

2024 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

辻井 敬亘

京都大学 化学研究所
教授

超低摩擦ポリマーブラシの摩耗現象の階層的理解と制御

主たる共同研究者:

荒船 博之 (鶴岡工業高等専門学校 創造工学科 准教授)

大谷 優介 (東北大学 金属材料研究所 准教授)

大野 工司 (大阪公立大学 大学院工学研究科 教授)

中野 健 (横浜国立大学 大学院環境情報研究院 教授)

研究成果の概要

本年度は主に、tCPB 構造の高度化と摩耗機構の理解に関して更なる深化に取り組んだ。①「ものづくり」では、高耐久化に向けて、2nd ポリマーネットワーク導入、逐次その場重合によるヘテロ層構造化、反応性官能基を起点とした架橋ネットワーク拡張などに成功した。適切な分子設計により、潤滑特性を損なうことなく、これらのハイブリッド化等を達成できており、下記確立したコンビナトリアル摩耗計測による耐久性評価へと展開する予定である。②「精密計測」では、独自設計試験機によりコンビナトリアル摩擦摩耗計測に成功し、その有効性を実証できたことは大きな武器を得たと考えている。また、膨潤特性によるイオン液体中の摩擦摩耗制御に成功し、ストライベック曲線ショルダー発生要因の実験的検証を進めるとともに、マルチモーダル計測による CPB 摩耗の時空間発展を把握することに成功し、圧縮剪断場での多様な情報の取得が可能となった。これらの成果は、下記の理論・シミュレーション研究を進める上で有用なデータとなっている。③「理論」では、粘弾性ファンデーション理論を拡張／高度化して、力学システム応答解析を実施するとともに、摩擦と摩耗の時空間発展を記述することに成功した。これにより、摩耗と深く関わる摩擦系の安定性・不安定性に関する新たな知見を得るとともに、摩耗を劇的に抑制する指針を提示した。④「シミュレーション」では、粗視化分子動力学法により、分子鎖切断と溶媒流れの相関を議論するとともに、架橋の効果を露わに検証することに成功した。また、粘弾性ファンデーションモデルの開発に向けた摩擦メカニズム情報の提供と全原子分子動力学シミュレーション解析の基盤構築を実施した。

これらの成果は、グループ間連携により「ものづくり」⇄「精密計測」⇄「理論」⇄「シミュレーション」の相互フィードバックが有効に機能した証であり、摩耗階層性の理解に向けて順調に進捗している。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Watanabe, S. Hatanaka, K. Nakano, V. L. Popov, “Sliding friction in contacts with one- and two-dimensional viscoelastic foundations and viscoelastic half-space”, *Facta Universitatis, Series: Mechanical Engineering*, **22**, 529- 545 (2024).
- 2) T. Watanabe, K. Nakano, “Two origins for bell-shaped velocity-dependent friction coefficient: Kelvin-Voigt or standard linear solid viscoelasticity”, *Tribology Online*, **19**, 167-177 (2024).
- 3) H. Okubo, K. Hase, K. Tamamoto, Y. Tsujii, K. Nakano, “In-situ observation of ice-adhesion interface under tangential loading: Anti-icing mechanism of hydrophilic PPEGMA polymer brush”, *Tribology Lett.* **72**, 96 (2024).
- 4) K. Tamamoto, Y. Kinose, H. Okubo, K. Nakano, Y. Tsujii, “Anti-icing properties of nonionic/hydrophilic concentrated polymer brushes and mechanistic insights via their swollen-state analysis”, *Communications Materials* **6**, No.20 (2025).