

(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
2010年6月17日(17.06.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/067586 A1

(51) 国際特許分類:

F16C 19/18 (2006.01) F16C 33/58 (2006.01)
B60B 35/02 (2006.01) F16C 33/62 (2006.01)
F16C 25/08 (2006.01) F16C 33/64 (2006.01)
F16C 33/32 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2009/006700

(22) 国際出願日: 2009年12月8日(08.12.2009)

(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 2008-313438 2008年12月9日(09.12.2008) JP
特願 2008-313439 2008年12月9日(09.12.2008) 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): 乗松孝幸(NORIMATSU, Takayuki) [JP/JP]; 〒4388510 静岡県磐田市東貝塚1578番地NTN株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 越川隆夫(KOSHIKAWA, Takao); 〒4308691 静岡県浜松市中区板屋町111-2 浜松アクトタワー19階 Shizuoka (JP).

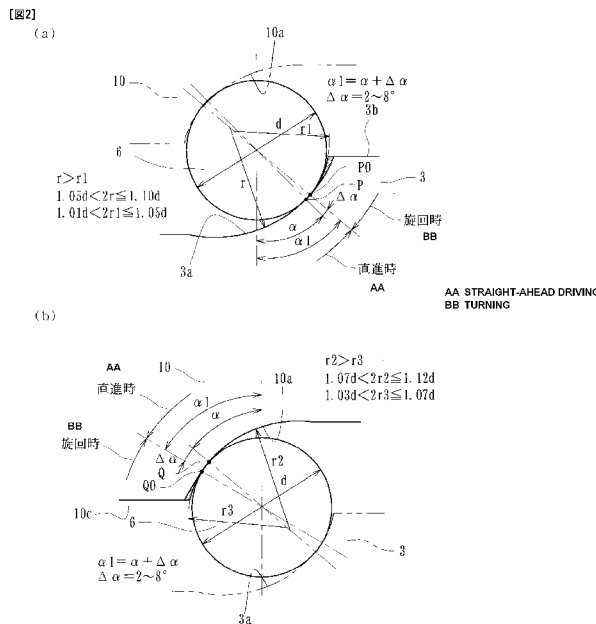
(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, 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, 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, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: BEARING DEVICE FOR WHEEL

(54) 発明の名称: 車輪用軸受装置



(57) Abstract: A bearing device for a wheel, wherein the bearing device has enhanced durability obtained by maintaining an appropriate preload in straight-ahead driving and by setting the bearing rigidity in turning to an appropriate level, the bearing device is flexibly adaptable to different product specifications, and the bearing device has reduced cost. A bearing device for a wheel, provided with an angular contact ball bearing having balls (6) arranged in double rows, wherein the inner rolling surface (3a) of an inner ring (3) is created by both a curvature radius (r) lying in the range from a position near a contact point (P) making contact with a ball (6) at an initial contact angle (α) up to the groove bottom of the inner rolling surface, and a curvature radius (r_1) smaller than the curvature radius (r) and lying in the range from an inflexion point (P1) making contact with the ball (6) at a contact angle (α_1) up to a large diameter section (3b) of the inner ring (3). The curvature radii (r, r_1) relative to the diameter (d) of the balls are set so as to satisfy the relationships of $1.05d < 2r \leq 1.10d$ and $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$, and the inflexion point (P1) between the two curvature radii (r, r_1) is set so that $\Delta\alpha$ is in the range from 2° to 8° , where α is in the range from 30° to 45° and $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/067586 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

【課題】直進時の適正な予圧と、旋回時における適正な軸受剛性を確保して耐久性の向上を図ると共に、軸受仕様毎に柔軟に対応できて低コスト化を図った車輪用軸受装置を提供する。【解決手段】複列のボール 6 を備えたアンギュラ玉軸受を有する車輪用軸受装置において、内輪 3 の内側転走面 3 a が、初期の接触角 α にてボール 6 と接触する接触点 P の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、この曲率半径 r よりも小さく、接触角 α_1 にてボール 6 と接触する変曲点 P 1 から内輪 3 の大外径 3 b に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成され、ボールの直径 d に対して、曲率半径 r 、 r_1 が、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ および $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されると共に、2つの曲率半径 r 、 r_1 の変曲点 P 1 を、 $\alpha = 3.0 \sim 4.5^\circ$ で、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とした時、 $\Delta\alpha$ が、 $2 \sim 8^\circ$ の範囲に設定されている。

明 細 書

発明の名称：車輪用軸受装置

技術分野

[0001] 本発明は、自動車等の車輪を懸架装置に対して回転自在に支承する車輪用軸受装置、特に、車両の走行状況に応じて適切な軸受予圧と軸受剛性を確保して耐久性の向上を図った車輪用軸受装置に関するものである。

背景技術

[0002] 自動車の懸架装置に対して車輪を回転自在に支承する車輪用軸受装置は、低コスト化は言うまでもなく、燃費向上のための軽量・コンパクト化が進んでいる。これらの車輪用軸受装置は、ハブ輪と複列の転がり軸受とがユニット化して構成されており、その代表的なものとして、内方部材と外方部材共にフランジを一体に有し、複列の転がり軸受における一方の内側転走面がハブ輪に直接形成され、他方の内側転走面がハブ輪に圧入された別体の内輪に形成された、所謂第3世代と称される車輪用軸受装置が知られている。

[0003] こうした車輪用軸受装置において、直進時の適正予圧を確保すると共に、旋回時における軸受剛性を確保して耐久性の向上を図ったものが知られている。図14に示すものは駆動輪側における第3世代の車輪用軸受装置であって、内方部材51と外方部材60、および両部材51、60間に転動自在に収容された複列のボール56、56とを備えている。内方部材51は、ハブ輪52と、このハブ輪52に外嵌された別体の内輪53とからなる。ハブ輪52は、アウトボード側の端部に車輪取付フランジ54を一体に有し、この車輪取付フランジ54の円周等配位置には車輪を固定するためのハブボルト55が植設されている。

[0004] また、ハブ輪52の外周には内側転走面52aと、この内側転走面52aから軸方向に延びる円筒状の小径段部52bが形成されている。そして、外周に内側転走面53aが形成された内輪53がこの小径段部52bに圧入され、さらに、小径段部52bの端部を径方向外方に塑性変形させて形成した

加締部 52c により、ハブ輪 52 に対して内輪 53 が軸方向へ抜けるのを防止している。

[0005] 外方部材 60 は、外周に車体取付フランジ 60b を一体に有し、内周には複列の外側転走面 60a、60a が形成されている。そして、それぞれの転走面 60a、52a と 60a、53a 間に複列のボール 56、56 が所定の接触角 α が付与された状態で保持器 57、57 を介して転動自在に収容されている。また、外方部材 60 の端部にはシール装置 58、59 が装着され、軸受内部に封入された潤滑グリースの漏洩を防止すると共に、外部から軸受内部に雨水やダスト等が侵入するのを防止している。

[0006] 等速自在継手 61 は、カップ状のマウス部 62 とこのマウス部 62 の底部をなす肩部 63 および肩部 63 から軸方向に延びる軸部 64 とを一体に有する外側継手部材 65 を備え、内方部材 51 にこの外側継手部材 65 がトルク伝達可能に内嵌されている。そして、ハブ輪 52 の加締部 52c に肩部 63 が突き合わされるまで外側継手部材 65 の軸部 64 がハブ輪 52 に内嵌され、軸部 64 の端部に形成された雄ねじ 66 に固定ナット 67 が所定の締め付けトルクで締結され、ハブ輪 52 と外側継手部材 65 とが軸方向分離可能に結合されている。

[0007] 図 15 (a) に示すように、内輪 53 の内側転走面 53a が 2 つの曲率半径からなる円弧状に形成されている。すなわち、内輪 53 の内側転走面 53a は、初期の接触角 α にてボール 56 と接触する接触点 P の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、接触点 P の近傍から大外径 53b に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成されている。

[0008] ここで、図中ハッチングで示すように、曲率半径 r は曲率半径 r_1 よりも大きく設定され、ボール 6 の直径 d に対して、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ の範囲に設定されると共に、曲率半径 r_1 は、ボール 6 の直径 d に対して、 $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されている。これにより、図 15 (b) に示すように、車両の定常走行（直進）時には、初期の接触角 α にてボール 6 と接触点 P で所定の予圧量をもって接触し、また、モ

ーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、接触角 α_1 にてボール6と接触点P1で所定の予圧量をもって接触する。

[0009] 一方、図15(a)に示すように、外方部材60の外側転走面60aも2つの曲率半径 r_2 、 r_3 からなる円弧状に形成されている。すなわち、外方部材60の外側転走面60aは、初期の接触角 α にてボール6と接触する接触点Qの近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r_2 と、接触点Qの近傍から内径60cに亘って形成された曲率半径 r_3 とで構成されている。

[0010] ここで、図中ハッチングで示すように、曲率半径 r_2 は曲率半径 r_3 よりも大きく設定され、ボール6の直径 d に対して、 $1.07d < 2r_2 \leq 1.12d$ の範囲に設定されると共に、曲率半径 r_3 は、ボール6の直径 d に対して、 $1.03d \leq 2r_3 \leq 1.07d$ の範囲に設定されている。これにより、図15(b)に示すように、車両の定常走行時においては、初期の接触角 α にてボール6と接触点Qで所定の予圧量をもって接触し、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、接触角 α_1 にてボール6と接触点Q1で所定の予圧量をもって接触する。

[0011] これにより、車両の定常走行時においては、初期に付与された予圧が確保され、過度な予圧を抑制して転がり抵抗の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、それに応じて予圧量を増加させ、何ら部品を付加せずに軸受剛性を高め耐久性の向上を図ることができる。

先行技術文献

特許文献

[0012] 特許文献1：特開2006-009895号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] こうした車輪用軸受装置では、車両の走行条件によって変化する接触角に対応してボールと所定の予圧量をもって接触するように構成されているが、

通常、車両の旋回時等では、軸受にモーメント荷重が負荷され、この初期の接触角 α が徐々に増大して α_1 に変位して行く。然しながら、例えば、2つの曲率半径 r 、 r_1 で構成された内輪53の内側転走面53aでは、これら異なる2つの曲率半径 r 、 r_1 の具体的な変曲点（繋ぎ部）が明確に設定されていないため、車両の定常走行時において過度な予圧が生じたり、また、旋回時において予圧が不足すると言った事態が生じる恐れがあり、適正な変曲点の設定が必要であった。

[0014] また、こうした車輪用軸受装置では、内側転走面53aは2つの曲率半径 r 、 r_1 で構成されているため、研削加工は予め内側転走面53aの形状に成形された研削砥石によって行なわなければならない。これでは、軸受サイズが異なった仕様に対応するために成形砥石を複数個準備しなければならず、管理コストを含め製造コストが高騰する問題があった。

[0015] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、直進時の適正な予圧と、旋回時における適正な軸受剛性を確保して耐久性の向上を図ると共に、軸受仕様毎に柔軟に対応できて低コスト化を図った車輪用軸受装置を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0016] 係る目的を達成すべく、本発明は、内周に複列の外側転走面が一体に形成された外方部材と、外周にこれら複列の外側転走面に対向する複列の内側転走面が形成された内方部材と、前記両転走面間に転動自在に收容され、所定の接触角が付与された複列のボールとを備えた車輪用軸受装置において、前記両転走面のうち少なくとも前記内側転走面が2つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該内側転走面が、初期の接触角 α にて前記ボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、この曲率半径 r よりも小さく、接触角 α_1 にて前記ボールと接触する変曲点から外径側に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成され、前記ボールの直径 d に対して、前記曲率半径 r 、 r_1 が、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ および $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されると共に、これら異なる2つの曲率

半径 r 、 r_1 の前記変曲点を、 $\alpha = 30 \sim 45^\circ$ で、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とした時、 $\Delta\alpha$ が、 $2 \sim 8^\circ$ の範囲に設定されている。請求項 1

[0017] このように、内周に複列の外側転走面が一体に形成された外方部材と、外周にこれら複列の外側転走面に対向する複列の内側転走面が形成された内方部材と、両部材間に收容された複列のボールとを備えたアングュラ玉軸受を有する車輪用軸受装置において、両転走面のうち少なくとも内側転走面が 2 つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該内側転走面が、初期の接触角 α にてボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、この曲率半径 r よりも小さく、接触角 α_1 にてボールと接触する変曲点から外径側に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成され、ボールの直径 d に対して、曲率半径 r 、 r_1 が、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ および $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されると共に、これら異なる 2 つの曲率半径 r 、 r_1 の変曲点を、 $\alpha = 30 \sim 45^\circ$ で、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とした時、 $\Delta\alpha$ が、 $2 \sim 8^\circ$ の範囲に設定されているので、車両の定常走行時においては、過度な予圧を抑制して初期に付与された予圧が確保され、転がり抵抗の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、予圧が不足することなくそれに応じて予圧量を増加させ、何ら部品を付加せずに軸受剛性を高め耐久性の向上を図ることができる。

[0018] また、本発明のように、前記複列のボール群のうちアウター側のボール群のピッチ円直径がインナー側のボール群のピッチ円直径よりも大径に設定されていれば、有効に軸受スペースを活用して軽量・コンパクト化を図りつつ、インナー側に比べアウター側部分の軸受剛性を増大させることができ、軸受の長寿命化を図ることができる。請求項 2

[0019] また、本発明のように、前記外側転走面が 2 つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該外側転走面が、初期の接触角 α にて前記ボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r_2 と、この曲率半径 r_2 よりも小さく、接触角 α_1 にて前記ボールと接触する変曲点から前記外方部材の内径に亘って形成された曲率半径 r_3 とで構成され、前記ボールの直

径 d に対して、前記曲率半径 r_2 、 r_3 が、 $1.07d < 2r_2 \leq 1.12d$ および $1.03d \leq 2r_3 \leq 1.07d$ の範囲に設定されていれば、軸受剛性を高め耐久性の向上を一層図ることができる。請求項 3

[0020] また、本発明のように、前記転走面が、熱処理後に焼入れ鋼切削によって所定の仕上げ形状に形成されていれば、管理コストを含め製造コストを低減することができ、低コスト化を図ることができる。請求項 4

[0021] また、本発明は、前記予圧量が、車両の直進時において $0 \sim 10 \mu\text{m}$ 、旋回時において $10 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲に設定されているので、車両の定常走行時においては過度な予圧を抑制して転がり抵抗の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷された場合に適切な予圧量を与えることができ、所望の軸受寿命を得ることができる。請求項 5

[0022] また、本発明のように、前記複列のボール列のボールが、大径ボールと小径ボールとが交互に規則性を持って配列されていれば、加工上のバラツキや軸受内部すきまに左右されず、車両の直進走行時におけるトルクを低減でき、かつ、旋回走行時の軸受寿命向上を図った車輪用軸受装置を提供することができる。請求項 6

[0023] また、本発明のように、前記大径ボールと小径ボールとの径差が $5 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲に設定されていれば、主にラジアル荷重のみが負荷される車両の直進時には、大径ボールのみでラジアル荷重を負荷することになり、転がり抵抗が小さくなって回転トルクを低減させることができると共に、車両の旋回時に、ラジアル荷重に加え、アキシアル荷重が負荷された場合、大径ボールと、この大径ボールに接触する各転走面が弾性変形し、小径ボールにも荷重が負荷され、1列総てのボールが負荷されて軸受寿命は従来の軸受に比べ大きく低下することはなく、同等の寿命を提供することができる。請求項 7

[0024] また、本発明のように、前記複列のボール列のボールがセラミック製ボールと鋼球とで構成されていれば、低トルク化と軸受寿命の向上を図ることができる。請求項 8

[0025] また、本発明のように、前記複列のボール列のうち、車両の旋回時、モー

メント荷重が負荷された時に大きな荷重が負荷されるボール列のみがセラミック製ボールとされ、他方のボール列が鋼球とされていれば、大幅なコストアップを伴うことなく、低トルク化と軸受寿命の向上を図ることができる。

請求項 9

[0026] また、本発明のように、前記複列のボール列のボールが、セラミック製ボールと鋼球とが交互に規則性を持って配列されていても良い。請求項 10

[0027] また、本発明のように、前記複列のボール列のボールが、大径ボールと小径ボールとが交互に規則性を持って配列され、前記大径ボールがセラミック製ボールで構成されていれば、一層の低トルク化と軸受寿命の向上を図ることができる。請求項 11

[0028] また、本発明のように、前記セラミック製ボールが、 $\text{Si}_6 - z \text{Al}_z \text{O}_z \text{N}_8 - z$ 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し、残部不純物からなる焼結体で構成されていれば、車両の直進走行時における転がり抵抗を抑え、かつ、旋回走行時等の高負荷時における高剛性化を図って軸受寿命向上を達成した車輪用軸受装置を提供することができると共に、セラミック製ボールとしてこのような焼結体を採用することにより、十分な耐久性を安定して確保することが可能となる。請求項 12

[0029] また、本発明のように、前記セラミック製ボールが、 $\text{Si}_6 - z \text{Al}_z \text{O}_z \text{N}_8 - z$ 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し、残部焼結助剤および不可逆的不純物からなる焼結体で構成されていれば、車両の直進走行時における転がり抵抗を抑え、かつ、旋回走行時等の高負荷時における高剛性化を図って軸受寿命向上を達成した車輪用軸受装置を提供することができると共に、セラミック製ボールとしてこのような焼結体を採用することにより、容易に焼結体の気孔率を低下させることが可能となり、十分な耐久性を安定して確保することが可能となる。請求項 13

[0030] また、本発明のように、前記鋼球とセラミック製ボールの混載の割合が1 : 1を含む3 : 7 ~ 7 : 3までの範囲に設定されていれば、コストアップを抑えると共に、軸受の低トルク化と剛性の向上の両立を図ることができる。

請求項 1 4

[0031] また、本発明のように、前記セラミック製ボールの表面に内部よりも緻密性の高い層である緻密層が形成されていれば、セラミック製ボールの転動疲労寿命を向上させることができる。請求項 1 5

[0032] また、本発明のように、前記緻密層の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が 7 % 以下に設定されていれば、緻密性が高く、転動疲労寿命が向上する。請求項 1 6

[0033] また、本発明のように、前記緻密層の表面を含む領域に、前記緻密層内の他の領域よりもさらに緻密性の高い層である高緻密層が形成されていれば、転動疲労寿命がより一層向上する。請求項 1 7

[0034] また、本発明のように、前記高緻密層の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が 3. 5 % 以下に設定されていれば、転動疲労寿命がより一層向上する。請求項 1 8

発明の効果

[0035] 本発明に係る車輪用軸受装置は、内周に複列の外側転走面が一体に形成された外方部材と、外周にこれら複列の外側転走面に対向する複列の内側転走面が形成された内方部材と、前記両転走面間に転動自在に收容され、所定の接触角が付与された複列のボールとを備えた車輪用軸受装置において、前記両転走面のうち少なくとも前記内側転走面が 2 つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該内側転走面が、初期の接触角 α にて前記ボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、この曲率半径 r よりも小さく、接触角 α_1 にて前記ボールと接触する変曲点から外径側に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成され、前記ボールの直径 d に対して、前記曲率半径 r 、 r_1 が、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ および $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されると共に、これら異なる 2 つの曲率半径 r 、 r_1 の前記変曲点を、 $\alpha = 30 \sim 45^\circ$ で、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とした時、 $\Delta\alpha$ が、 $2 \sim 8^\circ$ の範囲に設定されているので、車両の定常走行時には、過度な予圧を抑制して初期に付与された予圧が確保され、転がり抵抗

の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、予圧が不足することなくそれに応じて予圧量を増加させ、何ら部品を付加せずに軸受剛性を高め耐久性の向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

- [0036] [図1] 本発明に係る車輪用軸受装置の第1の実施形態を示す縦断面図である。
- [図2] (a) は、図1の内輪とボールの接触状態を示す説明図、(b) は、図1の外方部材とボールの接触状態を示す説明図である。
- [図3] 本発明に係る車輪用軸受装置の第2の実施形態で、一方の軸受列を示す正面図である。
- [図4] 図3の変形例を示す正面図である。
- [図5] 図3の他の変形例を示す正面図である。
- [図6] 本発明に係る車輪用軸受装置の第3の実施形態で、一方の軸受列を示す模式図である。
- [図7] (a) は、車両の直進時と旋回時における作用を示す説明図、(b) は、車両の低速直進時と高速直進時における作用を示す説明図である。
- [図8] 本発明に係るセラミック製ボールの製造方法を示す概略図である。
- [図9] 本発明に係るセラミック製ボールの断面を示す模式図である。
- [図10] 本発明に係るセラミック製ボールの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11] 図10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12] 図10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を示す図である。
- [図13] 本発明に係る車輪用軸受装置の第4の実施形態を示す縦断面図である。
- [図14] 従来の車輪用軸受装置を示す縦断面図である。
- [図15] 図14の要部を拡大した説明図で、(a) は車両の直進時、(b) は車両の旋回時を示している。

発明を実施するための形態

[0037] 外周に車体に取り付けられるための車体取付フランジを一体に有し、内周に複列の外側転走面が一体に形成された外方部材と、一端部に車輪取付フランジを一体に有し、外周に前記複列の外側転走面に対向する一方の内側転走面と、この内側転走面から軸方向に延びる小径段部が形成されたハブ輪、およびこのハブ輪の小径段部に所定のシメシロを介して圧入され、外周に前記複列の外側転走面に対向する他方の内側転走面が形成された内輪からなる内方部材と、前記両転走面間に転動自在に收容され、所定の接触角が付与された複列のボールとを備え、前記小径段部の端部を径方向外方に塑性変形させて形成した加締部により所定の軸受圧が付与された状態で前記内輪が軸方向に固定された車輪用軸受装置において、前記両転走面のうち少なくとも前記内側転走面が2つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該内側転走面が、初期の接触角 α にて前記ボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、この曲率半径 r よりも小さく、接触角 α_1 にて前記ボールと接触する変曲点から前記内輪の大外径または前記車輪取付フランジの基部に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成され、前記ボールの直径 d に対して、前記曲率半径 r 、 r_1 が、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ および $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されると共に、これら異なる2つの曲率半径 r 、 r_1 の前記変曲点を、 $\alpha = 30 \sim 45^\circ$ で、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とした時、 $\Delta\alpha$ が、 $2 \sim 8^\circ$ の範囲に設定されている。

実施例 1

[0038] 以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

図1は、本発明に係る車輪用軸受装置の第1の実施形態を示す縦断面図、図2(a)は、図1の内輪とボールの接触状態を示す説明図、(b)は、図1の外方部材とボールの接触状態を示す説明図である。なお、以下の説明では、車両に組み付けた状態で車両の外側寄りとなる側をアウター側(図1の左側)、中央寄り側をインナー側(図1の右側)という。

[0039] この車輪用軸受装置は従動輪側の第3世代と称され、内方部材1と外方部

材 10、および両部材 1、10 間に転動自在に收容された複列のボール 6、6 とを備えている。内方部材 1 は、ハブ輪 2 と、このハブ輪 2 に外嵌された別体の内輪 3 とからなる。

[0040] ハブ輪 2 は、アウター側の端部に車輪（図示せず）を取り付けるための車輪取付フランジ 4 を一体に有し、この車輪取付フランジ 4 の円周等配位置には車輪を固定するためのハブボルト 5 が植設されている。また、車輪取付フランジ 4 のハブボルト 5 間には円孔 4 a が形成されている。この円孔 4 a によってハブ輪 2 の軽量化を図ることができると共に、車輪用軸受装置の組立工程において、例えば、図示しないブレーキロータをハブ輪 2 に固定した状態で、ブレーキロータや車輪取付フランジ 4 に邪魔されることなく、工具にて容易にナックルボルト（図示せず）を締結することができ、外方部材 10 をナックル（図示せず）に簡便に固定できて組立作業性を向上することができる。

[0041] また、ハブ輪 2 の外周にはアウター側（一方）の内側転走面 2 a と、この内側転走面 2 a から軸方向に延びる小径段部 2 b が形成されている。そして、外周に内側転走面 3 a が形成された内輪 3 がこの小径段部 2 b に所定のシメシロを介して圧入され、小径段部 2 b の端部を径方向外方に塑性変形させて形成した加締部 2 c により、所定の軸受予圧が付与された状態で、ハブ輪 2 に対して内輪 3 が軸方向に固定されている。

[0042] 外方部材 10 は、外周に車体（図示せず）に取り付けるための車体取付フランジ 10 b を一体に有し、内周に前記内側転走面 2 a、3 a に対向する複列の外側転走面 10 a、10 a が一体に形成されている。そして、それぞれの転走面 10 a、2 a と 10 a、3 a 間に複列のボール 6、6 が初期の接触角 α が付与された状態で保持器 7、7 を介して転動自在に收容されている。また、内方部材 1 と外方部材 10 との間に形成される環状空間の開口部にはシール 8、9 が装着され、軸受内部に封入された潤滑グリースの漏洩を防止すると共に、外部から軸受内部に雨水やダスト等が侵入するのを防止している。

- [0043] ハブ輪 2 は S 5 3 C 等の炭素 0. 4 0 ~ 0. 8 0 重量%を含む中高炭素鋼で形成され、アウター側の内側転走面 2 a をはじめ、シール 8 が摺接してシールランド部となる車輪取付フランジ 4 のインナー側の基部 4 b から小径段部 2 b に亘って高周波焼入れにより表面硬さが 5 8 ~ 6 4 H R C の範囲に硬化処理が施されている。なお、加締部 2 c は、鍛造後の素材表面硬さ 2 5 H R C 以下の未焼入れ部とされている。
- [0044] 一方、内輪 3 は S U J 2 等の高炭素クロム軸受鋼からなり、ズブ焼入れにより芯部まで 5 8 ~ 6 4 H R C の範囲で硬化処理されている。また、外方部材 1 0 は S 5 3 C 等の炭素 0. 4 0 ~ 0. 8 0 重量%を含む中高炭素鋼で形成され、複列の外側転走面 1 0 a、1 0 a が高周波焼入れによって表面硬さを 5 8 ~ 6 4 H R C の範囲に硬化処理されている。
- [0045] なお、ここでは、ハブ輪 2 の外周に直接内側転走面 2 a が形成された第 3 世代と呼称される車輪用軸受装置を例示したが、本発明に係る車輪用軸受装置はこうした構造に限定されず、例えば、ハブ輪の小径段部に一對の内輪が圧入された、第 1 世代や第 2 世代構造、あるいは、ハブ輪と等速自在継手の外側継手部材の外周にそれぞれ内側転走面が直接形成された第 4 世代構造の車輪用軸受装置であっても良い。
- [0046] ここで、本実施形態では、図 2 (a) に拡大して示すように、内輪 3 の内側転走面 3 a が 2 つの曲率半径からなる円弧状に形成されている。すなわち、内輪 3 の内側転走面 3 a は、初期の接触角 α にてボール 6 と接触する接触点 P の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、接触点 P の近傍から大外径 3 b に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成されている。初期の接触角 α は車両の荷重条件や軸受スペースによって適宜 3 0 ~ 4 5 ° の範囲に設定される。
- [0047] ここで、図中ハッチングで示すように、曲率半径 r は曲率半径 r_1 よりも大きく設定され、ボール 6 の直径 d に対して、 $1. 0 5 d < 2 r \leq 1. 1 0 d$ 、好ましくは、 $1. 0 5 d < 2 r \leq 1. 0 8 d$ の範囲に設定されている。また、曲率半径 r_1 は、ボール 6 の直径 d に対して、 $1. 0 1 d \leq 2 r_1 \leq$

1. $0.5d$ 、好ましくは、 $1.03d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されている。具体的には、車両の定常走行（直進）時には、初期の接触角 α にてボール6と接触点Pで所定の予圧量をもって接触すると共に、車両の旋回時には、モーメント荷重が負荷される位置である変曲点P0で、接触角 α_1 にてボール6と所定の予圧量でもって接触する。

[0048] 通常、車両の旋回時等では、軸受にモーメント荷重が負荷され、この初期の接触角 α が徐々に増大して α_1 に変位して行く。この車両の旋回時の接触角 α_1 は、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とすると、軸受の設定予圧量やボール6の直径 d 等によって多少異なるが、初期の接触角 α が $30 \sim 45^\circ$ の場合、 $\Delta\alpha = 2 \sim 8^\circ$ となる。

[0049] 一方、図2（b）に示すように、外方部材10の外側転走面10aも2つの曲率半径 r_2 、 r_3 からなる円弧状に形成されている。すなわち、外方部材10の外側転走面10aは、初期の接触角 α にてボール6と接触する接触点Qの近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r_2 と、接触点Qの近傍から内径10cに亘って形成された曲率半径 r_3 とで構成されている。

[0050] ここで、図中ハッチングで示すように、曲率半径 r_2 は曲率半径 r_3 よりも大きく設定され、ボール6の直径 d に対して、 $1.07d < 2r_2 \leq 1.12d$ 、好ましくは、 $1.07d < 2r_2 \leq 1.10d$ の範囲に設定されている。また、曲率半径 r_3 は、ボール6の直径 d に対して、 $1.03d \leq 2r_3 \leq 1.07d$ 、好ましくは、 $1.05d \leq 2r_3 \leq 1.07d$ の範囲に設定されている。具体的には、車両の定常走行時には、初期の接触角 α にてボール6と接触点Qで所定の予圧量でもって接触し、車両の旋回時には、モーメント荷重が負荷される位置である変曲点Q0で、接触角 α_1 にてボール6と所定の予圧量でもって接触する。

[0051] 本実施形態では、内側転走面3aと外側転走面10aが2つの曲率半径 r 、 r_1 および r_2 、 r_3 からなる円弧状に形成されると共に、これら異なる2つの曲率半径 r 、 r_1 、 r_2 、 r_3 の変曲点P0、Q0が、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ に設定されているので、車両の定常走行時に過度な予圧が生じたり

、また、旋回時において予圧が不足することがなくなり、適正な予圧が付与される。それぞれの予圧量は、直進時（接触点P、Q）で $0 \sim 10 \mu\text{m}$ 、旋回時（接触点P0、Q0）で $10 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲に設定されている。これにより、車両の定常走行時においては、初期に付与された予圧が確保され、過度な予圧を抑制して転がり抵抗の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、それに応じて予圧量を増加させ、何ら部品を付加せずに軸受剛性を高め耐久性の向上を図ることができる。

[0052] なお、内方部材1の複列の内側転走面2a、3aおよび外方部材10の複列の外側転走面10a、10a双方の転走面をそれぞれ2つの曲率半径で構成したものを例示したが、少なくとも軸受剛性や寿命への影響が強い内方部材1の複列の内側転走面2a、3a側をこうした2つの曲率半径 r 、 r_1 で構成するのが好ましい。また、図示はしないが、内輪3と同様、内方部材1を構成するハブ輪2においても、内側転走面2aが2つの曲率半径からなる円弧状に形成され、これら異なる2つの曲率半径 r 、 r_1 の変曲点P0が、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ に設定されている。

[0053] 次に、内輪3の内側転走面3aを例に挙げてその加工方法について説明する。この内側転走面3aは複数の曲率半径 r 、 r_1 で構成されているため、従来、研削加工は予め内側転走面3aの形状に成形された研削砥石によって行なわれていたが、軸受サイズが異なった仕様に対応するために成形砥石を複数個準備しなければならないため、本実施形態では、熱処理後に、超硬チップ（図示せず）によって旋削加工（焼入れ鋼切削）される。この超硬チップは、径方向に進退自在に、かつ軸方向に移動自在に支持され、NC制御により位置が決められている。これにより、管理コストを含め製造コストを低減することができ、低コスト化を図ることができる。

[0054] また、超仕上げ（スーパー）加工においては、従来のような砥石を単にオスシレーション（Oscillation）加工して対応できないため、ここでは、ゴム等のエラストマに砥粒を混入させ、表面に砥粒を露出させて構成した、所謂弾性砥石によって加工されている。このような弾性砥石を内側

転走面 3 a の形状に沿ってオスシレーション加工することにより、複数の曲率半径 r 、 r_1 からなる内側転走面 3 a の形状に対応して弾性砥石が適度に変形し、内側転走面 3 a の形状を崩さず所望の仕上げ表面に形成することができる。

実施例 2

[0055] 図 3 は、本発明に係る車輪用軸受装置の第 2 の実施形態で、一方の軸受列を示す正面図、図 4 は、図 3 の変形例を示す正面図、図 5 は、図 3 の他の変形例を示す正面図である。なお、この実施形態は、前述した第 1 の実施形態と基本的にはボールの構成が異なるだけで、その他同一部品同一部位あるいは同様の機能を有する部品や部位には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0056] 本実施形態では、車輪用軸受装置の各列のボール 6、6 が、大径ボール 6 a と小径ボール 6 b とが混在した状態で收容されている。すなわち、大径ボール 6 a と小径ボール 6 b とが交互に規則性を持って配列されている。これにより、主にラジアル荷重のみが負荷される車両の直進時には、大径ボール 6 a のみでラジアル荷重を負荷することになり、転がり抵抗が小さくなって回転トルクを低減させることができる。

[0057] 一方、車両の旋回時には、ラジアル荷重に加えアキシアル荷重が負荷されるため、大径ボール 6 a と、この大径ボール 6 a に接触する各転走面が弾性変形し、小径ボール 6 b にも荷重が負荷され、1 列総てのボール 6 (6 a、6 b) が負荷され、軸受寿命は従来の軸受に比べ大きく低下することはなく、同等の寿命を提供することができる。したがって、各転走面が 2 つの曲率半径からなる円弧状に形成された効果に加え、初期に付与された予圧が確保され、過度な予圧を抑制して転がり抵抗の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、それに応じて予圧量を増加させ加工上のバラツキ等に左右されず、車両の直進走行時におけるトルクを低減でき、かつ、旋回走行時の軸受寿命向上を図った車輪用軸受装置を提供することができる。

- [0058] 大径ボール 6 a と小径ボール 6 b との径差 $\Delta d = d_1 - d_2$ は、 $\Delta d \geq 5 \mu\text{m}$ 、好ましくは、 $\Delta d = 5 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲に設定されている。 Δd が $5 \mu\text{m}$ 未満では、車両の直進時に、大径ボール 6 a と各転走面の弾性変形により小径ボール 6 b にも荷重が負荷される恐れがあり、大幅なトルク低減が期待できない。また、 Δd が $10 \mu\text{m}$ を超えると、車両の旋回時に、大径ボール 6 a と各転走面の弾性変形があっても小径ボール 6 b に荷重が負荷されない可能性があり、軸受寿命が低下する恐れがある。
- [0059] ここでは、大径ボール 6 a と小径ボール 6 b が交互に配列されたものを例示したが、これに限らず、例えば、図 4 に示すように、大径ボール 6 a と小径ボール 6 b、6 b と大径ボール 6 a・・・というような配列にしても良いし、また、図 5 に示すように、大径ボール 6 a、6 a と小径ボール 6 b と大径ボール 6 a、6 a・・・というような配列にしても良い。これにより、車両の直進および旋回の頻度、あるいは、荷重条件と軸受の負荷容量との関係に対応することができ、設計自由度が拡大する。
- [0060] 次に、複列のボール 6、6 の材質をセラミックとした場合、セラミックボールの接触楕円は鋼球よりも剛性が高いため小さくなる。したがって、複列の総てのボール 6、6 をセラミックボールにすることにより低トルク化を図ることができるが、セラミックボールは鋼球よりも高価なためコストアップとなって好ましくない。このため、例えば、複列のボール 6、6 列のうち、車両の旋回時、モーメント荷重が負荷された時に大きな荷重が負荷されるインナー側のボール列のみをセラミックボールとし、アウター側のボール列を鋼球とすることにより、大幅なコストアップを伴うことなく、低トルク化と軸受寿命の向上を図ることができる。
- [0061] また、複列のボール 6、6 列で、同サイズのセラミックボールと鋼球を混在させて規則性を持って配列させても低トルク化を図ることができる。さらには、前述したように、1 列中の各ボール 6 を、大径ボール 6 a と小径ボール 6 b とが混在した構成と同様、この大径ボール 6 a に変えてセラミックボールを混在させても低トルク化と軸受寿命の向上を図ることができる。

実施例 3

- [0062] 図6は、本発明に係る車輪用軸受装置の第3の実施形態で、一方の軸受列を示す模式図、図7(a)は、車両の直進時と旋回時における作用を示す説明図、(b)は、車両の低速直進時と高速直進時における作用を示す説明図、図8は、本発明に係るセラミック製ボールの製造方法を示す概略図、図9は、本発明に係るセラミック製ボールの断面を示す模式図、図10は、本発明に係るセラミック製ボールの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、図11は、図10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、図12は、図10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を示す図である。なお、前述した第1の実施形態(図1)と基本的にはボールの構成が異なるだけで、その他同一部品同一部位あるいは同様の機能を有する部品や部位には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。
- [0063] 本実施形態では、図6に模式的に示すように、複列のボール6、6のうち、SUJ2等の高炭素クロム鋼製等からなる鋼球6と、セラミック製ボール6c(図中クロスハッチングにて示す)とが混載された状態で配列されている。本実施形態では、セラミック製ボール6cが β サイアロン焼結体で構成されている。窒化ケイ素やサイアロン等からなるセラミックスは、鋼に比べ製造コストが高いため、近年、転がり軸受の構成部品として β サイアロン焼結体が注目されている(例えば、特開2004-91272号、特開2005-75652号、特開2005-194154号参照)。
- [0064] 本実施形態では、この β サイアロン焼結体が、 $\text{Si}_6 - z \text{Al}_z \text{O}_z \text{N}_{8-z}$ 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し、残部不純物からなる焼結体で構成されている。前記不純物は、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逆的不純物を含んでいる。
- [0065] なお、セラミック製ボール6cが、 $\text{Si}_6 - z \text{Al}_z \text{O}_z \text{N}_{8-z}$ 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し、残部焼結助剤および不可逆的不純物からなる焼結体で構成されていても良い。焼結助剤としては、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)、ケイ素(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一種以上を選択することができる。また、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。

[0066] この焼結体は、前述した z の値(以下、 z 値という)が、0.1以上となる種々の組成を有するものが製造可能であるが、一般的に、転動疲労寿命に大きな影響を与える表面硬さは、製造の容易な z 値4.0以下の範囲において殆ど変化しない。然しながら、 β サイアロンを主成分とするセラミック製ボール6cの転動疲労寿命と、 β サイアロンの組成との関係を詳細に調査した結果、後述する β サイアロンを主成分とする焼結体からなるセラミック製ボール6cにおいては、 z 値が3.5を超えると転動疲労寿命が大幅に低下することが判った。

[0067] 具体的には、 z 値が0.1以上3.5以下の範囲においては、転動疲労寿命はほぼ同等で、転がり軸受の運転時間が所定時間を越えると、セラミック製ボール6cの表面に剥離が発生して破損に至る。これに対し、 z 値が3.5を超えるとセラミック製ボール6cが摩耗し易くなり、これに起因して転動疲労寿命が大幅に低下する。すなわち、 z 値が3.5を超えると転動疲労寿命が大幅に低下するという現象が明らかとなった。

[0068] 次に、複列のボール6、6cの素材となる窒化ケイ素、高炭素クロム鋼(SUJ2)、および β サイアロン焼結体の特性を比較したものを表1に示す。この表から判るように、窒化ケイ素および β サイアロン焼結体は、高炭素クロム鋼に比べヤング率、表面硬さが高く、また、線膨張係数が著しく小さい。すなわち、複列のボール6、6の素材として採用した場合、高い剛性が得られると共に、軸受昇温時の寸法変化量を抑えることができる。

[0069]

[表1]

特 性	β サイアロン焼結体	窒化ケイ素	S U J 2
密度 (g / c c)	3. 1 7 ~ 3. 2 3	3. 2	7. 8
ヤング率 (G P a)	2 5 0 ~ 2 7 0	3 1 0	2 1 0
ポアソン比	0. 2 9	0. 2 6	0. 3
破壊靱性 (M P a $\cdot \sqrt{m}$)	3. 6 ~ 3. 9	6	1 5
表面硬さ (H v)	1 3 6 0 ~ 1 4 8 5	1 5 0 0	8 0 0
線膨張係数 $\times 10^6$ (1 / $^{\circ}\text{C}$)	3. 0	2. 9	1 2. 5

[0070] 本出願人は、通常の鋼球と比べてセラミック製ボールが、線膨張係数をはじめこれらの特性が異なることに着目し、左右軸受列のうち、少なくとも一方の軸受列のボール6、6を、鋼球6とセラミック製ボール6cとが混載された状態で配列することにより、各転走面が2つの曲率半径からなる円弧状に形成された効果に加え、車両の直進走行時における転がり抵抗を抑えると共に、旋回走行時等の高負荷時における高剛性化を図って軸受寿命向上を達成した車輪用軸受装置を提供することができる。

[0071] 具体的には、鋼球6の直径をd、セラミック製ボール6cの直径をd3とした場合、初期の径差 $\Delta d = d3 - d = 5 \sim 10 \mu m$ の範囲に設定することにより、図7(a)に示すように、車両の停止状態から直進時($\sim 100 \text{ km/h}$)、すなわち、軸受に負荷される荷重が小さく、温度上昇が小さい時には、鋼球6とセラミック製ボール6cの直径の径差は初期の状態のままの $d < d3$ となり、荷重はセラミック製ボール6cのみで負荷されることになる。セラミック製ボール6cは、荷重が負荷された時に生じる弾性変形量が鋼球6に比べて小さいため、初期の軸受予圧を確保しながら、転がり抵抗を抑えて軸受の低トルク化を達成することができると共に、軸受の温度上昇を抑制することができ、グリースの劣化を抑えて軸受寿命を向上させることができる。

[0072] 一方、車両の旋回時、すなわち、大きなモーメント荷重が軸受に負荷され、温度上昇が大きくなる時には、鋼球6とセラミック製ボール6cの線膨張係数の差によって鋼球6の方がセラミック製ボール6cに比べて大きく膨張

し、初期の径差がなくなって $d \doteq d_3$ の状態となる。したがって、荷重は鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の両方で負荷されることになり、軸受の高剛性を達成することができる。

[0073] 鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の外径の径差 Δd は、例えば、ボール 6 の称呼サイズが 1 / 2 インチの場合、鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c とで、略 $1 \mu\text{m} / 10^\circ\text{C}$ の膨張量の差が生じることになる。すなわち、径差を $\Delta d = d_3 - d = 5 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲に設定することにより、 $50 \sim 100^\circ\text{C}$ の昇温範囲を許容することができる。なお、径差が $5 \mu\text{m}$ 未満では、その効果が発揮され難く、また、 $10 \mu\text{m}$ を超えると、あらゆるモードでセラミック製ボール 6 c のみの負荷状態となる恐れがあるから好ましくない。

[0074] また、鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の混載の割合は、車両のモードや軸受の仕様、例えば、奇数個と偶数個によっても異なるが、1 : 1 を含む、3 : 7 ~ 7 : 3 までの範囲が好ましい。この鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の混載の割合が 2 : 8 以下では、コストアップになり、また、8 : 2 以上では、軸受の低トルク化と剛性の向上が望めないからである。なお、複列のボール 6、6 列のうち、負荷条件が厳しい、例えば、インナー側のボール 6 列を 3 : 7、アウター側のボール 6 列を 7 : 3 というように、混載割合を異ならせることにより、負荷条件に対応して最適な耐久性を得ることができる。

[0075] なお、図 7 (b) に示すように、鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の初期の径差がないように設定すれば、車両の停止状態から直進時の軸受常温時には、鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の直系の径差はなく ($d \doteq d_3$)、初期の状態のままで、荷重は鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の両方で負荷されることになるが、車両の高速直進時 ($100 \text{ km/h} \sim$) には、鋼球 6 とセラミック製ボール 6 c の線膨張係数の差によって $d > d_3$ の状態となり、荷重は鋼球 6 のみで負荷されることになり、初期の軸受予圧を確保しながら、転がり抵抗を抑えて軸受の低トルク化を図ることもできる。

[0076] 次に、このセラミック製ボール 6 c の製造方法について説明する。セラミ

ック製ボール 6 c の製造方法においては、転動疲労寿命を低下させる欠陥の発生を抑制する目的で、熱間静水圧焼結法（Hot Isostatic Press；HIP）やガス圧焼結法（Gas Pressured Sintering；GPS）等の加圧焼結法（通常 10MPa 以上の圧力下で焼結を行う方法）による焼結が採用されるのが一般的であるが、加圧焼結法を採用した製造方法では、製造コストの上昇が懸念されると共に、セラミック製ボール 6 c の表層部に材質が変質した異常層が形成される恐れがある。そのため、セラミック製ボール 6 c の仕上げ加工において、当該異常層を除去する必要性が生じ、製造コストが上昇する。一方、加圧焼結法を採用しない場合、セラミック製ボール 6 c の気孔率が増加して欠陥が発生し、転動疲労寿命が低下するという問題点があった。

[0077] こうした問題に対し、本出願人は、 β サイアロンからなる成形体を 1MPa 以下の圧力下で焼結して製造することにより、十分な耐久性を安定して確保することが可能なセラミック製ボール 8 b を安価に製造することができる。すなわち、図 8 に示すように、まず、 β サイアロンの粉末を準備する β サイアロン粉末準備工程が実施される。この β サイアロン粉末準備工程においては、例えば、焼結合成法を採用した製造工程により、安価に β サイアロンの粉末を製造することができる。

[0078] 次に、 β サイアロン粉末準備工程において準備された β サイアロンの粉末と焼結助剤を添加して混合する混合工程が実施される。この混合工程は、焼結助剤を添加しない場合は省略することができる。

[0079] そして、 β サイアロンの粉末と焼結助剤との混合物を、セラミック製ボール 6 c の概略形状に成形する成形工程が実施される。具体的には、 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、押出し成形、転動造粒等の成形手法を適用することにより、セラミック製ボール 6 c の概略形状に成形された成形体が作製される。

[0080] その後、成形体の表面が加工されることにより、焼結後に所望のボール形状に近い形状になるよう成形される焼結前加工工程が実施される。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、ボール形状により近い形状になるよう成形される。この焼結前加工工程は、成形工程において、成形体が形成された段階で、焼結後に所望のボール形状により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。

[0081] 次に、成形体が、1 MPa以下の圧力で焼結される焼結工程が実施される。具体的には、成形体が、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されて焼結されることにより、略球形の焼結体が作製される。焼結は、不活性ガス雰囲気中または窒素と酸素との混合ガス雰囲気中において、1550℃以上1800℃以下の温度領域に成形体が加熱されることにより実施される。これにより、 β サイアロンの分解や組織変化を抑制することができる。また、この β サイアロンからなる成形体が焼結される工程では、1550℃以上1800℃以下の温度領域で行われるが、1550℃未満では、焼結による緻密化が進み難いため、成形体が焼結される温度は1550℃以上が好ましい。一方、1800℃を超えると、 β サイアロン結晶粒の粗大化による焼結体の機械的特性の低下が懸念されるため、1800℃以下が好ましい。なお、不活性ガスとしては、ヘリウム、ネオン、アルゴン、窒素等が採用可能であるが、製造コスト低減の観点から、窒素が採用されることが好ましい。

[0082] 次に、焼結工程において作製された焼結体の表面が加工され、当該表面を含む領域が除去される仕上げ加工が実施されることにより、セラミック製ボール6cを完成させる仕上げ工程が実施される。具体的には、焼結工程において作製された焼結体の表面を研削およびラッピング等によって所望の形状・寸法あるいは表面粗さに仕上げ加工される。

[0083] ここで、焼結工程における焼結により、焼結体の表面から厚み500 μ m程度の領域には、図9に模式的に示すように、内部6c0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が7%以下である緻密層6c1が形成される。すなわち、焼結体において、気孔率の低い（密度の高い）層が形成される。さらに、

焼結体の表面から厚み $150\ \mu\text{m}$ 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が 3.5% 以下である高緻密層 $6c2$ が形成されている。したがって、仕上げ工程においては、除去される焼結体の厚みは、特に、転動面となるべき領域において $150\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。これにより、高緻密層 $6c2$ を残存させ、セラミック製ボール $6c$ の転動疲労寿命を向上させることができる。

[0084] 本出願人は、前述した z 値のうち種々の値を有する β サイアロン焼結体からなるとセラミック製ボールを有する深溝玉軸受を作製し、 z 値と転動疲労寿命（耐久性）との関係を検証する試験を行った。試験の手順は以下の通りである。

[0085] まず、試験の対象となる試験軸受の作製方法について説明する。はじめに、焼結合成法で z 値を $0.1 \sim 4.0$ の範囲で作製した β サイアロンの粉末を準備し、前述の図 8 に基づいて説明したセラミック製ボールの製造方法と同様の方法で、 z 値が $0.1 \sim 4.0$ であるセラミック製ボールを作製した。具体的には、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て造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で球体に成形し、さらに冷間静水圧成形（CIP）で加圧を行って球体の成形体を得た。

[0086] 引き続き当該成形体に対して一次焼結として常圧焼結を行った後、圧力 200 MPa の窒素雰囲気中で HIP 処理することで焼結球体を製造した。次に、当該焼結球体にラッピング加工を行い、 $3/8$ インチセラミック球（JIS 等級 G5）とした。そして、別途準備した軸受鋼（JIS 規格 SUJ2）製の軌道輪との組み合わせで、JIS 規格 6206 型番の深溝玉軸受を作製した。すなわち、 z 値が 0 である鋼球も β サイアロンからなるセラミッ

ク球と同様の方法で作製し、同様に深溝玉軸受として組み立てた（比較例 A）。

[0087] 次に、試験条件について説明する。前述のように作製された J I S 規格 6 2 0 6 型番の深溝玉軸受に対し、最大接触面圧 $P_{max} : 3.2 \text{ GPa}$ 、軸受回転数 : 2000 rpm 、潤滑 : タービン油 V G 6 8（清浄油）の循環給油、試験温度 : 室温の条件下で運転する疲労試験を行った。そして、振動検出装置により運転中の軸受の振動を監視し、各ボールに破損が発生して軸受の振動が所定値を超えた時点で試験を中止すると共に、運転開始から中止までの時間を当該軸受の寿命として記録した。また、試験中止後、軸受を分解して各ボールの破損状態を確認した。その結果を表 2 に示す。

[0088]

[表2]

	比較例 A	実施例 A	実施例 B	実施例 C	実施例 D	実施例 E	実施例 F	実施例 G	実施例 H	比較例 B	比較例 C
z 値	0 (窒化珪素)	0.1	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	3.8	4
寿命比	1	1.05	1.05	1.05	1.01	0.99	0.95	0.9	0.74	0.12	<0.05
破損形態	剝離	剝離	剝離	剝離	剝離	剝離	剝離	剝離	剝離 (僅かな摩耗あり)	剝離 (摩耗有り)	摩耗

- [0089] 表2においては、各実施例および比較例における寿命が、比較例A（窒化ケイ素）における寿命を1とした寿命比で表されている。また、破損形態は、ボールの表面に剥離が発生した場合「剥離」、剥離が発生することなく表面が摩耗して試験が中止された場合「摩耗」と記載されている。
- [0090] 表2を参照して、 z 値が0.1以上3.5以下となっている本発明の実施例A～Hでは、比較例Aと比較して遜色ない寿命を有している。また、破損形態も窒化ケイ素の場合と同様に、「剥離」となっている。これに対し、 z 値が3.5を超え、本発明の範囲外となっている比較例Bでは、寿命が大幅に低下すると共に、ボールに摩耗が観察される。すなわち、ボールにおける摩耗が影響し、寿命が大幅に低下したものと考えられる。さらに、 z 値が4.0である比較例Cにおいては、極めて短時間にボールの摩耗が進行し、軸受の耐久性が著しく低下しているのが判る。
- [0091] このように、 z 値が0.1以上3.5以下の範囲においては、 β サイアロン焼結体からなるボールを備えた転がり軸受の耐久性は、窒化ケイ素の焼結体からなるボールを備えた転がり軸受とほぼ同等であることが判る。これに対し、 z 値が3.5を超えるとボールが摩耗し易くなり、これに起因して転動疲労寿命が大幅に低下する。さらに、 z 値が大きくなると、 β サイアロンからなるボールの破損原因が「剥離」から「摩耗」に変化し、転動疲労寿命が著しく低下することが明らかとなった。すなわち、 z 値を0.1以上3.5以下とすることにより、安価でありながら、十分な耐久性を安定して確保することができる。
- [0092] なお、表2を参照して、 z 値が3を超える3.5の実施例Hにおいては、ボールには僅かな摩耗が発生しており、寿命も実施例A～Gに比べて低下している。このことから、十分な耐久性を安定して確保するためには、 z 値は3以下とすることが望ましいと言える。
- [0093] また、前述した試験結果から、窒化ケイ素からなるボールと同等以上の耐久性を得るには、 z 値は2以下とすることが好ましく、1.5以下とすることがより好ましい。一方、焼結合成を採用した製造工程による、 β サイアロ

ン粉体の作製の容易性を考慮すると、十分に自己発熱による反応が期待できる z 値である0.5以上とすることが好ましい。

[0094] 次に、本発明のボールの断面における緻密層および高緻密層の形成状態を調査する試験を行なった。試験の手順は以下の通りである。

[0095] はじめに、焼結合成法で作製した組成が、 $\text{Si}_5\text{Al}_z\text{ON}_7$ 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、図8に基づいて説明した製造方法と同様の方法で、一辺が略10mmの立方体試験片を作製した。具体的な製造方法は以下の通りである。

[0096] 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て造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で球体に成形し、さらにCIPで加圧を行って球体の成形体を得た。

[0097] 引き続き当該成形体を圧力4MPaの窒素雰囲気中で1650℃に加熱して焼結することで立方体試験片を作製した。その後、当該試験片を切断し、この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、マイクロフオートFXA）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 - 1 0 0 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値化処理を行って白色領域の面積率を測定した（2値化分離閾値：140）。

[0098] 次に、試験結果について説明する。図10は、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。また、図11は、図10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 12 は、図 10 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 10 において、写真上側が試験片の表面側であり、上端が表面である。

[0099] 図 10 および図 11 を参照して、本発明の球体と同様の製造方法により作製された試験片は、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判る。そして、図 12 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 $150\mu\text{m}$ 以内の領域、 $150\mu\text{m}$ を超え $500\mu\text{m}$ 以内の領域、 $500\mu\text{m}$ を超え $800\mu\text{m}$ 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 3 に示すような結果が得られた。表 3 においては、図 12 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。

[0100] [表3]

	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) 緻密層	150~500	3.7	7.0
3) 内部	>500	18.5	22.4

[0101] 表 3 を参照して、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 $500\mu\text{m}$ 以下である領域においては 3.7%、表面からの深さが $150\mu\text{m}$ 以下の領域においては 1.2%となっていた。このことから、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。

[0102] 表 3 を参照して、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 $500\mu\text{m}$ 以下である領域においては 3.7%、表面からの深さが $150\mu\text{m}$ 以下の領域においては 1.2%となっていた。このことから、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。レードライヤーにて造粒を実施して造粒粉を製造した。当該造粒粉を金型で球体に成形し、さらにCIPで加圧を行って球体の成形体を得た。

[0103] 次に、当該成形体に対して焼結後の加工代が所定の寸法となるようにグリーン加工を行い、引き続き当該成形体を圧力0.4MPaの窒素雰囲気中で1650℃に加熱して焼結することで焼結球体を製造した。次に、当該焼結球体にラッピング加工を行い、3/8インチセラミック球（JIS等級G5）とした。そして、別途準備した軸受鋼（JIS規格SUJ2）製の軌道輪との組み合わせで、JIS規格6206型番の深溝玉軸受を作製した。ここで、焼結球体に対するラッピング加工により除去される焼結球体の厚み（加工代）を8段階に変化させ、8種類の軸受を作製した（実施例A～H）。一方、比較のため、窒化ケイ素および焼結助剤からなる原料粉末を用いて、前述した方法と同様、ラッピング加工を行い、別途準備した軸受鋼（JIS規格SUJ2）製の軌道輪と組み合わせ、JIS規格6206型番の深溝玉軸受を作製した（比較例A）。なお、ラッピング加工による加工代は0.25mmとした。

[0104] 次に、試験条件について説明する。前述のように作製されたJIS規格6206型番の深溝玉軸受に対し、最大接触面圧 P_{max} ：3.2GPa、軸受回転数：2000rpm、潤滑：タービン油VG68（清浄油）の循環給油、試験温度：室温、の条件下で運転する疲労試験を行った。そして、振動検出装置により運転中の軸受の振動を監視し、各ボールに破損が発生して軸受の振動が所定値を超えた時点で試験を中止すると共に、運転開始から中止までの時間を当該軸受の寿命として記録した。なお、試験数は実施例、比較例ともに15個ずつとし、その L_{10} 寿命を算出した上で、比較例Aに対する寿命比で耐久性を評価した。表4にその試験結果を示す。ここで、 L_{10} 寿命とは、一群の同じ軸受を同じ条件で個々に運転したとき、そのうちの90%の軸受が材料の転がり疲れによる損傷を起こさずに回転できる総回転数、あるいは、一定回転速度では総回転時間をいう。

[0105] [表4]

	加工代 (mm)	L_{10} 寿命 (時間)	寿命比
実施例 A	0.05	6492	3.19
実施例 B	0.10	6387	3.14
実施例 C	0.15	6404	3.15
実施例 D	0.20	3985	1.96
実施例 E	0.30	4048	1.99
実施例 F	0.40	3945	1.94
実施例 G	0.50	3069	1.51
実施例 H	0.60	867	0.43
比較例 A	0.25	2036	1.00

[0106] 表4から判るように、実施例の軸受寿命は、その製造コスト等を考慮するといずれも良好であると言える。そして、加工代を0.5mm以下とすることにより、ボールの表面に緻密層を残存させた実施例D～Gの軸受寿命は、比較例Aの軸受寿命の1.5～2倍程度となっていた。さらに、加工代を0.15mm以下とすることにより、ボールの表面に高緻密層を残存させた実施例A～Cの軸受寿命は、比較例Aの3倍程度となっていた。このことから、本発明のボールを備えた軸受は、耐久性において優れていることが確認された。そして、ボールの加工代を0.5mm以下として、表面に緻密層を残存させることによって寿命が向上し、ボールの加工代を0.15mm以下として、表面に高緻密層を残存させることによって寿命がさらに向上することが判った。

実施例 4

[0107] 図13は、本発明に係る車輪用軸受装置の第4の実施形態を示す縦断面図である。なお、前述した第1の実施形態（図1）と基本的には複列のボール列のピッチ円直径が異なるだけで、その他同一部品同一部位あるいは同様の機能を有する部品や部位には同じ符号を付して詳細な説明を省略する。

[0108] この車輪用軸受装置は第3世代と呼称される従動輪用であって、内方部材11と外方部材12、および両部材11、12間に転動自在に收容された複列のボール13、14群とを備えている。内方部材11は、ハブ輪15と、

このハブ輪 1 5 に所定のシメシロを介して圧入された内輪 1 6 とからなる。

[0109] ハブ輪 1 5 は、アウター側の端部に車輪（図示せず）を取り付けるための車輪取付フランジ 1 7 を一体に有し、外周に一方（アウター側）の内側転走面 1 5 a と、この内側転走面 1 5 a から軸方向に延びる軸状部 1 8 を介して小径段部 1 5 b が形成されている。車輪取付フランジ 1 7 にはハブボルト 5 が周方向等配に植設されると共に、これらハブボルト 5 間には円孔 4 a が形成されている。

[0110] 内輪 1 6 は、外周に他方（インナー側）の内側転走面 1 6 a が形成され、ハブ輪 1 5 の小径段部 1 5 b に圧入されて背面合せタイプの複列アンギュラ玉軸受を構成すると共に、小径段部 1 5 b の端部を塑性変形させて形成した加締部 2 c によって所定の軸受予圧が付与された状態で軸方向に固定され、所謂セルフリテイン構造を構成している。なお、内輪 1 6 および転動体 1 3、1 4 は S U J 2 等の高炭素クロム鋼で形成され、ズブ焼入れによって芯部まで 5 8 ~ 6 4 H R C の範囲に硬化処理されている。

[0111] ハブ輪 1 5 は S 5 3 C 等の炭素 0. 4 0 ~ 0. 8 0 w t % を含む中高炭素鋼で形成され、内側転走面 1 5 a をはじめ、車輪取付フランジ 1 7 のインナー側の基部 4 b から小径段部 1 5 b に亙って高周波焼入れによって表面硬さを 5 8 ~ 6 4 H R C の範囲に所定の硬化処理が施されている。

[0112] 外方部材 1 2 は、外周にナックル（図示せず）に取り付けられるための車体取付フランジ 1 0 b を一体に有し、内周にハブ輪 1 5 の内側転走面 1 5 a に対向するアウター側の外側転走面 1 2 a と、内輪 1 6 の内側転走面 1 6 a に対向するインナー側の外側転走面 1 2 b が一体に形成されている。これら両転走面間に複列のボール 1 3、1 4 が収容され、保持器 1 9、2 0 によって転動自在に保持されている。そして、外方部材 1 2 と内方部材 1 1 との間に形成される環状空間の開口部にはシール 2 1 およびスリング 2 2 がそれぞれ装着され、軸受内部に封入されたグリースの外部への漏洩と、外部から雨水やダスト等が軸受内部に侵入するのを防止している。

[0113] 外方部材 1 2 は S 5 3 C 等の炭素 0. 4 0 ~ 0. 8 0 w t % を含む中高炭

素鋼で形成され、複列の外側転走面 12 a、12 b が、後述する高周波焼入れによって表面硬さを 58～64 HRC の範囲に所定の硬化層が形成されている。なお、ここでは、ハブ輪 15 の外周に直接内側転走面 15 a が形成された従動輪側の第 3 世代と呼称される車輪用軸受装置を例示したが、本発明に係る車輪用軸受装置はこうした構造に限定されず、例えば、ハブ輪の小径段部に一对の内輪が圧入された、第 1 世代や第 2 世代構造、あるいは、ハブ輪と等速自在継手の外側継手部材の外周にそれぞれ内側転走面が直接形成された第 4 世代構造の車輪用軸受装置であっても良い。

[0114] 本実施形態では、アウター側のボール 13 群のピッチ円直径 PCD_o がインナー側のボール 14 群のピッチ円直径 PCD_i よりも大径 ($PCD_o > PCD_i$) に設定されている。そして、アウター側のボール 13 の個数がインナー側のボール 14 の個数よりも多く設定されている。これにより、有効に軸受スペースを活用して軽量・コンパクト化を図ると共に、インナー側に比べアウター側部分の軸受剛性を増大させることができ、軸受の長寿命化を図ることができる。

[0115] ハブ輪 15 の外郭は、内側転走面 15 a の溝底部からカウンタ部 23 と、このカウンタ部 23 から軸状部 18、およびテーパ状の段部 18 a を介して内輪 16 が突き合わされる肩部 18 b および小径段部 15 b に続く形状に形成されている。また、ハブ輪 15 のアウター側端部には軸方向に延びるすり鉢状の凹所 24 が形成されている。この凹所 24 は鍛造加工によってハブ輪 15 の外郭形状に沿って形成され、その深さは、少なくともアウター側の内側転走面 15 a の溝底付近までとされ、ハブ輪 15 のアウター側の肉厚が略均一となるように形成されている。

[0116] 一方、外方部材 12 において、ピッチ円直径 PCD_o 、 PCD_i の違いに伴い、アウター側の外側転走面 12 a がインナー側の外側転走面 12 b よりも拡径して形成され、アウター側の外側転走面 12 a の肩部 25 と、小径側となるインナー側の外側転走面 12 b の肩部 26 との間には軽量化のための環状の凹所 27 が形成されている。

[0117] 本実施形態においても、前述した第1の実施形態と同様、内輪16の内側転走面16aと外側転走面12bが2つの曲率半径 r 、 r_1 および r_2 、 r_3 からなる円弧状に形成されると共に、これら異なる2つの曲率半径 r 、 r_1 、 r_2 、 r_3 の変曲点P0、Q0が、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ に設定されているので、車両の定常走行時において過度な予圧が生じたり、また、旋回時において予圧が不足することがなくなり、適正な予圧が付与される。それぞれの予圧量は、直進時（接触点P、Q）で $0 \sim 10 \mu\text{m}$ 、旋回時（接触点P0、Q0）で $10 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲に設定されている。これにより、車両の定常走行時においては、初期に付与された予圧が確保され、過度な予圧を抑制して転がり抵抗の増加を防止できると共に、モーメント荷重が負荷される車両の旋回時においては、それに応じて予圧量を増加させ、何ら部品を付加せずに軸受剛性を高め耐久性の向上を図ることができる。さらに、第2あるいは第4の実施形態と同様の構成を採用しても良い。

[0118] 以上、本発明の実施の形態について説明を行ったが、本発明はこうした実施の形態に何等限定されるものではなく、あくまで例示であって、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、さらに種々なる形態で実施し得ることは勿論のことであり、本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲に記載の均等の意味、および範囲内のすべての変更を含む。

産業上の利用可能性

[0119] 本発明に係る車輪用軸受装置は、複列アンギュラ玉軸受で構成された第1世代乃至第4世代構造の車輪用軸受装置に適用できる。

符号の説明

[0120] 1、11 内方部材
2、15 ハブ輪
2a、3a、15a、16a 内側転走面
2b、15b 小径段部
2c 加締部

- 3、16 内輪
- 3b 大外径
- 4、17 車輪取付フランジ
- 4a 円孔
- 4b 基部
- 5 ハブボルト
- 6、13、14 ボール
- 6a 大径ボール
- 6b 小径ボール
- 6c セラミック製ボール
- 6c0 内部
- 6c1 緻密層
- 6c2 高緻密層
- 7、19、20 保持器
- 8、9、21 シール
- 10、12 外方部材
- 10a、12a、12b 外側転走面
- 10b 車体取付フランジ
- 10c 内径
- 18 軸状部
- 18a 段部
- 18b、25、26 肩部
- 22 スリング
- 23 カウンタ部
- 24、27 凹所
- 51 内方部材
- 52 ハブ輪
- 52a、53a 内側転走面

- 5 2 b 小径段部
- 5 2 c 加締部
- 5 3 内輪
- 5 3 b 大外径
- 5 4 車輪取付フランジ
- 5 5 ハブボルト
- 5 6 ボール
- 5 7 保持器
- 5 8、5 9 シール
- 6 0 外方部材
- 6 0 a 外側転走面
- 6 0 b 車体取付フランジ
- 6 0 c 内径
- 6 1 等速自在継手
- 6 2 マウス部
- 6 3 肩部
- 6 4 軸部
- 6 5 外側継手部材
- 6 6 雄ねじ
- 6 7 固定ナット
- d 鋼球の直径
- d 1 大径ボールの直径
- d 2 小径ボールの直径
- d 3 セラミック製ボールの直径
- Δd 直径の径差
- P、P 1 内側転走面とボールの接触点
- P 0 内側転走面の変曲点
- P C D i インナー側のボール群のピッチ円直径

PCD_o アウター側のボール群のピッチ円直径

$Q、Q_1$ 外側転走面とボールの接触点

Q_0 外側転走面の変曲点

$r、r_1$ 内側転走面の曲率半径

$r_2、r_3$ 外側転走面の曲率半径

α 初期の接触角

α_1 接触角

$\Delta \alpha$ 接触角の増加量

請求の範囲

[請求項1]

内周に複列の外側転走面が一体に形成された外方部材と、
 外周にこれら複列の外側転走面に対向する複列の内側転走面が形成された内方部材と、
 前記両転走面間に転動自在に收容され、所定の接触角が付与された複列のボールとを備えた車輪用軸受装置において、
 前記両転走面のうち少なくとも前記内側転走面が2つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該内側転走面が、初期の接触角 α にて前記ボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r と、この曲率半径 r よりも小さく、接触角 α_1 にて前記ボールと接触する変曲点から外径側に亘って形成された曲率半径 r_1 とで構成され、前記ボールの直径 d に対して、前記曲率半径 r 、 r_1 が、 $1.05d < 2r \leq 1.10d$ および $1.01d \leq 2r_1 \leq 1.05d$ の範囲に設定されると共に、これら異なる2つの曲率半径 r 、 r_1 の前記変曲点を、 $\alpha = 30 \sim 45^\circ$ で、 $\alpha_1 = \alpha + \Delta\alpha$ とした時、 $\Delta\alpha$ が、 $2 \sim 8^\circ$ の範囲に設定されていることを特徴とする車輪用軸受装置。

[請求項2]

前記複列のボール群のうちアウター側のボール群のピッチ円直径がインナー側のボール群のピッチ円直径よりも大径に設定されている請求項1に記載の車輪用軸受装置。

[請求項3]

前記外側転走面が2つの曲率半径からなる円弧状に形成され、当該外側転走面が、初期の接触角 α にて前記ボールと接触する接触点の近傍から溝底に亘って形成された曲率半径 r_2 と、この曲率半径 r_2 よりも小さく、接触角 α_1 にて前記ボールと接触する変曲点から前記外方部材の内径に亘って形成された曲率半径 r_3 とで構成され、前記ボールの直径 d に対して、前記曲率半径 r_2 、 r_3 が、 $1.07d < 2r_2 \leq 1.12d$ および $1.03d \leq 2r_3 \leq 1.07d$ の範囲に設定されている請求項1または2に記載の車輪用軸受装置。

- [請求項4] 前記転走面が熱処理後に焼入れ鋼切削によって所定の仕上げ形状に形成されている請求項1乃至3いずれかに記載の車輪用軸受装置。
- [請求項5] 前記予圧量が、車両の直進時において $0 \sim 10 \mu\text{m}$ 、旋回時において $10 \sim 50 \mu\text{m}$ の範囲に設定されている請求項1乃至4いずれかに記載の車輪用軸受装置。
- [請求項6] 前記複列のボール列のボールが、大径ボールと小径ボールとが交互に規則性を持って配列されている請求項1乃至5いずれかに記載の車輪用軸受装置。
- [請求項7] 前記大径ボールと小径ボールとの径差が $5 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲に設定されている請求項6に記載の車輪用軸受装置。
- [請求項8] 前記複列のボール列のボールがセラミック製ボールと鋼球とで構成されている請求項1乃至5いずれかに記載の車輪用軸受装置。
- [請求項9] 前記複列のボール列のうち、車両の旋回時、モーメント荷重が負荷された時に大きな荷重が負荷されるボール列のみがセラミック製ボールとされ、他方のボール列が鋼球とされている請求項8に記載の車輪用軸受装置。
- [請求項10] 前記複列のボール列のボールが、セラミック製ボールと鋼球とが交互に規則性を持って配列されている請求項8に記載の車輪用軸受装置。
- [請求項11] 前記複列のボール列のボールが、大径ボールと小径ボールとが交互に規則性を持って配列され、前記大径ボールがセラミック製ボールで構成されている請求項8に記載の車輪用軸受装置。
- [請求項12] 前記セラミック製ボールが、 $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ 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し、残部不純物からなる焼結体で構成されている請求項8乃至11いずれかに記載の車輪用軸受装置。
- [請求項13] 前記セラミック製ボールが、 $\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{N}_{8-z}$ 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し

、残部焼結助剤および不可逆的不純物からなる焼結体で構成されている請求項 8 乃至 11 いずれかに記載の車輪用軸受装置。

[請求項14] 前記鋼球とセラミック製ボールの混載の割合が 1 : 1 を含む 3 : 7 ~ 7 : 3 までの範囲に設定されている請求項 8、12 および 13 いずれかに記載の車輪用軸受装置。

[請求項15] 前記セラミック製ボールの表面に内部よりも緻密性の高い層である緻密層が形成されている請求項 8 乃至 14 いずれかに記載の車輪用軸受装置。

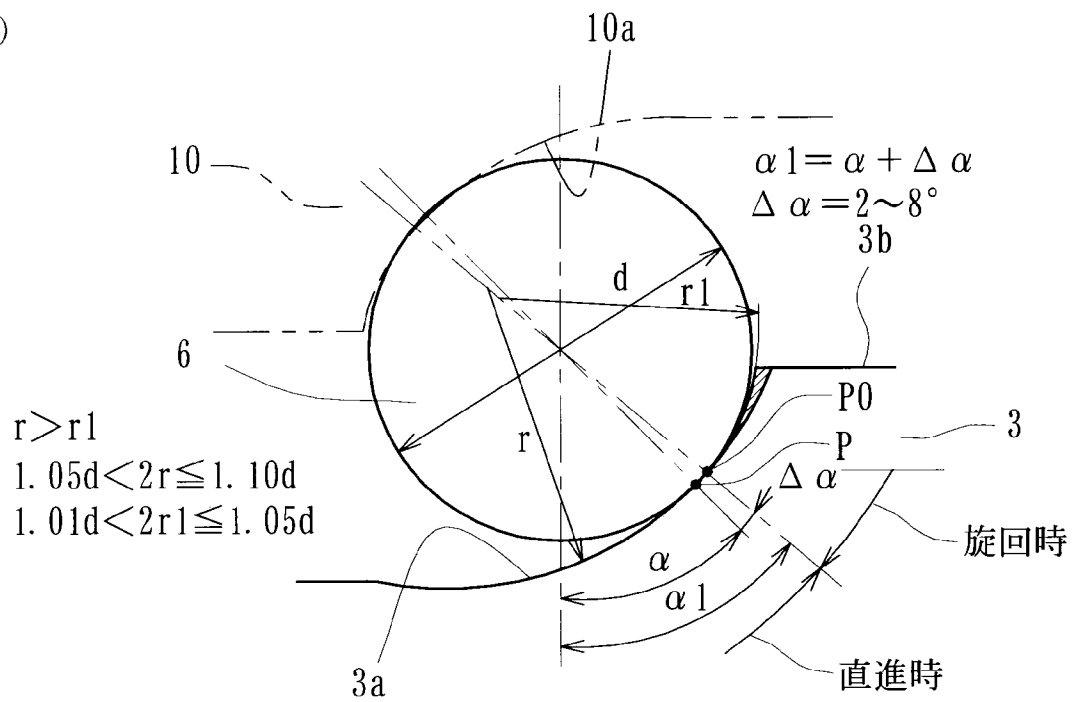
[請求項16] 前記緻密層の断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率が 7 % 以下に設定されている請求項 15 に記載の車輪用軸受装置。

[請求項17] 前記緻密層の表面を含む領域に、前記緻密層内の他の領域よりもさらに緻密性の高い層である高緻密層が形成されている請求項 15 または 16 に記載の車輪用軸受装置。

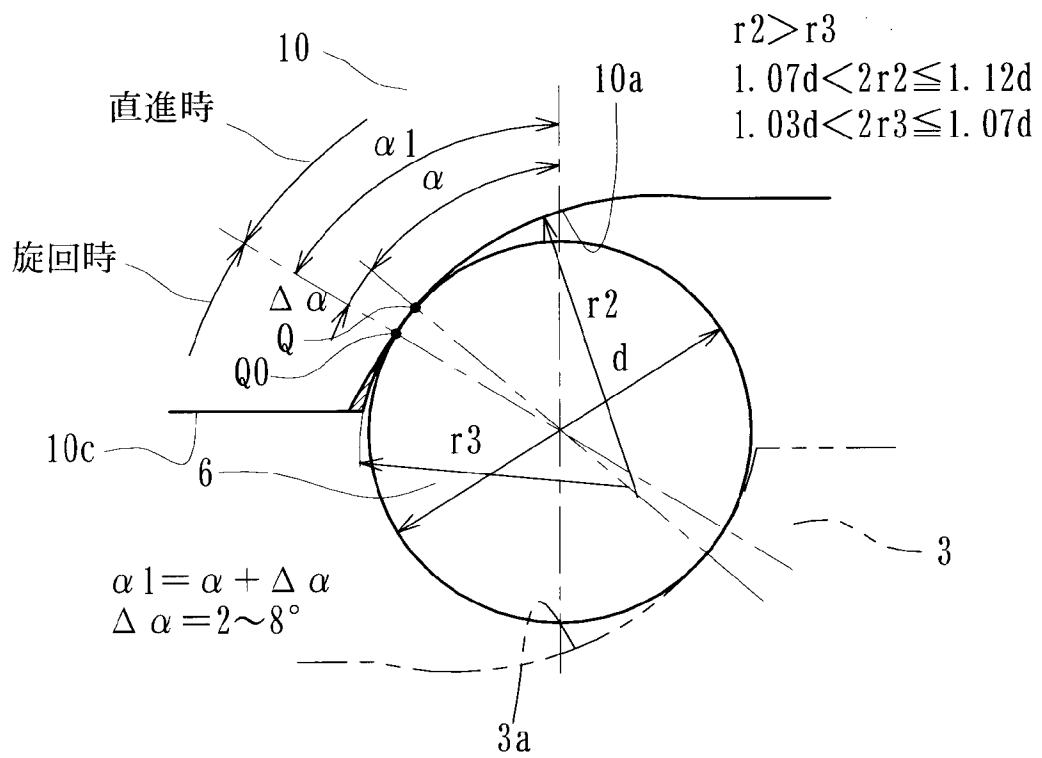
[請求項18] 前記高緻密層の断面を光学顕微鏡の斜光にて観察した場合、白色の領域として観察される白色領域の面積率が 3.5 % 以下に設定されている請求項 17 に記載の車輪用軸受装置。

[図2]

(a)



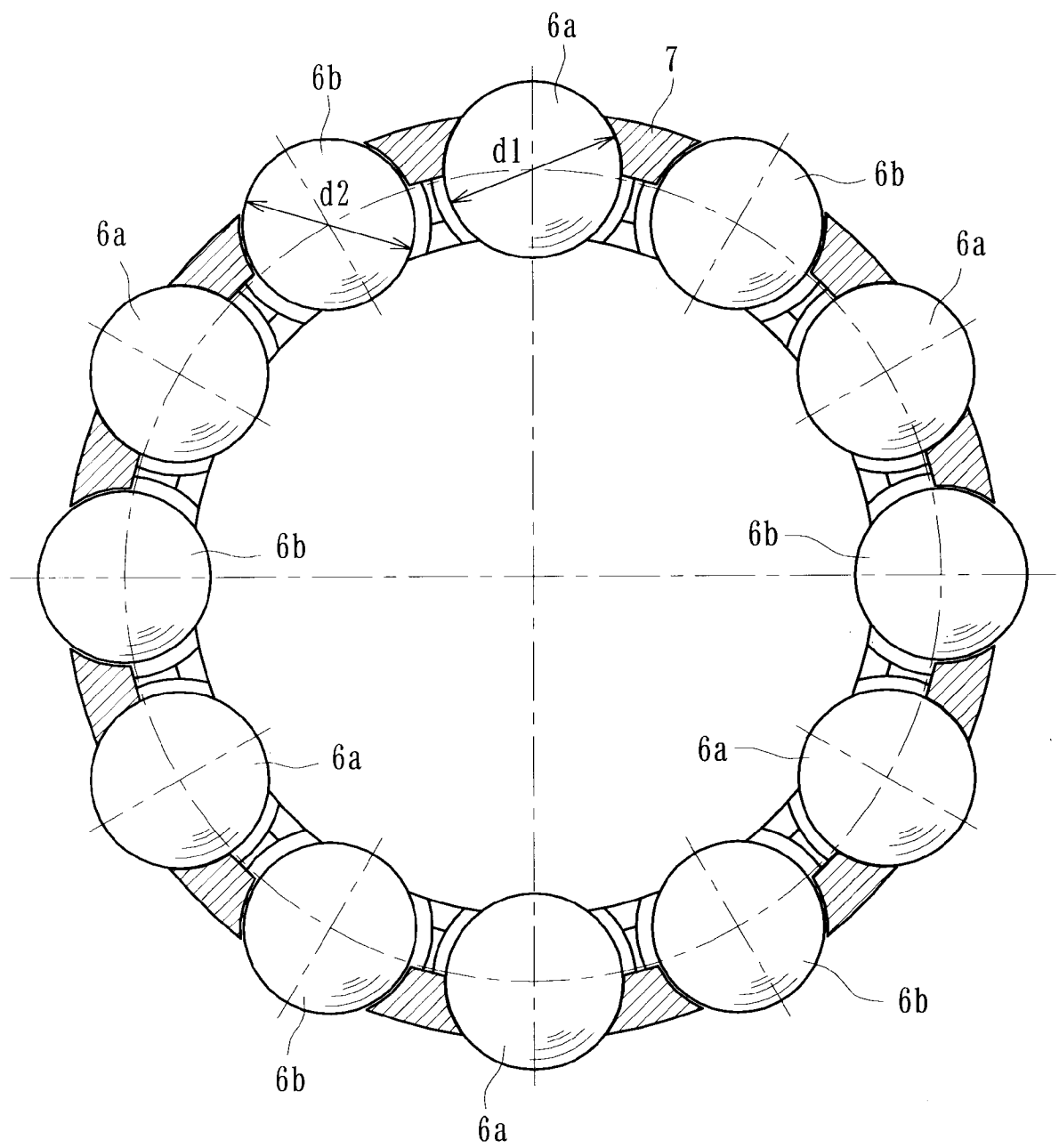
(b)



[図3]

$$d1 > d2$$

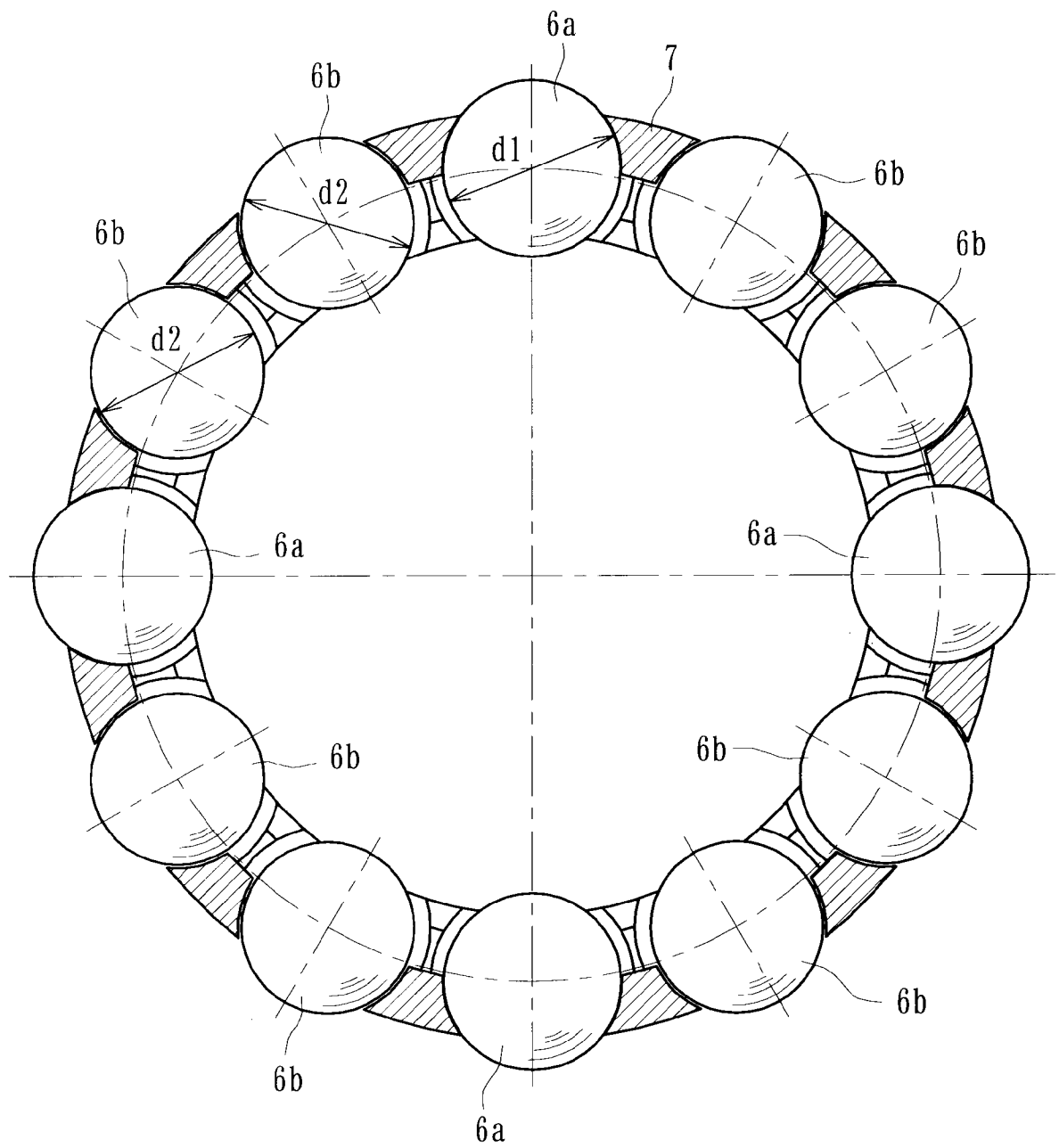
規則性：大小大小大小・・・



[図4]

$$d1 > d2$$

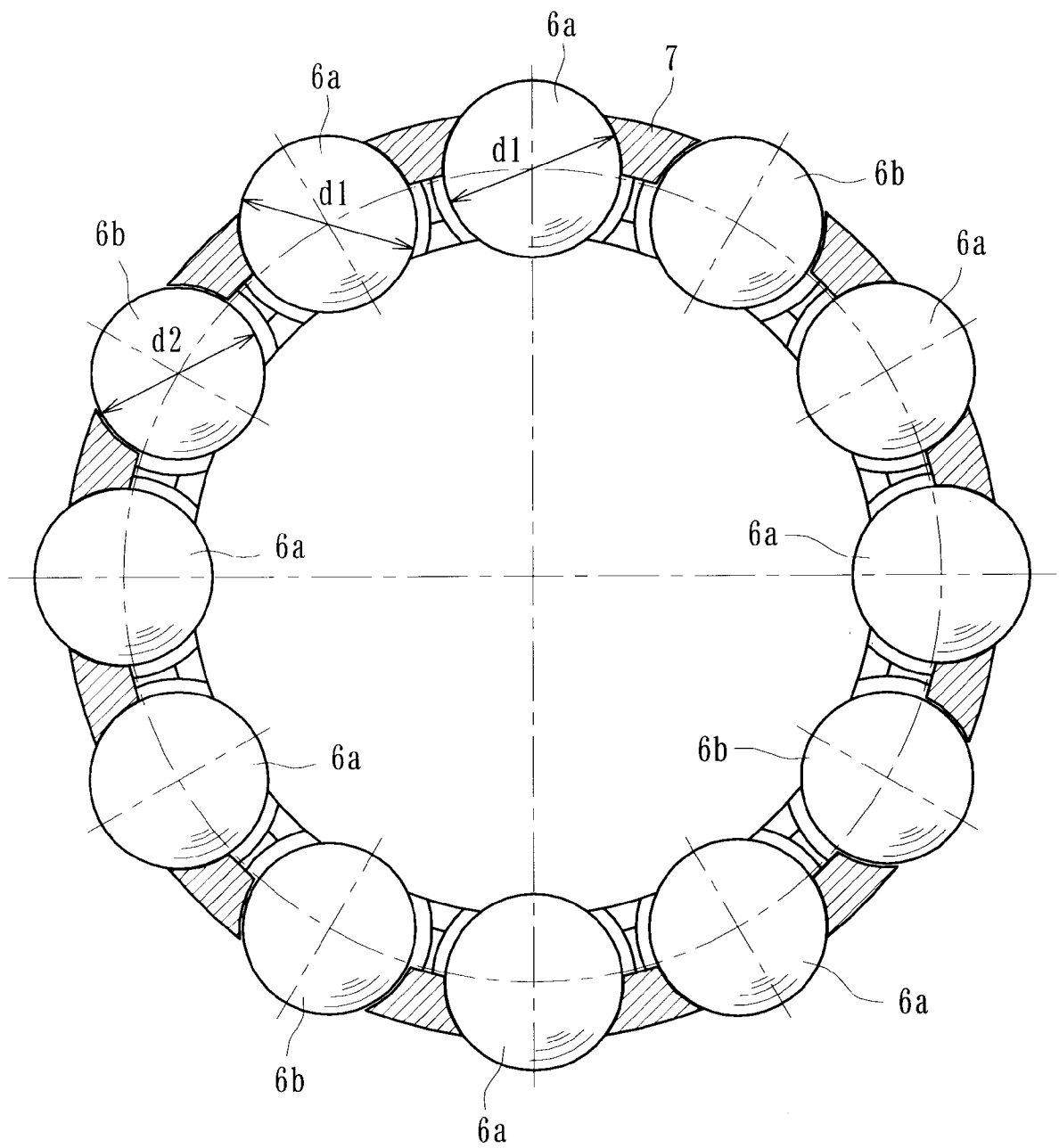
規則性：大小小大小小・・・



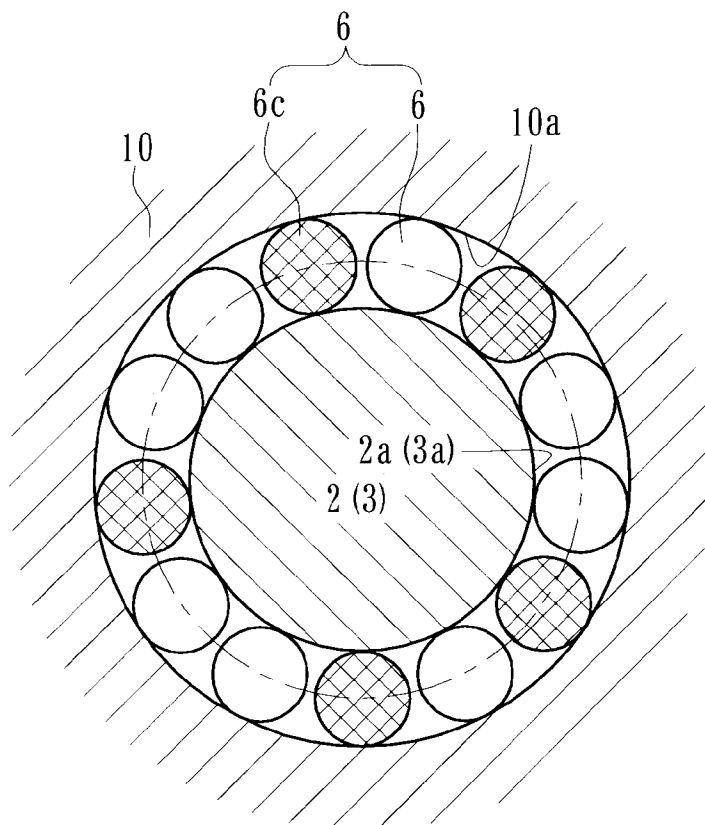
[図5]

$$d1 > d2$$

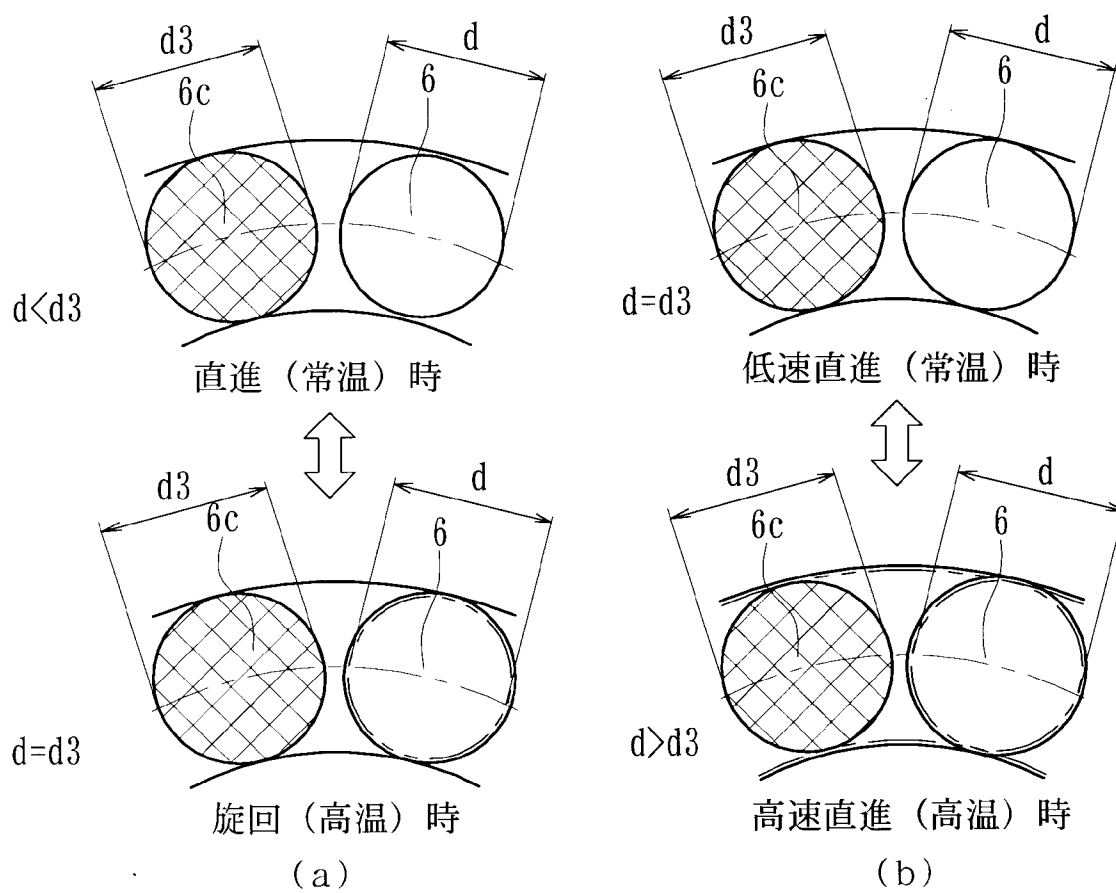
規則性：大大小大大小...



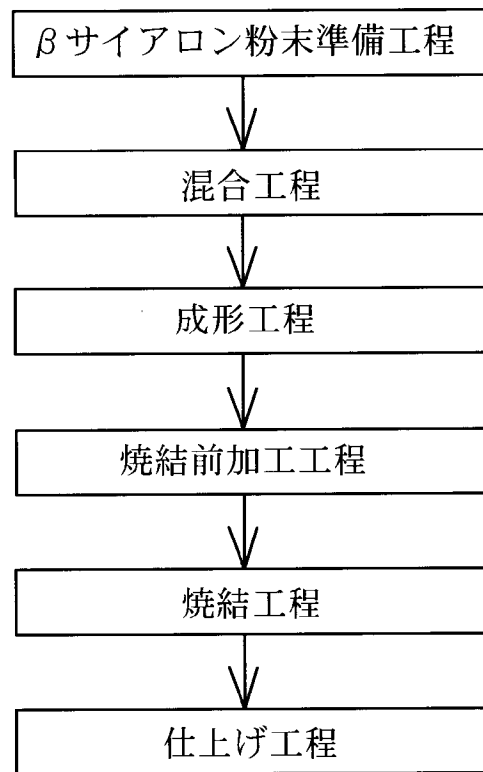
[図6]



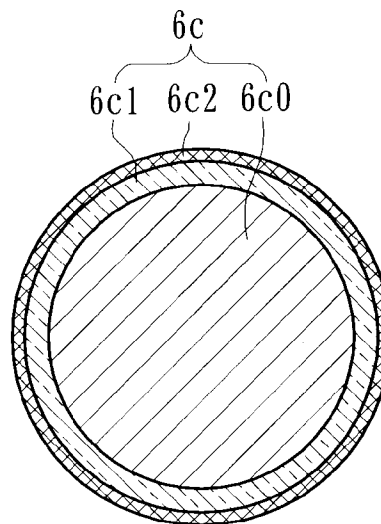
[図7]



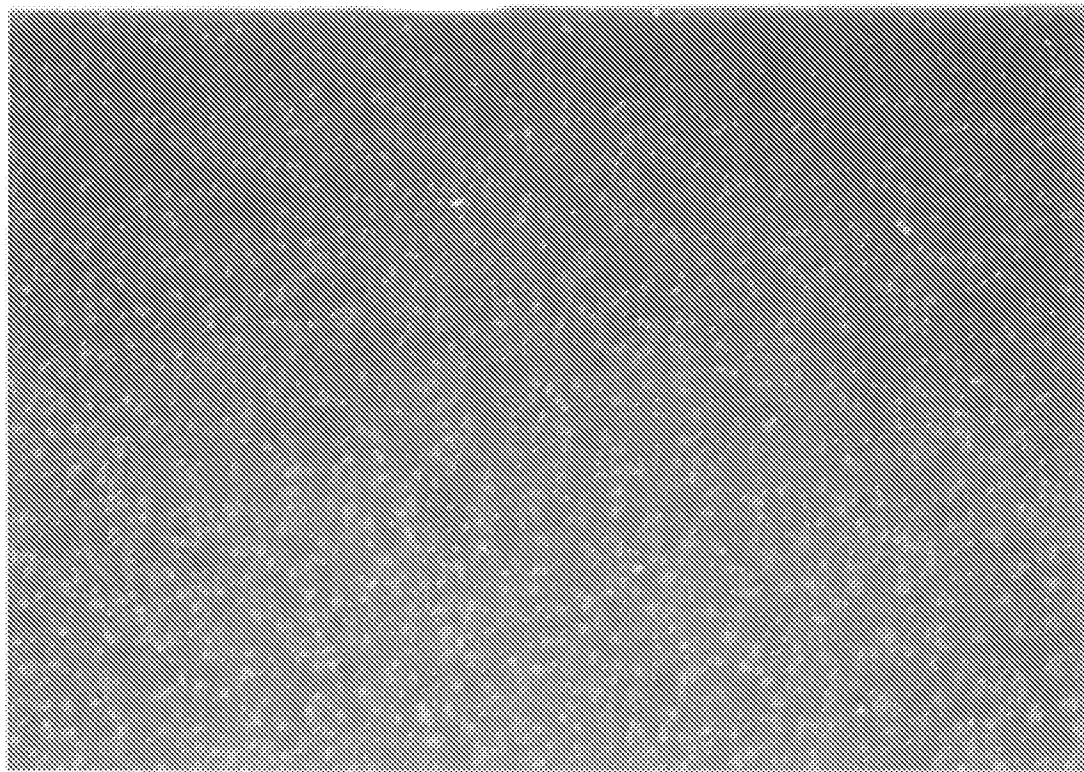
[図8]



[図9]

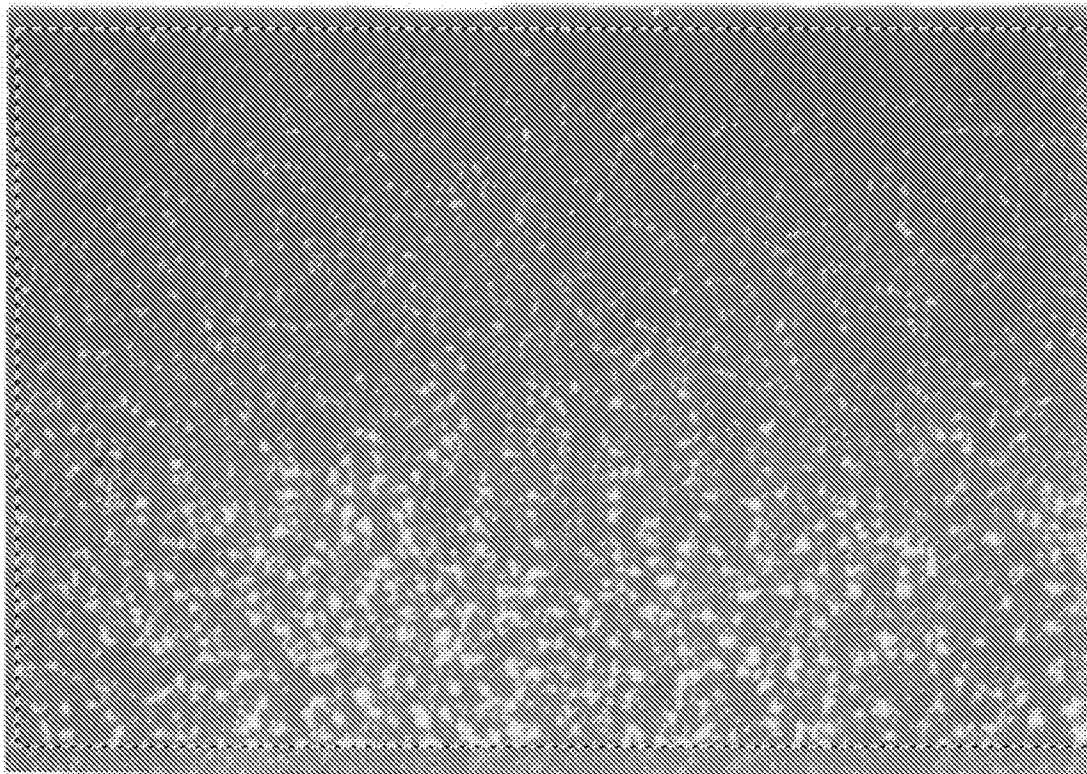


[図10]

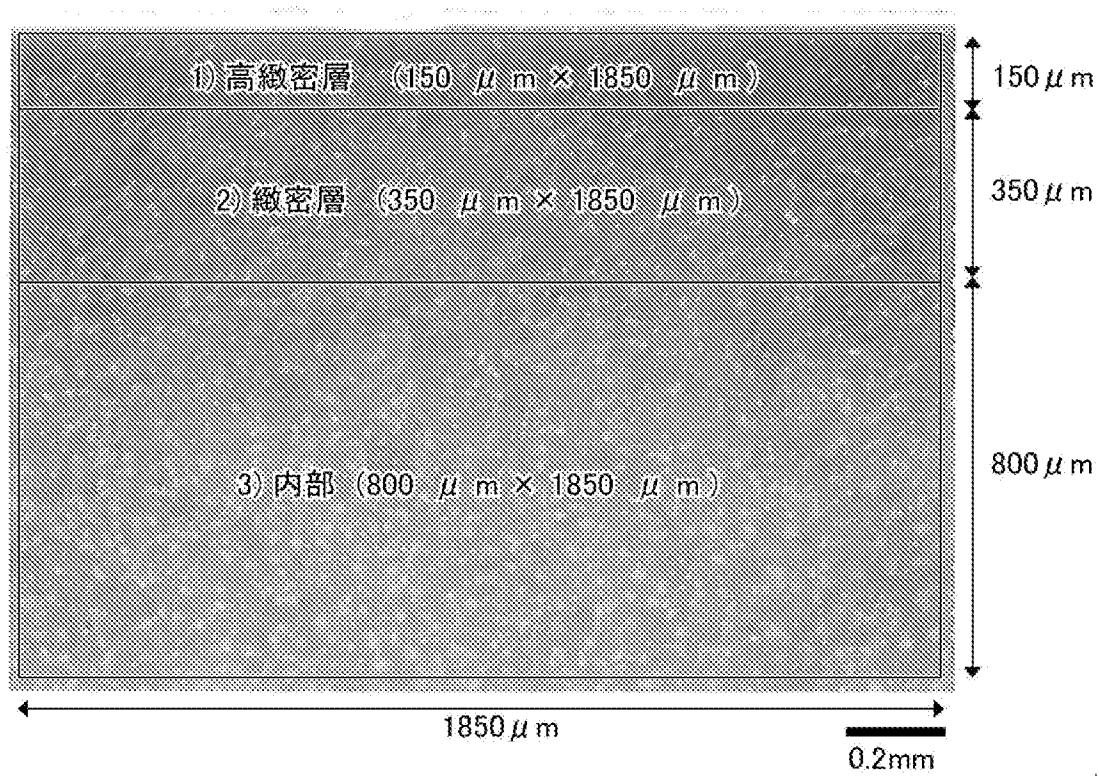


0.2mm

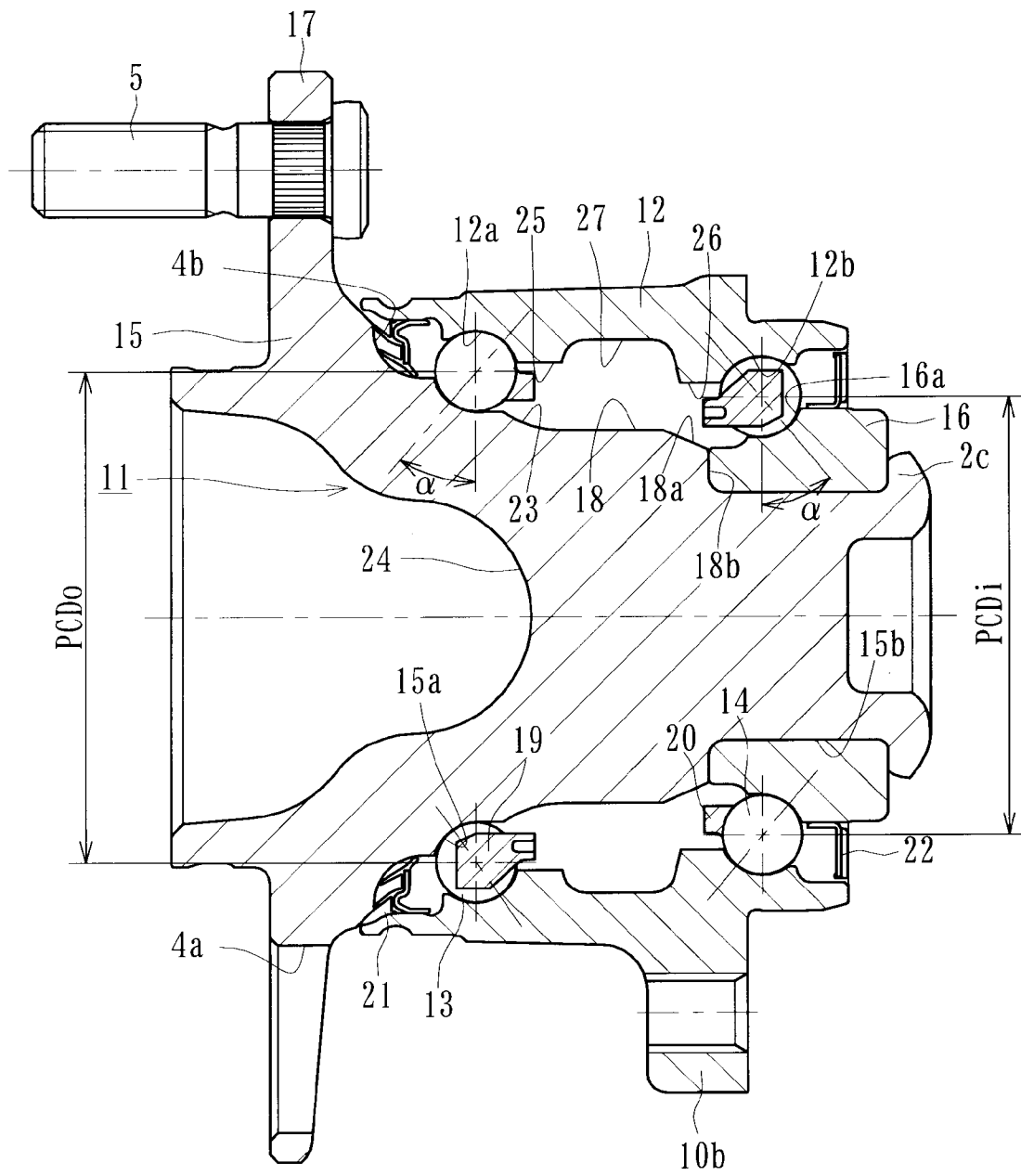
[図11]



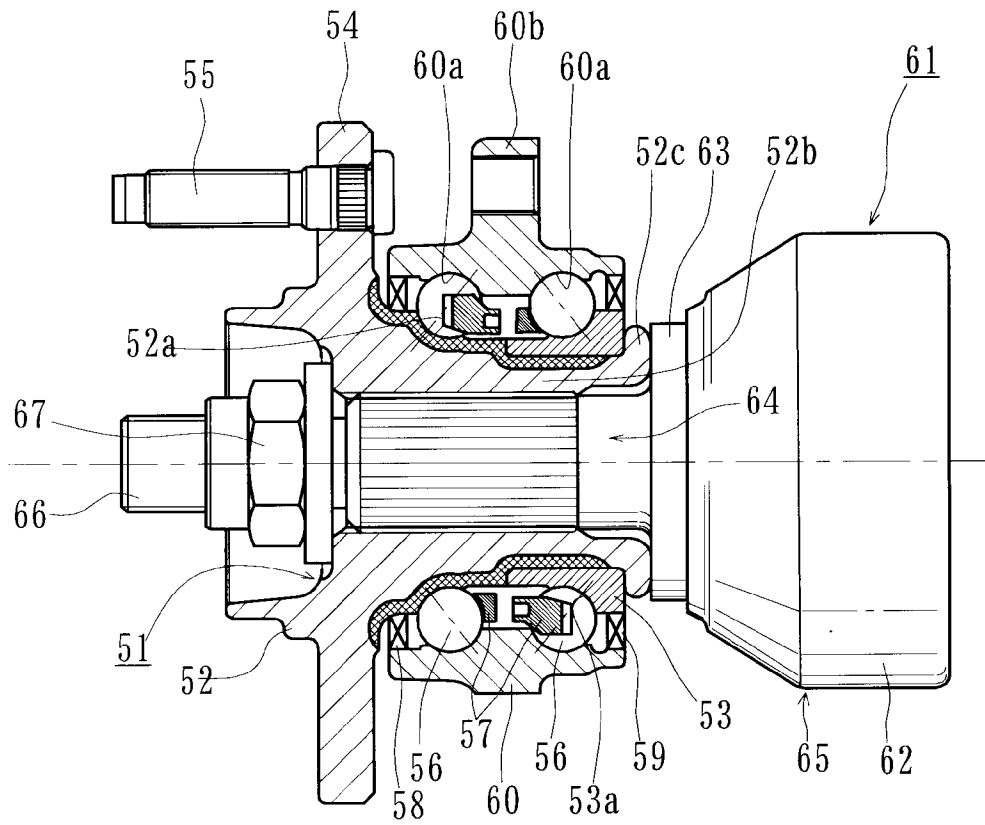
[図12]



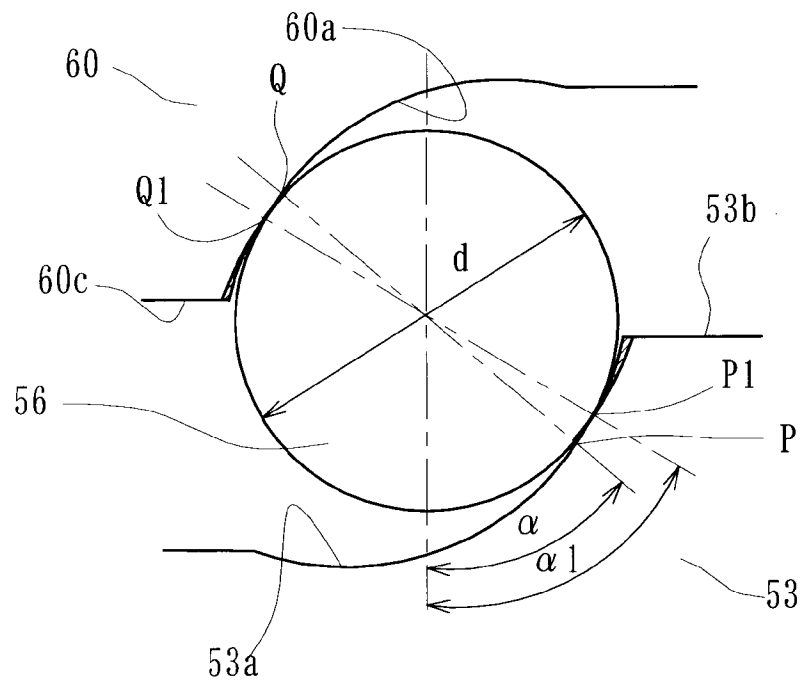
[図13]



[図14]



(a)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006700

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C19/18(2006.01)i, B60B35/02(2006.01)i, F16C25/08(2006.01)i, F16C33/32(2006.01)i, F16C33/58(2006.01)i, F16C33/62(2006.01)i, F16C33/64(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)

F16C19/18, B60B35/02, F16C25/08, F16C33/32, F16C33/58, F16C33/62, F16C33/64

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	1996-2010
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2010	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2010

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 2006-9895 A (NTN Corp.), 12 January 2006 (12.01.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1, 3, 5 2, 4, 6-18
Y	JP 2004-108449 A (Koyo Seiko Co., Ltd.), 08 April 2004 (08.04.2004), fig. 1 to 8 (Family: none)	2, 4
Y	JP 3321228 B2 (NTN Corp.), 03 September 2002 (03.09.2002), paragraphs [0008] to [0015] (Family: none)	4

☒ 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
05 January, 2010 (05.01.10)

Date of mailing of the international search report
19 January, 2010 (19.01.10)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/006700

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 2007-32830 A (NSK Ltd.), 08 February 2007 (08.02.2007), paragraph [0028]; fig. 1 (Family: none)	6, 7, 11
Y	JP 2002-349576 A (NSK Ltd.), 04 December 2002 (04.12.2002), entire text; fig. 1 (Family: none)	8-18
Y	JP 2008-180364 A (NTN Corp.), 07 August 2008 (07.08.2008), claims 1, 2, 5, 7 to 9 & WO 2008/075535 A1 & CN 101583804 A & EP 2123924 A1	12, 13, 15-18
A	JP 2008-8436 A (NSK Ltd.), 17 January 2008 (17.01.2008), (Family: none)	9

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F16C19/18(2006.01)i, B60B35/02(2006.01)i, F16C25/08(2006.01)i, F16C33/32(2006.01)i,
F16C33/58(2006.01)i, F16C33/62(2006.01)i, F16C33/64(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. F16C19/18, B60B35/02, F16C25/08, F16C33/32, F16C33/58, F16C33/62, F16C33/64

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 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 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 2006-9895 A (N T N株式会社) 2006.01.12, 全文、全図 (ファミリーなし)	1、3、5 2、4、 6 - 1 8
Y	JP 2004-108449 A (光洋精工株式会社) 2004.04.08, 図 1 - 8 (ファミリーなし)	2、4
Y	JP 3321228 B2 (エヌティエヌ株式会社) 2002.09.03, 【0008】 - 【0015】 (ファミリーなし)	4

☒ 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

0 5 . 0 1 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 1 . 2 0 1 0

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

3 J

3 5 3 1

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

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 2007-32830 A (日本精工株式会社) 2007.02.08, 【0028】、 図1 (ファミリーなし)	6、7、11
Y	JP 2002-349576 A (日本精工株式会社) 2002.12.04, 全文、図1 (フ ァミリーなし)	8-18
Y	JP 2008-180364 A (NTN株式会社) 2008.08.07, 請求項1、2、 5、7-9 & WO 2008/075535 A1 & CN 101583804 A & EP 2123924 A1	12、13、 15-18
A	JP 2008-8436 A (日本精工株式会社) 2008.01.17 (ファミリーなし)	9