

(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  
2011 年 7 月 28 日(28.07.2011)

(10) 国際公開番号  
WO 2011/089977 A1

PCT

- (51) 国際特許分類:  
F16C 19/14 (2006.01) G01M 13/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/050525
- (22) 国際出願日: 2011 年 1 月 14 日(14.01.2011)
- (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 2010-010259 2010 年 1 月 20 日(20.01.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): N  
T N 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 1  
7 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): 堀 径 生  
(HORI, Michio) [JP/JP]; 〒5118678 三重県桑名市大  
字東方字尾弓田 3 0 6 6 N T N 株式会社内  
Mie (JP). 坂口 智 也 (SAKAGUCHI, Tomoya) [JP/JP];  
〒5110867 三重県桑名市陽だまりの丘 5 丁目 1  
0 5 番 N T N 株式会社内 Mie (JP).

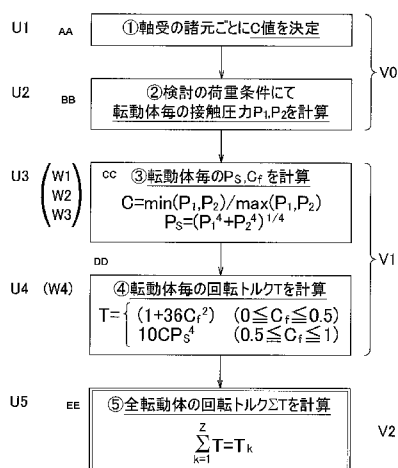
- (74) 代理人: 杉本 修 司, 外 (SUGIMOTO, Shuji et al.);  
〒5500002 大阪府大阪市西区江戸堀 1 丁目 1 0  
番 2 号 肥後橋ニッタイビル Osaka (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保  
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,  
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, 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, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,  
VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保  
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,  
MZ, NA, 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  
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,  
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,  
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI  
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,  
NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: TORQUE CALCULATION METHOD FOR FOUR-POINT CONTACT BALL BEARING, CALCULATION DE-  
VICE, AND CALCULATION PROGRAM

(54) 発明の名称: 4 点接触玉軸受のトルク計算方法・計算装置・および計算プログラム

[図6]



- AA (1) DECIDE C VALUES FOR INDIVIDUAL BEARINGS HAVING DIFFERENT SPECIFICATIONS  
BB (2) CALCULATE CONTACT PRESSURE  $P_1$  AND  $P_2$  FOR ALL ROLLING ELEMENTS UNDER LOAD CONDITIONS BEING STUDIED  
CC (3) CALCULATE  $P_s$  AND  $C_r$  FOR ALL ROLLING ELEMENTS  
DD (4) CALCULATE ROTATIONAL TORQUE  $T$  FOR ALL ROLLING ELEMENTS  
EE (5) CALCULATE TOTAL ROTATIONAL TORQUE  $\Sigma T$  FOR ALL ROLLING ELEMENTS

(57) Abstract: Provided are a calculation method, a calculation device, and a calculation program which are capable of obtaining high-accuracy torque values by taking into consideration the effect of the fact that contact states are different, such an approach being a task unique to a four-point contact ball bearing. Said method serves to calculate rotational torque acting between the inner race and the outer race of a four-point contact ball bearing, and comprises individual torque calculating process (V1) which calculates rotational torque  $T$  for individual rolling elements, and a sum total calculating process (V2) wherein the sum of the rotational torque  $T$  of all rolling elements is obtained and the resulting sum is taken as the rotational torque acting between said inner race and said outer race. In the individual torque calculating process, calculation is made using information pertaining to a contact state which is at a level close to either a two-point-contact state or a four-point-contact state. As regards this contact state, a four-point contact ratio  $C_r$  is used which is the ratio of a lower contact pressure to a higher contact pressure, said lower contact pressure and said higher contact pressure being the lower and the higher, respectively, of  $P_1$  and  $P_2$ , said  $P_1$  and  $P_2$  each being the maximum contact pressure between the rolling elements and one of the two partial raceway surfaces forming the raceway surface of the inner race or the outer race.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2011/089977 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

4 点接触玉軸受に特有の課題である接触状態が異なることの影響を考慮した精度の良い回転トルクの値を求めることのできる計算方法、装置、プログラムを提供する。4 点接触玉軸受の内外輪間に作用する回転トルクを計算する方法であって、転動体毎に回転トルク  $T$  を計算する個別トルク計算過程 (V1) と、全転動体の回転トルク  $T$  の和を求めてその和を前記内外輪間に作用する回転トルクとする総和計算過程 (V2) とを含む。個別トルク計算過程では、2 点接触状態と 4 点接触状態とのいずれに近いかの程度である接触状態にかかる情報を用いて計算する。この接触状態として、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する 2 つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$  についての、大きい方の面圧力に対する小さい方の面圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を用いる。

## 明 細 書

発明の名称：

### 4 点接触玉軸受のトルク計算方法・計算装置・および計算プログラム

#### 関連出願

[0001] 本出願は、2010年1月20日出願の特願2010-010259の優先権を主張するものであり、その全体を参照により本願の一部をなすものとして引用する。

#### 技術分野

[0002] この発明は、風力発電装置のヨ一用、ブレード用等に使用される旋回軸受や、CTスキャナ等の医療機の旋回軸受等に用いられる4点接触玉軸受において、内外輪間に生じる回転トルクを計算する4点接触玉軸受のトルク計算方法、計算装置、および計算プログラムに関する。

#### 背景技術

[0003] 従来、これら風力発電装置用や、CTスキャナ等の医療機用の軸受には、単列または複列の4点接触玉軸受が使用されている。4点接触玉軸受構造を持つ旋回軸受は、油圧ショベルやクレーンの旋回部のアプリケーションで古くから使用されている。これらのアプリケーションでは、軸受を回転させるために必要な回転トルクに対し、十分な（トルク）容量の駆動装置が採用されているが、風力発電装置は駆動装置を含めたコンパクト化・効率化が市場ニーズであるため、回転トルクを正確に把握することが重要な課題である。

[0004] 現在、旋回軸受の回転トルク計算式は以下が採用されている。

<従来計算式>

$$T = \mu \times dm/2 \times P_{oa}$$

T：回転トルク [kN・m]

$\mu$ ：摩擦係数

dm：ボールPCD[m]

$P_{oa}$ ：静等価アキシャル荷重[kN]

## 先行技術文献

### 非特許文献

- [0005] 非特許文献1：ローエルデ社のカタログ、「旋回軸受」、独、2004年発行

### 発明の概要

#### 発明が解決しようとする課題

- [0006] 上記の従来計算式には次の課題がある。静等価荷重（ $P_{0a}$ ）の定義では、最大転動体荷重が全ての転動体に均一に作用する条件での計算であるが、実際にはラジアル荷重や、モーメント荷重の影響により、個々の転動体荷重は異なる。また、4点接触玉軸受に特有の課題である接触状態（2点接触状態もしくは4点接触状態）が異なることの影響が考慮できない。
- [0007] この発明の目的は、4点接触玉軸受に特有の課題である接触状態が異なることの影響を考慮した精度の良い回転トルクの値を求めることのできる4点接触玉軸受のトルク計算方法、計算装置、および計算プログラムを提供することである。

#### 課題を解決するための手段

- [0008] この発明の4点接触玉軸受のトルク計算方法は、概要を説明すると、接触状態を考慮して転動体毎の回転トルクを計算し、それらの和を求めて軸受の回転トルクとする方法である。

このトルク計算方法は、4点接触玉軸受の内外輪間に作用する回転トルクを計算する方法であって、

転動体毎に回転トルク  $T$  を計算する個別トルク計算過程と、

全転動体の回転トルク  $T$  の和を求めてその和を前記内外輪間に作用する回転トルクとする総和計算過程とを含み、

前記個別トルク計算過程では、2点接触状態と4点接触状態とのいずれに近いかの程度である接触状態にかかる情報を用いて計算する、ものである。

- [0009] このトルク計算方法によると、2点接触状態と4点接触状態とのいずれに

近いかの程度である接触状態を考慮して計算するため、4点接触玉軸受に特有の課題である接触状態が異なることの影響を考慮した精度の良い回転トルクの値を求めることができる。

- [0010] この発明のトルク計算方法において、前記接触状態にかかる情報を含む情報として、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を用い、これら2つの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、定められた式によって、前記2つの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ から求め、次式

$$C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$ のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$ のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ につき、 $C_f = 0.5$ を境界として、定められた2つに分けた計算式を用いて、接触圧力和 $P_s$ から前記転動体毎に回転トルク $T$ を計算しても良い。ここで、2つの部分軌道面とは、軌道面の底部、つまり内輪の軌道面の最小径部または外輪の軌道面の最大径部を境にして、軸受の軸方向の両側に位置する軌道面部分をいい、内輪もしくは外輪が分割されていない単一体である場合、2つの部分軌道面は連続的な単一の曲面よりなる軌道面を形成する。

- [0011] 2つの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ から直接に回転トルクを計算する場合に比べて、上記接触圧力和 $P_s$ を用いることで、簡易な計算で転動体毎の回転トルク $T$ を計算することができる。4点接触率 $C_f$ が0.5を境に、接触圧力和 $P_s$ は、接触圧力和 $P_s$ で除算したトルクの変化傾向が様変わりする。4点接触率 $C_f$ が0.5以上の場合はトルクはほぼ一定となり、 $C_f = 0$ の場合と比較して、8～12倍のトルクとなる。4点接触率 $C_f$ が0～0.5未満の場合は、放物線状に変化する。そのため $C_f = 0.5$ を境界として、定められた2つに分けた計算式を用いて、接触圧力和 $P_s$ から前記転動体毎に回転トルク $T$ を計算することより、簡易に、かつ正しく回転トルク $T$ を計算することができる。

。

[0012] この発明のトルク計算方法において、前記接触圧力和  $P_S$  を求める定められた式は、

$$P_S = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

としても良い。接触圧力の 4 乗が回転トルクに比例すると考えられるためである。

[0013] この発明のトルク計算方法において、4 点接触率  $C_f$  が 0 の場合の回転トルク  $T$  に対し、4 点接触率  $C_f$  が 0.5 以上の場合の回転トルクを、8 ~ 10 倍の範囲で定めた一定の倍率の値としてもよい。また、4 点接触率  $C_f$  が 0 ~ 0.5 未満の場合の回転トルク  $T$  を、4 点接触率  $C_f$  の二次関数で補完された値としても良い。

上記のように、4 点接触率  $C_f$  が 0.5 以上の場合はトルクはほぼ一定となり、 $C_f = 0$  の場合と比較して、8 ~ 12 倍のトルクとなり、4 点接触率  $C_f$  が 0 ~ 0.5 未満の場合は放物線状に変化するためである。

[0014] この発明のトルク計算方法において、転動体の回転トルク  $T$  につき、4 点接触率  $C_f$  と、接触圧力和  $P_S$  と、軸受毎に定められる係数  $C$  とを用い、 $0 \leq C_f \leq 0.5$  の場合は、

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_S^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = 10 C P_S^4$$

として回転トルク  $T$  を計算しても良い。

上記係数  $C$  は、軸受の諸元（転動体の個数、寸方や、軌道面の幾何形状）によって異なる値であるため、軸受毎に定められる。なお、ここで言う「軸受毎に定められる。」とは必ずしも 1 個の軸受毎に定めていなくても、同じ型番、つまり同じ形状、寸法、材質の軸受は同じ値の係数  $C$  であるとしても良い。

[0015] この発明のトルク計算方法において、トルク計算方法はコンピュータを用

いて実行する方法であって、

前記個別トルク計算過程および前記総和計算過程に加えて、

転動体毎の接触圧力を計算する過程とを含み、

前記個別トルク計算過程は、軸受に作用する荷重( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ )、 $F_a$ 、 $M$  ( $M_x$ 、 $M_y$ ))、および軸受毎に定められた係数 $C$ を入力して記憶領域に記憶する入力過程と、計算過程で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算過程と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ を計算する4点接触率計算過程と、

これら接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク $T$ を計算する接触率別トルク計算過程とを含む。

[0016] この発明のトルク計算方法において、トルク計算方法はコンピュータを用いて実行する方法であって、

前記個別トルク計算過程は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数 $C$ が入力されて記憶領域に記憶する入力過程と、

上記 2 つの最大接触圧力  $P_1$  ,  $P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算過程と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する 4 点接触率計算過程と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I C P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算過程とを含む。

上記最大接触圧力  $P_1, P_2$  は、検討の荷重条件に応じて計算された値とする。

[0017] この発明のトルク計算方法において、 $d_n$  値 = 30000 以下の低速度で使用される 4 点接触玉軸受に適用してもよい。 $d_n$  値の低い軸受の場合に、この発明方法による計算がより効果的となる。

[0018] この発明のトルク計算方法は、単列の 4 点接触玉軸受に限らず、複列 4 点接触玉軸受に適用しても良い。

[0019] この発明のトルク計算方法は、風車のブレードを角度調整可能に支持する軸受、風車のヨ一用の軸受、医療機用の軸受に適用しても良い。

[0020] この発明のトルク計算装置は、前記トルク計算方法を実行する装置であって、

転動体毎の接触圧力を計算する接触圧力計算手段と、



前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手段と、  
 前記総和計算過程を実行する総和計算手段とを含み、  
 前記個別トルク計算手段は、軸受に作用する荷重( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ )、 $F_a$ 、 $M$  ( $M_x$ 、 $M_y$ ))、および軸受毎に定められた係数 $C$ を入力して記憶領域に記憶する入力部と、

前記接触圧力計算手段で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算部と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$ のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$ のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ を計算する4点接触率計算部と、

これら接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク $T$ を計算する接触率別トルク計算部とを備える。

[0021] この発明のトルク計算装置は、前記トルク計算方法を実行する装置であって、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手段と、  
 前記総和計算過程を実行する総和計算手段とを含み、  
 前記個別トルク計算手段は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の

軌道面を形成する２つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数  $C$  が入力されて記憶領域に記憶する入力部と、

上記２つの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$  を１つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算部と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である４点接触率  $C_f$  を計算する４点接触率計算部と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、４点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算部とを備える。

[0022] この発明のトルク計算装置において、前記接触率別トルク計算部における、 $0 \leq C_f < 0.5$  の場合の回転トルク  $T$  の計算を、次式

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

に従って行っても良い。

[0023] この発明のトルク計算プログラムは、前記トルク計算方法をコンピュータに実行させるプログラムであって、

転動体毎の接触圧力を計算する手順と、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手順と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手順とを含み、

前記個別トルク計算手順は、軸受に作用する荷重( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ )、 $F_a$ 、 $M$  ( $M_x$ 、 $M_y$ ))、および軸受毎に定められた係数 $C$ を入力して記憶領域に記憶する入力手順と、

前記接触圧力計算手順で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算手順と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$ のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$ のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ を計算する4点接触率計算手順と、

これら接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク $T$ を計算する接触率別トルク計算手順とを含む。

[0024] この発明のトルク計算プログラムは、前記トルク計算方法をコンピュータに実行させるプログラムであって、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手順と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手順とを含み、

前記個別トルク計算手順は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数 $C$ が入力されると記憶領域に記憶する

入力手順と、

上記 2 つの最大接触圧力  $P_1$  ,  $P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算手順と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する 4 点接触率計算手順と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算手順とを含む。

[0025] 前記各計算プログラムにおいて、前記接触率別トルク計算手順における、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合の回転トルク  $T$  の計算を、次式

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

に従って行っても良い。

## 図面の簡単な説明

[0026] この発明は、添付の図面を参考にした以下の好適な実施形態の説明から、より明瞭に理解されるであろう。しかしながら、実施形態および図面は単なる図示および説明のためのものであり、この発明の範囲を定めるために利用されるべきものではない。この発明の範囲は添付の請求の範囲によって定まる。添付図面において、複数の図面における同一の符号は、同一または相当する部分を示す。

[図1] この発明の 4 点接触玉軸受のトルク計算方法、装置、プログラムで計算対象とする 4 点接触玉軸受の一例を示す部分縦断面図である。

[図2] 複列 4 点接触玉軸受の一例を示す部分縦断面図である。

[図3] この発明のトルク計算方法を実施するトルク計算装置の各プログラムとコンピュータの関係例を示すブロック図である。

[図4] この発明の一実施形態に係る 4 点接触玉軸受のトルク計算装置の概念構成のブロック図である。

[図5] (A) は同実施形態に係る 4 点接触玉軸受のトルク計算方法を示すフローチャート、(B) は個別トルク計算過程 V 1 の具体的な内容を示すフローチャートである。

[図6] 同トルク計算方法と前処理過程とを含むフローチャートである。

[図7] (A) は同実施形態に係る 4 点接触玉軸受のトルク計算プログラムを示すフローチャート、(B) は総和計算手段を示すフローチャートである。

[図8] この発明のトルク計算方法の理論を導く検討方法の説明図であって、(A) は外輪を固定した状態を示し、(B) は内輪をラジアル方向に変位させた状態を示し、(C) は内輪をアキシアル方向に変位させた状態を示す。

[図9] 最大接触圧力  $P_1$  ,  $P_2$  の定義の説明図である。

[図10] 4 点接触率  $C_f$  とトルクの関係を示すグラフである。

[図11] 4 点接触率  $C_f$  と自転軸の関係を示す説明図である。

[図12] この発明のトルク計算方法を検証する試験で用いたトルク測定装置の概念構成の説明図である。

[図13] 同試験の結果 (F a 負荷時) を示すグラフである。

[図14] 同試験の結果 (F r 負荷時) を示すグラフである。

[図15] 同実施形態の計算結果 (F a 負荷時) を示すグラフである。

[図16] 同実施形態の計算結果 (F r 負荷時) を示すグラフである。

[図17] 従来 (現行) の計算式の計算結果 (F a 負荷時) を示すグラフである。

[図18] 従来 (現行) の計算式の計算結果 (F r 負荷時) を示すグラフである。

。

[図19] 荷重とトルクとの関係の試験結果を示すグラフである。

[図20] 同実施形態の計算式の計算結果となる荷重とトルクとの関係を示すグラフである。

[図21] 同実施形態の計算対象となる4点接触玉軸受を使用した風力発電装置の一例を示す説明図である。

[図22] 同実施形態の計算対象となる4点接触玉軸受を使用した医療機の一例を示す説明図である。

[図23] 4点接触玉軸受における2点接触状態と4点接触状態とを示す説明図である。

### 発明を実施するための形態

[0027] この発明の一実施形態を図面と共に説明する。図1は、計算対象となる4点接触玉軸受の一例を示す。この4点接触玉軸受は、単列軸受の例であり、内輪1と外輪2の溝状の部分軌道面1a, 1a, 2a, 2aが、玉からなる転動体3に対して4点で接触するように形成され、ラジアル荷重、および正逆両方向のアキシャル荷重が負荷可能とされている。内輪1の2つの部分軌道面1a, 1aが軸受の軸方向に隣接して、転動体3の軌道となる単一の軌道面を形成する。内輪1は、図示の例では2つの内輪分割体1A, 1Aに分割されているが、分割されていない単一体であっても良い。図2は、複列4点接触玉軸受の例を示し、内輪1および外輪2とも単一体である。この図2の例も本発明の計算対象となる。

[0028] この4点接触玉軸受のトルク計算方法は、図3に示すコンピュータ5に、4点接触玉軸受のトルク計算プログラム9を実行させることで行う。コンピュータ5は、パーソナルコンピュータからなり、中央処理装置（CPU）10とメモリ等の記憶手段11を有し、特定のオペレーションプログラムによって動作するものである。コンピュータ5は、キーボードやマウス等の入力機器6と、液晶表示装置等の画面によって表示可能な表示装置やプリンタ等の出力機器7とが接続され、またはコンピュータ5の構成要素として設けら

れている。コンピュータ 5 には、また、外付けまたは内蔵のハードディスク装置 55 からなる記録媒体が設けられており（図 3 には外付けの形態を示す）、上記 4 点接触玉軸受のトルク計算プログラム 9 を記憶している。代わりに、トルク計算プログラム 9 は CD-ROM のような記録媒体に記憶されて、コンピュータ 5 の CD-ROM インタフェースを介して、コンピュータ 5 に読み込まれるものであってもよい。このトルク計算プログラム 9 は、トルク計算処理が実行される際にはメモリ 11 に展開されて、中央処理装置 10 によってプログラム 9 の各プログラム命令が実行される。このようにコンピュータ 5 に上記 4 点接触玉軸受のトルク計算プログラム 9 が読み込まれて実行されることで、図 4 に各機能達成手段をブロックで示した 4 点接触玉軸受のトルク計算装置が構成される。同装置の構成については、後に説明する。

[0029] トルク計算プログラム 9 は、コンピュータ 5 で実行可能なプログラムであって、4 点接触玉軸受の内外輪間に作用する回転トルクをコンピュータに計算させるプログラムであり、図 7 にフローチャートで示す手順を備える。接触圧力の計算プログラム 8 もコンピュータ 5 で実行可能なプログラムである。

[0030] この 4 点接触玉軸受のトルク計算方法は、図 5 (A) にフローチャートで示すように、転動体毎の接触圧力の計算過程 V0 と、個別トルク計算過程 V1 と、総和計算過程 V2 とを含む。個別トルク計算過程 V1 は、接触状態を考慮し転動体毎の回転トルク T を計算する過程であり、総和計算過程 V2 は、個別トルク計算過程 V1 で計算した各転動体の回転トルク T の総和を求めてその総和を前記内外輪間に作用する回転トルク T0 とする過程である。上記過程 V0 は、いわば前処理過程である。

個別トルク計算過程 V1 の具体的な内容を、図 5 (B) にフローチャートで示し、また図 6 に、各過程の内容を計算式と共にフローチャートで示す。

[0031] 図 6 のフローチャートに示すように、この方法では、まず計算対象となる軸受毎に係数 C を決定する (V0)。係数 C は、軸受の諸元（転動体の個数、寸方や、軌道面の幾何形状）によって異なる値であるため、軸受毎に定め

られる。なお、ここで言う「軸受毎に定められる。」とは必ずしも 1 個の軸受毎に定めていなくても、同じ型番、つまり同じ形状、寸法、材質の軸受は同じ値と係数  $C$  としても良い。この後、検討の荷重条件によって、図 1 の内輪 1 の 2 つの部分軌道面 1 a, 1 a と転動体 3 とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  を計算する。この最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  の計算については、後に、この発明でトルク計算に用いる新計算式の理論の確立についての説明欄で説明する。また、内輪 1 の 2 つの部分軌道面 1 a, 1 a に作用する接触圧力と同様に、接触圧力が外輪 2 の 2 つの軌道面 2 a, 2 a に作用するので、外輪 2 の最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  を計算してもよい。

[0032] 個別トルク計算過程 V 1 では、このように計算された個々の転動体における、内輪の 2 つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  と、軸受毎に定められた係数  $C$  を、図 5 (B) の入力過程 (W 1) で入力する。

個別トルク計算過程 V 1 は、入力過程 (W 1)、接触圧力和計算過程 (W 2)、4 点接触率計算過程 (W 3)、および接触率別トルク計算過程 (W 4) からなる。入力過程 (W 1) は上述の通りである。

[0033] 接触圧力和計算過程 (W 2) は、上記 2 つの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める過程である。

4 点接触率計算過程 (W 3) は、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$ ,  $P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$ ,  $P_2$  のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する過程である。

図 6 のステップ U 3 は、図 5 (B) のステップ W 1 ~ W 3 を纏めて示している。



[0034] 図5（B）において、接触率別トルク計算過程（W4）（図6のステップU4）は、

上記接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (\text{4点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク $T$ を計算する過程である。

上記の「（4点接触率 $C_f$ の二次関数）」は、 $(1 + 3.6 C_f^2)$ とすることが好ましい。また、上記定数 $I$ は、10が一般的には最も好ましいと考えられる。

したがって、具体的には、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = 10 C P_s^4$$

とすることが好ましい。

[0035] 図5（A）の総和計算過程（V2）（図6のステップU5）では、

数式で示すと、次式（1）で求められる全転動体の回転トルク $\Sigma T$ を計算する。なお、 $Z$ は転動体の個数である。

[数1]

$$\sum_{k=1}^Z T = T_k \quad (1)$$

[0036] この実施形態の4点接触玉軸受のトルク計算方法によると、以上のようにして、2点接触状態と4点接触状態とのいずれに近いかの程度である接触状

態を考慮して計算するため、4点接触玉軸受に特有の課題である接触状態が異なることの影響を考慮した精度の良い回転トルクの値を求めることができる。

上記のトルク計算方法を導いた理論、および検証結果は、後に説明する。

[0037] 図7(A), (B)は、図3の4点接触玉軸受のトルク計算プログラム9を示すフローチャートである。このプログラム9は、図5(A), (B)と共に説明したトルク計算方法を実施するプログラムであり、その各ステップR0~R2, S1~S4は、図5(A)のステップV0~V2, 図5(B)のW1~W4に相当するが、明確のために説明する。

[0038] このトルク計算プログラム9は、コンピュータで実行可能であり、4点接触玉軸受の内外輪間に作用する回転トルクT0を計算するプログラムであって、

転動体毎の回転トルクTを計算する個別トルク計算手順(R1)と、

全転動体の回転トルクTの和を求めてその和を前記内外輪間に作用する回転トルクT0とする総和計算手順(R2)とを含む。なお、転動体毎の接触圧力を計算する手順(R0)は、このトルク計算プログラムの一部として設けられていても、またこのトルク計算プログラム9とは別に設けられていてもよい。

個別トルク計算手順(R1)は、入力手順(S1)、接触圧力和計算手順(S2)、4点接触率計算手順(S3)、および接触率別トルク計算手順(S4)からなる。

[0039] 入力手順(S1)は、個々の転動体における、内輪の2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ ,  $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数Cが入力されると、記憶手段11(図3, 図4)の記憶領域に記憶する手順である。この入力は、入力機器3から入力されても、ファイルとして纏めて入力されてよい。また、計算手順(R0)を呼び出して計算させ、その計算結果を入力する処理であってもよく、その場合は、入力手順(S1)の後に計算手順(R0)が実行されることになる。

[0040] 接触圧力和計算手順（S 2）は、上記の入力された 2 つの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める手順である。

4 点接触率計算手順（S 3）は、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する手順である。

[0041] 接触率別トルク計算手順（S 4）は、上記接触圧力和  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (\text{4 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク  $T$  を計算する手順である。

[0042] 上記の「（4 点接触率  $C_f$  の二次関数）」は、 $(1 + 3.6 C_f^2)$  とすることが好ましい。また、上記定数  $I$  は、10 が一般的には最も好ましいと考えられる。

したがって、具体的には、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = 10 C P_s^4$$

とすることが好ましい。

[0043] 図7 (A) の総和計算手順 (R2) では、図6のステップ (U5) で説明した式 (1) を用いて、全転動体の回転トルク  $\Sigma T$  を計算する。

[0044] 図4において、4点接触玉軸受のトルク計算装置につき説明する。このトルク計算装置は、4点接触玉軸受の内外輪間に作用する回転トルク  $T_0$  を計算する装置であって、転動体毎の回転トルク  $T$  を計算する個別トルク計算手段13と、全転動体の回転トルク  $T$  の和を求めてその和を前記内外輪間に作用する回転トルク  $T_0$  とする総和計算手段14と、接触圧力計算手段12とを備える。個別トルク計算手段13は、図7 (A), (B) のトルク計算プログラム9における個別トルク計算手順 (R1) で行う処理機能を持つ手段であり、総和計算手段14は、トルク計算プログラム9における総和計算手順 (R2) で処理機能を持つ手段である。接触圧力計算手段12は、内輪の2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  を計算する手段である。

[0045] 個別トルク計算手段13は、入力部15、接触圧力和計算部16、4点接触率計算部17、および接触率別トルク計算部18を有する。これら、入力部15、接触圧力和計算部16、4点接触率計算部17、および接触率別トルク計算部18は、それぞれ、図7 (B) のトルク計算プログラム9における入力手順 (S1)、接触圧力和計算手順 (S2)、4点接触率計算手順 (S3)、および接触率別トルク計算手順 (S4) で行う処理機能を持つ手段であるが、明確のために説明する。

[0046] 入力部15は、個々の転動体における、内輪の2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数  $C$  が入力されると記憶領域に記憶する手段である。なお、入力部15は、上記最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  の計算に必要なデータと上記係数  $C$  が入力されると、所定の記憶領域に記憶させる機能を有していてもよい。

接触圧力和計算部16は、上記の入力された2つの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  を1つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める手段である。

4点接触率計算部17は、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ を計算する手段である。

[0047] 接触率別トルク計算部18は、上記接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (\text{4点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク $T$ を計算する手段である。

[0048] 上記の「(4点接触率 $C_f$ の二次関数)」は、 $(1 + 3.6 C_f^2)$ とすることが好ましい。また、上記定数 $I$ は、10が一般的には最も好ましいと考えられる。

したがって、具体的には、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = 10 C P_s^4$$

とすることが好ましい。

[0049] 総和計算手段14は、図6のステップ(U5)で説明した式(1)を用いて、全転動体の回転トルク $\Sigma T$ を計算する。

[0050] 上記の実施形態で用いる新計算式でトルクを計算する理論の確立につき説

明する。

本出願人で開発した数値解析ツールにより、軌道面と転動体との接触状態と回転トルクとの関係について検討した。本解析ツールでは1つの転動体による回転トルクの計算を行う。なお、回転トルクの計算は、内外輪の位置を拘束し、力とモーメントの釣り合いから求めた転動体の中心位置や自転と公転の速度と向きを利用し、軌道輪に生じる中心軸回りの回転トルクを求める。転動体に作用する力としては、4つの軌道面からの弾性接触による力、および玉の自転と公転を考慮した上で、転動体と軌道面との滑り速度分布をその接触楕円内で求め、この滑り分布より求めた摩擦力を考える。モーメントとしては、この摩擦力によるものを考える。図8（A）のように外輪を固定した状態で、図8（B）のように内輪のラジアル方向に変位を与えるとともに図8（C）のようにアキシャル方向に変位を与え、その状態での転動体の力とモーメントの釣り合い式が全て0となるように、転動体の中心位置や自転と公転の速度と向きを変えながら、収束計算させる。その結果、転動体の位置などが出力される。

[0051] なお、軸受トルクとして考慮される要因は、接触部内の滑りによる摩擦のみとした。またこの摩擦係数は、境界潤滑を想定したもので、滑り速度のみの関数としたものを採用した。ここで、上記の転動体の力とモーメントの収束計算を全ての転動体に適用させることで軸受全体のトルク計算も技術的には可能だが、長い計算時間を要したり、あるいは収束しがたい状態に陥ったりするため、本発明の計算手法の方が短時間で安定して結果を得ることができる。

[0052] ここで4点接触から2点接触へ移行している程度を表す変数を定義する。内輪の2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力を $P_1$ 、 $P_2$ と定義し、下式のように大きな圧力に対する小さな圧力の比を4点接触率 $C_f$ と定義する。

$$C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2) : P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

したがって、 $C_f = 0$  の時は完全な 2 点接触状態であり、 $C_f = 1$  の時は純ラジアル荷重を負荷した時のように、 $P_1 = P_2$  の 4 点接触状態となる。

[0053] また、以降のトルク計算式の簡略化のため、 $P_1$  と  $P_2$  の接触圧力を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を以下のように定義する。

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

これは以下の関係から接触圧力の 4 乗が回転トルクに比例すると考えられるからである。 $P_c \propto Q^{1/3}$  (Hertz の点接触理論)

$T \propto Q^{1.33}$  ( (Palmgrenの実験回帰式)

$$\therefore T \propto P^{3.99} \quad (3.99 \doteq 4)$$

$P$  : 接触圧力

$Q$  : 転動体荷重

$T$  : 回転トルク

[0054] 一つの転動体において、4 点接触率  $C_f$  に対する軸受トルクを数値計算し、そのトルクを接触圧力和  $P_s$  で割った値を整理すると図 10 のグラフに示すような関係となる。4 点接触率  $C_f$  が 0.5 を境に接触圧力和で除算したトルクの変化傾向が様変わりすることが分かる。 $C_f$  が 0.5 以上ではほぼ一定でかつ、 $C_f = 0$  の場合と比較し約 10 倍のトルクとなること、加えて、4 点接触率  $C_f = 0 \sim 0.5$  の範囲では放物線的に変化する。

[0055]  $C_f$  が 0.5 以上では、転動体の自転軸は軸受中心と平行となるような 4 点接触状態 (図 11) になり、各接触楕円内で大きな滑り速度分布を有す状態である。 $C_f$  が 0.5 までは、転動体の自転軸はアンギュラ玉軸受のそれと相似状態 (図 11) から徐々に自転軸が軸受中心軸と平行となるように変化していく。その際、接触楕円内での滑り速度分布は、徐々に増加していくために、図 10 にグラフで示すように放物線状に増加していく。

これらの結果から、新トルク計算式 [転動体 1 個のトルク :  $T$ ] を以下のように決定した。

$$T = (1 + 36 C_f^2) C P S^4 \quad (0 \leq C_f \leq 0.5 \text{ の場合})$$

$$T = 10 C P_s^4 \quad (0.5 \leq C_f \leq 1 \text{ の場合})$$

ここでCは軸受の諸元（転動体や軌道面の幾何形状）、すなわち軸受毎に決まる係数である。

[0056] つぎに、上記計算式の妥当性の検証結果を説明する。

（荷重成分毎の回転トルク検証）

新計算式の妥当性を確認するため、外径φ500mmのモデル軸受を製作し、アキシャル、ラジアル、モーメントの各荷重が変化した場合の回転トルクの影響を確認した。トルク測定方法については図12に示すトルク測定装置を用いて検証する。この試験機では、アキシャル荷重は純アキシャル荷重のみ負荷でき、ラジアル荷重は軸受中心から軸方向に、 $h = 0.5, 0.75, 1.0$  m離れた各位置（図12の符号h）で負荷することによりモーメント荷重を発生させる。

[0057] 1) 試験方法

軸受：モデル軸受（複列4点接触玉軸受）

寸法：φ335（内径）×φ500（外径）×121（幅）

質量：70kg

C<sub>oa</sub>：2090kN

温度：室温約25℃

回転速度：1  $\text{min}^{-1}$

グリース：軌道面に塗布程度

[0058] 2) 試験結果と計算結果の比較

試験結果を図13（F<sub>a</sub>負荷時）、図14（F<sub>r</sub>+M負荷時）に示す。図8（A）、（B）の試験機のダミー軸受は別途トルク試験を実施し、実測値から差引きすることでモデル軸受の回転トルクを求めている。

また、新計算式の結果を図15、16に、現行計算式の結果を図17、18に示す。なお、現行計算式では $\mu = 0.0015$ を採用した。

図13、図14のグラフに示すように、同試験の結果、回転トルクはアキシャル荷重、ラジアル荷重共に比例関係にあるのに対し、モーメント荷重を



増加した場合でも回転トルクはあまり変化しない結果になった。この結果は新計算式とは良く一致しているが、従来計算式では一致しない。

これは、転動体の接触状態（2点接触状態もしくは4点接触状態）によるものと考えられる。 $h = 0.5 \text{ m}$ の場合、モーメント荷重が小さく、純ラジアル荷重に近いため、負荷域転動体は4点接触状態が支配的となる。一方で、 $h = 1.0 \text{ m}$ となるとモーメント荷重の影響により4点接触状態から2点接触状態へと移行するため（ $C_f$  が0に近づくため）、転動体荷重は増加するものの回転トルクは増加しない。

[0059] （軌道面接触状態毎の回転トルク検証）

更なる検証のため、同モデル軸受を用いて追加試験を実施した。

1) 目的

初期すきま（負すきま）を変化させ、その状態からアキシアル荷重を負荷した時に、回転トルクがどのように変化するか実測し、新計算式の整合性を検証する。

2) 試験条件

軸受：モデル軸受（複列4点接触玉軸受、上記の試験軸受と同じ）

寸法： $\phi 335 \times \phi 500 \times 121$

荷重： $F_a = 0 \sim 588 \text{ kN}$

初期すきま（負すきま）、接触応力：

(1)  $\delta_a = -40 \mu\text{m}$ ,  $P_{\text{max}} = 1042 \text{ MPa}$ ,  $C_f = 1$ ,  $P_s = 1240 \text{ MPa}$

(2)  $\delta_a = -70 \mu\text{m}$ ,  $P_{\text{max}} = 1382 \text{ MPa}$ ,  $C_f = 1$ ,  $P_s = 1644 \text{ MPa}$

温度：室温約  $25^\circ \text{C}$

回転速度： $1 \text{ min}^{-1}$

[0060] 3) 試験結果と計算結果の比較

試験結果を図19に、計算結果を図20に示す。

(1)  $F_a = 0$ （予圧荷重のみ）での実測値は計算値と良く一致した。これは、新計算式の $C_f = 1$ と、 $C_f = 0$ のトルク比例が10倍となることが、実測でも確認されたといえる。

(2)  $F_a$  の増加により、一旦はトルクが上昇し、その後低下、その後再度増加するという傾向は、試験と計算式とでよく一致した。これは、4点接触率  $C_f$  が 0.5 より大きい状態では、接触圧力の増加に伴いトルクも増加するが、 $C_f$  が 0.5 を下回ると自転軸の変化により軸受摩擦係数が低下するため、軸受トルクは減少する。しなしながら、完全な2点接触状態 ( $C_f = 0$ ) 下では再度圧力の増加に伴い軸受トルクも増加する。ここで、極小値付近の変化の特性については、4点接触状態から完全な2点接触状態に移行する過渡期は計算と実際の接触状態とは異なることが要因と考えられる。

[0061] 図21は、計算対象とする4点接触玉軸受を使用した風力発電用の風車の一例を示す。この風車31は、支持台32上にナセル33を、ヨー用の軸受42を介して水平旋回自在に設け、このナセル33のケーシング34内に主軸35を回転自在に支持する。この主軸35のケーシング34外に突出した一端に、旋回翼であるブレード36が、軸受41を介して角度変更可能に取付けてある。主軸35の他端は増速機37に接続され、増速機37の出力軸38が発電機39のロータ軸に結合されている。上記のヨー用の軸受42およびブレード36の角度変更用の軸受41には、旋回軸受（すなわちターンテーブル軸受）となる4点接触玉軸受が用いられている。これらの軸受41、42が、この実施形態のトルク計算の対象とされる。

[0062] 図22は、医療機器であるCTスキャナ50の一例を示す、その検査部としてガントリがあり、画像撮影のためのX線管球、検出器等が回転部分51に設置されている。この回転部分は、フレーム53に軸受52を介して回転自在に支持されている。このCTスキャナ・ガントリ用軸受52は、旋回軸受となる4点接触玉軸受が用いられている。この軸受52が、この実施形態のトルク計算の対象とされる。

[0063] 以上説明した各実施形態は、さらに以下の態様を含むことができる。

[0064] [態様1]

態様1にかかるコンピュータ読取り可能な記録媒体は、本発明のトルク計算方法をコンピュータに実行させるプログラムを記録したコンピュータ読取

り可能な記録媒体であって、前記プログラムは、

転動体毎の接触圧力を計算する手順と、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手順と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手順とを含み、

前記個別トルク計算手順は、軸受に作用する荷重 ( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ )、 $F_a$ 、 $M$  ( $M_x$ 、 $M_y$ ))、および軸受毎に定められた係数  $C$  を入力して記憶領域に記憶する入力手順と、

計算手順で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の 2 つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算手順と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する 4 点接触率計算手順と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算手順とを含む。

[0065] [態様 2]

態様 2 にかかるコンピュータ読取り可能な記録媒体は、本発明のトルク計算方法をコンピュータに実行させるプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体であって、前記プログラムは、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手順と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手順とを含み、

前記個別トルク計算手順は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数  $C$  が入力されると記憶領域に記憶する入力手順と、

上記2つの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$  を1つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_S$  を、次式

$$P_S = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算手順と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率  $C_f$  を計算する4点接触率計算手順と、

これら接触圧力和  $P_S$ 、4点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_S^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_S^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定められた定数})$$

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算手順と含む。

[0066] 前記態様1および前記態様2のコンピュータ読取り可能な記録媒体は、前記接触率別トルク計算手順における、 $0 \leq C_f < 0.5$  の場合の回転トルク  $T$  の計算を、次式

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_S^4$$

に従って行ってもよい。

[0067] 以上のとおり、図面を参照しながら好適な実施形態を説明したが、当業者であれば、本件明細書を見て、自明な範囲内で種々の変更および修正を容易

に想定するであろう。したがって、そのような変更および修正は、請求の範囲から定まる発明の範囲内のものと解釈される。

### 符号の説明

- [0068] 1…内輪  
1 a…部分軌道面  
2…外輪  
2 a…部分軌道面  
3…転動体  
5…コンピュータ  
8…接触圧力の計算プログラム  
9…4点接触玉軸受のトルク計算プログラム  
1 3…個別トルク計算手段  
1 4…総和計算手段  
1 5…入力部  
1 6…接触圧力和計算部  
1 7…4点接触率計算部  
1 8…接触率別トルク計算部  
3 1…風車  
3 6…ブレード  
4 1, 4 2…軸受  
5 0…CTスキャナ  
5 2…軸受

## 請求の範囲

[請求項1] 4点接触玉軸受の内外輪間に作用する回転トルク  $T_0$  を計算する方法であって、

回転体毎に回転トルク  $T$  を計算する個別トルク計算過程と、

全回転体の回転トルク  $T$  の和を求めてその和を前記内外輪間に作用する回転トルク  $T_0$  とする総和計算過程とを含み、

前記個別トルク計算過程では、2点接触状態と4点接触状態とのいずれに近いかの程度である接触状態にかかる情報を用いて計算する、

4点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項2] 請求項1において、前記接触状態にかかる情報を含む情報として、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と回転体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$  ,  $P_2$  を用い、これら2つの最大接触圧力  $P_1$  ,  $P_2$  を1つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、定められた式によって、前記2つの最大接触圧力  $P_1$  ,  $P_2$  から求め、次式

$$C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2) \quad 0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$  ,  $P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$  ,  $P_2$  のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率  $C_f$  につき、 $C_f = 0.5$  を境界として、定められた2つに分けた計算式を用いて、

接触圧力和  $P_s$  から前記回転体毎に回転トルク  $T$  を計算する4点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項3] 請求項2において、前記接触圧力和  $P_s$  を求める定められた式は、

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

である、4点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項4] 請求項2において、4点接触率  $C_f$  が0の場合の回転トルク  $T$  に対し、4点接触率  $C_f$  が0.5以上の場合の回転トルクを、8～10倍

の範囲で定めた一定の倍率の値とする、4点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項5] 請求項2において、4点接触率 $C_f$ が $0 \sim 0.5$ 未満の場合の回転トルク $T$ を、4点接触率 $C_f$ の二次関数で補完された値とする、4点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項6] 請求項2において、転動体の回転トルク $T$ につき、4点接触率 $C_f$ と、接触圧力和 $P_s$ と、軸受毎に定められる係数 $C$ とを用い、 $0 \leq C_f \leq 0.5$ の場合は、

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = 1.0 C P_s^4$$

として回転トルク $T$ を計算する、4点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項7] 請求項1に記載のトルク計算方法を、コンピュータを用いて実行する方法であって、

前記個別トルク計算過程および総和計算過程に加えて、

転動体毎の接触圧力を計算する過程を含み、

前記個別トルク計算過程は、軸受に作用する荷重( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ ),  $F_a$ ,  $M$  ( $M_x$ ,  $M_y$ ))、および軸受毎に定められた係数 $C$ を入力して記憶領域に記憶する入力過程と、

計算過程で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ ,  $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算過程と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2)$$

$$0 \leq C_f \leq 1$$

$\min (P_1, P_2) : P_1, P_2$  のうち小さい方の値、  
 $\max (P_1, P_2) : P_1, P_2$  のうち小さい方の値、  
 によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する 4 点接触率計算過程と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定め}$$

られた定数)

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算過程とを含む、

4 点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項 8] 請求項 1 に記載のトルク計算方法を、コンピュータを用いて実行する方法であって、

前記個別トルク計算過程は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する 2 つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1, P_2$ 、および軸受毎に定められた係数  $C$  を入力して記憶領域に記憶する入力過程と、

上記 2 つの最大接触圧力  $P_1, P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算過程と、

$$\text{次式 } C_f = \min (P_1, P_2) / \max (P_1, P_2)$$

$$0 \leq C_f \leq 1$$

$\min (P_1, P_2) : P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max (P_1, P_2) : P_1, P_2$  のうち小さい方の値、



によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する 4 点接触率計算過程と、

これら接触圧力  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定め}$$

られた定数)

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算過程とを含む、

4 点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項9] 請求項 1 において、 $d_n$  値 = 30000 以下の低速度で使用する

4 点接触玉軸受に適用する 4 点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項10] 請求項 1 において、複列 4 点接触玉軸受に適用する 4 点接触玉軸受

のトルク計算方法。

[請求項11] 請求項 1 において、風車のブレードを角度調整可能に支持する軸受

に適用する 4 点接触玉軸受のトルク計算方法。

[請求項12] 請求項 1 において、風車のヨ一用の軸受に適用する 4 点接触玉軸受

のトルク計算方法。

[請求項13] 請求項 1 において、医療機用の軸受に適用する 4 点接触玉軸受のト

ルク計算方法。

[請求項14] 請求項 1 に記載のトルク計算方法を実行する装置であって、

転動体毎の接触圧力を計算する接触圧力計算手段と、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手段と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手段とを含み、

前記個別トルク計算手段は、軸受に作用する荷重 ( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ ),  $F_a$ ,  $M$  ( $M_x$ ,  $M_y$ ))、および軸受毎に定められた係数  $C$  を入力して記憶領

域に記憶する入力部と、

前記接触圧力計算手段で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算部と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2)$$

$$0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ を計算する4点接触率計算部と、

これら接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い

、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定め}$$

られた定数)

として回転トルク $T$ を計算する接触率別トルク計算部とを備えた、

4点接触玉軸受のトルク計算装置。

[請求項15]

請求項1に記載のトルク計算方法を実行する装置であって、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手段と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手段とを含み、

前記個別トルク計算手段は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最

大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数  $C$  が入力されると記憶領域に記憶する入力部と、

上記 2 つの最大接触圧力  $P_1$ 、 $P_2$  を 1 つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$  を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算部と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2)$$

$$0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1$ 、 $P_2$  のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である 4 点接触率  $C_f$  を計算する 4 点接触率計算部と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、4 点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い

、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定め}$$

られた定数)

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算部とを備えた、

4 点接触玉軸受のトルク計算装置。

[請求項 16] 請求項 14 において、前記接触率別トルク計算部における、 $0 \leq C_f < 0.5$  の場合の回転トルク  $T$  の計算を、次式

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

に従って行う、4 点接触玉軸受のトルク計算装置。

[請求項 17] 請求項 1 に記載のトルク計算方法をコンピュータに実行させるプログラムであって、

転動体毎の接触圧力を計算する接触圧力計算手順と、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手順と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手順とを含み、

前記個別トルク計算手順は、軸受に作用する荷重( $F_r$  ( $F_x$ ,  $F_y$ ),  $F_a$ ,  $M$  ( $M_x$ ,  $M_y$ )), および軸受毎に定められた係数  $C$  を入力して記憶領域に記憶する入力手順と、

前記接触圧力計算手順で求めた個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力  $P_1$ ,  $P_2$  を1つのパラメータで代表するための接触圧力和  $P_s$

を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算手順と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2)$$

$$0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$  のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率  $C_f$  を計算する4点接触率計算手順と、

これら接触圧力和  $P_s$ 、4点接触率  $C_f$ 、および前記係数  $C$  を用い

、

$0 \leq C_f < 0.5$  の場合は、

$$T = (4 \text{ 点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$  の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定め}$$

られた定数)

として回転トルク  $T$  を計算する接触率別トルク計算手順とを含む、

4点接触玉軸受のトルク計算プログラム。

[請求項18] 請求項1に記載のトルク計算方法をコンピュータに実行させるプログラムであって、

前記個別トルク計算過程を実行する個別トルク計算手順と、

前記総和計算過程を実行する総和計算手順とを含み、

前記個別トルク計算手順は、個々の転動体における、内輪もしくは外輪の軌道面を形成する2つの部分軌道面と転動体とのそれぞれの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ 、および軸受毎に定められた係数 $C$ が入力されると記憶領域に記憶する入力手順と、

上記2つの最大接触圧力 $P_1$ 、 $P_2$ を1つのパラメータで代表するための接触圧力和 $P_s$ を、次式

$$P_s = (P_1^4 + P_2^4)^{1/4}$$

によって求める接触圧力和計算手順と、

$$\text{次式 } C_f = \min(P_1, P_2) / \max(P_1, P_2)$$

$$0 \leq C_f \leq 1$$

$\min(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$ のうち小さい方の値、

$\max(P_1, P_2)$  :  $P_1, P_2$ のうち大きい方の値、

によって定められる大きい方の圧力に対する小さい方の圧力の比である4点接触率 $C_f$ を計算する4点接触率計算手順と、

これら接触圧力和 $P_s$ 、4点接触率 $C_f$ 、および前記係数 $C$ を用い

、

$0 \leq C_f < 0.5$ の場合は、

$$T = (4\text{点接触率 } C_f \text{ の二次関数}) \times C \times P_s^4$$

とし、

$0.5 \leq C_f \leq 1$ の場合は、

$$T = I \times C \times P_s^4 \quad (\text{ただし、} I \text{ は } 8 \sim 12 \text{ の間で定め}$$

られた定数)

として回転トルク $T$ を計算する接触率別トルク計算手順を含む、

4点接触玉軸受のトルク計算プログラム。

[請求項19] 請求項17において、前記接触率別トルク計算手順における、 $0 \leq C_f < 0.5$ の場合の回転トルク $T$ の計算を、次式

$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

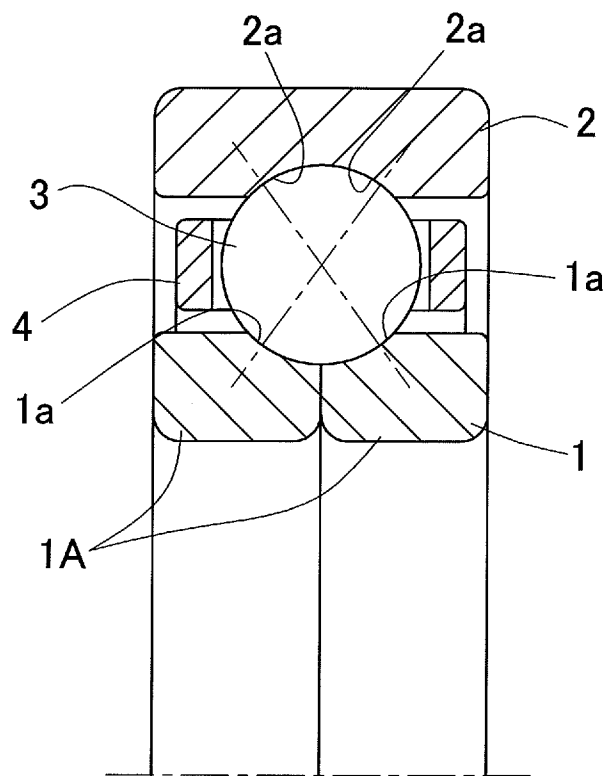
に従って行う4点接触玉軸受のトルク計算プログラム。

[請求項20] 請求項18において、前記接触率別トルク計算手順における、 $0 \leq C_f < 0.5$ の場合の回転トルク $T$ の計算を、次式

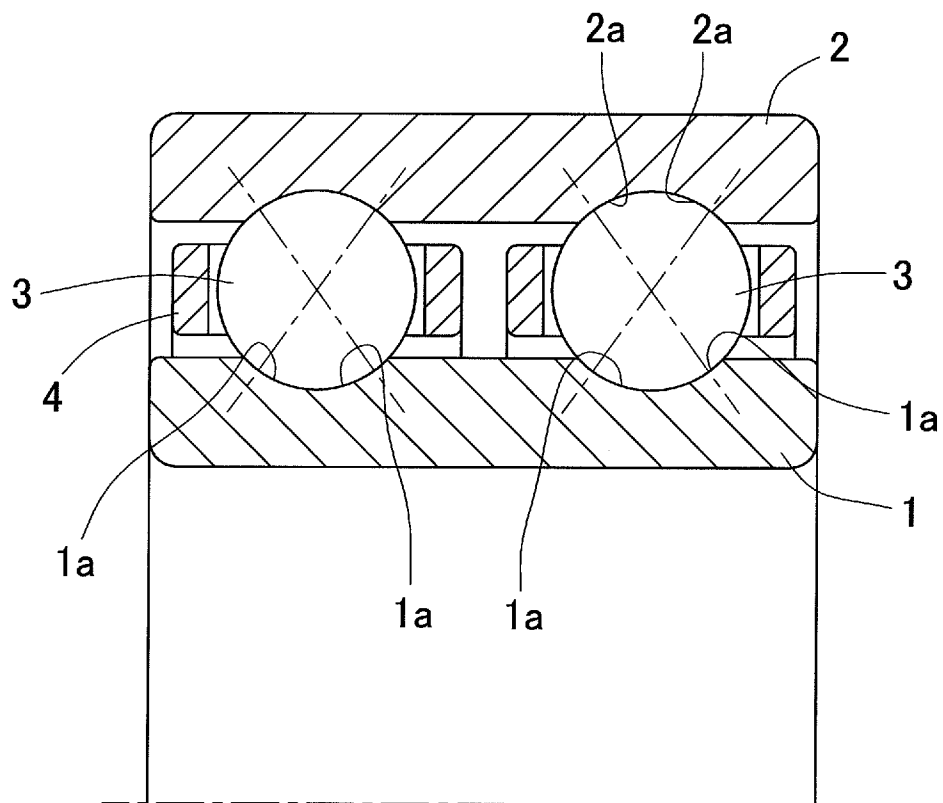
$$T = (1 + 3.6 C_f^2) C P_s^4$$

に従って行う4点接触玉軸受のトルク計算プログラム。

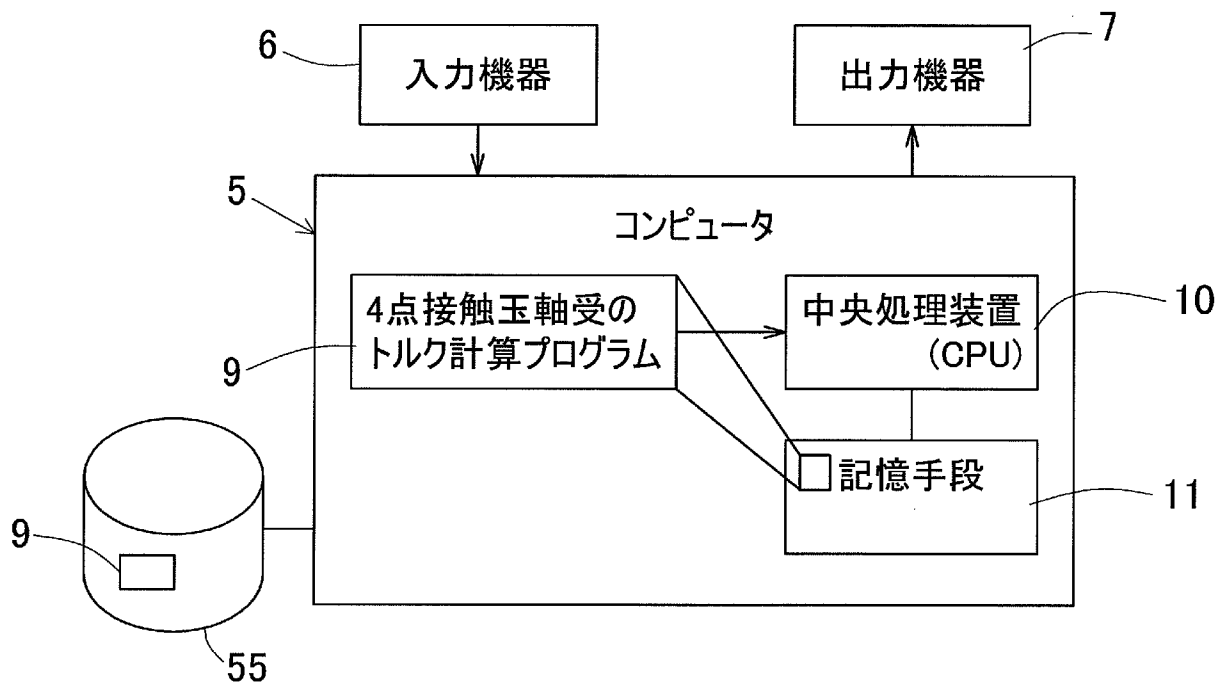
[図1]



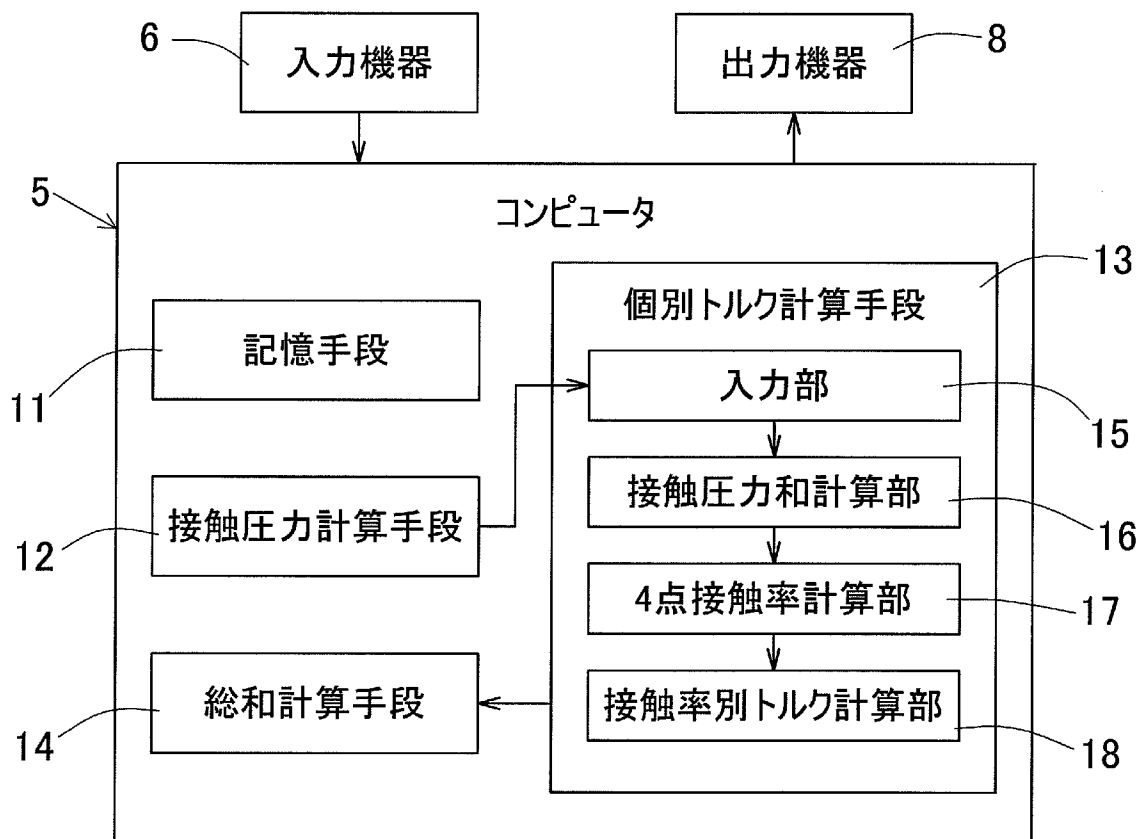
[図2]



[図3]



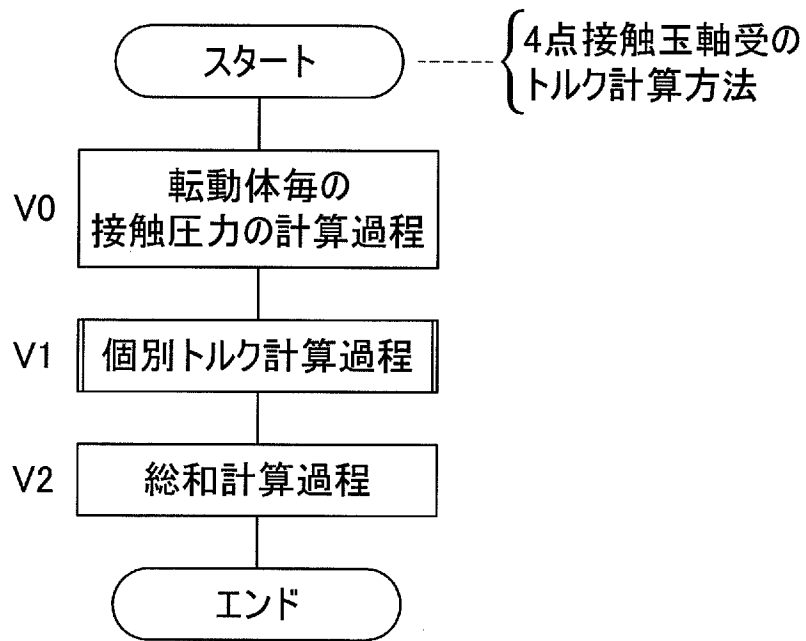
[図4]



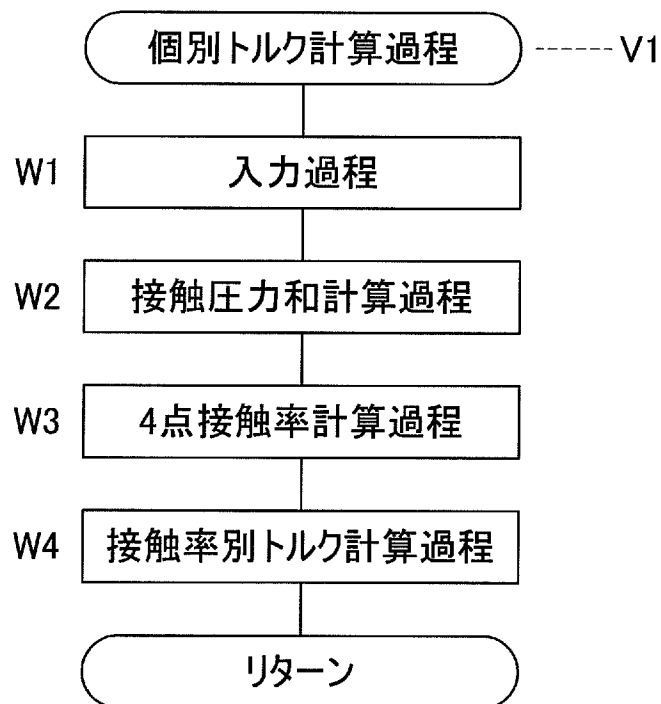


[図5]

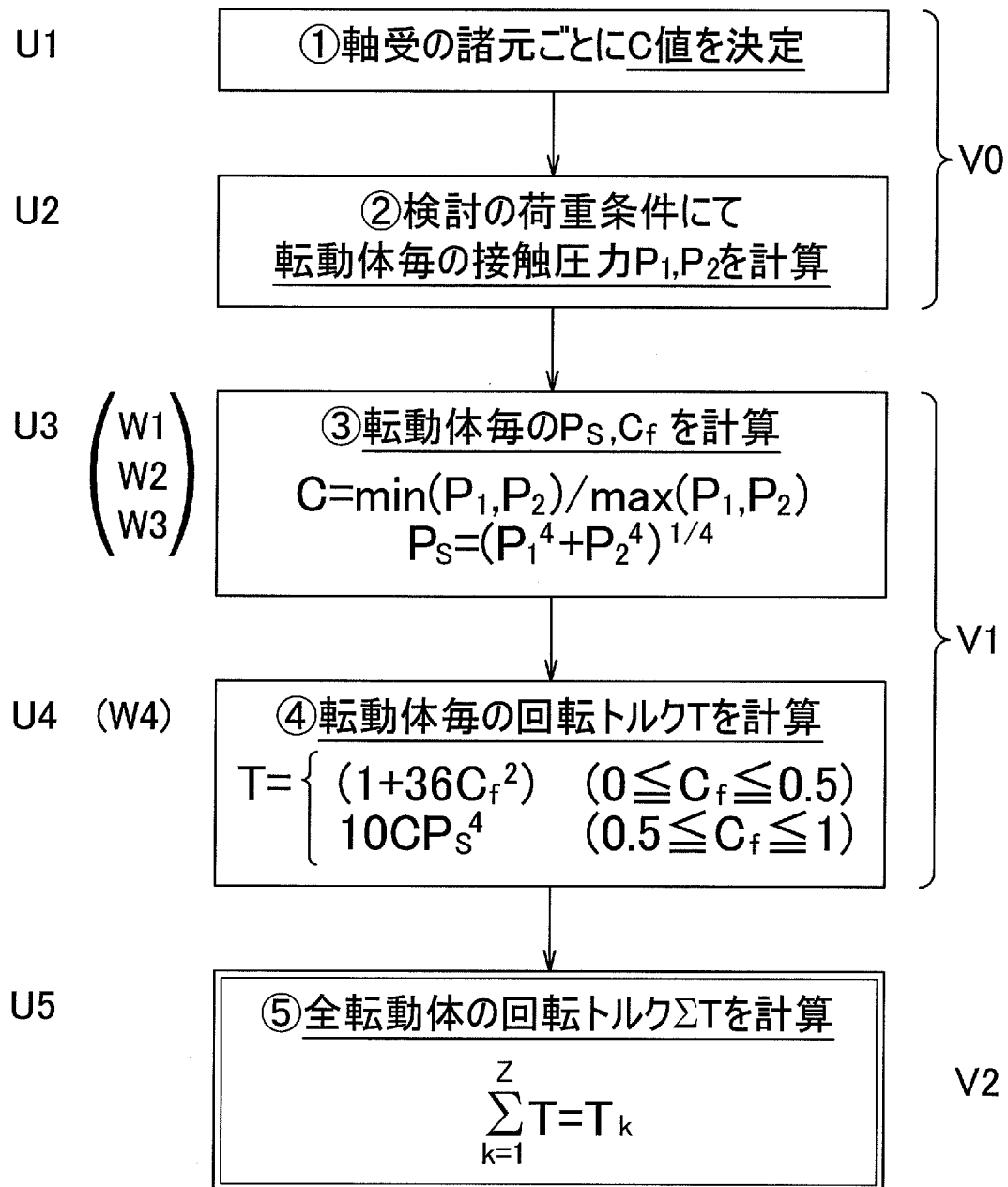
(A)



(B)

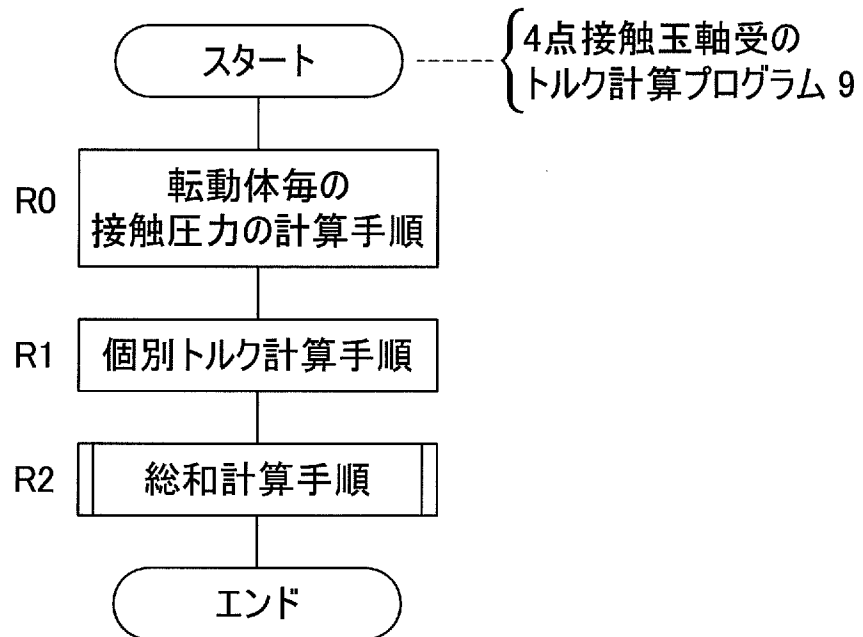


[図6]

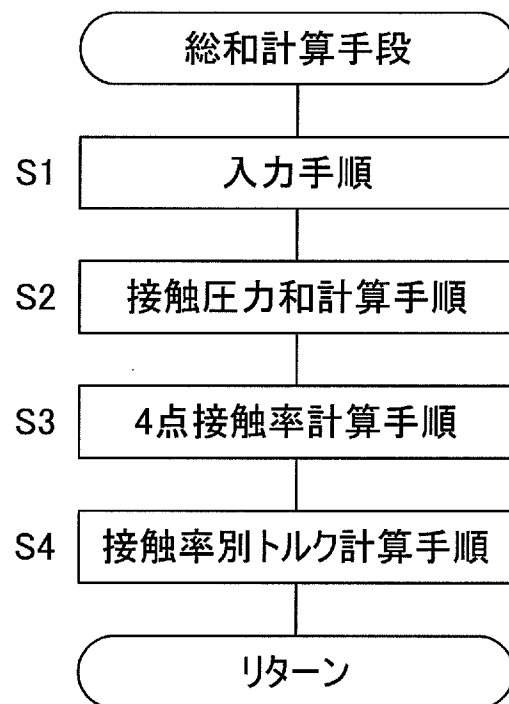


[図7]

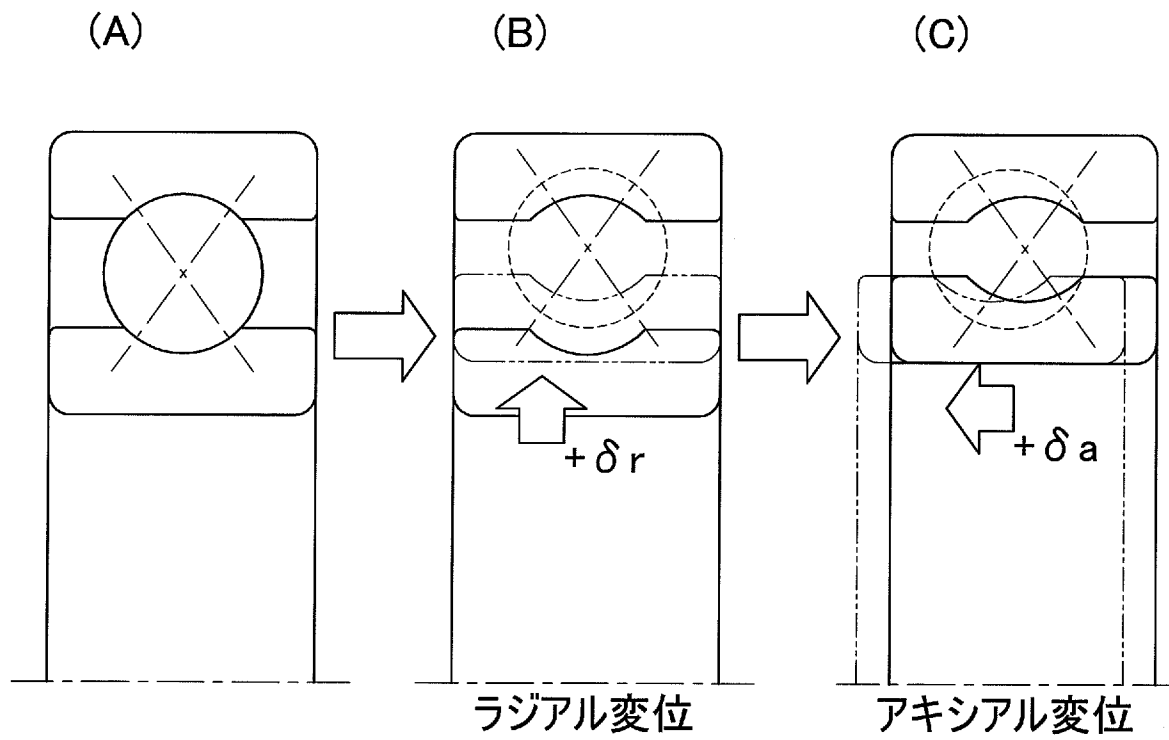
(A)



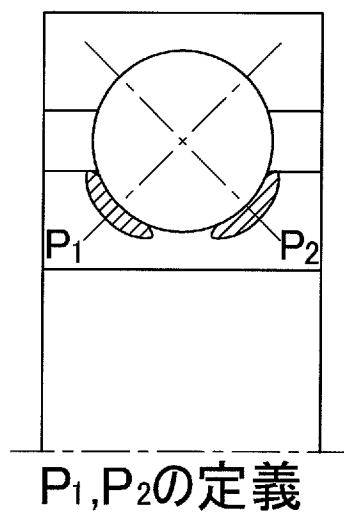
(B)



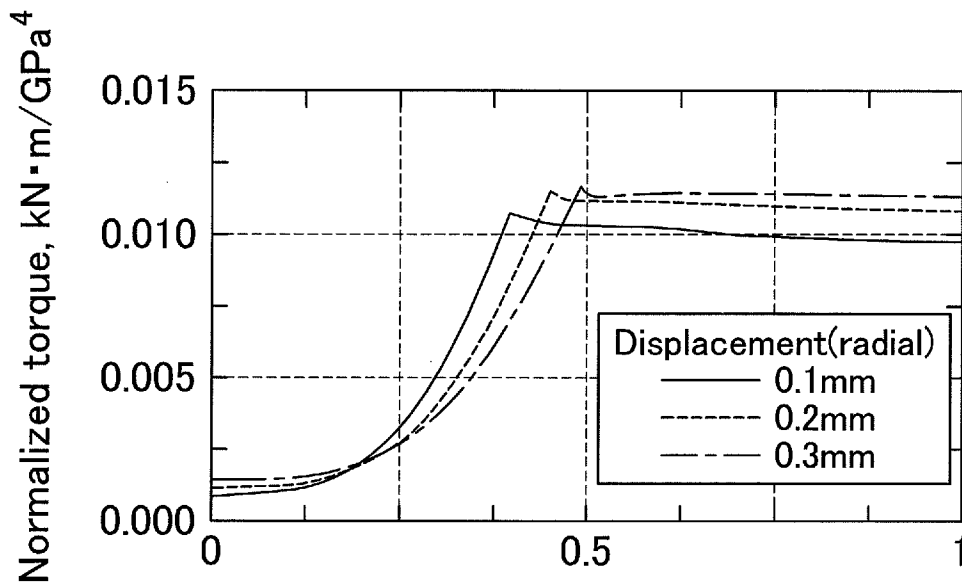
[図8]



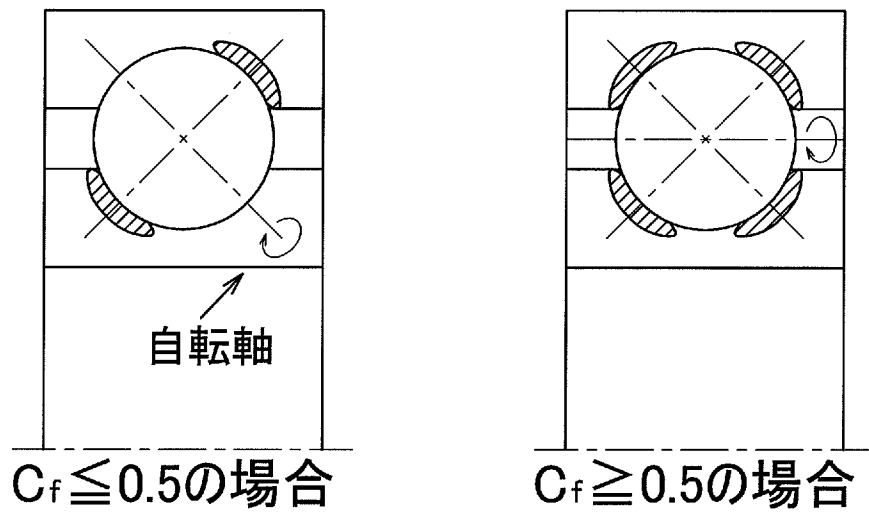
[図9]



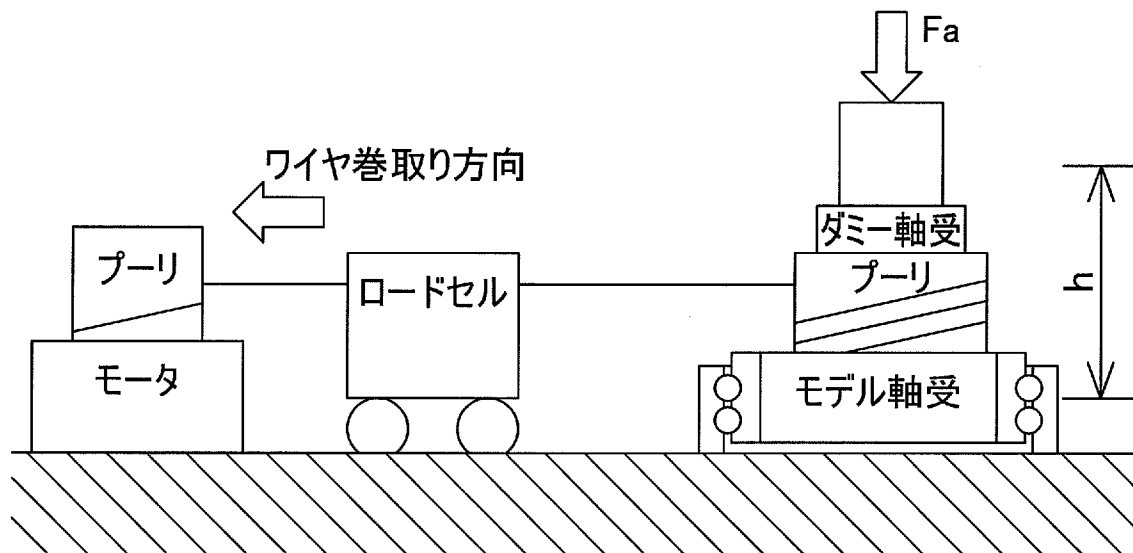
[図10]

4点接触率 $C_f$ とトルクの関係

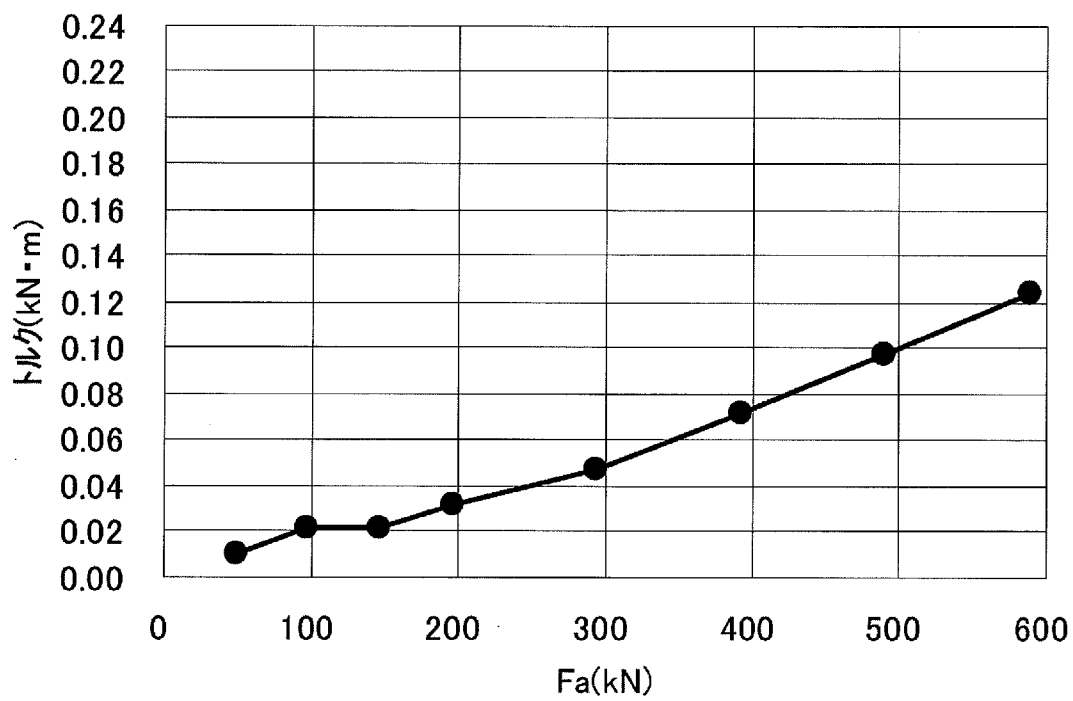
[図11]

 $C_f$ と自転軸の関係

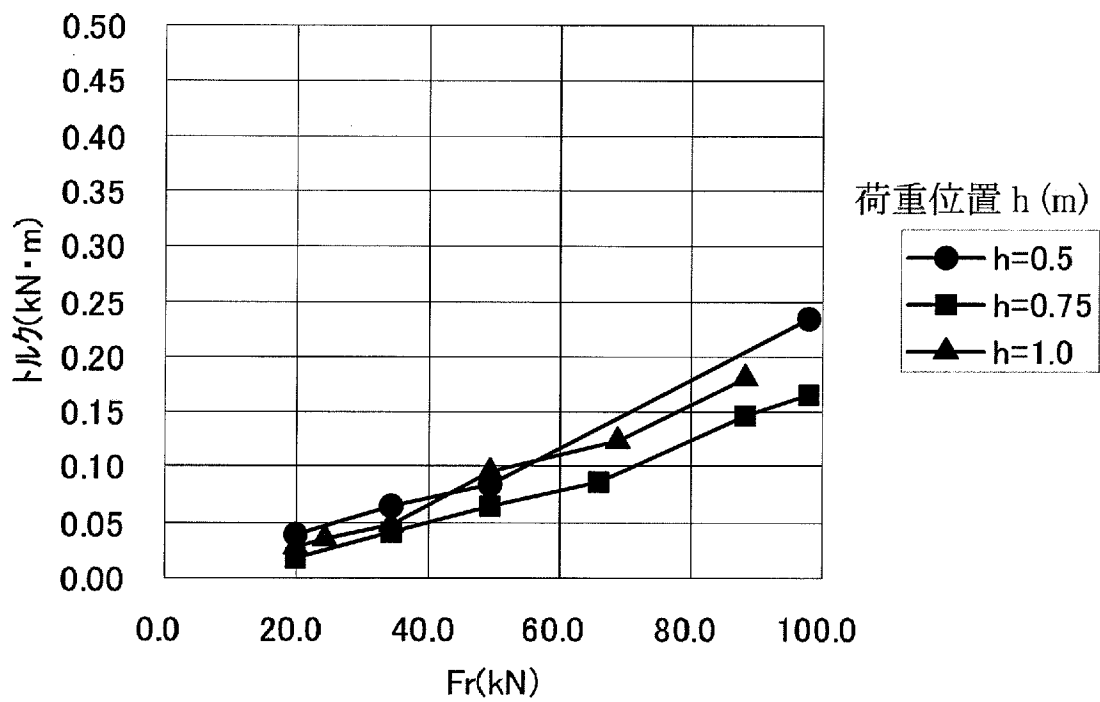
[図12]



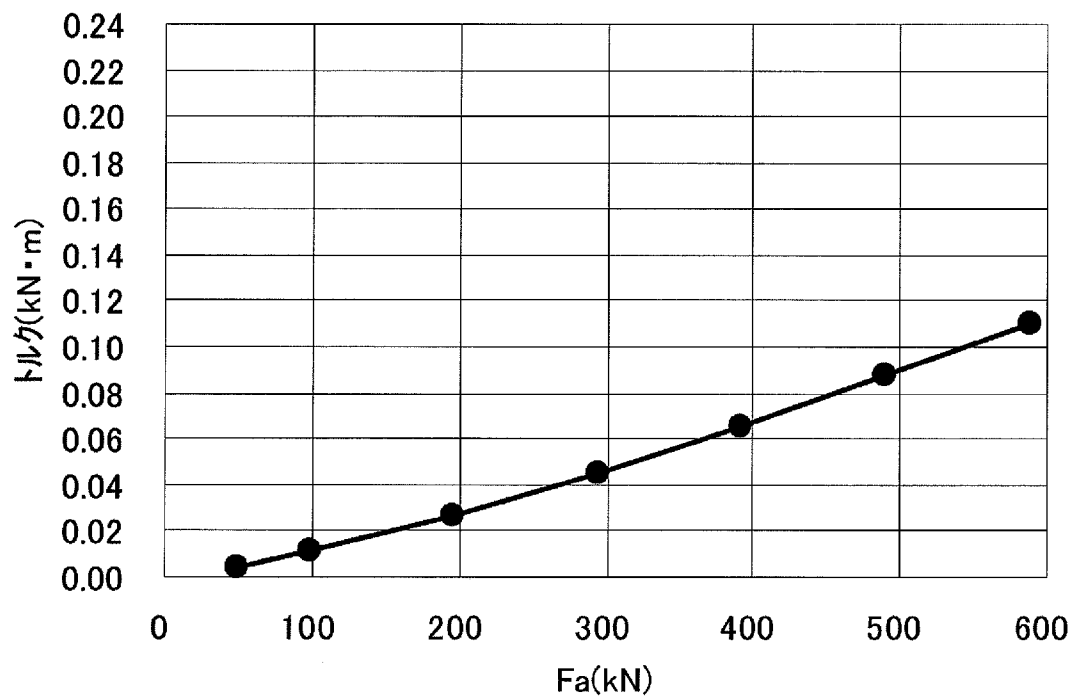
[図13]

試験結果 ( $F_a$  負荷時)

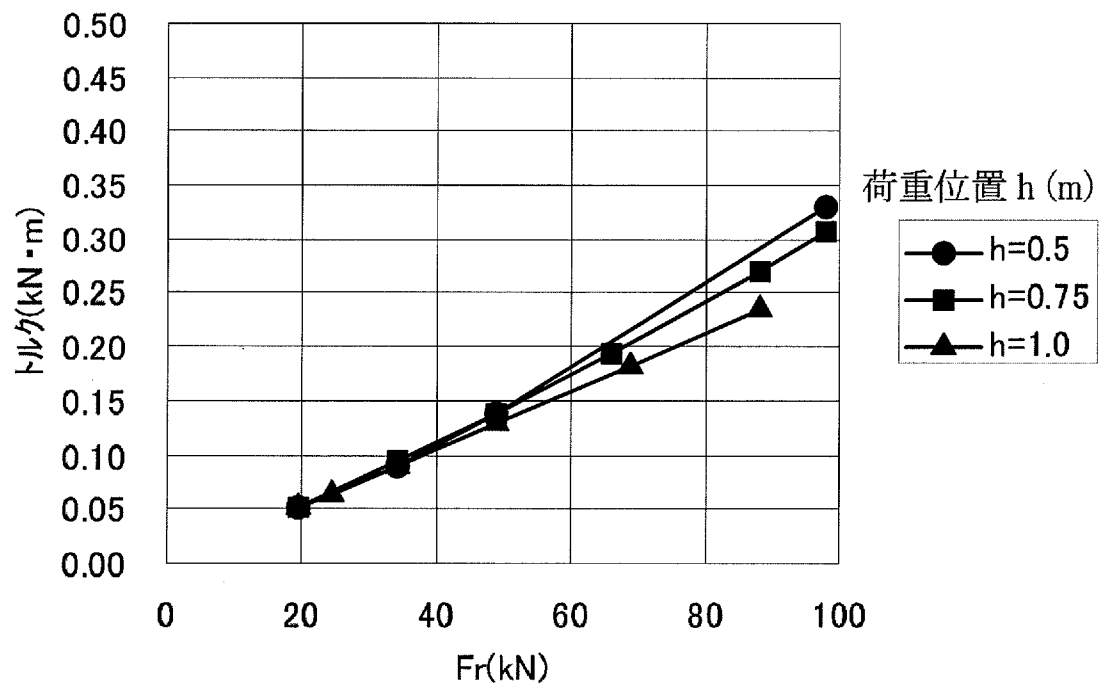
[図14]

試験結果 ( $Fr$  負荷時)

[図15]

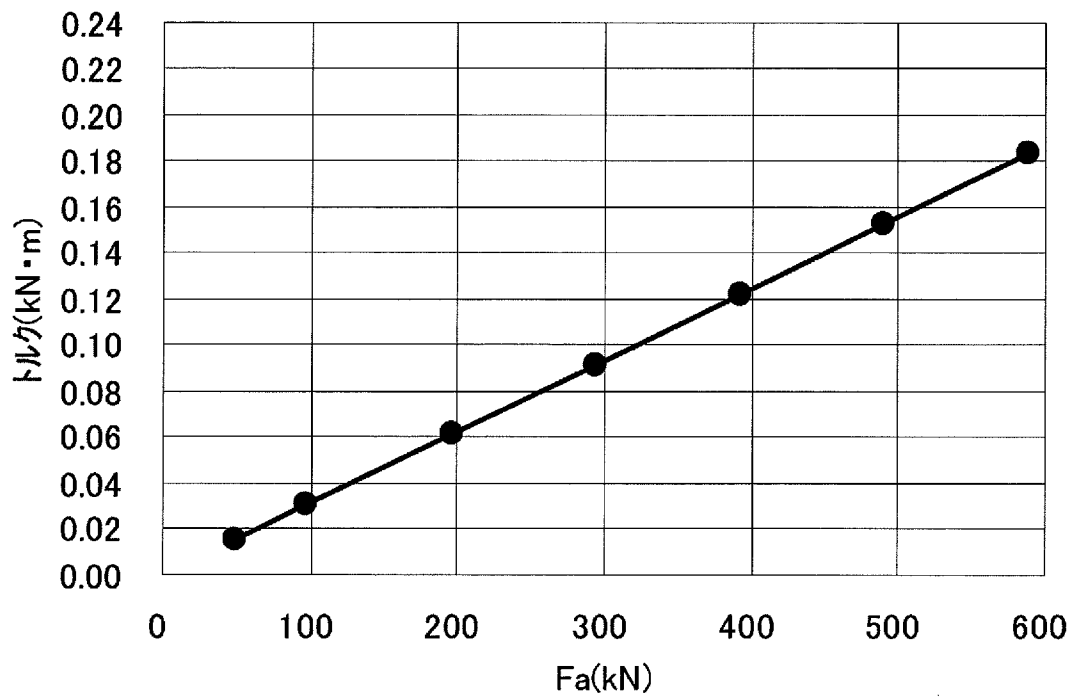
新計算式による結果 ( $Fa$  負荷時)

[図16]



新計算式による結果 (Fr 負荷時)

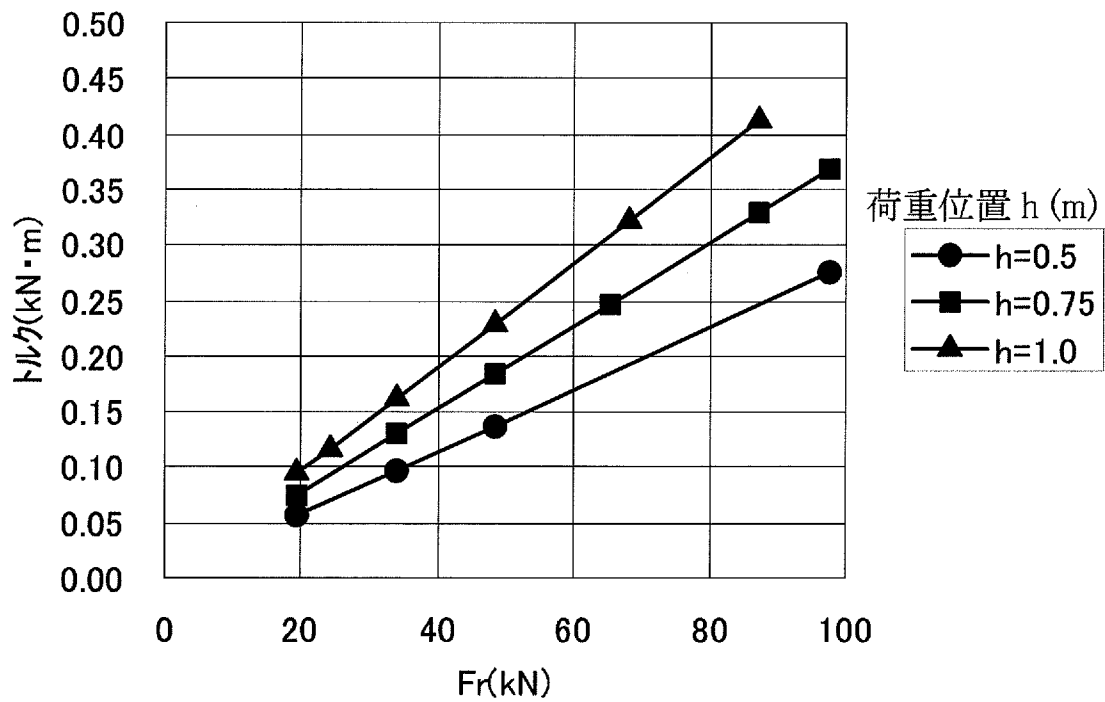
[図17]



現行算式による結果 (Fa 負荷時)

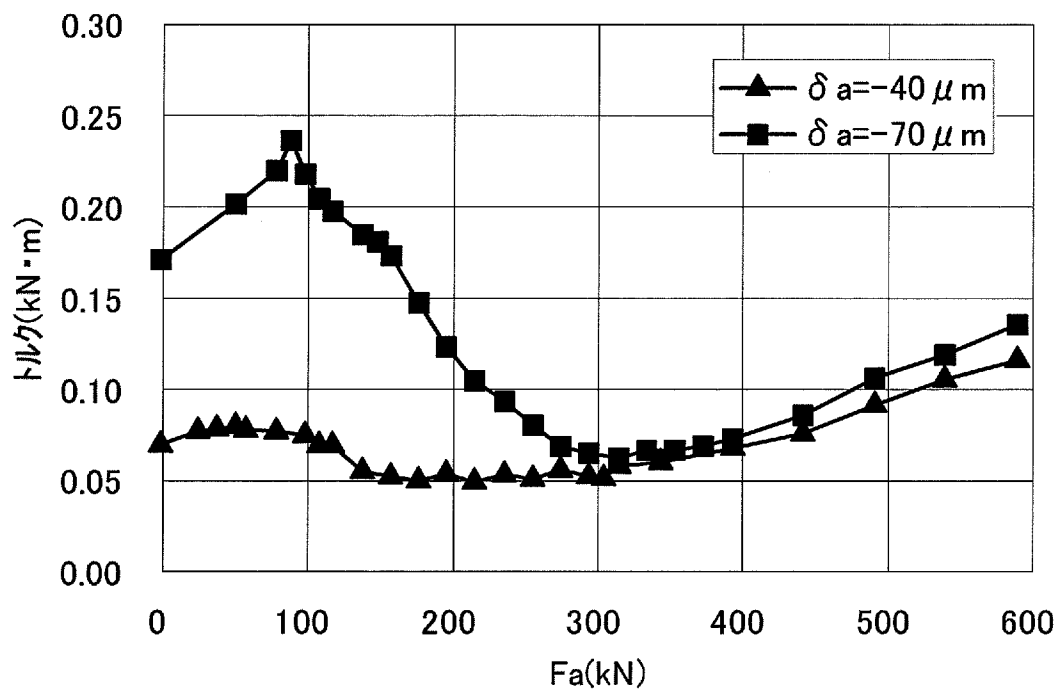


[図18]



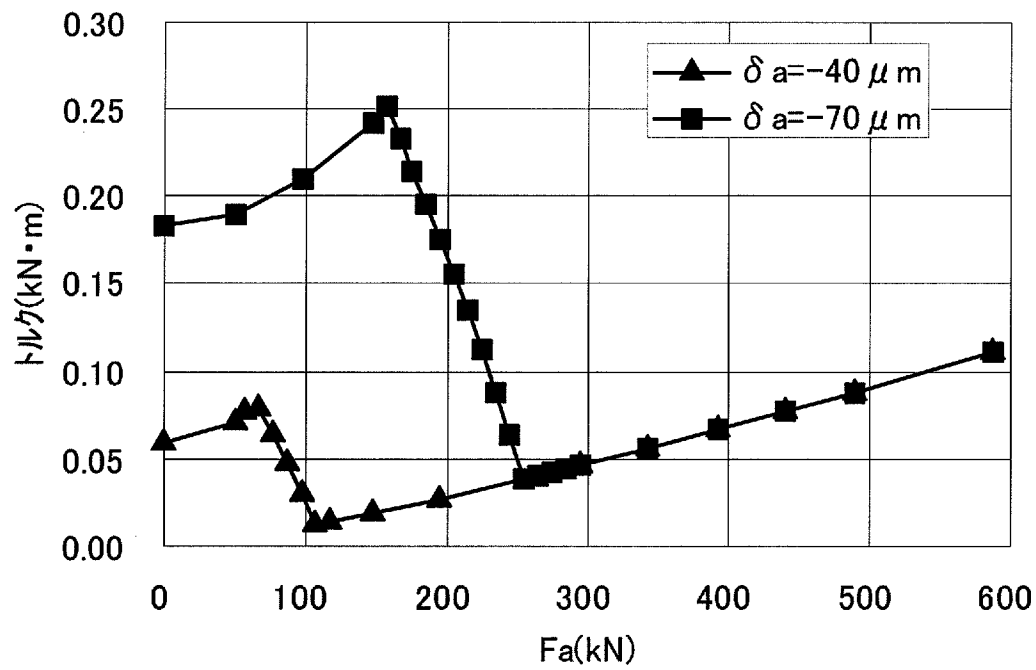
現行算式による結果 (Fr 負荷時)

[図19]



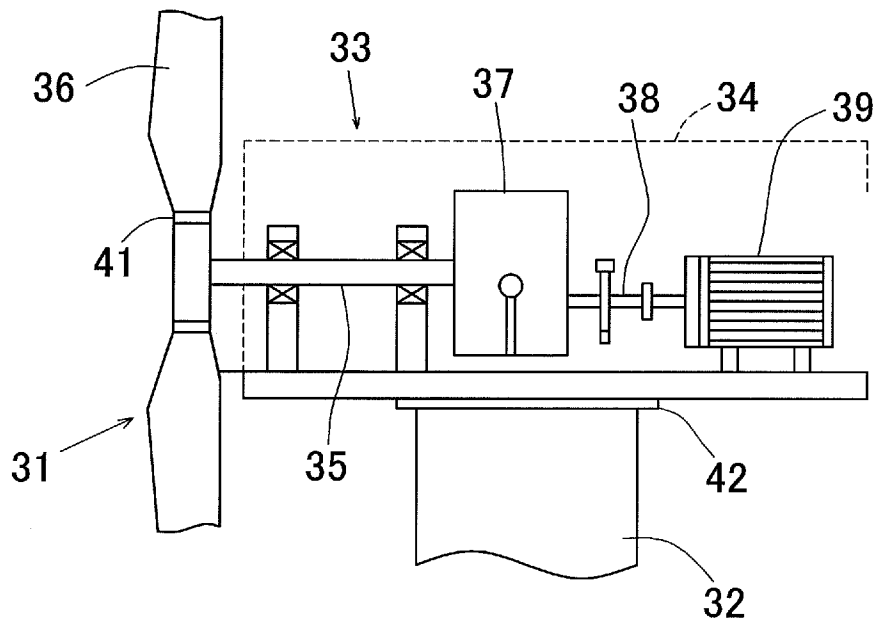
試験結果

[図20]

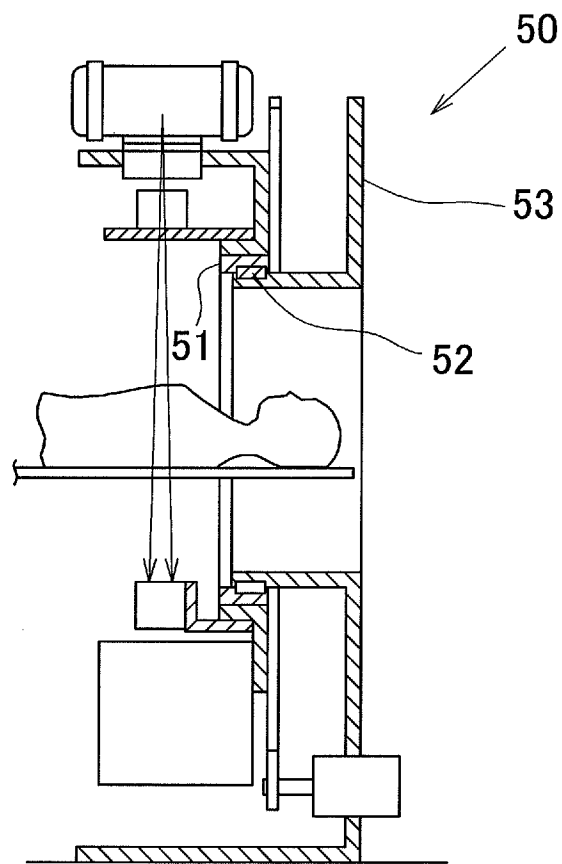


## 試験結果

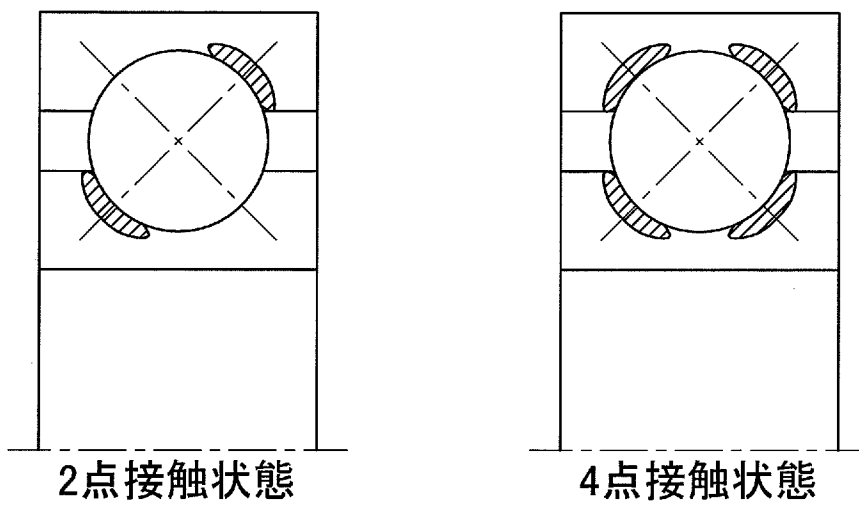
[図21]



[図22]



[図23]



転動体の接触状態

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/050525

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C19/14 (2006.01) i, G01M13/04 (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)

F16C19/14, G01M13/04

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 1996-2011

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2011 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2011

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. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2003-172341 A (NSK Ltd.),<br>20 June 2003 (20.06.2003),<br>paragraphs [0049] to [0050]<br>(Family: none) | 1-20                  |
| A         | JP 2000-162092 A (NSK Ltd.),<br>16 June 2000 (16.06.2000),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)   | 1-20                  |
| A         | JP 2006-177774 A (NSK Ltd.),<br>06 July 2006 (06.07.2006),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)   | 1-20                  |

☐ 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  
07 April, 2011 (07.04.11)Date of mailing of the international search report  
19 April, 2011 (19.04.11)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））  
Int.Cl. F16C19/14(2006.01)i, G01M13/04(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. F16C19/14, G01M13/04

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 1 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 1 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 1 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<br>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<br>請求項の番号 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | JP 2003-172341 A（日本精工株式会社）2003.06.20, 段落【0049】 - 【0050】（ファミリーなし） | 1-20           |
| A               | JP 2000-162092 A（日本精工株式会社）2000.06.16, 全文, 全図（ファミリーなし）            | 1-20           |
| A               | JP 2006-177774 A（日本精工株式会社）2006.07.06, 全文, 全図（ファミリーなし）            | 1-20           |

☐ 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 7 . 0 4 . 2 0 1 1

国際調査報告の発送日

1 9 . 0 4 . 2 0 1 1

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）

佐々木 芳枝

3 H

9 1 3 2

電話番号 03-3581-1101 内線 3316