

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02523

研究課題名（和文）コア-シェル型ナノ触媒の創製とその特性に基づいた革新的分子変換反応系の開発

研究課題名（英文）Development of core-shell nanocatalysts for the innovative molecular transformations based on their properties

研究代表者

満留 敬人 (Mitsudome, Takato)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号：00437360

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：リンを金属ナノ粒子の配位子原子と捉え、リン化非貴金属ナノ粒子を調製した。リン化非貴金属ナノ粒子は、従来の発火性がある、または水素による高温での前処理が必要な単一非貴金属ナノ粒子とは異なり、大気安定性を有することがわかった。また、得られたナノ粒子は種々の水素化反応において高い触媒活性・選択性を示す。さらに、開発したリン化金属ナノ粒子触媒は、再使用が可能など高い耐久性も兼ね備えることが明らかとなった。本研究成果はリン化非貴金属ナノ粒子が、液相での広域な分子変換において従来触媒を凌駕する有望な触媒群となりえることを示した先駆的かつ重要な成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発したリン化金属ナノ粒子触媒は、従来の非貴金属触媒の問題点であった安定性・活性及び耐久性を大きく改善することから現行の水素化反応プロセスをより安全で効率的なものに一新する可能性を秘めている。

研究成果の概要（英文）：We have developed non-precious metal phosphide nanoparticle catalysts. In contrast to the conventional single non-precious metal nanoparticles that are pyrophoric or require pretreatment with hydrogen at high temperatures, the metal phosphide nanoparticle are found to be air-stable and exhibit high catalytic performance in various hydrogenation reactions. Furthermore, the developed metal phosphide nanoparticle catalysts were found to be reusable, demonstrating practical utility. These results show that metal phosphide nanoparticles are a promising group of catalysts which outperform conventional catalysts in a wide range of molecular transformations in the liquid phase.

研究分野：触媒

キーワード：触媒 ナノ粒子 グリーンケミストリ

## 1. 研究開始当初の背景

貴金属は希少かつ高価であるため、より豊富に存在しコスト面で有利な非貴金属をベースとした触媒の開発に関する研究が活発に行われている。工業的な水素化反応では、ラネー触媒に代表されるスポンジ状のニッケルやコバルトなど 0 価の非貴金属触媒が広く使用されてきた。しかしながら、低原子価の非貴金属は自然発火性があるため危険性を伴い、触媒の調製・反応・回収工程を厳密な嫌気雰囲気で行う必要があるため取り扱いが難しい。また、これらの触媒活性は一般的に低く、反応には高温・高水素圧の過酷な反応条件を必要とする場合が多い。さらに液相での反応では、反応中に金属の溶出が起こるといった問題がある。したがって、現行のスポンジ金属触媒を使用する反応系は未だ環境調和性の低い触媒反応プロセスであり、より高機能な触媒の開発が強く求められている。近年、スポンジ金属よりも高活性な非貴金属触媒の開発が数多く報告されている。しかし、開発された非貴金属触媒は、担持した金属前駆体を高温の水素雰囲気下で予備還元することでナノ粒子を生成させ、そのまま大気中に暴露せずに反応に用いるものがほとんどであり、大気安定性は改善されていない。大気不安定性は、発火による危険性を伴うだけでなく、より精密なナノ粒子の設計(金属ナノ粒子のサイズコントロールや担体との複合化)や活性種の構造解析を難しくする。よって、大気に安定な非貴金属触媒を開発することができれば、反応系はより安全性の高いものとなり、さらに触媒の設計・解析の自由度が広がることから、より高活性な触媒の開発に繋がる。

## 2. 研究の目的

次世代の環境調和型反応系に資する安全性、高活性、かつ耐久性の高い非貴金属ナノ粒子触媒の開発を目的とした。

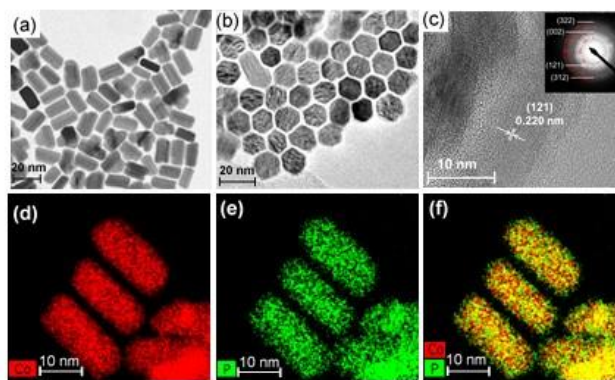
## 3. 研究の方法

リンを非貴金属の安定化配位子として捉え、様々な調製法でリン化非貴金属粒子の合成を試み、得られたナノ粒子を用いて、安定性と触媒能を評価した。

## 4. 研究成果

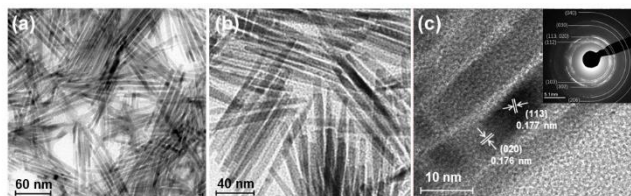
### 4.1 リン化コバルトナノロッド触媒の開発

有機溶媒中に塩化コバルトと triphenyl phosphite を加え熱分解させることで長さ 20 nm、幅 9 nm の六角柱構造をもつナノロッドが得られる(Fig. 1a and b)。SAED パターン(Fig. 1c)、XRD 回折パターン及び EDX による元素分析(Fig. 1d-f)から、得られたナノロッドは  $\text{Co}_2\text{P}$  の組成をもつ結晶性のリン化物(nano- $\text{Co}_2\text{P}$ )であることがわかった<sup>1,2)</sup>。nano- $\text{Co}_2\text{P}$  は発火性がなく大気中で取り扱うことができる。また、大気下で nano- $\text{Co}_2\text{P}$  をヘキサミンに再分散させ、そこに種々の金属酸化物担体を加えると、担体上に分散担持された nano- $\text{Co}_2\text{P}$  を簡便に調製できる。担持型 nano- $\text{Co}_2\text{P}$  の液相での水素化能を調べたところ、ヒドロタルサイト(HT)に担持した nano- $\text{Co}_2\text{P}$ (nano- $\text{Co}_2\text{P}/\text{HT}$ )がニトリルから一級アミンへの水素化反応に対して、非常に有効な触媒となることがわかった<sup>1)</sup>。既報の非貴金属触媒では反応を促進させるために高い水素圧を必要とするが、nano- $\text{Co}_2\text{P}/\text{HT}$  は常圧水素下でも高活性を示し、一級アミンを選択的に与える。これは、非貴金属触媒により常圧水素下でニトリルの水素化反応を促進した世界で初めての例である。



**Fig. 1** Characterization of nano-Co<sub>2</sub>P. (a) Side view TEM image of nano-Co<sub>2</sub>P showing a nanorod morphology. (b) Top view TEM image of nano-Co<sub>2</sub>P showing the hexagonal phase structure. (c) HR-TEM image of nano-Co<sub>2</sub>P with SAED pattern (inset). Elemental mapping images of (d) Co and (e) P. (f) Composite overlay image formed from (d) and (e).

リン化コバルトの合成において、コバルト源を塩化コバルトからコバルトアセチルアセトナートに替えると、長さ 50–150 nm、幅 10 nm 程度のロッド状のナノ構造体を得られる (Fig. 2a and b)<sup>3,4</sup>。



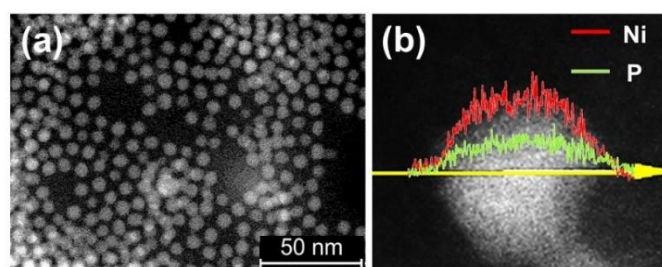
**Fig. 2** (a) and (b) TEM images of the Co<sub>2</sub>P NR showing a rod-like morphology. (c) HR-TEM image of the Co<sub>2</sub>P NR with the inset illustrating the corresponding SAED pattern.

大気下室温で保存した Co<sub>2</sub>P NR は、水素による還元前処理を必要とせず、水溶媒中でのカルボニル化合物の還元的アミノ化反応に高い活性を示した<sup>2)</sup>。本反応はニトリルの水素化反応と同様に主要な一級アミン合成法の一つである。

#### 4.2 リン化ニッケルナノ粒子触媒の開発

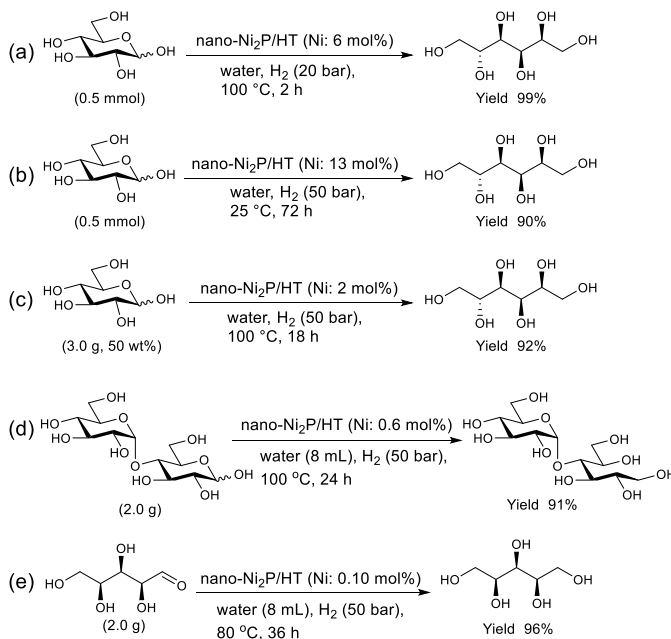
Co<sub>2</sub>P NR と同様の調製法でコバルトをニッケルに替えると、Fig. 3a に示すような、Ni<sub>2</sub>P の組成をもつ平均粒径 5 nm のリン化ニッケルナノ粒子 (nano-Ni<sub>2</sub>P) を合成できる<sup>5)</sup>。Fig. 9b の EDX の線分析では、nano-Ni<sub>2</sub>P 中のニッケルとリンが均一に分散していることを示している。また、nano-Ni<sub>2</sub>P もリン化コバルトと同様に発火性がなく、大気中安定な低原子価状態をとることを明らかにした<sup>5,6)</sup>。従来のスポンジ金属触媒や担持型非貴金属ナノ粒子触媒は、大気中で不安定なため取り扱いづらく、得られた金属種にさらなる機能修飾を行うことは難しい。また、使用できる担体は高温での前処理に耐性があるものに限られるため、担体として魅力的な様々な材料と非貴金属との複合化やそれに伴う機能発現の可能性が狭

まる. 一方, nano-Ni<sub>2</sub>P は, 大気中で取り扱うことができ, 様々な無機材料との複合化を室温下で行うことができる<sup>5-8</sup>).



**Fig. 3** Characterization of nano-Ni<sub>2</sub>P (a) TEM image of nano-Ni<sub>2</sub>P and (b) EDX analysis of nano-Ni<sub>2</sub>P.

バイオマスの有効利用を目指した分子変換では, 大量のバイオマス由来化合物を高付加価値化合物へと高効率に変換することが求められるため, 非貴金属を基盤とする低コストで高活性, かつ耐久性の優れた固体触媒の開発が望まれている. nano-Ni<sub>2</sub>P/HT は, 単糖及び二糖から糖アルコールへの水中水素化反応に適用できた. Fig. 4 に示すように, nano-Ni<sub>2</sub>P/HT は水溶媒中, 水素 20 bar, 100 °C の条件下で効率的に D-glucose の水素化反応を促進し, D-sorbitol を 99% の収率で与える<sup>9</sup>. 得られる D-sorbitol は, 甘味料などの食品添加物や医薬, 及び化粧品原料として利用される. また, nano-Ni<sub>2</sub>P/HT は室温においても機能し, D-sorbitol が 90% の収率で得られる (Fig. 4b). 実用的観点から重要な, 高濃度の D-glucose での水素化にも本触媒は有効であり, 50 wt% の D-glucose 溶液では 92% の高収率で D-sorbitol を与える (Fig. 4c). また, 二糖の maltose の水中水素化反応では, 酸や熱に不安定な糖同士を結ぶ  $\alpha$ -1,4-グリコシド結合を損なうことなく, 高収率で maltitol を与える (Fig. 4d)<sup>10</sup>. maltitol は, 糖アルコールの中で D-sorbitol に次ぐ生産量・需要がある. D-xylose からは, 甘味料としてよく利用される D-xylitol が高収率で得られる (Fig. 4e)<sup>11</sup>. さらに, 反応後の nano-Ni<sub>2</sub>P/HT は, 遠心分離により容易に反応液と分離でき, 再使用時にも高い収率で生成物が得られることがわかった.



**Fig. 4** Selective hydrogenation of sugars using nano-Ni<sub>2</sub>P/HT in water.

## まとめ

開発した金属リン化合物は従来の非貴金属ナノ粒子触媒と異なり、大気中安定で、高温での還元前処理を必要としない。また、金属リン化合物は種々の水中水素化反応において高い触媒活性・選択性を示す。さらに、金属リン化合物は、大気下で取り扱うことができるため、さらなる機能付与を容易に行える。例えば、金属リン化合物は大気下室温で様々な担体材料と複合化でき、特定の担体と複合化した金属リン化合物は担体との協働触媒機能が発現し、これまで達成できなかった反応を促進できる。また、金属リン化合物触媒は、再使用が可能など高い耐久性も兼ね備える。これらの研究は、金属リン化合物が液相での広域な分子変換において従来触媒を凌駕する新たな触媒材料群となりえることを示す先駆的な成果である。

## 成果

1. T. Mitsudome, M. Sheng, A. Nakata, J. Yamasaki, T. Mizugaki, K. Jitsukawa, *Chem. Sci.* **11**, 6682 (2020)
2. H. Ishikawa, M. Sheng, A. Nakata, K. Nakajima, S. Yamazoe, J. Yamasaki, S. Yamaguchi, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *ACS Catal.* **11**, 750 (2021)
3. M. Sheng, S. Fujita, S. Yamaguchi, J. Yamasaki, K. Nakajima, S. Yamazoe, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *JACS Au* **1**, 501 (2021)
4. M. Sheng, S. Yamaguchi, A. Nakata, S. Yamazoe, K. Nakajima, J. Yamasaki, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *ACS Sustainable Chem. Eng.* **9**, 11238 (2021)
5. S. Fujita, K. Nakajima, J. Yamasaki, T. Mizugaki, K. Jitsukawa, T. Mitsudome, *ACS Catal.* **10**, 4261 (2020)
6. S. Fujita, S. Yamaguchi, J. Yamasaki, K. Nakajima, S. Yamazoe, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *Chem. Eur. J.* **27**, 4439 (2021)
7. S. Fujita, S. Yamaguchi, S. Yamazoe, J. Yamasaki, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *Org. Biomol. Chem.* **18**, 8827 (2020)
8. S. Fujita, K. Imagawa, S. Yamaguchi, J. Yamasaki, S. Yamazoe, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *Sci. Rep.* **11**, 10673 (2021)
9. S. Yamaguchi, S. Fujita, K. Nakajima, S. Yamazoe, J. Yamasaki, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *Green Chem.* **23**, 2010 (2021)
10. S. Yamaguchi, S. Fujita, K. Nakajima, S. Yamazoe, J. Yamasaki, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *ACS Sustain. Chem. Eng.* **9**, 6347 (2021)
11. S. Yamaguchi, T. Mizugaki, T. Mitsudome, *Eur. J. Inorg. Chem.* **2021**, 3327 (2021)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Sheng Min, Fujita Shu, Yamaguchi Sho, Yamasaki Jun, Nakajima Kiyotaka, Yamazoe Seiji, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 1
2. 論文標題 Single-Crystal Cobalt Phosphide Nanorods as a High-Performance Catalyst for Reductive Amination of Carbonyl Compounds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JACS Au	6. 最初と最後の頁 501 ~ 507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacsau.1c00125	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 Yamaguchi Sho, Fujita Shu, Nakajima Kiyotaka, Yamazoe Seiji, Yamasaki Jun, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 9
2. 論文標題 Support-Boosted Nickel Phosphide Nanoalloy Catalysis in the Selective Hydrogenation of Maltose to Maltitol	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 6347 ~ 6354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.1c00447	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 Xu Hang, Yamaguchi Sho, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo	4. 巻 19
2. 論文標題 A copper nitride catalyst for the efficient hydroxylation of aryl halides under ligand-free conditions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 6593 ~ 6597
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1OB00768H	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 Fujita Shu, Imagawa Kohei, Yamaguchi Sho, Yamasaki Jun, Yamazoe Seiji, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 11
2. 論文標題 A nickel phosphide nanoalloy catalyst for the C-3 alkylation of oxindoles with alcohols	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 10673 ~ 10673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-89561-1	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 Yamaguchi Sho, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 2021
2. 論文標題 Efficient D Xylose Hydrogenation to D Xylitol over a Hydrotalcite Supported Nickel Phosphide Nanoparticle Catalyst	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3327 ~ 3331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.202100432	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 Sheng Min, Yamaguchi Sho, Nakata Ayako, Yamazoe Seiji, Nakajima Kiyotaka, Yamasaki Jun, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 9
2. 論文標題 Hydrotalcite-Supported Cobalt Phosphide Nanorods as a Highly Active and Reusable Heterogeneous Catalyst for Ammonia-Free Selective Hydrogenation of Nitriles to Primary Amines	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering	6. 最初と最後の頁 11238 ~ 11246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.1c03667	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 Ishikawa Hiroya, Yamaguchi Sho, Nakata Ayako, Nakajima Kiyotaka, Yamazoe Seiji, Yamasaki Jun, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 2
2. 論文標題 Phosphorus-Alloying as a Powerful Method for Designing Highly Active and Durable Metal Nanoparticle Catalysts for the Deoxygenation of Sulfoxides: Ligand and Ensemble Effects of Phosphorus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JACS Au	6. 最初と最後の頁 419 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacsau.1c00461	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 Sakoda Katsumasa, Yamaguchi Sho, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo	4. 巻 2
2. 論文標題 Selective Hydrodeoxygenation of Esters to Unsymmetrical Ethers over a Zirconium Oxide-Supported Pt-Mo Catalyst	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JACS Au	6. 最初と最後の頁 665 ~ 672
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacsau.1c00535	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 Mitsudome Takato, Sheng Min, Nakata Ayako, Yamasaki Jun, Mizugaki Tomoo, Jitsukawa Koichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 A cobalt phosphide catalyst for the hydrogenation of nitriles	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6682 ~ 6689
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0SC00247J	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 Fujita Shu, Yamaguchi Sho, Yamazoe Seiji, Yamasaki Jun, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 18
2. 論文標題 Nickel phosphide nanoalloy catalyst for the selective deoxygenation of sulfoxides to sulfides under ambient H <sub>2</sub> pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Organic & Biomolecular Chemistry	6. 最初と最後の頁 8827 ~ 8833
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D00B01603A	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 Fujita Shu, Yamaguchi Sho, Yamasaki Jun, Nakajima Kiyotaka, Yamazoe Seiji, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 27
2. 論文標題 Ni <sub>2</sub> P Nanoalloy as an Air Stable and Versatile Hydrogenation Catalyst in Water: P Alloying Strategy for Designing Smart Catalysts	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 4439 ~ 4446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202005037	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 Ishikawa Hiroya, Sheng Min, Nakata Ayako, Nakajima Kiyotaka, Yamazoe Seiji, Yamasaki Jun, Yamaguchi Sho, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 11
2. 論文標題 Air-Stable and Reusable Cobalt Phosphide Nanoalloy Catalyst for Selective Hydrogenation of Furfural Derivatives	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Catalysis	6. 最初と最後の頁 750 ~ 757
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acscatal.0c03300	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 Yamaguchi Sho, Kondo Hiroki, Uesugi Kohei, Sakoda Katsumasa, Jitsukawa Koichiro, Mitsudome Takato, Mizugaki Tomoo	4. 巻 13
2. 論文標題 H <sub>2</sub> Free Selective Dehydroxymethylation of Primary Alcohols over Palladium Nanoparticle Catalysts	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ChemCatChem	6. 最初と最後の頁 1135 ~ 1139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cctc.202001866	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 Yamaguchi Sho, Fujita Shu, Nakajima Kiyotaka, Yamazoe Seiji, Yamasaki Jun, Mizugaki Tomoo, Mitsudome Takato	4. 巻 23
2. 論文標題 Air-stable and reusable nickel phosphide nanoparticle catalyst for the highly selective hydrogenation of d-glucose to d-sorbitol	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Green Chemistry	6. 最初と最後の頁 2010 ~ 2016
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0GC03301D	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19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 満留 敬人、盛 敏、山口 渉、水垣 共雄
2. 発表標題 カルボニル化合物の還元的アミノ化反応に高活性を示すリン化コバルトナノロッド触媒の開発
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 椿 俊太郎、山口 渉、安田 誠、水垣 共雄、満留 敬人
2. 発表標題 915MHz マイクロ波によるリン化ニッケル/ハイドロタルサイト触媒を介したD-グルコースの高速水素化反応
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 酸化ジルコニウム担持-触媒によるエステルからの非対称エーテル直接合成反応
2. 発表標題 碓田 捷将、山口 涉、満留 敬人、水垣 共雄
3. 学会等名 第129回触媒討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 満留 敬人
2. 発表標題 リン化金属ナノ粒子の構造解析と触媒特性
3. 学会等名 地域セミナー (材料系)「電子顕微鏡を用いたナノスケール物質・材料研究の最前線」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hang Xu, Sho Yamaguchi, Takato Mitsudome, Tomoo Mizugaki
2. 発表標題 Green Oxidative Transformation of Indoles Catalyzed by Copper Nitride Nanocube Using Molecular O <sub>2</sub>
3. 学会等名 the 18th Japan-Korea Symposium on Catalysis (18JKSC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Min Sheng, Sho Yamaguchi, Takato Mitsudome, Tomoo Mizugaki
2. 発表標題 A Cobalt Phosphide Nanorod Catalyst for Reductive Amination of Carbonyl Compounds
3. 学会等名 the 18th Japan-Korea Symposium on Catalysis (18JKSC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口 渉、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 単糖・二糖類の還元反応に高活性を示すリン化ニッケルナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 函館大会（第51回石油・石油化学討論会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川浩也、山口 渉、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 リン化ルテニウム触媒によるスルホキシドの脱酸素反応 リン化による触媒活性及び耐久性の向上
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徐 航、山口 渉、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 ハロゲン化アリールの配位子フリーヒドロキシル化反応を促進する窒化銅ナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第128回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川浩也、盛 敏、山口 渉、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 高機能性リン化コバルト触媒によるバイオマス由来アルデヒドの有用アルコールへの変換反応
3. 学会等名 第10回JAC1/GSCシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徐 航、山口 渉、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 Copper nitride nanoparticle catalyst for hydroxylation of aryl halides under ligand-free conditions
3. 学会等名 第10回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 盛 敏、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 リン化コバルトナノ結晶触媒による環境調和型ニトリルの水素化反応系の開発
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 碓田捷将、満留敬人、水垣共雄
2. 発表標題 廃棄物を副生しない非対称エーテル合成を可能とする環境調和型固体触媒の開発
3. 学会等名 第9回JACI/GSCシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 満留敬人・盛敏・山口渉・水垣共雄
2. 発表標題 リン化金属ナノ合金触媒による環境調和型ニトリル還元反応
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 水垣共雄・碓田捷将・山口渉・満留敬人
2. 発表標題 Pt-Mo触媒を用いたカルボン酸エステルからの直接エーテル合成反応
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口渉・藤田周・満留敬人・水垣共雄
2. 発表標題 リン化ニッケルナノ粒子触媒による高選択的グルコース還元
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田周・山口渉・満留敬人・水垣共雄
2. 発表標題 フルフラール誘導体からジケトンへの選択的水素化反応を促進するリン化ニッケルナノ粒子触媒の開発
3. 学会等名 第126回触媒討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山口渉・藤田周・満留敬人・水垣共雄
2. 発表標題 グルコースからソルビトールへの高選択的水素化反応を促進させるリン化ニッケルナノ合金触媒の開発
3. 学会等名 第127回触媒討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石川浩也・盛敏・山口渉・満留敬人・水垣共雄
2. 発表標題 大気中で安定なリン化コバルト触媒によるフルフルール誘導体の高選択的水素化反応
3. 学会等名 第127回触媒討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Takato Mitsudome	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Springer.com	5. 総ページ数 16
3. 書名 Core-shell and Yolk-Shell Nanocatalysts: Core-shell nanostructured catalyst for chemoselective hydrogenations	

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 リン化ニッケル触媒およびこれを用いた水素化有機化合物の製造方法	発明者 満留敬人	権利者 大阪大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020-095190	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 リン化コバルト触媒およびこれを用いた有機化合物の製造方法	発明者 満留敬人	権利者 大阪大学
産業財産権の種類、番号 特許、2020-117515	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 化合物及びその製造方法、A F X型ゼオライト及びその製造方法、並びに八ニカム積層触媒	発明者 満留敬人	権利者 大阪大学
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2020/018657	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 A F X型ゼオライトおよびその製造方法	発明者 満留敬人	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2020-110136	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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