

インダストリー用転がり軸受の動向と取組み

Technical Trends and R&D Efforts Regarding Industrial Rolling Bearings

鮫島喜栄智 K. SAMESHIMA

Rolling bearings are important machine elements that support almost all rotating parts of industrial machines. In recent years the demand for compact, lightweight, maintenance-free industrial machines with improved reliability has increased, and bearings that are not only suitable for such machines but also high-quality, environmentally friendly and usable on a global basis are being required. By utilizing advanced analysis and measurement technology to understand rolling bearing behavior, wear and lubrication on a microscopic scale and utilizing submicron-precision machining technology, JTEKT has created rolling bearings able to improve the performance of a wide array of industrial machines. This paper presents technical trends and R&D efforts of JTEKT regarding rolling bearings used in major non-automotive industrial fields.

Key Words: industrial bearing, trend, bearing technology

1. はじめに

転がり軸受は、機械の回転部分を支える重要な機械要素として、自動車、電機、情報機器、鉄鋼設備、鉄道車両、建設機械、工作機械、航空機などのあらゆる産業で使用されている。

近年、機械や装置の小型・軽量化、信頼性の向上、メンテナンスフリー化に伴い、転がり軸受への要求性能が多様化している。

さらに、安全性、省エネルギー性や環境負荷低減に代表される地球環境対応技術、グローバル対応の高品質および低価格などへの対応も重要となってきた。

このような状況のもと、当社では材料・熱処理・トライボロジー・精密加工などの基盤技術の研究開発をもとに、センシング技術との融合やユニット化およびモジュール化の視点に立ち製品開発を推進している¹⁾。

本報では、自動車以外の産業分野（以下インダストリーと記す）で使用される転がり軸受について、主な産業分野での技術動向と当社の取組み事例を紹介する。

2. インダストリー用転がり軸受の特徴と要求性能

インダストリー用転がり軸受は、自動車用転がり軸受と比べ幅広い領域で使用される。サイズでは、モータ用軸

受の内径 1mm からトンネル掘進機用軸受の外径 7m を越えるものまでである。使用される条件から見た場合、回転速度は毎分 1 回転程度の超低速域から dmn 値（軸受 P.C.Dmm × 回転速度 min⁻¹）400 万の高速域まで、作用する荷重は転がり軸受の動定格荷重の数 % の軽荷重域から 80% を超える重荷重域までと広範囲にわたっている。

使用環境は、半導体製造装置のような超クリーン（超高清浄度）環境から、鉄鋼設備のような高温・多量の粉じんおよび腐食性雰囲気を伴う過酷な環境までである。

さらに、近年、ますます環境負荷低減、生産性向上および安全・メンテナンス性向上に貢献する性能が転がり軸受に強く望まれている。

このような状況のもと、当社では図 1 に示すように、材料・熱処理・トライボロジー・精密加工などの基盤技術の研究開発をもとに、センシング技術との融合やユニット化の視点での製品開発を推進している。

また、インダストリー用転がり軸受の開発時には、そのサイズや使用環境の制約から事前に試作して評価することが困難な場合が多い。そのため、当社では CAE を取り入れ、顧客の機械装置の要求性能に適合する商品を開発している。

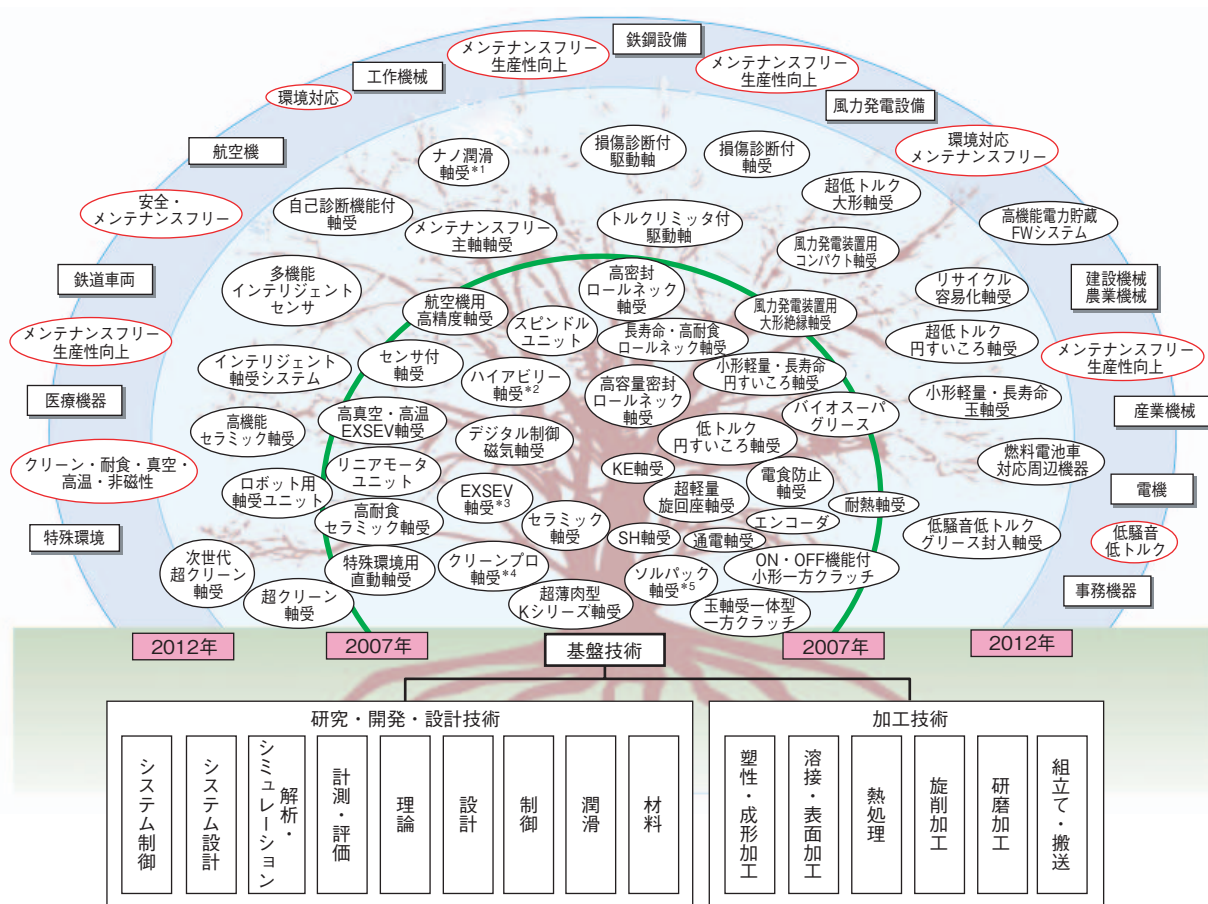


図1 インダストリー関係軸受の技術開発ツリー
R&D tree for industry-related bearings

2.1 鉄鋼設備

当社では1942年に鉄鋼圧延機用転がり軸受を開発して以来、多種多様の製鉄設備用転がり軸受とその転がり軸受技術をもとにした圧延機用駆動軸を開発してきた。

日本の鉄鋼業界では、早くから製品の品質向上へのさまざまな取り組みがされており、1972年には従来の油膜軸受にかわり転がり軸受が冷間圧延機のバックアップロールに採用された。それ以降日本国内では新設の冷間圧延機のバックアップロールには標準的に転がり軸受が採用されるようになり、圧延製品の板厚精度の向上に貢献している²⁾。

世界の鉄鋼生産は、1990年代には大幅に減少し、その際に鉄鋼設備の縮小が推進された。

しかし、2000年以降は大幅な需要増加に転じ、鉄鋼メーカー各社は大幅な生産増強に対応してきた。

日本の鉄鋼業界では、自動車用鋼板を代表とする高級鋼材へ生産品目を推進しつつ、増加する顧客の需要に対応してタイムリーに製品を納入することが非常に重要に

なっている。そのため、生産性の向上はもちろん、鉄鋼設備の信頼性向上とメンテナンスコストの削減に寄与する製品の開発要求が高まり、これに応えることができる製品を開発してきた。

鉄鋼設備でも重要な工程を占める圧延機用の開発製品の事例を図2に示す。

圧延機用転がり軸受および駆動軸は、高温下で多量の圧延水や水蒸気および粉じんを伴う過酷な環境で使用されることが大きな特徴である。そのため高温および圧延水や粉じんの内部への浸入による性能低下を防止することが非常に重要であり、そのことが設備の信頼性向上および長期間の安定操業に大きく貢献する。

圧延機用転がり軸受には、転がり疲労が長くかつさびにくい材料・熱処理技術と、圧延水や粉じんの浸入を低減できるシール構造を採用した転がり軸受を開発した。このことにより、転がり軸受のメンテナンス周期の延長が図られ、設備の稼働率の向上およびメンテナンスコストの低減にも貢献し、長期間にわたる安定操業が可能となった^{3), 4)}。さらに潤滑剤（グリース）の消費量も大

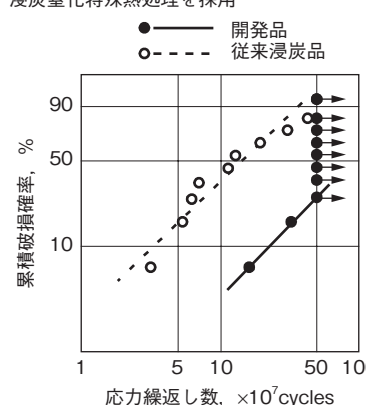
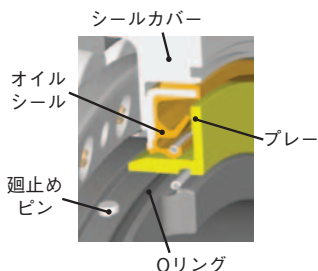
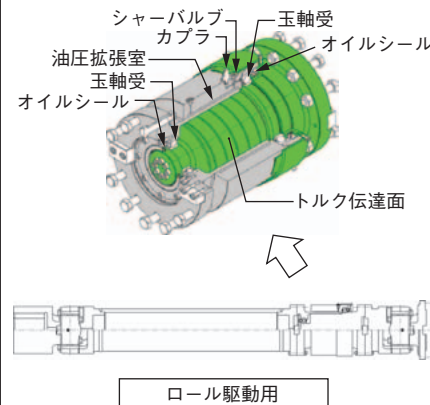
開発商品	長寿命高耐食軸受	高密封ロールネック軸受	トルクリミッタ付き駆動軸
狙い	長寿命化 メンテナンス周期延長 メンテナンス工数削減	長寿命化 メンテナンス周期延長 メンテナンス工数削減	過大トルク作用時の周辺機器の保護 長時間の操業停止回避
内容	<p><材料成分> Ni, Cr, Moを複合添加して配合を最適化 <耐食性向上> 浸炭窒化特殊熱処理を採用</p>  <p>● ——— 開発品 ○ - - - 従来浸炭品</p>		

図2 圧延機用開発商品
Examples of products developed for rolling mills

幅に削減できた。

圧延機用駆動軸には、操業中に圧延材の多重かみ込みが発生するとロールの回転急停止により瞬間的に過大な慣性モーメントが動力伝達系全体に作用して、駆動軸を構成しているユニバーサルジョイントを含めた設備が破損し、最悪の場合は圧延操業遅延に至ることがある。当社では、ユニバーサルジョイントに作用する過大トルクを瞬時に開放する機構を組み込んだトルクリミッタ付き駆動軸を開発した⁵⁾。この開発により、圧延事故による設備の破損を防止し、生産性向上に大きく貢献できるものとする。

さらに、駆動軸にセンシング機能を取り入れ、圧延操業中の損傷診断が可能なシステムを開発中である⁶⁾。このシステムにより、設備の大幅な予防保全の向上が期待される。

これらの鉄鋼設備用製品はその大きなサイズや過酷な使用環境により、開発段階で事前に試作して評価することが困難な場合が多い。そのため、当社ではCAEを取り入れ、顧客の機械装置の要求性能に適合する商品を開発している。(図3)

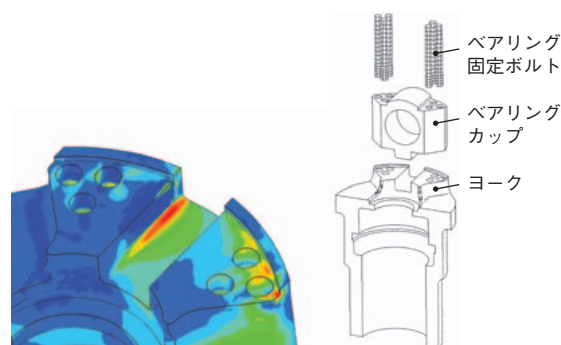


図3 圧延機用駆動軸ヨーク部の強度検討
Study of rolling mill driveshaft yoke strength

2.2 風力発電装置 (風車)

1990年代後半以降、地球温暖化防止に貢献する自然エネルギーの利用が拡大し、風力発電装置の建設が大幅に増加している。最近ではよりいっそうの発電量増加に向けて、2MWを超える大容量の大型風力発電装置が開発されつつあり、主軸にはそれに対応したより大きな負荷容量の大型軸受が求められている。

しかし、大型化する風力発電装置の設置コストを抑制することは非常に重要であり、質量の増加を極力抑制するコンパクトで高剛性の大型軸受が必要となってきている。

風力発電装置の主軸用軸受には、風速および風向に応じて、回転速度の変動とともに、作用する荷重が大きく

変動する。

当社では、変動する軸受の回転速度および荷重を適切に数値処理し、ハウジングの剛性も加味した解析を行い、コンパクトで高剛性の外径が 1m を超える超大型軸受 (図4) を開発している。

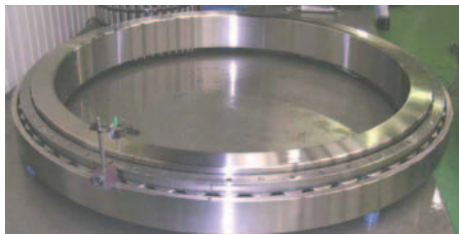


図4 風力発電装置主軸用超大型軸受
Extra-large bearing for main shaft of wind turbine generator

さらに、風力発電装置の設置数の増加とともに、転がり軸受にはよりいっそうの信頼性向上が求められている。特に発電装置に使用される転がり軸受には、電食(回転中の軸受内部に電流が通過して転がり接触部の表面が局部的に溶融する現象)による損傷が発生しやすく、故障原因の一つとなっていた。その電食による損傷を防止するために、絶縁性能に優れたセラミック軸受 (図5) を開発し発電装置の信頼性向上に貢献している⁷⁾。

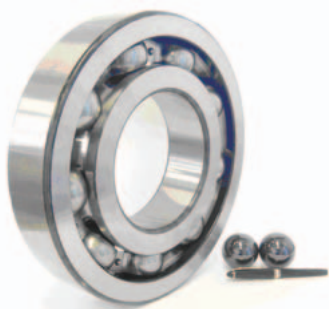


図5 風力発電装置用絶縁セラミック軸受
Insulated hybrid ceramic bearing for wind turbine generator

2.3 工作機械

産業界での生産性向上、製品の加工精度向上への要求はますます強くなり、工作機械の高速化、高能率化はとどまることがない。このため、工作機械の主軸用転がり軸受には、加工時間短縮のための超高速回転、高精度加工のための高剛性・低昇温が求められている。

一方、近年、環境への配慮も重視されるようになり、高速主軸で多用されているオイルエア潤滑、オイルミスト潤滑に代わって、オイルの飛散がないクリーン環境を

保つグリース潤滑が注目されている。これらのニーズに応え、当社では、高速性に優れたグリース封入済みのシール付きハイアビリーアングラコンタクト玉軸受 (図6) を開発した⁹⁾。この軸受により、潤滑装置の廃止や主軸構造の簡素化による低コスト化にも貢献している。

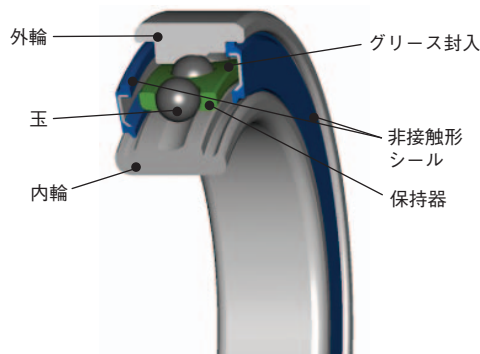


図6 シール付きハイアビリーアングラコンタクト玉軸受
HIGH ABILITY sealed-type angular contact ball bearing

マシニングセンタの主軸用軸受には、低速域での重切削から高速域での軽切削に対応する「高剛性」と「高速性」の両立がいっそう求められている。当社はこのニーズに対し、高速高剛性軸受の提供に加え軸受性能を最大限に発揮する軸受予圧制御システムの開発を推進している。

2.4 モータ

近年、各種の産業分野においてモータの需要が拡大してきている。家電用モータには低騒音、耐久性向上および高効率性が求められ、そのためモータ用転がり軸受には低騒音性、高温・高速耐久性、低トルク性および耐フレッチング性の向上が要求されている。また、自動車の電子制御化に伴い多数のモータが使用されているが、このモータ用転がり軸受にはさらに低温起動性の向上が要求される。

これらの性能にグリース性能が大きく影響しており、当社では表1に示すグリースを開発して各種モータの性能の向上に役立ててきた⁹⁾。

またモータが組み込まれる装置の信頼性向上要求の高まりに伴い、電食による転がり軸受の損傷防止も重視されている。この要求に対して各種の絶縁性を有する転がり軸受を開発している。

表1 モータ用軸受グリース
Greases for motor bearings

	KVC グリース	KAM5 グリース	ES804 グリース
増ちょう剤	ジウレア	リチウム石けん	PTFE
基油	ポリ α オレフィン エステル油	エステル油 エーテル油	パーフルオロ ポリエーテル
基油動粘度, mm ² /S (40℃)	47	53	68
混和ちょう度	250	265	333
滴点, ℃	260以上	186	-
蒸発量, mass%	0.17 (99℃, 22h)	0.2 (99℃, 22h)	1.3 (200℃, 24h)
離油度, mass%	0.2 (100℃, 24h)	1.3 (100℃, 24h)	12.2 (200℃, 24h)
使用温度範囲, ℃	-40 ~ 150	-30 ~ 140	-40 ~ 200
低騒音性	-	優	優
高温耐久性	優	優	優
高速耐久性	優	-	-
低トルク性	優	-	優
耐フレッチング 性	優	-	優
用途	高温モータ クリーナモータ	汎用モータ エアコンモータ	車載ステッピング グモータ

今後、モータ稼働時の静粛性、消費電力の低減、および稼働時間の長期化に伴う信頼性向上への要求はますます高まっていく傾向にあり、転がり軸受にはさらなる低騒音性、低トルク性および寿命の向上が求められる。これらに対応して当社では、グリースのみならず材料・熱処理・シール技術を駆使して、より高機能のモータ用転がり軸受の開発を進めている。

2.5 最先端分野での特殊環境用転がり軸受

従来の転がり軸受ではきわめて困難だった、真空、クリーン、高温および腐食環境で使用できる軸受として特殊環境用転がり軸受を開発し、最先端の技術分野に貢献している。

当社では、1984年にセラミック軸受を開発して以来、要求性能に応じて各種の特殊環境用転がり軸受を開発し、EXSEV (Extreme Special Environment) 軸受シリーズとして商品化を推進してきた¹⁰⁾。

以下に半導体製造装置および医療機器用の特殊環境用転がり軸受を代表例として紹介する。

2.5.1 半導体製造装置

半導体製品の高集積化がますます進展し、半導体製造装置にはより高いクリーン環境が求められる。そのため、転がり軸受からの発じんとアウトガスを低減することが必要となってきた。

当社では、これらの要求に応えるためクリーンプロPRZベアリング (図7) を開発した。

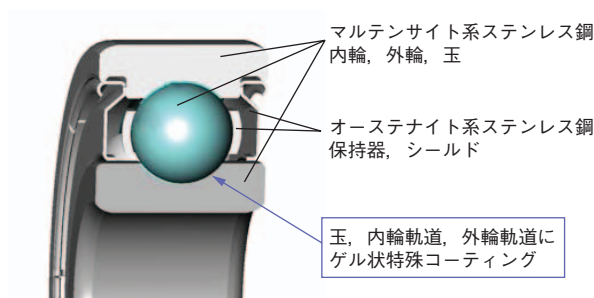


図7 クリーンプロPRZベアリング
Clean Pro PRZ bearing

この軸受は、クリーン環境に適した潤滑成分を配合したゲル状の特殊高分子膜を転動面にコーティングした軸受であり、高真空下での転がり軸受からの発じんとアウトガスの大幅な低減を実現した。

また、半導体製造装置に使用される搬送ロボットでは、コンパクトで低発じんの長寿命軸受が要求される。

当社では、超薄肉形セラミック玉軸受 (図8) を開発・提供してこの要求に応えている。

今後の情報化社会のますますの進展に向け、材料、表面処理および潤滑剤の技術を駆使してより高いクリーン環境に適応する製品の開発を進めている。



図8 超薄肉形セラミック玉軸受
Super-thin-section ceramic ball bearings

2.5.2 医療機器

予防医学の進展に伴い、身体内部の疾患の早期発見および治療に向けて、各種の診断装置が急速に普及している。それらの診断装置のうち、X線CTスキャン（コンピュータ断層撮影装置）には、当社の特殊環境用転がり軸受が採用されている。

X線装置は硬質ガラスバルブ等で、高真空（ 10^{-6} Pa）で覆われ、電子をターゲット表面に照射してX線を発生させるが、その際に多大な熱が発生する。その発生熱によるターゲット表面の損傷を防止するために、ターゲットを高速（約 $10,000\text{min}^{-1}$ ）で回転する転がり軸受が必要とされる。また、患者の診断中はX線装置が診断する患者の周囲を高速で公転するため、公転に伴う遠心力が転がり軸受に作用する。

当社では、耐熱性に優れた材料と高真空中でも十分な潤滑性能を発揮できる固体潤滑剤を採用して、コンパクトなX線管用ユニット（図9）を提供し、診断装置の信頼性向上に貢献している。



図9 X線管用ユニット
Spindle units for X-ray tubes

医療診断装置の高度化要求はますます高まり、短時間でより高品質の動的情報を提供する診断装置が望まれている。その要求に応えるため、材料・表面処理・潤滑剤・最適設計の技術を駆使して軸受やユニットの開発を進めている。

3. おわりに

転がり軸受は産業革命、自動車産業の発展とほぼ軌を一にして本格的に工業製品として発展し、各種機械装置の主要要素部品としての地位を占めてきた。

その間、巨視的には内輪、外輪、保持器、転動体など数種の部品で構成される転がり軸受の基本構造は大きく変わっていない。

しかし、進化する分析・計測・解析技術を駆使して、微視的な転がり軸受の挙動・摩擦摩耗・潤滑の特性を解明し、およびサブミクロン精度の加工技術などの開発により転がり軸受を進化させ、当社でもさまざまな機械装置の性能向上に応えるよう種々の転がり軸受を開発し提供している。

今後は、従来からの材料・熱処理・トライボロジー・精密加工技術など、転がり軸受に関する基盤技術のさらなる研究開発をもとに、軸受周辺技術および環境対応性を考慮して、顧客に満足していただける新商品を提供していきたい。

- * 1 ナノ潤滑は(株)ジェイテクトの登録商標です。
- * 2 ハイアビリーは(株)ジェイテクトの登録商標です。
- * 3 EXSEVは(株)ジェイテクトの登録商標です。
- * 4 クリーンプロは(株)ジェイテクトの登録商標です。
- * 5 ソルパックは(株)ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 北村昌之：JTEKT Engineering Journal, no. 1003(2007)9.
- 2) 久保潤一，鈴木宣哉：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)48.
- 3) 後藤将夫：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)22.
- 4) 保坂亮平，安田典嗣：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)41.
- 5) 永山彰英，宮地武志：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)76.
- 6) 杉山豊樹，大野貴司，米山展央，森本健固：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)69.
- 7) 蔵下義一：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)55.
- 8) 東本 修：JTEKT Engineering Journal, no. 1001(2006)97.
- 9) 村上正之，黒松幹雄：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)82.
- 10) 藤井義樹，小野 浩：JTEKT Engineering Journal, no. 1004(2007)62.

筆者



鮫島喜栄智*

K. SAMESHIMA

* 軸受・駆動事業本部 産業機器技術部