

# 粒子モデルを用いた流体シミュレーションへの運動論効果の導入 Introduction of kinetic effects to fluid simulation by a particle model

田中愛士<sup>1</sup>, 伊庭野健造<sup>1</sup>, 大引麻友子<sup>1</sup>, 滝塚知典<sup>1</sup>, Lee Heun Tae<sup>1</sup>, 上田良夫<sup>1</sup>,  
林伸彦<sup>2</sup>, 星野一生<sup>3</sup>

Akito Tanaka<sup>1</sup>, Kenzo Imano<sup>1</sup>, Mayuko Obiki<sup>1</sup>, Tomonori Takizuka<sup>1</sup>, Heun Tae Lee<sup>1</sup>, Yoshio Ueda<sup>1</sup>,  
Nobuhiko Hayashi<sup>2</sup>, Kazuo Hoshino<sup>3</sup>

1. 大阪大, 2. 量研機構, 3. 慶應大  
1. Osaka Univ, 2. QST, 3. Keio Univ

SOL/divertorコードの開発は、SOL/divertor領域の物理現象の解明や、核融合装置の設計、壁材料の評価に重要な役割を果たす。現在、SOL/divertor領域のプラズマモデリングには、SONIC[1]やSOLPS[2]などの流体シミュレーションが主に用いられているが、そのシミュレーション結果と実験結果には未だ小さくない差異が残っている。この原因のひとつとして考えられているのが運動論効果の影響である。divertor領域では、非衝突の高エネルギー粒子が残存しており、粒子の速度分布がマクスウェル分布から歪んでいる可能性があるため、運動論効果が重要となる。流体シミュレーション[1,2]は運動論効果を十分には考慮できておらず、divertor領域の電子温度を低く、電子密度を高く見積もる傾向があり[3]、また、低磁場側のSOLイオン流を過小評価する傾向がある[4]。一方、粒子シミュレーションは粒子の運動からプラズマの状態を計算するため、運動論効果の取り扱いに長けており、SOL/divertor領域のシミュレーションに有効である[5]。しかし、粒子シミュレーションは計算コストが高く、系のサイズや計算時間を長大にすることが難しい。

そこで、本研究では流体シミュレーションに粒子モデルを結合することによって、計算コストを抑えつつ流体シミュレーションへの運動論効果の導入を試みた。粒子モデルは、流体シミュレーションで得られたプラズマの密度・温度・流速等を粒子モデル用の速度分布に変換し、そのデータを個々の粒子の初期値とする。粒子モデルで軌道計算、衝突計算[6]を行うことにより、運動論効果を取り入れたプラズマパラメータを得ることができる。軌道計算にはPARASOL2D model[5]を用いた。ただし、計算コストを大幅に低減するために、通常の粒子シミュレーションの自己無撞着電場は計算せずにシース境界条件モデルを適用した。

運動論効果がプラズマに与える影響を検証するため、粒子計算前後でプラズマパラメータの比較を行った。図1は磁力線方向イオン流速のポロイダル分布を粒子モデル計算の前後で比較し

たものである。粒子モデル計算前(Fluid)に比べて計算後(PIC)では、強磁場側、低磁場側ともdivertor近傍の領域でdivertor板へ向かう高速のイオン流が発生していることが見られた。また、inner divertor、outer divertor領域の磁力線方向イオン速度分布を粒子モデル計算前後で調べたところ、inner divertor、outer divertor領域では粒子モデル計算後に速度分布のシフトが見られた(図2)。シフト方向は両領域ともdivertor板へ向かう方向であり、速度分布からもdivertor板へ向かうイオン流の発生が示唆された。

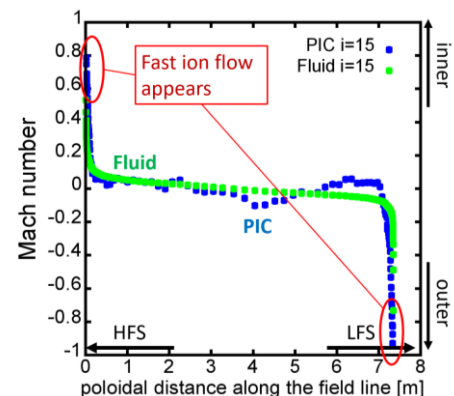


図1: イオン流速のポロイダル方向分布

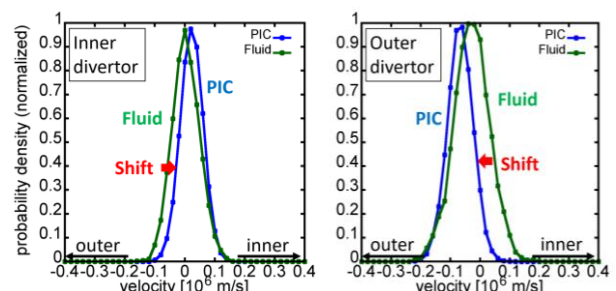


図2: inner divertorおよびouter divertor領域における磁力線方向イオン速度分布

## 参考文献

- [1] H. Kawashima *et al.*, Plasma Fusion Res. 1 (2006) 031
- [2] R. Schneider *et al.*, Contrib. Plasma Phys. 46 (2006) 3
- [3] A.V. Chankin *et al.*, J. Nucl. Mater. 390-391 (2009) 319
- [4] N. Asakura, ITPA SOL and Divertor Topical Group, J. Nucl. Mater. 363-365 (2007) 41
- [5] T. Takizuka, Plasma Phys. Control. Fusion 59 (2017) 034008
- [6] A. Tanaka, Contrib. Plasma Phys. 58 (2018) 451