

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：15401

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18979

研究課題名（和文）ナノサイズ繊維状物体の気相被覆と配向堆積による触媒・センサー材料の高集積実装

研究課題名（英文）Highly-integrated implementation of catalyst and sensor materials by gas-phase coating and aligned deposition of nano-sized fibrous objects

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） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：触媒またはセンサーの機能を有する材料に対して大きな有効面積と物質の到達性を付与するために、材料によるナノサイズ物体の被覆と基材への配置を制御する研究を行った。機能性材料を、繊維形状を有するカーボンナノチューブの表面に均一に析出させることに成功した。またカーボンナノチューブを配向した状態で基材に到達させ、固定化することもできた。以上により、膜状または粒状の機能性材料を、反応・検出の場において望ましい状態に配置する手法を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

触媒装置やガスセンサーなどの小型化を目的として、材料を固定する基材を小さくすると、光や物質の到達が損なわれやすくなり、機能の損失と材料の無駄が生じる。本研究の成果により、対象とした触媒・センサー材料を大きな有効面積と到達性の両方が付与された形態として調製するプロセスの実現可能性が示されたことには、大いに価値がある。また、異なる被覆物や繊維状物体の利用、他のセンシングデバイスなどへの展開も期待されるため、産業面への波及効果も大きい、意義の高い研究と考える。

研究成果の概要（英文）：Control of the coating of nanoobjects and the configuration of the resulting composites were studied to give a large effective surface area and accessibility to materials having catalytic or sensing functionality. Functional materials could be deposited uniformly on carbon nanotubes with a fibrous morphology. Carbon nanotubes could also be transported and fixed on a substrate in an aligned state. From these results, a method to configure film-shaped or particulate functional materials in a desirable state was obtained.

研究分野：化学工学

キーワード：機能性複合材料合成 静電堆積 カーボンナノチューブ CVD エアロゾル凝集

1. 研究開始当初の背景

触媒反応装置やガスセンサーのデバイスは、汚染物質の分解、排ガス浄化や壁材の防汚、有害ガスの検知などに従来から広く用いられてきたが、最近では高価・希少な化学物質の選択的・高効率変換、抗菌・殺菌、環境のパーソナルモニター、危険物質検知およびテロ対策、生体ガスを利用した臨床検査に対する関心の増大にともなって、小型化、低価格化を含む高性能化への要望がますます高まっている。これらの反応装置、センサーデバイスには、触媒、センサーの機能を有する材料として、チタン、タングステン、亜鉛、スズなど酸化物や、白金、金、銀、パラジウムなどの貴金属などの材料が装填されている。触媒・センサー材料に光が当たったり、材料表面に接触する気体や液体中の化学物質の濃度が変化したりすることで所望の機能が発現する。したがって、光や気体・液体が容易に届くように材料の表面がどれだけ露出しているかが、装置、デバイスとしての働きを決める最も大きな要因となる。装置、デバイスの中の触媒・センサー材料は、一般に、同じ量で表面積をより稼げるように、つまり材料の比表面積が大きくなるように、薄膜、細線、あるいは粉体(粒子状)の形態で基板などの基材に固定(担持)されている。装置、デバイスを小型化しようとして、材料の量と形はそのままに単純に基材の大きさだけ小さくすると、基材上で材料が近接したり重なり合ってしまう可能性が増し、表面の一部または大部分に光や気体・液体の流れが届かなくなることになる。また、触媒・センサー材料はしばしば高価であるため、光や流れが届かないゆえ機能できない材料が存在するのは、低価格化や資源の観点からも望まれない。そこで、もしも触媒・センサー材料を、小さな基材の上に比表面積が大きい状態で固定しつつ、それでも材料表面への光の到達や流体の輸送は阻害されないような装填を実現できれば、装置、デバイスの高性能化に大きく寄与するはずであると考えた。

2. 研究の目的

上記の背景をふまえて、本研究では、小さな基材に対して大きな比表面積と高い光到達・流体輸送性を両立できる材料の固定の仕方、言い換えると集積度の高い材料実装形態を実現する方法を開発して、さらに装置やデバイスの性能向上を評価することを目的とした。この方法ではまず、本研究実施者が開発してきた手法・にもとづいて、直径数十 nm 程度の多数の繊維状物体を、気相に浮遊させた状態で、触媒・センサー材料で形成した薄膜や粒子状物質で被覆する。さらにこれらの被覆体を、静電気力を利用して基材に対して概ね垂直に向きを揃えて(配向させて)堆積させ固定する。この結果生じる構造では、材料同士の重なり合いが少なく、かつ被覆体間の隙間も配向しているので光および流体が通りやすいと考えられる。繊維状物体としては、配向堆積の制御を容易にするために、太さと長さが揃っている多層カーボンナノチューブ(CNT)を用いる。研究の過程では、繊維状物体の被覆条件、被覆体の輸送条件と、被覆体の形状や基材上の堆積形態を調べる。その成果をふまえて、本プロセスにおける適切な操作条件や装置構造の指針を見出すことが最終目標である。図1に、本研究で開発する方法の考

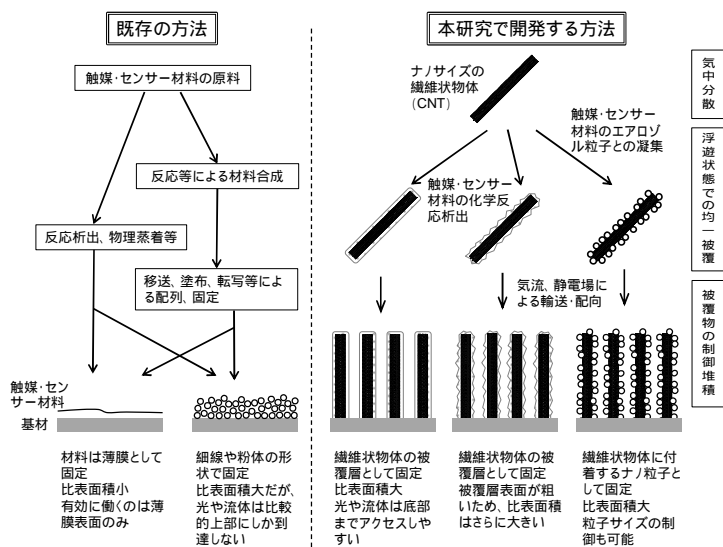


図1 研究の背景と開発を目指す方法の概念

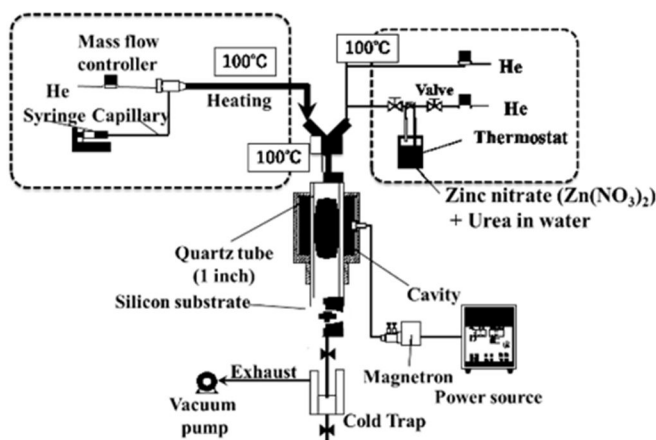


図2 機能性材料をCNTに被覆させる装置(酸化亜鉛被覆の場合)

え方を模式的に示した。

3. 研究の方法

(1) 材料による CNT の被覆

図 2 に実験装置図を示す。触媒・センサー材料の液体前駆体をバブラーで蒸気化し、He ガス流に同伴させ反応場に供給した。光触媒材料の例として扱った酸化チタンの場合はチタンテトライソプロポキシドを、センサー材料と考えた酸化亜鉛の場合は硝酸亜鉛と尿素の混合物を前駆体とした。また、CNT 懸濁液を二流体ノズルで噴霧し、その後加熱することで水分を蒸発させ同じ反応場に供給した。前駆体がマイクロ波プラズマ場で反応することで CNT 表面に材料が析出する、すなわち材料が CNT の被覆層を構成することを目指した。このように合成した複合物は反応場の下流側に設置したシリコン基板により捕集した。捕集した基板は窒素雰囲気下で焼成を施し、走査型電子顕微鏡 (SEM) による形態観察と、X 線回折 (XRD) による結晶相の分析を行った。

(2) CNT の配向堆積

CNT の懸濁液を空气中で噴霧乾燥させることで、分散した繊維状として気流中に同伴させた。流路の下流に、流れに対向するように金属製の基板を設置した空間を設け、さらに基板に直流電圧を印加した。基板上に到達した CNT が到達時点の配向を保ったまま固定化されるように、基板上には硬化樹脂を塗布した。

4. 研究成果

(1) 材料による CNT の被覆

図 3 と 4 に、それぞれ前駆体の気中濃度と反応場での滞留時間を変えて作製した、CNT 表面の酸化チタンの被覆層の形状を SEM 写真により示す。図 5 は、バブラーの条件 (加熱温度) を変えて得られた、酸化亜鉛被覆層の形態である。これらより、作製条件の変更によって、疎な粒子状、密な粒子状ないし粗面状、稠密で平滑性の高い薄膜状といったさまざまな形態の被覆層が得られることがわかった。図 6 は、焼成によって、酸化亜鉛の結晶相をセンサー材料に望まれるウルツ鉱構造とできることを示している。さらに、酸化亜鉛被覆を有する CNT を用いた酸化還元反応時の電流-電圧 (I-V) 特性にはヒステリシスが見られた (図 7) ため、センサー材料として働く可能性が示された。

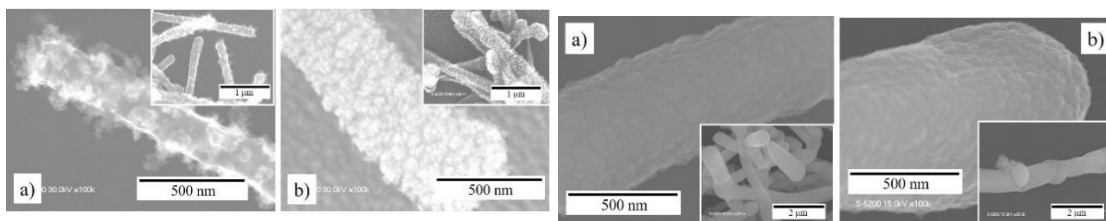


図 3 前駆体濃度による酸化チタン被覆層の形状の変化

図 4 反応場滞留時間による酸化チタン被覆層の形状の変化

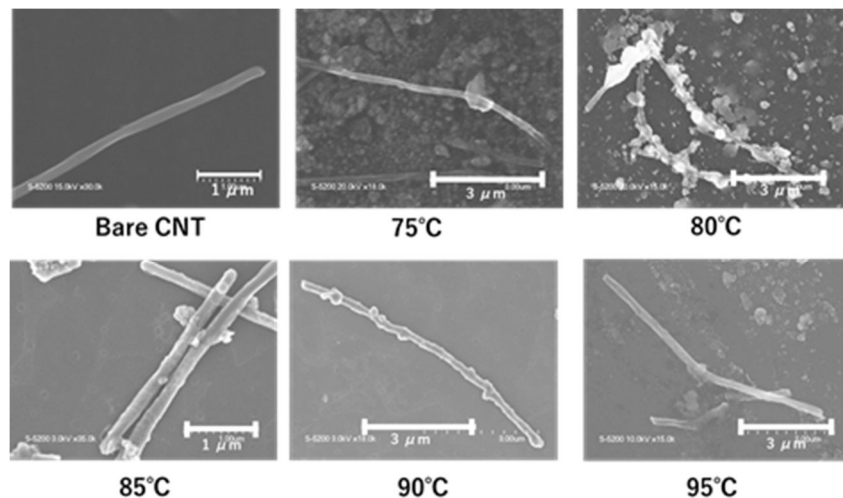


図 5 バブラー温度による酸化亜鉛被覆層の形状の変化

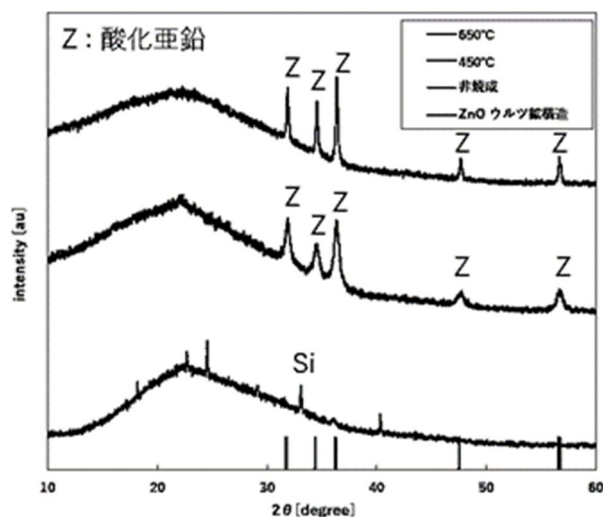


図 6 焼成による酸化亜鉛被覆層の結晶相の変化

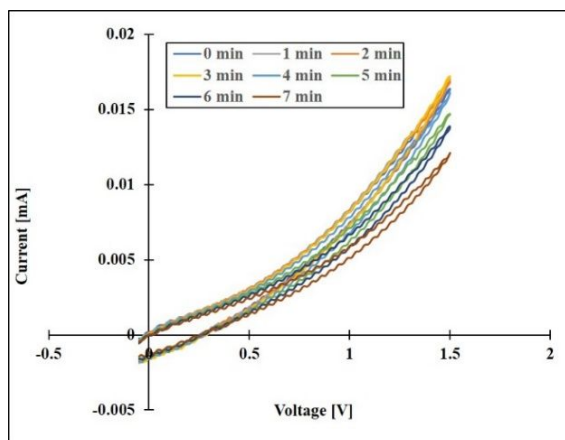


図 7 酸化亜鉛被覆層- CNT 複合体の電流-電圧特性

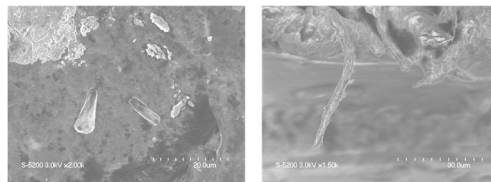


図 8 基板に固定化された CNT (左: 表面の像、右: 側面からの像)

(2) CNT の配向堆積

気流速度、電場の強度と向きなど、CNT の輸送に関わる条件をさまざまに変えて CNT を基板上に付着させて固定化した。図 8 の SEM 写真などから、多くの CNT が屹立した状態で固定化できることがわかった。

(3) おわりに

以上の検討を通じて、触媒・センサー材料が薄膜状または粒状の被覆層を形成している CNT を、反応・検出の場において望ましい形態で配置できることがわかり、これを実現する手法を得ることができた。

< 引用文献 >

- M. Kubo, H. Kadomura, and M. Shimada, *Mater. Lett.*, **155**, 114-117 (2015)
- M. Kubo, K. Kusdianto, H. Masuda, and M. Shimada, *Ceram. Int.*, **42**, 9162-9169 (2016)

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 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kusdianto K., Widiyastuti W., Shimada Manabu, Nurtono Tantular, Machmudah Siti, Winardi Sugeng	4. 巻 10
2. 論文標題 Photocatalytic Activity of ZnO-Ag Nanocomposites Prepared by a One-step Process using Flame Pyrolysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Technology	6. 最初と最後の頁 571 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14716/ijtech.v10i3.2902	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 Kusdianto K., Hemanth Lakshmpura R., Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 53
2. 論文標題 Fabrication of Hollow TiO ₂ Nanotubes via a Simple Gas-Phase Process Using In-Flight Coating Followed by Heat Treatment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 45 ~ 48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.19we128	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, Tanabe Eishi, Kubo Masaru, Shimada Manabu	4. 巻 36
2. 論文標題 Bioinspired One-Step Synthesis of Pomegranate-like Silica@Gold Nanoparticles with Surface-Enhanced Raman Scattering Activity	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 2553 ~ 2562
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c00334	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 Tomonaga Taisuke, Izumi Hiroto, Yoshiura Yukiko, Myojo Toshihiko, Oyabu Takako, Lee Byeong-Woo, Okada Takami, Marui Takashi, Wang Ke-Yong, Kubo Masaru, Shimada Manabu, Noguchi Shingo, Nishida Chinatsu, Yatera Kazuhiro, Morimoto Yasuo	4. 巻 15
2. 論文標題 Usefulness of myeloperoxidase as a biomarker for the ranking of pulmonary toxicity of nanomaterials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Particle and Fibre Toxicology	6. 最初と最後の頁 41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12989-018-0277-x	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 Kubo Masaru, Moriyama Reina, Shimada Manabu	4. 巻 280
2. 論文標題 Facile fabrication of HKUST-1 nanocomposites incorporating Fe ₃ O ₄ and TiO ₂ nanoparticles by a spray-assisted synthetic process and their dye adsorption performances	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Microporous and Mesoporous Materials	6. 最初と最後の頁 227 ~ 235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.micromeso.2019.02.010	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 -

〔学会発表〕 計39件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 林 秀樹、中原 涼太、組谷 賢次郎、井地 平、平山 道夫、平田 育巳、島田 学
2. 発表標題 粉塵環境における産業機械用の慣性分離による集塵装置の研究
3. 学会等名 第36回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hemanth, L. R., Y. Fukumoto, K. Nishihara, M. Kubo, M. Shimada
2. 発表標題 Microwave Plasma-Enhanced Nanocoatings of Polymethylmethacrylate on Multiwalled Carbon Nanotubes
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jiang, D., Y. Masaki, M. Kubo, M. Shimada
2. 発表標題 Visible-Light Photoactivity of Photocatalytic Ag-TiO ₂ Nanocomposite Thin Film Prepared via Combined Gas-phase Deposition of Nanoparticles
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kubo, M., H. Hayashido, M. Shimada
2. 発表標題 Effects of Nanoparticle Properties on the Structure of Nanoparticle Agglomerates Generated by Spray-Drying of Suspension of Monodisperse Nanoparticles
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhou, S., M. Kubo, M. Shimada
2. 発表標題 Development of Dye-Doped Silica Nanoparticles with Controllable Size as Aerosol Tracer Particles
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kusdianto, K., S. Syafrul, M. N. Rahmat, W. Widiyastuti, M. Shimada, D. Jiang, S. Winardi
2. 発表標題 The Effect of Catalyst Weight on the Photocatalytic Performance of ZnO-Ag Nanocomposites Prepared by Flame Pyrolysis Method
3. 学会等名 Broad Exposure to Science and Technology 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hemant, L. R., Masaru Kubo, Manabu Shimada
2. 発表標題 Preparation of coated CNTs in a spray assisted CVD process
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 姜 殿平、正木 佑弥、K. Kusdianto、久保 優、島田 学
2. 発表標題 気相堆積複合膜の構造・組成制御による光触媒の作製と評価
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 一真、島田 一雲、久保 優、島田 学
2. 発表標題 気固原料PECVD法における固体原料分散媒が複合薄膜合成に及ぼす影響
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 正木 佑弥、姜 殿平、久保 優、島田 学、K. Kusdianto
2. 発表標題 気相法で作製した可視光応答型光触媒としてのAg-TiO ₂ 薄膜の評価
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平田 育巳、島田 学、林 秀樹、中原 涼太、組谷 賢次郎、井地 平、平山 道夫
2. 発表標題 粉塵環境で稼働する産業機械のための慣性集塵装置
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松本 知樹、久保 優、島田 学
2. 発表標題 Pdナノ粒子を内包した多孔性配位高分子HKUST-1の噴霧合成
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三好 祐資、久保 優、島田 学
2. 発表標題 多孔性金属錯体UiO-66の噴霧合成プロセスを用いた合成
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松谷 史矢、久保 優、島田 学
2. 発表標題 噴霧乾燥法により調製した4Aゼオライト凝集体のSr ²⁺ 吸着特性
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本 真依、周 淑君、久保 優、島田 学
2. 発表標題 界面活性剤 TiO ₂ ナノ粒子のエアロゾル液滴内自己組織化によるTiO ₂ メソポーラス球の作製
3. 学会等名 第36回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋 一真、久保 優、島田 学
2. 発表標題 気固原料PECVD法による複合薄膜合成における原料分散媒の影響
3. 学会等名 第13回中四国若手CE合宿
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimada, M., M. Kubo, and I. Shimada
2. 発表標題 CVD Synthesis and Photocatalytic Performance Evaluation of Nanocomposite TiO ₂ Thin Film with Ag Nanoparticles and Carbon Nanotubes
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kubo, M., R. Moriyama, M. Shimada
2. 発表標題 Facile Fabrication of HKUST-1 Nanocomposites Incorporating Fe ₃ O ₄ and TiO ₂ Nanoparticles by a Spray-Assisted Synthetic Process
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Zhou, S., M. Kubo, M. Shimada
2. 発表標題 One-pot Synthesis of Pomegranate-like Plasmonic Nanoparticles for Surface-Enhanced Raman Scattering
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCChE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保 優、林戸洋人、島田 学
2. 発表標題 ナノ粒子懸濁液の噴霧乾燥で調製したエアロゾル凝集体構造に及ぼすナノ粒子性状の影響
3. 学会等名 第57回粉体に関する討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山崎 駿、久保 優、島田 学
2. 発表標題 HKUST-1の結晶成長の速度論的解析
3. 学会等名 第57回粉体に関する討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島田 学、高橋 一真、久保 優
2. 発表標題 固体原料併用PECVD法における分散媒が合成された複合薄膜に及ぼす影響
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 久保 優、山崎 駿、島田 学
2. 発表標題 多孔性配位高分子HKUST-1 の結晶成長過程の速度論的解析
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 淵 恭彦、姜 殿平、久保 優、島田 学
2. 発表標題 エアロゾル粒子堆積法による色素増感太陽電池の光電極膜の作製と評価
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 島田一雲、久保 優、島田 学
2. 発表標題 気固原料同時供給PECVD法による3成分系複合薄膜の作製
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 久保 優、石村元義、島田 学
2. 発表標題 高効率な多孔性配位高分子HKUST-1の噴霧合成プロセスの開発
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 林戸洋人、久保 優、島田 学
2. 発表標題 ナノ粒子懸濁液の噴霧乾燥で調製したナノポーラス凝集体の構造に及ぼす粒子性状の影響
3. 学会等名 第35回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimada M., M. Kubo, Y. Shigematsu, I. Shimada
2. 発表標題 Synthesis of Nanoparticle-embedded Composite Films by Plasma-enhanced CVD Process Using Gaseous and Particulate Raw Materials
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jiang, D., K. Kusdianto, M. Kubo, M. Shimada
2. 発表標題 Effect of Loading Concentration on the Photocatalytic Activity of Ag-TiO ₂ Nanocomposite Films Fabricated by One-Step Gas-Phase Deposition
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hemanth, L. R., K. Nishihara, M. Kubo, M. Shimada, K. Kusdianto
2. 発表標題 Polymer and Metal Oxides Coating of Multiwalled Carbon Nanotubes by Spray-Assisted Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kubo, M. M. Shimada
2. 発表標題 Facile Synthesis of Magnetic Metal-Organic Framework Nanocomposites by Spray-Assisted Synthesis
3. 学会等名 10th International Aerosol Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 正木 佑弥、姜 殿平、久保 優、島田 学
2. 発表標題 Ag粒子とTiO ₂ 粒子の堆積で作製した複合薄膜の可視光照射下での光触媒活性
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松谷 史矢、久保 優、島田 学
2. 発表標題 噴霧乾燥法により調製したゼオライト凝集体のSr ²⁺ 吸着
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三好 祐資、久保 優、島田 学
2. 発表標題 噴霧合成プロセスを用いた多孔性配位高分子UiO-66の合成
3. 学会等名 化学工学会第50回秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shimada M.
2. 発表標題 Generation and Processing of Fine Particles in Gas-phase Environment
3. 学会等名 1st International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISIChem) 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kusdianto, K., W. Widiyastuti, M. Shimada, T. Nurtono, S. Machmudah, S. Winardi
2. 発表標題 Photocatalytic Activity of ZnO-Ag Nanocomposites Prepared by a One-Step Process Using Flame Pyrolysis
3. 学会等名 1st International Symposium of Indonesian Chemical Engineering (ISICChem) 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Marui, T., Y. Yoshiura, T. Tomonaga, H. Izumi, Y. Fujisawa, C. Nishida, K. Yatera, M. Kubo, M. Shimada, Y. Morimoto
2. 発表標題 Effects of Tungsten Oxide on Lungs Following Inhalation
3. 学会等名 23rd Congress of the Asian Pacific Society of Respirology (APSR 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hemanth Lakshmipura_R., Fukumoto Yoshihiko, Kubo Masaru, Shimada Manabu
2. 発表標題 Development of Polymer Nanocoating Process for CNTs Using In-flight PECVD
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保 優、石村 元義、島田 学
2. 発表標題 噴霧合成プロセスにおけるHKUST-1MOFの生成効率の向上
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 Yoshiura, Y., Y. Fujisawa, T. Tomonaga, H. Izumi, T. Oyabu, T. Myojo, M. Kubo, M. Shimada, Y. Morimoto, K. Wiench, L. Ma-Hock, K. S. Jeon, J. S. Yi, I. J. Yu, D. B. Warheit, T. Kobayashi, Y. Oshima, Y. Tsubokura, T. Kayashima, M. Nakaiほか20名	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 223
3. 書名 In Vivo Inhalation Toxicity Screening Methods for Manufactured Nanomaterials	

1. 著者名 Shimada, M., S. Matsusaka, H. Masuda, K. Higashitani, H. Makino, T. Andoh, T. Bonakdar, X. Chen, L. A. Connal, V. S. J. Craig, R. Dobashi, S. Endoh, Y. Endo, E. Forbes, G. V. Franks, M. Fuji, F. Fujii, T. Fujimoto, T. Fujita, K. Fujiwaraほか70名	4. 発行年 2019年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 647
3. 書名 Powder Technology Handbook, Fourth Edition	

1. 著者名 島田 学、久保 優、乗松 航、中川 清晴、三重野 哲、鈴木 信三、丸山 隆浩、太田 和親、白須 圭一、井上 翼、前田 優、永徳 丈、田中 孝明、中野 満、上野 智永、中嶋 直敏、佐野 正人、川本 益揮、井上 均、野口 徹ほか36名	4. 発行年 2019年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 456
3. 書名 カーボンナノチューブの表面処理・分散技術と複合化事例	

1. 著者名 白藤立、松田彰久、市川幸美、林康明、加藤俊顕、鈴木弘郎、金子俊郎、篠原正典、猪原武士、柳生義人、大島多美子、川崎仁晴、山田英明、尾関和秀、山内智、高洋志、村上彰一、東和文、寅丸雅光、牟田浩司、小島洋治、島田学、久保優	4. 発行年 2018年
2. 出版社 サイエンス&テクノロジー株式会社	5. 総ページ数 328
3. 書名 プラズマCVDにおける成膜条件の最適化に向けた反応機構の理解とプロセス制御・成膜事例	

〔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)	

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			