

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	本間 裕貴
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 畑山 明聖
	副査	慶應義塾大学准教授	工学博士 横井 康平
		慶應義塾大学教授	理学博士 田村 要造
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
<p>(論文審査の要旨) 修士(工学)、Ingénieur de l'Ecole Centrale de Paris 本間裕貴君提出の博士学位請求論文は「Numerical modeling of the thermal force for impurity transport in fusion plasmas (核融合プラズマ中の不純物輸送に関する熱力の数値モデリング)」と題し、全6章から構成されている。</p> <p>次世代エネルギー源の一つとして期待される制御熱核融合発電の実現には、高温・高密度プラズマを生成し、長時間磁場中に閉じ込め、維持することが必要となる。しかし、プラズマ閉じ込め容器壁で発生した不純物粒子が高温コアプラズマに混入すると、プラズマ温度は低下し、核融合反応の維持が困難となる。従って、コアと壁との境界に位置する境界層プラズマ中の不純物輸送現象のモデル化とコアプラズマへの混入量の予測は必要不可欠であり、従来から世界各国で様々な不純物輸送シミュレーションモデルの開発が行われてきた。しかしながら、急峻な温度勾配が存在する境界層プラズマにおいて、不純物イオンと背景プラズマとのクーロン相互作用により発生する熱力と、この熱力に起因する不純物輸送に関するモデル化は、未だ十分とはいえない。特に、閉じ込め磁場に垂直な方向の熱力による境界層プラズマ中の不純物輸送は、従来の運動論的数値シミュレーションにおいては全く考慮されていなかった。以上を踏まえ、本研究では、境界層プラズマ中の熱力による不純物輸送に関する新たな数値シミュレーションモデルを開発し、プラズマ中への不純物混入量に関する信頼性の高い輸送シミュレーション実現に寄与することを目的としている。</p> <p>第1章では、本研究の背景と目的・意義を述べている。</p> <p>第2章では、本研究の基礎となるプラズマ中のテスト荷電粒子の運動論モデルについてまとめている。このモデルでは、テスト不純物粒子と背景プラズマ粒子群とのクーロン衝突による運動量変化を速度空間における速度ベクトルの酔歩過程として定式化する。本章では、このモデルに基づき、解析的な扱いが可能な、密度が一定、かつ、線形な温度勾配を持つ背景プラズマについて、テスト粒子の運動量変化の期待値を求め、熱力の理論式を導いている。さらに、典型的な核融合プラズマ中での熱力の大きさを計算している。</p> <p>第3章では、第2章の酔歩モデルおよび多体問題を二体問題に帰着させる、いわゆる「二体衝突モデル」に基づき、本研究で新たに開発した熱力の数値シミュレーションモデルについて述べている。特に、本章ではモデルの基本となる磁力線に平行な方向の熱力に関して、その詳細を述べている。その特徴は、1) 背景プラズマの速度分布関数に、ボルツマン輸送方程式の解から得られる温度勾配を有する変形マクスウェル分布を用いること、さらに、2) この速度分布関数から背景粒子速度のランダムサンプリングを高速かつ正確に行う手法を提案していることにある。</p> <p>第4章では、第3章のモデルをさらに拡張し、磁力線と垂直方向の温度勾配を有する変形マクスウェル分布を用いることにより、従来の運動論的シミュレーションでは全く考慮されていなかった磁力線垂直方向の熱力に関する数値シミュレーションモデルを新たに提案している。さらに、このモデルを用いた数値計算結果と第2章の理論値とを比較することにより、モデルの妥当性を検証している。また、熱力とローレンツ力により不純物粒子が磁場垂直方向に旋回中心ドリフトによって輸送されることを、運動論的数値シミュレーションにより初めて示すとともに、その効果が境界層プラズマ中の不純物輸送過程において無視できないことを示している。</p> <p>第5章では、第3、4章で開発したモデルをもとに、さらに、その計算高速化をはかるため、フォックカープランク近似による簡易熱力計算モデルをも提案している。この簡易モデルによる計算結果を第4章の結果と比較することにより、その妥当性を検討している。背景プラズマと不純物との自己無撞着な輸送計算には、この簡易計算モデルは適さないものの、不純物量が少ない、いわゆる“trace impurity limit”では、この簡易モデルを用いて高精度・高速な計算が有効なことを確認している。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめている。</p> <p>以上、要するに本論文は、高温・高密度核融合プラズマの生成・維持、ひいては将来の制御熱核融合の達成に重要となる熱力による不純物輸送過程に関して、信頼性の高い輸送モデルを構築したものであり、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。		