

Linac4 水素負イオン源における RF-ICP プラズマ加熱過程の解析

Analysis of RF plasma heating process in the Linac4 H⁻ ion source

太田雅俊¹、S. Mattei²、J. Lettry²、畑山明聖¹、川村安史¹、安元雅俊¹

M. Ota¹、S. Mattei²、J. Lettry²、A. Hatayama¹、Y. Kawamura¹、M. Yasumoto¹

慶大理工¹、CERN²

Keio Univ¹、CERN²

1. 目的

Linac4 は CERN の大型ハドロン衝突型加速器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]。これらの負イオン源には 6 巻のソレノイドが巻かれており、2MHz の電流が 100kW で流されている。さらにその周りを Halbach 配位で永久磁石に囲まれている。これらの永久磁石は負イオン源内にカusp 磁場を形成しており、プラズマの閉じ込め効果の向上が期待されている。高周波(RF)型プラズマでは負イオン源内のプラズマ密度が上昇することによる RF 波の反射が懸念されている。そのため高効率の加熱を行うためには、イオン源内のプラズマ密度を制御することが不可欠であり、プラズマ密度を解析するためには負イオン源内での加熱過程を理解する必要がある。しかし、Linac4 負イオン源において RF によるプラズマの加熱過程は明らかになっていない。よって本研究の目的は Linac4 負イオン源内の加熱過程を明らかにすることである。

2. 手法

本研究では RF プラズマの加熱過程に着目し、Linac4 負イオン源内のプラズマに対して運動論的なモデリングを用いた。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 を採用した[2]。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 LeapFrog 法を用い、衝突項に関しては Monte Carlo 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両者とも 3 次元で計算した。電磁場については RF 波およびプラズマ電流により発生する電磁場と外部磁場を分けて計算した。RF 波とプラズマ電流による電磁場は Maxwell 方程式から計算し、手法としては Finite-Difference Time-Domain 法を用いた。この電磁場解析内では、軸対象を仮定し 2 次元で計算を行った。一方、外部磁場については市販ソフトから求めた 3 次元磁場データを用いて計算を行った。

3. 結果

低密度プラズマについて、初期的な結果として外部カusp 磁場の効果を考察した。カusp 磁場は側面壁への荷電粒子損失を抑制させ、プラズマの閉じ込め効果を増大させた。一方で、RF によるプラズマへのジュール加熱を抑制し、イオン化率を減少させた。両効果を比較すると、低密度プラズマにおいて、プラズマの閉じ込め効果より、加熱の抑制効果が大きくなり、カusp 磁場はプラズマ密度の増加を抑制するという結果を得た。当日のポスターではイオン化数、壁ロス数の時間変化を含めつつ、RF プラズマにおける外部磁場の効果についてより詳しく説明する予定である。

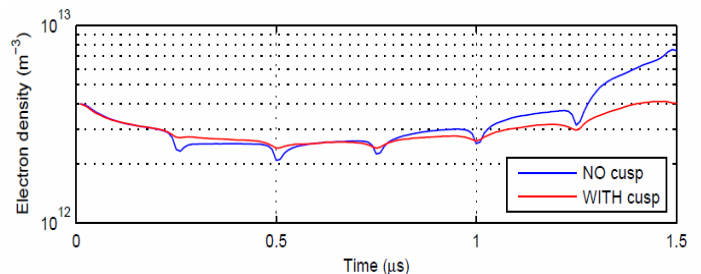


Fig. 1 time evolution of electron density

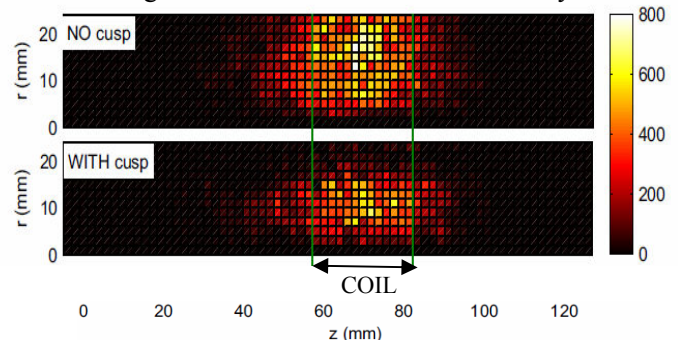


Fig. 2 2D Joule heating density profile

[1] J. Lettry, et al., “H⁻ ion sources for CERN’s Linac4,” 3rd International Symposium on Negative Ions, Beams and Sources, 2012.

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