

新型イオン・スペクトル二次元計測器に拠る 電位空間構造/径電場シアと 閉じ込め改善の相関の研究

筑波大学プラズマ研究センター

吉田麻衣子、長 照二、平田真史、小波蔵純子、時岡 優、
三宅泰宏、沼倉友晴、横山 昇、深井隆行、富井大和

I. 研究目的・特色の概要

本研究は、燃焼プラズマに向けた高性能プラズマの定常化の基幹を成す「プラズマ閉じ込め電場/電位の生成物理機構」と、効率良いプラズマ閉じ込め電場生成・制御手法の解明・確立、並びに生成された電場がプラズマに与える効果の研究を進めた結果、①プラズマ電位・電場生成と、イオン閉じ込めの両者に強い相関があり。②特にプラズマ半径方向の電場 E_r の対称性が良い場合のみ、高閉じ込め性能のプラズマを定常的に維持でき、 E_r が非対称時は、 $E \times B$ ドリフトによる局所的な粒子損失が現れ、プラズマの不安定性に結びつくことを、本研究で明らかにした。③更に最近、電子サイクロトロン加熱(ECH)パワーの増大等による電位の大きさの進展は、強い電場シアの発生とそれに伴う揺動の抑制及び粒子閉じこめの改善に対して、本質的に効いていることを明らかにしたので、これらについて報告する。

II. 電場 E_r の対称性と改善閉じ込めの相関

電位/電場の空間構造を明らかにするために、新開発した「静電イオン・エネルギー・スペクトル計測器アレイ」を用い、(i)プラズマ半径方向の電場 E_r の対称性が良い場合に、 $E \times B$ ドリフトによる方位角 θ 方向回転による、プラズマの安定な高閉じ込めが維持できる事、(ii)一方 E_r が非対称時は、 $E \times B$ ドリフトの径方向拡散成分による、局所的な径方向粒子損失が現れ、プラズマの不安定性に結びつく事を、本研究で明らかにした。

III. 径電場シアと揺動抑制の相関

ECH による径電場シアが形成されている半径位置で、電子ドリフト波や低周波数成分の揺動強度が減少し、安定化され 消える現象を見出し、それと共に閉じ込めが改善した。一方で、ECH により閉じ込め電位は形成されても、径電場シアが小さい場合、電子ドリフト波や低周波数成分の揺動は安定化せず、閉じ込めも改善しない結果が得られた。この様に、電場 E_r のシア dE_r/dr が、Hモードや内部輸送障壁(ITB)の物理機構に本質的であるという最近の環状系の議論と対応するように、シア形成とともに、径方向の非両極性輸送が確かに改善されている事も、同時に得られ、電場 E_r のシア効果の普遍性をうかがわせる成果を得た。

IV. 電位生成物理機構・生成比例則

更に、電位生成に関する電子の速度空間の拡散に基づくコーエンの強いECH理論とデータとの良い一致を示した。また、パスツコフ理論に基づく電位によるプラズマ閉じ込めと、粒子バランスによる解析結果の良い一致を、空間各点について初めて明らかにした。加えて、両理論を我々が統合し新たに提唱した「電位生成・電位閉じ込め新統合理論」と実験データの良好な対応の実証を行った。これらを、二次元的にも初めて実証した。