

高周波放電型水素負イオン源におけるプラズマインピーダンスの解析 Analysis of Plasma Impedance in the Radio Frequency Negative Ion Sources

小林若葉¹, 西田健治朗¹, Jacques Lettry², Daniel Noll², 星野一生¹, 畑山明聖¹
W. Kobayashi¹, K. Nishida¹, J. Lettry², D. Noll², K. Hoshino¹, A. Hatayama¹

1. 慶應義塾大学理工学研究科, 2. CERN
1. Keio University, 2. CERN

1. 背景・目的

欧州原子核研究機構(CERN)では素粒子物理研究を進めるために, 新たな線形加速器Linac4が開発されている. その粒子源として高周波放電型(RF: Radio Frequency)水素負イオン源が用いられている. このRF負イオン源では, 80 mAという高電流の負イオンビーム生成が要求されている. 負イオンビームの電流値を増大させるためには, 効率的に電力をプラズマに供給する必要がある. 効率的な電力供給を行うために電源側と負荷側のインピーダンス整合が求められている. インピーダンス整合を達成するために, プラズマのインピーダンスの解析を行うことが必要不可欠である.

先行研究^[1]では, 駆動周波数制御がインピーダンス整合に寄与することが示されている. そこで, 本研究では, インピーダンス整合のために最適な駆動周波数について検討することを目的とする. この際, 粒子シミュレーション^[2]を用いることで, 電子エネルギー分布関数(Electron Energy Distribution Function : EEDF)の非平衡状態を考慮した解析が可能となることが本研究の特徴である.

2. 方法

本研究で用いるシミュレーションモデルの基本的な概念図をFig. 1に示す. シミュレーションにおいては, Electromagnetic Particle In Cell (EM-PIC) 法を採用した. EM-PIC法では, Finite Difference Time Domain (FDTD) 法^[3]を用いた電磁場解析と, Buneman-boris 法^[4]を用いた荷電粒子の軌道解析を交互に行うことで, 両者を自己矛盾なく解くことが可能である. また, 電子と背景の水素原子及び水素分子との衝突反応をモンテカルロ法^[5]により考慮した. モデル形状は, Linac4負イオン源実機の形状を対象とした.

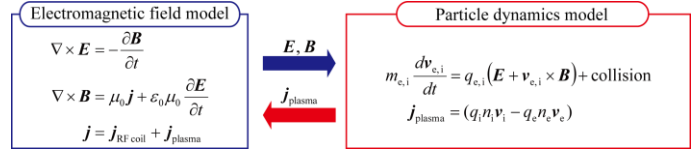


Fig. 1 The basic concept of Electromagnetic Particle In Cell Method.

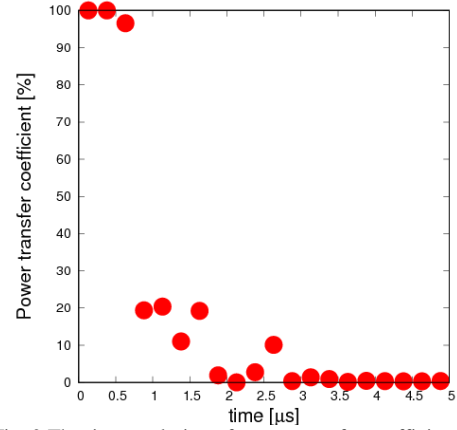


Fig. 2 The time evolution of power transfer coefficient.

3. 結果

Figure 2に, 粒子シミュレーションを用いて, 2 MHzの駆動周波数で計算した電力変換効率の時間発展を示す. この図では, 1/2 MHz毎に平均化している. プラズマ着火時, プラズマに効率的に電力供給がなされていないが, プラズマが定常に達する 3 μsを越えるとインピーダンスマッチングが達成され, 電力反射係数が0%近くをとり, 効率的に電力変換できている.

他の周波数を入力した際の電力変換効率との比較, 考察はポスターに譲る.

参考文献

- [1] M. M. Paoluzzi, *et al.*, AIP Conf. Proc. **1390**, 265 (2011).
- [2] M. Ohta, *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **85**, 02B113 (2014).
- [3] K. Yee, IEEE Trans. Ant. Prop. **14**, 302 (1966).
- [4] C. K. Birdsall and A.B. Langdon, *Plasma Physics via Computer Simulation*, (McGraw-Hill, New York, 1985).
- [5] K. Nanbu, IEEE Trans. Plasma Sci. **28**, 971 (2000).