず）を設けている。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第3例の場合と同様である。

[0091] [実施形態の第4例の第1変形例]

実施形態の第4例の場合には、外輪3 aの外周面のうち、磁歪効果材1 0を外嵌固定した部分である、凹溝1 6及びハーネスを軸方向に引き出す為の溝から外れた部分が、磁歪効果材1 0の取付面となる。この為、外輪3 aの外周面のうち、少なくともこの取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さR z、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、上述した実施形態の第1例の第3変形例の場合と同じ様に規制しても良い。

[0092] [実施形態の第5例]

本発明の実施形態の第5例について、図5～6を参照しつつ説明する。

本例の場合には、磁歪効果材1 0 bを、外輪3 aの外周面の軸方向中央部に全周に亙り形成した凹溝1 6内のうち、センサ2 bの検出部であるコイル1 5 aの内径側に設置している。磁歪効果材1 0 bは、それぞれが磁性金属により半円筒状に造られた1対の磁歪素子1 7、1 7同士を、凹溝1 6内で円筒状に組み合わせると共に、1対の磁歪素子1 7、1 7の周方向端部同士を、溶接等により接合して成る。又、この状態で、磁歪効果材1 0 bの内周面を凹溝1 6の底面に全周に亙り密接させている。又、本例の場合には、外輪3 aをハウジングに直接内嵌した状態で使用する様にしている。これにより、転がり軸受1にラジアル荷重F rが負荷された場合に、外輪3 aと共に磁歪効果材1 0 bを弾性変形させる事で、磁歪効果材1 0 bに、ラジアル荷

重 F_r に応じた応力が加わる様にしている。そして、この応力が変化する事に伴って生じる、磁歪効果材10bの透磁率の変化を、センサ2bにより検出する事に基づいて、ラジアル荷重 F_r 、及び、転がり軸受1を構成する内輪5を外嵌した回転軸の伝達トルクを測定する様にしている。尚、本例の場合には、センサ2bの外周面が外輪3aの外周面よりも径方向内側に配置される様に、センサ2bの寸法を規制している。

[0093] 上述の様な本例の回転支持装置の場合には、センサ2bだけでなく、磁歪効果材10bも、外輪3aの外周面に形成した凹溝16内に設置している為、更なる小型化を図れる。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第4例の場合と同様である。

[0094] [実施形態の第5例の第1変形例]

実施形態の第5例の場合には、凹溝16の底面が、磁歪効果材10bの取付面となる。この為、取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さ R_z 、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、上述した実施形態の第1例の第3変形例の場合と同じ様に規制しても良い。

[0095] [実施形態の第6例]

本発明の実施形態の第6例について、図7を参照しつつ説明する。

本例の場合には、円筒状の磁歪効果材10cを、転がり軸受1に負荷されるアキシアル荷重 F_a の作用方向（図7の左右方向）に関して、外輪3の軸方向片側面（図7の右側面）と、図示しないハウジングの内周面に設けられた段差面と、の間に挟まれる位置に配置する構成を採用している。又、図7に示す様な、外輪3及び磁歪効果材10cの中心軸を含む仮想平面内で、アキシアル荷重 F_a の作用方向に対して直角な方向（図7の上下方向）に関する、磁歪効果材10cの外幅寸法 T_{10c} を、同じく外輪3の外幅寸法 T_3 よりも小さく（ $T_{10c} < T_3$ ）している。又、本例の場合には、磁歪効果材10cを、径方向に着磁している。又、外輪3の軸方向片端部に取り付けられたセンサ支持部材11bに支持されたセンサ2cの検出部である磁気検出素子1

2を、磁歪効果材10cの内周面の円周方向1箇所に対向（当接）する位置に配置している。又、本例の場合には、磁歪効果材10cの表面のうち、少なくとも内周面の算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収めている。

[0096] この様な構成を有する本例の回転支持装置の場合、磁歪効果材10cには、アキシャル荷重 F_a に応じた軸方向の応力が加わる。そこで、本例の場合には、この応力が変化する事に伴って生じる、磁歪効果材10cの透磁率の変化を、センサ2cにより検出する事に基づいて、アキシャル荷重 F_a を測定する様にしている。特に、本例の場合には、磁歪効果材10cの外幅寸法 T_{10c} を外輪3の外幅寸法 T_3 よりも小さく（ $T_{10c} < T_3$ ）している為、外幅寸法 T_{10c} を外幅寸法 T_3 と等しく（ $T_{10c} = T_3$ ）する場合に比べて、磁歪効果材10cに加わる応力を大きくできる。従って、その分、アキシャル荷重 F_a の測定感度を向上させる事ができる。

その他の構成及び作用効果は、前述の図1に示した実施形態の第1例の場合と同様である。

[0097] [実施形態の第6例の第1変形例]

磁歪効果材10cの表面のうち、少なくともセンサ2cが対向する面であり且つ磁極面である内周面（を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下としても良い。この為、磁歪効果材10cの表面のうち、少なくとも内周面（を含む全表面）に於ける、炭素濃度を1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下としている。

[0098] [実施形態の第6例の第2変形例]

実施形態の第6例の場合には、磁歪効果材10cを接触させている、外輪3の軸方向片側面が、磁歪効果材10cの取付面となる。この為、取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{area}$ の最大値、最大高さ R_z 、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、上述した実施形態の第1例の第3変形例の場合と同じ様に規制しても良い。

[0099] [実施形態の第7例]

本発明の実施形態の第7例について、図8を参照しつつ説明する。

本例の場合には、磁歪効果材10dの取付面である、外輪3bの外周面の全周に磁歪効果材10dを被膜（例えば溶射被膜）として固定している。更に、磁歪効果材10dを軸方向に着磁している。又、センサ2を、外輪3bの軸方向片側面の円周方向1箇所に対向する位置に配置している。又、磁歪効果材10dの外周面の算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。この為に、磁歪効果材10dの被膜を形成する前の段階で、基材表面となる外輪3bの外周面を平滑に仕上げておく処理と、磁歪効果材10dの被膜を形成した後の段階で、磁歪効果材10dの外周面を平滑に仕上げる処理と、のうち、少なくとも一方の処理を行っている。尚、磁歪効果材10dは、外輪3bの外周面に代えて、外輪3bの軸方向片側面に、被膜として固定する事もできる。

その他の構成及び作用効果は、前述の図1に示した実施形態の第1例の場合と同様である。

[0100] [実施形態の第7例の第1変形例]

外輪3bの外周面の全周に磁歪効果材10dを膜として固定（例えば、メッキ等の被膜として固定、又は、フィルム状にして接着固定）し、更に、この磁歪効果材10dを軸方向に着磁しても良い。磁歪効果材10dをメッキとする場合には、ニッケルメッキを好適に使用できる。この場合には、相手部材となる前記外輪3bを、炭素濃度0.1%以上の鉄（例えば軸受鋼）製、又は、強度的に問題がなければアルミニウム合金製とするのが望ましい。又、磁歪効果材10dをフィルム状のものとする場合には、ニッケルをフィルム状にしたものを好適に使用できる。

[0101] [実施形態の第7例の第2変形例]

磁歪効果材10dの外周面に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下としても良い。この為に、磁歪効果材10dの外周面に於ける、炭素濃度を1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を

0.5%以下としている。

[0102] [実施形態の第7例の第3変形例]

実施形態の第7例の場合には、隣接部材18の外周面が、磁歪効果材10dの取付面となる。そして、取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さRz、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、上述した実施形態の第1例の第3変形例と同じ様に規制しても良い。

[0103] [実施形態の第8例]

本発明の実施形態の第8例について、図9を参照しつつ説明する。

本例の場合、静止体4aは、外輪3と、隣接部材18と、磁歪効果材10dと、を組み合わせて成る。隣接部材18は、軸受鋼等の磁性鋼又はアルミニウム合金により円筒状に造られたもので、外輪3の外周面に締り嵌めで外嵌固定されている。又、磁歪効果材10dは、隣接部材18の外周面に、被膜として固定されている。磁歪効果材10dは、軸方向に着磁されている。この着磁は、隣接部材18の外周面に磁歪効果材10dが固定された後、隣接部材18が外輪3の外周面に外嵌固定される前の段階で行われる。尚、磁歪効果材10dは、隣接部材18の外周面に代えて、隣接部材18の軸方向片側面に、被膜として固定する事もできる。

以上の様な構成を採用する事により、本例の場合には、外輪3の表面に磁歪効果材の被膜を直接固定しなくて済み、転がり軸受として一般的なものをそのまま使用できる為、製造工程の簡略化及び回転支持装置のコスト低減を図る上で有利となる。

その他の構成及び作用効果は、前述の図1に示した実施形態の第1例の場合と同様である。

[0104] [実施形態の第8例の第1変形例]

実施形態の第8例の場合には、隣接部材18aの軸方向片側面が、磁歪効果材10eの取付面となる。この為、この取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さRz、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、上述した実施形態の第1例の第3変形例の場合と同じ様に規制し

ても良い。

[0105] [実施形態の第9例]

本発明の実施形態の第9例について、図10を参照しつつ説明する。

本例の場合、静止体4aは、外輪3と、隣接部材18aと、磁歪効果材10eと、を組み合わせで成る。隣接部材18aは、軸受鋼等の磁性鋼により円筒状に造られている。又、磁歪効果材10eは、隣接部材18aの軸方向片側面（図10の右側面）に被膜として固定されている。隣接部材18aは、径方向又は軸方向に着磁されている。又、磁歪効果材10eの軸方向片側面の算術平均粗さRaを、 $Ra < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。そして、本例の場合には、この様な磁歪効果材10eが固定された隣接部材18aを、転がり軸受1に負荷されるアキシャル荷重Faの作用方向（図10の作用方向）に関して、外輪3の軸方向片側面（図10の右側面）と、図示しないハウジングの内周面に設けられた段差面と、の間に挟まれる位置に配置する構成を採用している。又、外輪3の軸方向片端部に取り付けられたセンサ支持部材11bに支持されたセンサ2cの検出部である磁気検出素子12を、隣接部材18aの内径側に隣接する位置に配置している。尚、磁歪効果材10eは、隣接部材18aの軸方向片側面に代えて、隣接部材18aの内周面に、被膜として固定する事もできる。

その他の構成及び作用効果は、前述の図7に示した実施形態の第6例の場合と同様である。

[0106] [実施形態の第9例の第1変形例]

磁歪効果材10eの軸方向片側面に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下としても良い。この為に、磁歪効果材10eの軸方向片側面に於ける、炭素濃度を1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下としている。

[0107] [実施形態の第10例]

本発明の実施形態の第10例について、図11を参照しつつ説明する。

本例の場合、静止体4bは、外輪3bのみから成る。そして、外輪3bを

、磁歪効果部として機能させている。この為に、本例の場合には、外輪 3 b を、前述の図 1 に示した実施形態の第 1 例の磁歪効果材 1 0 と同様の磁性鋼により造っている。又、外輪 3 b を軸方向に着磁して、外輪 3 b の内外に磁場を発生させる様にしている。又、外輪 3 b の軸方向片端部に取り付けられたセンサ支持部材 1 1 に支持されたセンサ 2 の検出部である磁気検出素子 1 2 を、磁極面である、外輪 3 b の軸方向片側面の円周方向 1 箇所に対向させている。又、外輪 3 b の表面のうち、少なくとも軸方向片側面の算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。そして、外輪 3 b の透磁率の変化をセンサ 2 により検出する事に基づいて、転がり軸受 1 に負荷されるラジアル荷重 F_r 、及び、転がり軸受 1 を構成する内輪 5 を外嵌した回転軸の伝達トルクを測定する様にしている。

[0108] 上述の様な本例の回転支持装置の場合には、外輪 3 b とは別個の磁歪効果材を省略している為、部品点数の減少に伴うコストの低減及び小型化を図れる。又、外輪 3 b を磁歪効果部として機能させている為、外輪 3 b と磁歪効果部との分離が生じ得ない。従って、変速機を構成するハウジングの内部等の、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、長期間に亘り、信頼性の高い荷重（トルク）測定を行える。

その他の構成及び作用効果は、前述の図 1 に示した実施形態の第 1 例の場合と同様である。

[0109] [実施形態の第 1 0 例の第 1 変形例]

外輪 3 b の表面のうち、少なくとも軸方向片側面（を含む全表面）に於ける、炭素濃度が 1.5 % 以下とし、且つ、窒素濃度が 0.5 % 以下としてもよい。これにより、外輪 3 b の表面のうち、少なくとも軸方向片側面（を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率が 20 % 以下になっており、且つ、窒化物の面積率が 3.0 % 以下になっている。

[0110] [実施形態の第 1 1 例]

本発明の実施形態の第 1 1 例について、図 1 2 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、外輪 3 c のうち、外径側半部の軸方向に関する外幅寸法

W_oを、内径側半部の軸方向に関する外幅寸法W_iよりも小さく（W_o<W_iと）している。そして、外輪3cの外径側半部である幅狭部19の軸方向片側面の円周方向1箇所、センサ2を対向させている。又、外輪3cの表面のうち、少なくとも幅狭部19の軸方向片側面の算術平均粗さR_aを、R_a<0.5μmの範囲に規制している。

[0111] この様な構成を有する本例の回転支持装置の場合には、外輪3cのうち、センサ2を対向させた部分である外径側半部の外幅寸法W_oを小さくした分、外径側半部に加わる応力が大きくなる。この為、転がり軸受1に負荷されるラジアル荷重F_r、及び、転がり軸受1を構成する内輪5を外嵌した回転軸の伝達トルクの測定感度を向上させる事ができる。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第10例の場合と同様である。

[0112] [実施形態の第11例の第1変形例]

外輪3cの表面のうち、少なくとも幅狭部19の軸方向片側面（を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下としても良い。この為に、外輪3cの表面のうち、少なくとも幅狭部19の軸方向片側面（軸方向片側面を含む全表面）に於ける、炭素濃度を1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下としている。

[0113] [実施形態の第12例]

本発明の実施形態の第12例について、図13を参照しつつ説明する。

本例の場合には、外輪3cの外径側半部である幅狭部19の軸方向片側面の円周方向1箇所に対向させたセンサ2dの構成が、上述した実施形態の第11例の場合と異なる。即ち、本例の場合には、センサ2dの検出部として、その中心軸の方向を外輪3cの軸方向（図13の左右方向）に一致させたコイル15bを使用している。又、外輪3cは着磁されておらず、使用時には、コイル15bに交流電圧を印加する事により、このコイル15bの周囲に交流磁場を発生させる。そして、外輪3cの透磁率の変化を、このコイル15bのインダクタンスの変化として検出する事に基き、転がり軸受1に

負荷されているラジアル荷重 F_r 等を測定する。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第 11 例の場合と同様である。

[0114] 尚、本発明は、上述した各実施形態の構成を、適宜組み合わせて実施することができる。例えば、上述した各実施形態に於いて、センサの検出部に関する構成（磁歪効果部の着磁の有無を含む）を、他の実施形態の構成に置き換えることができる。

[0115] [実施形態の第 13 例]

本発明の実施形態の第 13 例について、図 14 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、外輪 3c の形状と、磁歪効果材 10f の取付位置とが、図 8 に示した実施形態の第 7 例の場合と異なる。外輪 3c のうち、外径側半部の軸方向に関する外幅寸法 W_o を、内径側半部の軸方向に関する外幅寸法 W_i よりも小さく ($W_o < W_i$) としている。又、外輪 3c の外径側半部である幅狭部 19 の軸方向片側面に磁歪効果材 10f を、実施形態の第 7 例の場合と同様の膜として固定した状態で、磁歪効果材 10f を軸方向に着磁している。即ち、幅狭部 19 の軸方向片側面が、磁歪効果材 10f の取付面となる。そして、磁歪効果材 10f の軸方向片側面の円周方向 1 箇所に、センサ 2 を対向させている。

[0116] 本例の回転支持装置の場合には、外輪 3c の外径側半部の外幅寸法 W_o を小さくした分、外径側半部である幅狭部 19 に加わる応力が大きくなり、幅狭部 19 の弾性変形量が大きくなる。この為、幅狭部 19 の軸方向片側面に固定した磁歪効果材 10f の弾性変形量も大きくなる。従って、転がり軸受 1 に負荷されるラジアル荷重 F_r 、及び、転がり軸受 1 を構成する内輪 5 を外嵌した回転軸の伝達トルクの測定感度を向上させることができる。

その他の構成及び作用効果は、前述した実施形態の第 7 例の場合と同様である。

[0117] [実施形態の第 14 例]

本発明の実施形態の第 14 例について、図 15 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、磁歪効果材 10 f の軸方向片側面の円周方向 1 箇所に対向させたセンサ 2 d の構成が、上述した実施形態の第 13 例の場合と異なる。即ち、センサ 2 d の検出部として、その中心軸の方向を外輪 3 c の軸方向（図 15 の左右方向）に一致させたコイル 15 b を使用している。又、磁歪効果材 10 f は着磁されておらず、使用時には、コイル 15 b に交流電圧を印加する事により、コイル 15 b の周囲に交流磁場を発生させる。そして、磁歪効果材 10 f の透磁率の変化を、コイル 15 b のインダクタンスの変化として検出する事にに基づき、転がり軸受 1 に負荷されているラジアル荷重 F_r 等を測定する。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第 14 例の場合と同様である。

[0118] [実施形態の第 15 例]

本発明の実施形態の第 15 例について、図 23 を参照しつつ説明する。

本例の回転支持装置は、転がり軸受 101 と、回転軸 102 と、センサ支持部材 103 と、センサ 104 と、を備える。

[0119] 転がり軸受 101 は、シェル形ニードル軸受であり、外輪 105 と、それぞれが転動体である複数個のニードル 106、106 と、保持器 107 と、を備える。

外輪 105 は、鋼製の板材に絞り加工等の塑性加工を施す事により、円筒状に造られている。外輪 105 は、軸方向両端部に内向鏢部 108、108 を備える。外輪 105 の内周面のうち、両内向鏢部 108、108 同士の間挟まれた部分を、円筒状の外輪軌道 109 としている。この様な外輪 105 は、自動車のパワートレインを構成するハウジング等に内嵌された状態で、使用時にも回転しない。

各ニードル 106、106 は、外輪軌道 109 と、回転軸 102 の外周面に設けられた円筒状の内輪軌道 110 と、の間に、保持器 107 により保持された状態で転動自在に設けられている。各ニードル 106、106 は、鋼製である。又、保持器 107 は、鋼製若しくは合成樹脂製である。

[0120] 回転軸 102 は、自動車のパワートレインを構成する、変速機の回転軸、デファレンシャルギヤの回転軸、プロペラシャフト、ドライブシャフト等の、トルク伝達軸であり、転がり軸受 101 の内径側に配置されている。回転軸 102 の外周面のうち、外輪軌道 109 と径方向に対向する部分には、内輪軌道 110 が設けられている。本例の場合には、回転軸 102 が回転体に相当し、この回転軸 102 の全体（少なくとも外周面）が磁歪効果部として機能する。この様な回転軸 102 は、転がり軸受 101 を構成する外輪 105 やニードル 106 の材料として一般的に使用されている鋼（機械構造用鋼、軸受鋼等）に比べて磁歪定数が十分に大きい磁性金属である、磁歪材料（例えば、純 Ni、Fe-Ni 系合金、Fe-Co 系合金、Fe-Al 系合金、非晶質合金等）により造られている。又、回転軸 102 は、周方向に着磁（磁化）されている。

[0121] 又、センサ支持部材 103 は、鋼等の金属又は合成樹脂により円環状に造られたもので、外輪 105 の軸方向片端部（図 23 の右端部）に取り付けられている。この様なセンサ支持部材 103 は、外輪 105 の軸方向片端部（内向鍔部 108）に締め込みにより内嵌固定された嵌合筒部 111 と、嵌合筒部 111 の軸方向片端部に連結されて、外輪 105 の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した、環状の支持部 112 と、を備える。

[0122] 又、センサ 104 は、検出部を回転軸 102 の外周面に近接対向させる事により、回転軸 102 に対して近接配置された状態で、センサ支持部材 103 を構成する支持部 112 の内周面に設けられた凹部 113 のうち、円周方向一部の内側に組み付けられている。本例の場合、センサ 104 の検出部として、ホール素子、ホール IC、MR 素子、GMR 素子、AMR 素子、TMR 素子、MI 素子等の磁気検出素子 114 を使用している。

[0123] 本例の回転支持装置の場合には、自動車の運転時に、回転軸 102 の透磁率の変化をセンサ 104 により検出する事に基づいて、この回転軸 102 により伝達しているトルクを測定する。即ち、回転軸 102 にトルクが加わると、逆磁歪効果に基づいて、回転軸 102 の透磁率が変化する。具体的には

、当該トルクによって、回転軸 102 に、軸方向に対して 45 度方向の引っ張り応力（及びこれと直交する方向に圧縮応力）が作用する為、逆磁歪効果に基づいて、回転軸 102 の磁化が、周方向から軸方向に倒される。この結果、回転軸 102 の外部に漏れ磁束が発生し、漏れ磁束がセンサ 104 の検出部である磁気検出素子 114 を通過する事によって、センサ 104 の出力信号が変化する。従って、予め、センサ 104 の出力信号とトルクとの関係を調べておけば、この関係を利用して、センサ 104 の出力信号からトルクを求められる。尚、トルクを求める演算は、図示しない演算器により行う。

[0124] 本例の回転支持装置の場合には、ハウジング等に対して回転軸を回転自在に支持する軸受が、転がり軸受 101 であり、転がり軸受 101 は、滑り軸受に比べて摩擦損失が小さい。この為、回転軸 102 によるトルクの伝達効率を良好にしつつ、このトルクの測定を行える。又、外輪 105 の軸方向片端部に取り付けられたセンサ支持部材 103 のうち、外輪 105 の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した部分にセンサ 104 が支持されている。この為、センサ 104 を、転がり軸受 101 と一体に取り扱う事ができる。従って、使用箇所への組み付けを容易に行える。又、ハウジングにセンサ 104 が支持されている構造に比べて、センサ 104 と磁歪効果部との対向間隔を正確に管理する事が容易となる。更には、外輪の内周面にセンサが支持されている構造に比べて、外輪 105 の軸方向寸法を小さくできる。従って、この外輪 105 の材料費や加工コストを抑えられる。

[0125] [実施形態の第 15 例の第 1 変形例]

回転軸 102 は、磁性金属製であり、この磁性金属として、例えば、JIS に規定されている、SUJ2、SUJ3 等の軸受鋼、SCr420、SCM420 等の浸炭鋼、S53C 等の炭素鋼、SK5 等の工具鋼と言った各種磁性鋼のうち、酸素濃度が 20ppm 以下、チタン濃度が 100ppm 以下、硫黄濃度が 0.05% 以下のものを使用しても良い。即ち、回転軸 102 を構成する磁性金属として、非金属介在物の生成元素となる、酸素、チタン、硫黄の濃度を十分に抑えた磁性鋼を使用しても良い。これに伴って、本変

形例の場合には、回転軸 102 の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の非金属介在物の数が、1000 個以下に収まっている。

[0126] 又、本変形例の場合には、回転軸 102 の外周面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分（内輪軌道 110 の軸方向片側隣りに位置する部分）の算術平均粗さ R_a （JIS B 0601）を、研磨加工等により $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲に収めている。

[0127] 本変形例の場合には、回転軸 102 を構成する磁性金属として、酸素濃度が 20 ppm 以下、チタン濃度が 100 ppm 以下、硫黄濃度が 0.05% 以下の S U J 2 等の磁性鋼を使用している。又、これに伴って、回転軸 102 の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の非金属介在物の数が、1000 個以下に収まっている。この為、回転軸 102 を構成する磁性鋼中に含まれる、応力の集中源となる非金属介在物の数を少なくして、回転軸 102 の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。更に、回転軸 102 の外周面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分の表面粗さが良好になっている（ $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲に収まっている）為、この様に表面粗さが良好になっている部分の逆磁歪特性を、より安定化させる事ができる。この結果、高精度なトルク測定を行える。

[0128] [実施形態の第 15 例の第 2 変形例]

回転軸 102 は、磁性金属製あり、この磁性金属として、磁性鋼を使用しても良い。回転軸 102 の表面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分（この回転軸 102 の外周面のうち、内輪軌道 110 の軸方向片側（図 23 の右側）隣りに位置する部分）（当該部分を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を 20% 以下とし、且つ、窒化物の面積率を 3.0% 以下としている。この為に、回転軸 102 を構成する磁性金属として、例えば、JIS に規定されている、S U J 2、S U J 3 等の軸受鋼、S C r 4 2 0、S C M 4 2 0 等の浸炭鋼、S 5 3 C 等の炭素鋼、S K 5 等の工具鋼と言った各種磁性鋼のうち、析出物である炭化物及び窒化物の生成元素である、

炭素及び窒素の濃度が所定値以下のもの（製鉄時又は製鉄時に炭素及び窒素の添加量を所定値以下に規制したもの）を使用している。これにより、回転軸 102 の表面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分（を含む全表面）に於ける、炭素濃度を 1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を 0.5%以下とする事で、当該部分（を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を 20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を 3.0%以下としている。

[0129] 本変形例の場合には、回転軸 102 を構成する磁性金属として、磁性鋼を使用すると共に、回転軸 102 の表面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分（当該部分を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を 20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を 3.0%以下としている。つまり、センサ 104 と径方向に対向する部分（当該部分を含む全表面）に存在する、応力の集中源となる析出物（炭化物及び窒化物）の数を十分に少なくしている。この為、回転軸 102 の逆磁歪特性を安定化させる事ができる。更に、回転軸 102 の外周面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分に於ける表面粗さが良好になっている（ $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっている）為、回転軸 102 の逆磁歪特性をより安定化させる事ができる。この結果、高精度なトルク測定を行える。

[0130] [実施形態の第 16 例]

本発明の実施形態の第 16 例について、図 24 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、センサ 104 a の構成が、上述した実施形態の第 15 例の場合と異なる。即ち、本例の場合には、センサ 104 a の検出部として、回転軸 102 の周囲を取り囲む位置に、回転軸 102 と同心に配置された、コイル 115 を使用している。又、使用時に、コイル 115 に交流電圧を印加して、コイル 115 の周囲に交流磁場を発生させる様にしている。その代わりに、本例の場合には、回転軸 102 を着磁していない。

[0131] 本例の回転支持装置の場合も、センサ 104 a の出力信号は、回転軸 102 の透磁率に応じて変化する。この理由は、回転軸 102 の透磁率が変化すると、センサ 104 a の検出部であるコイル 115 の内側を通過する磁束が

変化し、これに伴って、コイル 115 のインダクタンス（インピーダンス）が変化する為である。従って、本例の場合も、上述した実施形態の第 15 例の場合と同様にして、センサ 104 a の出力信号から、回転軸 102 により伝達しているトルクを求められる。又、本例の構造の場合には、製造時に回転軸 102 の着磁工程を省略できる分、製造コストを抑えられる。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第 15 例の場合と同様である。

[0132] [実施形態の第 17 例]

本発明の実施形態の第 17 例について、図 25 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、回転体である回転軸 102 a の構成が、図 23 に示した実施形態の第 15 例の場合と異なる。即ち、本例の場合、回転軸 102 a は、鋼等の金属製の回転軸本体 116 と、磁歪効果部である、磁歪材料製の磁歪膜 117 と、から成る。回転軸本体 116 の外周面のうち、外輪 105 の内周面に設けられた外輪軌道 109 と径方向に対向する部分には、内輪軌道 110 が設けられている。又、磁歪膜 117 は、回転軸本体 116 の外周面のうち、センサ 104 と径方向に対向する部分の全周に、磁歪材料製の膜として固定（磁歪材料をメッキ等の被膜として固定、又は、磁歪材料をフィルム状にして接着固定）されたものである。又、磁歪膜 117 は、回転軸本体 116 と共に、周方向に着磁されている。そして、磁歪膜 117 の透磁率の変化をセンサ 104 により検出する事に基づいて、回転軸 102 a により伝達しているトルクを測定する様にしている。尚、磁歪膜 117 をメッキとする場合には、ニッケルメッキを好適に使用できる。この場合には、相手部材（本例の場合には、回転軸本体 116）を、炭素濃度 0.1% 以上の鋼製、又は、強度的に問題がなければアルミニウム合金製とするのが望ましい。又、磁歪膜 117 をフィルム状のものとする場合には、ニッケルをフィルム状にしたものを好適に使用できる。

その他の構成及び作用効果は、図 23 に示した実施形態の第 15 例の場合と同様である。

[0133] [実施形態の第17例の第1変形例]

回転軸102aは、機械構造用鋼等の磁性鋼（酸素、チタン及び硫黄の3元素の濃度は特に問わない）により造られた回転軸本体116と、磁歪効果部である、磁性金属製の磁歪膜117と、から構成されても良い。回転軸本体116の外周面のうち、外輪105の内周面に設けられた外輪軌道109と径方向に対向する部分には、内輪軌道110が設けられている。又、磁歪膜117は、回転軸本体116の外周面のうち、センサ104と径方向に対向する部分の全周に、被膜（例えば溶射被膜）として固定されている。本変形例の場合には、磁歪膜117を構成する磁性金属として、図23に示した実施形態の第15例の第1変形例の回転軸102と同様の磁性鋼を使用している。又、これに伴って、磁歪膜117の外周面の面積100mm²中に存在する、面積の平方根が5μm以上の非金属介在物の数が、1000個以下に収まっている。又、磁歪膜117は、回転軸本体116と共に、周方向に着磁されている。更に、磁歪膜117の外周面の算術平均粗さRaを、 $Ra < 0.5\mu m$ の範囲に規制している。この為に、磁歪膜117を形成する前の段階で、基材表面となる回転軸本体116の外周面を平滑に仕上げておく処理と、磁歪膜117を形成した後の段階で、磁歪膜117の外周面を平滑に仕上げる処理と、のうちの、少なくとも一方の処理を行っている。そして、磁歪膜117の透磁率の変化をセンサ104により検出する事に基づいて、回転軸102aにより伝達しているトルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、図23に示した実施形態の第15例の第1変形例の場合と同様である。

[0134] [実施形態の第17例の第2変形例]

回転軸102aは、機械構造用鋼等の磁性鋼（表面に於ける炭化物及び窒化物の面積率は特に問わない。）により造られた回転軸本体116と、磁歪効果部である、磁性金属製の磁歪膜117と、から構成されても良い。磁歪膜117は、回転軸本体116の外周面のうち、センサ104と径方向に対向する部分の全周に、被膜（例えば溶射被膜）として固定されている。本変

形例の場合には、磁歪膜 117 を構成する磁性金属として、図 23 に示した実施形態の第 15 例の第 2 変形例の回転軸 102 と同様の磁性鋼を使用している。これにより、磁歪膜 117 の外周面に於ける、炭素濃度を 1.5% 以下とし、且つ、窒素濃度を 0.5% 以下とする事で、磁歪膜 117 の外周面に於ける、炭化物の面積率を 20% 以下とし、且つ、窒化物の面積率を 3.0% 以下としている。更に、磁歪膜 117 の外周面の算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。この為に、磁歪膜 117 を形成する前の段階で、基材表面となる回転軸本体 116 の外周面を平滑に仕上げておく処理と、磁歪膜 117 を形成した後の段階で、磁歪膜 117 の外周面を平滑に仕上げる処理と、のうちの、少なくとも一方の処理を行っている。そして、磁歪膜 117 の透磁率の変化をセンサ 104 により検出する事に基づいて、回転軸 102a により伝達しているトルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、図 23 に示した実施形態の第 15 例の第 2 変形例の場合と同様である。

[0135] [実施形態の第 18 例]

本発明の実施形態の第 18 例について、図 26 を参照しつつ説明する。

本例の場合、転がり軸受 101a は、外輪 105 と、複数個のニードル 106、106 と、保持器 107 と、に加えて、内輪 118 を備える。回転軸 102b ではなく、内輪 118 が回転体に相当し、内輪 118 の全体（少なくとも内輪軌道 110 が形成された部分よりも軸方向片側に存在する部分）が磁歪効果部として機能する。この為、本例の場合には、回転軸 102b を、機械構造用鋼により造られたものとしている。又、内輪 118 は、磁歪材料により円筒状に造られたもので、回転軸 102b の外周面に締り嵌めで外嵌固定されている。又、内輪 118 の外周面のうち、外輪 105 の内周面に設けられた外輪軌道 109 と径方向に対向する部分には、円筒状の内輪軌道 110 が設けられている。又、内輪 118 の軸方向片端部（図 26 の右端部）は、外輪 105 の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出しており、この突出した部分が、センサ 104 と径方向に対向している。又、内輪 118 は、

周方向に着磁されている。

[0136] 本例の回転支持装置の場合、回転軸 102b にトルクが加わると、回転軸 102b と共に、内輪 118 が弾性的に捩れ変形し、これに伴って、内輪 118 の透磁率が変化する。本例の場合には、内輪 118 の透磁率の変化をセンサ 104 により検出する事によって、トルクを測定する様にしている。又、本例の場合には、磁歪効果部を内輪 118 としている為、実施形態の第 15 例の場合の様に磁歪効果部を回転軸とする場合に比べて、磁歪効果部の体積を小さくできる。従って、磁歪効果部を構成する材料や表面の非金属介在物の数及び表面粗さを規制する事に伴うコスト上昇を低く抑えられる。

その他の構成及び作用効果は、図 23 に示した実施形態の第 15 例の場合と同様である。

[0137] [実施形態の第 18 例の第 1 変形例]

回転軸 102b は、機械構造用鋼等の磁性鋼（酸素、チタン及び硫黄の 3 元素の濃度は特に問わない）により造られても良い。又、内輪 118 は、磁性金属により円筒状に造られても良い。又、本変形例の場合には、内輪 118 を構成する磁性金属として、図 23 に示した実施形態の第 15 例の第 1 変形例の回転軸 102 と同様の磁性鋼を使用している。又、これに伴って、内輪 118 の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の非金属介在物の数が、 1000 個以下に収まっている。又、内輪 118 は、周方向に着磁されている。更に、内輪 118 の表面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分である、外周面の軸方向片端部に於ける算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲に規制している。

[0138] [実施形態の第 18 例の第 2 変形例]

回転軸 102b は、機械構造用鋼等の磁性鋼（表面に於ける炭化物及び窒化物の面積率は特に問わない。）により造られても良い。又、内輪 118 は、磁性金属により円筒状に造られても良い。又、本変形例の場合には、内輪 118 を構成する磁性金属として、図 23 に示した実施形態の第 15 例の第 2 変形例の回転軸 102 と同様の磁性鋼を使用している。これにより、内輪

118の表面のうち、少なくともセンサ104と径方向に対向する部分である、外周面の軸方向片端部（軸方向片端部を含む全表面）に於ける、炭素濃度を1.5%以下とし、且つ、窒素濃度を0.5%以下とする事で、当該部分（当該部分を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を20%以下とし、且つ、窒化物の面積率を3.0%以下としている。又、前記内輪118は、周方向に着磁されている。更に、内輪118の表面のうち、少なくともセンサ104と径方向に対向する部分である、外周面の軸方向片端部に於ける算術平均粗さRaを、 $Ra < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。

[0139] [実施形態の第19例]

本発明の実施形態の第19例について、図27を参照しつつ説明する。

本例の場合には、回転体である内輪118aの構成が、上述した実施形態の第18例の場合と異なる。即ち、本例の場合、内輪118aは、炭素濃度0.1%以上の鋼製又はアルミニウム合金製で円筒状の内輪本体119と、磁歪効果部である、磁歪材料製の磁歪膜117aと、から成る。内輪本体119は、回転軸102bの外周面に締り嵌めで外嵌固定されている。又、内輪本体119の外周面のうち、外輪105の内周面に設けられた外輪軌道109と径方向に対向する部分には、内輪軌道110が設けられている。又、磁歪膜117aは、内輪本体119の外周面のうち、センサ104と径方向に対向する部分である軸方向片端部の全周に、前述した実施形態の第17例の場合と同様の磁歪材料製の膜として固定されたものである。又、磁歪膜117aは、内輪本体119と共に、周方向に着磁されている。そして、磁歪膜117aの透磁率の変化をセンサ104により検出する事に基づいて、回転軸102bにより伝達しているトルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第18例の場合と同様である。

[0140] [実施形態の第19例の第1変形例]

内輪118aは、機械構造用鋼若しくは軸受鋼等の磁性鋼（酸素、チタン及び硫黄の3元素の濃度は特に問わない）により円筒状に造られた内輪本体

119と、磁歪効果部である、磁性金属製の磁歪膜117aと、から構成されても良い。磁歪膜117aの構成に関しては、図25に示した実施形態の第17例の第1変形例の磁歪膜117の場合と同様である。

[0141] [実施形態の第19例の第2変形例]

内輪118aは、機械構造用鋼若しくは軸受鋼等の磁性鋼（表面に於ける炭化物及び窒化物の面積率は特に問わない。）により円筒状に造られた内輪本体119と、磁歪効果部である、磁性金属製の磁歪膜117aと、から構成されても良い。磁歪膜117aの構成に関しては、図25に示した実施形態の第17例の第2変形例の磁歪膜117の場合と同様である。

[0142] [実施形態の第20例]

本発明の実施形態の第20例について、図28を参照しつつ説明する。

本例の場合には、回転軸102bの外周面のうち、内輪118bの軸方向片側（図28の右側）に隣接する部分で、且つ、センサ104と径方向に対向する部分に、円筒状のスリーブ120が締め嵌めで外嵌固定されている。本例の場合には、回転軸102bや内輪118bではなく、スリーブ120が回転体に相当し、このスリーブ120の全体が磁歪効果部として機能する。この為、本例の場合には、回転軸102bを機械構造用鋼により造られたものとし、内輪118bを機械構造用鋼若しくは軸受鋼により造られたものとしている。又、スリーブ120は、磁歪材料により円筒状に造られたもので、周方向に着磁されている。

[0143] 本例の回転支持装置の場合、回転軸102bにトルクが加わると、回転軸102bと共に、スリーブ120が弾性的に捩れ変形し、これに伴って、スリーブ120の透磁率が変化する。このスリーブ120の透磁率の変化をセンサ104により検出する事に基づいて、トルクを測定する。又、本例の場合には、磁歪効果部をスリーブ120としている為、実施形態の第15例の場合の様に磁歪効果部を回転軸とする場合に比べて、磁歪効果部の体積を小さくできる。従って、磁歪効果部を構成する材料や表面の非金属介在物の数及び表面粗さを規制する事に伴うコスト上昇を低く抑えられる。又、転がり

軸受 101 a を構成する内輪 118 b として、一般的なものを使用できる為、加工コストの低減を図れる。

その他の構成及び作用効果は、図 26 に示した実施形態の第 18 例の場合と同様である。

[0144] [実施形態の第 20 例の第 1 変形例]

回転軸 102 b は機械構造用鋼等の磁性鋼（酸素、チタン及び硫黄の 3 元素の濃度は特に問わない）により造られても良い。内輪 118 b は機械構造用鋼若しくは軸受鋼等の磁性鋼（酸素、チタン及び硫黄の 3 元素の濃度は特に問わない）により造られても良い。又、スリーブ 120 は、磁性金属により造られても良い。本変形例の場合には、スリーブ 120 を構成する磁性金属として、図 23 に示した実施形態の第 15 例の第 1 変形例の回転軸 102 と同様の磁性鋼を使用している。又、これに伴って、スリーブ 120 の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の非金属介在物の数が、1000 個以下に収まっている。更に、スリーブ 120 の表面のうち、センサ 104 と径方向に対向する外周面に於ける算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲に規制している。

[0145] [実施形態の第 20 例の第 2 変形例]

回転軸 102 b は機械構造用鋼等の磁性鋼（表面に於ける炭化物及び窒化物の面積率は特に問わない。）により造られても良い。内輪 118 b は機械構造用鋼若しくは軸受鋼等の磁性鋼（表面に於ける炭化物及び窒化物の面積率は特に問わない。）により造られても良い。又、スリーブ 120 は、磁性金属により円筒状に造られても良い。本変形例の場合には、スリーブ 120 を構成する磁性金属として、図 23 に示した実施形態の第 15 例の第 2 変形例の回転軸 102 と同様の磁性鋼を使用している。これにより、スリーブ 120 の表面のうち、少なくともセンサ 104 と径方向に対向する部分である外周面に於ける、炭素濃度を 1.5% 以下とし、且つ、窒素濃度を 0.5% 以下とする事で、外周面（外周面を含む全表面）に於ける、炭化物の面積率を 20% 以下とし、且つ、窒化物の面積率を 3.0% 以下としている。更に

、スリーブ120の表面のうち、センサ104と径方向に対向する外周面に於ける算術平均粗さ R_a を、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に規制している。

[0146] [実施形態の第21例]

本発明の実施形態の第21例について、図29を参照しつつ説明する。

本例の場合には、回転体であるスリーブ120aの構成が、上述した実施形態の第20例の場合と異なる。即ち、スリーブ120aは、炭素濃度0.1%以上の鋼製又はアルミニウム合金製で円筒状のスリーブ本体121と、磁歪効果部である、磁歪材料製の磁歪膜117bと、から成る。スリーブ本体121は、回転軸102bの外周面のうち、内輪118bの軸方向片側（図29の右側）に隣接する部分で、且つ、センサ104と径方向に対向する部分に、締り嵌めで外嵌固定されている。又、磁歪膜117bは、スリーブ本体121の外周面の全周に、実施形態の第17例の場合と同様の磁歪材料製の膜として固定されたものである。又、磁歪膜117bは、スリーブ本体121と共に、周方向に着磁されている。そして、磁歪膜117bの透磁率の変化をセンサ104により検出する事に基づいて、回転軸102bにより伝達しているトルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第20例の場合と同様である。

[0147] [実施形態の第21例の第1変形例]

スリーブ120aは、機械構造用鋼若しくは軸受鋼等の磁性鋼（酸素、チタン及び硫黄の3元素の濃度は特に問わない）により円筒状に造られたスリーブ本体121と、磁歪効果部である、磁性金属製の磁歪膜117bと、から構成されても良い。磁歪膜117bの構成に関しては、図25に示した実施形態の第17例の第1変形例の磁歪膜117の場合と同様である。

[0148] [実施形態の第21例の第2変形例]

スリーブ120aは、機械構造用鋼若しくは軸受鋼等の磁性鋼（表面に於ける炭化物及び窒化物の面積率は特に問わない。）により円筒状に造られたスリーブ本体121と、磁歪効果部である、磁性金属製の磁歪膜117bと

、から構成されても良い。磁歪膜 117b の構成に関しては、図 25 に示した実施形態の第 17 例の第 2 変形例の磁歪膜 117 の場合と同様である。

[0149] [実施形態の第 22 例]

本発明の実施形態の第 22 例について、図 30 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、回転体である円筒状のスリーブ 120b の設置態様が、図 28 に示した実施形態の第 20 例の場合と異なる。即ち、スリーブ 120b は、回転軸 102b の外周面に締り嵌めで外嵌固定されると共に、内輪 118b の内周面に締り嵌めで内嵌固定されている。又、この状態で、スリーブ 120b の軸方向片端部（図 30 の右端部）は、内輪 118b 及び外輪 105 の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出しており、この突出した部分が、センサ 104 と径方向に対向している。

その他の構成及び作用効果は、図 28 に示した実施形態の第 20 例の場合と同様である。

[0150] [実施形態の第 22 例の第 1 変形例]

スリーブ 120b の外周面の算術平均粗さ R_a は、少なくともセンサ 104 と対向する軸方向片端部に於いて、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に規制しても良い。

[0151] [実施形態の第 23 例]

本発明の実施形態の第 23 例について、図 31～34 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、基本的な構成を、前述の図 24 に示した実施形態の第 16 例の場合と同じとしており、外輪に対するセンサの支持構造を、第 16 例と異ならせている。即ち、本例の場合には、外輪 105a の軸方向片側（図 33、34 の右側）部分に設けられた（一体形成された）支持筒部 122 に、コイル 115a を検出部とするセンサ 104b を内嵌固定した状態で、センサ 104b を支持筒部 122 と共に、合成樹脂製のホルダ 123 内に包埋している。

[0152] 支持筒部 122 は、外輪 105a のうち、軸方向片側の内向鰐部 108 よ

りも軸方向片側に位置する部分を構成している。支持筒部 122 の径方向の肉厚は、支持筒部 122 の軸方向他側（図 33、34 の左側）に隣接する部分の径方向の肉厚よりも小さくなっている。より具体的には、支持筒部 122 の外径寸法は、支持筒部 122 の軸方向他側に隣接する部分の外径寸法（軸方向片側の内向鏝部 108 が位置する部分の外径寸法）よりも小さい。又、支持筒部 122 の内径寸法は、支持筒部 122 の軸方向他側に隣接する部分の内径寸法（軸方向片側の内向鏝部 108 の内径寸法）よりも大きい。又、支持筒部 122 の外周面には、軸方向に関する凹凸部が設けられている。この凹凸部は、支持筒部 122 の外周面に、それぞれが全周に亙る複数の凹溝 124、124 を、軸方向に関して等間隔に設ける事によって構成されている。又、支持筒部 122 の内周面の軸方向片端寄り部分には、軸方向片側に向く段差面 125 が設けられている。この為、支持筒部 122 の内径寸法は、段差面 125 よりも軸方向片側の部分で、同じく軸方向他側の部分よりも大きい。尚、このような支持筒部 122 を備えた本例の外輪 105a は、鋳造、鍛造等により造られた鋼製で筒状の中間素材に、切削、研削等を施す事により造られている。

[0153] 又、センサ 104b は、センサ筐体 126 と、検出部であるコイル 115a と、を備える。センサ筐体 126 は、非磁性材料により円筒状に造られたものである。センサ筐体 126 は、外周面の軸方向中間部に全周に亙る凹部 127 と、軸方向片端部に全周に亙る外向鏝部 128 と、を有している。このようなセンサ筐体 126 を構成する非磁性材料としては、熱伝導性が高いアルミニウム合金やセラミックスを好適に使用できる。又、コイル 115a は、凹部 127 の内側に、センサ筐体 126 と同心に設置されている。具体的には、コイル 115a は、図示しないフレキシブル基板に形成された状態で凹部 127 の底面に接着固定されているか、又は、凹部 127 の底面に描き形成されている。何れにしても、コイル 115a（及びフレキシブル基板）の外周面は、センサ筐体 126 の外周面のうち凹部 127 から外れた部分の外周面よりも内径側に配置されている。センサ 104b は、センサ筐体 12

6のうち、外向鏢部128よりも軸方向他側の部分（更に凹部127から外れた部分）を、支持筒部122の内周面のうち、段差面125よりも軸方向他側の部分に、締め嵌めで内嵌固定している。これと共に、センサ筐体126の軸方向他端面と外輪105aの軸方向片端面の内径側端部とを当接させる構成と、センサ筐体126の外向鏢部128の側面と支持筒部122の段差面125とを当接させる構成と、のうちの、少なくとも一方の構成（図示の例では両方向の構成）を採用する事により、外輪105aに対してセンサ104bを軸方向に位置決めしている。

[0154] 更に、この状態で、支持筒部122及びセンサ104bの全体を、合成樹脂製のホルダ123内に包埋している。ホルダ123を構成する合成樹脂としては、ポリフェニレンサルファイド（PPS）、ポリアミド66等の、耐熱性があり、且つ、線膨張係数が小さいものを好適に使用できる。ホルダ123を射出成形する際に、ホルダ123を構成する合成樹脂の一部を、支持筒部122の外周面に形成された各凹溝124、124内に入り込ませる事で、支持筒部122に対するホルダ123の結合強度を高めている。又、ホルダ123の外径寸法は、外輪105aのうち、支持筒部122の軸方向他側に隣接する部分の外径寸法よりも小さい。

そして、上述の様に外輪105aに対して支持されたセンサ104bの検出部（コイル115a）を、回転軸102の外径側に、回転軸102と同心に配置している。

[0155] 本例の回転支持装置の場合には、センサ104bが、外輪105aの軸方向片側部分に設けられた支持筒部122に対して（支持筒部122の内径側に配置された状態で、支持筒部122と共に合成樹脂製のホルダ123内に包埋される態様で）支持されている。この為、センサ104bを、外輪105aを含んで構成される転がり軸受101bと一体に取り扱う事ができる。従って、使用箇所への組み付けを容易に行える。又、センサがハウジングに支持されている構造に比べて、センサ104bと磁歪効果部（回転軸102）との対向間隔を正確に管理する事が容易となる。又、センサ104bを支

持する支持筒部 122 は、外輪 105 a の一部である為、外輪 105 a に対するセンサ 104 b の支持強度を高くできる。又、支持筒部 122 は、軸方向他側に隣接する部分に比べて径方向の肉厚が小さい為、支持筒部 122 を設ける事に伴う外輪 105 a の重量の増大を少なく抑えられる。更には、センサ 104 b がホルダ 123 に包埋されている為、センサ 104 b に、トルクの測定精度を悪化させる様な磁性粉等の異物が付着する事を防止できる。

その他の構成及び作用は、前述の図 24 に示した実施形態の第 16 例の場合と同様である。

[0156] 尚、本発明は、実施形態の第 15～23 例の構造を、適宜組み合わせて実施する事ができる。

例えば、実施形態の第 17～22 例でも、磁歪効果部の着磁を省略すると共に、実施形態の第 16 例で使用した、検出部をコイル 115 としたセンサ 104 a を使用する事ができる。

又、実施形態の第 23 例の外輪に対するセンサの支持構造を採用する場合には、センサの検出部として、磁気検出素子を採用する事もできる。この場合には、磁歪効果部を着磁する等により、磁束の発生源を設ける。

又、実施形態の第 23 例の外輪に対するセンサの支持構造を、実施形態の第 15 例及び第 17～22 例の構造に対して適用する事もできる。この場合には、センサの検出部として、磁気検出素子とコイルとの何れを採用する事もできる。

[0157] [実施形態の第 24 例]

本発明の実施形態の第 24 例について、図 40 を参照しつつ説明する。

本例のトルク測定装置は、転がり軸受 201 と、回転軸 202 と、磁歪膜 203 と、センサ支持部材 204 と、センサ 205 と、を備える。回転軸 202 と磁歪膜 203 との結合体が回転体に相当し、磁歪膜 203 が磁歪効果部として機能する。

[0158] 転がり軸受 201 は、シェル形ニードル軸受であり、外輪 206 と、それぞれが転動体である複数個のニードル 207、207 と、保持器 208 と、

を備える。

外輪 206 は、鋼製の板材に絞り加工等の塑性加工を施す事により、円筒状に造られたもので、軸方向両端部に内向鏢部 209、209 を備える。又、外輪 206 の内周面のうち、両内向鏢部 209、209 同士の間挟まれた部分を、円筒状の外輪軌道 210 としている。外輪 206 は、自動車のパワートレインを構成するハウジング等に内嵌された状態で、使用時にも回転しない。

又、各ニードル 207、207 は、外輪軌道 210 と、回転軸 202 の外周面に設けられた円筒状の内輪軌道 211 と、の間に、保持器 208 により保持された状態で転動自在に設けられている。各ニードル 207、207 は、鋼製である。又、保持器 208 は、鋼製若しくは合成樹脂製である。

[0159] 又、回転軸 202 は、自動車のパワートレインを構成する、変速機の回転軸、デファレンシャルギヤの回転軸、プロペラシャフト、ドライブシャフト等の、トルク伝達軸であり、転がり軸受 201 の内径側に配置されている。回転軸 202 は、JIS に規定されている、SUJ2、SUJ3 等の軸受鋼、SCr420、SCM420 等の浸炭鋼、S53C 等の炭素鋼、SK5 等の工具鋼等の磁性鋼製である。回転軸 202 の外周面のうち、外輪軌道 210 と径方向に対向する部分には、内輪軌道 211 が設けられている。

[0160] 又、磁歪膜 203 は、回転軸 202 の外周面のうち、内輪軌道 211 の軸方向片側（図 40 の右側）に隣接する部分の全周に、回転軸 202 を構成する磁性鋼に比べて磁歪定数が十分に大きい磁性金属である磁歪材料（例えば、純 Ni、Fe-Ni 系合金、Fe-Co 系合金、Fe-Al 系合金、非晶質合金等）製の膜として固定（磁歪材料をメッキ等の被膜として固定、又は、磁歪材料をフィルム状にして接着固定）されている。この為、磁歪膜 203 の内周面は、回転軸 202 の外周面に対し、全周に互に接触している。尚、磁歪膜 203 をメッキとする場合には、ニッケルメッキを好適に使用できる。この場合には、相手部材（本例の場合には、回転軸 202）を、炭素濃度 0.1% 以上の鋼製とするのが望ましい。又、磁歪膜 203 は、回転軸 2

02と共に、周方向に着磁されている。このような本例の場合には、回転軸202の外周面のうち、磁歪膜203を固定した（接触させた）部分が取付面となる。

[0161] 又、センサ支持部材204は、鋼等の金属又は合成樹脂により円環状に造られたもので、外輪206の軸方向片端部（図40の右端部）に取り付けられている。センサ支持部材204は、外輪206の軸方向片端部（内向鏝部209）に締り嵌めにより内嵌固定された嵌合筒部212と、この嵌合筒部212の軸方向片端部に連結されて、外輪206の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した、環状の支持部213と、を備える。

[0162] 又、センサ205は、検出部を磁歪膜203の外周面に近接対向させる事により、磁歪膜203に対して近接配置された状態で、センサ支持部材204を構成する支持部213の内周面に設けられた凹部214のうち、円周方向一部の内側に組み付けられている。センサ205の検出部として、ホール素子、ホールIC、MR素子、GMR素子、AMR素子、TMR素子、MI素子等の磁気検出素子215を使用している。

[0163] 更に、回転軸202の外周面に設けられた、磁歪膜203の取付面に存在する非金属介在物の長径aと短径bとの積の平方根である $\sqrt{area}$ の最大値（この取付面に存在する最大の非金属介在物の寸法である $\sqrt{area}$ ）を $80\mu m$ 以下に規制している。この為に、回転軸202を構成する磁性鋼中に含まれる、非金属介在物の生成元素（酸素、チタン、硫黄等）の濃度を調整している。又、取付面の最大高さ R_z を、研磨加工等により $12\mu m$ 以下に規制している。更に、回転軸202に関して、材料に応じた適切な熱処理条件を選択する等により、取付面に関して、硬さをHV400以上とし、最大結晶粒径を $80\mu m$ 以下とし、残留オーステナイト量を45容量%以下としている。

[0164] 本例の場合には、自動車の運転時に、磁歪膜203の透磁率の変化をセンサ205により検出する事に基づいて、回転軸202により伝達しているトルクを測定する。即ち、回転軸202にトルクが加わると、回転軸202の

外周面の一部である取付面に固定された磁歪膜 203 に応力が作用する為、逆磁歪効果に基づいて、磁歪膜 203 の透磁率が変化する。具体的には、当該トルクによって、磁歪膜 203 に、軸方向に対して 45 度方向の引っ張り応力（及びこれと直交する方向に圧縮応力）が作用する為、逆磁歪効果に基づいて、磁歪膜 203 の磁化が、周方向から軸方向に倒される。この結果、磁歪膜 203 の外部に漏れ磁束が発生し、漏れ磁束がセンサ 205 の検出部である磁気検出素子 215 を通過する事によって、センサ 205 の出力信号が変化する。従って、予め、センサ 205 の出力信号とトルクとの関係を調べておけば、この関係を利用して、センサ 205 の出力信号からトルクを求められる。尚、トルクを求める演算は、図示しない演算器により行う。

[0165] 又、本例の場合には、回転軸 202 の外周面に設けられた、磁歪膜 203 の取付面に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値を $80\ \mu\text{m}$ 以下に規制し、且つ、取付面の最大高さ R_z を $12\ \mu\text{m}$ 以下に規制している。この為、取付面に存在する非金属介在物及び粗さの凹凸に基づく応力集中部を少なくして、取付面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制できる。

又、取付面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制する為には、取付面に於いて、表面硬さの不足や結晶粒の粗大化が生じるのを防止する事が重要となる。この点に関して、本例の場合には、取付面の硬さを $HV400$ 以上に規制し、且つ、取付面に於ける最大結晶粒径を $80\ \mu\text{m}$ 以下に規制している。この為、取付面に局所的な塑性変形が生じる事を更に抑制できる。

又、取付面に於ける残留オーステナイト量が多いと、高温時に取付面に寸法変化が生じ易くなる。この点に関して、本例の場合には、取付面に於ける残留オーステナイト量を 45 容量%以下に規制している。この為、高温時に取付面に生じる寸法変化を抑制できる。

以上の様に、本例の場合には、取付面に局所的な塑性変形が生じる事を抑制できると共に、高温時に取付面に生じる寸法変化を抑制できる為、取付面に固定されている（接触している）磁歪膜 203 に永久歪が生じる事を抑制できる。この為、高精度なトルク測定を行える。

[0166] 又、本例の場合には、外輪 206 の軸方向片端部に取り付けられたセンサ支持部材 204 のうち、外輪 206 の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出した部分にセンサ 205 が支持されている。この為、ハウジングにセンサ 205 が支持されている構造に比べて、センサ 205 と磁歪膜 203 との位置関係を正確に管理する事が容易になると共に、位置関係が振動によって変動する事を抑えられる。従って、高精度なトルク測定を行える。更には、外輪の内周面にセンサが支持されている構造に比べて、外輪 206 の軸方向寸法を小さくできる。従って、外輪 206 の材料費や加工コストを抑えられる。

[0167] [実施形態の第 25 例]

本発明の実施形態の第 2 例について、図 41 を参照しつつ説明する。

本例の場合には、センサ 205 a の構成が、上述した実施形態の第 24 例の場合と異なる。即ち、センサ 205 a の検出部として、回転軸 202 及び磁歪膜 203 の周囲を取り囲む位置に、回転軸 202 及び磁歪膜 203 と同心に配置された、コイル 216 を使用している。又、使用時に、コイル 216 に交流電圧を印加して、コイル 216 の周囲に交流磁場を発生させる様にしている。その代わりに、本例の場合には、回転軸 202 及び磁歪膜 203 を着磁していない。

[0168] 本例の場合も、センサ 205 a の出力信号は、磁歪膜 203 の透磁率に応じて変化する。この理由は、磁歪膜 203 の透磁率が変化すると、センサ 205 a の検出部であるコイル 216 の内側を通過する磁束が変化し、これに伴って、コイル 216 のインダクタンス（インピーダンス）が変化する為である。従って、本例の場合も、実施形態の第 24 例の場合と同様にして、センサ 205 a の出力信号から、磁歪膜 203 を固定した回転軸 202 により伝達しているトルクを求められる。又、製造時に回転軸 202 及び磁歪膜 203 の着磁工程を省略できる分、製造コストを抑えられる。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第 24 例の場合と同様である。

[0169] [実施形態の第 26 例]

本発明の実施形態の第26例について、図42を参照しつつ説明する。

本例の場合、転がり軸受201aは、外輪206と、複数のニードル207、207と、保持器208と、に加えて、内輪217を備える。本例の場合には、内輪217と回転軸202との結合体が回転体に相当し、内輪217の全体（少なくとも内輪軌道211が形成された部分よりも軸方向片側に存在する部分）が磁歪効果部として機能する。内輪217は、磁歪材料により円筒状に造られたもので、回転軸202の外周面に締り嵌めで外嵌固定されている。又、内輪217の外周面のうち、外輪206の内周面に設けられた外輪軌道210と径方向に対向する部分には、円筒状の内輪軌道211が設けられている。又、内輪217の軸方向片端部（図42の右端部）は、外輪206の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出しており、突出した部分が、センサ205と径方向に対向している。回転軸202の外周面のうち、内輪217を外嵌固定した（接触させた）部分が取付面となる。この為、回転軸202の外周面のうち、少なくとも取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{a}$ r e aの最大値、最大高さRz、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、実施形態の第24例の場合と同じ様に規制している。又、内輪217は、周方向に着磁されている。

[0170] 本例の場合、回転軸202にトルクが加わると、回転軸202と共に、内輪217が弾性的に捩れ変形し、これに伴って、内輪217の透磁率が変化する。本例の場合には、内輪217の透磁率の変化をセンサ205により検出する事に基づいて、トルクを測定する。

又、体積及び重量の嵩む回転軸202の外周面に磁歪膜203を固定すると言った面倒な工程を不要にできる。更に、予め組み立てておいた（センサ支持部材204によりセンサ205を支持した）転がり軸受201aを構成する内輪217を回転軸202の取付面に締り嵌めで外嵌するだけで、図示の構造を完成させる事ができる。この為、製造の容易化及び低コスト化を図れる。

その他の構成及び作用効果は、図40に示した実施形態の第24例の場合

と同様である。

[0171] [実施形態の第27例]

本発明の実施形態の第27例について、図43を参照しつつ説明する。

本例の場合、回転軸202aに締め嵌めで外嵌固定された内輪217aは、JISに規定されている、SUJ2、SUJ3等の軸受鋼、SCr420、SCM420等の浸炭鋼、S53C等の炭素鋼、SK5等の工具鋼等の磁性鋼により造られている。又、内輪217aの外周面のうち、センサ205と径方向に対向する部分である軸方向片端部の全周に、実施形態の第24例の場合と同様の磁歪膜203aが固定されている。回転軸202aと内輪217aと磁歪膜203aとの結合体が回転体に相当し、磁歪膜203aが磁歪効果部として機能する。尚、回転軸202aに内輪217aを外嵌固定する前の状態では、内輪217aと磁歪膜203aとの結合体が回転体に相当する。又、本例の場合には、回転軸202aの外周面のうち内輪217aを外嵌固定した部分ではなく、内輪217aの外周面のうち磁歪膜203aを固定した部分である軸方向片端部が取付面となる。この為、本例の場合には、内輪217aの外周面のうち、少なくとも取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さRz、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、実施形態の第24例の場合と同じ様に規制している。又、磁歪膜203aは、内輪217aと共に、周方向に着磁されている。

本例の場合には、磁歪膜203aの透磁率の変化をセンサ205により検出する事に基づいて、回転軸202aにより伝達しているトルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第42例の場合と同様である。

[0172] [実施形態の第28例]

本発明の実施形態の第28例について、図44を参照しつつ説明する。

本例の場合には、回転軸202の外周面のうち、内輪217bの軸方向片側（図44の右側）に隣接する部分で、且つ、センサ205と径方向に対向

する部分に、磁歪材料により円筒状に造られたスリーブ218が締めで外嵌固定されている。本例の場合には、回転軸202とスリーブ218との結合体が回転体に相当し、スリーブ218の全体が磁歪効果部として機能する。又、回転軸202の外周面のうち内輪217bを外嵌した部分ではなく、又、内輪217bの外周面でもなく、回転軸202の外周面のうちスリーブ218を外嵌固定した部分が、取付面となる。この為、回転軸202の外周面のうち、少なくとも取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値、最大高さRz、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、実施形態の第24例の場合と同じ様に規制している。又、スリーブ218は、磁歪材料により円筒状に造られたもので、周方向に着磁されている。

[0173] 回転軸202にトルクが加わると、回転軸202と共に、スリーブ218が弾性的に捩れ変形し、これに伴って、スリーブ218の透磁率が変化する。本例の場合には、このスリーブ218の透磁率の変化をセンサ205により検出する事に基づいて、トルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第27例の場合と同様である。

[0174] [実施形態の第29例]

本発明の実施形態の第29例について、図45を参照しつつ説明する。

本例の場合、回転軸202aに外嵌固定されたスリーブ218aは、JISに規定されている、SUJ2、SUJ3等の軸受鋼、SCr420、SCM420等の浸炭鋼、S53C等の炭素鋼、SK5等の工具鋼等の磁性鋼により造られている。又、スリーブ218aの外周面の全周に、実施形態の第24例の場合と同様の磁歪膜203bが固定されている。回転軸202aとスリーブ218aと磁歪膜203bとの結合体が回転体に相当し、磁歪膜203bが磁歪効果部として機能する。尚、回転軸202aにスリーブ218aを外嵌固定する前の状態では、スリーブ218aと磁歪膜203bとの結合体が回転体に相当する。又、回転軸202aの外周面のうちスリーブ218aを外嵌固定した部分ではなく、スリーブ218aの外周面が、取付面と

なる。この為、本例の場合には、この取付面の性状（非金属介在物の $\sqrt{a r e a}$ の最大値、最大高さ $R z$ 、硬さ、最大結晶粒径、残留オーステナイト量）を、実施形態の第24例の場合と同じ様に規制している。又、磁歪膜203bは、スリーブ218aと共に、周方向に着磁されている。

本例の場合には、磁歪膜203bの透磁率の変化をセンサ205により検出する事に基づいて、回転軸202aにより伝達しているトルクを測定する様にしている。

その他の構成及び作用効果は、上述した実施形態の第44例の場合と同様である。

[0175] [実施形態の第30例]

本発明の実施形態の第30例について、図46を参照しつつ説明する。

本例の場合には、円筒状のスリーブ218bの設置態様が、図44に示した実施形態の第28例の場合と異なる。即ち、本例の場合、スリーブ218bは、回転軸202の外周面に締り嵌めで外嵌固定されると共に、内輪217bの内周面に締り嵌めで内嵌固定されている。又、この状態で、スリーブ218bの軸方向片端部（図46の右端部）は、内輪217b及び外輪206の軸方向片端面よりも軸方向片側に突出しており、突出した部分が、センサ205と径方向に対向している。

その他の構成及び作用効果は、図44に示した実施形態の第28例の場合と同様である。

[0176] 尚、上述した実施形態の第26～30例でも、磁歪効果部の着磁を省略すると共に、前述した実施形態の第25例で使用した、検出部をコイル216としたセンサ205aを使用する事ができる。

[0177] [実施形態の第31例]

本発明の実施形態の第31例について、図49～51を参照しつつ説明する。

本例の回転支持装置は、転がり軸受301と、磁歪部材である磁歪ヨーク302と、それぞれがセンサである1対のコイル303a、303bと、を

備える。

[0178] 転がり軸受301は、ラジアル深溝玉軸受であり、使用時にも回転しない静止輪である外輪304と、使用時に回転する回転輪である内輪305と、それぞれが転動体である複数個の玉306、306と、保持器307と、を備える。各玉306、306は、保持器307に保持された状態で、外輪304の内周面に形成された外輪軌道308と、内輪305の外周面に形成された内輪軌道309と、の間に転動自在に設けられている。

[0179] 又、磁歪ヨーク302は、母材となる磁性鋼（例えば、軸受鋼、機械構造用鋼）により円環状に造られると共に、表面に母材よりも磁歪定数の大きい磁性金属（例えば、純Ni、Fe-Ni系合金、Fe-Co系合金、Fe-Al系合金、非晶質合金等）を、膜として固定（例えば、メッキや溶射被膜等の被膜として固定）する事により構成されている。磁歪ヨーク302は、外輪304に締り嵌めで外嵌固定されている。尚、膜は、磁歪ヨーク302に逆磁歪効果を発揮させ易くする為に設けられている。又、膜をメッキとする場合には、ニッケルメッキを好適に使用できる。この場合には、母材を、炭素濃度0.1%以上の鉄とするのが望ましい。

[0180] 磁歪ヨーク302は、全体を円環状としており、互いに同心に配置された内径側円筒部310及び外径側円筒部311と、それぞれが内径側、外径側両円筒部310、311の互いに対向する周面同士を連結する状態で放射方向に設けられた、1対の芯部312a、312b及び4つのバイパス部313a、313bと、を備える。それぞれが柱部である1対の芯部312a、312bは、内径側、外径側両円筒部310、311の径方向反対側となる2箇所位置に配置されている。又、各バイパス部313a、313bは、各芯部312a、312bの円周方向両側に1つずつ、間隔をあけて配置されている（図示の例では、各芯部312a、312bとの間隔が中心角で40～50度の範囲に配置されている）。即ち、磁歪ヨーク302のうち、内径側円筒部310の外周面と外径側円筒部311の内周面との間部分で、円周方向に関して各芯部312a、312b及び各バイパス部313a、313

bから外れた部分は、円弧状の透孔317a、317bになっている。各透孔317a、317bのうち、各芯部312a、312bの円周方向両側に隣接する透孔317a、317aが除肉部に相当する。磁歪ヨーク302は、内径側円筒部310を外輪304の外周面に締め嵌めで外嵌する事により、外輪304に対して同心に固定されている。

[0181] 尚、本例の場合には、膜を磁歪ヨーク302の全表面に固定している。但し、この膜は、磁歪ヨーク302のうち、各芯部312a、312bの表面にのみ固定する事もできる。

[0182] 又、各コイル303a、303bは、各芯部312a、312bのそれぞれに1個ずつ巻回されている。又、図51に示す様な、各コイル303a、303b（インピーダンス R_2 、 R_4 ）と、2個の抵抗器315a、315b（インピーダンス R_1 、 R_3 ）と、から成るブリッジを含んだ、温度補償回路を構成している。そして、使用時には、温度補償回路内に設けた発振器316により、ブリッジの両端に交流電圧Vを印加する事によって、各コイル303a、303bに交流電流を流す事により、各コイル303a、303bを貫通する磁束を発生させる。各コイル303a、303bによって発生した磁束は、磁歪ヨーク302のうち、各コイル303a、303bを巻回した芯部312a、312b毎に構成された磁気回路部314a、314bを流れる。各磁気回路部314a（14b）は、芯部312a（312b）と、芯部312a（312b）の円周方向両側に設けられた1対のバイパス部313a、313a（313b、313b）と、内径側、外径側両円筒部310、311のうち、各バイパス部313a、313a（313b、313b）にその両端部を連結された円弧状部分と、から成る。又、各コイル303a、303bによって発生した磁束は、各磁気回路部314a、314bを、図49中に破線で示す経路に沿って（交番磁束として）流れる。尚、図51に示した温度補償回路を構成する各抵抗器315a、315bのインピーダンス R_1 、 R_3 は、各コイル303a、303bのインピーダンス R_2 、 R_4 との関係で、転がり軸受301にラジアル荷重が負荷されていない中立状態

に於いて、ブリッジの midpoint 電圧（点 P Q 間の電圧）がゼロになる様に初期設定されている。尚、この初期設定を行う為に、必要に応じて、各抵抗器 315 a、315 b のうちの少なくとも一方を可変抵抗器としたり、オフセット誤差補正を行ったりする。

[0183] 本例の回転支持装置は、例えば、内輪 305 を、自動車のパワートレインを構成する回転軸（変速機を構成する回転軸、デファレンシャルギヤを構成する回転軸、プロペラシャフト、ドライブシャフト等）に外嵌すると共に、磁歪ヨーク 302 をハウジングに内嵌した状態で使用される。そして、自動車の運転時に、各芯部 312 a、312 b の透磁率の変化を、各コイル 303 a、303 b のインダクタンス（インピーダンス）の変化として検出する事にに基づき、転がり軸受 301 の負荷荷重や、負荷荷重と相関関係のある物理量（例えば、回転軸の伝達トルク）を測定する。

[0184] 即ち、磁歪ヨーク 302 は、転がり軸受 301 を構成する外輪 304 の外周面とハウジングの内周面との間に挟まれた位置に配置されている。この為、図 49 に於いて、回転軸から転がり軸受 301 に、矢印 α （又は矢印 β ）で示される向きのラジアル荷重が負荷されると、磁歪ヨーク 302 を構成する 1 対の芯部 312 a、312 b のうち、上側の芯部 312 a（又は下側の芯部 312 b）に、当該ラジアル荷重に応じた上下方向の圧縮応力が加わる。そして、この圧縮応力によって、この上側の芯部 312 a（又は下側の芯部 312 b）の透磁率が変化する。具体的には、圧縮応力（当該ラジアル荷重）が大きくなる程、上側の芯部 312 a（又は下側の芯部 312 b）の上下方向に関する透磁率が低くなる。又、これに伴って、上側の芯部 312 a（又は下側の芯部 312 b）に巻回されたコイル 303 a（又は 303 b）のインダクタンスが小さくなる。この様に本例の場合には、転がり軸受 301 に負荷されるラジアル荷重に応じて、各コイル 303 a、303 b のインダクタンスが変化する。この為、インダクタンス（インピーダンス）に基づいて、ラジアル荷重や伝達トルクを測定する事ができる。

[0185] 又、各コイル 303 a、303 b のインピーダンスは、ラジアル荷重が負

荷される事によって変化する他、温度変化が生じる事によっても変化する。但し、ラジアル荷重の負荷に伴う各コイル 303 a、303 b のインピーダンスの変化は、ラジアル荷重の入力の向き（矢印 α の向きであるか、矢印 β の向きであるか）によって、各コイル 303 a、303 b のうちの何れか一方のコイルにのみ生じる。つまり、矢印 α （又は矢印 β ）の向きのラジアル荷重が負荷された場合には、上側のコイル 303 a（又は下側のコイル 303 b）のインピーダンスのみが変化し、下側のコイル 303 b（又は上側のコイル 303 a）のインピーダンスは変化しない。これに対し、温度変化に伴う各コイル 303 a、303 b のインピーダンスの変化は、各コイル 303 a、303 b の双方について同様に生じる。この為、各コイル 303 a、303 b の端子間電圧の差を取れば、各コイル 303 a、303 b に発生したラジアル荷重による変化を検出する事ができる。

[0186] そこで、本例の場合には、各コイル 303 a、303 b の端子間電圧の差に相当する、図 51 に示した温度補償回路の midpoint 電圧（点 P Q 間の電圧）を検出し、midpoint 電圧に基づいて、ラジアル荷重や伝達トルクを測定する様にしている。尚、midpoint 電圧の極性（±）は、ラジアル荷重の入力の向き（矢印 α の向きであるか、矢印 β の向きであるか）によって互いに逆極性となる為、midpoint 電圧の極性によって、何れの向きのラジアル荷重が負荷されたかを判別する事ができる。従って、予め、midpoint 電圧とラジアル荷重又は伝達トルクとの関係（必要に応じて、ラジアル荷重と伝達トルクとの関係）を調べておき、これらの関係を利用して、midpoint 電圧からラジアル荷重及び伝達トルクを求める。尚、ラジアル荷重及び伝達トルクを求める演算は、図示しない演算器により行う。

[0187] 本例の回転支持装置の場合、ラジアル荷重が、磁歪ヨーク 302 の円周方向一部分に設けられた芯部 312 a（又は 312 b）に加わる為、芯部 312 a（又は 312 b）に作用する圧縮応力を大きくできる。従って、ラジアル荷重及び伝達トルクを高感度で測定できる。又、磁歪ヨーク 302 は、外輪 304 に対して接着されている必要はなく、ラジアル荷重が加わる円周方

向位置（方向）に各芯部 3 1 2 a、3 1 2 b が配置されていれば良い為、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、長期間に亙り正常な測定機能を維持できる。又、本例の場合には、磁歪ヨーク 3 0 2 の各芯部 3 1 2 a、3 1 2 b に各コイル 3 0 3 a、3 0 3 b が巻回されており、磁歪ヨーク 3 0 2 と各コイル 3 0 3 a、3 0 3 b とを一体として取り扱う事ができる為、部品管理や組立作業等の容易化を図れる。又、磁歪ヨーク 3 0 2 は、各芯部 3 1 2 a、3 1 2 b 毎に構成された、互いに独立した磁気回路部 3 1 4 a、3 1 4 b を備えている。この為、上側の芯部 3 1 2 a（又は下側の芯部 3 1 2 b）に巻回されたコイル 3 0 3 a（又は 3 0 3 b）のインダクタンスの変化に基づいて、矢印 α （又は矢印 β ）方向のラジアル荷重を、他のコイル 3 0 3 b（又は 3 0 3 a）で発生した磁束の影響を実質的に受ける事なく測定できる。更に、図 5 1 に示した温度補償回路の出力（ブリッジの midpoint 電圧）に基づいて、温度変化による誤差を低減乃至解消したラジアル荷重及び伝達トルクを測定できる。この為、信頼性の高い測定を行える。

[0188] 尚、実施形態の第 3 1 例の回転支持装置は、転がり軸受を構成する静止輪が内輪となる構造に適用する事もできる。

[0189] 又、磁歪部材に設ける柱部や磁気回路部を構成するバイパス部の数や配置態様は、適宜の態様を採用する事ができる。

又、磁歪部材の表面に母材よりも磁歪定数の大きい磁性金属の膜を固定するか否かは任意である。磁歪部材は、軸受鋼や機械構造用鋼のみから成るものであっても良いし、純 Ni、Fe-Ni 系合金、Fe-Co 系合金、Fe-Al 系合金、非晶質合金等の磁歪定数の大きい磁性金属のみから成るものであっても良い。

又、磁歪部材の柱部の表面に、磁歪定数の大きい磁性金属をフィルム状にして接着固定する事もできる。特に、この場合、柱部にコイルを巻回する構成を採用すれば、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、柱部の表面に対してフィルム状の磁性金属を剥がれにくくする事ができる。

又、センサを貫通する磁束の発生源は、センサとして使用するコイル自身

の他、着磁した磁歪部材や、磁歪部材に添設した永久磁石であっても良い。

[0190] 又、センサとして、コイルの代わりに、磁気検出素子を使用する事もできる。例えば、実施形態の第31例の構造で、各芯部（柱部）にコイルを巻回する代わりに、各芯部の側面に磁気検出素子を取り付ける事ができる。この場合には、磁歪ヨーク（磁歪部材）を着磁するか、或いは、磁歪ヨークに永久磁石を添設する等により、各芯部と各磁気検出素子とを貫通する磁束を発生させる構成とする。このような構成を採用すれば、各磁気検出素子の出力信号に基づいて、矢印 α 、 β の向きのラジアル荷重等を測定できる。

[0191] 更に、実施形態の第31例の様に、2個のコイルと2個の抵抗器とから成るブリッジを含んだ温度補償回路を備えたものとする場合、温度補償回路の構成は、図51に示した構成に限定されず、適宜の構成を採用する事ができる。

[0192] [実施形態の第32例]

本発明の実施形態の第32例について、図52～56を参照しつつ説明する。

本例の回転支持装置は、転がり軸受401と、起歪部材402と、複数の磁歪材403、403と、コイル404と、磁路部材であるカバー405と、を備える。

[0193] 転がり軸受401は、ラジアル深溝玉軸受であり、使用時にも回転しない静止輪である外輪406と、使用時に回転する回転輪である内輪407と、それぞれが転動体である複数個の玉408、408と、保持器409と、を備える。各玉408、408は、保持器409に保持された状態で、外輪406の内周面に形成された外輪軌道410と、内輪407の外周面に形成された内輪軌道411と、の間に転動自在に設けられている。

[0194] 起歪部材402は、磁性材料により円環状に造られたもので、外輪406に外嵌固定されており、転がり軸受401の負荷荷重に応じて歪を生じる。このような起歪部材402は、円筒部412と、円筒部412の内周面の軸方向一端部（図54～55の左端部）に全周に互り設けられた内向鰐部413

と、円筒部412の外周面の軸方向一端部に全周に互り設けられた外向鏝部414と、円筒部412の外周面の軸方向等間隔となる複数箇所それぞれ全周に互り設けられた、断面矩形状の凹溝415、415と、を備える。起歪部材402は、円筒部412を外輪406に締め嵌めると共に、内向鏝部413を外輪406の軸方向側面に突き当てる事により、軸方向の位置決めを図られた状態で、外輪406に固定されている。又、この状態で、各凹溝415、415は、外輪406と径方向に重畳する位置に配置されている。又、本例の場合には、起歪部材402を構成する磁性材料として、転がり軸受401の外輪406、内輪407を構成する材料よりも透磁率が高い軟磁性材料（例えば、JISに規定されるS10C等の炭素量が少ない鋼材料、ケイ素鋼、パーマロイ、パーメンジュール、ソフトフェライト等）を用いている。

[0195] 各磁歪材403、403は、起歪部材402（及び後述するカバー405）を構成する磁性材料よりも磁歪定数の大きい磁性材料（例えば、純Ni、Fe-Ni系合金、Fe-Co系合金、Fe-Al系合金、非晶質合金等）製であり、各凹溝415、415の内面に帯状の膜として固定（例えば、メッキや溶射被膜等の被膜として固定）されている。又、各磁歪材403、403の外周面が円筒部412の外周面よりも径方向内側に位置する様に配置し、各磁歪材403、403の外周面がカバー405の内周面に接触しない様にしている。尚、各磁歪材403、403を構成する磁性材料は、磁歪定数が負である事が望ましい。この理由は、磁歪定数が負である場合、圧縮応力によって磁界の強さが増加し、変化信号を大きくできる為である。尚、各磁歪材403、403は、各凹溝415、415の内側にがたつきなく嵌め込んだ状態で、起歪部材402に対して溶接固定した部品とする事もできる。

[0196] コイル404は、起歪部材402を構成する円筒部412の軸方向一端部で、軸方向に関して外向鏝部414と隣接する部分に巻回されている。

[0197] カバー405は、磁性材料により円筒状に造られたもので、内周面の軸方

向一端部（図 5 4 ～ 5 5 の左端部）に全周に亙る大径凹部 4 1 6 を有している。カバー 4 0 5 は、起歪部材 4 0 2 を構成する円筒部 4 1 2（円筒部 4 1 2 の外周面のうち各凹溝 4 1 5、4 1 5 から外れた部分）に締り嵌めで外嵌すると共に、軸方向一端面を外向鏝部 4 1 4 の軸方向側面に突き当てる事により、軸方向の位置決めを図られた状態で、起歪部材 4 0 2 に固定されている。そして、この状態で、カバー 4 0 5 により、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 を設けた各凹溝 4 1 5、4 1 5 及びコイル 4 0 4 の周囲を覆っている。尚、コイル 4 0 4 は、大径凹部 4 1 6 の内側に配置されている。又、カバー 4 0 5 を構成する磁性材料として、起歪部材 4 0 2 と同様に軟磁性材料を用いている。

[0198] 本例の回転支持装置は、例えば、内輪 4 0 7 を、自動車のパワートレインを構成する回転軸（変速機を構成する回転軸、デファレンシャルギヤを構成する回転軸、プロペラシャフト、ドライブシャフト等）に外嵌すると共に、カバー 4 0 5 及び起歪部材 4 0 2 の外向鏝部 4 1 4 をハウジングに内嵌した状態で使用される。そして、自動車の運転時には、コイル 4 0 4 に交流電流を流す事により、コイル 4 0 4 を貫通する磁束を発生させる。コイル 4 0 4 によって発生した磁束は、起歪部材 4 0 2 と各磁歪材 4 0 3、4 0 3 とカバー 4 0 5 とにより構成された閉磁路内を交番磁束として流れる。そして、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 の透磁率の変化を、コイル 4 0 4 のインダクタンスの変化として検出する事にに基づき、転がり軸受 4 0 1 の負荷荷重や、この負荷荷重と相関関係のある物理量（例えば、回転軸の伝達トルク）を測定する。

[0199] 即ち、起歪部材 4 0 2 を構成する円筒部 4 1 2 と各磁歪材 4 0 3、4 0 3 とカバー 4 0 5 とは、転がり軸受 4 0 1 を構成する外輪 4 0 6 の外周面とハウジングの内周面との間に挟まれた位置に配置されている。この為、例えば、転がり軸受 4 0 1 に、図 5 4 及び図 5 6 の矢印 α で示される向きのラジアル荷重が負荷されると、起歪部材 4 0 2 を構成する円筒部 4 1 2 の円周方向一部分（図 5 4 及び図 5 6 の上部）にも、当該ラジアル荷重が加わる。そして、このラジアル荷重により、円筒部 4 1 2 の円周方向一部分のうち、各凹

溝 4 1 5、4 1 5 から外れた部分が径方向に関して弾性的に押し潰される事に伴い、各凹溝 4 1 5、4 1 5 の幅寸法が弾性的に収縮する事によって、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 にアキシャル方向の応力が加わる。そして、この応力によって、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 の透磁率が変化し、これに伴って、コイル 4 0 4 のインダクタンスが変化する。この様に本例の場合には、転がり軸受 4 0 1 に負荷されるラジアル荷重に応じて、コイル 4 0 4 のインダクタンスが変化する。この為、予め、コイル 4 0 4 を含む回路の出力とラジアル荷重との関係、及び、ラジアル荷重と回転軸の伝達トルクとの関係（又は、回路の出力と伝達トルクとの関係）を調べておけば、これらの関係を利用して、回路の出力からラジアル荷重及び伝達トルクを求められる。尚、ラジアル荷重及び伝達トルクを求める演算は、図示しない演算器により行う。

[0200] 各磁歪材 4 0 3、4 0 3 は、起歪部材 4 0 2 を構成する円筒部 4 1 2 の外周面に設けられた凹溝 4 1 5、4 1 5 の内面にメッキ等の膜として固定されている（或いは、部品として、各凹溝 4 1 5、4 1 5 の内側にがたつきなく嵌め込まれた状態で溶接固定されている）。各凹溝 4 1 5、4 1 5 の周囲は、カバー 4 0 5 により覆われている。この為、油中、高温、振動環境下で使用される場合でも、長期間に亘り、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 の正常な設置状態を維持でき、正常な測定を行える。又、コイル 4 0 4 に交流電流を流す事により発生した磁束は、起歪部材 4 0 2 と各磁歪材 4 0 3、4 0 3 とカバー 4 0 5 とにより構成された閉磁路内を流れる（この点に関して、本例の場合には、起歪部材 4 0 2 を構成する磁性材料として、転がり軸受 4 0 1 の外輪 4 0 6、内輪 4 0 7 を構成する材料よりも透磁率が高い軟磁性材料を用いる事により、外輪 4 0 6、内輪 4 0 7 側に磁路が回らない様にしている）。この為、磁束の値を大きくでき、その分、信頼性の高い測定を行える。又、周囲空間への磁束漏れを僅少乃至ゼロにできる為、周辺機器等に悪影響を及ぼす事を抑制乃至防止できる。又、閉磁路を構成する起歪部材 4 0 2 及びカバー 4 0 5 が、ヒステリシス特性の小さい軟磁性材料により造られている為、このヒステリシス特性の影響を抑えて、出力の線形性を向上させる事ができ

、その分、精度の高い測定を行える。又、転がり軸受401として一般的なものを使用できると共に、起歪部材402と各磁歪材403、403とコイル404とを一体として取り扱う事ができる為、部品管理や組立作業等の容易化を図れる。

[0201] [実施形態の第33例]

本発明の実施形態の第33例について、図57～61を参照しつつ説明する。

本例の場合、起歪部材402aは、円筒部412aの内周面の軸方向一端寄り部分に内向鏝部413aを設けると共に、円筒部412aの外周面の軸方向一端部に外向鏝部414aを設けている。又、起歪部材402aの軸方向一端部（内向鏝部413aよりも軸方向一端側に突出した部分であって、円筒部412aの軸方向一端部と外向鏝部414aとから成る断面L字形の部分）の径方向反対側となる2箇所位置に、切り割417、417を設けている。これにより、起歪部材402aの軸方向一端部を円周方向に関して2分割し、この様に2分割して成る、軸方向から見た形状が半円弧状の2つの部分を、1対の分割部418a、418bとしている。そして、各分割部418a、418bのうち、円筒部412aの軸方向一端部に対応する部分に、それぞれコイル404a、404bを半円弧状に巻回している。

[0202] 又、図61に示す様な、各コイル404a、404b（インピーダンス R_2 、 R_4 ）と、2個の抵抗器419a、419b（インピーダンス R_1 、 R_3 ）と、から成るブリッジを含んだ、温度補償回路を構成している。そして、使用時には、温度補償回路内に設けた発振器420により、ブリッジの両端に交流電圧Vを印加する事によって、各コイル404a、404bに交流電流を流す事により、各コイル404a、404bを貫通する磁束を発生させる。各コイル404a、404bによって発生した磁束は、各コイル404a、404b毎に構成された（それぞれが起歪部材402aと各磁歪材403、403とカバー405aとにより構成された）閉磁路内を交番磁束として流れる。尚、図61に示した温度補償回路を構成する各抵抗器419a、41

9 b のインピーダンス R_1 、 R_3 は、各コイル 4 0 4 a、4 0 4 b のインピーダンス R_2 、 R_4 との関係で、転がり軸受 4 0 1 にラジアル荷重が負荷されていない中立状態に於いて、ブリッジの midpoint 電圧（点 P Q 間の電圧）がゼロになる様に初期設定されている。尚、この初期設定を行う為に、必要に応じて、各抵抗器 4 1 9 a、4 1 9 b のうちの少なくとも一方を可変抵抗器としたり、オフセット誤差補正を行ったりする。

[0203] 上述の様な構成を有する本例の回転支持装置の場合、図 5 9、6 0 に於いて、図示しない回転軸から転がり軸受 4 0 1 に、矢印 α （又は矢印 β ）で示される向きのラジアル荷重が負荷されると、起歪部材 4 0 2 a を構成する円筒部 4 1 2 a の円周方向一部分 {図 5 9、6 0 に於ける上側のコイル 4 0 4 a（又は下側のコイル 4 0 4 b）の閉磁路を構成する部分} にも、当該ラジアル荷重が加わる。そして、このラジアル荷重により、円筒部 4 1 2 a の円周方向一部分のうち、各凹溝 4 1 5、4 1 5 から外れた部分が径方向に関して弾性的に押し潰される事に伴い、各凹溝 4 1 5、4 1 5 の幅寸法が弾性的に収縮する事によって、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 にアキシャル方向の応力が加わる。そして、この応力によって、各磁歪材 4 0 3、4 0 3 の透磁率が変化し、これに伴って、上側のコイル 4 0 4 a（又は下側のコイル 4 0 4 b）のインダクタンスが変化する。この為、このインダクタンス（インピーダンス）の変化に基づいて、当該ラジアル荷重や、当該ラジアル荷重と相関関係のある回転軸の伝達トルク等を測定できる。

[0204] 尚、各コイル 4 0 4 a、4 0 4 b のインピーダンスは、ラジアル荷重が負荷される事によって変化する他、温度変化が生じる事によっても変化する。但し、ラジアル荷重の負荷に伴う各コイル 4 0 4 a、4 0 4 b のインピーダンスの変化は、このラジアル荷重の入力の向き（矢印 α の向きであるか、矢印 β の向きであるか）によって、各コイル 4 0 4 a、4 0 4 b のうちの何れか一方のコイルにのみ生じる。つまり、矢印 α （又は矢印 β ）の向きのラジアル荷重が負荷された場合には、上側のコイル 4 0 4 a（又は下側のコイル 4 0 4 b）のインピーダンスのみが変化し、下側のコイル 4 0 4 b（又は上

側のコイル404a)のインピーダンスは変化しない。これに対し、温度変化に伴う各コイル404a、404bのインピーダンスの変化は、各コイル404a、404bの双方について同様に生じる。この為、各コイル404a、404bの端子間電圧の差を取れば、各コイル404a、404bに発生したラジアル荷重による変化を検出する事ができる。

[0205] そこで、本例の場合には、各コイル404a、404bの端子間電圧の差に相当する、図61に示した温度補償回路の midpoint 電圧（点PQ間の電圧）を検出し、この midpoint 電圧に基づいて、ラジアル荷重や伝達トルクを測定している。尚、 midpoint 電圧の極性（±）は、ラジアル荷重の入力の向き（矢印 α の向きであるか、矢印 β の向きであるか）によって互いに逆極性となる為、この midpoint 電圧の極性によって、何れの向きのラジアル荷重が負荷されたかを判別する事ができる。この様な本例の場合には、予め、この midpoint 電圧とこのラジアル荷重又は伝達トルクとの関係（必要に応じて、ラジアル荷重と伝達トルクとの関係）を調べておき、これらの関係を利用して、 midpoint 電圧からラジアル荷重及び伝達トルクを求める。尚、ラジアル荷重及び伝達トルクを求める演算は、図示しない演算器により行う。

[0206] 本例の回転支持装置の場合には、各コイル404a、404bのインダクタンス（インピーダンス）の変化に基づいて、互いに異なる向き（矢印 α の向き、及び、矢印 β の向き）のラジアル荷重を、互いに区別して測定できる。更には、各コイル404a、404b毎に閉磁路が構成されている為、互いに異なる向きのラジアル荷重を、他のコイルで発生した磁束の影響を実質的に受ける事なく測定できる。更に、本例の場合には、図61に示した温度補償回路の出力（ブリッジの midpoint 電圧）に基づいて、温度変化による誤差を低減乃至解消したラジアル荷重及び伝達トルクを測定できる。従って、その分、信頼性の高い測定を行える。

その他の構成及び作用は、上述した実施形態の第32例の場合と同様である。

[0207] 尚、実施形態の第32～33例の回転支持装置は、転がり軸受を構成する

静止輪が、外周面に内輪軌道を有する内輪となる構造に適用する事もできる。

又、実施形態の第32～33例の様に、起歪部材の表面に磁歪材を設置する為の凹溝を形成する場合、凹溝の数や配置態様は、起歪部材の負荷応力や材料特性に応じて、適宜変更する事ができる。

又、実施形態の第32～33例の構造に関して、起歪部材を省略すると共に、外輪の外周面に直接、磁歪材を設置する為の複数の凹溝を形成した構成を採用する事もできる。この場合には、例えば、外輪の外周面の軸方向一端部に外向鏝部を一体形成する。そして、外輪の外周面のうち、外向鏝部の側面に隣接する部分にコイルを巻回すると共に、外向鏝部の側面に、外輪に外嵌したカバーの軸方向一端面を当接させる。この様な構成に於いては、外輪と磁歪材とカバーとが、閉磁路を構成する。

実施例

[0208] 本発明の効果を確かめる為に行った実験（実験1～14）について説明する。

[0209] <実験1>

実験1では、上述の図13に示した実施形態の第12例の構造について、磁歪効果部（外輪3c）を構成する磁性鋼の清浄度（表面の面積100mm²中に存在する、面積の平方根が5μm以上の非金属介在物の数）が、コイル15bの出力電圧に与える影響について調べた。

[0210] 実験1の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

軸受名番6305の単列深溝玉軸受をベースとし、外輪3cの外周面に幅狭部19を設けたもの（図13の構造）を使用した。

外輪3c及び内輪5の外幅寸法 W_i ： 17mm

幅狭部19の外幅寸法 W_o ： 8mm

内輪5の内径寸法 d_5 ： 25mm

外輪3cの材料である磁性鋼： 素材としてJISに規定されている軸受

鋼の一種であるS U J 2を用い、複数の試料毎に、酸素、チタン、及び硫黄の3元素の濃度を異ならせた。但し、各試料とも、3元素（酸素、チタン、硫黄）の濃度の比率は、一般的な転がり軸受の軌道輪の材料として用いられるS U J 2の場合とほぼ同程度とした。

「非金属介在物のカウント方法について」

外輪3 cの表面（幅狭部1 9の軸方向片側面）に於ける1 mm×1 mmの領域の金属顕微鏡写真を2値化して、その領域に存在する各非金属介在物の面積を測定し、面積の平方根が5 μm以上の非金属介在物をカウントする作業を、1 0 0領域で実施した。そして、そのカウントの総数を、外輪3 cの表面の面積1 0 0 mm²中に存在する、面積の平方根が5 μm以上の非金属介在物の数とした。

「コイル1 5 bの出力電圧の評価方法について」

0～9. 8 k N（0～1 0 0 0 k g f）の軸受荷重（ラジアル荷重F r）を1 0往復繰返し負荷しつつ、コイル1 5 bの出力電圧を測定し、その最小二乗近似直線からのばらつきの標準偏差σを求めた。そして、3×σの値を、コイル1 5 bの出力電圧の誤差として評価した。

[0211] 実験1の結果を図1 6に示す。この結果から、磁歪効果部（外輪3 c）の表面の面積1 0 0 mm²中に存在する、面積の平方根が5 μm以上の非金属介在物の数が1 0 0 0個以下であれば、コイル1 5 bの出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。更に、当該非金属介在物の数が5 0 0個以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる（より高精度な荷重測定を行える）を確認できた。

又、実験1で用いた各試料の諸元から、当該非金属介在物の数を1 0 0 0個以下にする為には、磁歪効果部（外輪3 c）を構成する磁性鋼に含まれる3元素（酸素、チタン、硫黄）の濃度を、酸素：2 0 p p m以下、チタン：1 0 0 p p m以下、硫黄：0. 0 5 %以下とすれば良い事を確認できた。更に、当該非金属介在物の数を5 0 0個以下にする為には、当該3元素の濃度を、酸素：1 5 p p m以下、チタン：5 0 p p m以下、硫黄：0. 0 3 %以

下とすれば良い事を確認できた。

[0212] <実験2>

実験2では、図13に示した実施形態の第12例の構造について、磁歪効果部（外輪3c）の表面のうち、センサ2dの検出部（コイル15b）を対向させる面である、幅狭部19の軸方向片側面（図13の右側面）の表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）が、コイル15bの出力電圧に与える影響について調べた。

[0213] 実験2の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

各部の寸法（外輪3c及び内輪5の外幅寸法 W_i 、幅狭部19の外幅寸法 W_o 、内輪5の内径寸法 d_5 等）が実験1と同様であると共に、外輪3cを構成する磁性鋼がS U J 2であり、且つ、外輪3cの表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上の非金属介在物の数が $50\sim300$ 個（ ≤ 1000 個）の範囲に収まるものを採用した。そして、複数の試料毎に、幅狭部19の軸方向片側面の表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）を異ならせた。尚、表面粗さの調整は、 $\#120\sim\#1500$ のサンドペーパーを用いて行った。

「コイル15bの出力電圧の評価方法について」

実験1と同様である。

[0214] 実験2の結果を図17に示す。この結果から、磁歪効果部（外輪3c）の表面のうち、少なくとも幅狭部19の軸方向片側面の表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）が、 $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{ m}$ の範囲に収まっていれば、コイル15bの出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。

[0215] <実験3>

実験3では、図13に示した実施形態の第12例の構造について、磁歪効果部（外輪3c）の表面に於ける炭化物の面積率が、コイル15bの出力電圧に与える影響について調べた。

[0216] 実験3の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

軸受名番6305の単列深溝玉軸受をベースとし、外輪3cの外周面に幅狭部19を設けたもの（図13の構造）を使用した。

外輪3c及び内輪5の外幅寸法 W_i : 17 mm

幅狭部19の外幅寸法 W_o : 8 mm

内輪5の内径寸法 d_5 : 25 mm

外輪3cの材料である磁性鋼： 素材としてJISに規定されている浸炭鋼の一種であるSCr420のうち、炭素濃度が0.20%であり、窒素濃度が0%であるものを用いた。

「各試料について」

各試料毎に、外輪3cの表面に於ける炭化物の析出量を、浸炭処理により異ならせた。析出量の調整は、浸炭処理中のプロパンガス流量を調整する事で行った。

「外輪3cの表面に於ける炭化物の面積率の測定方法について」

外輪3cの表面{幅狭部19の軸方向片側面（図13の右側面）}を鏡面に研磨した後、腐食液（ピクリン酸アルコール）で金属組織を現出させてから、当該面に於ける $200\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ の領域の金属顕微鏡写真を2値化して、その領域の炭化物の面積率を測定した。

「コイル15bの出力電圧の評価方法について」

0~9.8 kN (0~1000 kgf)の軸受荷重（ラジアル荷重 F_r ）を10往復繰返し負荷しつつ、コイル15bの出力電圧を測定し、その最小二乗近似直線からのばらつきの標準偏差 σ を求めた。そして、 $3 \times \sigma$ の値を、コイル15bの出力電圧の誤差として評価した。

[0217] 実験3の結果を、図18に示す。この結果から、磁歪効果部（外輪3c）の表面に於ける炭化物の面積率が20%以下であれば、コイル15bの出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。更に、当該面積率が10%以下であれば、当該誤差をより小さく抑えら

れる（より高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。

又、一般的に、転がり軸受の軌道輪に用いられる鋼の場合、軌道輪の表面に於いて、炭化物の面積率が20%となる炭素濃度は1.5%であり、当該面積率が10%となる炭素濃度は1.3%である。従って、実験3の結果から、磁歪効果部（外輪3c）の表面に於ける炭素濃度が1.5%以下であれば、高精度な荷重測定を行え、更に当該炭素濃度が1.3%以下であれば、より高精度な荷重測定を行える事を確認できた。

[0218] <実験4>

実験4では、図13に示した実施形態の第12例の構造について、磁歪効果部（外輪3c）の表面に於ける窒化物の面積率が、コイル15bの出力電圧に与える影響について調べた。

[0219] 実験4の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

実験3と同様である。

「各試料について」

各試料毎に、外輪3cの表面に於ける窒化物の析出量を、窒化処理により異ならせた。析出量の調整は、窒化処理中のアンモニアガス流量を調整する事で行った。

「外輪3cの表面に於ける窒化物の面積率の測定方法について」

外輪3cの表面（幅狭部19の軸方向片側面）を鏡面に研磨してから、当該面に於ける $200\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ の領域の金属顕微鏡写真を2値化して、その領域の窒化物の面積率を測定した。

「コイル15bの出力電圧の評価方法について」

実験3と同様である。

[0220] 実験4の結果を、図19に示す。この結果から、磁歪効果部（外輪3c）の表面に於ける窒化物の面積率が3.0%以下であれば、コイル15bの出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。更に、当該面積率が1.0%以下であれば、当該誤差をより小さく抑

えられる（より高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。

又、一般的に、転がり軸受の軌道輪に用いられる鋼の場合、この軌道輪の表面に於いて、窒化物の面積率が3.0%となる窒素濃度は0.5%であり、当該面積率が1.0%となる窒素濃度は0.2%である。従って、実験4の結果から、磁歪効果部（外輪3c）の表面に於ける窒素濃度が0.5%以下であれば、高精度な荷重測定を行え、更に当該窒素濃度が0.2%以下であれば、より高精度な荷重測定を行える事を確認できた。

[0221] <実験5>

実験5では、図13に示した実施形態の第12例の構造について、磁歪効果部（外輪3c）の表面のうち、センサ2dの検出部（コイル15b）を対向させる面である、幅狭部19の軸方向片側面の表面粗さ（算術平均粗さRa）が、コイル15bの出力電圧に与える影響について調べた。

[0222] 実験5の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

各部の寸法（外輪3c及び内輪5の外幅寸法Wi、幅狭部19の外幅寸法Wo、内輪5の内径寸法d5等）が実験3と同様であると共に、外輪3cを構成する磁性鋼がSCr420であり、且つ、外輪3cの表面に於ける、炭化物の面積率が3.0～5.0%（ $\leq 20\%$ ）、窒化物の面積率が0%（ $\leq 3.0\%$ ）であるものを採用した。

「各試料について」

各試料毎に、幅狭部19の軸方向片側面の表面粗さ（算術平均粗さRa）を異ならせた。尚、表面粗さの調整は、#120～#1500のサンドペーパーを用いて行った。

「コイル15bの出力電圧の評価方法について」

実験3と同様である。

[0223] 実験5の結果を図20に示す。この結果から、磁歪効果部（外輪3c）の表面のうち、少なくとも幅狭部19の軸方向片側面の表面粗さ（算術平均粗さRa）が、 $Ra < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっていれば、コイル15bの出

力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。

[0224] <実験6>

実験6では、図15に示した実施形態の第14例の構造について、磁歪効果材10fの取付面（外輪3cの幅狭部19の軸方向片側面）に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値が、コイル15bの出力電圧に与える影響について調べた。

[0225] 実験6の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

軸受名番6305の単列深溝玉軸受をベースとし、外輪3cの外周面に幅狭部19を設けたもの（図15の構造）を使用した。

外輪3c及び内輪5の外幅寸法 W_i ： 17mm

幅狭部19の外幅寸法 W_o ： 8mm

内輪5の内径寸法 d_5 ： 25mm

外輪3cの材料である磁性鋼： 素材としてJISに規定されている軸受鋼の一種であるSUJ2を用い、複数の試料毎に、非金属介在物の生成元素である、酸素、チタン、及び硫黄の3元素の濃度を異ならせた。

磁歪効果材10f：磁歪効果材10fであるアモルファス磁性薄膜を取付面（幅狭部19の軸方向片側面）に固定した（接触させた）。

「非金属介在物の測定について」

取付面（幅狭部19の軸方向片側面）に磁歪効果材10fを固定する前の段階で、取付面をダイヤモンドパウダで研磨して非金属介在物を観察し易くした状態で、取付面に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値を測定した。

「コイル15bの出力電圧の評価方法について」

0～9.8kN（0～1000kgf）の軸受荷重（ラジアル荷重 F_r ）を10往復繰返し負荷しつつ、コイル15bの出力電圧を測定し、その最小二乗近似直線からのばらつきの標準偏差 σ を求めた。そして、 $3 \times \sigma$ の値を

、コイル 15 b の出力電圧の誤差として評価した。

[0226] 実験 6 の結果を図 2 1 に示す。この結果から、取付面（幅狭部 1 9 の軸方向片側面）に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値が $80\ \mu\text{m}$ 以下であれば、コイル 15 b の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。更に、当該最大値が $40\ \mu\text{m}$ 以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる（より高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。

[0227] <実験 7>

実験 7 では、図 1 5 に示した実施形態の第 1 4 例の構造について、磁歪効果材 1 0 f の取付面（外輪 3 c の幅狭部 1 9 の軸方向片側面）の粗さを表す最大高さ R_z が、コイル 15 b の出力電圧に与える影響について調べた。

[0228] 実験 7 の条件を、以下に示す。

「試料となる回転支持装置について」

各部の寸法（外輪 3 c 及び内輪 5 の外幅寸法 W_i 、幅狭部 1 9 の外幅寸法 W_o 、内輪 5 の内径寸法 d_i 等）が実験 1 と同様であると共に、外輪 3 c を構成する磁性鋼が S U J 2 であり、且つ、取付面（幅狭部 1 9 の軸方向片側面）に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値が $80\ \mu\text{m}$ 以下の範囲に収まるものを採用した。そして、複数の試料毎に、取付面（幅狭部 1 9 の軸方向片側面）の最大高さ R_z を異ならせた。尚、表面粗さの調整は、# 1 2 0 ~ # 1 5 0 0 のサンドペーパーを用いて行った。又、取付面の最大高さ R_z の測定は、T a y l o r H o b s o n 社製フォームタリサーフを用いて行った。取付面の最大高さ R_z の値は、各試料毎に 4 点測定し、その平均値とした。

「コイル 15 b の出力電圧の評価方法について」

実験 6 と同様である。

[0229] 実験 7 の結果を図 2 2 に示す。この結果から、取付面（幅狭部 1 9 の軸方向片側面）の最大高さ R_z が $12\ \mu\text{m}$ 以下であれば、コイル 15 b の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。更に、当該最大高さ R_z が $5\ \mu\text{m}$ 以下であれば、当該誤差をより小さく抑

えられる（より高精度な荷重測定を行える）事を確認できた。

[0230] <実験 8>

実験 8 では、図 26 に示した実施形態の第 18 例の第 1 変形例の構造（但し、センサ 104 を、図 24 のセンサ 104 a に置換したもの）について、磁歪効果部（内輪 118）を構成する磁性鋼の清浄度（表面の面積 100 mm²中に存在する、面積の平方根が 5 μm 以上の非金属介在物の数）が、コイル 115 の出力電圧に与える影響について調べた。

[0231] 実験 8 の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

軸受名番 NU 2304 の単列円筒ころ軸受をベースとした構造を使用した。

外輪 105 の外径寸法： 52 mm

内輪 118 の内径寸法： 20 mm

外輪 105 の軸方向寸法： 21 mm

内輪 118 のうち外輪 105 の軸方向片端面からの軸方向突出量： 20 mm

内輪 118 の材料である磁性鋼： 素材として JIS に規定されている軸受鋼の一種である SUJ 2 を用い、複数の試料毎に、酸素、チタン、及び硫黄の 3 元素の濃度を異ならせた。但し、各試料とも、3 元素（酸素、チタン、硫黄）の濃度の比率は、一般的な転がり軸受の軌道輪の材料として用いられる SUJ 2 の場合とほぼ同程度とした。

「非金属介在物のカウント方法について」

内輪 118 の表面に於ける 1 mm × 1 mm の領域の金属顕微鏡写真を 2 値化して、その領域に存在する各非金属介在物の面積を測定し、面積の平方根が 5 μm 以上の非金属介在物をカウントする作業を、100 領域で実施した。そして、そのカウントの総数を、内輪 118 の表面の面積 100 mm²中に存在する、面積の平方根が 5 μm 以上の非金属介在物の数とした。

「コイル 115 の出力電圧の評価方法について」

内輪 118 を締め嵌めで外嵌固定した回転軸 102b に、 $-1000 \sim 1000$ N m のトルクを 10 往復繰返し負荷しつつ、コイル 115 の出力電圧を測定し、その最小二乗近似直線からのばらつきの標準偏差 σ を求めた。そして、 $3 \times \sigma$ の値を、コイル 115 の出力電圧の誤差として評価した。

[0232] 実験 8 の結果を図 35 に示す。この結果から、磁歪効果部（内輪 118）の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5 \mu\text{m}$ 以上の非金属介在物の数が 1000 個以下であれば、コイル 115 の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。更に、当該非金属介在物の数が 500 個以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる（より高精度なトルク測定を行える）を確認できた。

又、実験 8 で用いた各試料の諸元から、当該非金属介在物の数を 1000 個以下にする為には、磁歪効果部（内輪 118）を構成する磁性鋼に含まれる 3 元素（酸素、チタン、硫黄）の濃度を、酸素：20 ppm 以下、チタン：100 ppm 以下、硫黄：0.05% 以下とすれば良い事を確認できた。更に、当該非金属介在物の数を 500 個以下にする為には、当該 3 元素の濃度を、酸素：15 ppm 以下、チタン：50 ppm 以下、硫黄：0.03% 以下とすれば良い事を確認できた。

[0233] <実験 9>

実験 9 では、図 26 に示した実施形態の第 18 例の第 1 変形例の構造（但し、センサ 104 を、図 24 のセンサ 104a に置換したもの）について、磁歪効果部（内輪 118）の表面のうち、センサ 104a の検出部（コイル 115）と径方向に対向する部分の表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）が、コイル 115 の出力電圧に与える影響について調べた。

[0234] 実験 9 の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

各部の寸法（外輪 105 の外径寸法、内輪 118 の内径寸法、外輪 105 の軸方向寸法、内輪 118 のうち外輪 105 の軸方向片端面からの軸方向突出量等）が実験 8 と同様であると共に、内輪 118 を構成する磁性鋼が S U

J 2であり、且つ、内輪 1 1 8 の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上の非金属介在物の数が $50\sim300$ 個 (≤ 1000 個) の範囲に収まるものを採用した。そして、複数の試料毎に、内輪 1 1 8 の外周面のうち、センサ 1 0 4 a の検出部 (コイル 1 1 5) と径方向に対向する部分に於ける表面粗さ (算術平均粗さ R_a) を異ならせた。尚、表面粗さの調整は、# 1 2 0 ~ # 1 5 0 0 のサンドペーパーを用いて行った。

「コイル 1 1 5 の出力電圧の評価方法について」

実験 8 と同様である。

[0235] 実験 9 の結果を図 3 6 に示す。この結果から、磁歪効果部 (内輪 1 1 8) の表面のうち、少なくともセンサ 1 0 4 a の検出部 (コイル 1 1 5) と径方向に対向する部分の表面粗さ (算術平均粗さ R_a) が、 $R_a < 0.5\text{ }\mu\text{m}$ の範囲に収まっていれば、コイル 1 1 5 の出力電圧の誤差を小さく抑えられる (高精度なトルク測定を行える) 事を確認できた。

[0236] <実験 1 0>

実験 1 0 では、図 2 6 に示した実施形態の第 1 8 例の第 2 変形例の構造 (但し、センサ 1 0 4 を、図 2 4 のセンサ 1 0 4 a に置換したもの) について、磁歪効果部 (内輪 1 1 8) の表面に於ける炭化物の面積率が、コイル 1 1 5 の出力電圧に与える影響について調べた。

[0237] 実験 1 0 の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

軸受名番 N U 2 3 0 4 の単列円筒ころ軸受をベースとした構造を使用した。

外輪 1 0 5 の外径寸法： 52 mm

内輪 1 1 8 の内径寸法： 20 mm

外輪 1 0 5 の軸方向寸法： 21 mm

内輪 1 1 8 のうち外輪 1 0 5 の軸方向片端面からの軸方向突出量： 20 mm

内輪 1 1 8 の材料である磁性鋼： 素材として J I S に規定されている浸

炭鋼の一種である S C r 4 2 0 のうち、炭素濃度が 0. 2 0 % であり、窒素濃度が 0 % であるものを用いた。

「各試料について」

各試料毎に、内輪 1 1 8 の表面に於ける炭化物の析出量を、浸炭処理により異ならせた。析出量の調整は、浸炭処理中のプロパンガス流量を調整する事で行った。

「内輪 1 1 8 の表面に於ける炭化物の面積率の測定方法について」

内輪 1 1 8 の表面 { 外周面の軸方向片端部 (図 2 6 の右端部) } を鏡面に研磨した後、腐食液 (ピクリン酸アルコール) で金属組織を現出させてから、当該面に於ける $200\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ の領域の金属顕微鏡写真を 2 値化して、その領域の炭化物の面積率を測定した。

「コイル 1 1 5 の出力電圧の評価方法について」

内輪 1 1 8 を締め嵌めで外嵌固定した回転軸 1 0 2 b に、 $-1000 \sim 1000\text{Nm}$ のトルクを 1 0 往復繰返し負荷しつつ、コイル 1 1 5 の出力電圧を測定し、その最小二乗近似直線からのばらつきの標準偏差 σ を求めた。そして、 $3 \times \sigma$ の値を、コイル 1 1 5 の出力電圧の誤差として評価した。

[0238] 実験 1 0 の結果を図 3 7 に示す。この結果から、磁歪効果部 (内輪 1 1 8) の表面に於ける炭化物の面積率が 2 0 % 以下であれば、コイル 1 1 5 の出力電圧の誤差を小さく抑えられる (高精度なトルク測定を行える) 事を確認できた。更に、当該面積率が 1 0 % 以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる (より高精度なトルク測定を行える) 事を確認できた。

又、一般的に、転がり軸受の軌道輪に用いられる鋼の場合、この軌道輪の表面に於いて、炭化物の面積率が 2 0 % となる炭素濃度は 1. 5 % であり、当該面積率が 1 0 % となる炭素濃度は 1. 3 % である。従って、実験 1 0 の結果から、磁歪効果部 (内輪 1 1 8) の表面に於ける炭素濃度が 1. 5 % 以下であれば、高精度なトルク測定を行え、更に当該炭素濃度が 1. 3 % 以下であれば、より高精度なトルク測定を行える事を確認できた。

[0239] < 実験 1 1 >

実験 11 では、図 26 に示した実施形態の第 18 例の第 2 変形例の構造（但し、センサ 104 を、図 24 のセンサ 104 a に置換したもの）について、磁歪効果部（内輪 118）の表面に於ける窒化物の面積率が、コイル 115 の出力電圧に与える影響について調べた。

[0240] 実験 11 の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

実験 10 と同様である。

「各試料について」

各試料毎に、内輪 118 の表面に於ける窒化物の析出量を、窒化処理により異ならせた。析出量の調整は、窒化処理中のアンモニアガス流量を調整する事で行った。

「内輪 118 の表面に於ける窒化物の面積率の測定方法について」

内輪 118 の表面 {外周面の軸方向片端部（図 26 の右端部）} を鏡面に研磨してから、当該面に於ける $200\mu\text{m} \times 160\mu\text{m}$ の領域の金属顕微鏡写真を 2 値化して、その領域の窒化物の面積率を測定した。

「コイル 115 の出力電圧の評価方法について」

実験 10 と同様である。

[0241] 実験 11 の結果を、図 38 に示す。この結果から、磁歪効果部（内輪 118）の表面に於ける窒化物の面積率が 3.0% 以下であれば、コイル 115 の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。更に、当該面積率が 1.0% 以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる（より高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。

又、一般的に、転がり軸受の軌道輪に用いられる鋼の場合、軌道輪の表面に於いて、窒化物の面積率が 3.0% となる窒素濃度は 0.5% であり、当該面積率が 1.0% となる窒素濃度は 0.2% である。従って、実験 11 の結果から、磁歪効果部（内輪 118）の表面に於ける窒素濃度が 0.5% 以下であれば、高精度なトルク測定を行え、更に当該窒素濃度が 0.2% 以下であれば、より高精度なトルク測定を行える事を確認できた。

[0242] <実験 1 2>

実験 1 2 では、図 2 6 に示した実施形態の第 1 8 例の第 2 変形例の構造（但し、センサ 4 を、図 2 4 のセンサ 1 0 4 a に置換したもの）について、磁歪効果部（内輪 1 1 8）の表面のうち、センサ 1 0 4 a の検出部（コイル 1 1 5）と径方向に対向する部分である、外周面の軸方向片端部の表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）が、コイル 1 1 5 の出力電圧に与える影響について調べた。

[0243] 実験 1 2 の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

各部の寸法（外輪 1 0 5 の外径寸法、内輪 1 1 8 の内径寸法、外輪 1 0 5 の軸方向寸法、内輪 1 1 8 のうち外輪 1 0 5 の軸方向片端面からの軸方向突出量等）が実験 1 0 と同様であると共に、内輪 1 1 8 を構成する磁性鋼が S C r 4 2 0 であり、且つ、外輪 1 0 5 の表面に於ける、炭化物の面積率が 3 . 0 ~ 5 . 0 % ($\leq 2 0 %$)、窒化物の面積率が 0 % ($\leq 3 . 0 %$) であるものを採用した。

「各試料について」

各試料毎に、内輪 1 1 8 の表面のうち、センサ 1 0 4 a の検出部（コイル 1 1 5）と径方向に対向する部分に於ける表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）を異ならせた。尚、表面粗さの調整は、# 1 2 0 ~ # 1 5 0 0 のサンドペーパーを用いて行った。

「コイル 1 1 5 の出力電圧の評価方法について」

実験 1 0 と同様である。

[0244] 実験 1 2 の結果を図 3 9 に示す。この結果から、磁歪効果部（内輪 1 1 8）の表面のうち、少なくともセンサ 1 0 4 a の検出部（コイル 1 1 5）と径方向に対向する部分の表面粗さ（算術平均粗さ R_a ）が、 $R_a < 0.5 \mu m$ の範囲に収まっていれば、コイル 1 1 5 の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。

[0245] <実験 1 3>

実験 13 では、図 43 に示した実施形態の第 27 例の構造（但し、センサ 205 を、図 41 のセンサ 205a に置換したもの）について、磁歪効果部（磁歪膜 203a）の取付面（内輪 217a の外周面の軸方向片端部）に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値が、コイル 216 の出力電圧に与える影響について調べた。

[0246] 実験 13 の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

軸受名番 NU2304 の単列円筒ころ軸受をベースとした構造を使用した。

外輪 206 の外径寸法： 52 mm

内輪 217a の内径寸法： 20 mm

外輪 206 の軸方向寸法： 21 mm 内輪 217a のうち外輪 206 の軸方向片端面からの軸方向突出量： 20 mm

内輪 217a の材料である磁性鋼： 素材として JIS に規定されている軸受鋼の一種である SUJ2 を用い、複数の試料毎に、非金属介在物の生成元素である、酸素、チタン、及び硫黄の 3 元素の濃度を異ならせた。

磁歪膜 203a： 磁歪膜 203a であるアモルファス磁性薄膜を取付面に固定した（接触させた）。

「非金属介在物の測定について」

取付面に磁歪膜 203a を固定する前の段階で、取付面をダイヤモンドパウダで研磨して非金属介在物を観察し易くした状態で、取付面に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値を測定した。

「コイル 216 の出力電圧の評価方法について」

内輪 217 を締め嵌めで外嵌固定した回転軸 202a に、 $-1000 \sim 1000$ Nm のトルクを 10 往復繰返し負荷しつつ、コイル 216 の出力電圧を測定し、その最小二乗近似直線からのばらつきの標準偏差 σ を求めた。そして、 $3 \times \sigma$ の値を、コイル 216 の出力電圧の誤差として評価した。

[0247] 実験 13 の結果を図 47 に示す。この結果から、取付面に存在する非金属

介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値が $80\mu\text{m}$ 以下であれば、コイル216の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。更に、当該最大値が $40\mu\text{m}$ 以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる（より高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。

[0248] <実験14>

実験14では、図43に示した実施形態の第27例の構造（但し、センサ205を、図41のセンサ205aに置換したもの）について、磁歪効果部（磁歪膜203a）の取付面（内輪217aの外周面の軸方向片端部）の粗さを表す最大高さ R_z が、コイル216の出力電圧に与える影響について調べた。

[0249] 実験14の条件を、以下に示す。

「試料となるトルク測定装置について」

各部の寸法（外輪206の外径寸法、内輪217aの内径寸法、外輪206の軸方向寸法、内輪217aのうち外輪206の軸方向片端面からの軸方向突出量等）が実験13と同様であると共に、内輪217aを構成する磁性鋼がS U J 2であり、且つ、取付面に存在する非金属介在物の $\sqrt{\text{area}}$ の最大値が $80\mu\text{m}$ 以下の範囲に収まるものを採用した。そして、複数の試料毎に、取付面の最大高さ R_z を異ならせた。尚、表面粗さの調整は、#120～#1500のサンドペーパーを用いて行った。又、取付面の最大高さ R_z の測定は、Taylor Hobson社製フォームタリサーフを用いて行った。取付面の最大高さ R_z の値は、各試料毎に4点測定し、その平均値とした。

「コイル216の出力電圧の評価方法について」

実験13と同様である。

[0250] 実験14の結果を図48に示す。この結果から、取付面の最大高さ R_z が $12\mu\text{m}$ 以下であれば、コイル216の出力電圧の誤差を小さく抑えられる（高精度なトルク測定を行える）事を確認できた。更に、当該最大高さ R_z が $5\mu\text{m}$ 以下であれば、当該誤差をより小さく抑えられる（より高精度なト

ルク測定を行える) 事を確認できた。

産業上の利用可能性

[0251] 本発明の回転支持装置を、自動車のパワートレインに組み込んで使用する場合、対象となる装置は、特に問わない。例えば、オートマチックトランスミッション（ＡＴ）、ベルト式無段変速機、トロイダル型無段変速機、オートマチックマニュアルトランスミッション（ＡＭＴ）、ダブルクラッチトランスミッション（ＤＣＴ）等の車側の制御で変速を行うトランスミッション、又はトランスファーを対象とする事ができる。又、対象となる車両の駆動方式（ＦＦ、ＦＲ等）も、特に問わない。

又、本発明の回転支持装置は、自動車のパワートレインを構成する回転軸に限らず、例えば、風車の回転軸（主軸、増速器の回転軸）、圧延機のロールネック、鉄道車両の回転軸（車軸、減速機の回転軸）、工作機械の回転軸（主軸、送り系の回転軸）、建設機械・農業機械・家庭用電気器具・モータの回転軸等、各種機械装置の回転軸を支持する部分に組み込んで使用する事ができる。

又、回転支持装置を構成する転がり軸受は、ラジアル転がり軸受に限らず、スラスト転がり軸受であっても良い。又、転がり軸受は、深溝玉軸受に限らず、アンギュラ玉軸受、円すいころ軸受、円筒ころ軸受、ニードル軸受、自動調心ころ軸受等、各種のものを採用する事ができる。更に、転がり軸受は、単列転がり軸受に限らず、複列転がり軸受であっても良い。

又、回転支持装置を構成するセンサは、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるものであれば良く、具体的な構成は特に限定されない。又、当該磁束の発生源は、着磁した磁歪効果部、センサを構成するコイルの他、センサに組み込んだ永久磁石であっても良い。

又、磁束の発生源を、着磁した磁歪効果部とする場合、この磁歪効果部の着磁の方向は、軸方向、径方向、周方向等、何れの方角であっても良い。

又、磁歪効果部を構成する材料は、少なくともトルクの検出に支障のない

程度に逆磁歪効果を発揮するものであれば良く、本明細書中に具体的に例示したものに限定されるものではない。

又、センサを外輪に対して直接又は他の部材を介して支持する場合には、センサの支持構造として、上述した各実施形態以外の構造を採用する事もできる。

[0252] 本出願は、2014年6月17日出願の日本特許出願2014-124709、2014年6月17日出願の日本特許出願2014-124710、2014年6月17日出願の日本特許出願2014-124711、2014年7月1日出願の日本特許出願2014-135908、2014年7月1日出願の日本特許出願2014-135909、2014年7月1日出願の日本特許出願2014-135910、2014年8月20日出願の日本特許出願2014-167338、2014年8月20日出願の日本特許出願2014-167791、2014年8月20日出願の日本特許出願2014-167792、2014年8月26日出願の日本特許出願2014-171105、及び2014年9月16日出願の日本特許出願2014-187231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

[0253] 1 転がり軸受、 2、2a、2b、2c センサ、 3、3a、3b、3c 外輪、 4、4a、4b 静止体、 5 内輪、 6 玉、 7 保持器、 8 外輪軌道、 9 内輪軌道、 10～10f 磁歪効果材、 11、11a、11b センサ支持部材、 12 磁気検出素子、 13 嵌合筒部、 14、14a 支持部、 15、15a、15b コイル、 16 凹溝、 17 磁歪素子、 18、18a 隣接部材、 19 幅狭部、
101、101a、101b 転がり軸受、 102、102a、102b 回転軸、 103 センサ支持部材、 104、104a、104b センサ、 105、105a 外輪、 106 ニードル、 107 保持

器、 108 内向鍔部、 109 外輪軌道、 110 内輪軌道、 111 嵌合筒部、 112 支持部、 113 凹部、 114 磁気検出素子、 115、115a コイル、 116 回転軸本体、 117、117a、117b 磁歪膜、 118、118a、118b 内輪、 119 内輪本体、 120、120a、120b スリーブ、 121 スリーブ本体、 122 支持筒部、 123 ホルダ、 124 凹溝、 125 段差面、 126 センサ筐体、 127 凹部、 128 外向鍔部、

201、201a 転がり軸受、 202、202a 回転軸、 203、203a、203b 磁歪膜、 204 センサ支持部材、 205 センサ、 206 外輪、 207 ニードル、 208 保持器、 209 内向鍔部、 210 外輪軌道、 211 内輪軌道、 212 嵌合筒部、 213 支持部、 214 凹部、 215 磁気検出素子、 216 コイル、 217、217a、217b 内輪、 218、218a、218b スリーブ、

301 転がり軸受、 302 磁歪ヨーク、 303a、303b コイル、 304 外輪、 305 内輪、 306 玉、 307 保持器、 308 外輪軌道、 309 内輪軌道、 310 内径側円筒部、 311 外径側円筒部、 312a、312b 芯部、 313a、313b バイパス部、 314a、314b 磁気回路部、 315a、315b 抵抗器、 316 発振器、 317a、317b 透孔、

401 転がり軸受、 402、402a 起歪部材、 403 磁歪材、 404、404a、404b コイル、 405、405a カバー、 406 外輪、 407 内輪、 408 玉、 409 保持器、 410 外輪軌道、 411 内輪軌道、 412、412a 円筒部、 413、413a 内向鍔部、 414、414a 外向鍔部、 415 凹溝、 416 大径凹部、 417 切り割、 418a、418b 分割部、 419a、419b 抵抗器、 420 発振器

請求の範囲

- [請求項1] 少なくとも一部分に負荷荷重に応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有すると共に、使用時にも回転しない静止体と、前記静止体の一部に形成された軌道上を転走する複数個の転動体と、を備えた転がり軸受と、
- 前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置。
- [請求項2] 前記磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、前記磁歪効果部の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上の非金属介在物の数が 1000 個以下である事を特徴とする請求項1に記載した回転支持装置。
- [請求項3] 前記磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、前記磁歪効果部の表面のうち、少なくとも一部分に於ける、炭化物の面積率が 20% 以下であり、且つ、窒化物の面積率が 3.0% 以下である事を特徴とする請求項1に記載した回転支持装置。
- [請求項4] 前記磁歪効果部が、前記静止体のうち、前記磁歪効果部以外の部分であって且つ前記軌道から外れた部分に設けられた取付面に接触しており、前記取付面に存在する非金属介在物の長径 a と短径 b との積の平方根である $\sqrt{a \cdot b}$ の最大値が $80\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である事を特徴とする請求項1に記載した回転支持装置。
- [請求項5] 前記磁歪効果部が、前記静止体のうち、前記磁歪効果部以外の部分であって且つ前記軌道から外れた部分に設けられた取付面に接触しており、前記取付面の最大高さ R_z が $12\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である事を特徴とする請求項1に記載した回転支持装置。
- [請求項6] 内周面に外輪軌道を有し、使用時にも回転しない外輪と、
- 少なくとも一部分に、加えられるトルクに応じて透磁率が変化する

磁歪効果部を有し、使用時に回転する回転体と、

前記回転体の外周面又は前記回転体と共に回転する他の部材の外周面に設けられた内輪軌道と前記外輪軌道との間に転動自在に設けられる複数の転動体と、

前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置。

[請求項7] 少なくとも一部分に、加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する回転体と、

前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置であって、

前記磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、前記磁歪効果部の表面の面積 100 mm^2 中に存在する、面積の平方根が $5\text{ }\mu\text{ m}$ 以上の非金属介在物の数が 1000 個以下である事を特徴とする回転支持装置。

[請求項8] 少なくとも一部分に、加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する回転体と、

前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置であって、

前記磁歪効果部が磁性鋼により構成されていると共に、前記磁歪効果部の表面のうち、少なくとも前記センサと径方向に対向する部分に於ける、炭化物の面積率が 20% 以下であり、且つ、窒化物の面積率が 3.0% 以下である事を特徴とする回転支持装置。

[請求項9] 加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する回転体と、

前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置であって、

前記磁歪効果部が、前記回転体のうち、前記磁歪効果部以外の部分の外周面に設けられた取付面に接触しており、前記取付面に存在する非金属介在物の長径 a と短径 b との積の平方根である $\sqrt{a \cdot b}$ の最大値が $80 \mu\text{m}$ 以下である事を特徴とする回転支持装置。

[請求項10] 加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する回転体と、

前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置であって、

前記磁歪効果部が、前記回転体のうち、前記磁歪効果部以外の部分の外周面に設けられた取付面に接触しており、前記取付面の最大高さ R_z が $12 \mu\text{m}$ 以下である事を特徴とする回転支持装置。

[請求項11] 転がり軸受と、

前記転がり軸受を構成する静止輪に対して同心に組み合わされると共に、円周方向に関して前記転がり軸受の負荷荷重が加わる位置に、前記負荷荷重に応じて透磁率が変化する部位であって、その円周方向両側に隣接する部分がそれぞれ除肉部になった部位である、柱部を有する環状の磁歪部材と、

前記磁歪部材に取り付けられた状態で前記柱部に隣接配置され、前記柱部の透磁率の変化を検出するセンサと、を備えた回転支持装置。

[請求項12]

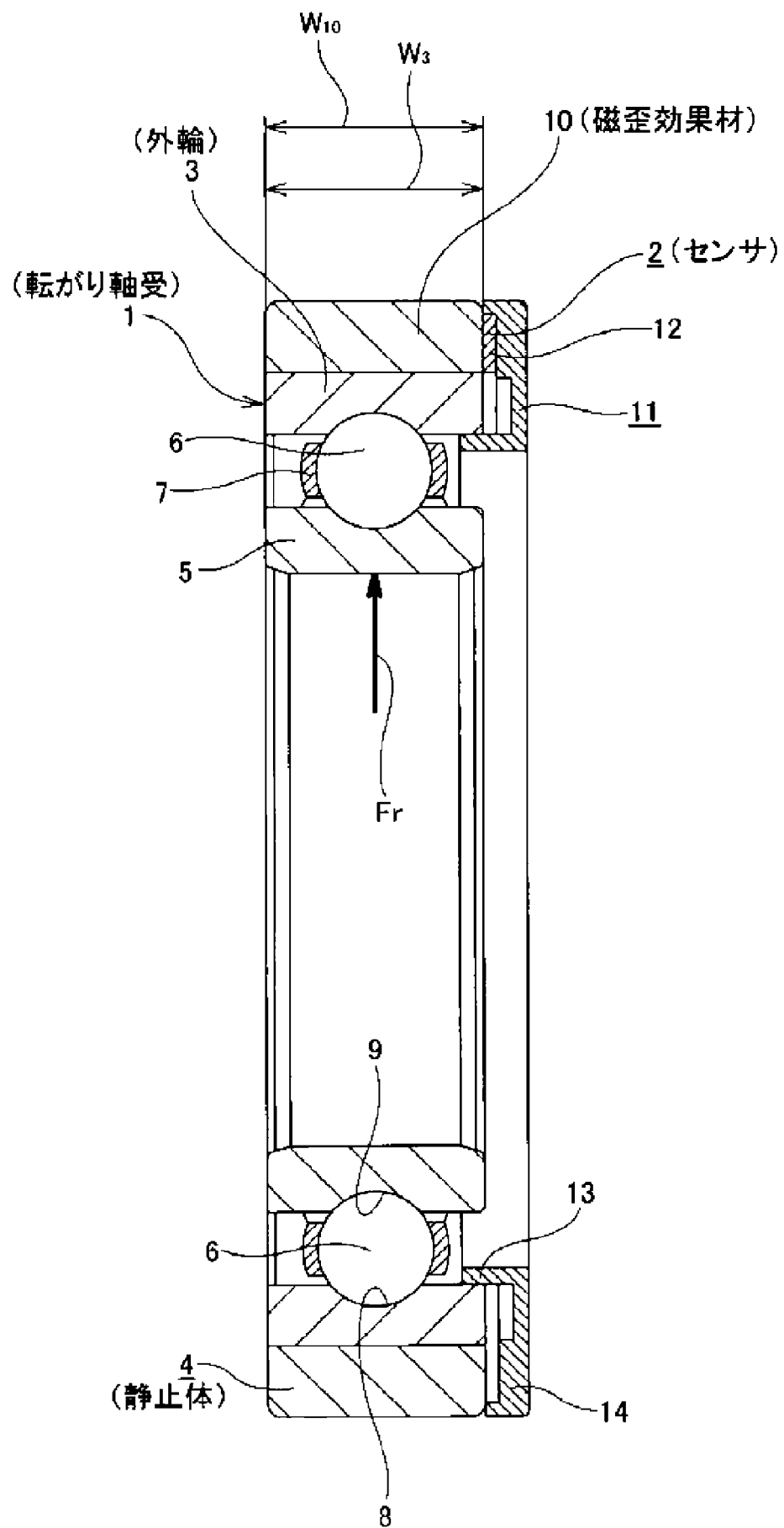
転がり軸受と、

前記転がり軸受を構成する静止輪に対して、前記転がり軸受の負荷荷重に応じた応力が加わる様に組み合わせられ、前記応力に応じて透磁率が変化する磁歪材と、

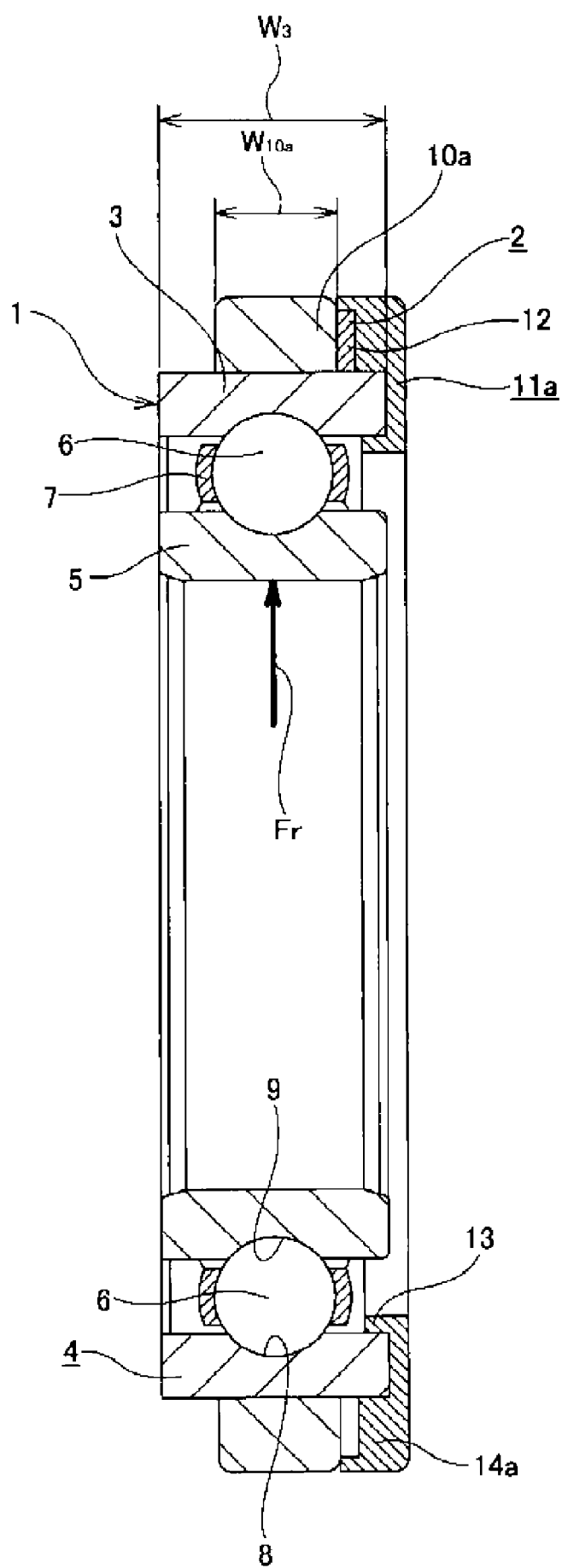
前記静止輪に対して組み合わせられた、前記磁歪材の透磁率の変化を検出する為のコイルと、

前記静止輪に対して、前記磁歪材及び前記コイルを覆う様に組み合わせられた状態で、少なくとも前記磁歪材と共に、前記コイルに電流を流す事により発生した磁束が流れる閉磁路を構成する磁路部材と、
を備えた回転支持装置。

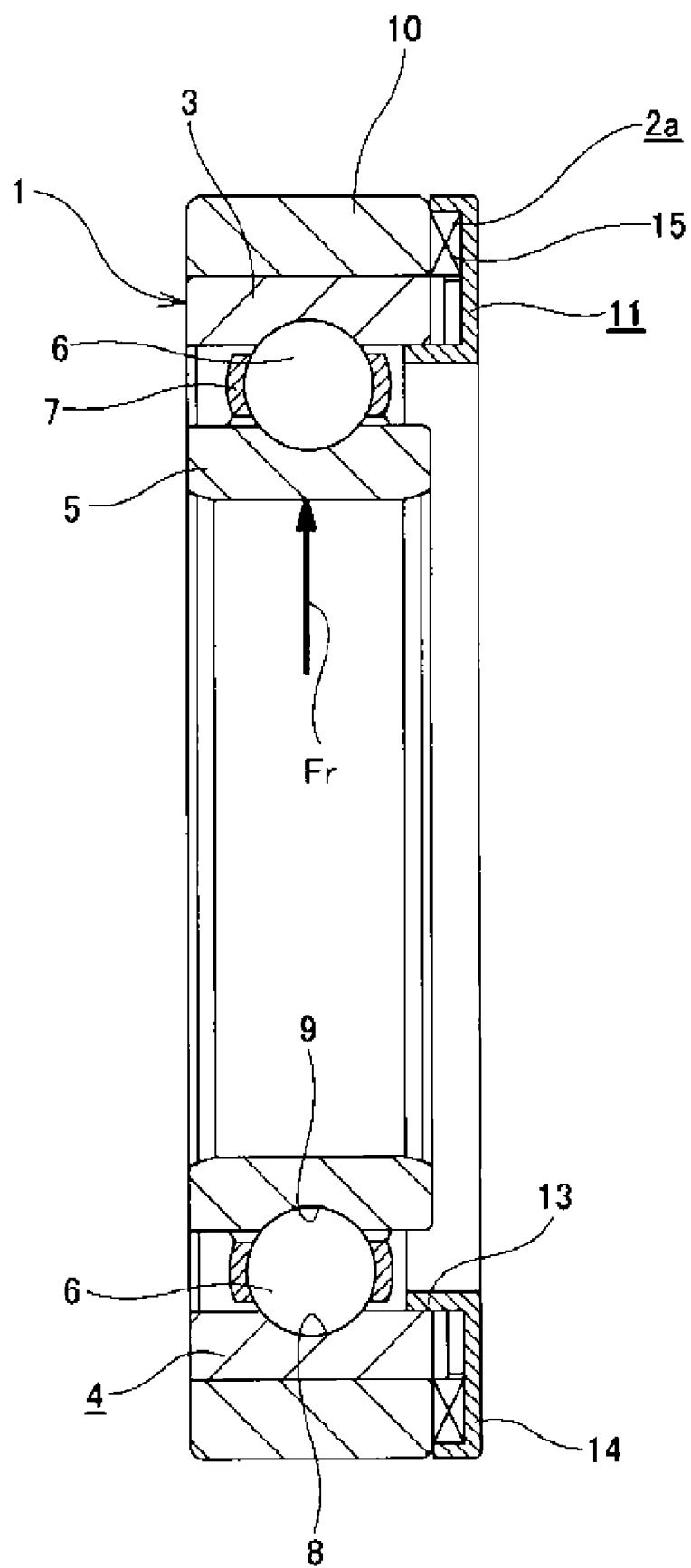
[図1]



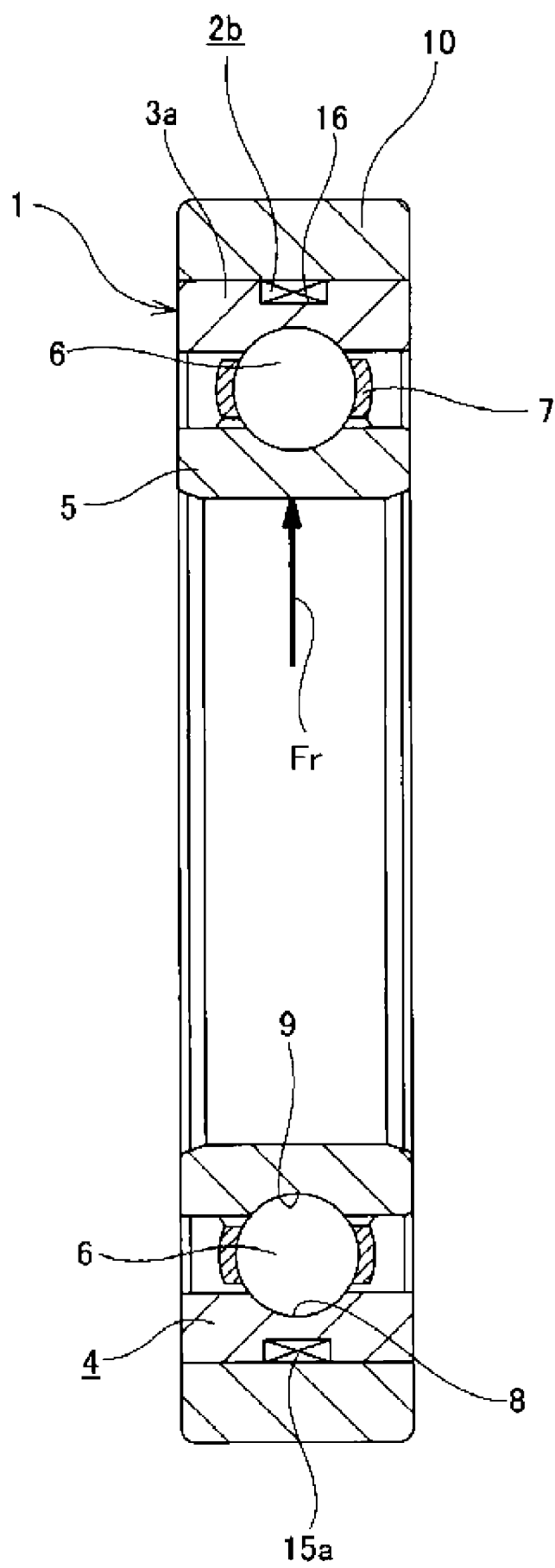
[図2]



[図3]

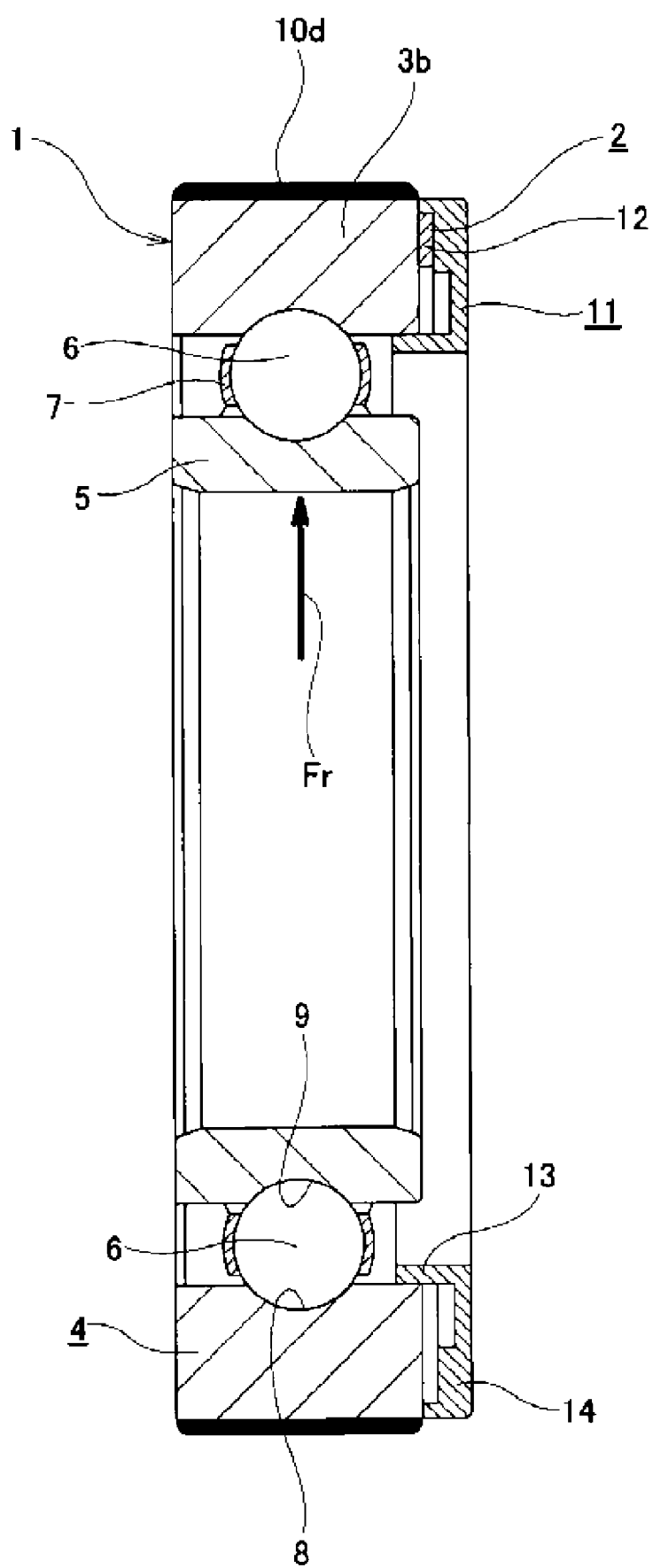


[図4]

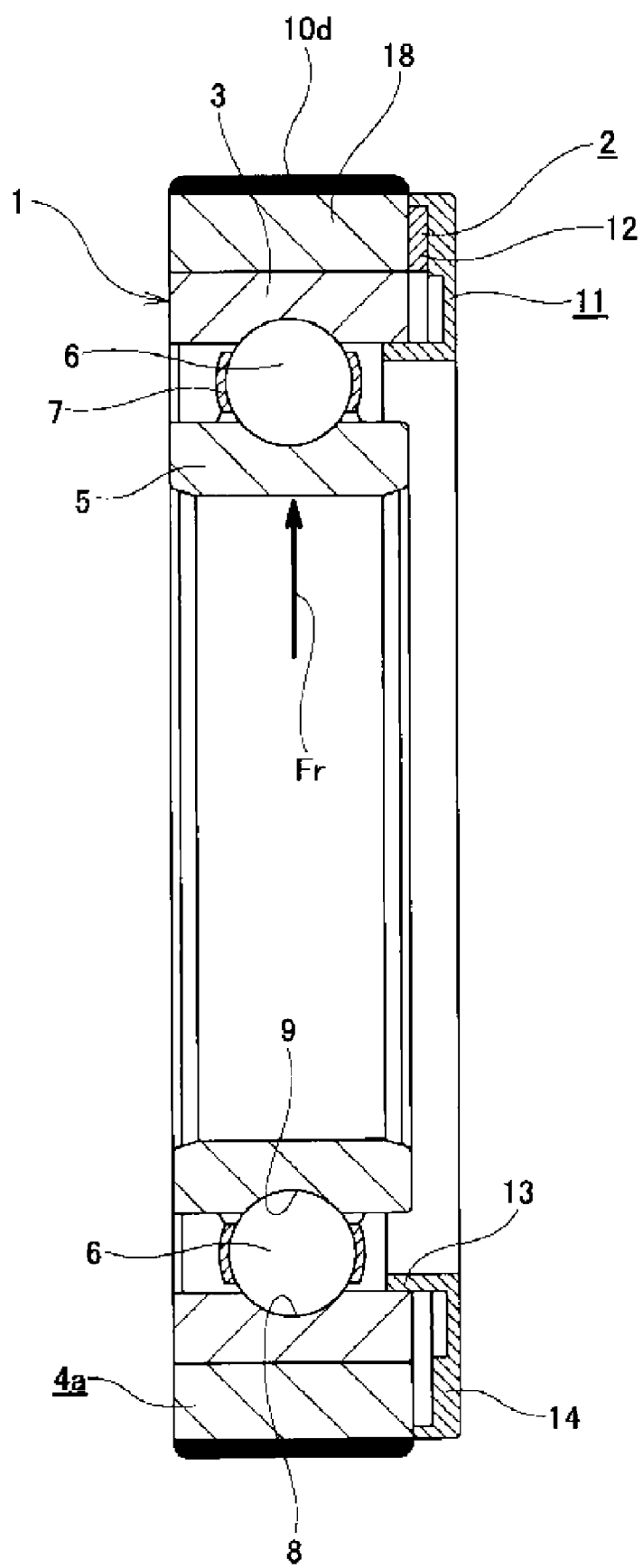


A cross-sectional view of a vertical assembly. At the top, a component labeled 1 is shown. Below it, a circular component 6 is mounted on a shaft. The shaft is labeled 17. A component 2b is shown at the top of the shaft. A component 10b is shown below 2b. A component 16 is shown below 10b. A component 3a is shown to the right of the shaft. A component 7 is shown to the right of the shaft. A component 5 is shown below the shaft. A downward arrow labeled Fr is shown below the shaft. A component 9 is shown below the shaft. A component 6 is shown below the shaft. A component 4 is shown below the shaft. A component 8 is shown below the shaft. A component 15a is shown at the bottom of the shaft.

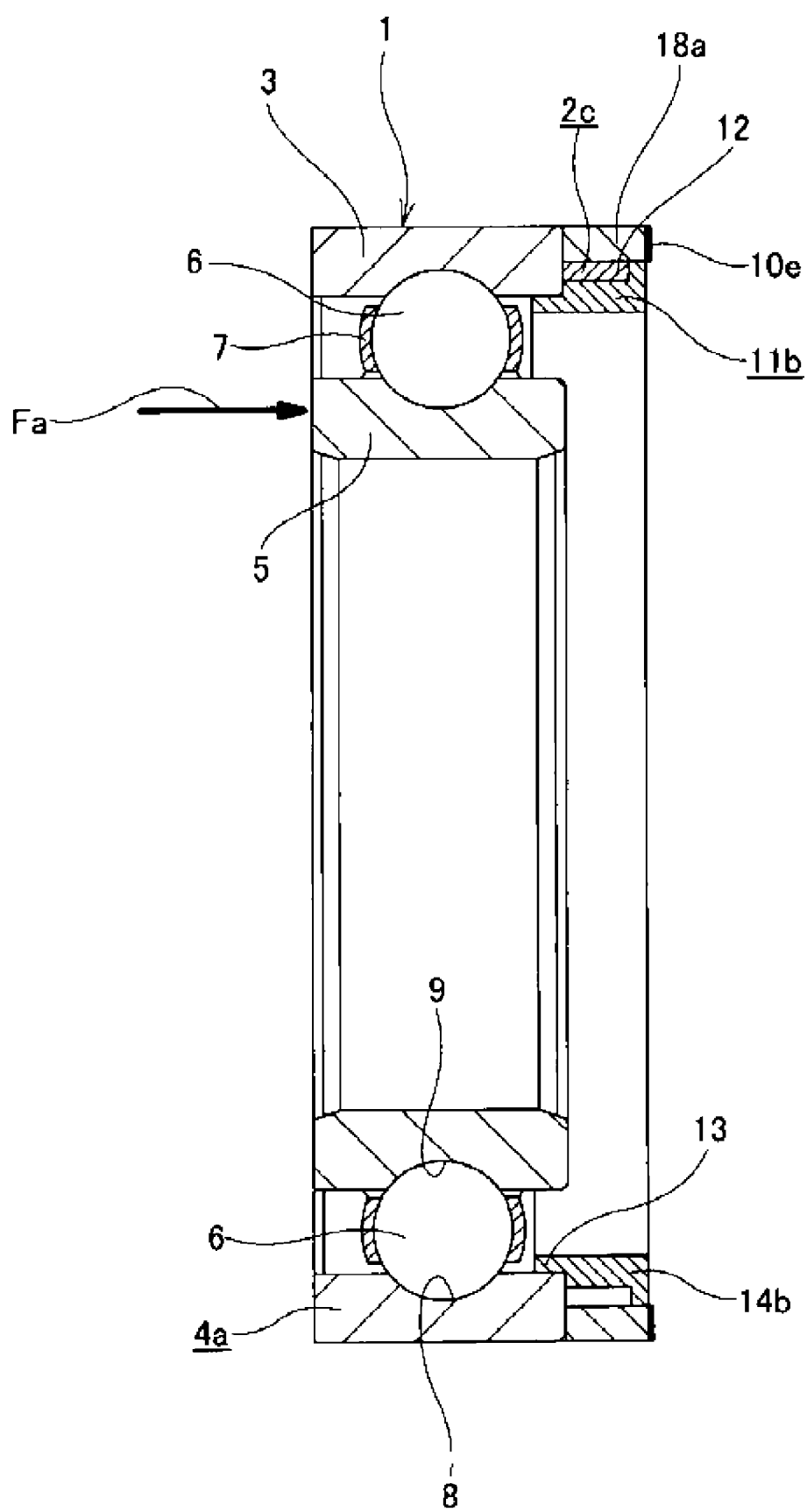
[図8]



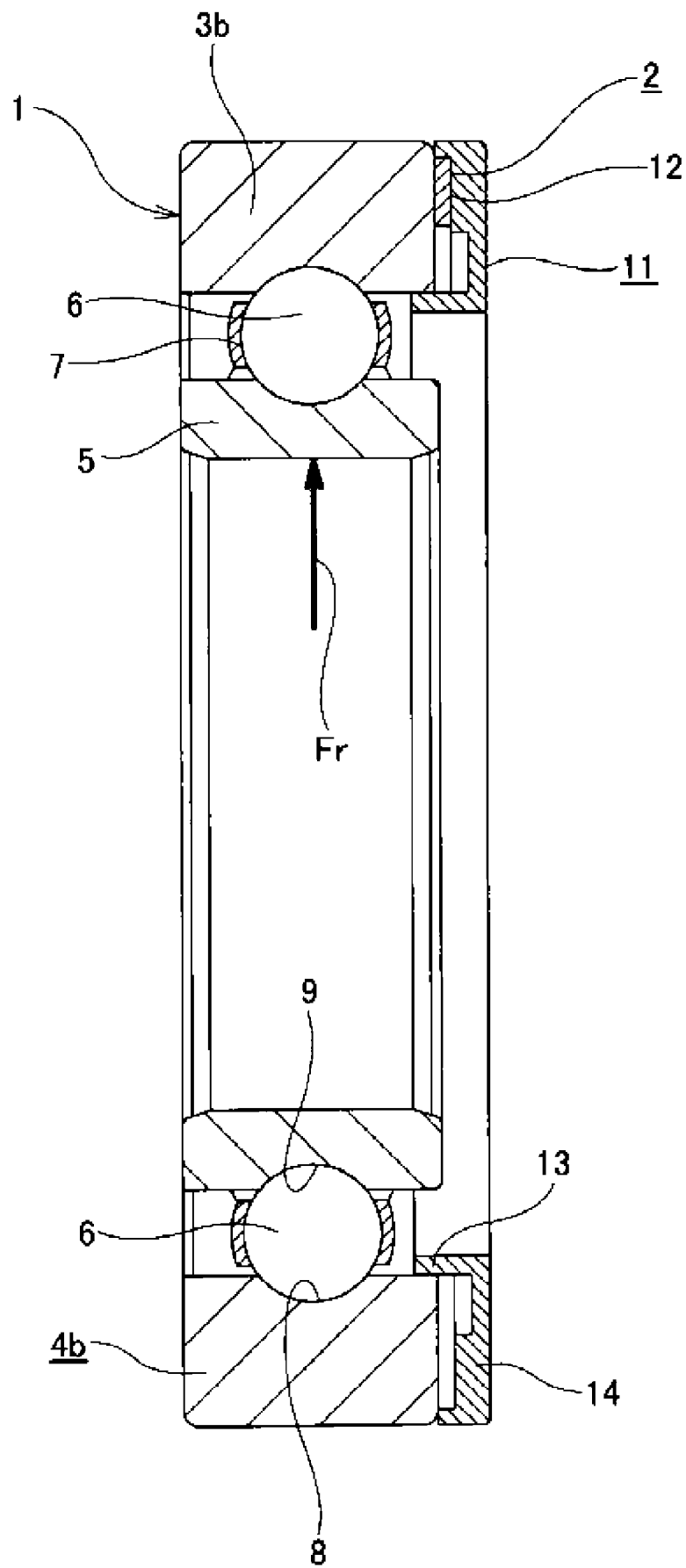
[図9]



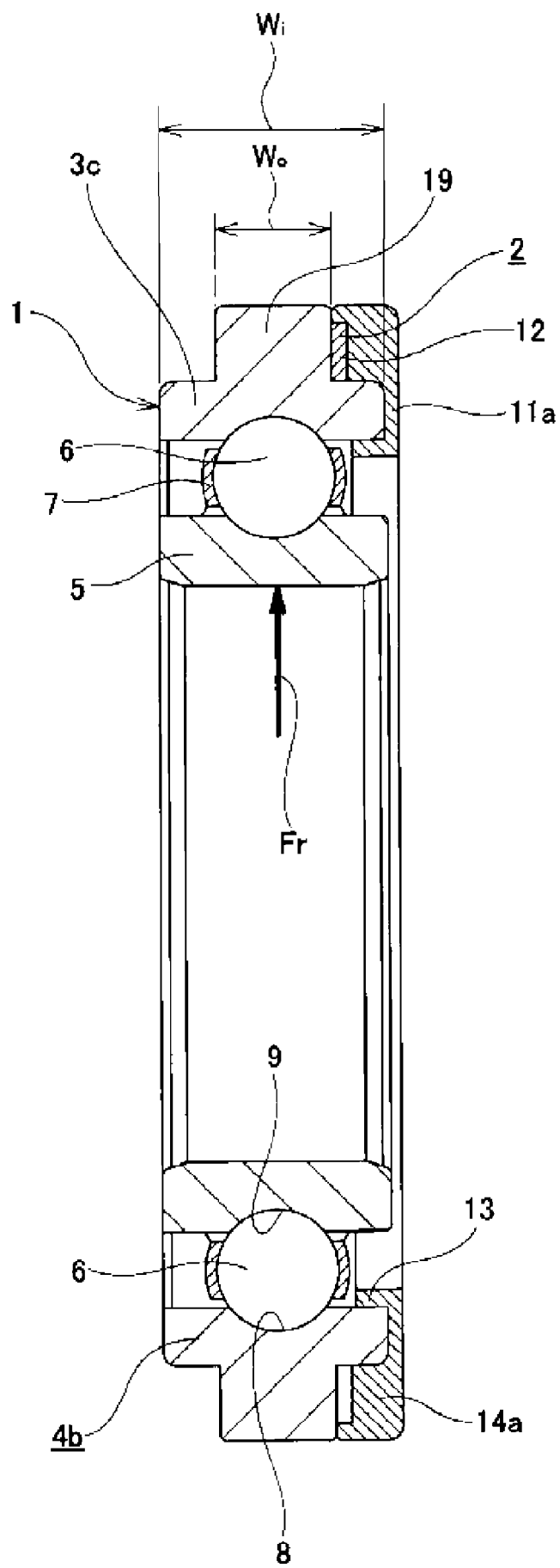
[図10]



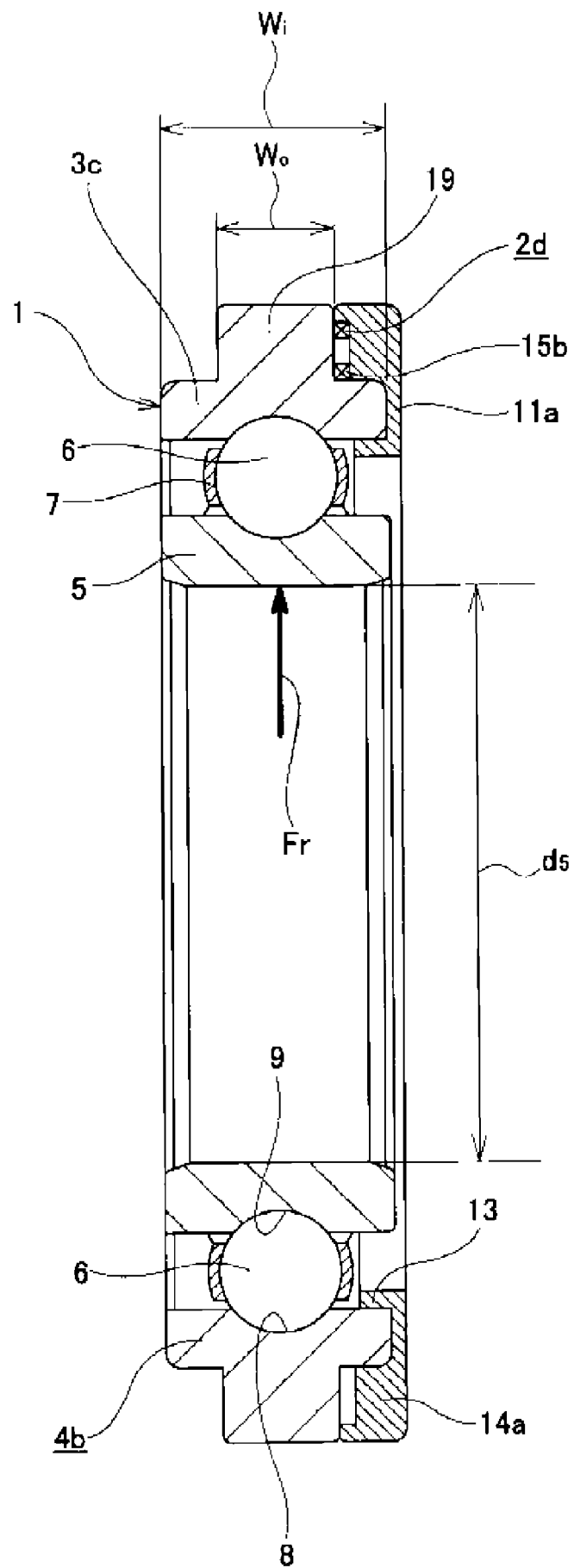
[図11]



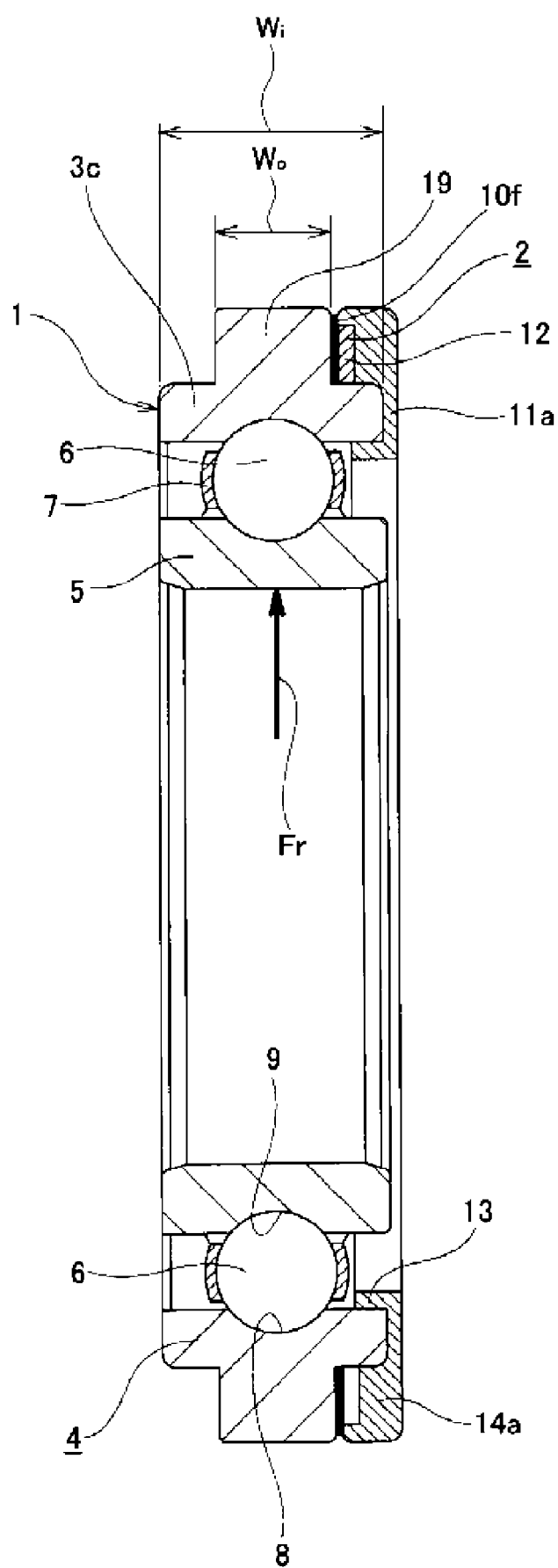
[図12]



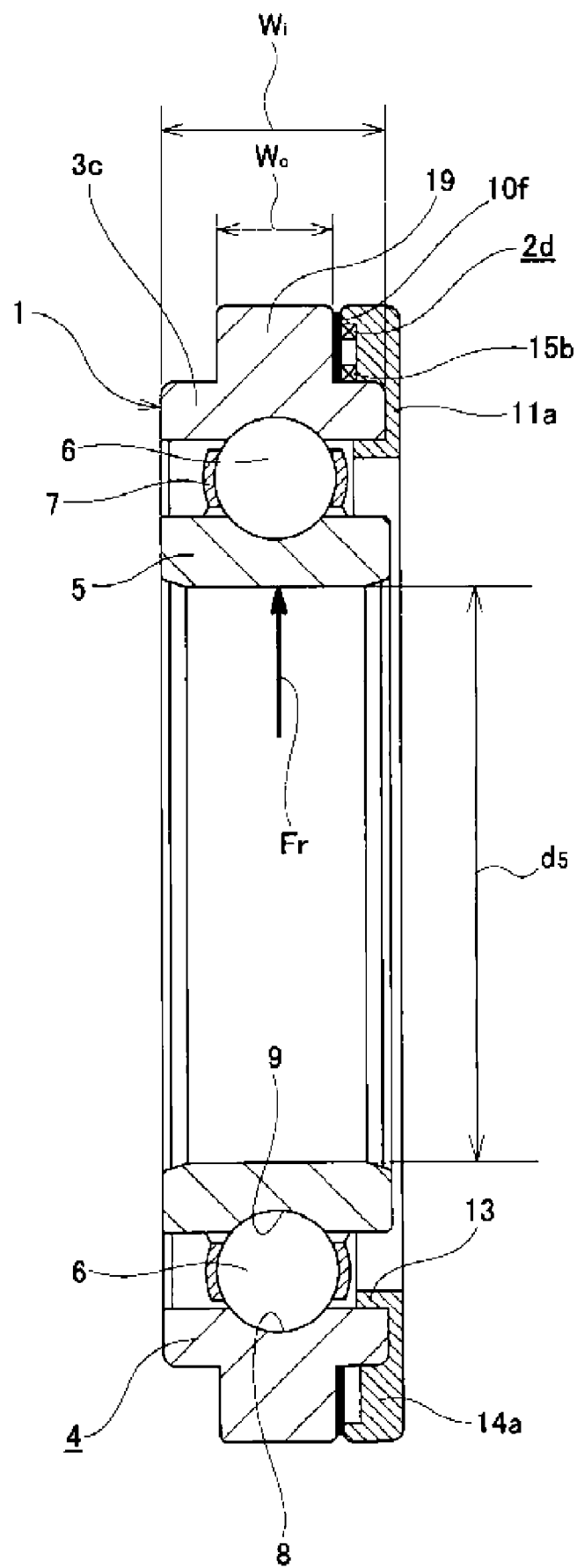
[図13]



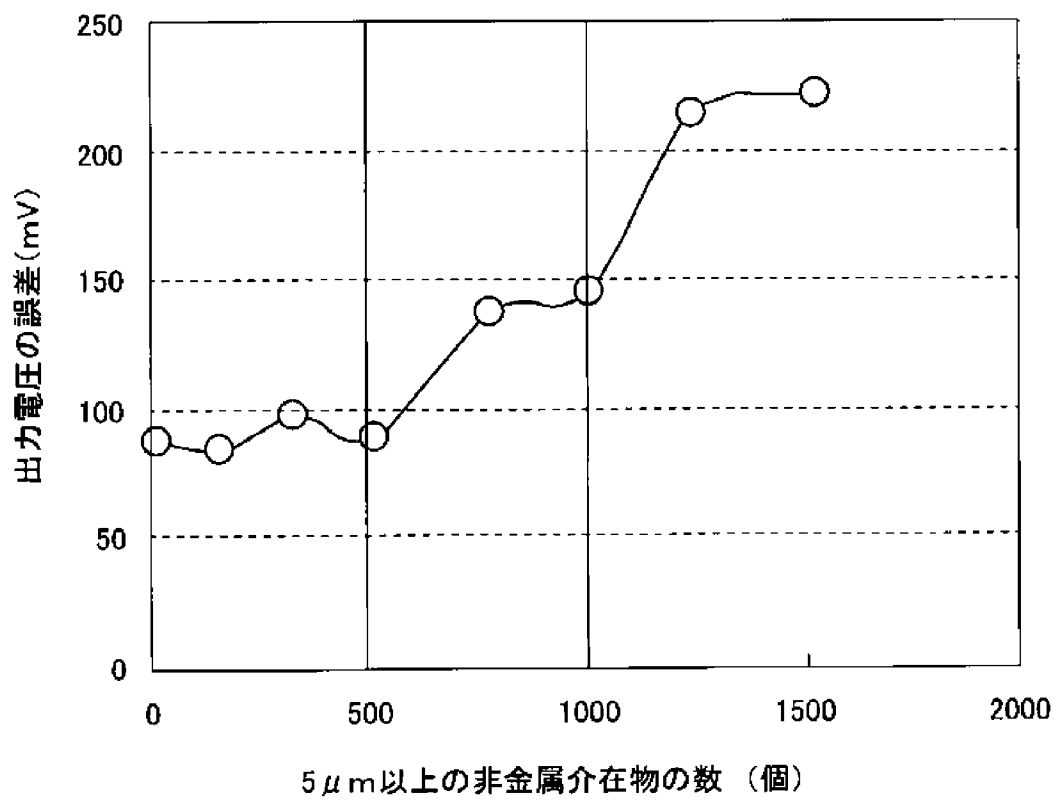
[図14]



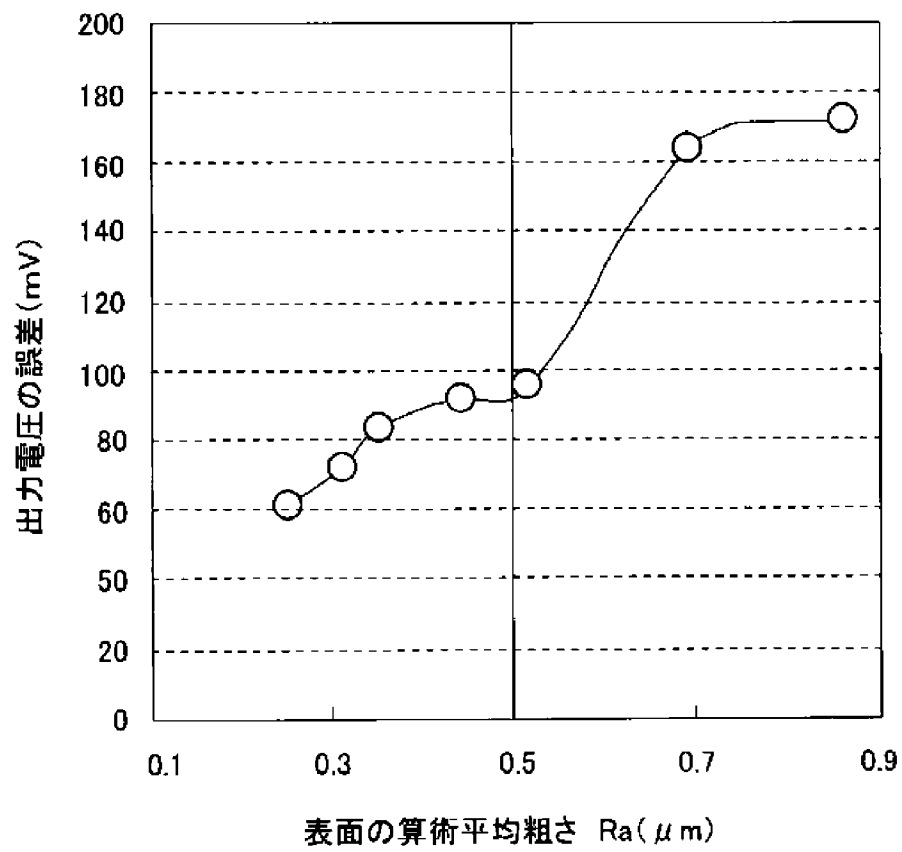
[図15]



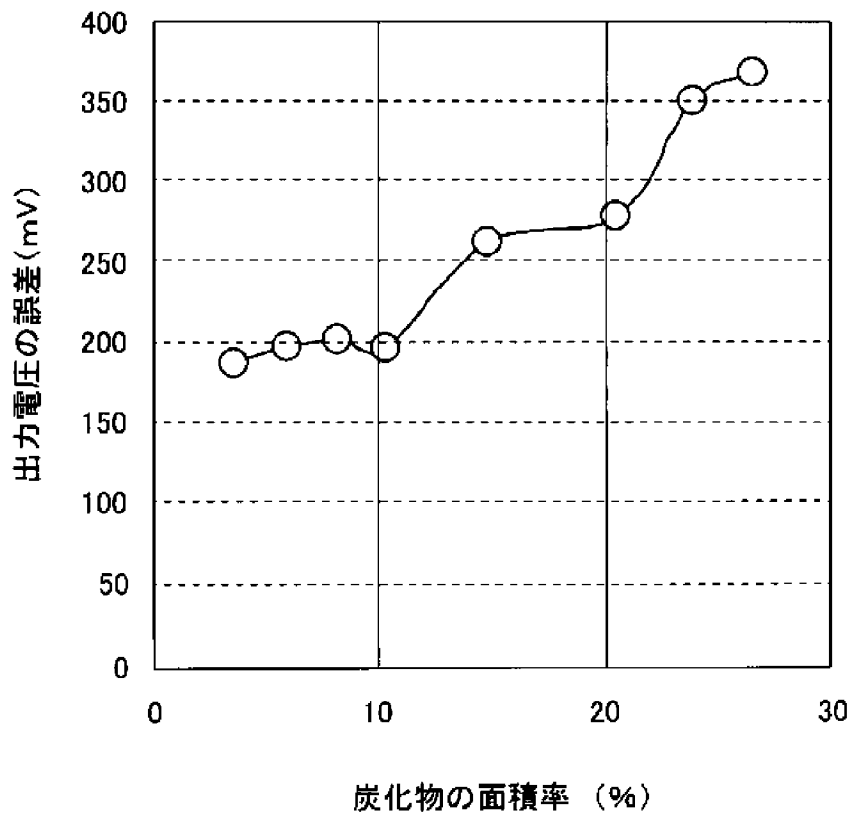
[図16]



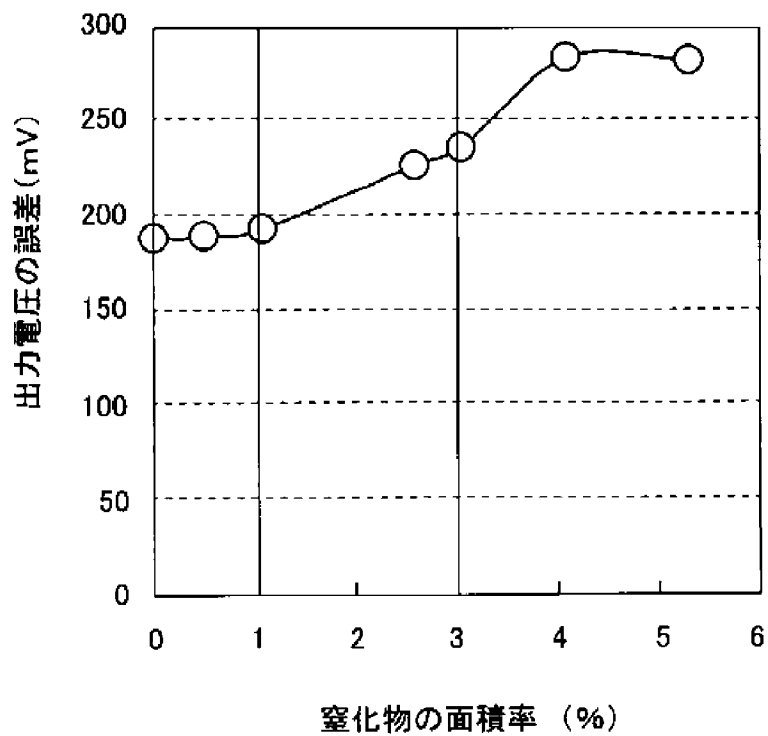
[図17]



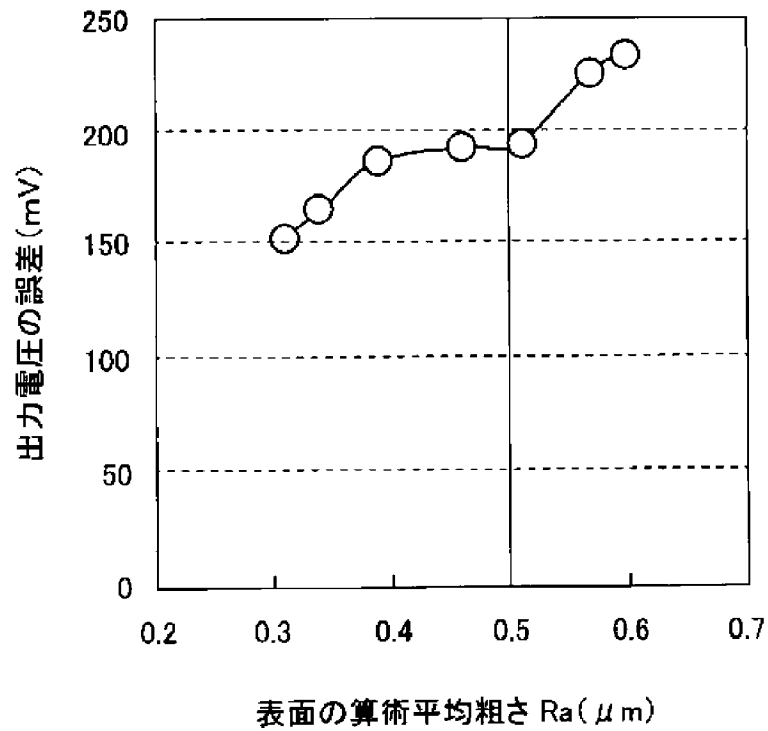
[図18]



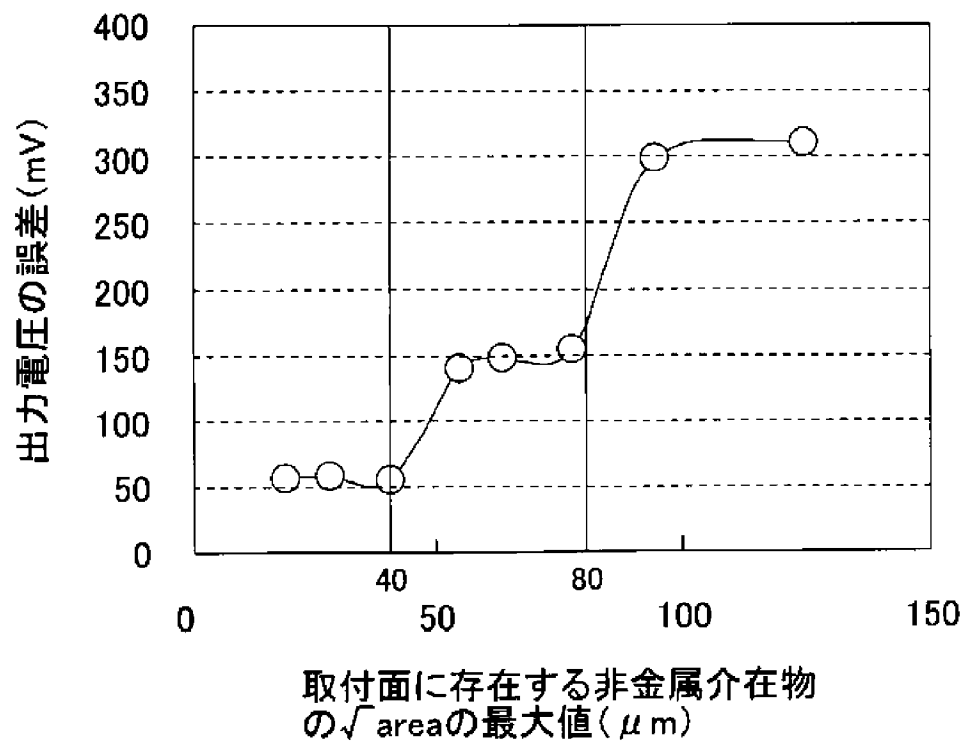
[図19]



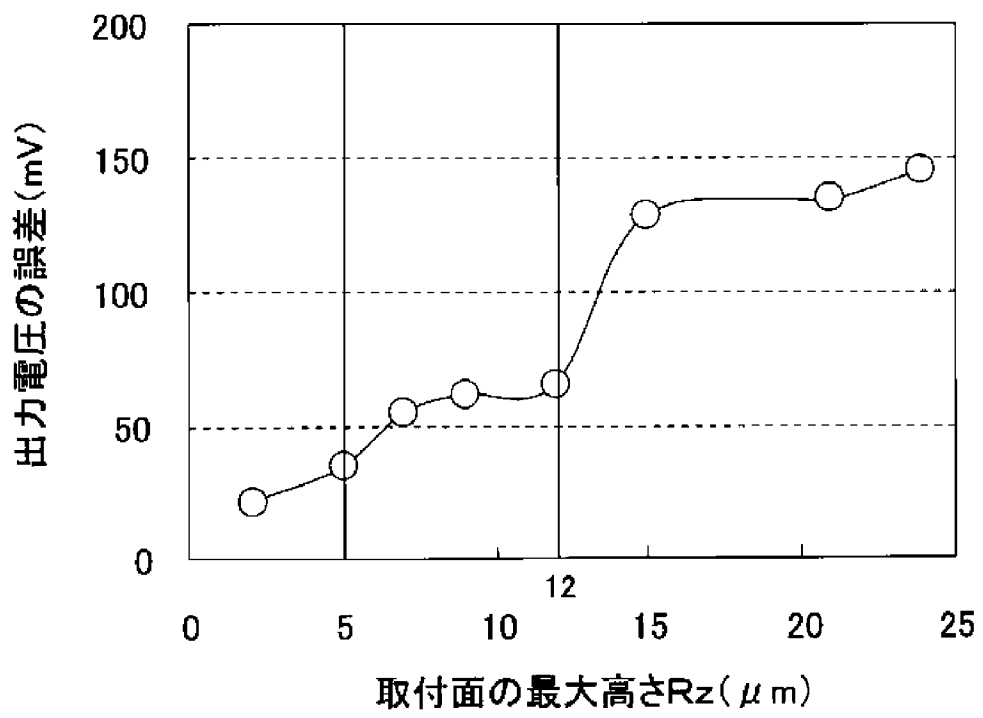
[図20]



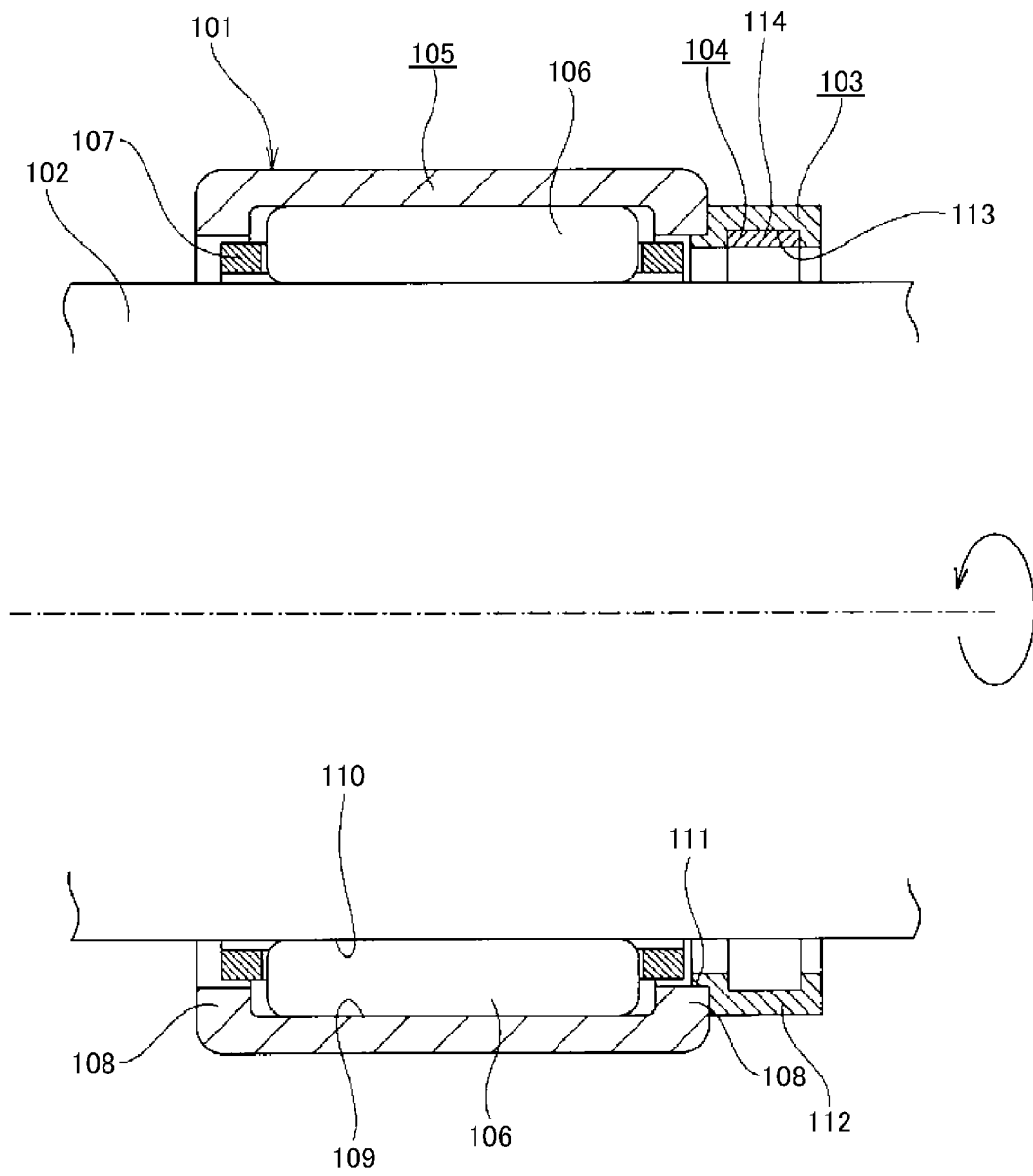
[図21]



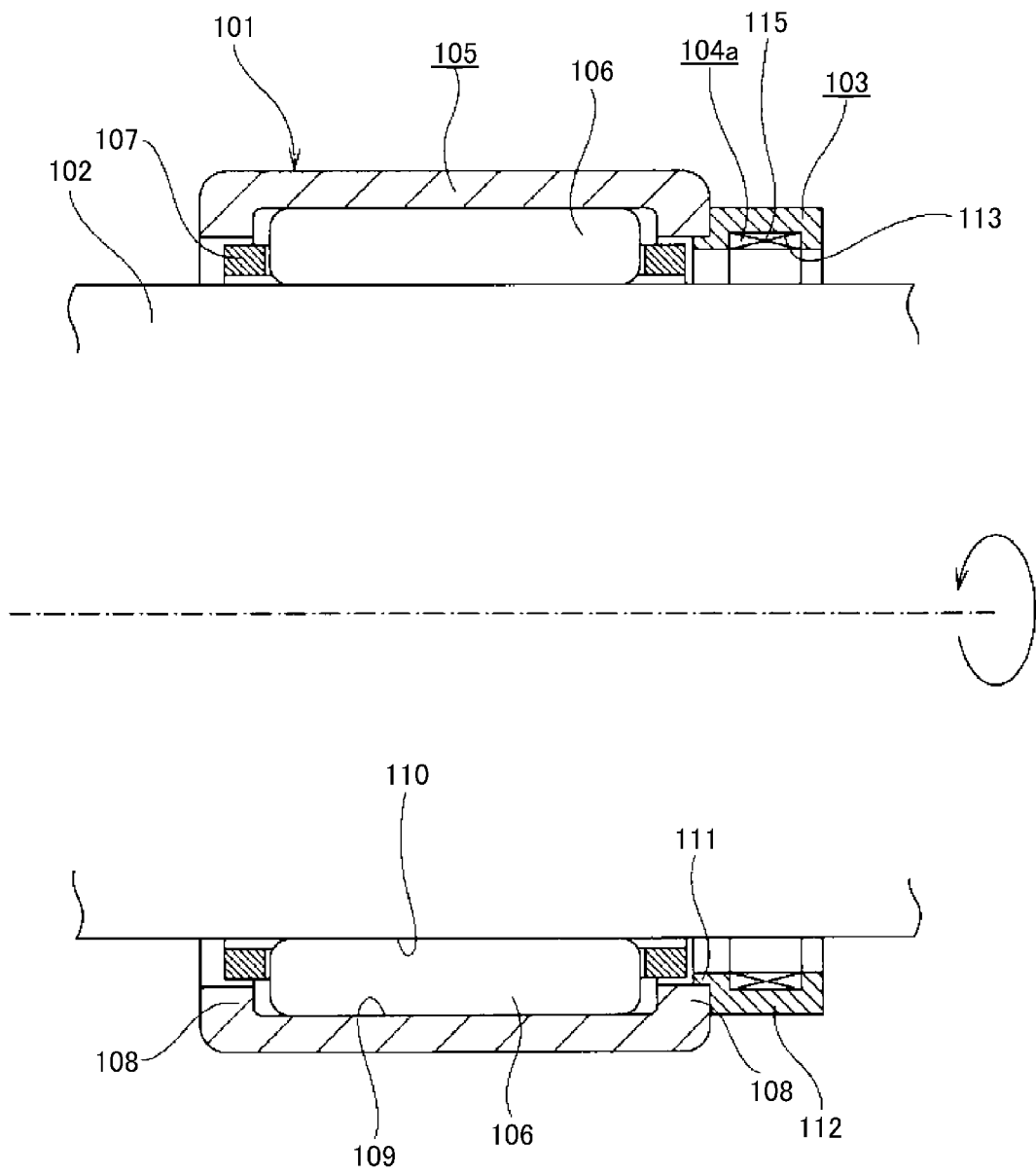
[図22]



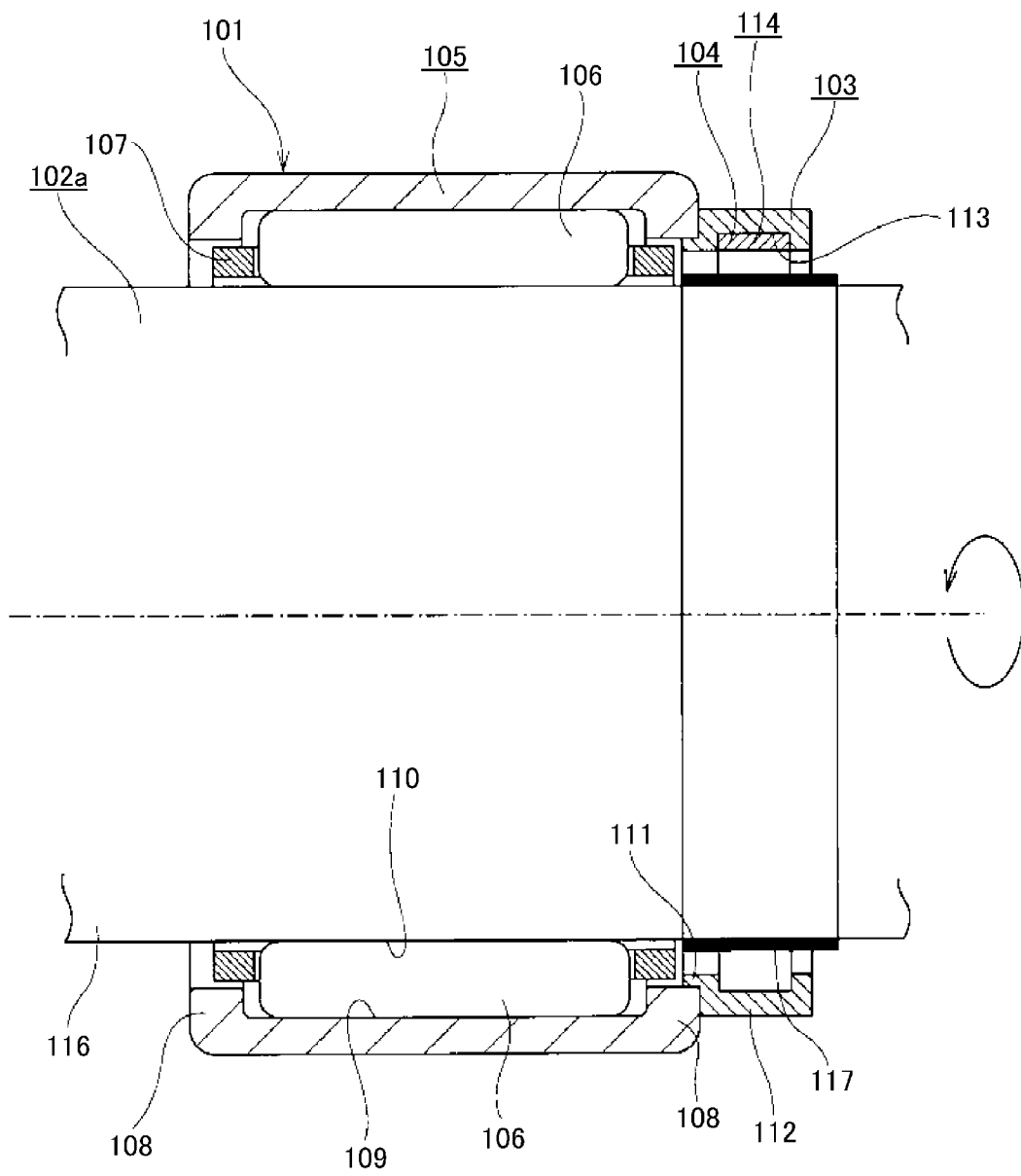
[図23]



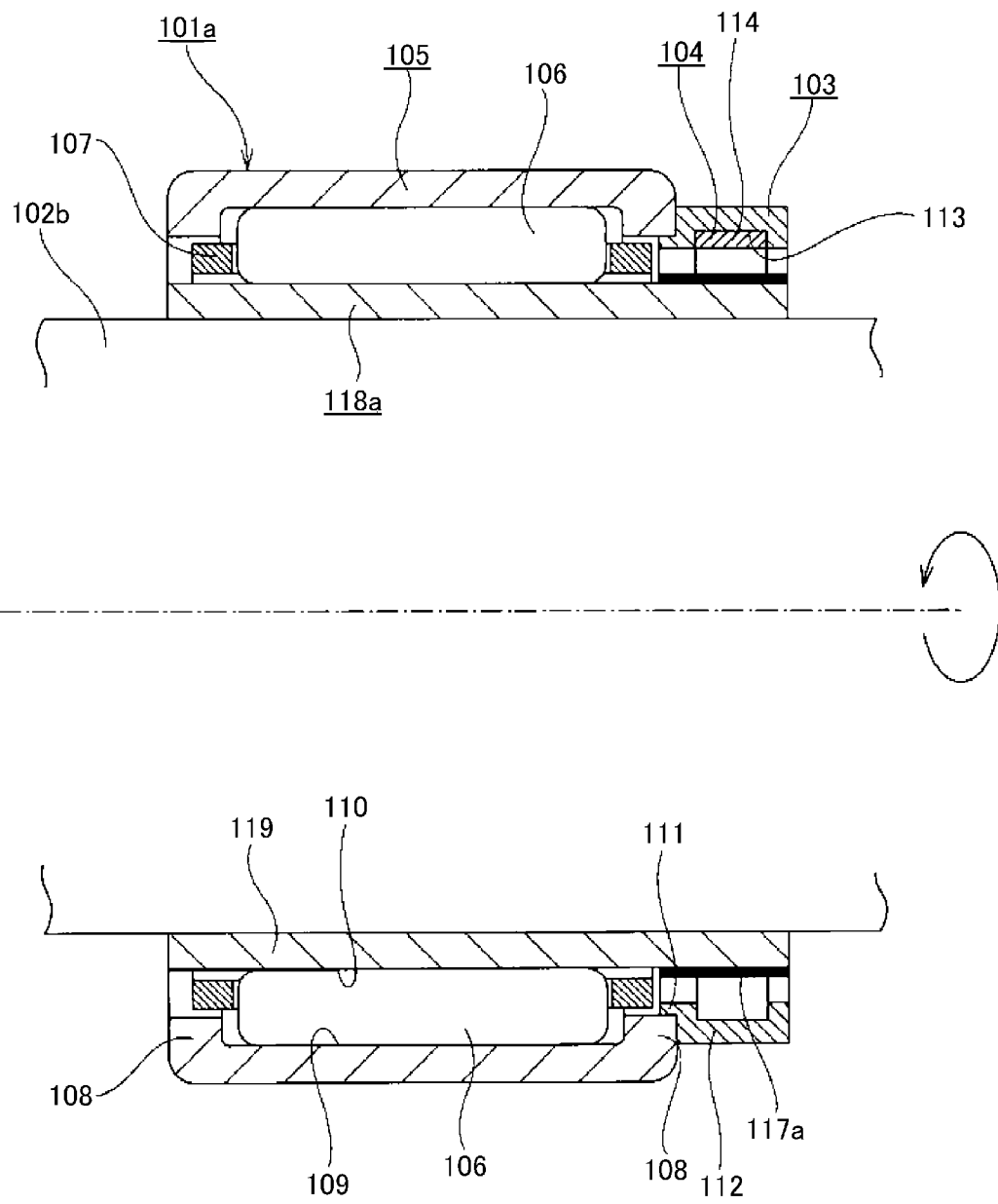
[図24]



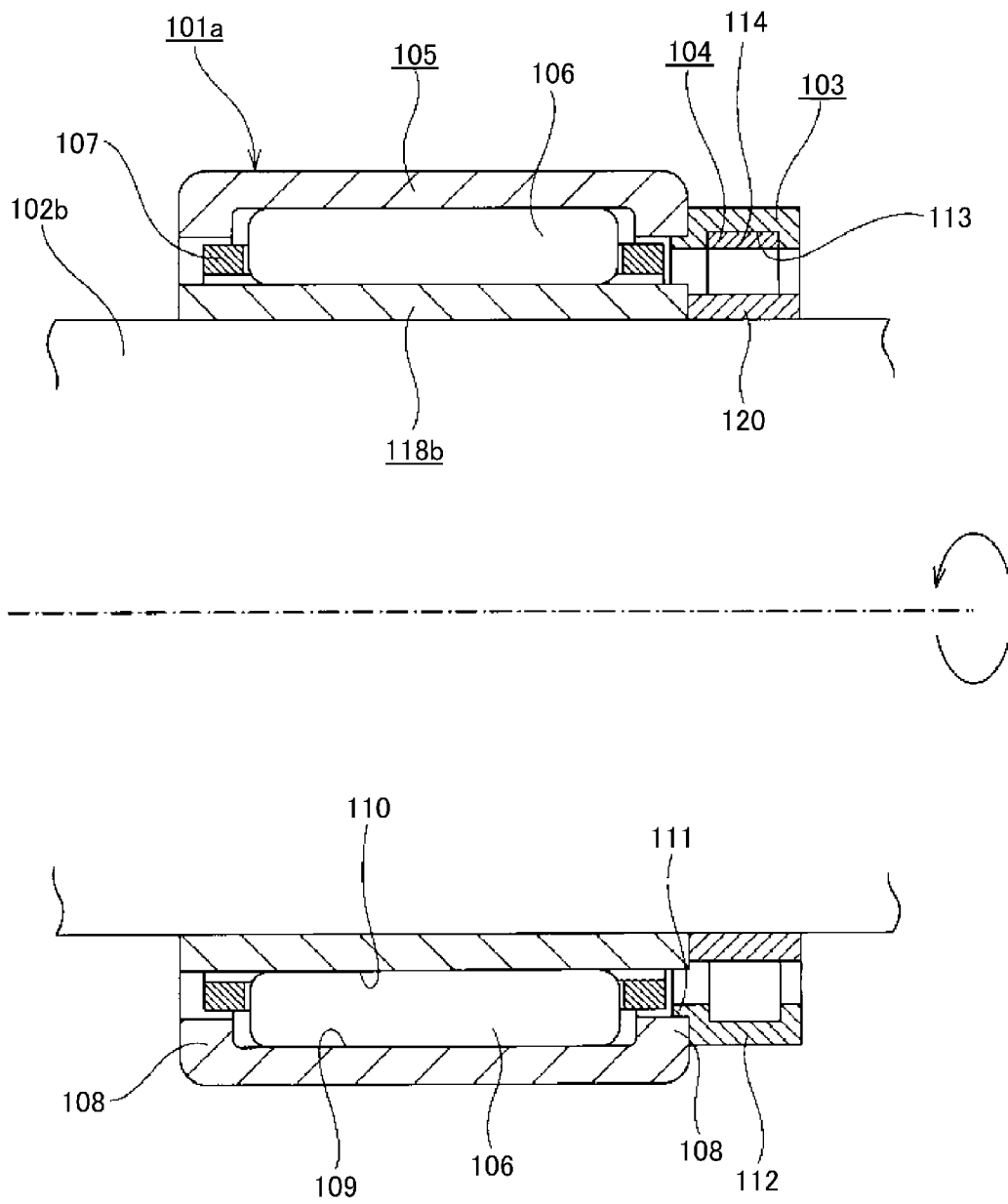
[図25]



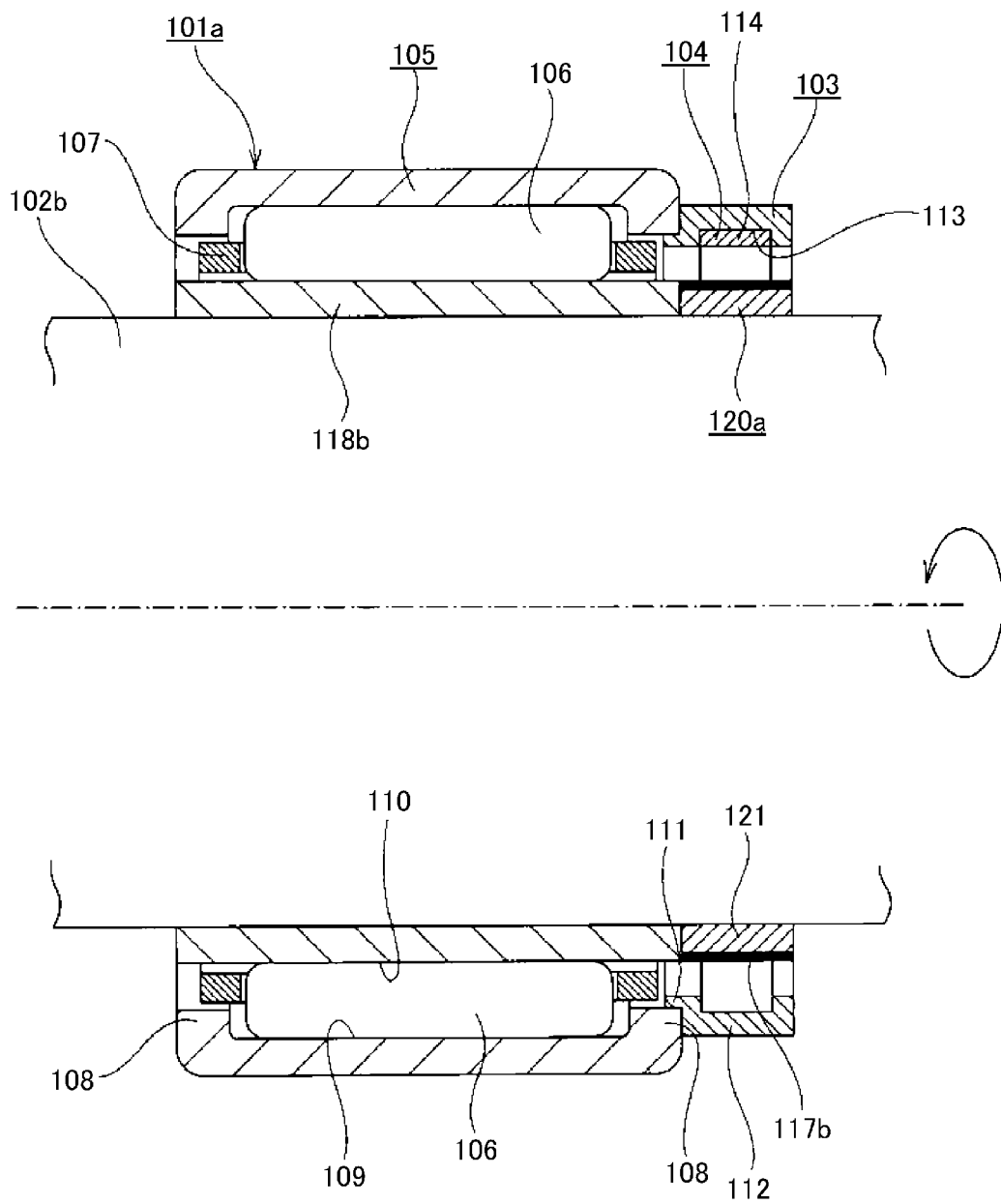
[図27]



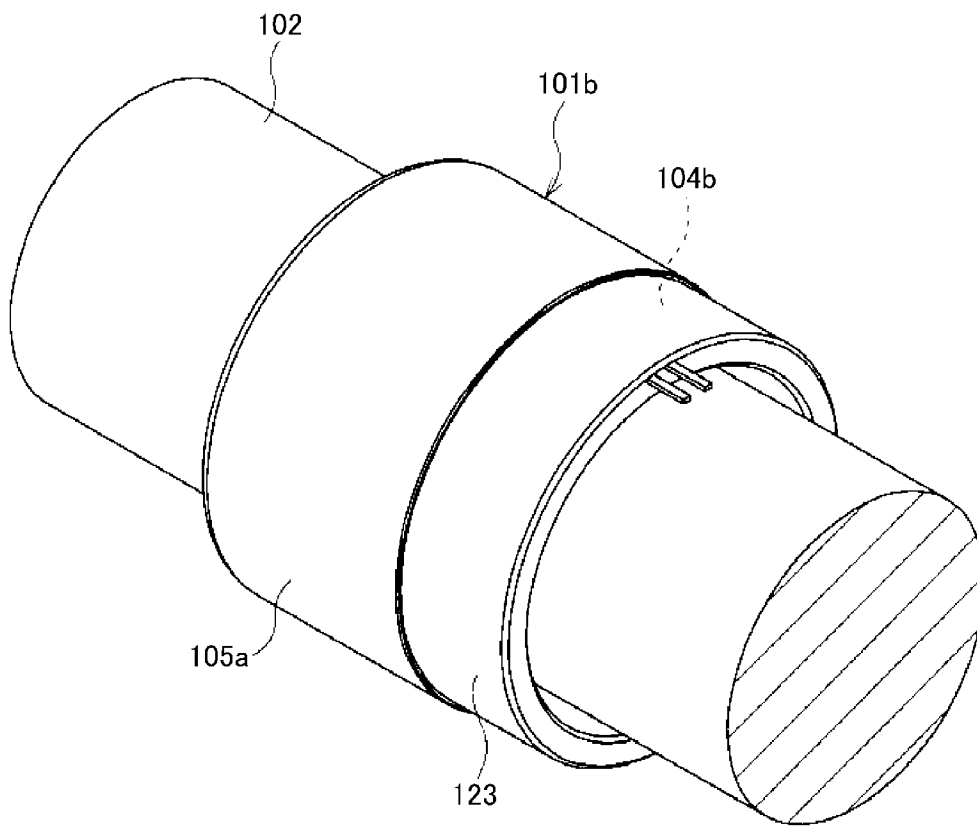
[図28]



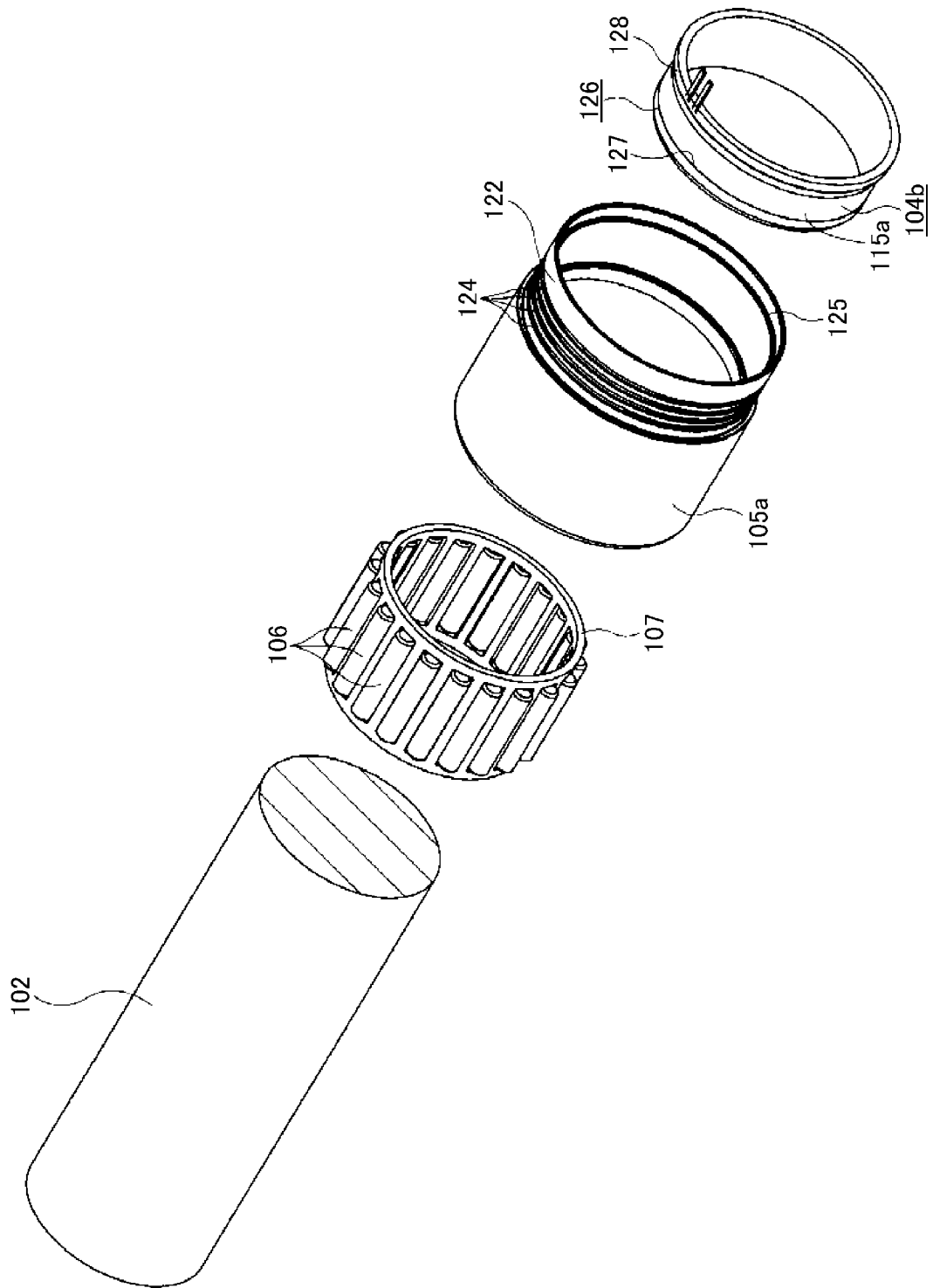
[図29]



[図31]

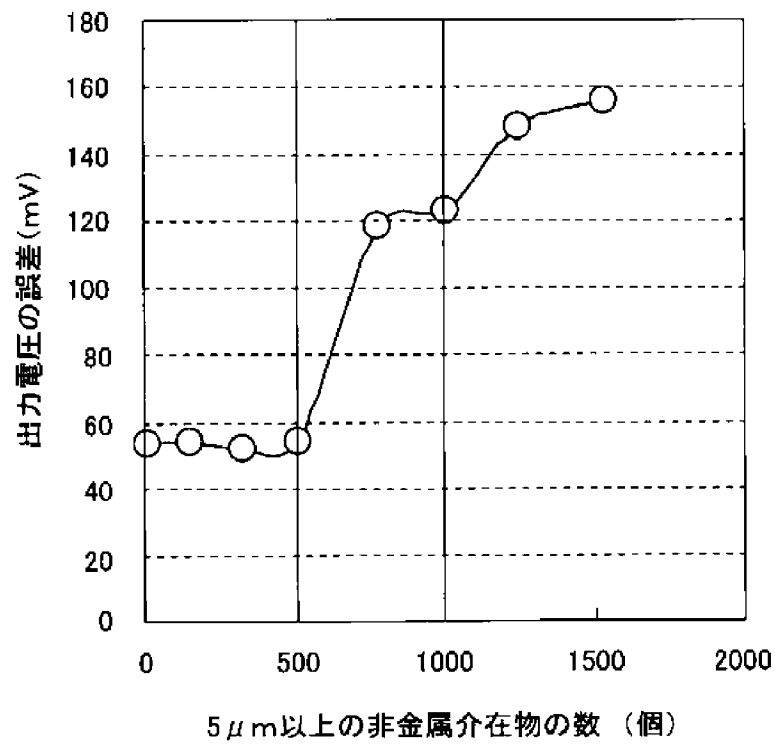


[図32]

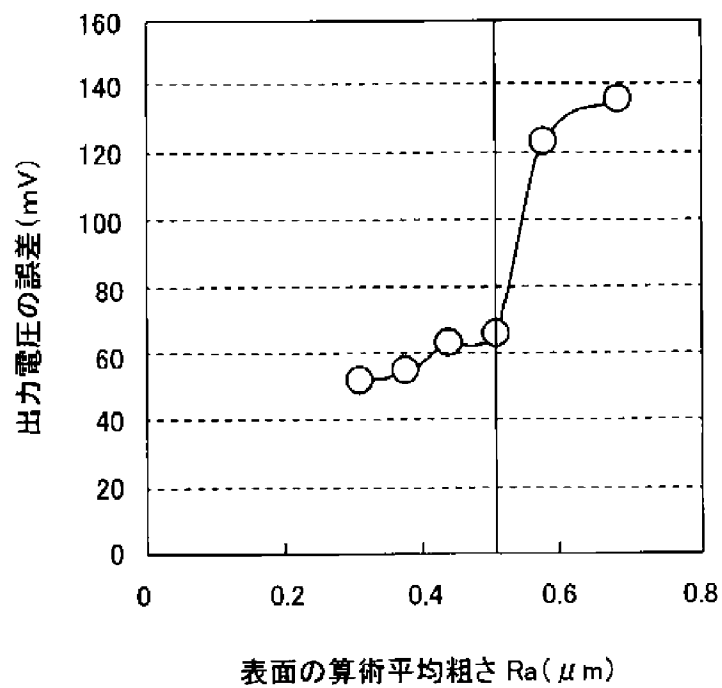


[illegible]

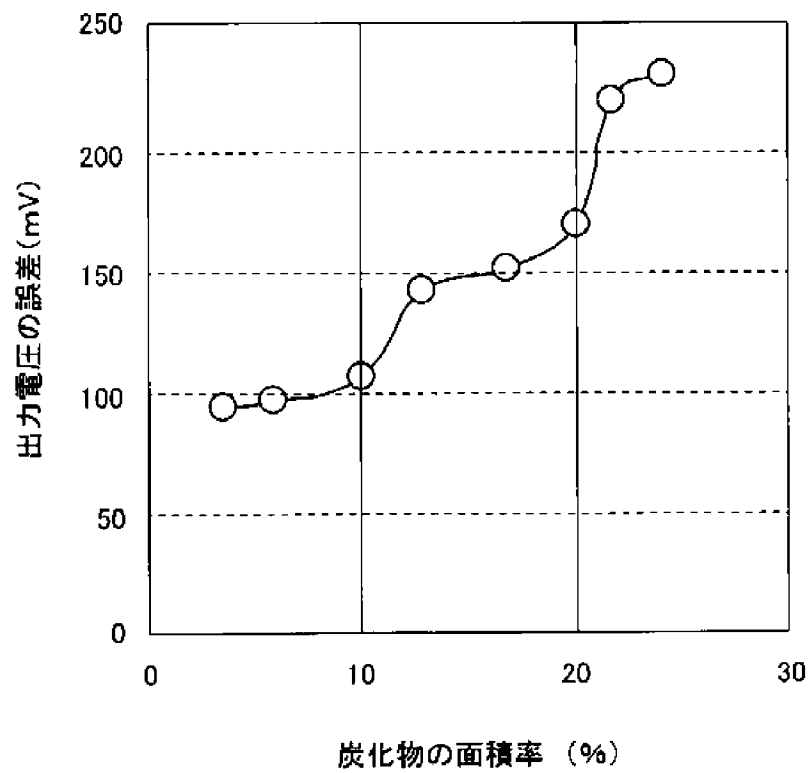
[図35]



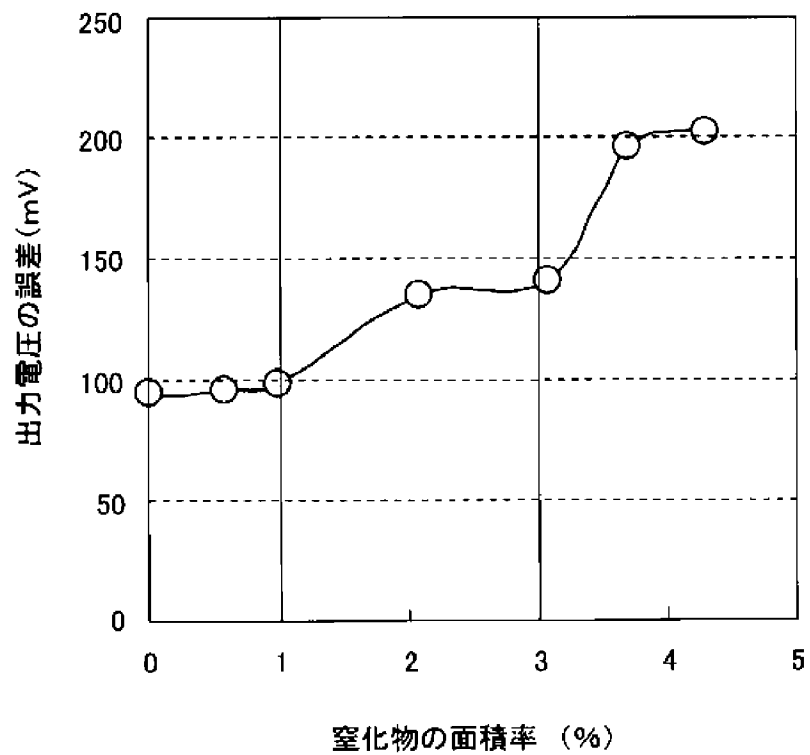
[図36]



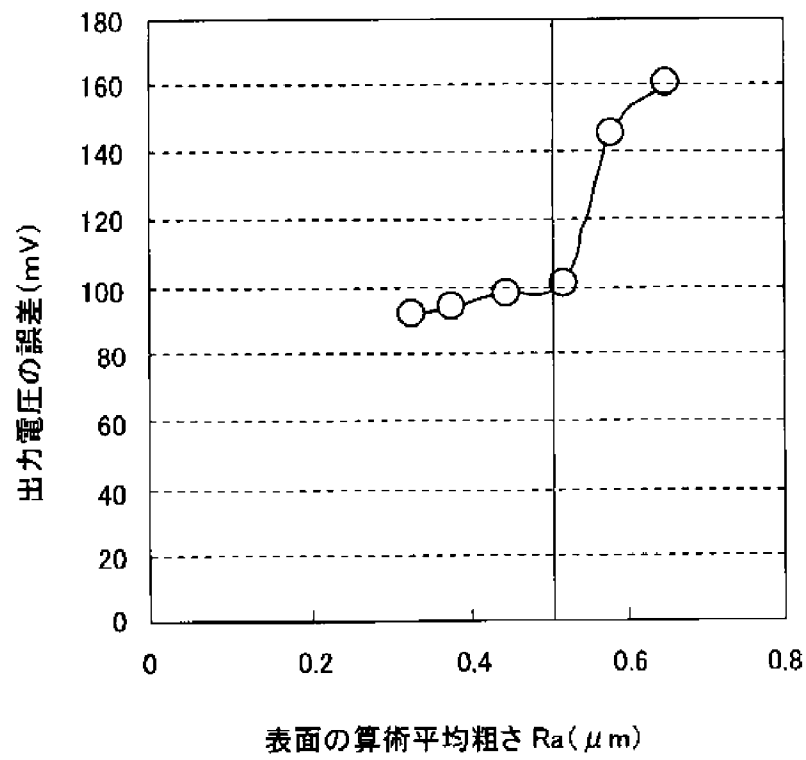
[図37]



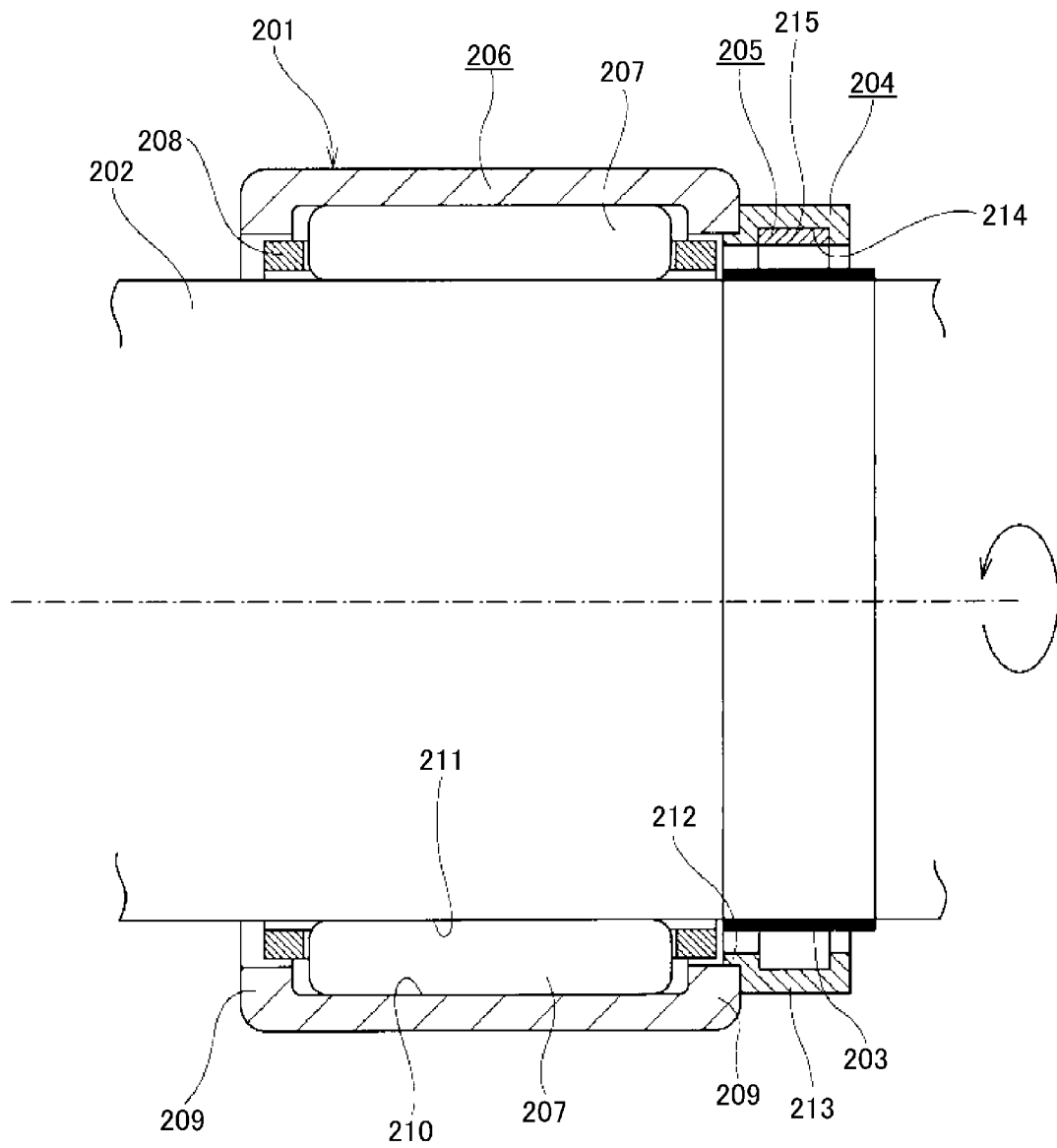
[図38]



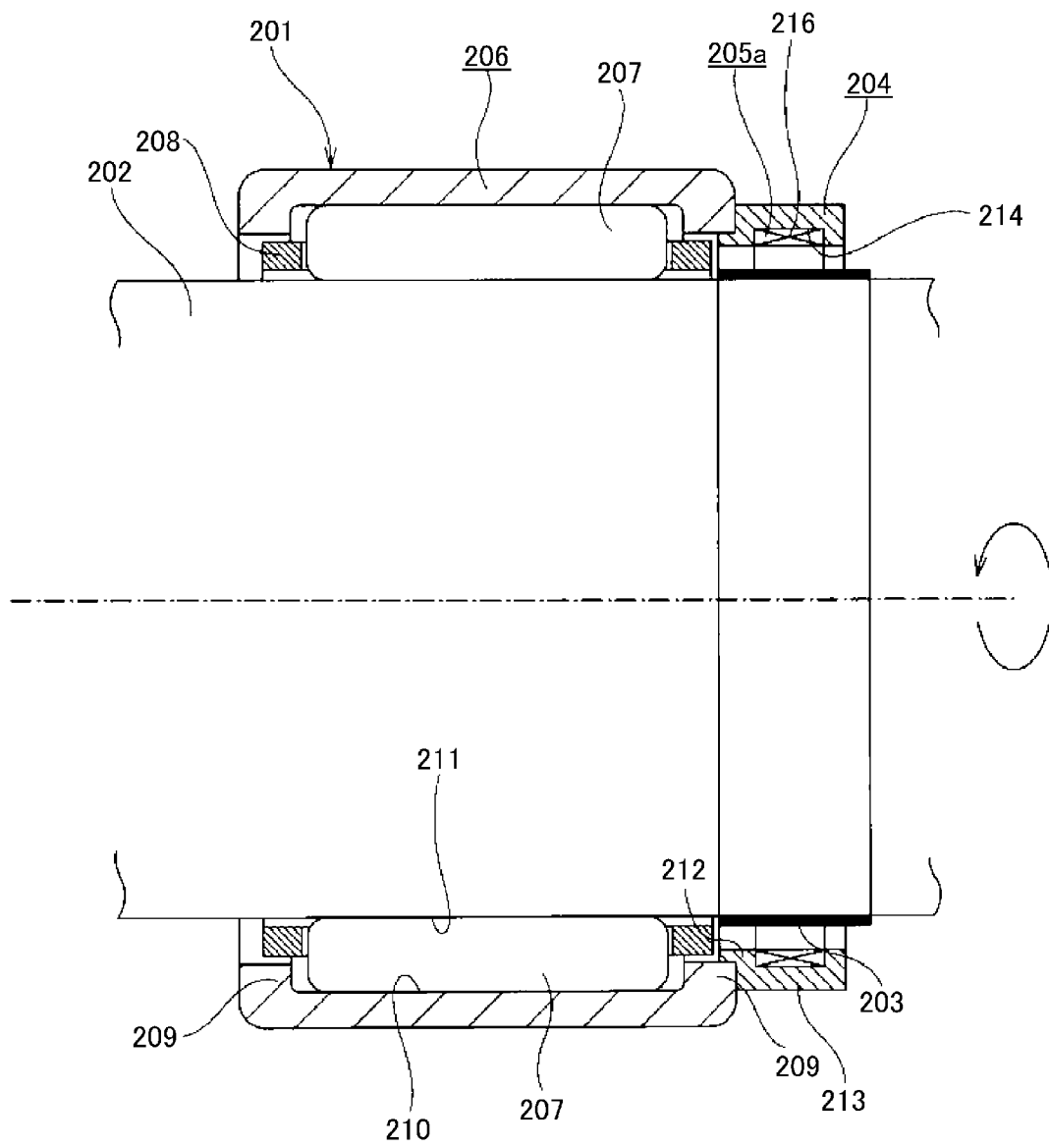
[図39]



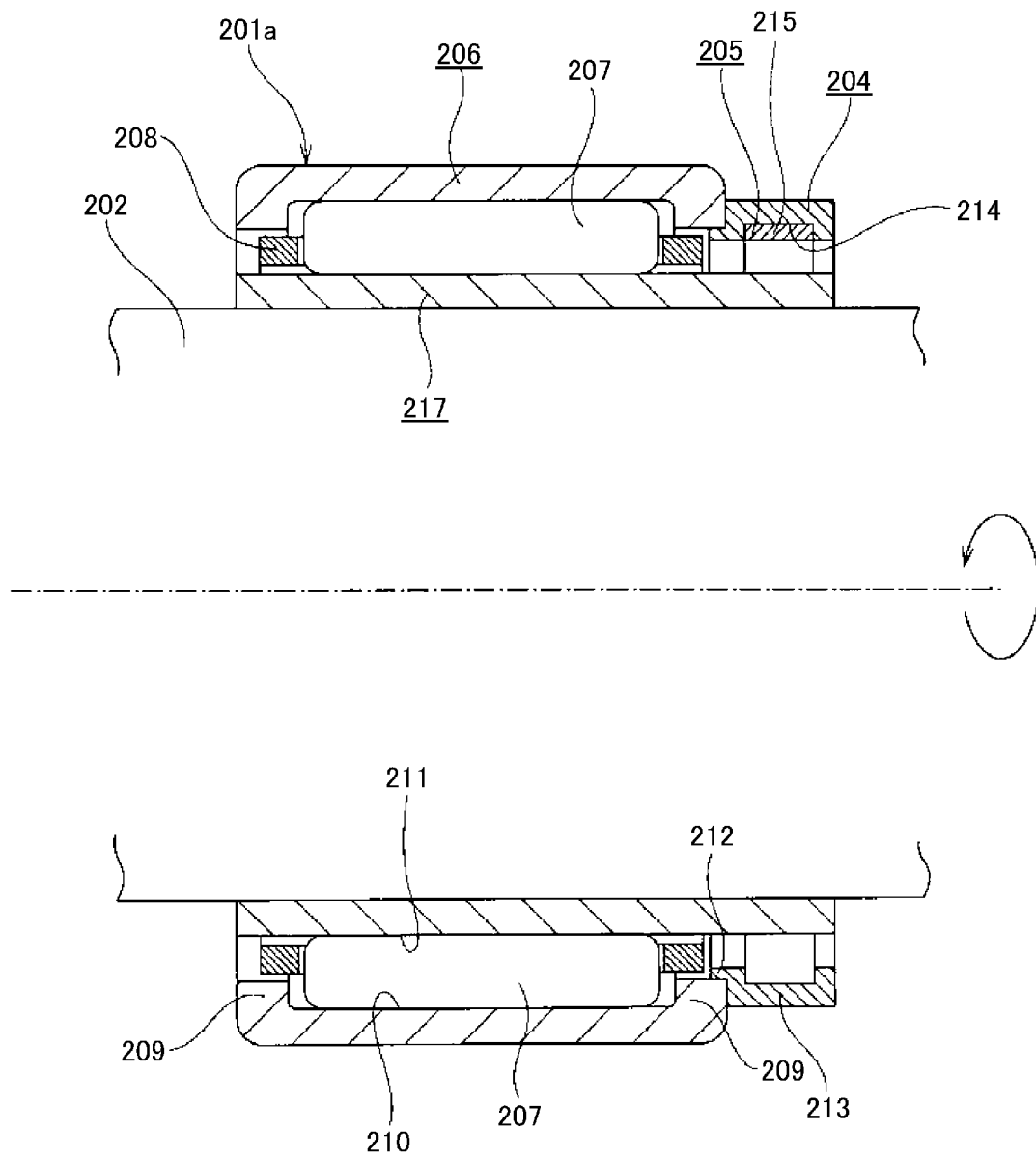
[図40]



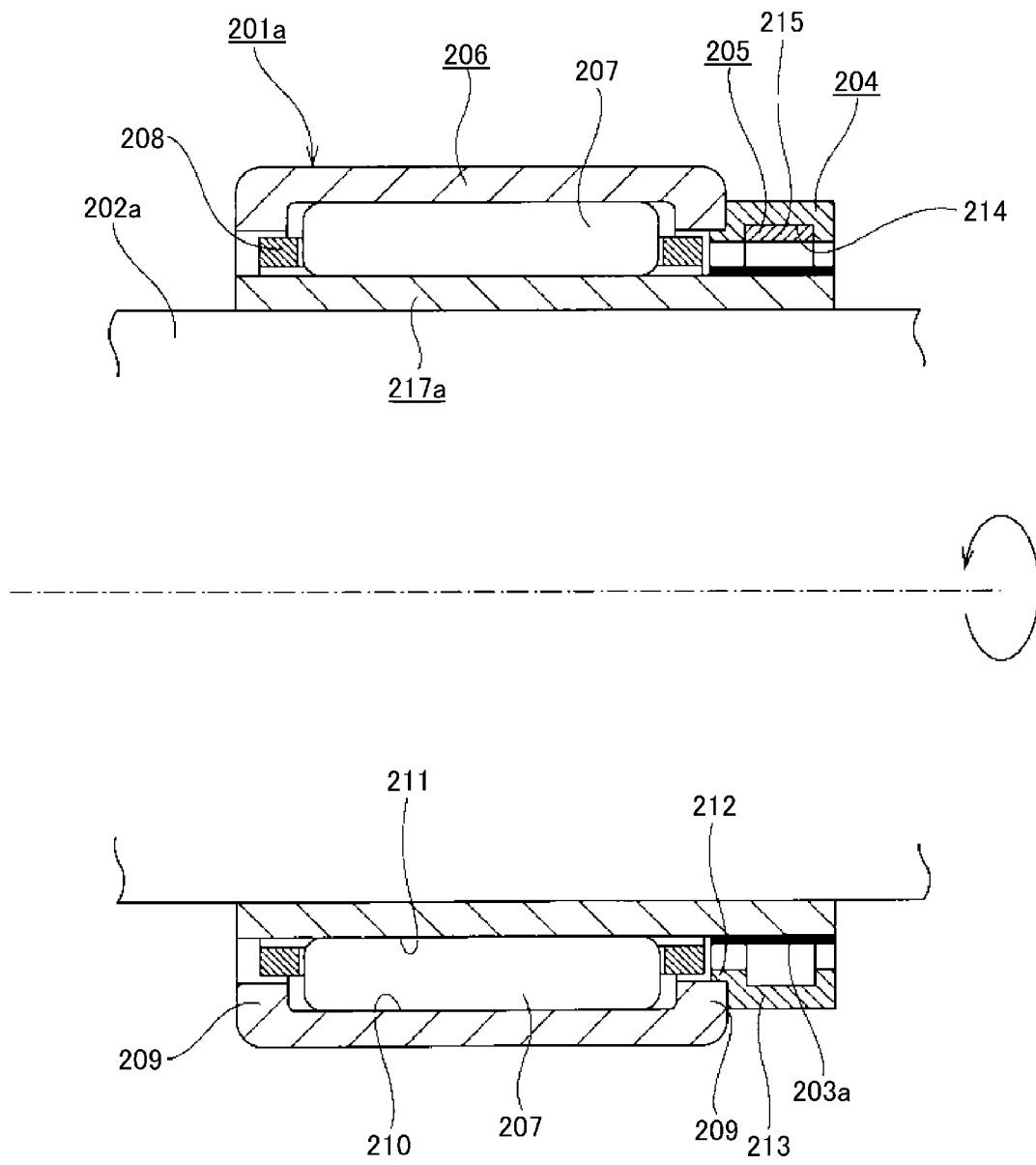
[図41]



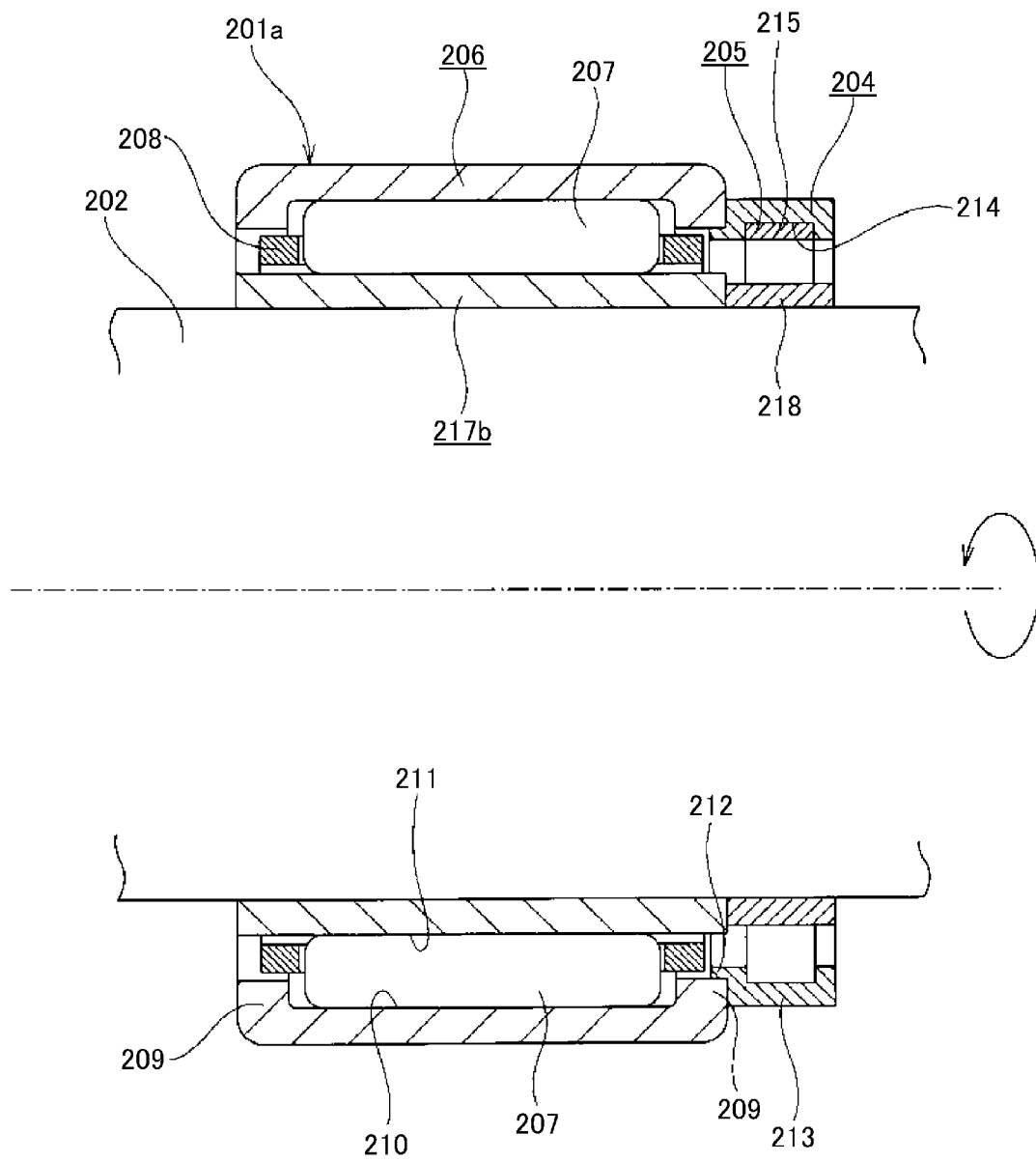
[図42]



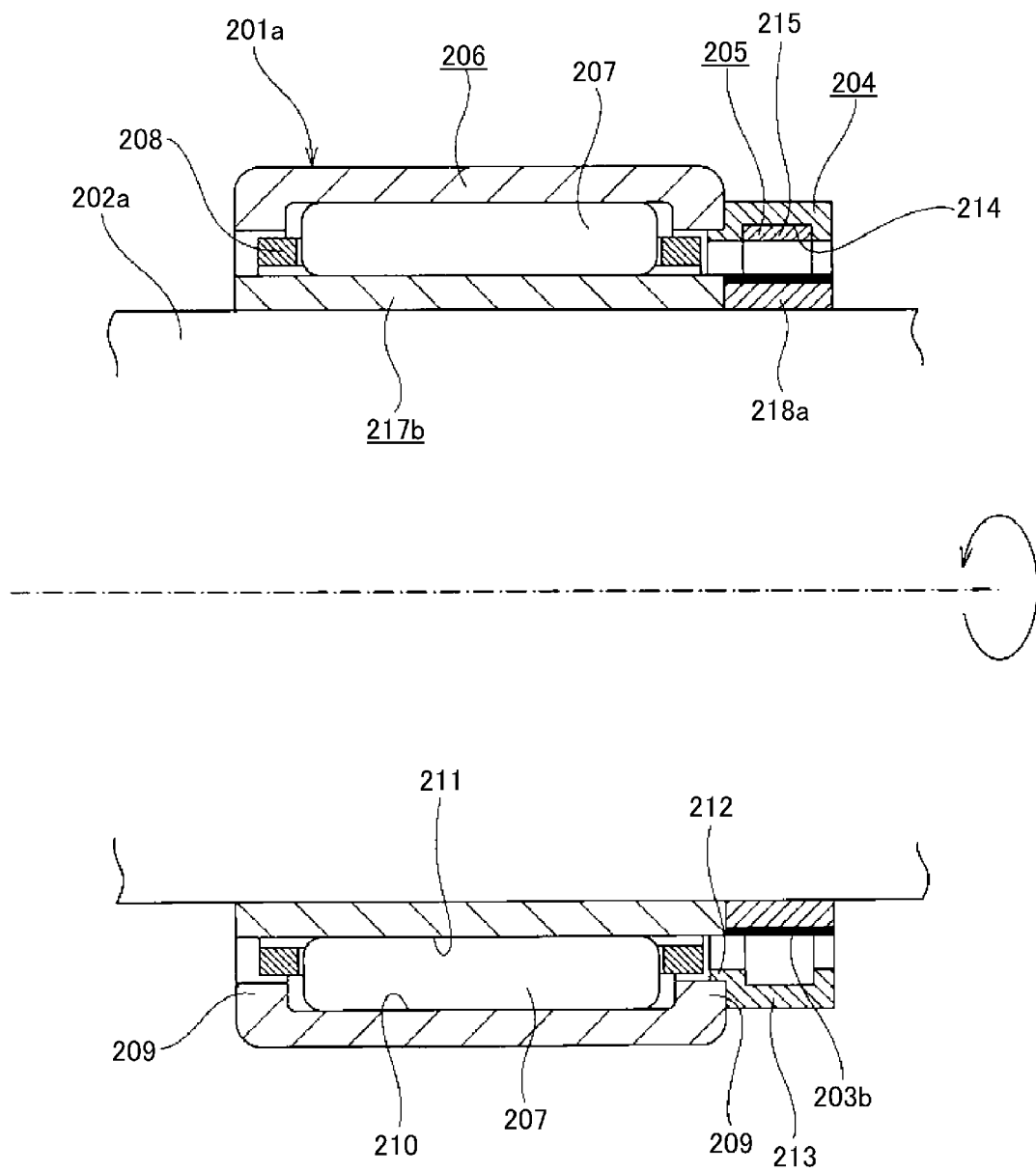
[図43]



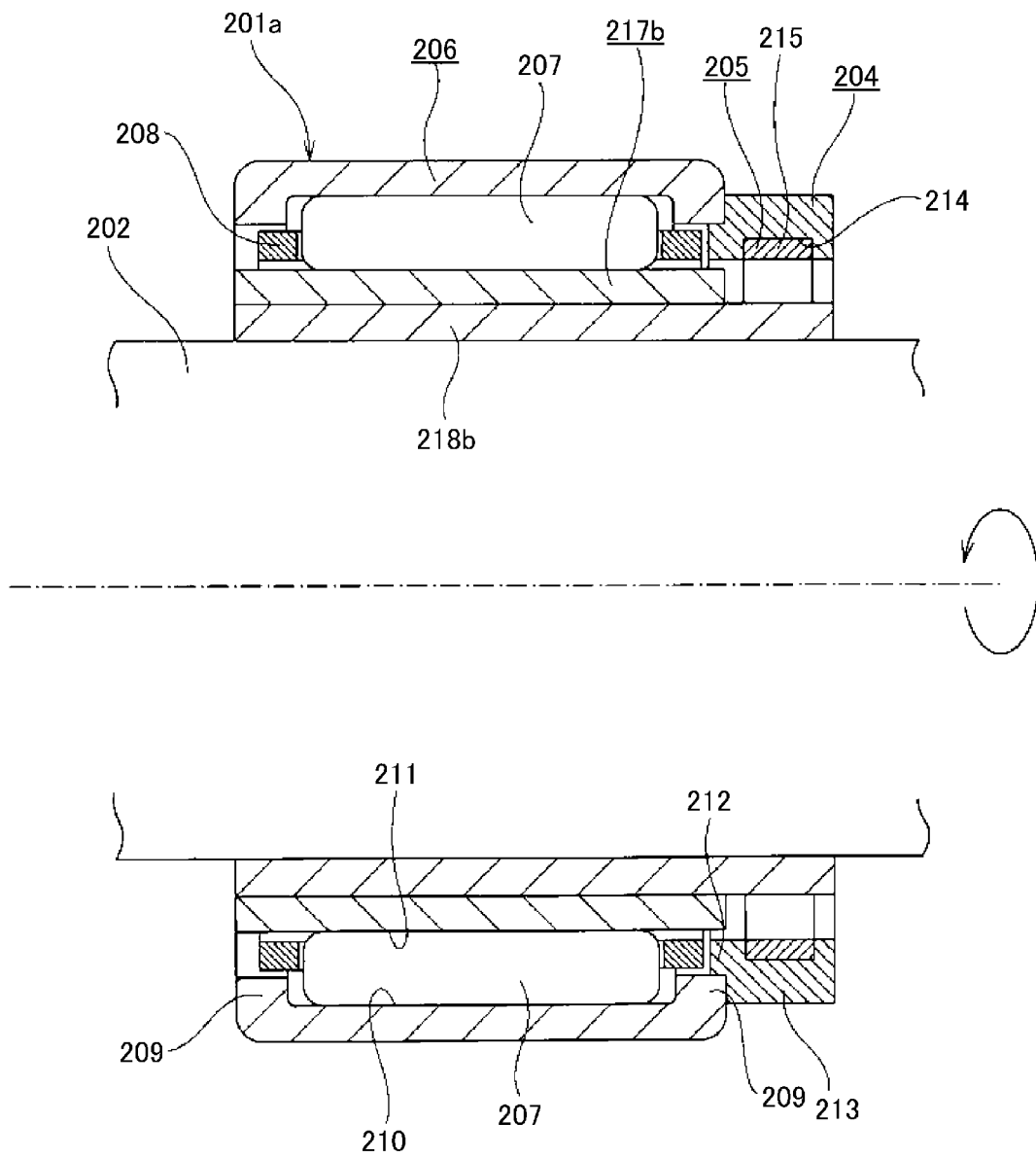
[図44]



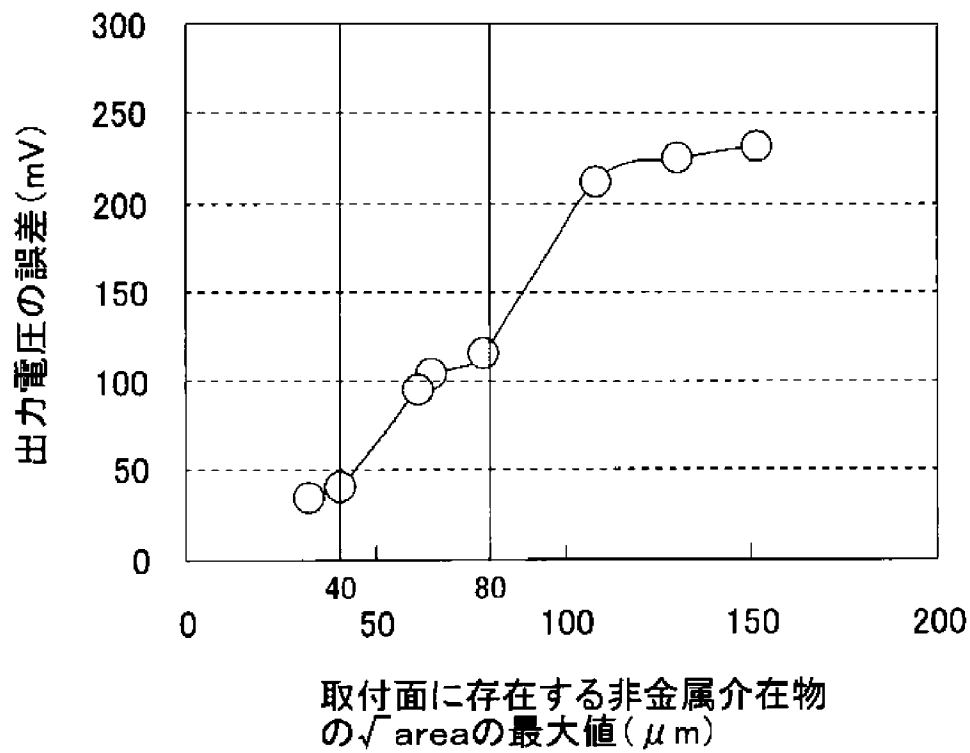
[図45]



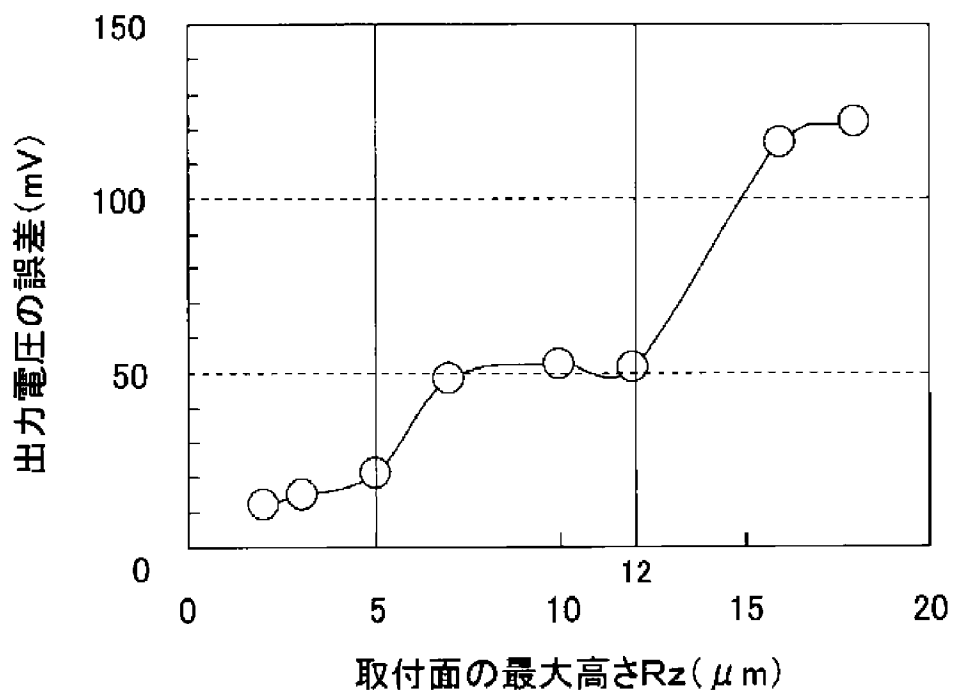
[図46]



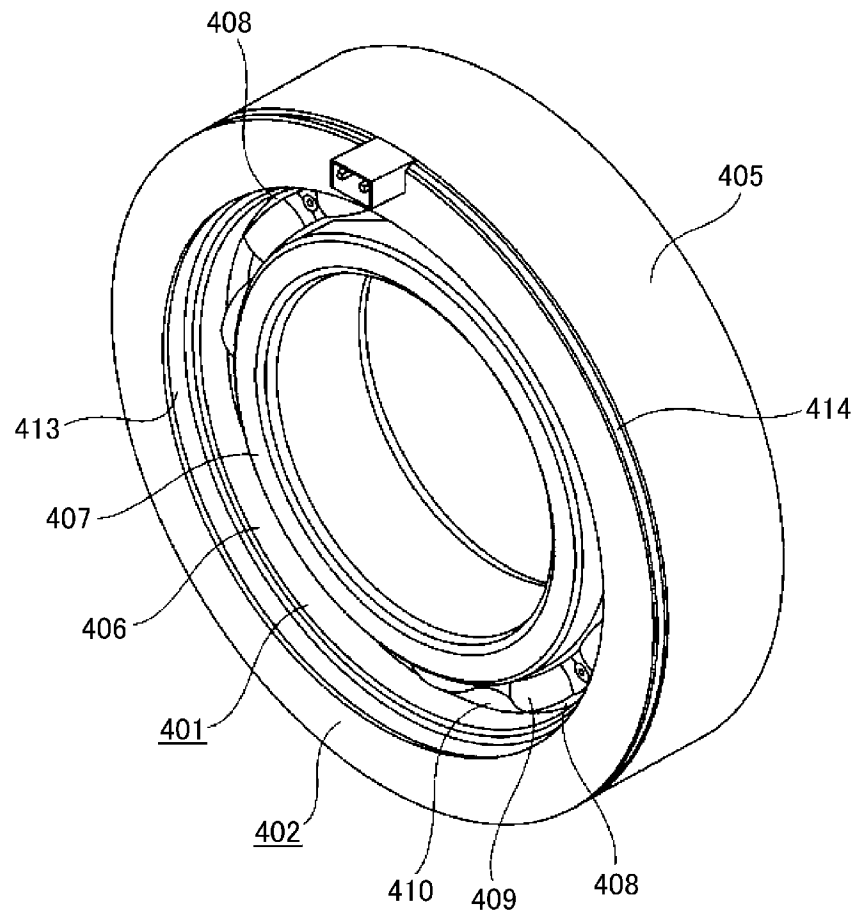
[図47]



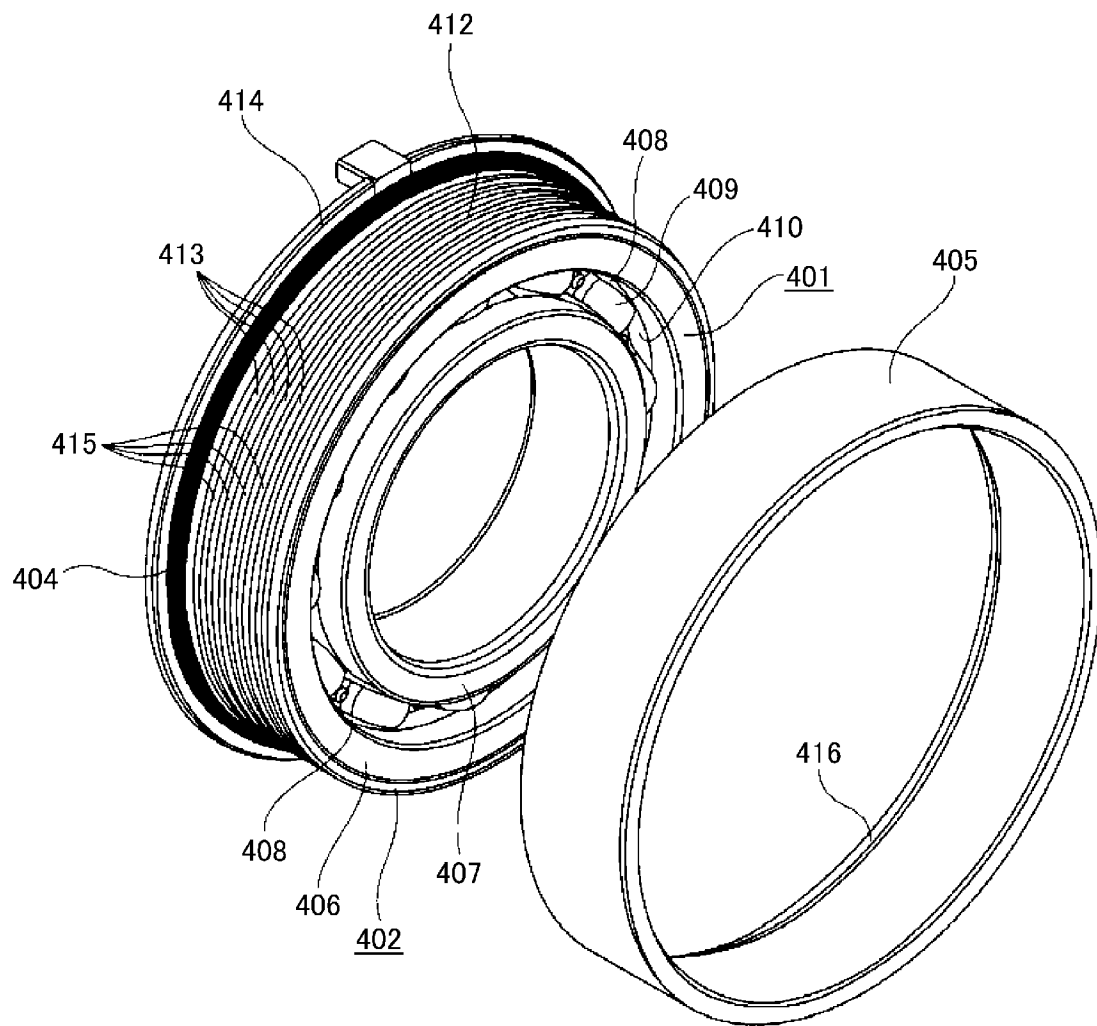
[図48]



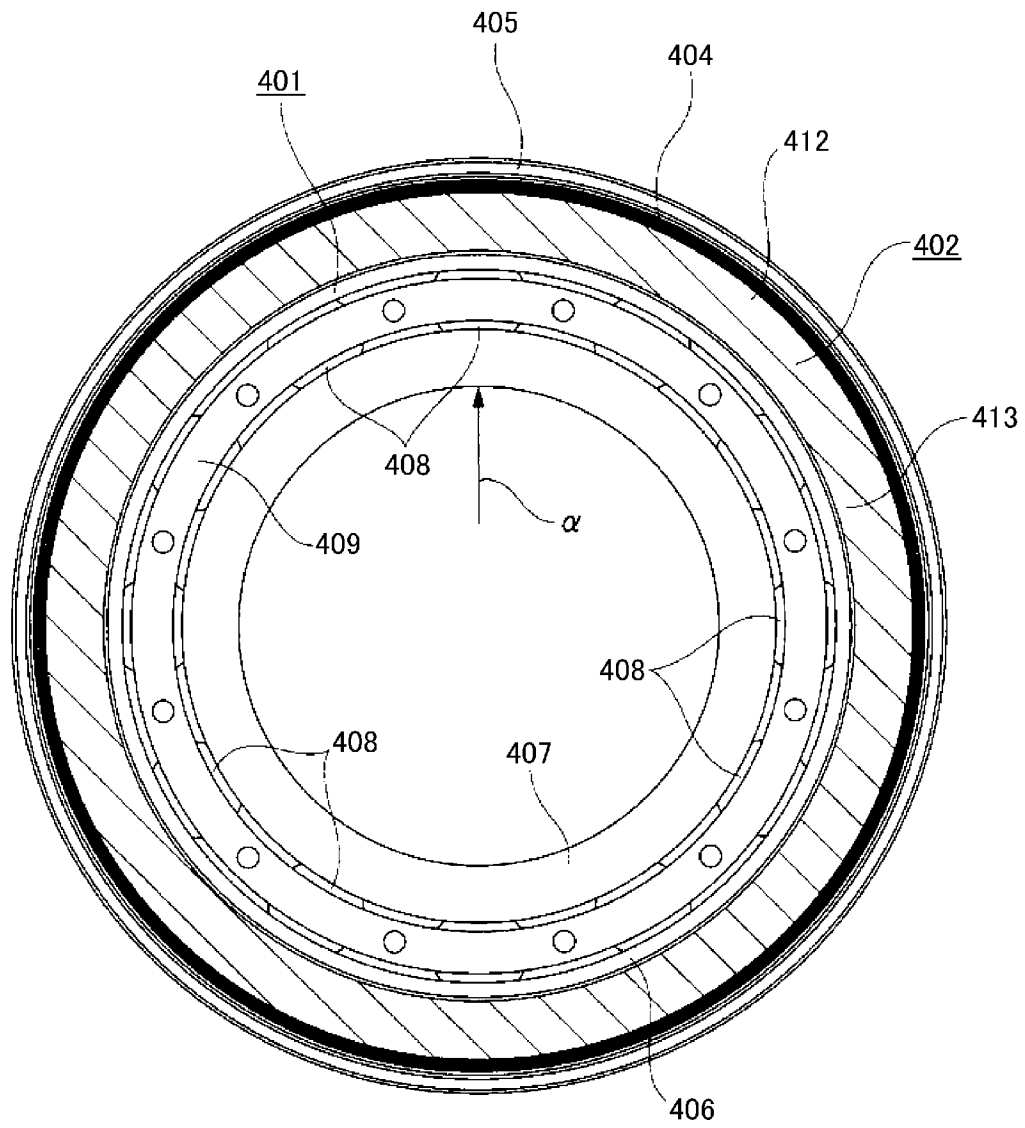
[図52]



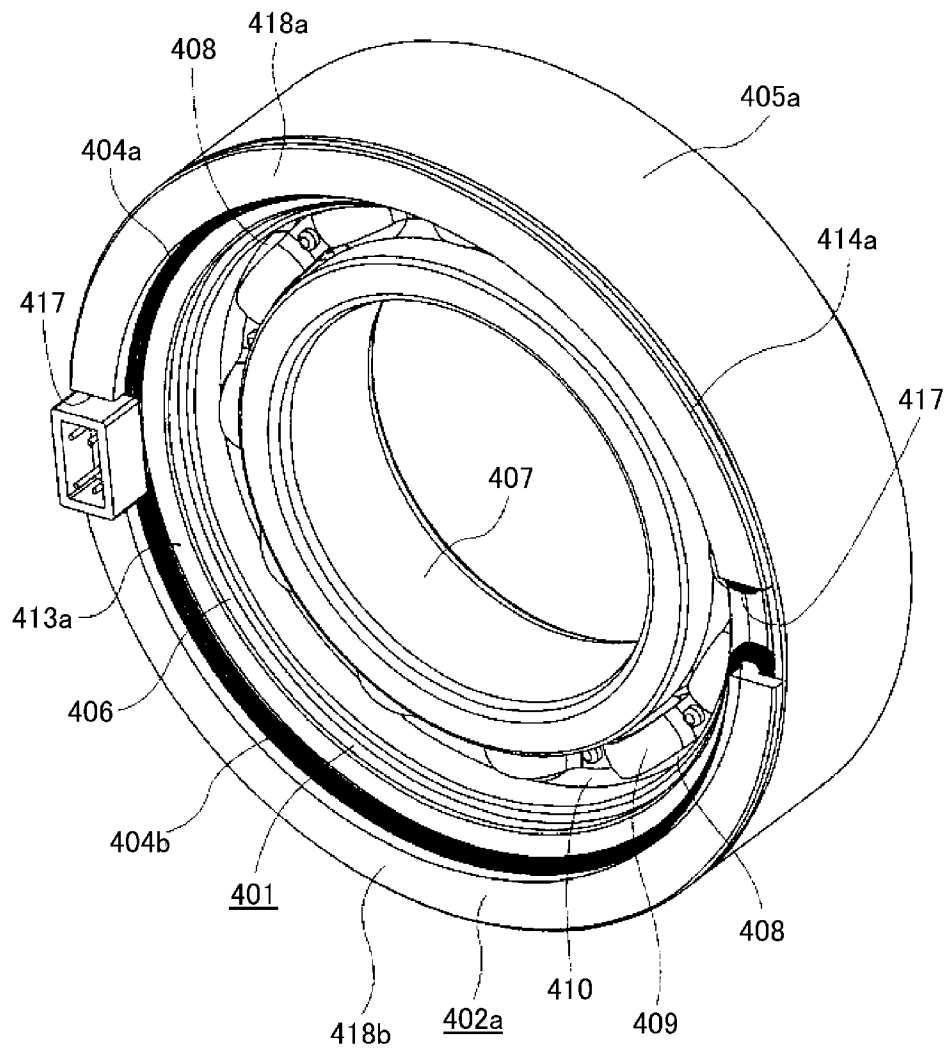
[図53]



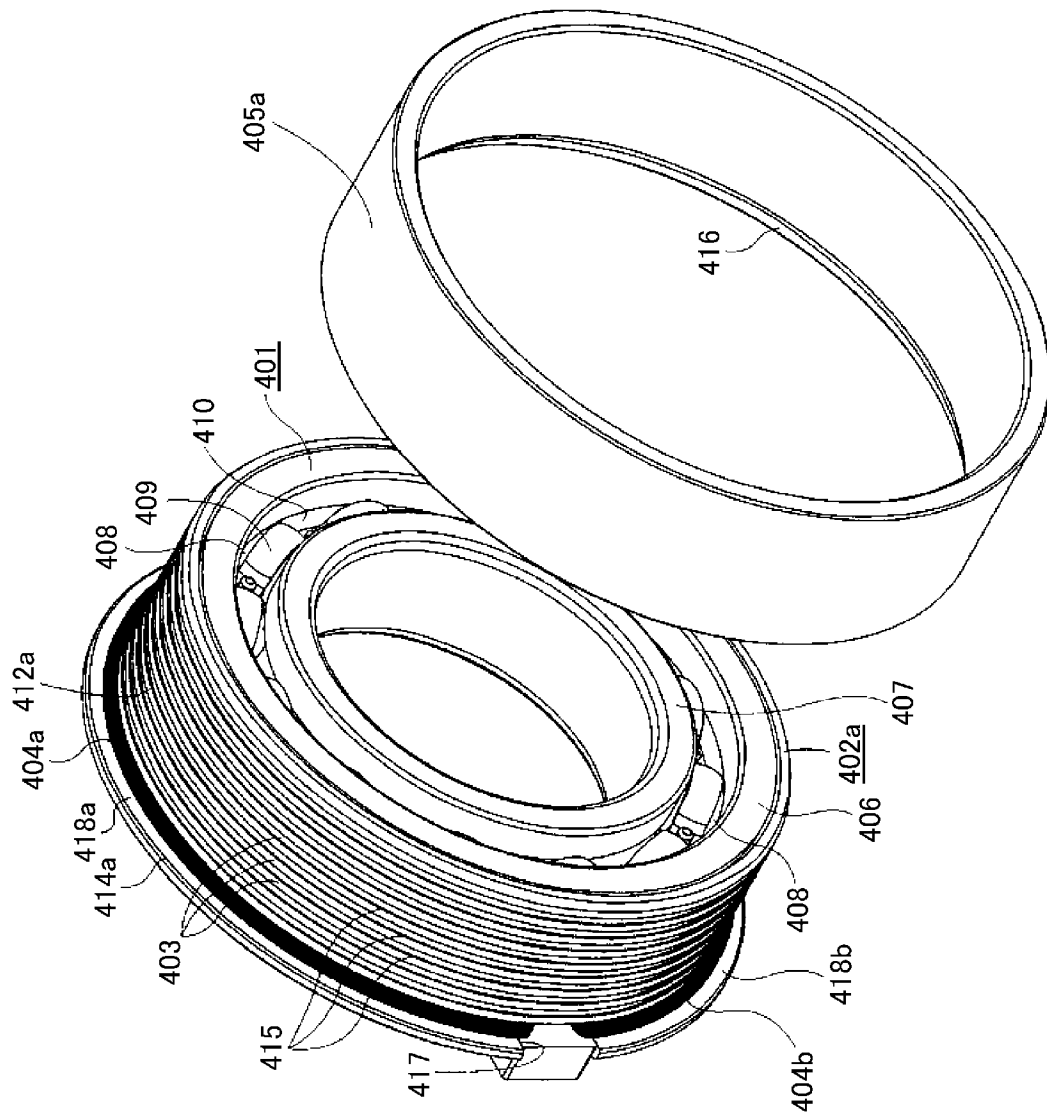
[図56]



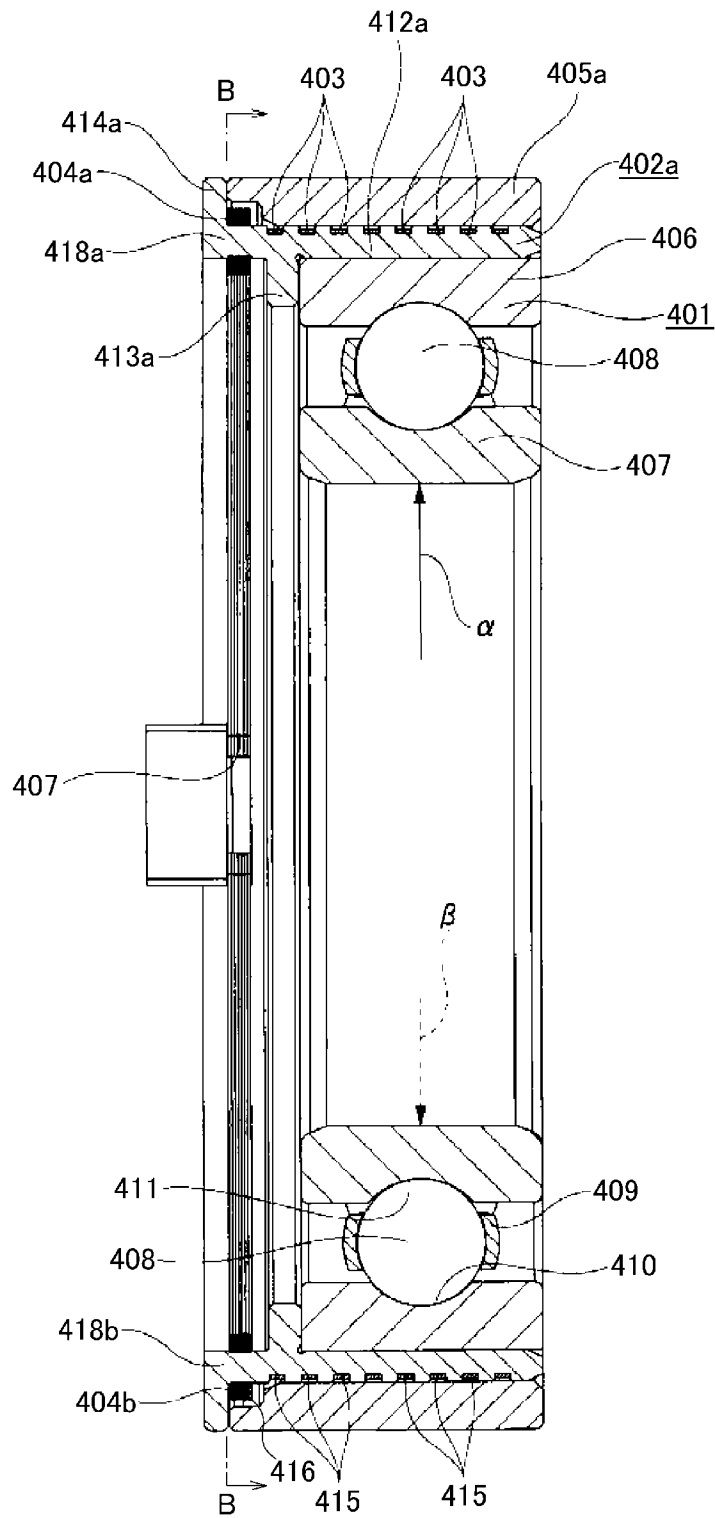
[図57]



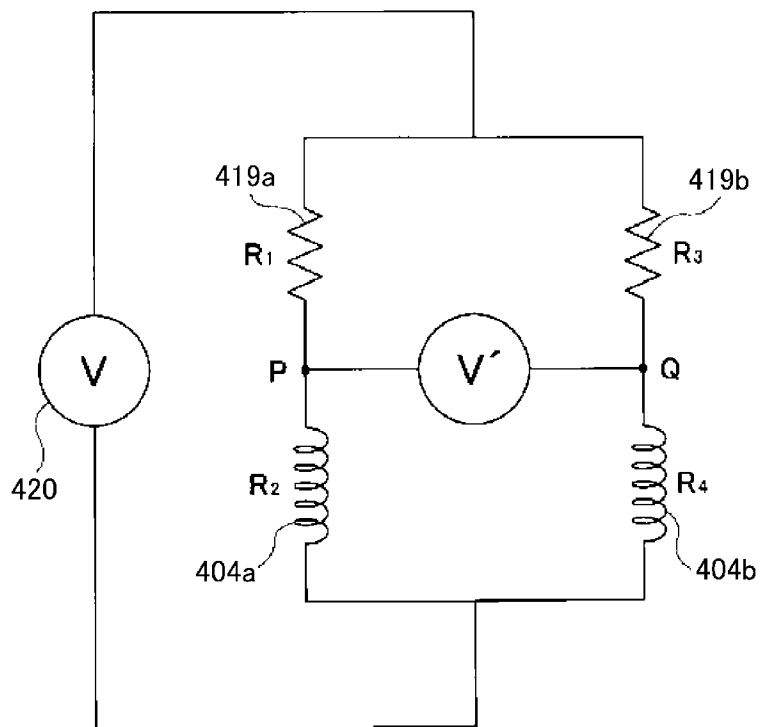
[図58]



[図59]



[図61]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/067525

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01L5/00(2006.01)i, F16C19/06(2006.01)i, F16C19/52(2006.01)i, F16C33/58(2006.01)i, F16C41/00(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)

G01L5/00, G01L3/10, F16C19/06, F16C19/52, F16C33/58, F16C41/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2005-048823 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 24 February 2005 (24.02.2005), entire text; all drawings	1 2-5
Y	JP 2006-308019 A (NSK Ltd.), 09 November 2006 (09.11.2006), paragraphs [0001], [0038] to [0057]; fig. 7 to 13	2, 7
Y	JP 2005-154784 A (Daido Steel Co., Ltd.), 16 June 2005 (16.06.2005), paragraphs [0001], [0016], [0031]	3, 8
Y	JP 2011-225928 A (NSK Ltd.), 10 November 2011 (10.11.2011), paragraphs [0009] to [0011], [0021], [0027]; fig. 3	3, 8

☒ 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

"I" 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
20 August 2015 (20.08.15)

Date of mailing of the international search report
01 September 2015 (01.09.15)

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

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/067525

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 3-209016 A (SKF Nova AB.), 12 September 1991 (12.09.1991), pages 4 to 5; fig. 2 to 5	4, 5
Y	JP 2009-191942 A (NSK Ltd.), 27 August 2009 (27.08.2009), paragraphs [0001], [0011] to [0012]; fig. 1	4, 9
Y	JP 2002-250662 A (TDK Corp.), 06 September 2002 (06.09.2002), paragraph [0027]	5, 10
X Y	JP 2005-180688 A (NTN Corp.), 07 July 2005 (07.07.2005), paragraphs [0011] to [0013], [0023]; fig. 1, 12	6 7-10
Y	JP 2004-332796 A (NTN Corp.), 25 November 2004 (25.11.2004), paragraphs [0013] to [0023]; fig. 1 to 6	12
Y	JP 2008-281158 A (NTN Corp.), 20 November 2008 (20.11.2008), entire text; fig. 2, 5	12
A	JP 2006-170352 A (NTN Corp.), 29 June 2006 (29.06.2006), paragraphs [0041] to [0047]; fig. 13 to 16	11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2015/067525

JP 2005-048823 A	2005.02.24	(Family: none)
JP 2006-308019 A	2006.11.09	(Family: none)
JP 2005-154784 A	2005.06.16	US 2004/0094238 A1 EP 1420078 A2
JP 2011-225928 A	2011.11.10	(Family: none)
JP 3-209016 A	1991.09.12	EP 432122 A2
JP 2009-191942 A	2009.08.27	(Family: none)
JP 2002-250662 A	2002.09.06	US 2002/0078765 A1 EP 1217351 A1
JP 2005-180688 A	2005.07.07	US 2005/0117825 A1
JP 2004-332796 A	2004.11.25	US 2007/0110350 A1 WO 2004/099747 A1 EP 1621858 A1
JP 2008-281158 A	2008.11.20	(Family: none)
JP 2006-170352 A	2006.06.29	(Family: none)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/067525

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:
See 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.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/067525

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

Supplementation of Box No. III:

Document 1 (JP 2005-048823 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 24 February 2005 (24.02.2005), entire text; all drawings) describes "a hub unit with a sensor, the hub unit being provided with: a rolling bearing provided with a vehicle body-side trajectory member (3) which has a near-ball part that produces a reverse magnetostrictive effect, and a plurality of balls (5) which roll on a trajectory formed in the vehicle body-side trajectory member (3); and a magnetostrictive sensor (8) disposed just outside the outer peripheral surface of the near-ball part in the vehicle body-side trajectory member (3)", and claim 1 does not have a special technical feature since it is not novel over document 1.

Next, a special technical feature could be found in claim 2.

The special technical feature of claims 3-5 is corresponding to the above-said special technical feature found in claim 2, and it is considered that it is efficient to carry out a search on the inventions of claims 3-5 together with the invention of claim 2.

Accordingly, claims are classified into four inventions each of which has a special technical feature indicated below.

Meanwhile, claim 1 having no special technical feature is classified into Invention 1.

(Invention 1) claims 1-5

"A rotation support device provided with: a rolling bearing provided with a stationary body which has, in at least a portion thereof, a magnetostrictive effect part the magnetic permeability of which changes according to a load, and does not rotate even during use, and a plurality of rolling bodies which roll on a trajectory formed in part of the stationary body; and a sensor which is supported by a portion that does not rotate during use while being disposed near the magnetostrictive effect part, and changes an output signal according to a magnetic flux that passes through a detection part thereof and changes according to the magnetic permeability of the magnetostrictive effect part, the rotation support device having a configuration of reducing the concentration of stress in the magnetostrictive effect part."

Here, claim 1 having no special technical feature is classified into Invention 1.

(Invention 2) claims 6-10

"A rotation support device provided with: a rotating body which has, in at least a portion thereof, a magnetostrictive effect part the magnetic permeability of which changes according to applied torque, and rotate during use; and a sensor which is supported by a portion that does not rotate even during use while being disposed near the magnetostrictive effect part, and changes an output signal according to a magnetic flux that passes through a detection part thereof and changes according to the magnetic permeability of the magnetostrictive effect part."

Further, there is no same or corresponding special technical feature between Invention 1 and Invention 2.

(Continued to next extra sheet)

(Invention 3) claim 11

"A rotation support device provided with a rolling bearing; an annular magnetostrictive member which is concentrically combined with a stationary ring constituting the rolling bearing and has, at a position where the load of the rolling bearing is applied in a circumferential direction, a columnar part that is a part the magnetic permeability of which changes according to the load, sections adjacent thereto on both sides in the circumferential direction thereof being thinned parts; and a sensor which is disposed adjacent to the columnar part while being attached to the magnetostrictive member, and detects the change of the magnetic permeability of the columnar part."

Further, there is no same or corresponding special technical feature between Invention 1 and Invention 3.

(Invention 4) claim 12

"A rotation support device provided with a rolling bearing; a magnetostrictive material which is combined with a stationary ring constituting the rolling bearing such that stress corresponding to the load of the rolling bearing is applied thereto, and the magnetic permeability of which changes according to the stress; a coil which is combined with the stationary ring in order to detect the change of the magnetic permeability of the magnetostrictive material; and a magnetic path member which constitutes, together with at least the magnetostrictive material, a closed magnetic path through which a magnetic flux generated by passing an electric current through the coil passes while being combined with the stationary ring so as to cover the magnetostrictive material and the coil."

Further, there is no same or corresponding special technical feature between Invention 1 and Invention 4.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01L5/00(2006.01)i, F16C19/06(2006.01)i, F16C19/52(2006.01)i, F16C33/58(2006.01)i, F16C41/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01L5/00, G01L3/10, F16C19/06, F16C19/52, F16C33/58, F16C41/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y	JP 2005-048823 A（光洋精工株式会社） 2005.02.24, 全文, 全図	1 2-5
Y	JP 2006-308019 A（日本精工株式会社） 2006.11.09, 段落 [0001], [0038] - [0057], 図 7-13	2, 7
Y	JP 2005-154784 A（大同特殊鋼株式会社） 2005.06.16, 段落 [0001], [0016], [0031]	3, 8

☒ 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

2 0 . 0 8 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 1 . 0 9 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

公文代 康祐

2 F

4 7 4 1

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2011-225928 A (日本精工株式会社) 2011.11.10, 段落 [0009] - [0011] , [0021] , [0027] , 図 3	3, 8
Y	JP 3-209016 A (エス ケイ エフ ノーバ エービー) 1991.09.12, 第 4 ページ-第 5 ページ, 第 2 図-第 5 図	4, 5
Y	JP 2009-191942 A (日本精工株式会社) 2009.08.27, 段落 [0001] , [0011] - [0012] , 図 1	4, 9
Y	JP 2002-250662 A (ティーディーケー株式会社) 2002.09.06, 段落 [0027]	5, 10
X	JP 2005-180688 A (NTN株式会社)	6
Y	2005.07.07, 段落 [0011] - [0013] , [0023] , 図 1, 12	7-10
Y	JP 2004-332796 A (NTN株式会社) 2004.11.25, 段落 [0013] - [0023] , 図 1-6	12
Y	JP 2008-281158 A (NTN株式会社) 2008.11.20, 全文, 図 2, 5	12
A	JP 2006-170352 A (NTN株式会社) 2006.06.29, 段落 [0041] - [0047] , 図 13-16	11

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（P C T 17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P C T 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ろの国際調査機関は認めた。
特別ページ参照。

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ため、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ため、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 欄の補足：

文献 1 (JP 2005-048823 A (光洋精工株式会社)、2005.02.24、全文、全図) には、「逆磁歪効果を生む玉近傍部を有する車体側軌道部材 (3) と、前記車体側軌道部材 (3) に形成された軌道を転走する複数の玉 (5) と、を備えた転がり軸受と、前記車体側軌道部材 (3) における前記玉近傍部の外周面のすぐ外方に配置された磁歪センサ (8) と、を備えた、センサ付きハブユニット」が記載されており、請求項 1 は、文献 1 により新規性が欠如しているため、特別な技術的特徴を有しない。

次に、請求項 2 に特別な技術的特徴が発見された。そして、請求項 3-5 の特別な技術的特徴は、請求項 2 で発見された上記特別な技術的特徴と対応するものであり、請求項 3-5 に係る発明は、請求項 2 に係る発明とまとめて審査を行うことが効率的であると認められる。

そうすると、請求の範囲は、各々下記の特別な技術的特徴を有する 4 の発明に区分される。なお、特別な技術的特徴を有しない請求項 1 は、発明 1 に区分する。

(発明 1) 請求項 1-5

「少なくとも一部分に負荷荷重に応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有すると共に、使用時にも回転しない静止体と、前記静止体の一部に形成された軌道上を転走する複数の回転体と、を備えた転がり軸受と、前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置であって、前記磁歪効果部への応力の集中を低減する構成を有している、回転支持装置。」

ここで、特別な技術的特徴を有しない請求項 1 は、発明 1 に区分する。

(発明 2) 請求項 6-10

「少なくとも一部分に、加えられるトルクに応じて透磁率が変化する磁歪効果部を有し、使用時に回転する回転体と、前記磁歪効果部に対して近接配置された状態で、使用時にも回転しない部分に支持され、自身の検出部を通過し且つ前記磁歪効果部の透磁率によって変化する磁束に応じて出力信号を変化させるセンサと、を備えた回転支持装置。」

また、発明 1 と発明 2 との間には、同一の、または対応する特別な技術的特徴は存在しない。

(発明 3) 請求項 11

「転がり軸受と、前記転がり軸受を構成する静止輪に対して同心に組み合わされると共に、円周方向に関して前記転がり軸受の負荷荷重が加わる位置に、前記負荷荷重に応じて透磁率が変化する部位であって、その円周方向両側に隣接する部分がそれぞれ除肉部になった部位である、柱部を有する環状の磁歪部材と、前記磁歪部材に取り付けられた状態で前記柱部に隣接配置され、前記柱部の透磁率の変化を検出するセンサと、を備えた回転支持装置。」

また、発明 1 と発明 3 との間には、同一の、または対応する特別な技術的特徴は存在しない。

(発明 4) 請求項 12

「転がり軸受と、前記転がり軸受を構成する静止輪に対して、前記転がり軸受の負荷荷重に応じた応力が加わる様に組み合わされ、前記応力に応じて透磁率が変化する磁歪材と、前記静止輪に対して組み合わされた、前記磁歪材の透磁率の変化を検出する為のコイルと、前記静止輪に対して、前記磁歪材及び前記コイルを覆う様に組み合わされた状態で、少なくとも前記磁歪材と共に、前記コイルに電流を流す事により発生した磁束が流れる閉磁路を構成する磁路部材と、を備えた回転支持装置。」

また、発明 1 と発明 4 との間には、同一の、または対応する特別な技術的特徴は存在しない。

JP 2005-048823 A	2005. 02. 24	ファミリーなし
JP 2006-308019 A	2006. 11. 09	ファミリーなし
JP 2005-154784 A	2005. 06. 16	US 2004/0094238 A1 EP 1420078 A2
JP 2011-225928 A	2011. 11. 10	ファミリーなし
JP 3-209016 A	1991. 09. 12	EP 432122 A2
JP 2009-191942 A	2009. 08. 27	ファミリーなし
JP 2002-250662 A	2002. 09. 06	US 2002/0078765 A1 EP 1217351 A1
JP 2005-180688 A	2005. 07. 07	US 2005/0117825 A1
JP 2004-332796 A	2004. 11. 25	US 2007/0110350 A1 WO 2004/099747 A1 EP 1621858 A1
JP 2008-281158 A	2008. 11. 20	ファミリーなし
JP 2006-170352 A	2006. 06. 29	ファミリーなし