

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26289345

研究課題名(和文) 原油増進回収に向けた棒状逆ミセルによる二酸化炭素の粘度増大

研究課題名(英文) Viscosity enhancement of CO<sub>2</sub> by rod-like reversed micelles for enhanced oil recovery

研究代表者

鷺坂 将伸 (Sagisaka, Masanobu)

弘前大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60374815

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：二酸化炭素を利用した原油増進回収技術の効率化に向けて、二酸化炭素を増粘する棒状逆ミセルの開発を行った。その結果、3倍の増粘効果を発揮する棒状逆ミセルを生み出すハイブリッド界面活性剤FC6-HC5の開発に成功した。また、一方で、油田の高塩濃度および高含水量環境でも増粘効果を維持する親水基を持たないハイブリッド化合物とポリマーの混合系を発見し、その系では最大で約2倍の増粘効果を発揮した。これらは、棒状分子集合体系では過去最高レベルの増粘剤と判断される。

研究成果の概要(英文)：To increase sweep efficiency in enhanced oil recovery using carbon dioxide, this study aimed to develop rod-like reverse micelles as a CO<sub>2</sub>-viscosifier. As the results, the fluorocarbon-hydrocarbon hybrid surfactant FC6-HC5 was found to form reverse micelles enable to increase CO<sub>2</sub> viscosity by three times. On the other hand, mixtures of CO<sub>2</sub>-philic polymers and fluorocarbon hydrocarbon hybrid compounds having no headgroup were screened to find a rod-like aggregates CO<sub>2</sub>-viscosifier active even at high salinity and water content conditions of oil fields. It could develop a CO<sub>2</sub>-viscosifier independent of salinity and water content, enable to thicken CO<sub>2</sub> by two times. These molecular assemblies were identified as one of the most efficient and effective CO<sub>2</sub>-viscosifiers in earlier studies.

研究分野：界面化学、超臨界流体工学

キーワード：原油増進回収 逆ミセル 粘度 棒状会合体 二酸化炭素

### 1. 研究開始当初の背景

原油増進回収 (EOR) のガス攻法では、使用する CO<sub>2</sub> の粘度が原油に対してかなり低く (油層の温度 25~120 °C における CO<sub>2</sub> の粘度は、0.03~0.10 cp, 原油は、0.1~50 cp)<sup>1)</sup>, CO<sub>2</sub> が原油に干渉せずに空隙を通り抜けてしまうことが低回収率の原因となっている。これに対し、CO<sub>2</sub> の粘度を原油と同程度、すなわち 10 倍以上に増大できれば、回収率は 2 倍以上になる<sup>1)</sup>と考えられており、CO<sub>2</sub> に対する増粘剤の開発が活発に進められてきた。しかし、油溶性の高分子やゲル化剤は、溶解度が極めて低く、期待する増粘効果発現には至らず、粘度増大を導く新たな方法が求められている。この有望な方法の一つに、CO<sub>2</sub> 中でネットワーク構造を形成する棒状逆ミセルの形成がある (図 1)。

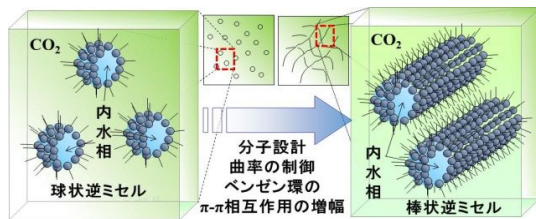


図 1 球状逆ミセルによる W/CO<sub>2</sub>μE の形成 (左)と棒状への形態変化(右)

本研究グループでは、これまでに CO<sub>2</sub> 用界面活性剤の設計指針を確立し、過去最大の水可溶化能力(界面活性剤に対する可溶化水のモル比  $W_0=80$ ) をもつ界面活性剤の開発に成功した。一方で、炭化水素鎖とフッ化炭素鎖を有するハイブリッド界面活性剤 F<sub>7</sub>-H<sub>7</sub> は、53nm 長の棒状逆ミセルを形成し、CO<sub>2</sub> の粘度を 2 倍に増大させることがわかった。<sup>2)</sup>

### 2. 研究の目的

本研究では、界面活性剤の分子構造の最適化、さらに有機溶媒中での棒状逆ミセルの形成を参考にして、棒状化を促進させる補助剤(多価金属イオンや高分子)の探索により、10 倍以上の CO<sub>2</sub> の粘度増大を導く棒状逆ミセルの形成を達成させることを目的とした。

### 3. 研究の方法

これまでに開発された CO<sub>2</sub> 溶解性界面活性剤の構造を基礎とし、その分子構造 物性相関を参考として、棒状化に適した分子構造を探索し、最適化を進めた。逆ミセルの棒状形態をより発達させるための作用機構として、1 次元的 (棒状) に分子集合体の成長を促進させる - 相互作用の導入や、水素結合性基 (糖構造やアミド結合) を分子内に採用し、フッ化炭素鎖や炭化水素鎖、親水基の構造を種々変化させ評価することで最適な構造を探った。また、補助剤の探索では、界面活性剤親水基の静電的反発を抑え、棒状化へ導く多価金属イオンや、- 相互作用および水素結合を増幅する物質の添加、さらには棒のバックボーンとなりうる高分子を探索した。

超臨界 CO<sub>2</sub> 中での界面活性剤の会合挙動や会合体の形状・ナノ構造の解析は、目視観察、親水性染料を利用した吸光度測定や小角中性子散乱(SANS)測定により確認した。また、粘度測定については、超臨界 CO<sub>2</sub> 用相挙動観察装置に、差圧計とキャピラリーを取り付けた装置を製作し、流体の送液時のキャピラリー前後の差圧から粘度を求めた。

### 4. 研究成果

まず、フッ化炭素鎖と炭化水素鎖をもつハイブリッド界面活性剤 FC<sub>m</sub>-HC<sub>n</sub> (構造 C<sub>m</sub>F<sub>2m+1</sub>-Ph-CO-CXH-C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>, Ph: Phenylene, X=SO<sub>3</sub>Na) を合成し、水/超臨界 CO<sub>2</sub> 混合物中での分子集合体形成を SANS 測定とそのデータ解析により検討した。その結果、FC6-HC5 および FC6-HC6 の SANS プロファイルにおいて、 $Q^{-1}$  の傾きが得られており、円筒状粒子の理論曲線によりカーブフィッティングを行った。FC6-HC5 棒状逆ミセル中の D<sub>2</sub>O コアの場合、半径は 12~15 Å で濃度により大きな変化はなかったが、長さは 17mM で 160Å, 35mM で 880 Å にもなった。500 Å の長さを超える棒状逆ミセルの形成は、超臨界 CO<sub>2</sub> 系において報告例がなく、効率的な原油増進回収技術を達成する高い増粘効果を表すことが期待される。粘性率を推定してみると、35mM FC6-HC5 の場合では、相対粘性率が約 2 となり、これは 3 倍の粘度増大を引き起こすことを示唆する。その他に多数の CO<sub>2</sub> 溶解性界面活性剤を合成し、試験したが FC6-HC5 に勝る性能は得られなかった。

界面活性剤を利用した棒状逆ミセルは、水の量やイオンの種類に大きく影響を受ける結果が得られた。しかし、原油増進回収では、多量の水や塩が存在するため、そのような過酷環境では界面活性剤の増粘効果は維持されない可能性が高い。そこで、FC6-HC<sub>n</sub> の構造を模した親水基を持たない種々のフッ化炭素-炭化水素ハイブリッド化合物 *p*-F6AH<sub>n</sub> (*p*-C<sub>6</sub>F<sub>13</sub>-Ph-NH-CO-C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>) および *p*-F6UH<sub>n</sub> (*p*-C<sub>6</sub>F<sub>13</sub>-Ph-NH-CO-NH-C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>) を合成し、これらの分子集合体の CO<sub>2</sub> の粘性に及ぼす効果を検討した。

200 bar 条件下、17 mM 化合物/CO<sub>2</sub> 溶液の比粘度を測定したところ、いずれの温度でも比粘度は、*p*-F6UH6 > *p*-F6AH6 となり、特に 75 °C の条件で *p*-F6UH6 は 1.5 倍近く CO<sub>2</sub> の粘度を増大した。これに対し、非フッ素化合物 *p*-H6UH6 (*p*-C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>-Ph-NH-CO-NH-C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>) では粘度増大はまったく見られなかったことから、フッ化炭素 炭化水素ハイブリッド構造とともに、尿素基の分子間水素結合が粘度増大に寄与する分子集合体の形成に最も効果的であることを示している。

17mM の *p*-F6UH6 と 50mM の *p*-F6AH8 を含む CO<sub>2</sub> 溶液の SANS 測定を行ったところ、会合体は 8Å の半径と 48.5 Å (*p*-F6UH6), 31.5Å (*p*-F6AH8) であった。*p*-F6UH6 の方が長い棒状会合体を形成したことは、比粘度の

測定結果に対応しており、棒状会合体の長さ  
と比粘度に相関関係があることを支持する。

親水基フリー化合物が形成する会合体による更なる CO<sub>2</sub> 増粘効果の発現を目指し、ハイブリッド化合物会合体の炭化水素コアのバックボーンとなりうるポリマーの導入と棒状会合体の更なる伸長を試みた。CO<sub>2</sub> 親和性のある様々な分子量のポリプロピレンオキシド(PPO)で検討を行ったところ、CO<sub>2</sub> への溶解度の点から 0.98 wt% PPO (分子量 1000) が棒状会合体の伸長に最適であると判断された。17 mM *p*-F6UH6 と 0.98 wt% PPO を含む CO<sub>2</sub> 溶液の 200 bar 条件の粘度測定結果を図 2 に示す。

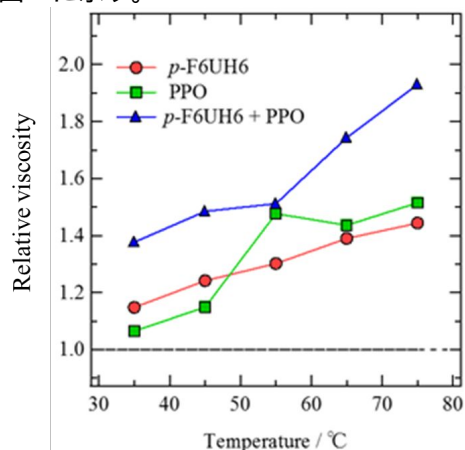


図 2 *p*-F6UH6/CO<sub>2</sub> 混合系、PPO/CO<sub>2</sub> 混合系および *p*-F6UH6/PPO/CO<sub>2</sub> 混合系の 200 bar の条件における比粘度の温度依存性。 [*p*-F6UH6] =17 mM, [PPO] =0.98wt%

PPO 単独でも *p*-F6UH6 と同程度の増粘効果を有することがわかった。また、PPO を添加した系では *p*-F6UH6 単独よりもはるかに大きな約 1.9 倍の増粘効果の発現が確認された。PPO の添加による会合体の伸長を確認するため SANS 測定を行ったが、残念ながら CO<sub>2</sub> と会合体間の散乱長密度との差が小さく、解析可能な会合体由来の散乱が得られなかった。そこで、解析可能なポリマー含有会合体の中性子散乱を得るため、重水素化イソプロパノールとフマル酸をエステル化し、それを酢酸ビニルと共重合した重水素化多メチル分岐ポリマー(D-polymer と呼称)を得た。1 ~ 2 wt% の D-polymer と、35mM または 50mM のハイブリッド化合物 *p*-F6AH6 を超臨界 CO<sub>2</sub> に溶解させ、SANS 測定を行い、カーブフィッティングから棒状会合体の長さと同半径を推定した。350bar 条件および 2wt% D-polymer では、50 mM *p*-F6AH6 の添加により会合体の長さが 46Å から 130 Å に増加した。一方で、50mM *p*-F6AH6 では、D-polymer の濃度を増加した場合も会合体の伸長 (D-polymer 1wt% 2wt% で長さ 108 Å 130 Å @350bar) が確認された。以上の結果は、ポリマーが会合体のバックボーンとなり、伸長させていることを明示している。

この基盤研究(B)では、棒状逆ミセルの形成

により 10 倍以上の粘度増大を目指したが、残念ながら 3 倍の粘度増大までしか達成できなかった。ただし、油田環境にも適応した増粘剤であることや、比較的安価な材料で構築できる可能性があるため、実用に近い増粘剤となりうる。得られた指針により、さらなる棒状会合体の伸長と三次元網目化を推し進めることにより、10 倍の粘度増大も可能であると考えられる。なお、本研究は、科学研究費補助金国際共同研究加速基金 (課題番号: 15KK00221, 研究期間: H28~H30 年度) にて継続され、目標を達成させる。

#### 参考文献

[1] A Literature Review of Attempts to Increase the Viscosity of Dense Carbon Dioxide : <http://www.netl.doe.gov/publications/others/techreports/co2thick.pdf>.

[2] S. Cummings, et al., *Soft Matter*, **8**, 7044 (2012)

#### 5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計 16 件)

**Masanobu Sagisaka** (11 人中 1 番目), “Anisotropic reversed micelles with fluorocarbon-hydrocarbon hybrid surfactants in supercritical CO<sub>2</sub>”, 査読有, *Colloids Surf. B*, Vol.168, pp.201-220 (2018). DOI: 10.1016/j.colsurfb.2017.12.012

Tretya Ardyani, **Masanobu Sagisaka** (11 人中 3 番目), “Rational Design of Aromatic Surfactants for Graphene/Natural Rubber Latex Nanocomposites with Enhanced Electrical Conductivity”, 査読有, *J. Colloids Interf.*, Vol.516, pp.34-47 (2018). DOI: 10.1016/j.jcis.2018.01.041

Adam Czajka, **Masanobu Sagisaka** (9 人中 8 番目), “Trimethylsilyl Hedgehogs - A novel class of superefficient hydrocarbon surfactants”, 査読有, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, Vol.19, No.35, pp.23869-23877 (2017). DOI: 10.1039/c7cp02570j

Shigeki Hamada, **Masanobu Sagisaka** (3 人中 3 番目), “Purification and Characterization of a Novel Extracellular Neutral Metalloprotease from *Cerrena Albocinnamomea*”, 査読有, *J. Gen. Appl. Microbiol.*, Vol.63, No.1, pp.51-57 (2017). DOI: 10.2323/jgam.2016.07.006

**鷺坂 将伸**, 鳴海 剛, 吉澤 篤, “サーモトロピック液晶分子の構造を模した両親媒性分子の水および超臨界 CO<sub>2</sub> 中でのユニークな会合挙動と機能”, 査読無, *日本液晶学会誌*, Vol.21, No.4, pp.306-311(2017). [https://bunken.org/jlcs/html/2017\\_10.html](https://bunken.org/jlcs/html/2017_10.html)

**Masanobu Sagisaka** (11 人中 1 番目), “A New Class of Amphiphiles Designed for Use in Water-in-Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsions”, 査読有, *Langmuir*, Vol.32, No.47, pp.12413-12422 (2016). DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b01670

Azmi Mohamed, **Masanobu Sagisaka** (9人中4番目), “Effect of Surfactant Headgroup on Low-Fluorine-Content CO<sub>2</sub>-Philic Hybrid Surfactants”, 査読有, *J. Supercrit. Fluids*, Vol.116, pp.148-154 (2016). DOI:10.1016/j.supflu.2016.04.018

Azmi Mohamed, **Masanobu Sagisaka** (7人中6番目), “Graphene-philic surfactants for nanocomposites in latex technology”, 査読有, *Adv. Colloid Interface Sci.*, Vol.230, pp.54-69 (2016). DOI:10.1016/j.cis.2016.01.003

Azmi Mohamed, **Masanobu Sagisaka** (9人中4番目), “Effect of Surfactant Headgroup on Low-Fluorine-Content CO<sub>2</sub>-Philic Hybrid Surfactants”, *J. Supercrit. Fluids*, 査読有, Vol.116, pp.148-154 (2016). DOI:org/10.1016/j.supflu.2016.04.018

Ci Yan, **Masanobu Sagisaka** (6人中2番目), “Shape Modification of Water-in-CO<sub>2</sub> Microemulsion Droplets Through Mixing of Hydrocarbon and Fluorocarbon Amphiphiles”, *Langmuir*, 査読有, Vol.32, No.6, pp.1421-1428 (2016). DOI: 10.1021/acs.langmuir.5b03630

**Masanobu Sagisaka** (10人中1番目), “Effect of Fluorocarbon and Hydrocarbon Chain Lengths in Hybrid Surfactants for Supercritical CO<sub>2</sub>”, 査読有, *Langmuir*, Vol.31, No.27, pp.7479-7487 (2015). DOI: 10.1021/acs.langmuir.5b01737

Ci Yan, **Masanobu Sagisaka** (6人中2番目), “Action of Hydrotropes in Water-in-CO<sub>2</sub> Microemulsions”, 査読有, *Colloids and Surf. A*, Vol.476, pp.76-82 (2015). DOI:org/10.1016/j.colsurfa.2015.03.010

Azmi Mohamed, **Masanobu Sagisaka** (13人中3番目), “Economical and Efficient Hybrid Surfactant with Low Fluorine Content for the Stabilisation of Water-in-CO<sub>2</sub> Microemulsions”, 査読有, *J. Supercrit. Fluids*, Vol.98, pp.127-136 (2015). DOI:org/10.1016/j.supflu.2015.01.012

Yuki Kamiie, **Masanobu Sagisaka**, Masahiko Nagaki, “Essential Oil Composition of *Lavandula Angustifolia* “Hidcote” : Comparison of Hydrodistillation and Supercritical Fluid Extraction Methods”, 査読有, *Trans. Mater. Res. Soc. Japan*, Vol.39, No.4, pp.485-489 (2014). [https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/39/4/39\\_485/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/39/4/39_485/_pdf)

Ci Yan, **Masanobu Sagisaka** (6人中2番目), “Properties of Surfactant Films in Water-in-CO<sub>2</sub> Microemulsions Obtained by Small-angle Neutron Scattering”, 査読有, *J. Colloid Interf. Sci.*, Vol.435, pp.112-118 (2014). DOI:org/10.1016/j.jcis.2014.08.040

**鷺坂将伸**, “二酸化炭素を溶媒とした機能性分子集合体の形成とその応用に関する研究”, 査読無, *Colloid & Interface*

*Communication*, Vol.39, No.4, pp. 38-41 (2014). [https://surface.csj.jp/news\\_letter/sub\\_guide-150309.html](https://surface.csj.jp/news_letter/sub_guide-150309.html)

[学会発表] (計 62 件)

**M. Sagisaka**, Rod-like aggregates composed of CO<sub>2</sub>-philic hydrocarbon polymers and fluorocarbon-hydrocarbon hybrid compounds in supercritical CO<sub>2</sub>, 8th International Colloid Conference, 2018 年.

**M. Sagisaka**, Aggregation Behaviour of Water-in-Supercritical Carbon Dioxide Microemulsions with Fluorinated Catanionic Surfactants, 16th Conference of the International Association of Colloid and Interface Scientists, 2018 年.

**M. Sagisaka**, Nanoparticle synthesis in water-in-supercritical carbon dioxide nano-dispersions, EMN Hawaii Meeting 2018, 2018 年.

**M. Sagisaka**, Unique Aggregation Behavior and Functions of Amphiphiles Having Mesogenic and Ethoxylated Alkyl tails in Water, The 6th Global Conference on Materials Science and Engineering, 2017 年.

T. Narumi, Unique liquid crystal behavior of asymmetric di-chain surfactants having a thermotropic liquid crystal mesogen in water, 色材協会創立 90 周年記念会議, 2017 年.

T. Saito, Formation and applications of water clusters in supercritical CO<sub>2</sub> with headgroup-free fluorocarbon-hydrocarbon compounds, 色材協会創立 90 周年記念会議, 2017 年.

K. Fujita, Surface tension reducing and hydrophobing abilities of hedgehog hydrocarbon surfactants, 色材協会創立 90 周年記念会議, 2017 年.

**M. Sagisaka**, Rod-like reversed micelle formation and thickening ability of fluorinated di-chain surfactants in supercritical CO<sub>2</sub>, 色材協会創立 90 周年記念会議, 2017 年.

K. Takahashi, Interfacial Properties and Aggregation Behavior of Nonion-type CO<sub>2</sub>-philic Surfactants in Water/supercritical CO<sub>2</sub> Mixtures, 色材協会創立 90 周年記念会議, 2017 年.

**鷺坂将伸**, ミクロ相分離を利用した分子集合体の機能開発, フルオラス科学研究会第 10 回シンポジウム, 2017 年.

**鷺坂将伸**, 超臨界二酸化炭素中での棒状集合体の形成と増粘効果, 第 68 回コロイドおよび界面化学討論会, 2017 年.

T. Kawasaki, Viscosity Enhancement of Supercritical CO<sub>2</sub> by Low Fluorine-Content Surfactants, The 7th Asian Conference on Colloid & Interface Science, 2017 年.

Y. Umetsu, Interfacial Properties and Waterproofing Ability of Asymmetric Di-chain Surfactants with Hyperbranched Hydrocarbon Tails, The 7th Asian Conference on Colloid & Interface Science, 2017 年.

- M. Sagisaka**, Water/Supercritical Carbon Dioxide Nanodispersions Stabilized by Non-surface-active molecules, The 7th Asian Conference on Colloid & Interface Science, 2017 年.
- T. Kondo, Fluorocarbon-hydrocarbon hybrid compounds having hydrogen bonding groups to thicken supercritical CO<sub>2</sub>, The 7th Asian Conference on Colloid & Interface Science, 2017 年.
- 鷺坂将伸**, 原油増進回収に向けた CO<sub>2</sub> foam の開発 ~ グリセリンの CO<sub>2</sub> foam 安定化効果 ~, グリセリン新規用途開発研究助成 第 9 回研究報告会, 2017 年.
- ②① **M. Sagisaka**, Stabilization of Water-in-Supercritical Carbon Dioxide Nanoclusters by Headgroup-Free Compounds, EMN Meeting on Surface and Interface 2017, 2017 年.
- ②② **M. Sagisaka**, Rod-like nanoaggregates as a CO<sub>2</sub> thickener for enhanced oil recovery, EMN Meeting on Nanoparticles 2017, 2017 年.
- ②③ **鷺坂将伸**, 炭化水素ナノドメインを利用した超臨界 CO<sub>2</sub> 中での水クラスター形成, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年.
- ②④ T. Narumi, Interfacial properties and aggregation behavior of cationic Gemini surfactants having highly-branched hydrocarbon chains in water and/or nonpolar solvents, The 67th Divisional Meeting on Colloid and Interface Chemistry International Symposium, 2016 年.
- ②⑤ Y. Sato, Viscosity Enhancement of Supercritical CO<sub>2</sub> by Forming Non-spherical Aggregates of Fluorocarbon-Hydrocarbon Hybrid Compounds, The 67th Divisional Meeting on Colloid and Interface Chemistry International Symposium, 2016 年.
- ②⑥ **M. Sagisaka**, Aggregation Behavior and Surface Tension Lowering Ability of Anionic Surfactants Having Highly-methylated Tails, 30th Conference of The European Colloid and Interface Society, 2016 年.
- ②⑦ K. Takahashi, Aggregation Behavior of Iso-stearyl Polyoxyethylene Nonionic Surfactants in Water/Supercritical CO<sub>2</sub> Mixtures, 21th International Symposium on Surfactants in Solution, 2016 年.
- ②⑧ **M. Sagisaka**, Nanostructures of W/CO<sub>2</sub> Microemulsions with Low Fluorine Triple-tail Surfactants, 21th International Symposium on Surfactants in Solution, 2016 年.
- ②⑨ K. Fujita, Enhancing the Surface Tension Reduction of Hyper-branched Hydrocarbon Surfactants by the Addition of Salts, 21th International Symposium on Surfactants in Solution, 2016 年.
- ③⑩ **M. Sagisaka**, Dispersion of Aqueous Nanodroplets in Supercritical Carbon Dioxide by The Headgroup-free Fluorocarbon-Hydrocarbon Hybrid Compound, EMN Meeting on Droplets 2016, 2016 年.
- ③⑪ **鷺坂将伸**, 効果的な原油増進回収技術を目指した CO<sub>2</sub> foam 用界面活性剤/補助剤システムの探索, 平成 27 年度弘前大学若手・新任研究者支援事業研究成果発表会, 2016 年.
- ③⑫ **M. Sagisaka**, Unique Behavior of Lyotropic Liquid Crystals with Anionic Hybrid Surfactants Having Oxyethylated Alkyl Tail, EMN Meeting on Liquid Crystal 2016, 2016 年.
- ③⑬ **鷺坂将伸**, 超臨界流体に対する界面化学何が違うのか? 何が出来るのか?, コロイドおよび界面化学部会 事業企画勉強会, 2016 年.
- ③⑭ **M. Sagisaka**, Using Densely Packed, Hyper-branched, Hydrocarbon Surfactants to Generate Low Aqueous Surface Tensions Comparable to Those Attained with Fluorinated Surfactants, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, 2015 年.
- ③⑮ Y. Sato, Phase Behavior and Viscosity Enhancement of Nonamphiphilic Fluorocarbon-Hydrocarbon Hybrid Compounds in Supercritical CO<sub>2</sub>, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, 2015 年.
- ③⑯ S. Ogiwara, Solubilization of Water in Supercritical CO<sub>2</sub> by Nonamphiphilic Fluorocarbon-Hydrocarbon Hybrid Compounds, The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015, 2015 年.
- ③⑰ **鷺坂将伸**, 界面活性剤フリー水/超臨界二酸化炭素分散システムの構築と応用, 新化学技術推進協会 第 2 回学産交流ポスターセッション, 2015 年.
- ③⑱ **M. Sagisaka**, Molecular Assemblies in Water/Supercritical Carbon Dioxide Mixtures as a Functional Green Solvent, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science, 2015 年.
- ③⑲ T. Endo, Interfacial Properties and Aggregation Behavior of Hydrocarbon Surfactants Having Single, Double and Triple 3,3-Dimethylbutyl Tails in Water, n-Heptane and Supercritical CO<sub>2</sub>, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science, 2015 年.
- ④① A. Ohata, Aggregation Behavior of Nonionic Surfactants Having Iso-stearyl Tail and Polyoxyethylene Headgroup in Water/Supercritical CO<sub>2</sub> Mixtures, n-Heptane and Supercritical CO<sub>2</sub>, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science, 2015 年.
- ④② K. Sato, Aggregate Nanostructures of Low F-content Surfactant/Water/Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsions, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science, 2015 年.
- ④③ **鷺坂将伸**, 超臨界流体中への分散技術, 超臨界流体を利用した分散技術, 第 116 回食用加工油脂技術研究会, 2015 年.

- ④③ 佐藤 広大, Low-Fluorine-Content Surfactant for A Water/Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsion, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年.
- ④④ 遠藤 匠, Water-in-Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsion Stabilized by Highly-Methylated Triple-Tail Hydrocarbon Surfactant, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年.
- ④⑤ 荻原 峻介, Water-in-Carbon Dioxide Microemulsion Stabilized by Nonamphiphilic Fluorocarbon-Hydrocarbon Hybrid Compounds, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年.
- ④⑥ 大畑 淳, Interfacial Properties of Hyper-Branched Double-Hydrocarbon-Tail Surfactants, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年.
- ④⑦ 佐藤 湧貴, Effect of The Fluorocarbon-Hydrocarbon Hybrid Compound Structure on Viscosity of Supercritical CO<sub>2</sub>, 平成 27 年度化学系学協会東北大会, 2015 年.
- ④⑧ **M. Sagisaka**, Low Surface Energy Hydrocarbon Surfactants for Water/Air and Supercritical CO<sub>2</sub> surfaces, The 2015 International Symposium for Advanced Materials Research (ISAMR2015), 2015 年.
- ④⑨ **M. Sagisaka**, Efficient Water Solubilisation and Rod-like Reversed Micelle Formation of Hybrid Surfactants in Supercritical Carbon Dioxide, 5th International Colloids Conference, 2015 年.
- ⑤⑩ **Masanobu Sagisaka**, Nanostructures in Water-in-Supercritical Carbon Dioxide Microemulsions Stabilized by Fluorinated Surfactants, EMN Meeting on Droplets 2015, 2015 年.
- 51 **鷺坂将伸**, イソステアリル基含有界面活性剤による水/超臨界二酸化炭素分散系の構築, 日本化学会第 95 春季年会, 2015 年.
- 52 **M. Sagisaka**, Inexpensive Surfactants with Low Fluorine Content Exhibiting High Water-Solubilizing Power in Low Pressure Supercritical CO<sub>2</sub>, The 7th biennial Australian Colloid and Interface Symposium, 2015 年.
- 53 C. James, Hydrocarbon surfactants for use in supercritical CO<sub>2</sub>, The 7th biennial Australian Colloid and Interface Symposium, 2015 年.
- 54 C. James, Hydrotrope Induced Shape Transitions in Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsions, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014 年.
- 55 T. Narumi, Interfacial Properties of Hybrid Surfactants Having Branched Hydrocarbon and Short Fluorocarbon Tails, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014 年.
- 56 T. Endo, Solubilization of Water into Supercritical CO<sub>2</sub> by Highly-methylated Triple-Hydrocarbon-Tail Surfactants, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014 年.
- 57 K. Sato, Low-Fluorine-Content Triple-tail Surfactants for Water / Supercritical CO<sub>2</sub>

Microemulsions, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014 年.

- 58 A. Ohata, Hyper-Branched Double-Hydrocarbon-Tail Surfactants for a Fluorocarbon-like Low Surface Energy, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014 年.
- 59 **鷺坂将伸**, フッ素系界面活性剤の代替となる低表面エネルギー炭化水素系界面活性剤を目指して, 未来のコロイドおよび界面化学を創る若手討論会, 2014 年.
- 60 **鷺坂将伸**, 二酸化炭素を溶媒とした機能性分子集合体の形成とその応用に関する研究, 第 65 回コロイドおよび界面化学討論会, 2014 年.
- 61 A. Mohamed, Effect of Hydrocarbon Chain Substitution on Hybrid Sulfosuccinate Surfactants for Stabilisation Water-in-CO<sub>2</sub> Microemulsions, 20th International Symposium on Surfactants in Solution, 2014 年.
- 62 **M. Sagisaka**, The Development of Highly Branched Hydrocarbon Surfactants as a Substitute for Fluorocarbon Surfactants, 20th International Symposium on Surfactants in Solution, 2014 年.

〔図書〕(計 1 件)

**鷺坂将伸** 他, 株式会社シーエムシー出版, 界面活性剤の最新研究・素材開発と活用技術, 2016, 65-79.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 1 件)

名称 : Surfactant for stabilizing water/supercritical carbon dioxide microemulsion  
 発明者 : M. Sagisaka, K. Kudo, M. Hida, Y. Sikauchi  
 権利者 : 弘前大学, 日産化学工業(株)  
 種類 : 米国特許  
 番号 : US9,101,894B2  
 取得年月日 : 2015 年 8 月 11 日  
 国内外の別 : 国外

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.st.hirosaki-u.ac.jp/~lclab/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

**鷺坂 将伸 (SAGISAKA MASANOBU)**

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号 : 60374815