

2024 年度年次報告書

複雑な流動・輸送現象の解明・予測・制御に向けた新しい流体科学

2023 年度採択研究代表者

手嶋 秀彰

九州大学 大学院工学研究院

准教授

超空間分解能計測と界面特性マッピングで拓く「すべり」の新学理

研究成果の概要

固液界面で流体が速度を持つ「すべり」現象を理解するには、ナノスケールの界面特性とすべり長さの双方を把握する必要がある。本研究では、周波数変調型原子間力顕微鏡(FM-AFM)を駆使することですべり計測の空間分解能を現在の 10 μm から 100 nm オーダーへと一気に 2 桁進化させ、界面特性と同時にマッピングする新しいプラットフォームを構築することで、すべり現象の物理機構を解き明かす。昨年度は先端球半径が 10 μm の AFM 探針で周波数シフト曲線・エネルギー散逸曲線の同時計測技術を実証したが、本年度はこの技術をさらに発展させた。具体的には、球半径を 500 nm まで小型化した上で水平方向に多点計測することで、表面形状・すべり長さ・表面電荷密度の同時マッピングを試みた。計測対象は、酸化シリコン基板上に $1 \times 1 \mu\text{m}$ のチタン薄膜を周期的に蒸着した表面とした。その結果、表面形状に対応したすべり長さ・表面電荷密度の計測に成功し、研究課題名にも掲げる根幹技術である超空間分解能計測と界面特性マッピングをある程度実現できたと言える。一方で、チタン面と酸化シリコン面ですべり長さ・表面電荷密度に大きな差が出ず、計測結果の定量性に疑問が残った。そこで実験系を見直した結果、オープンループフィードバックスキャナのピエゾ位置誤差に由来するすべり長さの計測誤差が最大 100%まで達すること、また自動利得制御装置の限界で AFM 探針の振動振幅を一定に制御できず、エネルギー散逸曲線ひいてはすべり長さが不正確になることが判明した。前者はクローズドループフィードバックスキャナの導入により解決している。後者は、あえて振動振幅の制御を完全に止めることで、非保存力による振幅の減少量からエネルギー散逸曲線を得る方法に変更することで解決を図った。その結果、理論解とほぼ一致するエネルギー散逸曲線が実測できている。現在はすべり計測結果の定量性を検証するべく、すべり長さに顕著な違いが生じるであろう親水(酸素プラズマ処理酸化シリコン)―撥水(オクタデシルトリクロロシラン)複合面の作製を進めている。

また本年度は、アメリカ合衆国のイリノイ大学アーバナ・シャンペーン校に 1 年間滞在していた。その間にすべり長さの温度依存性を計測するべく、加熱液中での AFM 計測を実現できる実験系を新たに考案・構築した。実験装置の故障により十分なデータ取得には至れなかったが、考案した実験系は九州大学の研究室で所有する AFM でも再現可能であり、現在は実験系の調整を進めている。