振動を与えたときの粉粒体の流動化

物理B班

キーワード

・<u>ブラジルナッツ効果</u>（2）　粉粒体に大きな物体(以下大物体と呼ぶ)を入れ振動させると大物体が表面に浮上する現象。
・<u>流動化</u>　粉粒体への空気の送入速度が一定に達したとき、粉体層が液体のような挙動をする状態。
・<u>粉粒体</u>　今回の研究では大物体でない、他の粒子全体のことを呼ぶ。(BB弾、発砲スチロール球)

動機・目的

空気を送り込む代わりに振動による流動層選別を可能にし本来の空気による流動層選別の欠点を解決する。そのためにブラジルナッツ効果の影響が強い流域と流動化しやすい領域の条件を明らかにする。

仮説

・振動による流動化、流動層選別が可能である。
・振動数、粒子数、粉粒体の粒径などの条件によってブラジルナッツ効果の影響が強い流域と流動化しやすい領域が存在する。

実験装置

粉粒体に縦方向に振動を与える装置を作製。３Ｄプリンタ、レーザーカッターを使用。

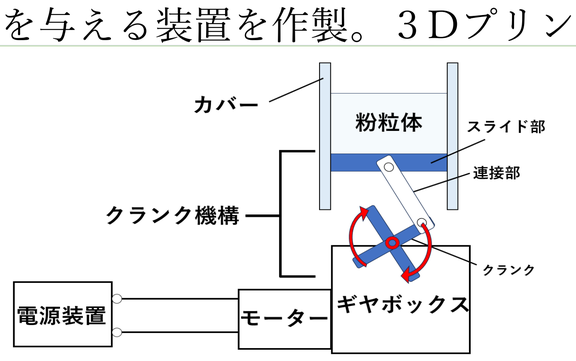


図１　実験装置の設計図

実験１

発泡スチロール球（Φ8mm）からなる粉粒体を用いて振動により流動化するのか調べた。密度の大きい大物体(8㎤）を振動する粉粒体の中に入れて３Ｖ、５Ｖ、７Ｖと振動数を上げてゆき、大物体が沈んだ時粉粒体が流動化したと判断してその際のモーターの電圧を記録した。

結果・考察１

モーターの電圧が3V、5Vの時には大物体が沈まず、モーターの電圧が７Ｖ、振動数が12Hzの時に大物体が沈んだ。これにより粉粒体に一定の振動を与えると流動化することが分かった。

実験２

①BB弾（Φ6mm,200g)からなる粉粒体を色別3層に分ける。これを用いて、3～7Vの電圧にかけた時の粉体層の挙動を確認する。

図２　BB弾の層分け

②5V、6V、7Vの振動をそれぞれ与え振動中の静止画像を三枚抽出し、容器内の粉粒体の平均の高さから振動中の体積を調べ、振動かさ密度を求める。

③2ｇ、4ｇ、6ｇ、8ｇ、10ｇ、12g、15ｇのの質量の大物体を用意し、大物体が沈み込む理論値を計算する。理論値の計算方法は以下に示す。

大物体の質量：m　　大物体の体積：v
振動かさ密度：ρ　　重力加速度：g
mg－ρvg ＜のとき大物体は浮上
mg－ρvg ＞のとき大物体は沈む

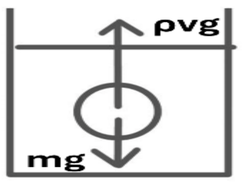


図３　大物体にかかる力

粉粒体中に大物体を１つ入れ、5、6、7Vの電圧をモーターにかけて振動させた時の大物体の挙動を観察し、理論値と比較する。

結果・考察２

①振動中の挙動は次のようになった。
この結果から、粉体は振動中に対流のような動きをすることが分かる。
②振動かさ密度は以下の通りになる。

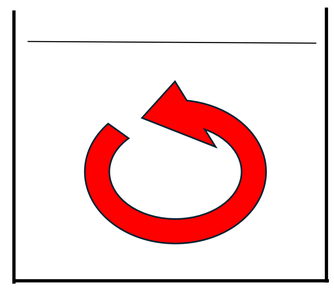


図４　対流のイメージ

電圧（V）	5V	6V	7V
振動かさ密度(g/cm^3)	0.604	0.513	0.486

図５　振動かさ密度

③結果は以下の通りになる。

図６　振動を与えた時の大物体の動き

実験３

粉粒体としてガラスビーズ（Φ0.5～0.7ｍｍ、2ｍｍ、4ｍｍ）と大物体（5ｇ、10ｇ、15ｇ）を用いた。ガラスビーズを各粒形ごとに250ｇ、300ｇ、350ｇ用意し、粉粒体の重さごとに電圧、大物体の重さを変化させ、振動時の物体の挙動を観察した。

結果・考察３

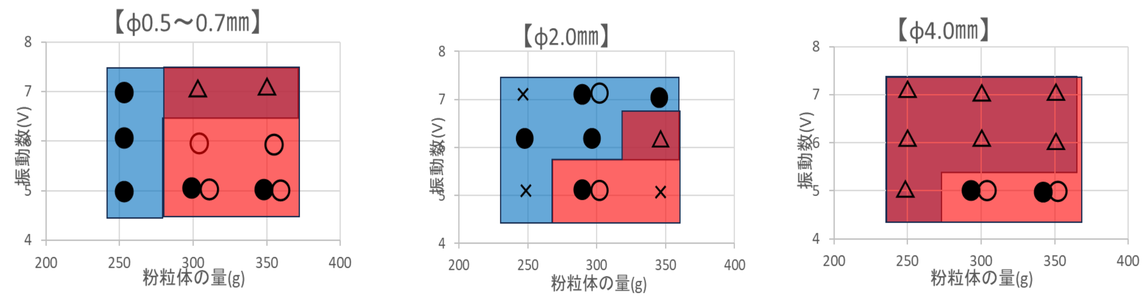


図7　各粒径における粒子数と振動数の関係

上の図からわかるように、どの粒径においても左上にいくほど流動化が強くなるので、振動数が大きく粉体の質量が小さくなるほど、流動化しやすいということが分かる。また、流動化が強くなる領域の幅の変化が小さく、ブラジルナッツ効果が強くなる領域の幅の変化が大きいので、流動化は粒径に依存せず、逆にブラジルナッツ効果の強さは粒径の大きさに依存すると考えられる。

まとめ

・二つの効果の影響が大きくなる条件が存在する。
→具体的な起こりやすい条件
　流動化……粉粒体の粒子数：少　振動数：大
　ブラジルナッツ効果…粉粒体の粒径に依存
　（詳しい条件は不明）
・流動層選別を制するには、粉粒体の流動化が顕著にみられる条件が重要。

参考文献

1）筒井理化学.“【基礎知識】偏析（へんせき）という現象筒井理化学.参照 2024－6－27　）
2)東京大学粉体班.“ちりも積もれば摩訶不思議”.東京大学粉体班.（参照2024 - 6－21）
3) 研究委員会ブラジルナッツ効果.“ブラジルナッツ効果の研究”.YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=iou33Ne8mC4.　（参照2024-7－1）
4）robotakun.“Fusion360による往復スライダクランク機構モデル”.Fabble.cc. https://fabble.cc/robotakun/slidercrank.
(参照2024－7－18)
５）振動状態における粉体の流動性１９６８年１７巻１７７号p.５４５ - ５４９ https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms1963/17/177/17_177_545/_pdf
６）乾式流動層選別技術｜永田エンジニアリング

口頭で伝えること
実験３

◆本来流動化しているのであれば、沈む理論値を求め、その値と実際の出し物体の挙動を比較して、ある振動数、粉粒体の重さの時に流動化、ブラジルナッツ効果拮抗状態のどれにあたるのかを判断し上の図にまとめた。

◆青の領域は流動化の影響が強い領域、赤い領域はブラジルナッツ効果のが強い領域、お互いが交わっているところが二つの力の拮抗状態にある領域としている

験1

スチロール球（Φ8mm）からなる粉粒体を用いて振動により流動化すか調べた。密度の大きい大物体を振動する粉粒体の中に入れて3V、7Vと振動数を上げてゆき、大物体が沈んだ時粉粒体が流動化したとしてその際のモーターの電圧を記録した。

動機・目的

空気を送り込む代わりに振動による流動層選別を可能にし本来の空気による流動層選別の欠点を解決する。そのためにブラジルナッツ効果の影響が強い流域と流動化しやすい領域の条件を明らかにする。

察1

電圧が7V、振動数が12Hzの時に大物体が沈んだ。これにより定の振動で流動化することが分かった。

先行研究

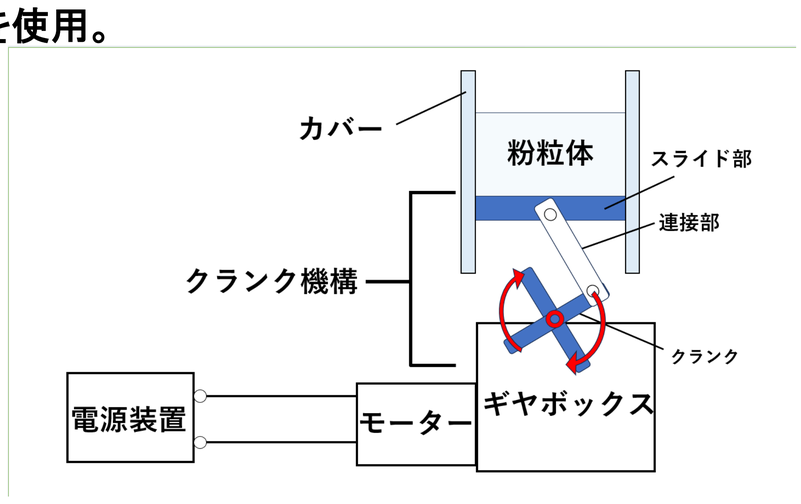
粉粒体中に空気を送ることでつくりだした流動層を利用し分離を行う流動層選別という技術が存在する。これは資源リサイクルなどに活用される。空気による流動層選別は金属など密度の大きい物体の行うことはできない。一方、強い振動を与えたとき液体的挙動をとる可能性が先行研究で示唆されている。また、振動する物体にはブラジルナッツ効果もはたらいている。

仮説

振動による流動化、流動層選別が可能である。また、振動数、粒子数、粉粒体の粒径などの条件によってブラジルナッツ効果の影響が強い流域と流動化しやすい領域が存在する。
仮説1　粉粒体は振動によって流動化する
仮説2　粉粒体は与えられる振動数が多いほど流動化しやすくなる
仮説3　粒径が小さいほど流動化しやすい
仮説4　粒子数が少ないほど流動化しやすい

実験装置

粉粒体に縦方向に振動を与える装置を作製。3Dプリンタ、レーザーカッターを使用。



実験2

粉粒体中にBB弾を用いた。5V,6V、7Vの振動をそれぞれ与え振動中の静止画像を三枚抽出し、容器内の粉粒体の高さを平均し振動中の体積を調べ、振動かさ密度を求めた。

結果・考察2

粉粒体中に

実験3

粉粒体中に

結果・考察3

粉粒体中に

実験4

粉粒体中に

結果・考察4

粉粒体中に

まとめ

粉粒体中に

振動を与えたときの粉粒体の流動化

物理B班　　坂田　悠真　　山崎　優美　　櫻井　輝一　　池田　樹生　　細岡　大生

キーワード

・*ブラジルナッツ効果*(2)　粉粒体に大きな物体(以下大物体と呼ぶ)を入れ振動させると大物体が表面に浮上する現象。

・流動化　粉粒体への空気の送入速度が一定に達したとき、粉体層が液体のような挙動をする状態。

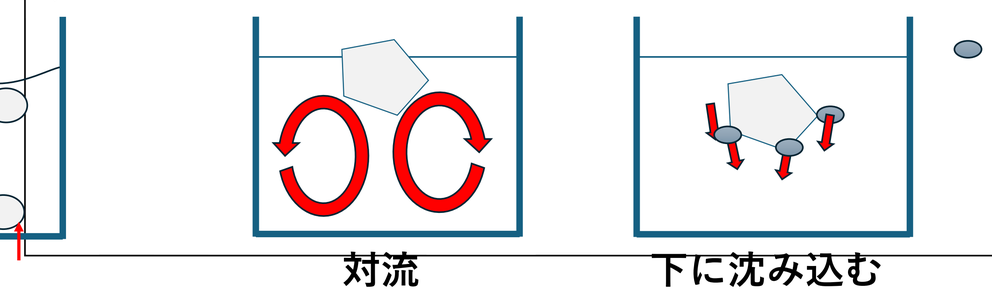
・粉粒体　今回の研究では大物体でない、他の粒子全体のことを呼ぶ。(BB弾、発砲スチロール球)

先行研究

粉粒体は空気を送り込み、その流速が一定の速度に達したとき流動化する流動層という現象が存在する。また粉粒体の振動時にも流動化することが先行研究で示唆されている。一方、振動時にはブラジルナッツ効果と呼ばれる現象もみられており、この現象のメカニズムについて、振動によって生じる間隙への粉粒体の落とし込みや、粉粒体の対流など、様々な説が提唱されているが、確かな理論というものは明らかにされていない。

・ブラジルナッツ効果（図２，３）

図1）



動機・目的

粉粒体中に空気を送ることでつくりだした流動層を利用し分離を行う流動層選別という技術が存在する。私たちは粉粒体に空気を送る代わりに振動を与えることで流動層選別を行うことができるのではと考えた。これができれば粉粒体の粒径が大きく空気による流動化が難しい場合でも流動層選別が可能になる。
振動を用いた流動層選別を行う上でブラジルナッツ効果による大物体の浮上力は無視できず、その発生条件の明分化を行いたい。

仮説

振動時の粉粒体の中では振動数とある体積における小球の数によってブラジルナッツ効果、流動化している状態などができるのではないかと考えた。具体的には、振動数が小さく小球がぎっしり詰まっている状態の時にブラジルナッツ効果が起こり、振動数が大きく粉粒体の数が減っていくにつれて流動化が起こるのではないかと考えた。

予備実験

[目的]
下図のような振幅の大きいスライドクランク機構で振動により流動化が起きるのかを確認する。
[実験方法]
1．粉粒体(市販で売られている発泡スチロール 8mm：700個)の中に大物体(1.12g)を入れた容器をスライドクランク機構で振動させる。
2．大物体が浮く場合をブラジルナッツ効果、大物体が沈む場合を流動化が起こっていると考え流動化するかをみる。

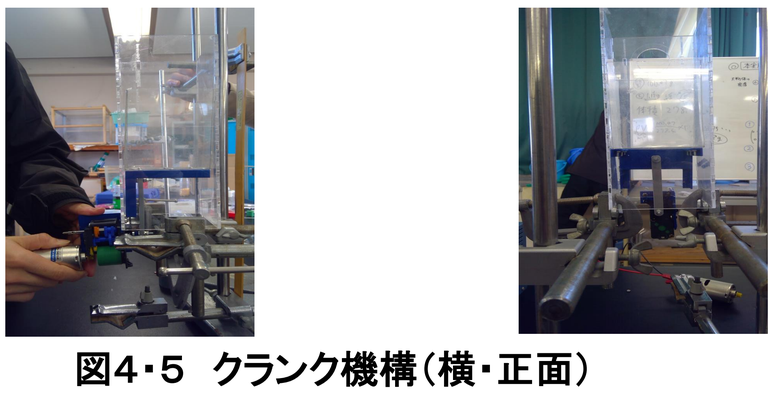


図4・5　クランク機構（横・正面）

[結果]
7Vの時に大物体は沈んだ → 流動化した
［流動化したということに関して］
粉粒体を液体と仮定したときの理論値とは違う値が出たが、ブラジルナッツ効果などほかの要因も関係してくると思うので流動化したということができる。

本実験１

[目的]
発泡スチロールという粉粒体の密度が小さく流動化が早く進行しやすい状況の時に、流動化したということが確認されたため、粉粒体をBB弾に変えてより詳しい状況を確認していく。大物体の重さ、電圧という粉粒体の動きに関係しそうな部分を変化させブラジルナッツ効果が強くなる領域、流動化している（液体的な要素が強くなる）領域の境目を探っていきたい。

[実験方法]
1.粉流体の中に、大物体を沈め、振動中の粉粒体全体の体積を測定し、3V、5V、7Vにおける振動中の粉粒体のかさ密度（以下振動かさ密度と呼ぶ）を求める。
2．各ボルトの（振動かさ密度）×｛大物体の体積（8㎤）｝で算出される値を流動化した時の浮き沈みの境界値とする。
【境界値　3V：5.686g　5V：3.303g　7V：2.616g】
3．モーターの電圧、大物体の重さをそれぞれ変化させ、大物体の挙動の変化　を見る。

［結果］
各ボルトで流動化した時に期待される結果

★（有効数字3桁）5V：4.83g　6V：4.10g　7V：3.88g
★：大物体が沈む際の大物体の質量の理論値　●：粉粒体中を対流に乗って回っている状態
▲：その場で小刻みな上下動を繰り返す状態　×：容器底でほぼ動かない状態

図9　振動する粉体中の大物体の挙動

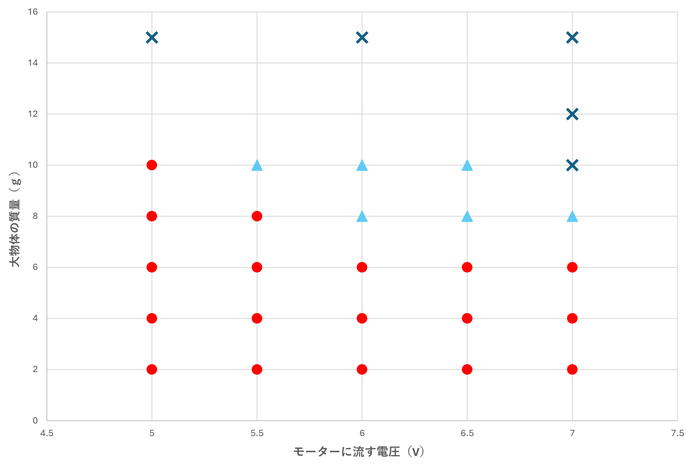


図６　振動する粉体中の大物体の挙動

今後の展望

本実験はまだまだ実験不足だと思うので、実験は重ねていきたい。本実験では、大物体の重さと電圧(振動数)の関係から流動化している状態、ブラジルナッツ効果が起こっている状態（またはそれぞれが強くなっている状態）の時を求めるが、これからの展望は電圧(振動数)と粒子数の関係も考え、それぞれの要因が粉粒体の動きにどのように関係しているのかということを探っていく。

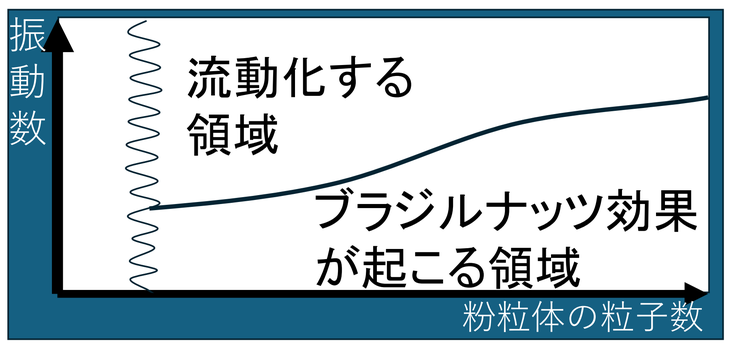
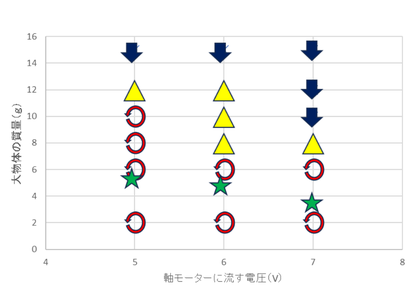


図７　期待される相図のイメージ図

参考文献

1）筒井理化学.“【基礎知識】偏析（へんせき）という現象筒井理化学.参照 2024－6－27　）
2)東京大学粉体班.“ちりも積もれば摩訶不思議”.東京大学粉体班.（参照2024- 6－21）
3) 研究委員会ブラジルナッツ効果.“ブラジルナッツ効果の研究”.YouTube.
https://www.youtube.com/watch?v=iou33Ne8mC4.　（参照2024-7－1）
4）robotakun.“Fusion360による往復スライダクランク機構モデル”.Fabble.cc.
https://fabble.cc/robotakun/slidercrank.
（参照2024－7－18）
5）振動状態における粉体の流動性1968年17巻177号p.545-549
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms1963/17/177/17_177_545/_pdf
6）乾式流動層選別技術｜永田エンジニアリング

16
14
12
10
8
6
4
2
0
大物体の質量(g)
4
5
6
7
8
軸モーターに流す電圧(V)


16
14
12
10
8
6
4
2
0
大物体の質量(g)
4
5
6
7
8
軸モーターに流す電圧(V)