

原型炉SOLプラズマに対するイオン熱伝導の運動論効果の評価 Assessment of the kinetic effect of the ion heat conduction on DEMO relevant SOL plasma

本間裕貴 1)、徳永晋介 1)、矢本昌平 1)、星野一生 2)、朝倉伸幸 1)
Yuki HOMMA 1), S. TOKUNAGA 1), S. YAMOTO 1), K. HOSHINO 2), N. ASAKURA 1)

(1)QST、(2)慶大理工

(1)QST、(2)Keio Univ.

トカマク核融合プラズマのスクレイプオフ層(SOL)は、上流ではコアプラズマに接し高温希薄である一方、下流のダイバータに向かって低温高密度の状態に変化する。プラズマイオンの衝突頻度(衝突度)で特徴付ければ、SOL上流は低衝突、下流は高衝突である。磁力線方向にエネルギーを運ぶ主要機構であるプラズマ熱伝導に関して、特にSOL上流では、衝突度低下に起因する運動論効果がイオン熱伝導率を、衝突支配プラズマの伝熱(Spitzer-Harm(SH)モデル)に比べ大きく低下させる。

本検討では、イオン熱伝導の運動論効果が日本のトカマク原型炉概念 JADEMO の SOL プラズマに及ぼす影響と役割を、SOL ダイバータ統合シミュレーションコード SONIC を用いて定量的に明らかにした。

標準運転状態の原型炉 SOL プラズマ[1]を想定し、イオン熱伝導運動論効果を調和平均モデル[2]で近似して計算を行った。その結果、当該運動論効果がもたらす次の大きな影響が明らかになった：(1)イオン熱伝導流束密度が低磁場側のセパトロクス沿い X 点近傍から上流にかけて、運動論効果なしの場合に比べて、最大 60%程度も低下した(図 1)。熱伝導が熱対流より大きいため、イオン総熱輸送密度も同程度減少した。(2) SOL 上流のセパトロクス近傍でプラズマパラメータの空間変化が比較的小さい場所では、イオン温度と密度は、運動論効果の度合いを示すフラックスリミット係数のそれぞれ 0.4 乗と 0.4 乗に比例することが分かった。リミット係数は 0.3 以下の場合が多く、影響は大きい(0.3^{0.4}~0.62)。原型炉 SOL におけるフラックスリミット係数とプラズマ温度密度の関係が、ある程度限られた状況下ではあるが、初めて定量的に確認された。

同時に、今回用いた調和平均モデルはこれまで SOL 予測に広く用いられてきたものの、原型炉条件下では大きな誤差を含むことも明らかになった。今後は、さらに高精度な運動論モデ

ルを SONIC に導入し、コア・ダイバータ両領域の境界条件として非常に重要な SOL プラズマ予測精度を高める計画である。

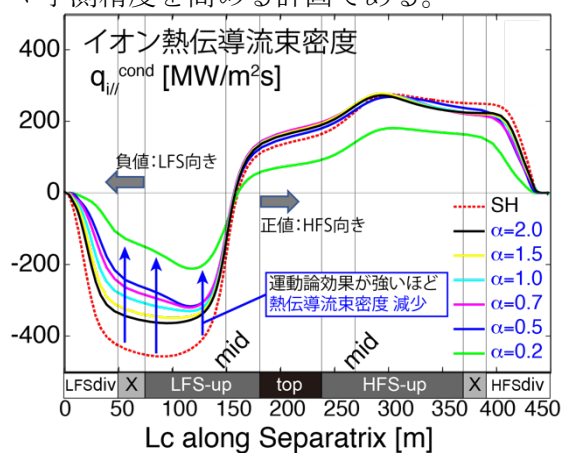


図 1: 原型炉のセパトロクス沿いのプラズマイオン熱伝導流束密度の分布。低磁場側(LFS)において、運動論効果によって、ダイバータ向きの熱伝導が最大 60%程度減少した。なおイオン熱伝導運動論効果の強度を規定するパラメータ α は、先行研究が示す妥当な範囲内で複数想定したため、本結果は調和平均モデルに由来する誤差を含む。

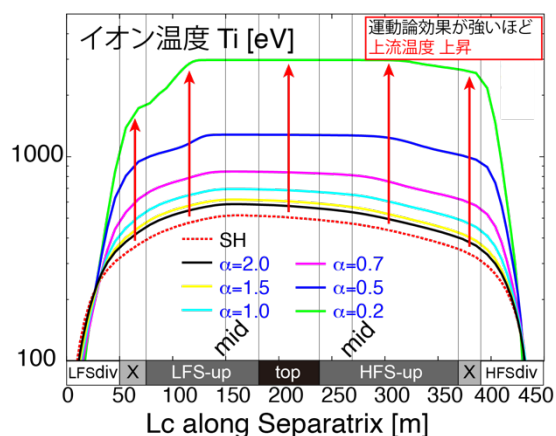


図 2 (右): 原型炉のセパトロクス沿いのプラズマイオン温度分布。運動論効果によって、上流広範囲で大きく増加。

[1] N. Asakura, et al., Nucl. Fusion 57 (2017) 126050.

[2] W. Fundamenski, PPCF 47 (2005) R163-208.