

トカマクプラズマにおける統合コードTASKを用いた 不純物輸送シミュレーション

Impurity transport simulation using integrated code TASK in tokamak plasma

持永祥汰¹、糟谷直宏^{1,2}、福山淳³、野中奨¹、矢木雅敏⁴
MOCHINAGA Shota¹, KASUYA Naohiro^{1,2}, FUKUYAMA Atsushi³,
NONAKA Sho^{1,2}, YAGI Masatoshi⁴

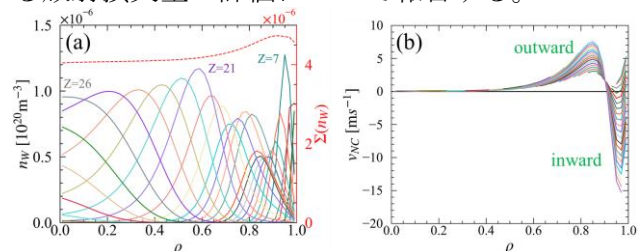
¹九大総理工、²九大応力研、³京大、⁴量研機構
¹IGSES, Kyushu Univ., ²RIAM Kyushu Univ., ³Kyoto Univ., ⁴QST

プラズマ熱核融合炉の実現に向けて、壁材料から炉心プラズマ中に混入する不純物による放射損失の影響がプラズマ性能を維持するための重要課題となっている。実験では高周波加熱による不純物蓄積量の制御が有効であると報告されている[1]。不純物制御シナリオ確立に向けて、炉心プラズマにおける不純物の挙動の物理機構解明および予測を可能とする高精度の解析手法が必要である。本研究では、炉心プラズマ中における不純物輸送を高い精度で予測を行うことを目的として、統合輸送シミュレーションコードTASK[2]の開発を進めている。電子とプラズマ主要素イオンの輸送計算を行うTASK/TRモジュールと不純物輸送モジュールTASK/TIを連携して行ってきた従来の不純物輸送スキームにおいて、MHD平衡の効果を含めたシミュレーションを可能とした。さらに、コアプラズマ中における複数の不純物粒子種の輸送過程を取り扱えるようにコードの拡張を行った。新たに開発を行った輸送シミュレーションスキームを用いて行った不純物輸送計算の結果について報告する。

トカマクプラズマの平衡状態を考慮したシミュレーションのために、2次元平衡の計算を行うTASK/EQモジュールと輸送シミュレーションスキームの連携を行った。平衡モジュールから輸送モジュールにはプラズマ形状、メトリック量などのデータを渡すことで連携を図っている。平衡を考慮した不純物輸送計算では、プラズマ形状に楕円度 $\kappa=1.4$ から1.8の変化を与えた場合、楕円度増加に伴ってメトリック量 $\langle\nabla\rho\rangle$ が小さくなることでプラズマ中心に向けて緩やかな輸送となり、不純物の蓄積が約0.9倍となる結果が得られている。また、既存のトカマク装置を対象としたシミュレーションも行っている。図(a)はASDEX-UトカマクのL-mode放

電を模擬したプラズマ中のタングステン密度分布である。輸送モデルとして、プラズマ主要素および不純物ともに、新古典輸送に関する輸送係数はNCLASS[3]ルーチン、乱流輸送係数にはmBgB(mixed Bohm/Gyro-Bohm)[4]モデルを用いて評価した。不純物のイオン化および再結合係数はOPEN-ADASデータベース[5]を用いて評価している。プラズマ端から流入する不純物イオンが背景プラズマ分布に応じたイオン化・再結合過程および図(b)に示す内向きのピンチ成分によってプラズマ中心部への蓄積が進む。ここでは、プラズマ周辺部以外の内向きピンチ成分が小さいため、プラズマ中心部ではタングステンのイオン化・再結合と新古典拡散より優勢となった乱流拡散によってタングステン分布が形成されている。

さらに、複数の不純物粒子種を取り扱ったシミュレーションでは、プラズマ中における各不純物粒子種の輸送過程、プラズマに影響を与える放射損失量の評価について報告する。



図：ASDEX-Uプラズマにおいて、プラズマ端からの流入する不純物フラックス $\Gamma_{W,in} = 5 \times 10^{17} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ とした場合の不純物タングステンの(a)径方向密度分布と(b)新古典対流速度。

- [1] R. Neu *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion 44 (2002) 811.
- [2] M. Honda *et al.*, Nucl. Fusion, 46 (2006) 580.
- [3] W. Houlberg, *et al.*, Phys. Plasmas 4, 3230 (1997).
- [4] M. Erba, *et al.*, Nuclear Fusion, 38 1013 (1998).
- [5] <http://open.adas.ac.uk/>