

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03166

研究課題名(和文) 弾性流体潤滑膜の固化現象その場観察手法の提案

研究課題名(英文) Proposal of in-situ observation method for solidified elastohydrodynamic films

研究代表者

八木 和行 (Yagi, Kazuyuki)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：50349841

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、一万気圧程度の高圧力場となる弾性流体潤滑膜の固化現象をその場でかつ、分子スケールで明らかにするための研究を行った。固化膜の分析方法にはフーリエ変換赤外分光光度計を採用した。潤滑油には脂肪アルコールの1-dodecanolおよび、合成油であるPoly-alpha-olefin (PAO)を用いた。その結果、1-dodecanolの場合、潤滑膜の吸収スペクトルは低温で固体化した吸収スペクトルと同様の形状を有していた。一方PAOの場合には吸収スペクトルは液相の形状と同様であった。以上のように、弾性流体潤滑膜の固化現象を分子スケールの立場から明らかにすることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

弾性流体潤滑状態は基本的かつ基礎的な潤滑状態であり、潤滑中の摩擦損失やトラクションドライブのような動力伝達は弾性流体潤滑状態で起こる現象である。このため、弾性流体潤滑状態は、動力損失の予測や低減、そして機械の性能予測のために明らかすべき重要な研究対象である。本研究で対象とした潤滑膜の固化現象は、これまで推測の域を出ていなかったものである。しかし、本研究で行った分析により初めて固化膜の出現をその場で観察することに成功した。本研究で得られた成果は固化膜の分析方法の確立でもあり、他の潤滑油にも用いることができるため、学術的意義は大きく、今後の弾性流体潤滑状態での固化現象の理解につながるものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, in situ and molecular scale observation of solidification of lubricant films was conducted under elastohydrodynamic lubrication conditions in which a high pressure of the 1 GPa order is generated. The Fourier-Transform Infrared Spectroscopy was employed to analysis the solidified film. A fatty alcohol of 1-dodecanol, which is thought to be solidification, and Poly-alpha-olefin (PAO) were used as lubricants for tests. For 1-dodecanol, the absorption spectrum of the lubricant film indicated that a vibration of molecules seemed to be restricted and had the same shape as that of the solidified film at less than the melting temperature. On the other hand, for PAO, the absorption spectrum kept the same shape as that in the liquid state. As described above, this study could clarify the solidification phenomenon of lubricated films from the standpoint of molecular scale.

研究分野：トライボロジー

キーワード：弾性流体潤滑 FT-IR 固化 アルコール 吸収スペクトル その場観察

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

潤滑面の基本的運転状態である弾性流体潤滑状態では、一万気圧オーダーにまで上昇する高圧力場が潤滑面に形成される。このような高圧力下条件では、大気圧下では粘性体である潤滑油も粘弾性体、弾塑性体へと振る舞いが変化する。このような潤滑条件は、決して特殊なものではなく、トラクション油や低温下での潤滑条件といった一般的な使用条件に相当するものである。また、近年の機械の小型化にともなって潤滑面が支持する負荷は増加しており、その結果、高圧力となる弾性流体潤滑状態での運転機会が増えている。

弾性流体潤滑下での摩擦は潤滑油のせん断抵抗によるものであるが、摩擦力の把握のためには潤滑油中の流れの深い理解が必要である。特に昨今では地球温暖化に対する対策として、化石エネルギーから再生可能エネルギーへの転換とともにエネルギー損失の削減が強く求められているため、潤滑面の損失低減のためには潤滑油のレオロジー特性の理解が急務である。しかしながら、高圧環境下によって潤滑油のレオロジー特性が弾性体、弾塑性体へと変化する複雑な流れを予測することは容易ではなく、弾性流体潤滑下での潤滑油のレオロジー特性の理解は不十分であるのが現状である。

2. 研究の目的

以上のような背景の中、本研究では、弾塑性体的挙動を示す弾性流体潤滑膜のレオロジー状態を潤滑面のその場の状態で理解することを目的とした。対象とする潤滑面は回転ディスクと鋼球からなる点接触潤滑面である。潤滑面のその場での観察手法については、潤滑油の分子の振る舞いを捉えるために、フーリエ変換赤外分光光度計 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) を用いて潤滑膜のその場分析を行った。

3. 研究の方法

本研究で用いた潤滑面その場観察システムは摩擦実験装置とフーリエ変換赤外分光光度計の二つに大別される。図 1 に本潤滑面その場観察システムの概略図を示す。摩擦実験装置については、ボールオンディスク型潤滑実験装置機を用いた。分析対象となる潤滑面は軸受用鋼球と赤外透過ディスクから構成されている。両試験片は AC サーボモータを用いて、それぞれ独立して回転制御される。鋼球の直径は 25.4 mm、ディスクの直径は 50 mm、厚さ 10 mm である。実験装置の上部にはフーリエ変換赤外分光光度計が組み込まれており、ディスク越しに潤滑面を観察することができる。

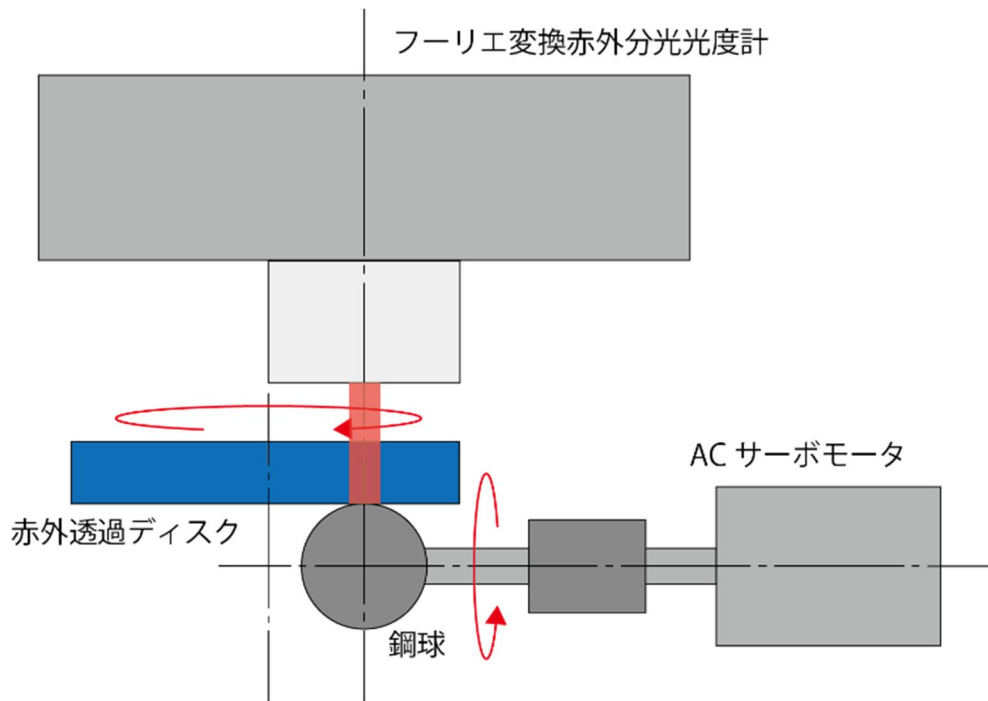


図1 潤滑面その場観察システム概略図

フーリエ変換赤外分光光度計は赤外線を測定物質に照射し、吸収された赤外線の波長から測定物質の化学構造を解析する手法である。無機および有機物の化学結合を知ることができ、特に潤滑油のような官能基を持つ有機物の分子構造を同定する定性分析に有効である。また、吸光度が物質量に対応することから、定量分析にも利用でき、測定物質の膜厚や成分濃度を求めることができる。フーリエ変換赤外分光光度計から照射された赤外線は、ディスクを透過し、潤滑油のない状態でのボール表面での反射光(バックグラウンド)と、潤滑油の供給された状態でのボール表面での反射光の2つの反射光により、スペクトルが得られる。フーリエ変換赤外分光光度計の測定条件は、波数分解能を 4 cm^{-1} 、測定スポットのサイズを $50\text{ }\mu\text{m} \times 50\text{ }\mu\text{m}$ 、積算回数を 1,024 回とした。

本研究ではディスクにはフッ化カルシウムもしくはサファイアを用いた。フッ化カルシウムは非常に脆く摩耗しやすいが、透過波長域が $0.13\text{ }\mu\text{m}$ から $12\text{ }\mu\text{m}$ と広いという長所を有する。一方、サファイアの場合は透過波長域は $4\text{ }\mu\text{m}$ 程度までであるが、耐摩耗性に優れる。潤滑面の運転条件については、二表面の平均速度 3.6 m/s の純転がり状態、荷重については最大ヘルツ圧力が 0.52 GPa およびヘルツ半径が $166\text{ }\mu\text{m}$ となる 30 N とした。潤滑油の温度については、 $30\text{ }^\circ\text{C}$ に設定した。

4. 研究成果

図2に大気圧下で赤外分光光度計により測定した潤滑油の吸収スペクトルを示す。潤滑油には脂肪アルコールの一種である 1-dodecanol を用いた。1-dodecanol の融点は大気圧下で $24\text{ }^\circ\text{C}$ である。固体と液体の吸収スペクトルの際には、 CH_2 対称伸縮振動に起因する吸収スペクトルが固体の場合大きくなっていることがわかる。一方、 CH_2 逆対称伸縮振動については大きな際は認められない。このような固体と液体との間で現れる吸収スペクトルの差異に着目して実験を行った。

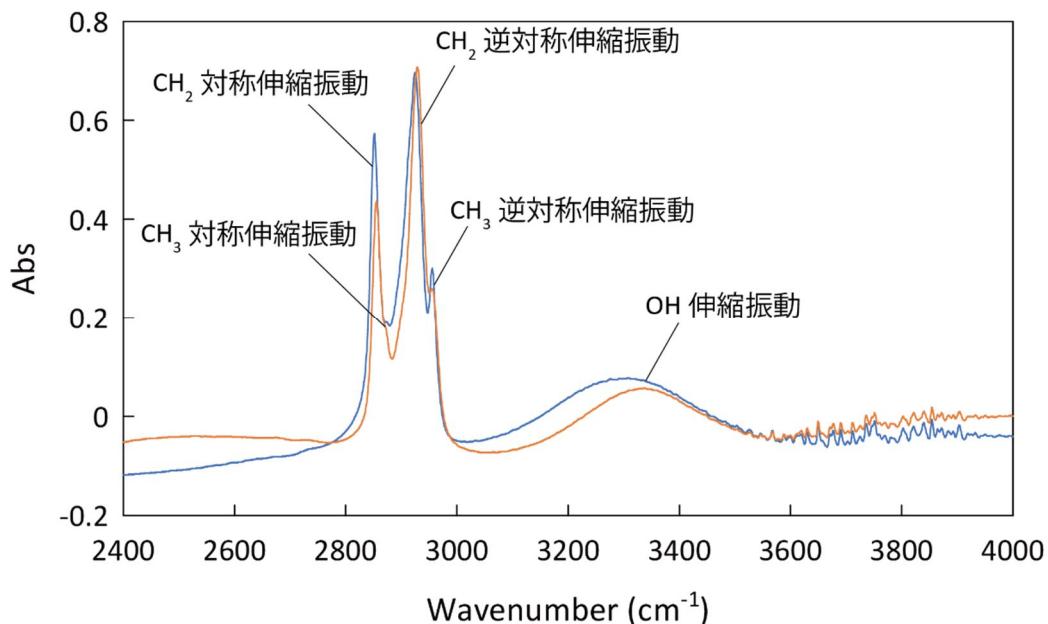


図2 固体と液体時における潤滑油の吸収スペクトルの比較

図3に実験中における潤滑面の撮影画像を示す。中心部に位置するのが潤滑面であり、表面の進行方向は上から下である。潤滑面出口部にキャビテーションが発生しているようすが観察されている。

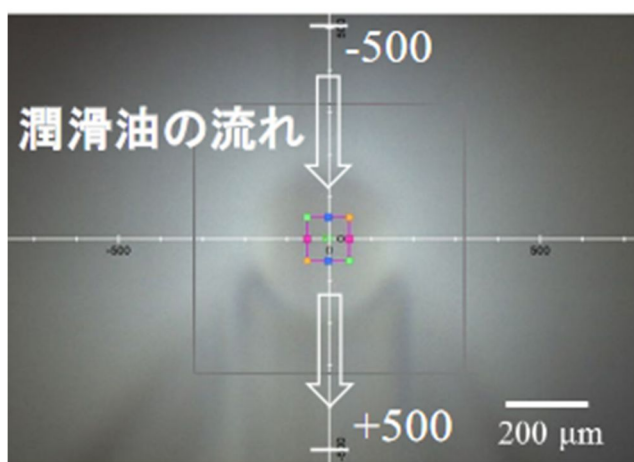


図3 潤滑面のその場可視光画像

図4に1-dodecanolを使用した際の吸収スペクトルを示す。各吸収スペクトルは中心の位置から入り口側に250 μm離れた位置から50 μmずつ近づけて測定したものである。潤滑面内部に進むにつれて吸収スペクトルの強度が低下しているが、これは油膜厚さが減少していくためである。波数2,800cm⁻¹から3,000cm⁻¹の間にあるCH₂の吸収スペクトルを見ると、図2でしめした固体の吸収スペクトルと同じ傾向を示し、CH₂逆対称伸縮振動由来のピーク高さが対称伸縮振動由来のものに近づいていることがわかる。

図5にCH₂の吸収スペクトルを拡大し、1-dodecanolのものと代表的な合成油であるpoly-alpha-olefin (PAO)の吸収スペクトルを比較した結果を示す。PAOの吸収スペクトルを見ると、1-dodecanolとは異なり、CH₂逆対称伸縮振動由来の強度は相対的に低下せず、対称伸縮振動のものより高いものになっている。

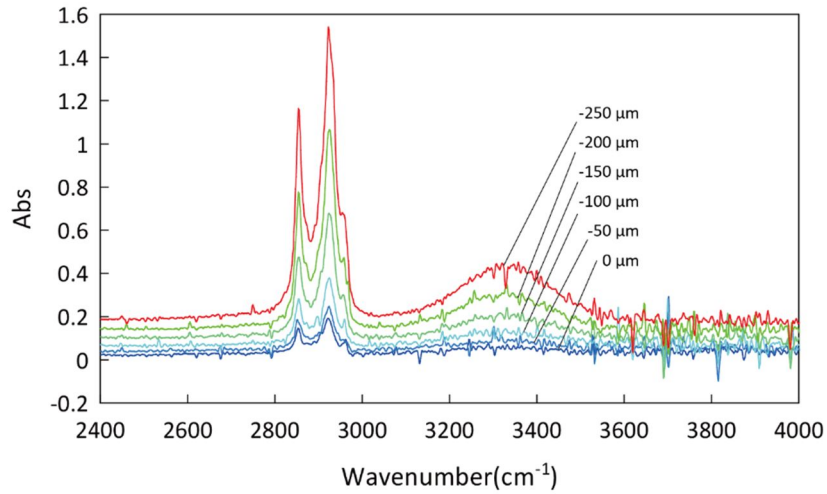


図4 1-dodecanolの吸収スペクトルの測定結果

図6にCH₂逆対称伸縮振動由来の強度と対称伸縮振動由来の強度比を示す．1-dodecanolでは強度比が潤滑面に近づくにつれて低下しているが，PAOの場合逆の傾向を示しており，強度比が増加しているようすがわかる．

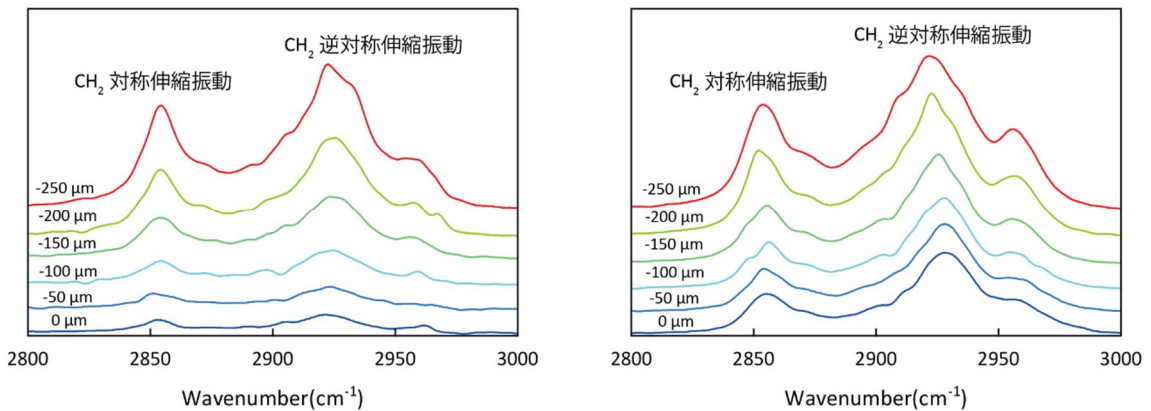


図5 1-dodecanolの吸収スペクトルの測定結果

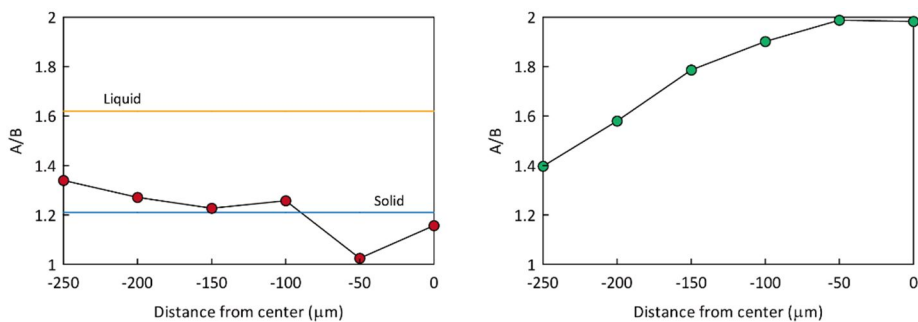


図6 CH₂逆対称伸縮振動由来の強度と対称伸縮振動由来の強度の比

以上のように，潤滑膜が特異的な膜形状を有する場合には潤滑膜が相変化を起こし，固体化していることが吸収スペクトルから明らかとなった．また，固体化した潤滑膜の分子的な動き液体のものとは大きく異なっていることも示すことができた．本研究で得られた成果は弾性流体潤滑膜のレオロジー特性の理解を進めるためには重要な知見であると考えられる．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 新谷晴明、八木和行、杉村丈一
2. 発表標題 特異形状を有する弾性流体潤滑油膜のその場FT-IR分析
3. 学会等名 トライボロジー会議2020秋 別府
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 新谷晴明、八木和行、杉村丈一
2. 発表標題 FT-IRによる弾性流体潤滑下での固化現象の直接観察
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 沖縄講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 八木和行
2. 発表標題 弾性流体潤滑膜の不安定現象
3. 学会等名 第54回 “超” を目指す軸受技術研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------