

磁場を横切る両極性電位；トロイダルECRプラズマにおける流れの調整役
Cross-Field Potential Hill as a Flow Adjuster in a Toroidal ECR Plasma

前川 孝、黒田堅剛、打田正樹、田中 仁

Takashi Maekawa, Kengo Kuroda, Masaki Uchida, Hitoshi Uchida

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のみではプラズマを閉じ込めることが出来ない”という叙述がある。すなわち、電子とイオンが上下逆方向にドリフトして荷電分離が生じ、垂直方向に強い電場Eが発達して、トロイダル磁場とのE×Bドリフトによりプラズマは径方向に排出されてしまう。

一方、単純トロイダル磁場下で適切なガス圧力のもとで電子サイクロトロン周波数帯のマイクロ波を入射すると、ECRプラズマが生じ、マイクロ波を入射しているかぎり、プラズマは維持され、強い電場は生じない（本発表の連結発表である29D38Pの予稿を参照）。これを説明するために、プラズマとそれを囲む導体真空容器よりなる閉回路を荷電分離電流が循環して強い電場の発生が抑制されると予測された[1963, S. Yoshikawa et al.]. 最近、確かに荷電分離電流が循環していることがLATE装置における2.45GHz、~1kWのマイクロ波によるECRプラズマ (Te~10eV, ne~10¹¹cm⁻³) において検証された[S.Nishi et al., 29D38P の参考文献]。

荷電分離電流の発生はトロイダル磁場の不均一性と曲がりに起因した垂直方向のドリフト (Vacuum Toroidal Field ドリフト)

$$V_z = \frac{m(v_{\parallel}^2 + v_{\perp}^2/2)}{qRB_{\phi}} \quad (1)$$

に起因する。LATE では $B_{\phi} > 0$ で運転しているので、電子は下に、イオン（陽子）は上にドリフトする。これに伴う電流は上向きでその密度は

$$j(R) = \frac{2(P_e + P_i)}{RB_{\phi}} \quad (2)$$

で与えられる。ここで P_e 、 P_i はそれぞれ、電子圧力とイオン圧力である。上記 ECR プラズマにおいては、イオン温度は電子温度にくらべて低く、イオンの寄与は電子に較べ僅かである。

ここで疑問が生じる。式(2)によると天井に流入するイオン束は床に流入する電子束に比べると僅かで、プラズマ中に正荷電が溜まっていく。実験ではそうではないので、VTF ドリフトに E×B ドリフトによる流れが加わり、容器壁に到達する電子とイオンの数を等しくしていると推測され

る。実際、実験ではイオンの VTF ドリフト方向であるプラズマ上部に正のポテンシャル丘が生じていて、そのピーク値は~25V である。このポテンシャル丘の等ポテンシャル線に沿って E×B ドリフトによる流れが生じて、電荷の蓄積を自律的に抑制していると考えられる。

粒子バランスの観点からは、ECR 層に沿った電子温度の高い (~10eV) 領域で衝突電離により電子・イオン対が生じ、イオンが容器導体壁に到達した際、電子と再結合し水素原子に戻る。E×B ドリフトは電子とイオンで同一だが、VTF ドリフトは向きが異なる。すなわち対生成直後から電子とイオンは上下に分かれていく。従って、プラズマ全体としては電荷が蓄積されないとしても、局所的な電荷の蓄積からも逃れることは至難であるように思える。しかし上記のポテンシャル丘を形成する電荷密度は、電子電荷密度の 0.001% 程度であり、驚異的な中性度が保たれている。

実験結果 (29D38P) より求めた E×B ドリフトと VTF ドリフトによる電子流束ベクトル分布図等をもとに上記に述べた観点を検討している。

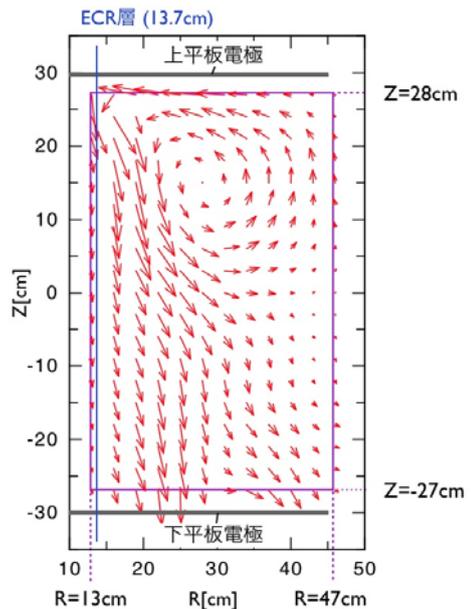


図1 E×B と VTF ドリフトによる電子流束ベクトル (2πR の重みをつけている)