

トカマクにおける径方向拡散係数の運動量依存性が熱輸送及び高速粒子の輸送に及ぼす影響

Influence of the momentum dependence of radial diffusion on the transport of thermal and energetic particles in tokamak plasmas

太田佳吾¹, 福山淳¹, 村上定義¹

Keigo OTA¹, Atushi FUKUYAMA¹, Sadayoshi MURAKAMI¹

京都大学¹

Kyoto University¹

現在、核融合炉の科学的小および技術的な実現可能性の実証を目的とした、国際熱核融合実験 炉 ITER 計画が進められている。ITER ではプラズマを加熱し核融合出力が外部加熱の 10 倍となる、 $Q = 10$ を目標の一つとしている。ITER で $Q = 10$ の定常プラズマを得るためには、効果的にプラズマを制御する必要があり、そのためには立ち上げ時のプラズマ粒子の密度分布、温度分布の時間発展のシミュレーションによる検証が不可欠である。

プラズマの挙動を記述する方法の 1 つに流体変数を用いた輸送方程式がある。しかしながら、実際のプラズマは外部からの加熱やプラズマ粒子と波の相互作用によって粒子の速度分布関数が非 Maxwell 分布となるため、流体輸送方程式による記述では速度分布の変化による効果を含めて正確に評価することができない。速度分布の効果を検討するためには運動論方程式を解く必要がある。本研究では統合輸送シミュレーションコード TASK を用いてプラズマの立ち上げのシミュレーションを行うことで、効果的なプラズマ制御を確立することを目的とする。今回主に用いる TASK/FP モジュールは軌道平均 Fokker-Planck 方程式を空間 1 次元運動量空間 2 次元の位相空間上において数値計算によって解くことによりプラズマの運動量分布関数の時間発展を求めることができる。

本研究ではまず、従来の TASK/FP による解析と同様に軌道中の最弱磁場における小半径、運動量及びピッチ角を変数としたゼロ軌道幅モデルを考える。従来の TASK/FP による解析 [1] では小半径方向の粒子拡散係数が粒子の運動量に依存しないモデルを用いているが、拡散係数が運動量に依存しない場合軌道平均 Fokker-Planck 方程式を積分して得られる粒子拡散係数と圧力拡散係数が等しくなる。しかし実験的には粒子拡散係数は圧力拡散係数より大きな値をとること

が分かっている。従って、本研究では径方向拡散係数に運動量の n 乗の依存性を加え、その粒子と圧力の拡散係数を比較することで実験の傾向を再現する運動量依存性を評価した。

次に、軌道平均 Fokker-Planck 方程式に有限軌道幅効果を導入する。ここでは、位相空間の変数として、運動の保存量である軌道中の最大ポロイダル磁束 ψ_m 、 ψ_m における運動量 p 、ピッチ角 θ_m を用いる。衝突や準線形拡散による運動量の変化がもたらす径方向拡散の効果を含む拡散係数を定式化する。さらに、新たに用いる保存量空間では、拡散によって周回・捕捉軌道境界を横切るとき保存量が非連続的に変化する可能性がある。したがって、保存量空間で軌道を分類 [2] して、周回・捕捉軌道境界において、適切な境界条件を設定した。

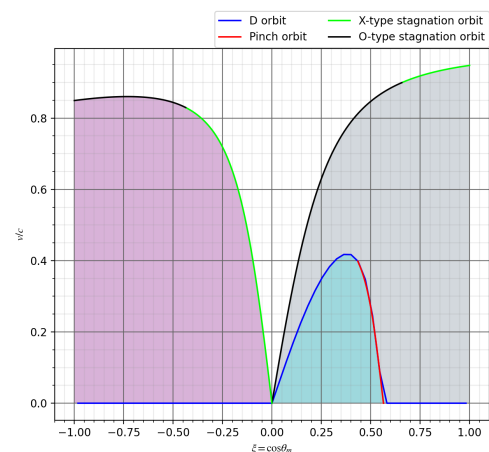


Fig. 1: 位相空間における軌道分類 ($r/a = 0.65$)

[1] H. Nuga, A. Fukuyama, Progress in nuclear science and technology. 2, pp78-84 (2011)

[2] Rome J A and Peng Y-K M 1979 Nucl. Fusion 19 1194