

令和 3 年 5 月 6 日現在

機関番号：35302

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03406

研究課題名(和文) 粉体工学的手法を用いた建設廃棄物残渣の革新的適正処理技術の開発

研究課題名(英文) Development of innovative proper method for construction waste residue treatment using powder technology

研究代表者

押谷 潤(Oshitani, Jun)

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：70314656

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：振動流動層を用いた乾式比重分離技術により8種類の建設廃棄物残渣を処理したところ、いずれにおいても木片が上層に、砂利が下層に移動する密度偏析が生じ、有機物含有率を示す熱灼減量を適正処理の目安となる5wt%未満に低減されることに成功した。分離に最適な風速が存在し、その風速が建設廃棄物残渣の50%径に比例することや建廃残渣の分離前の熱灼減量と熱灼減量5wt%未満の残渣の回収率に相関があることなど、同技術を実用的に利用する上で重要となる成果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建設廃棄物残渣は主に木くずと土砂からなり、木くずの腐敗で生じるガスによる悪臭・火災の発生や地下水汚染が懸念されるため、管理型処分場での埋立てが義務付けられているが、その残余容量は逼迫しており処分費が高いため、建廃残渣の不法投棄が後を絶たない。一方、熱灼減量を5wt%未満に低減させると、安価な安定型処分場での埋立てが可能となるが、建廃残渣から木くずを高精度で選別可能な技術は存在せず、その開発が切に求められている。従って、振動流動層を用いた乾式比重分離技術により8種類の建廃残渣の熱灼減量を5wt%未満に低減させた本研究の成果は、不法投棄の撲滅や環境保護の観点からも社会的意義を有すると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Eight kinds of construction waste residue were treated by dry gravity separation using vibrated fluidized bed. It is found that density segregation occurs (gravel moves up and wood chip moves down) and ignition loss is reduced to be less than 5wt%. These findings indicate that the treatment using the vibrated fluidized bed is a proper method for construction waste residue treatment. It is also found that there exists an optimum air velocity for the separation and the air velocity is in proportion to the residue size, and that the ignition loss is correlated to the recovery of the low ignition loss residue. These findings are important for practical use of the dry gravity separation.

研究分野：粉体工学

キーワード：振動流動層 建設廃棄物残渣 乾式比重分離 粉体特性

1. 研究開始当初の背景

昭和時代の高度経済成長期に建設された建造物の老朽化に伴う建替えなどにより、建設廃棄物の排出量が今後ますます増加すると予想される。コンクリート破片や金属くずなどを除去した後の建設廃棄物残渣（以下、建廃残渣）は、木くずなどの“有機物”と土砂などの“無機物”からなるサイズ 10mm 以下の混合廃棄物であり、有機物の腐敗で生じるガスによる悪臭・火災の発生や地下水汚染が懸念されるため、管理型処分場での埋立てが義務付けられている（平成 23 年建設廃棄物処理指針・環境省）。しかし、管理型処分場の残余容量は逼迫しており処分費が高いため、建廃残渣の不法投棄が後を絶たない。国土交通省の調べでは、少し古い資料ではあるが、全国における建廃の年間発生量は平成 24 年度が 7,269 万トンであり、平成 20 年度からの 4 年間で約 900 万トンも増加している。そのうち建廃残渣が全体の約 4% の 280 万トンを占め、これは東京ドーム約 8 個分と膨大な量に相当する。そのような中、『建廃残渣の不法投棄が後を絶たないため、適正処理を積極的に推進する』というガイドラインが建設廃棄物協同組合によって平成 26 年に制定された。課題解決の 1 つの方法として、有機物含有率を 5wt% 未満に低減させると残余容量が十分で処分費が安い安定型処分場での埋立てが可能となるが、建廃残渣から有機物を高い精度で分離可能な技術は現在のところ存在せず、その開発が切に求められている。このような背景のもと、固気系の流動層内での物体浮沈現象を利用した乾式比重分離技術を廃棄物リサイクルに適用した実績のある申請者は、粉体工学的手法である流動層と振動層を融合した振動流動層を用いた新たな分離技術を開発し、建廃残渣の適正処理を可能にするために本研究を実施するに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、振動流動層を用いた乾式比重分離技術を新規開発し、同技術により建廃残渣の有機物含有率を 5wt% 未満に低減することである。流動層とは、砂などの粉体を下からの送風により流動化させて液体に似た状態としたものである。サイズが 10mm を下回る粒状混合物を流動化させると、密度の小さな粉体が上層に、大きな粉体が下層に移動する“密度偏析現象（図 1）”が生じ、それらを上下に分離可能となり、さらに振動を加えて分離精度を高めることが他に類のない本研究の特徴である。そして、開発技術を建廃残渣の適正処理に利用することで有機物含有率を 5wt% 未満に低減し、建廃残渣の不法投棄の解消、および処理後の建廃残渣が無機物を主に含むという特徴を生かした路盤材や盛土材などとしてのリサイクルへと導く。



図1 密度偏析現象

3. 研究の方法

(1) 建廃残渣の特性評価

建廃処理業者から入手した 8 種類の建廃残渣を処理対象とした。まずは各建廃残渣のサイズ分布、かさ密度、含水率、熱灼減量をそれぞれ求めた。なお、熱灼減量とは建廃残渣の有機物含有率を示すために用いられる値であり、一般的な方法に従い建廃残渣を 105℃±5℃ で 3 時間乾燥後に 600℃±25℃ で 3 時間強熱し、強熱後の重量減少から熱灼減量を求めた。また、粉体の流動化の際に重要となる風速と層底部の圧力損失の関係を求めることで、各建廃残渣が流動化し始める風速である最小流動化速度を調べた。

(2) 振動流動層内で密度偏析現象に基づく乾式比重分離

図 2 に示す振動流動層装置を乾式比重分離実験に用いた。内径 100mm の円筒型流動層カラムを有し、送風にはコンプレッサーからの圧縮空気をマスフローコントローラーで風速制御して用いた。縦振動を生じさせる振動モーターを装置下部に設置し、振動周波数を変化させるためにインバーターを用いた。振動振幅を変化させるために振動モーター内のアンバランスウェイトの角度調整および装置重量調整を行った。振動強度として振動加速度を重力加速度で割った値を求めた。

分離実験として、カラムに層高 100mm となるように建廃残渣を充填し、振動強度を 1.0G として所定の風速で送風を行った。振動の効果を調べるために、振動あり（送風＋縦振動）と振動なし（送風のみ）の 2 条件で実験を行った。10 分間処理した後に送風と振動を止め、上層から 10mm ずつ 10 層に分けて回収し、各層のかさ密度と熱灼減量を求めた。密度偏析がどの程度生じたかを数値化するために、層全体の平均かさ密度と各層のかさ密度の差を求め、それらを平均した値である偏析度を求めた。この値が大きいほど密度偏析がより顕著であることを示す。

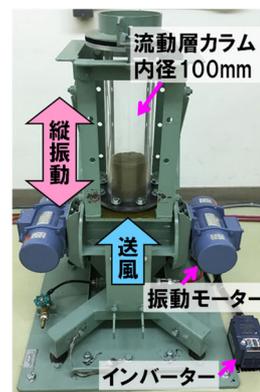


図2 振動流動層装置

4. 研究成果

(1) 建廃残渣の特性評価

図3に各建廃残渣のサイズ分布と50%径を示す。試料1～7は大サイズを除去するために分級操作が行われたもので4mm以下が主であり、下限は試料により大小様々である。試料8は処理対象のサイズ拡大を狙った未分級のものであり、4mm以上のものも多く含まれている。

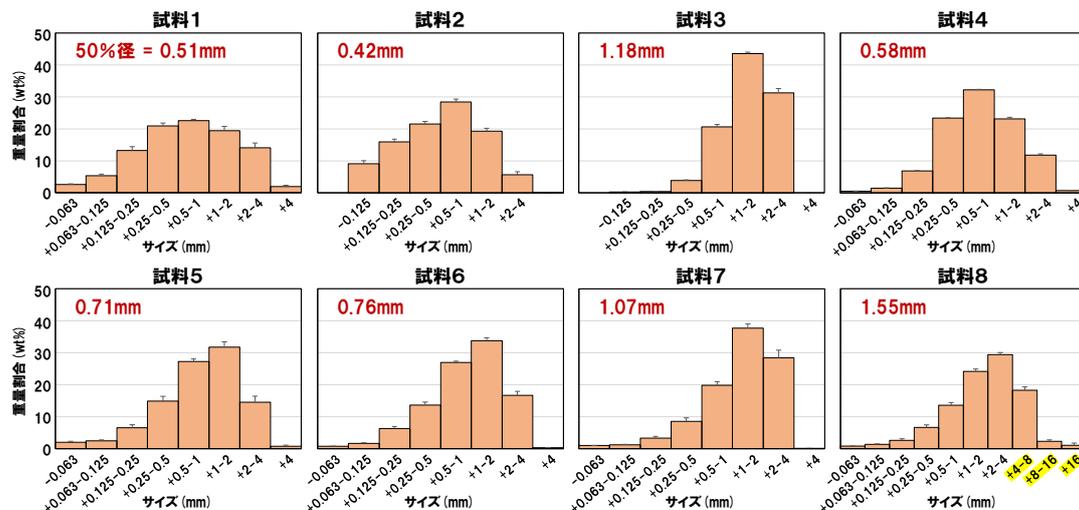


図3 建廃残渣のサイズ分布と50%径

表1に各建廃残渣のかさ密度、含水率、熱灼減量をそれぞれ示す。いずれの熱灼減量も5wt%を上回っており、適正処理として木くずなどの有機物と土砂などの無機物の分離が必要な試料であることが明らかとなった。なお、図4に示す通り、かさ密度の増加と共に熱灼減量が減少する傾向が見られた。これはかさ密度が増加するに伴って有機物の含有量が少なくなるからである。これらの結果から相関式が得られ、処理対象の建廃残渣のかさ密度を測定すれば、熱灼減量の大よその値を把握することができるようになり、有意義な成果であると考えられる。

表1 建廃残渣のかさ密度、含水率、熱灼減量

試料	1	2	3	4	5	6	7	8
かさ密度 (g/cm ³)	0.86	0.78	0.96	0.74	1.06	0.88	0.83	0.90
含水率 (wt%)	5.09	5.51	4.26	-	10.02	3.81	4.59	3.94
熱灼減量 (wt%)	9.74	11.00	7.88	-	6.24	9.91	10.48	9.86

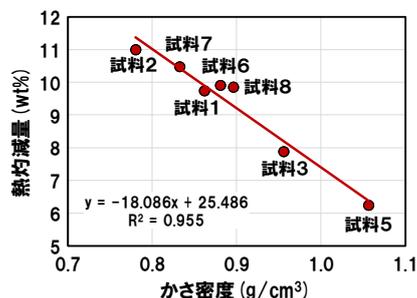


図4 建廃残渣のかさ密度と熱灼減量の関係

図5に各建廃残渣の風速と層底部の圧力損失の関係を示す。一般的に粒径が比較的揃った粉体では、風速の増加と共に圧力損失は直線的に増加し、最小流動化速度以上では圧力損失が一定となる。試料3と4ではそのような傾向が見られたが、他の試料ではデータのばらつきが大きく、明確な最小流動化速度が示されなかった。この要因として、粒度分布が広いことや微小サイズの粉体が混在することにより付着性が高いことなどが考えられる。

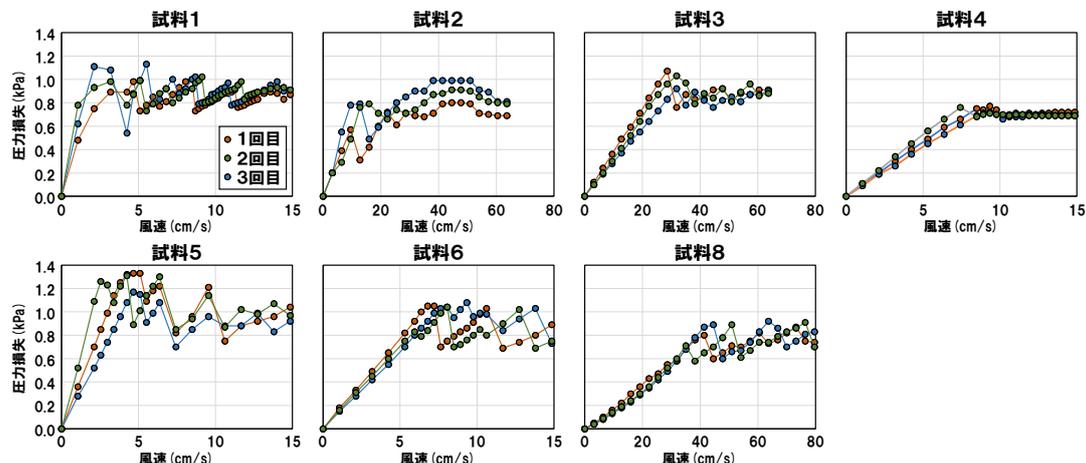


図5 建廃残渣の風速と層底部の圧力損失の関係

(2) 振動流動層内で密度偏析現象に基づく乾式比重分離

以下では、結果の一例として試料3での分離結果を示す。図6に振動ありと振動なしにおける各風速での各層のかさ密度を示す。振動なしでは各層のかさ密度がほぼ等しく、密度偏析が生じなかったが、振動ありの風速 30~60cm/s では上層のかさ密度が小さく、下層になるほどかさ密度が大きくなり、密度偏析が生じた。これは、図7からも明らかなように、上層に木片などの有機物が、下層に砂利などの無機物がそれぞれ移動したためである。

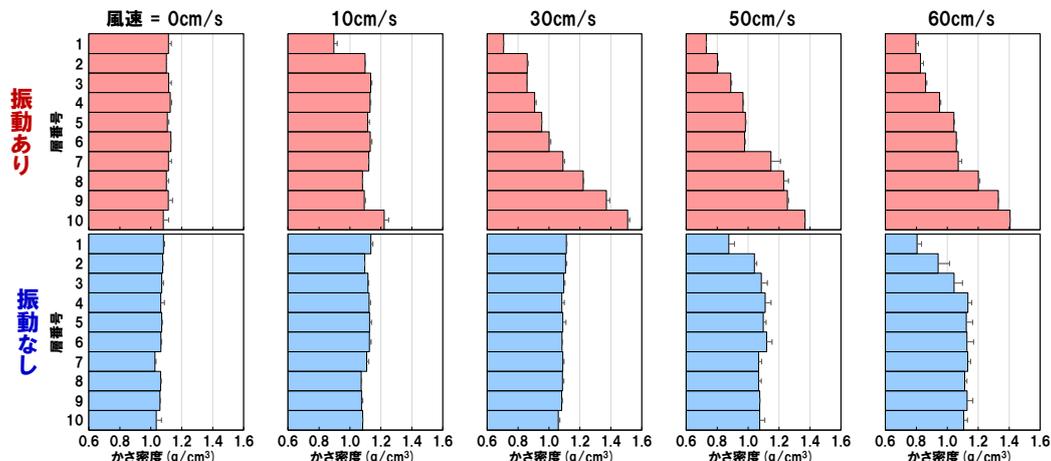


図6 試料3における各風速での各層のかさ密度

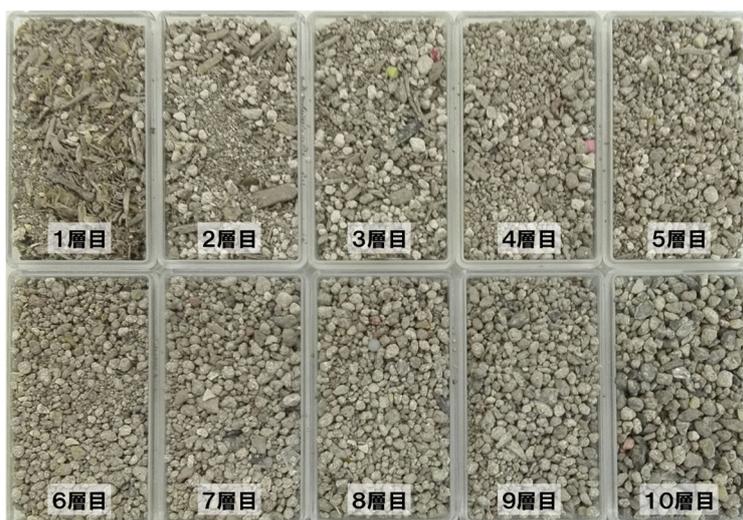


図7 試料3における振動あり・風速30cm/での各層の写真

図8に振動ありと振動なしにおける各風速での各層の熱灼減量を示す。振動なしでは各層の熱灼減量は 5wt%以上であったが、振動ありの風速 30~60cm/s では下層の熱灼減量が 5wt%を下回った。なお、その他の7つの試料でも熱灼減量が 5wt%を下回る結果が得られており、振動流動層により建廃残渣を適正に処理でき、処分費が高い管理型処分場ではなく、処分費が安い安定型処分場での埋立てが可能であることが示唆された。

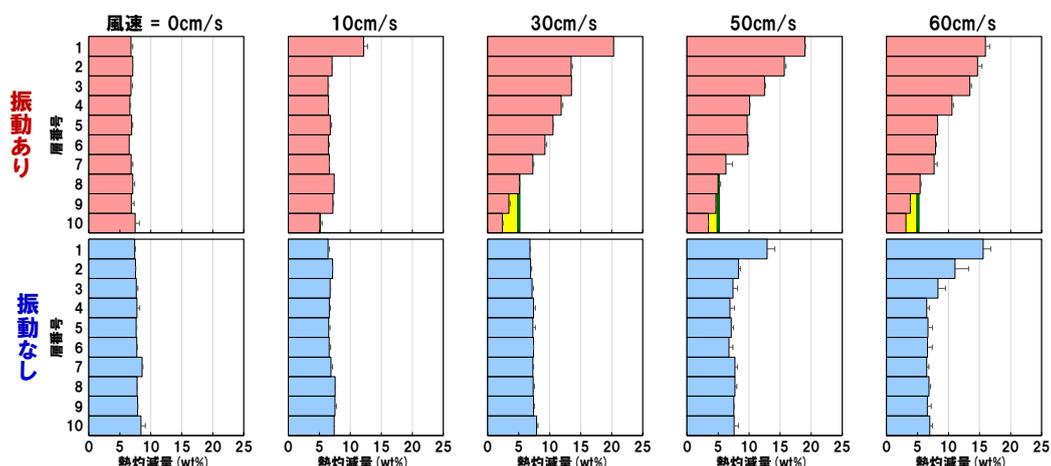


図8 試料3における各風速での各層の熱灼減量

図9に風速と偏析度の関係を示す。振動なしと比較して振動ありの偏析度が極めて高く、流動層に縦振動を付加することの有効性が示された。また、振動ありの結果に注目すると、風速増加と共に偏析度が大きくなり、30cm/sを上回ると逆に偏析度が小さくなっており、他の試料でも同様、分離に最適な風速の存在が明らかとなった。

図8に示したように下層の熱灼減量が5wt%を下回る結果が得られたが、分離技術としての実用的な観点では、5wt%未満の建廃残渣をどの程度回収できるかが重要である。そこで、最下層から積算することで熱灼減量5wt%未満の回収率を重量割合として求めた。図10に結果を示す。振動なしではいずれの風速でもゼロであり熱灼減量5wt%未満の回収が不可能であったのに対し、振動ありでは風速30cm/sにおいて約60wt%と高い重量割合で熱灼減量5wt%未満として回収可能であることが示された。

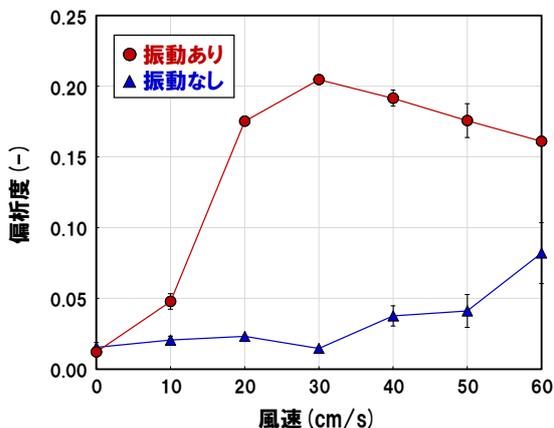


図9 試料3における風速と偏析度の関係

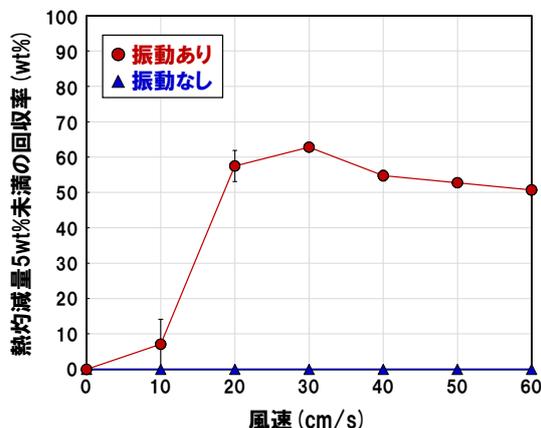


図10 試料3における風速と回収率の関係

その他の試料でも振動ありで風速を変化させて同様の分離実験を行ったところ、図10に示した結果のように熱灼減量5wt%未満の回収率が最大となる風速が存在した。図11に示す通り、建廃残渣の50%径が大きくなるにつれて回収率が最大となる風速も大きくなりほぼ直線関係となった。得られた近似式により、分離前の建廃残渣の50%径を測定すれば、回収率が最大となる風速を把握することが可能である。

図12に分離前の建廃残渣の熱灼減量に対する分離後の熱灼減量5wt%未満の回収率を示す。熱灼減量が大きくなるにつれて砂利などの無機物の含有量が小さくなるために、回収率が減少する傾向を示した。図中の直線近似は幾分粗いものではあるが、分離前の熱灼減量を測定すれば、熱灼減量5wt%未満の回収率を大よそ把握することができ、実用的な観点で有意義な成果であると言える。

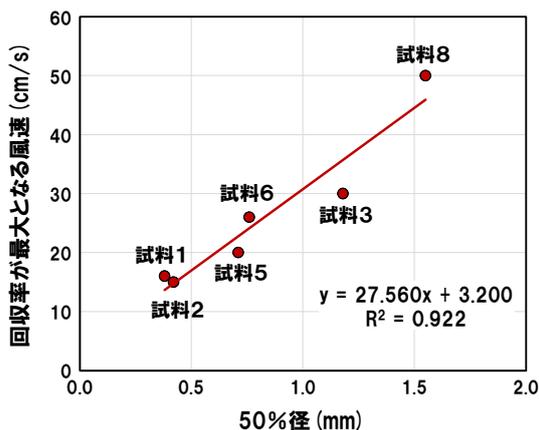


図11 建廃残渣の50%径と回収率が最大となる風速の関係

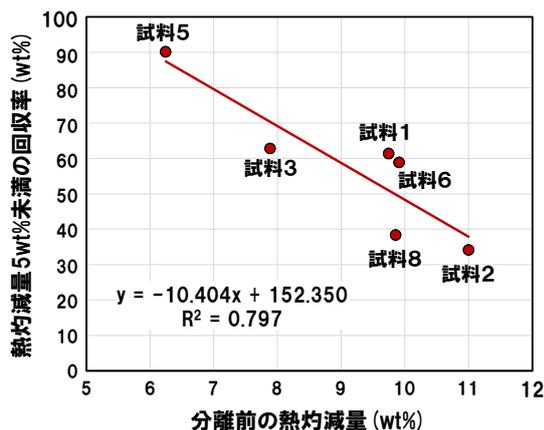


図12 建廃残渣の分離前の熱灼減量と回収率の関係

以上、粉体工学的手法である流動層と振動層を融合した振動流動層を用いた新たな分離技術を開発し、建廃残渣中の木くずなどの有機物と土砂などの無機物の分離に適用したところ、適正処理の目安となる有機物含有率を示す熱灼減量5wt%未満への低減に成功した。また、分離に最適な風速が存在し、その風速が建設廃棄物残渣の50%径に比例することや建廃残渣の分離前の熱灼減量と熱灼減量5wt%未満の残渣の回収率に相関があることなどを明らかにした。

本研究で得られた成果は、同技術を実用的に利用する上で極めて重要になると考えられ、建廃残渣の不法投棄の解消や処理後の建廃残渣が無機物を主に含むという特徴を生かした路盤材や盛土材などとしてのリサイクルなど波及効果が期待できる。なお、今後は同技術に基づく連続分離装置の開発を進める予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Oshitani Jun, Sugo Ryo, Mawatari Yoshihide, Tsuji Takuya, Jiang Zhaohua, Franks George V.	4. 巻 31
2. 論文標題 Dry separation of fine particulate sand mixture based on density-segregation in a vibro-fluidized bed	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 4082 ~ 4088
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2020.08.016	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 Oshitani Jun, Hayashi Shogo, Chan Derek Y.C.	4. 巻 31
2. 論文標題 Order from Chaos: Dynamics of density segregation in continuously aerated granular systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Powder Technology	6. 最初と最後の頁 843 ~ 847
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.appt.2019.12.002	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12件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 松岡哲明、横内貴正、押谷潤、馬渡佳秀
2. 発表標題 振動流動層を用いた建設廃棄物残渣からの木片などの有機物の分離
3. 学会等名 第26回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 樋野将貴、押谷潤、辻拓也
2. 発表標題 振動流動層内での粉体密度偏析に及ぼす風速の影響
3. 学会等名 第26回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押谷潤、須郷涼、George V. Franks
2. 発表標題 振動流動層を用いた密度差の小さな粒状混合砂の乾式比重分離
3. 学会等名 第26回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jun Oshitani, Ryo Sugo, Yoshihide Mawatari
2. 発表標題 Dry separation of particulate mixture based on density-segregation in a vibro-fluidized bed
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuaki Matsuoka, Takamasa Yokouchi, Jun Oshitani, Yoshihide Mawatari
2. 発表標題 Vibro-fluidized bed separation of particulate construction waste residue based on density-segregation
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押谷潤、横内貴正、平田晃則、岡本拓也
2. 発表標題 建設廃棄物残渣の適正処理に向けた乾式比重分離技術の開発
3. 学会等名 資源・素材2018秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須郷涼、押谷潤
2. 発表標題 振動流動層を用いた粒状鉱物の乾式高品位化
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 横内貴正、押谷潤、平田晃則、岡本拓也
2. 発表標題 振動流動層を用いた建設廃棄物残渣の乾式比重分離
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 須郷涼、押谷潤、馬渡佳秀
2. 発表標題 振動流動層による粒状鉱物の乾式高品位化技術の開発
3. 学会等名 第24回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 横内貴正、押谷潤、平田晃則、岡本卓也、馬渡佳秀
2. 発表標題 振動流動層による建設廃棄物残渣の乾式比重分離技術の開発
3. 学会等名 第24回流動化・粒子プロセッシングシンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡哲明、横内貴正、須郷涼、押谷潤、馬渡佳秀
2. 発表標題 振動流動層を用いた建設廃棄物残渣の適正処理技術の開発
3. 学会等名 第21回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三浦健、横内貴正、須郷涼、押谷潤、馬渡佳秀
2. 発表標題 振動流動層を用いた建設廃棄物残渣の乾式2段階分離
3. 学会等名 第21回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 乾式分離装置及び乾式分離方法	発明者 押谷潤	権利者 加計学園
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-074710	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 乾式比重分離装置及び乾式分離方法	発明者 押谷潤	権利者 加計学園
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-072050	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	馬渡 佳秀 (Mawatari Yoshihide) (70380722)	九州工業大学・大学院工学研究院・助教 (17104)	

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			
オーストラリア	メルボルン大学			