

特殊鋼[®]

2024
Vol.73 No.4
The Special Steel 7

特集

軸受および軸受用鋼の最新動向

一般社団法人 特殊鋼倶楽部

特殊鋼

| 7 | 目次 2024

【編集委員】

委員長	迫間 保弘	(大同特殊鋼)
副委員長	白神 哲夫	(中川特殊鋼)
委員	平地 伸吾	(愛知製鋼)
〃	斎藤 隆	(神戸製鋼所)
〃	西森 博	(山陽特殊製鋼)
〃	深瀬美紀子	(大同特殊鋼)
〃	松原 大	(日本製鉄)
〃	竹内 俊哉	(日本金属)
〃	黒川 政人	(日本高周波鋼業)
〃	佐藤 正昭	(日本冶金工業)
〃	上野 友典	(プロテリアル)
〃	佐山 博信	(三菱製鋼)
〃	阿部 泰	(青山特殊鋼)
〃	高橋 秀幸	(伊藤忠丸紅特殊鋼)
〃	番場 義信	(UEX)
〃	池田 祐司	(三興鋼材)
〃	関谷 篤	(竹内ハガネ商行)
〃	平井 義人	(平井)

【特集／軸受および軸受用鋼の最新動向】

I. 軸受業界の最新の動向

.....	日本精工(株)	菅沼憲太郎	1
	日本精工(株)	小熊健太郎	

II. 最近の軸受の動向

1. 自動車の電動化に伴う軸受の技術動向		(株)ジェイテクト	安本 昇司	6
2. 風力発電装置用軸受		NTN(株)	山田 悠介	10
3. 鉄道車両用車軸軸受		(株)不二越	高野 浩二	14
4. 直動システム				
～軽量ボールねじ～		THK(株)	鈴木 秀忠	18

III. 最近の軸受製造技術における

カーボンニュートラルへの対応

1. 塑性加工		(株)ジェイテクト	松本 伸治	23
2. 熱処理		日本精工(株)	宮本 祐司	26
3. カーボンニュートラルに向けた軸受研削（研磨）				
の取り組み事例紹介		NTN(株)	伏原 慎二	29

IV. 軸受用鋼の基礎知識

.....	山陽特殊製鋼(株)	前田 尚輝	32
-------	-----------	-------	----

V. 流通からみた軸受用鋼

.....	三井物産スチール(株)	吉田 秀雄	35
-------	-------------	-------	----

VI. 最近の軸受用鋼の動向

.....	山陽特殊製鋼(株)	藤松 威史	39
-------	-----------	-------	----

Ⅶ. 会員メーカーの軸受用鋼

極超高清浄度鋼 SURP [®] 鋼…	山陽特殊製鋼(株)	栗田 俊	43
大同特殊鋼の軸受鋼……………	大同特殊鋼(株)	山崎 歩見	44
“特集”編集後記……………	山陽特殊製鋼(株)	西森 博	58

■業界のうごき……………	45
▲特殊鋼統計資料……………	48
★倶楽部だより（2024年4月1日～5月31日）……………	52
☆特殊鋼倶楽部の動き……………	54
☆一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧……………	57
「特殊鋼」定価・年間購読料改定のお知らせ……………	59

特集／「軸受および軸受用鋼の最新動向」に関する編集会議構成メンバー（2024年1月30日現在）

役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
編 集 長	西森 博	山陽特殊製鋼(株)	東京支社部長 市場開拓・CS
委 員	平地 伸吾	愛知製鋼(株)	品質保証部 お客様品質・技術室 チーム長
〃	深瀬美紀子	大同特殊鋼(株)	技術開発研究所 企画室 主任部員
〃	松原 大	日本製鉄(株)	棒線事業部 棒線技術部 棒線技術室 室長
〃	竹内 俊哉	日本金属(株)	技術部門 技術部 部長
〃	谷井 一也	日本高周波鋼業(株)	富山製造所 技術部 開発室 課長
〃	高橋 秀幸	伊藤忠丸紅特殊鋼(株)	特殊鋼本部 前橋支店 支店長
〃	番場 義信	(株) U E X	仕入部長 兼 仕入部 仕入チームリーダー
〃	白神 哲夫	中川特殊鋼(株)	フェロー

I. 軸受業界の最新の動向

日本精工(株) 産業機械軸受技術センター 菅 沼 憲太郎
産 機 軸 受 開 発 室日本精工(株) 産業機械軸受技術センター 小 熊 健太郎
産 機 軸 受 開 発 室

まえがき

転がり軸受の紹介は、2017年11月号で特集してから既に6年が経過している。この間でイギリスのEU離脱や米中の貿易摩擦など国際政治や経済の動向が不透明になるなか、COVID-19の世界的なパンデミックにより国内外でロックダウンが発生したことからサプライチェーンが分断され、産業界は深刻な打撃を受けた。

このような状況に加えて、気候変動への対応は急務で、カーボンニュートラルに向けた取り組みとして電気自動車の普及やクリーンエネルギーの技術開発が進められている。

転がり軸受においては長寿命化や高信頼性技術と共に、新たな分野の要求にこたえる技術開発も進められている。以下に、転がり軸受業界の最新の動向について紹介する。

◇ 転がり軸受の需要動向

転がり軸受とは、内輪と外輪の間に玉やころと呼ばれる転動体を配置して回転する軸を支える機械要素部品である。転動体の形状で「玉軸受」と「ころ軸受」に分類でき、玉軸受は主に高速性や低騒音、低振動要求の用途、ころ軸受は主に耐重荷重要求の用途に用いられる。

2022年度の国内軸受販売金額は8,512億円、内訳

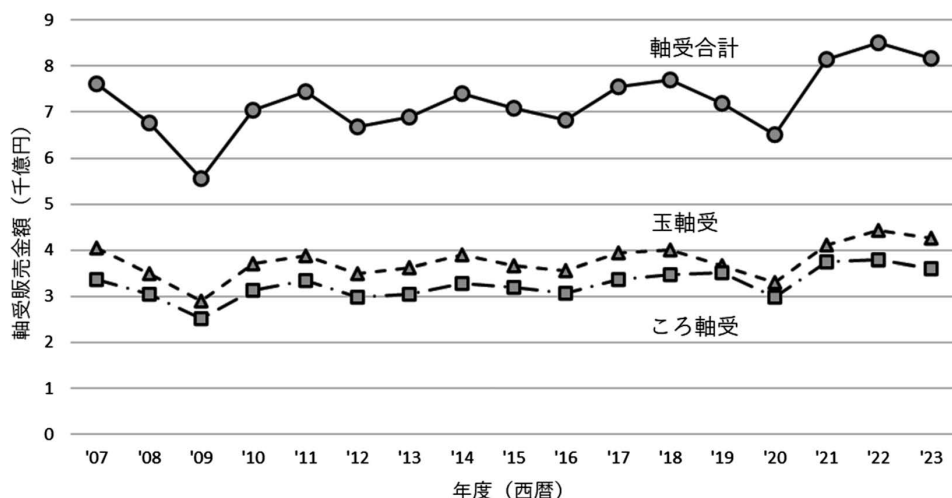


図 1 日本国内における軸受販売金額の推移

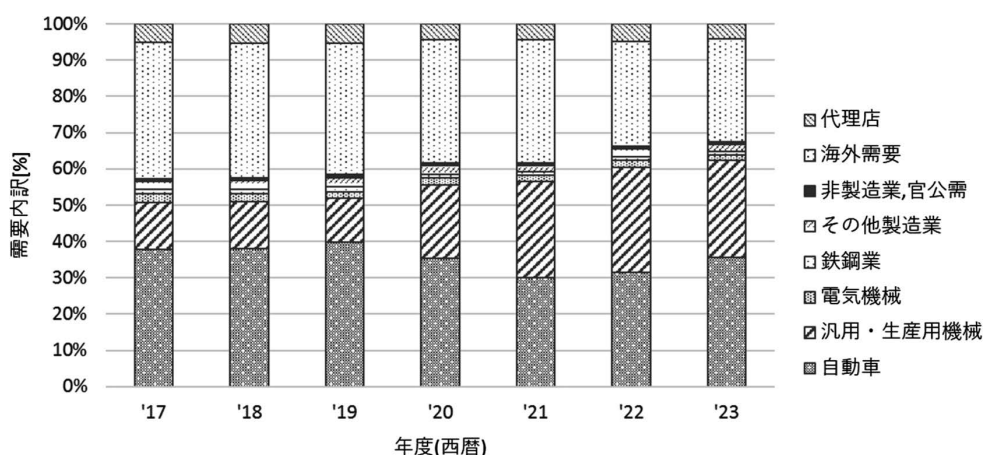


図 2 日本国内における軸受需要の内訳の推移

は玉軸受が4,434億円、ころ軸受が3,791億円、軸受箱とインサート軸受とを組み合わせた軸受ユニットが287億円となっている。2007年度からの転がり軸受における販売金額の推移を図1に示す（経済産業省生産動態統計より）。

2019～2020年のCOVID-19パンデミックによる需要減少時に販売金額は大きく減少しているが、その後2021～2022年度にかけて大きく増加しており、需要の回復がみられる。

転がり軸受の用途は、自動車、輸送機械、電気機械、工作機械など様々な産業にまたがっている。日本国内の軸受需要の内訳の推移を図2に示す（内閣府機械受注統計による）。

自動車の割合は、2017年度に需要全体の38%であったが、2023年度には36%と若干の減少がみられる。一方で、ポンプや減速機等を含む汎用機械と建設機械、農業用機械、金属加工機械等を含む生産用機械の割合は2017年度に13%程度であったが、2023年度は27%程度に増加しており、国内産業の需要の変化がみてとれる。

転がり軸受メーカーはグローバルで数百社あると言われているが、主要メーカーにおいては2017年以降も事業買収や統合の動きがみられる。2018年にはTimken社が直動軸受メーカーRollon社を買収した。

◇ 最近の規格の動向

国際市場における品質や互換性の確保の為、転がり軸受においてもISO（国際標準化機構）で規

格化が行われてきた。近年の取り組みとして、公差（精度）の表記方法を示す“製品の幾何特性仕様（GPS: Geometrical Product Specification）”の規格化と、“定格荷重及び寿命”の課題を紹介する。

<製品の幾何特性仕様（GPS）>

2023年に、GPSを適用したISO 199（転がり軸受－スラスト軸受－製品の幾何特性仕様（GPS）及び公差値）及びISO 492（転がり軸受－ラジアル軸受－製品の幾何特性仕様（GPS）及び公差値）が改正された。それらのISOに準拠してJISにおいても、JIS B 1514-1（転がり軸受－製品の幾何特性仕様（GPS）及び公差値－第1部：ラジアル軸受）、JIS B 1514-2（転がり軸受－製品の幾何特性仕様（GPS）及び公差値－第2部：スラスト軸受）が2028年に改定を予定されている。

用語と定義に対してもGPSを適用するため、新しい規格ISO 22872（転がり軸受－製品の幾何特性仕様（GPS）－用語及び記号表示）の制定議論が行われており、2024年に制定発行される予定である。転がり軸受へのGPS適用が着実に進んでいる。

<定格荷重及び寿命>

ISO/TS 16281（合成荷重を受ける軸受の修正基準定格寿命の計算方法）の技術仕様書についてISO規格化が進められているが、ISO 281（動定格荷重及び定格寿命）とどのように使い分けるかが課題となっている。

上記を含む定格荷重関連規格の開発の方向性を受けて、従来の内部起点疲労に加え、表面起点疲

労についても基礎理論レベルで考慮した新しい寿命計算方法を技術報告書とすることが提案され、議論が開始されている。

◇ 各種産業別の軸受技術動向

近年、世界的な気候変動への取り組みの中で軸受においてもCO₂削減や省エネルギーの要求は高まっている。また、カーボンニュートラルの達成に向けて、企業は製造に関する直接・間接的なCO₂排出（SCOPE1、2）の削減だけでなく、ユーザーの使用段階におけるCO₂排出（SCOPE3）削減の重要性も高まっており、使われ方に踏み込んだサービスの提供も広がってきている。本稿ではカーボンニュートラル社会の実現に寄与する軸受および関連技術について紹介する。

まずは、軸受の重要な性能の一つである寿命についての技術を紹介する。軸受の寿命計算方法はISO規格（ISO281:2007）で定められているが、実態としては計算寿命で損傷することは少なく過剰な安全代を持っている。この課題を解決し、資源を有効に活用できる軸受寿命の予測技術について紹介する。

つぎに世界的なCO₂削減の取り組みの中で急速に開発が進んだ軸受技術の例として、HEV（ハイブリッド自動車）・EV（電気自動車）用玉軸受を紹介する。

最後に、軸受を含む機械要素部品の状態を監視し、劣化・故障を早期に検知することで、設備利用の効率化や資源の有効活用に貢献できる技術について紹介する。

<高精度寿命予測技術>

転がり軸受は荷重を受けて回転すると、内輪・外輪の軌道面及び転動体の転走面は絶えず繰り返し荷重を受けるので、材料は疲れによってうろこ状に表面が剥がれ落ちる損傷（＝フレーキング）が発生する。この最初のフレーキングが生じるまでの総回転数（もしくは時間）を転がり疲れ寿命と呼ぶ。

フレーキング発生メカニズムはその起点となる欠陥の種類によって分類されるが、最も典型的なものに内部（介在物）起点型がある。この形態のフレーキングは、軸受材料の中に不可避に残留している不純物（非金属介在物）が応力集中源と

なり生じる。その為、軸受鋼の清浄度（＝非金属介在物の含有量や大きさを意味する）は軸受寿命に大きな影響を及ぼす。これまでに軸受メーカは製鋼メーカと共に鋼中酸素量の低減に取組み、酸化物系介在物を減らすことで清浄度の改善を達成してきた。近年の軸受鋼の清浄度は極めて良好であり、転がり軸受寿命も著しく向上している。

一方でISO規格（ISO281:2007）に定められている転がり軸受の寿命計算法は、非金属介在物のサイズや量が寿命におよぼす影響を考慮していない。その為、ISO規格の寿命計算値に対して実際の転がり疲れ寿命は充分長寿命なので、大きく乖離した結果となっている。

一般的に軸受を選定する際は、使用環境の情報をもとに十分な寿命を有していることを確認し、フレーキング発生リスクが低い軸受を選定するが、ISOに則った手法で計算した予測寿命は過剰な安全代を取っている。すなわち、真に最適な軸受サイズよりも大きい、もしくは最適仕様よりも過剰なスペックの軸受を選定されているのが現状である。実用上十分な安全代を持った過不足のない軸受を選定することが出来れば、材料や製造時に消費するエネルギーも削減でき、従来以上にカーボンニュートラル社会の実現に貢献できる。

前述の通り転がり軸受の長寿命性能には材料の清浄度向上が強く寄与しており、これを定量的に示すことが技術的課題を解決するキーポイントである。このような背景から、材料清浄度の影響を考慮した軸受の寿命予測技術の開発が進み、超音波探傷による内部欠陥（非金属介在物）検出技術と破壊力学の考え方を取り入れた新しい寿命予測技術が2023年に公開された¹⁾。

鋼材中の非金属介在物の評価は、従来から光学顕微鏡を用いた直接観察による手法が採用されてきた。この手法は介在物の大きさや量を直接的に評価しているため、清浄度の優劣を見極める手段として非常に有効であった。一方で、製品軸受の体積に比べて評価体積が小さいことや、評価に必要なリソースが大きいことが工業的運用の観点で課題であった。そこで、非金属介在物レベル（Microサイズ）の欠陥を検出でき、且つ工業的に実用可能な超音波探傷技術が軸受メーカで開発され、Micro-UTと名付けられた。

この技術の開発においては探傷条件の適正化及び多数の非金属介在物の実寸法測定などの多くの試験が重ねられ、従来の工業的な超音波探傷法では検出が困難であった100 μ m未満の大きさの非金属介在物を正確に検出することが可能になった。これにより従来の方法と比較して短時間で大体積の評価が可能となり、非金属介在物の分布に関わる信頼性の高い統計データの取得が可能となった。

非金属介在物を起点としたフレーキングの評価は、介在物の出現に確率的要素が多く含まれることや、介在物がマイクロサイズで且つ内部に存在するために破壊過程の直接観察が困難であることなどが、定量的な現象理解の障壁となっていた。そこで介在物を模した人工欠陥として微小なドリル穴を軌道輪に付与し、その耐久寿命評価試験で破壊の起点となる欠陥のサイズや位置が寿命に及ぼす影響について定量的に評価が実施された。

さらに人工欠陥周りに発生する応力をFEM（有限要素法）によって解析し、力学的な観点からの評価も行われている。既往の研究により、フレーキング寿命の大部分はき裂の進展過程であることが知られている。そこで、き裂進展を定量的に取り扱うことのできる破壊力学パラメータ＝応力拡大係数を用いて寿命が整理された。応力拡大係数は、変数として欠陥サイズと応力を含んでおり、これらの影響を同時に評価できる指標である。前述の耐久試験によって得られた寿命データは応力拡大係数によって一律に整理できることが確認され、応力拡大係数を用いたフレーキング寿命の定量的予測が可能であることが示されている。

これまでに述べたように、Micro-UT技術によって鋼中非金属介在物の統計データを取得することができ、欠陥サイズをパラメータとして応力拡大係数を用いるとフレーキング寿命を定量的に予測することができる。これらふたつの技術を組み合わせることにより、材料清浄度を考慮したフレーキング寿命の高精度予測が可能となった。その結果、最適な軸受の選定が可能となる。

また、この技術を応用することにより、一般的な軸受の寿命計算に用いられる負荷容量パラメータ：基本動定格荷重を最適な値に見直すことも可能となり、安心して長期間利用できる他、小形の軸受を採用できる可能性も高まり、軸受の長寿命

性能をこれまで以上に活用することが出来る。

その結果、機械のメンテナンス頻度の低減や小型化が期待でき、さらにはカーボンニュートラル社会の実現への貢献が期待できる。

<HEV・EV用玉軸受の技術開発>

日常生活の中で欠かすことが出来ない自動車からのCO₂排出はカーボンニュートラル社会の実現に向けて影響が大きく、環境負荷が小さいHEV・EVの普及が期待されている。電動車の普及に向けてインフラの整備や価格などさまざまな課題が残されているが、その中で重要な課題の一つが航続距離の延長である。

車両の重量やバッテリー容量は航続距離に制約を与えるので、HEV・EV用駆動モータでは小型・軽量化、燃費・電費の向上と高出力化が進んでおり、モータを支持する軸受も小形化・高出力化に対応する必要があるが出てきている。

モータの出力はトルクと回転数の積で決まるため、回転数を高めることが出来れば、モータの高出力化への対応、若しくはトルクを小さくすることが可能であり、小型化ができる。そのためHEV・EV用駆動モータの高速回転化が進んでいる。

現在の駆動モータの最高回転数は17,000min⁻¹前後であるが、30,000min⁻¹を超えるEVユニットの開発も報告されており、駆動モータを支持する転がり軸受にも30,000min⁻¹以上の高速回転性能が要求されており、転がり軸受の高速回転性能を示す指標であるdmN（転動体ピッチ円直径[mm]×回転速度[min⁻¹]) 値では100万以上が求められることになる。

上記の背景から軸受各社は軸受の高速回転性能の向上を進めており、2010年代後半からdmN値で100～200万程度の玉軸受が開発されてきた。

2020年にdmN＝140万以上の高速回転玉軸受、2021年には極限まで軽量化を図る設計手法（トロジー最適化技術）を活用して、高速回転に最適な保持器形状と材料の採用によりdmN＝180万以上を可能にした高速回転玉軸受が登場している。

また2023年には高速回転時に保持器にかかる応力及び変形量の低減を可能にするため、高剛性材料を使用し、更なる軽量化と形状最適化に伴う高速回転性を両立させたことでdmN＝210万以上の

高速回転玉軸受も開発されている。

本軸受の採用により駆動モータの小型化が可能になり、燃費・電費の向上や後続距離延長、快適性向上への貢献が可能となる。

＜軸受を含む機械設備の状態監視技術＞

製造業においては、省人化や生産効率向上を目的として機械設備の自動化・スマート化への取り組みが加速しており、機械設備の予知保全を実現するニーズが一段と高まっている。

機械設備の稼働状態の監視により異常や故障の早期発見、分析による劣化や余寿命の診断を基にした現場へのアクションの提案、部品の修復や交換といった最適メンテナンスを提案することが出来れば、ユーザーの設備利用の効率化や資源の有効活用に貢献でき、カーボンニュートラル実現につながる。

機械設備に組み込まれている軸受やボールねじ、リニアガイドなどの要素部品は機械設備の性能を支える重要な部品であり、これらについてセンサーを用いて機械設備の振動・音・温度の状態を監視し、故障や異常の原因となる予兆を早期に検知・診断することができる技術は予知保全に貢献するキーテクノロジーで、機械要素部品メーカーではサービスを開始している。

軸受・ボールねじ・リニアガイドなどの近傍に設置した振動センサーからのデータと過去からの蓄積された知見や分析アルゴリズムを組み合わせ、キズやはく離などを診断するもので、軸受では巡回監視を目的としてワイヤレス振動診断器とスマートフォンを用いて簡単・スピーディーに診断を行うことが出来るようになってきた。

このような取り組みは、状態監視技術とトライボロジー技術の融合により設備利用の効率化や資源の有効活用に貢献し、持続可能な社会の発展に貢献する期待がかかっている。

むすび

以上、軸受業界の最新の動向について解説した。これまで転がり軸受は使用される産業機械の変化と共に進歩してきた。これからのカーボンニュートラル社会の実現に向けて産業機械は急速に技術革新が進んでいくことが予想され、それらの技術革新にあわせて転がり軸受のさらなる進歩が期待される。

参考文献

- 1) 山田、橋本：転がり軸受の高精度剥離寿命予測技術、月間トライボロジー、No. 435 (2023)、20-23

Ⅱ．最近の軸受の動向

1．自動車の電動化に伴う軸受の技術動向

(株)ジェイテクト 産機・軸受事業本部 やす もと しょう じ
軸受技術部 先行開発グループ 安 本 昇 司

まえがき

世界規模の環境規制への対応は喫緊の課題で、各国のゼロエミッション車や新エネルギー車規制、販売奨励策により、BEV/HEV/PHEV/FCEVに分類される電動車は今後ますます増加するものと考えられる。

電動化は自動車の構造変化をもたらすと同時に、当社の軸受製品群に最も大きな影響を与えるキーワードである。たとえば、電動車パワートレーン用軸受では低トルク化、小型・軽量化などの軸受本来の機能に加え、従来のエンジン車に比べて高い回転速度への対応や、運転パターンの変化に伴う新たな課題に対応した信頼性向上技術が求められている（図1）。

本報では電動化に際し必要となる軸受技術および軸受関連製品として高速回転用オイルシールを紹介し、これらの製品の開発支援技術についてふれる。

◇ 電動化に対応した軸受技術

1．高速回転対応軸受

動力源の変更によって起こる最も大きな軸受への要求は高速回転化である、従来の動力源であるエンジンとモータの最高回転速度比が3倍を超え

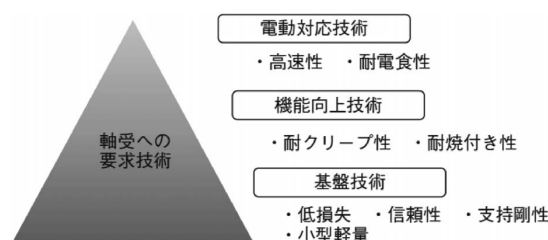


図 1 軸受に求められる性能

る速度設定も珍しくない。ここで高速回転化によって問題となるのが、遠心力による保持器の変形である。一般的な樹脂保持器では、限界速度を超えると遠心力による保持器ポケットの変形で転動体との干渉が発生し、回転抵抗の増加による異常発熱によって焼付きに至る。

したがって保持器の変形を抑えることが課題となるが、これに対する解として、変形を最小化出来る組み合わせ保持器を開発した。そして、同一形状の二つの樹脂部品を組み合わせ、変形を抑え合う構造とし、保持器強度を確保しつつ、保持器幅寸法を最小化することで、軸受幅をほぼボール径サイズにまで低減した軸受 JUCB[®]（JTEKT Ultra Compact Bearing[®]）を開発した（図2）。保持器の金型および成形条件の最適化などで保持器強度を確保し、油潤滑下で $d_m n$ 値（軸受高速性能指標：転動体ピッチ径（ d_m ）と軸受回転速度（ n ）の積）200万以上の高速回転での性能を確保した。

グリース密封軸受は、前述の組み合わせ保持器では、高速回転での保持器変形懸念は無いものの転走部へのグリース油分の供給性が低く、グリー

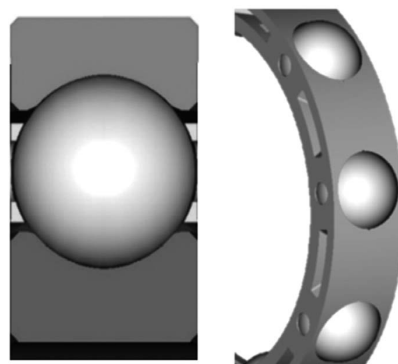


図 2 JUCB[®]

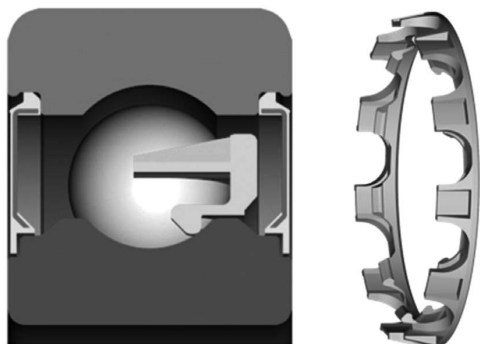


図 3 高速回転グリース潤滑玉軸受

ス漏れや、寿命低下の懸念がある。よってグリース密封軸受での成立性を主眼に、新形状保持器を開発した（図3）。片持ち構造を採用し、グリース油分の転走部への供給性向上やグリース密入空間容積の増加を行った。

さらに軽量化による遠心力の低減で変形量を低減するとともに保持器支持を転動体から軌道輪へ変更することで、変形した場合の保持器と転動体の干渉を回避した。これにより、油潤滑に対して高速性、潤滑性の面で不利なグリース潤滑においても、 d_{mn} 値で185万の高速性を実現した。

2. 電食防止軸受

モータに使用される軸受、特にインバータにより駆動されるモータに使われる軸受においては、モータ内部の磁束不平衡から、軸受内外輪間に電位差が作用することがある。その電位差に起因して転動体と軌道の接触部でスパーク（電食）が発生し、軌道に洗濯板状の損傷を発生させることが知られている（図4-1）。

この電食に対しては、従来技術として絶縁体であるセラミックボールの使用や外輪表面への絶縁コーティング形成など、軸受を絶縁させる対策がとられてきた。また、軸受以外での軌道間電位を軌道と並列に別回路にてバイパスする電食対策も市場では実用化されている。ジェイテクトはシールに導電部材を適用することで、電流の経路をシールにバイパスし、軸受軌道部の電食発生を回避するJUEB®（JTEKT Ultra Earth Bearing®）を開発した（図4-2）。

3. 水素循環ポンプ用軸受

電動車のエネルギーの一つとして水素があり、

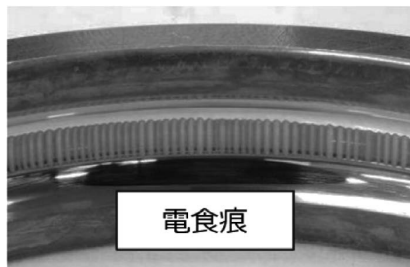


図 4-1 電食

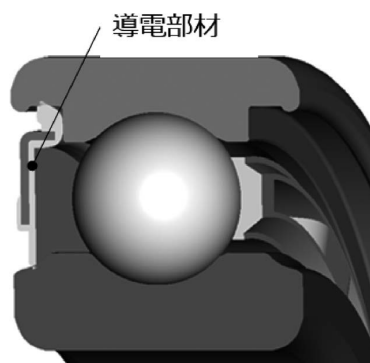


図 4-2 JUEB®

水素から直接的に電力を得る燃料電池の付帯装置として水素循環ポンプがある。

水素循環ポンプの軸受では、反応水による腐食懸念や水素による脆化懸念があり、これらの懸念に対して高耐食・耐水素鋼を採用し、熱処理を含めた開発にて要求性能を満足できる軸受 EXSEV-H₂®を開発している。

4. 耐クリープ軸受

軸受クリープによってハウジング摩耗、軸芯ずれや軸傾きが誘発され、異音や早期はく離に至る可能性がある。軸受クリープには、2種類のクリープ現象がある。

一つは、ひずみクリープと称し、ボールが外輪を通過するたびに、外輪が僅かにひずみ、外輪とハウジング間で固着と相対滑りが繰り返され蓄積されることで、外輪がハウジングに対し相対回転する現象である。この解決のためジェイテクトでは、MBD（モデルベース開発）により前述のメカニズムを数値化したうえで、外輪外径に円周溝を設けた。その結果、外輪肉厚を変えずに外輪はめあい部のひずみによる固着と相対滑りを抑え、ひ

ずみクリープを防止した。

もう一つのクリープが連れ回りクリープと称されるもので、力行と回生の切り替わる瞬間に発生する軸受荷重が抜けた状態での外輪滑りによるものである。軸受荷重が抜けた状態で外輪回転（クリープ）し、荷重が復帰した瞬間に摩擦滑りでハウジングを摩耗させる現象であり、はめあい面の潤滑性を向上させることが有効である。そこで特殊酸化被膜を外輪外徑面（はめあい接着面）へ施すことで、被膜のミクロ的な形状パターン内に油分を保持し、はめあい面の潤滑性を確保することでクリープ摩耗低減を実現した（図5）。

5. 耐焼付き性向上 円すいころ軸受

eAxle（電動アクスルユニット）のモータ軸、第一軸には、深溝玉軸受の採用が一般的であるが、第二軸については、小型・軽量化の観点から円すいころ軸受が採用される場合がある。

減速機内の軸受潤滑は、ポンプを使わずギヤによる油跳ねかけで行われる場合があり、一時的な貧潤滑状態となる懸念がある。それに加えてユ

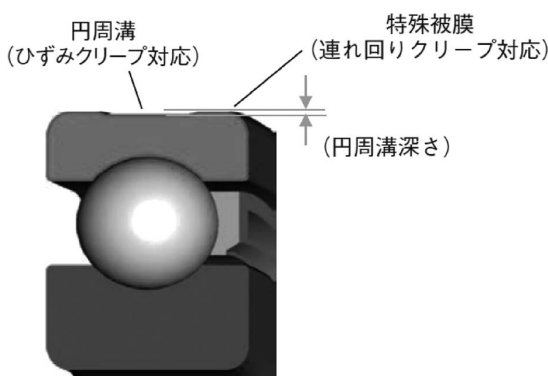


図 5 クリープ摩耗抑制玉軸受

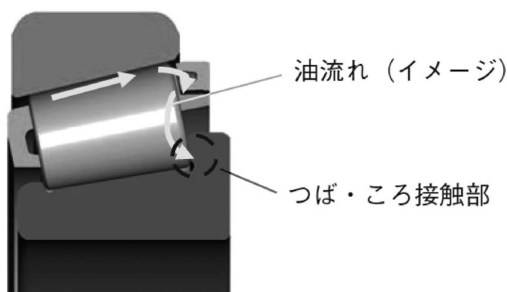


図 6 耐焼付き性向上 円すいころ軸受

ニットの低損失化をねらい低粘度潤滑油が用いられることから、潤滑状態が悪化する傾向にある。また、第二軸に使用される円すいころ軸受では、高速回転化も伴うことから耐焼付き性の要求が高まっている。

耐焼付き性に大きく影響する内輪つばところの接触部への油量確保は、外輪軌道に沿って流れる少量の油を特殊形状の樹脂保持器によって積極的にころ大端面から内輪つば接触部に導く形状を考案し、耐焼付き性を向上させることができた（図6）。

◇ 軸受関連製品と解析評価技術

1. 高速回転用オイルシール

電動化における軸受の高速回転化は、すでに述べたとおりであるが、ドライタイプのモータとギヤボックス間にはオイルシールが設定されており、オイルシールについても高速回転対応が求められる。

高速回転時、遠心力や周辺の空気の流れなどからシールリップしゅう動部への油供給が低下し、リップの焼け、摩耗の発生が懸念され、リップ先端への油分供給がポイントとなる。そこでシールリップ側面の表面形状工夫によってシールリップ周辺の空気流れを積極的に活用し、シールリップ部への油分供給を確保した。これにより高速回転におけるシール機能の維持を可能にした（図7）。

2. 解析評価技術

ジェイテクトでは開発期間の短縮と開発品の高性能化を目的として解析評価技術の向上を図っている。

たとえば高速回転で軸受を使用する場合、各部品には大きな遠心力・慣性力が作用し、通常回転時に比べて非常に過酷な運転状態となる。高速回転化対応技術開発において、各部品の動的作用力

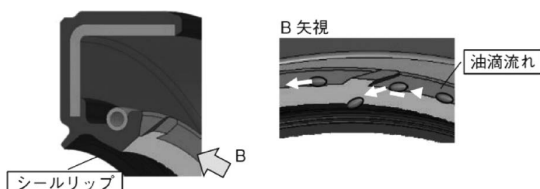


図 7 高速回転用オイルシール

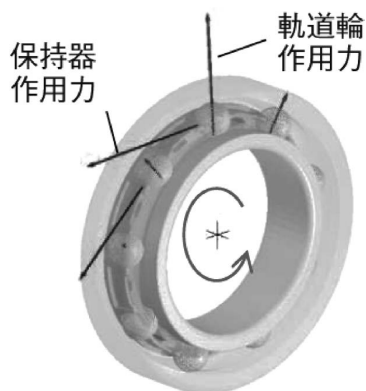


図 8-1 軸受動解析事例



図 8-2 潤滑油流れ解析事例

を予測することができる軸受動解析、周辺の空気流の影響を考慮して潤滑油の流れを予測することができる潤滑油流れ解析、そのほか軸受熱解析などの技術が重要である。ジェイテクトでは、実験結果に基づきそれらの解析を開発し、前述の高速回転軸受の保持器挙動や軸受内部の潤滑油分布の解析にも活用している（図8-1、図8-2）。

また実験評価においても、急加減速を含めた高速試験機を開発した。さらに、水素循環ポンプ用軸受の開発においては、水素環境試験機など新たな条件領域でも評価が可能となり、より信頼性の高い開発が可能となっている（図9）。

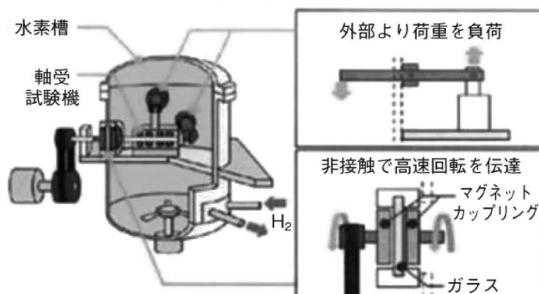


図 9 水素雰囲気中試験（事例）

◇ 今後の展望

電動化における各軸受の開発動向を述べたが、電動化によって、エンジン補機類の廃止や他段変速機から固定段の減速機への変化で、軸受の使用数が大きく減少することが予想されている。

この状況においてジェイテクトは、「量から質」への転換、付加価値の向上が必要と考えており、特に電動化の起源となった対環境性に直接的に影響する低損失、小型・軽量化、再生可能材料の開発などの推進が不可欠と考えている。これまで、基盤技術、機能向上技術をベースに電動化対応技術を積み上げてきたが、加えて軸受と周辺部品との統合による小型・軽量化の推進、さらには軸受運転時（使用時）だけでなく、材料～生産～（使用）～廃棄までを含めた対環境ニーズに広く応え、製品ライフサイクルの面でも社会に貢献していく。

参考文献

- 1) 奥村剛史、JTEKT ENGINEERING JOURNAL No. 1019 (2022)、pp. 65-71

2. 風力発電装置用軸受

NTN(株) 軸受事業本部 技術ユニット やま だ ゆう すけ
適用技術部 大型風力発電グループ 山 田 悠 介

ま え が き

2023年に開催されたCOP28（Conference of the Parties 28、国連気候変動枠組条約第28回締約国会議）で、2030年までに再生可能エネルギーの発電容量を世界全体で3倍にすること（少なくとも11,000GWの導入）が合意文書に明記された¹⁾。また、GWEC（Global Wind Energy Council）によると、2022年に約78GWであった世界の風力発電設備新規導入容量は、2027年までの5年間に年平均15%の成長が見込まれている²⁾。

今後のさらなる風力発電設備の導入拡大に向け、発電コストLCOE（Levelized Cost of Energy）の削減が重要である。安定した風況が得られる洋上風力発電装置の設置が増加し、建設費を抑制するため、大型機種への導入が進む傾向にある。また、稼働率の向上やメンテナンスコスト低減のため風力発電装置の信頼性向上が従来にも増して求められている。本稿では、これらを背景とする風力発電装置用軸受の動向とニーズおよびNTNでの取組みについて紹介する。

◇ 風力発電装置に使用される軸受

風力発電装置では、図1(a)に示すロータ軸（主軸）の支持部、増速機、発電機その他、ブレード付根のピッチ旋回部やタワー頂部のヨー旋回部のモータや減速機に軸受が使用される。これらの軸受は変動する風荷重を考慮した上で、設計寿命20年（洋上機種は25年）を満足するように設計される。風力発電装置の軸受の交換は困難で、多額の交換費用が発生することから20年間運転可能とする高い信頼性が要求される。

◇ ドライフトレインと主軸受の形式

ドライフトレインは図1(b)に示すように、増速機を使用する増速式と増速機のない直結式に大別される。主軸受は、ロータの駆動力を発電機に伝達する主軸を支持する最重要部品であり、ドライフトレインの構成により採用される主軸受の形式が異なる。

最近の陸上機種では、自動調心ころ軸受+高速タイプの増速機（形式①）が主流となっている。

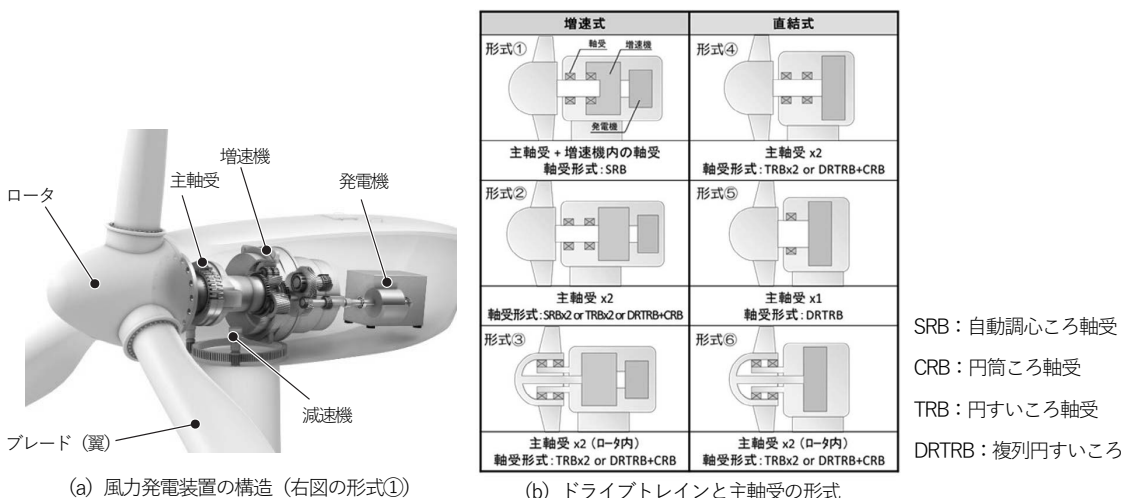


図 1 風力発電装置の構造およびドライフトレインと主軸受の形式

形式①は、増速機により100倍程度の増速比で主軸の回転速度が増速されるため小型の発電機を使用することができる。自動調心ころ軸受は調心性をもち取付誤差を許容できるため、軸受周辺の構造を比較的簡易にできる。

一方、洋上機種では、中速タイプの増速機をもつ形式②、または直結式の中でも主軸受がロータ内に配置される形式⑥の2種類のドライブトレインが多く採用されている。増速機をもたない形式⑥は部品点数を削減することでドライブトレインの信頼性向上を図れる反面、低回転速度での発電を可能とするため極数を多くする必要があり発電機は大型化する。そのため、最近では形式①と形式⑥の中間的な位置づけである形式②の採用が増加している。形式②は、増速機内の高回転速度軸を排除することで信頼性を確保しつつ、発電機の大形化を抑えられる。これら洋上機種の主軸受には、両者とも単列円すいころ軸受の背面組み合わせが採用される。この配列は、モーメント荷重負荷に対し、作用点距離を大きくすることができるため軸受の小形化、軽量化が可能となる。

◇ 主軸受の大形化・信頼性向上に向けた課題

前述の通り、近年、風力発電装置メーカーは洋上機種向けに大型機種の開発を加速させており、現在では定格出力が20MWを超える超大型機種の開発が開始されている。このような大型機種では外径φ3mを超える主軸受が採用される場合もあり、これらの主軸受の開発・設計や製造には以下のような課題や要求がある。

開発・設計：実際の使用状態を反映するため、周辺構造の変形を考慮したFEM解析を用いた設計検討が要求される。

材料：主軸受は鋼塊から生産されることが一般的で、軸受の大形化に伴い鋼塊も大型化している。清浄な鋼材とするため、化学成分の規格値をより厳しく設定し、非金属介在物や偏析もより厳しい規格値で管理することが求められる傾向にある。

鍛造：過度な昇温はオーバーヒートを誘発するため、鍛造温度の設定と管理が重要となる。

熱処理：軸受が大形化・厚肉化し、焼入れ性に優れる材料の適用や冷却性能が良い焼入れ設備が必要となる。また、軸受が熱処理炉の処理可能範

囲を超えるまで大きくなっていることから、高周波焼入れが採用されるケースも増えている。その場合ソフトゾーンが発生しないシームレス高周波焼入れの適用が求められる。

非破壊検査：軸受の内部欠陥や表面欠陥を検出するため各種非破壊検査を行っている。ユーザによっては検査項目や欠陥サイズに対する要求もある。

トレサビリティ：材料段階から各製造工程、製品出荷までトレサビリティが求められる。

◇ 主軸用自動調心ころ軸受の信頼性向上への取組み

NTNでは、これまでに述べた大型軸受の製造や信頼性向上に向けた課題への対応と併せて、陸上機に使用されることの多い自動調心ころ軸受の信頼性向上に向けた商品を開発した。

(1) 主軸用左右列非対称自動調心ころ軸受

主軸受はロータやブレードなどの自重方向であるラジアル荷重に加えて、風荷重により作用するアキシャル荷重を受ける。風を受けるロータが風上側に位置するアップウィンド型風力発電装置の場合、ブレードから遠いリア列には、ブレードに近いフロント列に比べてより大きな荷重が作用する(図2(a))。

この荷重分布の特徴に着目し、左右の軌道列のころ長さ、接触角が異なる設計を採用した左右列非対称自動調心ころ軸受を商品化した(図2(b))。左右列非対称設計の採用により、同一主要寸法の従来品に比べて計算寿命が約2.5倍となり、主軸受の信頼性の向上を図ることができる。また、従来品と同等の寿命を持つように設計した場合、主軸

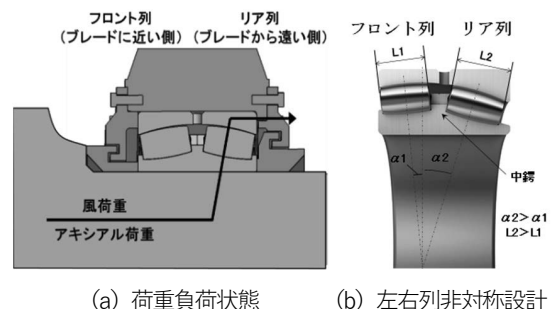


図 2 主軸用左右列非対称自動調心ころ軸受

受の内径を約10%、質量を約30%低減可能となり、風力発電装置のコンパクト化、軽量化および低コスト化も期待できる。

(2) 主軸用DLCコーティングころ自動調心ころ軸受

自動調心ころ軸受のころは、樽形形状であり、ころ転動面と軌道面の接触部で回転速度差に起因した差動すべりが発生する。また、主軸の回転速度は、風況により変化するため、主軸受の運転状態は変化が生じ易い。潤滑不足（油膜切れ）が起これば、金属接触により、接触応力（P）とすべり速度（V）の積であるPV値の高い箇所から軌道面に摩耗が生じ、二山形状へと摩耗が進行する。この結果、摩耗の発生しない純転がり部に応力集中が発生し、軌道面に剥離や割れが発生すること

がある（図3(a)）。回転する内輪は、軌道面全周が均等に荷重を受けるが、外輪はハウジングに固定されるため荷重負荷域が特定の範囲に集中し、繰り返し負荷されることで、損傷が発生しやすい。そこで、油膜切れに対する軌道面の摩耗抑制対策として、ころ転動面にDLCコーティングを適用した軸受を商品化した（図3(b)）。

DLCコーティングころ適用の効果を確認するための検証試験として、実機サイズ軸受において標準品の外輪軌道面が720時間で剥離する条件で評価した。試験後の外輪軌道面負荷域の状態を図3(c)に示す。標準品は剥離が認められるが、DLCコーティング品に剥離は認められず、摩耗量も $2\mu\text{m}$ と小さかった。

◇ 増速機用軸受の動向

増速機はロータから入力された主軸の回転を増速して発電機へと伝達する装置であり、風力発電装置では遊星機構を備えた増速機が一般的に使用される。洋上風力発電装置などの大型機種向けの増速機では、高速軸を排除し増速比を50倍程度に抑えた中速タイプの増速機が適用されることが多く、さらにコンパクト化を目的とした発電機と一体型の増速機の適用も増えている。増速機には円筒ころ軸受、円すいころ軸受、4点接触玉軸受を中心にサイズの大小を含めると10型番程度の軸受が使用されている。

風力発電装置の大型化に伴い、増速機への入力トルクが増大しているため遊星ギヤの個数を多くするなどの対応がとられている。また、遊星部の径方向サイズをコンパクト化することで増速機を軽量化するため、遊星ギヤ内部で使用される軸受については外輪をなくし遊星ギヤの内径面を軌道面とする遊星ギヤ一体型の軸受が使用されている。

増速機の軸受には、軽荷重時の転動体と軌道面の滑りによるスミアリングなどの表面損傷や水素脆性剥離の予防策として、内外輪およびころに黒染め処理を適用している。黒染め処理の適用により油膜形成能力を高め、金属接触を防止する効果が期待できる。標準品と黒染め処理品の耐スミアリング性能を比較した試験では、黒染め処理品は標準品の2倍以上の耐スミアリング特性が得られている。



図 3 DLCコーティングころ自動調心ころ軸受

また、転がり軸受に代わり、滑り軸受を採用することで遊星歯車のコンパクト化と信頼性向上を図るケースもみられる³⁾。

◇ 発電機用軸受の動向

定格出力4MWクラス以下の比較的小型の発電機ではロータの両側を深溝玉軸受で支持することが一般的である。これに対し大型機の中速タイプ発電機は荷重が大きくなるため負荷容量が大きい円すいころ軸受が使用される。

発電機用軸受では、電流が軸受内に流れることで発生する電食が問題となることがあり、対策として絶縁軸受が採用される。NTNでは絶縁軸受として、“MEGAOHM (メガオーム™)”を商品化している。本商品は、軸受外輪の外径部と側面に特殊セラミックスを溶射した軸受で(図4)、風力発電装置に留まらず、鉄道車両用主電動機、汎用モータなどに電食対策として幅広く採用されている。

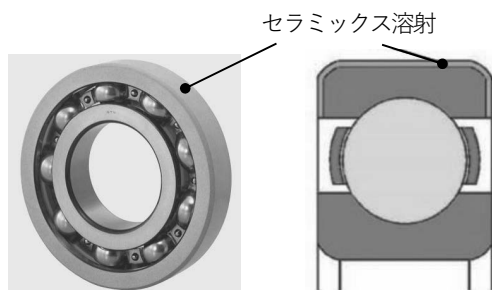


図 4 セラミックス絶縁軸受

また、鋼球の代わりにセラミックスボールを使用した軸受もラインナップしている。絶縁体であるセラミックスボールにより、軸受内部への電流が遮断されるため、より確実に電食を防止することができる。

むすび

本稿では、風力発電装置に使用される軸受の動向やニーズ、大型化や信頼性向上に向けたNTNでの取組みについて紹介した。カーボンニュートラルを背景に今後も風力発電のさらなる導入拡大が見込まれており、風力発電装置メーカーは大型機種・洋上機種の開発を加速させている。軸受においても大型化への対応が必要であると同時に、より一層の信頼性向上に向けた取り組みが求められている。当社がこれまでに培ってきた軸受の設計・製造技術・トライボロジー技術により、脱炭素化社会の実現に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) “Global Renewables and Energy Efficiency Pledge”、COP28UAE、<https://www.cop28.com/en/global-renewables-and-energy-efficiency-pledge>
- 2) “GLOBAL WIND REPORT 2023”、GWEC、<https://gwec.net/globalwindreport2023/>
- 3) Paul Dvorak. “What journal bearings may contribute to wind turbine gearboxes”. Windpower Engineering & Development. 2017-04-27. <https://www.windpowerengineering.com/journal-bearings-may-contribute-wind-turbine-gearboxes/> (参照2024-05-08)

3. 鉄道車両用車軸軸受

(株)不二越 軸受事業部 たかのこうじ
産機技術部 製品設計 チーフ 高野 浩二

ま え が き

鉄道車両は最もエネルギー効率の高い輸送手段のひとつとして評価を得て、今日も運行がされています。在来線車両、新幹線車両は共に高速化が進んできた経過がありますが、一方で低メンテナンスコストを目的とした検査周期延伸も段階を踏んで進んできています。鉄道車両用軸受は、台車検査や全般検査と呼ばれている車両点検が定める法定期間又は距離毎に、分解点検を伴うメンテナンスが行われて、運行期間中の安全が保障されています。初代0系新幹線では、軸受の耐久性向上のため、最弱部位であったころの材料として軸受鋼に含有する酸化物系非金属介在物を極限まで低減した真空溶解材を採用することにより最高速度210km/h、点検周期の延伸につながりました。その後、その技術は長期にわたり踏襲され、さらなる高速化のため軸受形式の変遷もなされてきています。一方で使用条件向上に合わせて低メンテナンス改良を図ることにより、新幹線は現在では320km/hまでに速度向上、又、新幹線、在来線共に検査周期延伸の動きがあります。鉄道車両用車軸軸受に視点をおいて高速化、低メンテナンス化に向けた最近の動向についてご紹介いたします。

◇ 高速化に向けた軸受形式の変遷

1. 新幹線用軸受の変遷

新幹線用車軸軸受の構造の変遷を表1に示します。初代0系新幹線の車軸軸受構成はラジアル荷重を支持する複列円筒ころ軸受とスラスト荷重を支持する深溝玉軸受の構成です。全体製品重量も合計70kgありました。その後の300系、E2系で速度向上に伴いひとつの軸受でラジアル荷重、スラスト荷重の支持が可能となつば式複列円筒ころ軸受が採用されています。軸受重量も低減され速度も275km/hの走行が可能となりました。更なる高速化にあたり700系以降ではコンパクトで負荷容量がアップできる複列円すいころ軸受が採用され、24kgまで軽量化し300km/hの走行が可能となりました。一方E5系では低昇温対策を施したつば式複列円筒ころ軸受が採用され、320km/hの走行が可能となりました。

軸受重量の軽量化追求はひと段落して、昨今はおおよそ軸受重量に変わりはありません。

以上の軸受構成では油浴潤滑が主な方式でしたが、今後の更なる速度向上ではグリース密封式複列円すいころ軸受への開発が進められています。

2. 在来線用軸受の変遷

在来線用車軸軸受の構造の変遷を表2に示します。当初よりグリース潤滑方式による車軸軸受が

表 1 新幹線用車軸軸受の構造

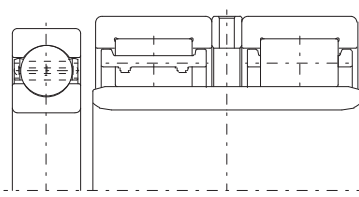
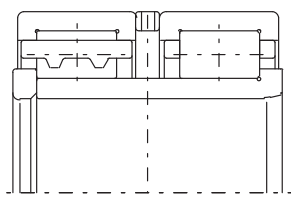
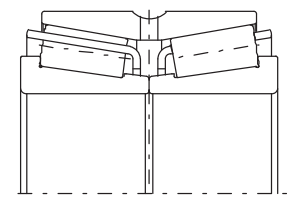
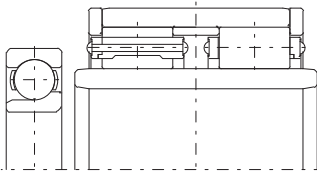
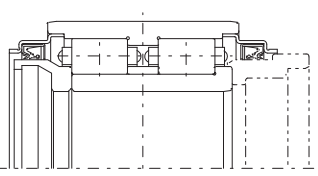
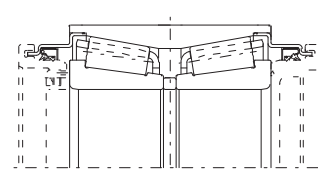
	0系～200系	300系、400系、E1系～E8系、W7系	700系～N700S系
軸受構造	深溝玉軸受+複列円筒ころ軸受 	つば式複列円筒ころ軸受 	複列円すいころ軸受 

表 2 在来線用車軸軸受の構造

	1950年代～	1970年代～	1990年代～
軸受構造	深溝玉軸受+複列円筒ころ軸受 	グリース密封式複列円筒ころ軸受 	グリース密封式複列円すいころ軸受 

多く、在来線初期の複列円筒ころ軸受と深溝玉軸受の構成で軸受が組み込まれ、軸箱内にグリースを封入して使用されています。その後、速度向上、取扱い性向上の観点からグリース密封式円筒ころ軸受が採用されてきています。この軸受は検査修繕においては車軸に内輪が組み付いた状態で外輪 ASSY が内輪から分離することが可能になっていて密封軸受にも拘わらず軸受内部点検が比較的容易になります。更に高速性と負荷容量アップに対応するためグリース密封式円すいころ軸受が採用されてきています。この軸受は組み立て後、外内輪が分離できない構造となりますので軸受点検の際には、必ず車軸から軸受を引き抜く必要があります。その上で、軸受本体の分解が行われ、異常のないことが確認されて、軸受再組み立てが行われ、繰り返しの使用が行われています。グリース密封式円すいころ軸受は最高速度160km/hの実績があります。グリース密封式円筒ころ軸受、グリース密封式円すいころ軸受のいずれを択ぶかは車両性能及びメンテナンス体制により決められています。

◇ 検査周期延伸アイテムについて

検査周期延伸の着目点として、車軸軸受に使用される潤滑剤を長期に亘り良好に保つことが使い始めからの通常状態を長く維持できることとなります。ここでは、主に潤滑剤（グリース、油）の劣化を抑制する因子について紹介します。一例を図1に示します。

1. フレッチング摩耗対策構造

走行中に軸重（車軸が負担する荷重）が車軸軸受を介して加わると車軸にたわみが生じ、このたわみの影響により、車輪側の内輪端面と後蓋との

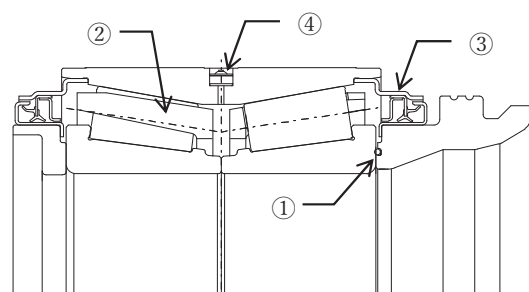


図 1 車軸軸受例
【検査周期延伸アイテム】

- ① フレッチング摩耗対策構造
- ② 樹脂保持器
- ③ 軽接触オイルシール
- ④ ベント

接触面に赤錆を伴うフレッチング摩耗粉が発生することがあります。この摩耗粉が潤滑剤に混入すると、潤滑剤の劣化を促進することになります。この摩耗粉の混入を防止するため、内輪と後蓋接触面をフレッチング摩耗抑制構造（端面同士内径側に接触）とし、更にフレッチング摩耗流出対策構造（Oリング等弾性部品）を設けることにより軸受内部グリースへの摩耗粉の侵入を抑えることができます。このことにより良好な潤滑状態の維持が可能となり、その結果、検査周期延伸につながります。本構造は在来線、新幹線のグリース密封方式、油浴方式に採用されており、潤滑材の状態維持のみでなく、オイルシールリップおよび摺動面も摩耗粉の影響を受けることが少なくなるため、その状態が良化することでも効果があります。また、油浴軸受におけるフレッチング摩耗対策構造においては摩耗粉の発生がなくなることにより油中の状態が良化し、油面計の汚れ、軸箱内の汚れ改善にも効果があることが確認され、メンテナンス性の向上する効果も認められています。

2. 樹脂保持器

軸受構成部品でころを等間隔に分割・保持する機能を持つ保持器は、複列円筒ころ軸受では黄銅製もみ抜き保持器が多くの実績があります。ころとの耐摩耗性と強度面では優位な構造です。一方、複列円すいころ軸受では量産性に優れ、最適設計で強度のある鋼製プレス保持器が使用されています。これらは保持器ポケット内でころが転がることにより、その接触面が金属同士のすべり接触となり、摩耗粉の発生源となりえます。これらを樹脂製保持器とすればころとの金属接触がなくなり接触状態が良化することになり摩耗粉発生の低減が可能となります。その結果、潤滑材の摩耗粉による劣化が抑制でき、検査周期延伸につながります。また、ころと樹脂保持器の接触摩擦は小さいので軸受自身の温度上昇も抑制でき、グリースの温度上昇による劣化にも効果があるので、軸受の高速性能も向上させることができます。

3. 軽接触オイルシール

軸受内部の潤滑材を外部に流出させず、内部に保持し、外部からの雨水、塵埃を軸受内部に浸入させないために、軸受両端部又は片端部にオイルシールを配して、密封構造を形成しています。オイルシールのシールリップは、使用回転速度や保守性によって、ニトリルゴム、アクリルゴム、フッ素ゴムが選択され、新幹線用には耐熱性、耐摩耗性に優れたフッ素ゴムが使用されてきました。

在来線においては特急電車等の高速化に対しシール摺動部周速が上昇することによる発熱を想定し、リップ材質にアクリルゴムが採用されましたが、その後オイルシールの低発熱設計が進み、発熱低減が可能となったので、再びニトリルゴムが採用されています。ニトリルゴムはシール摺動部との摺動特性においても良好であり、リップ部の摩耗、シール摺動部の摩耗も低減され、シールウェアリングの交換周期の延長が可能となります。

新幹線においては主に軸箱側でシールが装着されていますが、これも低発熱技術によって現在では320km/hの高速運転においても油漏れも無く十分な実績があります。更なる高速化320km/h以上を想定した次世代新幹線の開発においてはグリース密封式円すいころ軸受に構成するオイルシール

として軽接触設計のオイルシールが採用されています。メインリップは軽接触によるリップ構造に加え、外部からの塵埃侵入防止のため、特殊なサイドリップによるラビリンス構造を備えることにより高速運転用のシール構造を成立させています。本シールによりシール摺動による温度が低減され、軸受の低昇温化が図れ、グリース劣化を抑制する方策をとることができたので、検査周期延伸につながっています。

4. ベント

通常運転や高速運転に限らず車両運転により軸受は回転により発熱し、車両停車時には常温へ低下を繰り返します。各駅に停車する必然性から頻繁に繰り返されるサイクルです。軸受内部空間の内圧管理は重要となってきます。車両運転時、軸受としては回転温度上昇により軸受内部空間の気体体積の膨張からシールリップに内圧が加わることにより、シール摺動部の温度が上昇、車軸軸受自身の温度も上昇してしまいます。

また、運転状態と停車を繰り返すことは、軸受としては回転と停止を繰り返すことでもあり、軸受温度の高い状態から温度低下することにより、軸受内部空間の気体体積も収縮、場合によっては負圧状態に陥ることがあります。もし、オイルシール及びシール摺動部の密封性不良があると、このような状態のときに外部の雨水を吸い込み、潤滑材に混入してしまい潤滑性能が悪化することがあります。また、軸受内部（ころ、あるいはころ転がり面）に雨水が付着すると錆の原因となり軸受早期故障の原因となる可能性があります。このような事態を回避するため、軸受構成部品にベントを組み込めば、内圧が適正に解放され、内圧上昇による軸受昇温を抑制、雨水侵入の防止することができます。このようなことによりグリース劣化を抑制し、検査周期延伸につなげることができます。ベントは長期間使用することができますが、ベント部材の劣化によるベント機能低下、グリース目詰まりによるベント機能低下の可能性があるので定期的交換を行うことにより軸受の良好な使用状態を維持することができます。

◇ 特殊鋼への期待

鉄道車両用車軸軸受は、検査周期延伸施策によ

り実質の使用期間が延長してきています。元々、グリースや、シールなどの交換制限である程度の周期体制であったものが施策効果や技術の進展による性能向上に伴い、長期使用が可能となってきました。また、車両の高速化に伴い検査周期を走行距離での換算が行われると比較的早いタイミングで検査周期が訪れることとなりますので検査周期の更なる延伸検討も段階的に進んでいくものと考えます。軸受構成部品（外輪、内輪、ころ、保持器）の材料も今後、長期間の使用状態に耐える必要があり、台車検査、全般検査周期を経た総走行距離として今後未知の領域に達する可能性があります。更なる長期間を想定した長寿命材料の開発が期待されます。

また、高速性能を持った車両の登場により、回転数も高く、内輪、ころの回転速度も高くなってきています。部品同士の転がり、又は摺動も非常に高いレベルとなってきていますので、潤滑材の使用状態は検査周期延伸施策により向上されているものの耐摩耗性に優れた材料の開発が期待されます。

むすび

鉄道車両用軸受は、新幹線車両、在来線車両共に事業者様の日々の確実な検査修繕作業にて、今日の安全、安定輸送が実現されています。その情報をフィードバックいただき軸受メーカーとしては車軸軸受においても改善が進み軸受自身の性能が全うできるよう対策が進みます。こういった製品の使用状況を確認していきながら、車軸軸受の改善、改良につながるものと考えます。その中で更なる高機能化車軸軸受の要望への対応、又は長期間使用を想定した車軸軸受、一方では取扱い性にも踏み込み、『次世代車軸軸受』を常に考えながら、今後の開発を進めていきたいと考えます。

参考文献

- 1) 浅井：鉄道車両用軸受、特殊鋼・2017年軸受特集
- 2) 吉田：鉄道車両車軸軸箱用オイルシールの技術動向、トライボロジスト第62巻第4号（2017）
- 3) 永友：鉄道車両用軸受とその技術動向、トライボロジスト第63巻第2号（2018）

4. 直動システム ～軽量ボールねじ～

THK(株) 産業機器統括本部 技術本部 鈴木 秀忠
基礎技術研究所 材料研究課 主任

まえがき

直動システムは内部に組み込まれた転動体による転がり運動を用いて、重量物を軽く、まっすぐに案内するリニアガイド（以下、LMガイド）と、モータの回転運動を進行方向の推力に変換して高精度な位置決めを実現するボールねじから構成される。当社がLMガイドを世界で初めて製品化してから約50年、欧州でボールねじが開発されてから約100年が経過しており、その間に許容荷重の向上やさらなる高精度化、高剛性化に向けて新製品の開発や改良が進められてきた。また、直動システムは従来すべりであった案内機構を転動体によって転がり化することで消費電力を1/10以下にできるため、温室効果ガスの削減に貢献している。近年、直動システムが使用されている産業機械では高速化や省エネルギー化の要求がさらに高まっていることから、装置の各軸を構成するLMガイドやボールねじに軽量化が求められている。今回、ボールねじにおいて従来の技術では困難であった45%の軽量化を達成することができたので、本稿で紹介する。

◇ ボールねじについて

図1にボールねじの基本構造を示す。ボールね

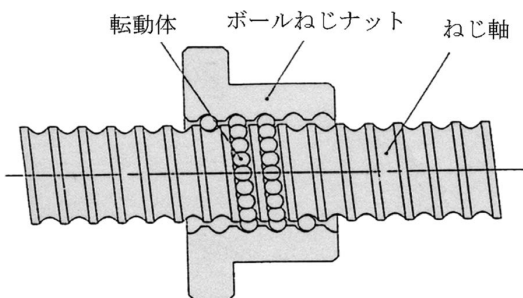
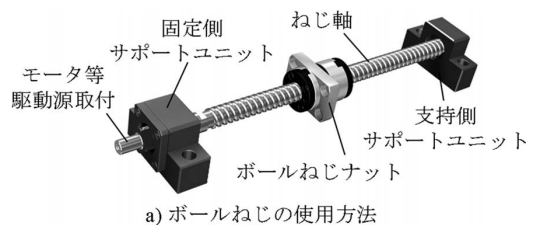


図 1 ボールねじの基本構造

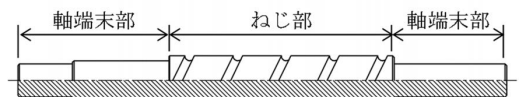
じは主にねじ軸とボールねじナット（以下、ナット）および転動体（以下、ボール）から構成されており、ねじ軸とナットの間にボールを介して駆動する。従来のすべり接触からボールによる転がり接触となることで摩擦抵抗を大幅に低減することができるため、駆動トルクの損失が1/3となり効率的に回転運動を直線運動に変換して高い推力が得られる。さらに、微動送りが可能でバックラッシュがなくなることから正確な位置決めができるだけでなく、摩擦による発熱が小さいため高速送りができるなどボールねじは様々なメリットをもった機械要素部品である。

◇ ボールねじの使用法および軽量化手法について

図2a)にボールねじの一般的な使用方法を示す。ボールねじはモータ等の駆動源による回転運動を直線運動に変換する必要があるため、内部に回転ベアリングが組込まれたサポートユニットでねじ軸の両端を支持して使用する。駆動源やサポートユニットを取付けるためにねじ軸の両側軸端末部は図2b)のような段付形状となっている。以上を踏まえて、ボールねじの軽量化手法を示す。



a) ボールねじの使用方法



b) ボールねじ軸端末部の形状

図 2 ボールねじの使用法

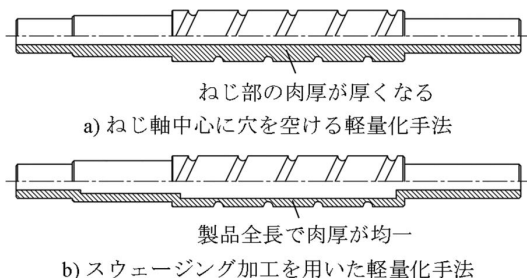


図 3 ボールねじの軽量化手法

図3a) にボールねじのような円筒軸製品の軸中心部にドリルで穴を空ける軽量化手法の模式図を示す。軸中心部に空ける穴径が大きいほど軽量化をできるが、ねじ軸の両側軸端末部は段付形状で軸径が細くなっていることから加工可能な穴径には制約がある。そのため、段付加工を施さないねじ部の内部は部分的に肉厚が厚くなってしまい大幅な軽量化ができない。加えて、後加工で穴を空けるためコストアップについても懸念される。これらの懸念事項を解決するため新たな軽量化手法を考案した¹⁾。図3b) に今回考案したスウェーピング加工を用いた軽量化手法の模式図を示す。本手法ではねじ軸の素材として薄肉鋼管を用いて、両側軸端末部の段付形状をスウェーピング加工で成形することにより製品全長における肉厚が均一となるようにした。このことより、段付加工を施さないねじ部の内部においても肉厚が薄くなる構造にできることから大幅な軽量化を実現したボールねじの製作が可能となる。ここで、スウェーピング加工とは分割された金型が回転しながら外径を叩いて絞っていく冷間鍛造加工であり、軸全周を回転しながら均等に成形していくことで加工後の偏肉が少なく、加工量の数値制御と金型形状の選定により様々な形状と加工精度が得られる加工方法である。

◇ スウェーピング加工を用いた軽量ボールねじ軸の特長

表1 に従来の中実ボールねじ軸（以下、従来品）、ねじ軸中心に穴あけ加工をおこなって軽量化したボールねじ軸（以下、穴あけ加工品）、今回考案したスウェーピング加工を用いた軽量ボールねじ軸（以下、スウェーピング加工品）の質量および許容

表 1 質量および許容回転数計算結果

項目	従来品	穴あけ加工品	スウェーピング加工品
質量	1.27kg	1.12kg (従来品×88%)	0.68kg (従来品×54%)
許容回転数	3,989min ⁻¹	4,222min ⁻¹ (従来品×105%)	5,010min ⁻¹ (従来品×125%)

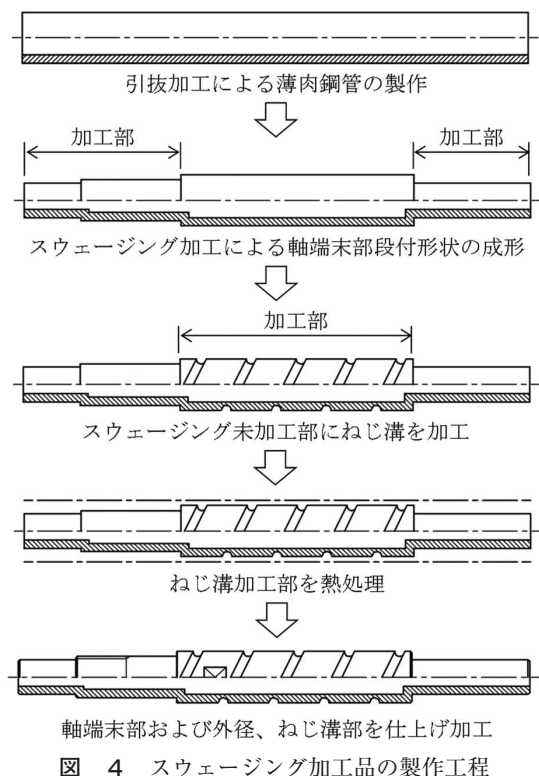
回転数の計算結果を示す。ここで、外径および全長は比較的市場に流通しているサイズを想定してそれぞれ外径φ15mm、全長1,000mmとした。また、穴あけ加工品は段付加工部先端における最細径部の肉厚が2.7mm、スウェーピング加工品は製品全長における肉厚が2.7mmとなる条件で計算した。まず、製品の質量に着目すると、従来品と比較して穴あけ加工品が88%、スウェーピング加工品が54%となることから、今回考案したスウェーピング加工品は大幅に軽くなることがわかる。次に、ねじ軸の曲がりや自重によるたわみによって共振が発生する回転数を意味する許容回転数に着目すると、従来品と比較して穴あけ加工品が105%、スウェーピング加工品が125%となることから、スウェーピング加工品は高速回転させられることがわかる。これらの計算結果から、今回考案したスウェーピング加工品は大幅な軽量化と高速化を実現できる。

◇ スウェーピング加工品の製作工程

図4 にスウェーピング加工品の製作工程を示す。まず、ねじ軸の素材として中炭素鋼の鋼管を所定の外径および肉厚となるように引抜加工することで薄肉鋼管を製作する。次に、薄肉鋼管の両端末にスウェーピング加工を施してねじ軸端末部の段付形状を成形する。その後、スウェーピング加工を施していない外径部分にボールが転がるための軌道面であるねじ溝を加工し、さらに熱処理をすることで軌道面の硬さおよび耐摩耗性を向上させる。最後に両側軸端末部やねじ溝部の外径および軌道面の仕上げ加工を実施することで、表面性状を向上させて製品の精度を確保している。

◇ スウェーピング加工品の製作

図5 に製作したスウェーピング加工品と従来品の外観および円筒部、ねじ部における表面粗さの



a) 製品外観

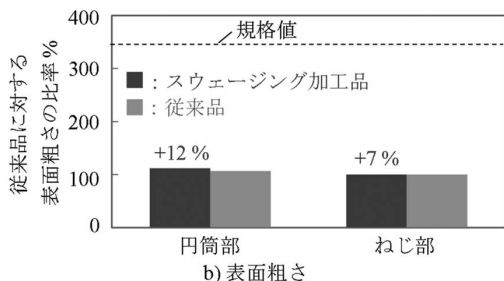


図 5 外観および表面粗さ

比較結果を示す。まず、図5a)の外観に着目すると、スウェーjing加工品と従来品において大きな差異は見られない。次に、図5b)の円筒部、

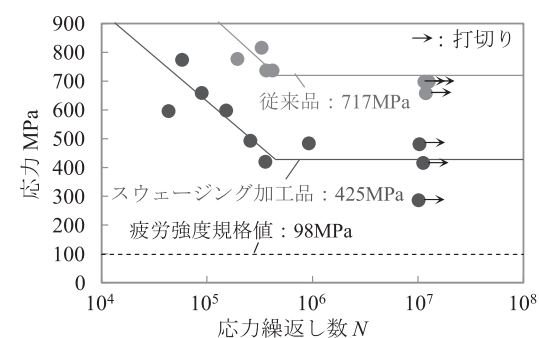
ねじ部における表面粗さに着目すると、スウェーjing加工品は従来品より若干粗くなっているが、製品に求められる規格値は十分に満足している。また、実測した製品質量はスウェーjing加工品が0.70kg、従来品が1.27kgであり、スウェーjing加工品は従来品の55%であったことから想定したとおり従来品よりも大幅な軽量化が実現できる。

◇ スウェーjing加工品の性能

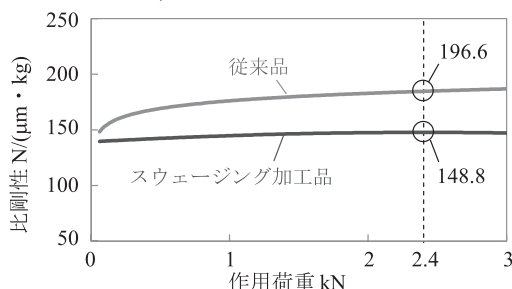
ボールねじは回転運動を直線運動に変換するための機械要素部品であり、モータから入力される回転トルクによる曲げやねじりに対してねじ軸の軸端末部で破損しない強度が求められる。そして、装置の高精度な直線運動を確保するために高い剛性と位置決め精度も求められる。今回製作したスウェーjing加工品は薄肉鋼管を段付形状に成形していることから軸端末部における疲労強度や剛性、位置決め精度の低下については確認する必要がある。

そこで、まずは回転曲げ疲労試験機を用いてねじ軸端末部の形状で疲労強度を評価した。図6a)に回転曲げ疲労試験による疲労強度評価結果を示す。疲労強度はスウェーjing加工品が425MPa、従来品が717MPaとなりスウェーjing加工品の疲労強度は従来品の約60%に低下する。ただし、今回製作したボールねじ軸に求められる疲労強度の規格値は98MPaであることから、スウェーjing加工品の疲労強度425MPaは十分に規格値を満足している。

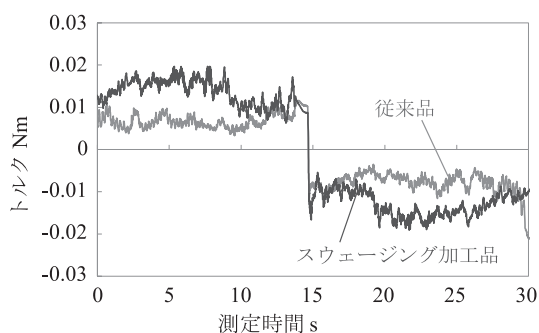
続いて、ボールねじの基本性能となる軸方向剛性、トルク、振動特性についてスウェーjing加工品と従来品で比較評価した。軸方向剛性はナットに作用させた軸方向荷重を変位量と製品質量で除して算出する比剛性により評価する。ここで、比剛性の低下は軸方向剛性の低下を意味しているため、位置決め精度への影響に関与する指標となる。今回の試験における作用荷重は製作したボールねじの基本動定格荷重の0.3倍となる2.4kNとした。図6b)に軸方向剛性の結果を示す。比剛性はスウェーjing加工品が148.8N/($\mu\text{m} \cdot \text{kg}$)、従来品が196.6N/($\mu\text{m} \cdot \text{kg}$)であり、スウェーjing加工品の比剛性は従来品の76%に低下する。ここで、スウェーjing加工品の断面二次モーメン



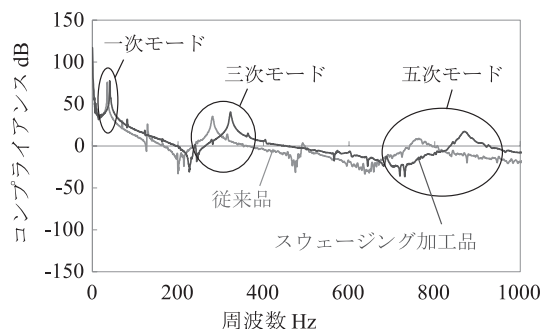
a) 回転曲げ疲労試験結果



b) 軸方向剛性測定結果



c) トルク測定結果



d) 振動特性測定結果

図 6 ボールねじ性能評価結果

トに着目すると、従来品の76%となり比剛性の減少率と一致している。このことから、スウェーjing加工品における軸方向剛性の低下は中空構造

による軽量化に起因するものと考えられる。トルク測定はねじ軸を所定の回転速度で稼働させた際のナットの抵抗値により評価する。ここで、トルク測定値の増加は回転運動を直線運動に変換する際に速度ムラが生じることを意味しているため、変換効率の低下や位置決め精度への影響に関与する指標となる。今回のトルク測定はねじ軸の回転速度を 100min^{-1} でストローク700mmを5往復させた際のトルク測定値を取得し、その平均値で評価する。図6c)にトルク測定の結果を示す。スウェーjing加工品のトルク測定値は最大0.02Nmで従来品より若干大きくなっている。これは図5b)で示している表面粗さによる影響であると考えられる。ただし、今回製作したボールねじ軸に求められるトルク測定の規格値は $\pm 0.41\text{Nm}$ であることから、スウェーjing加工品のトルク測定結果は規格値を十分に満足している。また、トルク測定値をトルク測定規格値で除して算出するトルク変動率はスウェーjing加工品で $\pm 5\%$ となる。これは、トルク変動率の規格値における最も良い精度等級である $\pm 15\%$ を十分に満足している。これらのことから、スウェーjing加工品のトルクは従来品と比較しても差異はなく良好な結果である。振動特性はボールねじ軸中央部をインパルスハンマで加振して取得できる周波数応答をもとに評価する。ここで、周波数応答解析から得られる縦軸のコンプライアンスの増加は動剛性の低下を意味する。また、横軸の周波数のピークが高周波側にシフトするほど共振周波数が高くなり、許容回転数を大きくできることを意味する。図6d)に振動特性の測定結果を示す。コンプライアンスに着目すると、スウェーjing加工品と従来品のコンプライアンスに大きな差異が見られないため動剛性は同程度であると考えられる。周波数のピークに着目すると、スウェーjing加工品、従来品ともに一次、三次、五次モードのピークが確認できる。スウェーjing加工品における周波数のピークは従来品と比べると、一次モードでは117%、三次モードでは115%、五次モードでは114%高周波側にシフトしている。これらのことから、スウェーjing加工品は従来品より許容回転数を約115%向上させることができる。

むすび

近年、直動システムが使用される産業機械では高速化やカーボンニュートラル達成に向けた省エネルギー化のため軽量化が求められている。そこで、薄肉銅管を用いてねじ軸の両側軸端末部段付形状をスウェーピング加工で成形し、ねじ部内部に大空間を有する構造とする軽量化手法を考案した。この手法を用いることで従来品と比べて質量が45%軽量化し、15%高速化が可能な軽量ボールねじを開発した。当社ではボールねじだけでなく

LMガイドやボールスプラインといった機械要素部品においてもさらなる軽量化製品の開発やラインナップを充実させることで、今後も増えていくと予想される軽量化のニーズに応えていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈴木秀忠、吉田一也、高橋徹、新部純三、スウェーピング加工による軽量精密ボールねじ軸の開発、日本機械学会論文集、Vol. 90、No. 932 (2024)、pp. 23-00275、<https://doi.org/10.1299/transjsme.23-00275>



Ⅲ．最近の軸受製造技術における カーボンニュートラルへの対応

1．塑性加工

(株)ジェイテクト 産機・軸受生産技術部 松本伸治
開発・素形材生技室 素形材グループ

まえがき

地球温暖化を防止し、気候変動による様々な影響を軽減する為、CO₂排出量を削減し、カーボンニュートラル達成に向け、軸受のあらゆる製造工程で発生するCO₂排出量を削減する事が求められている。軸受部品の素形材の多くは塑性加工により製造されており、それぞれの加工方法に伴い、CO₂を排出している状況である。今回、CO₂排出量削減について、軸受製造工程の材料、加工、設備で検討している内容を紹介する。

◇ 軸受製造工程でのCO₂排出

軸受部品の素形材の製造工程は、鋼材を材料として、冷間、温間、熱間鍛造により、内外輪レースや転動体を製造、板材を材料として、プレス加工により保持器を製造している。それぞれの製造工程で直接的、間接的にCO₂を排出しており、それを削減する為には、生産技術部門として、加工方式の見直しや設備の高効率化により対策する事が必要である。またこういった機会に、従来の加工方法をブレイクスルーし、新たな技術開発につながることも期待できる。

1．冷間鍛造

内外輪の材質が低炭素鋼の場合、冷間鍛造で加工することができる。冷間鍛造のメリットの一つとして、ニアネットシェイプにより取り代を削減できるので、後工程の機械加工を省略し、CO₂排出量を削減することが可能である。但し、冷間鍛造ライン自体では大きな電力を使用する事はないが、加工する材料の潤滑皮膜処理や焼鈍処理において、

それにかかる電力が大きくなり、トータルとして、CO₂削減に至らない場合も出てくる。その対策として、潤滑皮膜処理時間短縮や焼鈍省略できるような工法を開発し、CO₂削減となる工程系列を検討する事が必要と考える。また、冷間鍛造をする為の鋼材は、高品質な材料が求められ、材料単価として高価になるので、材料、鍛造、機械加工でのトータルコストを見極めて工法を選定する事が重要である。

他の事例として、熱間鍛造にてリングブランクを製造後、それを冷間鍛造で成形寸法に仕上げる加工方式もあり、熱間鍛造後のワークの加工熱を利用して制御冷却を行う事で、焼鈍省略して冷間鍛造で仕上げる事ができる。

2．熱間鍛造

軸受の内外輪の材質の多くは軸受鋼で高炭素鋼の為、冷間鍛造による塑性加工が困難であり、ほとんどが鋼材を加熱して加工する熱間鍛造により製造されており、CO₂排出量が多い工法になっている。特に鋼材を加熱する高周波加熱装置の電力量は鍛造プレスや切断機等の設備に比べ、突出して多く、CO₂排出量削減には、これの電力量削減に取り組む必要がある。

熱間鍛造工程に使用される一般的なライン構成は図1のような構成で使用されており、鋼材を切断機等で切断し、それを高周波加熱装置でおおよそ1150℃に加熱し、それを熱間鍛造プレスに送り、内外輪セットの寸法で成形加工し、それぞれの素形材を製造している。

切断材を加熱することで、電力量だけでなく、素形材の取り代やスケール量も多くなり、歩留ま

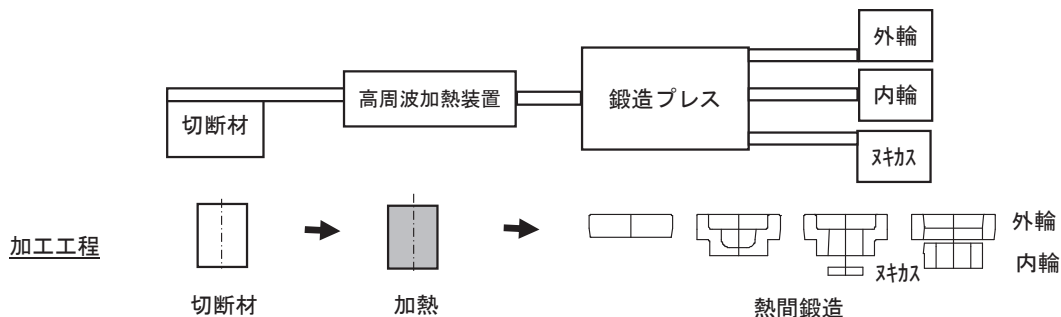


図 1 熱間鍛造ライン構成

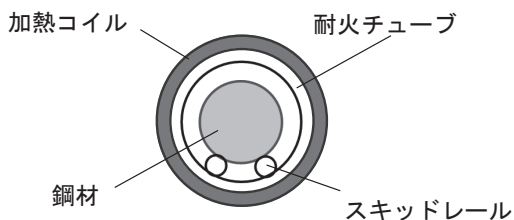


図 2 加熱コイル断面

りを悪化させる事になり、CO₂ 排出量が多くなる。

高周波加熱装置のCO₂ 削減対策として、すぐに効果が上げられる方法として、加熱コイルの内径適正化とコイル内の耐火チューブの材質を断熱性が高いものに変更する事で加熱効率を上げ、電力量削減できる事が確認されている。予備部品の種類削減による保全面のメリットから加熱コイル(図2)の内径は共通として、1種類の加熱コイルで、何種類かの材料径の切断材を加熱することが可能だが、高周波加熱において、加熱コイル内径と材料径との距離が大きくなるほど加熱効率が悪くなり、電力量が多くなる。これを材料径に合わせたコイル内径にすることで、加熱効率が良くなり電力量を削減できる。

また、初期加熱時の設定温度までのバイパス数や鍛造プレスチョコ停時の高周波加熱装置からのバイパス数を削減することで、不要な加熱を無くし、CO₂ 削減ができる。

軸受鋼の場合、熱間鍛造後の素形材表面はスケールに覆われ、硬さも硬いので機械加工をする為には、ショットや、焼鈍が必要であり、CO₂ 排出量が増加する事になるが、材質が低炭素鋼の場合は、熱鍛後の加工熱を利用し制御冷却することで、機械加工に支障のない程度まで硬さが下がり、

焼鈍を省略する事が可能となり、CO₂ 排出量を削減できる。

3. 温間鍛造

熱間鍛造よりも鋼材の加熱温度が低い塑性加工方法で、内外輪の材質が中、低炭素鋼の場合に使用している。ライン構成はほぼ熱間鍛造ラインの構成と同じであるが、切断機と直結する場合もある。

これのCO₂ 削減方法としては前述した熱間鍛造と同様に鋼材を加熱する高周波加熱装置の改善を折り込む事は可能だが、元々加熱温度が低く高周波加熱で発生するスケールもほぼ無いので熱間鍛造よりも削減効果は小さい。そこで、現状熱間鍛造で加工している軸受鋼の素形材を温間鍛造する事ができれば、CO₂ 削減効果が期待できる。但し、冷間鍛造の課題と同様、鋼材硬さによる冷間切断加工難や鍛造後の加工硬化による硬さ上昇により、機械加工に支障があるなどの課題がある為、焼鈍した鋼材や素形材にする必要があり、CO₂ 排出量やコストの上昇になる。これらについては、今後の取組みとしてより幅広い対象で工法開発を行い、実現する事を期待したい。

4. リングローリング

軸受の内外輪はリング形状をしている為、中実の鋼材から鍛造時にリング内径寸法で穴あけをしてリング形状を作り、ヌキカスが発生し、歩留まりを悪化させているが、このヌキカス重量を削減する為に、リングローリング加工を使用している。リングローリング前のリングの鍛造では、完成品よりも小さい径で穴あけを行う事でヌキカス重量を削減でき、その後、ローリング加工を行い、内外径を完成品寸法まで拡張することで仕上げる工法。また、ローリング時に鍛造加工では形成する

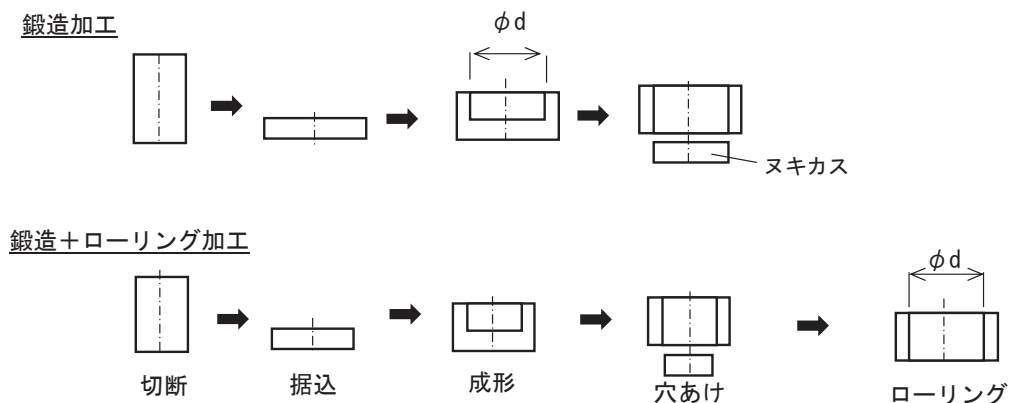


図 3 ローリング加工

事ができない軌道形状なども成形することができるので、さらに歩留まり向上が可能である（図3）。

現状、大径品は熱間ローリング、小～中径品は冷間ローリングで加工しているが、削減するヌキカス重量の効果に対し、ローリング加工コストが低くなければ、効果が出ないので、工程設計時によく検討する必要がある。

このCO₂削減対策としては、熱間ローリングの場合は切断材を高周波加熱装置で1150℃まで加熱し、熱間鍛造でローリング用のブランクを作成し、それを直結している熱間ローリング機に送り、素形材寸法に仕上げる工程なので、前述の高周波加熱の改善は取り入れることができる。軸受鋼の場合は、ローリング後の機械加工に支障ない程度の硬さまで下げる為、焼鈍を行う。

冷間ローリングでは、熱間鍛造で製造したブランクを焼鈍、ショットして使用する為、熱間ローリングに比べ拡張率は小さくなるので、歩留まり向上や後工程での効果を含めたトータルコストで採用可否を判断する必要がある。

5. ヘッダー加工

軸受部品の転動体（ボール、ローラー）の素形材の多くはコイル材からヘッダー（冷間フォーマー）による冷間鍛造で製造されている。加工工程は焼鈍、酸洗、潤滑皮膜処理されたコイル材をヘッダー

で切断し、ボールでは据え込み、テーパローラーでは絞り加工により成形されている。

転動体は大量生産が必要なので、ヘッダーの加工速度は非常に高速な設備になっている。CO₂削減の取組みとして、生産速度や歩留まり、可動率の向上の改善があり、ヘッダー加工での型割面に発生するバリ削減やコイル材の端末廃却数を削減する機構を取り入れる等も考えられる。ヘッダー加工後、熱処理、研磨となるが、上記対策により後工程へのCT短縮、電力量、CO₂削減にもつながり、相乗効果が得られるものと考えられる。

むすび

軸受部品の素形材の現状の塑性加工とカーボンニュートラルの取組みについて紹介したが、過去実績に対して、取り代削減や設備の効率化について進化しているが、過去に無い革新的な塑性加工方式は実現できていない状況と認識する。

昨今のカーボンニュートラルの取組みを機会に、難加工材である軸受鋼に対して、現状の熱間鍛造を温間鍛造や冷間鍛造にすることで、取り代を削減、また鍛造加熱温度を下げる事で電力量を半減、後処理の球状化焼鈍時間削減など、最近幅広く展開され進化しているCAE解析を活用し、より地球に優しい塑性加工方式が実現する事を期待したい。

2. 熱処理

日本精工(株) 技術開発本部 みやもと ゆうじ
コア技術研究開発センター 宮本 祐司

ま え が き

転がり軸受は、輸送用機械、産業用機械の回転部に用いられる機械要素部品である。大きな荷重を支えながら滑らかに、そして高精度で回転することがその使命である。使用中の摩擦や振動によるエネルギーロスを低減させるため、回転運動には欠かせない部品に位置づけられている。

転がり軸受は、主に鋼製の軌道輪と鋼球あるいはコロ、保持器から構成され、その軌道面においては、点あるいは線接触により大きな接触面圧が繰り返し発生しており、転がり疲れ寿命、耐摩耗性、耐圧痕性、寸法安定性が求められる。これらの機能を付与するために適切な材料を用いて、鍛造、旋削、焼入れ焼戻し、研削、そして最後に組立てて完成となる。

これらの軸受製造段階におけるCO₂排出に関しては、熱間鍛造や熱処理工程が占める割合が大きく、2035年頃のカーボンニュートラル（Scope1、2）に向けて、より一層の省エネを加速するとともに、再エネ利用を拡大させていく方針が示されている。

本稿では、上記熱処理工程における高効率化の考え方を整理した上で、具体策の一つとして、熱処理変形の低減に向けた取り組み、課題展望を述べることにする。

軸受の代表的な熱処理方法

標準的な軸受では、高炭素クロム軸受鋼（SUJ）の棒鋼から熱間でリング成形、さらに球状化焼なましを行い、一部のサイズでは冷間で拡張加工した後、旋削したリングが用いられる。820～850℃でリング全体を均一に加熱した後、油焼入れ、焼戻しされる。浸炭品については機械構造用合金鋼（SCr等）を用いて930℃～950℃の温度域でガス浸炭を行い、変態点以下に冷却した後、再度800℃以上にリング全体を均熱した後、二次焼入れ、焼戻しされる。この他、炭素鋼（S53C）を用いたハ

ブ軸受では、外輪およびハブ輪軌道面のみを部分的に硬化させるため、高周波焼入れ、焼戻しが行われる。いずれも硬さを確保するため、200℃以下の焼戻しが一般的に行われている。

熱処理の高効率化を目指した取り組み

前述のように、CO₂の削減に向けて省エネを促進させる必要があり、表1に処理の効率化、低炭素化の考え方を4つに分類して示した。まず一つ目に、時間当たりの処理量を増加させる方法として、浸炭の反応速度の増加、具体的には短時間で拡散可能となる高温化や炭素移行速度が速い真空浸炭などの適用が考えられる。ここでは、結晶粒成長の課題もあり、粗大化防止鋼の活用が考えられる。この他に熱処理変形（寸法や真円度）に関する課題がある。これらが許容値を超えた場合、仕上げ研削量が増加する他、最悪のケースとしては廃却せざるを得なくなり、前工程を含めると大きなエネルギーロスが生じることになる。これらに対する取り組みについては後述することにする。さらに、品質の安定性の確保を前提として、処理量を可能な限り増大させることも有効と考えられる。

二つ目に、現在普及している炉加熱に対して、リングを直接加熱することが可能な高周波加熱を用いれば、加熱効率を高めることができる。また、炉加熱で通常用いられる雰囲気ガスを使用しなく

表 1 軸受の熱処理の高効率化、低炭素化の考え方

効率化方針	具体例
時間処理量増加 (サイクルUP、 不良削減)	・ 反応速度アップ (浸炭高温化、真空浸炭) ・ 熱処理変形低減 ・ 積載量増加
加熱効率向上	・ 高周波加熱
工程省略	・ 焼鈍省略 ・ 浸炭の省略（ズブ焼入れ化） ・ 二次焼入れ省略
新エネルギー	・ 水素、アンモニア燃焼

なるため、変成炉が不要になる点も重要なポイントである。なお、炉加熱では加熱温度を厳密に管理し、均熱時間を確保することで安定した品質を得ているが、高周波加熱では、部品の形状毎に異なる出力条件を管理し、短時間の処理が要求されるため、試行錯誤を含めた条件検討が必要となる。三つ目に、工程省略が可能になれば、大きなエネルギー削減効果が期待される。具体的には、従来必要とされてきた焼なましや浸炭、二次焼入れ工程のいずれかを省略できる可能性があり、その工程で得ていた特性を補う必要はあるため、加工性の向上や組織制御を可能にする高機能な素材の適用が期待される。以上の各アイテムは、コスト削減の観点において、従来から考えられていたものであるが、改めて低炭素化の技術としても注視されるようになってきている。最後に新エネルギーの活用についても触れることにする。水素やアンモニアは燃焼時にCO₂を排出しないクリーンな燃料として、燃焼技術の開発実証が進められている。燃料コスト、安定供給性に関して不透明な部分があるが、条件が整えばCO₂削減に大きく寄与する処理方法になると考えられ、引き続き動向を注視していく必要がある。

軸受リングの熱処理変形低減に関する研究

前節では、軸受熱処理における効率化、低炭素化策を列挙した。本節では、その中の熱処理変形低減に関する要因解明の取り組みを紹介する。変形や変寸は、熱処理する機械部品で一般的な課題であるが、転がり軸受においては、熱処理後に研削加工するため、熱処理後の寸法精度に加え、真円度（直径不同）を可能な限り小さく抑えることが特に要求される。また、内部応力の分布状態によっては、研削加工に起因した形状変化が生じ、完成精度に悪影響を及ぼす場合もある。熱処理変形の発生要因は、多岐にわたっているが、焼入れ時の急冷段階で生じる冷却ムラを起因とする冷却要因に加え、素材、成形加工の工程に起因した素材要因などに分類される。図1は、前者の冷却要因を抽出するための要素実験結果であり、φ90mmの中炭素鋼製のリング単品を型（Ceramic mold）に嵌めて加熱することで、加熱中に生じる変形を抑制し、油槽（Oil bath）内で等配置したノズル

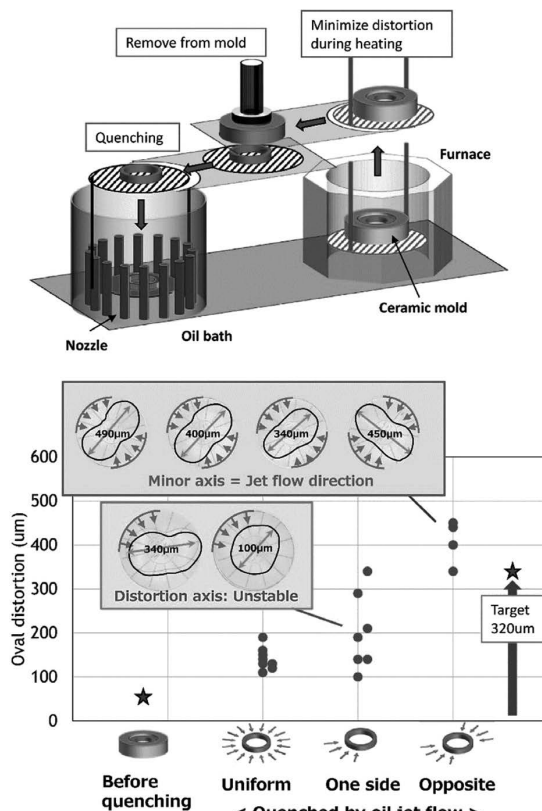


図 1 熱処理変形における楕円の発生メカニズムの研究¹⁾

から任意方向に噴射した油流中で冷却し、リングに生じる楕円変形を再現したものである。冷却の方法と処理後の真円度と形状の関連を示している。まず、焼入れする前のリングの真円度は50μm程度であった。このリングを用いて、均等な油流（Uniform）により外周側から冷却した場合は、100～200μmの変形が生じていた。次に、一方からの冷却（One side）では、真円度は100～350μmとなり、バラツキが大きいことに加え、変形方向と冷却の方向との相関や形状の再現性も低くなっていた。これらに対し、対向する二つの方向（Opposite）から優先的に冷却した場合、真円度は340～450μmと大きくなり、楕円短軸方向と噴射方向が完全に一致し、再現性良く分布する結果となった。以上のような要素実験結果を得ることで、熱処理解析結果を検証することが可能になり、焼入れ中の楕円変形は内外面の冷却速度の差異を起因に発生するという知見を得た。最終的に任意の方向の油流

中でリングの楕円変形の大きさと方向を予測することが可能になっている。

次に、楕円形成に及ぼす素材要因の影響を明らかにする取り組み例を紹介する。図2に示すように、中炭素の棒鋼を用いて、一筋の基準線を付与してから旋削加工し、リングの位相と素材採取位置との関係を固定することで、リングの楕円変形と棒鋼の位相との関係を調査したものである。リングはバッチ炉内のバスケットに平置きし、加熱後に静止した油槽内に浸漬した。焼入れの前後に

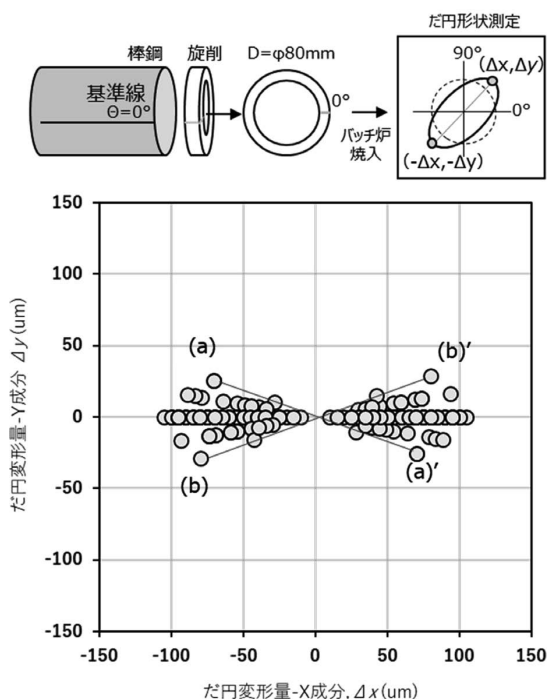


図 2 素材の位相を揃えて焼入れした場合のリングの楕円変形の長軸方向分布

において形状変化を追跡したものであり、図の原点を対称に広がる○点の分布は、個々のリングの楕円長軸の大きさと方向を示している。例えば、線分 (a) - (a)' で示したリングは -20° 方向、線分 (b) - (b)' では、 $+20^\circ$ 方向に楕円が形成されたことを示す。全体として 0° 方向に変形する傾向が認められており、リングの楕円変形は棒鋼の位相と相関があることを示唆する結果となっている。これらは、棒鋼が有する潜在的な変形要因であると考えられ、凝固時の成分偏析に起因したものと推定している。先に述べた冷却要因に基づく変形が抑制された条件下においては、このような素材要因による変形が顕在化してくる可能性がある。以上、冷却要因と素材要因を抽出して可視化する取り組み例を示した。不良削減による熱処理の効率化を目指すための基礎的知見として、変形現象の理解と予測に関する取り組みを続けていく。

むすび

2035年のカーボンニュートラル目標 (Scope1、2) に向けて、個々の熱処理効率化アイテムの積み重ねが重要であることを述べた。個々の課題に対しては、リアル (実験) とデジタル (解析) で現象を深掘りし、現象を自在に制御するための入力要件を明らかにしていくことが求められる。これらの技術によって、製造段階の CO_2 の削減に貢献していきたい。

参考文献

- 1) Hidaka Hideyuki, Yuji Miyamoto, Riichiro Matoba: Materials Science Forum, Trans Tech Publications, Ltd., 941 (2018)、651-656

3. カーボンニュートラルに向けた 軸受研削（研磨）の取り組み事例紹介

N T N (株) 生産技術本部 かしはらしんじ
生産技術開発部 精密加工G 主査 伏原 慎二

まえがき

世界的な気候変動問題の解決に向けた世界共通の長期目標である2050年のカーボンニュートラル実現に向けた取り組みが、様々な分野で推進されている。当社においても、自社の事業活動全体におけるCO₂の自主排出（scope1）、間接排出（scope2）に関するカーボンニュートラルを2035年度までに達成すべく、化石燃料由来のエネルギー源による事業活動について、減らす、創る、置き換えるをキーワードに各種施策を推進している。その中で本稿のテーマである研削（研磨）については、加工工程における各種省エネ施策を推進することで、CO₂排出量の削減に繋げている。当社における研削（研磨）工程におけるカーボンニュートラルに

向けた具体的施策について紹介したい。

◇ 軸受の加工工程（熱処理後）

一般的な軸受の製造工程は、鍛造→旋削→熱処理→研削・超仕上→組立・検査 となっており、この中で研削・超仕上工程は最終的な製品精度、機能を決定づける重要な工程となる。

軸受内外輪の研削・超仕上工程を図1に示す。生産能力の違いから、前工程研削と後工程研削に大別される。

前工程研削は、軸受内外輪の幅面や外輪外径などの単純形状を加工対象としており、回転する砥石と砥石の間にワークを通して加工するスルーフィード研削方式で高い生産能力と安定した加工精度を両立させている。

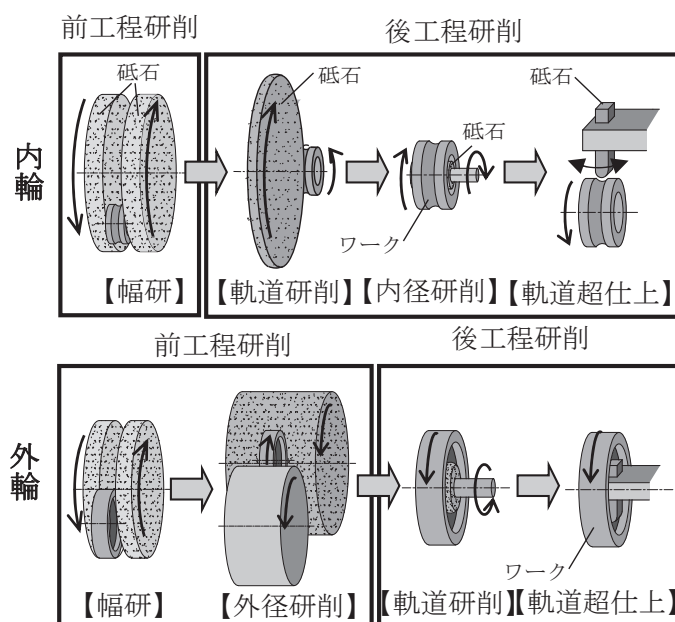


図 1 玉軸受の代表的な研削工程の例

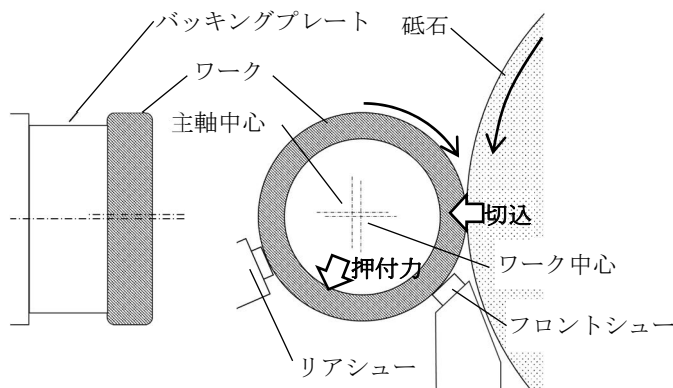


図 2 シュー支持研削（内輪軌道研削工程の例）

後工程研削は、主に内外輪の軌道面や内輪内径の研削加工と最終の超仕上加工を指し、搬送装置により接続された各加工工程の設備でワークを1個ずつ加工する。後工程研削加工における製品支持には、前工程研削で加工した外径面をシュー、幅面をバックリングプレートと呼ばれる治具で支持し、磁力により吸着した状態でワークを回転駆動しながら砥石で加工する。超仕上加工における製品支持には、磁力によるスラッジの吸着による精度悪化を避けるため、幅面を機械的にバックリングプレートに押し付けて支持している。超仕上加工では、回転するワークに粒度の小さい固定砥石を押し付けながら揺動や微小振動を与える加工方法で、真円度精度や面粗度向上を行う。

後工程研削の研削、超仕上工程におけるワークの支持方法には、脱着の簡便さや幾何学的な成円作用により高い真円度、同軸度が得られるシュー支持方式を主に採用している（図2）。

◇ 研削（研磨）の省エネルギー

研削加工は高品位な表面性状が得られる一方、切れ刃である砥粒がワークに対し、負のすくい角で作用することから、発熱が大きく冷却のための多量の研削クーラントを必要とし、それに伴いミスト集塵機を設置している。また砥石スピンドルの軸受やスライド部の潤滑にエアオイル潤滑を使用しており、研削クーラントと研削スラッジから可動部を保護するためのエアパージなど多くの圧縮エアを消費するため、純粋な研削加工で使われるエネルギーよりも設備を稼働するために必要な

消費エネルギーが多い（後工程研削で約80～90%）。研削（研磨）の省エネ化には、高能率化やエアカット時間（切込み動作開始から砥石がワークに接触するまでの時間）の見直しにより加工時間を短縮することと設備の稼働に関わるエネルギーを減らすことが有効となる。

加工の高能率化アイテムとして、CBN砥石の適用が挙げられる。特に特殊熱処理などによって高機能化した材料は、軸受として取り扱う場合は高負荷容量化、経年寸法変化の抑制などがメリットとなるが、研削工程においては難削材と位置付けられることが多く、従来砥石では加工能率の低下、加工時間の悪化を招く。このような場合は、CBN砥粒の高硬度特性を活かした対策が有効となり、従来品と同程度の加工時間、エネルギーコストで加工が可能となる。

エアカット時間短縮は加工そのものに影響しないため、品質面でのリスクが小さいメリットがあるが、砥石とワークの過度な衝突を避けるために砥石接近時の接触検知を高精度に行う必要がある。従来はワークに砥石が接触した際の砥石モータの動力変化を監視し、閾値を超えた時点で切込み速度を低速に切り替え、加工を行っていたが、近年ではAE（Acoustic Emission）センサを活用し感度よく接触検知することで、加工開始時の砥石移動速度を高速化しエアカット時間を短縮する改善が進んでいる。

設備については、当社の軸受生産工程で使用する内製研削盤の省エネ化を推進してきた。Robot Application（ロボット適用）、Information Control

System（製品情報管理システム）、Single Minute Changeover（シングル段取）、Energy Saving（省エネ）の頭文字を取ったR・I・S・E-Designをコンセプトに設備開発を推進してきた経緯があり、次世代設備として高機能化を図るとともに、油圧レス、スライド部のエアパージレス、モータ容量の最適化など省エネに配慮した設備を開発し、生産現場で活用してきた。省エネの効果として、従来型の設備に対し、およそ30%の電力削減に繋がっている。そのほか、生産現場で稼働中の設備に対する省エネ改善として、高効率な油圧モータへの交換とモータサイズ見直し、機内エアブローの運転条件見直しやパルスエアブロー化などを進めている。そのほかクーラントミスト集塵機についても、設置個所を最適化し集塵効果を高めることでダウンサイジングを行うなど地道な改善を進めている。

◇ 焼入鋼切削への置き換え

研削加工の省エネを推進する一方で、加工方法自体を研削から焼入鋼切削に置き換える場合もある。前述のように、研削加工はワークの発熱が大きく冷却のための多量の研削クーラントやミスト集塵機が必要となるが、焼入鋼切削では発生する熱の多くが切粉とともに排出され、クーラントレス化できることが多い。また、排出される切粉は不純物を含まず、鉄鋼資源として活用できるメリットもある。さらに、研削加工と比較して切り込み量が大いことや、複雑形状を加工することも焼入鋼切削の特徴であり、これにより、加工時間の短縮や複合加工化が可能となり、設備台数の削減に繋がる。当社では主力商品の一つである等速ジョイントの仕上工程への適用が進んでおり、近年では設備自体の省エネ化も進んだことで、従来の研削加工に比べて約80%の電力削減効果を実現している（図3）。

一方、軸受軌道面への適用には、製品機能への影響やコストメリットを十分に検証したうえで進めていく必要がある。一部の超大型軸受の加工工

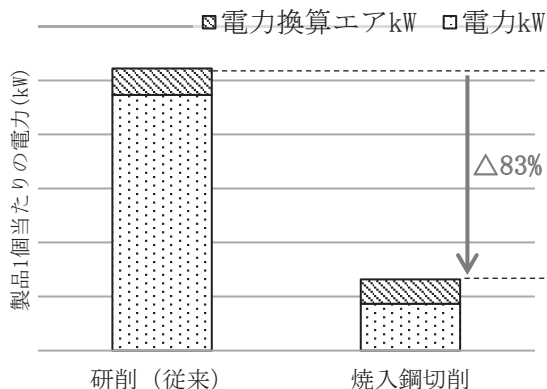


図 3 焼入鋼切削の適用

程では、粗加工に焼入鋼切削を適用し研削工程の加工時間を短縮することで生産性の向上と省エネに繋がっている。

焼入鋼切削は、研削に比べて加工能率やエネルギー効率の点で多くのメリットがあり、今後も適用範囲の拡大が想定されるが、加工精度では研削加工に優位性がある。したがって、すべての加工を焼入鋼切削へ置き換えることを考えるのではなく、前述のように粗加工に焼入れ鋼切削を適用することで、加工精度と省エネを両立するなど、研削加工と焼入鋼切削を適切に採用していく必要がある。

むすび

ここまで当社で取り組んできた研削加工に関する省エネ技術動向を述べてきたが、scope1、2における2035年のカーボンニュートラル実現に向け、今回取り上げた研削加工に限らず、熱処理を代表とする他の工程に対しても優先順位を付けて様々な改善活動を展開中である。また、カーボンニュートラル達成に向けた各工場での改善事例はデータベース化され、他工場の改善事例をグローバルで共有し横展開できる体制を構築しており、改善効果の最大化が可能となっている。当社が目指す持続可能な「なめらかな社会」の実現に向け、引き続き活動を推進していく。

IV. 軸受用鋼の基礎知識

山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター まえ だ なお き
基盤研究室 材料研究グループ 前 田 尚 輝

◇ 特殊鋼分野における軸受用鋼の位置付け、および軸受用鋼を取り巻く動向

社会のあらゆる箇所でさまざまな用途に使用されている鋼材は、普通鋼鋼材もしくは特殊鋼鋼材のいずれかに分類される。普通鋼鋼材は炭素鋼であり、圧延された鋼材は熱処理を行わずに使用される。特殊鋼鋼材は、合金鋼や一部の高級炭素鋼を指し、工具鋼、構造用鋼、特殊用途鋼等の分類がある。本稿で取り上げた軸受用鋼は特殊用途鋼であり、転がり軸受の素材に用いられている。

代表的な軸受用鋼として知られる高炭素クロム軸受鋼は、軸受の軌道輪（レースとも呼称）や転動体（球やころ等）に加工して使用され、耐摩耗性や疲労特性に優れた性質を持つ。自動車用を例にとると、軸受はエンジンから足回りの動力伝達部品に至るまで実に幅広い用途の部品に組み込まれている。

世界的な動向に目を向けると、カーボンニュートラル化実現に向けた取り組みが活発化している。軸受に関する分野では、自動車電動化の加速、エネルギー分野における風力発電の拡大等、ニーズが大きく変化している状況にある。これに対し、軸受の信頼性向上を通じた電気自動車の拡大への寄与や、風力発電設備のメンテナンス軽減への貢献が望まれている。また、本稿内での具体的な技術紹介は割愛するが、軸受用鋼や軸受の製造工程でのCO₂排出量削減に寄与する技術開発（熱処理方法・技術等）も望まれている。

◇ 軸受用鋼の特徴と種類

高炭素クロム軸受鋼以外にも、さまざまな鋼が軸受用鋼として用いられる。例えば、中炭素鋼（S53C等）は、高硬さが必要な部分に高周波焼入れを施して、自動車の足回りのハブ用等で軸受用途に使用されている。また、炭素を0.2mass%程度含有する肌焼鋼（JISの規格鋼としてはSCr420、SCM420、SNCM420等）は浸炭焼入れを施して表面の硬さを高めてから、軸受に使用される。特に耐食性や耐熱性が必要な軸受用途には、SUS440CやAISI規格のM50等が用いられている。

表1にJIS規格（JIS G 4805：2019）に規定された高炭素クロム軸受鋼鋼材の種類と化学成分を示す。SUJ2～SUJ5の4種類があり、約1mass%のCと1～1.5mass%程度のCrを基本成分とし、Cr、Si、Mn、Moの含有量には各々違いがある。これによって焼入性に変化が付けられている。焼入性が高い鋼ほど大きなサイズであっても焼入れで芯部まで高い硬さを得やすい。なお、SUJ2は生産量の大半を占め、その基本成分は登場以降のほぼ一世紀に渡って変わらずに使用されており、軸受に必要な優れた性能を安定して発揮する軸受製造に適した鋼である¹⁾。SUJ3、SUJ5は生産量こそ少ないものの、SUJ2に比べて高い焼入性を活かし、中・大型クラスの軸受用に用いられている。

◇ 軸受用鋼に必要な特性

軸受は回転機構を支持する部品であり、過酷な

表 1 高炭素クロム軸受鋼の化学成分（JIS G4805：2019より抜粋）単位%

種類の記号	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
SUJ2	0.95～1.10	0.15～0.35	0.50以下	0.025以下	0.025以下	1.30～1.60	0.08以下	0.25以下	0.25以下
SUJ3	0.95～1.10	0.40～0.70	0.90～1.15	0.025以下	0.025以下	0.90～1.20	0.08以下	0.25以下	0.25以下
SUJ4	0.95～1.10	0.15～0.35	0.50以下	0.025以下	0.025以下	1.30～1.60	0.10～0.25	0.25以下	0.25以下
SUJ5	0.95～1.10	0.40～0.70	0.90～1.15	0.025以下	0.025以下	0.90～1.20	0.10～0.25	0.25以下	0.25以下

※線材のCuは、0.20%以下とする。

作動条件に耐えるため、軸受用鋼には特殊鋼の中でも厳しい品質が要求される。軸受を構成する基本部品である転動体（玉、ころ等）と軌道輪（内輪、外輪等）は、点接触もしくは線接触をしており、接触部の面積はごく小さい。この特徴を通じて回転時の摩擦を減らす機能を担う一方で、微小な接触部には非常に大きな荷重が加わる。そこで、優れた耐摩耗性や転がり疲れ（軸受に特有の部品表面付近に集中的に作用する疲労）に対する耐性が必要とされる。

・硬さ

硬さは製品の作りやすさと、製品機能の双方に関係する。部品製造時は切削加工等をしやすくするため軟質なことが望まれる。製品状態では、摩耗や転がり疲れに耐えるために硬くなければならない。

JIS G 4805：2019には、球状化焼なましを行った切削用熱間圧延鋼材についての硬さの規定がある。この硬さは製造時の切削のしやすさに関わり、例えばSUJ2の場合はブリネル硬さで201HB以下（ロックウェル硬さで94HRB以下）、SUJ3の場合は207HB以下（同95HRB以下）と規定されている。製品の硬さ規定は特に無いが、高炭素クロム軸受鋼の場合、部品形状に加工後に焼入焼戻ししてロックウェル硬さ57～64HRCで使用される²⁾。SUJ2の場合、焼入性を考慮した寸法の部品であれば800～850℃で焼入れし、150～200℃で焼戻しすることで60～65HRCの硬さを得ることができる。

・転がり疲れ特性

軸受の寿命を左右する転がり疲れ特性は、硬さとならぶ重要な特性である。転がり疲れ寿命は、例えばスラスト型転がり疲れ試験により評価される。この試験では、平板状の試験片に加工した軸受用鋼に対し、一定の試験面圧、潤滑状態、および温度のもとでスラスト軸受と同様の荷重方式で転がり疲れを繰り返し付与し、はく離が生じるまでの寿命（時間やサイクル数）を評価する。寿命は、同一ロット、同一条件で試験した試験片における寿命ばらつきを考慮して評価が行われる。

◇ 熱処理の基礎知識

鋼材の状態から軸受製品が完成するまでに鋼材メーカー、あるいは軸受メーカーで施される熱処

理について簡単に紹介する。熱処理は、鋼材の特性を決定する重要な工程である。

・均熱拡散処理（ソーキング）

高炭素クロム軸受鋼の場合、製鋼工程で溶解した鋼を鋼塊（インゴット）や連続鋳造による鋳片（ブルーム）として凝固させる際に、共晶炭化物と呼ばれる比較的粗大な炭化物が不可避免的に生成する。それを軽減するため、インゴットやブルームに対して均熱拡散処理（ソーキング）が施される。均熱拡散のための温度は1200～1250℃程度（鋼が部分的に溶解し始める温度以下）であり、その温度域で長時間の加熱保持を行う。熱処理温度や時間は、インゴットやブルームのサイズ、凝固時の偏析の度合いにも左右される³⁾。

・焼ならし

高炭素クロム軸受鋼のインゴットやブルームを棒鋼等に加工するため、高温（オーステナイトと呼ばれる組織になる温度域）に加熱して鍛造や圧延等の熱間加工を行った後に空冷すると、結晶粒界に網状に炭化物が析出する。鋼材径が大きいほど空冷時の冷却速度が遅くなり、網状炭化物が発達しやすい。その場合は、後述の球状化焼なましでは消失させられないため、焼ならしを行う場合がある。焼ならしは、処理温度を850～900℃とし、網状炭化物が残存しない範囲で可能な限り低温かつ短時間の保持後、空冷または強制冷却を行う。焼ならし後、粒界上の網状炭化物は分断された状態になり、粒内はラメラ状のパーライトと球状の炭化物が混在した組織になる⁴⁾。パーライトとは、鉄系炭化物（セメントライト）とフェライトと呼ばれる相が層状を成した組織の呼称である。

・球状化焼なまし

熱間加工後の高炭素クロム軸受鋼の硬さは、およそ35～40HRCになる。このままでの加工は困難なため、硬さを低減する必要がある。硬さの低減手段に用いられる球状化焼なましという熱処理では、いったんオーステナイトとセメントライトの2相が共存可能な温度域（800℃程度）まで昇温させる。このときパーライト組織中のセメントライトが一部固溶し、炭化物が球状化した状態に変化していく。その後、フェライトが析出し始める温度よりやや高い温度まで徐冷して、直径0.5～1.0μmほどの球状炭化物が均一に分散した組織にする。良

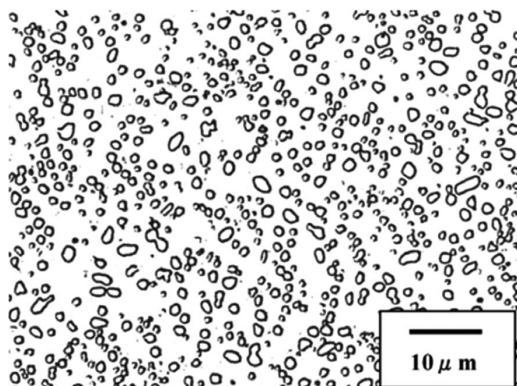


図 1 高炭素クロム軸受鋼の良好な球状化焼なまし組織の一例⁵⁾

良好な球状化焼なまし組織の例を図1⁵⁾に示す。熱処理後の硬さは、SUJ2では90HRB程度、SUJ3では94HRB程度になる⁶⁾。特に炭化物間距離を広げることが硬さ低減に有効とされている⁷⁾。球状化焼きなましは、切削性を良好にするだけでなく、焼入焼戻し後の高炭素クロム軸受鋼に適度な靱性を持たせることにも寄与する。

・焼入焼戻し

部品形状に加工後、耐摩耗性、転がり疲れ特性を付与するために焼入焼戻しを行う。高炭素クロム軸受鋼の焼入れでは800～840℃程度に加熱保持し、球状炭化物を適度に溶かしこんでから焼入油等に浸漬して急冷し、焼きを入れる。この熱処理によりマルテンサイトと呼ばれる硬い組織に変化し、その硬さはロックウェル硬さで60HRC以上ほどになる。焼戻しでは120～200℃程度で1～2時間保持して空冷する。このとき、マルテンサイト中には焼戻し炭化物が析出して、靱性が回復する。特に高硬さが求められる玉・ころでは、120～160℃程度の低めの温度で焼戻しが行われる⁶⁾。

◇ 転がり疲れ寿命の向上に向けた取組み

転がり軸受部品が十分に潤滑された環境で使用されていても、はく離が生じて寿命に至ることがある。このはく離は、部品の内部から発生し、起点は主として鋼の製造工程を通じて不可避免的に生成・含有される非金属介在物（以下では介在物と略）である。そこで、介在物の有害性を軽減する必要がある。特にこれに関与する因子は鋼中酸素含有量であるが、鋼の製造技術の進歩によって酸素を極微量に抑えられるようになった。これによる酸化物系介在物の頻度低減により寿命は大幅に向上している。また、介在物小径化の取組みも寿命向上に寄与している。それ以外にも、介在物の組成や、母相と介在物の界面の状態等が寿命に影響する因子として検討されている⁸⁾。部品内部で進行するはく離のメカニズムは、観察の難しさから解明が不十分な点が残されている。目覚ましい発展を見せる観察技術・シミュレーション技術等も活用しながらメカニズムの解明が進むことで、軸受用鋼のさらなる長寿命化対策の考案とその実現によるカーボンニュートラルへの貢献強化が期待される。

参考文献

- 1) 瀬戸浩蔵：軸受用鋼、日本鉄鋼協会（1999）P 18
- 2) JTEKTホームページ、（2024年5月9日取得、<https://koyo.jtekt.co.jp/support/bearing-knowledge/13-1000.html>）
- 3) 平岡和彦：第188・189回 西山記念技術講座（2006）P 119
- 4) 瀬戸浩蔵：山陽特殊製鋼技報、3（1996）P 64
- 5) 坪田一一：山陽特殊製鋼技報、5（1998）P 105
- 6) 平塚悠輔：特殊鋼、64、7（2015）P 33
- 7) 平岡和彦、木下斎：山陽特殊製鋼技報、6（1999）P 47
- 8) 藤松威史、平岡和彦、山本厚之：鉄と鋼、94（2008）P 13

V. 流通からみた軸受用鋼

三井物産スチール(株) よし だ ひで お
機能商品部門 軸受国際部 吉 田 秀 雄

ま え が き

人は、太古の昔より、いかに少ない力でモノや人間を運ぶかに腐心し、阻害要因の一つである摩擦の軽減に取り組んできた。その試行錯誤の過程から生み出されていったのが軸受であり、紀元前巨大建造物建設時の資材運搬に於いて、現代の軸受の部品の一つであるコロが用いられていたことは有名な話である。その後軸受は水車や馬車、自転車そして自動車と広く使用され普及し人々の生活に不可欠な機能製品となっていくが、その素材として軸受用鋼が開発・採用されたのは19-20世紀。産業の発展と共に使用量は大きく拡大し、今日に至っている。軸受用鋼の中で肌焼鋼を除く鋼種の製造メーカーと使用するユーザー、及びその市場について足下の変化を中心に物流の側面から少々述べてみたい。

尚、今回グローバルでの数量比較を行うに当たり、短期での変動影響を軽減する為2021年を前提とする。

◇ 日本の軸受鋼生産

軸受鋼の国内生産は、鉄鋼新聞社の調査によると2021年度（2021年4月～2022年3月）は97.6万トンと前年比約4割増。コロナ禍からの製造業の生産回復で需要が伸長、半導体不足の影響を受けながらも100万トンに迫る水準となった。同年度に於いては山陽特殊製鋼が40.1%とトップを維持しており、続いて大同特殊鋼が19.4%、神戸製鋼所が16.2%で続く。この順位は翌2022年度も同様であった。

過去20年に於ける軸受鋼の国内生産は、主要製造メーカーが1社減ったものの全体数量は平均90万トン強。山陽特殊製鋼、大同特殊鋼、神戸製鋼所の上位3社はここ20年でシェアを約10%増やしており、寡占化が進んでいる（2021年度3社合計シェアは約76%）。一方で、生産数量に占める電炉メーカーの割合も徐々に高まりつつあり、同期間で比較した場合約5%上昇している（電炉メーカーの合計シェアは約68%）。

◇ 全世界での軸受鋼生産

グローバルの軸受鋼生産数量に就いては、弊社

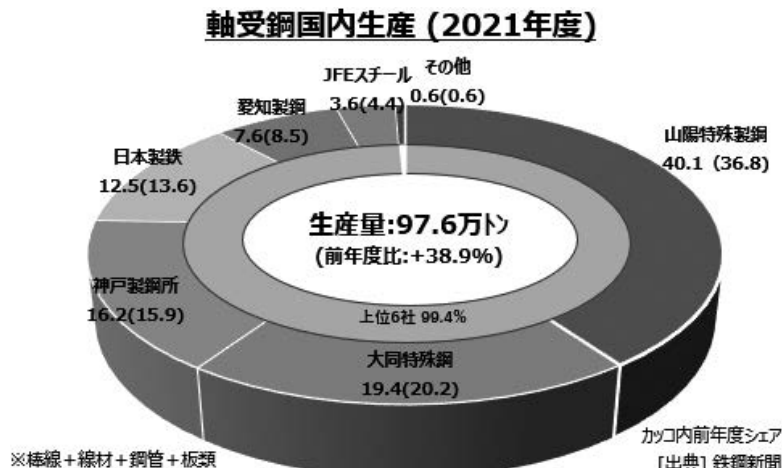


図 1

調査結果によると約700万トンに上り前回調査（2015年）と比較し、全体で2割近くも増加していることが確認された。また全世界の粗鋼生産と同様に中国鉄鋼メーカーの躍進が著しく、同国の軸受鋼生産量は全体の凡そ半分（49%）を占有、日本は13%で続いている。また韓国やインド等のその他アジアの国々を合計すると、軸受鋼の約7割がアジアで生産されている。

中国に就いては、中信特鋼集団が圧倒的なシェアを有しているが、同グループ内の江陰興澄社は1社単体で日本の軸受鋼生産の総量を超える生産を行っており、且つ中国全体での生産量は日本の4倍弱にも及ぶ。この様に隣国で大量の軸受鋼が生産され消費されている一方で、現状13%を占める日本での軸受鋼の生産は、残念ながら過去20年大きく増減はしていない。中国の鉄鋼メーカーが生産する軸受鋼は年々品質を上げており、その結果として同国材への切替えが進展しているが、これに対し日本の生産量が過去20年に亘り伸長していない理由は鋼材の品質優位性と立地を生かした需要捕捉が出来ていない点が挙げられよう。

◇ 軸受市場

軸受鋼を用いた軸受製品の市場は、過去よりスウェーデンのSKF社、ドイツのSchaeffler社、日本の日本精工（NSK）社を始めとした日欧米の有力軸受メーカーにより占められてきたが、上位8社

のシェアは弊社2015年調査と比較すると2021年では約12ポイント減少しており、中国を筆頭とした新興国軸受メーカーの台頭が顕著と言える。この変化は軸受鋼の生産地及び消費地が中国へ移行している動きと合致しており、上位8社は引続き高い市場シェアを有しているものの徐々に占有率は低下しつつある。

一方、グローバルの軸受市場規模は、為替影響はあるものの前回比1兆円強増加しており、5兆円を超過している。

上述の通り「産業の米」としての軸受製品は、人口増加に伴い今後も需要拡大が予想されており、用途に就いては自動車、鉄道、風力、航空宇宙分野や足下ではAI需要の高まりによる出荷台数の伸びが著しいサーバ向けが挙げられる。従い、今後とも軸受需要に就いては高位で推移していくと予測する。

◇ サプライチェーンに於ける変化点

人々の生活にとり密接に関わりのある軸受需要の高まりに伴い、その素材である軸受鋼の需要は大きく拡大している。我々流通は、軸受メーカーの円滑且つ機動的な生産・販売を物流面で支えているが、近年この軸受鋼のサプライチェーンを揺るがす事態が複数発生している。

海外の物流に就いては、2020年後半から1年以上継続した海上コンテナ不足による海上運賃の高

軸受鋼国別生産（2021年）*弊社調べ

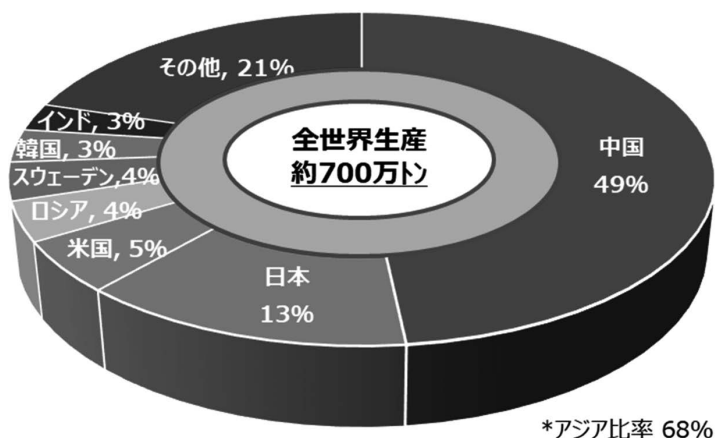


図 2

世界の軸受市場 (2021年) ※弊社推定

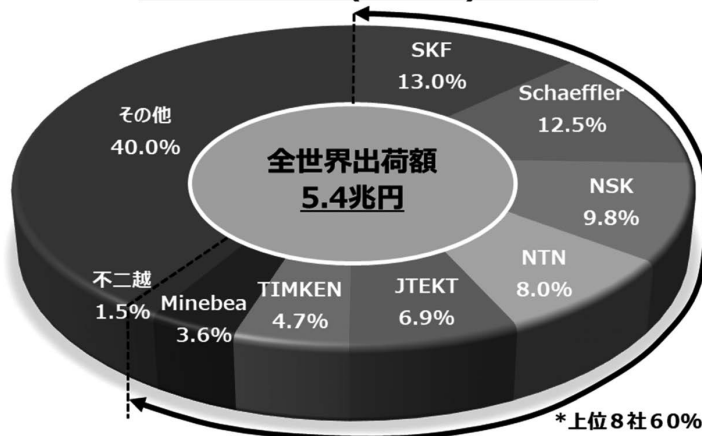


図 3

騰と本船の船腹不足による物流の大規模な滞りが発生。米中貿易摩擦や新型コロナの蔓延懸念により中国に於ける海上コンテナの製造本数が減少したタイミングで、欧米での巣ごもり需要増加と中国からの輸出回復による物量増が原因であった。また2022年春先に上海ロックダウンで現地に於ける貨物の接受が約3か月間制約される事態が発生したこともあった。更に同年2月のロシアによるウクライナ侵攻で発生した黒海封鎖やユーラシア大陸での貨物輸送への影響、同年9月の韓国の台風豪雨被害も記憶に新しい。一方で国内に於いても、本年頭の能登半島地震による物流寸断に象徴される自然災害の影響や、24年問題と呼称されるトラックドライバーの労働時間制限による長距離輸送の困難化や、労働力人口の減少によるドライバー数の減少及び高齢化の影響が生じている。

◇ 今後の課題

これら軸受鋼に関わる現状と変化点を踏まえ、各社が抱える課題について以下私見を記する。

①軸受鋼メーカーの課題

軸受鋼は20世紀初頭に誕生し、100年以上も同じ成分値で製造され使用され続けている非常に優れた鋼材であり、従来鋼中の介在物を減らし清浄度を上げることでその品質を高めてきた。新興国メーカーが徐々に品質でのキャッチアップを果たし生産を拡大する中、日本からの鋼材輸出は現地生産へと切り替わっていったが、一方で過去20年

日本の軸受鋼生産は大きく減少することなく一定水準を維持できており、日本の軸受鋼メーカーは依然として強い優位性を有すると言える。しかしながら、新興国メーカーとの差異は減少しており且つ国内の市場は縮小していることから、今後は新興国メーカーとの品質上の差別化を図ると共に競争力を高めるべくコスト削減を行うことで取引先から選ばれるメーカーを目指すこと、及びCO2を削減したカーボンニュートラル鋼材の供給と自社鋼材のブランド化を含めたグローバルプレゼンスを高めるべきであり、日本の軸受鋼メーカーは必ずや実現できると認識している。

②軸受メーカーの課題

過去より既存軸受メーカーは、各種産業の進展に合わせ工業化と顧客との技術開発により発展してきた。しかしながら、新興国軸受メーカーの追い上げと、軸受が最も使用される自動車の電動化で軸受点数が3割減となる可能性があり、大きな岐路に差し掛かっている。今後も高品質が求められるハイエンド製品に就いては既存軸受メーカーの競争力は維持可能と予想しているが、汎用製品に就いては現状新興国に於いて競争が激化しており、この分野で差別化を図り低価格化にどう伍していくのか、また2050年カーボンニュートラルに向けた生産対応、ブランド力の向上、収益性の高いアフターマーケットでのシェア拡大、自動車の電動化を見据えた戦略（軽量化・絶縁化・低摩擦化・小型化&大型化）、デジタル技術を通じた付加

価値の向上が求められているが、創意工夫と叡智によりこれら課題を必ずや克服できると思料する。

③流通の課題

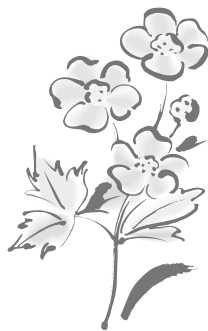
繰り返しとなるが、自動車や産機製品の生産地・需要地の変動、現地鋼材の採用進展により、流通が取扱う数量は徐々に減少している。一方で世界に於いては安全保障を目的とした経済のブロック化が進み、自国産業保護の名目の下高関税の設定による調達先を変更せざるを得ない事態が生じており、流通機能を発揮する機会が増加している。更に鋼材輸送に止まらず二次加工の取り込みや、二次加工品での供給も視野に入れる必要がある。また輸送時の貨物の可視化、Lead time短縮と突発的な災害への対応、BCPの観点からの取引先近郊での在庫保有とJIT配送による欠品防止も考慮に入れる必要がある。加えて輸送時におけるカーボンニュートラルへの対応も必須となる。

むすび

三井物産はサステナブル経営推進機構（SuMPO）と共同で、鋼材や部品など製品単位でライフサイクルアセスメント、カーボンフットプリントを算定できるプラットフォームである「LCA Plus」を開発し、多くの取引先に利用頂いている。弊社はこの基盤をベースに、今迄培った物流に於ける知見・経験及び最新のAI技術も最大限活用し、パンデミックや自然災害、突発事象等予見不能な事態に対し臨機応変に対応しつつ新たな価値を創造しながら、軸受鋼メーカーと軸受メーカーの双方に精一杯貢献していく決意である。

参考文献

「軸受鋼の歩み 技術小史 瀬戸浩蔵」氏（Sanyo Technical Report Vol. 2（1995）No. 1）



Ⅵ. 最近の軸受用鋼の動向

山陽特殊製鋼(株) 山陽特殊製鋼(株) 山陽特殊製鋼(株)
研究・開発センター部長 藤松 威史

◇ 軸受用鋼を取り巻く環境変化

本誌では、軸受用鋼の動向に関する定期的な特集が組まれている。前回特集は2017年11月号に掲載され、環境負荷軽減の観点で実用化が進んでいた自動車電動化を背景に、自動車用軸受用鋼の技術動向ならびに関連の研究動向の解説が行われた¹⁾。そのなかで、従来レベルを上回る軸受用鋼の長寿命化ニーズへの対応のため、軸受のはく離メカニズム明確化の必要性が述べられ、軸受の疲労（転がり疲れ）による破壊起点となる非金属介在物（軸受素材の鋼に不可避免的に含まれている微小異物）の作用に注目し、はく離に至る介在物周囲のき裂挙動の解明に関する現状が説明されている。

本稿執筆にあたり、軸受用鋼を取り巻く環境に注目し、ニーズを整理してみる。前回の特集以降、世界的な気候変動への対応として、温室効果ガスであるCO₂の排出削減によるカーボンニュートラル化実現が叫ばれ、主要各国から達成への目標が表明された。日本でも2050年にカーボンニュートラル化を目指すことが宣言され、それに向けた産業界の取組みが具体化しつつある。自動車電動化もその取組みの一環であり、使用される軸受用鋼に関する長寿命化ニーズに変わりはない。一方、前回特集からの変化として、再生可能エネルギーの拡大に寄与する取組みへの注目度はさらに高まっている。風力発電はその代表的取組みであり、自然エネルギーを利用した大きな発電量の確保が期待できるため、カーボンニュートラル化の有力手段として世界的に増設が計画されている。

ただし、風力発電を主力電源として見込むためには長期の安定稼働が欠かせず、採算性の点からも長期的な設備運用は前提となる。また、エネルギー効率向上や設置場所の確保のためのトレンドの変化として、風車の大型化や洋上への設置が進むとみられている。既に、発電量で10メガワットを超え、風車の直径が200メートルを超える超大型

タイプが市場に登場してきている。洋上タイプの導入量は、陸上タイプに比べて世界的にみて年平均で2倍以上の成長（2022年を起点とした2027年までの予測に基づく）が見込まれている²⁾。

このような風力発電のニーズやトレンドの変化に対し、風車の回転を電気エネルギーに変換する設備の機構上、回転機構を支える軸受の性能が設備の安定稼働に対して果たす役割は大きい。今後は、高所かつ洋上などの難所への風車の設置が増加するため、軸受の長寿命化を通じた設備メンテナンスの軽減が期待されている。すなわち、軸受が受け持つ環境負荷を軽減するエコプロダクトとしての機能を、さらに強化する必要性が生じている。

軸受の長寿命化に向けては、部品設計・熱処理技術・潤滑技術の改良、部品取付け精度の安定化といった要素に加え、軸受用鋼の改良も当然必要になる。そこで本稿の前半では、風力発電用の軸受に焦点を当て、昨今の軸受用鋼の技術動向を紹介する。後半では、軸受用鋼の長寿命化対策立案に欠かせない非金属介在物起点の軸受のはく離メカニズムの解明に関し、最近の研究の進歩を紹介する。

◇ 風力発電用軸受の技術動向

風力発電機の大型化トレンドは、一基当たりの発電量増加によるエネルギー効率の向上と、それによる発電所の設備数の減少を通じた設置コスト低減が狙いとしてある。一方で、大規模発電を担うようになると、設備故障によるダウンタイム中に代替電源を稼働させる必要性が生じ、化石燃料を利用したCO₂を排出する発電方式を使わざるを得ない場合がある。また、設備補修のための新たなコスト負担は、設置メリットを減少させる。そこで、風力発電機用軸受の長寿命化を通じて設備故障率を減らし、メンテナンスフリー化に寄与することが期待されている。

風力発電機の方式には、大別して低速の風車の回転を増速させて発電機を回すことで発電する増

速機方式と、風車の回転をそのまま極数の多い発電機に伝えて発電するダイレクトドライブ方式の2種類がある。後者は部品点数が少ないメリット等から近年、設置数が伸びている。ただし、いずれも風車を支える主軸用の軸受は必ず必要になる。また、前者の方式では、さらに増速機や発電機にも軸受が使われる。

設置実績の多い増速機方式では、増速機用軸受に関して課題が見出されている。それは、白色組織変化を伴いつつ軸受内部から破損する早期はく離³⁾の抑制である。白色組織変化は、軸受のはく離底周辺にき裂とともに不規則な形状で分布し、光学顕微鏡観察（観察面はナイトル液でエッチングした状態）で白色を呈して観察されることが呼称の由来である。白色に見える部分は、軸受の疲労に伴う塑性ひずみの局所的な蓄積を経て、ナノ結晶化している⁴⁾。このタイプのはく離は、自動車の電装補機用軸受のはく離事例の経験から研究が進み、その原因として潤滑油やグリースの分解、および潤滑油中の水分から発生した水素の鋼中への侵入による水素脆性の関与が考えられている^{5)、6)}。水素の発生には、すべり⁷⁾、振動⁸⁾、静電気⁵⁾などの影響が想定されている。増速機に用いられる円筒ころ軸受や円すいころ軸受では、軌道輪と転動体間のすべりは本来小さいものの、風車の回転軸の急加減速の際に大きなすべりを受ける可能性がある⁹⁾。

上記タイプのはく離への軸受用鋼による対策を紹介する。山田ら⁹⁾は、SUJ2のズブ焼き材に対して圧縮応力が高く、残留オーステナイト（オーステナイト状態からの焼入れでマルテンサイト化せずに残留したもの）の量が多い浸炭窒化処理材による寿命向上を見出している。その推定理由に、

圧縮応力下でのき裂進展の遅延、およびマルテンサイトに比べて水素拡散の遅いオーステナイトによるせん断応力域への水素濃化の遅延を挙げている。鋼材の化学成分に影響に関しては、Cr添加がせん断応力の作用領域への水素の拡散を妨げる作用があるとされ、白色組織を伴うはく離抑制に有効である¹⁰⁾。このように、軸受用鋼の成分や熱処理を通じた軸受長寿命化のための有望対策が提示されている。

◇ 介在物起点はく離メカニズム解明に関する最近の研究の進歩

軸受の素材となる鋼は、その製造過程で不可避免地に生成し混入する非金属介在物を含む。軸受の表面付近に介在物が有ると、そこに使用中の繰返し負荷が集中し、軸受がはく離することがある。そこで、軸受素材には高纯净度化して非金属介在物を減らした鋼が使われる。ただし、風力発電用の大きな軸受では、負荷を受ける鋼の体積が大きいため、比較的大きな介在物が含まれる可能性が高まる。そこで、介在物自体の有害性を減らす対策が望まれている。この対策の考案は、主軸用や増速機用等を問わず、風力発電用軸受に共通する課題として捉えられる。

長寿命化対策の考案の糸口となる介在物起点はく離メカニズムに関し、最近の研究の進歩を紹介する。前回特集で示されたように、介在物は周囲に隙間を伴うと有害性が高まる。隙間は鋼の塑性加工時に生じる場合があり、隙間の有無で疲労き裂の挙動が変化する。筆者らは、人工介在物を活用した新たな実験方法の開発と、それを用いた二次元断面での介在物周囲のき裂観察結果を踏まえ^{11)、12)}、**図1**の2種類のき裂モデルを提案した^{13)~15)}。隙間

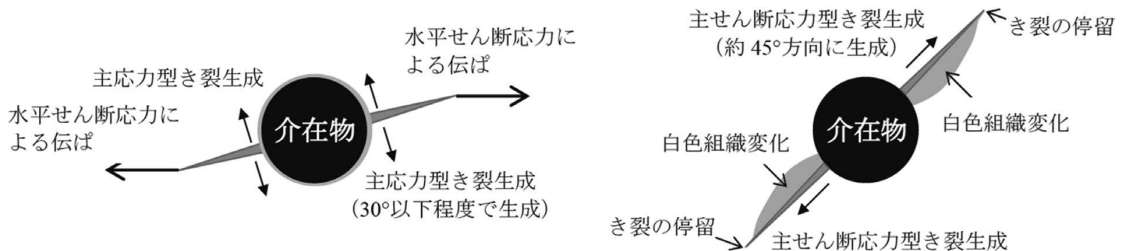


図 1 推定された転がり疲れき裂モデル¹⁵⁾
(左：隙間を伴う介在物、右：母相と密着した介在物、転動体の移動方向は左から右)

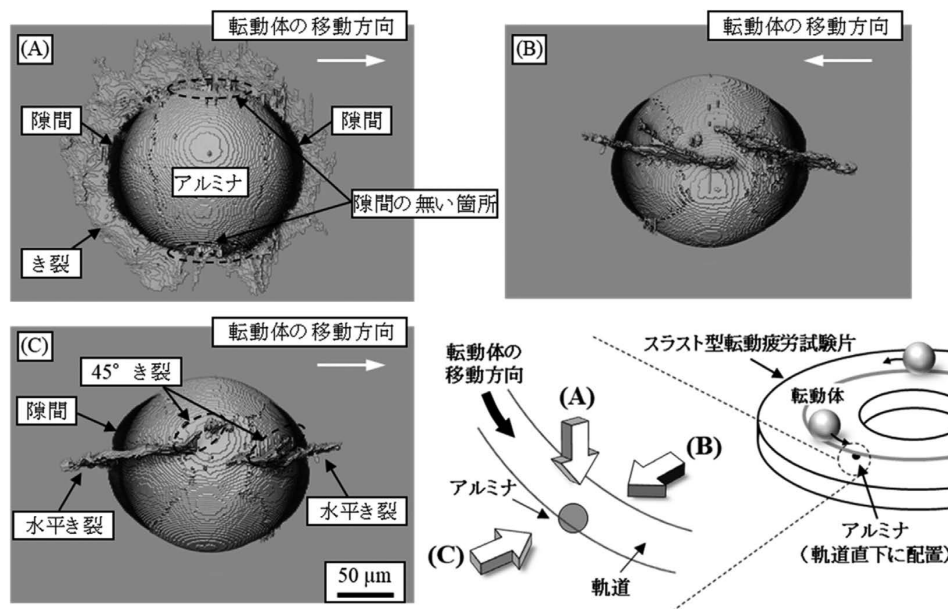


図 2 介在物周囲のき裂の三次元透過観察像とその観察方向 ((A)～(C) の向きで観察)
 ※母材は焼入焼戻したSUJ2鋼、アルミナ直径は約150 μ m、スラスト型転がり疲れ試験は最大ヘルツ接触応力
 4.5GPaとして行い、50,000サイクルで試験を中断 (出典：文献15) より一部改変)

を伴い、部品内部に存在する介在物の場合は、水平に近い角度で疲労き裂が生じる。このき裂は、軸受作動中に内部に働く水平方向のせん断応力の作用で進展し、介在物起点はく離につながりやすい。周囲の隙間が無い場合、部品内部の介在物からは45°方向にき裂が生じる傾向がある。45°き裂は、その向きが水平せん断応力方向と大きく異なるために停留しやすい特徴を持ち、はく離には至りにくい。

筆者らの最新の研究から、隙間の影響がさらに詳細に判明している。図2は、SPring-8のX線CTによる三次元透過観察像であり、人工的に導入した隙間を伴う介在物（アルミナ）周りの転がり疲れき裂の観察例である¹⁶⁾。介在物からは周囲に隙間がある箇所での水平き裂の生成に加え、周囲に隙間が無い箇所での45°き裂（進展しにくい特徴をもつ）の生成を伴い、き裂挙動が隙間の状態に左右されていることを明確に示している。

以上の通り、前回特集からの進歩として、はく離を左右する介在物起点のき裂挙動がほぼ明確になってきている。今後、介在物周囲の隙間を軽減する実用的手段を考案し、寿命に対し有害なタイプのき裂（水平に近いき裂）の生成を抑制でき

ば、風力発電用途や、それに限らない軸受全般に対する長寿命化が実現可能とみている。

むすび

カーボンニュートラル化に向けた取組みが拡大する流れのなか、各種エコプロダクトの機能を支える軸受の信頼性はいっそう重視されるとみられる。本稿で紹介したように、軸受用鋼を通じて長寿命化を実現するための対策は見出されつつある。今後の研究・開発の加速により、軸受用鋼製品としての早期の実現ならびにそのエコプロダクトへの適用によるカーボンニュートラル化への貢献の具体化が期待される。

参考文献

- 1) 平岡和彦：特殊鋼、66、6 (2017)、P. 39
- 2) Global Wind Energy Council (GWEC): GLOBAL WIND REPORT 2023 (March, 2023)、P. 104 <https://gwec.net/globalwindreport2023/>、(accessed 2024-05-07)
- 3) M. H. Evans: Material Science and Technology、28、1 (2012)、P. 3
- 4) 平岡和彦：鉄と鋼、94、12 (2008)、P. 636
- 5) K. Iso, A. Yokouchi and H. Takemura: SAE Technical paper series, 2005-01-1868 (2005)
- 6) 川村隆之、三上英信：NTN TECHNICAL REVIEW、75

- (2007)、P. 116
- 7) K. Tamada and H. Tanaka: Wear、199 (1996)、P. 245
- 8) M. Shibata、M. Gotoh、N. Oguma、T. Mikami: Proc. of the International Tribology Conference、Yokohama (1995)、P. 1351
- 9) 山田紘樹、宇山英幸：NSK TECHNICAL JOURNAL、689 (2017)、P. 6
- 10) S. Fujita、N. Mitamura and Y. Murakami: Proceedings of WTC 2005、Washington-63400 (2005)
- 11) 藤松威史：山陽特殊製鋼技報、25 (2018)、P. 31
- 12) T. Fujimatsu: Bearing Steel Technologies: 12th Volume、Progress in Bearing Steel Metallurgical Testing and Quality Assurance、ed. J. Beswick (West Conshohocken、PA): ASTM International、(2020)、P. 103
- 13) 平岡和彦：大阪大学工業会誌Techno Net、(一社)大阪大学工業会、565 (2014)、P. 11
- 14) 藤松威史、眞鍋亮太：山陽特殊製鋼技報、26 (2019)、P. 41
- 15) 藤松威史：山陽特殊製鋼技報、28 (2021)、P. 43
- 16) 眞鍋亮太、和田恭学、藤松威史：山陽特殊製鋼技報、30 (2023)、P. 68



Ⅶ. 会員メーカーの軸受用鋼

■ 山陽特殊製鋼(株)

極超高清浄度鋼 SURP[®]鋼

まえがき

近年、カーボンニュートラルの実現に向けた社会的な環境変化を背景に、機械部品や自動車の駆動系部品の小型化・軽量化が図られている。特に軸受にとっては転がり疲れに関して長寿命であることが最も重要な特性であり、一般的なクリーン環境で使用される場合には鋼中非金属介在物（特に酸化物系介在物）が寿命に対して悪影響を及ぼす。そのため、軸受鋼には鋼中の酸化物系介在物の低減が強く求められる^{1)、2)}。

これらのニーズに対して、当社は独自の量産製造設備と操業技術を駆使した世界最高クラスの高清浄度軸受鋼を製造している。本稿ではその最新の開発鋼について紹介する。

◇ 当社の高清浄度鋼製造技術と本開発鋼について

当社は鋼中の酸化物系介在物の低減に向け、量産製鋼プロセスである電気炉（EF）－取鍋製錬炉（LF）－RH脱ガス－完全垂直型連続铸造（CC）での鋼中酸素量低減技術を継続的に進化させてきた。更に、量産プロセスの中で、鋼中酸素量の低減だけでなく、機械産業の要である軸受やギヤ等の高硬度動力伝達部品の疲労特性向上を狙い、酸化物系介在物の大きさを制御（小径化）する超高清浄度鋼製造プロセス（SNRP[®]: Sanyo New Refining Process）³⁾ を本開発に先立ち確立している。

本開発鋼は、既存のSNRP[®]鋼製造技術をベースに、適用部品の疲労破壊に対する更なる信頼性向上を狙い、新たな介在物組成制御技術の加味による大型介在物の出現頻度低減を目指し開発された極超高清浄度鋼製造プロセス（SURP[®]: Sanyo Ultra Refining Process）⁴⁾ により製造されている。SURP[®]操業を適用した肌焼鋼と一般プロセスによる同鋼種を極値統計法により比較した結果を図1に示す⁵⁾。

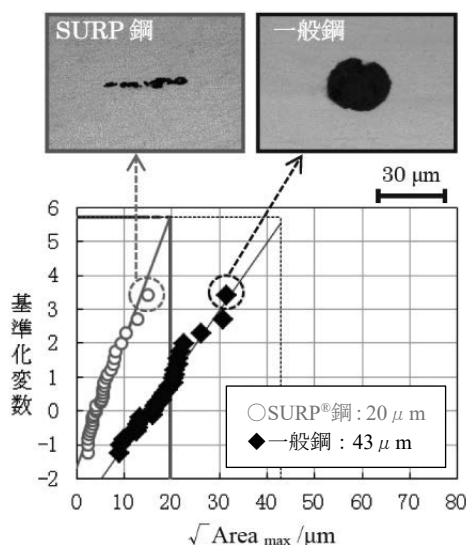


図 1 極値統計法を用いたSURP[®]鋼と一般鋼の介在物評価結果の一例（肌焼鋼）⁵⁾
（被検面積30,000mm²中（標準化変数：5.7）に予想される最大介在物径で比較）

同法により30,000mm²中に予測される最大介在物径は、一般鋼に対し約半分となりSURP[®]鋼では大型の非金属介在物の出現頻度が低減し、鋼材のさらなる信頼性向上を実現させていることが判る。

むすび

昨今、あらゆる機械産業においてカーボンニュートラル社会実現に向けた具体的な貢献が求められている。この背景の下SURP[®]鋼は、機械部品の疲労破壊に対する信頼性の向上を介し、小型軽量設計やメンテナンスフリーへの貢献が期待される。

参考文献

- 1) 西森博ら：材料とプロセス、5（1992）、1959
- 2) 奈良井弘ら：材料とプロセス、5（1992）、1960
- 3) 杉本晋一郎ら：山陽特殊製鋼技報、25（2018）1、50
- 4) 吉岡孝宜ら：山陽特殊製鋼技報、28（2021）1、60
- 5) 山陽特殊製鋼ホームページ：https://www.sanyo-steel.co.jp/system/upload/news/20180718.pdf（accessed 2024-05-08）

〔山陽特殊製鋼(株) 研究・開発センター くりた しゅん 新商品開発室 商品開発1グループ 栗田 俊〕

大同特殊鋼の軸受鋼

まえがき

軸受は、自動車や産業機械、風力発電機や鉄道などに使われる機械部品・機器向けに様々な環境で使用されています。軸受鋼には、耐摩耗性や耐熱性、耐食性など使用環境に応じた特性が求められます。近年、各種機械部品の小型化、高回転化、高出力化や過酷な腐食環境での使用拡大に伴い、要求特性も厳しさを増しています。このような市場ニーズに応えるべく、大同特殊鋼（以下、当社）は種々の軸受鋼開発をおこなってきました。本稿では、高温環境での使用を想定した軸受鋼および腐食環境での使用を想定した高耐食高硬度軸受鋼について紹介します。

◇ 高温軸受鋼（STJ2）^{1)、2)}

輸送機器の高出力化、産業機械の高速化や密封化に伴い、軸受鋼の使用環境温度が250℃程度まで上昇し、一般的に使用されている軸受鋼SUJ2では硬さが低下し、転動寿命特性が低下する問題が顕在化しました。そのため、250℃程度で性能を維持可能な軸受鋼が必要とされ、高温環境に対応可能な軸受鋼STJ2を開発しました。STJ2は、焼入れ硬さ増大のため炭素（C）を、焼戻し軟化抵抗向上のためにシリコン（Si）を利用しています。また、軸受特有のホワイトバンド起因の破壊を抑制するためにニッケル（Ni）が有効であることを見出し³⁾、活用することで高温環境下でも高い転動疲労特性を達成することを可能としました。

◇ 高耐食高強度軸受鋼（DSR40N）^{4)、5)}

一般的に耐食性が要求される軸受には、SUS440Cに代表される高炭素マルテンサイト系ステンレス鋼が使用されます。しかしながら、SUS440Cは粗大な炭化物が残存する場合があります、過酷な腐食環境では耐食性が不十分であり、より高耐食性を有

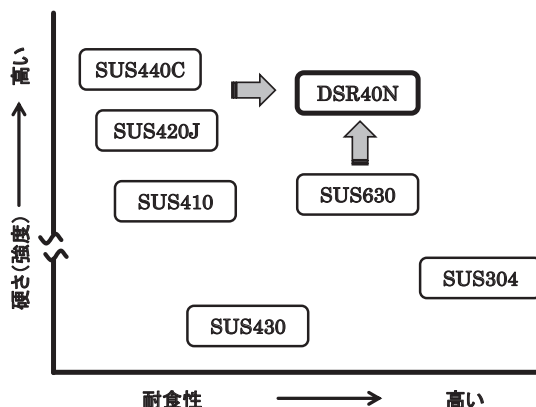


図 1 硬さ（強度）と耐食性の関係（引用文献3）を基に改編）

する軸受鋼が必要とされました。当社では、高い耐食性を有する軸受鋼として、C、クロム（Cr）、モリブデン（Mo）、窒素（N）を最適化したDSR40N（Fe-0.4C-15.5Cr-1.8Mo-0.17N）を開発しました。図1に示す通り、DSR40Nは硬さ（強度）と耐食性を高いレベルで両立可能な軸受鋼で、量産流動しています。

むすび

本稿で紹介した特徴を有する軸受鋼に加えて、当社は世界の各航空機エンジンメーカーから認定を受けているM50およびM50NiL⁶⁾の製造や介在物を極限まで低減した超清浄軸受鋼製造プロセスの開発⁷⁾をおこなってきました。今後も、お客様の様々なニーズに対応すべく、高品質な軸受鋼を提供し続けていきます。

参考文献

- 1) 木南ら：電気製鋼、75（2004）、P65
- 2) 田中ら：NTN TECHNICAL REVIEW、68（2000）、P51
- 3) 木南ら：電気製鋼、73（2002）、P23
- 4) 草深ら：電気製鋼、87（2016）、P93
- 5) 大同特殊鋼：電気製鋼、86（2015）、P61
- 6) 大同特殊鋼：電気製鋼、86（2015）、P67
- 7) 山口ら：電気製鋼、73（2002）、P61

〔大同特殊鋼(株) 技術開発研究所 構造材料研究室 室長 山崎 歩見〕

業界のうごき

神鋼商事、3カ年で230億円投資 新中期、アセアン・インドで大幅拡大

神鋼商事は2026年度を最終年度とする中期経営計画を策定した。3カ年の投資額は230億円（うちDX・ITで30億円）を計画。前中計で実行した117億円（同17億円）から大きく増やし、「第二の創業」の本格化へ質の高い経営、真のグローバル企業への変革を具現化する。

神鋼商事はトレードのみに依存しない収益構造の強化に向け、前中計でも非鉄金属販売を手掛ける稲垣商店の事業承継など事業投資に力を入れてきた。これにより投資案件での利益貢献額は従来の6.3倍となる19億円に拡大しており、新中計での投資実行で一層の積み上げを図る。

地域別ではアセアン・インドを成長市場と位置付け、前中計での14億円から54億円へと大幅に増やす。バイオマス燃料の事業拡大やインドで立ち上げた建機部品事業、トラック・デザインでの増強を視野に入れている。（5月23日）

大洋商事関東2倉庫で設備更新 作業環境改善、加工効率向上

大洋商事は関東地区の特殊鋼物流加工2拠点の切断機更新、老朽化対策を行い、作業環境の改善、切断品の加工効率向上につなげる。

銅板の在庫・切断販売拠点である浦安倉庫は、B棟の土間コンクリート化工事、老朽化したクレーン2基の更新、門型クレーン4基の新設を秋までに完工する。土間コンクリート化は工場レイアウトや作業環境の改善につながる。新設の12KWファイバーレーザー切断機は今月本格稼働する予定。

棒鋼の在庫・切断拠点である辰巳倉庫は、7月までに第3ヤードのクレーンレールを更新し、クレーン1基を導入する。第1～2ヤードのク

レーンレールは更新工事を終えている。一部切断機の更新も行う。老朽化したバンドソー1基を2月にパルスカッティングソー1基に更新・稼働開始したことで加工速度が倍以上になった。丸鋸切断機も年内稼働予定で1基更新する。（5月1日）

テクノタジマ、機械加工事業を強化 江南の門型MC更新、稼働開始

テクノタジマは、厚板をはじめとする各種鋼材の機械加工事業を強化した。江南工場（愛知県江南市）に置く門型マシニングセンタを最新型に更新し、3月から本格稼働に移行した。投資を通じて生産の安定化および効率化、品質向上を図ることで引き合いへの対応力を引き上げ、エネルギー関連分野での新規獲得を狙う。幅広い需要対応力強化を図るとともに、将来にわたる安定的な生産体制実現につなげたい考え。

導入、稼働した門型MCの加工範囲は3.6×5.2メートル。120本の工具を備えたATC（工具自動交換装置）を搭載し、室温変化時でも高い寸法安定性を確保できる。消費電力を大幅削減可能な省エネ機能を搭載しており、工場の省エネ化にも貢献する性能を持つ。

機械加工部門の機能を高めたことにより、総合力で新規分野での需要深耕に努める構えだ。（4月22日）

中島特殊鋼、環境負荷低減へ投資 太陽光パネル増設、SBT認定取得

中島特殊鋼は環境負荷低減、カーボンニュートラル実現に向けた取り組みを加速させている。本社工場、第3工場へ太陽光パネルの設置を行い電力の自家使用を始めたほか、再生可能エネルギー由来の電力購入を始めた。同時に温室効果ガス（GHG）の中長期的な排出量削減計画を策定し、国際的なGHG削減目標・SBT認

定を取得した。今後も全方位的な活動を展開して、環境に配慮した経営を推進する。

同社はかねて環境経営に注力している。2022年には最大の加工拠点である北崎IC工場に太陽光発電システムを導入し、使用電力の40%程度を賄う。本社工場、機械加工を手掛ける第3工場でもパネルを設置し、使用電力の約30%を賄えるようにした。4月から中部電力ミライズの再エネ由来電力も一部で採用している。

また30年の排出量を22年に対して42%削減する計画をまとめ、SBT認定を取得した。（5月17日）

ナス物産、関西加工センターで投資 倉庫と事務所を新設、26年度完成

日本冶金工業グループの中核商社であるナス物産は、2026年度までにステンレス加工拠点の関西加工センター（堺市東区）でレイアウトの変更を行う。一部設備を撤去し、空いた敷地に物流倉庫と新事務所を設ける。現事務所の老朽化や物流業界の労働時間規制への対応が主目的。総投資額は6億円を見込む。

関西加工センターは中部加工センター（愛知県小牧市）と並ぶ主要加工拠点で、広幅・狭幅スリッター、広幅・狭幅レバラーシャー、シャーリングなどの切断設備やコイル用立体倉庫などを備える。

同社は関西加工センターと中部加工センターにおいて、生産設備の選択と集中を進めており、既に一部設備について関西から中部への移設を完了している。今回のレイアウト変更もその取り組みの一環。母材の保管スペースに加えて製品の置き場も充実させる。（5月22日）

メタルワンが提供開始 店売り顧客向けプラットフォーム

メタルワンは、鉄鋼流通向けのデ

業界のうごき

デジタル・プラットフォーム「Metal X UP（メタルエックスユーピー）」を構築し、サービス提供を開始した。ミルシート電子化や工程進捗管理、ウェブ請求書、受発注、債権債務自動照合など複数の機能をワンストップで提供し、デジタル活用で労働人口の減少に直面する鉄鋼サプライチェーンの強靱化を後押しする。

メタルワンは、昨年3月に自動車鋼材流通の電子プラットフォーム「Metal X」のサービスを開始し、大口のヒモ付き需要家を対象に自動車メーカーの部品表（BOM）情報をベースとしたサプライチェーン可視化を進めてきた。UP（ユーザー・ページング）は店売り市場で顧客の業務効率化を支援するのが狙い。アジャイル開発によって開発期間を短縮し、顧客のフィードバックを反映しやすくするなどユーザー目線での改修、利便性向上に重点を置いている。（4月22日）

リントツ、安全性向上で投資実施 主力拠点で天井クレーン3台更新

リントツは、主力拠点の半田ステンレス加工センター（愛知県半田市）で、クレーン作業の安全性向上を狙った投資を実施した。協力会社が入る工場棟に方向表示機、音声案内機能を搭載することで動作が直感的に把握できる天井クレーン3台を導入、大型連休明けから稼働を始めた。今後も生産に直接関連するものだけでなく、幅広い安全対策の取り組みを展開する。

リントツ・半田センターでは近年、労災リスク低減を目的とするハード増強を行っている。クレーンについても荷ブレ防止機能を備えたものなどの設置を進める中、春日井市に本社を置く「五合」が手掛ける新システムの紹介を受け、安全な作業環境づくりに役立つと判断した。「天井

クレーン安全システム【禪】」は、クレーンの走行方向を矢印で表示するとともに、音声によって動作の現況が判断できる。（5月21日）

愛知製鋼、26年度営業益目標150億円 新中期、CN・車電動化への対応強化

愛知製鋼は、2027年3月期を最終年度とする中期経営計画を策定した。「稼ぐ力を強化し成長戦略を確かなものにする」「社会的価値創造」の両コンセプトのもと、既存事業のポテンシャルの最大限発揮、電子部品やGMPSなど新事業の成長促進に注力。持続的社会、カーボンニュートラル、自動車の電動化進展のニーズに対応していく。最終年度までに連結営業利益150億円、ROE 4%以上、DEレシオ0.3倍～0.5倍を目指す。

鋼と鍛の両カンパニーでは省エネ型電気炉の検討、次世代鍛造工法の開発などを推進。高回転小型軽量モータと小型高減速機を一体化した「省資源次世代電動アクスル」や高強度ギヤ鋼など新たな領域での部品受注も目指す。海外では本提携・技術支援を行っているインド特殊鋼メーカーのバルドマンスペシャルスチール社との連携で、ギヤ用鋼などの新規拡販に注力する。（5月31日）

神戸製鋼が新中期経営計画を策定 26年度、ROIC 6～8%を目指す

神戸製鋼所は、2024年度から3カ年の中期経営計画を策定した。収益力強化と成長戦略を同時並行で推進し、経営環境の変化にかかわらず、ROIC 6～8%の達成を目指す。カーボンニュートラル実現に向けた取り組みを深掘りし、人材力の強化などサステナビリティ経営も強化する。最大の課題はアルミ板・素形材事業の立て直しで、まず2024年度中の黒字化を目指す。

中計の柱は収益力強化・成長戦略

とCNへの挑戦。収益力強化は主に素材系事業で推進。機械系事業ではエネルギー関連の需要拡大を捕捉する成長戦略を実行する。

勝川四志彦社長は記者会見で、鉄鋼事業での脱炭素プロセスについて「（加古川製鉄所での）高炉2基体制を前提とせず、大型革新電炉の導入に向けた検討を加速させる」と述べ、高炉1基の電炉転換を検討する考えを示した。稼働時期は「高炉の更新時期もあるので2030年以降になる」とした。（5月21日）

山特、印SSMIを完全子会社化 三井物産から株式追加取得

山陽特殊製鋼は、インドの特殊鋼メーカーで連結子会社「サンヨー・スペシャル・スチール・マニュファクチャリング・インディア」（SSMI）を完全子会社化した。従来の議決権所有割合は84.57%。三井物産が保有する株式を13億2,500万ルピー（約25億円）で追加取得することで、完全子会社とした。株式取得日は今月24日。

山特はインドにおける特殊鋼事業の展開を目的として2012年9月にSSMIの前身「マヒンドラ・サンヨー・スペシャル・スチール」に出資して合弁事業を開始。2018年6月には日系を含む現地のニーズや品質要求の高まりに対応するため連結子会社化した。その後はインドの事業拠点として経営リソースを投入。グローバル展開を強化してきた。

今後はSSMIの生産・販売・技術・人材・財務面を一層強化し、中長期的な経済成長が見込まれるインドにおけるプレゼンスを高め、グローバル展開の強化とさらなる成長を図っていく。（5月28日）

大同特殊鋼、成長事業へ戦略投資 知多第2のTi用VAR、1基追加

大同特殊鋼は、今後の成長ビジネ

業界のうごき

ス分野の戦略的設備投資を実行していく。知多第2工場（愛知県知多市）で医療用チタン製品の真空再溶解炉（VAR）を追加増強。星崎工場（名古屋市南区）では高合金、チタン製品などの難加工線材の競争力向上を目的に圧延ラインを増強する。磁石製造能力増強では電動車駆動モーター用磁石製造ラインを設置。戦略投資と事業体質強靱化に向けた選択と集中を継続し、高級鋼製品増産体制を確立し需要を捕捉する。

知多第2工場では現在、52億円を投じて高合金や半導体製造装置用高機能ステンレス鋼向け15トンVAR 2基を建設中で、今年度末の稼働を予定している。今後見込まれる医療用チタン製品の受注増環境に対応するため、今回新たにチタン用VAR 1基の追加増強を決定。チタン用VARは2基体制となり1基目は来年5月、2基目は2026年7月の稼働を目指す。総投資額は約41億円。

（5月13日）

日本高周波鋼業が3カ年中計策定 特殊合金・特殊ステンレスを拡販

日本高周波鋼業は、2024年度始動の3カ年中長期経営計画を策定した。稼働力の強化では特殊合金・特殊ステンレスを伸ばす。事業基盤の強化では、富山製造所を中心としたQCDD（品質・コスト・納期・開発）強化に向け3年間で60億円の設備投資を計画する。

連結経営指標は26年度に売上高450億円、営業利益30億円、営業利益率7%、ROIC（投下資本利益率）3%、株主還元30%を目標に掲げる。設備投資計画の内訳は戦略投資15億円、システム投資10億円、安全・環境対策15億円、更新など20億円。

特殊鋼事業のポートフォリオ改革では成熟市場（工具鋼、軸受鋼）は

堅守し、情報・医療・エネルギーなど成長分野で攻勢をかける。特殊鋼事業における特殊合金・特殊ステンレスの売上高比率は23年度39%（約100億円）から26年度47%（約150億円）に拡大する計画で、エネルギー関係がけん引役になる。（4月30日）

日本冶金・川崎、新冷延SL本稼働 23億円投資、能力増強・品質向上

日本冶金工業は、川崎製造所（川崎市川崎区）の薄板工場で高精度・高性能の4フィート幅スリッターラインの本格稼働に入った。川崎には熱延コイル用1基、冷延コイル用2基のスリッターラインがあり、熱延用は昨春改造を終え、冷延用1基を更新した。新スリッターラインは既設冷延スリッターラインに比べて生産能力が約60%向上し、スリット品質の向上、作業環境の改善を実現した。工場建屋増築を含む総投資額は約23億円。

期待効果は大きく3点あり、（1）段取り作業の効率化を主目的とした自動・省力化設備を最大限取り入れ、生産能力が高い（2）最新の技術を備えてスリット品質を向上しており、多様化・高度化するユーザーニーズに対応する（3）刃組みなど長年の経験と高度な技術を要する作業の自動化により、作業者の負荷が軽減する一を見込む。（4月10日）

ネツレンが新中計、3年で280億円投資 刈谷地区工場再編も着手

ネツレンは2026年度を最終年度とする3カ年中長期経営計画を策定した。30年度に向けた長期ビジョン達成の第2フェーズとして、主力事業で成長エンジンを育成する一方、開発中の新商品の市場投入、主力事業の関連分野のM&Aなどで新たな成長ドライバーを創出する。

連結経営目標では26年度に売上高

700億円、営業利益46億円、営業利益率6.5%、ROE 6.5%以上、ROA 5.5%以上、ROIC 5.5%以上を目指す。事業成長戦略と資本政策の両輪でバランスを取りながらROE向上を目指す。

新中計では新商品・新事業売上高比率は20%（23年度16%）へ拡大を目指す。投資計画は前中計の3.4倍に当たる280億円（定常投資120億円、戦略投資160億円）を計画する。熱処理受託加工の主力拠点である刈谷地区の工場再編を30年度にかけて順次実施する計画で、この一部も24年度投資額に含む。（5月27日）

プロテリアル、サンプル提供を開始 高硬度高耐食刃物用鋼を開発

プロテリアルは、高硬度高耐食刃物用鋼「YBS1」「YBS2」を開発した。切れ味と錆びにくさが同時に要求されるカミソリ用替刃、医療用メス、調理用刃物、アウトドアナイフなど幅広い用途を見込み、国内外でサンプル提供を開始した。

独自の金属組織・組成制御技術を駆使して、高い硬度と耐食性を兼ね備える刃物用鋼を開発した。世界トップブランドとして知られるカミソリ用替刃材での適用拡大も見込む。

刃物の切れ味は、主に硬さ、刃角度、表面の粗さなどで決まる。一般的な刃物用鋼は硬度にすぐれる高炭素鋼か、耐食性にすぐれるマルテンサイト系ステンレス鋼に大別される。

新鋼種は、適切な焼入れを行うことで高炭素鋼並みの高硬度を実現するとともに、刃物用マルテンサイト系ステンレス鋼並みの高耐食性を兼ね備える。YBS1は耐食性重視、YBS2は硬さ重視のスペックに位置づける。

（4月16日）

文責：（株）鉄鋼新聞社

特殊鋼統計資料

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別生産の推移

鋼種別

(単位：t)

年 月	構 造 用 鋼				特 殊 用 途 鋼						計	合 計
	工 具 鋼	機 械 構 造 用 炭 素 鋼	構 造 用 合 金 鋼	計	ばね鋼	軸 受 鋼	ス テ ン ス レ 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 鋼	そ の 他		
'22 暦年	206,094	4,161,155	3,482,662	7,643,817	318,691	838,284	2,439,490	475,955	4,516,055	447,854	9,036,329	16,886,240
'23 暦年	131,234	3,899,876	3,309,651	7,209,527	305,663	732,298	1,949,309	440,740	4,731,166	371,781	8,530,957	15,871,718
'22 年度	182,740	4,012,556	3,357,873	7,370,429	311,005	793,313	2,311,937	456,157	4,507,723	423,410	8,803,545	16,356,714
'23 年度	124,303	3,808,100	3,291,381	7,099,481	303,187	735,856	1,953,747	433,670	4,829,099	376,470	8,632,029	15,855,813
'23. 4-6月	38,246	952,827	846,719	1,799,546	76,517	188,980	495,423	106,383	1,144,291	89,220	2,100,814	3,938,606
7-9月	26,313	978,133	866,866	1,844,999	75,678	187,207	471,916	111,729	1,248,342	96,472	2,191,344	4,062,656
10-12月	31,337	984,424	810,733	1,795,157	79,080	180,417	488,160	110,947	1,212,833	88,301	2,159,708	3,986,202
'24. 1-3月	28,407	892,716	767,063	1,659,779	71,912	179,252	498,248	104,611	1,223,663	102,477	2,180,163	3,868,349
'23年 3月	12,274	331,947	270,470	602,417	24,343	53,137	166,793	40,345	403,993	34,279	722,890	1,337,581
4月	14,111	294,106	274,535	568,641	24,121	56,801	158,871	31,869	341,088	27,530	640,280	1,223,032
5月	12,338	328,136	301,747	629,883	24,464	63,799	163,134	36,763	416,512	32,096	736,768	1,378,989
6月	11,797	330,585	270,437	601,022	27,932	68,380	173,418	37,751	386,691	29,594	723,766	1,336,585
7月	10,747	339,636	307,640	647,276	27,577	67,017	167,599	35,808	397,380	30,878	726,259	1,384,282
8月	7,165	298,290	250,449	548,739	20,496	56,933	157,521	33,753	419,799	31,087	719,589	1,275,493
9月	8,401	340,207	308,777	648,984	27,605	63,257	146,796	42,168	431,163	34,507	745,496	1,402,881
10月	10,637	330,374	289,712	620,086	25,381	56,771	148,392	35,709	407,462	32,767	706,482	1,337,205
11月	10,268	340,608	286,660	627,268	27,645	62,265	170,404	39,084	419,744	26,926	746,068	1,383,604
12月	10,432	313,442	234,361	547,803	26,054	61,381	169,364	36,154	385,597	28,608	707,158	1,265,393
'24年 1月	8,297	305,237	260,534	565,771	20,176	58,454	156,079	36,081	443,561	35,346	749,697	1,323,765
2月	10,399	285,776	254,630	540,406	26,042	60,596	174,801	32,795	380,592	34,116	708,942	1,259,747
3月	9,711	301,703	251,899	553,602	25,694	60,202	167,368	35,735	399,510	33,015	721,524	1,284,837
4月	10,034	264,730	241,242	505,972	23,084	54,442	161,654	29,710	368,511	32,227	669,628	1,185,634
前 月 比	103.3	87.7	95.8	91.4	89.8	90.4	96.6	83.1	92.2	97.6	92.8	92.3
前年同月比	71.1	90.0	87.9	89.0	95.7	95.8	101.8	93.2	108.0	117.1	104.6	96.9

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

形 状 別

(単位：t)

年 月	形 鋼	棒 鋼	管 材	線 材	鋼 板	鋼 帯	合 計
'22 暦年	293,422	5,401,742	1,019,267	3,386,987	1,083,496	5,701,276	16,886,190
'23 暦年	232,299	5,089,014	930,232	3,120,799	1,021,303	5,477,902	15,871,549
'22 年度	278,130	5,185,205	997,569	3,270,099	1,070,471	5,555,186	16,356,660
'23 年度	224,655	5,025,161	936,013	3,117,568	1,033,099	5,519,352	15,855,848
'23. 4-6月	62,224	1,278,281	251,833	735,664	237,077	1,373,420	3,938,499
7-9月	63,402	1,291,768	248,030	793,923	279,239	1,386,253	4,062,615
10-12月	51,194	1,274,735	207,850	810,680	250,978	1,390,760	3,986,197
'24. 1-3月	47,835	1,180,377	228,300	777,301	265,805	1,368,919	3,868,537
'23年 3月	19,396	425,994	73,070	261,488	97,418	460,201	1,337,567
4月	20,279	395,035	95,916	220,493	80,985	410,313	1,223,021
5月	19,762	439,045	84,860	260,339	79,810	495,172	1,378,988
6月	22,183	444,201	71,057	254,832	76,282	467,935	1,336,490
7月	20,995	438,701	103,368	263,532	86,255	471,432	1,384,283
8月	11,866	392,938	69,527	244,818	84,371	471,964	1,275,484
9月	30,541	460,129	75,135	285,573	108,613	442,857	1,402,848
10月	18,966	437,015	83,080	260,985	76,245	460,914	1,337,205
11月	18,457	434,810	75,327	281,251	94,100	479,660	1,383,605
12月	13,771	402,910	49,443	268,444	80,633	450,186	1,265,387
'24年 1月	15,336	384,265	84,493	262,672	95,569	481,430	1,323,765
2月	16,926	382,904	80,180	253,809	81,099	444,828	1,259,746
3月	15,573	413,208	63,627	260,820	89,137	442,661	1,285,026
4月	17,998	344,918	80,634	238,726	96,806	406,544	1,185,626
前 月 比	115.6	83.5	126.7	91.5	108.6	91.8	92.3
前年同月比	88.8	87.3	84.1	108.3	119.5	99.1	96.9

出所：『経済産業省生産動態統計』から作成。

特殊鋼鋼材の鋼種別販売(商社+問屋)の推移 (同業者+消費者向け)

(単位:t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼				特 殊 用 途 鋼						計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力 鋼	そ の 他			
' 22 暦 年	240,621	2,647,463	1,418,096	4,065,559	60,774	373,650	1,457,325	114,890	71,058	91,912	2,169,609	6,475,789	
' 23 暦 年	222,460	2,603,870	1,370,867	3,974,737	96,262	338,483	1,206,080	101,169	58,915	82,812	1,883,721	6,080,918	
' 22 年 度	232,624	2,551,967	1,358,265	3,910,232	72,037	360,226	1,396,971	106,248	68,738	89,161	2,093,381	6,236,237	
' 23 年 度	218,218	2,615,710	1,413,014	4,028,724	95,069	331,334	1,159,703	99,779	58,281	81,495	1,825,661	6,072,603	
' 23年 8月 9月 10月 11月 12月 24年 1月 2月 3月 4月	16,961	210,199	117,866	328,065	7,868	26,542	83,966	7,529	4,048	6,276	136,229	481,255	
	18,200	244,202	133,483	377,685	7,752	28,706	97,337	8,535	4,385	6,402	153,117	549,002	
	20,581	250,129	136,525	386,654	9,094	32,455	99,104	8,612	4,769	7,386	161,420	568,655	
	18,519	244,028	131,643	375,671	8,659	28,419	100,228	9,121	5,759	6,667	158,853	553,043	
	16,649	226,282	124,265	350,547	8,312	28,074	96,034	8,163	4,878	6,255	151,716	518,912	
	16,736	211,956	115,755	327,711	7,219	25,628	87,119	6,793	4,638	6,138	137,535	481,982	
	17,298	215,734	119,487	335,221	7,398	27,393	95,542	8,486	5,313	6,178	150,310	502,829	
	17,257	195,123	114,007	309,130	7,825	22,826	97,572	7,659	4,937	7,295	148,114	474,501	
	17,322	209,620	120,371	329,991	7,119	25,466	97,835	7,352	5,473	8,223	151,468	498,781	
前 月 比	100.4	107.4	105.6	106.7	91.0	111.6	100.3	96.0	110.9	112.7	102.3	105.1	
前年同月比	90.2	111.0	128.7	116.9	88.6	100.1	93.2	81.2	113.5	114.0	94.9	108.2	

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼熱間圧延鋼材の鋼種別メーカー在庫の推移

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							合 計
		機械構造用炭素鋼	構 造 用 金 鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力 鋼	そ の 他	計	
'22 暦 年	10,897	221,700	136,904	358,604	21,346	37,569	156,975	22,390	137,751	16,870	392,901	762,402
'23 暦 年	6,379	184,699	122,687	307,386	17,529	33,998	112,876	17,584	147,601	16,229	345,817	659,582
'22 年 度	8,870	207,670	133,119	340,789	17,942	28,734	126,791	21,907	129,474	19,381	344,229	693,888
'23 年 度	6,318	190,855	126,343	317,198	21,360	32,140	115,164	19,343	145,922	20,728	354,657	678,173
'23年 8月	5,300	202,583	135,438	338,021	17,208	35,141	115,344	22,024	160,053	21,536	371,306	714,627
	5,147	196,741	138,584	335,325	19,157	35,195	99,891	22,671	171,599	18,890	367,403	707,875
	5,326	193,014	124,999	318,013	17,787	31,816	96,180	21,202	148,963	23,132	339,080	662,419
	5,719	195,715	122,668	318,383	17,681	30,703	107,724	19,403	137,179	20,080	332,770	656,872
'24年 12月	6,379	184,699	122,687	307,386	17,529	33,998	112,876	17,584	147,601	16,229	345,817	659,582
	6,275	193,940	123,871	317,811	17,848	30,429	112,645	21,139	155,758	26,397	364,216	688,302
	6,834	199,119	124,482	323,601	19,326	32,509	115,026	19,220	154,755	27,598	368,434	698,869
	6,318	190,855	126,343	317,198	21,360	32,140	115,164	19,343	145,922	20,728	354,657	678,173
	5,409	180,027	113,027	293,054	18,926	28,648	114,106	16,870	144,963	22,198	345,711	644,174
前 月 比	85.6	94.3	89.5	92.4	88.6	89.1	99.1	87.2	99.3	107.1	97.5	95.0
前年同月比	50.1	89.6	85.7	88.1	97.5	94.3	87.8	80.5	101.4	121.9	95.5	91.3

出所：経済産業省『鉄鋼生産内訳月報』から作成。

特殊鋼鋼材の流通在庫の推移 (商社+問屋)

(単位:t)

年 月	工 具 鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼							計	合 計
		機械構造用炭素鋼	構造用合金鋼	計	ばね鋼	軸受鋼	ス レ テ ン ス 鋼	快 削 鋼	高 抗 張 力 鋼	そ の 他			
'22 暦 年	81,587	253,146	197,352	450,498	11,832	52,605	258,437	12,975	14,050	8,869	358,768	890,853	
'23 暦 年	79,254	272,987	225,003	497,990	4,212	53,648	245,905	12,373	13,819	6,796	336,753	913,997	
'22 年 度	81,307	258,660	201,555	460,215	5,698	53,549	251,097	11,289	13,844	10,330	345,807	887,329	
'23 年 度	80,788	265,640	219,878	485,518	4,220	53,304	254,822	12,870	13,897	9,408	348,521	914,827	
'23年	8月	80,427	240,311	194,421	434,732	3,758	56,113	247,957	10,393	13,427	7,168	338,816	853,975
	9月	79,628	241,644	198,384	440,028	3,784	55,401	251,703	11,187	13,504	7,972	343,551	863,207
	10月	78,816	241,960	195,315	437,275	3,936	52,542	246,707	11,192	13,959	7,272	335,608	851,699
	11月	77,771	238,409	192,463	430,872	3,348	53,053	246,656	12,289	13,241	7,019	335,606	844,249
	12月	79,254	272,987	225,003	497,990	4,212	53,648	245,905	12,373	13,819	6,796	336,753	913,997
'24年	1月	78,805	273,421	217,674	491,095	3,983	52,479	247,115	12,445	13,791	7,098	336,911	906,811
	2月	78,950	262,986	215,291	478,277	4,189	53,578	247,111	13,237	13,772	7,232	339,119	896,346
	3月	80,788	265,640	219,878	485,518	4,220	53,304	254,822	12,870	13,897	9,408	348,521	914,827
	4月	80,430	262,061	217,724	479,785	4,860	54,140	253,568	12,875	13,798	6,994	346,235	906,450
前 月 比	99.6	98.7	99.0	98.8	115.2	101.6	99.5	100.0	99.3	74.3	99.3	99.1	
前年同月比	99.5	105.7	111.5	108.3	98.3	107.4	104.1	114.2	100.6	70.8	103.7	105.7	

出所：一般社団法人特殊鋼倶楽部『特殊鋼鋼材需給月報調査』から作成。

(注) 2018年3月より経済産業省『鉄鋼需給動態統計調査』から特殊鋼倶楽部業界自主統計化へ変更した。

特殊鋼鋼材の輸出入推移

輸 出

(単位：t)

年 月	工具鋼	構 造 用 鋼			特 殊 用 途 鋼					そ の 他 の 鋼			特 殊 鋼 鋼材合計	
		機械構造 用炭素鋼	構造用 合金鋼	計	ばね鋼	ステンレス鋼	快削鋼	ピアノ 線 材	計	高炭素鋼	合金鋼	計		
'22 暦 年	39,183	381,705	495,244	876,949	166,355	786,001	97,860	71,081	1,121,297	3,180	4,900,636	4,903,816	6,941,245	
'23 暦 年	27,430	330,181	432,404	762,585	154,170	687,942	77,594	49,297	969,003	2,384	4,406,897	4,409,280	6,168,298	
'22 年 度	37,482	369,309	484,741	854,050	164,491	757,239	90,378	70,711	1,082,819	3,209	4,735,671	4,738,880	6,713,231	
'23 年 度	25,446	328,463	410,320	738,783	145,601	678,595	76,319	49,323	949,838	2,112	4,543,153	4,545,265	6,259,333	
'23年 7月	1,831	27,605	37,452	65,057	14,660	52,268	6,492	3,526	76,947	176	372,250	372,426	516,262	
	8月	1,656	24,686	29,736	54,422	8,361	57,766	3,876	3,555	73,557	143	374,416	374,559	504,194
	9月	2,051	30,472	35,489	65,961	13,741	56,952	9,076	5,546	85,314	162	364,442	364,603	517,929
	10月	2,276	28,373	38,103	66,476	12,640	53,845	5,500	3,238	75,223	132	363,648	363,780	507,755
	11月	2,124	25,926	38,496	64,422	12,866	52,844	8,150	4,203	78,063	153	375,885	376,038	520,647
'24年	12月	2,180	32,094	35,514	67,607	12,199	62,200	6,849	5,511	86,758	219	361,406	361,625	518,171
	1月	1,964	24,215	29,411	53,626	10,843	51,299	6,154	2,166	70,462	142	389,404	389,546	515,598
	2月	2,038	25,993	34,570	60,563	11,784	56,863	5,731	7,758	82,136	270	370,271	370,541	515,277
	3月	2,361	31,035	31,061	62,096	9,479	61,263	7,057	3,586	81,385	119	413,614	413,732	559,574
	4月	2,239	22,257	40,106	62,363	15,310	58,713	6,655	2,890	83,568	202	321,172	321,374	469,544
前 月 比	94.9	71.7	129.1	100.4	161.5	95.8	94.3	80.6	102.7	170.0	77.7	77.7	83.9	
前年同月比	96.1	87.6	126.9	109.4	155.4	95.0	136.6	184.7	107.0	84.7	91.4	91.4	96.0	

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

輸 入

(単位：t)

年 月	工具鋼	ばね鋼	ス テ ン レ ス 鋼						快削鋼	その他の鋼			特殊鋼 鋼材合計
			形鋼	棒鋼	線材	鋼板類	鋼管	計		高炭素鋼	合金鋼	計	
'22 暦 年	4,066	16,285	344	12,418	11,486	264,312	20,503	309,062	171	7,158	178,111	185,269	514,853
'23 暦 年	2,272	21,741	399	9,614	9,100	201,615	18,626	239,354	74	13,527	170,682	184,208	447,649
'22 年 度	3,489	17,731	395	11,981	10,646	235,419	20,335	278,777	138	8,721	173,885	182,606	482,740
'23 年 度	2,233	22,166	407	9,430	9,110	217,254	18,220	254,420	71	12,336	168,071	180,407	459,297
'23年 7月	150	2,246	41	843	647	19,303	1,465	22,299	2	2,440	13,791	16,231	40,928
8月	171	1,425	22	805	689	20,019	1,446	22,979	-	357	13,388	13,744	38,319
9月	250	1,751	32	830	686	18,214	1,756	21,519	2	975	17,190	18,165	41,686
10月	127	1,701	38	673	881	15,234	1,390	18,215	3	486	11,512	11,998	32,044
11月	175	1,648	43	649	736	17,558	1,780	20,767	2	1,273	16,720	17,992	40,585
12月	164	1,449	17	866	935	16,705	1,201	19,724	2	1,835	12,205	14,040	35,379
'24年 1月	170	1,698	63	712	828	19,173	1,567	22,343	3	779	13,911	14,690	38,903
2月	123	1,540	50	738	715	21,994	1,310	24,808	12	382	12,658	13,040	39,524
3月	263	2,153	29	903	789	17,680	1,454	20,855	1	1,253	14,162	15,415	38,686
p 4月	243	2,252	54	901	941	25,133	1,477	28,506	5	1,440	13,727	15,167	46,173
前 月 比	92.5	104.6	183.2	99.8	119.1	142.2	101.6	136.7	565.0	114.9	96.9	98.4	119.4
前年同月比	127.2	116.4	210.0	132.6	124.3	144.7	109.2	141.2	10.2	226.6	108.0	113.7	129.3

出所：財務省関税局『貿易統計』から作成。

(注) p:速報値

関連産業指標推移

(単位：台)

(単位：億円)

年 月	四輪自動車生産		四輪完成車輸出		新 車 登 録・ 軽自動車販売		建設機械生産		産業車輛生産		機 械 受注額	産業機械 受注額	工作機械 受注額	
		うち トラック		うち トラック		うち トラック	ブル ドーザ	パワー ショベル	フォーク リフト	ショベル トラック				
'22 暦 年	7,835,482	1,184,553	3,813,269	406,156	4,201,320	747,543	-	232,157	126,574	11,795	107,418	52,146	17,596	
'23 暦 年	8,998,538	1,127,470	4,422,682	341,140	4,779,086	777,949	-	238,886	105,102	13,322	103,550	55,504	14,865	
'22 年 度	8,100,863	1,195,947	3,864,096	396,817	4,385,649	765,986	-	230,526	123,367	12,099	107,937	52,652	17,056	
'23 年 度	8,678,446	1,034,605	4,462,335	317,691	4,528,668	713,014	-	235,643	99,584	13,384	102,968	55,822	14,531	
'23年	7月	778,052	90,188	396,705	30,756	379,052	57,436	-	20,312	9,143	1,108	8,463	6,138	1,143
	8月	639,383	85,332	354,697	26,056	340,341	59,114	-	18,611	7,681	977	8,447	4,423	1,148
	9月	840,648	100,193	411,833	30,877	437,493	73,318	-	20,944	8,780	1,257	8,548	5,487	1,339
	10月	818,358	100,250	403,899	28,334	397,672	62,456	-	21,210	8,592	1,348	8,536	3,099	1,121
'24年	11月	857,001	104,551	399,591	24,474	411,089	66,278	-	20,533	8,649	1,306	8,219	3,428	1,159
	12月	741,457	90,612	432,532	29,727	362,839	60,334	-	19,282	7,957	1,144	8,378	7,359	1,271
	1月	578,126	61,653	295,133	22,755	334,876	48,691	-	17,370	6,780	888	8,238	3,716	1,110
	2月	616,763	54,964	350,166	21,657	344,820	45,355	-	18,150	7,825	1,123	8,868	4,075	1,142
	3月	710,389	93,766	348,539	22,262	451,444	66,076	-	19,546	7,899	1,022	9,130	6,459	1,357
	4月	-	-	365,106	26,501	310,345	50,902	-	17,550	8,081	1,107	8,863	3,962	1,209
	前 月 比	-	-	104.8	119.0	68.7	77.0	-	89.8	102.3	108.3	97.1	61.3	89.1
	前年同月比	-	-	100.4	102.7	88.8	85.4	-	88.9	92.7	109.7	100.1	124.5	91.1

出所：四輪自動車生産、四輪完成車輸出は(一社)日本自動車工業会『自動車統計月報』、

新車登録は(一社)日本自動車販売協会連合会『新車・月別販売台数(登録車)』、

軽自動車販売は(一社)全国軽自動車協会連合会『軽四輪車新車販売確報』、

建設機械生産、産業車輛生産は『経済産業省生産動態統計』、

機械受注額は内閣府『機械受注統計調査』、産業機械受注額は(一社)日本産業機械工業会『産業機械受注状況』、

工作機械受注額は(一社)日本工作機械工業会『受注実績調査』

(注) r:訂正値

特殊鋼需給統計総括表

2 0 2 4 年 4 月 分

鋼種別	月 別		実 数 (t)	前月比 (%)	前 年 同月比(%)	2015年基準 指 数(%)	
	項 目						
工 具 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		10,034	103.3	71.1	48.7	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		243	92.5	127.2	78.8	
	販 売 業 者	受 入 計	16,964	88.8	90.5	62.8	
		販 売 計	17,322	100.4	90.2	65.9	
		うち消費者向	14,406	101.3	102.9	76.1	
		在 庫 計	80,430	99.6	99.5	136.2	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		2,239	94.9	96.1	47.0	
	生 産 者 工 場 在 庫		5,409	85.6	50.1	65.2	
	総 在 庫		85,839	98.5	93.7	127.4	
	構 造 用 鋼	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		505,972	91.4	89.0	74.0
販 売 業 者		受 入 計	324,258	102.5	122.3	49.6	
		販 売 計	329,991	106.7	116.9	50.5	
		うち消費者向	270,245	110.1	121.5	61.5	
		在 庫 計	479,785	98.8	108.3	136.4	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		62,363	100.4	109.4	75.9		
生 産 者 工 場 在 庫		293,054	92.4	88.1	83.8		
総 在 庫		772,839	96.3	99.6	110.1		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		23,084	89.8	95.7	64.2		
ね 鋼		鋼 材 輸 入 実 績 計		2,252	104.6	116.4	552.7
	販 売 業 者	受 入 計	7,759	98.8	106.5	36.6	
		販 売 計	7,119	91.0	88.6	33.9	
		うち消費者向	2,356	83.1	99.9	50.7	
		在 庫 計	4,860	115.2	98.3	39.8	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		15,310	161.5	155.4	97.4	
	生 産 者 工 場 在 庫		18,926	88.6	97.5	73.3	
	総 在 庫		23,786	93.0	97.6	62.5	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		161,654	96.6	101.8	70.4	
	ス テ ン レ ス 鋼	鋼 材 輸 入 実 績 計		28,506	136.7	141.2	197.0
販 売 業 者		受 入 計	96,581	91.7	99.0	38.5	
		販 売 計	97,835	100.3	93.2	38.9	
		うち消費者向	48,934	109.5	99.1	87.5	
		在 庫 計	253,568	99.5	104.1	185.5	
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		58,713	95.8	95.0	67.0		
生 産 者 工 場 在 庫		114,106	99.1	87.8	99.0		
総 在 庫		367,674	99.4	98.4	146.0		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		29,710	83.1	93.2	57.9		
快 削 鋼		販 売 業 者	受 入 計	7,357	100.9	81.4	52.0
	販 売 計		7,352	96.0	81.2	51.1	
	うち消費者向		6,755	93.8	77.2	48.5	
	在 庫 計		12,875	100.0	114.2	95.1	
	鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		6,655	94.3	136.6	69.6	
	生 産 者 工 場 在 庫		16,870	87.2	80.5	60.8	
	総 在 庫		29,745	92.3	92.3	72.0	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		368,511	92.2	108.0	89.3	
	高 抗 張 力 鋼	販 売 業 者	受 入 計	5,374	106.2	114.7	52.3
			販 売 計	5,473	110.9	113.5	53.8
うち消費者向			4,618	114.0	116.1	68.9	
在 庫 計			13,798	99.3	100.6	125.9	
生 産 者 工 場 在 庫		144,963	99.3	101.4	76.4		
総 在 庫		158,761	99.3	101.3	79.1		
熱 間 圧 延 鋼 材 生 産		86,669	93.0	102.8	62.6		
そ の 他		販 売 業 者	受 入 計	32,111	100.3	110.6	79.2
			販 売 計	33,689	111.8	103.2	83.1
			うち消費者向	32,640	112.2	104.4	88.8
	在 庫 計		61,134	97.5	101.4	115.1	
	生 産 者 工 場 在 庫		50,846	96.2	104.6	73.5	
	総 在 庫		111,980	96.9	102.9	91.6	
	熱 間 圧 延 鋼 材 生 産 合 計		1,185,634	92.3	96.9	75.4	
	鋼 材 輸 入 実 績 計		46,173	119.4	129.3	56.8	
	販 売 業 者	受 入 計	490,404	99.5	113.7	48.2	
		販 売 計	498,781	105.1	108.2	49.0	
うち消費者向		379,954	109.3	114.4	66.0		
在 庫 計		906,450	99.1	105.7	142.2		
鋼 材 輸 出 船 積 実 績 計		469,544	83.9	96.0	73.0		
生 産 者 工 場 在 庫		644,174	95.0	91.3	82.0		
総 在 庫		1,550,624	97.3	99.2	109.0		
特 殊 鋼 鋼 材 合 計							

出所: 鋼材輸入実績及び鋼材輸出船積実績は財務省関税局『貿易統計』、

それ以外は経済産業省『経済産業省生産動態統計』、『鉄鋼生産内訳月報』、但し総在庫は特殊鋼倶楽部で計算。

(注) 総在庫とは販売業者在庫に生産者工場在庫を加算したもの。生産者工場在庫は熱間圧延鋼材のみで、冷間圧延鋼材及び鋼管を含まない。また、工場以外の置場にあるものは、生産者所有品であってもこれを含まない。

倶楽部だより

(2024年4月1日～5月31日)

理事会

第1回(5月20日・対面会議+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算案について
- ③2024年度定時総会における役員選任案について
- ④2024年度定時総会招集案について
- ⑤その他報告等

運営委員会

本委員会(5月17日・対面会議+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算案について
- ③2024年度定時総会における役員選任案について
- ④その他報告等

総務分科会・財務分科会(5月15日・対面会議+Web会議)

- ①2023年度事業報告案について
- ②2023年度決算案について
- ③2024年度定時総会における役員選任案について
- ④その他報告等

2023年度監事監査(4月26日・対面)

市場開拓調査委員会

特殊鋼PR展示・講演会WG

第11回高機能金属展 大阪展

- ①協賛すると共にブースを出展(5月8～10日)
- ②技術セミナーを開催(5月10日)

編集委員会

本委員会(4月23日・Web会議)

- ①編集委員会委員・特殊鋼倶楽部事務局職員交代の報告
- ②2024年9月号特集「ミルシートと技術データに関する解説(仮題)」の編集方針、内容の確認
- ③2025年1月号以降の特集テーマの選定

小委員会(5月23日・Web会議)

2024年11月号特集「特殊鋼棒線の圧延(仮題)」の編集内容の検討

人材確保育成委員会

2024年度特殊鋼教養講座(1回目/新入社員限定)(4月12日)

テーマ:鉄鋼業の歴史と先端技術による未来への挑戦

講師:(一社)特殊鋼倶楽部 専務理事
協本 真也

方式:オンライン同時配信(東京、名古屋、大阪3地区)

受講者:61名

流通委員会

説明会(4月15日)

演題:2024年度第1・四半期の特殊鋼需要見通し

講師:一般社団法人特殊鋼倶楽部 審議役
村林 正喜

方式:オンライン同時配信(東京・名古屋・大阪3地区)

参加者:120名

その他

物流2024年問題について、一般社団法人日本鉄鋼連盟主催「製品物流小委員会」への特殊鋼メーカー3社と共に参加協力した。

4月度小委員会(4月17日・ハイブリッド会議〔対面+Web〕)

5月度小委員会(5月28日・ハイブリッド会議〔対面+Web〕)

[大阪支部]

運営委員会(5月15日・対面会議)

- ①2023年度事業
- ②2023年度収支
- ③2024年度事業計画(案)
- ④2024年度収支予算(案)

2023年度会計監査(5月13日、15日・対面)

第11回高機能金属展 大阪展に協賛すると共に
ブースを出展（5月8～10日）再掲

説明会（4月15日・三団体共催）再掲

演 題：2024年度第1・四半期の特殊鋼需要
見通し

講 師：（一社）特殊鋼倶楽部 審議役
村林 正喜 氏

方 式：オンライン同時配信（東京・名古屋・
大阪3地区）

参加者：25名（大阪地区参加）

[名古屋支部]

運営委員会（5月22日・対面会議）

定時総会内容事前確認

部会

工具鋼部会（4月18日・対面会議）

構造用鋼部会（4月25日・対面会議）

ステンレス鋼部会（4月24日・対面会議）

講座、研修会、セミナー等

説明会（4月15日・全特協との共催）再掲

演 題：2024年度第1・四半期の特殊鋼需
要見通し

講 師：（一社）特殊鋼倶楽部 審議役
村林 正喜

方 式：オンライン同時配信（東京・名古屋・
大阪3地区）

参加者：28名（名古屋地区参加）

2024年度特殊鋼教養講座（1回目／新入社員
限定）（4月12日）

テーマ：鉄鋼業の歴史と先端技術による未
来への挑戦

講 師：（一社）特殊鋼倶楽部 専務理事
脇本 眞也

方 式：オンライン同時配信（東京、名古屋、
大阪3地区）

受講者：17名（名古屋地区参加）

新入社員研修（4月19日）

テーマ：仕事の基本

講 師：リ・カレント 森 仁 氏

方 式：対面

参加者：16名

2023年度会計監査（5月7日、8日・対面）

特殊鋼倶楽部の動き

副会長交代について

2024年6月10日（月）に開催した特殊鋼倶楽部2024年度定時総会後の理事会において、副会長の交代による新副会長が選定されました。

【新任副会長】

久木田 至 氏（櫻井鋼鐵株式会社 代表取締役社長）

【退任副会長】

樋 已芳 氏（辰巳屋興業株式会社 代表取締役社長）

一般社団法人特殊鋼倶楽部 三役名簿

2024年6月10日付

	役 名	氏 名	会 社 名	役 職 名
	会長（代表理事）	清 水 哲 也	大 同 特 殊 鋼 (株)	代 表 取 締 役 社 長
	副会長	中 川 真 史	愛 知 製 鋼 (株)	執行職営業統括本部主査
	副会長	手 塚 敏 之	三井物産スチール (株)	代 表 取 締 役 社 長
新任	副会長	久木田 至	櫻 井 鋼 鐵 (株)	代 表 取 締 役 社 長
	専務理事（代表理事）	脇 本 眞 也	(一社) 特殊鋼倶楽部	事 務 局 長

「2024年度 特殊鋼教養講座（1回目／新入社員限定）」 を開催しました

本講座は、一般社団法人特殊鋼倶楽部 人材確保育成委員会が人材育成に関する事業の一環として、会員各社の社員教育の一助となるべく毎年度実施しています。

今回は2024年度の第1回目として、新入社員対象の限定にし、新たに鉄鋼業界に入られた新入社員の方には基礎知識を習得し、業務への知見を深められる絶好の機会と捉え、スピード感をもって全会員の方に聴講していただけるよう、オンラインにより下記のとおり開催しました。

受講者の皆様には、鉄と宇宙の成り立ち、製造方法の進化、身の回りにある製品との深い関係、将来の展望など歴史的背景や社会への役割、昨今のカーボンニュートラルとの関係などについて、初心者でもわかる内容と説明で理解しやすく勉強できたことと思います。

受講されました皆様には、大変お疲れさまでした。

日 時：2024年4月12日（金）10時00分～11時30分

方 式：オンライン同時配信（東京、名古屋、大阪3地区）

演 題：「鉄鋼業の歴史と先端技術による未来への挑戦」

講 師：一般社団法人特殊鋼倶楽部 専務理事 脇本真也

受講者：61名

「第11回メタルジャパン 高機能金属展 大阪展」 (於：インテックス大阪) へ出展しました

特殊鋼倶楽部は5月8日-10日にインテックス大阪で開催されました「第11回メタルジャパン 高機能金属展 大阪展」の協賛団体として出展しました。

特殊鋼倶楽部ブースには、会員企業から自社製品PRを目的として秋山精鋼株式会社殿、株式会社川口金属加工殿、南海モルディ株式会社殿の3社が出展し、積極的なPR活動を実施しました。

また、5月10日には、メタルジャパン専門セミナーに大同特殊鋼株式会社 機能製品事業部次世代製品開発センター新事業企画推進室 副主席部員 奥村 鉄平様が「特殊鋼と3Dプリンタ」と題して講演されました。

ブースにはさまざまな業種の多くの方にお立ち寄り頂き、特殊鋼及び当倶楽部の認知度アップに貢献しました。

以下に会場写真を掲載いたします。



一般社団法人特殊鋼倶楽部 会員会社一覧

(社名は50音順)

【会 員 数】		【販売業者会員】			
製造業者	24社	愛 鋼 (株)	大 同 興 業 (株)	古 池 銅 業 (株)	
販売業者	100社	青 山 特 殊 銅 (株)	大同DMソリューション(株)	(株) プ ル ー タ ス	
合 計	124社	浅 井 産 業 (株)	大 洋 商 事 (株)	(株) プロテリアル特殊銅	
		東 金 属 (株)	大 和 特 殊 銅 (株)	平 和 銅 材 (株)	
		新 井 ハ ガ ネ (株)	(株) 竹 内 ハ ガ ネ 商 行	(株) 堀 田 ハ ガ ネ	
		栗 井 銅 商 事 (株)	孟 銅 鉄 (株)	(株) マクシスコーポレーション	
		伊 藤 忠 丸 紅 鉄 銅 (株)	辰 巳 屋 興 業 (株)	松 井 銅 材 (株)	
		伊 藤 忠 丸 紅 特 殊 銅 (株)	千 曲 銅 材 (株)	三 沢 興 産 (株)	
		(株) I S S リ ア ラ イ ズ	(株) テ ク ノ タ ジ マ	三 井 物 産 (株)	
		(株) U E X	(株) 鐵 鋼 社	三井物産スチール(株)	
		碓 井 銅 材 (株)	デルタスティール(株)	(株) メ タ ル ワ ン	
		ウ メ ト ク (株)	東京貿易マテリアル(株)	(株) メタルワンチューブラー	
		扇 銅 材 (株)	(株) 東 信 銅 鉄	(株) メタルワン特殊銅	
		岡 谷 銅 機 (株)	(株) ト ー キ ン	森 寅 銅 業 (株)	
		カ ネ ヒ ラ 鉄 銅 (株)	特 殊 銅 機 (株)	(株) 山 一 ハ ガ ネ	
		兼 松 (株)	豊 田 通 商 (株)	山 進 産 業 (株)	
		兼松トレーディング(株)	中 川 特 殊 銅 (株)	ヤ マ ト 特 殊 銅 (株)	
		(株) カ ム ス	中 島 特 殊 銅 (株)	山 野 銅 材 (株)	
		(株) カ ワ イ ス チ ー ル	中 野 ハ ガ ネ (株)	陽 銅 物 産 (株)	
		川 本 銅 材 (株)	永 田 銅 材 (株)	菱 光 特 殊 銅 (株)	
		北 島 銅 材 (株)	名 古 屋 特 殊 銅 (株)	リ ン タ ツ (株)	
		ク マ ガ イ 特 殊 銅 (株)	ナ ス 物 産 (株)	渡 辺 ハ ガ ネ (株)	
		小 山 銅 材 (株)	南 海 モ ル デ ィ (株)		
		佐 久 間 特 殊 銅 (株)	日 金 ス チ ー ル (株)		
		櫻 井 銅 鐵 (株)	日 鉄 物 産 (株)		
		佐 藤 商 事 (株)	日鉄物産特殊銅(株)		
		サ ハ シ 特 殊 銅 (株)	日 本 金 型 材 (株)		
		(株) 三 悦	ノ ボ ル 銅 鉄 (株)		
		三 協 銅 鐵 (株)	野 村 銅 機 (株)		
		三 京 物 産 (株)	白 鷺 特 殊 銅 (株)		
		三 興 銅 材 (株)	橋 本 銅 (株)		
		三 和 特 殊 銅 (株)	(株) 長 谷 川 ハ ガ ネ 店		
		J F E 商 事 (株)	(株) ハ ヤ カ ワ カ ン パ ニ ー		
		芝 本 産 業 (株)	林 田 特 殊 銅 材 (株)		
		清 水 金 属 (株)	阪 神 特 殊 銅 (株)		
		清 水 銅 鐵 (株)	阪 和 興 業 (株)		
		神 鋼 商 事 (株)	(株) 平 井		
		住 友 商 事 (株)	(株) フ ク オ カ		
		住友商事グローバルメタルズ(株)	藤 田 商 事 (株)		

“特集” 編集後記

軸受および軸受用鋼に関する特集は、2003年、2009年、最近では2017年に組まれており、今回は7年ぶりの刊行となります。その間、2020年に日本政府によるカーボンニュートラル宣言があり、様々な業界において、CO2削減に向けた取り組みがなされています。

軸受は、各種装置の回転運動における摩擦抵抗を減らすことで効率的にエネルギーを伝達する部品であり、様々な製品においてCO2削減に寄与するエコプロダクトと言えます。更に小型化・軽量化をはかることにより、自動車などの燃費向上にも貢献しています。また、再生可能エネルギーを創出する風力発電機には、主軸用、増速機用、発電機用などに使用される軸受が非常に重要な役割を果たしています。一方、軸受には多くの特殊鋼が使われており、その素材の製造および軸受製品の製造過程においては、CO2が排出されているの

が現状です。

このように、カーボンニュートラルに大きな影響を与える軸受は、多種多様の加工・熱処理・検査工程を経ることで、長期間にわたって使用される高い信頼性が得られています。

本号では、このような市場環境に対応する軸受の最新動向に加え、軸受用鋼の基礎知識についてもやさしく解説しています。素材としての軸受用鋼の特徴と、軸受製品の製造方法・機能を理解することで、カーボンニュートラルに関心を持つきっかけになれば、編集委員として嬉しく思います。

最後になりましたが、本特集号にご寄稿頂きました執筆者の皆様、また編集委員の皆様および事務局各位にこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

〔山陽特殊製鋼(株) にしもり ひろし
東京支社 西森 博〕

【「特殊鋼」 定価・年間購読料改定のお知らせ】

平素は、「特殊鋼」をご愛読いただき、厚く御礼申し上げます。

この度、「特殊鋼」の定価並びに年間購読料につきまして、昨今の原材料価格高騰による印刷製本費、発送に係る物流費などの上昇に伴い、止むを得ず2024年5月号より以下のとおり改定させていただきます。

今後、なお一層内容の精査と充実を図るべく質の向上に努めてまいりますので、何卒ご理解賜りますようお願い申し上げます。

	現 行		改 定
単品定価（1冊） 税込み送料別	1,252円	⇒	1,320円
年間購読料（6冊） 税込み送料共	7,434円	⇒	7,782円

特 集／ミルシートと技術データに関する解説

はじめに

I. 総論

1. ミルシートを読む
2. 熱処理データを読む
3. 物理定数を読む

II. 各論

1. 構造用鋼
2. ばね鋼
3. 軸受鋼
4. 工具鋼
5. 耐熱鋼
6. ステンレス鋼
7. 電磁材料
8. その他

11月号特集予定…特殊鋼棒線の圧延・鍛造に関する解説

特 殊 鋼

第 73 巻 第 4 号
©2024 年 7 月
2024年6月25日 印 刷
2024年7月1日 発 行

定 価 1,320円 送 料 200円
1年 国内7,782円（送料共）

発 行 所
一般社団法人 特 殊 鋼 倶 楽 部
Special Steel Association of Japan

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3丁目2番10号 鉄鋼会館
電 話 03(3669)2081・2082
ホームページURL <http://www.tokushuko.or.jp>

編集発行人 脇 本 眞 也
印刷人 増 田 達 朗
印刷所 レタープレス株式会社

本誌に掲載されたすべての内容は、一般社団法人 特殊鋼倶楽部の許可なく転載・複写することはできません。