

ITER に対する加熱シミュレーションを目指した運動論的輸送コード開発 Development of the kinetic transport code for ITER heating simulations

奴賀秀男, 福山淳,
Hideo NUGA, Atushi FUKUYAMA

京都大学工学研究科
Kyoto Univ.

ITER におけるプラズマ加熱・電流駆動は NBI や RF を用いた外部加熱から α 粒子加熱へと遷移していく。この過程を定量的に評価するためには高速イオンの生成を正確に評価する必要があり、運動論的なシミュレーションが求められる。また、核融合反応によって生じる高速の α 粒子はアルヴェン固有モードを駆動し、プラズマの安定性に影響を及ぼすことが知られている。この影響を考慮するためには、プラズマ加熱時の高速イオン存在下での核融合反応率の分布を正確に評価することが求められる。この点からも、運動論的な加熱輸送シミュレーションが必要である。

ITER の運動論的加熱シミュレーションでは、加熱前の数 keV の温度から D-T 反応で生成される 3.5MeV の高速イオンまでの幅広い速度領域を扱わなければならないため、シミュレーションに必要な計算機資源が従来の装置と比べて増大する。また、装置規模に伴う実空間のグリッド数や加熱の長時間化に伴うシミュレーション時間の増加もシミュレーションの大規模化に影響する。

このような背景のもと、運動論的輸送コード TASK/FP の高速化を行い、また、熱化された状態、ならびに高速イオン存在下での核融合反応率の評価を行った。核融合反応率は以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \mathcal{R} &\equiv \iint \sigma(E)v' f_a(v_a) f_b(v_b) dv_a dv_b \\ &= n_a n_b \langle \sigma(E)v' \rangle, \end{aligned}$$

ここで、サブスクリプトは粒子種、 $\sigma(E)$ は粒子 a の運動エネルギー E に対する反応断面積、 v' は反応粒子間の相対速度を示す。 f_a, f_b が Maxwell 分布である場合、 $\langle \sigma(E)v' \rangle$ は温度の関数として得られる。また、粒子種 a が数百 keV で単一速度のビーム、粒子種 b がビーム速度に比べて十分に低温の背景粒子である場合、 $\langle \sigma(E)v' \rangle$ は積分を必要とせず、簡単に求められる。TASK/FP を用いた核融合反応率の計算と、これらの理論式との比較を行ったところ、十分によい一致が得られた。

発表ではベンチマークの詳細、ビームイオン存在下での核融合反応率、ならびに高速化について報告する。