

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 9 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04839

研究課題名(和文) 電場アシストとストレインエフェクトを活用した水からの高効率水素製造プロセス

研究課題名(英文) Highly efficient hydrogen production process from water using electric field assist and strain effect

研究代表者

小河 脩平 (Ogo, Shuhei)

高知大学・教育研究部総合科学系複合領域科学部門・講師

研究者番号：40707915

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)：構造歪みを導入(ストレインエフェクト)した固体酸化物触媒への電場アシストにより、固体酸化物触媒の表面格子酸素の放出および水蒸気による格子酸素の再生と水素の生成が、350℃でもそれぞれ十分な反応速度で進行することを見出した。また、炭化水素やアルコールを還元剤とする水素製造(水蒸気改質)や、水蒸気共存下の炭化水素の脱水素反応においても、ストレインエフェクトや電場アシストの適用が反応温度の低温化に有効であることを示した。この際、低温でも酸化物触媒の表面格子酸素を介した酸化還元反応が促進されており、これにより低温で高い活性が得られることを見出し、本研究コンセプトの有効性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

固体酸化物触媒への構造歪みの導入(ストレインエフェクト)や、微弱な電場を印加することにより、従来高温を必要とした固体酸化物の格子酸素を介した酸化還元反応を、著しく低温化した環境下で進めうることを示した。本成果は、酸化還元型の機構で進行する様々な触媒反応の低温化に応用可能であり、高温を要する様々な化学反応の低温駆動が可能となる。大幅な低温化により、産業的にインパクトの大きい未利用低温排熱を活用した水素製造等の高効率エネルギー製造プロセスの実現が期待される。

研究成果の概要(英文)：Applying an electric field to solid metal oxide catalysts with lattice strain enabled to proceed both oxygen evolution reaction from surface lattice oxygen of the oxide catalysts and hydrogen evolution by the reaction between lattice oxygen defects and steam, even at 350 degree-C with high reaction rate. Introducing lattice strain (strain effect) and applying the electric field were also effective for lowering the reaction temperature of various hydrogen producing reactions, such as steam reforming of hydrocarbons or alcohols and dehydrogenation of hydrocarbon in the presence of steam. At which, redox reaction involving the surface lattice oxygen of the oxide catalysts were promoted by the strain effects and the electric field assist, and thereby the reactions proceeded with high activity even at low temperatures. These results demonstrated the effectiveness of this research concept that low-temperature catalytic reaction using the electric field assist and the strain effects.

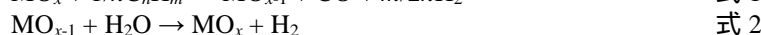
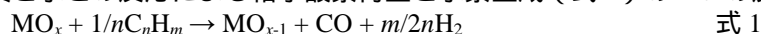
研究分野：触媒化学

キーワード：資源・エネルギー有効利用技術 水素製造 水分解 低温電場触媒反応 ストレインエフェクト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

水素は次世代のクリーンな二次エネルギーとして注目されている。多くの水素製造反応が吸熱反応であるために高温を要することから、低温駆動可能な高効率水素製造プロセスの実現が望まれていた。研究代表者はこれまでに、触媒層に微弱な電場を印加(電場アシスト)することで、従来 700 以上の高温を要したメタン水蒸気改質による水素製造を、200 以下という画期的な低温で進められることを見出した (*Chem. Rec.*, 17 (2017) 726; *Sci. Rep.*, 6 (2016) 38007; *Catal. Today*, 307 (2018) 272)。加えて、炭化水素やアルコールを還元剤として用いた水からの水素製造(水蒸気改質)のための触媒についても研究し、構造を歪ませたペロブスカイト型酸化物($\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{AlO}_{3-\delta}$)などを担体として用いた場合、水を介した酸化還元型の機構で反応が進行し、ラングミュア-ヒンシェルウッド型の機構で進む触媒系よりも高活性であることを見出してきた (*Appl. Catal. A*, 538 (2017) 181; *Catal. Today*, 265 (2016) 111; *Appl. Catal. A*, 489 (2015) 155)。この時、触媒表面では、炭化水素による触媒表面格子酸素の消費(式1)、ならびに触媒表面の酸素欠損と水との反応による格子酸素再生と水素生成(式2)の2つの反応が起こる。



これらを総括すると、 $1/n\text{C}_n\text{H}_m + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + (m+2n)/2n\text{H}_2$ となり、水蒸気改質反応となる。また、この酸化還元型の機構で進む水蒸気改質において、還元剤を使わずに触媒表面の格子酸素を O_2 として放出し酸素欠損を生成することができれば ($2\text{MO}_x \rightarrow 2\text{MO}_{x-1} + \text{O}_2\uparrow$)、水のみを原料とした水素製造 ($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2\uparrow + \text{O}_2\uparrow$) が実現できる。そのため、固体酸化物触媒への構造歪みの導入(ストレインエフェクト)と電場アシストにより、固体酸化物触媒の表面格子酸素を介した酸化還元サイクルを高度に制御することで、水からの直接水素製造を含む、多様な酸化還元型触媒反応を低温で効率よく進めうるプロセスを確立できると考えた。

2. 研究の目的

構造歪み導入(ストレインエフェクト)による固体酸化物触媒の酸化還元特性の精密制御と、低温での反応を可能にする電場アシストとのシナジーにより、酸化還元型の機構で進む種々の触媒反応を低温で駆動することを目的とした。具体的には、以下の3つの反応系における触媒および反応場の検討を行った。

- (1) 水からの直接水素製造
- (2) 炭化水素やアルコールの水蒸気改質による水素製造
- (3) 炭化水素の脱水素ならびに酸化的変換

3. 研究の方法

反応装置には石英製固定床流通式反応器を用いた。電場中での触媒反応は、整粒した触媒を充填し、その両端にステンレス製電極を設置し、触媒層に数 mA 程度の直流電流が流れるようにポテンシostatを用いて電圧を印加しながら行った(図1)。触媒としては遷移金属酸化物や担持金属触媒を中心に検討し、構成元素を異価カチオンで置換することで構造歪みを導入した。触媒の制御因子として触媒組成や構造、ドープ元素の種類や量、比表面積を、反応場の制御因子として電界強度や電荷量、電極間距離、接触時間(W/F)、反応温度、原料分圧、前処理条件を検討した。触媒の評価はXRD, Raman, FT-IR, XAFS, XPS, 電子顕微鏡観察, N_2 吸着測定, 伝導度測定, 同位体過渡応答試験により行った。

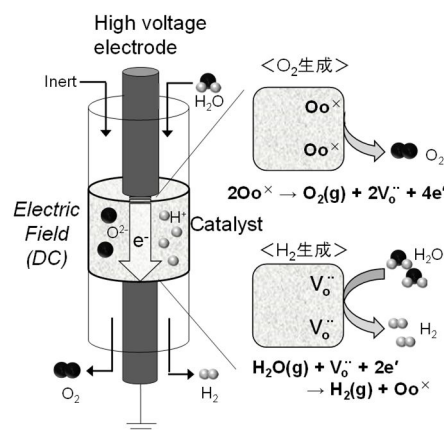


図1 電場触媒反応装置と推定機構。

4. 研究成果

(1) 水からの直接水素製造

蛍石型構造, スピネル型構造, およびペロブスカイト構造を有する種々の複合酸化物を用いて検討を行った。その結果、電場アシストにより 350 において、表面格子酸素の放出による酸素生成 ($2\text{MO}_x \rightarrow 2\text{MO}_{x-1} + \text{O}_2\uparrow$) ならびに、還元処理により格子酸素欠損を生成した触媒と水蒸気の反応による水素生成 ($\text{MO}_{x-1} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MO}_x + \text{H}_2$) が、それぞれ十分な反応速度で進行する複合酸化物材料を見出した。予備検討期間で高活性を示すことを見出した Ce-Cr-Pd-O 系触媒 (*Chem. Lett.*, 47 (2018) 643) を超える性能を示すものは得られなかったが、電場アシストならびに固体酸化物への構造歪み導入が、格子酸素を介した水素や酸素の生成活性の向上に寄与する

ことを明らかにした。続いて、得られた複合酸化物材料を用い、350 一定の条件だけでなく、400 以上の高温条件での試験や、反応条件（温度・雰囲気・電場アシスト）にパータベーションを与えることも検討したが、触媒サイクルは成立しなかった（格子酸素を放出させた酸化物と水蒸気との反応（ \rightarrow ）では水素が生成せず、水蒸気で格子酸素を埋め戻した酸化物に電場を印加しても（ \rightarrow ）酸素は生成しなかった）。研究期間中には、触媒構造の精密制御や反応条件の検討では触媒サイクルが成立しなかったが、本研究のコンセプトである「ストレインエフェクトと電場アシストのシナジー」が格子酸素を介した酸化還元反応の低温駆動に有効であることを示した。

水分解の触媒サイクルを回すために十分な量の格子酸素欠損を低温で生成するためには水素による還元が必要であったが（ $\text{MO}_x + \text{H}_2 \rightarrow \text{MO}_{x-1} + \text{H}_2\text{O}$ ）、一方で、水素還元で生成した格子酸素欠損を CO_2 で埋め戻すことができれば（ $\text{MO}_{x-1} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{MO}_x + \text{CO}$ ）、ケミカルルーピング法による逆水性ガスシフト（RWGS-CL: $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ ）が可能となる。そこで種々の複合酸化物材料を用いて RWGS-CL を検討した。その結果、Cu-In-O 系触媒が 400 という低温でも高い活性を示すことを見出した（図 2）。また 400 一定の条件下で、供給ガスの切り替え操作（ $\text{H}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2$ ）のみにより、2 サイクル目以降も活性劣化なく酸化還元触媒サイクルが回ることを示した。本反応においては、酸化インジウムに銅をドーピングして構造を歪ませることで（ストレインエフェクト）格子酸素が動きやすくなり、結果として、格子酸素を介した酸化還元サイクルが低温でも速やかに進行するために、高い活性が得られたと結論付けた（*Chem. Sci.*, 12 (2021) 2108）。

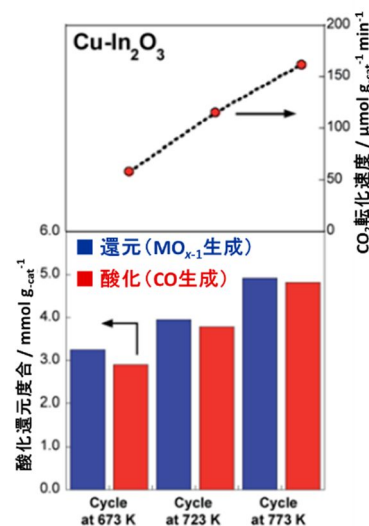


図 2 Cu-In₂O₃ 触媒を用いた RWGS-CL 反応の結果 (*Chem. Sci.*, 12 (2021) 2108) .

(2) 炭化水素やアルコールの水蒸気改質による水素製造

水分解触媒の開発過程において、 CeO_2 に Al などのイオン半径の小さいカチオンをドーピングすることにより、水分子の解離吸着エネルギーが低下することが DFT 計算により示された（*J. Chem. Phys.*, 152 (2020) 014707）。そこで、 CeO_2 に種々の金属カチオンをドーピングした複合酸化物材料を調製し、水分子の活性化を含む様々な触媒反応に用いた。その結果、水蒸気のみから水素と酸素を分離して生成する反応に対して有効な複合酸化物材料は見出せなかったが、メタンを還元剤とする水素製造（メタン水蒸気改質）においては、200 ，電場アシスト下で、Pd/Ce_{0.9}Al_{0.1}O_x 触媒が Pd/CeO₂ 触媒よりも高い活性を示すことを見出し、DFT 計算から推測された結果を実証した（*RSC Adv.*, 10 (2020) 14487）。

メタン以外の炭化水素やアルコールを還元剤とする水素製造（水蒸気改質）においても、ストレインエフェクトと電場アシストのシナジーにより、外部加熱のみでは反応が進行しえない 300 以下の低温で反応が進行し、水素が生成することを見出した（*Appl. Catal. A*, 573 (2019) 56; *J. Jpn. Petrol. Inst.*, 62 (2019) 264）。トルエン水蒸気改質においては、Sr ドーピングにより構造を歪ませた La_{0.7}Sr_{0.3}AlO_{3-δ} ペロブスカイト担体に Ni を担持した触媒を調製し、微弱な電場を印加することで、200 でもトルエンが転化し水素が生成した。これに対し、外部加熱のみでは同程度の転化率を得るためには 400 以上に加熱する必要があった。また電場印加による低温化の恩恵を受け、活性劣化の原因となる炭素析出も大幅に抑制された（526 mg g_{cat}⁻¹（外部加熱@425 K）→ 10 mg g_{cat}⁻¹（電場@200 K））。同様に、Pt/CeO₂ 触媒を用いたエタノール水蒸気改質においても、電場印加（With EF）により 150 という低温でも反応が進行することを示した（図 3）。両反応とも酸化還元型の機構で進行し、担体酸化物の格子酸素を介した酸化還元反応が重要な役割を担うことを同位体過渡応答試験ならびに *in-situ* 赤外分光により明らかにした。この時、ストレインエフェクトと電場アシストのシナジーにより、担体酸化物の表面格子酸素を介した酸化還元サイクルが低温でも促進されることも示し、このために低温でも高い活性で水蒸気改質が進行したと結論付けた。

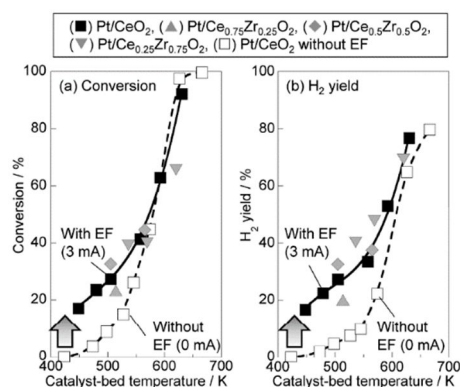


図 3 Pt/Ce_{1-x}Zr_xO₂ 触媒を用いた電場中でのエタノール水蒸気改質の結果 (*J. Jpn. Petrol. Inst.*, 62 (2019) 264) .

(3) 炭化水素の脱水素ならびに酸化的変換

水蒸気共存下におけるエタン脱水素 ($\text{C}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$) においては, Ba ドープにより構造を歪ませた $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{AlO}_{3-\delta}$ 触媒が LaAlO_3 触媒よりも高い活性を示すことを見出した (図 4: *J. Phys. Chem. C*, 123 (2019) 26272; *J. Phys. Chem. C*, 124 (2020) 10462)。水蒸気共存下においては, 格子酸素の消費と再生を繰り返す酸化還元型の機構で反応が進行することを同位体過渡応答試験により明らかにした ($\text{C}_2\text{H}_6 + \text{O}_o^\times \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{V}_o^\bullet + 2e'$, $\text{H}_2\text{O} + \text{V}_o^\bullet + 2e' \rightarrow \text{H}_2 + \text{O}_o^\times$)。また, Ba ドープにより格子酸素が電子不足な状態になることで酸化力 (C-H 結合解離能) が高くなるために, 律速段階であるエタンの解離吸着が促進されることを DFT 計算により示した。このように, ペロブスカイト触媒への構造歪み導入により, 水蒸気と格子酸素が関わる酸化還元反応が促進されるために高い活性を得られたと結論付けた。

続いて, 本研究のコンセプトをメタンの酸化カップリング反応 ($2\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) に展開した。メタン酸化カップリングは従来 700 以上の高温を要するが, Ca ドープにより構造を歪ませた $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{AlO}_{3-\delta}$ ペロブスカイト触媒を用い, 微弱な電場を印加して反応をアシストすることで, 200 以下という大幅に低温化した環境下で反応を進められることを見出した (*ACS Omega*, 4 (2019) 10438)。 $\text{La}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{AlO}_{3-\delta}$ ペロブスカイト触媒は, 電場を印加しない場合には 550 以上でしか格子酸素が動かないのに対し, 電場を印加すると 200 以下の低温でも格子酸素が動き, 酸化反応に寄与することが同位体過渡応答試験により明らかになった。さらに, Ca をドープしていない LaAlO_3 においては電場を印加しても格子酸素がほとんど動かず, 触媒活性もほぼゼロであった。このように, 水素製造以外の酸化還元型の触媒反応においても, ストレインエフェクトと電場アシストのシナジーにより格子酸素を介した酸化還元サイクルを促進することで, 低温でも高い活性が得られることを示した。

このように, 構造歪みの導入や電場アシストにより, 固体酸化物触媒の表面格子酸素を介した酸化還元サイクルが促進されることで, 酸化還元型の機構で進む様々な触媒反応の低温化や高活性化が可能になることを示し, 本研究のコンセプトの有効性を実証した。本研究のコンセプトは, 他の酸化還元反応にも応用展開が可能であり, 高温を要する様々な化学反応の低温駆動に有効なアプローチになりうる。また, 大幅な低温化が実現すれば, 産業的にインパクトの大きい未利用低温排熱を活用した水素製造等の高効率なエネルギー・化学品製造プロセスの実現が期待される。

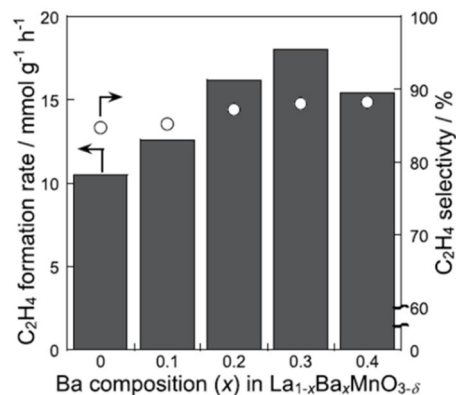


図 4 $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_{3-\delta}$ 触媒を用いた水蒸気共存下でのエタン脱水素の結果 (*J. Phys. Chem. C*, 123 (2019) 26272)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Makiura Jun-Ichiro, Higo Takuma, Kurosawa Yutaro, Murakami Kota, Ogo Shuhei, Tsuneki Hideaki, Hashimoto Yasushi, Sato Yasushi, Sekine Yasushi	4. 巻 12
2. 論文標題 Fast oxygen ion migration in Cu-In-oxide bulk and its utilization for effective CO ₂ conversion at lower temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 2108 ~ 2113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC05340F	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 Torimoto Maki, Ogo Shuhei, Hisai Yudai, Nakano Naoya, Takahashi Ayako, Ma Quanbao, Seo Jeong Gil, Tsuneki Hideaki, Norby Truls, Sekine Yasushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Support effects on catalysis of low temperature methane steam reforming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 26418 ~ 26424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0RA04717A	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 該当する
1. 著者名 Toko Kenta, Ito Kazuharu, Saito Hikaru, Hosono Yukiko, Murakami Kota, Misaki Satoshi, Higo Takuma, Ogo Shuhei, Tsuneki Hideaki, Maeda Shun, Hashimoto Kunihide, Nakai Hiromi, Sekine Yasushi	4. 巻 124
2. 論文標題 Catalytic Dehydrogenation of Ethane over Doped Perovskite via the Mars-van Krevelen Mechanism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10462 ~ 10469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.0c00138	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 Takahashi Ayako, Inagaki Reona, Torimoto Maki, Hisai Yudai, Matsuda Taku, Ma Quanbao, Seo Jeong Gil, Higo Takuma, Tsuneki Hideaki, Ogo Shuhei, Norby Truls, Sekine Yasushi	4. 巻 10
2. 論文標題 Effects of metal cation doping in CeO ₂ support on catalytic methane steam reforming at low temperature in an electric field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 14487 ~ 14492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0ra01721c	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 該当する

1. 著者名 Murakami Kota, Ogo Shuhei, Ishikawa Atsushi, Takeno Yuna, Higo Takuma, Tsuneki Hideaki, Nakai Hiromi, Sekine Yasushi	4. 巻 152
2. 論文標題 Heteroatom doping effects on interaction of H ₂ O and CeO ₂ (111) surfaces studied using density functional theory: Key roles of ionic radius and dispersion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 014707 ~ 014707
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5138670	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 Saito Hikaru, Seki Hirofumi, Hosono Yukiko, Higo Takuma, Seo Jeong Gil, Maeda Shun, Hashimoto Kunihide, Ogo Shuhei, Sekine Yasushi	4. 巻 123
2. 論文標題 Dehydrogenation of Ethane via the Mars-van Krevelen Mechanism over La _{0.8} Ba _{0.2} MnO ₃ -Perovskites under Anaerobic Conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 26272 ~ 26281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b06475	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 OGO Shuhei, SEKINE Yasushi	4. 巻 62
2. 論文標題 Low Temperature Hydrogen Production by Ethanol Steam Reforming over Supported Metal Catalysts in an Electric Field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Petroleum Institute	6. 最初と最後の頁 264 ~ 271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1627/jpi.62.264	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 Sato Ayaka, Ogo Shuhei, Takeno Yuna, Takise Kent, Seo Jeong Gil, Sekine Yasushi	4. 巻 4
2. 論文標題 Electric Field and Mobile Oxygen Promote Low-Temperature Oxidative Coupling of Methane over La _{1-x} CaxAlO ₃ - Perovskite Catalysts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 10438 ~ 10443
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b00594	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 該当する

1. 著者名 小河 脩平	4. 巻 42
2. 論文標題 天然ガス・バイオマスからの水素・低級オレフィン生成のための低温触媒反応場の研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ペトロテック	6. 最初と最後の頁 651-655
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 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 Takise Kent, Sato Ayaka, Muraguchi Keisuke, Ogo Shuhei, Sekine Yasushi	4. 巻 573
2. 論文標題 Steam reforming of aromatic hydrocarbon at low temperature in electric field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Catalysis A: General	6. 最初と最後の頁 56 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcata.2019.01.011	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 小河脩平, 関根 泰	4. 巻 61
2. 論文標題 電場触媒反応による低温での天然ガスからのエチレン合成とその場観察レーザーラマン分光による触媒構造歪み評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jasco Report	6. 最初と最後の頁 20-23
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9件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 小河脩平
2. 発表標題 未利用資源有効利用のための低温触媒反応の研究
3. 学会等名 アカデミアセミナー in 高知大学 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shuhei Ogo
2. 発表標題 Catalytic methane conversions at low-temperature in electric field
3. 学会等名 ICAT International Symposium on Electric Field Assisted Heterogeneous Catalysis and Alloy Catalysis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小河脩平
2. 発表標題 電場印加による電子・酸化物イオンの能動的制御と低温触媒反応
3. 学会等名 2020日本化学会中国四国支部大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小河脩平
2. 発表標題 メタン直接転換のための低温触媒反応場
3. 学会等名 高知化学シンポジウム2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小河脩平
2. 発表標題 天然ガス・バイオマスからの水素・低級オレフィン生成のための低温触媒反応場の研究
3. 学会等名 石油学会第68回研究発表会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牧浦淳一郎, 黒澤佑太郎, 荻野健太郎, 比護拓馬, 小河脩平, 関根 泰
2. 発表標題 電場印加触媒反応を用いた水からの水素生成
3. 学会等名 第49回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小河脩平
2. 発表標題 未利用資源有効利用のための高性能触媒の開発
3. 学会等名 第6回元素戦略に基づいた触媒設計シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒澤佑太郎, 荻野健太郎, 小河脩平, 矢部智宏, 近藤和吉, 加納一彦, 小島邦裕, 関根 泰
2. 発表標題 電場触媒反応を用いた酸化還元による水分解
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaro Kurosawa, Kentaro Ogino, Shuhei Ogo, Tomohiro Yabe, Wakichi Kondo, Kazuhiko Kano, Kunihiro Kojima, Yasushi Sekine
2. 発表標題 Low temperature hydrogen production by water splitting using redox reaction in electric field
3. 学会等名 TOCAT8 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 触媒体および燃料改質装置	発明者 小島邦裕, 近藤和吉, 加納一彦, 関根泰, 小河脩平, 他3名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開：2019-195795	取得年 2019年	国内・外国の別 外国

〔その他〕

個人研究成果発信用HP http://www.cc.kochi-u.ac.jp/~ogo/
--

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------