

輸送障壁による影響を考慮した 高ベータトカマク炉心プラズマの最適化

学生証番号 076204 氏名 木村 洋平
(指導教員 岡野 邦彦 教授)

Key Words : advanced tokamaks, high beta, transport barrier, current drive

トカマク型核融合炉の経済性の改善は、磁場によるプラズマの閉じ込め性能を表す β 値(=プラズマ圧力/磁気圧)をいかに高く維持できるかに依存している。高い β 値によって装置の小型化や外部駆動用電流を低減することができ、発電コストが低下する。実用化を想定した高 β トカマクの代表的設計例としては電力中央研究所によるCRESTの例があり、規格化ベータ値 $\beta_n=5.5$ で100万kwの正味電気が出力される設計となっている。

一方で、核融合プラズマ中には、境界及び内部で急峻な圧力勾配により熱や粒子を遮断する輸送障壁と呼ばれる層が形成される。内部輸送障壁が生じると、プラズマの閉じ込め向上に寄与する。境界輸送障壁が形成されるHモードにおいては、ELMなどの不安定性の発生が懸念される。CRESTの高い β_n 値は輸送障壁を考慮しない理想化された圧力分布で達成されたが、現実の核融合プラズマに即して輸送障壁による影響を考慮した最適な β_n 値を導く必要がある。

そこで、本研究ではトカマク型核融合炉において内部及び境界に輸送障壁が形成された炉心プラズマの到達可能な規格化ベータ値のシミュレーションによる模索及び、それに伴って期待される経済性ある核融合炉の実現可能性の向上を目的とした。

研究手法としては、まずトカマク型核融合炉の平衡・安定性解析を行い、電流・圧力分布を最適化することで、理想MHD安定性を考慮した高 β プラズマの平衡解を導いた。平衡解析について、トカマク型を想定した2次元軸対称平衡コード、EQLAUSを用いてプラズマの平衡解を求めた。これはプラズマの圧力分布と電流分布の条件を与えると、存在しうる磁気面形状が得られるものである。このとき、圧力分布に境界及び内部輸送障壁を想定した関数形を導入し、高ベータ化に及ぼす影響を見た。安定性解析についてはERATOコードを用いて、 $n=1\sim 3$ のキンクモード及び $n=\infty$ のバルーニングモードの理想MHD不安定性を対象として解析を行った。

MHD安定となった平衡解であっても、定常的に目標の電流を駆動する方法のない解であればそのようなプラズマの実現は不可能である。そのため、本研究では電流駆動も視野に入れて、DRIVERコードを用いて、NBIとRFを用いた外部電流駆動及びブートストラップ電流からなる非誘導電流のみによって駆動可能となるか検討を行った。

このように輸送障壁の存在する平衡解について、MHD安定及び電流駆動方の両方を担保しつつ、圧力及び電流分布の最適化によって到達可能な規格化ベータ値を探った。その結果、以下のような知見を得た。

- ・ Hモードの境界輸送障壁及び内部輸送障壁を想定し、圧力分布に組み込んだ平衡・安定性解析では電流駆動の観点から到達 β_n 値が制限される結果となった。しかし、電流分布の最適化でさらなる高ベータ化の可能性が残されている。
- ・ 急峻な圧力勾配が形成されると不安定性が誘起されやすくなる。また、境界で大きな輸送障壁が形成されるほど周辺に多くの電流が流れ、不安定化しやすくなる傾向が見られた。
- ・ 輸送障壁を考慮した平衡解について、ブートストラップ電流割合を最適化し、NBI及びRFを組み合わせた電流駆動を実現させることで1MeVでの低ビームエネルギー及び30MW以下のパワーでの定常運転の可能性が示された。
- ・ 今回、電流駆動可能となった平衡解は、 $\beta_n=4.8$ でブートストラップ電流割合が9割以上を占める解を得た。本研究によって経済性ある核融合炉の実現可能性が示された。