

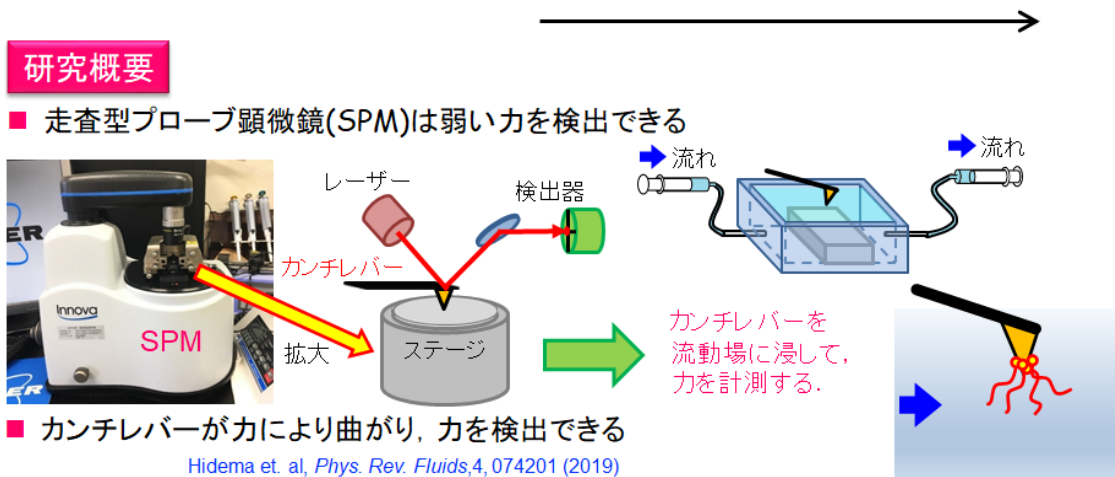
補助事業番号 2022M-245

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 <http://www2.kobe-u.ac.jp/~hidema/fluparlab/pdf/JKAhoukoku.pdf>

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 (SPM) 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。



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。

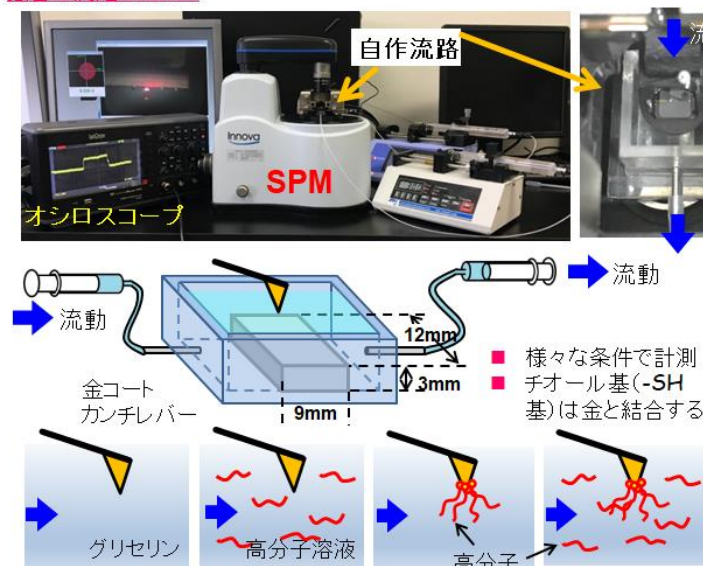
3 研究内容

本研究は、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、流体中の高分子の流動抵抗を測した。高分子の流動抵抗測定を通して、流体中の高分子が取りうる形態を予測し、高分子がどのような形態をとるとき、流動抵抗がどのように変化するのかを対応づけた。これにより高分子を含む溶液が示す、複雑な流動挙動を明らかにし、流体の制御や、省エネルギーに役立つ。

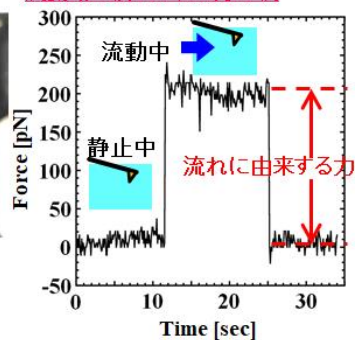
(1) 高分子流動抵抗測定システムの開発と流動抵抗計測

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を、SPMの試料台に乗せた自作の流路に浸し、周囲流体を流動させてカンチレバーにかかる力を測定した。カンチレバーに高分子を結合させ、流路に浸し、周囲流体を流動させてカンチレバーにかかる力を測定した。カンチレバーへの高分子の結合あり、なし、周囲流体中に高分子が存在する、しない、それぞれの条件で測定された力を比較し、「高分子あり」の場合に増加した流れに由来する力を、高分子の流動抵抗であるとする。そして、この流動抵抗を発生させる高分子の形態モデルを予測した。

独自の測定システム



流動場で検出される力の例

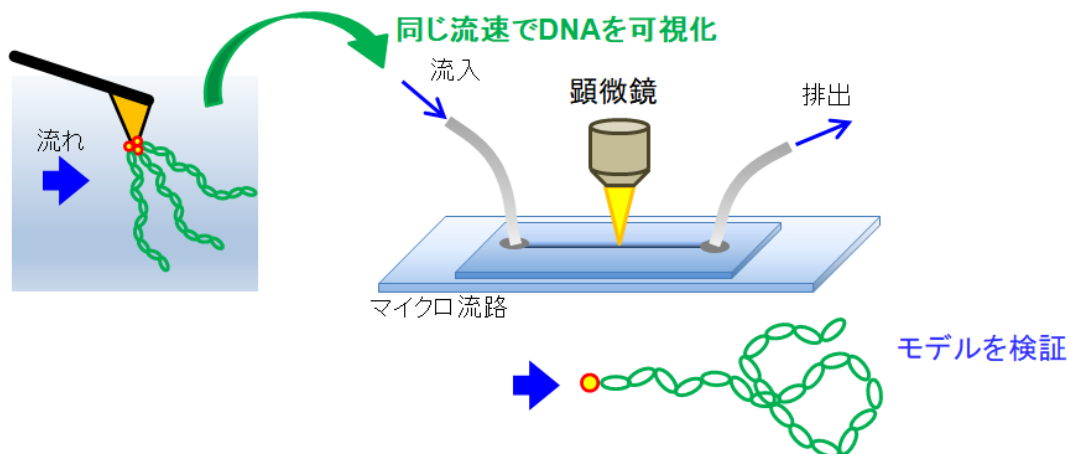


(2) 高分子流動抵抗モデルの提案と検証

流動抵抗を表す形態モデルが正しいかどうかを検証するため、大きくて可視化可能な高分子であるラムダーDNAを用いて、同様の実験を行う。ラムダーDNAの流動中の形態を、蛍光観察によ

り可視化し、モデルを検証した。また、ラムダ-DNAの形態にモデルを適用して計算される流動抵抗が、実験により測定した流動抵抗と一致するか確かめた。

マイクロ流路内にDNAを結合させ、流動中の様子を可視化する。



4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

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。地理的状況から再生可能エネルギーのみでは国内のエネルギー需要をまかなえない日本では、SDGsやパリ協定のCO₂削減の目標のためには省エネルギーが重要となる。特に高分子溶液を多用する化学産業は、日本の最終エネルギー消費の4割を占める大きな産業であり、この分野で省エネは重要であり、本研究はこれに貢献する。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究で取り扱う高分子の流動抵抗実測とそのモデル化、および検証は、流体中での高分子と流体の関係を直接的に測定するもので、他に類を見ない新しい測定法である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

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>

碓井睦生, 日出間るり, 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), 口頭発表

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), 口頭発表

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

特に無し

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特に無し

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 神戸大学 大学院工学研究科 応用化学専攻

(コウベダイガク ダイガクインコウガクケンキュウカ オウヨウカガクセンコウ)

住 所: 〒657-8501

神戸市灘区六甲台町1-1

担 当 者: 准教授 日出間るり(ヒデマルリ)

担 当 部 署: 粒子流体工学研究グループ(リュウシリユウタイコウガクケンキュウグループ)

E - m a i l: hidema@port.kobe-u.ac.jp

U R L: <http://www2.kobe-u.ac.jp/~hidema/fluparlab/>