

鉄鋼設備に貢献する高機能商品技術

High Performance Product Technology Contributing to Steel Production Equipment

久保潤一 J. KUBO 河田道雄 M. KAWATA

Steel production is a core technology which underpins the manufacturing industry and continues to evolve in response to industrial trends. High reliability is an absolute requirement for key mechanical components used in the steelmaking process. Efficient and stable steel production relies on the high performance of bearings. JTEKT continues to optimize sophisticated bearing related products, which contributes to improvements in reliability for steelmaking equipment. This paper presents JTEKT technical expertise directed toward fulfilling steelmaking equipment requirements which operate under various conditions and environments.

Key Words: bearing, steel production, steelmaking process, high reliability, high performance, mechanical components

1. はじめに

鉄鋼製品は、自動車、電機、船舶、インフラなどすべての産業に使用される重要製品であり、今後も我々の社会生活には必須である。一方、近年のエコロジーへの関心の高まりは、鉄鋼製品においても例外ではない。たとえば、自動車用においては燃費向上を図るための軽量化が求められるようになり、高張力鋼板の使用比率が増加している。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、および耐食性や耐摩耗性を備えた高機能鉄鋼製品なども開発されている¹⁾。このような高機能鉄鋼製品の製造プロセス(図1)においても省エネルギー、

低環境負荷が求められており、また鉄鋼設備の高効率な安定稼動も重要となっている。これらに対し、当社では前述の課題解決のため現地現物で軸受、駆動軸およびシールなどの状況を把握するとともに、開発、改善に取り組んでいる。以下に、それらの概要を紹介する。

2. 製鉄

2.1 焼結パレット台車の加圧ローラ用軸受

近年、高炉の大型化が進んでおり、炉内容積で5 000m³以上の超大型高炉が増えている。高炉の大型化に伴い、銑鉄の原料となる焼結鉱の投入量を増やすためには、焼結パレット台車の積載量を増やす必要がある。

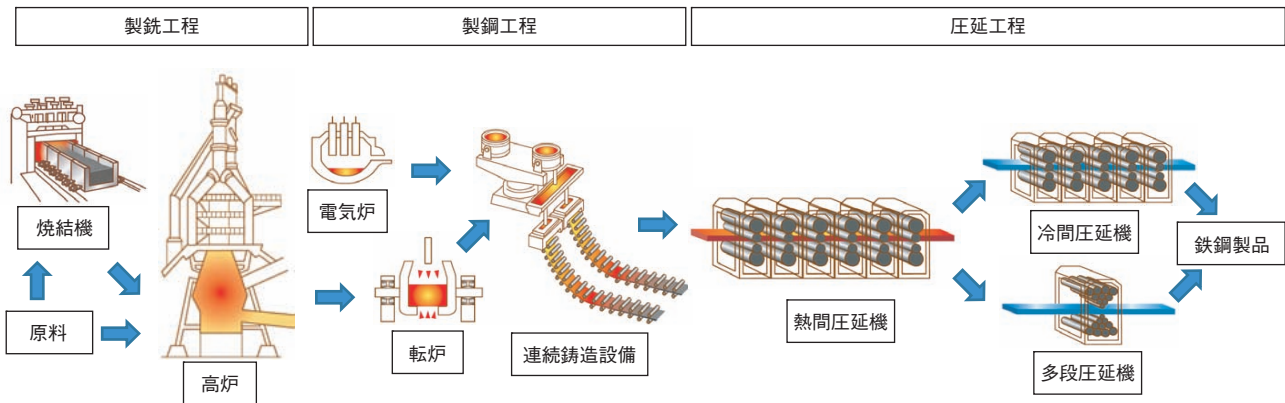


図1 鉄鋼製造工程
Steel process flow

焼結パレット台車の加圧ローラにはメタル軸受が多く採用されてきたが、積載量の増加に伴いスプロケットおよびメタル軸受のすべり部が短期間で摩耗し、すべり軸受への給脂頻度の増加や摩耗した部品の交換などのメンテナンスコストの増大が問題となっている。

そこで当社では、加圧ローラ用メタル軸受を総ころ型設計の転がり軸受（図2、図3）に改造することで、すべり部の摩耗を低減するとともに高負荷容量化も実現し、メンテナンスコストの低減を可能にした。また、加圧ローラ軸受は焼結鋳による重荷重が負荷されると外輪が割損する問題があったため実機での荷重測定を実施した。荷重測定は硬度の低い内輪を使用し、内輪軌道面の圧痕深さから荷重を推定する方法を用いた。測定結果（図4）および事前の検定データとの照合により、荷重の大きさおよび荷重のかかり方を推定した。測定で得られたデータを用いて外輪強度を確保（外輪厚肉化）した軸受内部設計の最適化を行った（図5）。さらに、外輪には焼鋼を採用しじん性を向上させることで、摩耗や微小クラックを起点とした外輪割れのリスクを低減させた。

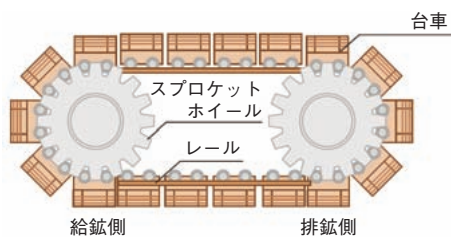


図2 焼結設備
Configuration of sintering machine

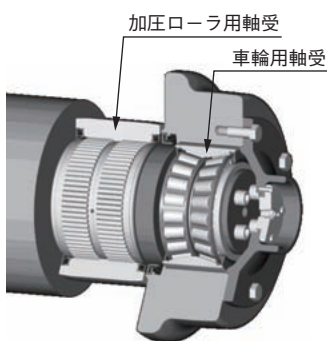


図3 パレット台車の加圧ローラ用軸受と車輪用軸受
Pressure roller bearings and wheel bearings

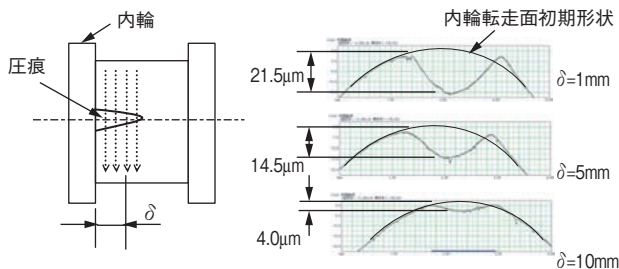


図4 圧痕深さの測定
Measurement of brinelling depth

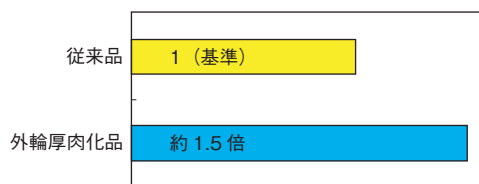


図5 外輪厚肉化品と従来品の強度比較
Comparison of strength between conventional and optimal outer ring thickness

3. 製鋼

3.1 連続鋳造設備用オイルエア潤滑装置

当社は鉄鋼用軸受のオイルエア潤滑装置の開発と製品化により、軸受と合わせたトータルサポートを行っている。近年、国内の連続鋳造設備（図6）にはオイルエア潤滑が多く採用されている。これは、軸受寿命向上によるセグメントの交換周期の延長と、軸受破損による突発事故の防止が主な目的である。連続鋳造設備用軸受（以下、連鋳用軸受）の故障の多くは、軸受内部の摩耗を起点とする剥離および割れである。この軸受内部の摩耗は、外部からの水分が軸受内に浸入することに加え、毎分數回転という極低速回転および重荷重により潤滑油膜の形成が不十分な状態となり発生する。オイルエア潤滑では軸箱内が正圧になるため外部からの水浸入を防ぐことができるとともに、極圧性の高いオイルの選定が可能のため軸受の潤滑状態が改善される。連鋳用軸受の固定側軸受は、一般的に自動調心ころ軸受が採用されている。この軸受の特性として、ころと軌道の差動すべりにより軌道面に二山状の摩耗が生じる。一般的な使用環境においては、この二山状の摩耗は極めて小さいため問題となることは少ないが、連鋳用軸受は前述したように極低速回転および重荷重により潤滑油膜の形成が不十分な状態となるため、二山状の摩耗は大きくなる。このため、二山の頂点部の接触応力が高くなり、剥離が発生し、最悪の場合は割れに至ることもある。自動調心ころ軸受の交換要因を図7に示す。

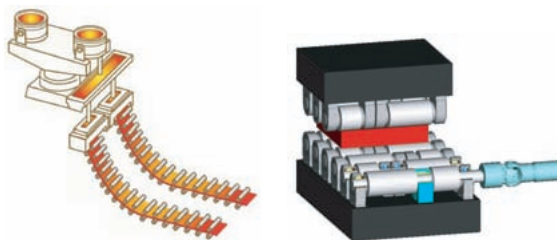


図6 連続鋳造設備
Continuous casting machines

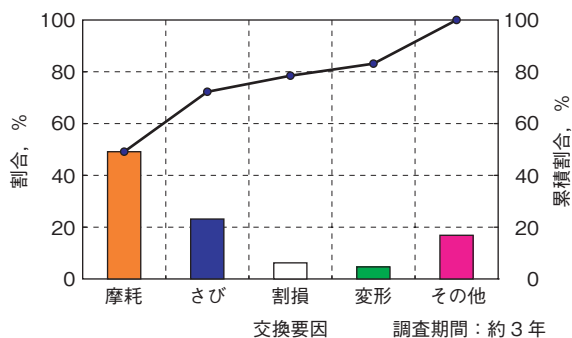


図7 自動調心ころ軸受の交換要因
Causes for replacement of spherical roller bearings

自動調心ころ軸受における、グリース潤滑とオイルエア潤滑での実機評価結果を図8に示す。グリース潤滑においては外輪軌道面に大きな摩耗が認められるが、オイルエア潤滑では摩耗は発生しなかった。また、グリース潤滑はさびや剥離が発生していたが、オイルエア潤滑はこれらの発生もなかった²⁾。

軸受型番：24026RH
使用期間：オイルエア潤滑 約10,000チャージ
グリース潤滑 約9,000チャージ

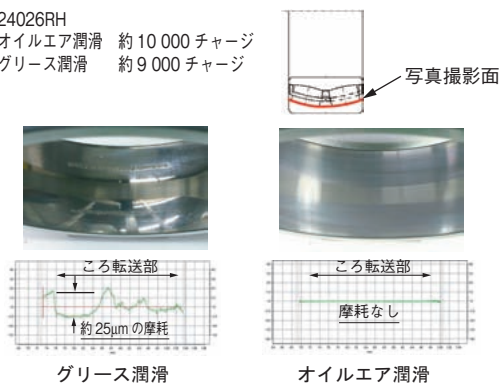


図8 実機評価後の摩耗比較
Wear comparison after field test

オイルエア潤滑はエアにより適量のオイルを軸受内部へ搬送し、軸受を潤滑するシステムである。軸受内部で使用されたオイルエアは、排出配管での回収または軸受箱のシールから排出される。近年では、後者のシール排出方式のニーズが高く、その理由として、回収用配管の設置が不要となるためイニシャルコストが削減できるこ

とと、シールの長寿命化およびシールしゅう動部の摩耗低減により部品交換の周期が延長できることなどが挙げられる。シール排出方式では、オイルおよび軸受箱内圧を保持する機能と、オイルエアを安定的に排出させる機能を有した高性能シールが必要である。当社は、光洋シーリングテクノ株式会社と共同で、開発に取り組んでいる。

3.2 ハーフリング形軸受箱ユニット

連続鋳造設備の駆動ロールは、一般的には1本の杵型ロールが使用されている。この杵型部には、2分割タイプの軸受が採用されている。当社は軸受と軸受箱をユニット化し、外輪をハーフリング(図9)とすることで、ころ径とピッチ円直径を最大にし、かつコンパクトな密封構造とすることでころ長さを最大にし、高負荷容量を実現している。

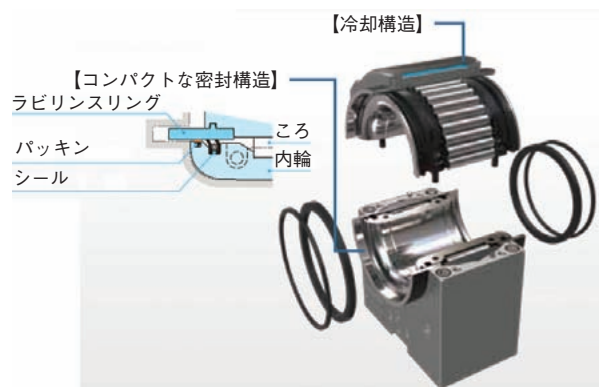


図9 ハーフリング形軸受箱ユニットの構造
Configuration of bearing unit with half round outer ring

また、スラブ輻射熱などの外部から受ける熱影響から、軸受箱内の軸受を守るために軸受箱ユニットの最上部に水冷ジャケットを設けている。この水冷ジャケットの数十mm上方には、表面が数百度のスラブが通過しているため、水冷ジャケット内に気泡が滞留すると冷却効率が低下し、軸受の早期損傷につながる。当社では、水冷ジャケット内に気泡が滞留しない最適形状を開発し、従来比約55%の流量での安定した軸受冷却を実現している(図10)。

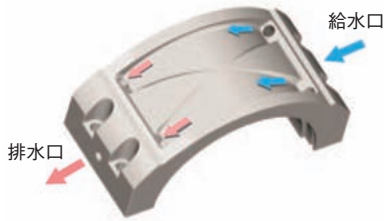


図10 ハーフリング形軸受箱ユニットの水冷ジャケット
Cooling jacket for bearing unit with half round outer ring

4. 圧延

4.1 長寿命高耐食性軸受 JHS520

圧延工程は、鉄鋼製品の最終品質を決める重要な工程であり、ロールネック軸受(図11)には高い信頼性が求められる。多くの圧延機は圧延水をかけながら圧延処理を行うため、圧延水およびスケールがロールネック軸受内部に侵入しやすく、その侵入防止のための改善がなされている。しかし、非常に過酷な条件のため、これを完全に防止することは容易ではない。特に、冷間圧延機ワークロール用グリース密封軸受の場合、長期間グリースを交換せずに連続使用されるため、さらに過酷である。

圧延機ロールネック軸受では一般的な転がり疲労寿命による損傷に加えて、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。当社は図12に示すような圧延機ロールネック軸受の損傷形態の解析により、その要因を解明し、材料面から対策を推進してきた^{3), 4)}。

また近年、圧延機ロールネック軸受の分解点検周期の延長や、使用条件の過酷化に対応して、高性能材料を用いた長寿命高耐食性軸受 JHS520 を開発した。JHS520 の特長を以下に示す。

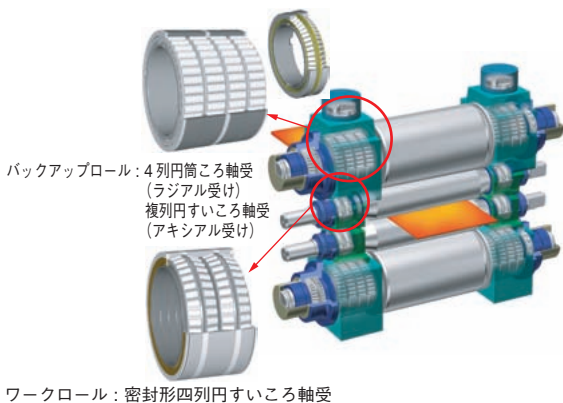


図11 圧延機の構造とロールネック軸受(四段圧延機)
Rolling mill structure and roll neck bearings
(Four-stage rolling mill)

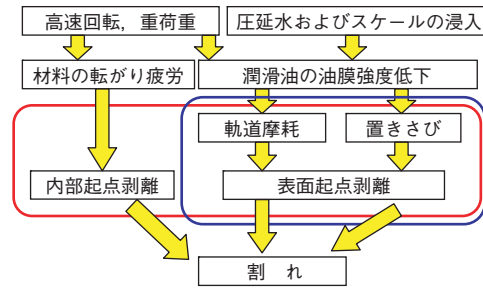


図12 ロールネック用密封形四列円すいころ軸受の
損傷形態
Failure mode of sealed type four-row tapered roller bearings

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

開発品の基本性能評価結果、および実機での採用事例を図13に示す。開発品は、実機評価において従来品の約5倍の寿命向上を実現している。

4.2 圧延機バックアップロール用油膜軸受の 転がり軸受化改造

圧延機のバックアップロールは数千トンもの圧延反力を受け、その回転精度が圧延板厚の精度に大きく影響する。高い板厚精度が求められる冷間圧延機(非鉄圧延機を含む)においては、特にその影響が大きい。このため、国内においては1980年代以降に新設された冷間タンデム圧延機のバックアップロールには、回転精度の向上が図れる転がり軸受が標準的に採用されてきた。また、バックアップロールに油膜軸受が使われている圧延機の転がり軸受化改造も実施されてきた。当社は、1984年に厚板圧延機のバックアップロールの転がり軸受化改造を国内で初めて実施し、以降2013年までに数十件の転がり軸受化改造を実施してきた。油膜軸受仕様から、転がり軸受化改造した場合の代表的な構造を図14に示す。ラジアル軸受である油膜軸受を転がり軸受に改造し、アキシアル軸受は油膜軸受で使用している複列円すいころ軸受をそのまま使用するのが一般的である。

冷間タンデム圧延機における、転がり軸受化改造前と改造後の板厚精度比較結果では、約40%の改善効果が得られている。また、当社で行った台上試験結果を図15に示す。油膜軸受は回転速度の変化に対して軸受内部の油膜厚さが大きく変動するが、転がり軸受では変動が小さく油膜軸受の3%以下であることが分かる⁵⁾。

置きさび環境下（水混入グリース封入）での軸受寿命評価結果

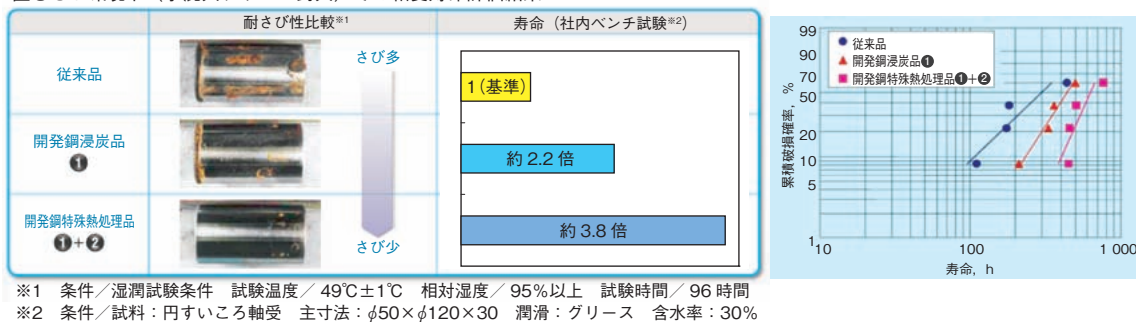


図13 開発品の基本性能評価結果および実機での採用事例
 Performance test result and example of actual operation

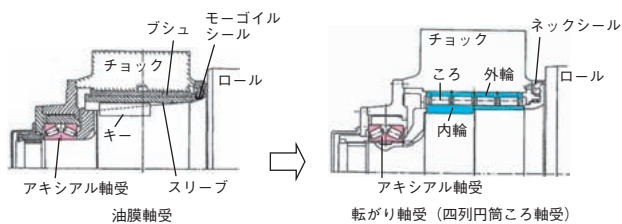


図14 圧延機バックアップロール用油膜軸受の
 転がり軸受への置換

Replacement of oil film bearing with rolling bearing for back-up roll in multi-roll mill

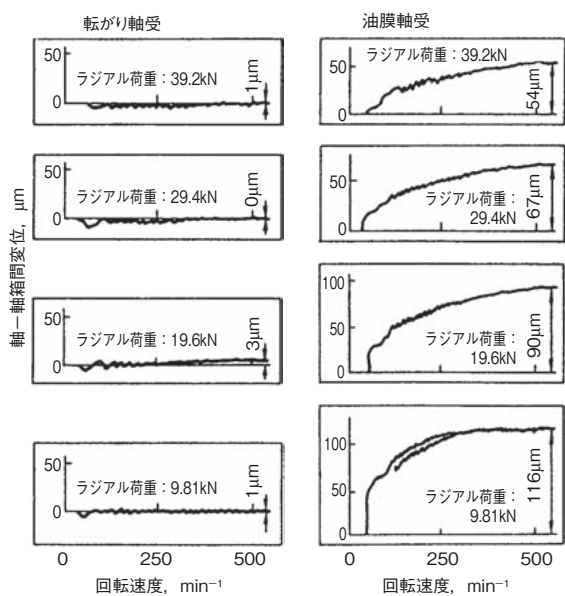


図15 回転速度に対する軸-軸箱間変位

Displacement between shaft and housing in relation to rotational speeds

4.3 ロールネック用円すいころ軸受の 低昇温化技術

熱間、冷間タンDEM圧延機などの高速圧延において、ロールネック軸受が焼損すると、安定操業に支障をきたし大きな問題となる。当社ではロールネック用円すいころ軸受について、焼損の原因となる温度上昇を抑える技術に取り組んでいる。その一つとして、EHL理論に基づいたころ端面と内輪つば面のすべり接触部分での潤滑油の巻き込み性向上による低昇温化技術を開発している。

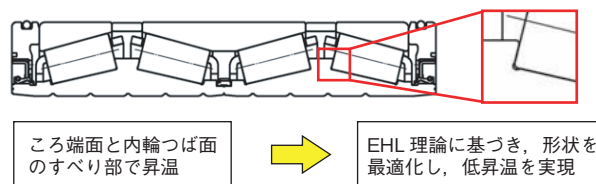


図16 円すいころ軸受のころ端面およびすべり面
 Roller side face and sliding area on tapered roller bearing

図16に示すようなころと内輪つば面のすべり接触部の改良を行い、昇温を抑えることで、耐焼付性能を向上させた。その結果、図17および図18に示すように、改良品の耐荷重性能は低速試験条件において標準品の1.3倍、また、高速試験条件において約4倍の向上が認められた。

表 1 試験条件
Test conditions

試験軸受	45T182211 ($\phi 90 \times \phi 215 \times 110\text{mm}$)
潤滑	グリース潤滑 (リチウム系)
回転速度	低速 920min^{-1} (一定), 高速 $1\,840\text{min}^{-1}$ (一定)
荷重	アキシャル荷重 ステップUP

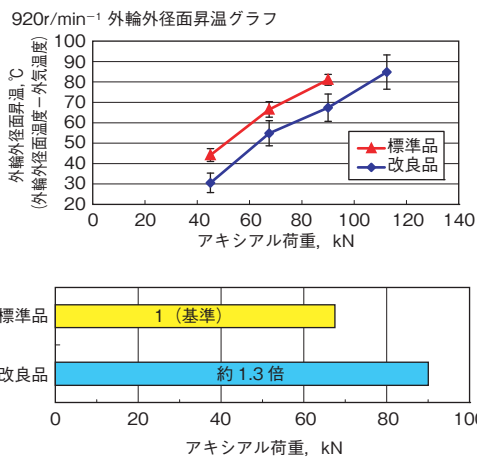


図 17 低速アキシャル性能比較 (920min^{-1})
Axial loading performance at a low speed (920min^{-1})

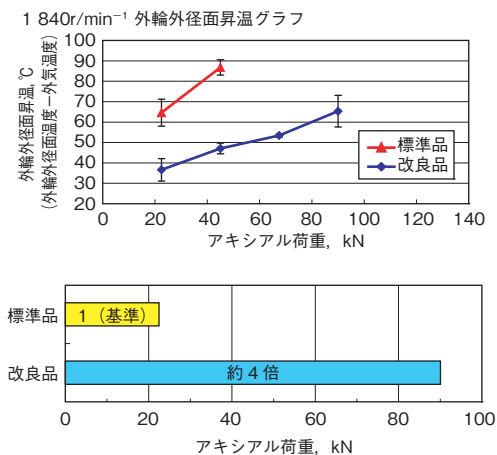


図 18 高速アキシャル性能比較 ($1\,840\text{min}^{-1}$)
Axial loading performance at a high speed ($1\,840\text{min}^{-1}$)

4.4 多段圧延機バックアップロール用軸受 JHS210

近年、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の需要が増加している。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には、重荷重、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。当社は、密封構造も含めた軸受構成を最適化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

(図 19, 図 20)。また、バックアップロール用軸受だけでなく、シャフト、サドルを含めトータルで供給している。

特長	
①	シールのコンパクト設計による高負荷容量化
②	シールプレートによる圧延水の浸入防御、およびシールリップの遠心力と深溝構造で圧延水を排出
③	シール材質にふっ素ゴムの採用による、高速域での耐久性向上
④	内輪材質に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向上

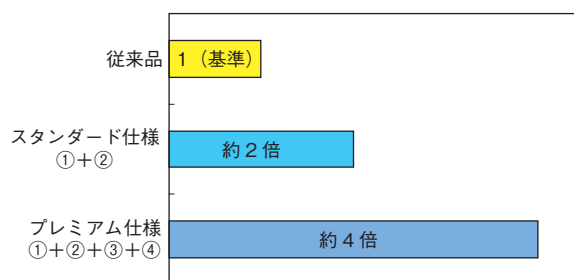


図 19 軸受寿命比較
Bearing service life

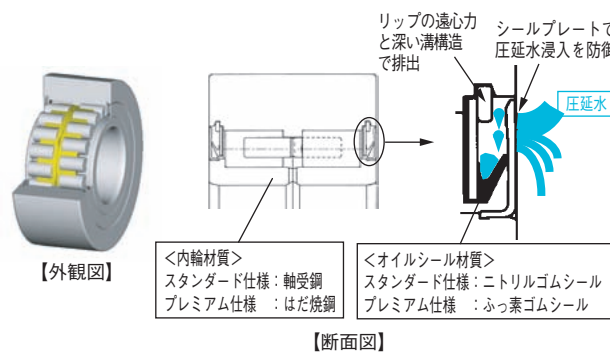


図 20 多段圧延機の構造と多段圧延機バックアップロール用軸受
Multi-roll mill structure and bearing for back-up roll in multi-roll mill

4.4.1 多段圧延機バックアップロール用軸受の再研削治具

多段圧延機バックアップロール用軸受は、外輪外径面が直接中間ロールに接触して外輪回転で使用されるため、外輪外径面の回転精度と粗さが圧延製品の板厚精度および表面品質に大きな影響を与える。この軸受精度を確保するため、定期的に外輪外径面の再研削が行われる。当社では、再研削を高精度にかつ容易に行える研削治具を開発し、提供している (図 21)。

特長	
①	軸受のラジアル振れを極小化 研削治具と軸受とのはめあいすきま、および軸受内部のすきまを油圧拡張式で無くしラジアル方向の振れを極小化した状態での再研削が可能。
②	再研削の作業性向上 軸受組立品のまま治具への取付けと取外しが可能。

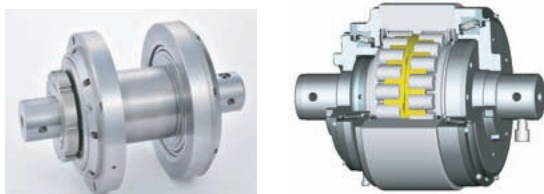


図21 多段圧延機バックアップロール用軸受の研削治具
Bearing-regrinding jig for back-up roll in multi-roll mill

4.4.2 多段圧延機バックアップロール用軸受の肉厚測定器

多段圧延機バックアップロール用軸受は、一本の軸に使用するすべての軸受の組立て肉厚の相互差を高精度に管理することが重要である。当社は、高精度測定が可能な肉厚測定器を提供している（図22）。

特長	
①	剛性が高く、高精度な測定が可能
②	外輪の回転精度も測定可能
③	軸受の着脱が容易なアーバ形状を採用

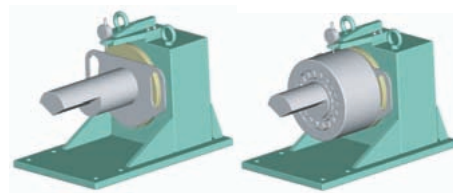


図22 多段圧延機バックアップロール用軸受の肉厚測定器
Measurement for bearing section height

5. 圧延機大型駆動軸の過負荷防止用ハイパーカップリング

鉄鋼圧延機には、稼働率向上と同時に保全工数削減が求められる。しかし、圧延材の多重かみ込み（図23）などが発生すると、瞬間的に過大トルクが装置全体に負荷され、特に、駆動軸や周辺機器が破損する場合があります、稼働率低下や保全工数の増大につながる。

この過大トルクを瞬時に開放する方法として、ピンのせん断破壊を利用したシャープピン方式過負荷防止装置が採用されてきた。しかし、定期的なシャープピンの交換が必要で、ピンの交換に時間が掛かることが課題となっていた。

当社では、今回駆動軸回転径 $\phi 500\text{mm}$ 以上の大形用ハイパーカップリングを開発した。ハイパーカップリングの大径化には油圧保持能力の向上や、トルク伝達面およびすべり面の耐久性、トルク開放後の空転性能向上などの課題があった。今回の開発品は、過去に開発済みの中小径用⁶⁾の構造をベースにして、大径用に対応させるための課題を、トルク伝達面およびすべり面の特殊表面処理や油圧拡張室の構造の見直しなどにより解決した。

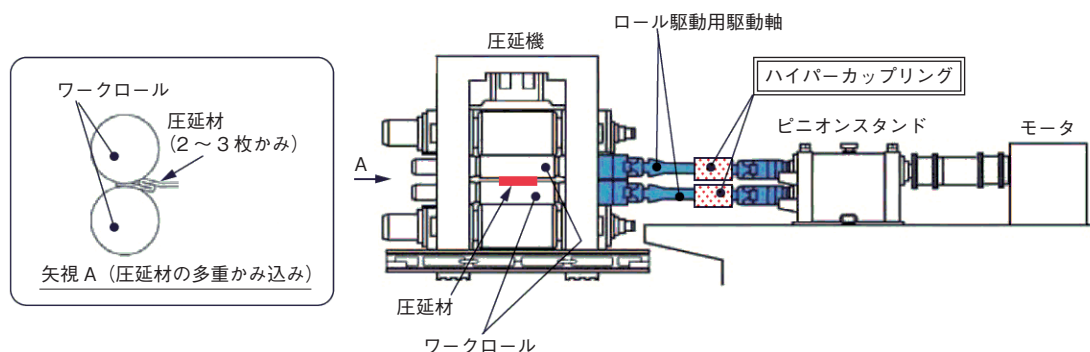


図23 圧延機のレイアウトとハイパーカップリングの設置位置
Layout of rolling mill and location of hyper coupling

5.1 構造

大径ハイパーカップリングの基本構造 (図 24) および作動原理は、下記の通りである。

- ①穴部品の内径部に油圧拡張室を設け、油圧により膨張させて軸部品に摩擦トルクを伝達。
- ②過大トルク発生時には、トルク伝達面が相対的に滑り、瞬時に油圧を開放して軸部品と穴部品を空転させてトルクを開放。

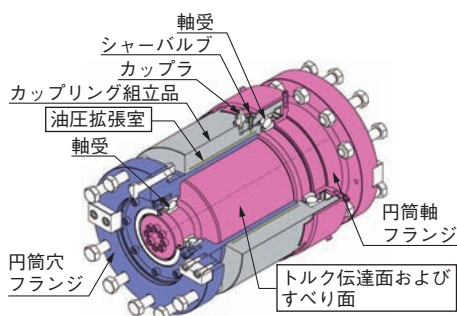


図24 ハイパーカップリングの構造
Configuration of hyper coupling

5.2 特長

	特長
①	油圧拡張室の構造改善により、油圧保持能力を従来の約2倍に向上
②	トルク伝達面およびすべり面の特殊表面処理により、作動精度、耐久性を向上
③	油圧開放時間の解析方法の確立により、油圧開放性能を向上
④	最適設計と大型静ねじり試験機での検証により、作動精度の信頼性を向上
⑤	軸受メーカーのノウハウを活かし、トルク解放後の空転性能を確保
⑥	作動トルクを容易に設定可能
⑦	作動後の復旧時間を大幅に短縮

5.3 大型実機サンプル品の性能評価

大型実機サンプルを製作し、評価試験 (図 25) を実施した。(サンプルサイズ: 外径 $\phi 1090\text{mm}$, 全長 1500mm)

油圧とリリーストルクの関係を図 26 に示す。作動設定値に対し、大型実機サンプルの実測値のばらつきは $\pm 10\%$ 以内にあり、中小径品と同等のリリーストルクの

安定化を実現した。また、各油圧に対する実測値は、三次元 FEM 解析より求めた値 (理論線) と同じ傾向であり、解析結果との整合性も確認できた。

開発済み中小径 ($\phi 500\text{mm}$ 未満) 用と今回開発の大径 ($\phi 500\text{mm}$ 以上) 用の製品ラインアップにより、全ての駆動軸径への対応が可能となった。過大トルクから圧延機駆動系を保護する機構は安定操作には必要不可欠であり、ハイパーカップリングはこれに大きく貢献できるものと考えられる。

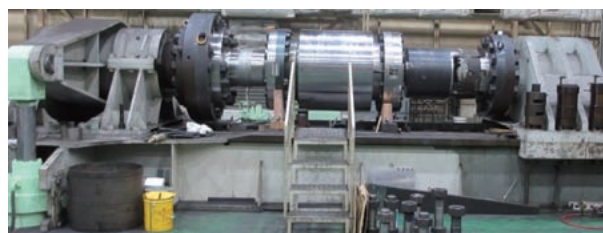


図25 大型静ねじり試験機による評価
Large sized torsional tester

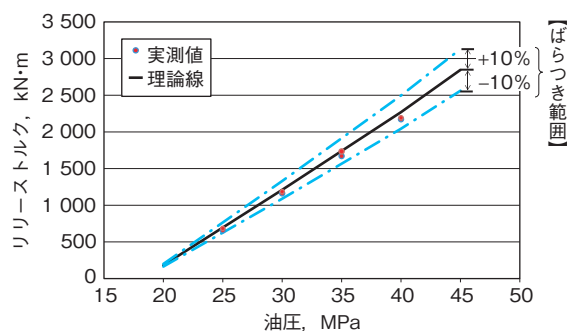


図26 油圧とリリーストルクの関係
Relationship between oil pressure and torque disengagement

6. おわりに

本報では、鉄鋼設備に対する当社技術の取り組み状況について紹介した。また、当社では鉄鋼設備に求められるさまざまな要求を的確に答えることを目的に、お客様へのキャラバン活動を展開している。この活動を通じて、軸受、駆動軸のお客様での取扱方法の把握や分解点検指導を実施している。また、軸受の使用条件を把握するための荷重測定や振動測定を実施している。今後もこれらの活動を続けるとともに、より一層の設備安定稼働に貢献できる商品開発を推進していきたい。

参考文献

- 1) 新日本製鉄(株)：鉄と鉄鋼がわかる本, 日本実業出版社 (2004)
- 2) 宮地 武志, 浦西 丈晴：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1010(2012)43.
- 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) 久保 潤一, 鈴木 宣哉：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1004(2007)48.
- 6) 永山 彰英, 宮地 武志：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, no. 1004(2007)76.

筆者



久保潤一*
J. KUBO



河田道雄*
M. KAWATA

* 軸受事業本部 産業機器技術部