

LHDにおけるプラズマ制御を目指したECH/ECCD実験の現状

伊神弘恵、野竹孝志、LHD実験グループ

電子サイクロトロン共鳴加熱/電流駆動(ECRH/ECCD)システムは他の加熱/電流駆動システムと比較して多くの利点を有している。これまでトカマク、ヘリカルを問わず世界中の多くのプラズマ閉じ込め装置で ECRH/ECCD による圧力分布や電流分布制御の有効性が実証されており、粒子加熱が支配的となる燃焼プラズマにおいても、その電力密度の高さ故に重要な役割を担う事が期待される。大型ヘリカル装置(LHD)においても ECRH は主要加熱装置であり、ECRH による電子系内部輸送障壁の形成や、電子バーンシュタイン波(EBW)を用いた高密度プラズマの加熱、また、ECCD を用いて磁場構造を変化させ、閉じ込めへの影響を調べる為の基礎実験等を行っている。

電子系内部輸送障壁の形成

ヘリカル系において、非両極性拡散による電子ルートは新古典輸送による閉じ込めの改善を伴うと同時に電場のシアを通じて乱流輸送も低減する可能性が指摘されており、重要な研究課題となっている。ECRH はプラズマ中のポテンシャルを制御する有効なツールであり、LHD において電子密度に依存する閾値電力以上の ECRH を行うことで、径電場遷移に起因すると考えられる電子系内部輸送障壁を伴う閉じ込め改善モードが得られている。この閉じ込め改善モードでは、ターゲットプラズマに対する NBI の入射方向 (Co-NBI or Ctr-NBI) により電子温度分布の様子が異なっており、これには回転変換分布の違いに起因する $m/n=2/1$ の有理面あるいは磁気島の存在が影響していると考えられる。LID コイルを利用してこの磁気島の大きさを変化させた場合の電子温度分布の違い等から内部輸送障壁生成機構の解明を目指した実験研究も進められており、これらの実験結果について報告する。

電子サイクロトロン波電流駆動

LHD はポロイダル磁場を生成する為の外部電流駆動の必要性は無いが、強力な NBI 駆動電流や BS 電流等がプラズマ中に存在する。これらの電流が誘起される結果として回転変換や磁気シア等が変化し、特に高 q 状態になると閉じ込めに大きな影響を及ぼす恐れがある。また、LHD において q 値や核融合三重積等の最高値は、新古典輸送は改善されるが交換型モードは不安定となる磁気軸内寄せ配位において達成されている。従ってこの閉じ込めの良い内寄せ配位において、ECRH/ECCD を用いて圧力分布や回転変換分布等を新古典輸送を悪化させない範囲で制御し MHD モードを安定化させる事で、より良好な閉じ込め状態を実現できる可能性がある。この様に LHD においてもトロイダル電流分布を制御する事で閉じ込め改善を模索する事は重要な研究であると考え、電流分布制御の為に ECCD の基礎実験を行っている。

電子バーンシュタイン波加熱

近年の高 q プラズマ実験の進展により、高密度プラズマの分布制御の手段として、電子バーンシュタイン波(B波)による高密度プラズマの ECRH/ECCD が注目され、多くの装置で適用への検討や、実験が行なわれるようになった。B波はまた、電子サイクロトロン共鳴(ECR)層付近の電子温度が低い場合でも強い吸収を受ける。プラズマ周辺部の低温度領域において B波を用いた ECRH/ECCD を行ない、周辺部の分布制御を行なうというシナリオも考えられる。LHD においては 2004 年度より既存の基本波 ECRH 用 84GHz マイクロ波入射システムを用いて、B波による ECRH/ECCD の基礎実験を行なっている。遮断密度以下のプラズマにおいては強磁場側からの異常波モード入射による B波の励起と加熱を試みている。また、遮断密度以上のプラズマにおいては弱磁場側からの正常波モード入射による B波の励起と加熱も試みている。これらの実験結果について報告する。