

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 深 湯 康 二

高熱流束体系用に提案されている固気二相熱交換器や微粉炭燃焼器内に見られる固気二相乱流は、エネルギー産業をはじめ多くの分野で見られる典型的な流れの一つである。固体境界壁に囲まれていない固気二相乱流については、古くから理論解析が行なわれており、その結果に基づいたモデル、例えば二流体モデルによりその振る舞いの数値予測が高精度で可能であることがわかっており、この予測は既に産業界で一般的に用いられている。しかし、現実によく見られる固体境界壁に囲まれた固気二相乱流については、理論的な取り扱いが困難で、乱流中の粒子集団の振る舞いも充分には理解されておらず、したがって数値予測の精度についても、これを信頼して実用に供することができる状況にはない。

「Numerical Analyses on Dispersed Gas-particle Two-phase Turbulent Flows」(和訳：分散性固気二相乱流の数値解析)と題する本論文は、この状況の改善に寄与するには固体境界壁に囲まれ体系での乱流中の粒子の集団運動に関する理解を深めることが重要であるとの認識に基づき、ラージ・エディ・シミュレーション(LES)とラグランジュ粒子追跡法(LPT)という個々の粒子の運動についての情報を得ることができる極めて直接的な方法を用いて固気二相乱流の数値シミュレーションを行い、個々の粒子の振る舞いに関して得られたデータから粒子集団の挙動を統計的に解析し、壁に囲まれた固気二相乱流に特有な物理現象について考察した結果をとりまとめたものであり、全8章から構成されている。

第1章は序論で、渉猟した多数の文献に基づき分散性二相乱流に関する研究の現状を整理し、固体境界壁に囲まれた体系における固気二相乱流の振る舞いの精度の高い数値予測を行うために挑戦すべき課題領域を考察し、壁近傍での粒子挙動の解明を研究目的にしている。

第2章は本論文で用いる LES および LPT を用いた数値シミュレーション(以下では、LPT-LES という。)技法について述べており、LES および LPT の理論的背景および数値スキームについて整理している。

第3章は本論文で用いる数値計算コードの精度の検証を行った結果を述べており、作成された LES 及び LPT-LES コードによるベンチマーク問題の計算結果は文献に報告されている結果とよく一致したとしている。

第4章は小さな粒子を含むエアロゾル乱流の LPT-LES 結果について述べており、計算された粒子の沈着速度は実験式によく一致していること、計算結果に基づく粒子-流体間の速度相関等の解析により、粒子径と粒子の流体運動追従性の関係や粒子集団と壁近傍における乱流の縦渦構造の相互作用に関する理解が深まったとしている。

第5章は粒子の存在によって流体の乱流構造が変化する現象の解析結果について述べており、流体の運動方程式に粒子が流体に及ぼす力を取り入れてシミュレーションを行った結果、実験で報告されているような乱流強度の減衰や縦渦構造の伸長が見られたとしている。

第6章は、慣性の大きな粒子を含む平行流路における固気二相乱流の LPT-LES 結果と実験結果の顕著な食い違いを解消する工夫について述べており、これまで無視されてきた粒子間衝突、壁近傍での抗力の増加、及び壁面での非弾性衝突といった効果を考慮することによって、実験結果と数値解析結果の一致度が有意に改善されたとしている。また計算された統計量の分析により、壁近傍に堆積した粒子の粒子間衝突による運動量成分の再等方化がこの改善に特に大きな役割を果していると結論している。

第7章は熱輸送や粒子直径分布を考慮した LPT-LES 結果について述べており、本論文で用いた手法がより現実的な状況の解析にも適用できることが示されたとしている。

第8章は結論で、以上の成果を要約し、今後の研究課題を述べている。

以上を要すれば、本研究は、個々の粒子を振る舞いを追跡するという直接的な手法により固気二相流乱流の数値シミュレーションを行い、計算された粒子の振る舞いに関する種々のデータを統計解析して固気二相乱流の振る舞いについて理解を深めており、システム量子工学、特に混相流乱流工学の進展に貢献するところが大きい。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。