

オリフィスプローブ-DC レーザー光脱離法による負イオンプラズマ診断

同志社大学大学院, 徳島文理大学^A 島本 敏史, 粕谷 俊郎, 松本 新功^A, 和田 元

1. 研究目的

核融合プラズマ加熱用水素負イオン(H⁻)ビーム源の開発では H⁻密度の測定が重要である。H⁻密度を調べるため、これまではパルスレーザーとラングミュアプローブを用いた光脱離計測が一般的であった。しかしプラズマに対する擾乱や、プローブ表面からの吸着物のアブレーションなどの問題が発生するため、近年 DC レーザーを用いた測定も行われている。他方、ラングミュアプローブを用いず、ビーム引き出しされた H⁻を測定する手法も用いられ、その手法による計測の結果、引出電圧の印加により発生する電界が引出孔からプラズマ領域に染み出すモデルの提案に至っている[1]。

本研究ではビーム引き出し時のプラズマ状態を模擬するために、引出構造を持つオリフィスプローブを用いて負イオン計測を行い、従来のラングミュアプローブで得た結果との比較を行った。また、オリフィスプローブの引出電極に印加する電圧の変化によって光脱離プラズマの輸送がどのように影響を受けるかを調査したうえで、引出孔近傍のプラズマ電位構造を調べた。

2. DC レーザーを用いた光脱離計測

オリフィスプローブの概念図を Fig.1 に示す。イオンや電子を捕集するコレクタ(引出電極)は、ビーム引き出し構造を持つようファラデーカップ形状となっている。引出孔(オリフィス)は $\phi 2.5$ mm で、電子抑制用の磁石が作る磁場強度は引出孔正面で約 80 Gauss となっている。

Fig.2 に、ラングミュアプローブとオリフィスプローブによる光脱離電流の距離特性を示す。実験条件は放電電流 1.0 A, 放電電圧 100 V, ガス圧 1.0 Pa としている。レーザー軸から十分離れた位置にラングミュアプローブを置くと、光脱離電流は約 15 nA まで減少したが、そこからほぼ変化しなかったのに対し、オリフィスプローブでは減少し続けて最終的に数 nA となった。この結果より、オリフィスプローブを用いることで、マルチカスプ磁場で反射した光脱離電子の成分を抑制した測定ができると考えられ、今後より正確な計測が期待できる。負イオン/電子密度比を算出したところ、ラングミュアプローブで約 1.5 %, オリフィスプローブで約 5 %となり数倍の差は生じたが、密度摂動を考慮した拡散モデルがオリフィスプローブで得た結果にも適用できることが分かった。

続いて、引出電極に印加する電圧が変化した場合に光脱離電子を含む周辺の負イオンプラズマの輸送に及ぼす影響を調べた。オリフィスプローブをできる限りレーザー軸に近づけて、レーザー軸を挟んで 6 mm 程度離れた位置にラングミュアプローブを設置した。引出電圧を変化させ、ラングミュアプローブが得る光脱離電流値を測定した結果を Fig.3 に示す。引出電圧を正に印加するとラングミュアプローブが得た光脱離電流は、印加しない場合の約半分まで減少した。これにより、引出電圧がプローブ周辺のプラズマ輸送を変化させていることが分かる。

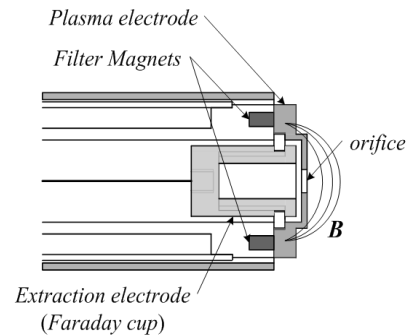


Fig.1 Schematic diagram of an orifice probe.

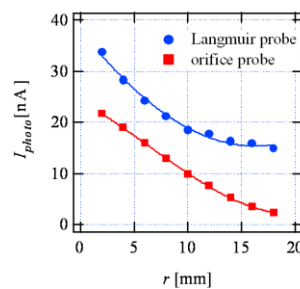


Fig.2 Characteristics of photodetachment current vs distance.

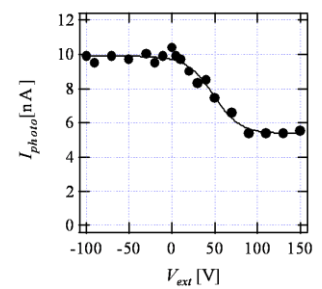


Fig.3 Photodetachment current characteristics obtained by changing the extraction voltage.

3. 引出孔近傍の電位構造計測

引出電圧の印加により引出孔からの電界がプラズマ領域中に染み出し、光脱離電子を含む周辺の負イオンプラズマ輸送を変化させていると考えられるため、エミッシブプローブを用いて引出孔周辺のプラズマ電位を計測した。ビーム軸に対して垂直な方向に移動させたところ、引出孔正面の位置のみで電位の上昇が確認できた。また、ビーム軸に平行な方向に移動させたところ、電位の上昇は引出孔から数 mm 程度まで及んでいることが分かり、実際に電界の染み出しが生じていることが確認できた。

4. 結論

ビーム引出構造を持つオリフィスプローブを用いることで、光脱離電子の反射成分を抑制した光脱離電流計測が可能となった。負イオン/電子密度比を測定したところ、ラングミュアプローブの結果と比較して数倍の誤差はあったが、負イオン密度をある程度の精度で評価できることが分かった。

また引出電圧の印加により、引出孔近傍のプラズマ電位上昇が確認できた。これによりプラズマ領域への電界の染み出しが生じていることが分かった。その電界の影響を受け、光脱離電子を含むオリフィスプローブ周辺の負イオンプラズマ輸送が変化しているものと考えられる。

[1] Y. Matsumoto, M. Nishiura, M. Sasao, H. Yamaoka, K. Shinto, M. Wada, Rev. Sci. Instrum. **79**, 02B909 (2008).