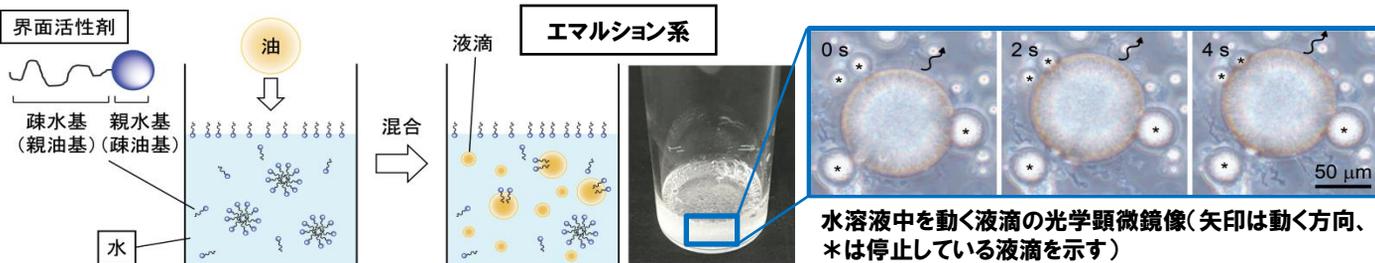


化学走性を示す液滴型マイクロロボット

応用化学科 助教 伴野 太祐 (banno@aplc.keio.ac.jp)

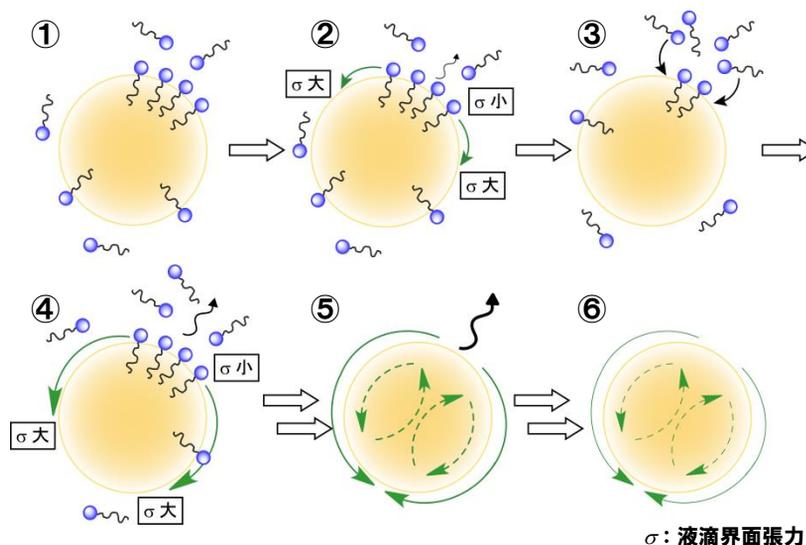
水溶液中を動く液滴

水、油、界面活性剤を混合したエマルジョン系が平衡から遠く離れた状態(外部環境と物質やエネルギーのやり取りをする状態)にある際に、マイクロメートルサイズ(1マイクロメートルは0.000001メートル)の液滴が水溶液中を自発的に駆動する現象が観測されます。



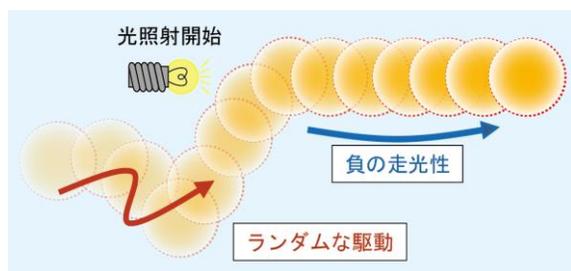
液滴が駆動する推定メカニズム

界面活性剤が液滴表面に不均一に吸着すると(①)、界面張力の低い領域から高い領域へと流れが生じます(②)。これをMarangoni流と言います。この流れにより液滴が少し動くと、その前面に界面活性剤が吸着するために(③)、液滴はさらに動くことができます(④)。これが繰り返されて液滴内外に大きな対流構造が形成されることにより、液滴は持続的に駆動するものと推定しています(⑤)。そして、液滴表面の界面張力が均一に近づき、液滴のサイズに対して一定以下の対流の大きさになると、液滴は駆動を停止します(⑥)。

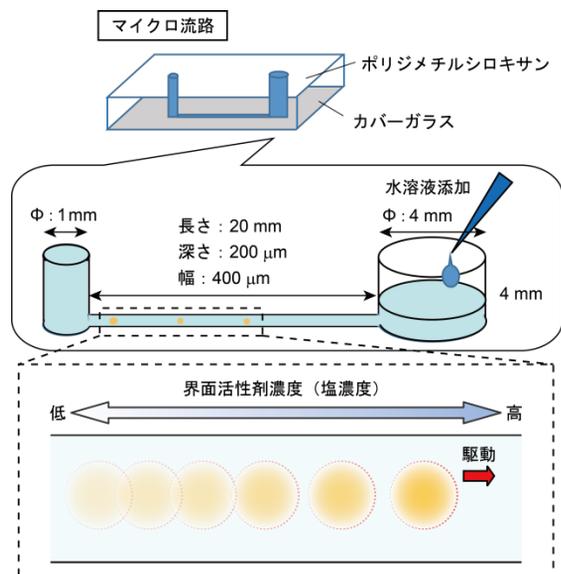


液滴が駆動する方向の制御

光照射や化学物質の添加などの外部刺激により液滴の片側のみの界面張力を変化させることで、液滴を一方向に駆動させることができます。このような化学走性を示す液滴型マイクロロボットには、自然環境を改善、探索したり、特定の場所に化学物質を輸送したりするための機能体としての応用が期待されます。



光照射に対する方向性を持った動き



界面活性剤の濃度勾配に対する方向性を持った動き

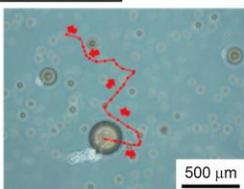
研究成果の一例

✓長時間駆動する液滴型マイクロロボット

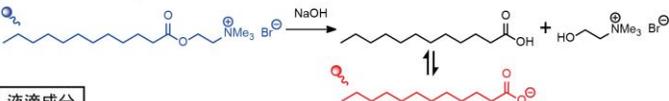
塩基性条件下、エステル結合やカーボネート結合を有するカチオン性界面活性剤水溶液中では、非反応性のカチオン性界面活性剤水溶液中よりも液滴の駆動が長時間持続することを見出しました。これは、界面活性剤の加水分解により界面活性の異なる界面活性剤が徐々に生成される(下の例では、カチオン性界面活性剤の加水分解、続くカルボン酸の中和によりアニオン性界面活性剤が生成される)ことにより、**液滴表面の界面張力の不均一性が長時間維持される**ことによるものと考えられます。塩基性の強度により界面活性剤の加水分解率は制御できるため、液滴の駆動時間を自在に制御可能な系として有用です。

論文: *Langmuir* 28, 1190–1195 (2012); *Langmuir* 30, 7977–7985 (2014).

光学顕微鏡像



界面活性剤成分



液滴成分



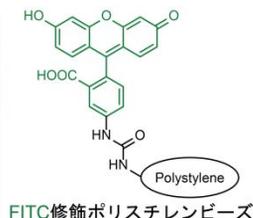
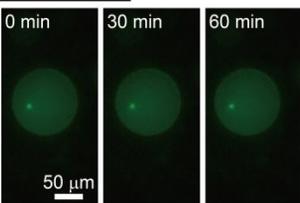
液滴型マイクロロボットの応用展開

✓化学物質の保持

液滴の内部には脂溶性化合物や油に分散しやすい化学物質を保持することができます。また、それらの保持量により液滴の駆動する時間や速度を変化させることができます。

⇒化学物質の輸送体や貯蔵体としての応用

蛍光顕微鏡像

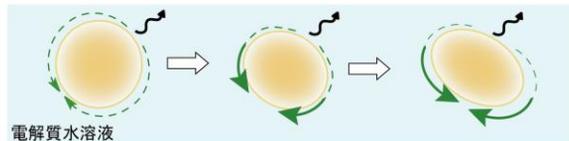
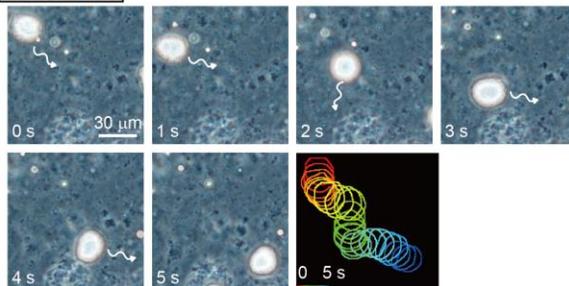


✓変形する液滴型マイクロロボット

放置すると固化するような、強い相互作用がはたらく二種類の油成分からなる液滴がアメーバのように変形しながら駆動することを見出しました。これは、駆動する液滴の後方における界面活性剤の流入により油成分どうしの相互作用が弱まり、その結果として液滴の**前方に比べて著しく強い流れが生じる**ことによるものと考えられます。

論文: *Sci. Rep.* 6, 31262 (2016). 【オープンアクセス】
【2016年8月にNHKニュースにて報道】

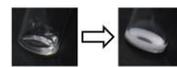
光学顕微鏡像



界面活性剤成分



液滴成分



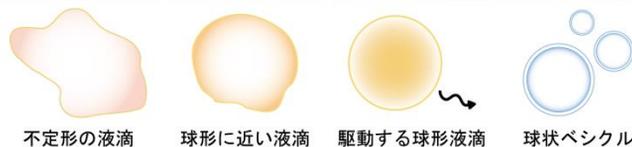
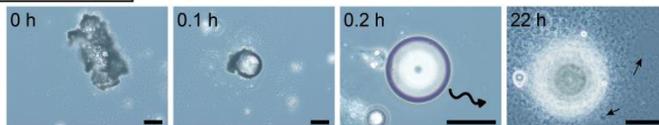
放置すると固化

✓特定の化学物質のセンシング

特定の脂溶性化合物の存在下では、液滴は不定形から球形へと変形して駆動し、さらに駆動の停止後には異なる構造体へと変化します。

⇒特定の脂溶性化合物をセンシングする技術への応用

光学顕微鏡像 (※スケールバーはすべて100 μm)



界面活性剤や油成分の分子レベルでの機能を制御して液滴の表面および内部状態を変化させることにより、**望みの機能を発現する液滴型マイクロロボットを創製**しています。また、液滴が駆動する系はエマルジョンとして不安定な状態にあると考えられるため、これらの知見を逆手にとることで、**より安定性の高いエマルジョンの開発**につながるだけでなく、**エマルジョンの安定性を評価するための方法論を確立**できるかも知れません。