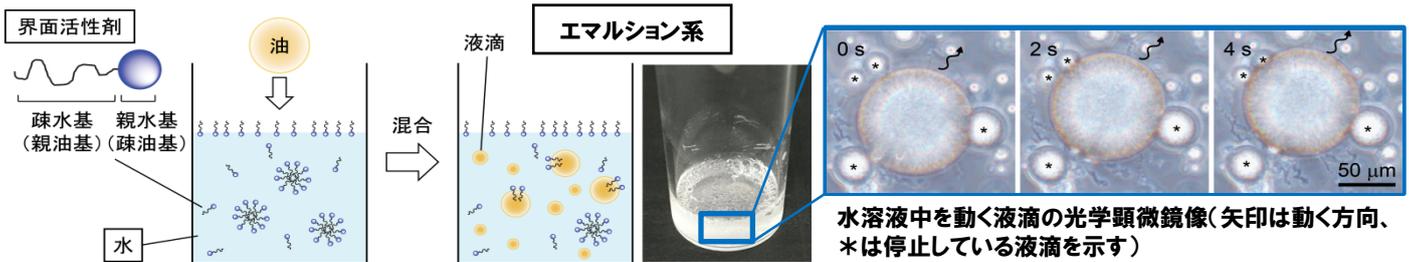


細胞サイズの環境応答性液滴型ロボット

応用化学科 専任講師 伴野 太祐 (banno@aplc.keio.ac.jp)

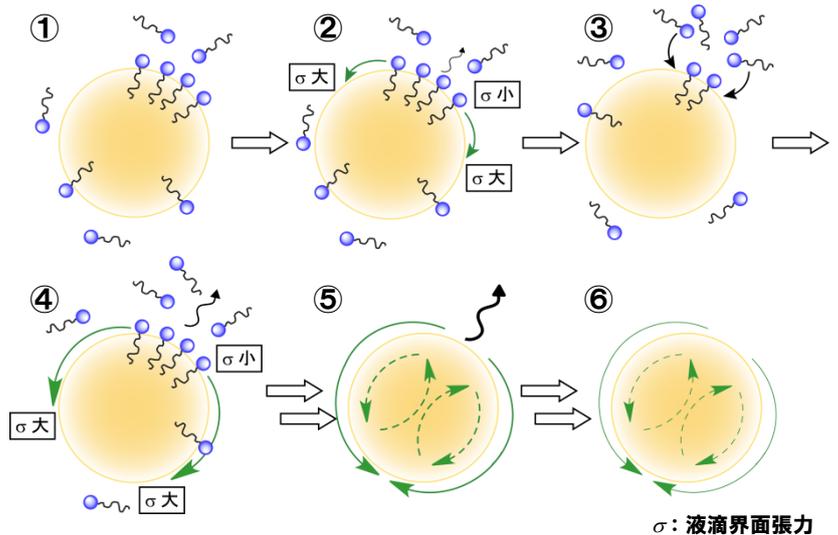
水溶液中を動く液滴

水、油、界面活性剤を混合した**エマルション系**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いて、その前面に界面活性剤が吸着すると(③)、より大きな流れが生じるために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駆動するものと推定されます(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)。

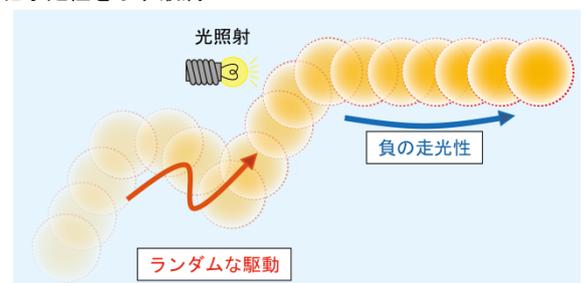


外部刺激に応答する液滴

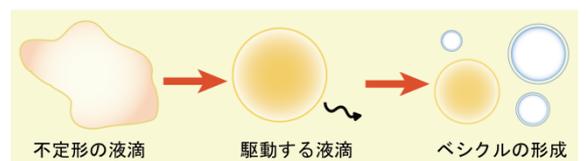
pH変化や光照射、金属イオンの添加といった外部刺激(input)により分子構造が変化するような界面活性剤や油成分を用いることで、特異的なダイナミクス(output)を示す「**液滴型マイクロロボット**」の創製を目指しています。例えば、液滴の片側だけの界面張力を変化させることで一方向に駆動する化学走性を示す液滴や、系の組成の変化によって段階的に構造転移する液滴が挙げられます。これらの要素を組み合わせることで、微小空間において化学物質を輸送・回収する機能体、さらには特定の領域を化学修飾したり、望みの場所に構造体を形成させたりする技術の開発につながることが期待されます。

商品化のイメージ：化粧品業界、医療品業界、食品業界、分析業界など(エマルションの安定化技術の開発、物質輸送システムの開発、液滴型高感度センサーの開発など)

化学走性を示す液滴

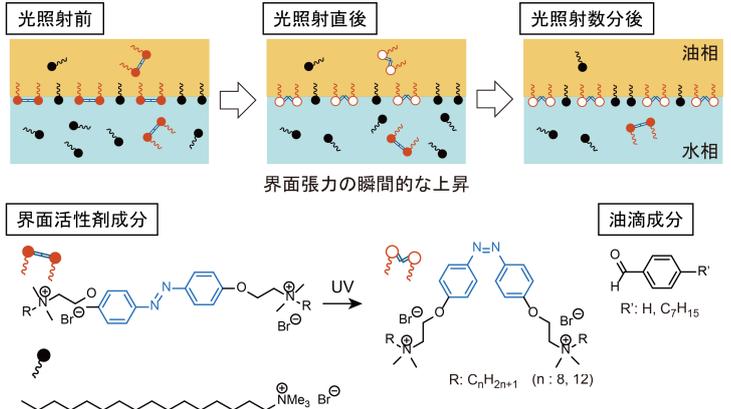
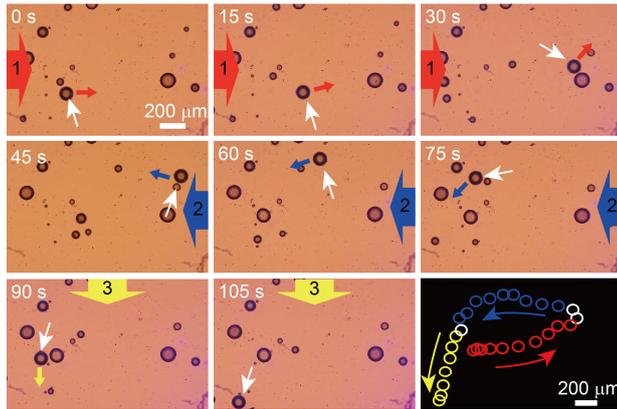


相転移する液滴



研究成果の一例

✓ 光照射にตอบสนองする液滴型マイクロロボット

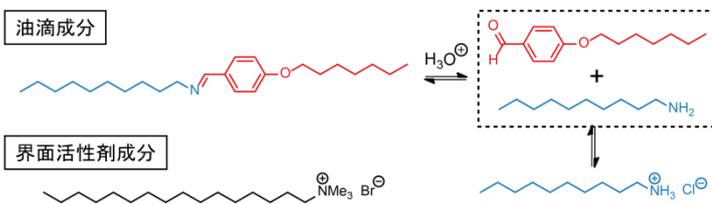
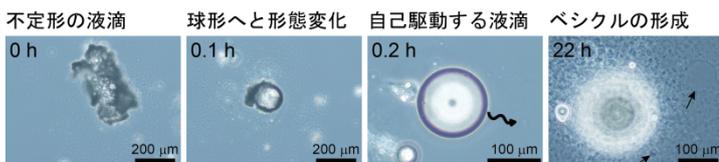


アゾベンゼン骨格を有するジェミニ型(二鎖二親水基型)カチオン性界面活性剤を含む水溶液中では、液滴が紫外光照射に対して逃げるように方向を変えて駆動する(負の走光性を示す)ことを見出しました。これは、**アゾベンゼンの光異性化**に伴って液滴の片側(光の照射側)のみで界面張力が低下することによるものです。また、これらの液滴は複数回の異なる方向からの光照射のいずれに対しても敏感にตอบสนองして駆動する向きを変えることから、液滴を目的の場所へ送達する技術として有用です。

【論文: Chem. Commun. 53, 2237–2240 (2017)】

✓ 構造転移する液滴型ロボット

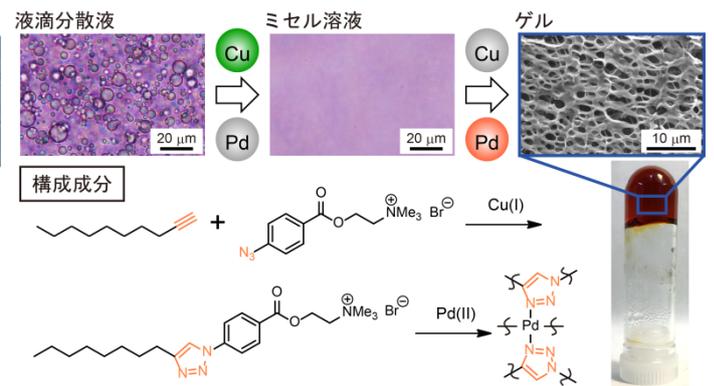
○ 酸性条件下で構造転移する液滴



酸性条件下での油成分のイミン結合の加水分解に伴って液滴の変形とベシクルへの転移が段階的に進行する化学システムの構築に成功しました。

【論文: Langmuir 32, 9591–9597 (2016)】

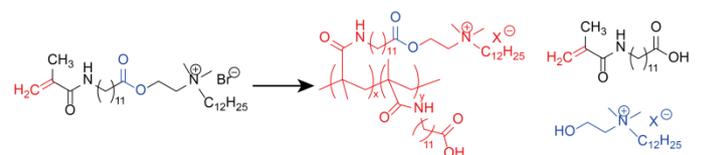
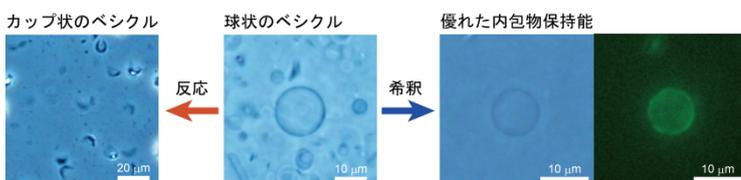
○ 複数の金属イオン存在下で構造転移する液滴



2種類の金属イオン存在下、2つの異なる化学反応をトリガーとして液滴分散液がミセル溶液、さらにゲルへと連続的に構造転移する化学システムの構築に成功しました。

【論文: Chem. Commun. 53, 8553–8556 (2017)】

○ 反応の進行により構造変化するベシクル



両親媒性分子の重合と加水分解反応の進行とともに徐々にマイクロメートルサイズのベシクル(ジャイアントベシクル)が形成され、優れた構造安定性を有することを見出しました。また、さらに反応が進行するとカップ状となり、重合および加水分解の反応率によってジャイアントベシクルの形状が制御可能であることを明らかにしました。

【論文: Chem. Lett. 43, 1707–1709 (2014)】

反応性の界面活性剤や油成分の有機合成を通じて、特徴的なダイナミクスを示す液滴型ロボットの創製を目指しています。