

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 5 月 28 日現在

機関番号：11101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26630383

研究課題名(和文) 宇宙ステーションでの利用を目指した水/二酸化炭素分散系洗浄技術の開発

研究課題名(英文) Dry-cleaning using water-in-carbon dioxide dispersions for aero station

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) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙ステーション用水/超臨界CO<sub>2</sub>分散系ドライクリーニング技術の開発に向けて、洗浄装置の作製、CO<sub>2</sub>洗浄用可溶化剤の開発、可溶化剤および酵素を加えた水/超臨界CO<sub>2</sub>分散系による洗浄技術の最適化を行った。非常に微量の添加剤(新規可溶化剤1mM、水10mM、タンパク質分解酵素0.5mg)にもかかわらず、添加剤フリーの場合に比べて、タンパク質成分の洗浄率を0%から28%に、汚れ成分全体の洗浄率を67%から85%に向上させることに成功した。

研究成果の概要(英文)：To develop dry-cleaning technique using water/supercritical CO<sub>2</sub> dispersions for space station, this study prepared the high-pressure apparatus, developed a CO<sub>2</sub>-philic solubilizer, and explored effective additives and experimental condition for the dry-cleaning. Dry cleaning using water/CO<sub>2</sub> dispersions with very small amounts of those additives (1mM custom-made solubilizer, 10mM water, and 5 mg protease) successfully increased the washing efficiencies for protein from 0% to 28% and for total soils contained in the washing object from 67% to 85%.

研究分野：コロイドおよび界面化学、超臨界流体力学

キーワード：二酸化炭素 超臨界流体 可溶化剤 マイクロエマルジョン ドライクリーニング 酵素 タンパク質

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙空間に、水は全く存在しないため、宇宙ステーション内で使用される水は、地上から運ばれるか、または使用した水や汗、尿などから精製されたものである。したがって、宇宙ステーションで水は大変貴重 (0.5Lの水が1万ドル程度) なものであり、一般家庭のように大量の水で衣類等を洗浄することは難しい。また、有機溶剤についても同様に高価となり、さらに漏出した場合、無重力下では広範囲に飛散し、宇宙ステーションの住環境を汚染する可能性が有るため、有機溶剤によるドライクリーニングも難しい。このように、宇宙でのクリーニング技術が未発達なことから、乗組員が着用した宇宙服などは洗浄せずに地球へ帰還する際の大気圏通過時に廃棄ゴミとして焼却処分されている。今後、人類が宇宙に進出し、宇宙空間で生活する機会が増えるに従い、クリーニング技術の重要性は増すことが予想される。有望な宇宙ステーションでのクリーニング技術は、できるかぎり少量の水と、宇宙ステーションでも手に入りやすく、住環境を汚染しない溶剤で達成されることが望まれる。

一方で、当研究グループでは、超臨界CO<sub>2</sub>中に微小水滴を分散した水/CO<sub>2</sub>分散システム (図1) の形成に成功<sup>1-3)</sup>している。CO<sub>2</sub>は、人の呼吸などエネルギー生産・消費の過程で自然に生み出され、過剰にならない限りは無害である。また、高密度 (液体CO<sub>2</sub>または超臨界CO<sub>2</sub>) にすることで、極性の低い物質を溶解できる溶剤となるため、宇宙ステーションでのクリーニング溶剤としては最適と考えられる。また、無重力下であるため、水とCO<sub>2</sub>に密度差は生じず、エマルション (乳化状態) をより安定に保つことが可能と考える。これは、1973年、スカイラブ宇宙船にて、地上では10秒程度で分離した水と油が、宇宙では10時間たってもまったく分離しなかった<sup>4)</sup>ことから容易に推測される。したがって、可溶化剤フリーまたはごく少量の可溶化剤の利用で、水をCO<sub>2</sub>中に分散させたエマルションを安定化でき、これを利用することで安全で効果的な宇宙ステーション用クリーニング技術が達成できると考える。

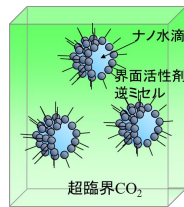


図1 水/CO<sub>2</sub>分散システム

### 2. 研究の目的

宇宙ステーション用クリーニング技術を目指して、水/CO<sub>2</sub>分散系による汚染布洗浄試験のための洗浄装置の作製と、それを利用した水/CO<sub>2</sub>分散系洗浄における温度、水の量、汚染布/CO<sub>2</sub>量比の影響の検討、本洗浄技術用の新規可溶化剤の開発、可溶化材およびタンパク質分解酵素を含む水/CO<sub>2</sub>分散系洗浄試験および最適化を行った。これにより、一般的な家庭用洗濯と同等の洗浄率を達成させることを目的とした。

### 3. 研究の方法

水/超臨界CO<sub>2</sub>分散系による洗浄試験を行うため、超臨界CO<sub>2</sub>洗浄装置 (内容積200mL、耐圧500bar、図2) を作製した。洗浄は、まずCO<sub>2</sub>洗浄セル内部に汚染布 (洗濯科学協会製品) 10枚を封入し、添加剤 (可溶化剤や水、酵素など) を加え、密閉し、送液ポンプを利用して、洗浄セルに高密度CO<sub>2</sub>を圧入しながら、一定の温度、圧力で攪拌し、汚染布の洗浄を行った。なお、ここで設定した一定圧力を超える量のCO<sub>2</sub>は背圧弁により排出される。所定時間洗浄し終わった後は、CO<sub>2</sub>をすべて排出し、上蓋から汚染布を取り出し、次の評価を行った。カーボンブラックなど有色物質の洗浄率の評価は、超臨界CO<sub>2</sub>洗浄試験の後に取り出された試験布の反射率測定により評価した。また、汚染布に残るタンパク質は、超臨界CO<sub>2</sub>洗浄後の汚染布からソックスレー抽出し、DCプロテインアッセイ法で定量した。また、CO<sub>2</sub>洗浄前後やソックスレー抽出前後の汚染布の重量変化を測定し、油性汚れに対する洗浄率を検討した。

可溶化剤の開発においては、英国 Rutherford Appleton 研究所 ISIS の高圧小角中性子散乱測定装置 SANS2D または LOQ を利用し、超臨界 CO<sub>2</sub> 中の可溶化剤分子による水 (D<sub>2</sub>O) の可溶化を確認した。LOQ の散乱ベクトル  $Q$  は  $0.007\text{-}0.22\text{\AA}^{-1}$  である。

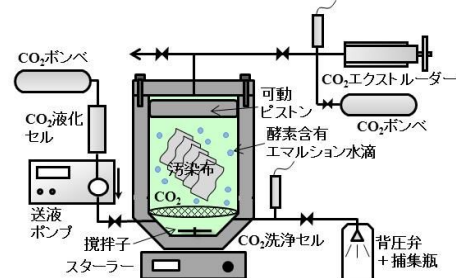


図2 超臨界 CO<sub>2</sub> 洗浄装置

### 4. 研究成果

まず、水/超臨界 CO<sub>2</sub> 中で界面張力低下作用、そして水の可溶化や分散に貢献すると考えられる種々の界面活性剤 (可溶化剤) を 17mM 加え、湿式人工汚染布 10 枚を高圧装置の中に入れ、超臨界 CO<sub>2</sub> (温度 55、圧力 300 bar) または液体 CO<sub>2</sub> (温度 26~28、圧力 140 bar) 下、洗浄時間 60 min、すすぎ時間 200 min、すすぎ流速 4 ml/min、攪拌速度 825 rpm で洗浄実験を行った。

可溶化剤添加系では、可溶化剤に対する水のモル比  $W_0$  値を 0 から 35 まで増加させる事で洗浄率が向上した。 $W=35$  の条件で、イソラウリル基と POE 鎖をもつノニオン界面活性剤 TMN-3 を可溶化剤とした場合、超臨界 CO<sub>2</sub> のみの場合と比較して洗浄率が 3% 増加した。また、オキシエチレン鎖の短い方が良好な洗浄効果を与えた。超臨界 CO<sub>2</sub> 溶媒系での油性汚れの洗浄性能は一般の洗濯機および洗剤を使用した水溶媒洗浄の場合よりも優れることも確認された。

しかし、タンパク質汚れを含む複合的な衣類汚れ全体に対する洗浄率は、ほぼ 0%であり、家庭用洗濯に比べてまだ大きな差がある。これは、利用する可溶化剤が最適化されておらず、タンパク質の洗浄を補助するタンパク質分解酵素の利用がないため、そして洗浄装置・方法の最適化が達成されていないためであり、これらを最適化できれば、タンパク質に対しても大きな洗浄率が期待できる。

酵素の利用において、重要になるのが可溶化剤の選択であり、可溶化剤の種類により酵素が失活することがある。特に、可溶化剤のイオン性基が酵素失活に影響を与えるケースが良く報告される。また、これまでの研究において、界面活性剤は水の分散に効果的であるが、一方で、汚染布に吸着して汚れとして残ってしまうことが良く起こっていた。この原因は、可溶化剤の  $\text{CO}_2$  に対する低い溶解性、および衣類への高い吸着性にある。したがって、本洗浄技術の開発において、ノニオン性でかつ、高い  $\text{CO}_2$  溶解性とともにより衣類吸着性の可溶化剤の開発が重要と考え、可溶化剤の開発に取り組んだ。

そこで、以前の研究で高い水可溶化能力が示されたアニオン性界面活性剤の構造をもとにして、ノニオン性の可溶化剤を合成し、水可溶化能力の評価を行った。

ここでは、もっとも水可溶化能力に優れていた可溶化剤を例として評価結果を示す。まず、相挙動観察において、17mM の可溶化剤は、超臨界  $\text{CO}_2$  に良く溶解し、少量の水とともに透明な均一相を形成することが発見された。この均一相は、 $\text{W}/\text{CO}_2$  マイクロエマルション相と判断され、圧力を低下させるとある圧力で白濁相（マクロエマルション相）へ転移した。この相転移を起こす圧力（相境界圧力）を、種々の水添加量および温度で測定した。水の添加量は、以後、系内に存在する可溶化剤に対する水のモル比を  $W_0$  として表すこととする。75 および 65 の条件では透明相が見られたものの、圧力を最低圧力(83 bar)まで低下させても相転移が確認できなかった。また、 $W_0 = 3.1$  と  $6.1$  の場合では、35~75 のどの温度、80~400bar のどの圧力でも透明相を形成した。超臨界  $\text{CO}_2$  に溶解し、水可溶化能力を発揮することが過去に発見されたイオン性可溶化剤 4FG(EO)<sub>2</sub> や PFPECNH<sub>4</sub>, FC6-HC4 の  $\text{W}/\text{CO}_2$  混合物の相転移圧力と比べても、開発された可溶化剤は、はっきりと低い相転移圧力を示した<sup>3,6)</sup>。このように、新規可溶化剤がどの可溶化剤よりも低い相転移圧力をもつのは、超臨界  $\text{CO}_2$  に高い親和性をもつためと考えられる。

次に、開発された可溶化剤による水の可溶化および極性物質の可溶化が実際に起こっているかを確認するため、メチルオレンジ水溶液を水の代わりに用いて、各  $W_0$  における新規可溶化剤/ $\text{W}/\text{CO}_2$  混合物均一相の UV-vis 吸収スペクトルを測定した。メチルオレンジ水溶液無添加の場合、400 nm ~ 500 nm の範囲

に目立った吸収ピークは存在しないが、メチルオレンジ水溶液を添加すると、430nm 付近を中心とした吸収が表れ、その吸光度は  $W_0 = 8.8$  まで増大し続けた。なお、相挙動観察の項で述べたように、 $W_0 = 0 \sim 8.8$  において相は透明な均一相を形成し、目視において析出物は観察されなかった。一方で、 $W_0 = 11.2$  の条件では液体がセル窓に析出していた。したがって、この新規可溶化剤は、極性物質とともに  $W_0=9$  程度までの水の量を可溶化できる可溶化剤であることが分かった。

次に、小角中性子散乱測定を行い、 $\text{CO}_2$  中における分子集合体のナノ構造を調べた。なお、分散させる水には散乱長密度の大きい  $\text{D}_2\text{O}$  を用いた。可溶化剤の散乱長密度は、 $\text{CO}_2$  とほぼ同等であるため、得られる SANS プロファイルは  $\text{D}_2\text{O}$  液滴のみによるものと判断される。

まず、45°C、200 bar、50mM 新規可溶化剤/ $\text{D}_2\text{O}/\text{CO}_2$  混合物( $W_0 = 6.7$ )の SANS 測定を行った。その結果、 $\ln I(Q)$  vs  $Q$  の SANS プロファイル( $I(Q)$ : 散乱強度、 $Q$ : 散乱ベクトル)において、弧を描く散乱 SANS プロファイルが得られた。これは、ナノ粒子の存在を示しており、新規可溶化剤による  $\text{D}_2\text{O}/\text{CO}_2$  マイクロエマルションの形成の直接的な証拠といえる。このマイクログロエマルションの  $\text{D}_2\text{O}$  コアの形状および半径を求めるために SasView fitting program による解析を行った。なお、粒子間の相互作用はないものとし、形状因子  $P$  は考慮していない。また、構造因子  $S$  には、楕円体粒子モデルを採用した。 $\text{W}/\text{CO}_2$  の多分散度は 0.17 ~ 0.49 程であるため、中間ほどの値である 0.3 とした<sup>2)</sup>。

新規可溶化剤の SANS フィッティングによって得られた  $W_0 = 6.7$  における  $\text{W}/\text{CO}_2$  マイクロエマルションの  $\text{D}_2\text{O}$  液滴は、楕円体粒子の理論曲線とよく一致し、もっとも一致するときの粒子の短軸半径  $R_{\text{core}}^a = 38.8 \text{ \AA}$ 、長軸半径  $R_{\text{core}}^b = 20.8 \text{ \AA}$  であった。これは、Guinier 解析で得られた球の半径  $29.8 \text{ \AA}$  と矛盾しない。

次に、水/ $\text{CO}_2$  分散系洗浄技術用のタンパク質分解酵素とこの新規可溶化剤を用いて洗浄試験を行った。50 , 300bar の条件で  $\text{CO}_2$  と少量の水のみの洗浄の場合、タンパク質汚れに関する洗浄率は 0%、全体の汚れに対する洗浄率は 67%程度であったが、1mM の新規可溶化剤を加えることで、全体の汚れに対する洗浄率はほぼ変化しなかったが、タンパク質汚れに対する洗浄率は 12%に上がった。これにさらにタンパク質分解酵素 0.5mg を加えると、タンパク質洗浄率は 28%、全体の洗浄率は 85%に増加した。

超臨界  $\text{CO}_2$  を利用したドライクリーニング技術は、添加剤なしでは、タンパク質汚れを洗浄することはできず、過去の研究では、界面活性剤だけでなく IPA やパークロロエチレン、アルコールなど有機溶剤を多量に添加して、洗浄を行っていた<sup>8-11)</sup>。本研究は、有機溶剤を使用せず、微量の水と、酵素、ノニオ

ン性新規可溶化剤で、これまででは成しえなかったタンパク質等に対しても効果的な超臨界 CO<sub>2</sub> 洗浄技術を達成した。これは、残念ながら家庭用洗濯レベルの洗浄率までは達していないが、この技術の洗浄効率は条件の最適化により、さらに向上する可能性があり、実用的な宇宙ステーション用ドライクリーニング技術の開発には、今後さらなる研究が重要と考えられる。

引用文献 1) M. Sagisaka, et al., *J. Oleo Sci.*, 62, 7, 481-488 (2013). 2) M. Sagisaka, et al., *Langmuir*, 29, 25, 7618-7628 (2013). 3) M. Sagisaka, et al., *Langmuir*, 28, 30, 10988-10996 (2012). 4) [http://iss.jaxa.jp/iss\\_faq/go\\_space/step\\_3\\_3.html](http://iss.jaxa.jp/iss_faq/go_space/step_3_3.html), 5) M. Sagisaka, et al., *Langmuir* 31, 47, 7479-7487 (2015). 6) M. Sagisaka, et al., *Mater. Technol.* 21, 1, 36-42 (2003). 7) J. Eastoe, Bristol UK. Surfactant Chemistry 4.Scattering techniques 119-131. 8) M. J. E. van Roosmalen, et al., *J. Supercrit. Fluids* 27, 97-108 (2003). 9) M. J. E. van Roosmalen, et al., *J. Supercrit. Fluids* 27, 337-344 (2003). 10) M. J. E. van Roosmalen, et al., *J. Supercrit. Fluids* 30, 97-109 (2004). 11) M. J. E. van Roosmalen, et al., *J. Supercrit. Fluids* 32, 243-254 (2004).

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計 7 件)

Azmi Mohamed, Masanobu Sagisaka (9 人中 4 番目), "Effect of Surfactant Headgroup on Low-Fluorine-Content CO<sub>2</sub>-Phylic Hybrid Surfactants", *J. Supercrit. Fluids*, 査読有, in press.

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, 32, 6, 1421-1428 (2016).

Masanobu Sagisaka (10 人中 1 番目), "Effect of Fluorocarbon and Hydrocarbon Chain Lengths in Hybrid Surfactants for Supercritical CO<sub>2</sub>", *Langmuir*, 31, 27, 7479-7487 (2015).

Ci Yan, Masanobu Sagisaka (6 人中 2 番目), "Action of Hydrotropes in Water-in-CO<sub>2</sub> Microemulsions", *Colloids and Surf. A*, 476, 76-82 (2015).

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", *J. Supercrit. Fluids*, 98, 127-136 (2015).

Yuki Kamiie, Masanobu Sagisaka, Masahiko Nagaki, "Essential Oil

Composition of *Lavandula Angustifolia* "Hidcote": Comparison of Hydrodistillation and Supercritical Fluid Extraction Methods", *Trans. Mater. Res. Soc. Japan*, 39, 4, 485-489 (2014).

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", *J. Colloid Interf. Sci.*, 435, 112-118 (2014).

#### [学会発表](計 43 件)

Masanobu Sagisaka, Unique Behavior of Lyotropic Liquid Crystals with Anionic Hybrid Surfactants Having Oxyethylated Alkyl Tail, EMN Meeting on Liquid Crystal 2016, 2016 年 2 月 16~19 日, Honolulu (USA).

鷺坂 将伸, 超臨界流体に対する界面化学何が違うのか? 何ができるのか?, コロイドおよび界面化学部会 事業企画勉強会, 2016 年 2 月 5~6 日, 熱海 (静岡).

Masanobu 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 12 月 15~20 日, Honolulu (USA).

Yuuki Sato, Masanobu Sagisaka, 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 12 月 15~20 日, Honolulu (USA).

Shunsuke Ogiwara, Masanobu Sagisaka, 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 12 月 15~20 日, Honolulu (USA).

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 12 月 3 日, 新化学技術推進協会 (東京).

荻原 峻介、鷺坂 将伸, 非両親媒性分子による水/二酸化炭素マイクロエマルションの構築, 2015 年材料技術研究協会討論会, 2015 年 11 月 28~29 日, 近畿大学東大阪キャンパス (大阪).

佐藤 湧貴、鷺坂 将伸, フッ化炭素-炭化水素ハイブリッド化合物による超臨界 CO<sub>2</sub> の粘度増大, 2015 年材料技術研究協会討論会, 2015 年 11 月 28~29 日, 近畿大学東大阪キャンパス (大阪).

Masanobu Sagisaka, Molecular Assemblies

in Water/Supercritical Carbon Dioxide Mixtures as a Functional Green Solvent, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (ACCIS 2015 Japan), 2015年11月24~27日, Sasebo (Japan).

Takumi Endo, Masanobu Sagisaka, 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 (ACCIS 2015 Japan), 2015年11月24~27日, Sasebo (Japan).

Atsushi Ohata, Masanobu Sagisaka, 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 (ACCIS 2015 Japan), 2015年11月24~27日, Sasebo (Japan).

Kodai Sato, Masanobu Sagisaka, Aggregate Nanostructures of Low F-content Surfactant/Water/Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsions, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (ACCIS 2015 Japan), 2015年11月24~27日, Sasebo (Japan).

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10月16日, 大阪リバーサイドホテル (大阪).

佐藤 広大、鷺坂 将伸, 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9月12~13日, 弘前大学 (弘前).

遠藤 匠、鷺坂 将伸, 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9月12~13日, 弘前大学 (弘前).

荻原 峻介、鷺坂 将伸, 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9月12~13日, 弘前大学 (弘前).

大畑 淳、鷺坂 将伸, 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9月12~13日, 弘前大学 (弘前).

佐藤 湧貴、鷺坂 将伸, 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9月12~13日, 弘前大

学 (弘前).

佐藤 広大、鷺坂 将伸, 低フッ素量界面活性剤が形成する水/超臨界 CO<sub>2</sub> マイクロエマルジョンのナノ構造, 日本油化学会第54回年会, 2015年9月8~10日, 名城大学 (名古屋).

大畑 淳、鷺坂 将伸, 水/CO<sub>2</sub> 混合系におけるポリオキシエチレンイソステアリルエーテルの会合挙動, 日本油化学会第54回年会, 2015年9月8~10日, 名城大学 (名古屋).

⑲ Masanobu 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8月16~20日, Sun Moon Lake (Taiwan).

⑳ M. Sagisaka, Efficient Water Solubilisation and Rod-like Reversed Micelle Formation of Hybrid Surfactants in Supercritical Carbon Dioxide, 5th International Colloids Conference, 2015年6月21~24日, Amsterdam (Netherlands).

㉑ Masanobu Sagisaka, Nanostructures in Water-in-Supercritical Carbon Dioxide Microemulsions Stabilized by Fluorinated Surfactants, EMN Meeting on Droplets 2015, 2015年5月8~11日, Phuket (Thailand).

㉒ 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3月26~29日, 日本大学船橋キャンパス (千葉).

㉓ Masanobu 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2月1~5日, Hobart, (Australia).

㉔ Craig James, Masanobu Sagisaka, Julian Eastoe, Hydrocarbon surfactants for use in supercritical CO<sub>2</sub>, The 7th biennial Australian Colloid and Interface Symposium, 2015年2月1~5日, Hobart, (Australia).

㉕ 小野 真司、鷺坂 将伸, 超臨界二酸化炭素中におけるハイブリッド界面活性剤の可溶化能力と会合特性, 2014年材料技術研究協会討論会, 2014年12月5~6日, 東京理科大学 (千葉).

㉖ 佐藤 広大、鷺坂 将伸, 超臨界二酸化炭素中における低フッ素量三鎖型界面活性剤の効率的な水の可溶化と逆ミセル構造, 2014年材料技術研究協会討論会, 2014年12月5~6日, 東京理科大学 (千葉).

㉗ 遠藤 匠、鷺坂 将伸, 超臨界二酸化炭素中における多分岐炭化水素鎖型界面活性剤の水可溶化能力に及ぼす疎水鎖構造の影響, 2014年材料技術研究協会討論会, 2014年12月5~6日, 東京理科大学 (千葉).

- ③⑩ C. James, **M. Sagisaka**, Hydrotrope Induced Shape Transitions in Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsions, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014年9月8~10日, Sapporo (Japan).
- ③⑪ T. Narumi, **M. Sagisaka**, Interfacial Properties of Hybrid Surfactants Having Branched Hydrocarbon and Short Fluorocarbon Tails, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014年9月8~10日, Sapporo (Japan).
- ③⑫ T. Endo, **M. Sagisaka**, Solubilization of Water into Supercritical CO<sub>2</sub> by Highly-methylated Triple-Hydrocarbon-Tail Surfactants, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014年9月8~10日, Sapporo (Japan).
- ③⑬ K. Sato, **M. Sagisaka**, Low-Fluorine-Content Triple-tail Surfactants for Water / Supercritical CO<sub>2</sub> Microemulsions, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014年9月8~10日, Sapporo (Japan).
- ③⑭ A. Ohata, **M. Sagisaka**, Hyper-Branched Double-Hydrocarbon-Tail Surfactants for a Fluorocarbon-like Low Surface Energy, 1st Asian Conference on Oleo Science, 2014年9月8~10日, Sapporo (Japan).
- ③⑮ 小野 真司, **鷺坂 将伸**, 超臨界二酸化炭素中での界面活性剤会合体形成に及ぼすハイブリッド疎水鎖の影響, 日本油化学会第53回年会, 2014年9月9~11日, ロイトン札幌 (札幌).
- ③⑯ **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9月5~6日, BumB 東京スポーツ文化館 (東京).
- ③⑰ **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9月3~5日, 東京理科大学 (東京).
- ③⑱ 大畑 淳, **鷺坂 将伸**, 多分岐炭化水素を有する二鎖型界面活性剤の界面化学的性質, 第12回超臨界流体ミニワークショップ, 2014年8月8~10日, 猪苗代町(福島県).
- ③⑲ 鳴海 剛, **鷺坂 将伸**, 短いフッ化炭素鎖と分岐型炭化水素鎖を併せ持つハイブリッド界面活性剤の界面化学的物性, 第12回超臨界流体ミニワークショップ, 2014年8月8~10日, 猪苗代町(福島県).
- ④⑰ 佐藤 広大, **鷺坂 将伸**, 低フッ素量三鎖型界面活性剤による W/CO<sub>2</sub> マイクロエマルジョンの高度安定化, 第12回超臨界流体ミニワークショップ, 2014年8月8~10日, 猪苗代町(福島県).
- ④⑱ 遠藤 匠, **鷺坂 将伸**, 炭化水素系三鎖型界面活性剤による超臨界 CO<sub>2</sub> 中への効率的な水の分散, 第12回超臨界流体ミニワ

ークショップ, 2014年8月8~10日, 猪苗代町(福島県).

- ④⑲ A. Mohamed, **M. Sagisaka**, 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 (SIS 2014), 2014年6月22~27日, Coimbra (Portugal).
- ④⑳ **M. Sagisaka**, The Development of Highly Branched Hydrocarbon Surfactants as a Substitute for Fluorocarbon Surfactants, 20th International Symposium on Surfactants in Solution (SIS 2014), 2014年6月22~27日, Coimbra (Portugal).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: Surfactant for stabilizing water/supercritical carbon dioxide microemulsion  
 発明者: Masanobu Sagisaka, Kotaro Kudo, Masahiro Hida, Yasufumi Sikauchi  
 権利者: 弘前大学、日産化学工業(株)  
 種類: 米国特許  
 番号: 14/309,160  
 出願年月日: 2014年6月9日  
 国内外の別: 国外

取得状況(計1件)

名称: Surfactant for stabilizing water/supercritical carbon dioxide microemulsion  
 発明者: Masanobu Sagisaka, Kotaro Kudo, Masahiro Hida, Yasufumi 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

### (2) 研究分担者

**濱田 茂樹** (HAMADA SHIGEKI)  
 弘前大学・農学生命科学部・准教授  
 研究者番号: 90418608

### (3) 連携研究者

なし