

核燃焼効率評価のための運動論的統合輸送コード TASK/FP の開発 Development of Kinetic Integrated Transport Simulation Code TASK/FP for Evaluation of Nuclear Burning Efficiency

安齋亮慶, 太田圭吾, 福山淳, 本多充, 村上定義

Akiyoshi Anzai, Keigo Ota, Atsushi Fukuyama, Mitsuru Honda, Sadayoshi Murakami

京都大学 工学研究科 原子核工学専攻

Department of Nuclear Engineering, Kyoto Univ.

核融合炉において、効率的に燃焼プラズマの立ち上げシナリオを構築するにはプラズマの挙動を正確にシミュレーションする必要がある。運動論的方程式である Fokker-Planck 方程式を数値的に解く、統合輸送シミュレーションコード TASK/FP の開発により、プラズマの速度分布の効果を考慮したシミュレーションを行うことができるようになってきた [1]。しかし従来の TASK/FP による解析には粒子の軌道幅を無視する近似が用いられており、大きな軌道幅を持つ高エネルギー粒子による径方向拡散の評価が不正確となる問題があった。

本研究においては、TASK/FP に有限軌道幅効果を導入し [2]、新古典輸送の理論値における拡散係数との比較を行った。その際に、エネルギー ϵ 、磁気モーメント μ 、トロイダル角運動量 P_ζ を使用した保存量空間 (ϵ, μ, P_ζ) から、運動量 p 、軌道上の最大磁束となる点におけるピッチ角 θ_m 、軌道上の最大磁束となる点のポロイダル半径 ρ_m を用いた保存量空間 $\mathbf{I} = (p, \theta_m, \rho_m)$ へと座標変換し、次の軌道平均 Fokker-Planck 方程式を導入した。

$$\frac{\partial}{\partial t} \mathcal{J}_I f(\mathbf{I}, t) = \frac{\partial}{\partial I_i} \mathcal{J}_I \left[D^{ij} \frac{\partial}{\partial I_j} - F^i \right] f(\mathbf{I}, t) + \mathcal{J}_I H(\mathbf{I}) \quad (1)$$

ここで \mathcal{J}_I はヤコビアンであり D^{ij} , F^i は軌道平均した拡散および移流係数で、局所的な座標 $\mathbf{u} = (p, \theta, \rho)$ と軌道平均 $\langle \rangle$ を用いて次のようにかける。

$$D^{ij} = \left\langle \frac{\partial I^i}{\partial \mathbf{u}} \cdot \overleftrightarrow{D}^{uu} \cdot \frac{\partial I^j}{\partial \mathbf{u}} \right\rangle \quad (2)$$

$$F^i = \left\langle \frac{\partial I^i}{\partial \mathbf{u}} \cdot \mathbf{F}^u \right\rangle$$

境界条件は、保存量が不連続的に変化することがある境界面において適切に分類し、設定した [3]。

有限軌道幅効果 FP によって得られた拡散係数は新古典輸送と比べ、局所逆アスペクト比が大きくなるほど大アスペクト近似が破れることにより乖離が大きく

なることが示された。また、プラズマ中心で新古典輸送の径方向拡散係数が FP と比べ小さくなるのは、新古典輸送理論では、プラズマ中心に存在するポテト軌道などの特殊な軌道による輸送の効果が含まれていないことが原因の一つであると考えられる。

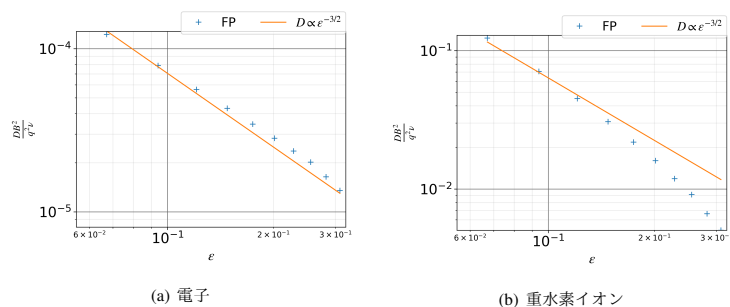


Fig. 1: 径方向拡散係数の局所逆アスペクト比依存性

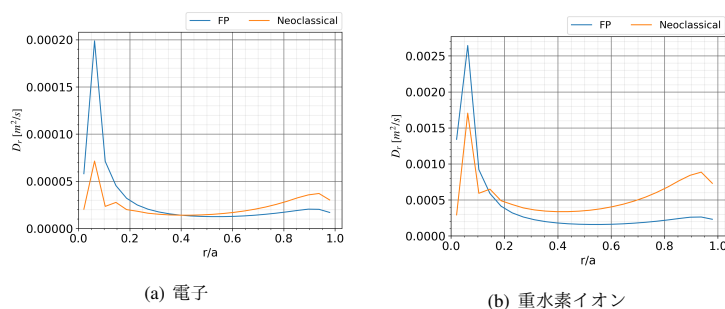


Fig. 2: 径方向拡散係数

- [1] H.Nuga and A.Fukuyama. *Progress in nuclear science and technology*, 2:78–84, 2011.
- [2] Y.V.Petrov and R.W.Harvey. *Plasma Phys. Control. Fusion*, 58:115001, 2016.
- [3] J.A.Rome and Y.M.Peng. *Nuclear Fusion*, 19:1193–1205, 1979.