

# トランスミッション用シール付転がり軸受の低フリクション化技術

## Low Friction Technology of Sealed Ball Bearings for Transmission

NTN 株式会社（正）\*水貝 智洋 （正）佐々木 克明 （正）和久田 貴裕

Tomohiro Sugai, Katsuaki Sasaki, Takahiro Wakuda

NTN Corporation

### 1. はじめに

CO<sub>2</sub> 排出量削減に向け、自動車のトランスミッション用軸受には、長寿命に加え更なる低トルク化が求められている。加えて、高速モータを用いた車両電動化の要求により、減速機用軸受には高速化への対応も求められている。

トランスミッション内の潤滑油にはギア摩耗粉などの異物が存在し、これが軸受の寿命低下を招く恐れがあるため、①接触シールを用いて異物侵入を防ぐ、②異物寿命に効果的な特殊熱処理を施すなどの対策がなされる。しかし、①はシールによる回転トルクの増加が避けられなく、かつ、高速回転下ではシールの適用限界速度を超えては利用できない。また、②は異物がない環境に比べると寿命低下が避けられない。

これらの課題に応えるため、上記①に対して、接触シールの摺動面に半円筒状微小突起を設けることにより、異物混入油中でも十分な寿命を確保しつつ、回転トルクを低減する技術を開発した<sup>1)</sup>。本報では、自動車の省燃費化に貢献でき、車両電動化に伴う高速化の要求にも応えることができるトランスミッション及び減速機用シール付転がり軸受の低フリクション化技術について報告する。

### 2. 本技術の特徴

従来の接触シールはシール摺動面と内輪が接触し、実使用速度域では十分な油膜は形成されないことから、シールの引き摺り抵抗トルクが比較的大きい。これに対し、本技術では、シール摺動面に Fig.1 に示す半円筒状微小突起を設けるため、油潤滑下のシールと内輪間には、くさび膜効果が生じる。これにより、実回転域では流体潤滑状態になり、接触シールでありながら非接触シールと同等の低トルク性を達成できる。加えて、本シールはシール接触部の摺動による発熱量が低下するため、従来接触シールに比べ 2 倍以上の周速下でも使用できる。

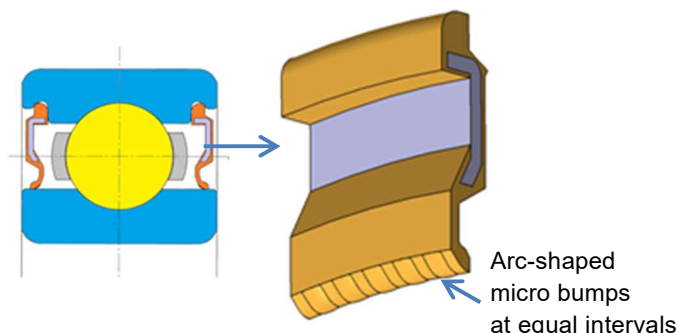


Fig. 1 Outline of a developed seal

### 3. 突起仕様の設計

シールリップと軸受内輪間の油膜厚さ及びシールの回転トルクは、突起数及び突起半径によって変化する。そこで、油膜圧力とシールの変形とを連成させて解くソフト EHL 解析により、油膜厚さ及びシールトルクを計算し、低トルクとなる最適な突起仕様を探索した。なお、シールトルクの計算では、シールリップ摺動面と内輪との間は油膜により十分に隔てられている場合を想定し、潤滑油のせん断抵抗によるトルクを考慮した。開発シールの仕様及び解析条件を Table 1 に示す。微小突起の高さは、潤滑油中の異物粒径と軸受寿命との関係に基づき、寿命に大きな影響を及ぼすサイズの異物の侵入を遮断できる大きさとした。

Figure 2 に計算結果の一例を示す。シールリップ摺動面を内輪側から見た図で、油膜圧力分布を示している。突起部で最大 0.22 MPa 程度の圧力が発生し、トルクは約 0.01 Nm、最小油膜厚さは約 1  $\mu$ m であった。摺動面の合成粗さは、Rq 0.22  $\mu$ m 程度であり、粗さと比較して十分な油膜が形成されており、流体潤滑状態である。

Table 1 Properties and conditions

Seal material	ACM
Outer diameter of inner ring, mm	64
Bump radius, mm	1.5
Bump height, $\mu$ m	40
Number of bumps	180
Oil viscosity (40 $^{\circ}$ C), mm <sup>2</sup> /s	26
Rotational speed, min <sup>-1</sup>	1,500

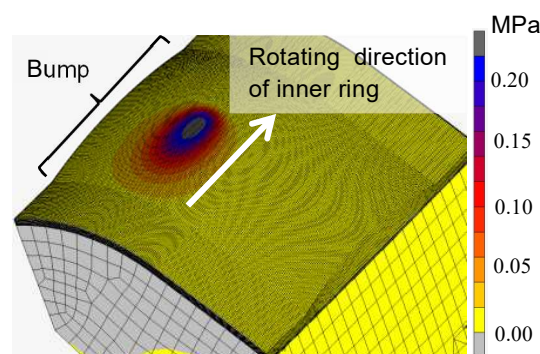


Fig.2 Calculation result of oil film pressure distribution

### 4. 回転トルク

軸受温度を変えて、軸受のトルクを測定した。試験条件を Table 2 に示す。開発シール付軸受の測定結果に加え

て、突起のない従来の接触シールおよび非接触シール付軸受の測定結果を Fig. 3 に示す。

開発シール付軸受のトルクは、従来の接触シール付軸受に対し 60～80 %低減し、非接触シール付軸受と同等である。従来の接触シールでは、流体潤滑状態または固体接触を伴う混合潤滑状態と考えられているが<sup>2)</sup>、流体潤滑状態であっても十分な厚さの油膜の形成は期待できず、せん断抵抗は大きいと考える。一方、突起付シールでは突起部で十分な油膜が形成され流体潤滑状態となったこと、及び、非突起部の摺動面間距離が増加したことにより、トルクが低減したと推測する。

## 5. 軸受寿命

トランスミッション内を想定した異物混入潤滑下の軸受寿命試験の試験条件を Table 3、試験結果を Fig.4 に示す。開発シールの突起高さが低いため、軸受内への有害異物侵入を抑制でき、開発品全サンプルにおいて、計算寿命 ( $L_{10}$ : 76.3 h) の 10 倍の時間まで運転できた。開発品の軸受寿命  $L_{10}$  は特殊熱処理（シール未装着）品の 5 倍以上である。また、微小突起に顕著なゴム摩耗は認められず、低トルク性も維持した。

Table 3 Test conditions of bearing life

Bearing type	Equivalent to 6010
Radial load	0.33 C (C: Dynamic load rating)
Lubrication	CVTF
Rotational speed, min <sup>-1</sup>	2,000
Bearing temperature, °C	120
Contamination	Steel beads 0.15 g/l 0 ~ 50 µm 97 wt% 50 ~ 100 µm 3 wt%

## 6. 高速性

シール摺動部の周速が 50 m/s となる 15,000 min<sup>-1</sup> で内輪を回転させ軸受温度を測定した。試験条件を Table 4、温度履歴を Fig.5 に示す。30 h の運転中において軸受温度の異常な上昇はなく、また、微小突起に顕著なゴム摩耗も認められなかった。

Table 4 Conditions of high speed endurance test

Bearing type	Equivalent to 6010
Radial load	0.05 C (C: Dynamic load rating)
Lubrication	CVTF 70 °C
Peripheral speed, m/s	50
Test time, h	30

## 7. おわりに

自動車の省燃費化に貢献できるトランスミッション用シール付転がり軸受の低フリクション化技術を開発した。シールの摺動面に半円筒状微小突起を設けることにより、油潤滑下でシール摺動面と内輪間にくさび膜効果による流体膜を発生させ、接触シールでありながら回転トルクを従来の接触シール品比で 80 %低減し、非接触シールと同等にした。また、従来の特殊熱処理軸受に比べ 5 倍の寿命を有するため、信頼性が向上し、軸受サイズの小型化、また自動車の軽量化に貢献できる。さらに、従来の接触シール付軸受に比べ 2 倍以上の周速で使用できるため、車両電動化に伴う高速化の要求にも応えることができる。

## 文献

- 1) 佐々木・和久田・水貝: トランスミッション用超低フリクションシール付玉軸受, NTN Technical Review, 85, (2017) 62.
- 2) 水田: 回転用オイルシールの潤滑機構の解明と摩擦低減に関する研究, 博士論文 (2013)

Table 2 Test conditions of bearing torque

Bearing type	Equivalent to 6010
Radial load	0.05 C (C: Dynamic load rating)
Lubrication	CVTF
Rotational speed, min <sup>-1</sup>	1,500
Bearing temperature, °C	35 ~ 120

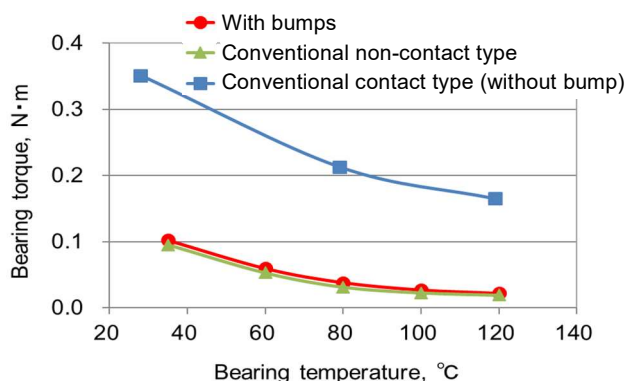


Fig.3 Experimental results of bearing torque

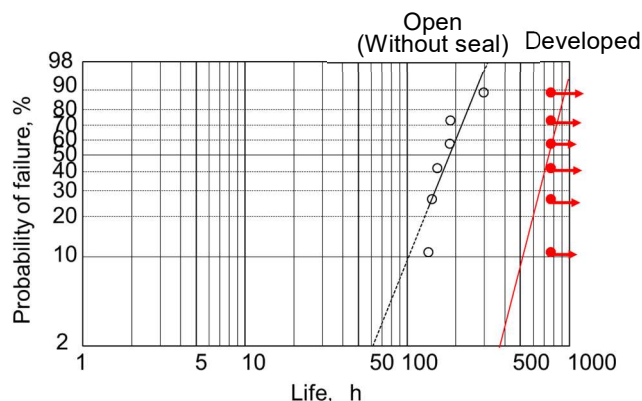


Fig.4 Bearing life under contaminated lubrication

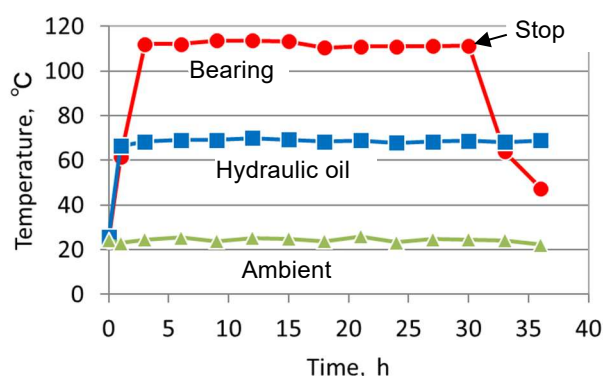


Fig.5 Temperature of high speed endurance test