

高周速高面圧ジャーナル軸受の特性検証

Verification of the Characteristics of High-Speed, High-Load Journal Bearings

三菱重工業（正）*亀山 裕樹 三菱重工業（正）梶田 翼

Yuki Kameyama*, Tasuku Masuda

Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.

1. はじめに

近年、タービンやコンプレッサにおいて高速化・小型化のニーズが高まっており、ロータを支持するジャーナル軸受には高周速化・高面圧化が求められている。軸受の高速・高面圧化における課題として、軸受メタル温度の低下、軸受損失の低下が挙げられる。また、ロータダイナミクス特性の観点から予測通りの軸受動特性（軸受剛性、減衰係数）が得られることが重要であるが、高周速条件での軸受動特性に関する試験データは少ない。そこで、本研究では高速・高面圧条件向けに設計した軸受を対象に、軸受面圧 0.29～2.45 MPa の範囲で最高周速 120m/s までの条件で軸受要素試験を行い、軸受の静特性および動特性を実測し、解析と比較を行った。

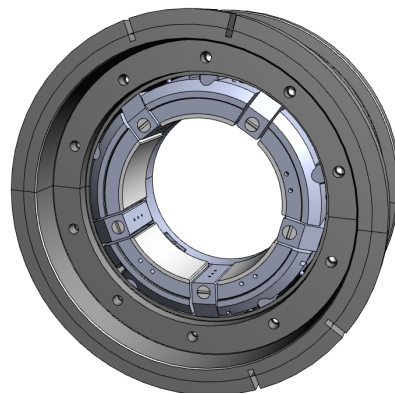


Fig. 1 Test bearing assembly drawing

2. 軸受諸元

供試軸受の外観図（サイドシールを外した状態）を Fig. 1 に示す。軸受径 $\phi 120$ mm のティルティングパッド軸受であり、軸受 THL 解析（熱流体潤滑解析）の結果を基に軸受周速 120 m/s、軸受面圧 2.45 MPa で常設計測点の軸受メタル温度が 100 °C 以下を満たす仕様を選定した。軸受温度の低減を狙い、ピボットオフセットを 0.6 とし、パッド裏金の材質にはクロム銅（軸受メタルはホワイトメタル）を採用した。また、軸受損失の低減を狙い、サイドシール隙間を従来仕様の 5 倍に拡大し、給油ノズルを全パッドの間に配置した。

Table 1 Test condition

Item	Value
Rotational speed, rpm	8754-19100
Bearing load, N	1748 / 8738 / 14563
Surface speed, m/s	55-120
Unit load, MPa	0.29 / 1.47 / 2.45
Supply oil temperature, °C	48.0
Supply oil flow, L/min	35.0
Lubricant	ISO VG32

3. 試験方法

軸受特性検証には Fig. 2 に示す試験装置を用いた。本装置は、転がり軸受で支持されたロータの中央に供試軸受が配置されており、ベローズで軸受荷重を掛け、加振機で軸受を加振する構造である。Table 2 に示す条件で運転中に、軸受温度、損失、軸受剛性、減衰係数を計測した。軸受温度は各パッド周方向の 5%, 75%, 85% の位置で表面から深さ 4.0 mm の位置に熱電対を埋めて計測した。損失は、軸受の発熱は供給した油が持ち去ると仮定し、油量と排油温度上昇から求めた。また、ロータに変位センサと圧力センサを埋めて、油膜厚さと油膜圧力の分布を計測した。軸受動特性は、軸受を加振し、その時の加振力、軸と軸受の相対変位、ハウジング加速度を計測し、それらを用いて同定した²⁾。

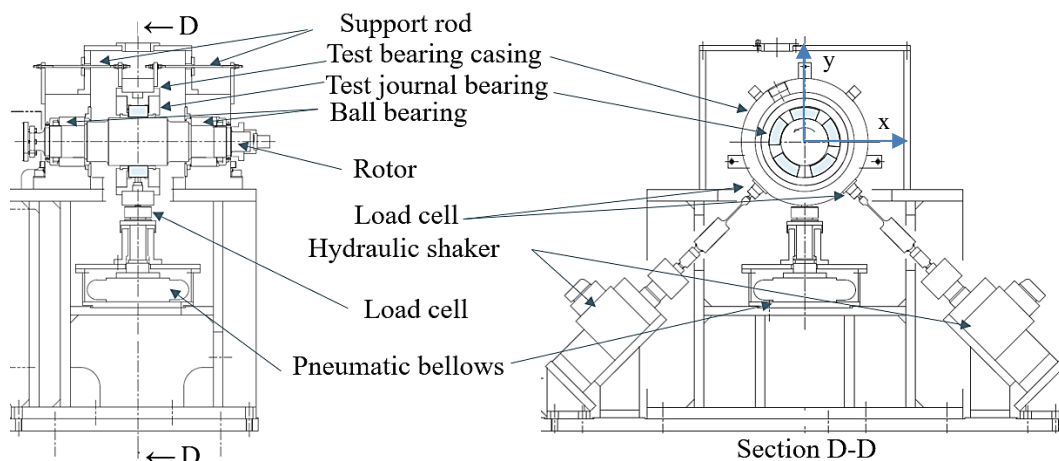


Fig. 2 Bearing test rig drawings

4. 試験結果

軸受最高温度の実測値と THL 解析予測値の比較を Fig. 3 に示す。全条件において周速 120 m/s まで 100 °C 以下で運転できており、実用上は問題ない。また、解析値と実測を比べると、面圧 0.29MPa では両者良く合うが、1.47 MPa および 2.45 MPa では実測の方が最大 10 °C 低く、高速条件ほど乖離が大きくなる。サイドシール拡大による軸受損失低減効果を調べるため、軸受周速 95 m/s の条件でサイドシール隙間を拡大前と拡大後の両ケースで給油量を変えて軸受損失の計測を行った。Fig. 4 に示す通り、シール隙間を拡大することで軸受損失は最大 30%低減できた。

軸受剛性と減衰の実測値と解析値を Fig. 5 に示す。解析値には THL 解析で求めた油膜動特性にヘルツ接触理論より求めたピボット剛性を考慮している。面圧 0.29 MPa では、周速 95 m/s までは剛性、減衰ともに実測と解析で良く合うが、120 m/s では実測の方が解析より大きくなった。面圧 1.47 MPa 以上では、解析の方が実測より高く、周速が高いほど差が拡大する。解析と実測の乖離要因として、解析で考慮していないパッド変形などが考えられる。

油膜圧力と油膜厚さの分布の計測結果から、周速 95 m/s までは全パッドで油膜が正常に形成されたが、周速 120 m/s では Fig. 6 に示すように反負荷パッドの油膜形成不良が確認された。油量の増加により油膜が正常な状態となることから、本事象は油量不足が原因と考えられる。こうした状態は軸受特性の実測と解析の差異要因となるだけでなく、パッドフラッタ振動の要因となる可能性があるため、油膜形成不良を起こさない適切な設計が必要となる。

5. まとめ

高周速、高面圧向け軸受の特性を要素試験により検証し、設計した軸受は実用上問題ない軸受温度で運転でき、かつシール隙間拡大により軸受損失を低減できることが確認された。また、高周速条件では油量不足による油膜形成不良が発生することが確認された。今後は、解析と実測の乖離要因の解析と解析予測精度向上に取り組む。

文献

- 1) P. Zemella, T. Hagemann, B. Pfau, H. Schwarze: Identification of Dynamic Coefficients of a Five-pad Tilting Pad Journal bearing Up to Highest Surface Speeds, ASME J. Engineering for Gas Turbines and Power, 143, 8 (2021)
- 2) Y. Kameyama, S. Yokoyama, N. Nagata, H. Miyata: Experimental Evaluation of Journal Bearing Key Performance for H₂/CO₂ Compressor Applications, Proceedings of the Turbomachinery & Pump Symposia, (2023)

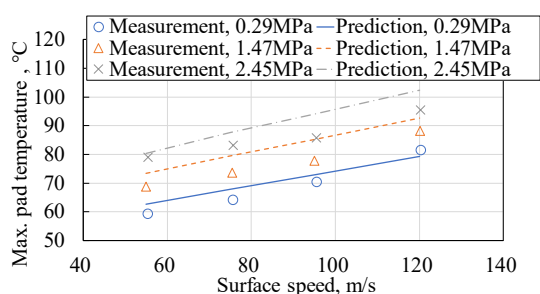


Fig. 3 Measured maximum bearing pad temperature

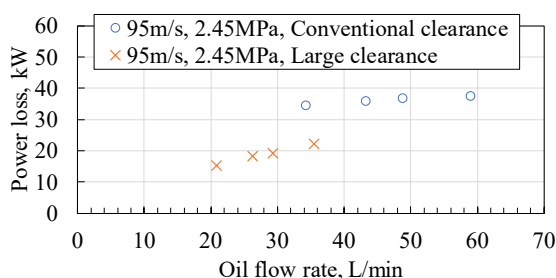


Fig. 4 Measured power loss

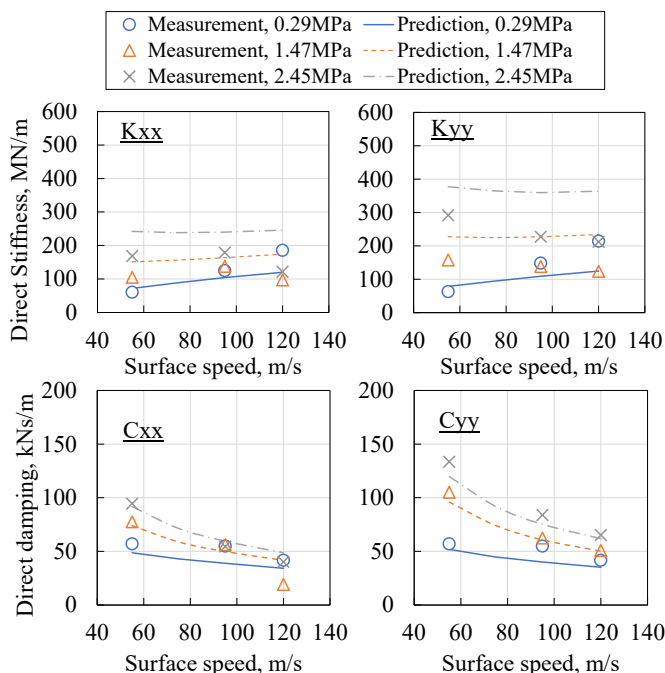


Fig. 5 Measured bearing stiffness and damping coefficient

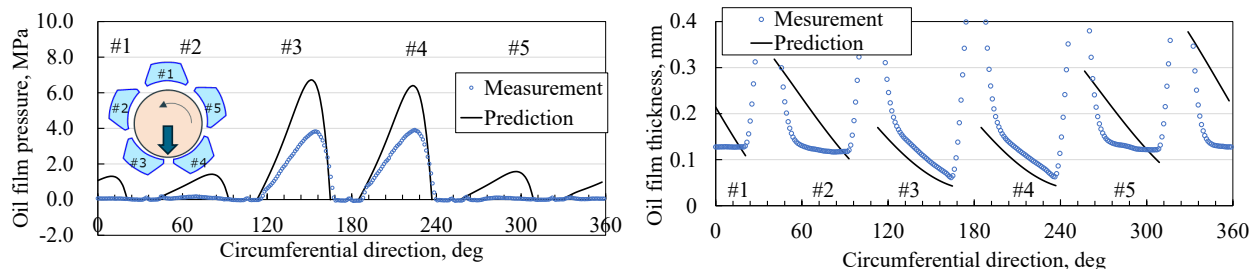


Fig. 6 Measured oil film pressure distribution and oil film thickness distribution