

## 2023年度（第19回）研究助成報告

研究題名	振動流動層を用いた乾式分級技術の開発
研究期間	2023年4月1日～2025年3月31日
研究機関・所属	岡山理科大学工学部応用化学科
研究者名	押谷 潤

## 1. 研究成果の概要

本研究では、粉体を下部からの送風により動化させた流動層に振動を加えた振動流動層を用いることでサイズの異なる混合粉体を乾式で分級可能な技術の開発を行った。分離対象物として、モデルケースである 125~180μm と 425~600μm のガラスビーズの混合物を使用した。一連の研究を通して、送風のみの流動層では分級が困難であるのに対し、振動を加えた振動流動層では風速と振動強度を最適化すればサイズ偏析が起こりおおよそ分級可能であることが明らかとなった。

## 2. 助成期間内での研究成果の概要

## 1. はじめに

混合物の分離は産業分野に欠かせない単位操作の1つであり、物体の密度・サイズ・形状などの物理的な違いに基づく多種多様な分離技術が利用されている。それら多くの技術において水を用いた湿式法が古くから利用されているが、廃液処理が必要なことや水資源が乏しい地域での利用が困難などの湿式法特有の諸問題を抱えている。

以上の背景の下、我々は下部からの送風により粉体を流動化させた流動層内で密度の小さな粉体が上層へ、大きな粉体が下層へ移動する密度偏析に基づく混合粉体の乾式比重分離技術を開発し、粒状の石炭や鉄鉱石などの高品位化が可能であることを見出した。しかし、この分離技術は密度比に換算して 2.0 を下回るような密度差が小さな混合粉体では密度偏析が生じず分離が不可能という問題を抱えていた。そのような状況の中、混合粉体に対して下部からの送風のみでなく振動を付加することで比重分離性能が飛躍的に向上することを明らかにした。

実は、その一連の研究を進める中で、粒状の鉱物や廃棄物を比重分離する際に前処理として大サイズをカットするなどの分級が必要である場合が多くあり、その都度、篩を用いた分級を行ったが、目詰まりが頻繁に生じその対応の大変さを知った。また、産業界でも同様に篩の目詰まり対策に苦労されているという話を聞き、

乾式分級技術開発の必要性を感じた。要素技術として、流動層内でのサイズ偏析の利用を考えたが密度偏析以上に生じにくいことが一般的に知られており、上記の密度偏析の場合と同様に流動層への振動付加により分級性能の向上を図ることができるのでないかという発想に至った。

その後、文献調査を行ったところ、ブラジルナッツ効果で知られるように振動層内でのサイズ偏析に関する研究は世界的に行われているが、流動層に振動を付加した振動流動層内のサイズ偏析に関する研究はあまり行われておらず、特に風速や振動強度などの操作条件が分級効率に及ぼす影響を詳細に調べた研究は皆無であることを知った。そこで本研究では、振動流動層を用いることで流動層では困難な混合粉体の分級が可能な技術の開発を試みた。

## 2. 実験方法

分離対象物として 125~180μm (小粒子) と 425~600μm (大粒子) のガラスビーズを 1 : 1 の重量割合で混ぜ合わせた混合物を使用した。なお、予備実験より最小流動化速度  $u_{mf}$  は小粒子が 1.8cm/s、大粒子が 21.2 cm/s であることを確認した。

Fig.1 に示す振動流動層装置を分離実験に用いた。内径 100mm のアクリル樹脂製円筒型カラムからなり、その下部には空気分散板を設け、ベビコンからの空気をマスフローコントローラーで風速制御して空気分散板下部の空気室に送り込んでカラム内に送風した。上下振動用に 2 つの振動発生モーターを空気室の左右に設置した。調整ウェイトとモーター内のアンバランスウェイトを変更することにより振幅  $\alpha$  を、インバーターにより振動周波数  $f$  をそれぞれ変化させ、振動強度  $F = \alpha(2\pi f)^2/g$  を制御した。



Fig.1 振動流動層装置

分離対象となる混合物を層高 100mm となるようにカラムに入れ、送風のみと送風に振動を加えた条件で 10 分間放置した。風速を 0~14.9 cm/s の範囲で変化させると共に振動を加える場合は振動強度 0.3G、0.5G、0.7G、1.0G とした。送風と振動を停止後、サイクロンにて約 10mm を 1 層として計 10 層吸い上げ、全体の重量と篩で分離させた大粒子のみの重量を測定し、大粒子の重量割合を求めた。サイズ偏析の度合いを数値化するために以下の式を用いて偏析度を求めた。ここで、 $i$  は層の番号、 $x$  は大粒子の割合を示す。

$$\text{偏析度} = \frac{1}{10} \left\{ \sum_{i=1}^5 \frac{50-x(i)}{50} + \sum_{i=6}^{10} \frac{x(i)-50}{50} \right\} \times 100$$

### 3. 実験結果と考察

Fig.2に送風のみでの各風速における各層の大粒子割合を示す。低風速および高風速では各層の大粒子割合がほぼ50wt%であり大小の粒子は混合したままであった。一方、風速4.2cm/sと6.4cm/sでは上層の大粒子割合が小さく小粒子が偏析し、風速8.5cm/sでは下層の大粒子割合が大きく大粒子が偏析したが、偏析の度合いはわずかであり大小の粒子を分離するまでには至らなかった。

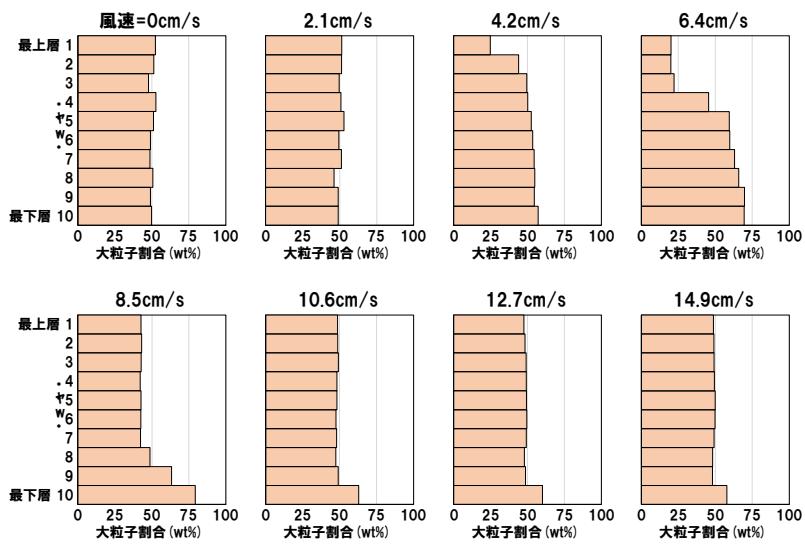


Fig.2 送風のみでの各風速における各層の大粒子割合

Fig.3に振動強度1.0Gでの各風速における各層の大粒子割合を示す。風速2.1cm/s～4.2cm/sでサイズ偏析が起こったが偏析の度合いはわずかであり、送風のみの場合と同様に大小の粒子を分離するまでには至らなかった。

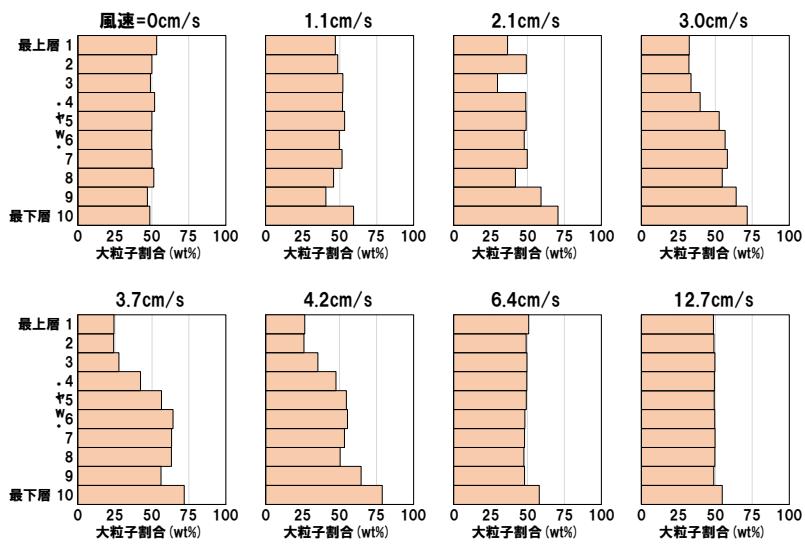


Fig.3 振動強度1.0Gでの各風速における各層の大粒子割合

Fig.4 に振動強度 0.7G での各風速における各層の大粒子割合を示す。低風速および高風速では各層の大粒子割合がほぼ 50wt%で大小の粒子は混合したままであったが、中風速ではサイズ偏析が起こり、特に風速 4.2cm/s では上 5 層がほぼ小粒子、下 5 層がほぼ大粒子となり、両粒子をおおよそ分離可能な結果が得られた。なお、風速 4.2cm/s で追実験を 3 回行ったところ同様な結果となり再現性が確認された。

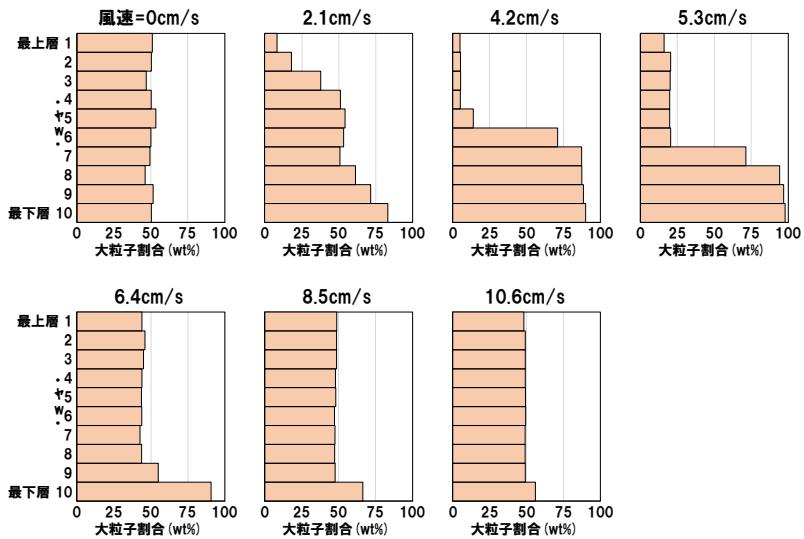


Fig.4 振動強度0.7Gでの各風速における各層の大粒子割合

Fig.5 に振動強度 0.5G での各風速における各層の大粒子割合を示す。0.7G と同様に低風速および高風速では各層の大粒子割合がほぼ 50wt%で大小の粒子は混合したままであったが、中風速ではサイズ偏析が起こり、特に風速 5.3cm/s では大小の粒子をほぼ分離可能な結果が得られた。

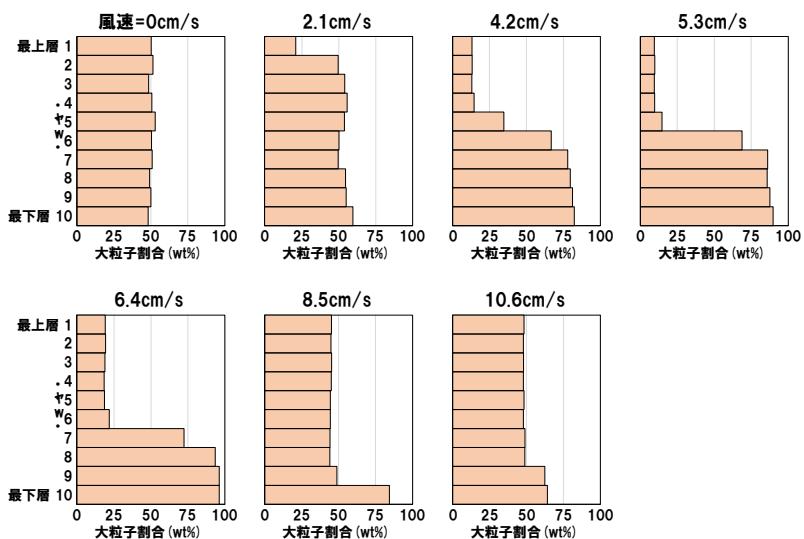


Fig.5 振動強度0.5Gでの各風速における各層の大粒子割合

Fig.6 に振動強度 0.3G での各風速における各層の大粒子割合を示す。中風速ではサイズ偏析が起こったが、0.7G や 0.5G の場合と比較すると偏析の度合いは小さく、送風のみと 1.0G の場合と同様に大小の粒子を分離するまでには至らなかった。

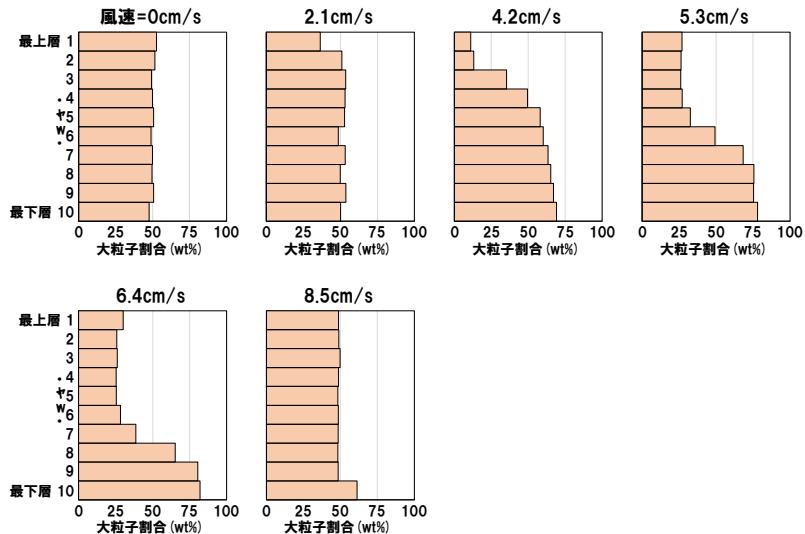


Fig.6 振動強度0.3Gでの各風速における各層の大粒子割合

Fig.7 に送風のみと各振動強度での風速と偏析度の関係を示す。いずれの場合も偏析度が最大となる風速の存在が明らかとなったが、偏析度の大きさに注目するとこれまでに記載したように 0.7G と 0.5G での値が 80%近くと非常に大きく、他の場合と比較してサイズ偏析が顕著であることが明らかとなった。なお、偏析度が最大となる風速約 5cm/s と大小粒子の最小流動化速度  $u_{mf}$  の関係に注目すると、小粒子の  $u_{mf}$  が 1.8cm/s、大粒子の  $u_{mf}$  が 21.2 cm/s であり、偏析度が最大となる風速は小粒子の  $u_{mf}$  に近い結果となった。

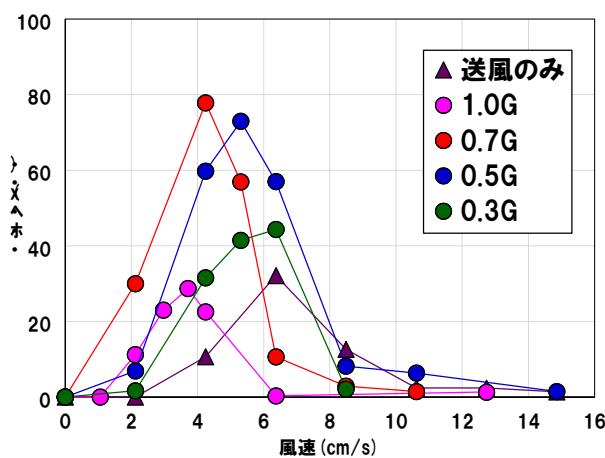


Fig.7 送風のみと各振動強度での風速と偏析度の関係