

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	矢本 昌平
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
		慶應義塾大学准教授	博士(工学) 中野 誠彦
		慶應義塾大学教授	工学博士 岡野 邦彦
<p>(論文審査の要旨) 学士(工学)、修士(工学) 矢本昌平君提出の博士学位請求論文は「Numerical Simulation of Impurity Transport in Tokamak Edge Plasmas (トカマク周辺プラズマにおける不純物輸送の数値シミュレーション)」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。しかしながら、プラズマ閉じ込め容器壁で発生した不純物粒子が比較的低温の周辺プラズマ層を介して高温コアプラズマに混入すると、コアプラズマ温度は低下し、核融合反応の維持が困難となる。このため、現在、日本、EUなど世界7極の国際プロジェクトとして建設中のトカマク型国際熱核融合実験炉(ITER)では、コアプラズマへの不純物混入量の割合をプラズマ密度全体に対して$10^{-3}\%$以下に抑える必要がある。周辺プラズマにおける不純物輸送のモデル化とコアプラズマへの混入量の予測シミュレーションは、ITERなど将来炉における不純物制御と運転指針の確立のための最重要課題の一つとなっている。以上の背景を踏まえ、本論文はトカマク周辺プラズマを対象として、1)不純物輸送モデルの高度化、2)コアプラズマへの不純物混入量評価に関する信頼性の高い輸送シミュレーションの実現、さらには、3)上記、1)、2)に基づくITERなど将来炉における不純物制御に関する新たな知見と運転指針を得ることを目的としている。</p> <p>第1章は序論であり、本論文の目的・意義を述べている。</p> <p>第2章では、本研究の基盤となる不純物輸送シミュレーションコード(以下、IMPGYROと呼ぶ)を構成する物理モデルと計算の流れについて、その詳細を述べている。IMPGYROはトカマク磁場配位における粒子軌道を直接追跡するいわゆる運動論的粒子モデルに基づいている。ITERなどにおいてプラズマ対抗壁の有力候補材であるタングステン(W)不純物粒子を対象として、トカマク実磁場配位中の3次元粒子軌道を追跡する。さらに、最大74個にも及ぶW粒子の多価電離・再結合過程、W不純物粒子とプラズマ対向壁との相互作用などをモデル化している。しかしながら、IMPGYROを含む従来の不純物輸送コードの多くは、背景燃料プラズマとのクーロン衝突により不純物イオンに作用する熱力および摩擦力については、簡易的に流体モデルにより模擬してきた。本論文の著者は、背景燃料プラズマの速度分布関数の非平衡性を考慮に入れ、モンテカルロ2体衝突モデルを用いてクーロン衝突を模擬し、運動論的に熱力および摩擦力をモデル化することにより、IMPGYROの高度化に成功した。</p> <p>第3章では、著者は上述の高度化されたIMPGYROを量子科学技術研究開発機構のトカマク型プラズマ試験装置(JT-60U)に適用し、主に磁力線方向の熱力と摩擦力が不純物輸送に及ぼす影響を議論している。その結果、従来の流体モデルでは急峻な温度勾配が存在する領域でコアへ向かう熱力が過大評価されることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、第3章と同様にJT-60Uを対象として磁力線に垂直方向の不純物輸送について議論している。磁力線に垂直方向の熱力および摩擦力を運動論的に扱うことが可能な周辺プラズマ不純物輸送コードはIMPGYRO以外に世界的にも他に例をみない。その結果、周辺プラズマにおいてもいわゆる新古典輸送効果により、磁力線を横切る大きな不純物流束が発生することを初めて明らかにしている。</p> <p>第5章では、ITER実体系にIMPGYROを適用し、不純物輸送予測シミュレーションを行っている。ITERの典型的な運転モードの一つである部分デタッチモードでは、プラズマ対抗壁で発生したW不純物粒子は、主として摩擦力とラーマ旋回の効果により対抗壁前面の領域に局在化し、上流側に輸送されにくいことを明らかにするなど、ITERの運転指針に関して多くの新しい知見を得ている。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で得られた成果と今後の展望をまとめている。</p> <p>以上、要するに本論文は、高温・高密度トカマクプラズマの生成・維持、ひいては将来の制御熱核融合の達成に重要となる周辺プラズマ不純物輸送予測シミュレーションの基礎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	<p>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。</p> <p>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。</p>		