

平成 30 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2017

課題番号：16K14479

研究課題名(和文) 脱ヒドロキシメチル化減炭反応を促進する貴金属ナノ粒子-金属酸化物複合体触媒の開発

研究課題名(英文) Development of noble metal nanoparticle-metal oxide catalyst promoting dehydroxymethylation

研究代表者

實川 浩一郎 (Jitsukawa, Koichiro)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：50235793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：カーボンニュートラルのシステムを構築するためには、再生可能なバイオマス資源を有効利用するプロセスへのシフトが求められる。本研究では、バイオマス資源を石油化学代替ルートに適用できる化合物に誘導する、水中での固体触媒反応の開発を目指した。各種のアルコール類の末端ヒドロキシメチル基を脱離させて、1炭素減炭した化合物を得る反応を促進する新規な触媒を研究した結果、本研究で開発したRu/CeO₂触媒は、目的とした末端水酸基だけでなく、カルボン酸・エステル・ラクトンなどの含酸素化合物にも適用でき、1炭素減炭した化合物に収率よく変換することが可能であった。

研究成果の概要(英文)：For a sustainable society, we need to build a carbon-neutral system and a shift from the current fossil resource-based compounds to the renewable biomass resources, effectively. In this research, we have developed the reaction that induces polyols obtained from biomass resources to the same compounds applicable to petrochemical alternative routes. We found that novel catalyst promoted the transformation of terminal hydroxymethyl group of various alcohols to the one-carbon reduced compounds. These results were published in the top journal, Scientific Reports. In particular, this paper has been chosen as the top 100 among this journal, which shows the magnitude of the impact of this research of worldwide. Moreover, the Ru/CeO₂ catalyst developed in this research can convert not only the terminal hydroxyl group but also the oxygen-containing compounds, such as carboxylic acids, esters, and lactones, into one carbon reduced compounds in high yield.

研究分野：触媒化学

キーワード：触媒反応 複合系触媒 減炭反応 ナノ粒子 バイオマス

1. 研究開始当初の背景

(1) 持続可能な社会の構築に向けて、有限な化石資源を原料とする現在の化学工業は、再生可能資源を有効利用するプロセスへの変換が求められている。化石資源由来のナフサなどの石油化学系炭化水素とくらべて、一般に植物由来の各種の非可食性バイオマス原料は酸素官能基を含むものが多く、石油化学を代替する化成品に誘導するためには、これらのバイオマス原料から酸素を効率的に除去する方法を開発する必要がある。

(2) 我々の研究グループは、固体触媒を用いた各種の有機化合物における官能基変換反応を研究して来た。触媒の活性および選択性を向上させる方法として、活性中心となる金属種のナノ粒子化や、金属と単体との相互作用に基づく協奏機能の発現が重要であることを明らかにして来た。そのような知見を基に、バイオマス化合物から石油化学資源代替となる化成品の合成を可能にする触媒系の開発に取り組んだ。また、持続可能な社会の構築を目指したバイオマスの有効利用は、その背景に環境に優しい反応プロセスであることが求められるので、最も環境に優しい溶媒である水中での反応として目指すことにした。

2. 研究の目的

(1) 本研究ではバイオマス化合物由来の高度に酸化された有機化合物からの酸素を取り除く反応を促進させることを目指して、その方法論の開発を行った。従来型の水素化分解による脱水酸基反応では基質の炭素数が変化しないが、本研究では水酸基の除去を脱ヒドロキシメチル基として、炭素数を1つ減じた変換反応の開発を目的とした。すなわち、一般にバイオマス化合物はグリセリンを除いて偶数個の炭素から構成される化合物が多い。これは生体内での炭素-炭素結合生成がアセチル CoAによって促進されるためである。ところが、石油化学プロセスでは炭素原料は偶数個とは限らず、奇数個炭素よりなる化成品が必要とされる場合もある。そこで本研究では従来なかった萌芽的なテーマとして、化成品合成への展開も考え、炭素数の調整も可能となる、水酸基と同時に炭素1個も取り除く脱ヒドロキシメチル化を目指した。

(2) 具体的な触媒開発の方針として、末端水酸基（1級アルコール）を有するバイオマス化合物を官能基変換のターゲットにして、水素活性化能力を有する貴金属と、酸素官能基活性化能力を期待する遷移金属酸化物を複合化させた触媒を調製し、1炭素減じた脱ヒドロキシメチル化を行うことにした。さらに酸素官能基としては1級アルコールの他に、還元によって1級アルコールに誘導化できるカルボン酸やエステルも基質に適用できると考えられ、そのような各種の含酸素化合物からアルカンに誘導できる触媒反応の開発を目指した。

3. 研究の方法

(1) 新規触媒の設計指針として、(i)還元剤として汎用される分子状水素を用いるので水素活性化能力を有する貴金属と、(ii)脱酸素を行うので酸素官能基に対して親和性の高いハードな遷移金属の酸化物を、(iii)複合化させた固体触媒を調製し、(iv)両者が協奏的に作用して多段階の素反応を効率的に進行させることを中心にして研究を展開した。その方法論は以下に示す作業仮説に従った。

(2) 触媒の活性中心として用いる貴金属は水素雰囲気下で還元されてナノ粒子化し、担体として用いる金属酸化物の表面で複合体を形成している。この貴金属ナノ粒子の表面で解離した水素は、金属酸化物（具体的にはTi, Zr, Mo, Vなどの前周期遷移金属の酸化物）の格子酸素を還元して表面構造欠陥を生じ、その欠陥空隙に1級アルコールの末端水酸基が捕捉されて金属アルコキシドが生成する。この場合、アルコキシドの酸素が結合するのは貴金属か前周期遷移金属かは不明である。次にアルコキシドのβヒドリド脱離が生じて、基質の末端がホルミル化され、またβヒドリド脱離によって生成する水素種は貴金属に結合すると考えられる。最終段階として、貴金属によって脱カルボニル化が起こり、同時に貴金属によって活性化された水素が末端炭素を攻撃して炭素数が1個減じた化合物が得られる。このような多段の反応を一つの複合系固体触媒で進行させることを目指した。

(3) 以上の設計指針に基づき、Pt, Pd, Ru等の貴金属とハイドロキシアパタイトやセリアのような酸化物担体を複合化させた触媒を調製し、1級水酸基を有する各種のジオール類やレブリン酸などのバイオマス化合物の他、各種のエステルやラクトンまでの酸素官能基を有する基質の脱酸素と脱炭素を同時におこす脱ヒドロキシメチル化反応を行なった(図1)。

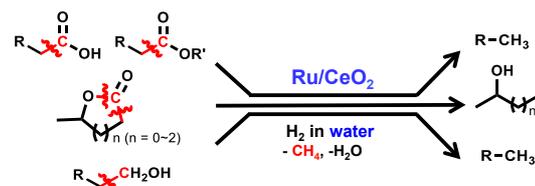


図1.脱ヒドロキシメチル化反応

4. 研究成果

(1) 貴金属と各種遷移金属酸化物を複合化させた固体触媒を合成し、1級水酸基と2級水酸基の共存する1,4-ペンタンジオールを基質として、水溶媒中水素雰囲気下で触媒活性を検討した。表1に示すようにRu/CeO₂が2級水酸基を保持したまま活性選択性とも最も高く目的の反応を進行させ、他の貴金属ではほとんど活性を示さなかった。この結果より当初の設計指針が正しいことが判明したので、この触媒の特性を明らかにするため、各種分光スペクトルを測定し、触媒のキャラクタリゼーションを行なった。

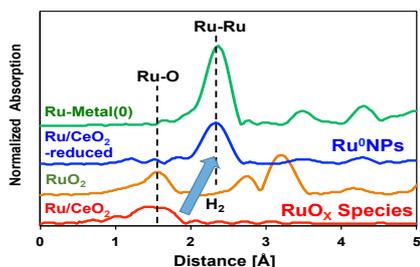


図2. Ru K-edge EXAFS

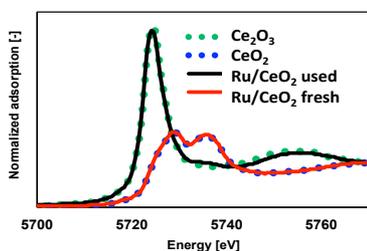


図3. Ce L3-edge XANES

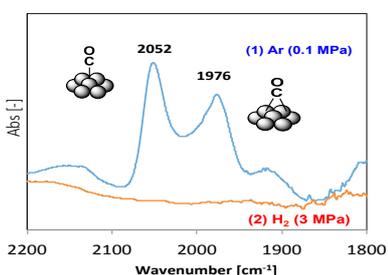
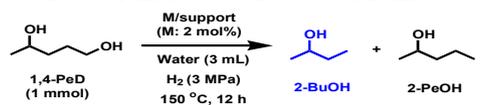


図4. 表面吸着CO種

(2) 水溶液中水素雰囲気中で Ru/CeO₂ の Ru 種はナノ粒子(NP)化しており、また CeO₂ も還元されて Ce(OH)₃ 種と推定できる構造となっていた (図 2、図 3)。脱ヒドロキシメチル化は末端ホルミル基の脱カルボニル反応によって起こり、一旦生成したカルボニル(CO)は触媒表面での吸着種として検出できた (図 4)。この種は水素により容易にメタンに転化した。すなわち、反応中間体として生成するルテニウムカルボニル種が水素化されてメタンとなり、これは容易に触媒活性種から脱離するので反応が効率よく進行したものと考えられる。通常、カルボニル種は金属に強く結合するため触媒としてターンオーバーしにくい。しかし本研究ではナノ粒子を用いているので、CO を吸着している Ru 種と水素を活性化している Ru 種がナノ粒子上に隣接して存在し、カルボニルの水素化によるメタン生成が進行するために、このような高い触媒活性が発現したと考えている。また、Ru/CeO₂ は固体触媒であるので、反応系からの分離回収が容易であり、繰り返し使用しても触媒活性が低下することはなかった。

(3) 以上の結果を受けて Ru/CeO₂ 触媒を用い、水中で各種のポリオール類の反応性を検討した (表 2)。全て末端の 1 級アルコールの結合した炭素が脱離して脱ヒドロキシメチル化した化合物が選択的に得られており、2 級および 3 級水酸基は全て反応に関与しなかった。次にエステル類およびラクトン類の反応性を検討したところ、いずれの反応においても相当する化合物が得られた (表 3)。

表 1. 各種複合系触媒の反応性



| Entry | Catalyst | Conv. [%] | Yield [%] | |
|-------|-----------------------------------|-----------|-----------|--------|
| | | | 2-BuOH | 2-PeOH |
| 1 | Ru/CeO ₂ | >99 | 97 | 3 |
| 2 | Ru/ZrO ₂ | 95 | 74 | 11 |
| 3 | Ru/TiO ₂ | 41 | 32 | 8 |
| 4 | Ru//HT | 40 | 38 | 2 |
| 5 | Ru/SiO ₂ | 28 | 24 | 4 |
| 6 | Ru/MgO | 20 | 20 | tr |
| 7 | Ru/Al ₂ O ₃ | <1 | tr | 0 |
| 8 | Rh/CeO ₂ | 7 | 3 | 0 |
| 9 | Pt/CeO ₂ | 5 | 0 | 0 |
| 10 | Ir/CeO ₂ | 3 | 0 | 0 |
| 11 | Pd/CeO ₂ | 2 | 0 | 0 |

表 2. ポリオール類の反応

| Entry | Substrate | Product | Temp [K] | Time [h] | Yield [%] |
|-------|------------------------------|------------------------------|----------|----------|-----------|
| 1 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 433 | 12 | 72 |
| 2 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 433 | 12 | 72 |
| 3 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 423 | 12 | 97 |
| 4 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 433 | 12 | 92 |
| 5 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 423 | 12 | 92 |
| 6 | <chem>C1=CC=C(C=C1)CO</chem> | <chem>C1=CC=C(C=C1)CO</chem> | 433 | 60 | 92 |
| 7 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 433 | 9 | 93 |
| 8 | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | <chem>CC(O)CC(O)CO</chem> | 433 | 12 | 82 |

またケトエステルではケト基が還元されて 2 級アルコールとなるが、ジオールの場合と同様に 2 級水酸基は反応しなかった。ラクトン類も対応するヒドロキシカルボン酸からの生成物として反応が進行した。さらにカルボン酸を基質として反応の結果を表 4 に示す。この場合もカルボン酸が一旦カルボニル化された後、脱カルボニル反応によって 1 炭素減炭した化合物が生成した。4-オキソブタン酸 (レブリン酸) もバイオマス化合物から誘導される中間体として重要であり、化成品として有用な 2-ブタノールに効率よく変換することができた。

(4) 一般に固体触媒は活性が低いために反応に高温を必要とし、ファインケミストリーにおける官能基変換反応には用いるのが困難であった。これに対して我々の研究グループは、金属をナノ粒子化することによって固体触媒を活性化し、さらに担体と複合化させることによって協奏的な機能を発揮させる方法で効率な触媒を開発してきた。本研究で開発した Ru/CeO₂ 触媒もそのコンセプトに従って開発した複合系固体触媒である。特に水中で活性を発現する触媒は、環境調和型のバイオマス変換反応において、重要な存在になると考えている。今後もこの指針に基づき触媒を設計して、液相での環境調和型の官能基変換反応に高活性高選択性を示す反応を開発できると考えている。

表3. エステル類の反応

| Entry | Substrate | Product | Temp [K] | Time [h] | Yield [%] |
|-------|-----------|---------|----------|----------|-----------|
| 1 | | | 423 | 12 | 82 |
| 2 | | | 433 | 12 | 82 |
| 3 | | | 433 | 9 | 82 |
| 4 | | | 453 | 48 | 96 |
| 5 | | | 433 | 24 | 68 |
| 6 | | | 433 | 12 | 86 |
| 7 | | | 423 | 12 | 83 |
| 8 | | | 433 | 18 | 80 |

表4. カルボン酸類の反応

| Entry | Substrate | Product | Temp [K] | Time [h] | Yield [%] |
|-------|-----------|---------|----------|----------|-----------|
| 1 | | | 423 | 12 | 85 |
| 2 | | | 433 | 9 | 81 |
| 3 | | | 453 | 48 | 97 |
| 4 | | | 453 | 48 | 87 |
| 5 | | | 433 | 12 | 75 |
| 6 | | | 433 | 24 | 76 |

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① Maeno Zen, Midogochi Kaoru, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro, Synthesis of glycol diesters through the depolymerization of polyethylene glycols with carboxylic acids using a proton-exchanged montmorillonite catalyst, Tetrahedron Letters, 査読有、59巻、2018、832-835、<https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2018.01.056>
- ② Mizugaki Tomoo, Togo Keito, Maeno Zen, Mitsudome Takato, Jitsukawa Koichiro, Kaneda Kiyotomi, New Routes for Refinery of Biogenic Platform Chemicals Catalyzed by Cerium Oxide-supported Ruthenium Nanoparticles in Water, Scientific Reports, 査読有、7巻、2017、14007、[doi:10.1038/s41598-017-14373-1](https://doi.org/10.1038/s41598-017-14373-1)
- ③ Mitsudome Takato, Urayama Teppei, Fujita Shu, Maeno Zen, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro, Kaneda Kiyotomi, A Titanium Dioxide Supported Gold Nanoparticle Catalyst for the Selective N-Formylation of Functionalized Amines with Carbon Dioxide and Hydrogen, ChemCatChem, 査読有、9巻、2017、3632-3636、DOI: 10.1002/cctc.201700726
- ④ Mitsudome Takato, Miyagawa Kazuya,

Maeno Zen, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro, Yamasaki Jun, Kitagawa Yasutaka, Kaneda Kiyotomi, Mild Hydrogenation of Amides to Amines over a Platinum-Vanadium Bimetallic Catalyst, Angew. Chem. Int. Ed., 査読有、56巻、2017、9381-9385、DOI: 10.1002/anie.201704199

- ⑤ Z. Maeno, S. Yamada, T. Mitsudome, T. Mizugaki, K. Jitsukawa, Effective Management of Polyethers through Depolymerization to Symmetric and Unsymmetric Glycol Diesters Using Proton-exchanged Montmorillonite Catalyst, Green Chemistry, 査読有、19巻、2017、2612-2619、DOI: 10.1039/C7GC00817A
 - ⑥ Z. Maeno, T. Mitsudome, T. Mizugaki, K. Jitsukawa, A Dual-functional Heterogeneous Ruthenium Catalyst for the Green One-pot Synthesis of Biphenols, Catalysis Science & Technology, 査読有、7巻、2017、3205-3209、DOI: 10.1039/C7CY00919D
 - ⑦ Z. Maeno, H. Torii, S. Yamada, T. Mitsudome, T. Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, Synthesis of Tetraline Derivatives through Depolymerization of Polyethers with Aromatic Compounds Using Heterogeneous Titanium-Exchanged Montmorillonite Catalyst, RSC Advances, 査読有、6巻、2016、89231-89233、10.1039/c6ra20864a
 - ⑧ T. Urayama, T. Mitsudome, Z. Maeno, T. Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, K. Kaneda, Green, Multi-Gram One-Step Synthesis of Core-Shell Nanocomposites in Water and Their Catalytic Application to Chemoselective Hydrogenations, Chemistry A European Journal, 査読有、22巻、2016、17962-17966、10.1002/chem.201604763
 - ⑨ T. Mitsudome, T. Urayama, T. Kiyohiro, Z. Maeno, T. Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, K. Kaneda, On-demand Hydrogen Production from Organosilanes at Ambient Temperature Using Heterogeneous Gold Catalysts, Scientific Reports, 査読有、6巻、2016、37682、10.1038/srep37682
- [学会発表] (計 54 件)
- ① 水垣共雄・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、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、第121回触媒討論会、2018
 - ② 前野禪・山本昌信・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎、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

- レン化合物の酸化クロスカップリング反応、第 121 回触媒討論会、2018
- ③ 満留敬人・高橋一広・前野禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、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、第 121 回触媒討論会、2018
- ④ 上杉晃大・水垣共雄・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、Pd 担持 CeO₂ 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、日本化学会第 98 春季年会、2018
- ⑤ 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、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、日本化学会第 98 春季年会、2018
- ⑥ 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、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、化学工学会第 83 年会、2018
- ⑦ 水垣共雄・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、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、第 120 回触媒討論会、2017
- ⑧ 前野禪・山田翔太・御堂河内薫・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎、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、第 120 回触媒討論会、2017
- ⑨ 前野禪・山本昌信・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、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、第 120 回触媒討論会、2017
- ⑩ 水垣共雄・新田晃大・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、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、第 120 回触媒討論会、2017
- ⑪ 藤田周・前野禪・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、CO₂ 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、第 120 回触媒討論会、2017
- ⑫ 山本昌信・前野禪・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎、Development of Supported Ruthenium Catalysts for Dehydrogenative Cross Coupling Reaction of Catechols and Active Methylene Compounds、第 8 回触媒科学研究発表会、2017
- ⑬ 新田晃大・前野禪・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、Selective hydrogenation of biogenic carboxylic acids to alcohols by Pt-Mo/HAP catalyst、第 8 回触媒科学研究発表会、2017
- ⑭ T. Mizugaki・K. Nitta・K. Uesugi・Z. Maeno・T. Mitsudome・K. Jitsukawa・K. Kaneda, Valorization of Biogenic Carboxylic Acids Using High Performance Heterogeneous Pt-Mo Catalysts、Catbior 2017 (4th International Congress on Catalysis for Biorefineries、2017
- ⑮ T. Mizugaki・K. Uesugi・K. Nitta・Z. Maeno・T. Mitsudome・K. Jitsukawa・K. Kaneda, Selective C-C Bond Scission of Biomass Derived Oxygenates Using Cerium Oxide Supported Ruthenium Catalyst、Catbior 2017 (4th International Congress on Catalysis for Biorefineries、2017
- ⑯ T. Mizugaki・K. Uesugi・K. Nitta・Z. Maeno・T. Mitsudome・K. Jitsukawa・K. Kaneda, Development of High Performance Heterogeneous Catalysts for Valorization of Biogenic Chemicals、AIChE Annual Meeting、2017
- ⑰ T. Mizugaki・K. Uesugi・K. Nitta・Z. Maeno・T. Mitsudome・K. Jitsukawa・K. Kaneda、Vanadium-decorated Platinum Nanoparticle Catalyst for Green Sustainable Hydrogenation of Amides to Amines、AIChE Annual Meeting、2017
- ⑱ T. Mitsudome・Z. Maeno・T. Mizugaki・K. Jitsukawa・K. Kaneda、Vanadium-decorated Platinum Nanoparticle Catalyst for Green Sustainable Hydrogenation of Amides to Amines、International Symposium on Novel Energy Nanomaterials・Catalysts and Surfaces for Future Earth、2017
- ⑲ T. Mizugaki・K. Uesugi・K. Nitta・Z. Maeno・T. Mitsudome・K. Jitsukawa・K. Kaneda, Development of High Performance Heterogeneous Catalysts for Selective C-C Bond Scission of Biogenic Oxygenates、International Symposium on Novel Energy Nanomaterials・Catalysts and Surfaces for Future Earth、2017
- ⑳ 上杉晃平・水垣共雄・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、Selective C-C bond cleavage of glycerol derivative using Pd/CeO₂ catalyst、第 10 回触媒表面化学研究発表会 OKCAT2017、2017
- 21 藤田周・満留敬人・前野禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、Highly

- selective N-formylation of amines using CO₂ and H₂ catalyzed by TiO₂-supported gold nanoparticles、10 回触媒表面化学研究発表会 OKCAT2017、2017
- 22 満留敬人・浦山鉄平・前野 禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、金ナノ粒子によるヒドロシランの高効率酸化と水素生成反応への応用、第 119 回触媒討論会、2017
- 23 水垣共雄・東郷溪都・前野 禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、ルテニウム担持酸化セリウム触媒を用いたレブリン酸から2-ブタノールへの高選択的な還元的脱炭酸反応、第119回触媒討論会、2017
- 24 前野 禪・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎、Development of Supported Ruthenium Catalysts for Green One-pot Transformation of Phenol Derivatives to Biphenols、97回春季年会、2017
- 25 満留敬人・浦山鉄平・前野 禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、コア-シェル型金属ナノ粒子の環境調和型一段階合成法の開発とその化学選択的還元反応における触媒作用、97回春季年会、2017
- 26 水垣共雄・東郷溪都・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、ルテニウム担持酸化セリウム触媒を用いた水素を還元剤とするレブリン酸の脱炭酸反応、97回春季年会、2017
- 27 新田晃大・東郷溪都・水垣共雄・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、ハイドロキシアパタイト固定化Pt-Mo触媒を用いたバイオマス由来カルボン酸からアルコールへの選択的水素化反応、97回春季年会、2017
- 28 實川浩一郎、酸素分子の関与するユニークな酸化反応系の開発、第49回酸化反応討論会、2016
- 29 Zen Maeno, Syota Yamada, Takato Mitsudome, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, Efficient depolymerization of polyethers with carboxylic acid derivatives to various esters using proton-exchanged montmorillonite catalyst, International Symposium in Catalysis and Fine Chemicals 2016 (C&FC 2016)、2016
- 30 Tomoo Mizugaki, Zen Maeno, Takato Mitsudome, Koichiro Jitsukawa, Kiyotomi Kaneda, Selective Transformations of Levulinic Acid to Valuable Chemicals using Heterogeneous Metal Catalysts, International Symposium in Catalysis and Fine Chemicals 2016 (C&FC 2016)、2016
- 31 森田崇聖・前野禪・満留敬人・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、カチオン交換型モンモリロナイト触媒を用いたエステル交換によるグリセロールの位置選択的アシル化反応、第2回キャタリストクラブ例会、2016
- 32 満留敬人・前野禪・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、アルキンの高選択的部分水素化反応を促進するコア-シェル型セリア内包金ナノ粒子触媒の設計、第118回触媒討論会、2016
- 33 水垣共雄・東郷溪都・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田清臣、レブリン酸からC5有用化合物への高選択的変換に向けた白金-モリブデン酸化物固定触媒の開発、第118回触媒討論会、2016
- 34 Teppei Urayama, Takato Mitsudome, Zen Maeno, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, Kiyotomi Kaneda, Design of core-Pd/shell-Ag nanocomposite catalyst for selective semihydrogenation of alkynes to alkenes, 252nd American Chemical Society National Meeting & Exposition, 2016
- 35 Zen Maeno, Takato Mitsudome, Tomoo Mizugaki, Koichiro Jitsukawa, Highly Efficient Depolymerization of Polyethers with Carboxylic Acid Derivatives to Glycol Diesters Using Heterogeneous Montmorillonite Catalyst, Novel Catalysts for Energy and Environmental Issues, 2016
- 36 東郷溪都・水垣共雄・實川浩一郎・金田清臣、レブリン酸からC5-有用化成品への変換反応を進行させる固定化Pt-Mo触媒の開発、第5回 JACI/GSCシンポジウム、2016
- 37 水垣共雄・東郷溪都・前野禪・満留敬人・實川浩一郎・金田 清臣、Development of Pt-Mo Catalysts for Valorization of Levulinic Acid, International Symposium on Catalytic Conversions of Biomass (ISCCB-2016)、2016

[その他]

ホームページ等

<http://www.cheng.es.osaka-u.ac.jp/jitsu-kawalabo/home.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

實川 浩一郎 (JITSUKAWA, Koichiro)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授
研究者番号：50235793

(2) 研究分担者

水垣 共雄 (MIZUGAKI, Tomoo)
大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授
研究者番号：50314406