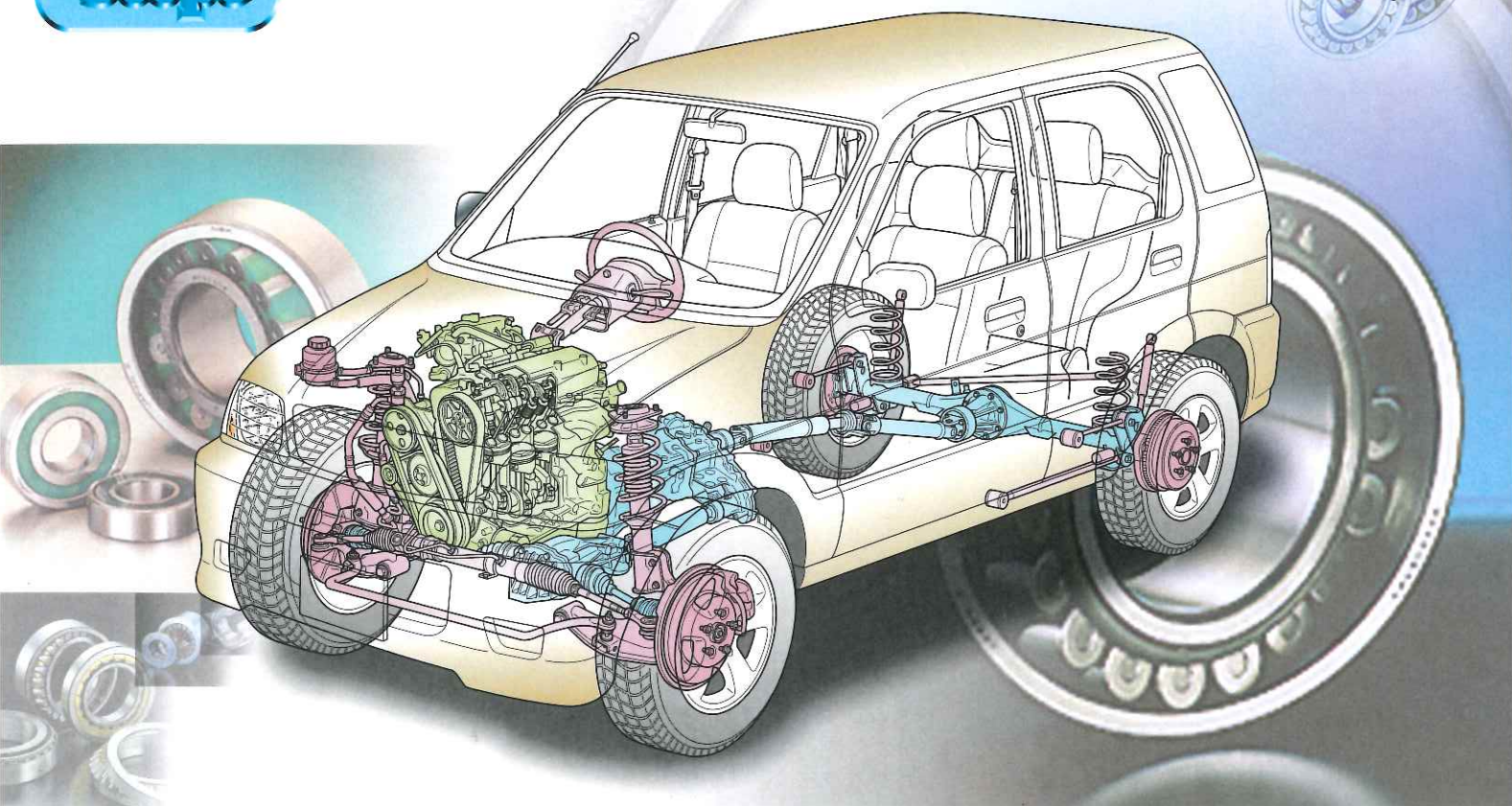




乗用車1台で 100~140 ものベアリング(軸受)が使われている。

ベアリング —鉄鋼産業の隠れた功労者—

ベアリングは、ほとんどあらゆる産業にとって不可欠な部品。中でも鉄鋼産業では、ベアリングを特に過酷な条件下で使っている。そこで今号は、鉄鋼業との関連にスポットを当て、ベアリングの生産および供給の両面から現場の声を探ってみた。

I. メンテナンスコストの削減に向けて

—軸受メーカーの立場から—

まず、軸受トップメーカーの一つ日本精工(株)の軸受技術センター鉄鋼・車両技術部長、鉄鋼グループマネージャー伊藤正夫氏に、鉄鋼設備用軸受にまつわる苦心談などを伺った。

鉄鋼業より厳しい条件の産業はありますか？

販売技術としてほぼ全製品を扱ってききましたが、鉄鋼業より厳しい産業はありません。鉄鋼で起こる剥離などは、他産業ではまず起きません。寿命計算でも、鉄鋼は疲労破壊を想定しますが、他産業では音響

寿命やグリース寿命を考慮ののです。

御社が作る製鉄設備用軸受群には、何かポリシーがあるのですか？

『製鉄設備用軸受』(ページ4,5の図①~⑨)は、“メンテナンスコストの削減”という私どものテーマを具現化したもので、独自技術の製品です。例えば新型プランマブロック(図①)は、

その中で、外径が同じで幅と軸径が異なる2種類の軸受を交換して使うことができる仕組みになっています。自動調心ころ軸受(図②)は従来の12~13%増の高負荷容量で、保持器強度も非常に向上させたものです。

今後、各製鉄所の重要な狙いは、設備の休止時間の短縮化と、それに伴うメンテナンスコストの削減になるでしょう。『製鉄設備用軸受』は、そうした動きに対応できる製品群です。

ひとくちメモ1

ベアリングと軸受の関係

すべての機械には相対運動をする部分があり、相対運動には直線運動、回転運動、およびらせん運動がある。2つ以上の固体が相対運動をすると、接触部分に摩擦と摩耗が生じる。これを減らすのがベアリングである。ベアリングには、直線運動を案内する直動案内、らせん運動を行う送りネジ、回転運動を支持する軸受がある。

コストダウンに向けてどんな軸受を開発しているのか、具体例を教えてくださいませんか？

例えば焼結パレット台車用密封クリーン軸受(図③)は、特殊なシール構造を採用することで、従来より粉塵の浸入を抑えています。従来なら、定期的にグリースを補給しながら使っても1〜2年ぐらいの使用限界だったのが、シール構造化することで3〜5年程度は使用可能という実績がいくつもあります。メンテナンスコストの削減に直結するわけです。

ルブガードベアリング(図④)は、簡単に言うとプラスチックの中に潤滑油をしみ込ませた固体潤滑剤を軸受に用いたものです。グリース補給がしにくい場所にいいでしょう。水かけ耐久試験をした結果、グリース潤滑では回転時間が200時間未満でしたが、ルブガードでは300時間以上となっています。

今、どの産業も環境問題が非常に重要になっています。環境を考慮に入れた潤滑方式の開発はいかがですか？

潤滑をよくすることは長寿命につながり、メンテナンスコストの削減に直結しますが、環境問題も考えた潤滑方式にしなければなりませんね。例えば生分解系のグリースなど、環境に優しいグリースが鉄鋼業でも使われ始めています。

軸受にとって最高の潤滑はオイルエア方式でしょう。これはオイルを空気(エア)で搬送する装置(図⑤)です。潤滑油を霧(ミスト)状にして送るオイルミスト潤滑は今までもありましたが、このオイルエア潤滑は液状のまま軸受に送るため、潤滑効率が向上します。しかもエアで送るので、ハウジングの中にエアが入って内圧が上がる。それに、通常のオイルミスト潤滑などでは使えない高粘度の油も使えますから、油膜は十分できますし、水や異物が浸入し難いのです。

また、オイルエア潤滑の場合、最少油量で潤滑が可能というメリットもあります。連続鋳造設備用自動調心ころ軸受の場合で、約1cc/h、冷延控えロール用4列円筒ころ軸受で約30cc/hで、従来のグリース潤滑やオイルミスト潤滑に比べて大幅な削減が可能になりますから、環境汚染の心配もなくなります。

ただ、これの唯一のデメリットは、配管をしなくてはいけないことです。そこで、オイルエア方式に次ぐのが密封方式です。それなら配管をしなくて済みますから、いちいち配管をつけたり外したりできない場所にお勧めしています。

新製品開発にまつわるご苦労を聞かせてくださいませんか？

例えば、圧延機のロールネックに使用されるエクストラキャパシティー密封4列円すいころ軸受(図⑥)ですね。冷間圧延機ですと3〜4時間おきにロール交換しますから、そのたびにグリースを補給していましたが、従来はシールがなく、冷却水や異物の浸入による突発異常が頻発していました。

そこで当社は25年ぐらい前に、グリース消費量を削減して環境をよくするために、世界で初めて鉄鋼用ロールネック軸受にシールを付けたのです。当初は密封性を重視して、かつシールのない従来タイプと同じスペースの中で立派なシールを付けたので、負荷容量が25%ぐらいダウンしました。それでも、突発の焼き付き異常がなくなり、また、内部の潤滑がよくなったので、寿命はほぼ同等かそれ以上になりました。それに、グリース消費量の大幅削減や作業環境の改善もできました。

その後、もっと負荷容量がほしいとの要請で、エクストラキャパシティーシリーズを2年前に完成させました。これは、シールを特殊な形状にし、長さを伸ばし、保持器を特殊加工して外側にもっていき、ころ径、ころ長さ、場合によってはころ数も増やして、負荷容量を平均で約30%アップさせることができました。寿命でいうと計算上は2.5〜2.6倍です。

しかし、開発当初のシールを付けたのに、まだ多少は水が入ってくる。そこで社内で、実機と同等の水浸入条件で回転試験を徹底的にやりました。その結果、速度が上がると軸受内部の温度が上がって内部の空気が膨張する。速度が下がると空気は収縮する。空気は膨張するとシールから漏れるが、冷えて収縮してもシールが付いているから軸受内部には簡単に空気は入れず、内部が負圧になる。その負圧が蓄積されて、耐えきれなくなったところで一気に空気と水を吸い込む。そのメカニズムを実験で確認して、「軸受内部の負圧を抑える

ことが重要だ」とわかり、中間シールと呼ばれる特殊なシールで“呼吸”させるようにしました。

それまでは、絶対に出入りさせないシールを、とばかり考えていたのを、発想の逆転で、負圧を発生させないために“呼吸”させることに気づいたのです。そうしたら負圧が大幅に減って、水の浸入が格段に減りました。

突発異常の防止に貢献する製品開発の例はありますか？

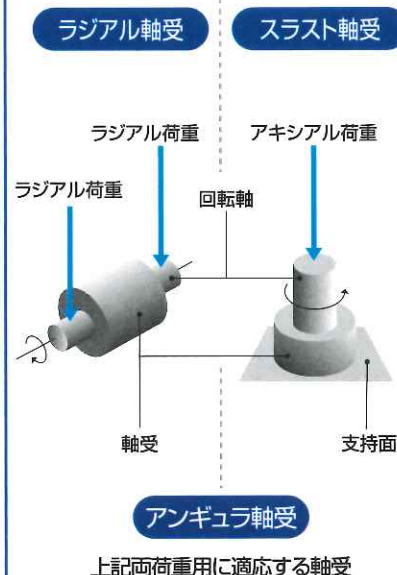
転炉に使用しているトラニオン軸受の損傷異常が起きてギア側の軸受交換を行う場合は、従来なら転炉全体をまずジャッキアップし、ブルギアと呼ばれる超大型のギアを外さなくてはならないという大変な作業になります。この場合、軸受の交換作業に3〜4週間は優にかかります。

そこで軸受(図⑦)を二つ割りにすることで、交換作業を1〜2週間に短縮できるようになりました。これは、取り扱い上のメンテナンスコスト削減の例です。

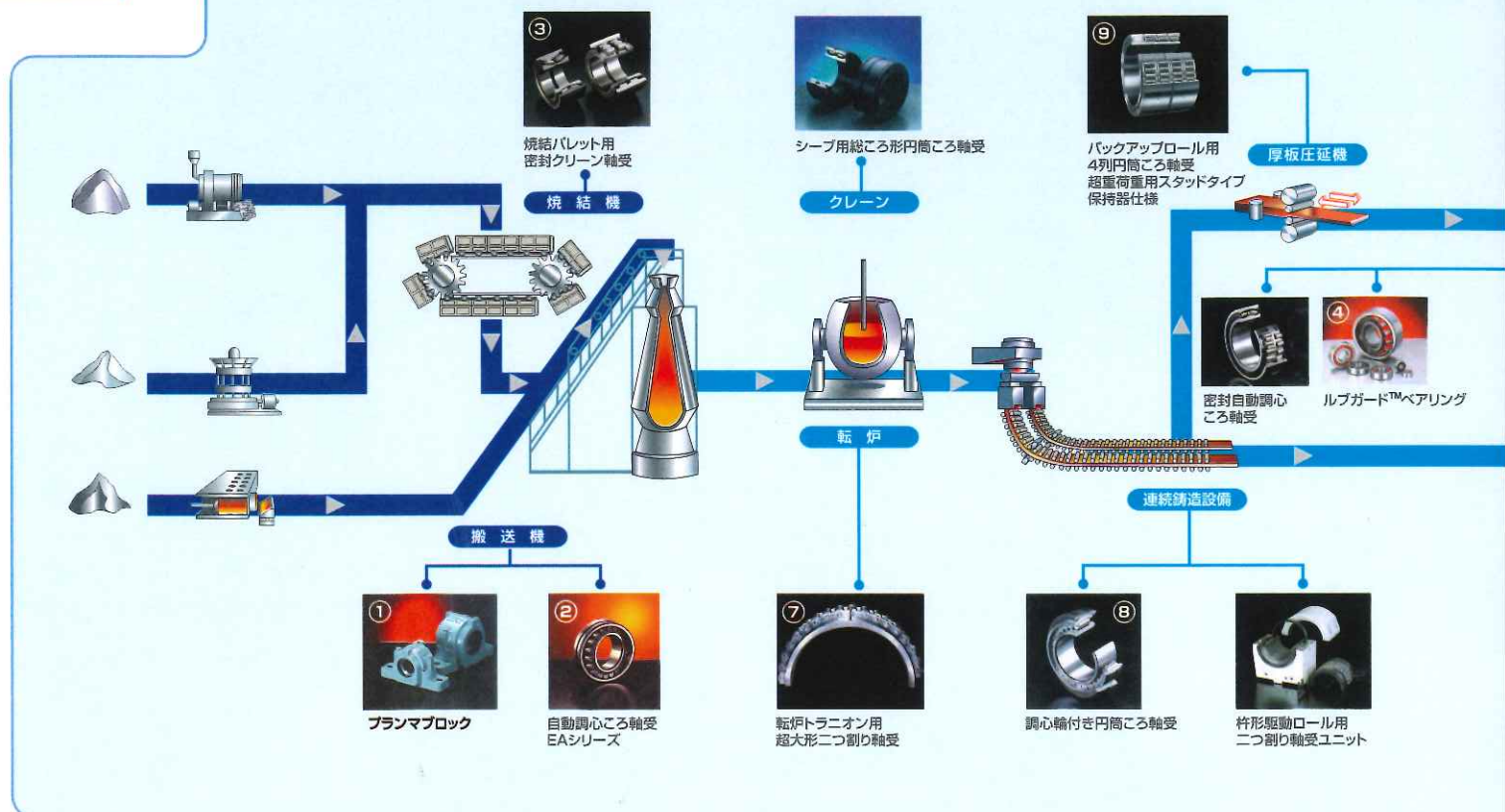
突発設備異常防止といえば、連続鋳造機用の調心輪付き円筒ころ軸受(図⑧)があります。従来、連続鋳造機には自動調心ころ軸受が両側に使われていました。ところが、熱いスラブが通りますから、ロールが縦方向に熱膨張して軸受にアキシャル荷重(ひとくちメモ②参照)

ひとくちメモ2

軸受にかかる荷重と軸受の関係



製鉄設備と製鉄設備用軸受



が負荷される。従来は、自動調心のハウジングのわきにスペースを設けて、熱膨張したら外輪とハウジングの間で吸収するような構造だったのですが、摩擦係数などからそんなにうまくは動かないのです。それで、アキシャル荷重がかかって焼き付く、といった突発異常が起っていました。そこで円筒ころにして、外側に調心輪を付け、ころと内輪軌道の間であれば摩擦係数が小さいため、自由にアキシャル方向に動くようにしたのです。

もう一つ、厚板圧延機のバックアップロール用4列円筒ころ軸受(図⑨)は、8千～1万トンという圧延荷重を受けます。従来、この円筒ころは中空になっていたため、高い荷重に耐えきれなくなって割れることがありました。そこで、中空をやめて、わきにくぼみを付けるだけにしたのです。そうしたら、ころ圧砕が起きなくなりました。

II 品質の信頼性を高めるために

— サプライヤーの立場から —

鉄鋼業は軸受素材サプライヤーでもある。以下は、その立場からの話である。大同特殊鋼(株)の知多工場技術室長新貝元氏と、技術開発研究所特殊鋼研究部構造材料研究チーム長紅林豊氏に伺った。

軸受をどのようにとらえていますか？

軸受は、私どもが作った素材を評価していただける製品だと思います。過去の歴史を見ても、軸受鋼という目標があって鉄鋼メーカーの製鋼・圧延技術が進歩発展してきた部分が相当あります。今後も、材料開発の競争で素材の性能を評価するときなど、いちばん端的に表れるのが軸受鋼ではないでしょうか。

軸受メーカーから要求されることは？

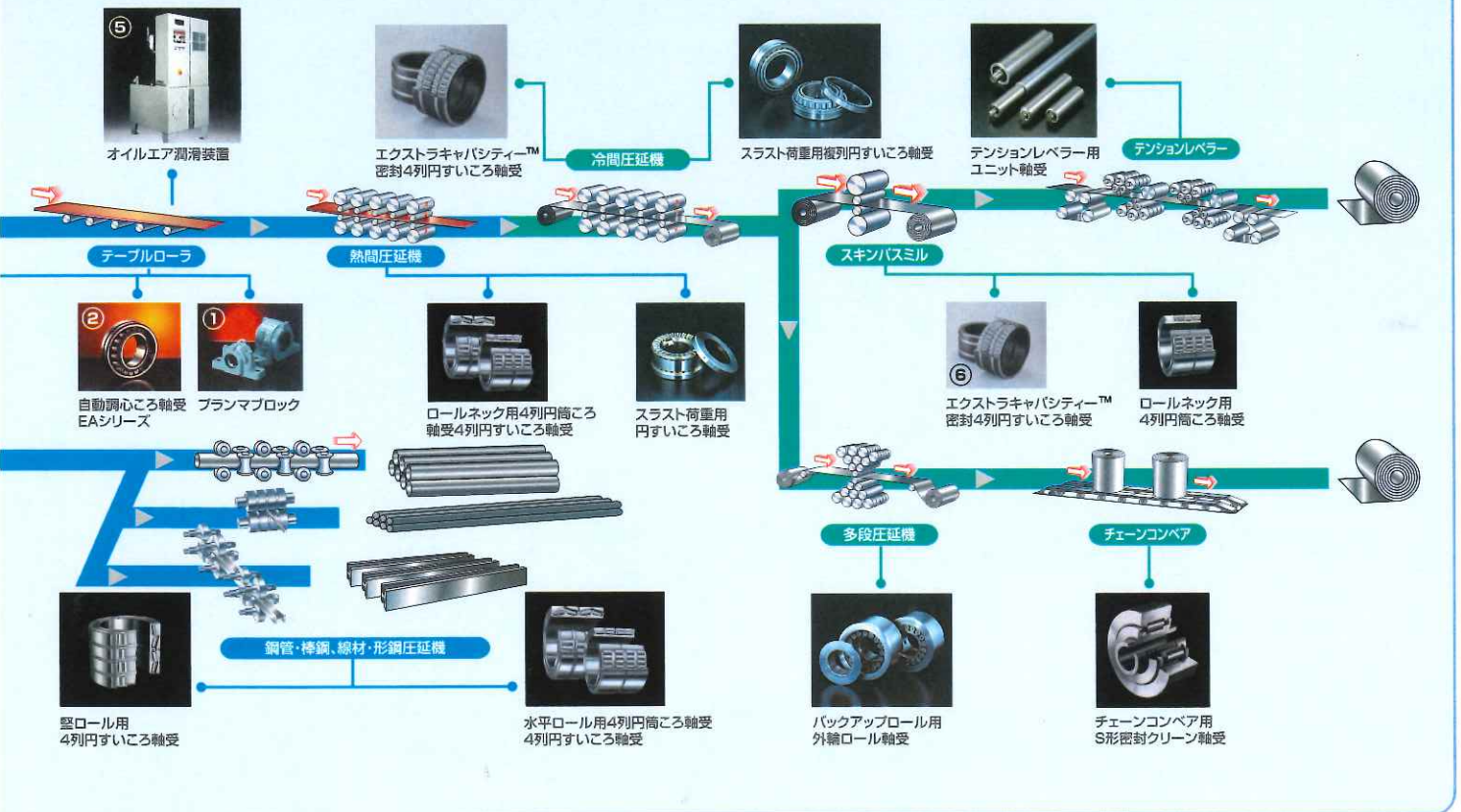
品質の信頼性と安定性です。軸受は基本的にメンテナンスフリーの部品ですから。

特殊鋼業界で二次精錬設備をどんどん導入してきたのも品質の信頼性を高めるため、と言えます。その典型が軸受鋼です。軸受鋼の鋼種の中のかなりの量が、SUJ2と呼ばれる材料です。C1wt%, Cr1.5wt%という成分構成は約百年前から変わっていません。

品質を安定させるために、どんな努力を？

まず介在物の排除です。介在物は、酸化物、窒化物、硫化物の3つに大別されますが、特に問題とされるのが酸化物系の介在物です。昭和30年代前半までは脱酸生成物である α -アルミナが主なもので、硬質であるために、そこが起点となって破壊現象を生じていました。30～40年前までは鋼中に酸素は20～30ppm入っていましたが、溶解技術の進歩もあって現在では約5ppmまで下がり、転動寿命が1桁向上しました。

ただ、鋼の中には残念ながら介在物は必ず存在します。それを μ オーダー以下に、できるだけ小さくすることに取り組んでいるのです。また近年はチタン系介在物が音響特性に悪



影響を及ぼすケースが出てきましたので、その用途のものにはチタン系介在物を下げるようにしています。

酸素濃度とチタン濃度の両方を下げることは相反することで、酸化精錬と還元精錬を一連の精錬工程の中でやって初めて実現できるのです。酸素もチタンもシングルppmを保証せよ、といった品質要求は軸受鋼に少なく、どちらも極限という意味では製鋼メーカーの実力がわかる材料です。

軸受メーカーや素材メーカーでは介在物のレベルが格段に向上していることは周知の事実ですが、鉄鋼関係の人でも通常の評価方法ではカウントできないほどクリーンな領域まで来ていることをご存じの方は少ないかもしれません。現在では清浄鋼から超清浄鋼の領域に進んでおり、介在物の量も減少し寸法も小型であるため、介在物を評価することが困難な状況になってきています。玉川大学の似内先生が主査をされているEIBS研究会(トライボロジー学会)では新しい評価手法を検討なさるなど、最近では介在物に関

する研究も盛んになってきています。

軸受鋼の製造上、特にむずかしい点は？

軸受鋼ができて以来、介在物に伴う内部品質が永遠の課題でしょう。特に玉は、線材製品をブツ切りにした一つずつを丸くするので、介在物が内部にあっても表面に出てしましますから、全長、全断面でいいものを作らなければなりません。IT関連製品の部品に使うようなミニチュアベアリングの品質条件が特に厳しいですね。寿命が悪いとか破損するとかではなくて、音響特性に対する要求で音がうるさいとダメだとか、そういうレベルの話です。

軸受用の新材料を開発していますか？

例えば鉄鋼設備などに用いられる軸受材料の開発事例などが挙げられますね。連続鋳造機や圧延機などには多数の軸受が使われていますが、鋼材の温度は1000℃以上の高温であるため、軸受にも熱負荷が作用します。また、鋼材の冷却水が流れ込む、間欠運転が行われるなど、過酷な環境下で使わ

れています。これらの軸受は特に耐熱性の改善がポイントになるわけですが、従来よりも1桁長寿命の軸受を開発する、というコンセプトで、軸受メーカーさんと共同開発してきました。現在では、私どもの工場の設備にも適用しています。

III 軸受と軸受鋼の将来の展望

— 省エネ、省資源のために —

今後の展望を、伊藤氏はこう語っている。

「長寿命化を含めてメンテナンスコストの削減と、自然環境の保護の2つが開発のテーマとして続くと思います。

最近例えば、連铸から直ちに熱延の仕上げに入る工程も出ています。それが作業の省エネルギー、省力化につながるからでしょう。そのように、すべてが省力化、省エネ化の方向に動いています。それだけに、そこで使われる軸受は条件がより厳しくなります。その条件に合うよう新しい材料を開発したり、



新しい構造や潤滑剤を開発したりと、いろいろな工夫をしてきたつもりですし、今後もその姿勢は続けたいと思っています。」

新貝氏と紅林氏は次のように語っている。

「省エネ、省資源のために、機械類の小形化、軽量化は今後さらに進み、玉やころでは限界が来るかもしれません。例えば動圧の軸受などのような、転がり軸受とは別の機構のものがさらに進展するのではないかと、とも思います。」

「介在物に対する清浄度の問題にしても、何回も特殊溶解にかければいいものはできますが、まだそれを評価する技術がなく、どこまでいいものができたかわからないのが現状です。それに、価格の問題もあります。一方、プロセスが変われば、鉄という同じ材料でも変革はあると思います。例えば介在物にしても、それを利用して組織を制御することもあり得ます。そういう観点から考えれば、酸化物や硫化物をうまく使おうという発想も出てくるわけで、現にそれを活用している材料もあります。」

ここ最近、結晶粒に着目した研究が盛んに行われています。結晶粒を微細にすることで

強度がアップすることは古くから知られていましたが、超微細粒を得ることができれば鋼材の強度はドラスティックに改善できます。すでに、 $1\mu\text{m}$ 程度の超微細粒の領域での検討が行われていますが、このような超微細粒を実現できる製造工程が開発されれば、鉄の世界も大きく変わるのではないかと思います。

近い将来ガソリンがなくなったら、自動車はエンジンからモーター駆動に変わるかもしれません。恐らく、回転数が大幅に高くなっていくでしょう。軸受は回転中のリングと玉の接触によって発熱しますが、高速回転になればなるほど発熱量も増加するため、材料もそれなりの耐熱性が必要になり、軸受材料そのものも変革を遂げざるを得ないでしょう。」

80年代に入りOA機器、VTRなどが普及するにつれて、小型・軽量・薄型化の要請が盛んになってきた。そこで軸受も小型化が始まり、ミニチュア軸受と呼ばれる製品が登場した。VTRの回転ドラムスピンドル、コンピューターの磁気ディスクスピンドルなどは、回転中の軸のブレが $1\mu\text{m}$ 以下であることが要求される。

それに対して最近では、内径1mm、外径3mm程度のミニチュア玉軸受の回転精度は $0.01\mu\text{m}$ の水準に達している。

磁気軸受も、近年の発展が目ざましい分野である。潤滑剤が要らず、非接触支持のため摩耗がないなどの特長から、人工衛星の姿勢制御用フライホイール、真空機器、超高速機器などに利用されている。電気制御技術や、永久磁石材料・超電導技術が進歩してくれば、この分野はさらに発展するだろう。

こうした新技術は、ロボットに代表されるメカトロニクスの分野で力を発揮するに違いない。また、将来、石油資源が枯渇することを想定すると、従来のガソリンエンジンに代わる動力源が必要になるだろう。そうなったとき、最も効果的な軸受はどんな形になるのだろうか。これまでの軸受に取って代わるような、コロンブスの卵的発想が出てくることを期待している。

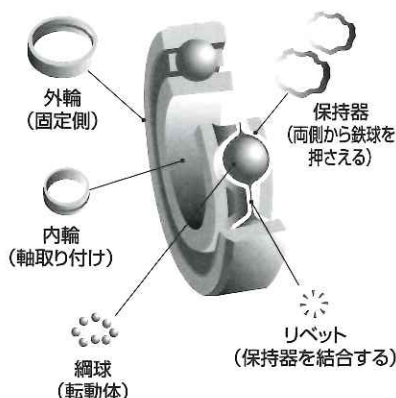
あらゆる産業の中で、文字どおり摩擦を減らして省エネと省資源に貢献している軸受の今後の展開が大いに楽しみである。

ひとくちメモ3

軸受の種類

転がり軸受

外輪と内輪(軌道輪、レース)の間の軌道中に転動体が入り、転動体同士の間隔を保つ保持器がある。転動体の種類で分類すると、
・玉軸受
・ころ軸受:円筒、円すい、タル型自動調心、など



滑り軸受

■自己潤滑型: 固体同士が直接接触する軸受。時計の回転軸を受けるダイヤモンド、さらにメタルブッシュ、プラスチック、焼結合金など、ある程度潤滑性のある材料を使う。

■流体潤滑型: 固体同士を直接接触させないよう、浮かした状態を保つ軸受。

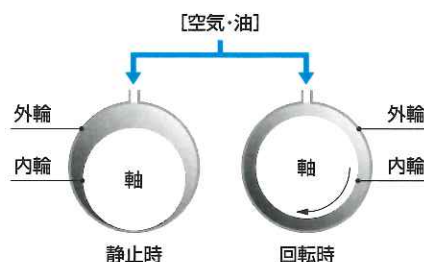
●油軸受: 油圧を利用。自動車エンジンのクランクシャフトなどに使用。

●空気軸受: 空気圧を利用。カラーコピー機のスパイラルグループ軸受などに使用。

a. 静圧型: 2つの固体面の間に外部から加圧した流体を強制的に送り込み、その圧力で2つの面を離す方式

b. 動圧型: 軸が回転するときに生じる力と流体の粘性とを利用して圧力を発生させて2つの面を離す方式

■磁気軸受: 磁力の反発・吸引力を利用して2つの固体を接触させずに回転させる。真空中でも使えるので、特に清浄な環境が必要な半導体ウエハーの製造工場や宇宙用ロケットなどに使用。



■取材協力、資料提供してくださった先:

社団法人日本ベアリング工業会
日本精工株式会社
光洋精工株式会社
大同特殊鋼株式会社

■ベアリングに関する基本的文献:

- 『ベアリングのおはなし』
綿林英一・田原久祺共著、日本規格協会
- 『機械要素活用マニュアル 新版・転がり軸受』
光洋精工株式会社編、工業調査会
- 『機械要素活用マニュアル すべり軸受』
大豊工業軸受研究グループ編、工業調査会
- 『軸受』曾田範宗著、岩波全書