

オーミック加熱小型トカマク(HYBTOK-II)プラズマの流速計測

エネルギー電磁流体工学グループ 渡邊研究室 横山 哲士

1 緒言

次世代の発電方法として期待されている磁場閉じ込め核融合発電炉は、高温高圧力プラズマを磁場の容器で閉じ込める必要がある。閉じ込めの際、誤差磁場の存在により、磁場容器の形状が変化して閉じ込め性能が劣化する問題があるが、この誤差磁場が磁場容器の変形に与える影響はプラズマの流速により変化することが知られており、プラズマの流速を評価することは重要である。プラズマ流速の計測手法に、マッハプローブ計測とマイクロ波反射計を使った方法がある。マッハプローブ計測ではプローブをプラズマ中に挿入する必要があるが、中、大型実験装置ではプラズマの温度が高くなり、計測には使えない。マイクロ波反射計は、外部から電磁波を入射し、その反射波のドップラーシフトからプラズマ流速を計測するため、高温プラズマでの計測が可能である。本研究では、小型トカマク装置 HYBTOK-II において、マッハプローブとマイクロ波反射計を用い、プラズマ流速を計測し、その相違を調べた。また、オーミック加熱プラズマの幅広いプラズマパラメータ領域でマッハプローブを用い、プラズマ流速を計測し、その流速特性を調べた。

2 計測原理

マッハプローブアレイは直接プラズマに挿入し、流れの上流側と下流側に向いた二つの電流捕集面からなる対となる電極で得られたイオン飽和電流値の比 $R = I_{up}/I_{down}$ から、イオンマッハ数 $M_i = M_c \ln R$ を求める計測手段である。流速を見積もる際、電子温度の関数であるイオン音速を知る必要があるため、トリプルプローブを用いて同一磁気面の電子温度を同時に計測する。プラズマ流の計測に、マッハプローブを用いることは時間、空間分解能が良く、装置の簡便さや安価なこともあり利点が多い。一方、マイクロ波反射計を用いた計測ではプラズマ中に回折条件を満たす周期的な構造（波数 $k_{\perp}$ ）があれば、カットオフ面に対して角度 θ_D で入射したマイクロ波（波数 k ）はドップラーシフトを受けた反射波として受信アンテナへと戻る。速度 $v_{\perp}$ で回転しているとすると、周期構造はマイクロ波の進行方向に対して $v = v_{\perp} \sin \theta_D$ の速度成分を持つので、反射波はドップラーシフト $\omega_D = \frac{2v}{c} \times \omega$ を受ける。これを回折条件と合わせるとドップラーシフトは $\omega_D = v_{\perp} k_{\perp}$ となり、 ω_D から速度 $v_{\perp}$ が求められる。

3 実験結果

マイクロ波反射計を用いて発振周波数を変化させて計測したポロイダル流速を図 1 に示す。プラズマの位置により、ポロイダル流速は ~ 3 km/s であることがわかった。同程度の温度密度のプラズマでのマッハプローブによる計測値は、 $M_c \sim 1$ の場合、 $5 \sim 8$ km/s であったため比例定数は $M_c \sim 0.5$ が適当なことがわかった。この値を使って、プラズマのマッハプローブによるポロイダル、トロイダル流速の比を評価したのが図 2 であ

る。低温時のポロイダル流速はトロイダル流速の 0.5 倍だったが、高温時は 5.5 倍となっており、電子温度等のプラズマパラメータの変化によって流速の比が大きく変化することが分かった。今後はプローブ計測と反射計の同時計測により、 M_c を精度よく評価することが課題である。

学会発表 日本物理学会 第 74 回年次大会
九州大学 伊戸キャンパス(福岡県), (2019.3.14-3.17).

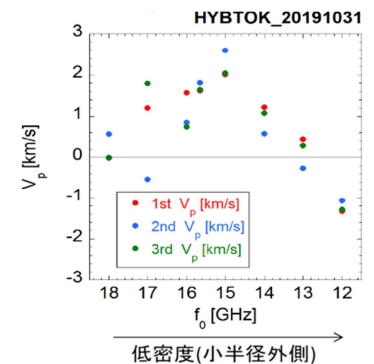


図 1 ポロイダル方向計測時の周波数変化に対する流速

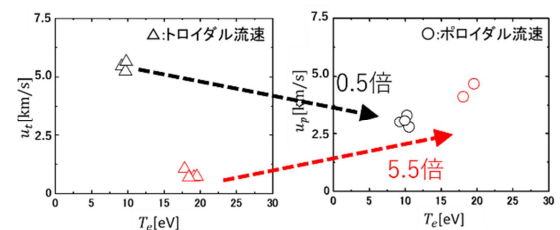


図 2 オーミック加熱プラズマのマッハプローブによるポロイダル、トロイダル流速の比