

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	異 瞭子
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 星野 一生
	副査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 渡辺 宙志
		慶應義塾大学教授	博士（工学）， TeknD 深淵 康二
		慶應義塾大学准教授	Ph. D. 安藤 景太
		慶應義塾大学名誉教授	工学博士 畑山 明聖
<p>学士（工学）・修士（工学）異瞭子君提出の学位請求論文は、「Development of a Lagrange-Monte-Carlo Scheme for 3D Plasma Fluid Simulation in Fusion Edge Plasmas（核融合境界層プラズマにおける3次元プラズマ流体シミュレーションに向けたラグランジュ-モンテカルロ法の開発）」と題し、全6章から構成されている。</p> <p>新しいエネルギー源として期待されている磁場閉じ込め核融合装置では、炉心から排出される熱・粒子は境界層プラズマを通して固体壁に多大な熱・粒子負荷を与える。このような熱・粒子負荷の制御手法を開発するために、境界層におけるプラズマ輸送シミュレーションの高性能化、特に3次元化が強く望まれている。しかし、そのシミュレーションにおいては、境界層プラズマに特有な（1）磁力線に平行方向と垂直方向とで輸送メカニズムが大きく異なる、（2）粒子、運動量、エネルギーの各輸送で支配的な輸送メカニズムが異なる、（3）壁境界ではソースからの制約条件が課される、といった物理現象をモデル化し安定的に数値計算することが求められる。しかしながら、これまで境界層プラズマの2次元数値計算手法として主に用いられてきた有限体積法では、上記のような各種物理現象の連成を考慮に入れた上で3次元へ拡張することは困難と考えられる。以上の背景を踏まえ、本研究では、仮想流体粒子を用いた新しい3次元数値計算手法の開発とその数値的な妥当性検証を目的としている。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的・意義について述べている。</p> <p>第2章では、本研究で用いたプラズマ流体モデル・中性粒子モデルについてまとめている。プラズマ流体モデルとしては、一般的なBraginskii方程式を元に、粒子連続の式、磁力線方向の運動量バランスの式、イオン及び電子のエネルギーバランスの式を解いている。中性粒子については簡単な解析モデルを用いている。</p> <p>第3章では、仮想流体粒子を用いたモンテカルロ法（以下、MC法）について、理論的かつ数値的に妥当な境界条件設定手法について議論している。1次元拡散方程式に代表的な境界条件を与えMC法で計算し、比較・検討を行っている。有限体積法に比べ注意深く境界条件を設定する必要があるが、ディリクレ条件、ノイマン条件各々に対し妥当な手法を明らかにしている。</p> <p>第4章では、対流問題に適したラグランジュ法（以下、LG法）について述べている。確率的な解法であるMC法に対流が支配的である問題への適用性は必ずしも明らかでない。そこで本論文の著者は、実際にMC法に対流支配の問題に適用し、その結果、圧力勾配項の陽的な扱いにより非物理的な解になってしまうことを明らかにしている。さらに、この問題を解決するために、粒子の移流を基礎とするLG法コードを開発し、LG法における圧力勾配項の半陰的な取り扱いが有効であることを示している。</p> <p>第5章では、以上の検討に基づき、対流に対しLG法、拡散に対しMC法を用いたLG-MC法を新たに開発し、1次元の系でその妥当性を検証している。さらに3次元円筒形に拡張し、本手法の最終目標である3次元体系への拡張の有用性を示している。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で得られた知見と成果を述べている。</p> <p>以上、要するに本論文は、磁場閉じ込め核融合装置における熱・粒子負荷の制御、ひいては将来の核融合発電実現に向けて重要となる境界層プラズマの3次元プラズマ輸送シミュレーションに向けた新しい数値計算手法を確立したものであり、工学上寄与することが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査委員会で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。		