

インダストリ用軸受・ユニットの技術動向と展望 — 「モノ」から「コト」への取り組み—

Technical Trends and Vision for Industrial Bearings and Units — Initiatives Relating to the Shift from "Mono" to "Koto" —

安達丈博 T. ADACHI

In the industrial field, there is a need to tailor product development and initiatives to each specific industry due to the differences in usage environment, usage conditions and required functions. Furthermore, recently the demand for not only "mono" (product value), but also "koto" (the value obtained by using a product - i.e. "added value") has intensified.

This report introduces the future trend of development for steelmaking equipment, agricultural and construction machinery, machine tools and printing machines, as well as our initiatives relating to mono and koto.

Key Words: industrial bearing, bearing technology, mono, koto, universal joint, traction drive

1. はじめに

近年、「モノ」から「コト」への取り組みが加速している。「モノ」である商品だけを提供するのではお客様に満足していただけない時代になっており、「モノ」の機能的な価値だけではなく、「コト」である使用によって得られる価値を提供していく必要がある。従来は軸受も壊れずに長期間回転していればよかったが、それだけでお客様にオリジナリティを提供することが困難になってきており、「モノ」のコモディティ化が進んでいる。「コト」領域でのオリジナリティが、今後ますます重要になってくる。それに加え、IoTの飛躍的な進歩が「コト」開発のスピードを加速させている。当社は「コト」領域である軸受状態の見える化による故障検知ならびに加工状態の見える化による加工条件の最適化に取り組んでいる。

また、鉄鋼設備、大型農建機車両などではライフサイクルコスト^{*1} (LCC) 低減が事業の収益性を向上させる重要な取り組みとなっており、「モノ」、「コト」両面での取り組みが必要となってくる。

本報では産業機械分野の中で、鉄鋼設備、農建機、工作機械および印刷機のインダストリ分野で使用される、重要な機械要素である機械の回転軸を支える転がり軸受(軸受)、およびあそびのない減速機であるトラクション

ドライブユニットの「モノ」、「コト」についての技術動向と、当社の取り組み事例を紹介する。

*1 車両を購入してから、維持、管理、廃却に至るまでの過程で必要な経費の総額

2. インダストリ用軸受・ユニットの動向

インダストリ分野では軸受・ユニットの使用環境、使用条件の違い、およびそれに求められる機能が異なることから、それぞれに適した商品開発、取り組みが必要である。表1にそれぞれの産業分野における「モノ」、「コト」への要求事項を示す。まず、「モノ」への要求に対応するためには、設計、材料、熱処理、表面処理、潤滑、加工などの技術開発が必要である¹⁾。それに加え、「コト」への要求に対応するためには軸受状態の見える化、すなわちセンシング技術が重要になってくる。当社は軸受状態の見える化(センシング)による故障検知、予知に取り組んでいる²⁾。また、軸受には外部荷重全てが負荷されるため、異常荷重が発生した場合に最も影響を受ける部品である。軸受の負荷状態をセンシングすることで異常操業、異常作業が検知出来ると考えられる。すなわち、軸受状態の見える化により設備診断が可能になると考えられる。そのイメージを図1に示す。そのためには、実

験技術、解析技術、センシング技術のさらなる向上が必要である。

以下に、各用途の取り組み事例を紹介するとともに、**図2**に今後のインダストリー軸受商品の開発動向を示す。**図2**のように、長寿命、高ロバスト性、高速、低昇温、センシングなど「モノ」だけでなく、「コト」の開発も重要になってくる。

表1 産業分野別「モノ」, 「コト」への要求事項

Requirements relating to product function (mono) and added value (koto) by industry type

産業分野	「モノ」 (商品価値)	「コト」 (使用によって得られる価値)
鉄鋼設備	高温、水、スケールによる過酷な環境下での耐久性	故障検知、予知
農建機	あらゆる作業環境下でのロバスト性	故障検知、予知 補修を考慮した設計 (LCC 低減)
工作機械	超高速、高剛性化への対応	高精度、高効率加工
印刷機	回転ドラムの回転ムラ低減、静粛性	新しい開発領域

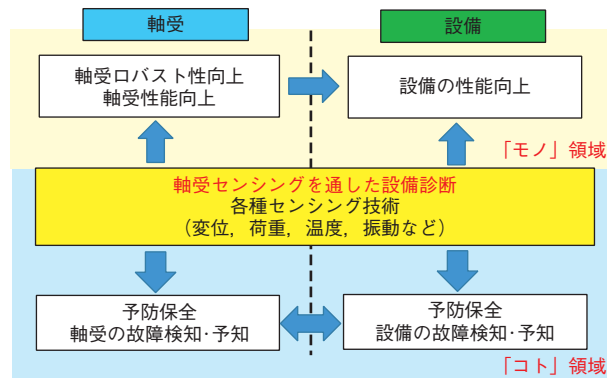


図1 軸受センシングによる設備制御イメージ
Conceptual image for control of equipment with bearing sensing

3. 鉄鋼設備操業安定化貢献技術の開発

鉄鋼設備は、高温かつ水やスケールにさらされる、非常に過酷な環境で稼働している。そこに使用される軸受には、さらに重荷重、高速回転への対応が要求され、軸受単体だけではなく、周辺部品との統合まで含めた対応が必要である。その軸受の破損形態を**図3**に示す。**図4, 5**にこのような過酷な環境に対応した軸受であるJTEKT HYPER STRONG (JHS) の商品例を示す。

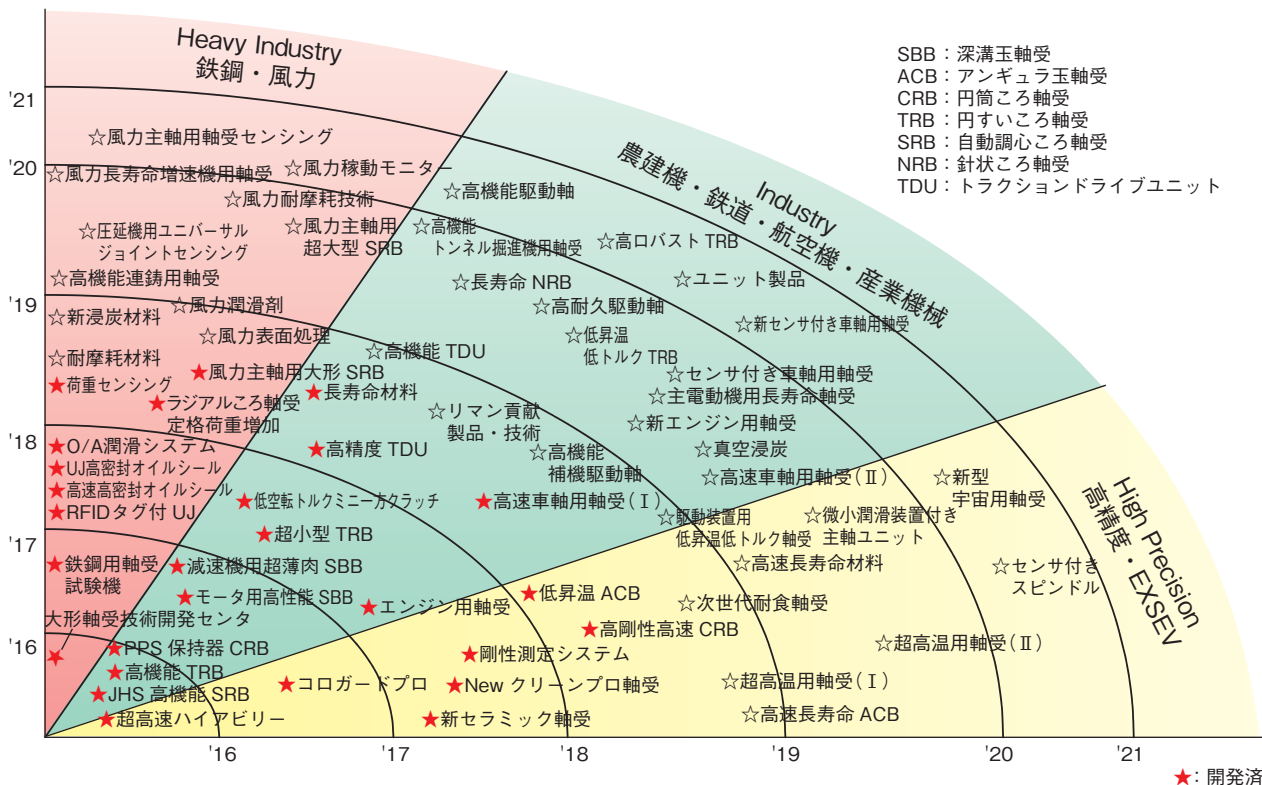


図2 インダストリー軸受商品の開発動向
Trends of industrial bearing development

図4に密封性、高速性、耐荷重性に優れた圧延機ロールネック用密封形四列円すいころ軸受（JHS520）、図5に耐荷重性、希薄潤滑下でのロバスト性に優れた多段圧延機バックアップロール用軸受（JHS210）を示す^{3)~5)}。

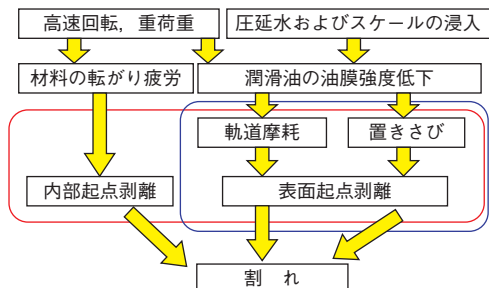


図3 軸受の損傷形態^{3)~5)}
Bearing failure types

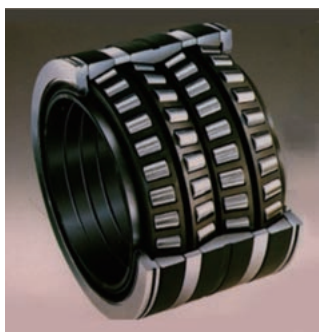


図4 圧延機ロールネック用密封形四列円すいころ軸受（JHS520）
Sealed-type 4-row tapered roller bearing for roll neck (JHS520)



図5 多段圧延機バックアップロール用軸受（JHS210）
Bearing for multi-roll mill backup roll (JHS210)

鉄鋼設備では設計仕様以上の負荷が発生し、軸受が破損する場合があります。その要因は操業条件に起因するもの、メンテナンスに起因するもの、設備の老朽化に起因するものなどさまざまな要因が考えられる。当社では「コト」領域の取り組みとして独自の荷重測定・解析技術により、軸受の使用条件とその内部の負荷状態との関係を実測・解析し、実測値を基にした設備診断により、最適な設計をお客様に提案していきたいと考えている。

表2にワークロール用ラジアル軸受・スラスト軸受の転動体荷重測定方法を示す。

図6に鉄鋼設備用軸受試験機、図7に転動体荷重測定方法概略、図8に転動体荷重実測値とFEM解析値の比較を示す。この実測結果は、ハウジング剛性の影響により転動体荷重分布が二山形状になっていることが確認でき、さらに、FEM解析値とよく合っていることがわかる。この手法を用いてロールネック用軸受のラジアル荷重測定に取り組んでいる。

表2 転動体荷重測定方法
Measurement method for rolling element load

	ワークロール用ラジアル軸受	ワークロール用スラスト軸受
測定項目	転動体荷重	←
必要項目	ラジアル荷重 (転動体荷重から換算)	スラスト荷重 (転動体荷重から換算)
ゲージ取付位置	ころ中空内径	外輪切欠部
測定方法	ひずみゲージ出力を超小型データロガーに蓄積 →停止時取り出し	ひずみゲージ出力を有線に取り出し



図6 鉄鋼設備用軸受試験機⁶⁾
Bearing test rig for steelmaking equipment

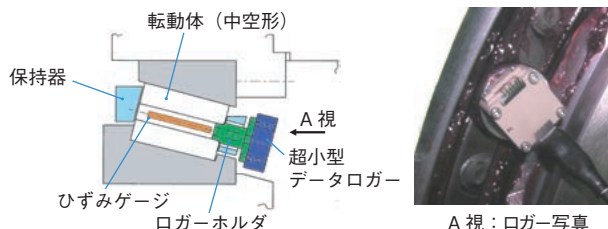


図7 転動体荷重測定方法概略
Summary of measurement method of rolling element load

また、圧延機のロール駆動用ユニバーサルジョイント(UJ, 図9)においては、その補修やRFIDタグ*2による履歴管理方法をお客様に提案しており、LCC低減に貢献していきたい。UJ補修体系図を図10に示す。

これらの「モノ」、「コト」の取り組みによって、鉄鋼設備の安定操業に貢献していきたい。

*2 電波を用いてRFタグ内に記憶されたデータを非接触で読み書きするシステム

4. 農建機車両のLCC低減への貢献技術

ユーザが農建機車両(車両)を購入する上でLCCは重要な指標である。このことから車両メーカーはLCCを低減するための開発、提案やサービスに注力している。当社は六つのキーワードと実験解析技術を軸にLCC低減に貢献できる技術、サービスの開発を行なっている。

図11に農建機車両のニーズと当社の開発キーワードを示す。

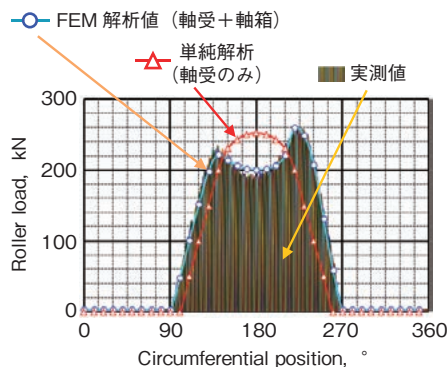


図8 転動体荷重実測値とFEM解析値の比較
Comparison between measured and analysis value of rolling element load



図9 圧延機用ユニバーサルジョイント
Universal joint for rolling mills

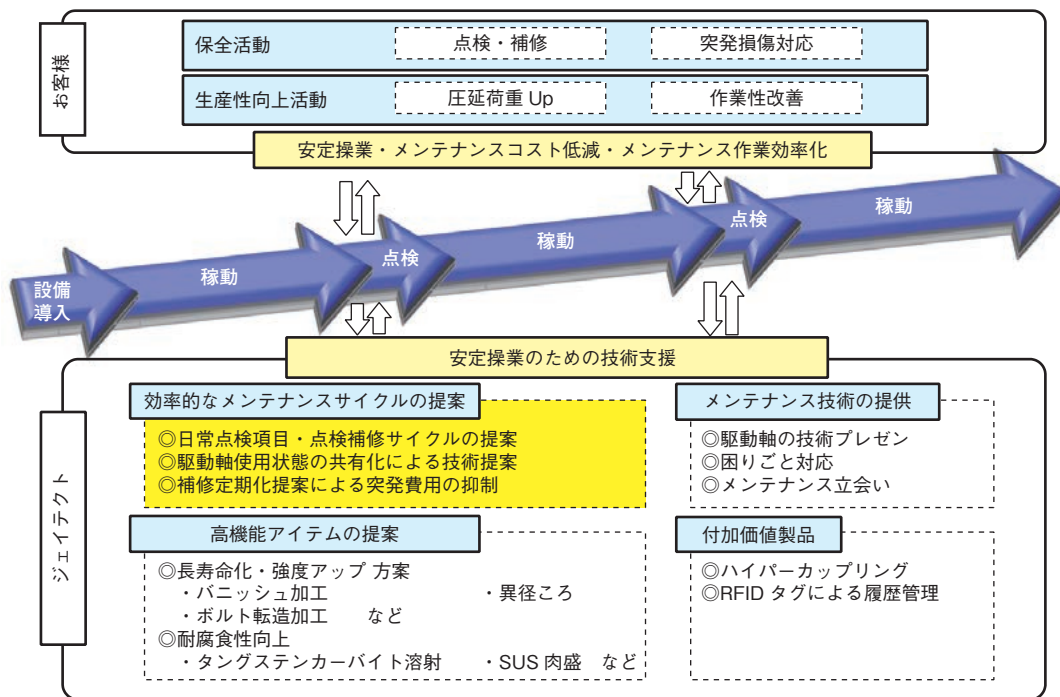


図10 UJ補修体系図
UJ repair system chart

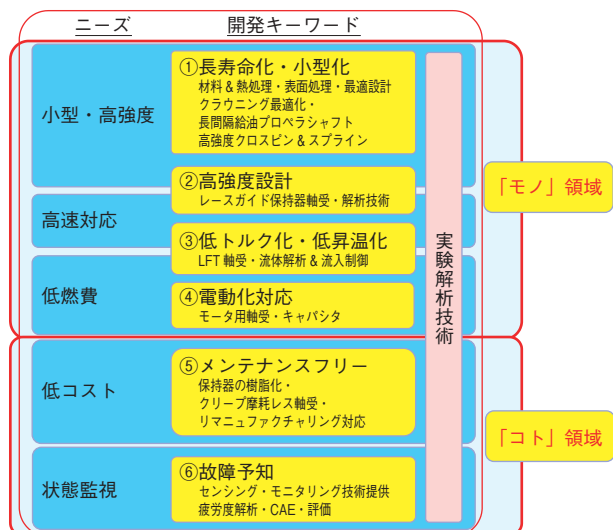


図11 農建機車両のニーズと当社の開発キーワード
Agricultural and construction machinery need and JTEKT's development keywords

また、農建機用軸受の破損モード（当社に返却された軸受を分析）と対応技術を図12に示す。傾き大、荷重大によるエッジ応力や潤滑不適に起因した破損が全体の75%を占めている。これらは「モノ」領域である①長寿命化・小型化、②高強度設計、③低トルク化・低昇温化などの開発、および使用条件、周辺部品の剛性を考慮した解析による内部諸元の最適化が重要になり、これらの取り組みは車両の性能向上、ロバスト性向上や燃費向上に直接的に貢献できる。また、④電動化対応技術についても、車両のEV化に重要な技術である。

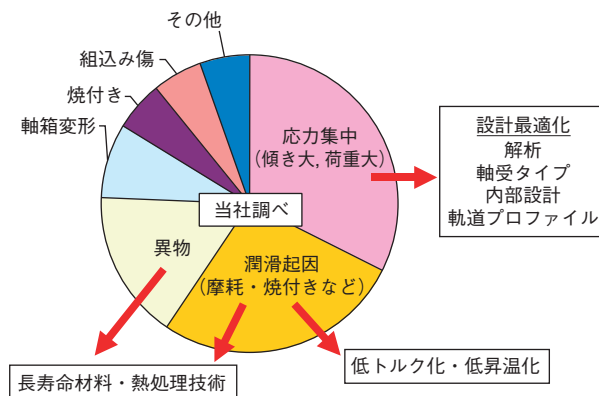


図12 農建機用軸受の破損モード（当社調べ）と軸受対応技術

Failure mode analysis (as investigated by JTEKT) of agricultural and construction machinery bearings and bearing support technology

「コト」領域である⑤メンテナンスフリー技術、⑥故障予知技術は、直接的に車両の性能向上などに貢献するものではないが、軸受周辺部品である軸、ハウジングの損傷（摩耗）を防ぐ技術ならびに分解しやすい軸受を開発することにより分解工数・部品補修費の低減に大きく貢献できると考えられる。⑥故障予知技術については、当社が考える車両状態モニタリングのイメージを図13に示す。お客様が、現在車両で実施されているセンシング技術と当社の軸受センシング技術を組み合わせることにより、車両のオーバーホール時期を把握し稼働率向上が計れるとともに故障予知によるメンテナンス費用削減も可能となる。これらのことからLCC低減を実現することができる。また、実機状態把握による軸受設計最適化により、車両の開発期間短縮などへの貢献も可能となる。

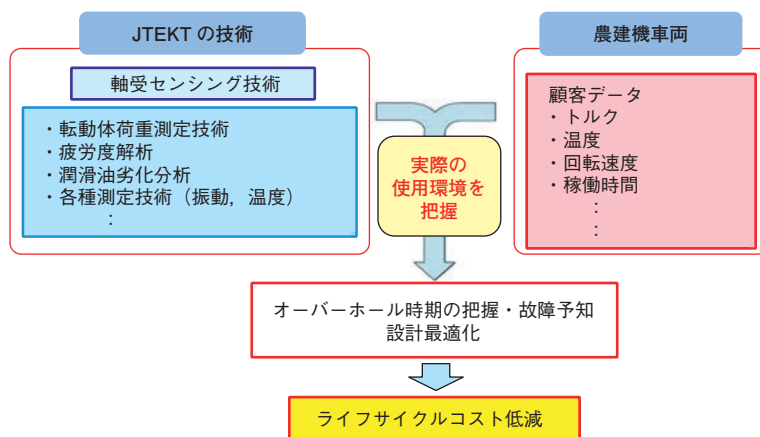


図13 車両状態モニタリングのイメージ図
Conceptual image for vehicle status monitoring

これらの「モノ」, 「コト」の取り組みによって, 車両のLCC低減に貢献していきたい。

5. 工作機械主軸用軸受の高機能化への取り組み

工作機械への要求は年々厳しくなっており, さらなる高速性, 高剛性, 低昇温が求められている。近年では高効率加工の観点から複合加工機へのニーズが高まっており, 高速性と高剛性の両立が要求されている。また, 潤滑はグリース潤滑, オイルエア潤滑があり, 高速域は主にオイルエア潤滑が採用されているが, オイル飛散による環境悪化対応として環境保全の観点からグリース潤滑の適用拡大ニーズも高まっている^{7), 8)}。

主軸ユニットに使用されている主軸用軸受の性能がその高速性に重要な役割を担っている。当社では, 高剛性が要求される旋盤に使用されているグリース潤滑高剛性・低昇温複列円筒ころ軸受(図14)およびグリース潤滑低昇温アンギュラ玉軸受(図15)のさらなる高速化を実現, グリース潤滑の適用範囲を拡大し, 工作機械の環境保全に貢献する。

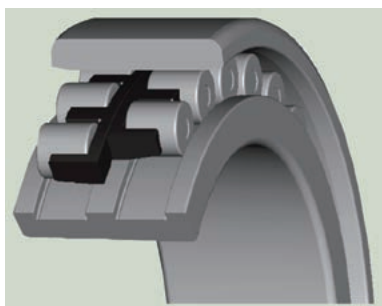


図14 グリース潤滑高剛性・低昇温複列円筒ころ軸受
Cylindrical roller bearing with high rigidity, low temperature rise and grease lubrication



図15 グリース潤滑低昇温アンギュラ玉軸受
Angular ball bearing with low temperature rise and grease lubrication

また, 工作機械においても, 高精度・高効率加工に貢献するための「コト」領域である加工状態の見える化に取り組んでいる。ワークの加工精度に大きな影響を与える主軸ユニットの剛性は, 軸受の予圧, 回転速度, 昇温, 主軸姿勢などの影響を受けるため, 従来は動的に測定することは困難であった。今回, 動剛性測定システムの開発に着手したので紹介する。

動剛性測定システムの概要図を図16に示す。本システムは磁気軸受⁹⁾の技術を応用した加振機で主軸に取り付けたアーバを異なる周波数で加振し, その時の変位をセンサで検知するものである。回転速度 $5\,000\text{min}^{-1}$ 時, 主軸をラジアル方向に加振した時の動剛性測定事例を図17に示す。横軸に入力周波数, 縦軸に剛性に対応した無次元量を示しており, 周波数 900Hz 付近において剛性が低下していることが確認できた。

この結果により, 加工条件と軸受仕様の最適化が可能になるとともに, 将来的には主軸ユニットの状態監視技術の開発にもつなげていきたい。

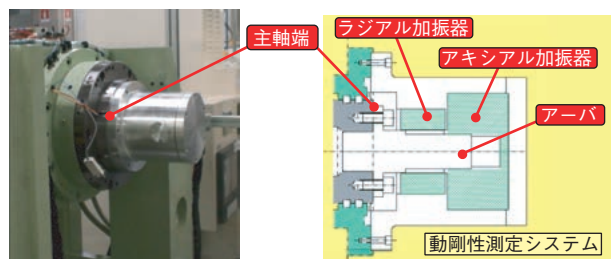


図16 動剛性測定システム概要図
Schematic of a dynamic rigidity measurement system

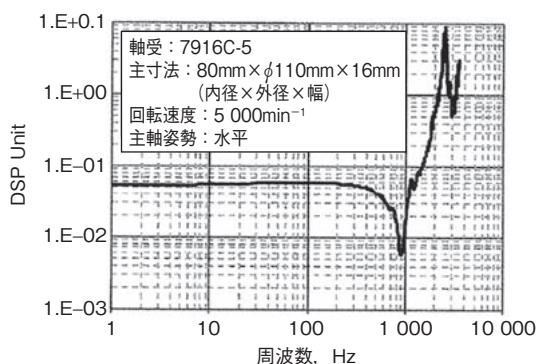


図17 動剛性測定例
Outline of dynamic rigidity measurement system

6. 印刷機用トラクションドライブユニットの高性能化

トラクションドライブユニットは回転体の転がり接触による動力伝達装置で、滑らかであそびのない変速機として従来より活用されてきた。動力を滑らかに伝達するという目的においては、トラクションドライブを超える機構はなく、印刷機用として現在も使用されており、さらなる回転速度ムラの低減、長寿命化が求められている。

印刷機に使用されている遊星ローラ形トラクションドライブユニットの構造を図18に示す。高精度かつ高強度ローラにより構成され、当社が長年培ってきた軸受コア技術を応用して開発されたものである¹⁰⁾、¹¹⁾。特長としては、回転速度ムラ極小、ノーバックラッシュであり、さらに歯車のような噛みあいによる振動や騒音がないため、静粛性に優れることである。図19に遊星ギヤとトラクションドライブユニットの騒音比較結果を示す。

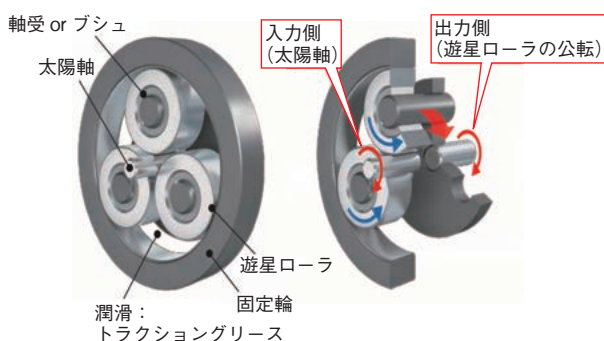


図18 遊星ローラ形トラクションドライブユニットの構造

Structure of a planetary-type traction drive unit

測定方法は同じステッピングモータを用いて回転速度を連続的に増加させながら音圧を測定し、周波数分析を行った。その結果、トラクションドライブユニットでは駆動モータの回転音は残っているものの、遊星ギヤに見られる多くの次数で発生する音が消えていることがわかる。

従来は回転速度ムラが極めて小さいという利点を生かしたアプリケーションがほとんどであったが、近年は静粛性に着目した新しいアプリケーション、例えば、自然環境、動物生態調査用機器などへの適用検討が増加している。これらの新領域への適用により、新しい「コト」領域の開発に取り組みたい。

7. おわりに

今回紹介した以外にも、発電設備、鉄道車両、運搬機、トンネル掘進機などの幅広いインダストリ分野においても、当社はお客様のニーズ、困りごとに対応した商品開発を推進していくとともに、さらに「コト」領域での取り組みも強化していく。その結果、「あっ、なるほどジェイテクトに頼んでよかった」と思ってもらえるよう、No.1 & Only One 商品・技術を提供し、設備・車両の安定稼動とともにLCC低減に貢献していきたい。

- * JHS (JTEKT HYPER STRONG) は株式会社ジェイテクトの登録商標です。
- * LFT は株式会社ジェイテクトの登録商標です。

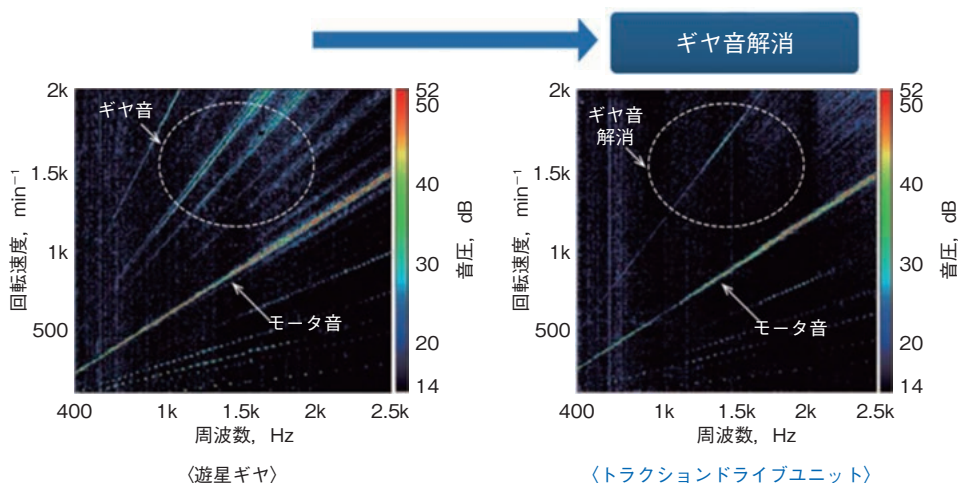


図19 遊星ギヤとトラクションドライブユニットの騒音比較結果
Noise comparison results of a planetary gear versus a traction drive unit

参考文献

- 1) 林田一徳, 松山博樹: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1015(2017)17.
- 2) 保坂亮平, 松田晋也: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1012(2014)32.
- 3) 保坂亮平, 安田典嗣: Koyo Engineering Journal, No. 1004(2007)41.
- 4) 久保潤一, 河田道雄: Koyo Engineering Journal, No. 1012(2014)43.
- 5) 株式会社ジェイテクト: 転がり軸受総合, CAT. No. B2001-8(2017)A152.
- 6) 株式会社ジェイテクト: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1012(2014)114.
- 7) 村木俊之, 山本博雅: 複合加工機の現状と展望, 精密工学会誌, vol. 78, No. 9(2012)740.
- 8) 株式会社ジェイテクト: 工作機械用精密転がり軸受, CAT. No. BA005JA-0DS, 35.
- 9) 上山拓知: Koyo Engineering Journal, No. 163(2003)23.
- 10) 中田竜二: Koyo Engineering Journal, No. 149(1996)31.
- 11) 河野晶彦: Koyo Engineering Journal, No. 165(2004)60.

筆者



安達丈博*
T. ADACHI

* 軸受事業本部 産業機器技術部