

HIST 装置におけるゾーナルフロー様分布と 2 流体平衡配位解析

Zonal flow-like structure and two-fluid flowing equilibrium on Helicity Injected Spherical Torus

松本圭祐¹⁾, 伊藤兼吾¹⁾, 花尾隆史¹⁾, 廣納秀年¹⁾, 中山貴史¹⁾, 兵部貴弘¹⁾, 永田正義¹⁾, 神吉隆司²⁾

K. Matsumoto¹⁾, K Ito¹⁾, T. Hanao¹⁾, H. Hirono¹⁾, T. Nakayama¹⁾, T. Hyobu¹⁾, M. Nagata¹⁾ and T. Kanki²⁾

兵庫県立大学 院工¹⁾, 海上保安大学校²⁾

Graduate School of Engineering, University of Hyogo¹⁾, Japan Coast Guard Academy²⁾

1. はじめに

高 β かつイオンスキン長に比べて特性長の短い局所的な領域内にイオンフローが存在する場合、プラズマをイオン流体と電子流体に分けて扱う 2 流体モデルによる議論が必要であり、兵庫県立大学の HIST 装置においては 2 流体効果が重要となるゾーナルフロー様ポロイダルフローの計測結果が得られている。

HIST 装置では、同軸ガン電極を用いて種プラズマを生成し、ガン電流とトロイダル磁束のローレンツ力でプラズマを噴出させ、噴出速度とバイアス磁場によるトロイダル方向の誘導電場によってイオン及び電子を逆向きに加速させることにより、プラズマ電流を駆動する。このため、バイアス磁場の極性を切り替えることにより、プラズマ電流の向きを反転させることができる。プラズマの電流の向きを変えたときのイオンフロー、電界および電子圧力の径方向分布を図 1 に示す。ここで、トロイダル電流が外部トロイダル磁場と同じ方向になる場合を $\Psi_{bias} > 0$ としている。図よりバイアス磁場の極性の反転により、トロイダルフローの方向が反転し、イオンフローは $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ およびイオンの反磁性ドリフト方向の向きとなっていることがわかる。また、ポロイダルフローはセパトリス近傍 ($R \simeq 0.10$ m) で反転し、磁気軸近傍で大きな速度シアが形成されており、ゾーナルフロー様の構造となっている。本研究は図 1 のようなゾーナルフロー様のフロー分布もった 2 流体緩和平衡配位の形成機構について調べるのが目的である。

2. 2 流体平衡計算結果

急峻な圧力分布およびシアフローが存在するような平衡を調べるために、2 流体平衡解析を行った。今回使用した 2 流体平衡コードは L.C.Steinhauser, A.Ishida らにより開発されたコード [1] を HIST 装置に適用したもので [2]、電子およびイオンそれぞれの Grad-Shafranov 方程式と Bernoulli 方程式を解くことにより平衡解を得ている。2 流体効果の指標として、2 流体パラメータがイオンスキン長 $l_i \equiv c/\omega_{pi}$ (c は光速、 ω_{pi} はイオンプラズマ周波数) と装置特性長 L を用いて $\varepsilon \equiv l_i/L$ と定義されており、一般にこの値が 1 に近づけば 2 流体効果が顕著となるとされている。HIST 装置において圧力勾配の大きい領域について考慮すると、 $n = 5.0 \times 10^{19} m^{-3}$ 、 $L = 0.1m$ より $\varepsilon = 0.3$ となる。図 2 は計算結果であり、ヘリシティ駆動プラズマの磁場構造と特徴的な電界と圧力分布によるイオンフローの測定結果と上手く一致していることが分かる。

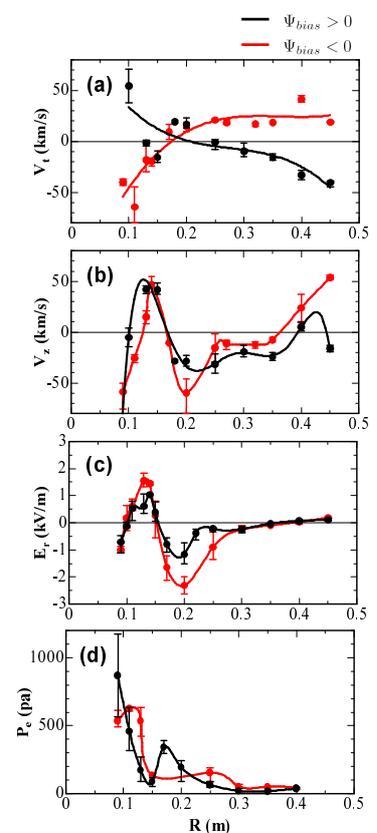


図 1 実験における (a) トロイダルイオンフロー、(b) ポロイダル (z) イオンフロー、(c) 電界および (d) 電子圧力の径方向分布 ($t=1.4ms$)。 $\Psi_{bias} > 0$ (black line), $\Psi_{bias} < 0$ (red line)。

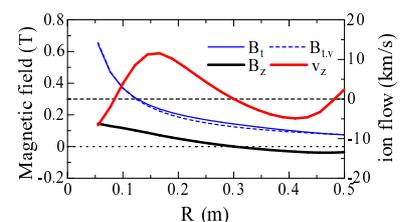


図 2 2 流体平衡計算によるポロイダルフローと磁場分布

[1] L.C. Steinhauser and A. Ishida, Phys. Plasmas **13**, 052513 (2006)

[2] T. Kanki and M. Nagata, Phys Plasmas **13**, 072506 (2006)