

PICシミュレーションによる非接触ダイバータプラズマ解析 Numerical Analysis of Detached Divertor Plasma by PIC simulation

星野一生、櫻井陽都、吉田旬汰
Kazuo Hoshino, Haruto SAKURAI, Shunta Yoshida

慶大理工
Keio Univ.

ダイバータにかかる熱負荷低減には、非接触ダイバータプラズマの形成と、その安定的な維持・制御が必要である。しかし、非接触ダイバータプラズマ形成には、プラズマ輸送、様々な原子分子過程に加え、磁場形状・壁幾何形状も関与しており、現在のところその理解は十分とはいえない。さらに、ELMによる高エネルギーパルスにより、瞬間的に非接触ダイバータが崩壊する可能性がある。このような非平衡状態における非接触ダイバータの物理機構についても理解を深め、崩壊した非接触ダイバータを再形成させる制御手法を開発する必要がある。

以上を踏まえ、我々のグループでは、非平衡状態における非接触ダイバータプラズマ解析に適用できるPICモデルの開発を進めている。現在のモデルでは、SOL・ダイバータプラズマを対象とし、図1のような左右対称な1次元体系で解析を行う。現状では、簡単化のためダイバータ近傍に中性粒子領域を仮定する。この領域内では中性粒子密度は一様であり、荷電粒子はNull Collision法[1]により基本的な中性粒子との衝突反応を考慮する。中性粒子領域の密度はパラメータとして与える事も可能であるが、振動励起反応などのより詳細な反応を考慮したレート方程式モデル[2]をPICコードに組み込んでおり、反応による中性粒子密度の変化をレート方程式モデルで評価することができる。PICモデルにおいてはデバイ長を基準としたメッシュを用いているが、スケールリング[3]を用いることで、現実的なサイズで起こるダイバータ物理を模擬している。

図2にテストシミュレーションで得られた密

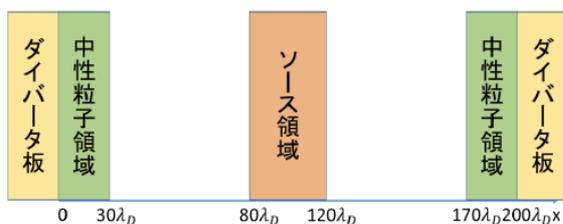


図1 1次元モデル体系

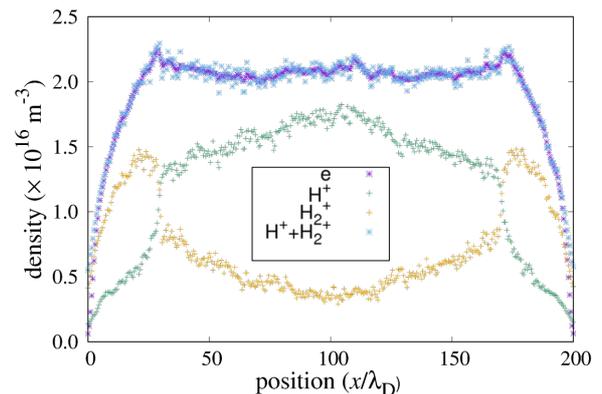


図2 水素イオン、水素分子イオン、電子の密度分布

度分布を示す。ここでは、1 mの系で10 eVの水素イオン及び電子を中央のソース領域へ供給している。中央部から供給された水素イオンはダイバータへと向かうが、中性粒子領域に入ると、再結合反応により減少する。同時に、分子と電子の衝突により分子イオンが生成され、中央部へと流入している様子がわかる。プラズマとしては、中性粒子領域でダイバータへ向かって急峻に密度が減少しており、非接触ダイバータが形成されている。この解析では、MARは含まれていないが、レート方程式モデルによる評価ではMARが支配的な再結合過程となる条件であり、今後、PICモデルにも反映させていく。

ポスターでは、モデルの詳細やコードの開発状況、テストシミュレーション結果の詳細について紹介する。

- [1] K. Nanbu and Y. Kitatani, J. Phys. D: Appl. Phys., **28** (1995) 324.
- [2] Y. Tsubotani, *et al.*, Plasma Fus. Res., **14** (2019) 2403108.
- [3] T. Takizuka, *et al.*, Nucl. Fusion, **49** (2009) 075038.