

1 緒言

大型ヘリカル装置では MHD 不安定性の発生により閉じ込め性能が劣化する。MHD 不安定性とは、プラズマ自体が発生させる磁場と電場が、磁場の容器を変形させプラズマの崩壊を引き起こしたり、プラズマ自体が容器から飛び出す現象である。そして不安定性の発生時には、磁場容器の形状変化やプラズマの移動に応じてプラズマの密度の変化（揺動）が発生する。環状磁場閉じ込め装置における MHD 安定特性の数値解析では、解析を簡単にするために、最も不安定な状況として、非圧縮性 ($\nabla \cdot \xi = 0$) の揺動を考えることが多い。観測される揺動が非圧縮性をどの程度満たしているか評価することによって、解析的に評価されている不安定性の指標がどの程度過大評価されているかを判定できる。トロイダル方向の変位が小さい場合は、このプラズマ揺動の構造は小半径方向と方位角方向の変位として表せ、閉じ込め特性研究のためにはこれを観測し、特性を調べるのが重要である。既に先行研究において、マイクロ波コム反射計を用いた小半径方向の変位 ξ_r の計測はなされているので、本研究では方位角方向の変位 ξ_θ を計測し、プラズマ揺動の構造解析を行い、 ξ_r と ξ_θ の関係を評価した。

2 計測原理

方位角方向の変位 ξ_θ はドップラー反射計の原理を用いて測定できる。プラズマ中に回折条件を満たす周期的な構造（波数 $k_\perp$ ）があると、カットオフ面に対して角度 θ_D で入射したマイクロ波（波数 k ）は受信アンテナへと戻る。この時の回折条件は $2k \sin \theta_D = k_\perp$ である。プラズマが速度 $v_\perp$ で回転していると、周期構造はマイクロ波の進行方向に対して $v = v_\perp \sin \theta_D$ の速度成分を持つので、反射波はドップラーシフト $\omega_D = \frac{2v}{c} \times \omega$ を受ける。これを上述した回折条件と合わせるとドップラーシフトは $\omega_D = v_\perp k_\perp$ と表すことができる。図 1 にドップラー反射計の原理図を示す。このドップラーシフト ω_D から方位角方向の移動速度 $v_\perp$ が求められる。本研究においてプラズマの方位角方向の速度成分 $V_\theta \approx v_\perp$ として扱っているため、方位角方向に揺動があればプラズマの移動速度から変位量 ξ_θ は $\frac{d\xi_\theta}{dt} = \overline{V_\theta}$ より $\xi_\theta = \frac{\overline{V_\theta}}{i2\pi f}$ として求められる。また、マイクロ波コム反射計は、様々な周波数の信号をプラズマ中に同時に入射させることができ、各周波数成分はそれぞれのカットオフ層に対応する位置から跳ね返ってくる。従って、空間内の様々な密度の空間分布の時間変化を多チャンネルで計測することが可能である。

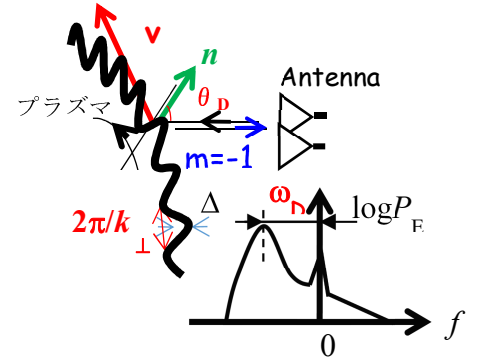


図 1 ドップラー反射計の原理

3 実験結果

あるプラズマ放電に対しドップラーシフトより計測した V_θ をフーリエ変換したものを図 2 に示す。この方位角方向の速度は 1500~2000Hz の周波数成分を持つことが分かる。反射計計測信号と磁気計測信号とで相関解析を行い、トロイダル方向の周期数とポロイダル方向の周期数が 1 を持つ構造の磁場揺動とコヒーレンスの高い周波数成分を持つプラズマ速度の揺動成分から各チャンネルでの ξ_θ を評価し、小半径方向にプロットしたものを図 3 に示す。また、 $\nabla \cdot \xi = 0$ の場合、不安定性の成長率が最も高くなることが知られているので先行研究で得られた ξ_r より、 $\nabla \cdot \xi = 0$ を満たすべき ξ_θ を評価し、実際に計測した ξ_θ の値と比較した（図 4）。その結果、平均値は 2 倍程度異なっており、 $\nabla \cdot \xi = 0$ からのズレを相対誤差で評価すると 10% 程度であることが確認できた。

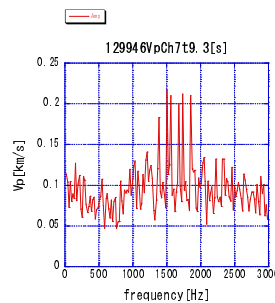


図 2 フーリエ変換後

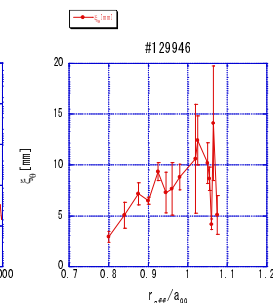


図 3 空間分布

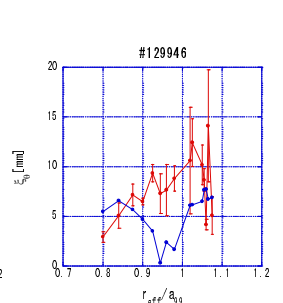


図 4 比較