

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月18日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22710093

研究課題名（和文） 固-液界面の液体吸着構造制御による新規ナノ潤滑機構の研究

研究課題名（英文） New lubrication mechanism based on the structuring of liquid adsorbed at the solid-liquid interface

研究代表者

水上 雅史 (MIZUKAMI MASASHI)

東北大学・多元物質科学研究所・講師

研究者番号：60333902

研究成果の概要（和文）：我々はこれまでに、非極性溶媒中のシリカ表面に吸着したアルコールなどの水素結合性液体分子が、表面から水素結合によりつながった厚さ数 10 nm におよぶ規則構造を形成することを見いだしている（界面分子マクロクラスター）。また、界面分子マクロクラスターが形成された表面間には、5 nm以下の近距離で、液体構造に起因する強い斥力が働くことを明らかにしてきた。この現象は、低分子・低粘度の液体の吸着層でありながら高負荷下でも安定に存在し、固体表面の直接接触を避けるという潤滑層に求められる特性を実現している。本研究では、吸着分子種により界面分子マクロクラスターの構造・厚みを制御し、その力学特性との相関を解明し、この知見に基づき、液体ナノ薄膜による高潤滑とその分子論的な制御を実現する新しい方法論の確立を目的として、測定用のセルの設計・製作を行い、これを用いてエタノール-シクロヘキサン、エチレングリコール-シクロヘキサン、水-シクロヘキサン2成分液体を用いたシリカ表面間の潤滑特性の評価を行った。

研究成果の概要（英文）：We have revealed that alcohols and carboxylic acids, which have hydrogen-bonding groups, adsorbed on a silica surface in a nonpolar liquid, cyclohexane, forming ordered structures extending from ten to several tens of nanometers through hydrogen bonding between the surface silanol groups and alcohols (or carboxylic acids) as well as between alcohols (or carboxylic acids), which we call surface molecular macroclusters. We also found that the strong repulsive force appeared at the surface separation below ca. 5 nm when the molecular macrocluster layers were formed. This phenomenon realizes the high resistance to the normal load with low viscosity liquids, which are required for the lubricants. In this study, we aimed to regulate the structure and properties of molecular macrocluster layers based on the kind of adsorbing molecule, and to establish the new lubrication mechanism based on the structuring of liquid adsorbed at the solid-liquid interface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノマイクロ科学・ナノ構造科学

キーワード：トライボロジー、表面・界面物性、固-液界面、吸着、潤滑

1. 研究開始当初の背景

近年の微細加工技術の進歩により、マイクロ・

ナノマシンなど様々な微小機械が作製され、より薄い安定な潤滑層に対する要求が増している。

これらのナノ領域での潤滑では、固体表面同士
の接触・摩擦を防ぐだけの安定な潤滑層、高潤
滑特性、潤滑層の破断に対する迅速な再生、と
いう機能の実現が重要な課題といえる。この課
題の解決には、界面およびナノ空間における液
体の構造・特性の分子レベルの理解、それに基
づく潤滑システムの設計が必要不可欠となって
きている。研究代表らは、非極性溶媒中のシリ
カ表面に吸着したアルコールなどの水素結合性
液体分子が、表面から水素結合によりつなが
った厚さ数 10 nm におよぶ規則構造を形成す
ることを見いだしていた（界面分子マクロクラ
スター）。また、界面分子マクロクラスターが
形成された表面間には、5 nm 以下の近距離
で、液体構造に起因する強い斥力が働くこと
を明らかにしてきた。この現象は、低分子・低
粘度の液体の吸着でありながら高負荷下でも
安定に存在し、固体表面の直接接触を避ける
機能を実現したものである。そこで、本研究
では、吸着分子種により分子マクロクラスタ
ーの構造・厚みを制御し、その力学特性との
相関を解明し、この知見に基づき、液体ナ
ノ薄膜による高潤滑とその分子論的な制御を
実現する新しい方法論の確立を目指して研究
を行った。

2. 研究の目的

本研究では、吸着分子種により界面分子マ
クロクラスターの構造・厚みを制御し、その力
学特性との相関を解明し、この知見に基づき
、液体ナノ薄膜による高潤滑とその分子論
的な制御を実現する新しい方法論の確立を目
的とした。具体的には、これまでに見いだ
してきた界面分子マクロクラスターについて
、距離を連続的に制御しながら液体ナノ薄
膜の摩擦・潤滑特性を調べることができる
ナノ共振ずり測定法による評価を行った。ま
た、より水素結合性が強く安定な界面分子
マクロクラスターの形成が期待できる水に
ついて、和周波発生振動分光法を組み合わせ
ることで、構造と特性の解明を行った

3. 研究の方法

(1) 液浸型共振ずり測定装置の製作

界面分子マクロクラスター形成は、典型的
にはシクロヘキサン中のシリカ表面に吸着
したアルコールなどの水素結合性分子にお
いて観測されている。また、これらが形成
される濃度、およびその特性は吸着分子の
濃度に依存する。従って、測定中の濃度を
一定に制御する必要がある。そこで、共
振ずり測定ユニットを液体中に浸漬し、表
面を密閉容器中に完全に浸した状態の測
定を可能とするように、共振ずり測定ユニ
ットとチャンバーの改良を行った。

(2) 界面分子マクロクラスターの潤滑特性評価

これまでにアルコール以外にも、カルボン
酸、エチレングリコール、アミド、水の界
面分子マクロクラスターを見だし、厚さ・
構造の評価を行っている。また、これらの
クラスター形成に伴って

表面間に働く力の距離依存性を測定し、ク
ラスター吸着層の接触による引力、およ
び約 5 nm 以下の近距離で構造斥力が
働くことを明らかにしてきた。これらの結
果をふまえて、(1) で製作する液浸型
共振ずり測定装置を用い、これらの界面
分子マクロクラスターによる潤滑特性、
構造の評価を行った。

(3) 水-シクロヘキサン 2 成分液体中のシリカ表面への水マクロクラスター形成

アルコール、カルボン酸よりさらに水
素結合性が強く、より安定な吸着層形
成が期待される水についても、和周波
発生振動分光法を組み合わせることで
その構造と特性の評価を行った。

4. 研究成果

(1) 液浸型共振ずり測定装置の製作

液浸型共振ずりユニットの動作テスト・改
良、および内容積が小さく、密閉状態で
溶液を交換可能なポートをもつチャンバ
ーの設計と作製を行った。共振ずり測
定ユニットには、液体中に浸すと支障
が生じる部品として、(a) 表面の振
動振幅と位相を測定するための静電容量
型非接触微小変位計、(b) 表面を水平
方向に駆動するためのチューブ形状の
ピエゾ、(c) ピエゾチューブへの電
圧印加のための配線が含まれる。これ
らの部品と液体の接触を避けるために
、以下の改良を行う。(a) の静電容量
変位計に替えて、縦バネに被覆された
ひずみゲージを貼り付けて、変位を測
定した。(b)、(c) の部品については
、薄いブーツ構造のテフロン製部品を
製作し、ピエゾチューブと配線を包み
込み、液体との接触を防ぐ設計とした
。これらの改良により、液中での動作
が可能となった。また、テフロン被覆
によりピエゾ駆動が抑制されたことと
、ひずみゲージの感度が静電容量計よ
り低いために S/N が低下したが、ロッ
クインアンブによるノイズ除去により
十分な S/N を得た。

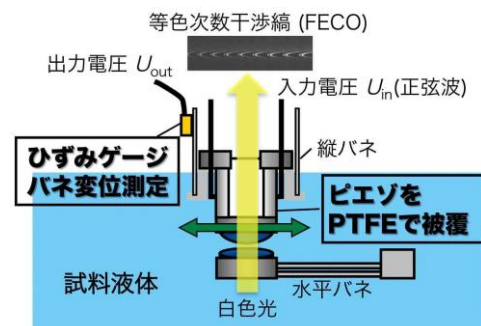


図 1 液浸型共振ずり測定ユニットの模式図

(2) 界面分子マクロクラスターの潤滑特性評価

液浸型共振ずりユニットの動作テスト・改
良、内容積が小さく密閉状態で溶液を交
換可能なポートをもつチャンバーを用い
て、エタノール-シクロヘキサン 2 成
分液体のシリカ表面間の表面力測定、
共振ずり測定を行った。24 年度は、エ
タノールより厚く、安定なクラスター構
造形成を観測

しているエチレングリコール-シクロヘキサン、および水-シクロヘキサン 2 成分液体中の表面力・共振ずり測定を行った。エチレングリコール、水のシリカ表面への吸着によると考えられる接着力は観測されたが、構造斥力による耐荷重性と高い潤滑性は今のところ観測されていない。さらに、表面調製および測定溶液条件の最適化を図り、本課題で整備した測定装置を活用して研究を進める。

(3) 水-シクロヘキサン 2 成分液体中のシリカ表面への水マクロクラスター形成

アルコール、カルボン酸よりさらに水素結合性が強く、より安定な吸着層形成が期待される水についても、和周波発生振動分光法を組み合わせることでその構造と特性の評価を行った。

水-シクロヘキサン 2 成分液体中のシリカ表面間で、水濃度 33 ± 9 ppm でシリカ表面に形成された水吸着層の接触・橋掛けによると考えられる引力が $D = 15 \pm 4$ nm より観測され、接着力は 81 ± 66 mN/m まで増大した。水濃度増大に伴い、引力距離、接着力とも増大し、飽和濃度 50 ± 8 (飽和) ppm で最大となった (97.3 ± 17.7 nm, 850 ± 264 mN/m)。接着力から見積もった水吸着層-バルク界面エネルギー (γ) は ($F_{ad} = 4\pi\gamma R$)、飽和濃度で 79 ± 2 mN/m、過飽和濃度では 52 ± 1 mN/m となった (相分離 水/シクロヘキサン界面の $\gamma_{\square} = 50.6$

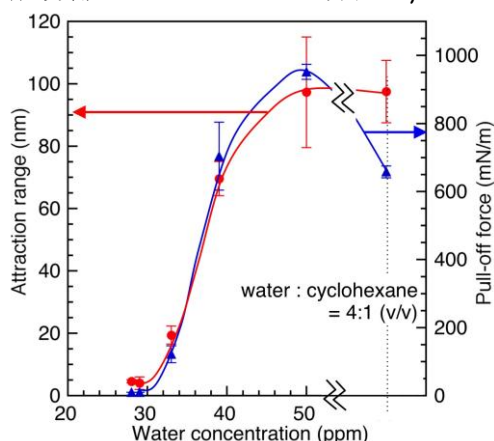


図2 水-シクロヘキサン 2 成分液体中のシリカ表面間で観測された引力距離と接着力の水濃度依存性。

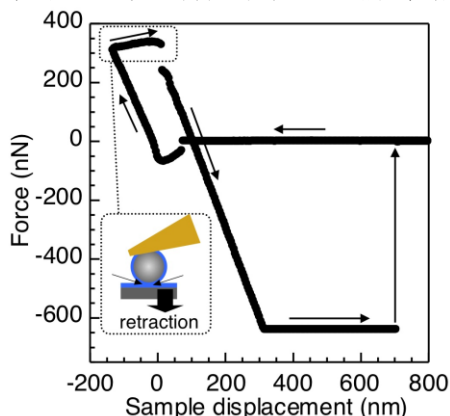


図2 水飽和濃度(a)、過飽和濃度(b)における水吸着層の構造模式図。

mN/m (文献値))。

これより、飽和濃度での吸着水はより高い配向性をもつと考えられる。SFG 振動分光スペクトルでは、水飽和濃度において、氷様構造で観測される OH 伸縮振動ピークが最も強く、また低波数にシフトして観測された。これは、水吸着層の構造規則性、安定性の向上を示している。また、水飽和濃度で測定された表面力曲線の引き離し過程において、従来のマクロクラスターと同様に斥力が観測されたことから、水吸着層の再形成が迅速に起こることが確認された。この結果より、水吸着層は低粘度で且つ高荷重耐性、迅速な再生という潤滑層に求められる機能を実現する上で有望と考えられる。

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 11 件)

1. S. Nakano, M. Mizukami, N. Ohta, N. Yagi, I. Hatta, K. Kurihara, "Structural Change in Smectic Liquid Crystal Nano-Film under Molecular-Scale Confinement Measured by Synchrotron X-ray Diffraction", *Jpn. J. Appl. Phys.* **52**, 035002-1-4 (2013). 査読有
2. M. Mizukami, A. Kobayashi, and K. Kurihara, "Structuring of Interfacial Water on Silica Surface in Cyclohexane Studied by Surface Forces Measurement and Sum Frequency Generation Vibrational Spectroscopy¹", *Langmuir* **28**, 14284-14290 (2012). 査読有 (dx.doi.org/10.1021/la303003u)
3. 水上雅史, 栗原和枝, 「共振ずり測定法によるナノレオロジー・ナノトライボロジー評価」, *科学と工業*, 86 巻, 1~7 (2012). 査読無
4. K. Yamamoto, H. Sugihara, R. Amemiya, H. Aikawa, Z. An, M. Yamaguchi, M. Mizukami, K. Kurihara, "Formation of double helix self-assembled monolayers of ethynylhelicene oligomer disulfides on gold surfaces", *Tetrahedron* **67**, 5972-5978 (2011). 査読有 (DOI: 10.1016/j.tet.2011.06.024)
5. T. Kamijo, M. Kasuya, M. Mizukami, K. Kurihara, "Direct Observation of Double Layer Interactions between the Potential Controlled Gold Electrode Surfaces Using the Electrochemical Surface Forces Apparatus", *Chem. Lett.* **40**, 674-675 (2011). 査読有 (DOI:10.1246/cl.2011.674)
6. 水上雅史, 杉原理, 山辺秀敏, 安東勲雄, 黒川幸子, 栗原和枝, "表面力装置による金属-高分子接着の評価 2", *色材協会誌*

84, 87-91 (2011). 査読有

7. 水上雅史,「原子間力顕微鏡(AFM)により相互作用力を測定する」, *化学と工業*, 64 巻, 6 号, pp464-465 (2011). 査読無
8. 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, “表面力測定からみた固体表面の水の特性”, *分析化学*, **59**, 957-965 (2010). M. Kasuya, M. Mizukami, K. Kurihara, “Properties of Water at Solid Surface Revealed Using Surface Force Measurement”, *BUNSEKI KAGAKU*, **59**, 957-965 (2010). 査読有
9. K. Ueno, M. Kasuya, M. Watanabe, M. Mizukami, K. Kurihara, “Resonance Shear Measurement of Nanoconfined Ionic Liquids”, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **12**, 4066-4071 (2010). 査読有 (DOI: 10.1039/b923571j)
10. 水上雅史, 栗原和枝, 「共振ずり測定に基づく液体ナノ潤滑のモデル化」*トライボロジスト*, 55 巻, 1 号, 24-30 (2010). 査読有
11. 曹家榮, 遠藤 聡, 石井芳一, 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 「共振ずり測定装置「RSM-1」」, *ULVAC TECHNICAL JOURNAL*, No.73, pp34-37 (2010). 査読無

[学会発表] (計 4 7 件)

1. T. Kajiwara, T. Shinzawa, M. Mizukami, K. Kurihara, “Multilayer Assemblies of Gold Nanoparticles Prepared Using Surface Molecular Macroclusters”, JSPS Core-to-Core Program and Specially Promoted Research Joint Symposium, Micro and Extended-Nano Space Chemistry and Perspective of Next-Generation Analytical Devices, The Univ. of Tokyo, Japan (2013.3.26-27).
2. 水上雅史, 栗原和枝, “共振ずり測定に基づく液体ナノ薄膜のトライボロジー特性の解析法”, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 立命館大学 (2013.3.22-25).
3. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人, 八田一郎, 栗原和枝, “ネマチック液晶の電場配向に与えるナノ空間への閉じ込めの影響”, 日本化学会第 93 春季年会(2013), 立命館大学 (2013.3.22-25).
4. 富田和仁, 水上雅史, 猪俣敬娥, 栗原和枝, “共振ずり測定による潤滑油モデルとしてのヘキサデカンの特性評価”, 平成 24 年度日本表面科学会東北・北海道支部講演会, 日本大学工学部 (2013.3.11-12).
5. 水上雅史, 小林篤史, 栗原和枝, “表面力および和周波発生振動分光法によるシクロヘキサン中にシリカ表面に吸着した水の構造・特性評価”, 第 32 回表面科学学術講演会, 東北大学 (2012.11.20-22).
6. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人,

八田一郎, 栗原和枝, “雲母表面間に閉じ込められたスメクチック液晶薄膜の放射光X線回折による構造評価”, 平成 24 年度日本結晶学会年会, 東北大学 (2012.10.25-26).

7. 水上雅史, “表面力測定と界面選択分光法による固-液界面での液体吸着構造評価”, 日本学術振興会 ナノプローブテクノロジー第 167 委員会, 第 68 回研究会, (福島) (2012.10.19). 招待講演
8. 水上雅史, 杉原理, 山辺秀敏, 安東勲雄, 黒川幸子, 栗原和枝, “表面力装置による金属-高分子接着の評価”, 2012 年色材研究発表会, 大阪府立大学 (大阪) (2012.9.20). 招待講演
9. 粕谷素洋, 日野正也, 山田飛将, 水上雅史, 森広行, 梶田晴司, 大森俊英, 鈴木厚, 栗原和枝, “シリカ表面間に閉じ込められた水の共振ずり測定による特性評価”, 第 61 回高分子討論会, 名古屋工業大学 (2012.9.19-20).
10. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人, 八田一郎, 栗原和枝, “ネマチック液晶分子の電場配向への閉じ込め効果”, 第 61 回高分子討論会, 名古屋工業大学 (2012.9.19-20).
11. 水上雅史, 栗原和枝, “共振法による限定ナノ空間中の液体の特性評価:モデル解析の高度化”, 第 61 回高分子学会年次大会, パシフィコ横浜 (2012.5.29-31).
12. M. Mizukami, A. Kobayashi, K. Kurihara, “Interfacial Water Structured on Silica Surfaces in Cyclohexane through Hydrogen-Bonding Studied by Surface Forces Measurement”, IACIS2012 (14th International Association of Colloid and Interfaces Interface Scientists, Conference), Sendai, Japan (2012.5.13-18)
13. M. Kasuya, M. Hino, H. Yamada, M. Mizukami, H. Mori, S. Kajita, T. Ohmori, A. Suzuki, K. Kurihara, “Characterization of Water Confined between Silica Surfaces Using Resonance Shear Measurement”, IACIS2012 (14th International Association of Colloid and Interfaces Interface Scientists, Conference), Sendai, Japan (2012.5.13-18).
14. S. Nakano, M. Mizukami, N. Ohta, N. Yagi, I. Hatta, K. Kurihara, “Structural Analysis of Smectic Liquid Crystal Nano-Films by Synchrotron X-ray Diffraction Measurement”, IACIS2012 (14th International Association of Colloid and Interfaces Interface Scientists, Conference), Sendai, Japan (2012.5.13-18).
15. T. Kamijo, M. Kasuya, M. Mizukami, K. Kurihara, “Double Layer Forces at the Potential Controlled Gold Electrodes Studied Using the Electrochemical Surface Forces Apparatus”, IACIS2012 (14th International

- Association of Colloid and Interfaces Interface Scientists, Conference), Sendai, Japan (2012.5.13-18).
16. T. Kajiwara, T. Shinzawa, M. Mizukami, K. Kurihara, "Multilayer Assemblies of Gold Nanoparticles Prepared Using Surface Molecular Macroclusters", IACIS2012 (14th International Association of Colloid and Interfaces Interface Scientists, Conference), Sendai, Japan (2012.5.13-18).
 17. Pieter Mulder Frank, Mieke Kleijn, 水上雅史, 栗原和枝, Interaction of Cellulose Surface and Silica in Apolar Solvents, 日本化学会第 92 春季年会, 平成 24 年 3 月 27 日, 慶應義塾大学
 18. 水上雅史, 上條利夫, 栗原和枝, 釣之朗, 星野俊幸, コロイドプローブ原子間力顕微鏡法による水溶液中の鉄-アミン修飾表面間の相互作用力評価, 日本化学会第 92 春季年会, 平成 24 年 3 月 27 日, 慶應義塾大学 (神奈川)
 19. A. Kobayashi, M. Mizukami, K. Kurihara, Surface forces study on interfacial water adsorbed on silica surfaces, Softinterface Mini-symposium on Biomaterials Science in Tsukuba (SIMS2012), 2012.3.18, Tsukuba, Japan
 20. A. Kobayashi, M. Mizukami, K. Kurihara, Interfacial water structured on silica surface in cyclohexane studied by surface forces measurement and SFG spectroscopy, UCSB ICMR/CNSI and Tohoku University WPI-AIMR Joint Workshop on Materials Research, 2012.1.11, Santa Barbara, USA, 招待講演
 21. M. Mizukami, M. Guendouz, D. Morineau, K. Kurihara, Organization of Liquids Adsorbed at Solid-Liquid Interfaces in Binary Liquid Mixtures, 4th French Research Organizations - Tohoku University Joint Workshop on Frontier Materials (Frontier2011), 2011.12.5, Sendai, Japan 招待講演
 22. A. Kobayashi, M. Mizukami, K. Kurihara, Interfacial Water on Silica Surface in Cyclohexane Studied by Surface Forces Measurement and SFG-Spectroscopy, 12th Australia-Japan Colloid & Interface Science Symposium, 2011.11.21, Cairns, Australia
 23. 梶原剛史, 新沢達朗, 水上雅史, 栗原和枝, 界面分子マクロクラスターを用いた金ナノ粒子集積体の調製, 第 1 回 CSJ 化学フェスタ, 平成 23 年 11 月 15 日, 早稲田大学.
 24. 日野正也, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定法による限定空間中のトラクションオイルナノ薄膜の特性評価, 第 59 回レオロジー討論会, 平成 23 年 10 月 7 日, 桐生
 25. 南野 裕, 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定法による閉じ込め空間におけるイオン液体の構造化挙動の評価, 第 60 回高分子討論会, 平成 23 年 9 月 29 日, 岡山大学
 26. 日野正也, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定法による限定ナノ空間中のトラクションオイルの特性評価, 平成 23 年度化学系学協会東北大会, 平成 23 年 9 月 18 日, 東北大学
 27. 水上雅史, 上條利夫, 栗原和枝, 釣之朗, 星野俊幸, コロイドプローブ原子間力顕微鏡法による水溶液中の鉄表面の評価, 第 63 回コロイドおよび界面化学討論会, 平成 23 年 9 月 9 日, 京都大学 (京都)
 28. T. Kajiwara, T. Shinzawa, M. Mizukami, K. Kurihara, Gold Nanoparticle Assemblies Prepared Using Surface Molecular Macroclusters, GCOE International Center of Research & Education, for Molecular Complex Chemistry, Summer School, 2011.8.18-19, Sendai, Japan
 29. 南野裕, 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定法による制御空間におけるイオン液体の特性評価, 第 39 回東北地区高分子若手研究会夏季ゼミナール, 平成 23 年 7 月 27 日, 秋田
 30. 水上雅史, 杉原理, 山辺秀敏, 安東勲雄, 黒川幸子, 栗原和枝, 表面力装置による金属-高分子接着の評価, 第 60 回高分子年次大会, 平成 23 年 5 月 26 日, 大阪国際会議場 (大阪),
 31. 山田飛将, 水上雅史, 栗原和枝, 和周波発生振動分光法を用いた金属-液体界面の評価, 第 60 回高分子学会年次大会, 平成 23 年 5 月 25 日, 大阪国際会議場 (大阪)
 32. 日野正也, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定法による限定ナノ空間中のトラクションオイルの構造化挙動・特性評価, 日本化学会第 91 春季年会, 2011 年 3 月 26 日, 神奈川大学(横浜市)
 33. 南野裕, 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定による限定ナノ空間中のイオン液体の特性評価, 日本化学会第 91 春季年会, 2011 年 3 月 26 日, 神奈川大学(横浜市)
 34. K. Kurihara, K. Ueno, M. Kasuya, M. Watanabe, M. Mizukami, Resonance shear measurement of nanoconfined ionic liquids, Pacificchem 2010, 2010 年 12 月 18 日, Hawaii, USA,
 35. S. Nakano, M. Mizukami, N. Ohta, N. Yagi, I. Hatta, K. Kurihara, Characterization of liquid crystal thin film under electric field, Pacificchem 2010, 2010 年 12 月 18 日, Hawaii, USA,
 36. M. Mizukami, Surface Forces Study on Organization of Liquids Adsorbed at Solid-Liquid Interfaces in Binary Liquid

- Mixtures (Invited), Frontier 2010 (The third workshop on frontier materials and processes), 2010年12月9日, Albi, France,
37. 南野 裕, 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定法による制限空間におけるイオン液体の特性評価, 平成 22 年度化学系学協会東北大会, 2010年9月25日, 岩手大学(盛岡市)
 38. K. Ueno, M. Kasuya, M. Mizukami, M. Watanabe, K. Kurihara, Resonance Shear Measurement of Nanoconfined Ionic Liquids, NCSS2010 (International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science), 2010年9月21日, Chiba, Japan,
 39. T. Kajiwara, T. Shinzawa, M. Mizukami, K. Kurihara, Au Nanoparticle Assemblies Prepared Using Surface Molecular Macroclusters, NCSS2010 (International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science), 2010年9月21日, Chiba, Japan,
 40. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara, Rheological Study of Liquid Crystal Confined in Nano-Space under Electric Field, NCSS2010 (International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science), 2010年9月21日, Chiba, Japan,
 41. M. Mizukami, O. Sugihara, S. Suzuki, M. Matsudaira, H. Yamabe, I. Andoh, S. Kurokawa, K. Kurihara, Metal-Polymer Adhesion Studied by Surface Forces Apparatus, NCSS2010(International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science), 2010年9月22日, Chiba, Japan
 42. 水上雅史, 日野正也, 栗原和枝, 共振ずり測定によるトラクションオイルナノ薄膜の特性評価, 第 59 回高分子討論会, 2010年9月16日, 北海道大学(札幌市),
 43. 梶原剛史, 新沢達郎, 水上雅史, 栗原和枝, 界面分子マクロクラスターを用いた金ナノ粒子集積, 第 59 回高分子討論会, 2010年9月16日, 北海道大学(札幌市)
 44. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara, Nanorheology of Liquid Crystal Thin Film under Electric Field, Tohoku University Global Center of Excellence Program Summer School 2010, 2010年8月20日, Sendai, Japan
 45. T. Kajiwara, T. Shinzawa, M. Mizukami, K. Kurihara, Au Nanoparticle Assemblies Prepared Using Surface Molecular Macroclusters, Tohoku University Global Center of Excellence Program Summer School 2010, 2010年8月19日, Sendai, Japan
 46. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara,

- Nanorheology of Liquid Crystal Confined between Mica Surfaces under Electric Field, PRCR-5 (5th Pacific Rim Conference on Rheology), 2010年8月2日, Sapporo, Japan
47. M. Mizukami, K. Kurihara, Molecular Macrocluster Formation at the Solid-Liquid Interfaces Studied by Surface Forces Measurement, ICCT-2010 (21st IUPAC International Conference on Chemical Thermodynamics), 2010年8月2日, Tsukuba, Japan,

〔図書〕(計3件)

1. 水上雅史, 「表面力装置による金属-高分子接着の評価」“接着・粘着分析”, 23 節, 技術情報協会, pp239-245 (2012). 2012/8 発行
2. 水上雅史, 栗原和枝, 「ナノテクノロジー・ナノトライボロジー」“CSJ カレントレビュー04 界面の分子科学”, 13 章, 化学同人, pp144-150 (2011). 2011/3/20 発行

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

受賞

第 46 回(平成 24 年度) 色材協会賞 (論文賞), 水上雅史, 杉原理, 山辺秀敏, 安東勲雄, 黒川幸子, 栗原和枝, “表面力装置による金属-高分子接着の評価 2”, 2012年9月20日

ホームページ等

<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/kurihara/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水上 雅史 (MIZUKAMI MASASHI)

東北大学・多元物質科学研究所・講師

研究者番号 : 60333902