

鉄鋼設備安定操業化貢献技術の開発

Development of Technologies Contributing to the Stable Operation of Steelmaking Steel Production Equipment

永山彰英 A. NAGAYAMA 宮地武志 T. MIYACHI 大塚和茂 K. OTSUKA

A high percentage of steel production equipment mainly consists of rotating bodies, such as rolling mills and continuous casting machines. The performance of mechanical parts that support such rotating bodies is extremely important in steel production equipment.

For many years, JTEKT has contributed to the stable operation of steel production equipment through the provision of bearings, oil seals, universal joints and other products. In recent years, we are making efforts not only in the area of product technology, but also development of lubrication technologies such as oil seals and lubrication equipment, optimum design of bearings by bearing diagnosis using actual equipment, and appropriate repair methods for long-term use of products. JTEKT aims not only to offer customers our products, but also to provide comprehensive technology including how to use such products. This report introduces some concrete examples of our efforts.

Key Words: rolling mill, continuous casting, long life, maintenance free, technical trend

1. はじめに

当社は長年、鉄鋼設備に軸受、オイルシール、ユニバーサルジョイント（UJ）などの製品を提供するとともに各製品の技術開発に努めてきた。そのため、鉄鋼業界では高いシェアを維持できている。ただし、お客様のさまざまな困りごとに対しては、製品の提供のみでは十分に対応できない場面が多い。当社では製品の使われ方や使用環境に合わせた、総合的な技術提供によるお客様への貢献を目指している。

たとえば軸受においては、潤滑の改善としてオイルシールの機能向上や、オイルエア潤滑システムの開発など潤滑改善により軸受の寿命向上を図っている。また、鉄鋼設備においては、設計段階では想定できない荷重が軸受に発生する場合があります。損傷原因の究明には実際の設備による荷重測定が有効である。当社では独自の荷重測定技術と解析技術により、軸受内部の負荷状態と設備における使用条件との関係を明らかにし、軸受の最適設計につなげている。さらに、軸受やUJなどの寿命を最大限に発揮させる取り組みとして、適正な補修方法についても提案を行っている。本報ではこのような背景から鉄鋼設備の安定操業化に向けた取り組み事例について紹介する。

2. 軸受の長寿命化への取り組み

鉄鋼設備の圧延工程は、鉄鋼製品の品質を決める重要な工程であり、高い信頼性が求められる。圧延機ロールネック用軸受では一般的な転がり疲労寿命による損傷に加えて、圧延工程で使用される圧延水やスラブから発生するスケールにより軸受内部で発生するさびや外部から侵入する異物による早期損傷が問題となる。図1に軸受の損傷形態を示す。当社はその要因を解明し、材料面・潤滑面からの対策を推進してきた。

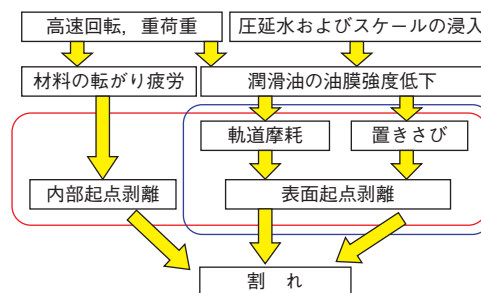


図1 軸受の損傷形態
Bearing failure types

2.1 材料の開発

圧延機ロールネック用軸受には、バックアップロール用軸受とワークロール用軸受があり、これらの軸受の損傷に対するロバスト性向上を目的に高性能材料を用いた長寿命高耐食性軸受 JHS520*を開発した。ロールネック用軸受 (図2) と軸受特長 (表1) を以下に示す。材料開発の詳細は、本報 22 ページに掲載。

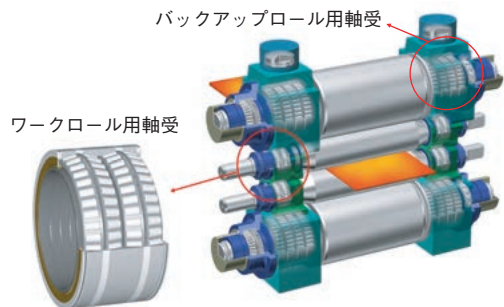


図2 圧延機の構造とロールネック用軸受
Rolling mill structure and roll neck bearing

表1 ロールネック用軸受材料開発の特長
Features of roll neck bearing material development

特長	
①	Cr と Mo の添加量を適正化した長寿命・高耐食鋼を採用
②	耐食性と耐摩耗性を向上させる当社独自の浸炭窒化熱処理

また、風力発電などに用いられる発電機や変圧器、ハイブリッドカーのモータの鉄心として欠かせない電磁鋼板を生産する多段圧延機に使用されるバックアップロール用軸受では、重荷重のため潤滑油膜の形成が不十分な環境下での耐久性が求められる。このような環境下でのロバスト性向上を目標にした多段圧延機バックアップロール用軸受 JHS210 を開発した。その軸受 (図3) と特長 (表2) を以下に示す。

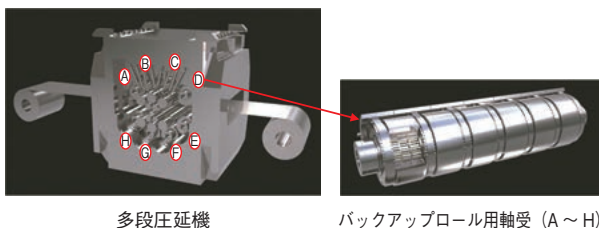


図3 多段圧延機バックアップロール用軸受の構造
Structure of bearings for multi-roll mills backup roll

表2 多段圧延機バックアップロール用軸受材料開発の特長

Features of material development for bearings for multi-roll mills backup roll

特長	
①	外輪には十分な内部軟化層を形成し耐衝撃性を確保。また深い表面硬化層は剛性を確保するとともに、外径面の再研削取り代の増加
②	内輪材質には、はだ焼鋼の採用による潤滑油膜の形成が不十分な条件下での転がり寿命の向上

以上の材料開発に加えて、今回、潤滑改善の取り組みとしてオイルシールの機能向上と、オイルエア潤滑システムの開発内容を紹介する。

2.2 高密封オイルシールの開発

(1)開発コンセプト

ワークロール用軸受は高温ならびに圧延水やスケールにさらされる、非常に過酷な環境で使用されている。そこで使用される四列円すいころ軸受には重荷重、高速回転への対応が求められ、またその軸受に使用されるオイルシールには過酷な環境下での密封性が必要となる (図4)。その開発コンセプトはリップ部の断面形状を全面的に見直し、リップ部の潤滑保持と外部からの水・異物などの侵入を押し戻すポンプ量の最大化である。さらに内輪間シールでは断続的にリップを配置し、軸受内部の負圧を制御できるようにした。

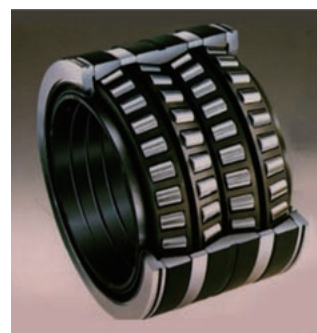


図4 密封形四列円すいころ軸受
Sealed-type 4-rows tapered roller bearing

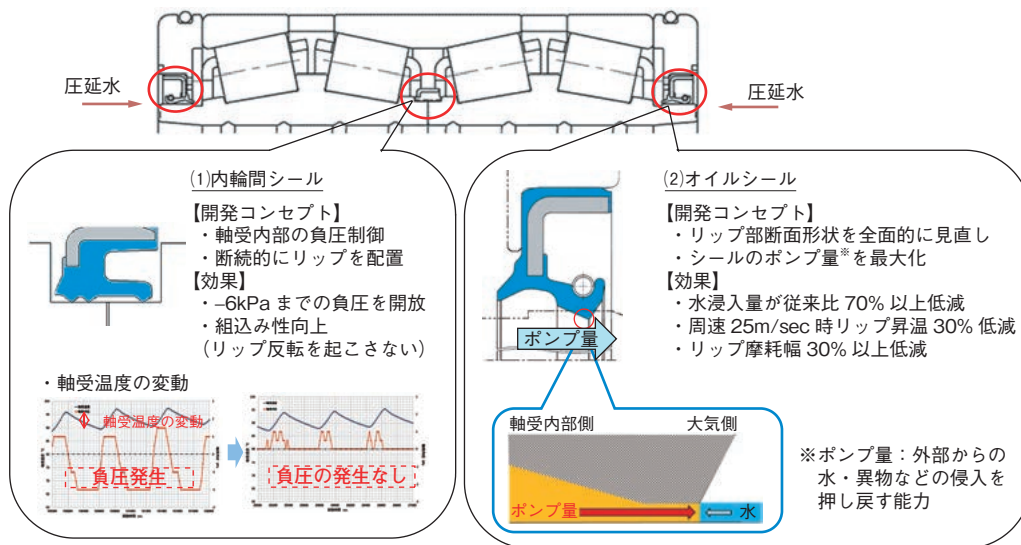


図5 ワークロール用密封形軸受とオイルシールの開発コンセプトと効果
Sealed bearing for work roll neck and seal development concept and effects

(2)特長

図5にワークロール用密封形軸受とオイルシールの開発コンセプトと効果を示す。

開発したオイルシールと内輪間シールの相互作用により高性能なワークロール用密封形軸受を開発できた。

①密封性向上によるロバスト性の向上

軸受内部への水浸入量を従来比70%以上低減することに成功、潤滑性悪化による突発的な軸受の損傷を抑制することができた(図6)。

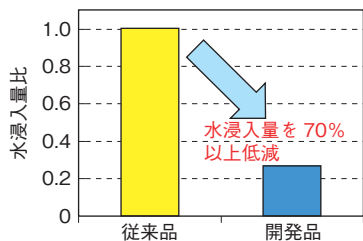


図6 水浸入試験結果
Water influx test result

②従来材(NBR:ニトリルゴム)の適用範囲拡大

オイルシールリップの昇温を従来品比約30%低減することにより、圧延機用軸受のオイルシール材として、一般的なNBRの使用温度範囲内で適用拡大を図れた(図7)。

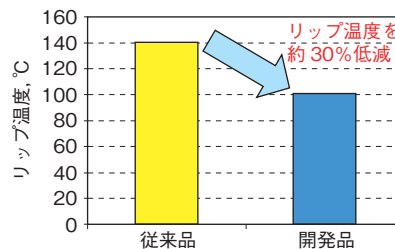


図7 昇温試験結果
Temperature increase test result

2.3 オイルエア潤滑システムの開発

近年、鉄鋼設備には安定操業、環境保全の要求が高まっており、鉄鋼設備の潤滑改善は常に求められている。その対策の一つとしてオイルエア潤滑がある。当社は1994年より本潤滑システムの量産を開始し、現在では連続鋳造設備、熱間・冷間圧延設備などの各種鉄鋼設備用軸受に多数の採用実績を持つ。その結果当社は、オイルエア潤滑システムおよび軸受、オイルシール、軸箱を含めたシステムサプライヤとして、お客様の安定操業に貢献している。

(1)オイルエア潤滑の原理と特長

オイルエア潤滑でのオイルの搬送原理を図8、基本構成を図9に示す。配管内のオイルは、圧縮エアの摩擦力で最終潤滑点まで搬送される。また、潤滑に寄与しない噴霧状オイルの排出が少なく、オイルの消費量を最小限に抑えることができる。さらに、オイルの搬送動力である圧縮エアが軸受へ供給されるため、軸受内部を正圧と

し、外部からの異物侵入を防ぐことが可能となる。

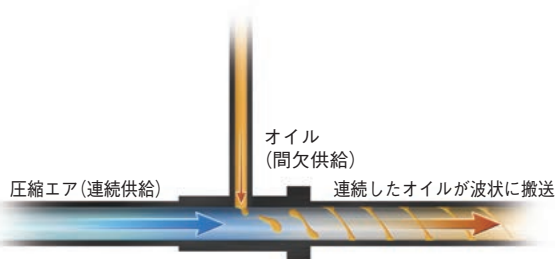


図8 オイルエア潤滑の搬送原理
Transport principle of oil/air lubrication

当社のオイルエア潤滑システムの導入によりお客様に以下のメリットを提供することができる。

- ①過酷な環境下で摩耗・損傷を大幅に改善
 - ・軸受箱内の正圧化による高い密封性確保
 - ・高粘度油、極圧油の適用による高い潤滑性能
- ②設備保全の改善
 - ・最少油量での潤滑による運転コスト改善
 - ・オイル回収による設備周辺環境改善
- ③容易な適用性
 - ・小径配管の適用による容易な配管設計
 - ・少数給油から多点給油まで自由度の高いシステム設計

(2)適用事例

圧延設備において、オイルミスト潤滑からオイルエア潤滑に変更した事例と、連続鋳造設備のグリース潤滑にオイルエア潤滑を採用した事例を以下に紹介する。

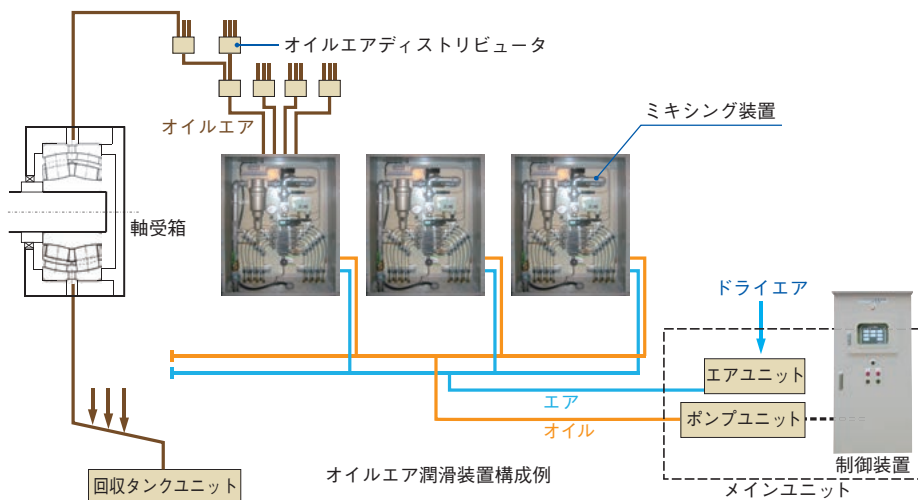


図9 オイルエア潤滑の基本構成
Basic layout for oil/air lubrication

■圧延設備への適用

- ①小径配管の適用による容易な配管設計
- ②ランニングコスト削減 (オイルミスト潤滑の1/3)
- ③高粘度油、極圧油の適用による高い潤滑性能

図10はオイルミスト潤滑とオイルエア潤滑でオイル消費量比を示す。

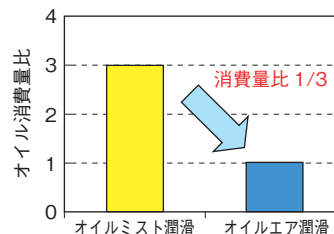


図10 オイル消費量効果
Lubricant consumption amount

■連続鋳造設備への適用

- ①自動調心ころ軸受特有の摩耗を大幅に低減 (グリース潤滑の1/10)
- ②摩耗、剥離、さびの要因による軸受交換数を削減
- ③軸受の長寿命化により、突発事故の発生を削減
- ④メンテナンス時の軸受洗浄工数を削減

図11はグリース潤滑とオイルエア潤滑との軌道面の摩耗比を示す。

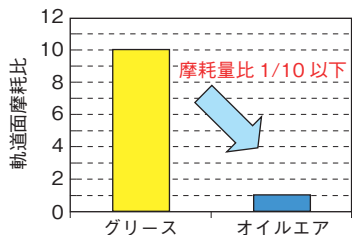


図11 摩耗効果

Comparison of bearing wear amounts

(3)多点給油ディストリビュータの開発

さらに鉄鋼設備の中でも連続鋳造設備など給油点数の多い設備では、配管数や各機器の配置場所が問題となる。当社はその問題を解決するため、オイルエアを多点分配することができるブロック形ディストリビュータを開発(図12)、設備の簡素化を可能とした。開発品は可動部を持たず、オイルエア状態でのオイルを多岐に分配できるため、熱や水のある環境にも設置することができる。



図12 ブロック形ディストリビュータ

Block-type oil/air distributor

さらに、オイルエア潤滑においてモニタリングパネルによる常時管理システムにも対応しており、稼働状態の見える化も可能としている。鉄鋼設備に使用されている軸受の潤滑手段であるオイルエア潤滑をさらに進化させ、軸受、オイルシール、軸箱などの周辺機器も含めたエンジニアリングを目指して取り組んでいる。

3. 軸受診断による長寿命化への取り組み

鉄鋼設備では設計段階で想定できない荷重が軸受に発生する場合がある。荷重発生要因については稼働状態に起因するものや設備の老朽化に起因するものなどが考えられるが、荷重発生原因究明には実際の設備による荷重測定が有効である。当社では独自の荷重測定技術と解析技術により、軸受内部の負荷状態と使用条件との関係を把握し、軸受の最適設計をお客様に提案していき

いと考えている。

3.1 実機サイズ試験機の導入

これまでは過酷な実機条件をベンチ試験機で再現することは非常に困難であった。そのため、実サイズの大形軸受を評価することも難しかったため、縮小サイズの軸受による評価が一般的であった。近年、実サイズ軸受を用いた各種軸受評価の要望が高まっていることから、新たに、実機で発生する圧延水の飛散・高温・高速・高荷重の各種環境条件を再現させることが可能な、図13に示す鉄鋼設備用軸受試験機を導入した。

本試験機は、鉄鋼製造の主要設備である圧延機本体に使用されている実サイズ軸受を組み込み、実機使用条件下で評価できるものであり、世界初の試験機である。今回は本試験機を用いて、実サイズ軸受への荷重を測定した事例を紹介する。



図13 鉄鋼設備用軸受試験機

Bearing test rig for steelmaking equipment

3.2 ラジアル軸受転動体荷重測定

ワークロール用ラジアル軸受には、一般的に四列円すいころ軸受が使用されている。この軸受には中空転動体を使用されていることに着目し、その中空転動体内面にひずみゲージを貼り付けて、転動体に発生する荷重の測定を行った。ただし、荷重測定は単列円すいころ軸受で実施した。

図14に転動体荷重測定方法概略を示す。中空転動体内面に貼り付けたひずみゲージの出力は、治具を介して転動体と一体化した超小型データロガーに記憶させ、測定終了後、軸受が静止した状態でデータを取り出し、データ解析を行う。なお、荷重の検定は、縦形試験機で純アキシアル荷重のみを負荷させ、転動体荷重とひずみの相関を取るにより行った。

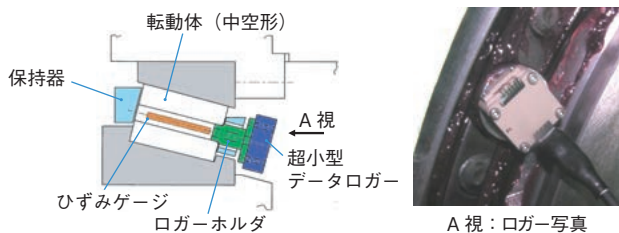


図14 転動体荷重測定方法概略

Summary of measurement method of rolling element load

転動体荷重について、試験機で測定した結果とFEM解析により求めた計算結果を図15に示す。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、その荷重分布について、実測値とFEM解析値がよく合っていることがわかる。この手法を活用してワークロール用軸受のラジアル荷重の実機測定に取り組んでいる。

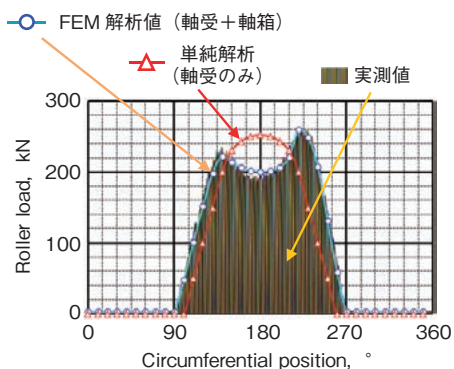


図15 転動体荷重実測値とFEM解析値の比較

Comparison between measured and analysis value of rolling element load

3.3 スラスト軸受のアキシャル荷重測定

スラスト軸受の場合、接触角が大きいいため、前述の小型ロガーを設置することが難しい。したがって、固定輪である外輪に切欠き溝を加工し、その溝にひずみゲージを貼り付けて、転動体が外輪の切欠き溝を通過する時の固定輪のひずみ量を検出する方法により測定した。

図16にアキシャル荷重測定方法を示す。荷重の検定は前項のラジアル軸受と同様に、縦形試験機で純アキシャル荷重のみを負荷させることで転動体荷重とひずみの関係線図を事前に作成した。

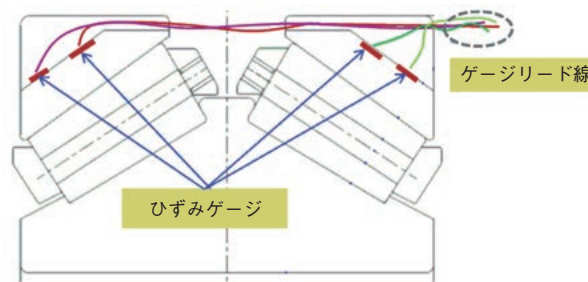


図16 アキシャル荷重測定方法
Measurement method of axial load

図17に固定輪のひずみ量の測定波形を示す。測定の結果、各列で転動体通過周波数のP-P波形からアキシャル荷重を実測することができた。この値は、試験機入力荷重と一致する結果となり、本測定方法の信頼性ととも、実機測定に非常に有効な測定手段であることを確認した。

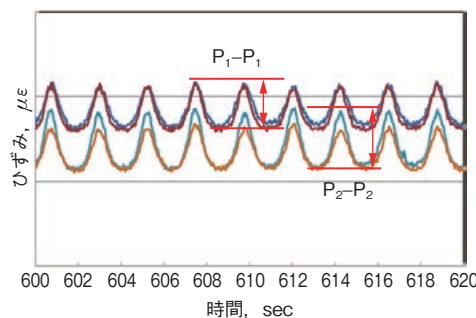


図17 ひずみ量の測定結果
Measurement results of strain amount

今回、鉄鋼設備用軸受試験機にて、実サイズ軸受を用いたラジアル、アキシャル荷重測定手法について有効性の確認ができた。これらの測定技術に加え、温度や振動測定を組み合わせることで、実機使用条件下での軸受使用状態の見える化が可能となる。

当社では、これらの技術を用いての多数の実測実績があり、これからもお客様の実機設備での荷重測定を行い、お客様の困りごとを解決するための技術サービスを提供していきたい。また、ここで得られたデータをもとに鉄鋼設備用軸受の最適設計を図るとともに、鉄鋼設備の稼働状態監視サービスにまで発展させていきたいと考えている。

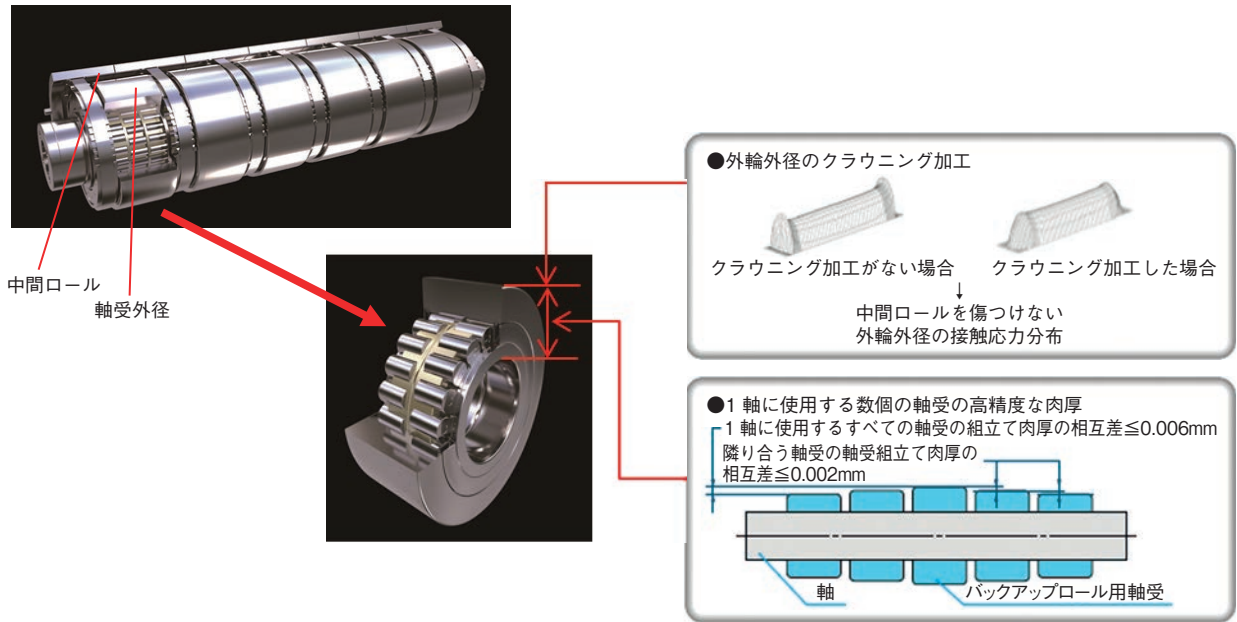


図18 多段圧延機バックアップロール用軸受
The backup rolls bearings of multi-roll mills

4. 適正補修による長期安定使用への取り組み

当社は長年にわたり鉄鋼設備用として軸受、UJ をお客様に提供している。その中で、使用中の製品をさらに長期間使用いただく取り組みとして、圧延機用軸受のメンテナンス支援体制の確立や、UJ 本体の補修方法についてお客様に提案している。その取り組み内容を以下に紹介する。

4.1 多段式圧延機用軸受のメンテナンス支援体制の確立

(1) 求められる軸受性能

図18に示す多段圧延機に使用されるバックアップロール用軸受は、1軸上に数個並べて取り付けられ、軸受外径が直接中間ロールに接し、圧延分力の負荷を受けながら外輪が回転する。そのため、外輪は十分な剛性と転がり疲れ強さを備えるとともに高精度に仕上げる必要がある。

本軸受には以下に示す性能が求められる。

① 外輪外径のクラウニング加工

軸受の外輪外径は、端部集中荷重によって中間ロールを傷つけることがないように接触応力分布を考慮したクラウニング加工を実施 (図18)。

② 1軸に使用する数個の軸受の高精度な肉厚と回転精度

軸受の高精度な肉厚と回転精度は、中間ロールを傷つけることがないように最適な接触応力分布を実現 (図18)。

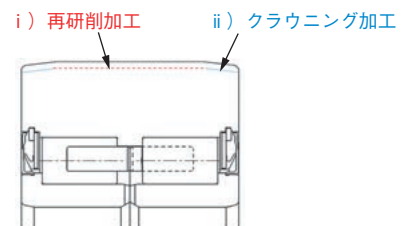
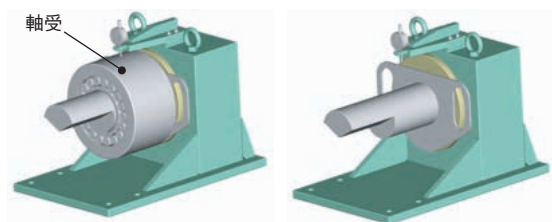


図19 再研削対応内容
Re-grinding support



・軸受肉厚を高精度に測定

図20 肉厚測定器

Device for measuring thickness



・軸受の外輪外径を高精度に研削

図21 研削治具

Polishing jig

(2)メンテナンス支援体制の確立

お客様がメンテナンス作業として、軸受の外輪外径の再研削を実施される場合に、まず当社で X 線回折で半価幅を測定することにより最適研削量を提案する(図19)。そして、お客様で使用できるメンテナンスツールを提供している。その取り組みにより、お客様の安定操業とメンテナンス工数削減に貢献している。

また、お客様が実施されていた軸受の外輪外径の再研削について、その軸受を当社で引き取り、品質を保証し、たうえで再度納入する体制も確立した。

4.2 圧延機用 UJ の取り組み

圧延機のロールを駆動する UJ は、トルク負荷が非常に大きく、設備スペースの制約もありサイズも制限される。そのため、製品の負荷能力に対して高負荷領域で使用される場合が多い。当社では UJ の高容量化に積極的に取り組んでおり、図22 に示す対策により疲労限界トルクの向上に多大な成果を得ることができた。また、過大トルクの対応については、UJ に作用するトルク伝達を瞬時に開放する商品であるハイパーカップリングを開発し採用実績が増えている(図23)。ここまで、UJ の強度、寿命の向上への取り組みを述べてきたが、環境や経年変化に対するメンテナンスも重要な課題である。

従来はお客様からの依頼時に点検・補修を実施してきたが、お客様の保全計画と UJ 補修履歴を共有することにより、メンテナンスの定期化を図り安定操業に貢献したいと考えている。そこで、当社として以下の内容に取り組んでいる。

(1)UJ の点検、補修の受け入れ体制の強化

図24 に補修の体系図を示す。その点検・補修の受け入れを強化するとともに、効率的なメンテナンスサイクルの提案を行う。

(2)補修実績データベースの構築

当社では数多くの補修を実施しているので、その実績データを活用することで、有限寿命部品の交換時期やメンテナンス内容を提案することが可能である。お客様での補修実績データベースをもとに個々の部品のメンテナンス管理を提案していく。

(3)履歴管理方法の開発

これまでの課題を以下に示す。

①実機使用後に製品履歴の確認が困難であった。

従来は、製品表面に打刻された製品番号や製造番号の読み取りにより製品履歴の確認を行っていたが、

使用後品では粉じんのたい積で読み取りが困難となっており、粉じんの除去作業も大変な工数を要していた。

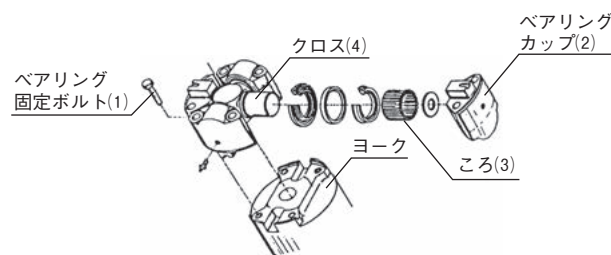
②補修履歴管理ができていない。

定期補修などの履歴を製品自体では管理できていない。

これらを解決する手段として RFID タグ*を採用した製品履歴管理システムを導入したので図25 に紹介する。

これらにより製品履歴の確認を容易かつ迅速に行えるようになった。また、補修履歴や使用履歴の登録も可能であることから、履歴管理を容易にし、製品寿命や交換時期の予測にも役立てることができる。

* RFID タグ：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。



	ボルト強度向上	剥離寿命向上	内容
(1)	○	—	固定ボルトねじ部の転造加工
(2)	○	○	ベアリングカップキー部の溶射
(3)	—	○	ベアリング部異径ころの採用
(4)	—	○	クロス軌道部パニッシュ加工

図22 疲労強度向上対策
Proposal for improving fatigue strength



図23 過大負荷解放装置：ハイパーカップリング
Device for releasing excess load: Hyper Coupling

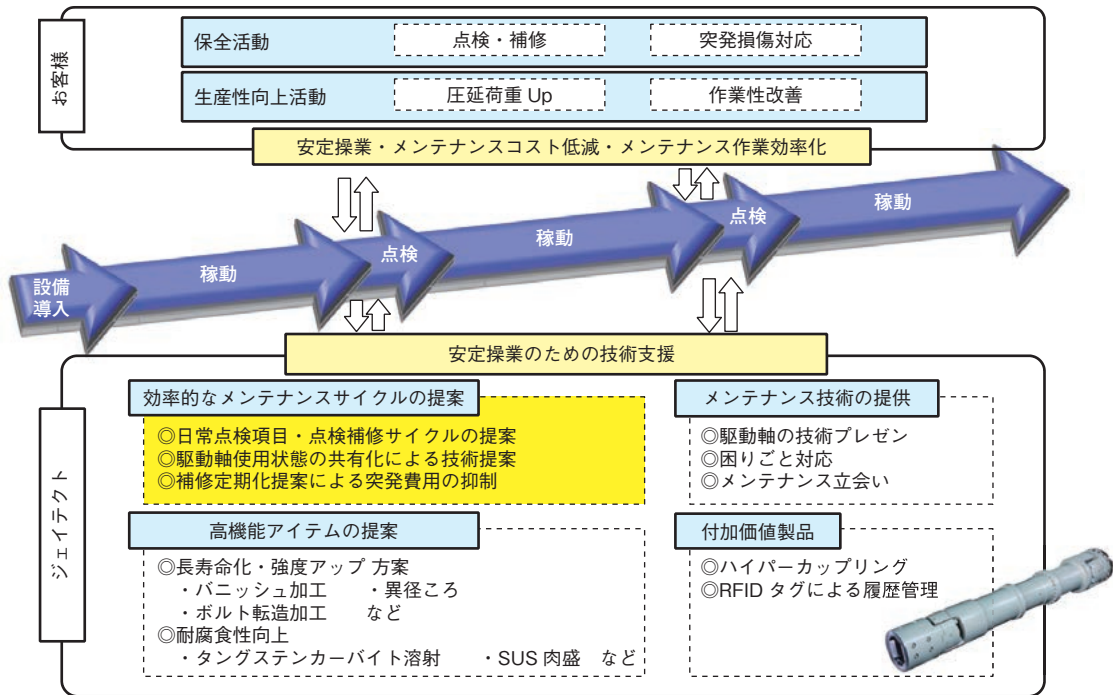


図24 UJ 補修体系図
UJ repair system chart

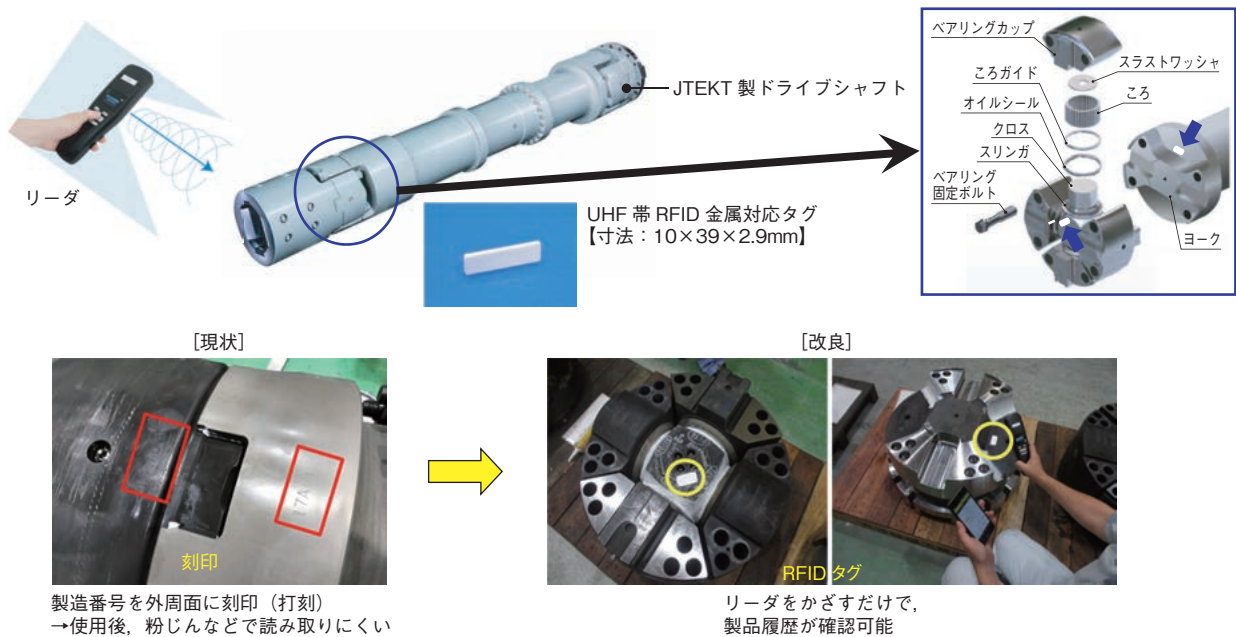


図25 製品履歴管理システム
Product history management system

5. おわりに

当社は長年、鉄鋼設備への軸受、オイルシール、UJなどの製品提供を通して、鉄鋼設備の安定操業に貢献してきた。また、本報に示すように、近年では製品技術だけでなく、①潤滑装置などの潤滑技術の開発や、②実機設備を用いた軸受診断による軸受の最適設計、③製品の長期使用のための適正な補修方法などの『モノ』から『コト』への取り組みを行っている。当社では鉄鋼設備の安定操業化に向けて取り組み、市場動向に適合した、新たな商品の開発・提供とサービスに今後も努めていきたい。

* 1 JHSは株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 鮫島喜栄智:Koyo Engineering Journal, No. 163(2003)16.
- 2) 永山彰英:Koyo Engineering Journal, No. 166(2004)7.
- 3) 保坂亮平, 安田 嗣: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1004(2007)41.
- 4) 永山彰英, 宮地武志: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1004(2007)76.
- 5) 久保潤一, 河田道雄: JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1012(2014)43.

筆者



永山彰英*
A. NAGAYAMA



宮地武志*
T. MIYACHI



大塚和茂**
K. OTSUKA

* 軸受事業本部 産業機器技術部

** 軸受事業本部 実験解析部