

# NSK TECHNICAL JOURNAL

JANUARY • 2016

## No. 688



## NSK TECHNICAL JOURNAL

JANUARY・2016

No. 688

**解説・論文**

- X線CTを用いた玉軸受内部の潤滑グリースの可視化及び  
数値解析の妥当性確認 ..... 野田 隆史, 宮田 慎司, 谷口 雅人 1
- X線CTを用いた玉軸受内部のグリース挙動の可視化  
..... 野田 隆史, 柴崎 健一, 宮田 慎司 5
- グリースによる低トルク化技術とモータ用軸受への応用  
..... 渡部 絵里, 戸田 雄次郎, 横内 敦 9
- 耐水グリース技術と軸受への技術展開 ..... 稲見 宣行, 外尾 道太, 横内 敦 13
- トランスミッション用トルクセンサ付き軸受ユニットの開発 ..... 植田 徹, 齋藤 智治 17
- トランスミッション用 油流制御機能付き・  
一体型スラストニードルベアリングの開発 ..... 定村 正紀, 近藤 豊 25
- EPSウォーム減速ギヤ用低フリクショングリースの開発  
..... 清田 晴彦, 小池 徹也, 山本 武士 29
- 微細操作用マニピュレーションシステムの開発 ..... 田中 申明 35
- ボールねじの摩擦特性安定化技術 ..... 新井 寛 45

**商品紹介**

- 新興国市場向け高信頼性クラッチリリース軸受 ..... 52
- 小型軽量プラネタリ用ニードル軸受 ..... 54
- アイドラ・テンショナ用高速高密封シール付き玉軸受 ..... 56
- 歯科エアタービン用軸受シリーズ ..... 58
- 高速圧延機用長寿命密封4列円すいころ軸受 ..... 60
- NSKHPS™ 高負荷駆動用ボールねじサポート用スラストアンギュラ玉軸受  
NSKTAC03 ..... 62
- グリース低飛散L1シール付きボールねじ ..... 64
- タフキャリア™ ..... 66
- 従来比2倍以上の長寿命NSKリニアガイド™ NHシリーズ, NSシリーズ ..... 68
- メガトルクモータ™ “PBシリーズ” ..... 70

# NSK TECHNICAL JOURNAL

JANUARY·2016 **No. 688**

## **Technical Papers**

Visualization of Lubricating Grease in Ball Bearing using X-ray CT and Validation of Digital Simulation .....	T. Noda, S. Miyata, M. Taniguchi	1
Visualization of Grease Behavior in Ball Bearing using X-ray CT .....	T. Noda, K. Shibasaki, S. Miyata	5
Low Torque Technology by Grease and the Application to the Motor Bearings .....	E. Watabe, Y. Toda, A. Yokouchi	9
Water Resistant Technology for Grease and Application to Bearings .....	N. Inami, M. Hokao, A. Yokouchi	13
Development of Bearing Units with Torque Sensors for Automotive Transmissions .....	T. Ueda, T. Saito	17
Development of Automotive Transmission Thrust Needle Roller Bearings with Integrated Washer and Oil-Flow Control .....	M. Sadamura, Y. Kondou	25
Development of Low-Friction Grease for EPS Worm Reduction Gear .....	H. Kiyota, T. Koike, T. Yamamoto	29
Development of Micro Manipulation System .....	N. Tanaka	35
Strategy for Frictional Behavior Control in Ball Screws .....	S. Arai	45

## **New Products**

High-Reliability Clutch Release Bearings for Emerging Markets .....		52
Compact, Lightweight Planetary Needle Bearings .....		54
Idler/Tensioner Bearings with High-Speed Capabilities and Excellent Sealing Performance .....		56
Dental Air-Turbine Bearings .....		58
Long-Life, Four-Row Tapered Roller Bearings for High-Speed Rolling Mills .....		60
NSKTAC03 NSKHPS Angular Contact Thrust Ball Bearings for Ball Screw Support in High-Load Drive Applications .....		62
Ball Screws with Minimal Grease-Splatter L1 Seals .....		64
TOUGHCARRIER .....		66
NH Series and NS Series NSK Linear Guides; More than Twice the Life of Conventional NSK Linear Guides .....		68
MEGATORQUE MOTOR PB Series .....		70

# X線CTを用いた玉軸受内部の潤滑グリースの可視化及び数値解析の妥当性確認

野田 隆史\*, 宮田 慎司\*, 谷口 雅人\*



野田 隆史



宮田 慎司

## Visualization of Lubricating Grease in Ball Bearing using X-ray CT and Validation of Digital Simulation

T. Noda, S. Miyata, M. Taniguchi



谷口 雅人

一般社団法人 日本トライボロジー学会 の転載承認を得て、トライボロジー会議予稿集 2011-05 から転載.

1. 緒言
2. 測定条件
3. 測定結果
4. 考察
  - 4.1 グリース分布に関する考察
  - 4.2 チャーニング・チャンネルングに関する考察
  - 4.3 数値解析の妥当性確認
5. 結言

## 1. 緒言

グリース潤滑において軸受寿命の延長を図る際、軸受に密封されたグリースの流動、形状や分布といったグリース状態について情報を入手することが好ましい。従来より軸受に封入したグリースを目視により観察することは、グリースの漏れや飛散を防ぐ目的で取り付けられたシールが弊害となり極めて困難であった。シールを取り外すことで、ある程度の直接観察は可能となるが、シールを除去する際にシール面に付着して剥ぎ取られてしまうグリースがあるため、その状態を正確に把握することは難しい。グリース観察の先行技術として、例えば着色グリースや放射性グリースを用いて転がり軸受における主流や分流を観察する方法<sup>1)</sup>や、シールを装着せずに高速度カメラを用いて直接観察する方法<sup>2)</sup>が実施されている。しかしこれらの方法で観察できるものは、前者はグリースの定性的、定量的な移動情報、後者は外気に露出したグリースの表面形状に限定されるため、その内部状態について知見を得ることはできなかった。ここでグリースの

表面とはグリースと他の物質との境界面を、内部とはグリース表面で閉じた空間内を指している。本研究では、前述のようなグリース観察に伴う様々な困難、課題を克服すべく、非破壊検査技術を駆使して、グリースを封入した軸受のX線CT撮影を実施し、シール装着時の軸受断層像からグリースの内部状態を観察した。

## 2. 測定条件

試験片には高耐食樹脂軸受のアクアベアリング6001QT-3を用いた。この軸受は、内・外輪がフッ素系樹脂とカーボン繊維の複合材である繊維強化型特殊フッ素系樹脂、保持器が耐食性、自己潤滑性に優れたフッ素樹脂、及び特殊ガラス球の転動体で構成されている。潤滑剤としてウレア系グリースを空間体積の53%封入した。

\* 日本精工株式会社

### 3. 測定結果

断面の位置は **Fig. 1** 左において、軸受左端、右端をそれぞれ 0, 1 とした Z 座標 で表す。 **Figure 1** 右は  $Z = 0.36$  における軸受の CT 画像である。 CT 画像は、X 線の透過度に応じたグレースケールにより表現される。 X 線を透過し難い物質は淡く、逆に空気など X 線を透過しやすいものは濃い色となる。 本実験において最も濃く表示される物質は空気である。 また同程度の X 線透過度を有する物質は、同様の濃淡となる。 **Figure 1** において CT 画像の濃淡を比較することにより、内・外輪、保持器、転動体、及びグリースを明確に識別できることが分かる。 本手法ではグリース内部状態の他に、気泡や異物の有無についても判別が可能である。

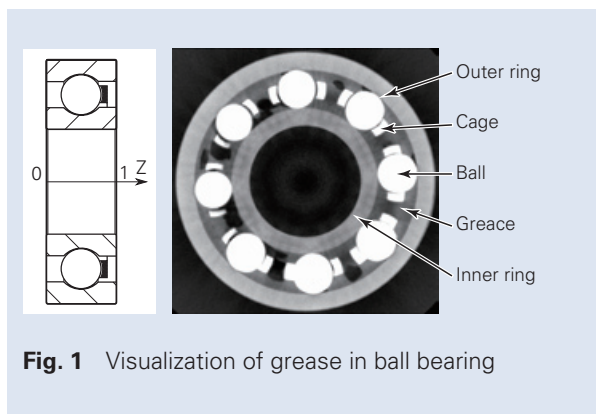
### 4. 考察

本章では軸受回転によるグリース状態の変化を考察するために、前章で使用したアクアベアリングを軸方向荷重 10 N、600 rpm で内輪回転させた。

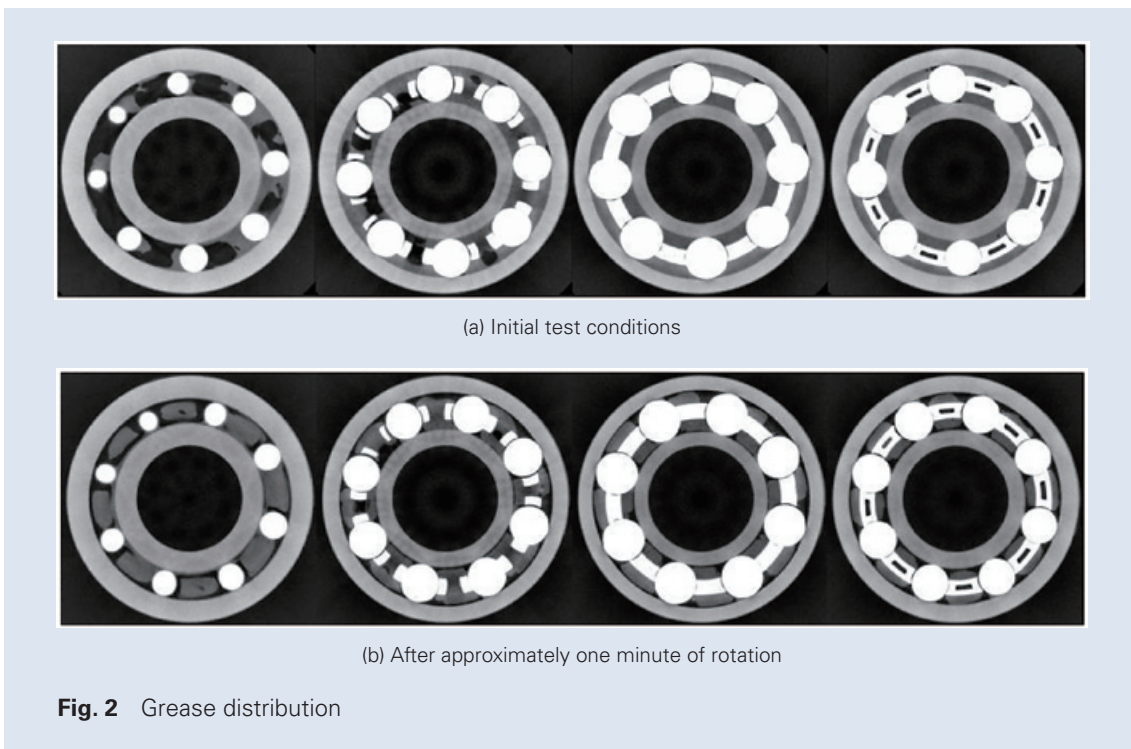
#### 4.1 グリース分布に関する考察

初期及び回転 1 分後の CT 画像をそれぞれ **Fig. 2** (a), (b) に示す。 断面位置は左から  $Z = 0.29, 0.36, 0.44, 0.63$  である。

**Figure 2** より回転前後のグリース状態の変化が鮮明に撮影できていることが分かる。 回転後の CT 画像から、せん断が寄与し易い内・外輪や転動体近傍においてグリースが排除されていることが見てとれる。 各断面において転動体間にグリースが均等に分布していること、またそれらの形状が各々相似形を成していることも特徴として観察できる。 従ってグリース封入時にその分布に若干の偏りがあったとしても、軸受回転による転走面からの排除、あるいは巻き込みや移動等の過程を経ることで、グリースは転動体間で均等に均されていくものと考えられる。



**Fig. 1** Visualization of grease in ball bearing



**Fig. 2** Grease distribution

#### 4.2 チャーニング・チャンネルリングに関する考察

グリース潤滑で興味深い現象のひとつに、チャーニングからチャンネルリングへの潤滑形態の遷移がある。一般に軸受を回すとグリースは転走面から排除されて(チャーニング期)シールや溝肩といった潤滑に寄与しない部位に堆積する(チャンネルリング期)と言われている。本節では観察位置を固定して、軸受回転前後のCT画像から上記現象を考察した。初期、回転1分後及び5分後におけるグリース状態を Fig. 3 (a) ~ (c) に示す。断面位置はそれぞれ左から  $Z = 0.29, 0.36, 0.63$  である。尚、前述の通りグリース状態の転動体間における差異は僅かであるため、本サンプリングは実験結果を適切に反映しているといえる。

Figure 3 (a), (b) より、回転初期の段階でグリースが大移動しており、この期間が激しいグリース攪拌

が起こるチャーニング期であることが分かる。一方、Fig. 3 (b), (c) によると、両者のグリース形状は殆ど変化していない。すなわちこれらは既にグリースが転走面から排除されたチャンネルリングの状態であると考えられる。この状態は回転から10分後もほぼ不変であった。

従って本実験によると、チャーニング期からチャンネルリング期へは数分程度の間に移行したと考えられる。軸受トルクが定常に至るには数十分程度かかると言われているが、グリースは極短時間の内に安定な位置に落ち着き、バルクとしては定常な状態に至ると考えられる。また Fig. 3 (b), (c) は、一旦排除されたグリースが再び転走面に戻り難いことも示しており、せん断がかかり難いシールや保持器周辺には、潤滑に寄与しないグリースが堆積することが確認された。

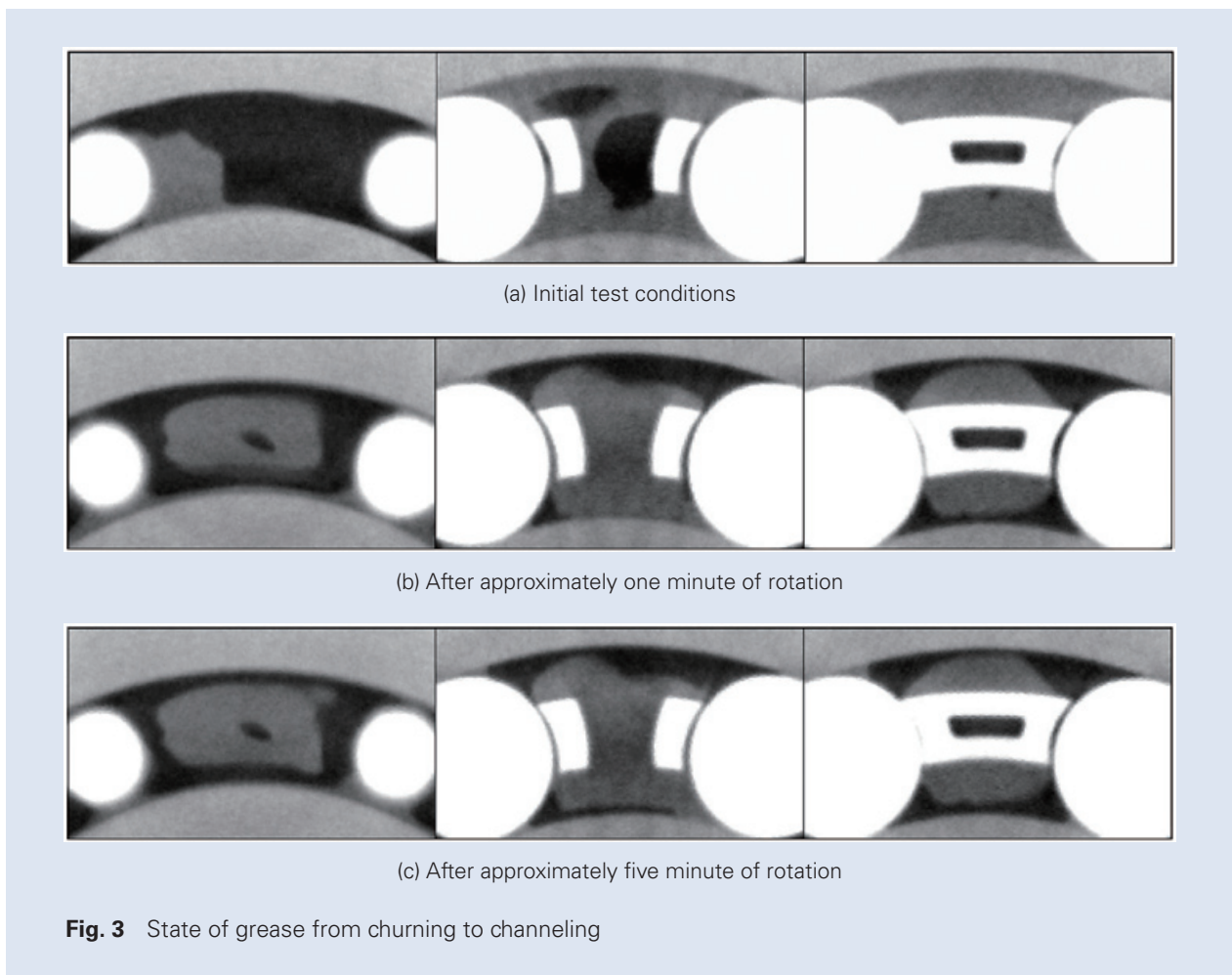
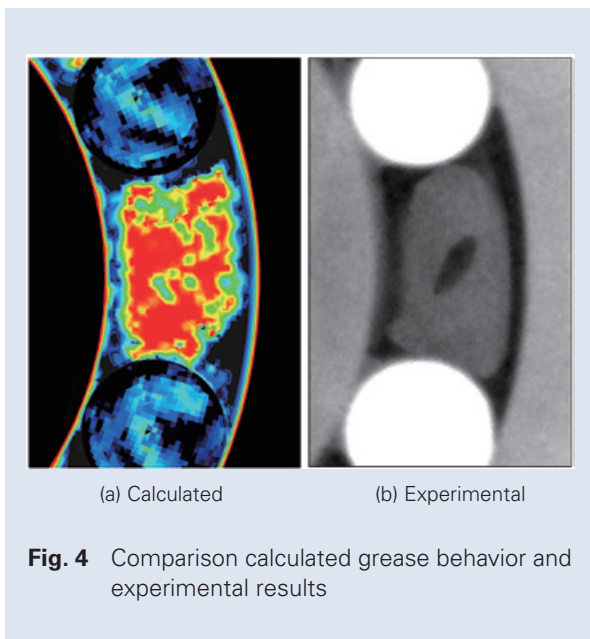


Fig. 3 State of grease from churning to channeling

### 4.3 数値解析の妥当性確認

著者らが実施した潤滑グリースの気液二相流解析<sup>2)</sup>の妥当性について検証する。Figure 4 (a), (b)に計算, 実験結果を示す。断面位置は  $Z = 0.31$  である。計算結果は、黒色は空気、その他の領域はグリースを示し、粘度をカラーコンターにより表している。チャンネリング期におけるグリースと空気の分布や付着状態が、両者で定性的に一致していることが分かる。従って既報にて実施した数値解析は妥当であることが本実験により確認された。



### 5. 結言

X線CTを用いた断層撮影により、軸受内部のグリース状態を可視化した。グリースのチャーニングからチャンネリングへの形態遷移を複数の断面において確認した。著者らが実施した潤滑グリースの気液二相流解析<sup>2)</sup>の妥当性を本実験により示した。

#### 参考文献

- 1) 正野崎・重松・浦井: 玉軸受中におけるグリースの挙動, 潤滑, 8, 4 (1963) pp.237-242.
- 2) 野田・宮田・谷口: 玉軸受における潤滑グリースの気液二相流解析及び実験的検証, トライボロジー会議予稿集(東京 2010-5) pp.243-244.

# X線CTを用いた玉軸受内部の グリース挙動の可視化

野田 隆史\*, 柴崎 健一\*, 宮田 慎司\*



野田 隆史



柴崎 健一

## Visualization of Grease Behavior in Ball Bearing using X-ray CT

T. Noda, K. Shibasaki, S. Miyata



宮田 慎司

一般社団法人 日本トライボロジー学会 の転載承認を得て、トライボロジー会議予稿集 2012-05 から転載。

1. 緒言
2. CT 画像概要と測定条件
3. 測定結果
4. チャーニング・チャンネルリングに関する考察
5. 結言

### 1. 緒言

グリース潤滑で軸受寿命の延長を図る際、軸受に密封されたグリースの挙動を把握することが重要である。筆者らは軸受内部のグリースをX線CT (Computed Tomography) を用いて可視化した<sup>1)</sup>。グリースのX線透過性と適合するよう軸受の構成部品を選択することにより、虚像の発生を抑えたCT画像を入手し、それに基づきチャーニングからチャンネルリングへの潤滑形態の遷移について考察した。グリース界面の形状が時間的に変化しないことから、これをチャンネルリング状態にあると判断した一方で、グリースの内部については、グレースケール(白黒画像の濃淡情報)の差異から流動の有無を確認することができなかった。そこで本稿では、チャンネルリング状態について更なる知見を得るため、線吸収係数の異なる二種類のグリースを併用し、流脈をマーブル模様としてグレースケールに反映させることで、グリース内部の流動状態を観察した。

### 2. CT 画像概要と測定条件

本稿ではCT画像を8ビット256階調のグレースケールで扱った。グレースケールは、X線制御器の設定や被写体の構成要素及び大きさにより同じ物質でも変化する。従って今回、グレースケールの絶対値については吟味せず、構成部品間の相対差に注目した。

試験片には内・外輪がフッ素系樹脂とカーボン繊維の複合材である繊維強化型特殊フッ素樹脂、保持器はフッ素樹脂、特殊ガラス球の転動体で構成される6001系軸受を用いた。潤滑剤はウレア系とバリウム系の二種類のグリースを用いた。各々の組成及び物性をTable 1に示す。X線制御器の設定は管電圧55 kV、管電流260 mAとした。初期状態を撮影した後600 rpmで内輪回転させて、1分後、5分後の状態を再度撮影した。

\* 日本精工株式会社



**Table 1** Physical properties and composition of two greases

Lubricant	Thickener	Base Oil	Base Oil Kinetic Viscosity [mm <sup>2</sup> /s] (40 degrees Celsius)	Density [g/ cm <sup>3</sup> ]	Worked Penetration
Urea grease	Urea	POE	30.5	0.93	264
Barium grease	Barium Complex Soap	MO + Ester	23.0	0.99	280

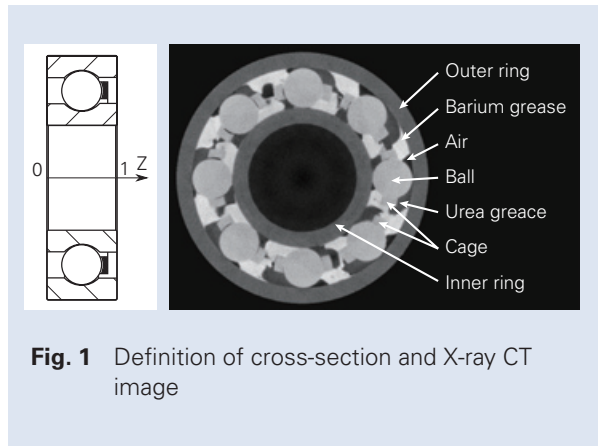
**3. 測定結果**

断面の位置は **Fig. 1** 左に示すように、軸受左端、右端をそれぞれ 0、1 とした Z 座標で表す。 **Figure 1** 右は Z = 0.38 におけるグリース封入直後の CT 画像である。

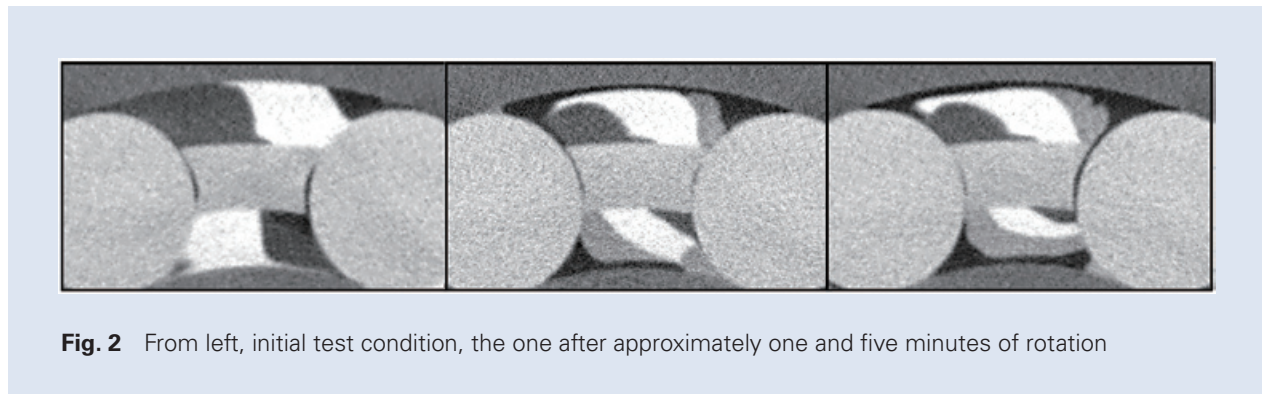
**4. チャーニング・チャンネリングに関する考察**

初期、1 分後、5 分後の Z = 0.5 におけるグリース状態を **Fig. 2** に示す。1 分後にグリースと内・外

輪、転動体との間に空気の層が現れたことが見てとれる。これは摩擦面に接触するグリースが、断面内のせん断の影響が小さい場所もしくは他の断面に移動した結果生じたものと考えられる。またその内部は、分子粘性によってせん断の方向に変形していることが分かる。この傾向はせん断速度の大きい内輪側の方が顕著であった。バリウムグリース(白色)の右上部と左下部に付着している灰色のグリースは、ウレアとバリウムグリースが混ざった中間色を示しており、これは攪拌、すなわちチャーニングの過程を経たことを裏付けるものと考えられる。5 分後の CT 画像からは、初期の 1 分間に類似する変化はあまり確認できず、1 分後と同等の形状、分布を成していることが見てとれる。しかし一方で、1 分後に内輪と転動体のくさび領域に挟まれていたグリースは、5 分後には空気に代わっており、一部では依然として流動が生じていたことが分かる。本測定で確認された、摩擦面とそれに付着するグリースが巻き込みや引きずりを経た後、空気を介して隔たること、また保持器上に堆積するグリースがその状態を維持することなどは、従来からのチャンネリングに関する知見<sup>2)</sup>と概ね一致するものである。尚、本条件では、グリースが初期の原型を留めないほど激しく攪拌されることはなく、表層を主とした比較的緩やかな流動が支配的であった。



**Fig. 1** Definition of cross-section and X-ray CT image



**Fig. 2** From left, initial test condition, the one after approximately one and five minutes of rotation

Figure 1 右を 256 階調でスペクトル表示した Fig. 3 上より、各部位のグレースケールの位置関係が明らかとなった。空気、ウレア、バリウムグリースが各々重複していないことから、CT 画像上で互いに判別が可能である一方、同程度に位置する保持器と転動体は、両者の区別が容易でないことが分かる。Figure 3 下に、各グレースケールが占めるピクセル和の変化率を示す。実線  $\delta_1$  は 1 分後から初期、鎖線  $\delta_5$  は 5 分後から 1 分後の、ピクセル和の差分をグレースケール毎にとったもので、軸受自体のピクセルを含まない空気とグリースの挙動のみが反映されたデータ

となっている。グラフから初期の 1 分間において変動が顕著なチャージングを、続く 4 分間で微小なチャージングの特徴を確認することができた。グリースの挙動に注目すると、ウレア、バリウムグリース共に各断面において減少しており、その減少分が攪拌された混合グリースの増分としてグレースケール 100 ~ 150 に主に確認された。混合グリースの増分は、軸受中央部と比較して外側の  $Z = 0.25, 0.75$  において際立っていることから、攪拌されたグリースは転走面から排除されて外側に移動したと推測できる。

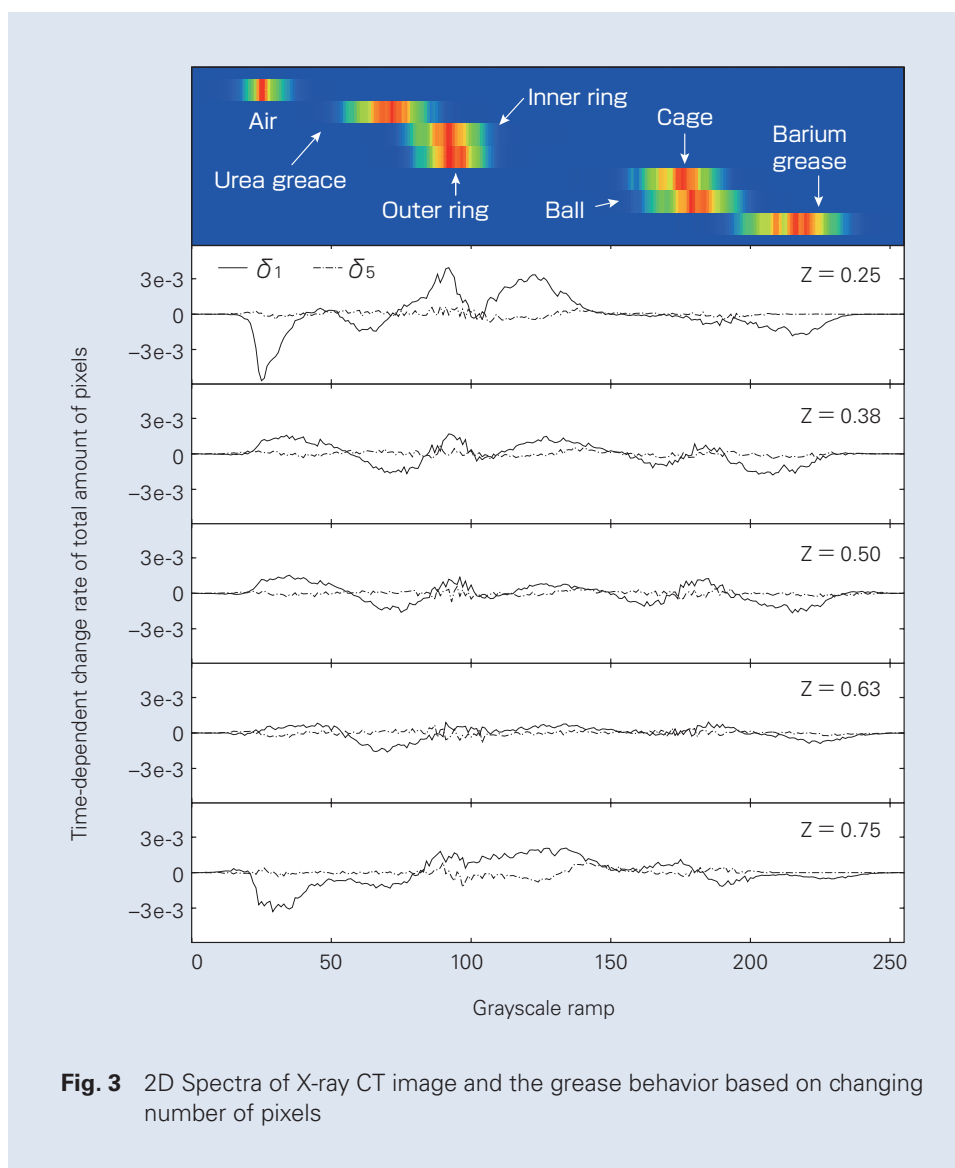
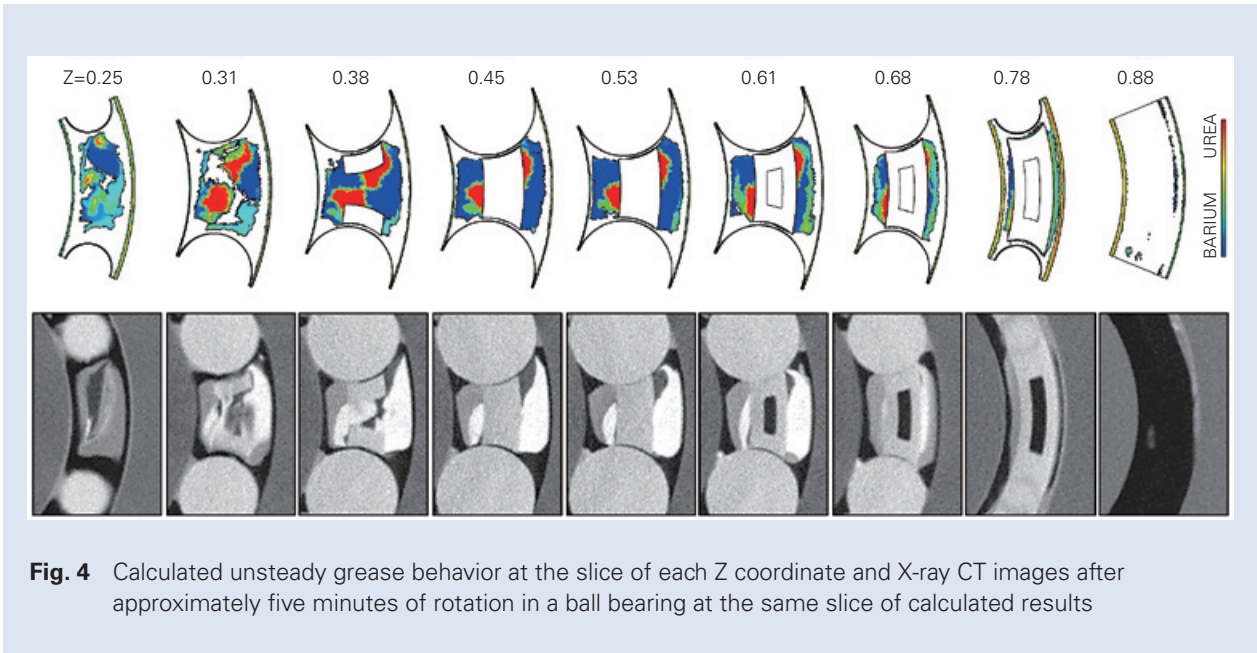


Fig. 3 2D Spectra of X-ray CT image and the grease behavior based on changing number of pixels



**Fig. 4** Calculated unsteady grease behavior at the slice of each Z coordinate and X-ray CT images after approximately five minutes of rotation in a ball bearing at the same slice of calculated results

**Figure 4** に本測定と同条件で実施した数値解析結果を示す。解析手法は既報<sup>1)</sup>と同等で、ウレア、バリウムグリースの非ニュートン粘性を各相の物性に適用した。グリース形状や内部の変形状態が、両者で定性的に一致していることが見てとれる。グリースと摩擦面との間に空気が介在するチャンネルング状態になると、グリースが保持器上に堆積して挙動が安定する様子が、数値解析においても同様に確認された。

参考文献

- 1) 野田・宮田・谷口：X線CTを用いた玉軸受内部の潤滑グリースの可視化及び数値解析の妥当性確認、トライボロジー会議予稿集（東京 2011-5）273.
- 2) 例えば、鈴木：ころがり軸受内のグリースの潤滑挙動、潤滑、19、4（1974）252.

**5. 結言**

線吸収係数の異なる二種類のグリースを用いた玉軸受のX線CT撮影により、グリース内部の流動状態を可視化し、チャンネルングに関する様々な知見を得た。以上を数値解析により再現し、その妥当性を示した。

# グリースによる低トルク化技術と モータ用軸受への応用

渡部 絵里\*, 戸田 雄次郎\*, 横内 敦\*



渡部 絵里



戸田 雄次郎

## Low Torque Technology by Grease and the Application to the Motor Bearings

E. Watabe, Y. Toda, A. Yokouchi



横内 敦

一般社団法人 日本トライボロジー学会 の転載承認を得て、トライボロジー会議予稿集 2013-05 から転載。

1. はじめに
2. 実験方法
  - 2.1 供試グリース
  - 2.2 試験法
    - 2.2.1 降伏応力測定
    - 2.2.2 軸受トルク試験
    - 2.2.3 音響耐久試験
    - 2.2.4 軸受油膜形成性試験
3. 結果および考察
  - 3.1 グリースの降伏応力
  - 3.2 新規 Li 石けんの軸受トルク性能
  - 3.3 モータ用軸受への応用
4. まとめ

## 1. はじめに

モータの省電力化の要求を背景に、軸受の低トルク化への要求が高まっている。一般的に軸受トルクは接触部での摩擦抵抗、軸受内部での潤滑剤の攪拌抵抗から構成される。グリースの低トルク化の一般的な手法としては、攪拌抵抗を低減するため、低粘度基油の使用、増ちょう剤低減、封入量抑制等が行なわれている。しかし油膜厚さの減少、離油増大による早期潤滑不良、耐久性の不足等の懸念があるため、我々はこれらの手法に代わる低トルク化技術についての研究を行っている。

グリース封入転がり軸受において、チャネリングやチャーニングに表されるグリース流動特性が軸受トルク特性に影響することが知られている<sup>1)</sup>。特に小型

モータ用軸受では、軸受トルク全体の60～80%がグリース攪拌抵抗に起因することから、本研究ではグリースのチャネリングに着目し、軸受内部の攪拌量を抑制することによる低トルク化の手法を試みた。

小型モータ用軸受には、低トルク性のほかに、回転時の静音性を長期維持することが要求される。本研究では増ちょう剤としてチャネリング性を高く維持しながらも強固な油膜を形成する新規 Li 石けんを選定し、モータ用軸受の低トルク化に応用した事例を報告する。

\* 日本精工株式会社

2. 実験方法

2.1 供試グリース

試験に供したグリースの組成と性状を **Table 1** に示す。グリース A は増ちょう剤に 12-ヒドロキシステアリン酸リチウム (Li-12OH) を用いたグリースであり、モータ用軸受に広く使用されているものである。グリース B から F は Li-12OH とカプリン酸リチウムを 2 種類使用した新規 Li 石けん増ちょう剤を用いたグリースであり、増ちょう剤量を変えることにより、グリースのチャネリング特性を変えている。新規 Li 石けんは Li-12OH よりも構造が強固で、滴点が高いことを特徴としている。添加剤は グリース A と F のみに一般的な酸化防止剤を配合している。

2.2 試験方法

2.2.1 降伏応力測定

グリースの流動特性として降伏応力をレオメータにより測定した。平行プレートを用い、周波数 10 Hz、温度 30 °C のオシレーション条件でせん断応力を 10 Pa から 5 000 Pa に増加させたときの貯蔵弾性率  $G'$  および損失弾性率  $G''$  を測定した。降伏応力は損失正接  $\tan\delta (= G''/G')$  が 1 となるときのせん断応力とした<sup>2)</sup>。

2.2.2 軸受トルク試験

深溝玉軸受 (内径  $\phi 8 \times$  外径  $\phi 22 \times$  幅 7) を用いて軸受トルク試験を実施した。試験条件は回転数  $1\,800\text{ min}^{-1}$ 、アキシアル荷重 29.4 N、室温である。グリースは軸受内部空間容積の 30 % となる量を封入し、試験開始 60 分後のトルクを回転トルクとした。

2.2.3 音響耐久試験

深溝玉軸受 (内径  $\phi 8 \times$  外径  $\phi 22 \times$  幅 7) を用い、グリースは軸受内部空間容積の 30 % となる量を封入し、音響耐久試験に供した。雰囲気温度 120 °C、アキシアル荷重を 29.4 N、内輪回転速度  $1\,800\text{ min}^{-1}$  で軸受を回転させ、一定時間経過後に軸受を取り出し、アンデロンメータで振動測定を行なった。音響寿命は、アンデロン値 (ハイバンド) が 8 を超えるまでの時間とした。

2.2.4 軸受油膜形成性試験

回転中の軸受内部の油膜形成性を確認するため、分離度の測定を行い、油膜厚さの算出を行なった。深溝玉軸受 (内径  $\phi 25 \times$  外径  $\phi 62 \times$  幅 17) を用い、グリースは軸受内部空間容積の 30 % となる量を封入し、雰囲気温度 100 °C、アキシアル荷重を 29.4 N、内輪回転速度  $600\text{ min}^{-1}$  で軸受を回転させた。基油の場合は 0.06 g 封入した。

Table 1 Properties of greases

Grease	A	B	C	D	E	F
Base oil type	Ester A	Ester B				
Base oil viscosity at 40 °C, mm <sup>2</sup> /s	26	34				
Thickener type	Li-12OH	Li-12OH / Li-capric acid				
Thickener concentration, %	12	5.5	7.5	12	13.5	13.5
Worked penetration	250	290	244	200	180	200
Dropping point, °C	190	198	202	202	204	200
Additive	○	—	—	—	—	○

### 3. 結果および考察

#### 3.1 グリースの降伏応力

著者らは Li-12OH の増ちょう剤を用いたグリースの降伏応力とトルクの関係について検討し、エステル油との組み合わせで降伏応力が大きくなること、降伏応力が大きいほどチャネリング性が高く、軸受内部でのグリース攪拌量が少なくなり低トルクとなることを報告している<sup>3)</sup>。本研究では、従来から汎用的に使用されている Li-12OH よりさらにトルク低減を図るため、滴点を高くした新規 Li 石けんを用いたグリースの特性について調査した。

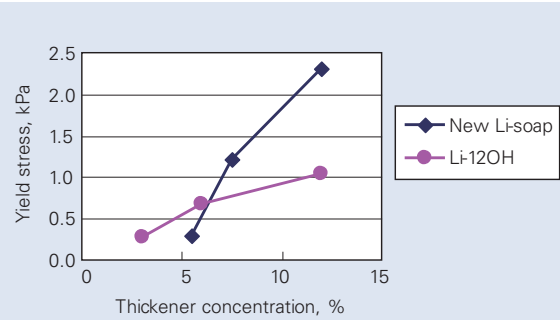
**Fig. 1** に増ちょう剤量と降伏応力の関係を示す。新規 Li 石けんグリースは Li-12OH と同じ増ちょう剤量で降伏応力が大きくなることが分かった。新規 Li 石けんは Li-12OH よりも増ちょう剤繊維による基油を保持する能力が高く、強固なグリース構造をしていると考えられる。

また、せん断による降伏応力の変化を調査した結果を **Fig. 2** に示す。100℃ で 24 h せん断をかけると、グリース A は初期の降伏応力のおよそ 1% 程度まで減少するのに対し、グリース F はせん断後も初期の 40% 程度までの減少にとどまり、せん断による降伏応力の変化が小さいことが分かった。

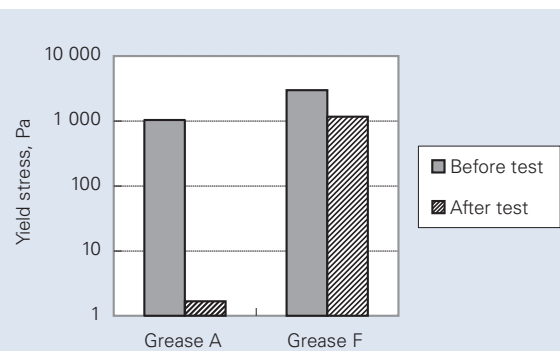
新規 Li 石けんを用いることにより、同じ増ちょう剤量でも Li-12OH よりも降伏応力を大きくし、せん断による変化も小さくできることが明らかとなった。

#### 3.2 新規 Li 石けんの軸受トルク性能

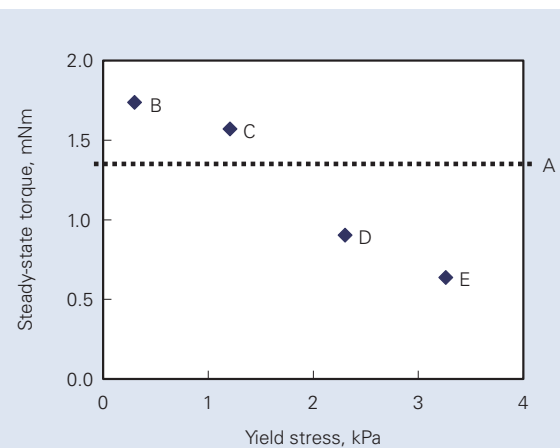
新規 Li 石けんを用いた場合についても、軸受トルクを測定し、降伏応力とトルクを **Fig. 3** に示した。トルク試験は一般的な小型モータを想定した試験条件で行った。降伏応力が高いグリースは回転トルクが低くなる傾向が見られ、グリース E ではグリース A の約 50% トルクが低減することを確認した。



**Fig. 1** Yield stress of the greases with different thickener concentration.



**Fig. 2** Yield stress of the greases around before and after shearing tests.



**Fig. 3** Relationship between yield stress and steady-state torque.

### 3.3 モータ用軸受への応用

低トルク性が確認できたことから、モータ用グリースで重要な性能の一つである長期静音性について確認を行った。

グリース A とグリース F を軸受に封入し、音響寿命試験を行ったところ、グリース A はアンデロン値が 8 を超えるまでに約 2 000 時間であるのに対し、グリース F は 5 000 時間と、音響寿命を 2 倍以上延長することができた。100 °C における軸受内部の油膜厚さを測定した結果を Fig. 4 に示す。グリース A は基油よりも薄い油膜となるのに対し、グリース F は基油よりも厚い油膜となることが確認できた。トルク低減のため繊維構造を強化した新規増ちょう剤は、基油と増ちょう剤が分離しにくく、摩擦面にグリースを巻き込んで潤滑し、増ちょう剤の作用により油膜を安定に保持したため、静音性にも効果が得られたと考えられる。

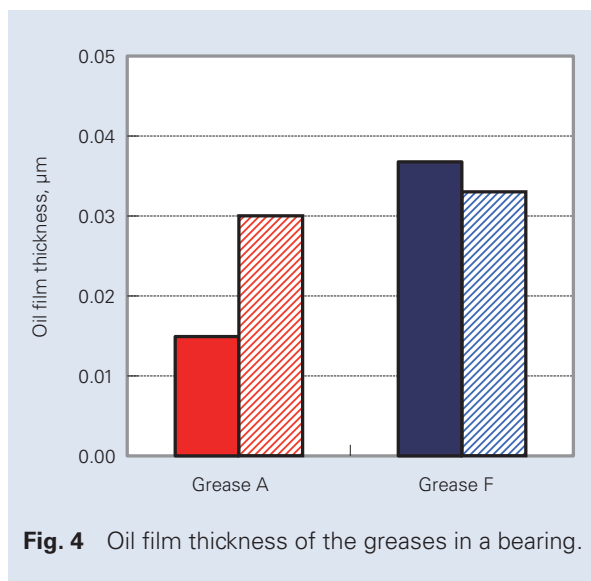


Fig. 4 Oil film thickness of the greases in a bearing.

### 4. まとめ

以上より、グリースの低トルク化に関する研究を行った結果、以下の知見を得た。

- ・新規 Li 石けんグリースは Li-12OH と同じ増ちょう剤量で降伏応力を大きくすることができ、せん断による変化も抑えられることがわかった。
- ・新規 Li 石けんグリースは、従来の Li-12OH グリースに比べトルクを低減できることが確認できた。
- ・新規 Li 石けんは、高温でも安定な油膜を形成し、長期静音性を向上する効果も確認できた。

#### 参考文献

- 1) 星野:グリースの流動特性とこがり軸受におけるトルク(第2報), 潤滑, 25, 8 (1980) 555-561.
- 2) Couronné, I., Blettner, G. and Vergne, P., Rheological Behavior of Grease: Part I - Effects of Composition and Structure, Tribology Transactions, 43, 4 (2000) 619-626.
- 3) Oikawa, E., Inami, N., Hokao, M., Yokouchi, A., Sugimura, J.: Bearing torque characteristics of lithium soap greases with some synthetic base oils, Proc. IMechE Part J: J. Engineering Tribology, 226, 6 (2012) 575-583.

# 耐水グリース技術と軸受への技術展開

稲見 宣行\*, 外尾 道太\*, 横内 敦\*



稲見 宣行



外尾 道太

## Water Resistant Technology for Grease and Application to Bearings

N. Inami, M. Hokao, A. Yokouchi



横内 敦

一般社団法人 日本トライボロジー学会 の転載承認を得て、トライボロジー会議予稿集 2013-05 から転載.

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. 緒言</li> <li>2. 実験方法             <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 水分散状態測定</li> <li>2.2 油膜厚さ, トラクション係数測定</li> <li>2.3 はく離寿命要素試験</li> <li>2.4 酸化膜厚さ測定</li> <li>2.5 水混入軸受耐久試験</li> <li>2.6 トルク試験</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>3. グリース設計             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 耐水グリース技術</li> <li>3.2 低トルクグリース技術</li> </ul> </li> <li>4. グリース試作と軸受性能評価結果</li> <li>5. 結言</li> </ul> |
|---|--|

### 1. 緒言

自動車の生産量はグローバルに拡大し続けているが、それに伴い CO<sub>2</sub> の排出量も増加している。自動車産業にとって地球温暖化防止のための CO<sub>2</sub> 削減は重要な課題となっており、自動車の省燃費化のため軸受には更なる低トルク化が要求されている。

また昨今自動車需要が急激に拡大している新興国市場においては、雨量が多く道路インフラが未熟であることから、軸受が雨水に曝され水混入による早期損傷が懸念される<sup>1)</sup>。

本報では、低トルクが要求され、特に水に曝される機会の多いハブユニット軸受への適用を考慮した耐水グリースを試作し、軸受での性能評価を行った結果を報告する。

### 2. 実験方法

耐水性と低トルク性について以下の試験でメカニズム検証と軸受性能評価を行った。

#### 2.1 水分散状態測定

グリース中にイオン交換水を 20 wt% 均一に混合後、厚さ 20 μm でカバーガラスに挟み、顕微鏡でグリース中の水粒径の最大値を測定した。

#### 2.2 油膜厚さ, トラクション係数測定

光干渉法を用いた EHL (Elastohydrodynamic Lubrication) 試験機にてグリースの油膜厚さとトラクション係数を測定した。

\* 日本精工株式会社



### 2.3 はく離寿命要素試験

転がり四球試験機を用いて鋼球がはく離するまでの時間を計測した。グリースにイオン交換水を20 wt%均一に混合し、最大面圧4.1 GPa、回転速度1 200 r/minで試験を行った。

### 2.4 酸化膜厚さ測定

オージェ電子分光分析装置を用いて、軸受試験後の転走面の酸化膜厚さを測定した。軸受にはスラスト玉軸受(51305)を使用し、最大面圧2.4 GPa、回転数1 000 r/minで150 h運転後の転走面を分析した。酸化膜厚さは、転走面表面を深さ方向に分析していき酸素ピークが無くなる深さとした。

### 2.5 水混入軸受耐久試験

水混入条件下での軸受寿命を確認するため、軸受耐久試験を行った。深溝玉軸受(6017)を用い、ラジアル荷重15.7 kN、回転数1 000 r/minで給水を行いながら運転し、損傷が発生するまでの時間を計測した。

### 2.6 トルク試験

ハブユニット軸受において、車両の直進走行相当条件でのトルクを測定した。

## 3. グリース設計

### 3.1 耐水グリース技術

グリースに水が混入していない良好な潤滑では接触面には油膜が形成される。しかし、グリースに水が侵入すると油膜が薄くなり、転走面表面で金属接触や摩擦が発生したり、侵入した水が金属に接触して腐食やはく離が発生するため短寿命になると考えられる<sup>1)</sup>。

水混入条件下で寿命を延長するためには、水混入時に接触面に水を侵入させないことと、接触面に水が侵入した場合に転走面を保護することが重要になると考えられる<sup>2)</sup>。

水混入条件下で水がグリースに及ぼす影響を確認するため、グリース中の水の分散状態を観察した。

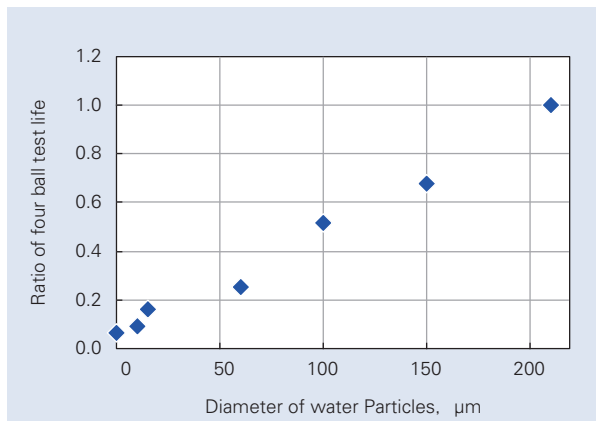
**Fig. 1**にグリース中の水粒径とはく離寿命の関係を示す。水粒径が大きいほどはく離寿命が長くなる結果となった。水粒径が大きいグリースはグリースから水が分離しやすいため、接触面に水が導入されにくく、はく離寿命が低下しにくくなったと考えられる。

水混入により油膜が薄くなった場合においては、転走面表面を不活性な酸化膜で保護することが有効であると考えられる。軸受転走面の酸化膜厚さとはく離寿命の関係を**Fig. 2**に示す。厚い酸化膜を形成するほど、はく離寿命は長くなる結果となった。

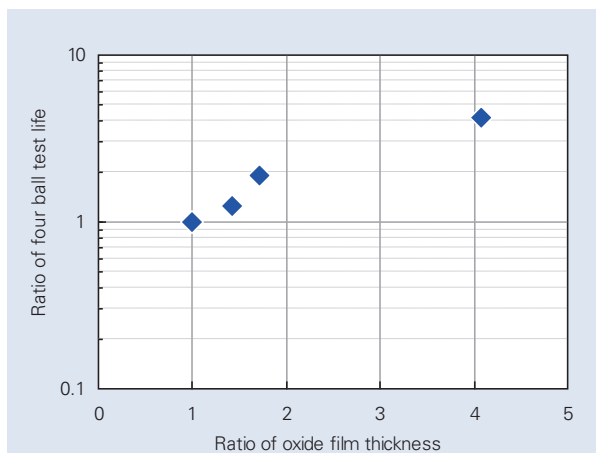
水混入条件下での軸受寿命を向上させるためには、水を分離し、転走面に厚い酸化膜を形成するグリース組成を選定することが有効であると考えられる。

### 3.2 低トルクグリース技術

一般的に軸受トルクは以下の式(1)で表されており、高速・低荷重領域では粘性項(右辺第2項)が支配的となり、低速・高荷重領域では荷重項(右辺第1項)の影響が大きくなる<sup>3)</sup>。



**Fig. 1** Correlation between diameter of water particles and the ratio of life



**Fig. 2** Correlation between oxide film thickness and the ratio of life

$$M = fWd_m(W/C_0)^c + f_0d_m^3(vN)^{2/3} \quad (1)$$

$M$ : 軸受トルク	$\nu$ : 潤滑油粘度
$W$ : 荷重	$N$ : 回転速度
$d_m$ : 軸受ピッチ円直径	$f, f_0, c$ : 定数
$C_0$ : 静定格荷重	

ハブユニット軸受は、走行中の自動車の車体を支えるだけでなく、剛性を高めるために高い予圧が与えられている。また、回転数は一般的な軸受よりも低い領域で使用される。このため、ハブユニット軸受のトルクは荷重項が支配的になると考えられ、潤滑下での摩擦特性の優れたグリースを選定することが低トルク化に有効であると考えられる。

接触域でのグリースの摩擦特性は高面圧下での油膜摩擦特性が影響していると考えられる。Fig. 3 に基油の圧力粘度係数とトラクション係数の関係を示す。圧力粘度係数が小さいほどトラクション係数は小さくなる結果となった。圧力粘度係数は圧力による粘度の変化のしやすさを示す指標であるため、接触域内での摩擦抵抗に関係が高くトラクション係数と相関が高くなったと考えられる。

低速・高荷重条件下での軸受トルクを低減するためには、圧力粘度係数が小さい基油を選定することが有効であると考えられる。

#### 4. グリース試作と軸受性能評価結果

上記の検証結果より、ハブユニット軸受での耐水性とトルク低減を狙ったグリース（試作品）を試作した。耐水性を向上させるために、水を分離し、酸化膜形成のよい組成とし、基油には低トルク化のため圧力粘度係数が小さい基油を選定した。

Fig. 4 に基油圧力粘度係数とハブユニット軸受トルク比の関係を示す。軸受トルク比は、従来品 1 のトルクを 1 としたときの比とした。圧力粘度係数の低い基油を用いた試作品はトルクが小さくなり、低速・高荷重の運転条件の軸受では基油の圧力粘度係数が小さいものを選定することでトルクを低減できることを確認した。

Fig. 5 に水混入条件下での軸受寿命試験結果を示す。試作品は、水粒径が大きく、酸化膜形成のよい組成としているため、水混入条件下でも軸受寿命が延長されることを確認した。

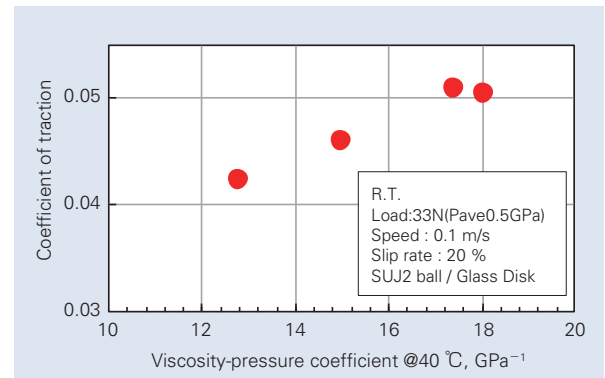


Fig. 3 Correlation between viscosity-pressure coefficient and coefficient of traction

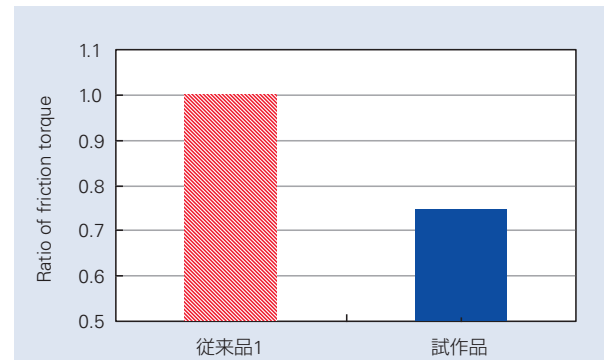


Fig. 4 Friction torque of bearing

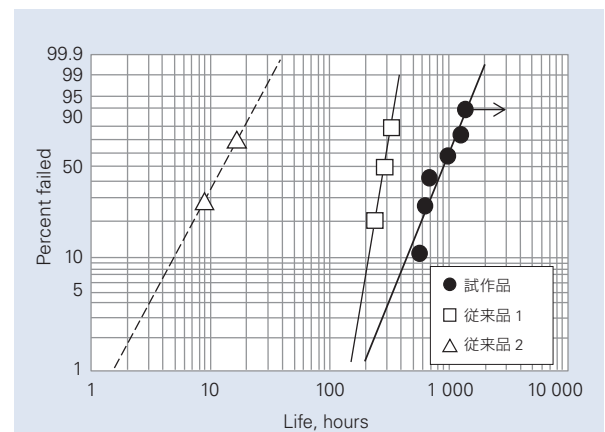


Fig. 5 Bearing life test

## 5. 結言

低トルクと水混入条件下での寿命延長を考慮した耐水グリースの軸受性能評価を行った結果、以下を確認した。

- ・ グリース中の水粒径を大きくし、厚い酸化膜を形成できるグリース組成とすることで、水混入条件下の軸受寿命を延長できる。
- ・ 低速・高荷重の運転条件の軸受では、圧力粘度係数が小さい基油を選定することでトルクを低減できる。

- 1) K. Ueda : Rolling Contact Fatigue Properties and Flaking Mechanism Under water Infiltrated Lubrication Condition, International Symposium on Rolling Elements Bearing 2007 (2007)
- 2) N. Inami, S. Nakatani, J. Kuraishi & A. Yokouchi : Extension of bearing life by grease additives in a water containing condition, International Tribology Conference Hiroshima 2011 (2011) B2-06
- 3) (社)日本トライボロジー学会グリース研究会：潤滑グリースの基礎と応用、養賢堂(2007) 122

# トランスミッション用トルクセンサ付き軸受ユニットの開発

植田 徹\*, 齋藤 智治\*



植田 徹

## Development of Bearing Units with Torque Sensors for Automotive Transmissions

T. Ueda, T. Saito



齋藤 智治

A bearing unit with torque sensors that allows for smaller, lighter, and more efficient transmissions, such as ATs (automatic transmissions) and belt CVTs (continuously variable transmissions), has been developed. Pulse phase detection by two sensors and encoders is used for measuring torque from the torsion angle of the shaft in this development. The sensors are attached to the outer ring and the encoders are attached to the inner ring of the bearing. Due to the bearing's small relative displacement between the outer ring and inner ring, a high-resolution torque measurement is achieved by reducing the gap change between the sensor and encoder while under the influence of torque and vibration. Furthermore, a compact design and a simple harness structure for wiring are enabled by locating the two encoders next to each other on the encoder shaft and molding the two sensors into one sensor case with the bearing.

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. まえがき</li> <li>2. 測定原理</li> <li>3. T/M トルク測定に関するこれまでの取組み             <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 従来開発品：ユニット 1 の構造</li> <li>3.2 従来開発品：ユニット 1 の評価結果と考察</li> <li>3.3 従来開発品：ユニット 2 の構造</li> <li>3.4 従来開発品：ユニット 2 の評価結果と考察</li> </ol> </li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. トルクセンサ付き軸受ユニットの特徴と性能評価結果             <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 トルクセンサ付き軸受ユニットの特徴</li> <li>4.2 評価方法</li> <li>4.3 トルクセンサ付き軸受ユニットの性能評価結果</li> </ol> </li> <li>5. あとがき</li> </ol> |
|--|--|

### 1. まえがき

近年、温室効果ガス排出に起因した地球温暖化等の環境問題や化石燃料の枯渇化等のエネルギー問題が深刻化する中、各種輸送機器の燃費改善が重要な課題となっている。

特に自動車においては、HEV、EV や高効率エンジン等の環境負荷が小さい技術の普及が進む一方で、新

興国での自動車需要の拡大など依然として環境やエネルギー問題への影響度は大きく、省燃費への期待は高い。また、先進国を中心として燃費規制の強化が進んでおり<sup>1), 2)</sup>、燃費基準をクリア出来なかった場合には、ペナルティを課す対策も取られている<sup>1)</sup>。そのため、新たな燃費向上技術の確立は喫緊の課題である。

\* 技術開発本部，未来技術開発センター，開発第二部

燃費を改善するため、自動車の変速機には、小型・軽量化や高効率化が求められている。アメリカや日本において、変速機の主流は、オートマチックトランスミッション（以下AT）、ベルト式無段変速機（以下B-CVT）等の自動変速機であり<sup>3)</sup>、自動変速機の効率向上は重要な課題である。ステップ式ATでは、エンジンから入ってくる動力を、遊星歯車を介してタイヤに伝えており、動力を伝達する歯車を切り替えることで変速している。動力を伝達する歯車の選択と解除は、油圧によるクラッチの圧着と切り離しにより行なっている。一方、B-CVTは、プーリとベルトを介して動力を伝達しており、ベルトを挟むプーリ間隔を変更することで、ベルトがプーリと接触する径を変更し、変速している。ステップ式ATのクラッチ制御と同様、ベルトへのプーリの押付けも油圧により行なわれている。

クラッチの圧着やプーリの押付けの油圧が小さいと、クラッチ間やベルトとプーリ間ですべりが発生し、動力を効率的に伝達できない。一方、油圧が大きいと油圧を発生させるポンプの損失が大きくなり、効率を悪化させる<sup>4)</sup>。また、高い油圧設定は、軸受等の周辺部品の寸法増加にも繋がるため、小型・軽量の観点からも燃費に不利である。すなわち、燃費向上には、すべりが発生しない範囲で、可能な限り油圧を低く設定することが重要である。

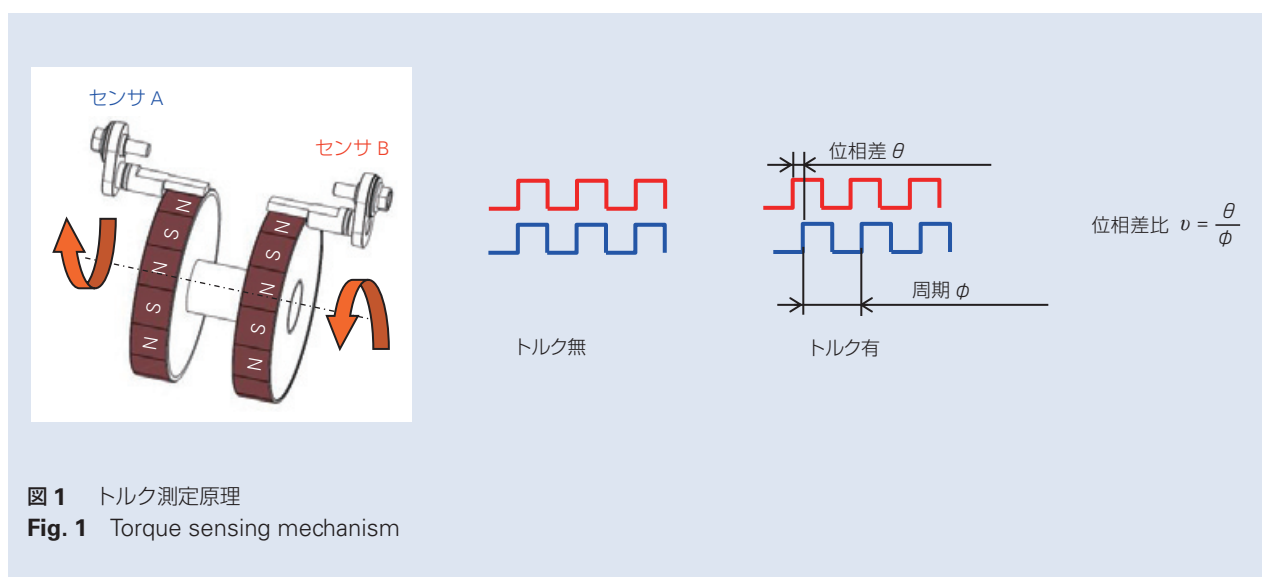
最適な油圧量は、駆動トルクに依存し、トルクが大きい場合には、油圧を高く、トルクが小さい場合には油圧を低く設定する必要がある。したがって、正確な

トルク値をリアルタイムに検出し、油圧制御にフィードバック出来れば、最適な油圧量の設定が可能になり、T/Mの効率向上や小型・軽量化に貢献することができる。

正確なトルク値は、T/M制御だけでなく、エンジン（以下E/G）制御においても重要な情報であることから、T/M軸<sup>5)</sup>やE/Gのクランクシャフト<sup>6)</sup>でトルクを測定する取り組みは、これまでも行われている。しかし、T/MやE/G用のトルクセンサが量産車で実用化された例は無い。NSKでは、T/M用トルクセンサの開発を試み、T/M内の軸受にセンサを取付け、実験段階ではあるが高精度なトルク測定を実現した。本報では、T/Mトルク測定に関するこれまでの取り組み<sup>7)-9)</sup>と今回開発した軸受一体型トルクセンサの特徴と性能について紹介する。

## 2. 測定原理

本開発品に適用したトルクの測定方式は、パルス位相差式である。ホールセンサと磁気エンコーダを用い、トルクに比例する軸のねじれ量からトルクを測定する。図1に、パルス位相差式のトルク測定原理を示す。一般的な、パルス位相差式でのトルク測定の場合、軸の両端にエンコーダを取り付け、エンコーダに対向する位置にそれぞれセンサを配置する。軸が回転し、センサ直下をエンコーダのN極が通過した場合にパルスが立ち上がる。軸に両端のエンコーダの位相を合わせて設置した場合、トルクが0で軸がねじれなければ、



両端のセンサが同じタイミングでパルスを検出する。すなわち位相差は発生しない。一方、トルクが発生し、軸がねじれると両端のセンサでパルスを検出するタイミングが異なり、位相差が発生する。位相差とねじれ角およびトルクは比例関係であるため、位相差からトルクを求めることが可能である。

ホールセンサと磁気エンコーダは、写真1に示すABSセンサ内蔵ハブユニット軸受の車輪回転数検出用として、市場で広く使用されており<sup>10)</sup>、本トルク測定は、その実績のある技術を応用した。

### 3. T/M トルク測定に関するこれまでの取り組み

NSKでは、これまでに2つの構造(ユニット1, 2)のT/Mトルクセンサユニットを開発し、評価を行った。測定対象は、エンジン横置きFF車(前置きエンジン・前輪駆動)のカウンタシャフトとした。カウンタシャフトは、多くのエンジン横置きFF車用自動変速機で類似の構造であり、他の軸と比較して部品点数が少なく、構造が単純であるため、トルク測定対象軸として選定した。

#### 3.1 従来開発品：ユニット1の構造

図2に、最初に試作したユニット1の構造を示す。ユニット1では、単純にエンコーダを軸の両端に取り付け、アルミ製試験ボックス(ハウジング)にセンサを固定して測定した。また、パルス位相差式でのトルク測定の場合、軸のねじれ量が大きいほど分解能は向上する。ユニット1では、軸のねじれ量を増加させるため、破損や塑性変形が生じない範囲で、軸中心部の径を小さくし、ねじれ量を増やした。

#### 3.2 従来開発品：ユニット1の評価結果と考察

図3に、ユニット1の評価結果を示す。図3の横軸はトルクの真値として扱っている市販トルク計の値、縦軸は図1で定義した位相差比 $\nu$ (位相差 $\theta$ をパルスの周期 $\phi$ で割った値)である。分解能は $\pm 100$  Nm (F.S. = 1 000 Nm) となり、十分な精度での測定は出来なかった。

分解能が不十分となった理由について以下に考察する。図3のグラフの傾きより求めたユニット1のゲインの測定値は、 $7.02 \times 10^{-5}$  (1/Nm)であった。一方、単純な軸のねじれ量の計算から求めたゲインは、 $3.07 \times 10^{-5}$  (1/Nm)である。ゲインの実測値が、計算値の2倍以上となっており、軸のねじれ量以上の位相差が生じたことを示唆している。



写真1 ABSセンサ内蔵ハブユニット軸受  
Photo 1 Hub unit bearings with ABS sensors

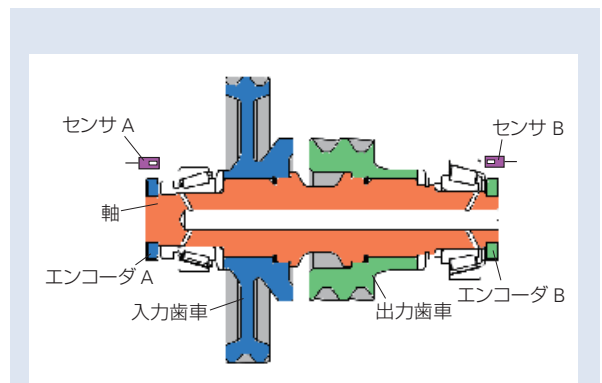


図2 従来開発品ユニット1の構造  
Fig. 2 Structure of the previously-developed Unit 1

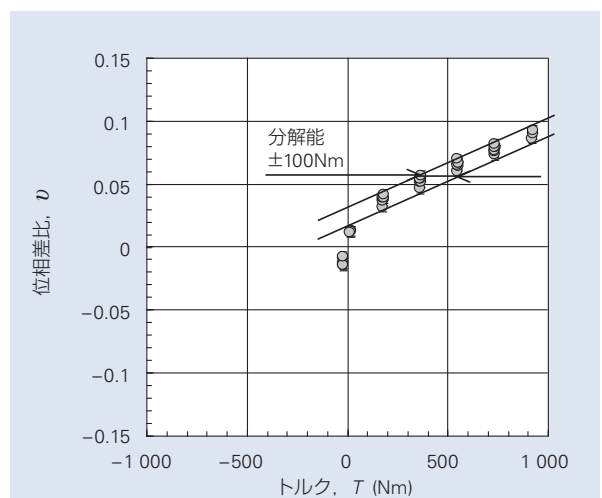


図3 ユニット1の評価結果  
Fig. 3 Test results for Unit 1

図4に、ユニット1の評価で、ゲインの実測値が、計算値より大きくなった原因について示す。図4に示すように、歯車反力によって軸受に作用するラジアル荷重の影響でアルミ製試験ボックスが変形し、軸の両端の軸受が異なる方向に変位した場合、軸の両端のエンコーダA、Bがそれぞれのセンサに対して異なる方向に変位する。そのため、軸がねじれなくても、エンコーダA、Bの相対変位により、位相差が発生し、測定ゲインの増大を引き起こしていると考えられる。

したがって、分解能を改善するためには試験ボックスの変形による2つのエンコーダ間の相対変位発生を抑制する必要がある。また、前述したように、パルス位相差式でのトルク測定の場合、軸のねじれ量が大きいほど分解能は向上するため、軸のねじれ量を増やすことで、更なる分解能の改善も期待できる。

### 3.3 従来開発品：ユニット2の構造

ユニット2では、ユニット1の結果を受け、分解能を向上させるため試験ボックス変形の影響低減と軸のねじれ量増大の対策を施した。

図5にユニット2の構造を示す。ユニット2では、

試験ボックス変形の影響を抑制するため、ユニット1で軸の両端にあったセンサとエンコーダを軸の片端に配置した。ユニット1の図2で軸の左端にあったエンコーダAは、エンコーダシャフトを介して軸の右端に移し、エンコーダBと並列した。エンコーダシャフトの左端は、入力歯車軸の左端の内径部に圧入固定されているため、軸の左端のねじれ変位を、エンコー

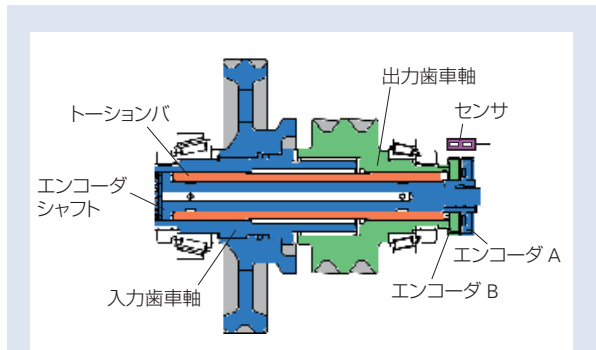


図5 従来開発品ユニット2の構造  
Fig. 5 Structure of the previously-developed Unit 2

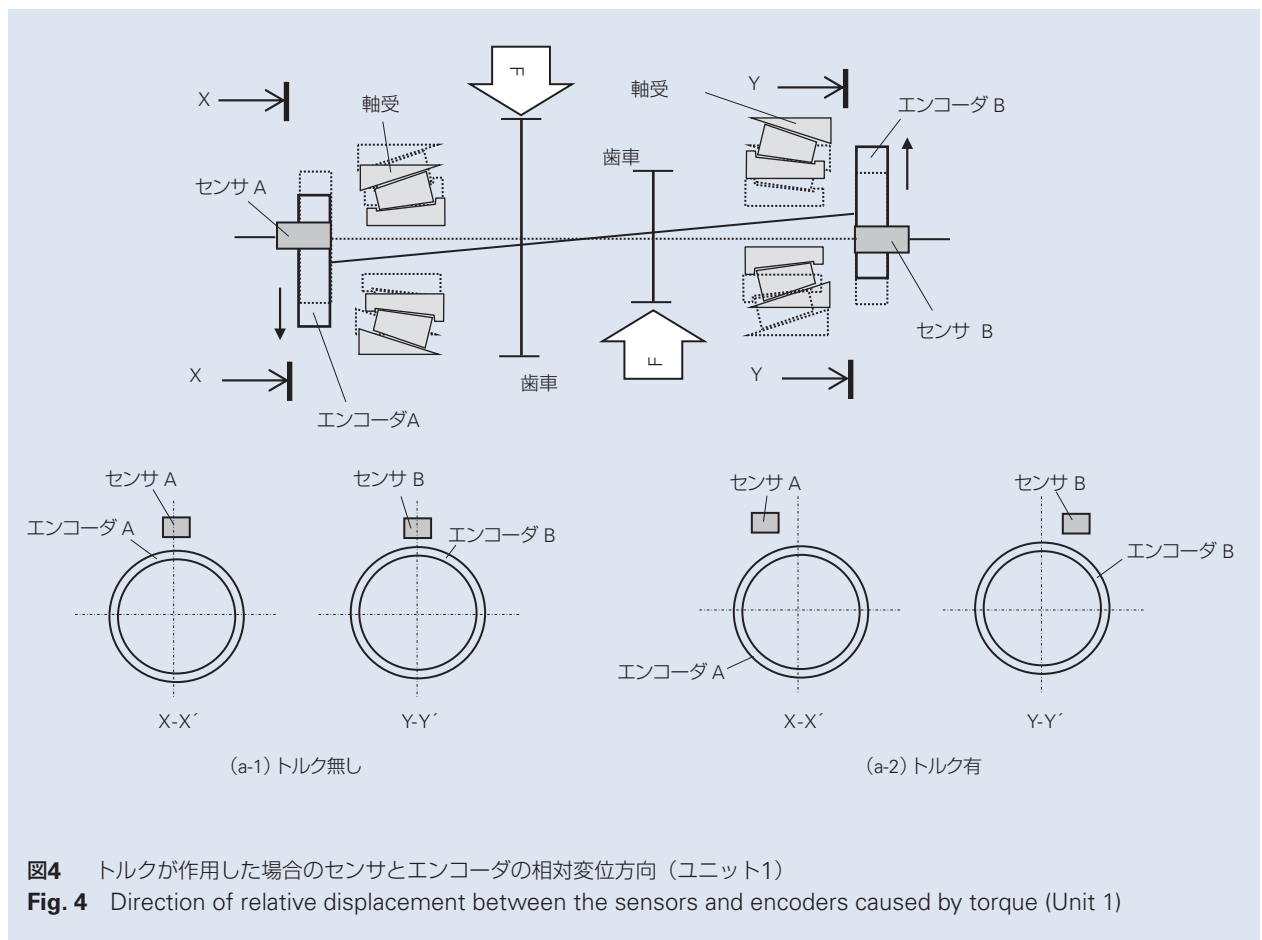


図4 トルクが作用した場合のセンサとエンコーダの相対変位方向（ユニット1）  
Fig. 4 Direction of relative displacement between the sensors and encoders caused by torque (Unit 1)

ダシャフトの右端に取り付けたエンコーダ A に伝えることが可能である。また、左端にあったセンサ A も、右端に移し、センサ B と並列させ、1つのセンサ筐体に内蔵した。センサの片端・並列配置により、省スペース化とハーネスの取り回しの簡素化も可能にした。

図6に、センサ・エンコーダの片端・並列配置により、試験ボックス変形の影響を抑制できる理由について示す。図4の場合と同様に歯車反力によって軸受に作用するラジアル荷重の方向が、軸両端の軸受で異なる場合でも、図6に示すように2つのエンコーダを片端に並列配置すれば、試験ボックス変形の影響による2つのエンコーダの変位方向・変位量はほぼ同じである。したがって、試験ボックスが変形しても2つのエンコーダ間で相対変位は生じないため、両端軸受の変位方向の違いに起因した位相差は発生しない。すなわち、軸のねじれ量のみが位相差として現れる。

本評価ではアルミ製の試験ボックスを用いたが、実

際の T/M においてもアルミ製の T/M ケースの使用は一般的である。また、近年軽量化のため、T/M ケースは薄肉傾向にあり、実際の T/M でのトルク測定においても、ケース変形の影響低減対策は必要不可欠である。

一方、ねじれ量を増加させる方法としては、図5に示すように、歯車軸を入力歯車軸と出力歯車軸に分割し、トーションバで連結する構造を採用した。

3.4 従来開発品：ユニット2の評価結果と考察

図7にユニット2の評価結果を示す。分解能は、± 27 Nm (FS. = 1 000 Nm) となり、図3に示すユニット1の結果と比較して約 4 倍程度分解能が向上した。表1に、図7の測定結果から求めたゲインと軸(トーションバ)のねじれ量の計算値から求めたゲインを、ユニット1の場合と比較して示す。表1より、ユニット2では、ゲインの測定値と計算値がほぼ一致していることがわかる。すなわち、ユニット2では、

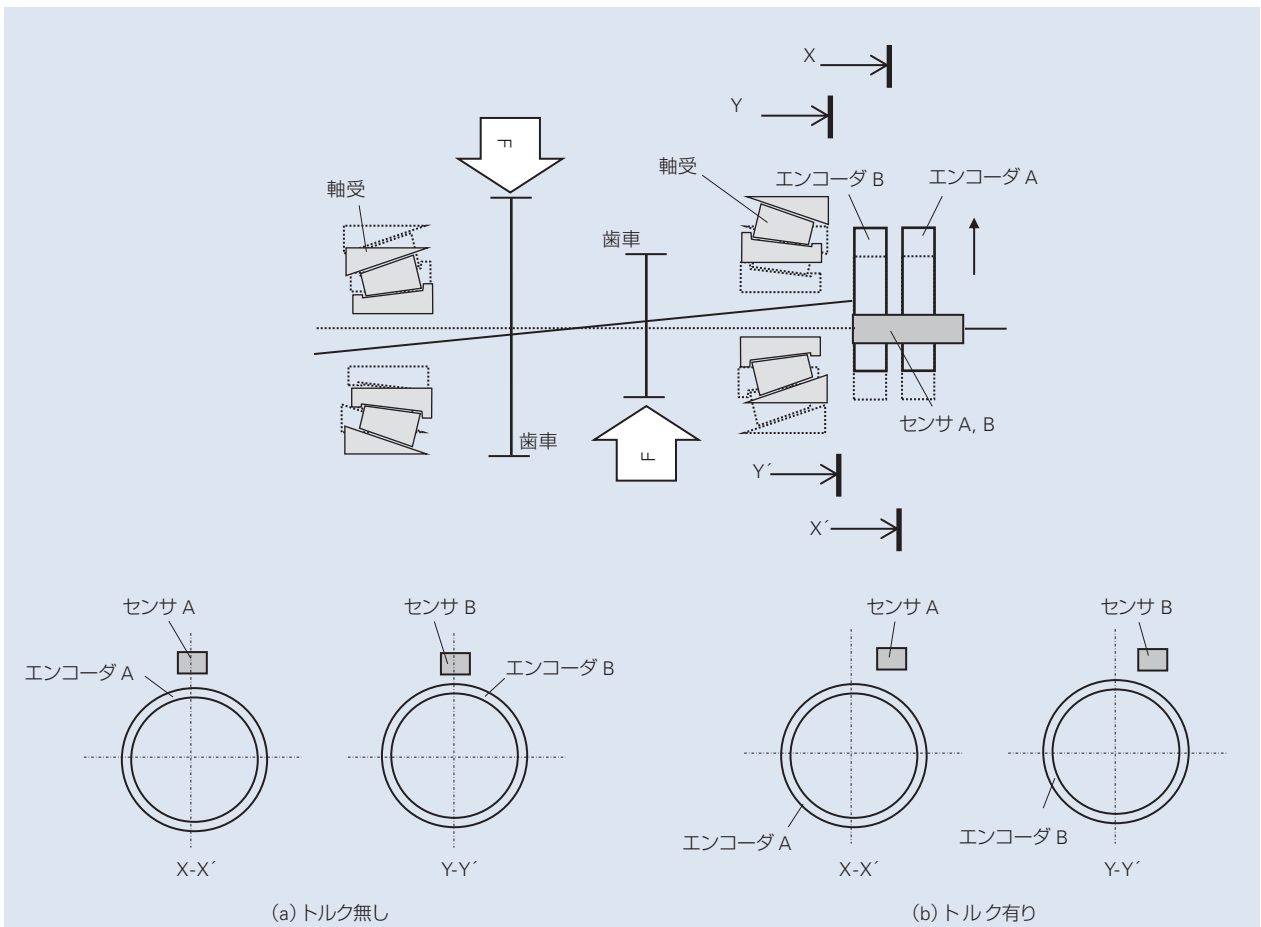


図6 トルクが作用した場合のセンサとエンコーダの相対変位方向 (ユニット2)  
 Fig. 6 Direction of relative displacement between the sensors and encoders caused by torque (Unit 2)



試験ボックス変形の影響による 2 つのエンコーダ間の相対変位に起因した位相差の発生が抑制され、ねじれ量のみが位相差に寄与していることを示している。また、ユニット 2 では、試験ボックス変形の影響によるゲインの増大が抑制されているにもかかわらず、ユニット 1 と比較してゲインの測定値が増加しており、軸のねじれ量が増加していることが伺える。

図 7 では 0 トルク近傍に不感帯が存在するが、これはトーションバと歯車軸間のスプライン結合部の隙間によるものであり、隙間を詰めることにより、不感帯は除去可能である。

#### 4. トルクセンサ付き軸受ユニットの特徴と性能評価結果

##### 4.1 トルクセンサ付き軸受ユニットの特徴

従来開発品：ユニット 2 の評価結果より、軸のねじれ量が大きければ、良好な分解能での測定が可能であることが明らかになった。しかし、実際の T/M で使用される軸で、ユニット 2 と同等のねじれ量を確保することは強度・剛性面から考えると困難である。また、ユニット 2 と同様にトーションバを有する構造にした場合、部品点数が増加するため、コストアップは避けられない。したがって、軸のねじれ量を大きくすることを前提としたトルク測定は実用的でない。

パルス位相差式でのトルク測定で、ねじれ量が小さい軸を用いて高精度なトルク測定を実現するためには、センシング性能を高めることが必須である。そこで、新規開発品では、センサ・エンコーダの仕様を見直し、センシング性能を大幅に向上させた。

図 8 に新規開発品の構造を示す。新規開発品では、センサ・エンコーダの片端配置は従来開発品：ユニット 2 のコンセプトを踏襲し、T/M ケース変形の影響に対して強い構造とすると共に省スペース化・ハーネスの取り回しの簡素化を実現した。さらに、寸法精度に優れ、内外輪の相対変位が小さい転がり軸受の外輪にセンサ筐体、内輪にエンコーダを取付ける事で、センサギャップ変動の低減と緻密なギャップ管理を可能にした。外輪に取付けたセンサ筐体内には、2 つのセンサが内蔵されているが、温度変化による 2 つのセンサ間距離の変動防止や耐油性を考慮した設計がされており、T/M 環境下で高精度のトルク測定を実現するための技術が織り込まれている。

表 1 Unit 1 と Unit 2 のセンサゲインの比較

Table 1 Comparison of sensor gain between Unit 1 and Unit 2

	ユニット 1	ユニット 2
ゲインの測定値 $\times 10^{-5}$ (1/Nm)	7.02	11.9
ゲインの計算値 $\times 10^{-5}$ (1/Nm)	3.07	11.5

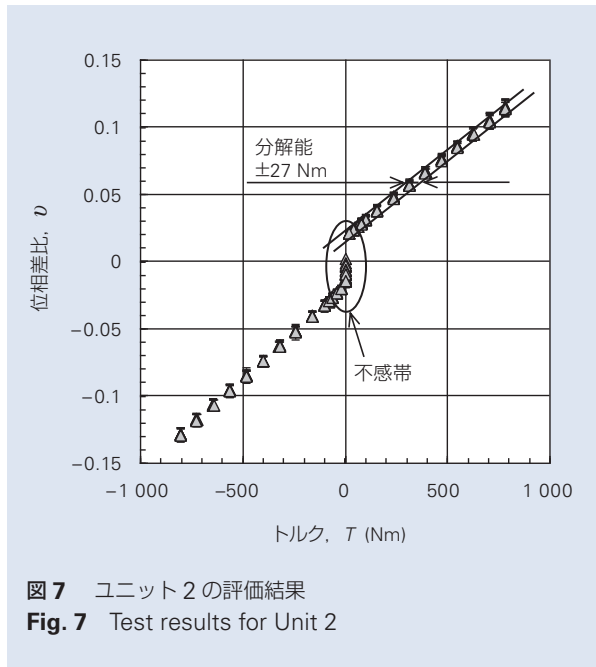


図 7 ユニット 2 の評価結果  
Fig. 7 Test results for Unit 2

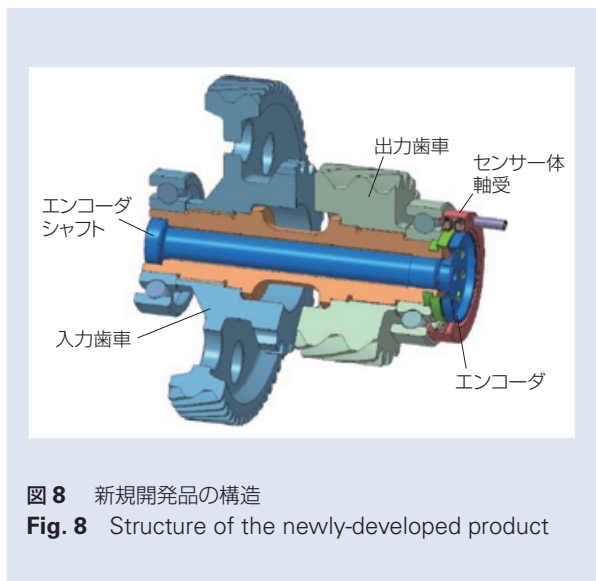


図 8 新規開発品の構造  
Fig. 8 Structure of the newly-developed product

## 4.2 評価方法

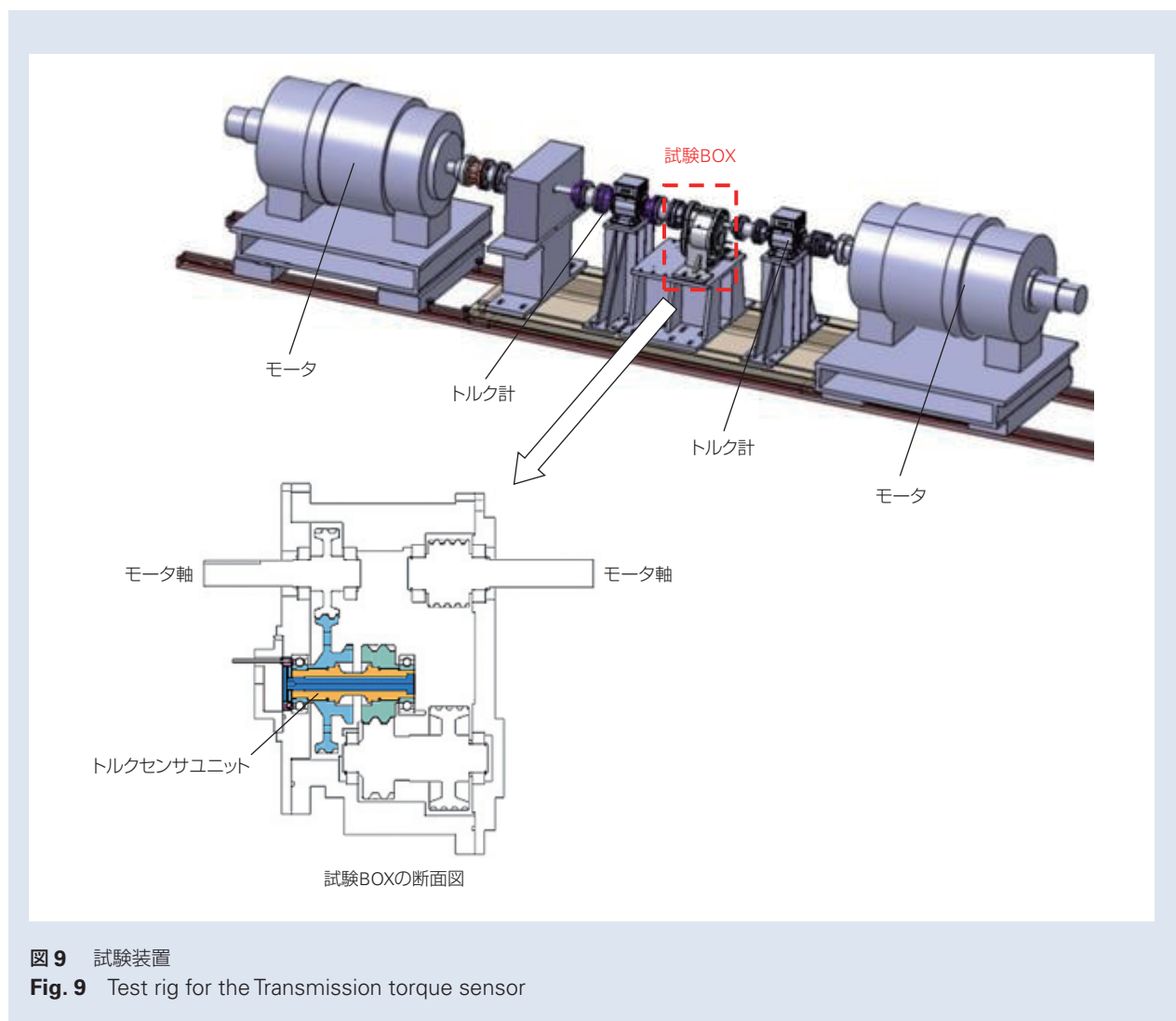
図9に、評価に用いた試験装置の構成と図8のユニットを取付けた試験ボックスの断面図を示す。試験機は一般的なダイナモメータであり、駆動モータ、入力側トルク計、試験ボックス、出力側トルク計、負荷モータの順に配置した。トルクセンサユニットは、モータ軸から減速した位置に取り付けられており、センサ軸を動力が通過した後は、再び増速され、モータ軸に戻る構造である。センサ軸は、許容トルク $\pm 1\,000\text{ Nm}$ で設計した。

試験軸の回転数は、Cセグメント車が時速30 kmで走行する際のカウンタシャフトの回転数を想定し、 $900\text{ min}^{-1}$ とした。試験ボックス内の歯車および軸受を潤滑するため、5 l/minでトランスミッション油を供給した。油温制御は行わず、ボックスの出口部の油温は成り行きで $55\sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ であった。低トルク域の

データは、 $-100\sim 100\text{ Nm}$ の範囲において、 $20\text{ Nm}$ 間隔で取得し、高トルク域のデータは、 $-800\sim 800\text{ Nm}$ の範囲において、 $100\text{ Nm}$ 間隔で取得した。低トルク域、高トルク域共に、各トルク範囲を3往復測定し、真値とした市販トルク計値とトルク測定値(位相差比)の関係の最小二乗近似直線からのばらつきの $\pm 3\sigma$ (標準偏差の3倍)を分解能とした。

## 4.3 トルクセンサ付き軸受ユニットの性能評価結果

図10に新規開発品のトルク測定結果を示す。図10(a)は低トルク域、図10(b)は高トルク域の結果を示している。図10に示すように、 $100\text{ Nm}$ 以下の低トルク域では $\pm 6\text{ Nm}$ (F.S. =  $1\,000\text{ Nm}$ )、 $\sim 800\text{ Nm}$ 以下の高トルク域でも $\pm 18\text{ Nm}$ (F.S. =  $1\,000\text{ Nm}$ )の分解能を達成した。低トルク域と比較して、高トルク域の分解能が悪化した理由は、トルクが高いほど試験ボックスの振動が大きく、エンコーダ



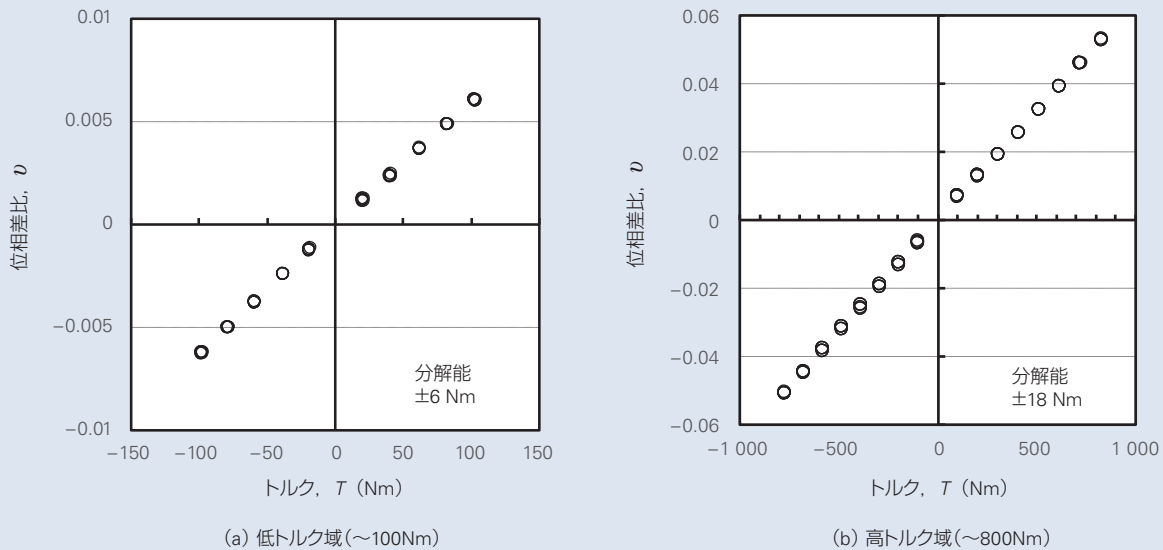


図 10 新規開発品の評価結果  
 Fig. 10 Test results for the newly-developed product

を取付けたエンコーダシャフトが振れたためであると推測している。

図 10 に示すように、軸受一体構造のトルクセンサユニットは、センシング性能を高める工夫をすることで、ねじれ量が極端に大きくない軸でも、高分解能でのトルク測定が可能になった。すなわち、市場で実際に使用されている T/M 軸に、センサ+エンコーダ一体軸受 とエンコーダ付きシャフトを取付けることで、高精度なトルク測定が実現できる可能性を有している。開発品は、大幅な T/M の構造変更や部品点数の増加が無くてもトルク測定できることから、実用的であると考えている。

## 5. あとがき

ステップ式 AT、B-CVT 等の自動変速機の効率向上に貢献するトルクセンサ付き軸受ユニットを開発した。本センサで測定した正確なトルク値を基に、油圧によるクラッチの締結やプーリの押圧を最適化することで、損失の小さい動力伝達が可能になると期待している。NSK が開発したトルクセンサユニットは以下の特徴を有している。

1. センサおよびエンコーダを軸受に取付ける事で、センサとエンコーダ間のギャップ管理を容易にするとともに振動やトルク変動によるセンサとエンコーダ間の相対変位を小さくし、トルク測定精度を向上させた。

2. 2つのセンサとエンコーダを軸の片端に並列配置することで、省スペース化とハーネスの取回しの簡素化を実現した。
3. 上記構造により、低トルク域 (~100 Nm) で 6 Nm、高トルク域 (~800 Nm) で 18 Nm の分解能を達成した (F.S = 1 000 Nm)。  
 今後は、上記センサの応答性、耐油性、耐久性、温度特性、ロバスト性を確認し、実用化を目指す。

### 参考文献

- 1) “電動自動車関連市場の現状と将来展望 2015”, (2015) 4, 株式会社富士経済.
- 2) 古野 志健男, “グローバルに進む排出ガス規制強化と対応するパワートレイン技術”, 自動車技術, 67-9 (2013) 6-13.
- 3) “Motor Fan illustrated Transmission Bible”, (2012) 26-27, 三栄書房.
- 4) 吉田 誠, 今井 一貴, 征矢 啓, 澤田 修, 山下 弘, “大容量 CVT チェーリの開発”, 動力伝達系の最新技術 2013, (2013) 1-5.
- 5) Y. Fuji, R. Hogirala, T. Greene, “MDI Magneto-Elastic Torque Sensor for Automatic Transmissions,” 4th CTI-Symposium Automotive Transmissions North America, (2010)
- 6) 西部 祐司, 野々村 裕, 塚田 厚志, 竹内 正治, 奥村 猛, “自動車エンジン用磁歪式トルクセンサ”, 豊田中央研究所 R&D レビュー, 31-2 (1996) 61-71.
- 7) 植田 徹, 齋藤 智治, 竹原 徹, “自動変速機用トルクセンサユニットの開発”, 月刊トライボロジー, 320 (2014) 18-20.
- 8) 植田 徹, 齋藤 智治, “トランスミッション用トルクセンサユニットの開発”, 学術講演会前刷集, 142-14 (2014).
- 9) 植田 徹, 齋藤 智治, “トランスミッション用トルクセンサユニットの開発”, 動力伝達系の最新技術 2014, (2014) 6-10.
- 10) 坂本 潤是, “ハブユニット軸受の動向と最新技術”, NSK Technical Journal, 677 (2004) 2-10.

# トランスミッション用 油流制御機能付き・ 一体型スラストニードルベアリングの開発

定村 正紀\*, 近藤 豊\*



定村 正紀

## Development of Automotive Transmission Thrust Needle Roller Bearings with Integrated Washer and Oil-Flow Control

M. Sadamura, Y. Kondou



近藤 豊

Recently, further improvement of fuel consumption has been requested of automotive companies because of the strengthening of global environmental regulations and the rise of environmental consciousness. In the case of transmissions for instance, reducing weight, increasing compactness, decreasing torque loss, and optimizing the quantity of lubrication oil are ongoing goals.

Especially in an automatic transmission (AT), control of the circulating oil flow enables reductions of stirring resistance and oil-pump size. Therefore, demand is increasing for oil-flow control in AT components, including bearings.

Additionally, a number of thrust needle bearings are used in ATs. Accordingly, demand is growing for integrated thrust needle bearings to reduce assembly man-hours and improve work efficiency.

NSK has now carried out improvements in the oil flow of thrust needle bearings which are used in automobile transmissions (especially ATs) to meet these demands. As a result, NSK has developed a thrust needle bearing that has twice the amount of oil penetration (oil-flow control) as the conventional product, as described below.

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. まえがき</li> <li>2. 油流制御機能付き・一体型スラストニードルベアリングの特長             <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 軌道輪・保持器の最適化設計による油流制御</li> <li>2.2 耐偏心性の向上</li> </ol> </li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>3. オートマチックトランスミッションへの適用例</li> <li>4. あとがき</li> </ol> |
|---|---|

### 1. まえがき

近年、自動車の技術動向としては、グローバルな環境規制の強化、環境意識の高まりにより、更なる燃費改善が求められている。

トランスミッションについても小型・軽量化、損失トルク低減、潤滑油量の最適化などによる高効率化が進んできており、トランスミッション内に使用されるベアリングについても小型・軽量化、損失トルク低減などの要求が高まっている<sup>1) 2) 3) 4)</sup>。

特に、オートマチックトランスミッション（以下AT）においては、AT内を循環する潤滑油の流れをコントロールできれば、オイルポンプの小型化、構成部品による攪拌抵抗の低減に繋がることから、最適に（必要な部分に必要な量）油を流すためのコントロール技術が求められている。

AT内には多数のスラストニードルベアリングが使用されているため（FFタイプでは7個程度、FRタイ

\* 自動車軸受技術センター、ニードル軸受技術部

ブでは 10 個程度), スラストニードルベアリングによる, 油流コントロールについての要求も高まっている<sup>1) 2) 3)</sup>.

また, 多数のスラストニードルベアリングの組み付け工数削減, 作業効率向上を目的に, ベアリングの構成部品(ころ・軌道輪・保持器)を一体型とする要求も高まっている.

本報では, 従来品に対して油流性(貫通油量)を向上させた一体型スラストニードルベアリングを開発したので, 以下に報告する.

## 2. 油流制御機能付き・一体型スラストニードルベアリングの特長

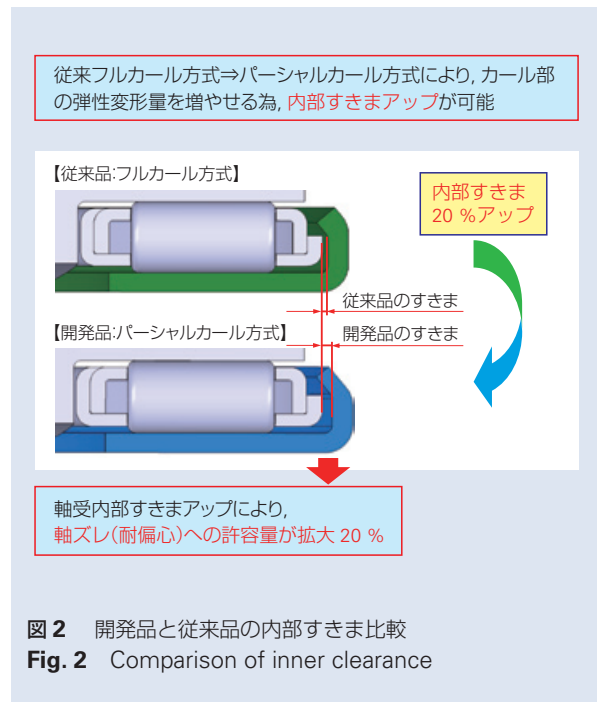
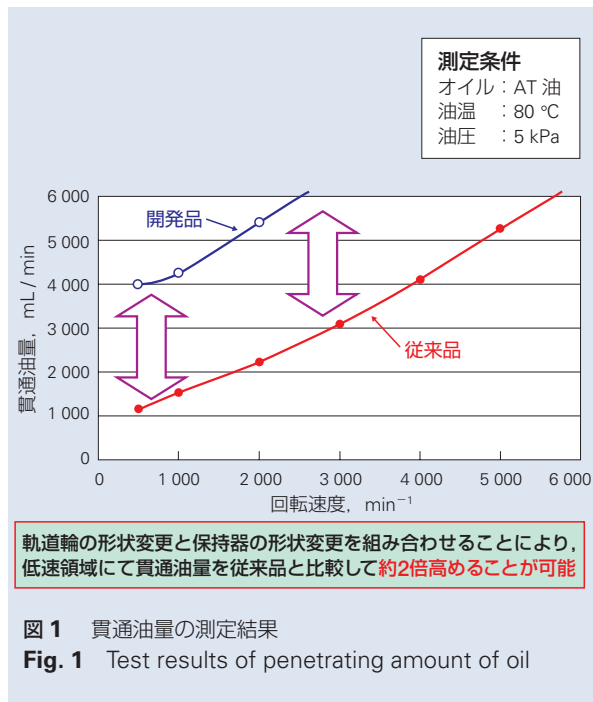
写真 1 に開発品の外観を示す.

開発品は, 以下の見直しを実施することで, 従来品に対して約 2 倍の貫通油量(油流れコントロール性), また, 耐偏心性(ユニット軸ズレ)に有効なベアリングの内部すきま 20 % 向上を実現した(図 1, 2).



写真 1 油量制御機能付き・一体型スラストニードルベアリング

Photo 1 Thrust needle roller bearing with integrated washer and oil-flow control



## 2.1 軌道輪・保持器の最適化設計による油流制御

### (1) 軌道輪の形状

軌道輪のカール部形状を全周曲げ(フルカール方式)から部分曲げ(パーシャルカール方式)に見直すことにより、開口面積を大きくすることを可能とし、軸受内部に油が流れ込みやすい構造とした(図3)。

### (2) 保持器の形状

保持器のアキシャル方向幅を狭くすること、および保持器の窓部に孔を設けることにより、軸受内部を油が流れやすい構造とした(図4)。

## 2.2 耐偏心性の向上

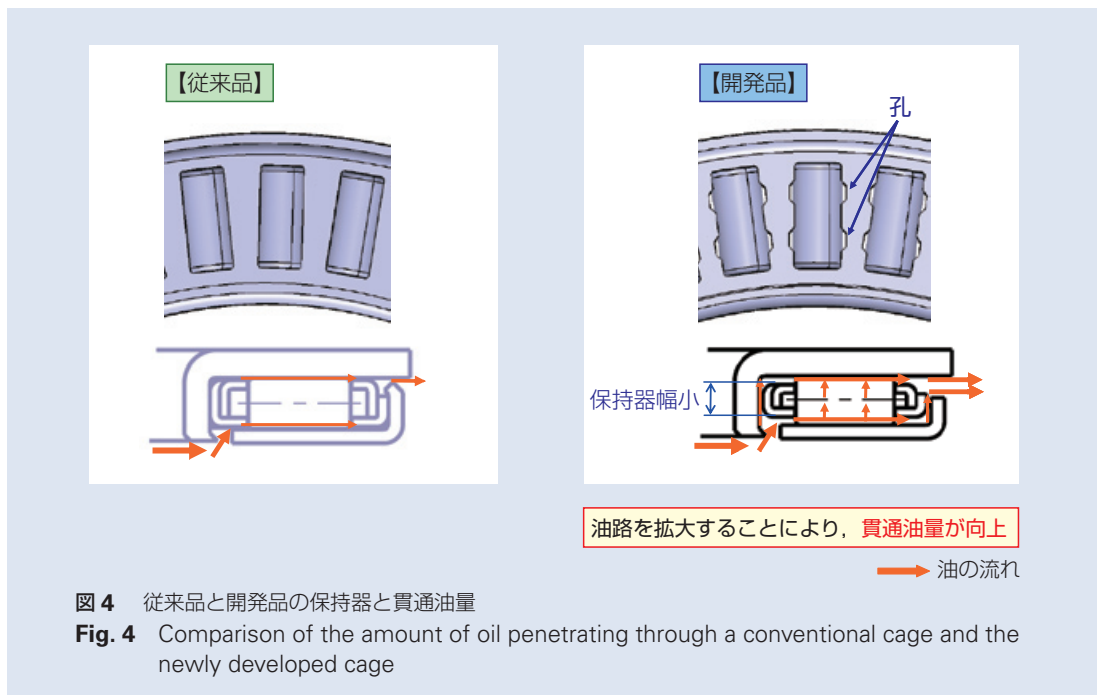
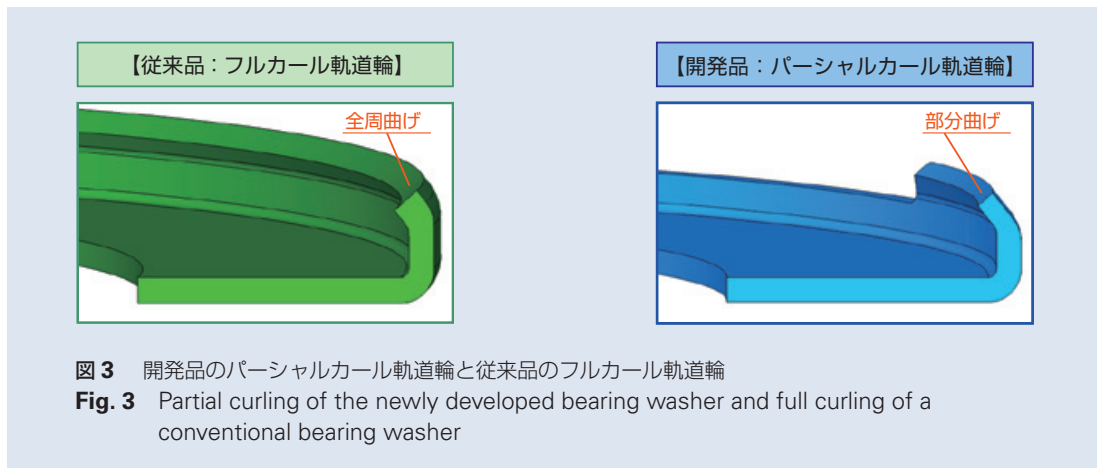
軌道輪のカール部形状を全周曲げ(フルカール方式)

から部分曲げ(パーシャルカール方式)に見直すことにより、軸受の構成部品(ころ・軌道輪・保持器)を部分的に保持することを可能とした。その結果、一体型スラストニードルベアリングの課題である耐偏心性(ユニット軸ズレ)に有効なベアリングの内部すきま向上を実現した(図2)。

## 3. オートマチックトランスミッションへの適用例

ATの主な構成部品は、シャフト、クラッチ、ブレーキ、そして遊星歯車機構である<sup>3)</sup>。

これらの構成部品は、各変速段により各々の回転速度が異なるため、相対回転が発生する。ここにベアリ



ングが必要となり、アキシャル方向の荷重を受けるのがスラストニードルベアリングである<sup>3)</sup>。

また、ATのユニット内部には自動変速機油(Automatic Transmission Fluid 以下AT油)が循環しており、変速を行なうためにクラッチ、ブレーキの作動などに作動油として、回転部分の焼き付き防止のための潤滑として、クラッチ、ブレーキ、トルクコンバータなどの構成部品から発生する熱の冷却として使用されている。AT油は、主にシャフトの中心から供給されており、スラストニードルベアリングを通過して、構成部品に到達することが多い。したがって、スラストニードルベアリングの油流れのバランスが崩れると適切な油量をクラッチ、ブレーキなどの構成部品に供給することができなくなる<sup>3)</sup>(図5)。

本ベアリングは、従来から使用されているスラストニードルベアリングを置き換えることにより、従来品に対して約2倍までのAT油を最適な部位に最適な量流すことを可能としている(図5)。

#### 4. あとがき

本報では、トランスミッション内での油流れの制御に対応する一体型スラストニードル軸受の開発について報告した。

本ベアリングは、トランスミッションにおいて、最適な部位に最適な油量を流すことによりオイルポンプの小型化、構成部品の攪拌抵抗低減などに効果が期待でき、一体型とすることにより要素部品数の削減、組み付け工数の削減による作業効率の向上に効果が期待できる。

今後も、本開発品の応用展開により、多くのユーザーニーズに応えていきたい。

#### 参考文献

- 1) 大坪 竜也, 角川 聡, "AT用軸受の動向と最新技術", NSK Technical Journal, No.677 (2004) 46-53
- 2) 増田 聡史, 武村 浩道, 清水 康之, "耐摩耗性・高強度保持器付スラストニードル軸受の開発", NSK Technical Journal, No.680 (2006) 42-47
- 3) 大野 崇, 武村 浩道, "世界最薄シールリング付シェルニードル軸受の開発—自動車の低燃費化とニードルベアリングの適用—", NSK Technical Journal, No.684 (2010) 22-26
- 4) 山本 幸一, 武村 浩道, "自動車用変速機部遊星歯車向け長寿命プラネタリシャフト(SHX3M鋼)の開発", NSK Technical Journal, No.686 (2013) 52-57

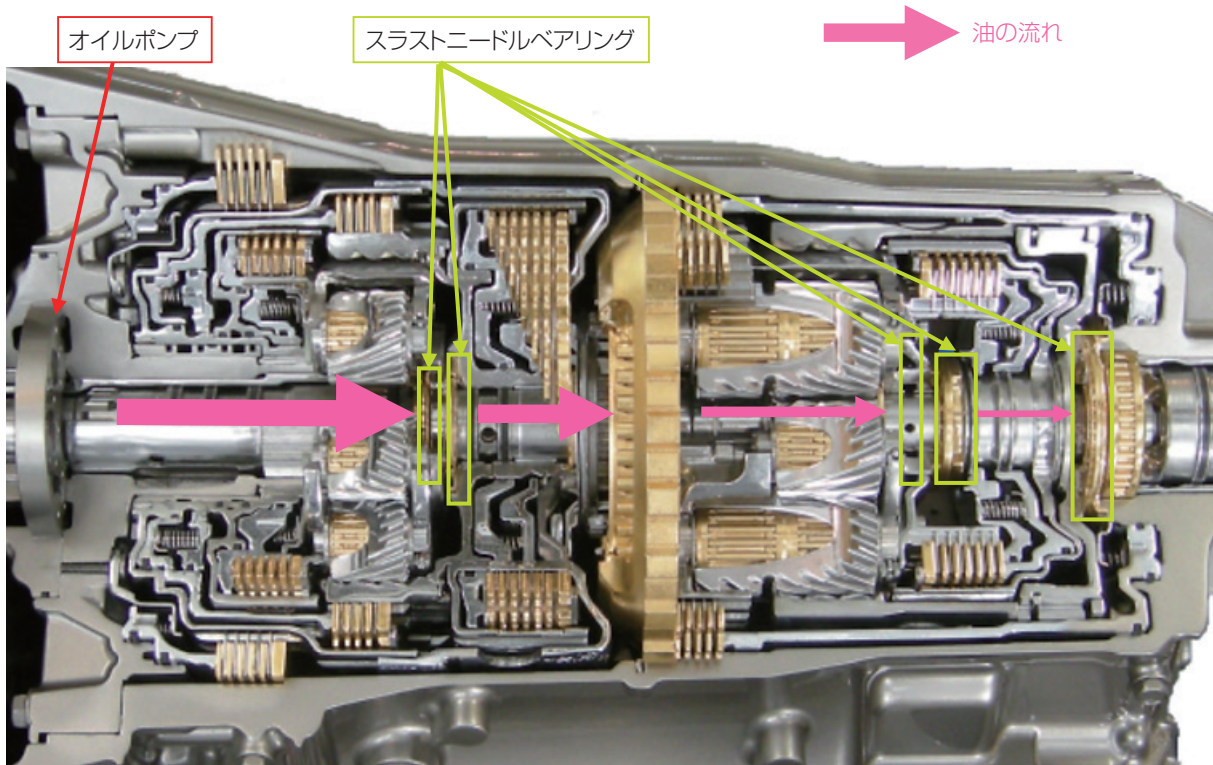


図5 自動車用オートマチックトランスミッションの油の流れ  
Fig. 5 Oil flow of an automotive automatic transmission

# EPS ウォーム減速ギヤ用 低フリクショングリースの開発

清田 晴彦\*, 小池 徹也\*, 山本 武士\*



清田 晴彦



小池 徹也

## Development of Low-Friction Grease for EPS Worm Reduction Gear

H. Kiyota, T. Koike, T. Yamamoto



山本 武士

Electric power steering (EPS) systems are environmentally friendly products that help to improve the fuel economy of a vehicle. EPS saves power as its motor rests when the vehicle is traveling straight. EPS offers intricate electronic control of its motor in response to a variety of inputs such as travelling speed and road conditions, providing for a safer and more comfortable steering feel.

Smooth vehicle movement as the driver begins to turn the steering wheel and smooth steering wheel return are critical for achieving a comfortable steering feel. EPS friction is one of the key elements in creating that kind of smoothness, especially the friction of the reduction gear. NSK has developed an improved lubricity, low-friction grease that avoids low-temperature fluidity deterioration in the reduction gear. Additives are incorporated in the grease to prevent an increase in viscous drag. This newly developed low-friction grease reduces the friction force of the reduction gear, thereby reducing the steering effort for the driver and improving the steering feel.

1. はじめに
2. EPS ウォーム減速ギヤの特徴
3. EPS ウォーム減速ギヤ用グリースの特徴
4. 低フリクショングリースの狙い
5. フリクション低減効果の確認
  - 5.1 フリクションの定義
  - 5.2 実験方法
  - 5.3 実験結果と効果
6. おわりに

### 1. はじめに

NSK グループでは、地球環境保全の為、自動車の燃費を向上することができる環境貢献型製品として電動パワーステアリング（EPS）を開発、生産している（写真 1）。

図 1 にコラムタイプ EPS を用いた、ステアリングシステムの概要を示す。EPS システムは基本的に、運転者のハンドル操作とタイヤから伝えられる車の動きを感知するトルクセンサ、このセンサからのトルク信号を受けアシスト力を演算する ECU、この ECU からの出力により回転力を発生するモータ、およびモータの回転力を減速してステアリング機構に伝える



写真 1 コラムタイプ電動パワーステアリング

Photo 1 Column-type electric power steering

\* ステアリング総合技術センター，ステアリング R&D センター，ユニット開発部



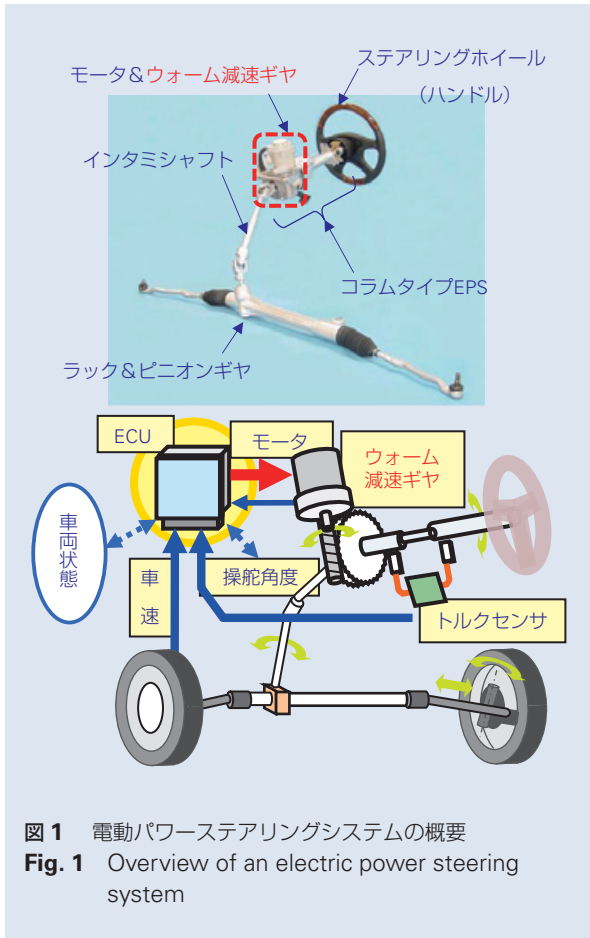


図1 電動パワーステアリングシステムの概要  
 Fig. 1 Overview of an electric power steering system

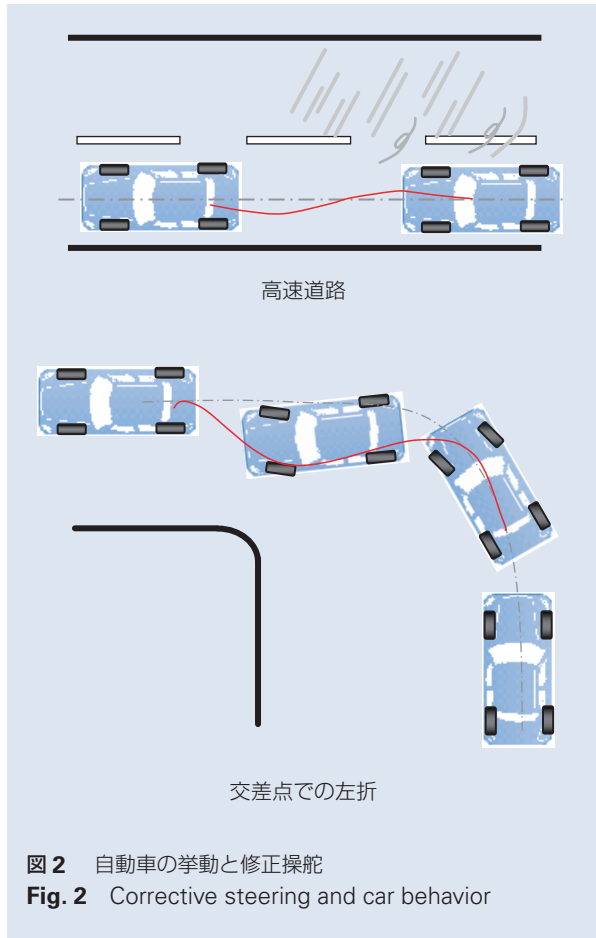


図2 自動車の挙動と修正操舵  
 Fig. 2 Corrective steering and car behavior

ウォーム減速ギヤとで構成されている。また、自動車からの車速信号やエンジン回転信号等をECUに入力して、速度感应式のEPSを構成している<sup>1)</sup>。

EPSは、ハンドルを切っていない直進状態において、センシングに必要な僅かな待機電力は消費しているが、操舵力をアシストする電動モータは駆動させておらず電力を消費していない。この為、油圧式パワーステアリングのように、直進状態においても常時油圧を確保しなければならない構造に対し、燃費を向上することができる。加えて、走行速度や路面状態など、タイヤや車両などから入力されるトルクや速度、周波数をセンシングし、これに応じてECUがモータをきめ細やかに電子制御することによって、運転者に安全・快適な操舵フィーリングを提供している。

しかし、運転者が操舵を開始し、アシストトルクが発生するまでの間は運転者の操舵力のみとなる。つまり、電子制御によるモータアシストが効いていない領域において、メカ機構のフリクションは操舵フィーリングに及ぼす影響が大きい(図2)。

・ハンドル中立付近操舵のフリクション感(高速道路など、直線道路における微修正ハンドル操舵など)

・ハンドル戻り時のフリクション感(交差点など、右・左折後に直進状態へ移行する時の自己復元力によるハンドル戻り)

この為、NSKでは、モータ、ウォーム減速ギヤなど、ステアリングシステム全体のフリクションを低減し、さらに快適な操舵フィーリングを提供する取り組みを行っている。

今回、EPSのメカ心臓部の一つであるウォーム減速ギヤにおいて、ギヤ歯面の潤滑性を向上させる低フリクショングリースを開発したので紹介する。

## 2. EPSウォーム減速ギヤの特徴

EPSには、小型で高い減速比が得られるウォーム減速ギヤを採用している(図3)。ウォーム減速ギヤのホイールギヤは運転者が操舵するハンドル軸に配置し、ウォームはモータ軸と直列に連結している。このような構成で、モータのトルクはウォーム減速ギヤにより減速された高いトルクでハンドル軸をアシストしている。ギヤ噛み合いの静粛性と低い摩擦係数を得る為に、ホイールギヤ材質は樹脂材料を使用し、一方、



図3 ウォーム減速ギヤ  
Fig. 3 Worm reduction gear

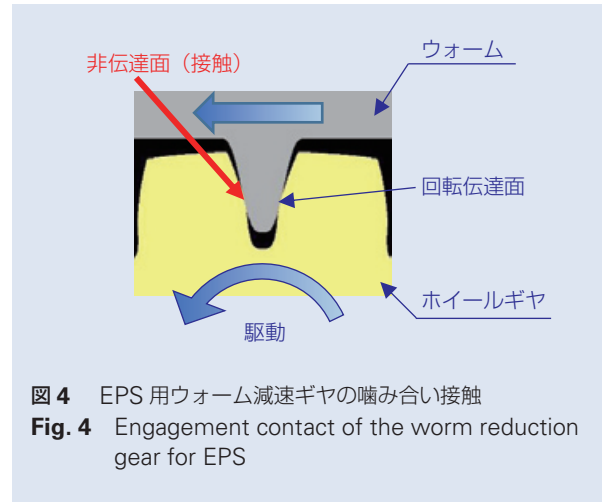


図4 EPS用ウォーム減速ギヤの噛み合い接触  
Fig. 4 Engagement contact of the worm reduction gear for EPS

ウォームは強度を確保する為に鉄鋼材料を使用している(写真2)。

EPSは、右折や左折を繰り返し行い、また、路面の凹凸などより、タイヤから周期的な振動がホイール軸に入力される。このように常時、反転される状況で使われるギヤである為、ラトル音(たたき音)が発生しやすい。この対策として、ギヤのバックラッシは無い状態にして組み立てられている。

ウォーム減速ギヤの噛み合いによる歯面の潤滑状態としては、歯筋と歯形の2方向への滑り潤滑と、噛

合い基準位置における転がり潤滑であり、複合的な潤滑状態となっている。この為、一定の回転数であっても歯面の潤滑状態は常に変化しており、その変化は噛み合い毎に繰り返されている。また、この潤滑は2方向への滑り運動の影響が大部分を占めており、さらに高減速比である為高い滑り速度となっている。また前述したように、ギヤのバックラッシは無い状態で組み立てているので、図4に示すように、回転伝達方向と反対の歯面も接触しており、フリクションが増大し易い。

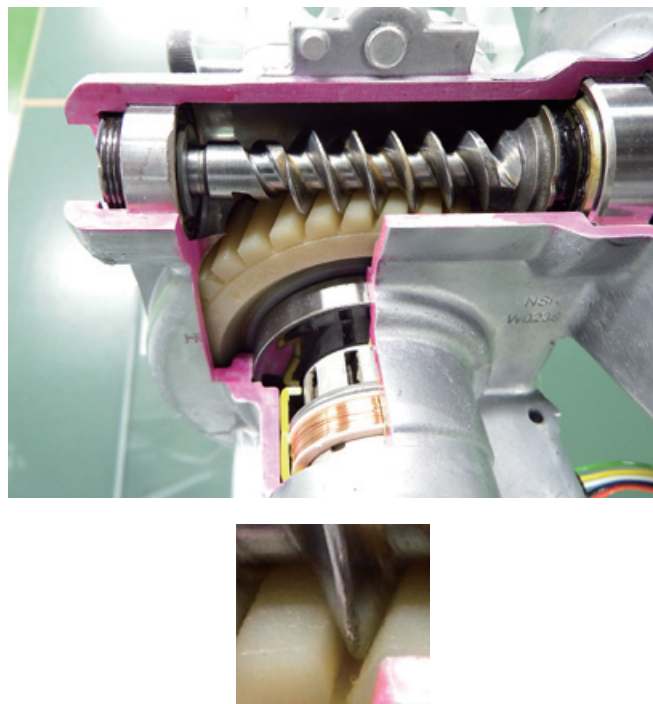


写真2 EPS用ウォーム減速ギヤの構成  
Photo 2 Configuration of the worm reduction gear for EPS

### 3. EPS ウォーム減速ギヤ用グリースの特徴

自動車の使用環境として、エンジンルームのような高温環境と、極寒の地域による低温環境があり、また、自動車の耐用年数を考慮しなければならない。このような使用条件に適したグリースの特性として、耐久性、耐環境性(高・低温)、高効率、低樹脂攻撃性が必要である。この為、グリースは、ウレア系増ちょう剤、合成炭化水素油にワックスを添加した組成のグリースを従来から採用している。

従来のグリースは歯面の潤滑を混合潤滑状態となるような性状としている。混合潤滑は、部分的には固体接触であり、また他の部分は流体油膜による潤滑となっている。しかし、このグリースは低温時における流動性を考慮し、基油の粘度を比較的に低粘度としている為、固体接触の割合が多くなり、常温時はフリクションが大きくなってしまふ。

### 4. 低フリクショングリースの狙い

フリクションを下げる為には、固体接触の割合を減らし、歯面に適切な油膜を確保する必要がある。一般的な手段として、基油粘度を高粘度化し油膜を確保す

ることが考えられるが、これは同時に低温流動性の悪化を招く。

この為今回、基油は変更せずに、基油の特性へ作用する添加剤を含有させ、これが油膜をサポートすることによって、混合潤滑の固体接触部を減少させ、摩擦係数を低くさせるようなグリースを考えた。

各潤滑状態でグリースが作用する概念図を図5に示す。混合潤滑における開発品は、ギヤの両表面が固体接触しそうになる箇所を、添加剤が基油を介してサポートし接触させないようにしている。しかし、流体潤滑では、ギヤの両表面は接近していない為、この添加剤は効力を顕さず、また、流動性を阻害しない。この為、低温時に基油が持つ粘性以外で、流動性を悪化させることは少ない。一方、高い負荷が加わり、境界潤滑となるような条件では、歯面に基油が介在していない為添加剤は効力を発揮できないが、ワックスが潤滑に寄与する。

つまり今回、ウォーム減速ギヤ歯面の潤滑状態が、混合潤滑時には低い摩擦係数となるようにさせ、しかし、流体潤滑時の粘性抵抗は同等にすることにより、EPSの使用環境温度全域で低フリクションになるグリースを開発した。

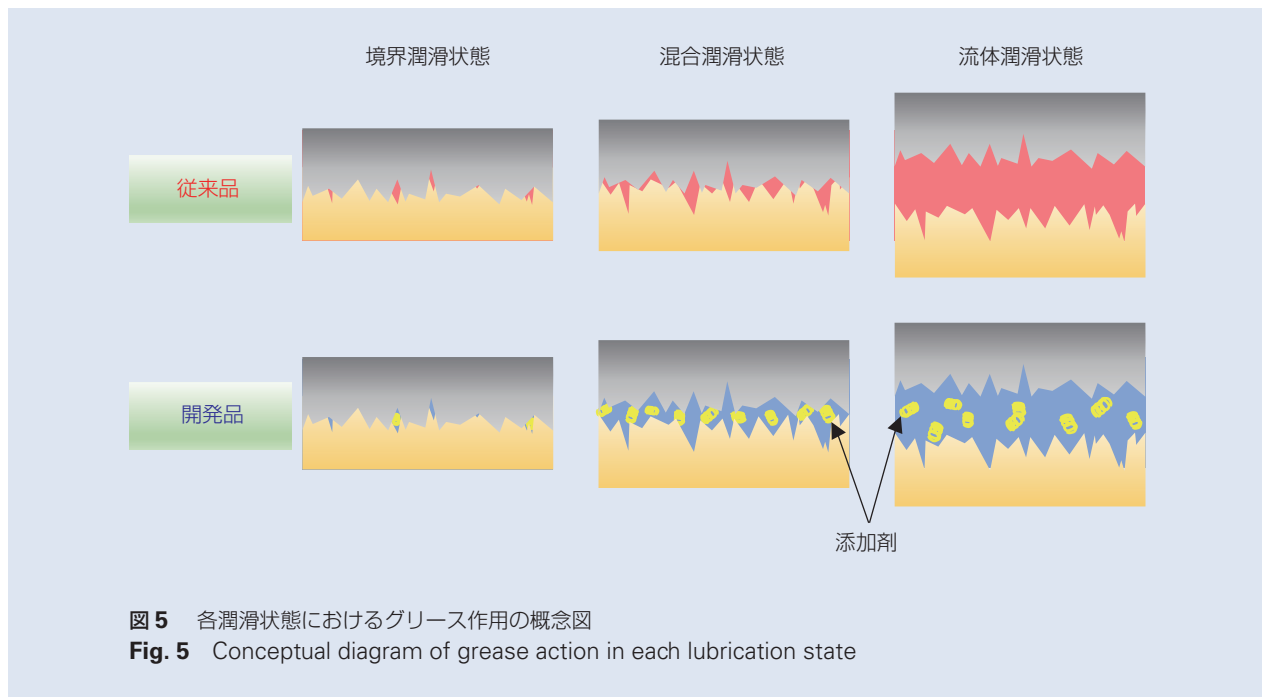


図5 各潤滑状態におけるグリース作用の概念図  
 Fig. 5 Conceptual diagram of grease action in each lubrication state

## 5. フリクション低減効果の確認

### 5.1 フリクションの定義

本開発におけるフリクションとは、ホイール軸（ハンドル軸）を駆動し、ウォーム減速ギヤを逆作動させたときの回転トルクとして定義している。

### 5.2 実験方法

本開発のグリースは、ギヤ歯面潤滑用のグリースであり、EPSを構成する他の部品（モータなど）の回転トルクの影響は取り除きたい為、これらは接続させず、ウォームは連れ回りの状態とした。また、本来であればギヤ歯面のみフリクションを確認するのが理想であるが、ギヤを支持する軸受は取り除くのが難しい。この為、フリクションとしては、軸受の回転トルクを含めたウォーム減速ギヤユニットのみの回転トルクで評価した（図6）。

本実験に関しては、表1の供試ウォーム減速ギヤを使用した。供試品による個体差を無くす為、同一のギヤを洗浄し、従来品と開発品のグリースを塗り替えて回転トルクを測定した。また、ホイールギヤとウォームの軸間距離は一定となるようにしている。

表1 供試ウォーム減速ギヤ

Table 1 Worm reduction gear sample

ホイールギヤ歯数	37, 41
ウォーム条数	2
ギヤ比	18.5, 20.5
ホイールギヤ材質	PA66GF25
ウォーム材質	S45C

### 5.3 実験結果と効果

#### 5.3.1 回転トルク低減効果

グリースの粘性抵抗や油膜の形成は速度の影響を受ける為、回転数違いによる回転トルクの測定を行った。この結果を図7に示す。図7の結果のように、開発品は試験した全ての回転数で回転トルクが従来品よりも低減しており、フリクション低減効果を確認できた。4 min<sup>-1</sup>と10 min<sup>-1</sup>は同程度の効果であったが、1 min<sup>-1</sup>は、やや少ない低減効果であった。これは、図8のStribeck線図で考えると、低速は油膜の形成が不利である為、1 min<sup>-1</sup>では添加剤の効果が少なかったと考える（図8のA）。一方、4～10 min<sup>-1</sup>であると、混合潤滑における油膜を確保できている領域が多く存在する為、添加剤による効果を大きく得られたと考える（図8のB, C）。

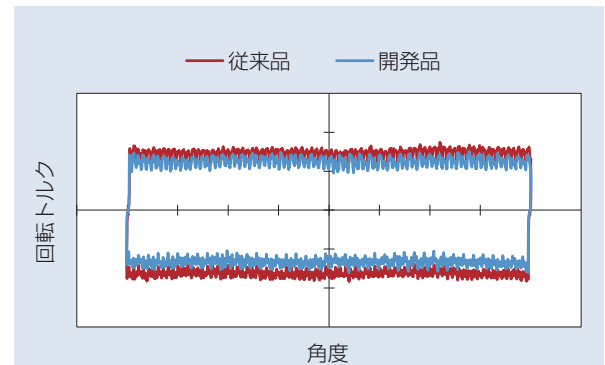


図6 回転トルク線図  
Fig. 6 Rotational torque diagram

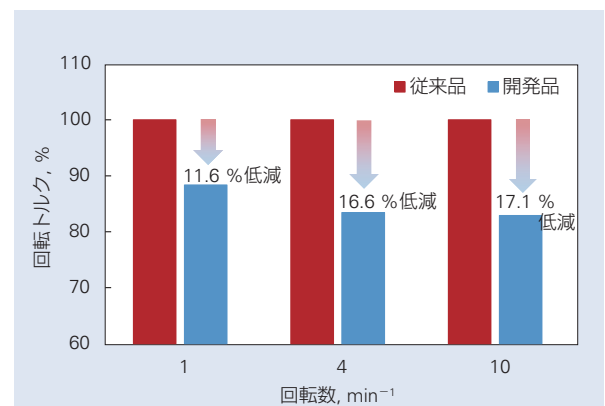


図7 回転トルク測定結果と効果  
Fig. 7 Rotational torque measurement results and effects

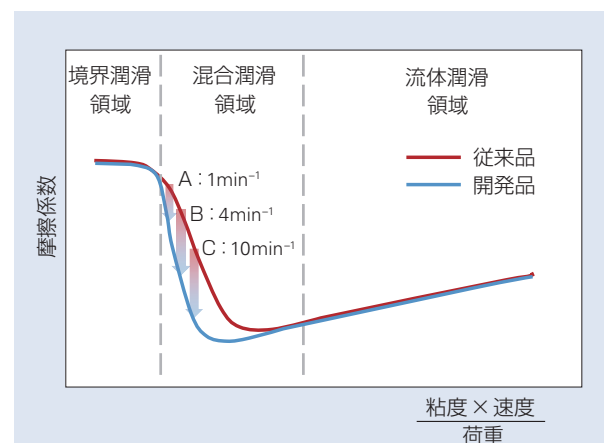


図8 回転数に対する摩擦係数の推察  
Fig. 8 Stribeck curve of estimated friction coefficients with respect to rotational speed

### 5.3.2 雰囲気温度による回転トルクの影響

また、グリースは温度の影響も受ける為に、雰囲気温度違いによる回転トルクの測定を行った。

測定方法は、ウォーム減速ギヤユニットを、設定した各雰囲気温度の槽内に5時間以上放置後、槽内に設置した状態で回転トルクを測定した。

低温による回転トルク測定の結果を図9に示す。従来品、開発品は同等であり、共に、-30℃までは徐々に回転トルクは上昇し、-40℃は傾きを変えて上昇する。一方、基油そのもので高粘度化し油膜を確保しようとした試作品は、-10℃から回転トルクが大きく、また温度に比例してさらに上昇している。このことから、単に基油を高粘度化したものは、流体潤滑状態になっていると考える。一方開発品は、-30℃までは混合潤滑になっていると考える。

高温による回転トルク測定の結果を図10に示す。高温においても開発品のフリクション低減効果を確認できた。

以上、本開発グリースにより、EPSで使用する環境下でフリクションの低減効果を確認することができた。

## 6. おわりに

本開発の低フリクショングリースにより、ウォーム減速ギヤの潤滑性が向上し、今まで以上に快適な操舵フィーリングを提供することが可能となった。

EPSは、車両統合制御システムにより、将来、部分的な自動運転や、更には全自動運転を実現する為の一役を担う製品として期待されている。このような高度な制御システムを実現する為に、フリクションが低い減速ギヤが必要である。

今後も、NSKのトライボロジー技術を生かして、快適なステアリングの実現を目指した開発を行っていきたいと考える。

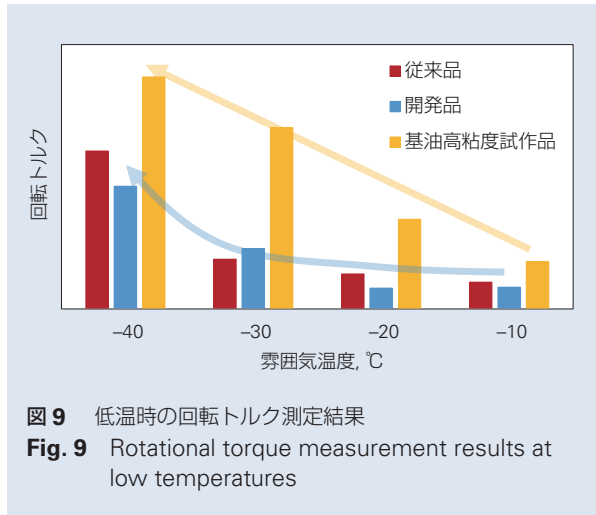


図9 低温時の回転トルク測定結果  
Fig. 9 Rotational torque measurement results at low temperatures

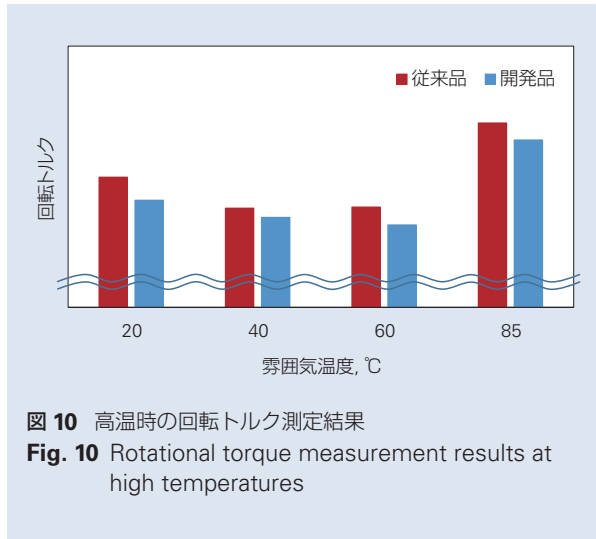


図10 高温時の回転トルク測定結果  
Fig. 10 Rotational torque measurement results at high temperatures

#### 参考文献

1) 光崎 雄二, 広瀬 五郎, 関谷 昌三, 宮浦 靖彦, “電動パワーステアリング (EPS)”, NSK TECHNICAL JOURNAL, 667 (1999) 14-22

# 微細操作用マニピュレーションシステムの開発



田中 伸明\*

田中 伸明

## Development of Micro Manipulation System

N. Tanaka

A manipulator is used to perform fine operations to cells and electronic components under a microscopic field of view. However, mastering the device requires extensive use and skilled technique. Therefore, NSK developed a manipulation system that enables easier automation of operation by applying mechatronics.

The developed system is attached to a microscope and is composed of a three-dimensional motorized manipulator and a motorized sample stage. Except for replacement of the microscope's objective lens, the developed system is capable of all-electric operation. Operation is performed with one or more joysticks while looking at the camera image of the microscope that is displayed on the monitor.

To evaluate the usefulness of the system's capabilities, we collaborated with bioresearch institutes during its development. The developed system was used to produce confirmed offspring by DNA microinjection (ICSI) using the egg cells of experimental animals.

We have started to sell this system to domestic and foreign companies, biotechnology research institutions, and electronic component manufacturers.

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. まえがき</li> <li>2. マニピュレーションシステム             <ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 基本構成</li> <li>2.2 電動駆動部</li> <li>2.3 圧電アクチュエータ</li> <li>2.4 操作・制御方法</li> </ul> </li> <li>3. 自動化機能             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 画像処理機能</li> <li>3.2 シーケンス機能</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>4. 評価試験結果             <ul style="list-style-type: none"> <li>4.1 インジェクション操作結果</li> <li>4.2 画像処理機能評価結果</li> <li>4.3 シーケンス機能評価結果</li> </ul> </li> <li>5. あとがき</li> </ul> |
|---|---|

### 1. まえがき

マニピュレータは顕微鏡視野下で細胞、微小機械部品を扱うために使用する装置であり、バイオ関連の大学、研究機関や電子部品製造メーカーでの開発などで幅広く利用されている。

しかし、顕微受精の操作や遺伝子改変動物を作製す

る装置としては、マニピュレータを使用したものは歴史が浅い。

顕微操作を行うためのマニピュレータや試料ステージなどの周辺機器はそれぞれ製造メーカーが異なる場合が多く、使用者はそれらを個別に購入し、調整して使

\* 未来技術開発センター，開発第一部  
本製品は“超”モノづくり部品大賞の「ものづくり生命文明機構理事長賞」を受賞しました。

用する。各装置は連動していないため、個別に操作する必要があり、5～6本のハンドル操作を行う必要がある。

また、カメラやディスプレイの環境を構築しなければ、顕微鏡の接眼レンズ越しの作業が必要である。接眼レンズを覗きながら、複数のハンドルを視認せずに使いこなす必要がある。この操作を習得するためには半年以上を要すると言われ、顕微受精などの操作は熟練技術者のみが可能な操作となっている。遺伝子組換え動物作製時には受精卵100個程度を操作する必要があり、接眼レンズを覗きながら大量の卵細胞を操作する作業は、技術者にとって肉体的負担が大きい。

そこで、このような高精度な操作を容易に可能とするために、NSKの軸受、ボールねじ、リニアガイドの製品技術とメカトロ技術を融合し、新たに自動化技術を取入れた独自のマニピュレーションシステムを開発した。

開発したマニピュレーションシステムは公益財団法人 実験動物中央研究所との共同研究により、有用性の評価を行い、実用化の目処をつけることができた。

ここでは、開発したマニピュレーションシステムの構成、機能、評価試験結果について報告する。

## 2. マニピュレーションシステム

### 2.1 基本構成

開発したマニピュレーションシステムは、**写真1**に示すような構成であり、電動XYZマニピュレータ、電動試料ステージ、電動焦点合わせ、電動インジェクタ、圧電アクチュエータ、電装盤、ピエゾアンプ、PC、ジョイスティックから構成し、顕微鏡に装着して使用する。

システム構成は**図1**のようになっており、電動駆動部は電装盤と接続され、PCにはその電装盤とジョイスティックを接続して使用する。圧電アクチュエータはピエゾアンプを経由して電装盤と接続して使用する。各構成要素の仕様を**表1**に示す。

### 2.2 電動駆動部

電動XYZマニピュレータは顕微鏡側部に設置して、マイクロツールを装着して使用し、それを顕微鏡視野下で三次元操作するために使用する。マイクロツールは用途に応じて様々な形状、材質を使用しているが、公益財団法人実験動物中央研究所との共同研究では先細りした中空ガラス針を使用した。

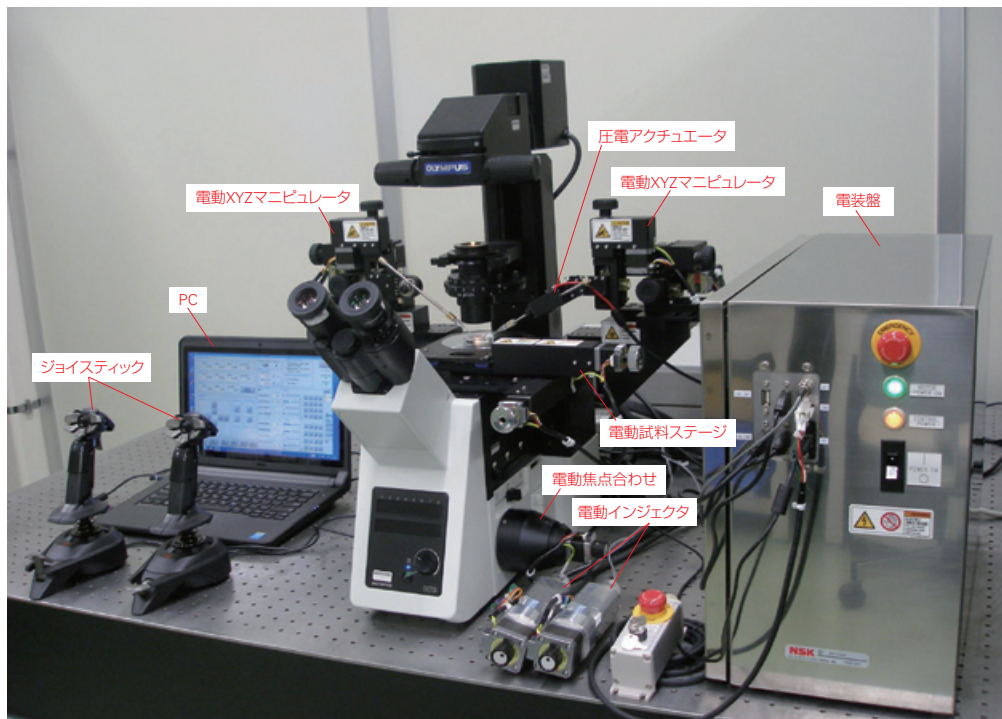


写真1 マニピュレーションシステム

Photo 1 Manipulation system

表 1 仕様

Table 1 Specifications

	電動 XYZ マニピュレータ	電動試料ステージ	電動インジェクタ	圧電アクチュエータ
ストローク [mm]	20		1178.09 [μl]	5 μm
分解能 [μm]	0.1		0.0039 [μl/step]	5 nm*
最高速度 [mm/s]	5		5 [rps]	
駆動方法	5 相ステッピングモータ			圧電素子
寸法 [mm]	143 × 144 × 149	296 × 294 × 80	42 × 42 × 167	20 × 20 × 43.5
重さ [kg]	1.5	1.5	1	0.13
	電動 XYZ マニピュレータ	電動試料ステージ	電動インジェクタ	圧電アクチュエータ
操作方法	USB ジョイスティック	USB ジョイスティック キーボード 画面操作	USB ジョイスティック	USB ジョイスティック 画面操作
コントロールソフト	Windows PC にインストールして使用			
通信方法	シリアル通信			
	電装盤			ピエゾアンプ
寸法 [mm]	250 × 400 × 500			320 × 350 × 149
重さ [kg]	19			7.5
電源	AC100-125V 50/60Hz 3A			AC100-125V 50/60Hz 2A

注) \* 位置決め用途として使用した場合

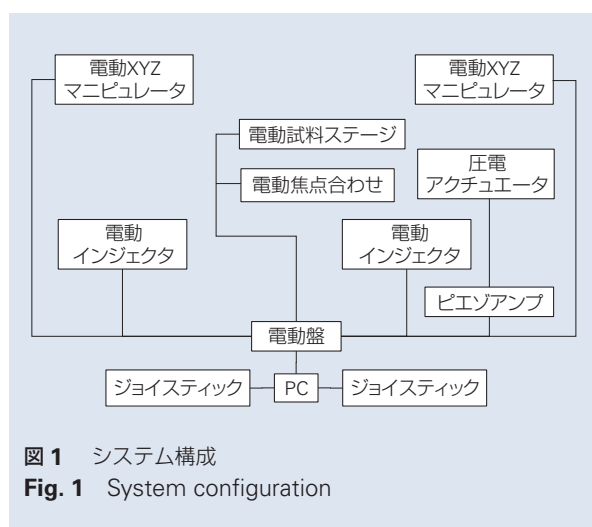


図 1 システム構成  
Fig. 1 System configuration

電動試料ステージ，電動焦点合わせは，顕微鏡に設置して，顕微鏡視野下の操作対象の位置調整を行うために使用する。

電動インジェクタは，マイクロツールに中空の先細りガラス針を使用する場合，細胞など操作対象の保持や，溶液注入操作時の流量調整を行うために使用し，空圧，液圧駆動が可能である。

これら電動駆動部は，ステッピングモータを使用し，駆動は分解能を細かく分割した設定で行う。電動

XYZ マニピュレータ，電動試料ステージの分解能は 0.1 μm となっている。開発したマニピュレーションシステムは，対物レンズの変倍操作以外は全て電動化した構成となっている。

### 2.3 圧電アクチュエータ

圧電アクチュエータは，写真 2 に示すようにマニピュレータに搭載して使用する。圧電アクチュエータの構成は，独自開発した微細位置決め装置“ナノポジショナー<sup>1)</sup>”の構成を応用している。ナノポジショナーでは微細位置決め目的で圧電アクチュエータを用いているが，開発したマニピュレーションシステムでは，マニピュレータに装着したマイクロツールを微細に振動させる用途で使用する。圧電アクチュエータは，ピエゾアンプと接続して使用し，ピエゾアンプは電装盤と接続する。圧電アクチュエータは，電装盤から出力された制御信号をピエゾアンプに入力して増幅された電圧を印加することで，駆動する。圧電アクチュエータの ON/OFF 操作はジョイスティック上のボタン操作で行う。卵細胞を低ダメージで穿孔操作するため，圧電素子には KHz オーダの周波数を持った電圧信号を印加する。

圧電アクチュエータによる卵細胞穿孔操作は，先端径が数 μm の先細りした中空ガラス針をマイクロツ



ルとして使用し、写真2に示すようにその中に予めフロリナートを充填した状態で行う。圧電素子を駆動すると、圧電アクチュエータに装着されたガラス針が細かく振動するので、写真3に示すように卵細胞の変形量が小さい穿孔操作が実現可能となる。

2.4 操作・制御方法

操作は写真4に示すように、顕微鏡にカメラを装着してその画像をモニタ上に表示し、その画像を見ながらジョイスティックのみでほとんどの操作を行う。そのため、使用者は楽な作業姿勢で操作を行うことが可能となり、作業者の長時間操作の負担軽減を実現し

た構成となっている。

使用するジョイスティックは、USB インターフェイスでハンドル上にボタンが配備されており、このボタンを操作することで、高精度なマニピュレータ操作を容易に行うことが可能となっている。さらにインジェクタ、圧電アクチュエータもジョイスティック上のボタンで操作することが可能となっており、マニピュレータ以外の機器を操作する際にもジョイスティックから手を離すことなく操作が可能となっている。

電動試料ステージは、図2のコントローラ画面上のボタンやPCのキーボードを使用して操作する。し

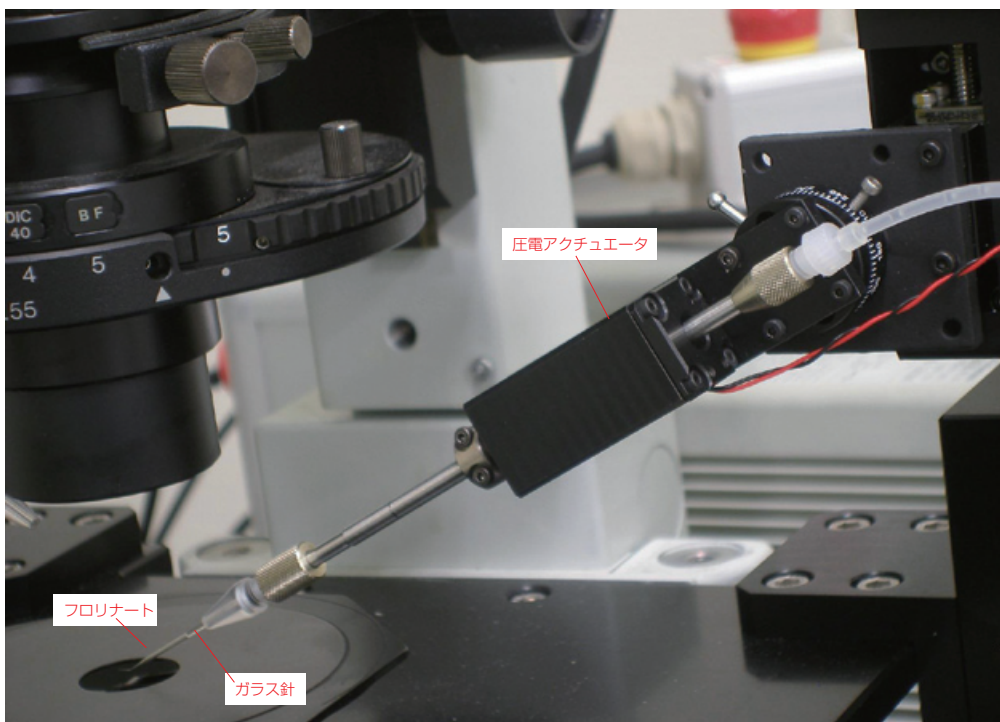


写真2 圧電アクチュエータ  
Photo 2 Piezoelectric actuator

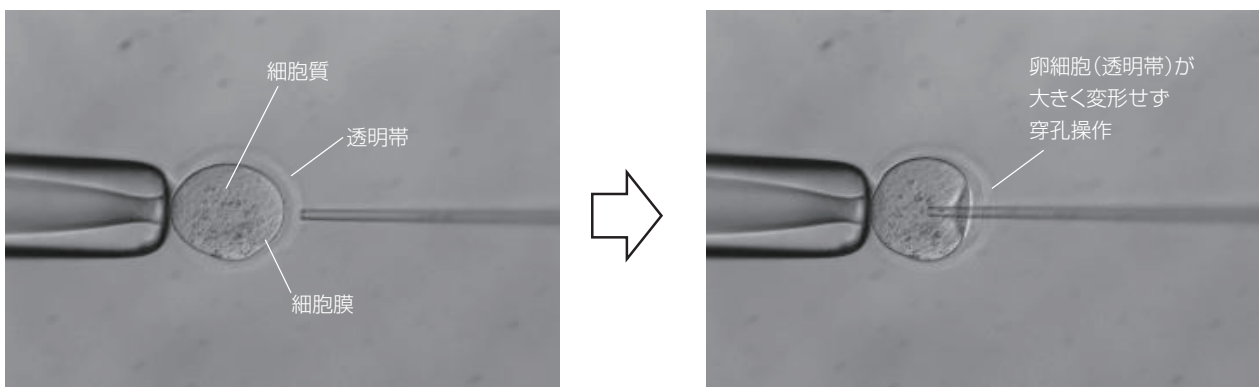


写真3 穿孔動作  
Photo 3 Perforated motion

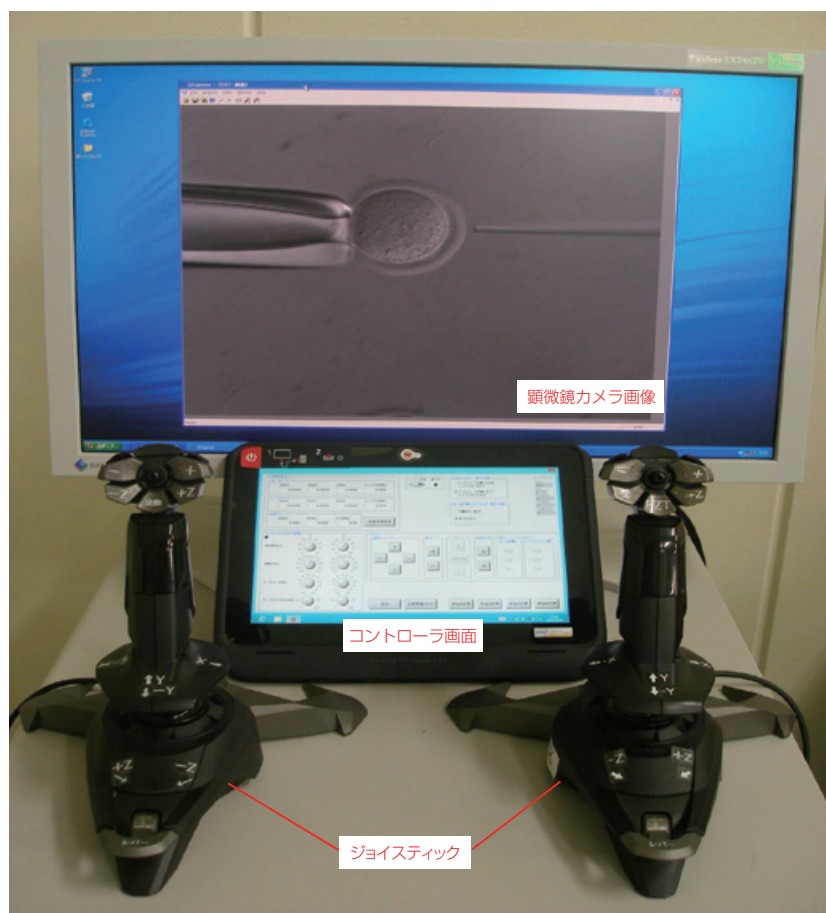


写真4 ジョイスティック操作環境  
Photo 4 Joystick operating environment

かしこれも、別途ジョイスティックを準備すれば、ジョイスティック操作にも対応することが可能である。

制御はPCを使用し、電装盤とPCはシリアル通信で信号の送受信を行う。ジョイスティックなどの操作に応じてPCで作成された制御信号は、電装盤を經由してモータを駆動する。コントロールソフトウェアの操作画面は図2のようになっており、駆動速度等の設定、位置記憶操作、試料ステージ等の駆動操作が可能となっている。また、マニピュレータの操作方法次第では、使用ジョイスティックの変更、制御OSの変更にも対応することが可能となっている。

開発したマニピュレーションシステムは電動駆動のため、電気的な配線を考慮すれば、顕微鏡から離れた場所で作業することが可能である。

### 3. 自動化機能

開発したマニピュレーションシステムは自動化機能を有する。開発した自動化機能は2種類あり、画像処理機能とシーケンス機能である。

公益財団法人実験動物中央研究所との共同研究では評価試験の際、この開発機能を使用し、マウス卵細胞を用いた操作を行なっている。

#### 3.1 画像処理機能

一度の操作で複数の卵細胞を操作する必要がある場合、顕微鏡視野下に散在する卵細胞位置情報を把握しながら操作済と未操作の卵細胞が混在しないように操作する必要がある。卵細胞を操作する際の顕微鏡視野領域は高倍率のため狭く、散在する卵細胞の全体位置を把握することは難しい。

操作を行う前に予め設定した軌跡で試料ステージを駆動しながら顕微鏡画像を集録(図3A)し、それを合成することで広範な領域が把握可能な画像情報を作成(図3B)し、さらにそれを画像処理(図3C)することで、集録した画像中に散在する卵細胞を認識する機能を開発した。

さらに画像処理で認識した卵細胞をジョイスティック操作に応じて、順次顕微鏡視野下に自動で位置決めし(図3D ①-③)、かつガラス針が常時同じ位置か

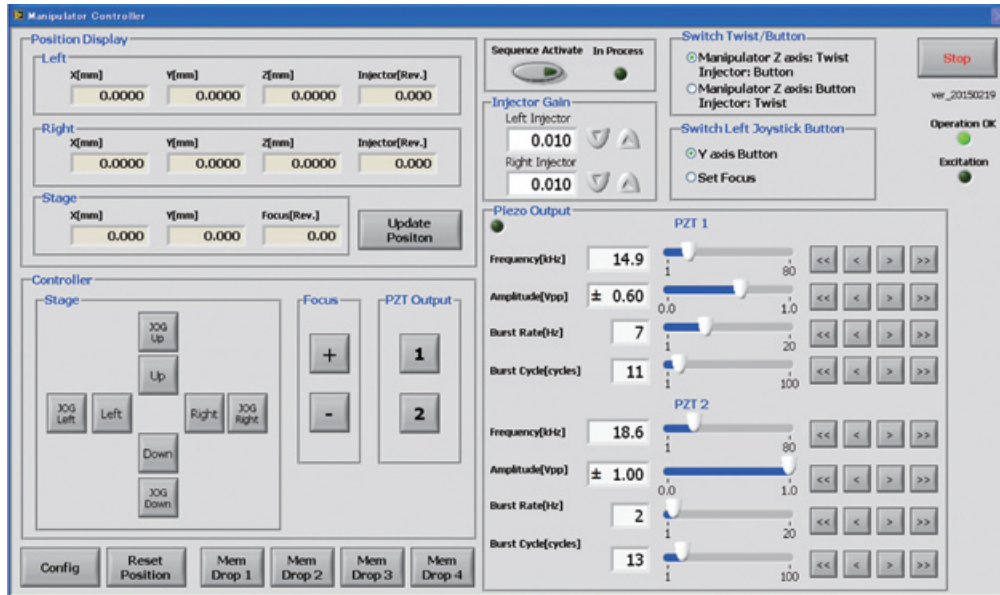


図2 コントローラ画面  
Fig.2 Control screen

ら操作開始可能となるよう自動で位置決めする機能(図3D④)を有している。

この機能を使用することで、培地中に散在する卵細胞の位置を作業者は把握する必要がなく、操作済の卵細胞とそうでないものが混在することを防ぐことができる。

また、図3Dに示すように、bの卵細胞を操作開始時のガラス針位置(図3D④)と、cの卵細胞を操作するガラス針位置(図3D⑦)が、自動で同一となるように設定し、常に同じ位置から注入操作を開始することが可能であり、再現性の高い操作が可能となる。

### 3.2 シーケンス機能

マニピュレータを操作する際、顕微鏡視野下の異なる作業場所を往来し、その作業場所にマイクロツールの位置を調整する作業が必要となる場合がある。例えば、卵細胞内に細胞をインジェクション操作する場合、図4A-Cに示すようにインジェクション操作位置と細胞採取操作位置を往来しながら、ガラス針位置調整操作を行う必要がある。この場合、往来する位置情報を作業者が把握しながら試料ステージ等を操作し、その都度微小空間内でマイクロツールの位置調整を行うため、操作は非常に煩雑で熟練度を要する。開発したマニピュレーションシステムは、PCによる制御駆動が可能である。この利点を活かし、駆動軸の位置情報記憶や記憶した位置へ移動するシーケンス機能を開発した。煩雑な作業手順で高精度な位置調整作業が必要な場合、記憶した位置、あるいは指定した位置

へ移動する指令を複数組み合わせせたシーケンス動作をコントローラ上に予め設定し、必要に応じて実行することで一連の動作を自動駆動することが可能となっている。さらに、開発したマニピュレーションシステムはマニピュレータ、試料ステージ等複数の駆動軸を1つのコントロールソフトウェアで統合して制御を行うため、それらの連動したシーケンス駆動を行うことが可能となっている。

その結果、煩雑な作業を自動化することが可能となり、図4Dに示すようにジョイスティックボタン動作で、培地1と培地2の往来とそれぞれの場所でのガラス針の位置調整動作を自動で行うことができ、作業効率の向上を実現することが可能となる。

## 4. 性能評価結果

評価試験は、公益財団法人実験動物中央研究所との共同研究として実施した。実験動物のマウス卵細胞を使用して、受精卵にDNAを注入して遺伝子組換え動物を作製するDNAマイクロインジェクション操作、胚盤胞にES細胞を注入してキメラ動物を作製するES細胞インジェクション操作、未受精卵に精子を注入し顕微受精を行うICSI操作を行った。

### 4.1 インジェクション操作結果

DNAマイクロインジェクション、ES細胞インジェクション、ICSI操作の各評価試験結果は表2から表4に示すような結果となっており、操作に応じて遺伝子

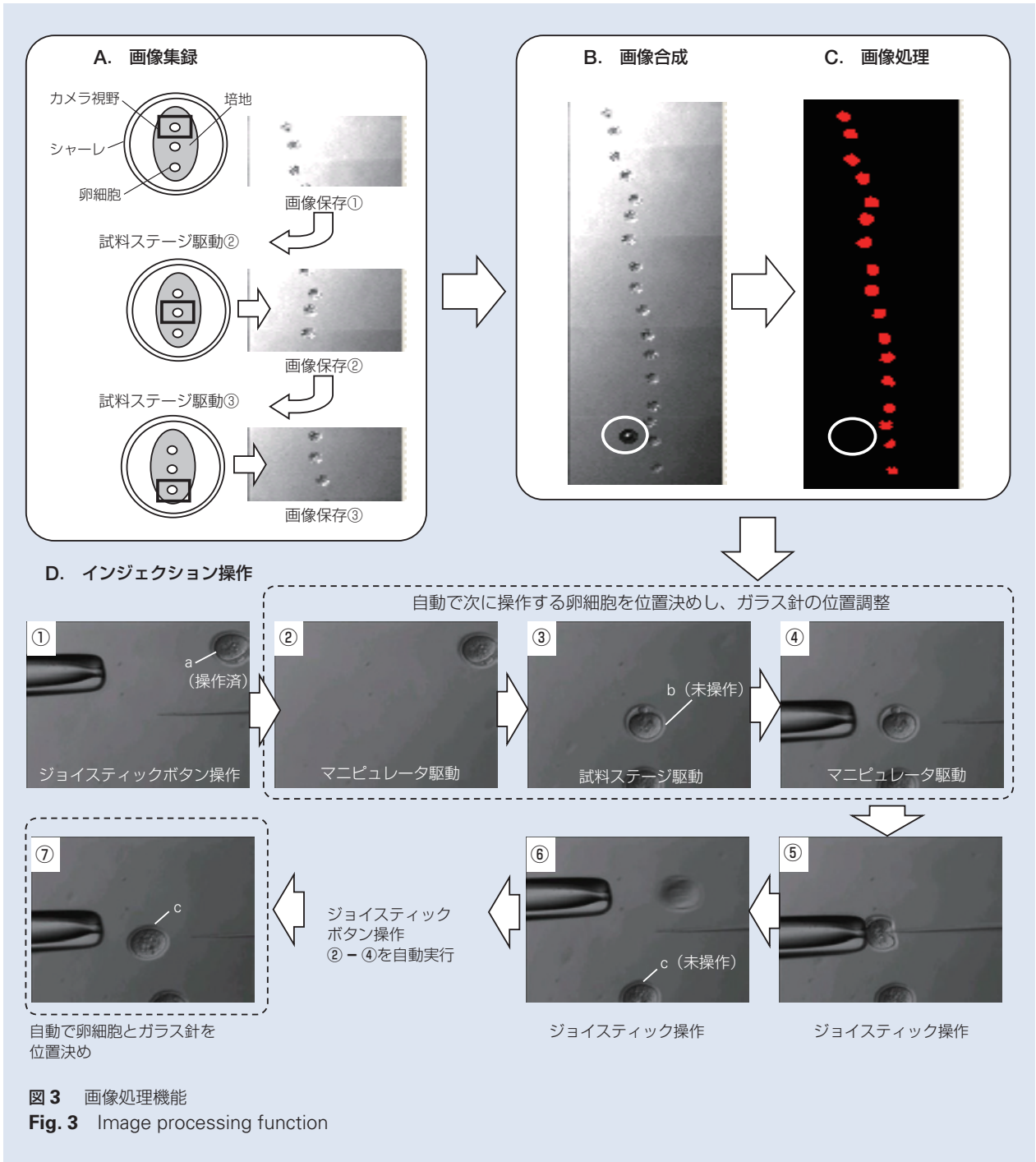


表 2 DNA マイクロインジェクション結果

Table 2 Results of DNA microinjection

DNA	受精卵マウス 系統	インジェクション			産仔					トランスジェニック マウス	
		操作胚数	生存胚数	%	移植胚数	着床数	%	出産子数	%	Tg 陽性 数	%
pEGFP-N1	C57BL/6J	115	109	94.8	94	61	64.9	39	41.5	3	2.6

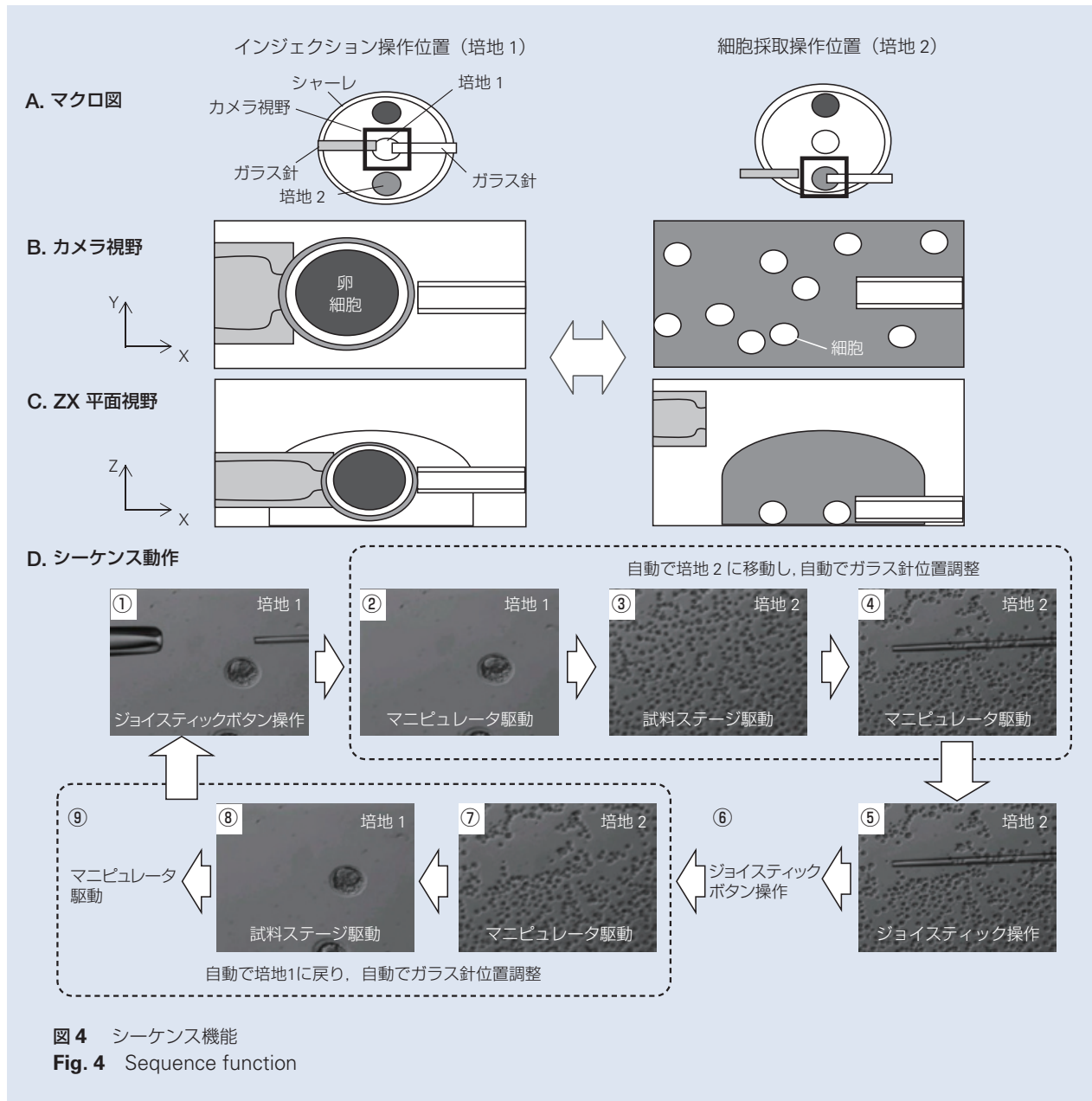


表 3 ES 細胞インジェクション結果  
 Table 3 Results of ES cell injection

ES 細胞	胚盤胞 マウス系統	インジェクション						産子		キメラマウス			
		操作 胚数	移植 胚数	着床数	%	胎子数	%	里子 匹数	離乳 子数	個体数	%	GT 数	%
129 系統 MM8	C57BL/6J	122	122	80	65.6	40	32.8	34	26	17	13.9	17	13.9

表 4 ICSI 結果  
 Table 4 Results of ICSI

系統名		インジェクション			培養				産仔				
♀	♂	操作 胚数	生存 胚数	%	0.5 (2PN)	%	1.0 (2Cell)	%	移植 胚数	着床数	%	胎子数	%
Jcl:BDF1	Jcl:BDF1	94	77	81.9	68	88.3	66	97.1	66	50	75.8	34	51.5

組換え動物，キメラ動物，ICSI による産仔作出を確認することができた<sup>2)-4)</sup>。

ES 細胞インジェクション，ICSI 操作では，卵細胞の穿孔操作するために圧電アクチュエータを使用している。特に ICSI 操作は未受精卵が死滅しやすく操作が難しいといわれている。卵細胞を大きく変形させることなく低ダメージで瞬時に穿孔操作を行うことが必要である。表 4 の結果は従来技術を使用した場合の結果<sup>5)</sup>と差異はなく，開発した圧電アクチュエータの有用性が確認できた。

#### 4.2 画像処理機能評価結果

開発した画像処理機能は，図 5 に示すように使用した卵細胞を正確に認識することができた。また，画像処理機能を使用することで，自動で次に操作する卵細胞を顕微鏡視野下に位置決めし，同時にガラス針が常時同じ位置から操作開始できるように位置調整されることを確認できた。

この機能の有用性を評価するために，インジェクション操作している状況を動画保存し，1 個の卵細胞を操作する時間を計測した結果を図 6 に示す。解析した結果，画像処理機能を使用した場合，それを使用しない場合に比べ，DNA マイクロインジェクション操作では約 8 %，ES 細胞インジェクション操作では約 18 %，ICSI 操作では 26 % の時間短縮を実現し，作業効率向上が確認できた。

#### 4.3 シーケンス機能評価結果

開発したシーケンス機能は，インジェクション操作とインジェクションする細胞を採取する操作場所が異なる操作(ES 細胞インジェクション操作，ICSI 操作)で使用し，一連の動作が問題なく機能し，インジェクション操作を行うことが可能なこと確認できた。

この機能の有用性を評価するために，インジェクション操作している状況を動画保存し，シーケンス動作に相当する時間を計測した結果を図 7 に示す。解析した結果，シーケンス機能を使用した結果，それを使用しない場合に比べ，約 60 % の時間短縮を実現し，作業効率の向上を確認することができた。

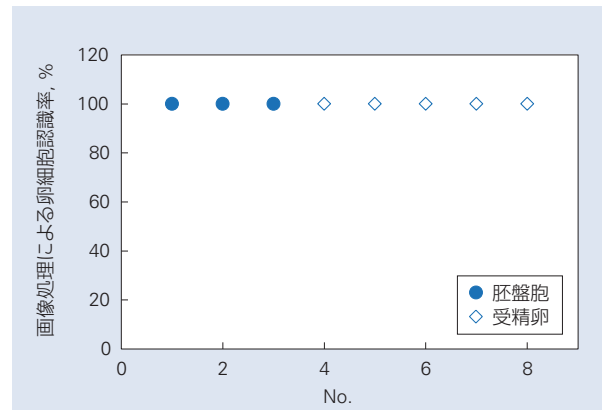


図 5 画像処理結果

Fig. 5 Results of image processing

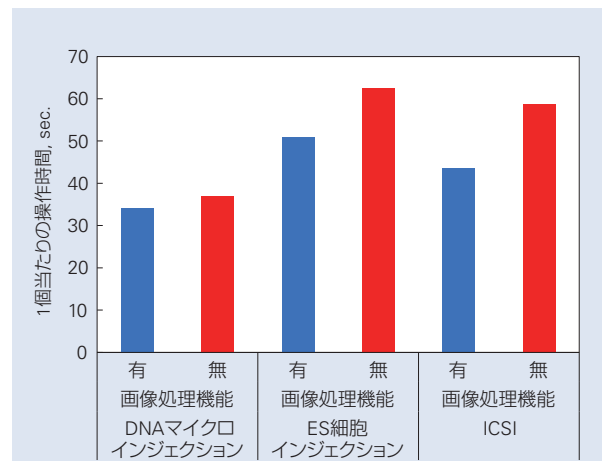


図 6 インジェクション操作時間の比較

Fig. 6 Comparison of injection operation time

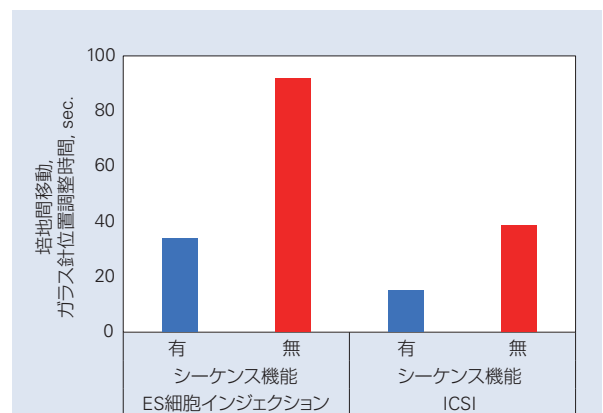


図 7 シーケンス機能の効果

Fig. 7 Effect of sequence function

## 5. あとがき

開発したマニピュレーションシステムは、軸受、ボールねじ、リニアガイドという NSK 製品を組合せることで機械システムを構成し、新たに開発したソフトウェア技術を融合したメカトロ製品である。

このシステムを共同研究で使用し、実用可能であることを実証できた。

本システムはバイオ用途以外にも、成分分析の前処理工程として微小な異物を採取するための用途にも適用することができる。

このマニピュレーションシステムは、認証機関による海外規格適合審査を受け、規格（北米規格 UL、欧州規格 CE マークおよび European Harmonized Standards）に適合している事が確認されている。そのため、海外への展開も可能となっている。

今後も公益財団法人実験動物中央研究所と共同研究を継続し、成果を積極的に対外発表しながら、このマニピュレーションシステムの性能向上に努め、バイオ研究分野の発展に貢献していく。

## 参考文献

- 1) 田中 伸明, “ナノポジショナーの開発”, NSK テクニカルジャーナル, 680 (2006) 29-35.
- 2) 上迫 努, 田中 伸明, 佐藤 晃, 遠藤 圭子, 板井 元, 伊藤 亮治, 江藤 智生, “電動操作可能なマニピュレータを用いたトランスジェニックマウスの作製”, 日本実験動物技術者協会第 44 回全国総会講演要旨集, (2010) 101.
- 3) 上迫 努, 田中 伸明, 伊田 幸, 遠藤 圭子, 日置 恭司, 伊藤 守, 江藤 智生, “セミオートマニピュレータの開発と有用性—その 2”, 第 58 回日本実験動物学会総会講演要旨集, (2011) 192.
- 4) 上迫 努, 田中 伸明, 日置 恭司, 江藤 智生, “セミオートマニピュレータを用いた ICSI 操作について”, 第 60 回日本実験動物学会総会講演要旨集, (2013) 217.
- 5) Keisuke ENDOH, Keiji MOCHIDA, Narumi OGONUKI, Mika OHKAWA, Akie SHINMEN, Masao ITO, Naomi KASHIWAZAKI, Atuo OGURA, “The Development Ability of Vitriified Oocytes from Different Mouse Strains Assessed by Parthenogenetic Activation and Intracytoplasmic Sperm Injection”, Journal of Reproduction and Development, 53-6(2007)1199-1206.

## 謝辞

本開発に際してご協力いただきました、公益財団法人 実験動物中央研究所 江藤 智生 様、上迫 努 様に深く感謝いたします。

# ボールねじの摩擦特性安定化技術



新井 覚\*

新井 覚

## Strategy for Frictional Behavior Control in Ball Screws

S. Arai

This paper reviews a strategy for controlling frictional behavior in ball screws installed onto precision feed drive systems. This strategy is featured by the technology development for consistency of frictional characteristics. In order to verify the performance of consistent frictional behavior in a ball screw, an accuracy evaluation of circular interpolation motion with two orthogonally oriented axes was carried out on a unique feed drive system originally developed for this experimental investigation. The new strategy has successfully contributed to obvious stability and repeatability of motion delays caused as quadrant glitches in reverse motions, and has also led to less trajectory errors in circular interpolation motion. With function of a servo controller, the consistent quadrant glitches can be compensated successfully everywhere on the ball screw shat. Therefore, a ball screw with consistent frictional behavior can provide a feed drive system with potential values in a future production system. The consistency of frictional characteristics of ball screws leads to another advantage of less heat generation. This reduction in temperature rise has been observed in various levels of the practical ball screw feed drive system.

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. まえがき</li> <li>2. 送り駆動機構の構成要素としてのボールねじ</li> <li>3. ボールねじの運動制御性             <ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 摩擦特性とその制御</li> <li>3.2 運動誤差の高精度評価機構</li> <li>3.3 運動誤差の評価結果</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>4. ボールねじの発熱低減</li> <li>5. あとがき</li> </ul> |
|--|--|

### 1. まえがき

ボールねじが NC 工作機械の黎明期より送り駆動機構の重要な構成要素としての役割を果たしはじめてから、すでに 50 年以上の月日が経過した。

この間、ボールねじの技術開発は、主として生産性を高めるための高速化と付加価値向上ための高精度化の要求に応えることを大きな使命としながら、進化を遂げてきた。

本稿では、近年更なる価値の提案が求められているボールねじについて、摩擦特性に注目することで高機能化を目指した技術開発の一端を紹介する。

### 2. 送り駆動機構の構成要素としてのボールねじ

図 1 は、ボールねじを組み付けた送り駆動機構の一例としてセミクローズドタイプの工作機械用送り駆動機構の構成を示したものである。ボールねじとそのねじ軸を支持する軸受、機台と一体的に軸受を保持する支持ブラケット、テーブルとその案内（例えばリニアガイド）、サーボモータが基本となる構成要素である。

送り駆動機構を制御対象として見た場合、その制御には共振を回避し得る周波数応答性と適切な摩擦特性が要求される。送り駆動機構の重要な構成要素である

\* 直動技術センター BS 技術部



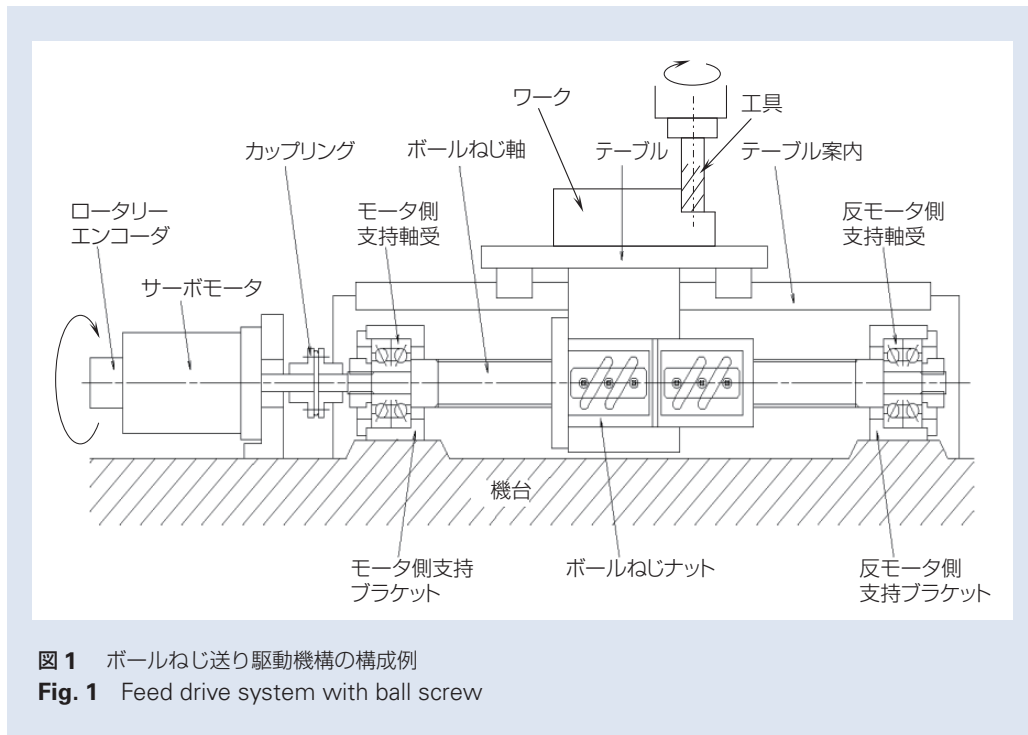


図1 ボールねじ送り駆動機構の構成例  
Fig. 1 Feed drive system with ball screw

ボールねじにおいても制御対象としての安定した摩擦特性が求められ、通常はトルクがその指標となる。

送り駆動機構を構成するボールねじや軸受におけるトルクの変動、案内や送り駆動機構を覆うカバーなどで生じる摩擦の変化は、サーボモータの制御性に少なからず影響を与える。このような摩擦の変化は、一般に送り駆動機構の加減速時や運動反転時に誤差として顕在化しやすい。特に運動反転時の摩擦特性の変化に起因する現象については、象限突起と呼ばれる運動の遅れを引き起こすことが知られている。

この象限突起に関しては、例えば工作機械上の複数軸の補間運動により加工されたワークの表面に筋状の痕跡を残す場合があり、高精度加工が要求される用途においては、顕著な加工面品位の低下を生じさせる原因となる。そのため、機械設計と制御システム設計の横断領域における実践的な課題として、現象解明を目的としたさまざまな研究が行われてきた。その成果として、指令値に対して実際の運動が遅れを生じるメカニズムには転がり要素の非線形ばね特性<sup>1)</sup>が影響しており、向心加速度の条件<sup>2)</sup>についての考察も必要なことが理解されるようになった。

当社においても、ボールねじ起因の象限突起現象を解明するため、さまざまな評価を実施してきた。その結果、オフセットリード予圧タイプのボールねじにお

ける運動反転時のトルク特性の変化を、ボールとねじ溝の接触する点数が変化する領域の存在により説明することで、いわゆる第二の象限突起の発生がボールねじの予圧方式の違いに依存しやすいことを明らかにしている<sup>3)</sup>。

一方で実際の送り駆動機構における象限突起の大きさは、摩擦要素のほか、機械自体の設計や構成にも影響される。従って、この種の運動誤差を摩擦要素のみの工夫により減少させることは難しい。このような背景から、一般的には機械系および制御系のシステム同定の際に象限突起を補正する信号を作成できる補償器の機能を整えることで、象限突起の補正が実施される<sup>4)</sup>。

機械が摩擦要素および弾性体で構成されている以上、象限突起に代表される運動誤差は、避けることができない<sup>5)</sup>。しかし、この運動誤差を安定したものにすることができれば、補正信号による補償が容易となる。問題となるのは、摩擦の不安定性である。当社ではこの課題に対する摩擦要素自体の改善アプローチとして、ボールねじの摩擦特性がねじ軸上のどの位置でも均一になるように工夫することで、制御系による象限突起補正機能の効果および精度を高める策を立案した。

### 3. ボールねじの運動制御性

#### 3.1 摩擦特性とその制御

ボールねじ起因で生じる摩擦の変化を制御するためには、ボールねじのトルクおよび摩擦特性に影響する因子を理解することが重要である。

式(1)に予圧ボールねじの基準トルクの算出式を示す。

$$T_{p0} = k \frac{F_{a0} \cdot l}{2\pi} \quad (1)$$

$T_{p0}$  : 基準トルク (N・cm)

$F_{a0}$  : 予圧荷重 (N)

$l$  : リード (cm)

$k$  : ボールねじのトルク係数

式(1)の関係からは、ボールねじのトルクが予圧荷重、リードに依存することがわかる。

図2は、ボールねじの摩擦特性に影響する因子の関係を表したものである。当社でのこれまでの評価によれば、広義の摩擦特性は、予圧方式、ボールとねじ溝の接触状態や面の仕上がり状態、材質、潤滑状態などの因子に複合的に依存することがわかっている。これらの影響は、式(1)に示すボールねじのトルク係数に関係するものとして考えることができる。

摩擦特性の変化を低減させるためには、特にトルク

の変動幅を低減して安定化させること、ボールとねじ溝の接触状態と潤滑状態を適切に管理することが重要である。

#### 3.2 運動誤差の高精度評価機構

図3は、ボールねじ送り駆動機構の摩擦特性を評価するために開発した運動誤差の高精度評価機構である。

この装置は、直交2軸の送り駆動機構をフルクローズドループにより数値制御する方式で構成されている。

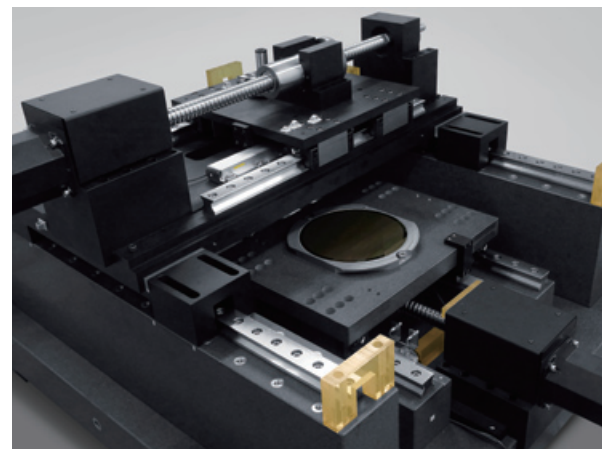


図3 運動誤差の高精度評価機構

Fig. 3 Precision ball screw feed drive system for motion error evaluation

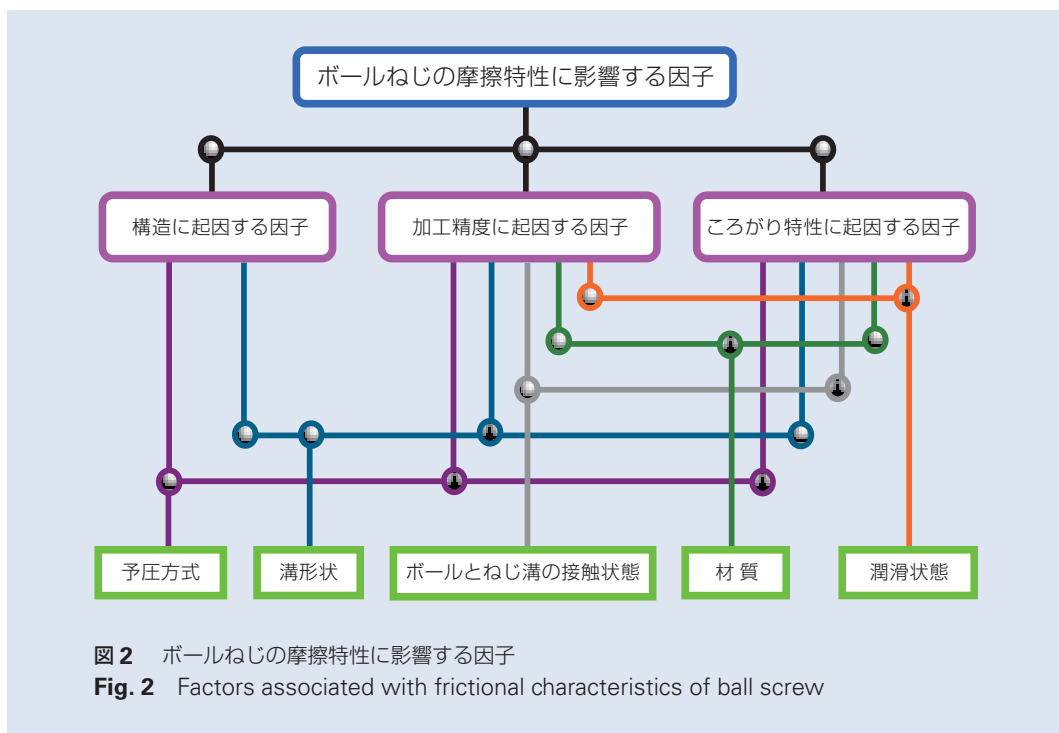


図2 ボールねじの摩擦特性に影響する因子

Fig. 2 Factors associated with frictional characteristics of ball screw

る。機械を構成する際に不可避なアップ・エラーなどの誤差要因について、随所にその影響を最小限に抑える工夫を施してあることが特徴である。その効果は、3種類の方法（テーブル上のグリッドエンコーダ、各軸のリニアスケール、機外に設置して計測するレーザー測長システム）で計測された輪郭精度評価結果がほぼ一致することで確認されている。

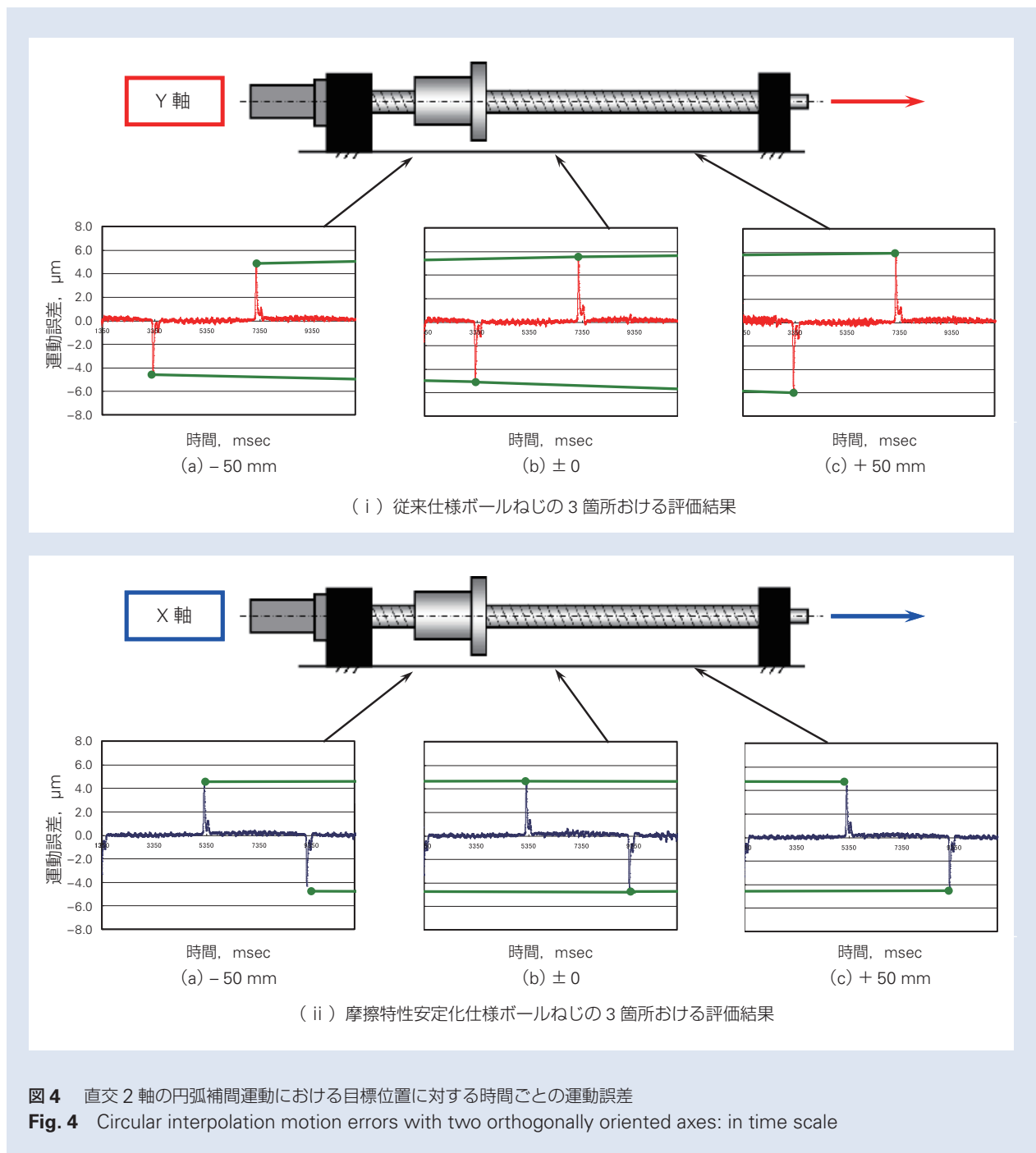
またこの装置では、ボールねじのねじ軸に対する予張力の付与やリニアスケールの取り付け位置の変更を

含むさまざまな条件で運動誤差の評価が可能である。

### 3.3 運動誤差の評価結果

図4には、従来(JIS-C5級)仕様(Y軸)と摩擦特性安定化の施策を反映させた仕様(X軸)のボールねじ(軸径:  $\phi 40$  mm, リード: 12 mm)を対象として、上述の評価機構上で目標位置に対する時間ごとの運動誤差量を測定した結果を示している。

ここでは送り速度 480 mm/min で R10 の直交 2



軸の円弧補間運動の目標位置を指令値として与えており、対象のボールねじごとに 50 mm ずつ運動の中心位置をずらしながら評価を実施している。直交 2 軸の円弧補間運動は、ボールエンドミルなどを用いた高精度輪郭加工では一般的なものである。金型加工のように高い面品位が求められる高精度マシニングセンタでは、加減速や運動反転時の影響を確認するためにこのような円弧補間運動による機械の精度評価が実施されることが多い。

直交 2 軸機構による円弧補間運動では、一周あたり 1 軸の送り駆動機構ごとに 2 度の運動反転がある。従って図 4 を見ると、各軸にそれぞれ 2 箇所ずつの象限突起が観測されている。この評価結果によると、従来仕様 (Y 軸) のボールねじにおいては位置の変化に伴って象限突起の高さに変化が生じている一方で、摩擦特性を安定化させた仕様 (X 軸) ではいずれの場所においてもその高さが同等であることがわかる。

図 5 は、この傾向をわかりやすくするために、真円度グラフのスタイルに運動誤差の評価結果をまとめたものである。便宜的に X 軸に摩擦特性を安定させ

た仕様、Y 軸に従来仕様のボールねじを配置した評価結果を示している。ボールねじ上での評価範囲は、実際の用途を念頭において図 4 の場合よりも広く設定している。

この図からは、Y 軸の従来仕様比べて X 軸の摩擦特性を安定させたボールねじの象限突起の方が、どの箇所でも同一に近い形状で現れていることがわかる。さらに同図を運動反転時以外の円弧補間運動部分について見てみると、従来仕様の配置された Y 軸方向では運動誤差にばらつきがあるのに対して、摩擦特性が安定した仕様の X 軸方向ではいずれの箇所でも運動誤差のばらつきが少ないことがわかる。

これまでの議論では、ボールねじの摩擦変動が顕在化しやすい象限突起を代表例として運動誤差への影響を考察してきたが、上述の結果からは、円弧補間運動部分の誤差のばらつきを低減する観点でもボールねじの摩擦特性を安定化させる効果が大いことがわかる。

図 6 は、同一の位置で送り速度を 4 段階にわたり変化させた際の直交 2 軸の円弧補間運動における運

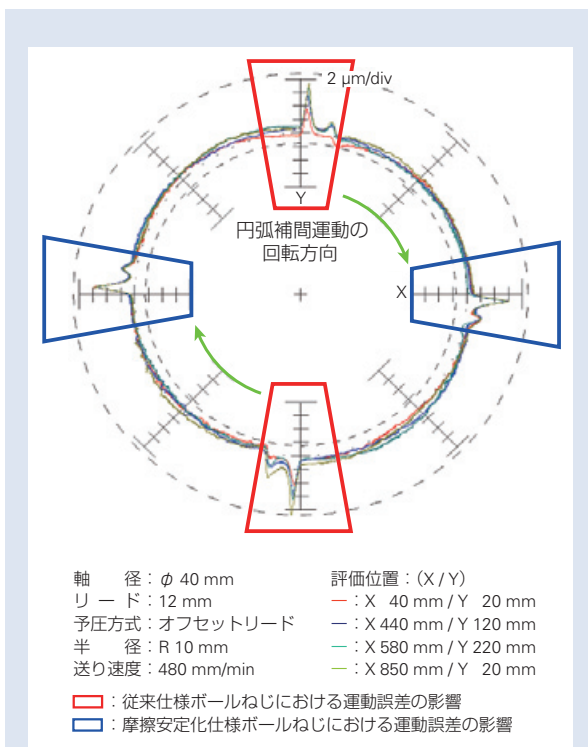


図 5 直交 2 軸の円弧補間運動における位置ごとの運動誤差

Fig. 5 Circular interpolation motion errors observed with two orthogonally oriented axes: different positions with same feed rate

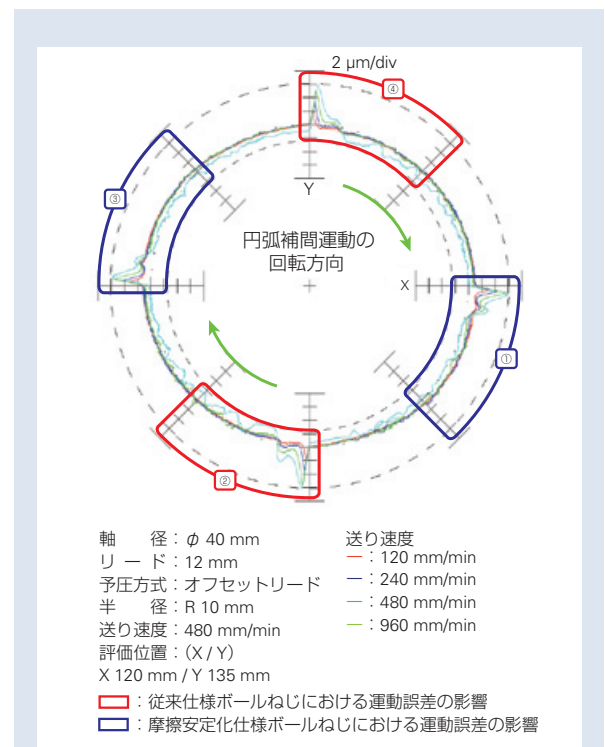


図 6 直交 2 軸の円弧補間運動における送り速度ごとの運動誤差

Fig. 6 Circular interpolation motion errors observed with two orthogonally oriented axes: same position with different feed rates

動誤差を、真円度グラフ上に示したものである。X軸に摩擦特性を安定化させた仕様、Y軸に従来仕様のボールねじを設定した条件は、上述の場合と同様である。この評価結果によると、送り速度が速い場合に象限突起の高さが大きくなっており、向心加速度の影響（転がり要素で発生する摩擦力と機械構造に起因する慣性力の影響）が見て取れる。しかしながら、その程度はY軸方向の従来仕様と比べてX軸方向の摩擦特性を安定化させた仕様の方が相対的に低く、かつ正負方向それぞれでの運動反転時の形状再現性もX軸方向において高いことがわかる。

また円弧補間運動部分の誤差については、X軸方向の摩擦特性を安定化させた仕様において輪郭精度が相対的に高い傾向（図中の①および③における運動誤差のゆらぎが②および④におけるそれよりも小さい傾向）が見て取れる。対象とした2種類のボールねじを送り駆動機構に組み付けた際の制御系パラメータの設定は、ほぼ同等のコンディションに同定されていたことがわかっている。よってここで見られた現象は、同一の制御系の条件において運動が反転した際に象限突起として出現した潜在的な運動の遅れが、X軸の摩擦特性を安定型させた仕様において小さかったことに起因するものであると考えることができる。

上述の結果より、X軸に配置した摩擦特性を安定化させた仕様のボールねじでは、象限突起ならびに輪郭制御の観点で一貫性のある運動制御性を有することが確認された。このような仕様のボールねじを搭載した送り駆動機構であれば、どの位置で象限突起の補正パラメータを同定しても、位置の影響を受けず運動反転時における象限突起の影響を均一に補正することができる。さらに運動反転時の潜在的な運動誤差が補正されることから、円弧補間運動部においても高い輪郭精度を得られる効果が期待できる。

#### 4. ボールねじの発熱低減

ボールねじの摩擦特性を安定化させる効果が運動制御性の向上に貢献できることを確認できた一方で、この工夫はボールねじの発熱を低減させることにも一定の効果を持つと考えられる。

式(2)は、ボールねじの発熱量を示した関係式である。

$$Q \propto nT \quad (2)$$

$Q$  : 単位時間あたりの発熱量 (kJ / h)

$n$  : ボールねじの回転速度 ( $\text{min}^{-1}$ )

$T$  : 摩擦トルク ( $\text{N} \cdot \text{cm}$ )

ボールねじの発熱量は、回転速度とトルクに依存している。従って運動制御性の向上に寄与したトルクの変動幅低減やボールとねじ溝の接触状態と潤滑状態の適切な管理といった摩擦特性安定化の施策は、ボールねじの潜在的な発熱の低減と安定化にも効果をもたらす可能性がある。

図7は、同じサイクルで運動する同一構成のボールねじ送り駆動機構を並列に配置して、温度上昇の傾向をサーモグラフィにより評価した結果である。左側には従来仕様、右側には摩擦特性を安定化させた仕様のボールねじを配置している。評価にあたっては、ボールねじは両者ともに予圧荷重、剛性の面で同一仕様とみなせるように設定している。

評価結果からは、摩擦特性を安定化させた仕様のボールねじ全体における温度上昇の傾向が、従来仕様のボールねじに比べて低減されていることがわかる。ボールねじの温度上昇値は発熱量に対して比例関係にあるため、ねじ軸上の運動範囲における温度上昇の傾向は、発熱量の大小関係に一致していると見なすことができる。

図8は、ボールねじの発熱による位置決め精度の変化を記録したものである。

評価に使用した送り駆動機構は、サーボモータ側を固定支持、反サーボモータ側を単純支持の仕様で構成しており、セミクローズドループで制御されている。

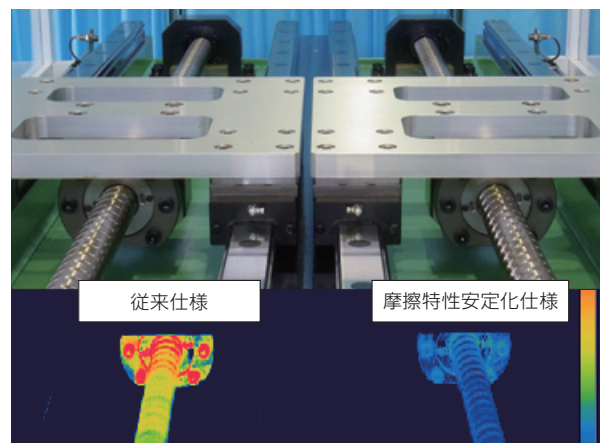
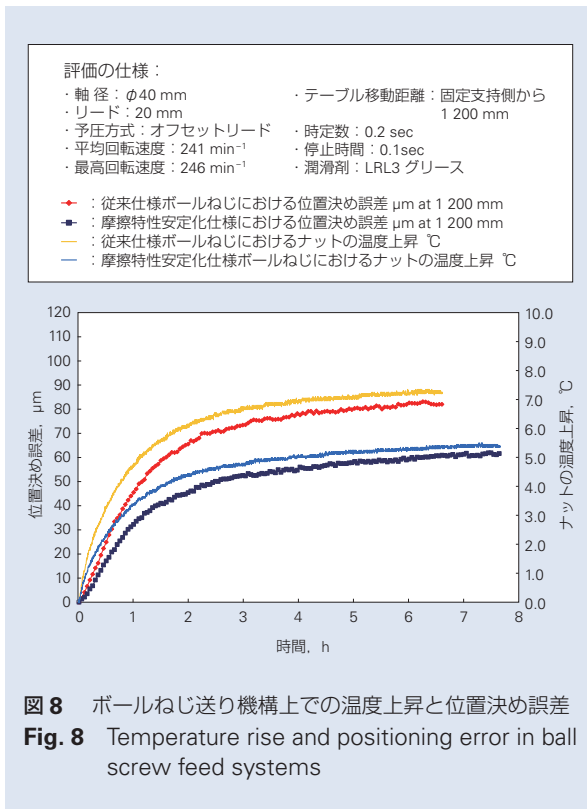


図7 ボールねじ送り駆動機構上での温度上昇（サーマルイメージ）

Fig. 7 Thermal image of ball screw feed drive systems



そのため、ボールねじ自身の発熱によるねじ軸の線膨張は、反サーボモータ側への位置決め誤差として顕在化しやすい。よってここでは位置決め誤差量として、固定側から 1 200 mm 離れた点での位置決め精度を反サーボモータ側方向からレーザ測長システムにより計測した。

同図を見ると、従来仕様のボールねじではナットにおける温度上昇 7.2 °C を生じつつ位置決め誤差が 82 μm に飽和しているのに対して、摩擦特性を安定化させた仕様ではナットにおける温度上昇 5.4 °C で位置決め誤差は 62 μm に低減されている。この結果からは、ボールねじの温度上昇傾向とねじ軸の線膨張による位置決め誤差量の増大がほぼ比例関係にあること、ボールねじの摩擦特性安定化が送り駆動機構の位置決め精度向上に貢献し得ることがわかる。

これまでボールねじの発熱対策では、ねじ軸の線膨張を低減する軸芯冷却方式や、発熱体自体を冷却するナット冷却方式などの強制冷却方式が検討されてきた<sup>6)</sup>。ここで示した評価結果は、さまざまな制約条件により強制冷却方式による温度上昇低減策の適用が難しい場合であっても、摩擦特性を安定化する技術が新たな発熱対策の選択肢として検討に値することを示している。

## 5. おわりに

本稿では、ボールねじの摩擦特性を安定化させるための技術とその効果についてまとめた。

世界的に社会環境が激変するなかにあって、今後の製造市場にはこれまでにないイノベーションとその展開が予想される。

当社としては製造市場の進化に貢献し続けるべく、摩擦特性の安定化のようにボールねじに求められる将来像を常に先取りして、さらなる送りの質の向上と高機能化に努めていく所存である。

### 参考文献

- 1) 大塚二郎, “太古の木製ねじから仕様拡大一途のボールねじまで (20) = 超精密位置決めに影響を与えるボールねじの非線形ばね剛性 =”, 養賢堂機械の研究, 第 66 巻 第 6 号 6 月号 (2014) 499 - 509.
- 2) 佐藤隆太, 堤 正臣, 長島一雄, “円運動証言切り替え時における送り駆動系の動的挙動”, 精密工学会誌, Vol. 72 No. 2 (2006) 208 - 213.
- 3) 宮口和男, 二宮瑞穂, 渡辺靖巳, 新井 寛, 濱村 実, 垣野義昭, “ボールねじの運動方向反転時の摩擦トルク変動に関する研究 (第 1 報)”, 精密工学会誌, Vol. 68 No. 6 (2002) 833 - 837.
- 4) 樋口拓郎, 国貞宏通, 国井嘉仁, 佐藤隆太, 堤 正臣, “マシニングセンタの円弧補間運動における二山象限突起の補正”, 日本機械学会論文集 (C 編), 78 巻 788 号 (2012-4) 1211 - 1220.
- 5) 新井 寛, “工作機械の構造設計に見るボールねじを用いた位置決め機構設計のポイント”, 日刊工業新聞社 機械設計, Vol. 58 No. 8 (2014) 128 - 133
- 6) Kazuo Miyaguchi, Satoru Arai, “State of the Art Ball Screw Trends for Machine Tool Applications”, Journal of SME - Japan, Vol.2 August (2013) 13 - 18.

商品

紹介

新興国市場向け高信頼性クラッチリリース軸受

High-Reliability Clutch Release Bearings for Emerging Markets

近年、新興国市場においては急速にモータライゼーションが進展しつつあるが、車両に搭載されるトランスミッションはマニュアル形式が主流となっており、クラッチリリース軸受の使用も多くなってきている。

しかし、道路環境の整備、拡充は遅れており、劣悪な道路環境下で自動車が使用される機会は、先進国よりも多く、車外からの泥水等に晒され易いクラッチリリース軸受は、より高い耐水性能が求められている。

NSKでは、従来のクラッチリリース軸受と同等のフリクションを維持しつつ、耐水性能を向上させたクラッチリリース軸受(写真1)を開発したので、その概要を紹介する。



写真1 新興国市場向け高信頼性クラッチリリース軸受  
Photo 1 High-reliability clutch release bearing for emerging markets

1. 構造、および仕様

図1に従来品と開発品の断面図を示す。

従来品に対し開発品は、両シールとも既存の非接触リップを強化し、変速機側シールに非接触リップを2箇所新設している。また、スリーブ外径部には、排水みぞを新設し、軸受内部に泥水等の異物を、浸入させない構造とした。

なお、本開発品の耐水性能は、クラッチカバー内に泥水が浸入した場合を想定し、実車部品を用いた評価・検証を行った。(図2)新設した2箇所のリップが、泥水等の異物の浸入を抑え、また例え泥水が浸入しても、排水みぞによって排出させる構造により、軸受部周辺の泥水の滞留を低減させることができ、耐水性の飛躍的な向上が図れた。(図3)

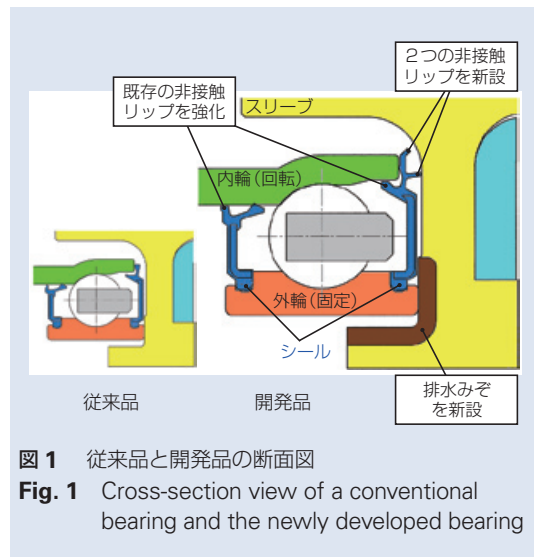


図1 従来品と開発品の断面図  
Fig. 1 Cross-section view of a conventional bearing and the newly developed bearing

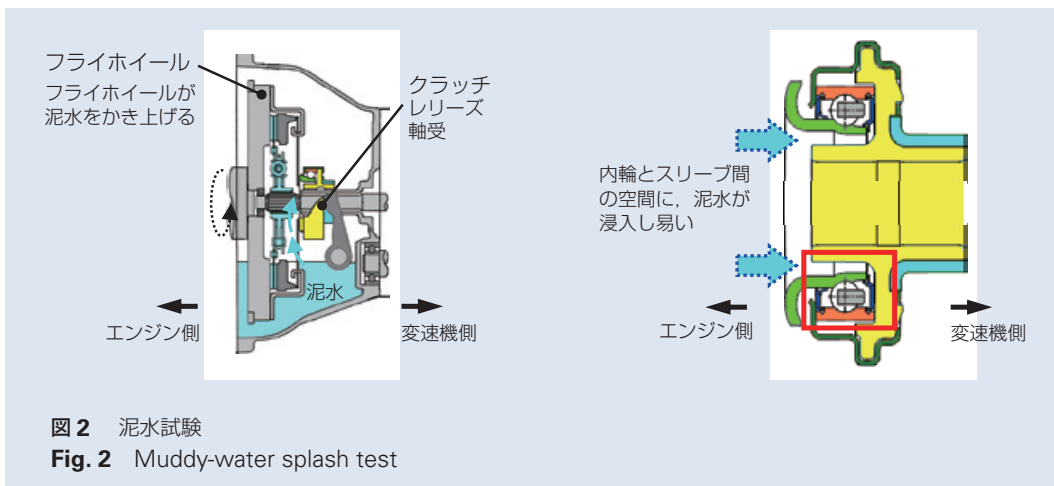
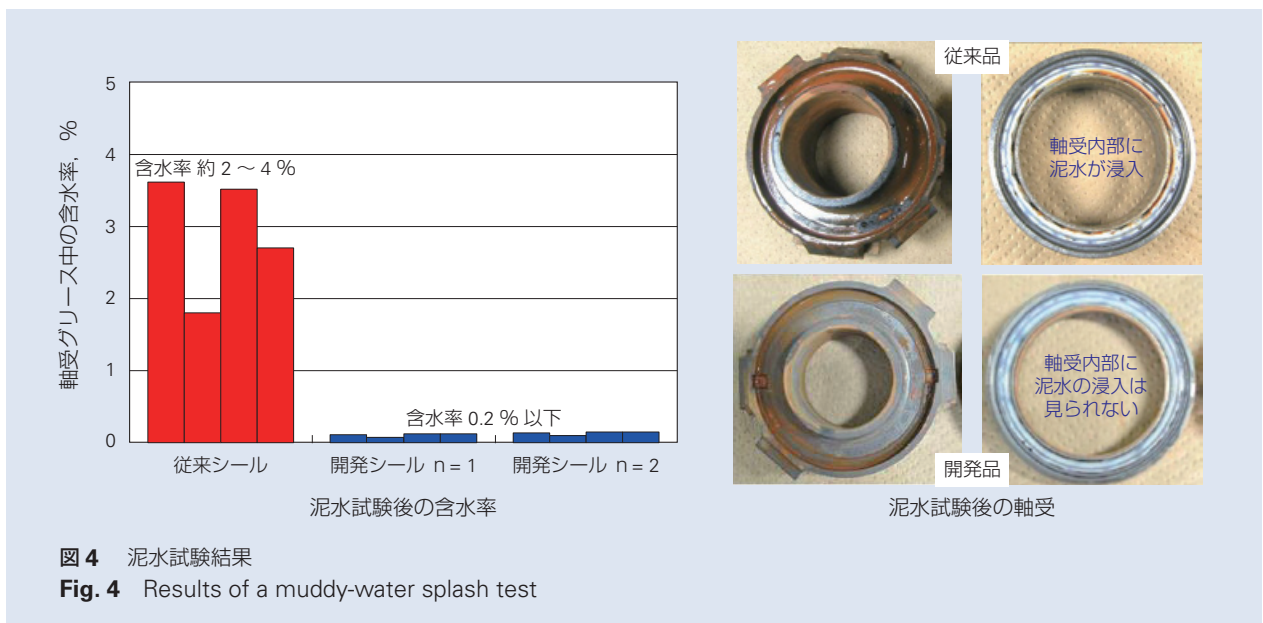
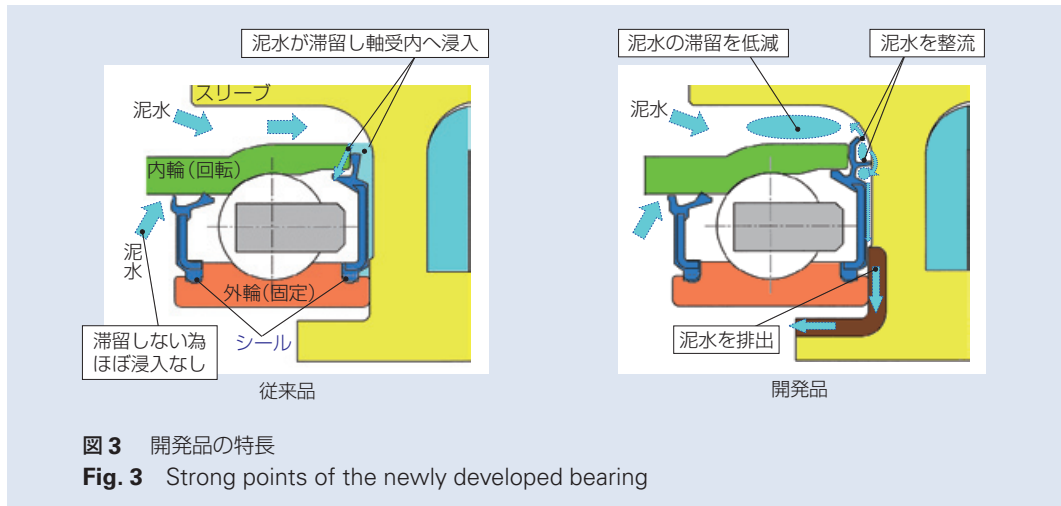


図2 泥水試験  
Fig. 2 Muddy-water splash test



## 2. 開発品の効果

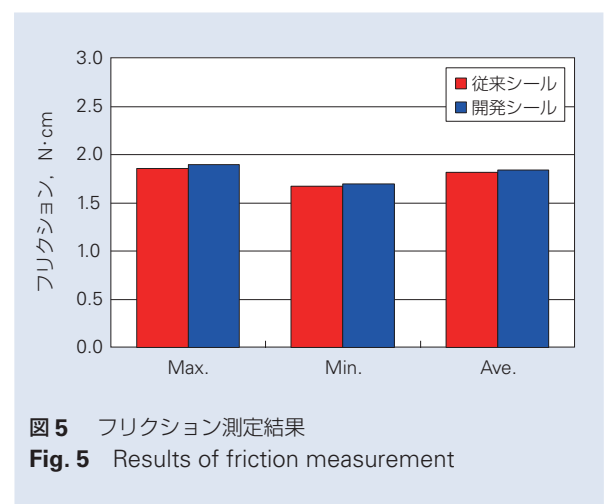
図4に従来品と開発品の泥水試験結果を示す。開発品は、軸受内に浸入する泥水が、大幅に低減されている。

図5に従来品と開発品のフリクション測定結果を示す。開発品のフリクションは従来品と同等である。

## 3. まとめ

マニュアルトランスミッション車両の比率が高い新興国では、クラッチレリーズ軸受の耐久性能の向上が益々求められてくるものと思われる。

今後も引き続き、劣悪な使用環境下におけるクラッチレリーズ軸受の耐久性を維持・向上させていきたい。





商品

紹介 小型軽量プラネタリ用ニードル軸受

Compact, Lightweight Planetary Needle Bearings

近年、自動車の低燃費化がグローバルに進んでいる。このため、変速機の小型・軽量化、高効率化が急務となっている。また、変速機の高効率化のために、潤滑油の低粘度化や少油量化も進んでいる。したがって、変速機内のプラネタリ機構は、潤滑油が希薄な過酷環境で使用される傾向にある。

NSKでは、変速機の小型・軽量化、及び潤滑油の少油量化への対応を実現するために、樹脂保持器を採用した小型軽量プラネタリ用ニードル軸受(写真1)を開発したので、以下に紹介する。

1. 構成, 構造, および仕様

プラネタリピニオンの自公転高速化に伴い、保持器には高強度、高耐久性が要求される。NSKでは、保持器材料にクロムモリブデン鋼を採用し、保持器断面をM型形状とすることで保持器強度、耐久性を向上させた高速回転仕様のプラネタリ用ケージ&ローラを既に市場展開している。

今回の開発品は、プラネタリピニオンの公転速度が低回転であり、保持器の高強度、高耐久性が要求されない用途を対象にしている(図1)。保持器材料に樹脂を採用すると同時に、解析を用いた最適設計と耐久性の検証確認により、プラネタリ用ニードル軸受の小型軽量化を実現した。

2. 特長

保持器材料に樹脂を採用し、保持器の形状を最適化することで、以下の優れた性能を実現した。

- (1)軽量化
- (2)小型化
- (3)潤滑油量制御機能付与(低粘度化・少油量化)

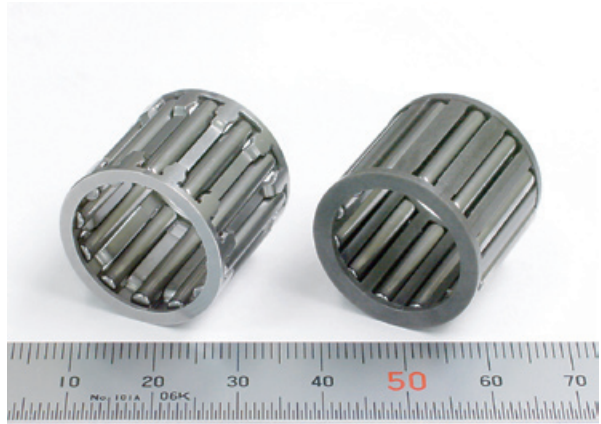


写真1 小型軽量プラネタリ用ニードル軸受(写真右)  
Photo 1 Compact, lightweight planetary needle bearings (newly developed bearing on right)

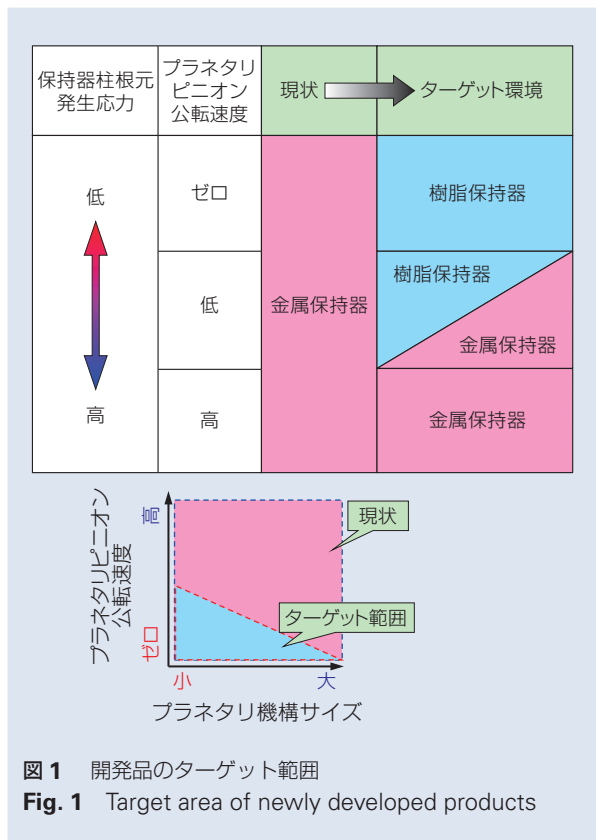


図1 開発品のターゲット範囲  
Fig. 1 Target area of newly developed products

現行品の“金属保持器”と開発品の“樹脂保持器”の仕様比較を表1に示す。保持器材料を樹脂とした場合、従来の金属保持器に比べて強度が低下する。しかし、解析を用いた保持器形状の最適化を行うことで、保持器に発生する応力を約66%低減することが可能となった。

保持器の耐久性確認試験を行い、金属保持器を用いた場合のプラネタリピニオン公転速度領域に対し、約60%（低速度側）まで適用可能であることを確認した。

樹脂保持器の採用により、従来の金属保持器に対し、軸受サイズをキープした場合、軸受重量の軽量化が可能となる。例えば、軸受サイズ“φ16×φ22×幅20(mm)”の場合では、25%の軽量化が実現する。

また、金属保持器では、プレス加工性から、保持器柱幅を極端に太く、あるいは細くすることが困難であり、ローラ本数に制限がある。しかし、樹脂保持器では、射出成形加工であるため、保持器柱の設計自由度が高く、ローラ本数を自由に設定することができる。従って、保持器強度を考慮し、最適なローラ本数・長さにすることで、同じ軸受容量を確保しつつ軸受幅を10%短縮することも可能となる。

さらに、射出成形加工では、保持器形状に様々な細工が可能である。例えば、潤滑油排出溝の追加により、軸受を通過する油量を制御することが可能となるので、少ない潤滑油の有効活用ができる(図2)。また、油溜まり形状を追加することで、潤滑油の保持性を向上させ、低粘度・少油量環境での焼付き・摩耗などを抑制できる。

### 3. 用途



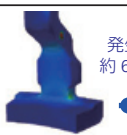

本製品は、プラネタリピニオンの公転速度が低回転であり、保持器の高強度、高耐久性が要求されない条件で使用されるニードル軸受に最適であり、変速機の小形・軽量化及び、潤滑油の少油量化に貢献する。

### 4. まとめ

本製品の開発により、“高強度”“軽量化”など、プラネタリピニオンの用途に合せたニードル軸受の最適提案を行っていく。

表1 現行品と開発品の仕様比較

Table 1 Specifications of current and newly developed products

	現行品	開発品
材料	高強度金属材	ガラス繊維含有型 ナイロン材
保持器形式	 M型タイプ (均一板厚素材)	 ストレートタイプ (柱板厚強化型)
耐熱温度	240℃	150℃
ピニオンギヤ公転時の保持器柱根元発生応力		 発生応力を 約66%低減
製品重量比 (保持器+ローラ)	1	▲25%軽量化 0.75



<貫通油量測定結果例>

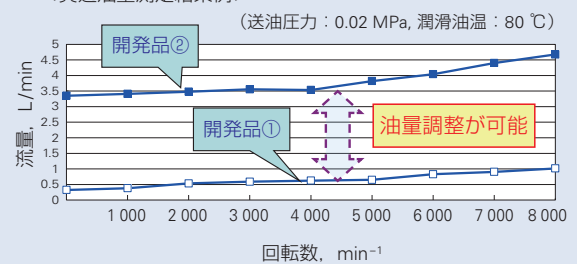


図2 潤滑油排出溝例

Fig. 2 Example of a discharge groove for lubricant

商品

紹介

アイドラ・テンショナ用高速高密度シール付き玉軸受

Idler/Tensioner Bearings with High-Speed Capabilities and Excellent Sealing Performance

エンジン補機ベルト周りに使用されるテンショナ用軸受やアイドラ用軸受(写真1)には近年、自動車の新興国使用に伴う被水環境やダスト環境に対する高密度性が求められており、同時に、プーリ小型化による耐高速性も必要となっている。

1. 構成, 構造, および仕様

エンジン周囲に搭載されるオルタネータやエアコンプレッサ、ウォーターポンプなどの補機は、ベルトによって駆動され、このベルトの張力を一定に保つためのテンショナや、ベルトレイアウトを決めるアイドラが使用される。このテンショナやアイドラは、ベルトの張力を支持するプーリに軸受を内蔵する構成となっている。

これらのエンジン補機はエンジンルームの前方に配置されることから、自動車の走行に伴い、水やダスト、さらには泥水にさらされることがある。そして、自動車の使用が新興国に広がるにつれて、未舗装路のように従来より厳しい条件で使用されることになり、軸受のシールには密封性の向上が求められている。

同時に近年、エンジンの小型化がグローバルに進んでいる。これによって、小型化したエンジン周りにベルトをレイアウトさせるため、プーリが小径化し、増速比が増えるという変化がみられ、軸受には耐高速性も求められている。

テンショナやアイドラ用の軸受には、接触型シールが用いられ、外部からの水やダスト侵入を防ぐと共に、軸受内部からのグリース漏れを防止している。シールの先端にはリップと呼ばれる可動部があり、内輪と摺動する部分を主リップ、外部侵入を防ぐ部分をダストリップ、グリース漏れを防止する部分をグリースリップ、これらを支持する部分を首部と呼んでいる。

本製品は、シール形状を最適化することによって、耐高速性と高密度性を兼ね備えた高速高密度シール付き玉軸受である。

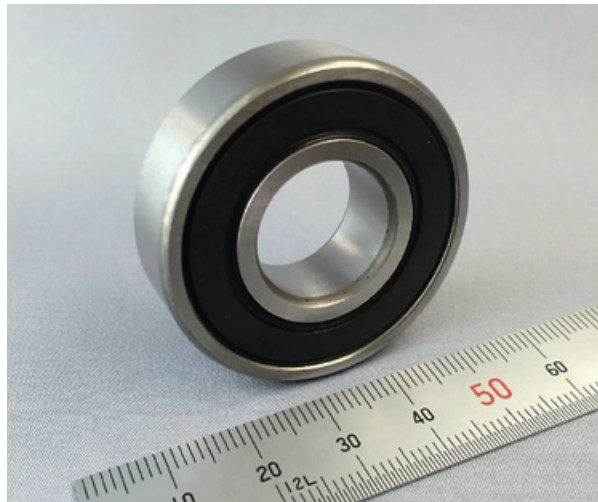


写真1 アイドラ・テンショナ用高速高密度シール付き玉軸受  
Photo 1 Idler/tensioner bearings with high-speed capabilities and excellent sealing performance

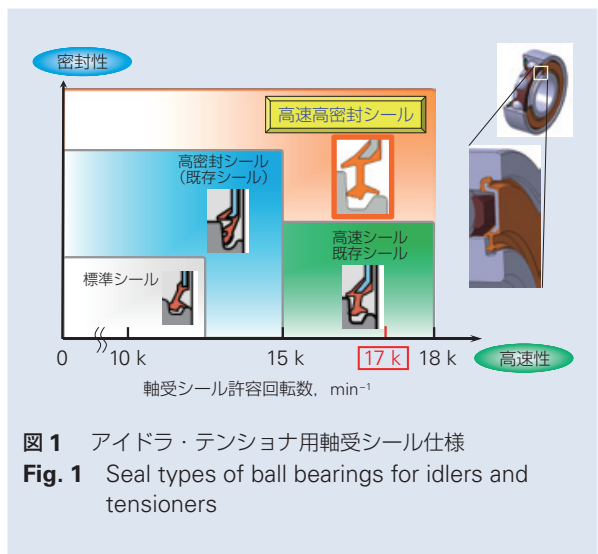


図1 アイドラ・テンショナ用軸受シール仕様  
Fig. 1 Seal types of ball bearings for idlers and tensioners

## 2. 特長

NSKにはこれまで、密封性に優れた高密封シールと高速性に優れた高速シールがあるが、今回の高速高密封シールは高速シールを改良し、高密封性と耐高速性の両立を実現したものである(図1)。

<特長> (図2)

- ①耐高速性の実現：従来の高速シールと同等の耐高速性を確保
- ②高密封性の実現：従来の高密封シールの2倍以上の密封性を達成

<開発のポイント>

- ・シールリップの重心位置を最適化する形状を採用し、高速回転に伴い増大する遠心力のシールリップへの影響を抑制
- ・首部の柔軟性を高めることにより反力変動を抑制
- ・ダストリップのすきまを減少させ、シールと軸受部品(内輪)との間にラビリンスを形成し、外部からの異物侵入を抑制

図3は、密封性の確認結果であり、補機ベルト駆動を再現した試験機にて軸受が回転している状態において水(泥水)をかける試験を行った結果、従来型シールに比べ軸受内への水浸入量が低減されている。

## 3. 用途

本商品は、近年、高速高密封化要求が高まる、テンション用軸受やアイドル用軸受用に使用できる。

## 4. まとめ

本製品は今後、お客様のニーズに応え、市場投入や軸受ラインナップの拡大を図っていく。

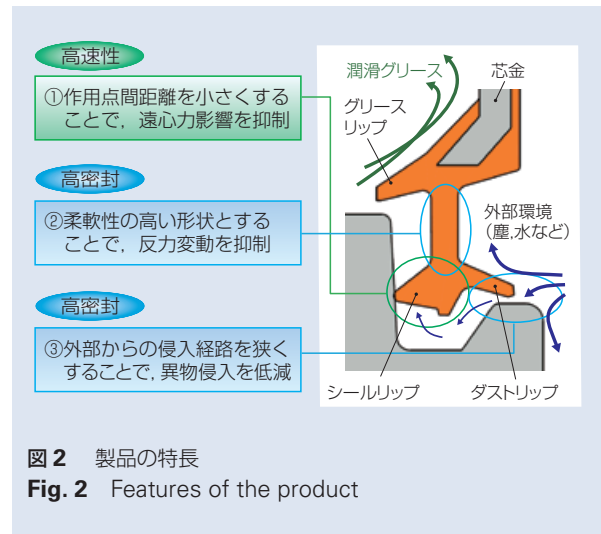


図2 製品の特長  
Fig. 2 Features of the product

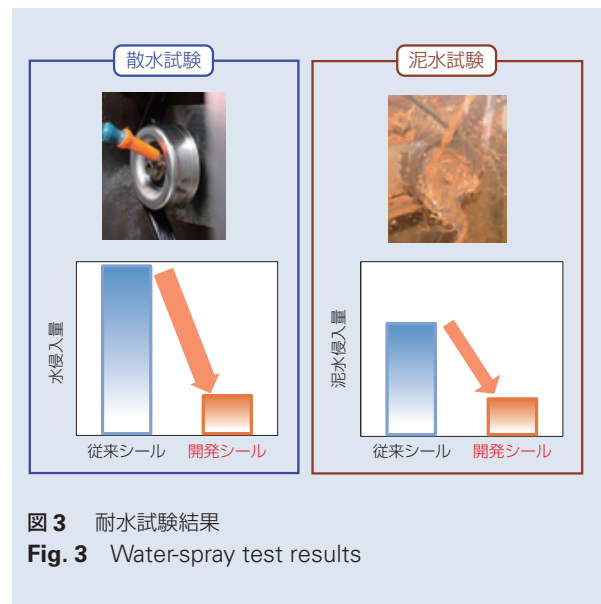


図3 耐水試験結果  
Fig. 3 Water-spray test results

商品

紹介 歯科エアタービン用軸受シリーズ

Dental Air-Turbine Bearings

40万  $\text{min}^{-1}$  にも達する回転を支える歯科治療エアタービン用軸受(写真1)には、定期メンテナンスで軸受交換が必要になるため、長寿命化が求められている。また、治療終了後、洗浄用薬液や高圧・高温環境での滅菌処理など、苛酷な環境に晒されるため、高耐食性も求められている。

これらのニーズに応えるべく、NSKは長寿命、低振動、高耐食の軸受を開発した。また商品化に際しては、市場で使われている、多種多様な寸法、形式、形状を持つエアタービン用軸受との互換性を持たせるためにシリーズ化を行なった。



写真1 歯科エアタービン用軸受  
Photo 1 Dental air-turbine bearings

1. 特長

(1) 寿命を従来比 1.5 倍に向上(図1)

エアタービン用軸受においては、治療を確実にこなすための超高速回転数を維持する事が重要であり、転がり疲れ寿命などの一般的な軸受寿命とは異なる寿命の考え方が必要となる。今回、新定義として、回転数寿命という考え方を導入した。所定の初期回転数が軸受故障により、あるしきい値を下回るまでの時間を寿命とした。回転数寿命を延長するためには、保持器の設計、寸法管理が重要となる。解析、検証により最適設計を導き出すと同時に、高度な加工技術による厳しい寸法管理によって、従来比 1.5 倍の回転数寿命を実現した。

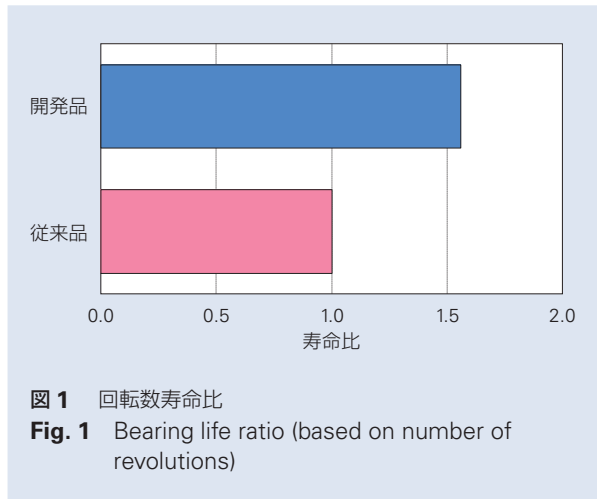


図1 回転数寿命比  
Fig. 1 Bearing life ratio (based on number of revolutions)

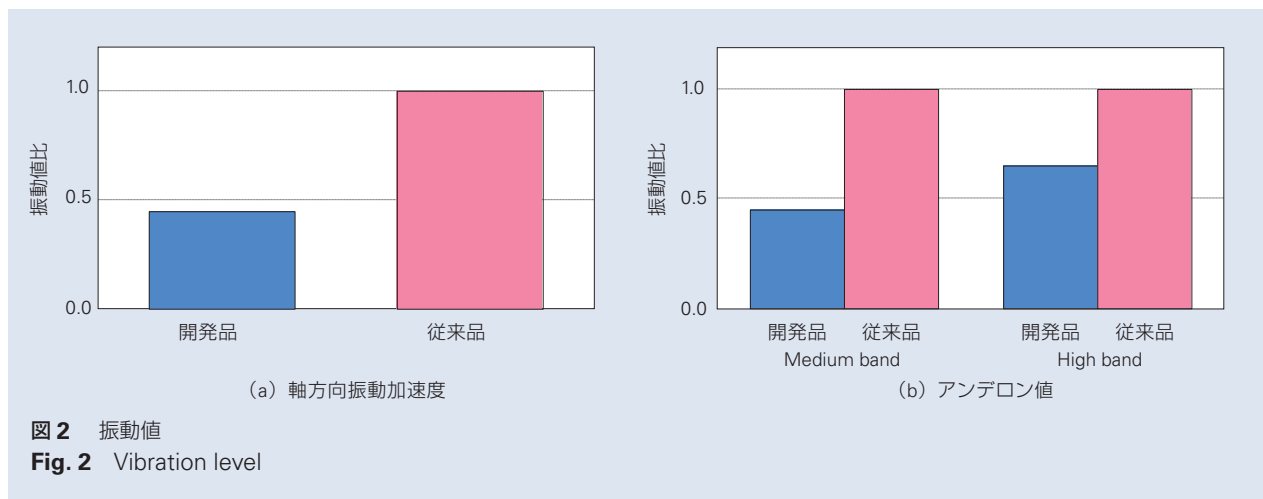


図2 振動値  
Fig. 2 Vibration level

(2) 振動を従来比 1/2 に低減(図 2)

軸受から発生する振動が、エアタービンの切削能力や歯科医治療時の微妙な感触に影響することがわかっている。本製品では、軸受内外輪や玉の加工精度を向上することで、従来比 1/2 の低振動を実現した。

(3) 耐食性を 10 倍に向上(図 3)

エアタービンの洗浄には様々な洗浄液が使用されており、強アルカリ性のものが使用されるケースもある。また、一般的な滅菌処理では、高温(~135℃)、高圧水蒸気中に晒される。軸受にもこれらの洗浄、滅菌処理に耐えられることが要求されているため、NSK 独自開発の高耐食材料を採用することで、耐食性向上を実現した。

(4) 基本的寸法、形式、形状をシリーズ化(図 4)

エアタービン用として幅広く使用される軸受形式(深溝玉軸受、アンギュラ軸受、インテグラル軸受)と外径形状(ストレート、フランジ、グループ、特殊フランジ)を、43 型番のシリーズとしてラインアップした。

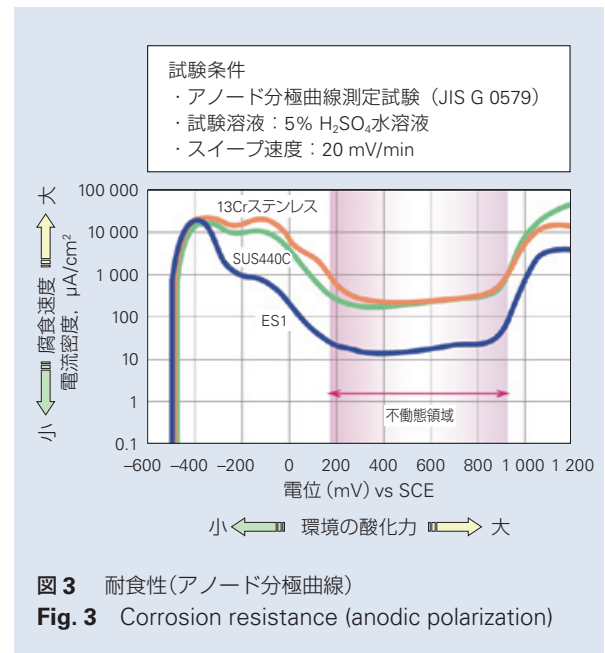
2. 用途

本製品は、歯科工エアタービンに適する。

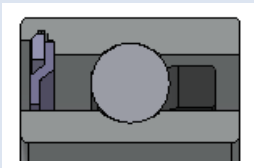
3. まとめ

本歯科工エアタービン用軸受は、軸受メンテナンスインターバルの延長や、安全で確実な洗浄・滅菌処理を可能にし、清潔で快適な治療環境に貢献するものである。

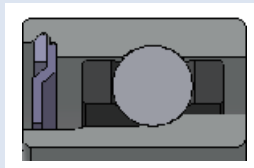
今後も安全、安心な社会の創造に繋がる製品の開発を引き続き進めていく。



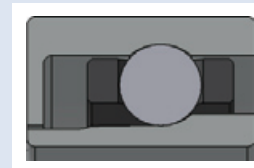
(a) 軸受形式のバリエーション



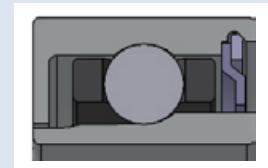
深みぞタイプ



アンギュラタイプ

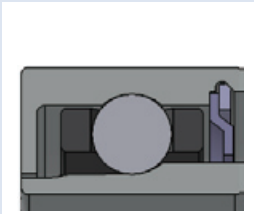


インテグラル  
アンギュラタイプ

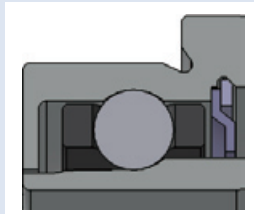


インテグラル+シールド  
アンギュラタイプ

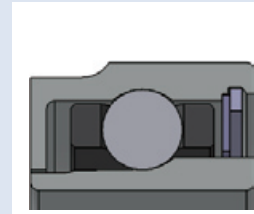
(b) 外形のバリエーション



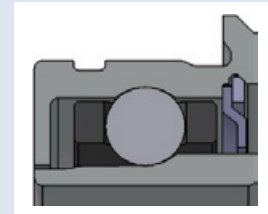
ストレートタイプ



フランジタイプ



グループタイプ



特殊タイプ

図 4 軸受ラインアップ

Fig. 4 Bearing lineup

商 品

紹 介 高速圧延機用長寿命密封 4 列円すいころ軸受

Long-Life, Four-Row Tapered Roller Bearings for High-Speed Rolling Mills

近年、新興国を中心とした人口増加と生活水準向上に伴い、食品缶や飲料缶などのブリキ鋼板の需要が拡大している。これらブリキ鋼板は、自動車鋼板などと比べ板厚が非常に薄く、鋼板コイル重量は軽くなるため、圧延速度の高速化による生産性向上が求められている。

このため、圧延機に使用する軸受は、高速回転に起因した下記の早期損傷が課題である。

- 1) 軸受シールリップ部の発熱による早期劣化から、軸受内部に圧延水が浸入し、潤滑不良による早期はく離や焼付きなど突発事故の発生。
- 2) 軸受内部の発熱によるグリースの早期劣化から、潤滑不良による早期はく離や焼付きなど突発事故の発生。

NSK では、高速回転においてもこのような突発事故を防止し、安定稼動を可能とした“高速圧延機用長寿命密封 4 列円すいころ軸受(写真 1)”を開発したので以下に紹介する。

1. 特長

- 1) 低発熱・高密封特殊シールの採用
  - ・ゴムシールリップ部に低摩擦係数の特殊樹脂 (PTFE) を一体成形した低発熱シールを採用 (図 1)。
  - ・高速回転においても、低発熱で高い密封性能を長期間維持することが可能(図 2)。

2) 軸受の低発熱化を実現

- ・軸受の発熱要因となる内外輪軌道面及び転動体表面の粗さを大幅に低減することで、軸受の低発熱化を実現 (図 3)。これにより、潤滑剤の熱劣化を大幅に抑制することが可能となる。

3) NSK 独自開発スーパー TF 軸受の採用により表面損傷寿命を向上

- ・NSK が独自開発したスーパー TF 軸受(新材料・新熱処理法)の採用により、水浸入や潤滑不良に起因する軌道面や転動体表面の損傷寿命を大幅に向上させた(図 4)。



写真 1 高速圧延機用長寿命密封 4 列円すいころ軸受  
Photo 1 Long-life, sealed four-row tapered roller bearings for high-speed rolling mills

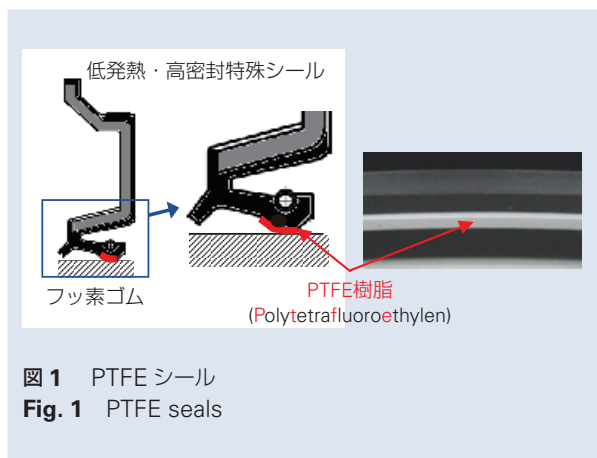


図 1 PTFE シール  
Fig. 1 PTFE seals

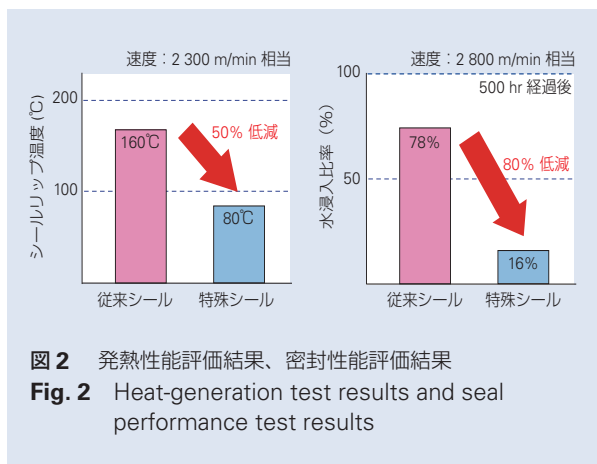
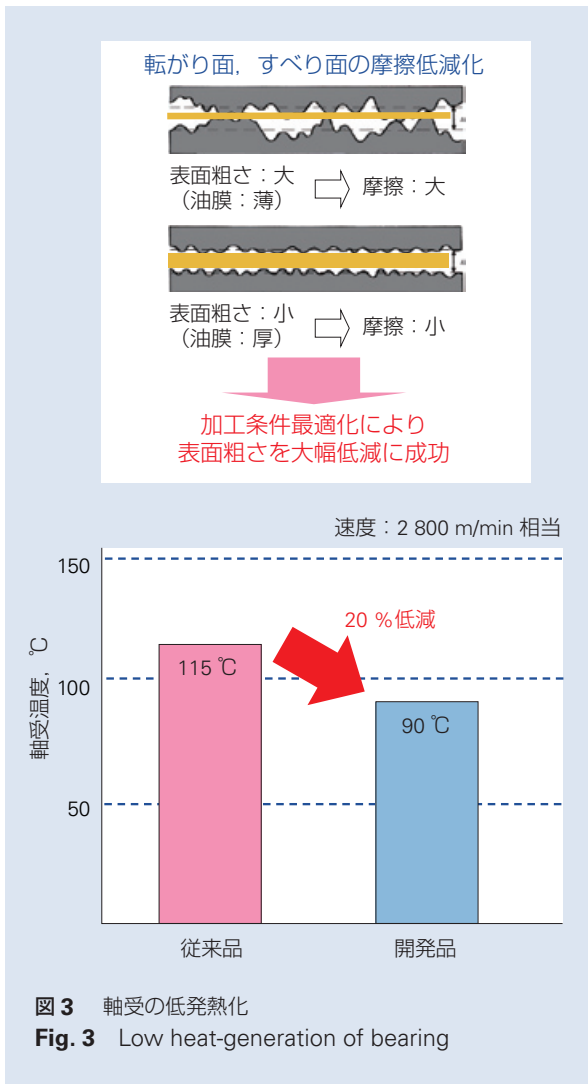


図 2 発熱性能評価結果、密封性能評価結果  
Fig. 2 Heat-generation test results and seal performance test results

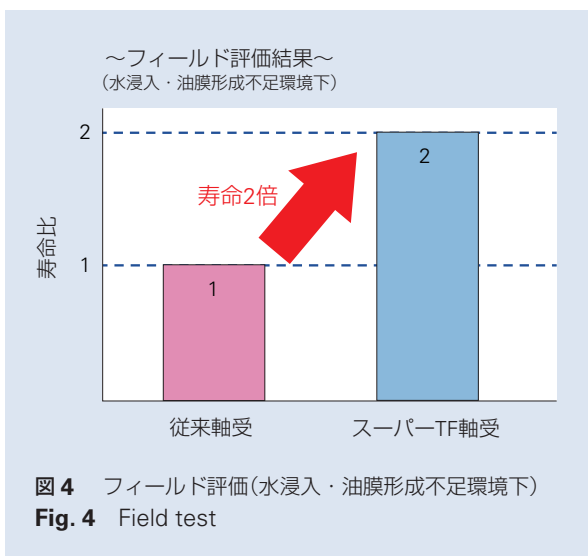


## 2. 用途

主にブリキ鋼板の高速圧延機用ロール支持軸受として使用されるが、圧延水やスケールの影響によってシールの早期損傷が発生するような、過酷な環境下で使用される圧延機用ロール支持軸受としても使用可能である。

## 3. まとめ

今回紹介した高速圧延機用長寿命 4 列円すいころ軸受は、シール及び軸受の低発熱化による潤滑剤の熱劣化の抑制と、独自開発材の採用による水浸入・油膜形成不足環境下寿命の向上により、高速圧延機軸受の寿命を 2 ～ 5 倍に延長することが期待でき、圧延設備における生産性向上と安定稼働に貢献できるものと考えられる。





商 品

紹 介

NSKHPS™高負荷駆動用ボールねじサポート用スラストアンギュラ玉軸受 NSKTAC03

NSKTAC03 NSKHPS Angular Contact Thrust Ball Bearings for Ball Screw Support in High-Load Drive Applications

自動車用の高精度プラスチック部品や大型液晶画面などの成形をする射出成形機やプレス機においては、省エネやオイルレス化のニーズの高まりをうけて、油圧から電動(回転モータとボールねじを使用)へ駆動方式の転換が進んでいる。このボールねじに使用されるサポート用軸受には、生産性をより高めるため、信頼性の更なる向上に加え、より高荷重での使用を可能とすることが求められている。こうしたニーズに対応するため、“NSKHPS 高負荷駆動用ボールねじサポート用スラストアンギュラ玉軸受 NSKTAC03(写真1)”を開発したので以下に紹介する。

1. 軸受仕様

NSKHPS 高負荷駆動用ボールねじサポート用スラストアンギュラ玉軸受 NSKTAC03 は、内部設計の最適化により、動定格荷重と限界アキシャル荷重の向上を同時に実現し、内径  $\phi 15 \sim \phi 120 \text{ mm}$  の軸受に対応している( $\phi 180 \text{ mm}$ までサイズ拡大予定)。また内径のみ小さくした内径特殊シリーズもラインナップしている(図1)。

2. 特長

- (1) 初期接触角の変更と NSKHPS 技術により、転がり疲れ寿命を約 1.3 倍(旧シリーズ比)にアップした(図2)。
- (2) 溝肩高さのアップと内部設計の最適化により、限界アキシャル荷重 1.5 倍(旧シリーズ比)を実現(図3)。これにより荷重負荷側軸受の列数削減が可能となり、周辺部の小型化が可能となった(図4)。
- (3) 内径のみを小さくした内径特殊シリーズにより、負荷容量はそのまま、ねじ軸端をコンパクトにすることが可能となった(図5)。
- (4) 取付け寸法は旧シリーズと同一のため、周辺的设计変更無しで置き換え可能である。



写真1 NSKHPS 高負荷駆動用ボールねじサポート用スラストアンギュラ玉軸受 NSKTAC03

Photo 1 NSKTAC03 NSKHPS angular contact thrust ball bearings for ball screw support in high-load drive applications

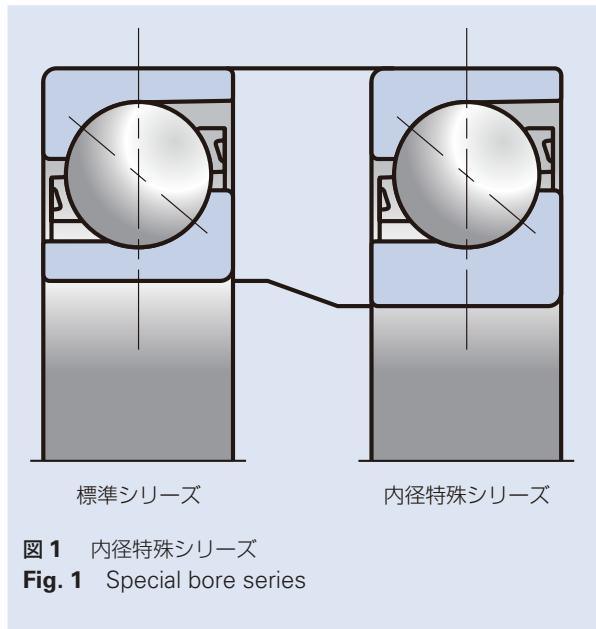


図1 内径特殊シリーズ  
Fig. 1 Special bore series

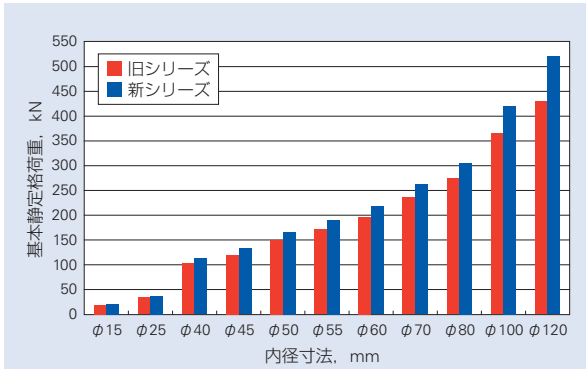


図2 基本動定格荷重の比較  
Fig. 2 Comparison of basic dynamic load rating

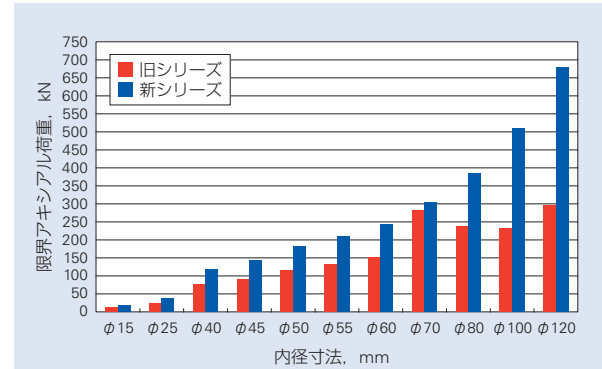


図3 限界アキシャル荷重の比較  
Fig. 3 Comparison of limiting axial load

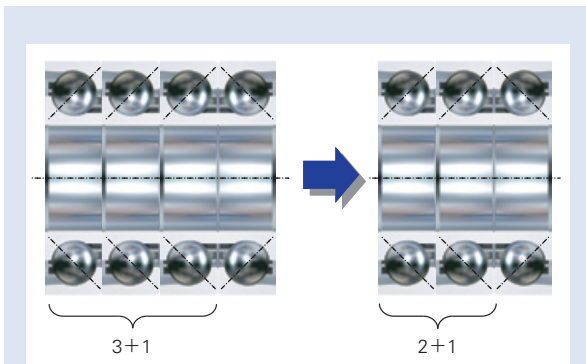


図4 列数削減の例  
Fig. 4 Example of bearing row reduction

### 3. 用途

大型の高精度プラスチック部品を加工する射出成形機やプレス機などに使用することができ、従来品の置き換えはもちろん、さらに高荷重化の要求や装置の小型化の要求においても高い効果が得られる。

### 4. まとめ

本製品は、旧シリーズの高負荷駆動用ボールねじサポート用スラストアンギュラ玉軸受と比較して、約1.3倍の転がり疲れ寿命と1.5倍の限界アキシャル荷重を実現した。これらの機能向上により、装置のより高負荷での安定稼動が可能になり、生産性の向上に寄与するものである。

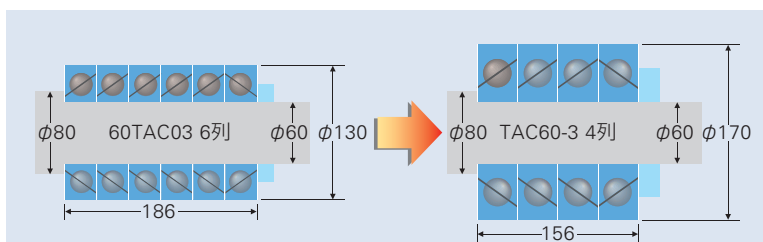


図5 内径特殊シリーズの組込例  
Fig. 5 Example mounting of special bore diameter series

商品

紹介 グリース低飛散 L1 シール付きボールねじ

Ball Screws with Minimal Grease-Splatter L1 Seals

ボールねじ軸の回転に伴うグリースの飛散は避けられないものであり、その対策は非常に困難なものであった。グリース飛散による周辺の汚染を回避するため、グリース給脂後の飛散が低減されるまで慣らし運転を行う作業や、ねじ軸の余剰グリースの拭き取りを行う作業がユーザーの負担となっている。更には、ねじ軸周りにカバーを設置する例もある。

これらのユーザー負担は、生産性やコストに直結している。特にクリーンな作業環境が求められる電子部品実装機や半導体装置、また食品や医療装置などでは影響が大きい。一方で、タクトタイム短縮に伴うボールねじの高速回転により、グリースの飛散量は増加する傾向にある。

そこで、NSKは業界初となるボールねじからのグリースの飛散低減に着目した“グリース低飛散 L1 シール付きボールねじ（写真 1）”を開発、製品化したので、その概要を紹介する。

1. 構造

ボールねじからのグリースの飛散は、軸が高速回転することにより、ねじ軸上に付着していたグリースが、その遠心力によって飛び散るために生じる（図 1）。また、ボールねじは通常ナット内にグリースをフルパックしてから出荷しているため、ナット内から排出された余剰グリースも軸に付着することで、飛散の要因となる。

これらの要因に対し、L1 シールでは以下のような工夫を施している。

- ①ねじ軸表面にグリースを溜めない
- ②ナット内からのグリース流出を防ぐ

①については、シールに設けたスリットとねじ山で、ねじ軸上の余剰グリースをナット内に巻き込むようにしている（図 2）。

②については、ナット内の余剰グリースをシールユニット内部へ溜めるようにしている。シールは回転しないため、結果的にシール上のグリースは飛散しないこととなる。

更にシールとねじ軸の間は微小すきまとし、シールトルクが発生しない設計としている。そのため、ねじ



写真 1 グリース低飛散 L1 シール付きボールねじ  
Photo 1 Ball screws with minimal grease-splatter L1 seals

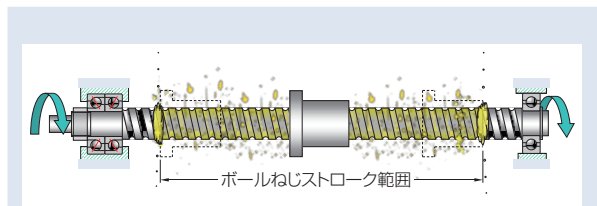


図 1 グリース飛散の要因  
Fig. 1 Cause of grease splattering from ball screw

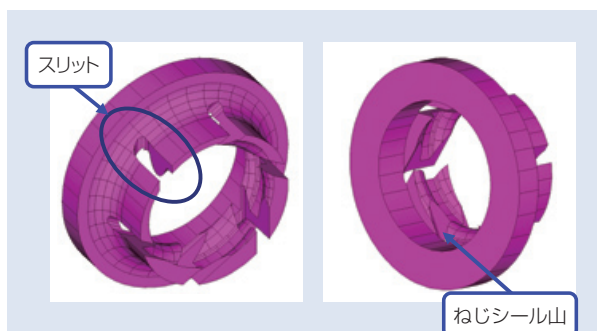


図 2 L1 シールの構造図  
Fig. 2 Structure of L1 seal

軸表面には飛散しない程度の薄いグリースが付着する。ユーザーが行っていたようなねじ軸のグリース拭き取りが不要となるうえに、潤滑の面でも接触シールタイプに比べての効果が期待できる。

## 2. 特長、および仕様

### (1) グリースの飛散を大幅に低減

L1 シールはグリースの飛散低減に適したシール設計により、ねじ軸高速回転時のグリース飛散量が大きく低減した。比較試験では、飛散量が標準シールの 1/10 となる結果を得た (図 3)。そのため、標準シールに比べて、製品及び装置内の更なるクリーン化に貢献できる。

### (2) 非接触シールの採用

L1 シールはシール山とねじ軸に微小なすきまを設定しているため、シールトルクは発生しない。現行のグリース飛散が比較的少ないシールはすべて接触タイプのシールであったが、非接触シールでグリース飛散低減を実現したシールは、この L1 シールが初めてとなる。

### (3) シールカバーを標準装備

シール部からのグリース落下を防ぐため、シールカバーを標準装備している。

### (4) 標準ボールねじに後付けが可能

グリース低飛散 L1 シール付きボールねじは、NSK 標準在庫ボールねじの“コンパクト FA シリーズ”や“ハイスピード SS シリーズ”への後付けができるため、短納期対応が可能である。

以下に製品仕様を示す。

- ・ 潤滑剤：一般グリース、低発塵グリース、  
食品用グリース
- ・ 使用環境：常温大気中
- ・ 適用ボールねじ (表 1)：  
“コンパクト FA シリーズ” (φ 15 ~ φ 25)  
“ハイスピード SS シリーズ” (φ 32)

表 1 適応諸元

Table 1 Product lineup

リード 軸径	5	10	20	25	対応シリーズ
15	○	○	○		コンパクト FA
20	○	○	○		
25	○	○	○	○	
32	○	○			ハイスピード SS

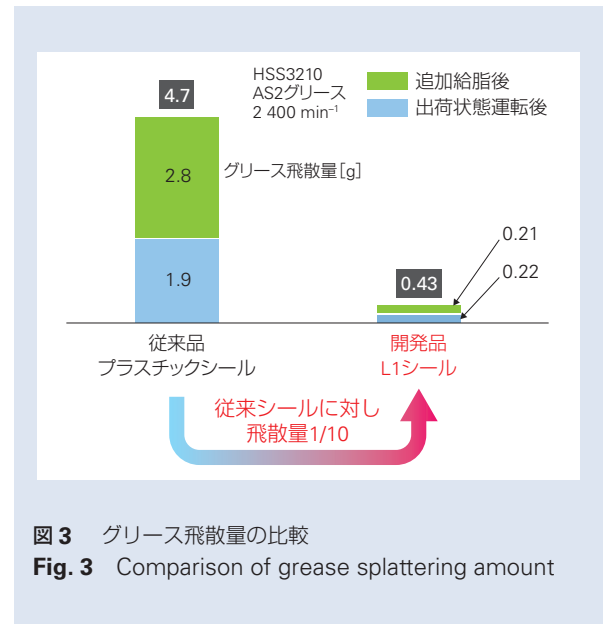


図 3 グリース飛散量の比較

Fig. 3 Comparison of grease splattering amount

## 3. 用途

電子部品実装機や半導体装置、また食品や医療装置など、クリーンな環境が求められる用途に適している。

## 4. まとめ

L1 シール付きボールねじは現在のところ、軸径 φ 15 ~ φ 32 mm の範囲としているが、今後ラインナップを順次拡大していく予定である。

商品

紹介 タフキャリア™

TOUGHCARRIER

自動車生産設備や一般産業機械は、装置や治具の電動化が進み数多くの電動アクチュエータが使用されている。しかしながら、荷重位置と案内内部が離れモーメントが作用される場合が多く、従来のアクチュエータである“モノキャリア™”の耐荷重性能の向上が求められていた。

そこで、NSK ではこのような厳しい使用条件にも対応可能な一軸アクチュエータ“タフキャリア™”(写真 1)を開発した。

1. 特長

- ・案内内部の高負荷容量化

タフキャリアでは図 1 に示すように案内機構部の転動体を、ボールからころに変更している。その結果、点接触から線接触になり接触面積が広くなることで接触面圧が抑制され、動定格荷重 2 倍以上(寿命 10 倍以上)、静定格荷重 3 倍と案内部の耐荷重性の向上を実現している(図 2, 3)。

2. 構成, 構造, および仕様

タフキャリアは図 4 に示すように、それぞれサイズ別に 3 型番を TCH 標準シリーズとして展開し、潤滑ユニットである“NSK K1™”を標準装備としている。

また、モノキャリアと同様にオプションユニットである、カバーユニット、モータブラケット、センサーレール、センサーユニットを揃えている(図 5)。それぞれ任意に選択し、本体への取り付けが可能となっている。

3. 用途

案内内部へ過大にモーメントが負荷される自動車製造設備や一般産業機械などの搬送用途に適する。

4. まとめ

タフキャリアは、耐荷重性を向上させた一軸アク



写真 1 タフキャリアの外観  
Photo 1 The appearance of TOUGHCARRIER

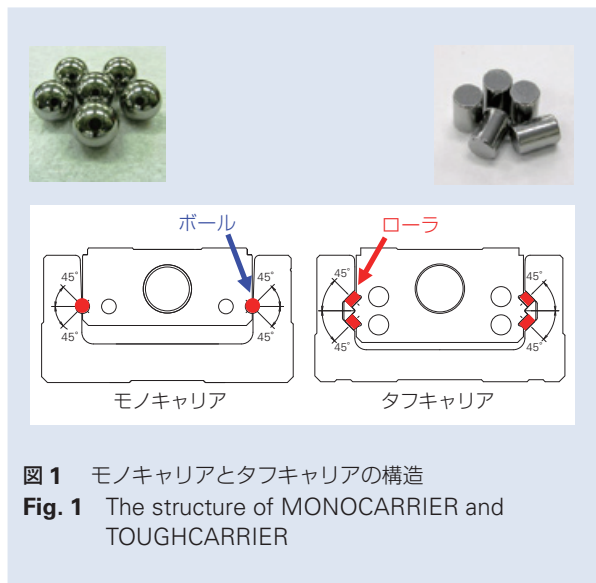
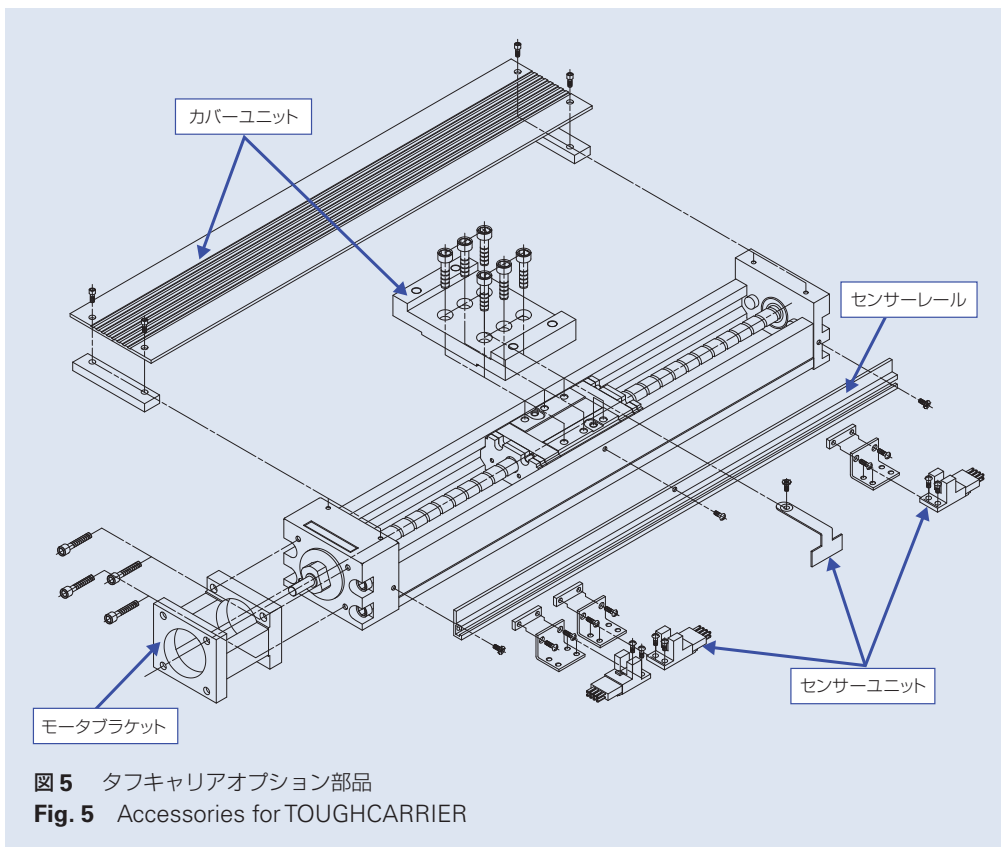
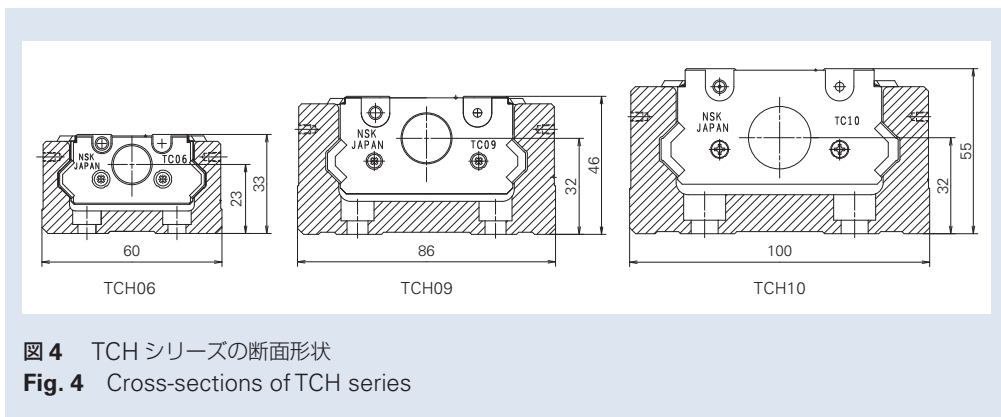
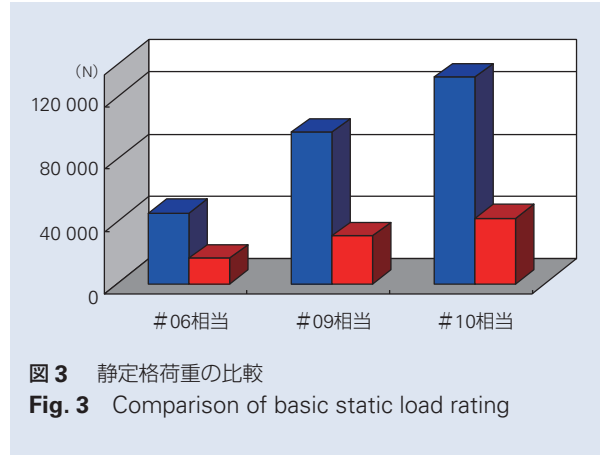
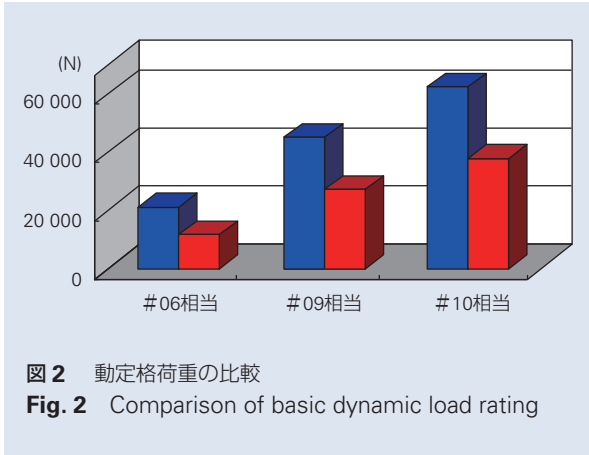


図 1 モノキャリアとタフキャリアの構造  
Fig. 1 The structure of MONOCARRIER and TOUGHCARRIER

チュエータである。装置のコンパクト化が進む中で、駆動モーターを折返して取付ける構造などのオプションユニットの拡充の面でも、市場からの要求に応えられるよう展開していく予定である。



## 商品

## 紹介

## 従来比 2 倍以上の長寿命 NSK リニアガイド™ NH シリーズ、NS シリーズ

## NH Series and NS Series NSK Linear Guides; More than Twice the Life of Conventional NSK Linear Guides

リニアガイドは、半導体や自動車など各種工業製品の生産設備を中心に、幅広い用途で使用されている。このような設備に使用されるリニアガイドには、生産性の向上やメンテナンス期間の延長などの理由から、一層の長寿命化が求められている。

従来製品である LH・LS シリーズは、1989 年の発売以来、NSK リニアガイドの主力製品として、数多くの使用実績をあげてきた。今回紹介する NH・NS シリーズ（写真 1）は、この LH・LS シリーズの特長を継承しながら、従来比 2 倍以上の長寿命化を実現した新製品である。



写真 1 NH シリーズ、NS シリーズ  
Photo 1 NH series and NS series

## 1. 仕様

NH・NS シリーズの外観を、写真 1 に示す。NH シリーズと NS シリーズは、基本構造は同一であるが、以下の違いがある（図 1）。

- ・ NH シリーズ：ボール径が大きく長寿命を追究。
- ・ NS シリーズ：組立高さが低く、コンパクト。

適用サイズは、NH シリーズは # 15 ~ # 65 を、NS シリーズは # 15 ~ # 35 を用意した。ここでサイズの数字は、レール幅のおよその寸法（ミリメートル単位）を示す。

取付まわりの寸法（組立高さ・組立幅寸法、取付穴ねじ径・ピッチなど）は、従来製品である LH・LS シリーズと同じ寸法である。このため、ユーザーにおいては、従来の機械を設計変更することなく、NH・NS シリーズを使用できる。

## 2. 特長

## (1) 従来比 2 倍以上の長寿命

リニアガイドにおいては、ボールとボール溝の接触で荷重を支えている。このため、ボール溝の設計と製造の技術が、寿命を決定づける要因となる。そこで NSK の強みである“解析技術（シミュレーション技術）”と“生産技術”を結集して、新しい形状のボール溝を開発した（図 2）。接触面圧分布の最適化によって、寿命の飛躍的な向上が可能になった。

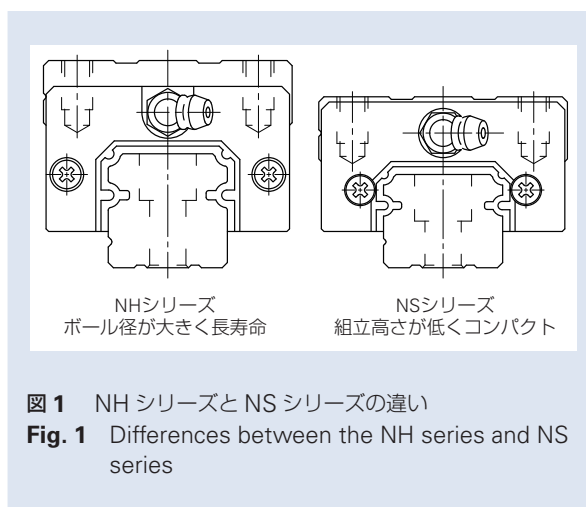


図 1 NH シリーズと NS シリーズの違い  
Fig. 1 Differences between the NH series and NS series

この結果、従来品（LH・LS シリーズ）に対して、動定格荷重 1.3 倍、寿命 2 倍以上を実現した（図 3）。装置の長寿命化に役立つことはもちろん、寿命を保ちながら装置のサイズダウンも可能となる。

## (2) 許容最高速度の向上

循環部品の設計を見直すことで、許容最高速度を向上させた。許容最高速度の一覧を、表 1 に示す。従来 LH・LS シリーズの許容最高速度が 1.7 m/s だったのに対して、NH・NS シリーズの # 15 ~ # 35 では 3 倍の 5 m/s を実現している。

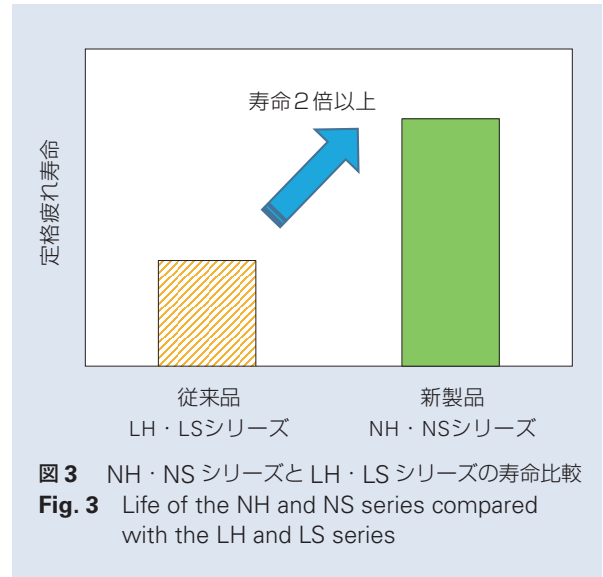
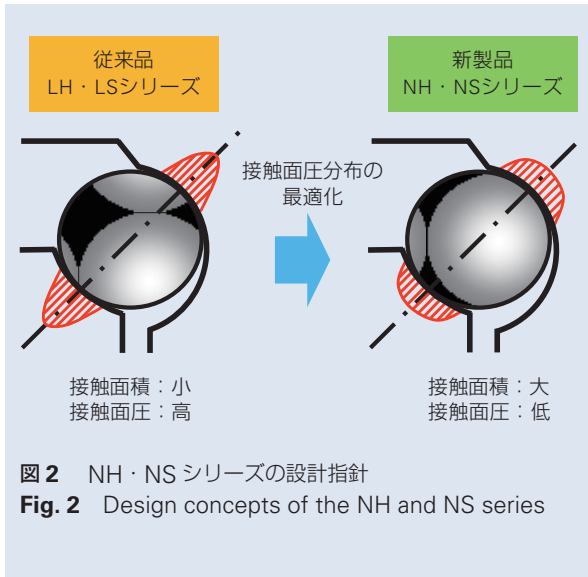


表1 NH・NSシリーズの許容最高速度

Table 1 Maximum allowable speeds of the NH and NS series

単位：m/s

形式	NH15 NS15	NH20 NS20	NH25 NS25	NH30 NS30	NH35 NS35	NH45	NH55	NH65
許容最高速度	5					3.3		2.5

(3)使いやすい“標準リニアガイド”

ユーザーにおける使いやすさを重視して、以下のような仕様・オプションを盛り込んでいる。

- ・ レールとベアリングを自由に組合せられるランダムマッチング品。ベアリング形式、精度、予圧の組合せが自在で、短納期の要求にも応えられる。
- ・ 長期メンテナンスフリーを実現する潤滑ユニット“NSK K1™”をはじめとする、ダブルシール、プロテクター、表面処理などの、豊富なオプションを取り揃えている。

3. 用途

以下のような、幅広い用途に用いられる。

- ・ 液晶・半導体製造装置
- ・ 自動車製造設備
- ・ 搬送装置
- ・ 工作機械
- ・ 鉄道ホームドア
- ・ 医療機器                    など

4. まとめ

リニアガイドは、構成部品の少ない機械要素であるので、改良の余地がないように見えるかもしれない。しかし、今回紹介したNH・NSシリーズでは、最新の技術を活用することで、大幅な機能向上を達成できた。軸受メーカーとして、長期に渡り経験を積んできたNSKであればこそ、実現できた製品だと考えている。今後も、ユーザーにとって魅力のある新製品を提供していきたい。



商品

紹介 メガトルクモータ™ “PB シリーズ”

MEGATORQUE MOTOR PB Series

近年、スマートフォンやタブレット端末の需要拡大に牽引され、中国、台湾、韓国などの東アジア地域での電子部品の急速な生産拡大が続いている。

この急速な生産拡大で設備拡充が行われている新興国では、従業員が設備の操作に慣れていないケースが多いこともあり、使い易さやメンテナンスの軽減が求められる。さらに限られたスペースに設置可能なコンパクトさが要求されている。これらの新たな市場ニーズ(図1)に対応するため、従来の高精度シリーズ“メガトルクモータ PS/PN シリーズ”とは異なる市場をターゲットとした“メガトルクモータ PB シリーズ(写真1)”を新たに開発した。



写真1 メガトルクモータ™ PB シリーズ  
Photo 1 MEGATORQUE MOTOR PB Series

1. 構成, 構造, および仕様

“メガトルクモータ PB シリーズ”はメガトルクモータ本体、ドライバ EGA 型、コンバータ ECC 型のシステム構成にて製品を提供している(図2)。

モータのラインナップとしては4種類の最大出力トルクをそろえており、多様な用途に適応することが可能である。ドライバは最大出力電流の異なる2種類をラインナップしている。コンバータとはモータの回転位置信号をアナログ信号からデジタル信号に変換するものであるが、ドライバと一体化されていた従来品に対し、外部ユニット化している。これによりコンバータをモータの近傍に配置することでアナログ信号の伝達長を短縮することができるので、信号伝達の信頼性が向上している。

“メガトルクモータ PB シリーズ”の仕様一覧を表1に示す。

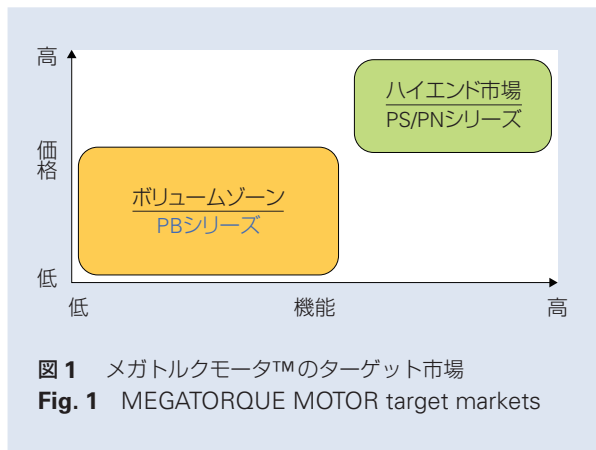


図1 メガトルクモータ™のターゲット市場  
Fig. 1 MEGATORQUE MOTOR target markets

2. 特長

(1) シンプル & コンパクト

- ・モータ運転のための指令はパルス指令入力のみでの単一機能とした。
- ・“AC サーボモータ+減速機”からの置き換えを考慮し、インクリメンタルレゾルバのみの位置検出とした。

上記2点に機能を特化したことにより、従来品のPSシリーズおよびEDC型ドライブユニットに対し、モータの高さ寸法を10 mm 減少させ、ドライバの

体積を50%削減させる小型化を実現している。

また同時に、モータの中空穴の寸法は従来品PSシリーズと同寸法を確保(PB1型φ35 mm, PB3型φ56 mm)しており、吸着ノズルの配管や信号配線の敷設は従来どおりに可能であり、シンプル & コンパクト化に貢献している。

(2) オートチューニングの機能アップ

初期設定が簡便となり、装置の早期立ち上げを可能とした。

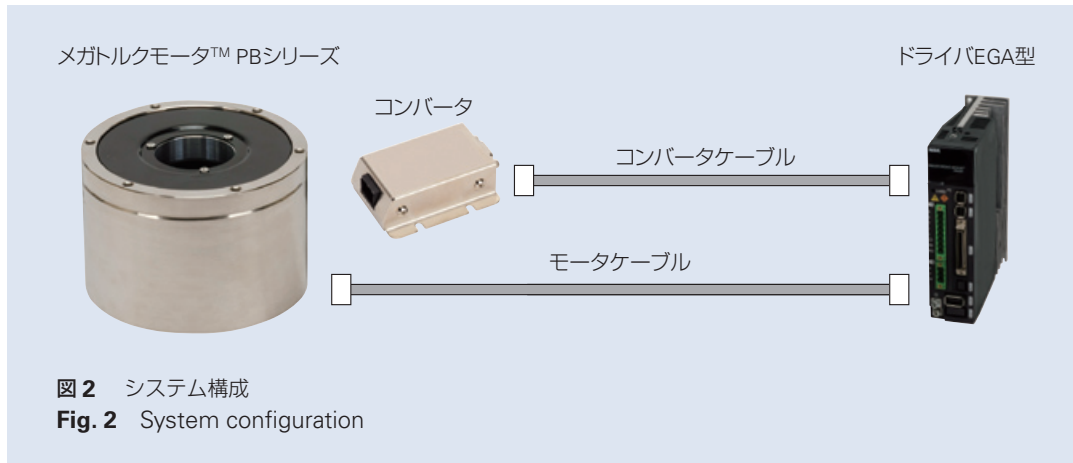


表 1 仕様

Table 1 Specifications

性能項目 \ モータサイズ記号	PB1006	PB3015	PB3030	PB3060
モータ外形 [mm]	φ 102	φ 152		
モータ高さ [mm]	75		92	126
モータ中空穴径 [mm]	φ 35	φ 56		
最大出力トルク [N・m]	6	15	30	60
定格出力トルク [N・m]	2	5	10	20
最高回転速度 [s <sup>-1</sup> ]	10			8
定格回転速度 [s <sup>-1</sup> ]	5			1
回転位置検出器分解能 [カウント/回転]	524 288			
絶対位置決め精度 [秒]	112			
繰り返し位置決め精度 [秒]	± 5			
許容負荷慣性モーメント [kg・m <sup>2</sup> ]	0 ~ 0.26	0 ~ 1.1	0 ~ 1.4	0 ~ 3.1
質量 [kg]	2.6	5.8	7.2	10.2

(3) 豊富な機能のセットアップソフトウェア

モータを運転するためのパラメータ設定、オシロスコープ機能による運転状況の確認、ノッチフィルタの設定に有効な装置の共振点の算出機能など、豊富な機能を備えたセットアップソフトウェアを用意した。

3. 用途

- ・ 電子部品製造工程の供給・検査・選別装置
- ・ スマートフォンやタブレット端末の組立て装置
- ・ 試薬・液体分析装置の医療機器

4. まとめ

“メгатルクモータ PB シリーズ” は、東アジア地域での電子部品製造、各種自動検査装置、スマートフォンなどの組立装置を構成するための重要な要素として大きな注目を浴びている。

スマートフォンやタブレット端末のみならず、車載用電子機器、医療・介護機器など産業構造は変革を続けている。多様化するニーズを見定めながら“メгатルクモータ PB シリーズ”の適用拡大を図るとともに、これらの産業の成長を足元から支えてゆく。

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
産業機械事業本部	TEL.03-3779-7227(代)	FAX.03-3779-7432	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
営業本部			
販売技術統括部	TEL.03-3779-7315(代)	FAX.03-3779-8698	東京都品川区大崎 1-6-3(日精ビル) 〒141-8560
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.029-222-5660(代)	FAX.029-222-5661	茨城県水戸市城南 1-4-7(第5プリンスビル 6F) 〒310-0803
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 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) 〒141-8560
東京支社 販売店営業部	TEL.03-3779-7251(代)	FAX.03-3495-8241	東京都品川区大崎 1-6-3(日精ビル) 〒141-8560
東京支社 販売技術部	TEL.03-3779-7307(代)	FAX.03-3495-8241	東京都品川区大崎 1-6-3(日精ビル) 〒141-8560
札幌営業所	TEL.011-231-1400(代)	FAX.011-251-2917	北海道札幌市中央区北五条西 6-2-2(札幌センタービル 16F) 〒060-0005
宇都宮営業所	TEL.028-610-8701(代)	FAX.028-610-8717	栃木県宇都宮市東宿郷 2-2-1(ビッグ・ピースクエア 7F) 〒321-0953
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	静岡県静岡市葵区紺屋町 17-1(葵タワー 22F) 〒420-0852
名古屋支社 営業部	TEL.052-249-5749(代)	FAX.052-249-5826	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
名古屋支社 販売店営業部	TEL.052-249-5750(代)	FAX.052-249-5751	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
名古屋支社 販売技術部	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
北陸支社	TEL.076-260-1850(代)	FAX.076-260-1851	石川県金沢市藤江南 1-40 〒920-0346
関西支社 営業部	TEL.06-6945-8236(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
関西支社 販売店営業部	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
関西支社 販売技術部	TEL.06-6945-8168(代)	FAX.06-6945-8178	大阪府大阪市中央区北浜東 1-26(大阪日精ビル 7F) 〒540-0031
京滋営業所	TEL.077-564-7551(代)	FAX.077-564-7623	滋賀県草津市若竹町 8-4 〒525-0031
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) 〒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 2-6-1(九勸筑紫通ビル 7F) 〒812-0013
熊本営業所	TEL.096-337-2771(代)	FAX.096-348-0672	熊本県熊本市北区楠 8-16-50 〒861-8003
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(EPO 富士ビル 2F) 〒417-0055
東日本自動車第二部(大崎)	TEL.03-3779-7892(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(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・ピースクエア 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(高崎)	TEL.027-321-3434(代)	FAX.027-321-3476	群馬県高崎市栄町 16-11(高崎イースタワー 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
中部日本自動車部(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
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 3F) 〒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(広島日精ビル) 〒732-0802
西日本自動車部(姫路)	TEL.079-289-1530(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

〈2016年1月現在〉

最新情報はNSKホームページをご覧ください。

お問合せ：製品については、お近くの支社・営業所にお申し付けください。

製品の技術的な内容  
についてのお問合せ

■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併せてお願い致します。

# NSK TECHNICAL JOURNAL

JANUARY 2016 No. 688

印刷 平成 28 年 1 月 14 日  
発行 平成 28 年 1 月 20 日  
編集人 荒牧 宏敏  
発行人 海老澤 斉  
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



印刷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印刷方法を採用しています。