

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2005年2月10日 (10.02.2005)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2005/012731 A1

- (51) 国際特許分類: F04B 53/00, 15/00, F04D 29/04, F16C 33/32, 33/38, 33/44, 33/62
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/010337
- (22) 国際出願日: 2004年7月21日 (21.07.2004)
- (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2003-203539 2003年7月30日 (30.07.2003) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目1番5号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 山本 康晴 (YAMAMOTO, Yasuharu) [JP/JP]; 〒6768686 兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工業株式会社 高砂製作所内 Hyogo (JP). 長田 俊幸 (OSADA, Toshiyuki) [JP/JP]; 〒6768686 兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工業株式会社 高砂製作所内 Hyogo (JP). 吉田 孝文 (YOSHIDA, Takafumi) [JP/JP]; 〒8510392 長崎県長崎市深堀町5丁目717番1号

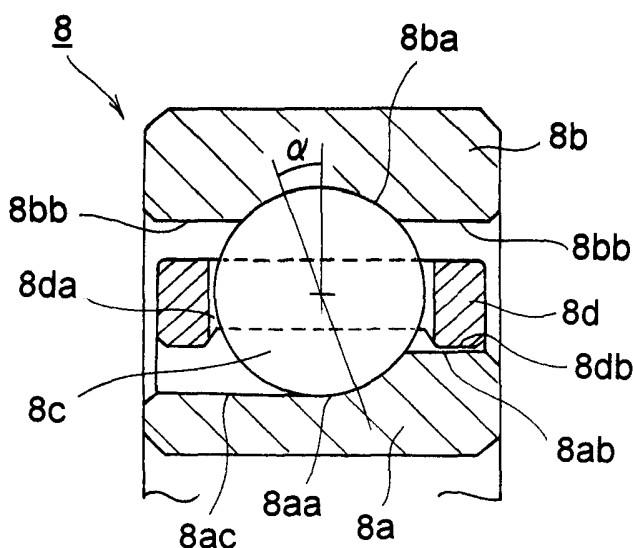
三菱重工業株式会社 長崎研究所内 Nagasaki (JP). 貝瀬 高明 (KAIKOGI, Takaaki) [JP/JP]; 〒6768686 兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目1番1号 三菱重工業株式会社 高砂研究所内 Hyogo (JP). 南 正晴 (MINAMI, Masaharu) [JP/JP]; 〒6760008 兵庫県高砂市荒井町新浜2丁目8番19号 高菱エンジニアリング株式会社内 Hyogo (JP).

- (74) 代理人: 佐野 静夫 (SANO, Shizuo); 〒5400032 大阪府大阪市中央区天満橋京町2-6 天満橋八千代ビル別館 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, 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,

[続葉有]

(54) Title: PUMP

(54) 発明の名称: ポンプ



(57) Abstract: A pump for carrying supercritical CO<sub>2</sub> fluid or liquid CO<sub>2</sub> capable of securing reliability by optimizing a bearing part. An angular ball bearing (8) comprises an inner ring (8a), an outer ring (8b), balls (8c) held therebetween, and a cage (8d) holding the balls (8c). Both the balls and the inner and outer rings are formed of a ceramic to form a totally ceramic bearing. Also, the cage (8d) is guided by the outer ring or the inner ring. Specifically, for example, when the cage is guided by the inner ring, the inner peripheral surface (8db) of the cage (8d) opposed to the outermost peripheral surface (8ab) of the inner ring (8a) is guided by the outermost peripheral surface (8ab) of the inner ring (8a).

(57) 要約: 超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>を搬送するポンプであって、軸受部を最適化することにより信頼性を確保した超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>用ポンプである。アンギュラ玉軸受(8)は、内輪(8a)、

外輪(8b)、及びこれらに挟持された玉(8c)、並びに玉(8c)を保持する保持器(8d)より成り、玉及び内外輪共セラミックとした総セラミック軸受としている。また、保持器(8d)は外輪、或いは内輪案内としており、具体的には、例えば、内輪案内の場合には、内輪(8a)の最外周面(8ab)により、これに対向する保持器(8d)の内周面(8db)が案内される構成となっている。

WO 2005/012731 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,  
IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,  
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

## ポンプ

## 技術分野

[0001] 本発明は、超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>を搬送するポンプに関するものである。

## 背景技術

[0002] 超臨界流体は、温度、圧力を操作することで体積(密度)を連続的に変えられるために、溶解特性等の諸物性値をコントロールし易く、冷媒として活用できる。更に、粘性が低く拡散性が高いので、洗浄分野での使用や、或いは、熱伝導度が大きいので、冷媒としての活用が期待される。

[0003] 超臨界流体としては、入手しやすく、また爆発、可燃性が無いこと等による取扱性の良さ等から、「水」、「CO<sub>2</sub>」等が一般的に利用される。特にCO<sub>2</sub>は、臨界温度31℃、臨界圧力7.38MPaであり、他の物質に比べると温度、圧力共に低くて取扱性が良く、大気圧、常温では気体状態である等の特徴があり、熱に弱い物質(食品、香料等)の抽出溶媒や、乾燥性、浸透性を利用した洗浄剤等に広く利用される。また、超臨界CO<sub>2</sub>を用いた抽出装置又は洗浄装置では、通常7〜20MPa程度に加圧して使用される。

[0004] このような装置におけるCO<sub>2</sub>搬送用のポンプは、高圧下で用いられるため、いわゆるシールレス・キャンドモータ形式のポンプが採用される。軸受としては玉軸受が用いられる場合があり、溶液(超臨界CO<sub>2</sub>)の中で使用されるが、食品或いは半導体分野に用いられる場合は、ポンプ内部での異物(パーティクル)の発生を防止するため、軸受の摩耗は許容できない。

[0005] ちなみに、ポンプの一例としてターボ分子ポンプが特許文献1に開示されている。また、キャンドモータ形式のポンプが特許文献2に開示されている。その他、半導体製造用純水製造システムによって製造される超純水の重金属汚染を防ぐようにした、半導体製造方法および半導体製造装置が特許文献3に開示されている。

特許文献1:特開平10-274188号公報

特許文献2:特開2000-9077号公報

特許文献3:特開2003-124177号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0006] しかしながら、玉軸受は粘性の低い超臨界CO<sub>2</sub> (或いは液体CO<sub>2</sub>)内で使用されるので、揚液による潤滑は期待できず、軸受の摩耗に対しては厳しい環境条件である。さらには、洗浄を行う装置等では、その洗浄能力を更に高めるために、CO<sub>2</sub>の中に洗浄薬液を混入して使用する場合もあり、薬液による玉軸受の腐食等も懸念される。
- [0007] ロータに作用するラジアル荷重、及びスラスト荷重はこの玉軸受にて受ける。更に、後述する羽根車側とは反対側の軸端側軸受に設置した軸受与圧バネにて与圧荷重を与えて、軸受のいわゆる公転滑り(横滑り)防止を図る構造としている。ところが、上述の構造のポンプにおいては、揚液中(いわゆるどぶづけ状態)で使用されるので、玉及び保持器の回転抵抗(攪拌損失)が大きく、軸受の公転滑りが発生しやすいので、これを防止するために大きな与圧荷重をかけることが必要となる場合がある。
- [0008] 一方、軸受の寿命を確保するためには、与圧荷重も含めた軸受荷重はできるだけ小さくする方が望ましいが、揚液中で使用するため公転滑り防止との兼ね合いを考慮して、ポンプの設計をしなくてはならない。
- [0009] 本発明は、以上のような問題点に鑑み、超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>を搬送するポンプであって、軸受部を最適化することにより信頼性を確保した超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>用ポンプを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記目的を達成するために、本発明では、超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>を搬送するポンプにおいて、前記ポンプを駆動するモータの主軸を軸支する軸受は、その内輪及び外輪及び玉(転動体)が各々セラミック材より成る。
- [0011] また、前記玉を保持する保持器は、外輪の内周面で案内される外輪案内、或いは内輪の外周面で案内される内輪案内とし、また、外輪或いは内輪との案内面を軸方向の両側面或いは片側面とする。
- [0012] また、前記軸受の内輪の溝半径率は52%以上である。そして、前記主軸は中空軸

である。

- [0013] 公知の内輪軌道溝の曲率半径は、例えばJIS規格で規定されているように、52%程度とされている。超臨界CO<sub>2</sub>流体雰囲気中で使用される転がり軸受では、特に高速回転領域において、摩耗が発生しやすく、この摩耗にはスピンすべりの寄与が大きいと考えられる。斜接(アンギュラ)玉軸受の玉は、普通は内輪か外輪のどちらかの軌道面では殆どすべりなしで転がり、他方の軌道面でスピンの発生する。
- [0014] また、斜接玉軸受では、内輪の軌道溝の曲率半径の方が外輪のそれよりも小さく、また、荷重が加わったときの接触楕円の長径が長い。そのため、内輪では玉のスピン運動は妨げられ(内輪案内)、外輪軌道で完全なスピン運動が出現する。しかしながら、高速回転(且つ荷重が小)になると、遠心力の効果が大きくなり、外輪案内となりやすい。
- [0015] 本発明では、摩耗への寄与が大きいスピンすべりと内輪の軌道溝の曲率半径に着目して、スピンすべりによるPV値(軸受面圧Pとすべり速度Vの積)を小さくすることにより、摩耗の低減を可能とするもので、より具体的には、内輪の軌道溝の曲率半径を標準値より大きくして、玉と軌道溝との接触領域を小さくすることにより、PV値を小さくするものである。
- [0016] 本発明における超臨界CO<sub>2</sub>ポンプ用転がり軸受によると、玉、内輪及び外輪がセラミックスで形成されているので、耐摩耗性が向上し、しかも、内輪軌道溝の曲率半径が玉径の52%以上、更には特に54%より大きくされているので、内輪側の接触領域が小さくなり、この結果、PV値も小さくなり、より一層の摩耗の低減が可能となる。従って、転がり軸受の耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO<sub>2</sub>ポンプは、振動が大きくなって継続使用ができないという問題を生じない。
- [0017] なお、内輪軌道溝の曲率半径の上限は、特に限定されるものではないが、他の性能を考慮して玉径の60%程度とされる。また、外輪の軌道溝の曲率半径についても、特に限定されるものではなく、通常、玉径の50.5%以上で且つ60%以下程度とされる。
- [0018] また、前記玉を保持する保持器は、回転輪案内とされている。或いは、前記玉を保持する保持器は、固定輪案内とされ、案内面が玉の中心より軸方向片側のみに形成

されている。

[0019] 固定輪の案内面が軸方向片側にのみ形成されているようにするには、固定輪案内の場合

には、外輪の軸方向片側の内径を大きくして、外輪の大径部の内周面と保持器の外周面とが接触しないようにしても良く、また、保持器の軸方向片側の外径を小さくして、保持器の小径部の外周面と外輪の内周面とが接触しないようにしても良い。また、回転輪案内の場合には、内輪の軸方向片側の外径を小さくして、内輪の小径部の外周面と保持器の内周面とが接触しないようにしても良く、また、保持器の軸方向片側の内径を大きくして、保持器の大径部の内周面と内輪の外周面とが接触しないようにしても良い。

[0020] 流体雰囲気中で使用される転がり軸受では、主に流体抵抗により、特に高速回転領域において転動体(玉)の公転(保持器の回転)に遅れが生じ、転がり接触をすべき軌道輪と転動体との間にすべりが生じる(公転すべり)。公転すべりが生じると、軌道輪や転動体が短期間で損傷し継続使用が不可能になることがある。本発明では、この公転すべりに着目して、公転すべりを抑えることにより、転がり軸受の継続使用を可能とするものである。

[0021] 具体的には、一つには保持器を回転輪案内とすることで、回転輪との接触によるトラクション力及び案内内部にある流体のトラクション力で保持器の公転遅れを減少させる(保持器を公転方向に駆動する)ことにより、その公転すべりが抑制されている。もう一つには、保持器を固定輪案内とし、案内面が転動体の中心より軸方向片側のみに形成されている構成とすることで、回転する保持器が固定輪から受ける抵抗(接触による摩擦及び流体の粘性抵抗)を減らすことにより、その公転すべりが抑制されている。

### 発明の効果

[0022] 本発明によれば、超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>を搬送するポンプであって、軸受部を最適化することにより信頼性を確保した超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>用ポンプを提供することができる。

[0023] 具体的には、総セラミック軸受を採用することで、洗浄剤に対する耐食性の向上を

図ることができる。また、高速回転による遠心力の低減、耐摩耗性の向上、及び外部からのパーティクルによる損傷の防止も図ることができる。

[0024] また、保持器のドラッグ損失を低減することで、軸受の公転滑りによる損傷の防止を図ることができる。また、公転滑り特性向上により、予圧荷重の低減が可能であり、これによりスラスト荷重が低下するので、軸受の長寿命化を図ることができる。さらに、ドラッグ損失低減により、ポンプ効率の向上を図ることができる。

[0025] その他、玉径と軌道溝半径との比率(溝半径率)を最適化することで、焼き付き性の改善と長寿命化との両立、最適化を図ることができる。また、保持器の材料をPEEK材とすることで、保持器の耐食性を向上させるとともに、保持器の強度を向上させることができる。

[0026] また、総セラミック軸受を採用した場合、温度上昇時に発生する主軸と軸受内輪との熱膨張差により、軸受内輪の焼き嵌め応力過大による損傷の懸念があるが、主軸を中空軸とすることで、これを回避することができる。

[0027] なお、転がり軸受の保持器を回転輪案内とすることで、回転輪及び案内内部の流体から公転方向に駆動する力を転動体に作用させ、公転すべりを抑えることができる。従って、転がり軸受の耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO<sub>2</sub>ポンプは、振動が大きくなって継続使用ができないという問題を生じない。

[0028] 或いは、保持器を固定輪案内とし、案内面が転動体の中心より軸方向片側のみに形成されている構成とすることで、転動体の公転方向への移動を妨げる力を低減させ、公転すべりを抑えることができる。従って、転がり軸受の耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO<sub>2</sub>ポンプは、振動が大きくなって継続使用ができないという問題を生じない。

#### 図面の簡単な説明

[0029] [図1]本発明の一実施形態に係るCO<sub>2</sub>ポンプの構成を示す断面図である。

[図2]本実施形態に係る軸受を模式的に示す主要部断面図である。

[図3]本実施形態に係る転がり軸受を示す縦断面図である。

[図4]本実施形態に係る転がり軸受を示す縦断面図である。

[図5]本実施形態に係る転がり軸受の評価装置を示す縦断面図である。

[図6]転がり軸受の評価結果を示すグラフである。

[図7]転がり軸受の評価結果を示すグラフである。

[図8]主軸を中空軸とした様子を模式的に示す断面図である。

### 符号の説明

- [0030]
- 1 循環ポンプ
  - 2 吐出・吸込側ケーシング
  - 3 パージ側ケーシング
  - 4 外筒
  - 5 マニホールド
  - 6 キャンドモータ
  - 7 主軸
  - 8, 9 アンギュラ玉軸受
  - 10 羽根車
  - 11 予圧バネ

### 発明を実施するための最良の形態

[0031] 以下に本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の一実施形態に係るCO<sub>2</sub>ポンプの構成を示す断面図である。ポンプ1は、吐出・吸込側ケーシング2とパージ側ケーシング3、及びこれらに挟持された外筒4を有している。また、吸込・吐出側ケーシング2の外側には、揚液の吸込及び吐出を行うマニホールド5が設けられている。

[0032] 外筒4内にはポンプ1を駆動するキャンドモータ6が配置されており、これは外側の固定子6aと、この固定子6a内に收容されている回転子6bとを備えている。回転子6bは、主軸7に取り付けられており、主軸7は、吐出・吸込側ケーシング2に設けられたアンギュラ玉軸受8、及びパージ側ケーシング3に設けられたアンギュラ玉軸受9により、両端で回転可能に支持即ち軸支されている。

[0033] 吐出・吸込側ケーシング2とマニホールド5との間には、羽根車10が配置されており、これは主軸7の一端に取り付けられ、主軸7と連動して回転可能となっている。マニ

ホールド5には、主軸7の一端よりの延長軸線上に、揚液の吸込口5aが開けられており、また、羽根車10の周囲にはスパイラルケーシング5bが設けられている。さらに、経路5bの周縁部一箇所より吐出口5cが半径方向にマニホールド5の外周面に開口している。

[0034] 一方、パージ側ケーシング3には、主軸7の他端よりの延長軸線上に、吸い込んだ揚液の一部を吐出するパージ口3aが開けられている。その他、パージ側ケーシング3とアンギュラ玉軸受9との間には、予圧バネ11が挟持されている。これは、主軸7の他端周辺に位置するリング状の波板バネであり、定圧バネ方式としてアンギュラ玉軸受9に軸方向の予圧を付加するものである。なお、アンギュラ玉軸受8を羽根車側軸受と呼び、アンギュラ玉軸受9を軸端側軸受と呼ぶ。

[0035] 以上説明したポンプ1において、キャンドモータ6の回転子6b及び主軸7が回転し、これに連動して羽根車10が回転すると、矢印Aで示すように吸込口5aより揚液が吸い込まれ、羽根車10の遠心力により経路5bへ導かれて、最後に矢印Bで示すように吐出口5cより吐出される。また、吸込口5aより吸い込まれた揚液の一部は、アンギュラ玉軸受8、9及びキャンドモータ6内を通過して、これらを冷却しつつ、矢印Cで示すようにパージ流れとしてパージ口3aより吐出される。

[0036] さて、本発明では、耐摩耗性、耐食性の向上、及び高速回転時の遠心荷重を低減する目的で、アンギュラ玉軸受の内外輪、及び玉にセラミック材料(例えば窒化珪素 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、アルミナ $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、炭化珪素 $\text{SiO}_2$ 等)を採用している。このように、軸受材料を総セラミックとすることで、外部から持ち込まれるパーティクルに対する耐摩耗性も向上し、更には金属のパーティクル(摩耗粉)が許容されない用途では金属汚染の防止の効果が得られる。

[0037] また、ドラッグ損失(回転抵抗)が小さくなるように保持器の設計を行っている。これにより、公転滑り防止、及び与圧荷重(スラスト軸受荷重)の低減が可能であり、軸受の長寿命化を図ることができる。保持器の材料としては、洗浄剤に対する耐食性、耐摩耗性、及び高速回転に対する強度確保の観点より、PEEK材(ポリエーテル・エーテル・ケトン)を使用している。これについては、例えば30%ガラス繊維入りPEEK材

を用いることにより、更に強度の高いものとなる。加えて、高速、高荷重条件下での耐摩耗性、耐剥離性能を向上させる目的で、玉径と内外輪の軌道溝の半径との比率の最適化を図っている。また、PTFE、カーボン等の固体潤滑材を含浸させることで、潤滑性の劣る超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>中での玉軸受の耐摩耗性を向上させる。

[0038] 図2は、本実施形態に係る軸受を模式的に示す主要部断面図である。なお、同図はアンギュラ玉軸受8の場合を示しているが、アンギュラ玉軸受9は同図を左右反転させたような形となるのみであり、基本的な構造は同じである。同図に示すように、本実施形態におけるアンギュラ玉軸受8は、内輪8a、外輪8b、及びこれらに挟持された玉8c、並びに玉8cを保持する保持器8dより成る。

[0039] 外輪8bの内周は、玉8cが転がる軌道溝8baと、その軸方向両側の内周面8bbとより構成されている。また、内輪8aの外周は、玉8cが転がる軌道溝8aaと、その軸方向片側の最外周面8ab、及び他の片側で軌道溝8aaから連続している外周面8acとより構成されている。また、保持器8dは内輪8aと外輪8bとの間に配置されたリング状の部材であり、その全周に渡る所定の箇所に、玉8cが埋り込むポケット8daが軸心から見て等角度ピッチで開けられている。なお、図中の $\alpha$ は接触角である。

[0040] 従来のCO<sub>2</sub>ポンプにおける玉軸受は、全てステンレス鋼か、或いは玉のみセラミックで内外輪はステンレス鋼であったが、本実施形態では、上述したように、玉及び内外輪共セラミックとした総セラミック軸受としている。また、従来の軸受の保持器は、外輪の軸方向両側の内周面で案内される外輪両側案内であったが、本実施形態では内輪案内としており、更に詳しくは、内輪の軸方向片側の外周面で案内される内輪片側案内としている。

[0041] 具体的には、同図において、内輪8aの最外周面8abにより、これに対向する保持器8dの内周面8dbが案内される構成となっている。これにより、内輪8aの回転と共に保持器8dも回転しやすくなるので、保持器8dの回転抵抗(ドラッグ損失)を減らすことができ、軸受の公転滑りの防止を図ることが可能となる。その他、保持器を無くした総玉軸受を採用することで、ドラッグ損失を減らす手段も考えられる。

[0042] また、玉軸受の焼き付き性と長寿命化とは相反する関係にあり、本実施形態では、

玉径と内外輪の軌道溝の半径との比率(溝半径率)を調整することで、その両立を図った設計を実施している。溝半径率の範囲は、溝半径/玉径 $\times 100 = 52\%$ 以上を対象としている。さらには52-56%の範囲内であること、或いは特に54%より大きいことが望ましい。

[0043] 本実施形態に係る軸受を改めて詳細に説明する。本実施形態の軸受は、図3に示すように、斜接(アンギュラ)玉軸受であり、外輪112、内輪113、これらの間に配置された複数の転動体としての玉114、及び玉114を保持する保持器115を有している。外輪112、内輪113及び玉114は、すべて窒化ケイ素製とされており、保持器115は、スーパーエンジニアリングプラスチックのPEEK (polyether ether keton) 製とされている。

[0044] 保持器115は、固定輪である外輪112に案内されて円滑に回転するように、その外径が外輪112の内径より若干小さく形成(0.15mm程度)されている。そして、外輪112は、保持器115の外径より若干大きい(0.15mm程度)内径を有する左半部の小径部112aと、保持器115の外径よりも十分に大きい内径を有する右半部の大径部112bとから構成され、外輪112の軌道溝は、小径部112a及び大径部112bの両方に渡って形成されている。

[0045] これにより、保持器115を案内する案内面が外輪112の軸方向片側(玉の中心より左側)にのみ形成されている。なお、上記の「十分に大きい内径」とは、外輪112と保持器115の相対回転時に、左半部における両者の対向面間に殆どトラクションが作用しない程にその対向面間距離が大きいことを言う。

[0046] 図4に示す転がり軸受111は、図3のものと比較して保持器だけが異なっており、この保持器116は、回転輪である内輪113に案内されて円滑に回転するように、その内径が内輪113の外径より若干大きくなされている。

[0047] 図5は、上記転がり軸受111の評価装置を示している。この評価装置121は、転がり軸受111の公転すべりを評価するもので、円筒状のハウジング122と、これに相対回転可能に収容される回転軸123とを備え、ハウジング122と回転軸123との間の軸方向に離れた2カ所に、回転軸123を回転支持する左側及び右側の転がり軸受111, 111を配置することができる。

- [0048] 回転軸123は、その左端部において、エアタービンの駆動部(図示略)に接続される。2つの転がり軸受111間の外輪側には、これらにアキシャル荷重を負荷する円筒状コイルばね124が介在されており、同内輪側には、円筒状スペーサ125が介在されている。そして、右側の転がり軸受111の右端面を臨むように、非接触変位計126が配置されている。
- [0049] 右側の転がり軸受111の保持器115の右面の周方向の所定箇所には、アルミニウムのコーティングが施され、これにより、変位計126は、保持器115のアルミニウムコーティング部の通過周波数を検知し、この周波数から保持器115の回転数従って玉114の公転回転数を求めることができる。
- [0050] 上記評価装置121を用いて、転がり軸受111の玉114の公転回転数 $n_c$ を実測し、これと理論的に求められる玉の公転回転数 $n_T$ とから公転すべり率(%) =  $(n_T - n_c) / n_T \times 100$ を求めることにより、異なる仕様の転がり軸受について、その公転すべりを評価することができる。なお、 $n_T$ は、 $\alpha$ :接触角として、 $n_T = \text{内輪の回転数} \times (1 - \text{玉径} \times \cos \alpha / \text{玉のピッチ径}) / 2$ で求められる。こうして得られた公転すべり率を図6及び図7に示す。
- [0051] 図6のグラフにおいて、白い三角印(及び折線a)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の外輪片側案内の転がり軸受111(図3のもの)で、白い四角印(及び折線b)は、同じ軸受111でアキシャル荷重を23kgfとしたものであり、黒い三角印(及び折線c)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の外輪両側案内の転がり軸受(比較例)で、黒い四角印(及び折線d)は、同じ軸受でアキシャル荷重が23kgfとしたものの公転すべり率をそれぞれ示している。このグラフから分かるように、図3に示した転がり軸受111は、案内面が軸方向両側に形成されている転がり軸受に比べて、公転すべり率が小さくなっており、転がり軸受111の摩耗性を悪化させる公転すべりが改善されている。
- [0052] 図7のグラフにおいて、白い三角印(及び折線a)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の内輪片側案内の転がり軸受111(図4のもの)で、白い四角印(及び折線b)は、同じ軸受111でアキシャル荷重を23kgfとしたものであり、黒い三角印(及び折線c)は、アキシャル荷重が6.5kgf時の外輪両側案内の転がり軸受(比較例)で、黒い四角印(及び折線d)は、同じ軸受でアキシャル荷重が23kgfとしたものの公転すべり率を

それぞれ示している。このグラフから分かるように、図4に示した転がり軸受111は、外輪案内で且つ案内面が軸方向両側に形成されている転がり軸受に比べて、公転すべり率が大幅に小さくなっており、転がり軸受111の摩耗性を悪化させる公転すべりが顕著に改善されている。

[0053] 図6、図7は水を用いた試験結果ではあるが、超臨界CO<sub>2</sub>雰囲気中では、水に比べ比重、粘度が小さくなり、確実にその効果が期待される。従って、上記図3及び図4に示した転がり軸受111によると、超臨界CO<sub>2</sub>雰囲気中という軸受にとって厳しい条件下であっても、その耐久性の低下が防止され、この転がり軸受を使用する超臨界CO<sub>2</sub>ポンプの長期間の連続使用を可能にする。

[0054] 以下に、本実施形態で使用される玉軸受の特性を解析した結果を示す。ここでは内輪113の軌道溝の曲率半径を玉径の54%より大きくしたことによる効果について、具体例として、内径がφ10の斜接玉軸受で計算した結果を以下に示す。

[0055] 即ち、内輪軌道溝の曲率半径を玉径の52%から56%にすると、アキシャル荷重が50Nの場合には、PV値が747(MPa・m/s)から553(MPa・m/s)まで減少し、アキシャル荷重が100Nの場合には、PV値が935(MPa・m/s)から708(MPa・m/s)まで減少し、平均では約3/4に減少する。こうして、PV値を小さくすることができ、これにより、摩耗を低減できることが分かる。

[0056] 上記効果は、内輪113側での接触面積を小さくし、内輪113側ですべりが生じた場合でも、そのPV値が小さくなるようにすることにより得られるもので、この観点からのより詳しい解析によると、PV値を効果的に小さくするには、内輪軌道溝の曲率半径を玉径の54%より大きくすることが好ましいことが分かる。内輪軌道溝の曲率半径の上限は、他性能との関係から玉径の60%程度とされる。外輪軌道溝の曲率半径は、特に限定されず、玉径の50.5%以上で且つ60%以下であれば良い。

[0057] ところで、超臨界CO<sub>2</sub>は、通常、35-100℃の範囲で使用される。一方、モータの主軸材とそれを支持する軸受内輪とでは、線膨張係数に差がある。つまり、主軸材は通常、耐食性を考慮してオーステナイト系ステンレス鋼が採用されるので、線膨張係数が大きく、軸受内輪は上述したようにセラミック製であるので、線膨張係数が小さい。

- [0058] そのため、温度上昇時に主軸が膨張して軸受内輪が破損することが懸念される。そこで、図8に示すように、主軸7の軸心に羽根車取付けボルト用とを兼用したくり抜き穴7aを設けて中空軸とすることにより、主軸7の膨張を内側に逃がすようにして、アンギュラ玉軸受8の内輪8aにおいて発生する応力の緩和を図っている。なお、同図では羽根車側の構成を示しており、軸端側はボルトは無いが、同様である。
- [0059] また、本発明で使用される軸受の転動体としては玉を採用し、玉軸受としているが、これに限定されるものではなく、円柱状や円錐台状のころを採用したころ軸受としても良い。
- [0060] 上記の説明により、本発明については様々な修飾や変形をすることが可能であることは明らかである。よって、本発明は、具体的な記述にとらわれることなく、付記した請求の範囲内で実施されるものと解されたい。

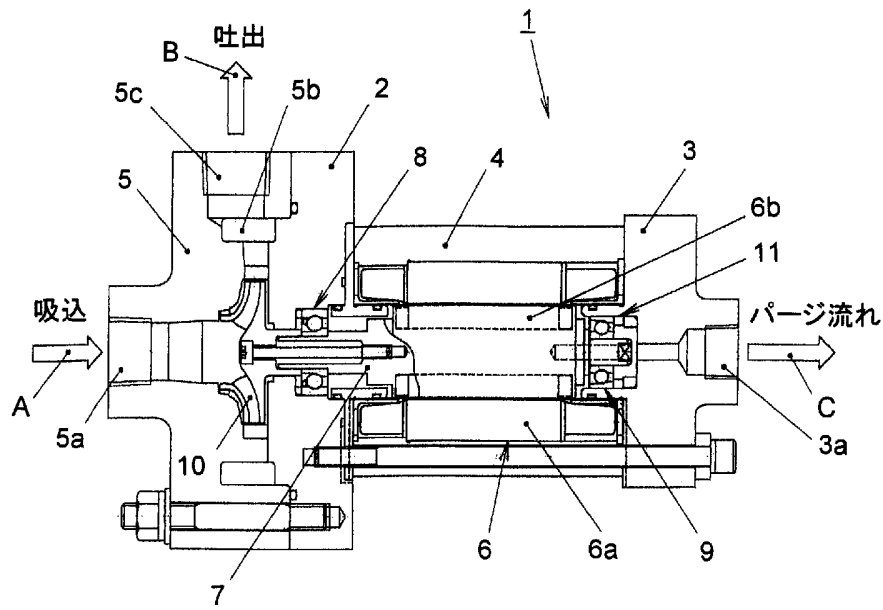
## 請求の範囲

- [1] 超臨界CO<sub>2</sub>流体或いは液体CO<sub>2</sub>を搬送するポンプにおいて、主軸を軸支する軸受は、その内輪及び外輪及び玉が各々セラミック材より成ることを特徴とするポンプ。
- [2] 請求項1に記載のポンプであって、  
前記玉を保持する保持器は、前記外輪の内周面で案内される外輪案内とし、或いは内輪の外周面で案内される内輪案内とし、また、外輪或いは内輪との案内面を軸方向の片側面とした。
- [3] 請求項2に記載のポンプであって、  
前記保持器はPEEK材より成る。
- [4] 請求項1に記載のポンプであって、  
前記軸受の内輪の溝半径率は52%以上である。
- [5] 請求項2に記載のポンプであって、  
前記軸受の内輪の溝半径率は52%以上である。
- [6] 請求項3に記載のポンプであって、  
前記軸受の内輪の溝半径率は52%以上である。
- [7] 請求項1に記載のポンプであって、  
前記主軸は中空軸である。
- [8] 請求項2に記載のポンプであって、  
前記主軸は中空軸である。
- [9] 請求項3に記載のポンプであって、  
前記主軸は中空軸である。
- [10] 請求項4に記載のポンプであって、  
前記主軸は中空軸である。
- [11] 請求項5に記載のポンプであって、  
前記主軸は中空軸である。
- [12] 請求項6に記載のポンプであって、  
前記主軸は中空軸である。
- [13] 請求項1に記載のポンプであって、

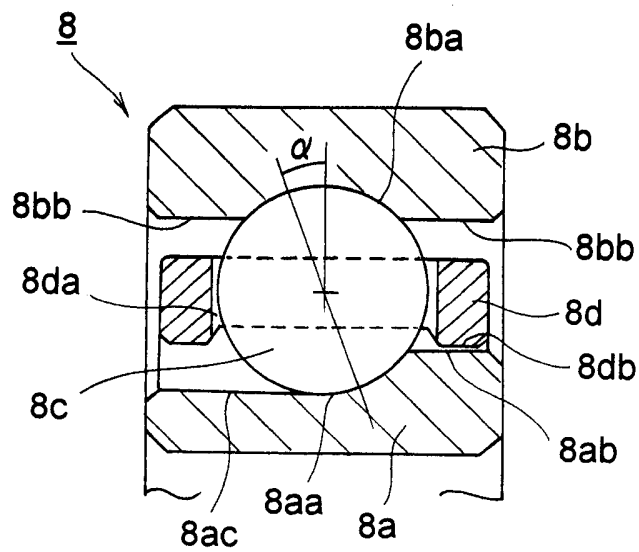
前記玉を保持する保持器は、回転輪案内とされている。

- [14] 請求項1に記載のポンプであって、  
前記玉を保持する保持器は、固定輪案内とされ、案内面が玉の中心より軸方向片側のみ形成されている。
- [15] 請求項2に記載のポンプであって、  
前記保持器に固体潤滑材を含浸する。
- [16] 請求項3に記載のポンプであって、  
前記保持器に固体潤滑材を含浸する。

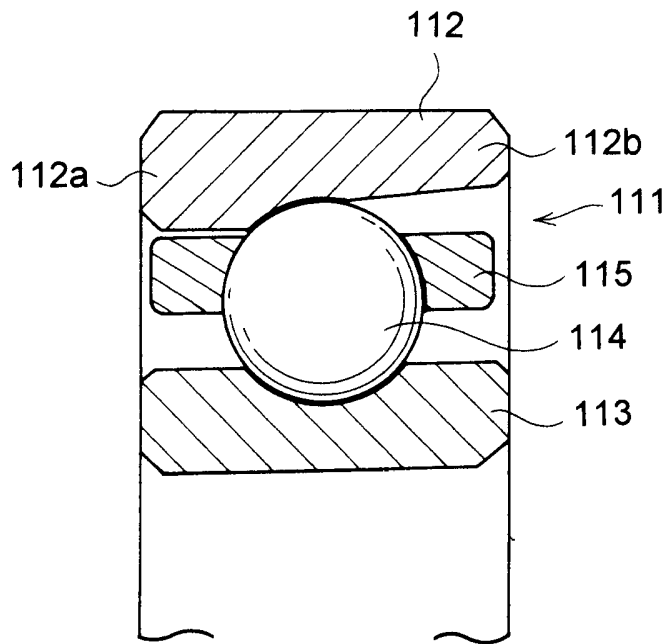
[図1]



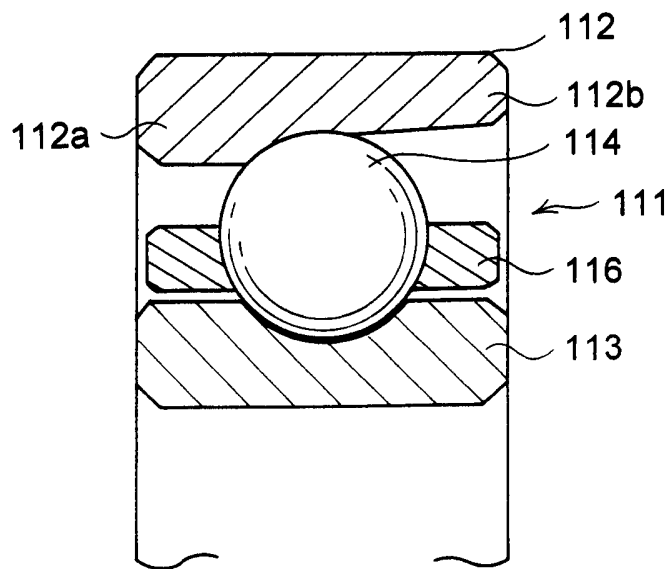
[図2]



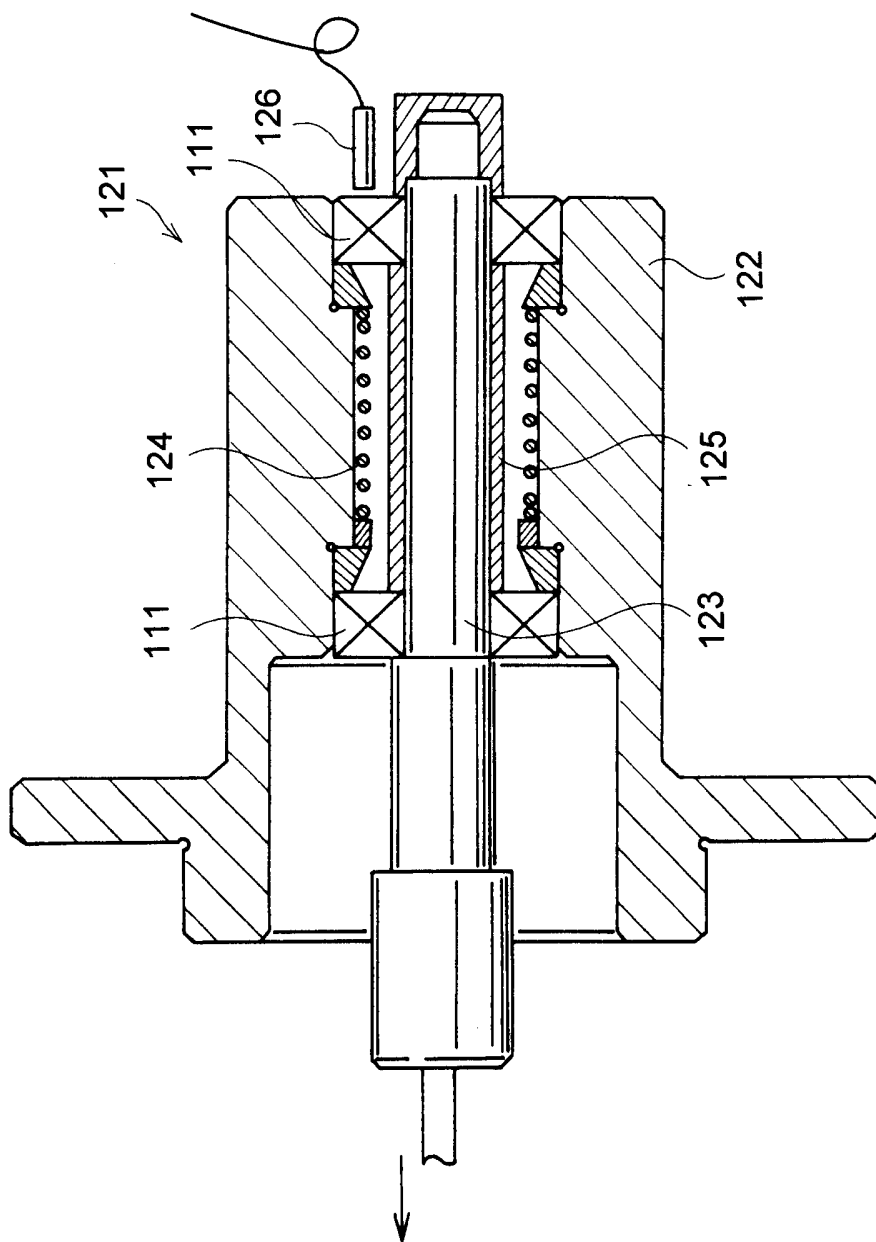
[図3]



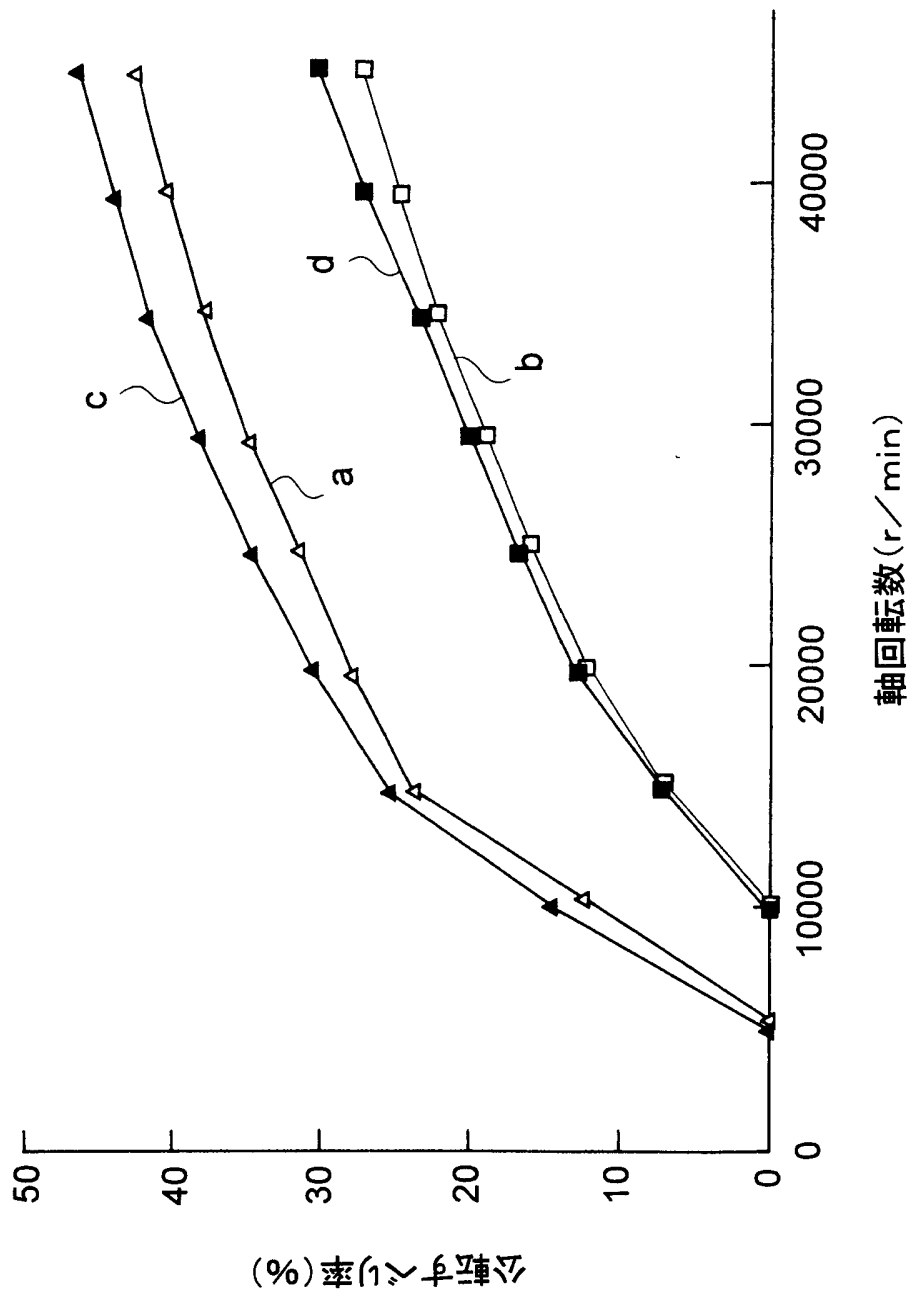
[図4]



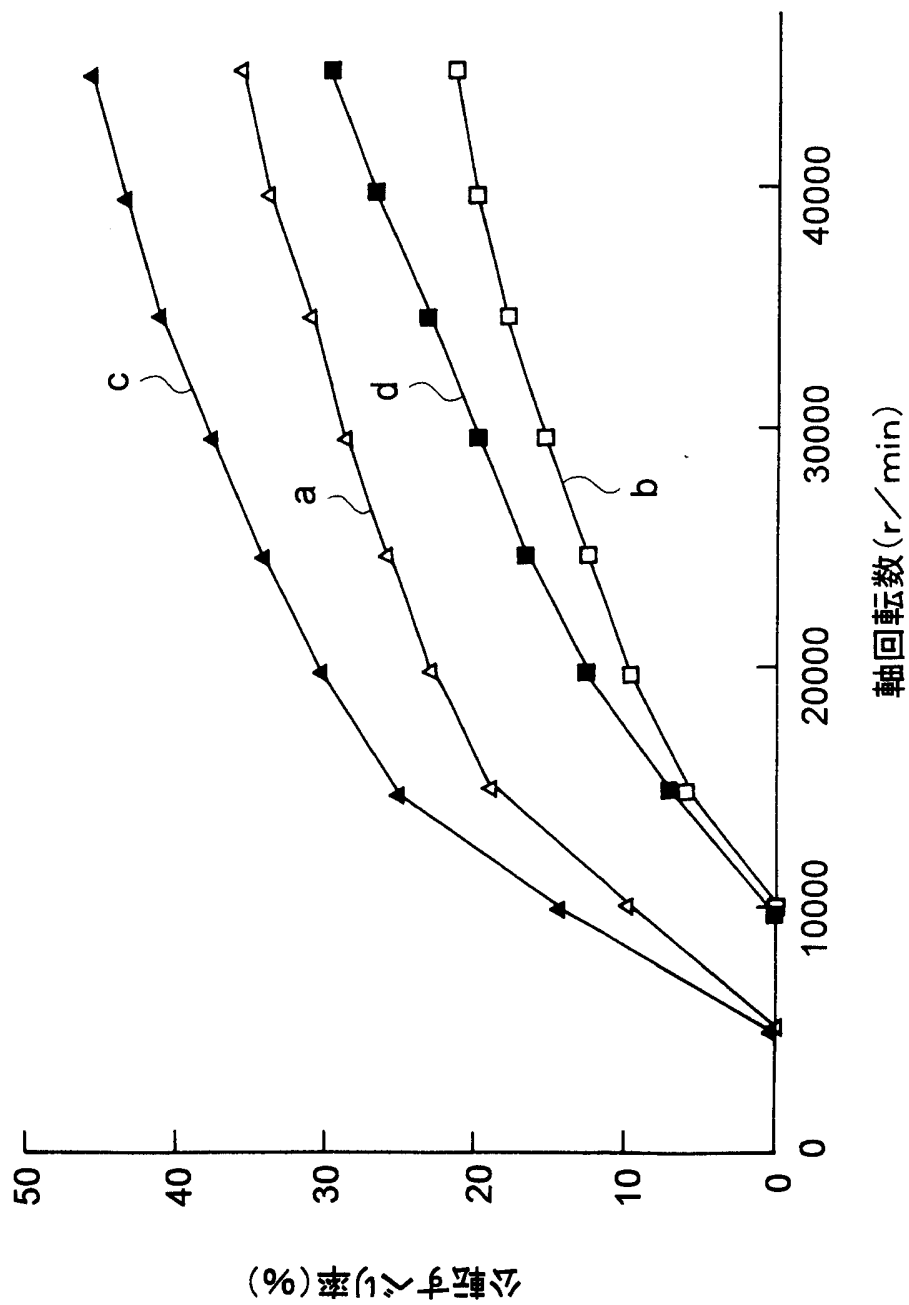
[図5]



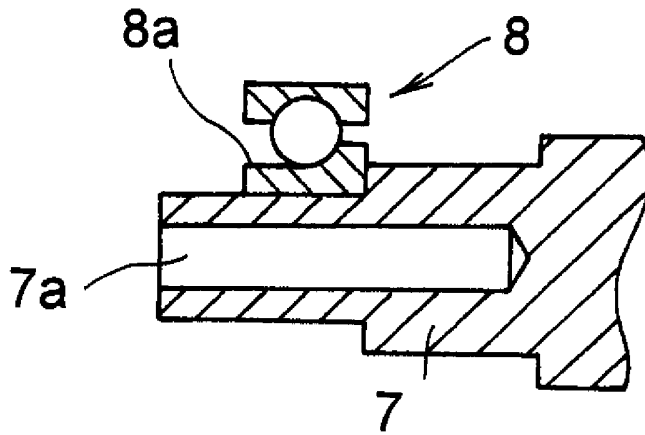
[図6]



[図7]



[図8]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010337

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> F04B53/00, 15/00, F04D29/04, F16C33/32, 33/38, 33/44, 33/62

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)

Int.Cl.<sup>7</sup> F04B53/00, 15/00, F04D29/04, F16C33/32, 33/38, 33/44, 33/62

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 1996-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

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 2002-349582 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 04 December, 2002 (04.12.02), Column 3, lines 33 to 42 (Family: none)	1-16
Y	JP 2000-352377 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 19 December, 2000 (19.12.00), Column 1, line 39 to column 2, line 25 & US 6264448 B1 & EP 1059450 A2	1-16
Y	JP 9-177792 A (NTN Corp.), 11 July, 1997 (11.07.97), Column 2, line 21 to column 3, line 15; Figs. 1, 3 (Family: none)	2-3, 5-6, 8-16

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&amp;" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 October, 2004 (04.10.04)

Date of mailing of the international search report

26 October, 2004 (26.10.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010337

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 2003-65341 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 05 March, 2003 (05.03.03), Column 1, lines 2 to 13 & US 2003/63825 A1	3, 6, 9, 12, 15-16
Y	JP 2002-357226 A (NSK Ltd.), 13 December, 2002 (13.12.02), Column 1, lines 2 to 19 & US 2003/77015 A1	4-6, 10-12
Y	JP 2002-364658 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 18 December, 2002 (18.12.02), Full text (Family: none)	7-12
A	CD-ROM of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 47301/1992 (Laid-open No. 8777/1994) (Toshiba Corp.), 04 February, 1994 (04.02.94), Full text (Family: none)	1-16
A	JP 6-193598 A (Japan Atomic Energy Research Institute), 12 July, 1994 (12.07.94), Column 1, lines 19 to 29 (Family: none)	1-16

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. Cl<sup>7</sup> F04B53/00, 15/00 F04D29/04  
 F16C33/32, 33/38, 33/44, 33/62

B. 調査を行った分野  
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
 Int. Cl<sup>7</sup> F04B53/00, 15/00 F04D29/04  
 F16C33/32, 33/38, 33/44, 33/62

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004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 2002-349582 A (光洋精工株式会社) 200 2. 12. 04, 第3欄第33-42行 (ファミリーなし)	1-16
Y	JP 2000-352377 A (三菱重工業株式会社) 200 0. 12. 19, 第1欄第39行-第2欄第25行 & US 6 264448 B1 & EP 1059450 A2	1-16
Y	JP 9-177792 A (エヌティエヌ株式会社) 1997. 07. 11, 第2欄第21行-第3欄第15行, 図1, 図3 (ファ ミリーなし)	2-3, 5- 6, 8-16

C欄の続きにも文献が列挙されている。  パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「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
「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	「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
「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)	「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
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 04. 10. 2004	国際調査報告の発送日 <b>26.10.2004</b>
----------------------------	---------------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 亀田 貴志 電話番号 03-3581-1101 内線 3394	3T 3327
--	--	---------

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 2003-65341 A (光洋精工株式会社) 2003.03.05, 第1欄第2-13行 & US 2003/63825 A1	3, 6, 9, 12, 15- 16
Y	JP 2002-357226 A (日本精工株式会社) 2002.12.13, 第1欄第2-19行 & US 2003/77015 A1	4-6, 10 -12
Y	JP 2002-364658 A (光洋精工株式会社) 2002.12.18, 全文 (ファミリーなし)	7-12
A	日本国実用新案登録出願4-47301号 (日本国公開実用新案公報6-8777号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を記録したCD-ROM (株式会社東芝) 1994.02.04, 全文 (ファミリーなし)	1-16
A	JP 6-193598 A (日本原子力研究所) 1994.07.12, 第1欄第19-29行 (ファミリーなし)	1-16