

平成 29 年度 未来研究ラボシステム 研究成果報告書

研究種目： 新領域開拓 研究期間：平成 26 年 10 月～平成 29 年 9 月

研究課題名：イオン液体の界面およびナノ空間内における溶質イオンの挙動解明と新規デバイス・材料開発への展開

ラボ長

所属：大阪大学大学院基礎工学研究科 物質創成専攻 機能物質化学領域

氏名：今西 哲士

研究成果：

研究目的：近年、塩でありながら常温で液体であるイオン性液体は、その特徴的な物理的・化学的性質から、電気化学エネルギーデバイスの電解質や、触媒反応の反応場、あるいは電析技術の電解質に用いられる等、様々な分野で注目を集めている。しかし、その一方で、イオン液体中に存在する溶質分子・原子の移動ダイナミクスや、反応ダイナミクスはまだかなりの部分が未解明のままである。特に、電極界面やナノ空間中におけるこうした溶質分子の挙動は、様々なデバイスの特性に大きな影響を与えるために、早急な解明が待たれている。さらに、こうしたダイナミクスをうまく利用することによって、これまでの液体溶媒では不可能だったデバイス・材料形成や触媒反応が可能になると期待される。本研究チームでは、界面測定、電気化学エネルギーデバイス、ナノ構造形成、界面化学・ナノ空間化学反応の専門家を集め、分子論的観点から、界面やナノ空間中におけるイオン液体溶媒の電離層、溶媒和層、拡散層などの形成メカニズムとその反応場における溶質分子の反応挙動を明らかにする。さらに、これによって、イオン液体を用いた材料形成やエネルギーデバイス開発、触媒開発など、新しい分野の創成を目指すものである。

得られた結果：

1. イオン液体/電極界面における金属イオンの拡散挙動の制御とその応用

この研究を始めるにあたって、イオン液体中の金属イオン拡散に関して Hopping 様の新しいモデルを提唱していた。本研究においては、体系的に種々の

金属イオンについて多くの実験を重ねることによって、このモデル内におけるパラメータの意味を明らかにし、これをもとに拡散挙動の制御を可能にすることに成功した。

図 1 には、イオン液体 (BMI-TFSA) 中に Au^{3+} および Ag^+ イオンを溶かした電解液を用い、金属イオンの拡散律速下、イオンの還元反応が起き ($\text{M}^{n+} + ne^- \Rightarrow \text{M}$) 電位における、電極付近の金属イオンの濃度空間分布を、我々が開発した電気化学 XPS (EC-XPS) (図 2) を用いて調べたものである。共に、我々が「欠乏領域」と名付けた、金属イオン濃度が極端に少ない領域が電極から広がっているのが分かる (この領域においては、まさにホッピングによる高速拡散が起きている)。 Ag^+ に比べて、 Au^{3+} の方が明らかに欠乏領域が広い。我々の拡散モデルをベースにしたシミュレーション解

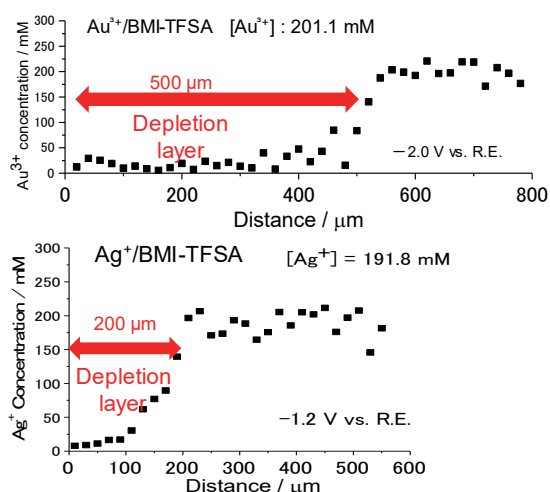


図 1：独自に開発した In-situ 型の電気化学光電子分光装置

析により、これは Au^{3+} の方がイオン半径が小さいために、ホッピングサイトとして利用出来る実効的なホール濃度（金属イオンは、自身よりも小さなサイズのホールはホッピングサイトとして利用出来ない）が大きく、ホッピングによる高速拡散が促進されていることを意味していることが分かった。また、クロノアンペロメトリー（電位印可後の過渡電流を測定する手法）の温度依存性測定を行うことによって、ホッピングサイト間のポテンシャル測定を行った結果、いずれの金属イオンにおいても、通常の固体中拡散に比較して大幅にポテンシャルが小さく、これが高速拡散の一因となっていることが分かった。

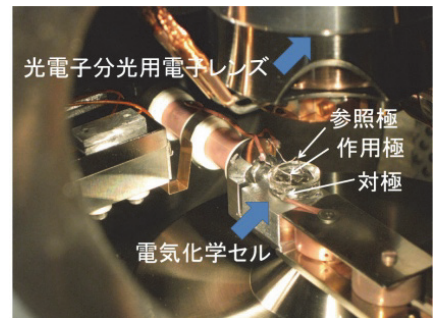


図2：独自に開発した In-situ 型の電気化学光電子分光装置

他にも、Cu, Mg など異なるイオンサイズ、電荷を持つ種々の金属イオンについて同様の実験、解析を体系的に行った結果、イオンサイズが大きいくほど上述した実効ホール濃度が小さくなることが分かった。また拡散障壁はイオン液体のサイズ（局所構造）に大きく依存し、従来の金属イオン拡散モデル言われていたように、金属イオンの電荷量にはあまり依存しない（つまり、金属イオンとまわりのイオン液体同士のクーロン相互作用）ことが明らかになった。

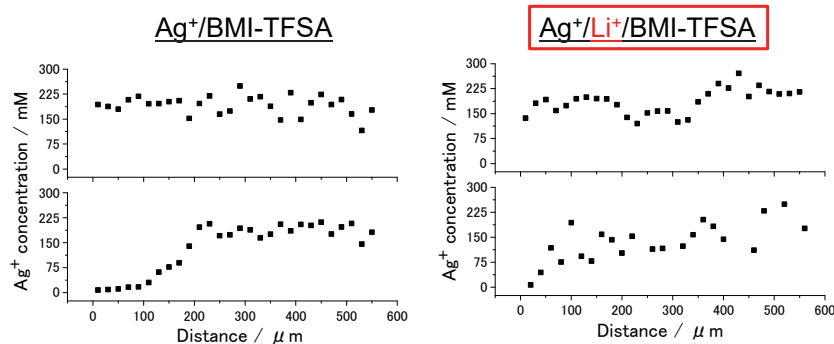


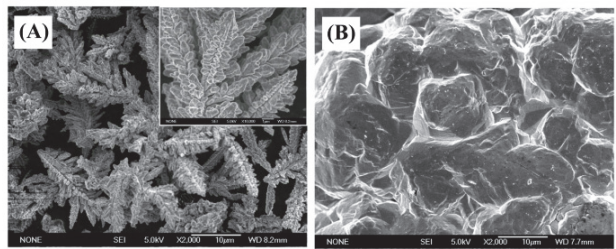
図3：左）イオン液体(BMI-TFSA)中に Ag^+ イオンを溶かし、0V(上段)および-1.2V(下段)印加下における、 Ag^+ イオンの濃度空間分布。横軸は、電極表面を0として、そこからの距離を表す。右) 同じ系にLiイオンを加えたものの結果。

形成の様子を観察した結果を、図3に示す。左図は、リチウムを入れないもので、上段は電位をかけていないもの、下段は-1.2V ($\text{Ag}^+ + e^- \Rightarrow \text{Ag}$ 反応が起こる電位) 印加したものである。電位印可後、 $200\mu\text{m}$ にもわたる広い欠乏領域 (Ag^+ の濃度が異常に低くなる領域) が広がっている。一方で、右図はリチウムイオンを加えたときのものであるが、そうした空乏層（広い拡散層）の形成が抑えられているのが分かる。これは、加えたリチウムイオンによって、 Ag^+ イオンのホッピング拡散サイトが占有され、ホッピング拡散による“早い拡散”が抑制された結果によるものであると考えられる。他にも、 Ag^+ とはサイズの異なる金属イオンを使って実験を行った結果、金属イオンのサイズが小さくなるにつれて、有効なホール濃度（ホッピングサイトとして機能するホールの濃度）が増大し、ホッピング拡散過程が促進されることが分かった。

こうした拡散速度の変化は、様々な電気化学反応に大きな影響を与える。そこで、不活性イオンの添加効果が反応溶質である金属イオンの制御に非常に有効であることを示すために、拡散速

こうして、ホッピング拡散の促進する要因や、物理的メカニズムを明らかにすると同時に、これをもとに拡散挙動の制御を行った。 Ag^+ /BMI-TFSA溶液に添加物としてリチウムイオンを入れて（注：リチウムイオンは、今回の条件では電極反応しない）、その時の拡散層

度制御を利用して、電析物の形状制御を試みた。図4 (A) に、 Ag^+ を溶かしたイオン液体 (BMI-TFSA) 中での電析物、図4 (B)にこれに少量の Li^+ イオンを添加し、拡散速度を少しだけ殺した (ホッピング拡散を抑制した) 状況で作製した電析物の SEM 像を示す。



Li^+ 添加によって、拡散速度が抑えられ、速度論支配によるデンドライト成長 (図4 (A)) が、熱力学支配による平滑面成長 (図4 (B)) に変

図4 : (A) Ag^+ を溶かしたイオン液体 (BMI-TFSA) 中での電析物の SEM 写真 (B)同じ系に、少量の Li^+ イオンを加えた場合。ダイナミクスの変化が、電析成長様式に大きな影響を与える。

わったことを示している。図4 (A)のようなデンドライト電析物は、Li, Mn, Mg, Ca 電池などの2次電池で問題となっており、(これが電極に出来ると、ショートの原因となり、電池の寿命を大きく縮める) 今回の結果は、こうした問題点を克服する突破口を切り開いたものと見なすことが出来る。

2. ナノ構造化電極界面を利用した新しい物性発現の成功と機能化材料の創成

数十から数百 nm の直径を持つくぼみを周期的に並べた Au 電極を用いて、電位掃引時において、イオン液体の溶媒和層の構造がどのように変化するかを調べた。その結果、BMI-TFSA イオン液体の場合、160 nm 直径近傍のくぼみを持つ電極においてのみ、非常に大きなキャパシタンスを示すことが分かった (図5)。交流インピーダンス測定法を用いて、さらに詳しい挙動を調べた結果、負から正に電位を掃引する途中に電極界面においてカチオン層 (BMI⁺層) とアニオン層 (TFSA⁻層) の交代が起きるが、カチオンとアニオンのモビリティの違いから、特定の電圧で溶媒和層 (電気二重層) が大きく圧縮された状態が形成されることが分かった。また、興味深いことにこの現象は、特定のくぼみ直径を持つ電極でのみ起きるが、ここで使用しているくぼみ直径とは、100 nm オーダーであり、1~2 nm のイオン液体のサイズとは全くオーダーが異なる。詳しく調べたところ、くぼみ内における曲率により、基板最近接の第一層目内におけるイオンペアの周期と第二、第三層目におけるイオンペアの周期がわずかに異なり、これがモアレのような干渉構造を形成することによって、100 nm オーダーという特定のサイズのくぼみに対して特異的な配向構造をとり、これが大きなキャパシタンスを生んでいることが分かった (図6)。

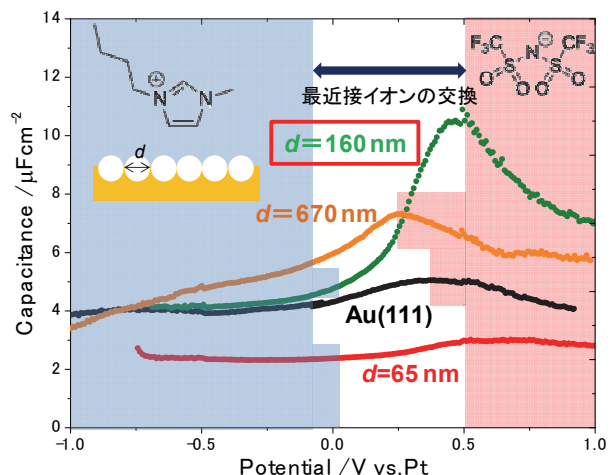
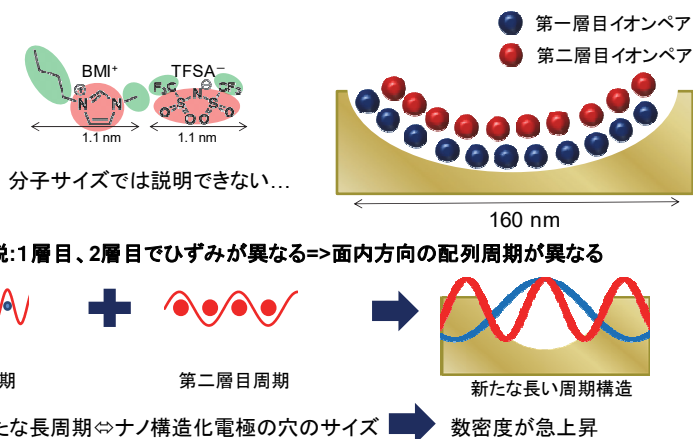


図5 : BMI-TFSA 中におけるナノ構造化 Au 電極界面でのキャパシタンスの印加電圧依存性。0.0V 以下の青い領域ではカチオン層 (BMI⁺) が最も電極に近く、ピンクの領域ではアニオン層 (TFSA⁻) が最も近い。層の交代が起きる白い領域付近でキャパシタンスが大きく上昇するが、くぼみ径 160nm のものが、飛び抜けて大きく、これよりも径が大きくても小さくてもキャパシタンス値は小さくなる。

図6：くぼみの持つ曲率により、第一層目とだいたい2, 3層目のイオンペアの面内方向への配列周期が異なる。このため、モアレパターンのように新たな長周期パターンが生まれ、これがくぼみ径と対応したときに、堅固で特異的な配向をもった溶媒和層が出来る。この特異的な配向や層の厚みが、誘電率の増大や電気二重層の層間距離の減少をもたらし、キャパシタンスを大きくするものと考えられる。



この現象を積極的に制御、

利用できれば、巨大キャパシタンスの創成や、電極近傍における高速拡散（拡散挙動は、イオン液体の配向構造に大きく依存する）を引き出すことが出来る。界面付近におけるイオン液体の局所構造を利用した、まったく新しい物性制御の手法を発見したものであり、今後、様々な領域に波及が期待される。

3. ナノ空間を利用したイオン液体の構造制御と、新しい反応場の創成と利用

金属イオンを含むイオン液体溶液をナノ細孔電極などのナノ空間内に閉じ込めると、きれいな配向構造をとり、またイオン液体を含めたイオン比がバルク溶液中のそれとは大きくことなる(図7)。こうしたナノ空間内の特殊なイオン液体局所構造は、上記したような特異的な拡散挙動を制御したり、新たな化学反応場として利用出来る可能性が期待される。我々は、異なる金属イオンを含んだイオン液体を用いてナノ空間内における構造、イオン比、熱的性質などを調べた。

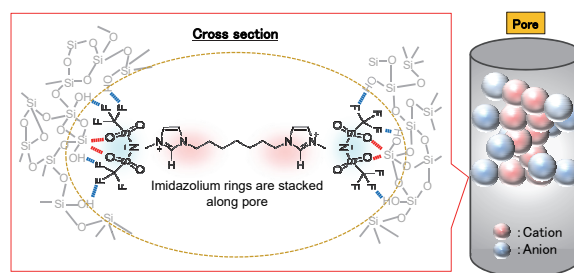


図7：直径1.8nmのポーラスシリカ内におけるイオン液体の配向の様子。中心側にアニオン、外側にカチオンが並び、それぞれがきれいに配向している。こうした構造が拡散チャンネルとなり、特異的な拡散様式を発現しているものと思われる。

まず、顕著な特徴として、ナノ空間内においては、金属イオンの濃度濃縮が起きることを発見した。図8に、イオン液体溶液の調製濃度と細孔内濃度との関係を示す。AuとAgイオンに関しては、細孔内の方が濃度が高く、特にAuは約20倍以上というバルク中では調製できない範囲まで金属イオンが濃縮されているのが分かる。また、各試料の示差熱測定を行ったところ、細孔内濃縮が起きる系ほど、ガラス転移温度が高いことが分かった。イオン液体の場合、ガラス転移温度が高いほど、局所粘度が高く強固な局所構造をもつ

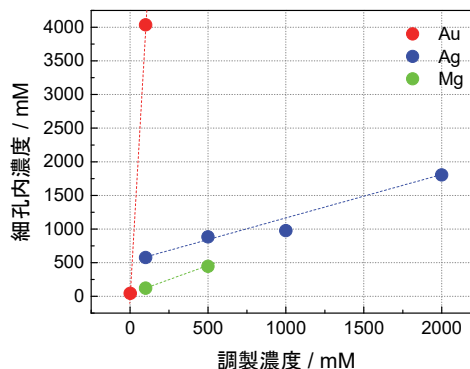


図8：イオン液体溶液の調製時の金属イオン濃度（横軸）と細孔内濃度（縦軸）

ことが知られていること。つまり、細孔内における金属イオン濃縮は、細孔内イオンの局所構造とも深い関連性を持っていることを示している。そこで、各試料に対して、外部から X 線または電子線を照射することによって、細孔内部で金属イオンを還元し、金属微粒子を還元析出させる実験を行った。図 9 に、細孔内濃度と析出した金属微粒子の粒径の分散を示す。細孔内

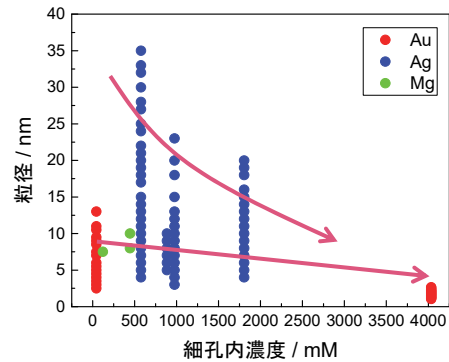


図 9 : 細孔内の金属イオン濃度 (横軸) と還元析出した金属微粒子の粒径分布 (縦軸)

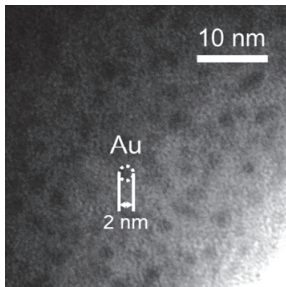


図 10 : Au³⁺/BMI-TFSA 溶液を用いてナノ細孔内 (2 nm φ) に析出させた高密度高分散 Au 微粒子の TEM 像

濃度が高く、より強固な局所構造を持ったものほど、粒径が小さくサイズ分散も小さくなっていることが分かる。特

に濃度濃縮が顕著な Au イオンの場合、特に高分散、高密度な微粒子が作成出来ることが分かった (図 10)。また、赤外吸収の実験から、こ

うした高密度局所構造を持つイオン液体内では、CO 分子等の比較的小さな分子が高速拡散して容易に微粒子表面に到達できることが分かった。これらのことは、これまで不可能だった高密度触媒微粒子材料の作成が可能になることを示しており、今後様々な分野に波及していく

ものと考えられる。

キーワード : イオン液体、溶媒和層、キャパシタンス、ナノ構造、光電子分光、電極、拡散

研究経費 (H29 年度) の内訳

備品費	消耗品費	旅費	謝金	その他	合計
0 円	307,630 円	213,370 円	0 円	29,000 円	550,000 円

共同研究者等

(1) 共同研究者 (氏名・所属)

津田哲哉 大阪大学大学院工学研究科・准教授

深見一弘 京都大学大学院工学研究科・准教授

(2) 研究協力者 (氏名・所属・学年 (学生の場合))

小田 奈緒子 大阪大学大学院基礎工学研究科・M2 (H29 年度)

宮口 奈穂 大阪大学大学院基礎工学研究科・M2 (H28 年度)

楠本 将平 大阪大学大学院基礎工学研究科・M2 (H26-27 年度)

発表論文等（平成 30 年 3 月 31 日現在）

研究代表者および主な共同研究者の研究業績のうち、本研究課題に関連するもののみを、現在から順に発表年次を過去に遡って記入してください。

[雑誌論文]

- 1) Yasuyuki Yokota, Hiroo Miyamoto, Akihito Imanishi, Kouji Inagaki, Yoshitada Morikawa, and Ken-ichi Fukui: “Structural and dynamic properties of 1-butyl-3-methyl-imidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide / mica and graphite interfaces revealed by molecular dynamics simulation”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 20 (2018) 6668-6676.
- 2) Yasuyuki Yokota, Sumito Akiyama, Yukio Kaneda, Akihito Imanishi, Kouji Inagaki, Yoshitada Morikawa, and Ken-ichi Fukui: “Computational investigations of electronic structure modifications of ferrocene-terminated self-assembled monolayers: Effects of electron donating/withdrawing functional groups attached on ferrocene moiety”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 19 (2017) 32715-32722.
- 3) Ken-ichi Amano, Yasuyuki Yokota, Takashi Ichii, Norio Yoshida, Naoya Nishi, Seiji Katakura, Akihito Imanishi, Ken-ichi Fukui, and Tetsuo Sakka: "Relationship between Force Curve Measured by Atomic Force Microscopy in Ionic Liquid and its Density Distribution on a Substrate", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 19(2017) 30504—30512.
- 4) R. Ide, Y. Fujimori, Y. Tsuji, T.Higashino, H. Imahori, H. Ishikawa, A. Imanishi, K. Fukui, M. Nakamura, and N. Hoshi, "Structural Effects on the Incident Photon-to-Current Conversion Efficiency of Zn Porphyrin Dyes on the Low-Index Planes of TiO₂", *ACS Omega* 2 (2017) 128-135.
- 5) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Sakurako Ono, Akihito Imanishi, Yugo Okada, Hiroyuki Matsui, Takafumi Uemura, Jun Takeya and Ken-ichi Fukui, "Gradual improvements of charge carrier mobility at ionic liquid/rubrene single crystal interfaces", *Appl. Phys. Lett.*, 108(2016)083113.
- 6) Y. Yokota, S. Akiyama, Y. Kaneda, A. Imanishi, K. Inagaki, Y. Morikawa, and K. Fukui, “Density Functional Theory Investigations of Ferrocene-Terminated Self-Assembled Monolayers: Electronic State Changes Induced by Electric Dipole Field of Coadsorbed Species”, *J. Phys. Chem. C*, 120(2016)8684-8692.
- 7) Hiro Minamimoto, Haruyasu Irie, Taro Uematsu, Tetsuya Tsuda, Akihito Imanishi, Shu Seki, Susumu Kuwabata, "Polymerization of Room-Temperature Ionic Liquid Monomers by Electron Beam Irradiation with the Aim of Fabricating Three-Dimensional Micropolymer/Nanopolymer Structures", *Langmuir*, 31(2015)4281-4289.
- 8) Hiro Minamimoto, Haruyasu Irie, Taro Uematsu, Tetsuya Tsuda, Akihito Imanishi, Shu Seki, Susumu Kuwabata "Fine Patterning of Silver Metal by Electron Beam Irradiation onto Room-Temperature Ionic Liquid", *Chem. Lett.*, 44(2015)312-314.
- 9) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Akihito Imanishi, Takafumi Uemura, Jun Takeya, Ken-ichi Fukui, "Molecularly Clean Ionic Liquid/Rubrene Single-Crystal Interfaces Revealed by Frequency Modulation Atomic Force Microscopy", *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 17(2015)6794-6800.

- 10) Tetsuya Tsuda, Yuichi Ikeda, Akihito Imanishi, Shohei Kusumoto, Susumu Kuwabata, Gery R. Stafford, Charles L. Hussey, "Electrodeposition of Al-W-Mn Ternary Alloys from the Lewis Acidic Aluminum Chloride-1-Ethyl-3-methylimidazolium Chloride Ionic Liquid", *J. Electrochem. Soc.* 162(2015)D1-D7.
- 11) Yasuyuki Yokota, Yoshitada Mino, Yuta Kanai, Toru Utsunomiya, Akihito Imanishi, Ken-ichi Fukui, "Electronic-State Changes of Ferrocene-Terminated Self-Assembled Monolayers Induced by Molecularly Thin Ionic Liquid Layers: A Combined Atomic Force Microscopy, X-ray Photoelectron Spectroscopy, and Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy Study", *J. Phys. Chem. C*, 119 (2015)18467-18480.
- 12) Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Sakurako Ono, Akihito Imanishi, Yugo Okada, Hiroyuki Matsui, Takafumi Uemura, Jun Takeya and Ken-ichi Fukui, "Gradual improvements of charge carrier mobility at ionic liquid/rubrene single crystal interfaces", *Appl. Phys. Lett.*, 08(2016)083113.
- 13) Hiro Minamimoto, Haruyasu Irie, Taro Uematsu, Tetsuya Tsuda, Akihito Imanishi, Shu Seki, Susumu Kuwabata, "Polymerization of Room-Temperature Ionic Liquid Monomers by Electron Beam Irradiation with the Aim of Fabricating Three-Dimensional Micropolymer/Nanopolymer Structures", *Langmuir*, 31(2015)4281-4289.
- 14) Hiro Minamimoto, Haruyasu Irie, Taro Uematsu, Tetsuya Tsuda, Akihito Imanishi, Shu Seki, Susumu Kuwabata, "Fine Patterning of Silver Metal by Electron Beam Irradiation onto Room-Temperature Ionic Liquid", *Chem. Lett.*, 44(2015)312-314.

[著書]

今西哲士“イオン液体特有の局所構造とその反応場を利用した量子線還元 Au 微粒子形成”、*Colloid & Interface Communication* Vol.40(2015)9-12.

[学会発表]

1. 電気二重層有機 FET の界面に生じるキャリア - イオン液体間相互作用の解析
岡上大二朗, 大野桜子, 阪本康太, 名藤広晃, 佐藤大輝, 田邊一郎, 今西哲士, 竹谷純一, 福井賢一, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2018 年 3 月 17-20 日
2. Analysis on diffusion behavior of Mg^{2+} solute in ionic liquid thin film on Au(111) using angle-resolved XPS, Chiaki Katayama, Fumiya Chujo, Akihito Imanishi, Ken-ichi Fukui, 5th Kansai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, Osaka, January 16, 2018
3. ナノ細孔内イオン液体中における金属イオンの挙動と X 線還元による金属微粒子形成, 小田奈緒子, 紀本千智, 有村孝, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, 第 8 回イオン液体討論会, 東京, 2017 年 11 月 24 日
4. Diffusion of magnesium ion in ionic liquid thin film on Au(111) analyzed by angle resolved X-ray photoelectron spectroscopy, Chiaki Katayama, Fumiya Chujo, Akihito Imanishi and Ken-ichi Fukui, ISSS-8 (The 8th International Symposium on Surface Science), Tsukuba, October 22-26, 2017

5. Influence of Nano-structuring of Electrode on Solvation layer of Ionic Liquid Studied by Impedance Spectroscopy, Akihito Imanishi, Nao Miyaguchi, Koji Takagi, Ken-ichi Fukui, ISSS-8 (The 8th International Symposium on Surface Science), Tsukuba, October 22-26, 2017
6. イオン液体 / ルブレン OFET の界面局所構造とキャリア移動度
岡上大二朗, 大野桜子, 阪本康太, 名藤広晃, 佐藤大輝, 田邊一郎, 今西哲士, 竹谷純一, 福井賢一, 第5回インタラクティブ交流会, 滋賀, 2017年9月31日-10月1日
7. イオン液体を用いた電気二重層 FET のキャリア移動度と界面構造との相関, 阪本康太, 大野桜子, 岡上大二朗, 名藤広晃, 佐藤大輝, 今西哲士, 田邊一郎, 竹谷純一, 福井賢一, 第78回応用物理学会秋季学術講演会, 福岡, 2017年9月6日
8. Influence of Nano-Structuring of Substrate Materials on Local Structure of Ionic Liquid, Akihito Imanishi, 231st ECS (The Electrochemical Society) Meeting, New Orleans, USA, May 28-June 3, 2017 (招待講演)
9. イオン液体種に強く依存した界面構造形成と電気二重層FETのキャリア移動度の相関, 大野桜子, 名藤広晃, 阪本康太, 今西哲士, 田邊一郎, 竹谷純一, 福井賢一, 第64回応用物理学会春季学術講演会, 横浜, 2017年3月14日
10. ナノ細孔内のイオン液体を反応場とした X線還元金属微粒子形成の金属イオン種依存性, 小田奈緒子, 紀本千智, 有村孝, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, 日本化学会第97春季年会, 横浜, 2017年3月18日
11. Au電極表面上の規則的ナノ構造が界面イオン液体の分子挙動に与える影響, 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, 電気化学会第84回大会, 首都大学東京, 2017年3月25日
12. 規則的にナノ構造化された Au電極との界面におけるイオン液体の分子挙動, 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, 第5回JACI/GSCシンポジウム, 神戸, 2016年6月3日
13. Fabrication of Ionic Liquid Ultrathin Films and Their Interfacial Structure Analyses, Akihiro Takahashi, Fumiya Chujo, Ichiro Tanabe, Akihito Imanishi and Ken-ichi Fukui, Symposium on Surface Science & Nanotechnology -25th Anniversary of SSSJ Kansai- (SSSN-Kansai), Kyoto, January 24, 2017
14. Electrochemical FM-AFM Analysis of Local Structural Change of Ionic Liquid / Organic Semiconductor Interfaces, Sakamoto Kota, Imanishi Akihito, Tanabe Ichiro, Takeya Jun, Fukui Ken-ichi, Symposium on Surface Science & Nanotechnology -25th Anniversary of SSSJ Kansai- (SSSN-Kansai), Kyoto, January 24, 2017
15. Local Structure Analysis of Ionic Liquid / Organic Semiconductor interfaces by Electrochemical FM-AFM, Kota Sakamoto, Akihito Imanishi, Ichiro Tanabe, Jun Takeya, Ken-ichi Fukui, 4th Kansai Nanoscience and Nanotechnology and 12th Handai Nanoscience and nanotechnology International Symposium, Osaka, December 12, 2016

16. Metal Nanoparticle Formation in Mesopore Material filled with Ionic Liquid by X-ray Induced Reduction, Naoko Oda, Chisato Kimoto, Takashi Arimura, Tetsuya Tsuda, Susumu Kuwabata, Ken-ichi Fukui, Akihito Imanishi, 4th Kansai Nanoscience and Nanotechnology and 12th Handai Nanoscience and nanotechnology International Symposium, Osaka, December12, 2016
17. Fabrication of Ionic Liquid Ultrathin Film by Sequential Deposition Method and Analyses of the Interfacial Structure, Akihiro Takahashi, Fumiya Chujo, Ichiro Tanabe , Akihito Imanishi and Ken-ichi Fukui, 4th Kansai Nanoscience and Nanotechnology and 12th Handai Nanoscience and nanotechnology International Symposium, Osaka, December12, 2016
18. 電極/溶液界面における分子挙動とオペランド観察, 今西哲士, 表面分析研究懇談会, 京都, 2016年11月11日 (招待講演)
19. Behavior of Ionic Liquid and Solute Molecules at Electrode/Ionic Liquid Interface, Akihito Imanishi, Prime2016, Honolulu, Hawaii, October 4, 2016 (招待講演)
20. 規則的ナノ構造をもつ Au 電極と界面を造るイオン液体の電気化学挙動解析, 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, 第7回イオン液体討論会, 金沢, 2016年10月24日
21. Combined AFM and MD Simulation Studies of Electric Double Layer OFET Based on Ionic Liquid / Rubrene Single Crystal Interface, Yasuyuki Yokota, Hisaya Hara, Yusuke Morino, Ken-ichi Bando, Sakurako Ono, Hiroo Miyamoto, Akihito Imanishi, Kouji Inagaki, Yoshitada Morikawa, Yugo Okada, Hiroyuki Matsui, Takafumi Uemura, Jun Takeya, and Ken-ichi Fukui, KJF-ICOMEF 2016, Fukuoka, September 5, 2016
22. ナノ細孔内イオン液体を反応場とした X 線還元による金属ナノ粒子形成, 小田 奈緒子, 紀本 千智, 有村 孝, 津田 哲哉, 桑畑 進, 福井 賢一, 今西 哲士, 第10回分子科学討論会 2016, 神戸, 2016年9月13日
23. 電気二重層トランジスタの微視的理解に向けた周波数変調 AFM 及び古典 MD 計算によるイオン液体/有機半導体界面の構造評価, 横田 泰之, 原 援又, 森野 裕介, 坂東 賢一, 大野 桜子, 宮本 洋雄, 今西 哲士, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 岡田 悠悟, 松井 弘之, 植村 隆文, 竹谷 純一, 福井 賢一, 第77回応用物理学会秋季学術講演会, 新潟, 2016年9月13日
24. グラファイト電極との界面でイオン液体が形成する電気二重層の構造およびダイナミクスの MD 計算による解析, 宮本 洋雄, 横田 泰之, 今西 哲士, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, 第118回触媒討論会, 岩手, 2016年9月21日
25. 単結晶 TiO₂ 電極表面のナノ周期構造化が水の光酸化反応に与える影響, 石川英樹, 門野 慎, 福井賢一, 今西哲士, 第118回触媒討論会, 岩手, 2016年9月21日
26. MD 計算による グラファイト電極と界面を形成するイオン液体の構造化・ダイナミクスと電気二重層形成の解析, 宮本 洋雄, 横田 泰之, 今西 哲士, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京, 2016年3月
27. Structuring, Dynamics, Electric Double Layer Formation of Interfacial Ionic Liquid Faced to Various Electrode Surfaces Analyzed by Molecular Dynamics Calculation, H. Miyamoto, Y. Yokota, A. Imanishi, K. Inagaki, Y. Morikawa, K. Fukui, 日本化学会第96春季年会, 京都, 2016年3月

28. Au 電極表面ナノスケール構造が界面イオン液体の電気二重層形成に及ぼす効果, 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, 電気化学会第 83 回大会, 2016 年 3 月
29. イオン液体/有機半導体界面におけるイオン液体のダイナミクス～古典分子動力学法による検討～, 宮本洋雄, 横田泰之, 今西哲士, 稲垣耕司, 森川良忠, 福井賢一, 第 35 回表面科学学術講演会, つくば, 2015 年 12 月
30. In situ 電気化学光電子分光法を用いたイオン液体/電極界面近傍での溶質金属イオン拡散メカニズムの解明, 楠本将平, 廣垣匡紀, 津田哲也, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, 第 3 回関西電気化学研究会, 京都, 2015 年 12 月
31. 電気化学インピーダンス法を用いたナノ構造化 Au 電極表面におけるイオン液体の状態解析, 宮口奈穂, 高木康司, 福井賢一, 今西哲士, 第 3 回関西電気化学研究会, 京都, 2015 年 12 月
32. イオン液体 / ルブレ単結晶界面の周波数変調 AFM による高分解能観察と電気二重層 FET 特性, 横田 泰之, 原 援又, 森野 裕介, 坂東 賢一, 大野 桜子, 今西 哲士, 岡田 悠悟, 松井 弘之, 植村 隆文, 竹谷 純一, 福井 賢一, 第 35 回表面科学学術講演会, 茨城, 2015 年 12 月
33. 電極界面に固定された酸化還元活性種の電子状態と電気化学特性との相関, 横田 泰之, 味野 純也, 金井 佑太, 宇都宮 徹, 今西 哲士, 福井 賢一, 第 35 回表面科学学術講演会, 茨城, 2015 年 12 月
34. In-situ 型電気化学光電子分光法を用いたイオン液体/電極界面における溶質金属イオンの拡散メカニズムの解明, 楠本将平, 廣垣匡紀, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士, 第 6 回イオン液体討論会, 京都, 2015 年 10 月
35. 古典分子動力学計算によるイオン液体/有機半導体単結晶界面の構造とダイナミクス, 横田 泰之, 宮本 洋雄, 今西 哲士, 竹谷 純一, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, 2015 年電気化学秋季大会, 埼玉, 2015 年 9 月
36. 古典分子動力学計算によるイオン液体/有機半導体界面の構造解析, 横田 泰之, 宮本 洋雄, 今西 哲士, 竹谷 純一, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 愛知, 2015 年 9 月
37. 古典分子動力学法を用いた電極電位に依存した界面イオン液体の局所的構造と運動性の評価, 宮本 洋雄, 横田 泰之, 今西 哲士, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, 第 9 回分子科学討論会, 東京, 2015 年 9 月
38. In-situ 型電気化学光電子分光装置を用いた電極界面における分子挙動観察, 今西 哲士, 界面分析研究会, 島津製作所 (秦野), 2015 年 6 月 【招待講演】
39. 古典分子動力学法によるイオン液体/基板界面における分子の秩序化と運動性の評価, 宮本 洋雄, 横田 泰之, 今西 哲士, 稲垣 耕司, 森川 良忠, 福井 賢一, 第 18 回理論化学討論会, 大阪, 2015 年 5 月
40. A Novel diffusion mechanism of metal ions at Ionic Liquid / Electrode Interface Studied by In-situ Electrochemical XPS, Akihito Imanishi, 227th ECS (The Electrochemical Society) Meeting & Electrochemistry Energy Summit, Chicago, May, 2015 【招待講演】

41. 楠本将平, 廣垣匡紀, 津田哲哉, 桑畑進, 福井賢一, 今西哲士 “カソード電位印加下におけるイオン液体拡散層内での Ag^+ イオンの拡散機構と Li^+ イオン添加効果”, 電気化学会第 8 2 回大会, 2015 年 3 月 16 日 (横浜国大)

[その他]

なし

外部資金獲得状況・申請状況 (本研究課題に関連して、科研費、JST 等の競争的資金、受託研究、奨学寄付金を受給された場合、また、申請された場合はその状況を記入ください)

申請済み:

科研費 (挑戦的研究 (萌芽)) イオン液体とナノ構造を利用した金属イオンの異常高速拡散誘起
獲得済み:

科研費 (基盤研究 (B)) イオン液体/電極界面におけるホッピングによる溶質イオン新規拡散モデルの研究 (H29~H31)

参考となるHP等

なし