

低トルクスラスト針状ころ軸受の開発

Development of Low-Friction-Torque Thrust Needle Roller Bearing

高見澤 渉 W. TAKAMIZAWA 外山 正基 M. TOYAMA
佐藤 寛 H. SATO 中島 義仁 Y. NAKASHIMA

Automobile-related environmental laws and regulations are being made severer year by year for the purpose of preventing global warming. While the development of technology to increase efficiency and reduce CO₂ emissions has been pursued by automakers, the efficiency of thrust needle roller bearings, more than 10 of which are generally used in one automatic transmission unit, must also be improved. JTEKT, focusing on friction drag between the cage and roller, has developed a low-friction-torque thrust needle roller bearing based on the results of torque factor analysis. An approximately 60% reduction of friction torque has been realized.

Key Words: thrust needle roller bearing, low friction torque, automatic transmission

1. はじめに

産業革命以降、大きく拡大した経済活動によって、化石燃料の消費から発生するCO₂の大気中濃度が急激に上昇し、その温室効果による地球温暖化への懸念から、1990年代に入るとCO₂排出抑制が世界全体で取り組むべき大きな課題となった。自動車関連の環境規制は年々厳しさを増しており、さらには近年の石油高騰に伴い、自動車の低燃費化への取組みも加速している。CO₂排出量削減のための低燃費化を目的とした高効率化技術開発が自動車メーカー各社で行われている中、駆動系ユニットにおける高効率化への要求が高まっており、自動変速機（図1）1台に平均10個程度使用されているスラスト針状ころ軸受（図2）の高効率化も大きな課題の一つとなっている。

本報では、これらの要求にこたえるために低トルクスラスト針状ころ軸受を開発し、その開発結果を紹介する。

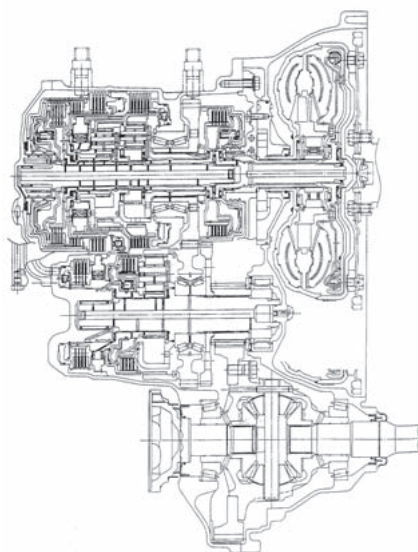


図1 自動変速機の構造¹⁾
Structure of automatic transmission



図2 スラスト針状ころ軸受
Thrust needle roller bearing

2. スラスト針状ころ軸受の回転トルク

スラスト針状ころ軸受は、ころ、保持器および軌道面となるレースで構成されている (図3)。回転トルクの要因として、ころとレースの転がり摩擦、保持器ところ、保持器とレースの摩擦抵抗が挙げられる。具体的には、ころとレースの転がり粘性抵抗 (M1) とすべり摩擦抵抗 (M2)、保持器すべり摩擦抵抗 (MC)、潤滑剤によるかくはん抵抗 (ME) の4つに分けられる (図4)。

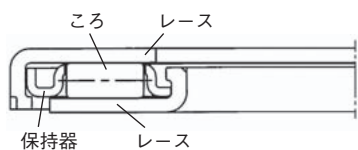


図3 スラスト針状ころ軸受の構造
Structure of thrust needle roller bearing

2.1 ころとレースとの回転トルク

スラスト針状ころ軸受では、ころの転がり速度やレースとの相対的なすべり速度がころ1本中の位置により異なる。特に軸受の回転運動が成立するためにはすべり運動の存在が不可避であり、このことがスラスト針状ころ軸受の回転トルクを比較的大きくしている。上下レースが角速度 $\omega_0/2$ で相対回転し、半径 r のころが角速度 ω_r で自転し、ころの軸方向の回転中心からの位置を Y_i 、ピッチ円位置を Y_m 、ピッチ円上でころ速度とレー

ス速度は等しいとすると、速度の関係は以下のように表される (図5)。

$$\text{レースの速度 } u_p = \omega_0 (Y_i/2)$$

$$\text{ころの速度 } u_r = \omega_r \cdot r = \omega_0 (Y_m/2)$$

$$\text{転がり速度 } U_R = (u_r + u_p)/2 = (\omega_0/4) (Y_m + Y_i),$$

$$\text{すべり速度 } U_S = u_r - u_p = (\omega_0/2) (Y_m - Y_i)$$

したがって、ころがレースとの間で運動する際に生じる回転トルク M は、ころの単位長さ (ΔL) あたりの転がり粘性抵抗 (F_R) に回転半径 (Y_i) を乗じたものの総和 (M_1) と、同様のすべり摩擦抵抗 (F_S) の総和 (M_2) との和となり、弾性流体潤滑理論 (EHL) を適用して以下のように表される。

$$M = M_1 + M_2 = 2N \cdot \left[\sum_{i=1}^{i=N} F_R \cdot Y_i + \sum_{i=1}^{i=N} F_S \cdot Y_i \right]$$

N : ころ本数

$$F_R : \text{転がり粘性抵抗} = \Delta L \int_{-\infty}^b h \cdot p \cdot dx$$

F_S : すべり摩擦抵抗

$$= \Delta L \int_{-b}^b \frac{\eta}{h} dx + \mu_0 \cdot Q_i \cdot \exp(-A \cdot \Lambda^B)$$

p : 接触面圧, b : 接触半幅, h : 油膜厚さ, η : 潤滑油粘度, Q_i : 単位接触荷重, μ_0 : クーロン摩擦係数, Λ : 油膜パラメータ, A : 係数, B : 指数

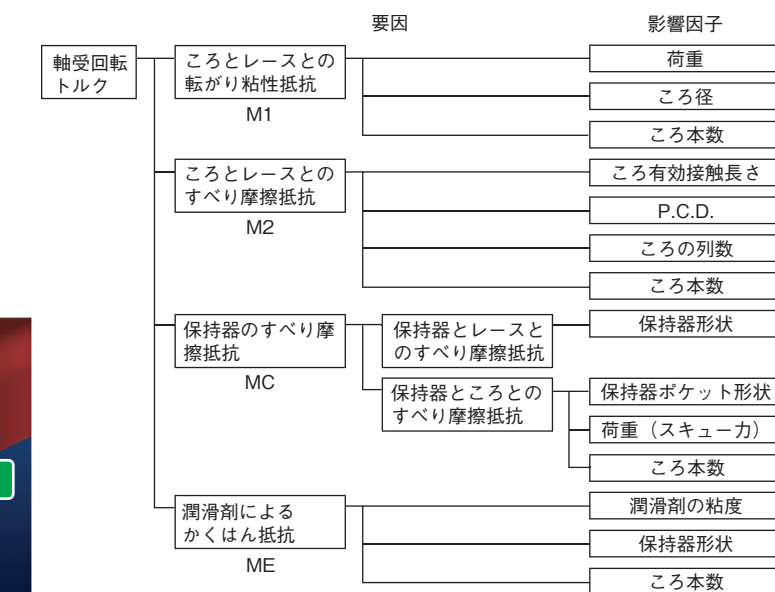
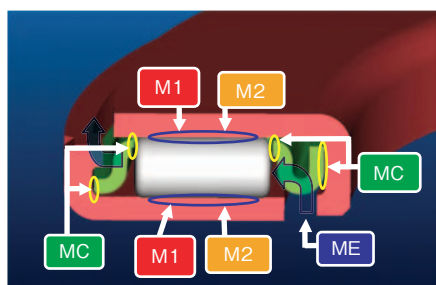


図4 回転トルク要因と影響因子
Factors of friction torque

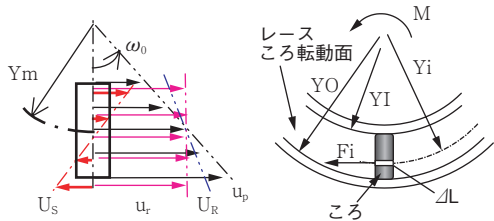


図5 ころとレースの関係
Roller and race

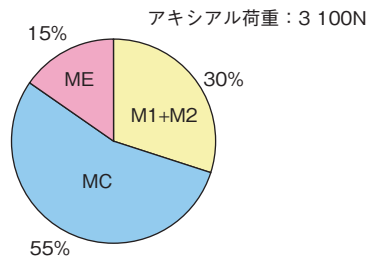


図7 トルク発生要因と寄与率
Factors contributing to friction torque

2.2 その他のトルクと寄与度

保持器のすべり摩擦抵抗 (MC) や潤滑剤によるかくな抵抗 (ME) を理論的に解析することは、要因が多く関係が複雑であるため困難である。そこで、表1に示す諸元の軸受を用いて、潤滑剤塗布状態として潤滑剤によるかくな抵抗の影響である ME 項をほぼ無視出来るレベルまで低減させて回転トルクを測定し、前節で得られた M1, M2 項の値を用いて各トルクの寄与度を求めた。その結果を図6, 図7に示す。

表1 試料諸元
Bearing design factors

| 項目 | 内容 | |
|---------------------------|--------|------------|
| 動定格荷重 : C | 15.5kN | |
| 静定格荷重 : C _{0new} | 81.7kN | |
| 転がり PCD : D _m | 52.2mm | |
| ころ | サイズ | φ2 × 4.4mm |
| | 本数 | 48本 |

図7より、回転トルクに占める割合は MC 項が最も大きいことが分かる。図8に通常使用後の保持器ポケットの当たり状況を示すが、ポケット端面の広範囲で常にしゅう動をしていることが認められるため、MC 項の低減のためには保持器ポケット端面との当たり状況の改善などが必要と考えられる。

MC 項に影響する因子としては、保持器形状、保持器ポケット形状、スキュー力が挙げられるが、これらを最適化し、保持器ところのすべり摩擦抵抗低減を低トルク化の着眼点とした。

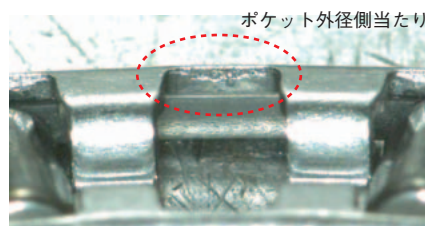


図8 保持器ポケット外径側の当たり
Sliding between cage and roller

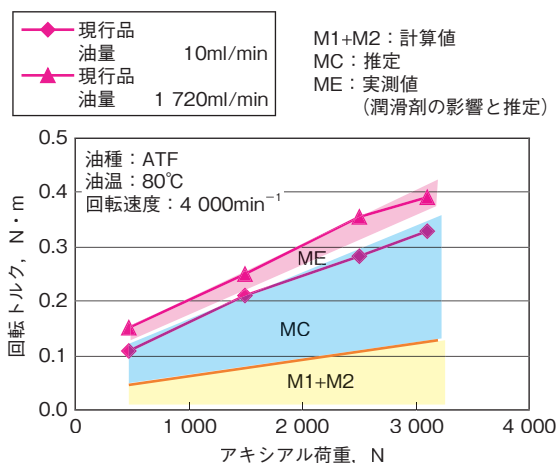




図6 各トルクとアキシャル荷重の関係
Relationship between axial load and friction torque factors

3. 軸受の設計 (MC項低減を狙った保持器検討)

3.1 保持器仕様

スラスト針状ころ軸受の保持器には2枚保持器仕様と1枚保持器仕様の2種類がある。2枚保持器仕様ではころ本数が多く出来ることから負荷容量的に優位であり、1枚保持器仕様では部品点数が少ないことからコスト、軽量化、潤滑剤の貫通能力向上による高速性などに優位である(表2)。スラスト針状ころ軸受の低トルク化に向け、コストを含め全体的に優位である1枚保持器をもとに開発を行なった。

表2 保持器仕様
Kinds of cages

| | 1枚保持器 | 2枚保持器 |
|-----|---|---|
| 概略図 |  |  |
| コスト | ○ | △ |
| トルク | ○ | △ |
| 軽量 | ○ | △ |
| 高容量 | ○ | ◎ |
| 高速性 | ○ | △ |

3.2 低トルク化を狙った保持器設計

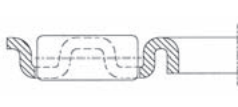

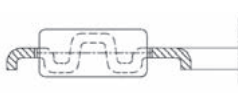
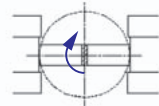
スラスト針状ころ軸受では、ころの公転による遠心力およびスキューの作用でころが外径側に押し付けられる状態となる。現行の保持器形状では、ころ端面と保持器ポケット端面との接触位置がころ回転中心(転がり中心)よりオフセットされた位置となり、ころの転がりに対するころ端面のしゅう動抵抗が大きいことが MC 項の大きな要因と考えられる。

開発品では MC 項低減に向けてころ端面と保持器ポケット端面とのしゅう動抵抗に着目し、ころ端面の周速が小さい領域(ころの回転中心付近)にて保持器ポケット端面と接触させる構造とした。

具体的な構造としては、現行の保持器断面形状を変更しポケット端面に凸部を設け、保持器ポケット端面ところ端面の接触位置をころの回転中心近傍での接触とした。また、安定した転がり中心近傍での接触を図るため、保持器剛性を考慮した保持器を設計した(表3, 図9)。

本仕様に対してころ端面 R 形状化でも同様に保持器ポケット端面との接触位置を回転中心近傍での接触とすることが可能となるが、軸受負荷容量の低下およびコストアップの要因となる。開発品ではコスト増につながるころ端面 R 形状化は採用せず、軸受性能の低下がなく、コストメリットが大きい端面フラット形状のころを採用した。さらには保持器ポケット形状の変更はプレス工程を工夫し、現行の1枚保持器加工工程に吸収することにより工程数を増やさず、コストを現行1枚保持器仕様と同等レベルに抑えた。

表3 保持器ところの当たりの違い
Difference of contact between cage and roller

| | 断面図 | 保持器ところの当たり |
|--------------|--|---|
| 現行品 1枚保持器 |  |  |
| 開発品 1枚保持器 |  |  |

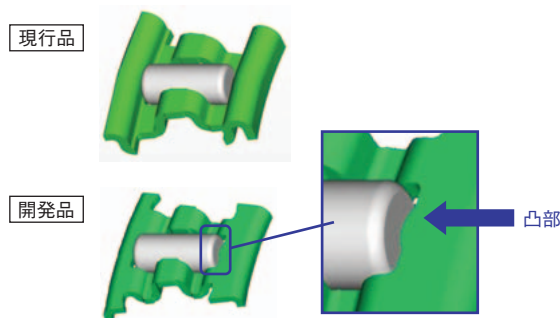


図9 保持器ポケット形状
Shape of cage pocket

4. 軸受の性能評価結果

4.1 トルク性能評価結果

開発品の回転トルクを、荷重、回転速度、油量を変化させて測定した結果、現行品と比較して約 50 ~ 70% 程度の低減効果が確認された。トルク測定結果を以下に示す(図10, 図11)。

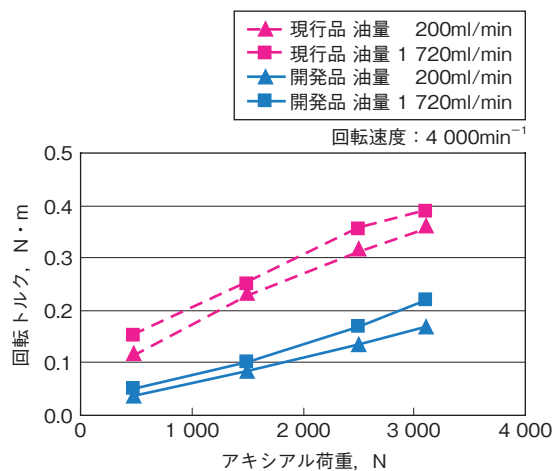


図10 アキシャル荷重と回転トルク
Relationship between axial load and friction torque

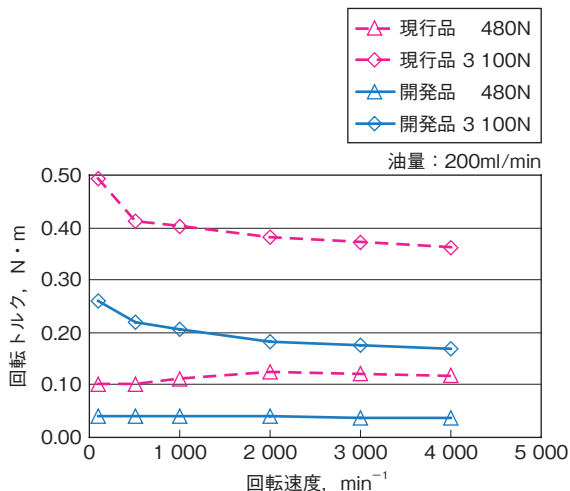


図11 回転速度と回転トルク

Relationship between rotational speed and friction torque

4.2 耐久評価結果

軸受性能および保持器耐久性の確認のために軸受寿命試験を実施した結果を図12、図13に示す。軸受寿命は現行品と同等以上であり、試験後においても保持器破損、異常摩耗は認められなかった。

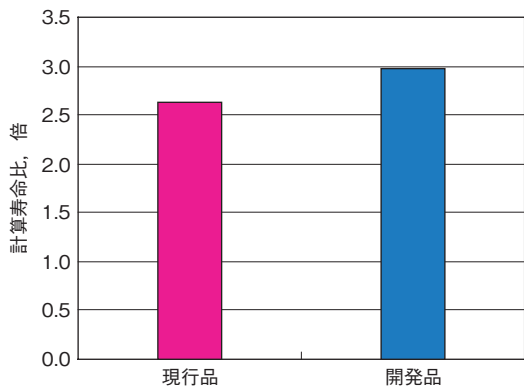


図12 寿命試験結果

Results of life test

摩耗は認められない

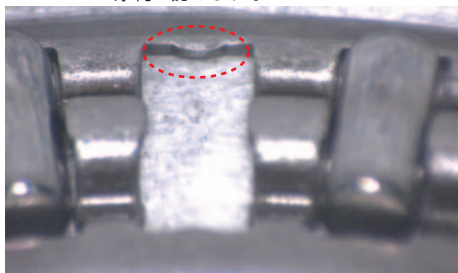


図13 試験後の保持器ポケット端面

Appearance of cage pocket after life test

5. おわりに

軸受性能を低下させることなく、トルク低減効果を有したスラスト針状ころ軸受の開発結果を紹介した。世界規模で環境問題への取組みが加速している中、自動車メーカーでは高効率化 (CO₂削減) に取り組んでおり、軸受に対してもより一層の高効率化技術が必要とされると予想される。軸受への必要油量の明確化による自動変速機ユニットのオイルレベル低減 (オイルのかくはん抵抗低減) や軸受の長寿命化処理によるコンパクト化技術を開発することにより、ユニット視点での更なる高効率化技術で将来的な環境問題などに貢献し続けたい。

参考文献

- 1) SAE SP-1655: Transmission and Driveline Systems Symposium 2002(2002)218.

筆者



高見澤 渉*

W. TAKAMIZAWA



外山正基*

M. TOYAMA



佐藤 寛*

H. SATO



中島義仁**

Y. NAKASHIMA

* 軸受事業本部 自動車軸受技術部

** 軸受事業本部 中部テクニカルセンター