

高周波放電型負イオン源における高密度プラズマ中の電磁場の解析

Analysis of electromagnetic field for high density plasma in the RF negative ion source

安元 雅俊 太田 雅俊 西田 健治朗 川村 安史 畑山 明聖

慶大理工

M. Yasumoto, M. Ohta, K. Nishida, Y. Kawamura, A. Hatayama

Graduate School of Science and Technology, Keio University

1. 背景

核融合プラズマの加熱において、中性粒子ビーム入射(NBI)加熱法が有効とされている。この加熱法において水素負イオン源は重要な役割を果たす。その中でも高周波放電(RF)型負イオン源は、メンテナンスフリーであり連続稼働時間が長いため、従来のアーク型負イオン源に代わるイオン源として期待されている。

RF型負イオン源では一般的に、負イオンの生成に重要な役割を持つ水素原子・分子イオンおよび振動励起水素分子がドライバーで生成され、負イオン生成領域へと供給される。水素原子・分子イオンおよび振動励起水素分子は、ドライバーにおける電子と水素原子・分子との衝突反応により生成される。また各衝突反応の発生量は電子エネルギー分布に依存している。したがって、ドライバーから供給される電子のエネルギー分布を正確に見積もることが重要となる。電子エネルギー分布はドライバー内電磁場と衝突による加減速によって決定するが、系内電磁場や衝突反応量を実験により正確に測定することは困難である。よって本研究では、大型RF負イオン源ドライバーを対象とした電磁場および衝突によるプラズマ加熱・放電過程を模擬したモデルを構築し[1]、解析結果からプラズマの加熱放電過程の理解、また電子エネルギー分布の評価を行うことを目的としている。

2. 方法

本研究におけるRF負イオン源の放電解析は2D3V(2 Dimensional 3 Velocity)電磁PIC(Particle-In-Cell)法を用いて行った。この手法ではFDTD(Finite Difference Time Domain)法[2]による電磁場の解析と、Buneman-Boris法を用いた荷電粒子(電子、水素原子イオン、水素分子イオン)の軌道解析を交互に行うことで、系内の電磁場と粒子運動とを自己矛盾なく解くことを可能としている。この際、衝突過程として放電過程において主要となるイオン化反応等をモンテカルロ法を用いて考慮した[3]。さらに系内粒子および計算時間の増加を解決するために、MPI(Message Passing Interface)を用いたコードの並列化を行い、大規模計算を可能とした。

3. 結果

本研究ではRFドライバー内の高密度(10^{18}m^{-3} 付近)プラズマの解析を行った。図1は各テスト粒子の時間発展を示したものであり、中性粒子ガス圧が3Pa、RF駆動周波数が1MHz、RFコイル電流値が200A、初期プラズマ密度が $2.0 \times 10^{16}\text{m}^{-3}$ とした際の解析結果である。

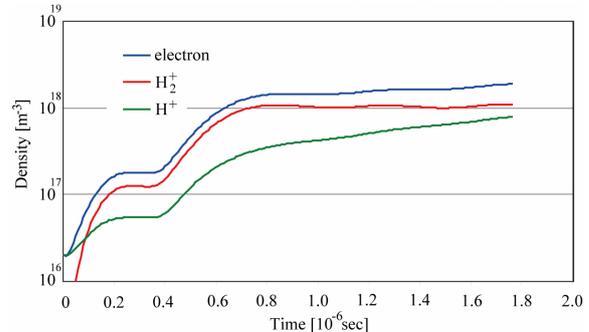


図1：各テスト粒子の時間発展

また図2は1.0 μsec 時の電子密度空間分布を示したものである。

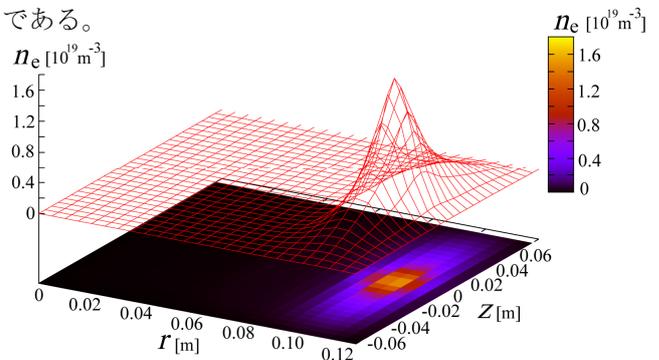
図2：1.0 μsec 時のドライバー内電子密度分布

図2より、高密度時、電子密度分布は径の外側($r \sim 0.11\text{m}$ 付近)で局所的にピークを持つことが確認できた。また同時に、極方向電場 E_0 が r 方向にドライバーの半径以下の波長をもつ様子が計算結果より確認された。その原因については図2の密度分布を踏まえた上で現在考察中である。考察結果や実際の電場分布はポスター発表にて示す予定である。

[1] T.Hayami, et al., AIP Conf Proc, 1390, 339-347 (2011)

[2] K.S. Yee, IEEE Trans. Ant Prop. **14**, 302 (1966)[3] I. Fujino, A.Hatayama, and N. Takado, Rev. Sci. Instrum., **79**