

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：15401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20482

研究課題名（和文）規則性マクロポーラス酸化物担体を用いた固体高分子形燃料電池の高耐久・高性能化

研究課題名（英文）Improved durability and performance of polymer electrolyte fuel cells using ordered macroporous oxide supports

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） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、固体高分子形燃料電池（PEFC）の性能と耐久性向上を目指し、機械的安定性を持つ規則性マクロポーラス酸化物微粒子の創成とセル内部の細孔構造解析を行った。噴霧火炎を用いて、ナノ構造化酸化物微粒子を合成し、TEM、FIB-SEM、X線CTで三次元構造解析を行い、電池性能評価を実施した。結果、酸化物ナノ粒子の焼成処理が触媒層の空隙率を増加させ、ガス拡散抵抗の低下に寄与することを確認した。また、Ir担持TiO₂の高電気伝導性と高耐久性により、高電位下でも優れた発電性能が維持されることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、独自に開発した火炎合成装置を用いて、金属酸化物粒子が有する細孔の規則性の制御を行い、固体高分子形燃料電池の担体としての耐久性と性能の向上を実現した。特に、焼成処理によるナノ粒子のネッキング構造の制御によって、触媒層中の細孔構造が調整できることがわかり、電池性能に対する酸化物ナノ粒子のマクロ孔の意義が明らかとなった。これらの研究成果は、触媒層の細孔を制御するためのポーラス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 enhance the performance and durability of polymer electrolyte fuel cells (PEFCs) by developing mechanically stable, ordered macroporous oxide particles and analyzing the pore structure within the cells. Nanostructured oxide particles were synthesized using a spray flame method, and three-dimensional structural analysis was conducted using TEM, FIB-SEM, and X-ray CT to evaluate the battery performance. The results demonstrated that annealing treatment of metal oxide nanoparticles increased the porosity of the catalyst layer, thereby reducing gas diffusion resistance. Additionally, the high electrical conductivity and durability of Ir-supported TiO₂ significantly contributed to excellent power generation performance, even under high potential conditions.

研究分野：微粒子工学

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

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

二酸化炭素排出削減が世界各地で喫緊の課題となる中、水素をエネルギーとして活用することが求められており、水素と酸素から直接電気を取り出す燃料電池はその基幹技術の一つである。固体高分子形燃料電池 (PEFC) は燃料電池自動車に適用されているが、自家用車だけでなく、トラックやバス、船舶といった様々な輸送機器に燃料電池技術を使用するためには、その耐久性と性能の向上が必要不可欠である。現在、電極触媒として Pt を担持したカーボンが使用されており、高電位において容易に腐食劣化することが課題となっている。そこで、カーボンに代わる新たな高電位安定担体として開発が進められているのが、導電性金属酸化物担体である。金属酸化物材料は熱的・化学的に安定であり、高電位下においても腐食することなく使用できる。しかし一般に、酸化物ナノ粒子はカーボンと比較して比表面積が低く、マクロ孔の発達が不十分という課題がある。

燃料電池セルの中で触媒粒子は、膜/電極接合体 (MEA) と呼ばれる部材の中に、触媒層として膜状に組み込まれる。触媒層における重要な構造の一つがマクロ孔である。図 1 にカーボンおよび酸化物を用いた触媒層の模式図を示す。現在実用的に使用されている担体であるカーボンは、均一なマクロ孔を有しており、ガスや水の流路としての役割を果たしている。一方、酸化物ナノ粒子の場合、粒子そのものはナノ粒子や凝集体で囲まれたマクロ孔を有しているものの、MEA 化する際の加圧プロセスによってその粒子構造が崩壊し、触媒層のマクロ孔の形成が不十分となり、出力の低下を招くことが懸念される。つまり、PEFC に利用可能な酸化物担体材料の候補は開発が行われているものの、どのような粒子構造 (形状や細孔割合) が耐久性と性能を向上させるかは未だ結論が出ていない。

2. 研究の目的

上記の研究背景に基づき、本研究では、「固体高分子形燃料電池の性能・耐久性の向上に向けた、機械的安定性を有する規則性マクロポーラス酸化物微粒子の創成と燃料電池デバイス内部での細孔構造解析」を目的とする。すなわち、単に形の整った微粒子材料を作製するだけではなく、実デバイス中でもその構造が維持され、性能が最大化する高度に設計されたマクロポーラス微粒子を作製し、直接観察および数値解析によって電池内部での細孔構造解析を行う。

3. 研究の方法

(1) 火炎法による粒子合成

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行った。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自作し、原料溶液の直接噴霧燃焼により、気相中でナノ粒子の合成を行った。有機溶媒中に目的化合物の有機金属錯体原料を溶解させてシリンジ内に封入し、シリンジポンプにより噴霧火炎バーナに輸送し、酸素ガスを用いて微粒化した。微粒化された原料液滴は、周囲に形成してある CH_4/Air 予混合火炎により着火され、連続的な噴霧燃焼が行われた。火炎中で生成した粒子は、真空ポンプで吸引し、バグフィルター (PTFE メンブレン) により分離した。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、噴霧火炎合成時と同様方法で回収した。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。

(2) 粒子の構造/性能評価

合成したナノ構造化微粒子を TEM, FIB-SEM, X 線 CT を用いて、三次元構造解析を行った。TEM では特に単一微粒子に関して構造解析を行い、EDS のデータも組み合わせることで元素分布の解析も行った。微粒子を集積させた触媒層の評価は FIB-SEM と X 線 CT を用い、粒子内部の空隙に加え、粒子間に形成される細孔についての連通構造と屈曲率の解析を行った。また、燃料電池デバイスを作製し、電気化学的活性の評価も実施した。

4. 研究成果

(1) 噴霧火炎を用いた高比表面積 Nb-SnO₂ ナノ粒子の合成

酸化物ナノ粒子を PEFC 用触媒担体に使用するためには、ネットワーク構造を維持しながら高比表面積を有することが求められる。本研究では、燃焼条件 (燃料種、酸化剤割合、発熱量など) を調整することにより、酸化物ナノ粒子の凝集度と比表面積の制御を行った。図 1a に示すような噴霧火炎を用いて合成試験を行い、図 1b のような高結晶性のナノ粒子が得られた。得られた粒子は適度に凝集しており、約 10 nm 程度の粒子径が得られた。また、Pt/Nb-SnO₂ カソード電極

触媒を用いて作製した MEA の I-V 性能を、単セルを用いて評価した。20 wt% の Pt を担持した Nb-SnO₂ (20Pt/NTO) を用いたセルは、10 wt% の Pt を担持した Nb-SnO₂ (20Pt/NTO) を用いたセルに比べて、高電流領域での電圧低下が小さく、高い性能を示した (図 1e)。また、図 1f および g にそれぞれの触媒層の 10Pt/NTO と 20Pt/NTO を用いた触媒層の断面 SEM 像を示す。触媒層の厚さは、10Pt/NTO 触媒層で 2.5 μm、20Pt/NTO 触媒層で 1.6 μm となった。Pt の担持密度を上げると、触媒層が薄くなり、その結果ガス拡散抵抗が減少したため、セルの性能が向上したと考えられる。

(2) 火炎法によるポーラス微粒子の合成

酸化物粒子内部に細孔を付与することを目的として、造孔材粒子を分散させた原料溶液を用いて粒子合成試験を行った。ここで、今後の産業利用を考慮して、スケールアップの実績のある火炎法により粒子を合成した。超純水中に TiO₂ ナノ粒子と、造孔材として PMMA 粒子を分散させ、超音波霧化で微粒化した原料液滴を拡散火炎に導入した。気相法によるポーラス微粒子生成において、液滴内成分の自己組織化を十分に促すために、乾燥速度の制御が重要となる。火炎法において、液滴の乾燥速度を制御する因子は多く存在するが、ここでは、燃料であるメタンガスの流量を変化させたときに得られた粒子について報告する。

図 2 に、各メタン流量で合成した TiO₂ 粒子の SEM 像を示す。全ての条件で、PMMA の形状に起因する細孔が粒子内に確認された。通常の噴霧乾燥プロセスと同様に、液滴の乾燥に伴って TiO₂ と PMMA が均一に混合した粒子が得られ、火炎の高温場において PMMA が分解して細孔を形成したと考えられる。一方、どの条件でも、表面に細孔がある粒子と細孔がない粒子が観察された。メタン流量の増加に伴い、表面に細孔がない粒子の割合が増加したことから、発熱量が増加した結果、気相中で TiO₂ (融点：約 1800°C) が熔融し、表面張力により球状化したと考えられる。

(3) ナノ粒子触媒層の細孔制御

火炎法で作製した酸化物ナノ粒子担体を用いて燃料電池触媒層を形成した場合、ホットプレスによる機械的圧縮によってナノ粒子間隙の細孔が閉塞することが分かっている。そこで、火炎法により合成したナノ粒子に焼成後処理を施すことにより、粒子のネッキング構造と一次粒子径を調整し、機械的安定性の制御を試みた。

噴霧火炎を用いて合成した Nb-SnO₂ ナノ粒子を、ガス流通式加熱炉を用いて空気下で 1000°C および 1200°C にて焼成した。図 3a に焼成した Nb-SnO₂ ナノ粒子の SEM 像を示す。断面像は二値化処理を行っており、黒色部分が空隙を表す。1000°C、1200°C で焼成処理を行った場合、1 次粒子径が増加する傾向が確認された。ネットワーク構造は維持しており、一次粒子径のみが変化していることが分かる。幾何平均径は、焼成温度の増加に伴い、9 nm から 15 nm、20 nm と増加している。

図 3b に、焼成前後の Nb-SnO₂ ナノ粒子を用いて作製した触媒層の断面像 (FIB-SEM) を示す。

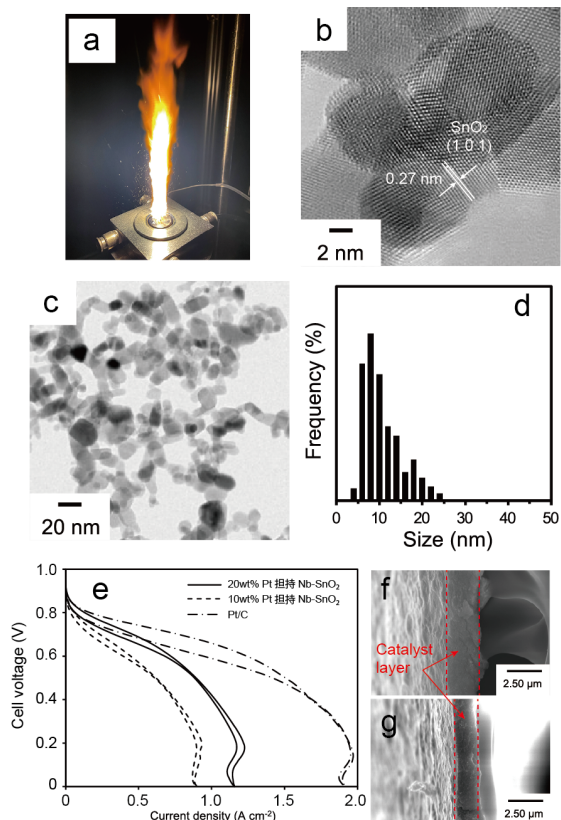


図 1 (a) 合成に用いた噴霧火炎、Nb-SnO₂ ナノ粒子の (b) HR-TEM 像および (c) TEM 像、(d) 粒度分布 (e) 出力特性、(f) 10 wt% および (g) 20 wt% Pt 担持 Nb-SnO₂ 触媒層の断面 SEM 像

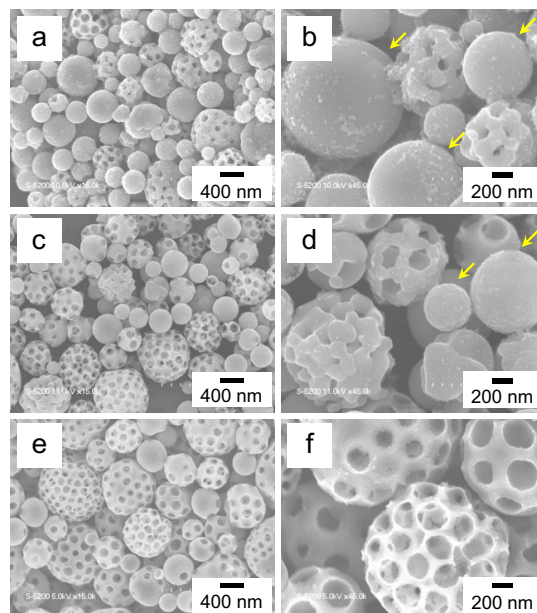


図 2 (a, b) 3 L/min, (c, d) 1.5 L/min, (e, f) 0.5 L/min のメタンガス流量で合成したポーラス TiO₂ 粒子の SEM 像

噴霧火炎で合成した直後の Nb-SnO₂ ナノ粒子は、ストラクチャーが十分に発達していないため、ホットプレスによって圧密されていることが分かる。しかし、1000°C、1200°C で焼成処理を行うことによって、触媒層内の空隙が増加していることが確認できる。上述のように、焼成処理により粒子径が増加しており、ネッキング構造の骨格強度が増加したためだと考えられる。空隙率を算出したところ、焼成前で 35%、1000°C 焼成後で 38%、1200°C 焼成後で 40% となり、焼成処理により触媒層の空隙率が明確に増加することがわかった。

合成した Nb-SnO₂ ナノ粒子に対して液相法により Pt 触媒を担持し、単セルにより I-V 特性を評価した。各触媒を用いた場合の I-V 特性を図 3c に示す。参考のために測定した Pt/C 触媒はもっとも高い性能を示している。カーボンはその特徴的なストラクチャーにより、多くの 2 次細孔を有することに加えて多くのメソ孔を有しているため、Pt 触媒を有効に利用できていると考えられる。Nb-SnO₂ ナノ粒子を用いた場合、焼成温度の増加に伴い、最大電流密度が向上することが確認された。焼成処理により触媒層内の空隙が増加し、効率的なガスの輸送や水の排出が可能となる。その結果、ガス拡散抵抗が低下し、高電流領域における電圧が向上したと考えられる。I-V 特性から算出したガス拡散抵抗は焼成前の Nb-SnO₂ ナノ粒子において 148 m/s であり、1000°C 焼成後に 113 m/s、1200°C 焼成後に 102 m/s となり、焼成処理が形成する細孔の増加によって抵抗が低減することがわかった。

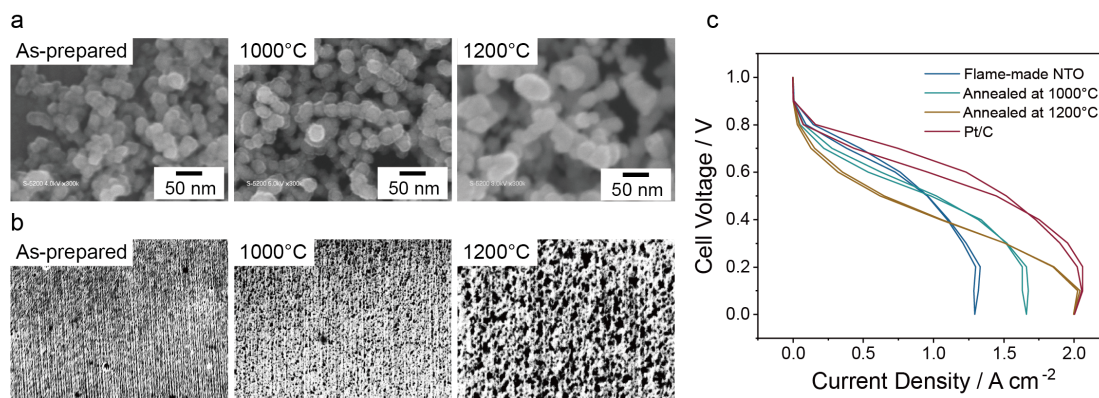


図 3 焼成前、1000°C 焼成、1200°C 焼成後における (a) Nb-SnO₂ ナノ SEM 像、(b) 触媒層の FIB-SEM 像、(c) 各粒子を用いた MEA における I-V 特性評価

(4) 貴金属担持による酸化物単体の導電性改善

酸化物ベースの触媒担体は熱的・化学的に強靱ではあるものの、カーボンと比較して電気伝導性が低いため、出力が低下することが課題であった。ここでは、酸化物担体にイリジウムを担持することにより、耐久性と性能を併せ持つ触媒担体の開発を試みた。

酸化物への貴金属担持には火炎法を用いた。超純水中に TiO₂ ナノ粒子と硝酸イリジウムを分散させ、超音波霧化により微粒化し、キャリアガスにより拡散火炎中に導入した。粒子中の IrO₂ 量を 5~20 wt% で調整し、粒子形態・電気伝導性・電池特性に与える影響を評価した。

得られた粒子は、噴霧乾燥法で得られる典型的な球状のナノ粒子凝集体であり、微細な TiO₂ の一次粒子構造が維持されていた。Ir 種は、TiO₂ ナノ粒子同士を結着させる効果も有していると考えられ、強固な凝集構造が確認された。得られた粒子の電池伝導性を表 1 に示す。参考として、カーボンの電気伝導性も示している。PEFC の触媒担体として一般的に使用されるカーボン担体は、電気伝導性は 1.0×10^2 S/cm だった。TiO₂ は単体の場合、電気伝導性が 1.0×10^{-8} S/cm であり、不導体領域の導電性のために PEFC 用担体としては適切とは言えない。火炎法で合成した

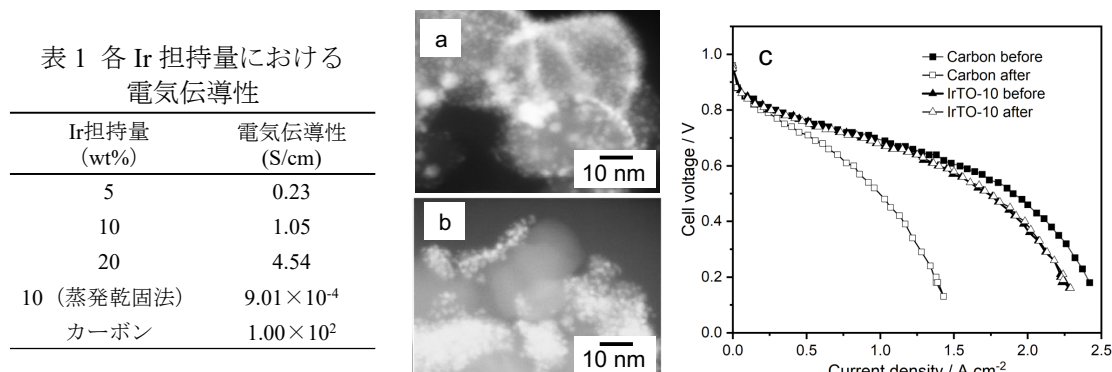


図 4 (a) 火炎法および (b) 蒸発乾固法により合成した Ir-IrO₂ 粒子の HAADF-STEM 像と (c) 耐久性評価

Ir 担持 TiO₂ 粒子の場合、Ir 種の IrO₂ 換算仕込み濃度を 5~20 wt% と変化させることで、0.23~4.54 S/cm の高い導電性を示した。比較のために、蒸発乾固法により TiO₂ 上に Ir 種を担持した粒子 (Ir 種の IrO₂ 換算仕込み濃度 10 wt%) も同様に測定したところ、電気伝導性は 9.01×10^{-4} S/cm となり、火炎合成品よりも低い結果となった。

HAADF-STEM 観察によって、同じ Ir 種担持割合の火炎担持品と蒸発乾固担持品の粒子構造を比較したところ、図 4a, b に示すように、コントラストの明るい Ir 種の均一性に大きな違いが確認された。蒸発乾固法によって担持した場合、Ir 種は凝集して不均一に分布していた。一方、火炎法を用いた場合は TiO₂ 上に均一に Ir 種が担持されて導電パスを形成したため、高い導電性を示したと考えられる。

次に、アノード側に 1.7 V を 20 分間印加し、その前後の I-V 特性を測定した。図 4c は、火炎法で作製した IrO₂ 担持 TiO₂ 粒子、および Pt/C をアノードに用いたセルにおける高電位耐久試験前後の I-V 特性評価結果である。Pt/C はカーボンが腐食するため、高電位耐久性が低く、耐久試験前後で電圧が大幅に低下している。一方、IrO₂ 担持 TiO₂ 粒子を触媒担体に使用した場合、高電位試験前後において I-V 曲線にほとんど変化が見られなかった。高い電気伝導性と耐久性を兼ね備えた IrO₂/Ir と TiO₂ の複合物を使用することにより、高電位が印加されたとしても顕著な腐食劣化はせず、高い発電性能を維持できることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4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 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 -

1. 著者名 Hirano Tomoyuki, Tsuboi Takama, Cao Kiet Le Anh, Tanabe Eishi, Ogi Takashi	4. 巻 25
2. 論文標題 High specific surface area niobium-doped tin oxide nanoparticles produced in spray flames as catalyst supports in polymer electrolyte fuel cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Nanoparticle Research	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11051-022-05649-3	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18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件)

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IrOx/TiO2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@TiO2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

1. 発表者名	鳴井 遼介, 平野 知之, 堤 裕司, 岸 美保, 吉川 裕亮, 荻 崇
2. 発表標題	火炎法によるIrOx/TiO2粒子の合成と発電性能評価
3. 学会等名	粉体工学会 2022年度秋期研究発表会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	坪井 隆真, 平野 知之, 高野 葵, 片岡 幹裕, 荻 崇
2. 発表標題	Nb-SnO2ナノ粒子の火炎合成と発電性能評価
3. 学会等名	粉体工学会 2022年度秋期研究発表会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 加世田 将伍, 平野 知之, 荻 崇
2. 発表標題 マルチコア-シェル構造を有するZnO-TiO ₂ 粒子の合成と特性評価
3. 学会等名 粉体工学会 2022年度秋期研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平野 知之, 鳴井 遼介, 堤 裕司, 岸 美保, 吉川 裕亮, 荻 崇
2. 発表標題 固体高分子形燃料電池用 IrO ₂ /TiO ₂ 担体の開発
3. 学会等名 化学工学会 第88年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平野 知之
2. 発表標題 気相燃焼合成法による微粒子材料の高機能化デザイン
3. 学会等名 化学工学会 第88年会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Phong Hoai Le, Kiet Le Anh Cao, Yasuhiko Kitamoto, Tomoyuki Hirano, Takashi Ogi
2. 発表標題 Enhancement of Gas Diffusion by Appending Interconnected Macropores Network in Three-way Catalyst Particles via Spray Process
3. 学会等名 化学工学会 第88年会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

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