

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22350089

研究課題名(和文) シリカ細孔体の特異な固体酸触媒能の発現機序解明と有機合成化学への展開

研究課題名(英文) Characterization of acidic properties of mesoporous silica catalysts and its application to organic synthesis

研究代表者

岩本 正和 (Iwamoto, Masakazu)

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号：10108342

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円、(間接経費) 4,470,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、シリカナノ多孔体がこれまでの固体触媒化学の概念では定義できない固体酸性を有し、極めて高効率な固体酸触媒として機能することを見出している。本研究では、この特異な固体酸触媒能の発現が細孔径と密接に相関していること、その触媒能と銅イオンを組み合わせると、これまで貴金属でのみ達成可能であった有機合成反応系を効率的に実施可能なこと、一方、ニッケルイオンと組み合わせると、エチレン プロピレン反応ばかりでなく、エタノール プロピレン反応が効率よく進行することを認めた。それぞれの反応について、その反応機構の解明、添加物効果等を実施した。

研究成果の概要(英文)：The present group has found the new type of acid-type catalysis on mesoporous silica. In this study, the acid catalysis was characterized in details and then combined with metal ions. At first, the acid catalysis was investigated as a function of the pore diameter, the shape of the pore, and a surface aluminum ion as an impurity. The volcano-shaped dependence of the catalysis was clearly found on the pore diameter and was not dependent on the kinds of reactants, indicating that the surface acidity resulted from the pore structure. Next, the combination of the acidity with a copper ion resulted in the catalysis for the selective aryl formation, which was the first example reported on copper except for the catalysis on Pd. At last, nickel ion-loaded mesoporous silica, in which nickel ion was supported using the template ion exchange method, was found to show a catalytic activity for the conversion of bio-ethanol to propene. The reaction pathways were also suggested.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：材料化学 無機工業材料

キーワード：メソ多孔体 シリカ 固体触媒 有機合成 バイオエタノール 酸触媒作用

1. 研究開始当初の背景

規則性ナノ多孔体の発見以来、ナノ空間物質の特異性に注目が集まり、この分野に多くの研究者が参入している。特に、シリカを主成分とするメゾ多孔体は国内外のグループが盛んに研究している。また、Al, Ti, V 等を含むメゾ多孔体の合成、触媒作用等も報告されている。しかし、それらの多くは、細孔径の揃った担体、既存の材料の高表面積代替物質、転写材料の鋳型、既存のゼオライトでは対応できない大分子の反応場等の研究にとどまっており、ナノ空間物質固有の特性の発見・利用という視点に乏しい。

これに対し、我々は「ナノ空間物質でのみ可能な機能の創造」を目指して研究を行っている。その結果、水中酸素酸アニオンの選択的除去法の開発、シリカナノ多孔体の特異な酸触媒能の発見、金属イオン担持メゾ多孔体上での不斉合成反応の実現、エチレン プロピレン反応の創出等を成し遂げてきた。これらはすべて我々が世界に先駆けて報告したものである。すなわち、本分野の研究は国内外を問わず盛んに実施されているものの、我々と類似の研究はほとんど存在せず、本申請研究の独創性は極めて高い。我々によってこれまでに達成された成果は、新しい触媒化学大系構築のための新たなシーズとして極めて重要であり、これまでにない新しい機能、触媒作用の開拓につながる可能性が高い。

2. 研究の目的

我々は以前の研究で、シリカナノ多孔体がこれまでの概念では定義できない固体酸性を有し、極めて高効率な固体酸触媒として機能することを見出している。本研究ではまず、この特異な固体酸触媒能の発現機構の解明を目指す。次いで、その触媒能がどのような有機合成反応に活性を示すか、これまで達成困難とされていた触媒反応がこの触媒上で可能になるかどうかを検討する。また、ニッケルイオンとの協奏作用でエチレン プロピレン反応が進行することを認めているので、その機序解明、拡張を図る。

3. 研究の方法

本研究における研究項目は以下の2項目に大別した。

(1) シリカナノ多孔体の新しい固体酸機能を種々の有機合成反応へ適用し、これまで達成困難とされていた反応の実現を試みた。その際、種々の手法によりシリカナノ多孔体の固体酸性発現機構の解明を試みた。また、金属イオン + 新固体酸によってこれまでにない新しい触媒反応系を開拓することとした。

(2) エチレン プロピレン反応に特異な触媒活性を示したニッケルイオン担持シリカ MCM-41 (Ni-M41) をエタノール プロピレン反応 (ETP) に拡張し、その作用機構の解明を行った。

4. 研究成果

4-1. 固体酸機能の解明および金属イオンとの相乗作用

高純度シリカメゾ多孔体の細孔径および細孔形状が酸触媒特性に与える効果

当研究室は、メゾポーラスシリカ自身の酸触媒特性に注目してきた。最近では、超高純度コロイダルシリカを原料とする M41 が Carbonyl-Ene 反応の触媒として機能すること、最大活性が 2.42 nm の細孔径を持つ M41 で得られること等を報告した。本研究では、この酸触媒特性の細孔径依存性の由来を究明することを目的として、細孔形状と活性の相関を検討した。

触媒の調製：高純度コロイダルシリカ (PL-3) を原料に、長の異なる界面活性剤 CnTMABr を鋳型として、各種細孔径の Cn_M41 を合成した。また、同じ原料から既報により細孔径の異なる KSW-2 を合成した。

Carbonyl-Ene 反応実験：触媒 30 mg を 100 °C で 1 h 真空排気し、カルボニル化合物 (1.0 mmol)、エン基質 (1.5 mmol) を、*n*-ペンタン 3.0 ml に溶かし加え、0 °C で所定の時間反応させた。

Friedel-Crafts 反応実験：KSW-2 を 100 °C で 1 h 真空排気し、芳香族化合物 (1.0 mmol)、求電子剤 (2.0 ml) を加え、所定の温度で反応させた。

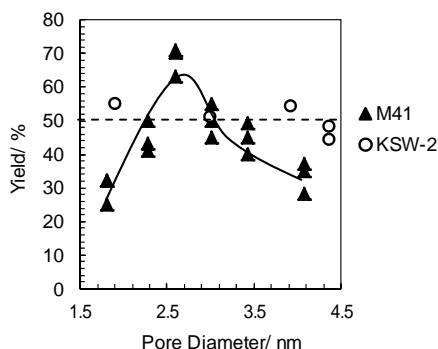
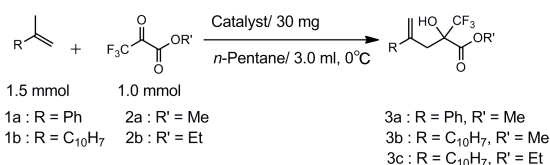


図1. 3b 合成反応に対する触媒活性の細孔径依存性 (M41 と KSW-2 の比較)

まず、生成物サイズの異なる3種類の基質で Ene 反応を検討し、細孔径と触媒活性との関係を調べた。図1に例として生成物 3b の収率と細孔径の関係を示す (▲、実線)。いずれの基質の場合にも、同様の結果が得られ、M41 は細孔直径 2.60 nm で最大活性を与えた。つまり、活性の細孔径依存性は基質・生成物サイズに由来するのではなく、触媒自身の性質によるものと結論できる。これに対し、キュービック状の細孔を持つ KSW-2 を用いると、3b の収率は細孔径と無関係にほぼ一定であった (○、破線)。これらの結果から、M41 の細孔径依存性はその曲率の違いによ

り発現していると考えている。すなわち、表面シラノールが酸触媒活性を示すための最適な三次元的位置関係が存在し、直径約 2.60 nm の細孔の時にその最適構造が発現すると推測した。

一方、KSW-2 が M41 には見られない強い酸性質を備えていることが本研究の途上で明らかとなった。Friedel-Crafts 反応に対して M41 は不活性であったが、KSW-2 は触媒活性を示した。特に遊離カルボン酸によるアシル化は強い酸性質が必要とされる反応であるが、KSW-2 が細孔形状に起因する活性を発現したことは興味深い。

以上、細孔径の異なる高純度 M41 の Carbonyl-Ene 反応活性を比較したところ、生成物収率は基質サイズに依らず細孔径 2.60 nm を頂点とする山型となった。KSW-2 を触媒とした場合、収率は細孔径に対しほぼ一定であったため、M41 の酸触媒特性は細孔曲率と密な関係にあると推測した。一方、M41 は Friedel-Crafts 反応に対して不活性だが、KSW-2 は活性を発現したため、キュービック細孔にはそれ特有の酸性質があることを見出した。

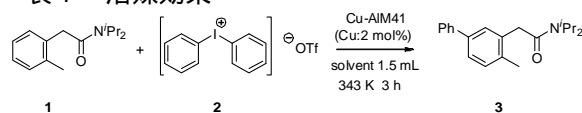
銅担持 MCM-41 を用いる高効率不均一系 C-H アリール化反応

C-H 結合の直接アリール化は複雑な天然化合物の合成や創薬などファインケミカルズ分野で必要とされ有機合成における重要な課題の一つとなっている。最近 Cu(OTf)₂ を不均一系触媒とするジフェニルヨードニウム塩によるフェニル酢酸アミドのメタ位直接アリール化反応が報告されたが、10 - 20 mol% の触媒量が必要である。本研究ではシリカメソ多孔体上に銅イオンを担持した触媒を用い、不均一系かつ高活性な反応系の構築を目指し検討を進めた。

高純度コロイダルシリカ (PL-3) に Al(NO₃)₃ · 9H₂O を加え、水熱合成法により M41 前駆体を調製した。この前駆体を銅塩水溶液で処理した後に焼成した (TIE 法) 触媒を Cu-M41 と表す。一方、前駆体を焼成し M41 を得た後、銅塩 (CuX_n) を加えクロロベンゼン中 150°C、1 h 攪拌、ろ過・洗浄、排気処理 (400°C) した触媒を Cu@M41_Xn と表す。反応は触媒のジクロロエタン 1.5 ml 懸濁液にアミド 0.5 mmol、ジフェニルヨードニウムトリフラート 0.75 mmol を導入し、70°C で所定時間攪拌することで実施した。

まず触媒に Cu-M41 (2 mol%) を用い、フェニル酢酸アミド **1** を基質として反応溶媒を検討した。n-ヘキサン、トルエンでは生成物は得られず (Runs 1、3)、クロロベンゼン、ジオキサンを用いると反応は進行したものの、目的とする m-Ph 化生成物 **3** の収率は 20 % 程度となった (Runs 2、4)。一方 1、2-ジクロロエタン (DCE) を使用すると **3** が 58 % 収率で得られた (Run 5)。2 が有機溶媒に難溶であることから、溶媒効果は 2 の溶解性を反映し、

表 1 溶媒効果



Run	Solvent	Conv. of 1 / %	Yield of 3 / %	TOF
1	n-hexane	8	Trace	-
2	Dioxane	25	25	4.2
3	Toluene	7	Trace	-
4	chlorobenzene	14	8	1.3
5	DCE	80	58	10

表 2 種々の銅触媒の検討

Run	Catalyst	Conv. of 1 / %	Yield 3 / %	TOF
6	Cu(OTf) ₂	28	20	3.3
7	CuSCN	27	7	0.6
8	Cu@M41_(OTf) ₂	18	6	5.3
9	Cu@M41_SCN	82	61	226
10	Cu@M41_SCN ^{a)}	28	7	26

Cu@M41_Cu(OTf)₂ (0.019 mmol/g), Cu@M41_CuSCN (0.009 mmol/g) 50 mg 使用, **1** 0.5 mmol, **2** 0.75 mmol, DCE 1.5 ml, 70°C, 3 h, a) 排気処理温度: 100°C

比較的極性の高い DCE 中でのみ良好な収率が得られたと考えている。

次に、DCE 中で種々の銅触媒の活性を比較した。Cu(OTf)₂ (2 mol%) を不均一系で用いると収率は 20 %、CuSCN の場合は 7 % であった (Runs 6、7)。ともに Cu-M41 (Run 5) と比べ低収率であった。Cu(OTf)₂ と M41 を混合して調製した Cu@M41_(OTf)₂ を使用すると収率 6 % (Run 8) であったが、Cu@M41_SCN は良好な触媒活性を示し Cu-M41 と同程度の収率を与えた (Run 9)。Cu@M41_SCN 中の Cu 量 (ICP-MS 分析) は Cu-M41 に比べ微量であり、Run 9 の TOF は 226 であった。Cu@M41_SCN が他の触媒に比べ高 TOF を与える触媒であることが明らかである。一方、Cu@M41_SCN を調製する際の排気処理温度を 100 °C とすると活性が著しく低下した (Run 10)。CuSCN の吸着と高温処理により活性銅種が M41 上に形成されていることになる。

以上、銅イオンを担持した Cu-M41 上でのフェニル酢酸アミド類の C-H アリール化反応を検討した。テンプレートイオン交換法で調製した Cu-M41 を用いると収率 58 %、チオシアン酸銅を M41 に吸着させて調製した触媒を用いると収率 61 % で目的生成物が得られ、後者の TOF は 226 を示した。Cu(OTf)₂ を用いると収率 20 % (TOF=3) であったことから、Cu 担持 M41 系が不均一系より高活性であることが示された。

4 - 2 . ニッケルイオン担持シリカメソ多孔体 (Ni-M41) の触媒作用

Ni-M41 の ETP 反応活性

近年、二酸化炭素排出量抑制のためバイオエタノール (bEtOH) が燃料へ添加されてい

る。bEtOH 生産に 1-2 年が必要であることを考えると、燃料としてすぐに二酸化炭素に戻してしまうのは何ともしたいない。bEtOH をエチレン (C2=) やプロピレン (C3=) に転換すれば、二酸化炭素の長期間固定が可能になる。また、石油化学上流の原料を bEtOH から調製出来るので、現在の石油化学工業をバイオマスコンビナートへ転換することが可能になるかも知れない。

bEtOH を低級オレフィン等へ転換するプロセスの中で、需要動向から考えて C3=への直接転換の実現が望ましい。bEtOH を C3=に転換する (ethanol-to-propene, ETP) 反応については、ゼオライト系触媒が既に報告されている。しかし、C3=選択性が低く、活性劣化が防げないなどの問題がある。最近では、プロトン型ゼオライトの長寿命化を狙った改良型触媒や使用法が報告されているが、抜本的な劣化防止や C3=選択性の向上には至っていない。これに対し、本稿では形状選択的プロピレン合成とは一線を画し、新規な反応経路で ETP 反応を実現できる触媒系について検討した。

Ni-M41 上で ETP 反応を行ったところ、ジエチルエーテル (DEE)、C2=、C3=、ブテン (C4=)、アセトアルデヒド (AcH) が生成した。473-523 K では DEE が主生成物であったが、523 K 以上で C2=生成が急激に増加し、623-723 K では C3=および C4=の生成もかなり認められた。脱水素生成物である AcH も 523-723 K で生成した。673 K で触媒の安定性を調べたところ、活性は 20 h 変化しなかった。

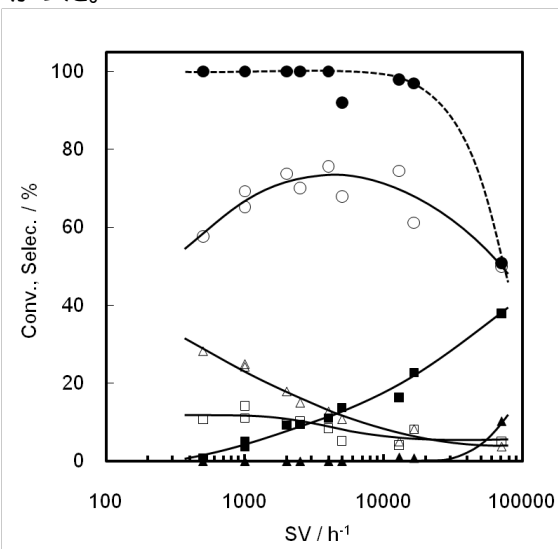


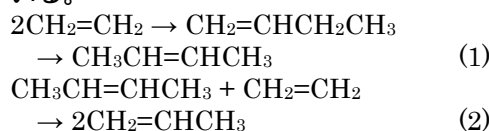
図2 . ETP 反応の SV 依存性。 EtOH の転化率、 C2=の選択率、 AcH、 DEE、 C3=、 C4=。

空間速度 (SV) に対する依存性を図 2 にまとめた。SV が 70,000 h⁻¹ 程度の超高速反応時は EtOH 転化率が 50% 程度であったが、20,000 h⁻¹ 以下では EtOH 転化率は 95% 超になった。Ni-M41 触媒系がエタノール転換反応に極めて高い活性を示すことがわかる。生

成物分布は SV とともに大きく変化した。高 SV では多量の AcH が生成した。SV の低下とともに AcH 選択率は単調に減少した。DEE も生成量は少ないが類似の挙動を示した。これに対し、C3=と C4=の選択率は SV 低下とともに単調に増加した。但し、その増加の程度は大きく異なった。C2=は常に主生成物であり、SV 数千で極大をとる山型の依存性を示した。次節で議論するように、高 SV では AcH 生成が併発し、低 SV では C3=生成が逐次的に進行するため、C2=選択性が下がっていると考えている。

Ni-M41 上の ETP 反応の経路

本節では Ni-M41 上の反応経路について議論する。ここでは議論を簡明化するため、エタノール→エチレンとエチレン→プロピレンに分けて議論した。その際、議論の簡単な後者から先に考察する。図 2 の SV < 5,000 h⁻¹ の領域で SV 依存性を見ると、接触時間が長くなるとともに C2=生成量が大幅に減少し、C4=や C3=の生成量が増加していること、特に低 SV 化に伴って C2=と C4=が減少し、C3=が増加している。これらの結果は、既に報告しているように、C2=の二量化→生成した C4=の異性化 (式(1))→エチレンとブテンのメタセシスによるプロピレンの生成 (式(2)) の順で反応が進行していることを示している。



次に、エチレンの生成経路を議論する。M41 上では EtOH の分子間脱水による DEE の形成、その分解による C2=および EtOH の生成がすでに報告されている。Ni-M41 上でも、523 K でほぼ等量の C2=と EtOH が生成した。この結果と、図 2 で SV=70,000 h⁻¹ の時 DEE がわずかに生成していることを考えあわせると、DEE がエチレン生成中間体になっているのは確かである。

一方、図 2 の高 SV 条件下で AcH が多量に生成し、SV 減少とともに AcH 量が低下、C2=量が増加する事象の説明が必要である。アルコールの脱水素が様々な触媒上で進行することはよく知られている。そこでまず、その反応の逆反応 (アルデヒドの水素化) が進行するかどうかを確認した。等モルの AcH と H₂ を Ni-M41 上で流したところ、AcH の重合体およびメタン、C2=(それぞれ 2-3%) しか観測されなかった。したがって、水素中で AcH が EtOH に戻る可能性は排除される。

次に、等モル量の EtOH と AcH を流したところ、EtOH、AcH の転化率はそれぞれ 100 および 65% になり、C2=、C3=、C4=への選択性はそれぞれ 61、15 および 12% となった。これらの値は、EtOH 反応で観測された数値と類似していた。EtOH が共存すると AcH が

C2=へ転化され、さらに反応(1, 2)が逐次的に進行することが明らかである。

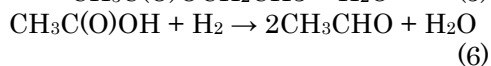
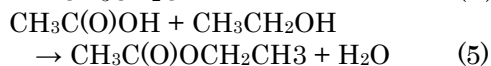
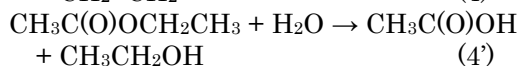
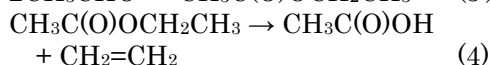
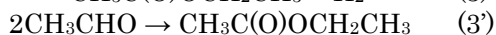
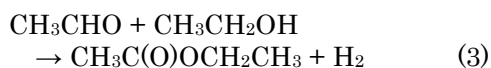


図2の実験中に0.5-1%程度の酢酸エチルが検出されたので、これが中間体となっている可能性を考察した。酢酸エチル生成は上記の式(3)あるいは(3')で進むと考えられる。式(3')はティッシュエンコ反応として知られているが、先に述べたようにNi-M41上では進行しないことを確認しているため、式(3)が進行していると考えている。生成した酢酸エチルの反応として、単純分解(式(4))と加水分解(式(4'))を提案することができる。式(4')により酢酸、EtOHが生成することは既に知られている(フィッシャーエステル化反応(5)の逆反応)が、式(4)は一般的ではない。しかし、式(4)の逆反応が触媒的に進行することは既に確立され、昭和電工により実用化されている。したがって式(4)を想定することは妥当と考えている。結局、AcHとEtOHから酢酸エチルを経由してC2=が生じるのであろう。副生した酢酸は直ちに反応(5)あるいは(6)によって酢酸エチルあるいはAcHに戻り、生成物としては検出されない。

以上、Ni-M41上でのEtOH→C2=反応には二種類のルートがあり、並列的に進行していると考えている。一つは脱水ルートでDEEが中間体である。もう一つは脱水素ルートであり、AcH、酢酸エチルを通る。後者のルートの反応速度は前者と比べて遅いため、AcHの生成が幅広いSVで観測されたのであろう。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計31件)

1. F. Hayashi, M. Tanaka, D. Lin, M. Iwamoto, Surface structure of yttrium-modified ceria catalysts and reaction pathways from ethanol to propene, *J. Catal.*, 316, 112-120 (2014). [査読有]

2. T. Deguchi, H. Yamano, M. Iwamoto, Kinetic and mechanistic studies on direct H₂O₂ synthesis from H₂ and O₂ catalyzed by Pd in the presence of H⁺ and Br⁻ in water, *Catal. Today*, in press (2014). [査読有]

3. M. Iwamoto, Selective catalytic conversion of bio-ethanol to propene: a review of catalysts and reaction pathways, *Catal. Today*, in press (2014). [査読有]

4. M. Iwamoto, M. Tanaka, Propene Synthesis from Ethene or Ethanol: Catalysis and Characterization of Nickel Ion-Loaded Mesoporous Silica, "Comprehensive Guide for Mesoporous Materials", Nova Science Pub., New York, in press, 2014. [査読有]

5. F. Hayashi, M. Iwamoto, Yttrium-Modified Ceria as a Highly Durable Catalyst for the Selective Conversion of Ethanol to Propene and Ethene, *ACS Catalysis*, 3, 14 (2013). [査読有]

6. Y. Osaka, Y. Ikeda, M. Iwamoto, Direct Hydrodeoxygenation of Cellulose and Xylan to Lower Alkanes on Ruthenium Catalysts in Subcritical Water, *Biomass and Bioenergy*, 56, 1-7 (2013). [査読有]

7. I. Suh, S. Hori, M. Tanaka, M. Iwamoto, Preparation of Porous MOx-ZrO₂ (M = W, Cr, Mo, and V) Composite Oxides through Wall Ion-Exchange Method, *Micro. Meso. Mater.*, 2013, 4970-4975 (2013). [査読有]

8. T. Deguchi, M. Iwamoto, Catalytic Properties of Surface Sites on Pd Clusters for Direct H₂O₂ Synthesis from H₂ and O₂: A DFT Study, *J. Phys. Chem. C*, 117, 18540-18548 (2013). [査読有]

9. M. Iwamoto, S. Mizuno, M. Tanaka, Direct and Selective Production of Propene from Bio-Ethanol on Sc-Loaded In₂O₃ Catalysts, *Chem. Eur. J.*, 19, 7214-7220 (2013). [査読有]

10. 岩本正和、ナノ反応場の精密調製と触媒反応の制御、触媒の設計・反応制御事例集、第2章第1節、pp.53-59、技術情報協会(2013)。[査読無]

11. 水野翔太・黒澤美佳・田中大土・岩本正和、In₂O₃触媒上でのエタノールのプロピレンへの選択的転換、触媒年鑑2013、290-291 (2013)。[査読無]

12. 岩本正和、形状選択性に頼らないでバイオエタノールを直接プロピレンに転換する、バイオインダストリー、30(5)、3-10 (2013)。[査読無]

13. 田中大土、岩本正和、ゼオライトを使わないでバイオエタノールをプロピレンに転換する、触媒、55、256-263 (2013)。[査読有]

14. M. Tanaka, A. Itadani, Y. Kuroda, M. Iwamoto, Effect of Pore Size and Nickel Content of Ni-MCM-41 on Catalytic Activity for Ethene Dimerization and Local Structures of Nickel Ions, *J. Phys. Chem. C*, 116, 5664 (2012). [査読有]

15. T. Deguchi, H. Yamano, M. Iwamoto, Dynamics of direct H₂O₂ synthesis from H₂ and O₂ on a Pd nano-particle catalyst protected with polyvinylpyrrolidone, *J. Catal.*, 287, 55 (2012). [査読有]

16. H. Ishitani, M. Iwamoto, Asymmetric

S-O Bond Formation by Oxidation, Comprehensive Chirality, 5, 198 (2012). [査読有]

17. S. Mizuno, M. Kurosawa, M. Tanaka, M. Iwamoto, One-path and selective conversion of ethanol to propene on scandium-modified indium oxide catalysts, Chem. Lett., 41, 892 (2012). [査読有]

18. M. Tanaka, Y. Kuroda, M. Iwamoto, Reply to "Comment on 'Effect of Pore Size and Nickel Content of Ni-MCM-41 on Catalytic Activity for Ethene Dimerization and Local Structures of Nickel Ions'", J. Phys. Chem. C, 116, 22649 (2012). [査読有]

19. 石谷暖郎, 岩本正和, 足し算から掛け算へ - メゾ多孔体への機能集積による触媒反応の効率化, 化学, 67, 66 (2012). [査読無]

20. 岩本正和, ナノ空間が創出する新しい触媒機能, 科学と工業, 86, 145 (2012). [査読無]

21. 岩本正和, 新世代ナノチューブの合成と応用, 未来材料, 11(12), 1 (2012). [査読無]

22. T. Deguchi, M. Iwamoto, "Kinetics and Simulation Including Mass-Transfer Processes of Direct H₂O₂ Synthesis from H₂ and O₂ over Pd/C Catalyst in Water Containing H⁺ and Br⁻ Ions", Ind. Eng. Chem. Res., 50, 4351-4358 (2011). [査読有]

23. T. Haishi, K. Kasai, M. Iwamoto, "Fast and Quantitative Dehydration of Lower Alcohols to Corresponding Olefins on Mesoporous Silica Catalyst", Chem. Lett., 40, 614-616 (2011). [査読有]

24. F. Hayashi, M. Iwamoto, "Ammonia synthesis over rhenium supported on mesoporous silica MCM-41", Micro. Meso. Mater., 146, 184-189 (2011). [査読有]

25. T. Deguchi, M. Iwamoto, "Reaction mechanism of direct H₂O₂ synthesis from H₂ and O₂ over Pd/C catalyst in water with H⁺ and Br⁻ ions", J. Catal., 280, 239-246 (2011). [査読有]

26. M. Iwamoto, K. Kasai, T. Haishi, "Conversion of Ethanol into Polyolefin Building Blocks: Reaction Pathways on Nickel Ion-loaded Mesoporous Silica", ChemSusChem, 4, 1055-1058 (2011). [査読有]

27. M. Iwamoto, "One Step Formation of Propene from Ethene or Ethanol through Metathesis on Nickel Ion-loaded Silica", Molecules, 16, 7844-7863 (2011). [査読有]

28. R. Maeda, T. Wada, A. Kusaka, T. Mori, M. Iwamoto, Y. Inoue, "Role of entropy in supramolecular photochirogenesis: enantiodifferentiating photoisomerization of cyclooctenes in chiral sensitizer-immobilized MCM-41 cavities", Photochem. Photobiol. Sci., 10, 1390-1392 (2011). [査読有]

29. Y. Kanie, K. Akiyama, M. Iwamoto,

"Reaction pathways of glucose and fructose on Pt nanoparticles in subcritical water under a hydrogen atmosphere", Catal. Today, 178, 58-63 (2011). [査読有]

30. 池田陽一、逢坂有里子、秋山勝宏、岩本正和、"非可食原料バイオ燃料への可能性を開く - セルロースの水中水素化による燃料合成", MATERIAL STAGE, 11, 1-2 (2011). [査読無]

31. 岩本正和、"エチレンをプロピレンへ", 未来材料, 11(1), 24-29 (2011). [査読無]

【学会発表】(計 54 件)

1. M. Iwamoto, S. Mizuno, M. Kurosawa, M. Tanaka, "One-step Conversion of Bio-Ethanol to Propene on Ni-ion Loaded Mesoporous Silica and Sc-Modified In₂O₃ Catalysts", International Conference on Emerging Advanced Nanomaterials-2012, October 22-25, 2012, Brisbane, Australia
【Invited Lecture】

【図書】(計 0 件)

【産業財産権】

出願状況 (計 8 件)

名称: オレフィンの製造方法およびオレフィン製造用触媒

発明者: 岩本正和、大橋 洋、柿沼卓宏

権利者: 東京工業大学、出光興産株式会社

種類: 特許

番号: 特願 2012-115088

出願年月日: 2012 年 5 月 18 日

国内外の別: 国内

【その他】

ホームページ等

<http://www.chem.chuo-u.ac.jp/~iwamoto/la/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩本 正和 (IWAMOTO, Masakazu)

東京工業大学・資源化学研究所・教授

研究者番号: 1 0 1 0 8 3 4 2

(2) 研究分担者

石谷 暖郎 (ISHITANI, Haruro)

東京工業大学・資源化学研究所・講師

研究者番号: 5 0 3 0 2 6 1 7

秋山 勝宏 (AKIYAMA, Katsushi)

東京工業大学・資源化学研究所・助教

研究者番号: 1 0 5 5 0 5 6 9

平成 23 年 9 月 30 日まで

田中 大士 (TANAKA, Masashi)

東京工業大学・資源化学研究所・助教

研究者番号: 0 0 5 2 8 0 0 2