

令和 3 年 8 月 5 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02293

研究課題名(和文)自己組織化ナノポーラス金属による革新的C1化学触媒の創出

研究課題名(英文)Development of innovative nanoporous metal catalysts for C1 chemistry

研究代表者

藤田 武志(Fujita, Takeshi)

高知工科大学・環境理工学群・教授

研究者番号：90363382

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、研究代表者が進めてきたナノポーラス金属を、メタン(C1：炭素数が1の化合物)から化成品原料や有用な炭素資源へ変換するための革新的触媒へと発展させることである。特に、温暖化ガスの大半を占めるメタンのドライフォーミング反応($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$)に注目した。その結果、合成ガス($\text{H}_2 + \text{CO}$)生成用触媒として耐熱性・耐コーキング性ナノポーラスNi/Y2O3、C2(エチレンなど)生成用触媒としてCaO/Na2CO3複合触媒を見いだすことに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温暖化ガスである二酸化炭素(CO2)とメタン(CH4)を減らす上で、メタンドライフォーミング反応は重要である。通常は高温($>800^\circ\text{C}$)で行なわれる反応であり、炭素による被毒作用による劣化もあり、高い耐久性が求められていた。研究代表者は、従来の担持触媒ではなく、スポンジ構造をもったナノポーラス金属触媒によってこの問題の解決に取り組んだ。その結果、 550°C 360時間の反応耐性を持ったナノポーラスニッケル・イットリウム酸化物複合触媒を開発した。また、二酸化炭素を用いたメタンカップリング反応として、地球上のありふれた元素のみで構成されたカルシウム・炭酸ナトリウム複合触媒を開発した。

研究成果の概要(英文)：The purpose is developing innovative nanoporous metal catalysts, which we have been working with, to transform C1 (methane) to other useful chemicals. Especially, we focused on methane dry-reforming reaction ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) which is the major component of green house gases. Finally, we found heat/coking-resistant nanoporous Ni/Y2O3 for efficient $\text{H}_2 + \text{CO}$ production, and CaO/Na2CO3 hybrid catalysts for efficient C2(ethylene) production.

研究分野：材料科学

キーワード：ナノポーラス金属 触媒 メタン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脱成分腐食とは、電解液中で固溶合金中の特定の元素のみを溶出し、その際の自己組織化現象を利用してナノポーラス金属を作製する方法である。ナノポーラス金属は一繋がり、柔軟なネットワーク構造を持っており、孔サイズを数 nm から数 μm まで腐食条件で制御できる機能性材料である。

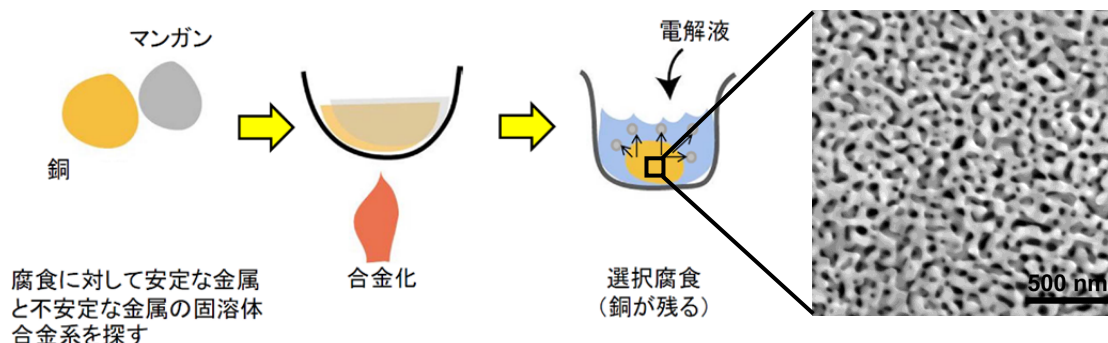


図1 脱成分腐食によるナノポーラス金属の作製手順とそのナノポーラス構造

化学物質を大量に生産する化学工業分野では、ナノ粒子触媒が触媒研究の主流となっている。ところが、使用過程で、ナノ粒子同士が合体して 5 nm 以上のサイズになると活性がほとんどなくなってしまうという問題がある。さらに、効率向上に表面積を大きくするために均一なナノサイズの粒子を大量に製造する必要があるが、量産が難しく、かつ高コストであること、助触媒との相性で材料を選ばなければならないなどの短所がある。

研究代表者は孔サイズが 30 nm 程度のナノポーラス金属の触媒に着目し、高性能な電子顕微鏡を使用して観察を行ってきた。球面収差補正透過電子顕微鏡や、その場観察ができる環境型電子顕微鏡を用いて、原子構造を詳細に観察したところ、ナノポーラス金属の持つ高密度な原子レベルの段差 (原子ステップ) の正確な可視化に成功し、数多くのステップが触媒活性の起源となっていることを明らかにした [1,2]。ナノポーラス触媒の活性の機構が解明できたことにより、「大量生産可能」・「合金設計が容易」・「担持体との組み合わせを考える必要がない」ナノポーラス金属の材料設計が可能となり、メタン (CH_4) から化成品原料や有用な炭素資源へ変換するための革新的触媒へと展開できる状況になった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が進めてきたナノポーラス金属を、メタン (C1: 炭素数が 1 の化合物) や低級アルカンから化成品原料や有用な炭素資源へ変換するための革新的触媒へと発展させることである。特に、天然ガスの大半を占めるメタンの、ドライフォーミング反応 ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) に注目し、高効率に変換する。研究代表者が得意とする作製プロセスの最適化、高性能電子顕微鏡や環境制御電子顕微鏡を実施することで、微視的メカニズムを明確にする。

3. 研究の方法

触媒探索として、後期遷移元素 (Fe, Co, Ni, Cu など) と前期遷移元素・典型金属元素ならびにランタノイド (Ti, Zr, Hf, In, La など) からなる粉末状合金前駆体を高温熔解からの機械粉碎によって合成し、雰囲気加熱による調整ならびに DRM 触媒特性の評価を行った。基本的な戦略として、AXY 系 (A: 活性元素 X: 犠牲元素 Y: 添加元素) を考え、X を脱合金化することでナノポーラス A ができ、添加元素 Y による効果で耐熱性の向上、および高活性化を目指した。活性の高い合金材料のナノポーラス化に取り組み、触媒評価と構造解析を行った。反応雰囲気中で加熱処理を施すことにより、金属・酸化物・炭化物を主成分によるナノ構造化を行った。合金前駆体およびナノポーラス触媒の化学組成およびナノ組織を、エネルギー分散分析器 (EDS) および電子線エネルギー損失分光器 (EELS) を装備した走査型透過電子顕微鏡 (STEM) によって分析した。

また、ドライフォーミング反応で水素を発生せずに、C2 化合物が生成する触媒の探索を広範囲に行った。数多くの触媒を作製し、順次触媒試験を行って性能を評価した。

4. 研究成果

耐熱性・耐コーキングナノポーラスニッケル触媒の作製 [3]

触媒探索の結果、 $\text{Al}_{75}\text{Ni}_{12.5}\text{Y}_{12.5}$ (at.%) 合金からアルカリ処理で Al を脱合金したナノポーラス $\text{Ni}/\text{Y}_2\text{O}_3$ 複合材料 (図 2) が有望であることがわかった。図 3 に触媒試験後の走査電顕像 (STEM) と EDS マッピングの結果を示す。残留溶質 Al が触媒反応で酸化アルミニウムとなって、Ni 表面に付着することで孔径の拡大を抑制し、これによって熱的安定なナノ構造を有していることが明らかとなった。

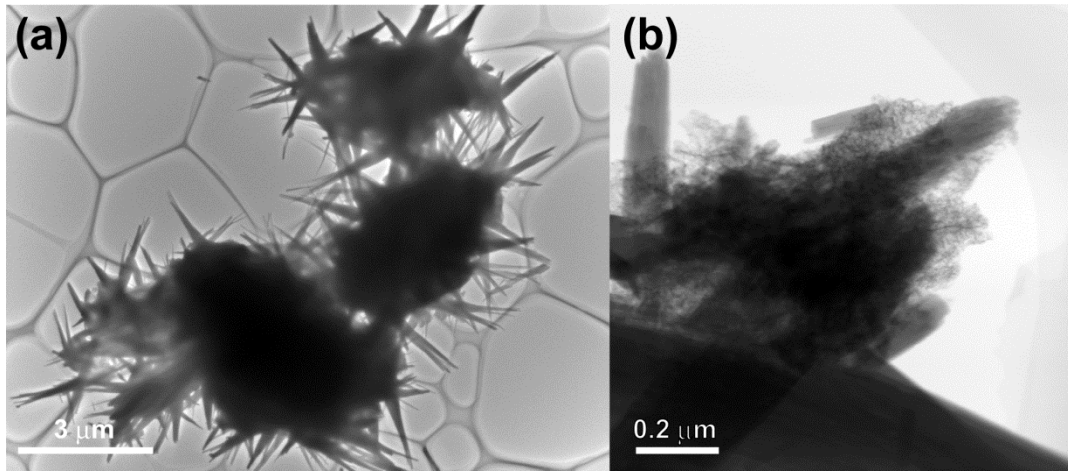


図 2 $\text{Al}_{75}\text{Ni}_{12.5}\text{Y}_{12.5}$ (at.%) 合金から作製したナノポーラス $\text{Ni}/\text{Y}_2\text{O}_3$ 複合材料の TEM 像 (a) 低倍 (b) 高倍

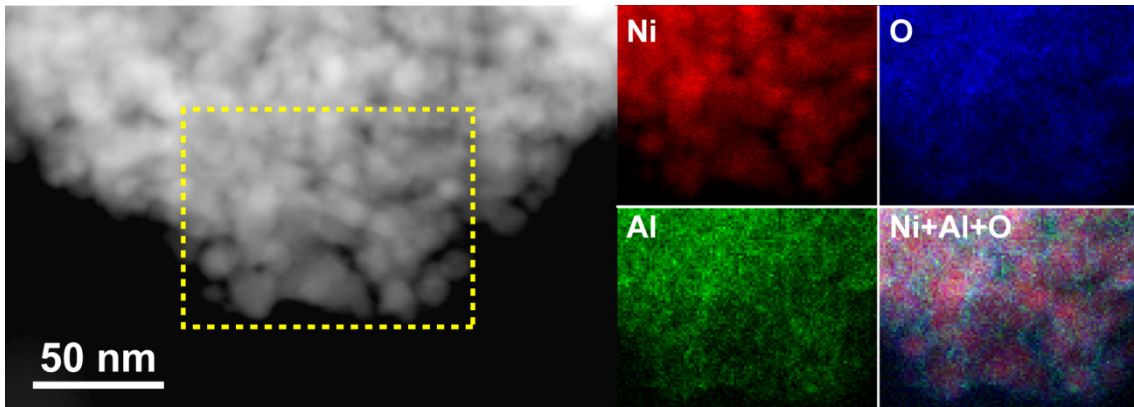


図 3. ナノポーラス $\text{Ni}/\text{Y}_2\text{O}_3$ の DRM 触媒試験後 (450 °C, 100 時間) の STEM 像と EDS マッピング像

ナノポーラスニッケル触媒の改良[4]

これまでナノポーラス NiY を用いて、600 以下でコーキングを起こさずにメタン転換を行ってきた。次に、 NiAlY 系金属間化合物を前駆材料とし、選択酸化と脱合金化を組み合わせた作製手法を採用することでナノポーラス Ni 基複合触媒を作製し、DRM 反応特性を評価した。作製方法の概要を図 4 に示す。

NiYAl , NiYAl_2 , NiYAl_4 合金をアーク融解で作製し、粒径 50 μm の合金前駆体粉末試料を得た。 O_2 (20 sccm)/ CO (20 sccm) 雰囲気下で 600 /12 h 熱処理後、12 M NaOH 水溶液に入れ 150 、5 気圧下で 6 h 脱合金化処理を行った。触媒条件は触媒 0.1 g に対して、温度が 550 、ガス流量が $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{N}_2=10/10/5 \text{ ml min}^{-1}$ で 4-6 h かけて DRM 反応を行った。微細構造観察には走査電顕および透過電顕を用いた。

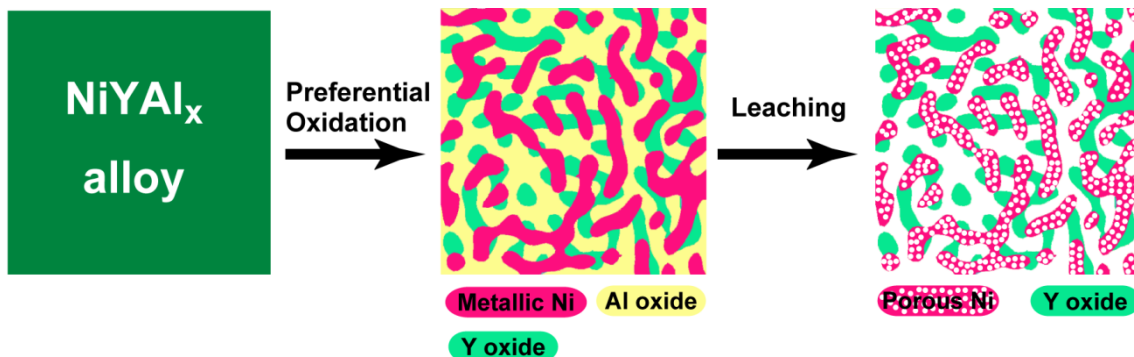


図 4 選択酸化と脱合金化によるナノポーラス Ni 基複合触媒の作製

ナノポーラス Ni 基複合触媒の SEM 像を図 5 に示す。ニッケルポーラス構造と $\text{Y}(\text{OH})_3$ の複合体が得られていることが分かった。触媒特性データを表 1 に示す。 NiYAl_2 から作製した触媒はメタン転換効率が 45% と高かったが、 H_2/CO 比が高くコーキングの量が 3 種の中で一番多かった。逆に NiYAl_4 から作製した触媒はメタン転換効率が 12% と高くなかったが、コーキングの量は一番少なく、従来触媒 ($\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$, ラネー Ni) と比べても H_2/CO 比が 1 以下で最もカーボンバランスが良く、DRM 触媒として適していることがわかった。そこで、 NiYAl_4 前駆体合金をアトマイザ

ーで打ち出すことによって均一な粒形を作製し、同様の手順で選択酸化、脱合金化することによって触媒を生成し、DRM 反応を行った。触媒の性能を乳鉢で生成した触媒と比較したところ、コーキング耐性と長時間にわたり安定的な低温 DRM 活性を維持できることがわかった(550°C 360 時間)。

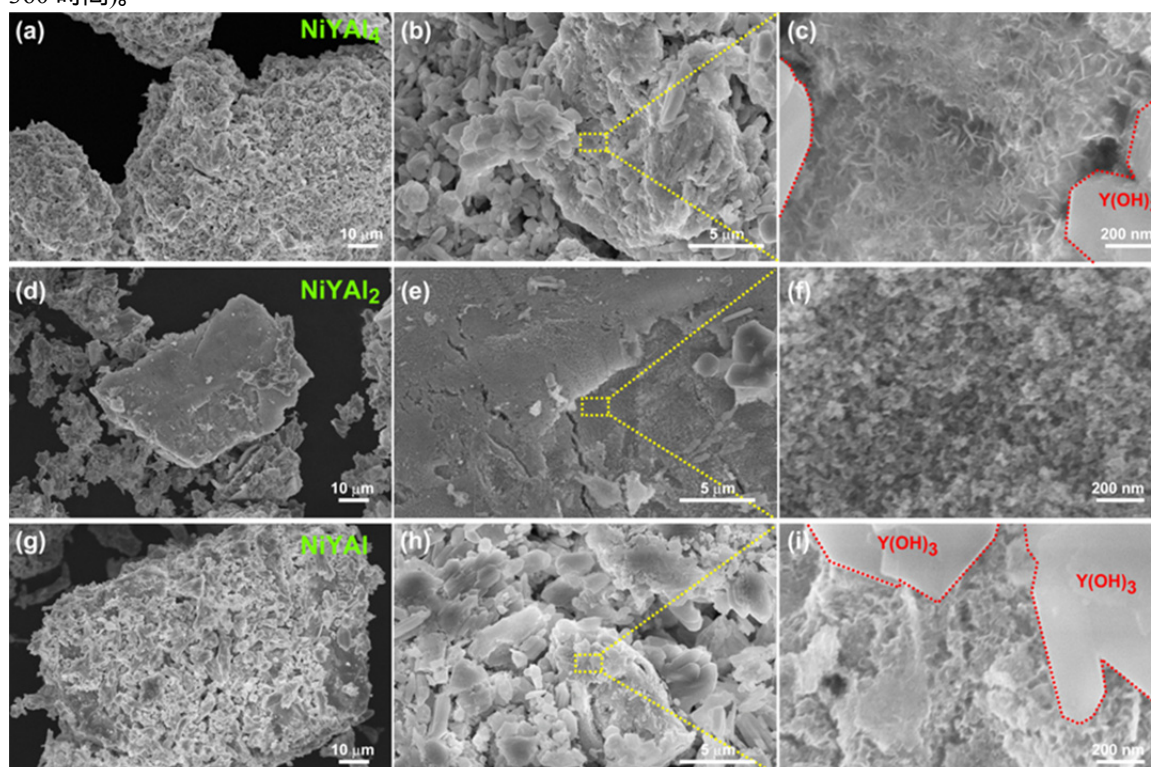


図5 NiYAl, NiYAl₂, NiYAl₄合金から作製したNi 複合材料のSEM 像 (a,b,c) NiYAl (d, e, f) NiYAl₂ (g, h, i) NiYAl

Sample	CH ₄ Conv. [%]	CO ₂ Conv. [%]	CH ₄ Consumption Rate [mmol h ⁻¹]	CO ₂ Consumption Rate [mmol h ⁻¹]	H ₂ Formation Rate [mmol h ⁻¹]	CO Formation Rate [mmol h ⁻¹]	H ₂ /CO ratio
NiYAl ₄	12	19	3.3	5.1	5.7	8.1	0.7
NiYAl ₂	45	33	12	8.8	18	8.5	2.2
NiYAl	32	29	8.5	7.9	14	9.8	1.4
NiYAl ₄ (CO+O ₂)	0	0	/	/	/	/	/
Ni/Al ₂ O ₃	56	37	15	10	18	7.7	2.3
Raney Ni	33	31	8.9	8.5	17	13	1.4

表1 DRM 触媒活性データ。NiYAl, NiYAl₂, NiYAl₄合金から作製した触媒、(CO+O₂)は選択酸化処理のみの試料。比較試料としてNi/Al₂O₃担持触媒、ラネーNi 触媒のデータも示す。反応条件: 試料 0.1 g、550 °C、流量 CH₄ (10 mL/min), CO₂ (10mL/min), N₂ (5 mL/min) 測定時間 4-6 時間。

C 2 の生成パスを示す触媒の創製[5]

通常のドライフォーミング反応(CH₄+CO₂ → 2H₂+2CO)ではNiのような遷移金属が主に使われているが、C 2以上の生成パスを示す触媒には、メタンを分解するのではなく結合するわけなので、水素を発生させない新たな物質設計指針が必要となる。数多くの物質探索を行った結果、酸化カルシウム(CaO)に水酸化ナトリウム(NaOH)と塩化ナトリウム(NaCl)を複合した試料が優れたC 2生成能を示すことが明らかとなった。触媒データの補充・再現性確認や劣化メカニズムの解明に取り組んだ

まず、作製方法に錯体重合法(PC法 polymerization complex)を採用し、CaとNaとの比率

を変えて実験を行った。反応温度は 950 が使用可能な最高温度であり、使用した混合ガスは 1%CO₂, 1%CH₄, He バランスである。図 6 に示すとおり、Ca と Na とが 1 : 1 の時にエチレンが多く発生した。次に、Ca と Na とが 1 : 1 を固定として NaCl 添加の依存性を調べたところ 20% のところで最大を示し、C_{2,3} 変換率は最大 6% に達した。これは市販の CaO ナノパウダーや単純混合では得られないぐらい高い数値であった。

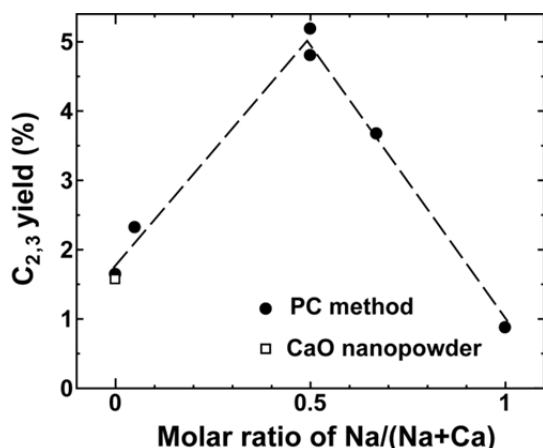


図 6 C_{2,3} 転換率の Na 濃度依存性

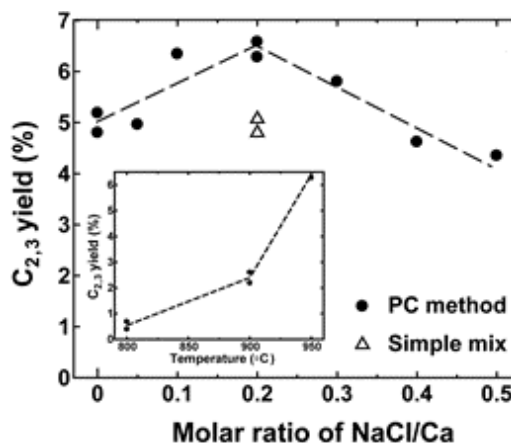


図 7 C_{2,3} 転換率の NaCl 添加の依存性

最適組成での SEM 像を図 8 に示す。粒径 20-30 ミクロンの粉末で、巨視的に Ca, Na が均一に分散されていた。図 9 に電顕による元素マッピング像をしめす。興味深いのは CaO の表面に Na と Cl が覆っているということである。

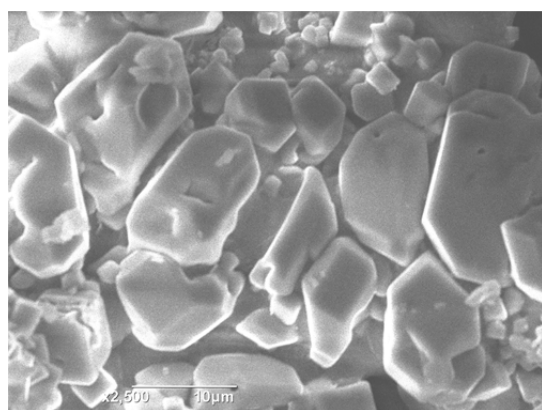


図 8 CaNaClO 複合酸化物の SEM 像

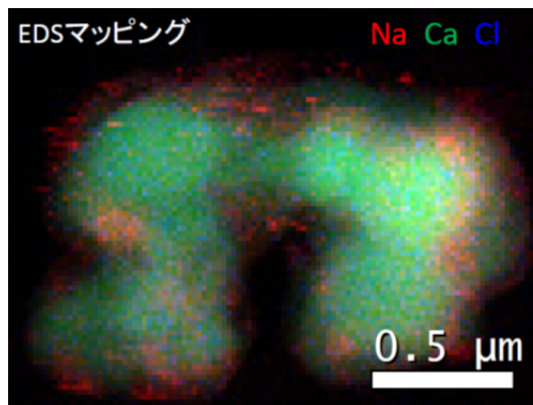


図 9 CaNaClO 複合酸化物の EDS マッピング像

さらに X 線分析の結果、CaO と Na₂CO₃ が構成材料であることがわかり、反応温度(950)では Na₂CO₃ は液相状態となっていた。また、Na₂CO₃ の揮発影響で時間と共に劣化していくことがわかった。触媒反応温度が高温であること、揮発が避けられないという技術的理由により、C 2 の生成パスを示す触媒については一定の目処を付ける必要があるが、反応管を熔融塩触媒に適した設計にすることでさらなる耐久性の向上が見込まれる。

本研究において、ドライフォーミング反応と C2 の生成パスを示す触媒の探索をおこなった。その結果、耐熱性・耐コーキング性ナノポーラス Ni/Y₂O₃ および CaO/Na₂CO₃ 複合触媒を見いだすことができた。

< 引用文献 >

- [1] T. Fujita et al., Atomic origins of the high catalytic activity of nanoporous gold, *Nature Materials*, **11** (2012) 775-780.
- [2] T. Fujita et al., Atomic Observation of Catalysis-Induced Nanopore Coarsening of Nanoporous Gold, *Nano Letters* **14** (2014) 1172-1177.
- [3] T. Fujita et al., Nanoporous Nickel Composite Catalyst for the Dry Reforming of Methane, *ACS Omega* **3** (2018) 16651-16657.
- [4] S. Imada et al., NiYAl-Derived Nanoporous Catalysts for Dry Reforming of Methane, *Materials* **13** (2020) 2044.
- [5] Y. Z. Zhang et al., CO₂ oxidative coupling of methane using an earth-abundant CaO-based catalyst, *Scientific Reports* **9** (2019) 15454.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Zhang Yongzheng, Cho Yohei, Yamaguchi Akira, Peng Xiaobo, Miyauchi Masahiro, Abe Hideki, Fujita Takeshi	4. 巻 9
2. 論文標題 CO2 oxidative coupling of methane using an earth-abundant CaO-based catalyst	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15454 ~ 15454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-51817-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Cakra Wardhana Aufandra, Yamaguchi Akira, Shoji Shusaku, Liu Min, Fujita Takeshi, Hitosugi Taro, Miyauchi Masahiro	4. 巻 270
2. 論文標題 Visible-light-driven photocatalysis via reductant-to-band charge transfer in Cr(III) nanocluster-loaded SrTiO3 system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 118883 ~ 118883
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2020.118883	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 Imada Syota, Peng Xiaobo, Cai Zexing, Najib Abdillah Sani Bin Mohd, Miyauchi Masahiro, Abe Hideki, Fujita Takeshi	4. 巻 13
2. 論文標題 NiYAl-Derived Nanoporous Catalysts for Dry Reforming of Methane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2044 ~ 2044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma13092044	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Mohd Najib Abdillah Sani Bin, Iqbal Muhammad, Zakaria Mohamed Barakat, Shoji Shusaku, Cho Yohei, Peng Xiaobo, Ueda Shigenori, Hashimoto Ayako, Fujita Takeshi, Miyauchi Masahiro, Yamauchi Yusuke, Abe Hideki	4. 巻 8
2. 論文標題 Active faceted nanoporous ruthenium for electrocatalytic hydrogen evolution	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 19788 ~ 19792
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TA04223D	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 Cai Ze Xing, Wang Zhong Li, Xia Yan Jie, Lim Hyunsoo, Zhou Wei, Taniguchi Ayano, Ohtani Masataka, Kobiro Kazuya, Fujita Takeshi, Yamauchi Yusuke	4. 巻 60
2. 論文標題 Tailored Catalytic Nanoframes from Metal-Organic Frameworks by Anisotropic Surface Modification and Etching for the Hydrogen Evolution Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 4747 ~ 4755
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202010618	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 Tanaka Nobuo, Fujita Takeshi, Takahashi Yoshimasa, Yamasaki Jun, Murata Kazuyoshi, Arai Shigeo	4. 巻 378
2. 論文標題 Progress in environmental high-voltage transmission electron microscopy for nanomaterials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences	6. 最初と最後の頁 20190602
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsta.2019.0602	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 Fujita Takeshi, Peng Xiaobo, Yamaguchi Akira, Cho Yohei, Zhang Yongzheng, Higuchi Kimitaka, Yamamoto Yuta, Tokunaga Tomoharu, Arai Shigeo, Miyauchi Masahiro, Abe Hideki	4. 巻 3
2. 論文標題 Nanoporous Nickel Composite Catalyst for the Dry Reforming of Methane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 16651 ~ 16657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b02023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujita Takeshi	4. 巻 18
2. 論文標題 Hierarchical nanoporous metals as a path toward the ultimate three-dimensional functionality	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science and Technology of Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 724 ~ 740
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14686996.2017.1377047	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujita Takeshi, Higuchi Kimitaka, Yamamoto Yuta, Tokunaga Tomoharu, Arai Shigeo, Abe Hideki	4. 巻 7
2. 論文標題 In-Situ TEM Study of a Nanoporous Ni-Co Catalyst Used for the Dry Reforming of Methane	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Metals	6. 最初と最後の頁 406 ~ 406
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/met7100406	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 今田 翔太、Xiaobo Peng, Abdillah Sani Bin Mohd Naji, 宮内 雅浩、阿部 英樹、藤田 武志
2. 発表標題 ナノポーラスNiAlY複合触媒の低温乾式メタン転換
3. 学会等名 2020年167回秋期日本金属学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田 武志、笹岡 尚貴
2. 発表標題 静電気と多孔質金属電極を利用したガス触媒評価システムの構築
3. 学会等名 2020年167回秋期日本金属学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今田翔太、藤田武志、Xiaobo Peng, A.S.B.M. Najib, 阿部英樹、宮内雅浩
2. 発表標題 ナノポーラスニッケル基複合触媒の低温メタンドライリフォーミング
3. 学会等名 MRM Forum2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田 武志、張 永政、宮内 雅浩、阿部 英樹
2. 発表標題 メタンドライフォーミング反応におけるC 2 転換触媒の創製
3. 学会等名 第163回日本金属学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Fujita
2. 発表標題 Nanoporous metals for green catalyst
3. 学会等名 The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM 2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤田 武志、Peng Xiaobo、宮内 雅浩、阿部 英樹
2. 発表標題 メタンドライフォーミング反応における高活性触媒の開発
3. 学会等名 第161回日本金属学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Fujita
2. 発表標題 Development of Noble-metal Free and Durable Nanoporous Catalysts for Exhaust-Gas Conversion
3. 学会等名 Pacific Rim Symposium on Surfaces, Coatings and Interfaces (PacSurf 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Takeshi Fujita
2. 発表標題 Development of earth-abundant and durable nanoporous catalysts for exhaust-gas conversion
3. 学会等名 Second International Symposium on Nanoporous Materials by Alloy Corrosion (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤田武志
2. 発表標題 ナノポーラス金属触媒のその場TEM 観察と触媒起源
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 その場観察研究部会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 藤田武志
2. 発表標題 排ガス処理用の貴金属フリー触媒の開発と設計指針
3. 学会等名 2016 年真空・表面科学合同講演会 第36 回表面科学学術講演会 第57 回真空に関する連合講演会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 触媒材料およびその製造方法、並びに合成ガスの製造方法	発明者 宮内 雅浩、庄司 州作、張 葉平、阿 部 英樹、藤田 武	権利者 東京工業大学、 物質・材料研究 機構、高知工科
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-095821	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 炭化水素変換触媒とその製造方法および炭化水素変換触媒を用いた炭化水素の製造方法	発明者 藤田武志、張 永 政、阿部英樹、宮内 雅浩	権利者 高知工科大学、 物質・材料研究 機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-164465	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 低温メタン改質触媒活物質	発明者 阿部英樹、ポン シャ オボ、藤田武志、宮 内雅浩、庄司州作	権利者 物質・材料研究 機構、東北大 学、東京工業大
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-159452	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

高知工科大
<https://www.kochi-tech.ac.jp/profile/ja/fujita-takeshi.html>
研究論文と引用数
<https://publons.com/researcher/2870251/takeshi-fujita/>

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
連携研究者	阿部 英樹 (Abe Hideki) (60354156)	国立研究開発法人物質・材料研究機構・環境再生材料ユニット・研究員 (82108)	
連携研究者	徳永 智春 (Tokunaga Tomoharu) (90467332)	名古屋大学・工学(系)研究科(研究院)・助教 (13901)	

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		
オーストラリア	The University of Queensland		