

研究種目：基盤研究(B)	
研究期間：2006 年度 ～ 2009 年度	
課題番号：18340189	
研究課題名（和文）	ヘリカル型装置におけるアルフベン固有モードの高エネルギー粒子輸送に対する影響
研究課題名（英文）	Interaction of Alfvén eigen-mode on energetic-particles in helical systems.
研究代表者	長壁 正樹 (OSAKABE MASAKI) 核融合科学研究所・大型ヘリカル研究部・准教授 研究者番号：90280601

研究分野：数物系科学

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：プラズマ物理、アルフベン固有モード、高エネルギー粒子輸送、磁場閉じ込め核融合

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、ヘリカル型磁場閉じ込め装置におけるアルフベン固有（以後 AE）モードと高エネルギー粒子との相互作用を明らかにすることにある。本科研費交付期間内においては、対象とする実験装置を大型ヘリカル装置（LHD）に限定し、AEモードに伴う高エネルギー粒子輸送の変化に焦点をあて、AEモードが高エネルギー粒子輸送に及ぼす影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

具体的には、アルフベン固有モード（AE）発生時における高エネルギー粒子の振る舞いの詳細な時間変化を中性粒子分析器及びプラズマ周辺部に設置した方向性ハイブリッドプローブ（静電プローブ兼カロリメータ）によって観測し、この観測結果をシミュレーションコードなどによって得られた理論予測と比較検討し、AEと高エネルギー粒子との間の相互作用を明らかにする。

2. 研究の進捗状況

本研究課題は、実験及び理論の両面から研究を進めている。

実験面においては、AE発生時における高エネルギー粒子の振る舞いを、中性粒子分析器（E//B-NPA）及び方向性ハイブリッドプローブによって計測を行った。

E//B-NPA では、既存の回路を用いて、0.1ms の時間分解能で計測を行い、AEバースト発生中の高エネルギー粒子のエネルギースペクトル上に生成される“穴”のエネルギーが時間とともに上昇していく様子が観測された。また、更に計測回路の改造を行って、1 μ s の時間分解能で計測が行える系統を 3 系

統（高・中・低エネルギー）作り、ミルノフコイルによって観測された AE バースト信号とともに、振動する高速イオン束の信号を得た。これら信号の位相差を解析した結果、高エネルギー側の信号が中エネルギー側の信号よりも、20 μ s 程度先行することが明らかとなった。

方向性ハイブリッドプローブによる計測については、プラズマ中を co. 方向及び counter 方向に周回する粒子の比較を行い、それらの粒子軌道の磁気面からのズレが、粒子の進行方向及びエネルギーに依存することを利用して、高エネルギーの co. 方向粒子の計測を行う。実験結果によると、当初の目論見どおり、co. 方向に周回する高エネルギー粒子の計測を行うことが出来た。また、AEモード発生時に於ける高エネルギー粒子の損失信号も得られている。

理論シミュレーションについては、MEG Aコードを 3次元配位に適用する拡張が完了した。また、AEのプラズマ中での固有関数分布を評価する為のコード AE 3D を新たに開発し、LHDで観測されている AE モードのシミュレーションを行った。その結果、LHDで良く観測されている二つの周波数の AE モードが、奇パリティモード及び偶パリティモードに起因することが判明した。現在は、高エネルギー粒子の振る舞いを含めて再現することに着手している。

3. 現在までの達成度

②概ね順調に進展している。

（理由）

実験においては、当初予定していた実験データの取得に成功している。また、理論シミ

ュレーションにおいても、当初予定していたコードの3次元配位への拡張は完了した。

4. 今後の研究の推進方策

E//B-NPA の計測については、1 μ s の時間分解能で計測が可能な系統を1 2チャンネルに増設し、AEモード発生時の高エネルギーイオンのエネルギースペクトルのより詳細な変化を計測する。

方向性プローブについては、プローブ先端形状を改良して、よりSN比の良い信号を取得し、より時間分解能の良い損失高速イオン束信号を得る。その上で、プローブ先端部に設置したミルノフコイルで計測した磁場揺動信号と、損失高速イオン束を比較する。

理論シミュレーションについては、シミュレーションによる実験データの再現を目指す。

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 6件)

- ① K. Nagaoka, M. Isobe, K. Toi, A. Shimizu, A. Fujisawa, S. Ohshima, H. Nakano, M. Osakabe, Y. Todo, *et.al.*, "Radial Transport Characteristics of Fast Ions Due to Energetic-Particle Modes inside the Last Closed-Flux Surface in the Compact Helical System", *Phys. Rev. Lettres*, 100, 065005 (4-pages), 2008, 有
- ② K. Nagaoka, M. Isobe, K. Toi, K. Goto, T. Ito, Y. Todo, M. Osakabe, S. Ohshima, A. Shimizu, A. Fujisawa, H. Nakano, Y. Takeiri, *et.al.*, "Local observations of fast ion responses to energetic particle modes using a directional probe in the Compact Helical System (CHS)", *Nuclear Fusion*, 48, 084006 (9pages), 2008, 有
- ③ K. Nagaoka, K. Y. Watanabe, M. Osakabe, Y. Takeiri, *et.al.*, "Fast ion measurement using a hybrid directional probe in the large helical device", *Rev. Sci. Instrum.*, 79, 10E523 (3pages), 2008, 有
- ④ M. Osakabe, S. Murakami, M. Yoshinuma, K. Ida, A. Whiteford, M. Goto, D. Kato, T. Kato, K. Nagaoka, T. Tokuzawa, Y. Takeiri, *et.al.*, "Fast ion charge exchange spectroscopy measurement using a radially injected neutral beam on the large helical device", *Rev. Sci. Instrum.*, 79, 10E519 (4pages), 2008, 有
- ⑤ M. Osakabe, S. Yamamoto, K. Toi, Y. Takeiri, S. Sakakibara, K. Nagaoka, *et.al.*, "Experimental observations of

enhanced radial transport of Energetic Particles with Alfvén Eigen mode on LHD", *Nuclear Fusion*, 46, pp.s917-s916, 2006, 有

- ⑥ Y. Todo, "Properties of energetic-particle continuum modes destabilized by energetic ions with beam-like velocity distributions", *Phys. of Plasmas*, 13, 082503 (7 pages), 2006, 有

[学会発表] (計 5件)

- ① M. Osakabe, 他, "Fast ion charge exchange spectroscopy measurement using a radially injected neutral beam on the large helical device", 第17回高温プラズマ計測会議, 2008年5月11日-15日, アルバカーキ (米国)
- ② K. Nagaoka, 他, "Fast ion measurement using a hybrid directional probe in the large helical device", 第17回高温プラズマ計測会議, 2008年5月11日-15日, アルバカーキ (米国)
- ③ M. Osakabe, 他, "Energy shift of the resonant particles being associated frequency shift of TAE-mode on LHD", 第10回高エネルギー粒子に関するIAEA 専門家会議, 2007年10月7日-12日, クロスターゼオン (ドイツ)
- ④ K. Nagaoka, 他, "Local Observation of Energetic Particle Mode Bursts and Fast Ion Responses in the Compact Helical System", 第10回高エネルギー粒子に関するIAEA 専門家会議, 2007年10月7日-12日, クロスターゼオン (ドイツ)
- ⑤ Y. Todo, 他, "Numerical analysis of energetic ion transport due to Alfvén eigenmodes in an LHD plasma", 第10回高エネルギー粒子に関するIAEA 専門家会議, 2007年10月7日-12日, クロスターゼオン (ドイツ)