

衝撃荷重下における生分解性潤滑油のスクイズ油膜挙動
Squeeze Oil Film Behavior of Biodegradable Lubricants in Impact Loading

佐賀大・理工（正）*馬渡 俊文 ソニーセミコンダクタマニュファクチャリング（非）鐘尾 浩輝
九州精密工業（非）加藤 流星 佐賀大・理工（正）張 波

Toshifumi Mawatari*, Hiroki Kanao**, Ryusei Kato ***, Bo Zhang*

*Saga University, **Sony Semiconductor Manufacturing Corp., *** Kyushu Precision Industry Co., Ltd.

1. はじめに

今世紀に入り、地球環境問題への対応は喫緊の課題となっている。機械装置に利用される潤滑油の場合、漏洩時の環境負荷が著しい水域、山岳、農業、森林環境では、特に環境汚染に留意した生分解性潤滑油の使用が推奨、あるいは、義務付けられている⁽¹⁾。本研究では、油温 313K での粘度が概ね等しい市販の飽和エステル系、ならびにポリアルキレングリコール（PAG）系の生分解性潤滑油二種の潤滑性能評価の一環として、衝撃荷重下での EHL 油膜の挙動を光干渉法で観測した。試験温度は、298K と 313 K の二水準である。得られた実験結果を鉱油系潤滑油の場合と比較するとともに、試験温度や試料油の高圧物性が EHL 油膜の時間的变化に及ぼす影響を調査した。

2. 実験方法

光干渉式膜厚測定装置を組み込んだ衝撃荷重試験機を用いて EHL 油膜を観測した⁽²⁾。Figure 1 に、今回の実験で使った衝撃試験機の概略図を示す。荷重は 29.2 N とした。60 μm の衝撃すき間で、φ15 mm の鋼球を、φ45 mm、厚さ 5 mm のパイレックスガラス（ヤング率：63.7 GPa、ポアソン比：0.2）に衝突させた。静的釣り合い条件下での最大ヘルツ圧力は、 $P_H=0.64$ GPa である。なお、ガラス接触面には、厚さ 50 nm の Cr 被膜を蒸着している。

試料油は、生分解性を有し、油温 313K での粘度が凡そ等しい市販の飽和エステル系潤滑油 Oil A と PAG 系潤滑油 Oil B である。また、比較のため、鉱油系潤滑油 Oil C を準備した。Table 1 にこれら試料油の代表性状を示す。

鋼球とガラスの両表面に予め試料油を塗布し、実験を行った。温調には（有）フィンテック製、小型ハロゲンスポットヒータ HSH18（外形：φ18 mm、12V－40W）と、テフロン被膜の K 熱電対を用いた。ハロゲンスポットヒータを鋼球とガラスの接触面に近づけて配置し、熱電対で温度を計測しながら、試験温度を 298 K と 313 K に調整した。

3. 実験結果と考察

光干渉法による観測試験において、赤色フィルタを通した光源の波長は 0.6 μm、屈折率は、エステル系潤滑油 Oil A と PAG 系潤滑油 Oil B の場合、1.464、そして、比較の鉱油系潤滑油 Oil C では 1.489 である。したがって、干渉縞は概ね 0.2 μm 毎に出現する。Figure 2 は、試験温度 298 K と 313 K における衝撃荷重負荷後 $t=1$ s、5 s、10 s での干渉縞を観測した結果である。図示のとおり、二種類の生分解性潤滑油 Oil A、Oil B と鉱油系潤滑油 Oil C のいずれも、干渉縞が時間的に変化していること、さらに、その変化が試験温度のみならず油種によっても異なることがわかる。

大野らは、試料油の粘度圧力係数 α と平均ヘルツ圧力 P_m の積である荷重パラメータ αP_m ⁽³⁾と体積弾性係数 K の関係から、 αP_m を試料油の状態変化を表すパラメータとして取り扱い、 $\alpha P_m < 13$ で液体、 $13 < \alpha P_m < 25$ で粘弾性固体、 $\alpha P_m > 25$ で弾塑性固体と区別できることを明らかにしている⁽⁴⁾。

今回の実験では、粘度圧力係数が最も大きい 298 K の鉱油系潤滑油 Oil C においても $\alpha P_m=9.6$ であり、13 より小さくなっている。したがって、油膜内部は液体的挙動が支配的となるため、実験で観測された接触領域内での干渉縞は、いずれも、時間の経過とともに濃淡や大きさが変化している。

Figure 3 は、試験温度 298K と 313K での衝撃荷重負荷後 $t=1$ s、5 s、10 s で観測された試料油 Oil A、Oil B、Oil C の干渉縞を基に、Fig. 2 に示す X－X' 断面上の EHL 油膜形状を

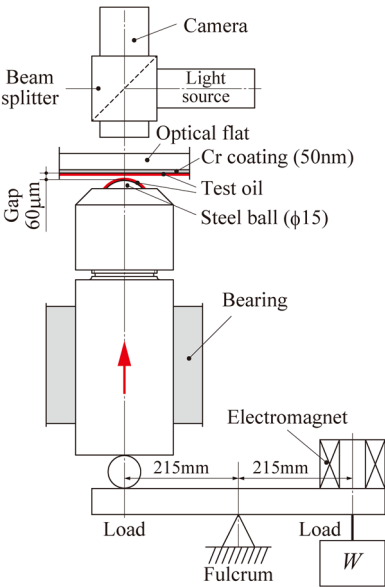


Fig.1 Schematic drawing of the test apparatus

Table 1 Physical properties of test oils

Test oil	Oil A	Oil B	Oil C
ρ^a at 288K, g/cm ³	0.940	1.130	0.889
ν^b , mm ² /s	at 313 K	100	85
	at 373 K	14	15
α^c at 313K, GPa	15.5	10.1	18.8
VT^d	137	143	97

N.B. ^a Density, ^b Kinematic viscosity
^c Pressure viscosity coefficient, ^d Viscosity index

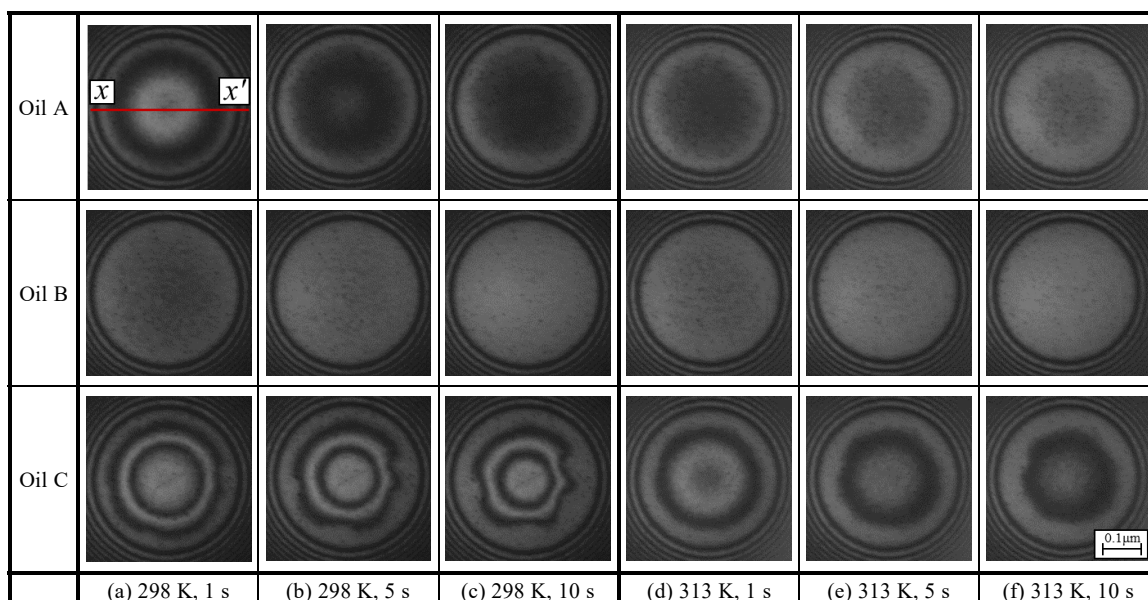


Fig.2 Interference fringes under impact loading

表したものである。試験温度 298 K では、試料油粘度 η_0 と粘度圧力係数 α により、衝撃荷重負荷後の EHL 油膜の形状やその時間変化に違いが見られる。試験温度 298 K での試料油 Oil A と Oil C の潤滑パラメータ $\alpha\eta_0$ ⁽³⁾ は、 $3.4 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ と $5.5 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ であり、 $1.9 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ の Oil B に比べ、約 1.8 倍と 2.9 倍大きい。この差異に応じて、Oil B より厚い油膜が形成されている。また、試験温度の上昇に伴い、313 K の $\alpha\eta_0$ は、いずれも小さくなり、それに連動して油膜厚さも減少している。特に、粘度圧力係数が小さい Oil B の油膜は、 $t=1 \text{ s}$ でも僅かであり、早期に消失していることがわかる。

4. 結言

生分解性を持つエステル系潤滑油 Oil A と PAG 系潤滑油 Oil B は、鉱油系潤滑油 Oil C と比べ、粘度圧力係数 α が小さく、衝撃荷重負荷後の EHL 油膜の形成に顕著な影響を及ぼす。特に、試験温度 298 K の場合、粘度の影響も加わり、油膜形成能力の差異はさらに大きくなった。

文献

- 1) 佐田：船尾管用の生分解性潤滑油とシール，トライボロジスト，56，2 (2011) 93.
- 2) 桑野・大野・平野：衝撃による鉱油系潤滑油の閉じ込めに関する研究，潤滑，31，7 (1986) 477.
- 3) 大野：高圧下における潤滑油のレオロジーと EHL，トライボロジスト，49，4 (2004) 303.
- 4) 大野・服部・桑野・平野：高圧下の限界せん断とトラクション特性（第 1 報）高圧下における潤滑油の基礎物性，潤滑，33，12 (1988) 922.

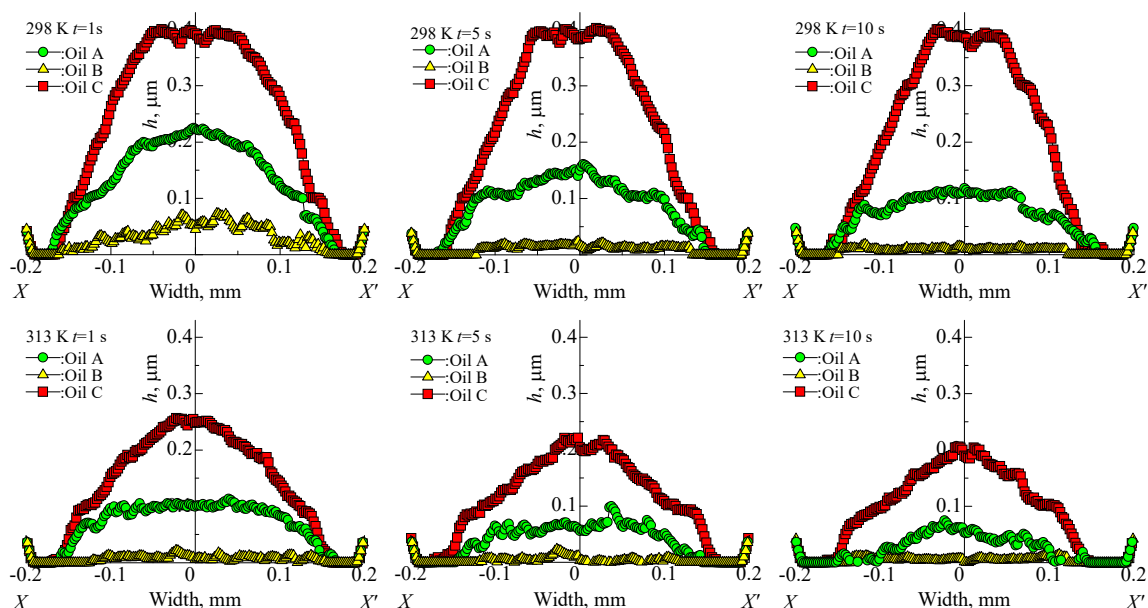


Fig.3 Oil film shapes after impact loading