

ドライブピニオン支持用超低トルク円すいころ軸受の開発

Development of Super-low Friction Torque Tapered Roller Bearings for Drive Pinion Axle

上村篤司 A. UEMURA 鈴木章之 A. SUZUKI 尾野賢一 K. ONO 坂元和樹 K. SAKAMOTO
前田高弘 T. MAEDA 松山博樹 H. MATSUYAMA

The effects of internal geometry and oil flow in the tapered roller bearings on the friction torque were elucidated, and the study led to development of a new design system that helped to realize such a super low torque bearing as 80% lower than the conventional standard bearing. The optimum designed tapered roller bearing for differential pinions would enable significant reduction of the bearing torque. It has also been confirmed that the new low torque bearings are satisfactory in terms of anti-seizure performance and service life.

Key Words: tapered roller bearing, tribology, differential gear, friction torque

1. はじめに

自動車の燃費向上はCO₂や有害物質の排出量削減に直接つながるため、地球環境の保護の観点から特に重要な課題とされている。そのため各車種メーカーとユニットメーカーではエンジン本体の改善と合わせて駆動系ユニット(トランスミッション、ディファレンシャルなど)の効率向上(損失低減)の取組みがなされている。駆動系ユニットではギヤを組み込んだ軸を支持するために剛性の高い円すいころ軸受が使われることが多く、それらのトルク低減が強く望まれている。これにこたえて、円すいころ軸受の内部諸元および軸受内部の油の流れがトルクに及ぼす影響を明らかにする研究や標準の円すいころ軸受に対して約80%のトルクを低減させるトルク低減化技術の開発など当社も全力をあげて取り組んでいる¹⁾²⁾。本報ではこの開発技術の一部を実際のディファレンシャルのドライブピニオン(以下ピニオンと称す)を支持する円すいころ軸受に適用して得られた軸受性能確認結果について紹介する。

2. ディファレンシャルにおける低トルク化の考え方

当社ではこれまで軸受内部諸元の一部の改善を図ることによって表1に示す低トルク円すいころ軸受シリーズ(LFT I, II³⁾⁴⁾)を市場に提供してきた。円すいころ軸受の設計諸元がトルクに与える影響をまとめると下記のようなになる。

- ころ長さを短くするとトルクは減少する。
- ころ数を減らすとトルクは減少する。

- 外輪接触角を大きくするとトルクは減少する。
- ころPCDを小さくするとトルクは減少する。
- 軌道クラウニング半径を小さくするとトルクは減少する。
- 保持器と内輪小つばのすきまを縮小することによって、軸受内部への油の流入が抑制されかくはん抵抗が低下する。

表1 当社製円すいころ軸受の低トルク化
History of torque reduction Koyo TRBs

改良内容	標準	LFT I	LFT II	今回開発品
内輪大つば, ころ大端の粗さ形状	-			
軌道クラウニング	-	-		
内部設計諸元最適化	-	-	-	
油の流入抑制	-	-	-	

LFT: Low Frictional Torque (: 変更点)

図1にディファレンシャルのドライブピニオン部の構造を示す。一般に、ピニオンのヘッド側軸受はヘッド側とテール側の両軸受間に充満した油に加えて、リングギヤから直接はねかけられる油でも潤滑されるので、オイル過多の状態となる。一方、テール側軸受はディファレンシャルが、あるノーズ角をもって取り付けられるため、低温始動時にオイルが供給されにくく、焼付き発生が懸念される。そのため図2に示すように、ヘッド側軸受に油の流入抑制機構を設けることによって、ヘッド側軸受のかくはん抵抗を低減させるだけでなく、テール側軸受への供給油量を増加させて耐

焼付き性を向上させることが期待できる²⁾。

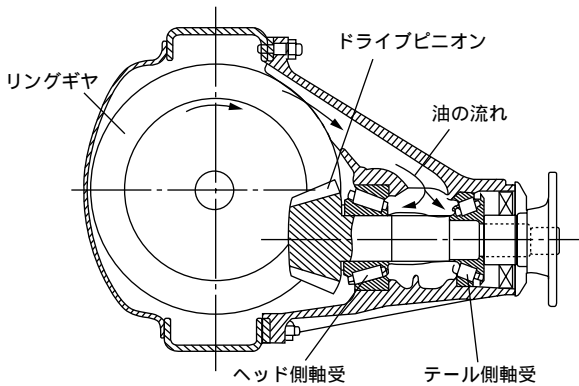


図1 ディファレンシャルのドライブピニオン支持部構造

Structure of differential drive pinion axle

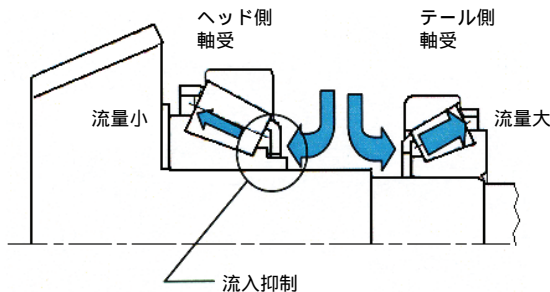


図2 ヘッド側軸受への油の流入抑制構造

Interference structure of oil-flow into pinion head bearing

このような使用環境を考慮し、ピニオン用低トルク円すいころ軸受を開発した。表2に開発品の従来LFT IIからの変更点を示す。ここで表2の要因変更点は図3に対応している。また今回、軸受主寸法(内径、外径、組み幅)は変更していない。

表2 開発品の従来LFT II品からの変更点(:変更点)

Changes incorporated in developed bearing from baseline LFT II bearing (:changed)

要因	ヘッド側	テール側
ころ長さLWR		
ころ数Z		
外輪接触角		
ころPCDdm	-	-
軌道クラウニング半径RCo, Rci		
保持器~内輪間すきま縮小		-

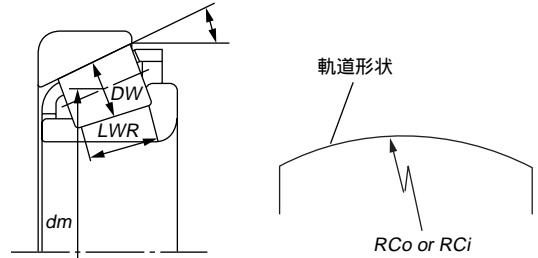


図3 円すいころ軸受の内部設計諸元

Internal geometry of TRB

3. 軸受単体性能評価結果

3.1 トルク低減効果確認結果

表3に示す条件と図4に示す試験装置を用いて、軸受単体のトルク測定を行った。試料軸受にアキシャル荷重を負荷した後に内輪を所定の速度で回転させる。この時、試料軸受を貫通する油と同じ流量の油を供給することによって油面高さが維持される。試料軸受のトルクは空気軸受によって支持された外輪に作用するモーメントをロードセルで測定することによって得られる。

表3 軸受単体でのトルク測定条件

Torque measurement conditions for single bearing

回転速度, min^{-1}	1 000, 2 000, 4 000
アキシャル荷重	軸受予圧相当
潤滑油	ギヤ油
油温,	50
潤滑	軸受上面が潤滑油で充満

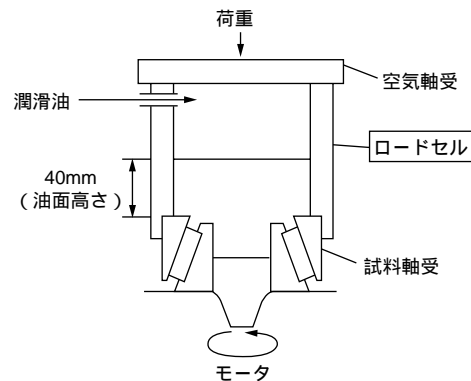


図4 軸受単体トルク測定装置概略図

Torque measurement equipment for single bearing

図5にヘッド側軸受のトルク測定結果を示す。2 000 min^{-1} の時に開発品は従来の低トルク軸受であるLFT IIと比較して40%のトルクの低減が確認された。

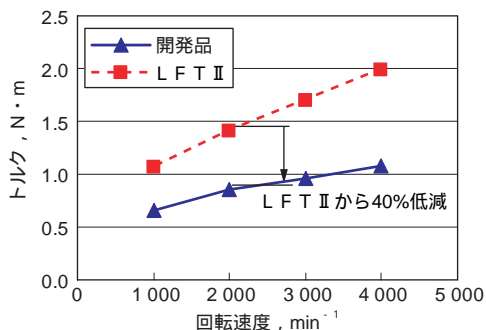


図5 ヘッド側軸受単体トルク測定結果
Measured torque of pinion head bearing

図6にテール側軸受のトルク測定結果を示す。2 000min⁻¹の時に開発品はLFT IIと比較して15%のトルク低減を示した。表2で示したようにテール側軸受には保持器と内輪間のすきま縮小による軸受内部への油流入抑制が織り込まれていないためヘッド側軸受よりもかっはん抵抗の減少割合が少なくトルクの低減効果が小さくなったものとする。

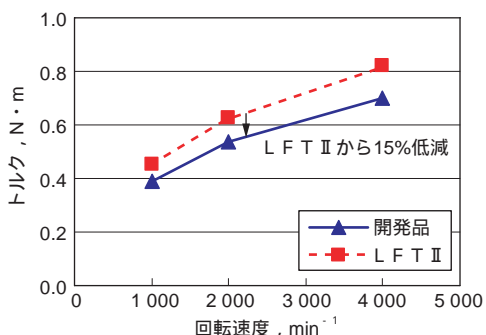


図6 テール側軸受単体トルク測定結果
Measured torque of pinion tail bearing

3.2 耐焼付き性評価結果

実際のディファレンシャルでは冷間始動時や急旋回時にごく短時間であるがピニオン部への潤滑油供給量が極端に減少する場合もあるため、耐焼付き性能が重要となる。そこで表5に示す条件で、耐焼付き性の確認を行った。試験装置の概略を図7に示す。焼付きの検知は試料軸受を駆動するモータの電流値の上昇により行った。

表5 焼付き試験条件
Seizure test conditions

回転速度, min ⁻¹	6 000
アキシャル荷重	軸受予圧×1.3
潤滑油	ギヤ油を塗布
試験時間, min	焼付き発生まで

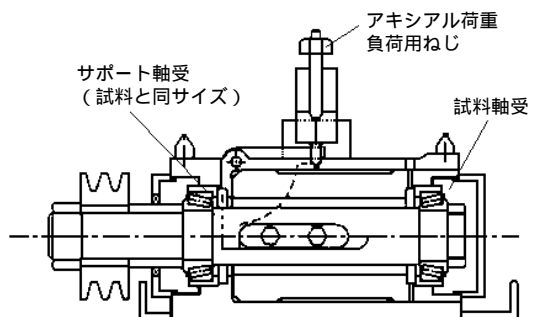


図7 焼付き試験装置概略図
Schematic of seizure test equipment

図8に試験結果を示す。開発品は潤滑油の供給されにくいテール側軸受で4分以上の焼付き時間を有しており、実際にはそれまでに潤滑油が供給されるので実用上問題ないとする。

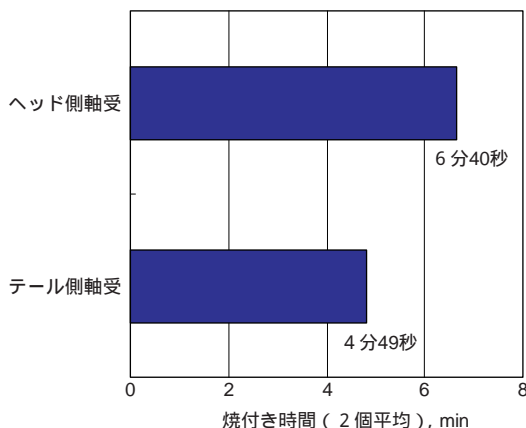


図8 焼付き試験結果
Seizure test result

3.3 異物油中寿命評価結果

実際のディファレンシャルでは運転中に生じるギヤなどの摩耗粉が潤滑油中に混入することから異物油中での軸受寿命が問題となる。そこで表6に示す条件により、異物油中寿命の比較を行った。図9に試験装置の概略図を示す。

表6 異物油中寿命試験条件

Life test conditions in contaminated lubrication

回転速度, min ⁻¹	2 000
等価ラジアル荷重	0.35×C(ヘッド側) 0.45×C(テール側) ラジアル荷重:アキシャル荷重=1:1
潤滑油	ギヤ油
異物濃度, wt%	0.2
油温,	70
油量	軸中心レベル

C: LFT II品の動定格荷重

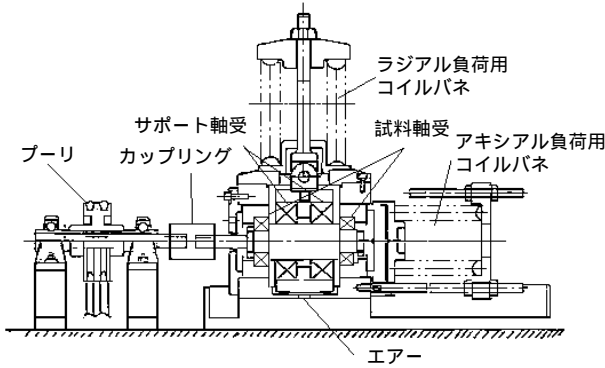


図9 寿命試験装置概略図
Schematic of life test equipment

図10に試験結果を示す。ヘッド側，テール側ともに開発品はLFT IIと同等の寿命を有することが確認された。

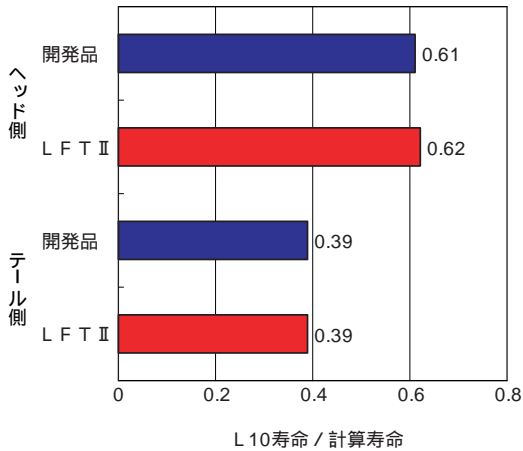


図10 異物油中寿命試験結果
Life test result in contaminated lubrication

4. 実際のディファレンシャルでのトルク低減効果

開発品を実際のディファレンシャルのピニオン部に組み込み、表7に示す条件でトルクを測定した。図11に試験装置の概略図を示す。トルクメータを介してピニオン部をモータで回転させ、トルクを測定する。ピニオン部のみのトルクを測定するためにピニオンギヤとリングギヤのかみあいが無い状態とした。また、リングギヤにより潤滑油をかき上げてピニオン部に供給する必要があるため、リングギヤは別に取り付けたモータでディファレンシャルギヤ比分だけ減速して回転させた。

表7 ディファレンシャル状態でのトルク測定条件
Conditions for torque measurement of bearing assembled in differential

回転速度, min^{-1}	1 000, 2 000, 4 000
アキシアル荷重	軸受予圧のみ
潤滑油	ギヤ油
油温,	50

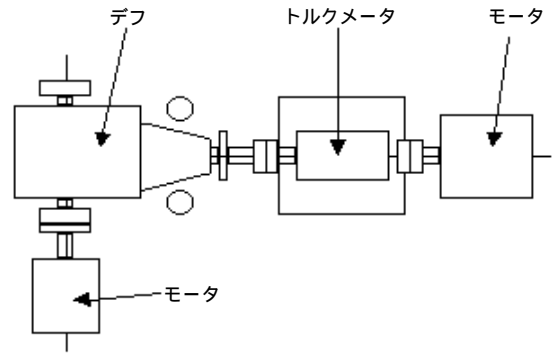


図11 ディファレンシャルでのトルク測定概略図
Schematic of torque measurement of bearing assembled in differential

図12に測定結果を示す。2 000 min^{-1} 時においてLFT IIに対し20%のトルク低減が認められた。このトルク低減量は軸受単体のトルク低減量と良い一致を示した。

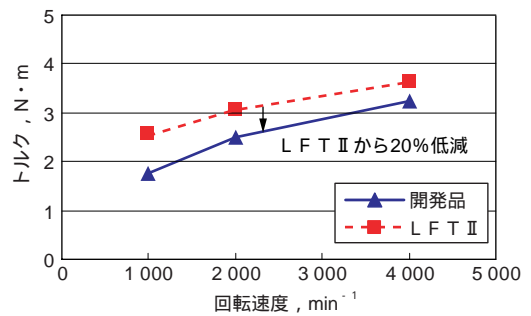


図12 ディファレンシャルピニオン部トルク測定結果
Result of torque measurement of bearing assembled in differential

5. おわりに

開発された超低トルク化技術の一部を実際のディファレンシャルのピニオン部円すいころ軸受に適用した結果、以下の性能向上が認められた。

- 1) 軸受単体のトルクはL F T IIに対し 2000min^{-1} 時にヘッド側で40%、テール側で15%低減された。
- 2) 開発品を実際のディファレンシャルのピニオン部に組み込み、トルクを測定した。その結果、L F T IIに対し20%のトルク低減が確認された。このトルク低減量は軸受単体での低減量と良い一致を示した。
- 3) 開発品は潤滑油の供給が乏しいテール側で4分以上の焼付き時間を有しており実用上の問題にはならないと考えられる。
- 4) 開発品の異物油中寿命はL F T IIと同等であった。また、軸受音響値、沈み込み性能、アキシャル剛性、予圧抜け性能、内輪つば強度についても評価を実施したが、全てL F T IIと比較して同等であり、問題無いことを確認済みである。

本報で報告した軸受よりさらに軸受全体の最適化を進めた軸受を開発中であり、超低トルク化技術で報告したトルク低減率に近い効果が期待される。また、今後はそれをさまざまなアプリケーションに適用することによって、機械装置の効率を向上させ、地球環境保護に貢献していきたいと考える。

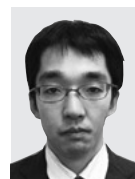
参考文献

- 1) 松山博樹, 百々路博文, 荻野 清, 大島宏之, 千葉博行, 戸田一寿: Koyo Engineering Journal no. 167(2005) 24.
- 2) 千葉博行, 松山博樹, 荻野 清, 大島博行, 百々路博文: 社団法人 自動車技術会 学術講演会前刷集 no. 92-04 (2004) 9.
- 3) 竹内正道: Koyo Engineering Journal no. 127 (1985) 52.
- 4) 浅井康夫, 大島宏之: Koyo Engineering Journal no. 143 (1993) 23.

筆 者



上村篤司*
A. UEMURA



鈴木章之*
A. SUZUKI



尾野賢一*
K. ONO



坂元和樹**
K. SAKAMOTO



前田高弘**
T. MAEDA



松山博樹***
H. MATSUYAMA

* 軸受事業本部 中部テクニカルセンター

** 軸受事業本部 解析技術部

*** 総合技術研究所 基礎技術研究部