

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

2022年度
年次報告書

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な理解と制御

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 准教授)

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

摩耗分析に特化した基盤技術の確立に向けて、「ものづくり」「精密計測」「理論/シミュレーション」に取り組むとともに、濃厚ポリマーブラシ(CPB)系の摩耗仮説の共有により、グループ間の連携をはかった。主な研究成果は、以下のとおりである。

- CPB の摩耗現象を追跡すべく、メカノラジカル蛍光トラップ法によるコンビナトリアル摩耗解析系を確立し、主要機構として分子鎖ランダム切断と摩耗進展の摩耗モードに分類するとともに、摩耗進展フロンティア部に存在する分子鎖の形態を重要因子とする摩耗モデルを提案した。加えて、CPB 層の新たな階層的破壊現象として着氷界面に関する研究に着手した。
- (1) 青赤緑蛍光色素を導入した CPB の in-situ 重合条件の確立および(2) 赤色および緑色でそれぞれ標識した蛍光性ブロック型 CPB における摩耗試験に成功し、CPB の深さ方向の摩耗伸展を解析する手法を開拓した。
- 理論研究と実験研究を並行して進めた。理論研究では、CPB の摩擦と摩耗の時空間発展を記述可能なマクロモデルを高度化し、大谷 G のナノモデルとの連結の検討を開始した。実験研究では、CPB の摩耗現象の時空間発展を把握するために、ラマン分光分析装置を組み込んだトライボロジー実験系を構築した。
- 粗視化分子動力学シミュレーションによるマイクロな高分子鎖切断メカニズムの解析を行うとともに、欠陥を有する大規模ポリマーブラシモデルの開発と、ポリマーブラシの摩耗現象のナノとマクロを繋ぐメソモデリングの検討を行なった。シミュレーションから、摺動によって生じる溶媒の流れが、高分子鎖のランダムな切断を引き起こすことを明らかにした。
- CPB を架橋する基盤技術を構築するために、水素結合性基含有ポリマーブラシを付与した微粒子が相互作用することを確認し、ブラシ内に組み込んだ水素結合性基が機能することを明らかにした。また、新規の潤滑液添加剤を開発するために、CPB 付与ナノシートを合成した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) C. Tadokoro, D. Kitafuji, T. Nagamine, K. Nakano, S. Sasaki, T. Sato, K. Sakakibara, Y. Tsujii, “Concentrated polymer brush in reciprocating seal improves sealing performance with low friction even for rough surfaces and immiscible fluids”, Tribology Letters, vol. 70, Article No. 106, 2022.
- 2) S. C. Vlădescu, C. Tadokoro, M. Miyazaki, T. Reddyhoff, T. Nagamine, K. Nakano, S. Sasaki, Y. Tsujii, “Exploiting the Synergy between Concentrated Polymer Brushes and Laser Surface Texturing to Achieve Durable Superlubricity”, ACS Applied Materials and Interfaces, vol. 14, No. 13, pp. 15818-15829, 2022.