

トロイダル電流印加時の低磁気シアヘリオトロンプラズマにおける交換型 MHD 不安定性の研究
 Study on interchange MHD instability in low magnetic shear heliotron plasma with net toroidal current

富田秀昭¹, 渡邊清政^{1,2}, 佐藤雅彦², 武村勇輝², 榊原悟²

TOMITA Hideaki¹, WATANABE Kiyomasa², SATO Masahiko², TAKEMURA Yuki², SAKAKIBARA Satoru²

¹名大工、²核融研

¹Nagoya Univ, ²NIFS

LHD の実験では、順方向トロイダル電流印加時の低磁気シア配位において、前兆振動の周波数が減速後、停止した後に圧力分布の崩壊が起こるとい、ロックトモード様不安定性が観測されている。この不安定性の前兆振動発現時の特徴として以下の二つが挙げられる。一つ目は、メルシエパラメータ D_1 が 0.2 を大きく超えており、かつ、 Δ' が 0 以上であることから、テアリングモードと理想交換型不安定性の双方が発生している可能性があることである。二つ目は、観測された径方向変位のモード構造が山一つであるが、外部磁場計測で共鳴揺動が計測されていることから有理面上の摂動電流の存在が示唆されていることである。

本研究では、この不安定性の特性を調べるため、トロイダル電流の効果と磁気丘効果を取り入れた簡約化 MHD 方程式に基づいて数値解析を行った。ただし、円柱近似を施している。トロイダル電流分布、外部コイルによる回転変換、平衡圧力分布については図 1 の実験と同様のものを用いた。プラズマ電流分布と圧力分布を実験値と相似に固定して、トロイダル電流による中心の回転変換とベータ値を変化させた空間 (i_{j0}, β_0) 上において、成長率の抵抗依存性 (テアリングモード: $\gamma \propto S^{-0.6}$, 抵抗性交換型不安定性: $\gamma \propto S^{-1/3}$, 理想

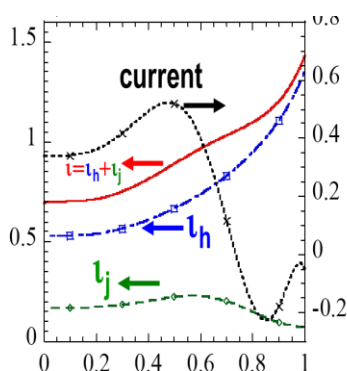


図 1 ロックトモード様不安定性が観測された実験における、回転変換分布及びトロイダル電流分布

モード: $\gamma \propto S^0$)、 Δ' 、及び ϕ, ψ の構造から、予想されるモードの種類を調べた。その結果、 (i_{j0}, β_0) 上で図 2 に示す領域が、それぞれ抵抗性交換型不安定性、テアリングモード、キンクモード、理想交換型不安定性が支配的な領域であることが分かった。図

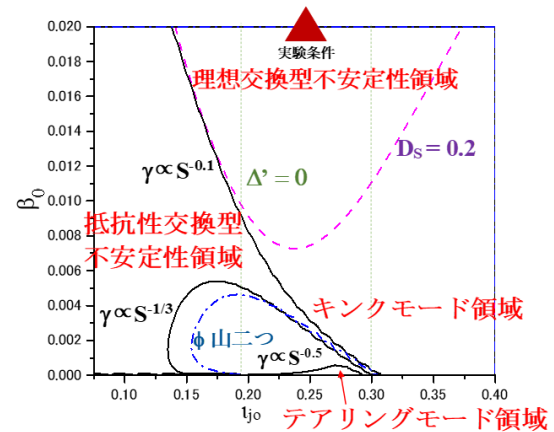


図 2 (i_{j0}, β_0) 空間上における、 γ の S 依存性 (黒実線)、 ϕ のモード構造 (青鎖線)、 $D_S = 0.2$ (桃色破線)、 $\Delta' = 0$ の等高線 (緑色点線) の等高線、および、各不安定性が支配的な領域

1 の実験条件は、理想交換型不安定性が支配的な領域に属している。この時の計算結果を図 3 に示す。 $\gamma \propto S^0$ であり、径方向変位分布が山一つであることから、実験で観測されたモードは理想交換型不安定性に近い不安定性であると推測される。また、共鳴有理面において径方向揺動磁場が 0 ではなく、実験で外部磁場が計測されたことと矛盾はない。ただし、実験結果と比較してモード幅が広すぎるが、この原因が円柱近似以外にあるかについての検討は今後の課題である。

また、図 2 から、図 1 の実験条件の領域の直下にキンクモード領域とテアリングモード領域があることから、トロイダル電流値を同様にして β_0 を 0.2% 程度まで低下させるとテアリングモードの要素が主な不安定性が生じる可能性があることが示されている。

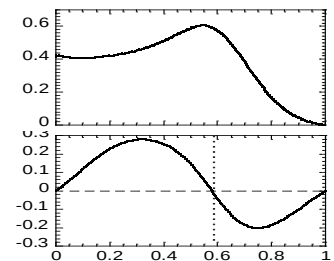


図 3 実験と同様の条件での計算から得られたモード構造 ((上)径方向変位、(下)径方向揺動磁場)