

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03457

研究課題名(和文) 界面協奏効果を機軸とする革新的金属複合ナノ粒子触媒の開発

研究課題名(英文) Development of innovative metal nanoparticle catalyst based on the interfacial cooperative effect

研究代表者

満留 敬人 (Mitsudome, Takato)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号：00437360

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：アミドの還元反応は汎用性の高いアミンを得る重要な反応である。しかし、アミドはカルボン酸誘導体の中で最難還元性であるため、その還元には極めて高い水素圧と高温が必要である。よって、“温和な条件下でのアミドの還元”は次世代の化学品製造プロセスにおける12の革新的研究分野の1つに挙げられた。しかしながら、温和な反応条件でアミドを還元できる触媒は未だ開発されていなかった。

本研究では、PtとVを複合化したナノ粒子触媒が、世界で初めて温和な条件下で様々なアミドを高選択的にアミンへと還元できることを見出した。また、開発した触媒は、常圧水素や室温条件下という極めて温和な条件下でアミドを還元できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究成果の学術的意義：白金とバナジウムを複合すると、白金で水素を、バナジウムでアミドを活性化する協奏的触媒作用により高難度の還元反応を促進させることに成功した。本成果は、異種金属を複合化することで、異種金属間の協奏効果を最大限に発現させる新規なバイメタルナノ粒子の触媒設計指針を与える。

社会的意義：本研究により、世界で初めて常圧の水素ガスでアミドを還元することができることを示し、次世代の高機能化学品製造プロセスにおける夢の反応の一つを実現したことから、省エネルギーかつ安全で、有害な廃棄物を一切副生しないアミドの還元反応プロセスの開発が期待されます。

研究成果の概要(英文)：Amine synthesis via amide hydrogenation is of crucial importance in organic synthesis. However, amide groups have low reactivity and are difficult to reduce. In 2005, a Roundtable of the ACS Green Chemistry Institute and leading global pharmaceutical companies decided “the catalytic hydrogenation of amides to amines with H<sub>2</sub> under mild conditions, ideally lower than 30 bar H<sub>2</sub> and 70 °C” is one of 12 key innovative research areas for the future sustainable production of pharmaceuticals. However, until now, no catalysts that are effective under the mild conditions have been developed.

Herein, we present VO<sub>x</sub>-decorated Pt nanoparticle catalyst that enables hydrogenation of amides to amines under mild conditions, i.e., lower than 30 bar H<sub>2</sub>/70 °C. Especially, the bimetallic catalyst could promote the hydrogenation under just 1 bar of H<sub>2</sub> at 70 °C or 5 bar of H<sub>2</sub> at room temperature. This is the first time that hydrogenation of amides to amines under mild conditions has been achieved.

研究分野：触媒化学

キーワード：ナノ粒子 触媒 グリーンケミストリ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

アミンは、ポリマー、染料、医薬品及び天然物合成における中間体として広く用いられる有用な化合物である。アミドの還元反応はアミンの重要な直截的合成法の一つであり、従来実験室レベルでは  $\text{LiAlH}_4$  などの金属ヒドリド試薬を用いた量論反応により行われてきた。しかしながら、金属ヒドリド試薬は発火性が高く危険であり、取り扱いが難しい。また、反応後の処理も  $\text{NaOH}$  などを用いて慎重に行わなければならない。さらに、大量の金属塩が副生し、反応後の生成物との分離が困難である。このように金属ヒドリド試薬を使ったアミドの還元反応は、環境高負荷型の反応系であり、本手法を工業的なアミン合成に応用することは難しい (Fig. 1 (a))。より危険性の少ない手法として、ヒドロシランとルイス酸を組み合わせた触媒的手法も多く報告されている。この手法では、アルケニル基などの他の還元性官能基を保持したままアミドをアミンに変換できるなど化学選択性に優れているが、還元剤としてヒドロシランを使用しているため原子効率が低い (Fig. 1 (b))。

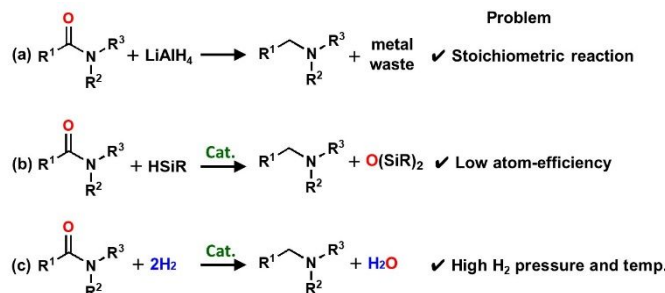


Fig. 1 Methods for the amide reduction

一方、環境調和性の高いアミドの還元法に水素 ( $\text{H}_2$ ) による触媒的水素化反応がある。本手法は無害な水のみを副生し、原子効率が極めて高い (Fig. 1 (c))。このアミドからアミンへの水素化反応はおよそ 100 年以上前から研究されているが、アミドはカルボン酸やエステルなどのカルボン酸誘導体の中で最難還元性の化合物であるため、既報の触媒系では非常に厳しい反応条件 (高水素圧と高温) を必要とする。また、カルボニル基の還元他にアミドの C-N 結合の切断反応などの副反応が進行し対応するアミンを高選択的に得ることができないことや、厳しい反応条件のため触媒が劣化しやすく耐久性が低いことが問題となっていた。従って、温和な反応条件でアミドの水素化反応を高選択的に進行させる高機能性触媒の開発が強く望まれてきた。実際、2005 年に開かれたアメリカ化学会の国際会議 (The ACS Green Chemistry Institute Pharmaceutical Roundtable) において、次世代の医薬品製造プロセスにおける 12 の革新的研究課題が決められ、その中に“ヒドリド試薬などを用いない温和な条件下でのアミドの還元反応系の開発”が挙げられている。アミドの理想的な水素化反応条件は水素圧 30 bar 以下、反応温度  $70^\circ\text{C}$  以下とされているが、このような温和な条件でアミドを還元する触媒は開発されていなかった。

### 2. 研究の目的

このような背景のもと、温和な条件下でアミドをアミンへと変換する高機能性触媒の開発を目的に研究を行った。その結果、私たちは白金とバナジウムを複合化したバイメタルナノ粒子触媒が、世界で初めて水素圧 30 bar 以下、 $70^\circ\text{C}$  以下の温和な条件下で様々なアミドを高選択的にアミンへと還元できることを見出した。

### 3. 研究の方法

私たちの研究グループではグリーンケミストリーの理念に沿った分子変換プロセスの構築を目指し、固体触媒の開発を行っている。金属ナノ粒子を金属酸化物担体上に固定化した触媒では、ナノ粒子と担体との界面で新規な触媒機能 (界面協奏効果) が発現することに着目し、その触媒機能を活かすことで種々の高選択的分子変換反応が進行することを見出している。また、金属ナノ粒子を金属酸化物で覆うコア-シェル型金属ナノ粒子触媒を開発し、コア-シェル構造によりナノ粒子と金属酸化物との界面積が最大となることで、界面協奏効果を最大限に引き出すことに成功している。このナノ粒子と金属酸化物との界面協奏効果を最大限に引き出す触媒設計指針を基軸として、 $\text{H}_2$  を使ったアミドの還元反応に有効な触媒の探索を行った。

まず、様々な金属酸化物上に水素化能の高いパラジウム、イリジウム、ルテニウム、白金などの貴金属ナノ粒子を固定化した金属酸化物固定化ナノ粒子を調製し、 $\text{H}_2$  30 bar、 $70^\circ\text{C}$  の反応条件下において *N*-acetylmorpholine (1) の還元反応における触媒能を検討した。その結果、ほとんどのナノ粒子は活性を示さなかったが、バナジウム酸化物上に白金ナノ粒子を固定化した触媒がわずかな活性を示し、対応する *N*-ethylmorpholine (2) のみが高選択的に得られた。この結果から、白金とバナジウムとの界面で発現する協奏的な触媒作用によってアミドの還元反応を促進できることが示唆された。

次に、私たちは白金とバナジウムとの界面協奏効果を最大限に引き出すため、白金のナノ粒子表面をバナジウム酸化物で修飾する触媒設計を着想した。つまり、白金ナノ粒子の表面にバナジウム酸化物を高分散に担持した“バナジウム酸化物修飾型白金ナノ粒子触媒”を創製することが

できれば、白金とバナジウム酸化物との界面積が増大するため、より高い触媒活性が発現すると考えた (Fig. 2)

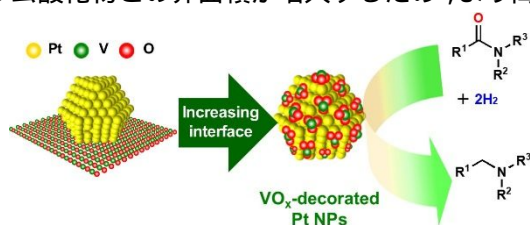


Fig. 2 Catalyst design strategy

#### 4. 研究成果

##### バナジウム修飾型白金ナノ粒子触媒の構造

上記着想のもと、バナジウム修飾型白金ナノ粒子触媒の開発にとり組んだ結果、ハイドロキシアパタイト(HAP)上に白金とバナジウムを複合化することで HAP 上に担持されたバナジウム修飾型白金ナノ粒子(Pt/V/HAP)の創製に成功した。Fig. 3 に示す Pt/V/HAP の STEM 像では、HAP 上に平均粒子径 2.2 nm のナノ粒子が高分散に担持されていることがわかる。また、Fig. 4 の EDX による元素分析の結果は、Pt/V/HAP 上の 1 つのナノ粒子に白金とバナジウムが共存していることを示しており、HAP 上に白金とバナジウムからなるバイメタルナノ粒子が形成されていることがわかる。さらに、ナノ粒子の格子面間隔は、白金の格子面間隔と一致する。この結果は、HAP 上のバイメタルナノ粒子は原子レベルで白金とバナジウムが混合した合金ではなく、白金ナノ粒子表面上にバナジウムがデコレートされたバナジウム修飾型白金ナノ粒子であることを示す。

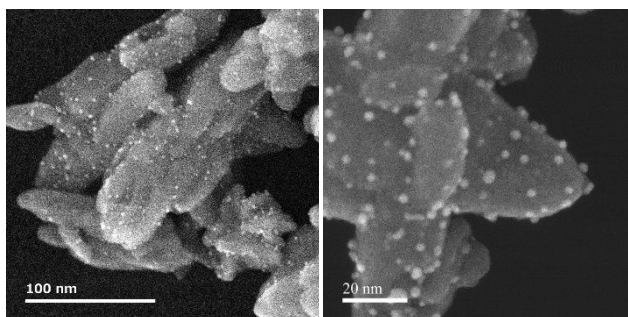


Fig. 3 STEM images of Pt/V/HAP

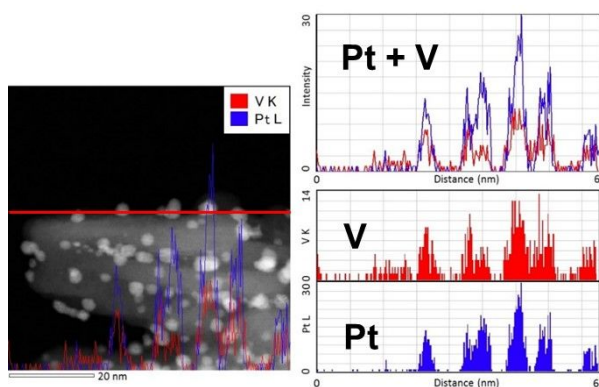
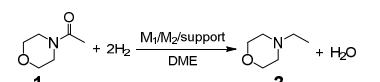


Fig. 4 EDX line analysis of Pt/V/HAP. Line scan was performed across nanoparticles on HAP, as shown by horizontal red line.

##### バナジウム修飾型白金ナノ粒子の特異的触媒活性

調製した Pt/V/HAP を用いて、H<sub>2</sub> 30 bar、70 °C にて 1 の還元反応を行ったところ、Pt/V/HAP はバナジウム酸化物担持 Pt ナノ粒子触媒に比べ著しく高い活性を示し、目的とするアミン 2 を定量的に与えた (Table 1, entry 1 と 2)。さらにより温和な条件下における Pt/V/HAP の触媒能を検討したところ、Pt/V/HAP は室温 (Table 1, entry 3 と 4) または常圧水素下 (Table 1, entry 5) においても活性を示し、2 を高収率で得ることができた。これにより、H<sub>2</sub> 30 bar かつ 70 °C または、常圧水素雰囲気下、さらには室温下でアミドの水素化反応を促進させることに世界で初めて成功した。Table 1 の entry 6 から 13 に示すように Pt/V/HAP と同様に調製した他のバイメタル触媒や白金またはバナジウムをそれぞれ HAP に固定化したモノメタル触媒ではほとんど反応が進行しない。これらの結果から、Pt/V/HAP の高い触媒活性は、白金とバナジウムが複合化することで初めて発現する特異な協奏的触媒作用に起因することがわかる。

**Table 1** Mild hydrogenation of **1** using various catalysts


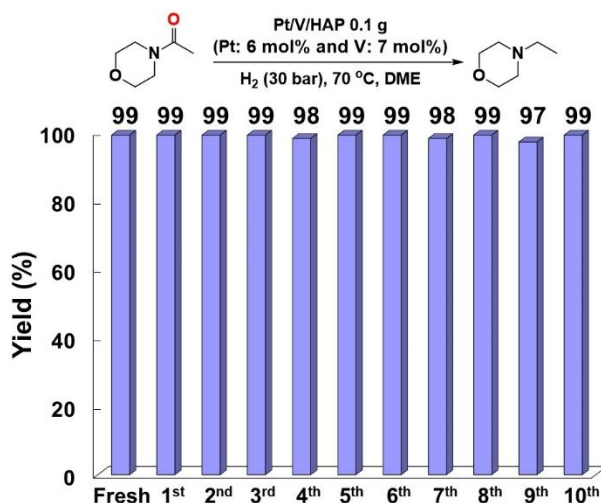
Entry	Catalyst	T, °C	p, bar	Time, h	Yield, %
1	Pt/V/HAP	70	30	1	70
2	Pt/V/HAP	70	30	8	99
3 <sup>a</sup>	Pt/V/HAP	25	30	24	93
4 <sup>a</sup>	Pt/V/HAP	25	5	48	88
5 <sup>a</sup>	Pt/V/HAP	70	1	48	95
6	Pt/Re/HAP	70	30	1	0
7	Pt/Mo/HAP	70	30	1	3
8	Pt/W/HAP	70	30	1	4
9	Pd/V/HAP	70	30	1	3
10	Ru/V/HAP	70	30	1	0
11	Rh/V/HAP	70	30	1	6
12	Pt/HAP	70	30	1	0
13	V/HAP	70	30	1	0

Reaction conditions: supported metal catalyst 0.1 g ( $M_1$ : 6 mol% and  $M_2$ : 7 mol%), substrate (0.5 mmol) and DME (5 mL) in  $H_2$  atmosphere. Yield was determined by GC using an internal standard technique. <sup>a</sup>Mass of catalyst 0.3 g.

また、開発した Pt/V/HAP 触媒は、温和な反応条件下において種々の脂肪族アミドを水素化し、水以外を副生することなく対応するアミンを高収率で与えることができる (Table 2, entry 1 から 14)。芳香族アミドの還元反応では、既報の固体触媒を用いると高温・高水素圧を必要とするため、カルボニル基の還元と同時に芳香環が必ず水素化されてしまうという問題点があった。一方、Pt/V/HAP では、芳香環を水素化せず、種々の芳香族アミドを対応する芳香族アミンへと高選択的に変換できる (Table 2, entry 15 から 21)。さらに、アダマンチル基 (Table 2, entry 10) やハロゲン基 (Table 2, entry 16) などの官能基を有するアミドでは、 $H_2$  30 bar, 70 °C の反応条件下においてもアダマンチル基の切断や脱ハロゲン化反応が進行するが、室温または常圧水素下で反応を行うとこれらの官能基を保持したまま対応するアミンを高選択的に得ることができる。本触媒は、芳香環、ハロゲン基を保持したままアミドを選択的に還元できる初めての固体触媒である。

このように温和な条件におけるアミド還元触媒の開発は、安全かつ省エネのアミン合成プロセスの開発に貢献するだけでなく、他の還元性官能基が存在する中でアミドのみを還元する化学選択的アミド還元法の開発に繋がる。

また、Pt/V/HAP 触媒は固体であるため、反応後の触媒はろ過により容易に反応液から分離でき、再び反応に用いても高い活性が維持される (Fig. 5)。反応後の触媒を TEM により観察したところ、ナノ粒子の凝集は観られず平均粒子径もほとんど変化しないことから、本触媒は温和な条件下で反応を促進させることができるため、触媒劣化を抑制することができたと考えられる。

**Fig. 5** Recycling experiments using Pt/V/HAP

**Table 2** Substrate-scope of Pt/V/HAP
$$\text{R}^3\text{-N(R}^1\text{)(R}^2\text{)-C(=O)-R} + 2\text{H}_2 \xrightarrow[\text{DME, MS 4\AA}]{\text{Pt/V/HAP}} \text{R}^3\text{-N(R}^1\text{)(R}^2\text{)-R} + \text{H}_2\text{O}$$

Entry	Substrate	Product	Time, h	Conv., %	Sel., %
1			8	99	>99
2 <sup>a</sup>			18	99	98
3 <sup>a</sup>			36	92	97
4 <sup>a</sup>			18	96	96
5 <sup>a</sup>			48	92	96
6 <sup>a</sup>			18	99	>99
7 <sup>a</sup>			36	86	96
8 <sup>a</sup>			18	94	96
9			48	97	>99
10 <sup>b</sup>			48	99	97
11			48	85	>99
12 <sup>a</sup>			24	92	99
13 <sup>a</sup>			24	90	>99
14 <sup>a</sup>			24	81	>99
15			8	99	98
16 <sup>c</sup>			8	96	>99
17			24	90	99
18			24	97	97
19 <sup>a</sup>			48	83	93
20 <sup>a</sup>			48	92	97
21			24	98	96

Reaction conditions: Pt/V/HAP 0.1 g (Pt: 6 mol% and V: 7 mol%), substrate (0.5 mmol), DME (5 mL), MS 4Å (0.1 g) in H<sub>2</sub> (30 bar) at 70 °C. Conversion and selectivity were determined by GC using an internal standard technique. <sup>a</sup>Mass of Pt/V/HAP 0.3 g. <sup>b</sup>In H<sub>2</sub> (1 bar) at 100 °C. <sup>c</sup>At r.t.

著者名 : Takato Mitsudome, Kazuya Miyagawa, Zen Maeno, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, Jun Yamasaki, Yasutaka Kitagawa, Kiyotomi Kaneda

タイトル : “Mild Hydrogenation of Amides to Amines over Platinum-Vanadium Bimetallic Catalyst”

論文誌 : Angewandte Chemie International Edition

発行年 : 2017

巻 : 56

頁 : 9381-9385

## 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 8件）

1. 著者名 Maeno Zen, Yamamoto Masanobu, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro	4. 巻 8
2. 論文標題 Oxidative cross-coupling reaction of catechols with active methylene compounds in an aqueous medium using an AIP04-supported Ru catalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 5401 ~ 5405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1039/c8cy01425f	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 Hirano Masafumi, Sano Kosuke, Kanazawa Yuki, Komine Nobuyuki, Maeno Zen, Mitsudome Takato, Takaya Hikaru	4. 巻 8
2. 論文標題 Mechanistic Insights on Pd/Cu-Catalyzed Dehydrogenative Coupling of Dimethyl Phthalate	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 5827 ~ 5841
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1021/acscatal.8b01095	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 Maeno Zen, Midogochi Kaoru, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro	4. 巻 59
2. 論文標題 Synthesis of glycol diesters through the depolymerization of polyethylene glycols with carboxylic acids using a proton-exchanged montmorillonite catalyst	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Tetrahedron Letters	6. 最初と最後の頁 832 ~ 835
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1016/j.tetlet.2018.01.056	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 Mitsudome Takato, Urayama Teppei, Fujita Shu, Maeno Zen, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro, Kaneda Kiyotomi	4. 巻 9
2. 論文標題 A Titanium Dioxide Supported Gold Nanoparticle Catalyst for the Selective N-Formylation of Functionalized Amines with Carbon Dioxide and Hydrogen	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 3632 ~ 3636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/cctc.201700726	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 Mitsudome Takato, Miyagawa Kazuya, Maeno Zen, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro, Yamasaki Jun, Kitagawa Yasutaka, Kaneda Kiyotomi	4. 巻 56
2. 論文標題 Mild Hydrogenation of Amides to Amines over a Platinum-Vanadium Bimetallic Catalyst	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9381 ~ 9385
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1002/anie.201704199	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 Maeno Zen, Yamada Shota, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Effective management of polyethers through depolymerization to symmetric and unsymmetric glycol diesters using a proton-exchanged montmorillonite catalyst	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Green Chemistry	6. 最初と最後の頁 2612 ~ 2619
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1039/C7GC00817A	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 Maeno Zen, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro	4. 巻 7
2. 論文標題 A dual-functional heterogeneous ruthenium catalyst for the green one-pot synthesis of biphenols	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 3205 ~ 3209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1039/C7CY00919D	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 Mizugaki Tomoo, Togo Keito, Maeno Zen, Mitsudome Takato, Jitsukawa Koichiro, Kaneda Kiyotomi	4. 巻 7
2. 論文標題 New Routes for Refinery of Biogenic Platform Chemicals Catalyzed by Cerium Oxide-supported Ruthenium Nanoparticles in Water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 14007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1038/s41598-017-14373-1	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46件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 藤田 周
2. 発表標題 CO <sub>2</sub> を炭素源としたアミン類の選択的ホルミル化反応を促進する酸化チタン担持金ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第 7 回 JACI/GSC シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shu FUJITA, Takato MITSUDOME, Zen MAENO, Tomoo MIZUGAKI, Koichiro JITSUKAWA, Kiyotomi KANEDA
2. 発表標題 Development of a Titanium Dioxide-Supported Gold Nanoparticle Catalyst for the Selective N-Formylation of Functionalized Amines Using Carbon Dioxide
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 Takato MITSUDOME, Kazuhiro TAKAHASHI, Zen MAENO, Tomoo MIZUGAKI, Koichiro JITSUKAWA
2. 発表標題 Development of Vanadium-decorated Platinum Nanoparticle Catalyst for Green Sustainable Hydrogenation of Amides to Amines
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 盛敏・藤田周・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 アルケンの選択的ヒドロシリル化反応を促進する酸化チタン担持コバルト酸化物ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 新田晃大・近藤大貴・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 Pt-Mo系触媒を用いたカルボン酸からアルコールへの選択的水素化反応
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田周・盛敏・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 ホスフィンオキシドの脱酸素反応を促進する酸化チタン担持金ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村未歩・高橋一広・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 温和な条件下でアミドをアミンへと還元するPt-Vバイメタル触媒 VによるPt表面被服効果
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuhiro Takahashi, Miho Kimura, Takato Mitsudome, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa
2. 発表標題 Development of the highly efficient bimetallic nanoparticle catalyst for mild hydrogenation of amides to amines.
3. 学会等名 OKCAT2018(Osaka-Kansai International Symposium on Catalysis)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Kondo, Takato Mitsudome, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa
2. 発表標題 Selective carbon-carbon bond cleavage of primary alcohols using Pd/CeO <sub>2</sub> Catalyst
3. 学会等名 OKCAT2018(Osaka-Kansai International Symposium on Catalysis) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水垣共雄、近藤大貴、上杉晃平、満留敬人、實川浩一郎
2. 発表標題 Pd触媒の特性を利用した1級アルコールの酸化的脱ヒドロキシメチル化反応
3. 学会等名 第51回酸化反応討論会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 ハイブリッド金属ナノ粒子触媒による環境調和型分子変換とCO <sub>2</sub> の有効利用
3. 学会等名 石油化学部会シンポジウム CCUS - エネルギーと化学におけるCO <sub>2</sub> 回収固定・利用 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takato Mitsudome
2. 発表標題 Mild Hydrogenation of Amides to Amines Over Pt-V bimetal Catalyst
3. 学会等名 C&FC2018 ファインケミカルズ合成触媒国際会議2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田 周
2. 発表標題 Highly selective N-formylation of amines using CO <sub>2</sub> as a carbonyl source over titania supported gold nanoparticle catalyst
3. 学会等名 C&FC2018 ファインケミカルズ合成触媒国際会議2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 盛 敏
2. 発表標題 Hydrosilylation of Alkenes by Titanium Dioxide-supported Cobalt Oxide Catalyst
3. 学会等名 C&FC2018 ファインケミカルズ合成触媒国際会議2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 Hybrid Metal Nanoparticles for Green Sustainable Hydrogenation of Amides
3. 学会等名 RSC Symposium: Frontiers of Catalysis and Photocatalysis for Energy Chemistry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 近藤 大貴・満留 敬人・水垣 共雄・實川 浩一郎
2. 発表標題 酸化セリウム担持パラジウム触媒による一級アルコールの選択的C-C結合切断反応
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会 (2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 一広・木村 未歩・満留 敬人・水垣 共雄・實川 浩一郎
2. 発表標題 温和な反応条件下において効率的にアミドをアミンへと変換するRh-Moバイメタル触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 盛 敏・藤田 周・満留 敬人・水垣 共雄・實川 浩一郎
2. 発表標題 アルケンの選択的ヒドロシリル化反応を促進する酸化チタン担持コバルト酸化物ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会(2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新田晃大・近藤大貴・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎
2. 発表標題 Pt-Mo系触媒を用いたエステル共存下でのカルボン酸の選択的還元反応
3. 学会等名 第123回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 水垣共雄・近藤大貴・新田晃大・満留敬人・實川浩一郎
2. 発表標題 Pd/CeO <sub>2</sub> 触媒を用いた水素フリーの1級アルコールの位置選択的炭素-炭素結合切断反応
3. 学会等名 第123回触媒討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 前野禪・山本昌信・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎
2. 発表標題 固定化ルテニウム触媒を用いたカテコール類と活性メチレン化合物の酸化的クロスカップリング反応
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水垣共雄・上杉晃平・新田晃大・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 酸化セリウム固定化ルテニウムナノ粒子触媒による含酸素化合物の位置選択的炭素-炭素結合切断反応
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留敬人・高橋 一広・前野禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 温和な条件下でアミドの還元反応を促進するPt-Vバイメタルナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第121回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上杉 晃平・水垣 共雄・前野 禪・満留 敬人・實川 浩一郎・金田 清臣
2. 発表標題 Pd担持CeO <sub>2</sub> 触媒を用いた一級アルコール類の位置選択的炭素-炭素結合切断反応
3. 学会等名 98回春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田 周・満留 敬人・前野 禅・水垣 共雄・實川 浩一郎・金田 清臣
2. 発表標題 酸化チタン担持金ナノ粒子触媒によるCO <sub>2</sub> をカルボニル源としたアミン類の選択的ホルミル化反応
3. 学会等名 98回春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 昌信・前野 禅・満留 敬人・水垣 共雄・實川 浩一郎
2. 発表標題 固定化金属触媒を用いたカテコール類と活性メチレン化合物の酸化的クロスカップリング反応
3. 学会等名 98回春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 MAENO Zen, MITSUDOME Takato, MIZUGAKI Tomoo, JITSUKAWA Koichiro
2. 発表標題 Valorization of Polyether Wastes through Efficient Depolymerization Using Layered Solid Acid Catalysts
3. 学会等名 98回春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留 敬人・高橋 一広・前野 禅・水垣 共雄・實川 浩一郎・金田 清臣
2. 発表標題 温和な条件でアミドの還元を促進するハイブリッド金属ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 98回春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水垣 共雄・上杉 晃平・新田 晃大・前野 禪・満留 敬人・實川 浩一郎・金田 清臣
2. 発表標題 ルテニウム担持酸化セリウム触媒を用いたバイオマス由来含酸素化合物の位置選択的炭素-炭素結合切断反応
3. 学会等名 98回春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留敬人・高橋 一広・前野禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 温和な条件下でアミドを還元するバイメタルナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 水垣共雄・上杉 晃平・新田晃大・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 ルテニウム担持酸化セリウム触媒を用いたバイオマス由来含酸素化合物の選択的炭素-炭素結合切断反応系の開発
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 Development of Gold Nanoparticle Catalyst for Safe, Clean and On-demand Hydrogen Production from Organosilane Wastes
3. 学会等名 3D活性サイト科学 第7回成果発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 Sustainable Amine Production through Hydrogenation of Amides under Mild Conditions
3. 学会等名 6th Shimadzu International Collaborative Laboratory Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 ナノ粒子担持触媒の構造と触媒活性・選択性
3. 学会等名 岡山大学 ナノ材料シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前野禪, 山本 昌信, 満留敬人, 水垣共雄, 實川浩一郎
2. 発表標題 カテコール類と活性メチレン化合物の酸化的カップリング反応を促進する固定化金属触媒の開発
3. 学会等名 第50回酸化反応討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mitsudome, Z. Maeno, T. Mizugaki, K. Jitsukawa and K. Kaneda
2. 発表標題 Vanadium-decorated Platinum Nanoparticle Catalyst for Green Sustainable Hydrogenation of Amides to Amines
3. 学会等名 国際シンポジウム “Future Earth” エネルギー課題に資する新奇的ナノ物質・触媒・表面 (国際学会)
4. 発表年 2017年



1. 発表者名 Kohei Uesugi, Tomoo Mizugaki, Zen Maeno, Takato Mitsudome, Koichiro Jitsukawa, Kiyotomi Kaneda
2. 発表標題 Selective C-C bond cleavage of glycerol derivative using Pd/CeO <sub>2</sub> catalyst
3. 学会等名 第2回キャタリストクラブ例会・第10回触媒表面化学研究発表会・OKCAT2018
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shu Fujita, Takato Mitsudome, Zen Maeno, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, Kiyotomi Kaneda
2. 発表標題 Highly selective N-formylation of amines using CO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> catalyzed by TiO <sub>2</sub> -supported gold nanoparticles
3. 学会等名 第2回キャタリストクラブ例会・第10回触媒表面化学研究発表会・OKCAT2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 前野禪・山本昌信・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎
2. 発表標題 カテコール類と活性メチレン化合物の脱水素クロスカップリング反応を促進する固定化金属触媒の開発
3. 学会等名 第119回触媒討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 水垣共雄・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 酸化セリウム固定化ルテニウム触媒を用いた還元的炭素-炭素結合切断反応
3. 学会等名 第119回触媒討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田周・満留敬人・前野禅・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 CO <sub>2</sub> をカルボニル源としたアミンの選択的ホルミル化反応を促進する酸化チタン担持金ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第119回触媒討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 満留敬人・水垣共雄・新田晃大・前野禅・實川浩一郎・金田清臣
2. 発表標題 ハイドロキシアパタイト固定化白金-モリブデン触媒によるカルボン酸の高選択的水素化反応
3. 学会等名 第119回触媒討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 實川浩一郎・前野禅・山田翔太・御堂河内薫・満留敬人・水垣共雄
2. 発表標題 層状固体酸触媒によるカルボン酸誘導体を用いたポリエーテルの解重合反応
3. 学会等名 第119回触媒討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金田清臣, 水垣共雄, 前野禅, 満留敬人, 實川浩一郎, 小野圭輔, 梶川泰照 and 平井雄一郎
2. 発表標題 バイオマス由来有機酸の高度利用を指向したハイドロキシアパタイト固定化Pt-MoO <sub>x</sub> 触媒のXAFS解析
3. 学会等名 第14回SPring-8 産業利用報告会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 高選択的分子変換を可能とする高活性複合金属ナノ粒子触媒の設計と開発
3. 学会等名 第401回触媒科学研究所コロキウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 満留敬人
2. 発表標題 Development of Gold Nanoparticle Catalyst for Safe, Clean and On-demand Hydrogen Production from Organosilane Wastes
3. 学会等名 Shimadzu Global Innovation Summit 2017
4. 発表年 2017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