

研究種目：基盤研究（C）  
研究期間：2007～2010  
課題番号：19560832  
研究課題名（和文） マルチスケールの揺らぎに支配される磁場閉込めプラズマの統計的性質に関する研究  
研究課題名（英文） Study on Statistical Characteristics of Magnetic Confined Plasmas dominated by Multi-scale Turbulence  
研究代表者  
松本 太郎（MATSUMOTO TARO）  
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・研究副主幹  
研究者番号：50354676

研究代表者の専門分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：乱流輸送、統計的性質、トカマク、電子温度勾配、イオン温度勾配、帯状流、確率密度関数、ジャイロ流体モデル

### 1. 研究計画の概要

本研究課題の目的は、磁場閉込めプラズマ中の電子系及びイオン系乱流を始めとした様々な時空間スケールの現象を、比較的條件設定が容易なシミュレーションを通じて再現し、揺らぎの長時間時系列データの統計的解析から得られる複数の統計量と、揺らぎの間歇性及び乱流輸送構造との対応関係を明らかにするとともに、トカマク型及びヘリカル型等の実験装置における揺動計測データにも同様の解析を適用して比較検証する。これにより、マルチスケールの揺らぎに支配されたプラズマの統計的性質を明らかにするとともに、1点の揺動計測による時系列データから、間歇性及び乱流構造を同定する手法を構築することである。

### 2. 研究の進捗状況

(1) イオン系または電子系のダイナミクスによって形成されるイオン/電子温度勾配乱流に関して、スラブシア配位におけるジャイロ流体シミュレーションを行い、乱流構造の変化が相関次元、確率分布関数、相互相関、三次相関等の統計量に与える影響を系統的に明らかにした。強い電子加熱等により電子温度勾配が急峻になると、「帯状流」と呼ばれる半径方向に依存して交互に存在ポロイダル方向の層流が形成される。その結果、乱流の特性が変化し、短波長・短時間スケールの渦が顕著な領域と、大きな渦を伴う長波長モードの顕著な領域が、半径に依存して交互に存在することが明らかとなった。

特に、電場と圧力揺動との相互相関解析から、帯状流による乱流輸送の低減が、ポロイダル電場と圧力揺動とのコヒーレンスの減少及び位相の同調という二つの異なる素過程に起因することを明らかにした。

- (2) イオン系のグローバルランダウ流体シミュレーションを行い、運動論的バルーニングモードが支配的となるベータ領域で、低波数の共鳴面において強い帯状磁場の生成と共に、帯状流の生成が見られることを明らかにした。また、これらの乱流構造の変化により、共鳴面付近にてイオンの熱輸送を低減させることを明らかにした。
- (3) JFT-2M トカマク装置のHIBP計測装置によって得られた粒子輸送データと、電子/イオン温度勾配乱流揺動のシミュレーションから得られた統計的性質との比較を行い、乱流状態における確率分布関数の相似的な振る舞い等を明らかにした。また、京都大学のヘリオトロンJ装置において、静電プローブの計測データから、半径方向の粒子束を解析し、周辺プラズマ乱流の統計的特性が明かにした。
- (4) 高波数乱流と低波数MHDモードの相互作用により生じる揺動の統計的性質の解明を視野に入れ、円柱トカマクプラズマの固有値問題の大規模並列計算を実現することにより、従来の研究では解らなかった複素平面における固有値の詳細なスペクトル及びそれらの抵抗値依存性を明らかにした。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

理由：本研究申請時に策定した研究計画・方法に記載に記載されている平成19～21年度の計画を、おおむね計画通りに実施し、当該研究成果を得ているため。

### 4. 今後の研究の推進方策

平成22年度の申請時に提出した研究実施計画に基づいて、下記の通りに着実に推進する。

- (1) 計画の概要：本年度は、前年度までに行ったイオン及び電子温度勾配が駆動する乱流シミュレーション結果及びトカマク実験データに対して、その統計的特性の詳細解析を踏まえ、以下の3項目を実施し、スケール長の異なる乱流揺動の統計的特性の比較・検証を継続するとともに、本研究課題を取りまとめ、乱流プラズマの統計的性質の同定手法に関する総括を行う。  
①イオン系乱流及び電子系乱流に対して、間歇的な振幅は乱流に内在する非線形性に起因するとの観点から、カオス時系列解析を行う。  
②電子系又はイオン系の温度勾配が駆動する乱流のシミュレーションデータ及び/或はトカマク実験における計測データに対して、統計的特性の解析を行う。  
③本研究課題で行われた電子系乱流シミュレーション、イオン系乱流シミュレーション、及び実験計測データに対するカオス時系列解析及び統計的特性について系統的に取りまとめ、それらの同定手法に関する総括を行う。
- (2) 研究体制：本研究の共同研究者（研究分担者及び連携研究者）とは、これまで乱流輸送等に関する共同研究実績があり、既に緊密に連絡を取りつつ研究を行う体制が構築されている。研究の分担は以下の通り。シミュレーションの実行及び統計的解析（松本、宮戸）、統計量と間歇性及び乱流構造との相関の解明（松本、岸本、宮戸）、間歇性及び乱流構造の同定手法の概要の構築（松本、宮戸、徳田）、シミュレーションの解析及び比較検証（宮戸、岸本）。
- (3) シミュレーション及び解析の実施方法：シミュレーションの実行及び解析は、これまでに開発されてきたジャイロ流体モデルに基づくGFSコード等を、電子及びイオン流体に対して適用し、原子力機構・東海研究開発センターに設置されているPRIMERGY BX900等の計算機資源を活用して行う。

### 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〕（計6件）

- ① Taro MATSUMOTO, Yasuaki, KISHIMOTO, Shinji TOKUDA, Eigenvalue Spectrum of MHD Modes in Cylindrical Tokamak Plasma with Small Resistivity, Journal of Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research, accepted, 2010, 査読有
- ② Naoaki MIYATO, B. D. SCOTT, D. STRINTZI, and Shinji TOKUDA, A Modification of the Guiding-Centre Fundamental 1-Form with Strong EXB Flow, Journal of the Physical Society of Japan, 78, 104501\_1-13, 2009, 査読有
- ③ Shinji TOKUDA, The Conjugate Variable Method in the Hamilton-Lie Perturbation Theory - Applications to Plasma Physics -, Plasma and Fusion Research, 3, 057\_1-10, 2008, 査読有
- ④ S. WATANABE, K. NAGASAKI, T. MIZUUCHI, et.al., Study of Edge Plasma Characteristics at H-mode Transition in Heliotron J, Plasma and Fusion Research, 2, S1059\_1-5, 2007, 査読有
- ⑤ Taro MATSUMOTO, Yasuaki, KISHIMOTO, Shinji TOKUDA, Characteristics of ETG-driven turbulence dominated by zonal flows, Nuclear Fusion, 47, 880-885, 2007, 査読有

〔学会発表〕（計6件）

- ① Taro MATSUMOTO, Eigenvalue Spectrum of MHD Modes in Cylindrical Tokamak Plasma with Small Resistivity, 7th General Scientific Assembly of the Asia Plasma and Fusion Association, 2009年10月30日, 青森県青森市

〔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〕