

## 原型炉級プラズマにおける不純物輸送シミュレーション Impurity transport simulation on DEMO class plasmas

糟谷直宏  
KASUYA Naohiro

九大応力研  
RIAM, Kyushu Univ.

核融合原型炉においてタングステンを炉壁に用いることが想定されている。高い電荷数を持つ物質が不純物としてコアプラズマに混入した場合、放射損失などを通じてプラズマ性能に大きく影響する。当初JET装置のタングステンダイバータ壁での実験ではプラズマ性能の劣化が見られたが、綿密な粒子制御により炭素壁と同等の性能を得ることができ[1]、核融合出力の世界記録を達成した。これは不純物制御の重要性を物語っているともしえる。また、スクレイプオフ層領域の熱制御に用いられるアルゴン、ネオンといった多種の不純物も炉心プラズマ領域に影響をもたらす可能性がある[2]。さらにペデスタル領域での不純物放射損失がHモード遷移閾値を上昇させるのでプラズマ立ち上げコストに影響するという研究もある[3]。このように不純物の制御手法確立が核燃焼制御のための重要課題となっている。

不純物イオンの輸送物理過程は第一原理的なシミュレーションから解き明かされてきた[4]。2次元的な分布効果も取り入れたドリフト運動論による新古典輸送評価やジャイロ運動論による乱流輸送評価がなされて、不純物のコアプラズマへの蓄積を防ぐ条件が提示されている。特に新古典対流輸送における密度勾配により駆動される内向き粒子ピンチと温度勾配による粒子排出スクリーニング効果が知られている[5]。そして、実験で高周波加熱による制御法が有効であることが確かめられている[6]。

放電シナリオ策定には高速に計算できる統合輸送シミュレーションスキームの利用が効果的である。輸送、加熱、平衡などそれぞれのコードを組み合わせてデータ交換を行うことで、自己無撞着に放電時間発展を計算する。世界的に多くのスキームが開発されている[7]。

我々は統合コードTASK[8]に不純物輸送解析の機能を加える開発研究を通じて、不純物制御手法の検討を行っている[9]。TASKは統合的な輸送解析を行うためのモジュール化されたシ

ミュレーションコード群から構成される。そしてデータ交換インターフェイスBPSDを通じてモジュール間連携を行い、自己無撞着なシミュレーションを実現する。ここではプラズマ主要素イオンおよび電子の輸送過程を計算するTRモジュールと不純物輸送モジュールTIを主に用いる。TIでは新古典、乱流輸送および原子過程を含む各電荷数不純物の輸送過程を計算する。新古典輸送に関する輸送係数はNCLASSルーチンにより評価する。乱流輸送はCDBMなどいくつかのモデルが利用可能である。各電荷数イオン間のイオン化および再結合に関する係数はOPEN-ADASデータベースを利用する。コードの信頼性を高めるために現在日本の統合コードTOPICS[10]、TOTAL[11]との間で不純物輸送ベンチマーク活動が進められている。

講演ではTASKコードを用いて計算した主要素イオン分布の変化に応じた不純物分布の応答シミュレーション結果について報告する。高周波加熱による不純物制御、プラズマ回転を考慮した輸送モデルと閉じ込め改善、多種粒子の混入と核燃焼反応の話題について紹介する。そして、原型炉級プラズマの不純物輸送評価を行うための今後の課題について議論する。

- [1] J. Hobirk, *et al.*, Nucl. Fusion **63** (2023) 112001.
- [2] A. Kallenbach, *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **55** (2013) 124041.
- [3] A. Sips, *et al.*, 29th IAEA FEC (London, UK, 2023) EX/9-5.
- [4] C. Angioni, Plasma Phys. Control. Fusion **63** (2021) 073001.
- [5] C. Angioni, *et al.*, Nucl. Fusion **54** (2014) 083028.
- [6] R. Neu, *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **44** (2002) 811.
- [7] 林信彦, 他, プラズマ・核融合学会誌 **95** (2019) 423.
- [8] <https://bpsi.nucleng.kyoto-u.ac.jp/task/>
- [9] N. Kasuya, *et al.*, Proc. BPSI meeting (Kasuga, Fukuoka, 2020) P2-A6.
- [10] N. Hayashi, *et al.*, Phys. Plasmas **17** (2010) 056112.
- [11] K. Yamazaki, *et al.*, Nucl. Fusion **32** (1992) 633.