

# 新古典輸送理論における有限軌道幅効果についての粒子シミュレーション

## Particle simulation on the finite orbit width effect on the neoclassical transport theory

松岡清吉, 佐竹真介

*Seikichi Matsuoka, Shinsuke Satake*

核融合科学研究所, 岐阜県土岐市下石町 322-6, 509-5292

*National Institute for Fusion Science (NIFS), 322-6 Oroshi-cho, Toki 509-5292, Japan*

従来, プラズマ中の衝突に起因する輸送を扱う新古典輸送理論は, 粒子のドリフト運動による磁気面からの軌道のずれの効果 (有限軌道幅効果) を無視する近似 (ゼロ軌道幅近似) を用いた, 径方向について局所的なドリフト運動論方程式を基礎としている. また, 一般に磁場閉じ込め装置の新古典輸送による拡散係数は, 磁場配位が複雑であることから解析的に評価することが難しいため, 通常は局所のドリフト運動論方程式を数値的に解くことで求められている. ゼロ軌道幅近似に基づいた局所新古典輸送解析コードは, 径方向についての変数を単なるパラメータと見なすことが出来るために単一の磁気面上における新古典輸送を素早く求めることが可能であり, そのメリットから広く用いられている. 実際には, DKES コード [1] を始めとする局所新古典輸送解析コードでは, ゼロ軌道幅近似だけではなく, 位相空間上の保体積性及びドリフト運動の非圧縮性を満たすために粒子の磁気面内のドリフト運動に対して他にも様々な近似を併せて採用している.

一方で, 装置の磁場配位やプラズマ温度などのパラメータによっては, トカマク装置の磁気軸近傍におけるパテト軌道を描くような捕捉粒子やヘリカル型装置におけるヘリカル捕捉粒子の径方向ドリフトが大きくなることで, 粒子が単一の磁気面上に局在するという上記のゼロ軌道幅近似が破られると考えられる. 我々は, 有限軌道幅効果を考慮した新古典輸送の評価を行うために, これまでに  $\delta f$  モンテカルロ法に基づいた粒子シミュレーションコードである FORTEC-3D コード [2] を開発してきた. FORTEC-3D コードでは径方向ドリフトを含むドリフト運動論で記述される粒子軌道を全て追跡しており, その意味で非局所的な新古典輸送を評価している. また, 実際に有限軌道幅効果が顕著になる高温・低衝突周波数領域のプラズマに対して FORTEC-3D を適用し局所解析コードによる結果と比較することで, DKES などの局所解析コードにおいて無視されている粒子軌道効果によって新古典輸送に定性的な変化が現れることが明らかにされている [3]. しかし, FORTEC-3D での粒子軌道の効果と言った場合には, 径方向ドリフトに加えて上述した DKES 等で採用されている他の近似による差異を同時に含むため, 粒子軌道のうち純粋に有限軌道幅の効果のみを取り出してゼロ軌道幅モデルと比較し, 有限の軌道幅が新古典輸送に与える影響を検証することは難しかった.

本研究では, FORTEC-3D コードをベースとして径方向ドリフトのみを除いた新古典輸送コードとして, ゼロ軌道幅モデルに基づく FORTEC-3D コードを新たに開発した. 発表では, 従来の局所解析コードで採用されている種々の近似について考察し, 今回開発したコードにおけるゼロ軌道幅モデルにおけるドリフト運動について議論する. これまでに, ベンチマーク計算としてゼロ軌道幅 FORTEC-3D コードをトカマク及び LHD 磁場配位のプラズマへと適用しており, その結果について示す. また, 従来の有限軌道幅 FORTEC-3D の結果と比較し, 有限軌道幅効果が新古典輸送に与える影響について検証する.

### Reference

- [1] W. I. van Rij and S. P. Hirshman, Phys. Fluids B **1**, 563 (1989).
- [2] S. Satake, *et al.*, Plasam Fus. Res. **3**, S1062 (2008).
- [3] S.Matsuoka, *et al.*, Phys. Plasmas **18**, 032511 (2011).