

統合コード TASK による燃焼プラズマ立ち上げシミュレーション Burning plasma start-up simulation by the TASK code

永井一輝¹, 福山淳¹, 奴賀秀男^{1,2}

Kazuki NAGAI¹, Atsushi FUKUYAMA¹, Hideo NUGA^{1,2}

京都大学大学院工学研究科¹, 核融合科学研究所²

Kyoto University Graduate School of Engineering¹, National Institute for Fusion Science²

本研究の目的は、炉心プラズマ統合コード TASK を用いて、ITER 運転開始時の炉心プラズマが燃焼状態に達するまでの挙動をシミュレーションし、ITER 運転シナリオの最適化を図ることにある。プラズマは、複数の粒子種から構成されており、それぞれの加熱機構は異なる。また、核融合反応、波動加熱、中性粒子ビーム等による加熱・電流駆動はプラズマを構成する粒子種の運動量分布関数を変形させる。これにより、輸送、波動の伝播・吸収、核融合反応率、衝突緩和過程等の様々な現象が影響を受ける。このようなプラズマの時間発展は、従来の流体輸送コードでは正確に記述できず、各粒子種の運動量分布関数の時間発展を記述する運動論的輸送シミュレーションが必要である。本研究では、TASK/FP[1] を用い、多粒子種プラズマの運動量分布関数の時間発展を含めた燃焼立ち上げの解析を行う。

初期プラズマ温度 2.5keV の重水素イオン、三重水素イオンを含むプラズマに対し、重水素の NBI を 30MW 入射する条件で、衝突モデル (背景 Maxwell, 非 Maxwell) や径方向輸送モデルを変えて、シミュレーションを行った。燃料である三重水素も加え続け、エネルギー増倍率 Q を定常状態 $Q = 10$ 程度で維持できるような加熱シナリオを探した。図 1 は、加熱開始後 $t = 10\text{sec}$ の重水素イオンの運動量分布関数である。NBI によるピークが見られるが、 $t = 20\text{sec}$ では α 粒子加熱が支配的になり、ピークは見えなくなる。図 2 には、各衝突モデルのエネルギー増倍率 Q の 30 秒間時間発展を示す。背景 Maxwell 衝突モデルでは、背景粒子が平均運動エネルギーを温度とする Maxwell 分布を持つと仮定しているため、バルク温度よりも高く評価され、これにより NBI との衝突によって三重水素が加熱される。一方、非 Maxwell モデルでは高速粒子の存在が正確に考慮されるため、まず電子が加熱される。このため、核融合反応率に大きな差が生じる、どちらの衝突モデルも $t = 20\text{sec}$ 付近でエネルギー増倍率がほぼ一定となる。

今回は、径方向拡散係数が運動量反比例依存性を持ち、規格化された小半径 $\rho \geq 0.9$ で減少して H モード的な分布を再現するとともに、粒子ピンチを含めて粒子分布を維持するモデルを用いた。今後は粒子輸送をより現実的なモデルとするため、CDBM 輸送モデルを導入するとともに、運動量依存性や粒子ピンチ項を変化させて、依存性を調べる予定である。また、加熱パワーの制御 [2] による定常状態の維持についても検討する。

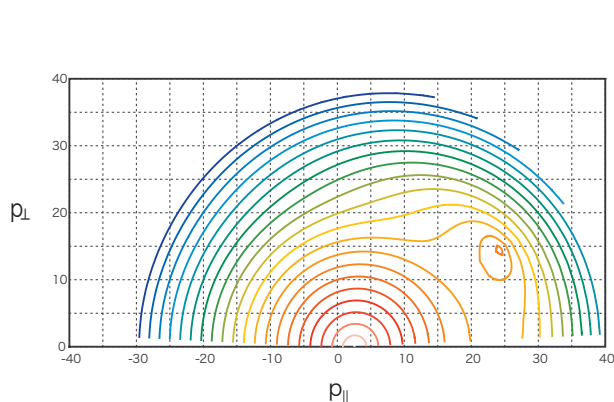


図 1. 重水素イオン運動量分布関数

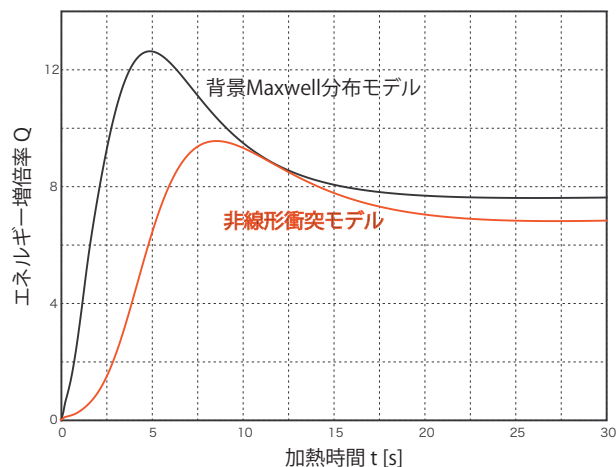


図 2. エネルギー増倍率の時間発展

[1] H. Nuga, A. Fukuyama, Progress in nuclear science and technology. Volume 2, pp78-84 (2011).

[2] Y. Miyoshi, Y. Ogawa, Plasma and Fusion Res. Volume 9, 1405015 (2014).