

ITERにおける燃焼プラズマシミュレーションに向けた運動論的輸送コード開発

Development of the kinetic transport code for burnig plasma simulations in ITER

奴賀秀男, 福山淳

Hideo NUGA, Atushi FUKUYAMA

京都大学工学研究科

Department of Nuclear Engineering, 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、熱化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。本研究では運動論的輸送コードTASK/FPを用いたプラズマ加熱シミュレーション(30aP40)で得られたプラズマ速度分布関数を用い、波動電波解析コードTASK/WMによる高速粒子駆動不安定性解析(29aP36)を行うことで、プラズマ加熱時の様々な時点における安定性解析を行うことを目的としている。本稿では、これに向けたTASK/FPの開発について報告する。

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。これは熱運動量に対して30-40倍の計算領域が必要になるということである。このため、運動量空間に対する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、加熱シミュレーションに必要な加熱源、輸送項の実装を行った。

図1は核融合反応を含めた加熱計算の並列化による高速化について示した強スケーリングの図である。テストパラメータとして運動量方向、運動量のピッチ角方向、径方向、粒子種のグリッド数をそれぞれ(N_p, N_θ, N_r, N_s) = (128, 64, 1, 4)とし、MPIによる領域分割数を(n_p, n_r, n_s) = (var, 1, 4)とした場合での結果である。運動量方向の分割数 $n_p = 16$ までは計算の高速化が見られるが、それ以上分割数を増やすと計算が遅くなることが分かる。また、図2は分割数に対する高速化の割合を示したもので、分割数が増えるほど、高速化の割合は低下していくことが分かる。これは全体の計算の中で、運動量空間での積分が行われることが多く、その度に通信が発生することが原因である。これらの結果から、 n_p は N_p の1/8-1/16程度が妥当な設定であると考えられる。

発表では、その他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どについて報告する予定である。

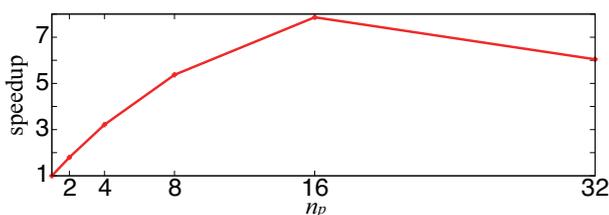


図1: 運動量空間分割による高速化。縦軸は $n_p = 1$ での計算時間を、各 n_p での計算時間で割ったもの。

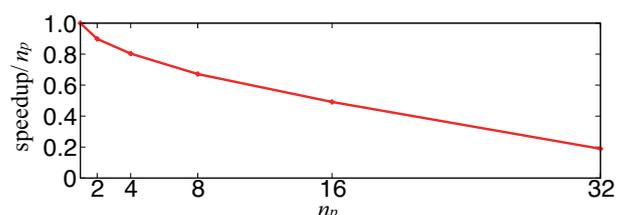


図2: 分割数に対する高速化の割合。縦軸は図1のspeedupを n_p で割ったもの。