

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 16 日現在

機関番号：23701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03367

研究課題名(和文) マイクロ波エネルギー集積効果を利用した効率的連続フロー合成法の開発

研究課題名(英文) Development of efficient continuous flow synthesis method using microwave energy accumulation effect

研究代表者

佐治木 弘尚 (Sajiki, Hironao)

岐阜薬科大学・薬学部・教授

研究者番号：50275096

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：カーボンビーズ(CB)に担持した白金触媒に、低出力MWを照射するとエネルギーがCBに局所吸収され、フロー流路内に局所高温反応場が形成される現象を見出し、メチルシクロヘキサンからの脱水素芳香化反応(水素製造)を報告している。本研究では、これを確実に実用的な方法論として昇華させるべく、新たな有機合成法への応用研究を遂行した。わずかなMWエネルギーの供給で進行し、副生成物が水素ガスのみとなるベンズアニュレーション反応(多環芳香族化合物合成法)を開発するとともに、メチルシクロヘキサンの脱水素芳香化反応を基盤とした、還元性官能基への一般性ある触媒の水素移動反応の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

流路内の不均一系触媒担体に微弱MWエネルギーを集約させて、高温反応場を形成しフロー反応の効率的進行に利用する反応例は皆無であり、新規性ある省エネルギー型連続合成法を開発することができた。フロー反応流路内(溶液内部)のカーボンビーズ(CB)上のみエネルギー豊富な反応場を構築して、エネルギーロスを極力削減して、有機合成反応に利用するアイデアは創造的であり、「フロー精密有機合成法のイノベーション」として実用的な有機合成法として期待される。本研究成果を創出する過程で、さらに適用が可能となる反応候補も複数見出されており、将来のカーボンニュートラルに貢献する反応基盤を確立した意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：We have found that when a platinum catalyst supported on carbon beads (CB) is irradiated with low-power MW, the energy is locally absorbed by the CB, forming a local high-temperature reaction field within the flow channel, and have reported the dehydrogenation aromatization reaction (hydrogen production) from methylcyclohexane. In this study, we carried out application research to a new organic synthesis method in order to sublimate this as a reliable and practical methodology. We developed a benzannulation reaction (a method for synthesizing polycyclic aromatic compounds) that proceeds with low MW energy and whose only by-product is hydrogen gas, and we also succeeded in developing a general catalytic hydrogen transfer reaction to reducing functional groups based on the dehydrogenation aromatization reaction of methylcyclohexane.

研究分野：有機合成化学、医薬品化学、環境化学、触媒化学

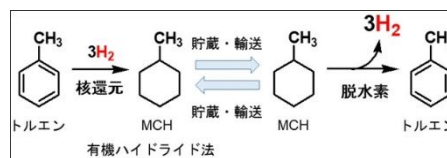
キーワード：マイクロ波 エネルギー集積 連続フロー反応 局所高温反応場 活性炭 C-C結合形成反応 多環芳香族化合物 多環芳香族化合物

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

連続フロー法による有機合成はバッチ法よりも反応効率が高く、プロセスの小型化、安全性、環境負荷など多くの優位性がある。固体触媒カートリッジを使用する場合、カートリッジに到達した少量の反応液中の基質や試薬に対して大過剰の触媒が存在し反応効率は向上する。地球環境を維持しながら産業を発展させるには、地球温暖化物質である二酸化炭素の排出抑制と効率の良いエネルギーチェーンの確立が不可欠であり、水素 ( $H_2$ ) エネルギーの利用が注目されている。メチルシクロヘキサン (MCH) を  $H_2$  キャリアーとして  $H_2$  ガスを運搬・輸送・貯蔵・使用する有機ハイドライド法 (右図) が NEDO の国家プロジェクトとして研究されているが、MCH から水素の取り出しには大きなエ



ネルギー投入が必要となり問題が残っていた。我々はマイクロ波 (MW) とフロー反応を組み合わせたエネルギー効率の高い連続フロー式化学変換システムの構築を目指して研究を進める過程で (*Chem. Rec.* **2019**, 19, 3-14)、直径約 0.5 mm のカーボンビーズ (CB) に担持した Pt 触媒カートリッジに、単一周波数の MW を照射すると、イソプロパノールなどのアルコールから直接定量的に水素を取り出せることが判った。同様に MCH も 10W の MW 照射で効率良くトルエンに変換され、ほぼ定量的に純粋な  $H_2$  ガスが持続的に生成することを明らかにした。この反応では、Pt/CB 部分のみが照射開始直後から選択的に温度上昇して約 250 °C に到達した。投入エネルギーの大部分が触媒担体に集約され、エネルギー効率が極めて高い。12 時間の連続運転で投入エネルギーの 23.9% が化学変換エネルギーとして消費されたことも判っている (*ACS Sustainable Chem. Eng.* **2019**, 7, 3502-3061)。

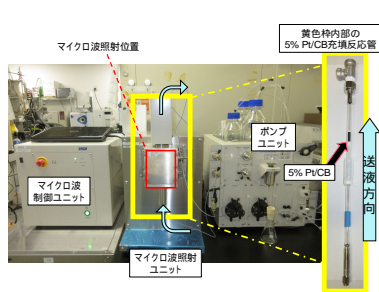
## 2. 研究の目的

反応効率やエネルギー効率の観点でフロー反応が注目されているが、投入エネルギーを無駄なく「反応に高選択的に転写する方法論」の開発は極めて重要である。本研究 10W の MW が CB に集約局所的に温度上昇するが、ガラスカートリッジや、MCH の温度はほとんど上昇しない。すなわち MW フロー反応の場合には、共振周波数がマッチした素材をエネルギー集積反応場として利用して、流路内の限られ反応にエネルギーを集約させれば、エネルギー拡散を極小化して化学変換するシステムを構築できる。粉末状活性炭を電子レンジで処理すると閃光を発生しながら燃焼するが、空隙率を確保したビーズ状の CB を使用したことで、危険を回避して、連続フロー流路内でエネルギー集約が可能となった。

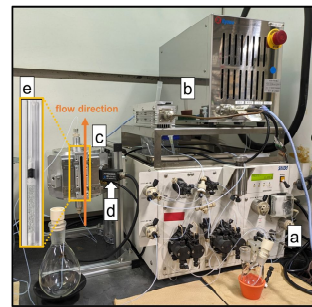
$H_2$  は  $CO_2$  フリーのグリーンエネルギーであり還元試薬であるが、運搬・保管・使用には厳重な管理を要する。従って MCH から水素を MW 的に効率良く取り出す反応と接触還元触媒反応場を組み合わせ、フロー反応系内で発生させた  $H_2$  ガスを、接触水素化や H-D 交換反応 (重水素化: 水素による触媒金属の活性化が必須) に直接利用し、MCH を見かけ上の還元剤とした連続フロー精密合成法 (右図) の確立を目的とするとともに、熱的・触媒的に同一の反応管内で進行する水素化反応を始め、様々な反応 (C-H/C-H カップリング反応、Diels-Alder 反応、Huisgen 環化付加反応、Alder Ene 反応など) の省エネ化も検討する。

## 3. 研究の方法

MWフロー反応装置は、Saida FDS と東京理科大学機械(EYELA)の2種類の装置を使用した。基本的な原理は、以下の模式図に示した。10 W MW を照射しながら、MCH を流速 0.50

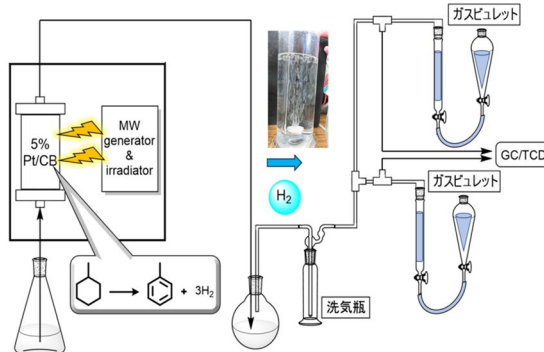


MWフロー反応装置 (Saida FDS)



MWフロー反応装置 (EYELA, MR-2G-100とSaida ポンプシステム) (a)ポンプシステム, (b) MW制御ユニット, (c) MW照射ユニット, (d) サンプルグラフィー, (e) 5% Pt/C 充填反応管 (MW照射ユニットのオレンジ枠部分)

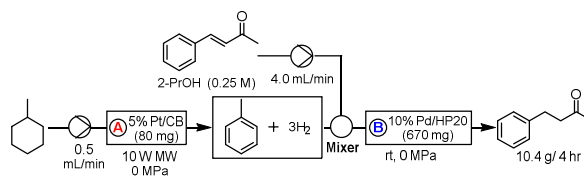
mL/min で触媒管に単回移送する。脱水素芳香化は円滑に進行してトルエンに変換された。発生した水素を洗気瓶(水)を通して、ガスビュレットに捕集し、熱伝導度型検出器 (TCD) を装備した GC-TCD で分析すると、純度>99%の水素ガスが生成し、水素の発生量に依存してトルエンが生成した。



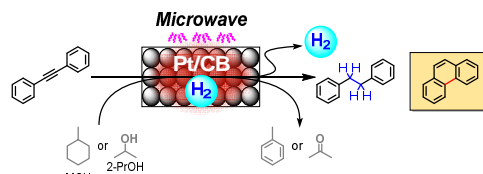
#### 4. 研究成果

##### (1) MW エネルギー集約効果を利用したベンズアニュレーション

脱水素芳香化反応で生成した水素を利用した新たな展開として、触媒カートリッジ A 内で MCH から水素を発生させて、別のポンプで送液される還元性官能基を持つ基質の 2-プロパノール溶液とミキサーで混合しながら、2つ目の接触還元触媒充填カートリッジ B に移送して接触還元した。この触媒カートリッジには、当研究室で開発した粒状の 10% Pd/HP20 を充填した様々な還元性官能基の接触水素化反応が効率良く定量的に進行し、時間軸を延長するだけで合成量も増加した。例えば、シナムアルデヒドの 2-プロパノール溶液を送液すると効率良く還元され、4 時間で 10.4 g のジヒドロシナムアルデヒドが生成した。しかしこの方法は、水素ガスを外部添加する方法に対する新規性に乏しい。そこで、MCH が脱水素芳香化する 5% Pt/CB 触媒カートリッジ内で直接水素を転写する方法への展開を目指した。



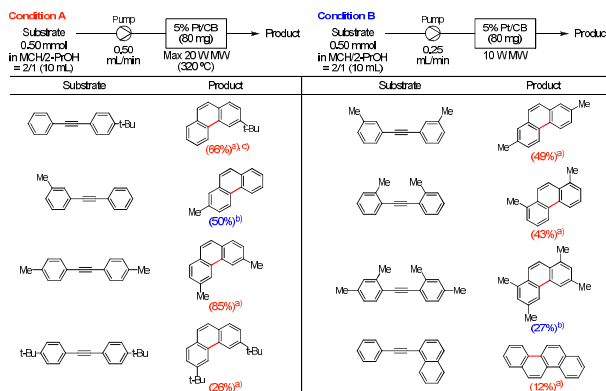
MCH に溶解したジフェニルアセチレンを基質として、マイクロ波を照射しながら 5% Pt/CB 触媒カートリッジに移送したところ、ジフェニルアセチレンが還元されたジフェニルエタン (21%) だけでなく、二つの芳香環の間で、分子内環化したフェナントレンがむしろ主生成物として生成する (42%) ことを見出したので、フェナントレンへの変換が選択的に進行する反応条件を検討し、多環芳香族化合物の合成法として展開することとした。



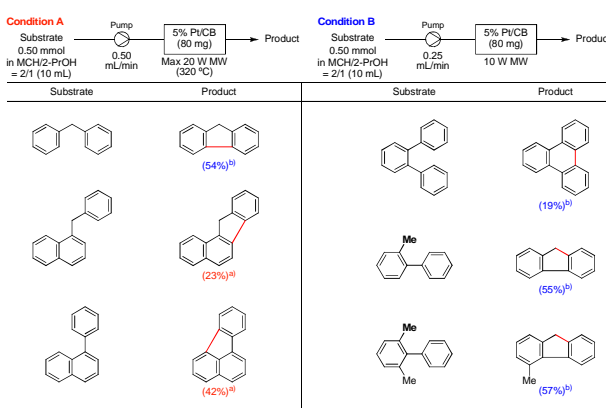
ジフェニルアセチレンのメチルシクロヘキサン溶液を MW 照射下 (20-35 W) 流速 0.5 mL/min で送液して温度効果と溶媒効果を検討したところ、MCH と 2-PrOH 2 : 1 混液に溶解して、設定温度 320 °C で送液すると、フェナントレンが 87 % の高収率で生成し、還元されたジフェニルエタンの生成も最小限となった。なお、ジフェニルアセチレン、シスおよびトランススチルベンとジフェニルエタンをそれぞれ基質としても、いずれも同程度の反応収率でフェナントレンが生成し、生成物のフェナントレンは本反応条件下で分解しないことも確認した。

本反応では、ジフェニルアセチレンが水素化されてシススチルベンが生成し、さらにプラチナ触媒的に水素化、異性化あるいは脱水素酸化を受けてトランススチルベンとジフェニルエタンが共存する平衡状態となる。さらにシススチルベンもしくはジフェニルエタンが分子内脱水素カップリングして熱力学的に安定なフェナントレンに集束する。

「触媒カートリッジの温度を 320 °C に固定したコンディション A」と「マイクロ波出力を 10W で固定したコンディション B」の二つの条件下で、基質適用検討したところ、フェナントレン誘導体の収率は置換基の種類や溶解性に依存するが、すべてのケースで sp<sup>2</sup>-sp<sup>2</sup> カップリングが進行した。テトラメチル体や (1-ナフチル) フェニルアセチレンの縮環反応も進行して、収率は低いものの目的とするフェナントレン誘導体やクリセンが合成できる。ジフェニルアセチレン誘導体以外の様々な芳香族炭化水素化合物の C-H/C-H 分子内環化反応も進行し、例えば、フルオレン、ベンゾフルオレン、フルオランテン、トリフェニレンに変換された。さらに、2-メチルピフェニル誘導体は、芳香環 sp<sup>2</sup> 炭素とメチル基の sp<sup>3</sup> 炭素の間で炭素-炭素結合を形成してフルオレン誘導体に変換された。

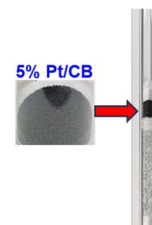


a) Condition A. b) Condition B. c) The yield based on the consumed starting material.



a) Condition A. b) Condition B. c) The yield based on the consumed starting material.

なお、ジフェニルアセチレンの反応で使用した触媒管内の 5% Pt/CB は(下図) 反応(高温)を継続している間は高い活性が保持されるが、一度反応を停止して常温まで戻した後、再度反応すると、C-H/C-H 分子内環化の収率がわずかながら低下し、水素化生成物であるジフェニルエタンの生成比が増加する。使用前と使用後の 5% Pt/CB の物性を走査型透過電子顕微鏡 (STEM) と X 線光電子分光法



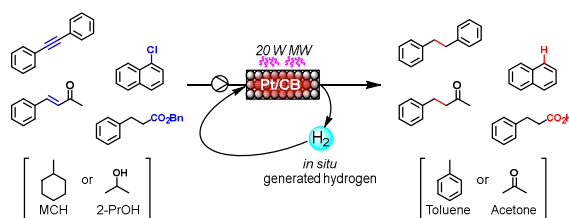
(XPS) で比較したところ、使用前の 5% Pt/CB は約 1~3nm の小さな Pt クラスタと約 1 μm の比較的大きな Pt クラスタが混在しているが、反応後には、2~4 μm の焼結した Pt クラスタが観察された。XPS 分析における 5% Pt/CB 触媒中の Pt(0)と Pt(II)の比率は使用前後で変化しないため、CB に担持された Pt の粒子径の変化が環化反応の反応効率に影響を及ぼしているものと考察している。以上の結果は *Commun. Chem.* **2023**, 6:78 (Open Access) として公表した。

MCH / 2-PrOH 混合溶媒兼水素源への溶解性が低下すると収率は低下するが、さらに広範な芳香族化合物の C-H/C-H 分子内環化反応が位置選択的に進行することも明らかになりつつある。本環化反応はわずかな単一波長 MW エネルギーの供給により連続フロー反応系で進行するとともに、副生成物が水素ガスのみでクリーンな方法論であることから、基質芳香環への脂溶性置換基の導入などにより液晶や有機 EL 材料として重要な多環芳香族化合物の合成法としての応用も期待される。

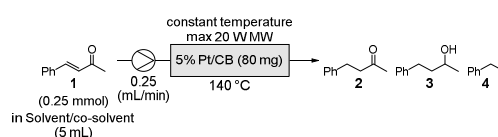
(2) メチルシクロヘキサンの脱水素反応を利用した 5% Pt/CB 触媒によるカートリッジ内で進行する化学選択的 direct 水素化反応 - MCH から還元性基質への direct 水素転写 -



「(1) MW エネルギー集約効果を利用したベンズアニユレーション」では、ジフェニルアセチレンを基質とした場合に、予期したジフェニルエタンだけでなく、分子内環化したフェナントレンがむしろ主生成物として得られたため、フェナントレンへの変換が選択的に進行する反応条件を検討した。続いて「選択制を逆転させて」、MCH に溶解した還元性官能基を持つ基質を直接水素化する方法 (MCH から基質への直接水素転写) を検討した。



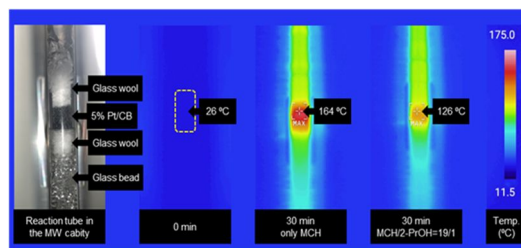
ベンズアラセトン(1)の MCH 溶液を、アップフローで送液したところ、水素化された 4-フェニル-2-ブタノン(2)が 8%のエチルベンゼン(4)の副生を伴いながら、92%生成した。触媒カートリッジの温度設定は 140 °C が最適であり、共溶媒として 2-PrOH を使用すると (MCH/2-PrOH = 19/1) GC 比 98%、単離収率 91% で水素化体(2)が得られた。



Entry	Solvent/co-solvent	Product ratio <sup>a</sup> (1 : 2 : 3 : 4)
1	MCH/-	0 : 92 : 0 : 8
2	MCH/2-PrOH = 4/1	5 : 94 : 0 : 1
3	MCH/2-PrOH = 19/1	0 : 98 (91) <sup>b</sup> : 0 : 2
4	MCH/2-PrOH = 99/1	0 : 95 : 0 : 5
5	2-PrOH/-	52 : 48 : 0 : trace

<sup>a</sup>The product ratio was determined by GC-FID using decane as the internal standard.  
<sup>b</sup>Isolated yield.

スリットを開けて、機械的に 140 °C に設定した MW キャビテ内の 5% Pt/CB カートリッジの温度をサーモグラフィーで測定したところ、1 (0.05 M) の MCH 溶液では、送液開始 30 分後に触媒層の温度は 164 °C に到達したが、MCH/2-PrOH = 19/1 溶液の場合は 126 °C で、20 W の MW 照射では設定温度に到達しなかった。少量 (5%) の 2-PrOH 添加により水素化活性が向上したのは、触媒カートリッジ内 CB が吸収する MW エネルギーが適度に分散され、熱誘起 C-C 開裂反応 (4 の生成) が抑制された結果である。



最後に基質適用性を確認した。その結果、アルケン、アルキン、ベンジルエステル、ニトロ基、芳香族ハライドの水素化は効率良くに進行した。また、ジフェニルアセチレンもベンズアニユレーションしてフェナントレンに変換されることなく、選択的にジフェニルエタンに水素化された。官能基選択的特性としては、脂肪族ベンジルエーテル、脂肪族・芳香族ケトン還元されなかった。溶媒の混合比を変えて触媒カートリッジの温度を制御することで、「(1) MW エネルギー集約効果を利用したベンズアニユレーション」に示した多環芳香族化合物形成反応との区別化が可能となり、低出力の MW がアシストする脱水素芳香化反応を基盤に、MCH を水素源 (還元剤) とした接触水素化反応の確立に成功した。外部添加される水素ガスに依存する従来の連続フロー水素化反応と比較した場合、水素キャリアー兼フロー溶媒として MCH を用いる安全で操作性が高い方法論である。以上の成果は *Catalysts* **2024**, *14*, 384 (Open Access) に公表した。

溶媒の混合比などわずかな反応条件の制御で、多環芳香族化合物形成と水素化反応の区別化が可能となった。今後の実用展開により、持続可能なエネルギー源としての水素の利用法の一環としての貢献が期待される。なお、「(1) MW エネルギー集約効果を利用したベンズアニユレーション」のヒントとなった、鎖状アルカンの効率的な環化芳香化についても、反応選択制の制御に手間取っているが成果が挙がりつつあり、今後の展開が期待される。加えて、熱的・触媒的に同一の反応管内で進行する、直 Diels-Alder 反応、Huisgen 環化付加反応、Alder Ene 反応などへの適用も可能であり、今後の更なる展開が期待される。

## 5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 市川智大, 寺西航, 山田強, 佐治木弘尚	4. 巻 62
2. 論文標題 マイクロ波と球状活性炭を利用した白金触媒の連続フロー式水素製造法	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 触媒	6. 最初と最後の頁 291-296
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 Yamada Tsuyoshi, Teranishi Wataru, Sakurada Naoya, Ootori Seiya, Abe Yuka, Matsuo Tomohiro, Morii Yasuharu, Yoshimura Masatoshi, Yoshimura Takeo, Ikawa Takashi, Sajiki Hironao	4. 巻 6
2. 論文標題 Microwave-assisted C-C bond formation of diarylacetylenes and aromatic hydrocarbons on carbon beads under continuous-flow conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-023-00880-y	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 Naoya Sakurada, Takanori Kitazono, Takashi Ikawa, Tsuyoshi Yamada and Hironao Sajiki	4. 巻 14
2. 論文標題 Pt/CB-Catalyzed Chemoselective Hydrogenation Using In Situ-Generated Hydrogen by Microwave-Mediated Dehydrogenation of Methylcyclohexane under Continuous-Flow Conditions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal14060384	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 -

〔学会発表〕 計27件（うち招待講演 21件/うち国際学会 8件）

1. 発表者名 櫻田直也, 寺西航, 安部佑香, 井川貴詞, 山田強, 佐治木弘尚
2. 発表標題 マイクロ波が介在する Pt 触媒的 C-H/C-H カップリング反応の開発
3. 学会等名 第49回反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Microwave energy intensive continuous flow chemical transformations based on C-H activation
3. 学会等名 Continuous Flow Processing Applications in the Pharmaceutical Industry: Japan 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐治木弘尚
2. 発表標題 新しいデバイスを利用したSDGs対応型化学変換法の開発
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 新しいデバイスを利用したSDGs対応型化学変換法の開発
3. 学会等名 第54回中部化学関係学協会支部連合秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Microwave energy intensive continuous flow chemical transformations based on C-H activation
3. 学会等名 Continuous Flow Processing Applications in the Pharmaceutical Industry: Japan 2023 (連続合成シンポジウム) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 櫻田直也, 寺西航, 安部佑香, 井川貴詞, 山田強, 佐治木弘尚
2. 発表標題 マイクロ波が介在する Pt 触媒的 C-H/C-H カップリング反応の開発
3. 学会等名 第49回反応と合成の進歩シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 固体触媒の創製と潜在的触媒活性の発掘に基づく官能基変換法の開発
3. 学会等名 日本薬学会代143年会 日本薬学会賞受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Development of Energy Saving Continuous Flow C-H Activation Method under Microwave Irradiation Oriented to Environmentally-friendly Catalytic Chemical Conversion
3. 学会等名 An International Conference on Advances in Materials Chemistry and Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Novel Chemical Conversion Method Based on C-H Cleavage and C-C Bond Formation under Microwave Mediated Continuous Flow Reaction
3. 学会等名 Special Lecture at Tezpur University, India (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年



1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Development of Environmentally Friendly Chemical Conversion Method Combining Microwave Irradiation and Continuous Flow Equipment
3. 学会等名 The 26th SANKEN International Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 マイクロ波の生体影響と安全利用の狭間でマイクロ波をより身近な技術へ
3. 学会等名 第16回日本電磁波エネルギー応用学会シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 重水素標識法の開発と重水素標識機能性物質の実用的合成
3. 学会等名 市村賞受賞記念フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 新しいデバイスを適用した連続化学変換法の開発
3. 学会等名 マルホ株式会社 社内研修会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻田直也、寺西航、安部佑 香、井川貴詞、山田強、佐治木弘尚
2. 発表標題 マイクロ波の局所集約効果を利用したプラチナ触媒的C-C結合形成反応
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大鳥 清也、山田 強、寺西 航1、井川 貴詞1、佐治木 弘尚
2. 発表標題 パラジウム炭素を触媒としたアジドからニトリルへの脱水素酸化変換
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 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Development of Continuous Chemical Conversion Methods Applying New Devices -Focusing on the deuterium labeling method-
3. 学会等名 Annual symposium of the Japan Society for the Promotion of Science Alumni Association in Australia (JSPSAAA) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐治木弘尚
2. 発表標題 固体触媒による新しい反応開発とフロー合成への応用展開
3. 学会等名 東京大学理学部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐治木弘尚
2. 発表標題 フロー反応を基軸とした省エネルギー・省スペース型連続合成法の開発
3. 学会等名 株式会社エーピーアイコーポレーション講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Development of microwave-mediated continuous-flow dehydrogenative oxidation reaction as an energy saving hydrogen generation method
3. 学会等名 PacifiChem2021（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐治木弘尚
2. 発表標題 連続フロー合成法の開発研究
3. 学会等名 第15回 インファーマ ジャパン（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐治木弘尚
2. 発表標題 有機合成的観点からのフロー合成等の将来
3. 学会等名 荏原製作所 特別講演会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻田 直也、寺西 航、井川 貴詞、山田 強、佐治木 弘尚
2. 発表標題 マイクロ波エネルギー集中効果を利用したレドックスニュートラルベンズアニユレーション
3. 学会等名 日本薬学会第142年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺西航、大鳥清也、山田強、佐治木弘尚
2. 発表標題 マイクロ波加熱を利用したフロー式多環芳香族化合物合成法
3. 学会等名 第119回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 マイクロ波を利用した省エネルギー・省スペース型連続反応系の開発
3. 学会等名 京大・生存圏研究所「持続的生存圏創成のためのエネルギー循環シンポジウム」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 固体触媒反応場を有効活用した連続精密生産プロセスの開発
3. 学会等名 日本医薬品原薬工業会講演会(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐治木 弘尚
2. 発表標題 医薬品原薬のフロー合成」 1日でわかるフロー合成の要素技術からシステム・情報まで
3. 学会等名 第52回Continuing Educationシリーズ講習会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hironao Sajiki
2. 発表標題 Development of Energy and Space Saving Chemical Conversion Methods Based on C-H activation with New Devices
3. 学会等名 An International Conference (Virtual) on the Present and Future of Excellence in Organic Synthesis (PFEOS-2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 縮合多環芳香族化合物の製造方法および分子内環化反応用触媒	発明者 佐治木弘尚、山田強、寺西航	権利者 エヌ・イー ケムキャット株式会社
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-21892	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

<p>岐阜薬科大学薬品化学研究室  <a href="https://www.gifu-pu.ac.jp/lab/yakuhin/index.html">https://www.gifu-pu.ac.jp/lab/yakuhin/index.html</a>          岐阜薬科大学 (Research Spotlights)  <a href="https://www.gifu-pu.ac.jp/">https://www.gifu-pu.ac.jp/</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
研究分担者	山田 強  (Tsuyoshi Yamada)  (70821479)	岐阜薬科大学・薬学部・講師    (23701)	
研究分担者	澤間 善成  (Yoshinari Sawama)  (80552413)	岐阜薬科大学・薬学部・准教授    (23701)	

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