

29aA27P カオス磁場を通じた電子の無衝突侵入による電子のヘリカル磁気面トラップ実験

Electron trap in helical magnetic surfaces using a method of collisionless penetration of electrons via chaotic magnetic layer

比村治彦, 若林英紀, 深尾正之, 三瓶明希夫, 政宗貞男, 磯部光孝, 岡村昇一, 松岡啓介

京都工繊大, 総研大, 核融合研

Kyoto Institute of Technology, The Graduate University for Advanced Studies, National Institute of Fusion Science

トロイダル磁気面は約 50 年の長きにわたり, これまで準中性のプラズマを閉じ込めるために用いられてきた。一方, 電氣的に非中性のプラズマを内部導体コイルやヘリカルコイルにより生成された定常トロイダル磁気面内に閉じ込める研究は, プラズマの高ベータ化への寄与が期待されるプラズマの反磁化 [1] や高エネルギー粒子の直接捕捉 [2] [3] に関する基礎研究としてつい最近開始されたものである。

磁気面に閉じ込められた非中性プラズマの物理は, ペニングトラップに閉じ込められている非中性プラズマや, あるいは核融合プラズマ等, 磁気面に閉じ込められている準中性プラズマとはかなり異なることがわかってきた。例えば, 軸対象系のペニングトラップでは, 遠心力+静電力に対するローレンツ力(向心力)の径方向力学的平衡でプラズマの閉じ込め及び密度限界(ブリルアン密度限界)が決まるが, 磁気面トラップにおいてはその静電平衡に加えて, 磁力線方向の圧力勾配と静電力の釣り合いがプラズマ閉じ込め [3] 及びブリルアン密度限界 [4] に重要な役割を果たす。系の持つエネルギー状態についても, ペニングトラップではエネルギー最大の状態が安定である一方で, 磁気面トラップではエネルギー最小の状態が安定配位 [4] となる。磁気面上でのプラズマパラメータ(空間電位, 密度など)についても, プラズマ圧力の大きい核融合プラズマにおいては, それらパラメータの値は磁気面上で一定, つまり磁気面閉数として取り扱う事が可能である。これに対して, 非中性プラズマのようにプラズマ圧力の低いパラメータ領域においては, プラズマの等電位面や等密度面は磁気面から外れ, したがって磁気面閉数とはならない [5]。

上記の他にも極めて興味深い物理現象として, 完全に静電的なオペレーションであるにもかかわらず, sawtooth クラッシュの様な破壊的バースト等について研究を進めている。本講演では, 2001 年夏より核融合研の CHS 実験装置で行っている本研究のオーバービューを行い, 最新の研究結果について報告する。

- [1] S. Mahajan and Z. Yoshida, Phys. Rev. Lett. **81**, 4863 (1998); H. Himura *et al.*, in Proceedings of 18th IAEA Fusion Energy Conference, IAEA-CN-77/ICP/14, Italy (2000).
 [2] H. Himura *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **74**, 4658 (2003); Phys. Plasmas **11**, 492 (2004); IEEE Trans. Plasma Science **32**, 510 (2004).
 [3] T. Pedersen and A. Boozer, Phys. Rev. Lett. **88**, 205002 (2002); Stellarator news **99**, 3 (2005).
 [4] A. Boozer, accepted for publication in Physics of Plasmas (2005); Phys. Plasmas **11**, 4709 (2004).
 [5] H. Wakabayashi, H. Himura, M. Isobe *et al.*, submitted to Phys. Rev. Lett. (2005).

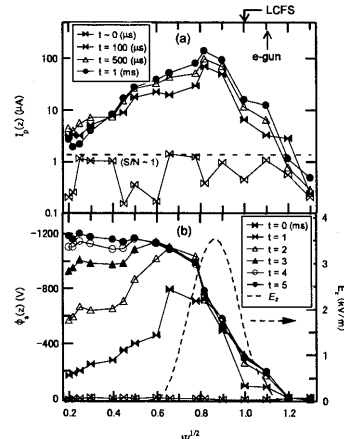


図 CHS ヘリカル磁気面内部で測定されたプローブ電流及びプラズマ空間電位の時間発展。CHS ヘリカル磁気面の最外殻磁気面外側にあるストカステック磁場領域から射出された電子が, 閉じたヘリカル磁気面内へと無衝突侵入し, 磁気面内に非中性プラズマを形成していく様子を示している。

29aA28P

ヘリカル磁気面における非中性プラズマの電位分布

Space Potential Profile of Non-neutral Plasmas in Helical Magnetic Surfaces

若林英紀, 比村治彦¹⁾, 磯部光孝²⁾, 岡村昇一²⁾, 松岡啓介²⁾

総研大, 1)京都工繊大, 2)核融合研

H. Wakabayashi, H. Himura¹⁾, M. Isobe²⁾, S. Okamura²⁾ and K. Matsuoka²⁾

Grad. Univ. Adv. Sci., 1)Kyoto Inst. Tech., 2)NIFS

トカマクやステラレータなどトロイダル型のプラズマ閉じ込め方式において, 磁気面は最も基本的な概念の一つである。核融合プラズマのような高圧カプラズマにおいては, 圧力や空間電位などの物理量は磁気面上で一定であり, この前提で様々な解析が行われている。しかしながら, 圧力の低い非中性プラズマにおいては, 空間電位が磁気面量になるとは限らない。

磁気面に閉じ込められた非中性プラズマの平衡方程式¹⁾に従った数値計算によると, 特に, プラズマ圧力勾配による力と静電力の比を表すパラメータ a/λ_d (a : プラズマ小半径, λ_d : デバイ長) が 1~10 程度の値を取る場合には磁力線に沿った方向に顕著な電場が現れ, 磁気面上での電位が変動している²⁾。

我々は CHS 装置のヘリカル磁気面内で電子ビームにより電子プラズマを生成し, 同一磁気面上での電位の値を調べた³⁾ (Fig.1)。横軸は規格化小半径 ρ であり, $\rho=0.1$ がそれぞれ磁気軸と最外殻磁気面に対応する。図からわかる通り, 同一磁気面 ($\rho = \text{const.}$) において, $z>0$ の領域と $z<0$ の領域での電位の値が一致していない。その両電位の差は電子ビームの加速電圧 V_{acc} に応じて増大しており, 例えば $V_{acc} = 1\text{ kV}$ のケースでは, $\rho=0.8$ の位置で電位差は $\sim 350\text{ V}$ となっていることがわかる。一方, このときの電子温度は $\sim 240\text{ eV}$ であり, 電位差と電子温度のオーダーは一致している。

同様の不均一性は密度についても現れることになり, 実際, 電子密度分布の $z>0$ における初期測定結果より (Fig.2 下), 電子の真空容器壁近傍側への偏在が予想される。密度に関する変動比を電位のそれと比較検証するために, 現在, 磁気面上の異なる二点での密度測定を可能とするプロービングを準備している。

本講演においては, 閉じた磁気面内に閉じ込められている電子プラズマの空間電位および密度の値の磁気面上での変動に関する実験結果について発表する予定である。

- [1] T. Pedersen, *et al.*, Phys. Rev. Lett., **88** (2002).
 [2] R. Lefrançois, *et al.*, Phys. Plasmas, **12** (2005).
 [3] H. Wakabayashi, *et al.*, submitted to Phys. Rev. Lett.

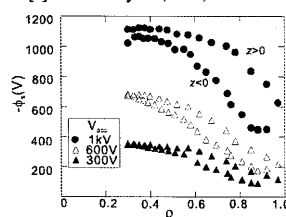


Fig.1 磁気面内の空間電位分布

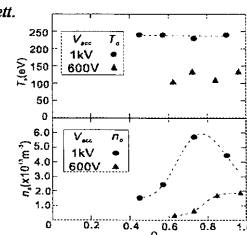


Fig.2 電子温度 (上), 密度 (下) 分布