

運動論的イオン熱伝導モデルの研究と統合ダイバータシミュレーションへの応用

Study of kinetic model for ion heat conduction and its application to integrated divertor simulation

本間裕貴, 徳永晋介, 矢本昌平, 星野一生¹⁾, 朝倉伸幸, 石井康友
HOMMA Yuki, TOKUNAGA Shinsuke, YAMOTO Shohei, HOSHINO Kazuo, ASAKURA Nobuyuki, ISHII Yasutomo

量研機構, ¹⁾慶大理工
QST, ¹⁾Keio Univ.

トカマク核融合プラズマのスクレイプオフ層 (SOL) は、コアプラズマに接し高温希薄な上流から、下流の低温高密度なダイバータ領域に向けて、状態が大きく変化する。プラズマ衝突度 (イオンの衝突自由行程 λ と適切な特性長 L の比 λ/L で評価) を用いれば、SOL上流は低衝突、下流は高衝突と特徴付けられる。

磁力線方向にエネルギーを輸送し、SOLプラズマの温度・密度・圧力等の分布形成に寄与するプラズマ熱伝導には、衝突度低下に応じて熱伝導係数が古典的Spitzer-Harm(SH)モデル比で低下するという運動論効果の存在が、粒子シミュレーションにより示されている[1]。この運動論効果の理解とモデル化は、大型高出力でSOLプラズマ衝突度が低下するITERや核融合発電実証炉DEMOの予測に重要である。

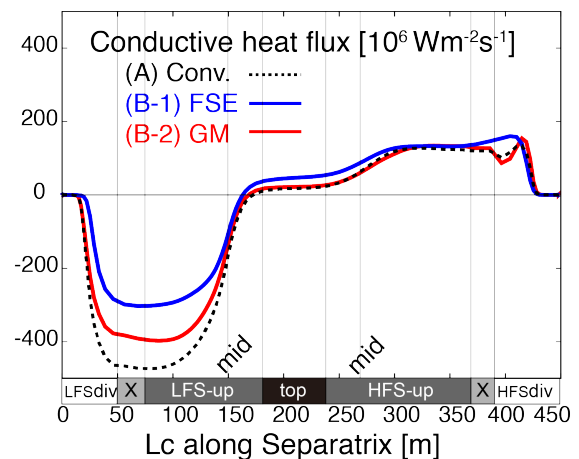
SOLプラズマ熱伝導の運動論効果を記述するモデルは主に2つ提案されている[1] FSE上限モデル (フリーストリーミングエネルギーを上限とし、温度勾配を基準に衝突度を判定) とGMモデル (Generalized Moment方程式に基づき、フロー勾配を基準に衝突度判定) である。しかし、これらモデルの妥当性検証が不十分であることは大きな未解決課題である。

本研究プロジェクトではSOLプラズマイオン熱伝導の運動論効果解明とそのモデルバリデーションを最終目標として見据える。本発表では研究の第1ステップとして、熱伝導運動論効果がDEMO SOLプラズマの分布形成に及ぼす影響と役割を定量的に評価し明らかにする。

まず、SOLダイバータ統合シミュレーションコードSONICのプラズマ流体ソルバSOLDORにGM熱伝導モデルを実装した。(FSEモデルは実装済み)

原型炉設計合同特別チームで設計が進む日

本の原型炉コンセプトJA DEMO[2]の標準運転プラズマ条件を想定し、イオン熱伝導に運動論効果を(A)考慮しない場合 (SHモデル) と、考慮する場合 (B-1. FSEモデル, B-2. GMモデルをそれぞれ使用) とでSOLプラズマ計算を行った。その結果、図に示す通り、低磁場側SOL上流からX点近傍にかけて、ダイバータに向かうイオン熱伝導流束が運動論効果によって大きく減少した。減少幅はFSEモデルでは約50%、GMモデルでは約20%であった。SOL上流のプラズマ密度、温度、フローにも変化が生じたため、ポスターにて詳しく述べる。本結果は熱伝導運動論効果がDEMOのSOL上流プラズマ形成に及ぼす影響を定量的に示す初の結果であり、熱伝導モデルバリデーションの重要性を示す基礎データとして有益である。



JA DEMO セパトラトリクス沿いのイオン熱伝導流束分布。(A)運動論効果なし, (B-1)FSE モデル($\alpha=1.5$), (B-2) GM モデル使用の3 ケースを示す。横軸は低磁場側から高磁場側ダイバータに向かう接続磁力線長。

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

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