

令和 2 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K14056

研究課題名（和文）塩基性アミノポリマー内包Yolk-shell構造触媒の創製と新奇触媒機能の発現

研究課題名（英文）Design of Yolk-shell Nanostructured Catalysts Encapsulating Basic Aminopolymers for the Creation of Unprecedented Catalytic Properties

研究代表者

桑原 泰隆 (Kawahara, Yasutaka)

大阪大学・工学研究科・講師

研究者番号：40635330

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）：本研究では、中空シリカの中空空間に金属ナノ粒子とともに塩基性アミノポリマーを内包し、これら内包した物質の協奏作用によって誘起される特殊反応場を有するYolk-shell構造触媒の開発と触媒反応への応用を行った。開発したYolk-shell構造触媒は、化学工業において重要なアルキンの部分水素化反応やCO₂水素化によるギ酸合成反応に対し、優れた触媒活性・選択性・再利用性を示すことを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、中空シリカのナノ空間を利用する触媒設計アプローチにより、化学工業的にも重要な反応に優れた活性・選択性・耐久性を有する固体触媒が創製できることを実証した。このような触媒設計アプローチは他の触媒反応に対しても有効であると考えられ、ターゲットとする反応に応じて、中空シリカや内包する金属ナノ粒子・高分子が提供する機能性を利用し、触媒設計・合成に落とし込んでいくことで、更に卓越した性能を持つ触媒材料の創製が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Yolk-shell nanostructured catalysts encapsulating metal nanoparticles and basic aminopolymers were developed and were examined in several catalytic reactions. The synthesized yolk-shell nanostructured catalysts showed improved catalytic activity, selectivity and reusability in semihydrogenation of alkynes, an important reaction in chemical industry, and hydrogenation of CO₂ to produce formic acid, owing to their unique reaction field inside their hollow cavity spaces created by the cooperative action of the encapsulated catalytic components.

研究分野：触媒化学

キーワード：ナノ構造触媒 アミノポリマー 金属ナノ粒子 多孔質材料 CO₂変換

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

内部に空間を持つ無機中空粒子は、低密度、高比表面積、低熱伝導率、低誘電率といった中実粒子と異なる物理化学的特性を有し、軽量材や断熱材、絶縁材等として電気・電子分野で利用されている。中でも中空シリカ粒子は他の無機中空粒子に比べて形状制御が容易であること、光透過性・生体適合性にも優れることから、光学材料やドラッグデリバリーを目的としたナノカプセルとしての応用が期待されている。近年では、中空シリカの触媒プラットフォーム材料としての利用も注目されている。

中空シリカの中空空間(空間直径数十 nm~数百 nm)に種々の触媒活性種(金属酸化物や金属ナノ粒子等)を内包した構造体はヨークーシェル(Yolk-shell)構造触媒とも呼ばれ、触媒として利用した際、以下の点が期待できる(図1)。

- i) 従来のマイクロ・メソ多孔体では内包できないような巨大なゲスト分子や触媒活性種を空間的に閉じ込めることができる。
- ii) 触媒活性種であるコア物質とシリカシェル間に空間が存在するため反応基質がアクセス可能であるだけでなく、“裸”の触媒活性種を内包することができる。
- iii) 内包物質が移動できる空間が制限されるため、反応中の触媒活性種の溶出や活性種どうしの凝集を抑制し、触媒耐久性・再利用性を向上する効果が期待できる。
- iv) シリカシェルに形成される細孔サイズを制御することで分子サイズ選択的な反応性を付与することができる。
- v) シリカシェルに異種元素や細孔を導入することで更なる高機能化ができる。

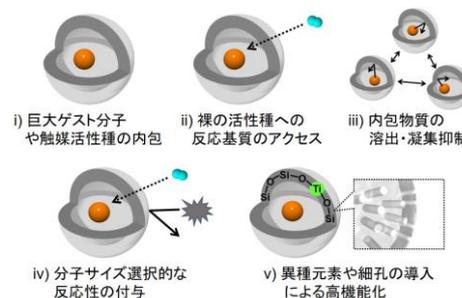


図1 中空シリカの触媒プラットフォーム材料としての利点

これらの特徴を利用すれば、従来のメソポーラスシリカなどの規則性シリカ多孔体では実現できない高度な触媒反応場を構築できる可能性がある。

中空シリカは一般に有機鋳型を利用して合成される。これまでに研究代表者は水中油滴型(O/W)マイクロエマルジョンや高分子(poly(acrylic acid))を有機鋳型に利用した合成法により、様々な活性種を内包した Yolk-shell 構造触媒の創製に成功している。このような中で、研究代表者は有機鋳型に用いる有機高分子の機能性を活かすことで高活性・高選択性を与える高度な触媒反応場を構築できないかと着想した。様々な機能性有機高分子の中でもポリエチレンジイミン(PEI: Poly(ethyleneimine))に代表されるアミノポリマーは高い塩基性とアニオン性分子に対する吸着能を特徴とし、金属粒子触媒と組み合わせる時に、基質・生成物の吸着・濃縮・安定化効果や金属触媒表面の被毒効果、塩基助触媒効果がもたらされ、中空シリカの空間内部での特異な触媒反応場の形成が期待できる。

2. 研究の目的

本研究では、中空シリカのナノ空間と塩基性アミノポリマーによって誘起される特殊反応場を有する『アミノポリマー内包 Yolk-shell 構造触媒』を開発し、これを高難度な触媒反応に応用することを目的とした。中空シリカの中空空間に内包されたアミノポリマーの高い塩基性やアニオン性分子に対する吸着・濃縮作用と、アミノポリマーに覆われた金属ナノ粒子の触媒能を利用し、高い選択性が求められるアルキンの部分水素化反応や、高い反応効率と再利用性が求められる CO₂ の水素化によるギ酸合成反応へと応用した(図2)。各反応に最適な触媒反応場を構築するためのシリカシェル構造の最適化を図るとともに、アミノポリマーのもたらす役割についても明らかにしつつ、既存触媒を凌駕する高活性・高選択性・再利用性を有する触媒の開発とその基盤技術の構築を目指した。

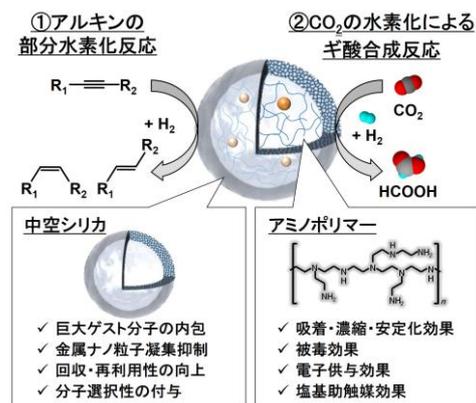


図2 本研究課題の概要

3. 研究の方法

(1) アミノポリマーと Pd ナノ粒子を内包した Yolk-shell 構造触媒の開発

アルキンの部分水素化反応への応用を目的とした Yolk-shell 構造触媒は PEI を有機鋳型とする以下の方法で調製した。まず、PEI(linear type, $M_w = 2,500$)を含むアンモニア水溶液に Pd 前駆体であるテトラクロロパラジウム(II)酸ナトリウム(II)(Na_2PdCl_4)及びエタノールを加え、化学還元剤である水素化ホウ素ナトリウム($NaBH_4$)を用いて還元することで、Pd ナノ粒子-PEI 凝集体を形成させた。その後、シリカ源であるオルトケイ酸テトラエチル(tetraethyl orthosilicate (TEOS))を

加え、室温にて攪拌後、洗浄、乾燥することで触媒(Pd+PEI@HSS)を得た(図3)。

(2) アミノポリマーと PdAg ナノ粒子を内包した Yolk-shell 構造触媒の開発

CO₂ からのギ酸合成反応への応用を目的とした Yolk-shell 構造触媒は上述の合成法を改良して調製した。所定量の PEI(branched, M_w = 1,800)を含むアンモニウム水溶液に Pd 前駆体であるテトラクロロパラジウム(II)酸ナトリウム(II)(Na₂PdCl₄)、Ag 前駆体である硝酸銀(AgNO₃)及びエタノールを加え、化学還元剤(NaBH₄)を加えて還元することで PdAg ナノ粒子-PEI 凝集体を形成させた。その後、細孔形成剤として cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB)、シリカ源として tetraethyl orthosilicate (TEOS) および 1,4-bis(triethoxysilyl)benzene (BTEB) を逐次加え、35 °C で熟成後、得られた沈殿物を洗浄、乾燥させることで触媒(PdAg+PEI@HMS)を得た(図4)。

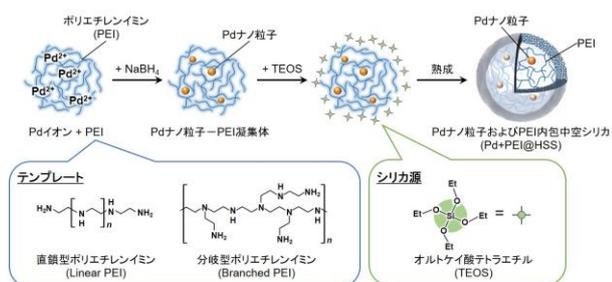


図3 アミノポリマーと Pd ナノ粒子を内包した Yolk-shell 構造触媒の合成スキーム

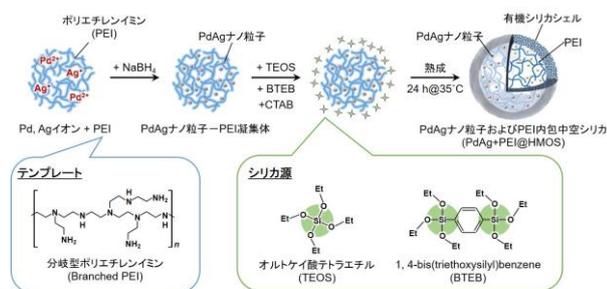


図4 アミノポリマーと PdAg 合金ナノ粒子を内包した Yolk-shell 構造触媒の合成スキーム

(3) 各種分光装置による触媒のキャラクタリゼーション

触媒の構造は電界放出型走査電子顕微鏡(FE-SEM)、走査型透過電子顕微鏡(STEM)、X線回折(XRD)、窒素吸脱着測定、¹³C, ²⁹Si 固体核磁気共鳴(MAS NMR)測定により分析した。アミノポリマーの構造は赤外分光法(IR)および ¹³C MAS NMR 測定により、その含有量は熱重量測定(TG)により確認した。Pd および PdAg 合金ナノ粒子の局所構造・電子状態は X 線光電子分光法(XPS)および X 線吸収微細構造(XAFS)を用いて調査した。

(4) 触媒活性評価

アルキンの部分水素化反応は、所定量の触媒、アルキン、溶媒をシュレンク管に入れ、水素流通下(10 mL/min)、30 °C にて行った。基質および反応生成物はガスクロマトグラフにより定量した。反応時間や基質・溶媒を変更して反応を実施し、これら反応条件が活性に及ぼす影響を調査するとともに、触媒の回収・再利用性についても検討した。

CO₂ 水素化反応はステンレス製圧力容器に所定量の触媒と NaOH 水溶液(0.1 mol/L)を入れ、CO₂ と H₂ 加圧下(2.0 MPa, H₂:CO₂ = 1:1)で加熱、攪拌して行った。反応生成物は高速液体クロマトグラフにより定量した。反応時間や反応温度、CO₂/H₂ 圧力を変更して反応を実施し、これら反応条件が活性に及ぼす影響を調査するとともに、触媒の回収・再利用性についても検討した。

4. 研究成果

中空シリカのナノ空間と塩基性アミノポリマーによって誘起される特殊反応場を有する『アミノポリマー内包 Yolk-shell 構造触媒』を開発し、これを(1) アルキンの部分水素化反応および、(2) CO₂ の水素化によるギ酸合成反応へと応用した。得られた成果は以下の通りである。

(1) アミノポリマーと Pd ナノ粒子を内包した Yolk-shell 構造触媒によるアルキンの部分水素化反応

TEM 像から Pd+PEI@HSS は中空構造を有する球状シリカ粒子であり、平均粒子径は約 160 nm と見積もられた。元素マッピングおよび TG 測定から、中空空間内部に直径約 9 nm の Pd ナノ粒子と PEI (含有量約 24 wt%) が内包されていることが確認された(図5)。N₂ 吸脱着測定には中空構造体に特徴的なヒステリシスが確認され、BJH 細孔分布からシリカシェルは平均径約 2.7 nm のメソ細孔を有することがわかった。また、X 線吸収微細構造(XAFS)測定により内包された Pd ナノ粒子の局所構造・電子状態を分析したところ、Pd-Pd 結

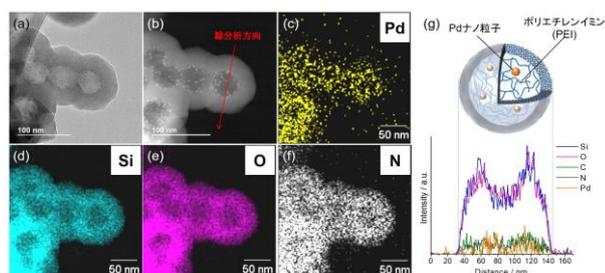


図5 Pd+PEI@HSS 触媒の(a) STEM 像, (b) 高角散乱環状暗視野 STEM 像, (c-f) 元素マッピング像 ((c) Pd, (d) Si, (e) O, and (f) N)および(g) ラインスキャンプロファイル。

合だけでなく Pd—N 結合も確認され、Pd ナノ粒子表面は PEI の窒素原子に強く配位していることが確かめられた。

合成した Yolk-shell 構造触媒を内部アルキンであるジフェニルアセチレンの部分水素化反応に適用したところ、内包した PEI の構造 (直鎖型 or 分岐型) によらず、95%以上の選択率でアルケンであるスチルベンを得ることができ、異性体比 (*cis/trans*)95:5 以上の割合で選択的に *cis* アルケンへと水素化できることがわかった。長時間反応後も高いアルケン選択性は維持された (図 6 (a,b))。空气中で焼成することにより PEI を完全に除去した触媒 (Pd@HSS) を用いると、逐次的にアルカンであるビベンジルへの水素化が進行してしまったことから (図 6 (c))、内包された PEI の被毒効果により高いアルケン選択性が発現したことがわかる。

更に、末端アルキンであるフェニルアセチレンの部分水素化反応において触媒性能を評価したところ、直鎖型 PEI を用いて合成した中空構造触媒 (Pd+PEI(L)@HSS) ではエチルベンゼンへの過剰水素化が抑制され、スチレンを 84%の選択率で得ることができた (図 7 (a))。これに対し、分岐型 PEI を用いて合成した中空構造触媒 (Pd+PEI(B)@HSS) では長時間反応するとエチルベンゼンへの過剰水素化が進行し、高いアルケン選択性は発現しなかった (図 7 (b))。これは、1~3級アミンを含む分岐型の PEI に比べ、窒素原子周りの立体障害の少ない 2級アミンから成る直鎖型の PEI が Pd ナノ粒子に対してより高い被毒効果を有しているためであると考えられる。

最適な条件で合成した触媒は高いアルケン選択性を維持したまま繰り返し利用可能であり、繰り返しの使用による Pd ナノ粒子の凝集や、反応後の Pd や PEI の溶出も確認されなかった。このような優れた触媒の再利用性はシリカシェルの高い保護効果によってもたらされるものであり、中空シリカをプラットフォームとすることで複数の機能性分子をナノ空間に安定に閉じ込め、高い選択性と再利用性とを兼ね備えた固体触媒が創製できることが実証できた。

(2) アミノポリマーと PdAg 合金ナノ粒子を内包した Yolk-shell 構造触媒による CO₂ の水素化反応

FE-SEM および TEM 観察の結果から PdAg+PEI@HSS は中空構造を有する球状シリカ粒子であり、平均粒子径は約 300 nm、シェル厚さは約 50 nm と見積もられた (図 8)。STEM 像および元素マッピングにより中空構造内部には平均粒子径 3.0 nm 程度の PdAg ナノ粒子と PEI が内包されていることが確認された (図 8)。

X 線光電子分光法 (XPS) および X 線吸収微細構造 (XAFS) 測定により内包された PdAg ナノ粒子の局所構造・電子状態を分析したところ、電子リッチな Pd 種の存在が確認された。電子リッチな Pd 種の形成は Pd—Ag 結合の形成による Ag から Pd への電子移動によるものと考えられ、Pd と Ag が合金を形成していることが示唆された。PEI が内包されていることは、TG、IR および ¹³C MAS NMR 測定からも支持された。また、¹³C、²⁹Si MAS NMR からシリカ骨格中には調製段階で加えた BTEB に由来するべ

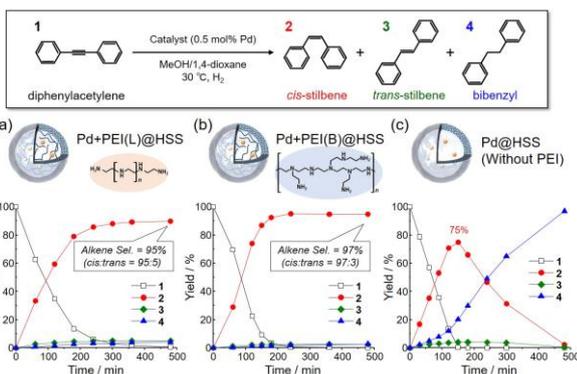


図 6 Pd+PEI@HSS 触媒を用いたジフェニルアセチレンの部分水素化反応結果

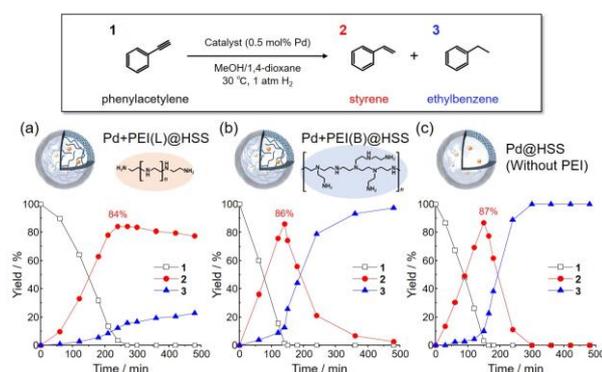


図 7 Pd+PEI@HSS 触媒を用いたフェニルアセチレンの部分水素化反応結果

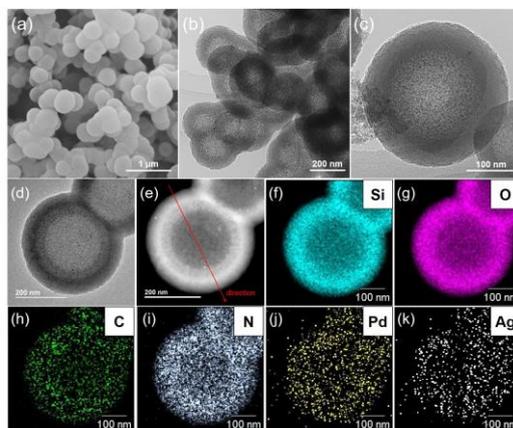


図 8 PdAg+PEI@HSS 触媒の (a) FE-SEM 像, (b,c) TEM 像, (d) STEM 像, (e) 高角散乱環状暗視野 STEM 像, (f-k) 元素マッピング像 ((f) Si, (g) O, (h) C, (i) N, (j) Pd and (k) Ag)。

ンゼン環が結合していることも確認された。更に、 N_2 吸脱着測定には中空構造体の特徴的なヒステリシスが確認され、BJH 細孔分布からシリカシェルは平均径約 1.8 nm のメソ細孔を有することがわかった。

得られた Yolk-shell 構造触媒を CO_2 水素化によるギ酸合成反応に適用したところ、優れた活性を示すことがわかった (表 1)。Pd を Ag と合金化 (Pd : Ag = 1 : 1) した場合、合金化しない場合に比べ約 6 倍の触媒活性が得られた (Entry 1, 2)。これは Ag との合金化により電子リッチな Pd 種が形成されたためであると考えられる。触媒に含まれる Pd 原子数当たりの触媒回転数 (TON) は 2754 に達し、これまで報告されている Pd 系固体触媒を凌駕する高い触媒活性が得られることがわかった。PEI を除去した後の触媒 (Entry 3) あるいは PEI を物理混合した触媒 (Entry 4) では活性は大幅に低下した。このことは PdAg ナノ粒子近傍に存在する PEI が CO_2 または塩基性水溶液中で生じる HCO_3^- を吸着し、PdAg ナノ粒子近傍に濃縮することでギ酸生成反応が効率的に進行したことを示唆している。PdAg/PEI や fumed silica に固定化した PdAg 触媒では低活性であったことから、中空構造により PdAg ナノ粒子の反応中の凝集が抑制されたことで高活性につながったものと考えられる (Entry 5, 8)。

また、PdAg+PEI@HSS 触媒を用いて H_2 ガスおよび CO_2 ガスの分圧に対する反応次数を算出したところ、 H_2 分圧に対する反応次数 (1.02) に比べ、 CO_2 分圧に対する反応次数 (0.26) は著しく小さかった。PdAg+PEI@HSS 触媒の CO_2 分圧に対する反応次数 (0.26) は PEI を除去した触媒 (PdAg@HSS) の CO_2 分圧に対する反応次数 (1.58) と比べて極めて小さかった。さらに CO_2 吸着試験を行ったところ、PdAg+PEI@HSS 触媒は PEI を除去した触媒 (PdAg@HSS) に比べ、 CO_2 に対して優れた吸着特性を示すことがわかった。これらの結果から、PdAg+PEI@HSS 触媒に内包された PEI の優れた CO_2 吸着能によって中空空間内部への CO_2 吸着が促進されることで、触媒反応が促進される反応メカニズムを提案した (図 9)。すなわち、 CO_2 の一部は PEI に吸着することでカルバメートアニオン中間体を形成し、PdAg ナノ粒子上で開裂した水素が近接するカルバメート中間体の炭素原子に求核攻撃することでギ酸アニオンが生成するものと推定した。

更に本触媒は、有機シリカシェルの保護効果により厳しい反応条件下でも活性の低下無く繰り返し使用することができ、繰り返しの使用による PdAg ナノ粒子の凝集や、反応後の Pd や PEI の溶出も確認されなかった。PdAg ナノ粒子の CO_2 水素化能、PEI の CO_2 吸着能、シリカシェルの保護効果の協奏的な作用により、本触媒が CO_2 からのギ酸生成反応に有効な固体触媒として機能することが見出された。

以上のように、本研究では中空シリカの中空空間に機能性ポリマーを充填することで、特異な反応性と高い再利用性を兼ね備えた固体触媒を創製可能であることを実証した。これらは、マイクロ～メソスケールの細孔・空隙空間のみを有する従来のシリカ多孔体 (メソポーラスシリカなど) では構築することのできない新奇な触媒反応場である。本研究で実証した中空シリカのナノ空間を利用する触媒設計アプローチは他の触媒反応に対しても有効であると考えられ、本研究成果は、優れた活性・選択性・耐久性を有する新規固体触媒創製のための触媒設計・合成技術の基礎になると考えられる。ターゲットとする反応に応じて、機能性高分子や中空シリカが提供する機能性を利用し、触媒設計・合成に落とし込んでいくことで、更に卓越した触媒機能を持つ“ナノリアクター”の創製が期待できる。

表 1 各種 Pd 含有触媒を用いた CO_2 水素化によるギ酸合成反応結果

Entry	Catalyst	TON	TOF (h ⁻¹)
1	Pd+PEI@HSS	455	20.7
2	PdAg+PEI@HSS	2754	125
3	PdAg@HSS (without PEI)	279	12.7
4	PdAg@HSS + PEI (physical mixture)	550	25
5	PdAg/fumed silica	63	2.9
6	PdAg/active carbon	71	3.2
7	PdAg/TiO ₂	519	23.6
8	PdAg/PEI	430	19.5
9	None	No reaction	

Reaction conditions: catalyst (10 mg), solvent (0.1 M NaOH aq., 15 mL), H_2 (1.0 MPa), CO_2 (1.0 MPa), 100 °C, 22 h. TON = Turnover number. TOF = Turnover frequency (h⁻¹).

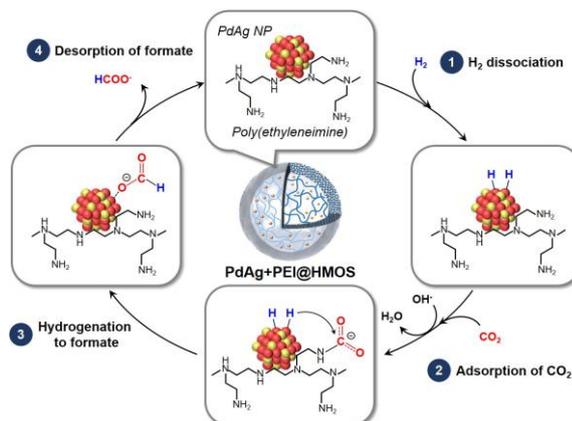


図 9 PdAg+PEI@HSS 触媒を用いた CO_2 からのギ酸合成反応における推定反応メカニズム

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計35件（うち査読付論文 35件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yin Haibo, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 6
2. 論文標題 Plasmonic metal/MoxW1-xO3-y for visible-light-enhanced H2 production from ammonia borane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 10932 ~ 10938
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8TA03125H	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 Kuwahara Yasutaka, Yoshimura Yukihiro, Haematsu Kohei, Yamashita Hiromi	4. 巻 140
2. 論文標題 Mild Deoxygenation of Sulfoxides over Plasmonic Molybdenum Oxide Hybrid with Dramatic Activity Enhancement under Visible Light	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 9203 ~ 9210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b04711	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 Isaka Yusuke, Kondo Yoshifumi, Kawase Yudai, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 54
2. 論文標題 Photocatalytic production of hydrogen peroxide through selective two-electron reduction of dioxygen utilizing amine-functionalized MIL-125 deposited with nickel oxide nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9270 ~ 9273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CC02679C	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 Verma Priyanka, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 324
2. 論文標題 Plasmonic catalysis of Ag nanoparticles deposited on CeO2 modified mesoporous silica for the nitrostyrene reduction under light irradiation conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 83 ~ 89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2018.06.051	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 Yin Haibo, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Che Michel, Yamashita Hiromi	4. 巻 7
2. 論文標題 Plasmonic Ru/hydrogen molybdenum bronzes with tunable oxygen vacancies for light-driven reduction of p-nitrophenol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 3783 ~ 3789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8TA11604K	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 該当する

1. 著者名 Navlani-Garcia Miriam, Salinas-Torres David, Mori Kohsuke, Leonard Alexandre F., Kuwahara Yasutaka, Job Nathalie, Yamashita Hiromi	4. 巻 324
2. 論文標題 Insights on palladium decorated nitrogen-doped carbon xerogels for the hydrogen production from formic acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 90 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2018.06.013	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 該当する

1. 著者名 Kuwahara Yasutaka, Kango Hiroto, Yamashita Hiromi	4. 巻 9
2. 論文標題 Pd Nanoparticles and Aminopolymers Confined in Hollow Silica Spheres as Efficient and Reusable Heterogeneous Catalysts for Semihydrogenation of Alkynes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 1993 ~ 2006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.8b04653	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 Isaka Yusuke, Kawase Yudai, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 58
2. 論文標題 Two-Phase System Utilizing Hydrophobic Metal-Organic Frameworks (MOFs) for Photocatalytic Synthesis of Hydrogen Peroxide	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 5402 ~ 5406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201901961	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 Isaka Yusuke, Kondo Yoshifumi, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 9
2. 論文標題 Incorporation of a Ru complex into an amine-functionalized metal-organic framework for enhanced activity in photocatalytic aerobic benzyl alcohol oxidation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 1511 ~ 1517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CY02599A	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 Kuwahara Yasutaka, Matsumura Ryo, Yamashita Hiromi	4. 巻 7
2. 論文標題 Hollow titanosilicate nanospheres encapsulating PdAu alloy nanoparticles as reusable high-performance catalysts for a H ₂ O ₂ -mediated one-pot oxidation reaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 7221-7231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TA01481K	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 Salinas-Torres David, Navlani-Garcia Miriam, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Yamashita Hiromi	4. 巻 571
2. 論文標題 Nitrogen-doped carbon materials as a promising platform toward the efficient catalysis for hydrogen generation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Catalysis A: General	6. 最初と最後の頁 25 ~ 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcata.2018.11.034	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 該当する

1. 著者名 Verma Priyanka, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 92
2. 論文標題 Design of Silver-Based Controlled Nanostructures for Plasmonic Catalysis under Visible Light Irradiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 19 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180244	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 Navlani-Garcia Miriam, Mori Kohsuke, Salinas-Torres David, Kuwahara Yasutaka, Yamashita Hiromi	4. 巻 6
2. 論文標題 New Approaches Toward the Hydrogen Production From Formic Acid Dehydrogenation Over Pd-Based Heterogeneous Catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Materials	6. 最初と最後の頁 44 (18 Pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmats.2019.00044	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 該当する

1. 著者名 Navlani-Garcia Miriam, Salinas-Torres David, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Yamashita Hiromi	4. 巻 23
2. 論文標題 Tailoring the Size and Shape of Colloidal Noble Metal Nanocrystals as a Valuable Tool in Catalysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Catalysis Surveys from Asia	6. 最初と最後の頁 127 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10563-019-09271-7	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 該当する

1. 著者名 Mori Kohsuke, Qian Xufang, Kuwahara Yasutaka, Horiuchi Yu, Kamegawa Takashi, Zhao Yixin, Louis Catherine, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Design of Advanced Functional Materials Using Nanoporous Single Site Photocatalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Chemical Record	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) 10.1002/tcr.201900085	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 該当する

1. 著者名 Zhang Yuxiao, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 14
2. 論文標題 Defect Engineering of MoS ₂ and Its Impacts on Electrocatalytic and Photocatalytic Behavior in Hydrogen Evolution Reactions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 278 ~ 285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201801594	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 Navlani-Garcia Miriam, Salinas-Torres David, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Yamashita Hiromi	4. 巻 44
2. 論文標題 Enhanced formic acid dehydrogenation by the synergistic alloying effect of PdCo catalysts supported on graphitic carbon nitride	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 28483 ~ 28493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijhydene.2018.11.057	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 該当する

1. 著者名 Kawase Yudai, Isaka Yusuke, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 55
2. 論文標題 Ti cluster-alkylated hydrophobic MOFs for photocatalytic production of hydrogen peroxide in two-phase systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 6743 ~ 6746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC02380A	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 Masuda Shinya, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Yamashita Hiromi	4. 巻 7
2. 論文標題 PdAg nanoparticles supported on resorcinol-formaldehyde polymers containing amine groups: the promotional effect of phenylamine moieties on CO ₂ transformation to formic acid	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 16356 ~ 16363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TA02552A	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 Yin Haibo, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 2019
2. 論文標題 RuPd Alloy Nanoparticles Supported on Plasmonic HxMoO _{3-y} for Efficient Photocatalytic Reduction of p-Nitrophenol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3745 ~ 3752
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.201900801	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 Yoshii Takeharu, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 123
2. 論文標題 Design of Pd-Graphene-Au Nanorod Nanocomposite Catalyst for Boosting Suzuki-Miyaura Coupling Reaction by Assistance of Surface Plasmon Resonance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 24575 ~ 24583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b06609	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 Yoshii Takeharu, Umemoto Daiki, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 11
2. 論文標題 Engineering of Surface Environment of Pd Nanoparticle Catalysts on Carbon Support with Pyrene-Thiol Ligands for Semihydrogenation of Alkynes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 37708 ~ 37719
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.9b12470	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 Wen Meicheng, Mori Kohsuke, Futamura Yuya, Kuwahara Yasutaka, Navlani-Garc?a Miriam, An Taicheng, Yamashita Hiromi	4. 巻 9
2. 論文標題 PdAg Nanoparticles within Core-Shell Structured Zeolitic Imidazolate Framework as a Dual Catalyst for Formic Acid-based Hydrogen Storage/Production	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15675 ~ 15685
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-52133-5	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 該当する

1. 著者名 Chen Xiaolang, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Louis Catherine, Yamashita Hiromi	4. 巻 8
2. 論文標題 A hydrophobic titanium doped zirconium-based metal organic framework for photocatalytic hydrogen peroxide production in a two-phase system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 1904 ~ 1910
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TA11120D	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 該当する

1. 著者名 Zhang Yuxiao, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 36
2. 論文標題 Construction of Hybrid MoS ₂ Phase Coupled with SiC Heterojunctions with Promoted Photocatalytic Activity for 4-Nitrophenol Degradation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 1174 ~ 1182
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.9b03760	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 Guoxiang, Kuwahara Yasutaka, Masuda Shinya, Mori Kohsuke, Louis Catherine, Yamashita Hiromi	4. 巻 8
2. 論文標題 PdAg nanoparticles and aminopolymer confined within mesoporous hollow carbon spheres as an efficient catalyst for hydrogenation of CO ₂ to formate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 4437 ~ 4446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TA13389E	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 該当する

1. 著者名 Suib Steven L., Prech Jan, Cejka Jiri, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Yamashita Hiromi	4. 巻 32
2. 論文標題 Some novel porous materials for selective catalytic oxidations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Today	6. 最初と最後の頁 244 ~ 259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mattod.2019.06.008	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 該当する

1. 著者名 Masuda Shinya, Shun Kazuki, Mori Kohsuke, Kuwahara Yasutaka, Yamashita Hiromi	4. 巻 11
2. 論文標題 Synthesis of a binary alloy nanoparticle catalyst with an immiscible combination of Rh and Cu assisted by hydrogen spillover on a TiO ₂ support	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 4194 ~ 4203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SC05612B	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 Verma Priyanka, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Raja Robert, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Functionalized mesoporous SBA-15 silica: recent trends and catalytic applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	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) 10.1039/D0NR00732C	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 該当する

1. 著者名 Yin Haibo, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Louis Catherine, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Properties, fabrication and applications of plasmonic semiconductor nanocrystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	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) 10.1039/C9CY02511A	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 該当する

1. 著者名 Chen Xiaolang, Kondo Yoshifumi, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Louis Catherine, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Metal-organic framework-based nanomaterials for photocatalytic hydrogen peroxide production	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	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) 10.1039/D0CP01759K	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 該当する

1. 著者名 Zhang Yuxiao, Kuwahara Yasutaka, Mori Kohsuke, Louis Catherine, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Hybrid phase 1T/2H-MoS2 with controllable 1T concentration and its promoted hydrogen evolution reaction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanoscale	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) 10.1039/D0NR02525A	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 該当する

1. 著者名 Kuwahara Yasutaka, Hanaki Aiko, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 A direct conversion of blast furnace slag to a mesoporous silica-calcium oxide composite and its application in CO ₂ captures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Green Chemistry	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) 10.1039/D0GC00722F	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 Kuwahara Yasutaka, Fujie Yuki, Mihogi Takashi, Yamashita Hiromi	4. 巻 -
2. 論文標題 Hollow Mesoporous Organosilica Spheres Encapsulating PdAg Nanoparticles and Poly(Ethyleneimine) as Reusable Catalysts for CO ₂ Hydrogenation to Formate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 6356 ~ 6366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c01505	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 桑原泰隆、山下弘巳	4. 巻 -
2. 論文標題 中空シリカのナノ空間を利用した固体触媒の設計と応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ゼオライト	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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara
2. 発表標題 TiO ₂ Photocatalyst Confined in Hollow Silica Spheres for Environmental Purification
3. 学会等名 2018 International Symposium on Resource Chemistry (ISRC 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原泰隆、松村遼、山下弘巳
2. 発表標題 貴金属ナノ粒子内包中空シリケート触媒の開発とワンポット酸化反応への応用
3. 学会等名 石油学会第67回研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Pd nanoparticles and Aminopolymers Confined in Hollow Silica Spheres as Efficient and Stable Heterogeneous Catalysts for Semihydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 International Symposium on Relations between Homogeneous and Heterogeneous Catalysis (ISHC18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Development of Yolk-shell Nanoreactors Encapsulating Pd Nanoparticles for Efficient Catalytic Reactions
3. 学会等名 2018 International Symposium on Advancement and Prospect of Catalysis Science & Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Hollow Silica Spheres Encapsulating Pd Nanoparticles and Aminopolymers as Nanoreactors for Semihydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 One-pot Synthesis of Hollow Silica Spheres Encapsulating Pd Nanoparticles and Aminopolymers and its Application in Semihydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018 (ZMPC2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Pd Nanoparticles and Aminopolymers Encapsulated in Hollow Silica Spheres as Stable Heterogeneous Catalysts for Semihydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 256th ACS Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Haibo Yin, Kohsuke Mori, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 TiO ₂ Photocatalyst Encapsulated in Hollow Silica Spheres for Environmental Purification
3. 学会等名 The 10th International Conference on Environmental Catalysis & the 3rd International Symposium on Catalytic Science and Technology in Sustainable Energy and Environment (ICEC&EECAT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原泰隆、藤江勇宜、山下弘巳
2. 発表標題 アミノポリマーとPdナノ粒子を内包した中空シリカ触媒の合成とCO ₂ からのギ酸生成反応への応用
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原泰隆、藤江勇宜、山下弘巳
2. 発表標題 アミノポリマーとPdナノ粒子を内包した中空シリカ触媒によるCO ₂ からのギ酸生成反応
3. 学会等名 第48回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原泰隆、松村遼、山下弘巳
2. 発表標題 過酸化水素を介するワンポット酸化反応に有効なPd合金ナノ粒子内包中空シリカ触媒の開発
3. 学会等名 第34回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 桑原泰隆、寒河裕人、山下弘巳
2. 発表標題 アミノポリマーとPdナノ粒子を内包した中空シリカ触媒によるアルキンの部分水素化反応
3. 学会等名 日本化学会第99回春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆、寒河裕人、山下弘巳
2. 発表標題 アミノポリマーとPdナノ粒子を内包した中空シリカ触媒の合成とアルキン部分水素化反応への応用
3. 学会等名 第123回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆、寒河裕人、山下弘巳
2. 発表標題 窒素含有ポリマーを鋳型に利用したPdナノ粒子内包中空シリカ粒子の合成とその水素化特性
3. 学会等名 日本金属学会2019年春季（第164回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Hollow Silica Spheres Encapsulating Pd Nanoparticles and Aminopolymers for Semihydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 17th Korea-Japan Symposium on Catalysis (17KJSC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Yolk-shell Nanostructured Aminopolymer-silica composite Encapsulating Pd Nanoparticles for Selective Hydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 19th International Zeolite Conference (IZC ' 19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara, Hiroto Kango, Hiromi Yamashita
2. 発表標題 Hollow Silica Spheres Encapsulating Pd Nanoparticles and Aminopolymers as Efficient and Stable Heterogeneous Catalysts for Semihydrogenation of Alkynes
3. 学会等名 The 8th Asia Pacific Congress on catalysis (APCAT-8) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆
2. 発表標題 中空シリカのナノ空間を利用した触媒設計と応用
3. 学会等名 第13回触媒道場（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasutaka Kuwahara
2. 発表標題 Synthesis of Hollow Silica Spheres Encapsulating Pd Nanoparticles and Aminopolymers for Selective Hydrogenation Reactions
3. 学会等名 Osaka-Kansai International Symposium on Catalysis (OKCAT2019)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆、松村遼、山下弘巳
2. 発表標題 PdAu合金ナノ粒子内包中空シリカ粒子の合成と酸化触媒反応への応用
3. 学会等名 日本金属学会2019年秋期（第165回）講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆、松村遼、山下弘巳
2. 発表標題 PdAu合金ナノ粒子内包中空チタノシリケート触媒の合成とワンポット酸化反応への応用
3. 学会等名 第124回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆、藤江勇宜、山下弘巳
2. 発表標題 Pdナノ粒子とアミノポリマーを内包した中空シリカ多孔体の合成とCO ₂ からのギ酸合成反応への応用
3. 学会等名 第35回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑原泰隆、藤江勇宜、山下弘巳
2. 発表標題 窒素含有ポリマーを鋳型に利用したPd合金ナノ粒子内包中空シリカ粒子の合成とCO ₂ 還元反応への応用
3. 学会等名 日本金属学会2020年春期（第166回）講演大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桑原泰隆、藤江勇宜、山下弘巳
2. 発表標題 CO ₂ からの効率的ギ酸合成を目的としたアミノポリマー内包多孔質中空シリカ触媒の合成
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Priyanka Verma, Yasutaka Kuwahara, Kohsuke Mori, Hiromi Yamashita	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ELSEVIER publications	5. 総ページ数 566
3. 書名 Current Development in Photocatalysis and Photocatalytic Materials - New Horizons in Photocatalysis	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 金属酸化物複合体およびその製造方法、並びに二酸化炭素の分離方法	発明者 桑原泰隆、花木愛子、山下弘巳	権利者 国立大学法人大阪大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-023809	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

山下研究室ホームページ
<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp1/MSP1-HomeJ.htm>

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