

統合輸送シミュレーションによる LHD プラズマの熱・粒子輸送モデリング

前田渉吾, 村上定義, 山口裕之, 福山 淳, 永岡賢一¹, 高橋裕己¹, 中野治久¹, 長壁正樹¹, 田中謙治¹, 横山雅之¹, LHD 実験グループ¹,

京大工, 核融合研¹

核融合では様々な時間・空間スケールの物理現象が、温度・密度などの空間分布や電磁場を通して密接に関係している。そのため核融合プラズマの総合的理解には、それぞれの物理現象のシミュレーションコードを組み合わせた統合シミュレーションコードが必要である。我々はヘリカル型プラズマの統合輸送シミュレーションコードとしてトカマク型プラズマの統合輸送シミュレーション TASK をベースにした、TASK3D の開発を進めてきた [1]。

大型ヘリカル装置 (LHD) では現在までに NBI 加熱, ECH 加熱, NBI・ECH 重畳加熱プラズマなどの様々な加熱プラズマ実験や、H-He プラズマ実験などの多粒子プラズマ実験などが行われている。2014 年に行われた He プラズマを用いた実験では、He イオンの割合の増加に伴い、イオン温度が上昇するという結果が得られた [3]。先行研究では、NBI 加熱プラズマにおける、粒子・熱輸送解析を TASK3D を用いて行い、実験値と比較的によく一致する結果が得られている [2]。本研究では、H-He 実験プラズマの熱輸送について TASK3D を用いて検証を行う。

H-He 実験において、実験計測により得られた He イオン割合、プラズマ密度・温度を用いて得られた加熱分布、新古典輸送および従来の軽水素に対する乱流輸送モデルを用いて TASK3D で熱輸送シミュレーションを行った。その結果、実験値のような He 割合が増加するにつれてイオン温度が上昇する傾向は得られなかった、これは、He イオン割合の増加によるイオン熱輸送の改善が必要であることを示している。そこで、経験則的な乱流輸送モデルの構築を行った結果、実効電荷数 Z_{eff} 依存モデル $\chi_i^{TB} = \overline{\chi_i^{TB}} \times \exp(-kF(Z_{eff} - c))$ 、および実効質量数 A_{eff} 依存モデル $\chi_i^{TB} = \overline{\chi_i^{TB}} \times \exp(-kF(A_{eff} - c))$ を仮定することにより、He 実験値の傾向を再現することができた。また、 Z_{eff} に依存するモデルよりも A_{eff} に依存するモデルの方が実験をよく再現することが分かった (図 1, 2)。

本公演では、H-He 実験の検証結果に加えて、H/He 実験の検証から得られた A_{eff} 依存モデル及び Z_{eff} 依存モデルを仮定し重水素プラズマの粒子・熱輸送シミュレーションを行った結果を述べる。

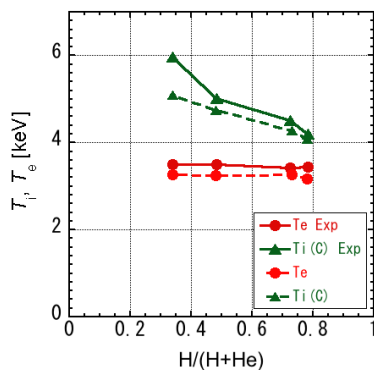


図 1: 水素割合によるプラズマ中心の温度変化

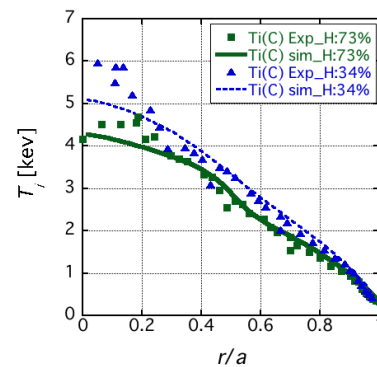


図 2: プラズマ温度の径方向分布

- [1] S. Murakami, et al., Plasma Phys. Control. Fusion **57** (2015) .
- [2] A. Sakai, et al., Plasma Fusion Res. **9** (2014) 3403124.
- [3] K. Nagaoka, et al., Plasma Fusion Res. **11** (2016) 2402106