

JT-60U における輸送と構造形成

竹永秀信、JT-60 チーム

はじめに トカマク装置では、1980年代に L-H 遷移現象が発見されて以来、種々の閉じ込め改善モードが観測されている。1990年代には内部輸送障壁 (Internal Transport Barrier: ITB) による閉じ込め改善が観測され、自発電流を用いた定常トカマク炉の概念が創出された。また、最近では ITB プラズマの中心部で、電流がほぼゼロになる電流ホールが発見されている。これらの現象は構造の変化を伴っており、トカマクプラズマが多彩な構造を持ち得ることを示している。本講演では、JT-60U における内部輸送障壁、電流ホール、H モードでの周辺輸送障壁の輸送と構造形成について報告する。

内部輸送障壁 凹状電流分布を有する負磁気シアプラズマや中心平坦電流分布を有する弱正磁気シアプラズマでは、粒子及び熱の輸送が著しく低減する ITB が形成され、その領域に密度・温度の急勾配が観測される。この様なプラズマでの電流分布は、凹状分布である自発電流の割合が高い場合と整合し、さらに ITB による高い閉じ込め性能が得られるため、将来の定常トカマク炉での運転シナリオの有力候補となっている。凹状電流分布を有するプラズマを生成するためには、プラズマ電流立ち上げ時の早期から加熱を行い、温度の上昇により電気抵抗を小さくし、プラズマ表面から流れる誘導電流のプラズマ中心領域へのしみこみを抑制している。一旦、この様な電流分布に ITB ができると、ITB での高い圧力勾配により自発電流が流れ、この自発電流が凹状電流分布を維持する。この様に、電流分布と圧力分布が、自発電流と輸送を介して強い相関を示す。誘導電流が十分にしみこんだ場合には ITB は観測されず、プラズマの立ち上げ方によって、全く異なったプラズマの構造が形成される。

電流ホール トカマク装置ではプラズマ中に流れる電流がプラズマを閉じ込めるために本質的な役割を果たすにもかかわらず、ITB が十分成長するとプラズマ中心部で電流がほとんどゼロになる電流ホールが形成される。電流ホールがある状態で、プラズマが安定に維持できることは、プラズマ閉じ込め研究に新たな知見を与えるものである。電流ホールにはプラズマ電流をゼロに維持する機構が存在すると考えられ (電流クランプ)、電子サイクロトロン電流駆動を適用しても電流ホールの中心付近に電流を駆動することは極めて困難である。一方、電流ホール周辺部への電流駆動により電流ホールの大きさの制御は可能である。電流ホールでは閉じ込めがないため、平坦な密度、温度分布が観測されている。

周辺輸送障壁 (H モード) H モード化とともにプラズマ周辺部に輸送障壁が形成される。周辺輸送障壁が成長すると、ELM と呼ばれる間欠的な熱・粒子の吐き出しが起こる。ELM による吐き出しが大半径方向外側に局在していることを示唆する実験結果が得られている。また、プラズマの形状を三角形に近づけると ELM が小さくなることが観測されており、プラズマ形状によって周辺構造が変化していると思われる。