

ペデスタル崩壊過程におけるトロイダル対称流れの生成機構の数値解析

Numerical analysis on generation mechanism of toroidally axisymmetric flows during pedestal collapse

瀬戸春樹¹, XU Xueqiao², DUDSON D. Benjamin³, 矢木雅敏¹
 SETO Haruki¹, XU Xueqiao², DUDSON D. Benjamin³, YAGI Masatoshi¹
 量研六ヶ所¹, LLNL², ヨーク大³
 QST Rokkasho¹, LLNL², U. York³

トカマクプラズマでは高閉じ込めモード (H モード) 放電時に、周辺局在化モード (ELM) と呼ばれる周辺 MHD 不安定性が発生し、SOL・ダイバータ領域への間欠的な粒子・熱流束の放出が発生する。H モード放電は ITER や原型炉の標準運転モードであるが、プラズマ対向材の損傷を回避するためには ELM による熱放出の矮小化を行い、プラズマ対向材の熱負荷を許容値以下に抑制する必要がある。ELM による間欠的な粒子・熱放出の動特性の理解には非線形数値シミュレーション研究が不可欠であり、ELM の非線形数値シミュレーション手法の高度化は ITER 及び原型炉の実現における重要な研究課題の 1 つである。

ELM によるペデスタル崩壊過程ではトロイダル対称 ($n = 0$ モード) の流れ (対流胞) が生成されて粒子・熱輸送に影響を与えることが、数値シミュレーションの先行研究から示唆されている。ここで、 n はトロイダルモード数である。JOEKK コードによる長波長のバルーニングモード不安定性に駆動される ELM の非線形シミュレーションでは、圧力分布の変形に伴う電磁力の釣り合い (電磁的機構) から駆動された対流胞が、揺動フィラメントを剪断して粒子・熱放出を抑制することが報告されている [1]。一方で、BOUT++ コードによる中短波長のバルーニングモード不安定性に駆動される ELM の非線形シミュレーションでは、揺動の Reynolds 応力を介した非線形結合 (静電的機構) から駆動される対流胞のポロイダル対称 ($m = 0$) 成分 (帯状流) が二次的不安定性の駆動源となり、熱放出を増加させることが報告されている [2]。ここで、 m はポロイダルモード数である。しかしながら、文献 [2] では BOUT++ コードの数値的問題から $n = 0$ 成分の磁場の発展を解いておらず、電磁的機構から駆動される対流胞の効果は考慮されていなかった。

登壇者らは BOUT++ コードの流れと磁場の取扱いを改良して電磁的機構と静電的機構の両者から駆動される対流胞の生成を取り入れた。改良した BOUT++

コードを用いて中短波長のバルーニングモード不安定性に駆動される ELM の非線形シミュレーションを行い、ペデスタル崩壊後に圧力勾配駆動の周期振動を伴う二次的不安定性が励起されて、乱流輸送による熱放出が増大するという描像を得た [3,4]。しかしながら、文献 [3,4] では対流胞の生成機構については計算領域全体で体積積分した運動エネルギーの式に基づく 0 次元の議論に限定されていた。本講演では、帯状流成分の Reynolds 応力と乱流強度の時空間構造 (Fig. 1) 等に基づき、ペデスタル崩壊過程における対流胞の分布形成機構を解析した結果について報告する。

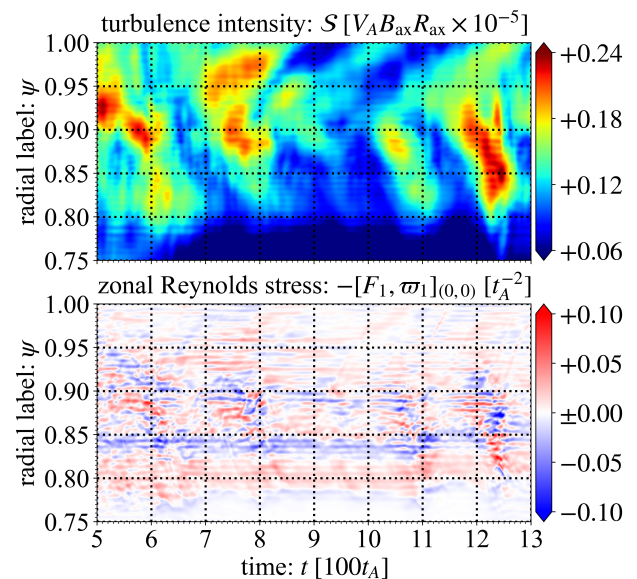


Fig. 1: 文献 [4] の計算におけるペデスタル崩壊後の乱流強度と帯状流成分の Reynolds 応力の時空間構造。乱流強度が増大すると Reynolds 応力強度が増大する。

- [1] G.T.A. Huysmans and O. Czarny, Nucl. Fusion **47** (2007) 659
- [2] H. Jhang et al., Nucl. Fusion **57** (2017) 022006
- [3] H. Seto et al., Phys. Plasma. **25** (2019) 052507
- [4] H. Seto et al., Contrib. Plasma Phys. **60** (2020) e201900158