

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H03095

研究課題名(和文) サステイナブル電解合成を指向したバイポーラ電気化学の新展開

研究課題名(英文) Bipolar Electrochemistry for Sustainable Electrosynthesis

研究代表者

稲木 信介 (Inagi, Shinsuke)

東京工業大学・物質理工学院・准教授

研究者番号：70456268

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、グリーンケミストリーの発展に資するバイポーラ電気化学の挑戦として、「低電解質濃度条件」およびそれに起因する「イオン種の電気泳動」に基づくサステイナブル電解合成法を開発することを目的とした。バイポーラ電解法は原理的に低電解質濃度条件が望ましいため、電解フッ素化における電解質使用量を大幅に削減できることを見出した。また、イオン種の電気泳動が関与するバイポーラ電解重合法を用いて、導電性高分子ファイバー構造やテンプレート重合によるナノシリンダー構造などを作製することに成功した。所期の目的を十分に達成するとともに、当初予想していなかった新しい方向に研究を発展させることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、バイポーラ電気化学の潜在的な特徴である低電解質濃度条件やイオン種の電気泳動に着目したものである。前者は従来の電解法の課題である電解質使用量の削減を達成するものであり、持続可能な開発目標の実現に資するグリーンな合成法の提案として意義深い。後者は導電性高分子材料開発における全く新しい視点であり、従来法では得られないナノ・マイクロ構造を簡便に得る手法として学術的に注目すべき手法であるとともに、得られる材料は高付加価値な機能材料として次世代のエレクトロニクス分野に貢献する可能性がある。

研究成果の概要(英文)： The objective of this study is to develop sustainable electrosynthetic methods based on bipolar electrochemistry, in which low electrolyte concentration and electrophoresis of ionic species are utilized. In anodic fluorination of organic compounds using a bipolar method, it was successful to reduce the amount of electrolyte used compared to the conventional electrolytic system. In bipolar electropolymerization, conducting polymer fibers and nanostructures were successfully prepared. These bipolar methodologies would be a green and sustainable method for fabricating functional materials and organic electrosynthesis.

研究分野：有機電気化学

キーワード：バイポーラ電気化学 電解合成 グリーンケミストリー 電気泳動 導電性高分子 電解重合 ナノ構造 電解フッ素化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

有機分子の電極電子移動を鍵ステップとする有機合成法は「有機電解合成」として古くから知られ、電子を試薬としたレドックス（酸化還元）プロセスであることから、グリーンケミストリーの一翼を担っている。これまでに我々は有機電解合成の概念に立脚した導電性高分子の電気化学的ポスト機能化に成功し、新規高分子材料創製法として発展させている。また、高分子膜と電極界面でのレドックス反応を探索する過程で、バイポーラ電極という、ワイヤレスでありながら電極様に振る舞い、さらに陽・陰極を同時に有する不思議な電極と出会い、このバイポーラ電気化学を用いた高分子開発に注力した。平成26年度～29年度採択された科研費若手研究(A)において、「電位勾配転写に基づく機能性高分子材料創出」に関する研究を実施し、バイポーラ電極界面に発現させた電位勾配を高分子反応あるいは重合に応用し、傾斜的な組成変換およびそれに起因する各種物性発現、新規パターンニングの概念創出、傾斜ポリマーブラシの創成などを次々と実現した。

通常の電気化学と異なるバイポーラ電気化学を発現するポイントは支持電解質濃度を極端に下げることであり、これにより生じる溶液電位降下（電場の発生）を駆動力としバイポーラ電極化を行う。これまでに実現した傾斜材料はワイヤレス性と電位勾配を利用したものである。本研究では、バイポーラ電気化学系の本質を見つめ直し、新しい視点によるグリーンサステイナブル電解合成法を着想した。

### 2. 研究の目的

本研究では、グリーンケミストリーの発展に資するバイポーラ電気化学の挑戦として、「低電解質濃度条件」およびそれに起因する「イオンの泳動」を協働的に活かした電解合成を展開し、新しい視点でサステイナブル電解合成法を開発することを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究課題では、新たに見出されたバイポーラ電気化学の特長に着目したサステイナブル電解合成の発展を目指し、以下の検討課題を設定し、それぞれ検討した（図1）。

#### (1) 泳動を利用した導電性高分子ファイバーの電解合成

電解発生イオン種の電気泳動を利用した異方性高分子材料の合成を検討した。基盤技術はすでに予備実験により実証しているため、本研究では一般性の確立と、構造体の次元制御やハイブリッド化など斬新な材料化の実現を目指した。

#### (2) 泳動を利用した導電性高分子シリンダー合成

バイポーラ電解条件下、イオン性モノマーの泳動を利用した微細空間への供給を検討した。ナノシリンダーテンプレートへの導電性高分子の高密度充填が可能となるため、従来法よりも優れた導電性高分子ナノシリンダー構造の構築と電気化学応用を目指した。

#### (3) グリーン両極合成

陽・陰極を有するバイポーラ電極の特徴を利用し、フロー式セルと組み合わせることで、基質の酸化・還元を連続的に行う両極合成系への応用を目指した。低電解質濃度条件下での有機電解合成の成功はサステイナブル電解合成への大きな一歩となる。

#### (4) $^{18}\text{F}$ PET 診断薬創製を指向した電解フッ素化

基質の電解酸化的フッ素化において、多量に用いられるフッ化物イオン（電解質兼フッ素源）の使用量を減らすことを目的とし、バイポーラ電解フッ素化法を確立することを目指した。これを実現すれば  $^{18}\text{F}$  陽電子放射断層撮影 (PET) 診断薬合成法の有力な候補になる。

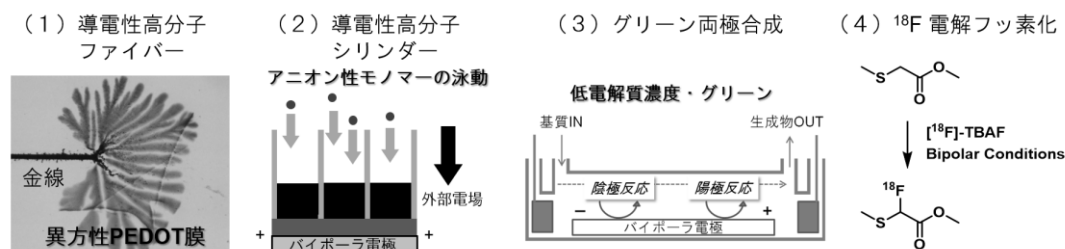


図1. バイポーラ電気化学のグリーン展開に向けた本研究の検討課題

### 4. 研究成果

#### (1) 泳動を利用した導電性高分子ファイバーの電解合成

交流バイポーラ電解重合法を用いて、3,4-エチレンジオキシチオフェン (EDOT) の電解重合を検討した。図2に示すように、金線をバイポーラ電極とし、酸化反応としてEDOTの酸化重合、還元反応としてベンズキノンの還元を同時に行うことにより、バイポーラ電極末端からEDOTの重合体であるPEDOTマイクロファイバーが樹枝状成長する。本研究では、まずバイポーラ電極周りの空間をカバーガラスを用いてマイクロメートルスケールに制御することにより、一次元状のPEDOTファイバーを得ることに成功した。これは、モノマーの拡散方向の制御により、モノマ

一の供給方向に異方性が生じたためであると考えられる。また、条件として高モノマー濃度を用いた場合、基板として用いた PEDOT 薄膜が樹枝状成長した。ガラスや種々のプラスチック基板において PEDOT 薄膜の面内成長を観測することができた。次に、還元反応に用いていたベンゾキノンの代わりに、塩化白金酸を電解質兼還元反応試薬として導入したところ、成長 PEDOT ファイバー中に金属イオンがドーパントとして取り込まれつつ、さらに還元反応により白金ナノ粒子を生成し、PEDOT/白金ナノ粒子ハイブリッドファイバーを得た。バイポーラ電極として平面の ITO ガラス電極を用い、シリンダー状の駆動電極系を用いて EDOT のバイポーラ電解重合を行ったところ、ITO 基板表面からシリンダー内部にファイバーが成長し、導電性高分子ファイバーアレイを簡便に得ることに成功した。

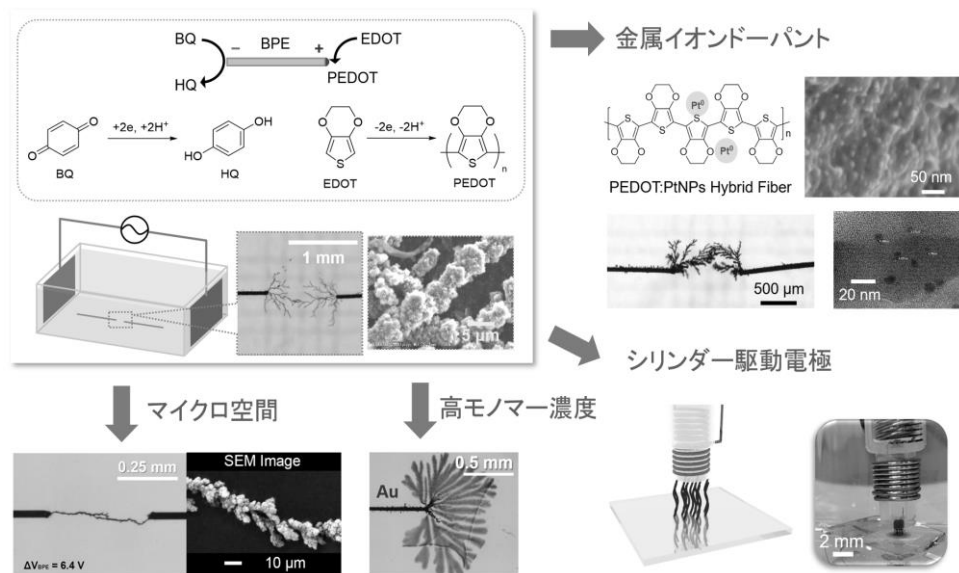


図 2. 交流バイポーラ電解重合における各種パラメータ検討

## (2) 泳動を利用した導電性高分子シリンダー合成

バイポーラ電解重合系において、イオン性のモノマーは電気泳動の効果により強制的に移動すると予想される。本研究では、ポラスアルミナ膜を固定化したバイポーラ電極を用いて、テンプレート電解重合について検討した。すなわち、図 3 に示すように、従来のテンプレート電解重合ではモノマーの等方的な拡散によりテンプレート内部への供給が十分になされないのに対し、本手法ではイオン性モノマーの泳動効果を利用し、高密度に電解重合生成物を得ることができた。電解酸化重合には、チオフェン-3-トリフルオロボレート塩をアニオン性モノマーとして用い、バイポーラ電極の陽極部位においてテンプレート電解重合に成功した。アルカリ水溶液においてテンプレートを除去後も強固なシリンダー構造を維持していた。また、電解還元重合には、ルテニウムトリスピリジン錯体にビニル基を導入したものをカチオン性モノマーとして用い、電解還元的カップリング重合により有機金属ポリマーのシリンダー構造を得た。この場合も、バイポーラ電極陰極部位において効率的なテンプレート電解重合に成功した。

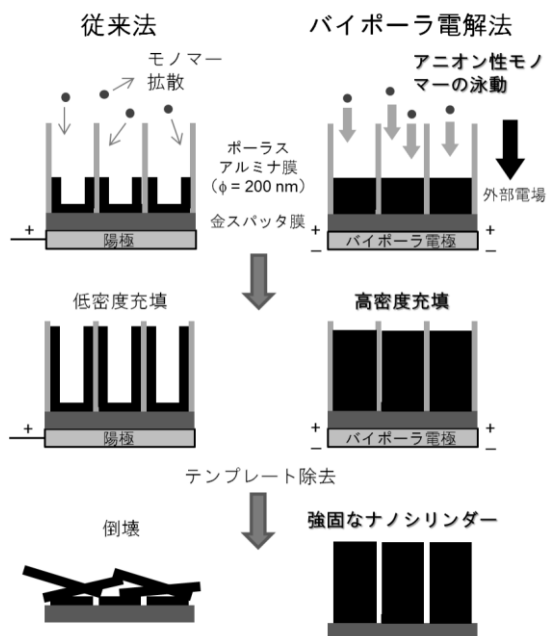


図 3. テンプレート電解重合

また、イオン性モノマーの電解重合反応に加え、金属イオンのテンプレート電解めっきも同様に検討したところ、電気泳動がテンプレート内部へのイオンの挿入をアシストすることが明らかとなり、相応する高密度金属ナノシリンダーを得ることに成功した。

### (3) グリーン両極合成

バイポーラ電気化学の原理に従えば、バイポーラ電極を駆動するために低電解質濃度が望ましい。すなわち、廃棄物となる電解質の量を削減できるグリーン合成法として期待される。実際に、バッチ式のバイポーラ電解反応セルを設計し、モデル反応としてトリフェニルメタンの電解フッ素化反応を検討した(図4)。駆動印加電圧とバイポーラ電極近傍における電場強度の測定から、電解フッ素化の条件においてバイポーラ電極を駆動できることを確かめた後、実際に反応を実施した。パラメータの最適化により、トリフェニルメタンの電解フッ素化反応は高効率で進行することが分かり、従来法と比較して電解質使用量は約100分の1に削減できることを見出した。次に、フロー式の電解セルを設計し、同様にトリフェニルメタン誘導体の電解フッ素化反応に有効であることが分かった。また、トリメトキシベンゼンのカップリング反応にも適用可能であり、この場合はフロー式の特徴である滞留時間の制御により過酸化による生成物の分解を抑制できるなどの利点を見出した(図4)。さらに、両極を同時に活用する両極電解合成についても検討し、発展途上ではあるものの、原理の妥当性を示すことに成功した。

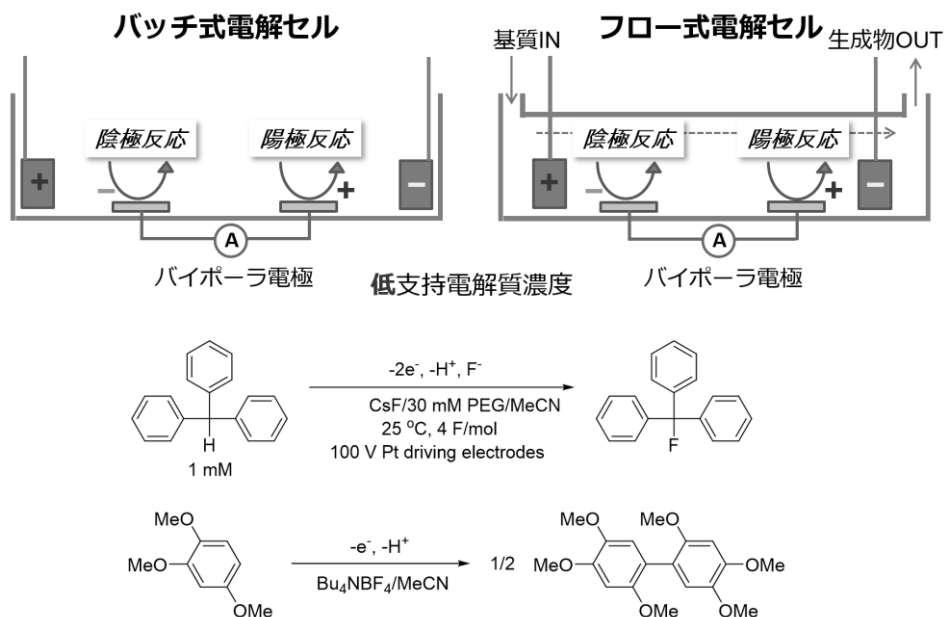


図4. バッチ式およびフロー式バイポーラ電解法

### (4) $^{18}\text{F}$ PET 診断薬創製を指向した電解フッ素化

グリーン電解合成法の確立に引き続き、高付加価値の電解フッ素化反応系への応用を試みた。陽電子放射断層撮影(PET)用のフッ素化診断薬合成を志向した $^{18}\text{F}$ フッ素化について検討した。 $^{18}\text{F}$ は半減期が110分と比較的長く、PET診断に用いる核種として有望である。電解質兼フッ素源として $^{18}\text{F}$ を用いて、図5の基質・反応条件により、放射化学転化率60%で生成物を得た。バイポーラ電解法の特徴である低電解質濃度条件を活かし、貴重な $^{18}\text{F}$ の使用量を抑えながらも $^{18}\text{F}$ フッ素化を達成した。

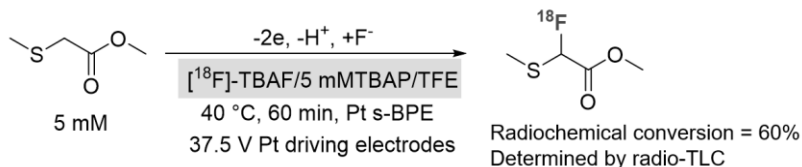


図5. バイポーラ電解法による $^{18}\text{F}$ フッ素化

当初計画において重点課題としていた点について、研究期間中に原理の実証に成功し、期待以上に進展が見られた。また、「低電解質濃度下での電解合成」に関連して、研究期間中にJST さきがけ研究として採択されるなど、研究を加速することができた。「イオン種の泳動を利用した電解反応」について、バイポーラ電気化学に関する総合論文(Accounts of Chemical Research, 2019, 52, 2598)を発表して反響があったように、非常に斬新な材料創製プロセスであるため、最終年度を前に、「電解合成と電気泳動のシナジー効果」に関する新たな課題を設定し、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28件（うち査読付論文 26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 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 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 Shida Naoki, Nishiyama Hiroki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 48
2. 論文標題 Layer-by-layer Multilayered Film Formation on Gradient Polyelectrolyte Brush Prepared by Bipolar Electrochemistry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1174 ~ 1177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190461	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, Zhou Yaqian, Inagi Shinsuke	4. 巻 52
2. 論文標題 Bipolar Electrochemistry: A Powerful Tool for Electrifying Functional Material Synthesis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 2598 ~ 2608
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.9b00337	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 Inagi Shinsuke	4. 巻 51
2. 論文標題 Site-selective anisotropic modification of conductive objects by bipolar electropolymerization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 975 ~ 981
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-019-0223-2	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, Watanabe Tempei, Nishiyama Hiroki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 7
2. 論文標題 Template-free perpendicular growth of a poly(3,4-ethylenedioxythiophene) fiber array by bipolar electrolysis under an iterative potential application	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 14745 ~ 14751
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TC04743C	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 稲木信介	4. 巻 68
2. 論文標題 次世代型電解重合法	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 230-234
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 -

1. 著者名 Watanabe Tempei, Ohira Masato, Koizumi Yuki, Nishiyama Hiroki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 7
2. 論文標題 In-Plane Growth of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Films on a Substrate Surface by Bipolar Electropolymerization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Macro Letters	6. 最初と最後の頁 551 ~ 555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmacrolett.8b00170	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 Koizumi Yuki, Ohira Masato, Watanabe Tempei, Nishiyama Hiroki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 34
2. 論文標題 Synthesis of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-Platinum and Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-Poly(styrenesulfonate) Hybrid Fibers by Alternating Current Bipolar Electropolymerization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 7598 ~ 7603
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.8b00408	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 Koizumi Yuki, Nishiyama Hiroki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 54
2. 論文標題 Templated bipolar electrolysis for fabrication of robust Co and Pt nanorods	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 10475 ~ 10478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8cc05986a	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 Miyamoto Kazuhiro, Nishiyama Hiroki, Tomita Ikuyoshi, Inagi Shinsuke	4. 巻 6
2. 論文標題 Development of a Split Bipolar Electrode System for Electrochemical Fluorination of Triphenylmethane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ChemElectroChem	6. 最初と最後の頁 97 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/celec.201801216	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 小泉 裕貴、稲木 信介	4. 巻 74
2. 論文標題 バイポーラ電解重合法による導電性高分子の合成	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 高分子論文集	6. 最初と最後の頁 460 ~ 472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1295/koron.2017-0042	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72件 (うち招待講演 17件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Synthesis of Ring-fused Heteroaromatic Compounds by Intramolecular SNAr Reaction
3. 学会等名 The 1st F-Materials International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Inagi, S.; Koizumi, Y.; Watanabe, T.; Shida, N.; Nishiyama, H.; Tomita, I.
2. 発表標題 Site-selective Modification of Conductive Objects by Bipolar Electropolymerization
3. 学会等名 Pacific Polymer Conference (PPC-16) (国際学会)
4. 発表年 2019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 Perpendicular Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Fiber Array by Bipolar Electrolysis
3. 学会等名 Pacific Polymer Conference (PPC-16) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電解重合による導電性高分子材料の異方成長
3. 学会等名 2019年電気化学秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Inagi, S.; Koizumi, Y.; Ohira, M.; Watanabe, T.; Nishiyama, H.; Tomita, I.
2. 発表標題 Electrosynthesis of PEDOT Fibers by Means of Bipolar Electrochemistry
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Organic Reaction (ISOR13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Bipolar Patterning for Conducting Polymer Films
3. 学会等名 The 69th Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 機能性有機材料創出を指向した電解合成
3. 学会等名 産総研 × 東工大 エネルギー × 触媒 若手クロスシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電気化学：電位分布の制御と高分子材料への応用
3. 学会等名 高分子学会超分子研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電気化学が拓く機能性高分子材料創製
3. 学会等名 中国四国地区高分子材料研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 バイポーラ電気化学に基づく機能性高分子材料の開発
3. 学会等名 第67回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inagi, S.; Koizumi, Y.; Nishiyama, H.; Tomita, I.
2. 発表標題 Synthesis of PEDOT:Pt Hybrid Fibers by Bipolar Electropolymerization
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (IPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kurioka, T.; Nishiyama, H.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Post-Functionalization of P3HT Via Anodic Oxidation with High Current Efficiency
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inagi, S.; Tsuneishi, C.; Nishiyama, H.; Tomita, I.; Ogoshi, T.
2. 発表標題 Controlled Synthesis of Organic Frameworks of Pillar[6]Arene By Electrochemical Oxidation
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miyamoto, K.; Nishiyama, H.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Electrochemical Fluorination Using a Split Bipolar Electrode System in Low Electrolyte Concentration
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Organic Reaction (ISOR13) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kurioka, T.; Nishiyama, H.; Tomita, I.; Inagi, S.
2. 発表標題 Anodic Chlorination of Poly(3-hexylthiophene) with High Current Efficiency
3. 学会等名 The 13th International Symposium on Organic Reaction (ISOR13) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 In-plane Growth of Conducting Polymer Films by Means of Bipolar Electrochemistry
3. 学会等名 日本化学会第98回春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Inagi, S.; Tsuneishi, C.; Nishiyama, H.; Tomita, I.; Ogoshi, T.
2. 発表標題 Supramolecular Organic Frameworks of Pillar[6]arene via Electrochemical Oxidation
3. 学会等名 7th German-Japanese Symposium on Electrosynthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inagi, S.; Shida, N.; Nishiyama, H.; Tomita, I.
2. 発表標題 Anodic Halogenation of Thiophene and Selenophene Rings in Conjugated Polymers
3. 学会等名 254th ACS National Meeting & Exposition (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inagi, S.
2. 発表標題 Electrosynthesis of Functional Polymeric Materials
3. 学会等名 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR) 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inagi, S.; Ohira, M.; Koizumi, Y.; Nishiyama, H.; Tomita, I.
2. 発表標題 Electrosynthesis of Linear PEDOT Fibers by Means of Bipolar Electrochemistry
3. 学会等名 231st ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Inagi, S.; Asanuma, Y.; Nishimi, H.; Nishiyama, H.; Tomita, I.
2. 発表標題 Synthesis of Ring-fused Pyridinium Salts by Intramolecular Nucleophilic Aromatic Substitution Reaction of Fluoroarene Derivatives
3. 学会等名 10th Japanese-French Seminar on Fluorine Chemistry 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 パイポーラ電気化学：傾斜レドックス反応場としての可能性
3. 学会等名 2017年日本化学会中国四国支部大会鳥取大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 稲木 信介
2. 発表標題 レドックス化学の発展に資するパイポーラ電気化学
3. 学会等名 第13回有機電子移動化学若手の会 (招待講演)
4. 発表年 2017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 2020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 Inagi, S.; Miyamoto, K.; Sanuki, M.; Shida, N.; Tomita, I.; Gotou, A.; Yamauchi, A.; Isogai, T.
2. 発表標題 Development of an Environmentally Friendly Anodic Fluorination System Based on Bipolar Electrochemistry
3. 学会等名 PRiME 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 稲木信介、跡部真人	4. 発行年 2018年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 522
3. 書名 電気化学・インピーダンス測定の実験手法と事例集	

1. 著者名 Shinsuke Inagi	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Pan Stanford Publishing	5. 総ページ数 554 (91-111)
3. 書名 Conjugated Objects: Developments, Synthesis, and Applications	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>稲木研究室 出版物  <a href="http://www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html">http://www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html</a>          稲木研究室 出版物  <a href="http://www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html">http://www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html</a>          T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ  <a href="https://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100510967">https://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100510967</a>          Tokyo Tech Research Repository  <a href="https://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100510967">https://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100510967</a>          稲木研究室ウェブページ  <a href="http://www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html">www.echem.titech.ac.jp/~inagi/publications.html</a></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		
米国	University of California, Los Angeles		