

シートプラズマを用いたセシウムフリー水素負イオン源による多孔電極引き出し実験

Experiment for multi-aperture grid extraction systems of cesium-free negative hydrogen ion source by using sheet plasma

長谷拓哉¹, 石原正悟², 林達也², 利根川昭², 佐藤浩之助³, 河村和孝⁴
HASE Takuya¹, ISHIHARA Syogo¹, HAYASHI Tatsuya², TONEGAWA Akira²,
SATO Kohnosuke³, KAWAMURA Kazutaka⁴

¹東海大院理、²東海大理、³中部電力、⁴東海大

¹Graduate school of science, Tokai Univ., ²School of science, Tokai Univ.,

³Chubu Electric Power Co. Inc., ⁴Tokai Univ.

ITER 用 NBI では、ビームエネルギー 1MeV, 負イオンビーム電流 40A, 負イオン電流密度 20mA/cm² 程度が要求されている。負イオン源内での負イオンの生成過程には、主に体積生成法と表面生成法の二種類があり、現在の NBI は、セシウムを使用する表面生成法の負イオン源で高密度の負イオン生成が可能である。しかし、プラズマ電極の温度制御及び蒸着したセシウムの不均一性等の制御が複雑という欠点がある。セシウムフリー負イオン源として、体積生成法を用いた負イオン源がある。体積生成法の負イオン源は、磁気フィルターにより高エネルギー電子と低エネルギー電子を区別し、高エネルギー電子により生成された振動励起分子が低エネルギー電子と付着する解離性電子付着反応から負イオンを生成する。この方法では、プラズマ生成領域が広がり密度が低下するため高密度の負イオンを生成することが困難とされてきた。

シートプラズマ生成装置 TPD-Sheet IV[1]を用いたシートプラズマは、イオンのラーモア半径の 2 倍程度の狭い範囲に高エネルギー領域と低エネルギー領域があるため、磁気フィルターによるプラズマの分離が必要ない。このため、プラズマ密度が低下せず、体積生成法により高密度に負イオンを生成することができると考えられる。

先行研究で TPD-Sheet IV のプラズマ終端部に設置したオメガトロン型質量分析器を用いたシートプラズマ厚さ方向変化(Y = 0 ~ 18 mm)に対する負イオン密度分布計測を行った。その結果、負イオンは電子温度の高いプラズマ中心(Y = 0 mm)付近では検出されず、電子温度の低いプラズマ周辺部(Y = 11 ~ 16 mm)で局在していた。このことから、電子温度の高いプラズマ中心部で振動励起分子が生成され、その後電子温度の低い周辺付近で解離性電子付着反応により負イオンが生成されることを確認した。

本研究では、セシウムフリー水素負イオン源の

開発のため、シートプラズマ周辺部に局在する負イオン引き出しを目的とした。シートプラズマ周辺部(Y = 14 mm)に単孔、多孔それぞれの引き出し電極を設置し、水素負イオン引き出し実験を行った。引き出し電圧に対する引き出し電流密度の単孔引き出し結果を図 1 に示す。引き出した電流密度 J は Child-Langmuir の法則

$$J = \frac{4\epsilon_0}{9} \sqrt{\frac{2q}{m}} \frac{V_{ext}^{3/2}}{d^2}$$

から、引き出し電圧 V_{ext} の 3/2 乗に比例する (d : 引き出し電極間距離)。図では、それぞれの電流密度特性がこの法則に比例していることが分かる。また、水素負イオン引き出し電流密度が 20 mA/cm² に到達するという結果が得られた。

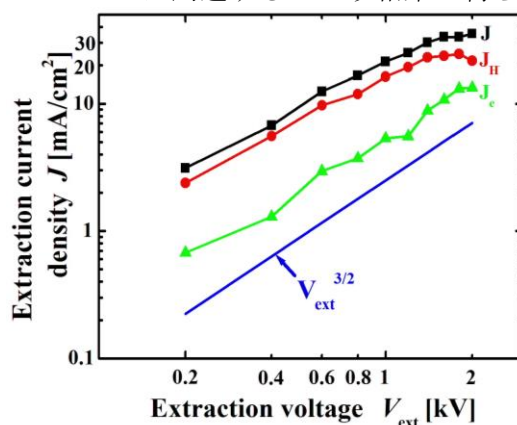


図1. プラズマ周辺部(Y = 14 mm)での単孔引き出し結果(黒プロット：電源電流密度、赤プロット：水素負イオン電流密度、緑プロット：電子電流密度)。

[1] T. Iijima, et al., Ion acceleration by ion-cyclotron resonance in non-uniform magnetic field using the TPD-SheetIV linear divertor simulator, Fusion Science and Technology 63 (2013) 417.