

## 超低摩擦摺動メカニズム解明のための新規固液界面分析装置の開発

研究代表者

平山 朋子 同志社大学理工学部エネルギー機械工学科

共同研究者

大西 洋 神戸大学大学院理学研究科



### 1. 研究の背景と達成目標

本研究では、機械摺動部の更なる低摩擦化を目標に、固液摺動界面における分子被膜（吸着分子層）の構造および物理・化学物性を精密に調べることができる2つの新しい分析装置、すなわち、『ナノすきま二平板対向機構付き中性子反射率計』および『潤滑油中超高感度周波数変調(FM)AFM』の開発を目指す。最終的に、この2つの装置によって得られた摺動界面の物性・構造情報を相補的に検証することにより、超低摩擦特性を発現し得る界面構造の解明とその設計指針の提示を目指す。

### 2. 主な研究成果と社会、学術へのインパクト

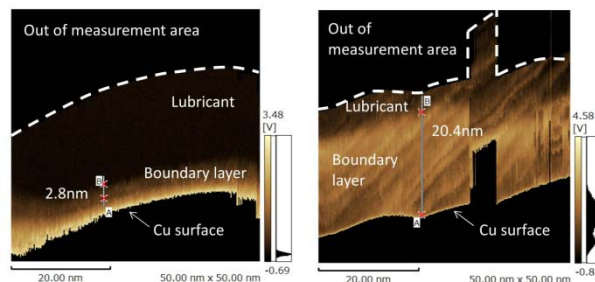
- ・ 動圧軸受および静圧軸受機構を応用した2種類の狭小すきま二平板対向型摺動試験機を開発した。それらを用いて油性添加剤を含む潤滑剤の摺動試験を行ったところ、添加剤を混入した系では摺動表面で「界面すべり」が生じることを確認した。
- ・ 改良 FM-AFM を摺動界面に適用することにより、境界潤滑層の断面像を得ることができた。また、中性子反射率法と FM-AFM 法を相補的に活用することにより、各種摺動表面近傍に存在する潤滑油のふるまいを明らかにした。中でも、油性剤は摺動表面に単層吸着するものの、摩擦過程を経るうちに数十ナノメートルのオーダーにまで成長し得ることを確認した。

### 3. 研究成果

特に、研究代表者および共同研究者の連携によって得た成果の一部を以下に示す。

#### (1) FM-AFM による油性剤吸着層の断面画像の取得

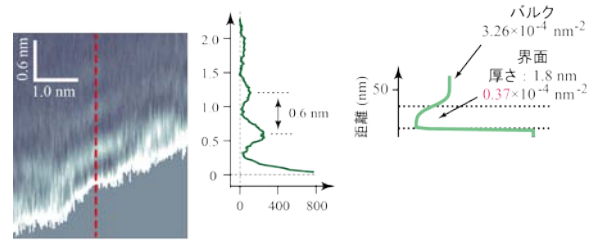
FM-AFM によって得られた銅表面上におけるパルミチン酸吸着層の断面画像を右に示す。左は分析開始時の、右はその後数時間の分析作業を行った後の画像である。これより、初期の添加剤吸着層はほぼ単層であるが、数時間の分析、すなわち、数時間の表面スキャン過程を通して、添加剤吸着層が成長することを確認した。また、添加剤吸着層が形成されることによる界面すべり発生の可能性が示唆された。



#### (2) 中性子反射率法および FM-AFM 法の相補的活用による DLC 被膜／潤滑油界面の構造解析

近年実際の摺動表面に多用されている DLC 被膜を対象とし、潤滑油との界面の構造解析を行った。潤滑油には、ヘキサデカンとデカノールをさまざまな比率で混合したものをモデル溶液として用いた。左は中性子反射

率法で、右は FM-AFM 法により得られた界面の構造情報である。両者の相補的活用により、FM-AFM によって得られた溶媒和構造はデカノール分子に相当すること、中性子反射率法によって得られた 1.8nm の厚みは数層の分子層によって構成されていること等が分かった。



#### 4. 今後の展開

中性子反射率法による各種添加剤吸着層の構造、FM-AFM によるその断面像の両者ともに学会等で大きなインパクトを残しており、さまざまな企業から具体的な共同研究の実施に関する問い合わせを頂いている。そのような企業との共同研究を通して、今後一層の社会貢献に務める所存である。

#### 5. 発表実績

##### 【学術論文】

- Competitive Adsorption on Graphite Investigated Using Frequency-Modulation Atomic Force Microscopy: Interfacial Liquid Structure Controlled by Competition of Adsorbed Species, Takumi Hiasa, Hiroshi Onishi, Langmuir, Vol. 29 (2013) 5801-5805.
- Hydrodynamic Performance Produced by Nanotexturing in Sub-micrometer Clearance with Surface Roughness, Tomoko Hirayama, Heinosuke Shiotani, Kazuki Yamada, Naoki Yamashita, Takashi Matsuoka, Hiroshi Sawada, Kosuke Kawahara, ASME Journal of Tribology, Vol. 137, No. 1 (2014) Paper No. 011704.
- Understanding the Interface of Liquids with an Organic Crystal Surface from Atomistic Simulations and AFM Experiments, Peter Spijker, Takumi Hiasa, Tiziana Musso, Rina Nishioka, Hiroshi Onishi, Adam Foster, Journal of Physical Chemistry C 118 (2014) 2058-2066.
- Adsorbed Film Structure and Tribological Performance of Aqueous Copolymer Lubricants, B. Lin, H. Zhu, A. K. Tieu, T. Hirayama, B. Kosasih, O. Novareza, Wear (2015) in press. 等計 9 件

##### 【招待講演】

- In-Situ Analysis of Oiliness Additives Adsorbed onto Metal Surfaces, Tomoko Hirayama, Fourth Advanced Forum on Tribology 2013, Beijing (2013).
- Structure of Boundary Layers at Solid-Liquid Interface, Tomoko Hirayama, International Tribology Conference Tokyo 2015, Tokyo (2015).
- Interfacial Liquids, Most Soft Surfactants Probed by AFM, Hiroshi Onishi, 249th ACS National Meeting, Denver (2015).
- Interfacial Liquids, Most Soft Materials Probed by AFM, Hiroshi Onishi, Atomic Structure of Nanosystems from First-Principles Simulations and Microscopy Experiments (AS-SIMEX), Helsinki, (2015). 等計 25 件

##### 【研究代表者・共同研究者連名での学会発表】

- Cross-Sectional Imaging of Interfacial Liquid Structure on Metal Surface by Means of Frequency-Modulation Atomic Force Microscopy, Ryota Kawamura, Tsubasa Kiriya, Takashi Matsuoka, Tomoko Hirayama, Hiroshi Onishi, 1st International Conference on Engineering Tribology Technology (2014).
- Direct Observation of Adsorbed Additive Layer at Solid-Liquid Interface by Frequency-Modulation Atomic Force Microscopy, Keita Fujino, Ryota Kawamura, Takashi Matsuoka, Tomoko Hirayama, Hiroshi Onishi, Malaysian International Tribology Conference 2015 (2015). 等計 5 件