

カーボンニュートラルに向けたすべり軸受開発動向

Development of sliding bearing for Carbon Neutral

三菱重工（正）*西田 英朗 三菱重工（正）二江 貴也 三菱重工（正）鳴原 拓造

三菱重工（正）吉峰 千尋 三菱重工（正）横山 真平

Hideaki Nishida*, Takaya Futa*, Takuzo Shigihara*, Chihiro Yoshimine*, Shimpei Yokoyama*

*Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1. はじめに

近年、地球温暖化対策としてカーボンニュートラルへ向けた取組みが加速されている。三菱重工でもカーボンニュートラル社会の実現に向けて、バリューチェーン全体からの CO₂ 排出量を 2030 年に 50% 削減（2019 年比）、2040 年に Net Zero を達成する目標を掲げ¹⁾、製品の効率向上、新エネルギーへの対応、電化、CO₂ 回収など幅広い施策に取り組んでいる。本稿では、その中すべり軸受に対する取り組みについて紹介する。

2. すべり軸受開発動向概要

Fig.1 に各製品ニーズに対するすべり軸受開発動向の概要を示す。発電用の蒸気タービンやガスタービンでは、大型のティルティングパッド軸受が用いられているが、メカロス低減のニーズから、軸受数の削減による高面圧化や、給油ポンプ容量低減のために低油量化が求められている。また、小型のターボチャージャーではフローティングブッシュ軸受が用いられており、低粘度化や低騒音化のニーズに対応するため、負荷能力向上や振動安定性向上が求められている。一方、化石燃料から CO₂ を排出しない水素エネルギーへの転換も進められている。水素利用社会に向けては燃料電池向けの電動コンプレッサ、水素輸送用の水素圧縮機、水素を燃料とする水素ガスタービン、水素エンジンなどの製品開発を進めている。燃料電池向けの電動コンプレッサに対してはオイルコンタミのない空気を送る必要性から空気軸受のニーズが高く、遠心式の水素圧縮機では密度の低い水素を大流量で送るために高速化のニーズがある。いずれも振動安定性を向上することが重要である。

このようなニーズに対して当社では、熱流体潤滑解析、COMSOL を用いたマルチフィジックス解析、ADAMS、AVL EXCITE などの機構解析などの解析技術と、実機大での静・動特性試験技術、様々な油膜厚さ、油膜圧力計測技術を整備し、より信頼性の高い設計技術の構築を進めている。次節以降で具体的な開発事例を紹介する。

3. 発電タービン軸受開発事例

3.1 ジャーナル軸受²⁾

発電タービンを支持するジャーナル軸受に対しては、安定して回転体を支持し、かつ軸受損失と油量の低減を図るために、給油ノズルで必要な油量を供給する直接潤滑型軸受が採用されている。さらに昨今では支持する軸受個数を減らしてタービン性能向上を図るために、従来のジャーナル軸受よりも高面圧に耐える軸受開発を行った。本開発では、評価に油膜特性解析と軸受パッド弹性変形解析を連成させた TEHL(Thermo-Elastic-Hydrodynamic-Lubrication) 解析を用いて、パッド厚み、ピボットオフセット率、クリアランス比といった軸受設計パラメータの最適化を行った。また、振動低減可能な給油ノズルの検討として、タービンロータをモデル化した要素試験で、振動特性を評価した。Fig.2 に検討したノズル形状を示す。従来ノズルは 2 列の給油口が同じ位相で配置されていたが、改良ノズルでは千鳥配置としてパッド内の油が均一になるようにした。Fig.3 に従来ノ

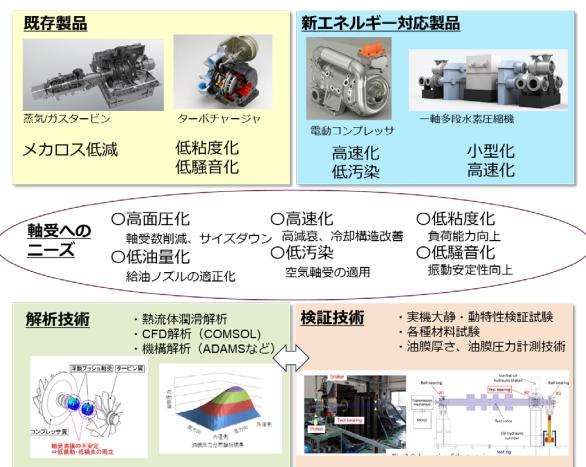


Fig. 1 Sliding bearing development overview

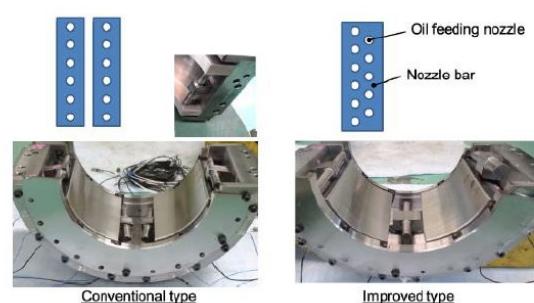


Fig. 2 Oil feeding nozzle²⁾

ズルと改良ノズルの減衰比を比較した結果を示す。本結果はタービンロータをモデル化した加振試験で取得した。本結果から改良ノズルでは給油量低減時でも減衰比が高く、振動特性が向上することが確認できた。

3.2 スラスト軸受³⁾

スラスト軸受についてもジャーナル軸受と同様に低損失化・低油量化のニーズのため、軸受の小型化とそれに伴う高面圧化への対応が必要である。一方、高面圧化すると運転時の油膜厚さが薄くなるため、軸受表面に発生した傷が軸受特性に与える影響も大きくなる。そこで、試験でスラスト軸受表面傷の解析的な評価手法を検証し、軸受設計やメンテナンス方法への反映する必要がある。

Fig.4に試験を行ったスラスト軸受のパッドの例を示す。試験ではパッドの入口外周と出口内外周の油膜厚さを計測した。Fig.5に径方向70%位置に单一傷を設け、深さをパラメータとした条件の油膜厚さ変化を示す。解析結果と同様に傷の深さに対して、傷のある外周側の油膜厚さ変化が大きく、内周側の変化は小さい傾向となることが確認できた。解析により傷の影響が評価できることが検証できたことで、メンテナンス時の軸受再利用判断基準とフィルタ選定の指針の策定につながった。

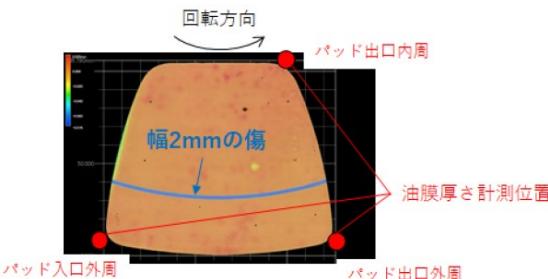


Fig. 4 Test thrust bearing pad³⁾

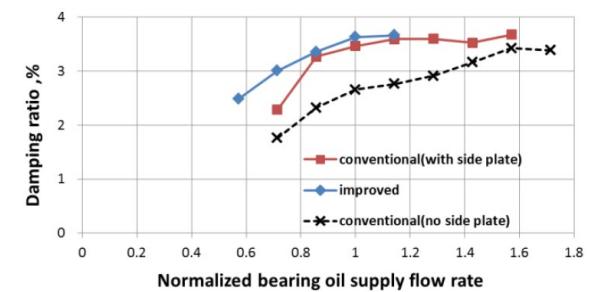


Fig. 3 Damping ratio versus oil flow rate reduction²⁾

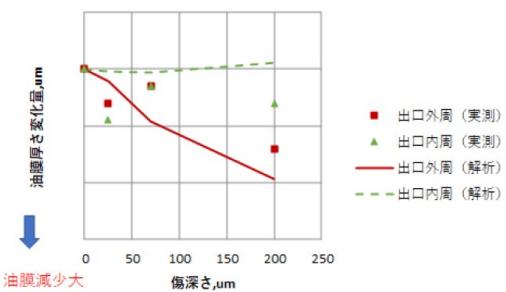


Fig. 5 Comparison of test results and analysis results³⁾

4. ターボチャージャーのジャーナル軸受開発事例⁴⁾

ターボチャージャーのフローティングブッシュ軸受では低粘度化、低騒音化の要求に対応する必要がある。低粘度化により減衰低下、ブッシュ回転数の変化を生じて不安定振動を発生し、騒音の増加に繋がる課題がある。これに対して、Fig.6に示す機構解析と潤滑解析の連成解析ツールを作成し、非同期振動を低減する軸受形状を見出した。Fig.7に実機での振動計測結果を示す。ブッシュ内周面を多円弧化した改良軸受で、非同期振動が大きく低減していることが分かる。

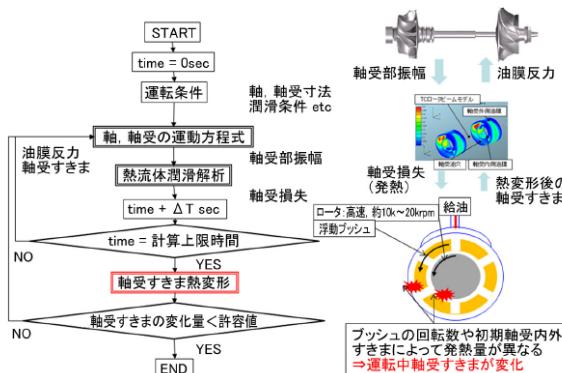


Fig. 6 Floating bush bearing calculation tool¹³⁾

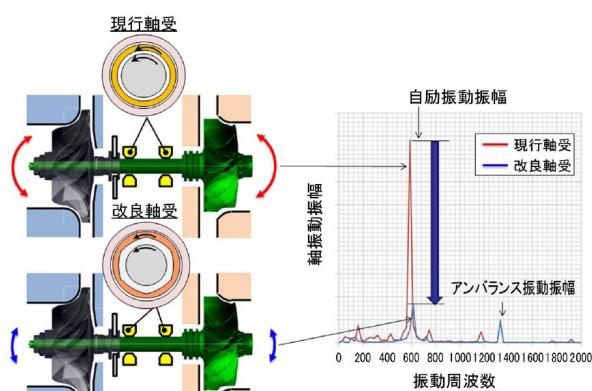


Fig. 7 Comparison of shaft vibration results³⁾

5. おわりに

本稿ではカーボンニュートラル社会に向けた三菱重工でのすべり軸受開発取り組みの概要とタービン、ターボチャージャーでの具体例を紹介した。

文献

- 1) 2040年のカーボンニュートラルを宣言：<https://www.mhi.com/jp/news/21102902.html>
- 2) 横山ら：トライボロジー会議 2019 春 東京 予稿集
- 3) 鴨原ら：トライボロジー会議 2021 秋 松江 予稿集
- 4) 二江ら：三菱重工技報, Vol.55, No.2 (2018)