

大形軸受の実機ユニット評価について

株式会社ジェイテクト

軸受事業本部 実験解析部

後藤 将夫

1. はじめに

転がり軸受は機械の回転部分を支える重要な機械要素としてあらゆる産業で広く使用されている。近年、機械や装置の小型軽量化・信頼性の向上・メンテナンスフリー化の要求に伴い、転がり軸受への要求性能に対するニーズも多様化してきている。特に産業機械分野などで広く使用される大形サイズの軸受については、多様なニーズに対応した製品を開発するために実機使用や使用環境を考慮した条件での評価が重要となっている。

当社では2014年に大形軸受技術開発センターを開設し、顧客のニーズに直結した技術開発と高付加価値製品の開発に取り組んできた。

本稿では、鉄道車両・鉄鋼設備・風力発電用途に使用される大形軸受について、実際環境に近い状態での評価に取り組んでいる事例について紹介する。

2. 高速鉄道車両用軸受の評価

新幹線は約50年前の開業当時の最高速度は210km/hであったが現在では300km/hを超え更なる高速化が求められている。また、鉄道車両用軸受は航空機用軸受と同様運転中の損傷は許されず絶対の信頼性が必要である。

当社では最高速度500km/hまで、さらに実車走行時にレールから伝わる荷重や振動、カーブ走行時の遠心力、走行風等を走行パターンとともに再現することが可能な車軸用軸受試験設備（図1）を導入した。

この試験機では、実車走行時にレールから伝わる荷重や振動、カーブを走行する場合に作用する遠心力、レールのつなぎ目による衝撃荷重などを、走行パターンとともに再現することが可能である。



図1 高速鉄道車両用軸受試験機

本試験機は電車が実際に走行する時の車軸の動きを忠実にシミュレーションできることから、実車では測定できない軸受に作用する荷重や転動体荷重の測定、転動体やグリースの挙動を解析が可能であり、高速走行でも低昇温でかつ信頼性の高い軸受の開発に取り組んでいる。

3. 鉄鋼設備用軸受の評価

3.1 鉄鋼設備用軸受の使用環境

鉄鋼設備には高い信頼性が求められ、さらに効率向上と安定稼動が重要な課題となっている。一方で鉄鋼設備用軸受は非常に過酷な条件下で使用されることが多い。特にその中でも軸受への負荷荷重および雰囲気条件という観点では鉄鋼設備用軸受の使用環境は他と比較してもきわめて過酷である。

図2に種々の転がり軸受用途に対する $d \times n$ （ d ：軸受内径(mm)， n ：回転速度(min^{-1})）と P/C （ P ：動等価荷重(kN)， C ：基本動定格荷重(kN)）の関係を示す。例えば連続鋳造機用軸受は極低速・高荷重条件下で使用され、負荷条件が過酷であるとともに軸受内部での潤滑剤の油膜形成がきわめて困難であることがわかる。他方、圧延機のロールネック用軸受としては高速回転・高荷重に対応する軸受が必要である。また、極低速から高速の急加減速の繰返しで使用されることも多いため、これに対応できる軸受が必要となる。¹⁾

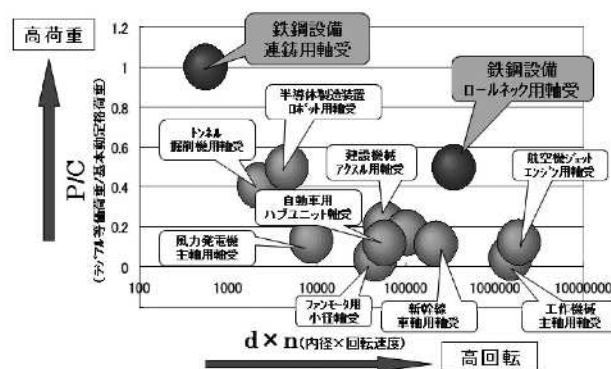


図2 軸受への負荷率と回転速度

図3には各用途用軸受の雰囲気温度と潤滑雰囲気を示す。潤滑雰囲気は潤滑方式、荷重と潤滑状態、回転速度をそれぞれ加味した結果で示している。連続鋳造機および熱間圧延機などの工程では軸受は高温条件下で使用さ

れ温度条件が厳しい。また鉄鋼製品は油等で冷却しながら加工されることが多いため圧延油やスケールが軸受内部に浸入しやすく、軸受内に潤滑剤の油膜が形成されにくい貧潤滑条件下で使用されることが多い。¹⁾

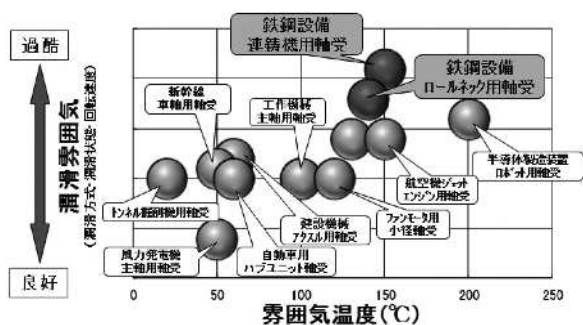


図3 軸受の雰囲気温度と潤滑条件

3.2 実機サイズ軸受評価試験機

鉄鋼設備用の軸受開発に対しては設備のさまざまな使用環境、使用条件における評価が重要である。そこで、当社では実機サイズ軸受での評価や周囲環境の再現が可能な鉄鋼設備用軸受試験機（図4）を導入した。本試験機の特長としては

- ・鉄鋼設備の実使用環境が再現可能（圧延水の飛散、高温、高荷重、高速回転）
- ・外輪回転試験と内輪回転試験の両方に対応

が挙げられる。

例えば、圧延機用軸受は高温下で多量の圧延水や水蒸気を伴う過酷な環境で使用されることが大きな特徴であるが、本試験機では圧延水の飛散や高温環境下で高荷重を負荷しながら低速回転から高速回転までの使用環境を再現することが可能である。

鉄鋼製造設備の安定稼動を支えるため、軸受の材料開発からシール性能を含めたトータルの信頼性を向上させる技術開発を実施するためにこのような評価試験機が貢献している

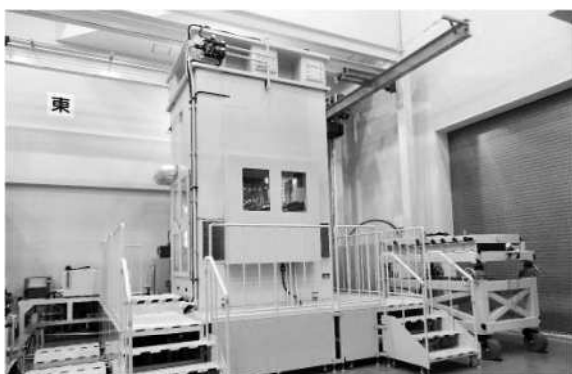


図4 鉄鋼設備用軸受試験機

4. 風力発電装置主軸用軸受の評価

4.1 軸受の技術動向と実機サイズ軸受評価試験機

全世界で再生エネルギーへの注目が増す中、風力発電

は2000年以降、欧州を中心に米国、中国などで導入が加速している。近年のマルチメガワット風車は陸上ではブレードの大径化による有効利用率の向上、洋上では高発電容量化（大形風車）へ推移している。²⁾³⁾

その結果風力発電装置の主軸の大型化に対応した高負荷容量・高剛性の大型軸受が必要となっている。ただし、装置自体の軽量化要求もあり軸系やハウジング変形の影響を受けやすく軸受にも期待寿命値を満足しないことが懸念されるようになった。

また、実機サイズの軸受による各種評価の要望も大きいことから当社ではマルチメガワット風車の実機サイズ軸受を評価することが可能な軸受評価試験機（図5）を導入した。

試験機の特徴は以下の通りである。

- ・3～5 MW級風力発電機用超大形軸受の評価が可能
- ・風により発生する荷重と回転速度をシミュレーション
- ・実機ハウジングと軸受を一体で評価可能

風力発電機は20年以上の長期にわたる使用に耐える必要があるため、その信頼性を保証する必要がある。一方では開発期間の短縮が要求される。軸受のサプライヤーとして上記を両立させるために、FEM手法等を活用することによる主軸部周辺部品を含めた最適設計技術開発に本評価設備を使用した。

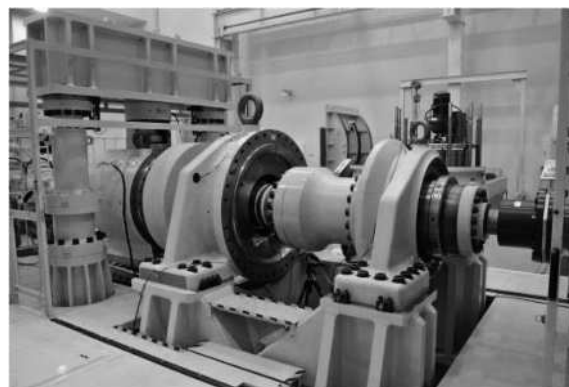


図5 風力発電機主軸用軸受評価試験機

4.2 軸受の転動体荷重分布測定技術⁴⁾

当社では、マルチメガワット風車の主軸に最適な軸受を選定するために、FEM解析を用いて周辺部品の剛性と回転トルクを考慮して解析し、実際の運転条件に近い転

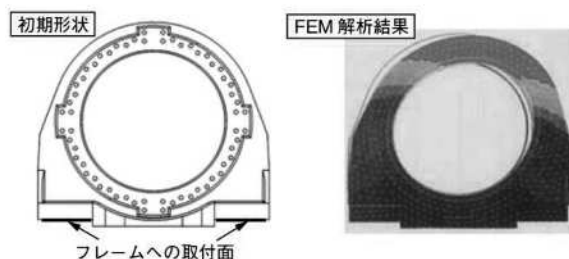


図6 FEM解析モデル

動体荷重分布を算出できる手法を開発した。図6が入力トルクに対する実機軸箱の変形を示しており、それを加味すると図7のような転動体荷重の違いが予測できる。

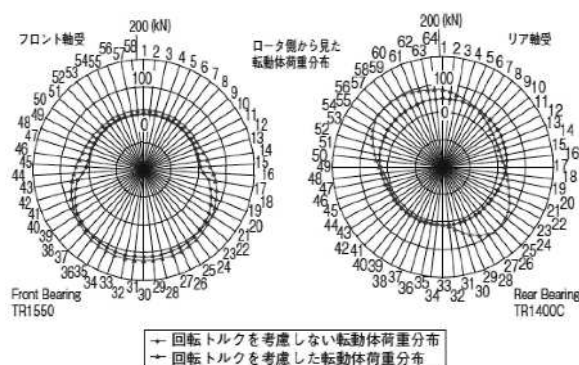


図7 転動体荷重分布

このような解析結果を活用するためには実際荷重との整合性をとることが必須であり、その信頼性を確認するために実機サイズ試験による転動体荷重測定技術確立した。

軸受の転動体荷重を測定する手法には軸受の内輪または外輪に切欠き溝を加工しその溝にひずみゲージを貼り付ける手法がある。本件は軸受の転動体が中空形転動体であることに着目しその中空転動体内面に発生するひずみを検出する手法を開発した。図8に開発した計測機構を示す。ひずみゲージは転動体長さ方向の2箇所に貼り付けた。また、ひずみゲージ出力は治具を介して転動体と一体化した超小型データロガーに記憶させ、計測終了後に軸受が静止した状態でデータを取り出し解析することができる。

校正は、この計測システムを組み込んだ軸受を縦型試験機に組み込み、純アキシャル荷重をすべての転動体に均一に負荷することで転動体荷重とひずみの関係線図を事前に作成した。

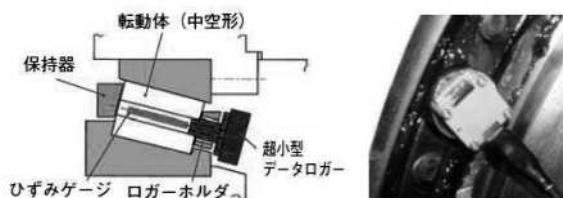


図8 転動体荷重計測システム

計測システム付き軸受を試験機に組み込んで転動体荷重を実測した結果とFEM解析により求めた転動体荷重の比較結果を図9に示す。転動体荷重とその分布について、ともに実測値と計算値がよく合致することが確認できる。また、整合性を向上させる過程で軸受、軸箱、軸だけでなく、ベースフレーム（軸箱の固定部品）までを計算モデルに含めることが重要であることも確認できた。

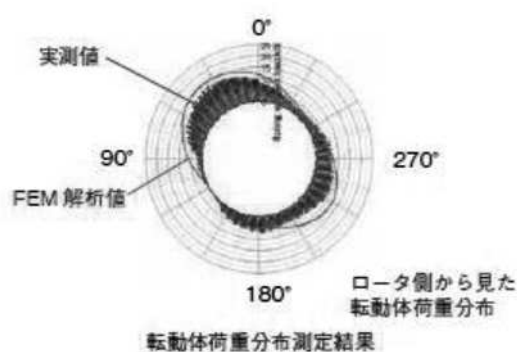


図9 転動体荷重の比較結果

5. おわりに

これまで、産業機械分野で使用されている大形軸受は縮小サイズの軸受で評価を実施し、実物サイズの軸受を使った実機評価はお客様に依存することが多かった。そのために想定外の問題による製品開発の長期化や納入後のトラブルでお客様にご迷惑をかけるケースも散見されていた。

自社で大形軸受の評価・解析ができる試験設備を導入し、軸受単体だけではなく周辺構造まで実際に使われている環境に近い状態で評価試験が可能になったことで、大型軸受の信頼性向上や開発期間短縮に貢献してきた。今後共さらなる技術開発、製品開発を通じて社会に貢献していきたい。

参考文献

- 1) 保坂亮平, 安田典嗣: 鉄鋼設備用軸受の技術動向, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No.1004, (2007) 41
- 2) 藤原英樹, 小林康裕: 風力発電装置ドライブレーン用軸受の技術動向, 日本風力エネルギー学会誌, 第108号, (2014) 465
- 3) 小林康裕: 風力発電装置における軸受の最新技術と市場動向, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No.1010, (2012) 51
- 4) 保坂亮平, 松田晋也: マルチメガワットクラス風力発電装置主軸用軸受の信頼性向上, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No.1012, (2014) 32

(金属材料 昭和62年卒)