審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名　　玉井　佑

本研究は、高次精度粒子法に関する研究で、８章より構成されている。

第１章は序論であり、研究の背景、研究の目的、過去の研究の概要、及び本研究での定義等がまとめられている。連続体力学の数値解析においては、有限差分法、有限体積法、及び有限要素法が主に用いられており、その高度な技術や解法は既に確立されている。しかし、複雑形状に対する格子や要素の生成に多大な時間を要するという問題がある。さらに、連続体の大変形や、分裂・合体、トポロジー変化等を伴うような問題を解析することが困難であるという問題がある。それらの問題を解決すべく、格子や要素による空間分割を必要としない粒子法やメッシュフリー法が開発された。主に流体解析に用いられる粒子法としては、Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH)法、Moving Particle Semi-implicit (MPS)法が挙げられる。しかし、それら手法で用いられている空間離散化スキームは、重み関数のサポート内におよそ一定の数の粒子を配置するという一般的に用いられている粒子配置の場合には、Consistencyを満たしていない。また、SPH法やMPS法では、特にNeumann境界条件の拘束方法に関してもConsistentな定式化や厳密な議論が行われていなかった。これらの問題は、今日の粒子法が解決すべき課題として非常に重要なものであるとされている。

第２章では、粒子法の代表的な方法の１つであるSPH法のこれまでの研究および課題がまとめられている。通常のSPH法ではConsistencyが満たされないこと、Consistencyを満たすように改良されたSPH法は最小二乗法を用いて導出することと同一であることが述べられている。

第３章では、もう１つの代表的な粒子法であるMPS法のこれまでの研究および課題がまとめられている。MPS法でも同様に最小二乗法を用いない場合はConsistencyが満たされないと結論されている。

第４章では、本研究で提案する粒子法が述べられている。本方法では、通常のSPH法やMPS法とは異なりConsistencyが満たされており、高い計算効率で高次精度の解が得られる。具体的には、最小二乗法を用い、Scalar変数の空間離散化、及びNeumann境界条件の拘束を行うスキームが開発された。また、空間離散化に必要な近傍粒子数を削減し計算効率及び安定性を向上させるための、Multiple-order Differential Constraint (MDC)スキームを開発し、Poisson方程式を検証例として解くことによりConvergenceや計算効率の比較・検討を行い、計算精度や計算効率が向上することが示された。

第５章では、空間２階微分の離散化を、最も低次精度（１次）であるが、最も少ない近傍粒子数で行うことが可能なスキームを開発し、Poisson方程式を数値的に解くことにより他のスキームとの比較を行い、優位性が示されている。

第６章では、Scalar変数の離散化方法の拡張として、Vector変数の空間離散化、及び複数成分にまたがって微分値が与えられるようなNeumann型境界条件の拘束方法を開発し、Vector変数のPoisson方程式を解くことによりConvergenceの検証が行なわれ、高次の収束性を満たす数値解が得られることが示された。

第７章では、粒子法のさらなる高次精度化・高解像度化、及び高精度計算時の効率の向上を目的とし、粒子法に適用可能なコンパクトスキームの開発を行った。既存の手法と比べて収束性の次数が高く、極めてよい精度の解が得られることが示された。

第８章は結論であり、本研究で開発した高次のConsistencyを満たす様々な空間離散化スキームは、数値解析手法としてのメッシュフリー法や粒子法が高次の収束性(Convergence)を満たす解法となるための礎なすものである、とまとめている。

以上を要するに、粒子法は過去の研究によって産業への応用が広がっている中で、本研究はその数学的な基礎を追究し、Consisntencyを満たすような高次精度の離散化スキームを提案している。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。