

# 自動車の電動化に伴う軸受の技術動向と展望

## Bearing Technology Trends and Prospects with the Electrification of Automobiles

奥村剛史 T. OKUMURA

The increasing trend toward the electrification of automobiles is due to heightened environmental awareness which has resulted in efforts to create a sustainable global society.

In automotive bearings, technological developments have been carried out to reduce friction loss, size, and weight. Also, development is underway to address future needs due to the changes in vehicles brought about by electrification.

**Key Words:** BEV (Battery Electric Vehicle), HEV (Hybrid Electric Vehicle), PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle), FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)

### 1. はじめに

世界規模の環境規制への対応は喫緊の課題で、各国のゼロエミッション車や新エネルギー車規制、販売奨励策により、BEV/HEV/PHEV/FCEVに分類される電動車は今後ますます増加するものと考えられる。

電動化は自動車の構造変化をもたらすとともに、当社の軸受製品群に最も大きな影響を与えるキーワードである。たとえば、電動車パワートレーン用軸受では低トルク化、小型・軽量化などの軸受本来の機能に加え、従来のエンジン車に比べて格段に高い回転速度への対応や、運転パターンの変化に伴う新たな課題に対応した信頼性向上技術が求められている（図1）。

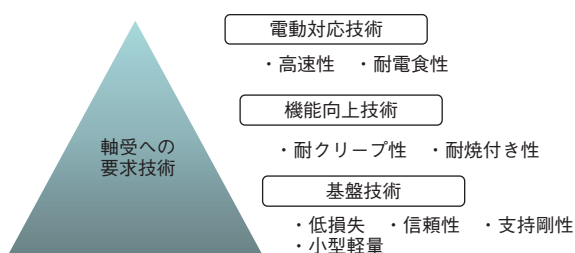


図1 軸受に求められる性能  
Required bearing performance

本報では3種の用途別軸受、1) パワートレーン用軸受、2) ドライブトレーン用軸受、3) シャシー用軸受において、電動化に際し必要となる技術を具体的に紹介する。さらに軸受関連製品として高速回転用オイルシールを紹介し、これらの製品の開発支援技術についてふれ

る。最後に今後の軸受開発の展望を示したい。

### 2. 電動化に対応した軸受技術

#### 2.1 パワートレーン用軸受

<高速回転対応軸受>

動力源の変更によって起こる最も大きな軸受への要求は高速回転化である。従来の動力源であるエンジンとモーターの最高回転速度比が3倍を超える速度設定も珍しくはない。エンジンに比べ高速回転化が比較的容易なモーターでは、その分トルクを低く抑えることができ、同出力であってもモーターを小型化することが可能である。

モーター用軸受は、従来から比較的高速回転とされるエンジン補機（オルタネーター）用の軸受に対して、 $d_m n$  値（軸受高速性能指標：転動体ピッチ径（ $d_m$ ）と軸受回転速度（ $n$ ）の積）で1.5倍程度の速度要求が一般化しており、今後もさらに高まる可能性がある。

モーターにはオイルが内部を循環するウエットタイプと内部にオイルの存在しないドライタイプが存在する。

ウエットタイプモーターの高速回転化で問題となるのが、遠心力による保持器の変形である。一般的な樹脂保持器では、限界速度を超えると遠心力による保持器ポケットの変形で転動体との干渉が発生し、回転抵抗の増加による異常発熱によって焼付きに至る。

したがって保持器の変形を抑えることが課題となるが、これに対する解として、変形を最小化できる合わせ

保持器を開発した<sup>1)</sup>。同一形状の二つの樹脂部品を組み合わせ、変形を抑え合う構造とすることで、現在の電動車市場で必要とされる限界 ( $d_m n 150$  万) を大きく超える  $d_m n 200$  万以上の性能を確保した(図2-1, 図2-2)。



図2-1 合わせ保持器の形状  
Two-piece cage shape

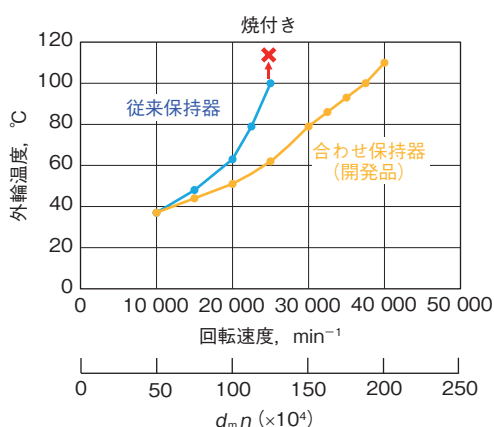


図2-2 合わせ保持器での軸受昇温性能

Two-piece cage bearing performance under increased temperature

ドライタイプモーターでは、グリース密封軸受が使用されるが、前述の組み合わせ保持器では、高速回転での保持器変形懸念は無いものの転走部へのグリース油分の供給性が低く、また封入できるグリース空間が限定されることから、グリース漏れや、寿命低下の懸念がある。よって、グリース密封軸受での成立性を主眼に、新たな新形状保持器を開発した(図3-1)。片持ち構造を採用し、グリース油分の転走部への供給性向上やグリース封入空間容積の増加を図った。

さらに軽量化による遠心力の低減で変形量を低減するとともに保持器支持を転動体から軌道へ変更することで、変形した場合の保持器と転動体の干渉を回避した。これにより、油潤滑に対して高速性、潤滑性の面で不利なグリース潤滑においても、 $d_m n$  値で 185 万の高速性を実現した(図3-2)。



図3-1 開発軸受形状 (新形状保持器)

Newly developed bearing shape (new cage shape)

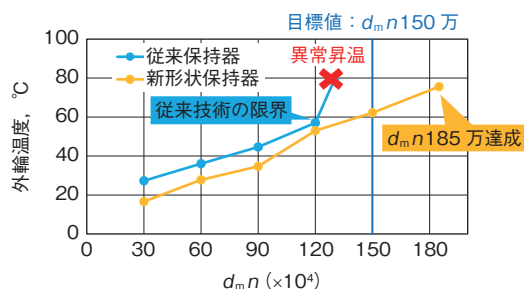


図3-2 開発軸受での外輪昇温性能

Performance of newly developed bearing under increased temperature of outer ring

また、封入されるグリース自体の性能向上も高速回転の重要な要素である。高粘度指数の基油の採用と増ちょう材の最適化によって、高速回転条件下での自己昇温を抑えつつ、転走部への油分供給性を向上させることをねらった。その結果、寿命向上や低温でのトルク、音響性能についても改善させることができた。

<電食防止軸受>

モーターに使用される軸受、特にインバーターにより駆動されるモーターに使われる軸受においては、モーター内部の磁束不平衡から、軸受内外輪間に電位差が作用することがある。その電位差に起因して転動体と軌道の接触部でスパークが発生し、軌道に洗濯板状の損傷を発生させることが知られている(図4-1)。

これまで、この電位差に対し、絶縁性を上げてスパークを防止する樹脂モールド軸受やセラミック玉軸受などを製品化してきた<sup>2)</sup>。しかしながら、樹脂モールドやセラミック玉などは自動車用として採用するには高コストであり、また量産性でも課題があったため、新たに低コストの特殊被膜を施した絶縁軸受を開発した(図4-2)。

一方、軌道間電位を軌道と並列に別回路にてバイパスすることで、転動体と軌道間に発生する電位差を抑え、電食を防ぐことができる。これは導電軸受と呼ばれ、現在開発中である。

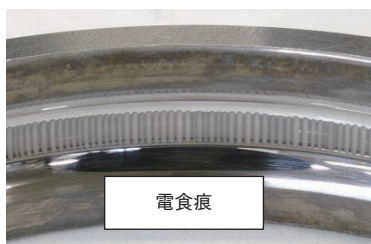


図4-1 電食現象  
Electric pitting

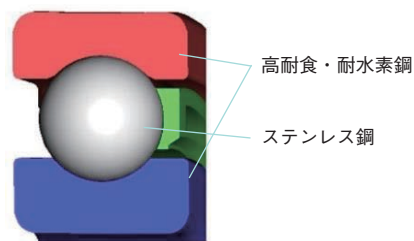


図5 水素循環ポンプ用軸受  
Hydrogen circulation pump bearing

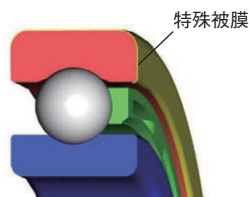


図4-2 絶縁軸受構造  
Insulated bearing structure

<水素循環ポンプ用軸受>

電動車のエネルギーの一つとして水素があり、水素から直接的に電力を得る燃料電池の付帯装置として水素循環ポンプがある。

水素循環ポンプの軸受では、反応水による腐食懸念や水素による脆化懸念があり、これらの懸念に対して高耐食・耐水素鋼を採用し、熱処理を含めた開発にて要求性能を満足できる軸受を開発している (図5)。

また開発段階において、耐水素性能を評価するため水素雰囲気中での軸受評価を可能とする設備を独自開発した (後述する図12)<sup>3)</sup>。

2.2 ドライブトレイン用軸受

電動化におけるドライブトレイン用軸受への要求は、従来の基本的項目に追加して、回生運転機会の増加による軸受クリープへの対応である。また小型・軽量化のための薄肉化・幅狭化や高速回転化に伴う耐焼付き性の向上も必要となっている。

<耐クリープ軸受>

軸受クリープによってハウジング摩耗、軸芯ずれや軸傾きが誘発され、異音や早期剥離に至る可能性がある。軸受クリープには、2種類のクリープ現象がある (図6-1)。

一つは、ひずみクリープと称し、ボールが外輪を通過するたびに、外輪が僅かにひずみ、外輪とハウジング間で固着と相対滑りが繰り返され蓄積されることで、外輪がハウジングに対し相対回転する現象である。従来から、外輪肉厚を増加させて剛性を向上させる対策があるが、

クリープの種類	ひずみクリープ	連れ回りクリープ
発生原因	大きな一方方向ラジアル荷重負荷による外輪の円周方向ひずみ	軸受回転トルク (外輪を回す力) > 外輪・ハウジング間の摩擦トルク (外輪を止める力) 荷重抜けや、軽荷重時に発生
模式図		

図6-1 クリープ現象  
Bearing creep

小型・軽量化と相反する。この解決のためジェイテクトでは、MBD（モデルベース開発）により前述のメカニズムを数値化したうえで、外輪外径に円周溝を設けた。その結果、外輪肉厚を変えずに外輪はめあい部のひずみによる固着と相対滑りを抑え、ひずみクリープを防止した（図6-2）<sup>4)</sup>。

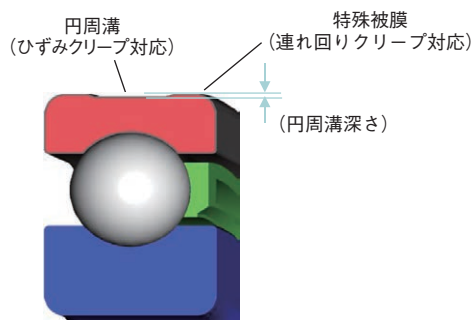


図6-2 耐クリープ軸受  
Creep-resistant bearing

もう一つのクリープが、連れ回りクリープと称されるもので、駆動運転と回生運転の切り替わる瞬間に発生する軸受荷重が抜けた状態での外輪滑りによるものである。軸受荷重が抜けた状態で外輪が回転（クリープ）し、荷重が復帰した瞬間に摩擦滑りでハウジングを摩耗させる現象であり、はめあい面の潤滑性を向上させることが有効である。そこで特殊酸化被膜を外輪外径面（はめあい接触面）へ施すことで、被膜のミクロ的な形状パターン内に油分を保持し、はめあい面の潤滑性を確保することでクリープ摩耗低減を実現した。

<幅狭軸受>

伝達トルクの増加でギヤ幅が大きくなるのに伴い、ユニットの搭載スペースの制約から、軸受には幅狭化のニーズが高くなっている。通常、軸受幅寸法は、周辺部品との干渉を避けるため、保持器が張り出さないよう保持器幅寸法を考慮して設定されている。今回、保持器強度を確保しつつ、保持器幅寸法を最小化することで、軸受幅をほぼボール径サイズにまで低減した軸受を開発した。保持器の最小肉厚寸法、また、その部分の強度が軸受性能を決定するが、保持器の金型および成形条件の最適化などで保持器強度を確保し成立させた（図7-1、図7-2）。



図7-1 従来軸受(呼び番号 6207)  
Conventional bearing

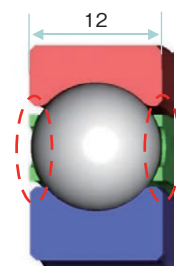


図7-2 幅狭軸受  
Slim bearing



図7-3 外観比較  
Appearance comparison

<耐焼付き性向上 円すいころ軸受>

eAxle（電動アクスルユニット）のモーター軸、第一軸には、深溝玉軸受の採用が一般的であるが、第二軸については、小型・軽量化の観点から円すいころ軸受が採用される場合も多い。

減速機内の軸受潤滑は、ポンプを使わずギヤによる油跳ねかけで行われる場合があり、一時的な貧潤滑状態となる懸念がある。それに加えてユニットの低損失化をねらい低粘度潤滑油が用いられることから、潤滑状態が悪化する傾向にある。また、第二軸に使用される円すいころ軸受では、高速回転化も伴うことから耐焼付き性の要求が高まっている。

耐焼付き性に大きく影響する内輪つばとこころの接触部への油量の確保は、外輪軌道に沿って流れる少量の油を特殊形状の樹脂保持器によって積極的にこころ大端面から内輪つば接触部に導く形状を考案し、耐焼付き性を向上させることができた（図8）。

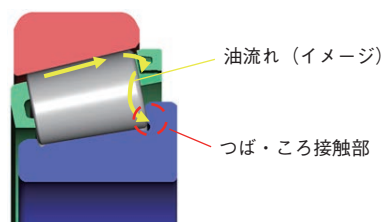


図8 耐焼付き性向上 円すいころ軸受  
Tapered roller bearing with improved seizure resistance

### 2.3 シャシー系軸受

<電動ブレーキ用 針状ころ軸受>

電動化が進むユニットとして電動ブレーキがある。電動ブレーキでは、モーター動力でブレーキパッドをロータに押し付けることでブレーキ力を発生させる。モーターの回転運動を直線運動に変換する機構として、滑りねじ、またはボールねじが使用され、発生する軸力を支持する軸受としてスラスト針状ころ軸受が使用される(図9-1)<sup>5)</sup>。

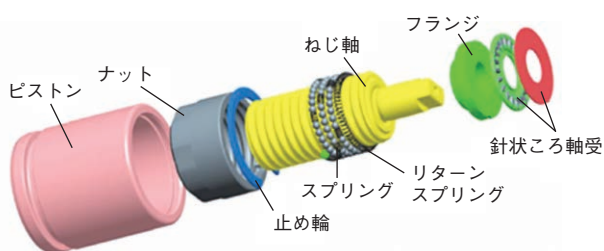


図9-1 電動ブレーキ直動変換部  
Linear conversion section of electric brake

ブレーキユニットの小型化の観点から、回転から直動への変換効率が重視され、80%以上の効率が必要とされる。そのため針状ころ軸受としては通常軸受に比べ25%程度の損失低減が求められる。この部位に使用されるスラスト針状ころ軸受は、相対的にころ長さに対するころピッチ円直径が小さい傾向があり、軸受回転時に、ころ・軌道間の滑りが大きくなることで損失が増加しやすい。この滑りを低減するために、ころを2列に分割し、ころ長さ/ピッチ円径比を抑えることで前述の課題を解決した(図9-2, 図9-3)。

分割針状ころの採用により40%以上の損失低減を実現できているが、更なる低損失化を進めている。

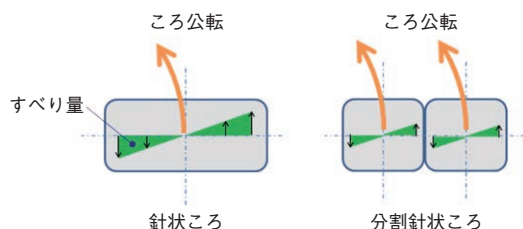


図9-2 ころの滑り量  
Roller slip amount



図9-3 スラスト針状ころ軸受(保持器アッセンブリ) 外観  
Needle roller thrust bearing (cage assembly)

### 2.4 軸受関連製品

<高速回転用オイルシール>

電動化における軸受の高速回転化は、すでに述べたとおりであるが、ドライタイプのモーターとギヤボックス間にはオイルシールが設定されており、オイルシールについても高速回転対応が求められる。

オイルシールの一般的な周速上限は、30m/s前後であるが、モーター軸のシールにおいては、50m/sを超えるような要求も出始めている。

高速回転時、遠心力や周辺の空気の流れなどからシールリップしゅう動部への油供給が低下し、リップの焼け、摩耗の発生が懸念され、リップ先端への油分供給がポイントとなる。そこでシールリップ側面の表面形状工夫によってシールリップ周辺の空気の流れを積極的に活用し、シールリップ部への油分供給を確保した。これにより高速回転におけるシール機能の維持を可能にした(図10)。

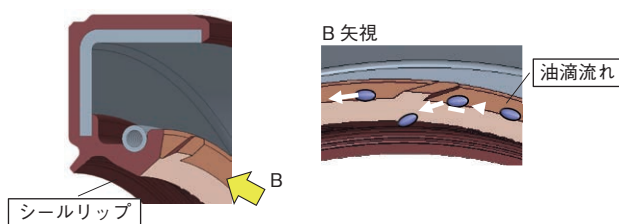


図10 高速オイルシール  
High-speed oil seal

### 2.5 解析評価技術

ジェイテクトでは開発期間の短縮と開発品の高性能化を目的として解析評価技術の向上を図っている。

たとえば高速回転で軸受を使用する場合、各部品には大きな遠心力・慣性力が作用し、通常回転時に比べて非常に過酷な運転状態となる。したがって、各部品の運転時の状態把握/予測が製品開発には不可欠である。一方、

従来の解析ツールではそれらの予測が困難な場合もあり、新たな条件に適応できる解析ツールの獲得が急務であった。

高速回転化対応技術開発において、各部品の動的作用力を予測することができる軸受動解析、周辺の空気流の影響を考慮して潤滑油の流れを予測することができる潤滑油流れ解析、そのほか軸受熱解析などの技術が重要である。ジェイテクトでは、実験結果に基づきそれらの解析を開発し、前述の高速回転軸受の保持器挙動や軸受内部の潤滑油分布の解析にも活用している（図11-1、図11-2）<sup>6)</sup>。

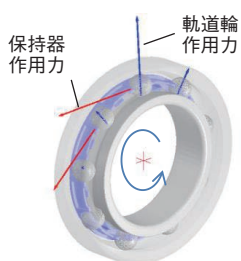


図11-1 軸受動解析事例  
Example of dynamic analysis of bearing



図11-2 潤滑油流れ解析事例  
Example of lubricant flow analysis

また実験評価においても、急加減速含めた高速試験機を開発した。さらに、FCEV 関連装置向け軸受の開発においては、水素環境試験機など新たな条件領域でも評価が可能となり、より信頼性の高い開発が可能となっている（図12）。

### 3. 今後の展望

以上、電動化における各軸受の開発動向を述べたが、電動化によって、エンジン補機類の廃止や多段変速機から固定段の減速機への変化で、軸受の使用数が大きく減少することが予想されている。

この状況においてジェイテクトは、「量から質」への転換、付加価値の向上が必要と考えており、特に電動化の起源となった対環境性に直接的に影響する低損失、小型・軽量化、再生可能材料の開発などの推進が不可欠と考えている。これまで、基盤技術、機能向上技術をベースに電動化対応技術を積み上げてきたが、加えて軸受と周辺部品との統合による小型・軽量化の推進、さらには軸受運転時（使用時）だけでなく、材料～生産～（使用）～廃棄までを含めた対環境ニーズに広く応え、製品ライフサイクルの面でも社会に貢献していく（図13）。

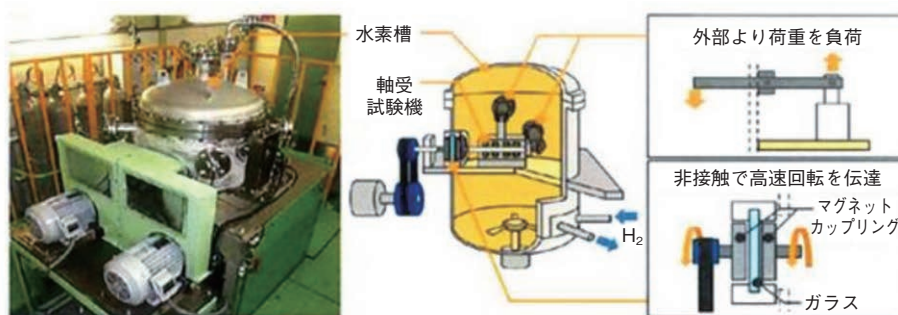


図12 水素雰囲気中試験（事例）  
Hydrogen atmosphere testing (case study)

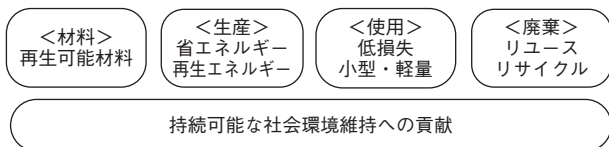


図13 将来の軸受開発のキーワード  
Future bearing development keywords

また、自動車に代表される陸上モビリティだけでなく、空モビリティ（空飛ぶくるま／ドローン）に代表される航空宇宙領域についても、これまで培った自動車電動化の技術を活かし、積極的に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 谷口陽三, 梅野 剛：高速回転対応深溝玉軸受の開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1015(2017) 49.
- 2) 横田邦彦：自動車用軸受の技術動向と展望, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1017(2019)25.
- 3) 安達丈博：インダストリー用軸受およびユニット商品のカーボンニュートラルへの取り組みについて, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1018(2021).
- 4) 石井康彦, 神保友彦：外輪アンチクリープ玉軸受の開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1014(2016) 59.
- 5) 新本元東, 小林 恒, 田代明義：電動ブレーキ用ボールねじの開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1017(2019)78.
- 6) 大島吉雄, 長谷川賢一, 鬼塚高晃：軸受動解析システムの開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1017(2019)83.

筆者



奥村剛史\*  
T. OKUMURA

\* 副本部長