

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7663732号
(P7663732)

(45)発行日 令和7年4月16日(2025.4.16)

(24)登録日 令和7年4月8日(2025.4.8)

(51)国際特許分類

F I

F 1 6 C 23/08 (2006.01)

F 1 6 C 23/08

F 1 6 C 19/38 (2006.01)

F 1 6 C 19/38

請求項の数 5 (全18頁)

(21)出願番号	特願2024-17030(P2024-17030)	(73)特許権者	000102692
(22)出願日	令和6年2月7日(2024.2.7)		N T N株式会社
(62)分割の表示	特願2019-72707(P2019-72707)の分割		大阪府大阪市北区中之島三丁目 6 番 3 2 号
原出願日	平成31年4月5日(2019.4.5)	(74)代理人	100087941
(65)公開番号	特開2024-40292(P2024-40292A)		弁理士 杉本 修司
(43)公開日	令和6年3月25日(2024.3.25)	(74)代理人	100112829
審査請求日	令和6年3月7日(2024.3.7)		弁理士 堤 健郎
(31)優先権主張番号	特願2018-81203(P2018-81203)	(74)代理人	100155963
(32)優先日	平成30年4月20日(2018.4.20)		弁理士 金子 大輔
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)	(74)代理人	100150566
			弁理士 谷口 洋樹
		(74)代理人	100213470
			弁理士 中尾 真二
		(72)発明者	瀬 古 一将

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 複列自動調心ころ軸受

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内輪と、
球面状の軌道面を有する外輪と、
前記内輪と外輪との間に介在する、軸受幅方向に並ぶ2列の複数のころとを備え、
前記2列のころは、それぞれ、前記外輪の軌道面に沿う断面形状の外周面を有する、複列自動調心ころ軸受であって、
一方の列のころの接触角 1 と他方の列のころの接触角 2 との比が、 $0.25 \leq \frac{1}{2} \leq 0.5$ の範囲にあり、
前記一方の列側の軸受端面から、両列の接触角をなす2本の作用線の交点までの軸受幅方向距離 B 1 と、前記他方の列側の軸受端面から前記交点までの軸受幅方向距離 B 2 との比が、 $0.5 \leq \frac{B1}{B2} \leq 0.6$ の範囲にある、
複列自動調心ころ軸受。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の複列自動調心ころ軸受において、前記一方の列のころ長さ L 1 と、前記他方の列のころ長さ L 2 との比が、 $0.9 \leq \frac{L1}{L2} \leq 1.0$ の範囲にある、複列自動調心ころ軸受。

【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の複列自動調心ころ軸受において、前記他方の列のころを保持する保持器の傾斜角 2 が、前記他方の列のころの最大径を成す位置の傾斜角度で

10

20

あるころ最大径角 2 に対して、次式、

$$\frac{0}{2} \frac{2}{2}$$

で示される関係にある複列自動調心ころ軸受。

【請求項 4】

請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の複列自動調心ころ軸受において、前記各ころが、外周面に多層構造の D L C 皮膜を有し、

この D L C 皮膜の膜厚が $2.0 \mu\text{m}$ 以上であり、

前記ころの母材の外表面の面粗さが、

R_a 0.3、かつ R_q 0.05

であり、

前記多層構造の D L C 皮膜における各層の膜硬さは、段階的に外層側の層が高くなる、複列自動調心ころ軸受。

【請求項 5】

請求項 1 ないし請求項 4 いずれか 1 項に記載の複列自動調心ころ軸受において、風力発電装置の主軸の支持に用いられる複列自動調心ころ軸受。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、軸受幅方向に並ぶ 2 列のころに不均等な荷重が負荷される用途、例えば風力発電装置や産業機械の主軸の支持に用いられる複列自動調心ころ軸受に関する。

【背景技術】

【0002】

風力発電装置の主軸を支持する軸受には、ブレードやロータヘッドの自重によるラジアル荷重の他に、風力によるアキシアル荷重が作用する。主軸支持用の軸受が図 20 に示すような、軸方向に対称な構造を有する複列自動調心ころ軸受 41 である場合、内輪 42 と外輪 43 間に介在する 2 列のころ 44、45 のうち、主にアキシアル荷重 F_a に対して後ろ側となる一方の列のころ 45 だけがアキシアル荷重 F_a を受ける。つまり、一方の列のころ 45 がラジアル荷重とアキシアル荷重の両方を受けるのに対し、他方の列のころ 44 はほぼラジアル荷重だけを受ける。このため、ラジアル荷重およびアキシアル荷重を受ける列のころ 45 は、ラジアル荷重だけを受ける列のころ 44 と比べて接触面圧が大きくなり、ころ 45 の転動面および外輪 43 の軌道面 43a の表面損傷や摩耗が生じやすい。この場合、一方の列のころ 45 の転がり寿命が他方の列のころ 44 の転がり寿命よりも短くなり、このアキシアル荷重を受けるころ 45 の列の短い転がり寿命によって、軸受全体の実質寿命が決定される。

【0003】

上記の課題に対して、軸受全体の実質寿命を向上させるために、2 列のころの長さを互いに異ならせること（特許文献 1 参照。）、あるいは 2 列のころの接触角を互いに異ならせること（特許文献 2 参照。）が提案されている。しかし、軸受の寸法規格（ISO 規格；JIS B 1512）の制限があるため、上記 2 通りの手法のうち一方の手法を用いるだけでは、アキシアル荷重を受ける列のころの負荷容量を適正な値まで高めることが難しい。つまり、寸法規格によって呼び番号に対して内径、外径、および軸受幅がそれぞれ決まっているため、アキシアル荷重を受ける列のころの長さを長くし過ぎると、軸受幅が規格値を超える。また、アキシアル荷重を受ける列のころの接触角を大きくし過ぎると、内径が規格値を超える。

【0004】

そこで、各部の寸法が軸受の寸法規格から外れることなく、アキシアル荷重を受ける列とラジアル荷重だけを受ける列の接触面圧を均等化するために、2 列のころの長さを互いに異ならせる手法と、2 列のころの接触角を互いに異ならせる手法とを組み合わせることが提案されている（特許文献 3 参照。）。この技術において、アキシアル荷重を受ける列のころの接触角を大きくして、当該ころの負荷容量を十分に大きくすることが重要である

10

20

30

40

50

ことから、そのための両列のころの接触角の適正な比率も提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】国際公開第2005/050038号

【文献】米国特許第2014/0112607号明細書

【文献】特開2017-180831号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

特許文献3に開示された軸受によって、日常的に付加される疲労荷重に対しては、両列が受ける接触面圧の均等化が図られ、軸受全体の実質寿命が改善される。しかし、50年の間に発生すると想定される最大荷重である極値荷重に対しては、上記のパラメータを設定するのみでは、ころ長さの短い側の列で負荷能力が不十分になる場合がある。

【0007】

本発明の目的は、アキシアル荷重およびラジアル荷重を受け、軸方向に並ぶ2列のころに互いに大きさが異なる荷重が作用する用途に適する軸受として、寸法規格の制約の範囲内で、疲労荷重のみならず極値荷重に対しても、両列のころで適切に負荷を分担できる複列自動調心ころ軸受を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係る複列自動調心ころ軸受は、
内輪と、

球面状の軌道面を有する外輪と、

前記内輪と外輪との間に介在する、軸受幅方向に並ぶ2列の複数のころとを備え、

前記2列のころは、それぞれ、前記外輪の軌道面に沿う断面形状の外周面を有する、複列自動調心ころ軸受であって、

一方の列のころの接触角 α_1 と他方の列のころの接触角 α_2 との比が、 $0.25 \leq \alpha_1 / \alpha_2 \leq 0.5$ の範囲にあり、

前記一方の列側の軸受端面から、両列の接触角をなす2本の作用線の交点までの軸受幅方向距離 B_1 と、前記他方の列側の軸受端面から前記交点までの軸受幅方向距離 B_2 との比が、 $0.5 \leq B_1 / B_2 \leq 0.6$ の範囲にある。

【0009】

この構成によれば、前記他方の列のころの接触角を前記一方の列の接触角よりも大きくしたことにより、前記他方の列のころが大きなアキシアル荷重を負担することが可能となる。この複列自動調心ころ軸受を、アキシアル荷重およびラジアル荷重が作用する条件下で用いる場合、接触角が大きいころでアキシアル荷重のほぼすべてとラジアル荷重の一部を負担させ、接触角が小さいころでラジアル荷重の残りを負担させる。このような分担割合で2列のころでアキシアル荷重とラジアル荷重を分担して負担することにより、両列のころの接触面圧を均等にすることができる。これにより、軸受全体で大きな負荷容量を確保すると共に、軸受全体の実質寿命を向上することができる。

【0010】

さらに、両列のころの接触角の比率が異なる複数の複列自動調心ころ軸受を用意し、各複列自動調心ころ軸受について、風力発電装置の主軸支持用軸受として使用する場合に想定される荷重条件にて両列のころの接触面圧を解析した結果、接触角の比が1:3である場合に、両列のころの接触面圧が最も均等化することが分かった。前記想定される荷重条件とは、発電能力、設置場所等の諸条件を考慮して平均的な風力発電装置が最も通常に運転しているときの、疲労荷重であるアキシアル荷重およびラジアル荷重を指す。よって、平均的な風力発電装置と比べて前記条件が異なる風力発電装置に用いられる複列自動調心ころ軸受では、最適な接触角の比が1:3でないことが有り得るが、その場合でも、最適

10

20

30

40

50

な接触角の比は $1 : 2$ ないし $1 : 4$ の範囲内に収まる。すなわち、両列の接触角の比を $0.25 \leq \theta_1 / \theta_2 \leq 0.5$ の範囲とすることにより、疲労荷重に対して両列のころで適切に負荷を分担できる。

【0011】

さらに、接触角が小さい前記一方の列側の軸受端面から、両列の接触角をなす2本の作用線の交点までの軸受幅方向距離 B_1 と、接触角が大きい前記他方の列側の軸受端面から前記交点までの軸受幅方向距離 B_2 との比を、 $0.5 \leq B_1 / B_2 \leq 0.6$ の範囲とすることにより、ほぼラジアル荷重のみを負担する前記一方の列のころの長さが、規格寸法の範囲内で過度に短くならない。したがって、様々な方向から負荷されることを想定する必要がある極値荷重に対しても、前記一方の列のころの負荷能力が不足することが回避される。したがって、寸法規格の制約の範囲内で、疲労荷重および極値荷重のいずれに対しても、両列のころで適切に負荷を分担することが可能になる。

【0012】

本発明において、前記一方の列のころ長さ L_1 と、前記他方の列のころ長さ L_2 との比が、 $0.9 \leq L_1 / L_2 \leq 1.0$ の範囲にあってもよい。この構成によれば、接触角が大きい列のころ長さが接触角が小さい列のころ長さ以上となるので、接触角が大きい列のころのアキシャル荷重に対する負荷容量が確実に向上する。これと共に、接触角が小さい列のころ長さを、他方の列のころ長さの90%以上とすることにより、上述したように、ほぼラジアル荷重のみを負担する前記一方の列のころの長さが、規格寸法の範囲内で過度に短くならないことが回避される。

【0013】

本発明において、前記他方の列のころを保持する保持器の傾斜角 θ_2 が、前記他方の列のころの最大径を成す位置の傾斜角度であるころ最大径角 θ_2 に対して、次式、

$$0 \leq \theta_2 \leq 2$$

で示される関係にあってもよい。

なお、前記「保持器の傾斜角 θ_2 」は、例えば、保持器の柱部におけるポケット面が円筒面である場合、その円筒面の中心線が保持器中心線（軸受中心軸心）に対して成す角度である。前記「保持器の傾斜角 θ_2 」は、保持器の外径面の傾斜角度、または保持器の内径面の傾斜角度であってもよい。

【0014】

前記他方の列のころ、つまりアキシャル荷重の入力方向に対するリア側列のころは、最大径角 θ_2 が大きくなるため、保持器傾斜角度 θ_2 を適宜設定し、保持器のポケット面がころの最大径位置を抱えるようにしても良い。

このとき、 $0 \leq \theta_2 \leq 2$

とすることで、ころの姿勢安定性が損なわれることはない。

また、このような保持器形状とすることで、左右列非対称設計特有の組み込み性の低下を防ぎ、ころを安定して保持することができる。

【0015】

この発明において、前記各ころが、外周面に多層構造のDLC皮膜を有し、

このDLC皮膜の膜厚が $2.0 \mu\text{m}$ 以上であり、

前記ころの母材の外表面の面粗さが、

$$Ra \leq 0.3, \text{ かつ } Rq \leq 0.05$$

であり、

前記多層構造のDLC皮膜における各層の膜硬さは、段階的に外層側の層が高くなるようにしてもよい。

前記DLCは、ダイヤモンドライクカーボン（Diamond-like Carbon）の略称である。

【0016】

ころの外周面にDLC皮膜処理をすることで耐摩耗性が向上する。DLC皮膜は、母材との密着性に優れた多層構造を採用し、膜厚は $2.0 \mu\text{m}$ 以上が望ましい。またDLC皮膜を施す外周面の粗さの値を、算術平均粗さ Ra で $0.3 Ra$ 以下、二乗平均平方根傾斜

R qで0.05以下とすることで、相手材への攻撃性が緩和できる。さらに、DLC皮膜の膜硬さは、多層構造で段階的に硬度を高めることで、高い密着性を得ることができる。

【0017】

この複列自動調心ころ軸受は、風力発電装置の主軸の支持に適する。風力発電装置の主軸を支持する複列自動調心ころ軸受には、ブレードやロータヘッドの自重によるラジアル荷重、および風力によるアキシアル荷重が作用する。軸受幅方向に並ぶ2列のころのうち前記他方の列のころラジアル荷重とアキシアル荷重の両方を受け、前記一方の列のころはほぼラジアル荷重のみを受ける。その場合、アキシアル荷重を受ける列のころを、接触角が大きい前記他方の列のころとし、ほぼラジアル荷重のみを受ける列のころを、接触角が小さい前記一方の列のころとすることにより、疲労荷重および極値荷重のいずれに対しても、両列のころで適切に負荷が分担される。

10

【発明の効果】

【0018】

以上のように、本発明に係る複列自動調心ころ軸受によれば、寸法規格の制約の範囲内で、疲労荷重のみならず極値荷重に対しても、両列のころで適切に負荷を分担することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】本発明の第1の実施形態にかかる複列自動調心ころ軸受の断面図である。

【図2】非対称ころの説明図である。

20

【図3】同複列自動調心ころ軸受と従来の複列自動調心ころ軸受にそれぞれアキシアル荷重とラジアル荷重の合成荷重をかけた場合におけるフロント側のころの接触面圧の分布解析結果を示すグラフである。

【図4】同複列自動調心ころ軸受と従来の複列自動調心ころ軸受にそれぞれアキシアル荷重とラジアル荷重の合成荷重をかけた場合におけるリア側のころの接触面圧の分布解析結果を示すグラフである。

【図5】両列のころの接触角の比がそれぞれ異なる複数種類の複列自動調心ころ軸受にアキシアル荷重とラジアル荷重の合成荷重をかけた場合におけるフロント側のころの接触面圧の分布解析結果を示すグラフである。

【図6】両列のころの接触角の比がそれぞれ異なる複数種類の複列自動調心ころ軸受にアキシアル荷重とラジアル荷重の合成荷重をかけた場合におけるリア側のころの接触面圧の分布解析結果を示すグラフである。

30

【図7】従来の複数の複列自動調心ころ軸受について軸受幅に対するころ長さの比率を同一図面上に図示した図である。

【図8】風力発電装置の主軸支持装置の一例の一部を切り欠いて表した斜視図である。

【図9】同主軸支持装置の破断側面図である。

【図10】この発明の他の実施形態にかかる複列自動調心ころ軸受の断面図である。

【図11】同の複列自動調心ころ軸受におけるころ表層のDLC皮膜の構成を示す説明図である。

【図12】前記各実施形態の複列自動調心ころ軸受に用いられる保持器の一例を示す斜視図である。

40

【図13】同保持器の部分拡大破断平面である。

【図14】同保持器のポケットところの関係を示す断面図である。

【図15】同保持器の部分断面図である。

【図16】同保持器の部分平面図である。

【図17】同保持器の柱部の断面図である。

【図18】同保持器の部分斜視図である。

【図19】同保持器の変形例の部分斜視図である。

【図20】従来の一般的な複列自動調心ころ軸受の断面図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 0 】

本発明の第 1 の実施形態に係る複列自動調心ころ軸受（以下、単に「軸受」と称する場合がある。）1 を図 1 と共に説明する。この複列自動調心ころ軸受 1 は、内輪 2 と外輪 3 との間に軸受幅方向（軸心方向）に並ぶ左右 2 列のころ 4 , 5 を介在させてある。外輪 3 の軌道面 3 a は球面状であり、左右各列のころ 4 , 5 は外周面が外輪 3 の軌道面 3 a に沿う断面形状である。言い換えると、ころ 4 , 5 の外周面は、外輪 3 の軌道面 3 a に沿った円弧を中心線 C 1 , C 2 回りに回転させた回転曲面である。内輪 2 には、左右各列のころ 4 , 5 の外周面に沿う断面形状の複列の軌道面 2 a , 2 b が形成されている。内輪 2 の外周面の両端には、つば（小つば）6 , 7 がそれぞれ設けられている。内輪 2 の外周面の中央部、すなわち左列のころ 4 と右列のころ 5 間に、中つば 8 が設けられている。なお、本明細書における用語「左」、「右」は、軸受のアキシアル方向における相対的な位置関係を便宜上示すための用語に過ぎない。本明細書において、「左」、「右」は、理解を容易にするため、各図における左右と一致させている。

10

【 0 0 2 1 】

左右各列のころ 4 , 5 は、それぞれ保持器 1 0 L , 1 0 R により保持されている。左列用の保持器 1 0 L は、円環部 1 1 から複数の柱部 1 2 が左側に延び、これら柱部 1 2 間のポケットに左列のころ 4 が保持される。右列用の保持器 1 0 R は、円環部 1 1 から複数の柱部 1 2 が右側に延び、これら柱部 1 2 間のポケットに右列のころ 5 が保持される。

【 0 0 2 2 】

図 2 に誇張して示すように、左右各列のころ 4 , 5 は、いずれも最大径 $D_{1\max}$, $D_{2\max}$ の位置がころ長さの中央 A 1 , A 2 から外れた非対称ころである。左列のころ 4 の最大径 $D_{1\max}$ の位置はころ長さの中央 A 1 よりも右側にあり、右列のころ 5 の最大径 $D_{2\max}$ の位置はころ長さの中央 A 2 よりも左側にある。このような非対称ころからなる左右各列のころ 4 , 5 は、誘起スラスト荷重が発生する。この誘起スラスト荷重を受けるために、内輪 2 の前記中つば 8 が設けられる。非対称ころ 4 , 5 と中つば 8 の組合せは、ころ 4 , 5 を内輪 2 、外輪 3 、および中つば 8 の 3 箇所案内するので、案内精度が良い。

20

【 0 0 2 3 】

図 1 に示すように、両列のころ 4 , 5 の接触角はいずれも 0° より大きく、かつ互いに異なっている。この例では、右列のころ 5 の接触角 α_2 の方が、左列のころ 4 の接触角 α_1 よりも大きくなっている。左列のころ 4 の接触角 α_1 と右列のころ 5 の接触角 α_2 の比は、 $1:2$ から $1:4$ 、すなわち $0.25 \leq \alpha_1 / \alpha_2 \leq 0.5$ の範囲内に設定されている。最も好ましい接触角 α_1 , α_2 の比は、 $1:3$ ($\alpha_1 / \alpha_2 = 0.333$) である。その理由については後述する。具体的には、接触角 α_1 の範囲は例えば $3^\circ \sim 6^\circ$ であり、好ましくは $\alpha_1 = 5^\circ$ である。接触角 α_2 の範囲は例えば $12^\circ \sim 18^\circ$ であり、好ましくは $\alpha_2 = 15^\circ$ である。

30

【 0 0 2 4 】

また、左列のころ 4 と右列のころ 5 は、最大径 $D_{1\max}$, $D_{2\max}$ が互いに同じで、中心線 C 1 , C 2 に沿った長さ L_1 , L_2 が互いに異なっている。長さが長いころ 5 の長さ L_2 は、軸受幅（左列側の軸受端面 E 1 から右列側の軸受端面 E 2 までの軸受幅方向距離）B の 39% 以上であることが好ましい。なお、左列のころ 4 の長さ L_1 と右列のころ 5 の長さ L_2 は等しくてもよい。もっとも、図示の例のように、接触角が大きい列のころの長さ L_2 を接触角が小さい列のころの長さ L_1 より長くすることにより、接触角が大きい列のころのアキシアル荷重に対する負荷容量がさらに向上する。

40

【 0 0 2 5 】

両列の接触角 α_1 , α_2 をなす 2 本の作用線 S 1 , S 2 の交点 P の軸受幅方向位置は、中つば 8 の軸受幅方向の中央位置 Q よりも、接触角の小さいころ 4 の側に距離 K だけずれている。これにより、長さの長いころ 5 を必要以上に長くすることなく、長さの長いころ 5 の接触角 α_2 を大きくすることができる。なお、前記作用線 S 1 , S 2 は、ころ 4 , 5 と内輪 2 および外輪 3 との接触部に働く力の合成力が作用する線である。作用線 S 1 , S

50

2 が互いに交わる点 P は、軸受中心軸心 O 上に位置する。

【 0 0 2 6 】

より具体的には、交点 P の軸受幅方向位置は、接触角が小さい左列側の軸受端面 E 1 から上記交点 P までの軸受幅方向距離 B 1 と、接触角が大きい右列側の軸受端面 E 2 から交点 P までの軸受幅方向距離 B 2 との比が $0.5 \leq B 1 / B 2 \leq 0.6$ の範囲内となるように設定されている。

【 0 0 2 7 】

この構成の軸受 1 は、アキシアル荷重およびラジアル荷重を受け、左右のころ列に互いに大きさが異なる荷重が作用する用途、例えば風力発電装置の主軸支持軸受として用いられる。その場合、旋回翼に近い側（フロント側：図 1 の左側）に左列のころ 4 が位置し、遠い側（リア側：図 1 の右側）に右列のころ 5 が位置するように、軸受 1 を設置する。この場合、主軸からのアキシアル荷重 F a はフロント側からリア側に向かう方向に付加される。これにより、接触角 $\alpha 2$ が大きい右列のころ 5 が、アキシアル荷重のほぼすべてとラジアル荷重の一部を負担し、接触角 $\alpha 1$ が小さい左列のころ 4 が、ラジアル荷重の残りを負担する。

【 0 0 2 8 】

上記軸受幅方向距離 B 1 と B 2 との比を、 $0.5 \leq B 1 / B 2 \leq 0.6$ の範囲とすることにより、ほぼラジアル荷重のみを負担する左側の列のころの長さ L 1 が、規格寸法の範囲内で過度に短くならない。仮に一方列のころの長さが過度に短い場合、ころの負荷容量が不十分となり、極値荷重のような極めて大きな荷重がラジアル方向から付加されると、ころの両端にエッジ応力が発生し、寿命低下の原因となる。しかし、本実施形態に係る軸受 1 では様々な方向から負荷されることを想定する必要がある極値荷重に対しても、一方の列のころの負荷能力が不足することが回避される。したがって、この軸受 1 によれば、寸法規格の制約の範囲内で、疲労荷重および極値荷重のいずれに対しても、両列のころで適切に負荷を分担することが可能になる。

【 0 0 2 9 】

また、上述のように、一方の列（この例では左列）のころ長さ L 1 よりも他方の列（この例では右列）のころ長さ L 2 が長いことが好ましいが、左列のころ長さ L 1 が過度に短くならないよう、L 1 と L 2 との比が、 $0.9 \leq L 1 / L 2 < 1.0$ の範囲にあることがより好ましい。

【 0 0 3 0 】

以下、両列のころの接触角の比を 0.25 以上 0.5 以下の範囲内に設定する理由について説明する。図 10 に示す従来の複列自動調心ころ軸受 4 1 および図 1 に示す本発明の複列自動調心ころ軸受 1 について、風力発電装置の主軸支持用軸受として使用する場合に想定されるアキシアル荷重とラジアル荷重との合成荷重の際左右両列のころの接触面圧を解析した。図 3 はフロント側すなわち左列のころ 4 4 , 4 の接触面圧分布を示し、図 4 はリア側すなわち右列のころ 4 5 , 5 の接触面圧解析結果分布を示す。

【 0 0 3 1 】

図 3、図 4 に示す結果から以下のことが分かる。図 10 の従来品は、フロント側にて接触面圧が小さく、リア側で接触面圧が大きくなっており、フロント側とリア側とで荷重負担が不均一な状態となっている。これに対し、図 1 の接触角変更品は、フロント側にてころ全体に接触面圧が発生することにより、リア側の接触面圧の最大値が下がり、両列での接触面圧差が小さくなり均等化されている。

【 0 0 3 2 】

また、左列のころ 4 の接触角 $\alpha 1$ と右列のころ 5 の接触角 $\alpha 2$ との比がそれぞれ異なる 3 種類の複列自動調心ころ軸受にて、前記同様にして左右両列のころの接触面圧を解析した。図 5 はフロント側すなわち左列のころ 4 の接触面圧解析結果分布を示し、図 6 はリア側すなわち右列のころ 5 の接触面圧解析結果分布を示す。接触角の比が $1 : 1$ であるものは従来品であり、接触角の比が $1 : 2$ 、 $1 : 3$ であるものは本発明の接触角変更品である。

【 0 0 3 3 】

10

20

30

40

50

図 5、図 6 に示す結果から以下のことが分かる。各接触角の比について接触面圧分布を比較すると、接触角の比が 1 : 3 のものが、フロント側とリア側とで最も接触面圧が均等化されている。接触角の比が 1 : 2 のものは、接触角の比が 1 : 3 のものに比べると均等化はされていないが、接触角の比が 1 : 1 のものに比べれば十分に均等化されている。図 1 から分かるように、ころ 5 の接触角 2 が大きくなると、寸法制約の関係から内輪 2 の肉厚が薄くなり過ぎるため、長さが長いころ 5 を配置することが困難になる。これらのことから、接触角の比は、1 : 2 以上で 1 : 4 以内とするのが望ましい。

【 0 0 3 4 】

なお、前記想定されるアキシアル荷重およびラジアル荷重とは、発電能力、設置場所等の諸条件を考慮して平均的な風力発電装置が最も通常に運転しているときの疲労荷重であるアキシアル荷重およびラジアル荷重を指す。よって、平均的な風力発電装置と比べて前記条件が異なる風力発電装置に用いられる複列自動調心ころ軸受では、最適な接触角の比が 1 : 3 でないことが有り得る。しかし、その場合でも、最適な接触角の比は 1 : 2 ないし 1 : 4 の範囲内に収まる。

【 0 0 3 5 】

また、必須ではないが、長さが長いころ 5 の長さ L 2 は軸受幅 B の 3 9 % 以上であるという条件を付加することにより、寸法規格の範囲内で両列のころの接触角の比が上記適正とされた複列自動調心ころ軸受が得られる。なお、従来の複列自動調心ころ軸受について、軸受幅 B に対するころ 5 の長さ L 2 の比率を調査した。その結果、図 7 に示すように、前記比率が 3 9 % 以上であることが判明した。上記寸法規格は、内径、外径、および軸受幅を定めた規格である。

【 0 0 3 6 】

図 8、図 9 は、風力発電装置の主軸支持装置の一例を示す。支持台 2 1 上に旋回座軸受 2 2 (図 9) を介してナセル 2 3 のケーシング 2 3 a が水平旋回自在に設置されている。ナセル 2 3 のケーシング 2 3 a 内には、軸受ハウジング 2 4 に設置された主軸支持軸受 2 5 を介して主軸 2 6 が回転自在に設置され、主軸 2 6 のケーシング 2 3 a 外に突出した部分に、旋回翼となるブレード 2 7 が取り付けられている。主軸 2 6 の他端は、増速機 2 8 に接続され、増速機 2 8 の出力軸が発電機 2 9 のロータ軸に結合されている。ナセル 2 3 は、旋回用モータ 3 0 により、減速機 3 1 を介して任意の角度に旋回させられる。主軸支持軸受 2 5 は、図示の例では 2 個並べて設置してあるが、1 個であってもよい。

【 0 0 3 7 】

図 1 0、図 1 1 は、この発明の他の実施形態を示す。この実施形態において、特に説明する事項の他は、第 1 の実施形態と同様である。

この実施形態の複列自動調心ころ軸受 1 は、前記他方の列のころ 5 を保持する保持器 1 0 R の傾斜角 2 が、前記他方の列のころ 5 の最大径を成す位置の傾斜角度であるころ最大径角 2 に対して、次式、

$$0 \leq \frac{L_2}{B} \leq 2$$

で示される関係となっている。

なお、前記「保持器 1 0 R の傾斜角 2」は、例えば、保持器 1 0 R の柱部 1 2 におけるポケット面 1 2 a が円筒面である場合、その円筒面の中心線 C 2 が保持器中心 (軸受中心軸心 O) に対して成す角度が保持器傾斜角 2 である。前記「保持器傾斜角 2」は、保持器 1 0 R の外径面の傾斜角度、または保持器 1 0 R の内径面の傾斜角度であってもよい。

【 0 0 3 8 】

前記他方の列のころ 5、つまりアキシアル荷重の入力方向に対するリア側列のころ 5 は、最大径角 2 が大きくなるため、保持器傾斜角度 2 を設定し、保持器 1 0 R のポケット面 1 2 a がころ 5 の最大径位置を抱えるようにしても良い。

このとき、 $0 \leq \frac{L_2}{B} \leq 2$

とすることで、ころ 5 の姿勢安定性が損なわれることはない。

また、このような保持器 1 0 R の形状とすることで、左右列非対称設計特有の組み込み性

の低下を防ぎ、ころ 5 を安定して保持することができる。

【 0 0 3 9 】

各列のころ 4 , 5 は、外周面に多層構造 (3 層以上) の D L C 皮膜 9 を有している。内輪 2 および外輪 3 の各軌道面 2 a , 2 b , 3 a についても、ころ 4 , 5 と同様に D L C 皮膜 9 を施してもよいが、ここではころ 4 , 5 の D L C 皮膜 9 について説明する。この D L C 皮膜 9 の膜厚は、 $2.0 \mu\text{m}$ 以上である。D L C 皮膜 9 は、この実施形態では、図 1 1 にリア側のころ 5 の D L C 皮膜 9 の断面を模式的に示すように、ころ 4 , 5 の母材側から順に、下地層 9 a、混合層 9 b、および表面層 9 c の 3 層とされている。

前記ころ 4 , 5 の母材の外表面の面粗さは、算術粗さ R_a 、および二乗平均平方根傾斜 R_q で、 $R_a = 0.3$ 、かつ $R_q = 0.05$ である。

10

前記多層構造の D L C 皮膜 9 における各層 9 a , 9 b , 9 c の膜硬さは、段階的に外層側の層が高くなる。

【 0 0 4 0 】

ころ 4 , 5 の外周面に D L C 皮膜処理することで耐摩耗性が向上する。D L C 皮膜 9 を施すと、耐摩耗性が向上する反面、耐剥離性を確保する必要がある。これを、次の構成とすることで改善している。D L C 皮膜 9 は、母材との密着性に優れる多層構造を採用する。膜厚は $2.0 \mu\text{m}$ 以上が望ましい。また D L C 皮膜 9 を施す外周面の粗さの値を、算術平均粗 R_a で $0.3 R_a$ 以下、二乗平均平方根傾斜 R_q で 0.05 以下とすることで、相手材への攻撃性が緩和できる。さらに、D L C 皮膜 9 の膜硬さは、多層構造で段階的に硬度を高めることで、高い密着性を得ることができる。

20

【 0 0 4 1 】

ころ 4 , 5 等の材質と、前記 D L C 皮膜 9 とにつき、具体的に説明する。ころ 4 , 5、内輪 2、および外輪 3 は、鉄系材料からなる。鉄系材料としては、軸受部材として一般的に用いられる任意の鋼材などを使用でき、例えば、高炭素クロム軸受鋼、炭素鋼、工具鋼、マルテンサイト系ステンレス鋼などが挙げられる。

これらの軸受部材において、D L C 皮膜 9 が形成される面の硬さが、ビッカース硬さで $H_v 650$ 以上であることが好ましい。 $H_v 650$ 以上とすることで、D L C 皮膜 9 (下地層) との硬度差を少なくし、密着性を向上させることができる。

【 0 0 4 2 】

30

ころ 4 , 5 の D L C 皮膜 9 が形成される面において、皮膜形成前に、窒化処理により窒化層が形成されていることが好ましい。窒化処理としては、母材表面に密着性を妨げる酸化層が生じ難いプラズマ窒化処理を施すことが好ましい。また、窒化処理後の表面の硬さがビッカース硬さで $H_v 1000$ 以上であることが、D L C 皮膜 9 (下地層) との密着性をさらに向上させるために好ましい。

【 0 0 4 3 】

ころ 4 , 5 の D L C 皮膜 9 が形成される面、つまり下地層 9 a が成膜される面である母材表面は、算術平均粗さ R_a が $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ であり、かつ、二乗平均平方根傾斜 R_q が 0.05 以下である。 R_q は、好ましくは 0.03 以下であり、より好ましくは 0.02 以下である。算術平均粗さ R_a および二乗平均平方根傾斜 R_q は、J I S B 0 6 0 1 に準拠して算出される数値であり、接触式または非接触式の表面粗さ計などを用いて測定される。具体的な測定条件としては、測定長さ 4 mm 、カットオフ 0.8 mm である。母材表面の二乗平均平方根傾斜 R_q を 0.05 以下とすることで、粗さ曲線におけるピークが緩やかになり、突起の曲率半径が大きくなり局所面圧が低減できる。また、成膜時においては粗さによるミクロなレベルの電界集中も抑制でき、局所的な膜厚および硬度の変化を防ぐことができ、ひいては硬質膜の耐剥離性を向上できる。

40

【 0 0 4 4 】

母材表面の粗さ曲線から求められる最大山高さ R_p は $0.4 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。最大山高さ R_p は、J I S B 0 6 0 1 に準拠して算出される。粗さ曲線から求められる最大山高さ R_p と算術平均粗さ R_a の関係は、 $1 \leq R_p / R_a \leq 2$ となることが好ま

50

しく、 $1.2 R_p / R_a$ となることがより好ましい。

【0045】

また、母材表面の粗さ曲線から求められるスキューネス R_{sk} は負であることが好ましい。 R_{sk} は、歪み度の指標であり、 -0.2 以下であることがより好ましい。スキューネス R_{sk} は、平均線を中心にして振幅分布曲線の上下対称性を定量的に表したものの、つまり表面粗さの平均線に対する偏りを示す指標である。スキューネス R_{sk} は、JIS B 0601 に準拠して算出される。スキューネス R_{sk} が負であることは、粗さ形状が下に凸（谷）ということを意味し、表面に平坦部が多くある状態となる。結果として凸部が少なく突起部による応力集中を起こしにくい表面であると言える。また粗さを軽減する手法にパレル研磨など研磨メディアとの衝突により表面突起を除去する方法があるが、加工条件によっては新たに突起を形成してしまい R_{sk} が正に転じる可能性があり注意が必要である。

10

【0046】

図11は、DL C皮膜9の構造を示す模式断面図である。同図に示すように、DL C皮膜9は、(1)ころ4, 5の表面上に直接成膜されるCrとWCとを主体とする下地層9aと、(2)下地層9aの上に成膜されるWCとDL Cとを主体とする混合層9bと、(3)混合層9bの上に成膜されるDL Cを主体とする表面層9cとからなる3層構造を有する。ここで、混合層9bは、下地層9a側から表面層9c側へ向けて連続的または段階的に、該混合層中のWCの含有率が小さくなり、かつ、該混合層中のDL Cの含有率が高くなる層である。この実施形態では、DL C皮膜9の膜構造を上記のような3層構造とすることで、急激な物性（硬度・弾性率等）変化を避けるようにしている。

20

【0047】

下地層9aは、Crを含むので超硬合金材料や鉄系材料からなる母材との相性がよく、W、Ti、Si、Alなどを用いる場合と比較して母材との密着性に優れる。また、下地層9aに用いるWCは、CrとDL Cとの中間的な硬さや弾性率を有し、成膜後の残留応力の集中も発生し難い。また、下地層9aは、ころ表面側から混合層9b側に向けてCrの含有率が小さく、かつ、WCの含有率が高くなる傾斜組成とすることが好ましい。これにより、ころ表面と混合層9bとの両面での密着性に優れる。

【0048】

混合層9bは、下地層と表面層との間に介在する中間層となる。混合層9bに用いるWCは、上述のように、CrとDL Cとの中間的な硬さや弾性率を有し、成膜後の残留応力の集中も発生し難い。混合層9bが、下地層9a側から表面層9c側に向けてWCの含有率が小さく、かつ、DL Cの含有率が高くなる傾斜組成であるので、下地層9aと表面層9cとの両面での密着性に優れる。また、該混合層内において、WCとDL Cとが物理的に結合する構造となっており、該混合層内での破損などを防止できる。さらに、表面層9c側ではDL C含有率が高められているので、表面層9cと混合層9bとの密着性に優れる。混合層9bは、非粘着性の高いDL CをWCによって下地層9a側にアンカー効果で結合させる層である。

30

【0049】

表面層9cは、DL Cを主体とする膜である。表面層9cにおいて、混合層9bとの隣接側に、混合層9b側から硬度が連続的または段階的に高くなる傾斜層部分9dを有することが好ましい。これは、混合層9bと表面層9cとでバイアス電圧が異なる場合、バイアス電圧の急激な変化を避けるためにバイアス電圧を連続的または段階的に変化させる（上げる）ことで得られる部分である。傾斜層部分9dは、このようにバイアス電圧を変化させることで、結果として上記のように硬度が傾斜する。硬度が連続的または段階的に上昇するのは、DL C構造におけるグラファイト構造（sp²）とダイヤモンド構造（sp³）との構成比率が、バイアス電圧の上昇により後者に偏っていくためである。これにより、混合層と表面層との急激な硬度差がなくなり、混合層9bと表面層9cとの密着性がさらに優れる。

40

【0050】

50

DLC皮膜9の膜厚(3層の合計)は $0.5 \sim 3.0 \mu\text{m}$ とすることが好ましい。膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ 未満であれば、耐摩耗性および機械的強度に劣る場合があり、 $5.0 \mu\text{m}$ をこえると剥離し易くなる。さらに、該DLC皮膜9の膜厚に占める表面層9cの厚さの割合が0.8以下であることが好ましい。この割合が0.8をこえると、混合層9bにおけるWCとDLCの物理結合するための傾斜組織が不連続な組織となりやすく、密着性が劣化するおそれがある。

【0051】

DLC皮膜9を以上のような組成の下地層9a、混合層9b、表面層9cとの3層構造とすることで、耐剥離性に優れる。

【0052】

図12～図19は、前記リア側の保持器10Rの構成例を示す。フロント側の保持器10L(図1)は、これら図12～図19と共に説明する事項については、リア側の保持器10Rと同様であり、説明を省略する。また、この保持器10Rの構成例は、第1の実施形態および図10の実施形態のいずれにおいても適用される。

【0053】

図12において、保持器10Rの柱部12は、長さ方向の各部が同一の基本断面形状(図14に想像線で示す形状)の棒状の部分から、円筒面状のポケット面12aが除去され、かつ先端にテーパ形状部13が設けられた形状とされている。前記基本断面形状は、それぞれ円筒面の一部を成す外周面12bおよび内周面12cと、半径方向に延びる両側の平面状の側面12dとでなる形状である。ポケット面12aを成す円筒面の直径は、ころ5の最大径よりも僅かに大きな径とされている。ポケット面12aは、前記中心線C2(図1、図10)を中心とする円筒面である。前記中心線C2は、図17に示すように、柱部12が延びる方向に対して、柱部先端側が内径側に近づくように傾斜している。

【0054】

図13に示す保持器10Rの外径 D_o 、内径 D_i 、柱部長さ L は、次のように最適化されている。

保持器10Rの環状部11の外径 D_o は、ころ5の配列のピッチ円直径 PCD よりも大きく、環状部11の内径 D_i はピッチ円直径 PCD (図10)よりも小さい。

環状部11の外径 D_o は、例えば、 $PCD \times 102 \sim 105\%$ 、である。

環状部11の内径 D_i は、例えば、 $PCD \times 95 \sim 98\%$ 、である。

柱部12の長さ L 、詳しくは柱部12のポケット7を構成する部分の長さ L は、ころ長さ L_2 (図1、図10)の65%以下とされている。

【0055】

前記テーパ形状部13(図12～図13、図15～図17)は、柱部12の先端の外径面に、最先端に至るに従って保持器内径側に下がるように形成されている。テーパ形状部13は、ころ5の最大径角を成す直線a(図15に破線で示す)上であるか、この直線aよりも柱部先端側から始まる。換言すると、テーパ形状部13は、ころ5の中心線C2上の最大径となる位置M(図10)上、またはこの位置Mよりも柱部先端側から始まる。

【0056】

柱部12に前記テーパ形状部13が形成され、かつ円筒面状のポケット面12aが柱部12が延びる軸方向に対して傾斜していることで、図16に示すように、柱部12を保持器半径方向の外方から保持器中心側に見た柱部幅は、柱部12の最先端で最も狭く W_1 となっており、テーパ形状部13が始まる手前の幅 W_2 に対して狭くなっている。また、柱部12の先端面12eの径方向厚さ d (図17)が小さくなっている。

【0057】

保持器10L、10Rの材質は、軸受鋼やその他の鉄系材料、または黄銅系材料が用いられている。

【0058】

この構成の保持器保持器10Rによると、柱部12のポケット面12aが円筒面であるため、ころ5の確実な保持が行える。また、テーパ形状部13を形成したため、ころ5

10

20

30

40

50

の組み込み性が向上する。

【 0 0 5 9 】

テーパ形状部 1 3 ところ 5 の組み込み性の関係について説明する。柱部 1 2 のポケット面 1 2 a となる円筒面の中心線 C 2 は、柱部 1 2 が延びる方向に対して先端側が内径側へ傾斜している。そのため、図 1 9 の例のように、前記テーパ形状部 1 3 (図 1 8 参照) がなければ、柱部 1 2 を保持器半径方向の外方から保持器中心側に見た柱部幅が、前記柱部の最先端で最も広くなる。そのため、この広がった柱部 1 2 の先端の外径部で阻害されてポケット 1 5 内へのころ 5 の組み込みが行い難く、またその広い柱部 1 2 の先端の外径部が、強度や機能的に良い影響を持たない無駄部分となる。

【 0 0 6 0 】

この実施形態では、前記テーパ形状部 1 3 を形成したため、柱部先端の周方向幅 W 1 (図 1 6) および径方向厚さ d (図 1 7) が共に小さくなっている。そのため、ころ 5 の組み込み性が向上し、かつ保持器 1 0 R の軽量化が得られる。ころ 5 の組み込み性が向上するため、組み込み時に保持器 1 0 R を大きく変形させる必要がなく、保持器 1 0 R の変形による形状の崩れが防止される。

【 0 0 6 1 】

テーパ形状部 1 3 は、無駄部分を省くように形成するため、ころ 5 の保持性に影響せず、また軽量化の面からも、テーパ形状部 1 3 を形成することが好ましい。

ただし、テーパ形状部 1 3 は、長く形成し過ぎると、ころ 5 の保持性が低下するため、ころ 5 の最大径となる位置 M (図 1 6) 上またはこの位置 M よりも柱部先端側から始まるようにしており、そのため、ころ 5 の保持性が確保される。

また、ころ 5 の組み込み性からは、テーパ形状部 1 3 の先端の径方向厚さ d (図 1 7) が薄いほど好ましいが、円筒面からなるポケット面 1 2 a は柱部 1 2 の先端側からドリル加工で形成するため、先端に平面を残す必要があり、加工に支障のない範囲で薄くすることが好ましい。

【 0 0 6 2 】

なお、リア側の保持器 1 0 R につき説明したが、上記の保持器形状についての構成および効果は、フロント側の保持器 1 0 L もリア側の保持器 1 0 R と同様である。

これら保持器 1 0 L、1 0 R は、例えば図 1 9 の例のように、柱部 1 2 の先端にテーパ形状部 1 3 を持たない形状であってもよく、さらにポケット面 1 2 a を成す円筒面の中心線 C 2 が、柱部 1 2 が延びる方向に対して傾斜していない形状であってもよい。

【 0 0 6 3 】

以上、実施形態に基づいてこの発明を実施するための形態を説明したが、今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではない。この発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

1, 1 A, 1 B ... 複列自動調心ころ軸受

2 ... 内輪

3 ... 外輪

3 a ... 軌道面

4, 5 ... ころ

6, 7 ... 小つば

8 ... 中つば

9 ... D L C 皮膜

1 1 ... 環状部

1 2 ... 柱部

1 3 ... テーパ形状部

1 5 ... ポケット

10

20

30

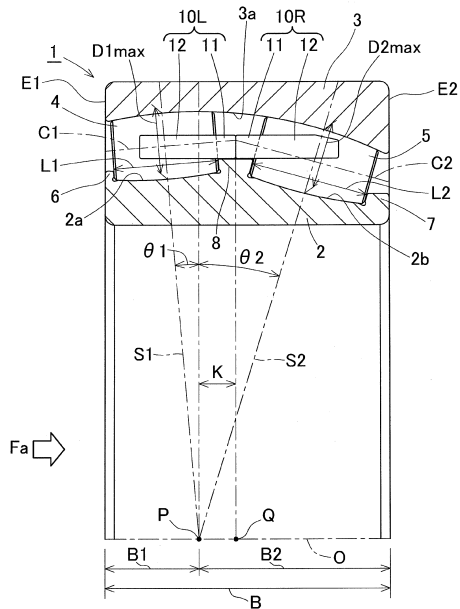
40

50

- 2 6 ...主軸
- A 1 , A 2 ...ころ長さの中央
- B ...軸受幅
- B 1 , B 2 ...軸受の端面から作用線の交点までの軸受幅方向距離
- D 1 m a x , D 2 m a x ...最大径
- E 1 , E 2 ...軸受の端面
- L 1 , L 2 ...ころの長さ
- P ...作用線の交点
- 1 , 2 ...接触角

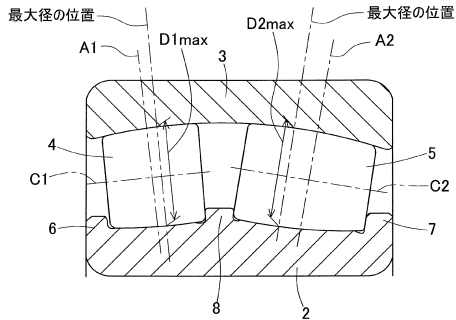
【図面】

【図 1】



- | | |
|---------------|-------------------|
| 1: 複列自動調心ころ軸受 | B: 軸受幅 |
| 2: 内輪 | B1, B2: 端面から作用線の |
| 3: 外輪 | 交点までの距離 |
| 3a: 軌道面 | D1max, D2max: 最大径 |
| 4, 5: ころ | L1, L2: 長さ |
| 8: 中つば | θ1, θ2: 接触角 |

【図 2】



10

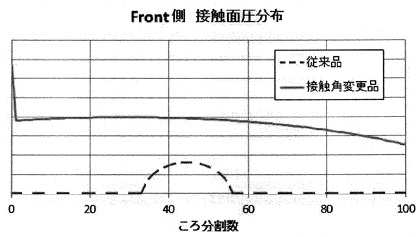
20

30

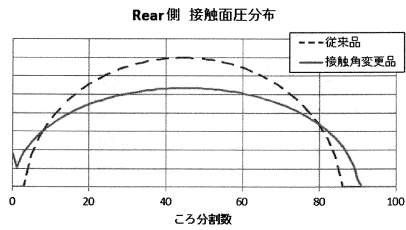
40

50

【図 3】

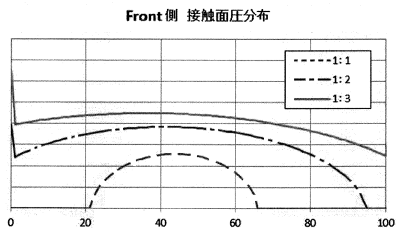


【図 4】

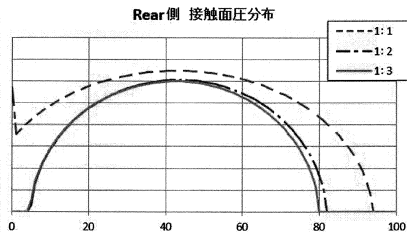


10

【図 5】

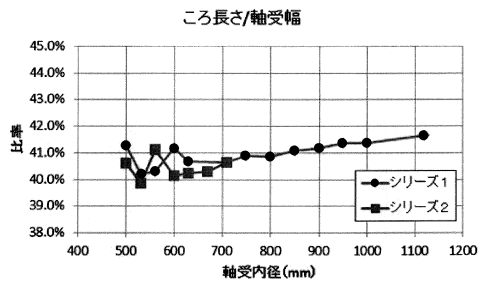


【図 6】

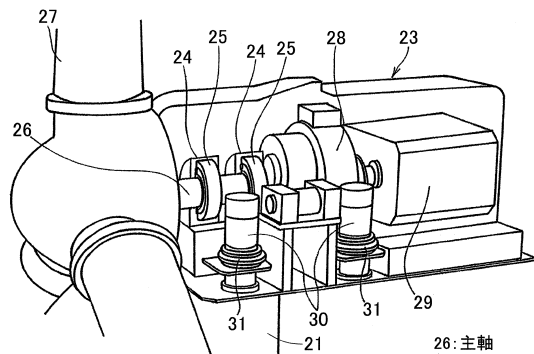


20

【図 7】



【図 8】

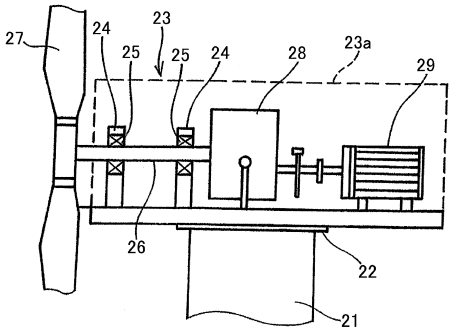


30

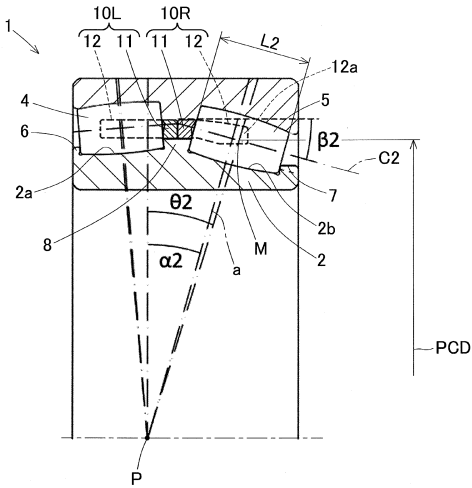
40

50

【図 9】



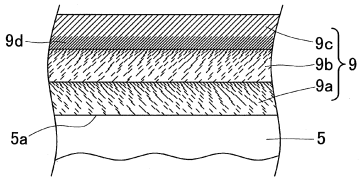
【図 10】



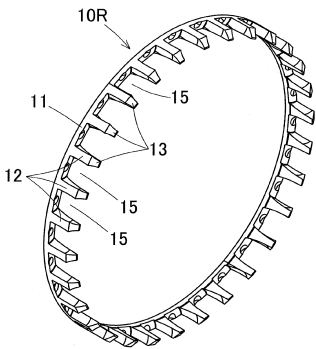
10

20

【図 11】



【図 12】

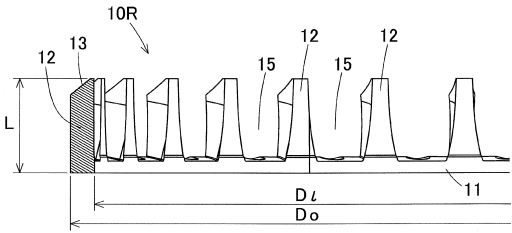


30

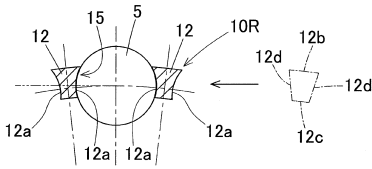
40

50

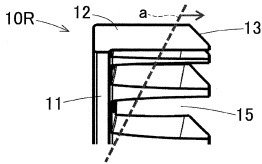
【図 13】



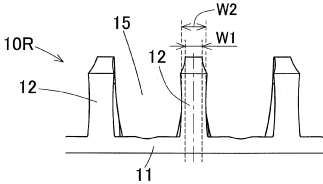
【図 14】



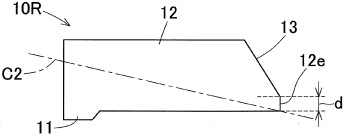
【図 15】



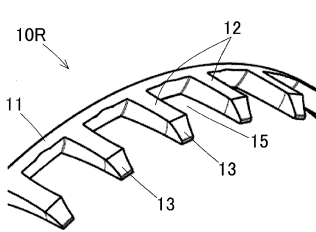
【図 16】



【図 17】



【図 18】



10

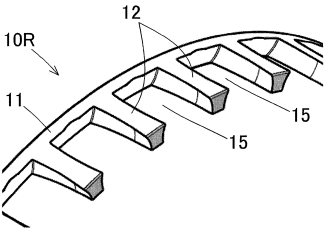
20

30

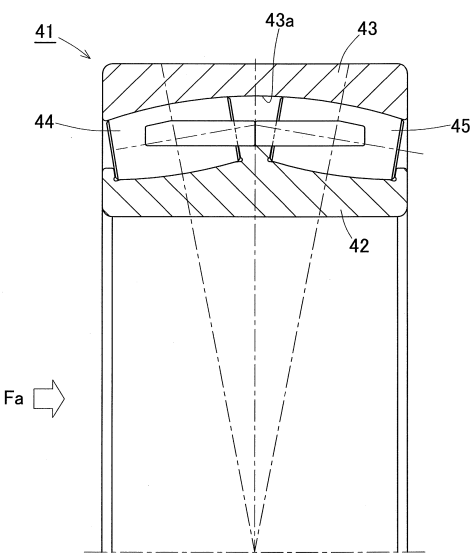
40

50

【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 番地 NTN株式会社内
(72)発明者 堀 径生
三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 番地 NTN株式会社内
(72)発明者 井上 靖之
三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 番地 NTN株式会社内
(72)発明者 山本 貴志
三重県桑名市大字東方字尾弓田 3 0 6 6 番地 NTN株式会社内
(72)発明者 中西 雅樹
三重県桑名市陽だまりの丘 5 丁目 1 0 5 番 NTN株式会社内
審査官 糟谷 瑛
(56)参考文献 国際公開第 2 0 1 7 / 1 6 4 3 2 5 (W O , A 1)
特開 2 0 1 1 - 2 2 6 6 3 8 (J P , A)
(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
F 1 6 C 1 9 / 0 0 - 1 9 / 5 6
F 1 6 C 2 3 / 0 8
F 1 6 C 3 3 / 3 0 - 3 3 / 6 6
F 0 3 D 8 0 / 7 0