

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04750

研究課題名（和文）複合触媒ナノ粒子の作製のための気相粒子プロセッシングを用いた新規手法の開発

研究課題名（英文）Development of a novel method for the preparation of composite catalytic nanoparticles using gas-phase particle processing

研究代表者

島田 学（Shimada, Manabu）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・教授

研究者番号：70178953

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：単一物質で構成された触媒よりも優れた特徴が期待できる、異物質を付着させた触媒粒子（複合触媒粒子）を対象として、エアロゾルのプロセスを利用した粒子合成や物質の付着を気相中で精密に行う作製手法を開発した。異種粒子の気相混合、粒子表面での異物質の析出などを経て作製したさまざまな複合触媒粒子の性状と、作製条件および性能の関係が評価された。その結果、複合触媒粒子が既製の触媒粒子を凌ぐ性能を発揮できるようになる要因が認識された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまでに気相での粒子合成やハンドリングの研究開発で培われてきた基盤技術を、複合触媒粒子の気相精密作製プロセスという新しい対象に適用するという学術的新規性・独自性を有する。気相作製プロセスには、不純物の混入が少ないこと、工程が簡便であること、環境・資源インパクトが小さいことなど多くのメリットがある。本研究成果により、高価な新規物質を用いることなく触媒の性能の向上が図れる見通しが得られた。他の機能性複合ナノ粒子の作製法への展開も期待できる。

研究成果の概要（英文）：Fabrication methods that use aerosol processes to precisely synthesize particles and deposit foreign materials in the gas phase have been developed, targeting catalyst particles with foreign substances attached (composite catalyst particles), which are expected to exhibit superior characteristics compared to catalysts composed of a single substance. The properties of various composite catalyst particles produced through processes such as gas-phase mixing of heterogeneous particles and the deposition of foreign substances on the particle surface, as well as the relationships among manufacturing conditions and performance, were evaluated. As a result, the factors that enable composite catalyst particles to outperform conventional catalyst particles were identified.

研究分野：化学工学

キーワード：エアロゾルプロセス CVD 助触媒 粒子被覆 噴霧乾燥

1. 研究開始当初の背景

触媒による化学反応の促進は、再生エネルギーの利用と創出、低コスト化、資源と時間の節約の観点から重要な役割を果たしてきた。これまでに、触媒の性能を高度化させるための微細化・ナノ粒子化や、特異な特性や機能をもった新規材料の開発が盛んに研究されてきた。近年は特に、触媒材料自体のコストと資源に対する意識から、既存材料の組み合わせで高度化を図ることが喫緊の課題となっている。

金属酸化物などの半導体物質の光触媒粒子は、バンドギャップ以上のエネルギーの光を吸収すると電子と正孔が生じ、それぞれが分解、酸化、還元反応を担う。この触媒粒子にある種の異物質を付着させると、紫外光だけでなくよりエネルギーの小さい可視光も利用可能になる。その他、触媒活性の向上、使用温度範囲の拡大、抗菌性能の発現などが、金属、金属酸化・炭化・窒化物、および炭素系物質の付着により得られることが報告されている。付着物質による性状や機能の変化は、光触媒に限らず電池電極、電子・電磁波、センサー、光学用途の材料の機能向上のためにも研究、利用されている。

これらの研究開発の過程で、異物質を付着させた触媒粒子（以降、複合触媒粒子）の性能は、触媒物質や付着物質が何であるかだけでは定まらず、付着物質の形態や付着の様態等の物理的性状にも強く依存することがわかってきた^{①,②}。しかしながら、現在触媒作製法の主流である固相、液相ベースの手法では、触媒物質に対して付着物質を物理的に混ぜ込んだり、溶液に接触させて付着物質を反応析出させたりして、付着が進行していく過程が複雑であるために、物理的性状を望み通りに制御することは容易でない。以上の背景のもとで、これまでの気相浮遊粒子に関わる知見と技術をもとにした、気相ベースの手法によって性状制御された複合触媒粒子の作製を目指すという着想を得た。

2. 研究の目的

本研究では、触媒粒子と物質を付着ないし析出させる方法として、触媒粒子と付着物質を一貫して気相中で処理するプロセスの開発を目指した。気相プロセッシングであるがゆえに可能な操作などにより、付着状態の良好な制御を可能とし、さらに、このプロセスで作製した複合触媒粒子の性状と触媒活性の関係から、望ましい性状を見出して表現することとした。

本研究で行うことは、既存の触媒作製プロセスを向上・最適化させることでなく、これまでに無かったプロセスの創成に取り組むことである。ただし、創成するプロセスの基盤技術の多くは、これまでにガス中での粒子合成やハンドリングの研究開発で培われてきたものであって、本研究は、これらの技術を複合触媒のナノ粒子という新しい対象物にうまく適用するための営みと位置づけられる。開発するプロセスは基本的に、触媒粒子の表面に付着物質の粒子や前駆体を輸送し付着ないし析出させるという非常にシンプルな原理にもとづいている。気相のプロセスでは固相や液相のプロセスに比べて、粒子のサイズ、輸送・混合、凝集・合体、捕集・沈着といった性状・機構に対しより精密な制御が行えるメリットがあり、本研究ではこういったメリットを活用した手法の開発を目論んだ。

3. 研究の方法

(1) 研究1：触媒粒子と付着物質の粒子の、気相合成と合体による複合触媒粒子の作製

触媒物質の一つである酸化チタンについて、サイズを制御してナノ粒子を合成し、その表面に銀と酸化銅の微粒子を凝集付着させることで、性状がよく規定された複合触媒粒子を作製するプロセスを開発する。このとき、酸化チタン粒子と付着物質粒子の両者とも気相中で生成し混合する。エアロゾル粒子の発生技術と、エアロゾル粒子の輸送と凝集、焼結に関する知見を利用して、触媒粒子と付着物質粒子のサイズ、触媒粒子と付着物質粒子の量の比率、触媒粒子表面への付着物質粒子の接触状態といった、物理的性状を制御する。さらに、複合触媒粒子の光吸収特性や触媒活性を明らかにする。

(2) 研究2：既製の粒子と気相生成した粒子の合体による複合触媒粒子の作製

有用な触媒材料物質には、粒子として気相合成することが難しいものも多い。そこでこの項目では、既製の粒子と気相生成した粒子を付着させて複合触媒粒子を作製するプロセスを開発する。このプロセスでは、既製粒子をいったん液中に分散したのち、噴霧乾燥法によって気中浮遊させたいうで、異物質の粒子と気相で凝集・合体させる。

(3) 研究3：粒子表面での気相物質析出による複合触媒粒子の作製

複合触媒粒子の物質と付着状態を拡張するために、粒子の表面で物質を直接生成させるプロセスを開発する。気相に浮遊させた粒子を、物質の蒸気・前駆体ガスと混合し、気相表面反応を経て固相析出させる。このようにして得られた複合触媒粒子の性状、特性、活性を、研究1、研究2と同様に評価する。

(4) 研究 4：複合触媒粒子の物理的性状と触媒活性の関係の評価、作製手法の最適化

研究 1～研究 3 で得られた複合触媒粒子に対して、物理的性状と触媒活性の相関を整理し、望ましい物理的性状を実現できるための気相プロセスの改良・最適化を検討する。

4. 研究成果

(1) プラズマ CVD による粒子の発生装置、および PVD のひとつである蒸発-凝縮プロセスを用いた金属・金属酸化物ナノ粒子の粒子発生装置を製作、改良した。これらを用いて、図 1 に模式的に示した過程に沿って酸化チタンと銀のナノ粒子を発生させ、気中混合させることにより複合触媒粒子を作製することができた。複合触媒粒子の形態、結晶性、化学組成、光吸収特性を電子顕微鏡、X 線回折、各種分光分析などで計測評価し、作製条件との関係を求めた。また、図 1 で銀の蒸気の代わりに銅の蒸気を用いた場合には、図 2a に示したように酸化チタン粒子の表面にそれらよりも微小な酸化銅粒子が付着した状態が確認でき、エネルギー分散 X 線分光分析(図 2b) や X 線光電子分光法の結果からも酸化銅の存在が裏付けられた。これらの触媒複合粒子に対して光触媒活性を評価するための、太陽光・紫外光の人工光源を備えた色素の分解反応試験系も整え、活性を分解反応速度として表現できるようにした。

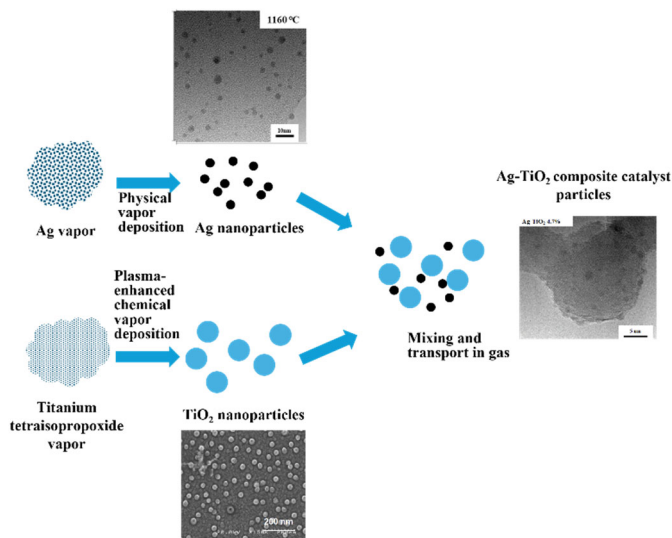


図 1 酸化チタン粒子と銀粒子の発生と気中混合による複合触媒粒子の作製プロセス

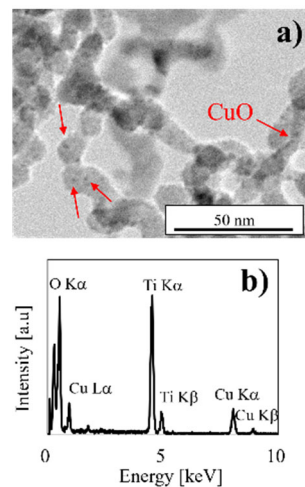


図 2 酸化銅粒子が付着した複合触媒粒子の a) 透過型電子顕微鏡写真と b) エネルギー分散 X 線分光分析結果

(2) 図 3 に示した装置を用いて、既製の粒子と合成粒子を合体させて複合触媒粒子を作製することを検討した。液相合成で予め調製した銀のナノ粒子の水系分散液を二流体ノズルで液滴化し、流路およびプラズマ反応器内で乾燥させてエアロゾル粒子とした。反応器には別途チタンのアルコキシド蒸気も導入され、酸化チタンのナノ粒子が合成される。反応場を経た粒子を基板に付着させ続けたところ、図 4a に示したように基板上に堆積物が観察された。エネルギー分散 X 線

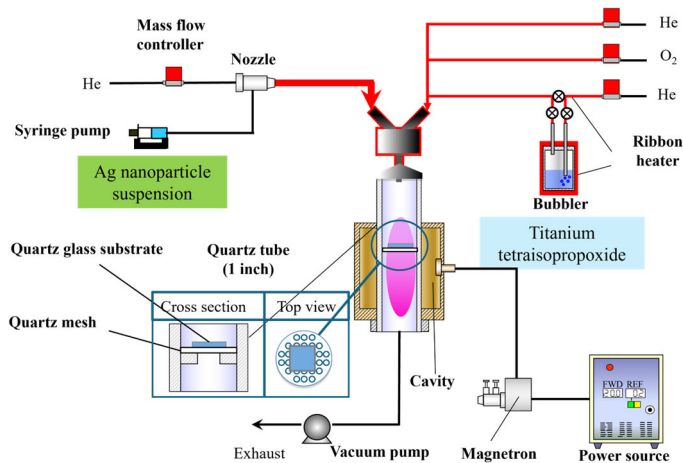


図 3 噴霧乾燥でエアロゾル化した既製粒子と合成粒子の合体により複合触媒粒子を作製する装置

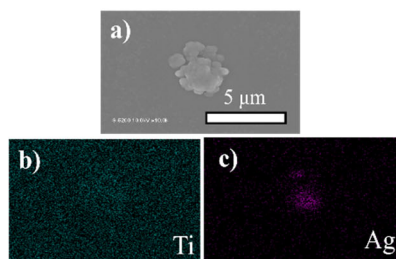


図 4 既製の銀粒子と合成した酸化チタン粒子の混合で生じさせた堆積層の a) 走査型電子顕微鏡写真、b、c) 元素マッピング結果

分光分析による元素マッピングの結果 (図 4b, c) などから、銀と酸化チタンが良く混合した複合触媒粒子堆積物が得られていることがわかった。

(3) 図 3 の装置を改造して、多層カーボンナノチューブ (MWCNT) の水系懸濁液の噴霧乾燥によってエアロゾル化させた MWCNT 粒子を反応器に導入できるようにした。反応器内にはチタンのアルコキシド蒸気または硫酸亜鉛の蒸気も導入して、MWCNT エアロゾル粒子と共存した状態で反応させることを試みた。生成物の例を図 5 に示す。MWCNT の表面に粒子状の付着物が存在しているが、これは、蒸気から生じた反応生成物が MWCNT 表面で固相として析出したものであることが詳細な観察によって明らかとなった。また、付着物の物質組成はエネルギー分散 X 線分光分析などの結果によって、目的とした組成と結晶性を有する酸化チタン、酸化亜鉛となっていることもわかった。さらに、MWCNT/酸化亜鉛粒子については、硝酸亜鉛を噴霧液滴として導入する方法でも作製できることがわかった。

(4) (1)~(3) で作製した粒子に対して、光吸収特性やバンドギャップの計測を行った。また、触媒粒子に付与した物質の割合、照射光の種類 (可視光、紫外光)、触媒反応の対象物質・pH・共存酸化剤などを変化させて光触媒性能を評価し整理した。一例として、(1) で作製した酸化チタン粒子ならびに酸化銅/酸化チタン粒子を触媒としたときの、可視光照射下での色素の分解反応試験で求められた反応速度定数を図 6 に示す。さらに、既製の代表的な触媒粒子の性能も評価し、本研究で作製した複合粒子との対照を行った。複合粒子の性能は、作製法、性状、反応条件に依存することが明らかとなったが、とくに付与物質の割合を適切に選ぶことで、既製粒子を凌ぐ優れた性能を発揮できることがわかった。

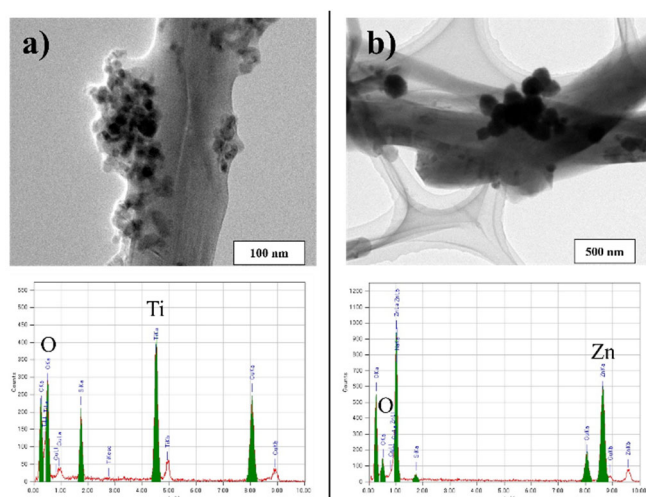


図 5 多層カーボンナノチューブ (MWCNT) 表面での固相析出で作製した a) MWCNT/酸化チタン、b) MWCNT/酸化亜鉛複合触媒粒子の電子顕微鏡写真とエネルギー分散型 X 線分光分析結果

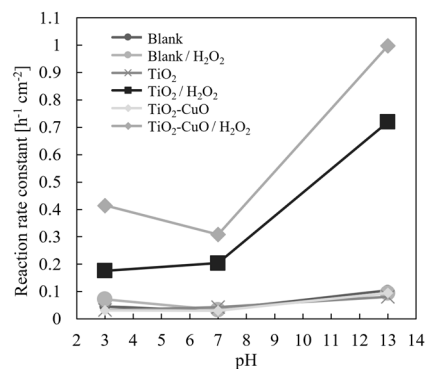


図 6 酸化銅/酸化チタン複合触媒粒子の存在下で求められたローダミン 6g 色素の可視光分解反応の速度定数 (pH、過酸化水素の添加の影響)

<引用文献>

- ① K. Kusdianto, D. Jiang, M. Kubo, and M. Shimada, Effect of Annealing Temperature on the Photocatalytic Activity of Ag-TiO₂ Nanocomposite Films by One-step Gas-Phase Deposition, *Materials Research Bulletin*, **97** (2018) 497-505
- ② K. Kusdianto, W. Widiyastuti, M. Shimada, T. Nurtono, S. Machmudah, and S. Winardi, Photocatalytic Activity of ZnO-Ag Nanocomposites Prepared by a One-Step Process Using Flame Pyrolysis, *International Journal of Technology*, **10** (2019) 571-581

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Hudandini Meditha, Kusdianto Kusdianto, Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 17
2. 論文標題 Gas-Phase Fabrication and Photocatalytic Activity of TiO ₂ and TiO ₂ -CuO Nanoparticulate Thin Films	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 1149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/ma17051149	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 該当する
1. 著者名 Jiang Dianping, Hudandini Meditha, Masaki Yuya, Kusdianto K., Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 57
2. 論文標題 Visible-Light-Driven Photocatalytic Activity of Ag-Loaded TiO ₂ Nanoparticulate Thin Film Fabricated via PECVD-PVD Method	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Engineering of Japan	6. 最初と最後の頁 2331105
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00219592.2024.2331105	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 該当する
1. 著者名 Lang Jianghua, Takahashi Kazuma, Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 12
2. 論文標題 Preparation of TiO ₂ -CNT-Ag Ternary Composite Film with Enhanced Photocatalytic Activity via Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 508 ~ 508
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/catal12050508	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 Hudandini Meditha, Puri Nurdiana Ratna, Winardi Sugeng, Widiyastuti Widiyastuti, Shimada Manabu, Kusdianto Kusdianto	4. 巻 12
2. 論文標題 Photocatalytic Activity of ZnO/Ag Nanoparticles Fabricated by a Spray Pyrolysis Method with Different O ₂ :N ₂ Carrier Gas Ratios and Ag Contents	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 1374 ~ 1374
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/catal12111374	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 該当する

1. 著者名 Kubo Masaru, Matsumoto Tomoki, Shimada Manabu	4. 巻 33
2. 論文標題 Spray synthesis of Pd nanoparticle incorporated HKUST-1, and its catalytic activity for 4-nitrophenol reduction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 103701 ~ 103701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2022.103701	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 Hudandini, M., D. Jiang, K. Kusdianto, M. Kubo, M. Shimada	4. 巻 37
2. 論文標題 Functionalization of Nanoparticulate Thin-film Fabrication for Enhanced Properties Via a One-step Gas Phase Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 エアロゾル研究	6. 最初と最後の頁 166 ~ 171
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11203/jar.37.165	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 Zhou Shujun, Maeda Makoto, Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 50
2. 論文標題 One-step Synthesis of Gold@Silica Yolk-shell Nanoparticles with Catalytic Activity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1475 ~ 1478
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.210266	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 Kusdianto Kusdianto, Hudandini Meditha, Jiang Dianping, Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 12
2. 論文標題 Effect of Heating Rate on the Photocatalytic Activity of Ag-TiO ₂ Nanocomposites by One-Step Process via Aerosol Routes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 17 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal12010017	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 該当する

1. 著者名 Lang Jianghua, Takahashi Kazuma, Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 12
2. 論文標題 Ag-Doped TiO ₂ Composite Films Prepared Using Aerosol-Assisted, Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Catalysts	6. 最初と最後の頁 365 ~ 365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/catal12040365	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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Kusdianto, O. Cahyani, A. F. Sudarto, M. Shimada, M. I. F. Rozy, and S. Winardi
2. 発表標題 Comparison Of ZnO Nanoparticles Prepared by Spray Pyrolysis and Consecutive Method for UV-Driven Photocatalytic Degradation of Methylene Blue
3. 学会等名 5th International Conference on Chemical Sciences (ICCS) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Kusdianto, A. A. Mathoyah, M. D. Hendrico, I. Riwayat, M. Shimada, S. Madhania, S. Winardi
2. 発表標題 Synthesis of Nanoparticle ZnO via Chemical Reduction using Singkil Leaf Extract as Photocatalytic
3. 学会等名 5th International Conference on Chemical Sciences (ICCS) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大戸 浩暉、川原 淳人、久保 優、島田 学
2. 発表標題 浮遊コーティングプロセスによるZnO-TiO ₂ -CNT複合物の作製と作製条件の影響の評価
3. 学会等名 第40回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 川原 淳人、久保 優、島田 学
2. 発表標題 浮遊コーティングプロセスによって作製したZnO-TiO ₂ -CNTの形態
3. 学会等名 中四国若手CE合宿2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hudandini, M., K. Kusdianto、久保 優、島田 学
2. 発表標題 Photocatalytic Performance Evaluation of TiO ₂ and TiO ₂ -CuO Nanoparticulate Thin Films Prepared by a Gas Phase System
3. 学会等名 化学工学会第54回秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shimada, M.
2. 発表標題 Formation and Processing of Fine Particles in Gas-phase Environments
3. 学会等名 GIEE Seminar, National Taiwan University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田 学
2. 発表標題 気相浮遊微粒子のつくり方・つくられ方と退治の仕方
3. 学会等名 第16回機能性微粒子分科会セミナー (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Lang J. H., K. Takahashi, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 Ag-doped TiO ₂ Composite Films Prepared Using Aerosol-assisted, Plasma-enhanced Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 The 12th Asian Aerosol Conference (AAC) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hudandini, M., D. Jiang, K. Kusdianto, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 Visible-light Photocatalytic Performance of Cu _x O Loaded Anatase- or Rutile-TiO ₂ Fabricated by Gas Phase Method
3. 学会等名 The 12th Asian Aerosol Conference (AAC) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kubo, M., T. Sugahara, and M. Shimada
2. 発表標題 Spray-assisted Fabrication of HKUST-1 MOF Thin Film and MWCNT/HKUST-1 Nanocomposite Film
3. 学会等名 The 12th Asian Aerosol Conference (AAC) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kubo, M., M. Ishimura, and M. Shimada
2. 発表標題 Improvement of Production Efficiency of HKUST-1 MOF by a Spray-assisted Synthetic Process
3. 学会等名 The 12th Asian Aerosol Conference (AAC) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 梅田 智哉、久保 優、島田 学
2. 発表標題 PECVD法と気相窒化処理を組み合わせたN-TiO ₂ 薄膜の作製
3. 学会等名 第39回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kubo, M., T. Matsumoto, and M. Shimada
2. 発表標題 Spray Synthesis of Pd/HKUST-1 Nanocomposite and Its Catalytic Activity
3. 学会等名 11th International Aerosol Conference (IAC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hudandini, M., D. Jiang, K. Kusdianto, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 One-step Gas-phase Fabrication of Visible-light-activated TiO ₂ Nanoparticulate Thin Films
3. 学会等名 11th International Aerosol Conference (IAC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川原 淳人、久保 優、島田 学
2. 発表標題 浮遊PECVDコーティングプロセスによるZnO-TiO ₂ -CNTの作製
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kusdianto, B. Tansio, S. Ronaldo, H. Noorfaizah, I. Riwayati, M. Shimada, and S. Winardi
2. 発表標題 Synthesis of ZnO Nanoparticle Using Cosmos Caudatus Leaf Extract as Photocatalytic Application: Effect of Extract Volume
3. 学会等名 4th International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering (ISFACHe) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Firdaus, A. P., F. A. Mukti, S. Machmudah, S. Madhania, S. Winardi, M. Shimada, and Kusdianto, F. A. Mukti, S. Machmudah, S. Madhania, S. Winardi, M. Shimada, and Kusdianto
2. 発表標題 Fabrication of ZnO/TiO ₂ Using Aerosol Method for Photocatalytic Applications
3. 学会等名 4th International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering (ISFACHe) 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊 航、M. Hudandini、姜 殿平、久保 優、島田 学
2. 発表標題 Ag-TiO ₂ 光触媒ナノ粒子堆積膜を用いたガス分解の評価
3. 学会等名 第38回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 王 偉、久保 優、島田 学
2. 発表標題 エアロゾル化したCNTの電界による垂直配向堆積
3. 学会等名 第38回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lang J. H., K. Takahashi, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 Photocatalytic Activity and Preparation of TiO ₂ -CNT-Ag Ternary Thin Films via Aerosol-assisted and Plasma-enhanced Chemical Vapour Deposition
3. 学会等名 2021 European Aerosol Conference (EAC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hudandini, M., D. Jiang, K. Kusdianto, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 Fabrication of TiO ₂ -Copper Oxide Nanoparticulate Thin Films through the PECVD-PVD Method
3. 学会等名 2021 European Aerosol Conference (EAC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Winardi, S., I. Riwayati, M. Shimada, S. Madhania, S. Machmudah, and Kusdianto
2. 発表標題 Synthesis of ZnO/Ag/SiO ₂ Nanocomposite Using Flame Pyrolysis Method and Its Photocatalytic Activity
3. 学会等名 Broad Exposure to Science and Technology 2021 (BEST-2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hudandini, M., D. Jiang, K. Kusdianto, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 One-step fabrication of CuO-loaded TiO ₂ nanoparticulate thin film for photocatalytic application under visible light irradiation
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Riwayati, I., S. Winardi, S. Madhania, S. Machmudah, M. Shimada, and Kusdianto
2. 発表標題 Effect of SiO ₂ Content on Photocatalytic Activities of ZnO/Ag/SiO ₂ Nanocomposites Prepared by Spray Pyrolysis
3. 学会等名 3rd International Conference and Exhibition on Powder Technology Indonesia (3rd ICePTi) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hudandini, M., N. Ratna P., S. Winardi, Widiyastuti, M. Shimada, and Kusdianto
2. 発表標題 Fabrication of ZnO/Ag Nanoparticles by Spray Pyrolysis Method with Different O ₂ :N ₂ Carrier Gas Ratio and Its Photocatalytic Activity
3. 学会等名 3rd International Conference and Exhibition on Powder Technology Indonesia (3rd ICePTi) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lang J. H., K. Takahashi, M. Kubo, and M. Shimada
2. 発表標題 Preparation of Ag-embedded TiO ₂ film by reducing metal ions via plasma-enhanced chemical vapor deposition
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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	久保 優 (Kubo Masaru) (00633752)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	クスディアント クスディアント (Kusdianto Kusdianto)		

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		
インドネシア	Institut Teknologi Sepuluh Nopember		