

機関番号：82110

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760702

研究課題名（和文）高圧カプラズマにおける抵抗性壁モード安定化物理の実験解析研究

研究課題名（英文）Experimental analysis study of resistive wall mode in high pressure plasmas

研究代表者

松永 剛（Matsunaga Go）

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・研究職

研究者番号：10391260

研究成果の概要（和文）：高圧カプラズマで発生し、到達圧力を制限する抵抗性壁モード(RWM)について、その安定化機構や他の不安定性との相互作用等に着眼し実験データの解析を進めた。大型トカマク装置 JT-60U と DIII-D における実験データの比較を行い、十分なプラズマ回転にもかかわらず、高エネルギーイオン駆動の新たな不安定性が RWM を誘発することを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We have analyzed stabilization mechanism and interaction with other MHD modes for resistive wall mode (RWM) that could limit the achievable pressure in fusion reactors. In particular, we have compared results between JT-60U and DIII-D tokamaks, then it is clarified that new instability driven by energetic ions can trigger RWM despite enough plasma rotation for RWM stabilization.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

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：炉心プラズマ、プラズマ物理

1. 研究開始当初の背景

(1) 核融合炉における高性能プラズマは急峻な圧力勾配を有するため MHD 不安定性が発生し、最終的に破壊的な崩壊現象(ディスラプション)に至る。

(2) 導体壁の有限電気抵抗に起因する MHD 不安定性である抵抗性壁モード(RWM)が圧力上限を決定する不安定性であり、この安定化機構の解明および安定化手法の確立が急務となっている。

(3) RWM はプラズマ回転により安定化可能であることが理論的に予測されているが、その安定化機構の完全な解明には至っていない。

2. 研究の目的

(1) 核融合炉で到達可能な圧力を制限すると考えられる RWM の安定化機構について、プラズマ回転をはじめとする各種の安定化効果についてデータベース化する。

(2) RWM と高エネルギーイオン駆動不安定性との相互作用について、JT-60U と DIII-D の実験結果を比較するとともにその不安定化機構を解明する。

3. 研究の方法

(1) JT-60U でこれまで得られている高圧力プラズマ放電を抽出し、壁なし圧力限界を超えた放電の主なパラメータについてデータベース化する。

(2) 米国 GA 社において実施されている抵抗性壁モード実験に参加し、装置間データについて比較を行う。

4. 研究成果

圧力プラズマで発生し、到達圧力を制限すると考えられている抵抗性壁モード (RWM) について、その安定化機構や他の不安定性との相互作用等に着眼し実験データの解析を進めた。大型トカマク装置 JT-60U でこれまで得られている高圧力プラズマのためのデータベースサーバと、線形理想 MHD 安定性解析用サーバを導入した。その結果、安全係数が 2 の面においてプラズマ回転が 20km/s を下回ると RWM が発生することが分かった。

しかしながら、十分なプラズマ回転にもかかわらず RWM が発生する事象があり、それには間欠的に発生する数 kHz の不安定性が関わっていることが分かった。この不安定性は、高圧力プラズマでのみ観測され RWM と相互作用し RWM を不安定化する。図 1 に RWM を誘発する不安定性と誘発された RWM の波形を示す。本研究では、この現象が RWM 不安定化機構において重要と考え、その現象に着目した。

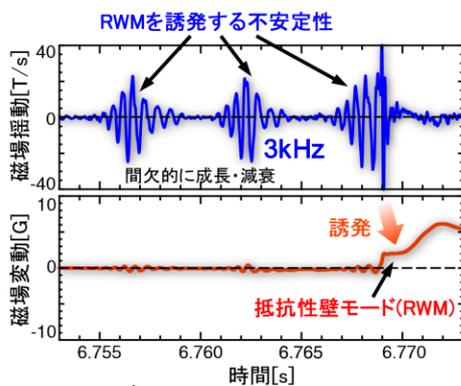


図 1 RWM を誘発する不安定性と誘発された RWM の波形。

新たに観測された不安定性の周波数が中

性粒子ビームによって入射された高エネルギーイオンのトロイダル歳差運動と一致することが、粒子軌道計算により明らかになり、高エネルギーイオンが駆動源であることが分かった。また、高圧力プラズマでのみ観測されるが、プラズマ電流の分布形状を変え、その発生領域の依存性から、壁なし圧力限界以上すなわち壁安定化された圧力領域で発生することが分かった。図 2 にこの高エネルギーイオン駆動不安定性の発生領域を示す。このことから、この不安定性は高エネルギーイオン駆動壁モード (Energetic particle driven Wall Mode: EWM) と名付けられた。この結果は、PHYSICAL REVIEW LETTERS 誌に掲載された。

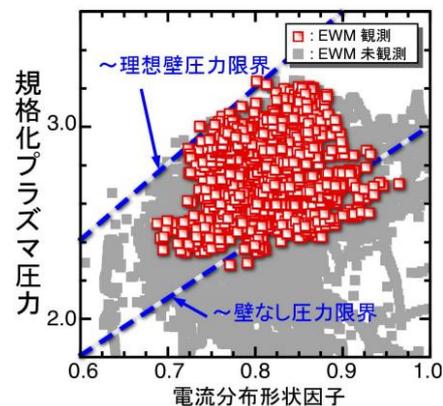


図 2 RWM を誘発する高エネルギーイオン駆動不安定性の発生領域。

EWM と類似の不安定性は DIII-D でも観測され、JT-60U と同様に十分なプラズマ回転でも RWM を誘発することが観測された。そこで、本研究では、装置間比較を行うこととし、平成 21 年度に DIII-D において高圧力プラズマ実験を実施した。この実験では、JT-60U で実施した実験と類似の安全係数分布とプラズマ圧力で行うこととした。図 3 に、JT-60U と DIII-D の装置間比較実験のプラズマ断面形状と安全係数分布を示す。

両装置で観測された EWM の相違点として、図 4 に示すように JT-60U では EWM が周辺で発生する周辺局在化モード (ELM) を誘発すること、DIII-D では EWM による中性子損失が顕著であり、またプラズマ回転が失われることがあげられる。また、DIII-D での結果は、高エネルギーイオンの損失とプラズマ回転の減少が RWM の安定化を損なわせることを示唆している。

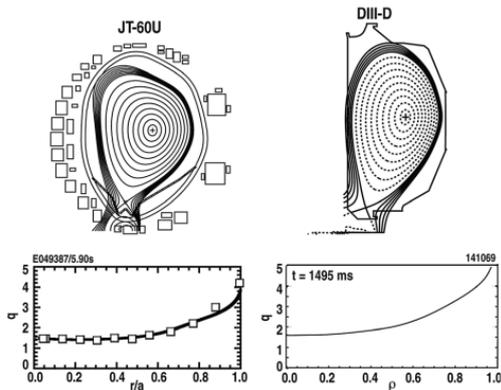


図 3 装置間比較を行った JT-60U および DIII-D のプラズマ断面形状と安全係数分布。

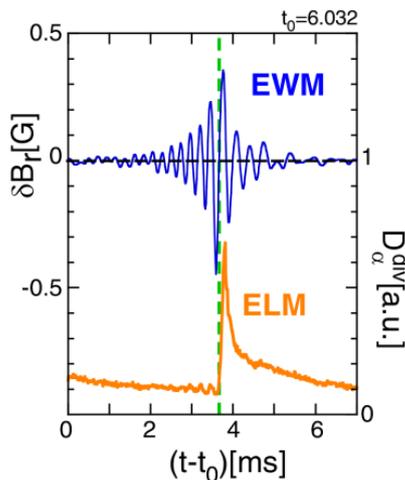


図 4 JT-60U で観測された高エネルギーイオン駆動不安定性と周辺局在化不安定性の相互作用の波形。

DIII-Dの結果をもとにプラズマを構成する粒子の運動論的效果を考慮した MHD 安定性解析コード (MARS-K) で安定性を評価すると、高エネルギーイオンが RWM の安定化に寄与していることが明らかになり、EWM による高エネルギーイオンの損失が RWM を誘発しえることが明らかになった。これらの成果は、PHYSICS OF PLASMAS 誌に掲載されるとともに、第 52 回米物理学会プラズマ物理会合で招待講演として発表された。

JT-60U における EWM による ELM 誘発は、新たな MHD 不安定性の相互作用であり、ELM の発生頻度が高まる一方、ELM によるエネルギー損失が減ることから ELM 緩和となっている。また、ELM が安定な RWM を励起する現象を観測した。これらの結果は、RWM が他の不安定性と相互作用し誘発されうることを示唆しており、その成果は Nuclear Fusion 誌に掲載されるとともに、第 23 回 IAEA 核融合エネルギー会議で口頭発表された。今後更

なるデータ解析を進める。

5. 主な発表論文等

(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 4 件)

- ① M. Okabayashi, G. Matsunaga, 他 17 名, Off-axis fishbone-like instability and excitation of resistive wall modes in JT-60U and DIII-D, PHYSICS OF PLASMAS, 査読有, 18, 2011, 056112-1 ~056112-13
- ② G. Matsunaga, 他 9 名, Energetic particle driven instability in wall-stabilized high- β plasmas, Nuclear Fusion, 査読有, 50, 2010, 084003-1~084003-8
- ③ G. Matsunaga, 他 11 名, Rotational Stabilization of Resistive Wall Mode on JT-60U, Plasma and Fusion Research, 査読有, 4, 2009, 051-1~051-7
- ④ G. Matsunaga, 他 10 名, Observation of an Energetic-Particle-Driven Instability in the Wall-Stabilized High- β Plasmas in the JT-60U Tokamak, PHYSICAL REVIEW LETTERS, 査読有, 103, 2009, 045001-1~045001-4

[学会発表] (計 4 件)

- ① 松永 剛, JT-60U 高 β プラズマにおける MHD モードの相互作用, 第 27 回プラズマ・核融合学会年会, 2010 年 12 月 2 日, 札幌
- ② M. Okabayashi and G. Matsunaga, Off-axis fishbone-like instability and excitation of resistive wall modes in JT-60U and DIII-D, 52nd Annual Meeting of the APS, Division of Plasma Physics, 2010 年 11 月 11 日, 米国/シカゴ
- ③ G. Matsunaga, Interactions between MHD instabilities in the wall stabilized high β plasmas, 23rd IAEA Fusion Energy Conference, 2010 年 10 月 14 日, 韓国/デジユン

- ④ G. Matsunaga, Stability Control for High-beta Plasmas on JT-60SA, 51st Annual Meeting of the APS Division of Plasma Physics, 2009年11月3日, 米国/アトランタ

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松永 剛 (Matsunaga Go)

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・研究員

研究者番号：10391260