

乱流計測シミュレータを用いた数値計測模擬と揺動構造の同定

Numerical Diagnostics and Identification of Fluctuation Structure by Use of Turbulence Diagnostic Simulator

糟谷直宏¹、杉田暁²、佐々木真¹、稲垣滋¹、矢木雅敏³、伊藤公孝²、伊藤早苗¹九大応力研¹、核融合研²、原子力機構³N. Kasuya¹, S. Sugita², M. Sasaki¹, S. Inagaki¹, M. Yagi³, K. Itoh² and S.-I. Itoh¹RIAM, Kyushu Univ.¹, NIFS², JAEA³

トロイダルプラズマにおける乱流輸送現象ではマイクロモードが形成するメソスケール構造の形成機構が重要な役割を果たす[1]。その物理機構の理解を進めるためには、それぞれの計測器が測定する時間的、空間的領域を正確に理解して、乱流プラズマの揺動構造の精密な計測をすることが必要となる。我々の開発した乱流計測シミュレータ[2]は、シミュレーションにより乱流場の時系列データを生成し、その上で実験計測を模擬することで乱流構造形成の数値診断を行う。ヘリカルプラズマにおけるドリフト交換型不安定性による乱流状態[3]を対象に、乱流計測を模擬した時系列データの抽出を行い、多点データ解析の組み合わせから乱流構造を形成する非線形結合の同定を行うことで、実験結果の相互検証の場としての活用可能性を示す。

乱流計測シミュレータは磁化プラズマにおけるグローバル乱流シミュレーションコードと様々な実験計測を模擬する計測モジュールおよびデータ解析ルーチンから構成される。開発したヘリカルプラズマにおける乱流コードではドリフト交換型不安定モードを記述する3場簡約MHD方程式系に、ドリフト波不安定性を考慮するため磁力線方向の電子のダイナミクスを加えたモデルを用いている。圧力ソース項を与えて維持した飽和状態において、ポロイダルモード数の小さいモードが不安定化し、モード間の非線形結合が飽和状態をもたらしている。 $(m, n) = (1, 1), (2, 1)$ といった小モード数モードは小半径方向に広がっており、 $(m, n) = (3, 2), (8, 4)$ といった中間的なモード数モードは有理面に局在している。ここで m, n はそれぞれポロイダル、トロイダルモード数である。図に圧力揺動のスナップショットとそのうちの局所点での時間発展の様子を示す。このような揺動の3次元時系列データ群を用いて、モード間の非線形結合の同定を行う。

動的なモード結合の様相を明らかにするために、プラズマ中心部のソース項に周期的変化を加えて圧力分布の応答をみるシミュレーションを行った。特徴的な変化は応答の繰り返しを平均することで現れる。揺動強度変化の時間スケールは圧力およびその勾配変化のスケールの半分以下であった。揺動の2点2時刻相関解析からわかる径方向に広がったモード結合が介在して、広い半径領域で広い周波数領域の揺動が同期した応答が見られた。この同期が拡散項による拡散よりも早い熱輸送に寄与していると考えられる。

[1] P. H. Diamond, *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion 47 (2005) R35

[2] N. Kasuya, *et al.*, J. Plasma Fusion Res. 88 (2012) 322

[3] N. Kasuya, *et al.*, Plasma Sci. Tech. 13 (2011) 326

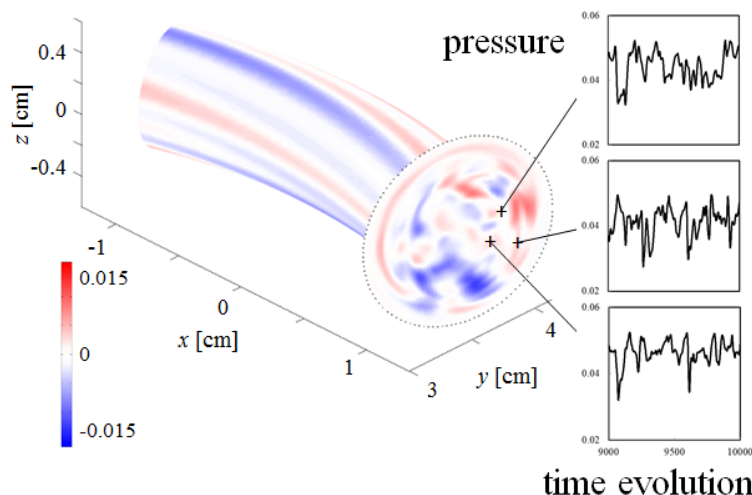


図: 圧力揺動のスナップショットと局所値時間発展の抽出。