

機関番号：11301  
 研究種目：基盤研究(A)  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20245024  
 研究課題名(和文) 固体表面間の束縛液体のナノレオロジー・ナノトライボロジーの研究  
 研究課題名(英文) Nano-rheology and Nano-tribology of liquids confined between solid surfaces  
 研究代表者  
 栗原 和枝 (KURIHARA KAZUE)  
 東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授  
 研究者番号：50252250

研究成果の概要(和文):ナノレオロジー・ナノトライボロジー特性の解明・制御は、環境負荷の低減、省エネルギーへの重要な鍵となっている。研究代表者が独自に開発したナノ空間中の液体の特性評価法である共振ずり測定法を中心手段とし、この装置に電場印加機構の組込を行い、またナノレベルで平滑な金、銀などの金属表面の調製法の確立し、液晶ナノ薄膜のレオロジー・トライボロジーの電場応答特性を明らかにした。また、共振ずり測定によるスティック-スリップ摩擦の評価法を確立した。さらに、複合材料の接着特性評価や、液体ナノ薄膜の X 線回折測定による構造評価を行うための装置を製作し、これらの実験に着手した。

研究成果の概要(英文):Rheological and tribological properties of nano-confined liquids are becoming important key factor for lowering the environmental load and energy loss. In this study, we advanced resonance shear method, which have been developed by us, and applied for investigating the properties of nano-confined liquids. The method to prepare the smooth metal surfaces such as gold, silver, was established. The rheological and tribological properties of confined liquid crystal under the electric field were investigated. A procedure to investigate the stick-slip friction by the analysis of resonance curve was also established. We have also developed instruments for the study on adhesion of composite materials as well as the X-ray structural analysis of nano-confined liquids to understand the property of confined liquid based on their structures in confined space.

## 交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
20年度	13,200,000	3,960,000	17,160,000
21年度	17,500,000	5,250,000	22,750,000
22年度	7,100,000	2,130,000	9,230,000
年度			
年度			
総計	37,800,000	11,340,000	49,140,000

研究分野:化学

科研費の分科・細目:複合化学・高分子化学

キーワード:エネルギー効率化, トライボロジー, ナノ材料, 表面・界面物性, マイクロ・ナノデバイス

## 1. 研究開始当初の背景

細孔や微細空間の液体はバルクとは異なる性質を持つことは広く知られており、マイクロアクタやマイクロマシンそして摩擦・潤滑などにおいてその特性の解明と制御の重要性が高まっている。例えば、ミクロ～ナノスケールの摩擦に対する潤滑剤はナノメートルスケールの膜厚が要求され、潤滑剤の分子構造だけでなく、表面と潤

滑剤分子の相互作用の理解・制御が必要となつてきている。またますます精密になる先端材料(液晶の配向制御など)の設計からも固-液界面の特性の制御は重要である。

研究代表者らは、2つの表面間の距離をマイクロメートルから接触までナノメートルレベルの分解能で連続的に変えながら、表面間の液体の構造化、摩擦・潤滑特性を評価できるナノ共振

ずり測定法を開発してきた。また、従来、この測定法は可視光を透過しない試料の評価には適用できなかったが、それを可能とする装置の開発も行ってきており、金属など実用材料表面を用いたナノオロジー・ナノトライボロジー特性の評価を行うための準備状況が整っていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者らが開発した2つの固体表面間に閉じ込められた液体の構造化(分子組織化)や摩擦・潤滑特性を評価できる共振ずり測定装置に、電場印加機構の組込などを行い、計測法の高度化を図るとともに、この装置を用いた実用材料表面、液体試料の評価へと展開し、金属表面を用いた潤滑油・トラクションオイルのナノトライボロジー特性評価を行い、微細空間の束縛液体の分子科学ならびに現実系の分子の配向・構造制御・ナノオロジー・トライボロジー制御の基礎を形づくることを目標とした。

## 3. 研究の方法

- (1) 表面力・ナノ共振ずり測定を適用するためにナノレベルで平滑な金属材料表面の調製法を検討する。
- (2) 共振ずり測定装置に、表面間に電場を印加する機構の組込を行い、雲母表面間、および金属表面間に閉じ込められた液体(液晶)の配向・構造化挙動、およびその電場応答性の評価を行う。
- (3) 共振ずり測定で、特定の条件下で得られる共振カーブにおいて、強度の著しい減少(転移)が観測されることを見だしており、この転移が対応する現象の検討、解析法を検討し、共振ずり測手法と解析の高度化を図る。
- (4) 表面力測定と同時に接触面の光学顕微鏡観察を行うシステムを製作し、電気配線で用いられているNiCr-ポリイミド間の接着評価を行う。
- (5) ナノ空間中の液体の構造を直接評価するため、X線回折測定を行うための表面力装置、試料部の設計・製作を行い、高輝度なX線が得られるSPring8での測定を行う。

## 4. 研究成果

### (1) 実用材料表面評価のための表面調製

表面力・ナノ共振ずり測定を様々な実用材料表面の評価に適用するため、種々の材料表面の調製法を検討した。雲母劈開面に真空蒸着法により種々の金属薄膜(ニッケル、ニッケルクロム合金、金、銀)を調製し、金属面を測定用の石英ディスクに貼り付けた後、雲母シートを剥離することで、ナノメートルレベルで平滑な金属表面を調製することができた。また、スパッタ成膜装置を導入し、成膜条件を詳細に検討することにより、ナノメートルレベルで平滑な鉄膜を調製することができた。

### (2) 電場印加機構の組込み、および液晶ナノ薄膜の電場配向特性の評価

雲母の裏面に蒸着した銀(金)を電極として、電場を印加する機構を共振ずり測定装置への組み込みを行った。この装置を用いて、雲母表面間に閉じ込められたネマチック液晶(6CB)の配向・構造化挙動、その電場応答特性の評価を行った。図1に示した雲母表面間の6CBの粘性抵抗係数は、表面間距離 数 10 nm 以上では、「電場なし」でほぼ一定であったことから、6CB は電場なしでは長軸を雲母に平行配向し、電場印加により長軸を電場に平行配向(表面に垂直配向)にすることが確認された。表面間距離が約 17 nm 以下では、電場有り・無しどちらの条件でも粘性は著しく増大し、両者の差がなくなった。これより、約 17 nm 以下では空間的閉じ込め効果が支配的になり電場により配向しなくなると考えられる。これは、ナノ空間中で液晶配向の外場による制御ができなくなることを実験的に初めて示したもので、配向制御できる機能材料として広く用いられている液晶を用いたデバイス設計において重要な知見である。

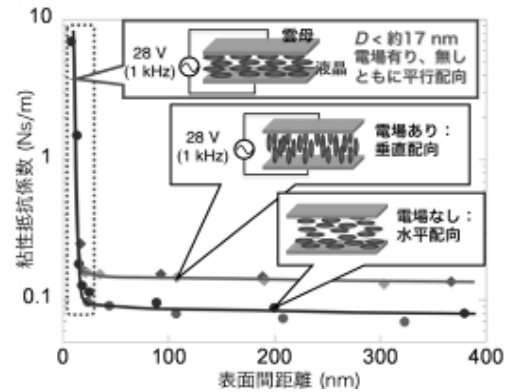


図1 雲母表面間の6CBの粘性抵抗係数の表面間距離依存性(電場有(◆,◇),無(●,●))。

### (3) 共振法によるスティック-スリップ現象の観察

雲母表面間に閉じ込められた液晶-色素2成分系の共振ずり測定による評価を行い、表面間距離4.4 nm以下で共振カーブ途中での不連続で急激な強度減少を観測した(図2)。振幅減少が起こる角周波数以下の共振カーブは、

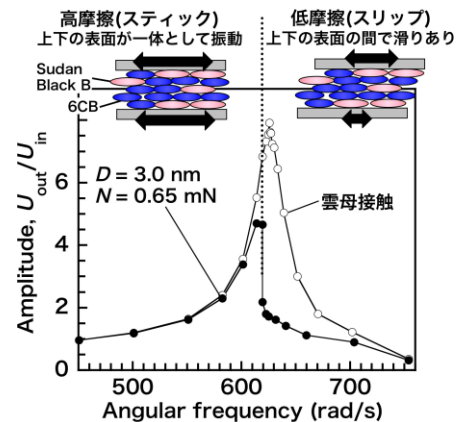


図2 スティック-スリップ発生時の共振カーブとスティック-スリップの模式図。

雲母接触の共振カーブとよく一致していることから、強度現象は滑りのないスティック(静摩擦)状態からスリップ(動摩擦)状態への変化に対応すると考えられる。FECOの明るさの定量評価するFECO分光法より表面間のSudan Black B濃度を決定すると、 $D=10$  nm以下で急激に上昇し、 $D=4$  nmで $9 \pm 2$  wt%となった。従って、Sudan Black Bが表面間に濃縮すると、低せん断速度ではスティック状態を誘起し潤滑性を下げるが、高せん断速度ではスリップ状態となり6CBのみよりも高い潤滑性を示すことが分かる。本法は、潤滑油-添加剤系のような多成分系に対しても有効な知見を与えると期待できる。

#### (4) 金属-高分子接着評価

異種材料の接合・接着特性を制御している要因を明らかにすることは、複合材料の高性能化、高機能化にむけて、具体的な設計指針を与えることにつながると期待される。本課題では表面力装置と光学顕微鏡を組み合わせて、接着力と接着面の光学顕微鏡同時観察を可能とするシステムを作製し、電子機器の基板・配線材料として広く用いられているNi/Cr金属とポリイミドフィルム間の接着力と接着面の同時観察を行った。

#### (5) 液体ナノ薄膜のX線回折測定

表面力・共振ずり測定により、2 表面間に閉じ込められた液体薄膜の厚みがナノメートルレベルになると、バルクとは著しく異なる特性を示すことが分かってきている。このナノ薄膜の特性と構造の相関を明らかにするため、2 表面間の液体ナノ薄膜のX線回折測定を行うため装置X線回折測定のために設計・製作した表面力装置を用いて、SPring8 のビームライン BL40B2 において金表面間に閉じ込められた液晶(4-シアノ-4'-ヘキシルビフェニル, 6CB)のX線回折測定を行い、厚さ500 nmの液晶薄膜のからの回折パターンの測定、および電場印加による液晶の配向変化に対応した回折パターンの変化の測定に成功した。今後、試料配置、光学系、測定条件の最適化により液体ナノ薄膜の回折測定を可能とし、機能材料の構造評価への展開、共振ずり測定から得られる特性との相関の検討を行い、材料設計の基礎を確立することを目指す。

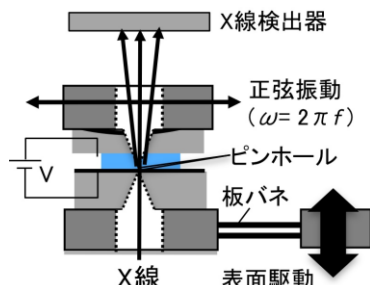


図3 液体ナノ薄膜のX線回折測定模式図

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計19件)

1. D. Fukushi, M. Kasuya, H. Sakuma, K.

- Kurihara, Fluorescent Dye Probe for Monitoring Local Viscosity of Confined Liquids, *Chem. Lett.*, 査読有, in press. 2011
2. T. Kamijo, M. Kasuya, M. Mizukami, and K. Kurihara, Direct Observation of Double Layer Interactions between the Potential Controlled Gold Electrode Surfaces Using the Electrochemical Surface Forces Apparatus, *Chem. Lett.*, 査読有, in press. 2011
3. 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*, 査読有, **84**, 2011, 87-91.
4. 中野真也, 栗原和枝, 表面力測定 の原理とその応用展開, *ふえらむ*, 査読無, **15**, 2010, 36-37.
5. 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*, 査読有, **59**, 2010, 957-965.
6. 粕谷素洋, 栗原和枝, 表面力測定による有機-無機固体表面の評価, *セラミックデータブック2010*, 査読無, **38**, 2010, 121-124.
7. 曹 家榮, 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定装置「型式 RSM-1」, *ULVAC TECHNICAL JOURNAL*, 査読無, **73**, 2010, 34-37.
8. K. Ueno, M. Kasuya, M. Watanabe, M. Mizukami, K. Kurihara, Resonance Shear Measurement of Nanoconfined Ionic Liquids, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有, **12**, 2010, 4066-4071.
9. 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*, 査読有, **55**, 2010, 24-30.
10. K. Kurihara, Polyelectrolyte Brushes Studied by Surface Forces Measurement, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 査読有, **158**, 2010, 130-138.
11. H. Mizuno, T. Haraszi, M. Mizukami, K. Kurihara, Nanorheology and Nanotribology of Two-Component Liquid Crystal, *SAE Int. J. Fuels Lubr.*, 査読有, **1**, 2009, 1517-1523.
12. 水上雅史, 栗原和枝, 鈴木伸, 松平政臣, 山辺秀敏, 安東勲雄, 表面力装置による金属-高分子接着の評価, *色材協会誌*, 査読有, **82**, 2009, 279-283.
13. H. Sakuma, K. Kurihara, Fourier-transform Resonance Shear Measurement for Studying Confined Liquids, *Rev. Sci. Instrum.*, 査読有, **80**, 2009, 013701-1~013701-4.
14. 栗原和枝, 固-液界面の液体のナノ構造形成評価と制御, *表面科学*, 査読無, **30**, 2009, 162-167.
15. M. Mizukami and K. Kurihara, A New Physical Model for Resonance Shear Measurement of Confined Liquids between Solid Surfaces, *Rev. Sci. Instrum.*, 査読有, **79**, 2008, 113705-1~113705-6.

16. M. Mizukami, G. Zhong, L. Zhang, I. Fukuchi, K. Kurihara, In-Situ Polymerization of Molecular Macroclusters on Silica Surface: Poly(*N*-Isopropylacrylamide) Nano-Films, *Langmuir*, 査読有, **24**, 2008, 12364-12368.
  17. L. Zhang, M. Mizukami, and K. Kurihara, Preparation of Poly(acrylic acid) Nano-films by In-situ Polymerization of Acrylic Acid Macroclusters on Silicon Oxide Surfaces, *Macromol. Symposia*, 査読有, **270**, 2008, 40-47.
  18. H. Kawai, H. Sakuma, M. Mizukami, T. Abe, Y. Fukao, H. Tajima, K. Kurihara, New Surface Forces Apparatus Using Two-beam Interferometry, *Rev. Sci. Instrum.*, 査読有, **79**, 2008, 043701.
  19. 水上雅史, 栗原和枝, 新しい表面力測定への挑戦, 電気化学および工業物理化学, 査読無, **76**, 2008, 763-767.
- [学会発表] (計 115 件)
1. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人, 八田一郎, 栗原和枝, 放射光 X 線回折による閉じ込め液体の構造評価, 日本化学会第 91 春季年会, 2011.3.26, 横浜
  2. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Green Nanomaterials Science, The 2011 WPI-AIMR Annual Workshop, 2011.2.23, Sendai, Japan (Invited)
  3. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Nano-Materials Science, University of Sydney, A. E. Alexander Lectureship 2011, 2011.2.4, Sydney, Australia (Invited)
  4. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Nano-Materials Science, The Fifth Biennial Australian Colloid & Interface Symposium, 2011.1.31, Hobart, Australia (Invited)
  5. S. Nakano, M. Mizukami, N. Ohta, N. Yagi, I. Hatta, K. Kurihara, Characterization of liquid crystal thin film under electric field, Pacificchem 2010, 2010.12.18, Hawaii, USA.
  6. K. Kurihara, K. Ueno, M. Kasuya, M. Watanabe, M. Mizukami, Resonance shear measurement of nanoconfined ionic liquids, Pacificchem 2010, 2010.12.18, Hawaii, USA.
  7. M. Mizukami, Surface Forces Study on Organization of Liquids Adsorbed at Solid-Liquid Interfaces in Binary Liquid Mixtures, Frontier 2010 (The third workshop on frontier materials and processes), 2010.12.9, Albi, France (Invited)
  8. K. Kurihara, Surface forces measurement for nano-materials science, Workshop Honoring Professor Kazue Kurihara, 2010.11.29, Paris, France (Invited)
  9. M. Kasuya, D. Fukushi, H. Sakuma, K. Kurihara, Evaluation of local viscosity of confined liquid film using the shear resonance and fluorescence measurement system, The 9th Japan-France Workshop on Nanomaterials, 2010.11.25, Toulouse, France (Invited)
  10. K. Kurihara, Surface forces measurement for materials nano-technology, The 9th Japan-France Workshop on Nanomaterials, 2010.11.25, Toulouse, France (Invited)
  11. K. Kurihara, Hydrogen-bonded Molecular Macrocluster Formation on Silica in Binary Liquids, 18th International Symposium on Surfactants in Solution, 2010.11.17, Melbourne, Australia (Invited)
  12. 栗原和枝, 表面力測定による材料のナノ物性計測, 北海道大学グローバル COE 物質科学イノベーション講演会, 2010.11.4, 札幌 (招待)
  13. K. Kurihara, Resonance Shear Measurement for Nano-Tribology and Nanorheology, WPI-AIMR-ICCAS Joint Symposium, 2010.10.29, Sendai, Japan (Invited)
  14. K. Kurihara, Resonance Shear Measurement for Nano-Tribology and Nanorheology, ISAOP-10 & ISSM-1, 2010.10.2, Sendai, Japan (Invited)
  15. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara, Rheological Study of Liquid Crystal Confined in Nano-Space under Electric Field, International Conference on Nanoscopic Colloid and Surface Science, 2010.9.22, Chiba, Japan
  16. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara, Nanorheology of Liquid Crystal Confined between Mica Surfaces under Electric Field, 5th Pacific Rim Conference on Rheology, 2010.8.2, Sapporo, Japan
  17. 栗原和枝, 表面力測定によるナノ界面評価, 第 28 回関西界面科学セミナー, 2010.7.24, 尼崎 (招待)
  18. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人, 八田一郎, 栗原和枝, ナノ空間に閉じ込められた液晶の電場配向・構造評価, 第 90 回日本化学会年会, 2010.3.28, 東大阪
  19. 栗原和枝, 表面力測定にもとづく固-液界面の基盤的理解, 第 90 回日本化学会年会, 2010.3.28, 東大阪 (招待)
  20. 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吸着水の構造評価, 第 90 回日本化学会年会, 2010.3.26, 東大阪 (招待)
  21. 栗原和枝, 共振ずり法・けい光複合測定による微細空間の液体の評価, 日本化学会東北支部 2009 宮城地区講演会, 2009.11.30, 仙台 (招待)
  22. 水上雅史, 表面力装置による金属-高分子フィルム間の接着評価, 日本接着学会東北支部講演会 2009, 2009.11.13, 仙台 (招待)
  23. 栗原和枝, 共振ずり法・けい光複合測定による



- る微細空間の液体の評価, 第 29 回表面科学学術講演会, 2009.10.27, 東京 (招待)
24. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人, 八田一郎, 栗原和枝, 閉じ込め空間におけるネマチック液晶の放射光 X 線回折, 第 62 回コロイドおよび界面化学討論会, 2009.9.19, 岡山
  25. 水上雅史, 表面力測定を用いた固-液界面に形成される液体組織化構造の分子論的研究, 第 62 回コロイドおよび界面化学討論会, 2009.9.19, 岡山 (招待)
  26. K. Kurihara, Molecular Packing and Interactions In Confined Liquids: How Crystalline-like?, Forefront of Tribology, 2009.9.13, Matsushima (Invited)
  27. S. Nakano, M. Mizukami and K. Kurihara, Tribological Study of Liquid Crystal Nano Film Under Electric Field Using Resonance Shear Measurement, World Tribology Congress2009, 2009.9.9, Kyoto
  28. M. Mizukami and K. Kurihara, Resonance Shear Measurement on Liquid Nano-Films: Physical Model and Stick-Slip Analysis for Tribological Study, World Tribology Congress2009, 2009.9.9, Kyoto
  29. K. Kurihara, Resonance Shear Measurement Employing SFA for Nano-Tribology, World Tribology Congress2009, 2009.9.9, Kyoto (Invited)
  30. S. Nakano, M. Mizukami and K. Kurihara, Rheological Study of Liquid Crystal Confined Between Mica Surfaces Under the Electric Field, 13th International Conferences on Surface & Colloid Science, 2009.6.17, New York, USA
  31. 栗原和枝, 界面現象のナノ計測から生まれる材料設計の新しい指針, 社団法人 プラスチック成形加工学会第 20 回年次大会, 2009.6.3, 東京 (招待)
  32. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Materials Nanotechnology, Advanced Materials for Australia's Future An International Workshop, 2009.5.18, Melbourne, Australia (Invited)
  33. 栗原和枝, 表面力測定によるナノレベルの界面状態の解明, 日本学術振興会 材料の微細組織と機能性第 133 委員会 第 201 回研究会, 2009.4.17, 東京 (招待)
  34. 栗原和枝, 環境ナノテクノロジー, 日本化学会第 89 春季年会, 2009.3.27-30, 船橋 (招待)
  35. 中野真也, 水上雅史, 太田昇, 八木直人, 八田一郎, 栗原和枝, 金表面に挟まれた液晶薄膜の放射光 X 線回折, 日本化学会第 89 春季年会(2009), 2009.3.27-30, 船橋
  36. K. Kurihara, H. Kawai, H. Sakuma, M. Mizukami, T. Abe, Y. Fukao, H. Tajima, New Surface Forces Apparatus Using Two-beam Interferometry, The Biennial Australian Colloid and Interface Symposium and the 10th Australia-Japan Colloid and Interface Science Symposium, 2009.2.1-5, Adelaide, Australia
  37. M. Mizukami, Molecular Analysis of Liquid Adsorption at the Solid/Liquid Interfaces: Surface Forces Measurement and Surface Selective Spectroscopy, The Biennial Australian Colloid and Interface Symposium, 2009.2.1-5, Adelaide, Australia (Keynote)
  38. 栗原和枝, 表面力測定から見る界面現象, 東京大学ナノバイオ・インテグレーション研究拠点, 2008.11.14, 東京 (招待)
  39. 水上雅史, 栗原和枝, 共振ずり測定による液体ナノ薄膜の特性評価, SPM による機械特性評価セミナー, 2008.11.5, 東京 (招待)
  40. K. Kurihara, Structuring of Liquids at Solid-Liquid Interface, 1st Rennes-Sendai joint workshop on advanced materials and devices, 2008.10.22-24, Rennes, France (Invited)
  41. 栗原和枝, 固-液界面の液体の構造: 表面力測定からのアプローチ, 2008 年度実用表面分析講演会, 2008.10.14-15, 仙台 (招待)
  42. K. Kurihara, Resonance Shear Measurement for Nanotribology Liquids Confined Between Solid Surfaces, SAE International, Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting, 2008.10.6-9, Illinois, USA (Invited)
  43. 水上雅史, 固-液界面の液体組織化構造の研究: 界面分子マクロクラスターを中心に, J-PARC 反射率で目指す新しい界面科学に関する研究会, 2008.9.19, つくば (招待)
  44. K. Kurihara, Resonance Shear Measurement for Study Nanorheological and Nanotribological Behaviors of Liquids Confined between Solid Surfaces, International Symposium on Polymer Physics, 2008.9.13, Fukuoka, Japan (Invited)
  45. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara, Resonance Shear Measurement on Liquid Crystal Confined between Solid Surfaces under Electric Field, XXI Congress of the International Union of Crystallography Congress and General Assembly, 2008.8.23-31, Osaka, Japan
  46. M. Mizukami, A Novel Molecular Organization at the Solid/Liquid Interfaces: Hydrogen-Bonded Molecular Macrocluster Formation on Silica Surface in Non-polar Liquid, Global COE & IREMC International Meeting, 2008.8.22, Sendai, Japan (Invited)
  47. K. Kurihara, Liquid Confined in Nanospace Studied by Resonance Shear Measurement: Structure, Viscosity, Friction, Lubrication, The 236th ACS National Meeting &

- Exposition, American Chemical Society, 2008.8.18, Philadelphia, PA, USA (Invited)
48. 水上雅史, 新機能創製のための表面力測定: 界面分子マクロクラスターを中心に, ハイブリッドナノマテリアルシンポジウム-若手研究フロンティア-, 2008.7.28, 仙台 (招待)
  49. 栗原和枝, 共振ずり測定からみる微細空間の水溶液の特性: 潤滑と水和, 第 18 回バイオ・高分子シンポジウム, 2008.7.26, 東京
  50. K. Kurihara, Polyelectrolyte Brushes Studied by Surface Forces Measurement, The 7th International Symposium on Polyelectrolytes (Polyelectrolytes 2008), 2008.6.16-19, Coimbra, Portugal (Invited)
  51. K. Kurihara, Resonance Shear Measurement for Nanorheology and Nanotribology, International Symposium on Polymer Physics PP'2008, 2008.6.8-12, Xiamen, China (Invited)
  52. K. Kurihara, Polyelectrolytes at Solid-Liquid Interface Studied by Surface Forces Measurement, Interfaces Against Pollution 2008, 2008.6.1-4, Kyoto, Japan (Invited)
  53. S. Nakano, M. Mizukami, K. Kurihara, Resonance Shear Study on Confined Liquid Crystal under Electric Field, International Symposium on Non-Equilibrium Soft Matter, 2008.6.3, Kyoto
  54. 中野真也, 水上雅史, 栗原和枝, ナノ共振ずり測定法による液晶薄膜のエレクトロロロジー評価, 第 57 回高分子学会年次大会, 2008.5.30, 横浜
- [図書](計 12 件)
1. 水上雅史, 栗原和枝, 化学同人, 「ナノロロジー・ナノトライボロジー」, 「新しい局面を迎えた界面の分子科学」, 2011, 144-150.
  2. 栗原和枝, 化学同人, 「ツインパス型表面力装置」, 「新しい局面を迎えた界面の分子科学」, 2011, 55-56.
  3. 粕谷素洋, 栗原和枝, 丸善, 「表面力測定」, 「現代界面コロイド科学の辞典」, 2010, 106-107.
  4. 粕谷素洋, 水上雅史, 栗原和枝, 丸善, 「束縛液体の科学」, 「現代界面コロイド科学の辞典」, 2010, 52-53.
  5. 水上雅史, 栗原和枝, エヌ・ティー・エス, 「固体表面の液体分子の自己組織化」, 「自己組織化ハンドブック」, 2009, 690-691.
  6. 栗原和枝, 丸善, 「表面力測定」, 「ソフトマター 分子設計・キャラクタリゼーションから機能性材料まで」, 3 章 4 節, 2009, 165-179.
  7. 高原淳, 栗原和枝, 前田瑞夫, 丸善, 「ソフトマターとは」, 「ソフトマター 分子設計・キャラクタリゼーションから機能性材料まで」, 1 章, 2009, 1-16.
  8. 粕谷素洋, 栗原和枝, エヌ・ティー・エス, 「超分子における分子間力」, 「超分子サイエンス

- &テクノロジー」, 1 章 2 節 1 項, 2009, 8-13.
9. 栗原和枝, 丸善, 「展開単分子膜」, 「現代界面コロイド化学の基礎」, 7 章 2 節 1 項, 2009, 298-300.
  10. 栗原和枝, 丸善, 「LB 膜」, 「現代界面コロイド化学の基礎」, 7 章 2 節 2 項, 2009, 300-301.
  11. 水上雅史, 栗原和枝, 丸善, 「原子力間顕微鏡(AFM)」, 「現代界面コロイド化学の基礎」, 9 章 1 節 4 項, 2009 402-403.
  12. 水上雅史, 栗原和枝, 丸善, 「表面力装置(SFA)」, 「現代界面コロイド化学の基礎」, 9 章 1 節 5 項, 2009, 404-409.

[産業財産権]

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

[その他]

受賞

1. Alexander Lectureship Award, Kazue Kurihara, Chemical Society of Australia, (2011.1.31).
2. 日本化学会コロイドおよび界面化学部会 平成 21 年度科学奨励賞, 水上雅史, 表面力測定を用いた固-液界面に形成される液体組織化構造の分子論的研究 (2009 年 9 月 18 日)
3. The most outstanding SAE Technical Papers of 2008 を受賞, H. Mizuno, T. Haraszti, M. Mizukami, K. Kurihara, "Nanorheology and Nanotribology of Two-Component Liquid Crystal", *SAE Int. J. Fuels Lubr.* **1**, 1517-1523 (2009).

アウトリーチ活動

1. 栗原和枝, 「分子の間の力を測る」, 出前講座「ユニバーサイエンス」, 山形県立山形西高校
2. 栗原和枝, 「表面力測定」, 仙台電波高専の生徒への表面力測定の講義, 東北大学ホームページ  
<http://www.tagen.tohoku.ac.jp/labo/kurihara/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原 和枝(KURIHARA KAZUE)  
東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授  
研究者番号: 50252250

(2) 研究分担者

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

(3) 連携研究者

佐久間 博(SAKUMA HIROSHI)  
東京工業大学大学院・理学研究科・特任助教  
研究者番号: 20400426