

トカマクプラズマにおける不純物制御のための
統合輸送シミュレーションスキームの開発
Development of Integrated Transport Simulation Scheme
for Impurity Control in Tokamak Plasmas

糟谷直宏^{1,2}, 持永祥太², 福山淳³, 下村一哉², 矢木雅敏⁴
KASUYA Naohiro^{1,2}, MOCHINAGA Shota², FUKUYAMA Atsushi³, SHIMOMURA Ichiya²,
YAGI Masatoshi⁴

¹九大応力研, ²九大総理工, ³京大, ⁴量研

¹RIAM, Kyushu Univ., ²IGSES, Kyushu Univ., ³Kyoto Univ., ⁴QST

トカマク装置において壁材料であるタングステンなどの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ことが知られている[1]。本研究では統合コードTASK[2]に不純物輸送解析の機能を加えることで、不純物制御手法を検討するシミュレーションスキームの確立を目的とする。これまでに開発した輸送計算モジュール[3]を連成させて、プラズマ主要素および不純物タングステン分布の時間変化を計算可能とした。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。

TASKコードは統合的な輸送解析を行うために平衡、輸送、波動加熱、高エネルギー粒子挙動等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モジュールと本研究で新たに開発した不純物輸送モジュールTIを用いる。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[4]により評価する。乱流輸送はいくつかのモデルが利用可能であるが、ここでは放物型モデルを用いる。今回はプラズマ中心近傍の新古典輸送優勢領域での不純物挙動を主目的とするので乱流輸送については簡便なモデルをまず使用する。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[5]を利用する。

ASDEX-Uクラスの中型トカマクを模擬したシミュレーションを行った。図にバルクイオンおよび電子の密度および温度、不純物線放射パワー、不純物各電荷数イオン密度の時間発展を示す。プラズマ端近傍の重水素イオン密度勾配が強い領域で、不純物の内向き新古典粒子ピンチが強くなり不純物がプラズマ中に蓄積する。これはプラズマ端からの流入不純物フラックス $\Gamma_w=1 \times 10^{17} [\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ の場合で、さらに流入量が増加すると不純物線放射損失増加に伴って、放射崩壊に至る。D-T反応も含めた多種粒子計算が可能である。

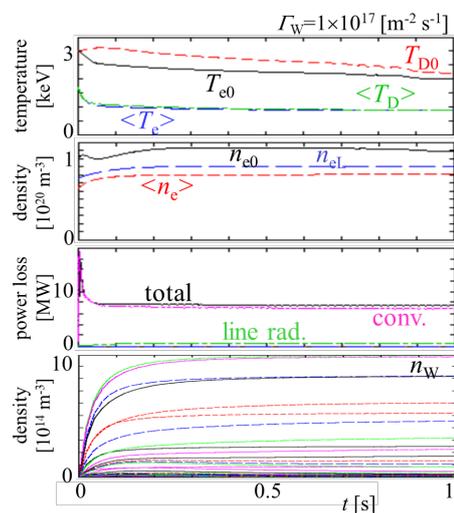


図: トカマクプラズマにおける重水素イオン、電子および不純物タングステンの時間発展。

- [1] R. Neu, *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **44**, 811 (2002)
[2] <http://bpsi.nucleng.kyoto-u.ac.jp/task/>
[3] 下村他、第36回プラズマ・核融合学会年会 (2019) 02P53
[4] W. Houlberg, *et al.*, Phys. Plasmas **4**, 3230 (1997)
[5] <http://open.adas.ac.uk/>