E112

円錐台型回転ドラムにおける 粒子偏析パターンと流動モードの関係

矢田 大貴[○] (大阪大学), 川口 寿裕 (大阪大学), 辻 拓也 (大阪大学), 田中 敏嗣 (大阪大学)

Relation between Segregation Pattern and Flow Mode in Rotating Conical Drum

Hiroataka YADA, Toshihiro KAWAGUCHI, Takuya TSUJI and Toshitsugu TANAKA

ABSTRACT

Rotating drums are widely used in many industries, for example, mixing, granulation, coating, milling, and so on. When a mixture with different sizes of particles is filled in the rotating drum, it is well-known that axial and/or radial segregation takes place. It is also well-known that the flow mode changes depending on the rotational speed. These phenomena also occur in case of the rotating conical drum. However, the particle flow in the rotating conical drum is not well studied, and the mechanism of the axial segregation is not understood yet. In the present study, the axial segregation of rotating conical drum is investigated by using MRI. The flow mode in the rotating conical drum is also observed. As the consequence, the relationship between axial segregation pattern and flow mode is discussed.

Keywords: MRI, Rotating drum, granular flow, segregation, flow mode

1. 緒言

回転ドラムは、粒子の混合、造粒など工業装置によく利用される装置である。回転ドラム内に大きさの異なる粒子を混在させた場合、半径方向や軸方向に大小それぞれの粒子が部分的に集中する偏析という現象が生じることが知られている。

しかし、この種の流れは3次元的で、粒子濃度が高く、内部の流動構造を観察することは困難である。そのため、非接触・非破壊による3次元計測が可能な磁気共鳴画像法(MRI)などが用いられるようになってきている。

本研究では、MRIを用いて円錐台型回転ドラムの断面を撮像し、回転速度が偏析のパターンに及ぼす影響を調べた。また、ドラム内部の流動モードを観察し、偏析パターンとの関係について調べた。

2. 偏析実験

2.1 実験方法

実験には、Fig. 1に示す塩化ビニル製のドラムを用いた。このドラムに、共に密度が $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ であるMRIに写らない粒径1 mmのポリスチレン粒子と、MRIに写る粒径2 mmのビタミン粒子を体積割合で1対1、合計の体積がドラムの容積の50%になるように投入した。MRIの撮像対象は主にプロトン(^1H)であるため、本研究では、プロトンを多く含むビタミンEをゼラチンでコーティングした粒子を使用することによって、ドラム

内の粒子分布のMRI撮像を可能にした。

回転速度は30 ~ 150 rpmまで20 rpm刻みに変化させ、撮像はスピンエコー法を用いて軸方向位置 $z = 5 \sim 95 \text{ mm}$ まで5 mmごとの各断面において行い、スライス厚さを2.7 mm、積算回数を2回とした。撮像断面はFig. 1に示すドラムの回転軸に垂直な断面である。実験により得られた大粒子のみが写る画像の白点の数をカウントし、それを撮像した位置におけるドラムの断面積に相当するpixel数で割ることによって、それぞれの軸方向位置の断面に占める大粒子の割合を求めることによって、回転数を変化させたときの偏析パターンの変化を調べた。

Fig. 1 Rotating conical drum

2.2 実験結果

Fig. 2は、定常状態に達するまで回転させた後、ドラムの回転を止めた状態で撮像を行った結果である。30, 90 rpmでは、すべての断面においてMRIに写る大粒子が外側に、MRIに写らない小粒子が大粒子に囲まれるようにドラムの中心部分に集中しており、半径方向偏析が確認できる。一方、回転数が高い150 rpmでは、Fig. 2にある断面では半径方向偏析は確認できない。また、 $z = 10 \text{ mm}$ において大粒子がほとんど存在していないのに

対し、 $z=90$ mm では断面内の粒子のほとんどが大粒子であり、軸方向偏析が起こっていることが確認できる。

Fig. 3に、それぞれの撮像位置におけるドラム断面積に対する大粒子の占める面積割合を z に対してプロットしたグラフを示す。これは、8回の実験の平均である。回転数によって大粒子の軸方向分布が異なり、回転数を変化させることによって偏析パターンが変化していることが確認できる。定性的には、大粒子の軸方向分布は形がゆるやかな右上がりのパターン A (30, 50 rpm), ならかな山型のパターン B (70, 90, 110 rpm), $z=5 \sim 10$ mm では 0 に近く、 $z=20 \sim 30$ mm 付近での急勾配で右上がりになるパターン C (130, 150 rpm) の 3 種類が見られた。

Fig. 2 Particle distribution in axial cross-section

Fig. 3 Axial distribution of large particles

3. 流動モード観察

3.1 実験方法

Mellmann¹⁾は、回転ドラム内粒子挙動の理論解析を行い、回転数と流動モードの関係について示した。本研究においても、粒子の充填率や回転数などから、Fig. 4に示す粒子層上面が大きな曲率を持って流れる cascading mode や、ドラム内の空間に粒子が投げ出される cataracting mode などの流動モードが起こる。ドラムを回転させながら MRI で撮像することによって、回転数を変化させたときの流動モードの変化を観察し、流動モードと偏析パターンに関係があるのか調べた。

2節の実験とは異なり、大、小粒子共にビタミン粒子を用いた。全粒子が撮像対象なので、ドラムを回転させ、内部が定常状態の時に撮像すると、粒子の存在確率が高い部分が MRI に写り、流動モードの観察が出来る。その他の実験条件は、2節とほぼ同じであるが、積算回数を 5 回とした。これは本実験では流動状態を撮像することで大きくなるノイズの影響を軽減するためである。

Fig. 4 Particle flow mode

Fig. 5 Particle distribution in axial cross-section

3.2 実験結果

Fig. 5に結果を示す。撮像断面を回転数の違いによって比較すると明らかな流動構造の違いが見られる。偏析パターンが A となる 30rpm では、cascading mode の特徴である粒子層上面が大きな曲率をもって流れている様子が確認できる。また、偏析パターンが C となった 150 rpm では、cataracting mode の特徴であるドラム内の空間に粒子が投げ出されている様子が確認できる。

偏析パターンが B となった 90rpm は、 $z=5$ mm では cataracting mode であるのに対し、 $z=95$ mm では cascading mode となっており、軸方向の位置によってドラムの半径が大きい側は cataracting mode、ドラムの半径の小さい側は cascading mode とドラム内の流動モードが違う。つまり、偏析パターンが B となる 70・90・110 rpm では、cascading mode から cataracting mode に遷移している途中の中間のモードであると言える。

4. 結 言

テーパ付きドラム内の回転状態での MRI 撮影を行った結果、粒子偏析は、回転数に依存して半径方向偏析、軸方向偏析のパターンが大きく変化することがわかった。また、これは内部の流動モードの変化に対応していることが確認された。

参 考 文 献

- 1) J. Mellmann, Powder Technology 118 (2001), 251-270.