

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23550148

研究課題名(和文) 単分子吸着膜と鎖状分子により形成される界面不動層の赤外反射分光法による特性解析

研究課題名(英文) Characterization of immobilized layer formed with adsorbed monolayer and linear molecules through infrared reflection spectroscopy

研究代表者

久田 研次 (Hisada, Kenji)

福井大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60283165

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：直鎖膜分子の単分子膜で被覆したガラス基板でサンドウィッチセルに4-シアノ-4'-n-ペンチル-ビフェニル(5CB)を注入し、偏光顕微鏡で観察すると、水面上単分子膜と類似のテクスチャーを観察した。膜分子のアルキル炭素数が18以下のときには、鎖密度を5.0 chain/nm²まで高くしても5CBが誘導配向され、炭素数が20のときには、部分的に誘導配向していないことを明らかにした。以上の結果から、吸着膜の間にバルク相のアルキル鎖が相互作用することなしに配向制御が行われている。また、この誘導配向が生じる際には、5CBの液晶温度において液晶相と接触するアルキル鎖の運動性が重要であることを示した。

研究成果の概要(英文)：Sandwich cell was prepared with a glass substrate which coated with monolayer having linear alkyl tail. When 4-cyano-4'-n-pentyl-biphenyl (5CB) was penetrated into this cell, LC phase was observed by polarized microscope. The observed texture was similar to those for the monolayer on the surface of the water. When the length of alkyl tail was 16 or 18, the induced orientation of 5CB was observed even if the chain density was 5.0 chain/nm². On the other hand, it was revealed that the induced orientation was restricted when the number of carbon was 20. Orientation control does not motivated through interdigitation of LC tail and the alkyl chain of the adsorption films. In addition, I showed that the fluidity (mobility) of the alkyl chain which came in contact with a liquid crystalline aspect in liquid crystalline temperature (22.5-35 degrees Celsius) of 5CB was important when this instruction orientation occurred.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：潤滑 界面不動層 アルキル鎖間相互作用 チェーン・マッチング効果 光学増幅 水晶振動子微量天秤 アドミッタンス解析法 ATR-FTIR分光法

1. 研究開始当初の背景

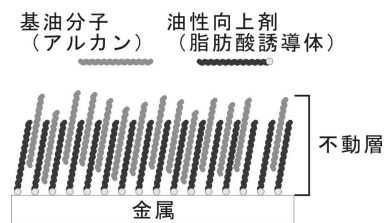
申請者は、固体基板に累積した脂肪酸やポリアクリル酸アルキルの単分子膜について、ぬれ特性や水平力顕微鏡 (LFM) による微視的摩擦特性と膜構造の関係について研究してきた (*Trans. MRS-Japan*, **33**, 119-122 (2008); *高分子論文集*, **65**, 263-268 (2008); *Colloids Surfaces A: Phys. Eng. Asp.*, **198-200**, 21-30 (2002); *Langmuir*, **16**, 24, 9390-9395 (2000); *高分子加工*, **53**, 37-41 (2004)). 膜厚約 2 nm の有機超薄膜で被覆したガラスやシリコン基板の摩擦係数は、単分子膜を構成する直鎖状分子の鎖長・分子鎖密度・分子鎖の種類・プローブの移動速度などに依存することを示した。また、この単分子膜について反射吸収赤外スペクトルを測定し、アルキル鎖の CH 逆対称伸縮振動ピークの線幅が狭くなるにつれて摩擦係数が低下することも明らかにした。つまり、膜厚 2 nm の単分子膜であっても、その表面を物体が移動した際の誘導変形に必要なエネルギーが、摩擦力や摩擦係数に顕著に影響することを示唆している。これらの結果は、無機固体表面に形成した単分子膜の特性が、表面物性に影響した例である。これに対して本研究では、長鎖アルキル鎖を有する有機分子の単分子吸着膜が流動相と接触した際に、流動相中の鎖状分子が単分子膜と相互作用することによって形成される不動層の構造と界面特性の関係について明らかにすることを計画した。

不動層が界面物性に影響を及ぼす例として、油性向上剤と液晶相による光学増幅がある。脂肪酸やその誘導体 (エステルや金属塩) が油性向上剤として潤滑油に混合されている。移動する 2 物体間が接近し、その間に形成される潤滑層が分子レベルにまで薄くなった状態での潤滑を境界潤滑と呼ぶ。この条件において、油性向上剤と潤滑油分子により形成される不動層が摩擦係数の低減に影響するとされている。例えば、基油と添加剤の鎖長が一致するとき最大の潤滑特性が得られるというチェーン・マッチング効果はこの推測を高く支持するものである (*トライボロジスト*, **50**, 327-337 (2005)). また、ネマチック液晶を形成する 4-シアノ-4'-n-ペンチルピフェニル (5CB) を単分子膜で被覆したガラス基板と接触させると、単分子膜中のアルキル鎖の配向異方性によって 5CB の配向が制御される (*Langmuir*, **15**, 297-299 (1999)). これらの報告に共通する点は、固体表面に吸着した長鎖アルキル鎖と鎖状分子を含む流動相が接するとき、アルキル鎖間の相互作用により不動層が形成され、巨視的な物性にまで影響するという点にある。本研究では、固体表面に吸着している脂肪酸単分子膜と流動相中のアルキル鎖を含む分子が相互作用して形成される新たな不動層を分光学的にとらえることを第一の目的とする。

固液界面に形成される単分子膜の構造変化を定量化するために、本研究では多重反射

(ATR) 赤外分光法を利用する。反射スペクトルにおいて、波長 λ の入射光が角度 θ で入射した際の浸み込み深さは、 $\lambda/[2\pi n_1 \{\sin^2\theta - (n_1/n_2)^2\}^{1/2}]$ で定義される (ここで n_1, n_2 は入射側および反射面を構成する物体の屈折率)。分光測定に使用される赤外線の波長が 2.5 - 25 μm ということを考慮すると、界面から法線方向に数 μm 以上の範囲の情報が反射スペクトルには含まれている。ただし、一定条件で測定された複数のスペクトルについて因子解析を行うと、赤外反射吸収スペクトルにおいても、界面近傍 1-2 nm の範囲に形成された構造体の検出や定量が可能であることが示されている。例えば、水溶液中から水表面へ界面活性剤が吸着して形成される単分子膜の赤外反射スペクトルの面積吸光度は、動的な表面張力測定から見積もった界面活性剤の表面過剰吸着量を定量的に再現している (R. A. Campbell, P. A. Ash, C. D. Bain, *Langmuir*, **23**, 3242-3253 (2007)). 申請者は、2010 年 1 月から 5 月まで福井大学のサバティカル研修制度を活用し、上の実験を行った C. D. Bain 教授の研究室に滞在した。この研修期間内に、水表面に吸着された界面活性剤の赤外反射スペクトル測定と因子解析を経験した。その際、この手法を界面における不動層の特性解析に適用するという本研究の着想に至った。

(a) チェーン・マッチング効果



(b) 光学増幅効果

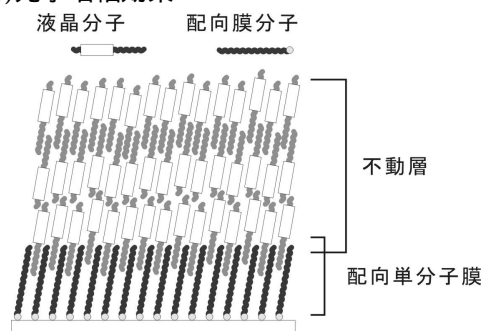


図 1. 単分子吸着膜と鎖状分子が形成する界面不動層。

2. 研究の目的

本研究では、固体表面に吸着した両親媒性物質の単分子吸着膜が鎖状分子を含む流動相と接触した際に形成されるという不動層を分光学的に解析する手法の開発と特性解析を行う。上に挙げた気水界面への界面活性剤の吸着と比較して、流動相に存在する鎖状分子濃度が高い状況において、固液界面にお

ける不動層を解析する点が、本研究の新規で挑戦的な点である。この場合、流動相中に存在する鎖状分子による反射スペクトルへの寄与が高いため、既報の実験系よりも解析が困難になる。そのため、初年度は流動相中の鎖状分子濃度が低いところからはじめて、スペクトルの解析方法をまず検討する。その後、脂肪酸塩の単分子吸着膜と長鎖アルカン流動相が形成する不動層の特徴（組成・運動性・コンホメーション）を分光学的に明らかにする。また、分光測定を行ったのと同じ単分子吸着膜と長鎖アルカンの組み合わせにおいて摩擦力を測定し、不動層の特徴と摩擦特性の関係を明らかにする。

また、流動相をアルカンからネマチック液晶相に代えて、上と同様に ATR 赤外スペクトルを解析して、界面不動層が形成されるかを検証する。もし界面不動層が上と同様に形成されるのであれば、この層の分光学的特徴とネマチック相の光学増幅の関係を議論する。

これら二つの試みを通じて、固体表面の単分子吸着膜と流動相中の鎖状分子が形成する不動層によって、巨視的な界面物性が変化するかを明らかにする。

3. 研究の方法

平成 23 年度

(1) 長鎖アルカン溶液と接触した単分子膜の ATR 赤外スペクトル測定

申請者は、固体基板表面（固気界面）に作製した単分子膜の赤外反射吸収スペクトルにより、単分子膜中のアルキル鎖の運動性が摩擦特性に影響していることを見出してきた。本研究では、研究対象を固体基板と流動相の固液界面に形成される不動層に代え、境界潤滑において潤滑特性において重要なこの不動層の特性を分光学的に明らかにする。

境界潤滑における不動層は、固体基板に吸着した脂肪酸誘導体等の単分子膜と基油分子である長鎖アルカンが形成するとされている。そこで、これまでから申請者が用いているラングミュア・プロジェクト (LB) 法により、油脂肪酸誘導体の単分子膜を ATR プリズム上に累積する。これと接触させる流動層中のアルカン濃度が高い場合には、ATR 赤外スペクトルに対する流動層の寄与が高く、本来議論すべき界面不動層の解析が困難になる可能性がある。そこで、まずアルカンをクロロホルムやトルエンといった脂肪族 CH 含有率の低い溶媒で希釈した溶液を用い下に記す解析手順を確立する。

(2) ATR 赤外スペクトルの解析手順の確立

申請者は、福井大学のサバティカル研修制度を活用し、外部反射 (ER) 赤外スペクトルの因子分析により水溶液中から界面活性剤と高分子電解質が水表面に吸着する動的過程を明らかにした。この解析手順を (1) で測定した ATR 赤外スペクトルに適用する。ER 赤外スペクトルとの違いとして検討すべ

き項目には以下のものがある。

流動層からの大きな寄与の適切な評価 長鎖アルカンが単分子膜中に貫入することによるスペクトルの形状変化

不動層の形成によりアルキル鎖のコンホメーション分布が変わる場合には、スペクトル形状が大きく変化するためターゲット因子解析が困難になることも考えられる。この場合には、因子解析の手法を展開因子解析へと変更し対応する予定である。

(3) 長鎖アルカン相と接触した単分子膜の ATR 赤外スペクトル測定

(1) および (2) で確立した ATR 赤外スペクトルの測定方法及び解析手順により、チェーン・マッチング効果がみられる脂肪酸単分子膜とアルカンの組み合わせについて、両相が接触したときに形成される不動層の特徴を分光学的に明らかにする。不動層形成に及ぼす実験因子として以下の項目を検討する。

単分子膜の鎖長 単分子膜中の分子鎖密度 アルカンの鎖長

平成 24 年度以降

(4) 長鎖アルカンと接触した単分子膜の摩擦力測定

申請者は、これまで空気中での単分子膜の摩擦力測定を行い、膜分子の構造や運動性の影響について議論してきた。ここでは、前年度に ATR 赤外分光測定を行った長鎖アルカンの流動相と接触した界面における摩擦力を測定する。先に分光測定の結果と比較し、不動層の形成と摩擦挙動の関係について議論する。摩擦力測定には以下の 2 法を用いる。

分子論的な議論をするために水平力顕微鏡 (LFM) による微視的摩擦力測定
工業的な駆動機械に近い条件で測定可能な表面性試験機による巨視的摩擦力測定

(5) 単分子膜と接触したネマチック液晶相の光学増幅と ATR 赤外スペクトル測定

申請者がこれまでに取り扱ってきた膜物質の中で、1-モノアルカノイル-*rac*-グリセロール (MAG) は、アルキル鎖の配向異方性によって規則正しいドメイン内部構造を形成するものの一つである (Langmuir, 16, 24, 9390-9395 (2000))。さらに MAG 膜をネマチック液晶相と接触させると、ドメインの内部構造を反映した液晶分子の配向パターンが得られる。この際にも、境界潤滑の場合と同様に MAG 膜のアルキル鎖と液晶分子のテイル部分が界面で相互作用して界面不動層を形成している可能性が高い。そこで、この系についても、上と同様に ATR 赤外スペクトルを因子解析することで、MAG 膜の配向情報が液晶分子に伝達される際に形成される構造体を分光学的に解析する。

アルキル鎖長の影響

室温以上でネマチック液晶を形成する 4-シアノ-4'-*n*-アルキル-ピフェニル (*m*CB) の中で、室温付近でネマチック相を形成するアルキル炭素数 *m* が 3 から 9 までのものを用い、境界摩擦の不動層と同様にチェーン・マッチング効果があるかを明らかにする。

光学増幅効果の評価

MAG 膜を配向膜とした液晶セルについて、焦点位置を移動させた偏光顕微鏡観察から、単分子膜の配向情報が液晶相に伝搬している距離を評価する。この結果と分光測定の結果を比較し、界面における構造体が液晶の光学増幅に与える影響を定量的に評価する。以上のように、A) 脂肪酸単分子膜と長鎖アルカン流動相および、B) MAG 単分子膜とネマチック液晶相という二つの実験系に対して、界面で形成される不動層の ATR 赤外分光法による解析と巨視的な特性（摩擦力あるいは光学増幅）の関係について議論する。分光学的測定の部分では類似の実験操作で対応可能であるため、両者を平行して実施することは本研究の申請期限内に十分可能である。また、異なる系を検討することで、界面不動層の形成および物性発現に対してより普遍的な知見が得られる。

4. 研究成果

1) 長鎖アルカン相と接触した単分子膜の ATR 赤外スペクトル測定

極性末端（カルボキシル基、アミノ基および水酸基）を有する *n*-アルカンを添加したヘキサデカンならびにテトラデカンの全反射赤外分光 (ATR-FTIR) 法により得られたスペクトルを解析した。バルク層である流動層からの大きな寄与を統計的に除去する必要があり、ターゲット因子解析による界面情報の抽出を試みたが再現性が低く、測定系を変更することにした。

2) 単分子膜と接触したネマチック液晶相の光学増幅

吸着単分子膜によるネマチック液晶相の誘導配向を利用した界面不動層の解析を並行して実施した。1-モノアルカノイル-*rac*-グリセロール (MAG) ならびにヘキサデカン酸の単分子累積したガラス基板と清浄なガラス基板でサンドウィッチセルを作製した。クロスニコルにした偏光顕微鏡でこの液晶セルを観察すると、累積膜の調製条件によって水面上単分子膜と類似のテクスチャーを観察できるセル作製条件を抽出した。

水面上単分子膜の段階で、アルキル鎖の平均密度を 0.143 から $0.214 \text{ nm}^2/\text{chain}$ の範囲で変えて累積した。この時、親水基のサイズによらず、累積時の平均分子鎖密度が $0.21 \text{ nm}^2/\text{chain}$ 以下であるとき、4-シアノ-4'-*n*-ペンチル-ピフェニル (5CB) の誘導配向が観察された。アルキル鎖の断面積を考慮すると、 $0.21 \text{ nm}^2/\text{chain}$ という鎖密度では、最近接分子鎖間には、他の分子鎖が貫入で

きるような自由体積はない。そのため、鎖末端の数炭素原子が相互作用した結果として、バルク層内の界面近傍に存在する分子の配向状態を制御していると結論した。潤滑油における鎖状分子の添加効果は鎖長を認識するような相互作用が想定されていたが、それよりも局所的な相互作用が分子あるいはその層構造を制御しているということを示した。

3) 単分子膜と接触したネマチック液晶相の光学増幅

前年度の研究成果を受けて、界面不動層形成における吸着単分子膜によるバルク相中のアルキル鎖の配向制御について、偏光顕微鏡により観察されるネマチック液晶相の誘導配向から議論した。ネマチック液晶としては 4-シアノ-4'-ペンチルピフェニル (5CB) を使用した。ヘキサデカン酸 (C16A)、オクタデカン酸 (C18A) あるいはイコサン酸 (C20A) で調製した単分子膜による配向制御が、膜分子の鎖長、アルキル鎖の面密度によって影響を受けるか比較検討した。その結果、C16A と C18A では、鎖密度を $5.07 \text{ chain}/\text{nm}^2$ (占有面積: $0.197 \text{ nm}^2/\text{chain}$) まで高くしても 5CB の誘導配向が観察された。一方、C20A の単分子膜では、先と同じ鎖密度であっても部分的にシュリーレン・テクスチャー様の顕微鏡像を示し、誘導配向していないことが明らかとなった。以上の結果をまとめると、 $2.5 \text{ chain}/\text{nm}^2$ を超える高い鎖密度において誘導配向が観察されたことから、このときのアルキル鎖が相互作用することなしに配向制御が行われている。同じ鎖密度のときに長鎖のもので誘導配向が生じなかったことから、吸着分子の流動性によって再配向することが必要であると考えた。

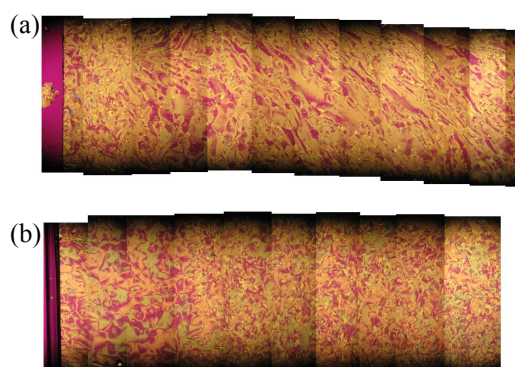


図 2. 液晶サンドウィッチセルの偏光顕微鏡像。倍率×40。図の左上から累積開始。窓材：(a) C16A 被覆ガラスと(b)C20A 被覆ガラス。

また、本研究の直接の目的とは離れるが、本手法において固体最表面に存在するアルキル鎖の配向秩序を $8 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$ に渡る広い面積にわたって可視化できたことは興味深い。

4) 水晶振動子微量天秤アドミッタンス解析法(QCM-A)を用いた吸着膜を介したアルカン相へのエネルギー散逸の評価

運動している固体と流体中を評価するために、水晶振動子微量天秤アドミッタンス解析法(QCM-A)の利用を検討した。水晶を振動させる方法は、従来のQCM装置でよく使われる発振法以外に、ネットワークアナライザやインピーダンスアナライザなどを用いて水晶に外部から周波数を印加する方法がある。この場合、印加周波数を掃引することが可能で、周波数応答を観測することで水晶ならびに接触する流体の特性を得ることができる。水中に水晶を浸漬して測定したコンダクタンス(アドミッタンスの実数部)の周波数特性から振動エネルギーの損失を表すパラメータ D が得られるという報告をもとに、単分子膜で被覆した水晶振動子からアルカン相へのエネルギー損失量を評価した。

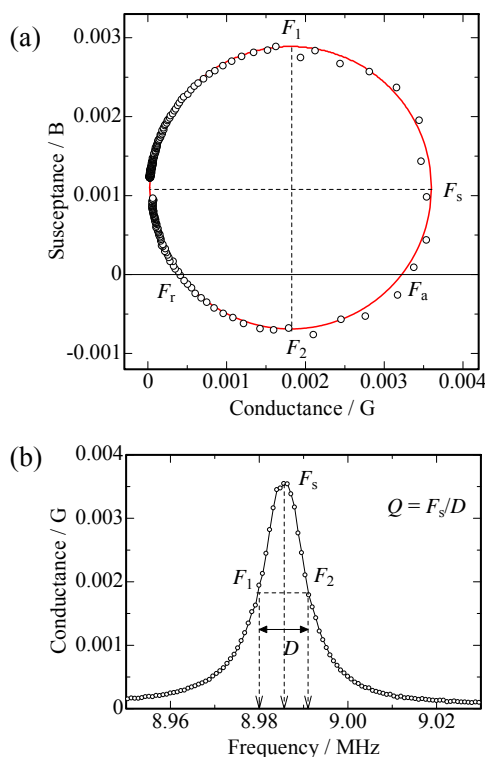


図3 (a)アドミッタンス円線図の概略図および(b)共振周波数に対するコンダクタンス

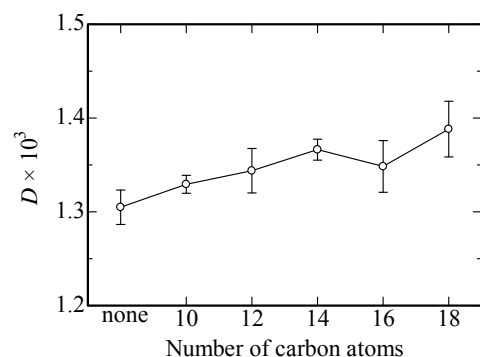


図4 シリカスパッタした水晶振動子からアルキルアミンを添加したヘキサデカンへの

エネルギー散逸パラメータ (D)。

電極上にシリカスパッタした水晶振動子を、種々のアルキルアミン(炭素数:10-18)を1000 ppm添加したヘキサデカンに浸漬し、アドミッタンス解析を行った。現状では実験誤差がまだまだ大きい状態ではあるものの、アルキルアミンの添加、およびアルキルアミンが長鎖になるにつれてエネルギー損失量が増大する傾向を観測した。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

1. "Dynamical Excimer Formation in Rigid Carbazolophane via Charge Transfer State", Y. Tamai, H. Ohkita, J. Shimada, H. Benten, S. Ito, S. Yamanaka, K. Hisada, K. Tani, K. Kubono, T. Shinmyozu, *J. Phys. Chem. A*, **117**(33), 7776-7785 (2013). DOI: 10.1021/jp402126a.
2. "Five-state Molecular Switching of a [3]Rotaxane in Response to Weak and Strong Acid and Base Stimuli", Y. Tokunaga, S. Ikezaki, M. Kimura, K. Hisada, T. Kawasaki, *Chem. Commun.*, **49**(100), 11749-11751 (2013). DOI: 10.1039/c3cc47343k.
3. "Two-step radical grafting onto polypropylene fiber initiated by active species prepared through the irradiation of electron beam", K. Hisada, M. Matsuoka, I. Tabata, K. Hirogaki, T. Hori, *J. Photopolym. Sci. Tech.*, **26**(2), 277-282 (2013). DOI: 10.2494/photopolymer.26.277.
4. "Improvement of Dyeability of Para-Aramid Fibers Using Electron-Beam-Induced Graft Polymerization", K. Hirogaki, N. Kitagawa, T. Fujita, I. Tabata, K. Hisada, T. Hori, *Sen'i Gakkaishi*, **68**(8), 211-217 (2012).
5. "Improving Adhesion between Fiber and Coating Material", H. Cho, I. Tabata, K. Hisada, K. Hirogaki, T. Hori, *Sen'i Gakkaishi*, **68**(4), 79-87 (2012).
6. "Effect of high pressure carbon dioxide fluids on the birefringence of polymer optical fiber", C. Zhao, J. He, J. Xing, K. Hisada, T. Hori, *Appl. Mechanics and Materials*, **148-149**, 1299-1302 (2011). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.148-149.1299.
7. "Supercritical Fluid-Assisted Electroless Metal Plating onto Aramid Films: The Influence of Thermal Treatment", M. Belmas, I. Tabata, K. Hisada, T. Hori, *J. Appl. Polym. Sci.*, **119**(4), 2283-2291 (2011). DOI: 10.1002/app.32970
8. "The effectiveness of thermal treatment for development of conductive metalized aramid fiber using supercritical fluid carbon dioxide - Fiber-metal adhesive strength improvement -", N. Martinez, K. Hisada, I. Tabata, K. Hirogaki, S. Yonezawa, T. Hori, *J. Supercritical Fluids*, **56**(3), 322-329 (2011). DOI: 10.1016/j.supflu.2010.10.011.

〔学会発表〕(計20件)

1. “カチオン性高分子電解質とアニオン性界面活性剤が形成する 界面不動層の潤滑特性”, 久田研次, 山本泰士, 山下智弘, 平野義明, 第23回日本MRS年次大会, 横浜市, L-O9-007 (2013.12.9-11).
2. “脂肪酸単分子膜とネマチック液晶のアルキル鎖間相互作用に基づく誘導配向”, 寺井基洋, 久田研次, 平成25年度北陸地区高分子若手研究会, 長岡市, (2013.11.15).
3. “ポリエチレンイミンとヘキサデシル硫酸ナトリウムが形成するポリイオンコンプレックス膜の潤滑特性 — 高分子電解質の分子量効果 —”, 後藤真輝, L. Kaouache, 山本泰士, 平野義明, 久田研次, 2013年支部合同新潟地方大会(第62回高分子学会北陸支部研究発表会), 長岡市, C24 (2013.11.16-17).
4. “カチオン性高分子電解質とアニオン性界面活性剤が形成する界面不動層の潤滑特性 IV - 高分子電解質の分子量効果 -”, 後藤真輝, Kauache Lejla Benedikte, 山本泰士, 平野義明, 久田研次, 第62回高分子討論会, 金沢市, 2Pc049 (2013.9.11-13).
5. “カチオン性高分子電解質とアニオン性界面活性剤が形成する界面不動層の潤滑特性 (3) - 界面活性剤および高分子電解質の効果 -”, カワシュ レイラ, 後藤真輝, 平野義明, 久田研次, 第62回高分子討論会, 金沢市, 2I01 (2013.9.11-13).
6. “カチオン性高分子電解質とアニオン性界面活性剤が形成する界面不動層の潤滑特性 II — 界面活性剤の分岐構造の影響 —”, 久田研次, 後藤真樹, Lejla Benedikte, 第62回高分子学会年次大会, 京都市, 3Pd060 (2013.5.29-31).
7. “水晶振動子微量天秤を用いた界面不動層形成過程の解析”, 久田研次, 岸本洋平, 寺井基洋, 宮城宏臣, 第62回高分子学会年次大会, 京都市, 3Pc059 (2013.5.29-31).
8. “水晶振動子微量天秤を用いた界面不動層形成過程の解析”, 久田研次, 岸本洋平, 宮城宏臣, 日本化学会第93春季年会, 草津市, 2PC-166 (2013.3.22-25).
9. “ポリイオンコンプレックス単分子膜と *n*-アルカンの鎖長混和性が境界潤滑に及ぼす影響”, 久田研次, 山本泰士, 山下智弘, 堀 照夫, 第61回高分子討論会, 名古屋市, 2O10 (2012.19-21).
10. “ポリジメチルジアルキルアンモニウムクロリド/アニオン性界面活性剤単分子膜の *n*-アルカン中における潤滑性”, 久田研次, 山本泰士, 堀 照夫, 平成24年度繊維学会年次大会, 東京都江戸川区, 2C11 (2012.6.6-8).
11. “カチオン性高分子電解質/アニオン性界面活性剤単分子膜と *n*-アルカンが形成する界面不動層における鎖長混和性が潤滑に及ぼす影響”, 久田研次, 山本泰士, 山下智弘, 堀 照夫, 第61回高分子学会年次大会, 横浜市, 3Pa041 (2012.5.29-31).

12. “Durability of polyion-complex monolayers prepared from poly(dimethyl diallyl ammonium chloride) and anionic surfactants”, K. Hisada, T. Yamamoto, T. Yamashita, T. Hori, International Association of Colloid and Interface Scientists, Conference (IACIS 2012), Sendai, S4D54 (2012.5.13-18).
13. “カチオン性高分子電解質と脂肪酸が形成する界面不動層の耐摩耗性”, 久田研次, 堀 照夫, 日本学術振興会 繊維・高分子機能加工第120委員会第140回合同分科会, 藤沢市 (2012.1.27-28).
14. “カチオン性高分子電解質と脂肪酸が形成する界面不動層の耐摩耗性”, 山本泰士, 山下智弘, 久田研次, 堀 照夫, 第60回高分子学会北陸支部研究発表会, 野々市市, C-7 (2011.11.19-20).
15. “反対電荷を有する高分子電解質/界面活性剤混合物の気水界面への動的吸着挙動 - ポリスチレンスルホン酸ナトリウム/臭化ドデシルトリメチルアンモニウム系の外部反射赤外分光法による解析”, 久田研次, A. Angus-Smyth, P. A. Ash, C. D. Bain, 第60回高分子討論会, 岡山市, 2H10 (2011.9.28-30).
16. “ポリ(4-スチレンスルホン酸ナトリウム)膜の耐摩耗性に及ぼす陰イオンおよび非イオン界面活性剤の影響”, 井上達也, 山本泰士, 久田研次, 堀 照夫, 第60回高分子討論会, 岡山市, 1Pc059 (2011.9.28-30).
17. “Dynamic Adsorption of Oppositely Charged Polyelectrolyte/Surfactant Mixture at the Air-Water Interfac: External Reflection FTIR Spectroscopy from Poly(sodium 4-styrenesulfonate) / Dodecyl Trimethylammonium Bromide”, K. Hisada, A. Angus-Smyth, P. A. Ash, C. D. Bain, Sixth International Conference on Advanced Vibrational Spectroscopy (ICAVS-6), Rohnert Park, California (USA), P012 (2011.6.12-17).
18. “単分子累積膜中のアルキル鎖の運動性と摩擦・凝着特性の相関”, 久田研次, 山下智弘, 堀 照夫, 平成23年度繊維学会年次大会, 東京都江戸川区, 2C16 (2011.6.8-10).
19. “単分子吸着膜中のアルキル鎖の運動性が摩擦および凝着に及ぼす影響”, 久田研次, 山下智弘, 堀 照夫, 第60回高分子学会年次大会, 大阪市, 2C26 (2011.5.25-27).
20. “ポリジメチルジアルキルアンモニウムクロリドと直鎖アルキルスルホン酸塩から成るポリイオンコンプレックス単分子膜のトライボロジー”, 山本泰士, 山下智弘, 久田研次, 堀 照夫, 第60回高分子学会年次大会, 大阪市, 1Ph056 (2011.5.25-27).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久田研次 (HISADA, Kenji)
福井大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 60283165