

24aB03 高速プラズマ流を用いたマッハプローブ計測の特性評価 Evaluation of Mach Probe Characteristics by using a fast-flowing plasma

安藤 晃、渡邊貴史、牧田崇弘、戸張博之、服部邦彦、犬竹正明
東北大院・工

ANDO Akira, WATANABE Takashi, MAKITA Takahiro, TOBARI Hiroyuki,
HATTORI Kunihiro, and INUTAKE Masaaki

Department of Electrical Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

近年の高温プラズマ閉じ込め研究や宇宙プラズマ中の活発な電磁流体研究において高速プラズマ流の果たす役割が注目され、盛んに研究が進められている。また、核融合研究におけるダイバータ部材料評価や電気推進機の開発をはじめ、様々な産業分野へプラズマ流を用いた応用研究が進展している。プラズマ流の流速やマッハ数はこれらのプラズマ流特性を評価する重要なパラメータであり、分光法やレーザ誘起蛍光法（LIF）計測など粒子速度計測法をはじめ種々の計測手法の研究が進められている。

マッハプローブは、プラズマ流のイオンマッハ数（イオン音速に対する流速の比）を計測する簡便な測定法として 1970 年代から用いられてきた。マッハプローブはプラズマ流に対し異なった角度に電流捕集面を設置し、各捕集面で得られたイオン飽和電流値 J_{is} の比からマッハ数を算出するもので、図 1 (a) に示す形状のマッハプローブがよく使用されている。この時、マッハ数は 2 つの捕集面で得られたイオン飽和電流値、 J_{up} 、 J_{down} を用いて、 $M_i = M_c \ln(J_{up}/J_{down})$ と計算される。この補正係数 M_c を算定する様々なモデル提案がなされてきたが、十分に信頼しうる理論がなく、実験で用いる係数値の確定が強く求められてきた。特に非磁化条件下での流速計測は最近様々な応用分野において重要視され、そのモデル構築と係数算定が強く求められている。

最近、Hutchinson が非磁化プラズマの条件で PIC(Particle-In-Cell)コードを用いた数値シミュレーションを行い、新たなモデルを提唱しているが実験的検証が必要である^[1]。そこで本研究は非磁化プラズマの条件におけるマッハプローブ計測法の特性評価を実験的に行うことを目的として遂行された。

実験は東北大学の HITOP 装置において行われた。図 1(b)に示すような、プラズマ流に対し 1 つの捕集面を持った方向性ラングミュアプローブ(Directional Langmuir Probe: DLP)を新たに製作し、この DLP をプローブ軸回りに回転させて、プラズマ流と DLP 捕集面とのなす角度をかえて J_{is} の角度 (θ) 依存性を行った。同時に分光法を用いてマッハ数の計測をおこない、その結果と Hutchinson のシミュレーション結果とを比較したところ、両者はよく一致する結果が得られた(図 2)。また、DLP を回転させることで、up-down type と perp-para type の 2 種類のマッハプローブを模擬し、それぞれ分光法との較正を行ったところ、両者ともマッハ数が 0.4 から 1.7 に渡る非常に広い範囲でシミュレーション結果と良く一致する結果が得られた (図 3)。この結果を用い、マッハプローブで測定した J_{is} の比からイオンマッハ数を算出する際に必要な較正係数が得られた。

さらに、プラズマの流れ方向とマッハ数を同時に計測する手法を開発し、HITOP プラズマ流を計測したところ、下流側に流れる軸方向成分と回転する円周方向成分の 2 成分のマッハ数同時計測を行うことができた^[2]。これらの成果はプラズマ閉じ込め研究のみならず、多様な応用分野にとっても有用である。

[1] I. H. Hutchinson, Plasma Phys. Control. Fusion, **44**, 1953(2002).

[2] 渡邊貴史他, プラズマ核融合学会第 21 回年会, 25pB33P.

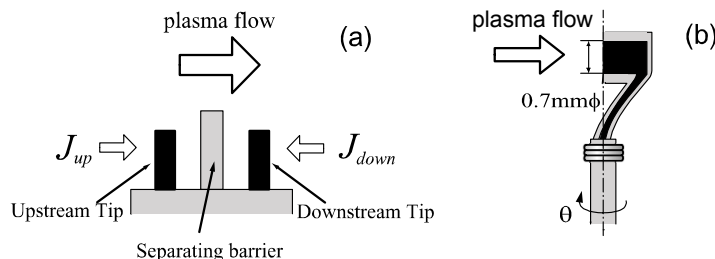


図 1 (a)マッハプローブと(b)DLPの概略図

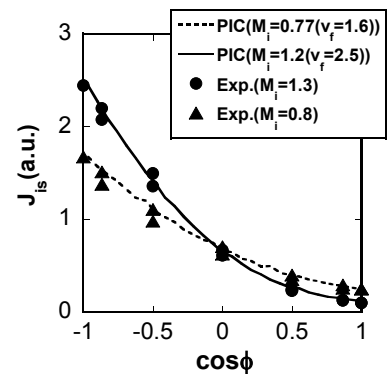


図 2 DLPで計測した角度依存性とシミュレーション結果との比較

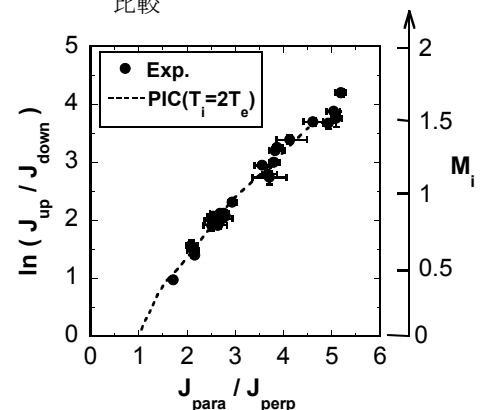


図 3 2つのタイプのマッハプローブ計測法の比較。点線はシミュレーション結果。