

非等方イオン温度と仮想ダイバータモデルを導入したSOL-ダイバータプラズマシミュレーション

東郷訓^a, 滝塚知典^b, 中村誠^c, 星野一生^c, 伊庭野健造^b, Lang Tee Long^a, 小川雄一^a

^a東京大学大学院新領域創成科学研究科

^b大阪大学大学院工学研究科

^c日本原子力研究開発機構

原型炉など将来のトカマク型核融合炉のダイバータを設計する上でSOL-ダイバータプラズマを高精度に予測するシミュレーションコードの開発が重要である。シミュレーションには一般的にプラズマ、中性粒子、不純物を相矛盾なく解くコードパッケージ[1, 2]が用いられているが、シミュレーション結果の中には実験結果と満足に一致しないものが含まれることが報告されている[3, 4]。プラズマに対して用いられている流体モデル[5]には高衝突周波数領域でのみ妥当性が保たれる物理モデル(熱伝導項、粘性項など)が含まれており、低衝突周波数領域のシミュレーションに用いるには運動論的效果を考慮した修正が必要となる[6]。Particle-in-Cellモデルとモンテカルロ二体衝突モデルを組み合わせた運動論的シミュレーションでは中程度の衝突周波数領域でもイオン温度の顕著な非等方度($T_{i,||}/T_{i,\perp}$)が示されている[7]。運動量輸送方程式の粘性流束($-\eta_{i,||}\partial V/\partial s$)は粘性テンソル $\pi = 2n(T_{i,||} - T_{i,\perp})/3$ を $nT_i \gg \pi$ の条件で近似したものの[8]であり、その妥当性が疑われる。そこで我々は非等方イオン温度を直接導入した一次元流体モデルを開発し、仮想ダイバータモデルと併せてコーディングを行った[9]。非等方イオン温度を直接導入することで運動量輸送方程式の粘性項を用いなくてもその効果が自動的に考慮でき[10]、その結果ダイバータ板での流速に関する境界条件(Bohm条件由来の $M=1$ (M はMach数)など)を陽に用いる必要がなくなる。仮想ダイバータモデルはダイバータ板での境界条件を課す代わりにダイバータ板とシースの効果を模擬するために導入したモデルで、ダイバータ板の位置に「滝」を作る要領でダイバータ板の奥の人工的な領域に人工的な粒子・運動量・エネルギーのシンクを置く。従来モデルではダイバータ板での境界条件により繰り返し計算が必要であったが、仮想ダイバータモデルによって周期境界条件が利用でき、アルゴリズムの単純化にも寄与する。簡単のためまずは中性粒子がなく内側・外側が対称な系において計算を行った。冷却なしの条件で $M=1$ を満たす解[11]を得ることができた。また冷却ありの条件で超音速流 $M>1$ となる解を得ることができ、運動論的シミュレーションの結果や解析解[12]との一致を見た。さらに粘性流束と粘性テンソルとの直接比較を行った[9]。また最近では仮想ダイバータモデルに適合し、拡散係数に径方向粒子損失の効果を含めた中性粒子モデルの開発も行った[13, 14]。発表ではモデルの説明と結果の一部の報告を行う。

[1] R. Schneider *et al.*, *Contrib. Plasma Phys.* **46** (2006) 3.

[2] H. Kawashima *et al.*, *Plasma Fusion Res.* **1** (2006) 031.

[3] A. V. Chankin *et al.*, *J. Nucl. Mater.* **390-391** (2009) 319.

[4] M. Wischmeier *et al.*, *J. Nucl. Mater.* **415** (2011) S523.

[5] S. I. Braginskii, *Reviews of Plasma Physics*, Consultants Bureau (New York, 1965) Vol. 1, p. 205.

[6] W. Fundamenski, *Plasma Phys. Control. Fusion* **47** (2005) R163.

[7] T. Takizuka *et al.*, *J. Nucl. Mater.* **128-129** (1984) 104.

[8] P. C. Stangeby, *The Plasma Boundary of Magnetic Fusion Devices*, Institute of Physics Publishing (Bristol and Philadelphia 1999).

[9] S. Togo *et al.*, *J. Nucl. Mater.* (2015) *in Press*.

[10] R. V. Bravenec *et al.*, *Phys. Fluids* **25** (1982) 608.

[11] T. Takizuka *et al.*, *Contrib. Plasma Phys.* **40** (2000) 471.

[12] T. Takizuka *et al.*, *J. Nucl. Mater.* **290-293** (2001) 753.

[13] S. Togo *et al.*, 12th BPSI Meeting, Kasuga, Fukuoka 2014 (2015).

[14] T. Takizuka *et al.*, 12th BPSI Meeting, Kasuga, Fukuoka 2014 (2015).