



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ヘリオトロンプラズマにおける抵抗性交換型不安定性と磁気島との相互作用に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	上田, 亮介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11569号
Issue Date	2014-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57209
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryosuke_Ueda_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 上田 亮介

審査担当者 主 査 特任教授 板垣 正文
副 査 客員教授 渡邊 清政
副 査 教 授 佐々木 浩一
副 査 准教授 及川 俊一

学位論文題名

ヘリオトロンプラズマにおける抵抗性交換型不安定性と磁気島との相互作用に関する研究
(Interaction between resistive interchange instability and magnetic island in heliotron plasma)

核融合実験装置におけるプラズマは、磁力線が形成する容器「磁気面」を層状にすることで閉じ込められる。このとき、プラズマ自身の圧力と外部から印加する磁気圧との平衡が維持されているが、何らかの原因 (揺動) でこの平衡が保たれなくなっていく過程を不安定と呼び、そのメカニズムの解明は核融合炉の実現に向けて極めて重要な研究課題とされる。プラズマ圧力と磁気圧の比をベータ値と呼び、ベータ値を高くすることが核融合炉の性能と経済性の向上に繋がる。高ベータ化に伴いプラズマの圧力勾配を駆動源とする不安定性が現れる。特に有理面と呼ばれる磁気面では、この面を挟んでプラズマが入れ替わるように成長する交換型不安定性が励起しやすい。さらにプラズマの抵抗率が大きいと、抵抗性交換型不安定性という様相を呈して磁力線の再結合が起こり、磁気島と呼ばれる磁場構造が現れ、層状の磁気面を破壊する可能性がある。一方、磁気島は交換型不安定性の駆動力である圧力勾配を平坦化し、不安定性を緩和する可能性も指摘されている。このように、交換型不安定性と磁気島との相互作用は核融合プラズマの閉じ込め性能に大きな影響を与える可能性があるが、定量的な相互作用の評価には、従来、非線形解析が必要であった。しかしながら、非線形解析には多大な計算資源が必要なため、幅広いベータ値や抵抗値を持つ核融合プラズマを対象とした解析がなされてこなかった。著者は、磁気島と交換型不安定性の線形的な相互作用を対象に数値解析上の工夫を行うことで、幅広いベータ値や抵抗値を持つ核融合プラズマの特性解析を可能とした。また、その手法を用いて以下のような磁気島と交換型不安定性の相互作用についての解析を行った。

第2章では、不安定性が磁気島形成に及ぼす影響について著者が着目した線形解析の手法と結果を述べている。すなわち著者は、第1固有関数のみならず第2固有関数なども含めた固有値解析を行い、抵抗性交換型不安定性について詳しく洞察している。従来、第2固有関数は第1固有関数に比べて不安定性への寄与は小さいと考えられていたが、抵抗率が大きくなると第2固有関数の成長率 (固有値) は第1固有関数のそれに近い大きさを持つことを初めて見出した。さらに著者は、本来非線形解析でしか評価できない磁気島幅を、新たな指標「アイランド指標」を考案することにより線形解析に基づいた量のみを使って、磁気島幅特性の定量的な推定を可能とした。上記の指標を使った解析の結果、第2固有関数が第1固有関数よりも磁気島形成に大きく寄与することを明らかにした。

第3章では磁気島の存在が交換型不安定性に与える影響を詳しく調べている。磁気島は局所的

にはあるが、交換型不安定性の駆動源である圧力勾配を減少させるので、磁気島を意図的に生成し、交換型不安定性の抑制を目指した実験が LHD(大型ヘリカル装置/核融合研)で行われている。しかしながら、その物理機構については明らかになっていない。物理機構の解明の第一歩として、著者は、磁気島の存在による局所的な圧力勾配の変化が LHD 実験で典型的に観測されている長波長交換型不安定性に与える影響を解析した。この解析のために、著者は磁気島を有する MHD 平衡の構築に磁気面を仮定しない 3 次元実座標系に基づく平衡計算コードを採用し、不安定性特性の解析に 2 次以上の摂動量を見捨てる線形近似を解析手法として選択し、これを用いた特定の波長を持つ不安定性の解析手法を考案した。これらの手法により、局所的な圧力勾配の変化が LHD 実験で典型的に観測されている長波長交換型不安定性に与える解析を可能とした。また、解析の結果、LHD 実験で典型的に観測されている長波長不安定性に関する限り、磁気島による局所的圧力平坦化は不安定性の成長率や揺動構造を助長もせず抑制もしないという重要な結論に到達している。

これを要するに著者は、ヘリオトロン型核融合実験装置における磁気島と呼ばれる磁場構造の形成過程および磁気島の存在が長波長不安定性に及ぼす影響を、それぞれ独自に考案した簡便な解析手法によって明らかにした。これらの手法は広範な実験結果の効率的な解析を可能とするものである。以上の成果は、核融合工学の進展に大きく貢献するものである。よって、著者は北海道大学博士(工学)の学位を授与するに値するものと認める。