

境界埋め込み法による粉体のシミュレーション

工学部 機械システム工学科 下山 悠 (桑木研究室)

工学部 機械システム工学科 桑木賢也

工学部 バイオ・応用化学科 平野博之

Keywords : Discrete Element method, Direct Numerical Simulation, Immersed Boundary Method

1. 研究目的

粉体とは、粉末や粒子の集合体の総称である。粉体の例としては小麦粉、粉末乳製品、調味料、医薬品、化粧品、鉄、石炭、セメント、トナー、火薬類など様々である。これらの粉体の製造、加工、処理の過程である乾燥、造粒コーティング、触媒反応、廃棄物焼却、熱回収において流動層技術は広く活用されている。これらの流動層のシミュレーションにおいて離散要素法 (Discrete Element Method) は、解析ツールの一つとして欠かせないものとなってきている。DEM は粒子間の付着性、反応、伝熱を考慮できるという長所を持っている。しかし、DEM は流体に局所平均化された式を用いるため、数値シミュレーションにおいては流体計算セルより小さいスケールレベルの現象は直接計算することができず、他の方法により求めた構成方程式を組み込んで数値計算を行う必要がある。これに対して直接数値計算 (Direct Numerical Simulation) は粒子周りに計算メッシュを配置し、流れ場を解いていくので、DEM で必要とされる多くの構成方程式が不要となる。

本研究では、DNS の一手法である境界埋め込み (IB)法を用いて、粒子スケール以下の現象である、速度勾配による揚力 (サフマン力) 回転揚力 (マグナス力) 粘性トルクに関して検討を行った。数値解析法として、Kajishima らにより提案された体積力型の IB 法を用いた。慣性項は三次精度風上差分法、粘性項は二次精度中心差分法により離散化を行い圧力場の解法には HS-MAC 法を用いた。

2. 研究成果概要

図 1 にサフマン力のシミュレーションから得られた解析結果の流線を示す。また、図 2 は粒子 400 個における数値解析結果のベクトル線図を表わしている。本研究では、終末沈降速度を超えない範囲で粒子レイノルズ数を変化させシミュレーションを行っている。粒子レイノルズ数が大きくなると、粒子の下流側表面には剥離とそれに伴う不規則な渦運動が現れ、揚力値に影響を及ぼす。精度を高めるにはこの非対称性の剥離渦を忠実にシミュレートする必要があり、それには計算領域、計算メッシュサイズが大きく関わっていることが明らかになっている。

3. 今後の展望

粒子スケール以下の粒子周りの現象を厳密に計算できる DNS に、粒子間の付着性、反応、伝熱を考慮できる DEM を組み合わせることにより高濃度粒子を含む流れ場のシミュレーションを実現させ、流動層内の現象を明らかにする。

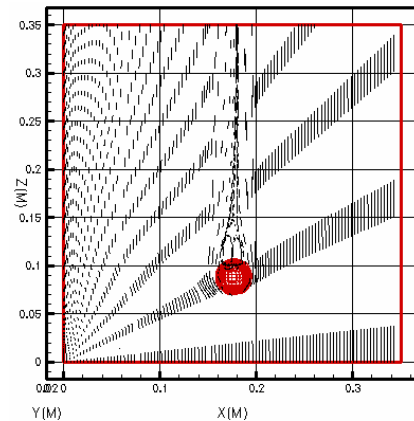


図 1 速度勾配を持つ流れ場における

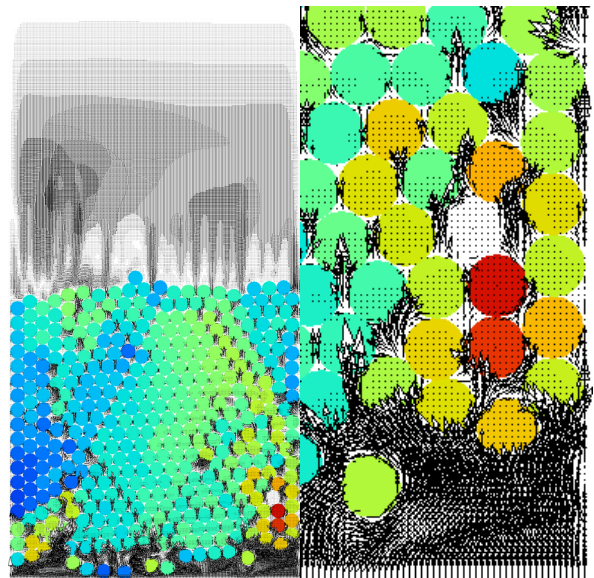


図 2 数値解析結果