

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15362

研究課題名(和文) 金属ナノ粒子表面への異種元素導入とその協奏的触媒作用による高効率有機分子変換

研究課題名(英文) Introduction of different atoms into the metal nanoparticle surface and highly efficient transformation of organic molecules by their concerted catalysis

研究代表者

三浦 大樹 (Miura, Hiroki)

東京都立大学・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：20633267

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：隣接異種元素の協奏的触媒作用が単一の金属触媒系にはできない効率的な有機分子変換反応を実現させることから近年特に注目されている。本研究では担持合金触媒あるいは金属ナノ粒子周辺に金属カチオンを固定した触媒を種々調製し、これらを種々の有機合成反応へと適用した結果、酸化ジルコニウムにPdAu合金ナノ粒子を担持した触媒が塩化アリールのヒドロシランによるシリル化に高い触媒活性を示し、アリールシランを高選択的に与えることを明らかにした。さらに、酸化チタンにAuナノ粒子を担持した触媒が種々のsp³ C-O結合のシリル化に高い活性を示し、合成中間体として有用な有機ホウ素化合物を高収率で与えることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、環境負荷の少ないグリーンな有機合成を実現するために化学的安定性が高く、再利用が可能、有害な金属の生成物への混入が少ないなどの利点を有する固体触媒の高機能化指針に資するものである。なかでも本研究で開発に成功した固体触媒による炭素-ケイ素、炭素-ホウ素結合形成反応は、有機合成のなかでも特に重要な合成中間体である有機ケイ素化合物、有機ホウ素化合物の実用的な合成を可能とする手法となりうるものであり、これにより医薬・農薬などの機能性有機分子の研究開発の加速が期待される。

研究成果の概要(英文)：Concerted catalytic function of different metals attracts much attention since they can realize unprecedented molecular transformations. In the present study, we found that ZrO₂-supported PdAu alloy nanoparticle catalysts showed high activity for selective silylation of aryl chlorides to give the corresponding arylsilanes in high yields. While monometallic Pd and Au nanoparticles showed no activity for silylation of aryl chlorides, alloying Au and Pd significantly enhanced catalytic activity, and the reaction by Au-rich PdAu alloy nanoparticles gave arylsilanes with high selectivity. Furthermore, Au nanoparticles supported on TiO₂ showed high catalytic activity for borylation of sp³ C-O bond to afford value-added organoboron compounds. A variety of allyl, propargyl and benzyl substrates participated in the heterogeneously catalyzed reactions to furnish the corresponding allyl, allenyl and benzyl boronates in high yields.

研究分野：触媒化学

キーワード：担持金属触媒 金属ナノ粒子 有機合成 協奏的触媒作用

1. 研究開始当初の背景

金属ナノ粒子触媒は、石油化学工業からファインケミカルズ合成に至る様々なプロセスにおいて、高効率かつ環境調和的な物質変換を実現するために必要不可欠なツールである。ナノ粒子の微細化や、担体との協奏作用利用による高機能化に関する系統的な研究はその有用性を加速度的に向上させてきた。しかし、単一の金属種から成るナノ粒子触媒は、活性を左右する主因子である電子状態の制御が困難であるため、精密有機分子変換に対する適用は均一系錯体触媒と比べ極めて限定的である。そのため、従来系に比べて飛躍的に優れた触媒機能をナノ粒子触媒系に付与するためには分子活性化に関する新たな概念の導入が必要である。一方、近年2種類以上の触媒金属種の協奏的触媒作用が、これまででない有機分子変換を可能にするとして大きく注目されている。このような異種元素の協奏的触媒作用をナノ粒子上でも自在に誘発することが可能になれば、高い触媒再利用性、生成物への有毒金属の混入に対するリスクの小ささ、高温多湿条件等における耐久性など工業化に向けてメリットとなる特徴を具備する金属ナノ粒子触媒をさらに高機能化・高適応化でき、物質変換プロセスにおいて大きな波及効果が見込まれる。しかし、異種元素の協奏的触媒作用を広範囲に実現するためには、どの異種元素をナノ粒子上に隣接して導入できるか、どのような化学種を異種元素上でそれぞれ発生させられるか、各元素の電子状態をどのように制御すれば発生した化学種を効率的に結合させられるか、などといった複数の因子を包括的に理解する必要があるが、それらに関する知見はほとんどないというのが現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、合金ナノ粒子の形成や、金属ナノ粒子表面あるいは周辺への遷移金属カチオン等の固定化に基づいて異種元素隣接活性点を創出することにより、従来系よりも飛躍的に優れた分子変換反応を示す固体触媒を開発することを目的とした。これまでは異種元素間の電荷移動によって一方の活性金属種を特異な電子状態へと誘導し、その触媒機能を向上させるものが中心であったのに対し、本研究は異種元素協奏触媒作用の概念をナノ粒子触媒に導入し、固体触媒が潜在的に有する環境調和性能に加えて、単一金属の系には全くない高度な分子変換能を付与することを主目的とするものである。さらにナノ粒子表面の原子の配列制御とそれに伴う活性金属種の電子状態制御を主眼におくことで、協奏触媒機能を最大限に発揮させる活性点の構築と、その特性を活かした新しい有機分子変換手法の開発を狙った。

3. 研究の方法

担持 PdAu 合金触媒は、NaBH₄を用いた液相還元法によって合成した合金コロイドを各種担体に吸着担持させることで調製した。調製した PdAu 合金触媒を xPdyAu/support と表記する。ここで x, y は Pd と Au のモル比を示す。本手法により Pd/Au 比を変化させた場合も PdAu 合金ナノ粒子をその平均粒子径がいずれも 3 nm 程度と一定にして担体上に担持することが可能であった。さらに、担持 Au 触媒を析出沈殿法によって調製した。調製した触媒は種々の分光学的手法によって構造解析を行った。

4. 研究成果

(1) 担持 PdAu 触媒による塩化アリールとヒドロシランのクロスカップリングによるアリールシラン合成

アリールシランは様々な機能性材料の原料や、檜山クロスカップリングによるビアリール合成などに利用される有用な化合物である。Pd や Rh 触媒によるハロゲン化アリールとヒドロシランのクロスカップリングは、アリールシランを効率的に与える手法であるが、反応基質としてこれまでヨウ化あるいは臭化アリールが主に用いられてきた。安価かつ多様な基質の入手が容易な塩化アリールのシリル化に対して担持 Pd 触媒を用いると主に脱塩素化が進行しベンゼン誘導体を主生成物として与えることが知られている。実際、クロロベンゼンとトリエチルシランの反応に対して担持 Pd 触媒を適用したところ、脱塩素化反応が優先的に進行しベンゼンが主生成物として得られた。一方、担持金触媒を用いた場合、反応は全く進行しなかった。ところが、本反応に対して担持 PdAu 合金触媒を適用したところ、Pd/Au 比の減少にともなってベンゼンの生成が抑制されるとともに、シリルベンゼンの選択性が向上することがわかった(図1)。本反応に対する担体を最適化したところ、ZrO₂に担持した触媒を用いた場合に対応するシリルベンゼンが良好な収率で得られた。

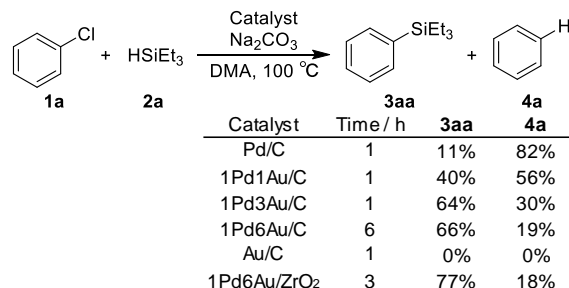
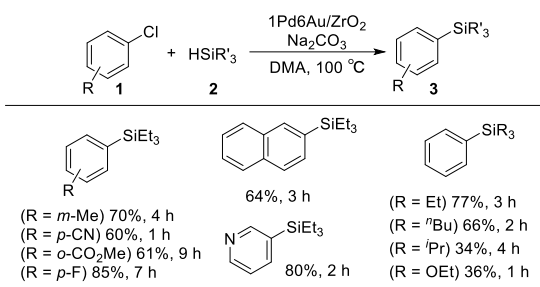


図1. 担持金属触媒によるクロロベンゼンのシリル化

PdAu 触媒による塩化アリールのシリル化に関する基質適用範囲の検討を行った(表 1). クロロベンゼンとの反応に対して様々なヒドロシランの適用が可能であり, 対応するアリールシランが中程度から良好な収率で得られた. さらに, トリエチルシランによる種々の塩化アリールのシリル化を検討したところ, 置換基の電子的影響をほとんど受けることなく対応するアリールシランを与えることがわかった. さらに本触媒系は複素芳香族塩化物のシリル化を効率的に進行させることも明らかとなった.

図 2 に種々の速度論的反応機構解析をもとに推定した PdAu 触媒による塩化アリールのシリル化の反応機構を示す. ヒドロシランから合金中の Au 上に求電子的な Si 種が発生する一方で, Pd 原子上での Ar-Cl 結合の酸化的付加により Pd 上にアリール種が発生する. その後, アリール種が求核的に Au 上の Si 種と反応することでアリールシランが生成すると考えられる. Ar-Cl 結合開裂のために Pd は必須であるが, 過剰な Pd 種の含有は電子豊富な Au 種の生成による Si 種の求電子性の低下と, Pd 上の反応性の高い H 種の生成に伴う脱塩素化反応の促進をもたらす. そのため Pd/Au 比の小さな PdAu 合金においてシリルアレーンの効率的な生成が可能になったと考えられる.

表 1. 担持PdAu触媒による塩化アリールのシリル化



^a Reaction conditions: **1** (0.50 mmol), **2** (2.5 mmol), 1Pd6Au/ZrO₂ (2.0 mol% as metal), Na₂CO₃ (1.0 mmol), DMA (1 mL), at 100 °C. Isolated yields were given.

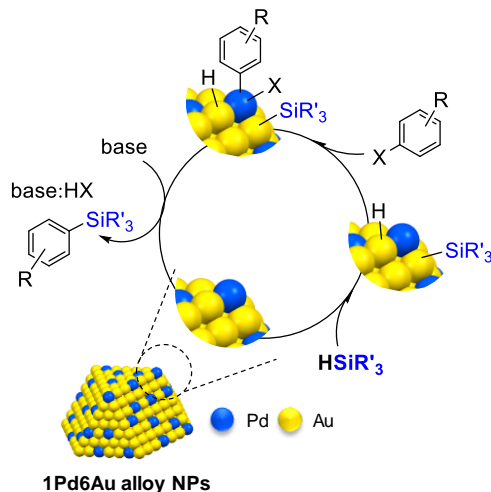


図2. 担持PdAu触媒を用いる塩化アリールのシリル化の推定反応機構

(2) 担持 Au 触媒による sp³ C-O 結合のボリル化

有機ホウ素化合物はさまざまな有機合成反応に幅広く利用される有用な合成中間体である. sp³ C-O 結合のボリル化は有機ホウ素化合物を効率よく合成するための有用な手法であり, これまでに Pd や Ni など種々の遷移金属錯体触媒の有効性が報告されている. 一方, 環境調和の観点から, 触媒と生成物の分離や再利用が容易な固体触媒の適用が求められている. 本研究では, 担持 Au 触媒を用いた場合に sp³ C-O 結合のボリル化反応が効率的に進行し, アリル, アレニル, ベンジルボロン酸エステルが高収率で得られることを見出した. 酢酸シンナミル(**1a**), ビス(ピナコラト)ジボロン(**2**; B₂pin₂)の反応を種々の担持金属触媒を用いて, Ar 雰囲気下, 1,4-dioxane 溶媒中, 60 °C, 15 min で検討した(式 1). Pt, Cu, Ni, Pd のナノ粒子を TiO₂ に担持した触媒を用いた場合に反応が全く進行しなかったのに対し, 担持 Au 触媒を用いることで反応が効率的に進行し, 対応するアリルボロン酸エステル **3a** が高収率で得られた.

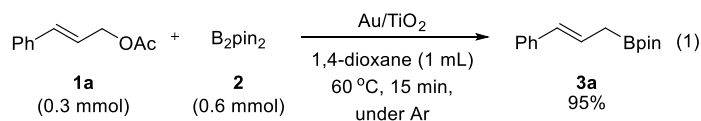


表 2. Au/TiO₂ 触媒によるアリル位ボリル化反応

Entry	Substrate	Product	t / h	Yield (%) ^b
1 ^c			1	61
2			0.5	92 (83)
3 ^c			0.5	(98)
4			1	(65)
5			2	78
6			3	86
7			1	(70)

^aReaction condition: **1** (0.3 mmol), **2** (0.6 mmol), Au/TiO₂ (2 mol%), 1,4-dioxane (1.0 mL), 60 °C under Ar. ^bDetermined by ¹H NMR with mesitylene as an internal standard. Isolated yield was shown in parenthesis.

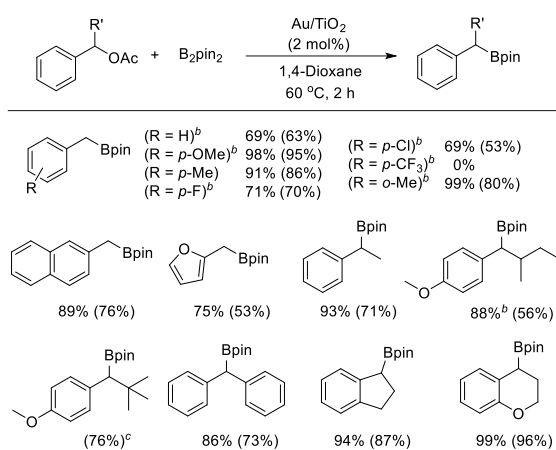
Au/TiO₂ 触媒を用いて種々のアリルエステルのアリル位ボリル化反応を検討した結果, 一級エステルだけでなく, 様々な二級, 三級エステルも適用可能であり, 対応するアリルボロン酸エステルがそれぞれ高収率で得られた(表 2). さらに, Au/TiO₂ 触媒はその高い触媒活性に加えて, 高い安定性を有する, ろ過により容易に回収可能である, 活性の低下なく再利用が可能であるなど高い環境調和性を示すことがわかった. これらの結果は, 本担持 Au 触媒がこれまで困難とされてきたアリルボロン酸エステルの実用的合成を可能にする触媒系であることが示している.

また, Au/TiO₂ 触媒はベンジル位 C-O 結合のボリル化を検討した (表 3). これまでに報告されている Cu 錯体触媒によるベンジル位ボリル化が, 高い温度と長い反応時間が必要であったのに対し, Au/TiO₂ 触媒は温和な条件下において効率的に反応を促進し, 目的のベンジルボロネートを高収率で与えた. また酢酸ベンジル誘導体の置換基効果を検討したところ, 電子供与性の置換基を有する基質を用いた際に反応が効率よく進行するのに対し, 電子吸引性の置換基を有する基質の場合は C-B 結合形成に対する反応効率が大きく低下した. これらの結果は反応がカルボカチオンの形成を經由して進行していることを強く示唆するものである. 本担持金触媒系は, これまで非常に困難とされてきた二級ベンジルアセテートの C-O 結合ボリル化に対しても極めて高い活性を示し, 対応するベンジルボロネートをそれぞれ優れた収率で与えた.

プロパルギルエステルの sp³C-O 結合ボリル化は合成中間体として有用なアレニルボロネートを効率的に与える優れた手法である. Au/TiO₂ 触媒をプロパルギルエステルのボリル化に適用したところ, 反応が良好に進行し, 種々のアレニルボロン酸エステルを高収率で与えることを見出した (表 4). 反応は, 穏やかな反応条件下で進行し, 対応するアレニルボロネートのみを生成した. 担持 Au 触媒反応は, 広範囲のプロパルギル基質が適用可能で, アルキル置換基を有する第二級および第三級プロパルギルカーボネートの反応により, 対応する 3 置換および 4 置換アレニルボロネートが高収率で得られた. さらに, γ 位にシリル基が置換した基質を用いることにより, ボリル基とシリル基が同一炭素上に置換したアレニル誘導体を合成することも可能であった. また担持 Au 触媒系はアリール基が置換した基質のボリル化にも有効であり, 対応するアレニルボロネートを高収率で与えた.

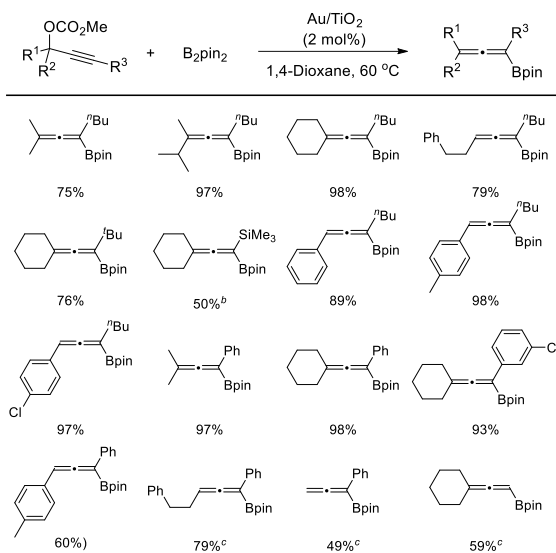
以上本研究では, 担持 PdAu 触媒や担持 Au 触媒を用いることでこれまで炭素骨格に対するケイ素あるいはホウ素原子の効率的な導入が可能であることを明らかにした. Au ナノ粒子に対して Pd などの他元素が周辺に配置された触媒を用いることにより, その協奏的な触媒作用が発現し, 単一金属では実現されない効率的な分子変換が可能になったと考えられる. これらの触媒系はいずれも容易に再利用可能であり生成物への金属の混入がないなど高い環境調和性能を有していることから, 含ケイ素あるいは含ホウ素化合物などの高付加価値有機分子の実用的な製造が可能とする触媒系である.

表 3 Au/TiO₂ 触媒によるベンジル位ボリル化反応



^aReaction conditions: **4** (0.30 mmol), **2** (0.60 mmol), Au/TiO₂ (2.0 mol%), 1,4-dioxane (1 mL). Determined by ¹H NMR with tetrachloroethane as an internal standard. Isolated yields are shown in parentheses. ^b**2** (0.90 mmol). ^cReaction at 100 °C.

表 4 Au/TiO₂ 触媒によるアレニルボロネート合成



^aReaction conditions: **6** (0.30 mmol), **2** (0.60 mmol), Au/TiO₂ (2.0 mol%), 1,4-dioxane (1 mL). ¹H NMR yields with mesitylene as an internal standard are given and the Isolated are shown in parentheses. ^b 0.90 mmol of **2** was used. ^cReaction by Au/TiO₂ (5.0 mol%) at 70 °C.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Miura Hiroki, Masaki Yosuke, Fukuta Yohei, Shishido Tetsuya	4. 巻 362
2. 論文標題 Silylation of Aryl Chlorides by Bimetallic Catalysis of Palladium and Gold on Alloy Nanoparticles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Synthesis & Catalysis	6. 最初と最後の頁 2642 ~ 2650
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adsc.202000045	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 Saito Mizuki, Aihara Takeshi, Miura Hiroki, Shishido Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Brensted acid property of alumina-based mixed-oxides-supported tungsten oxide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2020.02.009	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 Sadhukhan Tumpa, Junkaew Anchalee, Zhao Pei, Miura Hiroki, Shishido Tetsuya, Ehara Masahiro	4. 巻 39
2. 論文標題 Importance of the Pd and Surrounding Sites in Hydrosilylation of Internal Alkynes by Palladium?Gold Alloy Catalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organometallics	6. 最初と最後の頁 528 ~ 537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.organomet.9b00745	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 Aihara Takeshi, Miura Hiroki, Shishido Tetsuya	4. 巻 352
2. 論文標題 Investigation of the mechanism of the selective hydrogenolysis of C O bonds over a Pt/WO ₃ /Al ₂ O ₃ catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 73-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2019.10.008	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 Feng Shixiang, Takahashi Kanori, Miura Hiroki, Shishido Tetsuya	4. 巻 197
2. 論文標題 One-pot synthesis of lactic acid from glycerol over a Pt/L-Nb2O5 catalyst under base-free conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Fuel Processing Technology	6. 最初と最後の頁 106202 ~ 106202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fuproc.2019.106202	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 Miura Hiroki, Tanaka Yumi, Nakahara Karin, Shishido Tetsuya	4. 巻 12
2. 論文標題 Reductive Cycloisomerization of Dienes by Supported Palladium Catalysts and Subsequent [4+2] Cycloaddition for One Pot Synthesis of Cyclohexenes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 455 ~ 458
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.201901423	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 Aihara Takeshi, Miura Hiroki, Shishido Tetsuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Effect of perimeter interface length between 2D WO3 monolayer domain and -Al2O3 on selective hydrogenolysis of glycerol to 1,3-propanediol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 5359 ~ 5367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CY01385G	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 Feng Shixiang, Yi Jun, Miura Hiroki, Nakatani Naoki, Hada Masahiko, Shishido Tetsuya	4. 巻 10
2. 論文標題 Experimental and Theoretical Investigation of the Role of Bismuth in Promoting the Selective Oxidation of Glycerol over Supported Pt?Bi Catalyst under Mild Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 6071 ~ 6083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c00974	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21件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 平田竜士・三浦大樹・穴戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いた複素環化合物のsp ² C-H結合シリル化
3. 学会等名 第17回触媒化学ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田要平・小川亮一・三浦大樹・穴戸哲也
2. 発表標題 アルキンのヒドロシリル化に有効な担持NiAu触媒の開発
3. 学会等名 担持Au触媒を用いた複素環化合物のsp ² C-H結合シリル化
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Masaki, H. Miura, T. Shishido
2. 発表標題 Silylation of aryl chlorides by supported Pd-Au alloy catalysts
3. 学会等名 The 1st International Symposium on Hybrid Catalysis for Enabling Molecular Synthesis on Demand (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Miura, T. Shishido
2. 発表標題 [2+2+2] Cycloaddition of Alkynes by Concerted Catalysis of Adjacent Pd-Au in Alloy Nanoparticles
3. 学会等名 14th European Congress on Catalysis 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Masaki, H. Miura, T. Shishido
2. 発表標題 Selective Silylation of Aryl halides by Supported Palladium-Gold Alloy Catalysts
3. 学会等名 14th European Congress on Catalysis 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 正木洋佑・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 Silylation of Aryl chlorides by PdAu Catalysts
3. 学会等名 第66回有機金属化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蜂屋祐香・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いたアリルエステルのアリル位ボリル化
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 正木洋佑・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いたプロパルギルエステルのシリル化によるアレニルシラン合成
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田竜士・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いた複素環化合物のsp ² C-H結合シリル化
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田要平・小川亮一・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 アルキンのヒドロシリル化に有効な担持NiAu触媒の開発
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田竜士・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いた複素環化合物のsp ² C-H結合シリル化
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田要平・小川亮一・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 アルキンのヒドロシリル化に有効な担持NiAu触媒の開発
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 豊増智也・平田竜士・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いる芳香族化合物のシリル化
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西尾英倫・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 金属リン酸塩担持 Au 触媒の調製とその触媒機能
3. 学会等名 第125回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 PdAu合金ナノ粒子表面での異種元素の協奏的触媒作用による有機分子変換
3. 学会等名 第126回触媒討論会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 金ナノ粒子-他元素協働による高効率不均一系分子変換
3. 学会等名 第126回フロンティア材料研究所学術講演会『有機・錯体・無機材料の構造と機能』（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦大樹
2. 発表標題 PdAu合金ナノ粒子表面での異種元素の協奏的触媒作用による有機分子変換
3. 学会等名 2020年度触媒学会・触媒工業協会交流サロン（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 豊増智也・平田竜士・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いる芳香族C-H結合シリル化とその反応機構解析
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西尾英倫・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 金属リン酸塩担持Au触媒の調製におけるpH調整剤の影響
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田竜士・豊増智也・三浦大樹・宍戸哲也
2. 発表標題 担持Au触媒を用いた芳香族sp ² C-H結合のシリル化
3. 学会等名 第50回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田要平・蜂屋祐香・三浦大樹,・宍戸哲也
2. 発表標題 金属酸化物修飾が担持Au触媒のsp3 C-O結合ポリル化に対する活性に与える影響
3. 学会等名 第50回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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