

統合プラズマ輸送コード TOTAL の境界輸送障壁モデルの改良と原型炉における H モード運転シナリオの検討

Improvement of edge transport barrier model and study of H-mode operation scenarios in DEMO reactor with integrated transport code TOTAL

板倉由浩, 藤田隆明, 岡本敦

ITAKURA Yoshihiro, FUJITA Takaaki, OKAMOTO Atsushi

名大院工

Nagoya Univ

**1 導入** 原型炉の H モード運転のシミュレーションのためには、L-H 遷移、H-L 遷移の模擬とペDESTAL 圧力と安定性限界の整合が必要であり、統合プラズマ輸送コード TOTAL において改良を行ってきた。従来行ってきた輸送係数の PID 制御では圧力が安定性限界を超える時間が存在したため、圧力が安定性限界を超えたときに発生する ELM を模擬するモデルを開発し、従来のモデルと比較した。また、核融合出力の立ち下げのシミュレーションを行った。

**2 境界輸送障壁モデル** 輸送障壁のない L モードから輸送障壁のある H モードへの遷移について、加熱パワーに閾値があることが知られている[1]。L モードにおいて正味加熱パワーがこの閾値を上回った時に遷移を開始し、H モードにおいて正味加熱パワーが閾値の半分を下回った時に H モードから L モードへ逆遷移を開始するようにした。H モードプラズマではペDESTAL 部で熱・粒子の異常輸送の拡散係数に 1 より小さい係数(ペDESTAL 因子)を掛けて輸送障壁を模擬している。ペDESTAL 因子は、遷移開始時刻より 2s かけて変化させた。安定性限界で決まるペDESTAL 部圧力の比例則  $P_{ped}^{scl}$  が実験結果より得られている[1]。ペDESTAL 圧力の計算値  $P_{ped}$  が  $P_{ped}^{scl}$  を超過しないように、以下の 3 つのモデルを考案・導入した。

(1)  $P_{ped}^{scl}$  を目標値としてペDESTAL 因子を用いて  $P_{ped}$  を制御する PID 制御モデル、(2)  $P_{ped}$  が  $P_{ped}^{scl}$  を超えるとき短時間 (0.2ms 程度) ペDESTAL 因子を 1 より大きく増大させて ELM による熱・粒子放出を模擬する ELM モデル[2]、(3)  $P_{ped}$  が  $P_{ped}^{scl}$  を超えている間、その比に応じて拡散係数を増大させる経験的 ELM モデル[3]、である。

**3 結果と考察** 外部加熱を初め 10MW から時刻 10s で 200MW に上昇させ、ペレット入射を用いた帰還制御で  $\alpha$  加熱パワーを時刻 80s で 217MW にする条件で PID 制御モデル、ELM モデル、経験的 ELM モデルでのシミュレーションを行った。それぞれのペDESTAL 圧力と  $\alpha$  加熱パワーの時間変化を図 1~3 に示す。

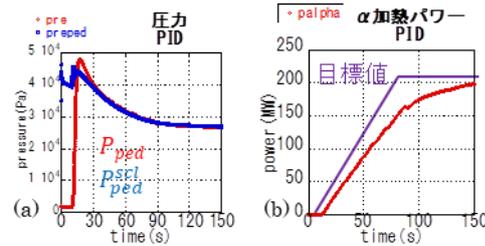


図 1 PID 制御モデルの (a) 圧力と (b)  $\alpha$  加熱パワー

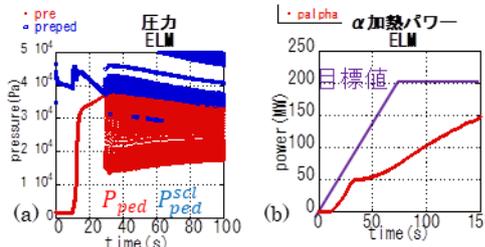


図 2 ELM モデルの (a) 圧力と (b)  $\alpha$  加熱パワー

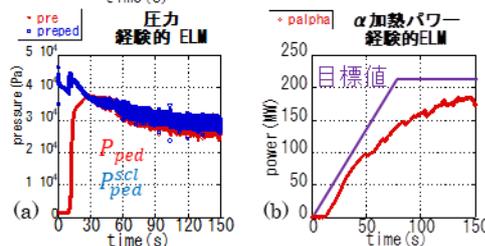


図 3 経験的 ELM モデルの (a) 圧力と (b)  $\alpha$  加熱パワー

PID 制御モデルは  $P_{ped}$  を  $P_{ped}^{scl}$  に合わせることができ、 $\alpha$  加熱を上昇させやすいが、 $P_{ped}$  が  $P_{ped}^{scl}$  を超えるオーバーシュートが発生する時間が存在した。ELM モデルと経験的 ELM モデルではオーバーシュートが発生しなかった。ELM モデルでは ELM 中の細かい時間の計算が可能だが  $P_{ped}$  が大きく落ち、 $\alpha$  加熱が上がりにくかった。経験的 ELM モデルでは、ELM モデルに比べて  $P_{ped}$  の低下が小さく  $\alpha$  加熱はより上昇した。

3 つのモデルで最も  $\alpha$  加熱が上昇した PID 制御モデルで外部加熱の低下への応答と核融合出力の立ち下げのシミュレーションを行った。外部加熱を 40MW まで低下させても H モードを維持したがそれを下回ると H モードを維持できなかった。核融合出力の立ち下げのため外部加熱とペレット帰還制御を 150s~200s 間で落とした時には落としきる直前で逆遷移した。今後は不純物の許容量の調査を予定している。

[1] M Sugihara, et al, Plasma Phys. Control. Fusion 45 (2003) L55  
 [2] N Hayashi, et al. Nucl. Fusion 47 (2007) 682  
 [3] V Parail, et al. Nucl. Fusion 49 (2009) 075030