

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02796

研究課題名（和文）電解合成と電気泳動とのシナジー効果を利用した高分子材料創製

研究課題名（英文）Fabrication of Polymeric Materials based on Synergetic Effects of Electrolysis and Electrophoresis

研究代表者

稲木 信介（Inagi, Shinsuke）

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：70456268

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、導電性高分子の合成とその効果的な成型プロセスまでを一貫して意識した新しい方法論の開発を目的とした。具体的には、バイポーラ電気化学条件におけるモノマーの電解重合の際に、電場による電気泳動効果を利用して自在に製膜あるいは高密度成型することを着想した。これにより、イオン性モノマーのテンプレート電解重合において高密度導電性高分子シリンダーを作製することに成功した。また、異種の導電性高分子膜や銅粒子との複合膜を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

導電性高分子はその電荷移動特性や光学的特性、電気化学特性などから有機エレクトロニクスやエネルギーデバイスへの利用が期待されている。優れた素材開発が急伸する一方で、それらのデバイス実装を目指す上での成型プロセス（製膜・微細構造）は発展しているとは言い難い。本研究では、バイポーラ電気化学に基づく電解重合系を開拓することにより、高分子材料合成と実装プロセスを結ぶ新しい方法論の提案を行った。このような学理は学術的にも未開拓な領域であることに加え、有機エレクトロニクスの実現に向けた社会的意義も有している。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study was to develop a new methodology for the synthesis of conductive polymers and their effective forming process. Specifically, we conceived the idea of using the electrophoretic effect of an electric field during the electropolymerization of monomers under bipolar electrochemical conditions to form films in controlled manners. As a result, we succeeded in fabricating high-density conductive polymer cylinders in the template electropolymerization of ionic monomers. We also succeeded in obtaining composite films of different conductive polymers and copper particles.

研究分野：有機電気化学

キーワード：バイポーラ電気化学 電解重合 導電性高分子 電気泳動 導電性高分子シリンダー 複合膜 ポリチオフェン レドックス活性高分子

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

共役高分子やレドックス活性高分子(以下、導電性高分子とよぶ)はその電荷移動特性や光学的特性、電気化学特性などから有機エレクトロニクスやエネルギーデバイスへの利用が期待されている。これまでに高分子骨格のデザインとその溶液物性、薄膜・バルク特性の検討が数多くなされ、また近年ではマテリアルズ・インフォマティクスの視点で高分子材料設計を加速するなど、有望な導電性高分子が見出されている。

このように優れた素材開発が急伸する一方で、それらのデバイス実装を目指す上での成型プロセス(製膜・微細構造)は発展しているとは言いがたい。有機エレクトロニクスの実現に向けて導電性高分子を配線する技術やエネルギーデバイス用に高表面積微細構造を作製する技術は複雑な装置に依存する。これら制約から脱却するため、高分子材料合成と実装プロセスを結び新しい方法論の提案と、既存の枠組みにとらわれない新しい学理の構築が必要とされていた。

2. 研究の目的

本研究では、導電性高分子の合成とその効果的な成型プロセスまでを一貫して意識した新しい方法論の開発を目的とした。具体的にはモノマーの電解重合の際に、電場による電気泳動効果を利用して自在に製膜あるいは高密度成型することに着想した。従来の電解重合は電極表面に均質な薄膜を作製する手法として様々な分野で実績があるが、単純に、電極近傍のモノマーの電解反応による高分子化と析出という概念である。本研究の根幹をなす、バイポーラ電気化学は従来の電気化学系とは全く異なる駆動条件、特徴を有している。今回注目したのは、バイポーラ電気化学を駆動する条件である「低支持電解質濃度」に由来するバルク電解液中での電場を利用したイオン種の電気泳動であり、電極反応と電気泳動のシナジーが期待できる特別な反応系である。学術的にも極めて新しい取り組みであり、これまでにない材料機能が期待される。

3. 研究の方法

本研究では、モノマーの電解重合と電気泳動のシナジー効果を利用することにより、高分子材料開発と成型プロセスまでを一貫通貫した新しい学理の構築を目指し、下記の検討課題を設定し、取り組んだ。

(1) モノマーの電気泳動効果を利用した高密度導電性高分子シリンダーの創出

導電性高分子を有機薄膜太陽電池や電気二重層キャパシタなどのエネルギーデバイスに応用する際に、表面積を拡張する微細構造を設計することは重要である。シリンダー状の細孔をもつポーラスアルミナ膜をテンプレートとして電極上に固定化し、モノマーの電解重合を行うテンプレート電解重合法が検討されているものの、従来法ではモノマーを細孔に供給することが困難で、不完全なシリンダーが得られている(図1)。そこでバイポーラ電気化学と組み合わせることにより、電気泳動とのシナジー効果による優れたテンプレート電解重合系の確立を目指した。

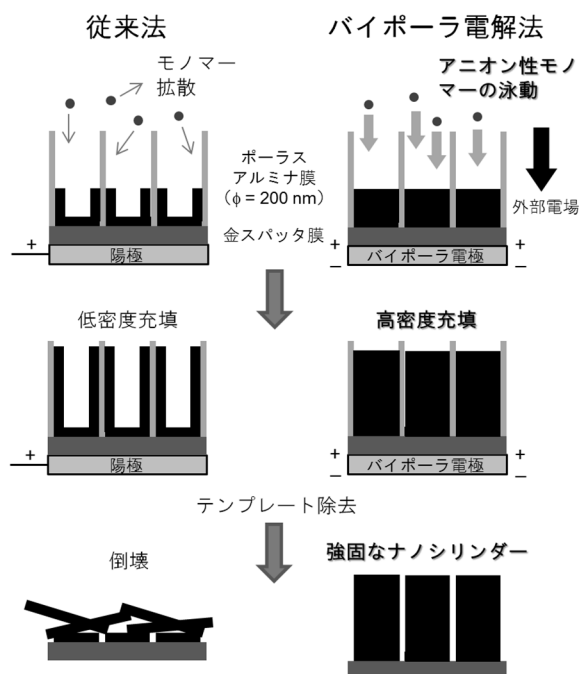


図1. テンプレート電解重合

これまで、交流バイポーラ電解重合法による導電性高分子ファイバーの自発成長という興味深い現象を発見しており、芳香族モノマーが電解重合する過程で生じるドーピング状態(荷電種)が電場の存在下電気泳動効果を受けることにより、異方成長することを立証している。さらに、本手法を発展させ、導電性高分子薄膜を基板面内成長させることにも成功している。これはガラスやプラスチックなどの汎用基板上に導電性高分子を描画できる可能性を示唆しているが、本研究では、薄膜の形状制御に挑戦した。

4. 研究成果

(1) モノマーの電気泳動効果を利用した高密度導電性高分子シリンダーの創出

電気泳動可能なイオン性モノマーとして、図2に示すチオフェントリフルオロホウ酸塩およびビニル基を有するトリスピリジルルテニウム錯体を設計した。前者は、電解酸化重合によりポリチオフェン誘導体を与え、後者は電解還元重合によりルテニウム錯体を主鎖に有するレド

ックス活性高分子を与える。

バイポーラ電極表面にポーラスアルミナ膜を固定化し、テンプレート電解重合を行った。図2に示すようにバイポーラ電極を配置することにより、細孔方向と平行に印加された外部電場中、イオン性モノマーは電気泳動により細孔内部まで迅速に供給され、鋳型内部で効率よく電解重合が進行した。

電解重合後、ポーラスアルミナ膜のみを除去し、導電性高分子シリンドーを得た。SEMによる構造解析、表面観察、電気化学測定により、高密度の導電性高分子四隣ダーが得られたことが明らかとなった。すなわち、バルク電解液中でのイオン性モノマーの泳動を充填の駆動力とするため、従来法よりも高密度充填されることが示された。

これら成果は、*Macromolecules* 誌に発表した (*Macromolecules* 2020, 53, 8123)。また、電気泳動と電解重合のシナジー効果に関する総合論文を *Chemical Communications* 誌に発表することができた (*Chem. Commun.* 2020, 56, 14327)。

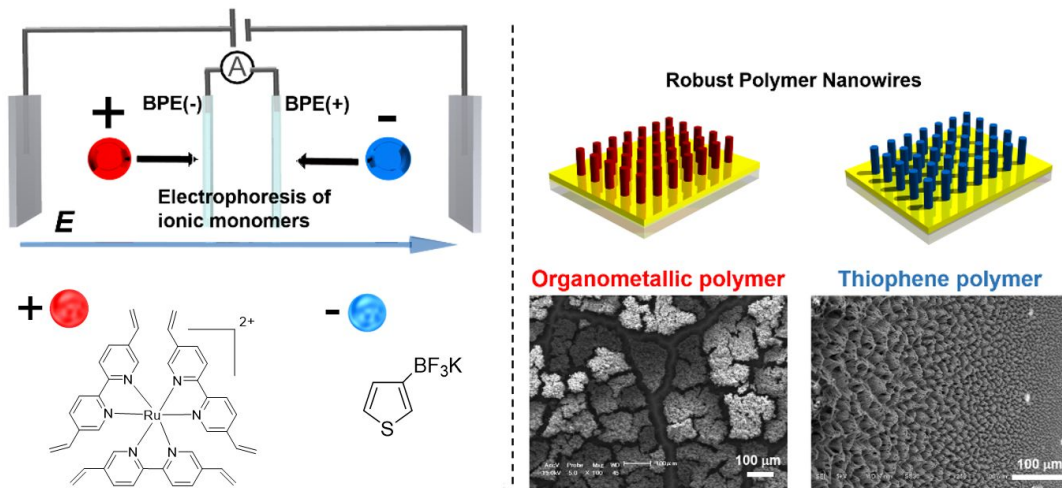


図2．電気泳動と電解重合のシナジー効果を利用した高密度高分子シリンドー作製

(2) 導電性高分子の薄膜状自発成長の方向制御

これまでに、バイポーラ電解重合による導電性高分子ファイバーや薄膜のテンプレートフリー合成に成功している。バイポーラ電極末端から基板に沿って電場方向に成長するが、樹枝状成長にとどまっているため、ファイバーや膜の成長方向の精密制御について検討した。

バイポーラ電極（導電性高分子薄膜を含む）にかかる印加電圧を精密に制御するため、適切な電位で電気化学発光 (ECL) を示す化合物を共存させ、発光サイト・強度をモニターしながら印加電圧を制御する手法を検討した。しかしながら、ECL 発光条件では電解重合が進行しないことが明らかとなり、本アプローチは困難であることが分かった。

次に、バイポーラ電解重合により PEDOT の薄膜を成長させた後、異なるモノマーや金属イオン電解液を用いて、PEDOT 薄膜の末端から新たな導電性高分子膜のエピタキシャル成長を試みた。モノマーとしてチオフェンを用いた場合、PEDOT 薄膜末端に新たにポリチオフェン膜が堆積したことが顕微鏡観察により明らかとなった。また、銅イオン溶液を用いた場合は、その電解還元により生じた銅粒子が PEDOT 末端に析出した。これら複合膜を用いて、ルミノールを用いた ECL 観察を行ったところ、ポリチオフェン薄膜が析出した部分は導電性が低下したため、ECL 挙動

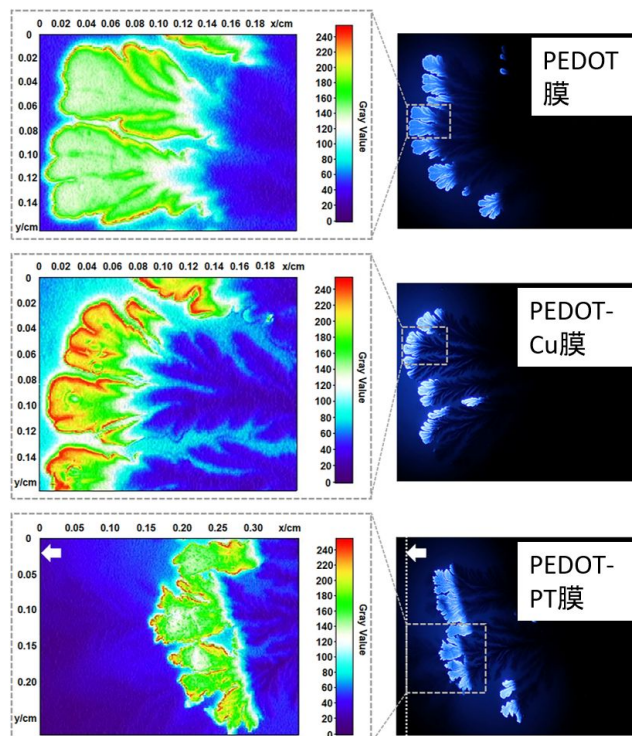


図3．PEDOT 複合膜のルミノール ECL 観察

を示さなかったのに対し、銅粒子が析出した部分は ECL 活性であり、鮮明な青色発光を示した（図3）。このように、異なる性質（導電性、光学特性）をもつ導電性高分子薄膜セグメントを描画することに成功した。これは従来の薄膜形成法では不可能なアイデアであり、高分子を用いた配線技術として優位性を出せると考えている。これら成果は ACS Applied Polymer Materials 誌で発表した（*ACS Appl. Polym. Mater.* **2023**, *5*, 6186）。

当初計画において重点課題としていた点について、原理の実証にすでに成功し、期待以上に進展が見られた。その過程で、低電解質濃度条件でバイポーラ電気化学を駆動することにより、支持電解質使用量の削減や電気泳動効果のシナジーを実現してきたものの、低電解質濃度ゆえに、導電性高分子の電解合成において低ドーパ率となる問題や、電気泳動効果が負の影響を与えるという側面もしばしば見出されてきた。

そこで、従来の常識である低電解質濃度条件から脱却し、高電解質濃度条件においてバイポーラ電気化学を駆動することを実証し、これまでのバイポーラ電気化学系と相補的な領域を開拓することを設定する新たな課題として設定し、続く基盤研究 B へと進展した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Kurioka Tomoyuki, Komamura Takahiro, Shida Naoki, Hayakawa Teruaki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 223
2. 論文標題 Ordered Structure Induced Electrochemical Post Functionalization of Poly(3 (2 ethylhexyl)thiophene)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Macromolecular Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 2100435 ~ 2100435
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/macp.202100435	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 Sakagami Hiroki, Takenaka Hiroaki, Iwai Suguru, Shida Naoki, Villani Elena, Gotou Akihiro, Isogai Tomohiro, Yamauchi Akiyoshi, Kishikawa Yosuke, Fuchigami Toshio, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 9
2. 論文標題 A Flow Electrochemical Cell with Split Bipolar Electrode for Anodic Oxidation of Organic Compounds	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 e202200084
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.202200084	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 Iwai Suguru, Suzuki Taichi, Sakagami Hiroki, Miyamoto Kazuhiro, Chen Zhenghao, Konishi Mariko, Villani Elena, Shida Naoki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 5
2. 論文標題 Electropolymerization without an electric power supply	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-022-00682-8	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 Taniguchi Kohei, Kurioka Tomoyuki, Shida Naoki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 54
2. 論文標題 Postfunctionalization of the main chain of Poly(3-hexylthiophene) via anodic C-H phosphorylation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1171 ~ 1178
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-022-00671-7	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 Villani Elena, Sakanoue Kohei, Einaga Yasuaki, Inagi Shinsuke, Fiorani Andrea	4. 巻 921
2. 論文標題 Photophysics and electrochemistry of ruthenium complexes for electrogenerated chemiluminescence	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 116677 ~ 116677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2022.116677	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 Zhou Yaqian, Villani Elena, Kurioka Tomoyuki, Zhang Yanyun, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 4
2. 論文標題 Fabrication of luminescent patterns using aggregation induced emission molecules by an electrolytic micelle disruption approach	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aggregate	6. 最初と最後の頁 e202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/agt2.202	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 Shi Yulin, Villani Elena, Chen Yequan, Zhou Yaqian, Chen Zhenghao, Hussain Altaf, Xu Guobao, Inagi Shinsuke	4. 巻 95
2. 論文標題 High-Throughput Electrosynthesis of Gradient Polypyrrole Film Using a Single-Electrode Electrochemical System	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 1532 ~ 1540
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.2c04570	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 Hirohata Tomoki, Kawauchi Susumu, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 930
2. 論文標題 A theoretical analysis of the reduction and lithiation of pillar[6]quinone	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 117170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2023.117170	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 Chen Zhenghao, Zhou Yaqian, Villani Elena, Shida Naoki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 39
2. 論文標題 AC-Bipolar Electropolymerization of 3,4-Ethylenedioxythiophene in Ionic Liquids	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 4450 ~ 4455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.3c00120	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 該当する

1. 著者名 Shida Naoki, Ninomiya Kazuyuki, Takigawa Natsuki, Imato Keiichi, Ooyama Yousuke, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 54
2. 論文標題 Diversification of Conjugated Polymers via Postpolymerization Nucleophilic Aromatic Substitution Reactions with Sulfur-, Oxygen-, and Nitrogen-Based Nucleophiles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 725 ~ 735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c02395	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 Kurioka Tomoyuki, Shida Naoki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 54
2. 論文標題 Post-Functionalization of Aromatic C-H Bonds at the Main Chains of π -Conjugated Polymers via Anodic Chlorination Facilitated by Lewis Acids	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 1539 ~ 1547
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c02556	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 Chen Zhenghao, Villani Elena, Inagi Shinsuke	4. 巻 28
2. 論文標題 Recent progress in bipolar electropolymerization methods toward one-dimensional conducting polymer structures	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Current Opinion in Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 100702 ~ 100702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.coelec.2021.100702	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 Kurioka Tomoyuki, Inagi Shinsuke	4. 巻 21
2. 論文標題 Electricity Driven Post Functionalization of Conducting Polymers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Chemical Record	6. 最初と最後の頁 2107 ~ 2119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/tcr.202100052	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 Zhou Yaqian, Shida Naoki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Fabrication of Gradient and Patterned Organic Thin Films by Bipolar Electrolytic Micelle Disruption Using Redox Active Surfactants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 14620 ~ 14629
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202103233	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 Villani Elena, Inagi Shinsuke	4. 巻 93
2. 論文標題 Mapping the Distribution of Potential Gradient in Bipolar Electrochemical Systems through Luminol Electrochemiluminescence Imaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 8152 ~ 8160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.0c05397	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 Hirohata Tomoki, Shida Naoki, Uekusa Hidehiro, Yasuda Nobuhiro, Nishihara Hiroto, Ogoshi Tomoki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 57
2. 論文標題 Pillar[6]quinone: facile synthesis, crystal structures and electrochemical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 6360 ~ 6363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cc02413b	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 Villani Elena, Shida Naoki, Inagi Shinsuke	4. 巻 389
2. 論文標題 Electrogenerated chemiluminescence of luminol on wireless conducting polymer films	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochimica Acta	6. 最初と最後の頁 138718 ~ 138718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2021.138718	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 Shida Naoki, Takenaka Hiroaki, Gotou Akihiro, Isogai Tomohiro, Yamauchi Akiyoshi, Kishikawa Yosuke, Nagata Yuuya, Tomita Ikuyoshi, Fuchigami Toshio, Inagi Shinsuke	4. 巻 86
2. 論文標題 Alkali Metal Fluorides in Fluorinated Alcohols: Fundamental Properties and Applications to Electrochemical Fluorination	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 16128 ~ 16133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.1c00692	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 SHIDA Naoki, VILLANI Elena, SANUKI Mokurai, MIYAMOTO Kazuhiro, GOTOU Akihiro, ISOGAI Tomohiro, YAMAUCHI Akiyoshi, FUCHIGAMI Toshio, TOMITA Ikuyoshi, INAGI Shinsuke	4. 巻 89
2. 論文標題 Bipolar Electrochemical Fluorination of Triphenylmethane and Bis(phenylthio)diphenylmethane Derivatives in a U-shaped Cell	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Electrochemistry	6. 最初と最後の頁 476 ~ 479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5796/electrochemistry.21-00074	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 Hiramoto Kaoru, Villani Elena, Iwama Tomoki, Komatsu Keika, Inagi Shinsuke, Inoue Kumi, Nashimoto Yuji, Ino Kosuke, Shiku Hitoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 Recent Advances in Electrochemiluminescence-Based Systems for Mammalian Cell Analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 530
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi11050530	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 Shida Naoki, Watanabe Tempei, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 266
2. 論文標題 Anisotropic electrical behavior of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) films fabricated by AC bipolar electropolymerization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Synthetic Metals	6. 最初と最後の頁 116439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.synthmet.2020.116439	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 Shida Naoki, Nishimi Honoka, Asanuma Yuki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 52
2. 論文標題 Synthesis of a conjugated polymer with ring-fused pyridinium units via a postpolymerization intramolecular cyclization reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1401 ~ 1406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-020-0388-8	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 Zhou Yaqian, Shida Naoki, Koizumi Yuki, Endo Kaoru, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 53
2. 論文標題 Fabrication of One-Dimensional Polymer Nanowires by Templated Bipolar Electropolymerization Promoted by Electrophoretic Effect	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 8123 ~ 8130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.0c00873	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 Shida Naoki, Inagi Shinsuke	4. 巻 56
2. 論文標題 Bipolar electrochemistry in synergy with electrophoresis: electric field-driven electrosynthesis of anisotropic polymeric materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 14327 ~ 14336
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC06204A	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 Villani Elena, Zhang Yanyun, Chen Zhenghao, Zhou Yaqian, Konishi Mariko, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 5
2. 論文標題 AC-Bipolar Electrosynthesis and Lumino! Electrochemiluminescence Imaging of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) and Its Composite Films	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 6186 ~ 6198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscpm.3c00838	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

[学会発表] 計32件 (うち招待講演 12件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Electrifying Synthesis: Toward Green Sustainable Organic Synthesis and Beyond
3. 学会等名 2nd International Forum on Energy & Informatics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inagi, S.; Iwai, S.; Villani, E.; Shida, N.; Tomita, I.
2. 発表標題 Organic Electrosynthesis without an Electric Power Supply: Electropolymerization of Aromatic Monomers
3. 学会等名 The 15th International Symposium on Organic Reactions (ISOR-15) (Invited Lecture) Taichung, Taiwan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inagi, S.; Zhou, Y.; Shida, N.; Tomita, I.
2. 発表標題 Bipolar Electropolymerization: Synergy of Electrophoresis and Electrolytic Reaction
3. 学会等名 German-Japanese Symposium on Electrosynthesis 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inagi, S.; Zhou, Y.; Shida, N.; Tomita, I.
2. 発表標題 Bipolar Electrolytic Micelle Disruption Method: Fabrication of Gradient and Patterned Organic Thin Films
3. 学会等名 241st ECS meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Iwai, S.; Shida, N.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Bipolar Electropolymerization Driven by a Streaming Potential
3. 学会等名 German Japanese Symposium on Electrosynthesis 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirohata, T.; Shida, N.; Ogoshi, T.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Facile Synthesis and Electrochemical Properties of Pillar[6]quinone
3. 学会等名 German Japanese Symposium on Electrosynthesis 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Taniguchi, K.; Kurioka, T.; Shida, N.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Electrochemical Phosphonylation of π -Conjugated Polymers
3. 学会等名 241st ECS meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Iwai, S.; Shida, N.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Electropolymerization of Aromatic Monomers Using Streaming Potentials
3. 学会等名 241st ECS meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電解法による機能性高分子材料創製
3. 学会等名 相模高分子セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 無給電電解反応の原理検証～電解重合反応を例に～
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電解反応システムが拓くサステイナブル合成
3. 学会等名 GSCセミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電解法による有機・高分子材料のパターニング
3. 学会等名 日本化学会第73回中国四国産学連携化学フォーラム(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Bipolar Electrochemistry for Electrifying Functional Polymeric Material Synthesis
3. 学会等名 ESE Seminar of VISTEC(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Villani, E.; Zhang, Y.; Shida, N.; Koizumi, Y.; Endo, K.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Luminol Electrochemiluminescence Imaging on Wireless Conducting Polymer Film Structures
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhou, Y.; Shida, N.; Koizumi, Y.; Endo, K.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Templated Bipolar Electropolymerization Assisted by Electrophoretic Effect to Prepare Robust Polymer Nanowires
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chen, Z.; Villani, E.; Shida, N.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Study on AC Bipolar Electrosynthesis of Conducting Polymer Fibers in Electrolytic Solutions with High Ionic Concentration
3. 学会等名 72nd Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 パイポーラ電解重合による一次元高分子ファイバー創製
3. 学会等名 第31回MSR-J年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 パイポーラ電気化学に基づく有機・高分子材料のパターニング法
3. 学会等名 顔料物性研究会 第二回研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 周 亜倩・張 巖勻・ピラニ エレナ・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 Selective Deposition of Aggregation Induced Emission Molecules on Patterned Metal/conducting polymers Electrodes by an Electrolytic Micellar Disruption Approach
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 岩井 優・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 流動電位を利用する芳香族モノマーの電解重合法の開発
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 Villani Elena・Zhou Yaqian・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 LuminoI Electrochemiluminescence Imaging on Wireless Conducting Polymer Film Structures
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 岩井 優・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 流動電位を用いる芳香族モノマーの電解重合
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 Zhou Yaqian・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 Fabrication of gradient and patterned organic thin films by means of bipolar electrolytic micelle disruption method using redox-active surfactants
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 Inagi, S.
2. 発表標題 Bipolar Electrochemistry: A Powerful Tool for Organic Redox Reaction
3. 学会等名 71st Annual Meeting of the ISE (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Anisotropic Growth of Conducting Polymers by Bipolar Electropolymerization
3. 学会等名 69th Symposium on Macromolecules Special Session (SPSJ), Japan-Taiwan Young Scientists Polymer Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Bipolar Electrochemistry for Material Synthesis in Synergy with Electrophoresis
3. 学会等名 Asian International Symposium of the 101st CSJ Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zhou, Y.; Shida, N.; Koizumi, Y.; Watanabe T.; Nishiyama, H.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Template-Free Growth of Vertical Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Fiber Array by Alternating Current-Bipolar Electrolysis
3. 学会等名 PRIME 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤 匠吾・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 電解酸化による含ピリジニウム多環芳香族化合物の合成と物性評価
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 陳 正豪・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 Study on AC Bipolar Electrosynthesis of Conducting Polymer Fibers in Concentrated Electrolytes
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 廣畑 智紀・信田 尚毅・生越 友樹・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 アレーンと電解質の相互作用による電解集積化体の形状制御
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 栗岡 智行・駒村 貴裕・信田 尚毅・早川 晃鏡・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 ポリ(3-(2-エチルヘキシル)チオフェン)膜の電解塩素化反応における製膜溶媒の影響
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 谷口 晃平・栗岡 智行・信田 尚毅・富田 育義・稲木 信介
2. 発表標題 ポリ(3-ヘキシルチオフェン)の陽極ホスホニル化反応
3. 学会等名 日本化学会 第101春季年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 Elena Villani, Shinsuke Inagi	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Royal Society of Chemistry	5. 総ページ数 16
3. 書名 Electrogenerated Chemiluminescence in Functional Redox Chemistry Sustainable and Functional Redox Chemistry, S. Inagi (ed.) Chapter 15	

1. 著者名 Naoki Shida, Shinsuke Inagi	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Royal Society of Chemistry	5. 総ページ数 25
3. 書名 Electrogenerated Chemiluminescence in Functional Redox Chemistry Sustainable and Functional Redox Chemistry, S. Inagi (ed.) Chapter 11	

1. 著者名 Naoki Shida, Shinsuke Inagi	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Wiley	5. 総ページ数 256
3. 書名 Organic Redox Chemistry, J. Yoshida, and F. Patureau (eds.)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

稲木研究室 出版物
<http://www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html>
 東京工業大学リサーチリポジトリ
https://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100510967

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		
中国	Northwest University	Changchun Institute of Applied Chemistry	