

ダイバータプラズマの一次元シミュレーションのための
PICコードと中性粒子輸送コードの統合コードの開発

Development of PIC code and neutral particle transport code for one-dimensional simulation
of divertor plasmas

右田 龍星¹, 関谷 光之¹, 澤田 圭司¹, 河村 学思^{2,3}, 齋藤 誠紀⁴, 中村 浩章^{2,5}
MIGITA Ryusei¹, SEKIYA Koshi¹, SAWADA Keiji¹, KAWAMURA, Gakushi^{2,3}, SAITO Seiki⁴,
NAKAMURA Hiroaki^{2,5}

¹信州大, ²核融合研, ³総研大, ⁴山形大, ⁵名大工

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

ダイバータ非接触プラズマでは低温高密度の再結合プラズマが形成される。その生成にはダイバータ近傍の中性原子・分子が大きく寄与する[1]。本研究の目的は、我々が構築してきた中性原子・分子のモデルに加えて荷電粒子を扱うモデルを構築し、それらの統合により非接触プラズマの生成の詳細を定量的に調べることである。

我々は以前より水素原子・分子衝突輻射モデルおよびそれを組み込んだ(1)水素原子・分子中性粒子輸送コードの開発を進めている。水素分子については、分子活性化再結合など各種反応速度係数や分子の振動回転励起にともなうプラズマのエネルギー損失が分子の初期振動・回転準位に大きく依存するため、モデルでは振動・回転状態を区別している[2]。

荷電粒子を扱うモデルとして、(2)マクロ的な電場を計算しながら荷電粒子の追跡を行うPICコード、および(3)ミクロ的な電場、すなわち荷電粒子間のクーロン散乱を考慮して荷電粒子を追跡するクーロン散乱コードを整備中である。

統合コードは、物理現象をわかりやすくするため、また計算機資源を節約するため、ダイバータ壁を無限平板とした1次元コードである。上記の(1)-(3)の統合に先立ち、現在は(1)-(3)の1次元コードを独立して整備している。

(1)の中性粒子輸送コードでは、プラズマ中のイオンの中性粒子との弾性衝突による運動量損失を計算するための整備を進めている。中性粒子の追跡中にイオンとの弾性散乱による中性粒子の運動量損失を集計し、イオンの運動量損失を計算する。中性粒子の速度分布計算ではイオンだけでなく中性粒子同士の弾性散乱も考慮が必要である。ダイバータから放出されたある一定数の中性粒子の速度分布を集計し、次のステップではそれを背景粒子として弾性散乱を考慮しながら中性粒子を追跡する。ダイバータ板から放出された粒子について弾性・非弾性散乱を経験していない粒子とこれらを経験している粒子とに分けて速度分布を記録し、弾性散乱計算の時間短縮のため、後者はシフトドマクスウェリアンで近似するようにした。ダイバータからの中性原子・分子の放出は齋藤・中村のMD計算の結果を用いた[3]。

(2)のPICコードでは右端が無限に広い平板で左端が粒子源となっている1次元コードを開発した。計算領域の長さは2 cmで、400個のセルで等分した。電子と水素イオンのみで構成されるプラズマのシミュレーションを行った。図1は計算の収束後に得られた密度分布である。初期条件として空間的に一様な電子温度30eV、電子密度 $2 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ のプラズマを想定し、1セルあたり電子と水素イオンのサンプル粒子をそれぞれ約1000個ずつ配置した。左端のプラ

ズマ源は電子温度30eV、電子密度 $2 \times 10^{16} \text{m}^{-3}$ のプラズマとした。左端について、粒子源としての扱いおよび粒子追跡時の境界条件としての扱いは検討中である。

(3)のクーロン散乱コードではNanbuの方法[4]を用いている。このコードを用いて1辺がデバイ長程度の立方体の形状をした空間内に30 eVの電子と10 eVの水素イオンのサンプル粒子をともに10000個閉じ込めて計算を行ったところ温度は図2のように収束した。

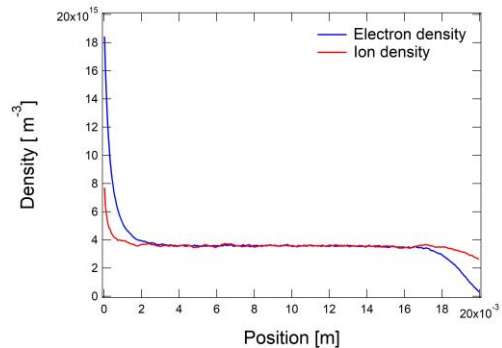


図1 PICコードによる計算結果

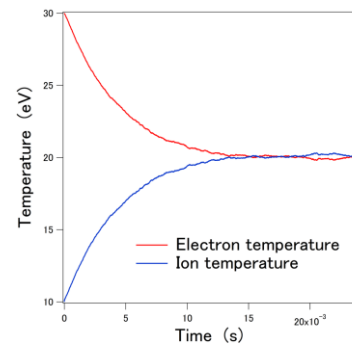


図2 クーロン散乱コードによる計算結果

[1] 高村秀一, 境界領域プラズマ理工学基礎, 森北出版 (2010).

[2] K. Sawada, H. Nakamura, S. Saito, G. Kawamura,

M. Kobayashi, K. Haga, R. Migita, T. Sawada, and M. Hasuo,

Contrib. Plasma Phys. 60, e201900153 (2020).

[3] S. Saito, H. Nakamura, K. Sawada, G. Kawamura, M. Kobayashi, M. Hasuo, Contrib. Plasma Phys., e201900152 (2020).

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