

自動調心ころ軸受の信頼性向上

Improvement in Reliability of Spherical Roller Bearings

安田浩隆 H. YASUDA 武田喜重 Y. TAKEDA 大塚和茂 K. OTSUKA

Ever increasing productivity through reliability is a requirement for mechanical elements used in industrial applications, where spherical roller bearings are subjected to severe operating conditions. In order to meet the severe application requirements, JTEKT has optimized spherical roller bearings with symmetrical rollers to achieve larger load ratings. Physical testing was completed to evaluate the performance and confirm the theoretical design. As a result, it was confirmed that the rollers move steadily, which led to less temperature rise and contributed to both high speed and better axial loading performance. After the bench testing was complete, both the physical evaluation and the theoretical analysis (CAE) show very good correlation.

Key Words: spherical roller bearing, roller, temperature rise, axial load, high speed, CAE, reliability improvement

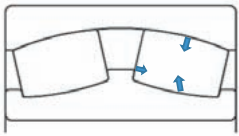
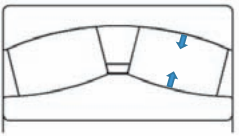
1. はじめに

自動調心ころ軸受は、調心性に優れ、定格荷重も大きく、組込み性も良いため、減速機、建設機械などの一般産業機械や、鉄鋼設備などに広く使用されている^{1, 2)}。また、風力発電装置の主軸用軸受などとしても多く使用されている³⁾。近年、産業機械などでの生産性の向上に伴い軸受の使用条件が厳しくなっている。これらに対応するため、今回、自動調心ころ軸受の高速回転性能およびアキシャル荷重性能向上品を開発したので紹介する。

2. 自動調心ころ軸受の種類

表1に自動調心ころ軸受の種類を示す⁴⁾。自動調心ころ軸受には、非対称ころタイプと、対称ころタイプの2種類が有る。内輪中央に案内つばを有する非対称ころタイプは、ころの荷重が、外輪軌道、内輪軌道、内輪中央案内つばの3箇所での支持により釣り合っているため、ころが安定し高速回転用途に適用されている。一方、対称ころタイプは、ころの荷重が外輪軌道と内輪軌道の2箇所で支持されて釣り合っているため、内輪中央に案内つばが無く、ころを長くして定格荷重を大きくできるので、高負荷容量が必要な用途に適用されている。

表1 自動調心ころ軸受の種類
Types of spherical roller bearings

タイプ	非対称ころ	対称ころ
構造	 ころ荷重： 3箇所支持で釣り合い	 ころ荷重： 2箇所支持で釣り合い
内輪	中央案内つば付き	中央案内つば無し (浮き案内輪)

3. 開発品の狙い

自動調心ころ軸受の非対称ころタイプは、内輪中央の案内つば部と、ころ端面がすべり接触するため昇温が大きいと考えられる。このため、今回、内輪中央案内つばが無く、定格荷重を大きくできる対称ころタイプ軸受について、ころの姿勢を安定させることにより、低昇温化を図り、高速回転性能およびアキシャル荷重性能を向上させ、軸受の信頼性向上を行う。

4. ころの姿勢に影響する力

自動調心ころ軸受の対称ころタイプは、ころが外輪軌道と内輪軌道の2箇所支持される。そこで、ころの姿勢に影響する力のモーメントは、以下で導かれる。

図1に、ころの姿勢に影響する力のモーメントの算出手順を示す。詳細について、順に説明する。

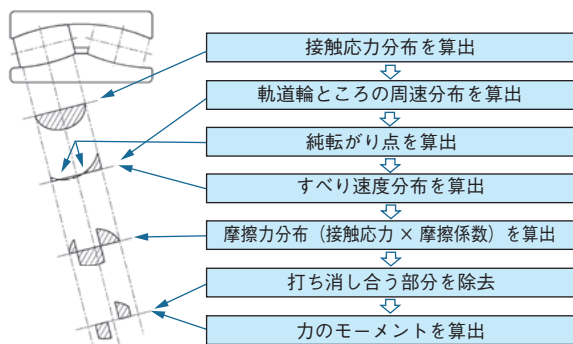


図1 力のモーメント算出手順
Calculation flow of moment of force

図2に、式で用いるx軸および寸法を示す。内輪ところの接触、および外輪ところの接触のいずれの接触においても接触領域の中心を原点とし、ころの中心軸に沿って半径が大きくなる方向にx軸を設定している。

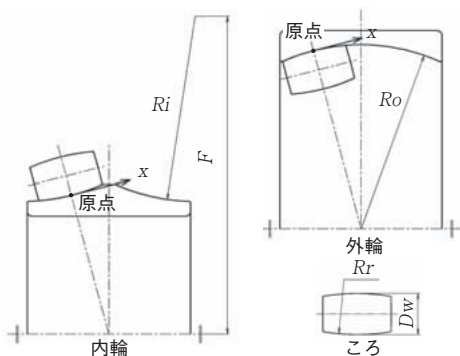


図2 x軸および寸法
x axis and dimensions

接触点近傍の周速は、以下の式で表すことができる。

$$\text{内輪 } Vi(x) = \{ F - \sqrt{Ri^2 - x^2} \cos \theta + x \sin \theta \} \omega_i \quad (1)$$

$$\text{ころ } Vr(x) = \{ Dw/2 - Rr + \sqrt{Rr^2 - x^2} \} \omega_r \quad (2)$$

$$\text{外輪 } Vo(x) = \{ \sqrt{Ro^2 - x^2} \cos \theta + x \sin \theta \} \omega_o \quad (3)$$

θ : 接触角, ω_i : 内輪の角速度, ω_r : ころの角速度, ω_o : 外輪の角速度

F, Ri, Dw, Rr, Ro : 図2参照

すべり摩擦力の釣り合いから、

$$\text{内輪側 } \int \frac{Vi(x) - Vr(x)}{|Vi(x) - Vr(x)|} Pi(x) dx = 0 \quad (4)$$

$$\text{外輪側 } \int \frac{Vo(x) - Vr(x)}{|Vo(x) - Vr(x)|} Po(x) dx = 0 \quad (5)$$

$Pi(x)$: ころと内輪の接触応力分布

$Po(x)$: ころと外輪の接触応力分布

となるxの値を内輪側、外輪側でそれぞれ求める。このxの値が純転がり点となる。

純転がり点では、

$$Vi(x) = Vr(x), \quad Vo(x) = Vr(x)$$

となる。

続いて軌道輪ところのすべり速度分布は、接触領域の各位置で

$$\text{内輪側 } Vi(x) - Vr(x)$$

$$\text{外輪側 } Vo(x) - Vr(x)$$

を求める。

すべり速度の方向を加味し、摩擦係数分布 $S(x)$ を求める。

$$\text{内輪側 } Si(x) = \mu_i \frac{Vi(x) - Vr(x)}{|Vi(x) - Vr(x)|} Pi(x) = 0 \quad (6)$$

$$\text{外輪側 } So(x) = \mu_o \frac{Vo(x) - Vr(x)}{|Vo(x) - Vr(x)|} Po(x) = 0 \quad (7)$$

μ_i : 内輪側摩擦係数, μ_o : 外輪側摩擦係数

すべり摩擦力による力のモーメント $M(x)$ は、摩擦係数分布と原点からの距離の積を接触領域で積分することにより得られるから、

$$\text{内輪側 } Mi(x) = \int x \cdot Si(x) dx \quad (8)$$

$$\text{外輪側 } Mo(x) = \int x \cdot So(x) dx \quad (9)$$

となる。

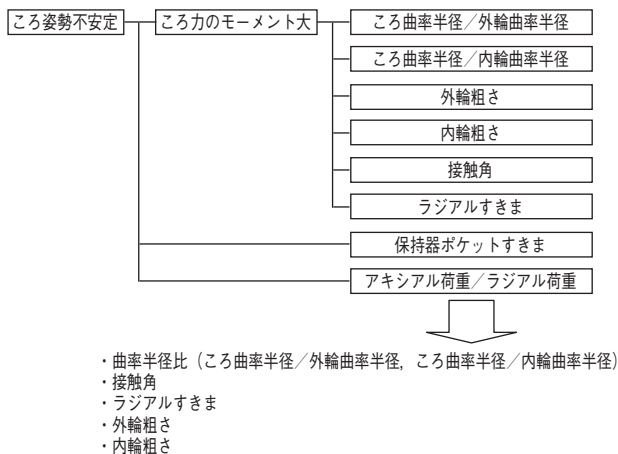
この外輪側と内輪側の力のモーメントの釣り合いで、ころの姿勢を制御できると考えられる。そこで次に、軸受内部諸元の違いによるころの挙動を評価試験で確認した。

5. 評価試験

5.1 軸受内部諸元ところの挙動確認

自動調心ころ軸受の内部諸元の違いによるころの挙動を確認するため、パラメータスタディを実施した。まず、図3に示すころ姿勢に関するFTAにより、自動調心ころ軸受のころ姿勢を安定させる因子の選定を行った。そ

の結果、5 因子を選定し、5 因子 3 水準による組合せ数 27 のパラメータスタディにより、各因子のころ姿勢に影響を及ぼす寄与率を実験計画法により算出する。



- ・曲率半径比 (ころ曲率半径/外輪曲率半径, ころ曲率半径/内輪曲率半径)
- ・接触角
- ・ラジアルすきま
- ・外輪粗さ
- ・内輪粗さ

5 因子 3 水準 組合せ数 27 のパラメータスタディ実施

図3 ころ姿勢に関する FTA

Fault tree analysis of roller movement

試験は 5 因子 3 水準による 27 個の試料軸受を用いて、ころの姿勢を測定する。図4にころ姿勢測定方法を示す。測定は、ころ端面に対して垂直方向にギャップセンサを当て、その出力波形からころの姿勢を解析する。測定位置は、アキシャル荷重負荷列側のみとし、円周 6 箇所ギャップセンサを設置した。

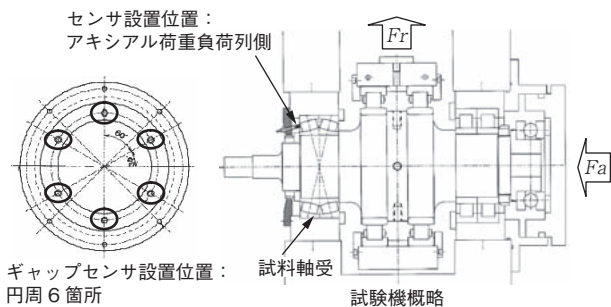


図4 ころ姿勢測定方法

Measurement method of roller movement

27 個の試料軸受の測定より、代表例として 3 個の軸受についてころ姿勢結果を示す。表2に試料軸受概略を、図5にころ姿勢測定結果を示す。内部因子の違いにより、ころの姿勢に差が認められ、ころ曲率半径の内輪曲率半径に対する比 (ころ曲率半径/内輪曲率半径) と内輪の粗さを小さくした試料軸受 3 で、ころの姿勢が安定する良好な傾向が確認された。また、ころの姿勢が不安定になる傾向はアキシャル荷重のラジアル荷重に対する比

(アキシャル荷重/ラジアル荷重) が 0.2 ~ 0.5 付近にのみ認められた。

27 個の試験結果から実験計画法を用いて寄与率を算出したところ、曲率半径比と粗さの寄与率が大きいことが確認された。

表2 試料軸受概略

Summary of evaluated bearings

試料軸受 No.	曲率半径比		粗さ		接触角	ラジアルすきま
	ころ曲率半径/外輪曲率半径	ころ曲率半径/内輪曲率半径	外輪	内輪		
1	小	大	大	小	小	小
2	小	大	大	小	中	中
3	大	小	大	小	大	大

試験条件

- 1) 試料軸受主寸法: $\phi 110 \times \phi 180 \times 69$
- 2) 回転輪: 内輪
- 3) 回転速度: 72min^{-1}
- 4) ラジアル荷重: 37kN 一定
- 5) 潤滑: グリース潤滑

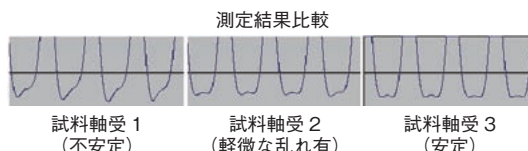
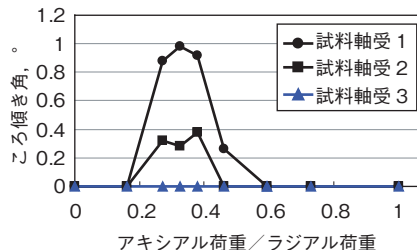


図5 ころ姿勢測定結果

Measurement result of roller movement

以上のように組合せ数 27 のパラメータスタディを行った結果、ころ姿勢に影響を及ぼす因子の寄与率を確認することができた。

さらに、CAE を用いて試験結果と比較を実施した。図6に試験結果と解析結果の比較を示す。試験結果と解析結果がほぼ一致していることから、今後 CAE を用いた解析手法により、ころの挙動をシミュレーションすることが可能となった。

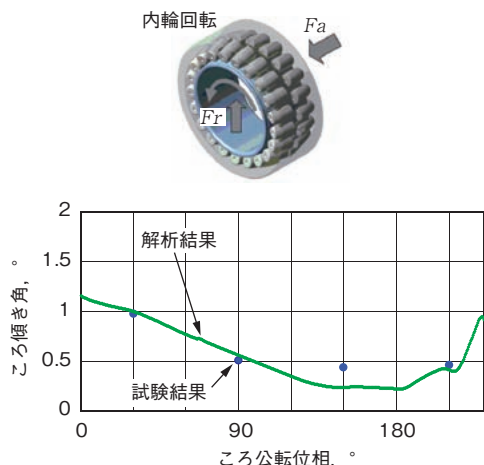


図6 試験結果と解析結果の比較
Results of correlation between practical test and theoretical analysis

5.2 軸受性能評価

対称ころタイプの自動調心ころ軸受開発品で、ころの姿勢を安定できた。この効果を確認するため、現在量産されている非対称ころタイプ軸受と性能を比較し、確認する。

図7に高速回転試験の結果を示す。試験結果より、自動調心ころ軸受開発品は、量産品より低昇温となり、優れた高速回転性能を有していることが確認された。

試験条件

- 1) 試料軸受主寸法: $\phi 110 \times \phi 180 \times 69$
- 2) 回転輪: 内輪
- 3) ラジアル荷重: 46.9kN
- 4) アキシャル荷重: 17.4kN
- 5) アキシャル荷重/ラジアル荷重: 0.37
- 6) 潤滑: オイル潤滑

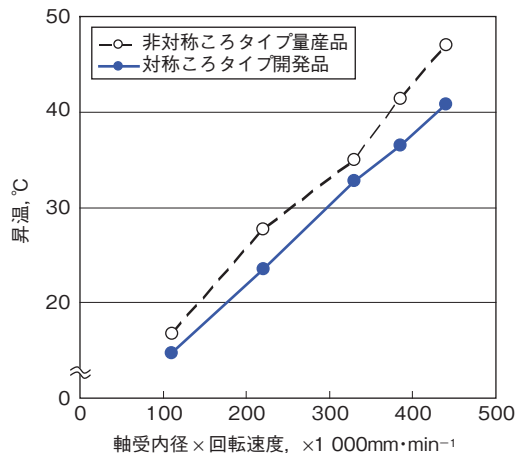


図7 高速回転試験結果
Test results of high speed rotation

また、開発品は、量産品より低昇温となるため、運転時の潤滑剤の動粘度が大きくなり、油膜厚さを確保できる。その結果、開発品は、量産品と比べて潤滑状態が大幅に改善され長寿命となる。図8に潤滑状態を考慮した量産品と開発品の寿命比較を示す。

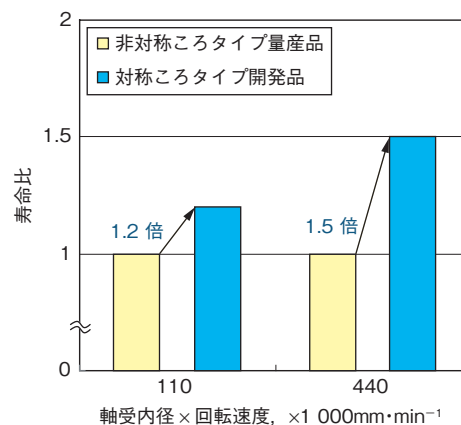


図8 潤滑状態を考慮した量産品と開発品の寿命比較
Life comparison between mass-produced and upgraded bearings considering influence of lubrication

さらに、この自動調心ころ軸受開発品の効果を、大型軸受でも確認した。図9にアキシャル荷重性能確認試験の結果を示す。試験結果より、開発品は、量産品より低昇温となり、優れたアキシャル荷重性能を有していることが確認された。

試験条件

- 1) 試料軸受主寸法: $\phi 240 \times \phi 400 \times 160$
- 2) 回転輪: 内輪
- 3) 回転速度: 33min⁻¹
- 4) ラジアル荷重: 175kN 一定
- 5) 潤滑: グリース潤滑

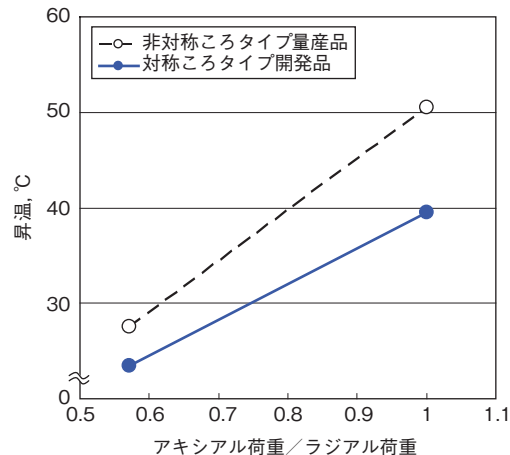


図9 アキシャル荷重性能確認試験結果
Test results of axial loading performance

6. おわりに

自動調心ころ軸受の使用条件の苛酷化に対応して、定格荷重を大きくできる対称ころタイプの自動調心ころ軸受を採用し、軸受性能の向上を図った。その軸受の評価試験の結果、ころの姿勢が安定し低昇温となり、高速回転性能およびアキシアル荷重性能に優れた軸受を開発した。さらに、今回、ころの挙動を測定する評価手法を開発するとともに、その測定結果と CAE 解析結果がほぼ一致し、CAE を用いた解析手法が確立できた。今後は、この解析手法および実機サイズの試験機を活用して、超大型の自動調心ころ軸受にも適用範囲を広げ、自動調心ころ軸受全体の性能向上を進めていきたい。

参考文献

- 1) ジェイテクト「ベアリング入門書」編集委員会編著：図解入門よくわかる最新ベアリングの基本と仕組み，秀和システム(2011)17.
- 2) 保坂亮平，安田典嗣：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1004(2007)41.
- 3) 小林康裕：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1010(2012)49.
- 4) ジェイテクト：転がり軸受総合カタログ，CAT. no. B2001.

筆者



安田浩隆*
H. YASUDA



武田喜重*
Y. TAKEDA



大塚和茂**
K. OTSUKA

* 軸受事業本部 産業機器技術部

** 軸受事業本部 実験解析部