

ヘリカル型装置における MHD 実験研究の現状

成嶋 吉朗

核融合科学研究所

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町 322-6

MHD 安定性の理解及びその制御は、高 β プラズマ生成の観点から磁場閉じ込め装置共通の課題である。トカマク型装置では β 限界に関する実験・理論的な多くの知見を持つ一方で、ヘリカル型装置での β 限界に対する実験検証はまだその途についたばかりである。大型ヘリカル装置 (Large Helical Device : LHD) に代表されるヘリオトロンプラズマは、真空磁場配位では全域に亘り磁気丘構造を持つ。しかしながら、 β の上昇と共に Shafranov shift が起こり、プラズマ中心部($\rho \sim 0.5$)では磁気井戸が形成される。一方、周辺部($\rho \sim 0.9$)では変わらず磁気丘構造が残る。これらの MHD 特性は、真空配位の磁気軸位置によって変化する。LHD の線形理論予測では、ヘリカルコイルのコイル中心($R=3.9\text{m}$)よりも十分内側($\Delta R < -15\text{cm}$)に磁気軸位置をシフトした場合、磁気井戸が形成され難くなる。逆に、外側にシフトした場合は磁気井戸が形成されやすいため MHD 的には好ましい。しかし、Shafranov shift の空間的余裕が小さくなるため、内側シフト配位よりもはやく平衡 β 限界に達する。現在の LHD では、MHD による β 限界に主眼を置いた高 β プラズマ($\beta \sim 3\%$)の特性の理解を目的とした実験が行なわれてきており、これまで Mercier 不安定な領域でもプラズマが安定に生成され、3%を越える β 値を記録している。高 β プラズマに関する一連の実験では、プラズマ中心部で共鳴面を持つモードが高 β 領域で消失する現象が観測されている。これは3次元低 n 線形解析(TERPSICHORE)による理論予測と一致している。また、このモードはプラズマ電流効果による共鳴面の消失によっても安定化される。一方でプラズマ周辺部では高 β 領域における不安定化が理論的に予測されており、実験でもプラズマ周辺部に複数のモードが観測されている。これらのモードは複雑な振舞を示す。例えばある共鳴モード($m/n=1/1$)は消失し、別の共鳴モード($m/n=2/3, 4/5, 3/4$ 等)が出現する現象がある。これらのモードは、リミターで周辺部の有理面を削ることで同時に消失する結果を得ている。また、真空配位では存在しない共鳴面の成分を持つモード($m/n=1/2, 2/5$)が観測されている。これら周辺部で発生する諸現象については、磁気島による圧力分布の局所的平坦化、有限 β 効果によりプラズマ領域が広がった結果共鳴モードとして出現、ヒーリングによって stochastic な領域が磁気面構造を持つ、外部モードそのものである、など諸説紛々である。以上の実験結果を踏まえた LHD における高 β 化へのシナリオとして、回転変換分布の制御のためのプラズマ電流の最適化、プラズマ圧力分布制御のための磁気島の能動的活用、リミターを用いた外部モードの安定化などが考えられており、今後の高 β 化に向けて研究が進められている。