

Title	分散系固気二相流におけるクラスター形成の数値シミュレーション
Author(s)	米村, 茂
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3110072">https://doi.org/10.11501/3110072</a>
DOI	10.11501/3110072
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏名	よな 米 村 じげる 茂
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 1 2 5 0 3 号
学位授与年月日	平成 8 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科産業機械工学専攻
学位論文名	分散系固気二相流におけるクラスター形成の数値シミュレーション
論文審査委員	(主査) 教授 辻 裕 教授 久保 司郎 教授 中村喜代次 教授 高城 敏美 教授 三好 隆志 教授 赤木 新介 教授 三宅 裕

#### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、循環流動層などの工業装置内で観察される粒子クラスターの構造や特性を数値計算によって明らかにしたものであり、全7章から構成されている。以下に各章の概要を示す。

第1章の緒論では本研究の背景と関連する従来の研究について概観し、本研究の目的および概要について述べている。

第2章の粒子運動の計算方法では、個々の粒子を追跡するラグランジュ的手法について述べている。本研究では粒子間衝突の判定に希薄気体力学の数値解析で用いられている DSMC 法 (Direct Simulation Monte Carlo) が採用されている。二相流中の粒子の運動は気体の分子運動と類似しているが、粒子と流体の相互作用や非弾性衝突によるエネルギー消散を考慮しなければならない。第2章ではDSMC法を二相流中の粒子に適用する際の問題点についても考察を行っている。

第3章では、粒子との相互作用を考慮しながら差分計算によって流体運動を解く方法について述べている。本研究では運動する個々の粒子の間のマイクロな流れを求めるのではなく、粒子の大きさに比べて十分大きな差分格子を取り、粒子と流体の相互作用を差分格子内で平均化する手法を用いている。

第4章では、粒子間の非弾性衝突の繰り返しによって形成されるクラスターの性質を純粋に取り出すために無重力真空空間内に対して数値シミュレーションを行っている。その結果、反発係数が小さく衝突時のエネルギー消散が大きいほどクラスターの発達が速く、空間スケールの小さなクラスターが形成されることが明らかにされている。またクラスターの空間スケールは粒子の平均自由行程に比例することも明らかにされている。さらにクラスター同士が紐状につながってできるネットワーク構造が形成されることも明らかになっている。

第5章では、2次元鉛直流路内を上向きに流れる固気二相流について計算を行い、下方より供給される粒子が均一に分散した状態からクラスターを伴う不安定な流れへ変化する機構を調べている。その結果、濃度むらが発達してクラスターが形成される過程やクラスターの成長、合体、消滅などが観察されている。実験において観察されているV字型のクラスターも確認されている。粒子流量が大きく気流速度が小さな場合ほど、また粒子間衝突時のエネルギー消散が大きいほどクラスターが形成されやすいことが明らかになっている。

第6章ではクラスターの詳細な構造を調べるために4方を周期境界に囲まれた矩形領域内の流れに対して計算を行っている。まずクラスターの挙動や空間構造の観察を行い、クラスターの構造に対する粒子の物性の影響を調べている。

その結果、クラスターサイズは粒径および粒子密度に大きく依存するが、粒子濃度にはそれほど依存しないことが明らかにされている。さらに考察した結果、クラスターサイズは粒子の緩和距離の0.4~0.5乗に比例して大きくなることが明らかになっている。また本計算で得られたクラスターのサイズが実験結果と定量的に一致することも確認されている。

第7章は本論文の総括である。

## 論文審査の結果の要旨

気体中に固体粒子が分散して流れる固気二相流は化学工業を始め各種の工業に密接に関係する。特に気流速度と粒子濃度の調整によって流動が不安定になり大きな変動が生じる場合、伝熱や反応が活発になるため、そのような流動状態は循環流動層と呼ばれる工業装置において積極的に利用されている。その流れ場では濃度のむらが生じ、それがクラスターへと成長することが観察されている。このような現象はきわめて複雑と見なされ数理的な扱いがほとんどなされていないのが現状である。本論文では、近年目覚ましい進歩を見せている計算機の能力を生かし、個々の粒子を追跡する方法に基づいてこの複雑流が解析されている。本方法における数理モデルは他の多くの研究者が用いている経験的なモデルに比べると物理的な意味が明瞭であるが、膨大な数の粒子の衝突問題を扱わなければならない数値計算を行うことは容易ではない。本論文では、この困難を気体分子運動の分野で開発された DSMC 法 (Direct Simulation Monte Carlo) を適用することによって解決し、あわせて粒子と流体の相互作用を考慮して流体の運動も求めている。その成果を要約すると以下の通りである。

- (1) DSMC 法において提案されている従来の計算アルゴリズムを検討し、運動エネルギーの消散を伴う二相流に適用する場合に必要な改良点を明らかにしその方法を明示している。
- (2) 運動する個々の粒子の周りの流れを厳密に解くことは最新の計算機をもってしても非現実的である。粒子運動に関しては個々の粒子の軌跡を計算するが、粒子群の影響を受ける流体運動を計算する場合には粒子群の影響を差分セル中で平均化する方法が計算負荷を低減するためにはきわめて効果的である。本論文ではその方法を開発している。
- (3) 粒子間衝突の影響を純粋に取り出すため、無重力真空空間において衝突を繰り返す粒子群の運動の数値解析を行い、非弾性衝突がクラスター形成の原因であることを明らかにしている。
- (4) 2次元鉛直流路内を上向きに流れる固気二相流において、濃度むらからクラスターが形成される過程やクラスターの成長、合体、消滅などの現象を数値解析によって求めている。
- (5) 粒子の物性とクラスターの構造の関係を詳細に調べ、クラスターの大きさが粒径および粒子密度に大きく依存することを明らかにし、さらにその大きさが実測結果と定量的にほぼ一致する結果を得ている。

以上のように、本論文は、多数の粒子が衝突を繰り返す固気二相流を数値的に解析する方法を示している。そして実際の循環流動層において観察される粒子のクラスターと同様のクラスターが計算によって得られることを明らかにし、その構造の詳細についても深く考察しており、流体工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。