

IEC 小型核融合中性子源の高出力運転に向けた PIC-MCC 解析

PIC-MCC Analysis for High Power Operation of IEC Compact Neutron Source

*長谷川 純, 松田 和大

東京工業大学

慣性静電閉じ込め核融合中性子源の高出力運転時に問題となる放電電極への高エネルギー粒子による熱負荷を軽減するために、PIC-MCC シミュレーションにより中性子源内の粒子挙動を詳細に調べた。

キーワード：中性子源, 慣性静電閉じ込め核融合, グロー放電プラズマ, PIC-MCC シミュレーション

1. 緒言

慣性静電閉じ込め核融合(IECF)を利用した小型中性子源[1]において、中性子発生率を $10^8 \sim 10^9$ n/s 程度まで向上させるには、10 kW 以上の電力をプラズマに投入する必要がある。このときプラズマ中の高エネルギー粒子による放電電極への局所的な熱集中が顕著となり、電極表面から発生する不純物粒子が放電を不安定化させ、中性子の発生を阻害する。この問題を解決するには、プラズマ中の粒子の挙動を理解し、電極への熱集中を緩和する対策が必要である。今回我々は Particle-In-Cell Monte-Carlo-Collision (PIC-MCC)法による数値シミュレーションを行い、高エネルギーのイオン、電子および中性粒子の速度分布や空間分布を詳細に調べた。

2. 解析方法

数値解析には独自に開発した 1 次元および 2 次元の PIC-MCC シミュレーションコードを用いた。ベンチマーク試験として、IECF 中性子源試験装置を用いたプラズマ発光分光計測から得られたバルマー α 線スペクトルとの比較を行い、解析コードがプラズマ内の高エネルギー粒子の挙動を十分な精度で再現していることを確認した。PIC-MCC 解析から得られた粒子の速度および空間分布をもとに、放電電極へのエネルギー付与分布を調べ、その緩和策を検討した。

3. 結論

1 次元 PIC-MCC 解析から、陽極への熱負荷の要因となりうる高エネルギー粒子は、電子と中性の重水素(D_2 および D)であり、電子の多くは放電電圧相当(~ 100 kV)の運動エネルギーを持って電極に衝突し、陽極熱負荷の 80%以上を担い、一方、中性粒子は放電電圧の 1/5 程度相当の運動エネルギーを持って電極へ衝突し、陽極熱負荷の 17%程度を担っていることが分かった。また、陽極熱負荷は陰極熱負荷の 20 倍程度であることが分かった。以上から、IECF 中性子源の高出力化には、陽極に入射する高エネルギー電子の軌道制御による熱緩和策の適用や、陽極における高スパッタリング耐性材料の使用が有効なことが分かった。

参考文献

[1]板垣智信, 他, 電気学会論文誌 A, Vol. 140, No. 9, p.464-472

*Jun Hasegawa, Kazuhiro Matsuda

Tokyo Institute of Technology