

平成 30 年 5 月 17 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26248002

研究課題名(和文)電気化学表面力装置による固-液界面評価

研究課題名(英文) Characterization of electrode-electrolyte interfaces using electrochemical surface forces apparatus

研究代表者

栗原 和枝 (Kurihara, Kazue)

東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授

研究者番号：50252250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 40,390,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、申請者が開発した電気化学表面力装置を用いて、電解液を挟む電極表面間の相互作用を直接測定し、印加電位を変化させた時の電極の有効電位やイオン吸着など、その基本的な特性を評価する手法の確立を目的とした。表面力測定用の電極表面の調製方法を確立し、金や白金など代表的な電極について特性を解明した。またフェロセンなど化学修飾電極における対イオン吸着特性を解明した。また、同装置による電極表面間のナノ空間中における電極電流評価手法を確立し、電極電流の電極間距離依存性を評価した。測定結果から、通常の酸化還元サイクル電流に加えて、これまで報告例のない数nmの近距離での大電流を観測した。

研究成果の概要(英文)：Quantitative and direct evaluation of the surface potential and charge density of electrodes, determined by the adsorption of ions and chemical reactions has been one of the central questions in electrochemistry. Surface forces measurements have been regarded as one of the promising tools for evaluating them based on an analysis of the electric double layer forces. We developed a new electrochemical surface forces apparatus (EC-SFA), which can perform the measurement on forces between symmetrical electrode surfaces, using the twin-path SFA. Using this apparatus, we evaluated the surface potential, charge density and ion adsorption on various electrodes (Au, Pt etc). The counterion distribution between the Stern layer and the diffused layer of the electric double layer was directly determined using ferrocene-modified Au electrode. The process from the proton adsorption to hydrogen evolution on Pt electrodes was also monitored by varying the applied potential for the first time.

研究分野：界面化学

キーワード：表面・界面 表面力測定 固-液界面 電気二重層 ツインパス型表面力装置 イオン吸着 表面電位
表面電荷密度

1. 研究開始当初の背景

固-液界面の特性解明は、微細化が進むデバイスやプロセスの理解に重要である。従来は分子レベルの評価法が十分でなく、その特性解明は限定的であったが、最近のナノ科学の進歩に従い、ようやく各種界面分光法や走査プローブ顕微鏡による研究が活発になり、界面分子科学が成立しつつある。2つの表面間の相互作用の距離依存性を直性評価する表面力測定は、固-液界面の特性(表面電位、溶媒和、吸着など)を評価できる直接的・定量的なユニークな手法である。しかしながら、従来は透過型干渉法で距離の測定をしていたために、測定基板が事実上雲母に限定されていた。研究代表者は、最近、不透明基板に適用可能な表面力装置(ツインパス型SFA)を完成し、不透明基板に対する測定が初めて可能となった(Kuriharaら, *Rev. Sci. Instrum.*, 79, 043701 (2008))。本装置の応用の大きな分野として電気化学があると考え、電気化学表面力装置(EC-SFA, 図1)を製作した(Kuriharaら, *Chem. Lett.* 40, 674 (2011))。

電極表面の評価については、最も基本的な特性である電気二重層やイオンの吸着に関しても、一般的・定量的な議論は従来不十分であった。例えば、電極へのイオンの吸着に関しては走査トンネル顕微鏡の研究があるが、特定のイメージングしやすい原子に研究が限定されている(Itaya, *Prog. Surf. Sci.*, 58, 121 (1998))。また、ラマン分光、イオンの水和状態が影響する水晶発振子(QCM)法を用いれば、より広範な測定が可能であるが、定量的な評価は困難である(Valiniusら *Langmuir* 20, 6631 (2004), Uosakiら *Langmuir* 8, 1385 (2004))。表面力装置(SFA)を用いる研究もされていたが、従来装置では雲母-電極間の測定のみが可能で、定量的な解析が難しかった。ツインパス型 EC-SFA では2つの同一電極間の測定が可能となり、正確な定量的解析が可能となった。

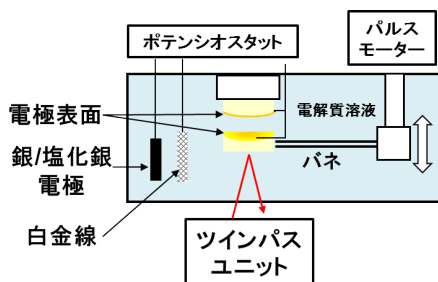


図1 電気化学表面力装置(EC-SFA)

2. 研究の目的

本研究は、研究代表者が開発した EC-SFA を用いて、電解液を挟む電極表面間の相互作用を直接測定し、印加電位を変化させた時の電極の有効電位やイオン吸着など、その基本的な特性を評価する手法を確立するとともに、金や白金など代表的な電極について特性を解明することを目的とする。またフェロセ

ンなど化学修飾電極における対イオン吸着特性の解明を行う。イオンの吸着の定量的な解析により、その機構を明らかにすることで、新しい電気化学や界面分子科学の確立に貢献しようとするものである。また、酸化還元反応の増幅などの特異現象が見出されている微細空間の電気化学の反応挙動を観測し、ナノ微細空間の電気化学の分子的描像を解明する。

3. 研究の方法

本研究では EC-SFA (図1)を用いて、電極間の相互作用の表面間距離依存性を測定し、電気二重層斥力から表面電位・電荷密度、イオン吸着について定量的に評価する手法を確立し、基本的な電極である金・白金電極や化学修飾電極について特性評価を行う。これらの研究のため十分に平滑(rms粗さ1nm以下)で清浄な電極表面の調製法を開発し、これらの電極を用いて上記の測定を行った。また、溶液中の化学種の電極表面における酸化還元反応による電流を、表面間距離を制御して測定することで、狭い空間における酸化還元反応挙動について明らかにし、それらと表面電位やイオン吸着等の特性との相関から、ナノ微細空間の電気化学の分子的描像を解明する。

4. 研究成果

(1) 金電極における表面電位・電荷、イオン吸着の評価

金電極表面について、電解液水溶液中において、EC-SFAにより電極印加電位を変えて表面力測定を行った。電解質としては、非吸着性(過塩素酸イオン)あるいは吸着性のアニオン(硫酸イオン、塩素イオン)のカリウム塩を用いた。過塩素酸イオンの場合、遠距離からの電気二重層斥力と近距離における van der Waals 力による引力が観測され、その斥力は印加電位の増加に伴って減少することが分かった(図2)。これらを DLVO 理論により解析することで、表面電位・電荷密度を定量的に評価した。さらに、同様の評価を金電極への吸着性の高い硫酸イオンや塩

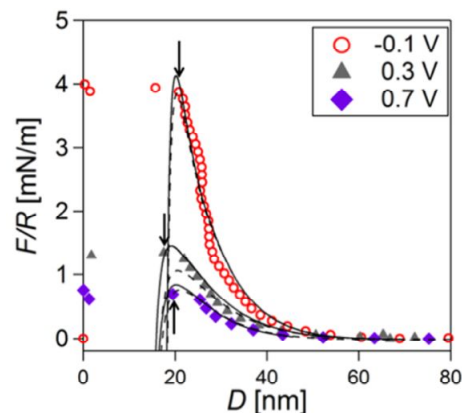


図2 電解質水溶液中における金電極表面間の表面力曲線の印加電位依存性

素イオンを添加した溶液中で行い、得られた表面力曲線の解析から、表面電位・電荷密度に対するイオン吸着の影響について、各印加電位において系統的に明らかにすることができた(図3)。

Electrochemical potential = 0.7 V Ag/AgCl (> pzc)

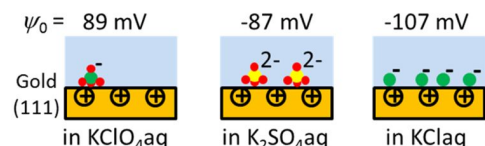


図3 正に帯電した金電極におけるイオン吸着の模式図(成果リスト、論文13)

(2) 化学修飾電極のイオン吸着の評価

化学修飾電極の代表例であるフェロセン修飾電極について、同様の手法により水溶液中においてイオン種を変えて表面力測定を行った(図4)。これらの表面力曲線を解析して表面電荷密度を算出し、SFA内におけるその場測定によるフェロセンのサイクリックボルタモグラムから得られる表面電荷密度(酸化フェロセン密度)と合わせることで、酸化フェロセンがイオン対形成を行う割合のイオン種による違いを調べた。

結果から、いずれのイオンでもほとんどのフェロセンが対イオン形成し、その電荷が中和されることが分かった。また表面電荷密度は、過塩素酸 > 硝酸 > 硫酸 > トリフルオロ硫酸の順に小さくなることを明らかにした。これらの結果は、電気二重層におけるスタン層と拡散層におけるイオンの分配とそのイオン種依存性を初めて定量的に評価した成果である。

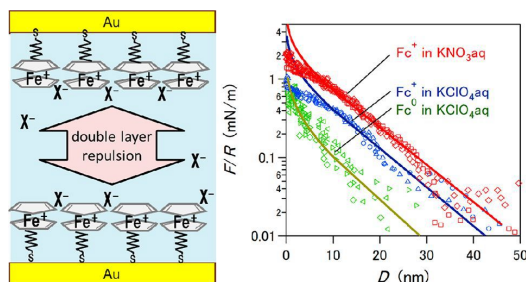


図4 フェロセン修飾電極間の水溶液中における表面力曲線の印加電位依存性(成果リスト、論文19)

(3) 白金電極の水素吸着評価

燃料電池の触媒等で重要な水素吸着について調べることを目的として、EC-SFAを用いて、過塩素酸溶液中における白金電極表面の評価を行った。白金電極については、スパッタリング成膜とシリカテンプレート法により調製条件を検討し、表面力測定に使用できる平滑な表面の調製に成功した。この表面試料を用いて、電極間に働く電気二重層斥力を測定し、その大きさから表面電位の印加電位依存性を定量的に評価した(図5)。

ゼロ電荷電位(pzc)である 0.2 V vs. Ag/AgCl

以上では、印加電位の減少に伴って電荷は減少するのに対して、pzc以下の0 Vまでの範囲では、印加電位に関わらず表面電位は一定となった。これはpzc以下の印加電位では表面電位が一定に保たれるように水素吸着が起こることを示している。さらに印加電位を-0.1 Vに減少させると、表面電位は減少し、-0.2 Vでは大きく増加することが分かった。

SFA中でその場測定したサイクリックボルタモグラムにおける水素吸着のピークと合わせて考えると、この結果は-0.1 Vでは多量の水素吸着により表面電位が減少する一方、-0.2 Vでは水素発生が始まるために表面電位が増加することを示している。本研究によって、電極反応による表面電位の変化をEC-SFAを用いて評価できることを示した。

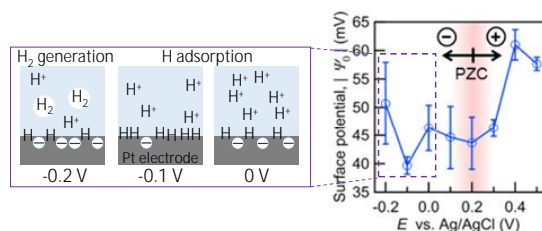


図5 EC-SFAにより評価した過塩素酸溶液中の白金電極における表面電位変化(成果リスト、論文3)

(4) 微小空間での酸化還元反応における電流増加条件と機構解明

電気化学表面力装置による電極表面間のナノ空間における電解液の電極電流の測定手法を確立した。この手法を、白金電極表面間のフェリシアン-フェロシアン水溶液に適用して、電極電流の電極間距離依存性を評価した。測定結果から、通常の酸化還元サイクル電流に加えて、これまで報告例のない数nmの近距離で観測される大電流を見出した。この機構については検討中である。

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20件)

1. K. Tomita, M. Mizukami, S. Nakano, N. Ohta, N. Yagi, F. F. Canova, A. L. Shluger, K. Kurihara, X-Ray Diffraction and Resonance Shear Measurement on Nano-Confined Ionic Liquids, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 査読有 [DOI: 10.1039/C7CP08611C] (in print)
2. S. Ito, M. Kasuya, K. Kurihara, M. Nakagawa, Surface Forces between Hydrophilic Silica Surfaces in a Moisture-sensitive Oleophilic Diacrylate Monomer Liquid Measurement, *AIP Advances*, 8(2) 025122 (2018) 査読有 [DOI: 10.1063/1.4991630]
3. S. Fujii, M. Kasuya, K. Kurihara,

- Characterization of Platinum Electrode Surfaces by Electrochemical Surface Forces Measurement, *J. Phys. Chem. C*, **121**, 26406–26413 (2017) 査読有
[DOI: 10.18914/tribologist.17-00006]
4. H.-Y. Ren, M. Mizukami, K. Kurihara, Preparation of Stable Silica Surfaces for Surface Forces Measurement, *Rev. Sci. Instrum.*, **88**(9), 095198 (2017) 査読有
[DOI: 10.1063/1.4986613]
 5. M. Kasuya, K. Tomita, M. Hino, M. Mizukami, H. Mori, S. Kajita, T. Ohmori, A. Suzuki, K. Kurihara, Nanotribological Characterization of Lubricants between Smooth Iron Surfaces, *Langmuir*, **33**(16), 3941–3948 (2017) 査読有
[DOI: 10.1021/acs.langmuir.7b00148]
 6. M. Mizukami, K. Kurihara, 共振ずり測定によるナノ閉じ込め液体の特性・摩擦解析, 表面科学, **38**, 117-122 (2017) 査読有
[DOI: 10.1380/jsssj.38.117]
 7. S. Ito, M. Kasuya, K. Kurihara, M. Nakagawa, Nanometer-Resolved Fluidity of an Oleophilic Monomer between Silica Surfaces Modified with Fluorinated Monolayers for Nanoimprinting, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **9**(7), 6591–6598 (2017) 査読有
[DOI: 10.1021/acsami.6b15139]
 8. S. V. Ketov, R. Joksimovic, G. Xie, A. Trifonov, K. Kurihara, D. V. Louzguine-Luzgin, Formation of Nanostructured Metallic Glass Thin Films upon Sputtering, *Heliyon*, **3**, e00228 (2017) [DOI: 10.1016/j.heliyon.2016.e00228]
 9. K. Kurihara, Molecular Architecture Studied by the Surface Forces Measurement, *Langmuir*, **32**(47), 12290-12303 (2016) [DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b03074]
 10. S. Yamada, K. A. Inomata, E. Kobayashi, T. Tanabe, K. Kurihara, Effect of a Fatty Acid Additive on the Kinetic Friction and Stiction of Confined Liquid Lubricants, *Tribol. Lett.*, **64**, 23, (2016) 査読有
[DOI: 10.1007/s11249-016-0756-x]
 11. H. Ajiro, S. Takahama, M. Mizukami, K. Kan, M. Akashi, K. Kurihara, Force Estimation on the Contact of Poly(L,L-lactide) and Poly(D,D-lactide) Surfaces Regarding Stereocomplex Formation, *Langmuir*, **32**(49), 9501-9506 (2016) 査読有
[DOI: 10.1021/acs.langmuir.6b02623]
 12. Y. Niiyama, N. Shimizu, A. Kuwayama, H. Okada, T. Takeno, K. Kurihara, K. Adachi, Friction and Delamination Properties of Self-Mating Diamond-Like Carbon Coatings in Water, *Tribol. Lett.*, **62**, 35, (2016) 査読有
[DOI: 10.1007/s11249-016-0682-y]
 13. M. Kasuya, T. Sogawa, T. Masuda, T. Kamijo, K. Uosaki, K. Kurihara, Anion Adsorption on Gold Electrodes Studied by Electrochemical Surface Forces Measurement, *J. Phys. Chem. C*, **120**, 15986–15992 (2016) 査読有
[DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b12683]
 14. T. Onodera, T. Nakakawaji, K. Adachi, K. Kurihara, M. Kubo, Tribochemical Degradation of Polytetrafluoroethylene Catalyzed by Copper and Aluminum Surfaces, *J. Phys. Chem. C*, **120**, 10857–10865 (2016) 査読有
[DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b00799]
 15. H.-Y. Ren, M. Mizukami, T. Tanabe, H. Furukawa, K. Kurihara, Friction of Polymer Hydrogels Studied by Resonance Shear Measurements, *Soft Matter*, **11**, 6192-6200 (2015) 査読有
[DOI: 10.1039/C5SM01087J]
 16. F. F. Canova, M. Mizukami, T. Imamura, K. Kurihara, A. L. Shluger, Structural Stability and Polarisation of Ionic Liquid Films on Silica Surfaces, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17**, 17661-17669 (2015) 査読有
[DOI: 10.1039/C5CP02299A]
 17. X. Shi, S. Ostrovidov, Y. Zhao, X. Liang, M. Kasuya, K. Kurihara, K. Nakajima, H. Bae, H. i Wu, A. Khademhosseini, Microfluidic Spinning of Cell-Responsive Grooved Microfibers, *Adv. Funct. Mater.*, **25**, 2250–2259 (2015) 査読有
[DOI: 10.1002/adfm.20140453]
 18. R. Jaksimovic, M. Mizukami, D. Hojo, T. Adschiri, K. Kurihara, Surface Forces between Mica Surfaces Confining Inorganic Nanoparticle Dispersions and Frictional Properties, *Colloids and Surfaces A*, **468**, 70-77 (2014) 査読有
[DOI: 10.1016/j.colsurfa.2014.09.002]
 19. M. Kasuya, K. Kurihara, Characterization of Ferrocene-Modified Electrode Using Electrochemical Surface Forces Apparatus, *Langmuir*, **30**(24) 7093-7097 (2014) 査読有
[DOI: 10.1021/la5009347]
 20. T. Onodera, K. Kawasaki, T. Nakakawaji, Y. Higuchi, N. Ozawa, K. Kurihara, M. Kubo, Effect of Tribochemical Reaction on Transfer-Film Formation by Poly(tetrafluoroethylene), *J. Phys. Chem. C*, **118**(22), 11820–11826 (2014) 査読有
[DOI: 10.1021/jp503331e]
- 〔学会発表〕(計 41 件)
1. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Material Science, 255th ACS National Meeting, New Orleans, USA, (2018.3.18-22)(Invited)
 2. M. Kasuya, K. Kurihara, Precise

- Characterization of Electric Double Layer of Electrode Using Electrochemical Surface Forces Apparatus, Kick-off Symposium for World Leading Research Centers Japan, Sendai, Japan, (2018.2.20)
3. K. Kurihara, Twin-path Surface Forces Apparatus and Its Applications for Characterizing Electrodes and Other Interfaces, Tohoku Visit: February 2018 (at The University of Melbourne), Melbourne, Australia, (2018.2.6)(Invited)
 4. K. Kurihara, Twin-path Surface Forces Apparatus and Its Applications, Seminar at Monash University, Melbourne, Australia, (2018.2.5)(Invited)
 5. 栗原和枝, 材料科学のための表面力測定, 長崎大学第3期中期目標・中期計画重点研究課題「次世代エネルギー関連技術に向けた革新的物質科学研究拠点」第5回セミナー 第685回化学・物質工学セミナー, 長崎, (2018.1.26)(招待)
 6. M. Kasuya, K. Kurihara, Characterization of ferrocene-modified electrode using electrochemical surface forces apparatus, Kolloid-Tagung and FCS-Workshop Conference, München, Germany, (2017.10.9-11)
 7. K. Kurihara, Twin-path Surface Forces Apparatus for Opaque Samples and Its Applications, Kolloid-Tagung and FCS-Workshop Conference, München, Germany, (2017.10.9-11)
 8. 栗原和枝, 粕谷素洋, 電気化学表面力装置による電極界面評価, 第68回コロイドおよび界面化学討論会, 神戸, (2017.9.6-8)
 9. 佐野優花, 粕谷素洋, 栗原和枝, 固-水界面におけるpHに対する電解質添加の効果の蛍光分光表面力装置による評価, 第68回コロイドおよび界面化学討論会, 神戸, (2017.9.6-8)
 10. M. Kasuya, K. Kurihara, Characterization of Ferrocene-Modified Electrode Using Electrochemical Surface Forces Apparatus, 2017 International Workshop on Electrified Interfacial Energy Conversions (EIC2017), Hayama, Japan, (2017.5.18-21)
 11. K. Kurihara, Electrochemical Surface Forces Apparatus and Application, 2017 International Workshop on Electrified Interfacial Energy Conversions (EIC2017), Hayama, Japan, (2017.5.18-21)(Invited)
 12. M. Kasuya, Characterization of Electrode Electrolyte Interfaces Using Electrochemical Surface Forces Apparatus, Advanced Materials...Scientific & Engineering Challenges, Melbourne, Australia, (2017.5.8-11)(Invited)
 13. 粕谷素洋, 表面力・共振ずり測定によるトライボロジー評価, 油化学会平成28年度 第63回界面科学部会秋季セミナー, 葉山, (2017.10.30-11.1)(招待)
 14. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Materials Science, Lecture, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, (2017.3.24)(Invited)
 15. 粕谷素洋, 多様な材料表面間の閉じ込め液体の特性評価, 日本化学会 第97春季年会, 横浜, (2016.3.16-19)(招待)
 16. 佐野優花, 齋藤由布子, 粕谷素洋, 栗原和枝, 蛍光分光表面力装置を用いた固-液界面のpH評価における電解質の効果, 第67回コロイドおよび界面化学討論会, 旭川, (2016.9.22-24)
 17. 栗原和枝, ナノ空間の液体の特性と摩擦・潤滑, 応用物理学会2016年第3回極限ナノ造形・構造物性研究会, 東京, (2016.8.1)(招待)
 18. 栗原和枝, 表面力測定 of 材料科学への展開, 第36回猿橋賞授賞式記念講演, 東京, (2016.5.28)(招待)
 19. K. Kurihara, Development of Surface Forces Measurement for Materials Science, Advanced Materials...Scientific & Engineering Challenges, Melbourne, Australia, (2016.5.8-11)(Plenary)
 20. 粕谷素洋, 電気化学表面力装置による電極-電解液界面の特性評価, 2015年真空・表面科学合同講演会 第35回表面科学学術講演会 第56回真空に関する連合後援会, つくば, (2015.12.1-3)(招待)
 21. K. Kurihara, Recent Development of Surface Forces Measurement, 6th Asian Conference on Colloid and Interface Science (ACCIS2015), Sasebo, Japan, (2015.11.25-27)(Plenary)
 22. K. Kurihara, Recent Development of Surface Forces Measurement for Materials Science, Western Pacific Colloids 2015 (WPC2015), Siem Reap, Cambodia, (2015.11.15-19)
 23. 佐野優花, 齋藤由布子, 粕谷素洋, 栗原和枝, Evaluation of pH at the mica-water interface using SFA apparatus fluorescence spectroscopy, 平成27年度化学系学協会東北大会, 弘前, (2015.9.12)
 24. 粕谷素洋, 走川司, 増田卓也, 魚崎浩平, 栗原和枝, 金電極におけるアニオン吸着の表面電荷に対する影響の電気化学表面力装置による評価, 第66回コロイドおよび界面化学討論会, 鹿児島, (2015.9.10-12)
 25. K. Kurihara, Surface Forces Measurement: Fundamentals and Recent Development, Seminar of National Taiwan University, Taipei, Taiwan, (2015.7.22-24)
 26. K. Kurihara, Confined Liquids Studied by Surface Forces Measurement and Applications for Tribology, International Conference of Colloids and Interface

- Science, Taipei, Taiwan, (2015.7.22-24)(Plenary)
27. 栗原和枝, 先端ナノ界面計測と摩擦研究への展開, 東北経済連合会第3回定時総会, 仙台, (2015.6.4)(特別)
 28. M. Kasuya, K. Kurihara, Characterization of Ferrocene Modified Electrode Using Electrochemical Surface Forces Apparatus, IACIS2015, Mainz, Germany, (2015.05.24-29)
 29. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Studying Confined Liquids, IACIS2015, Mainz, Germany, (2015.05.24-29)(Plenary)
 30. 佐野優花, 齊藤由布子, 粕谷素洋, 栗原和枝, 蛍光分光表面力装置を用いた固-液界面のpH評価, ナノ学会第13回大会, 仙台, (2015.5.11-13)
 31. 粕谷素洋, 栗原和枝, フェロセン修飾電極におけるイオン対形成の電気化学表面力装置を用いた定量的評価, ナノ学会第13回大会, 仙台, (2015.5.11-13)
 32. 栗原和枝, 表面力測定により見るナノの世界, ナノ学会第13回大会, 仙台, (2015.5.11-13)(基調)
 33. K. Kurihara, Surface Forces Measurement for Molecular Engineering, IME Special Seminar, Chicago, USA, (2015.4.29)(Invited)
 34. 粕谷素洋, 栗原和枝, 電気化学表面力装置によるフェロセン修飾電極におけるイオン対形成の定量的評価, 日本化学会第95春季年会, 船橋, (2015.3.26-29)
 35. 佐野優花, 粕谷素洋, 栗原和枝, 日蛍光分光表面力装置を用いた固-液界面のpH評価, 日本表面科学会東北・北海道支部学術講演会, 札幌, (2015.3.9-10)
 36. 粕谷素洋, 電気化学表面力装置によるフェロセン修飾電極のイオン対形成の定量的評価, 第2回アライアンス若手研究交流会, 大阪, (2014.11.26-27)(招待)
 37. 栗原和枝, 表面力測定を用い、固-液界面を分子レベルで見る, 日本表面科学会東北・北海道支部学術講演会, 札幌, (2015.3.9)(特別)
 38. 栗原和枝, 表面力測定が見いだす界面の新奇現, 日本分光学会高感度表面・界面部会第6回シンポジウム, 仙台, (2015.3.6)(招待)
 39. 栗原和枝, 表面力測定の最近の展開, 日本化学会化学系学協会東北大会, 米沢, (2014.9.21)(特別, 招待)
 40. K. Kurihara, Electrochemical Surface Forces Apparatus for Characterizing Chemically-modified Electrodes, 1st U Chicago/AIMR Joint Research Center Workshop, Sendai, Japan, (2014.9.18-19)(Invited)
 41. K. Kurihara, Novel Instrumentation in Surface Forces Measurement, Surface Forces Apparatus Conference 2014, Cancun,

Mexico, (2014.08.24-29) (Invited)

〔図書〕(計6件)

1. 栗原和枝, 吸着表面のその場観察, 界面活性剤評価・試験法 第二版, 2章2節3章d, 日本油化学会, 2016, 135-136
2. 水上雅史, 栗原和枝, トライボロジー測定法の進歩, 表面・界面技術ハンドブック, 2編1章5節, エヌ・ティ・エス, 2016, 193-197
3. K. Kurihara, Self-Assembled Monolayer, Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, Springer, 2015, 2187-2189
4. K. Kurihara, Molecular Self-Organization, Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, Springer, 2015, 1289-1291
5. 水上雅史, 粕谷素洋, 栗原和枝, 液体の潤滑性と分子レベルでの機構解明, 日本油化学会, オレオサイエンス, 15(5), 2015, 205-211
6. M. Kasuya, K. Kurihara, Novel Surface Forces Apparatus for Characterizing Solid-Liquid Interfaces, The Electrochemical Society of Japan, Electrochemistry, 82(5), 2014, 317-321 [DOI: 10.5796/electrochemistry.82.317]

〔その他〕

受賞

1. 栗原和枝, 文部科学大臣表彰科学技術賞, “新規表面力装置の開発と材料科学への応用に関する研究”
2. 栗原和枝, 高分子科学功績賞, “分子材料科学のための表面力測定の開拓”
3. 栗原和枝, 日本女性科学者の会功労賞

アウトリーチ活動

1. サイエンスデイ 2017 (2017年7/16 開催地: 東北大学川内キャンパス)
2. サイエンスデイ 2016 (2016年7/19 開催地: 東北大学川内キャンパス)
3. 材料フェスタ in 仙台 出展 (2014年7/28-29 開催地: 仙台国際センター)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

栗原 和枝 (Kurihara Kazue)
東北大学・未来科学技術共同研究センター・教授
研究者番号: 50252250

(2) 研究分担者

粕谷 素洋 (Kasuya Motohiro)
東北大学・多元物質科学研究所・助教
研究者番号: 00582040

(3) 連携研究者

水上 雅史 (Mizukami Masashi)
東北大学・多元物質科学研究所・准教授)
研究者番号: 60333902