

次世代超低トルク円すいころ軸受 (LFT-IV) の開発

Development of Next Generation Low Friction Torque Tapered Roller Bearing (LFT-IV)

岡本大輔 D. OKAMOTO 鈴木章之 A. SUZUKI 合田友之 T. AIDA 内藤光一郎 K. NAITO

We JTEKT have been developing low friction torque bearings from the viewpoint of environmental issues such as global warming. In particular, we are more advanced than competitor companies regarding the development of low friction tapered roller bearings (TRB), which at JTEKT are called our "LFT series". Furthermore, we have engaged in the development of the new TRB, known as the "LFT-IV", and have achieved a 50 percent reduction in friction torque compared with the previous product ("LFT-II") by utilizing CAE tools.

Key Words: low friction torque, tapered roller bearing, cage, resin, CFD, LFT-IV

1. はじめに

地球温暖化などの環境問題に対応して、摩擦損失低減、高効率、省エネルギーのニーズが年々高まっている。特に自動車においては各国のCO₂ガス排出量規制が年々厳しくなり、転がり軸受低摩擦化の技術も期待されている。当社では、小型で高荷重を受けることができ、ユニットの小型・軽量化に貢献できる円すいころ軸受において、低トルク仕様 (LFT シリーズ) の高度化を継続的に進めており、2006年にはLFT-Ⅲ¹⁾を開発して、標準品に対して損失トルク50%減 (LFT-Ⅱ²⁾比40%減)を達成している。しかし、年々厳しくなる市場の要求に対応するため、さらに低損失の新商品 (LFT-IV) の開発に取り組み、LFT-Ⅱ比最大50%以上の損失低減を達成した。以下に、この開発結果を紹介する。

2. 開発の狙い

円すいころ軸受の損失要因は大きく、①転がり粘性抵抗、②潤滑油のかくはん損失、③内輪大つば-ころ端面間のしゅう動抵抗の三つに分類される (図1)³⁾。それぞれの寄与率を図2に示す。

LFT-Ⅰでは要因③、LFT-Ⅱでは要因①、LFT-Ⅲでは要因①、②をそれぞれ低減している (表1)。

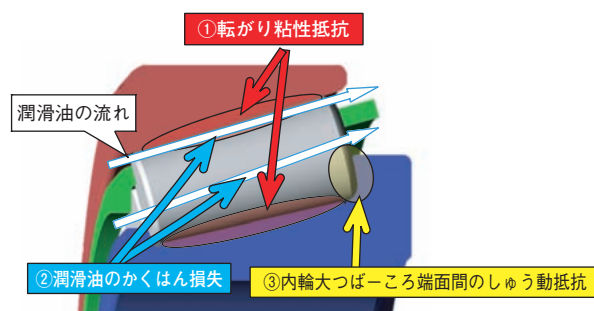


図1 円すいころ軸受トルク要因
Elements of tapered roller bearing torque

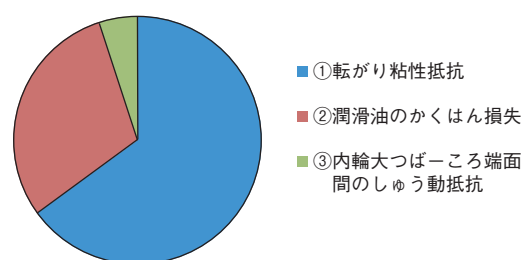


図2 円すいころ軸受の損失発生要因と寄与率
Factors contributing to friction torque and their contribution ratio

表1 低トルク円すいころ軸受のラインアップ
Low friction torque tapered roller bearings

適用技術	低減要因*1	適用有無*2			
		LFT-I	LFT-II	LFT-III	LFT-IV
内輪大つば, ころ端面粗さ形状最適化	③	○	←	←	←
軌道クラウニング	①	—	○	◎	←
内部諸元最適化	①②	—	—	○	←
潤滑油の流入制御	②	---	---	○	◎

- * 1 ① 転がり粘性抵抗
② 潤滑油のかくはん損失
③ 内輪大つば-ころ端面間のしゅう動抵抗
- * 2 ○ : 適用 ◎ : さらに改善

LFT-IIIでは潤滑油のかくはん損失(要因②)を低減するため、保持器により軸受内部に流入する潤滑油量を抑制している。さらに流入油量を抑制するためには、潤滑油の流入口である保持器小端側円環部の内輪と保持器間、および、外輪と保持器間のすきまを小さくする必要があります。しかし、すきまを小さくし過ぎると、温度変化や寸法ばらつきにより、すきまが詰まるリスクが大きくなるため、ある程度のすきまを保った上で流量を減らす必要がある。本開発では、保持器小端面の形状を変更して流入口付近の潤滑油の流れを変えることにより、「詰まらないすきま」と「流入油量の抑制」を両立させることができないか検討した。また、保持器材質は、形状面で自由度の高い樹脂を採用した。

3. CAEによる形状の適正化

近年、システムや機器の高機能化に伴い、それらに使用される製品も高度化かつ複雑化しており、従来よりも信頼性の高い製品の開発が求められている。一方、設計・

評価期間の短縮も必要であり、開発の早い段階でのCAE技術の活用が不可欠となっている。本開発においては、保持器形状の適正化にCAE技術を活用した。

本開発品のコンセプトは、保持器小端面形状の工夫により、軸受内への潤滑油流入量を減少させることである。そのためには、潤滑油の流入挙動特性を理解することが重要となる。しかし、試験のみでは十分なデータを得ることが難しいため、流体解析技術を用いることによって、流れの可視化および特性値の数値化を行い、形状改良に対する特性変化を、よりリーズナブルかつスピーディに評価することが可能となった。

解析条件を表2に示す。図3に示す寸法についてパラメータスタディを行い、流入量が最も少なくなる形状を求めた。外輪と保持器間のすきまについての流体解析結果を図4に示す。

表2 解析条件
Simulation conditions

項目	条件
回転速度	5 000min ⁻¹
潤滑油	ギヤ油
温度	80℃
その他	非圧縮, 温度一定, 乱流, 定常

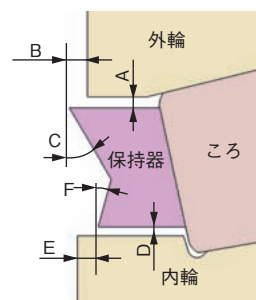


図3 パラメータスタディ
Parameter study of tapered roller bearing

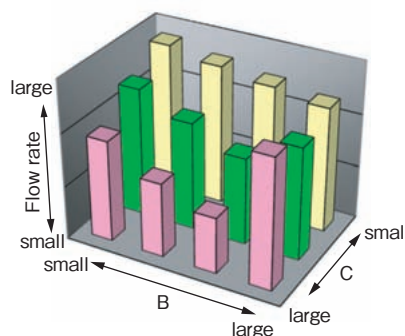
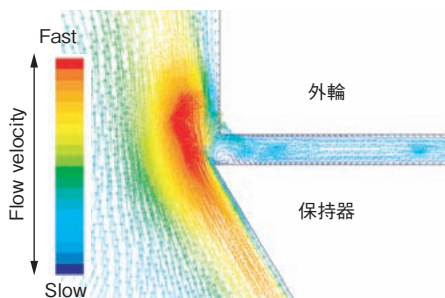


図4 速度ベクトルおよび流量

Simulated results of velocity vector and flow rate

本解析結果から、流入量を減らすには次のような形状が有利であることが分かった。

- ・内輪と保持器の位置関係において、保持器端面の方が内側に位置していること
- ・外輪と保持器の位置関係において、保持器端面の方が外側に位置していること
- ・保持器側面には、断面を「く」の字形状とするような切れ込みを設けること
- ・寸法パラメータには交互作用が認められた。また極値が存在し、大き過ぎ、または小さ過ぎると効果は小さくなる

これらの知見をもとに、保持器小端側の形状を決定した (図5)。

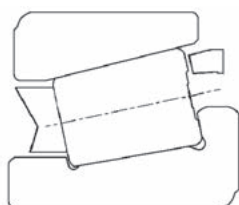


図5 流体解析によるLFT-IV適正設計形状

Optimized shape of LFT-IV by utilizing oil flow simulation

潤滑油の流入制御の効果を確認するため、貫通油量試験装置 (詳細は後述) を模擬したモデルを作成し、気液二相による潤滑油の挙動解析を実施した。解析結果を図6に示す。開発品では軸受内の潤滑油量が少なくなっており、流入油量が制限されていることが分かる。解析では、貫通油量が約95% (3 000min⁻¹) 減少するという結果となった。

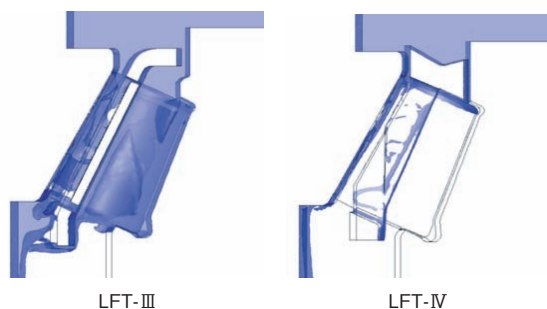


図6 潤滑油の挙動解析結果
Simulated results of dynamic oil flow

4. LFT-IVの性能

4.1 軸受貫通油量

流体解析により適正設計を行った保持器を組み込んだLFT-IVについて、貫通油量をLFT-IIIと比較測定した。表3に試験条件、図7に試験装置、図8に貫通油量測定結果を示す。LFT-IVは、LFT-IIIと比較して貫通油量の低減率が1 000 ~ 4 000min⁻¹において、87 ~ 92%であり (図8)、同じ3 000min⁻¹の回転速度では、実験値91%であり、流体解析値95%と整合していることから、流体解析で貫通油量を正確に予測することができたと言える。

表3 試験条件
Test conditions

回転速度	1 000 ~ 4 000min ⁻¹
潤滑油	ギヤ油
温度	50°C
給油方法	循環給油

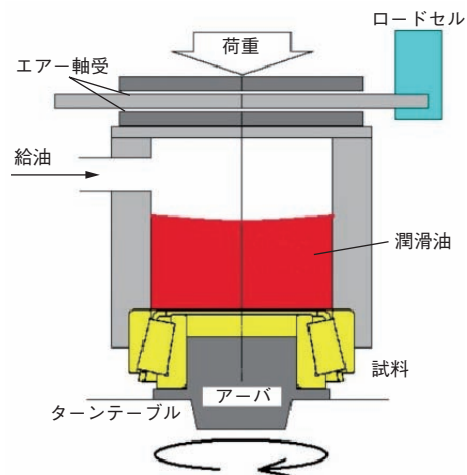


図7 試験装置
Testing equipment

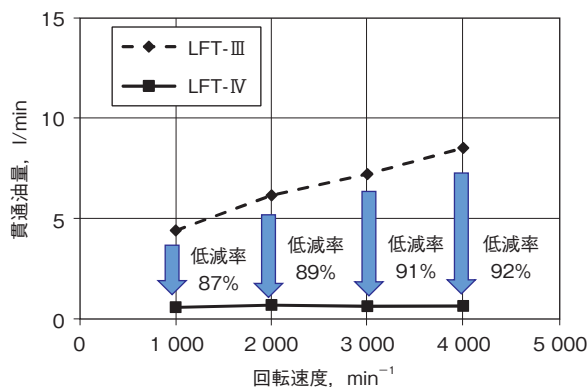


図8 貫通油量測定結果
Results of measurement of penetrated lubricant

4.2 軸受単体トルク

LFT-IVについて、回転トルクの低減効果を確認した(試験条件、試験装置は貫通油量測定と同一)。図9に軸受単体回転トルクの測定結果を示す。LFT-IVは従来品(LFT-II)と比較して回転トルクを最大50%、LFT-IIIと比較して最大30%低減できることを確認した。以上のとおり、LFT-IVは軸受を貫通する油量を抑制し、油のかくはん抵抗を減少させることで低トルク化を可能とした。

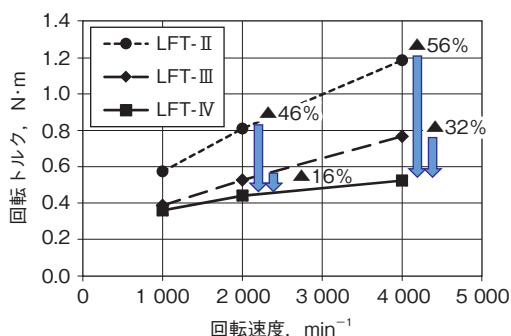


図9 トルク測定結果

Results of torque measurement

4.3 実機での効果

次に、実機での効果を確認するために、LFT-IVを乗用車用リアデファレシャルに組み込み、ピニオン軸を回転させるのに必要なトルクを測定した。表4に試験条件、図10に試験装置を示す。試験軸受をなじみ運転させた後、ピニオン軸支持部に予圧3kNで組み込んだ。ピニオンギヤとリングギヤがかみあわないようにし、ピニオン軸のみのトルクを測定した。また、別のモータでピニオンの回転速度に対応する速度でリングギヤを回転させ、デファレンシャル内部の油の流れを実機と同じ状態にした。図11に回転トルク測定結果を示す。LFT-IVを組み込んだ場合、従来品(LFT-II)よりも約50%損失低減することができる。

表4 試験条件
Test conditions

回転速度	2 000min ⁻¹
荷重	無負荷 (予圧 3.0kN)
潤滑油	ギヤ油
温度	50°C

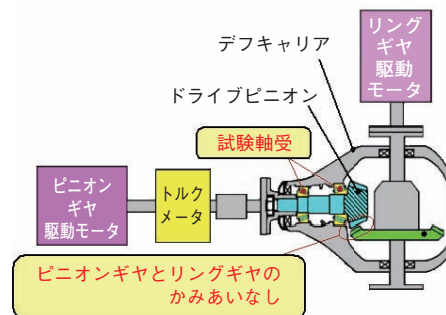


図10 試験装置
Testing equipment

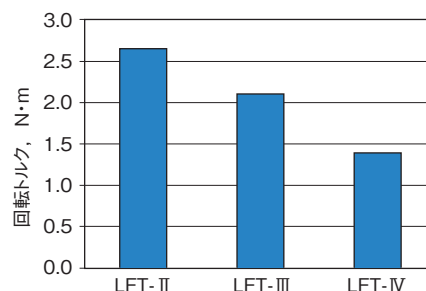


図11 ピニオントルク測定結果

Results of pinion torque measurement

5. おわりに

保持器を樹脂化し、保持器の小端側端面の油流れを制御することにより、軸受内部に流入する潤滑油量を減少させた結果、軸受の損失トルクを従来品(LFT-II)に比べ最大50%、LFT-IIIに比べ最大30%低減することができた。開発では、流体解析を用いたパラメータスタディを行うことにより、保持器の適正形状を効率よく決定することができた。

開発品は特に潤滑油量が多く、粘度の高い潤滑油が用いられているデファレンシャルのピニオン軸支持軸受で、高い損失低減効果を得ることができる。今後、ますます重要となる環境問題に貢献できる高効率新製品を、これからも開発し続けていく。

* 1 LFT は株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 浅井康夫, 大島宏之: 円すいころ軸受の低トルク化について, Koyo Engineering Journal, No. 143(1993)23.
- 2) 大島宏之: デファレンシャルピニオン用低トルク軸受, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1009(2011) 37.
- 3) 松山博樹: 転がり軸受の高効率化とトライボロジー, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1009(2011) 108.

筆者



岡本大輔*
D. OKAMOTO



鈴木章之**
A. SUZUKI



合田友之*
T. AIDA



内藤光一郎*
K. NAITO

* 軸受事業本部 実験解析部
** 軸受事業本部 軸受技術部