

トカマクにおける電流分布制御と電流ホールの形成 Current profile control and formation of current hole in tokamaks

藤田隆明
原研 那珂
FUJITA Takaaki
JAERI Naka

トカマクにおける電流分布制御研究は、モーショナルシュタルク効果(MSE)計測に代表される電流分布計測の実用化とともに大きく進展した。負磁気シアによる箱型の温度分布を有する内部輸送障壁の形成により、径方向輸送に対する磁気シアの重要性が実験的に明らかにされ、輸送の磁気シア依存性の定量化に向けて研究が進められている。また、巨視的安定性限界が圧力分布とともに電流分布にも大きく依存することから、高ベータ化の観点からも電流分布制御は重要である。

トカマクにおけるプラズマ電流は、誘導電流、ブートストラップ電流、外部駆動非誘導電流の3つから成る。定常トカマク炉では、誘導電流はゼロであり、また経済性の観点から中性粒子ビーム(NB)や高周波(RF)による外部駆動非誘導電流も大きくはできないので、大部分をブートストラップ電流で流すことになる。ブートストラップ電流の分布は圧力分布に依存する。一方圧力分布は輸送に依存するため、輸送の磁気シア依存性を通して電流分布に依存することになる。従って、ブートストラップ電流の割合が大きいトカマクプラズマは、圧力分布と電流分布とが互いに密接に関連しあう自律性が高い系となる。このような系における電流分布の制御性が重要なテーマである。

ブートストラップ電流の割合が80%に達するトカマクプラズマがJT-60Uで実現され、内部輸送障壁を有する負磁気シア電流分布がエネルギー閉じ込め時間の数倍程度ほぼ一定に維持された。これはブートストラップ電流の割合が大きい系において圧力分布、電流分布が定常に維持される状態(いわゆる停留点)が存在することを示唆するものであるが、今後、電流の拡散時間を超えるより長い時間における挙動の解明が必要である。

高ブートストラップ電流割合(～60%)の負磁気シアプラズマにおける電流分布制御がJT-60Uで行われ、低域混成波(LH)を用いた周辺電流駆動による負磁気シア領域/内部輸送障壁半径の拡大と、負イオン源NB(N-NB)を用いた中心部電流駆動による負磁気シア領域の安全係数の低減が得られ、高ブートストラップ電流割合における電流分布の制御を実証した。また、JETにおいては、低ベータ(低ブートストラップ電流割合)ではあるが、実時間電流分布計測(ファラデー回転)とLHとを用いた電流分布の実時間制御を実証している。今後の高ブートストラップ電流割合における電流分布の実時間制御が期待される。

負磁気シアプラズマにおいて、プラズマ中心部に電流がほとんどゼロの領域(電流ホール)が形成・維持される場合があることがJT-60UおよびJETで観測されている。電流ホールの内部では温度分布はほぼ平坦であるが、その周辺部の内部輸送障壁により高温のプラズマが電流ホール内に閉じ込められている。中心の電流密度がゼロの上下を振動したり、中心の電流密度がゼロとなったときに大きな不安定性が発生するのではなく、中心の電流密度がほぼゼロ(測定限界以下)の状態が数秒間持続する。これはそのような状態を保つ機構の存在を示している。また、電流ホールの内部にNBやRFによる電流駆動を行っても、中心から電流が流れ始めることはない。電流ホールを有するプラズマにおける電流分布制御のために、電流ホールおよびその周辺部の電流分布がどのように決定されているかについて研究を進めている。