

2023 年度年次報告書

革新的力学機能材料の創出に向けたナノスケール動的挙動と力学特性機構の解明

2021 年度採択研究代表者

足立 幸志

東北大学 大学院工学研究科  
教授

トライボケミカル協奏反応の制御による超低摩擦界面の継続的創成と長期信頼性機械の設計基盤  
の構築

主たる共同研究者:

久保 百司 (東北大学 金属材料研究所 教授)

七尾 英孝 (岩手大学 理工学部 准教授)

平山 朋子 (京都大学 大学院工学研究科 教授)

## 研究成果の概要

2023 年度は、超低摩擦界面の継続的自己形成の鍵となる以下 2 つの項目に着目し、表面設計としての新たな視点となる研究成果を得た。その概要は以下の通りである。

### (1) 超低摩擦界面及びその形成のためのトライボケミカル反応の解明

- ・ 炭化ケイ素 (SiC) を用いた水中摩擦においてナノ、マイクロ、ミリオードの「不均一なマルチスケール表面テクスチャ」の導入により、安定した超低摩擦発現と耐荷重性の向上が可能となることを明らかにした。
- ・ 当チームが開発した SiC -DLC 複合膜と SiC を用いた水中摩擦システムにおいて、境界潤滑条件下で 0.05 以下の安定した低摩擦の発現と SiC の含有量による摩擦制御の可能性を明らかにした。
- ・  $\text{Si}_3\text{N}_4$  と SiC を用いた合成炭化水素油 (MAC) 中摩擦において、銅やニッケル等、脱水素反応を促進する金属材料のコーティングにより、MAC が潤滑性を期待されるグラファイト構造を持つ炭素に変換される摩擦化学反応を促進し得ることを明らかにした。

### (2) 継続的超低摩擦界面形成のためのトライボケミカル協奏反応機構の解明

- ・ 耐摩耗剤である ZDDP と摩擦調整剤である MoDTC を含む潤滑油中において、摩擦によって時々刻々と変化する摺動表面におけるモリブデン系トライボフィルムの形成及びその継続性解明のための XAFS を用いたリアルタイム分析を実現した。
- ・ 実際の摩擦面に存在する凹凸を考慮した表面モデルを採用したニューラルネットワーク分子動力学シミュレーションによって、鉄界面におけるモリブデン系トライボフィルム形成のための摩擦化学反応を検討し、 $\text{MoS}_2$  クラスターに加えて  $\text{MoO}_x$  クラスターが生成されることを明らかにした。さらに生成された  $\text{Mo}_2\text{S}_6\text{O}_2$  が表面から剥離し、それら複数が再度基板表面上で結合することにより継続的な  $\text{MoS}_2$  クラスター形成が可能となることを明らかにした。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Kuriyagawa, K. Adachi, Durability of Super-Low Friction of Hydrogenated Carbon Nitride Coatings in High-Vacuum Environment, *Tribology online*, **19**, 62-73 (2024).
- 2) Y. Ootani, M. Tsuchiko, M. Kawaura, M. Yokoi, Q. Chen, Y. Asano, N. Ozawa, M. Kubo, Reactive Molecular Dynamics Simulation Study on Atomic-Scale Adhesive Wear Mechanisms of Single Crystalline Body-Centered Cubic Iron, *Tribology Letters*, **72**, 35 (2024).
- 3) N. Yamashita, T. Hirayama, M. Hino and N. Yamada, Neutron Reflectometry under High Shear in Narrow Gap for Tribology Study, *Scientific Reports*, **13**, 18268 (2023).
- 4) N. Yamashita and T. Hirayama, Effect of Atmospheric Gas on ZDDP Tribofilm Formation, *Tribology International*, **193**, 109400 (2024).