

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560160

研究課題名(和文)高精度圧力温度分布計測に基づくEHL油膜挙動の解明

研究課題名(英文)Elucidation of the EHL film behavior based on the precise pressure and temperature measurement

研究代表者

西川 宏志(Nishikawa, Hiroshi)

九州工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40208161

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：鋼球固定、円板運動の点接触条件下において、単列帯状突起母線が速度方向に直角な場合には、最大油膜温度上昇は突起が出口付近に存在する場合に生じる。複列突起を有する鋼球、鋼ローラーでの閉込め実験では、突起が油膜の流出を促進すること、接触域内端部の突起部にマイクロディンプルが生じること、鋼ローラーの場合には突起が接触楕円短軸に平行なときに油膜流出が早いことを明らかにした。グリース潤滑下では、油量不足がないときの油膜厚さは基油での膜厚より厚くなる、油膜厚さの変動は増ちょう剤の分散が不十分な場合に大きい、低速での油膜厚さは増ちょう剤の大きさに依存する。

研究成果の概要(英文)：The temperature and thickness of oil film in point EHL contacts between a rough stationary steel ball surface and a smooth moving sapphire disc surface are measured with infrared and optical interferometry techniques. When the single ridge is aligned perpendicular to entrainment direction, the maximum temperature rise occurs at the ridge in the case of ridge at the exit of contact. There is almost no difference in the maximum oil film temperature rise between the longitudinal and transverse multiple ridges.

The central film thickness of entrapped oil is depending on the loading speed but independent of the final load value. When impact is applied to the surface with long ridges, the horse-shoe shaped constriction is formed at each bump near the contact rim, and the micro-groove is produced in the ridges. The average film thickness for grease is larger than that for the base oil. It seems that thickener size has effect on the average central film thickness at low speed.

研究分野：トライボロジー

キーワード：トライボロジー 弾性流体潤滑(EHL) 油膜厚さ 温度 圧力 グリース

### 1. 研究開始当初の背景

転がり軸受や歯車など多くの機械要素が弾性流体潤滑 (EHL) 下で作動している。EHL 下の油膜厚さは、光干渉法を用いて最高で nm オーダでの計測精密な油膜厚さ分布が計測可能だが、圧力、温度に関しては精密な計測が行われていなかった。EHL 下の接触圧力は GPa オーダになるほど高く、この圧力増加に伴い潤滑油粘度は指数関数的に上昇することが知られている。また、滑りがある場合には接触域内で 100°C 以上の油膜温度上昇が生じることがある。接触域での圧力・温度が明らかでないと潤滑下で作動する機械要素の性能を左右する油膜挙動を把握することが困難で、省エネルギー・省資源につながる機械要素の性能向上・寿命改善にとって重要な課題となっていた。

### 2. 研究の目的

本研究の目指す最終目的は、EHL 下での油膜挙動を解明し、機械要素の性能向上の指針を得ることである。そこで本研究では、接触域圧分布計測を可能とする新手法の開発、赤外線による油膜および接触面の高精度温度分布計測を実現させ、表面に人工凹凸が存在する接触面について、実機相当の高荷重条件での圧力・温度・膜厚分布計測を行い、数値解析と併用することで EHL 下での油膜挙動を解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

実験により従来より可能である精密な油膜厚さ分布測定を実施するとともに、EHL 接触下での高精度接触圧力分布測定方法を確立するために、形成する膜の材質、成膜法、処理方法、厚さ等の最適条件ならびに最適干渉法を試験により見出す。干渉フィルタを接触面として用いる手法についても検討を行う。赤外線温度分布測定法においては、高い二次元分解能での高精度計測を可能とするため、光学系の冷却などノイズ・誤差の低減法の開発、高温でのエネルギー - 温度検定を実施する。これらを利用して平滑面および表面に凹凸を有する試験片を用いて、転がり、滑り、閉じ込めなど多様な条件下での高精度実験を実施し、数値解析を併用することで弾性流体潤滑下での油膜挙動のメカニズムを探る。

### 4. 研究成果

(1) 接触圧力分布測定法の開発については、現時点では十分な精度での測定が達成できていないが、得られたデータを生かし今後さらに開発を進める。

(2) 両接触表面および油膜の温度上昇を赤外線を利用して計測し、表面凹凸が存在する

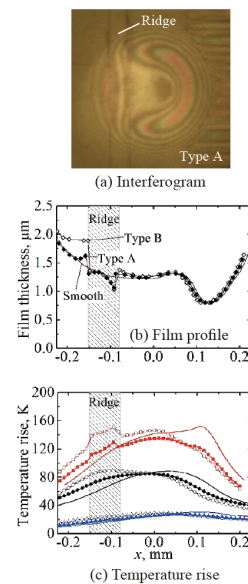


図 1  $x = -0.12$  mm

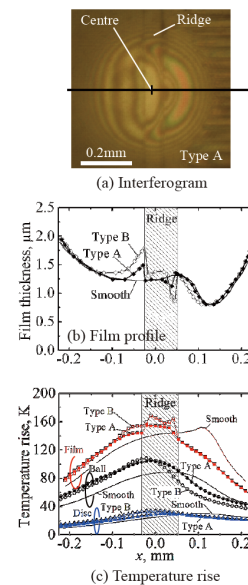


図 2  $x = 0$  mm

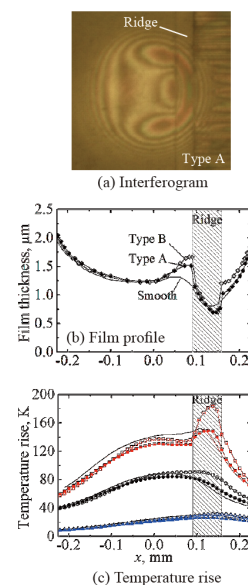


図 3  $x = 0.12$  mm

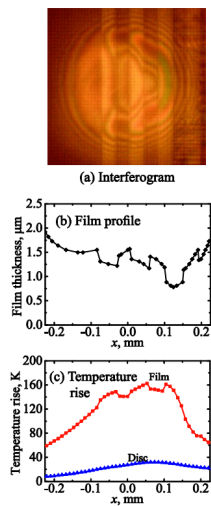


図4 直角突起

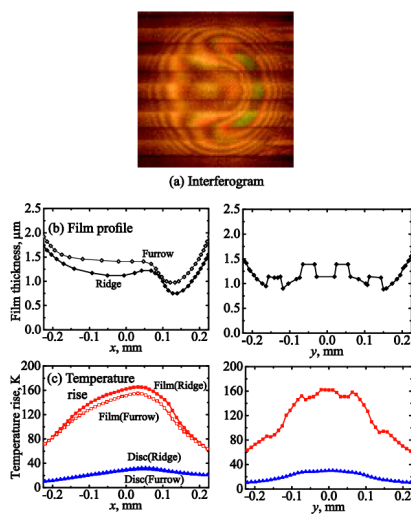


図5 平行突起

場合の温度上昇について以下のことを明らかにした。

鋼球固定—円板運動の点接触条件下において、単列帯状突起母線が引き込み速度方向に対して直角な場合、最大油膜温度上昇は、突起が出口付近に存在する場合に生じる（図1-3）。

複列帯状突起を有する鋼球の場合の最高温度上昇値は、平滑鋼球に対して運動方向に平行な場合、直角な場合とも大きくなるが、平行・直角でその値に大差はない（図4, 5）。

(3) 平滑鋼球および表面に複列帯状突起を有する鋼球を使用し、衝撃荷重下での油膜の閉込め実験を実施し、以下を明らかにすることができた。

平滑鋼球の場合、閉じ込め中央膜厚は最大荷重に依存せず、初期の荷重荷速度によって決定される（図6）。

複列突起付き鋼球における谷部の中央膜厚は、平滑球の中央膜厚と比較して差がない（図7, 8）。

複列突起付き鋼球では閉じ込め油膜端部

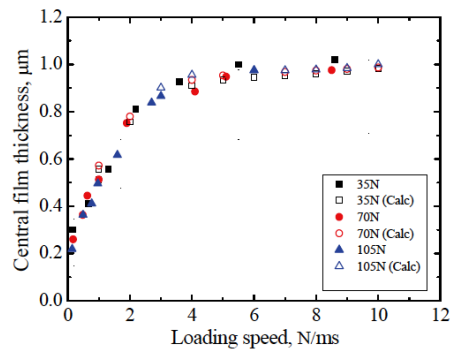


図6 閉込め中央膜厚と荷重荷速度の関係（平滑鋼球）

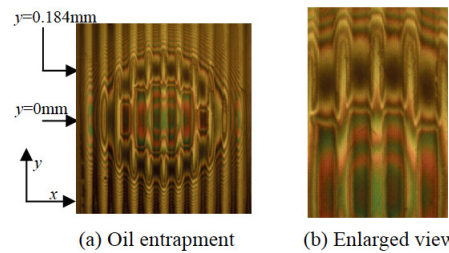


図7 閉込め中央膜厚と荷重荷速度の関係（平滑鋼球）

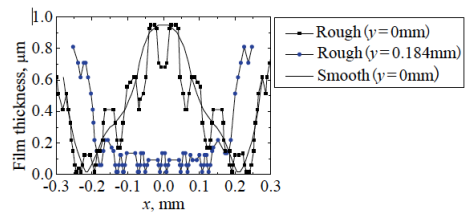


図8 油膜断面形状

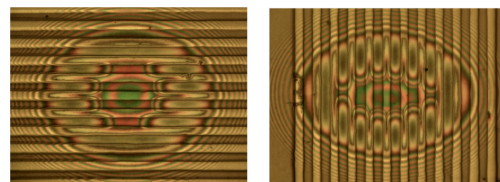


図9 ローラ閉込め油膜 (ta=15ms)

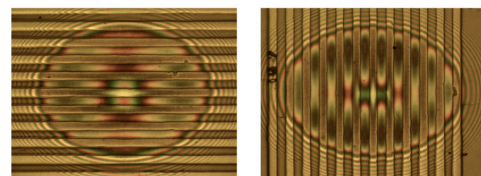


図10 ローラ閉込め油膜 (ta=150ms)

の薄膜部分では油の流出によって突起部に馬蹄形状が現れ、局部的な変形が大きくなる。

最大荷重到達後、時間経過とともに突起内にはマイクログループが形成される。

ローラ試験片による楕円接触閉込め実験においては、突起母線が長軸に平行な場合よりも短軸に平行な場合の方が油膜が流出し

やすい (図 9-10)。

(4) グリースを潤滑剤として用いた EHL 実験を実施し、以下を得た。

油量不足がないときの油膜厚さは基油での膜厚より厚くなる (図 11-13)。

油膜厚さの変動は増ちょう剤の分散が不十分な場合に大きい。

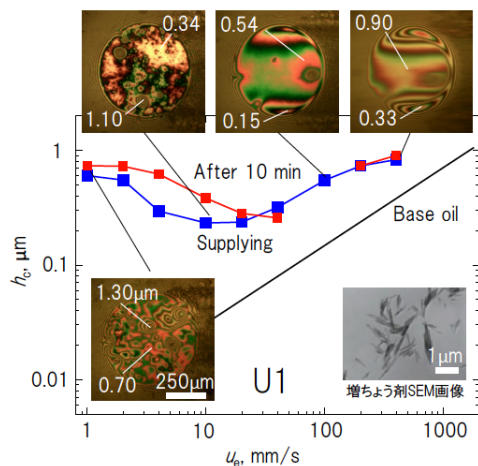


図 11 グリース U1

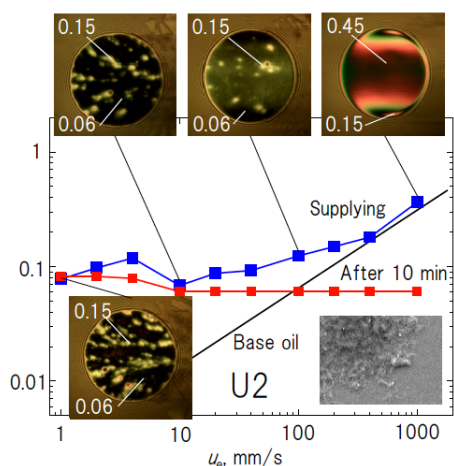


図 12 グリース U2

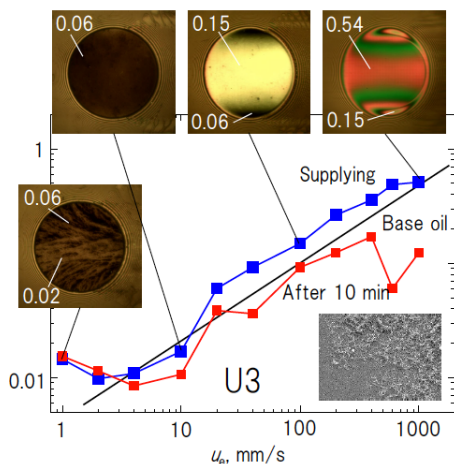


図 13 グリース U3

低速での油膜厚さは実験範囲内では基油よりも厚くなり、膜厚は増ちょう剤の大きさに依存する。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕 (計 12 件)

- ① Hiroshi Nishikawa, Takahito Shimada, Effect of Transverse Ridge on Oil Film Temperature in EHL Contacts, ITC2015、2015.9.16-21、Tokyo University Science, Tokyo, (Tokyo) (発表確定)
- ② Naoya Ikeda, Hiroshi Nishikawa, Effect of Thickener Structure on Grease EHL Films, ITC2015、2015.9.16-21、Tokyo University Science, Tokyo, (Tokyo) (発表確定)
- ③ 池田直哉, 西川宏志, グリース EHL 膜に及ぼす増ちょう剤の影響、トライボロジー会議 2015 春姫路、2015.5.27-29、姫路商工会議所 (兵庫県・姫路市)
- ④ Kenji Sunahara, Yuji Ishida, Shinji Yamashita, Masaharu Yamamoto, Nobuyoshi Ohno, Hiroshi Nishikawa, Kenji Matsuda, Motohiro Kaneta, Preventive Method of Electrical Pitting Using Lubricant, Czech-Japan Tribology Workshop, 2014.11.24-26, Mikulov (Czech)
- ⑤ 砂原賢治, 石田雄二, 山下慎次, 山本正治, 大野信義, 西川宏志, 松田健次, 兼田禎宏, 弾性流体潤滑下の絶縁破壊に及ぼす潤滑油の粘度圧力係数の影響、トライボロジー会議 2014 春東京、2014.05.19-2014.5.21、国立オリンピック記念青少年総合センター (東京)
- ⑥ Kenji Sunahara, Yuji Ishida, Shinji Yamashita, Masaharu Yamamoto, Nobuyoshi Ohno, Hiroshi Nishikawa, Kenji Matuda and Motohiro Kaneta, Selection of lubricants for avoiding electrical pitting, The 5th Advanced Forum on Tribology 2014, Fuji, JAPAN, 2014.4.13-14、ジャトコ株式会社 本社 (静岡県・富士市)
- ⑦ Hiroshi Nishikawa, Satoshi Shimada, Takahito Tsuda, Motohiro Kaneta, Effect of Surface Ridges on Oil Film Temperature in EHL Contacts, World Tribology Congress 2013, 2013.9.08-13, Torino (Italy)

- ⑧ Nishikawa Hiroshi, Tsuda Satoshi, Shimada Takahito, Kaneta Motohiro, Effects of Surface Ridges on EHL Films under Impact Loading, The 40th Leeds-Lyon Symposium on Tribology and Tribochemistry Forum 2013, 2013.9.04-06, Lyon (France)
- ⑨ 古谷優, 西川宏志, 松田健次, 砂原賢治, 山本正治, 電食による損傷の進展挙動, トライボロジー会議 2013 春東京, 2013.5.20-22, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京)
- ⑩ 砂原賢治, 落合悠基, 小川哲生, 山本正治, 藤浪行敏, 赤木恭馬, 西川宏志, 松田健次, 耐電食グリースを用いた実機モータの耐久試験, トライボロジー会議 2013 春東京, 2013.5.20-22, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京)
- ⑪ 都田聡, 島田貴仁, 西川宏志, 兼田楨宏, 衝撃荷重下における EHL 油膜に及ぼす突起の影響, トライボロジー会議 2013 春東京, 2013.5.20-22, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京)
- ⑫ 島田貴仁, 都田聡, 西川宏志, 点接触 EHL 下の温度上昇に及ぼす突起の影響, トライボロジー会議 2013 春東京, 2013.5.20-22, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 圧力測定装置

発明者: 西川宏志

権利者: 国立大学法人九州工業大学

種類: 特許

番号: 特許願 2013-022590

出願年月日: 2013 年 2 月 7 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西川 宏志 (NISHIKAWA Hiroshi)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号: 40208161