

# 自動車の電動駆動装置用転がり軸受の紹介

## Introduction of Rolling Bearings for Electric Drives Corresponding of Automobiles

川井 崇\* Takashi KAWAI  
 魚住 朋久\*\* Tomohisa UOZUMI

自動車の電動化に伴い、電動駆動装置の基幹部品である転がり軸受にも様々な性能が新たに求められている。それらの要求に対応する NTN の高機能転がり軸受を紹介する。

Along with electrification of automobiles, bearing as a core part of electric drives is required to have various new performance. This article introduces NTN's highly functional rolling bearings to meet those requirements.

### 1. はじめに

自動車業界は 100 年に 1 度の大転換期を迎え、カーボンニュートラルの実現に向けた環境問題への解決策の一つとして、自動車の EV（電動車両）化を世界的に加速している<sup>1)</sup>。電動駆動装置において動力伝達を支持する転がり軸受は、基幹部品として位置づけられ、小型・軽量化と低トルク化に加え、高速化への対応が求められている。本稿では、これらの要求に対応する電動駆動装置用転がり軸受を紹介する。

### 2. 電動駆動装置用転がり軸受の要求性能

自動車用転がり軸受には、主に深溝玉軸受と円すいころ軸受の 2 種類がある。これらの転がり軸受は、図 1 に示す 4 部品(内輪, 外輪, 転動体 [ 玉, 円すいころ ], 保持器)と、場合によりシールで構成される。昨今の自動車の電動化に伴い、軸受には使用条件に応じて新たな性能が必要となる。

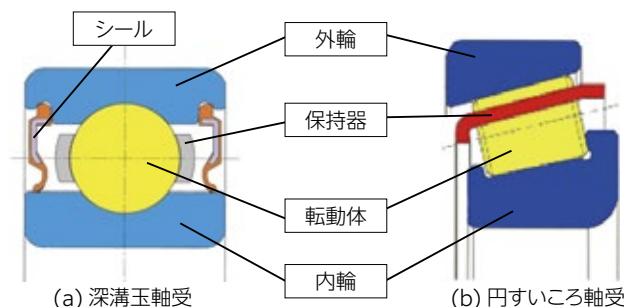


図 1 転がり軸受断面図と部品名称<sup>2)</sup>

図 2 に EV（電動車両）向けに『モータ・インバータ・減速機（ギヤ）』が一体化した駆動ユニット「e-Axle」の

例を示す。平行 3 軸構造の e-Axle はモータ部に 2 個の軸受が、減速機に 6 個の軸受がそれぞれ使用される。図 3 に平行 3 軸構造の e-Axle の代表例としてモータと減速機を支持する転がり軸受配置事例を示す。モータトルクの大小と減速比の組合せが減速機各軸の軸受荷重に影響するため、2 軸目と 3 軸目では荷重の大きさにより深溝玉軸受と円すいころ軸受を使い分ける。

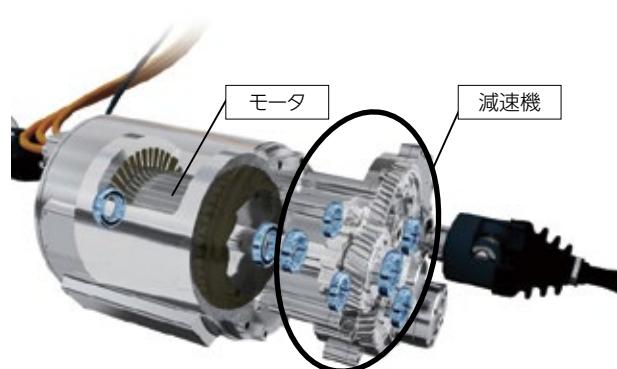


図 2 e-Axle 構造例と転がり軸受の配置<sup>3)</sup>

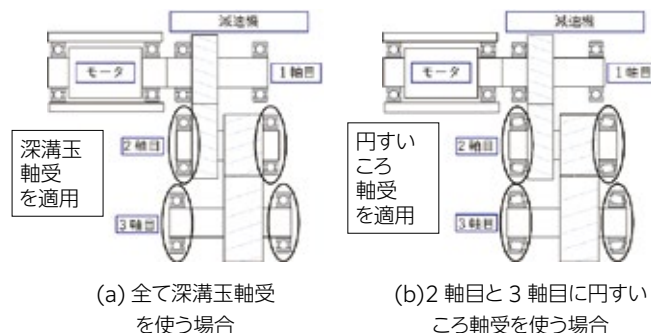


図 3 e-Axle（モータと減速機）簡易断面図での転がり軸受配置事例<sup>4)</sup>

\* 自動車事業本部 自動車軸受製品ユニット 自動車軸受技術部

\*\* NTN BEARINGS (UK) LTD.

e-Axle の各軸それぞれに用いられる転がり軸受では、次に示す性能が求められている。

- ① e-Axle の高出力化や小型化の要求に応えるため、駆動モータの高速化が進んでおり、モータ軸や減速機 1 軸目のモータ直結軸を支持する深溝玉軸受に高速対応性能が求められる。
- ② e-Axle の小型化に合わせて軸受軌道輪が薄肉化すると、外輪外径でクリープ（外輪がハウジングに対して相対回転する滑り現象）が発生し易くなるため、減速機各軸ではクリープ対策が求められる。
- ③ e-Axle 用モータの小型高出力化を目的としたバッテリーの高電圧化に伴い、モータ軸や減速機 1 軸目では軸受の電食（軸受内で放電が起こり、軌道面が微視的に溶融する現象）対策が求められる。
- ④ e-Axle の高効率化のため、潤滑油の低粘度化や少量化が進むと、減速機の 2 軸目を支持する円すいころ軸受ではつば部の滑り接触部で発熱対策が求められる。
- ⑤ e-Axle の高出力化に伴う軸受荷重の増加により、減速機 2 軸目や 3 軸目を支持する円すいころ軸受には従来よりも高い荷重負荷能力が求められる。

e-Axle 用転がり軸受に要求される性能を**表 1**にまとめた。

**表 1** e-Axle 用転がり軸受に要求される性能

市場動向	技術トレンド	転がり軸受に要求される性能
環境対応技術	高効率化	低トルク化 3.1 項:超低フリクションシール付深溝玉軸受 4.1 項:低昇温・低トルク円すいころ軸受
	高速化	高速対応 3.2 項:高速対応の深溝玉軸受
モータ駆動による電動化	小型・軽量化	耐クリープ性能向上 3.3 項:クリープレス軸受
カーシェアリング	高電圧化 高周波化	電食防止 3.4 項:セラミック転動体深溝玉軸受
	潤滑油の低粘度化・少量化	低昇温化 4.1 項:低昇温・低トルク円すいころ軸受
	高信頼性	長寿命化 4.2 項:長寿命円すいころ軸受

### 3. 高性能深溝玉軸受の紹介

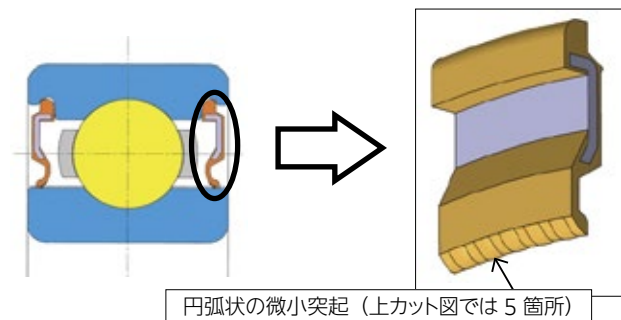
以下では**表 1** の要求性能を追求した e-Axle 用の深溝玉軸受を紹介する。

#### 3.1 超低フリクションシール付深溝玉軸受

e-Axle の高効率化や小型化要求に伴い、深溝玉軸受には軸受寿命の確保と低トルクの両立が求められる。e-Axle 内の潤滑油はギヤの噛み合いで発生する硬質異物を含むため、軸受寿命の確保には、軸受内部への硬質異物の侵入を防ぐ必要がある。接触シールの適用は硬質異物の侵入を防止できるが、シールリップと内輪の接触部で摺動トルク（接触シール付深溝玉軸受の回転トルクの大部分を占める）が発生するため、軸受寿命の確保と低トルク化を両立することは難しかった。

開発した「超低フリクションシール付深溝玉軸受<sup>5)</sup>」は、**図 4** に示すように、内輪と接触するシールリップ部に円弧状（半円筒状）の微小突起を等間隔に設け、突起部での「くさび膜効果」により内輪との間に潤滑油の油膜を形成（**図 5**）させることで、シールの摺動トルクを低減した。なお、本シールは、シールと内輪摺動面の間の隙間が微小なため、軸受寿命に影響する大きさの硬質異物の侵入を防ぐことができる。

「超低フリクションシール付深溝玉軸受」、「接触シール付玉軸受」、「非接触シール付玉軸受」の 3 種類の軸受回転トルクの評価を、**表 2** の条件で行った。試験結果を**図 6** に示す。「超低フリクションシール付深溝玉軸受」の回転トルクは、シールリップ部の微小突起による「くさび膜効果」により、接触シール付玉軸受と比べて 80 % 低減しており、非接触シール付玉軸受と同等である。



**図 4** 超低フリクションシール付深溝玉軸受の構造図<sup>5)</sup>

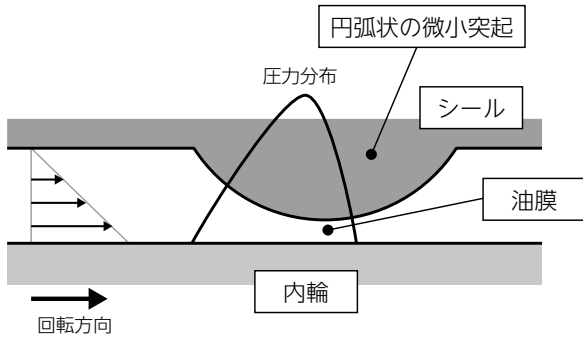


図5 くさび膜効果の概略図<sup>5)</sup>

表2 試験条件<sup>5)</sup>

試験軸受	6010相当
ラジアル荷重	基本動定格荷重の5% (JIS B 1518:2013)
回転速度	1 500 min <sup>-1</sup>
軸受温度	35~120℃
潤滑油	CVTF

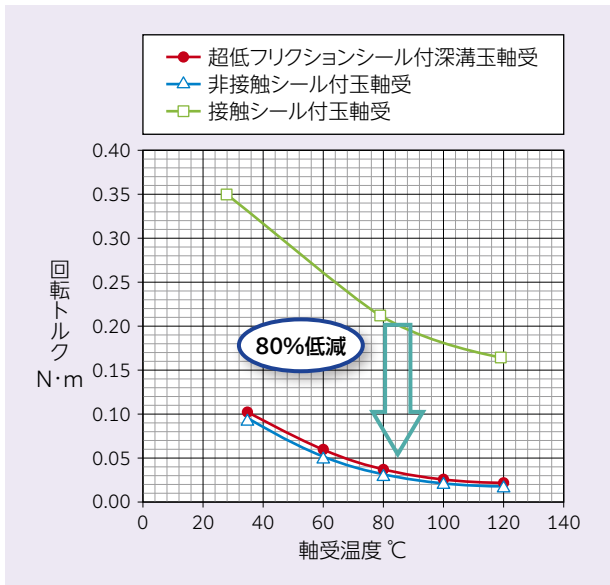


図6 回転トルクと軸受温度との関係<sup>5)</sup>

### 3.2 高速対応の深溝玉軸受

高速回転時の保持器変形を考慮した新形状の樹脂保持器の採用により、油潤滑で  $d_m n^{*1}$  値 =  $180 \times 10^4$  運転が可能な条件を見出した。ここでは、高速回転技術を適用した「EV・HEV 用高速深溝玉軸受<sup>6)7)</sup>」を紹介する。

\*1: 軸受転動体ピッチ円径と回転速度の積 mm・min<sup>-1</sup>

e-Axle のモータ軸や減速機 1 軸目のモータ直結部を支持する深溝玉軸受には、高速対応性能が求められる。深溝玉軸受は回転速度が上がると、遠心力により樹脂保持器の保持器ポケットと転動体（玉）が接触し焼付きが生じる恐れがある。

そこで、樹脂保持器に下記①~④の改良を加えた「EV・HEV 用高速深溝玉軸受」を開発した。

改良樹脂保持器の外観を図7に示す。

- ① 高強度材料を採用  
⇒ 保持器の剛性・高温強度の向上
- ② 変形抑制のためポケット底を肉厚化  
⇒ 保持器円環部の剛性向上
- ③ 保持器ポケット間の肉抜き（軽量化）  
⇒ 遠心力変形の低減
- ④ 保持器ポケット内面に通油溝設置  
⇒ 保持器と転動体の潤滑性向上

表3に示す条件で「EV・HEV 用高速深溝玉軸受」の温度上昇確認試験（油潤滑）を行った。試験結果を図8に示す。「EV・HEV 用高速深溝玉軸受」の外輪温度は、 $d_m n$  値  $180 \times 10^4$  まで判定上限温度以下で安定した運転が可能であった。

表3 試験条件<sup>2)</sup>

評価軸受仕様	基本動定格荷重=16 800 N (JIS B 1518:2013)
ラジアル荷重	264.5 N
アキシアル荷重	147 N
回転速度	$d_m n$ 160~180×10 <sup>4</sup>

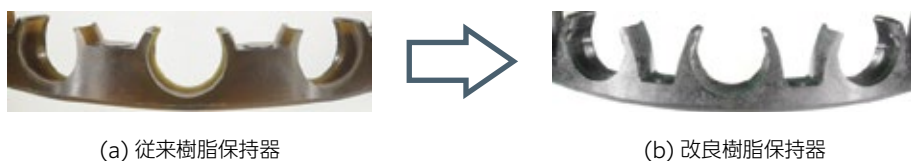


図7 「EV・HEV 用高速深溝玉軸受」用樹脂保持器の外観<sup>4)</sup>

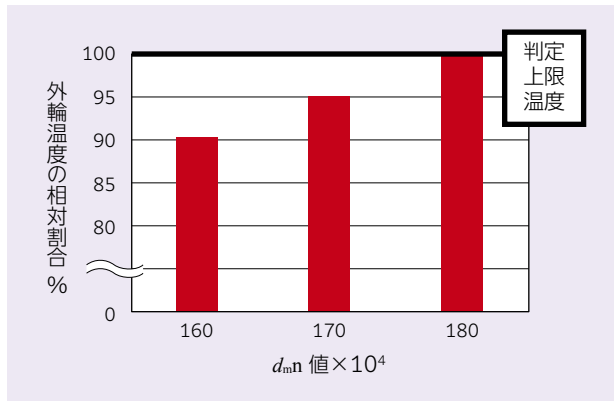


図8 d<sub>m</sub>n と外輪温度との関係<sup>2)</sup>

最近では、潤滑条件と軸受の内部諸元を最適化することにより、深溝玉軸受で  $d_{m,n}$  値  $220 \times 10^4$  の高速回転に対応できることも確認している<sup>8)</sup>。

### 3.3 クリープレス軸受<sup>9)</sup>

e-Axle の小型・軽量化要求による軸受軌道輪の薄肉化に伴い外輪の剛性は低下し、転動体の通過時に外輪外径面に波打ち変形が生じ易くなる。その結果、この繰り返しが進行波となり、ハウジングに対し外輪が相対回転するクリープ（進行波型クリープ）が発生する場合がある<sup>10)</sup>。

開発した「クリープレス軸受」の構造を図9に示す。外輪外径面の一部に全幅円弧状の逃げ部を設けることで、図10に示すように、外輪の逃げ部が荷重負荷域に位置する時にハウジング内径面と外輪外径面が非接触となり、進行波の伝達が遮断される。これにより、クリープを抑止する。なお、荷重非負荷域に外輪の逃げ部が位置する際には、クリープが発生するが、外輪逃げ部が荷重負荷域に移動すると、その位置でクリープは止まる。そのため、軸受をハウジングへ組込む時には、逃げ部と荷重負荷域の位置合わせは不要である。また、設計変更点は外輪外径の逃げ部のみのため、既存軸受からの置き換えも容易である。

「クリープレス軸受」と「標準深溝玉軸受<sup>11)</sup>」について、クリープが発生しやすい試験機で、表4条件のクリープ速度評価試験を行った。試験結果を図11に示す。標準深溝玉軸受は、荷重の増加に伴いクリープ速度が増加する傾向が見られた。これに対し、「クリープレス軸受」は、外輪逃げ部の効果により、いずれの荷重条件でもクリープが発生しないことを確認した。



図9 「クリープレス軸受」の構造図<sup>9)</sup>

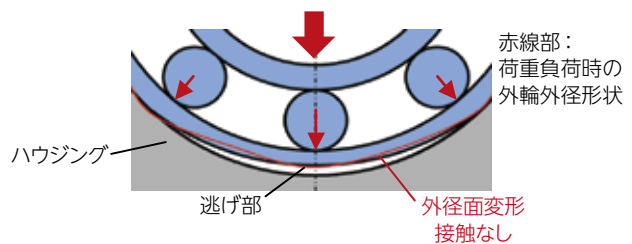


図10 クリープレス軸受外輪形状とハウジングとの関係<sup>9)</sup>

表4 試験条件<sup>9)</sup>

軸受型番	6208
ラジアル荷重	基本動定格荷重 (JIS B 1518:2013) の10~40%
内輪回転速度	$6\,000\text{ min}^{-1}$
潤滑油	CVTF
軸受外輪温度	50℃

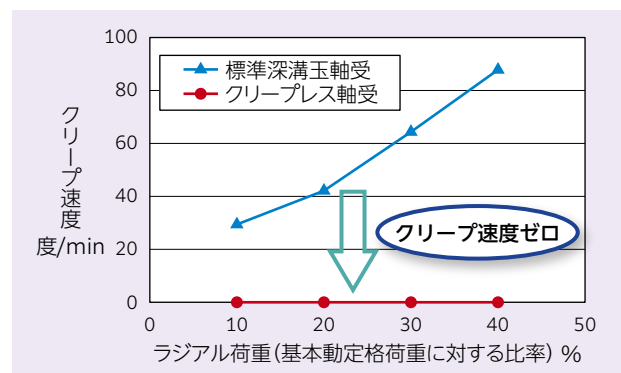


図11 クリープ速度評価試験結果<sup>9)</sup>

### 3.4 セラミック転動体深溝玉軸受



図 12 セラミック転動体深溝玉軸受

インバータ駆動モータは高出力化、小型化の流れがあり、駆動電源の高電圧化が進んでいる。インバータ駆動の場合、軸とハウジング間で電位差が発生するため、軸受の軌道面と転動体の間に形成された油膜が絶縁破壊することで、放電による損傷が発生することが知られている<sup>12) 13)</sup>。高電圧になると発生する電位差も大きくなるため、絶縁破壊による軸受損傷のリスクが高まり、音響悪化や短寿命化につながる。この対策として、転動体に窒化ケイ素製セラミック球を用いた「セラミック転動体深溝玉軸受」(図 12)を適用することで、内輪及び外輪軌道面間を絶縁して電食の発生を防止することができる。

図 13 に示す試験機で表 5 に示す条件の転動試験を行い通電環境下で軸受剥離寿命を調査した。その結果を表 6 に示す。「セラミック転動体深溝玉軸受」は、鋼球を使用した標準玉軸受に比べて電食による転動体表面の剥離発生を抑えることが可能である。

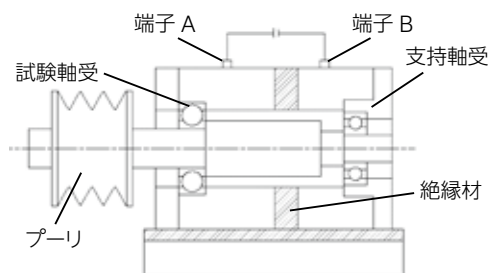


図 13 転動寿命試験機

表 5 試験条件<sup>14)</sup>

供試軸受	深溝玉軸受 (6203)	
転動体	鋼球	セラミック球
グリース	非導電性グリース	
グリース封入量 (g)	0.86	
回転速度 (min <sup>-1</sup> )	0~20 000(急加減速)	
雰囲気	室温	
プーリ荷重 (N)	1 617	
軸受荷重 (N)	2 332	
電流 (A)	0.5	-
停止条件	振動が初期の10倍	

表 6 通電状態での転動寿命試験結果<sup>14)</sup>

	寿命 (h)	剥離部位
深溝玉軸受(鋼球)	19.6	球
深溝玉軸受(セラミック球)	>200	無し

### 4. 高機能円すいころ軸受の紹介

図 14 に円すいころ軸受の構造を示す。円すいころ軸受は、玉軸受と比較して、大きなラジアル荷重とアキシャル荷重を受けることができる反面、トルクが大きくなる。以下では、円すいころ軸受の転動面と内輪大つば面の形状を最適化することにより、低トルク化（低昇温）と長寿命を両立した事例を紹介する<sup>16)</sup>。

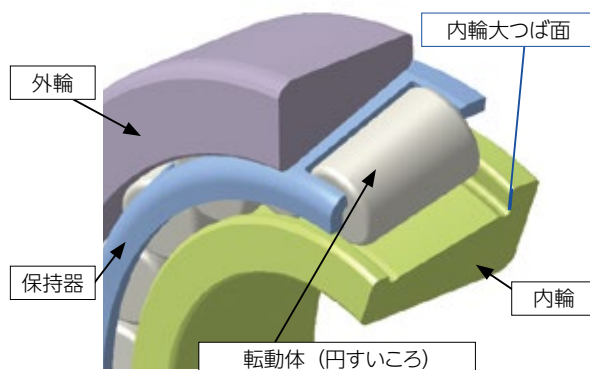


図 14 円すいころ軸受の構造<sup>15)</sup>

### 4.1 低昇温・低トルク円すいころ軸受

自動車の高効率化のため、e-Axle 内の潤滑油は低粘度化と油量削減が進んでいる。標準的な円すいころ軸受をこのような条件で使用すると、軸受つば部の滑り接触部での油膜形成が困難になり、急昇温のリスクが高まる。開発した「低昇温・低トルク円すいころ軸受」は、下記の①～④の設計変更を行い（図 15, 16）、耐焼付き性向上とトルク低減を実現した。



図 15 低昇温・低トルク円すいころ軸受の外観<sup>16)</sup>

- ① 円すいころのピッチ円径縮小により小型化と、低トルクを実現
- ② 保持器内径と内輪小つば外径間の隙間縮小により、潤滑油の攪拌トルクを低減
- ③ 保持器ポケット大径側端部に凹み形状を付加し、潤滑性を向上
- ④ 円すいころ端面と内輪大つば面の最適形状で、潤滑性を向上

表 7 に示す「標準円すいころ軸受<sup>11)</sup>」と「低昇温・低トルク円すいころ軸受」について、表 8 の条件で回転トルク試験を行った。試験結果を図 17 に示す。「低昇温・低トルク円すいころ軸受」は、標準円すいころ軸受に比べ 66 % の大幅なトルク低減を達成した。

表 7 の 2 種類の軸受について、表 9 の条件で軸受の昇温特性を評価した。本試験では、e-Axle 内の潤滑油量が削減された過酷な条件を想定し、試験前の軸受表面に極微量の潤滑油を一定量付着させた後、無給油で運転し、軸受外輪が 100 °C に到達するときの時間を評価した。試験結果を図 18 に示す。「低昇温・低トルク円すいころ軸受」の 100 °C の到達時間は、標準円すいころ軸受に比べて約 10 倍となる 710 秒に延伸した。

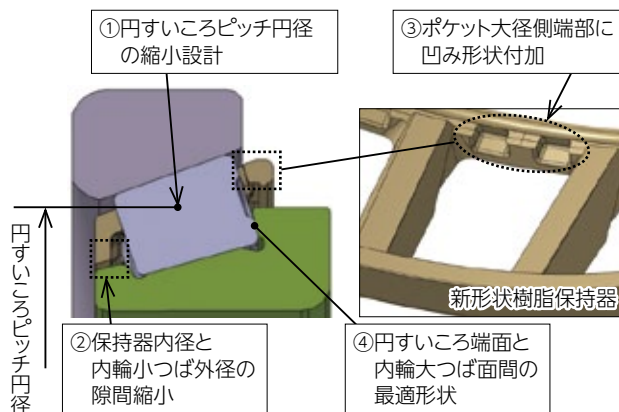


図 16 「低昇温・低トルク円すいころ軸受」の構造図<sup>16)</sup>

表 7 試験軸受<sup>16)</sup>

	標準円すいころ軸受 32007X	低昇温・低トルク 円すいころ軸受
軸受断面 比例尺図		
サイズ	φ35×φ62×18	φ34×φ58.5×13.5
動定格 荷重	46 000 N	28 500 N
保持器	標準鉄板保持器	新形状樹脂保持器

表 8 試験条件<sup>16)</sup>

アキシアル荷重	3 000 N
回転速度	5 000 min <sup>-1</sup>
潤滑条件	油浴 ATF (50 °C)

表 9 試験条件<sup>16)</sup>

潤滑油条件	ATF (25 °C)
内輪大つば面接触応力	約 200 MPa
内輪大つば面滑り速度	約 2.5 m/s

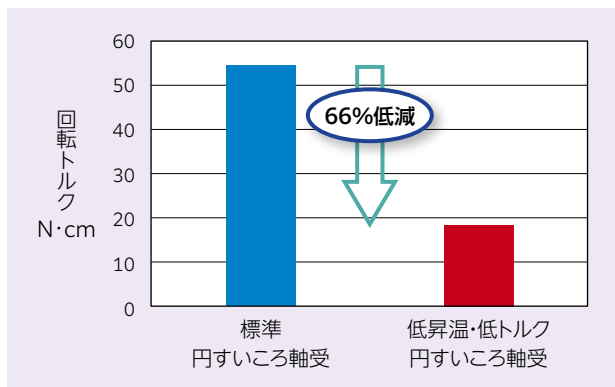


図 17 円すいころ軸受の回転トルク試験結果<sup>16)</sup>

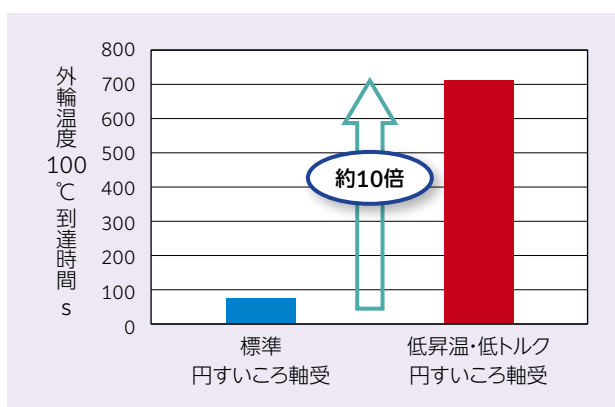


図 18 円すいころ軸受の昇温性評価試験結果<sup>16)</sup>

#### 4.2 長寿命円すいころ軸受

軸受の内部設計の最適化により、高負荷容量と高速回転性能を実現した「自動車用 ULTAGE (アルテージ) 円すいころ軸受<sup>15)</sup>」を紹介する。外観を図 19 に示す。



図 19 「自動車用 ULTAGE (アルテージ) 円すいころ軸受」の外観<sup>15)</sup>

「自動車用 ULTAGE 円すいころ軸受」は、軸受寿命を最大化する円すいころ形状の最適設計技術 (円すいころの径をマイクロメートル単位で端部に向かって小さくする「クラウニング」と呼称する形状の最適化) を適用しており、偏荷重の負荷時の転動体と軌道輪の接触応力を均一に

きる。この設計技術により、「自動車用 ULTAGE 円すいころ軸受」の動定格荷重と定格寿命は、標準品と比べ、それぞれ 1.3 倍と 2.5 倍を達成した<sup>※2)</sup>。また、内輪大つば面の接触部形状も最適化することで、許容回転速度を約 10 % 向上した<sup>※3)</sup>。

※ 2 : JIS B 1518:2013 による基本動定格荷重を適用した円すいころ軸受との比較

※ 3 : NTN 株式会社 転がり軸受総合カタログ (CAT.No.2203/J 20.08.199 NI/NI) の円すいころ軸受との比較

「自動車用 ULTAGE 円すいころ軸受」と「標準円すいころ軸受<sup>11)</sup>」の軌道面軸方向断面での接触応力分布を図 20 に示す。「自動車用 ULTAGE 円すいころ軸受」はクラウニング形状の最適化により、接触領域端部の過大な応力 (エッジ応力) が発生しない。

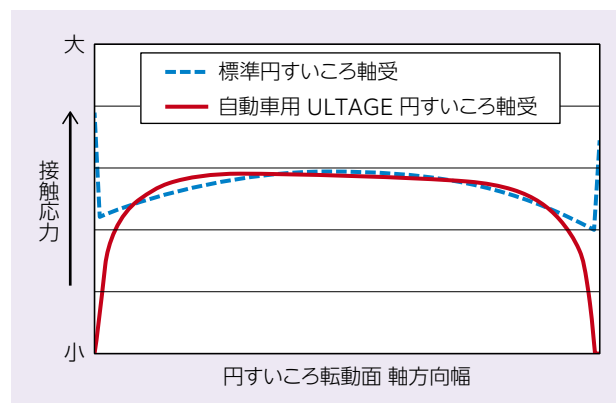


図 20 円すいころ軸受の軌道面に生じる接触応力分布<sup>15)</sup>

e-Axle で想定される高ミスアライメント (0.002 rad) 条件 (表 10) で寿命試験を行った。試験結果を図 21 に示す。「自動車用 ULTAGE 円すいころ軸受」の寿命は、接触応力分布の均一化効果により、標準円すいころ軸受の寿命と比べて、約 16 倍の長寿命を示した。

表 10 試験条件<sup>15)</sup>

試験軸受サイズ	φ23×φ55×20
軸受材料熱処理	軸受鋼標準熱処理
試験荷重	基本動定格荷重の 26 % (JIS B 1518:2013)
ミスアライメント	0.002 rad
回転速度	4 000 min <sup>-1</sup>
潤滑油	ISO VG100 ギヤ油相当
JIS基本定格寿命	73時間

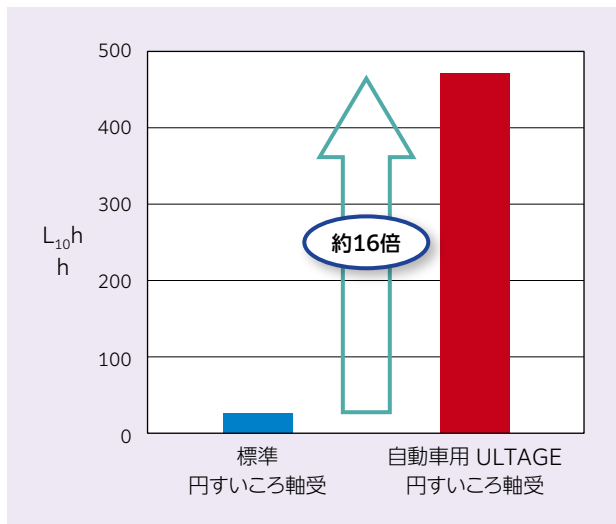


図 21 高ミスアライメント条件での円すいころ軸受の清浄油寿命試験結果<sup>15)</sup>

## 5. おわりに

カーボンニュートラルの実現に向けて自動車のEV化が進んでおり、軸受に求められる機能は多様化している。本報では、e-Axle での技術要求に対応できる電動駆動装置用転がり軸受を紹介した。今後も、自動車の市場ニーズを先取りした軸受をタイムリーに提案できるように、技術開発を進めていく。

## 参考文献

- 1) 環境省 HP, 脱炭素ポータル, [https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon\\_neutral/](https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/)
- 2) 川井崇, 最近の自動車用転がり軸受の紹介, 車載テクノロジー, Vol.9, No.10, (2022)43-50.
- 3) NTN 株式会社, EV・HEV 用高速深溝玉軸受の量産納入を拡大, 2020 年, [https://www.ntn.co.jp/japan/news/new\\_products/news202000044.html](https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news202000044.html)
- 4) 川井崇, EV (電動車両) 用転がり軸受の紹介, 潤滑経済, No.692, (2022) 37-44.
- 5) 佐々木克明, 和久田貴裕, 水貝智洋, 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, No.85, (2017) 62-66.
- 6) 佐々木克明, モーター用高速深溝玉軸受の技術動向, 月刊トライボロジー, No.404, (2021) 12-15.
- 7) NTN 株式会社, 2021 年“超”モノづくり部品大賞「日本力 (にっぽんぶらんど) 賞」を受賞, 2021 年, <https://www.ntn.co.jp/japan/news/press/news202100067.html>
- 8) NTN 株式会社, EV・HEV 用深溝玉軸受の高速回転値 220 万を達成, 2022 年 [https://www.ntn.co.jp/japan/news/new\\_products/news202200027.html](https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news202200027.html)
- 9) 川口隼人, 増田俊樹, 永田真梨奈, 河合俊貴, クリープレス軸受, NTN TECHNICAL REVIEW, No.88, (2021) 66-70.
- 10) 丹羽健, 転がり軸受のクリープメカニズム, NTN TECHNICAL REVIEW, No.81, (2013) 100-103.
- 11) NTN 株式会社, 転がり軸受総合カタログ, CAT. No.2203/J 20.08.199 NI/NI, 2020 年
- 12) 野口昭次, 転がり軸受の電食防止技術, 月刊トライボロジー, No.320, (2012) 18-20.
- 13) 磯村宣典, 前谷達男, 渡辺彰彦, 中野圭策ら, PWM インバータ駆動による小型玉軸受の電食に関する研究 (第 2 報), トライボロジスト, 第 58 巻第 1 号, (2013) 46-51.
- 14) 川村隆之, 藤原宏樹, 大平晃也, 自動車の低燃費化に寄与する転がり軸受の新しい技術, NTN TECHNICAL REVIEW, No.87, (2019) 85-91.
- 15) 藤掛泰人, 石川貴則, 宮入進, 自動車用アルテージ円すいころ軸受, NTN TECHNICAL REVIEW, No.85, (2017) 51-55.
- 16) 藤掛泰人, 石川貴則, 低昇温・低トルク円すいころ軸受, NTN TECHNICAL REVIEW, No.88, (2021) 71-76.

執筆者近影



川井 崇

自動車事業本部  
自動車軸受製品ユニット  
自動車軸受技術部

魚住 朋久

NTN BEARINGS (UK)  
LTD.