

ジャーナル軸受における最小油膜付近を流れるマイクロバブルの可視化 Visualization of Microbubbles Flowing in the Minimum Oil Film in Journal Bearings

東海大・院（学）*吉村 友輝 東海大・学（非）坂部 翔大 東海大・工（正）川本 裕樹

東海大・工（正）畔津 昭彦 東海大・工（正）落合 成行

Yuki Yoshimura*, Shodai Sakabe*, Yuki Kawamoto*, Akihiko Azetsu*, Masayuki Ochiai*

*Tokai University

1. 緒言

近年、多くの国や企業において地球温暖化の抑制に向けたカーボンニュートラルの実現が重要視されていることから、排出される温室効果ガス抑制のための自動車の燃費向上が強く求められている。燃費向上のためにエネルギー損失の低減が必要とされているが、自動車全体のエネルギー損失において、摺動部の多いエンジンの摩擦損失が約 20 % を占めている⁽¹⁾。そのため、燃費向上の一環としてエンジンの滑り軸受に多く用いられるジャーナル軸受においても摩擦低減が求められる。

ジャーナル軸受では、軸の回転により潤滑油がくさび状の軸受すきま内に流れ込むことで発生する油膜圧力によって、軸を非接触で支持する。同軸受における従来の摩擦低減手法には、潤滑油の低粘度化や摩擦調整剤の添加といった手法が用いられているが、焼付きや環境悪化といった問題⁽²⁾もあるため、安全かつ環境に低負荷な摩擦低減手法が求められる。そこで本研究では、新たな摩擦低減手法としてマイクロバブルに着目した。マイクロバブルとは、直径 100 [μm] 以下の微細な気泡のことで流体抵抗低減効果を有し、発生に化学物質を用いないため、環境問題に配慮した摩擦低減手法になると考えられている。小谷らはマイクロバブルをジャーナル軸受へ応用し、ジャーナル軸受における摩擦トルクを計測することで、マイクロバブルによる摩擦低減効果があることを実証した⁽³⁾。一方で、軸受すきま内におけるマイクロバブルの挙動がどのようなメカニズムで摩擦低減に影響しているかについては未解明な点も多い。

以上のことから、軸受すきま内の撮影によるマイクロバブルの挙動観察を実施している。本稿では、偏心時の最小油膜部付近に着目し、軸受すきま内を流れるマイクロバブルに対し、軸方向からの撮影実験より取得した画像を用いて軸受すきま内を流れるマイクロバブルの挙動を観察した。

2. 実験装置

Figure 1 に軸受試験機の概略図を、Fig. 2 に供試軸受の撮影箇所を示し、また、同図中(a)に同心状態を、(b)に偏心状態を示している。同装置では回転軸を転がり軸受と供試軸受の 2 点で支持し、モータと転がり軸受の間に設置したトルクメータにより摩擦トルクを測定する。供試軸受は、軸受すきま内の撮影を目的に透明な石英ガラス製とした。また、同装置は供試軸受を固定する台座を水平方向に移動する機構を有しており、本機構を用いて給油口から 90° 付近に最小油膜を再現した。軸受すきま内における軸方向からの撮影は、Fig. 2 に示した給油口から 90° 付近の撮影箇所で行われ、同心状態と偏心状態において最小油膜部付近の軸受すきま内を流れるマイクロバブルにおける挙動を比較した。潤滑油は軸受上部に設置したオイルタンクより滴下法で供給しており、本実験では消泡剤の影響を考慮し、潤滑油には添加剤の含まれていない基油(ISO VG32)を用いた。

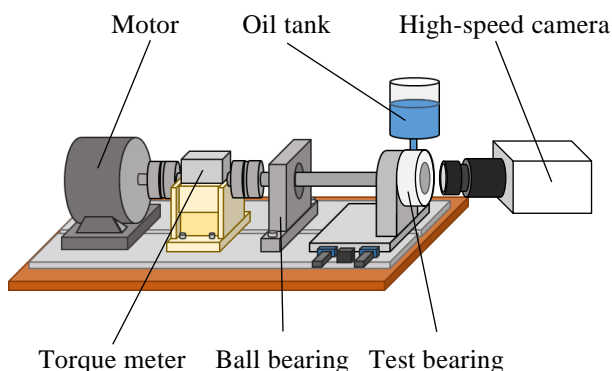


Fig. 1 Schematic diagram of test bearing system

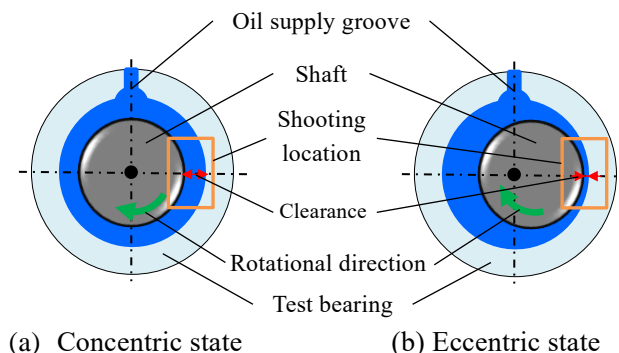


Fig. 2 Shooting location of test bearing

Table 1 Experimental conditions

Oil	ISO VG32	Frame rate [fps]	12,000
Oil temperature [°C]	40±1	Shutter speed [μs]	2.0
Shaft diameter [mm]	49.8	Number of rotations [rpm]	1,000
Bearing inner diameter [mm]	50.3		2,000
Resolution [μm/pixel]	1.9		3,000

3. 撮影方法

Table 1 に実験条件を示す。本実験では、高速度カメラを使用し軸方向から軸受すきま内を可視化した。その際、軸受すきまからの排油が撮影の障害になることから、アクリル製の薄いカバーを軸受端部に設置した。また撮影手法として、高速度カメラの反対側に LED 照明を設置して後方から照明光を照射するバックライト法を採用している。

4. 可視化結果

Figure 3 に同心状態の可視化結果を、Fig. 4 に偏心状態の可視化結果を示す。同図に示すように、同心状態および偏心状態において、両者とも軸受すきま内でマイクロバブルが楕円状に変形し、その変形量は回転数の上昇に伴って増加する様子が確認された。また、同心状態と偏心状態での最小油膜付近におけるマイクロバブルの挙動を比較すると、変形したマイクロバブルの形状に大きな差異は見られず、軸の偏心により生じる油膜圧力に対し、回転により生じるせん断力の方がマイクロバブルの変形に大きく影響を及ぼすことから、同心状態と同様の楕円形状を維持しているものと考えられる。

Figure 5 に変形の大きなマイクロバブルを示す。同図に示したマイクロバブルは偏心状態の 1,000 [rpm] 時に確認されたもので、これまで観察されたマイクロバブルに比べて、大きく変形している様子がみられる。偏心時に変形の大きなマイクロバブルが見られた原因としては、回転方向にすきまが徐々に小さくなるため軸受すきまよりもマイクロバブルの径が相対的に大きくなり、このような変形が生じたものと考えられる。また、数値解析の結果から、軸受すきまより径の大きいマイクロバブルは軸受すきま内で同様の変形を生じることが確認されており、摩擦低減率も向上している⁽⁴⁾ことから、同図のようなマイクロバブルの量を増やすことで、摩擦低減効果の向上が期待できる。

5. 結言

本研究では、マイクロバブルによるジャーナル軸受の摩擦低減効果向上とマイクロバブルによるジャーナル軸受の摩擦低減メカニズム解明を目的に軸方向からマイクロバブルを可視化し、同心状態と偏心状態における最小油膜部付近の挙動を比較した結果、同心状態と偏心状態で大きな差異は見られなかった。しかし、偏心状態で変形の大きなマイクロバブルが確認され、軸受すきまより径の大きなマイクロバブルの流入により生じたものと考えられる。

謝辞

本研究は自動車用内燃機関技術研究組合（AICE）の委託事業の成果であり、関係者各位に深く感謝いたします。

文献

- 1) 中村, トライボロジー技術の進展による自動車の省エネ, トライボロジスト 第 61 巻 第 2 号(2016)
- 2) 遠山, 低摩擦ガソリンエンジン油-低粘度化と摩擦調整剤の効果, 豊田中央研究所 R&D, Vol.3, No.4, (1997)
- 3) 小谷, 田代, 川本, 高橋, 落合, ジャーナル軸受の摩擦特性に及ぼす潤滑油中のマイクロバブルの影響-第 1 報 実験的検討-, トライボロジー会議 秋 別府予稿集, G16, (2020).
- 4) 山崎, 川本, 吉村, 加々美, 山崎, 畔津, 落合, “ジャーナル軸受すきま内におけるマイクロバブル径と摩擦特性に関する研究(第 2 報 気液二相流解析を用いたマイクロバブル径が与える影響)”, トライボロジー会議 2024 春 東京 予稿集(2024), pp.3-4

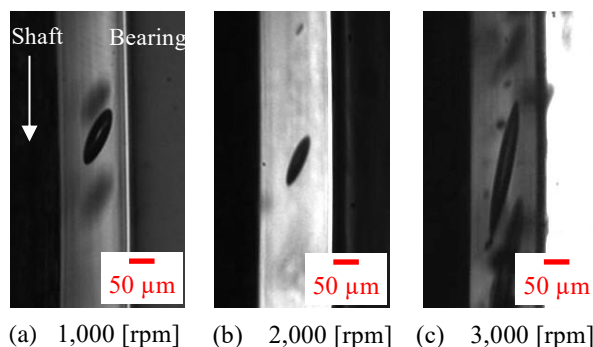


Fig. 3 Visualization of concentric states

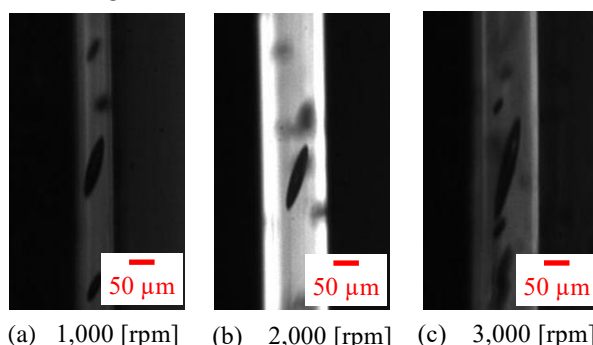


Fig. 4 Visualization of eccentric states

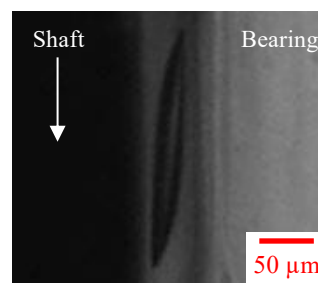


Fig. 5 Microbubble with large deformation