

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03449

研究課題名(和文)ゼオライトナノシート凝集体の構造的柔軟性を利用した新規担持触媒の創出

研究課題名(英文) Synthesis of supported catalysts using zeolitic nanosheets

研究代表者

荻野 勲 (Ogino, Isao)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60625581

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：金属種が原子レベルで分散担持された固体触媒を環境・エネルギー分野の化学反応に利用する研究が活発に行われている。本研究では、層状構造をもつゼオライト前駆体を利用し、その微細孔空間内に金属超微粒子を担持する手法の創出を目指した。層状前駆体の合成条件、層間からの有機構造規定剤の抽出条件、層間に導入するアミノアルコールと金属錯体混合物の種類と組成、得られた試料の熱処理条件について検討を行った。その結果、金属錯体とアミノアルコールの選択、そして試料の活性化処理条件を工夫することで、sub-nmサイズの超微粒子が担持可能であること、得られた触媒が試験反応において特に高い活性を示すことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

貴金属を担持した触媒は、環境・エネルギー分野の化学反応に多く利用されている。希少資源である貴金属の使用量を最小にし、かつ高性能な触媒を開発するため、貴金属が原子レベルで分散した触媒に関する研究が盛んに行われている。本研究では、層状構造を有するゼオライト前駆体の構造的な特徴を活かし、貴金属が高分散に担持した触媒を合成する手法創出を目指した。検討の結果、合成時に用いる添加剤の種類と量、そして試料の活性化処理条件を調節することで目的とする触媒が合成可能であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Atomically-dispersed metals on oxide supports have attracted significant interest as catalytic materials for energy and environmental applications. In this work, we aimed to develop a synthetic method to confine small metal species within zeolitic materials using layered zeolitic precursors. We studied the synthesis conditions of layered zeolitic precursors, extraction methods of organic structure-directing agents from interlayer spaces of layered precursors, the type and composition of amino alcohols and metal complexes, and thermal activation conditions of synthesized samples. We found that supported catalysts with highly dispersed metal species can be synthesized through a proper choice of amino alcohol and metal complex and adjustment of thermal activation condition. We found further that the synthesized catalyst exhibits significantly higher activity than other catalysts in a test reaction.

研究分野：化学工学

キーワード：化学工学 反応・分離 触媒・化学プロセス ナノ材料

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

金属超微粒子が原子レベルで分散担持された固体触媒を環境・エネルギー分野の化学反応に利用する研究が活発に行われている。ゼオライトは分子ふるい作用や閉じ込め空間場の効果などの特異な機能を示す。また、sub-nm サイズの金属超微粒子の固定化において特殊な場を提供できる魅力的な材料である。特殊反応場を提供する観点から、ゼオライトの細孔径は分子レベルの小さなものであることが望ましいが、担持金属触媒合成や嵩高い基質の触媒の変換においては、小さな開口径が問題となることがある。例えば、金属微粒子の担持には、一般に前駆体となる金属錯体を担体に吸着させた後、金属微粒子に変える方法が用いられることが多い。この方法は、金属錯体が細孔内に拡散しやすい大きな開口径を有するゼオライトには有効であるが、比較的小さい開口径を有するゼオライトでは問題となることが多い。我々は、ゼオライト層状前駆体を特定の極性溶媒で処理すると層間から有機構造規定剤を抽出でき、得られた層状化合物が極性溶媒中で層間拡張することを見出した。そこで、本研究では、この構造的柔軟性を担持触媒合成に利用することを考えた。

2. 研究の目的

本研究では、ゼオライト層状前駆体を利用し、金属超微粒子が担持された固体触媒の合成手法を創出することを目的とした。

3. 研究の方法

主に、(1) 層状前駆体の合成条件、(2) 層間からの有機構造規定剤の抽出方法、(3) 層間に導入するアミノアルコールと金属錯体混合物の種類と組成、得られた試料の熱処理条件について検討を行った。また、(4) 得られた試料をテスト反応を用いて性能評価した。

(1) 層状前駆体の合成条件：層状前駆体として MWW 型ゼオライトの純シリカ類似体を選択した。2 種類の有機構造規定剤 (hexamethyleneimine (HMI), *N,N,N*-trimethyl-1-adamantylammonium hydroxide (TMAdaOH)) を組み合わせて合成する既報の方法をもとに、ナトリウムイオンフリー条件下での合成を検討した。

(2) 層間からの有機構造規定剤の抽出：(1) で合成した層状前駆体を沸点の比較的高い極性溶媒 (*N,N*-ジメチルホルムアミド (DMF), *N,N*-ジメチルアセトアミド (DMAc) など) 中で加熱処理した。抽出溶媒に添加するアルコールの種類や処理時間を変えた実験を行った。

(3) 層間に導入するアミノアルコールと金属錯体混合物の種類と組成：カチオン性の Pt および Cu 錯体と表 1 に示す各種アミノアルコールの組み合わせを検討した。

(4) 試験反応は、担持貴金属触媒のテスト反応として広く実施され、多くの知見が蓄積されており、温和な条件でも進行するエチレンの水素化反応を選択した。また、性能比較のため、含浸担持して調製した触媒も評価した。

表 1. 検討したアミノアルコール

アミノアルコール	略称
2-アミノ-1-ブタノール	N1-O1
(±)-3-アミノ-1,2-プロパンジオール	N1-O2
1,3-ジアミノ-2-プロパノール	N2-C3-O1
<i>N</i> -(2-ヒドロキシエチル)エチレンジアミン	N2-C2-O1
<i>N,N'</i> -ビス(2-ヒドロキシエチル)エチレンジアミン	N2-C2-O2
<i>N,N,N',N'</i> -テトラキス(2-ヒドロキシエチル)エチレンジアミン	N2-C2-O4
4,4'-ビス(ヒドロキシメチル)-2,2'-ピピリジン	Bpy

4. 研究成果

合成した層状前駆体を極性溶媒と表 1 に示すアミノアルコールの混合溶液で処理した。あらかじめ層状前駆体中に存在する欠陥量を固体 NMR 分析で求めておき、投入するアミノアルコールの量をこの 10 倍とした。150 °C で抽出処理した試料を粉末 X 線回折 (XRD) と熱重量分析により分析した所、ほぼすべての試料について層間から有機物の抽出を示す結果が得られた。例外として、かさ高い N2-C2-O4 を用いて処理した試料では有機構造規定剤の抽出にともなう層間縮小がほとんど確認されなかった。構造規定剤の抽出が確認された試料では、元素分析の結果から、C/N 原子比が処理前に比べ減少していることがわかった。一方で、赤外分光測定ならびに固体 NMR 測定の結果から、シリケート表面への DMF の吸着量は本実験条件下では無視できることがわかった。これらの結果から、層間から有機構造規定剤の除去されるとともに、もともと前駆体に含まれる有機物よりも単位分子あたり N 含有量の高いアミノアルコールがシリケート試料内に取り込まれたことが示唆された。また、固体 NMR 測定の結果から、抽出処理後の試料では層状前駆

体の欠陥に相当する共鳴ピーク（～-94 ppm）が大きく減少していることが分かった（図1）。このことから、取り込まれたアミノアルコールが前駆体の欠陥部位と反応したと思われる。

層状前駆体の純シリカ類似体に含まれる欠陥は、図2のようにSiOHとSiO⁻からなり、カチオン性の有機構造規定剤と相互作用しているものと考えられる。アミノアルコールが抽出処理により欠陥部位と反応することが示唆されたことから、アミノアルコールのグラフト化に伴いカチオン性の有機構造規定剤が抽出されたものと思われる。そこで、処理溶液にカチオン性のPt錯体（例:Pt(NH₃)₄(NO₃)₂）を含めることで、欠陥部位近傍への金属種導入を試みた。ここでは特に、Ptの担持量、Pt錯体に対するアミノアルコールの過剰量などを検討した。カチオン性のPt錯体が有機構造規定剤の抽出とともにアミノアルコールの有無に関わらず欠陥部位と直接反応することも想定された。しかし、得られる試料の金属分散度にアミノアルコールの種類や投入量が大きな影響を与えることが分かった。例えば、アミノ基とヒドロキシ基を1つしか有しないN1-01や非常にかさ高いN2-C2-04では含浸担持で合成した試料と同様に比較的大きな数

上のPt粒子が多く存在していることが分かった。恐らく、アミノ基が1つの場合はPt種との相互作用が弱く、また過度にかさ高いアミノアルコールでは層間へのPt種挿入が難しいものと思われる。この結果から、アミノアルコール種の選択が目的達成のキーポイントの一つだと思われる。

アミノアルコール種の選択に続いて、熱処理の検討を行った。特に、雰囲気ガス、昇温速度などの検討を行った。その結果、特に雰囲気ガスが大きな影響を与え、中でも酸化性のガスを用いた処理行程に配慮することが分かった。この検討を踏まえ、熱処理条件を調節することで、例えばN2-C3-01を用いて処理した試料で500℃処理後も高い金属分散性を有する試料が得られた（図3）。

さらにアミノアルコールの影響を調べるため、各触媒（熱処理後のサンプル）のテスト反応を行った。その結果、N2-C3-01とBpyを用いて調製した触媒が顕著に高い性能を示した（図4）。より定量的な評価には、低転化率での反応データと単位質量あたりの活性サイト量の情報が必要である。

本研究で用いたシリケートはアルミノシリケートのような強酸点を有さない。従って、酸点によって進行する副反応が懸念される系では優れた担体の候補となる。しかし、Ptのような貴金属粒子とSiO₂表面の相互作用は他の担体を用いた場合よりも弱い。従って、高温処理後も高い分散度を維持した試料を得ることが比較的難しい。本研究の結果、アミノアルコールの選択と熱処理条件を調節することで、高温処理後も分散度の高いPt担持触媒が得られることが分かった。またアミノアルコールは欠陥部位と反応することが確認された。また、用いるアミノアルコールの種類によって得られる触媒の性能が大きく変わることが分かった。この検討を通して得られた知見は、MMW型ゼオライト層状前駆体のみならず、ほかのゼオライト型材料やシリカ担体へも応用できるものと期待される。

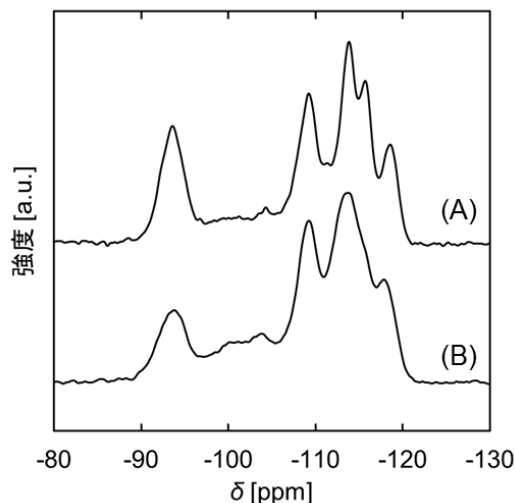


図1. ²⁹Si CP MAS NMR スペクトル：(A) 層状前駆体、(B) N2-C3-01を用いた抽出処理後

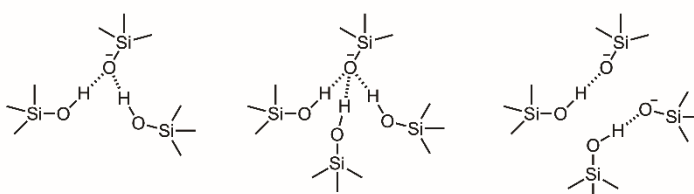


図2. 欠陥サイトモデルの例

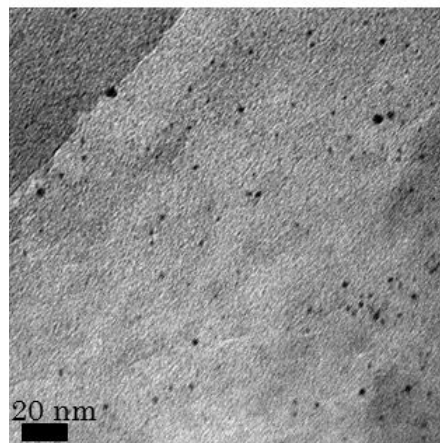


図3. 500℃で熱処理したPt担持触媒のTEM像

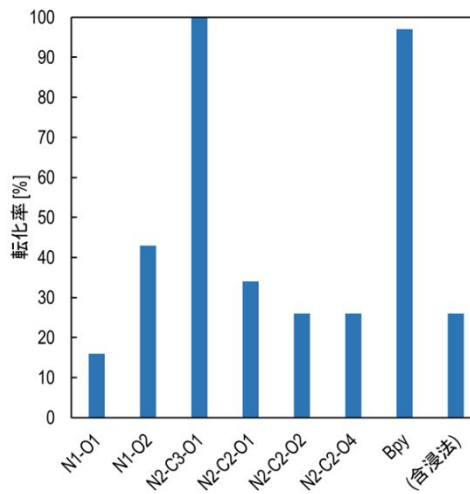


図4. エチレンの水素化反応結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ogino, I.; Hirayama, Y.; Mukai, S. R.	4. 巻 44
2. 論文標題 Intercalation chemistry and thermal characteristics of layered double hydroxides possessing organic phosphonates and sulfonates (selected as inside front cover art)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New J. Chem.	6. 最初と最後の頁 10002-10010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NJ06441A	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 Ogino, I.; Tanaka, R.; Mukai, S. R.	4. 巻 -
2. 論文標題 Genesis of micropores by thermal activation of Mg-Al layered double hydroxides possessing interlayer organic sulfonates under oxygen-free environments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Catal. Today	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2019.12.015	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 Tanaka, R.; Ogino, I.; Mukai, S. R.	4. 巻 3
2. 論文標題 Synthesis of Mg-Al Mixed Oxides with Markedly High Surface Areas from Layered Double Hydroxides with Organic Sulfonates	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 16916-16923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b02557	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 Ogino, I.; Tanaka, R.; Kudo, S.; Mukai, S. R.	4. 巻 263
2. 論文標題 The Impact of Thermal Activation Conditions on Physicochemical Properties of Nanosheet-derived Mg-Al Mixed Oxides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microporous Mesoporous Mater.	6. 最初と最後の頁 181-189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.micromeso.2017.12.014	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 Mori, T.; Iwamura, S.; Ogino, I.; Mukai, S. R.	4. 巻 214
2. 論文標題 Cost-effective Synthesis of Activated Carbons with High Surface Areas for Electrodes of Non-aqueous Electric Double Layer Capacitors	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sep. Purif. Technol.	6. 最初と最後の頁 174 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2018.04.022	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 Yoshida, S.; Iwamura, S.; Ogino, I.; Mukai, S. R.	4. 巻 25
2. 論文標題 Continuous-flow Separation of Cesium Ion by Ammonium Molybdophosphate Immobilized in a Silica Microhoneycomb (AMP-SMH)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adsorption	6. 最初と最後の頁 1089-1098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10450-019-00060-2	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, K.; Yoshida, S.; Urkasama, K.; Iwamura, S.; Ogino, I.; Mukai, S. R.	4. 巻 25
2. 論文標題 Carbon Gel Monoliths with Introduced Straight Microchannels for Phenol Adsorption	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adsorption	6. 最初と最後の頁 1241-1249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10450-018-00007-z	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 Iwai, Y.; Ikka, T.; Miura, A.; Rosero-Navarro, N. C.; Iwamura, S.; Ogino, I.; Mukai, S. R.	4. 巻 48
2. 論文標題 Catalytic Activity for Oxygen Reduction Reaction of Ni-Mn-Fe Layered Double Hydroxide-Carbon Gel Composite	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Lett.	6. 最初と最後の頁 696-699
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190036	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 Ogino, I.; Fukazawa, G.; Kamatari, S.; Iwamura, S.; Mukai, S. R.	4. 巻 27
2. 論文標題 The Critical Role of Bulk Density of Graphene Oxide in Tuning its Defect Concentration through Microwave-driven Annealing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Energy Chem.	6. 最初と最後の頁 1468-1474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jechem.2017.09.010	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 Urkasame, K.; Yoshida, S.; Takanohashi, T.; Iwamura, S.; Ogino, I.; Mukai S. R.	4. 巻 3
2. 論文標題 Development of TiO ₂ -SiO ₂ Photocatalysts Having a Microhoneycomb Structure by the Ice Templating Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 14274-14279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.8b01880	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 Ogino, I.; Suzuki, Y.; Mukai, S. R.	4. 巻 314
2. 論文標題 Esterification of Levulinic Acid with Ethanol Catalyzed by Sulfonated Carbon Catalysts: Promotional Effects of Additional Functional Groups	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Catal. Today	6. 最初と最後の頁 62-69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2017.10.001	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 Sakai, K.; Iwamura, S.; Sumida, R.; Ogino, I.; Mukai, S. R.	4. 巻 3
2. 論文標題 Carbon Paper with a High Surface Area Prepared from Carbon Nanofibers Obtained through the Liquid Pulse Injection Technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 691-697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.7b01822	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 Isao Ogino	4. 巻 38
2. 論文標題 X-ray Absorption Spectroscopy for Single-Atom Catalysts: Critical Importance and Persistent Challenges	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chinese Journal of Catalysis	6. 最初と最後の頁 1481-1488
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/S1872-2067(17)62880-8	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 Isao Ogino, Rei Tanaka, Shuichiroh Kudo, Shin R. Mukai	4. 巻 263
2. 論文標題 The impact of thermal activation conditions on physicochemical properties of nanosheet-derived Mg-Al mixed oxides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Microporous and Mesoporous Materials	6. 最初と最後の頁 181-189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.micromeso.2017.12.014	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 Kazuki Sakai, Shinichiroh Iwamura, Ryo Sumida, Isao Ogino, Shin R. Mukai	4. 巻 3
2. 論文標題 Carbon Paper with a High Surface Area Prepared from Carbon Nanofibers Obtained through the Liquid Pulse Injection Technique	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 691-697
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Isao Ogino, Yukei Suzuki, Shin R. Mukai	4. 巻 314
2. 論文標題 Esterification of levulinic acid with ethanol catalyzed by sulfonated carbon catalysts: Promotional effects of additional functional groups	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Catalysis Today	6. 最初と最後の頁 62-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cattod.2017.10.001	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 Isao Ogino, Go Fukazawa, Shunsuke Kamatari, Shinichiroh Iwamura, Shin R. Mukai	4. 巻 27
2. 論文標題 The critical role of bulk density of graphene oxide in tuning its defect concentration through microwave-driven annealing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Energy Chemistry	6. 最初と最後の頁 1468-1474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jechem.2017.09.010	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 Takeshi Mori, Shinichiroh Iwamura, Isao Ogino, Shin R. Mukai	4. 巻 24
2. 論文標題 Optimization of practical activation depth for effective CO2 activation using PMMA-templated carbons with a tailorable pore system of meso-and macropores	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Porous Materials	6. 最初と最後の頁 1497-1506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10934-017-0389-y	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 Takeshi Mori, Shinichiroh Iwamura, Isao Ogino, Shin R. Mukai	4. 巻 50
2. 論文標題 PMMA-Templated Carbon Gel Monoliths with Independently Tunable Micro-, Meso-, and Macropores	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Engineering of Japan	6. 最初と最後の頁 315-323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.16we313	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 Seiichiroh Yoshida, Kazuki Takahashi, Shuichiroh Kudo, Shinichiroh Iwamura, Isao Ogino, Shin R. Mukai	4. 巻 56
2. 論文標題 CO2 Separation in a Flow System by Silica Microhoneycombs Loaded with an Ionic Liquid Prepared by the Ice-Templating Method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 2834-3839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.6b05001	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22件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Isao Ogino
2. 発表標題 Overcoming Two Challenges in Utilization of Two-dimensional Materials - Irreversible Restacking & Site-specific Functionalization
3. 学会等名 The 3rd International Conference on Bioresources, Energy, Environment, and Materials Technology 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Isao Ogino, Rei Tanaka, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Scalable Synthesis of Metal Oxide Supports with High Surface Area and Basic Site Density from Mg-Al Layered Double Hydroxides
3. 学会等名 26th North American Catalysis Society Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryo Obunai, Keisuke Tamura, Isao Ogino, Shin R. Mukai, Wataru Ueda
2. 発表標題 Confined-Space Synthesis of Nanocrystalline Mo-V-O Mixed Oxides Using a Mesoporous Carbon
3. 学会等名 26th North American Catalysis Society Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Isao Ogino, Rei Tanaka, Shuichiroh Kudo, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Overcoming Irreversible Restacking of Mg-Al Double Hydroxide Nanosheets through Thermal Activation in H ₂ or N ₂ : Synthesis of Mixed Metal Oxides with High Surface Area and Basic Site Density
3. 学会等名 19th International Zeolite Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Isao Ogino, Kazumasa Kikuhara, Taichi Shirobe, Yusuke Higuchi, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Site-specific Functionalization of Lamellar Precursors of a Zeolitic Material
3. 学会等名 APCChE2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊原 一将, 荻野 勲, 向井 紳
2. 発表標題 ゼオライト層状前駆体の欠陥サイトを利用した金属担持触媒の合成
3. 学会等名 第35回ゼオライト研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 樋口 友輔, 岩村 振一郎, 荻野 勲, 向井 紳
2. 発表標題 ゼオライト層状前駆体を利用したCu担持触媒の合成
3. 学会等名 第29回化学工学・粉体研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊原 一将, 白部 大知, 岩村 振一郎, 荻野 勲, 向井 紳
2. 発表標題 ゼオライト層状前駆体からの構造規定剤抽出と層間修飾
3. 学会等名 第58回オーロラセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isao Ogino, Rei Tanaka, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Effects of Thermal Activation Conditions on Physicochemical Properties of Nanosheet-Derived Mg-Al Mixed Oxides
3. 学会等名 2nd Natural Gas Utilization Workshop (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rei Tanaka, Isao Ogino, Shuichiroh Kudo, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Impact of Thermal Activation Conditions on Physicochemical Properties of Nanosheet-derived Mg-Al Mixed Oxides
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深澤 剛, 皆上 昂ノ介, 荻野 勲, 岩村 振一郎, 向井 紳
2. 発表標題 マイクロ波加熱による酸化グラファイト由来グラフェン系炭素材料の低欠陥化
3. 学会等名 第58回オーロラセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Rei Tanaka, Isao Ogino, Shuichiroh Kudo, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Impact of Thermal Activation Conditions on Physicochemical Properties of Nanosheet-derived Mg-Al Mixed Oxides
3. 学会等名 International Symposium on Zeolites and Microporous Crystals 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深澤 剛, 皆上 昂ノ介, 荻野 勲, 岩村 振一郎, 向井 紳
2. 発表標題 マイクロ波加熱による酸化グラファイト由来グラフェン系炭素材料の低欠陥化
3. 学会等名 化学工学会室蘭大会2018(3支部合同大会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 怜, 荻野 勲, 向井 紳
2. 発表標題 ナノシートを利用した高表面積Mg-Al複合酸化物の合成
3. 学会等名 第32回日本吸着学会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 一家 拓矢, 荻野 勲, 岩村 振一郎, 小野博信, 向井 紳
2. 発表標題 マイクロ波によるグラフェン系窒素ドーパカーボンの高性能化を目指した検討
3. 学会等名 第45回炭素材料学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荻野 勲, 一家 拓矢, 岩村 振一郎, 小野 博信, 向井 紳
2. 発表標題 マイクロ波処理による炭素系触媒の酸素還元反応活性の向上
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 裕貴、白部 大知、荻野 勲、向井 紳
2. 発表標題 ゼオライト層状前駆体からの構造規定剤の抽出とその利用
3. 学会等名 第 27回化学工学・粉体研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Isao Ogino, Taichi Shirobe, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Locations of Defective SiO- Sites in Lamellar Precursors of Pure-Silica MWW-Type Molecular Sieves
3. 学会等名 25th North American Meeting of the Catalysis Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hiroki Satoh, Shinichiroh Iwamura, Isao Ogino, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Development of an Efficient method to Support Metal Nano-Particles Using Layered MWW Precursors
3. 学会等名 Hokkaido University- Chulalongkorn University Learning Satellite Program (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Rei Tanaka, Shinichiroh Iwamura, Isao Ogino, Shin R. Mukai
2. 発表標題 CO ₂ Adsorption Characteristics of Nano-fiberized Mg/Al Mixed Metal Oxides for Sorption-Enhanced Water Gas Shift Reaction
3. 学会等名 Hokkaido University- Chulalongkorn University Learning Satellite Program (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukei Suzuki, Isao Ogino, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Esterification of Levulinic Acid with Ethanol Catalyzed by Sulfonated Carbon Catalysts: Promotional Effects of Additional Functional Groups
3. 学会等名 APCChE2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yukei Suzuki, Isao Ogino, Shin R. Mukai
2. 発表標題 Liquid-phase esterification of levulinic acid with ethanol catalyzed by sulfonated carbon catalysts: effects of additional surface functional groups
3. 学会等名 8th International Symposium on Acid-Base Catalysis (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 Isao Ogino	4. 発行年 2019年
2. 出版社 The Royal Society of Chemistry	5. 総ページ数 31(346)
3. 書名 Understanding Atomically Dispersed Supported Metal Catalysts. In Catalysis: Volume 31. Spivey, J. J., Yi-Han Fan, Y.-H., Shekhawat, D. Eds,	

1. 著者名 Isao Ogino, Pedro Serna, Bruce C. Gates	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 26(3756)
3. 書名 Supported Catalysts in "Handbook of Solid State Chemistry, 6 Volume Set"	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	岩村 振一郎 (Iwamura Shinichiroh) (10706873)	北海道大学・工学研究院・助教 (10101)	
研究分担者	向井 紳 (Mukai Shin) (70243045)	北海道大学・工学研究院・教授 (10101)	