

プラズマ-中性粒子相互作用を考慮したデタッチメント状態の粒子シミュレーション
Particle simulation of detachment state including plasma-neutral interaction

岩田悠, 坪谷友香, 巽瞭子, 前田智行, 星野一生, 畑山明聖
 Y. Iwata, Y. Tsubotani, R. Tatsumi, T. Maeda, K. Hoshino, A. Hatayama

慶大理工
 Keio Univ.

核融合炉ダイバータ板への熱・粒子負荷の低減のためには、デタッチメントプラズマの生成と制御が重要な課題となる。そこで本研究では、いわゆるELM(Edge Localized Mode)の際に、コアプラズマからダイバータ板へ輸送される熱パルスのデタッチプラズマに対する影響を明らかにすることを最終目的とする。

この目的達成のために、数値シミュレーションモデルの構築を行い、その実験結果との比較を行う。モデル構築にあたっては、次の3点が重要となる: 1) ELM熱パルスの非平衡性、非定常性を解析するには、粒子モデルによるモデル化が必須、2) デタッチメントの動的応答を調べるには、荷電交換、体積再結合反応など、静的なデタッチメントのモデル化に必要な中性粒子-プラズマ相互作用を考慮すること、さらに、3) ELMの際には、高エネルギー側で大きな断面積を持つ分子解離、分子振動励起、分子イオン化などの反応を考慮すること。

以上の3点を踏まえ、我々は以下のステップに従い段階的にモデル構築を行ってきた。Step I. PIC (Particle in Cell) 粒子モデル[1]によるプラズマ解析モジュールの構築。Step II. 0次元レート方程式を用いた非平衡プラズマ-中性粒子相互作用モデルの構築とELM予備解析[2]。Step III. Step IIに基づくNull Collision法[3]を用いた、中性粒子解析モジュールの作成と、Step Iで作成したプラズマモジュールとの結合。Step IV. ELMに対するデタッチメントプラズマの動的応答解析。

現状、ほぼ、Step I, IIが終了している。今回報告するStep IIIでは、Fig.1に示す直線型装置を想定した1次元モデル体系を構築し、テスト計算を行い、その妥当性評価を行った。ただし、計算時間短縮のため規格化平均自由行程が実際の系と同じになるように、サイズスケールリングを行っている。また、Step.IVの基盤構築を目指し、ここではまず、定常解析を以下の条件で行った: i) ダイバータ前面に中性粒子領域を考慮する, ii) 高エネルギーで大きな断面積を有する原子イオン化、分子解離、分子イオン化の各反応を考慮, iii) 初期電子/イオン密度を $1.0 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、電子/イオン温度を10 eV、水素原子密度を $1.0 \times 10^{21} \text{ m}^{-3}$ 、水素分子密度を $1.0 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$ とした。

Fig.2に結果の1例(CaseA)を示す。ただし、Fig.2には、Fig.1の中性粒子領域を考慮しない場合(Case B)の結果も示した。Case Bに比較して、Case Aでは、ダイバータ前面で、分子解離、原子および分子イオン化、

分子イオンの解離などの反応プロセスにより、プラズマの密度の上昇が見られた。

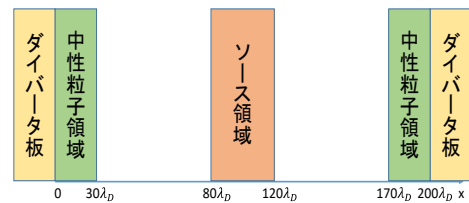


Fig.1 Simulation region
 $(\lambda_D: \text{Debye length})$

さらに、結果の正しさのチェックのために、計算体系における粒子バランスおよびエネルギーバランスを定量的に評価した。その結果、粒子数の保存、エネルギーの保存が確認された。また、シースの電位効果の値についても、その妥当性を検討し、正しく計算されていることを確認した。

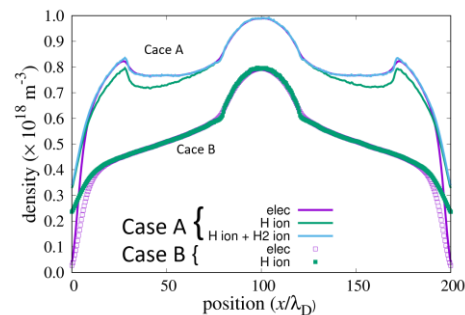


Fig.2 Plasma density

上記、テスト計算から、step IIIにおける“中性粒子モジュールとPICコードとの統合”の基盤は、ほぼ確立されたと考えられる。今後は、Step IIで準備したさまざまな反応種、とくに、荷電交換反応、再結合などデタッチメントに重要な反応種の追加と静的デタッチメント解析を実施する。さらに、最終的には、本研究の目的達成を目指し、Step IVに着手する。

参考文献

- [1] Hockney R.W, and Eastwood J.W. *Computer Simulation Using Particles*. CRC Press. (1988).
- [2] Tsubotani Y., submitted to Plasma Fus. Research.
- [3] Nanbu K, and Kitatani Y. J. Phys. D: Appl. Phys. **28** 324. (1995)