

東京大学 大学院新領域創成科学研究科  
基盤科学研究系 先端エネルギー工学専攻  
2022年9月修了 修士論文要旨

# Fokker-Planckコードによる核融合プラズマ加熱・電流駆動解析

学生証番号 47206126 氏名 張 以澤  
(指導教員 西浦 正樹 准教授)

Key Words: Electron Cyclotron Heat, Current Drive, Fokker-Planck equation, Quasi-linear term

核融合炉は自己燃焼により核融合反応を安定かつ継続的に維持することで、エネルギー出力を得ることが出来る。この燃焼状態を維持するために外部から電磁波を入射し、プラズマ加熱、電流駆動、及び不安定性抑制を行う必要がある。この外部制御ノブによる燃焼状態へのスケール可能なモデルの構築を行うには、運動論的に取り扱う必要がある。それにより原型炉の設計や運転予測に大きく貢献できる。

国際熱核融合実験炉ITERでは、核融合反応で得られるエネルギーと入力エネルギーの比であるエネルギー増倍率 $Q>10$ として設計されている。その燃焼シナリオでは電磁波による加熱と電流駆動により燃焼を維持することが想定されている。特に、電子サイクロトロン波(EC)を用いた加熱・電流駆動は粒子ビームよりプラズマコア部での効率が良く、必須であると考えられている。燃焼状態のプラズマにおいて、電流駆動効率の予測精度は核融合炉の総合性能の評価を左右する重要な要素であり、原型炉に外挿可能な電流駆動モデルが求められる。

実際問題として、運動論的に扱うTRAVISコードでLHD実験のEC波による電流駆動(CD)を評価した場合、実験から得られる電流量や電流分布を説明できないことがある。それはECCDに関わる電子の速度空間と実空間の拡散モデルに問題があると考えられた。

本研究の目的は、Fokker-Planck(FP)方程式の計算コードから得られる結果の妥当性を検証し、ECCDの電流駆動効率の高精度評価を実現することである。そのため、ここではFP方程式を構成する衝突項・拡散項による、電気伝導率、速度分布関数、電流駆動効率への影響を理論的な解析解や参考文献の値と比較し、計算結果の妥当性を示す。ここでは、TASK/FPコードを利用しする。

最初に、FP方程式と等方背景粒子で近似したクーロン衝突モデルを用いて求めたプラズマの導電率と、理論式から求めたSpitzer conductivityの値とを比較し、FP方程式の数値解の妥当性を検証する。次に、波動-粒子作用により速度空間上の非等方な粒子について、速度空間上の粒子拡散の結果として駆動される電流の時間発展を、準線形拡散項を導入し、結果の妥当性を評価する。

本論文の構成を以下に示す。

第1章では、核融合プラズマの概要と、核融合プラズマの加熱・電流駆動について述べる。核融合プラズマを運動論的に扱う理論モデルについて記述し、加熱・電流駆動の解析に使う統合コードTASKの概略を述べる。本研究の目的と論文構成を示す。

第2章では、TASK/FPコードに用いるFokker-Planck方程式の数値解法、2次元座標系、及び物理モデルについて説明する。特に拡散効果を表現するクーロン衝突項と準線形拡散項について述べる。

第3章では、より現実的なシミュレーション解析を行うため、TASK/FPにおけるECCDに関する計算に必要な各項の動作確認・検証計算を行う。DC電場による影響とクーロン衝突による拡散を記述する項について、プラズマの電気伝導率を計算し、Spitzer Conductivityの理論式から求めた計算値と比較することで、動作検証を行う。また、TASKコードに準線形運動論に基づいた波動作用による拡散に関する計算を導入し、速度分布関数の時間発展を可視化すると共に、電流駆動効率を求め、Karney&Fischによる計算と比較する。速度空間上の拡散が粒子の速度分布に与える影響の妥当性を示す。

第4章に本研究の結論を示す。