

氏 名	おだ つよし 織田 剛
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 0 1 号
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	標位関数法を用いた二相流数値計算手法とその応用研究 (主査)
審 査 委 員	教 授 里深 信行 教 授 萩原 良道 教 授 松野 謙一 助教授 西田 秀利

論文内容の要旨

本研究では、界面追跡法的一种である標位関数法を用いた二相流解析を基本としながら、従来から幅広く行われてきた VOF 法などの二相流解析手法が不得意としている分野へ数値解析を効率よく適用することを目標にしている。また、二相流解析に限らず、移動境界問題や直交格子を利用した複雑形状まわりの形状適合格子作成にも取り組み、標位関数法を利用しながら従来の計算手法よりもより正確に現象を再現することを試みている。

具体的には、まず大変形の自由表面問題を取り上げ、密度比が 3 桁におよぶ空気と水の二相流においても、標位関数法は長時間の非定常解析を安定に行うことができ、実験結果と一致する結果を得ることができることを示している。実用問題として、海洋におけるスリット型消波構造物の透過率を数値解析により予測する問題を取り上げている。海洋波の消波構造物透過率に関して実験結果と計算結果の比較を行った結果、実験結果と計算結果は定性的によく一致しており、定量的にも両者の誤差が 20% 以内になる結果を得ている。

相変化を扱う Stefan 問題においては、相変化による界面の流動と成長の数値解析手法において、これまでよりも物理現象を正しく表現できる計算手法を提案している。標位関数法を用いた本手法により、溶融・凝固問題から蒸発・凝固問題を同一の手法で取り扱うことができる。具体的には、以下の点が上げられる。

1. Stefan 条件における界面の成長速度を求めるのに際して、界面近傍の法線方向温度分布を近似する曲線の次数の影響を受け、三次の近似曲線を使用することが好ましいことを明らかにした。
2. 界面を跨いだ温度の移流とセル内平均化に起因する界面の成長速度誤差を防ぐために温度補正式を導入し、これにより大幅に改善できることを明らかにした。

液滴と固体壁間の濡れ性を考慮した液滴形状変化問題では、標位関数法を基に接触角を取り扱うための方法の一つとして、壁面内部に接触角と同一勾配を持つ気液界面を仮想的に発生させる方法を提案している。漏れ性の異なる平板に衝突する液滴の二次元形状変化問題や、斜面に衝突する液堤の三次元形状変化問題を取り上げて、実験結果と一致した計算結果を得ている。

複雑形状周りの流れへの直交格子の適用では、一次補間と二次補間の組み合わせからなる二次精度カットセル法を採用した。この方法に改良を加え、4 種類のカットセル形状を考慮すること

により、x 方向に吸収譲渡するカットセル、y 方向に吸収譲渡するカットセル、それらの吸収譲渡の方向が遷移する間をつなぐカットセルのすべてに組み合わせ対応できることを示している。直交格子の中にカットセルで表現した円柱まわりの流れを例に実験結果との比較を行い、その有効性を確認している。また、もともと二次元であるこの方法を三次元へと拡張している。球周りの流れにおいて計算結果の検証を行い、実験や他の計算結果と一致した結果を得ている。

計算中に壁面位置が任意方向へ移動する移動境界問題では、標位関数によって表現された固体壁面を座標変換によって任意方向へ移動させながら、時々刻々と移動した位置においてカットセルを行う方法により直交格子での移動形状適合格子を実現している。この方法を用いて、粉体が気液界面に衝突して液面内に粉体が侵入する現象を数値計算に再現し、従来からの実験式と一致する計算結果を得ている。粒子が液面に衝突する過程を、粒子と液体の濡れ性を考慮して計算している例はほとんどないことを考えると、二相流数値解析において貴重な計算結果である。

以上のことから、本研究では標位関数を用いた二相流数値計算手法を多角的に応用して、これまでの二相流解析技術をさらに発展させることに成功している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、現在、理学および工学の多くの分野で重要かつ緊急を要する研究課題である、気泡や液滴に代表される相の異なる物質が混在する気液二相流の解析を計算流体力学的手法により試みたものである。

気液二相流の数値計算において最も困難な問題は気液界面の取り扱いであり、申請者はこれに標位関数法を採用することにより、界面の大変形を伴う複雑な流動現象の解明を可能にしている。特に、従来取り扱いの困難であった相変化を伴う場合や気液界面が壁面と干渉する、所謂、濡れ性を考慮しなければならない問題に対しても定量的に信頼できる結果を得ている。また、デカルト格子において工学上重要となる複雑な物体形状の取り扱いを可能とするため、カットセル法を導入し、標位関数法を組み合わせることにより、液面に衝突する粒子の挙動の数値計算に初めて成功し、実験式と一致する結果を得ている。

これらの成果は工学への大きな寄与が期待できる。

本論文の内容の一部は、以下の 4 編の査読付き論文として公表されている。

論文リスト

- ・ 織田剛，宇津野秀夫，竹鼻直人，奥村昌好
「N.S.方程式を解くことによるスリット型構造物消波性能の数値解析」
土木工学会海洋開発委員会海洋開発論文集，第 18 巻，323-328， 2002 年 6 月
- ・ 織田剛，里深信行，西田秀利
「レベルセット法を用いた相変化を伴う界面の流動と成長の数値解析手法」
日本機械学会論文集（B編），67 巻，662 号，2001 年 10 月
- ・ Tsuyoshi ODA, Nobuyaki SATOFUKA, Hidetoshi NISHIDA
“Numerical Analysis of Particle Behavior Penetrating into Liquid by Level Set Method”
Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Fluid Dynamics (ICCFD2), Sydney, Australia, July 15-19,2002
- ・ 織田剛，里深信行，西田秀利
「標位関数法による液体へ進入する固体粒子挙動の数値解析」
日本機械学会論文集（B編），68 巻，676 号，2002 年 12 月

