

平成21年4月20日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2006～2009  
 課題番号：18360448  
 研究課題名（和文） 総合物理モデルの構築による燃焼プラズマの自己形成制御と崩壊抑制に関する研究  
 研究課題名（英文） Study of control of self-organization and suppression of collapse of burning plasmas by the construction of integrated physics model  
 研究代表者  
 小関 隆久 (OZEKI TAKAHISA)  
 独立行政法人日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門・研究主席  
 研究者番号：50354577

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：プラズマ閉じ込め、安定性、燃焼プラズマ、自己形成、崩壊抑制、統合化

## 1. 研究計画の概要

核融合燃焼プラズマは自ら固有のプラズマ内部構造を形成し、プラズマ自ら安定定常、振動、崩壊過程などを起こすことが予想される。特に、核融合出力効率の高い高性能プラズマ（高Q状態プラズマ：Qは核融合エネルギー増倍率）においては、プラズマの自己形成や分岐崩壊を制御する外部入力量が小さくなり、制御が難しくなる。これら燃焼プラズマの自己形成および自己崩壊の物理特性の解明と制御法の確立は、核融合研究を進める上で重要課題である。本研究は燃焼プラズマの各物理モデルの開発を行なうと共に、物理モデルの総合化を図り、操作入力量が低い状態における高性能燃焼プラズマの自己形成過程と分岐崩壊の解明と制御法の構築を図る。

## 2. 研究の進捗状況

総合物理モデルの構築に向けた各物理モデル（コード）の開発・整備を行うと共に、物理モデルの総合化を進めた。燃焼プラズマを特徴的な3つの領域、すなわちコアプラズマ領域、周辺・ペデスタルプラズマ領域、ダイバータプラズマ領域、に分け、各領域において物理モデルの開発及びモデルの統合化を行った。

1) コアプラズマ領域では、 $\alpha$ 粒子加熱・輸送を中心として、アルフェン固有モード不安定性などを想定した異常輸送モデルを開発し、コアプラズマ輸送モデルへ統合化した。また、閉じ込めに重要な働きを考えると考えられるプラズマ流の輸送モデルを開発した。

2) 周辺・ペデスタルプラズマ領域では、燃焼プラズマの性能に大きく影響する、ペデス

タル領域の磁場に垂直方向の輸送/スクレープオフ層の磁場に平行方向の輸送/プラズマ周辺のMHD不安定性/中性粒子挙動を統合化したペデスタルプラズマ統合モデルを開発し、プラズマ周辺に局在した不安定性(ELM)による、装置への熱負荷のプラズマ衝突周波数依存性等を明らかにした。

3) ダイバータプラズマ領域では、熱・粒子排気において重要な、ダイバータプラズマ輸送/中性粒子挙動/不純物輸送を結合した統合モデルの開発を行った。特に、粒子モデルによる不純物輸送モデルの統合化に成功した。

これら総合物理モデルによるプラズマの特性解明研究を進め、不安定性による燃焼プラズマの熱/粒子輸送特性解析や、内部分布構造による周辺挙動の解明、局所高放射状態への形成制御の解明を行った。

## 3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進んでいる。

(理由として以下の二つの事が上げられる)

1) 困難なコードの統合化の成功：周辺プラズマの統合化においては、熱粒子輸送の特性とMHD安定性特性が結合しており、時定数の大きく異なる現象の統合化は困難な課題であった。短波長のMHDモードを高精度に短時間で解明できる安定性コードの開発・結合及び異機種間計算手法の応用により克服できた。また、ダイバータ領域では、不純物の運動論的效果が重要であったが、数値ノイズの問題から統合化が困難であった。これをランジェバン解析解の採用等の工夫により、ノイズを抑え、安定な計算を可能とした。これらは、国際会議で発表し高い評価を得た。

2) 統合コードによる解明：開発した統合コードにより、周辺 MHD 不安定性 (ELM) によるプラズマ熱粒子の吐出し特性を解明し、また、ダイバータ領域での、形状による熱・粒子排気特性、非接触プラズマの形成過程の解明などに成功した。これらは、高く評価され、招待講演や多数の論文発表となった。

#### 4. 今後の研究の推進方策

本年度は、4年計画の最終年度にあたるため、これまで開発した幾つかの物理モデル (物理コード) を基に、燃焼プラズマを特徴的な3つの領域にて開発されたモデルの高度化を進めると共に、物理モデルの総合的な統合化を図る。さらに、総合的に取扱う総合シミュレーションコードにより、プラズマ振動現象、分岐崩壊の特性解明研究を進めると共に、燃焼プラズマの総合的特性評価を行い定常化への指針を示す。

・コアプラズマ統合モデルにより、核融合反応で生成した高エネルギー粒子等による不安定性に起因する異常輸送とコアプラズマ輸送コードとの結合により、炉心級プラズマパラメータにおいて燃焼プラズマの安定定常、振動等の動特性を解明する。また、プラズマ流の生成・輸送特性評価を行う。

・プラズマ周辺及びペDESTAL領域の輸送・MHD・粒子挙動を統合化したペDESTALプラズマ統合モデルの高度化を行い、コアプラズマ領域の分布構造による周辺 MHD 不安定性 ELM による熱・粒子吐出し動特性の解明を行い、制御法への指針を得る。

・コアプラズマとダイバータプラズマ輸送の統合による、コアプラズマ輸送特性および不安定特性によるダイバータ領域での熱・粒子輸送の特性評価を行い、相互作用の解明を進める。また、不純物等による運動論的效果の解明を行う。

以上の成果を積極的に発表し、成果を公開すると共に、学会等での議論を通してモデルの高度化および今後の成果の発展を検討する。

#### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (代表的な6件)

- ① M. Honda, T. Takizuka, A. Fukuyama, 他2名, Self-consistent simulation of torque generation by radial current due to fast particles, Nuclear Fusion 49 035009-1-035009-10 (2009), 査読有
- ② K. Shimizu, T. Takizuka, H. Kawashima, Extension of IMPMC Code toward Time Evolution Simulation, Contrib. Plasma Phys. 48 270-274 (2008), 査読有

- ③ N. Hayashi, T. Takizuka, N. Aiba, 他2名, Simulation study of density dynamics effect on the ELM behavior with TOPICS-IB, J. Phys. Conf. Series 123 012025-1-012025-10 (2008), 査読有
- ④ N. Hayashi, T. Takizuka, T. Ozeki, 他2名, Integrated simulation of ELM energy loss determined by pedestal MHD and SOL transport, Nuclear Fusion 47 682-688 (2007), 査読有
- ⑤ T. Ozeki and JT-60 team, High-beta steady-state research with integrated modeling in the JT-60 Upgrade, Phys. Plasmas 14 056114 (2007), 査読有
- ⑥ N. Aiba, S. Tokuda, T. Ishizawa, 他1名, Extension of the Newcomb Equation into the Vacuum for the Stability Analysis of Tokamak Edge Plasmas, Comput. Phys. Commun. 175 269-289 (2006), 査読有

[学会発表] (代表的な5件)

- ① N. Hayashi, Integrated simulation of ELM energy loss and cycle in improved H-mode plasmas, 22nd IAEA Fusion Energy Conference, 2008年10月13-18日, Geneva, Switzerland
- ② K. Shimizu, Kinetic Modelling of Impurity Transport in Detached Plasma for Integrated Divertor Simulation with SONIC (SOLDOR/NEUT2D/IMPMC/EDDY), 22nd IAEA Fusion Energy Conference (口頭発表), 2008年10月13-18日, Geneva, Switzerland
- ③ N. Hayashi, Integrated Simulation of ELM Crash with Dynamics Response of SOL-Divertor Plasmas, 3rd IAEA Technical Meeting on Theory of Plasma Instabilities, (招待講演) 2007年3月26-28日, York U.K
- ④ T. Ozeki, High-beta steady-state research with integrated modeling in the JT-60 Upgrade, American Physical Society DPP (招待講演) 2006年Oct.30-Nov.3, Philadelphia U.S.A.
- ⑤ 相羽信行, 大域的・周辺局在理想 MHD モードの線形安定性解析手法の確立と ELM 解析への応用, 第23回プラズマ核融合学会年会 (招待講演), 2006年11月28日, つくば

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他] なし