

氏 名	いし じま だい 石 島 梯
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 94 号
学位授与の日付	平成 7 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	逆磁場ピンチにおける境界条件の研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 押 山 宏 教 授 金 森 仁 志 教 授 堤 誠 助教授 政 宗 貞 男

論 文 内 容 の 要 旨

逆磁場ピンチ (Reversed Field Pinch; RFP) は核融合を目指した磁場による高温プラズマ閉じ込め方式の一つであり、その磁場配位は電磁流体力学的緩和により特徴づけられ、そのダイナミクスは内部共鳴テアリングモードによって支配されている。それらのモードはまた RFP の輸送に対して影響を与えている。プラズマ中心部では、エネルギーと粒子の輸送はこれらの不安定性によってストキャスティックになった磁力線に強く影響されると考えられている。また、プラズマ周辺部では磁場の揺動によって磁気ヘリシティーの輸送が増大し、これが異常抵抗の原因となる可能性が指摘されている。これらのモードの振舞いは境界条件に対して敏感であるため、境界条件の最適化は RFP 研究における重要課題である。

本論文は、導体壁の近接性、プラズマの断面形状などの境界条件が RFP プラズマの放電抵抗、エネルギー輸送、平衡配位に対してどのような影響を与えるかを実験および数値解析により調べたもので 6 章より構成されている。

第 1 章は序論である。本研究に関する従来の研究のまとめとそれらの問題点を示し、著者が行なった研究の目的と意義を述べ本論文がこの分野において占める位置を明らかにしている。

第 2 章では本研究で用いた STE-2 逆磁場ピンチ装置の説明と実験に用いた測定系、解析手法について述べている。本装置の特徴は他の多くの装置が薄肉ベローズの放電管を用いているのに対して厚肉のステンレス放電管を用いていることである。この特徴を生かして可能な限り導電性シェルの近接性を改善できたこと、またプラズマの閉じ込めに必要なダイバータ磁場配位を導入できたことが示されている。測定法、解析法において計算機を駆使し、実験と解析の省力化に工夫を施したことが述べられている。

第 3 章は逆磁場ピンチ装置 STE (Separatrix Test Experiment) - 2 で生成された円形断面 RFP において導体壁の近接性が放電特性、内部磁場分布、磁場揺動に対してどのような影響を与えるかを実験的に調べたものである。磁気ヘリシティーの保存則に基づく放電抵抗のモデルを用いて実験結果を解析し、導体壁の近接性 (プラズマ小半径に対する導体壁の半径の比) を 1.07 から 1.02 に改善することにより表面ヘリシティー損失による異常抵抗を 40% 程度減少させ得ることが明らかになった。これにより、導体壁の近接性を改善することが異常放電抵抗の低減化に有効であることが示された。また、異常抵抗はプラズマ表面付近の現象に起因することが明らかになった。

第 4 章は RFP の不純物制御法として重要なダイバータを主に検討したものである。この配位は非円形断面および磁気リミターという新しい境界条件となる。このような境界条件における平衡モデルの一つであるプラズマエネルギーが最小である完全緩和状態を固有値と固有関数の立場でとらえ、プラズマの断面形状の変化に対して固有値と固有関数がどのように変化するかを数値解析により調べた。このとき、トー

ラス形状での完全緩和状態を流れ関数を用いて表現し、変数変換を用いて解析に有利な円柱プラズマに写像して、有限要素法を用いて固有値と固有関数を求めた。これにより計算時間と容量の節減をはかることが可能となった。特にダイバータ実験で使用する 8 字形断面形状のポロイダルダイバータ配位を中心に解析した。同じトロイダル磁束をもつ円形断面 RFP と比較すると、非円形断面 RFP 配位になるのに必要なトロイダルプラズマ電流値は 0.5% 小さい。また、トロイダル電流の飽和値は 4% 減少することが明らかになった。これらの結果より 8 字形断面形状の容器に生成されたシングルポロイダルヌルダイバータ配位の RFP は円形断面 RFP と比較して RFP 配位の出現条件はほとんど変化しないが電流飽和はより小さい電流値で生じることが明らかになった。

第 5 章はダイバータ配位の実験的研究として STE-2 のポロイダルダイバータ配位において、磁場揺動とエネルギー輸送を実験的に調べたものである。テアリングモードの活性の目安である周辺磁場揺動レベルに大きな影響を与えることなくダイバータ配位を導入できることを示した。また、プラズマ周辺部およびダイバータ内のエネルギー輸送に非熱的高速電子が重要な役割を果たしていることを明らかにし、さらに主プラズマからダイバータ領域への非熱的高速電子の流れの経路も明らかにした。

第 6 章で本研究の結果を総括し今後の課題について述べてある。本研究の成果は実験および理論的解析により、種々の境界条件下における RFP プラズマの振舞いが明らかになり、境界条件の制御による RFP 閉じ込め改善の可能性を具体的に示した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、高温プラズマの安定な閉じ込めのために、逆磁場ピンチ (RFP) に必要とされる特性を境界条件に着目し研究したもので、逆磁場ピンチプラズマを

- 1) 導電性シェルの近接性による閉じ込め特性の改善の観点
- 2) プラズマの緩和状態を固有値問題として取り扱うという観点
- 3) ダイバータ配位におけるプラズマの熱流速制御の観点

に主眼をおき研究したもので、RFP の分野に貢献する価値のある研究と認められる。

まず、導電性シェルの近接性により、プラズマの異常抵抗が減少することを実験的に見出し、その理論的説明として磁気ヘリシティ保存則とエネルギー保存則を用いてモデルを構築し、満足できる結果を得ていることは評価できる。

次に、トラスプラズマの緩和状態を記述する方程式を有限要素法を用いて解析し、特に 8 字形断面の境界条件を持つプラズマに対して、固有値と固有関数を求め、RFP 配位になる条件およびプラズマ電流制限が生じるパラメータを求めたことは価値がある。

さらには RFP プラズマにおけるダイバータ配位の重要性を指摘し、STE-2 実験において、プラズマ周辺部の高速電子の存在を確認し、ダイバータ配位に熱流速制御・排出機能があることを実験的に見出したことは高く評価できる。

論文内容はレフェリーシステムの確立した学術雑誌に 5 編の論文を公表し、さらに 1 編が投稿中である。これらの論文のうち 3 編は申請者が筆頭著者である。

結論として本論文は扱ったテーマの重要性、研究展開の独自性、研究成果の RFP 研究分野への貢献度などから判断し学位論文に値すると判定する。