

自己評価報告書

平成23年4月28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：20760583

研究課題名（和文） 非線形磁気流体シミュレーションによる環状プラズマの崩壊現象の研究

研究課題名（英文） Collapse phenomena of toroidal plasma by nonlinear MHD simulation

研究代表者

水口直紀 (MIZUGUCHI NAOKI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・准教授

研究者番号：70332187

研究分野：プラズマ工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：MHD、シミュレーション、崩壊現象、ヘリオトロン、RFP

1. 研究計画の概要

トカマクやヘリカル系など様々な磁場配位をもつトラスプラズマにおいて普遍的に観測されている崩壊現象について、その非線形ダイナミクスを、磁気流体力学(MHD)モデルに基づいた非線形数値シミュレーションにより配位間で比較しながら包括的に理解することをめざす。

トカマクの周辺局在モード(ELM)やヘリオトロンのコア密度崩壊(CDC)、逆磁場ピンチ(RFP)の単/多ヘリシティ状態のような具体的な MHD 緩和・崩壊現象をとりあげ、それぞれ実験条件に即した数値シミュレーションを実行し、計算機上で個々の現象について、その非線形過程を再現した上で、配位間で比較しながら相違点を整理することにより、そのダイナミクスを包括的に理解する。計算結果を相互比較しモデルを拡張してゆく。物理モデルは基本的に MHD モデルを用いるが、研究の進展の中で、必要に応じて輸送効果や二流体性を考慮した拡張 MHD モデルへと発展させてゆくことも検討する。

2. 研究の進捗状況

個別の配位に対してそれぞれシミュレーションを実行し、一定の計算結果が得られている。実験観測結果との比較も並行して進め、個々の現象についての理解は進んでいる。以下に列記する。

(1)トカマクにおける ELM

周辺部に生起する高波数モードの成長により、特徴的なフィラメント構造が自発的に形成され、さらに本体プラズマから分離する様

子を再現した。これは球状トカマク装置において観測された画像計測結果ともよく一致している。ELM の制御は現在の大型トカマクにおいても主要課題の一つであり、パルニングモードとピーリングモードの発生機序のちがいや、衝突性パラメータ依存性への影響についての知見を与えうる計算結果である。

(2)ヘリオトロンにおける CDC

CDC は高ベータ且つ大きな圧力勾配をもつヘリオトロン配位において観測される、中心密度の崩壊現象である。パルニング様の周辺モードを前兆として中心部から外部への密度の短時間の掃出しを伴う。それらの一連のシナリオを計算機シミュレーションにより明らかにした。抵抗性パルニングモードの発展から磁気面構造の崩壊と磁気再結合を通じて中心構造が MHD 的時間スケールで崩壊する様子を再現し、実験とある程度一致を見た。特徴的な長波長モードの出現等により一部不一致が見られ今後の検討を要する。

(3)RFP の単ヘリシティ構造の形成

実験を基にした RFP 平衡配位を初期条件とし、非線形 MHD シミュレーションを実行した結果、複数モードの成長を経た後にトロイダルモード数が4の成分が卓越した状態で飽和する状況が再現され、実験との一致を見た。実験では他にも様々な状態の3次元構造が観測されており、またこのような少数ヘリシティ状態から、複数ヘリシティ状態への逆遷移も観測されていることから、これらの過程の再現と、メカニズムの抽出が、今後の課題である。

現在は研究の最終段階に差し掛かり、各結果の整理をし、包括的な理解をめざしている。

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)

トーラス系プラズマで観測されるいくつかの崩壊現象を計算機上で再現し、それらと比較しながら包括的理解をめざすという、本研究課題の目的の達成へ向けて、個々の現象を再現する段階は現在順調に進んでいる。これらの結果を大雑把に比較すると、高ベータに起因する圧力駆動型の不安定モードの発現や、磁場構造の自発的変換を通じた磁気再結合の重要性などの点において、普遍性が認められ、現象の包括的理解への糸口はつかめている。このままあと1年度の研究を進めれば、一定の成果が得られることが十分に期待される。

4. 今後の研究の推進方策

個々の現象についてのシミュレーションにおいて、それぞれ積み残しとなっている部分について、さらに計算を進めるとともに、それらの中で密な比較を行い、また実験との対比も進めながら、今後は物理機構の包括的理解をめざす方向へ研究をシフトしてゆく。一方で機関のもつ計算機資源が大きく変わったことから、手法面での移植作業も必要となってくる。これについても並行して進めてゆく。未完の部分についても、結果を整理し、次なる課題設定への糧とする。

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] (計2件)

(1) N. Mizuguchi, Y. Suzuki, N. Ohyabu, "Nonlinear dynamics of a collapse phenomenon in heliotron plasma with large pressure gradient", Nuclear Fusion 49, 095023(5pp.), 2009, 査読有.

(2) N. Mizuguchi, Y. Suzuki, N. Ohyabu, "Nonlinear Simulation of Collapse Phenomenon in Helical Plasma with a Large Pressure Gradient ", Plasma and Fusion Research 3, S1034(4pp.), 2008, 査読有.

[学会発表] (計4件)

(1) N. Mizuguchi, K. Ichiguchi, " Nonlinear analysis of MHD collapse phenomena in the

core region of helical system", 20th International Toki Conference, 2010. 12. 8, セラトピア土岐(岐阜県) .

(2) 水口直紀, 市口勝治, "ヘリカル系のコアプラズマのMHD現象の非線形解析", プラズマ・核融合学会第27回年会, 2010. 12. 2, 北海道大学(北海道) .

(3) N. Mizuguchi, Y. Suzuki, N. Ohyabu, "Nonlinear dynamics of Collapse phenomena in heliotron plasma with large pressure gradient", 22nd IAEA Fusion Energy Conference, 2008. 10. 13-18, ジュネーブ.