

フォトクロミズム可視化手法を用いたジャーナル軸受における 軸受すきま方向からの可視化 (マイクロバブル周りの油膜挙動観察)

Visualization of Flow from Bearing Clearance Direction in Journal Bearing utilizing
Photochromism Visualization Technique
(Observation of Oil Film Behavior around Microbubbles)

東海大・院(学)*加々美 昌樹 東海大・工(正)落合 成行 東海大・工(正)畔津 昭彦
東海大・工(正)川本 裕樹 東海大・院(学)山崎 佑人 東海大・院(学)吉村 友輝
Masaki Kagami*, Masayuki Ochiai*, Akihiko Azetsu*, Yuki Kawamoto*, Yuto Yamazaki*, Yuki Yoshimura*

*Tokai University

1. 緒言

近年、ジャーナル軸受における新たな摩擦損失低減手法として、マイクロバブルの流体抵抗低減効果が注目されている。マイクロバブルは直径が $100\ \mu\text{m}$ 以下の微小な気泡であり、摩擦調整剤等と比べ、環境性に優れており、時間経過で消失するため潤滑油の低粘度化のように潤滑油の物性を変化することもない。同軸受においても潤滑油中にマイクロバブルを混入させることで摩擦損失低減効果を発揮すると報告されている¹⁾。しかし、摩擦低減のメカニズムについては未だ不明な点があり、その解明にはバブル付近の油膜挙動の実験的な把握が必要である。そこで、梶木ら²⁾は油膜流れと油膜厚さを同時計測できるフォトクロミズム可視化手法を用いて軸受面方向からバブル付近の油膜挙動観察を行った。実験では、稼働している軸受内部に流れるバブル近傍の潤滑油を着色し、バブル近傍の吸光度分布が変化する油膜挙動を観察した。この挙動は高橋³⁾らが摩擦低減のメカニズムとして報告しているバブルの自転による影響で示すものと考察しているが、直接的に自転を示す油膜挙動は把握できておらず、別方向からの観察が必要である。

このような背景の下、本研究ではマイクロバブル周りの油膜挙動の把握を目的に、軸受すきま方向からの可視化を行い、マイクロバブルが油膜流れに及ぼす影響について考察した。

2. フォトクロミズム可視化手法

フォトクロミズムとは、特定波長の紫外光の照射により色素の分子構造が可逆的に変化するとともに吸光スペクトルが変化する化学反応である⁴⁾。この化学反応の特徴を有するフォトクロミック色素をエンジンオイルに溶解させ、任意の点で着色を行い、油膜流れを観察できる。また、フォトクロミズムによる着色の濃さを吸光度 As の算出により、定量化を行うこともできる。Azetsu⁵⁾らは、刻々と変動する油膜に対応するため、式(1)のような2波長・2時刻の画像を用いた吸光度算出方法を提案している。 $I_{\lambda 11}$, $I_{\lambda 21}$ は着色前の2波長帯の画像の強度値、 $I_{\lambda 12}$, $I_{\lambda 22}$ は着色後の2波長帯の画像の強度値である。ここで、 λ_1 , λ_2 はそれぞれ着色が移る波長帯と映らない波長帯を示している。

$$As = -\log_{10} \frac{I_{\lambda 22}}{I_{\lambda 21}} - \left(-\log_{10} \frac{I_{\lambda 12}}{I_{\lambda 11}} \right) \quad (1)$$

3. 軸受試験装置・可視化装置

図1に実験装置の画像を示す。軸受試験装置で回転軸を三相モータにより駆動し、玉軸受と試験ジャーナル軸受の2個の軸受で支持されている。試験軸受と軸は、それぞれ石英ガラス製およびアクリル製で透明に作製されおり、軸受外側から観察が可能である。また、可視化装置は、レーザ照射ユニットと撮影ユニットを2つに分けて配置している。同図中にレーザ経路を水色で、撮影経路をオレンジで示す。YAGレーザ(NanoS120, Litron Lasers)からスポット上のレーザ光を光学レンズに透過させ、ライン状のレーザ光にした。また、撮影ユニットは高速度カメラ(ACS-3, ナックイメージテクノロジー)と2分岐光学系(W-VIEW GEMINI, 浜松ホトニクス)と顕微鏡レンズを組み合わせたものを軸受の正面に配置し、撮影面の反対方向から白色LEDを用いて連続照射するバックライト法で撮影を行った。

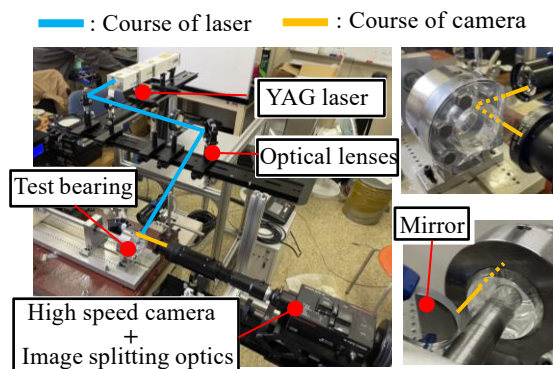


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

4. 実験方法

本実験では、マイクロバブル周りの直接的な油膜挙動の把握を目的に、新たに軸受すきま方向からの可視化を行った。試験軸受中心と回転軸の中心が一致している同心状態で、軸の垂直荷重の真上を 0° を定義した場合の軸受角度 90° 付近で着色と撮影を行った。実験条件は軸回転数を 1,000 rpm、給油量 0.06 L/mm、油温 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ とした。潤滑油にはエステルオイル (0W-20) にスピロピラン色素を質量濃度 0.1 mass% で溶解させた溶液を使用した。マイクロバブルの起泡には微細孔方式を用いた。本撮影条件は、フレームレートを 12,000 fps、シャッタ速度 $8.3 \mu\text{s}$ 、倍率を 10 倍と設定した。

5. 実験結果

5.1 マイクロバブルを混入していない可視化結果

図 2 にマイクロバブルが混入していない可視化結果を示す。画像の左側が軸、右側が軸受、白い点線の内部が軸受すきまでである。また、軸の回転方向は黄色矢印の方向である。結果より、着色した潤滑油は、軸受付近に留まり、軸付近は軸の回転に引きずられ、線形状に変形していることがわかる。この着色油の変形は、クエット流れを表していると考えられ、非常に狭い軸受すきまの潤滑油の流れを直接的に観察できていることがわかる。次に、この着色油とバブルが接触した際の吸光度の変化を観察し、バブル付近の油膜挙動を把握する。

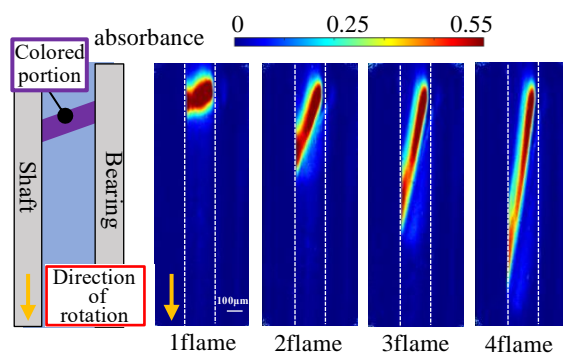


Fig.2 Visualization results without microbubbles

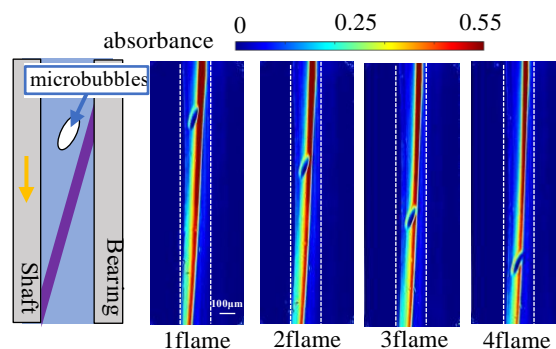


Fig.3 Visualization results with microbubbles

5.2 マイクロバブルを混入した可視化結果

図 3 にマイクロバブルを混入した可視化結果を示す。本可視化では、軸受すきま中心を流れる楕円形状のバブルが長く引き伸ばされた着色油に進入する状況を観察している。バブルは概ね軸表面の半分の速度で移動しており、途中から着色油に進入したのち、フレームが進むにつれ、バブル付近の吸光度分布が変化している。図 4 にバブル付近を拡大した画像を示す。同図より、1, 2 フレーム目では着色油はバブル上流側から左側に少し流れ込む様子が見られ、3, 4 フレーム目では徐々に着色油が軸側のバブルの輪郭に沿って下流側に流れている。これらのバブル周りの流れは、図 5 の概略図のように、バブルが反時計周りに楕円形状を維持したまま、自転しているため、バブル上流付近の着色油を軸-バブル間を経由しバブルの下流側へ移動したものと考察できる。

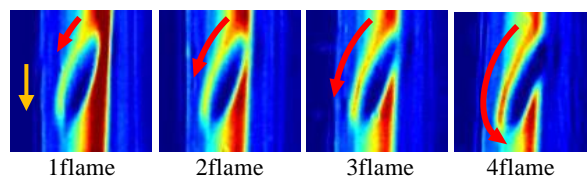


Fig.4 Enlarged image near microbubbles

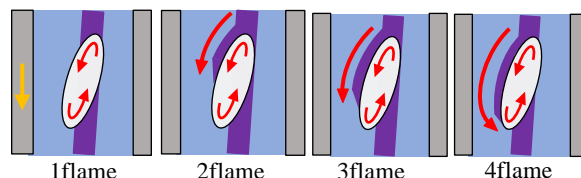


Fig.5 Image of phenomenon

6. 結言

本研究では、マイクロバブル周りの油膜挙動の観察を目的に、軸受すきま方向からフォトクロミズム可視化手法を用いて観察を行った。結果として、バブル上流側にある着色油を軸受とバブル間を経由しバブル下流側に移動する挙動を観察した。これは、マイクロバブルの自転の可能性を示唆する挙動であると考えられる。

7. 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、関係者各位に厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 小谷晋平, 田代裕樹, 川本裕樹, 高橋俊, 落合成行: 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)
- 2) 梶木碩介, 落合成行, 畔津昭彦, 川本裕樹 “ジャーナル軸受におけるフォトクロミズム可視化手法を用いたマイクロバブル周りの油膜挙動観察” 第 21 回 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会 (2022)
- 3) 高橋潮磨, 高橋俊, 落合成行, 畔津昭彦, 川本裕樹, 梶木碩介, 大谷哲平: 潤滑油中のマイクロバブルがジャーナル軸受の振動・摩擦特性に及ぼす影響, 混相流シンポジウム予稿集, SS-A E00084 (2021)
- 4) 友田 宜忠, “フォトクロミズムについて”, 有機合成化学協会誌, 1971, 29 巻, 11 号, pp.1008-1019
- 5) Azetsu, A., Kitajima, I. & Kuratsuji, K.: Development of a new visualization technique using photochromism for transport process of lubricating oil around the engine piston, Intl. J. Engine Research, 20, 7 (2019) 777