

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05539

研究課題名(和文) 電解液/電極界面の電気二重層構造の電位応答ヒステリシスの要因解明とモデル構築

研究課題名(英文) Elucidation of potential-dependent hysteresis behavior of electric double layer structure at electrolyte/electrode interface

研究代表者

岩橋 崇 (Iwahashi, Takashi)

東京工業大学・物質理工学院・助教

研究者番号：30402423

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：電解液/電極界面は電気化学反応場として機能する根源的なナノ領域であり、当該界面に形成される電気二重層(EDL)は系の電気化学特性を支配する。近年、既存モデルで説明できないEDL構造の電位応答ヒステリシスが確認された。ゆえに、EDL構造の正確な理解には当該ヒステリシス要因の究明が求められる。

本研究は非線形振動分光とEDLモデル解析を併用してイオン脱離の活性化エネルギーを定量化し、ヒステリシスが主にアニオン脱離の活性化エネルギーに起因することを突き止めた。また、イオン共吸着状態からイオンの吸着エネルギーを評価することで、活性化エネルギーにおける吸着エネルギーと活性化障壁の寄与の分離を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は電解液/電極界面のEDL構造の電位応答計測に加え、これまで困難であったイオン脱離の活性化エネルギーの定量評価を実現した。当該計測技術を二次電池をはじめとする多様な電気化学系に展開することで、電気化学特性と電気化学界面のイオン吸着脱離挙動との相関理解に繋がると考えられる。ゆえに、本研究成果は電気化学界面の基礎的理解の深化に繋がるため、電気化学の研究領域において高い学術的意義を有する。同時に、電気化学界面構造-機能相関の解明は、電気化学デバイス材料開発の指導原理獲得にも貢献し、持続可能な社会に向けたエネルギーデバイスの更なる高性能化にも寄与するため、社会的意義も十分高い。

研究成果の概要(英文)：Electrochemical interfaces play a key role in the electrochemical reaction in the electrochemical systems, such as batteries. Thus, elucidating potential response of electrochemical interface structure is of fundamental issue to understand the origin of electrochemical property of systems. In this study, we demonstrate in situ observation of the electrochemical interfaces by IR-visible sum-frequency generation vibrational spectroscopy (IV-SFG), which has been recognized as a powerful tool to investigate buried interfaces, to clarify the origin of hysteretic ion adsorption/desorption at electrochemical interfaces. The activation energy of ion desorption, which causes the hysteretic potential response of electrochemical interface, was examined by IV-SFG with electric double layer (EDL) model analysis and the activation energy of anion desorption is found to be a root cause of hysteretic ion adsorption/desorption at the electrochemical interfaces.

研究分野：物理化学・電気化学・分子分光・界面化学

キーワード：電気化学界面 ヒステリシス 電気二重層 イオン液体 二次電池 活性化エネルギー 吸着エネルギー
- 活性化障壁

1. 研究開始当初の背景

電気化学反応場である電解液/電極界面 (図 1) は電気化学デバイスの機能性を決定づける重要なナノ領域であり、当該界面に形成される電気二重層 (Electric double layer; EDL) は近傍イオンの挙動を支配し、系の電気化学特性を特徴づける。この厚さ一分子程度の EDL 構造を実験的に決定することは容易ではなく、一般に Gouy-Chapman-Stern モデル (GCS モデル) など Poisson-Boltzmann 方程式を基本とした古典的な理論モデルに基づく電気化学解析から EDL 構造が検討されてきた。一方、近年赤外-可視和周波発生振動分光法 (IR-visible sum-frequency generation spectroscopy; SFG) をはじめとする界面敏感な振動分光などの計測技術の発展から、EDL 構造の直接評価が可能となり、既存モデルで説明できない EDL 構造の電位応答ヒステリシスが系の電気化学特性に寄与することが見出された。これは、印加電位に応じて電気化学界面構造が一意的に決定される (図 2a) 一般的な EDL モデルと異なり、同じ印加電位でも電位の掃引方向に依存して異なる界面構造をとり得る、すなわちイオン吸着脱離がゼロ電荷電位 (Point of Zero Charge; PZC) では生じず、余剰の電圧 (過電圧; 図 2b) を要することに対応する。その原因としては、イオン種の特異吸着 (大きな吸着エネルギー) や、EDL と拡散層との間におけるアニオン-カチオン交換の活性化障壁の存在が指摘されているが、明確な結論には至っていない。当該ヒステリシス要因を含め、電解液/電極界面における電気化学反応性を正しく理解する上で、当該界面構造の詳細な検討が求められている。

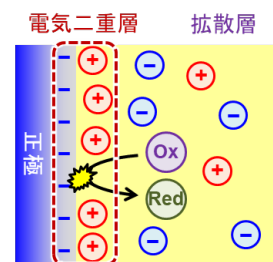


図 1. 電気化学界面の概念図。

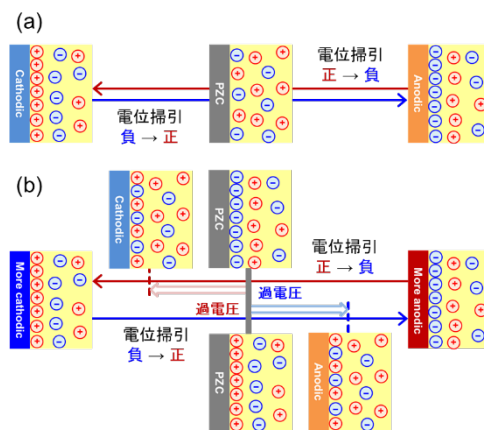


図 2. (a)一般的な EDL モデルと (b)イオン吸着脱離ヒステリシスの概念図。

2. 研究の目的

本研究では電気化学 SFG 計測と EDL モデル解析を組み合わせることでイオン吸着・脱離に要する過電圧の定量評価手法の確立を図った。電気化学 SFG 計測により電極電位を制御しながら電解液/電極界面における SFG スペクトルを計測することで電極表面 EDL のイオン吸着種の数密度を評価し、イオン吸着・脱離の電位応答ヒステリシス測定から EDL 構造の電位応答の精密測定を図る。また、一般的な EDL モデルを解くことで過電圧を考慮しない EDL 構造の電位応答のモデル解析を行い、電気化学 SFG 計測で得たイオン吸着種の数密度の電位応答ヒステリシスと比較することでイオン吸着・脱離の電位シフト、すなわち過電圧の定量的な決定を目指した。

3. 研究の方法

本研究では電気化学界面の電位応答ヒステリシスにおける電解液種の寄与を詳しく検討するため、(i)ヒステリシス挙動が顕著なイオン液体電解液系、並びに(ii)イオン液体を溶媒に希釈した希薄電解液系のアニオン吸着・脱離過電圧の評価を試みた。電解質のイオン液体のカチオンには 1-butyl-3-methylimidazolium ([C₄mim]⁺; 図 3a)、アニオンには bis(trifluoromethanesulfonyl)amide ([TFSA]⁻; 図 3b) と trifluoromethanesulfonate ([OTf]⁻; 図 3c) を用い、希薄電解液系の溶媒には 1,2-dichloroethane (DCE) を用い、電解質濃度は 0.05M とした。SFG 測定用電気化学セルは三電極系にて構成され、作用極・対極・参照電極にはそれぞれ多結晶 Pt 円板電極・Pt 線電極・Ag|Ag[OTf] 参照電極を用いた。SFG 測定時の電位制御には電気化学測定システム HZ-5000 (北斗電工) を用いた。なお、各電解液系の PZC は浸漬法にて決定した。

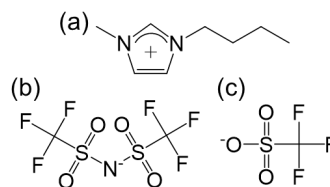


図 3. (a) [C₄mim]⁺ と (b) [TFSA]⁻、(c) [OTf]⁻ の構造。

イオン液体/電極界面における過電圧を考慮しないイオン吸着脱離挙動の解析には、イオンを点電荷として Poisson-Boltzmann 方程式を解く GCS モデルを基に、イオンの非圧縮性を考慮した拡張である Oldham モデルを用いた。

$$-\epsilon\epsilon_0 \frac{d^2\phi}{dx^2} = 2Fc_0 \tanh\left(\frac{F\phi}{RT}\right)$$

ここで ϕ は PZC 基準の電位、 x は電極表面からの距離、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ は電解液の比誘電率、 F は Faraday 定数、 c_0 はイオン濃度、 R は気体定数、 T は温度である。Oldham モデルから

電極表面近傍におけるアニオン濃度プロファイルの印加電位依存性を求め、電極表面 ($x=0$) から吸着イオン直径までの厚さにおけるアニオン濃度を積分して各電位における電極表面アニオン吸着種の数密度を算出した。なお、希薄電解液系の EDL 解析には GCS モデルを用いた。

4. 研究成果

(i) イオン液体/Pt 電極界面のヒステリシス要因:

図 4 に $[\text{C}_4\text{mim}][\text{TFSA}]/\text{Pt}$ 界面における $[\text{TFSA}]$ 吸着種由来の SFG スペクトルの電位応答を示す。横軸が赤外光の波数、縦軸が和周波光強度に対応し、丸、あるいはドットのシンボルが実測値、実線がフィッティングの結果となる。なお、各スペクトルは電位を変更して 30 分以上経過した後、SF シグナルが平衡状態に達したことを確認して計測した。まず、+1.2V (vs. $\text{Ag}/\text{Ag}[\text{OTf}]$ in $[\text{C}_4\text{mim}][\text{OTf}]$; 図 4a) 印加時の SFG スペクトルに注目すると、 1140cm^{-1} 付近に $[\text{TFSA}]$ の SO_2 対称伸縮振動 ($\text{SO}_2\text{-ss}$, SO_2 symmetric stretch) モードに帰属される大きなピークが観測されている。ここから電位を負に変更していくと、-0.5V 印加時 (図 4b) では $\text{SO}_2\text{-ss}$ ピークに減衰は見られないが、-2.0V 印加時 (図 4c) にほぼ消失した。これは +1.2V 印加時に Pt 電極表面に吸着した $[\text{TFSA}]$ が -0.5V では脱離せず、-2.0V で脱離したことを示唆する。一方、ここから電位を正に変更していくと、-0.5V 印加時 (図 4d) は $\text{SO}_2\text{-ss}$ ピークが現れるが電位掃引方向が正から負の場合 (図 4b) より小さく、+1.2V 印加時によりやく元の強度にまで回復した。これは Pt 電極表面における $[\text{TFSA}]$ 吸着脱離挙動が電位掃引方向に応じて変化する電位応答ヒステリシスを示すことに対応する。

図 5a は SFG スペクトルをフィッティングすることで求めた $\text{SO}_2\text{-ss}$ モードの SF 振幅強度の電位応答 (vs. PZC) をプロットした図である。丸いシンボルが電位を正から負に掃引 (positive to negative; PtoN) したアニオン脱離曲線、三角のシンボルが電位を負から正に掃引 (Negative to Positive; NtoP) したアニオン吸着曲線に対応する。併せて、シンブルに $\text{SO}_2\text{-ss}$ モードの SF 振幅強度が $[\text{TFSA}]$ の電極表面数密度を反映すると仮定し、過電圧を考慮しない EDL モデルから予測される SF 振幅強度の電位応答 (モデル曲線) も鎖線にて示した。まず、アニオン脱離・吸着曲線が互いに一致しておらず、ヒステリシスループを描くことが分かる。さらに、アニオン脱離・吸着曲線と過電圧を考慮しないモデル曲線とを比較すると、アニオン脱離曲線はモデル曲線より負電位側にシフトするのに対し、アニオン吸着曲線はモデル曲線と概ね一致した。これは $[\text{C}_4\text{mim}][\text{TFSA}]/\text{Pt}$ 界面構造の電位応答ヒステリシスが主にアニオン脱離の過電圧に起因することを示唆する。なお、溶媒を含まないイオン液体において、アニオン吸着とカチオン脱離は表裏一体であるため、アニオン吸着曲線がモデル曲線と一致することは、カチオン脱離が過電圧を必要としないことに対応すると解釈できる。

$[\text{C}_4\text{mim}][\text{TFSA}]/\text{Pt}$ 界面と同様にして、 $[\text{C}_4\text{mim}][\text{OTf}]/\text{Pt}$ 界面において観測された $[\text{OTf}]$ 吸着種の SO_3 対称伸縮振動 (SO_3 symmetric stretch; $\text{SO}_3\text{-ss}$) モードの SF 振幅強度をプロットした結果を図 5b に示す。 $[\text{C}_4\text{mim}][\text{TFSA}]/\text{Pt}$ 界面と同様にアニオン脱離・吸着曲線はヒステリシスループを描き、アニオン脱離曲線はモデル曲線から大きく負電位にシフトする一方で、アニオン吸着曲線はモデル曲線と概ね重なる。したがって、 $[\text{C}_4\text{mim}][\text{OTf}]/\text{Pt}$ 界面の電位応答ヒステリシスも主にアニオン脱離の過電圧に起因し、カチオン脱離の過電圧は非常に小さいことが分かった。

アニオン脱離・吸着曲線とモデル曲線との比較から求めた過電圧を基に、各イオンの電荷が $\pm 1e$ であることを考慮してアニオン・カチオン脱離の活性化エネルギーを概算した結果を表 1 にまとめる。双方のイオン液体で共通の $[\text{C}_4\text{mim}]^+$ 脱離の活性化エネルギーは各界面において同様に小さく、一方で顕著なアニオン脱離の活性化エネルギーは $[\text{OTf}]$ の方が $[\text{TFSA}]$ より 1eV 程度大きいことが分かる。このアニオン脱離の活性化エネルギー要因としては、緒言で述べた通り吸着エネルギーと活性化障壁の二つの可能性 (図 6) が指摘されている。そこで、筆者らは Pt 表面に

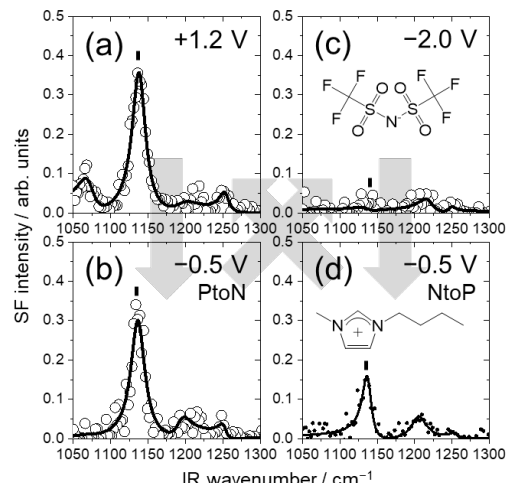


図 4. $[\text{C}_4\text{mim}][\text{TFSA}]/\text{Pt}$ 界面アニオン吸着種由来の SFG スペクトルの電位応答。

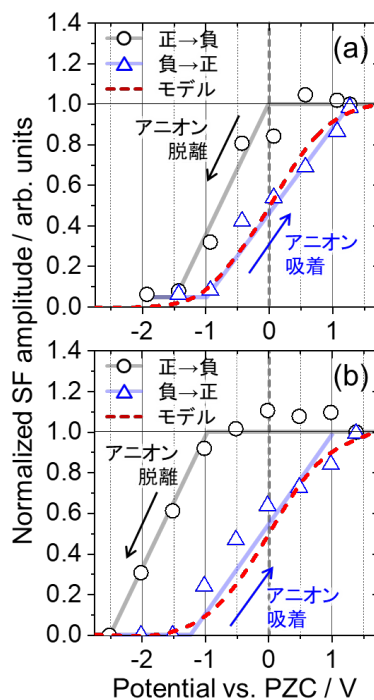


図 5. (a) $[\text{C}_4\text{mim}][\text{TFSA}]/\text{Pt}$ 界面と (b) $[\text{C}_4\text{mim}][\text{OTf}]$ 界面におけるアニオン吸着種由来の SFG シグナルと EDL モデルの電位応答。

おける各イオンの吸着エネルギーを検討するため、 $[C_4mim][TFSA]$ と $[C_4mim][OTf]$ とをモル比 99/1 で混合した二成分イオン液体 $[C_4mim][TFSA]_{0.99}[OTf]_{0.01}$ /Pt 界面におけるイオン共吸着状態を IV-SFG にて評価した。図 7 に自然電位における $[C_4mim][TFSA]_{0.99}[OTf]_{0.01}$ /Pt 界面の SFG スペクトルと、当該スペクトルの解析から概算された Pt 表面のイオン吸着種の数密度比を示す。全イオン吸着種に対する $[OTf]^-$ の数密度比は概ね 0.2 とバルクのモル分率 0.005 ($[C_4mim]^+$ が 0.500 に対し $[TFSA]$ は 0.495) と比較して非常に大きいことから、 $[OTf]^-$ の吸着エネルギーは $[C_4mim]^+$ や $[TFSA]$ と比較して大きいことが期待される。

ここで、Langmuir 吸着を仮定して Pt 表面における各イオンの吸着エネルギー差を算出すると、 $[OTf]^-$ は $[TFSA]$ より 0.1eV 程大きく、 $[C_4mim]^+$ は $[TFSA]$ より 0.01eV 程小さいことが分かった。ここで、IV-SFG から求められたイオン脱離の活性化エネルギー差 (0.8-1.0 eV; 表 1) と比較すると、Langmuir 吸着モデルから算出された吸着エネルギー差 (0.01~0.1 eV) は一桁程小さく、吸着エネルギーではアニオン脱離の大きな活性化エネルギーを説明できない。したがって、イオン液体/Pt 界面の電位応答ヒステリシスの原因となる顕著なアニオン脱離の過電圧、活性化エネルギーの内訳としては、吸着エネルギーの寄与は小さく、主に活性化障壁に起因するものと解釈できる。

(ii) 希釈電解液/電極界面のヒステリシス要因:

図 8 に希薄電解液系の $[C_4mim][TFSA]$ -DCE/Pt 電極界面と $[C_4mim][OTf]$ -DCE/Pt 電極界面のアニオン由来の SF シグナル強度と GCS モデルより算出した電極表面のアニオン数密度の電位依存性の比較を示す。イオン液体電解液系と比較して電位領域は狭いものの、アニオン脱離曲線とアニオン吸着曲線は一致せず、希薄電解液系においても電位応答ヒステリシスが確認された。また、アニオン脱離・吸着曲線双方ともモデル曲線との大きな乖離が見られ、GCS モデルは希薄電解液系でも電解液/電極界面の電位応答をうまく説明できないことが分かる。希薄電解液系のアニオン脱離過電圧は $[OTf]^-$ アニオンの方が $[TFSA]$ アニオンより大きく、その差は二成分イオン液体/Pt 界面の共吸着状態から算出された吸着エネルギー差と概ね良い一致を示す。したがって、希釈電解液/電極界面における電位応答ヒステリシスは吸着エネルギーに起因すると解釈することができる。なお、希薄電解液系のアニオン脱離過電圧はイオン液体電解液系より大幅に小さいことから、イオン液体電解液の高濃度イオン雰囲気大きなアニオン脱離の活性化障壁に寄与することも示唆される。

表 1. 各界面におけるアニオン・カチオン脱離の活性化エネルギー

Interface	Activation energy / eV	
	Anion	Cation
$[C_4mim][TFSA]/Pt$	0.7 ± 0.3	0.0 ± 0.4
$[C_4mim][OTf]/Pt$	1.7 ± 0.2	0.3 ± 0.2

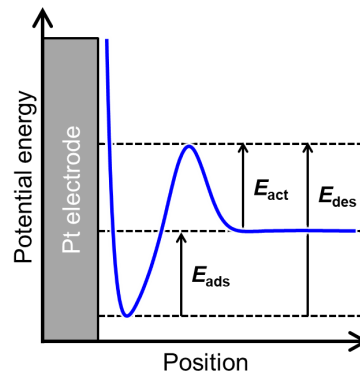


図 6. イオン脱離のポテンシャル曲線. イオン脱離の活性化エネルギー E_{des} は吸着エネルギー E_{ads} と活性化障壁 E_{act} から構成.

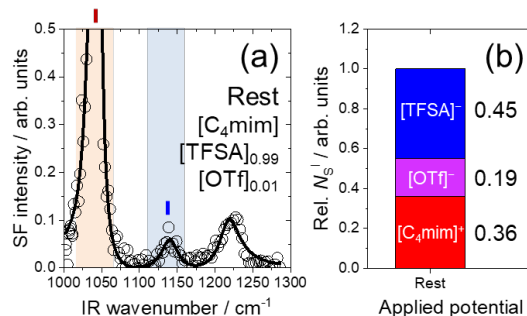


図 7. (a)自然電位における $[C_4mim][TFSA]_{0.99}[OTf]_{0.01}$ /Pt 界面の SFG スペクトルと(b)推定されるイオン数密度比.

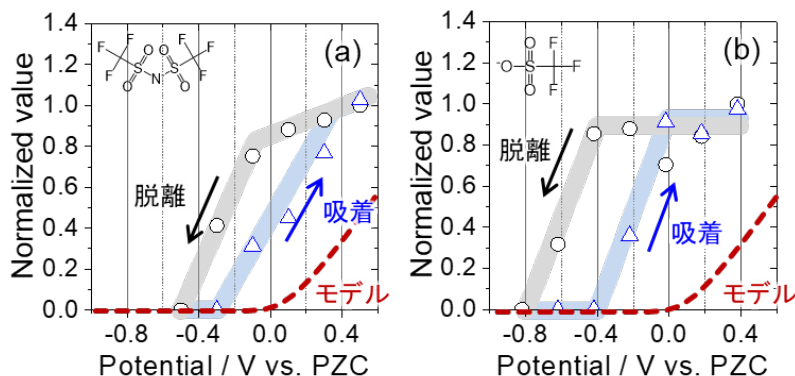


図 8. (a) 0.05M $[C_4mim][TFSA]$ -DCE/Pt 界面と(b) 0.05M $[C_4mim][OTf]$ -DCE 界面におけるアニオン吸着種由来の SFG シグナルと EDL モデルの電位応答.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Iwahashi Takashi, Ishiyama Tatsuya, Sakai Yasunari, Morita Akihiro, Kim Doseok, Ouchi Yukio	4. 巻 22
2. 論文標題 Bi-layering at ionic liquid surfaces: a sum-frequency generation vibrational spectroscopy- and molecular dynamics simulation-based study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 12565 ~ 12576
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cp01219j	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Qi Chengzi, Iwahashi Takashi, Zhou Wei, Kim Doseok, Yamaguchi Seitaro, Yoshizawa-Fujita Masahiro, Ouchi Yukio	4. 巻 361
2. 論文標題 Enhancement of the electrochemical stability of tetraglyme-Li[TFSA] electrolyte systems by adding [Bimps] zwitterion: An in-situ IV-SFG study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 137020 ~ 137020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2020.137020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 岩橋崇、大内幸雄	4. 巻 65
2. 論文標題 和周波発生振動分光で見たイオン液体の電気化学界面構造	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 溶融塩および高温化学	6. 最初と最後の頁 49 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 稲葉 ふみ, 野本 紫織, 岩橋 崇, 金井 要, 松本 一, 大内 幸雄
2. 発表標題 紫外光電子分光法と電気化学測定によるイオン液体の価電子準位と酸化電位の相関性
3. 学会等名 イオン液体ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸田 響, 斉 成紫, 周 尉, 岩橋 崇, 大内 幸雄
2. 発表標題 カチオンのアルキル側鎖構造に依存した電極表面でのアニオン吸脱着に関する研究
3. 学会等名 イオン液体ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長谷川 夏来, 岩橋 崇, 大橋 光浩, 西 直哉, 大内 幸雄
2. 発表標題 IV-SFG 法を用いたイオン液体/電解質水溶液界面構造に関する研究: アニオン吸着量の電解質濃度依存性
3. 学会等名 イオン液体ワークショップ2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸田 響, 斉 成紫, 周 尉, Kim Doseok, 岩橋 崇, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/電極界面におけるアニオン吸脱着挙動の研究: カチオンのアルキル鎖構造依存性
3. 学会等名 電気化学会第88回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Iwahashi, Wei Zhou, Doseok Kim and Yukio Ouchi
2. 発表標題 Ion Adsorption/desorption Hysteresis at Interfaces of Pt Electrode and Diluted Ionic Liquids
3. 学会等名 The 8th International Congress on Ionic Liquids (COIL-8) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩橋 崇, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 電解液/電極界面におけるイオン吸着脱離に要する過電圧の検討
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩橋 崇, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/Pt電極界面におけるイオン吸着脱離ヒステリシス要因の検討
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Qi Chengzi, 岩橋 崇, 周 尉, Kim Doseok, 藤田 正博, 大内 幸雄
2. 発表標題 双性イオン化合物の添加による電位窓拡張効果と界面電気二重層構造の相間
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, 岩橋 崇, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/電極界面におけるイオン吸着脱離ヒステリシスのアルキル鎖長依存性
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉 ふみ, 野本 紫織, 岩橋 崇, 藤田 正博, 金井 要, 大内 幸雄
2. 発表標題 光電子分光法を用いたイオン液体のマーデルングエネルギーの評価(II)
3. 学会等名 第13回分子科学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩橋 崇, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/Pt 電極界面におけるイオン吸着脱離ヒステリシスの要因検討
3. 学会等名 第10回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, 岩橋 崇, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/電極界面におけるイオン吸着脱離ヒステリシスのアルキル鎖構造依存性
3. 学会等名 第10回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲葉 ふみ, 野本 紫織, 岩橋 崇, 金井 要, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体のマーデルングエネルギー評価: カチオン・アニオン依存性(II)
3. 学会等名 第10回イオン液体討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, 岩橋 崇, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/電極界面におけるイオン吸着脱離ヒステリシスのアルキル鎖構造依存性
3. 学会等名 電気化学会第87回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 稲葉 ふみ, 野本 紫織, 岩橋 崇, 金井 要, 大内 幸雄
2. 発表標題 光電子分光法を用いたイオン液体の電子構造に関する研究(II)
3. 学会等名 日本化学会第100回春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩橋 崇, 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/電極界面におけるアニオン吸脱着挙動のイオン種依存性の研究
3. 学会等名 2021年電気化学秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩橋 崇, 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/電極界面におけるアニオン吸脱着挙動の研究: カチオンのアルキル鎖構造依存性
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩橋 崇, 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 イオン液体/Pt電極界面におけるアニオン吸脱着挙動のイオン種依存性の研究
3. 学会等名 第11回イオン液体討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩橋 崇, 岸田 響, Qi Chengzi, 周 尉, Kim Doseok, 大内 幸雄
2. 発表標題 電解液/電極界面におけるアニオン吸脱着の過電圧要因の研究
3. 学会等名 電気化学会第89回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和周波発生振動分光で見たイオン液体の電気化学界面構造
2. 発表標題 岩橋 崇, 大内 幸雄
3. 学会等名 電気化学会溶融塩委員会第208回定例委員会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京工業大学 物質理工学院・材料系 大内研究室 http://www.op.titech.ac.jp/lab/ouchi/ 研究者検索システム 東京工業大学STARサーチ 岩橋 崇 https://search.star.titech.ac.jp/pursuer.act?k=yJBb0jxzPu&ssToken=7958a1f5ec09e9ad94d3bbe07184dc59&from=basic&page=&sort=&order= 東京工業大学 物質理工学院・材料系 大内研究室 http://www.op.titech.ac.jp/lab/ouchi/ 研究者検索システム 東京工業大学STARサーチ 岩橋 崇 https://search.star.titech.ac.jp/pursuer.act?k=yJBb0jxzPu&ssToken=7958a1f5ec09e9ad94d3bbe07184dc59&from=basic&page=&sort=&order=</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------