

令和 6 年 5 月 16 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04664

研究課題名(和文) 表面分光法によるイオン液体修飾電極が触媒反応を促進する根本要因の解明

研究課題名(英文) Mechanism analysis of promotion of catalytic reaction in ionic liquid-modified electrodes by surface-enhanced infrared spectroscopy

研究代表者

猪股 智彦 (Inomata, Tomohiko)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40397493

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)：イオン液体修飾電極に内包された金属錯体の酸化還元挙動を調べるために、負電荷を有するヘキサシアノ鉄錯体と正電荷を有するヘキサアンミンルテニウム錯体をプローブ錯体として用い、それらをイオン液体間に固定化したイオン液体修飾電極を作製し、各プローブ錯体および表面に修飾されたイオン液体の電位掃引による挙動を表面増強赤外分光法を用いて追跡した。その結果、電極上に修飾されたイオン液体分子は電位の変化に応じて電極表面と静電的に相互作用すること、また内包されたプローブ錯体と修飾されたイオン液体との間にも静電的な相互作用が存在することが明らかとなり、イオン液体修飾電極を利用した触媒電極材料作製の指針となる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

イオン液体は製造コストが高く、実用化の面では溶媒のように大量に用いることは難しい。イオン液体修飾電極は製造コストの高いイオン液体を反応の中心となる電極表面にのみ修飾することで、イオン液体の利用を最小限の抑え、かつ電修飾されたイオン液体間への外来性分子の内包、未修飾の電極表面の利用を可能にする技術である。これまでに二酸化炭素変換触媒など電気化学触媒電極として様々な場面で応用可能であることを報告してきたが、実際に内包された外来性分子やイオン液体が電極界面でどのような挙動をとっているかについては十分な知見が存在しなかった。本研究はより高性能な電極触媒材料を開発するための設計指針を提供するものである。

研究成果の概要(英文)：To investigate the redox behavior of metal complexes encapsulated in ionic liquid-modified electrodes, negatively charged hexacyano-iron complexes and positively charged hexaammine-ruthenium complexes were used as probe complexes, and ionic liquid-modified electrodes were prepared by immobilizing these complexes between ionic liquids. The behavior of each probe complex and the surface-modified ionic liquid was followed by surface-enhanced infrared spectroscopy. The results show that the ionic liquid molecules modified on the electrode interact electrostatically with the electrode surface in response to changes in potential and that electrostatic interactions also exist between the encapsulated probe complexes and the modified ionic liquid, providing guidelines for the preparation of catalytic electrode materials using ionic liquid-modified electrodes.

研究分野：錯体化学、表面科学、電気化学

キーワード：イオン液体 修飾電極 表面増強赤外分光法

1. 研究開始当初の背景

イオン液体分子に電極表面への結合性官能基を導入することで、イオン液体を電極上に修飾することが可能となる。我々は図1に示したような、4級ホスホニウム型など嵩高い構造を有するイオン液体を用いることで、その嵩高さにより電極上にイオン液体をまばらに修飾し、修飾されたイオン液体間の空隙に外来性の分子を固定化可能な材料であるイオン液体修飾電極を開発した¹⁾。このイオン液体修飾電極を用いることで、外来性分子の構造を改変することなく電極上に固定化することが可能となり、これまでに酸素活性化²⁾やNOセンサー³⁾、CO₂変換用の触媒電極⁴⁾などの開発を行ってきた。我々はイオン液体修飾電極表面での反応性や分子の挙動に関して、おもに電気化学的手法によって測定、解析してきたが、実際にイオン液体間に固定化された外来性分子や修飾されたイオン液体分子が電極上での電気化学反応にともない、どのような挙動を示すかについては、分光学的な測定が必要であるが、十分な測定データが得られていなかった。

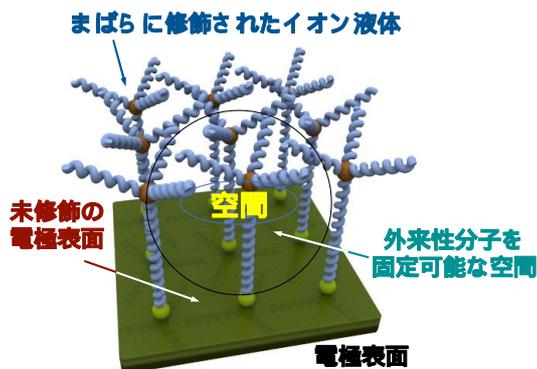


図1 イオン液体修飾電極の模式図

2. 研究の目的

そこで我々は表面増強赤外分光 (Surface-Enhanced InfraRed Spectroscopy; SEIRAS) 法に着目した。本手法は高い測定感度、反応をマイクロ秒の時間分割で追跡できる、また表面を選択的に観測できるなどの特徴をもち、電極などの表面で起こる反応過程の測定、解析が可能な分光法である。Si プリズムの表面に金属薄膜を堆積させ表面増強効果を得ることで、金属薄膜表面に吸着した化学種のみを選択的かつ高感度に検出することを実現し、分光学的に表面の構造を観察することができる。つまり SEIRAS 測定を利用することで、電極表面に固定化された分子の電極電位に対する反応を分光学的に観測し、電極上におけるイオン液体と錯体の相互作用の挙動を明らかにできる。本研究では、イオン液体修飾 Au 電極を Si プリズム上に作製し、イオン液体間の空隙に固定化された正電荷および負電荷を有する金属錯体をプローブ錯体として利用することで、電極上での各錯体分子および修飾されたイオン液体分子の電気化学反応にともなう挙動の変化について、SEIRAS 測定を用いて観測し、イオン液体修飾電極における各錯体分子の電荷に関連した挙動について考察した。

3. 研究の方法

作製したイオン液体修飾電極および電極表面の SEIRAS 測定に用いた電気化学セルの模式図を図2に示す。本研究では、ヘッド部にトリヘキシル基、末端にジスルフィド部位を持つホスホニウム型のイオン液体 (IL) を既知法¹⁾により合成し、そのエタノール溶液に無電解メッキ法によって Si プリズム表面に析出した Au 電極を浸漬することで、ジスルフィド部位を介して電極表面に IL を単分子膜として修飾した (IL/Au)。その後、負電荷を有するヘキサシアノ鉄錯体 ([Fe(CN)₆]^{3-/4-}) 水溶液中において IL/Au を作用極とし、Cyclic Voltammetry (CV) 測定を数サイクル行うことで IL/Au 表面の IL 間の空隙に錯体を固定した (Fe@IL/Au)。また正電荷を有するヘキサアンミンルテニウム錯体 ([Ru(NH₃)₆]^{3+/2+}) を固定した IL/Au (Ru@IL/Au) も同様に作製された。図2に示した電気化学セルは ATR 配置にした Si プリズム表面に Au を無電解メッキすることで Au 電極を形成しており、電極表面における化学種の電気化学的な挙動を SEIRAS 測定によって追跡することが可能である。このセルを用いて電位掃引による IL/Au 上の各金属錯体および修飾された IL に由来するスペクトルの変化を追跡した。

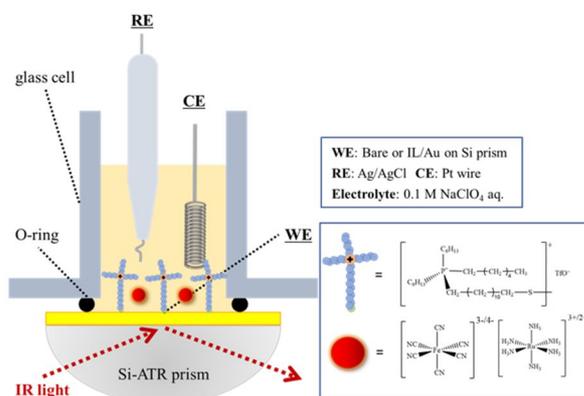


図2 作製したイオン液体修飾電極および SEIRAS 測定用電気化学セルの模式図。

4. 研究成果

得られたイオン液体の電極への修飾は CV 測定による金属錯体由来する酸化還元波の観測、および FT-IR RAS 測定によるイオン液体および金属錯体由来する各種ピークの観測から、イオン液体の修飾および金属錯体の固定化を確認した。LSV 測定により Au-S 結合の開裂による還元脱離波の測定結果からイオン液体の被覆量は $5.9 \times 10^{-10} \text{ mol cm}^{-2}$ と見積もられた。また CV 測定における各金属錯体の酸化還元波の電気量から、 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ の被覆量は $1.6 \times 10^{-10} \text{ mol cm}^{-2}$ 、 $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ の被覆量は $2.7 \times 10^{-10} \text{ mol cm}^{-2}$ となり、修飾されたイオン液体 2~3 分子に対しておよそ 1 分子の金属錯体が固定化されていることが判明した。

$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ を内包した $\text{Fe@IL}/\text{Au}$ を作用極に、0.1 M NaClO_4 水溶液中で $-0.3 \text{ V} \sim 0.6 \text{ V vs. Ag/AgCl}$ の範囲にて 5 mV s^{-1} で掃引することにより、イオン液体修飾電極に内包された $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ のスペクトル変化を測定した。図 3 に SEIRAS 測定の結果を示した。2130 cm^{-1} 、2180 cm^{-1} における吸収強度は電極表面に修飾された錯体の酸化還元に伴って増強、減衰する様子が観測された。2130 cm^{-1} における吸収は錯体の酸化に伴って減衰し、錯体の還元に伴って増強することが明らかとなった。その一方で 2180 cm^{-1} における吸収は錯体の酸化にともない増強し、錯体の還元にともない減衰するという真逆の挙動を示した。上記錯体の酸化還元に伴う挙動に加え、固体の $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 、 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ を KBr 法により測定した際の IR スペクトルより配位子の CN 伸縮振動がそれぞれ 2045 cm^{-1} 、2117 cm^{-1} に観測されたことから 2130 cm^{-1} 、2180 cm^{-1} における各ピークをそれぞれ Fe(II)、Fe(III)の状態の CN 伸縮振動に由来するものと帰属した。また、同様に 2950 cm^{-1} 、2930 cm^{-1} 、2850 cm^{-1} におけるイオン液体のアルキル鎖に由来するピーク強度についても負電位への掃引にともない減衰し、その後正電位への掃引にともない増強する挙動が確認できた。本研究で用いたイオン液体はヘッド部にカチオン性であるホスホニウム部位を有する。これを踏まえ、電位を負に掃引することで電極表面に対してイオン液体のヘッド部が静電的に表面に引き寄せられ、その後正電位に掃引することで静電反発的により立ち上がる変化が起きたと示唆される。同様の挙動は以前の研究においても報告されている⁴⁾。

また対照実験として未修飾の Au 電極を作用極に、2 mM $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 水溶液を調整し、 $-0.3 \sim 0.6 \text{ V vs. Ag/AgCl}$ の範囲内で 5 mV s^{-1} で掃引した場合の SEIRAS 測定の結果を図 4 に示した。その結果、未修飾の Au 電極による SEIRAS スペクトルにおいて 2037 cm^{-1} および 2084 cm^{-1} に錯体の配位子 CN に帰属されるピークが観測された。2037 cm^{-1} における吸収は錯体の酸化にともない減衰し、錯体の還元にともない増強することが明らかとなった。その一方で 2084 cm^{-1} における吸収は錯体の酸化にともない増強し、錯体の還元にともない減衰するという真逆の挙動を示した。したがって、2037 cm^{-1} に観測されるピークは Fe(II)の状態の CN 伸縮振動に由来するものと帰属され、2084 cm^{-1} に観測されるピークは Fe(III)の状態に由来する CN 伸縮振動に帰属した。これらの CN 伸縮振動に由来するピークの波数を $\text{Fe@IL}/\text{Au}$ のものと比べると $\text{Fe@IL}/\text{Au}$ では $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ の酸化体および還元体いずれも CN 伸縮振動のピークが高波数側へシフトしていることが明らかとなった。これらの結果より電極上に修飾されたイオン液体と内包された $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ は互いに相互作用していることが示唆される。

本実験において電極表面に固定化された $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ は負電荷を有しており、その配位子である CN も負電荷を帯びている。これより電極上に修飾されたイオン液体のカチオンであるホスホニウム部位と錯体の配位子が静電的な引力によって相互作用していると考えられる。この静電相互作用によって配位子 CN の中心金属に対する配位力が低下し、配位子である CN がフリーの状態に近くなると考えられる。フリーの CN における CN 伸縮振動は 2220 ~ 2260 cm^{-1} 付近に観

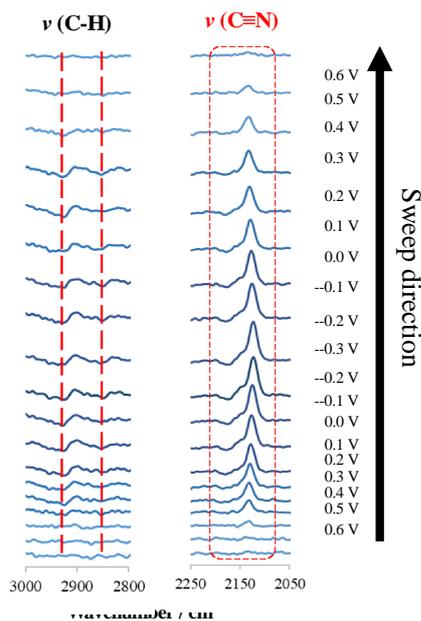


図 3 $\text{Fe@IL}/\text{Au}$ の電位依存 SEIRAS 測定結果。

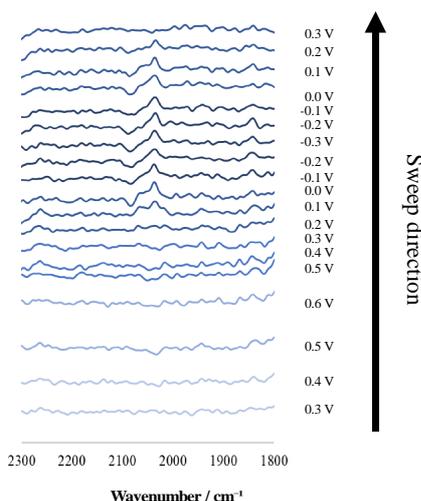


図 4 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 水溶液の未修飾 Au 電極による電位依存 SEIRAS 測定結果。

測されることが知られており⁵⁾、金属イオンに配位した場合に比べて 100 ~ 200 cm^{-1} 程度高波数側に観測される。そのため CN 間の結合エネルギーが大きくなり、赤外吸収が高波数シフトしたと考えられる。また IL/Au への内包時における錯体の CN 伸縮振動は常に高波数シフトしているため、 $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ はイオン液体のカチオン性のホスホニウム部位近傍に存在し、静電的に相互作用していると考えられる。また修飾された IL のホスホニウム部位がそのカチオン性により負電位側に電位を掃引することで静電的に電極表面に引きつけられ、その結果、内包された $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ が電極表面に近い位置に移動し、増強効果によりピーク強度が増加したと考えられる。

続いて $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ を内包した $\text{Ru}@\text{IL}/\text{Au}$ を作用極に、0.1 M NaClO_4 水溶液 (D_2O 使用) 中で $-0.6 \text{ V} \sim 0.6 \text{ V vs. Ag/AgCl}$ の範囲にて 5 mV s^{-1} で掃引することにより、イオン液体修飾電極に内包された $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ のスペクトル変化を測定した。図 5 に SEIRAS 測定の結果を示した。

D_2O 条件下で測定したところ 1555 cm^{-1} において電位を負側に掃引することで増強され、その後正側に電位を掃引すると減衰し、もとの戻る挙動が観測された。 $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ および $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ を用いて KBr 法により測定した IR スペクトルでは、それぞれ $1601, 1610 \text{ cm}^{-1}$ に Ru(II) および Ru(III) の状態での NH 変角振動のピークが確認されたため、先述で確認されたピークは $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ の配位子 NH_3 に由来する NH 変角振動であると帰属した。 D_2O 中においては $2950 \text{ cm}^{-1}, 2930 \text{ cm}^{-1}, 2850 \text{ cm}^{-1}$ における IL のアルキル鎖に由来するピーク強度についても負電位への掃引にともない増強し、その後正電位への掃引にともない減衰する挙動が確認できた。先述の $\text{Fe}@\text{IL}/\text{Au}$ イオン液体の挙動とは逆の様子が観測されたが、これは導入した錯体がカチオン性であるため錯体とイオン液体のカチオン性のヘッド部が静電的に反発しているためと考えられる。

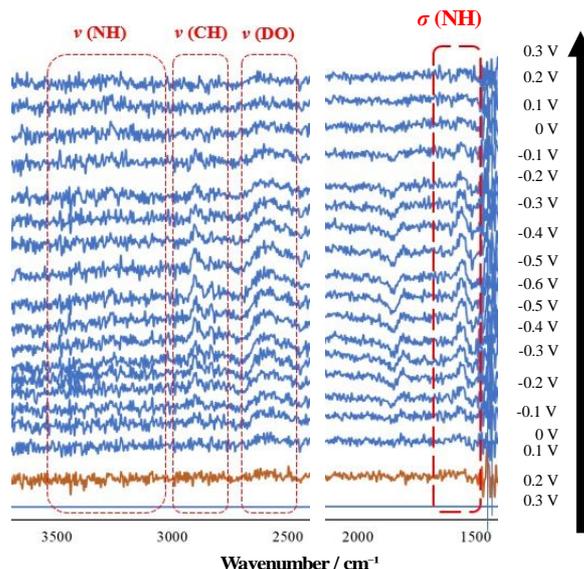


図 5 $\text{Ru}@\text{IL}/\text{Au}$ の電位依存 SEIRAS 測定結果。

また対照実験として未修飾の Au 電極を作用極に、2 mM の $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$ 水溶液を調整し、 $0.3 \text{ V} \sim -0.6 \text{ V vs. Ag/AgCl}$ の範囲にて 5 mV s^{-1} で掃引することにより SEIRAS 測定を行った。こちらでは先述の様なピークは観測されなかったため、 $\text{Ru}@\text{IL}/\text{Au}$ において 1555 cm^{-1} に観測されたピークは $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ が IL 間に内包されたことにより出現したピークであることが示唆された。

配位子である NH_3 が金と相互作用することによるピークの出現を考慮し、末端に NH_2 -基を有するアミノエタチオールを金表面に修飾し FT-IR 測定を行った。KBr 法により測定したアミノエタチオールの NH 変角振動は 1584 cm^{-1} に観測された。一方、Au 電極表面に修飾されたアミノエタチオールの NH 変角振動は 1551 cm^{-1} に観測され 33 cm^{-1} の低波数シフトが見られた。アミノエタチオールはアルキル鎖が短いため吸着質間の分子間相互作用が弱く、電極表面に横倒しされた状態で吸着し、その配向性も低いことが知られている。実際にアミノエタチオールの末端部位が金表面と相互作用していると報告されている⁶⁾。これらの結果から電極に修飾された IL 間に内包された $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ は配位子である NH_3 が未修飾の金電極と相互作用している可能性が高いと考えられる。電位を負側に掃引することでヘッド部のカチオン部位が電極に引かれ倒れこもうとするが、その際に内包された錯体をイオン液体が静電反発的に金電極表面側へ移動し、 $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]^{3+/2+}$ がより未修飾の Au 電極部位と相互作用しやすい環境を創出していることが示唆された。

本研究では、異なる電荷を有する金属錯体をプローブ錯体として利用し、それらを内包したイオン液体修飾電極における電極表面でのイオン液体および各プローブ錯体の挙動を電位依存 SEIRAS 測定により追跡した。その結果、修飾されたイオン液体の正電荷、内包された金属錯体の正電荷あるいは負電荷、さらに電極表面の電荷間の静電的相互作用に起因した配向変化や分子の移動が起こることが示唆された。これらの知見はイオン液体修飾電極をベースとした電極触媒材料の開発において、新規材料開発の指針を与えるものと期待される。

【参考文献】

- 1) T. Kitagawa, T. Inomata, Y. Funahashi, T. Ozawa, and H. Masuda, *Chem. Commun.*, **2013**, 49, 10184-10186.
- 2) T. Kitagawa, J. Nishino, T. Inomata, Y. Funahashi, T. Ozawa, and H. Masuda, *Chem. Commun.*, **2016**, 52, 4780-4783.
- 3) T. Kitagawa, T. Yano, T. Inomata, T. Ozawa, H. Masuda, *Chem. Lett.*, **2016**, 45, 436-438.

- 4) G. Iijima, T. Kitagawa, A. Katayama, T. Inomata, H. Yamaguchi, K. Suzuki, K. Hirata, Y. Hijikata, M. Ito, H. Masuda, *ACS Catal.*, **2018**, 8, 1990-2000.
- 5) T. Shimanouchi, *Tables of Molecular Vibrational Frequencies Consolidated Volume I*, Natl. Stand. Ref. Data Ser., National Bureau of Standards, Garthersburg, **1972**.
- 6) S. Y. Lee, J. Noh, E. Ito, H. Lee, M. Hara, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **2003**, 42, 236–241.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Inomata Tomohiko, Hatano Mayuka, Kawai Yuya, Matsunaga Ayaka, Kitagawa Takuma, Wasada-Tsutsui Yuko, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 26
2. 論文標題 Synthesis and Physico-Chemical Properties of Homoleptic Copper(I) Complexes with Asymmetric Ligands as a DSSC Dye	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 6835 ~ 6835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules26226835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kato Takuma, Tatematsu Ryo, Nakao Kenichi, Inomata Tomohiko, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 60
2. 論文標題 Effect of Counteranions in Electrocatalytic Hydrogen Generation Promoted by Bis(phosphinopyridyl) Ni(II) Complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 7670 ~ 7679
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c03657	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 -
1. 著者名 Inomata Tomohiko, Matsunaga Ayaka, Jin Guangzhu, Kitagawa Takuma, Muramatsu Mizuho, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 12
2. 論文標題 Improvements in photoelectric performance of dye-sensitized solar cells using ionic liquid-modified TiO ₂ electrodes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 19624 ~ 19631
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2ra03230a	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 -
1. 著者名 Iijima Go, Naruse Junichi, Shingai Hajime, Usami Kyohei, Kajino Takanobu, Yoto Hiroaki, Morimoto Youhei, Nakajima Ryota, Inomata Tomohiko, Masuda Hideki	4. 巻 37
2. 論文標題 Mechanism of CO ₂ Capture and Release on Redox-Active Organic Electrodes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 2164 ~ 2177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.energyfuels.2c03391	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 -

1. 著者名 猪股智彦	4. 巻 66
2. 論文標題 電気化学的CO ₂ 還元反応および色素増感太陽電池へのイオン液体修飾電極の応用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 溶融塩および高温化学	6. 最初と最後の頁 113-119
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 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 -

1. 著者名 Inomata Tomohiko, Endo Suguru, Ido Hiroki, Miyamoto Masakazu, Ichikawa Hiroki, Sugita Ririka, Ozawa Tomohiro, Masuda Hideki	4. 巻 40
2. 論文標題 Detection of Microorganisms Using Artificial Siderophore ^{Fe} Complex-Modified Substrates	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2632 ~ 2645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.3c03084	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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 飯島剛・猪股智彦・増田秀樹
2. 発表標題 メタンチオールSAMs銅電極でのCO ₂ 電気化学還元反応の解析
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村松瑞帆、松永彩花、北川琢磨、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 イオン液体修飾電極を利用した高効率色素増感太陽電池の開発
3. 学会等名 第53回中部化学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林莉奈、安達奈緒、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 金属錯体内包イオン液体修飾金電極による二酸化炭素還元反応
3. 学会等名 第13回イオン液体討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田寛大、北川竜也、猪股智彦、小澤智宏、増田秀樹
2. 発表標題 表面増強赤外分光法による金属錯体内包イオン液体修飾電極の挙動解析
3. 学会等名 第13回イオン液体討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 和田寛大、北川竜也、小澤智宏、猪股智彦、増田秀樹
2. 発表標題 表面増強赤外分光による金属錯体内包イオン液体修飾電極の挙動解析
3. 学会等名 第54回中部科学関係学協会支部連合秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 猪股智彦
2. 発表標題 電気化学的CO ₂ 還元反応および色素増感太陽電池へのイオン液体修飾電極の応用
3. 学会等名 電気化学会溶融塩委員会第212定例委員会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 大内幸雄（猪股智彦、増田秀樹）	4. 発行年 2022年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 320
3. 書名 イオン液体の実用展開へ向けた最新動向（第2編応用編、第6章電池・発電、6イオン液体修飾チタニア電極を用いた高効率色素増感太陽電池）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
---------	---------