

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 17 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K15279

研究課題名(和文)合金ナノクラスター触媒による高歪み 共役化合物の効率合成

研究課題名(英文)Efficient synthesis of highly strained conjugated molecules using alloy nanocluster catalyst

研究代表者

植竹 裕太 (Uetake, Yuta)

大阪大学・工学研究科・助教

研究者番号：10755440

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)：高歪みエネルギーをもつ 共役化合物を、温和な条件下、触媒的に合成する合金ナノ粒子触媒の開発を行った。金とパラジウムからなる合金ナノ粒子をサイズ選択的に調製する手法を開発し、電子顕微鏡による観察およびX線を用いる分光分析によるキャラクタリゼーションを行った。またそれを用いることで、ジヒドロアントラセンの脱水素型芳香族化反応がエチレン雰囲気下進行し、高収率でアントラセンが生成することを見出した。また溶液系のX線吸収スペクトル計測の高度化を実施した。その結果、塩基を用いない鈴木・宮浦クロスカップリング反応の重要な中間体の溶液中での描像を明らかにすることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の遂行により、一般に合成が難しいとされている高い歪みエネルギーをもつ有用な共役系化合物の触媒的な合成が可能になり、今後これまで合成することが困難な化合物を穏和な反応条件で合成できるようになると期待される。また、本研究を通じて高度化を行った放射光X線を用いた分光分析技術は、これまで検出が困難であった溶液中での分子の構造解析を可能にした。そのため、これまでブラックボックスになっていた均一系触媒反応の反応機構の描像をより正確に記述することができるようになったため学術的に極めて重要な成果である。

研究成果の概要(英文)：I have developed alloy nanoparticle catalysts for the catalytic synthesis of highly strained conjugated compounds under mild conditions. A size-selective preparation methods of AuPd nanoparticles were developed and characterized by electron microscopy and spectroscopic analysis using X-rays. The dehydrogenative aromatization of dihydroanthracene was found to proceed under ethylene atmosphere, and anthracene was formed in high yield. I also improved the X-ray absorption spectroscopy of the solution system. As a result, I succeeded in determining of the important intermediate of the Lewis acid-mediated Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction in solution.

研究分野：有機合成化学

キーワード：ナノ粒子触媒 脱水素型反応 水酸化フラレーン X線吸収スペクトル 反応機構解析

## 1. 研究開始当初の背景

芳香族化合物を自由に合成する手法・方法論の開発は有機合成化学における一大分野である。例えば、フラーレンやカーボンナノチューブに代表される曲面  $\pi$  共役化合物は、機能性材料として実社会で広く用いられており、また学術的にも興味深い研究対象であり続けている。そのため、その効率合成法の開発は学術的にも産業的にも強く求められ、有機合成化学の発展とともに進化し続けている。その中で、これらの最小構成単位からボトムアップ的に合成を行う試みも精力的に行われている。例えば、フラーレンの構成単位であるコラヌレンやスマネンなどのバッキーボールと呼ばれる一連の化合物群や、カーボンナノチューブの構成単位であるシクロパラフェニレンやカーボンナノペルトの精密化学合成も近年の一大潮流となっている。また、それらの分子が固有に有する物理的・化学的特徴や、それそのもののユニークな構造体を作り上げるといった合成化学的モチベーションから、その報告数は増加している。

非平面  $\pi$  共役化合物の合成は、目的物とする化合物が潜在的に大きな歪みエネルギーを持つため難度が高い。そのため歪みエネルギーを段階的に上昇させていく方法論が一般に用いられる (Itami, *K. Angew. Chem., Int. Ed.* **2009**, *48*, 6112 など)。すなわち、まず中程度の歪みエネルギーを持つ非芳香族前駆体を合成し、最終段階において反応性の高いラジカル反応を利用して芳香族化することにより合成する手法が広く受け入れられている。また、山子らは平面四配位を持つ Pt をテンプレートとして活用し、そこからの還元的脱離を行うことで高歪み  $\pi$  共役化合物の合成を行なっている (Yamago, *S. Angew. Chem., Int. Ed.* **2010**, *49*, 757)。これらの手法は大きな歪みエネルギーを持つ  $\pi$  共役化合物を合成する比較的信頼性の高い手法であるが、DDQ や Na naphthalenide といった試薬を量論量以上用いる必要があるため大量の廃棄物を副生するのみならず、化合物の精製過程を困難にする。また苛烈な反応条件のために低収率となる例も多く報告されている。以上の背景から、大きな歪みエネルギーを持つ非平面  $\pi$  共役化合物を穏和な条件下、触媒的に合成する方法論の開発が次世代の  $\pi$  共役分子材料の効率合成のために求められていた。

## 2. 研究の目的

上記の課題を解決するため、本研究では、金属および合金ナノクラスター触媒を用いた、高歪み  $\pi$  共役化合物の脱水素型芳香族化反応の開発を目的とした。本研究課題の達成の鍵は、ナノクラスター触媒の触媒活性を最大限に引き出すことにある。金属ナノクラスター触媒の活性は、クラスターサイズやそれを安定化するマトリクスの種類によって大きく変化することが知られているが、その制御は容易ではない。そのような中で申請者は、層状複水酸化物 (LDH) に担持した Au/Pd 合金ナノクラスター触媒が、エチレンを水素アクセプター分子として用いた脱水素芳香族化反応に対して触媒活性を示すことを予備的知見として見出していた。この知見に端を発して、redox-neutral な水素移動型反応であれば、脆弱な非平面  $\pi$  共役化合物の脱水素芳香族化プロセスに適用できると考えた。そこで、本研究期間では、LDH に担持した金属ナノクラスター触媒の調製と、それを用いた脱水素型芳香族化反応の検討を実施した。

## 3. 研究の方法

(1) AuPd 合金ナノ粒子触媒のサイズ選択的な調製法の開発を行った。ポリビニルピロリドン (PVP) を安定化剤として用い、1 nm から 8 nm までの異なる粒子サイズをもつ AuPd:PVP を調製するため、一般に行われる化学還元法に加え、マイクロフロー法および seed mediated growth 法を検討した。Trans-deposition 法を用いることで、サイズ選択的に調製した AuPd ナノ合金を LDH に固定化した。

(2) 電子顕微鏡や X 線分光を用いて、調製した AuPd:PVP および AuPd:LDH 触媒のキャラクタリゼーションを行った。また、本研究を円滑に進めるため、溶液系の X 線吸収スペクトル (XAS) の計測技術の高度化も行った。

(3) 調製した、AuPd:LDH 触媒を用いて、ジヒドロアントラセンの脱水素芳香族化反応の検討を実施した。

(4) 溶液系の X 線吸収スペクトル (XAS) の計測技術の高度化を行った結果、本手法が均一系触媒反応の反応機構解析に有用であることがわかったので、当該研究と並行して「塩基を用いない鈴木・宮浦クロスカップリング反応」の反応機構解析を行った。

## 4. 研究成果

(1) 様々なサイズをもつ AuPd 合金ナノ粒子を調製するために、少ない量の保護剤を用いて弱く安定化した AuPd 合金ナノ粒子を一定時間混合することで粒子成長を促進し、その後多量の保護剤を加えることで強く安定化するという手法を用いることで、AuPd 合金ナノ粒子のサイズ制御に成功した。また、試験管を用いた通常の液中還元法に加え、マイクロフロー条件を用いることで、バッチ法、2段階式バッチ法、マイクロフロー法、2段階式マイクロフロー法、の4つの手

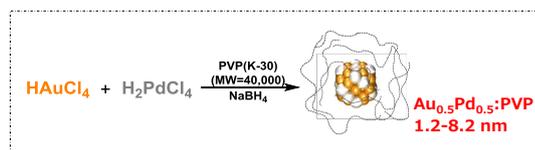
法を考案し、その結果、1.3 nm から 8.2 nm の範囲で、AuPd 合金ナノ粒子をサイズ選択的に作り分けることに成功した。また、当研究室で報告した trans-deposition 法を適用することで、AuPd:LDH を調製した。本成果の一部は、Nanoscale Adv.誌に報告した。

(2) 上記の手法を用いて調製した AuPd:PVP の電子状態と粒子サイズの相関を、放射光 XAS 測定を用いて検討した。芳香族塩化物の脱塩素水素化反応に対する AuPd:PVP の触媒活性は 3.1 nm 付近の中程度の平均粒径をもつものが最も高くボルケーノ型の触媒活性プロファイルを持つことがわかった。

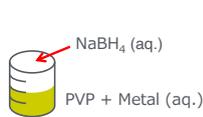
また、Au L3 吸収端および Pd K 吸収端 XAS 測定を行ったところ、Au が最も電子豊富、Pd が最も電子不足となる、といった相関が観測された。

(3) AuPd 合金ナノ粒子を、当研究室で開発した trans-deposition 法を用いて LDH に担持させた触媒を用い、それを用いてジヒドロアントラセンのエチレンを用いた脱水素芳香族化を試みたところ定量的に反応が進行し、アントラセンが収率 92% で得られることを見出した。また、担持固体として、TiO<sub>2</sub> やヒドロキシアパタイト (HAP) を用いた場合には、LDH ほど収率が高くなく、中程度の収率に留まった。これは、LDH の高い吸着能を反映した結果であると考えられる。加えて担持固体である LDH のみを反応に供した場合にも 反応は進行し 40% という中程度の収率ながら目的生成物が得られることがわかった。これは、脱水素型芳香族化反応が金やパラジウムといった貴金属の添加せずとも進行することを示唆している。また調製した金属ナノ粒子の評価のため、放射光 XAS を用いた分析実験を実施した。その結果、金とパラジウムは均一に混ざり合ったランダム合金となっていることがわかった。

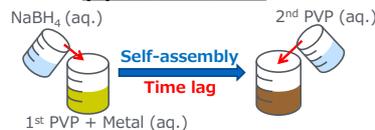
(4) 塩基に脆弱な基質にも適用可能な鈴木・宮浦クロスカップリング反応の開発を検討したところ、ルイス酸であるトリフルオロメタンスルホン酸亜鉛(II)を添加することで、高い収率でクロスカップリング体が得られることがわかった。この結果を受け詳細な条件検討を行ったところ、かさ高く電子豊富なリン配位子である amphos を有するパラジウム触媒に、N,N,N',N'-テトラメチルエチレンジアミン (TMEDA) から容易に合成できる亜鉛三核錯体を組み合わせた条件が、最も有効であることがわかった。亜鉛はハロゲン元素との親和性が高いことから、有機パラジウム錯体の臭素原子が引き抜かれ、カチオン性錯体が生じているものと予想された。実際、このようなカチオン性パラジウム錯体は有機ホウ素化合物と速やかに金属交換することが報告されている。しかし、既報のカチオン性錯体は熱的に不安定であり、室温では速やかに分解するとも記されている。これに対し、亜鉛三核錯体を作用させることで発生させた中間体は、室温で一日以上安定に存在する。十分な反応性と熱安定性を両立するこの中間体の化学構造を明らかにするため、本課題内で高度化を行った溶液 XAS 計測を実施した。



(1) バッチ法



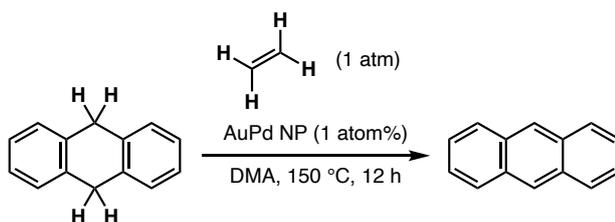
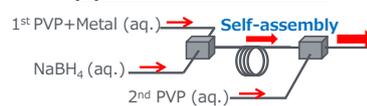
(2) 2段階式バッチ法



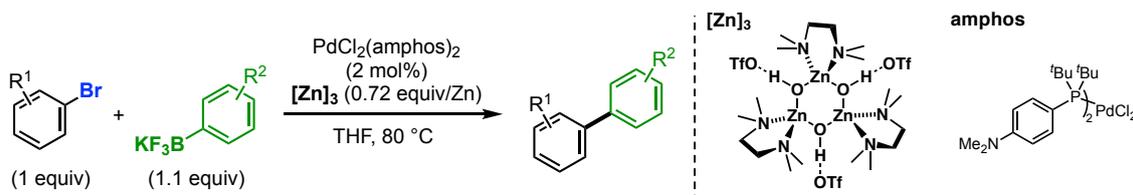
(3) マイクロフロー法



(4) 2段階式マイクロフロー法

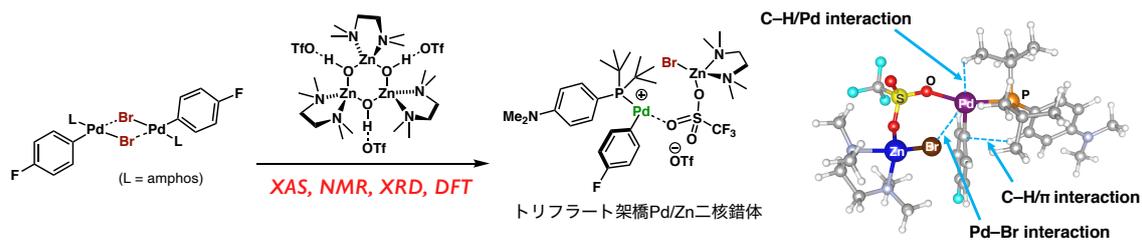


entry	solid support	yield (%)
1	Mg <sub>3</sub> Al <sub>1</sub> _LDH	92
2	TiO <sub>2</sub>	74
3	HAP	50
4	Mg <sub>3</sub> Al <sub>1</sub> _LDH (w/o AuPd)	40



大型放射光施設 SPring-8 および高エネルギー加速器研究機構フォトンファクトリー (KEK PF) にて、パラジウム錯体と亜鉛試薬を混合した溶液の XAS 測定を行った結果、中間体の構造として、パラジウムと亜鉛をトリフルオロメタンスルホナートで架橋した構造であることが示唆された。この局所構造をもとに DFT 計算を行うことで中間体構造を最適化し、さらに量子化学計算により種々の電子密度解析を行ったところ、リン配位子の σ(C-H)軌道からパラジウム原子への電子供与による安定化効果が示唆された。また、脱離した臭素原子は亜鉛部位を介してパラジ

ウム原子の近傍に存在しており、その間に弱い相互作用が認められた。これによりパラジウムの空いた配位場を緩く塞ぐことで、速度論的かつ熱力学的に中間体を安定化していることがわかった。本成果は、Nature Catalysis 誌に報告した。



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Yamauchi Yasuhiro, Hoshimoto Yoichi, Kawakita Takahiro, Kinoshita Takuya, Uetake Yuta, Sakurai Hidehiro, Ogoshi Sensuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Room-Temperature Reversible Chemisorption of Carbon Monoxide on Nickel(0) Complexes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	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) 10.1021/jacs.2c02870	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 Cabello Mark Kristan Espejo, Uetake Yuta, Yao Yu, Kuwabata Susumu, Sakurai Hidehiro	4. 巻 16
2. 論文標題 Synthesis and Pyrolysis of Fullerenol stabilized Pt Nanocolloids as a unique Approach to Pt doped Carbon	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 2280 ~ 2285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202100495	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 Xu Xu Qing Feng, Nishii Yuji, Uetake Yuta, Sakurai Hidehiro, Miura Masahiro	4. 巻 27
2. 論文標題 Synthesis of Benzoisoselenazolones via Rh(III) Catalyzed Direct Annulative Selenation by Using Elemental Selenium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 17952 ~ 17959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202103485	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 Kasama Kengo, Kanomata Kyohei, Hinami Yuya, Mizuno Karin, Uetake Yuta, Amaya Toru, Sako Makoto, Takizawa Shinobu, Sasai Hiroaki, Akai Shuji	4. 巻 11
2. 論文標題 Chemo- and regioselective cross-dehydrogenative coupling reaction of 3-hydroxycarbazoles with arenols catalyzed by a mesoporous silica-supported oxovanadium	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 35342 ~ 35350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1ra07723f	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 Niwa Takashi, Uetake Yuta, Isoda Motoyuki, Takimoto Tadashi, Nakaoka Miki, Hashizume Daisuke, Sakurai Hidehiro, Hosoya Takamitsu	4. 巻 4
2. 論文標題 Lewis acid-mediated Suzuki-Miyaura cross-coupling reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Catalysis	6. 最初と最後の頁 1080 ~ 1088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41929-021-00719-6	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 Nishimoto Mikey, Uetake Yuta, Yakiyama Yumi, Ishiwari Fumitaka, Saeki Akinori, Sakurai Hidehiro	4. 巻 87
2. 論文標題 Synthesis of the C70 Fragment Buckybowl, Homosumanene, and Heterahomosumanenes via Ring-Expansion Reactions from Sumanenone	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 2508 ~ 2519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.1c02416	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 Uetake Yuta, Mouri Sachi, Haesuwannakij Setsiri, Okumura Kazu, Sakurai Hidehiro	4. 巻 3
2. 論文標題 Volcano-type correlation between particle size and catalytic activity on hydrodechlorination catalyzed by AuPd nanoalloy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nanoscale Advances	6. 最初と最後の頁 1496 ~ 1501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0NA00951B	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 Isoda Motoyuki, Uetake Yuta, Takimoto Tadashi, Tsuda Junpei, Hosoya Takamitsu, Niwa Takashi	4. 巻 86
2. 論文標題 Convergent Synthesis of Fluoroalkenes Using a Dual-Reactive Unit	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 1622 ~ 1632
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.joc.0c02474	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 Chutimasakul Threeraphat, Uetake Yuta, Tantirungrotechai Jonggol, Asoh Taka-aki, Uyama Hiroshi, Sakurai Hidehiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Size-Controlled Preparation of Gold Nanoparticles Deposited on Surface-Fibrillated Cellulose Obtained by Citric Acid Modification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 33206 ~ 33213
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.0c04894	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 Xie Zheng-Tian, Asoh Taka-Aki, Uetake Yuta, Sakurai Hidehiro, Uyama Hiroshi	4. 巻 247
2. 論文標題 Dual roles of cellulose monolith in the continuous-flow generation and support of gold nanoparticles for green catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbohydrate Polymers	6. 最初と最後の頁 116723 ~ 116723
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbpol.2020.116723	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14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 丹羽 節, 植竹 裕太, 磯田紀之, 中岡光妃, 瀧本正, 櫻井英博, 細谷 孝充
2. 発表標題 ルイス酸を用いる鈴木・宮浦クロスカップリング反応の開発
3. 学会等名 第67回有機金属化学討論会
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名 植竹裕太, 丹羽 節, 細谷孝充, 櫻井英博
2. 発表標題 亜鉛を活性化剤として用いる鈴木・宮浦クロスカップリングの反応機構
3. 学会等名 第127回触媒討論会
4. 発表年 2021年 ~ 2022年

1. 発表者名	Butsaratip Suwattananuruk, Threeraphat Chutimasakul, Yuta Uetake, Taka-aki Asoh, Hiroshi Uyama, Hidehiro Sakurai
2. 発表標題	Intramolecular cycloamination of primary amines using gold nanocluster deposited on citric acid-modified surface-fibrillated cellulose
3. 学会等名	第127回触媒討論会
4. 発表年	2021年～2022年

1. 発表者名	Wildatus Sa' diyah Sugianto, Mark Kristan Espejo Cabello, Yuta Uetake, Hidehiro Sakurai
2. 発表標題	Preparation of silver nanoparticles stabilized by fullereneol
3. 学会等名	第102回日本化学会春季年会
4. 発表年	2021年～2022年

1. 発表者名	水取 宥敬、山内 泰宏、植竹 裕太、櫻井 英博、星本 陽一、生越 専介
2. 発表標題	窒素上にホスフィンオキシドを導入したN-ヘテロ環状カルベンとB(C <sub>6</sub> F <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> を配位子とするニッケル錯体の合成
3. 学会等名	第102回日本化学会春季年会
4. 発表年	2021年～2022年

1. 発表者名	Butsaratip Suwattananuruk, Yuta Uetake, Hidehiro Sakurai
2. 発表標題	Intramolecular cycloamination of primary amines using gold nanoparticles deposited on fibrillated citric acid-modified cellulose
3. 学会等名	第102回日本化学会春季年会
4. 発表年	2021年～2022年

1. 発表者名 植竹 裕太, 小澤 友, 松本 一希, 本間 徹生, 久保田 浩司, 伊藤 肇
2. 発表標題 溶液XAS実験のための低温計測システムの高度化とin situ XAS計測によるポリル銅種の局所構造解析
3. 学会等名 第102回日本化学会春季年会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 植竹 裕太, 丹羽 節, 細谷 孝充, 櫻井 英博
2. 発表標題 塩基を用いない鈴木・宮浦クロスカップリング反応における反応機構研究
3. 学会等名 日本化学会 第101回春季年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 丹羽 節, 植竹 裕太, 中岡 光妃, 瀧本 正, 櫻井 英博, 細谷 孝充
2. 発表標題 塩基を用いない鈴木・宮浦クロスカップリング反応の開発
3. 学会等名 日本化学会 第101回春季年会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Mark Kristan Espejo Cabello, Yu Yao, Yuta Uetake, Susumu Kuwabata, Hidehiro Sakurai
2. 発表標題 Fullerene-Stabilized Pt Nanoparticles as Oxygen Reduction Reaction Electrocatalyst
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 王 超宇、櫻井英博、植竹裕太
2. 発表標題 Hydrogen transfer-type aromatization catalyzed by Au/Pd nanoalloy supported on layered double hydroxyde
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Butsaratip Suwattananuruk, Threeraphat Chutimasakul, Yuta Uetake, Taka-aki Asho, Jonggol Tantirungrotechai, Hiroshi Uyama, Hidehiro Sakurai
2. 発表標題 Size-Controlled Gold Nanocluster Deposited on Citric Acid-Modified Cellulose Nanobiber and their Catalytic Activity in Intramolecular Hydroamination
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 河村卓哉、麻生隆彬、宇山 浩、植竹裕太、櫻井英博、Threeraphat Chutimasakul、Jonggol Tantirungrotechai
2. 発表標題 クエン酸変性セルロースナノファイバーを担持個体に用いた合金ナノクラスターおよび金属固定化触媒の調製と反応開発
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 植竹裕太、Chutimasakul Threeraphat、Suwattananuruk butsaratip、Jonggol Tantirungrotechai、麻生隆彬、宇山 浩、櫻井英博
2. 発表標題 クエン酸変性 CNF 担持金ナノ粒子のサイズ選択的調製
3. 学会等名 ナノ学会第18回大会
4. 発表年 2020年～2021年

## 〔図書〕 計3件

1. 著者名 丹羽 節, 植竹 裕太, 細谷 孝充	4. 発行年 2022年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 80
3. 書名 化学	

1. 著者名 佐藤正秀, 高橋幸奈, 小寺喬之, 椎木弘, 山名一成, 山田直輝, 満留敬人, 八重真治, 大高敦, 酒井俊郎, 田辺真, 相川達男, 山元公寿, 笹川和彦, 森浩亮, 藤崎和弘, 栗原泰隆, 森崇充, 山下弘巳, 陳伝トウ, 古南博, 長澤浩, 北嶋武, 川戸祐一, 植竹裕太, 三好健太郎, 清野智史, 小山真司, 吉田朋子, 栗原彰太, 田中寛二, 岡本晃一, 波多野諒	4. 発行年 2021年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 558
3. 書名 金属ナノ粒子、微粒子の合成、調製と最新応用技術	

1. 著者名 植竹裕太、櫻井英博	4. 発行年 2020年
2. 出版社 触媒学会	5. 総ページ数 144
3. 書名 触媒	

## 〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ランタンシリケートの低温製造法	発明者 植竹裕太、櫻井英博、布谷直義、今中信人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-035539	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

## 〔取得〕 計0件

〔その他〕

大阪大学 櫻井研究室 ホームページ  
<https://www-chem.eng.osaka-u.ac.jp/~sakurai-lab/>

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