

鉄鋼設備用軸受の技術動向

Technical Trends of Bearings for Steelmaking Equipment

保坂亮平 R. HOSAKA 安田典嗣 N. YASUDA

Steelmaking equipments operate under severe conditions. As bearings for steelmaking equipment likewise must operate under severe conditions, bearings with long life and high added value are always required. This report describes development efforts regarding bearings for rolling mills (bearings for roll necks and bearings for multi-roll mills) and bearings for continuous casting machine.

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

1. はじめに

鉄鋼製品は、自動車、建設、建設機械、造船などあらゆる産業に使用される重要な製品である。鉄鋼製品は各産業のニーズに合わせて各種の設備を用いて生産されており、生産設備の稼動条件も非常に過酷である。また昨今では、近年の経済成長とともに、鉄鋼製品の需要が増加しており、鉄鋼設備の効率化や安定操業が不可欠となっている。

このような背景から鉄鋼設備用軸受において、過酷な使用条件下での長寿命、かつ、高信頼性が必要であり、JTEKTではこれらのニーズに対応した製品開発を行っている。

2. 鉄鋼設備用軸受の使用環境

鉄鋼設備用軸受は非常に過酷な条件下で使用されることが多い。各業種に使用される軸受にはさまざまな過酷さがある。たとえば自動車・鉄道車両・航空機用軸受などは運転中の損傷は許されず、絶対の信頼性が必要である。また工作機械主軸に使用される軸受は超高速回転、高精度が要求される。このように各業種に使用される軸受にはさまざまな過酷さがあるが、その中でも軸受への負荷荷重という観点から考えると、鉄鋼設備用軸受の使用環境はきわめて過酷である。

2.1 軸受への負荷荷重と回転速度

図1に $D_n \times N$ (D_n : 軸受内径 (mm), N : 回転速度 (min^{-1})) と P/C (P : 動等価荷重 (kN), C : 基本

動定格荷重 (kN)) の関係を示す。連続鋳造機用軸受は $D_n \times N$ 値が 1 000 程度と極端に低く、 P/C は 1 以上の大きな値を示している。これは極低速・重荷重条件下で使用されていることを示している。負荷条件が過酷であるとともに、軸受内部での潤滑剤の油膜形成がきわめて困難である。

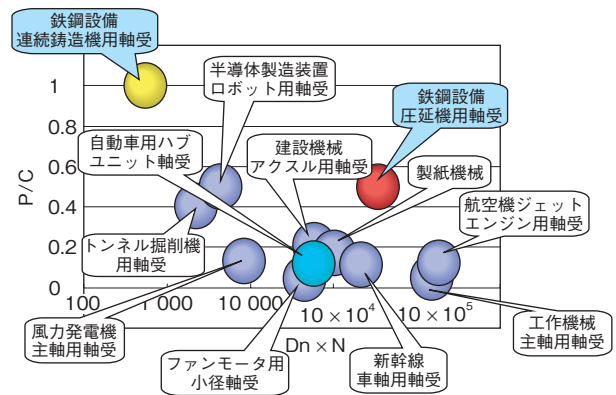


図1 軸受への負荷率と回転速度
Bearing load rate and rotational speed

他方、圧延機用軸受は $D_n \times N$ 値が 10×10^4 以上、 P/C 値も 0.5 程度と大きな値を示しており、高速回転、重荷重に対応する軸受が必要とされている。また圧延機用軸受は極低速から高速の急加減速の繰返しで使用されるため、これに対応できる軸受 (十分な強度の保持器、摩耗が少ない軌道輪など) が必要となる。

2.2 使用雰囲気

図2に各用途用軸受の雰囲気温度と潤滑雰囲気を示す。潤滑雰囲気は、潤滑方式 (10段階)、荷重と潤滑状

態（12段階）、回転速度（6段階）で評価し、それらを加算して示した。鉄鋼設備の、特に連続鋳造機および熱間圧延機などの工程では、軸受は高温条件下で使用される。また鉄鋼製品は冷却しながら加工されるため、圧延油やスケールが軸受内部に浸入しやすく、このため、鉄鋼設備用軸受は、軸受内に潤滑剤の油膜が形成されにくい貧潤滑条件下で使用されることが多い。軸受内部への圧延油やスケールの浸入防止の改善が図られているが、条件が非常に過酷なため、完全に防止することは容易ではない。

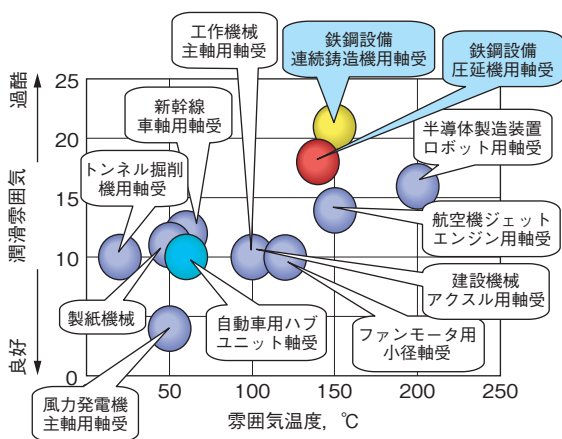


図2 軸受の霧囲気温度と潤滑条件

Bearing ambient temperature and lubrication conditions

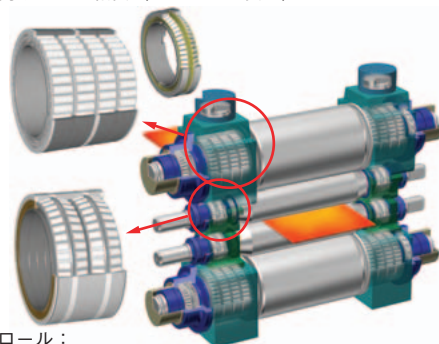
JTEKT ではこのような過酷な使用条件下に対応して、各設備のニーズに合わせた各種の鉄鋼設備用軸受を開発してきた。その代表例を以下に紹介する。

3. 鉄鋼設備用軸受の技術動向

3.1 圧延機用ロールネック軸受

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、また工程毎に種々の圧延機が開発されている。図3に代表的な四段式圧延機の外観を示す。ワークロールに使用されるロールネック軸受としては、コンパクトで軸受の負荷容量の大きい四列円すいころ軸受が一般に採用されている。また、バックアップロールにはラジアル受けとして四列円筒ころ軸受、アキシアル受けとして複列円すいころ軸受が採用されている。これらの軸受の潤滑方法としては、グリース潤滑、強制給油、オイルミスト潤滑、近年ではオイルエア潤滑などが使用されている。

バックアップロール：
四列円筒ころ軸受（ラジアル受け）
複列円すいころ軸受（アキシアル受け）



ワークロール：
密封タイプ四列円すいころ軸受

図3 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-high stand)

3.1.1 ワークロールネック用軸受

ワークロールには四列円すいころ軸受が採用されている。従来の開放型の軸受では圧延油やスケールの浸入による損傷を防止するため、定期的に多量のグリースが補給されていた。JTEKT ではこのグリースの消費量の削減と圧延油やスケールの浸入防止のため、軸シールと軸受を一体化した密封型四列円すいころ軸受を開発した。この密封型四列円すいころ軸受により、グリース流出による周辺環境汚染の低減、追加給脂の廃止に貢献してきた。しかし分解洗浄周期の延長に伴い、圧延油およびスケールの浸入による損傷（軌道摩耗および置き錆）が再び顕著となってきた（図4、表1）。このため、図5に示すような損傷形態を解析することにより、密封型四列円すいころ軸受の寿命向上を推進した。



図4 ワークロールネック軸受損傷事例
Example of work roll neck bearing failure

表1 ワークロールネック軸受損傷使用履歴
Application history of work roll neck bearing failure

使用箇所	冷間圧延機ワークロール
使用期間	約6ヶ月
軸受外観	外輪軌道面に置き錆、はく離の発生

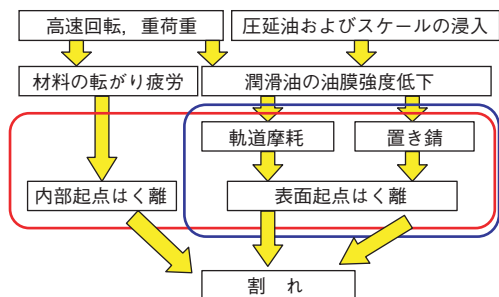


図5 密封型四列円すいころ軸受の損傷形態

Failure mode of sealed type four-row tapered roller bearing

(1)長寿命高耐食鋼の開発

圧延油およびスケールが軸受内部に浸入すると、軌道、ころ間に置き錆が発生し、この部分を起点としてはく離が発生する。また圧延油の浸入による潤滑剤の油膜切れにより、軌道・ころの転動面に摩耗が発生し、表面を起点としたはく離が発生する。この2点を改善する狙いとして、クロム・モリブテン添加量を適正化した長寿命・高耐食の浸炭鋼を開発した。また独自の浸炭窒化熱処理を施すことで、じん性を維持しながら耐腐食性能と耐摩耗性能をより向上させた。この開発鋼種の詳細な取組みについては本号に掲載の“長寿命耐錆軸受用浸炭鋼の開発”に紹介するが、新規開発鋼種と浸炭窒化熱処理により、置き錆に起因するはく離が抑制されたことを確認できた(図6、表2)。

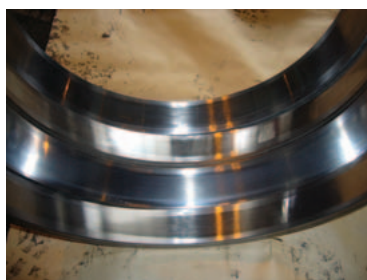


図6 新規開発鋼種を採用した軸受使用後現品外観

Post-use appearance of bearing made from developed steel

表2 新規開発鋼種を採用した軸受使用履歴

Application history of bearing made from developed steel

使用箇所	冷間圧延機ワークロール
使用期間	約9ヶ月
軸受外観	外輪軌道面にさびの発生なし
グリース含水率	約5%

(2)高密封シールの開発

高耐食鋼の開発による軸受の長寿命化と同時に、損傷の主要因である圧延油およびスケールの浸入をより完全

に防止できれば、軸受の実際寿命は飛躍的に向上させることができると考えられる。また高密封性能が維持されればさらに長期間のメンテナンスフリーを実現できる。このコンセプトに基づき光洋シーリングテクノ(株)と共同で高密封シールを開発した(図7)。

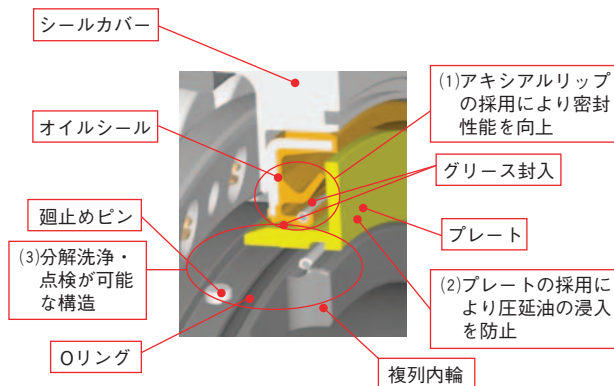


図7 高密封シールの構造
Structure of high-sealing seal

<特長>

- (1)アキシャルリップを追加することで、振切り効果によって圧延油の浸入を大幅に抑制する。
- (2)軸受側面にはプレートを採用し、オイルシールのリップにかかる圧延油・スケールを減少させる。
- (3)圧延機用ロールネック軸受では一定期間毎のメンテナンスが必要であり、軸受の分解、点検が可能な構造を採用。

図8に実際の熱間圧延機で使用された軸受の外観を示す。表3に約1年の期間で分解洗浄や追加給脂なしで使用された軸受のグリースの状態を示すが、グリースの含水率も少なく、置き錆がほとんどなく、優れた密封効果が確認された。

	グリース洗浄前	グリース洗浄後
外輪		
内輪組立品		

図8 高密封シールを採用した軸受使用後外観状況
Post-use appearances of bearing with high-sealing seal

表3 高密封シールを採用した軸受使用履歴
Application history of bearing with high-sealing seal

使用箇所	熱間圧延機ワークロール
使用期間	1 486h (メンテナンスなし, 追加給脂なし)
軸受外観	はく離, 摩耗少なく良好
グリースちょう度	約 280 (新品時: 300)
グリース含水率	約 1%

3.1.2 バックアップロールネック用軸受

従来、圧延機のバックアップロール用軸受は、油膜軸受が主流であったが、近年は板厚精度向上のニーズから、冷間圧延機には転がり軸受が採用されている。また厚板・連続熱間圧延機でも、製品品質向上および歩留りの向上のために、転がり軸受の採用が多くなっている。

JTEKTでは、既設の冷間・熱間・厚板圧延機バックアップロール油膜軸受の転がり軸受化を推進し、圧延製品の品質向上に寄与してきた(図9)^{1), 2)}。なお、詳細については、本号に掲載の“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手法の開発”にて紹介する。

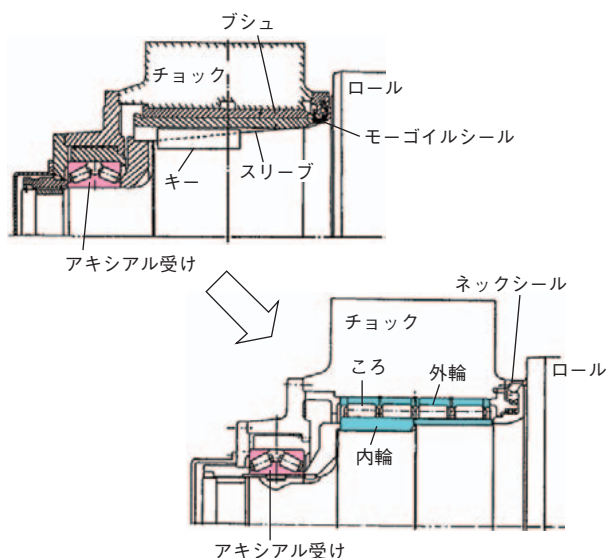


図9 圧延機バックアップロール用油膜軸受の転がり軸受への置換^{1), 2)}

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

3.2 多段式圧延機用バックアップロール軸受

図10に示す多段式圧延機に使用されるバックアップロール軸受は、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、圧延分力を負荷しながら外輪が回転する。また、使用される潤滑剤が低粘度であることが大きな特徴である。

JTEKTでは長年にわたる経験と実績に基づき、図11¹⁾のような改善を実施し、高い信頼性と長寿命化を達成してきた。

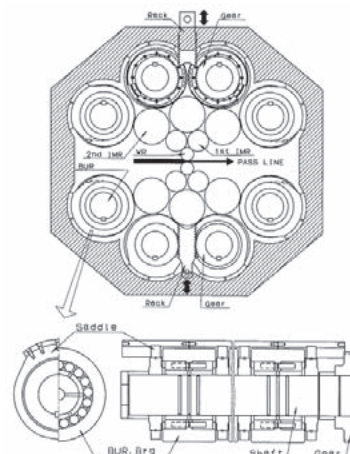


図10 多段式圧延機用バックアップロールの構造
Structure of back-up roll for multi-roll mill

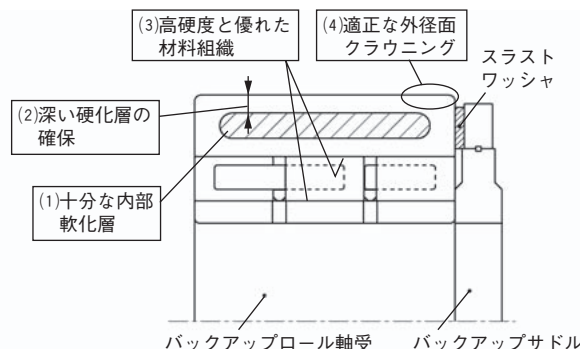


図11 多段式圧延機用バックアップロール軸受に要求される特性¹⁾

Required characteristics on back-up bearings for multi-roll mill

3.2.1 外輪の有心焼入れ法と特殊クラウニング

回転する外輪には、独自に開発した有心焼入れ法を実用している。

<有心焼入れ法の特長>

- (1) 十分な内部軟化層で耐衝撃性を確保 (図12)^{1), 3)}
- (2) 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を増加 (図13)^{1), 3)}
- (3) 優れた材料組織により高い疲れ強さを達成
- (4) 外輪外径は、端部集中荷重によって中間ロールを傷つけない、適正なクラウニング形状を採用 (図14)

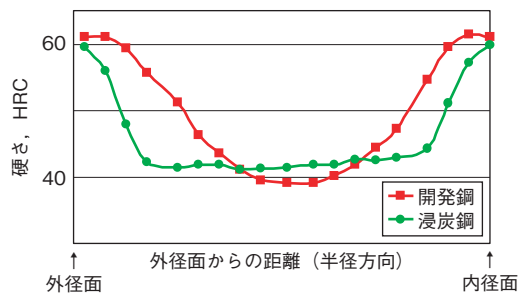


図12 有心焼入れの硬さ分布^{1), 3)}
Hardness distribution of cored hardening

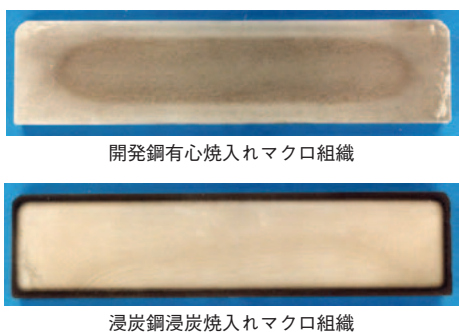


図13 開発鋼有心焼入れと浸炭鋼浸炭焼入れのマクロ組織^{1), 3)}
Macrostructure of developed cored hardening steel and carburizing steel

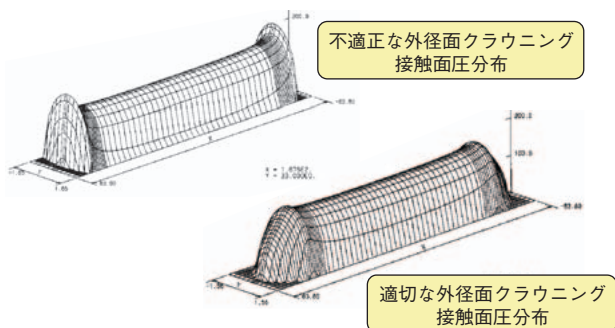
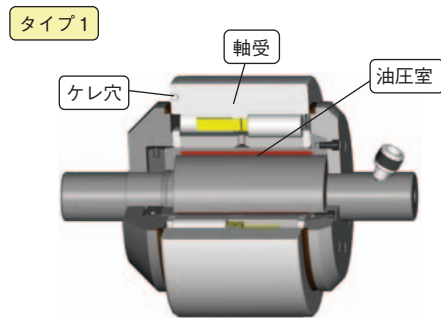


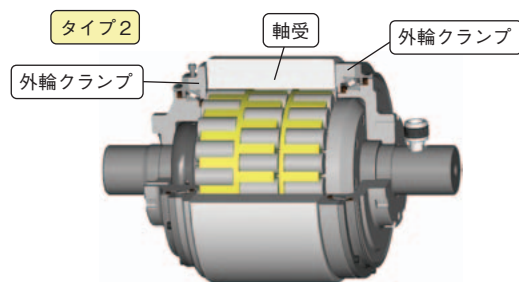
図14 外径特殊クラウニングによる面圧比較
Comparison of contact pressure of outer ring outside surfaces with/without crowning

3.2.2 バックアップロール用軸受再研磨治具

多段式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使用されるため、外輪外径面の精度および粗さが圧延製品の表面精度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研削加工が施される。JTEKTでは回転精度および生産性向上を目的として、各種の研磨治具を開発し、実用に供している(図15)。



・内径70mm以上、外輪つば付き軸受に対応
・外輪側面にケレ穴が必要



・ZR21型, ZR22型用軸受に対応
・外輪つばなし軸受に対応

図15 多段式圧延機用バックアップロール軸受の研磨治具

Grinding tools for back-up bearings of multi-roll mill

3.3 連続鋳造機用軸受

図1および図16に示すように、連続鋳造機用軸受の特徴は、過酷なラインでは、軸受の基本動定格荷重以上の重荷重が負荷される。また毎分3回転未満という極低速である。さらに非常に高温な溶鋼を凝固させるため、高温多湿でありスケールの浸入が多い。図17に連続鋳造機に使用される自動調心ころ軸受の破損メカニズムを示す。

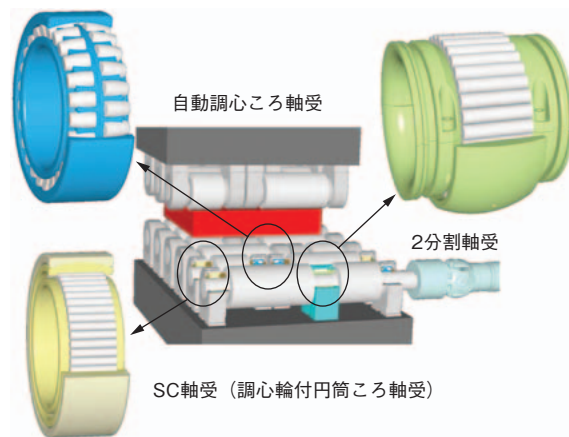


図16 連続鋳造機のロール構造
Continuous casting machine roll structure

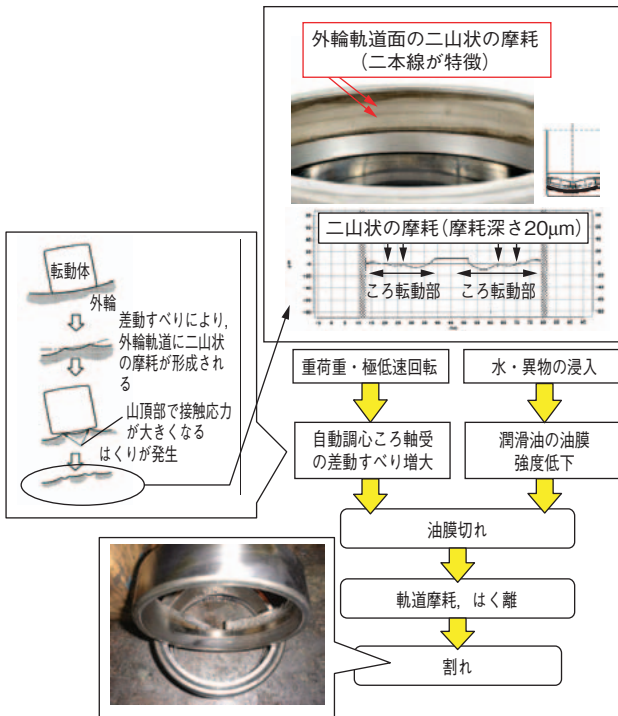


図17 連続鋳造機用自動調心ころ軸受の破損メカニズム

Fracture mechanism of spherical roller bearing for continuous casting machine

JTEKT では鉄鋼設備で使用された多数の軸受を調査し、さらに設備で実際に発生している荷重を測定した。その結果から、特に自動調心ころ軸受の差動すべりの抑制と静定格荷重の増加により長寿命化が達成できると考え、SC・SCP*軸受（円筒ころ軸受）を開発した（図18）。

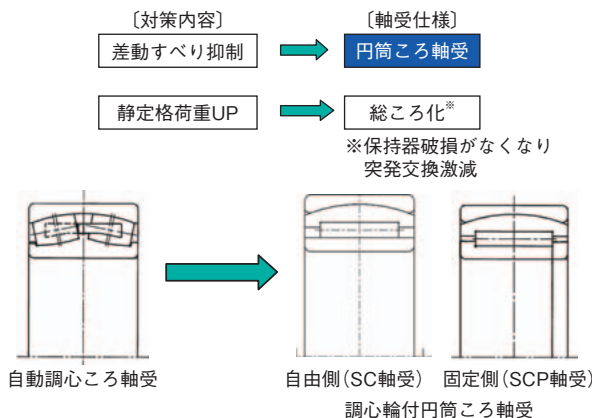


図18 SC, SCP軸受
SC and SCP type cylindrical roller bearings

SC 軸受は自由側に使用され、ロールの熱伸縮に対応するため、内輪が軸方向に移動できる構造とした。SCP 軸受は固定側に使用され、内輪・外輪のつばによってア

キシアル荷重を負荷する。また SC および SCP 軸受共に総ころ形の円筒ころとして静定格荷重を適正化し、ころには重荷重に応じたクラウニングを施して高負荷容量の設計とした。図19に自動調心ころ軸受と SC 軸受の実機での損傷による交換率を示す。SC 軸受を採用することで軸受交換が大幅に減少し、軸受の信頼性向上に寄与している。

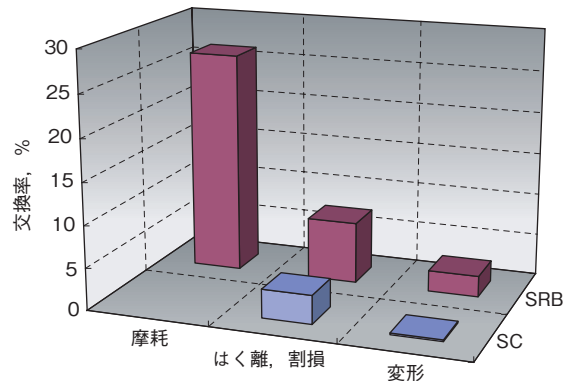


図19 自動調心ころ軸受とSC軸受の実機での損傷比較

Failure comparison between spherical roller bearing and SC cylindrical roller bearing after actual use

4. 潤滑面の改善取組み（オイルエア潤滑システム）

鉄鋼設備全般において軸受の潤滑性能の向上を目的として、軸受内に潤滑剤の油膜形成維持を推進してきた。図20にオイルエア潤滑の原理⁴⁾を示す。連続して流れる圧縮エアの中へ間欠的に少量のオイルを供給する。オイルは搬送配管内壁に油滴状で付着し、圧縮エアにより均一にならされ、連続した油膜で搬送され、軸受に供給される。

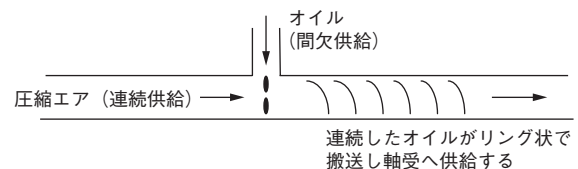




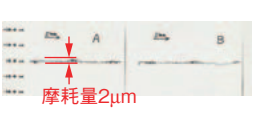
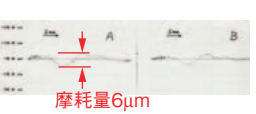
図20 オイルエア潤滑の原理⁴⁾
Principle of oil/air lubrication

表4にオイルエア潤滑の特徴をグリース潤滑と比較して示す。軸受内部の圧力はグリース潤滑の場合、大気圧または温度変化により負圧となる。特に軸受の内部が負圧となると、軸受内部に圧延油やスケールが浸入しやすい。一方オイルエア潤滑の場合は、軸受内部へ圧縮エアを供給していることから、常に正圧が維持され、軸受内

部への圧延油やスケールの浸入を防止し、軸受の損傷を防ぐことができる。また一定量のオイルも軸受内部へ供給されるため、グリース潤滑よりも分洗周期を延長することが可能となる。図21に連続鋳造機用軸受の摩耗量を比較した結果を示すが、オイルエア潤滑ではグリース潤滑の1/3の摩耗量に抑制された。

表4 オイルエア潤滑の特徴
Features of oil/air lubrication

	オイルエア潤滑	グリース潤滑
軸受内部圧力	正圧：0.01～0.02MPa ↓ 圧延油浸入を大幅に軽減できる	大気圧，負圧 ：0～-0.01MPa ↓ 温度変化で負圧になり，軸受内部に圧延油が浸入する
ランニングコスト	1	2
メンテナンス	軸受洗浄が不要	軸受洗浄が必要
イニシャルコスト	高価	安価

	オイルエア潤滑	グリース潤滑
外観写真		
粗さ測定結果	 摩耗量2µm	 摩耗量6µm
平均摩耗量(µm)	2µm	6µm

- 自動調心ころ軸受
- 軸受型番：24128RHA
- 主寸法 (mm)：φ140×φ225×85
- 使用期間：19ヶ月

図21 オイルエア潤滑とグリース潤滑での使用後の連続鋳造機用軸受外観

Bearing appearance for continuous casting machine after use under oil/air lubrication and grease lubrication

5. おわりに

本報に示すとおり、鉄鋼設備用軸受は非常に過酷な条件下で使用されている。それに対して軸受設計面、各部品材料、潤滑また相手側部品まで含めてさまざまな改善を提案し、軸受の長寿命化、鉄鋼製品の品質向上、メンテナンスフリー化などに貢献してきた。

昨今の鉄鋼市場では、鉄鋼生産量が大幅に増加してお

り、鉄鋼設備の効率化は今後ますます進んでいくと思われる。また環境問題への取組みも非常に重要である。したがって鉄鋼設備用軸受には、メンテナンスフリー化、インテリジェント化および環境対応などが要求され、さらなる高付加価値化が必要となる。JTEKTではこのような市場動向に対応した新商品を開発し提供していきたい。よう今後も努めていきたい。

* SCPは(株)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) 北野利明, 鈴木宣哉：Koyo Engineering Journal, no. 133(1988)28.
- 3) 木澤克彦, 後藤将夫：Koyo Engineering Journal, no. 157(2000)57.
- 4) 宮地武志：Koyo Engineering Journal, no. 156(1999) 49.

筆者



保坂亮平*
R. HOSAKA



安田典嗣*
N. YASUDA

* 軸受・駆動事業本部 産業機器技術部