

大型ヘリカル装置における交換型不安定性の磁場配位依存性

渡邊研究室 山田健聖

1. 目的と意義

核融合発電は高温高压のプラズマを磁場容器で、安定に閉じ込める必要がある。しかし、プラズマを閉じ込める際に、磁場が変形してプラズマの安定な閉じ込めを妨げる MHD 不安定性が発生することがある。特に、LHD(大型ヘリカル装置)では、その運転特性から主に交換型不安定性が発生しやすい。交換型不安定性は圧力勾配が大きい時に発生しやすく、プラズマの特性パラメータであるプラズマ圧力、プラズマ抵抗、磁場配位の特性パラメータである小半径方向の磁場の勾配、磁力線のねじれ度、によって不安定度が変化する。本研究では、磁気軸 3.75 m の磁場配位(磁場容器の形)の交換型不安定性について、その不安定度をベータ値と磁気レイノルズ数に着目して解析し、先行研究で示された磁気軸 3.6 m の磁場配位と比較することで、どのような磁場配位がどのような場合により不安定なのかを調べることを目的とした。磁力線のねじれ度により、不安定になりやすい不安定性の構造が異なるので、本研究ではトロイダル方向に 1 周期とポロイダル方向に 1 周期の構造を持つ不安定性($m/n=1/1$ モード)に着目した。

2. 解析

磁気軸 3.75 m の磁場配位をもつ LHD 実験において、離れた位置で計測したコヒーレンスの高い磁場揺動信号を交換型不安定性由来の信号として判定し、磁場揺動信号の位相差から不安定性の構造を特定した。同時にプラズマの蓄積エネルギー、電子密度の計測結果から、 β 値(プラズマ圧力と磁気圧の比)、磁気レイノルズ数(S ; プラズマ抵抗が小さいほど、大)を評価し、不安定度の指標である運転磁場で規格化した磁場揺動強度 $\tilde{b}_\theta/B_t$ との関係調べた。

3. 結果・考察

磁気軸 3.75 m 配位である不安定度の β 値、磁気レイノルズ数 S 依存性を図 1 に示す。図 1 より β が高いほど、また S が小さいほど磁場揺動強度 $\tilde{b}_\theta/B_t$ は大きくなっていることがわかる。また黒いプロットで示された比較的高い磁場揺動強度のある、 β 値が 1.25~1.35% のデータを抜き出し、 $(\tilde{b}_\theta/B_t)^{1/2}$ の S 依存性を示したものが下図である。図 2 に示した 3.6 m 配位(先行研究)と比較すると、3.75 m 配位では運転特性から β 値が低く全体の分布は左に偏っている。 S が 10^7 、ベータ値が ~1% で比較すると、磁場揺動強度の大きさは 3.75 m 配位の方が 2 倍ほど大きくなっている。磁場揺動強度の S 依存性を比較すると 3.6 m 配位では、広い S で、交換型不安定性の特徴である -0.36 乗の依存性を持つものに対して、3.75 m 配位では、 S が $5 \sim 9 \times 10^5$ と $6 \sim 7 \times 10^6$ で、揺動強度が大きくなる場所がある。なぜ、3.75 m 配位の場合が 3.6 m 配位に比べて不安定なのか、磁場揺動強度の S 依存性が異なるかの理由についての説明は今後の課題である。

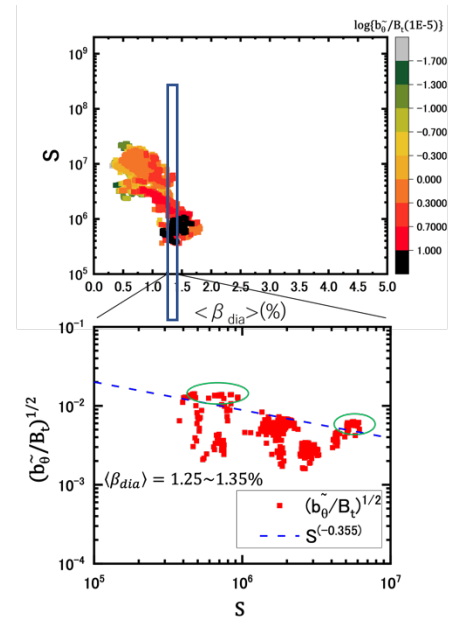


図 1 3.75m 配位の磁場揺動強度

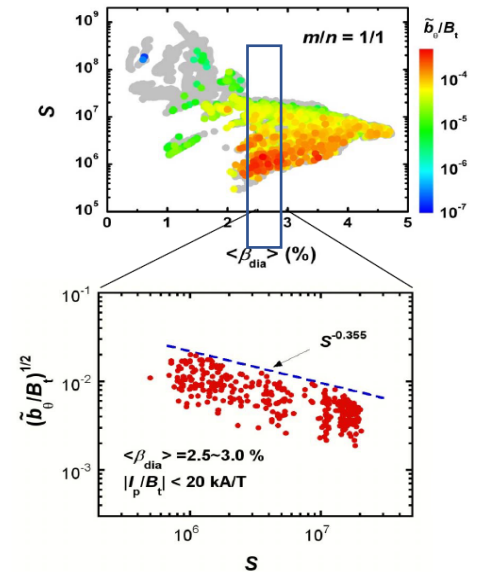


図 2 3.6m 配位の磁場揺動強度
(先行研究)