

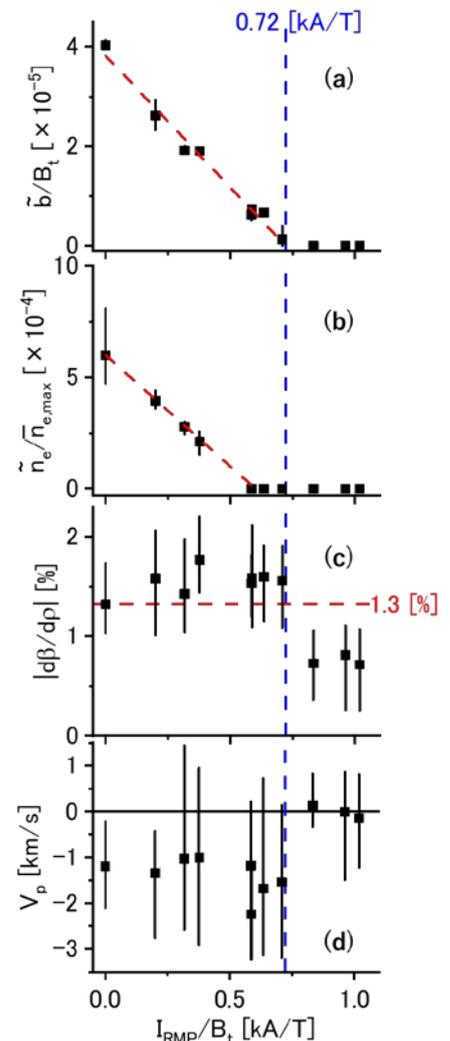
大型ヘリカル装置(LHD)における外部共鳴摂動磁場による交換型不安定性の抑制手法の研究

エネルギー電磁流体力学グループ 渡邊研究室 伊藤 秀

1. 緒言 経済的な核融合炉実現のためには、高い圧力のプラズマを最小限の運転磁場で閉じ込める必要がある。プラズマの圧力を運転磁場の磁気圧で割った値は β 値と定義され、高い β 値のプラズマを安定的に維持することが重要となるが、実際は様々な電磁流体力学的(MHD)不安定性の発生が高 β プラズマの維持を難しくする。問題となる MHD 不安定性は閉じ込め方式(トカマク型・ヘリカル型)の違いによって特性が異なり、これまでの実験で観測されている MHD 不安定性による影響がトカマク型装置ほど深刻ではないヘリカル型装置では、MHD 不安定性を積極的に制御する研究はあまり行われてこなかった。しかしヘリカル型装置の代表である LHD において主要な交換型不安定性も、 β 値を1割程度低下させることが過去の実験から示されている。そこで外部共鳴摂動磁場(RMP)により交換型不安定性を抑制する手法の開発を本研究の目的とした。本研究の対象とした $m/n=1/1$ モードの交換型不安定性は、トロイダル方向に1周する間にポロイダル方向を1周する傾きを持つ磁力線で構成される仮想的な面($m/n=1/1$ 共鳴有理面)において不安定となり、 $m/n=1/1$ 共鳴有理面周辺における圧力勾配が駆動原因である。

2. 計測と解析 LHD において $m/n=1/1$ モードの交換型不安定性が発生している放電に対して、同モードの外部 RMP を印加しその応答を調べた。交換型不安定性はプラズマ外部の揺動である磁場揺動と内部の揺動である密度揺動として計測できるので、磁場と密度の揺動強度を不安定性の指標と考えた。さらに外部 RMP が圧力勾配を変化させることで不安定性が変わる可能性が考えられるため、 $m/n=1/1$ 共鳴有理面での圧力勾配の変化に注目し、外部 RMP を変えた時の不安定性の指標と圧力勾配の変化を調べた。磁場揺動は LHD に複数設置されている磁気計測器により計測される。交換型不安定性は巨視的な構造をしているため、離れた位置の計測器でコヒーレンスの高い周波数の磁場揺動信号を交換型不安定性由来の信号と考えた。計測器間の磁場揺動信号の位相差からモード数を特定した。

3. 結果と考察 図(a),(b)より、RMP コイル電流値(I_{RMP}/B_t)の増加にしたがって、 $m/n=1/1$ モードの交換型不安定性由来の磁場揺動強度(\tilde{b}/B_t)と密度揺動強度($\tilde{n}_e/\tilde{n}_{e,max}$)が共に直線的に減少している。一方で図(c)によると、揺動強度の減少は圧力勾配($|d\beta/d\rho|$)の低下によるものではない。外部 RMP は圧力勾配を維持して交換型不安定性を抑制できることがわかった。次に交換型不安定性の安定化メカニズムを調べるために、理論研究から安定化への影響が予測されていたプラズマフローに注目した。図(d)より、ポロイダルフロー速度(V_p)の絶対値の増加傾向が見られたが、エラーバーが大きいので、シミュレーションで実験結果を再現するなど詳細な検証を行うことが今後の課題である。上記に加えて、外部 RMP の印加法や運転磁場強度、ベータ値の異なる場合の外部 RMP に対する不安定性の抑制可能性について調べた。いずれの場合も、外部 RMP の印加により不安定性は抑制できることがわかったが、磁場強度が低い時は完全に不安定性を抑制できる前に、外部 RMP により圧力勾配が大きく減少することがわかった。完全に不安定性を抑制できる条件をまとめることが今後の課題である。また交換型不安定性より大きな磁場揺動と β 値の低下を起すマイナーコラプスを伴う不安定性に対する外部 RMP による制御性についても調べた。



図：RMPコイル電流値に対する
(a)磁場揺動強度 (b)密度揺動強度
(c)圧力勾配 (d)ポロイダルフロー速度の応答

学会発表

日本物理学会：2019年秋季大会，第75回年次大会，2020年秋季大会

プラズマ・核融合学会：第37回年会、国際土岐コンファレンス：第28回，第29回