

氏名	関 超
授与した学位	博 士
専攻分野の名称	工 学
学位授与番号	博甲第 5974 号
学位授与の日付	平成31年 3月25日
学位授与の要件	自然科学研究科 産業創成工学 専攻 (学位規則第4条第1項該当)
学位論文の題目	流体中の球形気泡・粒子運動に対する数値計算法の開発
論文審査委員	教授 柳瀬眞一郎 教授 富田 栄二 教授 堀部 明彦
学位論文内容の要旨	
<p>本論文では、様々な条件下における多数球形気泡・粒子を含む流れのシミュレーションを目指して、2001年に Maxey らによって開発されたストークス領域における球形粒子に適用する計算手法 Force-coupling Method (以下 FCM と略す) に基づいて、新たな計算手法修正 Force-coupling Method (以下 MFCM と略す) と繰り返し Force-coupling Method (以下 RFCM と略す) を提案した。主な改良点は、①ストークス近似およびオセーン近似から外れた条件下での球形粒子の液体中の運動解析が可能となった。②固体粒子ばかりでなく、球形気泡にも適用できるようになった。③計算コストの削減も達成した。</p> <p>多数気泡・粒子を含む流れを解析への第一歩として、MFCM と RFCM 両手法を用いて、無限流体中における単一球形気泡・粒子への解析を行い、気泡の場合は竹村と矢部 (1997) の実験結果と、粒子の場合は Clift et al. (1978) の式による理論解との比較を行った。また、壁面近傍を上昇する単一球形気泡・粒子への解析を行い、球形気泡の場合は竹村ら (2000) の実験結果と、球形粒子の場合は竹村ら (2002, 2003) の実験結果との比較を行った。および、RFCM のみを用いて静止流体中において鉛直に上昇する2球形気泡間の相互作用について Katz and Meneveau (1996) の実験結果との比較を行ったことにより、MFCM と RFCM の妥当性を確認した。さらに、気泡・粒子が壁面近傍を上昇する場合、壁面を向いている方向に圧力勾配が生じ、水平方向の揚力を生み出す物理的メカニズムは本研究で用いた MFCM と RFCM による計算結果から、気泡・粒子周りの圧力分布を求めることができ、現象のより定量的な再現が可能となった。また、静止流体中において鉛直に上昇する2球形気泡間の相互作用によって加速される原因および2気泡間の距離が短縮する物理的なメカニズムを再現することができた。</p> <p>最後に、現在で気泡向けの最も用いられる VOF 法 (Hirt and Nichols, 1981) を用いて、RFCM の計算コストを検討した。計算コストについては、気泡の3次元計算に対する計算時間、VOF 法は RFCM の約 50 倍となり、1 個気泡の3次元計算における必要なメモリ、VOF 法は RFCM の約 100 倍となることがわかった。</p> <p>以上のように、本研究で提案した球形気泡・粒子に対する新たな数値計算法について、妥当性を確認したとともに、計算コストが大幅に低減できることを確認した。</p>	

論文審査結果の要旨

本論文は、混相流の中でも特に重要な、固体粒子および気泡を含む水等の液体の流動ダイナミクスに関する数値計算法の開発を目的としたものであり、精度の高さ、計算コストの低さ共に従来研究を上回るものである。計算法は、従来からある Force-Coupling-Model (FCM) を基礎とし、その改良によって得られた新しいもので、本論文で修正FCM (MFCM) , 繰り込みFCM (RFCM) と呼ぶ2つの計算法が提案された。これらの計算法は、汎用コードではなく、Fortran90で書かれているため、新しい効果を容易に追加することができる。最初に計算法の精度・有効性を調べるために、先行研究の内、特に重要な実験結果と比較した結果、本計算結果は、誤差が数パーセント以下の高い精度をもつことが示された。実験と理論計算との比較は、1気泡および2気泡が重力場中を上昇する現象に対して実行された。まず、鉛直壁が1気泡に及ぼす斥力を正確に再現できたことが、今回提案された計算法の優秀性を示している。次に、無限流体中を上昇する2気泡に関する実験との比較の結果、2気泡の位置を精度よく予測し、さらに2気泡間に働く引力・斥力に関して物理的に妥当な現象を再現できたことが示された。加えて、気泡や粒子の周囲流体との境界が明示的には示されていない MFCM, RFCM 理論において、適切な条件を設定すれば、気泡・粒子の境界を明確かつ正確に与えられることが明らかとなった。

最後に、一般によく使用されているVOF法との比較を行っている。その結果、本論文で提案された計算法は、正確さの上でも、計算コストの上でもVOF法をはるかに上回っていることが明らかとなった。以上のように、本研究は混相流の研究に新しい局面を切り拓き、今後の当分野の研究の発展に大きな寄与をすることは疑いない。以上の点から、本論文は博士（工学）を与えるに相応しいと判断する。