

令和 7 年 5 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究

研究期間：2023～2024

課題番号：23K13590

研究課題名（和文）微粒子ナノ構造化技術による燃料電池触媒層の細孔ネットワークエンジニアリング

研究課題名（英文）Pore Network Engineering of Fuel Cell Catalyst Layers by Particle Nanostructuring Technology

研究代表者

平野 知之（Hirano, Tomoyuki）

広島大学・先進理工系科学研究科（工）・助教

研究者番号：40963674

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、「高耐久」に加えて「高性能」な酸化物担体を使用した燃料電池触媒を実現するために、酸化物の形態を精密に制御し、ガスの拡散や生成水の排出を促進する適切な細孔ネットワークの触媒層内への形成を行った。噴霧火炎を用いてビルディングブロックとなる酸化物ナノ粒子担体を合成し、それを用いてマクロポーラス微粒子を合成した。マクロポーラス構造を持つ酸化物触媒担体を利用することで、加圧プロセス後の触媒層にも適切な細孔ネットワークを維持できることが明らかとなった。また、バインダーを適切に使用することでマクロポーラス粒子の機械的耐久性を制御でき、触媒層の空隙率を最適化できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、火炎を用いた独自の微粒子構造化技術を用いて、燃料電池用酸化物触媒担体の細孔ネットワーク制御を実施し、固体高分子形燃料電池の耐久性と性能の向上を実現した。特に、担体微粒子に緻密に設計した細孔構造を付与することにより、加圧プロセス後の触媒層の細孔構造を制御可能になった。これらの研究成果は、触媒層の細孔を制御することを目的として、電極触媒の粒子設計に関する新たな知見となる。

研究成果の概要（英文）：This study aims to realize fuel cell catalysts with high durability and performance. To achieve this, the morphology of oxide supports was precisely controlled to create a suitable pore network within the catalyst layer, promoting gas diffusion and water removal. Oxide nanoparticle supports were synthesized via flame spray pyrolysis and used to construct macroporous particles. Such macroporous oxide supports were found to help preserve a well-connected pore network in the catalyst layer even after compression. In addition, proper use of binders allowed control over the mechanical durability of the macroporous particles and enabled optimization of the catalyst layer porosity.

研究分野：微粒子工学

キーワード：固体高分子形燃料電池 火炎噴霧熱分解法 火炎法 酸化物 マクロポーラス粒子 エアロゾル 細孔制御 耐久性

1. 研究開始当初の背景

地球規模で二酸化炭素排出量の削減が急務となる中、水素エネルギーの有効活用が求められており、水素と酸素から直接電気を生成する燃料電池は、その中核的技術の一つと位置付けられている。固体高分子形燃料電池 (PEFC) はすでに燃料電池自動車への導入が進んでいるが、今後は自家用車にとどまらず、トラックやバス、さらには船舶など多様な輸送機器への展開を図るうえで、より一層の耐久性と高性能化が求められる。現在、電極触媒には白金を担持したカーボンが使用されているが、これは高電位条件下で容易に腐食劣化を生じるという重大な課題を抱えている。この問題を解決するため、近年では高電位下でも安定に機能する新しい担体材料として、導電性金属酸化物の開発が進められている。金属酸化物は熱的・化学的に優れた安定性を有し、腐食に強い特性を持つ一方で、一般的にナノ粒子状の酸化物はカーボンに比べて比表面積が小さく、マクロ孔の形成が不十分という課題がある。

燃料電池セルにおいて、触媒粒子は膜/電極接合体 (MEA) と呼ばれる構造体の中に触媒層として組み込まれる。この触媒層における構造上の鍵となるのがマクロ孔である。現在主流であるカーボン担体は、均質なマクロ孔構造を有しており、ガスや水の通路として優れた機能を発揮する。一方、酸化物ナノ粒子は、ナノ粒子やその凝集体に囲まれた空隙としてマクロ孔を有するが、MEA を製造する過程における加圧処理によって粒子構造が破壊され、マクロ孔が形成されにくくなる。この結果、ガス拡散性の低下によるセル出力の劣化が懸念されている。したがって、PEFC 用途に適した酸化物担体の開発は進められているものの、いかなる粒子構造が耐久性と性能の両立に寄与するかについては、いまだ明確な指針が得られていない。

したがって、「高耐久」に加えて「高性能」な酸化物担体を使用した燃料電池触媒を実現するために、酸化物の形態を精密に制御し、ガスの拡散や生成水の排出を促進する適切な細孔ネットワークを触媒層内に形成することが不可欠である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、精密にナノ構造が制御された酸化物担体粒子を合成し、耐久性と性能を備えた PEFC 用触媒を開発することである。そのために、微粒子形態を反映した触媒層において細孔ネットワークを付与し、燃料電池触媒として重要なガス拡散性と液体保持力・排出力を制御する。特に、火炎反応場を活用した微粒子の多孔性と機械的耐久性の制御と、実デバイス中での触媒構造・性能の評価を行った。

3. 研究の方法

本研究では、噴霧火炎を用いた酸化物ナノ粒子合成、および、拡散火炎を用いた微粒子ナノ構造化を実施した (図 1)。噴霧火炎を用いた合成試験では、二流体ノズルとパイロット火炎用流路で形成される噴霧火炎バーナを用いた。有機溶媒中に金属酸化物の原料を溶解させ、それらを直接噴霧燃焼させることによって、気相中でナノ粒子を合成した。原料溶液はシリンジポンプにより噴霧火炎バーナに輸送するが、その供給速度を大きく変更することによってナノ粒子サイズを制御した。火炎中で生成した粒子は、ガラス繊維ろ紙を用いて燃焼ガス中から分離し。得られた粒子は、適宜、未燃炭化水素の除去や、ネッキング構造の制御のために、焼成処理を施した。

拡散火炎を用いた合成試験では、自作した同軸流拡散火炎バーナに燃料のメタンと酸化剤の純酸素を供給して拡散火炎を形成させ、キャリアガスにより供給された原料液滴を加熱・燃焼処理して微粒子を析出させた。気中で析出した微粒子は、バグフィルタ (PTFE メンブレン) により回収した。超純水を溶媒として、原料の金属塩やナノ粒子を分散させ、超音波霧化法により微粒化した。微粒子に多孔性を付与するために、原料溶液中に造孔材となるポリメタクリル酸メチル (PMMA) を分散させて、それらのサイズや添加量を調整することにより多孔性を制御した。また、多孔性微粒子の機械

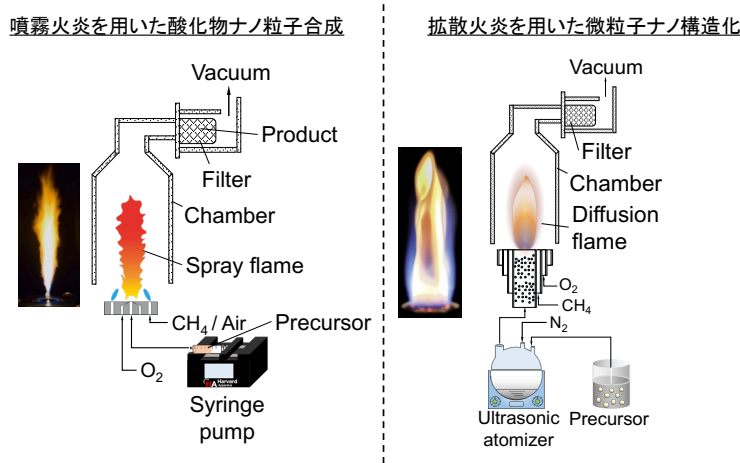


図 1 本研究で使用した実験装置

的耐久性を制御するために、凝集体のバインダーとして機能する導電性酸化物を原料溶液中に添加した。

4. 研究成果

(1) 火炎噴霧熱分解法による酸化スズ系ナノ粒子の精密サイズ制御

燃料電池触媒層の細孔ネットワークを構築・制御するためには、酸化物触媒担体の粒子構造を緻密に設計することが求められる。本研究では、火炎噴霧熱分解法を用いて、粒子径を微細に制御した酸化スズ系ナノ粒子を合成した。原料濃度や原料供給速度、酸素分散ガス流量を調整することで、約 3 nm から約 40 nm まで精密に粒子径を制御することが可能となった。図 2 に、原料濃度を 0.05~1.0 mol/L で調整して合成した酸化スズ系ナノ粒子の TEM 像と粒子径分布を示す。合成された粒子は、一次粒子径は 6.4~17 nm であり、ナノ粒子が部分的に融着したネットワーク構造を有していた。PEFC 触媒担体としてこれらのナノ粒子を使用する場合、担体微粒子が高い電子伝導性を有することが重要である。ナノサイズの担体を用いることで、その高い比表面積を利用して Pt などの貴金属触媒をより微細に担持させることのできるため、触媒活性の向上が見込まれる。しかし一方で、粒子間の接触抵抗もまた増加する。火炎噴霧熱分解法により合成したナノ粒子は、火炎の高温場での反応により、ナノ粒子同士が部分的に融着していることから、粒子間の抵抗が抑制されることに加え、ガスや生成水の流路となるマクロ孔もまた形成されるため、燃料電池用触媒担体としての高いポテンシャルが期待できる。

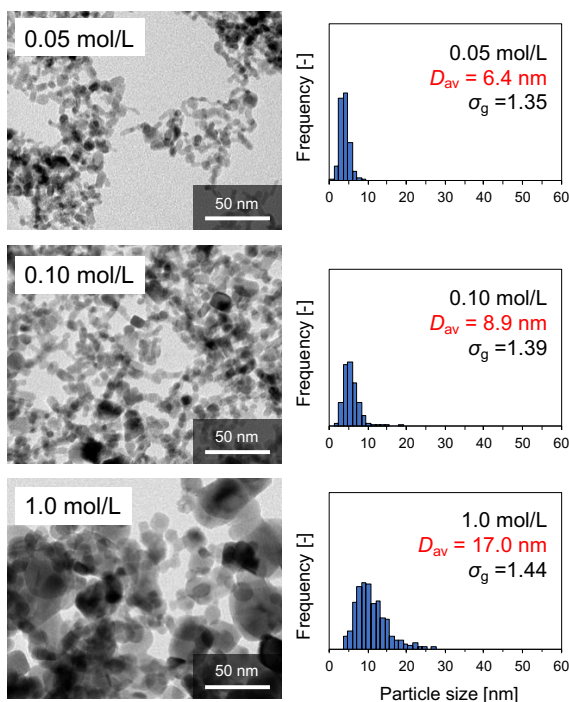


図 2 火炎噴霧熱分解法により各原料濃度で合成したナノ粒子の TEM 像と粒子径分布

(2) 火炎プロセスを用いたマクロポーラス酸化物担体の合成

金属酸化物は熱的・化学的に安定な材料であり、高電位下でも安定的に使用可能である。そのため、導電性を有する金属酸化物を PEFC の触媒担体に適用することで優れた耐久性を発揮する。一方、酸化物担体は、カーボンと比較してストラクチャーが十分に発達しておらず、触媒層のガス拡散抵抗が高くなり、性能が低下するという課題がある。「高耐久」に加えて「高性能」な酸化物担体を使用した燃料電池触媒を開発するためには、酸化物の形態を精密に制御して（微粒子のナノ構造化）、ガスの拡散や水の排出を促進する適切な細孔ネットワークを触媒層に付与する必要がある。

本研究では、細孔を生成するテンプレートとしてポリメタクリル酸メチル (PMMA) 粒子を原料溶液に分散させ、酸化物担体 Nb-SnO₂ ナノ粒子とともに火炎中に噴霧することにより、ポーラ

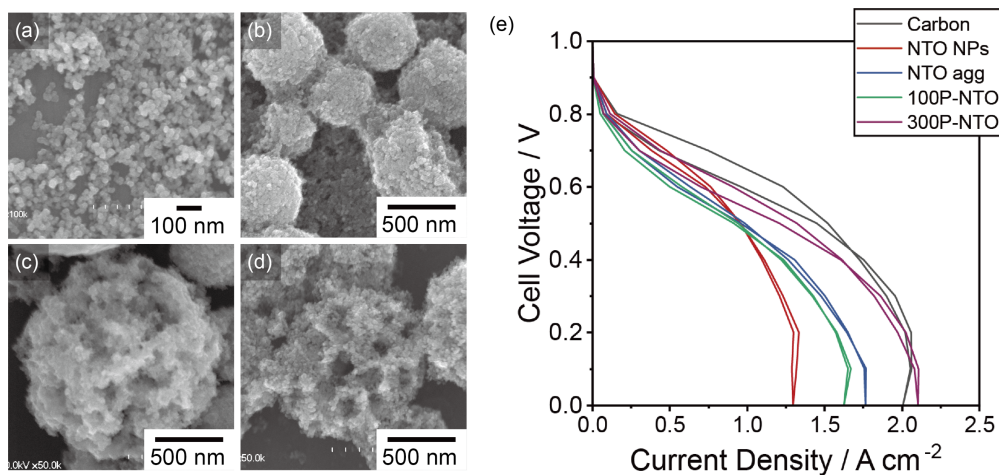


図 3 Nb-SnO₂ ナノ粒子 (a), Nb-SnO₂ 凝集体 (b), PMMA 粒径 100 nm を用いて合成したポーラス Nb-SnO₂ 粒子 (c), および 300 nm を用いて合成したポーラス Nb-SnO₂ 粒子 (d) の SEM 像と、これらの粒子および市販 Pt/C を担体として用いた MEA の I-V 特性 (e)

ス粒子を連続的に生産することを試みた。

図 3 は、異なるサイズの PMMA 粒子を用いて調製したポーラス Nb-SnO₂ 粒子の SEM 画像である。最初に、ビルディングブロックとして使用した Nb-SnO₂ ナノ粒子の SEM 像を図 3a に示す。Nb-SnO₂ ナノ粒子の粒径はおよそ 10 nm であり、これらが連結して鎖状構造を形成していることが確認された。PMMA を全く添加せずに合成した場合には、図 3b に示すように、Nb-SnO₂ ナノ粒子は凝集して球状の集合体を形成した。これに対し、粒径が 100 nm (図 3c) および 300 nm (図 3d) の PMMA 粒子をそれぞれ添加すると、得られた Nb-SnO₂ 凝集体の内部に PMMA のサイズに応じた明瞭な細孔構造が形成されることが観察された。これは、PMMA 粒子が合成後の熱処理に伴って消失し、その跡が空隙として残ったことに起因する。

次に、これらの異なる PMMA 粒子サイズを用いて調製したポーラス Nb-SnO₂ 粒子を触媒担体として用いた燃料電池セルの性能評価を実施した。図 3e に、得られた各セルの I-V 特性を示した。比較の結果、特に 300 nm の PMMA 粒子を用いて調製したマクロポーラス Nb-SnO₂ 粒子を触媒担体とした場合に、最大電流密度の増加が認められた。これは、微粒子内に形成された大きなマクロ細孔により、触媒層内の空隙量が大幅に増加し、反応ガスが効率的に拡散することでガス拡散抵抗が低減したためと考えられる。この結果は、触媒層の微細構造を PMMA 粒子のサイズによって制御することで、燃料電池の性能向上が可能であることを示している。

(3) 導電性酸化物バインダーを用いた高強度マクロポーラス酸化物担体の合成

マクロポーラス構造をもつ酸化物担体を利用することで、触媒層内に形成される空隙量が大幅に増加し、燃料電池性能が向上することがわかった。一方で、火炎プロセスで合成したマクロポーラス Nb-SnO₂ 粒子は機械的強度が低く、MEA を作製する際の加圧プロセスにより、粒子はその構造を維持することができずに崩壊し、当初の設計通りの細孔を触媒層内に付与することはできなかった。燃料電池性能と耐久性の最適化に向けて、触媒層構造を緻密に制御するためには、加圧プロセスに耐えうる機械的強度を持ち合わせたマクロポーラス粒子の作製が必要である。

本研究では、ポーラス化を行う際の原料溶液 1 次粒子間のバインダーとして作用する導電性酸化物前駆体を添加することにより (図 3a)、高強度マクロポーラス粒子の作製を試みた。図 3b に示すように、バインダー添加量の増加に伴って、マクロポーラス粒子骨格の空隙率が低下し、密な骨格を形成していく傾向が確認された。これは、原料溶液に添加したバインダー前駆体が一次粒子間隙で析出することにより、連続的な材料構造を形成したと考えられる。続いて、これらの粒子を触媒担体を用いて PEFC 性能を比較したところ、バインダーを 20 wt% 用いた場合に最も高い最大電流密度を示した。バインダーを添加することにより密な骨格が形成されるため粒子の機械的耐久性が向上して触媒層に細孔が付与されるが、バインダーの流入により貴金属触媒の微細な担持に必須であるメソ孔までもが消失してしまうため、多量のバインダーの使用は性能の低下を引き起こすと考えられ、20 wt% という添加量が最適値となったと考えられる。

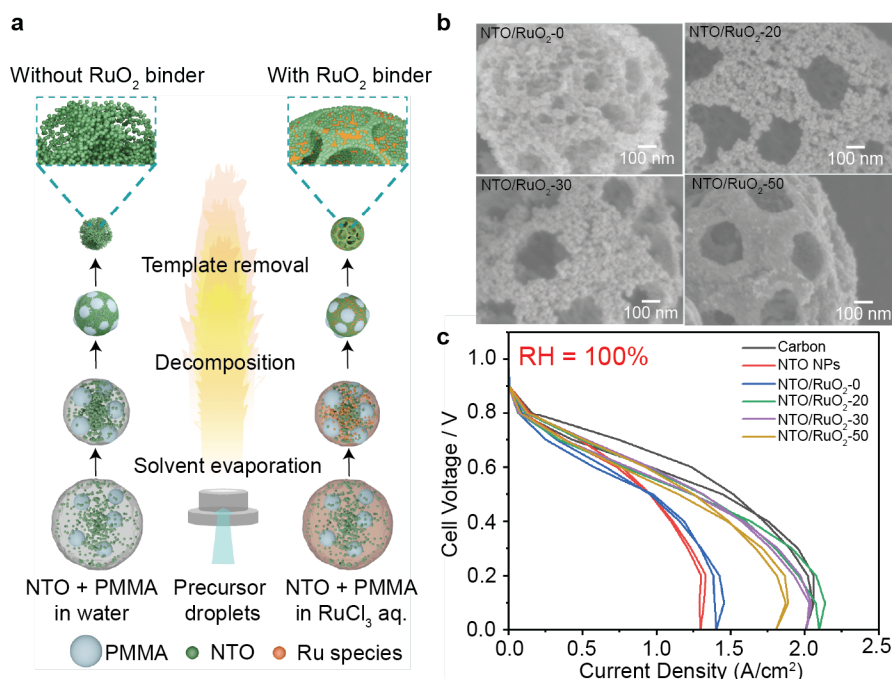


図 3 高強度マクロポーラス粒子の合成プロセス (a), 合成した高強度マクロポーラス粒子の SEM 像 (b), 高強度マクロポーラス粒子を用いた MEA の I-V 特性

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7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 Ho Thi Thanh Nguyen, Hirano Tomoyuki, Narui Ryosuke, Tsutsumi Hiroshi, Kishi Miho, Yoshikawa Yusuke, Cao Kiet Le Anh, Ogi Takashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Effect of annealing treatment on nanostructure and electrical conductivity of flame-made Ir-IrO ₂ /TiO ₂ particles	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 104568 ~ 104568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2024.104568	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 Hirano Tomoyuki, Tsuboi Takama, Ho Thi Thanh Nguyen, Tanabe Eishi, Takano Aoi, Kataoka Mikihiro, Ogi Takashi	4. 巻 24
2. 論文標題 Macroporous Structures of Nb-SnO ₂ Particles as a Catalyst Support Induce High Porosity and Performance in Polymer Electrolyte Fuel Cell Catalyst Layers	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 10426 ~ 10433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.4c01150	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 Ho Thi Thanh Nguyen, Hirano Tomoyuki, Takano Aoi, Miyasaka Syu, Tanabe Eishi, Maeda Makoto, Septiani Eka Lutfi, Cao Kiet Le Anh, Ogi Takashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Conductive RuO ₂ binders enhance mechanical stability of macroporous Nb-SnO ₂ particles as cathode catalyst supports for high-performance PEFCs	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 RSC Applied Interfaces	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D4LF00404C	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 Ho Thi Thanh Nguyen, Hirano Tomoyuki, Narui Ryosuke, Imaoka Shota, Takano Aoi, Miyasaka Syu, Tanabe Eishi, Septiani Eka Lutfi, Cao Kiet Le Anh, Ogi Takashi	4. 巻 8
2. 論文標題 Flame Spray Pyrolysis Achieves Size-Tunable Niobium-doped Tin Oxide Nanoparticles for Improved Catalyst Performance in PEFCs	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 4640 ~ 4647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.5c00266	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 Ho Thi Thanh Nguyen, Hirano Tomoyuki, Narui Ryosuke, Tsutsumi Hiroshi, Kishi Miho, Yoshikawa Yusuke, Cao Kiet Le Anh, Ogi Takashi	4. 巻 6
2. 論文標題 Flame-Made Ir-IrO ₂ /TiO ₂ Particles as Anode Catalyst Support for Improved Durability in Polymer Electrolyte Fuel Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 6064 ~ 6071
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.3c00536	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 Tomoyuki Hirano, Norito Kadowaki, Akira Ichimiya, Ryosuke Narui, Takashi Ogi	4. 巻 84
2. 論文標題 Tubular flame synthesis of alumina particles: Effect of the addition of energetic materials to precursors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Science and Technology of Energetic Materials	6. 最初と最後の頁 40-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34571/stem.84.3-4_40	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 Hirano Tomoyuki, Tsuboi Takama, Ho Thi Thanh Nguyen, Tanabe Eishi, Takano Aoi, Kataoka Mikihiro, Ogi Takashi	4. 巻 6
2. 論文標題 Porosity Engineering of Pt-Loaded Nb-SnO ₂ Catalyst Layers in Polymer Electrolyte Fuel Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 12364 ~ 12370
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.3c02165	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 平野 知之、荻 崇	4. 巻 60
2. 論文標題 スプレードライを用いた粒子生成	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 粉体工学会誌	6. 最初と最後の頁 494 ~ 501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4164/sptj.60.494	査読の有無 無
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 Nur Syakirah Nabilah Saipul Bahri, 時津 菜穂, 平野 知之, 荻 崇	4. 巻 61
2. 論文標題 噴霧乾燥によるセルロースナノファイバーの微粒子化、ナノ構造制御, 機能化	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 粉体工学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Tomoyuki Hirano, Takashi Ogi
2. 発表標題 Macroporous Structures of Flame-made Nb-SnO ₂ Particle as a Catalyst Support Induce High Porosity and Performance in Fuel Cell Catalyst Layers
3. 学会等名 Expert Workshop on Nanoparticles Synthesis (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 平野 知之, 高野 葵, 片岡 幹裕, 荻 崇
2. 発表標題 微粒子のマクロポーラス構造を用いた燃料電池用 Pt/Nb-SnO ₂ 触媒層の空隙設計
3. 学会等名 化学工学会第55回秋季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 時津 菜穂, 平野 知之, 荻 崇
2. 発表標題 Sb-SnO ₂ ナノ粒子の火炎噴霧合成と光学特性
3. 学会等名 化学工学会第55回秋季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 時津 菜穂, 平野 知之, 荻 崇
2. 発表標題 火炎法によるSb-SnO ₂ ナノ粒子の合成と近赤外線吸収特性評価
3. 学会等名 第41回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 鳴井 遼介, 平野 知之, Ho Thi Thanh Nguyen, 堤 裕司, 岸 美保, 吉川 裕亮, 荻 崇
2. 発表標題 火炎法による燃料電池用触媒担体IrO _x /TiO ₂ 粒子の合成と発電特性評価
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 平野 知之, 荻 崇
2. 発表標題 火炎法によるZnO@TiO ₂ コアシェル粒子の合成と耐酸性評価
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 山下 俊輝, Phong Hoai Le, Kiet Le Anh Cao, 平野 知之, 荻 崇
2. 発表標題 三元触媒ナノ粒子のポーラス構造化と触媒性能評価
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 鳴井 遼介, 平野 知之, Ho Thi Thanh Nguyen, 堤 裕司, 岸 美保, 吉川 裕亮, 荻 崇
2. 発表標題 Ir-IrO ₂ /TiO ₂ 担体を用いた燃料電池用触媒の開発と高電位耐久性評価
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 鳴井 遼介, 平野 知之, Ho Thi Thanh Nguyen, 堤 裕司, 岸 美保, 吉川 裕亮, 荻 崇
2. 発表標題 火炎法によるIr/TiO ₂ 粒子の合成と固体高分子形燃料電池への応用
3. 学会等名 粉体工学会2023年度秋期研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 房谷 航大, 平野 知之, 水谷 和揮, 加藤 貴久, 荻 崇
2. 発表標題 火炎法による組成を制御した球状ガラス粒子の合成
3. 学会等名 粉体工学会2023年度秋期研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 俊輝, Phong Hoai Le, Kiet Le Anh Cao, 平野 知之, 荻 崇
2. 発表標題 三元触媒ナノ粒子のポーラス構造化と触媒性能評価
3. 学会等名 粉体工学会2023年度秋期研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nur Syakirah Nabilah Saipul Bahri, Tue Tri Nguyen, 平野 知之, 松本 恒平, 渡邊 真衣, 森田 祐子, 荻 崇
2. 発表標題 セルロースナノファイバー構成微粒子の架橋剤による耐水性の向上
3. 学会等名 粉体工学会2023年度秋期研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平野 知之, 高野 葵, 片岡 幹裕, 荻 崇
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池用Pt/Nb-SnO ₂ 触媒層の空隙設計
3. 学会等名 化学工学会第89年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Eka Lutfi Septiani, Shunki Yamashita, Kiet Le Anh Cao, Tomoyuki Hirano, Nobuhiro Okuda, Hiroyuki Matsumoto, Yasushi Enokido, Takashi Ogi
2. 発表標題 One-Step Aerosol Synthesis of SiO ₂ -Coated FeNi Particles by Using Swirler Connector-Assisted Spray Pyrolysis
3. 学会等名 化学工学会第89年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Nur Syakirah Nabilah Saipul Bahri, Tue Tri Nguyen, 平野 知之, 松本 恒平, 渡邊 真衣, 森田 祐子, 荻 崇
2. 発表標題 Controlling the magnetical responsiveness of cellulose nanofiber particles embedded with iron oxide nanoparticles
3. 学会等名 International chemical Engineering Symposium (IChES) 2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Eka Lutfi Septiani, 平野 知之, 奥田 修弘, 松元 裕之, 荻 崇
2. 発表標題 Production of silica-coated FeNi particles via aerosol process assisted by a swirling flow
3. 学会等名 International chemical Engineering Symposium (IChES) 2024
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 平野 知之, 荻 崇	4. 発行年 2025年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 536
3. 書名 分散・凝集ハンドブック	

1. 著者名 荻 崇, Nur Syakirah Nabilah Saipul Bahri, 平野 知之 (分担執筆)	4. 発行年 2023年
2. 出版社 (株)技術情報協会	5. 総ページ数 576
3. 書名 造粒プロセスの最適化と設計・操作事例集 セルロースナノファイバーの微粒子化	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 導電性金属酸化物粒子及び電気化学反応用触媒粒子	発明者 平野 知之, 荻 崇 他	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、2023-146287	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

平野知之個人HP
<https://tomoyukihirano.com/>
Thermal Fluid Materials Engineering Laboratory
<https://www.hu-tme.com/>

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		
インドネシア	Institut Teknologi Bandung	Institut Teknologi Sepuluh Nopember	University of Brawijaya