

2021/10/27

JST 理事長記者会見



JST 創発的研究支援事業 研究紹介

非線形非平衡現象を駆使した 化学プロセスの創成

～特定の条件で急に生じる現象の理解と制御～

日出間るり

神戸大学 大学院工学研究科 応用化学専攻

自己紹介



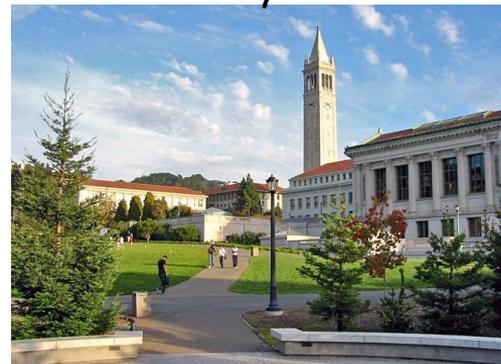
日出間るり 神戸大学 准教授
大学院工学研究科 応用化学専攻 粒子流体工学研究グループ

研究分野 レオロジー, 化学工学, 非ニュートン流体, 複雑流体

東京農工大学農学部



マイナビジョン 東京農工大学
UC Berkeley



Wikipedia カリフォルニア大学バークレー校

ENS Paris-Saclay
(ENS Cachan,)



Wikiwand
École normale supérieure Paris-Saclay

神戸大学工学部



Wikipedia 神戸大学工学部

山形大学工学部



Wikipedia 山形大学工学部

主な受賞

日本機械学会流体工学部門優秀講演表彰
化学工学会研究奨励賞(玉置明善記念賞)
日本レオロジー学会奨励賞
資生堂女性研究者サイエンスグラント
文部科学大臣表彰 若手科学者賞
日本伝熱学会賞(学術賞) など

趣味 ノンフィクション読書

研究分野の紹介 レオロジー, 複雑流体



レオロジー Rheology : 物質の変形と流動に関する科学

学問領域	対象物質	対象現象
流体力学	単純な流体	複雑な流れ
固体力学	単純な固体	複雑な変形
レオロジー	複雑な流体 or 固体	単純な流れ or 変形
複雑流体	複雑な流体	複雑な流れ

連続体の力学



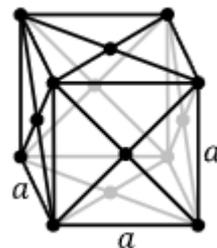
<https://en.wikipedia.org/wiki/Turbulence>



<https://en.wikipedia.org/wiki/Cough>



<https://en.wikipedia.org/wiki/Iron>



連続体の力学では表せない?!



勢いよく引っ張ると切れる



ゆっくり引っ張ると伸びる!

https://www.horishoten.co.jp/sp/detail_sp.php?code=422155 堀商店webサイト



- 加えた力に依らない挙動.
- 観察する時間の長さ, 空間の大きさにより, 生じる現象が異なる.



ソフトマター (Soft matter)

- 高分子, 液晶, コロイド (エマルション 例: 乳液, 乳剤, ゾル・ゲルなど), 界面活性剤, 生体膜, 生体分子 (蛋白質, DNA など) などの **柔らかい物質** の総称.

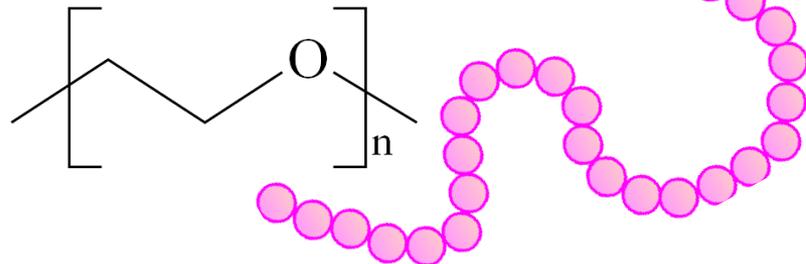
Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007)

Nature, 448, 149 (2007)

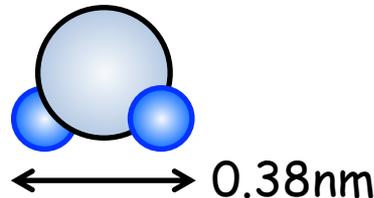
ソフトマターの構成単位は **巨大分子** または **分子の大きな集合** であり, **内部自由度** が大きい.

高分子 ポリエチレンオキシド (PEO)

長い分子, 紐状の分子

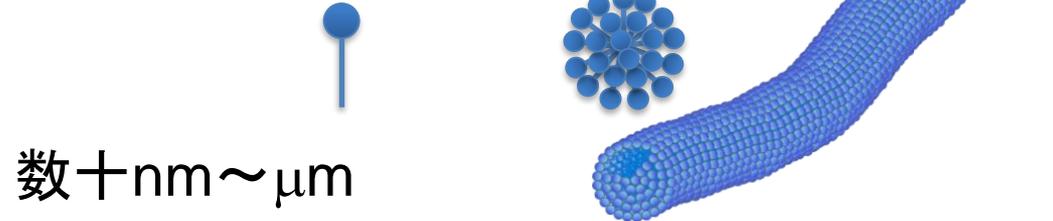


水分子



紐状ミセル 界面活性剤の集合体

界面活性剤 球状ミセル

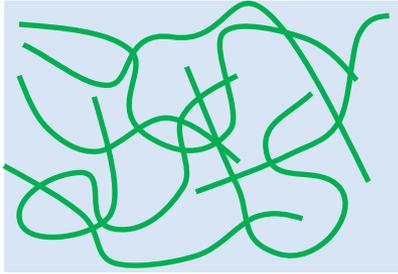


100倍 ~ 100,000倍 にもなる.

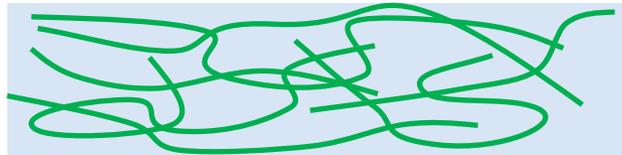
ソフトマターの特徴：絡み合い，ネットワーク

■ 高分子の絡み合い：自発的な配置替え

はじめの状態



引っ張る



流体内部で高分子が急に伸ばされ，絡み合い点が伸びきるため，堅くなる

放置する



流体内部で高分子の配置が変わり，ほどけて，緩和する。

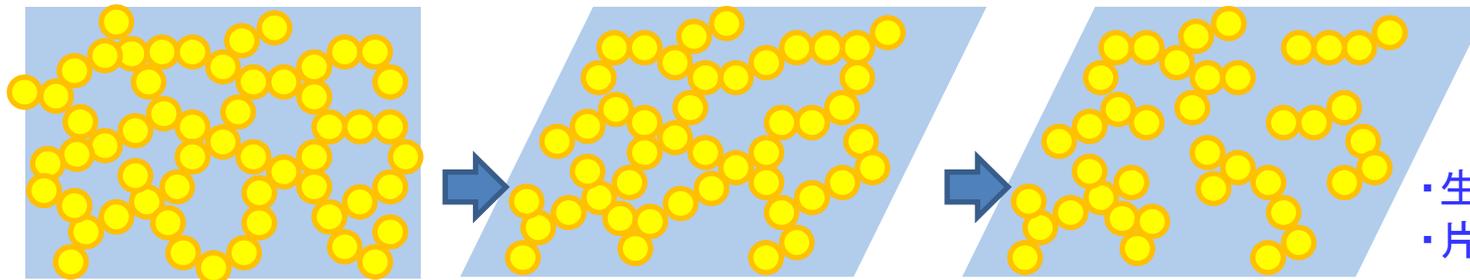
高分子が緩和する時間よりも，素早く変形させると，緩和しきれずに，ちぎれる。



https://www.horishoten.co.jp/sp/detail_sp.php?code=422155
堀商店webサイト

■ 泡や粒子を含む系のネットワーク

泡や粒子のネットワークが切れると，相分離が生じ，流動性が変わる。



例

- ・生クリームの泡立てすぎ
- ・片栗粉に水を入れて攪拌

ソフトマター溶液の流動のスケール依存性

ソフトマターを含む溶液は**観察するスケールに依存する階層性**を有し、濃度からは予想されない**非線形・非平衡な挙動**を誘発する

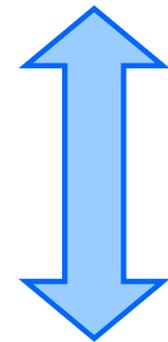
流動摩擦抵抗を低減 高分子0.001wt%水溶液

抵抗低減



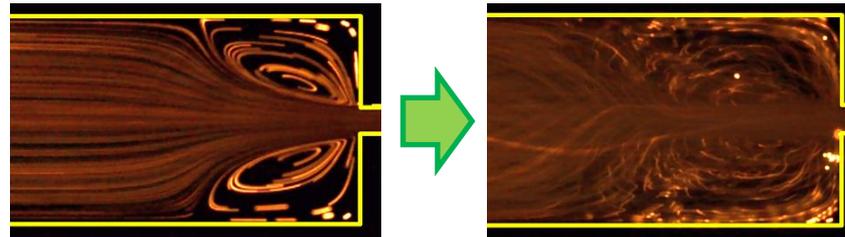
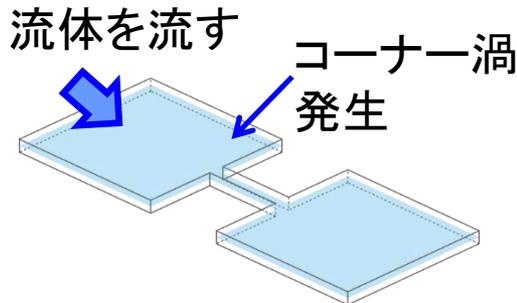
微量のソフトマター添加
で大きく変化

mスケール
乱れを抑制



弾性不安定

本来、乱れが生じにくい、
小さなスケールの流路で、乱れを誘発。



μmスケール
乱れを誘発

Hidema et. al, *Phys. Fluids*,16, 6826 (2019)

マイクロ流路

ソフトマター溶液の流動のスケール依存性

マクロスケール

m

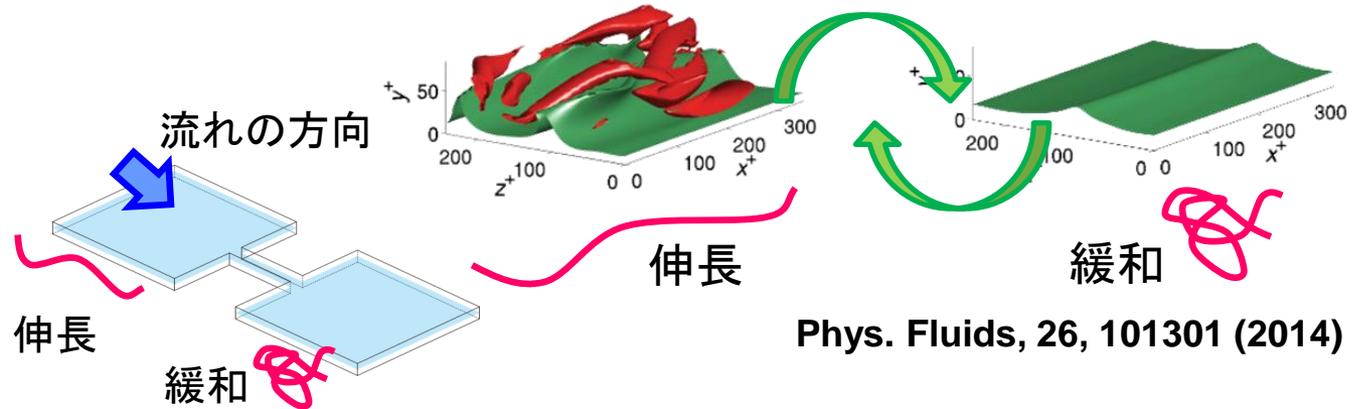


mm

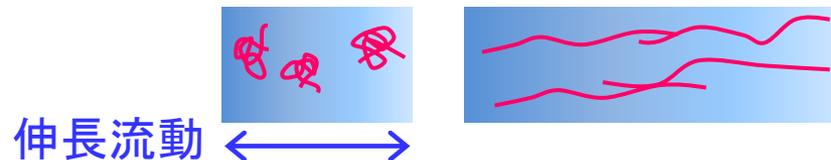
高分子の伸長と緩和により、壁面付近の渦が変化

メゾスケール

μm



ミクロスケール

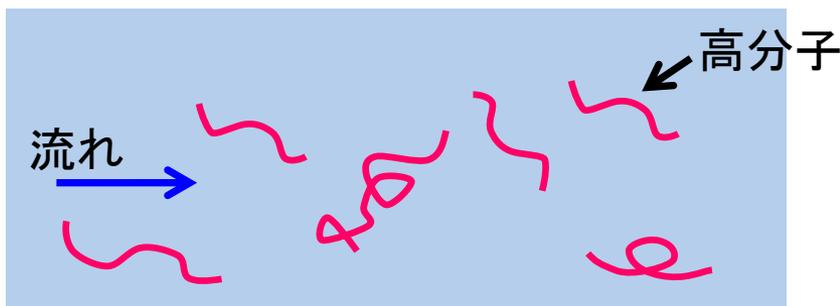


ソフトマターの変形と緩和, 流体内部での相互作用

- 時間・空間スケールの相互作用.
- 溶液内の不均一さ. 局所的な物性変化. 流動が相転移的・周期的に変化.
- 濃度からは予測不能な非線形・非平衡さ.

ソフトマターを含む現象の階層構造と相互作用

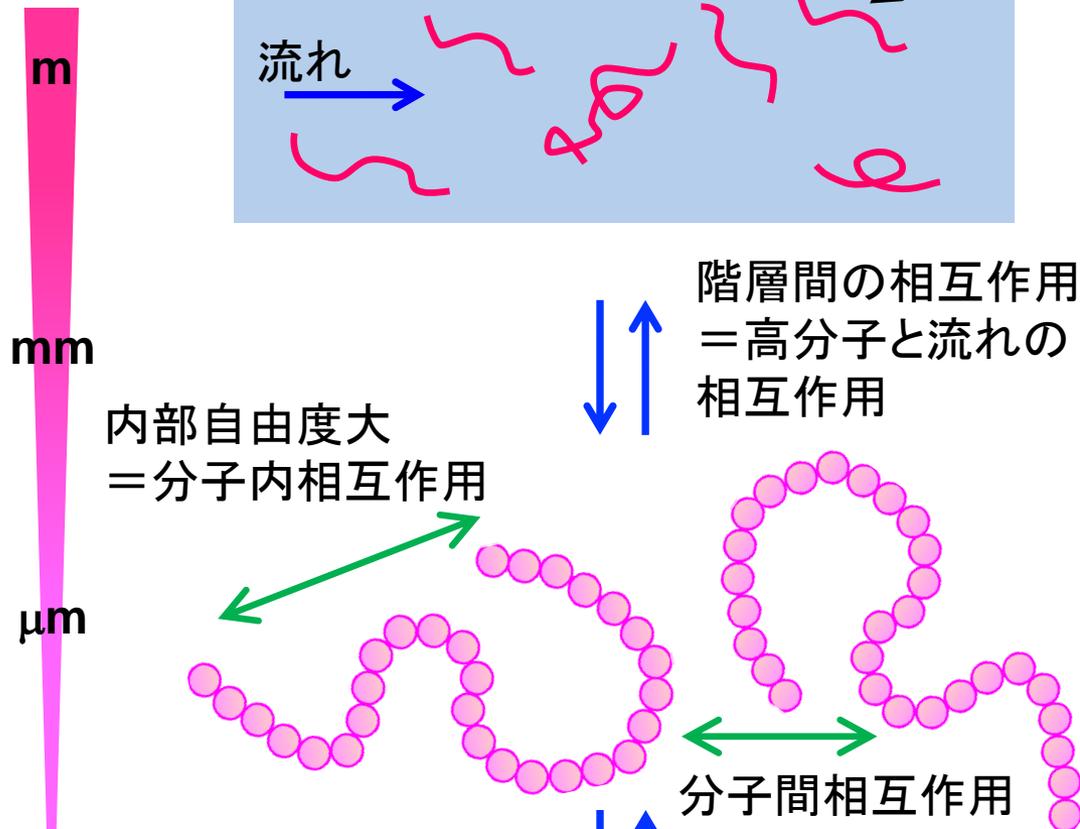
階層構造



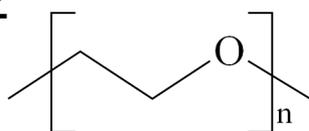
メソスケールの
不均一さや
弱い相互作用が、
ソフトマター現象の要。

階層内, 階層間の相互作用

- 要素還元できない
- 取り出すと壊れる相互作用



分子構造が高分子の堅さ・柔らかさを決める。

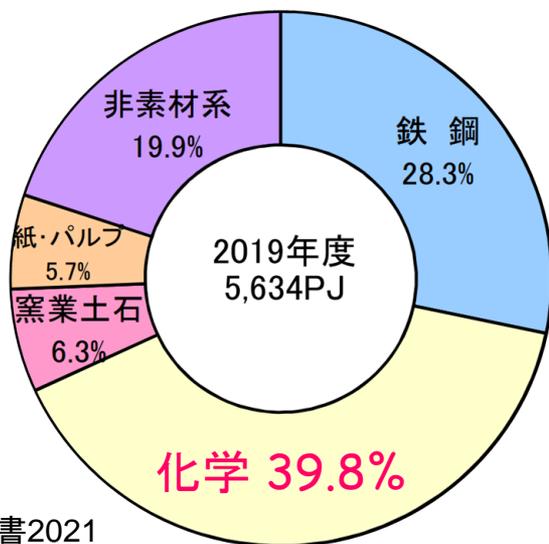


現象全体を解析し, 系内部の状態と結びつける観察・解析が重要.

上位の階層(大きなスケール)を下位の階層(小さなスケール)に結びつける.

溶液内の不均一さ, 相互作用を定量化できておらず, 影響を制御できない.
可能となれば, 非線形・非平衡の化学プロセスの学理を切り開く.

製造業エネルギー消費における業種割合



エネルギー白書2021

化学産業・化学プロセスの
高効率化・省エネ化が必要

- 流体輸送の省エネ
- 高効率で制御された反応・攪拌

ソフトマターの特性を利用した
化学プロセスの高効率化・省エネ化実現へ

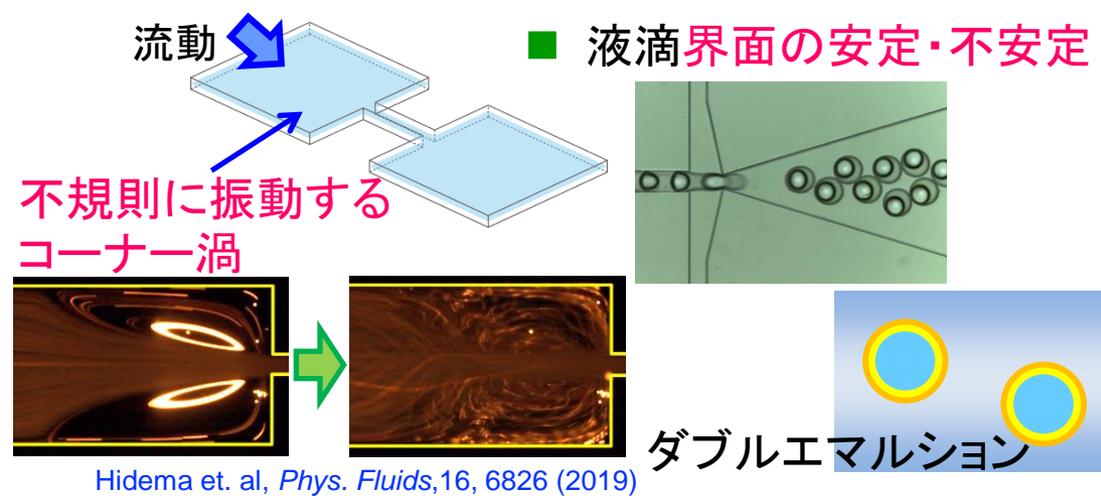
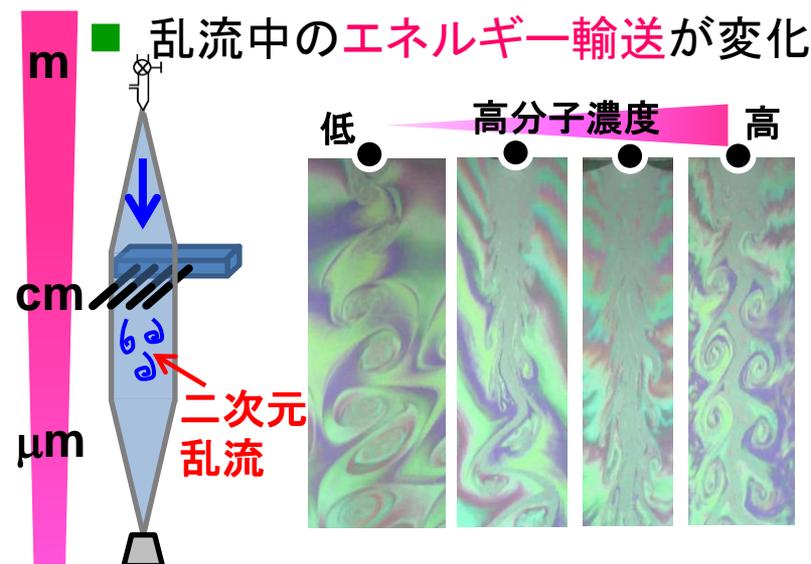
7 エネルギーをみんなに
そしてクリーンに



非線形・非平衡が絡む様々な問題につながる可能性がある.

不均一, 相互作用, 相転移

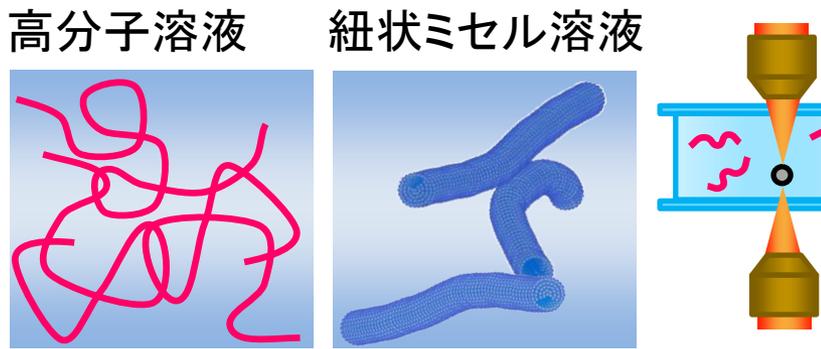
小さなスケールでのソフトマター由来の不均一さ・相互作用を定量化. より大きなスケールの流動挙動を理解・制御する



Hidema et. al, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 285, 104385(2020)
Hidema et. al, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 254, 1 (2018)

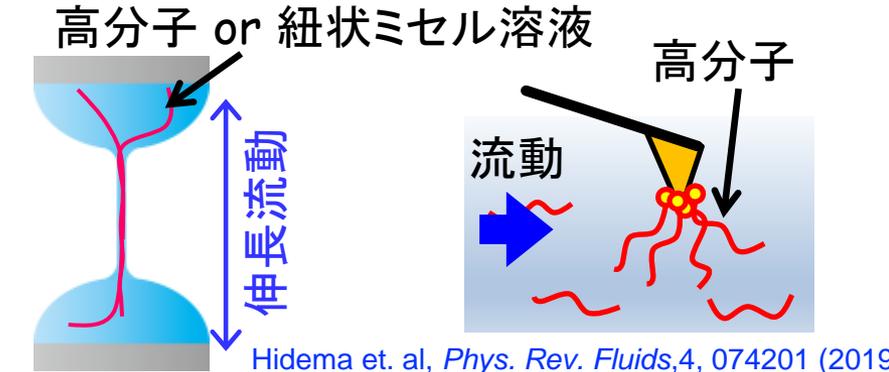
Hidema et. al, *AIP Advances*, 11, 065219 (2021)

光ピンセット計測 Hidema et. al, *Soft Matter*, 16, 6826 (2020)



- 局所粘度を光ピンセット計測により取得. 溶液内の不均一さの定量化.

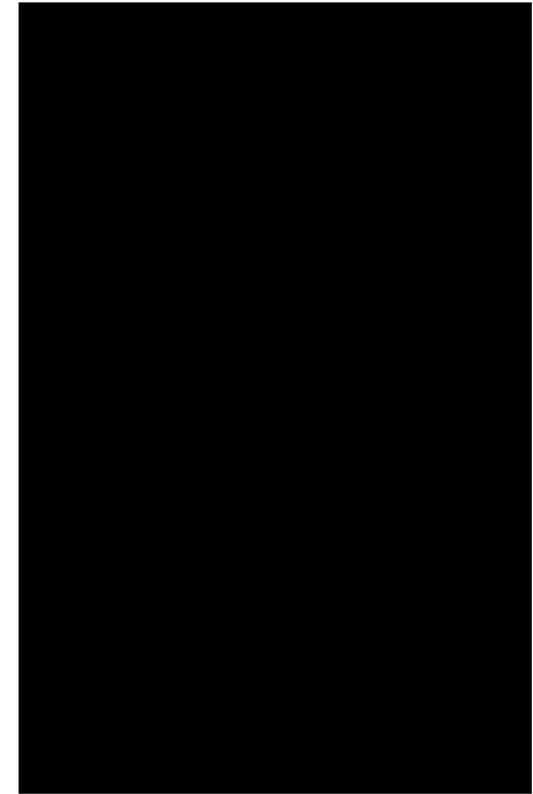
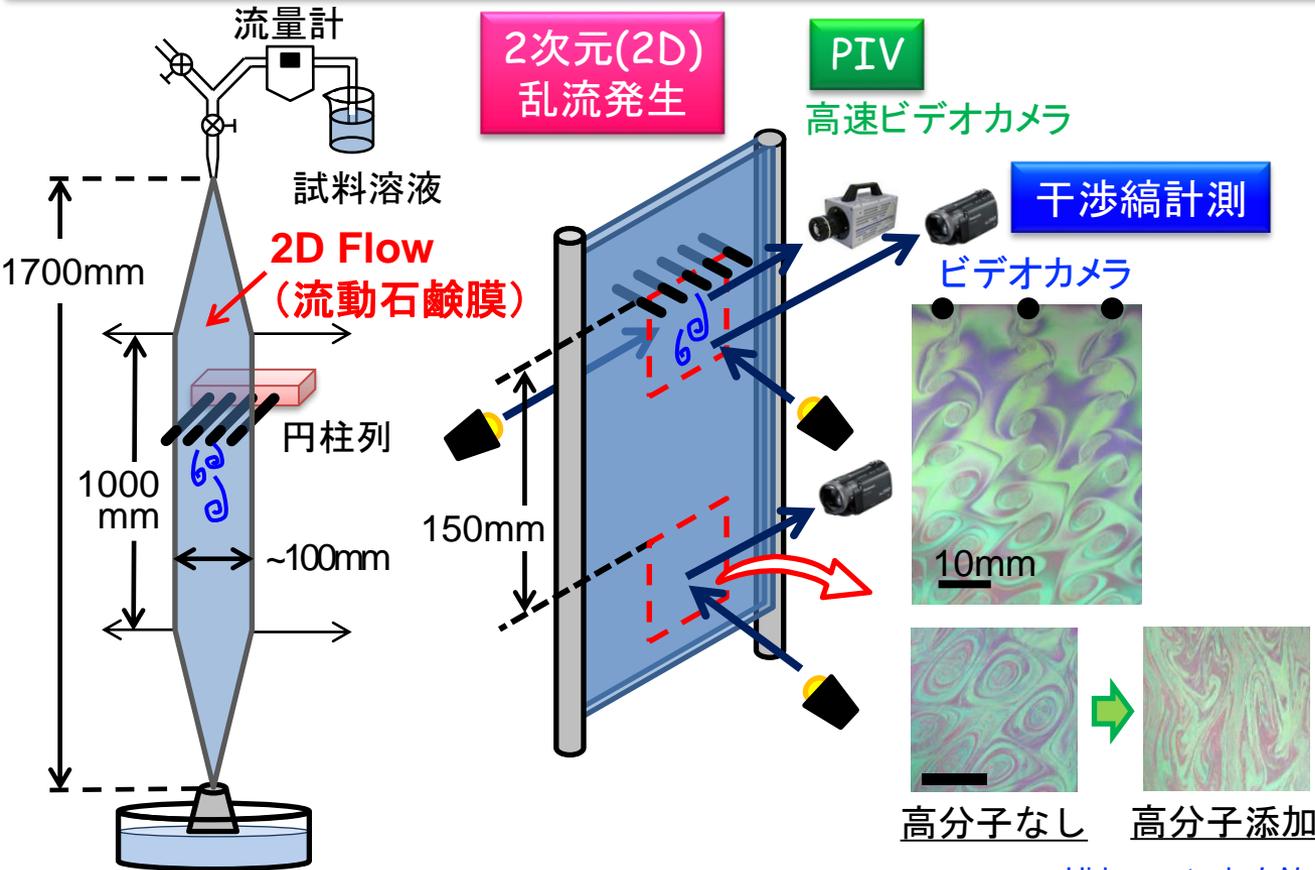
伸長レオロジー, SPMを用いた計測



- 伸長流動下の緩和時間測定
- 高分子の流動抵抗計測

Hidema et. al, *Phys. Rev. Fluids*, 4, 074201 (2019)

二次元流動場の乱流抑制中のエネルギー輸送



2D流動場で乱流抑制を調べるメリット

- 壁面が無く、剪断応力の影響が極めて小さい。流体の伸長流動特性が、乱流に与える影響に着目できる。
- 流動場を可視化しやすく、乱流統計量を簡単に求められる。

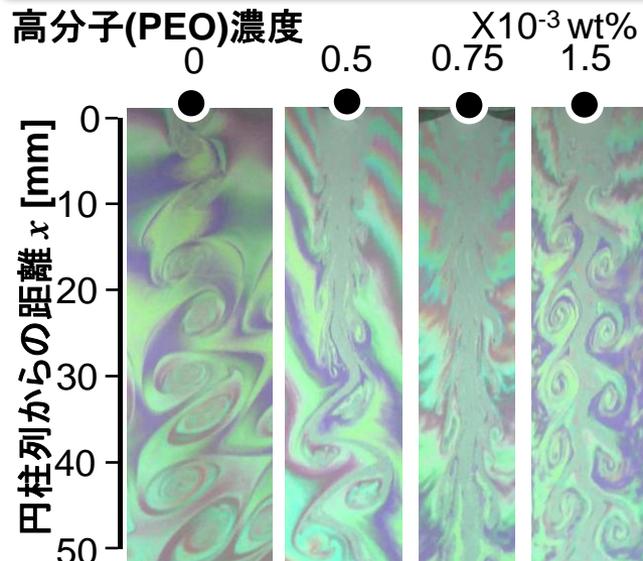
科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞(2018),

日本レオロジー学会奨励賞(2017), 化学工学会研究奨励賞(玉置明善記念賞) (2015), 他受賞多数

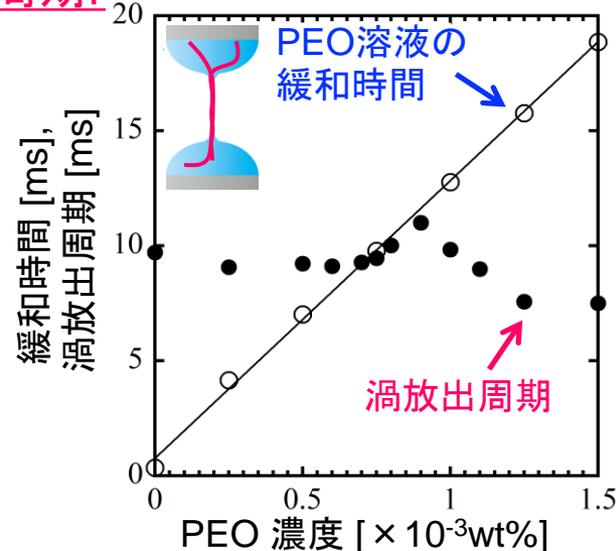
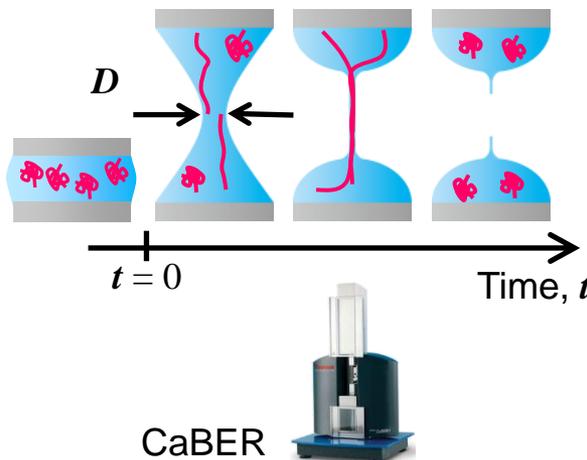
Hidema et. al, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 285, 104385(2020)

Hidema et. al, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 254, 1 (2018)

二次元流動場の乱流抑制中のエネルギー輸送

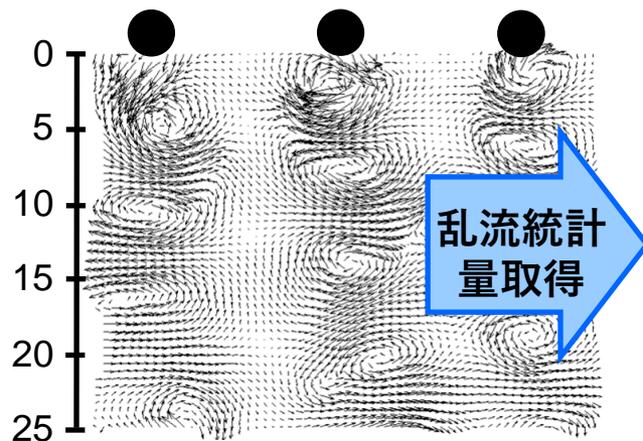


高分子の緩和時間が渦放出周期に影響

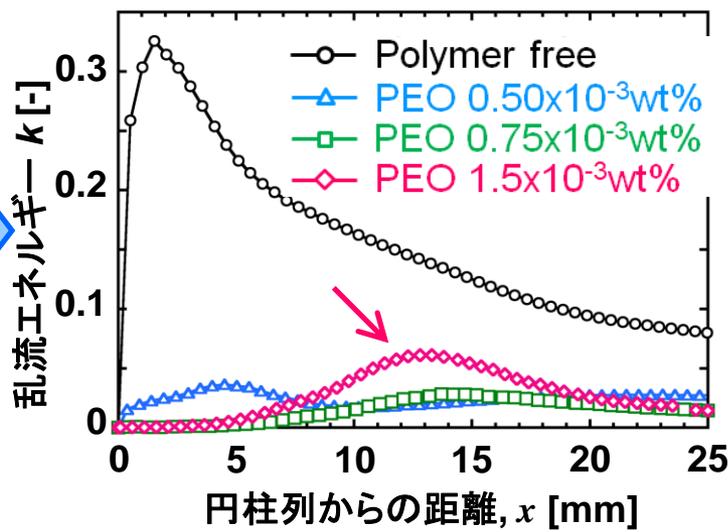


Hidema et. al, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 285, 104385(2020)
 Hidema et. al, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 254, 1 (2018)

PIVによる速度場解析



乱流エネルギーの生成項0で乱流エネルギーが現れる



$$\frac{\partial k}{\partial t} + \overline{U_i} \frac{\partial k}{\partial x_i} = P + D - \epsilon$$

生成

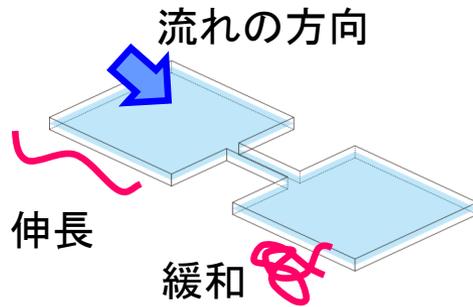
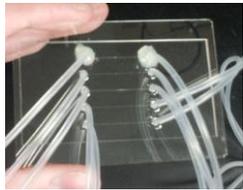
乱流エネルギー

高分子に由来するエネルギーの放出が示唆される



マイクロ流路内の弾性不安定

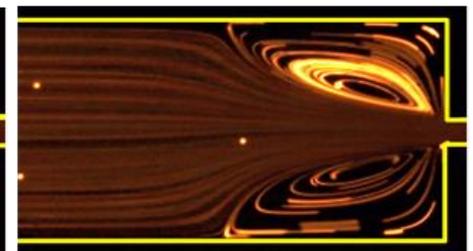
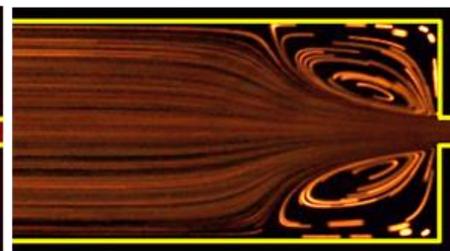
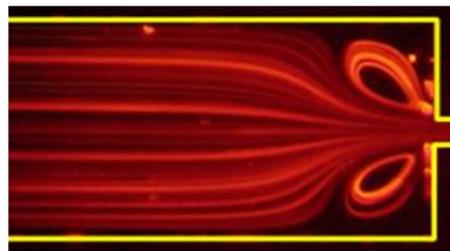
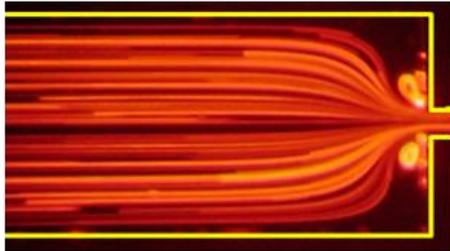
μmで現れる乱れた流動



- 流動場が乱流になるかどうかを表す指数であるレイノルズ数は小さいが、乱れが生じる。
- 高分子に由来する溶液の弾性が、乱れを誘発する。

Hidema et. al, *Phys. Fluids*, 16, 6826 (2019)

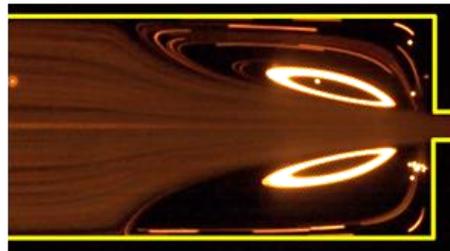
(1) $Re=9.2 \times 10^{-2}$, $Wi=6.5$ (2) $Re=1.8 \times 10^{-1}$, $Wi=13$ (3) $Re=5.5 \times 10^{-1}$, $Wi=39$ (4) $Re=9.2 \times 10^{-1}$, $Wi=65$



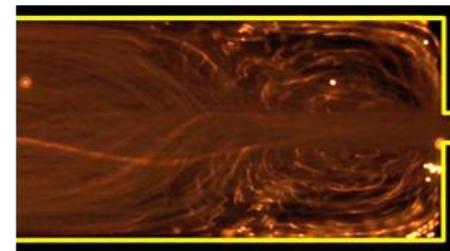
渦発生

渦成長

(5) $Re=1.8$, $Wi=130$



(6) $Re=3.2$, $Wi=227$

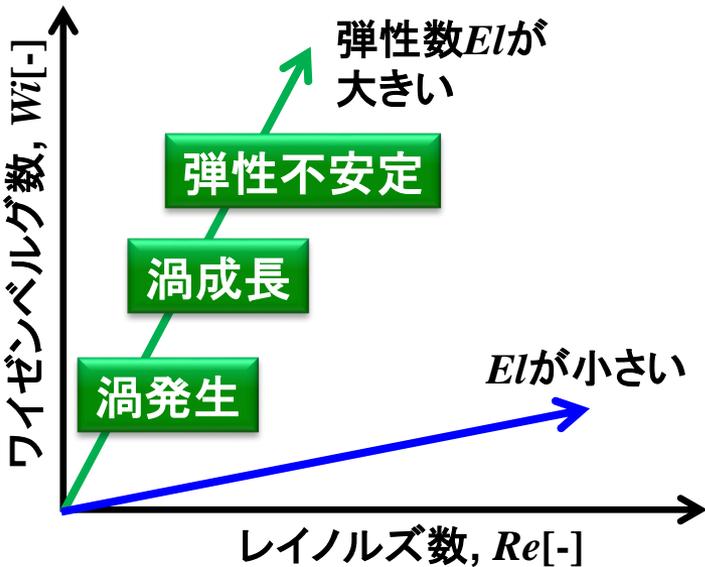


100μm

時間とともに振動する渦

弾性不安定

マイクロ流路内の弾性不安定



レイノルズ数, Re

■ 慣性と粘性の影響を表す

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D_h}{\eta_0}$$

ワイゼンベルグ数, Wi

■ 弾性と粘性の影響を表す

$$Wi = \lambda \dot{\gamma}$$

弾性数, El

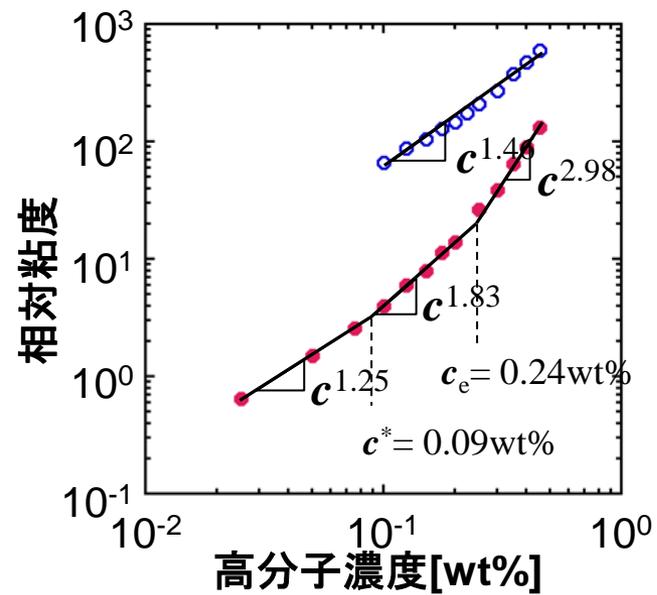
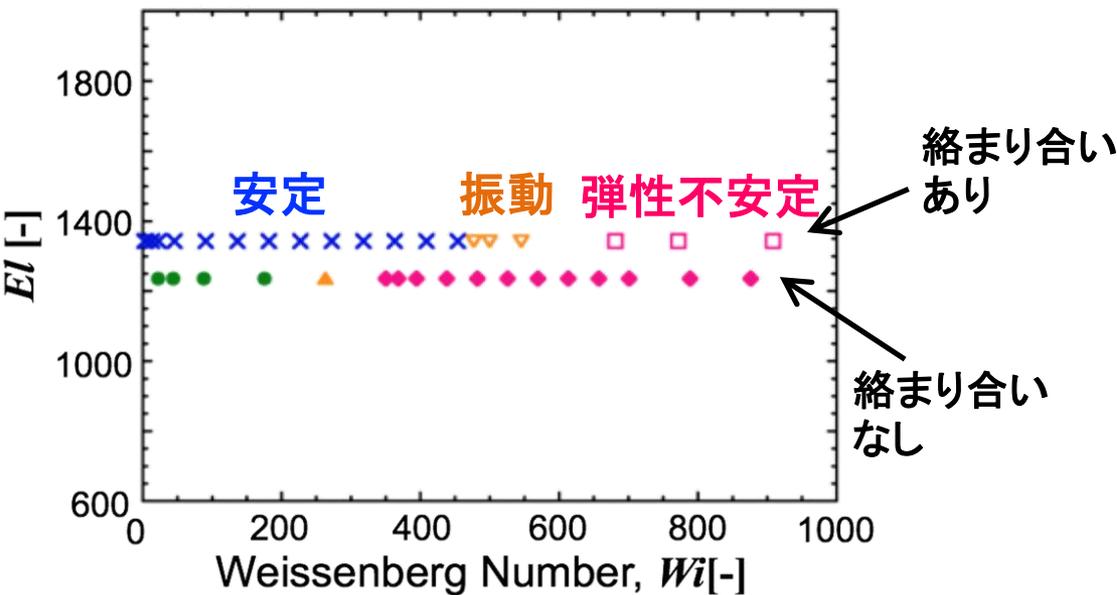
■ 慣性と弾性の影響を表す

$$El = \frac{Wi}{Re}$$

Hidema et. al, *Phys. Fluids*, 16, 6826 (2019)

高分子溶液の種類により, 同じEIでも安定性が異なる

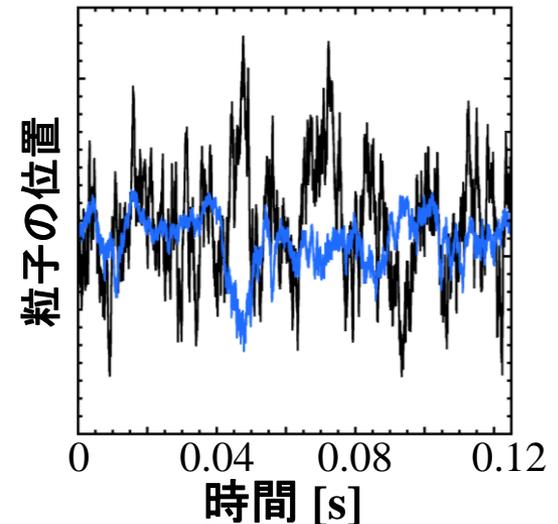
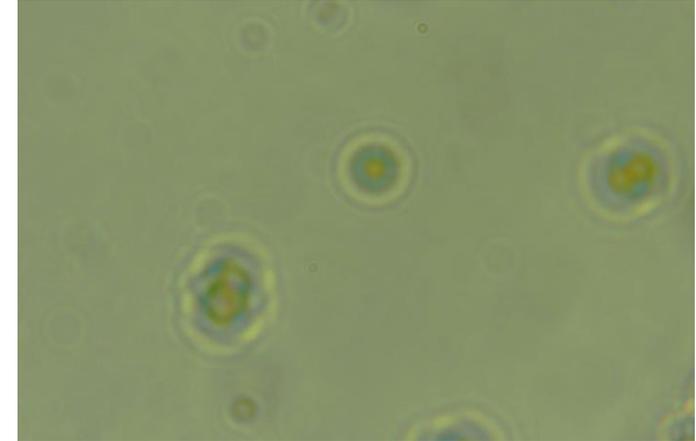
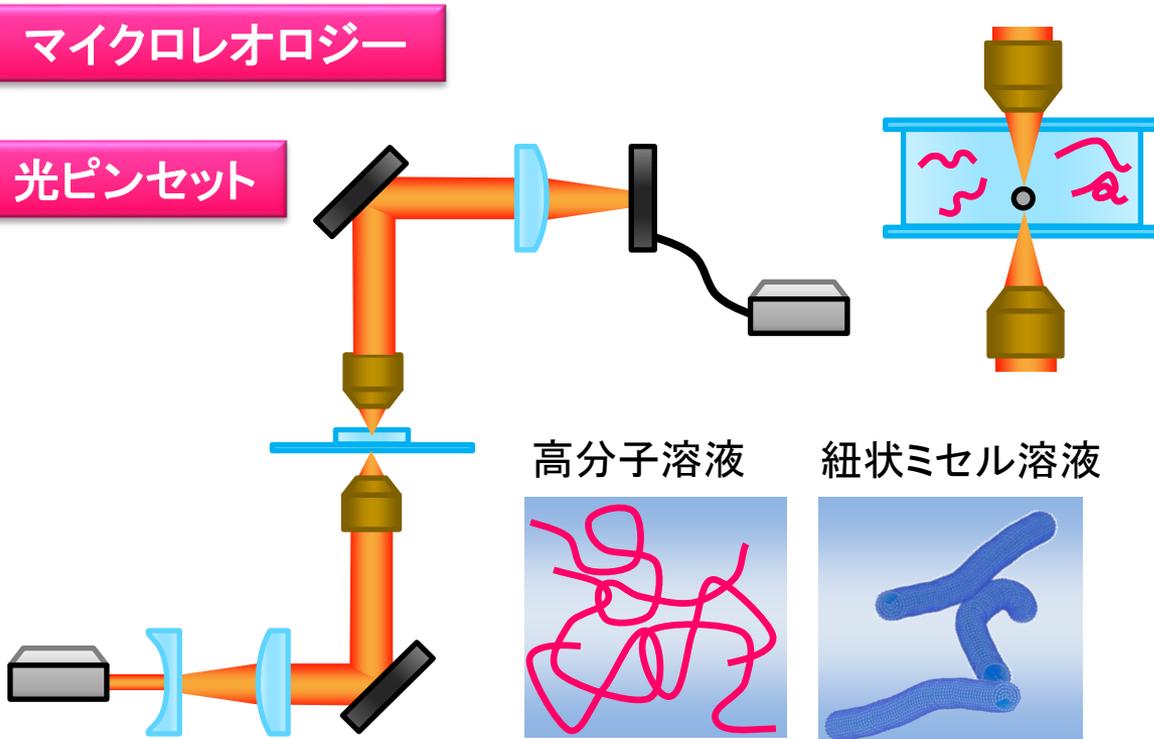
溶液内の高分子の絡まり合いが影響



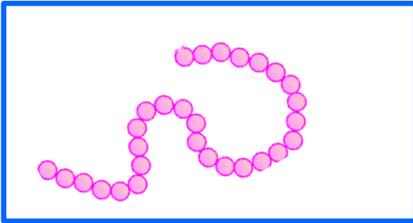
溶液内のソフトマター(高分子や紐状ミセルなど)が、相転移的に流動挙動全体を変えるなら、溶液内の**不均一さ**や**相互作用を定量化**する必要がある。

マイクロレオロジー

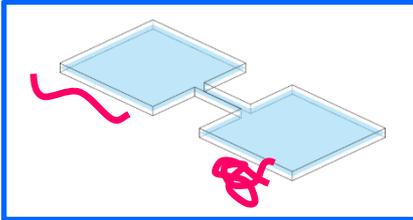
光ピンセット



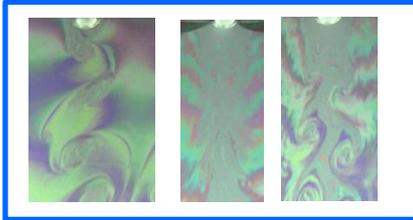
- 粒子の位置を測定・解析すると、溶液内のマイクロスケールの情報が得られる。
- 溶液の種類によって変化する。



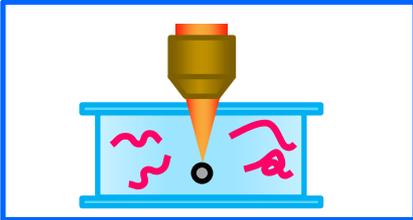
- ソフトマターを含む溶液は複雑流体になる.



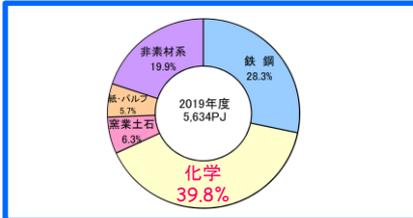
- 複雑流体の複雑さは、流体の持つ時間・空間のスケールと、ソフトマターの持つ時間・空間のスケールが相互に関係することに由来.



- 複雑流体の流動挙動を解明するには、大きなスケールと



- 小さなスケールを結びつける、観測手法、解析が必要.



- この研究は、化学プロセスの強化、省エネに結びつくほか、様々な複雑な系の解明も期待できる.

謝辞



神戸大学 大学院工学研究科
応用化学専攻
粒子流体工学研究グループ



創発的研究支援事業

Fusion Oriented REsearch for disruptive Science and Technology



JSPS 独立行政法人
日本学術振興会
Japan Society for the Promotion of Science

科研費
KAKENHI

- ◆ JST 創発的研究支援事業
- ◆ 科研費 基盤研究(B) 19H02497 (2019-2021)
- ◆ 科研費 挑戦的研究(萌芽) 19K22083 (2019-2021)