

自己評価報告書

平成23年 4月27日現在

機関番号：63902

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008~2012

課題番号：20340165

研究課題名 (和文) アルフベン固有モードと高速粒子の相互作用に関するシミュレーション研究

研究課題名 (英文) Simulation Study of Interaction between Alfvén Eigenmodes and Energetic Particles

研究代表者

藤堂 泰 (TODO YASUSHI)

核融合科学研究所・ヘリカル研究部・教授

研究者番号：00249971

研究分野：プラズマ物理・核融合

科研費の分科・細目：プラズマ科学・プラズマ科学

キーワード：アルフベン固有モード、高エネルギー粒子、シミュレーション

1. 研究計画の概要

(1) 研究代表者が開発した高速粒子-電磁流体 (MHD) 連結シミュレーションコード MEGA を用いて、核燃焼プラズマ研究の重要課題であるアルフベン固有モードと高速粒子の相互作用を研究する。具体的には以下の課題について、シミュレーション研究を推進する。

① 高速粒子によるトロイダルアルフベン固有モード (TAE) および反転磁気シアアルフベン固有モード (RSAE) などの不安定化およびそれらの固有モードによる高速粒子の輸送

② アルフベン固有モードの時間発展における非線形 MHD 効果

③ アルフベン固有モードのバースト的発展とそれに伴う高速粒子の輸送と損失

(2) 将来の核燃焼プラズマにおけるアルフベン固有モードと高速 α 粒子の挙動予測に向けて、新しいシミュレーション手法とシミュレーションコードを開発し予測信頼性を向上させる。

2. 研究の進捗状況

(1) MEGA コードを用いて、反転磁気シアトロイダルプラズマにおけるアルフベン固有モードのシミュレーションを行った。安全係数極小値が時間とともに低下すると、観測されるアルフベン固有モードが反転磁気シアアルフベン固有モード (RSAE) からトロイダルアルフベン固有モード (TAE) に遷移することを示した。RSAE と TAE による高速イオン輸送を比較し、RSAE はプラズマ電流に対して順進行粒子のみを輸送するのに対して、TAE は順進行粒子と逆進行粒子の双方を輸送することを明らかにした。

(2) MHD 非線形性が TAE 飽和レベルを抑制

することをシミュレーションで実証し、非線形モードから生じる散逸が TAE の飽和レベルを抑制することを示した。非線形高波数モードの空間分布をポロイダルモード数ごとに解析し、非線形高波数モードの散逸機構が連続スペクトル減衰であることを明らかにした。さらに、非線形 MHD シミュレーション結果において、TAE 不安定性の飽和後、測地音響モード (GAM) が励起されることを見出した。

(3) MEGA コードを、中性粒子ビーム入射 (NBI)、高速イオン減速過程および高速イオン損失を取り扱えるように拡張し、米国のトカマク型装置 TFTR の実験に近いパラメータを用いてアルフベン固有モードバーストのシミュレーションを行った。複数のアルフベン固有モードが同期してバースト的に繰り返し成長し、バースト時には高速イオン損失が発生するという実験と同様の結果が得られた。バースト時間間隔は約 2ms であり、これも実験結果と同程度である。

(4) ヘリカルプラズマにおける高速粒子とアルフベン固有モードの相互作用を計算する摂動論的シミュレーションコードを開発した。大型ヘリカル装置 LHD の実験についてシミュレーションを行い、高速イオン損失を伴う TAE バーストのシミュレーションに成功した。しかし、バースト時間間隔は実験結果よりも短く、この原因を明らかにすることが今後の課題である。一方で、TAE の最大振幅は、高速粒子輸送解析結果から推定した振幅とほぼ同じであった。

3. 現在までの達成度

① 当初の計画以上に進展している。

(理由)

アルフベン固有モードと高速粒子の挙動を理解する上で重要な、粒子源・粒子間衝突・粒子損失を高速粒子-MHD 連結シミュレーションコード MEGA に実装し、非線形 MHD 効果を取り入れた物理的に長時間の時間発展と自己整合性のある高速粒子分布の計算が可能になった。

4. 今後の研究の推進方策

予測信頼性の高いシミュレーションの実行にあたっては、プラズマの実形状 MHD 平衡データの入力が必要である。LHD については実形状 MHD 平衡データの入力に対応できており、今後はトカマク型についても実形状平衡データに対応させる。LHD における TAE バーストのシミュレーションにおいて、バースト時間間隔を決定している要因を明らかにし、実験結果のより精密な再現を目指す。

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 14 件)

[1] Y. Todo, H. L. Berk, and B. N. Breizman, Nonlinear magnetohydrodynamic effects on Alfvén eigenmode evolution and zonal flow generation, Nuclear Fusion, Vol. 50 (2010) pp. 084016 (1-9). 査読有

[2] Y. Todo, N. Nakajima, M. Sato, and H. Miura, Simulation study of ballooning modes in LHD, Plasma and Fusion Research, Vol. 5 (2010) S2062(1-4). 査読有

[3] Y. Todo, S. Murakami, T. Yamamoto, A. Fukuyama, D. A. Spong, S. Yamamoto, M. Osakabe, and N. Nakajima, 6. 4 Numerical Analyses of Energetic Particles in LHD, Fusion Science and Technology, Vol. 58 (2010) pp. 277-288. 査読有

[4] D. A. Spong, E. D'Azevedo, and Y. Todo, Clustered frequency analysis of shear Alfvén modes in stellarators, Physics of Plasmas, Vol. 17 (2010) 022106(1-12). 査読有

[5] Y. Todo, N. Nakajima, M. Osakabe, S. Yamamoto, D. A. Spong, Simulation study of energetic ion transport due to Alfvén eigenmodes in LHD plasma, Plasma and Fusion Research, Vol. 3 (2008) S1074(1-4). 査読有

[学会発表] (計 28 件)

[1] Y. Todo, “Computer Simulation of Alfvén Eigenmode Bursts Driven by Energetic Particles in Fusion Plasmas”, 11st Asia Pacific Physics Conference, 2010年11月16日, 上海(中国).

[2] Y. Todo, “Simulation Study of Nonlinear Magnetohydrodynamic Effects on Alfvén Eigenmode Evolution and Zonal Flow

Generation”, 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 2010年10月13日, デジョン(韓国).

[3] Y. Todo, “Interaction of energetic particles, Alfvén eigenmode, and zonal flow and fields”, 11th IAEA Technical Meeting on Energetic Particles in Magnetic Confinement Systems, 2009年9月21日, キエフ(ウクライナ).

[4] Y. Todo, “Nonlinear evolution of Alfvén eigenmode and excitation of geodesic acoustic mode”, 4th IAEA Technical Meeting on the Theory of Plasma Instabilities, 2009年5月18日, 京都.

[5] Y. Todo, “Simulation study of interaction between energetic ions and Alfvén eigenmodes in LHD”, 22nd IAEA Fusion Energy Conference, 2008年10月14日, ジュネーブ(スイス).