

令和 6 年 5 月 28 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01713

研究課題名(和文) 前駆体結晶化法によるマンガ氧化物の構造制御を基盤と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 structural control of manganese oxides by crystallization of precursors

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・教授

研究者番号：40451801

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、独自に開発した低結晶性層状マンガ氧化物前駆体の低温での固相-固相転移(以下、“前駆体低温結晶化法”)に着目し、結晶構造・チャネル構造・細孔構造を制御したマンガ氧化物ナノ粒子触媒を合成した。前駆体の合成条件を制御することでメソポーラスOMS-1と、型二酸化マンガナノ粒子の合成し、優れた酸化力と酸塩基性質との共同作用を利用した酸素分子のみを酸化剤としたアルコールやスルフィドの酸化反応・芳香族アルコールから対応するニトリル・アミドへの酸化的ワンポット変換反応の開発に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、極めてシンプルな手法で新しい概念に基づく高活性な多機能マンガ氧化物触媒の合成と開発を達成した。これらは熱安定性の高い無機固体材料であるため、液相酸化反応だけでなく揮発性有機化合物の酸化浄化・電気化学的なエネルギー変換などの幅広い反応に対しても21世紀にふさわしい新しい省資源・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・有機合成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、触媒設計の方法論を提供する点で学術的な波及効果も大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focused on the low-temperature solid-to-solid phase transition (denoted as "crystallization of precursor method") of low-crystallinity layered manganese oxide precursors to control the crystal, channel, and porous structures of manganese oxide nanoparticle catalysts. Mesoporous OMS-1 and  $\gamma$ -type manganese dioxide nanoparticles were synthesized by controlling the synthesis conditions of the precursors, and we applied them to the aerobic oxidation of various substrates using only molecular oxygen as the oxidant through their excellent oxidizing power and synergistic effect with acid-base properties. We have successfully developed the aerobic oxidation of sulfides and the one-pot oxidative conversion of aromatic alcohols to the corresponding nitriles and amides.

研究分野：触媒化学

キーワード：触媒 マンガ氧化物 酸化反応 無機合成 ナノ粒子 メソポーラス チャネル構造

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

化学品合成プロセスにおいて、副生廃棄物を軽減し有毒性の試薬や溶媒を用いない触媒的手法の確立が不可欠である。中でも、酸化的官能基変換反応は全化学プロセスの30%を占める基幹プロセスである。分子状酸素を用いた酸化反応は最も理想的なプロセスである一方、今なお反応制御に多くの課題を抱えており優れた触媒技術の開発が切望されている。

二酸化マンガンは多様な酸化状態・結晶構造をもつため、優れた触媒としてだけでなく電極・キャパシタ等としても有用な機能性酸化物材料である。二酸化マンガン触媒の高機能化にはナノ構造の制御が必須であり様々な合成法が研究されているが、従来の還流・水熱条件下での合成は溶解・再析出プロセスに伴う粒子成長による低表面積化が課題となる。一方、界面活性剤やシリカなどのテンプレートを用いた合成法は高表面積化が可能であるが、特殊な試薬の使用や除去処理が必要であり合成可能な材料が限定的である。これら問題の解決には、物質合成過程での本質的な無機化学的理解を深め、特殊な手法を用いずに目的反応に適した触媒構造・機能のファインチューニングする方法論を確立する必要がある。これまでに二酸化マンガン触媒による酸化反応や電極触媒反応が多数報告されているが、多様な結晶構造から本質的に最適な構造を提案し実証した報告例はなかった。当研究グループは実験と理論の両面からβ型二酸化マンガンが最も優れた酸化力を示すことを実証するだけでなく、従来は高表面積化が困難であったβ型二酸化マンガン“前駆体低温結晶化法”という独自の手法によりメソ孔をもつ高活性ナノ粒子触媒の合成に初めて成功している。しかしながら、これまでに層状マンガン酸化物前駆体の低温での固相-固相転移に着目し、多様なマンガン酸化物ナノ材料の合成と液相酸化反応の固体触媒として利用した報告例はない。

### 2. 研究の目的

本研究では、独自に開発した低結晶性層状マンガン酸化物前駆体の低温での固相-固相転移(以下、“前駆体低温結晶化法”)に着目し、結晶構造・チャンネル構造・細孔構造を制御したマンガン酸化物ナノ粒子触媒を合成する。優れた酸化力と酸塩基性質との共同作用・ナノ空間での反応促進などを利用した、従来の手法で合成したマンガン酸化物では達成し得ない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

「触媒の合成」では、低結晶性の層状マンガン酸化物前駆体の構造を制御し、これら前駆体を低温で結晶化することで多様なマンガン酸化物ナノ粒子触媒の合成と構造解析を行った。具体的な合成法として、申請者が独自に開発した“前駆体低温結晶化法”を用いた微粒子化法を目指し、高純度かつ結晶性の高いマンガン酸化物を合成する。まず、本合成手法でキーとなる前駆体は過マンガン酸塩と2価のマンガン塩との反応により調製し、混合比・原料・反応溶液のpHを変更することで前駆体のマンガン価数、層間カチオン、モルフォロジーを制御した。これら前駆体を空気、酸素あるいは水蒸気下などで熱処理することでターゲットとする結晶性マンガン酸化物への固相転移を行った。特に、層間カチオンは形成されるチャンネル構造と密接に関係しているため、層間カチオンを $\text{H}_3\text{O}^+$ (β体、1×1チャンネル構造)、 $\text{Na}^+$  or  $\text{K}^+$ (α体、2×2チャンネル構造)、 $\text{Mg}^{2+}$ (OMS-1、3×3チャンネル構造)が含まれる前駆体調製を行い、熱処理により対応する結晶構造をもつメソポーラスマンガン酸化物ナノ粒子の合成を行った。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(Rietveld解析)、吸着測定(比表面積)、各種分光測定(IR、Raman、XPS)、EDXとEELSを用いたSTEMによる試料表面観察、により行った。

「触媒反応の開発」では、合成したマンガン酸化物ナノ粒子触媒の「優れた酸化力」「酸化-酸塩基共同作用」「メソ細孔中の特異的なナノ空間」等を用いて、従来法で合成したマンガン酸化物を凌駕する触媒活性あるいは達成困難な新しい触媒反応系の開発を行う。具体的には、強い酸化力を利用した分子状酸素のみを酸化剤とした酸化反応(アルコールのカルボニル化合物への酸化反応、香族アルコールからの一段ニトリル・アミド合成、スルフィドからスルホキシドへの酸化反応)を中心に検討する。また、抗炎症剤などの医薬品として重要なキナゾリン・キナゾリノンのアルコールからのワンポット合成反応についても検討した。

「反応機構の解明」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、各種反応の反応機構の解明を行った。酸化反応においてはマンガン酸化物のオキソ種の反応性が重要であるため、TPR測定により還元速度やDFT計算より求めた酸素欠陥形成エネルギーをマンガン酸化物触媒の設計指針とした。さらに、高次選択性の制御を目的とした触媒反応特性は活性化された基質・反応剤の活性化様式・活性種の構造と極めて密接な関係にあるため、表面の酸塩基性質についても同時に検討し、触媒設計にフィードバックした。

#### 4. 研究成果

##### ・前駆体結晶化法によるメソポーラス OMS-1 ナノ粒子の合成と酸化触媒作用

ナノ構造制御されたマンガン酸化物の形態や結晶構造が機能と密接に関わるため、よりシンプルかつ効率的な新しい合成法の開発が切望されている。トドロカイト型マンガン酸化物 (OMS-1) は、マグネシウムイオン電池や酸化触媒として研究される有用な化合物であるが、従来の合成法では低比表面積や多段階合成に課題がある。本研究では、高比表面積  $\beta$ - $\text{MnO}_2$  ナノ粒子合成に有効なマンガン 7 価と 2 価の原料から得られる前駆体を低温で結晶化する手法 (前駆体結晶化法) を OMS-1 合成に応用し、高比表面積メソポーラス OMS-1 ナノ粒子を一段で合成することに成功した (図 1)。合成条件が OMS-1 の生成に与える影響について検討し、種々の酸化反応を行った。

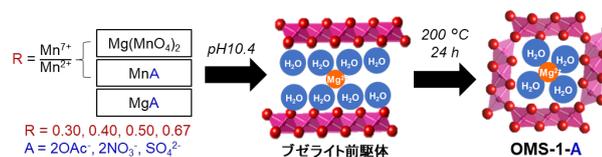


図 1 前駆体結晶化法による OMS-1 合成スキーム。

メソポーラス OMS-1 ナノ粒子は以下の手法により合成した。Mn<sup>7+</sup>源に  $\text{Mg}(\text{MnO}_4)_2$ 、M<sup>2+</sup>源 (M=Mn, Mg) に  $\text{M}(\text{OAc})_2$ 、 $\text{MSO}_4$ 、 $\text{M}(\text{NO}_3)_2$  を用いて、それぞれの溶液を混合した。この際、Mn<sup>2+</sup>源と Mg<sup>2+</sup>源のアニオンは統一した。混合溶液をアンモニア水により pH 10 とし、沈殿を前駆体として回収した。前駆体を 200 °C、24 h で焼成し、OMS-1-A (A=OAc, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>) を得た。また水熱合成法を用いて、OMS-1-HT を合成した。触媒のキャラクタリゼーションは、XRD、N<sub>2</sub> 吸着、ICP-AES、IR、TG-DTA、H<sub>2</sub>-TPR、SEM、TEM、XPS を用いて行った。触媒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 GC により確認した。

前駆体の調製条件や焼成温度が生成するマンガン酸化物の結晶構造・モルフォロジーに大きく影響した。2 価金属源に酢酸塩を用い Mn<sup>7+</sup>/Mn<sup>2+</sup> モル比 0.40 で調製した前駆体の焼成温度依存性について検討したところ、熱処理により層状前駆体であるベゼライトからトンネル構造をもつ OMS-1 への構造変化が起こり 200 °C での熱処理が最適であることがわかった。200 °C 以上での熱処理により OMS-1 構造が徐々に  $\text{MgMn}_2\text{O}_4 + \text{Mn}_2\text{O}_3$  へと変化した。前駆体調製時に Mg<sup>2+</sup> 添加・pH 調整を行わない場合や高結晶性のベゼライト前駆体の熱処理を行った場合には OMS-1 が生成しないことから、本合成法には Mg<sup>2+</sup> を十分に含むベゼライト前駆体の使用が必須である。

Mn<sup>3+</sup>種の移動が層状構造からトンネル構造への変換において重要な役割を果たすため、Mn<sup>7+</sup>/Mn<sup>2+</sup>モル比を 0.30–0.67 で変更し前駆体を調製した。Mn<sup>7+</sup>/Mn<sup>2+</sup>の減少に伴い前駆体のベゼライト構造がカチオン欠陥のある六方晶から Mn<sup>3+</sup>直交層をもつ三斜晶へと変化した。これら前駆体構造の違いは生成するマンガン酸化物の構造に影響し、Mn<sup>7+</sup>/Mn<sup>2+</sup>モル比を 0.30–0.50 で調製した Mn<sup>3+</sup>を含む三斜晶ベゼライトが本 OMS-1 ナノ粒子合成に有効であることがあきらかとなった。

最後に、Mn<sup>7+</sup>/Mn<sup>2+</sup>モル比 0.40 での出発原料の影響について検討した (図 2(a))。硫酸塩と硝酸塩を用いた場合、アンモニア水添加前 (沈殿形成時) の pH は 1.3–0.9 であり、OMS-1-SO<sub>4</sub> および OMS-1-NO<sub>3</sub> の比表面積はそれぞれ 92、88 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> であった。一方、酢酸塩を用いた場合、アンモニア水添加前の pH は 4.5 であり、生成した OMS-1-OAc は合成した OMS-1 の中で最も大きな比表面積 (249 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) を示した。この値は、多段階合成または溶解・再析出プロセスを含む従来の手法で合成された Mg-OMS-1 (13–185 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) よりも大きな値であり、OMS-1-HT (35 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>) の約 7 倍であった。SEM 観察から、OMS-1-OAc は小さい板状ナノ粒子 (主として ≤20 nm) の集合体であるのに対し、OMS-1-SO<sub>4</sub> および OMS-1-NO<sub>3</sub> は比較的大きなナノプレート (ca. 50–200 nm) からなる花弁状粒子であった。これらの結果から、沈殿形成時の pH が比表面積およびモルフォロジーに大きく影響することが明らかとなった (Figure 2(b))。

これら合成した OMS-1 による酸化触媒作用について検討した。分子状酸素 (O<sub>2</sub>) のみを酸化剤としたベンジルアルコールからベンズアルデヒドへの酸化反応、チオアニソールから対応するスルホキシド・スルホンへの酸化反応を行ったところ、これら OMS-1-OAc ナノ粒子は種々の Mn 系触媒の中で最も高い触媒活性を示した (図 3)。OMS-1-OAc 触媒をベンジルアルコールの酸化反応中にろ過により除去す

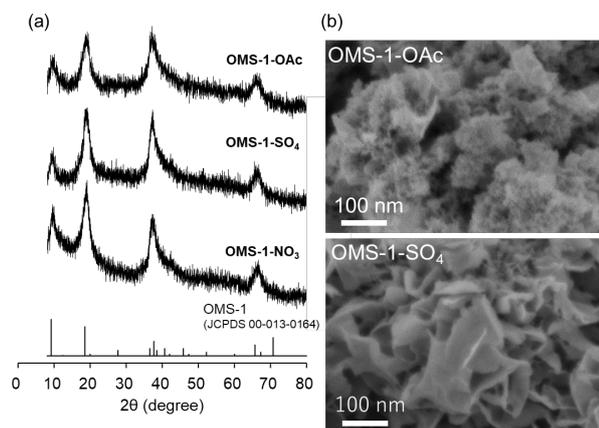


図 2 OMS-1-A の(a)XRD パターンと(b)SEM 像。

ると反応は完全に停止し、ろ液への Mg および Mn 種の溶出はほとんど確認されなかった。反応前後で XRD に変化はなく、触媒性能に低下なく 3 回再利用可能であった。また、本 OMS-1-OAc ナノ触媒は、温和な反応条件下で種々の芳香族アルコールおよびスルフィドの酸化反応に対して適用可能であった。反応機構の検討から、アルコール酸化は格子酸素を使用したレドックス機構で進行すると考えられ、OMS-1 の高い表面積は酸化反応触媒活性の向上に大きく貢献することが明らかとなった。極めて微細なナノ粒子にもかかわらず、粒子サイズと触媒性能の間のトレードオフの関係はなく、OMS-1 の触媒反応速度と表面積の間に線形関係が確認された (Figure 4).

・高表面積  $\beta$  型二酸化マンガンによるアルコールの酸化変換反応

アルコールからアルデヒドまたはケトンへの酸化は、最も基本的かつ重要な官能基変換反応の 1 つである。本研究では、分子状酸素を酸化剤とした高表面積  $\beta$  型二酸化マンガンによるアルコールの選択酸化反応およびカルボニル化合物中間体を経由する種々のワンポット反応について検討を行った。NaMnO<sub>4</sub> と MnSO<sub>4</sub>、Mn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>、Mn(OAc)<sub>2</sub> との反応からそれぞれ合成した 3 種類の高表面積  $\beta$ -MnO<sub>2</sub> ( $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-1, -2, -3) はいずれもベンジルアルコールの選択酸化反応において、OMS-2、 $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-HT および種々の金属酸化物より高い触媒活性を示し、中でも  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-3 は高い活性を示した (図 5)。 $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-1 および  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-2 は粒子形状や表面積といった触媒特性ならびにベンジルアルコールの選択反応における触媒活性がほぼ同程度であったことから、以降は  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-1 および  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-3 を用いて種々の検討を行った。触媒の安定性について、反応後触媒の XRD、SEM および吸着等温線を確認したところ、粒子形状・表面積・結晶構造に大きな変化は見られなかった。また、反応溶液中への金属種の溶出はなく、NaOH 処理により  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-1 および  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-3 とともに再利用可能であった。 $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-1 および  $\beta$ -MnO<sub>2</sub>-3 の基質適用性について検討したところ、種々の芳香族・複素芳香族・アリル型の 1 級および 2 級アルコールに適用可能であり、両触媒の活性は同程度であった。反応メカニズムを解明するため、Ar 雰囲気下での反応および速度論的同位体効果の検討を行った。その結果、本反

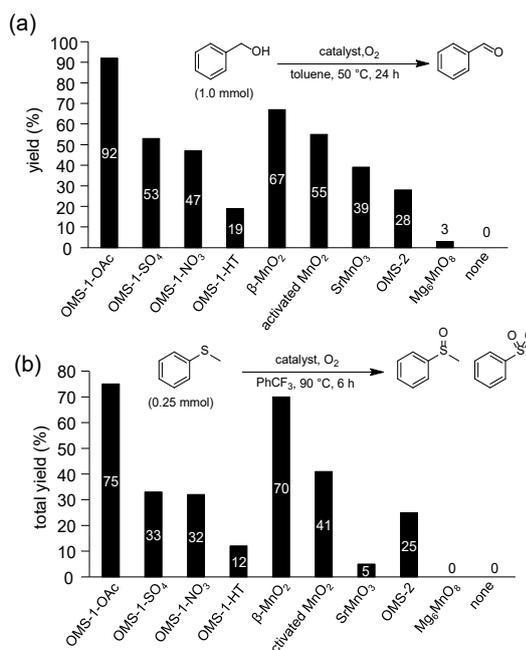


図 3 (a)ベンジルアルコールと(b)チオアニソールの酸化反応における触媒効果。

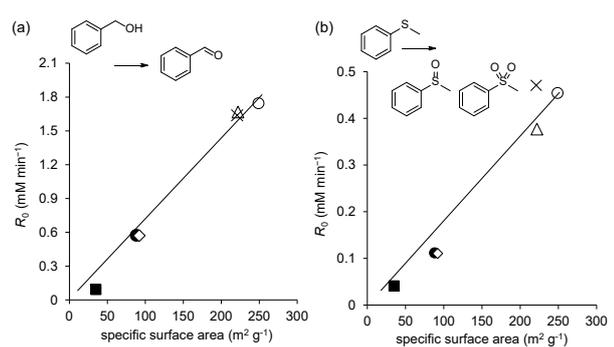


図 4 (a)ベンジルアルコールと(b)チオアニソールの酸化反応における反応初期速度と OMS-1 の表面積との関係。

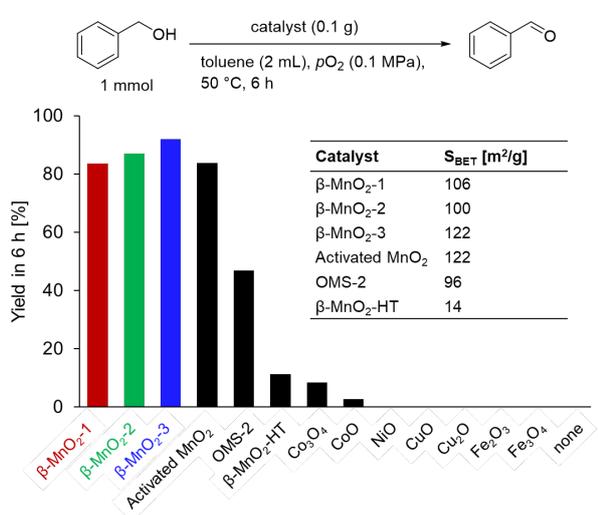


図 5 ベンジルアルコール酸化における種々の金属酸化物との活性比較。

応は Mars-van Krevelen 機構で反応が進行しており、律速段階はベンジル位の C-H 結合の切断であることが示唆された。次に、高表面積  $\beta\text{-MnO}_2$  のアルコール選択酸化反応を伴うワンポット合成反応への応用について検討したところ、ベンジルアルコールとアンモニアからのアミドおよびニトリル合成反応や 2-アミノベンズアミドからのキナゾリノン合成反応において  $\beta\text{-MnO}_2\text{-1}$  および  $\beta\text{-MnO}_2\text{-3}$  はともに高い触媒活性を示した。

さらに、本システムは、強塩基やニトロキシラジカルなどの添加剤を必要とせず、アンモニアの存在下でのアルコールの対応するニトリルおよびアミドへのワンポット酸化変換反応に変換可能であった。ベータ型二酸化マンガンナノ粒子のもつ優れた酸化活性と低いニトリル水和活性のため、アルファ型二酸化マンガン触媒よりもアルコールからのニトリルの選択的合成に効果的な触媒であることが明らかとなった。ニトリル水和に対する被毒効果を含む機構研究より、ベータ型およびアルファ型二酸化マンガンの酸点と結晶構造の違いが、それぞれニトリルと水の活性化に影響を及ぼし、ニトリルおよびアミドへの異なる選択性につながることを示唆された (図 6)。

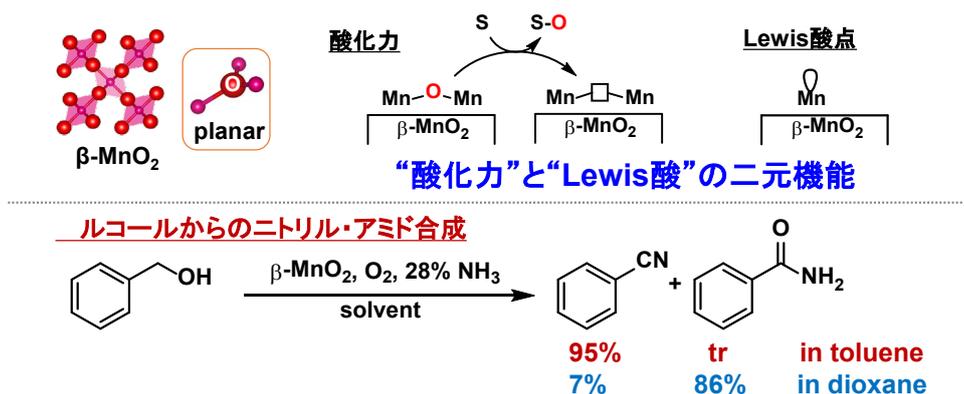


図 6 ベータ型二酸化マンガンナノ粒子触媒によるアルコールからニトリル・アミドへのワンポット酸化変換反応。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Koutani Maki, Hayashi Eri, Kamata Keigo, Hara Michikazu	4. 巻 144
2. 論文標題 Synthesis and Aerobic Oxidation Catalysis of Mesoporous Todorokite-Type Manganese Oxide Nanoparticles by Crystallization of Precursors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 14090 ~ 14100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c02308	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 Shibata Satomi, Kamata Keigo, Hara Michikazu	4. 巻 14
2. 論文標題 Stability Enhancement of Iron based Perovskite Catalysts by A site Substitution for Oxidative Transposition of Bromostyrene to Phenacyl Bromide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 e202200395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202200395	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 Kamata Keigo, Kinoshita Nanami, Koutani Maki, Aono Ryusei, Hayashi Eri, Hara Michikazu	4. 巻 12
2. 論文標題 -MnO <sub>2</sub> nanoparticles as heterogenous catalysts for aerobic oxidative transformation of alcohols to carbonyl compounds, nitriles, and amides	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysis Science & Technology	6. 最初と最後の頁 6219 ~ 6230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CY01476A	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 Kamata Keigo, Aihara Takeshi	4. 巻 8
2. 論文標題 Crystalline Metal Oxide Catalysts for Organic Synthesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Crystalline Metal Oxide Catalysts for Organic Synthesis. In: Ueda, W. (eds)	6. 最初と最後の頁 219 ~ 271
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-981-19-5013-1_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 Hayashi Eri, Tamura Takatoshi, Aihara Takeshi, Kamata Keigo, Hara Michikazu	4. 巻 14
2. 論文標題 Base-Assisted Aerobic C-H Oxidation of Alkylarenes with a Murdochite-Type Oxide Mg <sub>6</sub> MnO <sub>8</sub> Nanoparticle Catalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 6528 ~ 6537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.1c20080	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15件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Keigo Kamata
2. 発表標題 Design, Synthesis, and Unique Catalysis of Crystalline Metal Oxides
3. 学会等名 Taipei International Conference on Catalysis (TICC-2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keigo Kamata, Satomi Shibata, Michikazu Hara
2. 発表標題 Aerobic oxidation of alkenes with iron-containing perovskite oxide catalysts
3. 学会等名 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT9) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Aoi Matsuda, Haruka Tateno, Keigo Kamata, Michikazu Hara
2. 発表標題 Direct methane oxidation to formaldehyde by iron phosphate nanoparticle catalyst
3. 学会等名 9th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology (TOCAT9) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田慶吾, 幸谷真芸, 林愛理, 原亨和
2. 発表標題 前駆体結晶化法によるメソポーラスOMS-1ナノ粒子の合成と酸化触媒作用
3. 学会等名 第130回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田慶吾
2. 発表標題 金属酸化物のナノ構造制御に基づいた高機能触媒の開発
3. 学会等名 JAIST 物質化学フロンティアシンポジウム 2022 (北陸先端科学技術大学院大学) (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鎌田慶吾
2. 発表標題 複合金属酸化物のナノ構造制御に基づいた高機能触媒の設計と開発
3. 学会等名 新化学技術推進協会 エネルギー・資源技術部会 バイオマス分科会 勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kamata
2. 発表標題 Development of Crystalline Mixed Oxide Catalysts for Selective Oxidation Reactions
3. 学会等名 Asia Pacific Society for Materials Science (APSMR) 2021 Annual Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌田 慶吾
2. 発表標題 複合酸化物の構造制御に基づいた酸化・酸塩基触媒反応系の開発
3. 学会等名 触媒学会西日本支部 令和3年度触媒技術セミナー～今輝く触媒研究者を迎えて～（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 幸谷 真芸, 林 愛理, 鎌田 慶吾, 原 亨和
2. 発表標題 トドロカイト型マンガン酸化物ナノ粒子の合成と触媒作用
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 幸谷 真芸, 林 愛理, 鎌田 慶吾, 原 亨和
2. 発表標題 トドロカイト型マンガン酸化物ナノ粒子の合成と酸化触媒作用
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 鎌田慶吾
2. 発表標題 Synthesis and catalytic application of mixed metal oxide nanoparticles
3. 学会等名 2021年度 ナノ構造・物性 - ナノ機能・応用部会 合同シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林愛理, 田村高敏, 相原健司, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 ムルドカイト型酸化物Mg <sub>6</sub> MnO <sub>8</sub> ナノ粒子の合成と酸化触媒特性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下七海, 青野竜征, 林愛理, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 高表面積 -MnO <sub>2</sub> ナノ粒子触媒によるアルコールからのニトリル合成
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会(2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下七海, 林愛理, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 高表面積 -MnO <sub>2</sub> ナノ粒子触媒によるアルコールからのニトリル合成選択酸化
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 幸谷真芸, 林愛理, 鎌田慶吾, 原亨和
2. 発表標題 トドロカイト型マンガン酸化物ナノ粒子の合成と酸化触媒応用
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

トンネル構造をもつマンガン酸化物のナノ粒子触媒を合成（東工大ニュース）  
<https://www.titech.ac.jp/news/2022/064544>  
トンネル構造をもつマンガン酸化物超微粒子触媒を合成（ケムステのスポットライトリサーチ）  
<https://www.chem-station.com/blog/2022/08/mnoxide.html>  
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鎌田研究室  
<https://www.msl.titech.ac.jp/~kamata/index.html>  
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](http://www.msl.titech.ac.jp/~hara/k_kamata.html)  
理想とされるC-H結合の直接酸化反応を低温・高効率で達成  
<https://www.titech.ac.jp/news/2022/062999>

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