

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：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01786

研究課題名(和文) 金属とオキソアニオンの共同作用を利用した高効率触媒反応系の開発

研究課題名(英文) Development of highly efficient catalytic systems based on cooperative action by metals and oxoanions

研究代表者

鎌田 慶吾 (Kamata, Keigo)

東京工業大学・科学技術創成研究院・准教授

研究者番号：40451801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：種々の希土類(La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu)ホスフェートは水熱法を、3d金属(Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn)ホスフェートは多価カルボン酸を金属分散剤としたゾルゲル法を用いて合成し、酸塩基触媒機能について検討した。酸塩基性をピリジン、アセトン、クロロホルム、メタノールをプローブ分子とした吸着IR測定より確認し、シアノシリル化反応、アセタール化反応、クネヴェナーゲル縮合反応という酸塩基反応により評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた触媒は、ファインケミカルズ合成において、均一系触媒を再利用可能かつ安定な無機固体触媒材料で置き換えられることも考えられる。また、熱安定性の高い無機物であるため、自動車排ガス浄化や炭化水素原料の転換などの幅広い高温での気相反応に対しても、新しい省資源・省エネルギープロセスの一端を担うことが期待される。無機合成化学・有機合成化学と理論化学的アプローチとの融合により新触媒の創出が期待され、触媒設計の方法論(特に、複合金属オキソ酸塩の化学)を提供する点で学術的にも波及効果は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Various rare earth phosphates LnPO₄ (Ln = La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) and 3d-transition metal phosphates (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) were synthesized by hydrothermal method and sol-gel method using carboxylic acids, respectively, and their acid-base catalysis was investigated. The acidic and basic properties were confirmed by IR measurement for samples adsorbed with pyridine, acetone, chloroform, and methanol as probe molecules. In addition, the acid-base catalytic properties were evaluated by cyanosilylation reaction, acetalization reaction, and Knevenagel condensation reaction.

研究分野：触媒化学

キーワード：触媒 金属リン酸塩 希土類 ホスフェート 酸塩基

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

環境にやさしい化学合成プロセスの開発という観点から、多量に副生する廃棄物を軽減し、有毒性のある試薬や溶媒を用いない触媒的な合成手法の確立が重要である。特に、酸・塩基・酸化還元能をもつ複数の触媒活性点による協奏的な分子活性化は、優れた触媒活性や特異的な選択性の発現に関与するため、ワンポット合成反応や不斉合成反応などの多彩な化学反応に応用されている。¹不均一系触媒の分野では、金属酸化物をベースとした物質の酸塩基・酸化性質は精力的に研究されているが、均質でかつ構造が制御された活性点を構築することは極めて難しいといえる。^{2,3}例えば、高表面積酸化物担体の表面への有機官能基の修飾手法の固体表面上に活性点を導入する優れた手法の一つであるが、修飾基である有機物が酸化・熱分解の影響を受けやすいため触媒の有用性が限定されてしまうという課題がある。⁴したがって、有機物を一切含まない無機物のみを用いた固体触媒開発において、目的の反応に適した触媒構造の精密制御は事実上不可能であり、新しいコンセプトに基づく高活性な多機能無機固体触媒の設計と開発は重要な研究課題の一つである。

研究代表者はこれまでに、タングステート[WO₄]²⁻やホスフェート[PO₄]³⁻などのオキソアニオンが無機・有機強塩基と比較して弱い塩基性であるにもかかわらず、アルコールやアミンなどの求核剤を特異的に活性化し、二酸化炭素の化学的固定化反応やインドールの位置選択的 N-アルキル化反応、1級アルコールの官能基選択的アシル化反応など高原子効率な反応開発を達成している。^{5,6}一方、希土類金属のトリフラート塩がカルボニル化合物を活性化し、様々な炭素-炭素結合生成反応に対して優れた Lewis 酸触媒として働くことが知られている。⁷このような研究背景の下、我々は金属リン酸塩が求核剤と求電子剤の両方を同時に活性化し、優れた酸塩基二元機能触媒として機能すると考えた。実際に、水熱法により合成した単斜晶構造をもつリン酸セリウム触媒が他の均一系および不均一系の酸・塩基触媒とは大きく異なり、5-ヒドロキシメチルフルフラール (HMF) の官能基選択的アセタール化反応に高い触媒活性を示すことを初めて報告している。⁸しかしながら、これら金属リン酸塩による酸塩基触媒反応における、セリウム以外の金属種の効果 (具体的には、セリウム以外のランタノイド金属種、d-ブロック金属) については未検討であった。

2. 研究の目的

本研究では、ホスフェートアニオン[PO₄]³⁻などのオキソアニオンのもつ特異的分子活性化能 (塩基性) に着目し、金属種とオキソアニオンから構成される金属オキソアニオン複合触媒をソフト化学的手法で合成する。オキソアニオンに隣接する金属活性点 (Lewis 酸点、酸化還元、等) との共同触媒作用を利用することで、金属やオキソアニオンのみでは達成し得なかった高難度、あるいは新しい触媒反応系の開発を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、(i) 触媒の設計・合成、(ii) 触媒反応の開発、(iii) 反応機構の解明という目標を設定し、相互にバランスをとりながら研究を展開した。

(i) では、ターゲット反応に適した金属およびアニオン種・結晶構造を設計し、高表面積な金属オキソアニオン複合触媒の合成・構造解析を行った。具体的には、求電子剤 (カルボニル化合物など) の活性化が可能な Lewis 酸金属である希土類金属種や 3d 金属種とホスフェートアニオンを反応させ、各種金属オキソアニオン触媒を合成した。合成法には、希土類ホスフェートには水熱合成法を、3d 金属ホスフェートには多価カルボン酸を金属分散剤としたゾルゲル法を用いた。触媒のキャラクタリゼーションは、元素分析 (ICP、EDX)、粉末 X 線回折データによる結晶構造解析、吸着測定 (比表面積)、各種分光測定 (NMR、IR、Raman、XPS)、SEM による試料表面観察、により行った。

(ii) では、(i) で合成した金属ホスフェート触媒の「酸-塩基共同作用」を用いた触媒反応系の開発を行った。具体的には、アセトフェノンのシアノシリル化反応、HMF とメタノールを用いたアセタール化反応、ベンズアルデヒドとシアノ酢酸エチルのクネヴェナーゲル縮合反応アルコールについて検討した。具体的な反応は図 1 中に示す。反応はガラス製試験管を用いて行い、生成物の定性・定量はガスクロマトグラフィーを用いて行った。

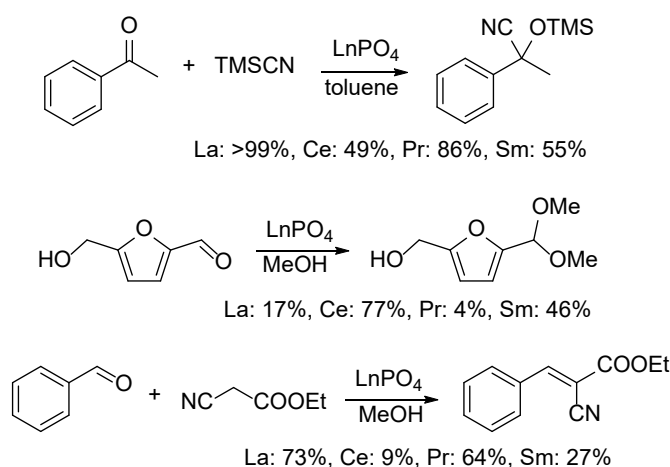


図 1. LaPO₄, CePO₄, PrPO₄, SmPO₄ 触媒による (上) アセトフェノンのシアノシリル化反応、(中) HMF とメタノールを用いたアセタール化反応、(下) ベンズアルデヒドとシアノ酢酸エチルのクネヴェナーゲル縮合反応。

(iii) では、触媒と基質・反応剤との反応（平衡・速度）を、Raman、IR、NMR、UV、XPS などの種々の分光法や同位体を利用して検討した。具体的には、ピリジン、クロロホルム、アセトン、メタノールなどのプローブ分子を触媒表面上に吸着させた後に IR 測定を行うことで、触媒表面上の酸塩基点について議論した。

4. 研究成果

冒頭に述べた単斜晶 セリウムホスフェート CePO_4 と同様の水熱条件 (180°C, 96 h) で反応させ、得られた粉末を回収し 900°C 焼成することで種々の希土類金属ホスフェートを合成した。これらの化合物は希土類金属の種類に応じて構造が変化し、ランタンからテルビウムまでの金属を含む希土類ホスフェート LnPO_4 (Ln = La–Tb) では単斜晶構造を取るのに対し、ジスプロシウムからルテチウムまでの金属を含む希土類ホスフェート LnPO_4 (Ln = Dy–Lu) では正方晶構造をとることが XRD 測定より確認された。比表面積は金属の種類に依存し (6–64 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)、単斜晶 LnPO_4 (Ln = La–Tb) では原子番号の増加と共に、正方晶 LnPO_4 (Ln = Dy–Lu) では原子番号の減少と共に比表面積が減少する傾向がみられた。これら LnPO_4 を触媒として用いてアセトフェノンとトリメチルシアニドとのシアノシリル化反応、HMF とメタノールを用いたアセタール化反応、ベンズアルデヒドとシアノ酢酸エチルのクネヴェナーゲル縮合反応を行い、それぞれの触媒の反応性について評価を行った (図 1)。顕著に活性の傾向が異なる代表的な 4 つの希土類ホスフェート LnPO_4 (Ln = La, Ce, Pr, Sm) について、アセトンおよびクロロホルム吸着 IR 測定により酸塩基特性の検討したところ、アセトンの $\nu(\text{C}=\text{O})$ とクロロホルムの $\nu(\text{C}-\text{H})$ のバンド位置に大きな差異は観測されなかった。このことは、Lewis 酸性度と塩基性強度に大きな変化はないということの意味している。一方、ピーク面積は金属種により異なり、酸反応であるアセタール化反応活性はアセトン吸着量 (= Lewis 酸量) と相関があるのに対し、塩基反応であるシアノシリル化反応とクネヴェナーゲル縮合反応はクロロホルム吸着量 (= 塩基量) と相関があった。これらの結果から、異なる希土類金属をもつ LnPO_4 の酸塩基強度に大きな変化はなく、反応性は主に表面酸塩基量に依存していることが明らかとなった。

3d 金属リン酸の合成に、 LnPO_4 と同様の水熱法を用いることはできない。これは、例えば、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ と $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ との反応では結晶性の高いリン酸亜鉛の水和物 $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ が析出するため、高表面積化や組成比変更が困難である。そこで、研究代表者が開発したペロプスカイト型酸化物合成時の多価カルボン酸を用いたアモルファス前駆体を経由する合成手法を用いて検討した。原料とする金属塩とリン酸塩の M/P モル比を変更し、リンゴ酸、アスパラギン酸、クエン酸などを用いることでアモルファス前駆体が得られ、焼成することで比較的大きな表面積 (6–22 m^2/g) をもつ様々な 3d 金属リン酸 ($\alpha\text{-CrPO}_4$, $\beta\text{-CrPO}_4$, $\text{Mn}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Mn}_2\text{P}_4\text{O}_{12}$, FePO_4 , $\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Co}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Ni}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$, $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$) の合成に成功した。中でも、Lewis 酸が支配的である HMF とメタノールを用いたアセタール化反応を行うと、リン酸鉄 FePO_4 がリン酸セリウム CePO_4 よりも表面積が小さいにも関わらず、高い触媒活性を示すことが明らかとなった。アセトンを吸着させたサンプルの IR 測定から、 FePO_4 に吸着したアセトンのカルボニル伸縮振動 $\nu(\text{C}=\text{O})$ は CePO_4 よりも低波数側に観測されたことから、 FePO_4 の方が CePO_4 より

表 1. $\beta\text{-MnO}_2\text{-HS}$ 触媒による 1 から 2 への酸化的スルホンアミド化反応.^[a]

Entry	Substrate	Product	Isolated Yield ^[b] (%)
1			88
2			88
3			82
4 ^[c]			83
5			80
6			85
7			82
8 ^[d]			68
9 ^[e]			58
10 ^[c]			41
11			59
12			80

[a] Reaction conditions: $\beta\text{-MnO}_2\text{-HS}$ (0.1 g), thiols (1 mmol), DMF/water (0.6/0.4 mL), 28 % aqueous NH_3 (5 mmol), $p\text{O}_2$ (1 MPa), 90 °C, 20 h. [b] In all reactions, conversions of **1** were $\geq 99\%$. Yield (%) = product (mol)/initial substrate (mol) $\times 100$. [c] Reaction time was 40 h. [d] DMF (1 mL). NH_3 gas was used instead of aqueous NH_3 . [e] $\beta\text{-MnO}_2\text{-HS}$ (0.15 g).

もカルボニル化合物と金属との間により強い相互作用があることが示唆された。これは、希土類イオンよりもイオン半径が小さい3d遷移金属イオンが硬い酸として機能するためであると推測される。

また、これら金属リン酸塩触媒と様々な触媒反応への応用研究を行う過程で、「 β - MnO_2 触媒による芳香族チオール類の酸化的スルホンアミド化反応の開発」と「メソポーラス β - MnO_2 ナノ粒子のテンプレートフリー合成」にも成功した。^{9,10} β - MnO_2 -HSを触媒、 O_2 (1 MPa)を酸化剤、28% NH_3 水溶液を窒素源に用いたベンゼンチオール (**1a**)の酸化的ワンポットスルホンアミド化反応を種々の溶媒中で検討した。主な生成物はベンゼンスルホンアミド (**2a**)、ジフェニルジスルフィド (**3a**)、*S*-フェニルベンゼンチオスルホナート (**4a**)であった。種々の溶媒の中でも、*N,N*-ジメチルスルホンアミド (DMF)が最も効果的な溶媒であり**2a**、**3a**、**4a**の収率はそれぞれ73%、9%、1%であった。*N,N*-ジメチルアセトアミド、エタノール、アセトニトリルなどの他の極性溶媒中においても良好に反応が進行し中程度の収率で**2a**を与えた。水中での反応では**2a**が生成しないのに対し、混合溶媒DMF/water (3/2, v/v)を用いることで**2a**の収率は90%まで向上し、反応時間を12 hまで延長することでほぼ定量的に**2a**を与えた。次に、混合溶媒DMF/water (3/2, v/v)中での**1a**の酸化的スルホンアミド化反応に対する金属酸化物触媒の効果について検討した。触媒が存在しない場合、**3a**のみが72%収率で得られた。 β - MnO_2 -HSが最も高活性を示し、**2a**の収率(90%)は典型的な水熱法で合成した β - MnO_2 の値(33%)よりも高かった。 β - MnO_2 -HS触媒を用いた**1a**のワンポットスルホンアミド化反応が終了後、使用した触媒はろ過により容易に回収可能であった。反応溶液へのマンガン種の溶出はICP-AES測定よりほぼ確認されなかった。回収した触媒は活性や選択性の低下なく再使用可能であった。また、本触媒系は種々の芳香族およびヘテロ芳香族チオール類のワンポット酸化的スルホンアミド化反応に適用可能であった(表1)。

これら高表面積なメソポーラス β - MnO_2 ナノ粒子はテンプレートを用いることなく合成出来ることを見いだした。 $\text{NaMnO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ と $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を反応させて得られた沈殿を回収、乾燥し Mn^{4+} 前駆体を得た。この前駆体を400 °Cで5 h焼成することで黒色粉末 β - MnO_2 -Aを得た。また、 $\text{NaMnO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ と $\text{Mn}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を反応させた後に溶液のpHを0.8に調整して得られた沈殿を回収、乾燥し Mn^{4+} 前駆体を得た。この前駆体を400 °Cで5 h焼成することで黒色粉末 β - MnO_2 -Bを得た。触媒のキャラクタリゼーションは、XRD、ICP-AES、IR、Raman、TG-DTA、 H_2 -TPR、SEM、TEM、XPSを用いて行った。 MnO_4^- と Mn^{2+} の反応により得られた沈殿のXRD、IR、Raman測定から、低結晶性の層状 Mn^{4+} 酸化物の生成が示唆された(図2)。反応条件が形成されるマンガン酸化物の構造および形態に大きく影響し、中でも前駆体生成時のpHが β - MnO_2 の形態と細孔構造の制御に重要であることが明らかとなった(図3)。 NaMnO_4 と MnSO_4 を用いた場合、スリット状のメソ孔をもつ板状粒子の集合体(β - MnO_2 -A)が得られた。一方、 NaMnO_4 と $\text{Mn}(\text{OAc})_2$ を用いてpH調整(pH 0.8)を行った場合、インクボトル形状のメソ孔を有する球状粒子の集合体(β - MnO_2 -B)が得られた。 β - MnO_2 -Aおよび-Bの比表面積はそれぞれ106と122 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ であり、従来の水熱法により合成した非多孔性 β - MnO_2 ナノロッドの値(β - MnO_2 -水熱、14 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)よりも大きかった。また、BJHプロットから β - MnO_2 -Aは7 nm付近に幅広な細孔分布をもつのに対し、 β - MnO_2 -Bは9 nm付近に比較的シャープな細孔分布をもつことが明らかとなった。次

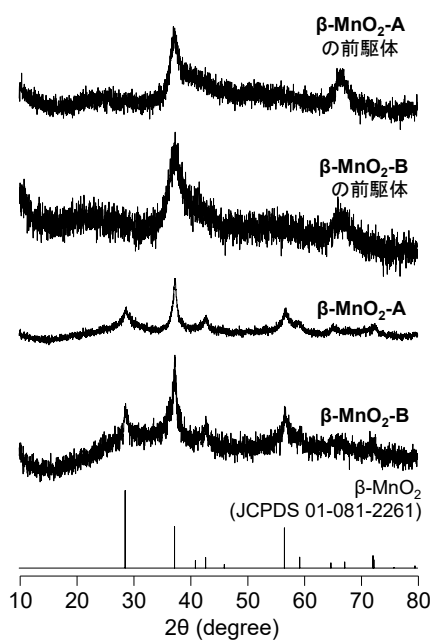


図2. β - MnO_2 -Aおよび-Bと前駆体のXRDパターン。

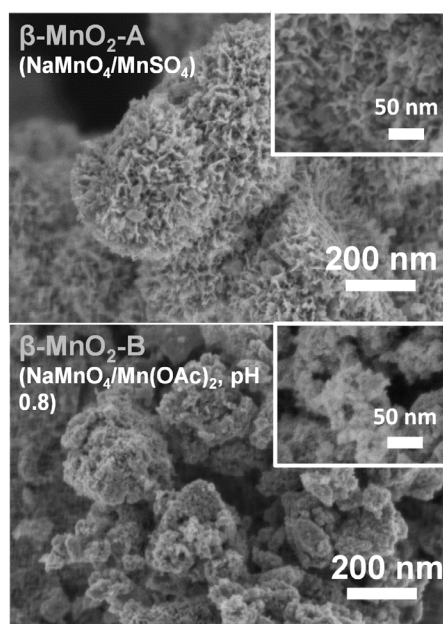


図3. β - MnO_2 -A(上)および-B(下)のSEM像。

に、合成したメソポーラス $\beta\text{-MnO}_2$ を触媒として用いて HMF の酸化による FDCA 合成反応について検討した。高表面積をもつ $\beta\text{-MnO}_2\text{-A}$ および $\beta\text{-MnO}_2\text{-B}$ は 80%以上の収率で FDCA を与えたのに対し、 $\beta\text{-MnO}_2\text{-水熱}$ では中間体である FFCA が主生成物として確認された。さらに、分子サイズの異なる芳香族アルコールの競争的酸化反応を行うと、より均質な細孔分布をもつ $\beta\text{-MnO}_2\text{-B}$ が大きい分子サイズのアルコールの酸化反応を促進することが明らかとなった。

【参考文献】

- (1) *Topics in Organometallics Chemistry—Bifunctional Molecular Catalysis*, eds. T. Ikariya, and M. Shibasaki, Springer, Berlin, **2011**.
- (2) Y. Ono, H. Hattori, *Solid Base Catalysis*, Springer-Verlag, Heidelberg, **2011**.
- (3) H. Hattori, Y. Ono, *Solid Acid Catalysis: From Fundamentals to Applications*, CRC Press, Stanford, **2015**.
- (4) S. Shylesh, W. R. Thiel, *ChemCatChem* **2011**, 3, 278.
- (5) T. Kimura, K. Kamata, N. Mizuno, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 6700.
- (6) H. Sunaba, K. Kamata, N. Mizuno, *ChemCatChem* **2014**, 6, 2333.
- (7) S. Kobayashi, K. Manabe, *Acc. Chem. Res.* **2002**, 35, 209.
- (8) S. Kanai, I. Nagahara, Y. Kita, K. Kamata, M. Hara, *Chem. Sci.* **2017**, 8, 3146.
- (9) E. Hayashi, Y. Yamaguchi, Y. Kita, K. Kamata, M. Hara, *Chem. Commun.* **2020**, 56, 2095.
- (10) Y. Yamaguchi, R. Aono, E. Hayashi, K. Kamata, M. Hara, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2020**, 12, 36004.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Hayashi Eri, Yamaguchi Yui, Kita Yusuke, Kamata Keigo, Hara Michikazu	4. 巻 56
2. 論文標題 One-pot aerobic oxidative sulfonamidation of aromatic thiols with ammonia by a dual-functional -MnO ₂ nanocatalyst	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 2095 ~ 2098
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9CC09411C	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 Yamaguchi Yui, Aono Ryusei, Hayashi Eri, Kamata Keigo, Hara Michikazu	4. 巻 12
2. 論文標題 Template-Free Synthesis of Mesoporous -MnO ₂ Nanoparticles: Structure, Formation Mechanism, and Catalytic Properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 36004 ~ 36013
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c08043	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14件（うち招待講演 7件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 鎌田慶吾
2. 発表標題 結晶性金属酸化物を基盤とした固体触媒の設計と開発
3. 学会等名 株式会社日本触媒吹田研究所講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keigo Kamata
2. 発表標題 Design of Crystalline Metal Oxide Catalysts for Aerobic Oxidation and Biomass Conversion -From Molecular to Solid Catalysts-
3. 学会等名 新学術領域研究「分子合成オンデマンドを実現するハイブリッド触媒系の創製」第2回ハイブリッド触媒 若手道場（国際）（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鎌田慶吾
2. 発表標題 植物由来のプラスチック原料技術
3. 学会等名 時代を刷新する会 新エネルギー委員会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松田蒼依, 館野晴香, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 リン酸鉄触媒によるメタンからホルムアルデヒドの直接合成と反応機構
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小原和彦, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 リン酸ピスマス触媒の合成とメタンからホルムアルデヒドの直接合成
3. 学会等名 日本化学会 第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小原和彦, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 リン酸ピスマス触媒によるメタンからホルムアルデヒドへの直接合成
3. 学会等名 第 125 回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田蒼依, 館野晴香, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 リン酸鉄触媒によるメタンからホルムアルデヒドの直接合成と機構解明
3. 学会等名 第 125 回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹野友菜, 小河脩平, 佐藤綾香, 比護拓馬, 常木英昭, 鎌田慶吾, 原亨和, 関根泰
2. 発表標題 低温電場中でのCePO ₄ 触媒を用いたメタン酸化カップリング
3. 学会等名 第 125 回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keigo Kamata
2. 発表標題 Development of heterogeneous catalysts based on crystalline mixed metal oxides
3. 学会等名 2018 International Symposium on Advancement and Prospect of Catalysis Science & Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keigo Kamata, Shunsuke Kanai, Ippei Nagahara, Yusuke Kita, Michikazu Hara
2. 発表標題 A bifunctional cerium phosphate solid catalyst for chemoselective acetalization of carbonyl compound
3. 学会等名 The 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT8) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 館野晴香, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 金属リン酸塩触媒による分子状酸素を用いたメタンの選択酸化反応
3. 学会等名 第122回触媒討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 館野晴香, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 金属リン酸塩触媒による分子状酸素を用いたメタン転換反応
3. 学会等名 第8回CSJ化学フェスタ2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keigo Kamata
2. 発表標題 Development of Crystalline Mixed Oxide Catalysts Based on Perovskite Oxides and Metal Phosphates
3. 学会等名 RSC Symposium: Frontiers of Catalysis and Photocatalysis for Energy Chemistry, Tokyo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keigo Kamata
2. 発表標題 Development of Crystalline Mixed Metal Oxide Catalysts for Biomass Conversion
3. 学会等名 International symposium on heterogeneous catalysis for sustainable energy and chemical production -6th international symposium of Institute for Catalysis-, Sapporo (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 原・鎌田研究室
http://www.msl.titech.ac.jp/~hara/k_kamata.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
--	---------------------------	-----------------------	----

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