

補助事業番号 2024M-448

補助事業名 2024年度 細孔内の高分子の変形・緩和・切断が弾性不安定に与える影響 補助事業

補助事業者名 名古屋大学 大学院工学研究科

1 研究の概要

細孔を模した連続型急縮小急拡大マイクロ流路を作成し、ここに高分子溶液を流し、流動場を観察、速度場解析する。この際、流路形状、高分子の種類や濃度、流量による、流動場への影響を明らかにする。また、分子量測定や数値計算を用いて、流路内で高分子の分子量が切断により減少していく過程を予測する。

2 研究の目的と背景

原油採掘では、地下に流体を流しこみ、この流体と原油を置換することで原油を回収する。この際、流し込んだ流体は、圧力損失の小さな経路をたどって流れるため、圧力損失が大きくなる岩石の細孔には入り込みにくく、細部まで原油を回収することは難しい。一方、化学プロセスで、医薬品や化粧品など高付加価値の製品製造に用いられるマイクロリアクターでは、マイクロ流路内の攪拌が促進されず、反応が十分に進まないという問題がある。どちらも、マイクロメートルスケールの細孔における流体置換や攪拌が十分に行われないために生じる課題である。

このような課題に対して、弾性不安定という、分子量が数百万オーダーの高分子を微量添加した流体が、マイクロメートルスケールの流動場で乱れた流れを誘発する現象を利用すると、細孔への流体浸透や置換の促進、マイクロ流路内の攪拌促進につながると考えられる。一方、細孔内で流体にかかる応力により高分子が切断し、効果が十分に発揮されなくなることも予想されている。そこで、本研究は、この問題を解明、解決することにより、資源の効率的な回収による世界的な石油不足問題の解決、様々な化学プロセス工程の効率化によるCO₂削減を目指し、SDGsに貢献することを目指した。

具体的には、細孔を模した連続型急縮小急拡大マイクロ流路を作成し、ここに高分子溶液を流し、弾性不安定を観察、速度場解析する。この際、流路形状、高分子の種類や濃度、流量により、弾性不安定が生じやすい条件、減衰する条件を明らかにする。また、分子量測定や数値計算を用いて、流路内で高分子の分子量が切断により減少していく過程を予測する。これにより、流路内での高分子の変形・緩和(変形が元に戻ること)・切断が、弾性不安定に与える影響を明らかにすることを目的とした。

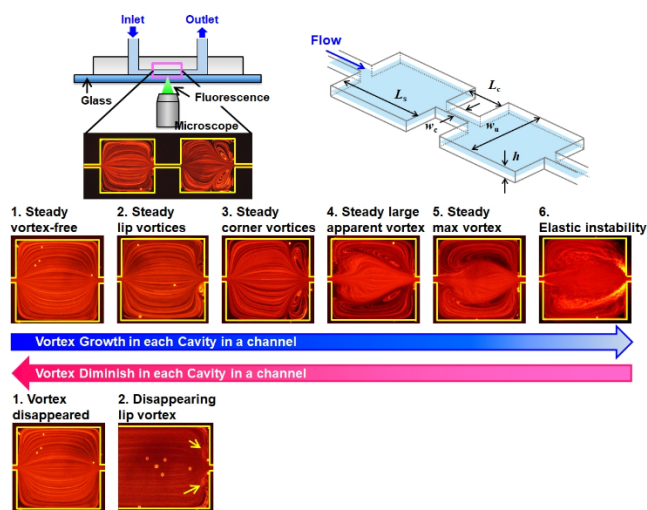
3 研究内容 <https://hidema.mae.nagoya-u.ac.jp/complexfluids/doc/250331jka.pdf>

(1) マイクロ急縮小急拡大流路内の流動場可視化と数値計算による定量化

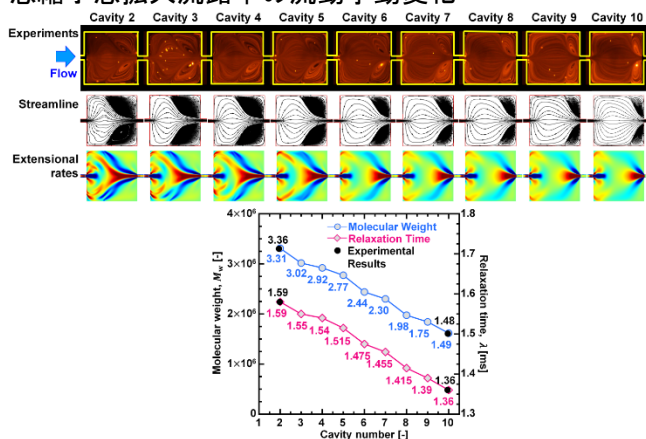
細孔を模したマイクロ流路中での、高分子水溶液の流動挙動を対象とし、流動挙動の分類、定量化を行う。流路形状、高分子の種類や濃度、流量が、弾性不安定の誘発されやすさに与える影

響を明らかにする。分子量測定や数値計算を用いて、流路内で高分子の分子量が切断により減少していく過程を予測する。これにより、流路内での高分子の変形・緩和・切断が、弾性不安定に与える影響を明らかにする。具体的には以下である。

- ①流路幅の拡大縮小が10回変化する、連続型マイクロ急縮小急拡大流路を作成する。流路に分子量の異なるポリエチレンオキシド(PEO)という高分子水溶液を流す。
- ②流路中の拡大（キャビティ）部内の流動挙動が、層流、コーナー渦、弾性不安定と変化する様子を、キャビティの番号と流量により定量化する。
- ③キャビティ内で生じるコーナー渦の大きさと、流動中の溶液、溶液中の高分子にかかる応力や、歪みを計算し、流動場内での高分子の変形、緩和、切断を予測する。
- ④流動場のレイノルズ数、および高分子の変形を表すワイゼンベルグ数を用いたマッピングにより、弾性不安定が生じやすい条件、キャビティ間に流動の振動が生じる条件を見いだす。
- ⑤数値計算OpenFOAMを用いて、流路内で生じ得る高分子切断の過程を予測する。計算により得られた値と、静的光散乱装置を用いた分子量計測の値を比較し、計算の検証を行う。



急縮小急拡大流路中の流動挙動変化



流動挙動の変化と高分子分子量の変化

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究は細孔内の高分子水溶液の流動挙動と、流動中の高分子の切断に関する研究である。これは地下の原油回収や、製造産業における高分子溶液の射出が関連する事業、例えば、紡糸、成形加工、プリンタ技術、塗装技術に関連する。さらに、高付加価値の物質を無駄なく合成するマイクロリアクター内の攪拌技術に関連する。このように、資源回収、製造産業や、化学プロセスの効率向上、精度向上について、広く社会に貢献する。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は、レオロジー、複雑流体、非ニュートン流体と呼ばれる分野に関する研究をしており、高分子水溶液もその一部である。複雑流体の特徴は、観察する大きさのスケールに依存した挙動を示す。本研究は弾性不安定と呼ばれるマイクロメートルスケールに見られる流動現象を取り扱った。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

<https://hidema.mae.nagoya-u.ac.jp/complexfluids/paper.html>

発表論文：

Guangzhou Yin, Yuta Nakamura, Hiroshi Suzuki, François Lequeux, Ruri Hidema, “Polymer scission and molecular weight prediction in continuous abrupt contraction–expansion microchannel with different contraction ratios”, *Nihon Reorogi Gakkaishi*(Journal of the Society of Rheology, Japan), accepted (2025)

Guangzhou Yin, Yuta Nakamura, Hiroshi Suzuki, François Lequeux, Ruri Hidema, “Effects of contraction ratio of continuous abrupt contraction–expansion microchannels on flow regime of polyethyleneoxide solutions affected by memory and scission of polymers”, *Physics of Fluids*, 36, 124144 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0245100>

Guangzhou Yin, Yuta Nakamura, Hiroshi Suzuki, François Lequeux, Ruri Hidema, “Polymer scission and molecular weight prediction in continuous abrupt contraction–expansion microchannel”, *Physics of Fluids*, 36, 124139 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0242781>

Guangzhou Yin, Yuta Nakamura, Hiroshi Suzuki, François Lequeux, Ruri Hidema, “Memory and scission effects of polymers on the flow regime of polyethylene oxide solutions in continuous abrupt contraction–expansion microchannels with different cavity length”, *Physics of Fluids*, 36, 043114 (2024) <https://doi.org/10.1063/5.0201870>

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

上記の論文が該当する。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 名古屋大学大学院工学研究科(ナゴヤダイガク ダイガクインコウガクケンキ
ュウカ)

住 所: 〒464-8603

名古屋市千種区不老町

担 当 者: 教授 日出間るり (ヒデマ ルリ)

担 当 部 署: 機械システム工学専攻(キカイシステムコウガクセンコウ)

E - m a i l: hidema@nagoya-u.jp

U R L: <https://hidema.mae.nagoya-u.ac.jp/complexfluids/>