

令和 2 年 5 月 12 日現在

機関番号：12701

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05847

研究課題名(和文)有機電解反応の集積化

研究課題名(英文)Time and Space Integration of Organic Electrochemical Reactions

研究代表者

跡部 真人 (Atobe, Mahito)

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90291351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は反応場が微小空間であるマイクロリアクターの特徴を利用し、電気化学的に発生させた高活性中間体を時間的・空間的に制御することで、従来のバッチ型の電解セルでは決して実現できない生産性を兼備した全く新しい電解合成反応や電解システムの構築を目指すものである。具体的には「マイクロリアクター内の液-液平行流を利用した高効率な電解反応プロセスの開発」および「電解反応をキーステップとする連続フロー反応システムの開発」の2テーマを主に展開した。これらの研究を通じて、電解プロセスへのマイクロリアクターの適用は、全く新しい電解合成反応や電解システムの構築に繋がる画期的な合成技術に成りうることを検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機電解合成は、反応剤に電子そのものを使用することで重金属や有害試薬を使わない環境調和型の反応プロセスとして、その一部は企業化されるなど一つの領域として発展してきた。その一方で、電位的な制約や活性種の寿命などの制約により実現できなかった反応なども数多く残されている。本研究課題は反応場が微小空間であるマイクロリアクターの特徴を活用し、従来のバッチ型の電解セルでは決して克服できなかった難題や実現の難しかったプロセスが開発された。従って、これらの反応システムの実現はマイクロリアクターの全く新しい利用法を提案するだけには留まらず、有機電気化学さらには有機化学全般に大きな波及効果を及ぼすものである。

研究成果の概要(英文)：Electron transfer is one of the most typical driving factors for organic reaction, and hence organic electrosynthesis serves as a straightforward and powerful method for organic electron transfer processes. On the other hand, microreactor technology for organic synthesis has been significantly investigated for the past two decades, however, the integrated use of microreactor technology with organic electrosynthesis has been quite limited so far. Under these backgrounds, in this work, we investigated that the integrated use of microreactor technology with organic electrosynthesis which offers one of the most sophisticated processes in organic chemistry. In particular, we examine the use of electrochemical flow microreactors for applications related to the electrochemical syntheses of useful chemical compounds. Throughout this work, I found that this technology serves as one of the solutions for the limitations of commercialization of electrosynthetic processes.

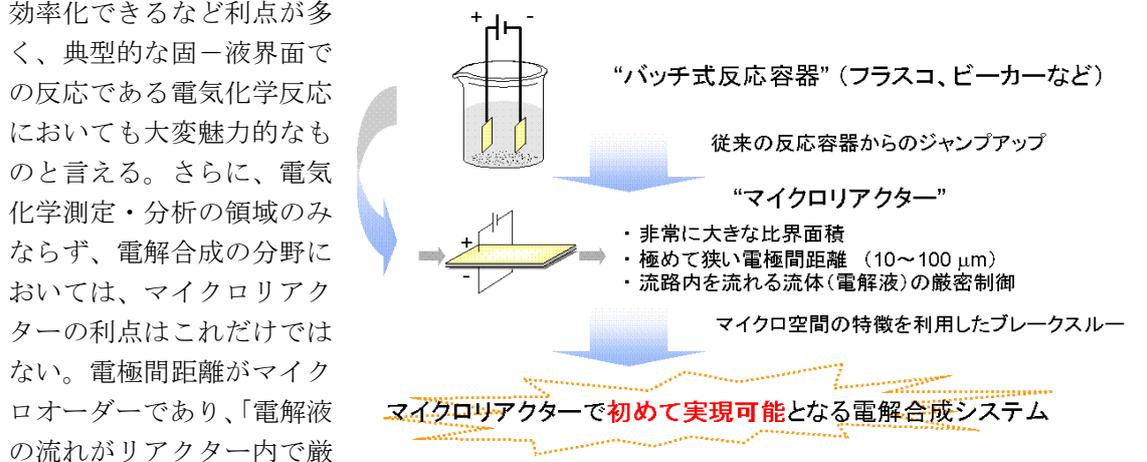
研究分野：有機電気化学、電解合成

キーワード：マイクロリアクター 有機電解合成

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微小な流路内で化学反応を行うマイクロリアクターは、様々な分野で応用が期待されている反応デバイスであり、これを利用した研究は 1990 年代初頭から分析化学の分野で、また、最近では有機合成化学の分野でも大きな成果を挙げている。<sup>1)</sup> とくに大きな比表面積を有し迅速な溶液混合が可能といった特徴は、均一系反応よりもむしろ固-液不均一系界面での反応のほうが効率化できるなど利点が多く、典型的な固-液界面での反応である電気化学反応においても大変魅力的なものと言える。さらに、電気化学測定・分析の領域のみならず、電解合成の分野においては、マイクロリアクターの利点はこれだけではない。電極間距離がマイクロオーダーであり、「電解液の流れがリアクター内で厳密に制御されている」といった特徴を最大限に活用すれば、従来のバッチ式反応容器（フラスコやビーカー）では決して実現できなかった全く新しい合成反応システムが構築できることも予想される。申請者はこのような観点に立脚し、マイクロリアクターを利用した電解合成、とりわけマイクロリアクターによって初めて実現可能となるような、全く新しい電解合成システムの開発を念頭に研究を行ってきた。



電極間距離がマイクロオーダーであり、「電解液の流れがリアクター内で厳密に制御されている」といった特徴を最大限に活用すれば、従来のバッチ式反応容器（フラスコやビーカー）では決して実現できなかった全く新しい合成反応システムが構築できることも予想される。申請者はこのような観点に立脚し、マイクロリアクターを利用した電解合成、とりわけマイクロリアクターによって初めて実現可能となるような、全く新しい電解合成システムの開発を念頭に研究を行ってきた。

申請者は本研究課題の予備研究において、マイクロリアクター内に形成される液-液平行流 (liquid-liquid parallel laminar flow) を利用することで求核剤の酸化電位に依存しない陽極置換反応システムの構築に成功している。

陽極置換反応は基質を酸化してカチオン種を発生させた後、共存する求核剤の求核攻撃によって目的物を得る手法であるが、そもそも強い求核剤は電子リッチな化合物であるため酸化され易い。したがって基質の酸化電位よりも求核剤の酸化電位のほうが低くなることも多く、そのような場合、求核剤が先に電極で酸化されてしまうため、目的の求核置換反応を達成することは困難となる。

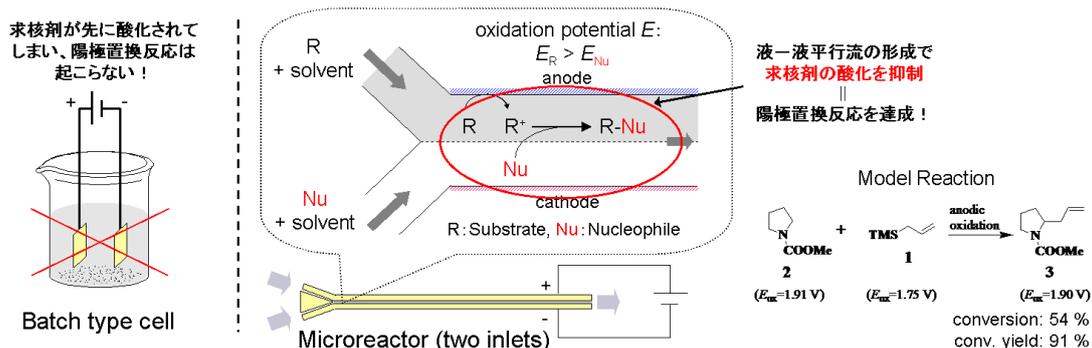


図 1. 求核剤の酸化電位に依存しない陽極置換反応システム。

そこで図 1 のリアクター図に示すように、リアクター内へ 2 方向から溶液を導入して液-液平行流を形成させ、基質のみを含む電解液の層流を陽極側に、求核剤のみを含む電解液の層流を陰極側に設定したところ、図に示すような求核剤の方が酸化され易いモデル反応においても基質のみを優先的に酸化させることに成功した。しかも、リアクター内の流路は非常に微小であることから、生じた高活性なカチオン中間体は分解することなく求核剤にまで到達することができ、結果として目的の陽極置換体が高収率で得られる。<sup>2,3)</sup>

また、申請者は陰極クロスカップリング反応において、前述の液-液平行流を利用することで任意の基質選択性を発現させることにも成功した。すなわち、アリルハライドとカルボニル化合物の陰極クロスカップリング反応では、アリルハライドが先に還元されると  $\gamma$  位付加体が生成

し、カルボニル化合物が還元されると  $\alpha$  位付加体が生成することが知られているが、2液導入型マイクロフローリアクターを用いて、還元したい基質溶液を陰極側から導入し、もう一方の基質溶液を陽極側から導入することで、リアクター内に液-液平行流を形成させ、これにより還元側から導入した基質のみを選択的に陰極還元させることで、所望のカップリング体を効率的に得ることに成功した (図2 参照)。<sup>4,5)</sup>

このようにマイクロリアクター内に形成される液-液平行流の利用は高活性な反応中間体を時間的かつ空間的に制御する上で非常に有効な手段となるもので、本研究課題申請の立脚点にもなっている。

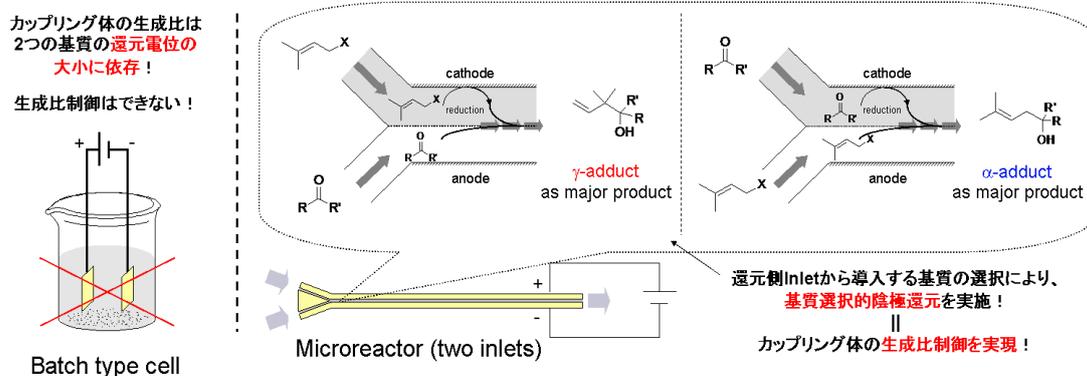


図2. 液-液平行流による基質選択的陰極還元と生成比制御.

## 2. 研究の目的

本研究は反応場が微小空間であるマイクロリアクターの特徴を利用し、電気化学的に発生させた高活性中間体を時間的・空間的に制御することで、従来のバッチ型の反応プロセスでは決して実現できない全く新しい合成反応システムの構築を目指すものである。その方法論的原理は後述 (研究計画・方法に記載) に基づいており、交付を希望する期間内では、「マイクロリアクター内の液-液平行流を利用した高効率な電解反応プロセスの開発」や「電解反応をキーステップとする連続フロー反応システムの開発」などを実施して、マイクロリアクター内の液-液平行流ならびに微小反応場を利用した電解合成反応や電解システムの適用拡大ならびに高度化や生産性の向上に努め、新規合成反応システムの構築に繋げる。

## 3. 研究の方法

本研究は反応場が微小空間であるマイクロリアクターの特徴を利用し、電気化学的に発生させた高活性中間体を時間的・空間的に制御することで、従来のバッチ型の電解セルでは決して実現できない生産性を兼備した全く新しい電解合成反応や電解システムの構築を目指すものである。具体的には以下の2つのテーマを主に展開した。

- 1) マイクロリアクター内の液-液平行流を利用した高効率な電解反応プロセスの開発
- 2) 電解反応をキーステップとする連続フロー反応システムの開発

### 1) マイクロリアクター内の液-液平行流を利用した高効率な電解反応プロセスの開発

芳香族化合物のクロスカップリングは合成化学上、非常に重要な反応の一つである。申請者は陽極酸化を用いた芳香族化合物のクロスカップリング反応において、前述の液-液平行流を利用することでクロスカップリング体の高選択化が達成させるのではないかと着想した。具体的

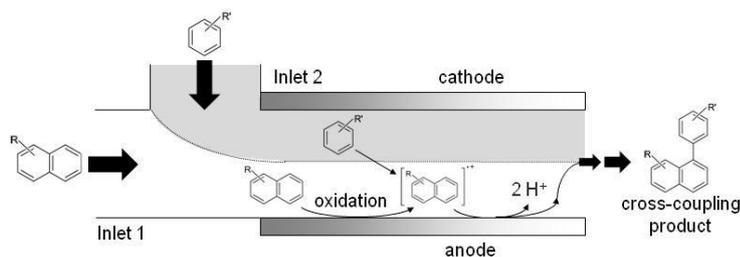


図3. ベンゼン類とアルキルベンゼン類の陽極クロスカップリング反応.

には、図3のような2液導入型フローマイクロリアクターにおいて、陽極側の Inlet 1 から基質（ナフタレン類）を含む溶液を送液し、選択的にラジカルカチオンを形成させ、液-液界面でもう一方の Inlet 2 から導入した求核剤（アルキルベンゼン類）と反応させる事で、クロスカップリング反応を効率的に行う事が出来ると考え、この着想原理の妥当性について検証した。

## 2) 電解反応をキーステップとする連続フロー反応システムの開発

温和な反応条件下（常温、常圧）で、反応活性種や中間体を発生できることは有機電解反応の特徴の一つである。本申請課題では先に述べた液-液平行流の利用により、これら電解で発生した活性種や中間体を単離することなく、引き続き反応させる連続フロー反応を実践する。具体的にはカテコールの電解還元による不安定 *o*-ベンゾキノンの生成と引き続きフルベンとの Diels-Alder 反応による二段階連続反応を実施した（図4参照）。

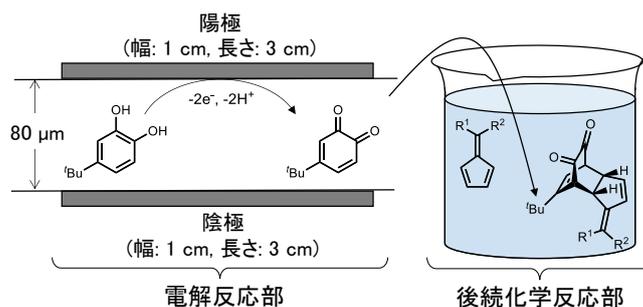


図4. *o*-ベンゾキノンの電解発生と引く続く求核剤との反応。

## 4. 研究成果

### 1) マイクロリアクター内の液-液平行流を利用した高効率な電解反応プロセスの開発

芳香バッチ型リアクターでの電解（表1, Entry 1）、2種類の基質を含む溶液を一方から送液したSingle-inletでの電解（Entry 2）、さらに図3のようなTwo-inletでの電解（Entry 3）を実施した。

これらの結果より、2液導入型フローマイクロリアクターにおいて系内に液-液平行流を形成させる事で、クロスカップリング体が効率的に得られる事が検証された。<sup>9)</sup>

表1. バッチ型リアクター及びフローマイクロリアクターを用いた場合のベンゼン類とアルキルベンゼン類の陽極クロスカップリング反応

Entry	Reactor type	Charge passed [F mol <sup>-1</sup> ]	Current yield (%)
1	Batch type cell	0.2	49
2	Single-inlet	0.2	66
3	Two-inlet	0.2	85

### 2) 電解反応をキーステップとする連続フロー反応システムの開発

フローマイクロリアクターの優位性を検証するため、従来のバッチ型リアクター及びフローマイクロリアクターを用い、図4に示したモデル反応を実施した（表2）。

表2. バッチ型リアクター及びフローマイクロリアクターを用いた場合の Diels-Alder 反応

エントリー	リアクターの種類	収率 (%) <sup>a</sup>
1	バッチ型リアクター	13
2	フローマイクロリアクター	75

<sup>a</sup> HPLC により定量。

その結果、バッチ型リアクターでは目的の生成物は低収率でしか得られなかった。これは、系中に共存させたフルベンの酸化が競合してしまったためであると考えられる。一方、フローマイクロリアクターの利用により生成物の収率が大きく向上することが分かった。これは、フルベン

の酸化を伴わずに *o*-キノンを電解発生させ、迅速に後続化学反応へと導けたことによるものと結論された。<sup>7)</sup>

<引用文献>

- 1) 「マイクロリアクタテクノロジー」シーエムシー出版, 2005.
- 2) D. Horii, T. Fuchigami, M. Atobe, *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 11692.
- 3) D. Horii, F. Amemiya, T. Fuchigami, M. Atobe, *Chem. Eur. J.* **2008**, *14*, 10382.
- 4) F. Amemiya, K. Fuse, T. Fuchigami, M. Atobe, *Chem. Commun.* **2010**, *46*, 2730.
- 5) F. Amemiya, H. Matsumoto, K. Fuse, T. Kashiwagi, C. Kuroda, T. Fuchigami, M. Atobe, *Org. Biomol. Chem.* **2011**, *9*, 4256.
- 6) T. Arai, H. Tateno, K. Nakabayashi, T. Kashiwagi, M. Atobe, *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 4891-4894.
- 7) K. Tanaka, H. Yoshizawa, M. Atobe, *Synlett* **2019**, *30*, 1194-1198.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計30件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 跡部真人、田中健太	4. 巻 -
2. 論文標題 フローが拓く新たな有機電解合成	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学と工業	6. 最初と最後の頁 -
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 Koshino Miharu, Yukihide Shiraishi, Atobe Mahito	4. 巻 -
2. 論文標題 Size-Controlled Synthesis of Polymer Hollow Nanoparticles Using Emulsion Templates Prepared by Tandem Acoustic Emulsification	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultrason. Sonochem.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 0.1016/j.ultsonch.2019.01.032	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 Tanaka Kenta, Yoshizawa Hirona, Atobe Mahito	4. 巻 -
2. 論文標題 A Flow Microreactor Approach to a Highly Efficient Diels-Alder Reaction with an Electrogenerated o-Quinone	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Synlett.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0037-1611725	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 Fukazawa Atsushi, Takano Ken, Matsumura Yoshimasa, Nagasawa Kensaku, Mitsushima Shigenori, Atobe Mahito	4. 巻 91
2. 論文標題 Electrocatalytic Hydrogenation of Toluene Using a Proton Exchange Membrane Reactor: Influence of Catalyst Materials on Product Selectivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 897-899
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180021	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 Atobe Mahito, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa	4. 巻 118
2. 論文標題 Applications of Flow Microreactors in Electrosynthetic Processes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Rev.	6. 最初と最後の頁 4541-4572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.7b00353	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 Tanaka Eisaku, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa, Nakabayashi Koji, Kawamura Izuru, Atobe Mahito	4. 巻 91
2. 論文標題 Electrooxidative Copolymerization of 3,4-Ethylenedioxythiophene and Benzene from a Mixture of Each Monomer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 141-146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20170319	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 Atobe Mahito, Maken Frank	4. 巻 27
2. 論文標題 In Situ Ultrasonic Dispersion in Multiphase Electrolysis Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Electrochem. Soc. Interface	6. 最初と最後の頁 59-62
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 Fukazawa Atsushi, Takano Ken, Matsumura Yoshimasa, Nagasawa Kensaku, Mitsushima Shigenori, Atobe Mahito	4. 巻 -
2. 論文標題 Electrocatalytic Hydrogenation of Toluene Using a Proton Exchange Membrane Reactor: Influence of Catalyst Materials on Product Selectivity	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180021	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 Atobe Mahito, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa	4. 巻 -
2. 論文標題 Applications of Flow Microreactors in Electrosynthetic Processes	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chem. Rev.	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemrev.7b00353	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 Tanaka Eisaku, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa, Nakabayashi Koji, Kawamura Izuru, Atobe Mahito	4. 巻 91
2. 論文標題 Electrooxidative Copolymerization of 3,4-Ethylenedioxithiophene and Benzene from a Mixture of Each Monomer	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn	6. 最初と最後の頁 141 ~ 146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20170319	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 Yang Qu, Tsuneishi Chiaki, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa, Atobe Mahito	4. 巻 2
2. 論文標題 Green Synthesis of $\alpha$ -Amino Acids by Electrochemical Carboxylation of Imines in a Flow Microreactor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 React. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 871 ~ 875
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7RE00149E	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 Mizuno Masatsugu, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa, Atobe Mahito	4. 巻 2
2. 論文標題 Synthesis and Molecular Weight Control of Poly(3-hexylthiophene) Using Electrochemical Polymerization in a Flow Microreactor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 React. Chem. Eng.	6. 最初と最後の頁 642 ~ 645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7RE00089H	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 Nagasawa Kensaku, Kato Akihiro, Nishiki Yoshinori, Matsumura Yoshimasa, Atobe Mahito, Mitsushima Shigenori	4. 巻 246
2. 論文標題 The effect of flow-field structure in toluene hydrogenation electrolyzer for energy carrier synthesis system	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Electrochim. Acta	6. 最初と最後の頁 459 ~ 465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2017.06.081	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 Qu Yang, Tateno Hiroyuki, Matsumura Yoshimasa, Kashiwagi Tsuneo, Atobe Mahito	4. 巻 22
2. 論文標題 Cathodic Aromatic C,C Cross-Coupling Reaction via Single Electron Transfer Pathway	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 413 ~ 413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules22030413	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 YAMADA Yoshito, MATSUMURA Yoshimasa, ATOBE Mahito	4. 巻 74
2. 論文標題 回転ディスク電極を用いるポリアニリン膜の構造制御型電解合成	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 高分子論文集	6. 最初と最後の頁 494 ~ 501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1295/koron.2017-0031	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 Yang QU, Hiroyuki TATENO, Yoshimasa MATSUMURA, Tsuneo KASHIWAGI, Mahito ATOBE	4. 巻 22
2. 論文標題 Cathodic Aromatic C,C Cross-Coupling Reaction via Single Electron Transfer Pathway	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecules	6. 最初と最後の頁 413-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/molecules22030413	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 Ken TAKANO, Hiroyuki TATENO, Yoshimasa MATSUMURA, Atsushi FUKAZAWA, Tsuneo KASHIWAGI, Koji NAKABAYASHI, Kensaku NAGASAWA, Shigenori MITSUSHIMA, Mahito ATOBE	4. 巻 45
2. 論文標題 Electrocatalytic Hydrogenation of o-Xylene in a PEM Reactor as a Study of a Model Reaction for Hydrogen Storage	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1437-1439
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.160766	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 Eisaku TANAKA, Hiroyuki TATENO, Yoshimasa MATSUMURA, Koji NAKABAYASHI, Mahito ATOBE	4. 巻 45
2. 論文標題 Electrochemical Polymerization on Porous Electrodes in Neat and Highly Concentrated Monomer Solutions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1271-1273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.160627	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 Ken TAKANO, Hiroyuki TATENO, Yoshimasa MATSUMURA, Atsushi FUKAZAWA, Tsuneo KASHIWAGI, Koji NAKABAYASHI, Kensaku NAGASAWA, Shigenori MITSUSHIMA, Mahito ATOBE	4. 巻 89
2. 論文標題 Electrocatalytic Hydrogenation of Toluene Using a Proton Exchange Membrane Reactor	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Bull. Chem. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 1178-1183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20160165	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 Yoshimasa MATSUMURA, Yoshiyuki YAMAJI, Hiroyuki TATENO, Tsuneo KASHIWAGI, Mahito ATOBE	4. 巻 45
2. 論文標題 In Situ Generation of Trichloromethyl Anion and Efficient Reaction with Benzaldehyde in an Electrochemical Flow Microreactor	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 816-818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.160337	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 Tomoya KUNO, Yoshimasa MATSUMURA, Koji NAKABAYASHI, Mahito ATOBE	4. 巻 55
2. 論文標題 Electroresponsive Structurally Colored Materials from a Combination of Structural and Electrochromic Color Effects	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 2503-2506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201511191	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 松村吉将, 跡部真人	4. 巻 61
2. 論文標題 フローマイクロリアクターを利用する有機電解合成システムの開発	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 ケミカルエンジニアリング	6. 最初と最後の頁 693-701
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 跡部真人	4. 巻 58
2. 論文標題 有機電解合成の最近の動向	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 357-361
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 Tomoya KUNO, Yoshimasa MATSUMURA, Koji NAKABAYASHI, Mahito ATOBE	4. 巻 55
2. 論文標題 Electroresponsive Structurally Colored Materials from a Combination of Structural and Electrochromic Color Effects	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Angew. Chem. Int. Ed.	6. 最初と最後の頁 2503-2506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201511191	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 Yoshimasa MATSUMURA, Yoshinobu KAKIZAKI, Hiroyuki TATENO, Tsuneo KASHIWAGI, Yoshiyuki YAMAJI, Mahito ATOBE	4. 巻 5
2. 論文標題 Continuous In Situ Electrogenation of 2-Pyrrolidone Anion in Microreactor: Application to Highly Efficient Monoalkylation of Methyl Phenylacetate	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 96851-96854
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C5RA19286B	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 Hiroyuki TATENO, Yoshimasa MATSUMURA, Koji NAKABAYASHI, Hisanori SENBOKU, Mahito ATOBE	4. 巻 5
2. 論文標題 Development of a Novel Electrochemical Carboxylation System Using a Microreactor	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 98721-98723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C5RA19289G	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 Yuki HIARAI, Miharuru KOSHIMO, Yoshimasa MATSUMURA, Mahito ATOBE	4. 巻 44
2. 論文標題 Synthesis of Spherical Polymer Nanoparticles Reflecting Size of Monomer Droplets Formed by Tandem Acoustic Emulsification	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 1584-1585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.150740	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 Hiroyuki TATENO, Koji NAKABAYASHI, Tsuneo KASHIWAGI, Hisanori SENBOKU, Mahito ATOBE	4. 巻 161
2. 論文標題 Electrochemical Fixation of CO <sub>2</sub> to Organohalides in Room-Temperature Ionic Liquids under Supercritical CO <sub>2</sub>	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Electrochim. Acta	6. 最初と最後の頁 212-218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.electacta.2015.01.072	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 Toshihiro ARAI, Hiroyuki TATENO, Koji NAKABAYASHI, Tsuneo KASHIWAGI, Mahito ATOBE	4. 巻 51
2. 論文標題 Anodic Aromatic C,C Cross-Coupling Reaction Using Parallel Laminar Flow Mode in a Flow Microreactor	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Chem. Commun.	6. 最初と最後の頁 4891-4894
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c5cc01253h	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 跡部 真人	4. 巻 83
2. 論文標題 有機電解合成の現状とフローマイクロリクターの利用	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 電気化学および工業物理化学	6. 最初と最後の頁 463-466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.5796/electrochemistry.83.463	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25件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 20件)

1. 発表者名 跡部真人
2. 発表標題 高効率・高選択化を指向したフロー電解合成プロセスの構築
3. 学会等名 第42回有機電子移動化学討論会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atobe Mahito, Minoshima Juri, Fukazawa Atsushi, Hashimoto Yasushi, Kobori Yoshihiro, Sato Yasushi
2. 発表標題 Highly Stereoselective Electrocatalytic Semihydrogenation of Alkynes to Z-Alkenes Using a Proton Exchange Membrane Reactor
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fukazawa Atsushi、Tateno Hiroyuki、Matsumura Yoshimasa、Nagasawa Kensaku、Mitsushima Shigenori、Atobe Mahito
2. 発表標題 Electrocatalytic Hydrogenation of Toluene in a PEM Reactor As a study of a Model Reaction for Hydrogen Storage
3. 学会等名 233rd ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Atobe Mahito、Koshino Miharū、Shiraishi Yukihide
2. 発表標題 Size-Controlled Synthesis of Polymer Nanoparticles and Hollow Nanoarticles Using Tandem Acoustic Emulsification
3. 学会等名 16th Meeting of the European Society of Sonochemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 跡部真人
2. 発表標題 電気で駆動するフロー合成技術
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 跡部真人
2. 発表標題 さらば試薬!! 電気で駆動するフロー合成技術
3. 学会等名 第7回CSJ化学フェスタ2017 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 跡部真人
2. 発表標題 グリーンエレクトロケミカルプロセスの開発
3. 学会等名 第27回グリーンケミストリーフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 跡部真人
2. 発表標題 グリーンエレクトロケミカルプロセスの開発
3. 学会等名 第27回グリーンケミストリーフォーラム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Miharu KOSHIMO, Yuki HIRAI, Yoshimasa MATSUMURA, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Preparation of Soap-Free Emulsion by Using Tandem Ultrasonication and Synthesis of Size-Controlled Polymer Nanoparticle
3. 学会等名 The sixth Asia-Oceania Conference on Sustainable and Green Chemistry（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Atsushi FUKAZAWA, Hiroyuki TATEN0, Shigenori MITSUSHIMA, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Study on Electrochemical Hydrogenation of Toluene in a PEM Reactor with Various Noble Metal Supported Catalysts
3. 学会等名 The sixth Asia-Oceania Conference on Sustainable and Green Chemistry（国際学会）
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Eisaku TANAKA, Koji NAKABAYASHI, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Electropolymerization on Porous Electrodes in Neat and Highly Concentrated Monomer Solutions
3. 学会等名 The sixth Asia-Oceania Conference on Sustainable and Green Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mahito ATOBE
2. 発表標題 Preparation of Transparent Nanoemulsion Using Tandem Acoustic Emulsification and Application to Polymer Material Synthesis
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Integrated Synthesis (ISONIS-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hirona YOSHIZAWA, Hiroyuki TATENNO, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Efficient Diels-Alder Reaction of o-Quinone Electrogenerated in a Flow Microreactor
3. 学会等名 PRiME2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Masatsugu MIZUNO, Hiroyuki TATENNO, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Electrochemical Polymerization of 3-Hexylthiophene Using a Flow Microreactor
3. 学会等名 PRiME2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mahito ATOBE, Koji NAKABAYASHI
2. 発表標題 Preparation of EDOT Monomer Nanoemulsion under Surfactant-Free Conditions Using Tandem Acoustic Emulsification and Application to Electropolymerization
3. 学会等名 ECAT2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Atsushi FUKAZAWA, Hiroyuki TATENO, Shigenori MITSUSHIMA, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Electrochemical hydrogenation of toluene using a PEM reactor with various noble metal supported catalysts
3. 学会等名 ECAT2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mahito ATOBE
2. 発表標題 Anodic C-C Bond Forming Reactions Using Parallel Laminar Flow Mode in a Flow Microreactor
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Middle Molecular Strategy (ISMMS-2) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yang QU, Hiroyuki TATENO, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Cathodic Cross-Coupling Reaction of Aromatic Compounds Through SET Pathway Towards a Novel Biphenyl Synthesis
3. 学会等名 229th Electrochem. Soc. Meet. (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yoshimasa MATSUMURA, Yoshinobu KAKIZAKI, Hiroyuki TATENO, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Monoalkylations of Methyl Phenylacetate Using in situ Electrogeneration of 2-Pyrrolidone Anion in an Electrochemical Flow-microreactor
3. 学会等名 229th Electrochem. Soc. Meet. (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hiroyuki TATENO, Yoshimasa MATSUMURA, Koji NAKABAYASHI, Mahito ATOBE
2. 発表標題 Development of a Novel Electrocarboxylation System Using Electrochemical Flow-microreactor
3. 学会等名 6th German-Japanese Symposium on Electrosynthesis (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mahito ATOBE
2. 発表標題 Anodic C,C Cross-coupling Reaction of Aromatic Compounds Using Parallel Laminar Flow Mode in a Flow Microreactor
3. 学会等名 The 12th International Symposium on Organic Reactions (ISOR-12) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Qu, H. Tateno, M. Atobe
2. 発表標題 Cathodic Cross-Coupling Reaction between Aromatic Compounds through SET Pathway Toward a Novel Biphenyl Synthesis
3. 学会等名 Yokohama Environment and Information Sciences International Forum (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Tateno, K. Nakabayashi, M. Atobe
2. 発表標題 Development of a Novel Electrocarboxylation System Using a Flow Microreactor
3. 学会等名 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 M. Mizuno, H. Tateno, M. Atobe
2. 発表標題 Electrochemical Synthesis of Poly(3-hexylthiophene) Using a Flow Microreactor
3. 学会等名 GSC-7 & 4th JACI/GSC Symposium (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Tateno, K. Nakabayashi, M. Atobe
2. 発表標題 Development of a Novel Electrochemical Carboxylation System Using Flow Microreactor
3. 学会等名 GSC-7 & 4th JACI/GSC Symposium (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Maken Frank, Atobe Mahito	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 182
3. 書名 Modern Electrosynthetic Methods in Organic Chemistry	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 光学活性化化合物の製造装置及び製造方法	発明者 橋本康嗣、佐藤康司、跡部真人、深澤篤、養島樹里	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-021155	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 シス - 二置換非芳香族化合物の製造装置及び製造方法	発明者 橋本康嗣、佐藤康 司、跡部真人、深澤 篤、簗島樹里	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-021154	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 シス - アルケンの製造装置及び製造方法	発明者 橋本康嗣、佐藤康 司、跡部真人、深澤 篤、簗島樹里	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-021153	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 シス - アルケンの製造装置及び製造方法	発明者 橋本康嗣、佐藤康 司、跡部真人、深澤 篤、簗島樹里	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-027125	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

跡部研究室ホームページ <a href="http://www.atobe-lab.ynu.ac.jp/">http://www.atobe-lab.ynu.ac.jp/</a>
--

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