

審査結果の要旨

論文題目「流体シミュレーションを用いた混相流の特性把握および現象解明に関する研究」

学位申請者 水野 裕介

本論文は、固気混相流の現象把握が可能な解析手法を開発し、様々な固気混相流れに応用した結果、現象の把握が可能であることを示したものである。流体中に微粒子が混在する固気混相流れは、流体と微粒子の相互干渉によって現象が複雑化するため、現象の予測や実験による現象の把握が難しく、数値解析による現象把握が期待されている。一方で、流体中の微粒子の影響を評価する手法はいくつか提案されており、数式モデルで微粒子の影響を評価する質点近似型や直接微粒子を解像する粒子解像型などが挙げられる。本研究では、粒子解像型である埋め込み境界法を応用した流体解析コードの開発を行い、固気混相流の現象を把握することを目的としている。

本研究では、2つの固気混相流れに着目している。1つ目は、ロケット排気ジェットなどで発生する圧縮性固気混相流れである。圧縮性効果や衝撃波との干渉などが生じる微粒子周りの現象は予測が難しく、従来の予測モデルでは高精度な予測が難しいため、圧縮性効果などを考慮した予測モデルの再構築が必要とされている。さらに、複数の微粒子が混在する流れ場における粒子の相互干渉などの詳細な現象も解明されていない。そこで、本研究では、圧縮性の流体解析コードを開発し現象把握を行った。2つ目は、ショットピーニング加工技術において発生する非圧縮性固気混相流れである。ショットピーニング加工技術は、様々な条件で実施されるため最適な加工条件や現象の予測が求められる。従来の予測モデルでは流体の影響を考慮していない場合や定常な流れ場を想定している場合がほとんどであり予測値と実際の加工結果に差異が生じていた。そこで、本研究では、従来手法では考慮できない現象を捉えるために流体解析コードを開発し現象を把握することを目的としている。また、流体・構造連成解析技術の開発を行い、解析結果から衝突現象をモデル化することで衝突現象を考慮した流体解析の技術を構築した。これらの固気混相流れの流れ場の特徴は、微粒子直径が小さく、低 Reynolds 数流れとなる点や流体と微粒子の相互干渉現象が明らかになっていない点が共通点として挙げられる。

本研究では、解析の結果、圧縮性混相流解析では、解析手法の精度の検証として行われた単体の静止微粒子周り流れの解析により現象把握が十分に行えることを確認した。2つの静止微粒子周り流れの解析では、微粒子間隔が短いと干渉の影響が強くなり、単体条件に比べて抗力係数が増加することや後流の非定常性が強まることを明らかにした。衝撃波が微粒子を通過する流れ場の解析では、微粒子は衝撃波と衝突すると運動し始め、さらに微粒子間でも流れ場を介して干渉することで微粒子間の距離が離れていく傾向があることを明らかにした。非圧縮性解析については、解析手法の検証により特徴的な流れ場を捉えられることを確認した。複数の微粒子を含んだ流れが壁面と衝突する流れ場の解析では、従来の解析手法では捉えられない流れ場と微粒子の相互干渉の影響を明らかにした。さらに、流体・構造連成解析を行い、解析結果から衝突時の微粒子速度を基にした反発係数モデルと最大変形量モデルを構築し、解析した条件下では流体解析のみで壁面形状の変化を考慮した解析を可能にした。衝突後の微粒子速度の変化や壁面形状の変化の把握も可能とした。複数の微粒子を含んだ解析では、微粒子間の距離を変化した場合に微粒子速度や壁面近傍における流れ場に違いが生じることを明らかにした。

このように、本研究で開発された手法では、従来手法では解析が困難であった現象を把握することが可能となり、本研究の成果は、固気混相流れの現象把握に大いに貢献できる成果であると考えられる。

2019年9月から2019年10月までに複数回行われた予備審査および2019年12月21日に行われた公聴会において、固気混相流れ現象や数値解析手法、解析条件等の質問に関して申請者 水野 裕介は、研究結果等を用いて的確に回答し、本研究に関して十分かつ広範な知識を有していることを示した。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定された。

したがって、申請者 水野 裕介は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断した。

論文審査委員

主査	博士（工学）	堀澤 秀之	工学部教授	（総合理工学研究科	総合理工学学専攻）
委員	博士（工学）	稲田 喜信	工学部教授	（総合理工学研究科	総合理工学学専攻）
委員	博士（工学）	福田 紘大	工学部准教授	（総合理工学研究科	総合理工学学専攻）
委員	博士（工学）	高橋 俊	工学部准教授	（総合理工学研究科	総合理工学学専攻）
委員	博士（工学）	野々村 拓	東北大学准教授		