

令和元年6月6日現在

機関番号：16101

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K19014

研究課題名(和文)紫外線励起活性酸素存在下におけるアルカンの酸化脱水素反応

研究課題名(英文) Oxidative Dehydrogenation of Alkanes in the Presence of Oxygen Species Activated Using Ultraviolet Radiation

研究代表者

杉山 茂 (SUGIYAMA, Shigeru)

徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・教授

研究者番号：70175404

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：アルカンの固体酸化物触媒を用いた酸化脱水素反応では、媒活性点は活性酸素であることが認識されている。しかし、どのような活性酸素が活性種であるか分かっていない。本研究では紫外線照射下でチタニアに酸素を通じると生成する活性酸素を用い、メタンの酸化脱水素を検討した。触媒には、メタンの酸化脱水素触媒であるマグネシアと酸化サマリウムを用い、これらチタニアを混合し、この混合触媒系にヘリウムで希釈したメタンと酸素の混合ガスを通じで898 Kの反応温度で紫外線を照射した状態で反応を行った。その結果、部分酸化生成物である一酸化炭素の選択率が改善され、紫外線照射で生じた活性酸素が有効であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

メタンの接触酸化脱水素反応は、通常はメタンを燃焼して得られる二酸化炭素に達する前の一酸化炭素やエチレンなどの化成品前駆体に変換しようとする高難度の反応である。本反応は広範に検討され、様々な種類の活性酸素が触媒活性種であると提案されたが、化学系の立場では具体的な活性種を決定することは困難であった。しかし、物理系の研究者はチタニアに紫外線照射下で酸素を通じると生成する活性酸素種を同定することができる。そこで、物理の力を借りた触媒活性試験を行ったところ、紫外線照射により生成する活性酸素により、メタンの酸化脱水素反応が促進されることが分かり、活性酸素種の寄与が明らかになった。

研究成果の概要(英文)：In the oxidative dehydrogenation of various alkane on a solid oxide catalyst, it is recognized that the catalytic active site is active oxygen. However, it is not known what active oxygen are active species. In this study, we investigated the oxidative dehydrogenation of methane using active oxygen generated by passing oxygen to titania under UV irradiation. Magnesia which is oxidative dehydrogenation catalyst of methane or samarium oxide are mixed with titania to be used as a catalyst. Then ultraviolet light is irradiated at 898 K through a mixed gas of methane and oxygen diluted with helium on the mixed catalyst system. The reaction was carried out in the irradiated state. As a result, the selectivity of carbon monoxide, which is a partial oxidation product, was improved, and it was revealed that active oxygen generated by ultraviolet irradiation was effective for the oxidative dehydrogenation of methane.

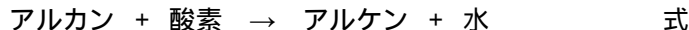
研究分野：触媒分子反応工学

キーワード：活性酸素 LED光源 アルカン アルケン 接触部分酸化 酸化物触媒

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

固体酸化物触媒を用いたアルカンからアルケンへの酸化脱水素(接触酸化脱水素)例えば燃料として燃やすことが主たる用途である天然ガス、液化石油ガス等由来のメタン、プロパン、ブタン類のアルカンを、それぞれエチレン、プロピレン、ブテン類のアルケンに変換する反応は、資源に限りのある石油系原料から得ているアルケンを石油系資源より枯渇まで十分に余裕のある天然ガス、液化石油ガス等から得る資源の有効利用につながり、注目されている(式)。



しかし、触媒科学の分野では、生成したアルケンが二酸化炭素に逐次的に変換してしまうために高難度酸化と言われ、触媒開発が非常に難しいチャレンジングな領域である。アルカンからアルケンの接触酸化脱水素反応の活性点は、原料ガス中および固体酸化物触媒中の酸素、いわゆる活性酸素である。しかしながら、どのような活性酸素種が具体的に寄与しているか、in-situで直接観測した例は、25年以上にわたって接触酸化脱水素反応を検討してきた研究代表者の知る限り存在せず、特別な手法の結果に基づく予測のレベルで活性酸素種の寄与を指摘しているのが現状であり、活性酸素種の具体的な反応様式、活性酸素種の in-situ における同定・定量が、触媒学会や化学工学会触媒分子反応工学分科会では解決しなければならないが、困難な課題である。

このような状況に対し、本学の光物理学系の研究者から、以下の重要な2点の助言を頂いた。

(1) 酸素ガスに UV を照射するとオゾン、また、チタニアが共存下 UV-LED や He-Cd レーザーを照射すると O_2^- 、OH ラジカル、 H_2O_2 および一重項酸素の活性酸素種が効率良く生成し、アルカンの接触酸化脱水素の活性種として寄与できる。

(2) 蛍光プローブや発光分析を行うと、 O_2^- 、OH ラジカル、 H_2O_2 および一重項酸素のような活性酸素種の同定・定量が可能である

この助言に基づき、研究代表者が接触酸化脱水素反応に用いている常圧固定床流通式反応装置と研究分担者が所有する UV ランプ、UV-LED および He-Cd レーザーを組み合わせると上記項目(1)の検討が可能であること、また蛍光プローブおよび吸収測定用光源と対応する分光計を組み合わせると、(1)とともに、(2)の活性酸素種の同定・定量が原理的には可能であるという結論に至った。

2. 研究の目的

本研究は最高反応温度 700 におけるアルカンの接触酸化脱水素に対する活性酸素種の影響を検討するために、熱反応系と光学系を研究目的に沿ったように組み合わせるところに、まさに萌芽としての特徴があり、困難さがあると考えている。そこで、上記 1.-(1)(2)を完全に解明するための光学系を組む前の第1段階として、本課題では、1.-(1)の項目に特化して研究を行い、オゾン、 O_2^- 、OH ラジカルなどの活性酸素種により、アルカンの接触酸化脱水素反応が、通常の酸素分子を用いた場合と異なることを、つまり少なくとも変化率が向上することを実証することを目的とする。本研究では、徳島の特徴でもある UV-LED (~ 370 nm の紫外線発生：チタニア存在下 O_2^- 、水分があれば OH ラジカル発生用)の光源を用い、活性酸素種を発生させ、これらの紫外線を透過する石英反応管中の触媒を用いて、各種アルカンの接触酸化脱水素反応を検討する。触媒には、格子酸素の触媒作用が異なるメタンの酸化カップリング触媒であるマグネシアと酸化サマリウムを用いる。さらに、反応温度も広範囲に設定できる反応基質を検討した。以下の4項目を具体的な目的とした。

- (1)メタンの接触酸化脱水素反応による一酸化炭素、エチレン、エタンの合成
- (2)プロピレンの接触部分酸化によるプロピレンオキシドの合成
- (3)イソブタンの接触酸化脱水素によるイソブテンの合成
- (4)ピスマス - モリブデン複合酸化物触媒によるプロピレンからアクロレインの合成

3. 研究の方法

(1)メタンの接触酸化脱水素反応による一酸化炭素、エチレン、エタンの合成

本研究では、光照射下で熱的触媒反応の検討が実施できるようにした。触媒活性試験では、まずヘリウムを通気させながら、触媒を反応温度である 898 K まで昇温させた。その後、触媒前処理として、酸素ガスを触媒に1時間通気させた。前処理終了後、各ガス組成に設定したメタンガスと酸素ガスからなる反応ガスをヘリウムで全流量が 15 mL/min となるように希釈して通気させ、反応を開始した。反応開始から、所定の時間ごとに生成物を TCD-GC によって分析を行い定性・定量を行った。また、触媒に紫外線を照射する場合は、前処理終了後、反応ガスを触媒に通気させると同時に紫外線を反応炉に備えられた窓から照射した。活性酸素発生触媒に参照触媒のチタニア、メタンの酸化脱水素用触媒としてマグネシア、酸化サマリウムを用い、均一気相反応の寄与のない 898 K で反応を行った。

(2)プロピレンの接触部分酸化によるプロピレンオキシドの合成

触媒活性試験には常圧固定床流通式反応装置を用い、混合反応ガス 10 mL/min [$\text{P}(\text{C}_3\text{H}_6) = \text{P}(\text{O}_2) = 33.4 \text{ kPa}$]を He 希釈で通塔(通塔時間: 0.5 h, 1.5 h)させ、生成ガスを TCD および FID ガスクロマトグラフィーで分析した。反応温度は均一気相反応の寄与がない 573 K、触媒量は 0.25 g に設定した。CaCO₃担体に Ag と Na を担持し、Ag(56)-Na(1)/CaCO₃を調製した。なお括弧内の数値は重量濃度を示している。また、担体を MgCO₃および SrCO₃に変更するこ

とにより、更なる活性化を試みた。調製した触媒をそれぞれ Ag(56)-Na(1)/MgCO₃、Ag(56)-Na(1)/SrCO₃ と示す。

(3)イソブタンの接触酸化脱水素によるイソブテンの合成

触媒活性試験には、常圧固定床流通式反応装置を用いた。原料ガス (He 希釈) を F = 15.0 mL/min、P(iso-C₄H₁₀) = 14.4 kPa、P(O₂) = 12.3 kPa で供給し、通塔 6 時間反応させ、触媒活性を追跡した。なお、触媒量を 0.25 g とし、反応温度は均一気相反応の寄与がない 723 K を反応基準条件とした。MCM-41 にバナジウム (V) をテンプレートイオン交換法で修飾した V-MCM-41 と、SBA-15 に直接合成法で金属を修飾させた V-SBA-15、Co-SBA-15、Ti-SBA-15、Co,V-SBA-15、Ti,V-SBA-15 を使用した。

(4)ビスマス - モリブデン複合酸化物触媒によるプロピレンからアクロレインの合成

活性試験には常圧固定床流通式反応装置を用い、反応ガスとして P(C₃H₆) = 10.1 kPa、P(O₂) = 15.5 kPa に調整し、He で希釈した上で全流量 F = 15 mL/min または 30 mL/min で供給した。また前処理後に酸素を供給せず、触媒中の格子酸素のみでの反応も行った。触媒には、α-Bi₂Mo₃O₁₂、γ-Bi₂MoO₆ と各触媒中の Mo を 1%Ce に置換した α-Ce 1% を調製して用いた。

4. 研究成果

(1)メタンの接触酸化脱水素反応による一酸化炭素、エチレン、エタンの合成

明確な、一酸化炭素とエタンの選択率の得られたマグネシアとチタニアの組み合わせについて述べる。P(O₂) = 4.1 kPa マグネシアおよびチタニア単独で、UV-LED の照射の影響を検討した。UV-LED の照射で、それぞれ単独の場合は CO の選択率が明らかに改善された。光触媒機能の無いマグネシアでは予期しない結果であったが、メタンの酸化で生成した二酸化炭素が酸化マグネシウムの塩基性点に吸着し、炭酸マグネシウム種を形成することで、本来なら非常に安定な二酸化炭素を容易に一酸化炭素へと還元する効果が報告されており、本研究でも同様に説明できると思われる。光触媒であるチタニアについては、UV-LED を照射することで生成された活性酸素種によって部分酸化反応が促進され、一酸化炭素の選択率が増加したと考えられる。マグネシア : チタニア = 0.95 : 0.05 の割合で混合した触媒 0.37 g を用い検討した結果、一酸化炭素とエタンの選択率が UV-LED の照射により改善されており、本研究申請時に想定していたチタニア + 酸素 + UV-LED で生じる活性酸素がメタンの酸化脱水素活性に影響することが確認できた。マグネシアの代わりに酸化サマリウムを用いた場合も、CO の選択率が改善する効果が検出できた。

(2)プロピレンの接触部分酸化によるプロピレンオキシドの合成

本反応は、非常に難易度の高い触媒反応であり、「この反応は固体触媒を用いても進まない」と断言する研究者がいる一方、チタンやアルミニウムで改質した固体触媒がプロピレンオキシドの収率が 10% を超える活性を与えるという、全く異なった報告もされていた(引用文献)。同様な反応形式を示すエチレンからエチレンオキシド合成には銀触媒が有効であるが、本反応には有効ではないと報告されていたが、数年前に、銀触媒である Ag(56)-Na(1)/CaCO₃ を用いるとプロピレンオキシドの収率が 1% 程度になるという、合理的で高い収率が報告されていた(引用文献)。このように混乱していた接触反応であるが、チタンやアルミナの添加効果を過大評価すべきでないということを明らかにできたとともに、Ag(56)-Na(1)/CaCO₃ の結果を再現できることを明らかにし、CaCO₃ を SrCO₃ にすると、プロピレンオキシドの収率を 2% 以上に改善できることを示した。この反応は実現できれば、社会へのインパクトが大きいため、その結果を整理できたことは固体触媒科学の分野に大きな影響を与えることができたと考えている。

(3)イソブタンの接触酸化脱水素によるイソブテンの合成

イソブタンの酸化脱水素から得られるイソブテンは我が国が世界でトップの生産高を誇るメタクリル酸メチルの前駆体となり得る重要な原料である。当該研究室では本反応に有効な触媒の開発を行ってきており、クロムで改質した固体触媒が高い活性を示すことを示してきた。ただし、クロムは有害な化合物であるため、クロムの使用削減またはクロムを使用しない触媒の開発のためには二元系酸化物触媒の開発が必須である。本研究実施期間中には、コバルトおよびバナジウムで修飾したメソポーラス触媒である SBA-15 触媒を開発し、二元系への展開を行った。ここでは、SBA-15 単独、SBA-15 のコバルト (Co-SBA-15) およびバナジウム (V-SBA-15) を修飾した単元系酸化物触媒、および SBA-15 をコバルトとバナジウム (Co,V-SBA-15) で修飾した触媒を用いて検討した。SBA-15 自体もわずかな活性を示すが、コバルトまたはバナジウムの導入によりイソブテン収率が改善された。さらに、コバルトとバナジウムをともに導入した二元系触媒ではイソブタン変化率とイソブテン選択率がともに改善され、相乗効果による活性の改善が見られ、二元系触媒の可能性を示すことができた。コバルトとバナジウムはレドックスを示す元素であるため、レドックスを示さないチタンをコバルトの代わりに用いると (Ti,V-SBA-15)、チタンを導入した触媒 (Ti-SBA-15) 自体の活性が低いために、二元系にしても V-SBA-15 の活性を超えることはなく、レドックスを示す元素の導入が活性改善効果を示すことがわかった。

(4)ビスマス - モリブデン複合酸化物触媒によるプロピレンからアクロレインの合成

ビスマス - モリブデン複合酸化物触媒はプロピレンの部分酸化によるアクロレイン合成触媒として、触媒科学の教科書類には必ず掲載されているくらい世界中で利用されている。実使用

条件下では、ビスマス - モリブデン触媒にコバルト、鉄、ニッケルなどのレドックス性の高い元素が混入され触媒活性の向上に寄与している。この触媒の開発は 1950 年にさかのぼるために、レドックス性の高い元素として遷移金属元素が利用されていた。その後の触媒科学の進歩により、レドックス性の高い希土類元素に注目が集まっている。特に、セリウム元素は、酸素リザーバーとして自動車の三元触媒にも用いられているほど代表的なものである。本研究では、従来の遷移金属による改質ではなく、セリウムによる改質を試みた。本反応に対しては、 α - $\text{Bi}_2\text{Mo}_3\text{O}_{12}$ または γ - Bi_2MoO_6 が触媒活性種と言われている。そこで双方に 1%のセリウムを添加した触媒を調製して、活性への影響を検討した。プロピレン反応率を比較すると、 γ 体で 10%以上高くなり、この結果からは、無修飾の場合 γ 体が活性種と言える。これらの触媒に Ce を添加した効果を見ると、まず、 α 体に Ce を 1%添加すると、反応率は大幅に向上した。一方、 γ 体に Ce を 1%添加した触媒では、反応率は添加前と同程度となった。 α 体に Ce の添加効果が見られたので、Ce の添加量を 0.5%から 3%まで変化させたが、Ce の添加量が 2%の場合、プロピレン変化率は 25%程度となり、同条件での無修飾 γ - Bi_2MoO_6 のプロピレン変化率の 10%程度高い活性を示すことが明らかとなり、複数の遷移金属で修飾することに対して、Ce 一種類で修飾することによる顕著な効果が明らかになった。

<引用文献>

Y. Liu, K. Murata, M. Inaba and N. Mimura; "Syntheses of Ti- and Al-containing Hexagonal Mesoporous Silicas for Gas-Phase Epoxidation of Propylene by Molecular Oxygen," *Appl. Catal. A*, 309, 91-105 (2006)

J. Lu, J. J. Bravo-Suárez, M. Haruta and S. T. Oyama; "Direct Propylene Epoxidation over Modified Ag/CaCO₃ Catalysts," *Appl. Catal. A*, 302, 283-295 (2006)

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

Y. Kato, S. Nitta, K. Oribe, M. Katoh, W. Ninomiya, S. Sugiyama; Modifying SBA-15 with Binary Elements of Chromium and Molybdenum for Improved Catalytic Performance in the Oxidative Dehydrogenation of Isobutane to Isobutene, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol.52, in press (2019), DOI 10.1252/jcej.18we202

Y. Kato, S. Nitta, S. Shimazu, M. Kurashina, M. Katoh, W. Ninomiya, S. Sugiyama; Effect of Introduction of Trace Amount of Chromium Species in Improving Catalytic Performance of MCM-48 in Oxidative Dehydrogenation of Isobutane, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol.52, No.1, 99-105 (2019), DOI 10.1252/jcej.18we028, 機関デポジット URI <https://repo.lib.tokushima-u.ac.jp/113241>

S. Sugiyama, Y. Tsuchiya, R. H. E. Gasmalla, T. Horikawa, M. Katoh, Y. Arai and M. Akamatsu; Application of Si/SiC Ceramic Filters as Support for Structural Palladium Catalysts for the Reductive Decomposition of Aqueous Nitrite, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, Vol.126, No.9, 714-718 (2018), DOI 10.2109/jcersj2.18069, 機関デポジット URI <http://repo.lib.tokushima-u.ac.jp/112187>

Y. Kato, H. Misu, S. Shimazu, M. Katoh, W. Ninomiya and S. Sugiyama; Introduction of a Small Amount of Chromium to Enhance the Catalytic Performance of SBA-15 for the Oxidative Dehydrogenation of Isobutane to Isobutene, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol.51, No.5, 400-406 (2018), DOI 10.1252/jcej.17we311, 機関デポジット URI <http://repo.lib.tokushima-u.ac.jp/112186>

S. Sugiyama, K. Nagai, Y. Nakao, Y. Baba and M. Katoh; Catalyst Deactivation of a Silica-supported Bismuth-molybdenum Complex Oxide and the Related Complex Oxides for the Oxidative Dehydrogenation of 1-Butene to 1,3-Butadiene, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol.50, No.8, 641-647 (2017), DOI 10.1252/jcej.16we380, 機関デポジット URI <http://repo.lib.tokushima-u.ac.jp/ja/111074>

[学会発表](計 32 件)

林 泰範, 沖津育美, 霜田直宏, 加藤雅裕, 岡本敏弘, 古部昭広, 杉山 茂, 二宮 航 : メタンの酸化反応に対する活性酸素種の影響, 化学工学会第 84 年会, 2019.

沖津育美, 林 泰範, 霜田直宏, 加藤雅裕, 岡本敏弘, 古部昭広, 杉山 茂, 二宮 航 : 活性酸素によるメタンの部分酸化反応, 第 21 回化学工学会学生発表会(京都大会), 2019.

佐桑康太, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : プロピレンの直接気相接触酸化反応によるプロピレンオキサイドの合成, 2018 年日本化学会中国四国支部愛媛大会, 2018.

島津 匠, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂, 加藤裕樹, 二宮 航 : パナジウム修飾メソポーラスシリカ触媒によるイソブタンの酸化脱水素反応, 第 28 回キャラクターセッション講習会, 2018.

Yuki Nakao, Naohiro Shimoda, Masahiro Katoh and Shigeru Sugiyama : Effects of Composition and Ce Addition in Bi-Mo Binary Catalysts on the Oxidation of Propylene to Acrolein, 31st International Symposium on Chemical Engineering (ISChE2018), Chiang

Mai, 2018.

Yasuhiro Sakuwa, Naohiro Shimoda, Masahiro Katoh and Shigeru Sugiyama : Gas-Phase Oxidative Epoxidation of Propylene to Propylene Oxide on Ag-Modified Catalysts, 31st International Symposium on Chemical Engineering (ISChE2018), Chiang Mai, 2018.

中尾友紀, 三宅未珂, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマスモリブデン系複合酸化物触媒のレドックス挙動の検討, 石油学会創立 60 周年記念東京大会(第 48 回石油・石油化学討論会), 2018.

島津 匠, 加藤裕樹, 二宮 航, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : 微量のバナジウムを修飾したメソポーラスシリカ触媒によるイソブタンの酸化脱水素反応, 第 122 回触媒討論会, 2018.

三宅未珂, 隅田 光, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマス-モリブデン複合酸化物触媒の調製法がプロピレン部分酸化反応へ及ぼす効果, 第 12 回中四国若手 CE 合宿, 2018.

佐桑康太, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : Ag 修飾触媒を用いたプロピレンの直接気相酸化反応, 第 12 回中四国若手 CE 合宿, 2018.

林 泰範, 沖津育実, 霜田直宏, 加藤雅裕, 岡本敏弘, 古部昭広, 杉山 茂, 二宮 航 : 紫外線励起活性酸素存在下におけるメタンの酸化反応, 第 12 回中四国若手 CE 合宿, 2018.

三宅未珂, 中尾友紀, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマス-モリブデン系複合酸化物によるプロピレンの接触変換に関する気相酸素の影響, 化学工学会第 50 回秋季大会, 2018.

林 泰範, 佐桑康太, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : 還元処理を施した各種金属修飾触媒によるプロピレンのエポキシ化反応, 化学工学会第 50 回秋季大会, 2018.

折部健太, 新田真也, 加藤裕樹, 二宮 航, 霜田直宏, 加藤雅裕, 杉山 茂 : 2 元系金属修飾 SBA-15 触媒によるイソブタンの酸化脱水素反応, 化学工学会第 50 回秋季大会, 2018.

Yuki Kato, Shinya Nitta, Kenta Oribe, Masahiro Katoh, Wataru Ninomiya and Shigeru Sugiyama : Oxidative Dehydrogenation of Isobutane on Mesoporous Silica Catalysts Introduced with Binary Metallic Cations, 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8), Yokohama, 2018.

Yuki Kato, Wataru Ninomiya, Masahiro Katoh and Shigeru Sugiyama : Oxidative Dehydrogenation of Isobutane on Mesoporous Silica-Based Catalysts, 25th International Symposium on Chemical Reaction Engineering, Florence, 2018.

佐桑康太, 荻野友保, 加藤雅裕, 杉山 茂 : プロピレンの気相エポキシ化反応における金属修飾 SBA-15 触媒の検討, 化学工学会第 83 年会, 2018.

島津 匠, 加藤裕樹, 二宮 航, 加藤雅裕, 杉山 茂 : バナジウムで改質した SBA-15 触媒によるイソブタンの酸化脱水素反応, 化学工学会第 83 年会, 2018.

中尾友紀, 三宅未珂, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマス-モリブデン複合酸化物触媒に対する気相酸素の影響, 化学工学会第 83 年会, 2018.

三宅未珂, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマス-モリブデン系複合酸化物触媒を用いたプロピレンの部分酸化反応, 第 20 回化学工学会学生発表会(東広島大会), 2018 年 3 月.

²¹ 林 泰範, 加藤 雅裕, 杉山 茂 : ZSM-5 系ゼオライト触媒を用いたプロピレンのエポキシ化反応, 第 20 回化学工学会学生発表会(東広島大会), 2018.

²² 折部健太, 加藤裕樹, 二宮 航, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマス-モリブデン修飾メソ多孔体によるイソブタンの酸化脱水素反応, 第 20 回化学工学会学生発表会(東広島大会), 2018 年 3 月.

²³ 佐桑康太, 荻野友保, 林 泰範, 加藤雅裕, 杉山 茂 : 多孔質触媒によるプロピレンのエポキシ化反応, 化学工学会中国四国支部大会山口大会 2017, 2017.

²⁴ 中尾友紀, 長井宏太, 三宅未珂, 加藤雅裕, 杉山 茂 : ビスマスモリブデン触媒によるプロピレンの部分酸化反応, 化学工学会中国四国支部大会山口大会 2017, 2017 年.

²⁵ 新田真也, 加藤裕樹, 島津 匠, 折部健太, 加藤雅裕, 二宮 航, 杉山 茂 : イソブタンの酸化脱水素反応における Mo 系触媒の活性検討, 化学工学会中国四国支部大会山口大会 2017, 2017.

²⁶ 長井宏太, 中尾友紀, 三宅未珂, 加藤雅裕, 杉山 茂 : プテン類の酸化脱水素反応におけるビスマスモリブデン系触媒の格子酸素の挙動, 石油学会鳥取大会(第 47 回石油・石油化学討論会), 2017.

²⁷ 荻野友保, 佐桑康太, 加藤雅裕, 杉山 茂 : 固体酸触媒を用いたプロピレンの気相部分酸化反応によるプロピレンオキシドの合成, 2017 年日本化学会中国四国支部鳥取大会, 2017.

²⁸ 佐桑康太, 林 泰範, 荻野友保, 加藤雅裕, 杉山 茂 : SBA-15 を基軸とする多孔質触媒によるプロピレンの接触部分酸化反応, 第 11 回触媒道場, 2017.

²⁹ 島津 匠, 加藤裕樹, 三栖央頌, 新田真也, 加藤雅裕, 二宮 航, 杉山 茂 : 微量のクロムで改質したメソポーラスシリカ触媒によるイソブタンの酸化脱水素反応, 第 120 回触媒討論会, 2017.

³⁰ 新田真也, 加藤雅裕, 加藤裕樹, 二宮 航, 杉山 茂 : 微量の Cr 修飾メソポーラスシリカによるイソブタンの酸化脱水素反応の高活性化, 化学工学会第 49 回秋季大会, 2017.

³¹ 荻野友保, 佐桑康太, 加藤雅裕, 杉山 茂 : 多孔質触媒である H-ZSM-5 によるプロピレンのエポキシ化反応, 第 11 回中四国若手 CE 合宿, 2017.

³² 長井宏太, 中尾友紀, 加藤雅裕, 杉山 茂 : プテン類の酸化脱水素反応における Bi-Mo 系酸

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: プロピレンオキシドの製造方法
発明者: 杉山 茂・木村信啓
権利者: 徳島大学、JXTG エネルギー (株)
種類: 特許
番号: 特願 2018-025285 号
出願年: 2018
国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.chem.tokushima-u.ac.jp/C3/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 古部 昭広

ローマ字氏名: (FURUBE, akihiro)

所属研究機関名: 徳島大学

部局名: 大学院社会産業理工学研究部 (理工学域)

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 30357933

研究分担者氏名: 岡本 敏弘

ローマ字氏名: (OKAMOTO, toshihiro)

所属研究機関名: 徳島大学

部局名: 大学院社会産業理工学研究部 (理工学域)

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 60274263

研究分担者氏名: 加藤 雅裕

ローマ字氏名: (KATOH, masahiro)

所属研究機関名: 徳島大学

部局名: 大学院社会産業理工学研究部 (理工学域)

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁): 80274257

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 二宮 航

ローマ字氏名: (NINOMIYA, wataru)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。