

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：12701

研究種目：学術変革領域研究(B)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H05099

研究課題名（和文）表面水素工学：水素スピルオーバー現象を活用した新規触媒プロセス

研究課題名（英文）Novel Catalytic Process based on the hydrogen spillover phenomena

研究代表者

本倉 健（Motokura, Ken）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90444067

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 26,200,000円

研究成果の概要（和文）：水素スピルオーバー現象を活用し、種々の脱水素型反応・水素化反応等を加速する触媒反応系の開発を実施した。例えば、固体酸触媒であるゼオライトの外表面にPdナノ粒子を固定した触媒を開発し、酸点とPd粒子間の水素移動を活用することで、この触媒がアルカンを直接用いる芳香族アルキル化反応に活性な触媒となることを見出した。さらに、水素化反応に活性なシリコン表面に発生するSi-H種を活用したCO<sub>2</sub>の水素化反応や、水素スピルオーバー現象を用いて形成されるバイメタル触媒によるメタンカップリング反応等の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水素スピルオーバーとは、固体表面を活性な水素種が高速で移動する現象を指す。固体表面で進行する触媒反応は、水素スピルオーバー現象を活用することで大幅に促進される。例えば、アルカンとベンゼンの脱水素カップリング反応では、酸点でアルカンから引き抜かれた水素種が触媒表面を高速で拡散し、金属粒子表面で再結合して水素分子となる。本研究ではこの反応経路に基づいて、酸点とパラジウムナノ粒子が共存する触媒を開発し、脱水素カップリング反応に活用した。これらの成果は、高効率な物質生産に寄与するだけでなく、これまでブラックボックスとされてきた触媒反応に寄与する水素種の挙動を明らかにした点で重要な成果である。

研究成果の概要（英文）：Several catalytic reaction systems for dehydrogenative/hydrogenative reaction accelerated by hydrogen spillover were developed. For example, palladium nanoparticles immobilized on outer surface of zeolite was prepared, and acted as a highly active catalysts for direct aromatic alkylation with alkanes through hydrogen transfer between acid site and Pd nanoparticles. In addition, CO<sub>2</sub> hydrogenation reaction with active Si-H species on silicon surface and novel bimetallic nanoparticles formed via hydrogen spillover process were reported.

研究分野：触媒化学

キーワード：固体酸触媒 担持金属触媒 水素スピルオーバー 還元反応 酸化反応

## 1. 研究開始当初の背景

水素スピルオーバー現象は特に固体触媒化学の分野で古くから知られており、触媒反応へ活用した事例も散見される。一方で、スピルオーバー現象の原理原則がブラックボックスであったこともあり、利用が限定されるとともに、触媒分野での研究も下火となっている。一方で、固体触媒・固定化触媒分野における、触媒の原子・分子レベルでの設計・開発研究の近年の発展は目覚ましいものがあり、触媒作動条件下での構造解析手法の発展も後押しして、構造が精密に制御された様々な固体触媒が開発され、高効率分子変換反応が実現されてきた。

固体触媒に関する研究分野における、水素スピルオーバー現象の活用例としては、例えば、規則的な細孔を有するゼオライト内部に Pt 粒子を形成させた複合触媒では、Pt 表面で水素分子 ( $H_2$ ) が開裂し、生成した水素がゼオライト外表面に到達し、この水素がベンゼンなどの有機分子を水素化できることが報告されている。ベンゼンが通過することのできない小さな細孔をもつゼオライトを用いても水素化反応が進行しており、この結果は、ゼオライト内部の Pt 粒子によって生成した活性水素種が外表面まで移動していることを示している (ChemCatChem 2018)。

一方で、反応基質から生成した水素原子が触媒担体表面を移動し、金属粒子上での再結合を経て、 $H_2$  として脱離する現象も観測されている。これは、逆スピルオーバー現象と呼ばれる。同一の担体間だけでなく異なる触媒粒子の間でも水素原子のやり取りが行われることがわかっている。当研究グループでは、この水素逆スピルオーバー現象が液相スラリー系においても発現することを見出した (K. Motokura et al. JACS Au 2021)。この成果は本提案研究の基盤となるものである。アルカンとベンゼンの C-H 活性化を固体酸触媒で、アルカン・ベンゼンから引き抜かれた水素を担持金属触媒へ移動させて再結合させ、水素分子を発生させることができる。極めて高難度なアルカンとベンゼンの脱水素カップリング反応を実現し、新たな触媒系の設計概念を提案する。

このような背景を受けて、最新の精密触媒設計手法と、水素スピルオーバー減少とを組み合わせ、新規触媒反応プロセスの開発が望まれている。上述のように、スピルオーバー水素が関わる現象は、高選択的触媒反応・高効率触媒反応に活かせる可能性を秘めているが、一方で、有機分子の位置選択的な変換反応や、平衡制約を超えた化学反応の加速など、真に化学反応プロセスの革新に迫る触媒反応へとは展開されていない。これは、水素スピルオーバー現象と密接にリンクした「触媒の原子・分子レベルでの設計」および「触媒反応システムとしての開発」がなされていないためと考えられ、新たな研究展開が切望されていた。

## 2. 研究の目的

提案研究では、精密に制御・集積された固体材料・有機分子・金属錯体を触媒活性点として用いるとともに、触媒反応システム全体を設計することで、水素スピルオーバー現象の特長を最大限引き出した触媒・触媒反応系の開発を目的とする。例えば、水素スピルオーバー現象を活用した高活性水素化触媒の開発、逆スピルオーバー現象を活用したアルカン脱水素反応・芳香族アルキル化反応のための金属ナノ粒子触媒の開発、電解合成システムにおける脱水素反応への応用等に取り組む。

## 3. 研究の方法

水素スピルオーバー現象を活用した触媒プロセスの設計へ向けて、固体酸塩基触媒や金属ナノ粒子触媒を中心に、新たな触媒・触媒反応を開発し、水素化反応・脱水素型の反応へと適用する。これまでの研究で得られた知見に基づいて、脱水素型のカップリング反応にはパラジウムナノ粒子触媒と固体酸触媒の複合系を、 $CO_2$  等の水素化反応にはシリコン表面で発生する活性な Si-H 種の適用を試みる。また、これらの反応における水素の挙動を観測するために、同じ学術変革領域に所属する計測班の研究者と共同で  $\mu$  SR 測定を実施する。

## 4. 研究成果

固体酸触媒であるゼオライトの外表面に Pd ナノ粒子を固定した触媒を開発し、酸点と Pd 粒子間の水素移動を活用することで、この触媒がアルカンを直接用いる芳香族アルキル化反応に活性な触媒となることを見出した。ゼオライト外表面にパラジウム粒子が存在することを TEM 測定で、パラジウム粒子の原子価を XAFS 測定によって確認した (図 1)。パラジウム粒子は反応前は酸化パラジウム ( $PdO$ ) として担持されているが、反応後には粒子径を維持したままゼロ価に還元された。

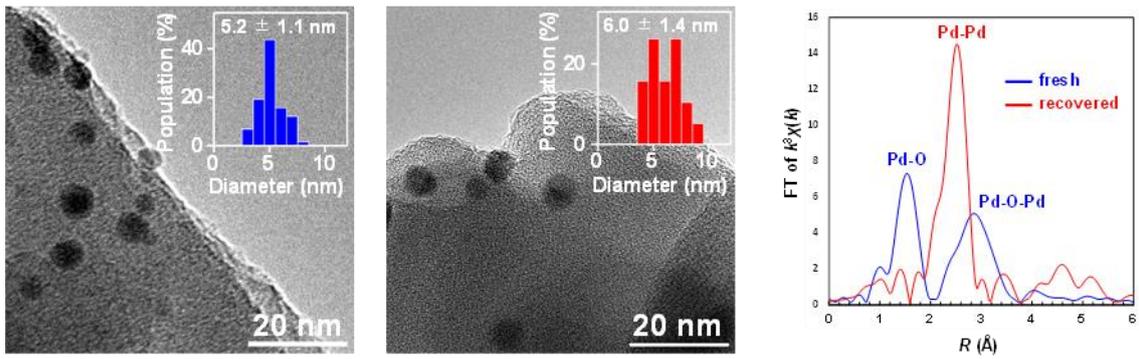


図1. 反応前（左）と反応後（中央）の Pd/H-ZSM-5 触媒の TEM 画像と、反応前後の Pd K-edge FT-EXAFS スペクトル（右）

この研究の成果として、これまでの研究で異なる触媒粒子間での水素スピルオーバーによって触媒反応の速度が向上することが明らかになってきたが（図2）、同一触媒粒子に二つの活性点を導入することで水素の移動距離が短縮され、反応効率がさらに向上することが明らかになった（図3）。

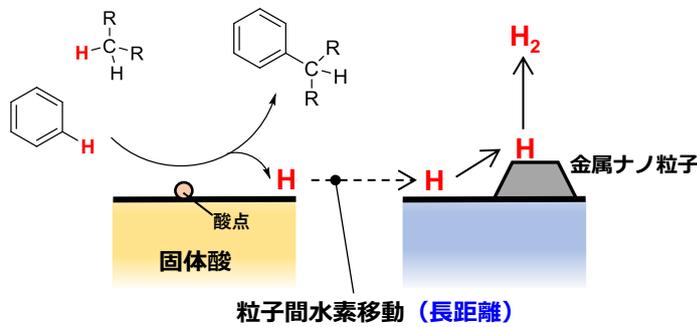


図2. 触媒粒子の間を水素が移動する反応の概念図

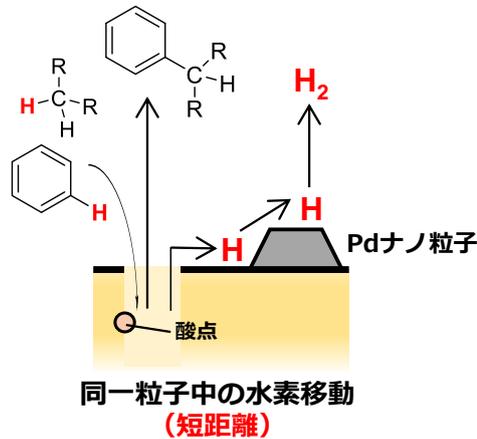


図3. 本研究で開発した触媒表面でのアルキル化と水素移動の概念図

また、本触媒系はトルエンとヘプタンの反応に高い活性を示し、高いアルキル体選択率を保ちながら、従来の固体酸と担持パラジウムを別々に使用する触媒系と比較して、一桁以上高い触媒回転数 (TON) を示した (図4)。

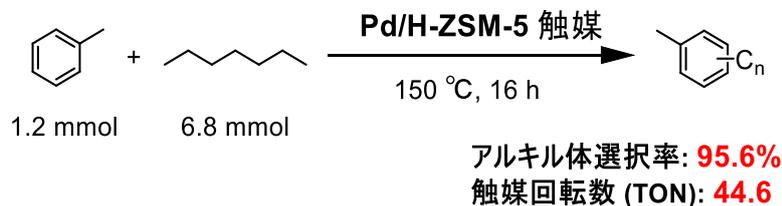


図4. トルエンとヘプタンからのアルキルアレーン合成

さらに、ゼオライト中での原子状水素の安定性を、領域内共同研究による  $\mu$ SR 測定で明らかにした。図5には各温度におけるゼオライト (H-ZSM-5, H-mordenite) 中に生成した原子状擬水素の寿命の下限值を示しており、サブマイクロ秒 ( $10^{-7}$  秒) のオーダー以上の寿命をもつことが明らかになった。一方で、固体酸触媒反応の中間体として知られる 2 級カルボカチオンの寿命はフェムト秒~ピコ秒 ( $10^{-15}$ ~ $10^{-12}$  秒) のオーダーであると言われている。これらの結果は、ゼオライト中に生成する原子状水素種の寿命が、一般的な化学反応の中間体と比較して十分に長く、今回の触媒反応にも関与している可能性が高いことを示している。これらの成果を領域内研究者との共著論文として ACS Catalysis 誌に投稿し、受理・掲載された (ACS Catal. 2023, 13, 12281)。また、この成果に関してプレスリリースを実施し (<https://www.ynu.ac.jp/hus/koho/30639/detail.html>)、合成洗剤などの前駆体となるアルキルベンゼンの新たな製造手法として公開した。

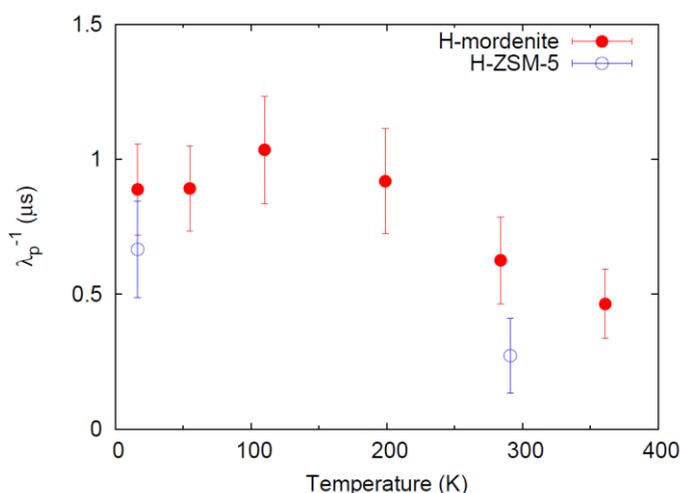


図5. ゼオライト中に生成した原子状擬水素の寿命の下限值を与えるパラメータの温度依存性

加えて、分岐アルカンをアルキル化剤とする芳香族アルキル化反応 (Catal. Today 2024, 425, 114363) および、固体表面でのスピオーバー水素を活用する Ru-Sn バイメタル粒子によるメタン脱水素カップリング反応 (J. Phys. Chem. C 2023, 127, 15185) に関して投稿論文が受理・掲載された。また、固体触媒粒子間の水素移動を活用した種々のゼオライト触媒や担持金属触媒を活用する反応系を開発した (Green Carbon, 2024, in press; J. Jpn. Petrol. Inst. 2024, in press)

固体塩基触媒を用いる水素移動反応系に関しては、ハイドロタルサイト表面において MPV 型の水素移動反応が良好に加速されることを見出しており、特にキノリン誘導体の合成に関して高活性を示す触媒系の開発に成功した (Mol. Catal. 2022, 528, 112419)。加えて、金属ケイ素表面で生成する活性な水素種と、その二酸化炭素還元反応への応用に関しても新たな触媒系を開発し、成果を学術論文に発表した (Commun. Chem. 2022, 5, 150; Asian J. Org. Chem. 2022, 11, e202200230)。

さらに、ベンジルアルコールの電気化学的脱水素反応における Nafion 膜の効果に関する論文が Chem. Lett. 誌に掲載され、Editor's Choice に選ばれるとともに Back Cover にも採択された (Chem. Lett. 2023, 52, 560)。また、プロトン交換膜を用いる電解反応系においてもアルコールの脱水素反応が効率よく進行することを見出し、論文発表を実施した (Sustainable Energy & Fuels, 2023, 7, 778)。

加えて、触媒粒子間の水素スピルオーバー現象による触媒作用の増強に関して、新たに得られた知見やこれまでの報告を総括し、レビュー論文の執筆を実施した (Chem. Asian J. 2024, e202301083)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Motokura Ken	4. 巻 1
2. 論文標題 Mg-Al hydrotalcite-based catalysts for one-pot synthesis of quinoline derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tetrahedron Green Chem	6. 最初と最後の頁 100004 ~ 100004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tgchem.2023.100004	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 Wang Ruopeng, Nakao Kaiki, Manaka Yuichi, Motokura Ken	4. 巻 5
2. 論文標題 CO <sub>2</sub> conversion to formamide using a fluoride catalyst and metallic silicon as a reducing agent	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Chemistry	6. 最初と最後の頁 150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s42004-022-00767-4	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 Motokura Ken, Sato Risako, Ozawa Nao, Manaka Yuichi	4. 巻 528
2. 論文標題 Transition-metal-free reaction sequence on solid base: One-pot synthesis of quinoline derivatives catalyzed by Mg-Al hydrotalcite	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Catalysis	6. 最初と最後の頁 112419 ~ 112419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mcat.2022.112419	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 Motokura Ken, Nakao Kaiki, Manaka Yuichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Fluoride Catalysts and Organic Additives for Conversion of CO <sub>2</sub> to Formic Acid and Methanol using Powdered Silicon as Reducing Agent	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 e202200230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202200230	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 Pramudita Ria Ayu, Nakao Kaiki, Nakagawa Chihiro, Wang Ruopeng, Mochizuki Toshimitsu, Takato Hidetaka, Manaka Yuichi, Motokura Ken	4. 巻 1
2. 論文標題 Catalytic reduction and reductive functionalisation of carbon dioxide with waste silicon from solar panel as the reducing agent	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy Advances	6. 最初と最後の頁 385 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1YA00077B	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 Kuramochi Nanako, Yoshida-Hirahara Miru, Ogihara Hitoshi, Kurokawa Hideki	4. 巻 7
2. 論文標題 Proton exchange membrane electrolysis of methanol for simultaneously synthesizing formaldehyde and hydrogen	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sustainable Energy & Fuels	6. 最初と最後の頁 778 ~ 785
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2SE01472F	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 Abdelnasser Shady, Hakamata Takumi, Ogihara Hitoshi, Kurokawa Hideki	4. 巻 928
2. 論文標題 Electrochemical oxidation of 1-propanol through proton exchange membrane electrolysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Electroanalytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 117009 ~ 117009
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelechem.2022.117009	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 Takabatake Moe, Motokura Ken	4. 巻 3
2. 論文標題 Montmorillonite-based heterogeneous catalysts for efficient organic reactions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nano Express	6. 最初と最後の頁 014004 ~ 014004
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2632-959X/ac5ac3	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 Kong Yuanyuan, Ding Siming, Endo Koichiro, Nakajima Kiyotaka, Manaka Yuichi, Chun Wang-Jae, Tomita Ikuyoshi, Motokura Ken	4. 巻 24
2. 論文標題 Mesoporous silica-supported rhodium complexes alongside organic functional groups for catalysing the 1,4-addition reaction of arylboronic acid in water	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Green Chemistry	6. 最初と最後の頁 3269 ~ 3276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1GC04577F	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 Usui Kei, Manaka Yuichi, Chun Wang Jae, Motokura Ken	4. 巻 28
2. 論文標題 Rhodium-Iodide Complex on a Catalytically Active SiO2 Surface for One Pot Hydrosilylation CO2 Cycloaddition	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry - A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202104001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202104001	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 Motokura Ken, Ding Siming, Usui Kei, Kong Yuanyuan	4. 巻 11
2. 論文標題 Enhanced Catalysis Based on the Surface Environment of the Silica-Supported Metal Complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 11985 ~ 12018
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.1c03426	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 Misaki Satoshi, Ariga-Miwa Hiroko, Ito Takashi U., Yoshida Takefumi, Hasegawa Shingo, Nakamura Yukina, Tokutake Shunta, Takabatake Moe, Shimomura Koichiro, Chun Wang-Jae, Manaka Yuichi, Motokura Ken	4. 巻 13
2. 論文標題 Pd Nanoparticles on the Outer Surface of Microporous Aluminosilicates for the Direct Alkylation of Benzenes using Alkanes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 12281 ~ 12287
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.3c02309	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 Motokura Ken, Mizuno Ayaka, Hasegawa Shingo, Nambo Masayuki, Takabatake Moe, Suzuki Kenta, Manaka Yuichi, Uemura Yohei, Tsubaki Shuntaro, Chun Wang-Jae	4. 巻 127
2. 論文標題 In Situ Formation of Ru?Sn Bimetallic Particles for Non-Oxidative Coupling of Methane	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 15185 ~ 15194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.3c03078	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 Motokura Ken, Nakamura Yukina, Takabatake Moe, Suzuki Kenta, Hasegawa Shingo	4. 巻 425
2. 論文標題 Direct alkylation of benzene with branched alkanes using solid acids: Unexpected product selectivity based on the tertiary carbon position	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 114363 ~ 114363
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2023.114363	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 Motokura Ken	4. 巻 in press
2. 論文標題 Interparticle Hydrogen Spillover in Enhanced Catalytic Reactions	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 e202301083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.202301083	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 Abdelnasser Shady, Matsushita Hibiki, Kurokawa Hideki, Ogiwara Hitoshi	4. 巻 52
2. 論文標題 Effect of Nafion Ionomer on Proton Exchange Membrane Electrolysis of Benzyl Alcohol	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 560 ~ 563
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.230178	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 -

〔学会発表〕 計25件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 8件）

1. 発表者名 中村由紀菜・高畠萌・長谷川慎吾・本倉健
2. 発表標題 固体酸-担持金属触媒混合系による分岐アルカンを用いたベンゼンのアルキル化反応
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木健太・高畠萌・長谷川慎吾・本倉健
2. 発表標題 固体酸と担持白金の混合触媒系によるプロパンとベンゼンの脱水素カップリング反応
3. 学会等名 第131回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本倉健
2. 発表標題 固体酸触媒と固体塩基触媒を活用した高難度・高効率合成反応
3. 学会等名 第130回触媒討論会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本倉健
2. 発表標題 機能集積型触媒を用いる高効率・高難度分子変換反応
3. 学会等名 2022年電気化学秋季大会 有機電子移動研究会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moe Takabatake, Satoshi Misaki, Wang-Jae Chun, Yuichi Manaka, Ken Motokura
2. 発表標題 Direct alkylation of various nucleophiles using catalyst mixture of supported Pd and solid acid
3. 学会等名 Post Symposium of TOCAT9, 60th Aurora seminar, The 9th International Symposium of Institute for Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moe Takabatake, Satoshi Misaki, Wang-Jae Chun, Yuichi Manaka, Ken Motokura
2. 発表標題 Direct alkylation of aromatics with alkanes using a catalyst mixture of solid acid zeolites and hydrotalcite supported Pd
3. 学会等名 The 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木健太、高島萌、本倉健
2. 発表標題 水素のみを副生するプロパンによるベンゼンの直接アルキル化反応
3. 学会等名 第11回 JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鈴木 健太、高島 萌、本倉 健
2. 発表標題 固体酸によるプロパンとベンゼンの脱水素カップリング反応における担持白金の添加効果
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高島 萌、美崎 慧、南保 雅之、田 旺帝、眞中 雄一、本倉 健
2. 発表標題 担持金属-固体酸混合触媒系によるアルカンとベンゼンの脱水素カップリング反応
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ken Motokura
2. 発表標題 Development of supported catalyst systems for highly efficient/challenging organic reactions
3. 学会等名 International Conference on State-of-the Art Catalysis and Surface/Interface Science for Sustainable Society - 11th Iwasawa conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本倉 健
2. 発表標題 固体酸触媒と金属錯体・金属ナノ粒子の協奏効果による反応加速
3. 学会等名 令和3年度 触媒学会東日本支部講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Moe Takabatake, Ayako Hashimoto, Wang-Jae Chun, Masayuki Nambo, Yuichi Manaka, Ken Motokura
2. 発表標題 Dehydrogenative coupling of alkane and benzene accelerated by interparticle hydrogen transfer
3. 学会等名 18th Japan-Korea Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Risako Sato, Nao Ozawa, Yuichi Manaka, Ken Motokura
2. 発表標題 One-pot Synthesis of Quinoline Derivatives via Hydrogen Transfer and Cyclization Reactions with Solid Base Hydrotalcites
3. 学会等名 18th Japan-Korea Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoshi Misaki, Moe Takabatake, Masayuki Nambo, Yuichi Manaka, Ken Motokura
2. 発表標題 Direct addition of aromatics to alkanes in the presence of various zeolites and supported Pd catalysts
3. 学会等名 18th Japan-Korea Symposium on Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ken Motokura
2. 発表標題 Synergistic catalysis of supported metal catalysts for fine chemicals synthesis
3. 学会等名 Synergistic catalysis of supported metal catalysts for fine chemicals synthesis (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 美崎 慧・高畠 萌・南保 雅之・眞中 雄一・本倉 健
2. 発表標題 各種ゼオライトと担持Pd種共存下でのアルカンへの芳香族直接付加反応
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島 萌・美崎 慧・田 旺帝・眞中 雄一・本倉 健
2. 発表標題 担持白金触媒と固体酸触媒の混合系によるアルカンを用いるベンゼンのアルキル化反応
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 史沙子・小澤 奈央・眞中 雄一・本倉 健
2. 発表標題 Mg-Alハイドロタルサイトによる水素移動・環化反応を経由するキノリン誘導体のワンポット合成
3. 学会等名 第11回CSJ化学フェスタ2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 史沙子、小澤 奈央、眞中 雄一、本倉 健
2. 発表標題 固体塩基のみによる水素移動・環化反応を経由するキノリン誘導体の合成
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高島 萌、美崎 慧、田 旺帝、眞中 雄一、本倉 健
2. 発表標題 担持Pt-固体酸混合触媒を用いるアルカンによるベンゼンのアルキル化反応
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新島巧海・鈴木健太・長谷川慎吾・本倉健
2. 発表標題 種々の担持金属触媒と固体酸触媒によるプロパンとベンゼンからの直接クメン合成
3. 学会等名 第133回触媒討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Ken Motokura, Siming Ding, Kei Usui, Yuanyuan Kong
2. 発表標題 Supported Metal Complex Catalysis for Fine Chemical Synthesis Enhanced by Functionalized Surface Environment
3. 学会等名 International Symposium on Catalysis and Fine Chemicals 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本倉 健、中村 由紀菜、高島 萌、鈴木 健太、長谷川 慎吾
2. 発表標題 分岐アルカンによるベンゼンの直接アルキル化反応における固体酸の触媒作用
3. 学会等名 第53回石油・石油化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 鈴木健太・高島萌・長谷川慎吾・本倉健
2. 発表標題 固体酸と担持金属の混合触媒によるプロパンとベンゼンの脱水素カップリング反応
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本倉健・水野彩香・長谷川慎吾・南保雅之・高島萌・鈴木健太・眞中雄一・上村洋平・椿俊太郎・田旺帝
2. 発表標題 メタン脱水素カップリング反応に活性を示すRu-Sn触媒のin-situ構造解析
3. 学会等名 第132回触媒討論会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 本倉 健	4. 発行年 2023年
2. 出版社 シーエムシー・リサーチ	5. 総ページ数 442
3. 書名 メタンと二酸化炭素～その触媒的化學変換技術の現状と展望～（担当：分担執筆， 範囲：第3章 第2節 メタンを用いる液相での炭素 炭素結合形成反応）	

1. 著者名 本倉健	4. 発行年 2023年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 544
3. 書名 触媒総合事典（担当：分担執筆， 範囲：アルキル化、ワンポット合成）	

1. 著者名 本倉健	4. 発行年 2022年
2. 出版社 エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 342
3. 書名 二酸化炭素有効利用技術（担当：分担執筆， 範囲：第2章 第2節 “有機分子触媒を利用した二酸化炭素からのギ酸誘導体の合成”）	

〔産業財産権〕

〔その他〕

【プレスリリース】アルカンとベンゼンの直接結合反応のための金属ナノ粒子-ゼオライト複合触媒を開発  
<https://www.ynu.ac.jp/hus/koho/30639/detail.html>

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	荻原 仁志  (Ogihara Hitoshi)  (60452009)	埼玉大学・理工学研究科・教授    (12401)	

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		
ドイツ	European XFEL		