

ダイバータプラズマ中性粒子輸送コードとのカップルをめざした 一次元 PICコードの開発

Construction of one-dimensional PIC code and neutral transport code for divertor plasmas

関谷光之¹, 小山晟矢¹, 澤田圭司¹, 中村浩章^{2,3}, 齋藤誠紀⁴, 河村学思^{2,5}
SEKIYA Koshi¹, KOYAMA Seiya¹, SAWADA Keiji¹, NAKAMURA Hiroaki^{2,3}, SAITO Seiki⁴,
KAWAMURA Gakushi^{2,5}

¹信州大, ²核融合研, ³名大, ⁴山形大, ⁵総研大

¹Shinshu Univ., ²NIFS, ³Nagoya Univ., ⁴Yamagata Univ., ⁵SOUKENDAI

我々は非接触プラズマの粒子・エネルギー・運動量のバランスの解明をめざし、水素原子・分子の衝突輻射モデルおよび中性粒子輸送コードの開発を進めている。分子活性化再結合など、分子過程では一般に分子の始状態の振動・回転状態により大きく反応速度係数が変化するため、水素分子の扱いでは内部状態として電子・振動・回転状態を考慮している。従来のダイバータプラズマコードでは振動状態を考慮したものがあるが、回転状態を考慮したものはない。

ダイバータプラズマ中の電子・イオンは分子の振動・回転励起を伴う分子との衝突や原子・分子との弾性散乱で運動エネルギー・運動量を損失する。特に、非接触プラズマのような低温プラズマでの荷電粒子の温度計算には、分子の振動・回転励起の考慮が重要になる可能性がある。シース領域を含むダイバータ壁近傍での、これに伴う荷電粒子の速度分布関数の変化や、荷電粒子間の相互作用によるその緩和を評価するため、中性粒子のコードとのカップルをめざして、マクロ的な電場を計算しながら荷電粒子の追跡をおこなうPICコードとクーロン衝突を考慮して荷電粒子を追跡するクーロン衝突コードの統合コードの開発を進めている。現在は電子と水素イオンのみのプラズマとし、計算機資源を節約するため、プラズマは空間的に1次元としている。粒子はコード中では3次元的に追跡される。PICコードとクーロン衝突コードの統合コードを書き終え、それぞれのコード単体での動作検証・改善を進めている。なお1次元の中性粒子輸送コードは一通り完成している。

図1はPICコードの計算結果である。ダイバータ板に相当する無限平板を設置し、0.02m左方に入射境界を設定している。平板に到達した粒子は完全吸収され、平板は電荷を蓄え続けるとした。入射境界からは密度 $3.6 \times 10^{15} \text{ m}^{-3}$ 、電子温度30 eV、イオン温度30 eVの荷電粒子が入射するとした。セルの幅は電子密度と電子温度より算出されるデバイ長と同程度とした。PICコードでは、当初、荷電粒子を平板方向にマクスウェル分布で入射させていたが、入射境界付近でソースシースが生じた。ソースシースは粒子

を平板でのシース条件まで加速させるために生じることがわかり、粒子入射にはシース条件を考慮した速度分布関数を用いた。

クーロン衝突コードでは、Nanbuの理論に基づいた計算手法を用いた[1]。Nanbuの理論では、クーロン衝突による微小散乱角を累積して、大角度散乱に置き換えて計算を行う。作成したコードの検証として、一辺がデバイ長程度の立方体形状をした空間内に5 eVの電子と1 eVの水素イオンのサンプル粒子を100個ずつ閉じ込めて計算を行ったところ、図2のような温度緩和が得られた。この緩和時間はSpitzerの理論式の値[2]とほぼ一致した。

学会ではPICコードとクーロン衝突コード、およびこれらの統合コードの紹介をする予定である。

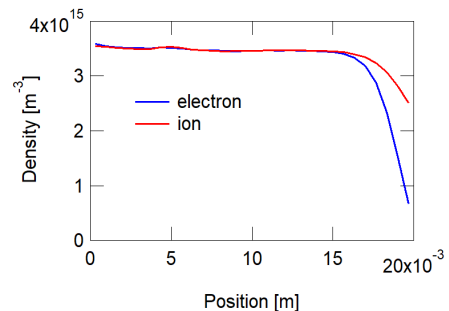


図1. PICコードによる密度計算

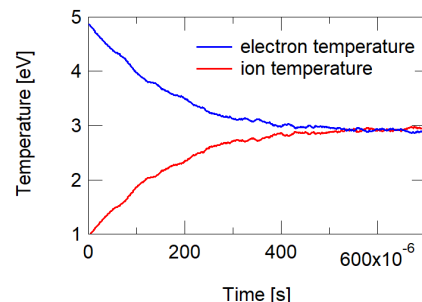


図2. クーロン衝突コードによる電子と水素イオンの温度時間変化

[1] K. Nanbu, Phys. Rev. E, **55**, 4642-4652 (1997).

[2] L. Spitzer, 完全電離気体の物理, コロナ社 (1963).