

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360357

研究課題名(和文) バイオマスの効率的変換を目指した機能集積型固体触媒の開発

研究課題名(英文) biomass

研究代表者

金田 清臣 (KANEDA, kiyotomi)

大阪大学・太陽エネルギー化学研究センター・特任教授

研究者番号：90029554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円、(間接経費) 4,260,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、研究代表者らによる高機能固体触媒開発の知見をもとに、機能集積型の新規固体触媒の設計を行い、バイオマス由来原料であるグリセロールからのポリマー原料やファインケミカルズ合成プロセスの開発を行った。主に以下の4つの高選択的な反応を実現した。

1. 選択的水素化分解反応による1,3-プロパンジオールの合成。2. 銅ナノ粒子内包アルミ酸化物触媒を用いた1,2-プロパンジオールの合成。3. ワンポット反応系による1,3-ジアセチルグリセロールの合成。4. Ti交換モンモリロナイトによる高選択的なアセタール化反応

研究成果の概要(英文)：In order to develop the environmentally benign chemical processes utilizing biomass derived feedstocks, especially glycerol, high performance heterogeneous catalysts were designed using metal nanoparticles and inorganic crystallites. Various organic transformations from glycerol such as hydrogenolysis to 1,3-propanediol or 1,2-propanediol, one-pot transformation to 1,3-diacetylglycerol, and condensation to cyclic acetals could be achieved using the heterogeneous catalysts. These catalysts are easily recycled without appreciable loss of their activity or selectivity.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：プロセス工学・触媒・資源化学プロセス

キーワード：触媒・化学プロセス バイオマス 固体触媒 グリセロール 金属ナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

持続可能な循環型社会の構築を目指した新しい化学技術体系の創出は、21世紀における化学者の使命である。持続可能な循環型社会の構築を目指し、近年、石油を中心とする化石資源にかわり、バイオマスが重要な役割を果たしつつある。中でも、グリセロールやセルロース、リグニンなどの非可食原料を用いた、新たな化合物群の合成法の開発は、これまでの化石資源に依存する化学プロセスを一新し、カーボンニュートラルな化学品原料への転換による二酸化炭素の排出抑制にも重要な役割を果たすと期待されている。

バイオマス変換技術の1つとして酵素を用いる発酵法が知られているが、反応速度が小さく広大な施設が必要になるなど問題が多い。そのため、化学変換法、特に固体触媒による高効率かつ高選択的変換法の開発が望まれている。従来の化石資源と異なり、バイオマス由来原料は化合物中の酸素/炭素比が大きいため、その利用には酸素原子を選択的に除く必要がある。例えばグリセロールでは、水素化分解反応や脱水反応または脱水素反応を利用した水酸基の官能基変換が鍵となる。これまでもグリセリンやグルコースなどのバイオマス由来原料の触媒の変換が報告されているが、水素化分解によるジオール生成やクラッキングによるガス化など比較的単純な化合物への変換が主である。また、厳しい反応条件(高温、高水素圧など)が必要であるなど、有効利用にはまだ多くの課題がある。従って、バイオマス由来原料から種々の高付加価値化学品への応用が実現すれば、枯渇性化石資源から再生可能資源への転換とともに二酸化炭素排出抑制も可能とする環境調和型プロセスが可能となる。例えば、1,3-プロパンジオール(1,3-PDO)や1,2-プロパンジオール(1,2-PDO)のジオール類、アセチル化グリセロール、グリセロールアセタールは、ポリエステルなどのポリマー原料や不凍液、ガソリン添加剤、化粧品などの保湿剤などに用いられる工業的に重要な化合物であり、従来、石油由来の原料から合成されてきた。これらの化合物をバイオマス由来のC3原料であるグリセロールから合成する触媒プロセスが強く望まれている。

2. 研究の目的

本課題では、バイオマス由来原料であるグリセロールから各種バルクケミカルズおよびファインケミカルズへの高効率変換を実現する、高機能固体触媒の開発を目的とした。バイオマス由来原料の中でも糖類は、各種有機変換の鍵となる官能基である水酸基をもつことから、脱水反応をトリガーとして分子骨格内の炭素を有効利用する。例えば、位置選択的な脱水反応や脱水素反応、異性化反応を利用して、新規な変換プロセスの構築が期待される。従来、脱離能の低い水酸基は八口ゲン化あるいはトシル化するなど反応性を

高める必要があったが、本研究では、グリセロールの直接的な変換に活性な固体金属触媒を開発し、バイオマス由来原料を利用する高付加価値化学品の環境調和型合成プロセスの実現を目指した。具体的には、図1に示すように、(1)グリセロールの選択的水素化分解反応による1,3-PDO合成、(2)1,2-PDO合成、(3)選択的アセチル化と酸化-水素化によるワンポットでの1,3-ジアセチルグリセロール合成、および(4)選択的アセタール化反応に優れた固体触媒の開発を行った。また、バイオマス変換への応用が期待される種々の固定化金属触媒を開発した。

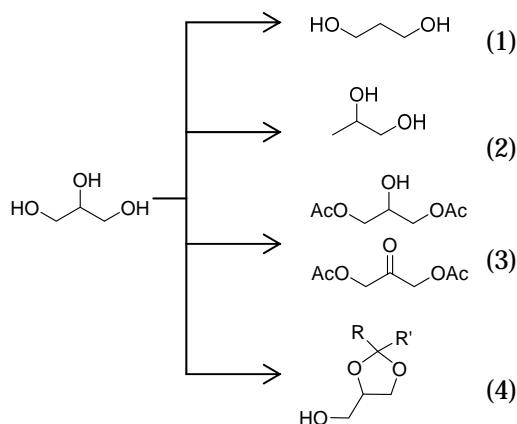


図1. グリセロールの選択的変換反応

3. 研究の方法

(1) 触媒調製

Pt-Al-W系触媒: タングステン酸(WO₃)へ、Pt塩およびAl塩を共浸漬により担持、焼成処理によりPt-AlO_x/WO₃触媒を調製した。また、ペーライトへのタングステン酸塩と白金塩の逐次含浸により、Pt-WO_x/AlO_x触媒を調製した。

Cu-Al系触媒: Cu-Al型ハイドロタルサイトを水損雰囲気下で還元し、Cu@AlO_x触媒を調製した。

モンモリロナイト固定化触媒: 金属イオン交換モンモリロナイト(Mⁿ⁺-mont)は、Na⁺-mont(kunipia F, クニミネ工業株式会社)をLa塩あるいはTi塩水溶液中で攪拌し、ろ過、乾燥して調製した。

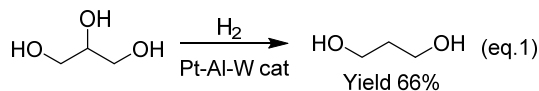
(2) キャラクターゼーション: 調製した触媒は、X線回折、元素分析、透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、赤外分光法、X線吸収分光(JASRI SPring-8)などにより行った。

(3) 触媒反応: 水素化分解反応は、テフロン製内筒をセットしたステンレス製オートクレーブを用いて行った。また、アセチル化反応は耐圧ガラス管あるいはパイレックスガラス製シュレンク管を用い、所定量の触媒、基質、溶媒を加えた後、所定温度のオイルバス中で加熱攪拌することにより行った。生成物の分析、定量にはガスクロマトグラフ、ガスクロマトグラフ質量分析計、高速液体クロマトグラフ、核磁気共鳴分光法を用いた。

4. 研究成果

(1) グリセロールから 1,3-PDO への高選択的水素化分解反応

我々は、白金ナノ粒子とアルミニウム酸化物、タングステン酸化物を組み合わせた Pt/WO_x/AlO_x 触媒系が、グリセロールの二級水酸基を高選択的に水素化分解し 1,3-PDO を 66% の高収率で与えることを見出した(式 1)。



酸化タングステンを担体として、白金塩と種々の金属塩の混合水溶液を共含浸して調製した触媒を用い、水素圧 3MPa、453K、水溶液中でグリセロールの水素化分解反応を行った。酸化タングステンに白金ナノ粒子を担持した Pt/WO₃ 触媒では 4 時間で転化率 75%、1,3-PDO 収率 21% を示し、反応時間 10 時間に延長した場合も収率は 23% とほとんど差は見られず、主生成物は 1-プロパノール (1-PrOH) である(表 1、entries 3 and 4)。に対して、硝酸アルミニウムを共含浸により担持した Pt-AlO_x/WO₃ 触媒では、10 時間で転化率 90%、1,3-PDO 収率は 40% と大幅に向上した(entry 1)。また、4 回の再使用実験においても活性、選択性の低下は見られない(entry 2)。

表 1. グリセロールの水素化分解反応における触媒効果^a

entry	Cat.	Conv. / %	1,3-PDO Yield / %
1	Pt-AlO _x /WO ₃	90	40
2 ^b	Pt-AlO _x /WO ₃	84	37
3 ^b	Pt/WO ₃	75	21
4	Pt/WO ₃	100	23
5 ^c	AlO _x /WO ₃	0	-
6 ^c	WO ₃	0	-

^a Reaction conditions: catalyst (100 mg), glycerol (1 mmol), water (3 mL). Conv. and yield were determined by GC-MS using an internal standard technique. ^b 4th reuse experiment. ^c 100 mg of catalyst was used.

Pt-AlO_x/WO₃ 触媒を用いた反応の経時変化を検討したところ、転化率は時間とともに増加し、14 時間でほぼ完結する(図 2)。1,3-PDO 収率は 10 時間で最大 40% が得られ、10 時間以降は、1,3-PDO から 1-PrOH への逐次水素化分解反応が進行している。1,3-PDO から 1-PrOH への水素化分解速度は遅く、また、1,2-PDO の水素化分解は容易に進行することから、反応初期の 1-PrOH は主に 1,2-PDO から生成していると考えられる。グリセロールは水溶液中で -アルミナに強く吸着し、-アルミナ上でのアルコキシド形成は二級

アルコールよりも一級アルコールが有利であることが知られている。このことから、Pt-AlO_x/WO₃ 触媒では、(i) Pt-WO₃ サイトでの水素のスピルオーバーによるプロトン酸の発現と、AlO_x 上へのグリセロールの吸着と一級アルコキシド(HOCH₂CH(OH)CH₂O-AlO_x)の生成、(ii) 二級水酸基のプロトン化と水の脱離によるカルボカチオン生成、(iii) Pt-WO₃ サイト近傍でのヒドリド付加、を経て 1,3-PDO が選択的に生成したと考えられる。

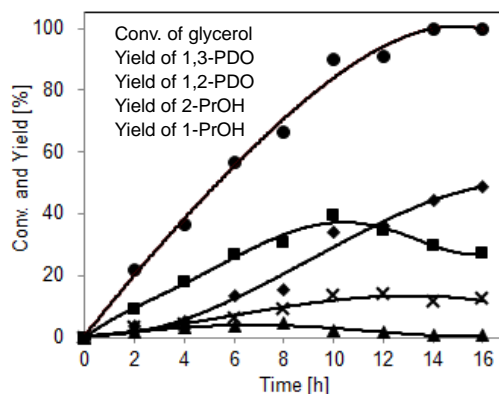


図 2. グリセロールの水素化分解反応における経時変化

上記の結果をもとに、さらに高収率で 1,3-PDO を得るために触媒設計を行った。基質であるグリセロールと担体表面水酸基をより効率よく利用するためにペーマイトを担体とし、パラタングステン酸アンモニウムを含浸担持、800 で焼成後に白金を含浸担持・焼成した Pt/WO₃/AlOOH 触媒を調製した。本触媒を用いると、転化率 100% で 1,3-PDO 収率は 66% となり、これまでの報告の中でも最も高い値となった。また、Pt/WO₃/AlOOH 触媒は、10 回の再使用後も活性・選択性の低下はほとんどなく、かつ溶液中への金属種の溶出もない優れた固体触媒となることを明らかにした。

(2) グリセロールから 1,2-PDO への高選択的水素化分解反応

Cu/Al 比 2 の Cu-Al ハイドロタルサイトから調製した Cu@AlO_x 触媒、および種々の担体を用いて調製した Cu 触媒を用いてグリセロールの水素化分解反応を検討したところ、Cu@AlO_x を用いた場合に、転化率 98%、収率 98% (選択率 100%) と最も高い値が得られた。また、Cu/SiO₂ や Cu/Al₂O₃ などの担持銅触媒では 1,2-PDO への選択性は低く、副生成物として水素化分解の中間生成物と考えられるアセトールが生成した(表 2 Entries 2-4)。反応後、Cu@AlO_x 触媒は空気中でとり出し、遠心分離、洗浄、乾燥後、前処理を必要とせず再び反応に用いることができる。本触媒は、活性・選択性の低下なく、少なくとも 5 回の再使用が可能であった。反応前後の Cu@AlO_x 触媒の XRD 測定から、本触媒の TEM および FE-SEM 観察では、それぞれ、約 20-30 nm の

Al 酸化物および 6 nm 程度の Cu ナノ粒子の存在が確認された。すなわち、Cu ナノ粒子は非晶質アルミニウム酸化物マトリックス中に包埋されており、その一部が表面に露出した構造をとっている。そのため、Cu ナノ粒子のシンタリングが抑制され、空気中でも取り扱いが容易で、高い活性を維持していると考えられる。

表 2. 1,2-PDO への水素化分解反

entry	Cat.	Conv. / %	1,2-PDO Yield / %
1	Cu@AlO _x	98	98
2	Cu/SiO ₂	85	80
3	CuHAP	94	73
4	Cu/Al ₂ O ₃	100	57

^a Reaction conditions: glycerol (0.35 mmol), catalyst (Cu: 0.19 mmol) 1,4-dioxane (3 mL), H₂ 1 MPa, 180 °C, 5 h.

(3) 1,3-ジアセチルグリセロールのワンポット合成

La³⁺ イオン交換モンモリロナイト (La-mont) は、グリセロールの高選択的アセチル化反応の優れた固体触媒となることを見出した。La³⁺-mont 触媒と所定量の酢酸を用い、グリセロールからモノエステル(MAGs)、ジエステル(DAGs)、トリエステル(TAG)をそれぞれ高収率で得ることができる(図 3)。

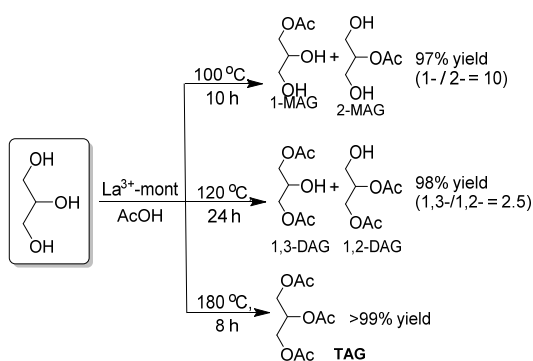


図 3 . グリセロールの選択的アセチル化

反応後の La-mont 触媒は遠心分離により容易に回収することができ、活性・選択性の低下なく再使用が可能である。さらに、La-mont により得られたジアセチル化生成物である 1,3-DAG と 1,2-DAG の混合物をトルエン溶液中、空気雰囲気下で先述の Cu@AlO_x 触媒を用いて反応させるとほぼ定量的に 1,3-ジアセトキシアセトンが得られた。この反応では、1,2-DAG から 1,3-DAG への異性化反応と、1,3-DAG の二級水酸基の酸化の二つの反応が Cu@AlO_x 触媒により促進されている。また、

1,3-ジアセトキシアセトンは Cu@AlO_x 触媒を用いて水素雰囲気下で処理すると、定量的に 1,3-DAG を与える。これらの結果をもとに、La-mont と Cu@AlO_x を触媒に用いたワンポット反応の検討を行った。すなわち、(i) La-mont と酢酸によるグリセロールのジアセチル化、(ii) Cu@AlO_x 触媒による 1,2-DAG から 1,3-DAG への異性化と 1,3-DAG の酸化によるジアセトキシアセトンの生成、さらに、(iii) Cu@AlO_x 触媒によるジアセトキシアセトンの水素化、が進行し定量的に 1,3-DAG を得ることができた(図 4)。

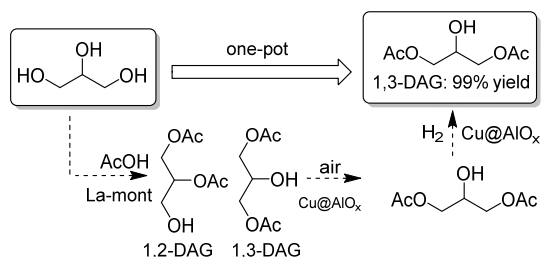
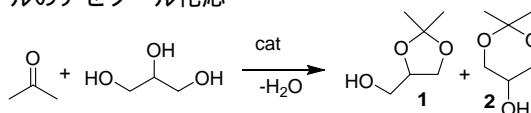


図 4 . グリセロールから 1,3-DAG へのワンポット変換反応

(4) 選択的アセタール化反応

Ti⁴⁺ イオン交換モンモリロナイト (Ti-mont) は、グリセロールと種々のアルデヒドを用いた高選択的アセタール化反応の優れた固体触媒となることを見出した(表 3)。一般的に知られている固体酸触媒である H-ZSM-5 や H-Beta、nafion では、本アセタール化反応活性は極めて低い(Entries 5-7)。

表 3 . 固体酸触媒によるアセトンとグリセロールのアセタール化^a



entry	Cat.	Yield of 1 / %	Yield of 2 / %
1	Ti-mont	>99	<1
2	Reuse 1	>99	<1
3	Reuse 2	>99	<1
4	Reuse 3	99	1
5	H-ZSM-5	17	5
6	H-beta	16	4
7	Nafion NR50	7	3

^a Reaction conditions: glycerol (5 mmol), catalyst (50 mg) acetone (4 mL), R.T.

反応後の Ti-mont 触媒は遠心分離により容易に回収することができ、活性・選択性の低下なく再使用が可能である(Entries 1-4)。本触媒系は、グリセロール 100 mmol (9.2g) スケールの反応にも適応でき、単離収率 98%

(12.9 g)で目的生成物 1 が得られた。また、種々のアルデヒドを用いたグリセロールとの反応においても、優れた触媒活性を示すことを見出した。さらに、Ti-mont 触媒は加水分解触媒としても機能し、例えば 1 と水を Ti-mont 存在下で攪拌すると、収率 99%でグリセロールが得られる。

以上、グリセロールの変換反応として、(1) 選択的水素化分解反応による 1,3-PDO 合成、(2) 1,2-PDO 合成、(3) 選択的アセチル化と酸化 - 水素化によるワンポットでの 1,3-ジアセチルグリセロール合成、および(4) 選択的アセチル化反応、の 4 つの反応系において、優れた固体触媒を開発することができた。さらに、バイオマス変換に応用可能な種々の官能基変換を実現する新規な固定化金属触媒の開発に成功した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 30 件)

Tomoo Mizugaki; Racha Arundhathi; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Efficient and Selective Transformations of Glycerol Using Reusable Heterogeneous Catalysts., ACS Sustainable Chem. Eng., 2014, 2, (4), 574-578. (査読有), DOI: 10.1021/sc500006b

Yusuke Takahashi; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Efficient Deoxygenation of Sulfoxides Using Hydroxyapatite-supported Ruthenium Nanoparticles, Chem. Lett., 2014, 43, (4), 420-422. (査読有), DOI: 10.1246/cl.131077

Racha Arundhathi; Tomoo Mizugaki; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Selective Hydrogenolysis of Glycerol to 1,3-Propanediol over a Boehmite-Supported Platinum/Tungsten Catalyst., ChemSusChem, 2013, 6, (8), 1345-1347. (査読有), DOI: 10.1002/cssc.201300196

Tomoo Mizugaki; Racha Arundhathi; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective Hydrogenolysis of Glycerol to 1,2-Propanediol Using Heterogeneous Copper Nanoparticle Catalyst Derived from Cu-Al Hydrotalcite., Chem. Lett. 2013, 42, (7), 729-731. (査読有), doi:10.1246/cl.130198

Takato Mitsudome; Yusuke Takahashi; Satoshi Ichikawa; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Metal-ligand core-shell nanocomposite catalysts for the selective semihydrogenation of alkynes., Angew Chem Int Ed Engl., 2013, 52, (5), 1481-1485. (査読有), DOI:10.1002/anie.201207845

Takato Mitsudome; Motoshi Matoba; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Core - Shell AgNP@CeO2 Nanocomposite Catalyst for Highly Chemoselective Reductions of Unsaturated Aldehydes., Chem. Eur. J. 2013, 19, (17), 5255-5258. (査読有), DOI: 10.1002/chem.201204160

Yusuke Takahashi; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Atom-Efficient and Chemoselective Reduction of Ketones in the Presence of Aldehydes Using Heterogeneous Catalysts., Green Chem, 2013, 15, (10), 2695-2698. (査読有), DOI: 10.1039/C3GC41322E

Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Gold nanoparticle-catalyzed cyclocarbonylation of 2-aminophenols., Green Chem., 2013, 15, (3), 608-611. (査読有), DOI: 10.1039/C2GC36851J

Takato Mitsudome; Yuya Yamamoto; Akifumi Noujima; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Efficient Etherification of Silanes Using Gold Nanoparticle Catalyst~Remarkable Effect of O₂~, Chem. Eur. J., 2013, 19, (43), 14398-14402. (査読有), DOI:10.1002/chem.201302807

Takato Mitsudome; Shoichiro Sueoka; Satoshi Ikeda; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Simple and Efficient 1,3-Isomerization of Allylic Alcohols Using a Supported Monomeric Vanadium Oxide Catalyst., ChemCatChem 2013, 5, 2879-2882. (査読有), DOI: 10.1002/cctc.201300200

Takato Mitsudome; Kiyotomi Kaneda, Gold nanoparticle catalysts for selective hydrogenations. Green Chem. 2013, 15, 2636-2654 (査読有), DOI: 10.1039/C3GC41360H

Takato Mitsudome; Kiyotomi Kaneda, Advanced Core-Shell Nanoparticle Catalysts for Efficient Organic Transformations., ChemCatChem 2013, 5, (7), 1681-1691. (査読有), DOI: 10.1002/cctc.201200724.

Akifumi Noujima; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Unique Catalysis of Gold Nanoparticles in the Chemoselective Hydrogenolysis with H₂: Cooperative Effect between Small Gold Nanoparticles and a Basic Support. Chem. Commun. 2012, 48, 6723-6725. (査読有) DOI:10.1039/C2CC32850J

Tomoo Mizugaki; Takayuki Yamakawa; Arundhathi Racha; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective Hydrogenolysis of Glycerol to 1,3-Propanediol Catalyzed by Pt Nanoparticles- AlO_x/WO_3 . Chem. Lett. 2012, 41, (12), 1720-1722. (査読有) DOI:10.1246/cl.2012.1720

Takato Mitsudome; Akifumi Noujima; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly Efficient Double-Carbonylation of Amines to Oxamides Using Gold Nanoparticle Catalysts. Chem. Commun. 2012, 48, (96), 11733-11735. (査読有) DOI: 10.1039/C2CC36636C

Takato Mitsudome; Yusuke Mikami; Motoshi Matoba; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Design of a Silver-Cerium Dioxide Core-Shell Nanocomposite Catalyst for Chemoselective Reduction Reactions. Angew. Chem. Int. Ed. 2012, 51, (1), 136-139. (査読有) DOI: 10.1002/anie.201106244

Takato Mitsudome; Tsuyoshi Matsuno; Shoichiro Sueoka; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Titanium Cation-exchanged Montmorillonite as an Active Heterogeneous Catalyst for the Beckmann Rearrangement under Mild Reaction Conditions. Tetrahedron Lett. 2012, 53, (39), 5211-5214. (査読有) doi.org/10.1016/j.tetlet.2012.07.032

Takato Mitsudome; Tsuyoshi Matsuno; Shoichiro Sueoka; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Direct synthesis of unsymmetrical ethers from alcohols catalyzed by titanium cation-exchanged montmorillonite. Green Chem. 2012, 14, (3), 610-613. (査読有) DOI: 10.1039/c2gc16135d

Takato Mitsudome; Tsuyoshi Matsuno; Shoichiro Sueoka; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Highly efficient condensation of glycerol to cyclic acetals catalyzed by titanium-exchanged montmorillonite. Heterocycles 2012, 84, (1), 371 - 376. (査読有) DOI: 10.3987/COM-11-S(P)68

[学会発表](計 84 件)

Yusuke Takahashi; Takato Mitsudome; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Development of Lead-free Semihydrogenation Catalyst Employing Core-Shell Structured Pd Nanoparticles., 10th Green Chemistry Conference, Barcelona, Spain, 2013.11.6

Tomoo Mizugaki; Racha Arundhathi;

Takayuki Yamakawa; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective Hydrogenolysis of Glycerol to Diols using Heterogeneous Metal Nanoparticle Catalysts, 10th Congress on Catalysis Applied to Fine Chemicals (CAFC 10), Turku, Finland, 2013.6.16-19

Tomoo Mizugaki; Takayuki Yamakawa; Racha Arundhathi; Takato Mitsudome; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Selective Hydrogenolysis of Glycerol to Valuable Chemicals using Pt- AlO_x/WO_3 Catalysts, 7th International Symposium on Acid-Base Catalysis (ABC-7), Tokyo, 2013.5.14

Takato Mitsudome; Motoshi Matoba; Tomoo Mizugaki; Koichiro Jitsukawa; Kiyotomi Kaneda, Design of core-shell nanostructured Ag@CeO_2 catalyst for maximizing the interaction between Ag nanoparticles and basic sites of CeO_2 , 7th International Symposium on Acid-Base Catalysis (ABC-7), Tokyo, 2013.5.12-15

[図書](計 6 件)

Takato Mitsudome; Kiyotomi Kaneda, Wiley, Nano-Catalysis Synthesis and Applications, 2013, pp287-331.

Kiyotomi Kaneda; Takato Mitsudome, Wiley, e-EROS Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis, 2013DOI: 10.1002/047084289X.RN01607-RN01609

金田清臣; 満留敬人; 水垣共雄; 實川浩一郎, 技術情報協会, 触媒の設計・反応制御事例集, 2013, pp 33-44

金田清臣; 水垣共雄; 満留敬人; 實川浩一郎, 技術情報協会, 触媒の設計・反応制御事例集, 2013, pp 80-89.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金田 清臣 (KANEDA, Kiyotomi)

大阪大学・太陽エネルギー化学研究センター・特任教授

研究者番号: 9 0 0 2 9 5 5 4

(2) 研究分担者

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: 5 0 2 3 5 7 9 3

水垣 共雄 (MIZUGAKI, Tomoo)

大阪大学・基礎工学研究科・准教授

研究者番号: 5 0 3 1 4 4 0 6

満留 敬人 (MITSUDOME, Takato)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号: 0 0 4 3 7 3 6 0