

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2009年3月5日 (05.03.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/028151 A1

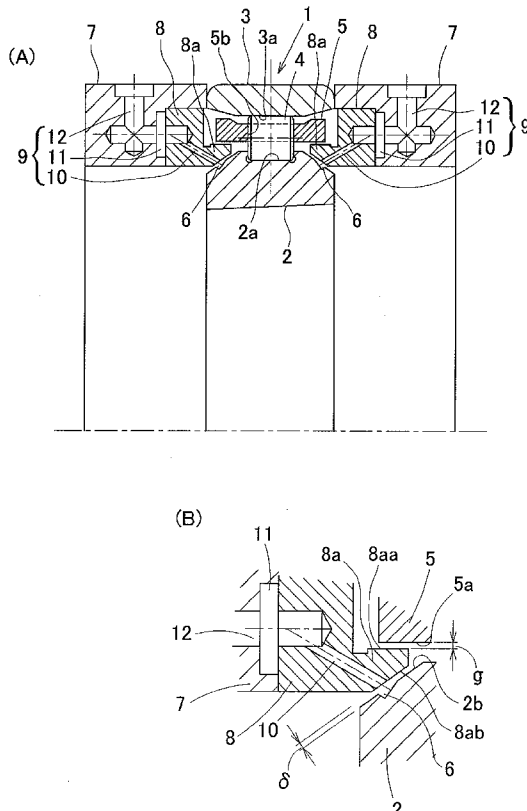
- (51) 国際特許分類:
F16C 33/66 (2006.01) *F16C 19/36* (2006.01)
B23Q 11/12 (2006.01) *F16C 33/46* (2006.01)
F16C 19/16 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/002238
- (22) 国際出願日: 2008年8月19日 (19.08.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
 特願2007-218734 2007年8月24日 (24.08.2007) JP
 特願2008-162439 2008年6月20日 (20.06.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): NTN株式会社 (NTN CORPORATION) [JP/JP]; 〒5500003 大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号 Osaka (JP).
- (72) 発明者; および
 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 古林卓嗣 (KOBAYASHI, Takuji) [JP/JP]; 〒5110811 三重県桑名市大字東方字尾弓田3066 NTN株式会社内 Mie (JP). 森正継 (MORI, Masatsugu) [JP/JP]; 〒5110811 三重県桑名市大字東方字尾弓田3066 NTN株式会社内 Mie (JP).
- (74) 代理人: 杉本修司, 外 (SUGIMOTO, Shuji et al.); 〒5500002 大阪府大阪市西区江戸堀1丁目10番2号 肥後橋ニッタイビル Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG,

[続葉有]

(54) Title: ROLLING BEARING DEVICE

(54) 発明の名称: 転がり軸受装置

[図1]



(57) Abstract: A rolling bearing device in which a retainer is stably held when the bearing rotates at high speed, direct contact between guide surfaces is prevented, and a power loss at a retainer guide clearance is reduced. The rolling bearing device has a rolling bearing (1) where rolling bodies (4) held by the annular retainer (5) are arranged between raceway surfaces (2a, 3a) of an inner ring (2) and an outer ring (3), and also has a nozzle member (8) placed adjacent to the outer ring (3). The nozzle member (8) has an annular flange (8a) inserted in a bearing space between the inner ring (2) and the outer ring (3) and having a nozzle hole (10) for a lubricant. An outer diameter surface (8aa) of the flange (8a) functions as a retainer guide surface, and the retainer guide surface (8aa) is caused to guide an inner diameter surface (5a) of the retainer (5).

(57) 要約: 高速回転時の保持器の安定性保持と案内面同士の間隙防止、および保持器案内面間での動力損失低減が可能な転がり軸受装置を提供する。この転がり軸受装置は、内輪2と外輪3の軌道面2a、3aの間に、環状の保持器5に保持された転動体4を介在させた転がり軸受1と、前記外輪3に隣接して設けたノズル部材8とを備える。ノズル部材8には、内輪2と外輪3間の軸受空間に挿入され潤滑剤のノズル孔10を有する環状の鏝部8aを設ける。この鏝部8aの外径面8aaを保持器案内面とし、この保持器案内面8aaで保持器5の内径面5aを案内させる。



SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,
IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE,
SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

添付公開書類:
— 国際調査報告書

明 細 書

転がり軸受装置

関連出願

- [0001] 本出願は、２００７年８月２４日出願の特願２００７－２１８７３４および２００８年６月２０日出願の特願２００８－１６２４３９の優先権を主張するものであり、その全体を参照により本願の一部をなすものとして引用する。

技術分野

- [0002] この発明は、工作機械用主軸装置等の高速スピンドルの支持に用いられる転がり軸受装置に関する。

背景技術

- [0003] 転がり軸受の保持器の案内形式として、外輪案内、内輪案内、転動体（ボールまたはころ）案内の方式がある。工作機械用主軸装置では、転がり軸受が内輪回転で用いられることが多く、内輪案内方式の保持器では遠心力により潤滑油が案内面に保持されにくい。このため、工作機械用主軸装置では、潤滑性の観点から、保持器を外輪案内方式や転動体案内方式とした転がり軸受が用いられる。一方、保持器を転動体案内方式とした転がり軸受の場合、高速回転時に保持器の振れ回りが大きくなる。この点、保持器を外輪案内方式とした転がり軸受では、保持器の振れ回りを外輪で抑えることができるので、工作機械用軸受装置の軸受として、保持器を外輪案内方式とした転がり軸受（例えば特許文献１）を用いると、特に高速回転時において、保持器運動の安定性や案内面での潤滑油確保につき利点が認められる。
- [0004] また、工作機械用主軸装置の高速化に対応した転がり軸受装置として、内輪の外径面に斜面部を設け、搬送エアに潤滑油を混合したエアオイルを噴射するノズルを有するノズル部材を、前記斜面部に隙間を持って沿わせた環境対応型の潤滑構造を有するものも提案されている（例えば非特許文献１）。この潤滑構造の場合、ノズルから噴射された潤滑油が内輪の外径面に沿って

軸受内へと導かれるので、一般的なエアオイル給油の場合のように、保持器と軌道面の隙間から転動体に向けてエアオイルを直接噴射するものに比べて、静音性に優れ、エアおよびオイル流量も少なく済む。

- [0005] さらに、非特許文献2、3に、転がり軸受の高速化への対応についての記載がある。非特許文献2には、ファインセラムックス、特に窒化けい素 (Si_3N_4) を材料に用いた転がり軸受が紹介されている。また、工作機械主軸用途として、転動体または軌道輪を窒化けい素で構成した例が紹介されている。非特許文献3には、窒化けい素 (Si_3N_4) を材料に用いた工作機械主軸用転がり軸受が紹介されている。例えば、転動体のみ、転動体と内輪、転動体と内外輪をセラムックスとした構成例が、同文献の図2に示されている。

特許文献1：特開2006-329233号公報

非特許文献1：NTNカタログ 精密転がり軸受 CAT.No2260/J、53ページ

非特許文献2：精密工学会誌 第54巻 7号 1988 1240-1244ページ

非特許文献3：Koyo ENGINEERING JOURNAL 第135号 1989 62-71ページ

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] 特許文献1に開示された外輪案内保持器を有する転がり軸受の場合、外輪と保持器の間の案内隙間は通常 $1/10\text{mm}$ のオーダーであるが、保持器運動の安定性を確保するためには前記案内隙間をできるだけ小さく設定したい。しかし、高速回転時には、発熱と遠心力の影響により、前記案内隙間は静止時よりも小さくなる。近年、保持器を樹脂で成形する例も多いが、外輪を構成する鋼と比較して特に樹脂の線膨張率は大きく、また縦弾性率は小さいため、前記案内隙間は小さくなる。その結果、案内面同士が油膜を介することなく直接に接触して軸受の正常な動作を妨げる恐れがあり、最適設計の妨げとなる。

- [0007] エアオイルを噴射する潤滑構造を有する非特許文献1に開示の転がり軸受装置の場合も、保持器は外輪案内方式もしくは転動体案内方式となるので、

外輪案内方式であれば特許文献 1 に開示の転がり軸受と同様の問題が生じる。また、転動体案内方式であれば、先述したように保持器の振れ回りが大きくなるとか、転動体との干渉により保持器ポケットが損傷するなどの問題が生じやすい。

[0008] 非特許文献 2, 3 には、転がり軸受要素（転動体、内外軌道輪）の材料として窒化けい素を用いることで、軸受剛性と高速回転性能が向上することが記載されている。しかし、高速回転のためには、保持器案内内部も高速に適した構造にしなければ、軸受全体としての高速回転性は十分ではない。

[0009] この発明の目的は、高速回転時の保持器の安定性保持と案内面同士の直接接触の防止、および保持器案内隙間での動力損失低減が可能な転がり軸受装置を提供することである。

この発明の他の目的は、高速回転性能に優れた転がり軸受装置とすることである。

課題を解決するための手段

[0010] この発明の転がり軸受装置は、内輪と外輪の軌道面の間に、環状の保持器に保持された転動体を介在させた転がり軸受と、前記外輪に隣接して設けたノズル部材とを備えた転がり軸受装置であって、前記ノズル部材に、内輪と外輪間の軸受空間に挿入され潤滑剤のノズル孔を有する環状の鍔部を設け、この鍔部の外径面を保持器案内面とし、この保持器案内面で前記保持器の内径面を案内させるものとしている。

この構成によると、保持器の案内方式が転動体案内方式ではなく、環状の鍔部で案内する方式であるので、保持器の振れ回りが大きくなったり、転動体との干渉で保持器ポケットが損傷するといった問題を避けることができる。

また、高速回転に起因する案内隙間量の変化も大きくなる方向であり、運転中の案内面同士（ノズル部材の鍔部の保持器案内面と保持器の内径面）の油膜が介在しない直接の接触を確実に防ぐことができる。

さらに、この場合の保持器の案内方式では、外輪案内方式と比較して案内

面での滑り速度が小さいため、軸受動力損失も小さく、それだけ軸受温度も抑えられ、予圧管理の面でも有利である。

その結果、高速回転時の保持器の安定性保持と案内面同士の直接接触の防止、および保持器案内隙間での動力損失低減が可能となる。

[0011] この発明において、前記内輪の外径面に、軌道面側が大径となる斜面部を設け、前記ノズル部材の前記鏝部に設けられたノズル孔を、前記内輪の前記斜面部に向けて潤滑剤を吐出させるものとしても良い。この構成の場合、ノズル孔から内輪の斜面部に向けて吐出された潤滑剤は、内輪の回転による遠心力と表面張力とにより内輪の斜面部に沿って軸受内へと導かれるので、軸受内への潤滑剤の導入を円滑に行うことができる。

[0012] この発明において、前記ノズル部材の前記鏝部に設けられたノズル孔を、保持器の内径面に向けて潤滑剤を吐出させるものとしても良い。この構成の場合、ノズル孔から吐出される潤滑剤により、鏝部の外径面の保持器案内面と保持器の内径面との間に形成される案内隙間の潤滑が可能となる。

[0013] この発明において、前記ノズル孔に絞り部を設けても良い。この構成の場合、ノズル部材鏝部の外径面である保持器案内面と保持器の内径面との間に形成される案内隙間を、動圧軸受ではなく定圧型の静圧軸受として構成でき、その静圧軸受効果により、軸受回転速度が低い場合でも、流体潤滑作用により安定して保持器を案内できる。

[0014] この発明において、前記内輪の外径面を斜面部とし、前記鏝部の内径面を前記内輪の外径面に沿う斜面に形成しても良い。この構成の場合、鏝部の内径面の斜面と内輪の外径面の斜面部との間に微小隙間が形成されるが、この微小隙間から軸受外へ流出しようとする潤滑剤が、遠心力と内輪斜面部やノズル部材鏝部の内径斜面での表面張力とにより、軸受内へ戻され、効率良く潤滑に供することができる。

[0015] この発明において、前記ノズル部材の前記鏝部における円周方向の複数箇所に前記ノズル孔を設けても良い。この構成の場合、軸受内の円周方向に均等に潤滑剤が導入されるので、潤滑性能が向上する。ノズル孔から保持器の

内径面に潤滑剤を吐出する場合には、保持器の内径面の全周にわたって均等に潤滑剤が吐出されるので、保持器をバランス良く案内できる。

[0016] この発明において、前記ノズル部材の前記ノズル孔から吐出する潤滑剤がエアオイルであっても良い。エアオイルの場合、微量潤滑が行い易い。

[0017] この発明において、前記転がり軸受装置が、工作機械の主軸の支持に用いられるものであっても良い。この場合、主軸の高速化および温度上昇低減が可能となる。

[0018] この発明において、前記内輪がセラミックスで構成されていても良い。前記セラミックスは、例えば窒化けい素を主成分とする焼結体、または $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす β サイアロンを主成分とする焼結体とすることができる。

[0019] セラミックスが窒化けい素を主成分とする焼結体である場合を例にとって説明する。

内輪と外輪の双方を鋼で構成した転がり軸受（鋼製内輪タイプ）と、内輪を窒化けい素、外輪を鋼で構成した転がり軸受（セラミックス製内輪タイプ）とを比較する。鋼の線膨張係数は約 11×10^{-6} 、窒化けい素の線膨張係数は約 3.2×10^{-6} であるから、運転時には内輪の方が外輪よりも温度が高いと想定すると、セラミックス製内輪タイプは鋼製内輪タイプと比較して、運転時における転動体と内外輪間の径方向すきま（工作機械では通常は負すきま）が大きい（負の値としての絶対値が小さい）。そのため、セラミックス製内輪タイプは、予圧過大現象を緩和することができ、高速回転性能に優れる。予圧過大現象は、転動体を径方向に過度に圧縮する現象であり、転がり軸受の高速回転性を阻害する大きな要因である。

また、鋼の密度は $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、窒化けい素の密度は $3.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ であるから、両者の密度の差を考えると、遠心膨張による予圧過大に対しても、セラミックス製内輪タイプは鋼製内輪タイプと比較して、特に高速回転時に有利である。

さらに、鋼のヤング率は約 210 GPa 、窒化けい素のヤング率は約 31

4 GPaであるから、セラミックス製内輪タイプは鋼製内輪タイプと比較して、軸受剛性の面でも有利である。

[0020] 上の説明は、セラミックスが窒化けい素を主成分とする焼結体である場合についてであるが、セラミックスが β サイアロンを主成分とする焼結体である場合についてもほぼ同様のことが言える。加えて、 β サイアロンを主成分とする焼結体は、窒化けい素を主成分とする焼結体よりも低コストで製造できるという利点がある。

[0021] 内輪をセラミックスで構成する場合、さらに高速化するためには、転動体をセラミックスとするのが良い。前記転動体もセラミックスで構成する場合、前記転動体が、前記内輪とは種類の異なるセラミックスで構成されていても良い。

転動体もセラミックスで構成すれば、内輪をセラミックスで構成した場合と同様に、熱膨張や遠心膨張による予圧過大に対して高速回転時に有利であるため、さらなる軸受の高速化が図れる。その場合、製造面の便宜等を考えて、内輪と転動体とを異なる種類のセラミックスで構成することができる。

[0022] この発明において、前記内輪は、軌道面よりも軸方向外側に位置する肩部を有し、この肩部の外径面に内径面が嵌合する内輪間座を設け、この内輪間座により前記内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されているのが良い。あるいは、前記内輪は、軌道面よりも軸方向外側に位置する肩部を有し、この肩部の外周を周方向に沿う繊維からなる繊維性部材で拘束して、前記内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されているようにしても良い。

概略円筒形である内輪に熱や遠心力の影響で径方向の応力が加わる場合、内輪に生じる周方向の応力（たが応力）は、材料力学的に径方向、軸方向の応力よりも絶対値において大きくなる。一般的に、セラミックスは鋼と比較して引っ張り強度が小さいため、たが応力が引っ張り応力として作用する場合に、内輪が損傷する恐れがある。そこで、上記のように、内輪間座または繊維性部材により内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力が付与されることで、引っ張り方向に作用するたが応力を打ち消すようにした。それにより、内

輪の損傷が防がれ、高速回転に対して強い構造となる。

[0023] この発明において、前記内輪は、軌道面よりも軸方向外側に位置する肩部を有し、この肩部の外径面に内径面が嵌合する内輪間座を設け、前記内輪および内輪間座の内周に軸が嵌合し、内輪と軸の嵌めあいをしまりばめ、内輪間座と軸の嵌めあいをすきまばめとして、この内輪間座により前記内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されているのが望ましい。

この構成によれば、内輪間座により内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力が付与されることで、引っ張り方向に作用するたが応力を打ち消すようにされて、内輪の損傷が防がれ、高速回転に対して強い構造となる。

さらに、内輪および内輪間座の内周に軸が嵌合する場合、組立時の嵌めあいにつき、内輪と軸とはしまりばめ内輪間座と軸とはすきまばめ（ケース１）、両方ともしまりばめ（ケース２）、内輪と軸とはすきまばめ内輪間座と軸とはしまりばめ（ケース３）の３通りのケースが考えられる。熱や遠心力による軸の外径面の膨張を考えると、ケース１が、内輪間座により内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されるという機能が最も発揮される点で好ましい。また、内輪軌道面の剛性を確保する上でも、ケース１が望ましい。

[0024] 組立時の内輪と軸の嵌めあい代は、内輪に作用するたが応力を考慮すれば、必要以上に大きくすることは避けるべきである。例えば、工作機械主軸用に多用される内径５０～１００mm程度の転がり軸受の場合、低速回転時の剛性確保も考慮して、嵌めあい代は５μm未満程度を目安とする。対して、同サイズの鋼製内輪では、 dmn 値が２００万を超える高速回転時の熱や遠心力による膨張を見込んで、嵌めあい代が２０～３０μm必要である。このように、セラミックス製内輪は、鋼製内輪よりも嵌めあい代を小さくできるので、組立時の圧入作業が容易である。

図面の簡単な説明

[0025] この発明は、添付の図面を参考にした以下の好適な実施形態の説明からより明瞭に理解されるであろう。しかしながら、実施形態および図面は単なる

例示および説明のためのものであり、この発明の範囲は添付の特許請求の範囲によって定まる。添付図面において、複数の図面における同一の部品番号は、同一部分を示す。

[図1] (A) はこの発明の第 1 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図、(B) はその部分拡大断面図である。

[図2] (A) はこの発明の第 2 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図、(B) はその部分拡大断面図である。

[図3] (A) はこの発明の第 3 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図、(B) はその部分断面図である。

[図4] この発明の第 4 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図5] 図 1 および図 4 に示す転がり軸受装置を備えたスピンドル装置の構成図である。

[図6] この発明の第 5 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図7] この発明の第 6 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図8] この発明の第 7 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図9] この発明の第 8 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図10] この発明の第 9 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図11] この発明の第 10 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図12] この発明の第 11 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図13] この発明の第 12 実施形態にかかる転がり軸受装置の断面図である。

[図14] 図 6 および図 13 に示す転がり軸受装置を備えたスピンドル装置の構成図である。

[図15] β サイアロンを主成分とする焼結体で構成された内輪の製造方法の概略を示す図である。

[図16] 試験片の観察用の断面を光学顕微鏡の斜光で撮影した写真である。

[図17] 図 16 の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により 2 値化処理した状態を示す一例である。

[図18] 図 16 の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により 2 値

化処理する際に、画像処理を行う領域（評価領域）を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0026] この発明の第1実施形態を図1と共に説明する。図1（A）はこの実施形態の転がり軸受装置の断面図を示す。この転がり軸受装置は、工作機械の主軸軸受として用いられるものであって、転がり軸受1と、その外輪3に隣接して設けたノズル部材8とを備える。転がり軸受1は、内輪2と、外輪3と、これら内外輪2、3の軌道面2a、3a間に介在させた複数の転動体である円筒ころ4と、これらの円筒ころ4を円周方向に所定間隔を隔てて保持する環状の保持器5とでなる円筒ころ軸受である。

内輪2は、軌道面2aの両側に鍔を有する鍔付き内輪であり、図示しない主軸の外径面に嵌合する。内輪2の軌道面2aを挟んだ軸方向両側の外径面には、軌道面2a側が大径となる斜面部2bがそれぞれ設けられている。また、内輪2の各斜面部2bには、円周溝6が設けられる。

[0027] 外輪3は、図示しない軸受箱内に固定される。外輪3の両側には、外輪3に隣接して外輪位置決め間座7がそれぞれ配置され、各外輪位置決め間座7の内径面に環状のノズル部材8が設けられる。外輪位置決め間座7およびノズル部材8には、内外輪2、3等と同じ軸受鋼や、他の適宜の鉄系材料が用いられる。外輪位置決め間座7は軸受箱内に固定される。ノズル部材8には、内輪2と外輪3間の軸受空間に挿入される環状の鍔部8aが設けられる。これら左右の外輪位置決め間座7およびノズル部材8のそれぞれにわたって、転がり軸受1に潤滑剤としてエアオイルを供給する給油手段9が設けられている。エアオイルは、搬送エアに潤滑油を混入したものである。この給油手段9は、ノズル孔10、円周溝11、および給油路12によって構成される。ノズル孔10は、ノズル部材8の鍔部8aにおいて円周方向の複数箇所設けられ、内輪2の対応する斜面部2bの円周溝6に向けて潤滑剤であるエアオイルを吐出させる。なお、ノズル孔10は、ノズル部材の鍔部8aの1箇所だけに設けても良い。円周溝11は、外輪位置決め間座7とノズル部材8との接面境界部に設けられ、前記複数のノズル孔10に連通する。給油

路 1 2 は、外輪位置決め間座 7 に設けられ、その外径面から前記円周溝 1 1 に連通する。このように構成された給油手段 9 により、軸受箱のエアオイル供給路（図示せず）から外輪位置決め間座 7 の給油路 1 2 に到達したエアオイルが、円周溝 1 1 を経て全周のノズル孔 1 0 から転がり軸受 1 の内輪斜面部 2 b に向けて吐出される。

[0028] 図 1 (B) に拡大して示すように、前記ノズル部材 8 の環状の鏝部 8 a の外径面 8 a a は保持器案内面とされ、この保持器案内面 8 a a で保持器 5 の内径面 5 a を案内させる。また、ノズル部材の鏝部 8 a の内径面 8 a b は、内輪 2 の対応する斜面部 2 b に沿って、斜面部 2 b との間に微小隙間 δ を形成するように斜面に形成されている。

[0029] このように構成された転がり軸受装置では、外輪位置決め間座 7 の外径側から給油路 1 2 を経て導入されたエアオイルが、円周溝 1 1 を経てノズル部材 8 のノズル孔 1 0 から内輪 2 の斜面部 2 b の円周溝 6 に向けて吐出される。内輪 2 の円周溝 6 で受け止められた潤滑油は、内輪 2 の回転による遠心力と表面張力とにより内輪 2 の斜面部 2 b に沿って軸受内へと導かれ、主に斜面部 2 b の上端で外径側に飛散した後、保持器 5 のポケット 5 b と円筒ころ 4 の間、あるいは円筒ころ 4 の転動面と内外輪軌道面 2 a, 3 a の間の潤滑に用いられる。同時に、軸受内に圧送されるエアの一部は、ノズル部材鏝部 8 a の外径面である保持器案内面 8 a a と保持器 5 の内径面 5 a とで構成される案内隙間 g において、円筒ころ 4 側からノズル部材 8 側へと移動する。すなわち、案内隙間 g を潤滑することになる。

ノズル部材鏝部 8 a の内径面 8 a b は、内輪斜面部 2 b に沿う斜面に形成され、内輪斜面部 2 b との間に隙間 δ を形成しており、この隙間 δ において、内輪斜面部 2 b に表面張力で付着した油が遠心力の斜面方向成分によって、内輪斜面部 2 b に沿って軸受内へと潤滑油がより円滑に導かれる。また、ノズル孔 1 0 から軸受内にエアオイルを直接噴射するものではないので、軸受回転に伴う風切り音が無く、静音性に優れ、エア流量も少なく済む。

[0030] しかも、ノズル部材 8 の鏝部 8 a の外径面 8 a a は保持器案内面とされて

、保持器 5 の内径面 5 a を案内するので、保持器 5 を転動体案内とする方式の場合のように、保持器 5 の振れ回りが大きくなったり、転動体である円筒ころ 4 との干渉で保持器 5 のポケット 5 b が損傷するといった問題を回避することができる。

[0031] また、前記案内隙間 g は、直径に対して幅が狭い、いわゆる真円形短幅ジャーナル動圧軸受を構成しており、油膜による荷重負荷能力や減衰性により、保持器 5 を安定して非接触で支持することができる。

[0032] さらに、先述した従来例（特許文献 1）の外輪案内方式と比較すると、この保持器案内方式の場合の方が、保持器 5 の内径面 5 a を案内する保持器案内面 8 a a の半径と滑り速度は小さくなる。工作機械用主軸装置に用いられる軸受の内輪は、一般に起動停止時を除けば数千～数万 min^{-1} で高速回転しており、保持器もその 40% 程度の速度で回転するので、動圧発生に必要な滑り速度は十分得られる。そこで、実用上の問題は、前記案内隙間 g での粘性抵抗トルク損失を低減することであるが、そのトルク損失仕事率は保持器回転速度の 2 乗と保持器案内面 8 a a の半径の 3 乗の積に比例するため、この保持器案内方式ではトルク損失低減が可能となる。

[0033] また、この保持器案内方式では、上記したように新鮮な低温潤滑油が前記案内隙間 g に常時供給されることで案内隙間 g が冷却されるので、軸受系の温度上昇を抑えられ、予圧管理の面でも外輪案内方式に比べて有利である。

[0034] さらに、この保持器案内方式では、高速回転に起因する案内隙間 g の変化も大きくなる方向であり、運転中に保持器案内面 8 a a と保持器 5 の内径面 5 a とが直接に接触するのを確実に防止することができる。

すなわち、この保持器案内方式では、高速回転時には、保持器 5 に働く遠心力の作用で前記案内隙間 g は増大する。同時に、熱膨張の面で見ると、保持器 5 の内径面 5 a だけでなく、保持器案内面 8 a a も直径が増大するが、ノズル部材 8 は鉄系の材料で構成され、保持器 5 は樹脂や銅系の材料で構成される場合が多く、線膨張係数の違いを考えると、やはり案内隙間 g は増大する方向にある。これに対して、従来例（特許文献 1）の外輪案内方式では

、案内隙間は高速回転時に減少する方向にある。したがって、この保持器案内方式では、高速回転時での保持器案内面 8 a a と保持器内径面 5 a との直接の接触を確実に回避することができる。

[0035] なお、第 1 実施形態では、ノズル孔 10 からエアオイルを吐出するエアオイル潤滑の場合を例示して説明したが、潤滑方式としてはこれに限らず、冷却と潤滑を兼ねた潤滑油をノズル孔 10 から噴射させるジェット潤滑方式を採用しても同様の作用効果を得ることができる。

[0036] 図 2 は、この発明の第 2 実施形態を示す。第 2 実施形態は、図 1 の第 1 実施形態において、ノズル部材鍔部 8 a におけるノズル孔 10 を、鍔部 8 a の外径面である保持器案内面 8 a a に開口させて、ノズル孔 10 から潤滑剤であるエアオイルを保持器 5 の内径面 5 a に向けて吐出させることにより、案内隙間 g の潤滑を考慮している。この場合も、ノズル孔 10 は、ノズル部材鍔部 8 a の円周方向の 1 箇所に設けただけでも、保持器 5 を案内する機能や潤滑機能を発揮できるが、円周方向の複数箇所に等配して設けた場合には、保持器 5 を一層バランス良く案内することができる。

[0037] また、保持器 5 の内径面 5 a の中央部 5 a a は、中央側が大径となる斜面に形成されている。これにより、保持器 5 の内径面 5 a に付着した潤滑油が、遠心力により前記中央部 5 a a の斜面に沿って保持器 5 のポケット 5 b の方向に導かれ、保持器ポケット 5 b と円筒ころ 4 の間や、円筒ころ 4 の転動面と内外輪軌道面 2 a, 3 a の間の潤滑に供される。

[0038] 内輪 2 の軌道面 2 a を挟んだ軸方向両側の外径面に、軌道面 2 a 側が大径となる斜面部 2 b がそれぞれ設けられていることは、図 1 の第 1 実施形態の場合と同様であるが、その斜面部 2 b に円周溝 6 は設けられていない。また、ノズル部材の鍔部 8 a の内径面 8 a b を、内輪 2 の対応する前記斜面部 2 b に沿って、斜面部 2 b との間に微小隙間 δ を形成するように斜面に形成されていることも、図 1 の第 1 実施形態の場合と同様である。これにより、前記微小隙間 δ から軸受外へ流出しようとする潤滑油が、遠心力と内輪斜面部 2 b やノズル部材鍔部 8 a の内径斜面 8 a b での表面張力とにより、軸受内

へ戻され、潤滑に供される。

[0039] 図3は、この発明の第3実施形態を示す。第3実施形態は、図2の第2実施形態において、ノズル部材鍔部8aにおけるノズル孔10の出口部に、図3(B)に拡大して示すようにポケット付きオリフィス絞り部10aを設けることで、案内隙間gを動圧軸受ではなく定圧型の静圧軸受として構成している。なお、絞り部10aの絞り形式としては、毛細管絞りや自成絞りなど他の形式のものを採用しても良い。この場合、ノズル孔10は、ノズル部材鍔部8aの円周方向に、3箇所から8箇所程度等配して設けると、静圧軸受効果により、軸受回転速度が低い場合でも、流体潤滑作用により安定して保持器5を案内できる。その他の構成および作用効果は、図2の第2実施形態の場合と同様である。

[0040] 図4は、この発明の第4実施形態を示す。この実施形態は、図1の第1実施形態において、転がり軸受1を円筒ころ軸受に代えてアンギュラ玉軸受としたものである。この場合、ノズル部材8が軸受箱内に固定される。すなわち、この場合のノズル部材8は、図1の第1実施形態における外輪位置決り間座7とノズル部材8を一体とした部材とされており、このノズル部材8に給油手段9Aを構成するノズル孔10、給油路12、および円周溝13が設けられている。円周溝13は、ノズル部材8の外径面に設けられ、ノズル孔10および給油路12は、ノズル部材8の円周方向の複数箇所に等配して設けられる。これにより、軸受箱のエアオイル供給路（図示せず）から円周溝13に導入されたエアオイルが、各給油路12を経てノズル孔10に供給される。この場合、ノズル部材8は、アンギュラ玉軸受1の背面側に配置され、正面側には配置されない。その他の構成および作用効果は図1の第1実施形態の場合と同様である。

[0041] 図5は、図1および図4の第1および第4実施形態の転がり軸受装置を備えた高速スピンドル装置の一例を示す。このスピンドル装置24は工作機械に応用されるものであり、主軸25の前側（加工側）端部に工具またはワークのチャックが取付けられる。主軸25は、軸方向前側が2列1組のアンギ

ユラ玉軸受型の転がり軸受装置（図４）により支持され、軸方向後側が円筒ころ軸受型の転がり軸受装置（図１）により支持されている。各転がり軸受１の内輪２は主軸２５の外径面に嵌合し、外輪３は軸受箱２６の内径面に嵌合している。主軸前側の転がり軸受１については、その内輪２が主軸２５の段面２５aにより、外輪３が外輪位置決め間座７を介して押さえ蓋２８Aにより、軸受箱２６内に固定されている主軸後ろ側の転がり軸受１については、その内輪２が内輪位置決め間座２７により、外輪３が外輪位置決め間座７を介して押さえ蓋２８Bにより、軸受箱２６内に固定されている。軸受箱２６は、内周軸受箱２６Aと外周軸受箱２６Bの二重構造とされ、内外の軸受箱２６A、２６B間に冷却溝２９が形成されている。両転がり軸受１の外輪３の他方の端面側にはそれぞれ外輪位置決め間座７が配置され、これら外輪位置決め間座７、７間に内周軸受箱２６Aが介在している。主軸２５の後端部には、内輪位置決め間座２７に押し当てて転がり軸受１を固定する軸受固定ナット３１が螺着されている。

[0042] 前記押さえ蓋２８A、２８Bには、転がり軸受１をエアオイル潤滑する場合の供給源であるエアオイル供給装置３２A、３２Bからエアオイルを導入するエアオイル導入孔３３がそれぞれ設けられ、これらエアオイル導入孔３３は内周軸受箱２６Aに設けられたエアオイル供給路３４に連通している。また、押さえ蓋２８A、２８Bには排油孔３５が設けられ、これら排油孔３５は内周軸受箱２６Aに設けられた排油路３６に連通している。

[0043] このように構成されたスピンドル装置２４では、上記した転がり軸受装置を組み込んでいるので、主軸２５の高速化および温度上昇低減が可能となる。

[0044] 上記各実施形態は、内外輪２、３がいずれも軸受鋼で構成されたものであるが、以下に内輪をセラミックスで構成した転がり軸受装置について説明する。

[0045] 本発明の第５実施形態に係る図６の転がり軸受装置は、図１の第１実施形態に係る転がり軸受装置の内輪２に代えて、内輪２Aとその両側に配置した

2個の内輪間座13Aとの組み合わせからなる内輪・間座組合体14Aとしたものである。内輪2Aはセラミックス、例えば窒化けい素を主成分とする焼結体、または $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす β サイアロンを主成分とする焼結体で構成される。内輪間座13Aは、軸受鋼や、他の適宜の鉄系材料で構成される。

[0046] 内輪2Aは、鏑を有しない形状であり、軌道面2aの内径側に、軌道面2aの両端よりも軸方向外側に位置する肩部2cを有する。この実施形態では、肩部2cの外径面は軸方向に平行な面とされている。

[0047] 内輪間座13Aは、円筒ころ4の端面に接する鏑部13aを有し、この鏑部13aの内径面で内輪2Aの肩部2cの外径面に接するとともに、軸方向内側の端面13cで内輪2Aの端面に接している。内輪間座13Aの鏑部13aが内輪2Aの肩部2cに径方向の圧縮応力を付与するように組立てられる。また、内輪間座13Aの端面13cが内輪2Aの端面に接することで、内輪間座13Aの位置決めがされる。内輪間座13Aの外径面には、内輪2A側が大径となる斜面部13bが設けられている。この斜面部13bに、ノズル10から吐出される潤滑剤を受ける円周溝6が設けられる。内輪間座13Aの軸方向外側には、内輪位置決め間座27が設けられる。

[0048] 内輪・間座組合体14Aの内周には、軸15が嵌合している。内輪2Aと軸15の嵌めあいのはしまりばめ、内輪間座13Aと軸15の嵌めあいのはすきまばめとしてある。その理由を説明する。

組立時の嵌めあいにつき、内輪2Aと軸15とはしまりばめ、内輪間座13Aと軸15とはすきまばめ（図6）、両方ともしまりばめ（図7、第6実施形態）、内輪2Aと軸15とはすきまばめ、内輪間座13Aと軸15とはしまりばめ（図8、第7実施形態）の3通りのケースが考えられる。熱や遠心力による軸15の外径面の膨張を考えると、図6の構成が、上述の内輪間座13Aにより内輪2Aの肩部2cに対して径方向の圧縮応力を付与するという機能が最も発揮される点で好ましいのである。また、内輪軌道面2aの剛性を確保する上からも、図6の構成が望ましい。

[0049] 他は図 1 の第 1 実施形態に係る転がり軸受装置と同じ構成である。構成が同じ箇所については、同じ符号を付して、その説明を省略する。この転がり軸受装置も、エアオイルがノズル孔 10 から内輪間座 13 A の斜面部 13 b の円周溝 6 に向けて吐出されることにより、図 1 の第 1 実施形態に係る転がり軸受装置と同様の作用効果が得られる。

[0050] 加えて、この転がり軸受装置は、内輪 2 A をセラミックスで構成したことにより、以下の効果が得られる。セラミックスが窒化けい素を主成分とする焼結体である場合を例にとって説明する。

内輪 2 A と外輪 3 の双方を鋼で構成した転がり軸受装置（鋼製内輪タイプ）と、内輪 2 A を窒化けい素、外輪 3 を鋼で構成した転がり軸受（セラミックス製内輪タイプ）とを比較する。鋼の線膨張係数は約 11×10^{-6} 、窒化けい素の線膨張係数は約 3.2×10^{-6} であるから、運転時には内輪 2 A の方が外輪 3 よりも温度が高いと想定すると、セラミックス製内輪タイプは鋼製内輪タイプと比較して、運転時における転動体である円筒ころ 4 と内外輪間 2 A、3 の径方向すきま（工作機械では通常は負すきま）が大きい（負の値としての絶対値が小さい）。そのため、セラミックス製内輪タイプは、予圧過大現象を緩和することができ、高速回転性能に優れる。予圧過大現象は、円筒ころ 4 を径方向に過度に圧縮する現象であり、転がり軸受 1 の高速回転性を阻害する大きな要因である。

また、鋼の密度は $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、窒化けい素の密度は $3.2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ であるから、両者の密度の差を考えると、遠心膨張による予圧過大に対しても、セラミックス製内輪タイプは鋼製内輪タイプと比較して、特に高速回転時に有利である。

さらに、鋼のヤング率は約 210 GPa 、窒化けい素のヤング率は約 314 GPa であるから、セラミックス製内輪タイプは鋼製内輪タイプと比較して、軸受剛性の面でも有利である。

[0051] 上の説明は、セラミックスが窒化けい素を主成分とする焼結体である場合についてであるが、セラミックスが β サイアロンを主成分とする焼結体であ

る場合についてもほぼ同様のことが言える。

加えて、 β サイアロンを主成分とする焼結体は、低圧、例えば 1 MPa 以下の圧力下で焼結されるため、10 MPa 以上の圧力下で加圧焼結する窒化けい素を主成分とする焼結体よりも低コストで製造できるという利点がある。

なお、 β サイアロンについては、後段に詳細な説明を付記してある。

[0052] 概略円筒形である内輪 2 A に熱や遠心力の影響で径方向の応力が加わる場合、内輪 2 A に生じる周方向の応力（たが応力）は、材料力学的に径方向、軸方向の応力よりも絶対値において大きくなる。一般的に、セラミックスは鋼と比較して引っ張り強度が小さいため、たが応力が引っ張り応力として作用する場合に、内輪 2 A が損傷する恐れがある。そこで、内輪間座 13 A により内輪 2 A の肩部 2 c に対して径方向の圧縮応力を付与することで、引っ張り方向に作用するたが応力を打ち消すようにしてある。それにより、内輪 2 A の損傷が防がれて、高速回転に対して十分に対応可能となる。

[0053] 上述の内輪間座 13 A により内輪 2 A の肩部 2 c に対して径方向の圧縮応力を付与するという機能を最も有効に発揮させるには、図 6 のように、内輪 2 A と軸 15 の嵌めあいをしまりばめ、内輪間座 13 A と軸 15 の嵌めあいをすきまばめとするのが望ましい。場合によっては、図 7 のように、内輪 2 A と軸 15、内輪間座 13 A と軸 15 の両方ともしまりばめとしても良い。

図 6 および図 7 のいずれの場合、組立時の内輪 2 A と軸 15 の嵌めあい代は、内輪 2 A に作用するたが応力を考慮すれば、必要以上に大きくすることは避けるべきである。例えば、工作機械主軸用に多用される内径 50 ~ 100 mm 程度の転がり軸受の場合、低速回転時の剛性確保も考慮して、嵌めあい代は 5 μ m 未満程度を目安とする。対して、同サイズの鋼製内輪では、 $d_m n$ 値が 200 万を超える高速回転時の熱や遠心力による膨張を見込んで、嵌めあい代が 20 ~ 30 μ m 必要である。このように、セラミックス製内輪は、鋼製内輪よりも嵌めあい代を小さくできるので、組立時の圧入作業が容易である。

- [0054] 図9は第8実施形態を示す。この転がり軸受装置も、内輪2Bと2個の内輪間座13Bの組み合わせからなる内輪・間座組合体14Bを備えるが、内輪2Bは、円筒ころ4の端面に接する鍔部2dを有し、その鍔部2dの外側に内輪間座13Bが配置されている。内輪間座13Bは、内輪2Bの肩部2cに径方向の圧縮応力を付与するように組立てられる。内輪2Bの内周が軸15にしまりばめで嵌合し、内輪2Bの端面に接して内輪位置決め間座27が設けられている。前記同様、内輪2Bはセラミックス、例えば窒化けい素を主成分とする焼結体、または $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす β サイアロンを主成分とする焼結体で構成され、内輪間座13Bは、軸受鋼や、他の適宜の鉄系材料で構成される。
- [0055] この転がり軸受は、図6に示すものと同様の作用効果を有する。加えて、鍔部2dもセラミックスで構成されていることにより、図6に示すものよりも、鍔部2dと円筒ころ4の端面との潤滑性が良く、鍔部2dの耐焼付け性に優れるという利点を有する。
- [0056] 内輪2Bが鍔部2dを有する形状である場合、本発明の第9実施形態である図10に示すように、肩部2cの外周を周方向に沿う繊維からなる繊維性部材16で拘束することで、内輪2Bの肩部2cに径方向の圧縮応力を付与することができる。例えば、繊維性部材16を肩部2cの周囲に360度巻き付ける。繊維性部材16としては、引っ張り強度に優れた炭素繊維やアラミド繊維が適する。特に、負の線膨張係数(-4×10^{-6})を有するアラミド繊維を用いれば効果的である。この場合、外径面に内輪2B側が大径となる斜面部が設けられ、この斜面部に円周溝が設けられた部材(図示せず)を、内輪間座13Bの代わりに用いればよい。
- [0057] 本発明の第10実施形態である図11のように、鍔部を有しない内輪2Cと鍔部13aを有する内輪間座13Cとを組み合わせる内輪・間座組合体14Cを構成した転がり軸受装置において、図6のものよりも内輪2Cの肩部2cを軸方向外側に延ばして、内輪2Cの端面に内輪位置決め間座27の端面が接するようにしてもよい。その場合、内輪間座13Cの端面13cが内

輪 2 C の段差面 2 e に接することで、内輪間座 1 3 C の位置決めがされる。

この構成とすると、図 6 のものと比較して、内輪 2 C の内周と軸 1 5 との接触面が広いと、より大きな軌道面 2 a の剛性を与えることができる。

[0058] また、本発明の第 1 1 実施形態である図 1 2 に示すように、内輪 2 D と内輪間座 1 3 D との組立性を向上させるために、内輪 2 D の肩部 2 c を外側にいくほど小径となるテーパ形状にしてもよい。

[0059] 本発明の第 1 2 実施形態である図 1 3 の転がり軸受装置は、図 4 の転がり軸受がアンギュラ玉軸受である転がり軸受装置の内輪 2 に代えて、内輪 2 E とその両側に配置した 2 個の内輪間座 1 3 E, 1 7 E との組み合わせからなる内輪・間座組合体 1 4 E としたものである。内輪 2 E はセラミックス、例えば窒化けい素を主成分とする焼結体、または $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす β サイアロンを主成分とする焼結体で構成される。内輪間座 1 3 E, 1 7 E は、軸受鋼や、他の適宜の鉄系材料で構成される。

[0060] 転がり軸受がアンギュラ玉軸受である場合も、転がり軸受が円筒ころ軸受である場合と同様、内輪 2 E の内径がしまりばめで軸 1 5 に嵌合し、内輪間座 1 3 E, 1 7 E の鍔部 1 3 a, 1 7 a が内輪 2 E の肩部 2 c に径方向の圧縮応力を付与するように組立てられる。それにより、転がり軸受が円筒ころ軸受である場合と同様の作用効果を奏する。

[0061] 図 6 ないし図 1 3 に示す第 5 ないし第 1 2 実施形態では、内輪 2 A, 2 B, 2 C, 2 D, 2 E のみをセラミックスで構成したが、転動体 4 もセラミックスで構成してよい。転動体 4 もセラミックスで構成すれば、内輪 2 A, 2 B, 2 C, 2 D, 2 E をセラミックスで構成した場合と同様に、熱膨張や遠心膨張による予圧過大に対して高速回転時に有利であるため、さらなる軸受の高速化を図れる。その場合、製造面の便宜等を考えて、内輪 2 A, 2 B, 2 C, 2 D, 2 E と転動体 4 とを異なる種類のセラミックスで構成することができる。

[0062] 図 1 4 は、図 5 の高速スピンドル装置における主軸 2 5 の前側を支持する

転がり軸受装置を図 13 の第 12 実施形態の転がり軸受装置に、主軸 25 の後側を支持する転がり軸受装置を図 6 の第 5 実施形態の転がり軸受装置にそれぞれ置き換えたものである。図 6 に示す転がり軸受装置の代わりに、図 7 ないし図 12（第 6 ないし第 11 実施形態）のいずれかに示す転がり軸受装置を用いても良い。

一般に、工作機械主軸は、内輪回転・外輪静止で運転され、外輪 3 の外径側に設けた軸受箱 26 に冷却することでスピンドル系を冷却する構造が採用されている。したがって、内輪側での放熱性が低い。さらに、最近ではスピンドル内部において主軸 25（15）と一体化したビルトインモータ形式で主軸 25 を駆動することが多く、モータの発熱により内輪側が高温環境となりやすい傾向にある。この傾向は、高速回転時に顕著である。このような工作機械の主軸 25 の支持に、内輪 2A, 2B, 2C, 2D, 2E がセラミックスで構成された転がり軸受装置を用いれば、より一層の高速回転化を図ることが可能である。

[0063] 以下、 β サイアロンを主成分とする焼結体について、さらに詳しく説明する。

この焼結体は、 β サイアロンを主成分とし、残部不純物からなる焼結体、または β サイアロンを主成分とし、残部焼結助剤および不純物からなる焼結体のことを言う。不純物は、原料に由来するもの、あるいは製造工程において混入するものを含む不可避免的不純物を含む。焼結助剤としては、マグネシウム（Mg）、アルミニウム（Al）、けい素（Si）、チタン（Ti）、希土類元素の酸化物、窒化物、酸窒化物のうち少なくとも 1 種類以上を採用することができる。なお、焼結助剤は、焼結体のうち 20 質量%以下とすることが望ましい。

[0064] 図 15 に、 β サイアロンを主成分とする焼結体から構成される内輪 2A の製造方法を示す。

β サイアロン粉末準備工程 S1 は、 β サイアロンの粉末を準備する工程である。例えば、燃焼合成法を採用することにより、安価に β サイアロンの粉

末を製造することができる。

- [0065] 混合工程 S 2 は、 β サイアロン粉末準備工程 S 1 において準備された β サイアロンの粉末に、焼結助剤を添加して混合する工程である。焼結助剤を添加しない場合は、この工程を省略することができる。
- [0066] 成形工程 S 3 は、 β サイアロンの粉末、または β サイアロンの粉末と焼結助剤との混合物を、内輪 2 A の概略形状に成形する工程である。具体的には、 β サイアロンの粉末、または β サイアロンの粉末と焼結助剤との混合物に、プレス成形、鋳込み成形、押し出し成形、転動造粒等の成形手法を適用することにより、内輪 2 A の概略形状に成形された成形体を作製する。
- [0067] 焼結前加工工程 S 4 は、上記成形体を表面加工して、当該成形体が焼結後に所望の内輪 2 A の形状により近い形状となるよう成形する工程である。具体的には、グリーン体加工等の加工手法を適用することにより、上記成形体が焼結後に内輪 2 A の形状により近い形状となるように成形する。この焼結前加工工程 S 4 は、成形工程 S 3 において上記成形体が成形された段階で、焼結後に所望の内輪 2 A の形状に近い形状が得られる状態である場合には省略することができる。
- [0068] 焼結工程 S 5 は、上記成形体を 1 MPa 以下の圧力下で焼結する工程である。具体的には、上記成形体を、ヒータ加熱、マイクロ波やミリ波による電磁波加熱等の加熱方法により加熱して焼結することにより、内輪 2 A の概略形状を有する焼結体を作製する。
- [0069] 仕上げ工程 S 6 は、焼結工程 S 5 において作製された焼結体に対して仕上げ加工を実施することにより、内輪 2 A を完成させる工程である。具体的には、焼結工程 S 5 において作製された焼結体の表面を研磨することにより、内輪 2 A を完成させる。
- [0070] ここで、上記焼結工程 S 5 における焼結により、焼結体の表面から厚さ 500 μ m 程度の領域には、内部よりも緻密性が高く、断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は 7 % 以下である緻密層が形成される。さらに、焼結体の表面から厚さ 150 μ m

程度の領域には、緻密層内の他の領域よりもさらに緻密性が高く、断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率は3.5%以下である高緻密層が形成されている。したがって、仕上げ工程S6においては、除去される焼結体の厚みは、特に軌道面となるべき領域において150 μ 以下とすることが好ましい。これにより、内輪軌道面2aを含む領域に、高緻密層を残存させ、内輪2Aの転動疲労寿命を向上させることができる。

[0071] サイアロン焼結体の断面における緻密層および高緻密層の形成状態の調査をする試験を行った。試験の手順は以下のとおりである。

[0072] はじめに、燃焼合成法で作製した組成が Si_3AlON_7 である β サイアロンの粉末（株式会社イスマンジェイ製、商品名メラミックス）を準備し、前記図15に示す内輪の製造方法と同様の方法で、一辺が約10mmの立方体試験片を作製した。具体的な製造方法は次のとおりである。まず、サブミクロンに微細化された β サイアロン粉末と、焼結助剤としての酸化アルミニウム（住友化学株式会社製、AKP30）および酸化イットリウム（H. C. Starck社製、Yttrium oxide grade C）とをボールミルを用いて湿式混合により混合した。その後、スプレードライヤーにて造粒を実施し、造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で所定の形状に成形し、さらに冷間静水圧成形（CIP）で加圧を行い、成形体を得た。引き続き当該成形体を圧力0.4MPaの窒素雰囲気中で1650℃に加熱焼結することで、上記立方体試験片を製造した。

[0073] その後、当該試験片を切断し、切断された面をダイヤモンドラップ盤でラッピングした後、酸化クロムラップ盤による鏡面ラッピングを実施することにより、立方体の中心を含む観察用の断面を形成した。そして、当該断面を光学顕微鏡（株式会社ニコン製、マイクロフォト-FAX）の斜光で観察し、倍率50倍のインスタント写真（フジフィルム株式会社製 F P-100 B）を撮影した。その後、得られた写真の画像を、スキャナーを用いて（解像度300DPI）パーソナルコンピュータに取り込んだ。そして、画像

処理ソフト（三谷商事株式会社製 WinROOF）を用いて輝度閾値による２値化処理を行って（本試験での２値化閾値：１４０）、白色領域の面積率を測定した。

[0074] 次に、試験結果について説明する。図１６は、試験片の上記観察用の断面を光学顕微鏡の斜光で撮影した写真である。また、図１７は、図１６の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により２値化処理した状態を示す一例である。また、図１８は、図１６の写真の画像を、画像処理ソフトを用いて輝度閾値により２値化処理する際に、画像処理を行う領域（評価領域）を示す図である。図１６において、写真上側が試験片の処理側であり、上端が表面である。

[0075] 図１６および図１７を参照して、図１５に示す内輪の製造方法と同様の方法で作成された試験片は、表面を含む領域に内部よりも白色領域の少ない層が形成されていることがわかる。そして、図１８に示すように、撮影された写真の画像を試験片の最表面からの距離に応じて３つの領域（最表面からの距離が１５０μm以内の領域、１５０μmを超え５００μm以内の領域、５００μmを超え８００μm以内の領域）に分け、領域毎に画像解析を行って白色領域の面積率を算出したところ、表１に示す結果が得られた。表１においては、図１８に示した各領域を１視野として、無作為に撮影された５枚の写真から得られる５視野における白色領域の面積率の、平均値と最大値とが示されている。

[0076] [表１]

	最表面からの深さ (μm)	白色領域の面積率(%)	
		５視野平均	５視野最大値
1)高緻密層	150	1.2	3.5
2)緻密そう	15～500	3.7	7.0
3)内部	>500	18.5	22.4

[0077] 表 1 を参照して、試験片における白色領域の面積率は、内部において 18 . 5 %であったのに対し、表面からの深さが 500 μm 以下である領域においては 3 . 7 %、表面からの深さが 150 μm 以下の領域においては 1 . 2 %となっていた。このことから、図 15 に示す内輪の製造方法と同様の方法で作成された試験片は、表面を含む領域に内部よりも白色領域の少ない緻密層および高緻密層が形成されていることが確認された。

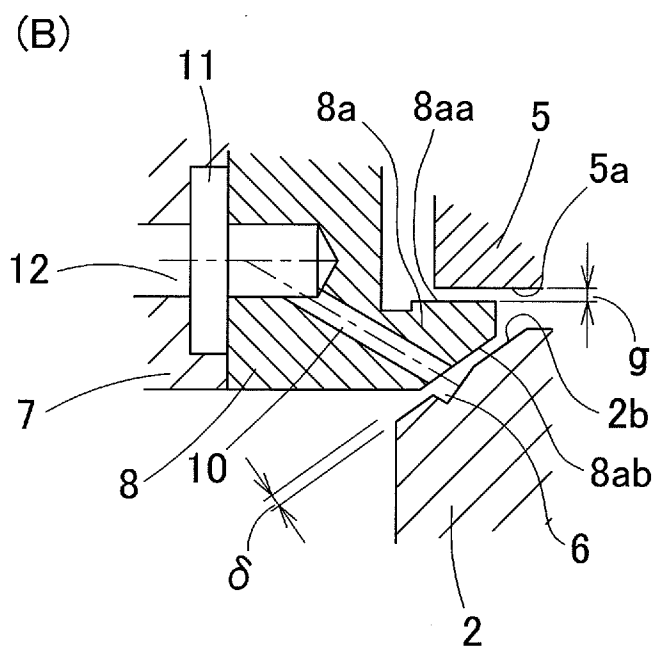
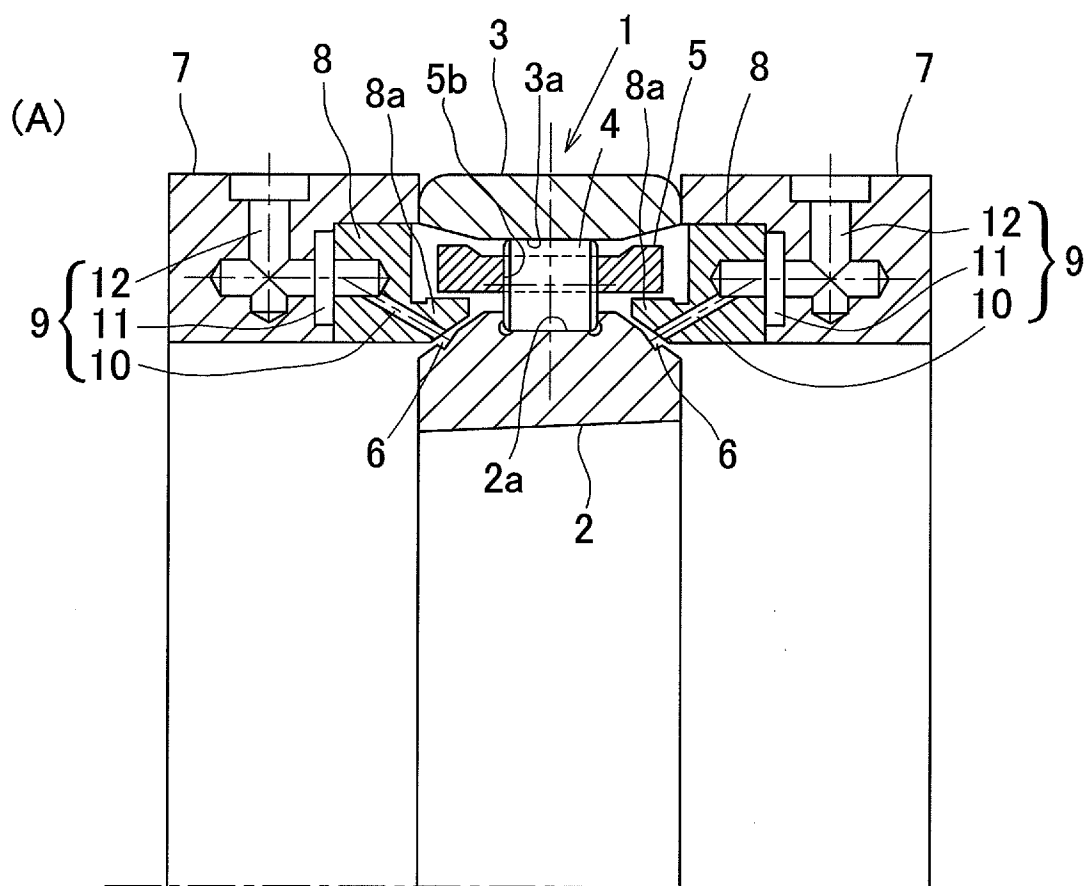
[0078] 以上のとおり、図面を参照しながら好適な実施形態を説明したが、当業者であれば、本件明細書を見て、自明な範囲内で種々の変更および修正を容易に想定するであろう。したがって、そのような変更および修正は、添付のクレームから定まるこの発明の範囲内のものと解釈される。

請求の範囲

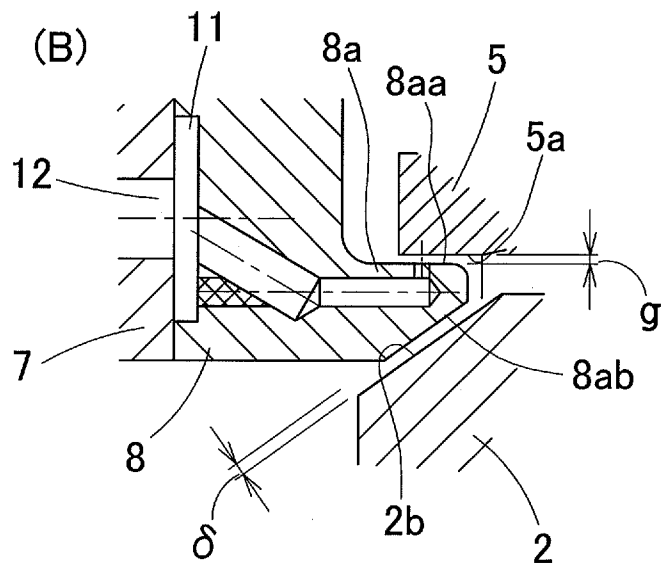
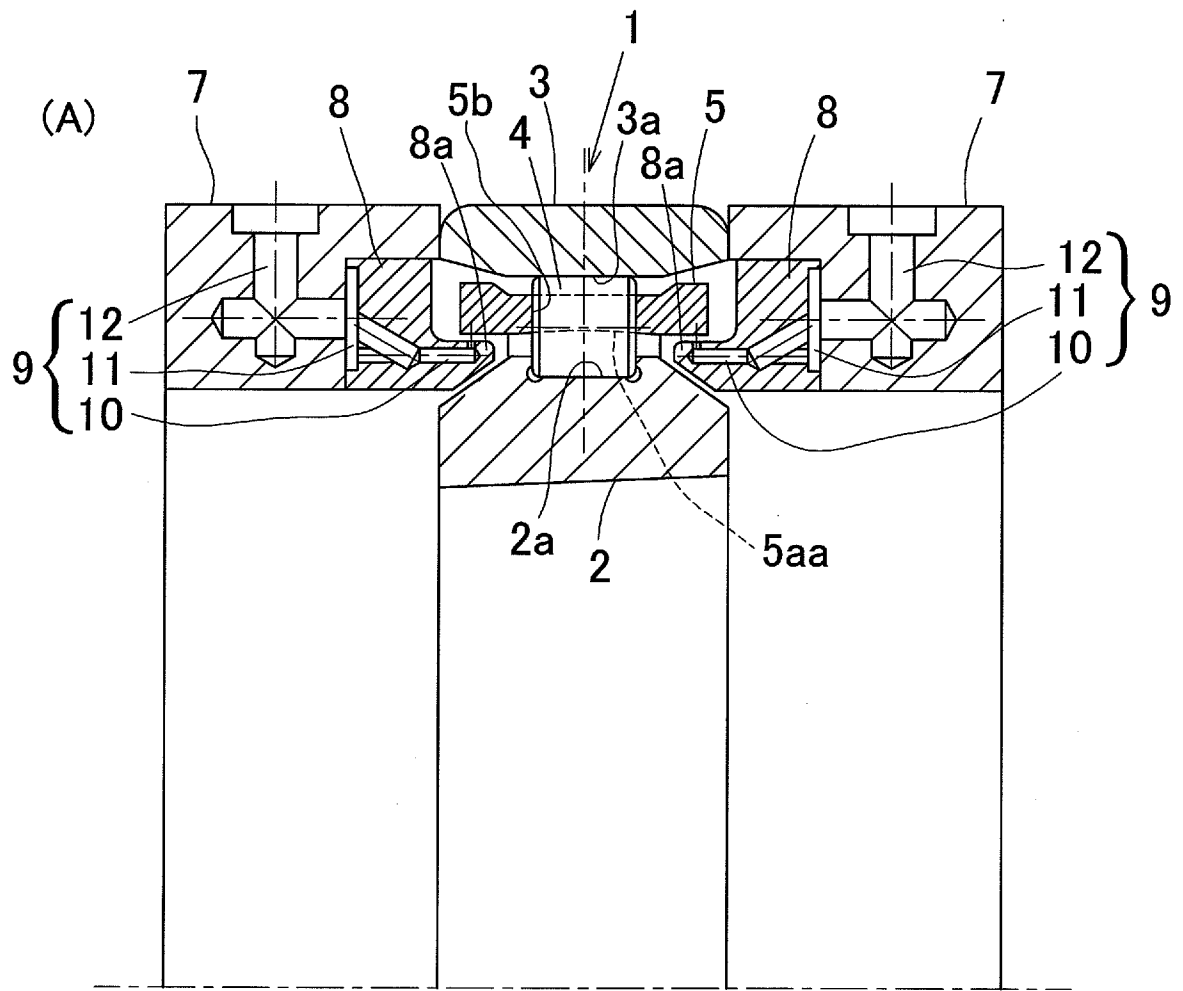
- [1] 内輪と外輪の軌道面の間に、環状の保持器に保持された転動体を介在させた転がり軸受と、前記外輪に隣接して設けたノズル部材とを備えた転がり軸受装置であって、
- 前記ノズル部材に、内輪と外輪間の軸受空間に挿入され潤滑剤のノズル孔を有する環状の鍔部を設け、この鍔部の外径面を保持器案内面とし、この保持器案内面で前記保持器の内径面を案内させる転がり軸受装置。
- [2] 請求項 1 において、前記内輪の外径面に、軌道面側が大径となる斜面部を設け、前記ノズル部材の前記鍔部に設けられたノズル孔を、前記内輪の前記斜面部に向けて潤滑剤を吐出させるものとした転がり軸受装置。
- [3] 請求項 1 において、前記ノズル部材の前記鍔部に設けられたノズル孔を、保持器の内径面に向けて潤滑剤を吐出させるものとした転がり軸受装置。
- [4] 請求項 3 において、前記ノズル孔に絞り部を設けた転がり軸受装置。
- [5] 請求項 3 において、前記内輪の外径面を斜面部とし、前記鍔部の内径面を前記内輪の外径面に沿う斜面に形成した転がり軸受装置。
- [6] 請求項 1 において、前記ノズル部材の前記鍔部における円周方向の複数箇所に前記ノズル孔を設けた転がり軸受装置。
- [7] 請求項 1 において、前記ノズル部材の前記ノズル孔から吐出する潤滑剤がエアオイルである転がり軸受装置。
- [8] 請求項 1 に記載の転がり軸受装置であって、工作機械の主軸の支持に用いられるものである転がり軸受装置。
- [9] 請求項 1 において、前記内輪がセラミックスで構成されている転がり軸受装置。
- [10] 請求項 9 において、前記セラミックスは、窒化けい素を主成分とする焼結体である転がり軸受装置。
- [11] 請求項 9 において、前記セラミックスは、 $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ の組成式で表され、 $0.1 \leq z \leq 3.5$ を満たす β サイアロンを主成分とする焼結体である転がり軸受装置。

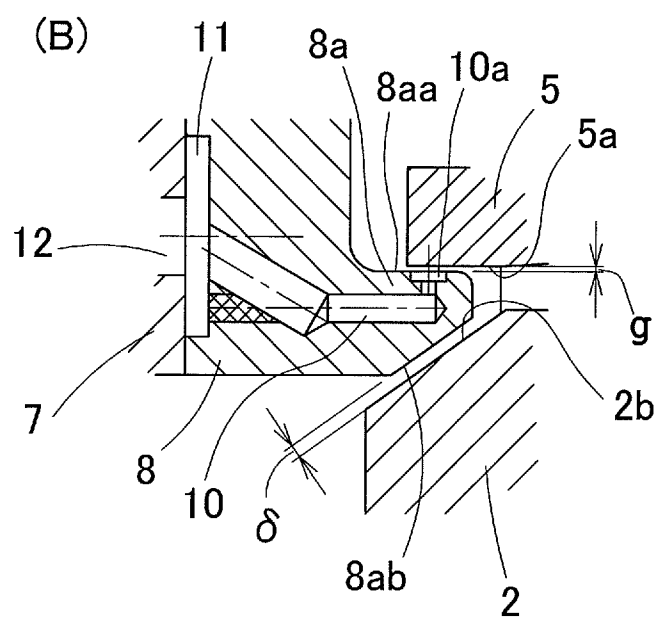
- [12] 請求項 9 において、前記転動体が、前記内輪とは種類の異なるセラミックスで構成されている転がり軸受装置。
- [13] 請求項 9 において、前記内輪は、軌道面よりも軸方向外側に位置する肩部を有し、この肩部の外径面に内径面が嵌合する内輪間座を設け、この内輪間座により前記内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されている転がり軸受装置。
- [14] 請求項 9 において、前記内輪は、軌道面よりも軸方向外側に位置する肩部を有し、この肩部の外周を周方向に沿う繊維からなる繊維性部材で拘束して、前記内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されている転がり軸受装置。
- [15] 請求項 9 において、前記内輪は、軌道面よりも軸方向外側に位置する肩部を有し、この肩部の外径面に内径面が嵌合する内輪間座を設け、前記内輪および内輪間座の内周に軸が嵌合し、内輪と軸の嵌めあいをしまりばめ、内輪間座と軸の嵌めあいをすきまばめとして、この内輪間座により前記内輪の肩部に対して径方向の圧縮応力を付与されている軸受装置。

[図1]

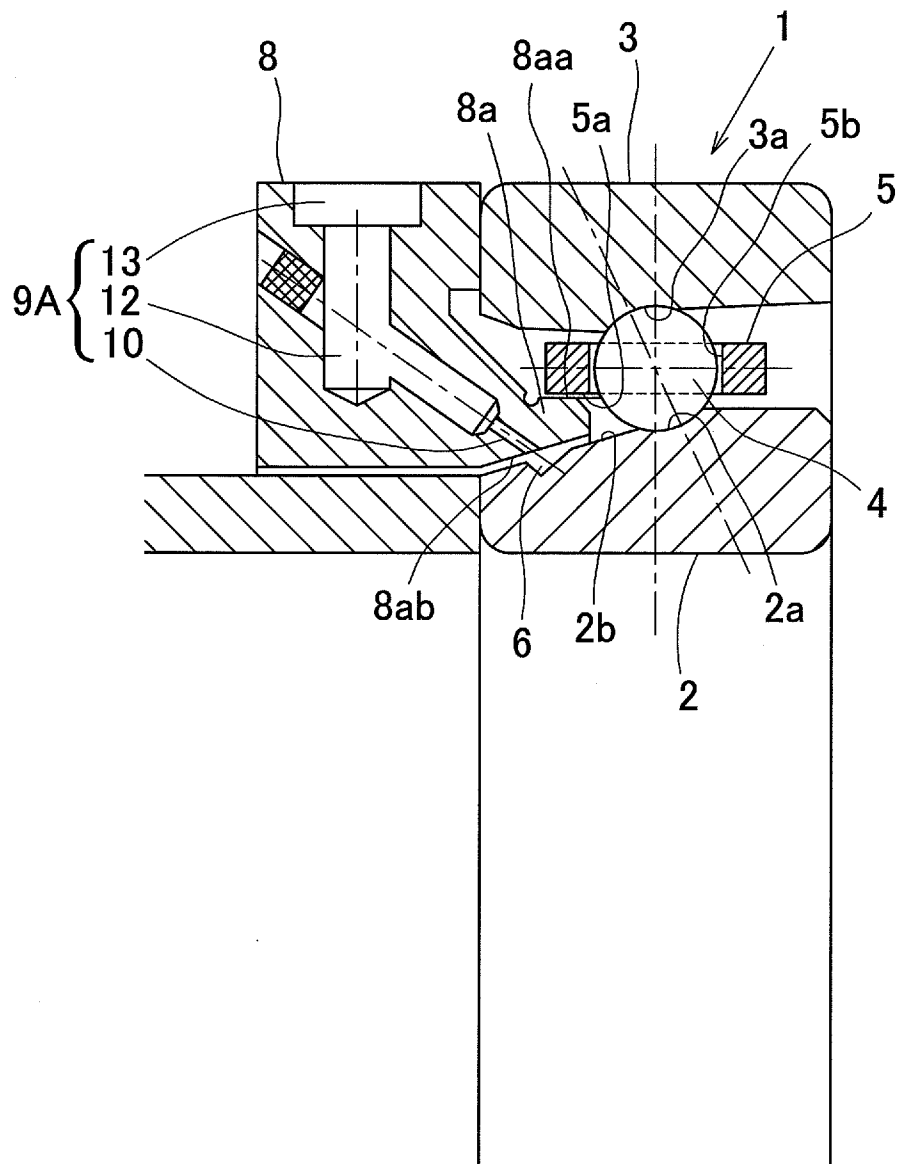


[図2]

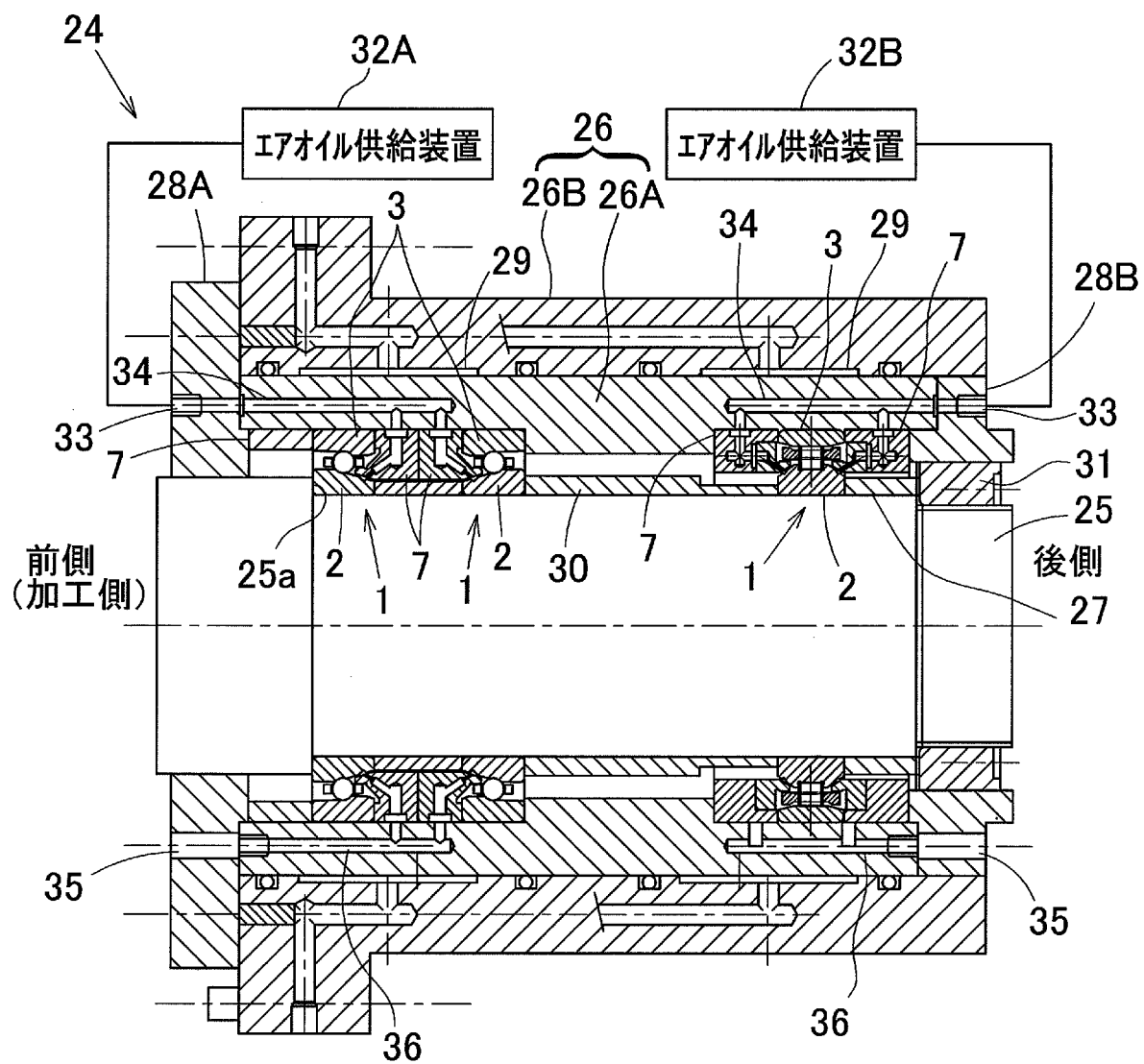


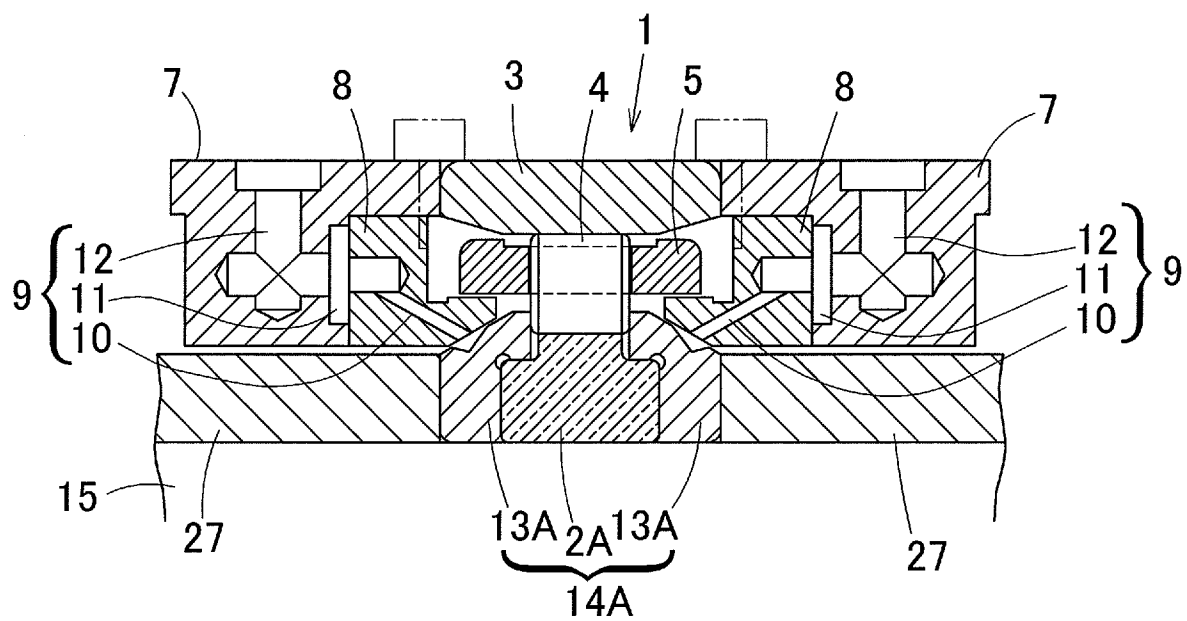
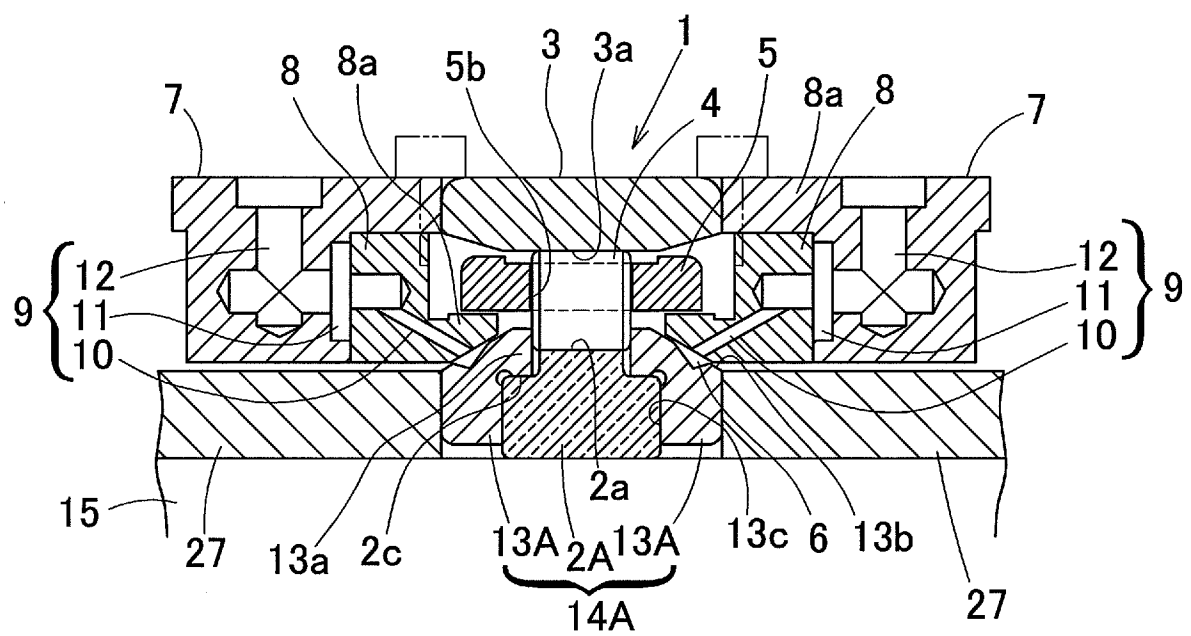
[illegible]

[図4]



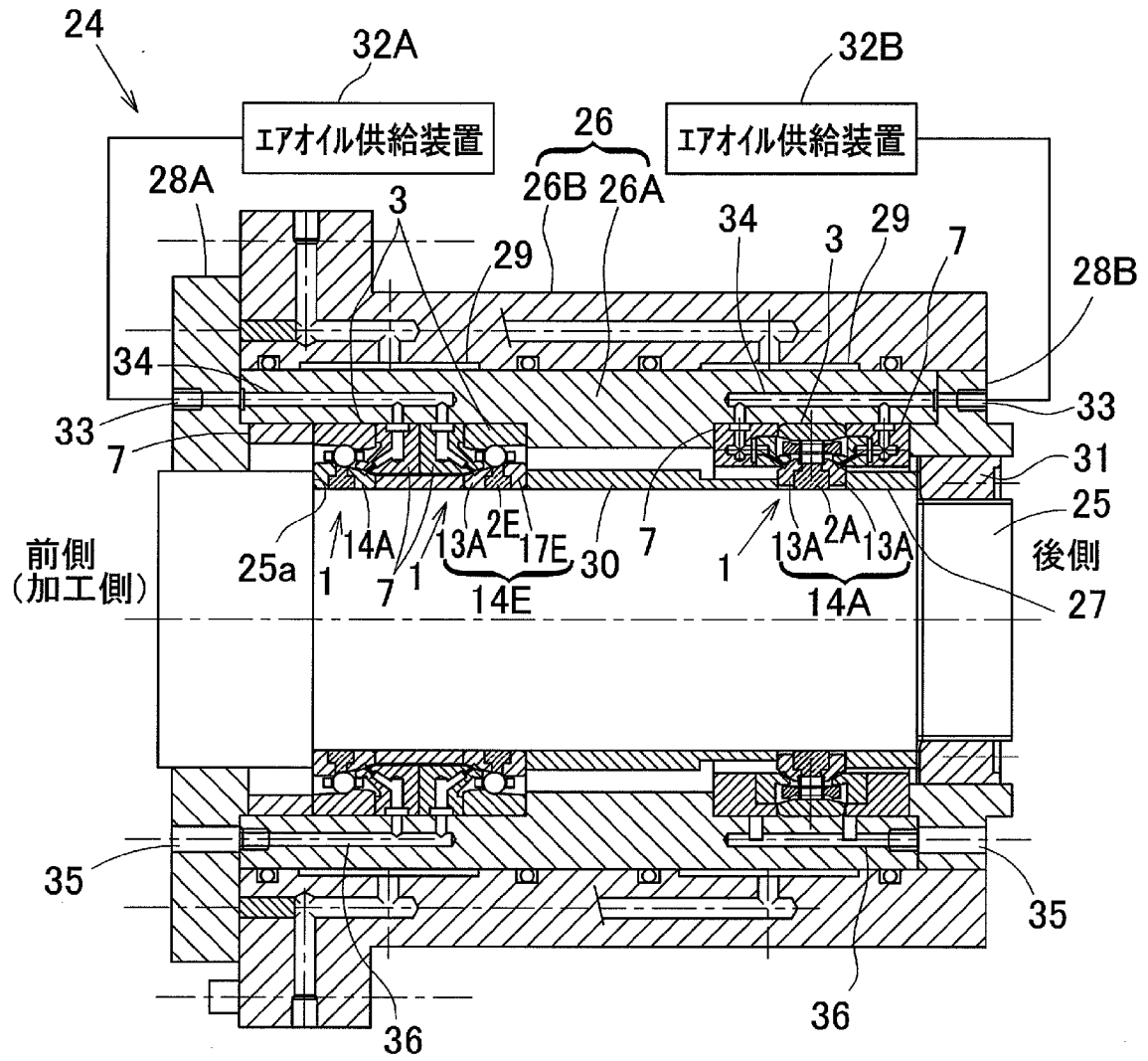
[図5]



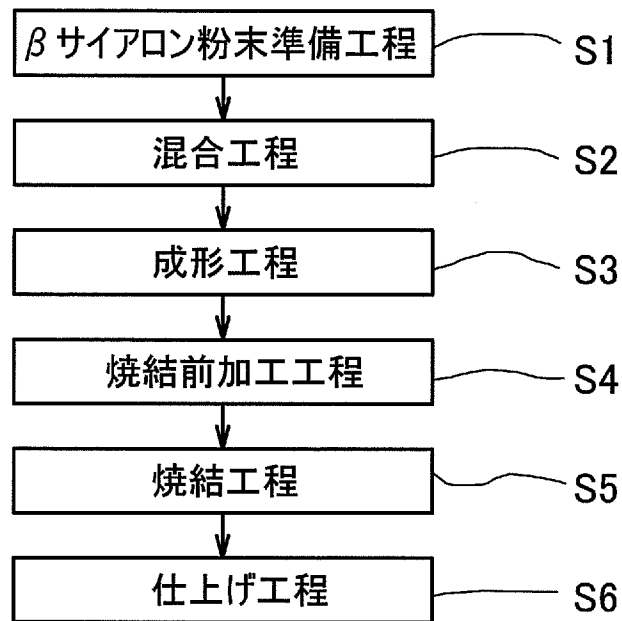


This cross-sectional view shows a semiconductor device 1. It features a substrate 15 with a base layer 27. On top of the base layer, there is a layer 2c. A central region 14A is defined by a bracket, containing sub-regions 13B, 2B, and 13B. Above this central region, there is a layer 2d. The device is surrounded by a structure 9, which includes layers 10, 11, and 12. The top surface of the device is covered by a layer 7, with a central opening 8. A dashed line 4 indicates a boundary or interface within the device.

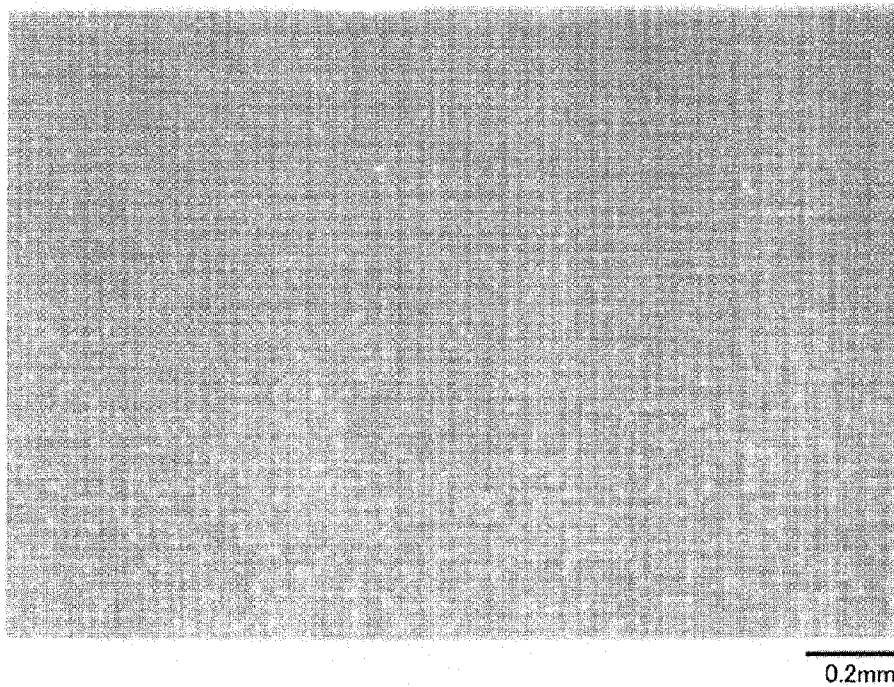
[図14]



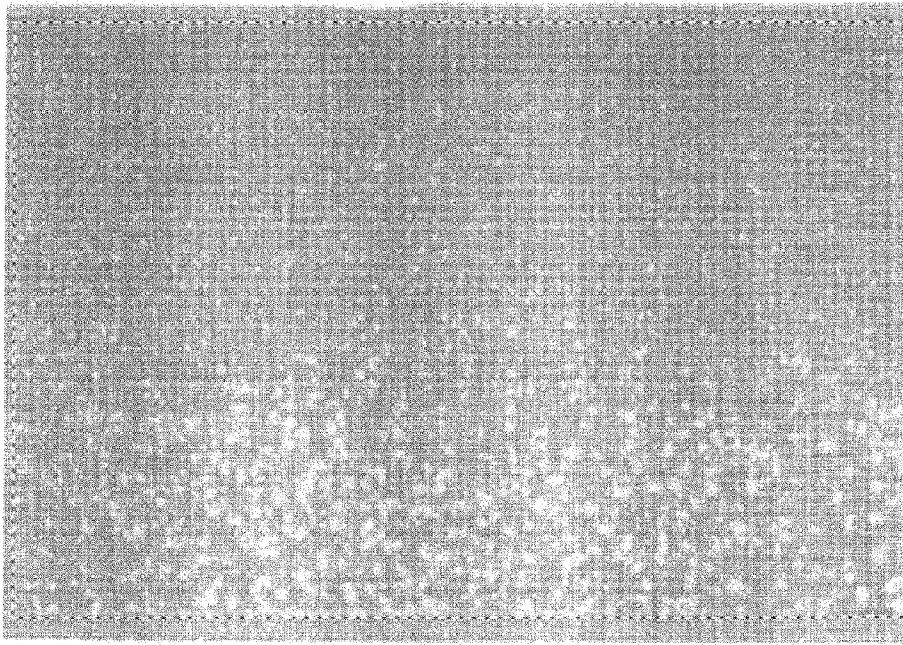
[図15]



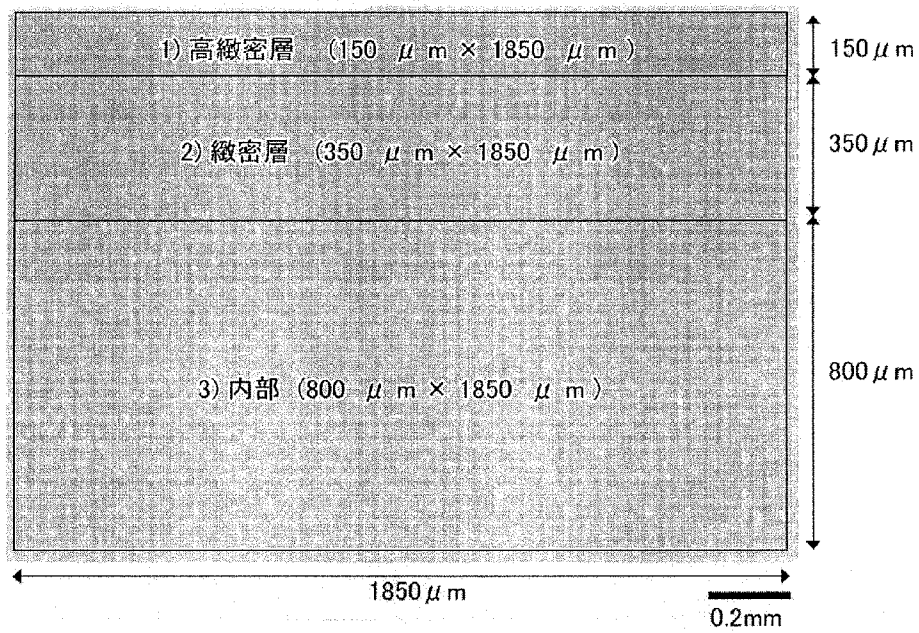
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/002238

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C33/66(2006.01)i, B23Q11/12(2006.01)i, F16C19/16(2006.01)i, F16C19/36(2006.01)i, F16C33/46(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)

F16C33/66, B23Q11/12, F16C19/16, F16C19/36, F16C33/46

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 1996-2008

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-89573 A (NTN Corp.), 27 March, 2002 (27.03.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-15
Y	JP 11-132244 A (NSK Ltd.), 18 May, 1999 (18.05.99), Par. No. [0011]; Fig. 1 (Family: none)	1-15
Y	JP 2006-300323 A (NSK Ltd.), 02 November, 2006 (02.11.06), Par. Nos. [0200] to [0231]; Fig. 21 & US 6874942 B2 & WO 2002/070910 A1	10, 12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
10 October, 2008 (10.10.08)

Date of mailing of the international search report
21 October, 2008 (21.10.08)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/002238

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 6-199508 A (Alps Electric Co., Ltd.), 19 July, 1994 (19.07.94), Par. Nos. [0002], [0003] & US 5429998 A	11
Y	JP 2002-139032 A (NTN Corp.), 17 May, 2002 (17.05.02), Par. Nos. [0003], [0020]; Fig. 2 (Family: none)	13, 15
Y	JP 5-148052 A (Norton Co.), 15 June, 1993 (15.06.93), Full text; Figs. 1, 3 & US 5306565 A & EP 477755 A1	14

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. F16C33/66(2006.01)i, B23Q11/12(2006.01)i, F16C19/16(2006.01)i, F16C19/36(2006.01)i, F16C33/46(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. F16C33/66, B23Q11/12, F16C19/16, F16C19/36, F16C33/46

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 0 8 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 8 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 8 年

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

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-89573 A（エヌティエヌ株式会社）2002.03.27, 全文、全図（ファミリーなし）	1 - 1 5
Y	JP 11-132244 A（日本精工株式会社）1999.05.18, 【0 0 1 1】、図1（ファミリーなし）	1 - 1 5
Y	JP 2006-300323 A（日本精工株式会社）2006.11.02, 【0 2 0 0】 - 【0 2 3 1】、図2 1 & US 6874942 B2 & WO 2002/070910 A1	1 0、1 2

☒ 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

1 0 . 1 0 . 2 0 0 8

国際調査報告の発送日

2 1 . 1 0 . 2 0 0 8

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）

佐藤 高弘

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

3 J

3 5 3 1

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 6-199508 A (アルプス電気株式会社) 1994.07.19, 【0002】、 【0003】 & US 5429998 A	1 1
Y	JP 2002-139032 A (エヌティエヌ株式会社) 2002.05.17, 【0003】、【0020】、図2 (ファミリーなし)	1 3、1 5
Y	JP 5-148052 A (ノートン カンパニー) 1993.06.15, 全文、図1、 図3 & US 5306565 A & EP 477755 A1	1 4