

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560945

研究課題名(和文)バイオマス由来のアルコールを還元試剤とした選択還元反応プロセスの創成

研究課題名(英文)Development of Selective Reduction Process System by Bio-alcohols as Reductants

研究代表者

西山 覚(Nishiyama, Satoru)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00156126

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、カルボニル基を選択的に還元するMPV還元を還元剤としてバイオアルコールの適応を検討したものである。固体ルイス酸・塩基触媒は、水分子によって容易に被毒されるため、水を大量に含有するバイオアルコールを用いるためには触媒に耐水性を付与する必要がある。触媒上の酸塩基点を水の被毒から守るためには、活性点に耐水性を与えるか、活性点付近の疎水性を高めるかが考えられる。活性点を修飾すると活性が失われる可能性が高く、活性点近傍の疎水性を高める手法が望ましい。ここでは、活性点が存在する1)細孔内部に疎水性物質を内包させる、2)担体表面を疎水性にする、ことで触媒の耐水性を高める検討を行った。

研究成果の概要(英文)：This study has been investigated the application of bio-alcohol as a reducing reagent for MPV reduction for unsaturated carbonyl compounds. Since bio-alcohols contains significant amount of water, the catalysts used for MPV reduction, usually solid Lewis acid-base bifunctional catalysts, must work in the presence of water in reaction media. Water molecules can easily poison the Lewis acid sites in liquid phase. Two research strategies can be considered, 1)the pore of the catalysts is filled with a hydrophobic substance, 2)the nature of the supports is modified and the hydrophobicity of support surface neighboring active sites is enhanced. The direct modification of active sites would not be efficient because the activity itself is suppressed.

研究分野：Process Engineering

 キーワード：バイオアルコール 選択還元反応 耐水性固体酸塩基触媒 不飽和カルボニル化合物 ジルコニウム
メソポーラスシリカ 活性炭 疎水性イオン液体

1. 研究開始当初の背景

不飽和カルボニル化合物のカルボニル基を C=C2 重結合を反応させること無く還元する、選択還元反応による不飽和アルコール合成は、医薬品や香料等の高付加価値製品の中間原料として極めて有用である。通常の水素化用金属触媒を用いると、C=C2 重結合の水素化が優先されほとんどが飽和のアルデヒドが生成する。これは C=C2 重結合が C=O よりも反応性に富んでいるためである。選択還元を実現するために、還元試剤を分子状水素ではなく、2 級アルコールを用いることでアルコキシ炭素に結合する水素原子がヒドリド的にカルボニル基を攻撃し、選択的にカルボニル基のみを還元できる。還元力は、C3、C4 の 2 級アルコールである 2-propanol, 2-butanol で最大を示す。2-propanol 等の 2 級アルコールは、該当するオレフィン、例えばプロピレンの水和反応で製造される。そのため粗製 2-propanol は、過剰な水を含んで得られる。2-propanol は、水との共沸組成が 12.5 wt% (水重量分率) であり、常圧蒸留法では、これ以上水分をアルコールから除去し生成することが不可能である。バイオマスを資化、発酵させて 2-propanol を得ることはできるが、生成したアルコールは大量の水を含んでいる。完全に水を除去しないと使用できないのであれば、水の除去のために大量のエネルギーを投入する必要があるが、カーボンニュートラルなバイオマスの利点が失われる。バイオリファイナリーからだけでなく、オレフィンの水和によるバイオリファイナリーからのアルコールであっても、水を含む粗製アルコールを使用できれば、プロセスのコスト削減に大きな力となる。本プロジェクトは、含水粗製アルコールを化学原料として直接使用するための触媒反応プロセス開発に関する研究である。

2. 研究の目的

バイオリファイナリープロセスで使用される触媒は、プロセス全体が非水系であるため、非水系で最も機能を発揮できるように設計されている。今回対象としている 2 級アルコールを還元剤とする MPV 還元反応は、カルボニル基を選択的に活性化するルイス酸点とアルコールからプロトン引抜きによりアルコキシ基を生成させるルイス塩基点を必要とする。ルイス酸点および塩基点は、水分子によって容易に被毒され、その触媒機能を失ってしまう。通常のバイオリファイナリーでは非水系の反応雰囲気であるため問題は無いが、バイオマスから生成するバイオアルコールや、オレフィンの水和プロセスからの含水粗製アルコールを原料として用いる場合は、通常の高活性触媒では、性能を発揮できない。そのため、水を含んだ反応雰囲気であっても触媒活性を示す耐水性の固体酸塩基触媒の開発が必須である。

カルボニル基の活性化やアルコールから

のプロトン引抜きを起こす能力を増大させることと、水による被毒を軽減することは、相反する方向であり、高活性、高選択的触媒の高性能を維持したまま、耐水性を付与するためには、新規な着想で触媒の設計を行う必要がある。本研究では、次節で述べる戦略で活性、選択性を維持しながら、触媒に耐水性を付与することを目的とした。

3. 研究の方法

a) 研究の戦略：不均一触媒反応で使用する固体酸・塩基触媒は、数十～数百 m^2/g の比表面積を有する多孔質固体が用いられる。活性点であるルイス酸点および塩基点は、ナノサイズ以下の細孔内部に存在し、反応物質である、不飽和カルボニル化合物と 2 級アルコールが細孔内を拡散し活性点に吸着することで進行する。反応媒体中に水が含まれると、水分子は、小さいためサイズの的に細孔内への進入を阻止することは不可能である。ルイス酸点や塩基点に水分子が吸着阻害しないように直接化学的に修飾することは可能ではあるが、その修飾によって、本来の活性が失われ、水分子による被毒も起きないがカルボニル基の活性化やプロトン引抜き能も消失する可能性が極めて大きい(それぞれの活性点と水分子との相互作用が強いため)。その故、酸点や塩基点を直接修飾すること無くこれら活性点に水分子が接近できない様なミクロな活性点周りの局所的な設計が重要である。

ここでは、(i)活性点が存在する細孔内に疎水性のイオン液体を物理的あるいは化学的に充填し、水分子の細孔内への侵入を阻止する、(ii)担体である多孔質体に疎水性の高い素材を用いて細孔内部の疎水性を高め、かつ活性点周りの局所的な疎水性も高め、水分子と活性点の間の相互作用を阻害する、の 2 つの戦略を立て研究を行った。

b) 耐水性触媒の調製:戦略(i) 担体に数 nm の細孔を有し比表面積が $1,000 m^2/g$ と極めて高いメソポーラスシリカの MCM-41 を用いて、酸・塩基性の活性点として、酸化ジルコニウム (ZrO_2) ナノ粒子を MCM-41 細孔内に微分散させた。MCM-41 のシリカ表面と酸化ジルコニウムは親和性が高く微分散しやすいことは別の研究でわかっている (EXAFS を用いた酸化ジルコニウムのシリカ表面における分散性の研究)。得られた触媒細孔内に疎水性イオン液体を物理的に充填したものの、およびイオン液体分子末端にシリル化用の反応性基を導入した反応性イオン液体分子をシリカ表面の水酸基を化学結合させ、化学的に固定化した、2 種類の修飾触媒を調製した。戦略(ii) 担体に疎水性の高い活性炭を使用し、戦略(i)と同じく細孔内に酸化ジルコニウム微粒子を分散担持した。活性炭表面と酸化ジルコニウムとの相互作用は弱く、また担体の活性炭が酸化雰囲気での熱処理に弱いため、高温での焼成処理は施していない。

c) シンナムアルデヒドの水素移行反応によるシンナミルアルコールの選択合成反応：b)で調製した耐水性触媒を用いて、液相の還元反応を行った。反応器には内容積 30 mL のステンレス製耐圧反応器を用い、原料のシンナムアルデヒド 0.2-1.0 mL (1.59-7.95 mmol)、還元剤および溶媒として働く 2-propanol 4 mL (52.4 mmol)および触媒 10-20 mg を充填し、窒素ガスで数度パージを繰り返した後、ゲージ圧 1.0 MPa で封入した。反応器を所定温度の制御したオイルバスに浸し、反応を開始した。反応温度は、393-473 K である。反応終了後、反応器を氷温まで冷却し、遠心分離器によって触媒と液体生成物を分離し、ガスクロマトグラフによって生成物を分析した。

d) 触媒のキャラクタリゼーション：触媒の細孔特性および水分子との親和性を調べるために、液体窒素温度での窒素吸着ならびに室温での水蒸気吸着実験を行った。窒素吸着は、細孔径分布測定装置を用い、水蒸気吸着は、デシケーター内に触媒とイオン交換水を設置し、触媒重量の変化から評価した。

4. 研究成果

(1) イオン液体で修飾した Zr/MCM-41 触媒

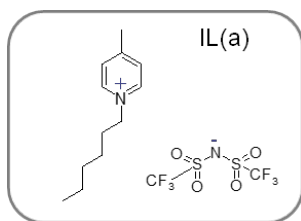
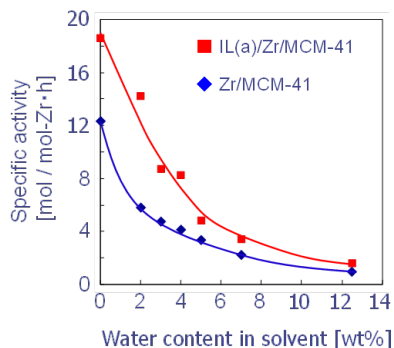


Fig. 1 使用したイオン液体の構造
1-hexyl-4-methylpyridinium
bistrifluoromethane-sulfonyl imide

本研究で Zr/MCM-41 触媒の修飾に用いたイオン液体分子の構造を Fig. 1 に示した。本イオン液体分子は極めて疎水性が高く水と液体状態では混合しない。Zr/MCM-41 のメソ細孔内に incipient-wetness 法を用いて導入し、水共存下でシンナムアルデヒドの水素移行反応によるシンナミルアルコール生成反応を検討した。結果を Fig. 2 に示した。



※S.A.: Conversion rate of cinnamaldehyde per Zr

Fig. 2 Zr/MCM-41 触媒上でのシンナムアルデヒド還元反応と耐水性

菱型 (-) で示したイオン液体による修飾を行っていない触媒上では、水の添加とともに急激に活性が低下した。それと比較してイオン液体で修飾した触媒 (-■-) では、活性低下は起こるもののその度合いは小さく、耐水性が付与できていることがわかる。

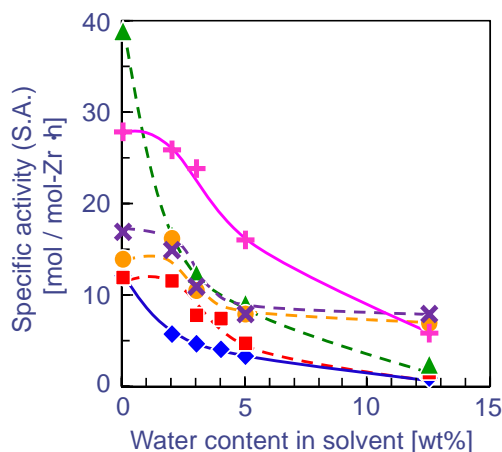


Fig. 3 シリル化したイオン液体分子を用いた修飾の効果

Zr/MCM-41
IL(a)rw/Zr/MCM-41
Zr-IL(b)(48h)/MCM-41
Zr-IL(b)(24h)/MCM-41
× Zr-IL(b)(12h)/MCM-41
+ IL(a)rw/Zr-IL(b)(12h)/MCM-41

Fig. 3 に Fig. 1 に示したイオン液体分子のアルキル基末端にトリアルコキシシリル基を導入し (IL (b)) MCM-41 表面のシラノール基と化学反応にて固定化修飾した Zr/MCM-41 触媒の耐水性について検討した結果を示した。12 h シリル化し修飾した触媒 (-×-) では、イオン液体を物理的に充填修飾した触媒よりも高い水含有量で耐水性を示した。反応後の触媒を分析したところ、物理充填による触媒では、イオン液体の一部が反応溶液中に溶出していることがわかった。固定化することによって、イオン液体分子が MCM-41 表面上に留まり、疎水性を保持しているために耐水性が高まったと考えられる。水蒸気の吸着実験を行ったところ、イオン液体による修飾で、水蒸気の吸着速度が大きく減少したことがわかった。この結果もイオン液体による修飾で触媒の疎水性が付与できたことを示唆する。固定化修飾した触媒に更に IL (a)を物理充填した触媒 (-+) では、低水含有量領域で耐水性が良かったが、共沸点である 12.5 wt 水含有率においては、やはり活性が低下した。

(2) 疎水性活性炭を担体とした Zr/AC 触媒

上で述べた、イオン液体による修飾で耐水性は高まるものの、イオン液体が高価であること、また、反応中に有機溶媒中に溶出するために耐水性が反応とともに失われていく可能性がある。そこで、担体自体が疎水性(親油性)を示す担体を探索し、それを担体とし

て Zr 担持触媒を調製して耐水性を検討した。有機物を起源に持つ高表面積多孔質体の代表格として活性炭があげられる。ヤシガラ炭等の木質系活性炭や石炭を起源とする活性炭などが存在する。石炭には、重金属や硫黄成分などが含まれている可能性が高いので、ここでは木質系活性炭を用いて耐水性の検討を行った。

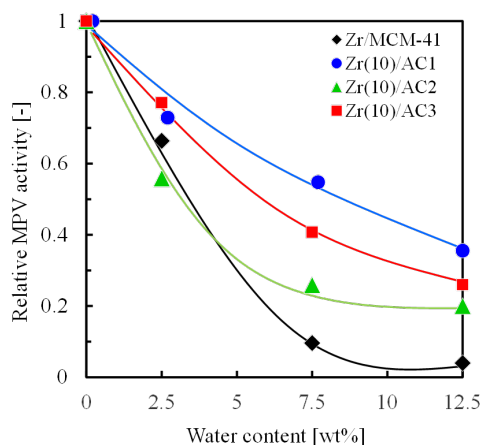


Fig. 4 Zr/AC 触媒の耐水性

3 種類の異なる活性炭 (AC1-3) を用いて Zr/AC を調製し耐水性を検討した結果を Fig. 4 に示した。3 種の活性炭担体の違いは、細孔径の違いである。細孔径は、 $AC1 \approx AC3 < AC2$ である。Fig. 4 に示したように、活性炭担持 Zr 触媒は、いずれも Zr/MCM-41 触媒よりも高い耐性を示した。中でも AC1 担持触媒は最も高い耐水性を示し、共沸点である 12.5 wt% 水含有状態でも水無しの場合の 40% の活性を保持していた。細孔径の大きな AC2 では、高水濃度で耐水性は示すものの、耐性は低い。担体の内表面が疎水性であっても、細孔径が大きいと、水分子が疎水性に影響されずに侵入することができるのかもしれない。以前、細孔径の小さな MFI 型ゼオライトで水素移行反応を行ったが、活性をほとんど示さなかった。これは、MFI 型ゼオライトの細孔径が 0.5 nm と極めて小さく、反応中間状態で形成される、Zr⁴⁺カチオンを中心とした 6 員環状体が幾何学的に取り得ないためであることがわかっている。従って疎水性表面の影響を受け易い細孔径の小さな活性炭担体が耐水性には有利だが、反応中間状態を形成するためには、活性点周りに 0.6-0.7 nm 以上の細孔空間が必要であることが示唆された。実際、AC2 担体では水蒸気吸着実験において、水蒸気の初期吸着速度は遅いものの、吸着が継続して進行し最終的には多くの水分子が吸収保持されることがわかった。細孔径、細孔体積などの多孔体のテクスチャーの制御が耐水性を実現する際には重要な因子であることが判明した。

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 10 件)

K. Obata, K. Kishishita, A. Okemoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, and S. Nishiyama, Photocatalytic decomposition of NH₃ over TiO₂ catalysts doped with Fe, *Applied Catalysis B, Environmental*, 査読有, Vol. 160-161, 2014, pp. 220-203, DOI: 10.1016/j.apcatb.2014.05.033

A. Okemoto, Y. Inoue, K. Ikeda, C. Tanaka, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Liquid-phase Oxidation of Benzene with Molecular Oxygen over Vanadium Complex Catalysts Encapsulated in Y-Zeolite, *Chemistry Letters*, 査読有, Vol. 43, 2014, pp. 1734-1736, DOI: 10.1246/cl.140646

A. Nakajima, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Hydrogen Production by Methane Dry Reforming on Supported Nickel Catalysts - Enhanced Stability of the Reforming Process -, *Applied Mechanics and Materials*, 査読有, Vol. 625, 2014, pp. 320-323, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.625.320

A. Okemoto, K. Kato, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Study of Benzene Hydroxylation in Liquid Phase Using Mono- and Binuclear Copper Complex Catalysts, *Chemistry Letters*, 査読有, Vol. 44, 2014, pp. 384-386, DOI: 10.1246/cl.141147

市橋 祐一, 牧野 伸彦, 桶本 篤史, 谷屋 啓太, 西山 覚, メタンと水から水素を作る光触媒の開発, *スマートプロセス学会誌*, 査読無, 2 巻, 2013, pp. 282-286

K. Taniya, T. Hara, T. Imai, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Preparation of Silica-Coated SnPt Bimetallic Nanoparticle Catalysts for the Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 査読有, Vol. 47, 2014, pp. 130-135, DOI: 10.1252/jcej.13we104

R. Ohno, K. Taniya, S. Tsuruya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Oxidation of cyclohexanone with hydrogen peroxide over β -zeolite with various Si/Al ratio, *Catalysis Today*, 査読有, Vol. 201, 2013, pp. 60-65, DOI: 10.1016/j.cattod.2012.03007

谷屋 啓太, 市橋 祐一, 西山 覚, Sn-Pt2 元系担持触媒による不飽和アルデヒドの選択水素化反応, *触媒*, 査読無, 55 巻, 2013, pp. 110-116

伊藤 龍彦, 谷屋 啓太, 市橋 祐一, 西山 覚, 超高真空処理した Pd 箔表面の活性点評価, *表面科学*, 査読有, 33 巻, 2012, pp. 394-398

K. Taniya, H. Jinno, M. Kishida, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Preparation of Sn-modified silica coated Pt catalysts: A new Pt/Sn bimetallic model catalyst for selective hydrogenation of

crotonaldehyde, *Journal of Catalysis*, 査読有, Vol. 288, 2012, pp. 84-91

〔学会発表〕(計 30件)

A. Okemoto, Y. Inoue, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, The Direct Oxidation of Benzene to Phenol with Molecular Oxygen Using Vanadium Complexes Encapsulated in Y-Zeolite Catalysts, TOCAT7, June 1-6, 2014, Kyoto TERRSA, Kyoto, Japan

Y. Matsumoto, T. Imai, T. Hara, A. Okemoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Influence of Fe Cation Addition on Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Pt/SiO₂ Catalysts, TOCAT7, June 1-6, 2014, Kyoto TERRSA, Kyoto, Japan

S. Watanabe, A. Okemoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, One-Step Oxidation of Benzene to Phenol Over Cu/HZSM-5 Catalysts, TOCAT7, June 1-6, 2014, Kyoto TERRSA, Kyoto, Japan

Y. Ichihashi, A. Okemoto, K. Taniya, S. Nishiyama, Effect of Ligands of V Complexes Encapsulated in Y-Zeolite on Liquid-Phase Oxidation of Benzene to Phenol, International Symposium on Nanostructured Catalysts and Photocatalysts (ISNCP), June 6-8, 2014, Icho-kaikan, Osaka University, Osaka, Japan

K. Taniya, T. Imai, T. Hara, Y. Matsumoto, A. Okemoto, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Simple preparation method of metal cation-Pt bimetallic catalysts for chemoselective hydrogenation of unsaturated aldehydes, PREPA11, July 6-10, 2014, Louvain-la-Neuve, Belgium

A. Okemoto, Y. Inoue, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, The study of V complexes encapsulated in Y-zeolite catalysts on direct oxidation of benzene to phenol, PREPA11, July 6-10, 2014, Louvain-la-Neuve, Belgium

K. Taniya, A. Izumi, M. Iwamoto, A. Okemoto, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, MPV reduction of unsaturated carbonyl compounds over Zr-MCM-41 prepared by a grafting method, 6th FEZA Conference, September 8-11, 2014, Leipzig, Germany

S. Watanabe, A. Okemoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Effect of Zirconium Addition to Cu/HZSM-5 Catalysts on Gas-Phase Oxidation of Benzene, 6th FEZA Conference, September 8-11, 2014, Leipzig, Germany

K. Kato, A. Okemoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Liquid Phase Oxidation of Benzene to Phenol over Binuclear Complex Catalysts, The 7th International Symposium on Surface Science, November 2-6, 2014, Shimane Prefectural Convention Center, Matsue, Japan

A. Okemoto, Y. Inoue, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, The Effect of Ligands on the Direct Oxidation of Benzene to Phenol over V Complexes Encapsulated in Y-zeolite Catalysts,

November 2-6, 2014, Shimane Prefectural Convention Center, Matsue, Japan

Y. Kitano, N. Mihara, A. Okemoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Dynamics of Carbon Deposition on Alumina Supported Nickel Catalysts during Dry Reforming Reaction - an Important Role of Carbon Species on the Nickel Surfaces -, 14AICHE, November 16-21, 2014, Atlanta, USA

S. Nishiyama, K. Taniya, A. Okemoto, Y. Ichihashi, Selective Production of Unsaturated Alcohols via Hydrogen Transfer Reaction over Supported Metal Oxide Catalysts (Invited Lecture), C&FC Pre-symposium in Himeji, November 28-29, 2013, EGRET Himeji, Himeji, Japan

K. Obata, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Photocatalytic decomposition of ammonia using metal ion doped TiO₂ catalysts, 8th International Mesosstructured Material Symposium, May 20-24, 2013, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji, Japan

T. Imai, T. Hara, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Pt/SiO₂ - Promotion Effect of Metal Cation -, 8th International Mesosstructured Material Symposium, May 20-24, 2013, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji, Japan

M. Iwamoto, K. Sawamoto, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Influence of Ionic Liquid Modified Catalysts for Selective Reduction of Cinnamaldehyde in the Presence of Water, 8th International Mesosstructured Material Symposium, May 20-24, 2013, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji, Japan

K. Taniya, T. Hara, T. Imai, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Silica-coated SnPt Bimetallic Catalysts, 8th International Mesosstructured Material Symposium, May 20-24, 2013, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji, Japan

N. Makino, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Steam Photo-reforming of Methane Loaded TiO₂ Prepared by Electroless Plating Method, 8th International Mesosstructured Material Symposium, May 20-24, 2013, Awaji Yumebutai International Conference Center, Awaji, Japan

A. Okemoto, Y. Inoue, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Phenol Synthesis for Liquid Phase Oxidation of Benzene over Vanadium Complex Catalysts Encapsulated in Y-Zeolite, 9th World Congress of Chemical Engineering, August 18-23, 2013, Seoul, Korea

K. Taniya, T. Imai, T. Hara, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Effect of Cobalt-cation Addition on Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Silica Supported Platinum Catalysts, 9th World Congress of Chemical Engineering,

August 18-23, 2013, Seoul, Korea

N. Makino, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Steam Photo-reforming of Methane over Metal Supported Titanium Dioxide Photocatalyst Prepared by Electroless Plating Method, 9th World Congress of Chemical Engineering, August 18-23, 2013, Seoul, Korea

②① K. Obata, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Photocatalytic Decomposition of Ammonia over TiO₂ Catalysts Doped with Fe, EuropaCat XI-Lyon2013, September 1-6, 2013, Lyon, France

②② T. Imai, T. Hara, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Promotion Effect of Metal Cation on Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Pt/SiO₂, EuropaCat XI-Lyon2013, September 1-6, 2013, Lyon, France

②③ K. Taniya, T. Imai, T. Hara, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Promotion Effect of Cobalt-cation Addition on Selective Hydrogenation of Cinnamaldehyde over Pt/SiO₂ Catalysts, The 6th Asia-Pacific Congress on Catalysis, October 13-17, 2013, Taipei, Taiwan

②④ N. Furumoto, Y. Ichihashi, K. Taniya, S. Nishiyama, Effect of Precursor Structure on Catalytic Activity of Cu-ZnO-Al₂O₃ Catalysts for Water-Gas Shift Reaction, The 6th Asia-Pacific Congress on Catalysis, October 13-17, 2013, Taipei, Taiwan

②⑤ Y. Ichihashi, A. Okemoto, Y. Inoue, K. Taniya, S. Nishiyama, Effect of Ligands of V Complexes Encapsulated in Y-Zeolite on Direct Oxidation of Benzene with Molecular Oxygen to Phenol, The 6th Asia-Pacific Congress on Catalysis, October 13-17, 2013, Taipei, Taiwan

②⑥ K. Taniya, T. Hara, T. Imai, A. Okemoto, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Preparation of silica-coated SnPt bimetallic catalysts for selective hydrogenation of cinnamaldehyde, C&FC Pre-Symposium in Himeji, November 28-29, 2013, EGRET Himeji, Himeji, Japan

②⑦ Y. Matsumoto, T. Imai, T. Hara, A. Okemoto, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Effect of Fe cation addition on selective hydrogenation of cinnamaldehyde over silica supported Pt catalysts, C&FC Pre-Symposium in Himeji, November 28-29, 2013, EGRET Himeji, Himeji, Japan

②⑧ K. Taniya, C.H. Yu, S.C. Tsang, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Preparation of SiO₂-encapsulated SnPt nanoparticle catalysts for selective hydrogenation of crotonaldehyde, 15th International Congress on Catalysis, July 1-6, 2012, Munich, Germany

②⑨ Y. Kitano, K. Taniya, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Carbon Deposition Behavior in CH₄ Dry Reforming by CO₂, 15th International Congress on Catalysis, July 1-6, 2012, Munich, Germany

③⑩ K. Sawamoto, K. Taniya, A. Okemoto, Y. Ichihashi, S. Nishiyama, Eco-friendly

unsaturated alcohol synthesis by using water-containing secondary alcohol as a reductant, 7th International Conference on Environmental Catalysis, September 2-6, 2012, Lyon, France

〔図書〕(計 1件)

西山 覚 他, 朝倉書店, 反応工学解析(新しい化学工学 第2巻), 2013, 112頁 (担当 pp. 40-68)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 覚 (NISHIYAMA, Satoru)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 00156126

(2) 研究分担者

市橋 祐一 (ICHIHASHI, Yuichi)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20362759

熊谷 宜久 (KUMAGAI, Norihisa)

神戸大学・大学院工学研究科・技術職員

研究者番号: 60437457

(3) 連携研究者

()

研究者番号: