

平成21年 5月22日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007-2008
 課題番号：19760102
 研究課題名（和文） 油膜温度計測に基づく高圧下弾塑性体レオロジー特性の解明と油膜破断機構に対する提言
 研究課題名（英文） The clarification of elastic-plastic rheological characteristics based on measurements of oil film temperature and suggestion on the mechanism of oil film breakdown
 研究代表者 八木 和行 九州大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号：50349841

研究成果の概要：本研究では、弾性流体潤滑状態において、潤滑油にアルコールを使用した際に出現する特異油膜形状に代表されるような高圧・高せん断場でのレオロジー特性を明らかにすることを目的に、油膜厚さと温度の計測を行った。その結果、アルコールの鎖長によって特異油膜形状が異なることがわかった。また、温度測定の結果、接触面の温度は極めて小さいことがわかり、このことから潤滑膜は接触域で圧力の影響のため固化を起し、特異油膜形状の発生に寄与していることを実験的に裏付けることができた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,600,000	0	2,600,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	240,000	3,640,000

研究分野：トライボロジー

科研費の分科・細目：設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：弾性流体潤滑，レオロジー，弾塑性，油膜厚さ，温度

1. 研究開始当初の背景

数多くの機械要素の潤滑状態である弾性流体潤滑状態では、GPa オーダまで上昇する圧力や 10^6 /s オーダにまで達するせん断率のため、非ニュートン性流体として振舞うことが知られている。そのレオロジー的挙動は圧力、温度、そしてせん断率に敏感かつ複雑に絡み合う結果生み出されるものであるため、トラクションの正確な予測はいまだ困難である。事実、それを裏付けるかのように、いまだ数多くのレオロジーモデルが提案されている。その一方で、油膜厚さは、圧力、せん断率がそれほど高くない入り口部の状態

によって決定されるため、ニュートン流体に基づいた理論モデルによって精度よく予測できることがわかっている。このように、弾性流体潤滑状態におけるトラクションおよび油膜厚さは、その発生場所がともに接触域であるにもかかわらず、一方は非ニュートン流体、もう一方はニュートン流体としての独立した取り扱いが可能であることが、これまでの研究によって得られた最も重要な知見かつ広く知れ渡った認識である。

しかし、最近、油膜厚さにおいても条件によっては、ニュートン流体を基礎とした理論モデルでは定性的にすら予測できない特異

油膜形状が発生することがいくつか報告されている。最近、本研究代表者らはアルコールの一種である dodecanol(分子式 $C_{12}H_{26}O$)を潤滑油として使用した際、純転がり状態では以前より観察される油膜形状であったものが、滑りを発生させると油膜厚さのみならず、油膜形状が大きく変化することを発見した。この発生機構については、接触面温度は理論的見積りの結果、それほど高くなく、また、dodecanol の融点が実験温度に比較的近いものであることから、接触域で起こる固化現象によるものと推測している。

2. 研究の目的

弾性流体潤滑下では、潤滑油はニュートン流体ではなく、粘弾性、弾塑性体的な挙動を示すことがある。この中でも、弾塑性体的な挙動は、分子レベルの油膜厚さ領域から、連続体と見なせるような厚い油膜厚さ領域まで特異な現象が発見されているが、まだ現象の理解が不十分であるのが現状である。そこで、本研究では、弾塑性体領域でのレオロジー特性を、油膜温度と油膜厚さの計測より明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

実験においては、図1に示すようなボールオンディスク型の実験装置を用いて、油膜厚さの測定を行った。本実験装置は、透過ガラスディスクおよび直径 25.4 mm の軸受用鋼球との滑り転がり接触により点接触弾性流体潤滑状態を形成させる。両試験片はそれぞれ AC サーボモータによって駆動され、任意の滑り率が設定可能である。実験中はディスク、ボールそして潤滑油をチャンバー内に保持し、温度を ± 0.1 °Cの精度で制御している。本研究では、潤滑油として鎖長の異なる decanol, dodecanol, tetradecanol の三種類のアルコールを用いて実験を行った。各種アルコールの融点を表1に示す。

油膜厚さの計測においては、光干渉法を用いて行った。実験装置上部に設置している金属顕微鏡を通してハロゲンランプを光源とした白色光を入射させ、鋼球との接触面に蒸着している厚さ約 20 nm の Cr 膜と鋼球間で起こる干渉縞をデジタルカメラで撮影した。温度計測については、InSb の検出器を持つ赤外検出器を用い、接触面内の温度測定を行った。

4. 研究成果

図2に最大 Hertz 圧力 $p_{hmax}=0.52$ GPa, 引き込み速度 $u_m=(u_b+u_d)/2$ (u_b : 鋼球回転速度, u_d : ディスク回転速度)を 1.8 m/s 一定とし、滑り率 $S=(u_b-u_d)/u_m$ を変化させたときの各周囲温度 T_0 における干渉縞を示す。純転がり条件では油膜形状は接触域中央部での平滑形状、出口

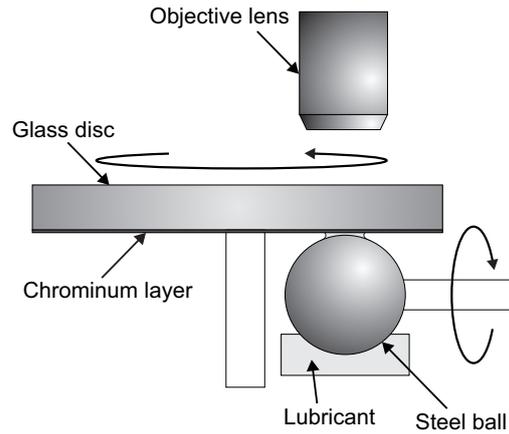


図1 実験装置概略図

表1 アルコールの物性値

	Molecular formula	Melting point
Decanol	$C_{10}H_{22}O$	7 °C
Dodecanol	$C_{12}H_{26}O$	24 °C
Tetradecanol	$C_{14}H_{30}O$	38 °C

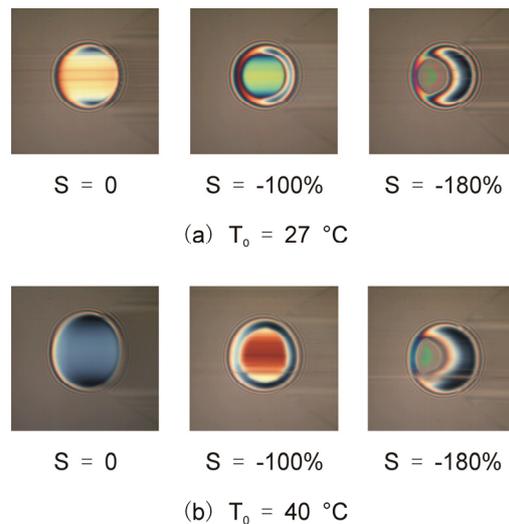


図1 油膜厚さ形状に及ぼす周囲温度の影響($p_{hmax}=0.52$ GPa, $u_m=1.8$ m/s, dodecanol)

部での馬蹄形状を持つ通常の油膜厚さ分布であり、 $T_0=27$ °C, 40 °Cにおける中心油膜厚さはそれぞれ 190 nm, 128 nm である。滑りを増加させると、接触域内で油膜形状が変化し、油膜が接触域中心部で増加していく、そして、純滑り状態に近い $S=-180\%$ では油膜の増加部分が入り口部に移動していき、出口部では油膜が薄くなっていることがわかる。この高滑り率時における周囲温度の影響をみると、滑り率増加するにつれて、油膜形状、

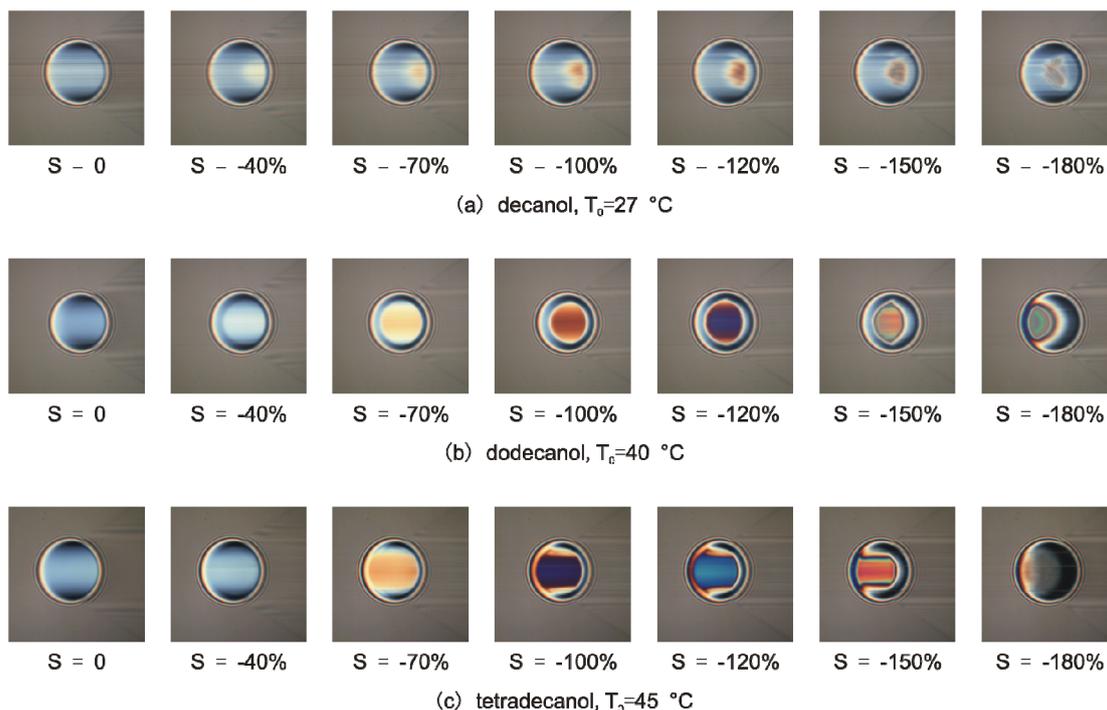


図3 各種アルコールにおける油膜形状 ($p_{hmax}=0.52$ GPa, $u_m = 1.8$ m/s)

厚さともに周囲温度の影響は小さくなっており、 $S=-180\%$ における油膜形状はほぼ同一である。これは、純転がり状態においては周囲温度、すなわち入り口部の状態によって油膜厚さが決まっていたものが、滑り率の増加にともない、油膜厚さの決定要因が入り口部から接触域の状態に移り変わっていくようすを示唆するものであろう。

次に、潤滑油の影響を調べるために、decanol, dodecanol, tetradecanol を用い、 $p_{hmax}=0.52$ GPa, $u_m=1.8$ m/s 一定として、滑り率を変化させた干渉縞の結果を図3に示す。このときの周囲温度は、純転がり状態において中心部油膜厚さが $h=128$ nm になるように調整したため、各アルコールにおいて周囲温度が異なっている。滑り率を増加させると、各アルコールともに油膜形状が変化していくようすがわかる。まず、decanol の場合には、馬蹄形部直前で油膜厚さの若干の増加が $S=-40\%$ で確認できるが、その大きさは $S=-70\%$ で最大となり、さらに滑り率を増加させるとその挙動は dodecanol と異なり、同じ位置にとどまったまま縮小していく。しかし、dodecanol と tetradecanol では明確な油膜増加が起こる滑り率は -70% と、アルコールの鎖長が長くなるにつれて、油膜の増加現象はより高い滑り率に達しないと出現せず、また、tetradecanol の場合には dodecanol と同様にさらに滑り率を増加させると油膜増加部は入り口部へと移動するが、その移動量は

decanol よりも大きく、 $S=-180\%$ では接触域の大部分の油膜厚さが 100 nm 以下になっている。このように、アルコールの種類によって高滑り率時における油膜増加の挙動は異なっているが、この原因については、図2に示すように、単に入り口部の状態によるものであれば、高滑り率時における油膜形状に大きな変化が見られないことから、融点などのレオロジー特性の違いが油膜挙動の差を生んでいると考えている。温度測定については、測定点ごとに測定システムを移動させながら測定する必要がある本研究で構築した計測システムでは温度上昇の検知は困難であった。しかしながらこの事実は、接触域での温度上昇は極めて小さく、潤滑膜は接触域において固化を起こしていることを裏付ける有力な証拠となった。

本研究で得られた結果を要約すると以下のようなになる。

- (1) Dodecanol において、周囲温度が油膜厚さに与える影響は、滑り率が増加するにともない小さくなる。
- (2) アルコールの鎖長が長くなるにつれ、油膜が増加し始める滑り率の値は大きくなる。
- (3) アルコールの鎖長が長くなるにしたがい、高滑り率時に起こる油膜増加部の移動量は大きくなる。
- (4) 接触域の温度上昇は極めて小さかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

- [1] 八木和行, 弾性流体潤滑下における特異油膜形状の発生, 第 11 回トライボケミストリー討論会, 2008 年 3 月 7 日, 京都
- [2] Kazuyuki Yagi, Joichi Sugimura and Philippe Vergne, Rheological Response of Fatty Alcohols under Sliding Elastohydrodynamic Conditions, The 35th Leeds-Lyon Symposium on Tribology, 2008 年 9 月 10 日, Leeds (United Kingdom)
- [3] 八木和行, 杉村丈一, Philippe VERGNE, アルコール潤滑における弾性流体潤滑膜のレオロジー特性, トライボロジー会議名古屋, 2008 年 9 月 17 日, 名古屋

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八木 和行: 九州大学・大学院工学研究院・准教授 研究者番号: 50349841

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

Phillipe VERGNE: LaMCoS, INSA de Lyon (France), Directeur de Recherche