

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05243

研究課題名(和文) Bola型フェロセン界面活性剤が示す会合挙動と溶液物性の制御

研究課題名(英文) Control of solution and aggregation properties of ferrocenyl bola surfactant

研究代表者

木島 龍朗 (Kijima, Tatsuro)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：50272084

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、二親水基一疎水基型となる2置換フェロセン修飾四級アンモニウム塩型界面活性剤-有機塩混合系のキャラクタリゼーションと得られた粘性溶液の酸化還元による会合挙動の変化について評価した。その結果、会合体はフェロセン分子を内側にして2つの親水基をSyn型で外側に向けたミセル構造であり、ひも状ミセルを形成していることを明らかにした。また、粘性溶液を酸化還元することで会合体を崩壊および再形成させることに成功し、可逆的に粘性を制御することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ひも状ミセルはセメントのレオロジー制御剤やアクティブクラッチなどの機械を制御する液体として期待されている。特に光やpH、温度、電気などの刺激に応答するひも状ミセルは、可逆的な粘性制御剤として近年、開発が強く望まれている。本研究成果は、新規な2置換のフェロセン誘導体を用いた、これまでにない新しいタイプの界面活性剤による検討であり、可逆的に粘性を制御できることを明らかにした。今後のさらなる検討によって、より高機能・高性能な粘性制御剤として適用できるようになることが期待される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated the characterization of a disubstituted ferrocene-modified quaternary ammonium salt surfactant which has two hydrophilic and one hydrophobic groups, and the change in aggregation behaviour of the resulting viscous solution upon redox. The results showed that the aggregates have a micellar structure with a ferrocene molecule inside and two hydrophilic groups facing outwards in a syn-type structure, forming string-like micelles. We also succeeded in collapsing and reforming the aggregates by oxidation-reduction of the viscous solution and reversibly controlling the viscosity.

研究分野：有機合成化学

キーワード：フェロセン
クス応答性 4級アンモニウムカチオン Bola型界面活性剤 粘性液体 棒状ミセル 有機塩 レドッ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

フェロセンは酸化されて電子を放出し、+1 価のカチオンになり、還元されて電子を受け取り、元の中性状態に戻る。『可逆的な酸化還元活性』はフェロセンの重要な性質の1つであり、電荷移動錯体やバイオセンサーのメディエーターとして数多くの報告例がある。Saji や Abbott らは、フェロセンに長鎖のアルキル基を導入したモノアルキルフェロセンが、レドックス反応によって会合したミセル構造の崩壊-再形成を可逆的に制御できることを報告した[1, 2]。さらに Abe らは、フェロセン修飾の四級アンモニウム塩型界面活性剤溶液に有機塩を添加した系は、紐状ミセルが形成されることを発見し、高粘性の電気粘性流体を合成することに成功している[3]。しかし、彼らを含めこれまで報告されてきたフェロセン修飾界面活性剤は、何れもフェロセンの一置換型である“一親水基-疎水基型”であるため、一般的な親水基-疎水基型の界面活性剤の構造タイプであり、内水相を有するベシクルの構築は難しかった。

近年、我々はフェロセンの 1,1'-置換された長鎖アルキル基の両末端にクラウンエーテル環を導入した化合物 1 を合成し、カチオンフリーの anti-type (安定系) が、一分子膜の会合体を形成し、その内部に内水相を有するベシクルとして機能することを報告している[4]。フェロセン修飾四級アンモニウム塩型界面活性剤をフェロセンの二置換体型 (上下のシクロペンタジエニル環に一置換ずつ入る 1,1'-置換) とすることで、この分子が溶液中で安定な anti-type の Bola 型フォーム構造の界面活性剤 (二親水基-疎水基型) として振る舞えば、その会合体形はベシクル様構造に、syn-type で自己組織化すれば、ミセル様構造にすることができ、この構造制御はアニオンを溶液へ添加 (濃度比) することで可能である (図 1)。さらにサリチル酸ナトリウムなどの有機塩の存在下では、多重ベシクル構造の形成が予想されるので、それに起因する高粘性流体が期待される。

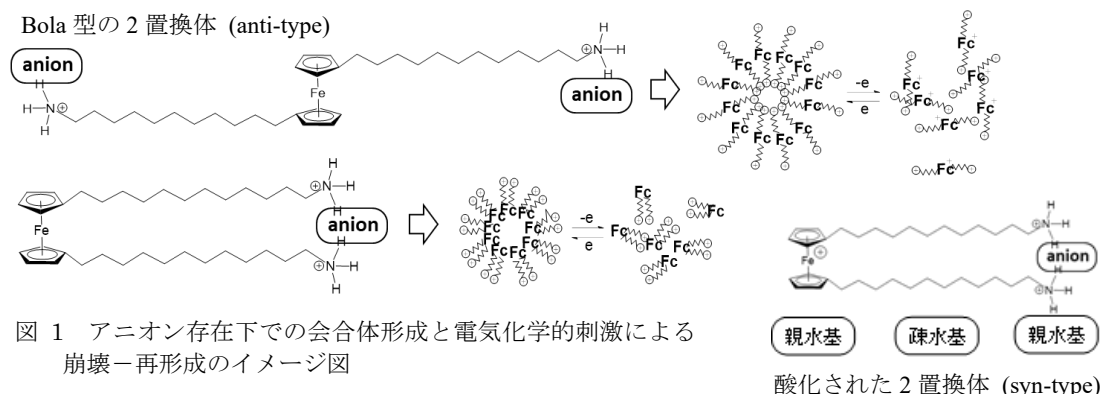


図 1 アニオン存在下での会合体形成と電気化学的刺激による崩壊-再形成のイメージ図

2. 研究の目的

本研究では、Bola 型となる二親水基-疎水基型のフェロセン修飾四級アンモニウム塩型界面活性剤を合成し、そのキャラクターゼーション、会合挙動および電気化学的な刺激による会合体の崩壊-再形成、有機塩の添加による溶液粘性与会合体構造との関係について明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) フェロセン修飾界面活性剤の合成

11-ブロモウンデカン酸を出発原料に、Bola 型フェロセン界面活性剤となる 1,1'-Bis (11-ferrocenyl undecyl trimethyl ammonium bromide (BFTMA) と 1,1'-Bis (6-ferrocenyl hexyl trimethyl ammonium bromide (SBFTMA), 比較するために 1 置換フェロセン界面活性剤の 6-Ferrocenyl hexyl trimethyl ammonium bromide (SFTMA) と Trimethyl-12-((4-oxo-4-ferrocenyl butanoyl) oxy) dodecane-1-ammonium bromide (MFTMA) の計 4 種を合成した (図 2)。

(2) 会合体の形成と電気化学的な刺激による会合体の崩壊-再形成評価

合成した化合物は表面張力測定を行い、cmc を調べることで会合体形成を評価した。また、小角 X 線散乱(SAXS), 電子顕微鏡(SEM)にて形成した会合体の構造解析を行った。電気化学的な刺激による会合体の崩壊-再形成は、サイクリックボルタンメトリー(CV)による評価とポテンシオスタットによる電解酸化および還元にて実施した。さらに有機塩の添加による溶液粘性与会合体構造との関係解明は、有機塩としてサリチル酸ナトリウムを用い、溶液粘性変化をレオメーターを使って動的粘弾性測定(DAM)を行った。

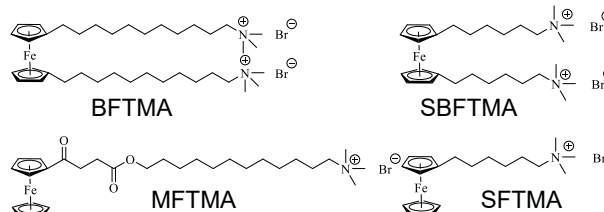


図 2 目的化合物のフェロセン修飾界面活性剤

4. 研究成果

(1) フェロセン修飾界面活性剤の合成

フェロセンの2置換体である Bola 型誘導体を2種(BFTMA, SBFTMA)と1置換体を2種(SFTMA, MFTMA)の合計4種の合成に成功した。BFTMAは、11-bromoundecanoic acidを出発原料に4段階で合成し、全収率60%で、SFTMAは5段階で合成し、全収率32%で、SBFTMAは4段階で合成し、全収率50%で目的物が得られた。MFTMAは、全3段階で合成し、全収率27%で目的物が得られた。

(2) 会合体の形成と電気化学的な刺激による会合体の崩壊—再形成評価

① 臨界ミセル濃度(cmc)

合成したフェロセン界面活性剤の cmc の測定結果を Table 1 に示す。一般に分子の疎水性が高くなると疎水性相互作用により分子同士が集まりやすくなるため、疎水鎖が長いほど cmc が低下するが、2置換体(SBFTMA, BFTMA)と1置換体(SFTMA, FTMA)共にアルキル鎖が長くなるほど cmc の低下が見られた。MFTMAは、リンカー部のコハク酸由来カルボニル基とエステルによる極性(親水性)増大が cmc を上昇させたと考えられる。また SBFTMA は分子内の二親水基がカチオン性であるため、頭部基の静電反発が分子間だけでなく分子内でも起こり、一鎖一親水基型界面活性剤と比べてアルキル鎖の体積が大きくなったことで、ミセルが形成し辛くなったと予想される。そのため、比較となるモノ置換体(SFTMA)よりも cmc が高くなったと考えられる。FTMA と BFTMA、C12TAB と C12DTAB についても同様の理由が考えられる。さらに、SFTMA とアルキル鎖長が同じ C6TAB の cmc では約 60 倍もの大きな差が示されたが、これはフェロセンが疎水性のため、フェロセンが導入されたことで疎水鎖の疎水性が増し、cmc が低くなったのであろう。フェロセニル基はメチレン鎖に換算して 3~5 個に相当すると考えられており、SFTMA は C12TAB に cmc が近く、一般的な傾向と一致した。SBFTMA と C12DTAB についても同様の理由で説明することができる。

Table 1 フェロセン界面活性剤の臨界ミセル濃度 (cmc)

| 界面活性剤 | 疎水鎖(C) | 臨界ミセル濃度 (mM) |
|-----------------------|--------|--------------|
| SFTMA | C6 | 16 |
| SBFTMA | C6 | 20 |
| MFTMA | C16 | 0.2 |
| FTMA ^{a)} | C11 | 0.07 |
| BFTMA | C11 | 1.2 |
| C6TAB ^[5] | C6 | 990 |
| C8TAB ^[6] | C8 | 293 |
| C12TAB ^[7] | C12 | 15 |
| C12DTAB ^{b)} | C12 | 85 |

a) FTMA: 11-Ferrocenylundecyltrimethylammonium Bromide, b) C12DTAB: Hexa methyl dodecane-1,12-diammonium Bromide

② 粘性変化

①で合成されたフェロセン界面活性剤水溶液に有機塩としてサリチル酸ナトリウム(NaSal)を添加して、その溶液粘性の変化について調べた結果を Table 2 に示す。SFTMA は同じ 1 置換体の FTMA と比較して、かなり高い濃度において粘性が確認された。SFTMA と FTMA は、疎水鎖に炭素 5 個分の違いがある。界面活性剤のアルキル鎖長は長くなると分子同士の疎水性相互作用で集まり易くなるので、少量の濃度でもミセルが形成される。高濃度のイオン性界面活性剤は水溶液中において対イオンの添加により頭部基間の静電反発が弱められミセルが成長し、粘弾性を有する紐状ミセルを形成するので、アルキル鎖長がより長い FTMA の方が、低濃度で紐状ミセルを形成した(溶液粘性が確認)と考えられる。2置換体の SBFTMA と BFTMA についても同様にアルキル鎖長の影響が考えられるが、2置換体では分子間だけでなくアルキル鎖が syn 配置を採った場合の分子内での静電反発も生じることが予想され、よりミセルが成長し辛いと予想される。また臨界充填パラメーターからも疎水基の体積が大きくなることが予想され、ミセルが成長しにくいと考えられる。よって、BFTMA では 50mM にて 1.2 等量の NaSal で溶液粘性が確認できたが、よりアルキル鎖の短い SBFTMA では 500mM でも紐状ミセルが形成されなかったと思われる(図3)。

③ 電気化学的な刺激による会合体の崩壊と再形成

②の検討でサリチル酸ナトリウムの添加により溶液粘性が確認されたフェロセン界面活性剤 BFTMA と SFTMA について、電解酸化反応による会合体の崩壊(粘性低下)および電解還元による

Table 2 NaSal 添加後の溶液粘性と cmc

| 界面活性剤 | 濃度 (mM) | /C _{NaSal} | 粘性 | cmc (mM) |
|--------|---------|---------------------|----|----------|
| SFTMA | 50 | - | - | 16 |
| SFTMA | 500 | 0.4 | + | 16 |
| SBFTMA | 50 | - | - | 20 |
| SBFTMA | 500 | - | - | 20 |
| MFTMA | 50 | 0.5 | + | 0.2 |
| FTMA | 50 | 0.4 | + | 0.07 |
| BFTMA | 50 | 1.2 | + | 1.2 |

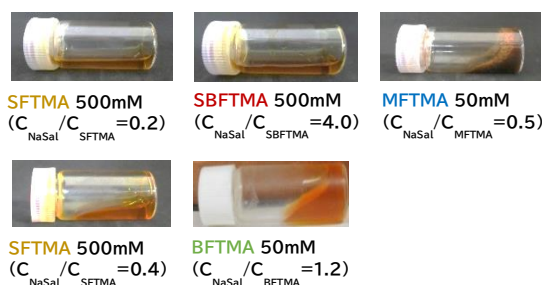


図3 フェロセン修飾界面活性剤の溶液粘性検討

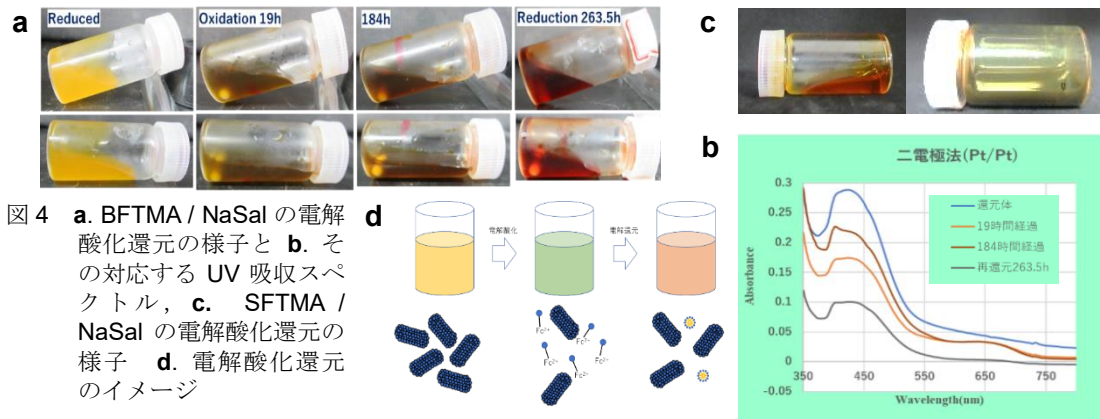


図 4 a. BFTMA / NaSal の電解酸化還元の様子と b. その対応する UV 吸収スペクトル, c. SFTMA / NaSal の電解酸化還元の様子 d. 電解酸化還元イメージ

よる会合体再形成(粘性の再増大)の検討を行った。Pt プレートに電極としてポテンシオスタットを用いて、+0.45V にて印加したところ、19 時間経過後に溶液粘性の低下が見られ分光光度計による UV スペクトル測定からもフェロセンの酸化体が生成していることを証拠付ける 650nm 付近の吸収が確認された(図 4a,b)。更に 184 時間印加したが、UV スペクトルから還元体の消失が確認されず(図 4b) フェロセン(BFTMA)を完全に酸化することはできなかつたと考えられるが、溶液粘性は著しく低下した。次に同じサンプルを用いて、-0.33V の還元電位にて印加し、263.5 時間経過後にサンプルの色味が茶色から赤色に変化し、粘性の再増加を確認した。また UV スペクトルも 650nm 付近の酸化体の吸収が消失し、650nm 付近の還元体の吸収のみが確認された。BFTMA はサイクリックボルタムメトリー(CV)の測定結果から、モル比 1.2 では還元より酸化の方が若干進行しやすい事が示唆されたが、電解酸化によって完全に酸化体に変化しなかつた。電解酸化では、フェロセンを内側に向けた大きな会合体構造であるためにフェロセンを完全に酸化するための電位が印加されず、一部が還元体フェロセンのまま残存したことが考えられる。しかしネットワーク構造がフェロセンの酸化によって破壊されたことで、会合体の崩壊が進行し、粘度が低下したと考えられる。電解還元では、崩壊して末端がフェロセニウムイオンになったモノマー分子が溶液中に分散していると考えられ、還元電位の印加は、酸化よりも効率的に進むため、すべてが還元体フェロセンに戻り粘性の再増加につながつたと考えられる(図 4d)。SFTMA においても同様に粘性変化が起こつたと考えられる(図 4c)。

(3) 会合体の構造解析

① 上記(2)②において溶液粘性が確認された BFTMA の小角 X 線散乱(SAXS)による会合体の構造解析を行った。

・BFTMA の構造解析 SAXS 測定における二次元散乱プロファイルから NaSal の添加量が多い程、小角部分の散乱が強くなり、NaSal の添加によってより大きな構造体を形成している事が示唆された。BFTMA の頭部基間で反発が強く起こるため静電斥力が強く出ており、秩序構造をとっていると考えられる。これに NaSal が添加されることで頭部基間の静電反発が弱められ、斥力が小さくなったと思われる。図 5a に散乱プロファイルの結果を示す。粘性を示したモル比 1.2 において中間領域が直線性を示している事から円柱状の集合体であると考えられる。更に BFTMA は Anti 型をとった際に約 40Å の大きさを示す。この 40Å の分子が示す回転半径は 12Å と求められ、集合体を形成していることが示唆された。

BFTMA が NaSal と円柱状の集合体を形成し、粘性を示した事が示唆されたため、Cross-section plot を用いて構造を解析したところ、円柱状集合体の断面の回転半径 R_c は 13.6 となった。この値は Guinier plot から算出した計算値と近いことから、この集合体は約 40Å の分子が断面構造を形成している事が考えられ、BFTMA は Syn 型を採り二つの親水基を外側に向けたミセル様集合

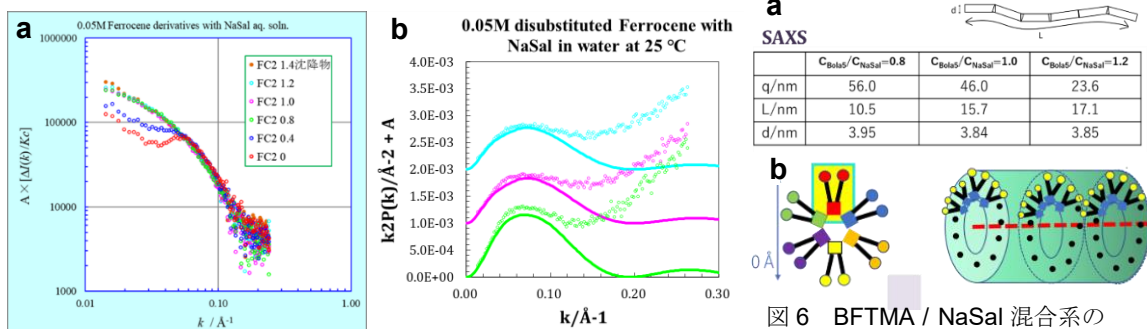


図 5 BFTMA / NaSal 混合系の a. 散乱プロファイルと b. Kratky plot

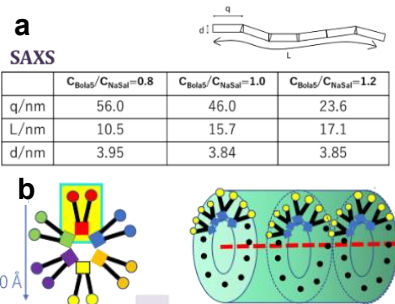


図 6 BFTMA / NaSal 混合系の a. q 値, L 値と b. ミセル構造のイメージ図

体と推測した (図 6b)。また Kratky plot の結果を図 5b に示す。集合体は Wormlike cylinder model にフィッティングしているが、小角部位では理論線に従い、高角部位では理論線に従わない結果であった。一般に小角部位では電子密度が均一な物体に見えるため理論値と一致し、より高角になるにつれてミセル内部の局所構造の揺らぎが反映されるようになる。よってこの結果において、高角部位が理論線から逸脱したのはミセル内部の局所構造の揺らぎが反映されたため、もしくは棒状ミセルの成分を見ている可能性がある。Kratky plot において、持続長 q の二倍の値($2q$)が全長 L より十分に大きいことから棒状様集合体である事が考えられた。また NaSal の添加に伴い全長 L の値が大きくなった。これは NaSal により集合体表面の電荷が中和され、集合体同士が接近しやすくなった事により集合体同士で融合がおこった事が考えられる。また電荷が弱められ集合体同士が接近しやすくなったことで集合体間で摩擦力が働き粘性を示した事が示唆された。

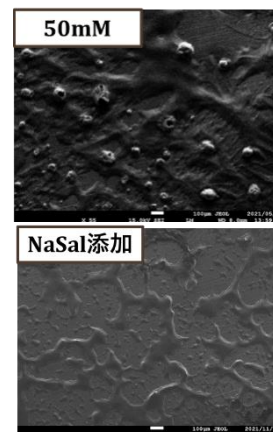


図 8 BFTMA / NaSal 混合系の電子顕微鏡(SEM)観察

② BFTMA の電子顕微鏡(SEM)観察

BFTMA / NaSal 混合系の電子顕微鏡(SEM)観察の結果を図 8 に示す。BFTMA は塩を添加していない 50mM では球状の集合体を確認したが NaSal を添加し、粘性を示したモル比 1.2 ではミミズ様構造体が観察された。球状のミセルが消失し、塩添加によりミミズ様集合体へ変化したことから NaSal の添加によって構造転移が起きた事は明らかである。

(4) BFTMA のレオロジー

BFTMA/NaSal 混合系のレオロジー挙動 (動的粘弾性測定と定常流測定) を調べた結果を図 9 に示す。ひずみ依存測定にて、ひずみ 10%では構造に影響を与えないことからひずみを 10%に固定して測定した。モル比 0.8 では粘度に大きな変化がなく、更にせん断速度が変化しても粘度に影響はなく、せん断速度への粘度の依存性が無い事が考えられる。一方でモル比 1.2 では、0, 0.4, 0.8 に比べて明らかに粘度が高く、せん断速度の変化に伴い粘度が低下している様子が確認できた。つまり、せん断速度に粘度が依存していると言える。この結果から図 9b のグラフを得た。紐状ミセルには特徴的なレオロジー挙動があり、動的粘弾性測定においても紐状ミセルを形成している系では、低周波数領域では粘性支配($G'' > G'$)、高周波数領域では弾性支配($G' < G''$)の G' と G'' がクロスする挙動を示す。しかし BFTMA/NaSal 混合系においては特有の挙動を示さなかった。このことから BFTMA/NaSal 混合系が示す粘性液体中では紐状ミセルが形成していないことが示唆され、これは SAXS の結果を支持するものであった。更にさらに BFTMA/NaSal 混合系の粘性液体は弾性を持たない粘性支配の液体であると言える。

また図 9b よりモル比 0.8 までは、せん断速度依存性が確認出来ない直線的なグラフを描いた。このことからモル比 0.8 までは水の様なニュートン流体であることが考えられた。一方でモル比 1.2 の時には、せん断速度に依存して粘度が低下するせん断速度依存のグラフを描いた。つまり粘性検討において最も顕著な粘性を示したモル比 1.2 のみ非ニュートン流体の挙動を示す結果となった。レオロジー測定は SAXS の結果を支持しており、BFTMA は NaSal と棒状様の集合体を形成し、それらがぶつかり合うことや、融合が起こる事によって粘性を示すことが示唆された。

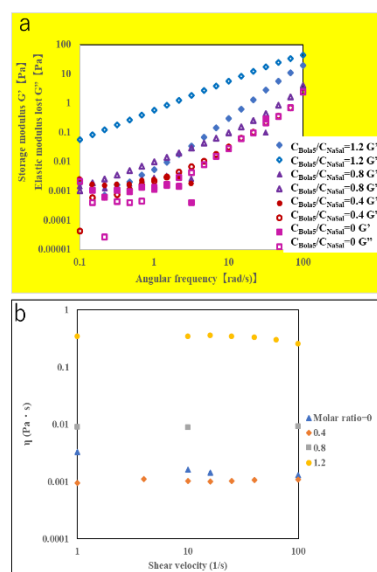


図 9 BFTMA / NaSal 混合系の a 動的粘弾性と b 定常流測定

<引用文献>

- [1] a: Saji T, Hoshino K, Ishii Y, Goto M, *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 450-456 (1991), b: Saji T, Hoshino K, Aoyagui S, *J. Am. Chem. Soc.*, **107**, 6865-6868 (1985).
- [2] a: Aydogan N, Abbott NJ, *Langmuir*, **17**, 5704-5706 (2001), b: Liu X, Abbott NJ, *J. Colloid and Interface Sci.*, **339**, 1-18 (2009).
- [3] Tsuchiya K, Orihara Y, Kondo Y, Yoshino N, Sakai H, Abe M, *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 12282 (2004).
- [4] a: Wang X, Saito N, Matsuura R, Hatano B, Murakami S, Kijima T, *Material Technology*, **35**(3), 63-69 (2017), b: Wang X, Satio N, Hatano B, Murakami S, Kijima T, ORGN1109: Pacificchem2015 (Honolulu, USA), Dec.15-21, (2015).
- [5] M. Victor, *J. Colloid and interface Sci.*, **206**, 66-76 (1998)
- [6] A. Hassan, *Energy & fuels*, **33**, 2408-2412 (2019)
- [7] R. Zana, *Langmuir*, **11**, 3694 (1998)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 2件）

| |
|-----------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 金谷莉佳, 茂原虎勢, 武田悠希, 神保雄二, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 フェロセン含有イオン性Bola型界面活性剤の粘性に対する有機塩の影響, P-13 (ポスター発表) |
| 3. 学会等名 2023年度 材料技術研究協会討論会, 東京理科大学 神楽坂キャンパス (森戸記念館), 2023年12月1日-2日 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Rika Kanaya, Kosei Sigebara, Yuki Takeda, Yuji Jimbo, Tatsuro Kijima |
| 2. 発表標題 Aggregation Behavior and Viscosity Control of Ionic Ferrocene Surfactants |
| 3. 学会等名 International Symposium for the 80th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan, Sendai, Japan, September 8-10, 2023, (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 金谷莉佳, 茂原虎勢, 武田悠希, 神保雄二, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 Bola型フェロセン界面活性剤が示す会合挙動と溶液物性の制御, 口頭発表 |
| 3. 学会等名 日本油化学会第61回年会, 高知工科大学 永国寺キャンパス, 2023年9月7日~9日 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 木島龍朗, 金谷莉佳, 茂原虎勢, 武田悠希, 神保雄次, 矢野成和 |
| 2. 発表標題 イオン性フェロセン界面活性剤の会合挙動における疎水性鎖の影響, ポスター発表 |
| 3. 学会等名 日本油化学会第61回年会, 高知工科大学 永国寺キャンパス, 2023年9月7日~9日 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 金谷莉佳, 茂原勢虎, 武田悠希, 神保雄次, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 イオン性, Bola型フェロセン界面活性剤の会合挙動 (Aggregation behavior of ionic ferrocene bola surfactants) ポスター発表 |
| 3. 学会等名 材料技術研究協会 International Student Symposium(ISS) 2023, 環太平洋大学 国際科学・教育研究所, 2023年8月27日 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 茂原虎勢, 武田悠希, 波多野豊平, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 フェロセンを有するイオン性Bola型界面活性剤の構造と粘性への影響, P-06 (ポスター発表) |
| 3. 学会等名 2022年度 材料技術研究協会討論会, 東京理科大学 神楽坂キャンパス (森戸記念館), 2022年12月1日-2日 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 茂原虎勢, 武田悠希, 波多野豊平, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 Viscous effects and structures of ionic bora surfactants with ferrocene moieties (フェロセンを有するイオン性Bola型界面活性剤の構造と粘性への影響), 1P-042 (ポスター発表) |
| 3. 学会等名 R4年度 化学系学協会東北大会, 岩手大学 理工学部 (上田キャンパス), 2022年9月17日-18日 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 李 偉, 武田悠希, 神保雄次, 波多野豊平, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 Viscoelasticity control by redox reaction using ionic bola-type ferrocene surfactant (イオン性Bola 型フィロセン界面活性剤のレドックス反応による粘弾性制御) 1P-043 (ポスター発表) |
| 3. 学会等名 R4年度 化学系学協会東北大会, 岩手大学 理工学部 (上田キャンパス), 2022年9月17日-18日 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 武田悠希, 神保雄次, 波多野豊平, 村上 聡, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 レドックス応答性を利用したイオン性 Bola 型 フェロセン界面活性剤の粘性制御, 2B-02 (口頭発表) |
| 3. 学会等名 2021年度 材料技術研究協会討論会 (オンライン), 2021年12月2日-3日 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Yuki Takeda, Yuji Jinbo, Bunpei Hatano, Satoshi Murakami, Tatsuro Kijima |
| 2. 発表標題 Viscoelasticity control by redox reaction of ionic Bola-type ferrocene surfactant |
| 3. 学会等名 First International Conference on Technologies for Smart Green Connected Society 2021, November 29 and 30, 2021, Online, World Wide (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 武田悠希, 波多野豊平, 村上 聡, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 Viscous behavior of ionic bola-type surfactants with ferrocene moiety (フェロセンを有するイオン性Bola型界面活性剤の粘性挙動), 1P-058 (ポスター発表) |
| 3. 学会等名 R3年度 化学系学協会東北大会, 日本大学 工学部 (オンライン), 2021年10月2日-3日 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 武田悠希, 神保雄次, 波多野豊平, 村上 聡, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 Control of viscoelasticity by redox reaction using ionic bola-type ferrocene surfactants (イオン性 Bola 型フェロセン界面活性剤を用いたレドックス反応による粘弾性制御), A 18/Jpn (口頭発表) |
| 3. 学会等名 日本油化学会第60回年会, 岐阜大学 (オンライン), 2021年9月6日-10日 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 武田悠希, 渡辺 翔, 波多野豊平, 村上 聡, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 フェロセンを有するイオン性Bola型界面活性剤の合成と会合挙動, 2A-B06 (口頭発表) |
| 3. 学会等名 2020年度材料技術研究協会討論会, オンライン, 2020年12月3日-4日 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 二鎖型フェロセン界面活性剤の合成と会合挙動, 2SA-01 (口頭発表) 論文賞受賞講演 |
| 3. 学会等名 2020年度 材料技術研究協会討論会, オンライン, 2020年12月3日-4日 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 武田悠希, 波多野豊平, 村上 聡, 木島龍朗 |
| 2. 発表標題 Synthesis and aggregation behavior of ionic bola-type surfactants with ferrocene moiety (フェロセンを有するイオン性Bola型界面活性剤の合成と会合挙動), PC113 (ポスター発表) |
| 3. 学会等名 R2年度 化学系学協会東北大会, 八戸工業大学 (オンライン), 2020年9月26日-27日 |
| 4. 発表年 2020年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|----------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 武田 悠希 (Takeda Yuki) | 山形大学・大学院理工学研究科・学生 | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|--------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 茂原 虎勢 (Shigehara Kosei) | 山形大学・大学大学院理工学研究科・学生 | |
| 研究協力者 | 村上 聡 (Murakami Satoshi) | 山形大学・工学部・技術部 | |
| 研究協力者 | 神保 雄次 (Jimbo Yuji) | 山形大学・大学大学院理工学研究科・助教 | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|