

PIC-MCC コードを用いた
直線型慣性静電閉じ込め核融合プラズマ中の粒子動力学の調査
Investigation of Particle Dynamics in Linear Inertial Electrostatic
Confinement Fusion Plasma Using a PIC- MCC Code

松田和大, 長谷川純, 山下誠太
Kazuhiro Matsuda, Jun Hasegawa, Seita Yamashita
東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

1 背景と目的

慣性静電閉じ込め (Inertial Electrostatic Confinement: IEC) 核融合中性子源は, 重水素を充填した真空容器内でグロー放電を発生させ, 加速された重水素イオンと背景ガス分子 (D_2) の衝突により核融合反応を起こし, 中性子を発生させる装置である. 電極の冷却を容易にするため, 我々は円筒型の陽極と陰極を同軸上に並べた直線型 IEC 核融合中性子源を開発した. 現状, 直線型 IEC 装置では高投入電力運転時の高エネルギー粒子による電極への局所的な熱負荷が問題となっており, その対策には装置内部の高エネルギー粒子の挙動を把握することが非常に重要である. これまで我々の研究グループでは IEC プラズマの電離度が低いことから真空電位を仮定した Monte Carlo 解析を行ってきた. しかし, 中性子発生率の改善のため投入電力を上昇させると, 局所的に電離度が上昇し, 空間電荷効果による電位の変調が無視できなくなることが分かってきた. 本研究では, 空間電荷効果を考慮した自己無撞着な解析を行うため, Particle In Cell - Monte Carlo Collision 法を用いた解析コードを開発し, より詳細な粒子挙動の検討を行なった.

2 解析条件

本解析では e, H_2^+, H^+, H_3^+ に加え, 荷電交換で生成された H_2, H の合計 5 種類の粒子を追跡した. 1 次元解析では, 平行平板電極間に半径 r の放電柱が形成されると仮定した上で定電流制御を行い, 定常状態における電位分布や衝突過程の頻度や分布を観測した. 粒子の起こす衝突過程として, 電子の角度依存後方散乱モデルや, イオンや中性粒子の 2 次電子放出モデルを作成した. また, 背景ガス粒子との衝突として荷電交換や電離, 解離など合計 20 種類の反応を考慮した.

3 解析結果

開発した解析コードの信頼性評価のため, 放電電圧の背景ガス圧依存性について解析結果と実験値の比較を行なった. 放電電流を 1 mA として放電電圧を観測した結果が Fig. 1 である. 圧力の上昇とともに放電電圧が下がる傾向を再現し, 定量的にも良い一致を得られている. また, 軸方向から観測した $H\alpha$ 線スペクトルについて実験値との比較を行なった結果が Fig. 2 である. 中心ピーク及び左右のサテライトピークを持つという結果は実験と定性的に一致する. また 654 nm や 658.5 nm 付近の波長において変曲点があることも再現できている. 同様の解析について, 各種衝突過程の発生分布, 電極熱負荷に寄与している電極衝突粒子のエネルギー分布等について報告する.

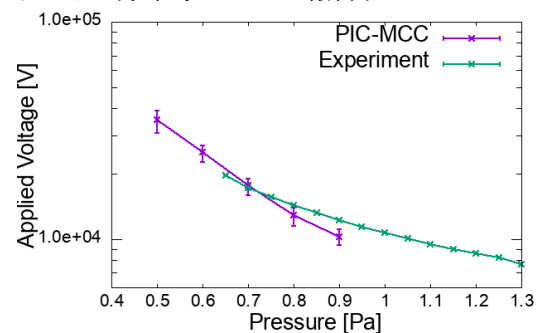


Fig. 1: 放電維持電圧の背景ガス圧依存性.

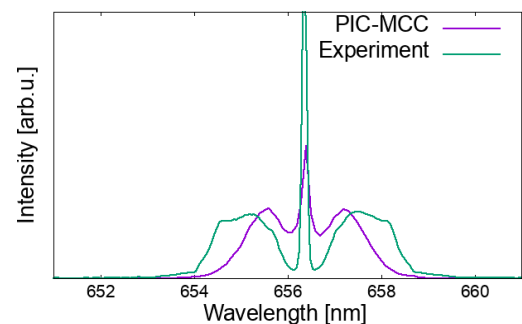


Fig. 2: 背景ガス圧 0.9 Pa の際の $H\alpha$ 線スペクトル.