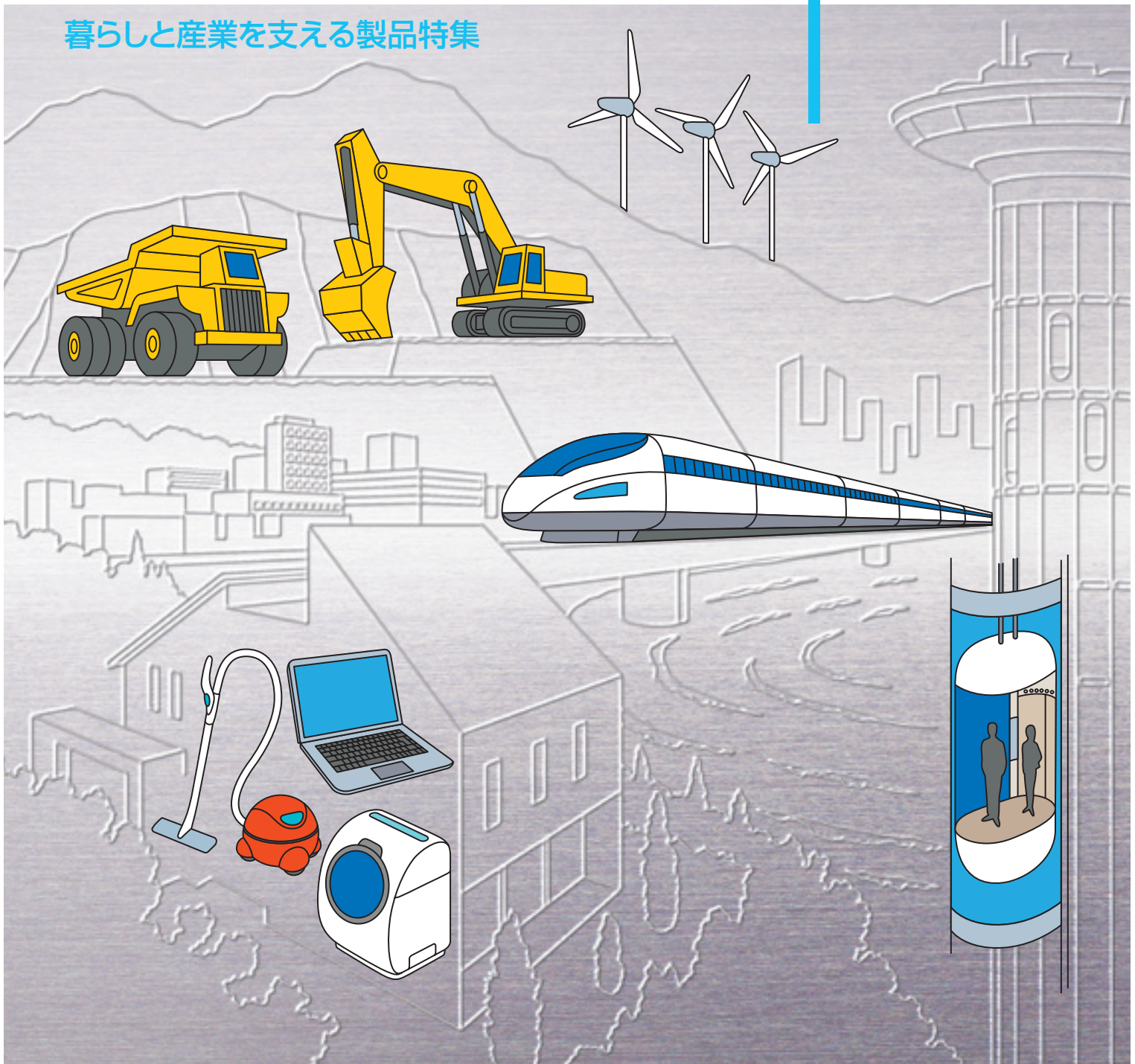


NSK TECHNICAL JOURNAL

FEBRUARY·2009

No. 683

暮らしと産業を支える製品特集



NSK TECHNICAL JOURNAL

FEBRUARY・2009

No.683

暮らしと産業を支える製品特集

巻頭言

暮らしと産業を支える製品特集号に寄せて 取締役 代表執行役副社長 町田 尚 1

解説・論文

鉄道車両用軸受の技術動向 伊東 典之 2

建設機械用軸受の技術動向 上條 治生 8

産業機械用コンプレッサー軸受の技術 東 紳吾 12

産業機械用ボールねじの技術動向 伊藤 正則 18

産業機械用NSKリニアガイド™の技術動向 林 栄治, 服部 勝 24

家電用玉軸受の技術動向 山本 篤弘, 石和田 博 30

モータ用高機能玉軸受プラスチック保持器の開発 鈴木 弘典, 安永 圭司, 坂本 洋 36

事務機軸受用導電性グリースの研究 傳寶 功哲, 外尾 道太 42

商品紹介

鉄道車両用車軸センサ軸受 48

産業機械コンプレッサー用エルコンプ™軸受 50

産業機械ポンプ用高機能アンギュラ玉軸受 52

エレベータ用静音・低振動自動調心ころ軸受 54

ファンモータ・ポンプモータ用クリープフリー™軸受 56

産業モータ用長寿命玉軸受 58

電気掃除機用省エネ対応低摩擦軸受 60

高温環境向け冷却ファンモータ用静音長音響寿命玉軸受 62

小型旋盤用ボールねじ“BSL™シリーズ” 64

高速・高負荷用大リードボールねじ“HTF-SRDシリーズ” 66

超高精度NSKリニアガイド™“ハイアキュラシーHSシリーズ” 68

食品機械・医療機器用NSKリニアガイド™ 70

NSK TECHNICAL JOURNAL

FEBRUARY • 2009

No. 683

Special Issue of Products for Daily Life and Industry

Preface

NSK's Latest Products for Daily Life and Industry H. Machida 1

Technical Papers

Technological Trends of Railway Rolling Stock Bearings N. Itoh 2

Technological Trends of Bearings for Construction Machinery H. Kamijo 8

Bearing Technology for Industrial Compressors S. Higashi 12

Technological Trends of Ball Screws for Industrial Machinery M. Ito 18

Technological Trends of NSK Linear Guides for Industrial Machines E. Hayashi, M. Hattori 24

Technological Trends of Ball Bearings for Household Electrical Appliances A. Yamamoto, H. Ishiwada 30

Development of a Plastic Cage for High-Performance,
 Electric Motor Ball Bearings H. Suzuki, K. Yasunaga, H. Sakamoto 36

Research of Electrically Conductive Grease for Office Equipment Bearings K. Denpou, M. Hokao 42

New Products

Sensor Bearings for Railway Rolling Stock Axles 48

ELCOMP™ Bearing Series for Screw Compressors in Industrial Applications 50

High Performance Angular Contact Ball Bearings for Industrial Machinery Pumps 52

Quiet and Low-Vibration Series of Spherical Roller Bearings for Elevator Applications 54

Creepfree™ Bearings for Fan and Pump Motors 56

Long-Life Ball Bearings for Industrial Motors 58

Low-Friction Bearings that Promote Energy Efficiency of Vacuum Cleaner Suction Motors 60

Long Quiet-Running Ball Bearings for Fan Motors Used in I.T. Related Equipment 62

BSL™ Series of Ball Screws for Small Lathes 64

HTF-SRD Series of High-Lead Ball Screws for High-Speed and Heavy-Load Applications 66

Highly Accurate HS Series of Ultra-Precision NSK Linear Guides 68

Linear Guides for Food Machines and Medical Devices 70

暮らしと産業を支える製品特集号によせて

取締役 代表執行役副社長
町田 尚
H. Machida



人間は文明をもたらし、大きな力を生み出す技術や利便性の高い技術を創造し、安全で壊れにくい機械を作ってきました。その結果、生活は指数関数的に変化しております。薄型テレビやDVDなどの家電製品、ハイブリッド自動車や燃料電池システムなど、つい20年前には見当たらなかった製品が身の回りに多くあることに気づきます。携帯電話やパソコンで多くのメールを受発信する今日の生活を20年前に想像できたでしょうか？そして、機械の便利さだけで通用する時代は去り、地球環境との調和が求められる時代に入っております。世界規模でCO₂排出を減らすとともに地球資源を大切にすることが求められております。

軸受は産業の米と呼ばれております。内径1.5mmから外径5mを超えるサイズまで様々な軸受が機械に組み込まれ、軸をスムーズに回転させることで暮らしや産業を支えております。家庭内ですでに約150個もの軸受が電化製品に組み込まれて稼動しており、自動車にもほぼ同数(150個/1台)の軸受が使用されております。したがって、低トルクや長寿命、静音など軸受の基本性能を高めることが、快適な生活と省エネルギー、あるいは効率が高く軽量の機械の実現を可能とします。私共の研究開発する技術や製品が、豊かな暮らしと環境の両立に貢献できると考えております。

今回、「暮らしと産業を支える製品特集号」を発刊させていただきます。社会基盤を支える鉄道車両や建設機械、ポンプやコンプレッサーといった産業用機器、旋盤や射出成形機といったマザーマシン、掃除機・冷却ファンモータなどの家電製品・情報機器、さらには食品機械・医療機器まであらゆる分野の商品を紹介させて頂きました。弊社は、材料、トライボロジー、解析、メカトロという4つのコアテクノロジーを基盤として、「もっと便利に快適に」を追求するとともに、高効率化を達成することによって地球環境問題やエネルギー問題の解決に努めてまいります。

鉄道車両用軸受の技術動向

伊東 典之*



伊東 典之

Technological Trends of Railway Rolling Stock Bearings

N. Itoh

Trains are playing an ever-greater role in mass-transit systems as a means to deal with various environmental issues. Accordingly, as railway companies develop faster, more efficient, and safer trains for inter-city transportation, various rolling stock components must also be more highly reliable.

This article describes rolling stock trends and specific technologies related to axle box bearings, gear unit bearings, and traction motor bearings. Such trends and technologies include the advancement of differing technologies around the world that are used in developing high-speed passenger trains that are capable of speeds exceeding 300 km/h, higher performance of speed sensor technologies, extended maintenance-free performance, lightweight designs, and global standardization.

1. まえがき

2. 技術動向

2.1 鉄道車両

2.2 鉄道車両用軸受

3. 今後の主な技術課題

4. あとがき

1. まえがき

鉄道は、線路といういわば1次元の輸送路を用いた都市圏内および都市間を結ぶ大量輸送機関として位置づけられている。鉄道車両は交通機関としての最重要事項である安全性とともに、故障により線路を塞ぐことがないように、高信頼性が強く求められる。また、安全性を損なうことなく省メンテナンス化する技術についても開発が進められている。一方で、都市間輸送機関として、航空機および自動車と競合する中で種々の最先端技術を導入し高速高性能化も推進されている。また最近では、環境問題の点からも注目されている。こういった動きの中で、以下鉄道車両およびそれに使用される軸受(車軸用、駆動装置用、主電動機用)の、最近の技術動向および主な技術課題について述べる。

2. 技術動向

2.1 鉄道車両

国内と海外、および客車と貨物輸送を含めて、高速化が加速されつつある。特に300 km/h以上の高速鉄道の実用化に対しては、TGV(仏)での営業運転化を皮切りに、新幹線を含め海外でも独自技術での達成を目指している(写真1)。

さらに国内では、リニアモーターカーによる将来500 km/h台の営業運転化も現実味を帯びてきた。一方、高性能化に対しては、車軸を直接モーターが駆動するDDM(Direct Drive Motor)化の動きがあり、国内でも実用化を目指した試験が実施されている。高速化のためのさらなる軽量化や、低騒音・低CO₂排出といった環境対応も重要テーマの一つである。

*産業機械軸受技術センター 鉄道・航空技術部



写真 1 N700系新幹線電車

提供：東海旅客鉄道株式会社

Photo 1 N700series Shinkansen bullet train

表 1 新幹線電車におけるメンテナンス周期の延伸

Table 1 Maintenance intervals extended for Shinkansen bullet trains

車種	省令等 改正時期	検査種別		旧の検査周期	延伸後の周期
新幹線 電車	H14年 3月告示	台車 検査	期間	1年	1.5年(新車2年)
			距離	45万km	60万km
		全般 検査	期間	3年	3年(新車4年)
			距離	90万km	120万km

また、メンテナンス周期の延伸および省メンテナンス化も著しく、一例として新幹線におけるメンテナンス周期の延伸を表1に示す¹⁾。さらに、海外、特にEU圏では相互乗り入れや世界各地への欧州勢の展開の中での規格の統合化や適用なども進んでいる。

2.2 鉄道車両用軸受

車両の台車まわりに使用される軸受を図1に示す。軸受は車軸用、駆動装置用、主電動機用の3つに大きく分けられる。

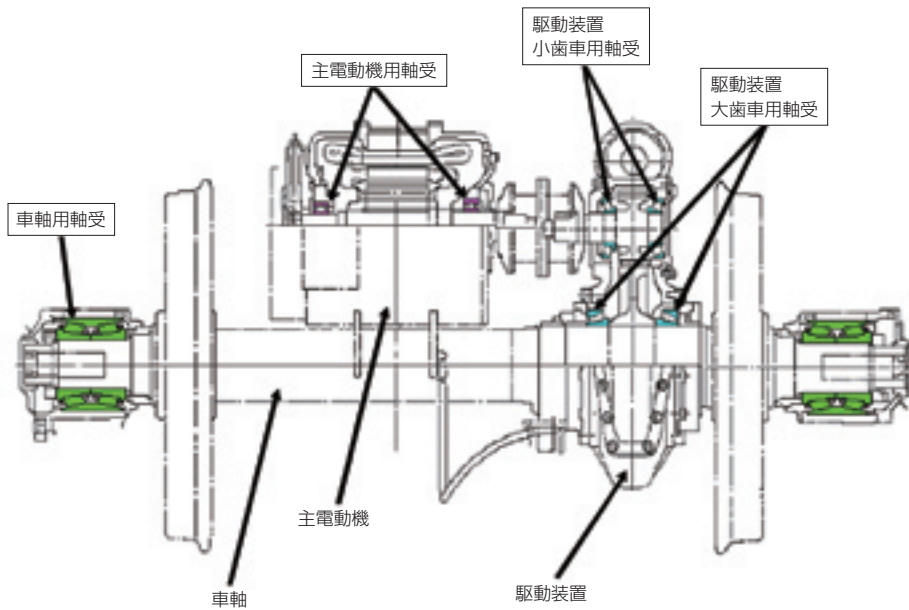


図 1 鉄道車両用軸受の配置図
Fig. 1 Locations of railway axle box bearings

2.2.1 車軸用軸受

車軸用軸受は、軸を直接支持し、かつ車輪を通して線路からの振動が直接伝わってくる過酷な環境下で使用される。その中において転がり疲れ寿命の長寿命化要求はますます厳しくなっている。それに応えるために、高 cleanliness 材の使用、および材料欠陥を検知するための非破壊検査が実施され、欧州では超音波探傷検査が規格化されている。

一方で、運行中の軸受の状態監視、例えば温度、振動および回転数に対するモニタリングも一層重要性を増している。

なお、このモニタリングは、さらなる高速化への対応を考えた場合、グリース潤滑においては特に必須になっていくと考えられる。さらに、今後はセンサに軸受異常診断装置を組み合わせたシステムの開発も加速されると思われる。一方、油潤滑の場合は、油面レベルや色相の確認、磁気栓による潤滑油中の摩耗粉状態の確認など軸受状態も監視しやすく、また、潤滑面でも安定しているという利点がある。

なお、グリース潤滑においては、高速時において、軸受内部でのグリース挙動の把握も重要となってくる。すなわち高速回転においては、軸受内部に封入したグリースは遠心力により容易にシールケース側へ振り飛ばされるため、グリースの封入量の他に軸受内部

でのグリース分配率および封入方法まで細心の管理が一層重要となってきている。

また、高速化に伴いシール摺動部における周速も上がり、それに伴う発熱を極力抑える必要があることから、摺動面への押し付け力であるシール緊迫力の低減化に対し、軽接触タイプあるいはラビリンスタイプなどが使用される。さらに、シールゴム材質は高温高周速対応として耐熱ゴムが使用されている。ただし油浴潤滑においては、オイルシールからの油漏れの懸念に対し、シール材質や添加剤および形状の見直しを図った高速用シールが開発されている²⁾。

一方、軸受のメンテナンス周期に対しても一層の長期化の要求がある。特に高速車両における120万km長期非分解要求に対しては、グリースの改良と共にその劣化防止に対する配慮が重要となる。また、保持器に関しては、従来の鉄製プレス保持器に対し、海外メーカーでは一般化してきたプラスチック保持器が国内でも使用され始めている(写真2参照)。これらと前述のセンサの高信頼性・高性能化との組み合わせにより、さらなるメンテナンス周期の長期化達成の可能性がある。

軸受の軽量化に関しては、新幹線の場合、玉軸受と円筒ころ軸受の3列の組み合わせを経て、アキシャル荷重も受けられる円筒ころ軸受や円すいころ軸受の組



写真2 NSK製プラスチック保持器付き 車軸用軸受
Photo 2 NSK rolling stock axle bearing with plastic cage

み合わせである2列化へ、また、車軸軸箱に対しても、鉄製からアルミ合金製の軸箱も採用されている。さらに、海外では近郊電車や地下鉄に軸受断面サイズ(外輪外径寸法と内輪内径寸法の差)を小さくして軽量化を図った軸受が一般化しつつある。

一方、規格の統合化に関しては、欧州委員会の“欧州高速鉄道ネットワークの相互運用性に関する指令”に基づき、鉄道車両用車軸軸受に関する規格がEN12080、EN12081、EN12082として制定されている。これらの規格により欧州各国間で運行される

国際列車の軸受の仕様、封入グリース、性能・耐久性評価方法などが欧州で共通化され、一定の性能レベルを確保できるようになった。軸受に関するEN規格の概要を、表2に示す。

また、RAMS (Reliability, Availability, Maintainability and Safety)、すなわち、信頼性、可用性、保全性、安全性に対する規格もヨーロッパ規格に制定されている。なお、国内においても規格化に向けた動きが進行中である。

表2 軸受に関する EN 規格概要

Table 2 EN standards for rolling stock bearings

規格	内容
EN12080 転がり軸受	軸受基本スペック、材料清浄度、硬さ、マーキング、抜き取り検査水準等を規定。また内部や表面の欠陥検査として超音波探傷法や渦電流探傷法、プラスチック保持器の強度試験法も規定。
EN120801 潤滑グリース	車軸軸受用グリースの最低要件(品質要求)を明確化する目的で制定。グリースを車両の最高走行速度が200 km/h以下用のものと、それを超える速度用に区分。グリースの各種性能試験、EN120802による台上性能・耐久試験、現車耐久試験による評価結果で承認される。
EN120802 性能試験	車軸軸受、グリースを含む軸箱部分の性能・耐久試験方法を規定。台上試験、現車試験の両方を含む。台上試験では軸受を2個同時に試験評価すること等の試験条件が、現車試験では試験走行距離が規定されている。判定は試験中の軸受温度、試験後の軸受異常の有無、グリースの劣化等で評価される。

2.2.2 駆動装置用軸受

主電動機からの出力を車軸側へ伝える駆動装置用軸受には、ピニオン軸と大歯車を支える軸受があり、従来円すいころ軸受が使用されてきた。入力軸であるピニオン軸は、高速かつカップリングなどの振動を受けやすく、特に振動衝撃で保持器が疲労破損や摩耗損傷する恐れがある。このため保持器は、強度アップした強化型や表面に軟窒化処理したものが採用されている。

一方で、円すいころ軸受における、アキシアル方向の動き量(エンドブレイ)の調整作業を省くため、最近では円筒ころ軸受も使用され始めている³⁾。この場合、歯車にやま歯を用いることによりアキシアル荷重を相殺させ、軸受への負荷を低減させた構造もある。なお、この部位の円すいころ軸受は、ころ端面とつば接触部で焼付きの危険があるが、ころ頭部とつば部の仕様の最適化によって対応策がとられている。

今後高速高荷重化する中で、歯車減速伝達系の中での軸受に負荷される動的荷重の推定精度の向上が軽量化を達成する上でも鍵となる。この実荷重推定に対しては、軸受転走面の疲労解析も有効手段の一つである⁴⁾。

2.2.3 主電動機用軸受

主電動機のブラシレス化に伴い、摺動部品は軸受のみとなったことから、主電動機のメンテナンス周期は軸受の寿命で左右されることになった。グリースは、新幹線用にリチウム複合石けん系が多く使用されているが、さらなる長寿命化に対して、同じリチウム複合

石けん系で基油に合成油を用いたグリースも実用化されている。一方で、運転中の軸受への長期グリース補給を維持することが長寿命化につながることから、軸受隣接部品に特殊なグリースポケットを設けたものが提案されている⁵⁾。玉軸受においては、保持器をグリース保持および補給源としての役割を積極的に担わせるために、従来の鉄プレス保持器から黄銅もみぬき保持器に変更することで、グリース潤滑での長寿命化も図られている。

主電動機では軸受に負荷される荷重は機関車用を除き比較的軽荷重である。したがって、さらなる高速条件下においては、内輪からの転動体駆動力の不足とそれにより発生するすべりによって油膜が破壊する、いわゆるスキッピング損傷発生への懸念が生じる。その結果、潤滑剤の他に軸受内部仕様も重要な役割を担ってくる。

また、主電動機内を流れる電流(直流あるいは交流)の一部が軸受内を貫通しスパークすることで転動体と軌道面接触部の一部が溶融するいわゆる電食の防止対策として、絶縁軸受が主流になりつつある。絶縁特性はインピーダンスが大きいほど優れており、外輪に樹脂あるいはセラミック皮膜を施した仕様が一般的である(写真3)。一方で転動体をセラミック化した、いわゆるハイブリッドタイプも登場しており、これらは静電容量がさらに小さくなることでインピーダンスを大きくしたことを特徴としている。

さらに、近年消費電力の低減化および歯車構造を有す駆動装置からの騒音排除などを目的として、DDM(Direct Drive Motor)が試作され評価されている。

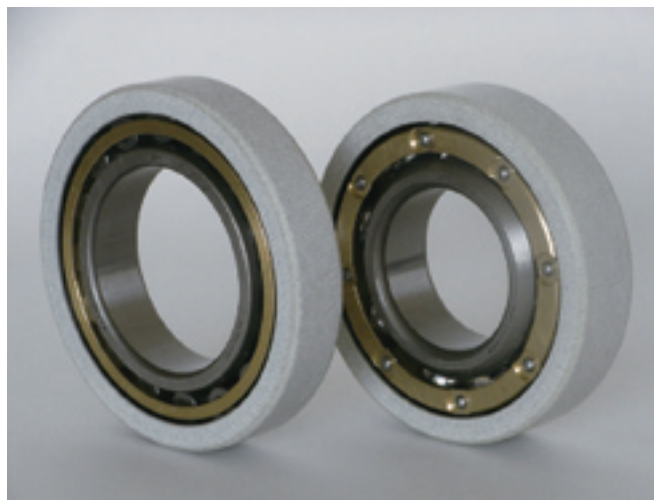


写真3 主電動機用円筒ころ軸受および玉軸受(外輪絶縁皮膜付き)

Photo 3 Cylindrical roller bearing and ball bearing with electrically insulated outer ring for use in traction motors

参考文献

3. 今後の主な技術課題

鉄道車両用高信頼性軸受の開発および性能向上を達成するためには、軸受が使用される実機条件を充分把握すると共に、その条件を忠実に再現した評価試験が重要であるとの認識から、従来からこの分野の実機での測定およびシミュレーション評価技術の確立への取り組みがなされてきた。例えば実測例としては、新幹線車軸用軸受において、円筒ころ軸受におけるころの運動や⁶⁾、軸箱変形下での転動体荷重分布⁷⁾の例がある。今後も、変化し続ける技術要求に精確に対応するために、フィールド実測データの蓄積と共に、実機シミュレーション試験による再現および解析による検証といった一連の連携作業によるチェックとその精度向上が、開発の背景としての基礎技術課題であり続けると思われる。

4. あとがき

鉄道車両は、高信頼性を最重要視する立場から実績を重視する代表的な分野の一つである。一方で、運転条件の拡大、環境条件の変化および要求条件の一層の厳しさに対応すべく、ハードおよびソフトの両面から技術開発が精力的に展開されている。その中において軸受に関しても、単にハードだけでなく知能を備えた軸受およびシステムといった開発が今後一層重要性を増すものと思われる。

本稿は、月刊トライボロジーに投稿した記事を改めて掲載したものである。

- 1) 国土交通省鉄道局, "鉄道六法(平成14年版)", (2002)821, 第一法規出版株式会社
- 2) 中村 和夫, "高速新幹線車両用軸箱オイルシール", 鉄道総研月例発表会公演要旨, 第193回, (2006)
- 3) 鈴木 寿雄, "電車駆動装置用軸受", NSK Technical Journal, No. 666 (1998)
- 4) 古村 恭三郎, 城田 伸一, 藤井 章雄: "転がり軸受の疲労解析(3) - 内部疲労損傷の解析 -", NSK Technical Journal, No. 646 (1986)
- 5) 日比野 澄子, 鈴木 政治: "グリース基油の移動を考慮したグリースポケット構造の提案", トライボロジスト, 50-1 (2005) 39-46
- 6) 石澤 應彦, 廣瀬 正吉, 岩田 的夫, 山本 精穂, "新幹線車両用軸受のころの運動", NSK Technical Journal, No. 623 (1969)
- 7) 岡村 吉晃, 池田 博志, 下村 隆行, 山本 勝太, 城田 伸一, "車軸軸受の転動体荷重分布に関する検討", 第14回鉄道技術連合シンポジウム, (2007) 643-646
- 8) 伊東典之, "鉄道車両用軸受の技術動向", 月刊トライボロジー, 4月号 (2008) 12-14

建設機械用軸受の技術動向

上條治生*



上條治生

Technological Trends of Bearings for Construction Machinery

H. Kamijo

Construction machinery are integral to building the infrastructure that help to make our daily lives more comfortable. Such construction machinery, which include crawler dozers, wheel loaders, hydraulic excavators, off-highway trucks, and many more, use all kinds of bearings. Bearings for construction machinery are subjected to a variety of severe operating conditions that include heavy and shock loads, light loads at high speed, or heavy loads at low speed. NSK has been developing specific bearings for various components of construction machinery that meet customer needs for long life and high reliability. The technological trends of bearings for a hydraulic excavator, which is a typical type of construction machinery, are presented in this paper.

1. まえがき
2. 油圧ショベル用軸受
 - 2.1 旋回減速機用軸受
 - 2.2 走行減速機用軸受
 - 2.3 油圧ポンプ用軸受
3. その他 建設機械用軸受
4. あとがき

1. まえがき

建設機械は、我々の生活を快適にするインフラ整備を安全かつ効率的に行うものである。

道路などの基本インフラの整備、上下水道などの公共施設整備、都市開発などの社会インフラ整備、また近年ではBRIC'sなどの新興国での社会整備に、その機動力を十二分に発揮してきている。

建設機械用軸受は、ブルドーザー、ホイールローダなどのトラクタ系、油圧ショベルなどの掘削機系、オフロードダンプのような運搬機系にいたる全ての機種で、全ての種類の軸受が使用されている。また、ISOにて規格されている標準軸受のほかに、建設機械向けに専用に設計された軸受まで幅広く用いられている。

軸受使用環境としては、“重荷重＋衝撃”、“軽荷重＋高速回転”、もしくは“重荷重＋低速回転”といった、軸受にとって非常に厳しい条件が多々混在している。

NSKでは過去より客先ニーズである長寿命・高信頼性を使用箇所ごとに盛り込んだ建設機械用軸受の開発を行ってきた。今回は、その中から建設機械の代表である油圧ショベル用軸受を紹介する。

2. 油圧ショベル用軸受

油圧ショベルは、1970年末にそれまで建設機械の花形機種であったブルドーザーの生産数量を凌駕し、近年では日本国内の建設機械生産量の半分を占めるまでに急成長を遂げたものである(図1)。

油圧ショベルに用いられる主な軸受使用箇所は、上部旋回体を回転もしくは揺動させる旋回減速機、車体を移動させるクローラ駆動用走行減速機、および高圧油を送り出すための油圧ポンプなどがある(図2)。

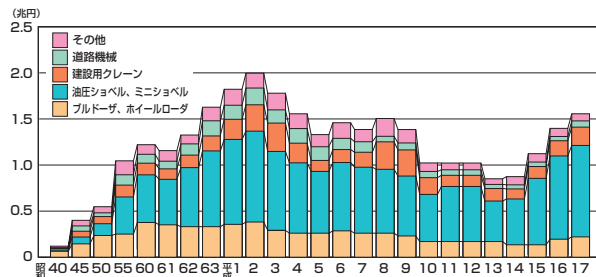


図1 建設機械生産高の推移¹⁾

Fig. 1 Transition of construction machinery output

* 産業機械軸受センター 産機軸受第二部

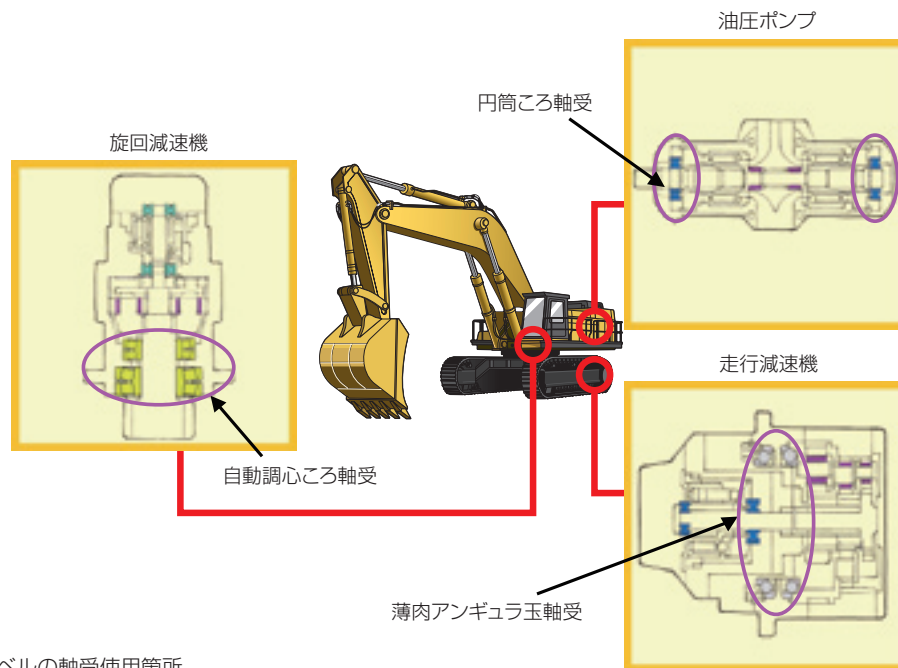


図2 油圧ショベルの軸受使用箇所
Fig.2 Bearing applications in a hydraulic excavator

2.1 旋回減速機用軸受

旋回減速機は、その名の通り油圧ショベルの上部旋回体を旋回させるための減速機であり、近年では高トルク化、コンパクト化の傾向がある。それに伴い旋回減速機用軸受は、高荷重条件下および限られたスペースでの長寿命化と高信頼性化が求められていた。本減速機の主軸には自動調心ころ軸受(写真1)が多く使用されている。自動調心ころ軸受は、その大きな特徴である調心性を持たせるために曲率を有した内外輪と転動体から構成されている。そのため、稼動中には内外輪軌道面と転動面間にて滑りを伴いながら回転している。NSKでは、この滑りによる軌道面表面に発生する接線力(摩擦力)が、疲労寿命に影響を与えることを解明した²⁾。その後、外輪軌道面に特殊加工を施すことにより、本接線力を低減させ疲労寿命の



写真1 HPS™自動調心ころ軸受³⁾
Photo 1 HPS spherical roller bearing

延長を可能にしたHPS自動調心ころ軸受を商品化した。HPS自動調心ころ軸受は、従来の自動調心ころ軸受に対し、さらなる長寿命化を実現させた(図3)。さらに、鋼板プレス保持器を窒化処理し、保持器性能を向上させたことにより、長寿命化に加え高信頼性も有している軸受である(図4)。

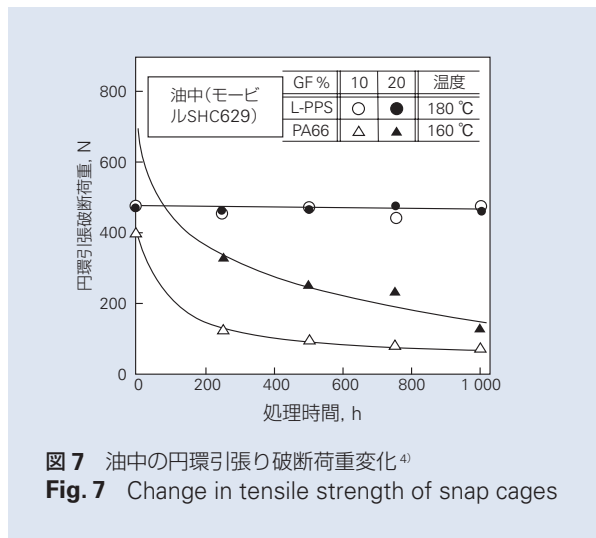
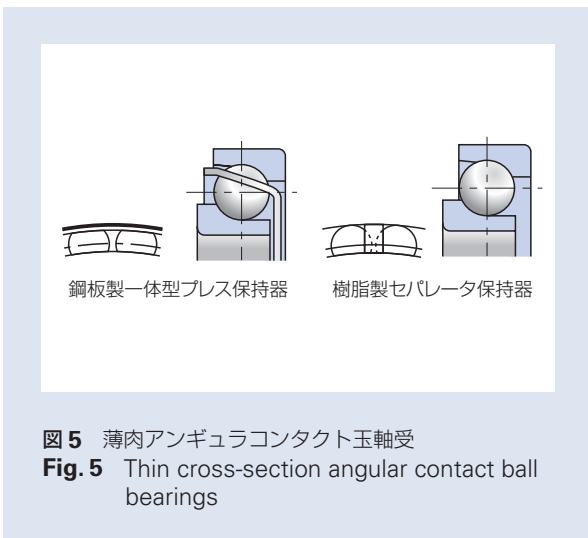
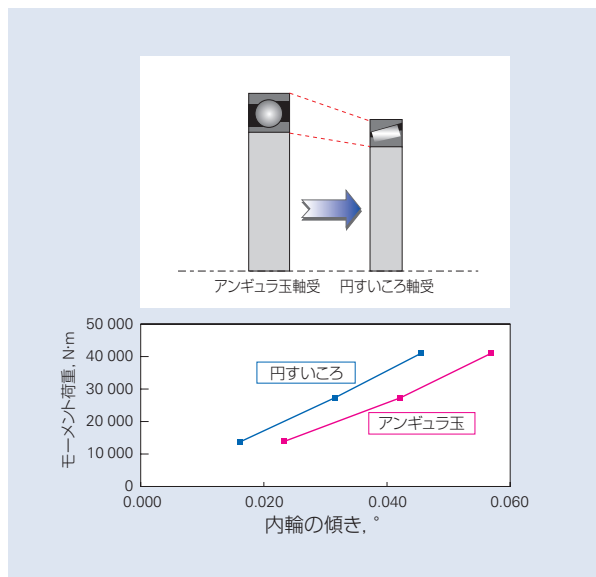
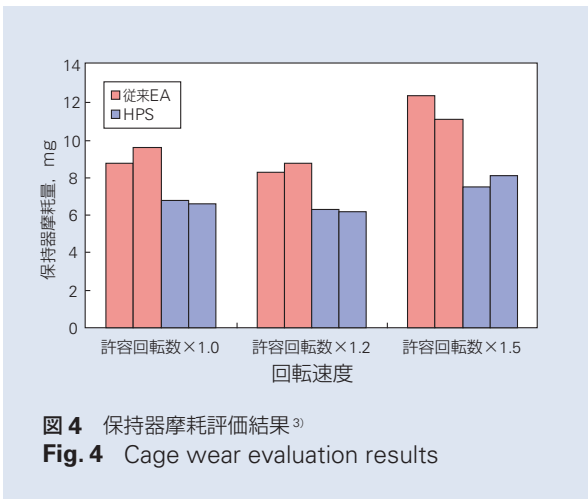
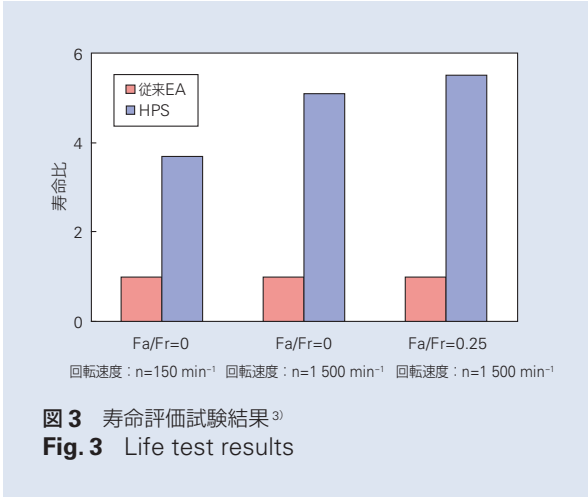
2.2 走行減速機用軸受

走行減速機は車体本体を移動させるためのクローラを駆動させる減速機であり、重荷重、衝撃、低速という軸受には非常に厳しい環境である。本主軸にはISOでは規定されていない特殊寸法のアンギュラコンタクト玉軸受、または円すいころ軸受の組み合わせ品が使用されている。軸受に許容されるスペースは非常に狭いことから、軸受の特徴としては軸受断面が薄いことにある。また、これらの軸受には上記“重荷重+衝撃荷重”が非常に大きなモーメント荷重として働き、過酷な使用環境下にて耐久性と高剛性が求められている。NSKでは高度な解析技術の活用により軸受内部諸元の最適化を図り、これら客先ニーズを具現化している。例えば、アンギュラコンタクト玉軸受では樹脂製セパレータといわれる分割型保持器形式(図5)を開発し、従来の鋼板製一体型保持器に比べ玉数を増やすことに成功し、高負荷容量化(耐久性)と高剛性化の両立を実現している。また円すいころ軸受の場合は、アンギュラコンタクト玉軸受に対し軸受サイズを20%ダウンしながら(図6)、剛性を30%アップし、さらに同等な静定格荷重も備えさせている。

2.3 油圧ポンプ用軸受

油圧ポンプは、油圧シリンダや油圧モータなどを駆動させるために高圧で大流量の作動油を送り出す機能を有しており、油圧シヨベルの心臓部といえる。この

使用箇所は運転時に作動油温度が100 °Cを超えることもあり、油圧ポンプ用軸受には高温作動油環境下における信頼性が求められる。本使用箇所には円筒ころ軸受が一般的に使用されており、NSKでは高温潤滑油環境下にて耐久性に優れているリニアPPS材(直鎖状ポリフェニレンサルファイド)を保持器に採用している。一般的に保持器材料として使われているポリアミド樹脂製の保持器では、高温潤滑油環境下では材料強度の低下が生じてしまう。しかしながら、この材料はポリアミド樹脂とは異なり、高温においても高強度を維持しており(図7)、油圧ポンプの高温潤滑油環境下において高信頼性を実現している。



3. その他 建設機械用軸受

最近では電動化やハイブリッド形式の建設機械が誕生し、油圧モータの代わりに電動機が採用されつつある。電動機に使用される軸受では電食という問題が発生することがしばしばある。この電食の対策として、NSKでは外輪にセラミック材を溶射した絶縁軸受を開発している(写真2)。この軸受の絶縁抵抗は、1 000 MΩを有し(表1)、かつ軸受主要寸法はISOに準じているため、現在使用されている標準軸受からの置換えを行うだけで電食問題を解決することが可能である。

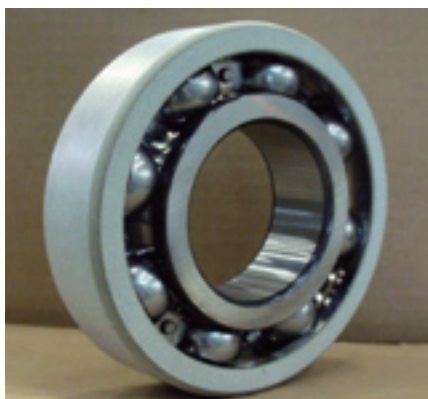


写真2 絶縁軸受
Photo 2 Ceramic-insulated bearing

4. あとがき

以上、油圧ショベルを代表として建設機械用NSK軸受の紹介を行った。

現在、建設機械はBRIC'sに代表される新興国、資源大国での需要が増大する中、一方では新たに環境という重大な課題に直面している。NSK独自の技術をなお一層発展させ、今までの長寿命、高信頼性に加え、低トルク(低発熱、低燃費)、低騒音、コンパクト化、再生材料の利用など環境に配慮した軸受を開発し、今後も建設機械の発展に貢献し続けたいと考える。

参考文献

- 1) 社団法人 日本機械工業会, "平成17年度 我が国建設機械産業の将来展望調査研究報告書" (2005)
- 2) 植田 徹, 植田 光司, "自動調心ころ軸受特有の疲労破損メカニズムと長寿命化 第1報 自動調心ころ軸受の破損メカニズム", NSK Technical Journal No.680 (2006)
- 3) 藤井 修, 村井 隆司, 植田 光司, "高機能標準軸受-HPS自動調心ころ軸受", NSK Technical Journal No.679 (2005)
- 4) 荒牧 輝夫, "PPS製保持器の開発と応用", NSK Technical Journal No.653 (1992)
- 5) 山田 孝則, 内山 貴彦, "鉄道車両主電動機用絶縁軸受", NSK Technical Journal No.675 (2003)

表1 絶縁軸受の各種性能評価試験結果一覧⁵⁾

Table 1 Performance test results of ceramic-insulated bearings

No.	試験項目	試験内容	試験結果
			セラミック溶射
1	急加速試験	グリース封入直後の急加速における温度上昇確認	異常な温度上昇なし
2	初期絶縁抵抗測定	直流500 V印加時の絶縁抵抗値	1 000 MΩ以上で問題なし
3	初期静電容量	軸箱嵌合での静電容量	2.10 nF (6311)
4	分解・組立試験	軸箱への抜き差しによる絶縁被膜強度、及び絶縁抵抗の変化の有無を測定	絶縁抵抗：基準値以上 絶縁被膜：異常なし
5	絶縁抵抗温度依存性試験	軸受温度と絶縁抵抗の関係を測定	100 MΩ以上で、著しい低下なし
6	静電容量温度依存性試験	軸受温度と静電容量の関係を測定	ほとんど変化なし
7	熱劣化試験	130 °C→常温→-10 °Cの繰返し(20サイクル)による絶縁抵抗、及び静電容量の変化を測定	絶縁抵抗：基準値以上 静電容量：ほとんど変化なし
8	液体浸漬試験	高温液体(白灯油、軸受洗浄液)、グリースに浸漬し、絶縁抵抗、及び静電容量の変化を測定	絶縁抵抗：基準値以上 静電容量：ほとんど変化なし
9	落下衝撃試験	高さ100 mmからの定盤への落下衝撃による絶縁被膜の状態、及び絶縁抵抗の変化を測定	絶縁抵抗：基準値以上 絶縁被膜：異常なし
10	湿潤試験	常温常湿→40 °C、湿度85 %繰返し(20サイクル)による絶縁抵抗、静電容量の変化を測定	絶縁抵抗：基準値以上 静電容量：ほとんど変化なし
11	回転試験	飽和後、室温からの温度上昇を標準軸受(非絶縁軸受)と比較	温度上昇は標準軸受と同等
12	絶縁破壊試験	絶縁耐力と破壊有無の状態を確認	4 kV以上

産業機械用コンプレッサー軸受の技術



東 紳吾*

東 紳吾

Bearing Technology for Industrial Compressors

S. Higashi

Numerous types of compressors are used in almost every industry throughout the globe. In this paper, we present some basic concepts as they relate to a few types of compressors. We will then discuss the types of bearings that are most suitable to such applications, especially in regards to bearing performance requirements and related bearing technologies that can be applied to screw compressor used in industrial applications.

- 1. まえがき
- 2. 主なコンプレッサーの構造と軸受品種
- 3. スクリューコンプレッサーの主な運転条件
- 4. 転がり軸受に求められる機能と軸受技術
 - 4.1 高負荷容量
 - 4.2 保持器の耐摩耗性・耐油性・耐薬品性
- 5. エルコンプ (ELCOMP) 軸受™シリーズ
- 6. あとがき

1. まえがき

コンプレッサーは気体を圧縮し圧力を高める機械であり、様々な用途に使用される。例えば工場設備、建設土木工事の空気源、家庭・業務用エアコン、冷蔵庫、

冷凍倉庫などに幅広く使用されている。

コンプレッサーを作動原理で分類すると、ターボ式、容積式に大別され、容積式は往復式、回転式に分けられる。(図1)

ターボ式は羽根車の回転運動によって気体を圧縮す

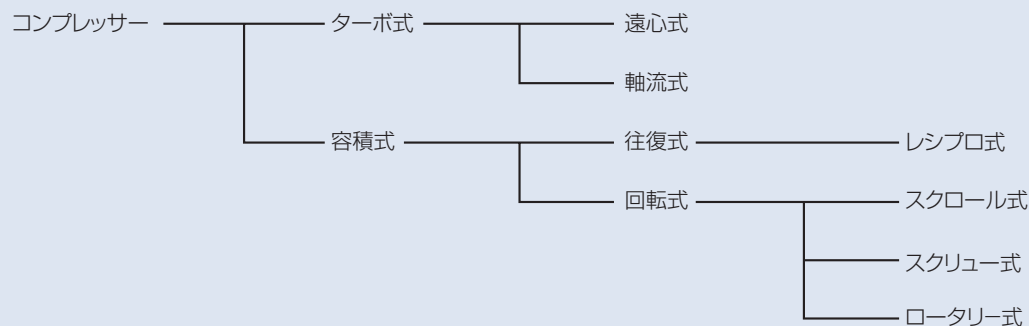


図1 コンプレッサーの分類
Fig. 1 Classifications of various types of compressors

* 産業機械軸受技術センター 産機軸受技術第一部

るものであり、容積式は密閉された室内の容積を減少させ気体を圧縮させるものである。また、圧縮する気体で区分すると空気、化学工業用のプロセスガス、冷凍機／空調機の冷媒などがある。ターボ式はすべり軸受が主流となっており、転がり軸受は容積式のレシプロ式、スクロール式およびスクリー式で主に使用される。ここではコンプレッサの主な構造と軸受品種および、1950年代後半から国内で転がり軸受が使用され始めたスクリー式コンプレッサ用軸受の要求機能とこれを満足させる転がり軸受技術を紹介する。

2. 主なコンプレッサの構造と軸受品種

レシプロ式はシリンダ内のピストンの往復運動による容積変化によって圧縮される(図2)。転がり軸受はクランク軸、コネクティングロッド、ピストン部のサポートとして使用される。クランク軸、コネクティングロッドには深溝玉軸受・円筒ころ軸受が使用され、ピストン部にはニードル軸受が主に使用される。

スクロール式は2つの渦巻き(スクロール)を噛み合うように一方を固定させ、他方は旋回運動させ、2つの渦巻きの圧縮室が内側に移動し容積が縮小することによって圧縮される(図3)。転がり軸受は旋回運動する主軸部や旋回スクロールのサポート部に使用される。主軸部は円筒ころ軸受・深溝玉軸受が使用され、旋回スクロールサポート部には組合せアンギュラ玉軸受が主に使用される。

スクリー式はシングルスクリー型とツインスクリー型がある。シングルスクリー型は1本のスクリーロータと左右直角に配置された2本のゲートロータからなり、スクリーロータの溝にゲートロータの歯が噛み合って圧縮される。

ツインスクリー型は一對のオスロータとメスロー

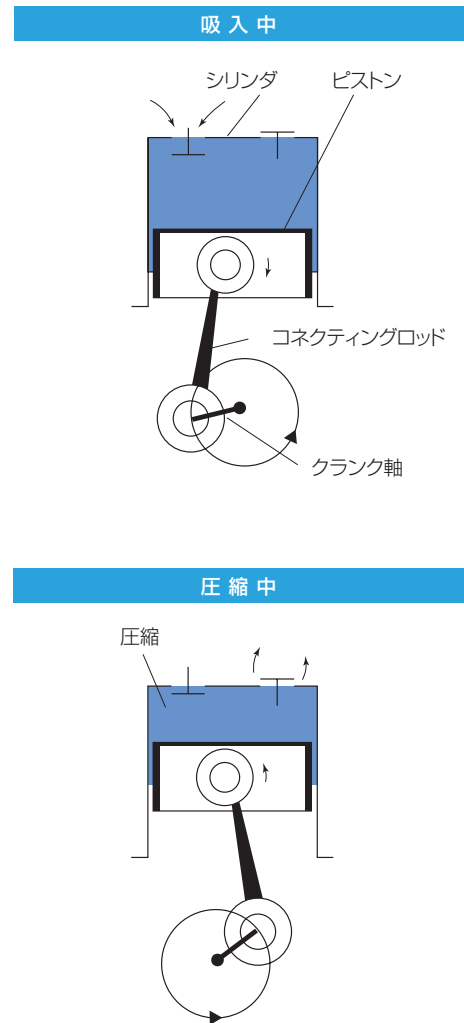


図2 レシプロコンプレッサの圧縮工程
Fig. 2 Compression process of a reciprocating compressor

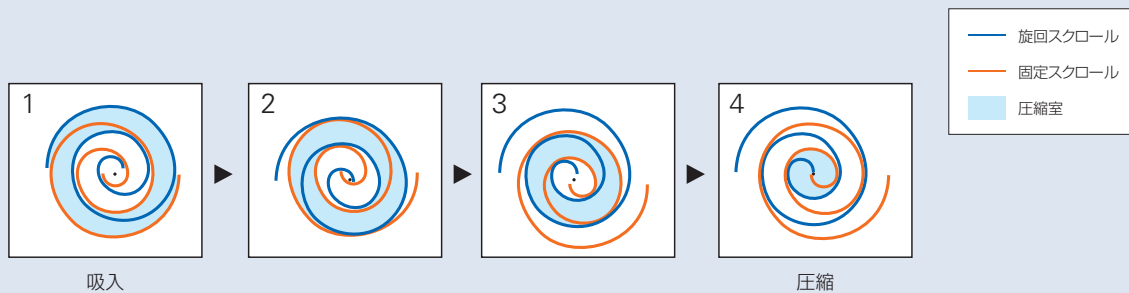
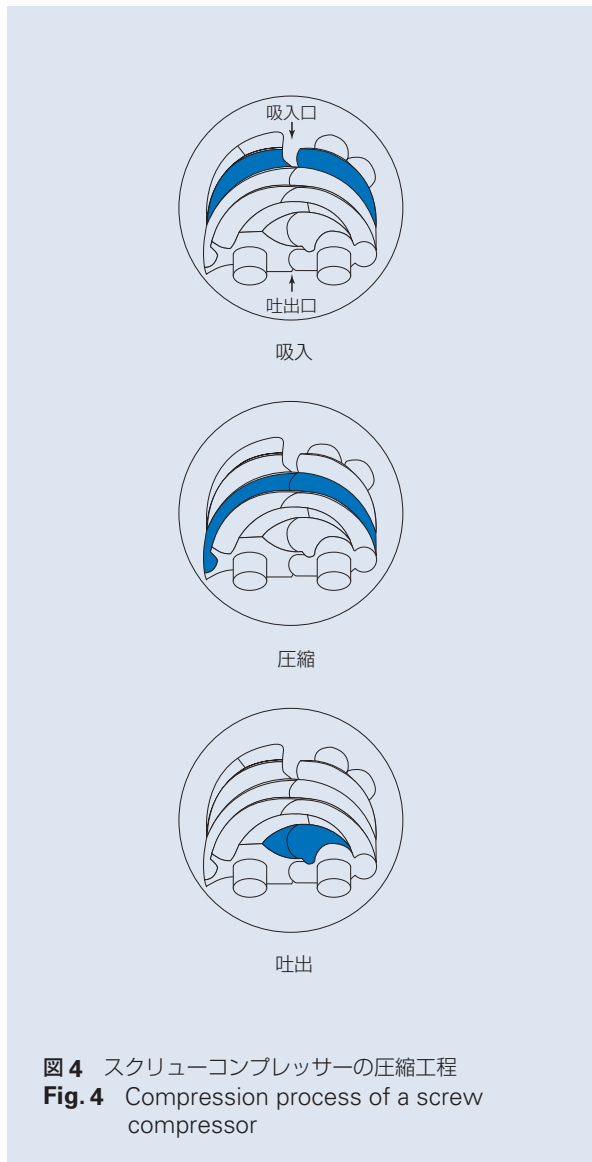


図3 スクロールコンプレッサの圧縮工程
Fig. 3 Compression process of a scroll compressor

タを噛み合わせ、回転させることで容積を減少させ圧縮させるものである(図4)。転がり軸受はオスロータ・メスロータ軸のサポートに使用される。(図5)オス・メスロータ軸の吸込み側の自由側にはラジアル荷重のみを負荷させ、温度変化による軸の膨張・収縮を逃がすことができる円筒ころ軸受、ニードル軸受が主に使用される。吐出側の固定側には軸方向のガタを抑え、アキシアル荷重とラジアル荷重が負荷できる組合せアンギュラ玉軸受、円すいころ軸受、円筒ころ軸受+アンギュラ玉軸受の組合せ品が主に使用される。軸受の潤滑は、用途に応じて油またはグリースで潤滑される。

3. スクリューコンプレッサーの主な軸受運転条件

空気用スクリーコンプレッサーは給油式とオイルフリー式がある。給油式はスクリーロータがある圧縮室内に多量の油を入れ、ロータ間すきまの油を介し



てスクリーロータを回転させるものである。オイルフリー式は圧縮室内に油を使用せず、オス・メスロータ間に微小なすきまを保ち、タイミングギアにて位相を同期させ非接触で使用されるものである。また、冷凍・空調用スクリーコンプレッサーは圧縮室内の冷媒に油が混入された状態で使用される給油式である。

次に主な軸受運転条件(回転数、軸受荷重)を表1に示す。吐出側軸受はスクリーロータ吐出側とケーシングとの軸方向すきま(図5)が圧縮漏れ等の圧縮効率に影響するため、内外輪幅相互差を抑え、できるだけ軸方向ガタが少ないことが要求される。

4. 転がり軸受に求められる機能と軸受技術

以下に、スクリー式コンプレッサー用転がり軸受に求められる機能と軸受技術を示す。

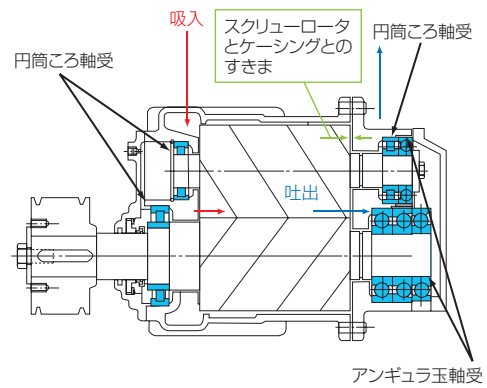


図5 ツインスクリーコンプレッサーの断面図の例
Fig. 5 Cross-section view of a twin-screw compressor

表1 スクリューコンプレッサー軸受の運転条件
Table 1 Operating conditions of screw compressor bearing

	給油式	オイルフリー式
回転数 (min ⁻¹)	3 000~4 000	10 000~20 000
荷重(N)	普通荷重 (0.06~0.13 Cr)	軽荷重 (0.06 Cr以下)

Cr : 基本動定格荷重

表2 アンギュラ玉軸受の主要寸法と基本動定格荷重 (代表例)

Table 2 Example of dimensions and basic load ratings of an angular contact ball bearing

	内径 (mm)	外径 (mm)	従来軸受	高負荷容量軸受	アップ率
7205	25	52	14 000	16 700	19 %
7305	25	62	22 900	25 900	13 %
7206	30	62	19 500	22 600	16 %
7306	30	72	29 100	34 500	19 %
7207	35	72	25 700	31 000	21 %
7307	35	80	34 500	38 500	12 %

4.1 高負荷容量

空気用コンプレッサーは必要な吐出空気量を確保し、冷凍・空調用コンプレッサーにおいては冷凍・冷却能力を維持しながら、コンプレッサー自体の信頼性向上とメンテナンス期間の延長が求められる。このため、軸受は同じ大きさで負荷容量が大きいものが求められる。

NSKでは従来軸受と比べ基本寸法は同じだが、転動体寸法や保持器等の内部設計を最適にした高負荷容量軸受シリーズがある。その高負荷容量アンギュラ玉軸受は、従来軸受に比べ基本動定格荷重を約10～20%向上させ、円筒ころ軸受では基本動定格荷重を約20～50%向上させている。表2に一般的に固定側に使用されるアンギュラ玉軸受の代表軸受の主要寸法と基本動定格荷重、図6に従来軸受と高負荷型軸受の断面を示す。

例えば、軸受7306 (内径×外径 = $\phi 30 \times 72$) の場合では、標準軸受では基本動定格荷重が29 100 Nに対し、高負荷容量軸受では34 500 Nと約19%向上していることが分かる。この結果、同一要求寿命時間であれば約19%アップの荷重が負荷でき、同一荷重であれば約67%アップの寿命時間延長となる。

また、高負荷容量化と同時に、特に冷凍・空調用コンプレッサーにおいては、冷媒および冷凍機油に対する耐久性が求められ、保持器の耐久性が鍵となる。保持器は、材料で区分すると金属製保持器と樹脂製保持器に区分される。また、保持器は形状が複雑になるため、加工しやすく、耐摩耗性の良い材料が望まれる。樹脂製保持器は金属製保持器に比べ、自己潤滑性が良く摩擦係数が小さいため摩耗に対して優位であり、コンプレッサー用軸受の保持器はPA66樹脂が使われる

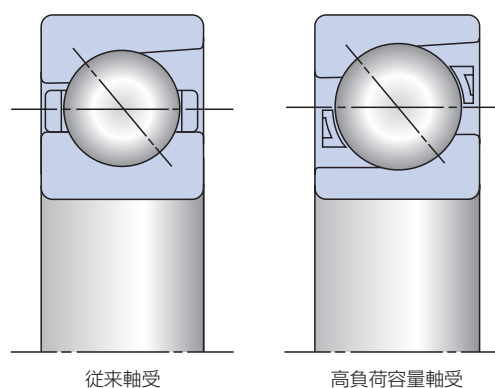


図6 アンギュラ玉軸受の断面比較

Fig. 6 Cross-section view of angular contact ball bearings

ことが多い。

以下に保持器に必要な特性を示す。

4.2 保持器の耐摩耗性・耐油性・耐薬品性

コンプレッサー用軸受の潤滑油は、コンプレッサー本体に給油される潤滑油と共通に使用されることが多い。潤滑油は圧縮工程による加熱と冷却が繰り返されるため潤滑油の劣化が進行する。また、冷凍機・空調機用コンプレッサーに使用される軸受の潤滑油は、冷媒が溶解した状態で潤滑されるため、潤滑粘度が非常に低い状態で使用される。そのため保持器には耐摩耗性が求められる。さらにオゾン層破壊、地球温暖化環境問題から冷凍・空調コンプレッサーは、代替フロンやアンモニア、二酸化炭素などの自然冷媒へ変更が進んできている。

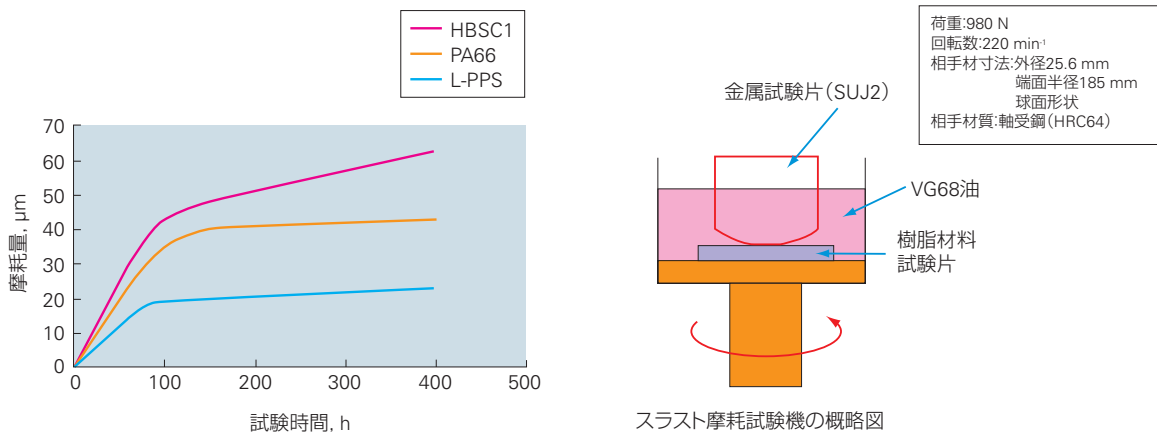


図7 保持器材料の油潤滑下における耐摩耗性
Fig. 7 Wear resistance of cage materials under oil lubrication

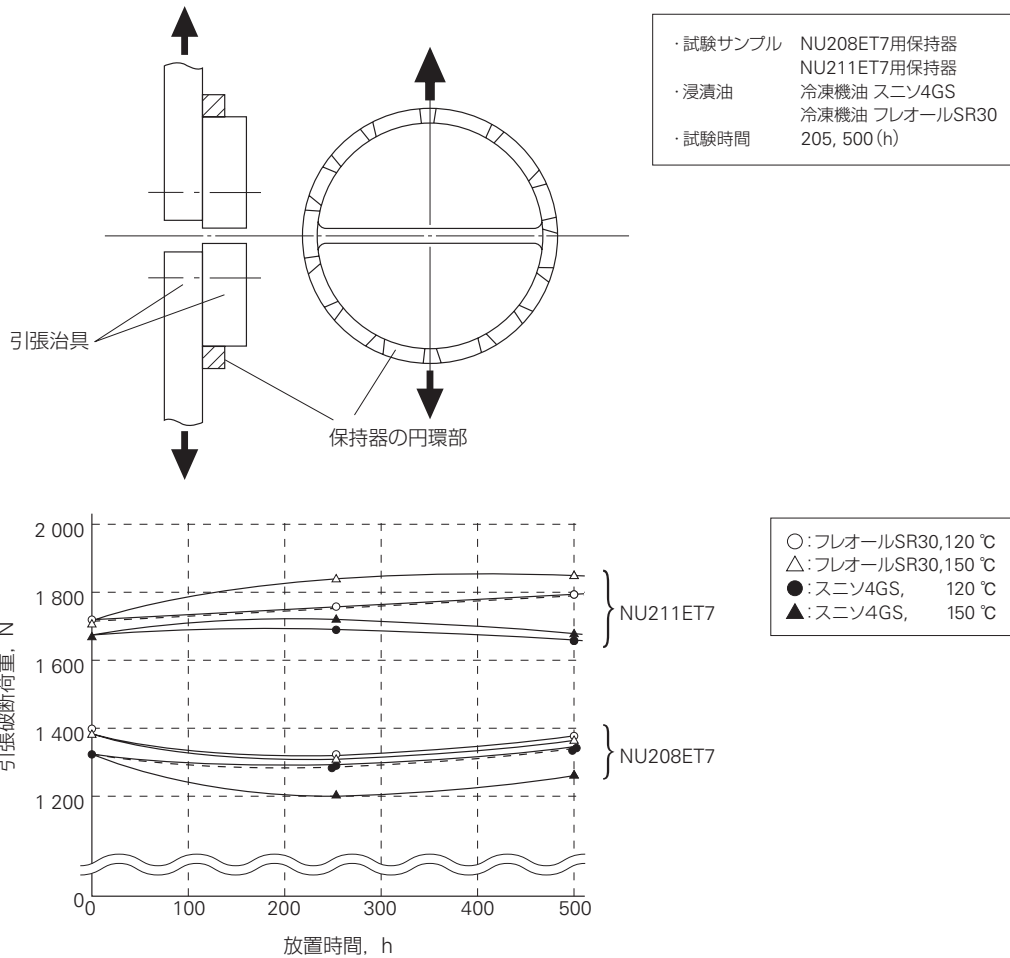
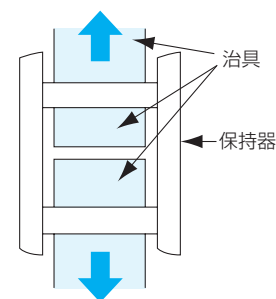
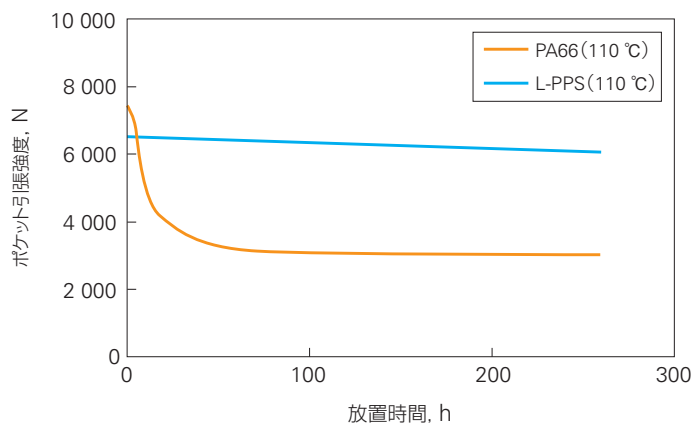


図8 高温油中での強度変化¹⁾
Fig. 8 Effect of high-temperature oil on cage strength



試験保持器:NU308E

図9 アンモニア劣化保持器のポケット引張り強度比較

Fig.9 Effect of ammonia gas on the tensile strength of cage pockets

そのため基油、添加剤等潤滑油も変化しており、潤滑油に対して保持器の耐油性も求められる。また同様に冷媒に対しての耐薬品性も求められる。

上記課題を解決するためNSKでは、コンプレッサー用軸受として独自のガラス繊維強化材入りL-PPS(直鎖状ポリフェニレンサルファイド)樹脂保持器を開発し採用している。ここでL-PPS保持器の特長について示す。

4.2.1 耐摩耗性

油潤滑下における耐摩耗性を確認するため一般的に使われる保持器材料の黄銅鋼、PA66樹脂およびL-PPS樹脂を用いた摩耗試験結果を図7に示す。L-PPSは黄銅鋼、PA66樹脂と比較して摩耗量が少ない。

4.2.2 耐油性

高温油中でのL-PPS樹脂保持器の強度試験結果を図8に示す。L-PPS樹脂保持器の円環引張り破断荷重は500時間経過後でもほとんど低下せず、高い化学的安定性を持っている。

4.2.3 耐薬品性

冷凍機などで使用されている自然冷媒の1つであるアンモニアガス雰囲気中に、一般的に使用されるPA66樹脂およびL-PPS樹脂製円筒ころ保持器を放置し、その保持器ポケット引張り強度の変化を確認した。円筒ころ型番NU308での結果を図9に示す。PA66樹脂製保持器は強度が約60%程度低下したが、L-PPS樹脂製保持器はほとんど

低下は見られなかった。

以上からL-PPS樹脂製保持器は、耐摩耗性・耐油性・耐薬品性に優れており、コンプレッサー用軸受の保持器として適していることが分かる。

5. エルコンブ(ELCOMP)軸受™シリーズ

NSKは、高負荷容量で耐摩耗性、耐油性および耐薬品性に優れるL-PPS樹脂製保持器を組み込んだアンギュラ玉軸受、円筒ころ軸受軸受を産業機械コンプレッサー用軸受“エルコンブ(ELCOMP)軸受”としてシリーズ化している。

6. あとがき

以上、スクリーコンプレッサーの構造・運転条件から転がり軸受に求められる機能とその対応技術について紹介をした。

空気コンプレッサー、冷凍・空調用コンプレッサーは環境に優しく、省エネルギーで高性能・高信頼な製品が次々と開発されると思われる。NSKの独自技術をなお一層発展させ、これら新製品の要求に応えられる軸受をタイムリーに提供し続けていきたい。

参考文献

- 1) 製品紹介, "PPS樹脂保持器付きスクリーコンプレッサー用軸受", NSK TECHNICAL JOURNAL.658 (1994) 64-65

産業機械用ボールねじの技術動向

伊藤正則*



伊藤正則

Technological Trends of Ball Screws for Industrial Machinery

M. Ito

Ball screws are used in an increasingly wider range of industrial applications in recent years. Such applications include injection molding machines where ball screws are required to perform under high-load and high-speed operating conditions at low-noise levels. This article introduces various series of ball screws, including the A1 series used for the screw injector and clamping unit of electric injection molding machines. This series has been designed for high-speed operations at low-noise levels in a low-profile package, which also makes the series compatible with material handling equipment and robots as well. This article will also cover the high performance seals used in this series to protect the ball screw from various contaminants.

1. まえがき
2. 高荷重用ボールねじ
 - 2.1 射出成形機用ボールねじ
 - 2.2 その他の高荷重用途
3. 搬送用ボールねじへの対応
 - 3.1 高速化
 - 3.2 騒音・振動の低減およびコンパクト性

4. 高防塵性能への対応
5. あとがき

1. まえがき

ボールねじは、米国で自動車のステアリング用として1950年代に実用化された。NSKは1961年から精密ボールねじを工作機械メーカーに納入してきた。

そして近年、産業機械の多機能化に伴いボールねじに対する要求も多岐にわたり、高速性、静音性、コンパクト性等への対応が必要となっている。

一方、高荷重用としてNSKでは、他社に先駆け電動射出成形機向けに高負荷駆動用ボールねじをシリーズ化してきた。

日本の射出成形機の電動化比率は急速に高まり、最近では大型射出成形機用の高荷重ボールねじや製品の薄肉化を可能とする高速射出用のボールねじ等の要求が強くなっている。また、その他の高荷重用途としては、アルミダイキャスト、プレス機、粉末成形機等

の電動化も加速しており、それぞれの用途に合わせたボールねじの開発が必要となっている。

半導体、液晶、ロボット等のメカトロニクス分野の発展も目を見張るところがあり、新たな要求仕様に対しても、NSKではこれに適したボールねじの設計対応を行っている。また、航空機、宇宙等の特殊環境用途についても、要求に対応する特殊仕様により、数多くのボールねじが使用されるようになった。

ここでは産業機械用ボールねじの代表として、高荷重用ボールねじと搬送用ボールねじ、および高防塵性能シールの最近の技術動向について紹介する。

2. 高荷重用ボールねじ

従来、高荷重の直動加圧方法としては油圧駆動方式が一般的であったが、近年では省エネ、環境、メンテナンスの面で優れている、ボールねじと回転モータを

* NSK プレシジョン株式会社 技術本部 BS 技術部

組み合わせた電動式への変更が進められてきた。油圧式からの置き換えのため高荷重用途のボールねじは、小ストロークの連続運転などの従来のボールねじの用途と異なる使用条件など、要求機能が多岐にわたってきており、それぞれの用途に適応した設計が必要となってきた。

ここでは最近の高荷重用として商品化したボールねじについて紹介する。

2.1 射出成形機用ボールねじ

従来の射出成形機の加圧部は油圧駆動方式が一般的であったが、消費電力の削減、メンテナンス性、高機能化に対応する制御性等に優れた電動方式の採用が、1990年代の中ごろから進められてきた。先に開催された国際プラスチックフェア (IPF) に出展された射出

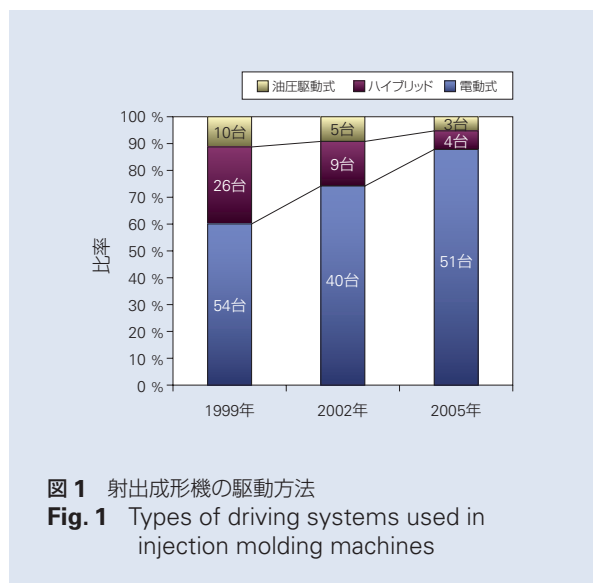


図1 射出成形機の駆動方法
Fig. 1 Types of driving systems used in injection molding machines

成形機の駆動方式についてNSKが調査した結果を図1に示す。出展機の電動化率は1999年では60%だったのに対し、2005年では88%であり、電動と油圧駆動を組み合わせたハイブリッド方式を含めると、95%がボールねじ駆動を採用していることとなる。

2.1.1 射出成形機用ボールねじの特長

射出成形機の概略構造とボールねじの使用箇所の例を図2に示す。

NSKでは他社に先駆け高荷重用ボールねじとして“HTFシリーズ”を開発し、1996年に商品化した。この“シリーズ”はできるだけ小さなサイズで動定格荷重と静定格荷重を向上させ、さらに長寿命化を行うため、以下のような設計を行っている。

- ①軸径・リードに対するボール径を大きくした高荷重用途用としての最適な設計仕様
- ②大径ボール専用のボール溝の形状および循環路の仕様変更
- ③ボールチューブの配置を見直し、ボールの負荷分布の均一化設計¹⁾
- ④軸の剛性に対しバランスの取れたナット外径の選択¹⁾
- ⑤ボール保持ピースS1を標準仕様とすることにより、ボールナットへの偏荷重に対する耐久性の向上¹⁾

国内の射出成形機の電動化は小型機(型締め力150t以下程度)から始められたが、近年は3000t程度の超大型機まで要求があり、大径ボールねじで対応している。

一方、このような高荷重の要求と同時に、IT関連の部品に使用される超薄肉、高精度の成形部品の製作を

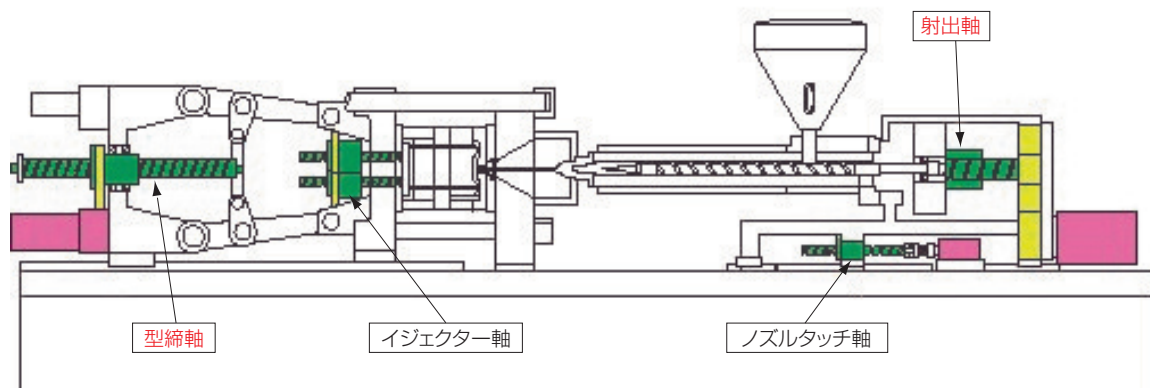
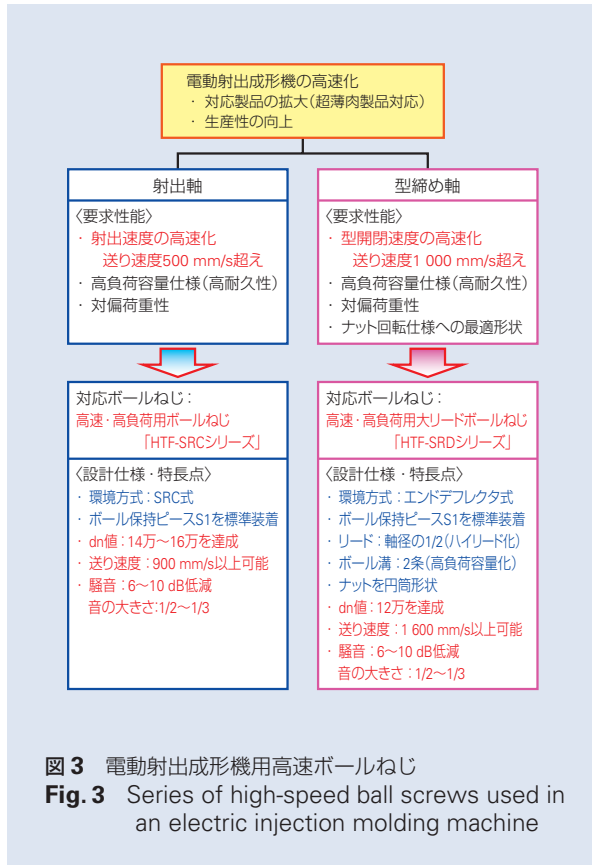


図2 電動射出成形機に使用されるボールねじ
Fig. 2 Locations of ball screws used in an electric injection molding machine

可能とするため、高速射出が可能なるボールねじの要求や、生産性向上のための型開閉用ボールねじの高速化対応が求められてきた。その要求に対応し商品化した新商品を以下に紹介する。また、特長点を図3にまとめた。



2.1.2 射出軸用ボールねじの高速化

NSKでは、従来の“HTFシリーズ”がボールチューブによる循環方式であったものを、新たに開発した循環方式SRC (Smooth Return Coupling) を採用することにより高速化と低騒音化を実現した“HTF-SRCシリーズ” (写真1)を開発・商品化した。従来のチューブ式循環方式ではチューブ両端の“タング”と呼ばれる部分の強度により高速限界が決められていたが、SRCの循環方式では循環部品を樹脂製とすることによりボールのすくい上げを3次的にボールねじの螺旋に沿って行うことが可能となり、その結果 $d \cdot n$ 値 [d : 軸径 (mm), n : 回転数 (min⁻¹)] で14万~16万の高回転を実現できた (図4) (標準仕様品は $d \cdot n$ 値7万~



写真1 HTF-SRC シリーズ
Photo 1 HTF-SRC series

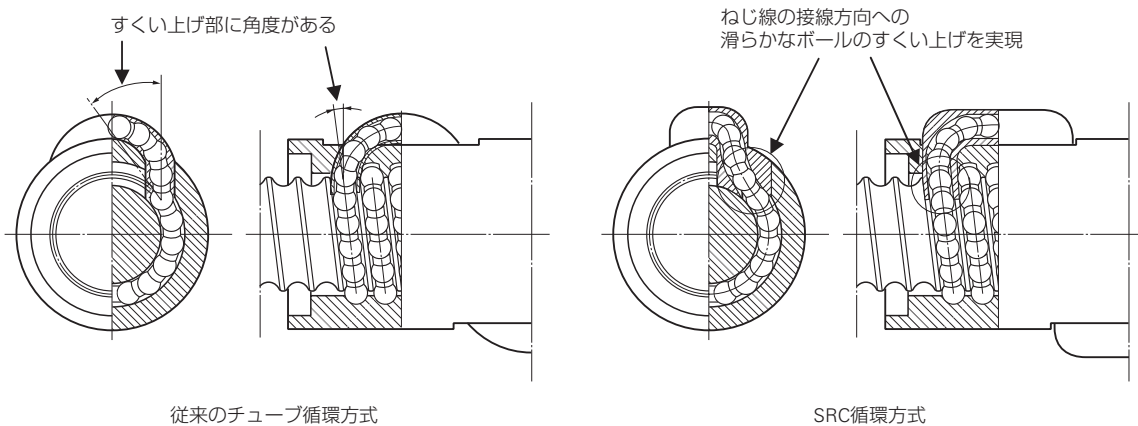


図4 従来のチューブ循環方式と SRC 循環方式の比較
Fig. 4 Comparison of a conventional ball recirculation circuit and the SRC recirculation circuit

10万)。これにより送り速度 900 mm/s 以上を可能とした。また、ボールの循環をスムーズにしたことにより、騒音レベルは従来品に対し 6 ~ 10 dB 低減し、音の大きさを 1/2 ~ 1/3 とすることができた。

なお、本シリーズにおいても“HTF シリーズ”と同様に、偏荷重に対する耐久性の向上を目的としたボール保持ピース S1 を標準仕様としている。

2.1.3 型締め用ボールねじの高速化

型締め軸は射出軸に対しさらに高速が要求されることより、型締め軸高速仕様用として新たにボールねじのシリーズを開発・商品化した。以下に型締め軸用ボールねじについて紹介する。

型締め軸はトグルリンクによる倍力機構を採用しているものが多く、そのために射出軸と比較しストロークが長く、また生産性を向上させるため 1000 mm/s を超える高速化が求められている。

そこで、NSK では型締め軸用の高速仕様ボールねじ“HTF-SRD シリーズ”(写真2)を開発・商品化した。以下に仕様の概要を示す。

- ①ボールの循環方式は高速仕様に適しているエンドデフレクタ方式を採用した。
- ②高速仕様とするためリードを軸径の約 1/2 以上に設定した。
- ③高荷重に対応するためボール溝 2 条を標準とした。
- ④ナット回転での取付けを容易にするため、ナットを円筒形状とした。
- ⑤従来の高荷重用と同様に、ボール保持ピース S1 を標準仕様とした。

本仕様とすることにより、高速送りは 1600 mm/s を超える送り速度が可能となった。また、騒音レベルが従来品に対し 6 ~ 10 dB 低減し、音の大きさを



写真 2 HTF-SRD シリーズ
Photo 2 HTF-SRD series

1/2 ~ 1/3 とすることができた。

2.1.4 グリースの使用量削減と飛散防止

射出成形機用のボールねじでは耐久性の面から、自動給脂装置等により連続的にグリースの補給を行っている。また、発熱対策としてナット両端に組み付けられているシールは非接触タイプを一般的に使用している場合が多い。そのため、給脂したグリースはナット両端のシールのすき間から流れ出しやすかった。このため必要以上の給脂や、グリースの飛散による機械および製品の汚染が新たな問題となってきた。

そこでNSKではすでに市場で高い評価を受けている“V1 シリーズ”で使用している高防塵シールの技術をベースとした、接触タイプのグリース密封シール“A1 シリーズ”を開発・商品化した。これにより、グリースをナット内部に保持することが可能となり、ねじ軸からのグリース飛散の防止およびグリースの有効利用を可能とした。

2.2 その他の高荷重用途

高荷重用途用ボールねじとしては、射出成形機と同様にプレス機、粉末成形機等の電動化に伴う需要も近年目覚ましく増加している。

その中で、プレス機の電動化については加圧荷重が 5 t 以下のものは従来からボールねじを使用しているものがあつたが、最近では数百 t まで電動化の対象機種とされるようになった。また、プレス機としては圧入、打ち抜き、曲げ加工用のものもあるが、ボールねじを用いた電動サーボによる精密位置決め制御性を使用した高機能プレス機も増加している。

現在、それぞれの使用条件に合わせ、先に紹介した“HTF”、“HTF-SRD”、および“HTF-SRD”の各シリーズを基本として、最適な仕様のボールねじを提案している。今後は高速・高荷重用途と共に、高加減速、小ストローク、高タクトタイムの要求が増えてくるものと思われる。

3. 搬送用ボールねじへの対応

近年、生産性の向上を目的とした搬送設備の高速化は著しいものがあり、送り系として使用されるボールねじに対しての高速化の要求が強まっている。

しかし、単純にボールねじの高速回転化による送りの高速化の場合には、騒音や振動が問題となる。NSKでは高速化と低騒音化を両立したシリーズを市場に投入しており、ここではその内容を紹介します。

3.1 高速化

既存のボールねじの循環方式は、ボールが荷重を受けるボール溝と循環部分とのつなぎ部でボールの動きが不連続となり、大幅な高速化を行おうとした場合にはその部分に大きな負荷がかかり、強度上の問題があった。たとえば、チューブ循環方式では、ボールが負荷を受けながらボール溝を転動し、循環部品であるボールチューブ両端の“タング”と呼ばれているボールすくい上げ部分に衝突して運動方向を変え、チューブ内部へとボールが導かれる。そのためボールねじの許容回転速度は循環部品の強度により決まっていた。

そこでNSKでは、高速回転に耐える新循環方式のエンドフレクタ方式を新たに開発し、“BSSシリーズ”（写真3）として商品化を行った。この方式は、循環部品がボールねじ溝の螺旋に沿って滑らかにボールをすくい上げる方法を採用しており、ボールによる循環部品への負荷荷重を大幅に低減させることが可能となり、従来品の1.6倍に大幅な許容回転速度の向上を実現できた。

3.2 騒音・振動の低減およびコンパクト性

ボールねじでは構造上、ボールの転動部と循環部分とが不連続となるため、その部分で音、振動が発生することが避けられず、ボールねじを高速で回転させた場合はさらに増大する。この音、振動の発生源の多くはボール溝と循環路の出入りの部分で、ボールが循環部品と衝突する際の衝撃力が振動になると考えられる。

エンドフレクタによる循環方式は、先に述べたよ



写真3 BSSシリーズ
Photo 3 BSS series

うにボールをボールねじ溝の螺旋方向に沿って滑らかにすくい上げ、衝突力をおさえたことにより、騒音、振動を大幅に削減させることが可能となった。騒音レベルは、従来の同一仕様のボールねじと比較し、5～7 dBも低減することができた。

また、エンドフレクタ循環方式の採用により、ナット円筒部外径を約20～30%サイズダウンした。このように新たな循環方式の開発により、高速・静音・コンパクトを達成している。

4. 高防塵性能への対応

ボールねじは多岐にわたる用途で使用されることより、様々な異物環境下にさらされることがある。異物としては代表的なものとして、金属、セラミックス、ゴム、木屑等の加工粉および溶接時のスパッタ粉、電子チップ等をあげることができ、非常に多岐にわたっている。

このような異物がナット内に侵入した場合、下記の問題を発生する恐れがある。

- ①ボール溝およびボールの早期摩耗
⇒早期予圧抜け
- ②異物の噛み込みによるボール溝とボールの傷、
⇒傷を起点とした疲労はく離
- ③異物による循環不良と詰まりの発生
⇒循環部品の損傷
- ④異物による潤滑剤の吸収
⇒潤滑不良、発錆、過度な温度上昇

これらの異物がナット内に侵入しないようにするため、従来からボールねじには、ボールナットの両端に非接触のラビリンスシールや径方向に締め付け力を持ったワイパーシールが使用されていた。しかし、従来の方式ではいずれも十分なシール性が得られなかったことや、ワイパーシールではシールの接触トルクの影響により高速用途で発熱などの問題があった。

そのため、市場からは防塵性能が高く、且つシールトルクが低く、高速用途で使用が可能なシールが求められていた。NSKではこれらの要求に対応した高防塵性能のシールを組み付けた高防塵ボールねじ“V1シリーズ”を商品化している。“V1シリーズ”のシール部分の構造を図5に示す。

“V1シリーズ”の特長点を以下に示す。

- ①シール部分は接触面積を小さくしたリップ形状を採用
- ②標準仕様として潤滑ユニット“NSK K1™”を設定し、シールのリップ部の潤滑を行い潤滑性能および耐久性を向上
- ③ $d \cdot n$ 値は15万まで使用可能

その結果、異物の通過率はNSK従来比1/15、微鉄粉環境下の耐久性は4倍となった。また、シールトルクが小さいため高速回転まで使用可能である。

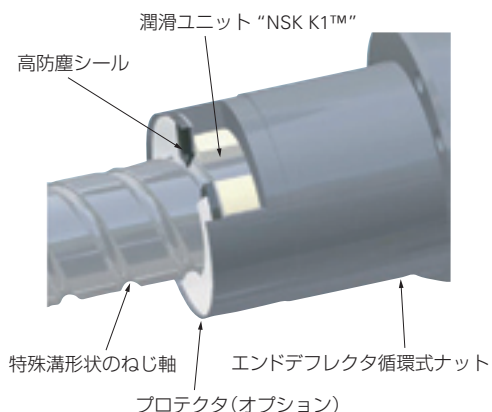


図5 ボールナット断面詳細
Fig. 5 Cutaway view of ball screw nut

5. あとがき

産業機械用ボールねじの用途は非常に多岐にわたっており、今回はその一部の最近の動向について紹介した。ボールねじは半導体製造装置、航空機、宇宙用機器他種々の用途用として特殊な仕様のもので多くあり、別の機会にそれらについての紹介も行いたい。

参考文献

1) 宮口和男,丸山大介,「高負荷駆動用ボールねじ「HTFシリーズ」の開発」,NSK Technical Journal ,No. 672 (2001) 18-24

試験条件
試料：軸径32 mm/リード32 mm
送り速度：3.2 m/min
ストローク：80 mm
異物：鉄粉（粒径30 μm以下）をグリースと混合し、ねじ軸上に塗布
評価：ナット内部に侵入した異物量を評価

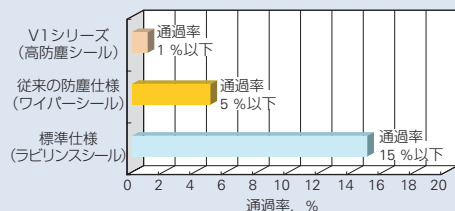


図6 異物通過試験結果
Fig. 6 Particle penetration rate

試験条件
試料：軸径32 mm/リード32 mm
送り速度：40 m/min
ストローク：700 mm
荷重：1.4 kN
潤滑：LRL3グリース
異物：の加工粉（粒径37 μm~87 μm：88~148 μm=7：3混合粉）
ねじ軸上に0.6g/1day塗布

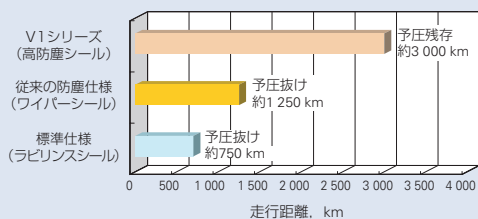


図7 異物耐久試験結果
Fig. 7 Extreme durability test results using iron particles

産業機械用NSKリニアガイド™の技術 動向

林 栄治*, 服部 勝*



林 栄治

Technological Trends of NSK Linear Guides for Industrial Machines

E. Hayashi, M. Hattori



服部 勝

The basic configuration of linear guides (linear motion rolling bearings with a rail) in use today can be found in a 1932 French patent.

In the first half of the 1980s, NSK manufactured precision linear guides on a commercial basis mainly for machine tools. Later, NSK developed various linear guides that met the needs of specific applications or the needs of the market.

This article introduces recent technological trends of linear guides. We will discuss new technologies and new products including the RA series of NSK roller guides.

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. まえがき 2. 高度化する工作機械への対応 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 滑り案内から転がり案内へ 2.2 高負荷容量・高剛性 3. 液晶製造設備への対応 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 運動精度 3.2 高精度化技術 | <ol style="list-style-type: none"> 4. 新たな用途・要求への対応 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 異物環境 4.2 安全性 5. あとがき |
|---|---|

1. まえがき

大きな石の下に敷いた丸太を転がしながら、石を軽く動かすといった方法が古代から存在していた。しかし、この原理を利用した転がり直動案内が、機械要素として一般に使用されるようになったのは20世紀になってからである。ボールスプラインの変形として一般産業機器に使用されたのが、その始まりと言われている。1932年にフランスでその基本形が特許化され、1970年代に商品化が行われている。

一方で、工作機械の分野ではNC化が進み、高速化・高精度化に伴って、それまでの滑り案内では耐久性やNC指令に対する追従性などが問題となってきた。これらの問題に対して、転がり案内のもつ高速性や、エレクトロニクスとの相性の良さなどが適合し、工作機

械の案内の転がり化が進展することとなった。また、電子部品製造設備や半導体製造設備の進化・拡大に伴い、それらの製造設備においても転がり案内が多く採用されることになった。

NSKは1980年代前半に、工作機械を主な用途とした精密リニアガイドLYシリーズを商品化し、その後さまざまな市場に対応した商品を展開している。一方で転がり案内に求められる性能は日々高度化し、近年では高剛性・高負荷容量といった基本性能の向上、運動精度の向上、さらには異物等の劣悪環境への対応など、多種多様な要求がある。これらの要求に対し、NSKは新たなリニアガイドの開発によって対応している。ここでは近年開発されたNSKリニアガイドを紹介しながら、多様化するニーズへの対応技術について説明する。

* NSK プレジジョン株式会社 LG改革プロジェクトチーム

2. 高度化する工作機械への対応

2.1 滑り案内から転がり案内へ

1980年代、工作機械の案内は滑り案内から転がり案内へと移行していった。滑り案内と転がり案内では、摩擦力が大きく異なる。このため、転がり案内を使い始めた頃の工作機械では、機械の振動が吸収されないことが、多くのユーザーで心配された。

NSKではこのような背景の中で工作機械向けリニアガイドLYシリーズを開発した。LYシリーズは、独自のオフセットゴシックアーチ溝を採用し、予圧設定によって溝とボールとの接触を4点接触構造（レール側2点とベアリングブロック側2点）とすることで高剛性が実現していた。また同時に、4点接触構造としていることによる大き目の摩擦力がテーブルの振動を吸収する“減衰”の役割を担うなど、当時の工作機械に適した性能を備える仕様となっていた。

2.2 高負荷容量・高剛性

1990年代に差し掛かると工作機械における転がり案内の地位はもはや一般的となってきた。一方で制御技術の進歩もあり、工作機械の高速化・高加減速化がより進んだ。実際、この10年ほどの間に主要な工作機械の送り速度はおよそ2倍にも高速化している。その結果、要求される走行寿命（距離）は2倍近くに増えており、その分、以前より高負荷容量が求められてきている。また、高速化の流れの中で、短いストロークでも移動時間を短縮するために加速度の増大が図られるようになり、そのため、高い剛性が求められるようになった。すなわち工作機械の剛性は案内系が及ぼす影響が非常に大きいため、より高剛性の転がり直動案内（リニアガイド）が求められた。

さらに、制御技術の進歩とあいまって高精度化が進展し、工作機械では輪郭精度、すなわち追従性が重要

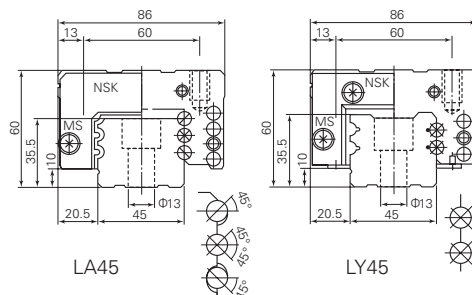


図1 NSKリニアガイド“LYシリーズ”と“LAシリーズ”の断面形状¹⁾

Fig. 1 Cross-section views of the LY and LA series of NSK linear guides

な特性として取り上げられるようになった。減衰性の特性を生かすため意図的に大きくしたLYシリーズの“摩擦力”は、むしろ弊害となり、摩擦力が小さいものが求められるようになった。これらを受けてNSKでは、独自の6列構造とした工作機械向けリニアガイドLAシリーズを商品化した¹⁾。図1にLYシリーズとLAシリーズの代表例の断面図を示す。LAシリーズは単にボール溝を6列としたものではなく、2点接触、4点接触を組み合わせることで剛性・負荷容量をLYシリーズの1.5～1.6倍としながら、摩擦力を50～60%に低減している。このLAシリーズは、LYシリーズに続き工作機械用途にてご好評をいただいた。

ところで、欧州では普及当時からローラガイドが多く使用されていた。これは、転がり軸受と同様に、転動体にころを用いる方が負荷容量や剛性といった性能には有利であるためである。NSKは2004年に、高速化・高加減速化がますます進むと予測し、ローラガイドRAシリーズ²⁾を開発し、商品化した(写真1)。RAシリーズではNSK独自の解析技術が駆使されており、これまでにない高剛性・高負荷容量が実現されている。ここで述べたLYシリーズ、LAシリーズ、およびRAシリーズの負荷容量および剛性の比較を表1に示す。



写真1 NSKローラガイド“RAシリーズ”
Photo 1 RA series of NSK roller guides

表1 工作機械向けNSKリニアガイドの負荷容量および剛性の比較

Table 1 Comparison of capacity and rigidity of NSK linear guides for machine tools

	LY45 超高荷重形 Z4 予圧	LA45 超高荷重形 Z4 予圧	RA45 超高荷重形 Z3 予圧
基本動定格荷重 ¹⁾ (N)	65 500	88 000	116 000
基本静定格荷重 (N)	151 000	197 000	305 000
剛性 ²⁾ (N/μm)	1 100	1 640	2 740

1 基本動定格荷重は100 km 定格に統一してある

2 剛性の値は理論計算値であり、参考である。

2.2.1 ローラガイドの高負荷容量技術²⁾

ローラガイドでは、負荷容量、すなわち基本動定格荷重および基本静定格荷重は、転動体にボールを用いたリニアガイド同様に、転動体(ころ)の径が特に大きく影響する。また、ころの有効長さを長くすることも大きな負荷容量を得ることができる。そこでNSKでは、独自のころ保持構造によってベアリングブロック内部のスペースを極限まで有効に使うことで、既存品に比べて大きなころを採用し(写真2)、さらに、ころ端の形状(クラウニング形状)を最適化することで大きな負荷容量を得ている。基本動定格荷重と基本静定格荷重を、他社のローラガイドと比較した例を図2に示す(メーカーによっては独自の方法で基本動定格荷重を算出している場合があるが、ここでは実際の諸元からISO-14728-1, -2に示される計算方法にて算出した値を比較した)。ローラガイド RAシリーズは、既存品に比べて大きな基本定格荷重を得ることができる。

2.2.2 ローラガイドの高剛性技術²⁾

ころは、軌道面との接触剛性がボールに比べて非常に大きいため、高剛性を実現しやすいのは周知の事実である。その接触剛性の高さのために、ベアリングブロックの部材変形も全体の剛性に大きく影響する。つまり、コの字状をしたベアリングブロックが、ころとの接触力

を内側に受けることで変形してしまい、ころとベアリングブロックの接触状態が変わって剛性が低下してしまうのである。そこでRAシリーズでは、FEM解析によってベアリングブロックの変形を事前に予測し、ころとの接触力(予圧として負荷している)が作用した状態で最適な接触状態になるようにしている。これによって、ころの持つ非常に高い接触剛性を引き出し、リニアガイドとして高い剛性を実現している。さらに、LAシリーズでは4箇所だったベアリングブロックの取付穴を6箇所に増やし、また、レールの取付ボルト穴の数をLAシリーズの2倍に増やすことで、実機組込み状態での高剛性を実現している。FEMモデルによる部材の変形解析の様子を図3に示す。

図4は、RAシリーズと既存の他社製ローラガイドについて、実測した剛性を比較した例である。解析技術を駆使して高剛性を追求した結果、RAシリーズは高い剛性を実現していることがわかる。

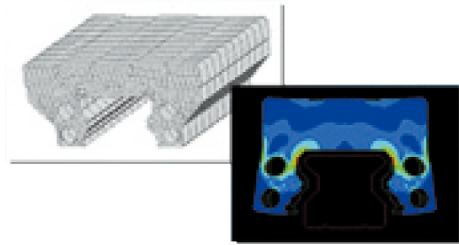


図3 ローラガイド部材のFEMモデルと変形解析結果³⁾
Fig.3 FEM model of a slider and analysis results of slider deformation

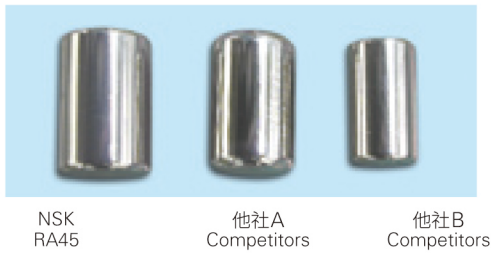


写真2 ころの比較²⁾
Photo 2 Comparison of rollers

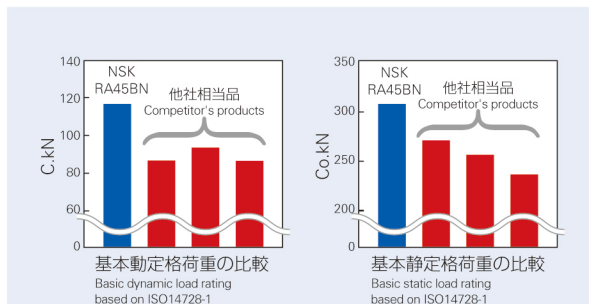


図2 負荷容量の比較(サイズ #45)²⁾
Fig.2 Comparison of load rating (size #45)

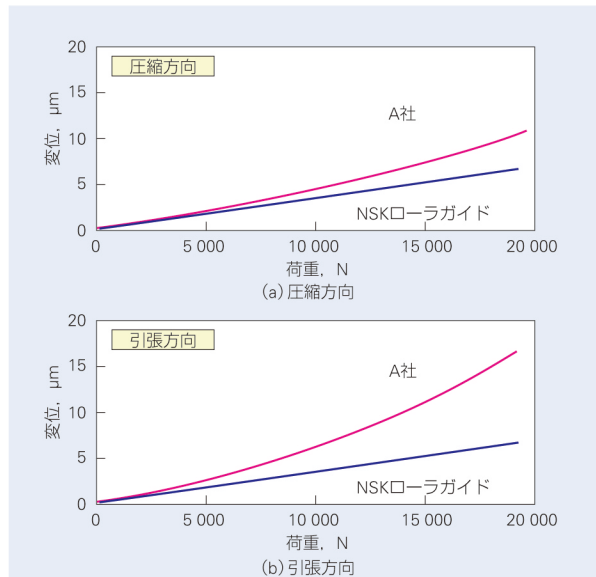


図4 ローラガイドの剛性測定結果(サイズ #45)³⁾
Fig.4 Comparison of actual rigidity of roller guides (size #45)

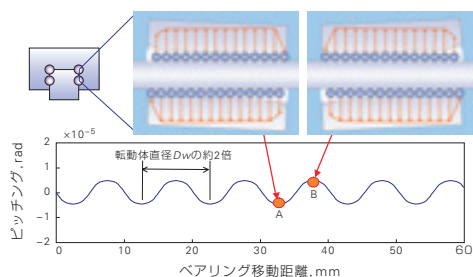
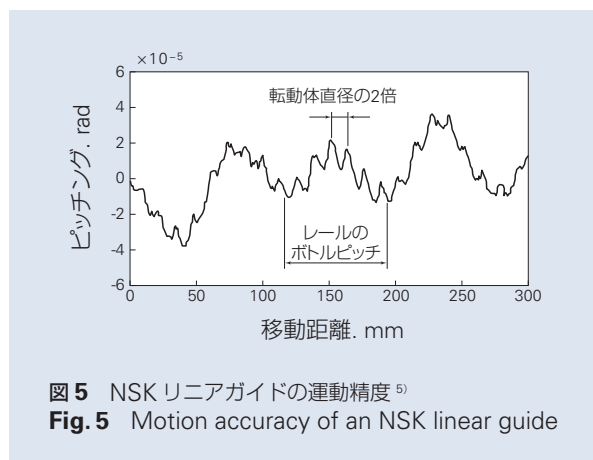
3. 液晶製造設備への対応

例えば、液晶製造設備の感光液（レジスト）塗布装置では、均一な感光液塗布のために、案内の運動精度が高いことが求められる。このような用途ではリニアガイドの持つ運動精度誤差が問題となり、静圧案内が使用されることが多かった。しかし、静圧案内はそれ自体が高価であること、振動を減衰させる能力が小さいことなどから、転がり案内であるリニアガイドにおいて、静圧案内に近い運動精度を実現させたいという要望が大きかった。

3.1 運動精度

リニアガイドの運動精度は、一般にはリニアガイドの取付面の精度や、レール自体の加工精度の影響を受ける。しかし高精度を追求し、レールや取付面の精度を極限まで向上させたとしても取り除けない運動精度誤差がある。それはリニアガイド自体が構造上持っている誤差要因であり、静圧案内レベルの運動精度の実現は難しいとされていた。

図5は、リニアガイドの運動精度を測定した例である⁵⁾。図5に示すように、リニアガイドの運動精度誤



差には主に、転動体直径の約2倍周期の成分とレールのボルトピッチ周期の成分の2種類がある。このうち転動体直径の約2倍周期の成分は転動体通過振動と呼ばれている。

3.2 高精度化技術⁵⁾

転動体通過振動は、ベアリングブロックの剛性とその軌道面における転動体負荷分布の変化の関係から、ベアリングブロックが5自由度系の各方向に変位または角変位する現象である(図6)。NSKでは、この転動体通過振動の定量的な解析を実現した^{3),5)}。これは、内部荷重と外部荷重による、力のつり合いおよびモーメントのつり合いから運動方程式を導出し、これを数値計算して5自由度系の各方向の変位量または角変位量を算出するものである。この解析によって、ベアリング軌道溝端の形状(クラウニング形状)を含むリニアガイドの諸元や、テーブルのレイアウト等の情報から転動体通過振動の大きさを推定することができる。

転動体通過振動の大きさは、予圧量、転動体数などの影響を受けるが、上述の解析の結果、それらの中で影響が大きいものは負荷部の転動体数すなわちベアリングブロックの長さや、軌道溝端のクラウニング形状(図7参照)であることがわかった。

一方、レールのボルトピッチ周期の成分は、レールをボルト締めした際に生じるレールの微小変形によって生じると考えられる。そこで、レールのボルト締結による変形をFEMにて解析し、変形を抑えるボルト締結構造について検討した(図8)。これにより、ボルト取付強度に影響を及ぼさずレール変形を最小限にするボルト穴周辺形状を導き出した。

以上の解析結果をもとに高精度用途向けに開発したのが、NSKリニアガイド“ハイアキュラシーシリーズ”(写真3)である。ハイアキュラシーシリーズではベアリングブロックの長さを標準品の2倍とし、ベアリング軌道溝端には専用クラウニングを施すことで転動体通過振動を抑制している。さらに、レール固定ボルト穴のピッチを半分にすることやボルト穴のザグリ深さを深くすることなどの対策で、レールの変形を抑制している。その結果ハイアキュラシーシリーズは、テーブル体としたときの運動精度誤差が従来の1/2程度にまで低減しており、その運動精度誤差は40 nm程度と非常に小さくなっている(図9)。このハイアキュラシーシリーズは、液晶製造設備や半導体製造設備をはじめ、研削盤や金型加工機といった高精度工作機械においても、静圧案内に迫る高精度直動案内として使用されている。

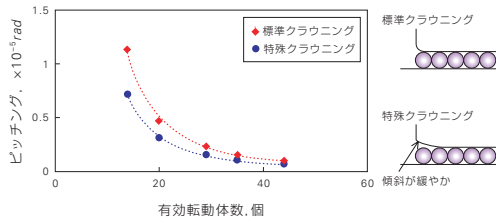


図7 クラウニング形状が転動体通過振動に及ぼす影響³⁾
Fig. 7 Relationship between profile of slider crowning and calculated rolling element passage vibration

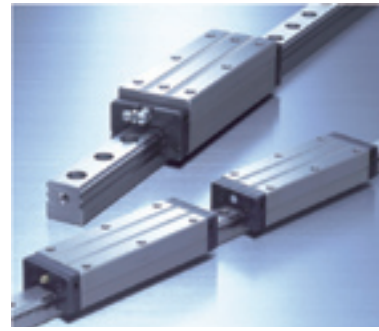


写真3 NSKリニアガイド“ハイアキュラシー シリーズ”
Photo 3 High-Accuracy series of NSK linear guides

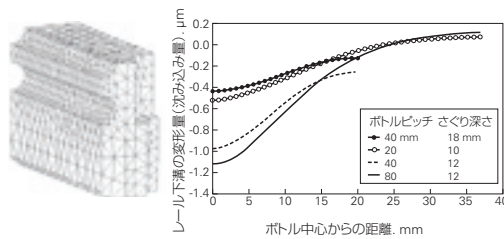


図8 レールのFEMモデルと変形解析結果⁵⁾
Fig. 8 FEM model of a rail and analysis results of rail deformation

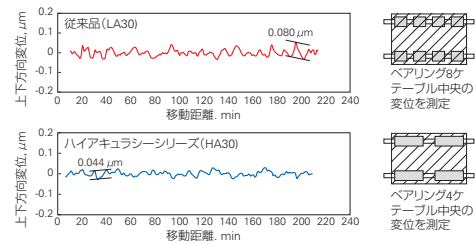


図9 転動体通過振動の比較 (サイズ # 30, 中予圧)
Fig. 9 Vibration level comparison of rolling element passage (size #30 under medium preload)

4. 新たな用途・要求への対応

4.1 異物環境

例えばタイヤ製造設備で使用されるリニアガイドには、微細なゴム粉が大量に降りかかる。同様に木工加工機で使用されるリニアガイドには、微細なおがくずが大量に降りかかる。微細なゴム粉やおがくずは、リニアガイドの中に侵入したり潤滑剤を吸い取ってしまったりして、短期間にリニアガイドを破損させる原因になる。このような過酷な環境下では、ジャバラなどのカバーでリニアガイドを覆うことで異物(ここではゴム粉やおがくずなど)が直接付着しないようにするなどの対策が行われている。

しかしながら、細かな異物や大量の異物の場合にはジャバラなどのカバーだけで異物の侵入を完全に防止することは困難である。また装置の構造上の問題で、防塵機能を有するカバーを装着できない場合もある。そのため、異物に直接さらされても使用可能なリニアガイドが求められていた。

そこでNSKでは、特殊な多段リップ構造により従来品よりも飛躍的に防塵性と潤滑剤保持性を高めた

高防塵シール(図10)を開発した。さらに、この高防塵シールを採用するとともにレール取付周りからの異物侵入を対策するなどして、異物環境下での長寿命を実現した高防塵NSKリニアガイド“V1シリーズ”を開発・商品化した。V1シリーズがレール上に付着した異物を掃き取る様子を写真4に示す。V1シリーズのベアリングが通過すると、レール上に大量に付着していた異物が全て掃き取られていることがわかる。次に、V1シリーズの異物環境での耐久性を確認した試験の結果を図11、図12に示す。図11はゴム粉環境下での試験結果であり、図12は微細木粉環境下での試験結果である。ゴム粉環境下で5倍以上、微細木粉環境下で2倍以上に寿命が延びる結果となっている。

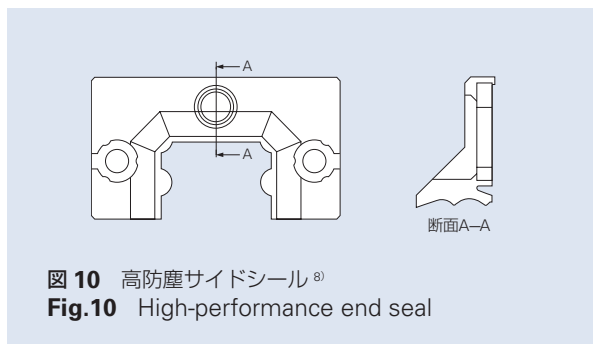


図10 高防塵サイドシール^{®)}
Fig.10 High-performance end seal



写真4 NSKリニアガイド“V1シリーズ”の異物掃き取り
Photo 4 Foreign matter on a V1 series rail of NSK linear guides before and after being wiped off by the slider

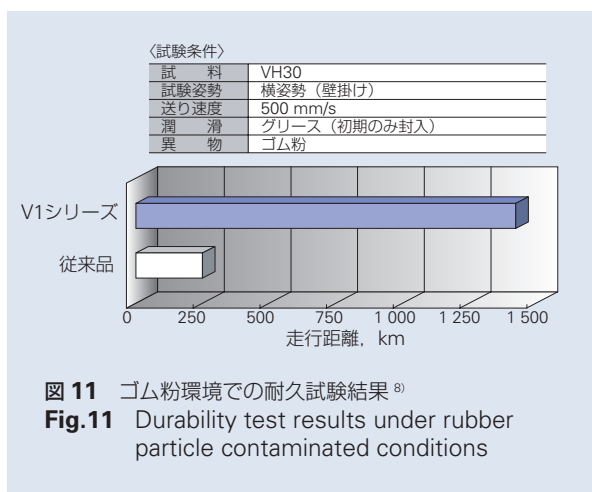


図11 ゴム粉環境での耐久試験結果⁸⁾
Fig.11 Durability test results under rubber particle contaminated conditions

このように異物環境下で優れた能力を発揮するリニアガイド V1 シリーズは、木工機械、グラファイト加工機、タイヤパフ機、レーザー加工機などの機器や、溶接ラインといった過酷な異物環境下で広く使用されている。

4.2 安全性

近年リニアガイドの使用が拡大している用途として、食品機械や医療機器がある。このような用途では、潤滑剤が飛散しないことはもちろん、食品などの品物または人体が、潤滑剤と触れる可能性が否定できないことから、潤滑剤にも衛生上の“安全性”が求められる。

このような要求に対しNSKでは、米国食品医薬品局 (FDA) 規格、食品衛生法に基づく食品添加物規格などに適合した潤滑ユニットとして、食品機械・医療機器関連装置用の潤滑ユニット“NSK K1TM”⁷⁾を開発し、これを装着したリニアガイド(写真5)を商品化している。写真5にて白い樹脂の部分が NSK K1 である。

この潤滑ユニットは、NSK K1のもつ長期メンテナンスフリーの性能をそのままに、その材料を食品機械・医療機器関連装置向けに特化したものであり、“安全”に対して厳しい要求が課せられる用途であっても、安心して使用できる潤滑ユニットである。

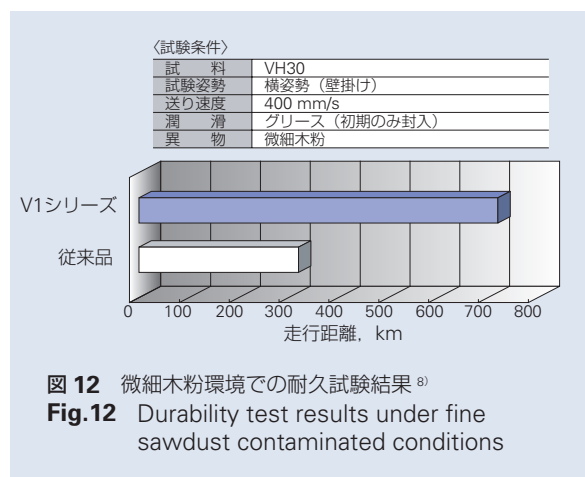


図12 微細木粉環境での耐久試験結果⁸⁾
Fig.12 Durability test results under fine sawdust contaminated conditions



写真5 食品機械・医療機器用NSK K1付きリニアガイド
Photo 5 Linear guide with NSK K1 unit for food processing equipment and medical equipment

5. あとがき

リニアガイドに対する要求は、高度化・多様化し、その用途も拡大している。これらの要求に対し、より高性能なリニアガイド、高機能なリニアガイドを提供すべく新技術・新商品の開発を行っている。ここでは、そのうちのいくつかについて紹介した。

これからも、多様化する要求や用途に迅速に対応・提案できるように、技術開発・製品開発を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 矢部四郎司, “NSKリニアガイドの技術動向”, NSK Technical Journal, 664 (1997)
- 2) 吉田敏生, “NSKローラガイドRAシリーズの開発”, NSK Technical Journal, 682 (2007)
- 3) 松本淳, “リニアガイドの特性解析”, NSK Technical Journal, 676 (2003)
- 4) 山口宏樹, 大久保努, “ボールねじ, リニアガイドの「S1」シリーズTMの開発”, NSK Technical Journal, 671 (2001)
- 5) 加藤総一郎, 松本淳, “NSKリニアガイドの高精度化技術開発”, NSK Technical Journal, 669 (2000)
- 6) 太田浩之, 他 “転がり案内の玉通過振動に及ぼす玉の相対配置の影響”, 日本機械学会論文集C 72巻716号
- 7) 加藤総一郎, “リニアガイド用「NSK K1」シールの開発”, NSK Technical Journal, 664 (1997)
- 8) 商品紹介, “異物環境用NSKリニアガイド「V1シリーズ」”, NSK Technical Journal, 680 (2006) 56-57

家電用玉軸受の技術動向



山本 篤弘

山本 篤弘*, 石和田 博*



石和田 博

Technological Trends of Ball Bearings for Household Electrical Appliances

A. Yamamoto, H. Ishiwada

Ball bearings used in electrical household appliances have achieved increasingly higher functionality over the years in response to demand for higher performance of such appliances. This article discusses the related trends and technologies of the ball bearings used in these appliances.

1. まえがき
2. ファンモータ用玉軸受
 - 2.1 静粛性
 - 2.2 長寿命化
 - 2.3 耐電食性
 - 2.4 耐フレッチング性
3. クリーナモータ用玉軸受
 - 3.1 摩擦損失の低減
 - 3.2 防塵性, 密封性の向上
4. 洗濯機用玉軸受
5. まとめ

1. まえがき

日本では、家電製品に玉軸受が使用されるようになったのは1950年代からである。現在では、一世帯で所有する家電製品に使用されている軸受の総数は、100個を超えるまでになっている。家電製品では、汎用性とコストの観点から、標準的な軸受が使用されることが多いが、高機能性を追求した軸受が使用されているものもある。例えば、エアコンを代表とする家電製品に組み込まれるファンモータがこれにあたる。また、クリーナモータ用軸受についても要求機能の特殊性から専用軸受が使用されている。ここでは、これらの家電製品に使用される軸受の動向やそれらに対応してきたNSKの技術について紹介する。

2. ファンモータ用玉軸受

日本では、エアコン、レンジフード、空気清浄機、換気扇など、ファンモータが組み込まれた家電製品が家庭内で数多く使用されている。エアコンは1970年代から普及し、現在では全世界で年間6 000～7 000万台が生産されている。今後も、アジアや欧州地域への普及により、市場の拡大が見込まれている。

エアコン製品の普及とともに、ファンモータの構成部品である軸受への高機能および高信頼性の要求は年々高まり、これに応じて軸受性能は向上を遂げている。以下に軸受要求機能ごとの代表例を紹介する。

*産業機械軸受技術センター 電機・情報技術部

2.1 静粛性

家電製品に組み込まれるファンモータでは、モータから発する音は騒音とみなされる。そのため、モータには静粛性が求められ、使用される軸受には低騒音・低振動であることが要求される。夜間に寝室などで使用されるエアコンや空気清浄機についてはこの要求が特に厳しい。

軸受から発生する音で最も基本的な音は、レース音と呼ばれるもので、全ての転がり軸受から発する音である。レース音の大きさは、軸受の軌道面や転動体表面のうねり・粗さなどの精度が影響すると考えられている。NSKでは、エアコンの一般家庭への普及以降、低騒音化・低振動化を目的にこれらの精度向上に努めてきた。その結果、エアコンファンモータ用に使用される玉軸受608の振動レベルは図1のように向上してきた¹⁾。

このように低振動化が進みレース音が小さくなると、これまでレース音に隠れていた音が目立つようになり、耳障りな音として取り上げられるようになってきた。微小なキズ音や、保持器の振動による音(保持器音)がこれに当たる。このため、軌道面や転動体表面に関しては、うねり・粗さと同時に加工面の微小な不規則形状についても改善が行われてきた。また、保持器の動き量を抑えることが保持器音低減に有効であることを見出し、動き量を抑制した保持器を実用化するなど、保持器音低減のための研究・開発を行ってきた。

2.2 長寿命化

(1) グリース

一般的なファンモータ用軸受では、NS7やNSCグリースといったリチウム石けん系のグリースが標準グリースとして使用されている。しかし、近年製品の要求寿命が年々長くなってきたため、従来の標準グリースを用いた軸受ではグリース寿命(焼付き寿

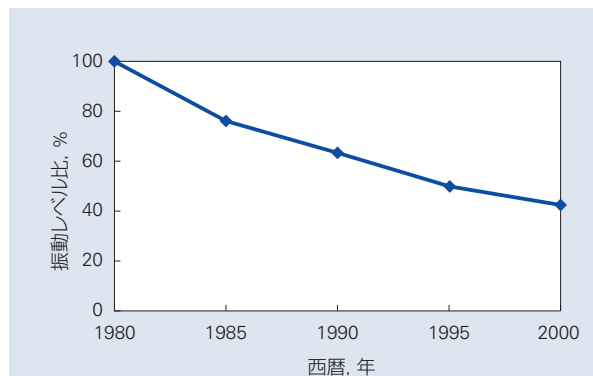


図1 ファンモータ用玉軸受(608)の振動レベルの推移¹⁾

Fig. 1 Gradual drop in vibration levels of 608 ball bearings for fan motors

命)が要求寿命を満たすことが困難なケースが出てきている。グリース寿命の長寿命化のためには、ウレア系のグリースが有効であり、そのなかでも基油動粘度が高いグリースを使用することがより効果的である。しかし、基油動粘度が高いウレア系のグリースを使用すると軸受の摩擦損失が上昇する。摩擦損失の上昇が許容できない場合は、基油動粘度の低いウレア系グリース(例えばEA3グリース)が使用される。EA3グリースはNS7グリースと摩擦損失は同等で、2倍のグリース寿命を有する。NS7とEA3グリースの焼付き寿命試験結果²⁾を図2に示す。

(2) 保持器

ファンモータでは、内径8mmから15mmの軸受が主に使用されている。これらの軸受のなかで、内径10mm未満の軸受(608など)については9割以上にプラスチック保持器が使用されている。一方、内径10mm以上の軸受(6200, 6201, 6202など)については使用条件、要求寿命の違いから、鋼板プレス保持器が使用されている。

鋼板プレス保持器とプラスチック保持器を比較すると、プラスチック保持器は、自己潤滑性を有するため摩耗粉の発生が少ない、弾力性に富むためミスアライメントやモーメント荷重の許容範囲が広いといった長所がある。プラスチック保持器は鋼板プレス保持器に比べ、使用温度範囲が低いという留意点はあるが、これまでの試験結果から、軸受の焼付き寿命が2倍以上であることが確認されている。使用温度範囲がそれほど高くないファンモータ用途では、内径10mm以上の軸受についてもプラスチック保持器化により上記の効果が期待される²⁾。図3に、プラスチック保持器と鋼板プレス保持器での耐久性

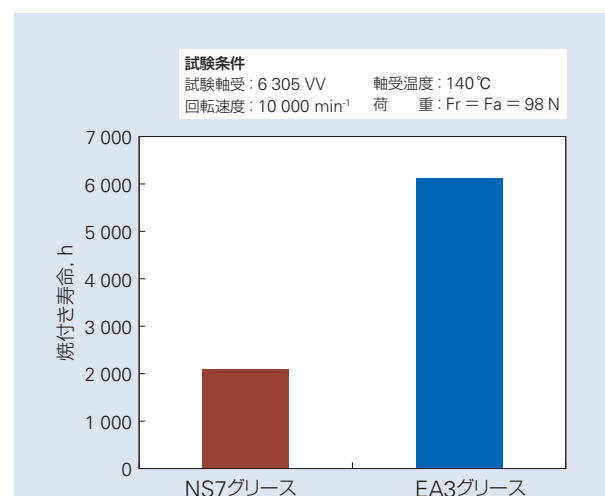


図2 寿命試験結果²⁾

Fig. 2 Fatigue life test results

比較例を示す。また、プラスチック保持器は、成型する形状に自由度があるため用途により最適設計が可能という特長もある。そのため、現在ファンモータ用の軸受については、軸受寿命の延長を主とした高機能化を目指し、内径10 mm以上の軸受についてもプラスチック保持器品の標準化を進めている。

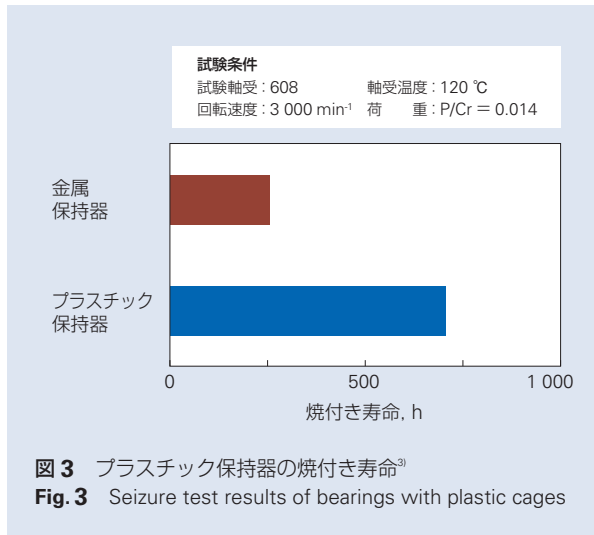


図3 プラスチック保持器の焼付き寿命³⁾
Fig. 3 Seizure test results of bearings with plastic cages

2.3 耐電食性

国内や欧米諸国ではエアコンファンモータやFFU (ファンフィルターユニット) などにおいて、インバータ制御が一般的となってきた。制御用の周波数が高くなるにつれて、使用される軸受に交流電流が流れることによる電食(以下、高周波電食)が発生するようになってきた。2004年ころまでは発生事例は極めて少なかったが、現在ではその件数も大幅に増加している。高周波電食には軸電圧を下げるのが有効であると考えられており、その対策も進められているが、

ここでは軸受での対策について紹介する。

高周波電食は、発生メカニズムは明確となっていないが、次のような特徴が知られている。

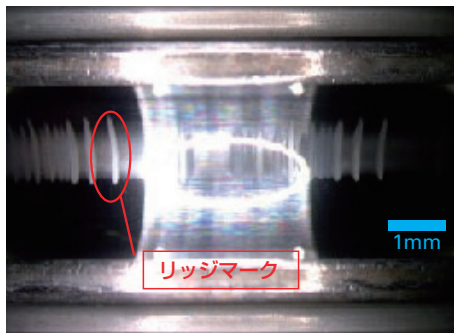
- ・ キャリヤ周波数が10 kHzを超えると発生が顕著になる
- ・ 連続回転により発生し、振動・音響が極めて大きくなる
- ・ 軸受の内輪または外輪にリッジマークと呼ばれる波状摩耗が発生することがある
- ・ 同一機種で全数で発生するわけではない

高周波電食に対する軸受での対策は、外内輪間を絶縁とすることが唯一の方法であり、転動体としてセラミックボールを使用することが多い。NSKでは軸受に強制的に電流を流し、高周波電食の損傷を再現しているが、その試験でもセラミックボール軸受には損傷が発生しない。セラミックボール軸受とスチールボール軸受での比較観察結果を、写真1に示す。ただし、セラミックボールはスチールボールに比べ素材が高価なため、実際の採用例はそれほど多くはない。

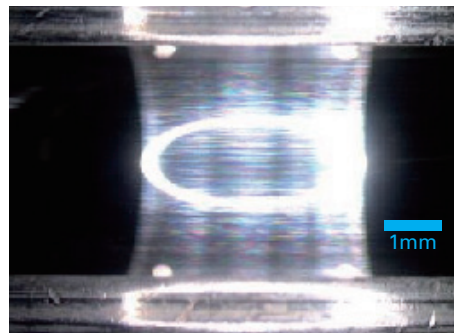
再現試験を進める中で、高周波電食による軸受振動レベルの上昇量は、軸受仕様の違いにより差が生じることが分かった。図4は、軸受仕様の異なる軸受の振動上昇量を示したものである。軸受仕様に関する油膜パラメータ(A)に対して軸受振動レベルの上昇量をプロットした結果である。Aが小さいほど振動上昇が小さいことが分かる。油膜パラメータを低く抑える軸受仕様は、振動上昇がゼロではなく完全な対策とはならないが、損傷時の振動上昇量を低減する方法としては有効と考えられる。

2.4 耐フレッチング性

エアコンなどのファンモータでは、モータ輸送時の道路事情や輸送時間の長さによっては軸受内部にフレッチング摩耗が発生することがある。フレッチングは二面間の繰返し微小滑りが原因で生じる摩耗である。



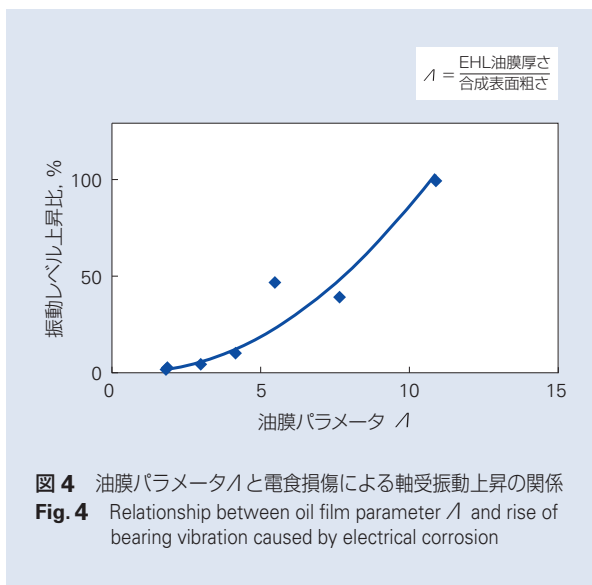
(a) スチールボール品内輪



(b) セラミックボール品内輪

写真1 玉軸受(6201)での電食再現試験結果

Photo 1 Reproduced test results of electrical corrosion using 6201 ball bearings



輸送時の振動や揺動によって発生するフレッチングでは、軌道面と転動体の接触部に摩耗が生じる。フレッチング損傷事例(玉軸受：6201)を写真2に示す。

フレッチング摩耗には基油動粘度の高いグリースを使用することが有効である。しかし、基油動粘度が高いグリースは摩擦損失が高くなるというデメリットがあり、低温時に問題となることがあるので選定にあたっては注意を要する。

そのため、NSKでは軸受の内部設計を最適化することで耐フレッチング性の改善を目指し、エアコンファンモータの専用軸受を開発した。代表軸受である608(内径8 mm)で従来品と比較した結果を図5に示す。ここでは、軸受振動レベルの上昇量の差によってフレッチング対策の効果を示している。

また、NSKでは並行して、低粘度基油のグリースで耐フレッチング性を改善することにも取り組み、EA7グリースを開発した。EA7グリースは、サーボ

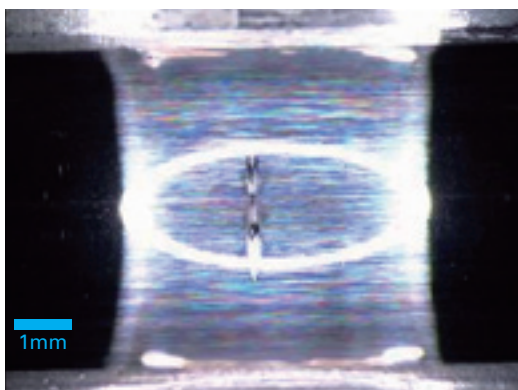
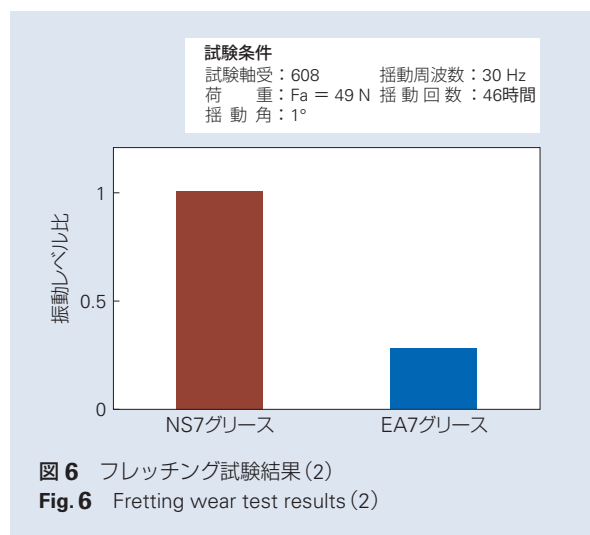
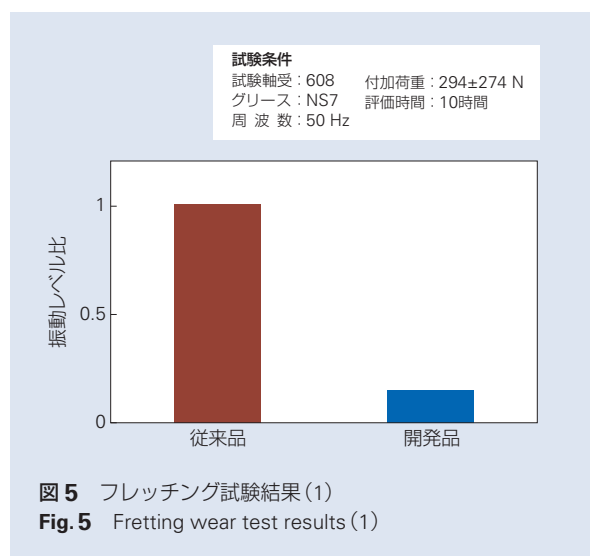


写真2 玉軸受(6201)でのフレッチング損傷事例
Photo 2 Example of false brinelling on a 6201 ball bearing

モータ用としての実績があり、低温でのトルクが比較的小さいグリースであり、しかも、耐フレッチング性に優れている。EA7グリースとNS7グリースの耐フレッチング性を比較した結果を図6に示す。

3. クリーナモータ用玉軸受

電気掃除機はエアコンとほぼ同じ大きさの市場を持つ家電製品である。電気掃除機の吸込み力の強さと効率率は吸込仕事率(W)で表され、日本国内では、吸込仕事率は年々大きくなっており、ハイパワーの製品が次々と発表されている(吸込仕事率=真空度×風量×JIS規定の係数)。また、製品の消費電力に対する吸込仕事率の比である吸引効率の向上には、軸受が果たす役割も大きい。軸受の摩擦損失を抑えることと密封性を上げることが吸引効率の向上に寄与する。摩擦損失を抑えることはモータの消費電力を低減することとなり、密封性を上げることは真空度が上昇して吸込仕事



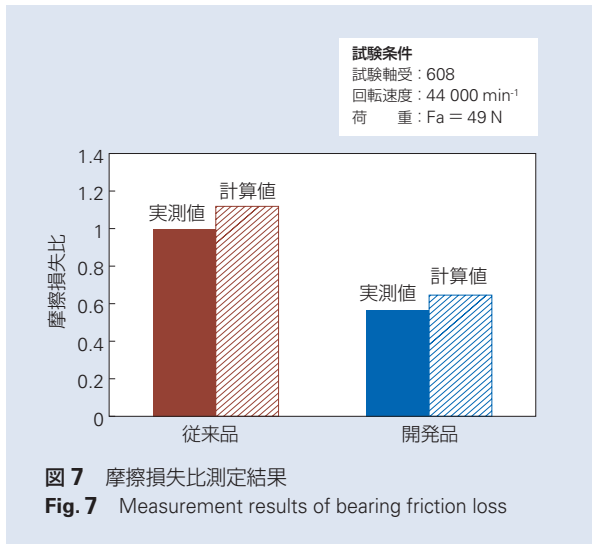
率を上げることとなる。

電気掃除機用モータは、真空度を上げるために40 000 min⁻¹を超える回転数で使用されるので、軸受には高速での耐久性が要求される。また、ブラシモータについては、ブラシの摩耗粉が軸受内部に侵入して寿命低下をきたすことがないように、軸受の防塵性を確保することも重要である。NSKではこれらの要求機能を満たす電気掃除機専用軸受の開発を行ってきた。以下に要求機能ごとに開発例を紹介する。

3.1 摩擦損失の低減

クリーナモータ用軸受は高速で使用されるため、回転時の軌道輪と転動体間の滑りが摩擦損失に大きな影響を与える。滑り摩擦の大きさは軸受の内部諸元に左右されるため、適切な設計諸元を求めめる必要がある。

NSKでは、軸受の解析技術を駆使して内部諸元を最適化したクリーナモータ専用軸受を開発した。開発品の摩擦損失の測定結果を図7に示す。開発品は、ベース



となった従来の608に対し44 000 min⁻¹において、50 %の摩擦損失低減を達成している。また、開発品は滑り摩擦が低減されたことによって摩耗や発熱量も抑えられるため、耐久性についても有利と考えられる。

3.2 防塵性と密封性の向上

電気掃除機で使用されるブラシモータでは経時的にブラシの摩耗が進行する。この摩耗粉が内輪とシールのすきまから多量に軸受中に侵入すると軸受の寿命を低下させる恐れがある。EA3グリースは、すきまを塞ぎブラシ粉を侵入しにくくする効果があるため、電気掃除機用軸受では標準的に使用されている。

また、電気掃除機では吸入した空気をモータ内部に通しモータを冷却する構造が採られることが多い。軸受の密封性が悪いと、モータに通した空気の一部が軸受内部から漏れて逆流することがある。空気の逆流は、真空度低下の原因となるため、軸受には密封性が要求される。そのため、ハイパワー機種では、非接触金属シールドの代わりに軽接触タイプのゴムシールを用いることで密封性を向上させた軸受が使用されている(図8)。

接触シールの使用は防塵性を確保するうえでも大きな効果がある。ただし、接触シールを使用する場合は、使用時の付加圧力によるシール接触部の面圧の変化を考慮する必要がある。接触シールを使用しても、付加圧力によるシールの接触部面圧の低下から空気漏れが発生して密封性が落ちたり、逆に接触部面圧が高くなって消費電流が増加したりして、期待する吸引効率が得られなくなるからである。NSKでは、軽接触のDWシールに比べシールリップの剛性を上げて付加圧力に対する耐圧性能を向上させた新開発ゴムシールも提供している。非接触金属シールド、従来接触シール、

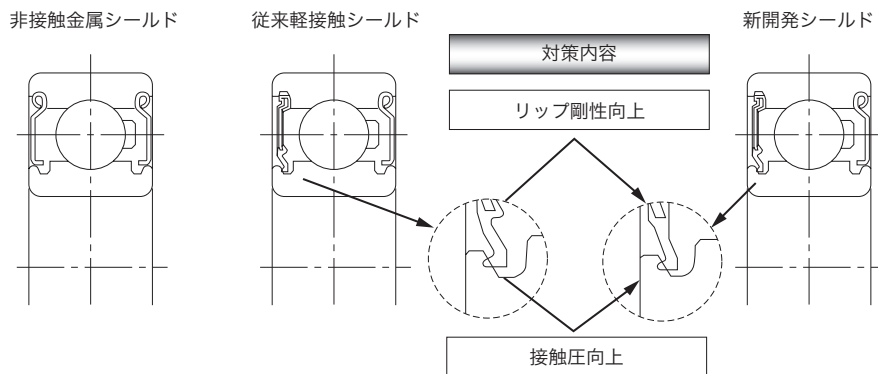


図8 対策シールの概略図

Fig. 8 Comparison of conventional seals and newly developed seal for improved prevention of air leakage

および新開発シールの概要を図8に示す。NSKでは付加圧力に対する漏れ圧力と消費電流の評価を実施し、これらのシール開発を行ってきた。評価試験機の概要を図9に示す。この試験では付加圧力として圧縮空気を送り、評価軸受を通過した空気の圧力を漏れ圧力として測定している。また、同時にモータ回転時の消費電流を測定し、この値で軸受の摩擦トルクの大小を比較している。608を $45\,000\text{ min}^{-1}$ で回転させた時の測定結果を図10に示す。

4. 洗濯機用玉軸受

洗濯機が日本の家庭で使用されるようになったのは1950年代からである。当初普及したのは、底部に取り付けられたパルセータをベルトを介したモータ駆動により回転させ、発生した水流で汚れを落とすパルセータ方式の洗濯機であった。当時の洗濯機は、洗濯槽と脱水槽が分かれている2槽式であったが、その後両者が一体化した1槽式の全自動洗濯機が一般的となり、現在に至っている。近年では環境に配慮して、節水や低騒音化の要求が増大し、横型や斜め型のドラム式洗濯機の需要が伸びてきている。

ドラムの回転モータは、国内ではダイレクトドライブモータが一般的であるが、欧州ではベルト駆動が大

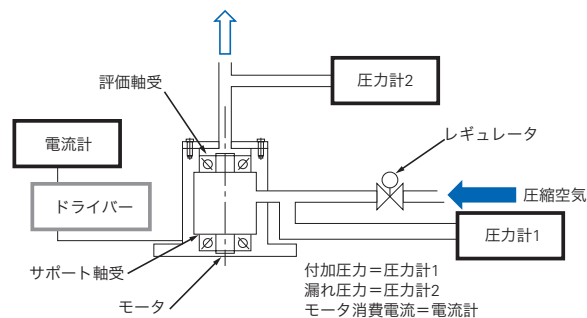


図9 耐圧測定試験機の概略図

Fig.9 Layout of pressure test equipment

半を占めている。この二つの方法で使用される軸受は、要求される機能が異なっている。ベルト駆動方式の場合は、駆動トルクを増大させる必要があることから高速回転のモータが使用されるため、高速時の静粛性が求められる。ダイレクト駆動の場合は、機構上、軸受の薄肉化が求められる。

また、ドラム式の普及とともに、乾燥機能や消臭・脱臭機能などさまざまな付加機能を搭載した機種が開発されている。これにともなって洗濯機1台あたりのモータ数は増え、使用される軸受の数も増加している。今後は、エアコンや電気掃除機など同様に、軸受への高機能化の要求が増えてくるものと思われる。

5. まとめ

本報では、ファンモータおよび電気掃除機を代表として家電製品用軸受の動向や技術について報告した。家電製品に使用される軸受への要求は、現在も年々厳しいものとなってきている。これらのユーザーのニーズに応えるため、今後も、トライボロジー技術や解析技術などの基盤技術を駆使して、環境配慮型製品の開発に取り組んでいきたい。

本稿は、月刊トライボロジーに投稿したものを見直し加筆したものである。

参考文献

- 1) 野田万寿, “低騒音・低振動化に貢献する商品・技術”, NSK TECHNICAL JOURNAL, No.672(2001) 60-63.
- 2) NSKレポート577, “長寿命モータ用 EAM グリース”, 機械の研究, 57, 4 (2005) 養賢堂.
- 3) 伊藤裕之, “密封玉軸受用グリースの寿命式”, NSK TECHNICAL JOURNAL, No.660 (1995) 8-14.
- 4) 石和田博, 山本篤弘, “各種ファンモータにおける軸受の技術動向”, 月刊トライボロジー, 10月号(2006) 12-14

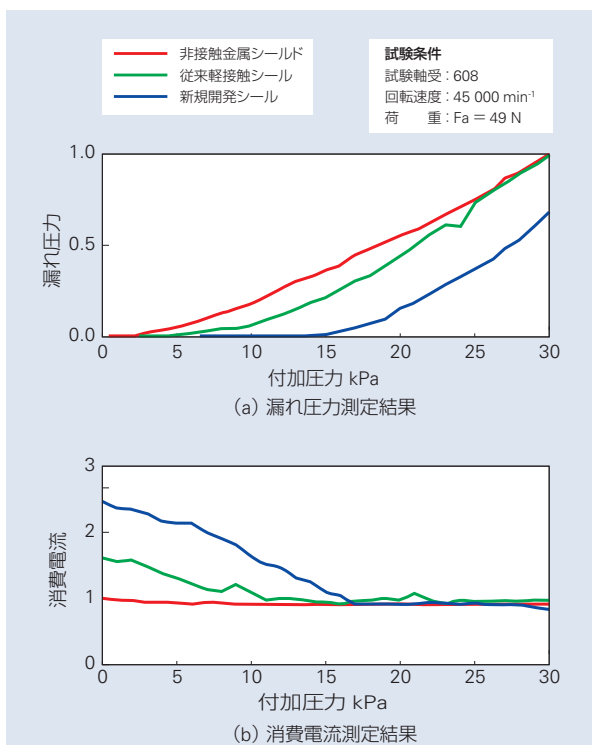


図10 対策シール性能評価結果

Fig.10 Measurement results of seal performance evaluation tests

モータ用高性能玉軸受 プラスチック保持器の開発



鈴木 弘典

鈴木 弘典*, 安永 圭司*, 坂本 洋*



安永 圭司

Development of a Plastic Cage for High-Performance, Electric Motor Ball Bearings

H. Suzuki, K. Yasunaga, H. Sakamoto



坂本 洋

In this paper, we introduce NSK's newly developed plastic cage. This cage serves as a key component in bearings, which are under growing pressure in recent years to meet the high-performance requirements of electric motors for industrial and home-use applications.

- | | |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. まえがき 2. モータ用玉軸受で要求される特性と開発のポイント <ol style="list-style-type: none"> 2.1 静粛性 2.2 保持器強度 2.3 摩擦損失 2.4 寿命 3. 開発プラスチック保持器の特長 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 ポケット形状 3.2 潤滑 | <ol style="list-style-type: none"> 4. 開発プラスチック保持器の性能 <ol style="list-style-type: none"> 4.1 保持器音 4.2 保持器強度 4.3 軸受摩擦損失 4.4 軸受寿命 5. まとめ |
|--|--|

1. まえがき

近年、産業用モータや家電用モータの高機能化に伴い、玉軸受のさらなる機能向上が必要となってきた。特に、洗濯機用モータやエアコン用を代表とするファンモータなどの家電用モータに使用される軸受にはワンランク上の静粛性が求められている。また、産業用モータにおいても軸受焼付きに対する長寿命化や静粛性が求められている。

これらのモータには、汎用性とコストの観点から、標準的な軸受が使用されることが多く、一般的には鋼板プレス保持器を使用した玉軸受が使用されている。

また一部に、静粛性や焼付き長寿命などの高機能性を追求するため、プラスチック保持器を組み込んだ玉軸受が使用されているものもある。

本報では、このような背景から新たに開発したプラスチック保持器について報告する。新開発の保持器は、保持器ポケットの形状を見直し、転動体とポケット面の潤滑性を向上させている。これにより、プラスチック保持器の利点である焼付き長寿命や低摩擦損失機能を損なうことなく、軸受の静粛性と保持器強度の向上を両立させることができた。

* 産業機械軸受技術センター 電機・情報技術部

2. モータ用玉軸受の要求特性と開発のポイント

産業用モータや家電用モータに使用される軸受では、それぞれの用途に応じて要求される特性が異なっている。代表的な例を表1に示す。

表1 モータ用玉軸受に要求される特性
Table 1 Performance requirements for electric motor ball bearings

	静粛性	寿命		低摩擦損失	保持器強度
	(保持器音)	焼付き寿命	音響寿命		
エアコンファンモータ	○	○	○	○	
洗濯機モータ	○	○		○	
住設ファンモータ	○	○	○	○	
産業モータ		○		○	
電動工具モータ		○		○	○

2.1 静粛性

家電製品に組み込まれるモータには、洗濯機用モータ、エアコン用ファンモータ、住宅設備用ファンモータなどがある。これらのモータに使用される軸受では、従来から静粛性が求められてきた。

軸受から生じる音には種々のものがあるが、基本的な音はレース音と呼ばれ、軸受の軌道面や転動体表面のうねりや粗さなどの精度に起因し発せられている。また、傷音と呼ばれる、軌道面や転動面の微小な傷、圧こんなどにより発生する音もある。これらの軌道面や転動体の精度などが関係して発生する音はほとんどが定常的な音となる。このほかに、軸受内部にもともと存在する極微小な異物や外部から侵入した異物が、軸受軌道面と転動体に時折挟み込まれることにより、不規則に発せられるごみ音などがある。

しかしながら、軸受の軌道面や転動体表面の精度および軸受内部の清浄度が向上してくると、従来のレース音に隠れていた、保持器の振動によるわずかな音(保持器音)がクローズアップされてきた。この保持器音は不規則に発生するケースが多く、比較的静粛な環境で使用される家電製品では、小さな音であっても耳障りな音として捉えられることが多い。

家電用モータは軸受の保持器音低減の必要性が高い用途であったため、これまで、従来の鋼板プレス保持器での静粛性確保が進められてきた。最近では、静粛性の要求がさらに厳しくなってきたため、一部にプラスチック保持器で静粛性を確保する方向となっている。しかしながら、プラスチック保持器を使用しても、完全には保持器音を抑制できない場合がある。これは、保持器の動き量が大きい場合や、保持器ポケッ

トと転動体の潤滑が不足している場合に生ずることが多い。

今回紹介する開発プラスチック保持器は、ポケット内に継続的に潤滑剤が取り込まれるようにポケット形状を工夫するなどの対策が施されている。これにより、鋼板プレス保持器や従来プラスチック保持器に比べて保持器音を小さくすることができた。

2.2 保持器強度

電気掃除機や電動工具に使われるモータは回転速度が非常に高い。これらの高速回転モータでは、軸受取付け周りの温度が上昇した時や軸受組立時に、軸受に若干の傾きが生じてしまう場合がある。さらに、周囲環境により経時的に潤滑が不足気味になる場合もある。これらの場合で最悪のときは保持器破損に繋がるケースがある。また、様々な用途に使用される産業用モータでも保持器が破損するケースがまれにある。これらの保持器破損の要因としては、傾きや潤滑不足による過度の保持器摩耗、外部振動、その他が推定されている。

玉軸受においては、保持器の基本的な強度不足による破損事例はほとんど見当たらない。多くのケースは軸受の取付け誤差(傾きなど)や過大荷重などによる軸受軌道面、転動体、保持器の摩耗が原因となっている。このときに発生した摩耗粉が潤滑剤を劣化させるために潤滑不足を引き起こしたり、振動が大きくなりたりすることで最終的には軸受が焼付き、ロックする。その際、二次的に保持器破損が起こる。図1に、軸受の保持器が破損に至る例の概念図を示す。

軸受の焼付きから保持器破損に至る間には、軌道面や転動体の摩耗が急激に進み、軸受や軸受取付け周りの振動や音が非常に大きくなるケースが多く、この段階で軸受の異常に気がつく場合がある。しかしながら、従来の鋼板プレス保持器では、焼付き後に、保持器が破損し、軸受がロックするまでの時間が非常に短い傾

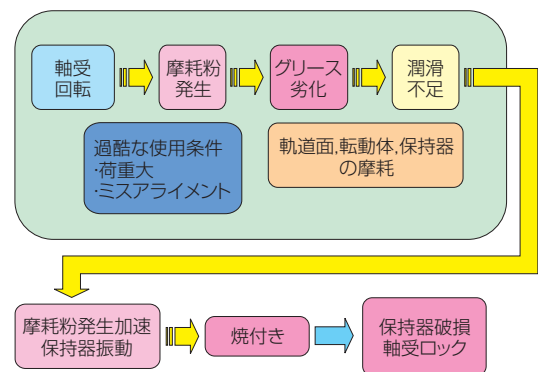


図1 保持器破損に至る概念図
Fig. 1 Process flow of cage damage (example)

向がある。これは、軌道面と転動体以外に、保持器ポケットと転動体の間でも摩耗粉が発生し、より急激にグリース劣化が進み、保持器の振動が大きくなる場合が多いためと考えられている。

このように軸受が突然ロックすると、軸受の周辺装置に与えるダメージも非常に大きくなる場合が多い。

したがって、軸受に焼付きが生じてから、ロックに至るまでの時間をなるべく長くすることが、実用上求められている。

一般的な保持器単体の強度試験として、保持器単体に外部から力を加える保持器引張り試験がある。これにより鋼板プレス保持器とプラスチック保持器を比較した場合、圧倒的に鋼板プレス保持器の引張り強度が大きくなる。

しかし、軸受の実使用状態ではプラスチック保持器の強度が、鋼板プレス保持器に優る場合が多い。このことは、前述の保持器単体の引張り試験が、軸受の実用条件をシミュレートしていないことを物語る。

そこで今回は、軸受の実用条件に適したNSK独自の軸受状態での保持器強度試験方法を採用した。この試験方法を用いて保持器破壊試験を行い、軸受回転状態において強度的に優れたプラスチック保持器を開発することができた。

2.3 摩擦損失

産業用モータや家電用モータでは、モータ効率向上や消費電力低減などにみられる省エネルギー化のために、低摩擦損失が継続的に要求されている。

軸受の潤滑性能と低摩擦損失性能は、一般的にトレードオフの関係にあり、両立させることが難しいとされてきた。

しかし、本報の開発プラスチック保持器では、保持器ポケット内への潤滑剤流入量の適正化により、従来の鋼板プレス保持器やプラスチック保持器と同様に、早期に安定した低摩擦損失特性を得ることができた。

2.4 寿命

転がり軸受の寿命は、焼付き寿命、音響寿命および転がり疲れ寿命に大別される。一般的に産業用モータでは焼付き寿命が要求され、静粛性が重要な家電用モータでは音響寿命が特に要求される。

プラスチック保持器は、鋼板プレス保持器に比べ自己潤滑性に富むため摩耗粉の発生が少なく、鋼板プレス保持器よりも軸受の焼付き寿命が長寿命となる利点がある。摩耗粉の発生が少ないことは、軸受から発生する音のレベルがお客様の要求値を超えるまでの時間である音響寿命が長寿命となる利点もある。

開発プラスチック保持器は、長寿命となるこれらの

優位性を最大限活用した。

3. 開発プラスチック保持器の特長

3.1 ポケット形状

図2に鋼板プレス保持器、従来プラスチック保持器、および開発プラスチック保持器の全体形状を示す。

鋼板プレス保持器は、円環状の金属環にほぼ球面形状のポケット面をプレス形成したものを二つ対向に配置し、ポケット間の平坦面を合わせ面として、リベットなどにより一体化する構造となっている。これに対し従来プラスチック保持器と開発プラスチック保持器は、グラスファイバーで強化されたナイロン樹脂で冠形に成形されている。

図3に各保持器のポケット形状を示す。

鋼板プレス保持器や従来プラスチック保持器のポケット形状は転動体よりもわずかに大きな球面で形成されている。これに対し、開発プラスチック保持器のポケットは、ポケット軸方向両端には球面部が設けられ、中間部に円筒部が形成されている。

3.2 潤滑

図4に保持器ポケットの潤滑状態を示す。

従来プラスチック保持器は、ポケット形状が単一球面で形成されている。このため、軸受が回転した場合に、転動体表面の走行部や走行部の両側一帯に付着している潤滑剤を、保持器ポケット内径部または外径部のエッジにより掻き取ってしまい、保持器ポケット内の潤滑剤が不足してしまう問題があった。ポケット内の潤滑剤が不足すると、ポケットと転動体の潤滑が不安定となり、摩擦変動により極微小な保持器振動が発生する場合がある。

開発プラスチック保持器のポケットは、軸方向両端に球面部を、中間部に円筒部を形成してあり、転動体がポケット円筒部に接するように設計されている。これにより、内・外輪の軌道面と接触する転動体走行部付近に付着している潤滑剤がポケット内に取り込まれやすく、かつ、掻き取られることがないため、潤滑が良好な状態を継続的に維持することが可能となっている。これは、軸受回転後の転動体表面の潤滑剤付着状態で確認することができる。



図2 保持器形状
Fig.2 Various cage designs

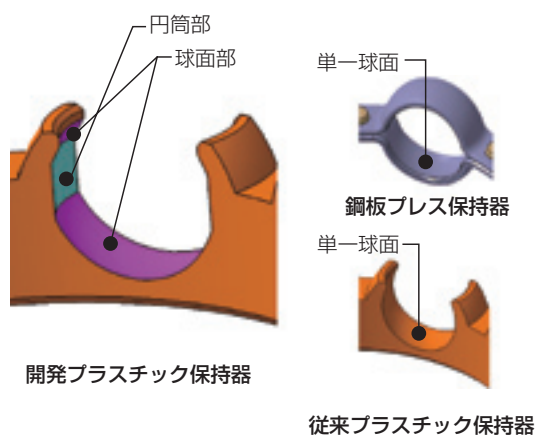


図3 保持器ポケット形状
Fig.3 Various cage pocket designs

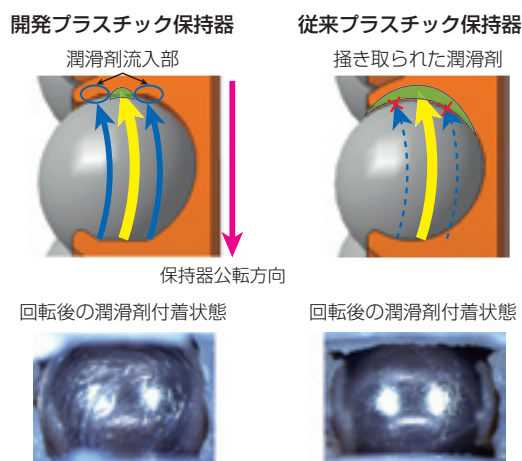


図4 潤滑剤の付着状態
Fig.4 Condition of lubricant on the ball

4. 開発プラスチック保持器の性能

4.1 保持器音

図5に保持器音発生限界試験の結果を示す。

本試験には、内径 $\phi 15$ mm × 外径 $\phi 35$ mm × 幅 11 mm の軸受を使用した。潤滑剤は、静粛性を求められる家電用モータでは一般的な、増ちょう剤がリチウム石けんでベースオイルが合成油であるグリースを使用した。また、試験では極力保持器の性能差のみを抽出できるように、軸受の内・外輪および転動体は高精度で同一ロットのものを使用し、軸受内部の清浄度も高めた状態のものを使用するなど、保持器以外の試験軸受の状態を同一条件とした。試験では、数種類の予圧荷重において、回転数を徐々に増加させ、保持器音が発生する回転数を確認した。保持器音が発生して

いるかどうかの判断基準は、家電用モータで問題となるくらいの微小なレベルとした。

図5は、保持器音が確認された予圧荷重と回転数の関係である。

予圧荷重が同じ場合、保持器音発生回転数が高いほうが、静粛性の評価としては優れていることになる。従来プラスチック保持器は鋼板プレス保持器より静粛性を有するが、開発プラスチック保持器は、従来プラスチック保持器よりもさらに保持器音発生限界が優れていることが確認された。

開発プラスチック保持器が優れる原因としては、図4で示した、回転後の転動体表面に付着している潤滑剤の量の差が考えられる。開発プラスチック保持器は、回転後の転動体表面に付着している潤滑剤の量が多く、ポケット内の潤滑状態が良好であるといえる。こ

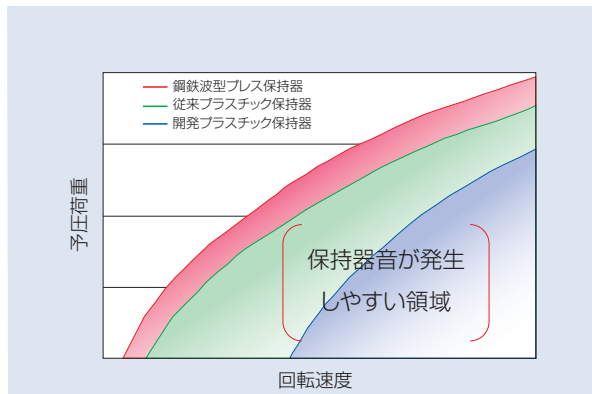


図5 保持器音発生限界試験結果
Fig.5 Cage noise test results

れにより保持器ポケット面と転動体の摩擦が軽減され、保持器振動が発生しにくくなったと推定する。

4.2 保持器強度

2.2項でも述べたとおり、一般的な保持器単体での引張り試験では、軸受の実用状態での保持器強度が適正に評価できない。このため、軸受回転状態での保持器強度の評価が可能なNSK独自の試験方法を用いて保持器強度の比較試験を行った。図6は、この試験方法により、軸受回転状態で保持器を破損させ、その破損までの時間の比較を行った結果である。

本試験に使用した軸受は、保持器音発生限界試験に用いたものと同じ仕様(内径φ15 mm × 外径φ35 mm × 幅11 mm)で、保持器以外は同一条件としたものである。また、従来プラスチック保持器と開発プラスチック保持器は、ポケット形状を除いて、保持器内外径をはじめとする諸寸法や材質を同一とした。試験では、擬似的に軸受が焼付く状態を再現し、焼付から保持器破損に至るまでの比較を行った。

図6の保持器破壊試験では、開発プラスチック保持器は鋼板プレス保持器に比べ破損に至る時間が30倍程度長くなる結果が得られた。また、ポケット形状のみ異なる従来プラスチック保持器との比較では、破損に至る時間が3倍程度長くなる結果が得られた。

これは、ポケット形状を見直したことで、転動体とポケットの接触摩擦抵抗が低減されたことによるものと推定される。

4.3 摩擦損失

図7に摩擦損失試験の結果を示す。軸受は前述のものと同様のものを使用した。

図7の摩擦損失試験結果より、回転初期の摩擦損失には若干の差があるものの、開発プラスチック保持器

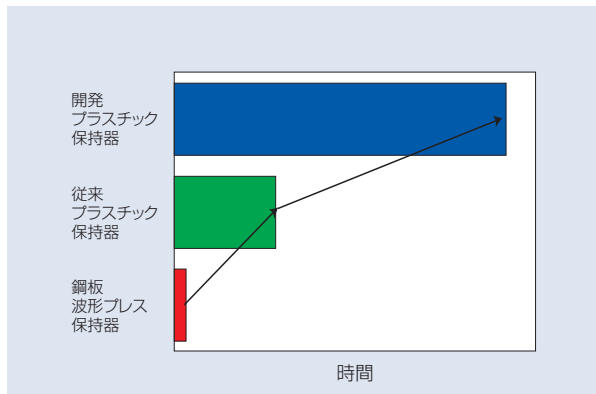


図6 保持器破壊試験結果
Fig.6 Cage damage test results

は、従来プラスチック保持器と同等に早期に安定した低摩擦損失となっていることが分かる。

ポケットの径方向に円筒部などを有する従来のプラスチック保持器では、早期に安定する低い摩擦損失を得ることは難しかった。早期に安定した低摩擦損失を実現するためには、保持器の径方向や軸方向の動き量や、保持器ポケット内への潤滑剤流入量をコントロールする必要がある。

開発プラスチック保持器が、早期に安定した低摩擦損失となったのは、3.2項に述べた理由により、内・外輪の軌道面と接触する転動体走行部に適正な量の潤滑剤が残留できる状態となっているためと考えられる。

4.4 軸受寿命(焼付き寿命と音響寿命)

図8に焼付き寿命試験(1)の結果を示す。従来プラスチック保持器では鋼板プレス保持器の2倍以上の焼付き寿命を有する結果が得られている。また、図9に

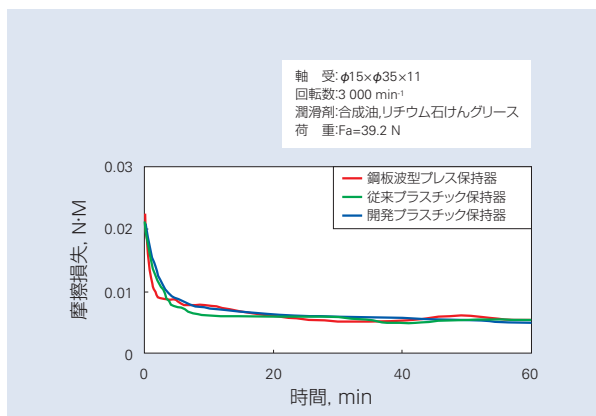


図7 摩擦損失試験結果
Fig.7 Frictional loss test results

軸受サイズ、グリス、回転数、荷重条件を変えた焼付き寿命試験(2)の結果を示す。鋼板プレス保持器は早期に焼付き寿命となったが、従来プラスチック保持器および開発プラスチック保持器は5 000時間経過しても焼付きには至らなかった。

これらの結果から、プラスチック保持器の焼付き寿命は、鋼板プレス保持器よりも長いことが確認された。

図10に音響寿命試験の結果を示す。プラスチック保持器は、鋼板プレス保持器と比較して音響上昇量が少なく、長期にわたり良好な軸受音響性能を有している結果が得られた。

5. まとめ

本報では、モータ用高性能玉軸受の新開発プラスチック保持器の形状や機能について報告した。

家電用モータや産業用モータでは、高機能化のために軸受への機能要求も厳しくなっている。この要求に対し、本開発プラスチック保持器で応えたとともに、引き続き、ユーザーのさらなる要求に応えるために、軸受の高機能化開発を進めていく。

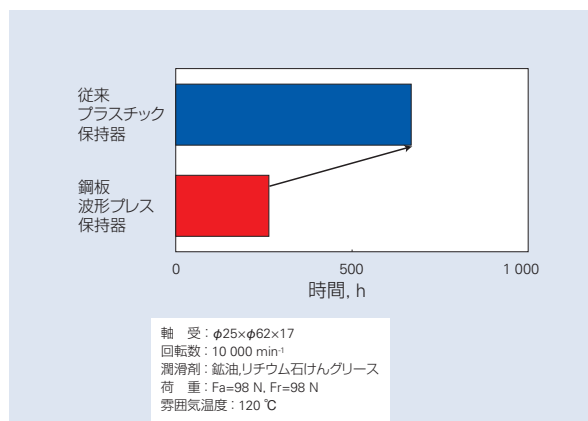


図8 焼付き寿命試験結果 (1)
Fig.8 Seizure life test results (Case 1)

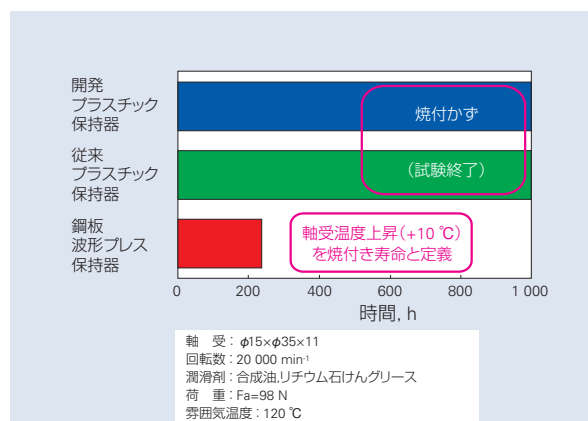


図9 焼付き寿命試験結果 (2)
Fig.9 Seizure life test results (Case 2)

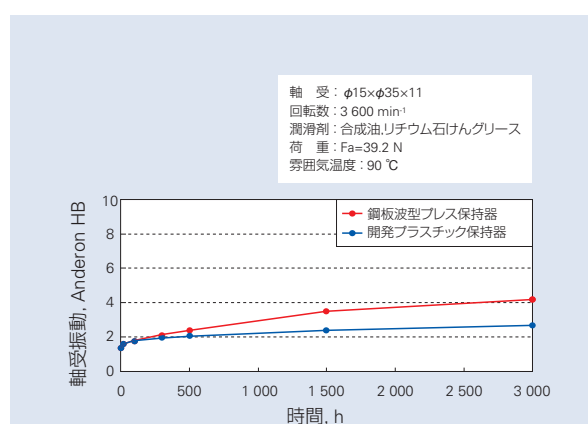


図10 音響寿命試験結果
Fig.10 Low-noise endurance test results

事務機軸受用導電性グリースの研究

傳寶 功哲*, 外尾 道太**



傳寶 功哲

Research of Electrically Conductive Grease for Office Equipment Bearings

K. Denpou, M. Hokao



外尾 道太

Conductive grease is used in rolling bearings for office equipment, such as copiers and printers, etc. The electrical resistance value of bearings packed with electrically conductive grease increases over time. In this article, we discuss factors related to this phenomenon, and the optimum specifications required of electrically conductive grease. Our research shows that the oil film parameter of bearings using electrically conductive grease should be maintained within a certain range. Furthermore, controlling the oil absorption characteristics of carbon-black used in the grease is effective for achieving optimum specifications for the electrically conductive grease.

- | | |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. まえがき 2. 導電性グリースの特性 <ol style="list-style-type: none"> 2.1 軸受電気抵抗値の経時変化 2.2 軸受電気抵抗値の上昇メカニズム 3. 軸受用導電性グリースの最適仕様 <ol style="list-style-type: none"> 3.1 高温用導電性グリースの軸受導電性 | <ol style="list-style-type: none"> 3.2 軸受トルク 3.3 離油性 3.4 事務機用アースフリーTM軸受 4. まとめ |
|---|---|

1. まえがき

複写機やプリンタなどの画像形成プロセスを担う感光部や転写部などは、画質の安定化のため、アース機構を有している。このアース機構が省略できると装置としてのコストダウンが図れるため、軸受を介した除電機構が求められている。画像形成プロセスに使用される軸受は、感光部、転写部および搬送部に使用される常温用軸受と、定着部に使用される高温用軸受に区分される。

これらの軸受では、導電性グリースを封入することにより除電機構を付加した導電性軸受が採用されることがある。しかし、導電性軸受の電気抵抗値は、長期間使用すると経時的に上昇する傾向を示す^{1), 2)}。また、

複写機やプリンタの高画質化が進められるとともに、使用される軸受の導電性向上のニーズが高まってきている。さらに、200℃に達することがある定着部においても、電磁波対策や画質安定化のため、高温用導電性軸受の要求が高まりつつある^{3), 4)}。高温導電耐久性のほか、周辺への影響を抑えるため、軸受からのグリース漏れの防止、さらにロール始動時のスムーズな回転のため、低トルクも重要な要求機能である。

本研究では、軸受電気抵抗値が経時的に上昇するメカニズムを調べ、これを抑制するための導電性グリースの最適仕様について検討した。これらの結果を応用し開発された、事務機用アースフリーTM軸受シリーズ⁵⁾の紹介も行う。

* 産業機械軸受技術センター、電機・情報技術部

** 総合研究開発センター、基盤技術研究所

2. 導電性グリースの特性

2.1 軸受電気抵抗値の経時変化

導電性グリースの電気抵抗値が時間とともにどのように変化するか、導電性グリースが封入された軸受を用いて調べた。

試験した導電性グリースの組成と代表性状を表1に示す。カーボンブラックは同一種類のものとし、基油粘度は種々に調整した。カーボンブラックとリチウム石けんの配合量を調整し、ちょう度は250付近に合わせた。各グリースの体積固有抵抗率は、概ね数十～数百 $\Omega \cdot m$ 付近とした。

図1示す測定回路により、軸受回転中に内輪と外輪の間の電圧を測定し、軸受電気抵抗値を算出した。測定値の読み取りは最大値で行い、最大軸受抵抗値とした。回路中に抵抗を組み込み、軸受内部に流れる電流を小さくし、電食を発生させないように注意した。試験条件を表2に示す。試験軸受とその評価条件は、事務用機器に合わせた。

試験結果を、図2と図3に示す。

各試料グリースを条件1で試験したときの、基油動粘度と軸受電気抵抗値との関係を図2に示す。回転直

表1 軸受電気抵抗値の経時変化試験グリース
Table 1 Test greases for measuring the electrical resistance of bearings

	A1	A2	A3	A4	A5
増ちょう剤	カーボンブラック	リチウム石けん カーボンブラック	リチウム石けん カーボンブラック	カーボンブラック	リチウム石けん カーボンブラック
基油	エステル油	鉱油	合成炭化水素油	合成炭化水素油	合成炭化水素油
基油動粘度 (40℃),mm ² /s	245	104	30	18	18
混和ちょう度 (25℃,60W)	240	240	244	250	249
体積抵抗率 (25℃), $\Omega \cdot m$	2.6×10	3.8×10 ²	9.5×10	3.5×10	8.5×10

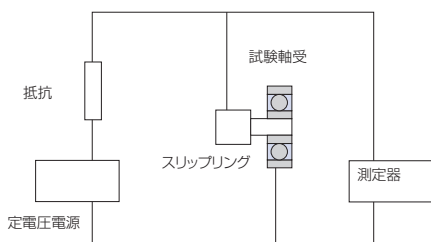


図1 軸受電気抵抗値測定回路
Fig. 1 Diagram of the electrical circuit used for measuring electrical resistance

後の軸受電気抵抗値は、いずれのグリースも導電性が良好である。しかし、50時間および100時間回転後の軸受電気抵抗値は、基油動粘度が高くなるに従い、高くなった。種々の条件で長時間試験した結果を図3に示す。面圧が高い条件3では、100時間で軸受電気抵抗値が80 k Ω 以上に上昇した。これらの軸受電気抵抗値の上昇要因について調査した。

表2 軸受電気抵抗値の経時変化試験条件
Table 2 Test conditions of the electrical resistance of bearings

	条件1	条件2	条件3	
試験軸受	両シールドタイプ玉軸受			
主要寸法,mm	内径	30	8	4
	外径	42	19	7
	幅	7	6	2.5
試験温度	室温	室温	室温	
ラジアル荷重,N	4.9	19.6	8.8	
最大接触面圧,GPa	0.69	1.34	2.55	
回転速度,min ⁻¹	70	100	150	
グリース封入量	空間容積の25%	空間容積の30%	空間容積の30%	

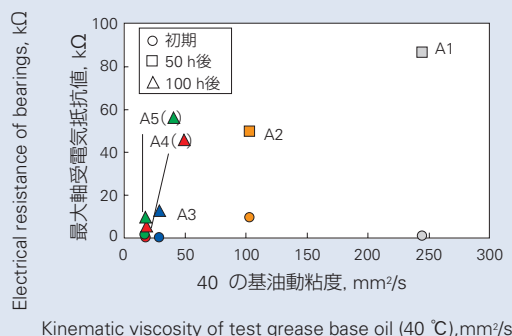


図2 基油動粘度と軸受電気抵抗値との関係
Fig. 2 Relationship between the electrical resistance of bearings and the kinematic viscosity of test grease base oil

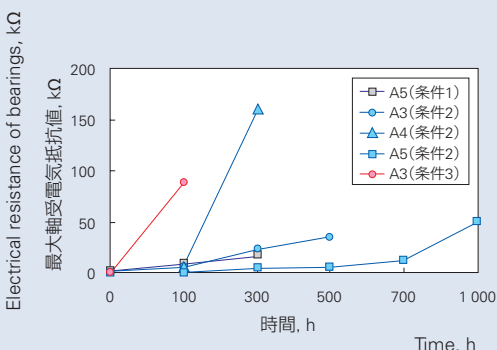


図3 軸受電気抵抗値の変化
Fig. 3 Increase of the electrical resistance of bearings

2.2 軸受電気抵抗値の上昇メカニズム

試験後の軸受内輪軌道面の電子顕微鏡観察結果を、**図4**に示す。

面圧の低い条件1では、内輪軌道面は研削面が残っており、摩耗は軽微であった。条件2では、微小な摩耗や圧痕が観察され、条件1より摩耗が進行していた。さらに面圧が高い条件3では、本観察結果の中で最も面荒れや摩耗が激しい。面圧が高く、金属接触しやすい条件では、面荒れや摩耗の進行で、表面に厚い酸化膜が形成され、軸受電気抵抗値が上昇したと考えられる。

また、グリースA4の方がグリースA5に比べ表面の面荒れや摩耗が激しい。グリースA4は短時間で最大軸受電気抵抗値が上昇しており（**図3**参照）、長時間の耐久性には、石けん基など境界潤滑作用を示すものが有効であると考えられる。一方、動粘度が高いグリースを使用した場合の軸受電気抵抗値の上昇は、繰り返しせん断でカーボン粒子の形成するチェーンストラクチャが破壊され、導電性のネットワークが形成されなくなり、厚い油膜によって抵抗値の上昇量が大きくなったと考えられる。

以上の現象から、軸受抵抗値の上昇を抑制するための最適な条件があると考えられる。種々の条件で50

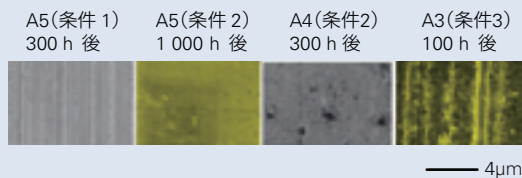


図4 試験後の軸受内輪軌道面の電子顕微鏡写真
Fig. 4 SEM micrographs of the inner ring raceway after testing

～100時間の軸受試験を行い、基油動粘度から算出した油膜パラメータ（(EHL 油膜厚さ) / (合成粗さ)、以後 λ 値）と軸受電気抵抗値の関係を**図5**に示した。本試験結果から λ が0.6～3の領域で低い抵抗値が維持されることがわかる。 λ 値が3以上では油膜が厚くなるため、0.6以下では転がり接触面に酸化膜が生成するため、軸受電気抵抗値が上昇すると考えられる。軸受電気抵抗値の上昇メカニズムについて**図6**にまとめた。

3. 軸受用導電性グリースの最適仕様の検討

3.1 高温用導電性グリースの軸受導電性

定着ローラ部などの高温用途は、使用中200℃を超えることがあるため、 λ 値が小さくなり、基油による最適な油膜確保が難しい。また200℃の高温状態では、グリースは離油しやすくなる。転がり接触面の

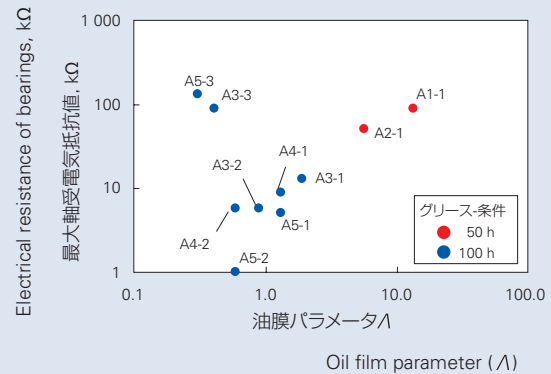


図5 油膜パラメータと軸受電気抵抗値の関係
Fig. 5 Relationship between the electrical resistance of bearings and oil film parameter

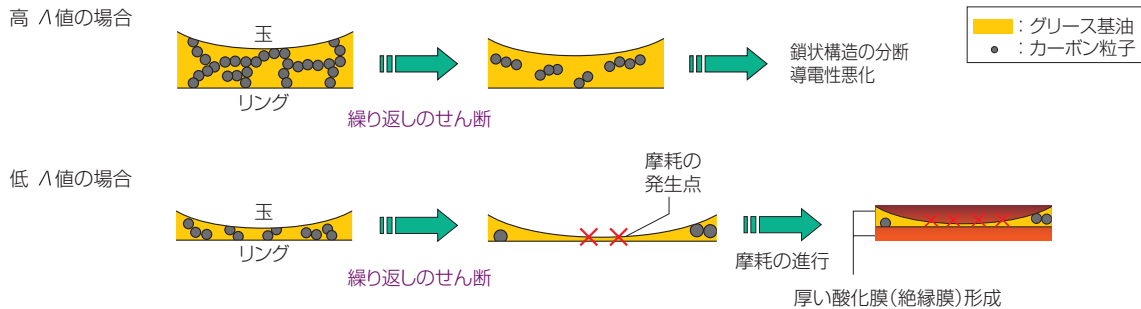


図6 軸受の電気抵抗値上昇のメカニズム
Fig. 6 Mechanism of electrical resistance increasing in the bearings

表3 導電性カーボン粒子の物性

Table 3 Properties of electrically conductive carbon-black

	平均一次 粒子径, nm	粒子 1 g 当りの 表面積, m ²	粒子 100 g 当りの DBP吸収量, ml
導電性カーボン粒子 1	30	800	360
導電性カーボン粒子 2	48	39	140
導電性カーボン粒子 3	66	27	68

DBP:ジブチルフタレート

油膜を強化し、離油を抑制するために導電性グリースの最適仕様を検討した。種類の異なる導電性カーボンを組み合わせることで、カーボン粒子増量による転がり接触面の油膜の強化を試みた。

使用した導電性カーボン粒子の物性として、平均粒子径、表面積、および油の吸油性の目安となるジブチルフタレート(DBP)吸収量を表3に示す。200℃でも耐熱性のあるパーフルオロポリエーテルを基油に、これらの導電性カーボン粒子を使用してちょう度が220～260になるように調整した。試作したグリースの組成と代表性状を表4に示す。

図7に、200℃での軸受電気抵抗値の変化の測定結果を示す。

増ちょう剤にポリテトラフルオロエチレンが含まれているグリースB1は初期から電気抵抗値は大きく、軸受導電性が悪かった。電気絶縁性の高いポリテトラフルオロエチレンが、接触面に存在するカーボン粒子同志で形成されるストラクチャの接触による通電を阻害したためと考えられる。カーボン粒子のみを使用したグリースの電気抵抗値は、初期は低いが、導電性カー

表4 試作したグリースの組成と代表性状

Table 4 Composition and properties of test greases

		B1	B2	B3	B4
増ちょう剤 (質量百分率) %	ポリテトラフルオロエチレン	13	-	-	-
	導電性カーボン粒子 1	2.5	2.5	1.6	1.5
	導電性カーボン粒子 2	-	-	4.4	-
	導電性カーボン粒子 3	-	-	-	13
合計		15.5	2.5	6	14.5
基油		パーフルオロポリエーテル油			
混和ちょう度(25 .60 W)		230	257	243	220
体積抵抗率(25)Ω·m		5.6×10 ²	9.3×10	2.8×10	1.9×10
離油度(200 .24 h),%		4.4	11	7.1	5.5

ボン粒子の量が少ない場合、軸受電気抵抗値が上昇した。本試験では、導電性カーボン粒子の割合(質量百分率、以下略)を6%以上使用したグリースは、300時間経過時も電気抵抗値は低く良好であった。

3.2 軸受トルク

増ちょう剤に導電性カーボン粒子のみを使用し、その量を変化させたグリースを試作し、これを封入した軸受で、カーボン粒子の量と軸受のトルクとの関係を調べた。

その測定結果を図8に示す。

カーボン粒子量が多いほどトルクが増大し、特に起動時のトルクは、カーボン粒子20%以上で増大傾向が大きくなった。回転時のトルクも起動時と同じ傾向を示したが、起動時に比べてカーボン粒子量の影響は小さかった。

3.3 離油性

3.1項の評価後の軸受外観からは、グリース状の漏洩は認められなかった。このため軸受内部からの漏洩

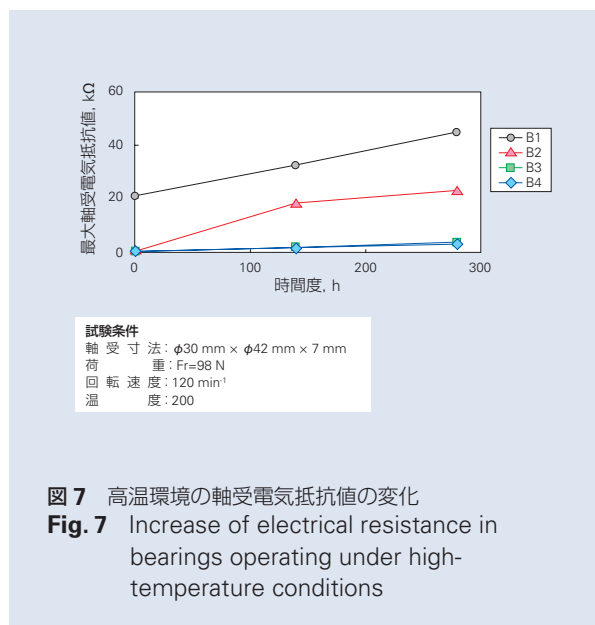


図7 高温環境の軸受電気抵抗値の変化
Fig. 7 Increase of electrical resistance in bearings operating under high-temperature conditions

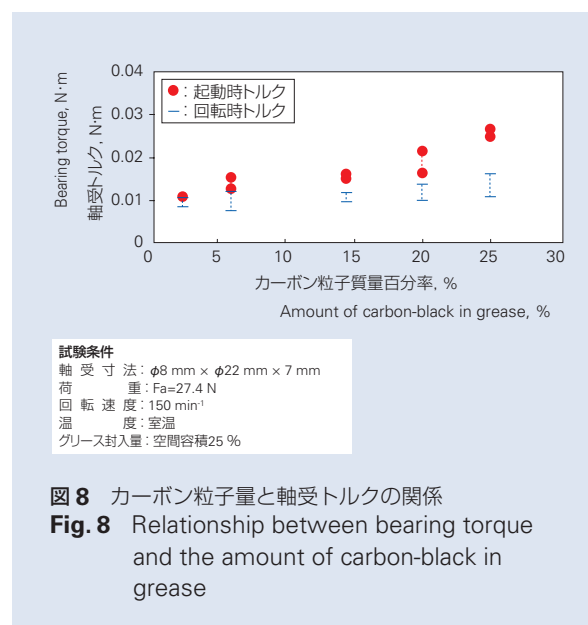


図8 カーボン粒子量と軸受トルクの関係
Fig. 8 Relationship between bearing torque and the amount of carbon-black in grease

は基油によるものと考えられ、グリースの離油性と関係がある。吸油性の異なるカーボン粒子を使用し、ちょう度を250に合わせたときのカーボン粒子量とカーボン粒子吸油性（グリース100 g当りのカーボン粒子のDBP 吸収量）の関係を図9に示す。グリース中のカーボン粒子量に違いがあるにもかかわらず、カーボン粒子吸油性の差は小さく、ちょう度は使用したカーボン粒子の吸油性によって影響されることがわかる。200℃ 100時間後の離油度の変化について、カーボン粒子の物性である表面積と、吸油性に着目し整理した。結果をそれぞれ図10、図11に示した。表面積はグリース1 gの値として示した。離油度を減少させるカーボン粒子の物性は、粒子の表面積ではなく吸油性が関係することがわかる。

以上の結果、カーボン粒子の吸油性を制御することで、目標とするカーボン粒子量で適切なちょう度のグリースに調製ができ、グリースの離油抑制が達成され

ることを見出した。

3.4 事務機用アースフリー™軸受

アースフリー軸受用に開発した導電性グリース ECE, ECHの代表性状を表5に示す。また、アースフリー軸受の導電性長寿命のメカニズムを図12に示す。

常温用のECEは、導電性カーボン粒子の最適な組み合わせと、独自添加剤の配合により、従来の導電性グリースより導電性長寿命である。ECEグリース封入軸受は従来品より8倍の長期導電性能を実現した(図13)。高温用のECHグリースを封入した軸受は、長期導電性能が従来軸受より5倍延長した。また、ふっ素グリースの課題である高温環境下のグリース基油漏れを従来に比べ2割低減した(図14)。

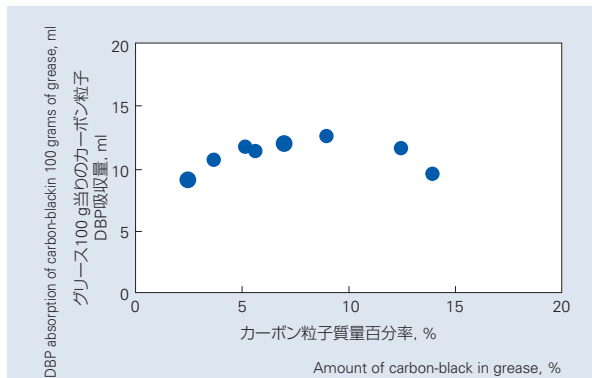


図9 ちょう度 250 の時のカーボン粒子量とカーボン粒子の DBP 吸収量
Fig. 9 Relationship between DBP absorption of carbon-black and the amount of carbon-black in grease with a penetration of 250

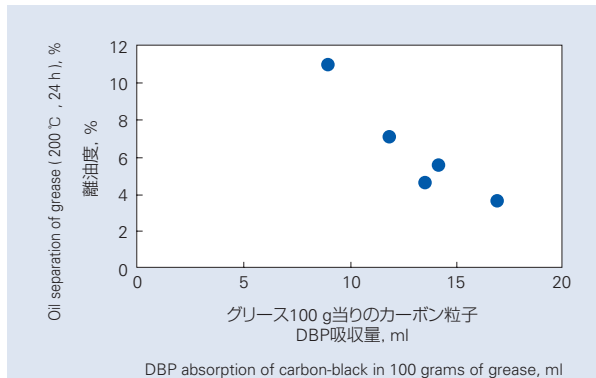


図11 カーボン粒子 DBP 吸収量と離油度の関係
Fig.11 Relationship between the oil separation of grease and the DBP absorption of carbon-black

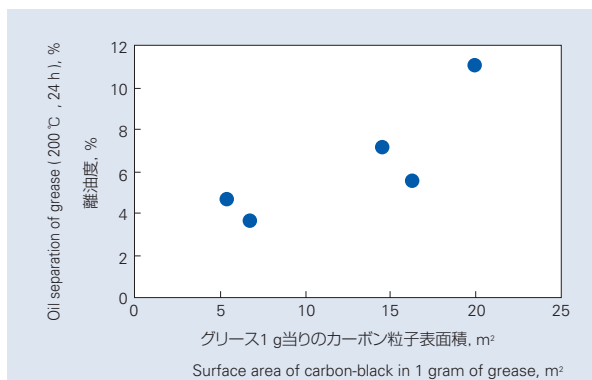


図10 カーボン粒子表面積と離油度の関係
Fig.10 Relationship between the oil separation of grease and the surface area of carbon-black in grease

表5 導電性グリース ECE, ECH の代表性状
Table 5 Properties of electrically conductive greases ECE and ECH

	ECE	ECH	試験方法
増ちょう剤	リチウム石けん カーボンブラック	カーボンブラック	
基油	合成炭化水素油	パーフルオロ ポリエーテル油	
混和ちょう度	235	205	JIS K2220
滴点	260以上	260以上	JIS K2220
離油度, %	2.4 (100 ,24 h)	6.0 (200 ,24 h)	JIS K2220

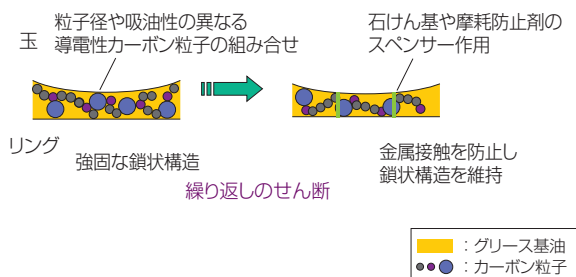


図 12 アースフリー軸受の導電性長寿命メカニズム
Fig.12 Mechanism of long-term electrical conductivity of office equipment bearings packed with electrically conductive grease

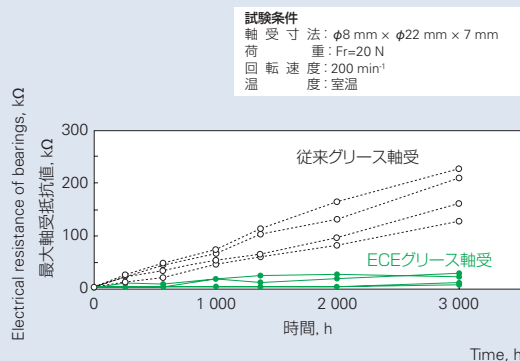


図 13 常温用アースフリー軸受 (ECE グリース封入) の性能⁵⁾
Fig.13 Durability test results of conductivity of office equipment bearings packed with ECE grease (under normal operating temperatures)

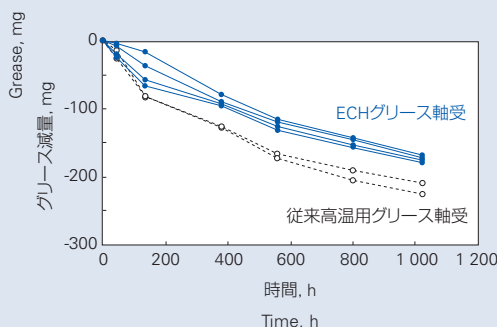
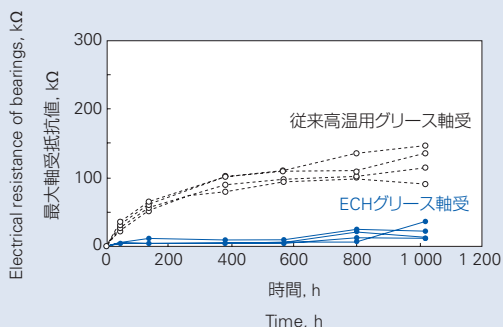


図 14 高温用アースフリー軸受 (ECH グリース封入) の性能⁵⁾
Fig.14 Durability test results of the electrical conductivity of office equipment bearings packed with ECH grease (under high operating temperatures)

4. まとめ

従来の導電性グリースを封入した軸受の電気抵抗値は、経時的に上昇する傾向を示す。今回、軸受電気抵抗値の上昇メカニズムについて調べ、軸受抵抗値の上昇を抑制するための最適油膜パラメータを明らかにした。さらに、導電性グリースの最適仕様を検討した。導電性カーボン粒子の吸油性を制御することで、グリースの離油抑制とカーボン粒子量の最適化が達成される。また、境界潤滑作用を示す添加剤を活用することで、高面圧での耐摩耗性を高めることができる。

これらの応用から開発された、事務機用アースフリー軸受シリーズは、軸受の導電性寿命が格段に向上され、軸受単体のアースの信頼性も大幅に改善されたものである。機械的アース機構省略による機器の簡素化・小型化、また製品の長寿命化に貢献できるものと考えられる。

本稿は、社団法人日本トライボロジー学会の転載承認を得て、社団法人日本トライボロジー学会発行の予稿集 No. 2002-10, No. 2003-5, No. 2004-5 と Proceeding of ASIATRIB 2006 KANAZAWA から一部を転載しています。

参考文献

- 1) 傳竇功哲, 中道治, 小川隆司, "導電性グリース封入軸受の性能評価", トライボロジー会議予稿集 仙台, (2002-10) 385-386.
- 2) 傳竇功哲, 中道治, "導電性グリース封入軸受の性能評価(第2報)", トライボロジー会議予稿集 東京, (2003-5) 235-236.
- 3) 中村浩之, 正田亨, "事務機器用導電性軸受", NSK Technical Journal, 674 (2002) 24-26.
- 4) 傳竇功哲, 中谷真也, 横内敦, "高温用導電性グリースの性能評価", トライボロジー会議予稿集 東京, (2004-5) 195-196.
- 5) "事務機用アースフリー® 軸受シリーズ", NSK Technical Journal, 680 (2006) 48-49.
- 6) NSKレポート 592, "導電性グリースECE, ECH", 機械の研究, 58.7 (2006) 養賢堂.
- 7) K. Denpou, A. Yokouchi, "RESEARCH FOR AN OPTIMUM SPECIFICATION OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE GREASE", ASIATRIB 2006 KANAZAWA Volume 1 (2006) 234-240.

商品

紹介

鉄道車両用車軸センサ軸受

Sensor Bearings for Railway Rolling Stock Axles

鉄道車両用軸受には高い信頼性が要求されており、NSKは、従来から軸受の性能向上・信頼性向上に努めてきた。今回さらなる信頼性向上を図るため、軸受の作動状態を監視する機能を新たに付与した鉄道車両用の車軸センサ軸受を開発したので、ここに紹介する。

1. 車軸センサ軸受の構造

鉄道車両用車軸センサ軸受は、小さい取り付けスペースで多機能のセンシングを可能とするため、1つのセンサ内に複数のセンシング機能を内蔵させたマルチセンサを採用した。温度と振動用、あるいは温度と回転速度用などの内蔵センサの組み合わせにより複数のタイプがある。また、センサと軸受を一体としたタイプと、組み立て取り外しを容易にするためにセンサと軸受とを別体としたタイプ（写真1、図1）がある。

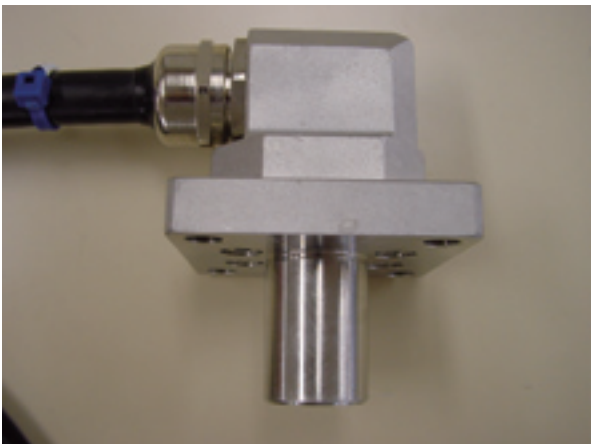


写真1 鉄道車両用別体形車軸センサ軸受のマルチセンサ部
Photo 1 Separated type of multi-sensor unit used in axle bearings for railway rolling stock

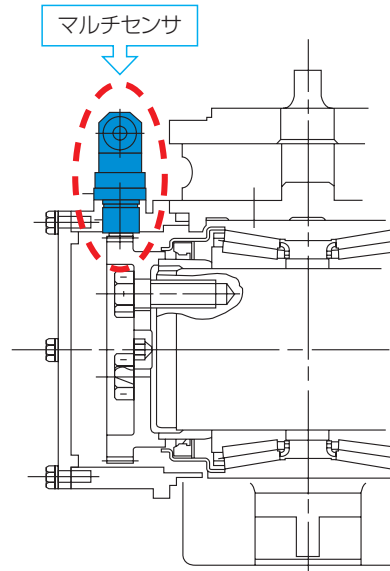


図1 マルチセンサの取り付け方法

Fig. 1 Multi-sensor unit mounted to the housing of a railway axle box bearing

2. センサの特長

鉄道車両用センサの開発にあたって特に配慮したのは耐衝撃性、振動耐久性および耐候性の3点である。

(1) 耐衝撃性

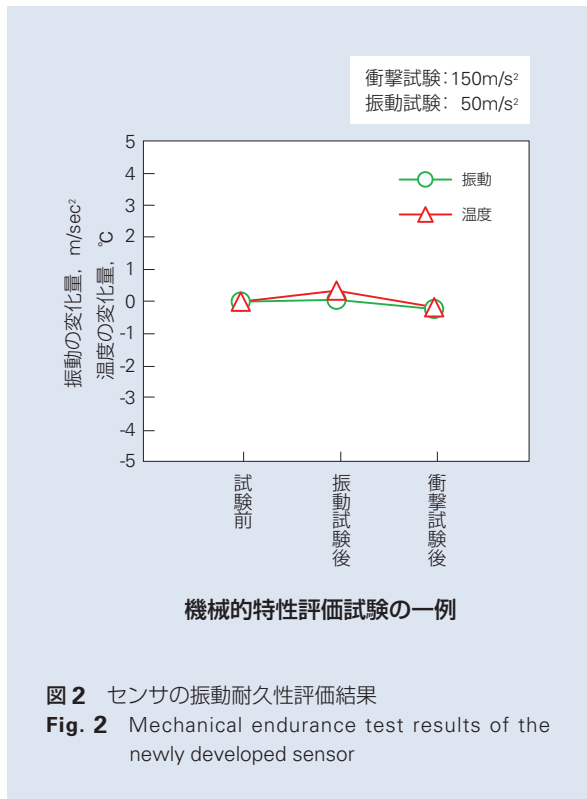
車両がポイントや線路の継ぎ目を通る際に、センサは強い衝撃を受ける。本開発品は、 100 m/s^2 を超える衝撃にも耐えられ、優れた耐衝撃性を実現した(図2)。

(2) 振動耐久性

一般に、鉄道車両の車軸軸受は約60万km以上の走行期間が設定され、その走行距離になるまでは解体検査されることなく使用される。そこで、走行中に受ける繰り返し振動に対して所定の期間は機能を維持できるように、振動耐久性に配慮した仕様となっている(図2)。

(3) 耐候性

センサは、屋外で日光、風雨、雪などにさらされる環境下で使用されるため、耐熱、防水、耐寒などに配慮した仕様となっている。



3. センシング機能

(1) 回転速度の検知

一般に鉄道車両では、車軸軸受の前ぶた部に設けられた歯車の回転速度を、軸箱側に装着された磁気検出素子からなる回転速度センサで計測している。本開発品は、取り付け位置を変更することなく回転速度を検出できるよう、コンパクト化を実現している。

(2) 温度の検知

本センサにより、軸受部の温度を常時センシングすることができ、これによって軸受部の温度上昇に関わるトラブルを未然に防止することができる。

(3) 振動の検知

車輪の円周上の一部が摩耗して、車輪フラットと称する平坦部が生じると、乗り心地が悪くなるだけでなく、レールを傷めることが問題となる。今回開発したセンサの振動検出機能により、車輪フラットの発生をいち早く検知することが可能である。この検出機能によって、センサ軸受は快適な鉄道輸送の実現に貢献できる。

さらに、軸受内部で発生する異常振動も検出できるので温度検知と併用することで、軸受自身の異常検知を一層確実なものとするのが可能である。

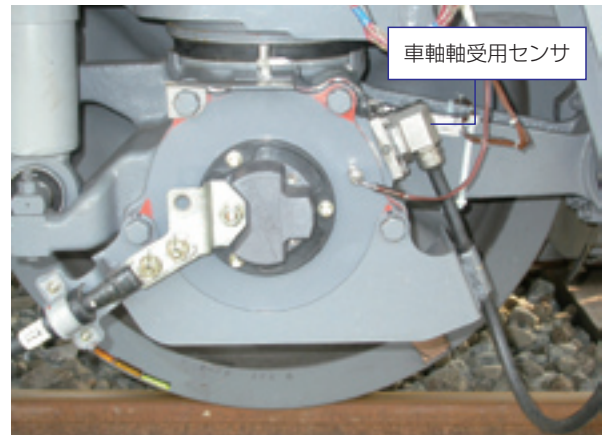


写真2 センサの車両への取り付け状態

Fig. 2 Multi-sensor unit mounted to the housing of an axle bearing for railway rolling stock

4. 車両における実績

本車軸センサ軸受は、日本貨物鉄道株式会社殿のM250系特急コンテナ電車「スーパーレールカーゴ」(最高速度 130 km/h)に採用され、3年以上にわたる実績を有している。

5. あとがき

本鉄道車両用車軸センサ軸受は、鉄道のさらなる安全性、信頼性向上、および快適な鉄道輸送の実現に貢献できるものと考えている。今後ますます広範囲に本開発品を応用展開していくことにより、多くのユーザーのニーズに応えていきたい。

商 品

紹 介

産業機械コンプレッサー用エルコンプ™軸受

ELCOMP™ Bearing Series for Screw Compressors in Industrial Applications

産業用コンプレッサーは、各社独自の潤滑油を採用し、製品の長寿命化、エネルギー効率の向上に対応している。また、最近では、冷凍機や空調用コンプレッサーにおいて、国内海外メーカを問わず環境に配慮した代替冷媒やアンモニア等の自然冷媒の採用も盛んに進められている。コンプレッサー用軸受は、冷媒が混入した油によって潤滑されるため、潤滑油・冷媒の中でも劣化をしない軸受が求められる。

NSKは、産業機械用コンプレッサー向けに、耐油性・耐薬品性および耐熱性に優れ、長寿命な樹脂保持器付き軸受のシリーズ化を行った。以下に、シリーズ化したエルコンプ (ELCOMP) 軸受の概要を紹介する。

1. 軸受の特長

1.1 高負荷形設計

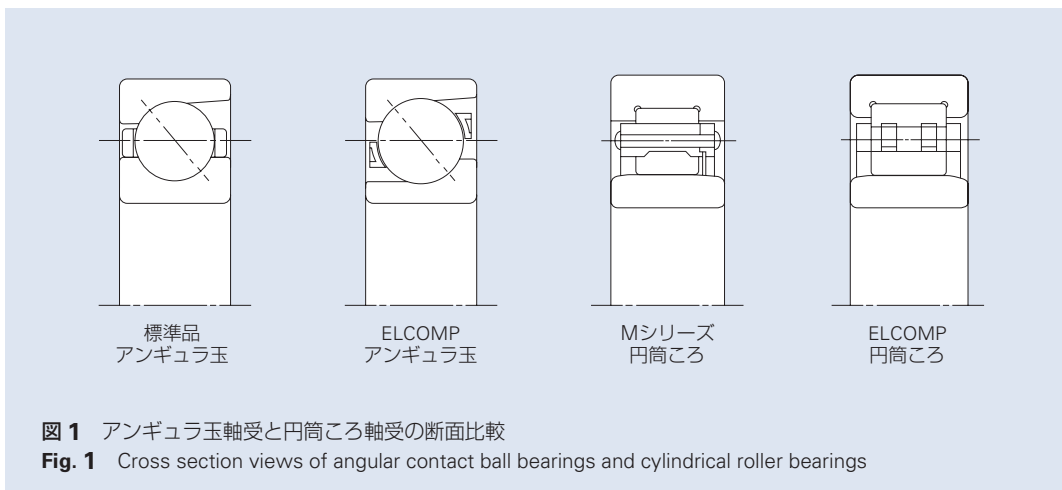
エルコンプアンギュラ玉軸受 (写真1) は、軸受内部諸元の見直しや保持器などの内部設計を最適にすることによって、基本動定格荷重が約13%向上し、その結果、軸受寿命が当社従来比で約50%向上している。エルコンプ円筒ころ軸受 (写真2) は、ころ径・ころ長さの見直しや保持器などの内部設計を最適にすることによって、従来のMシリーズに比べ基本動定格荷重が20～50%向上している (図1)。



写真1 エルコンプ™アンギュラ玉軸受
Photo 1 ELCOMP™ angular contact ball bearings



写真2 エルコンプ™円筒ころ軸受
Photo 2 ELCOMP™ cylindrical roller bearings



保持器材料の特長

材 料	66ナイロン	46ナイロン	L-PPS
特 長	標準的な保持器材料	高結晶化で高温強度が高い 耐熱性に優れる	46ナイロンより耐熱性に優れる 耐油性、耐薬品性に優れる 耐摩耗性 寸法安定性良好
標準グレード	ガラス繊維入り	ガラス繊維入り	ガラス繊維入り
樹脂融点	262℃	290℃	280℃

耐熱性の目安

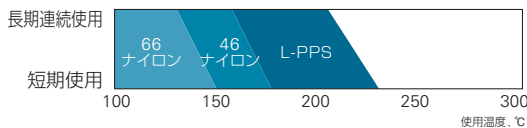


図2 樹脂保持器の特長と耐熱性の目安

Fig. 2 Features and operating temperatures for plastic cage materials

1.2 化学的安定性に優れた樹脂材料保持器を採用

NSKは、冷媒や冷凍機油などの化学的相性が良いL-PPS（直鎖型ポリフェニレンサルファイド）を改良し、軸受保持器材料に採用した。この保持器は次の特長を持っている（図2）。

- (1) 耐油性
冷凍機油や圧縮機油でもほとんど強度が低下しない（図3）。
- (2) 耐薬品性
アンモニア冷媒環境下でも強度低下が少ない（図4）。
- (3) 耐熱性
一般樹脂保持器材料のナイロンに比べ耐熱性に優れる。

2. 仕 様

本シリーズでは、アンギュラ玉軸受は内径15～80 mm、円筒ころ軸受では内径20～100 mmの軸受サイズが用意されている（表1）。

3. ま と め

産業機械コンプレッサー用エルコンプ（ELCOMP）軸受は、耐油性・耐薬品性および耐熱性に優れた長寿命な樹脂保持器を採用しており、コンプレッサーのメンテナンス期間延長、小型化および省エネルギー化に大きく貢献します。

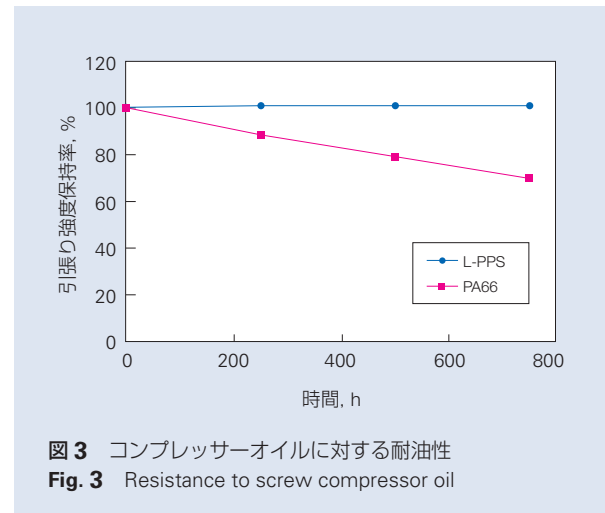


図3 コンプレッサーオイルに対する耐油性
Fig. 3 Resistance to screw compressor oil

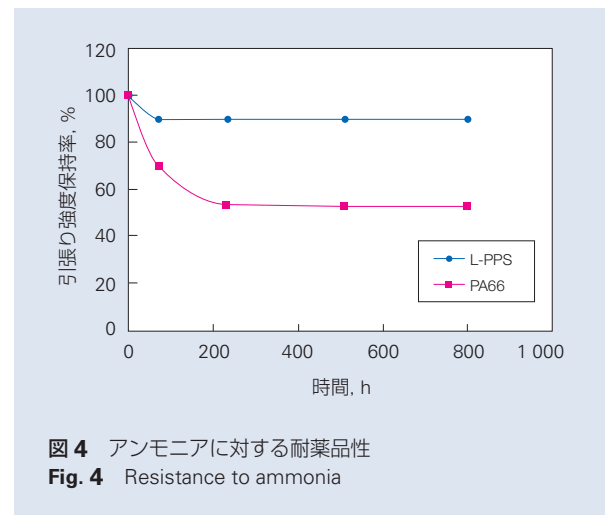


図4 アンモニアに対する耐薬品性
Fig. 4 Resistance to ammonia

表1 エルコンプ軸受シリーズ

Table 1 ELCOMP bearing series lineup

単位 mm

軸受形式	寸法系列	軸受内径
アンギュラ玉軸受	72X X B 73X X B	φ15～φ80
円筒ころ軸受	NU (N J) 2X X NU (N J) 3X X NU (N J) 22X X NU (N J) 23X X	φ20～φ100

産業機械ポンプ用高機能アンギュラ玉軸受

High Performance Angular Contact Ball Bearings for Industrial Machinery Pumps

石油化学，製紙，食品など世界中のあらゆる産業で使用されているポンプは，高い信頼性を持ちつつ，省エネルギーであることが要求されている。これらのポンプに使用される軸受には，小型軽量化やメンテナンス期間の延長を実現する長寿命化が求められている。

NSK は，産業機械用ポンプ向けに高機能アンギュラ玉軸受を開発し商品化した（写真 1）ので，以下に概要を紹介する。

1. 軸受の特長

産業機械ポンプ用高機能アンギュラ玉軸受の特長を下記に示す。

(1) 軸受寿命を当社従来比約 50% 向上

玉径の見直しや保持器等の内部設計を最適にすることで，基本動定格荷重を約 13% 向上させた。

その結果，軸受寿命が当社従来比で約 50% 向上した（図 1）。

(2) 信頼性向上

銅合金製保持器の形状，案内方式を改良することにより，十分な空間を確保し，潤滑油の流入性・排出性を向上させた（図 2）。

これにより，ポンプの信頼性向上に貢献できる。

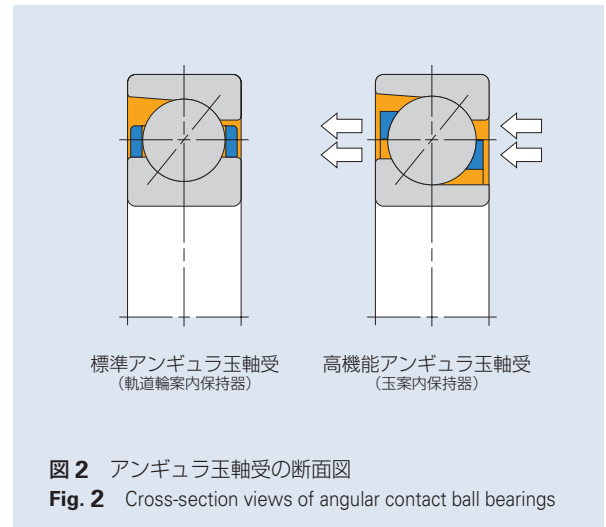
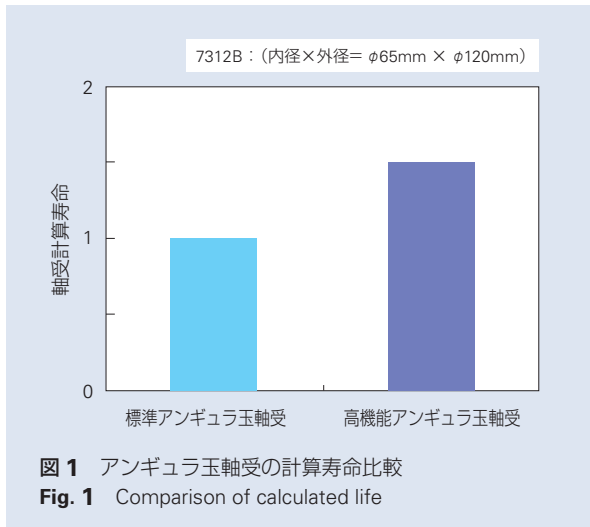
(3) 取り扱い性向上

軸受精度 P6 級で万能組み合わせを標準仕様とし，単列軸受を自由に組み合わせて使用できる。これにより，ポンプに軸受を組み込む際の作業性向上に貢献できる。



写真 1 産業機械ポンプ用高機能アンギュラ玉軸受

Photo 1 High performance angular contact ball bearings for industrial machinery pumps



2. 仕様

本シリーズの産業機械ポンプ用高機能アンギュラ玉軸受では、内径 15 ～ 80mm をラインナップした。表 1 に代表軸受の主要寸法と基本動定格荷重を示す。

3. まとめ

産業機械ポンプ用高機能アンギュラ玉軸受は、ポンプのメンテナンス期間の延長によるランニングコストの削減や小型化・省エネルギー化に大きく貢献します。さらに、銅合金製保持器を採用していることから、一般産業機械用として幅広く適用することも可能です。

表 1 高機能アンギュラ玉軸受の主要寸法と基本動定格荷重 (代表例)

Table 1 Dimensions and basic load ratings of high performance angular contact ball bearings

単位 mm

軸受型番	内径	外径	幅	基本定格荷重 (N)
7306BEA	30	72	19	34 500
7309BEA	45	100	25	59 500
7310BEA	50	110	27	74 500
7311BEA	55	120	29	85 000
7312BEA	60	130	31	97 500
7313BEA	65	140	33	108 000
7314BEA	70	150	35	118 000
7315BEA	75	160	37	127 000
7316BEA	80	170	39	138 000

商品

紹介

エレベータ用静音・低振動自動調心ころ軸受

Quiet and Low-Vibration Series of Spherical Roller Bearings for Elevator Applications

オフィスビルを中心に建築物は、近年ますます高層化の傾向がある。それに伴い高層ビル用エレベータは、多くの人を短時間で運搬する要求が強まってきている。すなわち、エレベータは高速化・大容量化へと向かっている。一方、これら輸送能力の向上とともに、乗り心地（快適性）の向上も求められ、運転時のさらなる音・振動の低減が望まれている。

エレベータ用巻上機に広く使用されている自動調心ころ軸受については、従来から求められていた軸受の高信頼性に加えて、高速回転・重荷重負荷条件下での軸受回転音の低減が、これまで以上に要求されてきている。

NSKでは、これらの要求に応えることのできる、静音・低振動自動調心ころ軸受の開発に成功し、シリーズ化したので、以下にその概要を紹介する。

1. 軸受仕様

写真1に、新開発のエレベータ用静音・低振動自

動調心ころ軸受を示す。

開発軸受は、軸受の音・振動の低減を図るために、長年にわたり蓄積された設計技術と最新の生産技術を駆使し、以下の特別な設計仕様とした。

(1) 軸受内部すきま

軸受内部すきまの最適化により、ころと内外輪、またはころと保持器の衝突音を低減させた。

・軸受内部すきまを最適値に設定

・すきまレンジをISO規格範囲の約2分の1に縮小

(2) 部品精度

軸受各 부품の真円度・粗さの向上により、滑らかな回転を実現させた。

(a) ころ

・真円度、ころ径相互差を標準軸受の約2分の1に高精度化

・粗さを標準軸受の約4分の3に減少

(b) 内外輪

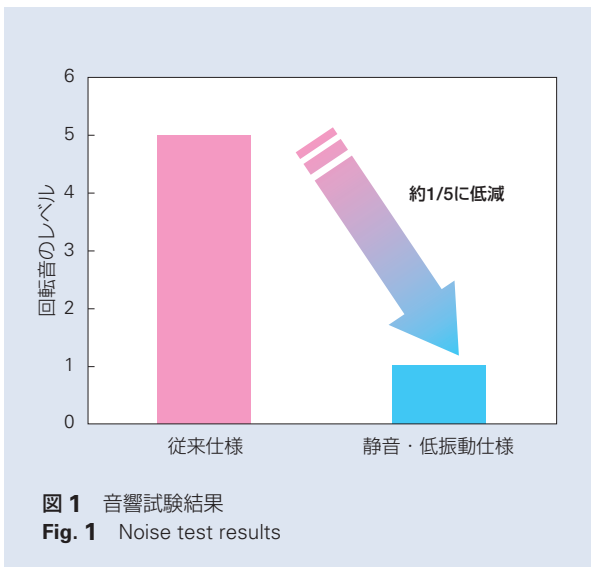
・真円度を標準軸受の約3分の1に高精度化

・軌道面粗さを標準軸受の約3分の2に減少



写真1 静音・低振動自動調心ころ軸受

Photo 1 Quiet and low-vibration series of spherical roller bearings



2. 特 長

静音・低振動自動調心ころ軸受は、高速・大容量エレベータにおける、軸受の低騒音・低振動に対する要求を満足させることができるように、特別な設計仕様を採用している。これにより、軸受を組み込んだ装置の回転音の大きさが、従来の約5分の1に低減されている(図1)。

3. 展開範囲・寸法

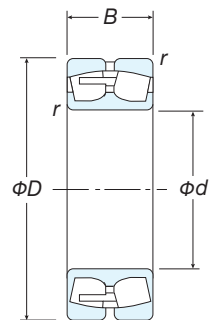
今回のシリーズ化は、軸受内径100～400mmの範囲で行った。表1に、ラインナップした軸受の代表例とその寸法などを示す。

4. ま と め

今後も、中国を中心に超高層ビルの建設が進み、高速エレベータの需要が増加すると予想されている。NSKが開発した静音・低振動自動調心ころ軸受は、高速エレベータに必要な不可欠な特性を有しており、乗り心地の良い、快適性に優れた高層ビル用エレベータの発展に貢献できるものと考えている。

表1 静音・低振動自動調心ころ軸受の寸法表

Table 1 Specifications of quiet and low-vibration series of spherical roller bearings



呼び番号	主要寸法 (mm)				基本定格荷重 (N)	
	d	D	B	r(最小)	Cr	Cor
23020CD	100	150	37	1.5	212 000	335 000
24020C	100	150	50	1.5	276 000	470 000
23120C	100	165	52	2	345 000	530 000
24120CA	100	165	65	3	345 000	535 000
22220CA	100	180	46	2.1	330 000	440 000
23220C	100	180	60.3	2.1	420 000	605 000
22320CA	100	215	73	3	600 000	785 000
23030CD	150	225	56	2.1	470 000	815 000
24030C	150	225	75	2.1	590 000	1 090 000
23130C	150	250	80	2.1	725 000	1 180 000
24130C	150	250	100	2.1	890 000	1 530 000
22230CD	150	270	73	3	765 000	1 120 000
23230C	150	270	96	3	975 000	1 560 000
22330CA	150	320	108	4	1 220 000	1 690 000
23940CA	200	280	60	2.1	570 000	1 060 000
23040CA	200	310	82	2.1	940 000	1 700 000
24040C	200	310	109	2.1	1 140 000	2 120 000
23140C	200	340	112	3	1 360 000	2 330 000
24140C	200	340	140	3	1 570 000	2 670 000
22240CA	200	360	98	4	1 300 000	2 010 000
23240C	200	360	128	4	1 660 000	2 750 000
22340CA	200	420	138	5	2 000 000	2 990 000
23952CA	260	360	75	2.1	930 000	1 870 000
23052CA	260	400	104	4	1 430 000	2 580 000
24052CA	260	400	140	4	1 810 000	3 500 000
23152CA	260	440	144	4	2 160 000	3 750 000
24152CA	260	440	180	4	2 560 000	4 700 000
22252CA	260	480	130	5	2 180 000	3 400 000
23252CA	260	480	174	5	2 740 000	4 550 000
22352CA	260	540	165	6	3 100 000	4 600 000
23960CA	300	420	90	3	1 230 000	2 490 000
23060CA	300	460	118	4	1 920 000	3 700 000
24060CA	300	460	160	4	2 310 000	4 600 000
23160CA	300	500	160	5	2 670 000	4 800 000
24160CA	300	500	200	5	3 100 000	5 800 000
22260CA	300	540	140	5	2 610 000	4 250 000
23260CA	300	540	192	5	3 400 000	5 900 000
23972CA	360	480	90	3	1 390 000	3 050 000
23072CA	360	540	134	5	2 390 000	4 700 000
24072CA	360	540	180	5	2 930 000	6 100 000
23172CA	360	600	192	5	3 800 000	7 100 000
24172CA	360	600	243	5	4 200 000	8 000 000
23272CA	360	650	232	6	4 800 000	8 550 000
23980CA	400	540	106	4	1 890 000	4 250 000
23080CA	400	600	148	5	2 970 000	5 900 000
24080CA	400	600	200	5	3 600 000	7 600 000
23180CA	400	650	200	8	4 150 000	7 900 000
24180CA	400	650	250	6	4 950 000	10 100 000
23280CA	400	720	256	6	5 800 000	10 400 000

本表は、軸受内径100～400mmの範囲でシリーズ化した名番の一部を代表として記載したものである。

商品

紹介

ファンモータ・ポンプモータ用クリープフリー™ 軸受

Creepfree™ Bearings for Fan and Pump Motors

ファンモータやポンプモータなどで使用される軸受は、モータ組立て上の制約から、外輪とハウジング間をすきまばめで使用されることが多い。特に、最近ではモータ軽量化のためアルミニウム製ハウジングの使用が増加しており、熱膨張量の違いから従来の鋳鉄製ハウジングに比較すると実使用条件下で外輪とハウジング間のすきまが増大し、クリープが発生しやすい環境となっている。クリープが発生するとハウジングは

著しく摩耗し、これにより軸受寿命を低下させてしまう。そのため、外輪とハウジング間をすきまばめで使用しながらクリープを防止する軸受が望まれていた。

主要寸法が標準軸受と同一で、従来の取付け寸法のまま使用することができる NSK クリープフリー軸受を開発し、シリーズ化したので以下に紹介する（写真 1）。

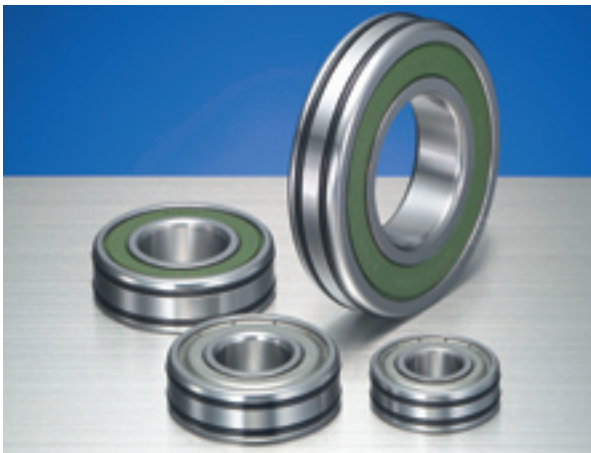


写真 1 クリープフリー™ 軸受
Photo 1 Creepfree™ bearings

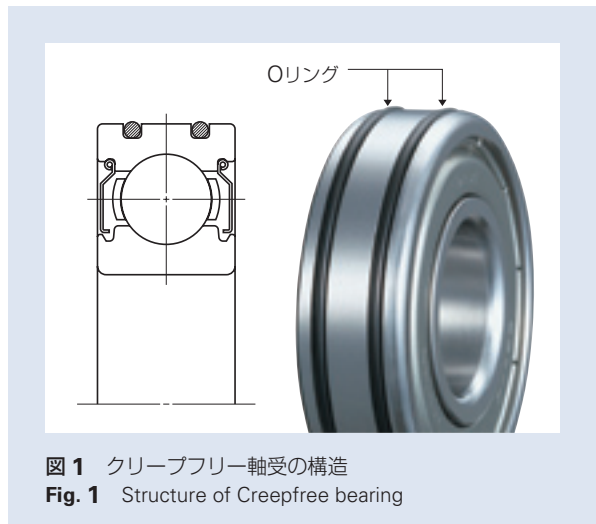


図 1 クリープフリー軸受の構造
Fig. 1 Structure of Creepfree bearing

表 1 シリーズ一覧表

Table 1 Series lineup

軸受内径 d mm	軸受外径 D mm	軸受幅 B mm	基本定格荷重		推奨 はめあい*	呼び番号			
			C _r (N)	C _{0r} (N)		基本名番	シールド型	接触シールド**	非接触シールド型
10	26	8	4 550	1 970	G6又は H7	6000			
	30	9	5 100	2 390		6200	ZZ	DDU	W
	35	11	8 100	3 450		6300			
12	28	8	5 100	2 370		6001			
	32	10	6 800	3 050		6201	ZZ	DDU	W
	37	12	9 700	4 200		6301			
15	32	9	5 600	2 830		6002			
	35	11	7 650	3 750		6202	ZZ	DDU	W
	42	13	11 400	5 450		6302			
17	35	10	6 000	3 250		6003			
	40	12	9 550	4 800		6203	ZZ	DDU	W
	47	14	13 600	6 650		6303			
20	42	12	9 400	5 000		6004			
	47	14	12 800	6 600		6204	ZZ	DDU	W
	52	15	15 900	7 900		6304			
25	47	12	10 100	5 850	6005				
	52	15	14 000	7 850	6205	ZZ	DDU	W	
	62	17	20 600	11 200	6305				
30	55	13	13 200	8 300	6006				
	62	16	19 500	11 300	6206	ZZ	DDU	W	
	72	19	26 700	15 000	6306				
35	62	14	16 000	10 300	6007				
	72	17	25 700	15 300	6207	ZZ	DDU	W	
	80	21	33 500	19 200	6307				
40	68	15	16 800	11 500	6008				
	80	18	29 100	17 900	6208	ZZ	DDU	W	
	90	23	40 500	24 000	6308				
45	75	16	20 900	15 200	6009				
	85	19	31 500	20 400	6209	ZZ	DDU	W	
	100	25	53 000	32 000	6309				

1. 構成(構造)および仕様

本クリープフリー軸受は、外輪の2本溝にOリングを装着することにより、その弾性・反発力でクリープ防止効果を向上させている(図1)。主要寸法は標準軸受と同一で、30型番をシリーズ化した(表1)。

2. 特長

(1) 耐クリープ力向上

Oリング寸法やOリングを装着する外輪外径部のみぞ寸法を見直し、Oリングの弾性・反発力を適正化した。これにより、クリープ防止軸受の基本性能である耐クリープ力を当社比で20%向上させた(図2)。

(2) 高温での耐クリープ性向上

Oリング材料であるニトリルゴムの組成を見直し、高温(120℃)環境下でのOリングの永久ひずみ率を当社比で1/5に低減した(図3)。この改良によって、高温下でも十分な耐クリープ力を維持できるようになった(図4)ので、モータ用軸受のメンテナンス期間を延長することが可能である。

(3) 耐油性の向上

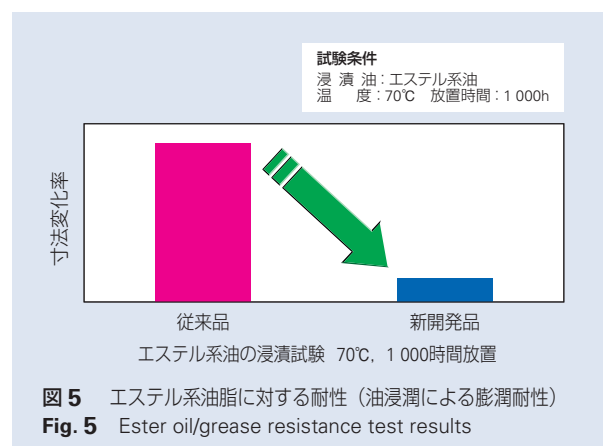
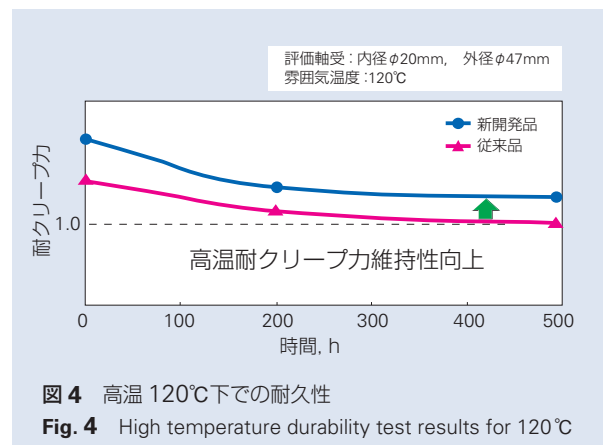
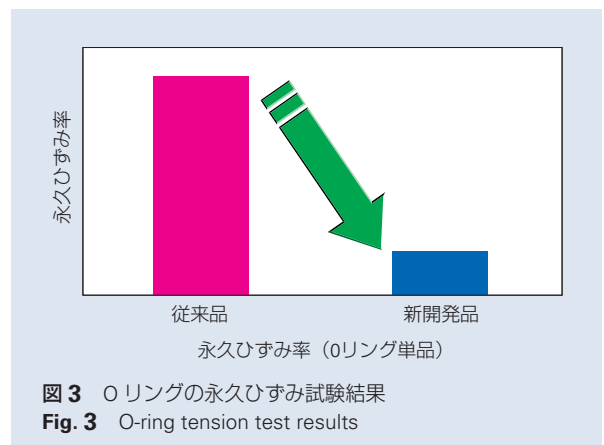
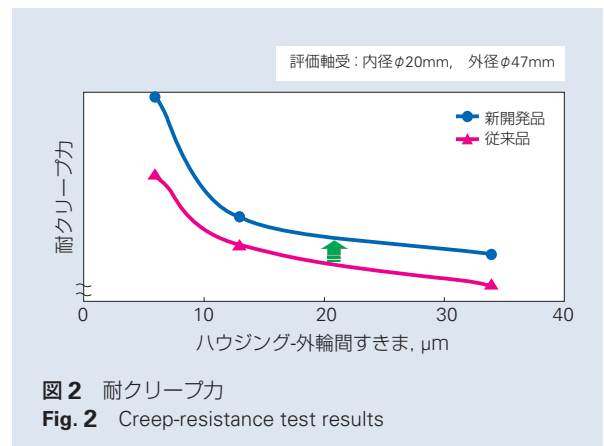
Oリング材料(ニトリルゴム)の組成改良により、ニトリルゴムの特長を生かしたまま、エステル系油脂に対する耐性を向上させ、油の浸潤による寸法変化率を1/7に低減した(図5)。耐油性が向上したことにより、モータ組立て時に軸受外径又はハウジング内径に塗布する油脂について、鉱油系だけでなくエステル系油脂も使用可能となった。

3. 用途

ファンモータやポンプモータに最適である。また、電動工具、ミシン、洗濯機、ギヤードモータ、サーボモータ、汎用モータなど、軸受外輪とハウジングの間がすきまばめで使用される用途に適している。

4. まとめ

ファンモータやポンプモータで使用されるクリープフリー軸受について紹介した。今後も、使用環境の変化に合わせて、市場のニーズに応えられる製品の開発を進めていく。



商 品

紹 介

産業モータ用長寿命玉軸受

Long-Life Ball Bearings for Industrial Motors

産業モータ用軸受は、静音性と低トルク性の点からリチウム石けん系のグリースが広く用いられてきた。しかし、近年、静音性や省エネルギーに繋がる低トルク性に加えて、長寿命化の要求が高まってきている。この要求に応えるため、NSKは産業モータ軸受用として長寿命・低騒音・低トルク ウレアグリース（EAMグリース）を新たに開発した。今回、この新開発グリースを封入した軸受を長寿命 EAM グリース封入産業モータ用玉軸受として商品化したので、以下に紹介する（写真 1）。

1. 構成および仕様

この産業モータ用玉軸受は、EAM グリースの採用により、モータに求められる低騒音と低トルクを低下させること無く、焼付きに対する長寿命化を実現した。

2. 特 長

以下に長寿命 EAM グリース封入産業モータ用玉軸受の特長を記す。

(1) 長寿命

EAM グリースは、高温でも繊維構造が破壊されにくいウレア化合物を増ちょう剤に採用し、基油には高温で劣化生成物の発生が少ない合成油を採用している。この結果、従来のリチウム石けんグリースと比べ、焼付き寿命を当社比で 2 倍に向上させた（図 1）。

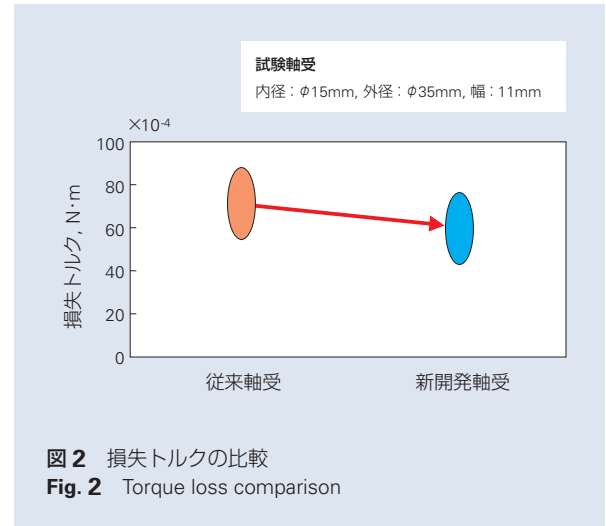
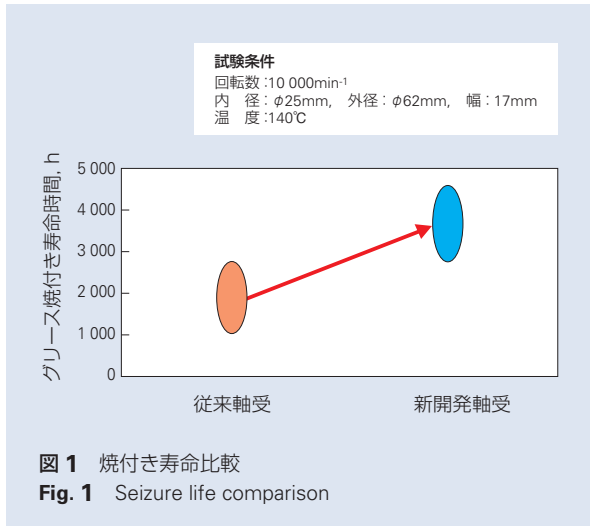
(2) 低トルク

基油と増ちょう剤の選定・配合を工夫し、攪拌抵抗を小さくしたことにより、リチウム石けんグリース以上の低トルク性能を実現した。攪拌抵抗などによる損失トルクの測定結果を図 2 に示す。



写真 1 長寿命 EAM グリース封入産業モータ用玉軸受

Photo 1 Ball bearings prepacked with long-life EAM grease for Industrial motors



(3) 低騒音

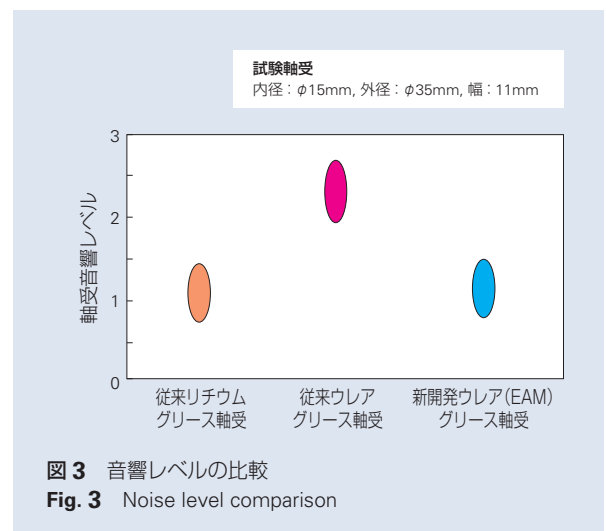
一般のウレアグリースはリチウム石けんグリースよりも静音性では劣るが、今回開発した EAM グリースでは、リチウム石けんグリースと同程度の優れた音響性能を実現した (図 3)。

3. 用途

送風機、ポンプ、減速機、搬送装置などの回転駆動源として使用されている軸径 10 ~ 75mm のサイズを中心とした産業モータに適している。特に、長寿命化、低騒音化および低トルク化が要求される用途に適する。

4. まとめ

産業モータ用に新たに開発された長寿命 EAM グリース封入玉軸受について紹介した。長寿命、低トルク、低騒音などの特性を持つ新開発の玉軸受は、産業モータの性能向上に貢献できるものと考えられる。今後も、多様なユーザーの要求に応えられるよう開発・展開を進めていく。



電気掃除機用省エネ対応低摩擦軸受

Low-Friction Bearings that Promote Energy Efficiency of Vacuum Cleaner Suction Motors

現在、家庭用電気掃除機に使用されているモータは、毎分およそ 45 000 回転の高速モータが主流であり、家電機器の中では比較的大きなエネルギーを消費している。このため、モータ回転時に発生する軸受の摩擦損失を抑制しモータ効率を向上させることは、消費エネルギーの節約に繋がる。今回、摩擦損失低減と長寿命化を同時に実現した“省エネ対応低摩擦軸受”を商品化したので以下に紹介する（写真 1、図 1）。

1. 構成(構造)および仕様

この省エネ対応低摩擦軸受は、軸受内部設計を最適化したことにより、従来の定格荷重を確保するとともに、摩擦損失を半減させた。また、摩擦低減により軸受の発熱量を抑え、3 倍以上の焼付き長寿命を実現した。

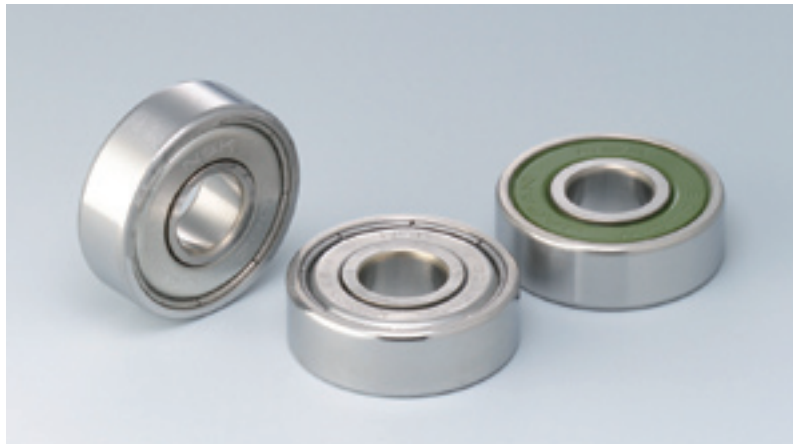


写真 1 新開発低摩擦軸受

Photo 1 Newly developed low-friction bearings

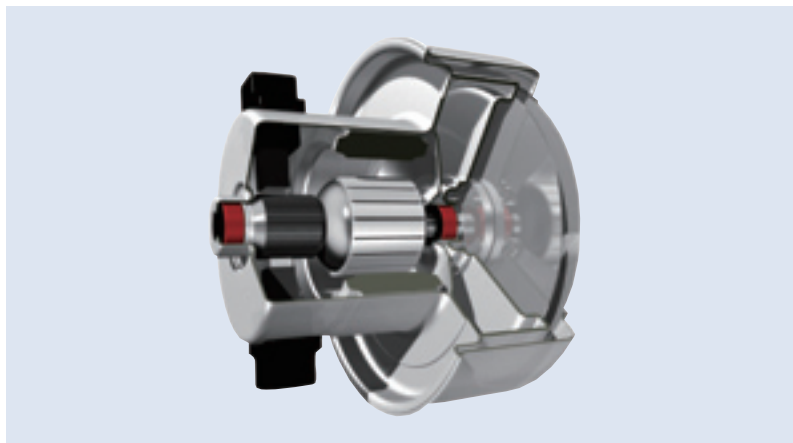


図 1 省エネ対応低摩擦軸受とその使用例（クリーナモータ）

Fig. 1 Example of a vacuum cleaner suction motor with two low-friction bearings

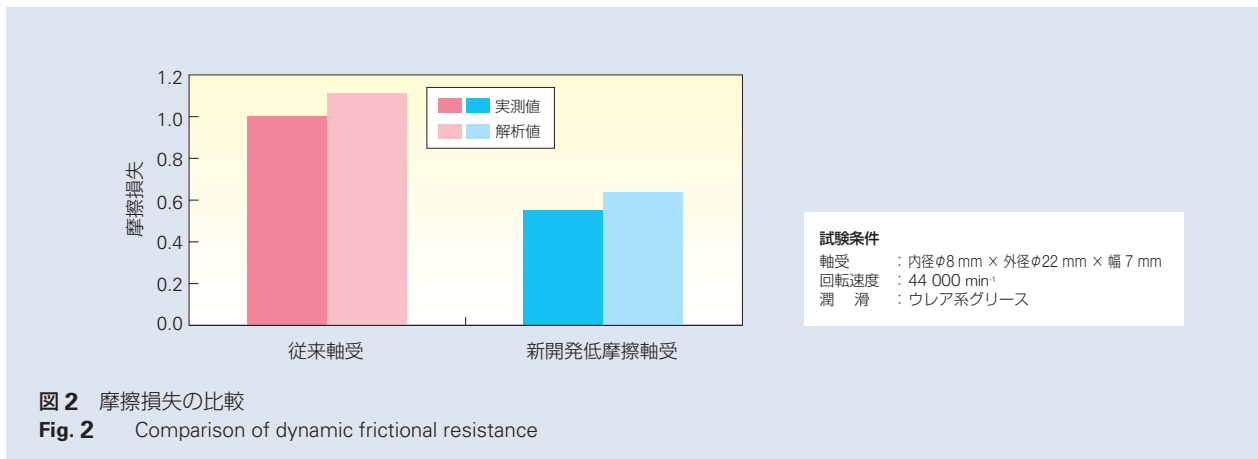


図2 摩擦損失の比較

Fig. 2 Comparison of dynamic frictional resistance

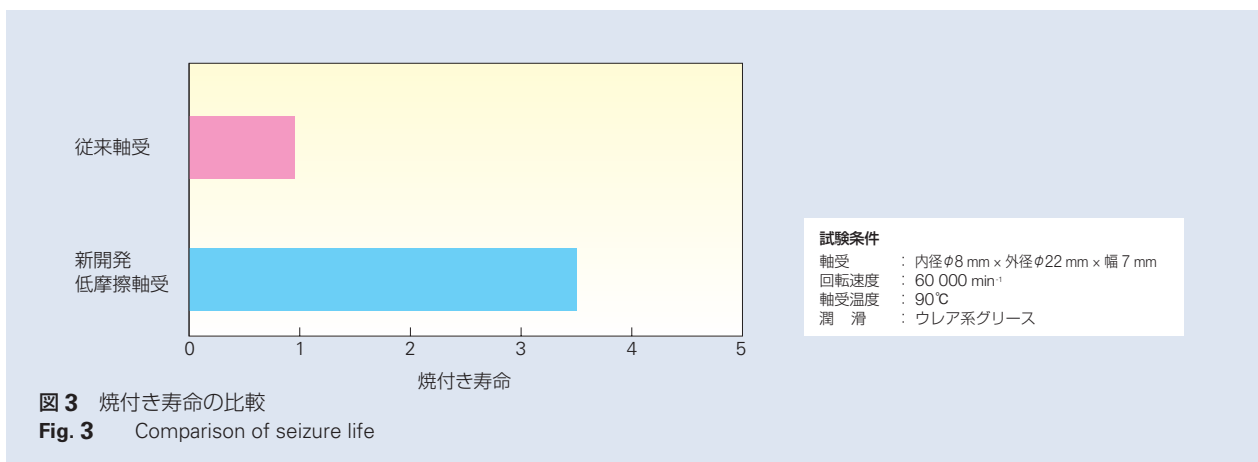


図3 焼付き寿命の比較

Fig. 3 Comparison of seizure life

2. 特 長

(1) 摩擦損失が半分に減少

解析技術を駆使し軸受の内部設計を最適化することで、高速回転下の転動体と軌道輪の接触面でのすべり摩擦を低減した。その結果、摩擦損失は、従来品に対しほぼ半分に低減した(図2)。

(2) 焼付き寿命が3倍以上に向上

軸受内部の摩擦損失が減少したことにより、軸受の自己発熱量を低減することができた。これによってグリースの劣化が抑制され、焼付き寿命は従来品に対して3倍以上に向上した(図3)。

3. 従来品との互換性

この省エネ対応低摩擦軸受の主要寸法は、ISO規格に準拠しており従来品との互換性を備えている。

4. 用 途

低消費電力および長寿命が要求される、電気掃除機などの高速回転モータなどに適している。

5. ま と め

軸受の摩擦損失低減と長寿命化を同時に実現した電気掃除機用省エネ対応低摩擦軸受について紹介した。今後、高効率化が求められる用途への応用・展開を図ることにより、より多くのユーザーのニーズに応え、省エネルギーに貢献していきたい。

商 品

紹 介

高温環境向け冷却ファンモータ用静音長音響寿命玉軸受

Long Quiet-Running Ball Bearings for Fan Motors Used in I.T. Related Equipment

近年、パソコンの小型化やAV機器の大型化による発熱量の増加により、これらの機器に使用される小型冷却ファンモータは高温環境下で使用される場合が増えている。また、冷却性能向上のため、ファンの回転は高速化が進められており、軸受の使用回転数も上昇する傾向にある。

今回NSKでは、新たに開発した専用グリースにより、高温時の音響上昇を低減するとともに高温用グリース特有のノイズを抑えた、高温用静音長音響寿命軸受を開発したので以下に紹介する（写真1）。

1. 構成(構造)および仕様

開発した軸受は、高温環境下で優れた耐熱性を持

つ新開発の静音グリースを用いている。また軸受内部仕様を見直し、摩擦損失を低減させた。

2. 特 長

(1) 高温での音響寿命向上

グリースの成分である、基油・増ちょう剤の耐熱性を向上させることでグリースの劣化を抑え、さらに、最適な添加剤を配合することで摩耗粉の発生を抑制した。これにより、現行の高温用軸受に対して2倍以上の高温音響寿命(当社従来品比)を実現した(図1)。

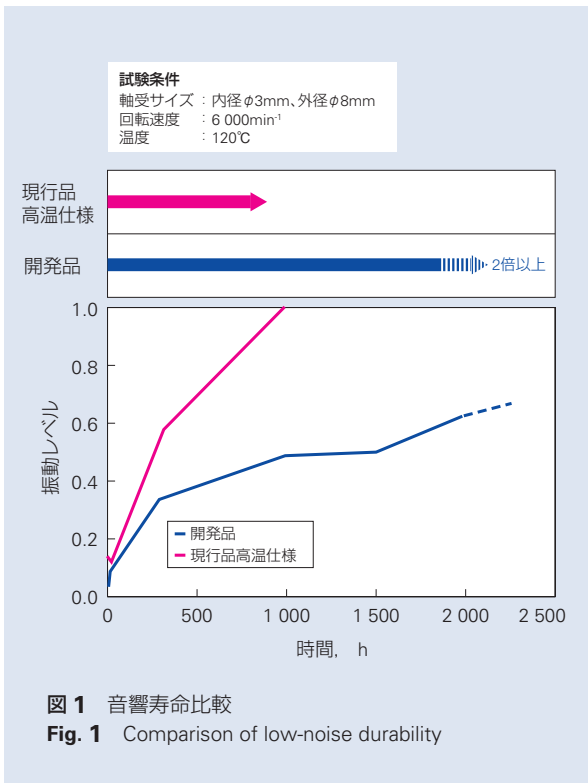
(2) 静音性向上

グリースの製造工程を最適化することで、グリース中の増ちょう剤の分散性を改善し、静音性



写真1 高温環境向け冷却ファンモータ用静音長音響寿命玉軸受

Photo 1 Long quiet-running ball bearings for fan motors used in I.T. related equipment



を向上させた。高温用グリース特有のグリースノイズは、当社従来品比で 1/70 に低減した (図 2)。
 (3) 摩擦損失低減

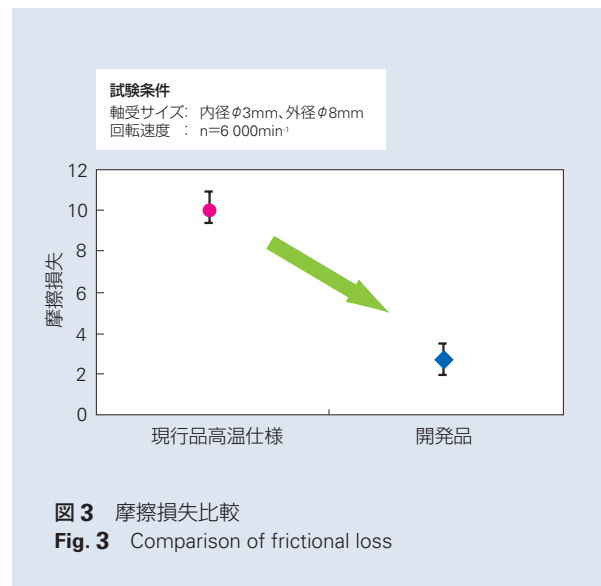
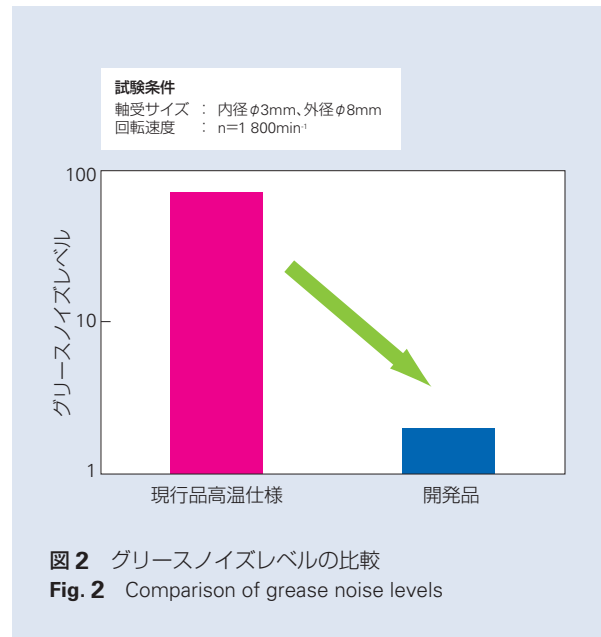
軸受仕様の見直しにより、これまで高温用グリースで課題となっていた摩擦損失を当社従来品比で 1/4 に低減した (図 3)。

3. 用 途

パソコン、OA 機器、プロジェクタなどの AV 機器、家電機器などに用いられ静音性を求められる冷却ファンモータに適している。そのほかに、高温環境下で使用され静音性や低トルク性能が求められる用途に適している。

4. ま と め

今回紹介した軸受は、パソコンおよびサーバの冷却ファンモータ用として開発したものであるが、それ以外のファンモータにはもちろんのこと、そのほかの同様な用途にも使用することが可能である。今後、高温下での静音長音響寿命軸受として応用・展開を図り、いろいろなニーズに応えていきたい。



商品

紹介

小型旋盤用ボールねじ “BSL™シリーズ”

BSL™ Series of Ball Screws for Small Lathes

近年の小型旋盤は、IT 関連に代表される複雑形状の部品加工の増加にともない、複合・多軸化が進んできた。このため、一台の機械に搭載される、送り駆動機構も大幅に増加している。このような、機械構造の複雑化に対応するために、送り機構の省スペース設計や、共通化・標準化することによる設計・生産のロード削減とリードタイム短縮が求められている。

NSK は、これらの要求に対し、シンプルな軸端形状とコンパクトなナットで標準化した、小型旋盤用ボールねじ “BSL シリーズ” (写真 1) を商品化した。



写真 1 小型旋盤用ボールねじ “BSL™シリーズ”

Photo 1 BSL™ series of ball screws for small lathes

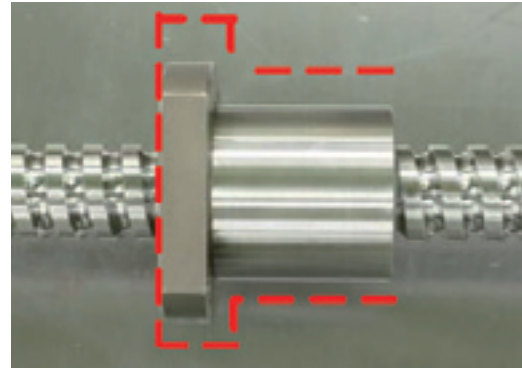
1. 特長

(1) 標準化による短納期

フランジレスのねじ軸端形状による製造工程の短縮と、コンパクトなナットとシンプルな軸端形状による部品レベルまでの標準化によって、短納期を可能とした。

(2) 省スペース化

ナットは、新循環方式の採用により、図 1 に示すように従来のチューブ循環方式と比較して外径



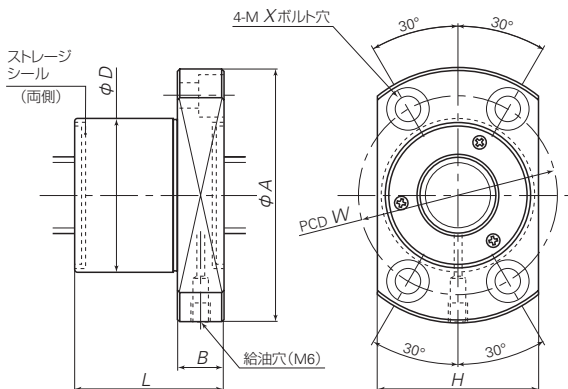
BSL シリーズと従来品 (点線)
軸径 ϕ 25mm リード 10mm の場合

図 1 コンパクト設計

Fig. 1 Compact design of the BSL series in relation to a conventional ball screw nut

表 1 ナット寸法表

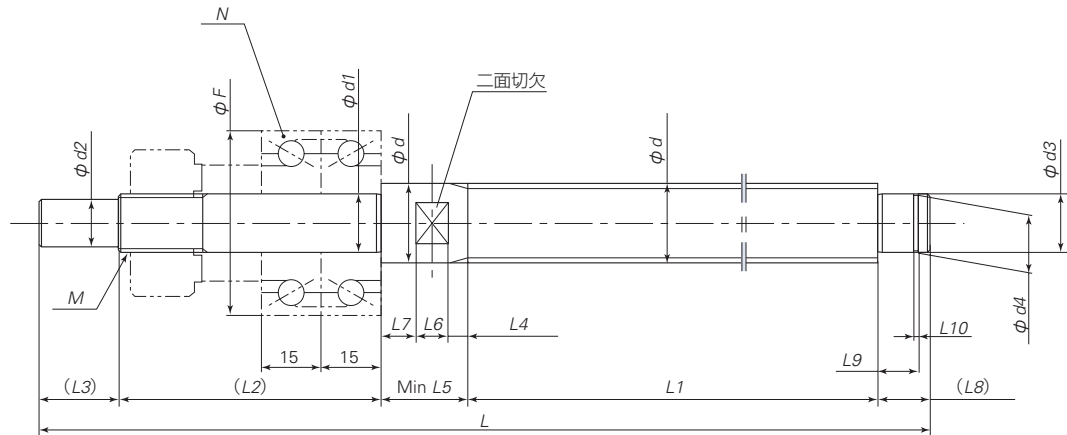
Table 1 Ball screw nut dimensions of the BSL series



呼び番号	主要緒元		外観寸法					取付穴寸法	
	軸径	リード	D	A	H	B	L	W	X
BSL2005	20	5	36	63	38	12	37	49	M6
BSL2006	20	6	40	65	42	12	45	51	
BSL2505	25	5	40	65	42	12	38	51	
BSL2506	25	6	43	69	45	12	44	55	
BSL2508	25	8	46	72	48	12	55	58	
BSL2510	25	10	46	72	48	12	65	58	M8
BSL3210	32	10	61	93	63	18	68	76	
BSL3212	32	12	61	93	63	18	77	76	

表 2 ねじ軸の寸法表と形状

Table 2 Ball screw shaft dimensions and the reference figure showing the flangeless end configuration of the BSL series



単位 mm

呼び番号	軸の寸法																専用軸受		
	d	d1	M	d2	d3	d4	L	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10	呼び N	F
BSL2005	20	15	M15×1.0	12	15	14.3	500	500	66	20	3	20	8	9	14	10.15	1.15	15TAC47B	47
BSL2006											4	21							
BSL2505	25	20	M20×1.0	15	20	19	700	700	71	27	3	27	10	14	19	15.35	1.35	20TAC62B	62
BSL2506											4	28							
BSL2508											5	29							
BSL2510											5	29							
BSL3210	32	25	M25×1.0	20	35	23.9	1000	800	71	33	6	33	12	15	20	16.35	1.35	25TAC62B	62
BSL3212											7	34							

寸法を最大 24% 小さくした。

(3) 優れた防塵性

ストレージシールと最適ボール溝設計により、大幅に防塵性能を向上した。

従来のラビリンスシールと比べて、10 倍以上の防塵性能を実現した。

(4) 軸受の高負荷容量化

フランジレス軸端形状を可能にした高負荷容量の専用軸受を設定した。

(5) 滑らかな作動性

ボール循環の滑らかさを追求した新循環方式を採用し、スペーサボール仕様のオーバーサイズボール予圧を採用することで滑らかな作動性を可能にした。

2. 仕様

BSL シリーズのナットとねじ軸の主要寸法を表 1 と表 2 に示す。また、精度と予圧は、次のように設定されている。

- ・精度：JIS C5 級
- ・予圧形式：オーバーサイズボール予圧

3. 用途

小型旋盤、小型工作機械などに適している。

商品

紹介

高速・高負荷用大リードボールねじ “HTF-SRDシリーズ”

HTF-SRD Series of High-Lead Ball Screws for High-Speed and Heavy-Load Applications

射出成形機などでは、高荷重を受ける駆動部には、従来、油圧シリンダーが多く使用されていた。近年、制御性の向上、作動油を使用しないことによる環境への配慮、消費電力削減などの省エネ対策の観点から、モータとボールねじで駆動する電動式が急速に普及し、ボールねじの需要が増加している。最近の動向として射出成形は、薄肉成形や生産性向上のために、射出速度や型開閉速度の高速化が進んでいる。

NSKでは、2005年に高速・高負荷用ボールねじ“HTF-SRDシリーズ”を商品化して、薄肉成形に必要な射出速度の高速化に対応してきた。今回は、生産性の向上に必要な型開閉速度の高速化に対応するため、毎秒1000mmを超える高速送りを可能とした、高速・高負荷用大リードボールねじを開発した。新開発ボールねじを、“HTF-SRDシリーズ”(写真1)として商品化したので、その概要を紹介する。

1. 特長

“HTF-SRDシリーズ”は、新循環方式（エンドデフレクタ循環方式、図1）と、従来の“HTFシリーズ”の高負荷容量設計を組み合わせた高速・高負荷用大リードボールねじである。ボールすくい上げ構造をねじ螺旋方向とし、スムーズなボール循環を可能としたことにより、次のような特長を有する。

(1) 高速送りと高負荷容量

エンドデフレクタ循環方式を採用し、ねじ軸外径の1/2以上の大きなリードに設定することで、最大で毎秒1000mmを超える高速送りが可能となった。また、複数のボール循環回路を持つ多条ねじ構造とし、径の大きいボールを採用することで、高負荷容量を実現した。

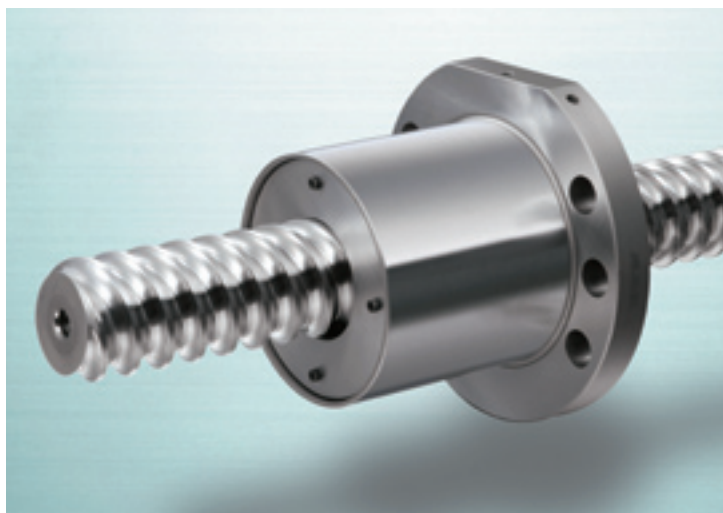


写真1 HTF-SRDシリーズ

Photo 1 HTF-SRD series of ball screws

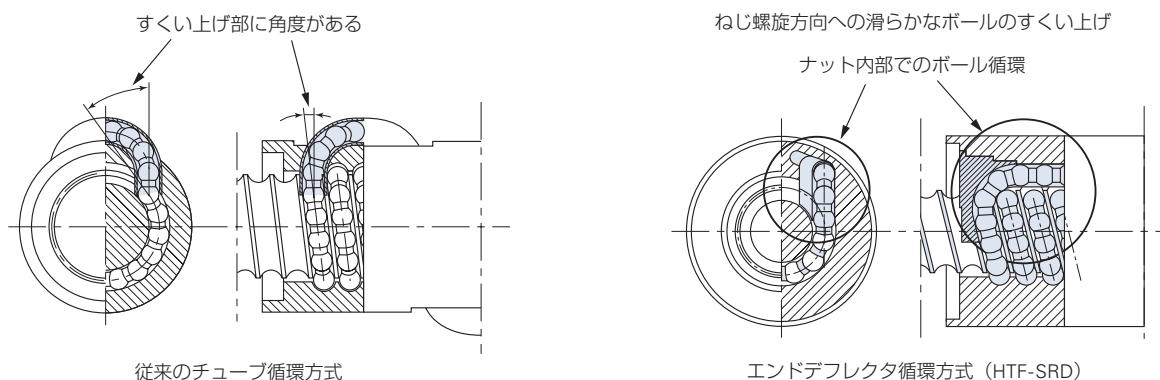


図1 従来チューブ循環方式とエンドデフレクタ循環方式の比較

Fig. 1 Comparison of the ball return systems of a conventional tube-type recirculation circuit and the end-deflector recirculation circuit of the HTF-SRD series

(2) 静音性

エンドデフレクタ循環方式の採用により、騒音レベルを従来品に比べて6～10dB低減し、音の大きさは1/2～1/3となった。

図2に、従来品と比較した騒音レベルの測定結果を示す。

(3) シンプルなナット形状

内部循環方式のため、ナット外径が円筒形状であり、回転バランスに優れていて、ナット回転の使用にも適する。また、ハウジングも単純な形状にすることができる。

(4) モーメント荷重に対する耐久性の向上

ボール同士の競り合いを防ぐため、ボール間に樹脂製の保持ピースを組み込む構造とした(S1仕様)。これにより、モーメント荷重に対する耐久性が大幅に向上した。

2. 仕様

“HTF-SRDシリーズ”で用意されている軸径とリードの組合せを表1に示す。また、ボール循環方式、許容 $d \cdot n$ 値(d :軸径(mm), n :回転速度(min^{-1})), 精度は、次のような設定となっている。

- ・ボール循環方式：エンドデフレクタ循環方式
- ・許容 $d \cdot n$ 値：12万
- ・精度：JIS Ct 7

3. 用途

電動射出成形機、ダイカストマシン、各種搬送装置などに適している。

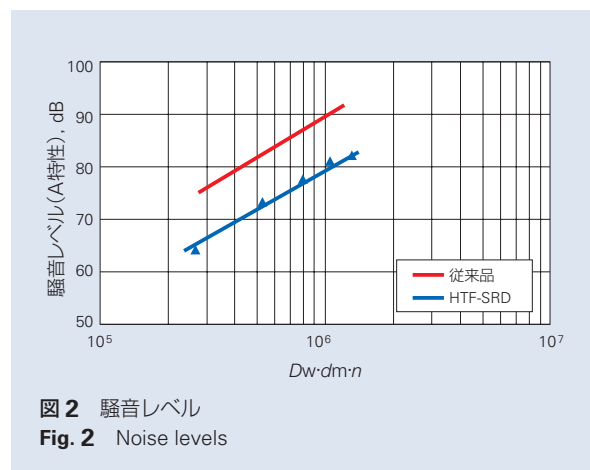


図2 騒音レベル
Fig. 2 Noise levels

表1 シリーズ構成
Table 1 Series lineup

	軸径 (mm)	リード (mm)	基本定格荷重(N)		送り速度(mm/s) $d \cdot n$ 12万
			動定格(Ca)	静定格(Coa)	
HTF-SRD 5040-6E	50	40	195 000	491 000	1 600
HTF-SRD 5040-8E			255 000	679 000	
HTF-SRD 6340-6E	63	40	291 000	768 000	1 250
HTF-SRD 6340-8E			381 000	1 060 000	
HTF-SRD 8050-6E	80	50	401 000	1 180 000	1 250
HTF-SRD 8050-8E			526 000	1 630 000	

商 品
紹 介

超高精度NSKリニアガイド™ “ハイアキュラシーHSシリーズ”
Highly Accurate HS Series of Ultra-Precision NSK Linear Guides

近年、エレクトロニクス機器や精密機器において高精度化、高性能化が急速に進んでいる。そういった機器を製造する工作機械や各種装置においても高精度化が進み、それに伴い直動案内の運動精度向上が求められている。

高精度が特に必要とされる用途では、エアスライドや滑り案内が使用されていた。しかし、エアスライドでは制御が難しく高価であり、また、滑り案内では高速性に劣ることや、保守が面倒であることなどの問題があるため、より高い運動精度を有するリニアガイドが求められていた。

転動体が無限循環するリニアガイドにおいては、高精度を追求していくと転動体通過振動による運動精度誤差が問題となる。そこで、NSKでは転動体通過振動を抑制した超高精度NSKリニアガイド“ハイアキュラシーシリーズ”を開発・商品化した。

ハイアキュラシーシリーズには、工作機械向けのHAタイプと、半導体製造装置および液晶製造装置向けのHSタイプがある。ここでは、HSタイプ（写真1）の概要を紹介する。

1. 特 長

ハイアキュラシーシリーズ HS タイプは、従来のLSシリーズをベースとして開発された製品であり、次のような特長を有している。



写真1 ハイアキュラシーシリーズ HS タイプの外観
Photo 1 Highly accurate HS series of ultra-precision NSK linear guides

- (1) 高い運動精度を実現
ベアリングを超長型とし、また鋼球循環部を最適設計することにより、狭範囲運動精度（転動体がスライダーに出入りする際に発生する振動）も広範囲運動精度（リニアガイドの走り平行度、取付け精度、機台精度などによって発生するレールのうねり）も、ともに高精度を実現している。
- (2) 転動体通過振動を低減
従来品に比べて転動体通過振動を 1/3 に低減（当社比）し、テーブルの運動精度を飛躍的に向上させた（図1）。
- (3) レール取付け精度の向上
レール取付穴のザグリ深さを深くすることで、機台取付け時のボルト締付けによるレール変形を 1/2 以下に低減し、ボルトピッチのうねりを抑制している。さらに、より高精度にレールを取り付けるために、取付け穴ピッチを従来の半分の長さにし、レール取付け時の真直性を向上させている。
- (4) 高剛性・高負荷容量を低摩擦で実現
鋼球数を大幅に増やすことにより、低摩擦でありながら高剛性・高負荷容量を実現している。

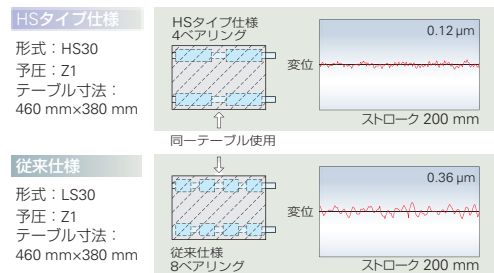
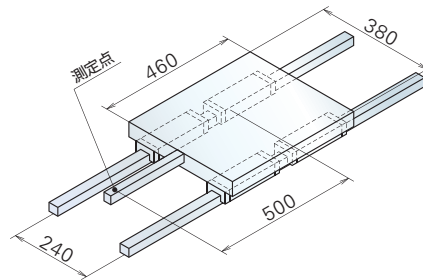


図1 転動体通過振動実装データ
Fig. 1 Comparison of ball passage vibration levels

(5) コンパクト化

高剛性・高負荷容量であるHSタイプは、従来品からのサイズダウンが可能であり、機械のコンパクト化を図ることができる。

(6) ステンレス品にも対応

さまざまなニーズに柔軟に対応できるように、耐食性の高いステンレス品も用意されている。

可能である。

(2) 精度と予圧

- ・精度等級は超々精密級 (P3), 超精密級 (P4) および精密級 (P5) の3種類を用意している。
- ・予圧は, 微予圧 (Z1) と中予圧 (Z3) の2種類を用意している。

(3) オプション

- ・長期メンテナンスフリーを実現する潤滑ユニット “NSK K1™” も装着可能である。

2. 仕様

ハイアキュラシーシリーズHSタイプに用意されている形式とベアリング形状を表1に示す。

また, そのなかのAL形式 (角型ベアリング形状) を代表として, その主要寸法を表2に示す。

(1) 形状, 寸法

- ・ベアリングの長さは, LSシリーズ標準品の約2倍に伸ばしている。
- ・フランジ型ベアリングの取付けタップ穴は, キリ穴としても使用でき, 上下両方向からの固定が可能である。

3. 用途

コンパクトなLSシリーズをベースとして開発されたHSタイプは, 低摩擦とコンパクト性が重視されており, 高い測定精度の要求される精密測定機をはじめ, 高品質な加工精度が要求されるダイサー, スライサー, 各種半導体製造装置, 液晶製造装置などに最適である。

4. まとめ

ここでは, 新開発の超高精度NSKリニアガイド “ハイアキュラシーシリーズ” のなかから, HSタイプを紹介した。

工作機械の分野向けにはHAタイプ, また, 半導体製造装置・液晶製造装置の分野向けにはHSタイプをシリーズ化し, さまざまな市場における精密機器の高精度化要求に応えることが可能となった。

ミクロンオーダーからナノオーダーへとさらに高まってきている高精度化要求に対しても応えられるよう, 今後もリニアガイドの開発を積極的に進めていく。

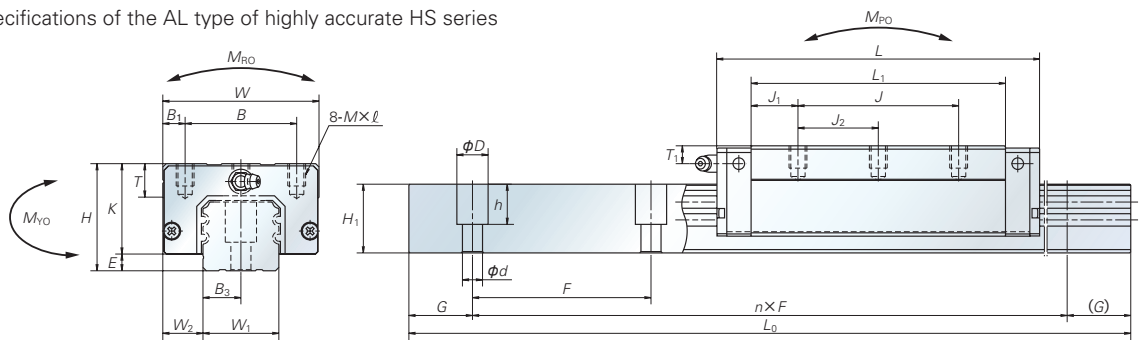
表1 形式とベアリング形状

Table 1 Two types of highly accurate HS series

形式	ベアリング形状	
	AL:角型	EM:フランジ型
HS15	○	○
HS20	○	○
HS25	○	○
HS30	○	○
HS35	○	○

表2 主要寸法

Table 2 Specifications of the AL type of highly accurate HS series



形式	組立品寸法				ベアリング寸法											基本定格荷重					ボール径		質量 (kg)									
	高さ H	幅 E	W ₂	W	長さ L	取付穴位置 B	取付けタップ穴 J ₂	M×ピッチ×ℓ	B ₁	L ₁	J ₁	K	T	グリースニップル			取付ボルト穴 φD	D	最大長さ L ₀ max	動定格 C(N)	静定格 Co(N)	静モーメント(N・m) M _{RO}		M _{PO}	M _{YO}	D _w	ボール径 (mm)					
														取付穴 φd	T ₁	N												W ₁	H ₁	F	φ×D×h	B ₃
HS15AL	24	4.6	9.5	34	106	26	60	30	M4×0.7×6	4	89.2	14.6	19.4	10	φ3	6	3	15	12.5	30	(*)3.5×6×8.5 4.5×7.5×8.5	7.5	20	2 000 (1 700)	15 300	40 000	199	395	335	2.778	0.34	1.4
HS20AL	28	6	11	42	119.7	32	80	40	M5×0.8×7	5	102.5	11.25	22	12	M6×0.75	5.5	11	20	15.5	30	6×9.5×10.5	10	20	3 960 (3 500)	20 400	52 000	350	590	495	3.175	0.52	2.3
HS25AL	33	7	12.5	48	148	35	100	50	M6×1×9	6.5	126.4	13.2	26	12	M6×0.75	7	11	23	18	30	7×11×12	11.5	20	3 960 (3 500)	32 000	78 000	605	1 090	910	3.968	0.85	3.1
HS30AL	42	9	16	60	176.1	40	120	60	M8×1.25×12	10	150.7	15.35	33	13	M6×0.75	8	11	28	23	40	7×11×16	14	20	4 000 (3 500)	51 500	127 000	1 190	2 120	1 780	4.762	1.7	4.8
HS35AL	48	10.5	18	70	203.6	50	140	70	M8×1.25×12	10	175.6	17.8	37.5	14	M6×0.75	8.5	11	34	27.5	40	9×14×20	17	20	4 000 (3 500)	71 500	172 000	1 980	3 350	2 820	5.556	2.5	7.0

(*)基本定格荷重、(M3用3.5×6×8.5)を標準とします。M4用(4.5×7.5×8.5)をご要求の場合は指定願います。カッコ内寸法はステンレス品に適用します。

食品機械・医療機器用NSKリニアガイド™

Linear Guides for Food Machines and Medical Devices

人体に摂取または接触する可能性のある製品を取り扱う食品機械、医療機器およびその周辺設備は、その機械や機器から生じ、製品に接触または付着する物質の安全性を確保する必要がある。

転がり軸受などに代表される、鋼球などを転動体として使用する機械要素の一つがリニアガイドであるが、これらを円滑に作動させているのがグリースやオイルなどの潤滑剤である。しかし、転がり軸受とリニアガイドを比較すると、構造上で大きく異なる点がある。それはリニアガイドのレールは軌道面（ボール溝）を露出せざるを得ないところである。そのため潤滑剤が垂れ落ちたり飛散したりすれば、製品などに直接付着することも容易に予測される。また、食品機械の多くは機械の主要な部分を洗浄剤や殺菌剤を用いて丸洗いする場合があります。それらに使用されるリニアガイドでは、潤滑剤の劣化や流出により、耐久性劣化や早期損傷が発生するという問題があった。さらに、環境負荷物質の削減が急速に進んでいる昨今、食品機械業界

を中心に潤滑剤そのものの有害性を指摘されることも少なくない。

これらの問題に対して、NSKでは食品機械や医療機器などの高度な衛生管理が必要な機器向けとして、安全性の高い潤滑グリースと、高い潤滑性を維持し長期メンテナンスフリーを可能とする潤滑ユニット“NSK K1™”を標準採用したリニアガイドをシリーズ化した（写真1）。

1. 特長・仕様

(1) 高い安全性

米国農務省（USDA）、米国科学財団（NSF）最高規格 H1 クラス認証の潤滑グリースと、米国食品医薬局（FDA）規格に適合した食品機械・医療機器用潤滑ユニット“NSK K1”を標準採用し、高い安全性を確保している。

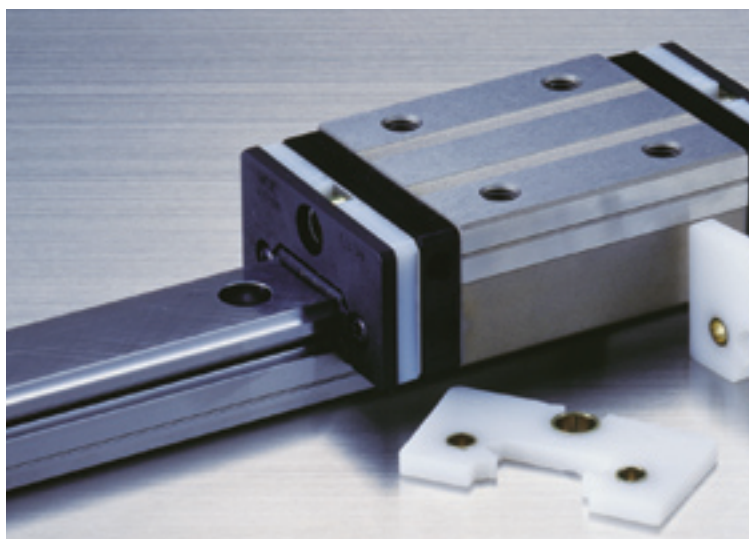


写真1 食品機械・医療機器用NSKリニアガイド™

Photo 1 NSK linear guide for food machines and medical devices

表 1 食品機械・医療機器用 NSK リニアガイドの水没耐久試験条件
Table 1 Endurance test condition of NSK linear guide for food machines and medical devices submerged in water

試料	LS30AL (材質: ステンレス鋼)
走行条件	日(24時間)/週 水没走行後 水を抜き6日間連続走行
送り速度	平均 30 m/min
ストローク	400 mm
荷重条件	18 800 N/テーブル (4 700 N/ベアリング)
潤滑条件	1.食品機械用グリース+標準ダブルシール 2.食品機械用グリース+ "NSK K1" +標準シール

(2) 長期メンテナンスフリー化

食品機械・医療機器用潤滑ユニット "NSK K1" の標準採用により、長期間のメンテナンスフリーを可能とし、また、食品機械などのように水洗浄によりグリースが洗い流される環境においても、高い潤滑性と耐久性を実現している (表 1, 写真 2, 図 1) .

(3) グリースの流出と飛散を防止

グリース封入量の適正化を行うことで、潤滑剤の流出や飛散による製品の汚染や周囲環境の汚染防止に配慮している .

(4) 包装材の安全性

食品衛生法の容器包装規格に適合した安全性の高い包装材を使用している .

(5) 幅広いシリーズとサイズに対応

5 シリーズ・17 型番のラインナップを取りそろえており、様々なニーズへの迅速な対応を可能にしている (表 2) .

(6) 環境負荷物質管理に対応

RoHS 指令などに代表される環境負荷物質規制にも適合している .

2. 用 途

食品加工機、食品包装機、医療用包装機などの高度な衛生管理が必要な使用環境で用いられる機器に適している .

3. ま と め

今後、安全性への規制が厳しくなる中でシリーズ拡充を行い、さらなる展開によりユーザーのニーズに応えていきたい.

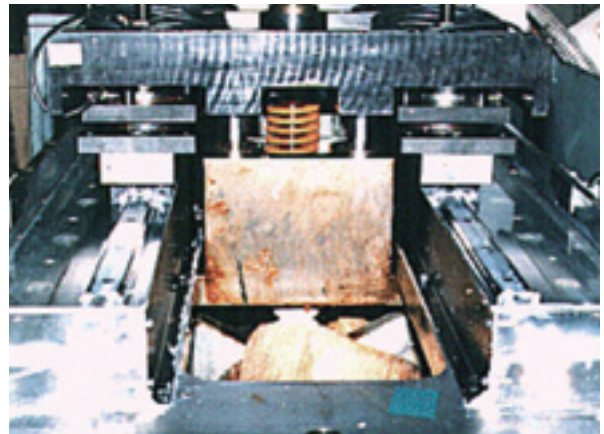


写真 2 食品機械・医療機器用 NSK リニアガイドの水没耐久試験装置
Photo 2 Endurance test of NSK linear guide for food machines and medical devices

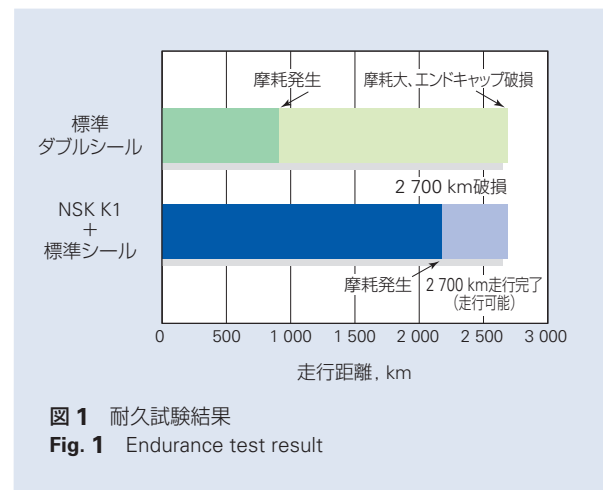


図 1 耐久試験結果
Fig. 1 Endurance test result

表 2 食品機械・医療機器用 NSK リニアガイドの対応型番
Table 2 Applicable series and sizes of NSK linear guides for food machines and medical devices

分類	シリーズ	型番
一般	LHシリーズ	LH15,20,25,30
	LSシリーズ	LS15,20,25,30
ミニアチュア	PUシリーズ	PU09,12,15
	PEシリーズ	PE09,12,15
幅広	LWシリーズ	LW17,21,27

本社	TEL.03-3495-8200(代)	FAX.03-3495-8240	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
産機販売統括部	TEL.03-3779-7282(代)	FAX.03-3779-8698	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
アフターマーケット販売統括部	TEL.03-3779-7278(代)	FAX.03-3495-8241	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
営業推進部	TEL.03-3495-8208(代)	FAX.03-3495-8241	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
第一営業部	TEL.03-3779-7251(代)	FAX.03-3495-8241	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
第二営業部	TEL.06-6945-8158(代)	FAX.06-6945-8175	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26 (大阪日精ビル 8F) 〒540-0031
販売技術統括部	TEL.03-3779-7315(代)	FAX.03-3779-7437	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
中部地域	TEL.052-249-5720(代)	FAX.052-249-5711	愛知県名古屋市中区新栄 2-1-9 (雲竜フレックスビル西館 2F) 〒460-0007
西日本地域	TEL.06-6945-8168(代)	FAX.06-6945-8177	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26 (大阪日精ビル 5F) 〒540-0031
東北支社	TEL.022-261-3735(代)	FAX.022-261-3768	宮城県仙台市青葉区一番町 1-2-25 (仙台 NS ビル 7F) 〒980-0811
日立支社	TEL.0294-28-1501(代)	FAX.0294-28-1503	茨城県日立市大みか町 4-13-23 (ナフコビル 3F) 〒319-1221
北関東支社	TEL.027-321-2700(代)	FAX.027-321-2666	群馬県高崎市栄町 16-11 (高崎イーストタワー 2F) 〒370-0841
長岡営業所	TEL.0258-36-6360(代)	FAX.0258-36-6390	新潟県長岡市東坂之上町 2-1-1 (三井生命長岡ビル 7F) 〒940-0066
東京支社第一営業部	TEL.03-3779-7302(代)	FAX.03-3779-7437	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
札幌営業所	TEL.011-231-1400(代)	FAX.011-251-2917	北海道札幌市中央区北二条東 11-23 〒060-0032
宇都宮営業所	TEL.028-624-5664(代)	FAX.028-624-5674	栃木県宇都宮市今泉 3-9-4 (NA 宇都宮ビル 1F) 〒321-0966
東京支社第二営業部	TEL.03-3779-7312(代)	FAX.03-3779-7437	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8575
西関東支社	TEL.046-223-9911(代)	FAX.046-223-9910	神奈川県厚木市中町 2-6-10 (東武太朋ビル 5F) 〒243-0018
長野支社	TEL.0266-58-8800(代)	FAX.0266-58-7817	長野県諏訪市中洲 5336-2 (諏訪貿易流通会館轟ビル 4F) 〒392-0015
上田営業所	TEL.0268-26-6811(代)	FAX.0268-26-6813	長野県上田市大手 1-6-4 〒386-0024
静岡支社	TEL.054-253-7310(代)	FAX.054-275-6030	静岡県静岡市葵区伝馬町 9-1 (河村ビル 4F) 〒420-0858
名古屋支社	TEL.052-249-5700(代)	FAX.052-249-5701	愛知県名古屋市中区新栄 2-1-9 (雲竜フレックスビル西館 2F) 〒460-0007
大阪支社第一営業部	TEL.06-6945-8156(代)	FAX.06-6945-8174	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26 (大阪日精ビル 6F) 〒540-0031
京滋営業所	TEL.077-564-7551(代)	FAX.077-564-7623	滋賀県草津市大路 1-8-1 (南洋軒ビル 5F) 〒525-0032
大阪支社第二営業部	TEL.06-6945-8154(代)	FAX.06-6945-8173	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26 (大阪日精ビル 7F) 〒540-0031
松山営業所	TEL.089-941-2445(代)	FAX.089-941-2538	愛媛県松山市千舟町 4-6-1 (フコク生命ビル 6F) 〒790-0011
兵庫支社	TEL.079-289-1521(代)	FAX.079-289-1675	兵庫県姫路市南駅前町 100 (パラシオ第 2 ビル 8F) 〒670-0962
中国支社	TEL.082-285-7760(代)	FAX.082-283-9491	広島県広島市南区大州 3-7-19 (広島日精ビル 3F) 〒732-0802
福山営業所	TEL.084-954-6501(代)	FAX.084-954-6502	広島県福山市曙町 5-29-10 〒721-0952
九州支社	TEL.092-451-5671(代)	FAX.092-474-5060	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-10-35 (JT 博多ビル 8F) 〒812-0013

NSKプレジジョン株式会社

本社	TEL.03-3779-7219(代)	FAX.03-3779-7434	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
営業本部	TEL.03-3779-7402(代)	FAX.03-3779-7434	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
直動推進部	TEL.03-3779-7309(代)	FAX.03-3779-7434	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
メカトロ推進部	TEL.03-3495-8144(代)	FAX.03-3779-7434	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
東日本支社	TEL.03-3779-7289(代)	FAX.03-3779-7435	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
宇都宮営業所	TEL.028-624-5664(代)	FAX.028-624-5674	栃木県宇都宮市今泉 3-9-4 (NA 宇都宮ビル 1F) 〒321-0966
西東京支社	TEL.042-645-7021(代)	FAX.042-645-7022	東京都八王子市明神町 4-7-14 (八王子 ON ビル 8F) 〒192-0046
厚木営業所	TEL.046-223-9914(代)	FAX.046-223-9910	神奈川県厚木市中町 2-6-10 (東武太朋ビル 5F) 〒243-0018
北関東支社	TEL.027-310-5007(代)	FAX.027-321-2666	群馬県高崎市栄町 16-11 (高崎イーストタワー 2F) 〒370-0841
長野支社	TEL.0266-58-8800(代)	FAX.0266-58-7817	長野県諏訪市中洲 5336-2 (諏訪貿易流通会館轟ビル 4F) 〒392-0015
甲府営業所	TEL.055-222-0711(代)	FAX.055-224-5229	山梨県甲府市住吉 2-3-23 (中沢ビル) 〒400-0851
静岡支社	TEL.054-253-7310(代)	FAX.054-275-6030	静岡県静岡市葵区伝馬町 9-1 (河村ビル 4F) 〒420-0858
名古屋支社	TEL.052-249-5710(代)	FAX.052-249-5711	愛知県名古屋市中区新栄 2-1-9 (雲竜フレックスビル西館 2F) 〒460-0007
北陸支社	TEL.076-242-5261(代)	FAX.076-242-5264	石川県金沢市八日市 1-770 〒921-8064
京滋支社	TEL.077-564-7551(代)	FAX.077-564-7623	滋賀県草津市大路 1-8-1 (南洋軒ビル 5F) 〒525-0032
関西支社	TEL.06-6945-8164(代)	FAX.06-6945-8176	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26 (大阪日精ビル 5F) 〒540-0031
中国支社	TEL.082-285-7760(代)	FAX.082-283-9491	広島県広島市南区大州 3-7-19 (広島日精ビル) 〒732-0802
福山営業所	TEL.084-954-6501(代)	FAX.084-954-6502	広島県福山市曙町 5-29-10 〒721-0952
西日本支社	TEL.092-451-5671(代)	FAX.092-474-5060	福岡県福岡市博多区博多駅東 2-10-35 (JT 博多ビル 8F) 〒812-0013
熊本営業所	TEL.096-337-2771(代)	FAX.096-348-0672	熊本県熊本市楠 8-16-50 〒861-8003

日本精工株式会社

本社	TEL.03-3779-7111(代)	FAX.03-3779-7431	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
産業機械軸受本部	TEL.03-3779-7227(代)	FAX.03-3779-7644	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
アフターマーケット事業本部	TEL.03-3779-8893(代)	FAX.03-3779-7644	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
自動車事業本部	TEL.03-3779-7189(代)	FAX.03-3779-7917	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
精機本部	TEL.03-3779-7163(代)	FAX.03-3779-7644	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
東日本自動車第一部(厚木)	TEL.046-223-8881(代)	FAX.046-223-8880	神奈川県厚木市中町 2-6-10 (東武太朋ビル 5F) 〒243-0018
東日本自動車第一部(富士)	TEL.0545-57-1311(代)	FAX.0545-57-1310	静岡県富士市永田町 1-124-2 (明治安田生命富士ビル 2F) 〒417-0055
東日本自動車第二部(大崎)	TEL.03-3779-7361(代)	FAX.03-3779-7439	東京都品川区大崎 1-6-3 (日精ビル) 〒141-8560
東日本自動車第二部(東海)	TEL.0566-71-5351(代)	FAX.0566-71-5365	愛知県安城市三河安城町 1-9-2 (第 2 東祥ビル 5F) 〒446-0056
東日本自動車第三部(宇都宮)	TEL.028-610-9805(代)	FAX.028-610-9806	栃木県宇都宮市東宿郷 2-2-1 (ビッグ・ビー スクエア 7F) 〒321-0953
東日本自動車第三部(東海)	TEL.0566-71-5260(代)	FAX.0566-71-5365	愛知県安城市三河安城町 1-9-2 (第 2 東祥ビル 5F) 〒446-0056
東日本自動車第四部	TEL.027-321-3434(代)	FAX.027-321-3476	群馬県高崎市栄町 16-11 (高崎イーストタワー 3F) 〒370-0841
中部日本自動車部(豊田)	TEL.0565-31-1920(代)	FAX.0565-31-3929	愛知県豊田市下市場町 5-10 〒471-0875
中部日本浜松自動車部	TEL.053-456-1161(代)	FAX.053-453-6150	静岡県浜松市中区板屋町 111-2 (浜松アクトタワー 19F) 〒430-7719
西日本自動車部(大阪)	TEL.06-6945-8169(代)	FAX.06-6945-8179	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26 (大阪日精ビル 5F) 〒540-0031
西日本自動車部(広島)	TEL.082-284-6501(代)	FAX.082-284-6533	広島県広島市南区大州 3-7-19 〒732-0802

お問い合わせ：当社コールセンターまたは、もよりの支社・営業所にお申し付けください。

■ベアリング・精機製品関連 (ボールねじ・リニアガイド・モノキャリア) ☎ 0120-502-260

■メガトルクモータ・XY モジュール ☎ 0120-446-040

日本精工株式会社は、外国為替及び外国貿易法等により規制されている製品・技術については、法令に違反して輸出しないことを基本方針としております。規制に該当する当社製品を輸出される場合は、同法に基づく輸出許可を取得されますようお願い致します。なお、当社製品の輸出に際しては、兵器・武器関連用途に使用されることのないよう十分留意下さるようお願い致します。

無断転載を禁ずる

このカタログの内容については、技術的進歩及び改良に対応するため製品の的外観、仕様などは予告なしに変更することがあります。なお、カタログの制作には正確を期するために細心の注意を払いましたが、誤記脱漏による損害については責任を負いかねます。

NSK TECHNICAL JOURNAL

FEBRUARY 2009 No. 683

印刷 平成 21 年 3 月 19 日
発行 平成 21 年 3 月 19 日
編集人 正田 義雄
発行人 永島 雅美
印刷所 久下印刷株式会社
発行所 **日本精工株式会社**
広報部 TEL 03-3779-7050
東京都品川区大崎 1-6-3 日精ビル

非売品

無断転載を禁ずる

このジャーナルの内容については、技術的進歩及び改良に対応するため製品の的外観、仕様などは予告なしに変更することがあります。
なお、ジャーナルの制作には正確を期するため細心の注意を払いましたが、誤記脱漏による損害については責任を負いかねます。



日本精工株式会社



円滑でくらしやすい地球のために

この印刷物は環境に配慮した用紙・印刷方法を採用しています。