

ジャーナル軸受の摩擦低減を目的とした クリアランスとマイクロバブル径の関係性解明

Clarification of the Relationship between Clearance and Microbubble Diameter
for Friction Reduction in Journal Bearings

東海大・院（学）*大谷 哲平 東海大・院（学）梶木 碩介 東海大・院（非）高橋 潮磨
東海大・工（正）川本 裕樹 東海大・工（正）高橋 俊 東海大・工（正）畔津 昭彦
東海大・工（正）落合 成行

Teppei Otani*, Hirosuke Kajiki*, Choma Takahashi*, Yuki Kawamoto*, Shun Takahashi*, Akihiko Azetsu*, Masayuki Ochiai*

*Tokai University

1. 緒言

近年、地球温暖化の抑制を目指した省エネルギー化が重要視されていることから、自動車の燃費向上が強く求められている。自動車の燃費基準値は2016年度の時点で19.2 km/Lであったが、2030年度には25.4 km/Lと約30%の改善が経済産業省より要求されている⁽¹⁾。自動車の動力であるエンジンは摺動部が多く、内部の摩擦損失はエンジン全体の約20%を占めている⁽²⁾。このことから、摺動部での摩擦低減が重要で、エンジンの摺動部の一部であるペアリングにおいても摩擦低減は急務である。したがって、自動車の燃費改善にはエンジン用すべり軸受の摩擦を低減させることが重要である。エンジン用すべり軸受に代表されるジャーナル軸受は、軸の回転によって潤滑油が重力方向下向きに存在する先狭まり形状の狭いすきまに引き込まれ、くさび作用によって軸を上方に押し上げる圧力分布が発生することで軸を支持し、軸と軸受間に固体接触が存在しない流体潤滑状態で稼働する⁽³⁾。しかし、同軸受は軸が高速回転になるにしたがって摩擦損失が増大してしまうという問題点が挙げられる。同軸受の摩擦低減手法として、潤滑油に添加剤を混入させて粘度を低下させる方法⁽⁴⁾や、軸受摺動面にトンボの翅表面に存在する微細突起を模倣したシートを付与する方法⁽⁵⁾などがあげられる。しかし、添加剤による環境への問題や、シートの取り換えといった問題が挙げられるため、新たな摩擦低減手法が必要である。

そこで、著者らはジャーナル軸受における新たな摩擦低減手法として、マイクロバブルに着目した。マイクロバブルは、粒径が約100 μm以下の非常に小さい気泡であり、潤滑油に混入させることで摩擦抵抗の低減効果が得られるとともに、クリアランスとマイクロバブル径の大きさが同等に近づくほどマイクロバブルの変形が大きくなり摩擦低減に効果が向上すると報告されている⁽⁶⁾。しかし、その他のパラメータに対しての調査は行われていない。

したがって、本稿ではジャーナル軸受のクリアランスとマイクロバブル径の関係性再調査および流体に対する気体の含有量を表すボイド率が摩擦低減に及ぼす影響やマイクロバブルを混入させたことによるすきま内での潤滑油温度の変化を実験的に明らかにするため、マイクロバブルを含む潤滑油と含まない潤滑油を用いてジャーナル軸受の摩擦トルクの測定を行った。そして、クリアランスとマイクロバブル径の比やボイド率を変更し比較を行った。

2. 実験装置

Figure 1に本研究で用いた軸受試験装置の概略図を、Fig 2に供試軸受の正面図を示す。同装置は回転軸を供試軸受と含油軸受の2点で支持している。モータと含油軸受の間にはトルクメータが設置されており、トルクメータにより伝達トルクを測定することができる。また、オイルタンク内や軸受から排出される潤滑油の温度は熱電対を用いて測定することができる。なお、軸受は真鍮、軸はステンレスで作製されており、ジャーナルは回転軸先端から取り外し可能な設計となっていることから、ジャーナル外径を変更することでクリアランスの変更が可能である。潤滑油は軸受上部に設置され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。

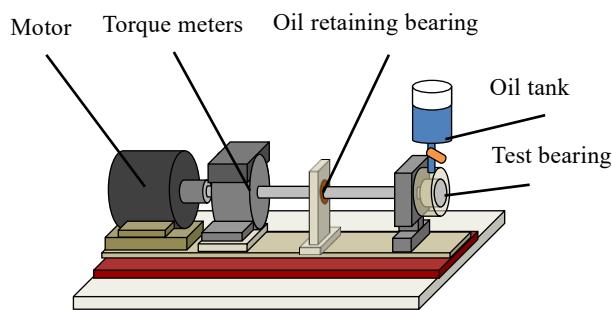


Fig. 1 Overview diagram of experimental test rig

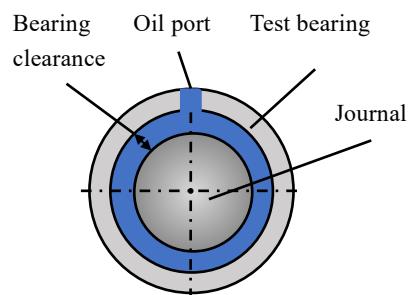


Fig. 2 Front view of test bearing

3. 実験方法

本実験では、潤滑油中にマイクロバブルを含む場合と含まない場合での摩擦トルクを測定した。基礎的な検討として、軸受の平均クリアランスが $50\text{ }\mu\text{m}$ と $100\text{ }\mu\text{m}$ となるジャーナルを用い、供試軸受中心と回転中心が一致する同心状態における実験を行った。マイクロバブルは、マイクロバブル発生装置を 1 時間稼働させることで発生させ、その後マイクロバブルを含んだ潤滑油は上述したようにオイルタンクから滴下させることで給油口に供給した。なお、この時の流体に対する気体の含有量を表すボイド率は 1.6 % であり、 $51\sim60\text{ }\mu\text{m}$ の粒径のバブルが最も多く発生していた。実験条件として、供給油温を $40\pm1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、給油量を 0.98 L/min に設定し、回転数を $1,000\sim3,000\text{ rpm}$ の範囲で $1,000\text{ rpm}$ 毎に変化させ、各回転数において 3 回ずつ摩擦トルクと排油温度を測定した。

4. 実験結果

Figure 3 に摩擦トルクの測定結果を示す。Fig 3 の(a)は平均クリアランス $50\text{ }\mu\text{m}$ の結果を、(b)は平均クリアランス $100\text{ }\mu\text{m}$ の結果を示している。また、図中の青線はバブルを含まない潤滑油の結果を、赤線はバブルを含む潤滑油の結果を表している。Fig 3(a)より、回転数 $2,000$ と $3,000\text{ rpm}$ において、マイクロバブルの有無による摩擦トルクを比較すると、マイクロバブルを含む潤滑油の場合の方が低くなっていること、 $3,000\text{ rpm}$ の際に低減率が最も大きく 24 % 低減したことが確認された。これに対し、Fig 3(b)より、回転数 $2,000$ と $3,000\text{ rpm}$ においてマイクロバブルの有無による摩擦トルクを比較すると、マイクロバブルを含む潤滑油の場合の方が低くなっていること、 $3,000\text{ rpm}$ の際に低減率が最も大きく 9 % 低減したことが確認された。一方、排油温度においては、バブルを含む潤滑油の場合の方が排油温度の上昇が確認された。

Fig 4 にクリアランス $100\text{ }\mu\text{m}$ でボイド率を 0.5 % に減少させた際の摩擦トルクの結果を示す。低ボイド率の 0.5 % では、摩擦低減効果は見受けられない。

5. 結言

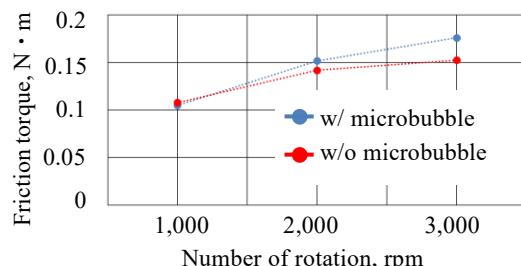
本研究では、ジャーナル軸受のクリアランスとマイクロバブル径の関係性、並びに及び潤滑油中の気体の含有量を表すボイド率が摩擦低減に及ぼす影響を実験的に明らかにするために、潤滑油中にマイクロバブルを混入させ、ジャーナル軸受の摩擦トルク測定を行った。同時に排油温度の測定も実施した。その結果、軸受のクリアランスに対してマイクロバブル径が同程度の場合に高い摩擦低減効果があることが改めて確認されたことから、クリアランスに対するバブル径の大きさは重要なファクターであるといえる。また、摩擦低減効果が発現している際には排油温度の上昇も確認され、バブルが温度に及ぼす影響も重要と考えられる。一方、ボイド率を変更した際の摩擦トルクの測定結果より、ボイド率が 0.5 % 程度まで減少すると摩擦低減効果が発現しないことが確認され、一見わずかと思われるボイド率の違いも大きく影響を及ぼすと考えられる。今後、更なる実験とメカニズムの解明が必要と考えている。

謝辞

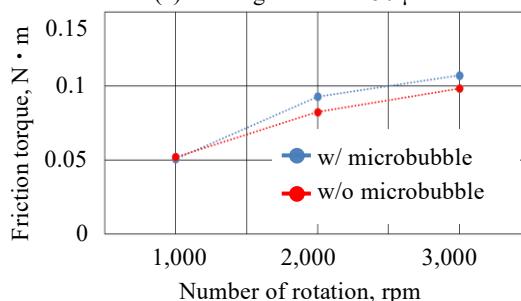
本研究は、2021 年度に実施した自動車用内燃機関技術研究組合との共同研究事業の成果です。関係者各位に深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 経済産業省：乗用車の新たな燃費基準に関する報告書 (2019).
- 2) 中村隆：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, 61, 2 (2015) 65-70.
- 3) 橋本巨：基礎から学ぶトライボロジー 第 1 版、森北出版株式会社 (2017)
- 4) 平田昌邦：潤滑油の粘性特性と粘度指数向上剤、精密工学会誌, 50, 7 (1990) 1216-1219
- 5) K. Furukawa, M. Ochiai, H. Hashimoto, S. Kotani: Bearing characteristic of journal bearing applied biomimetics, Tribology International, 150 (2020) 106345
- 6) 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).



(a) Bearing clearance $50\text{ }\mu\text{m}$



(b) Bearing clearance $100\text{ }\mu\text{m}$

Fig. 3 Measured friction torque of journal bearing

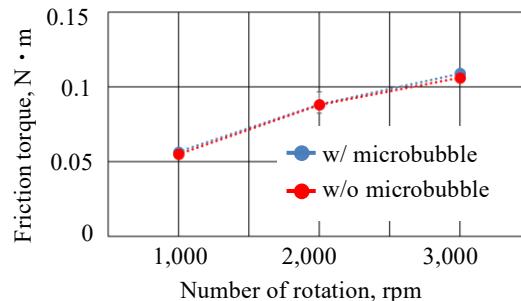


Fig. 4 Measured friction torque at void fraction 0.5 of journal bearing