

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06891

研究課題名(和文) 粒子状物質の成分分離およびマイクロ波による粒子合成への振動流動場の利用

研究課題名(英文) Application of vibrating fluidized bed to component separation of particulate matter and synthesis of functional particle by microwave heating

研究代表者

福井 国博 (Fukui, Kunihiro)

広島大学・工学研究科・教授

研究者番号：60284163

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)： 振動振動流動層における凝集粒子の生成過程を層内の圧力損失から簡便に予測する手法も構築することができた。また、粒子径や密度がほぼ等しく結晶相の異なる粒子の混合物から単一の結晶相を有する粒子のみをある程度の精度で分離することに成功した。

一方、キャビティー型マイクロ波加熱実験装置内の電磁界強度分布をシミュレーションすることで最適化された実験装置を用いて、沈殿法によるCo, Fe, Mo 複合酸化物粒子の合成に与えるマイクロ波加熱とpH調整の影響を検討した。その結果、pHを調整することで焼成することなく、(Co_{0.7}Fe_{0.3}) MoO₄の結晶相を持つ沈殿物が得られることなどを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

振動流動場における凝集粒子生成を成分分離の基本原則とすること、振動流動場における不均一性の抑制をマイクロ波加熱の欠点の克服に応用し、連続式粒子合成法を構築しようとするものが検討された例はなく、完全に新規な提案である。

提案した新規プロセスは、エネルギー問題解決に資する材料の合成、革新的新規デバイスを構築するナノ粒子材料の合成、環境問題を解決するためのプロセスとして普く広く活用でき、各分野での低コスト化を実現できると期待できる。よって、微粒子工学分野への貢献だけでなく、化学反応を制御したナノ加工プロセスなどの新しい学問分野の開拓など他分野への学術的波及効果が期待できる。

研究成果の概要(英文)： A simple method for estimating the formation process of agglomerated particles in an vibrating fluidized bed from the pressure drop in the bed was developed. Moreover, we have succeeded in separating only particles with a single crystalline phase from a mixture of particles having almost equal size and density with different crystalline phases with a certain degree of accuracy.

On the other hand, the effects of microwave heating and pH adjustment on the synthesis of Co, Fe, and Mo composite oxide particles by precipitation method were studied using an experimental setup optimized by simulating the electromagnetic field intensity distribution in a cavity-type microwave heating experimental setup. It was found that the precipitates with the crystalline phase of (Co_{0.7}Fe_{0.3}) MoO₄ could be obtained without calcination at adequate pH.

研究分野：化学工学, 移動現象, 単位操作, 粉体工学

キーワード：マイクロ波 複合酸化物 ナノ粒子 振動流動層 再資源化

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

流動層は、固体と流体との相対速度が大きく、急速混合が可能で、粒子-粒子間の衝突頻度が高く、層内の均一性が高いため、燃焼、反応、乾燥、造粒など様々な装置に使用されている。特に、振動流動層は粒子径が小さく付着凝集性の高い微粒子の流動化も可能となる。振動流動層における粗大凝集粒子の形成は付着凝集力などの粒子物性によって大きな影響を受けると考えられる。すなわち、異なる複数種類の微粒子混合物を振動流動層で処理することで、付着凝集性の高い微粒子は粗大凝集粒子を形成し、付着凝集性の低い微粒子はそれを形成しないと予想される。この現象を利用した粒子状物質の成分分離法を確立し、廃棄物からの有用成分やレアメタル回収などの低コスト化を実現することを目指した。

一方、マイクロ波は双極子分子との相互作用などによって物質を直接・内部加熱できるため、選択的加熱、局所加熱や過加熱が可能であるといった特徴を有しており、有機反応、ナノ粒子合成や固相反応、セラミックの焼結など様々な分野で用いられている。マイクロ波加熱による反応速度や収率の向上、新規な反応経路の出現、選択性の向上などが報告されているが、その厳密な機構は十分には解明されていない。さらに、固相反応など気相中での粒子合成反応において不均一な温度分布に起因する反応の進行の偏りが製品性能の低下をもたらすことも報告されている。

そこで、振動流動層中でマイクロ波加熱粒子合成反応場を構築することで、マイクロ波吸収効率の向上、連続処理(フロー処理)、大量処理、不均一な温度分布に起因する反応ムラの抑制を実現し、複合酸化物や窒化物などの機能性ナノ粒子の合成や粒子複合化に応用することを目指した。

2. 研究の目的

上記の背景を元に、振動流動層を利用した安価な成分分離プロセス、連続式のマイクロ波加熱粒子合成プロセスの開発・構築・利用に関する以下の基盤的研究を行うことを目的とした。

振動流動層における粗大凝集粒子の形成と付着凝集力などの粒子物性との相関を明らかにする。すなわち、振動流動層の運転条件である振動周波数、振幅などが形成される粗大凝集粒子の粒子径や凝集割合に与える影響と経時変化を測定評価することを通じて、粗大凝集粒子の形成過程を解明する。また、粒子の付着凝集力の影響も併せて検討する。これらを定量的に評価し、粒子状物質の成分分離回収に最適な振動流動層を決定することを目的とした。さらに、亜鉛含有ダストからの亜鉛成分の分離濃縮回収やバイオマス発電燃焼灰中のカリウム成分の分離濃縮回収に応用することを目指した。

振動流動層のマイクロ波加熱粒子合成反応への利用として、原料となる粉体層の下部から反応ガスを供給し、振動流動させた状態でマイクロ波を照射する手法を構築する。原料粉体層を流動化させることで原料粉体が攪拌混合されるため、不均一な温度分布による反応ムらを低減できると考えられる。また、流動化させることで粉体層の充填率が低下し、マイクロ波の吸収効率が向上すると期待される。したがって、ITO、電池材料、超常磁性材料、耐熱性材料などの複合酸化物ナノ粒子や酸窒化物ナノ粒子の合成に利用することを目的とした。

3. 研究の方法

【振動流動層に関する検討】

Fig.1 に装置図概要を示す。Table 1 に試料粉体の物性値を示す。安息角には有意的な差異のない4種の粉体を用いた。試料粉体1種類をガラス管に充填し、高さ5 cmの粉体層を形成させた。このガラス管の下部から焼結金属フィルターを通して窒素ガスを0.14 m/sで供給し、加振器を用いて振動させることで粉体層を流動化させ、凝集粒子を形成した。なお、振動周波数 f は20 Hz、振幅 A は0.74-4.96 mmで操作を行った。処理時間は10 minとした。処理後の粉体はふるい分けを行い凝集体の平均粒子径を評価した。また、590 μm 以上の粒子を凝集粒子とみなし、その質量割合を凝集割合と定義した。さらに、各試料粉体の流動状態を評価するために画像処理ソフトウェアを用いて粒子追跡を行い、振動流動層中の粒子の運動を観察した。ハイスピードカメラで動画を撮影し、0.005 sごとに流動層の各点の速度を測定した。得られた0.25 s間の速度から平均速度を計算した。

Table 1 Physical properties of tested powders

Tested powder	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	ZnO	TiO ₂
Median diameter [μm]	1.39	0.48	1.18	0.93
Density [g/cm^3]	2.65	5.24	5.61	4.23
Angle of repose [$^\circ$]	40.7	41.7	42.2	43.2

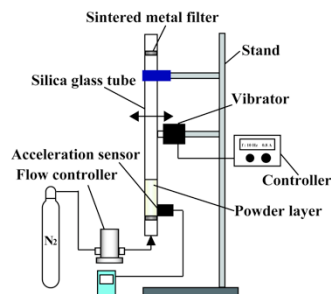


Fig. 1 Experimental set-up

【マイクロ波加熱による材料合成に関する検討】

Table 2 に示す組成となるように硝酸コバルト、硝酸セリウム、硝酸ジルコニウムを調製した混合物を蒸留水20.0 mlに溶解させ試料溶液とした。試料溶液が入った三口フラスコをマイクロ波加熱装置内に設置した。マイクロ波出力を700 Wで一定とし、処理時間4 h、処理温度500 $^\circ\text{C}$ で加熱し、合成を行った。

比較対象として、従来の共沈法(CP)でも合成を行っ

Table 2 Atomic ratio of the raw materials

Zr [mol%]	Co [mol%]	Ce [mol%]
50.0	12.5	37.5
	25.0	25.0
	37.5	12.5

た。同様に各硝酸塩を調製した混合物を蒸留水 20.0 ml に溶解させ試料溶液とした。試料溶液に 28wt% NH_3aq を攪拌しながら pH 11.0 に達するまで滴下し、沈殿物を得た。得られた懸濁液を 6 h 混合し、遠心分離を行い、沈殿物を分離した。沈殿物を乾燥させた試料を電気炉で処理時間 4 h、処理温度 500°C で加熱し、合成を行なった。

Fig.2 に触媒性能評価試験に用いた装置の概略を示す。内径 8.0 mm のガラス管に $7.5 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ の触媒層を形成し、石英綿で上下から固定したものを反応管とした。それを $50\sim 200^\circ\text{C}$ に設定したヒーター内に設置後、反応ガス($\text{CO} : 1\%$, $\text{O}_2 : 5\%$, $\text{N}_2 : 94\%$)を流量 100 ml/min とするようにマスフローコントローラで調整し、触媒層に連続的に通過させた。FT-IR を用い、流出ガス中の CO 濃度を求め、その CO 濃度から CO の転化率を算出する事により各反応温度における触媒活性を評価した。

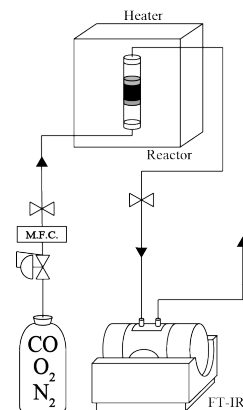


Fig. 2 Schematic diagram of the reactive evaluation

4. 研究成果

【振動流動層に関する検討】

Fig. 3 に振動強度と凝集割合の関係を示す。 TiO_2 は振動強度の増加により凝集割合が単調に増加していることがわかる。一方、振動強度の増加により ZnO , Fe_2O_3 , SiO_2 の各試料粉体の凝集割合は増加し、振動強度 $A=4.0$ のときに極大値をとり、その後減少している。 $A=4.0$ 以上の振動強度は凝集体を形成するには振動強度が大き過ぎたため、破壊が優位になり、凝集割合が増加から減少に転じたと考えられる。この結果から、凝集体の形成には最適な振動強度が存在すること、安息角の様な静的物性に有意な差異のない粉体であっても凝集特性が異なることが分かった。

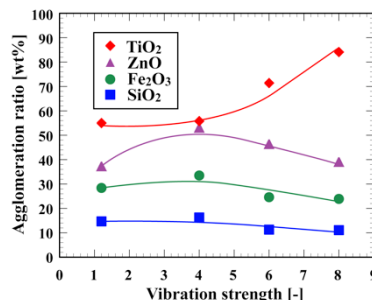


Fig. 3 Relationship between agglomeration ratio and vibration strength

2種類の粉体について粉体層の外観の経時変化を**Fig.4**に示す。不等号は凝集体の平均粒子径の大小関係を示している。 $A=6.0$ における TiO_2 の粉体層では、下部に存在している粒子が時間経過に伴い増大し、凝集粒子の形成が進行していることが確認できる。それに対して、 $A=6.0$ における ZnO の粉体層では、下部に存在している粒子の粒子径が時間経過に伴い減少し、凝集粒子の破壊が進行していることが確認できる。以上より、同じ振動強度で操作した場合でも、粒子凝集が支配的に進行し定常に至る粉体と、凝集粒子破壊が支配的に進行する粉体が存在すると言える。

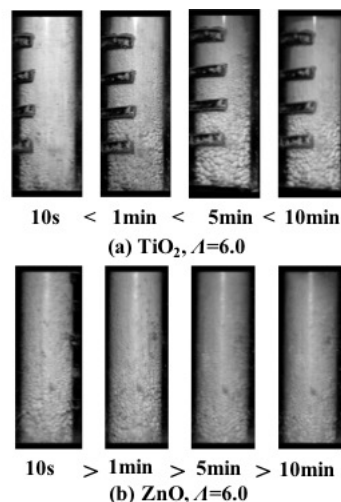


Fig. 4 Image of powder layer time elapse

ハマカー定数は、粒子間の相互作用力であるファンデルワールス力の特徴づける物性値で、値が大きい粉体ほど粒子の相互作用力が大きいことを意味する。 TiO_2 はハマカー定数が大きく、凝集粒子の充填率が大きいことから、強度の強い凝集体を形成しているのに対し、 ZnO はハマカー定数が小さく、凝集体の充填率が小さいことから、強度の弱い凝集体を形成していると予想される。以上より、凝集粒子の形成および破壊は、形成される凝集粒子の強度に依存すると予想される。

Fig.5 に粉体層全体の平均運動速度の経時変化を示す。流動初期である 10 s では、凝集割合が高い TiO_2 は凝集割合の低い ZnO より粒子の運動速度が速いことがわかる。また、 TiO_2 , ZnO 共に、時間の経過に伴い粒子の運動速度が減少している。これは、時間経過に伴い凝集体が形成され、下層に堆積したためであると考えられる。また、 ZnO の $A=6.0$ の条件では粒子の運動速度の経時変化が他の3条件と比較して非常に小さいことが分かる。これは**Fig. 3**から分かるように他の3条件は凝集体の形成が優位であるのに対し、 ZnO の $A=6.0$ では凝集体の破壊が優位であるためであると考えられる。以上より、凝集体の形成・破壊に伴い粒子の運動速度、すなわち、粉体の流動状態が変化していることがわかった。

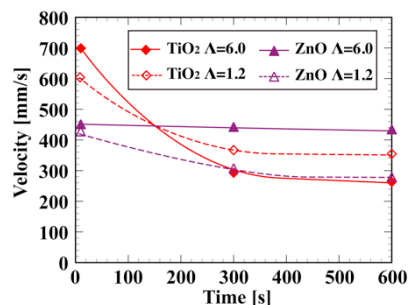


Fig. 5 Relationship between particle velocity and time

Fig. 6 に流動初期である流動化開始 10 s 後の粒子の運動速度と 10 min 後の粉体の平均粒子径の関係を示す。流動初期の 10s 後における粒子の運動速度と定常状態の 10 min 後の平均粒子径には相関関係が認められ、初期の粒子の運動速度が増加するにつれて、定常状態における平均粒子径が増加することがわかる。ここで、流動初期の粒子の運動速度は粉体の初期状態での流動性や付着性を反映した動的粉体物性と捉えることができる。流動初期の粒子の運動速度が速い粉体は、流動性が高く、付着性の高い粉体であるため、振動流動層で操作した場合にはより大きな平均粒子径の凝集粒子を形成すると推測される。この様な理由により、振動流動層における凝集粒子の形成相関が現れたと考えられる。以上のような理由から、安息角などの静的物性に有意差が認められなかった粉体も、動的な物性を用いることで、定常状態の凝集体の評価が可能になると考えられる。

『結言』

1. 粒子物性が、振動流動層で形成される凝集体の強度に影響を及ぼしていることが示唆された。
2. 粒子の運動速度の経時変化から、凝集体の形成・破壊に伴い粒子の運動速度は変化し、5 min 後には定常に達することがわかった。
3. 振動流動層で操作した際の粉体の凝集特性は、静的物性では評価が不十分であったが、動的物性での評価が可能であることがわかった。

【マイクロ波加熱による材料合成に関する検討】

Fig. 7 に MW と CP の両手法を用いて合成された生成物の XRD ピークチャートを示す。両手法とも全ての原料組成において CoCeZrO_2 触媒の存在を確認できた。また、MW を用いた生成物に関して、コバルトを 25 mol% 以上添加した場合には酸化コバルト (Co_3O_4) 結晶相が確認できた。

Fig. 8 に両手法を用いて合成された生成物の SEM 画像を示す。CP により合成された生成物は大きな一次粒子が密な凝集体を形成しているのに対して、MW により合成された生成物は小さな一次粒子が疎な凝集体を形成し、微細化・多孔質化されていることが観察された。

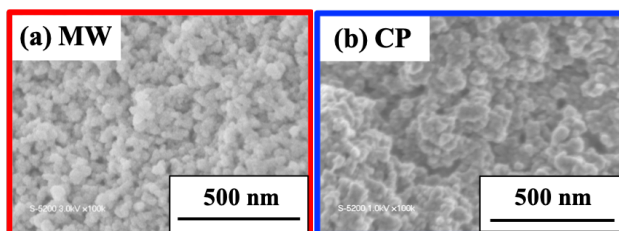


Fig. 8 SEM images of products for 4 h with (a) MW and (b) CP (Co 25.0 mol%)

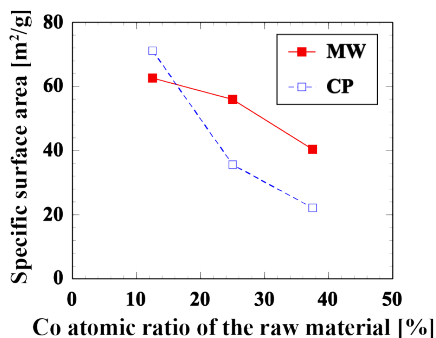


Fig. 9 Change in specific surface area of products with Co atomic ratio of the raw material

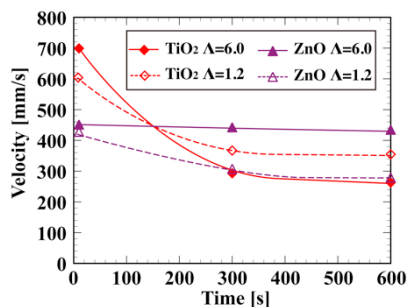


Fig. 6 Relationship between average diameter and velocity (Sample powder : TiO_2)

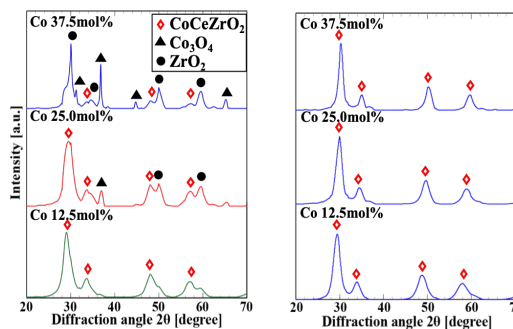


Fig. 7 XRD diffractograms of products synthesized for 4 h with (a) MW and (b) CP

Fig. 9 に両手法を用いて合成された生成物の比表面積を示す。MW を用いた生成物は CP を用いた生成物より大きな比表面積を持っていることが確認できた。この結果は SEM 画像から確認された結果と一致する。

Fig. 10 に XPS 測定により得られた Co 2p, Ce 3d, Zr 3d 軌道についてのピークの面積比から算出した、生成物表面のコバルト占有率と原料のコバルト含有率との関係を示す。MW を用いた生成物により多くのコバルト種が生成物表面に存在していることが確認できた。また、CP を用いた生成物は原料のコバルト含有率の増加に伴い、表面のコバルト占有率も増加した。一方、MW を用いた生成物の表面のコバルト占有率は原料のコバルト含有率に関係なく一定であった。このことは、CP は金属イオンの状態からアトランダムに酸化物が生成されるのに対し、MW では脱硝温度が低い金属種から酸化物が生成されるといったメカニズムの違いが原因

であると考えられる。

Fig. 11 に両手法を用いて合成された生成物を CO 酸化触媒として用いた場合の CO 転化率を示す。CP を用いた生成物と比較して MW では高い比表面積を持ち、粒子表面において活性種であるコバルトの占有率は大きい、触媒性能における差異は見られなかった。これは、MW を用いた生成物は酸素貯蔵能を持つセリアの表面での占有率が相対的に低いために活性点に十分な酸素を供給できず、CO 酸化反応が促進されないためであると考えられる。

『結言』

マイクロ波加熱脱硝法を用いて CoCeZrO₂ 触媒が合成できた。合成された触媒は以下の特徴を持つ。

1. 微細化による高い比表面積
2. 粒子表面での高いコバルト占有率
3. 共沈法を用いた生成物と同等の触媒活性

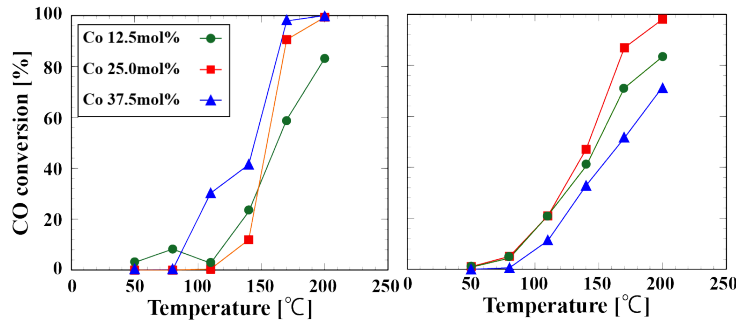


Fig. 11 The CO conversion of the products synthesized for 4 h with both methods with (a) MW and (b) CP

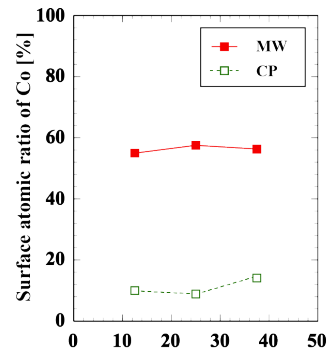


Fig. 10 Co atomic ratio of products synthesized for 4 h with both method

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 5件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Fukasawa, T ; Ono, K ; Ishigami, T ; Fukui, K	4. 巻 362
2. 論文標題 Electrophoretic classification based on differences in electrophoretic mobility caused by change in the applied electric field	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Powder Technology	6. 最初と最後の頁 586-590
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.powtec.2019.12.027	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 Fukasawa, T., Nakamura, R., Ishigami, T., Fukui, K.	4. 巻 362
2. 論文標題 Microwave direct denitration for synthesis of Cu-Ce-Zr-O composite oxide and its characterization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 POWDER TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 26-31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.powtec.2019.11.086	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 Rozy, MIF., Ito, K., Une, K., Fukasawa, T., Ishigami, T., Wada, M., Fukui, K.	4. 巻 30
2. 論文標題 A continuous-flow exposure method to determine degradation of polyphenylene sulfide non-woven bag-filter media by NO2 gas at high temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ADVANCED POWDER TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 2881-2889
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2019.08.032	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 Karisma, AD., Shinokawa, Y., Fukasawa, T., Ishigami, T., Fukui, K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Synthesis of NiCuZn ferrite nanoparticles from metallic nitrate solutions using the microwave direct denitration method and evaluation of its properties	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Particulate Science and Technology	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) 10.1080/02726351.2020.1748148	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 Fukasawa Tomonori, Toda Hiroyuki, Huang Shih-Yang, Hiraiwa Riho, Huang An-Ni, Kuo Hsiu-Po, Fukui Kunihiro	4. 巻 51
2. 論文標題 Component Separation in a Vibrating Fluidized Bed Based on Differences in Agglomeration Properties of Particles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 576 ~ 583
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.17we318	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 Huang An-Ni, Ito Keiya, Fukasawa Tomonori, Fukui Kunihiro, Kuo Hsiu-Po	4. 巻 90
2. 論文標題 Effects of particle mass loading on the hydrodynamics and separation efficiency of a cyclone separator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers	6. 最初と最後の頁 61 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jtice.2017.12.016	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 Fukasawa Tomonori, Horigome Akira, Karisma Achmad Dwitama, Ishigami Toru, Fukui Kunihiro	4. 巻 555
2. 論文標題 Synthesis of potassium-type zeolites by the reverse-micelle method with microwave heating	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 532 ~ 538
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2018.07.039	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 Oshitari, T ; Yamamoto, K ; Fukui, K ; Yoshida, H	4. 巻 50
2. 論文標題 Classification Characteristics of a Cyclone Type Classifier with Improved Collection Boxes for Separating Particles near the Wall Surface	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING OF JAPAN	6. 最初と最後の頁 492-500
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.16we267	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 Huang, AN ; Maeda, N ; Sunada, S ; Fukasawa, T ; Yoshida, H ; Kuo, HP ; Fukui, K	4. 巻 183
2. 論文標題 Effect of cold air stream injection on cyclone performance at high temperature	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 293-303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2017.04.012	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 Fukasawa, T ; Horigome, A ; Tsu, T ; Karisma, AD ; Maeda, N ; Huang, AN ; Fukui, K	4. 巻 167
2. 論文標題 Utilization of incineration fly ash from biomass power plants for zeolite synthesis from coal fly ash by hydrothermal treatment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 FUEL PROCESSING TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 92-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.fuproc.2017.06.023	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 Maeda, N ; Fukasawa, T ; Katakura, T ; Ito, M ; Ishigami, T ; Huang, AN ; Fukui, K	4. 巻 32
2. 論文標題 Existence Form of Potassium Components in Woody Biomass Combustion Ashes and Estimation Method of Its Enrichment Degree	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ENERGY & FUELS	6. 最初と最後の頁 517-524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.energyfuels.7b03090	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 Huang, AN ; Ito, K ; Fukasawa, T ; Yoshida, H ; Kuo, HP ; Fukui, K	4. 巻 190
2. 論文標題 Classification performance analysis of a novel cyclone with a slit on the conical part by CFD simulation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SEPARATION AND PURIFICATION TECHNOLOGY	6. 最初と最後の頁 25-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2017.08.047	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

[学会発表] 計34件(うち招待講演 4件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 福井 国博, 深澤 智典, 石神 徹, 伊藤 恵哉
2. 発表標題 酸性ガスによるPPS製ろ布の劣化特性に与える暴露温度の影響
3. 学会等名 粉体工学会 春期研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市場 元貴, 伊藤 恵哉, 深澤 智典, 石神 徹, 福井 国博
2. 発表標題 酸性ガスによるPPS製ろ布の劣化特性に与える環境温度の影響
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 Tomoomi Segawa, Kazuya Yamamoto, Takayoshi Makino, Hidetoshi Iso, Koichi Kawaguchi, Katsunori Ishii, Hisato Sato, Tomonori Fukasawa, Kunihiro Fukui
2. 発表標題 Technological development of the particle size adjustment of dry recovered powder
3. 学会等名 Global 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomonori FUKASAWA, Akihiro YAMANE, Toru ISHIGAMI, Kunihiro FUKUI
2. 発表標題 Evaluation of agglomeration and disruption for fine powder in vibrating fluidized bed
3. 学会等名 APCCHE 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市場 元貴, 伊藤 恵哉, 深澤 智典, 石神 徹, 福井 国博
2. 発表標題 酸性ガス濃度および暴露温度が PPS 製の布の劣化特性に与える影響
3. 学会等名 粉体工学会 秋期研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福井国博, 木綿一貴, 深澤智典, 石神 徹
2. 発表標題 木質バイオマス燃焼灰成分の粒子径依存性とその再資源化
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 瀬川智臣, 川口浩一, 石井克典, 鈴木政浩, 深澤智典, 福井国博
2. 発表標題 金属硝酸塩水溶液のマイクロ波加熱特性並びに金属酸化物の粉末性状評価
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 大塚 康平・深澤 智典・石神 徹・福井 国博
2. 発表標題 マイクロ波加熱法がゼオライト成長および細孔形成に及ぼす影響
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 泉 淳之・深澤 智典・石神 徹・福井 国博
2. 発表標題 粉体毎の凝集・破壊挙動の違いに着目した振動流動層場を用いた混合粉体からの成分分離法の開発
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Irsyad Putera・市場 元貴・深澤 智典・石神 徹・福井 国博
2. 発表標題 沈殿法による複合酸化物粒子の合成に与える加熱法とpHの影響
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Fukui, K. Ito, M. I. F. Rozy, T. Fukasawa, T. Ishigami
2. 発表標題 Effect of the temperature on the degradation of polyphenylene sulfide non-woven bag-filter media by NO ₂ gas with a continuous-flow exposure method
3. 学会等名 FILTECH2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoomi Segawa, Koichi Kawaguchi, Katsunori Ishii, Tomonori Fukasawa, Kunihiro Fukui
2. 発表標題 Effects of heating conditions on the particle characteristics of uranium oxide powders synthesized from uranyl nitrate solutions via microwave heating
3. 学会等名 PACRIM13 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kunihiko Fukui, Tomonori Fukasawa, Toru Ishigami, Norio Maeda
2. 発表標題 Dependence of Chemical Components in Woody Biomass Combustion Ash on the Particle Size and Its Utilization for the Fertilizer
3. 学会等名 8th World Congress on Particle Technology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 深澤 智典, 黒瀬 康太, 石神 徹, 福井 国博
2. 発表標題 振動流動場における微小粒子の凝集体形成挙動
3. 学会等名 粉体工学会 春期研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 A.D. Karisma, R. Nakamura, T. Fukasawa, T. Ishigami, K. Fukui
2. 発表標題 Synthesis of Cu-Ce-Zr oxide catalyst nanoparticle by microwave denitration method
3. 学会等名 ICCC12018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Fukasawa, A. Horigome, A.D. Karisma, T. Ishigami, K. Fukui
2. 発表標題 Synthesis of potassium-type zeolite by reverse-micelle microwave method
3. 学会等名 ICCC12018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井国博
2. 発表標題 サイクロンの高性能化と資源循環・エネルギープラントへの利用
3. 学会等名 日本粉体工業技術協会 第2回集じん分科会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mohammad Irwan Fatkhur Rozy, 石神 徹, 深澤 智典, 福井 国博
2. 発表標題 Permeation of Gas through Filter Media: Three Dimensional CFD Simulation with Immersed Boundary Method
3. 学会等名 粉体工学会 第53回技術討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木綿 一貴, 石神 徹, 深澤 智典, 福井 国博
2. 発表標題 粒子径毎に最適化した木質バイオマス燃焼灰の再資源化法
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 福井 国博, 伊藤 恵哉, 深澤 智典, 石神 徹
2. 発表標題 NO ₂ ガスによるPPS製ろ布の劣化特性に与える環境温度の影響
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 福井国博
2. 発表標題 稼働中バグフィルターからのろ布サンプリング法と試験法に関する国際規格の現状
3. 学会等名 日本粉体工業技術協会 第3回集じん分科会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井国博, 藤原翔吾, 深澤智典, 石神 徹
2. 発表標題 パルスジェット式小型集じん装置における圧力損失の過渡特性
3. 学会等名 第56回粉体に関する討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井 国博, 前田 典生, 深澤 智典, 片倉 崇瑛
2. 発表標題 木質バイオマス発電燃焼灰におけるカリウム成分の存在状態評価とその濃縮法
3. 学会等名 粉体工学会 春期研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 深澤 智典, 井上 あやこ, An-Ni Huang, 福井 国博
2. 発表標題 凝集体形成を利用した亜鉛含有ダストからの亜鉛成分の濃縮回収
3. 学会等名 粉体工学会 第52回技術討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福井 国博, 前田 典生, 深澤 智典, 片倉 崇瑛
2. 発表標題 分級操作を利用した木質バイオマス発電燃焼灰中のカリウム成分の高濃度化
3. 学会等名 粉体工学会 第52回技術討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Achmad Dwitama Karisma, Yoshihiro Shinokawa, Tomonori Fukasawa, An-Ni Huang, Kunihiro Fukui
2. 発表標題 NiCuZn-Ferrite Nanoparticle Synthesis from Metallic Nitrate Solution Using Microwave Denitration Method
3. 学会等名 7th Asian Particle Technology Symposium (APT 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomonori Fukasawa, Akira Horigome, Achmad Karisma, Norio Maeda, An-Ni Huang, Kunihiro Fukui
2. 発表標題 Utilization of Incineration Fly Ash from Biomass Power Plants for Zeolite Synthesis from Coal Fly Ash by Microwave Hydrothermal Treatment
3. 学会等名 7th Asian Particle Technology Symposium (APT 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kunihiro Fukui, Norio Maeda, Tomonori Fukasawa, Takaaki Katakura, An-N Huang
2. 発表標題 Existence form of Potassium Component in Woody Biomass Combustion Ash and Its Enrichment Method
3. 学会等名 7th Asian Particle Technology Symposium (APT 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 An-Ni Huang, Keiya Ito, Tomonori Fukasawa, Hsiu-Po Kuo, Kunihiro Fukui
2. 発表標題 Experimental and Numerical Studies on the Effect of the Mass Loading on the Separation Efficiency of a Cyclone Separator
3. 学会等名 7th Asian Particle Technology Symposium (APT 2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福井 国博, 砂田 悟司, 深澤 智典, 石神 徹, 吉田 英人
2. 発表標題 高温集じん用サイクロンの壁面付着低減と性能向上
3. 学会等名 化学工学会 第49回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 篠川 吉宏, 深澤 智典, 石神 徹, Achmad Dwitama Karisma, 福井 国博
2. 発表標題 マイクロ波加熱を用いた金属硝酸塩混合水溶液からの NiCuZnフェライトナノ粒子の合成
3. 学会等名 粉体工学会 秋期研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 福井 国博, 深澤 智典, 畝 一希, 石神 徹
2. 発表標題 高温 NOx ガスによる PPS 製ろ布の劣化特性
3. 学会等名 第55回粉体に関する討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kunihiro Fukui, Shogo Fujiwara, Mohammad Irwan Fatkhur Rozy, Tomonori Fukasawa, Toru Ishigami, Hisashi Kudou, Chikao Kanaoka
2. 発表標題 Development of the Performance Test Method for the Plug-in Type Pulse Jet Dust Collector
3. 学会等名 FILTECH 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 福井 国博
2. 発表標題 集じんに関する国際規格の現状とISO/PWI22031 : 稼働中の集じん機ろ布の劣化検証試験方法
3. 学会等名 日本粉体工業技術協会 第3回集じん分科会 (招待講演)
4. 発表年 2017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	深澤 智典 (Fukasawa Tomonori) (00589187)	広島大学・工学研究科・助教 (15401)	