

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23550217

研究課題名(和文)立体配座および立体配位を考慮した界面活性剤の自己組織化構造制御理論の構築

研究課題名(英文) Establishment of Theory Determining Self Assembling State of Amphiphilic Molecules Considering Steric Configuration and Steric Coordination

研究代表者

酒井 秀樹 (Sakai, Hideki)

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：80277285

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：1) 界面活性剤の自己組織化構造に及ぼす光学異性の影響 立体配置がanti型とsyn型のジェミニ型界面活性剤を合成し、親水基の立体配置が界面物性へ与える影響を検討した。
2) アゾベンゼン修飾界面活性剤を用いた光粘性制御系における分子集合体の構造変化 レシチンが形成する逆紐状ミセル溶液に種々のアゾベンゼン誘導体を添加した系を用いて、有機溶媒中での可逆的な光粘性制御について検討した。
3) 難水溶性有機化合物の添加による界面活性剤分子吸着膜の形態変化 界面活性剤が固/液界面で形成する吸着膜に光応答性物質を可溶化させ、その構造に及ぼす光異性化反応の影響について原子間力顕微鏡を用いた検討を行った。

研究成果の概要(英文)：1) Effect of optical chirality on the self assembly of surfactants: Gemini surfactants with anti- and syn- type structures were synthesized and the effect of steric configuration of the hydrophilic moieties on the interfacial chemical properties was investigated.
2) Photochemical viscosity control of organic solvent using azobenzene-modified amphiphiles: To reversed wormlike micellar solutions were added the various azobenzene modified amphiphiles and the effect of molecular structure of the azobenzene derivatives on the photo-induced viscosity change of organic solvent was studied.
3) Change in morphology of surfactant admicelles induced by the addition of hardly water soluble organic substances: Photoresponsive substances were added to the surfactant admicelles formed at solid/liquid interface and the effect of photoisomerization reaction on the morphology of the admicelles was evaluated by using atomic force microscope (AFM).

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学・有機工業材料

キーワード：界面活性剤 光異性化 紐状ミセル 粘性制御 分子集合体 光学異性体 吸着ミセル ジェミニ型界面活性剤

1. 研究開始当初の背景

界面活性剤が溶液中で形成する自己組織化構造と界面活性剤分子の幾何学的構造を結びつけるパラメーターとして、臨界充填因子(cpp)が用いられ、界面活性剤の自己組織体をナノ技術として活かすための基礎理論として重用されている。しかし、cpp の概念は、構成単位分子をモデル構造に帰納させる概論的手法に留まっており、界面活性剤混合系で形成される超分子構造の場合、cpp は1分子当たりの平均の幾何学的構造を表しているのに過ぎないのが現状である。

一方で、少量の異なる界面活性剤の添加や、超分子構造を構成する界面活性剤の微小な構造変化(光学異性など)が、形成される自己組織体の構造やサイズを大きく変化させる事例が散見される。例えば、カチオン界面活性剤であるセチルトリメチルアンモニウムブロミド(CTAB)/サリチル酸ナトリウム混合水溶液で形成される高粘性の紐状ミセルに対して、少量のアゾベンゼン修飾界面活性剤(AZTMA)を添加すると、AZTMA が *trans* 体の場合は紐状ミセルの形成を阻害しないのに対して、*cis* 体に光異性化すると、紐状ミセルの構造が崩れ、粘性が劇的に低下することを明らかにしている(H.Sakai, et al., JACS, (2005), 127(39), 13454-13455.)。このような系では、系に少量(～10%)添加した光応答性分子(AZTMA)の *trans/cis* という立体構造の違いが、系全体の自己組織化構造に大きく影響を与えるという点が興味深い。一方で、AZTMA の光異性化が系全体の cpp に与える影響は小さく、一分子当たりの平均 cpp 変化のみで光粘性変化を説明するのは困難であった。他にも、嵩高い構造を有する分子の微量添加や、D/L 体などの光学異性によってもたらされる微小構造の変化が、系全体の会合構造に大きな影響を及ぼす例があるが、このような系での自己組織化構造変化の機構については未だ明らかにされていない点が多かった。

2. 研究の目的

界面活性剤に代表される両親媒性物質が種々の環境下で生成する超分子の構造は、構成単位分子の臨界充填因子(cpp)によって決定されることが理論的にも実践的にも確立されているが、一般的に cpp は超分子の構造解析から帰納的に算出され、単位分子の構造因子との詳細な関連づけはなされていない。一方、種々の刺激(温度・電気・光・第三物質の微量添加など)に応答して分子構造ひいては超分子構造を変化させることによる諸物性の制御が広く行われているが、これらは主に経験的分子設計に基づいて進められている。本研究は *trans/cis* 異性化や D/L 体などの分子異性が系の cpp

を大きく変化させることに着目し、分子の立体配座および立体配位と超分子の会合構造の関係を体系化し、外部刺激あるいは物質添加など微小入力による cpp 変化を超分子構造変化として増幅させる統一理論の構築を図るとともに、省資源型機能材料設計を目指す。

3. 研究の方法

以下に掲げる3つの界面活性剤溶液系において観察される、従来の臨界充填因子(cpp)だけでは説明できない自己組織化構造(変化)に関して、その構造形成機構を顕微鏡(凍結透過型電子顕微鏡、蛍光顕微鏡)観察、小角X線散乱測定、分子シミュレーションなどを駆使して明らかにする。

- 1) ジェミニ型系界面活性剤の自己組織化構造に及ぼす光学異性の影響の解析
- 2) アゾベンゼン修飾界面活性剤を用いた光粘性制御系における会合体構造変化機構の解析
- 3) 難水溶性有機化合物の添加による界面活性剤分子吸着膜のモルフォロジー変化

最終的に、界面活性剤混合系、第三物質添加系で生成する自己組織化構造における局所的な曲率の変化が系全体の会合構造に及ぼす影響について系統的な解析を行い、他の一般的な混合系に関しても共通して予測可能な新規理論を構築することを目指した。

4. 研究成果

- 1) ジェミニ型系界面活性剤の自己組織化構造に及ぼす光学異性の影響の解析

ジェミニ型界面活性剤は一鎖一親水基型の界面活性剤二分子を親水基近傍で連結した構造を有しており、従来の界面活性剤と比較して、少量の添加でも優れた界面活性能を示す環境調和型の有機材料である。当研究室では原料にオレイン酸を用いることで、比較的安価なジェミニ型界面活性剤の開発を行ってきた。これまでにリン酸基やスルホン酸基といった親水基を導入したジェミニ型界面活性剤を合成し、それぞれの有する優れた界面物性について明らかにしてきた。本研究では新たに、親水基に陽イオン性の四級アンモニウム基を導入したオレイン酸系ジェミニ型界面活性剤を合成し、その固/液界面への吸着挙動を解明した。また、立体配置が「*anti* 型」と「*syn* 型」のジェミニ型界面活性剤を合成し、親水基の立体配置が界面物性へ与える影響を検討した。

【 四級アンモニウム基の導入】 親水基に四級アンモニウム基と水酸基を有する

NOH-n-ODAm ($n = 8, 10, 12$, 図 1) を合成し、希薄水溶液物性及び固/液界面物性の評価を行った。水溶液物性では、疎水鎖長の増加に伴い疎水性相互作用の強化に起因する臨界ミセル濃度 (cmc) の低下が示された。また、シリカ微粒子に対する吸着挙動を評価したところ、疎水鎖長の増加に伴い、より低濃度領域からでも飽和吸着量に達することが明らかとなった。またシリカ基板上に形成された吸着層を原子間力顕微鏡で観察すると、二分子吸着層の形成が示唆された。

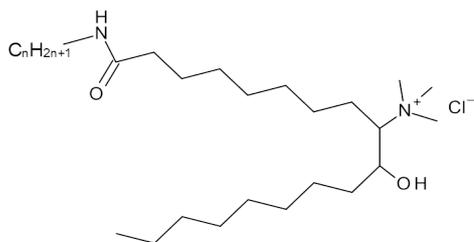


図 1 NOH-n-ODAm ($n = 8, 10, 12$)

【 立体構造 (*anti*, *syn* 型) の検討 】

親水基にカルボン酸基を二つ有し、立体配置の異なる *anti*-DC-10-ODEs 及び *syn*-DC-10-ODEs を合成した (図 2)。物性評価として、不溶性単分子膜の評価、希薄水溶液物性 (表面張力、ピレン蛍光、電気伝導度測定等) 及び濃厚水溶液物性として相挙動の解析を行った。不溶性単分子膜の調製は pH 7 で行い、膜の物性は表面圧 - 分子面積等温線により評価した。その結果、*anti* 型と *syn* 型で有意な差異は見られず、不溶性単分子膜における分子の配向性に違いは確認されなかった。

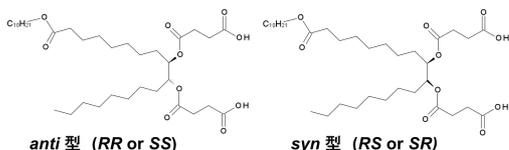


図 2 DC-10-ODEs の化学構造

希薄水溶液物性の評価はすべて、25、pH 9、10mM NaCl 添加系で検討を行った。表面張力の測定結果より、*syn* 型は *anti* 型に比べて表面張力の低下能が低いことが分かった。cmc も *syn* 型は *anti* 型に比べて高く、この傾向はピレン蛍光測定と電気伝導度測定からも確認された。こうした物性の違いは、*anti* 型よりも *syn* 型の分子占有面積が有意に大きく、*syn* 型は気/液界面への密なパッキングをとりづらいためであると考えられる。

25 における *anti* 型、*syn* 型それぞれの DC-10-ODEs / 水の 2 成分系相挙動を、クロスニコル下での目視観察、偏光顕微鏡観察、及び小角 X 線散乱の測定から検討した。結果を図 3 に示す。本図より、*anti* 型、*syn* 型ともに幅広い濃度領域で液晶相を形成するこ

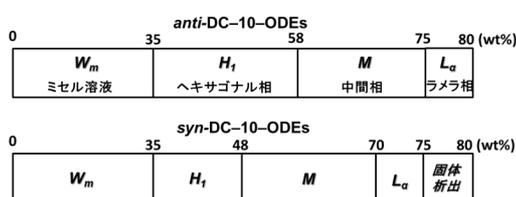


図 3 DC-10-ODEs/水 2 成分系相状態図 (25)

とがわかった。*anti* 型に比べて *syn* 型ではより低濃度領域からラメラ液晶相が形成され、より曲率の小さな液晶相へ転移しやすいことが示唆された。1 分子内における親水基間の斥力および疎水基間の引力を考慮すると、*syn* 型の臨界充填パラメータは *anti* 型のそれよりも大きくなることが予想され、これがラメラ液晶相への転移を促していると考えられる。

2) アゾベンゼン修飾界面活性剤を用いた光粘性制御系における会合体構造変化機構の解析

[緒言] 界面活性剤が形成する分子集合体の中でも、紐状ミセルはその三次元的な絡み合いにより溶媒に高い粘弾性を付与することから注目されている。また、紐状ミセルの形成・崩壊を光などの外部刺激により制御し、溶液粘性を制御することが出来れば、薬剤・香料の放出制御やインクのにじみ防止等への応用が期待できる。特に、インクや化粧品への応用を考慮した場合、溶媒として油剤が使用されることが多いために、有機溶媒での粘性制御が望まれる。そこで当研究室では、有機溶媒中で形成される“逆”紐状ミセルに光応答性の桂皮酸 (CA) およびその誘導体を添加した系において、光による有機溶媒中での粘性制御に成功している。しかし、この系では高粘度から低粘度への不可逆的な制御に留まっていた。そこで本研究では、可逆的な *trans-cis* 光異性化を示すアゾベンゼン誘導体を逆紐状ミセル溶液に添加することにより、照射による有機溶媒中での可逆的な光粘性制御について検討した。

[方法] 両親媒性分子として疎水鎖に二重結合を有する大豆由来レシチン (SoyPC)、有機溶媒としてデカンを用い、これに D-Ribose を添加して逆紐状ミセル溶液を調製した。さらに光応答性物質としてアゾベンゼン誘導体を添加した混合溶液に対して、色ガラスフィルター ($< 390 \text{ nm}$) を装着した 200 W 水銀-キセノンランプを用いて紫外光 (UV) 照射を行った。さらに別のガラスフィルター ($> 410 \text{ nm}$) を装着して可視光 (Vis) 照射を行った。また、溶液粘性に及ぼす光照射の影響について、ストレス制御式レオメーター、FT-IR を用いて評価した。

[結果と考察]

SoyPC/D-Ribose/デカン逆紐状ミセル溶液(SoyPC=105 mM ,D-Ribose=55 mM)に種々の濃度のアゾベンゼンを添加し、光照射による溶液の粘性制御の検討を行った。アゾベンゼン(無置換)を 15 mM 添加した系について UV 光を照射し、目視観察を行ったところ、溶液粘度の低下が観察された。続けて Vis 光を照射すると再び粘度が増加したことから、可逆的な粘度変化を確認した(図4)。そこで、これらの溶液のレオロジー挙動の評価を行った。まず、UV 照射前の溶液において動的粘弾性測定を行ったところ、貯蔵弾性率 G' および損失弾性率 G'' が高周波側で弾性支配 ($G' > G''$)、低周波側で粘性支配 ($G'' > G'$) となるマクスウェル挙動を示したことから、逆紐状ミセルの形成が示唆された。また、静的粘度測定より求めたゼロシア粘度は $166 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ であった。次に、UV 照射後の溶液において同様の検討を行ったところ、動的粘弾性測定より算出した G_0 ならびに緩和時間 τ_R がともに減少したことから、逆紐状ミセルの絡み合いの減少が示唆された。また、ゼロシア粘度は $34 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ に減少した。さらに、引き続き Vis 照射を行った溶液については、 G_0 と τ_R が再び増加しゼロシア粘度も $122 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ まで増加した。以上の結果から、有機溶媒中における溶液粘性の可逆的な光制御に成功した(図5)。

次にアゾベンゼンの代わりに、その置換体である *p*-フェニルアゾフェノール、*p*-フェニル安息香酸、*p*-アミノアゾベンゼンを用いて、光応答性物質の分子構造が溶液粘性に及ぼす影響について検討を行った。その結果、*p*-フェニルアゾフェノール、*p*-フェニル安息香酸を添加した系においては、*trans* 体の添加(紫外光照射前)の時点で粘



図4 紐状ミセル溶液の紫外光/可視光照射に伴う粘度の変化

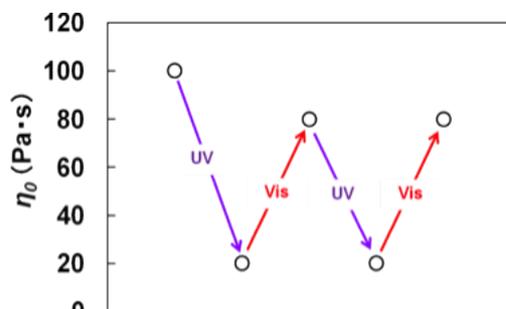


図5 紫外光/可視光照射に伴う静的粘度測定結果

度低下が観測された。さらに UV 光照射を行っても粘度変化はほとんど確認されなかった。そこで、レオロジー挙動に及ぼす分子構造の影響を検証するため、FT-IR 測定を行った。その結果、本系の逆紐状ミセル溶液において、D-Ribose は SoyPC のリン酸基部分に水素結合していることが示唆された。さらに各アゾベンゼン誘導体添加系についても同様に測定を行ったところ、*p*-フェニルアゾフェノール、*p*-フェニル安息香酸も SoyPC のリン酸基部分に水素結合することが示唆された。これが、D-Ribose と SoyPC の水素結合の妨げとなり、逆紐状ミセルの構造維持が不可能となるために、*trans* 体添加時における粘度低下を引き起こしたと考えられる。さらに、*p*-アミノアゾベンゼンを 30 mM 添加した系においては、ゼロシア粘度 η_0 は UV 照射前後で約 6 倍低下し、アゾベンゼン添加系よりも大幅な粘性変化を示した。以上より、アゾベンゼン誘導体の分子構造を最適化することにより、光照射による粘性変化の効率を向上させられることが分かった。

3) 難水溶性有機化合物の添加による界面活性剤分子吸着膜のモルフォロジー変化

【緒言】 吸着可溶化とは界面活性剤が固/液界面に形成する吸着層の内部に難水溶性有機化合物が取り込まれる現象であり、水中に存在する有機汚染物質の回収・除去や、薬物有効成分の製剤処方への応用が期待されている。吸着可溶化については種々の界面活性剤と難水溶性有機化合物の組み合わせで検討されており、最近では温度や pH など外部環境の変化に伴う吸着可溶化挙動の違いについても報告されている。我々はこれまでに、光応答性界面活性剤が固/液界面に形成する分子吸着層の構造評価、あるいは光応答性物質の添加による紐状ミセル溶液の粘弾性制御など、「光化学」と「界面化学」の融合に取り組んできた。本研究では界面活性剤吸着層中に光応答性物質を吸着可溶化させ、光照射が吸着層の構造に及ぼす影響を評価した。

【実験】 界面活性剤としてカチオン性の hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB)を用いた。被吸着可溶化物質として光応答性の cinnamic acid(CA)、*o*-methoxycinnamic acid(MOCA)、1,3,3-trimethylindolinobenzopyrrolospiran (TIBPS)を用い、種々の濃度の界面活性剤水溶液に被吸着可溶化物質を 0.1~1.0 mM 添加した。なお、添加塩として NaBr を 10 mM 添加し、必要に応じてエタノールを 0.5 %添加して被吸着可溶化物質を完全に溶解させた。CA 添加系と MOCA 添加系には $260 < \lambda < 390 \text{ nm}$ の紫外光 (30 mW/cm^2)、TIBPS 添加系には

>400 nm の可視光(5 mW/cm²)を照射し、光異性を紫外可視吸収スペクトル測定により評価した。CA 添加系、MOCA 添加系の異性化率を NMR 測定により求めた。光異性化前後の総吸着量を水晶振動子マイクロバランス(QCM-D)法により評価し、吸着層のモルフォロジーを原子間力顕微鏡(AFM)のソフトコンタクト法により可視化した。固体基板には親水性シリカを使用した。すべての測定は 25 (あるいはほぼ 25 の室温)で行った。

【結果および考察】 以下、CA 添加系を中心に説明する。CA を添加した CTAB 水溶液の紫外可視吸収スペクトル測定結果から、紫外光照射前の trans 体では 274 nm に極大吸収波長 max を持ち、紫外光を照射すると 274 nm 付近の吸光度は減少し、max は短波長側(266 nm)にシフトした。これは CA 分子が紫外光照射により、trans 体から cis 体へと光異性化したためであると考えられる。また、約 60 分で光定常状態になることから、以後の測定では紫外光の照射時間を 60 分に固定して行った。また NMR の測定結果より、光定常状態での cis 体への異性化率は 18~19 % であることが分かった。

QCM-D 測定により得られた CTAB 単独系、trans 添加系(光照射前) cis 添加系(光照射後)の吸着等温線を図 6 に示す。CTAB 単独系と比べて trans 添加系は低濃度領域(臨界ミセル濃度(cmc)以下)から総吸着量が急増し、飽和吸着となった。これは CTAB の低濃度領域からでも、trans 体は CTAB 吸着層中に可溶化されることを示唆している。一方、cis 体を添加すると徐々に総吸着量が増加し、cmc の近傍で飽和吸着となった。cis 体は trans 体と比べて親水性が大きいため、吸着可溶化され難いことを示唆している。

CTAB 吸着層の AFM 画像を図 7 に示す。CTAB の添加濃度は cmc の 5 倍に固定して行った。CTAB 単独系では球状およびロッド状の吸着会合体が観察された。ここに CA が共存すると、trans 添加系(光照射前)では大きなロッド状の吸着会合体が形成されるのに対し、cis 添加系(光照射後)では短いロッド状の吸着会合体に構造変化することが分かった。これは trans 体に比べて cis 体は高い構造を示すことや、より親水基近傍に吸着可溶化されやすいことから、隣接する CTAB の分子

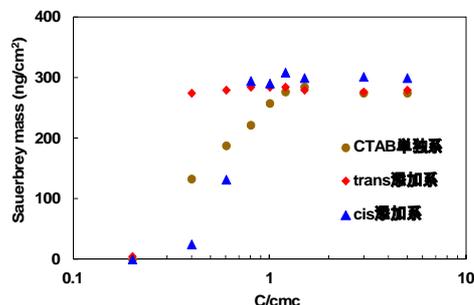


図 6 CA 添加系(1 mM)の QCM-D 吸着等温線

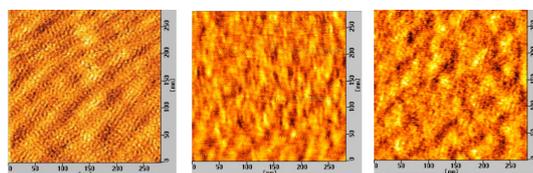


図 7 CA 添加系(1 mM)の AFM 画像(CTAB 濃度 5xcmc, 10 mM NaBr 添加系)

間距離が広がり、吸着会合体の曲率が正方向に変化したと考えられる。さらに、CA 添加系については、AFM のカンチレバーに対する吸着層からの斥力が増すこと、およびその斥力は異性化状態に応じて変化することも示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 12 件)

K. Sakai, Y. Saito, A. Uka, W. Matsuda, Y. Takamatsu, B. Kitiyanan, T. Endo, H. Sakai, M. Abe, Quaternary Ammonium-Type Gemini Surfactants Synthesized from Oleic Acid: Aqueous Solution Properties and Adsorption Characteristics, *Journal of Oleo Science*, 査読有, 62 (7), 2013, 489-498. doi 10.5650/jos.ess13158

K. Sakai, N. Umemoto, K. Aburai, Y. Y. Takamatsu, T. Endo, B. Kitiyanan, M. Matsumoto, H. Sakai, M. Abe, Physicochemical Properties of Oleic Acid-Based Partially Fluorinated Gemini Surfactants, *Journal of Oleo Science*, 査読有 63, 2014, 257-267. doi 10.5650/jos.ess13158

K. Aburai, T. Ogura, R. Hyodo, H. Sakai, M. Abe, O. Glatter. Location of Cholesterol in Liposomes by Using Smallangle X-ray Scattering (SAXS) Data and the Generalized Indirect Fourier Transformation (GIFT) Method, *Journal of Oleo Science*, 査読有, 62, 2014, 913-918. doi 10.5650/jos.60.209

K. Sakai, R. Yamazaki, Y. Imaizumi, T. Endo, H. Sakai, M. Abe, Adsolubilization by Photo-Responsive Surfactant, *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects*, 査読有, 410, 2012, 119-124, doi:10.1016/j.colsurfa.2012.06.028

K. Sakai, K. Nomura, R. G. Shrestha, T. Endo, K. Sakamoto, H. Sakai, M. Abe, Wormlike Micelle Formation by Acylglutamic Acid with Alkylamine, *Langmuir*, 査読有, 28, 2012, 17617-17622, DOI: 10.1021/la303745p

K. Sakamoto, K. Aburai, T. Morishita, K. Sakai, H. Sakai, M. Abe, I. Nakase, S. Futaki, Bioinspired Mechanism for the Translocation of Peptide through the Cell Membrane *Chemistry Letters*, 査読有, 41, 2012, 1078-1080.
Doi:10.1246/cl2012.1078

H. Nishiyama, Y. Takamatsu, K. Sakai, H. Sakai, M. Abe, Effects of Hydroxyl Groups Covalently Bound to The Vicinity of The Headgroups in Cationic Gemini Surfactants on Their Aqueous Solution Properties, *Material Technology*, 査読有, 30, 2012, 71-79.

A. Matsumura, H. Sakai, M. Abe, Photochemical Control of Molecular Assembly Formation in A Catanionic Surfactant, *Langmuir*, 査読有, 27, 2011, 1610-1617.
DOI: 10.1021/la104731w

A. Matsumura, K. Sakai, H. Sakai, M. Abe, Photoinduced Increase in Surfactant Solution Viscosity Using Azobenzene Dicarboxylate for Molecular Switching, *Journal of Oleo Science*, 査読有, 60, 2011, 203-207.
doi:10.5650/jos.60.203

H. Sakai, Y. Okabe, K. Tsuchiya, K. Sakai, M. Abe, Catanionic Mixtures Forming Gemini-like Amphiphiles, *Journal of Oleo Science*, 査読有, 60, 2011, 549-555,
doi:10.5650/jos.60.549

K. Aburai, N. Yagi, Y. Yokoyama, H. Okuno, K. Sakai, H. Sakai, K. Sakamoto, M. Abe, Preparation of Liposomes Modified with Lipopeptides using a Supercritical Carbon Dioxide, *Journal of Oleo Science*, 査読有, 60, 2011, 209-215.
doi:10.5650/jos.60.209

K. Aburai, S. Yoshino, K. Sakai, H. Sakai, M. Abe, N. Loiseau, W. Holleran, Y. Uchida, K. Sakamoto, Physicochemical Analysis of Liposome Membranes Consisting of Model Lipids in the Stratum Corneum, *Journal of Oleo Science*, 査読有, 60, 2011, 197-202.

〔学会発表〕(計8件)
招待講演・依頼講演

H. Sakai, S. Aikawa, K. Fukuda, R. Shrestha, T. Endo, K. Sakai, M. Abe, Development of Properties of Novel Photo-Cleavable Surfactants, *2013 AIChE Annual Meeting*, San Francisco, USA, Nov. 4th, 2013.

酒井健一, 実用化をめざしたジェミニ型界面活性剤の開発, 第60回日本油化学会界面科学部会秋季セミナー, 神奈川, 2013.

酒井健一・山本政嗣・清水克也・酒井秀樹・阿部正彦, ペプチド系ジェミニ型両親媒性物質の開発およびその応用, 日本油化学会第52回年会(界面科学部会シンポジウム), 宮城, 2013.

酒井健一, 両親媒性化合物が形成する分子吸着層の光応答性評価と機能性コーティング材料への展開, 第13回油脂優秀論文賞受賞講演会(日本油化学会第52回年会), 宮城, 2013.

酒井秀樹, 刺激応答性界面活性剤を用いた界面物性の制御, 高分子学会関東支部若手セミナー, 千葉, 2013年3月8日.

Hideki Sakai, Photo-Switchable Surfactant Solutions, ACS Colloids and Surfaces 2012 Symposium, Baltimore, USA, June 12, 2012.

酒井秀樹, 界面活性剤集合体を鋳型としたナノ機能性材料の創製, 色材協会界面活性剤セミナー, 東京, 2012年6月19日.

Hideki Sakai, Kenichi Sakai, Masahiko Abe, Development of Novel Photo-Switchable Surfactant, World Congress on Oleo Science & 29th ISF Congress, Sasebo, October 1-4, 2012.

〔その他〕
研究室ホームページ
<http://www.rs.noda.sut.ac.jp/~abemasa/indexj1.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 秀樹 (SAKAI, Hideki)
東京理科大学理工学部・教授
研究者番号: 80277285

(2) 研究分担者

坂本 一民 (SAKAMOTO, Kazutami)
千葉科学大学薬学部・教授
研究者番号: 70537183

(3) 研究分担者

酒井 健一 (SAKAI, Kenichi)
東京理科大学総合研究機構・講師
研究者番号: 20453813