

補助事業番号 2018M-130
補助事業名 平成30年度 振動場の粒子運動を利用した微粉体表面のコーティング技術
の開発 補助事業
補助事業者名 九州工業大学 馬渡佳秀

1 研究の概要

本研究では、微粉体材料を効率よくハンドリングするための装置開発を行うことを目的としている。具体的には微粉体材料の粒子間に作用する凝集力に対し、外部からの機械的な振動の付加による分離力を作用させることで粒子間の凝集の程度を低減し、ハンドリング性の向上を行う。本研究では、ガス通気と振動により粒子材料の装置内における混合状態を高度に制御することを目指し、医薬品や電子材料に求められる微粉材料の表面コーティング操作に活用できる可能性を探索する。

2 研究の目的と背景

近年の粉体材料の微細化は幅広い産業において急速に進行しており、同時にそのような微細な粉体材料を大量にハンドリングできるような装置開発が求められている。しかしながら、粉体材料の微細化は粒子間に作用する相互作用の影響が無視できなくなることから、粒子材料同士の凝集や装置への付着等、安定なハンドリングを行う上で大きな問題となっている。本研究では、微細な粉体材料が有する付着・凝集力の影響をガス通気と機械的振動の併用により低減し、ハンドリング性の向上を図る。さらに、振動場において発生することが知られている粒子対流現象を装置内の粒子混合操作に積極的に活用し、適切なガス通気と加振条件によるハンドリング性の向上を目指す。

3 研究内容

(1) 振動場における微粉体の対流混合状態の把握

(<http://www.che.kyutech.ac.jp/chem21/JKA-2018/report.pdf>)

ガス通気量と機械的振動のそれぞれが粉体層内の粒子挙動に及ぼす影響について、ガス通気により層内に発生する気泡と、トレーサー粒子の軌跡追跡による粒子運動状態の双方を実験的に把握するため、二次元型の可視化用装置(図1)を設計・製作した。装置形状は粉体コーティングや造粒操作において使用されているテーパ型流動層とした。テーパ型流動層ではガス気流によりガス流動化するコア部と装置側壁の斜面上を粒子が重力流動する。コア部で気流(気泡)により層上部へ移動した粒子は層表面の気泡破裂によりアニュラス部へ飛散・堆積し、堆積したアニュラス



図1 二次元型可視化装置

部粒子は重力流動により装置下方へ移動する。これらのコア部とアニユラス部の粒子交換を繰り返すことで装置内の粒子混合が規則的に進行させることができる。

図2は可視化装置を用いた装置幅方向の粒子挙動分布を示している。微粉体材料を用いることで装置側壁の斜面上に粒子が壁面上に堆積する不動領域が発生した。しかしながら、鉛直方向の振動を付加することで不動領域を著しく減少させることができ、粒子が装置下方へ移動する粒子可動領域の増大につながった。この結果は、加振により装置内に充填した微粉材料全体を混合・循環させることを可能にした(ハンドリング性を向上した)ことを示唆している。

図3はアニユラス部における粒子下降領域内のトレーサー粒子の移動速度解析結果を粒子群の平均空隙率および稼働領域の大きさを加味して質量流速に変換して評価した結果である。無振動の場合の結果を含めすべての振動条件の結果でガス流速の増加によりアニユラス部の粒子の質量速度は増加傾向にある。これはガス流速の増加により装置中央部(コア部)の気泡流動化状態が発達し、装置上方へ移動する粒子量が増加したためだと考えられる。一方で、アニユラス部を装置下方へ移動する粒子の質量流速は、振動振幅の増加により同一のガス流速時では増加する傾向があるが(今回の実験条件では振動振幅が0.5mmまで)、さらに振動振幅を増加させたケース(振動振幅を0.75 mmとした場合)では粒子の質量速度は実験を行ったガス流速の範囲内では減少に転じた。図4は可視化した装置全体のフローパターンについて異なるガス流速、振動振幅の条件におけるスナップショットを示している。ここで、振動振幅を増加させるとコア部に発生、上昇する気泡のサイズが増大し、特に0.75 mmの振動条件では、アニユラス部へ大きく侵入するほど気泡径が増大している。アニユラス部へ侵入した気泡は粒子を装置壁側もしくは巻き込みにより粒子の装置下方への移動を抑制するため、結果的に過度な振動振幅を印加する条件で粒子の質量速度が減少に転じたものと考えられる。

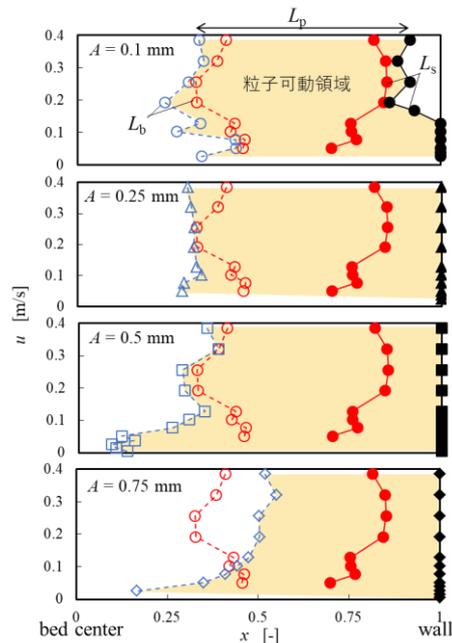


図2 層幅方向の粒子挙動分布図

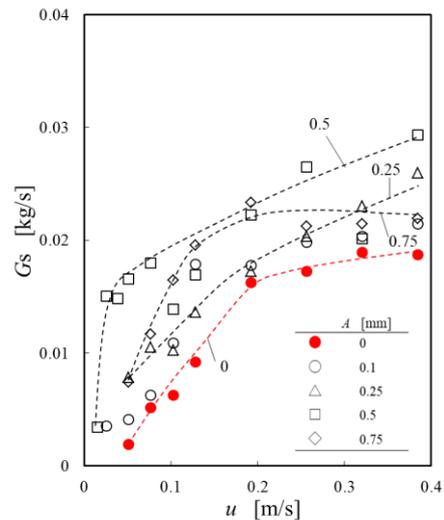


図3 異なる振動条件における粒子質量流速のガス流速依存性

(2) 微粉体表面のコーティング操作と評価

(<http://www.che.kyutech.ac.jp/chem21/JKA-2018/report.pdf>)

前項(1)の結果に基づき、実プロセスへの実装を想定した三次元型装置を設計・製作し、模擬的なコーティング試験を実施した。所定の振動条件(振動周波数40 Hz, 振動振幅0.5 mm)にて、青色顔料(平均粒子径 $1.0\ \mu\text{m}$)の懸濁液をチューブポンプで供給速度を制御(0.5 ml/min)した状態で粉体層上部から噴霧した。噴霧を30分(供給液総量は15 ml)とし、乾燥後にコーティングプロダクトを層内から回収し、表面状態をSEMで確認した(図5)。今回の事業期間内では、実験操作パラメータがコーティング状態に及ぼす影響を十分に評価することが出来なかったが、当初目標としていた原料粒子間の非凝集の程度は最大で90%程度を確保することができた。今後更にコーティング状態及び高い原料粒子間の非凝集率を実現できる操作範囲を探索する予定である。

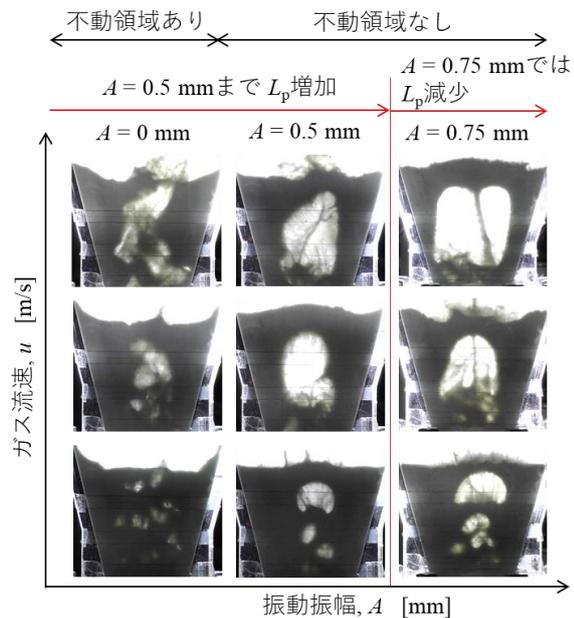


図4 異なるガス通気、振動条件における気泡挙動の変化

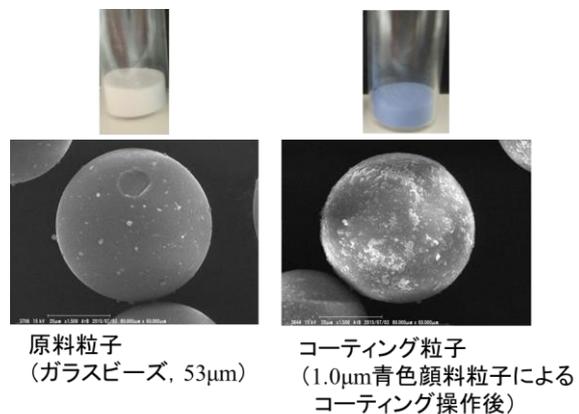


図5 コーティング操作後の粒子表面観察結果

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

産業界において微粉体材料は原料から製品そのものとして幅広く用いられており、取り扱われる材料の微細化が今後さらに進行するものと考えられる。現状でも微粉体材料のハンドリングにおいて、粒子間の凝集や装置への付着は大きな技術的課題として挙げられており、本研究による外部からの振動印加によるハンドリング性の改善および粒子運動性の制御に関する知見は、新たな微粉体材料のハンドリング手法の技術へ展開する可能性を有しているものとする。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究はこれまでの補助事業者が取り組んできた微粉体のハンドリング手法の開発に関する研究の一環として提案され実施された。従来の基礎的な知見を基に今回さらにガス気泡と粒子運動状態の関連性を明確にすることで振動を利用する微粉体のハンドリング性向上およびその応用に向けて一定の進歩が得られたものとする。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- [1] Yoshihide Mawatari and Kyohei Sonoda, “Particle Convection Behavior under Mechanical Bed Vibration for Fine Cohesive Powder”, ASCON-IEEChE 2018, Nov.4-7(6), 2018(Taiwan)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当なし。

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし。

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名：九州工業大学

(キューシュウコウギョウダイガク)

住 所： 〒804-8550

福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1

担 当 者： 助教 馬渡 佳秀(マワタリ ヨシヒデ)

担 当 部 署： 大学院工学研究院 物質工学研究系

(ダイガクインコウガクケンキュウイン ブッシツコウガクケンキュウケイ)

E - m a i l : mawat@che.kyutech.ac.jp

U R L : <http://www.che.kyutech.ac.jp/chem21/CPE01/index.html>