

## 環状磁場閉じ込めプラズマにおける乱流の先進的データ解析

日大生産工(学部) ○小澤 一隆 日大生産工 佐々木 真

## 1. 研究背景

核融合を目指し、磁場で高温高密度のプラズマを閉じ込める研究が世界中で行われている。プラズマの中心温度は数億度であり、太陽コアの数10倍ともなる。磁場閉じ込めプラズマでは、温度や密度等の空間不均一性によって励起された波動が非線形相互作用をおこし、複雑な乱流構造を形成する。乱流が存在すると、高温プラズマが外に吐き出されるため閉じ込め性能が悪い状態となり、これを特にL-modeという。しかし、一定以上の加熱パワーを印加すると閉じ込め改善モードであるH-modeに自発的に遷移する<sup>1)</sup>。この遷移の際には電場構造の出現とそれによる乱流抑制が観測される<sup>2)</sup>。このH-modeはITERの標準運転とされているが、全ての物理的機構が明らかにされていない。

本研究では、L-H遷移の理解を目指し、研究の第一歩としてL-modeにおける乱流解析を行う。特に、低周波、高周波の帯上流、乱流との相互作用に着目する。

## 2. 解析対象

本研究では、トカマク型核融合試験装置JFT-2Mを用いてHIBP(Heavy Ion Beam Probe)計測による観測データの解析を行う。解析対象データである静電場ポテンシャルの図をFig.1に示す。

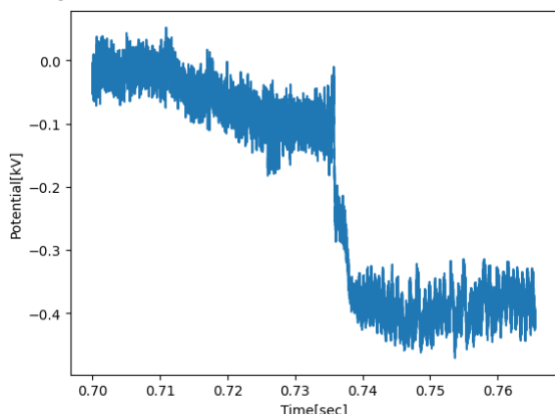


Fig.1 静電場ポテンシャルの時間発展

また、HIBP計測では、4点同時計測が可能であるため、1地点の観測ごとに4つの観測データが取得できる。

今研究では、L-modeに存在する低周波成分、ゾーナルフロー成分、乱流成分に分解し観測点ごとに比較することで構造を理解する。

## 3. 解析方法

解析対象データに対して直接フーリエ変換を行うことで観測データのスペクトル特性を見る。静電場ポテンシャルのスペクトル特性をFig.2に示す。

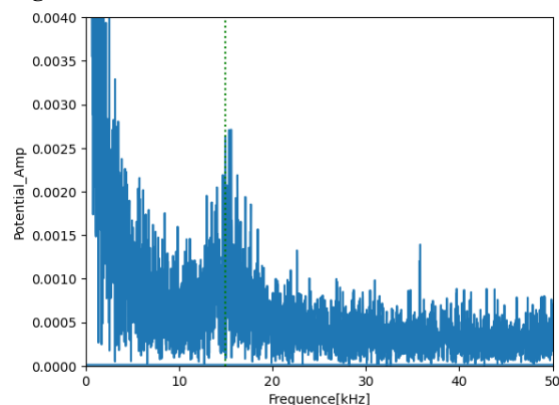


Fig.2 電場ポテンシャルのスペクトル特性

Fig.2を見ると、15kHz付近でスペクトルが増加していることが確認できる。このスペクトルが観測される背景には、ゾーナルフローの一種であるGAM(Geodesic Acoustic Mode)が存在しているためである<sup>3)</sup>。このことから、15kHz前後にフィルタをかけることにより、各周波数帯(0~10kHz, 10~20kHz, 20kHz~)に分割する。

## 4. 実験結果および検討

取得した各周波数帯を周波数フィルタを用いることで乱流と低周波モードとGAMの3成分に分解した。低周波成分、ゾーナルフロー成分、乱流成分に分解した観測データをFig.3に示す。

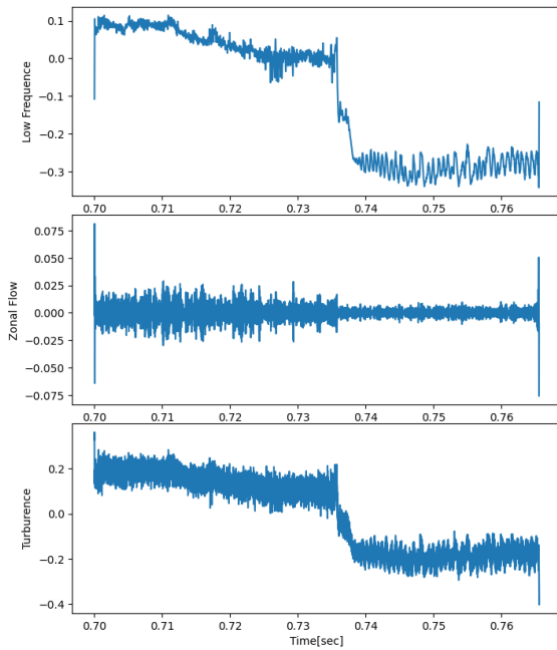


Fig.3 観測データの成分分解  
 上図：低周波 中央図：GAM 下図：乱流

成分分解した図を見ると、ゾーナルフロー成分では、L-modeでは多く存在し、H-modeでは減少していることが分かり、乱流成分は観測データに多く存在することがわかる。また観測地点ごとに4つの観測データがあるため、それぞれに同じ操作を適用することで、Fig.3に似たデータが4つできる。この4つを1つの関数とすることで等高線をplotすることで特徴を見ることができる。この等高線をFig.4に示す。

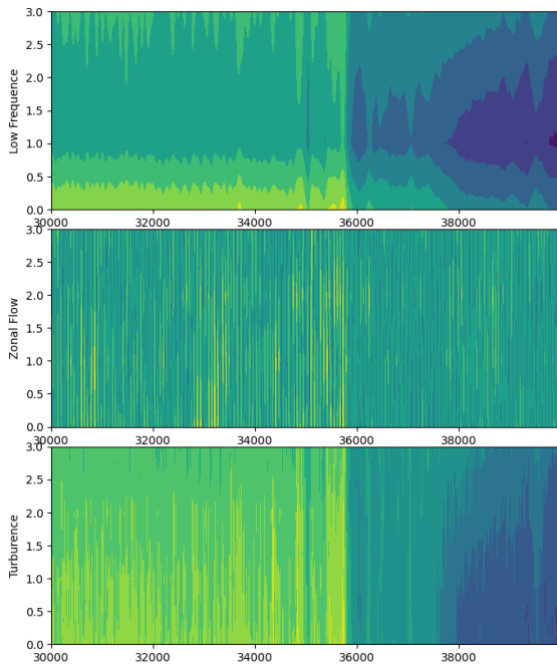


Fig.4 各成分の時空間プロット  
 上図：低周波 中央図：GAM 下図：乱流

Fig.4を見ると、どの成分もL-H遷移前後で大きく変化している。ゾーナルフロー成分では、L-modeで特徴が見られ、大まかに4点ほどの強い特徴が確認できる。低周波、乱流成分ともにL-modeで強い特徴が見られ、遷移の前後で急激に減少している。

発表では以下の非線形過程に注目した解析結果を示す。L-modeではGAMが支配的で乱流を大きく変調している。その効果によってGAMの高調波生成が理論的に予言されている<sup>4)</sup>。この高調波の抽出には条件付き平均法を用いる<sup>5)</sup>。GAM周波数に周期させ、トリガー信号を生成し、高調波を抽出する。発表では、高調波の振幅や位相構造等の特性について詳述する。

## 5. まとめ

現在までは、観測データを用いたL-H遷移の理解、L-modeにおける乱流の解析を行った。観測データにスペクトル解析を適用することでL-modeにおけるGAMの存在を確認し、低周波、ゾーナルフロー、乱流と各成分に分解し比較することができた。

発表では今回の結果を用いて、空間構造の解析や統計的手法を用いた時空間構造の詳細を述べる。

## 参考文献

- 1) Wagner, Fritz. *Plasma Physics and Controlled Fusion* 49.12B (2007): B1.
- 2) Kobayashi, T., et al. *Physical review letters* 111.3 (2013): 035002.
- 3) Winsor, Niels, John L. Johnson, and John M. Dawson. *The Physics of Fluids* 11.11 (1968): 2448-2450.
- 4) Sasaki, M., et al. *Physics of Plasmas* 16.2 (2009).
- 5) Inagaki, Shigeru, et al. *Plasma and Fusion Research* 9 (2014): 1201016-1201016.