

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13676

研究課題名(和文)自己組織化ナノテクスチャを利用した低摩擦潤滑システムの創成

研究課題名(英文)Development of lubrication system for friction reduction using self-assembled nanotexture

研究代表者

田所 千治(Tadokoro, Chiharu)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：00736770

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、潤滑油の添加剤により形成されるnmオーダーの凹凸(自己組織化ナノテクスチャ)による低摩擦な潤滑システムの創成を目的とした。自己組織化ナノテクスチャの形成過程を調査するために、転がり接触下で高精度に膜厚分布が計測可能な計測システムを開発した。本計測システムは、0.1 nmの分解能で潤滑膜厚を空間分布として計測できる。本計測システムを用いて、油性添加剤の直鎖脂肪酸を対象として調査した結果、単成分の添加剤の使用でもnmオーダーの潤滑膜が島状に形成されること、2成分系の潤滑油では島状の凹凸がより細かく形成されることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、検出が難しい油性添加剤を対象として、実際に機械で使用されるような転がり接触下での高精度の膜厚分布計測を可能にした。これまで観測が不可能とされていた添加剤の吸着過程が本研究のその場計測により捉えることが可能となったことで、本研究で対象とする自己組織化ナノテクスチャだけでなく、一般的な添加剤の潤滑メカニズムの解明にも貢献できる点において学術的重要性が見られる。また、本研究における自己組織化ナノテクスチャを活用する新規潤滑油の研究開発は、機械の省エネ・高機能・長寿命化に大きく貢献する技術に繋がる。

研究成果の概要(英文)：This research work aims to develop a lubrication system for friction reduction using self-assembled nanotexture formed by additives of lubricant. To investigate the formation process of self-assembled nanotexture, we have developed a measurement system that can measure the film thickness distribution with high accuracy under rolling contact. The measurement system can measure a spatial distribution of lubricant film thickness with a resolution of 0.1 nm, which is sufficient to detect the existence of lubricant molecules. Using the measurement system, the effect of additive types and combinations on the formation of self-assembled nanotextures were examined. As a result of the examination for straight-chain fatty acids, which are oiliness improvers, it was found that even when a single-component additive is used an island-shaped lubricant film is formed, and using two-component additives, the island-shaped unevenness is finer.

研究分野：トライボロジー、機械工学、振動工学

キーワード：トライボロジー 潤滑油 添加剤 自己組織化 潤滑 薄膜計測 その場計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

機械システムでは摩擦損失を低減するために潤滑油が用いられている。潤滑油は、主成分である基油と極微量（0.1%程度）の添加剤から成る。潤滑油が摩擦損失を低減させるのは、摩擦面に潤滑膜を形成させて金属同士の接触を妨げるためである。潤滑膜には、基油が流体力学的に作用して形成させる流体膜と、添加剤が金属表面に優先的に吸着して自発的に形成させる自己組織化膜がある。これまで、添加剤は平坦な自己組織化膜を形成し、基油との相互作用は弱いため、基油と自己組織化膜が独立して機能する独立型潤滑システムとして見なされてきた。申請者は、添加剤の組合せや使用条件を変えることで、金属表面に nm オーダーの凹凸をもつ自己組織化膜が形成されることを見出した。本研究では、これを自己組織化ナノテクスチャと呼ぶ。自己組織化ナノテクスチャは、基油との強い相互作用を発現させること、それにより摩擦を低減できることは実証されているが、その成長過程や形成条件については明らかにされておらず、機能を設計して実用できる状況ではない。

2. 研究の目的

脂肪酸に代表される油性添加剤は表面に吸着しても脱離しやすく、表面形状計測や化学組成分析などの ex-situ 計測の際に基油を除去すると一緒に剥がれてしまうため、自己組織化ナノテクスチャを調べるためには in-situ にて計測する必要がある。そこで、本研究では以下2つを研究目的とする。

- (1) 自己組織化ナノテクスチャの形成過程を調べるために、nm オーダーの凹凸を in-situ で観測可能な計測システムを開発する。
- (2) 同計測システムを用いて、脂肪酸によって形成される自己組織化ナノテクスチャの成長過程と形成条件について調査する。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために以下2つの研究を実施した。

(1) 高精度膜厚分布計測システムの開発

従来の膜厚分布計測法には光の干渉縞の色合いから潤滑膜厚を推定する手法があるが、分解能が 3 nm 程度であり、油性添加剤が形成させる自己組織化膜の観測には適さなかった。本研究では、0.1 nm 分解能を可能とする分光法による膜厚計測法を応用することで、高精度な膜厚分布の計測を可能とした。本研究にて開発した転がり接触下で高精度に膜厚分布を計測するための計測システムの概念図を図1に示す。同計測システムは、摩擦を生じさせるための摩擦機構と潤滑膜厚を計測するための分光分析システムから成っている。摩擦機構では、実際の転がり軸受の鋼球を使用し、ガラス平板を押し付けて接触させ、摩擦させることができる。また、分光分析システムでは、摩擦機構上方に設置された顕微鏡により接触面を直接観察でき、接触面中央をライン状に光を分光器に取り込み、分光して得られた反射率スペクトルから 0.1 nm 分解能で2面間距離を同定し、プロファイルとして取得できる。図2に示すように、鋼球とガラス平板を同じ速度で動かす純転がり状態で移動させながら、2面間距離プロファイル $D(I)$ を連続的に計測し、つなぎ合わせることで、高精度な膜厚計測精度を保ったまま広範囲の空間分布を作成可能にした。（明瞭な光干渉を得るためにガラス平板には Cr の半透過膜と SiO_2 のスペーサ層を成膜されている。そのため、図2の2面間距離 D には鋼球表面と Cr 膜の中間に存在するスペーサ層の 500 nm が観測されている。）

(2) 自己組織化ナノテクスチャの成長過程・形成条件の調査

従来、摩擦前後で比較することで知見を得る研究方法が実施されてきたが、自己組織化ナノテクスチャの成長の様子を調べるには適さなかった。本研究では、上記の計測システムを用いて、転がり接触中の潤滑膜厚を連続計測することで、膜厚の成長に対する転がり回数の影響を調べた。添加剤には直鎖脂肪酸を用いて、自己組織化ナノテクスチャの形状や成長速度に対する濃度、炭素鎖長、配合比の影響を調べた。

4. 研究成果

上記の研究を実施することで得られた成果を以下に示す。

- (1) 高精度膜厚分布計測システムを用いて転がり接触する2面間の距離を連続的に計測し、潤滑油を入れない状態を基準として、潤滑油を入れた状態の膜厚分布を観測することで、2面間に介在した潤滑油の膜厚分布を図3~5のように高精度に計測できた。
- (2) 基油（ヘキサデカン：HD）のみでは潤滑膜はほとんど形成されず（図3参照）、脂肪酸添加剤（ステアリン酸：SA）を添加すると直径 0.1 μm 程度の島状の吸着膜（自己組織化ナノテクスチャ）が現れ、転がり接触を繰り返すことで島構造が大きく成長することがわかった（図4参照）。濃度を高くすることで吸着膜の成長速度は高まり、50 往復後の到

達膜厚も大きく異なることがわかった (図6 参照)。

- (3) 基油に炭素数の異なる脂肪酸添加剤 (ステアリン酸: SA、ベヘン酸: BA) を 1 : 1 の割合で配合すると、単成分の場合よりも細かな島構造 (自己組織化なのテクスチャ) を作ることがわかった (図5 参照)。

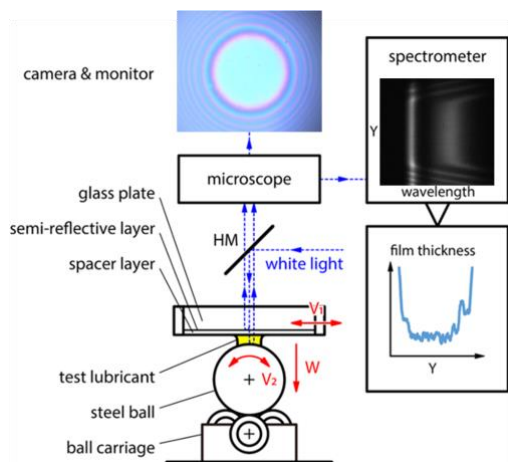


図1 新規開発の高精度膜厚分布計測システム

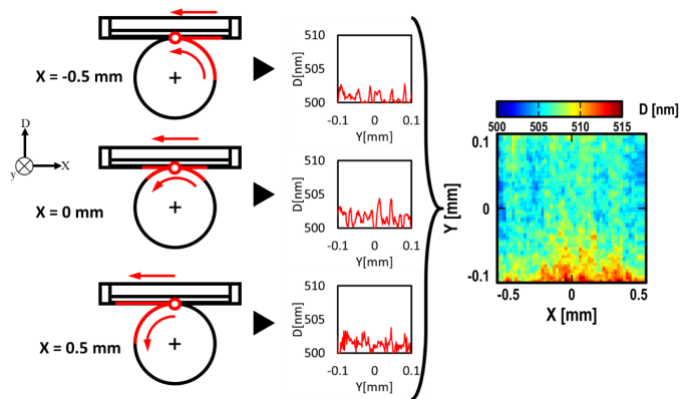


図2 膜厚分布の作成手法

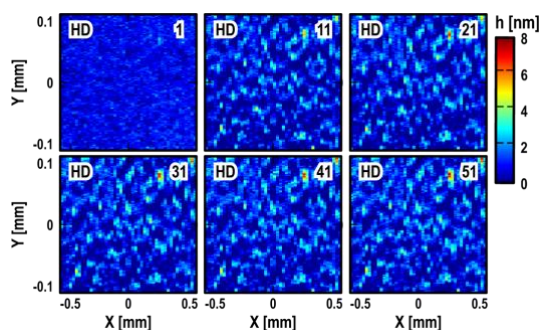


図3 基油単体時の潤滑膜厚の変化

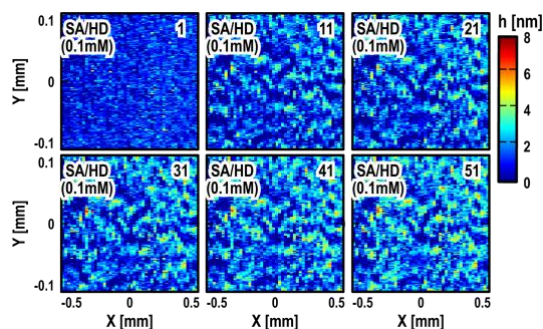


図4 SA 添加時の成長過程

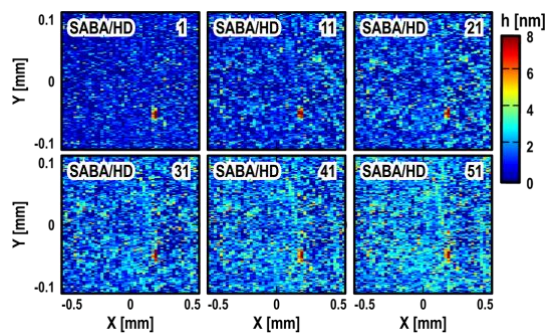


図5 SA+BA 添加時の成長過程

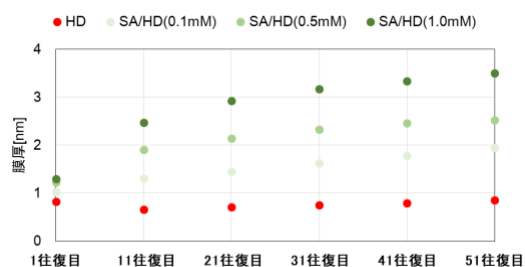


図6 膜厚に対する添加剤濃度の影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山崎亮太、田所千治、長嶺拓夫
2. 発表標題 転がり接触下における吸着膜形成の可視化
3. 学会等名 トライボロジー会議2019春 東京
4. 発表年 2019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
---------	---------