



Title	Flow analysis of vibrated fluidized beds by non-inertial coarse-graining DEM-CFD method
Author(s)	蔣, 照華
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/88033
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (JIANG ZHAOHUA)	
Title	Flow analysis of vibrated fluidized beds by non-inertial coarse-graining DEM-CFD method (非慣性系粗視化DEM-CFD法による振動流動層内流れの解析)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>The vibrated fluidized bed is an apparatus that combines the air-agitated fluidized bed and the mechanical vibrated bed to enhance fluidization, segregating, mixing, and so on. The addition of mechanical vibration drastically alters the solid and gas flows in beds and enhances its physical complexity. In this study, dense gas-solid flows in a vibrated fluidized bed were explored in detail by a proposed numerical model based on discrete element method (DEM) coupled with computational fluid dynamics (CFD).</p> <p>A DEM-CFD model based on a non-inertial frame of reference fixed to a bed was developed. Because the high computational cost of DEM-CFD calculations is still a major problem, an upscaled coarse-graining model was also employed. To realize a similar behavior between an original particle and an enlarged model particle, non-dimensional parameters at the particle scale were deduced from governing equations. After the validation study without the coarse-graining, the availability and limitation of the coarse-graining DEM-CFD model were examined for a density segregation problem of binary particles with the same diameter but different densities. It was found that, to reduce the computational costs by enlarging the model particle size while capturing the mesoscopic structures, the ratio between the bed width and model particle size should not be less than 100. To obtain similar segregation behaviors, the ratio between the bed height and model particle size should not be changed.</p> <p>The influence of the model particle size and the spatial resolution of CFD calculations on the average size and number of bubbles in the coarse-graining DEM-CFD calculations was examined for a bubbling fluidized bed. It was confirmed that the bubble size was scaled by the model particle size if the similarity in the particle scale as well as the geometric similarity of the whole system were maintained. Coarse spatial resolution increased the bubble size and decreased the number of bubbles and the countervailing influence of the model particle size and the spatial resolution in a practical coarse-graining scenario resulted in nearly the same bubble size.</p> <p>The proposed coarse-graining DEM-CFD model reasonably captured the change of density segregation behaviors depending on the gas inflow velocity under the same vibration condition: the reverse segregation in which heavy particles located above light particles was observed when the gas inflow velocity was zero or much less than the minimum fluidization velocity of the light particles. By increasing the gas velocity, it turned to the forward segregation in which the heavy particles located below the light particles. Mechanisms of the reverse segregation and the steep change from the reverse to forward segregation were elucidated by the proposed model. According to the relative motions between the particles and the bed, the negative gauge pressure was observed depending on the vibration phase. In the reverse segregation case, the accumulative effect of the downward gas pressure gradient force induced by the vibration overcame the upward force by the forced air flow. The wall friction transported both the heavy and light particles in the vicinity of the side wall to the bed bottom where the local void fraction was comparatively high and reverse segregation mainly occurs. It was revealed that the reverse segregation was the result of combined effects of the downward gas pressure gradient force, the particle transport, and the local formation of high void region. The increase of gas inflow velocity enhanced the upward pressure gradient force and the segregation turns to forward.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (JIANG ZHAOHUA)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査 准教授	辻 拓 也
	副 査 教授	梶島 岳夫
	副 査 教授	田中 敏嗣
	副 査 教授	芝原 正彦

論文審査の結果の要旨

通気により粉体の流動化を行う流動層に機械的な振動を付加した振動流動層は、流動性の向上、粒子の偏析や混合の促進等が期待でき、様々な工業プロセスへの適用が検討されている。流動層内の高濃度固気二相流の振る舞いは、気泡などのメゾスケール構造の自発的な形成を伴い大変複雑である。振動の付加はこれをさらに複雑なものにすると考えられるが、その詳細についてはほとんど知られておらず、数値シミュレーションによる基礎的な理解の促進が望まれる。本論文は、振動流動層を対象とした数値シミュレーション手法として、非慣性系を用いた粗視化 DEM-CFD (離散要素法-数値流体力学) モデルを構築し、これにより振動流動層内で起こる密度偏析現象のメカニズムを明らかにすることを目的としたものである。主な成果は以下の通りである。

1. 並進加振された振動流動層容器に固定した非慣性座標系において定式化を行い、加振の影響を慣性力として考慮した非慣性系 DEM-CFD モデルを構築している。鉛直方向に一定の強度で加振した準二次元振動流動層を用いた実験の結果と比較を行い、提案モデルにより密度偏析挙動を概ね再現できることを示している。
2. DEM-CFD 法を実際の問題に適用する際には、計算コストの増大が問題となる。相似則モデルの考えに基づき、振動流動層を対象とした粗視化 DEM-CFD モデルを提案している。粗視化モデルの重要なパラメータであるモデル粒径や CFD における計算セルサイズが平均気泡径や気泡数などの計算結果に与える影響を調査し、その詳細を明らかにしている。
3. 提案した非慣性系粗視化 DEM-CFD モデルを、三次元振動流動層における同粒径異密度二成分粒子系の密度偏析問題へ適用し、鉛直方向に一定の強度で加振した際、空塔速度の増加に伴い生じる逆偏析から順偏析への変化を再現できることを示している。
4. 低空塔速度域における逆偏析現象に着目し、これが従来から指摘されていた加振により生じる層容器内の気体圧力勾配の逆転に加え、摩擦により層容器の側壁近傍で引き起こされる粒子の鉛直下向きの対流運動と、粒子と層容器との間の慣性差による層容器下部領域における大きな空隙の形成の三つの要素から引き起こされていることを明らかにしている。
5. 逆偏析から順偏析への変化については、空塔速度の増加に伴い通気による気体の圧力勾配が増加し、振動により引き起こされる圧力勾配を卓越するようになるためであることを明らかにしている。

以上、本論文は振動流動層を対象とした数値シミュレーションモデルの構築を行い、振動流動層内で生じる密度偏析現象について理解を深めるものである。今後の振動流動層の設計や運用の高度化に貢献するものであり、博士論文として価値あるものと認める。