

Linac4H⁻イオン源における初期放電機構の解析Analysis of the initial discharge process in Linac4 H⁻ ion source

太田雅俊¹, 望月慎太郎¹, 西田健治郎¹, 安元雅俊¹, 畑山明聖¹, S. Mattei², J. Lettry²
 M. Ota¹, S. Mochizuki¹, K. Nishida¹, M. Yasumoto¹, A. Hatayama¹, S. Mattei², J. Lettry²
 慶大理工¹, CERN²
 Keio Univ.¹, CERN²

1. 目的

Linac4 は CERN の大型ハドロン衝突型加速器 (LHC) に用いるため現在開発されている H 線形加速器である [1]. Linac4 における負イオン源には 6 巻きのソレノイドが巻かれており, 2MHz の高周波 (RF: Radio Frequency) 電流が 100kW で流されている. このソレノイドから発生する電磁場によって, プラズマ密度は増加, 加熱される. 現在, Linac4 負イオン源開発のため, 負イオン源内におけるプラズマ密度の増加, 加熱過程の数値解析が進められている [2]. 論文 [2] の報告より, 種電子が生成された後, プラズマ密度が増加されるためには, 誘導性結合による効果が重要であることが示された. 本研究では, 誘導性結合による, 低密度プラズマからの密度増加過程に着目し, プラズマ密度の増加過程におけるパラメータ依存性を解析することを目的とする. 特に, 本発表ではソレノイドに流れる RF 電流と中性粒子ガス圧に着目した.

2. 手法

本研究ではプラズマの密度増加, 加熱過程に着目し, Linac4 負イオン源内のプラズマを運動論モデルによって解析した. このモデルでは荷電粒子の輸送と電磁場を自己無撞着に解析するために, 2D3V Electromagnetic Particle-In-Cell method with Monte Carlo Collision (EM-PIC-MCC) を採用した. 荷電粒子輸送は運動方程式から解いた. 電磁場による運動は Buneman-Boris 法を用い, 衝突項に関してはモンテカルロ法を使った Null Collision 法によって解析を行った. 粒子の輸送に関しては 3 次元で計算した. 電磁場は Maxwell 方程式から計算し, 手法としては Finite-Difference Time-Domain (FDTD) 法を用いた. このとき, RF 電流と荷電粒子の運動から決定されるプラズマ電流を含め計算した. また電磁場解析においては, 軸対象を仮定し 2 次元で計算を行った.

3. 結果

それぞれの中性粒子ガス圧 P_{H_2} における, RF 駆動電流 $I_{c\ min}$ を Fig. 1 に示す. このとき RF 駆動電流 $I_{c\ min}$ はプラズマ密度を初期密度 ($5 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$) から上昇させるために必要な電流の最低値である. Fig. 1 より, RF 駆動電流の最低値 $I_{c\ min}$ を最小にするための, 最適な中性粒子ガス圧が存在することが示された. Linac4 負イオン源における中性粒子ガス圧の最適値は, Fig. 1 より, 3 Pa 前後であった. この結果は実験的な理解と比較しても定性的に矛盾しない結果であった [3]. 当日の発表ではそれぞれのガス圧における粒子の運動エネルギー, イオン化, 電子の壁損失の変化を示し, 中性粒子ガス圧 P_{H_2} と RF 駆動電流 $I_{c\ min}$ の関係が Fig. 1 のように示される物理について説明する予定である.

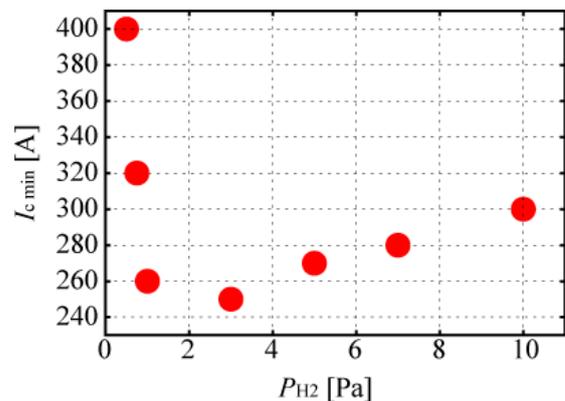


Fig. 1 Initial gas pressure vs coil current required for ramping up the plasma density.

参考文献

- [1] J. Lettry *et al.*, AIP Conf Proc, 1515, 302-311 (2013).
 [2] S. Mattei *et al.*, "Plasma ignition and steady state simulations of the Linac4 H⁻ Ion Source," The 15th International Conference on Ion Sources.
 [3] S. Mattei, *et al.*, AIP Conf Proc, 1515, 386-393 (2013).