

自己評価報告書

平成23年 4月14日現在

機関番号：63902

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20760581

研究課題名 (和文) トーラス磁場閉じ込めプラズマにおける乱流構造と輸送障壁の研究

研究課題名 (英文) Research on turbulent structures and transport barriers in magnetized torus plasmas

研究代表者

糟谷 直宏 (KASUYA NAOHIRO)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・助教

研究者番号：20390635

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：理論シミュレーション

1. 研究計画の概要

本研究はトーラス磁場閉じ込めプラズマにおける改善閉じ込め現象の物理的理解を目的とする。改善閉じ込めプラズマ中の輸送を理解するには乱流が形成するメソスケール構造の形成機構の理解が必要である。トカマクおよびヘリカルプラズマにおけるドリフト波乱流の数値シミュレーションコードの開発を行い、そのコードを用いた乱流シミュレーションを通じてプラズマの微視的乱流が形成する乱流構造の形成機構と構造形成の選択則を研究する。

2. 研究の進捗状況

研究の進捗は以下の通りである。初年度はまず磁化プラズマにおける乱流構造形成の素過程の理解を進めるために、円筒形直線型プラズマにおける抵抗性ドリフト波乱流のシミュレーション研究を行った。非線形結合過程の詳細な解析を行うことで、非線形飽和状態における帯状流やストリーマの形成とその3次元的な構造維持機構、帯状流の減衰力をパラメータとした両構造の選択的生成機構を明らかにした。次年度はヘリカルプラズマでのメソスケール構造のダイナミクスを研究するため、モデルの導入および数値計算コードの改造を行った。抵抗性交換型モードを記述する流れ関数、ベクトルポテンシャル、圧力の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導入した。線形解析により抵抗性交換型モードが有理面に局在しており、抵抗率や圧力に対する線形成長率の依存性が理論式に一致

することや、ドリフト波の固有関数が径方向に広がっていることを確かめた。そして両者の成長率が同程度となるパラメータが存在することがわかった。このモデル方程式系を用いて流体コードを作成した。さらにコードの非線形項計算法の改良や並列計算におけるデータ通信量の軽減、スレッド並列の効率改善により計算の高速化を行い、3次元長時間時系列乱流データの生成を可能とした。このようなシミュレーションデータ解析と実験計測の定量的比較を行うことで、現象の理解を加速できる。3年目となる昨年度はドリフト交換型モードコードから得られる乱流データに対して実験計測を模擬するモジュールの開発を行った。重イオンビームプローブおよび位相コントラスト干渉計についての数値計測模擬を行った。そして特徴的な空間スケールを持つ乱流構造に対する有限空間分解能での計測、線積分量として得られる信号から局所的な値を抽出する手法についての知見を得た。

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)

本研究では対象とするプラズマ磁場配位を円筒形という単純な形状からトーラスプラズマという3次元的な形状へと発展させることで、プラズマ乱流が形成する構造についての理解を図ってきた。前項の研究の進捗状況にある通り、段階をおって順調に研究は進展している。また、昨年度においてシミュレーションデータで得られた数値乱流場に対する診断を行うモジュール群を開発してお

り、ヘリカルプラズマのような3次元的に磁場が分布する系での乱流構造と輸送障壁形成の機構を明らかにする基盤が整備されたといえる。最終年度でさらにトーラスプラズマの解析を進めることで、当初の目的は十分達成できると考えられる。

4. 今後の研究の推進方策

本研究ではドリフト波乱流の数値シミュレーションを行い、その数値乱流場に対して計測模擬を行うことで、プラズマの微視的乱流が形成する乱流構造とその輸送への効果を理解するという手法をとっている。乱流コードによって生成した3次元的な乱流場の時系列データに数値計測を加えることで乱流場がいかに実験計測により観測されるかを提示することができる。最終年度である本年度はこれまでに開発した乱流コード、数値診断モジュールを用いて、トーラスプラズマにおける乱流構造の観測を行う。さらに、シミュレーションデータが空間3次元の情報をもつことを利用して、径方向のみならず、ポロイダル、トロイダル両方向についての相関関係を提示する。これは観測点数の限られる実験計測では困難な数値シミュレーションならではの解析といえる。これら数値解析を通じて、トーラス磁場閉じ込めプラズマにおける乱流構造形成による輸送への寄与を定量的に評価する基盤として更なる展開を図る。

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] (計 7 件)

- 1) N. Kasuya, S. Nishimura, M. Yagi, K. Itoh and S.-I. Itoh, On Detection of a Global Mode Structure in Experiments by Use of Turbulence Diagnostic Simulator, Plasma and Fusion Research, Vol.6 (2011) 1403002-1-5, 査読有
- 2) N. Kasuya, M. Yagi, K. Itoh and S.-I. Itoh, Selective formation of streamers in magnetized cylindrical plasmas, Nuclear Fusion, Vol.50 (2010) 054003-1-8, 査読有
- 3) N. Kasuya, M. Yagi, K. Itoh and S.-I. Itoh, Analyses of Nonlinear Coupling for Turbulent Structural Formation in Magnetized Cylindrical Plasmas, Journal of Plasma and Fusion Research Series, Vol.8 (2009) 77-81, 査読有
- 4) N. Kasuya and K. Itoh, Two-dimensional Model Including the Mechanism of the Poloidal Shock Structure and Geodesic Acoustic Mode in Toroidal Plasmas, Plasma

Fusion Research, Vol.3 (2008) S1016-1-4, 査読有

- 5) N. Kasuya, M. Yagi, K. Itoh and S.-I. Itoh, Selective Formation of Turbulent Structures in Magnetized Cylindrical Plasmas, Physics of Plasmas, Vol.15 (2008) 052302-1-10, 査読有

[学会発表] (計 19 件)

- 1) N. Kasuya, S. Nishimura, M. Yagi, K. Itoh, S.-I. Itoh and N. Ohya, Development of Turbulence Diagnostics on Three-Dimensional Fields Obtained by Numerical Simulations in Magnetically Confined Plasmas, 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 2010年10月13日, 大韓民国大田
- 2) N. Kasuya, S. Nishimura, M. Yagi, K. Itoh and S.-I. Itoh, Numerical Simulations in Magnetically Confined Plasmas, CUP seminar: Modeling of Theory and Simulation of Fusion Plasmas, 2010年8月30日, 中華人民共和国北京
- 3) 糟谷直宏, 西村征也, 矢木雅敏, 伊藤公孝, 伊藤早苗, 大藪修義, 磁化プラズマにおける乱流輸送の二次元構造の研究, 日本物理学会 2010年年次大会, 2010年3月20日, 岡山県岡山市
- 4) N. Kasuya, M. Yagi, K. Itoh and S.-I. Itoh, Numerical Simulation of Streamer Formation in Magnetized Cylindrical Plasmas, Joint U.S.-EU Transport Task Force Workshop, 2009年4月28,30日, 米国カリフォルニア州サンディエゴ
- 5) 糟谷直宏, トロイダルプラズマにおける構造形成とポロイダルショック, 日本物理学会 2008年秋季大会, 2008年9月22日, 岩手県盛岡市

[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]

特になし