

単純トロイダル磁場下でのECRプラズマの維持機構
—LATE装置での実験と解析

**Sustaining Mechanism of ECR plasmas in a Simple Toroidal field
—Experiment in the LATE device and Analysis**

黒田 賢剛 前川 孝 打田 正樹 田中 仁

Kengoh Kuroda, Takashi Maekawa, Masaki Uchida and Hitoshi Tanaka

京都大学エネルギー科学研究科

Graduate School of Energy Science, Kyoto University

単純トロイダル磁場下のECRプラズマにおいてイオンと電子は磁場の湾曲と勾配により垂直逆方向のドリフト(Vacuum Toroidal Field ドリフト)を起こし荷電分離が生じるが、導体真空容器を経て荷電分離電流が循環することで放電が維持されていることがLATE装置での実験(2.45GHzマイクロ波、 $\sim 1\text{kW}$ 、2s入射、水素プラズマ)ですでに示されている[1][2]。

この実験において、イオンと電子の逆方向のVTFドリフトが生じているにもかかわらず、プラズマ中の空間電位はピーク値が $\sim 25\text{V}$ と電子温度の2 \sim 3倍程度に収まっており、高い電気的中性度($\{n_i - n_e\}/n_e \sim 10^{-6}$)が維持されている。これは荷電分離により生じる空間電位分布が $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトのフローを形成することで、荷電分離の発達を抑制していると推測される。そしてイオン電流が容器上面に流入していることから、メインプラズマ中では温度が低く速度の遅いイオンVTFドリフトは容器上面近傍において加速されていると推測される。これらの観点からイオンと電子のフローについて電子密度、温度、空間電位分布を精密に調べ解析を行った。

電子温度 T_e ($\sim 10\text{eV}$)と密度 n_e ($\sim 10^{11}\text{cm}^{-3}$)はECR層に沿って縦長に分布する。メインプラズマ中の荷電分離電流密度 j_z と電子VTFドリフト電流密度はほぼ同じ ($j_z \approx 2n_e T_e / RB_\phi$) になると考えられ、垂直方向にほぼ一様な分布を示す。これに対し、空間電位 V_s はプラズマ上部にピーク($\sim 25\text{V}$)を持つ広い丘状の分布となる。

Fig.1に電子のドリフトフラックスベクトルの算出結果を示す。電子温度に依存し下方向のみに流れるVTFドリフトフローに対し、径方向と上方向の流れを作り出す $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトフローが空間電位分布により形成される。この $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトにより電子密度は垂直方向に一様に近い分布になり、垂直方向に一様に流れる荷電分離電流が形成されている。

Fig.2に上面近傍のイオンフローの解析結果

を示す。黒線上の初期位置においてイオンが計測値の密度で $T_i = 1\text{eV}$ のマクスウェル分布をしていると仮定し、軌道計算により周辺の密度及びトップ電極に流入するフラックス量を算出した。上面近傍では急峻な電位勾配により上方向のドリフトの加速が生じ、計測値に近いイオン電流の流入が算出された。

参考文献

[1] S. Nishi et al. PPCF 52 125004(2010)

[2] K. Kuroda et al. PFR Volume 7, 1302098(2012)

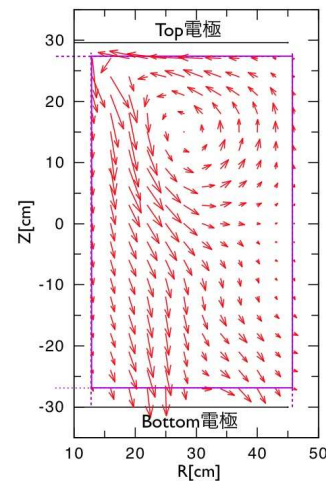


Fig.1 電子ドリフトフラックスベクトル $\Gamma_e = \Gamma_{eVTF} + \Gamma_{E \times B}$

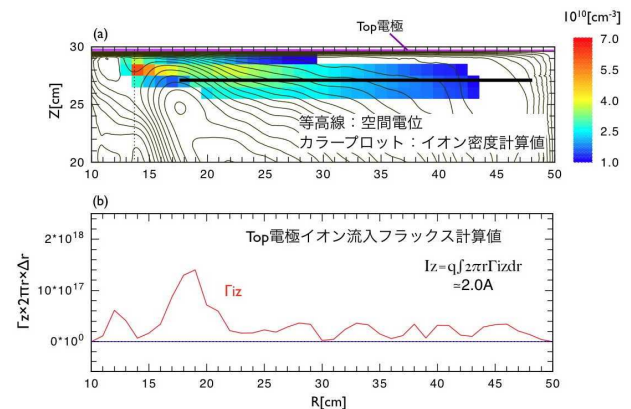


Fig.2 軌道計算によるイオンフロー解析結果