OUKA
Osaka University Knowledge Archive

| | |
|---|---|
| Title | 鉛直チャネル内固気二相乱流のラージ・エディ・シミュレーション |
| Author(s) | 山本, 恭史 |
| Citation | 大阪大学, 1999, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/41397 |
| rights | |
| Note | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

| | |
|---|---|
| 氏名 | 山本恭史（やまもとやすふみ） |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士（工学） |
| 学位記番号 | 第 14619 号 |
| 学位授与年月日 | 平成11年3月25日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科産業機械工学専攻 |
| 学位論文名 | 鉛直チャネル内固気二相乱流のラージ・エディ・シミュレーション |
| 論文審査委員 | （主査）<br>教授 辻 裕<br>（副査）<br>教授 三宅 裕　教授 高城 敏美　助教授 田中 敏嗣 |


## 論文内容の要旨

本論文は，固気二相乱流における重要な問題である，粒子の乱流拡散，固体粒子の存在による乱流特性の変化，さらにそれらに対する粒子間衝突の影響を明らかにするために，数値シミュレーションを用いて鉛直チャネル内の固気二相乱流を解析したものである。本論文は，全7章から構成されており，内容は以下のように要約できる。

第1章では，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章では，粒子運動の計算方法として，本研究で用いたラグランジュ的粒子追跡法および決定論的粒子間衝突計算法の詳細を述べている。

第3章では，本研究で用いた流体運動の計算方法として，ラージ・エディ・シミュレーションによる乱流計算法の詳細を述べている。

第4章では，混相乱流のシミュレーションに必要となるLESの空間解像度を調べている。その手法は，高解像度のLESで得られた場とそれにフィルタリングを施して小スケール渦を取り除いた場の両方で粒子運動を計算し，それぞれによって得られた粒子軌跡を比較するというものである。その結果，粒子運動に影響を与える渦の最小スケールは粒子と乱流渦の相互作用時間を用いて定義されるストークス数の関数として与えられることが明らかにされ，ストークス数と必要な格子解像度の関係についての指針が得られている。

第5章では，粒子および流体の平均速度分布，変動速度分布，さらに粒子濃度分布など，統計量について得られた結果を示している。計算結果を実験と比較することにより，流動に対する粒子間衝突の影響を明らかにするとともに，粒子と気流の乱れの相互干渉について考察を行っている。その結果，粒子体積率が$O(10^{-4})$という非常に低濃度の条件であっても，粒子間衝突は流れに垂直な方向の粒子の拡散を促し，その効果により粒子の平均速度分布および平均濃度分布は平坦化されることが明らかにされている。粒子流動に関するそれらの結果は実験とほぼ一致し，粒子運動に関して，粒子間衝突は非常に重要な要因であることを明らかにしている。また，本研究で用いたLESモデルは，気流の乱れ変化に関して，ストークス数の大きな粒子の場合には実験の傾向を表せないが，ストークス数の小さな粒子の場合にはほぼ実験の傾向を表せることを示している。

第6章では，粒子分布と気流の乱れの空間構造の相関およびそれらに対する粒子間衝突の影響について考察を行なっている。その結果，粒子間衝突を無視した場合には，ストークス数が小さくなるに従い，粒子の壁面近傍への集中の度合いが増すとともに，壁面近傍の乱れ構造の影響により壁面近傍で粒子クラウドが形成されることを明らかにして

いる。また，そのような粒子クラウドが形成されると，乱れ構造も影響を受けるため，one-way coupling と two-way coupling では全く異なった傾向となることを明らかにしている。粒子間衝突を考慮した場合には，粒子間衝突による拡散の効果により，壁面近傍の粒子濃度は粒子間衝突を無視したものに比べて非常に小さくなり，濃度むらの強度も大きく減少することを明らかにしている。粒子間衝突を考慮した計算で得られた流路中央における粒子分布構造の特徴と大きさは，実験で観測されたものとほぼ一致することを示している。

第7章では，本研究で得られた成果を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

乱流中に粒子を添加した場合，固体粒子の存在により乱流特性が変化することは，様々な実験によって指摘されてきており，この乱流特性の変化は，燃焼や反応を伴う各種工業装置の特性に対し，非常に重要な問題である。このような固気二相乱流の解析において，気流の乱れに対する粒子の影響をモデリングするためには，固気二相乱流中での固体粒子のふるまいについての理解が必要となるが，過去に得られたそのような情報は十分なものではない。また，乱流の問題とは別に，粒子間衝突が粒子の流動機構において示す役割が新たに認識されるようになってきているが，従来の固気二相乱流の数値解析では，その濃度が希薄であることから，粒子間衝突の影響には注意が払われていないのが現状である。本論文では，鉛直チャネル内の流れに対し，単相乱流の直接数値解法の一つであるラージ・エディ・シミュレーションとラグランジュ的粒子追跡法を組合せて，粒子間衝突の影響を考慮した固気二相乱流の流動現象が解析されている。その成果を要約すると以下の通りである。

(1) 本論文では，粒子運動に影響を与える渦の最小スケールについて考察し，ラージ・エディ・シミュレーションを混相乱流に適用する際に必要とされる格子解像度が，粒子と乱流渦の相互作用時間で定義されるストークス数の関数として表されることを明らかにしている。

(2) 粒子濃度分布，粒子速度変動強度分布，乱流強度分布などの統計量を示すことにより，粒子の慣性と濃度の違いによる，流動状態の傾向の違いを明らかにしている。また，この点に関して計算結果を実験と比較し，計算手法の妥当性を検証している。さらに，粒子運動に関する統計量に対し，粒子間衝突の影響の大きさを明らかにしている。

(3) 粒子分布および乱流の空間構造に対して，可視化および統計学的手法を用いて評価し，粒子の物性の違いによる空間構造の特徴の変化の傾向を明らかにしている。既存のシミュレーションで示されている粒子濃度むらの特徴は，実験による観測とは一致していないが，本論文で用いた粒子間衝突を考慮した計算手法は実験による観測とほぼ一致する結果を予測しており，粒子間衝突の重要性を明らかにしている。

以上のように本論文は，固気二相乱流における流動現象について有用な知見を得ている。また，これまでの混相乱流の数値シミュレーションではほとんど無視されてきた粒子間衝突の影響が非常に大きいことを明らかにしている。これらの成果は，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。