

公益財団法人 JKA 小型自動車等機械振興補助事業

2022 年度「流体中の高分子の流動抵抗直接測定と高分子形態のモデル化補助事業」に関する報告書

補助事業番号 2022M-245

補助事業名 2022 年度 流体中の高分子の流動抵抗直接測定と高分子形態のモデル化補助事業

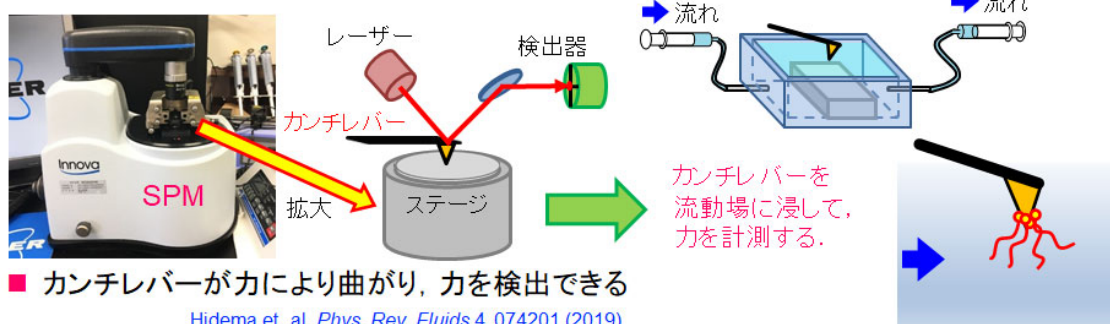
補助事業者名 神戸大学 大学院工学研究科 応用化学専攻 日出間るり

1 研究の概要

本研究は少量の高分子を添加した流体が示す、観察する時間や長さのスケールに依存する特異な流動挙動を、流体と高分子の相互作用の観点から解明するため、流体中の高分子の流動抵抗の直接測定を目指した。まず、走査型プローブ顕微鏡により高分子に由来する流動抵抗を測定し、この値から流体中での高分子の形態を予測する。形態予測には、研究代表者が提案した、流体中で高分子にかかる力から高分子の伸長を予測するモデルを用いる。

研究概要

- 走査型プローブ顕微鏡(SPM)は弱い力を検出できる



2 研究の目的と背景

少量の高分子を流体に添加すると、メートルスケールの流路では摩擦抵抗が低減し、乱流が抑制される。一方、同じ溶液がマイクロメートルスケールの流路では、弾性不安定と呼ばれる乱れた流れを誘発する。このような低濃度高分子溶液のスケールに依存した複雑な流動挙動は、前者は流体輸送や船舶推進のエネルギーを低減、後者は成形化工や塗装など様々な化学産業に関わる。このため低濃度高分子溶液の流動挙動を理解し制御することは重要であるが、複雑な挙動のもととなる高分子と流体の相互作用を測定し、定量化することは難しいという課題がある。高分子と流体の相互作用が定量化され、高分子が溶液全体に与える影響が明らかとなり、様々なスケールで高分子溶液の流動現象を制御できるようになれば、流体に関する産業で、莫大なエネルギーが節約できる。

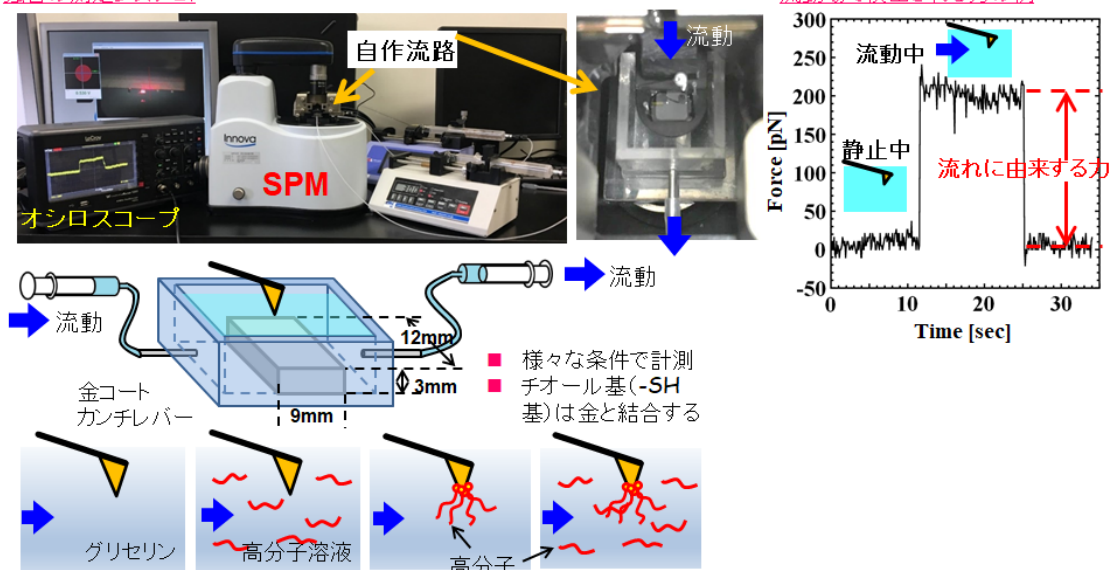
そこで本研究は、流体中での流体と高分子の相互作用を定量化するために、走査型プローブ顕微鏡という微弱な力を検出できる装置を用いて、高分子の流動抵抗を直接測定することを目的とする。そして、測定された流動抵抗と流体中の高分子の形態を結びつけるため、流体中で高分子が取りうる形態を予測する。さらに、形態モデルが正しいかどうかを検討するため、巨大な高分子モデルである DNA を使った実験を行い、高分子の可視化を試みる。以上の方法により、流体中の高分子が流体に与える影響を、高分子の流動抵抗測定を通して明らかにする。

3 実施内容

①合成高分子の流動抵抗計測と形態モデルの提案

走査型プローブ顕微鏡 (SPM) に取り付けられたカンチレバーの先端に、合成高分子を結合させ、カンチレバーを流路に浸し、流動抵抗を実測した。合成高分子の種類を変えて測定し、実験により測定した値と、代表者がこれまでに提案した流動場中高分子形態のモデルから計算した値を比較した。両者はよい一致を示し、流動場中高分子形態のモデルの一般性が確認できた。

独自の測定システム



②チオール導入ラムダ-DNA の合成と流動抵抗計測, および, 流動場中での可視化

流動場中高分子形態のモデルを高分子の可視化により検証するため、高分子として可視化可能なラムダ-DNA を用いた実験を行った。まず、ラムダ-DNA がカンチレバーに結合できるようにするため、ラムダ-DNA の末端にチオール基を導入するチオール導入ラムダ-DNA の合成を行った。チオール導入ラムダ-DNA が合成されたことを確認した後、このラムダ-DNA の流動抵抗計測を行い、流動場中高分子形態のモデルを適用した。この値についてもよく一致した。次に、流体中でのラムダ-DNA の可視化を試みた。流路を作成し、流路に蛍光染色したラムダ-DNA を結合させ、可視化した。流速に対するラムダ-DNA の形態変化を可視化し、モデルと対応づけた。

4 成果

本研究に関連する成果は学会発表 2 件, 論文 1 件にまとめられた.

学会発表

碓井睦生, 日出間るり, 松尾栄子, 鈴木洋, 「ラムダ-DNA の流動抵抗測定から予想される流動中の形態とその検証」, 化学工学会 第 53 回秋季大会, DB118, 長野(2022)

日出間るり, 碓井睦生, 松尾栄子, 鈴木洋, 「流体中の高分子流動抵抗のモデル化と可視化による検証」, 化学工学会第 88 年会, H318, 東京(2023)

論文

Ruri Hidema, “Interactions Between Polymers and Flows in Macro and Micro Length Scales”, Science Talks, Vol.3, #100040 (2022) <https://doi.org/10.1016/j.sctalk.2022.100040>