

統合コードTASKを用いたPLATOトカマクにおける輸送解析 Transport analysis in PLATO tokamak using integrated code TASK

持永祥汰¹、糟谷直宏^{1,2}、福山淳³、永島芳彦^{1,2}、藤澤彰英^{1,2}

MOCHINAGA Shota¹, KASUYA Naohiro^{1,2}, FUKUYAMA Atsushi³,
NAGASHIMA Yoshihiko^{1,2}, FUJISAWA Akihiko^{1,2}

¹九大総理工、²九大応力研、³京大

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

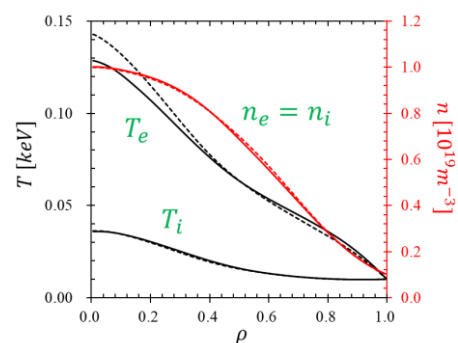
トカマク実験装置PLATO[1]の開発が進められている。PLATOはトモグラフィ、重イオンプローブや磁気プローブなどの多数の計測装置を用いた大域的観測と局所的観測を対照させることでプラズマ乱流現象の物理機構解明を目指す。本研究では、統合輸送シミュレーションコードTASK[2]を用いた数値シミュレーションによりPLATOプラズマ現象の予測および理解を図り効率的な実験の進展に貢献する。

トカマク装置ではプラズマ閉じ込めに外部コイル電流とプラズマ電流から生成される磁場を用いるので、MHD平衡状態を考慮した輸送解析を行うことが必要である。TASKコードにおける従来の輸送解析では、最外殻磁気面を境界条件としてその内部の2次元平衡を計算するTASK/EQコードと1次元径方向輸送を計算するTASK/TRコードの連成計算を行ってきた。PLATOのプラズマ形状を考慮したより詳細な予測を行うために、外部コイルを考慮する自由境界2次元平衡コードTASK/EQUと輸送コードを連携させたルーチンの整備を行った。平衡コードから輸送コードへプラズマ形状、メトリック量などのデータを渡す。一方で輸送コードから平衡コードに圧力分布およびトロイダル電流密度分布を渡すことで、自己無撞着な輸送解析を可能とする。これらのデータ交換はデータインターフェースBPSDを介して行っている。また、モジュール間連携は時間発展統括制御モジュールTASK/TOTを用いている。

開発した輸送解析スキームを用いて PLATO プラズマにおける輸送解析を行った。トロイダル磁場 $B_t = 0.3$ T、プラズマ電流 $I_p = 40$ kA 定常とし、ガスパフ法を想定したプラズマ周辺部からの粒子供給により中心密度を $n_0 = 1.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ に維持した場合を計算した。EQ および EQU 両者を用いた解析を行った。EQU を用いた場合には垂直磁場コイルを使用して磁気軸位置が $R = 0.7$ m となるように調整した。また、ここでは輸送コードから平衡コードへは圧力分布の時間変化のみを渡

している。EQU-TR 連携計算により得られたプラズマ形状は外部コイルの実験条件を考慮したものである。その平衡形状を参照して EQU-TR 連携計算も行った。輸送計算では準中性条件を仮定しており、乱流輸送に電流拡散性バルーニングモード(CDBM)モデル[3]、新古典輸送に NCLASS モデル[4]を使用した。図に定常状態における電子およびイオンの密度分布および温度分布を示す。大部分の領域で乱流拡散が優勢となり分布が決定される。電子温度に差がみられるがこれは EQU 使用時の電流密度分布が径方向に幅広くなり、相対的にオーミック加熱が小さくなるからである。

さらに、PLATO 実験において制御可能な粒子供給量と外部コイル電流値に対する依存性を評価した。粒子供給による密度増加に伴って温度低下が起こるが、パワーバランスによって電子からイオンへのエネルギー移送量およびイオン温度が決まる。また、外部コイル電流によりプラズマ体積を変化させることができるが、その輸送への効果もパワーバランスによって評価できる。プラズマ輸送のパラメータ依存性について説明する。



図：定常状態における電子およびイオンの密度および温度径方向分布。実線は EQU-TR 連携計算、破線は EQ-TR 連携計算を示す。

[1] A. Fujisawa, AIP Conf. Proc. **1993** (2018) 020011.

[2] <https://bpsu.nucleng.kyoto-u.ac.jp/task/>

[3] M. Yagi *et al.*, Phys. Fluids B **5**, 3702 (1993).

[4] W. Houlberg, *et al.*, Phys. Plasmas **4**, 3230 (1997).