

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04838

研究課題名(和文) 実用化を志向した燃焼合成法によるCO₂からのメタノール合成に特化した触媒の創製研究課題名(英文) Development of Catalyst for CO₂-to-Methanol Hydrogenation Prepared by Flame Spray Pyrolysis

研究代表者

多田 昌平 (Tada, Shohei)

茨城大学・理工学研究科(工学野)・助教

研究者番号：60769941

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題において、CO₂と再生可能エネルギー由来のH₂から、効率よくメタノールを製造することが可能な触媒の開発を行ってきた。我々はメタノール合成に適した触媒としてCu/ZrO₂をみいだし、活性点がCu-非晶質ZrO₂界面であった。そこで、Cu-ZrO₂界面を増大させるために、(1) Cuの高担持化、(2) Cuの微粒化、(3) ZrO₂の非晶質化を行った。火炎噴霧熱分解法によってCu/ZrO₂触媒を連続合成することで、上記の課題を達成することができた。特筆すべき点は、市販のメタノール合成触媒よりも高い活性を有する触媒を開発できたことにある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

過去10年間に発表されたメタノール合成触媒に関する論文の中で、Cu/ZrO₂触媒に関するものは全体の6%程度にすぎないが、今後一層の解明・開発の待たれる分野である。報告されているCu/ZrO₂系触媒の研究のほとんどは、反応機構解明に着目している。本研究は他グループがあまり行っていない、商業触媒よりも高活性な触媒を開発することを目標としていた。特筆すべきは、我々が火炎噴霧熱分解法の有用性を報告してから、他グループからも本手法に類似した触媒開発が報告されるようになってきた点である。メタノール合成触媒やその先にある固体触媒の合成指針を示した、という点で我々の研究が先駆的であったことは明白である。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we have been developing a catalyst that can efficiently produce methanol from CO₂ and H₂ derived from renewable energy. We have focused on Cu/ZrO₂ as a catalyst suitable for methanol synthesis, and the active site is the Cu-amorphous ZrO₂ interface. Therefore, we struggled with the following three issues to increase the number of Cu-amorphous ZrO₂ interfacial sites: (1) Cu is highly loaded, (2) Cu nanoparticles are highly dispersed on ZrO₂, and (3) ZrO₂ is amorphized. The above problems were achieved by continuously synthesizing Cu/ZrO₂ catalysts by the flame spray pyrolysis method. It should be noted that we developed a catalyst with higher activity than commercially available methanol synthesis catalysts.

研究分野：触媒化学

キーワード：火炎噴霧熱分解法 銅触媒 ジルコニア 二酸化炭素 メタノール 水素化 高担持 非晶質

1. 研究開始当初の背景

有限である化石資源の代替物が長年求められており、その候補の一つにメタノールがある (Fig. 1a)。しかし現状、メタノールの原料はシェールガスや石炭など、やはり限りある化石資源である。近年、CO₂ 水素化反応によるメタノール合成は世界各国で関心が高まっている。「増え続ける CO₂」と「再生可能エネルギーから作られる H₂」からメタノールを合成すること (CO₂ 水素化、Fig. 1b) が、持続可能性の高い社会の実現に貢献すると期待される。例えば、Carbon Recycling International が、世界で初めて商用規模のプラントを稼働させており (2015 年には 500 万 L/year)、今後世界的に工業化されることが予想される。現状では、メタノール製造コストの約半分が H₂ の製造コストであるため、H₂ 製造の低コスト化は急務である。それに加え、製造された H₂ を無駄なくメタノールに転換する技術が求められる。

商用触媒である Cu/ZnO/Al₂O₃ は、合成ガス (CO/CO₂/H₂ 混合ガス) からのメタノール合成反応 (CO 水素化、Fig. 1b) に有用である。しかし、この触媒は合成ガスを原料とすることを想定しているため、CO₂ からのメタノール合成反応では十分な活性を示さない。また副反応である逆シフト反応 (Fig. 1b) による H₂ の消費も効率を下げる要因となっている。本研究では、CO₂ からのメタノール合成において高い活性および選択性を有する触媒の開発を目的とする。

2. 研究の目的

CO の介在しないメタノール合成反応の構築を目指し、あらためて触媒組成を見直した。平成 27 年度より取り組んでいる JSPS 特別研究員の課題において、CO₂ 水素化反応によるメタノール合成に適する触媒として、Cu/ZrO₂ 触媒に着目した。本研究では、メタノール合成活性・選択性の高い Cu/ZrO₂ 系触媒を簡便な手法で調製することを目指している。反応機構や工業応用を考慮した結果、新規触媒には以下の 3 点が求められると考えた。各項目に対する本研究のアプローチを併せて示す。

(1) メタノール分解反応が抑制される触媒 (Fig. 2a) : 今までの検討により、本反応は「CO₂ → メタノール → CO」と転化する逐次反応であることがわかっている。中間生成物であるメタノールの収率を上げるためには、後段の反応 (メタノール分解反応) を抑制することが望まれる。研究代表者は、メタノールの吸着力が弱い非晶質 ZrO₂ を触媒担体に使用することで、メタノール分解反応を抑制することを報告している。本研究では、メタノール吸着力の弱い触媒担体に着目した触媒開発を行った。

(2) Cu-ZrO₂ 界面が多く存在する触媒 (Fig. 2b) : CO₂ 水素化によるメタノール合成反応の活性点が Cu-ZrO₂ 界面であることから、Cu-ZrO₂ 界面が多いほど触媒性能が向上すると予想される。Cu-ZrO₂ 界面の拡大を狙い、本研究では以下のことを検討する：(i) Cu 粒子の微粒化、(ii) Cu 担持量の増加、そして(iii) ZrO₂ の高表面積化を行い、Cu 微粒子を大量に ZrO₂ に担持した触媒を調製する。商用 Cu/ZnO/Al₂O₃ 触媒 (Cu 担持量：約 50wt%) よりも活性の高い Cu/ZrO₂ 系触媒を開発するためには、高 Cu 担持量を達成しつつ、Cu-ZrO₂ 界面の構造を維持することが不可欠になる。

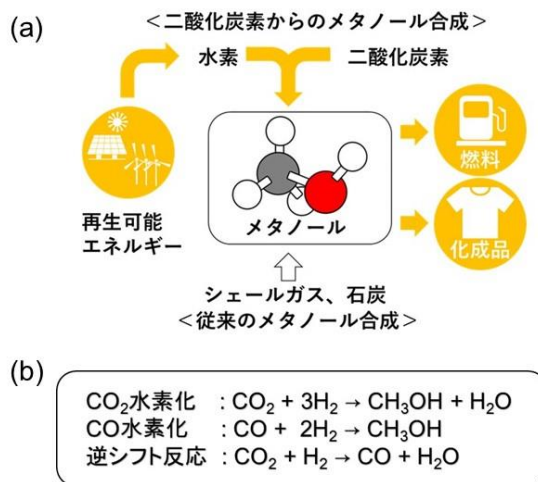


Fig. 1 (a) CO₂ からのメタノール合成と従来のメタノール合成. (b) 本反応に関連する化学反応

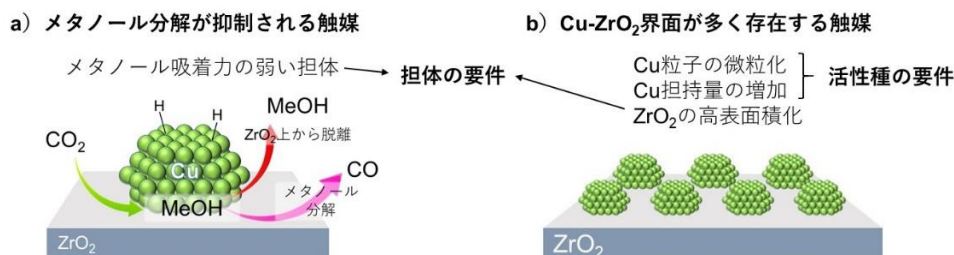


Fig. 2 新規触媒の開発指針. (a) メタノール分解反応が抑制される触媒および (b) Cu-ZrO₂ 界面が多く存在する触媒.

(3) 簡便な触媒調製法：工業応用の観点から、複雑な触媒調製法は適さないと考えられる。メタノール合成触媒の一般的な調製法である共沈法では、共沈過程においてCu錯体を形成するため、Cu種の構造制御が困難になる。本研究では、簡便な触媒調製法である火炎噴霧熱分解法(FSP、Fig. 3)に着目した。本合成方式は数kg/hの生産速度でナノ粒子を連続合成可能であり、Johnson Matthey等で触媒調製に利用されている。Fig. 3に示すように、金属前駆体溶液を火炎中で噴霧・燃焼することでナノ粒子を合成する。粒子は火炎中で気化した金属前駆体より生成し、火炎温度と火炎中における粒子の滞留時間に応じて、粒子サイズの増大および結晶化がおこる。よって燃焼温度および粒子滞留時間を小さくすることにより、生成する粒子が微小化・非結晶化する。本研究では、Fig. 2の開発指針に示す非晶質ZrO₂に担持した微小Cu粒子合成のため、燃焼温度および粒子滞留時間が最小となる燃焼条件での合成を試みた。

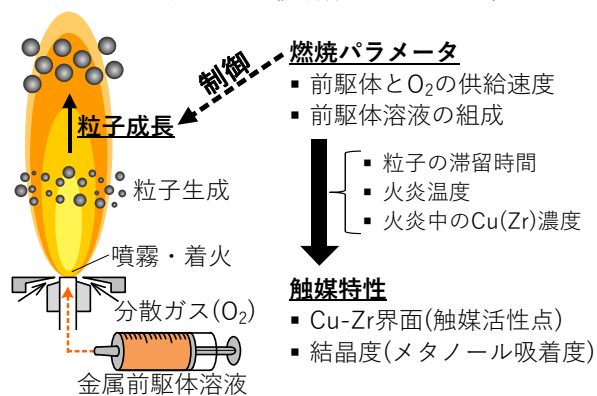


Fig. 3 火炎噴霧熱分解法のご概念図

3. 研究の方法

種々のCu/ZrO₂触媒はFSP装置(Fig. 3)により調製した。CuとZrの前駆体溶液CH₄-O₂火炎で着火・燃焼させた。簡単のために、Cu担持量がxwt%のサンプルをx-FSP(x=0-80)と名付けた。比較として、商用のメタノール合成触媒(Clariant, MDC-3)を使用した。触媒反応試験は自作の固定床流通式反応器にて行った。試験前に、5%H₂/Ar気流下、300℃で2時間還元処理を行った後に、CO₂/H₂/N₂混合ガス(=1/3/1)を230℃で10bar、触媒層に導入した。出口ガス組成は、FIDおよびTCDを有するGCにより測定した。触媒の物性評価は、XRD、XPS/AES、STEM、H₂-TPRなどで行った。

4. 研究成果

(1) Cuの高担持化 [Chem. Eng. J. 381 (2020) 122750]

FSP法により、20FSP、40FSP、60FSP、80FSPを調製した。一般的に学術論文で議論されるCu触媒は20wt% Cu以下のものである。これは、Cuナノ粒子が簡単に凝集してしまうためである。FSP法で合成したCu/ZrO₂触媒のうち20FSP、40FSP、60FSPでは、Cuの凝集が確認されず、Cuナノ粒子(粒子サイズ10nm以下)がZrO₂上に分散されていることが明らかとなった。また、調整したx-FSPと商用メタノール触媒であるMDC-3の触媒性能を比較したところ、60FSPが高いメタノール合成活性・選択性を有していることがわかった。

(2) ZrO₂の非晶質化[AICHE J. 65 (2019) e16717]

先述したように、燃焼条件は触媒の物性・形状を決める要因になることが知られている。また、非晶質ZrO₂を触媒材料として応用することで、CO₂からのメタノール合成に有効な活性点(Cu-非晶質ZrO₂界面)を選択的に形成させることが可能である。しかしながら、先述4(1)で行った検討では、調製したx-FSP触媒のZrO₂結晶相は正方晶であり、非晶質ZrO₂を作るまでには至らなかった。そこで、CuおよびZr前駆体の燃焼条件を変化させることで、Cu/非晶質ZrO₂触媒の合成を試みた。前駆体溶液の供給速度を抑えることで、小さい炎の中での触媒合成を行った。ZrO₂の結晶相をXRDで評価したところ、非晶質である可能性が示唆された。続けて、メタノール吸着実験を行ったところ、開発した触媒ではメタノールの吸着力が弱いことが示唆された。この現象は、非晶質ZrO₂上にメタノールを吸着させた際に発現するものと同じである。以上二つの結果から、小さい炎の中で合成された触媒はCu/非晶質ZrO₂であることが明らかとなった。しかしながら、この開発した触媒は熱的に不安定であり、先述の60FSPを上回る触媒性能を示す結果とはならなかった。

(3) ZrO₂の非晶質化を目指した第三成分の添加[検討中]

熱安定な非晶質ZrO₂を精度よく作るために、第三成分の添加を行った。検討を通し、第三成分としてSiO₂を加えることでZrO₂が非晶質化すること、すなわち、Cu/ZrO₂-SiO₂を火炎噴霧熱分解法で合成することでZrO₂が非晶質化することが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tada Shohei, Fujiwara Kakeru, Yamamura Taihei, Nishijima Masahiko, Uchida Sayaka, Kikuchi Ryuji	4. 巻 381
2. 論文標題 Flame spray pyrolysis makes highly loaded Cu nanoparticles on ZrO ₂ for CO ₂ -to-methanol hydrogenation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 122750
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2019.122750	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Fujiwara Kakeru, Tada Shohei, Honma Tetsuo, Sasaki Hiro, Nishijima Masahiko, Kikuchi Ryuji	4. 巻 65
2. 論文標題 Influences of particle size and crystallinity of highly loaded CuO/ZrO ₂ on CO ₂ hydrogenation to methanol	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIChE Journal	6. 最初と最後の頁 e16717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aic.16717	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Lam Erwin, Larmier Kim, Tada Shohei, Wolf Patrick, Safonova Olga V., Coperet Christophe	4. 巻 40
2. 論文標題 Zr(IV) surface sites determine CH ₃ OH formation rate on Cu/ZrO ₂ /SiO ₂ - CO ₂ hydrogenation catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Catalysis	6. 最初と最後の頁 1741 ~ 1748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/S1872-2067(19)63348-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Tada Shohei, Oshima Kazumasa, Noda Yoshihiro, Kikuchi Ryuji, Sohmiya Minoru, Honma Tetsuo, Satokawa Shigeo	4. 巻 58
2. 論文標題 Effects of Cu Precursor Types on the Catalytic Activity of Cu/ZrO ₂ toward Methanol Synthesis via CO ₂ Hydrogenation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 19434 ~ 19445
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.9b03627	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 多田昌平、里川重夫	4. 巻 27
2. 論文標題 二酸化炭素の水素化によるメタノール合成のための触媒開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan	6. 最初と最後の頁 13~17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 多田昌平	4. 巻 45
2. 論文標題 CO2からのメタノール合成技術	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 水素エネルギーシステム	6. 最初と最後の頁 25~29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 多田昌平	4. 巻 45
2. 論文標題 第161回定例研究会 資料I「CO2水素化によるメタノール合成に特化した触媒の創製」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 水素エネルギーシステム	6. 最初と最後の頁 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tada Shohei, Otsuka Fumito, Fujiwara Kakeru, Moularas Constantinos, Deligiannakis Yiannis, Kinoshita Yuki, Uchida Sayaka, Honma Tetsuo, Nishijima Masahiko, Kikuchi Ryuji	4. 巻 10
2. 論文標題 Development of CO2-to-Methanol Hydrogenation Catalyst by Focusing on the Coordination Structure of the Cu Species in Spinel-Type Oxide Mg _{1-x} Cu _x Al ₂ O ₄	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 15186~15194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c02868	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 多田 昌平、藤原 翔	4. 巻 35
2. 論文標題 火炎噴霧熱分解法を用いたメタノール合成触媒の連続合成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 259 ~ 264
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.35.259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 多田 昌平	4. 巻 43
2. 論文標題 2019年度研究助成報告書「Cu種の配位構造に着目したCO ₂ からのメタノール合成触媒の開発」	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ペトロテック	6. 最初と最後の頁 561 ~ 566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 多田 昌平、山村 泰平、菊地 隆司
2. 発表標題 CO ₂ 水素化反応用Cu/ZrO ₂ 触媒へのSm添加効果
3. 学会等名 石油学会 第62回年会 (第68回研究発表会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋 菜理、大島 一真、多田 昌平、菊地 隆司、里川 重夫
2. 発表標題 二酸化炭素の水素化によるジメチルエーテルの直接合成
3. 学会等名 石油学会 第62回年会 (第68回研究発表会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Tada, Yoshihiro Noda, Ryuji Kikuchi, Kazumasa Oshima, Minoru Sohmiya, Tetsuo Honma, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 Effect of type of Cu precursors on catalytic activity towards methanol synthesis via CO ₂ hydrogenation over Cu/ZrO ₂
3. 学会等名 8th World Hydrogen Technologies Convention (WHTC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Tada, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 Development of Cu/ZrO ₂ catalysts for CO ₂ -to-methanol hydrogenation
3. 学会等名 14th European Congress on Catalysis (EuropaCat 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazumasa Oshima, Shiori Nakajima, Shohei Tada, Ryuji Kikuchi, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 One pass DME synthesis over Cu/ZrO ₂ -zeolite mixed catalyst from CO ₂ hydrogenation
3. 学会等名 14th European Congress on Catalysis (EuropaCat 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shohei Tada, Kakeru Fujiwara, Taihei Yamamura, Masahiko Nishijima, Sayaka Uchida, Ryuji Kikuchi
2. 発表標題 CO ₂ Hydrogenation to methanol over highly loaded Cu nanoparticles on ZrO ₂ prepared by flame spray pyrolysis
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kakeru Fujiwara, Shohei Tada, Hiro Sasaki, Ryuji Kikuchi
2. 発表標題 Size effect of highly-loaded CuO/ZrO ₂ catalysts for CO ₂ hydrogenation to methanol
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中嶋菜理、宗宮穰、大島一真、里川重夫、多田昌平、菊地隆司
2. 発表標題 ゼオライトと銅系触媒の混合触媒を用いた二酸化炭素からのDME一段合成
3. 学会等名 第39回水素エネルギー協会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shiori Nakajima, Kazumasa Oshima, Shohei Tada, Ryuji Kikuchi, Minoru Sohmiya, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 GREEN2019
3. 学会等名 Direct dimethyl ether synthesis from CO ₂ hydrogenation over Cu/ZrO ₂ and zeolite mixed catalyst (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田 昌平
2. 発表標題 CO ₂ 水素化によるメタノール合成に特化した触媒の創製
3. 学会等名 水素エネルギー協会 第161回定例研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田昌平、栢森真吾、里川重夫
2. 発表標題 CO ₂ からのメタノール合成触媒Cu/ZrO ₂ の調製条件の検討
3. 学会等名 石油学会第61回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田昌平、藤原翔、菊地隆司
2. 発表標題 火炎噴霧熱分解法を用いた CO ₂ 水素化によるメタノール合成用Cu触媒の連続合成
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田昌平
2. 発表標題 CO ₂ からのメタノール合成に特化した触媒の開発
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田昌平、野田義浩、菊地隆司、大島一真、宗宮穰、里川重夫
2. 発表標題 CO ₂ からのメタノール合成用Cu/ZrO ₂ 触媒の調製条件の検討 -Cu前駆体による影響-
3. 学会等名 石油学会 創立60周年記念東京大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大島一真、中嶋菜理、宗宮穰、多田昌平、菊地隆司、里川重夫
2. 発表標題 銅系触媒とゼオライトの複合によるCO ₂ からのDME合成
3. 学会等名 石油学会 創立60周年記念東京大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Tada, Yoshihiro Noda, Ryuji Kikuchi, Kazumasa Oshima, Minoru Sohmiya, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 Influence of the types of Cu precursors on CO ₂ -to-methanol hydrogenation over Cu/ZrO ₂
3. 学会等名 The 6th ASCON-IEEChE 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shohei Tada, Ayaka Katagiri, Keiko Kiyota, Tetsuo Honma, Akane Nariyuki, Sayaka Uchida, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 Copper nanoparticles on amorphous zirconia for methanol synthesis via carbon dioxide hydrogenation
3. 学会等名 TOCAT8 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shingo Kayamori, Shohei Tada, Kenichi Kon, Takashi Toyao, Ken-ichi Shimizu, Shigeo Satokawa
2. 発表標題 Direct evidence of the incorporation of Cu species into ZrO ₂ lattice over CuO/ZrO ₂ for CO ₂ -to-methanol hydrogenation
3. 学会等名 TOCAT8 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中嶋菜理、大島一真、宗宮穰、多田昌平、菊地隆司、里川重夫
2. 発表標題 銅系触媒とゼオライトの複合触媒による 二酸化炭素からのDME合成でのゼオライト構造の影響
3. 学会等名 第34回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 多田昌平
2. 発表標題 ZrO ₂ 結晶相に着目したCO ₂ からのメタノール合成触媒の開発
3. 学会等名 第5回 次世代天然ガス利用を考える若手勉強会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山村泰平、多田昌平、菊地隆司、小林靖和、Oyama S. Ted
2. 発表標題 二酸化炭素からのメタノール合成反応のための触媒担体に関する研究
3. 学会等名 第21回化学工学会学生発表会東京大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 多田昌平、藤原翔、山村泰平、菊地隆司
2. 発表標題 メタノール合成に用いる高担持CuO/ZrO ₂ 触媒の連続合成
3. 学会等名 化学工学会 第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木斐呂、多田昌平、山村泰平、菊地隆司、藤原翔
2. 発表標題 火炎噴霧熱分解法によるメタノール合成用Cu ₀ /ZrO ₂ 触媒調製に燃焼条件が与える影響
3. 学会等名 化学工学会 第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原翔、多田昌平、佐々木斐呂
2. 発表標題 火炎噴霧熱分解法によるZrO ₂ 担持Cu粒子の微粒化と高担持量化
3. 学会等名 第37回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Tada, F. Otsuka, R. Kikuchi
2. 発表標題 CO ₂ -to-methanol hydrogenation catalyst by focusing on coordination structure of Cu species
3. 学会等名 第50回石油・石油化学討論会（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田昌平
2. 発表標題 二酸化炭素資源化技術への非晶質材料の展開
3. 学会等名 化学工学会第86年会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shohei Tada
2. 発表標題 Cu-based catalyst precursor for CO ₂ -to-methanol hydrogenation
3. 学会等名 The 8th Workshop on Next-Generation Utilization of Natural Gas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多田昌平、大塚文人、菊地隆司
2. 発表標題 Mg _{1-x} Cu _x Al ₂ O ₄ を用いたCuナノ粒子還元析出の理解
3. 学会等名 第31回 日本化学会関東支部 茨城地区研究交流会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原翔、多田昌平
2. 発表標題 燃焼合成法により調製した金属クラスターの観察
3. 学会等名 文部科学省ナノテクプラットフォーム 秀でた利用成果候補発表 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田昌平
2. 発表標題 CO ₂ 水素化反応によるメタノール合成反応機構の理解とそれに立脚した触媒開発
3. 学会等名 公益財団法人地球環境産業技術研究機構 無機膜研究センター 産業化戦略協議会 第15回セミナー (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多田 昌平
2. 発表標題 化石資源に頼らない持続可能な社会の実現のために
3. 学会等名 県民大学講座「豊かな生活環境を求めて」(招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Shohei Tada: Google Scholar
<https://scholar.google.co.jp/citations?user=zXlmsBUAAAAJ&hl=en>
 Kakeru Fujiwara: Google Scholar
<https://scholar.google.co.jp/citations?hl=en&user=lqFZZocAAAAJ>
 Shohei Tada: Researchmap
<https://researchmap.jp/tadashohei/>
 Kakeru Fujiwara: Researchmap
<https://researchmap.jp/kakerufujiwara/>
 (藤原) ベストプレゼンテーション賞: 第37回エアロゾル科学・技術研究討論会
 (多田) 研究奨励賞・玉置明善記念賞: 化学工学会
 (藤原) CVD反応分科会 若手奨励賞: 化学工学会

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	藤原 翔 (Fujiwara Kakeru) (70816628)	山形大学・大学院理工学研究科・助教 (11501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ギリシャ	University of Ioannina		