

ベアリングのCO₂排出削減貢献レポート

2023年9月（第2版）

一般社団法人日本ベアリング工業会
環境対策専門委員会

目 次

1. はじめに	1
2. さまざまな製品に組込まれているペアリング	1
3. 各種機械製品に組込まれてCO ₂ 排出削減に貢献している事例	2
(1) 輸送用機械	2
①自動車	2
a. デファレンシャルギヤやトランスミッション向け「第5世代低トルク円すいころ軸受」を開発	2
b. トランスミッション用「複列4点接触玉軸受」を開発	3
c. トランスミッション用「針状ころ軸受及びプラネタリギヤ用シャフト」を開発	3
d. 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」を開発	4
e. 「モータ・ジェネレータ機能付ハブペアリング(eHUB)」を開発	5
f. 電動車向け「低フリクションハブユニット軸受」を開発	6
g. 「高速回転対応ブーリ用軸受」を開発	6
②鉄道	7
a. 「高信頼性 鉄道駆動装置用軸受」を開発	7
b. 「新幹線車軸用軸受」の開発	8
③航空・宇宙	8
a. 航空（ジェットエンジン主軸用軸受）	8
b. 宇宙（球面すべり軸受）	9
(2) 産業用機械	10
①工場	10
a-1. 工作機械（「主軸用高速軸受(アンギュラ玉軸受)」の開発）	10
a-2. セラミックボールの貢献	10
b. 産業用ロボット（「サーボモータ用低発塵軸受」を開発）	11
c. 食品関連・搬送機械（耐薬品環境での使用に最適の「高耐食軸受」を開発）	12
d. 「高効率モータ用軸受」を開発	13
②建設・土木・農業	13
a. 建設機械（新興国市場向け「走行減速機用中国現調円すいころ軸受」を開発）	14
b. 鉱山機械（鉱山コンベアプーリー用「高密封シール付高信頼性自動調心ころ軸受」を開発）	14
c. 農業機械（「長寿命高信頼性保持器付きスラスト玉軸受」を開発）	15
③エネルギー・発電所	15
・風力発電（転動体セパレータ採用「高負荷容量円筒ころ軸受」を開発）	15
(3) 電気機械・精密機械	16
①家庭	16
a. エアコン（「バイオマスプラスチック保持器搭載 深溝玉軸受」を開発）	16
b. 冷蔵庫（冷蔵庫のコンプレッサ用「PPS保持器付スラスト玉軸受」を開発）	17
②病院	18
・歯科（「歯科エタービン用軸受シリーズ」を開発）	18
4. おわりに	18
【専門用語の解説】	19
【参考資料】	22

ベアリング（軸受）のCO₂排出削減貢献レポート

一般社団法人日本ベアリング工業会
環境対策専門委員会

1. はじめに

当工業会環境対策専門委員会では、2003 年度に続き、2014 年度に 2 度目のベアリング（軸受）の LCA（Life Cycle Assessment）の調査を行いました。この調査では、素材・製造・輸送・使用の 4 段階における CO₂（二酸化炭素）の環境負荷について行いました。2014 年度の調査結果と約 10 年前となる 2003 年度調査結果とを比較すると、ベアリング製造各社における生産のあり方は、製造技術等で大きな進歩を遂げており、また、海外生産を含めた構造変化が進展していますが、ライフサイクル全体についてみれば、素材、製造、輸送、使用の各段階で発生する CO₂ 排出量の比率は大きな変化はなく、傾向は一致していることが確認されました。即ち、使用段階における CO₂ 排出量が最も多く、素材、製造、輸送段階での CO₂ 排出量は少ない傾向にあることが確認されました。従って、使用段階における CO₂ 排出量の削減がとりわけ重要であることがわかりました。

さまざまな機械製品に組込まれている多様なベアリング^①は、そもそも省エネ機能を担っている機械部品です。CO₂ 削減、省エネの重要性が増している近年、会員企業は、これに応えるため、よりよいベアリングを研究・開発し供給してきました。

温暖化防止が喫緊の課題となっている今日、こうした新しいベアリングがいかに CO₂ 排出削減に貢献しているか、ひいては省エネにつながっているか、ベアリングユーザーの方々に対してご紹介することは有意義なことであると考え、各社の関連する事例をとりまとめ、2016 年 11 月に第 1 版を作成しました。その後、技術革新、需要構造の変化など、経済・社会の進展がみられることから、改めて最新の各社の事例をとりまとめ、2023 年第 2 版として作成しました。

なお、各種機械製品に組込まれたベアリング関連製品などの記載内容は、専門的な用語が多く含まれることから、レポートの末尾に【専門用語の解説】を付していますので、本文と合わせてご参照ください。

2. さまざまな製品に組込まれているベアリング

ベアリングは、自動車や各種機械・装置の回転運動を支え、摩擦を少なくするための部品であり、製品自体が省エネルギーのためのものです。さらに、小型・軽量化、低トルク^②化、長寿命化など技術進歩に伴う性能向上により、需要先である自動車や家電製品（エアコン、洗濯機、掃除機、パソコンなど）、工場設備等の CO₂ 排出削減にも大きく貢献しています。また、風力発電機用高性能軸受の提供により、自然エネルギーの利用効率を高め、結果的に世の中の CO₂ 排出削減に寄与しています。

ベアリングが私たちの暮らしと産業を支え、省エネルギーに貢献している環境にやさしい製品であるとともに、日々、ベアリングがより身近なところで CO₂ 排出削減に貢献していることがおわかりいただけると思います。

3.各種機械製品に組込まれてCO₂排出削減に貢献している事例

(1) 輸送用機械

①自動車

自動車はベアリングが最も多く使われている製品で、一般的な自動車では100～150個ものベアリングが使用されています。

a. デファレンシャルギヤ^③やトランスミッション^④向け「第5世代低トルク円すいころ軸受」を開発*1

自動車のトランスミッションやデファレンシャルに用いられる円すいころ軸受は潤滑油中で使用されます。しかし、一般には「潤滑油粘度が高い」「給油量が多い」「回転速度が高い」使用条件となり、軸受のポンプ作用によって潤滑油の攪拌損失が大きくなってしまうという問題がありました。



このたび、問題解決のため、次の点に着眼して、「第5世代低トルク円すいころ軸受」を開発しました。

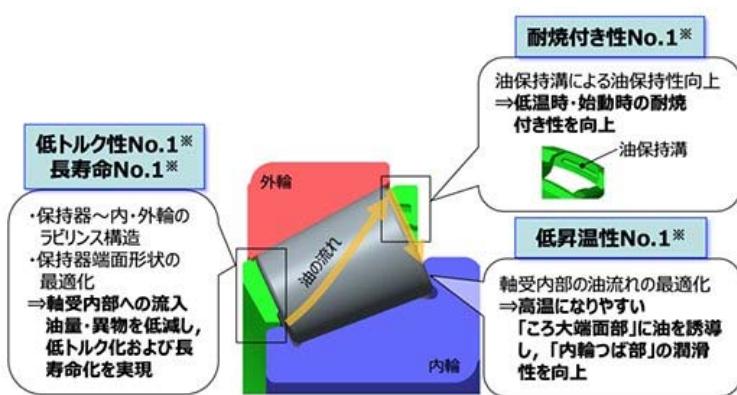
- ・更なる低燃費化へのニーズに応えるため、樹脂保持器形状の最適化を行い、潤滑油の流入量を最適制御し低トルク性を実現。
- ・保持器ポケット部に潤滑油を保持する溝を設け、始動時や低温時の耐焼付き性を向上。
- ・昨今の潤滑油の低粘度化および油量低減を見据えて、軸受内部の油流れの最適化を行い、軸受昇温を低減。

これにより、開発品は従来品と比べて転がり軸受のトルク低減（60%減）と軽量化（5%減）を達成しました。

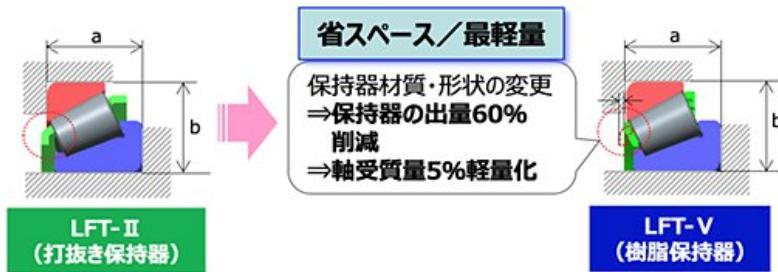
CO₂排出削減の効果は、自動車1台当たり10万km走行で約400kgとなります。

[開発品の特長]

- ①低トルク化と長寿命化
- ②耐焼付き性の向上
- ③軸受昇温の低減
- ④省スペース化／軽量化



*No.1: 当社LFTシリーズにおいての性能です

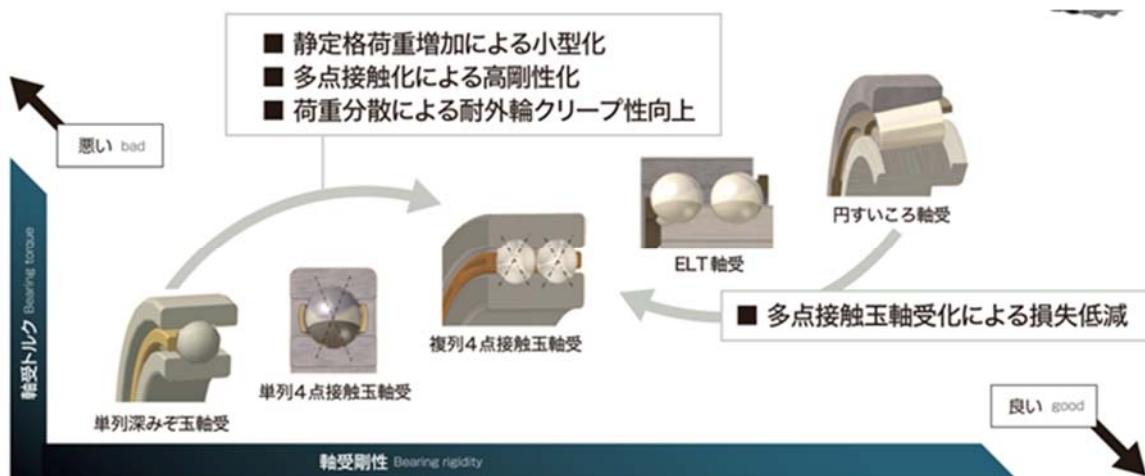


「LFT」は株式会社ジェイテクトの登録商標です。

b. トランスマッision用「複列4点接触玉軸受」を開発*2

自動車産業において近年厳しくなる一方の燃費規制に対する対応として、軸受についても抵抗(損失)低減が強く求められております。

今回開発した「複列4点接触玉軸受」は、トランスマッisionや減速機の円すいころ軸受を玉軸受への構造変更を行うことで低トルク化を実現しています。また、単なる玉軸受への置き換えでは剛性、寿命といった問題がありますが、本製品は特殊な内部構造とすることで剛性と寿命を向上させ、従来は置き換えができない使用条件でも玉軸受への置き換えが可能となり、自動車の燃費向上を通じてCO2削減に貢献しています。



c. トランスマッision用「針状ころ軸受及び^⑤プラネタリギヤ用シャフト」を開発*3

自動車のオートマチックトランスマッisionに組み込まれるプラネタリギヤユニットには、プラネタリシャフトと針状ころ軸受が使われています。プラネタリギヤユニットの小型・軽量化(効率向上)のために、針状ころ軸受の小型・軽量化のニーズがあります。

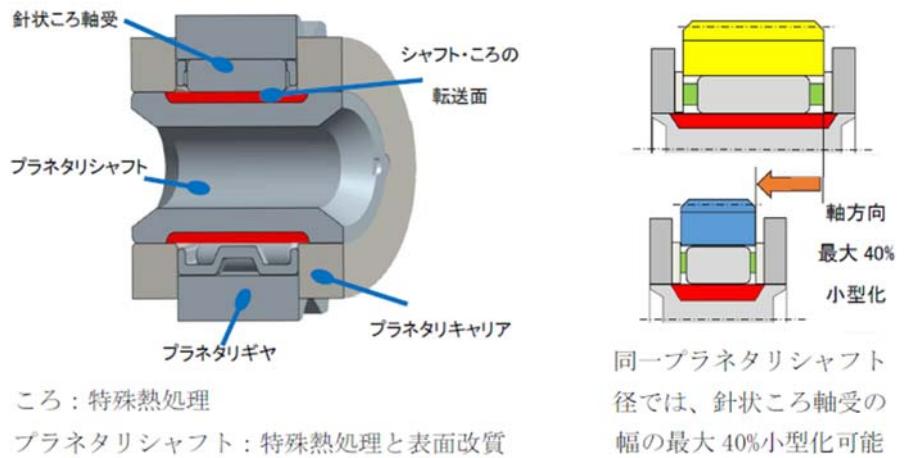
このたび、軌道面への特殊熱処理技術と表面改質技術とを開発し、従来品と比べて 5 倍の長寿命化を実現しました。この長寿命化技術により、同じ使用条件の同一プラネタリーシャフト径では、軸受の幅を最大 40% 小型化することが可能になります。

この軸受の小型化は、プラネタリギヤユニット、オートマチックトランスマッision の小型・軽量化につながり、自動車 1 台当たりでは約 500 g の軽量化となります。

CO₂ 排出削減の効果は、自動車 1 台当たり 10 万 km 走行で約 4.6 kg となります。

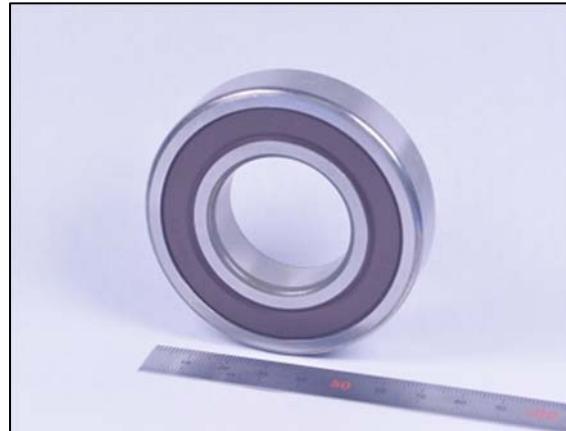


[開発品の構造と特長]

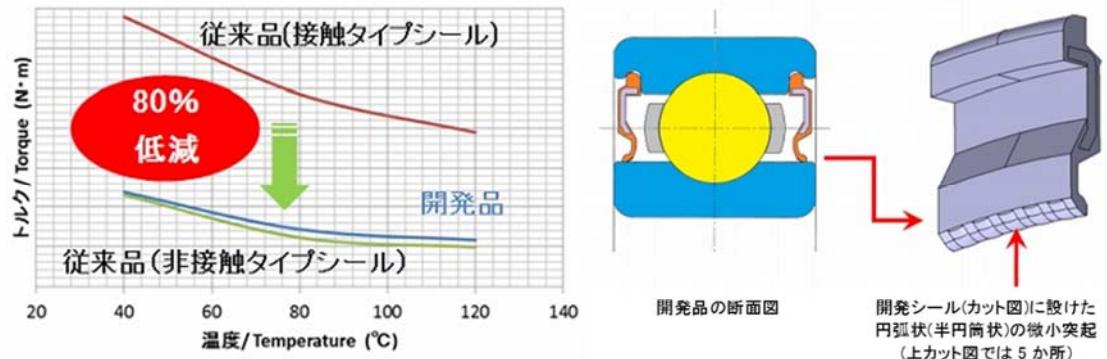


d. トランスマッision 用「超低フリクションシール[®]付玉軸受」を開発^{*4}

自動車の省燃費化に伴い、トランスマッision 用軸受には、長寿命に加え、さらなる低トルク化が求められています。また、トランスマッision 内に発生するギアの摩耗粉など、硬質異物の軸受侵入による軸受寿命の低下を抑制するため、従来は接触タイプシールの適用が標準的でしたが、シール部が軸受内輪に接触することで、回転時に引き摺りトルクが発生する課題がありました。さらに、近年の EV^⑦ や HEV^⑧ といった高速回転が必要とされる用途においては、シール部の周速限界の制約により、接触タイプシールの適用は困難でした。



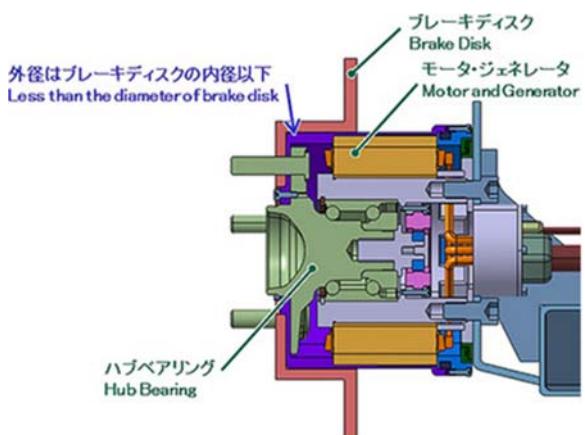
今回開発した「超低フリクションシール付玉軸受」は、シールリップ^⑨のすべり接触部に円弧状(半円筒状)の微小突起を等間隔に設けた新開発の接触タイプシールを採用することで、回転トルクを従来品比で 80% 低減し、非接触タイプシールに匹敵する低トルク効果を実現いたしました。回転時には、微小突起によるくさび膜効果によって、シールと内輪の摺動面の間に油膜が形成され、接触タイプシールでありながら、シールの引き摺りトルクを大幅に低減しています。さらに、シールリップの突起は微小なため、潤滑油を通して軸受に有害な硬質異物の侵入は防ぐことができ、軸受寿命も確保しています。

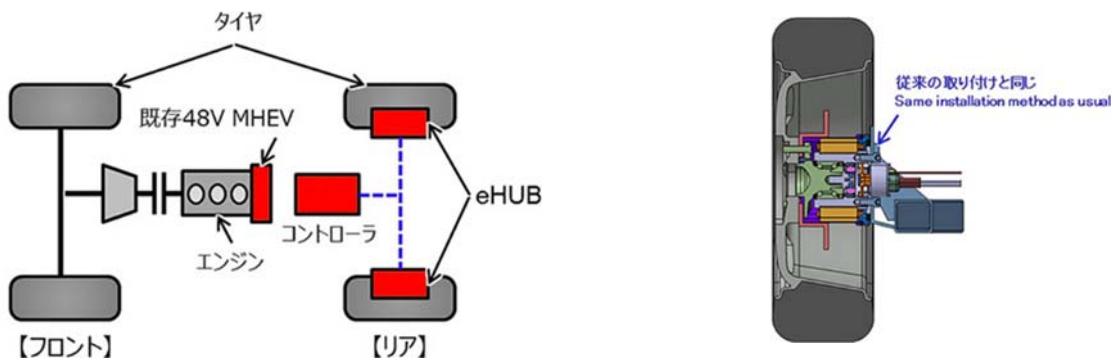


e. 「モータ・ジェネレータ機能付ハブベアリング(eHUB)」を開発^{*5}

近年、自動車の燃費向上や CO₂ 排出規制の強化が進むなか、欧州を中心に、発進時や加速時にエンジンの駆動力を補助して燃費を改善する「48V マイルドハイブリッドシステム」(以下、「48V MHEV」)の普及が拡大しています。「48V MHEV」は、エンジンを主要動力源として使用し、発進時や加速時などエンジン駆動時に小型のモータで駆動アシストするシステムです。また、減速時に発生するエネルギーを電力に変換(回生)することで、より燃費効率を向上させることも可能です。

今回開発した「eHUB」は、前輪駆動車の場合は後輪(非駆動輪)に搭載し、モータで駆動アシストしてエンジン負荷を軽減し、減速時には発電機としてエネルギーを電力に回生します。本開発品を、スタータジェネレータなど既に実用化された「48V MHEV」と組み合わせることで、従来のエンジンのみの自動車と比較して最大 25% の燃費向上が実現します。また、EV クリープ走行や、すべりやすい路面(低ミューロード)での車両姿勢の安定制御に活用することも可能です。





f. 電動車向け「低フリクションハブユニット軸受」を開発^{*6}

CO₂などの温室効果ガス排出による環境問題が深刻化するなか、環境負荷が小さいEVやHEVの普及が期待されています。しかし、EVやHEVの普及には、モータ走行モードでの航続距離延長が課題となっています。航続距離延長には、回転部分のフリクションを減らすことが有効であり、なかでも車体を支えるとともに車輪を滑らかに回転させるハブユニット軸受のフリクション低減は大きな効果が期待されます。

本製品は、グリースの改良によりフリクションを低減しており、燃費・電費を向上させることによってEVの航続距離延長に貢献します。開発したグリースは、基油の低粘度化と増ちょう剤の変更により、ボールが転がる際に生じる抵抗を低減しました。また、グリースの硬さを調整して軸受内部の適正な位置に移動させることにより、ボールが転がる際に生じる攪拌抵抗を低減しました。これにより、本製品は従来品と比べてフリクションを30%低減しました。

本製品が電動車を中心とした自動車に搭載されることにより、EVの航続距離が約0.6%向上（バッテリー重量約1.4kg削減に相当）し、2026年において34.5万トンのCO₂排出量削減に貢献します。



グリースを構成する3つの要素



g. 「高速回転対応プーリ^⑩用軸受」を開発^{*7}

自動車エンジンの補機ベルトに用いられるプーリ用軸受は、近年のダウンサイジング技術によるエンジンの小型化やISG^⑪搭載車の増加などによって、エンジン補機類のレイアウトが複雑化し、使用されるベルトおよびプーリ用軸受の設置レイアウトの制限が大きくなっています。プーリ径を小さくすれば設置レイアウトの自由度が高くなりますが、プーリ径

を小さくすることで、プーリ用軸受には高速回転性能が求められます。また、自動車の快適性や信頼性向上を目的に、プーリ用軸受には冷時異音や低トルク化に対するお客様の要求が高まっており、さらなる高機能化も求められています。

今回開発した「高速回転対応プーリ用軸受」は、保持器とシールを回転遠心力に対応する設計とすることで、高速回転時のシールリップ部の発熱や、保持器の変形を抑制し、従来品と比べて約1.3倍となる1分間に20,000回転まで対応が可能となりました。また、グリースも低温特性に優れた仕様とすることで、低温時でのグリース硬化を防ぎ、軸受の外輪とプーリが振動する



冷時異音の発生を抑えます。さらに、軸受の破損原因のひとつである脆性はく離に対し、破損の進行を抑制するグリース添加剤の採用や、軸受軌道輪の熱処理の工夫により、低温特性を向上しながら耐脆性はく離特性を維持しています。同時に、シール形状やグリース基油、軸受の内部諸元を最適化することで、シールにかかるトルクとグリースの搅拌抵抗を抑え、回転トルクも従来品と比べて10%低減を実現しました。

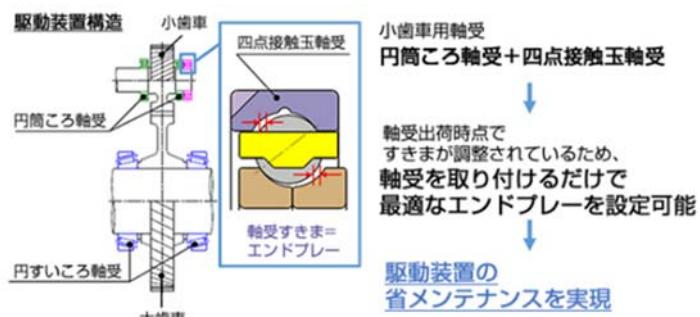
②鉄道

鉄道車両を支え駆動する台車にはさまざまなペアリングが使用されています。

a. 「高信頼性 鉄道駆動装置用軸受」を開発^{*8}

近年の鉄道業界における環境保全とライフサイクルコスト削減要求の高まりを受け、駆動装置（歯車減速機）用の軸受には、これまで以上に高い信頼性や省メンテナンス性が必要とされています。主電動機の出力を車軸へ伝達する駆動装置は、線路と車輪の間で発生する大きな振動を受け、ここに使用される軸受には、過酷な振動下でも破損せずに長期間使用できる高い信頼性が求められます。

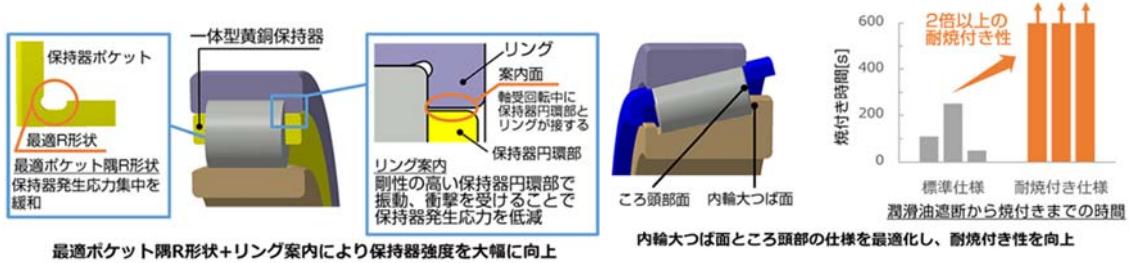
駆動装置の小歯車軸用に開発された四点接触玉軸受は、出荷時点ですきまが調整されており、取り付けるだけで最適なエンドプレーを設定可能となっています。小歯車軸に使用される従来の円すいころ軸受はエンドプレーの調整が必要でしたが、これにより省メンテナンスを実現しました。また、四点接触玉軸受と合わせて使用される円筒ころ軸受は、高強度保持器を採用しており、最適ポケット隅R形状とリング案内によって保持器発生応力を75%低減しました。さらに、内輪に寸法安定化熱処理を施すことによって



高温下での長期使用における内輪の寸法変化を抑制し、耐クリープ性を向上させています。

また、駆動装置の大歯車軸用の円すいころ軸受は、内輪大つば面ところ頭部の仕様を最適

化して耐焼付き性を向上させた高信頼性仕様となっています。



b. 「新幹線車軸用軸受」の開発^{*9}

高性能、高信頼性かつ長期メンテナンス化を実現する各種鉄道車両用軸受（車軸用、駆動装置用、主電動機用）は、「安全・確実に速く目的地に到達する」という鉄道の使命を支えています。

新幹線用としては当初の0系から最新のN700系に至るまで数多くのベアリングが使用されています。車軸用軸受は安全性に直結することから、軸受の状態監視を目的としたセンサー付軸受も開発され、貨物用に実用化されています。また、過酷な振動下で使用される駆動装置用軸受には、耐つば焼付き仕様とともに、軟窒化処理を

施した高強度保持器を有する高信頼軸受が長年使用されています。

さらに主電動機用軸受には、メンテナンス周期延伸の要求に応えるべく、グリース補給能力に優れ、かつフェイルセーフ思想を盛り込んだ保持器を開発。従来仕様の2倍以上のグリース寿命を有す軸受を実用化しました。メンテナンス上の課題であった電食防止に対しては、セラミック絶縁軸受及び樹脂絶縁軸受で解決が図られています。

NACHI

新幹線車軸用軸受の変遷

車両外観	軸受概略図	車種、軸受形番
0系		0系新幹線 1964年～ ・複式円筒ころ軸受 JC9 (重量55kg) ・深溝玉軸受 JB4 (重量13kg) ・最高速度 220km/h
300系		300系新幹線 1992年～ ・複式円筒ころ軸受 JC34 (重量31kg) ・最高速度 270km/h
N700S		N700S新幹線 2020年～ ・複式円すいころ軸受 JT32 (重量31kg) ・最高速度 300km/h

NACHI-FUJIKOSHI CORP.

③航空・宇宙

航空・宇宙では、常に時代の最先端技術を織り込んだ信頼性の高いさまざまなベアリングが使用されています。

a. 航空（ジェットエンジン主軸用軸受^{*10}）

航空機にはジェットエンジンをはじめ、さまざまな箇所で軸受が使用されています。近年のジェットエンジンは、低燃費化や重量軽減を目的に高温化や高圧化する傾向にあり、ジェットエンジンの主軸に使用される軸受の使用条件は更に過酷になっています。このため、軸受の信頼性を向上させるための開発が重要課題となっています。

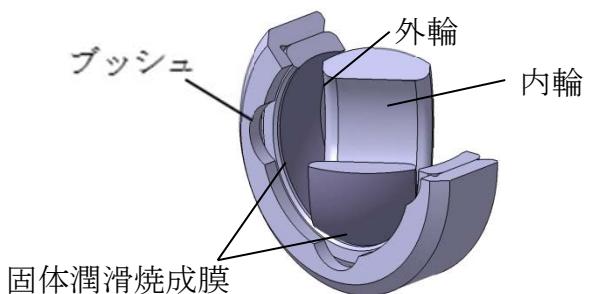
標記軸受の不具合の主な要因は、硬い異物により生じた圧痕などの表面欠陥のはく離や凝着があります。それらを抑制し高い信頼性に応えるため、表面改質による軌道面硬化の確立に取り組んでいます。また、転動体は、高速回転による転動体と軌道輪の接触面圧を抑えるため、軸受材料がずっと焼入鋼の約40%と軽量で、摩擦摩耗特性にも優れたセラミックス (Si_3N_4) の適用を検討しています。これらを検討・実施していくことにより、高い信頼性を確立し、ジェットエンジンの低燃費化に貢献していきます。



b. 宇宙（球面すべり軸受^{*11)}

宇宙環境は、微小重力、高真空、高放射線、広い温度範囲、原子状酸素など地上環境とは大きく異なるため、人工衛星や惑星探査機に用いられる軸受は、過酷な使用環境下での運転を余儀なくされます。これらの機体には、各種精密機器をはじめ多くの軸受が使用されていますが、宇宙空間で故障した場合の修理が難しく、最悪の場合には人工衛星や惑星探査機そのものの再製造および再打ち上げが必要になり、その際に再び多くの CO_2 を排出することになります。これを防ぐ意味からも、人工衛星や惑星探査機用軸受には高い信頼性が求められます。

例えば、太陽電池パネルの展開可動部には球面すべり軸受が採用されています。人工衛星や惑星探査機は打ち上げ後の動力確保のため、宇宙空間で太陽電池パネルを展開して発電を行います。本軸受は展開時のたった1回の作動が必要ですが、確実な展開を要求されるため、高い信頼性が求められます。宇宙空間は、高真空、高放射線環境に加え、低温から高



温までの広い範囲の温度環境であり、油やグリースといった潤滑剤では蒸発、劣化、凝固のリスクがあるため、内輪及び外輪の摺動面に固体潤滑焼成膜を施すことで、確実な作動を実現しています。また、地上で打ち上げを待つ間も、一般の軸受材質では部品に微量ながら鑄が発生し、円滑な作動を妨げるリスクがあるため、軸受材質にマルテンサイト系ステンレス鋼を採用し、鑄を防いでいます。さらに、軸受製造時の素材、加工工程、熱処理工程、組立工程などの製造履歴管理を行い、軸受1つ1つにシリアルナンバを付けて記録を残すなど厳しい品質管理を行い、製造面での信頼性も高めています。

このように宇宙用軸受は、過酷な環境に耐えうる特殊仕様の構築と、厳しい品質管理によって、再打ち上げ等による CO_2 排出を防ぐ「縁の下の力持ち」になっています。

(2) 産業用機械

①工場

ものづくりの現場では各種のベアリングが使用されています。

環境への配慮からさらに厳しくなるエネルギー損失低減と長寿命化のニーズへ向けて、トライボロジー^⑫技術を駆使した高機能製品を世に送り出し続けています。

a-1. 工作機械（「主軸用高速軸受(アンギュラ玉軸受)」の開発^{*12}）

工作機械には、高能率加工のために切削量の増加と高速回転が求められ、主軸用軸受には高剛性と高速回転性の両立が要求されます。

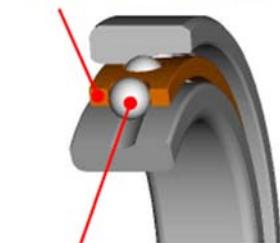
このたび、密度が低く軽量のセラミックボールと高速回転性に優れた樹脂保持器の採用に加え、内部設計の最適化により高剛性と高速回転性の両立を実現しました。

グリース潤滑の工作機械では、最高レベルの dmn 値^⑬:160 万を達成しました。転がり軸受への潤滑方法の変更により、電力消費量は従来品と比べて約 80% 削減しました。

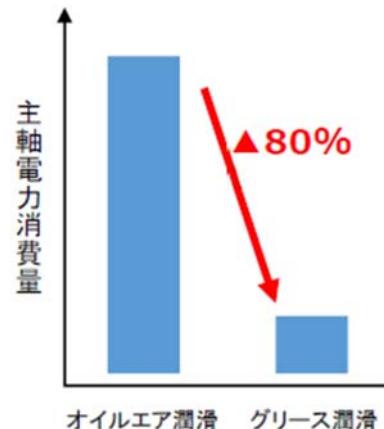
これにより、CO₂ 排出削減の効果は、工作機械 1 台当たり 1 年間で約 6.3 ton を実現しています。



高速回転性に優れた樹脂保持器



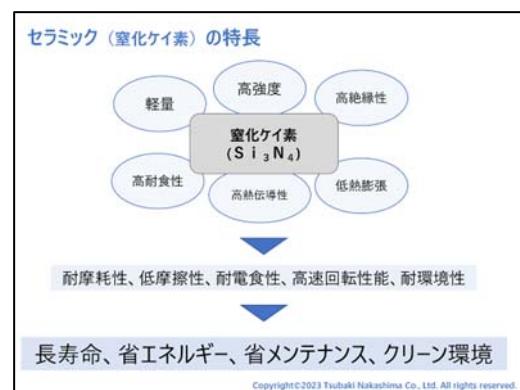
セラミックボール(玉径小×玉数多)
⇒ 優れた高速回転性(遠心力やジャイロモーメントによる滑り現象の低減)と、高剛性(玉数増加)の両立



a-2. セラミックボールの貢献^{*13}

(i) セラミック(窒化ケイ素)の特徴

窒化ケイ素(Si₃N₄)は、軽量、高強度、高絶縁性、高耐食性、高熱伝導性、低熱膨張性など優れた物理特性を有しています。また、これを材料とするセラミックボールは耐摩耗性、低摩擦性、耐電食^⑭性、高速回転性能、耐環境性に優れ、ベアリングの長寿命、省エネルギー、省メンテナンス、クリーン環境に大きく貢献しています。



(ii) セラミック（窒化ケイ素）ペアリングの特性

セラミックボールを使用したハイブリッドペアリングと鋼球を使用したスチールペアリングの比較を右表に示します。セラミックボールの大きな特徴の一つはその比重が鋼球に比べ半分以下という点ですが、熱膨張や変形が小さい事から、回転摩擦が小さく、摩擦による温度上昇を抑えられるという特徴もあります。セラミックボールはこれらの特徴に加え、優れた耐腐食性を有することから、酸やアルカリ性の溶液中など、特殊環境下で使用できるのも大きな特徴です。

さらに、体積固有抵抗値も鋼球に比べ大きく、高い絶縁性を示すことから、高電圧化/インバーター化の妨げになる電食に対しても大きく貢献しています。

(iii) セラミックペアリングの普及を通じた CO2 排出削減への貢献

現在、性能的に優れたセラミックペアリングを普及させるために、以下の取り組みを行っています。

○高精度/低ノイズペアリングの開発

セラミックボールの工法開発を進める事により、G3 規格をはるかに上回る形状のセラミックボールの生産を可能にしました。

○短い納期

セラミックボール生産における粗加工工程及び仕上げ工程の工法を開発することにより、加工時間を短縮し、製品の納期短縮を実現しています。

○供給量の増加

セラミックボールの需要の増加に応じるため、工法を開発するとともに生産設備の増設を行い、生産能力の増強を進めています。

b.産業用ロボット（「サーボモータ^⑯用低発塵軸受」を開発^{*14)}

サーボモータは、回転検出器やブレーキ(以下、制御機器)を備え、高精度な回転制御が行えるため、近年は産業用ロボットや工作機械を中心に需要が増加しています。このうち、産業用ロボットに使用されるサーボモータは、関節部の駆動用途が多く、関節部の軸速度や加減速度を高めるために小型化、高出力化が求められています。サーボモータを小型化するため、制御機器は軸受の近傍に配置されますが、軸受の油分が飛沫となって発塵すると、制御機器に付着し、検出精度や制動性

セラミック（窒化ケイ素）ペアリングの特性

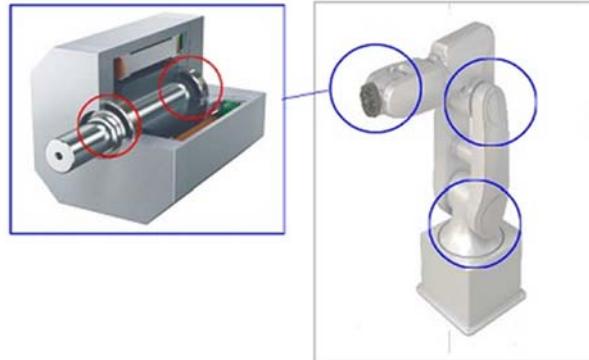
スチールペアリングとの比較

素材	窒化ケイ素(Si ₃ N ₄) ハイブリッドペアリング (セラミックボール使用)	スチールペアリング (鋼球使用)
重量	3.3(g/cm ³) ⇒軽量・長寿命	7.8(g/cm ³)
熱膨張	熱膨張計数3($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) ⇒回転摩擦の変動小	熱膨張計数12.5($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) ⇒回転摩擦の変動大
変形	ヤング率300GPa ⇒変形が小さく回転摩擦小	ヤング率200GPa ⇒変形が大きく回転摩擦大
耐腐食性	高い ⇒酸・アルカリ溶液中や 特殊環境下での使用が可	低い
絶縁性	体積固有抵抗 $1.0 \times 10^{14}\text{M}\Omega\text{cm}$ ⇒高い(絶縁体)	体積固有抵抗 $2.0 \times 10^{15}\text{M}\Omega\text{cm}$ ⇒低い(誘導体)
回転摩擦	摩擦による温度上昇が 小さい	接触面が大きく 摩擦による温度上昇が大きい

Copyright©2023 Tsubaki Nakashima Co., Ltd. All rights reserved.



が低下する原因となります。これを防ぐために、サーボモータ本体に密封装置(シール)が用いられていますが、その分、サーボモータが大きくなり、小型化できないという課題がありました。そこで、密封装置無しでも付着を抑制するよう、低発塵の軸受が求められています。また、サーボモータの高出力化を図るため、低トルク化への要求も年々高まっています。今回開発した「サーボモータ用低発塵軸受」は、サーボモータで広く使用されている密封形深溝玉軸受に、発塵を抑制するための成分や配合を用いた新開発の低発塵グリースを封入しています。また、形状の改良により、内輪との摺動部の接触力を均一にすることで、密封性を高めるとともに、低トルク化を実現した新設計の接触形シールを採用しています。これにより、従来品に比べて、軸受からの発塵量を約 90% 低減するとともに、回転トルクを約 50% 低減しました。



c. 食品関連・搬送機械 (耐薬品環境での使用に最適の「高耐食軸受」を開発^{*15)}

従来のステンレスシリーズでは、インサート軸受^⑯の内・外輪にマルテンサイト系ステンレス鋼を用いており、熱処理によって硬さやじん性^⑯を付加していますが、オーステナイト系ステンレス鋼に比べて、耐食性が劣ります。以下の表のとおり、オーステナイト系ステンレス鋼



はマルテンサイト系ステンレス鋼に比べて硬さが劣ります。つまり、この 2 つの一般的なステンレス鋼において『耐食性と硬さは、両立し得ない トレードオフの関係』でした。そこで、新たな熱処理技術によって耐食性と硬さを兼ね備えた HNT 热処理鋼をインサート軸受に採用した新シリーズ「高耐食軸受」を開発しました。これにより、軸受寿命を大幅にのばすことができ、省エネ・省資源化に貢献します。また食品機械用グリース (NSF H1 認証品) を封入しているため、ステンレス鋳鋼製の軸受箱に組み込むことで、食品機械にも安心してご使用いただけます。

マルテンサイト系	SUS440C	ステンレスシリーズの鋼球 等 ※ 内外輪には相当品	耐食性 △	硬さ ◎	磁性 有
オーステナイト系	SUS304	ステンレスシリーズの スリング、保持器 等	耐食性 ◎	硬さ X	磁性 無
HNT熱処理鋼	高耐食軸受の内外輪		耐食性 ◎	硬さ ◎	磁性 有

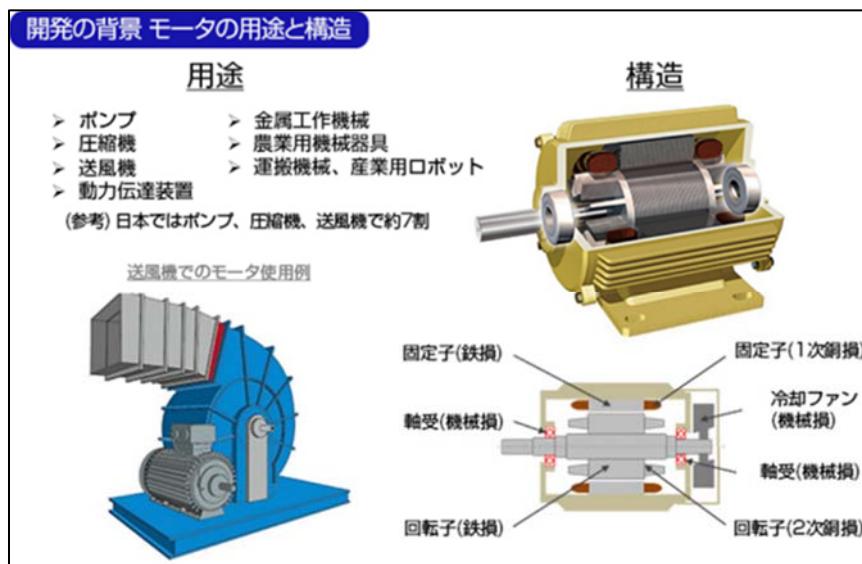
	SUS440C	HNT熱処理鋼
塩水噴霧試験 JIS H 8502 (100時間)		
複合サイクル試験 JIS H 8502 (100時間)		

※地方独立行政法人 大阪産業技術研究所にて実施

d. 「高効率モータ用軸受」を開発*16

産業機械用モータは、ポンプ、送風機、圧縮機などさまざまな機械を駆動しており、世界の消費電力量の 40%以上を占めているといわれています。このため世界中の国々で産業機械用モータの効率向上を義務付ける規制が導入されています。軸受による損失はモータ消費電力の 1%程度と少ないものの、その波及効果が大きいことから、いっそうの損失低減が期待されています。

「高効率モータ用軸受」は、専用グリースを使用して封入量を最適化することによって回転時のグリースの攪拌抵抗を減らし、損失を 60%低減しました。さらに、プラスチック保持器を使用することによって損失を最大 80%低減することが可能となっています。また、この専用グリースは、従来品に比べて回転時の軸受内部の摩耗が抑えられることから、寿命の延長（2.7 倍以上）が可能となっています。



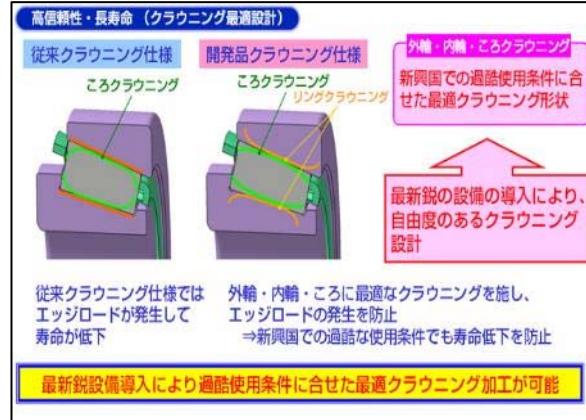
②建設・土木・農業

重いものを運んだり、地中深く掘ったり、耕したりする機械には、高負荷に耐えられるベアリングが多数使用されています。過酷な環境下で使用されることが多く、高い信頼性が求められています。

a.建設機械（新興国市場向け「走行減速機用中国現調円すいころ軸受」を開発^{*17)}

油圧ショベルなどの建設機械の走行減速機に使用される円すいころ軸受は、重荷重や衝撃荷重が発生するような過酷な環境下で使用されています。なかでも新興国においては、多くの建設機械が長時間の連続稼働や長距離の悪路走行などのより厳しい環境下で使用されています。さらには、軸受周辺部品の精度が粗いことや作業者が軸受の取り扱いに慣れていないなどの新興国特有の課題も発生しています。このようななか、新興国特有の過酷な使用環境に最適な製品仕様を設計し、さらに中国の工場に高精度な加工が可能な生産設備を導入することにより、高品質な製品を、コスト競争力を高めて、短納期で納入可能な現地生産を実現しました。

本製品は過酷な使用環境下での寿命低下を防止するため、内外輪軌道面およびころ転動面に最適なクラウニング^⑯を施すことによって、エッジロード^⑯の発生を抑制しています。さらに、取り付け精度が悪化した際の軸受の傾きも許容する丈夫な設計となっています。また、悪路走行時には軸受に大きな衝撃がかかりますが、なかでも内輪の大つば部に大きな応力が発生すると、大つば部が割損して走行不能となるおそれがあります。このため、ころ端面形状の最適化を行い、大つば部に発生する応力を約 10% 低減しました。



b.鉱山機械（鉱山コンベアプーリー用「高密封シール付高信頼性自動調心ころ軸受」を開発^{*18)}

長さが数キロから数十キロにもおよぶ鉱山コンベアには、粉塵に曝される過酷な環境下においても 365 日 24 時間の安定稼動ができる堅牢性が求められています。

一般的に鉱山コンベアプーリーには、高負荷容量で軸のたわみを吸収できる自動調心ころ軸受が使われています。自動調心ころ軸受には開放型（シールなし）と密封型（シール付き）がありますが、従来の開放型では異物侵入による早期損傷が課題となっていました。一方、密封型では十分なシール性能を発揮するためのシールスペースの確保と軸受の設備組付け時にすきまを測定できることによる組付け不良が課題となっていました。



本製品は、独自の長寿命材料技術によって軸受内部をコンパクトに設計することで、シールスペースを確保しながら従来品と同一寸法で同等以上の負荷容量を実現しています。また、ボルト締結型シールホルダーによってシールの取り外しが可能となっており、設備組付け時にすきま測定ができるようになっています。これにより、異物侵入による早期損傷を防止するとともに、設備組付け時に適切なすきま管理を高精度に行うことが可能となりました。

本製品は鉱山コンベアプーリーにおいて、従来品に比べて4倍以上の長寿命化を実現し、鉱山採掘の生産性向上に貢献します。

c. 農業機械（「長寿命高信頼性保持器付きスラスト玉軸受」を開発^{*19}）

世界的な人口増加に伴う食料需要の増加やバイオ燃料等の需要の増加により、それを生産する農業機械の需要が拡大しています。トラクターやコンバインをはじめとする農業機械では、スムーズな操作のための無段変速化や作業性を高めるためのエンジンの高出力化が進んでいます。これにともない、農業機械の変速機では、Hydraulic Static Transmission (HST)[®]が主流となっていますが、エンジンの高出力化によりHSTに使われるスラスト玉軸受にかかる負荷が増加しており、寿命や信頼性の向上が求められています。



本製品は、内部疲労に強い高清浄度軸受鋼（EP鋼）と表面疲労に強い特殊熱処理、加えて繰り返し応力に強い材料を使用した保持器により、従来品の2倍以上の長寿命化を可能にしました。

③エネルギー・発電所

快適な生活をささえるエネルギー設備には、大形で信頼性の高いさまざまなベアリングが使用されています。

地球温暖化の原因となる炭酸ガスを発生させないクリーンエネルギーとして、風力発電は世界各国で急速に普及しています。

大型風力発電機（風車）は巨大機械であり、現在、数多く建設されている2MWクラスの風車では、ブレードの長さが約40m、回転軸の高さが60～100m、総重量は200t以上になります。このため、風車で使用される軸受も必然的に大形になり、内径で100mm～700mm、機種によっては2m近いものも要求されます。

・風力発電（転動体セパレータ採用「高負荷容量円筒ころ軸受」を開発^{*20}）

風力発電機では、羽根の回転を伝える主軸、より多くの電気をつくり出すために軸の回転スピードを上げる增速器や発電機など、主要な部分にベアリングが使用されています。

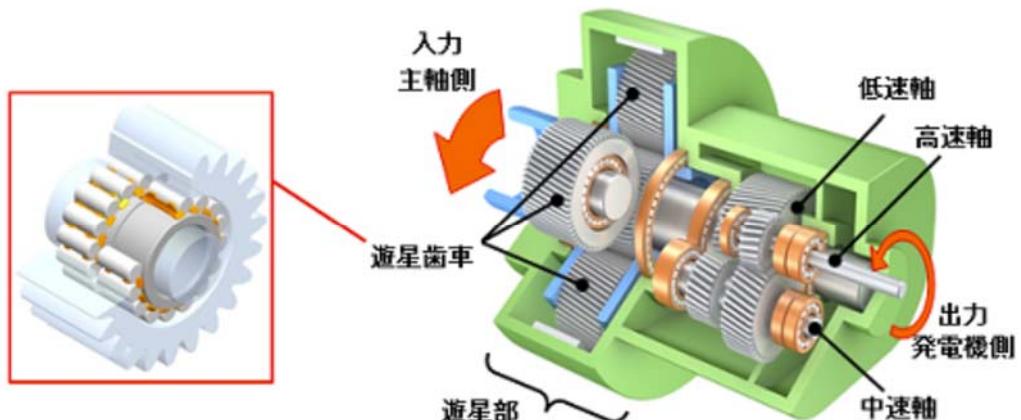
風力発電機の增速機には、高効率化による装置の大型化に伴い、高い荷重負荷能力とともに、高出力、高効率のための高速回転性能が求められます。今回開発した「高負荷容量円筒ころ軸受」は、独自開発した「転動体セパレータ」を採用することで、ころ同士の接触を防

ぎ、回転性能を損なうことなく総ころ形とほぼ同数のころを内蔵可能で、世界最高水準の負荷容量を確保しました。また、一般的な保持器付き円筒ころ軸受の1.5倍の定格寿命を実現し、増速機や減速機の低速軸はもちろんのこと、中・高速軸へも適用が可能です。

さらに、風力発電機によく用いられる遊星歯車型の増速機や減速機には、ころを最適設計することにより、遊星歯車の内径部を軸受の外輪軌道面として使用することができ（写真：Nタイプ）、装置全体の軽量・コンパクト化にも貢献します。



このように、風力発電機に使用される軸受は、風力発電機の性能向上に寄与することで、自然エネルギーの普及、ひいては化石エネルギー比率低減によるCO₂削減に貢献します。



歯車内径を軸受軌道面として
利用した遊星歯車の構成例

風力発電機向け増速機のレイアウト

（3）電気機械・精密機械

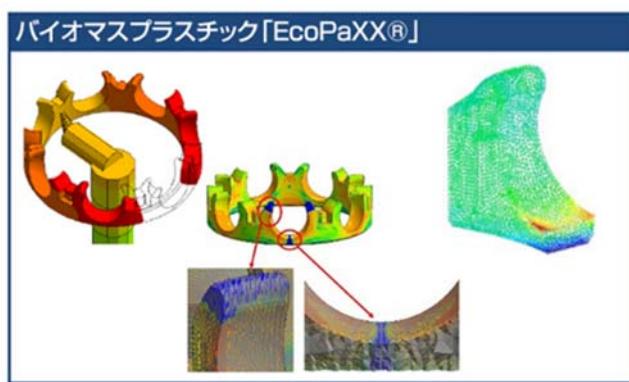
①家庭

快適な生活に欠かせない家電製品や生活用品にはさまざまなベアリングが使用されています。

a. エアコン（「バイオマスプラスチック^㉑保持器搭載 深溝玉軸受」を開発^{*21}

地球温暖化などの環境問題を背景に、カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みが注目されるなか、石油由来のプラスチックに代わって植物を原料とするバイオマスプラスチックの普及が期待されています。しかし、バイオマスプラスチックの機械部品への適用には強度や耐熱性の向上が課題でした。

本製品は、100%植物由來の耐熱バイオマスプラスチック保持器を、エアコンファンモータ用軸受として世界で初めて搭載しました。エアコンのファンモータ用軸受には静音性や低摩擦が求められていますが、本製品は従来のプラスチック保持器と同等の性能を有することが確認されています。



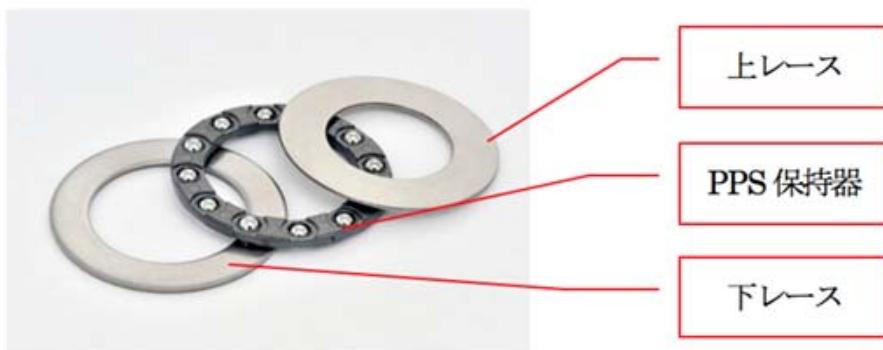
エアコンファンモータ用に適用される
バイオマスプラスチック保持器



b.冷蔵庫（冷蔵庫のコンプレッサ「PPS保持器付きスラスト玉軸受」を開発^{*22)}

従来、冷蔵庫のコンプレッサにはすべり軸受を採用していました。すべり軸受から転がり軸受への変更を実現することで、軸受の低トルク化の実現とコンプレッサの性能向上に大きく寄与し、冷蔵庫の更なる省エネルギー化への貢献が可能です。

冷蔵庫のコンプレッサに従来品の転がり軸受を採用すると、樹脂のオリゴマ^③の発生という技術課題がありました。この技術課題を解決するために、保持器材料にPPSを採用した軸受を、世界で初めて開発し量産化を実現しました。



冷蔵庫は24時間365日稼動する家電であるため電気代の多くを占め、冷蔵庫の省エネルギー性能は製品購入時の大きな判断指標です。省エネルギーのために、すべり軸受を採用していた冷蔵庫のコンプレッサ用に、PPS製保持器を採用したスラスト玉軸受を開発しました。

冷蔵庫のコンプレッサには、コンプレッサオイルと冷媒とを使用しています。転がり軸受の保持器に採用するポリアミド系樹脂では、コンプレッサオイルと冷媒に反応して樹脂の環状オリゴマが発生することが技術課題となっていました。

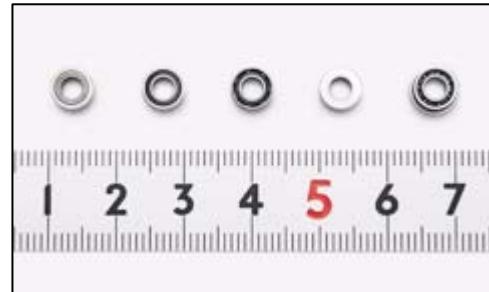
開発品は、保持器に PPS を採用してこの技術課題を解決し、冷蔵庫の更なる省エネルギー化を実現しました。

②病院

私達の健康を支える医療用機器には、信頼性とメンテナンス性の高いさまざまなベアリングが使用されています。

・歯科（「歯科エアタービン^㉙用軸受シリーズ」を開発^{*23)}

40 万 min^{-1} にも達する回転を支える歯科エアタービン用軸受は、定期メンテナンスによる交換が必要になるため、長寿命化が求められています。また、治療終了後、洗浄用薬液や高圧・高温環境での滅菌処理などの苛酷な環境に晒されるため、高耐食性・耐久性も求められています。



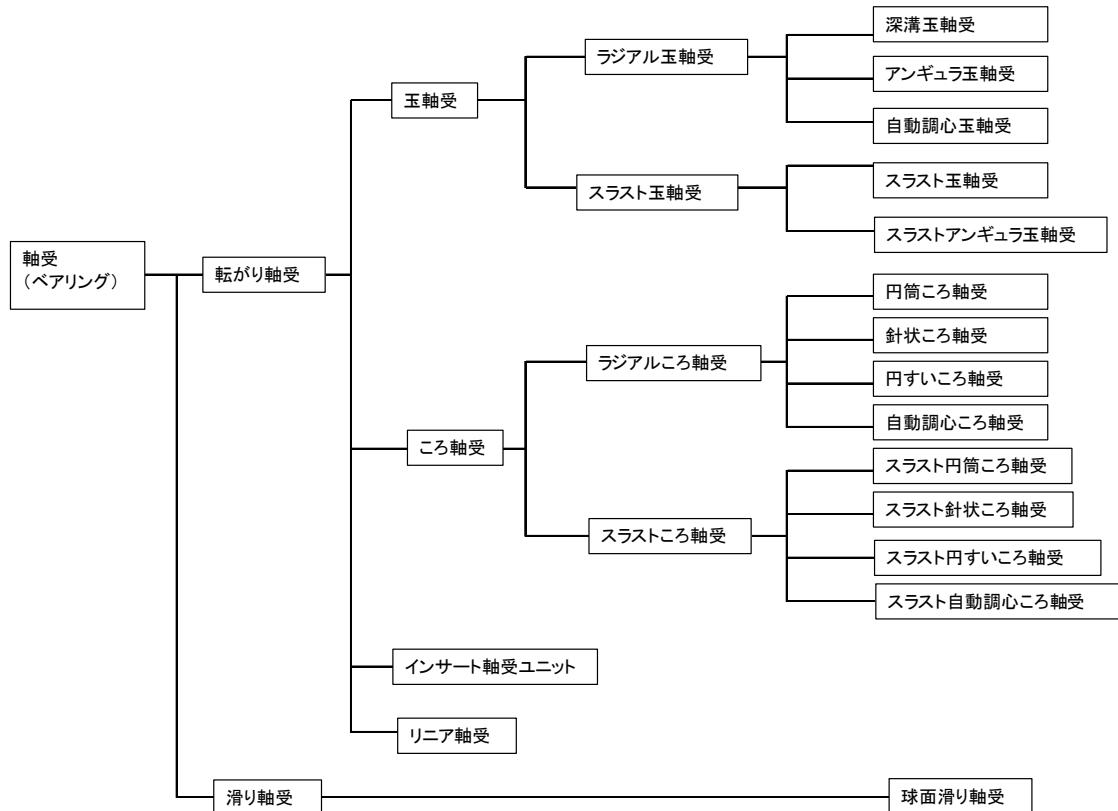
本製品は、保持器の最適設計と部品加工精度の向上による振動レベルの低減により、従来比 1.5 倍の長寿命化を実現しました。加えて、本製品に使用されている高耐食ステンレス鋼は、一般的に用いられている材料に比べて耐食性が 10 倍となっています。

4.おわりに

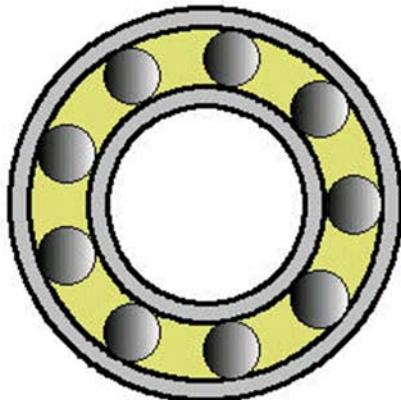
以上のように、ベアリングは各種製品に組込まれてあまり目立たない地味な存在ですが、さまざまな製品の縁の下の力持ちとして日夜活動し続けています。各種製品にとってなくてはならない機械要素部品であり、CO₂排出削減や省エネルギーに大きく貢献しています。

【専門用語の解説】

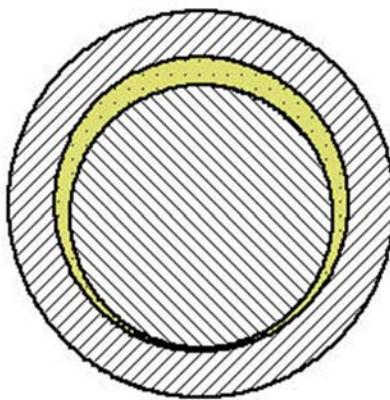
- ① 本レポートでいう「多様なベアリング」とは、以下のさまざまな種類のベアリング（軸受）を含みます。



ベアリング（軸受）は、大きく分けて「転がり軸受」と「滑り軸受」があります。

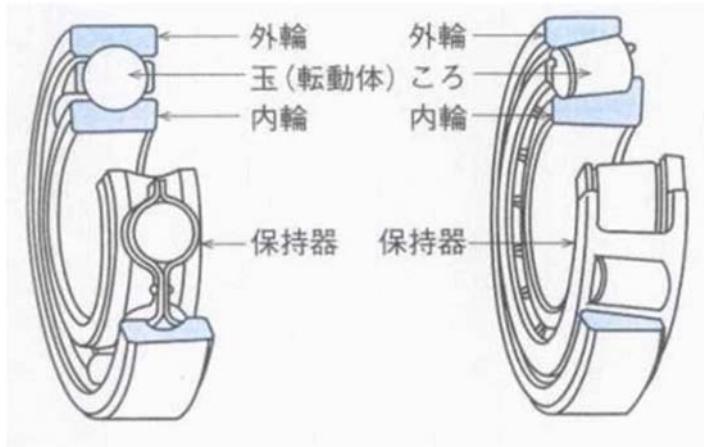


転がり軸受断面モデル



滑り軸受断面モデル

転がり軸受の基本構造は、「外輪」と「内輪」、その間にある「転動体」とその転動体を分離保持する「保持器」からなる。「転動体」には、「玉」と「ころ」があります。



- ② 「トルク」とは、回転する、または、回転を妨げる力の度合いを、力と回転半径の積で表したものです。
- ③ 「デファレンシャルギヤ」とは、自動車が左右に曲がるときに、内側の車軸の回転数を少なく、外側の車軸の回転数を多くする装置です。
- ④ 「トランスミッション」とは、自動車のエンジンとタイヤの間に設置される変速装置。通常は、エンジン回転数を車速に応じて変速させ、その分、伝達トルクを大きくするために用いられます。
- ⑤ 「プラネタリギヤ」とは、サンギヤ、ピニオンギヤ、リングギヤ、キャリアの4つの部品で構成されています。この3つのギヤを組み合わせ、ギヤ比を変化させ動力を伝えます。
- ⑥ 「シール」とは、軸受内部のグリースの漏れを防止し、水や異物等の軸受内部への侵入を防ぐ部品です。
- ⑦ 「EV」とは、バッテリーに充電した電力を使って走るクルマです。
- ⑧ 「HEV」とは、エンジンと電気モーターなど、2つ以上の動力を組み合わせて走るクルマです。
- ⑨ 「リップ」とは、シールの先端部分です。
- ⑩ 「ブーリー」とは、回転動力を伝達する目的でベルトを駆動している滑車や、ベルトの運動を受け取って回転力を取り出す滑車のことです。
- ⑪ 「ISG」とは、Integrated Starter Generatorの略称。ジェネレータとスタータが一体化されたモータのことです。
- ⑫ 「トライボロジー」とは、トライボロジーとは潤滑、摩擦、摩耗、焼付き、軸受設計を含めた「相対運動しながら互いに影響を及ぼしあう二つの表面の間におこるすべての現象を対象とする科学と技術」です。
- ⑬ 「 dmn 」値は、軸受の玉ピッチ円径 dm と回転速度 n との積です。
- ⑭ 「電食」とは、回転中の軸受の軌道輪と転動体との接触部分に電流が流れた場合、薄い潤滑油膜を通してスパークが発生し、その表面が局部的に溶融し凹凸となる現象です。
- ⑮ 「サーボモータ」とは、位置・速度・回転力（トルク）等を指示通り正確に動作するサーボ機構に使用されるモーターのことです。
- ⑯ 「インサート軸受」とは、軸受ユニットに組み込まれる軸受のことです。

- ⑯ 「じん性」とは、物質の強度、粘り強さのことです。
- ⑰ 「クラウニング」とは、軌道ところとの接触部の端部に生じる集中応力を防ぐことを主な目的として、軌道またはころの母線にごくわずかな曲率をもたせることです。
- ⑱ 「エッジロード」とは、ころと軌道輪の間に荷重が作用するとき、接触の端部では応力集中が生じて接触面圧が過大となることがある。この現象をエッジロードと呼びます。
- ⑲ 「Hydraulic Static Transmission(HST)」とは、油圧ポンプと油圧モータを組み合わせた静油圧式無段変速機構。油圧ポンプのピストンに接する斜板の角度を変化させることによって、変速を行なう。このピストン摺動部面にスラスト玉軸受が使われます。
- ⑳ 「バイオマスプラスチック」とは、再生可能な生物(主に植物)由来の資源を原料にしたプラスチックです。
- ㉑ 「P P S」とは、**Polyphenylene Sulfide** ポリフェニレンスルファイド。合成樹脂の一種。
- ㉒ 「オリゴマ」とは、2分子～数10分子程度で形成される重合体の呼称です。
- ㉓ 「歯科エアタービン」とは、エア駆動による高速回転で、歯を切削する歯科治療器具です。

【参考資料】

自動車

- *¹ (株)ジェイテクトホームページ <https://www.jtekt.co.jp/news/2020/001215.html>
- *¹ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2017/press0303a.html>
- *¹ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news201700035.html
- *¹ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news202000054.html
- *² (株)不二越ホームページ <https://www.nachi-fujikoshi.co.jp/tec/pdf/34B4.pdf>
- *³ (株)ジェイテクトホームページ <https://www.jtekt.co.jp/news/2018/001363.html>
- *⁴ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news201700042.html
- *⁵ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news201700100.html
- *⁶ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2020/1021a.html>
- *⁶ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news201900029.html
- *⁷ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news201700038.html

鉄道

- *⁸ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2020/0327a.html>
- *⁹ (株)不二越ホームページ <https://www.nachi-fujikoshi.co.jp/jik/tokutei/0507a.htm>

航空・宇宙

- *¹⁰ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/products/review/pdf/NTN_TechnicalReview_82.pdf
- *¹¹ NTN(株)ホームページ <https://www.ntn.co.jp/japan/news/press/news201400117.html>
- NTN(株)ホームページ <https://www.ntn.co.jp/japan/products/catalog/ja/5301/index.html>

工場

- *¹² (株)ジェイテクトホームページ <https://www.jtekt.co.jp/news/2022/000256.html>
- *¹² 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2020/1106b.html>
- *¹³ (株)ツバキ・ナカシマホームページ https://tsubaki-nakashima.com/jp/products/ceramic_balls/
- *¹⁴ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news202000069.html
- *¹⁵ 旭精工(株)ホームページ https://www.asahiseiko.co.jp/system/download/catalog/69/18_4_Highly_anti_corrosive.pdf
- *¹⁶ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2018/0925a.html>

建設・土木・農業

- *¹⁷ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2013/press1003a.html>
- *¹⁸ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2016/press0212a.html>
- *¹⁹ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2011/press110904.html>

エネルギー・発電所

- *²⁰ NTN(株)ホームページ https://www.ntn.co.jp/japan/products/review/pdf/NTN_TechnicalReview_80.pdf

家庭

- *²¹ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2021/1118a.html>
- *²² (株)ジェイテクトホームページ <https://koyo.jtekt.co.jp/2018/07/pps.html>

病院

- *²³ 日本精工(株)ホームページ <https://www.nsk.com/jp/company/news/2015/press0327a.html>