

令和 2 年 6 月 25 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H04212

研究課題名（和文）自発的マイクロ球体化現象を用いた新奇多孔質球状粒子の合成と徐放性キャリアへの応用

研究課題名（英文）Synthesis of novel porous spherical particles using spontaneous micro-spheronization phenomenon and application to sustained release carrier

研究代表者

鈴木 義和 (Suzuki, Yoshikazu)

筑波大学・数理工学系・准教授

研究者番号：40357281

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、自発的マイクロ球体化現象による新奇多孔質球状粒子について、(1) 生成メカニズムの解明、(2) 微構造チューニングおよび機能性付与、(3) 徐放性キャリアへの応用展開を行った。自発的マイクロ球体化法により、無機系混合粉末を大気炉加熱のみで、均質な開気孔をもつハンドリングに優れた多孔質球状顆粒とすることができた。研究の進展に伴い、多孔質マイクロキューブ化など、球状以外の階層構造体にも研究を拡張することが可能となった。固液混在系での機能材料化の実証例として、スーパーキャパシタ材料への展開を実施しており、今後、エネルギー・環境分野はもちろんのこと公衆衛生分野等へも幅広い展開が期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通して確立した「自発的マイクロ球体化法」は、従来のスプレードライ法やエマルジョン法等の液相プロセスを全く必要とせず、無機系混合粉末を通常の大気炉加熱することのみで、均質な開気孔をもつハンドリングに優れた顆粒を得るものである。今後、エネルギー・環境分野はもちろんのこと、薬剤成分の徐放など公衆衛生分野等へも幅広い展開が期待できる。また、本研究で用いているMgO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系マイクロ球体は、生体に有害な元素を含んでおらず、本研究の進捗によっては、将来的に骨補填剤などへの医療応用も可能になるのではないかと期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, regarding novel porous spherical particles by spontaneous microspheronization phenomenon, (1) elucidation of generation mechanism, (2) fine structure tuning and functionalization, (3) application development to sustained release carrier. By the spontaneous micro-spheronization method, the inorganic mixed powders were made into porous spherical granules with uniform open pores and excellent handling, only by heating in an atmospheric furnace. With the progress of research, it has become possible to extend the research to hierarchical structures other than spherical structures, such as porous microcubes. As a demonstration example of functional materials in solid-liquid-mixed systems, we have been expanding to supercapacitor materials, and in the future, we can expect widespread development not only in the energy and environment fields but also in the public health field.

研究分野：セラミックス科学、無機材料科学、多孔質材料

キーワード：自発的マイクロ球体化 多孔質球状顆粒 高温その場観察 微構造チューニング スーパーキャパシタ材料

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、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

多孔質セラミックスは、フィルターや触媒担体、軽量部材等に広く用いられており、種々の製造プロセスが提案・実用化されている。このうち、多孔質の球状粒子は、ハンドリング性に優れた触媒や触媒担体に応用されている。さらに、光学材料やドラッグデリバリーなどの薬剤キャリア、骨補填材料などへの応用も進められている。

多孔質の球状粒子を作製するためには、液相プロセスが広く用いられており、代表的なものには、スプレードライ法や静電噴霧熱分解法、油中滴下・ゲル化法などがある。いずれも、種々の長所はあるものの、溶剤を使うために環境への影響が懸念される等の課題があった。

これまで我々は、セラミックス原料である炭酸塩や水酸化物・水和物原料中に含まれる  $\text{CO}_2$  や  $\text{H}_2\text{O}$  を、気孔形成に有効利用することにより、造孔剤や有機バインダーを添加することなく、1  $\mu\text{m}$  付近に非常にシャープな細孔径分布をもつ「三次元ネットワーク型多孔質セラミックス」

(uniformly porous ceramics with 3-D network structure, UPC-3D) を開発してきた。最近では、バルク体での低熱膨張性を特徴とする擬ブルッカイト型化合物に着目しており、 $\text{MgTi}_2\text{O}_5$  や  $\text{MgFeNbO}_5$  組成の多孔質セラミックスの合成を行っている。

この過程で、原料粉末を湿式ボールミル混合後に分級し、圧粉成形せずに仮焼して微細組織を観察したところ、サブミリメートルサイズの球体化した三次元ネットワーク型多孔体が得られるという非常にユニークな現象、すなわち「自発的マイクロ球体化現象」を見出した (図1)。

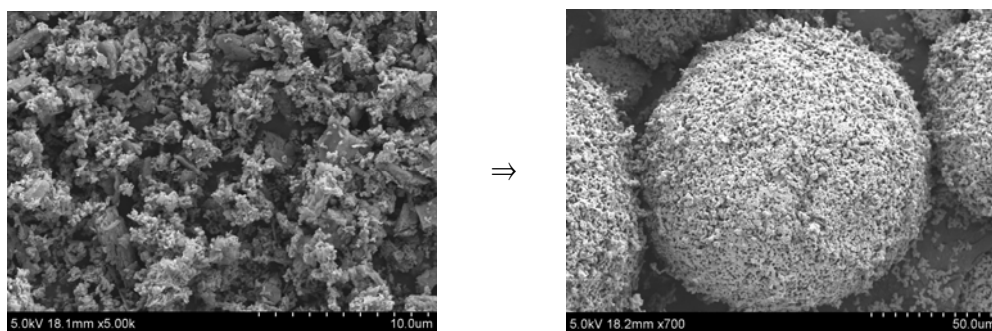


図1. 塩基性  $\text{MgCO}_3$ 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  および  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  の混合粉末(左)を、1350°C、大気中で焼成したのみで自発的に生成する多孔質球状粒子(右)。(Y. Suzuki et al., *Mater. Lett.*, 2016)

この発見を受け、本研究提案までに予備実験として各温度で焼成した際の微構造変化の観察 (図2)、および混合粉末の高温 X 線回折を実施した。室温での分級 (篩いがけ) の段階である程度、造粒効果が生じて顆粒状にはなるものの、中温度域 (800 °C程度) では非常に顆粒はソフトであり、球状を維持できない状態であった (図2(a)は、SEM サンプル作製時に、ソフトな顆粒が潰れて、「バターナイフで伸ばしたバター」のように微粒子がカーボンテープ上に塗られる状態)。しかし、高温下では焼結収縮が進みにくい異方性結晶粒子 (擬ブルッカイト系) が多孔質構造を維持しつつ、多元系の共融反応で局部的に生成した液相により真球度が増す、という仮説を立てるに至った。

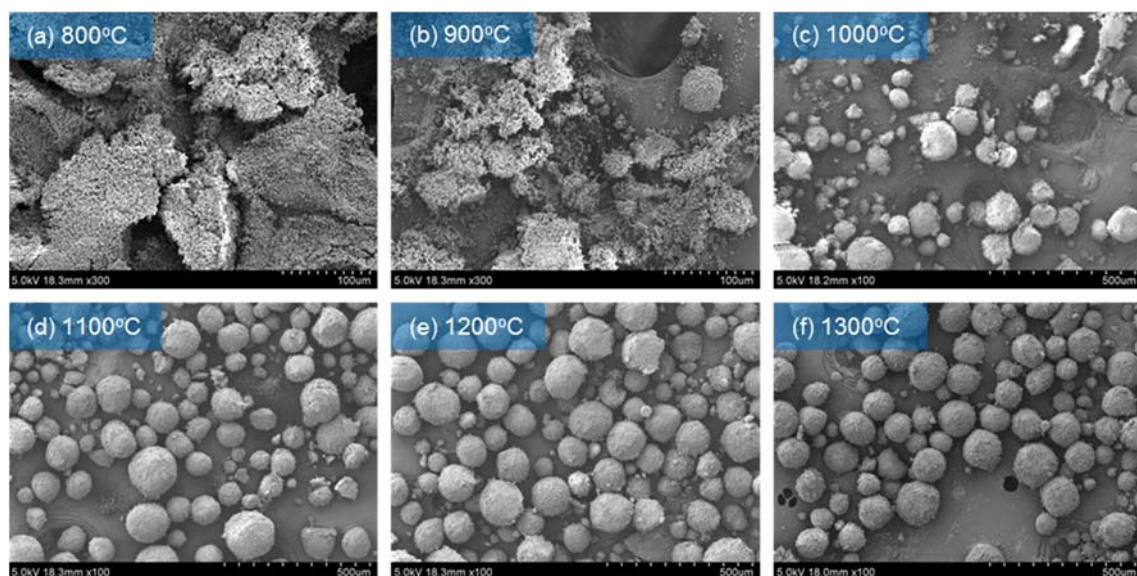


図2. 塩基性  $\text{MgCO}_3\text{-}\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$  混合粉末の熱処理後の SEM 観察 (*Mater. Lett.*, 2016)。

## 2. 研究の目的

本研究は、我々のグループが最近見出した「自発的マイクロ球体化現象」による新奇多孔質球状粒子について、(1) 生成メカニズムの解明、(2) 微構造チューニングおよび機能性付与、(3) 徐放性キャリアへの応用展開を行うことを目的とした。自発的マイクロ球体化法では、従来のスプレードライ法やエマルジョン法等の液相プロセスを全く必要とせず、無機系混合粉末を通常の大気炉加熱のみで、均質な開気孔をもつハンドリングに優れた顆粒を生成することができる。今後、エネルギー・環境分野はもちろんのこと公衆衛生分野等へも幅広い展開が期待できる。

研究の進展に伴い、合成プロセスの多様化や、マイクロキューブ化など、球状以外の階層構造体にも研究を拡張することが可能となった。徐放性キャリアとしては、液体混在系でのより実用的な機能材料化の実証例として、スーパーキャパシタ材料への展開を行うこととした。以下では、項目(1)のうち、多孔質球状顆粒の高温その場観察を中心に報告する。

## 3. 研究の方法

図 2(d)-(f)からも分かるように、球状顆粒の最終的なサイズは篩がけ (<150  $\mu\text{m}$ ) の造粒効果を反映したものとなっており、直径が 100  $\mu\text{m}$  程度のものが多く観察されるものの、より小さな顆粒も混在していることがはっきりと観察できた。しかし、図 2 のように SEM を用いた冷却後試料の室温観察では、個々の顆粒について加熱下での寸法・形状変化を追うことは困難であった。

熱処理過程での微構造変化をダイレクトに追跡するには、加熱ステージを備えた各種の顕微鏡が広く用いられている。観察対象に必要な分解能や試料サイズに応じて、加熱 SEM、加熱 TEM、加熱 SPM などが用いられている。近年、赤外線イメージ炉と共焦点走査型レーザー顕微鏡を組み合わせた高温共焦点走査型レーザー顕微鏡 (HT-CLSM) が開発され、分解能は光学顕微鏡レベルに制限されるものの、大気中 1800  $^{\circ}\text{C}$  までの観察が可能となり、金属分野を中心に利用が広がりつつある。以下では、高温共焦点走査型レーザー顕微鏡を用い、多孔質球状顆粒の高温その場観察を試みた事例を中心に報告する。

図 3 に本研究で用いた HT-CLSM (米倉製作所製 VL2000DX-SVF17SP) の外観を示す。試料室には、TG-DTA で使われるような試料容器 (パン) を設置することができ、大気中、雰囲気中、真空中での測定が可能である。本研究では、篩がけにより造粒された塩基性  $\text{MgCO}_3\text{-}\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Nb}_2\text{O}_5$  混合粉末をアルミナ製の試料容器に入れ、大気中 1400  $^{\circ}\text{C}$  まで高温その場観察を行った。



図 3 高温共焦点走査型レーザー顕微鏡。大気中 1800 $^{\circ}\text{C}$ までの観察が可能。

## 4. 研究成果

図 4 に高温その場観察結果をまとめたものを示す。図中には、着目した顆粒の加熱に伴うサイズ変化 (実測値) を併せて記入している。加熱に伴い、主に塩基性  $\text{MgCO}_3$  の熱分解に伴う体積収縮が生じ、球形化・部分焼結が進行する様子が観察された。

1300  $^{\circ}\text{C}$  付近では多くの顆粒について、体積収縮に加え、加熱前よりも真球度が多少向上している様子が観察された。特に、大き目の顆粒は、より真球度が高い様子が観察されている。1350 $^{\circ}\text{C}$  までは多孔質球状顆粒の形態を保っていたが、1400  $^{\circ}\text{C}$  では部分的な熔融により顆粒同士の合体・焼結が進む様子が観察された。

混合粉末の段階での初期顆粒と比べて、熱処理後の顆粒の直径は 50~60% 程度にまで収縮する。この変化量は、バルク状の圧粉体と比べてかなり大きい値であり、各顆粒が外形の拘束を受けることなく体積収縮することも伺えた。高温 X 線回折や高温その場観察の結果を踏まえた微構造形成過程の模式図を図 5 に示す。混合粉末の篩がけ直後の段階で、混合粉末顆粒はある程度球状に近い外形を有している。焼成によりマクロ的な体積収縮を生じ、特に大き目の顆粒で顕著に真球度が向上するとともに、内部の三次元ネットワーク構造の形成が進行する。1300  $^{\circ}\text{C}$  付近では局所的な液相生成も伴うことから、ステップ状の構造が結晶粒の表面に形成される。不定形の粒子から構成されることにより、1300  $^{\circ}\text{C}$  では焼結はあまり進行せず、三次元ネットワーク構造が維持され、1400  $^{\circ}\text{C}$  付近では液相生成量が増えて一気に液相焼結が進行する。

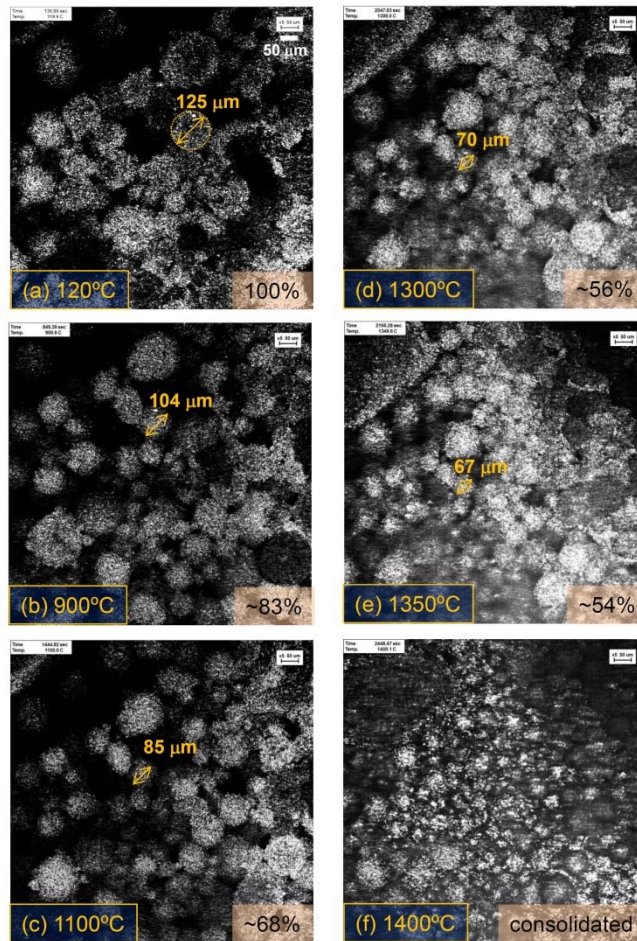


図 4 高温共焦点走査型レーザー顕微鏡を用いた大気中高温その場観察。加熱下でのサイズ変化や1400°Cでの溶融固化が見て取れる(Y. Suzuki et al, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2017)。

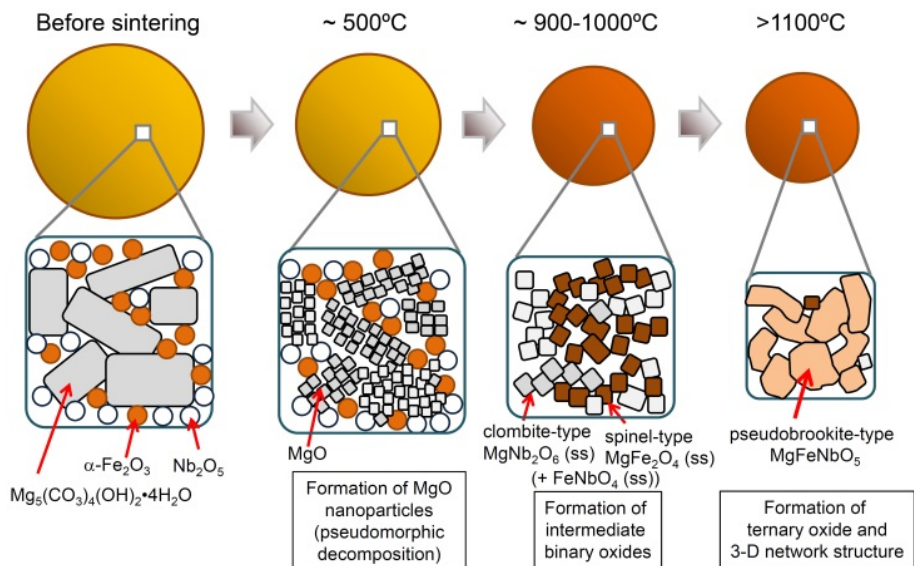


図 5 多孔質顆粒の微構造形成モデル。塩基性  $MgCO_3$  の熱分解、二元系中間体の生成、擬ブルツカイト型  $MgFeNbO_5$  の生成と三次元ネットワーク化が進行する(*J. Eur. Ceram. Soc.*, 2017)。

高温その場観察で明らかになったように、混合粉末顆粒の焼成ではサイズ変化や形状の変化が生じる。造粒直後~900°C程度における顆粒の機械的強度は弱いため、多孔質球状顆粒のサイ

ズ制御には、多孔質がリジットになった焼成後の分級がより効果的であることが示唆された。以下では、上記の知見を踏まえた上で、多孔質球状顆粒のサイズ制御を行った例を紹介する。これまでと同様の混合粉末（篩がけ後のソフトな顆粒）を、温度校正を行った箱型炉にて、大気中 1300 °C、30 分間焼成することで、多孔質球状顆粒を作製した。次に、目開き 150  $\mu\text{m}$ 、100  $\mu\text{m}$ 、75  $\mu\text{m}$  の 3 つの篩いを重ね、手で約 5 分、振とうによる分級を行った。多段篩がけによって得られた顆粒は SEM 撮影ののち、画像解析ソフト Image-J を用いて各サンプル 500 個の顆粒について粒度分布測定を行った。

図 6 に分級後の多孔質球状顆粒の SEM 写真および粒度分布を示す。手動によるマイルドな篩がけのため、多少の小さな顆粒は残るものの、目開きに対応した単分散に近い顆粒を得ることが出来た。サンプル(a)、(b)それぞれの BET 比表面積は 0.52  $\text{m}^2/\text{g}$  と 0.57  $\text{m}^2/\text{g}$  であり、これまでに著者らが報告してきた三次元ネットワーク型多孔質セラミックスに近い値が得られている。また、目開きの小さなサンプル(b)の方がやや比表面積が大きいことも妥当な結果と言えるだろう。図 6 で見られるように、一部の顆粒では、サイズが 150  $\mu\text{m}$  を超えるものも存在する。「篩の目開きの精度」、「扁平した顆粒の存在」という要因に加えて、「三次元ネットワーク構造化に伴う体積膨張」の可能性も示唆するものである。

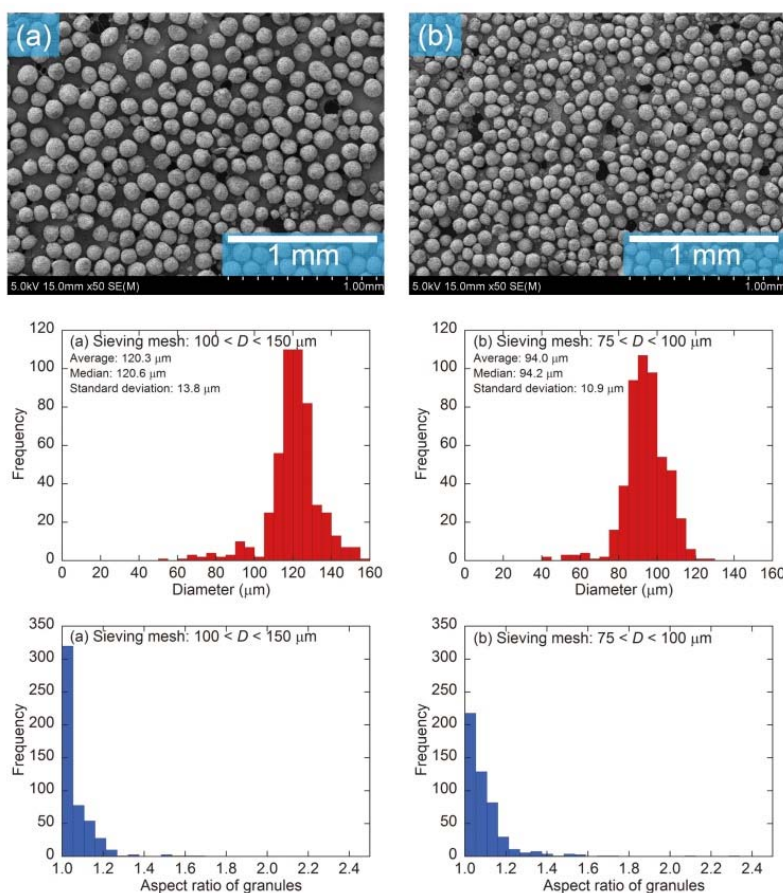


図 6 分級後の多孔質球状顆粒。短時間の分級でサイズ制御を容易に行うことが可能 (*J. Eur. Ceram. Soc.*, 2017)。

本報告書では、多孔質球状顆粒の合成と微構造形成過程の高温その場観察、および、それらの知見を活かした簡便なサイズ制御を報告した。高温下で、顆粒中の構成粒子の再配列が起りやすいような環境を整えることで、簡便な固相反応法がベースであるにもかかわらず、かなり真球度の高い、単分散に近い多孔質球状顆粒が得られることが示された。

4 年間の本研究では、多孔質球状顆粒だけではなく、 $\text{Co}_3\text{O}_4$  の多孔質マイクロキューブ化など、球状以外の多孔質階層構造体にも研究を拡張することも可能となっている。さらに、徐放性キャリアとしては、液体混在系でのより実用的な機能材料化の実証例として、スーパーキャパシタ材料への展開を行うことができた。これらの研究成果の詳細については、発表論文および解説記事を参照いただきたい。

## 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 11件）

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Miao Xinzhu, Suzuki Yoshikazu   | 4. 巻<br>44                  |
| 2. 論文標題<br>Impurity effects on phase and microstructure stabilities of reactively-sintered porous MgTi2O5                                   | 5. 発行年<br>2018年             |
| 3. 雑誌名<br>Ceramics International  | 6. 最初と最後の頁<br>10000 ~ 10005 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.02.174">https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.02.174</a>     | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>FUKUI Kazuki, NAKAMURA Yuya, ABE Hiroya, SUZUKI Yoshikazu   | 4. 巻<br>127                 |
| 2. 論文標題<br>Hydrothermal synthesis and electrochemical capacitor application of urchin-like NiCo2O4 particles: effect of urea concentrations | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>843 ~ 848     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.2109/jcersj2.19069">https://doi.org/10.2109/jcersj2.19069</a>                       | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>KIMURA Saho, KANEKO Yuki, MARUMOTO Kazuhiro, SUZUKI Yoshikazu   | 4. 巻<br>128                 |
| 2. 論文標題<br>Synthesis and color development mechanism of Li2CoTi3O8 cyan pigments: effect of synthetic temperature                           | 5. 発行年<br>2020年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>260 ~ 266     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="http://doi.org/10.2109/jcersj2.20037">http://doi.org/10.2109/jcersj2.20037</a>                         | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>KAMATO Yoko, SUZUKI Yoshikazu   | 4. 巻<br>127                 |
| 2. 論文標題<br>Reactive synthesis of porous MgAl2O4 membranes on a macroporous Al2O3-based ceramic tube toward cross-flow ultrafiltration       | 5. 発行年<br>2019年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>267 ~ 271     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="http://doi.org/10.2109/jcersj2.18202">http://doi.org/10.2109/jcersj2.18202</a>                         | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>FUKUI Kazuki, NAKAMURA Yuya, ABE Hiroya, SUZUKI Yoshikazu  | 4. 巻<br>127             |
| 2. 論文標題<br>Hydrothermal synthesis and electrochemical capacitor application of urchin-like NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> particles: effect of urea concentrations | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan  | 6. 最初と最後の頁<br>843 ~ 848 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.2109/jcersj2.19069">https://doi.org/10.2109/jcersj2.19069</a>  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>KIMURA Saho, KANEKO Yuki, MARUMOTO Kazuhiro, SUZUKI Yoshikazu   | 4. 巻<br>128             |
| 2. 論文標題<br>Synthesis and color development mechanism of Li <sub>2</sub> CoTi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> cyan pigments: effect of synthetic temperature | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the Ceramic Society of Japan   | 6. 最初と最後の頁<br>260 ~ 266 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="http://doi.org/10.2109/jcersj2.20037">http://doi.org/10.2109/jcersj2.20037</a>                                     | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>M. Machida, M. Kobayashi, Y. Suzuki, H. Abe   | 4. 巻<br>44                |
| 2. 論文標題<br>Facile synthesis of >99% phase-pure brookite TiO <sub>2</sub> by hydrothermal conversion from Mg <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub> | 5. 発行年<br>2018年           |
| 3. 雑誌名<br>Ceram. Int.   | 6. 最初と最後の頁<br>17562-17565 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.06.170">https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.06.170</a>   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Fukui and Y. Suzuki   | 4. 巻<br>45              |
| 2. 論文標題<br>Well-faceted spinel-type Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> microcrystal assembly prepared by hydrothermal synthesis and post-thermal decomposition | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>Ceram. Int.  | 6. 最初と最後の頁<br>9288-9292 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.157">https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.157</a>                    | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Y. Kamato, Y. Suzuki   | 4. 巻<br>127           |
| 2. 論文標題<br>Reactive synthesis of porous MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> membranes on a macroporous Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -based ceramic tube toward cross-flow ultrafiltration | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>J. Ceram. Soc. Jpn.  | 6. 最初と最後の頁<br>267-271 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="http://doi.org/10.2109/jcersj2.18202">http://doi.org/10.2109/jcersj2.18202</a>  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>S. Kimura and Y. Suzuki   | 4. 巻<br>in press       |
| 2. 論文標題<br>Synthesis of Co-lean and Co-rich Li <sub>2</sub> CoTi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> -based pigments: potential Co reduction and blue-green dichroism | 5. 発行年<br>2019年        |
| 3. 雑誌名<br>Ceram. Int.   | 6. 最初と最後の頁<br>in press |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.036">https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.036</a>                       | 査読の有無<br>有             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Y. Suzuki, H. Abe, H. Yamamoto, K. Ito, H. Inoue, M. Nakamura  | 4. 巻<br>37              |
| 2. 論文標題<br>Spherical porous granules in MgO-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> system: In situ observation of formation behavior using high-temperature confocal laser-scanning microscopy | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>J. Eur. Ceram. Soc.  | 6. 最初と最後の頁<br>5339-5345 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.05.056">http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.05.056</a>  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                           |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Y. Kamato and Y. Suzuki  | 4. 巻<br>43                |
| 2. 論文標題<br>Reactively sintered porous MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> for water-purification filter with controlled particle morphology | 5. 発行年<br>2017年           |
| 3. 雑誌名<br>Ceram. Int.  | 6. 最初と最後の頁<br>14090-14095 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.145">https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.145</a>  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |



|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Fukui and Y. Suzuki  | 4. 巻<br>53              |
| 2. 論文標題<br>Reactive sintering and particle morphology control of beta"-alumina based water-purification filters               | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>J. Mater. Sci.  | 6. 最初と最後の頁<br>1005-1013 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1007/s10853-017-1599-z">https://doi.org/10.1007/s10853-017-1599-z</a> | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>K. Kawaguchi, Y. Suzuki, T. Goto, S. H. Cho, T. Sekino  | 4. 巻<br>44              |
| 2. 論文標題<br>Homogeneously bulk porous calcium hexaaluminate (CaAl <sub>12</sub> O <sub>19</sub> ): Reactive sintering and microstructure development | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>Ceram. Int.   | 6. 最初と最後の頁<br>4462-4466 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br><a href="https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.11.138">https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.11.138</a>             | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 23件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuya Nakamura and Yoshikazu Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Synthesis of Li <sub>2</sub> CoTi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> nanoparticles via a citric acid method toward electrochemical capacitor applications |
| 3. 学会等名<br>E-MRS 2019 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rei Hatori and Yoshikazu Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Preparation of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /3Y-ZrO <sub>2</sub> porous composites and their application for a water purification filter |
| 3. 学会等名<br>E-MRS 2019 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yoshikazu Suzuki and Hiroya Abe  |
| 2. 発表標題<br>Reactive synthesis, microstructure, and pore-size control of oxide-based spherical porous granules |
| 3. 学会等名<br>XVI ECerS Conference (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Reactive sintering and particle morphology control of double-oxide based water purification filters   |
| 3. 学会等名<br>The 2nd International Conference on Material Strength and Applied Mechanics (MSAM 2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshikazu Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Reactive sintering and particle morphology control of double-oxide based water purification filters   |
| 3. 学会等名<br>The 2nd International Conference on Material Strength and Applied Mechanics (MSAM 2019) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yoshikazu Suzuki and Hiroya Abe  |
| 2. 発表標題<br>Reactive synthesis, microstructure, and pore-size control of oxide-based spherical porous granules |
| 3. 学会等名<br>XVI ECerS Conference (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Rei Hatori and Yoshikazu Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Preparation of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /3Y-ZrO <sub>2</sub> porous composites and their application for a water purification filter |
| 3. 学会等名<br>E-MRS 2019 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Yuya Nakamura and Yoshikazu Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Synthesis of Li <sub>2</sub> CoTi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> nanoparticles via a citric acid method toward electrochemical capacitor applications |
| 3. 学会等名<br>E-MRS 2019 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2019年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Uniformly Porous Ceramics with 3-D Network Structure (UPC-3D) Prepared by Pyrolytic Reactive Sintering |
| 3. 学会等名<br>CIMTEC2018 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Reactive sintering and particle morphology control of ceramic water purification filters |
| 3. 学会等名<br>CMCEE-12 (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki and H. Abe   |
| 2. 発表標題<br>Reactive Sintering, Microstructure, and Liquid-Sustained-Release Function of Oxide-Based Spherical Porous Granules |
| 3. 学会等名<br>AFMD2018 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鈴木義和  |
| 2. 発表標題<br>難合成酸化物の低環境負荷・低コスト合成への挑戦：拡散加速型反応焼結法および形態制御型溶液反応法 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム (招待講演)                  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>鎌戸耀子、鈴木義和                 |
| 2. 発表標題<br>スピネル系多孔質薄膜の作製とナノフィルターへの応用 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム   |
| 4. 発表年<br>2018年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>福井和輝、鈴木義和   |
| 2. 発表標題<br>スーパーキャパシター応用に向けたNiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 粉体粒子の作製と評価 |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム                                     |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Fukui and Y. Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Preparation and characterization of NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> particles for supercapacitor |
| 3. 学会等名<br>E-MRS 2018 Fall Meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Yamashita and Y. Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Preparation and mechanical properties of CaAl <sub>12</sub> O <sub>19</sub> /CaAl <sub>4</sub> O <sub>7</sub> composites |
| 3. 学会等名<br>E-MRS 2018 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Environmental friendly and low-cost syntheses of difficult-to-synthesize, multicomponent and metastable functional oxides |
| 3. 学会等名<br>WAIM2018 (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2018年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>H. Ishitsuka and Y. Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Preparation and characterization of NiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> particles toward supercapacitor application |
| 3. 学会等名<br>MRS 2018 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2018年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki and H. Abe   |
| 2. 発表標題<br>Pseudobrookite-type self-organized spherical porous granules as potential energy storage |
| 3. 学会等名<br>E-MRS2017 Spring Meeting ( 国際学会 )  |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>MgTi2O5 and related pseudobrookite-type ceramics |
| 3. 学会等名<br>ECerS2017 ( 国際学会 )                               |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Y. Kamato and Y. Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Preparation and water-filter application of porous spinel ceramics |
| 3. 学会等名<br>ECerS2017 ( 国際学会 )   |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Fukui and Y. Suzuki  |
| 2. 発表標題<br>Preparation of porous beta-alumina and application for water treatment filter |
| 3. 学会等名<br>ECerS2017 ( 国際学会 )  |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>K. Kawaguchi, Y. Suzuki, T. Goto, S. H. Cho, T. Sekino                |
| 2. 発表標題<br>Preparation and microstructure control of porous Calcium hexaluminate |
| 3. 学会等名<br>E-MRS2017 Fall Meeting (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Xinzhu Miao, Y. Suzuki   |
| 2. 発表標題<br>Effects of Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> addition on microstructure and thermal properties of porous MgTi <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ceramics |
| 3. 学会等名<br>MRS2017 Fall Meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2017年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshikazu Suzuki, Hiroko Tokoro and Hiroya Abe  |
| 2. 発表標題<br>Self-organized formation of spherical porous granules only by one-step heat-treatment |
| 3. 学会等名<br>Shaping 6 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2016年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木 義和, 阿部 浩也, 山本 啓, 伊藤 和博, 井上 裕滋, 中村 誠友己 |
| 2. 発表標題<br>多孔質マイクロ球状粒子の自発的生成挙動の高温その場観察              |
| 3. 学会等名<br>日本セラミックス協会 第29回秋季シンポジウム                  |
| 4. 発表年<br>2016年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshikazu Suzuki, Hiroko Tokoro and Hiroya Abe  |
| 2. 発表標題<br>Self-organized formation of spherical porous granules only by one-step heat-treatment |
| 3. 学会等名<br>WAIM2016 (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2016年  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|  |
|--|
| 無機系エネルギー・環境材料 鈴木義和研究室<br><a href="http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~suzuki_lab/index.html">http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~suzuki_lab/index.html</a> |
|--|

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                                   | 備考 |
|-------|--|---|----|
| 研究分担者 | 鈴木 達<br><br>(Suzuki Tohru)<br><br>(50267407) | 国立研究開発法人物質・材料研究機構・機能性材料研究拠点・グループリーダー<br><br><br>(82108) |    |
| 研究分担者 | 阿部 浩也<br><br>(Abe Hiroya)<br><br>(50346136)  | 大阪大学・接合科学研究所・准教授<br><br><br>(14401)                     |    |