

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 雷 康斌

本論文は、乱流中に固体粒子が混入する系において粒子と乱流現象との相互作用をラージ・エディ・シミュレーションに基づき正確にモデル化し、このようなタイプの乱流場に広く適用しうる数値解析法を確立することを目的とした。微粒子固気混相流は、粉体輸送や燃焼炉などの工学装置において、また、汚染物質の大気拡散などに現れる現象であり、その予測制御は工学的に重要な課題となっている。従来より、主に時間平均 (RANS) モデルに基づいた数値解析の試みが行われてきたが、その多くは物理的根拠の乏しい実験式・経験式に基づいており普遍的な詳細解析に展開するには必ずしも適していない。また、粒子と乱流の相互作用の直接数値解析(DNS)やラージ・エディ・シミュレーション(LES)の試みも少数なされているが、低レイノルズ数に限定されていたり、大規模渦の相互作用だけが考慮されるなど、部分的な考察、検証にとどまっていた。これに対して、本論文では、粒子と乱流の相互作用をラージ・エディ・シミュレーションの概念に基づき、グリッド (格子解像) スケール、サブグリッドスケールの各々に対して評価し、また、粒子衝突の影響の考慮をも加えた Full Way Coupling 法を新たに提案し、粒子径と粒子密度の異なる微粒子固気混相流における様々な現象をより詳細に予測できることを示した。

本論文は 9 章よりなり、第 1 章序論で上記の研究課題を概観した後、まず、本論文で採用する数値解析モデルとして、第 2 章で乱流に対するラージ・エディ・シミュレーション法を、第 3 章で粒子運動に対する Lagrangian 法について紹介している。第 4 章では、乱流から粒子への影響を考慮する One way Coupling 法について考察し、乱流のサブグリッドスケール変動効果を Dynamic SGS モデルに基づき局所的に評価して与える Dynamic Random Walk モデルを新たに提案した。次に、第 5 章では、粒子による乱流変調を考慮した Two Way Coupling 法を導入し、その際のサブグリッドスケール効果をより普遍的に表すために湯らのモデルを Dynamic SGS モデルの概念で改良した新しい固気混相乱流 SGS モデルを提案した。さらに、第 6 章では、上記モデルを粒子間衝突をも考慮した Full Way Coupling 法に展開して、壁面近傍など粒子密度の集中する領域でのより正しい予測を与え

ることを数値検証した。これらの成果を総合して、第7章では固気混相乱流の普遍的なSGSモデルとして Full Way Coupling 法を提案し、鉛直チャンネル乱流に適用して様々な粒子乱流統計量を従来モデルよりも正確に評価できることを検証している。また、第8章では、上記の Full Way Coupling 法による数値シミュレーション結果から、粒子分布の不均一性や乱流構造の粒子により変調など、従来、直接シミュレーションや実験観察などで個別に指摘されていた現象が適切に予測されることが検証された。第9章結論として、本論文で提案された Full Way Coupling 法の特徴が要約され、予測精度、適用範囲および今後の研究展望が示された。

以上のように、本論文では、今世紀の課題とみられるエネルギー・環境問題において共通かつ重要な工学対象である固気混相乱流の予測に対して、ラージ・エディ・シミュレーション法による数値解析モデルを最新の研究成果を導入しつつ完成させたところに大きな功績があると考えられる。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。