

## 高周波放電型負イオン源における大規模粒子シミュレーションモデルの解析

## Analysis of large-scale particle simulation of RF negative ion source

川村 安史 安元 雅俊 太田 雅俊 畑山 明聖

慶大理工

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

Graduate School of Science and Technology, Keio University

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および電子密度に依存している。したがって、電子エネルギーと密度を正確に見積もることが重要である。電子エネルギーはドライバー内電磁場と衝突による加減速により決定し、また電子密度はドライバー内のイオン化反応量と損失量のバランスによって決定する。しかしながらこれらパラメータは相互に相関を持っており、正確な見積もりを出すことが困難である。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加熱・放電過程について理解することを目的とした。

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、モンテカルロ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、大規模計算を可能にした。

図1、図2は中性粒子ガス圧が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 $1.6 \times 10^{11} \text{m}^{-3}$ とした時の粒子密度および平均エネルギーの時間変化である。

MPIを用いた並列計算の解析により、 $10^{16} \text{m}^{-3}$ 付近の中~高密度に至るまでの時間発展を追うことが可能となった(図1参照)。また $2.5 \mu\text{s}$ や $3.0 \mu\text{s}$ 付近ではそれ以前に比べ急激な密度上昇などが確認できた(図1,2参照)。これら特徴的な変化がどのような物理的機構で現れているかを詳細に検討し、ポスター発表にて示す予定である。

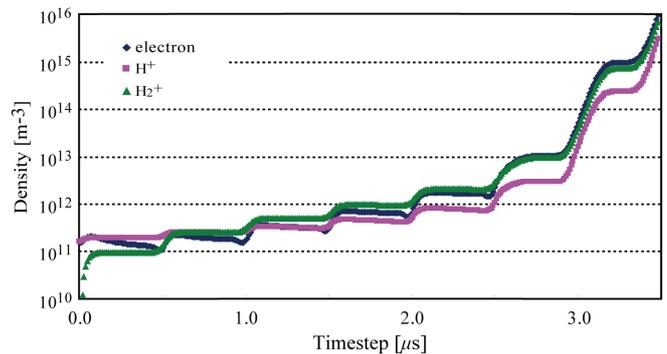


図1：密度の時間変化

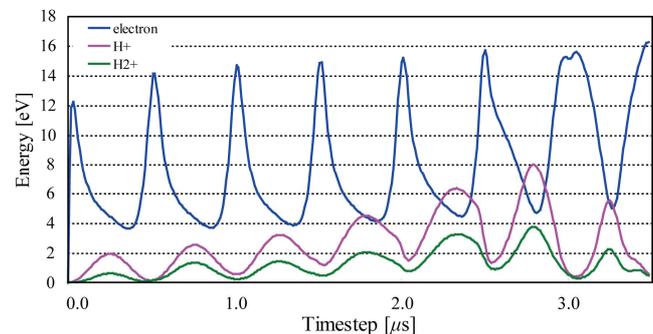


図2：平均エネルギーの時間変化

- [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**