

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻
エネルギー流体力学講座

エネルギー電磁流体力学グループ

渡邊清政(教授)

博士後期課程 1名、博士前期課程 2名、卒研生2名(2023年度の実績)

研究分野と研究方針

【概要】

電磁流体である核融合発電用炉心プラズマの閉じ込め性能に関する研究を行う。具体的には、核融合炉に必要な低衝突高ベータ(プラズマ圧力と磁気圧の比)プラズマを実現するため、電磁流体力学的(MHD)不安定性の閉じ込めに与える影響とその低減法に関する研究を世界最大のヘリカル型核融合実験装置であるLHD(大型ヘリカル装置)を使った実験、計測、数値解析を通して行う。また、ITER(国際熱核融合炉)に代表されるトカマク方式の炉心プラズマのMHD特性(ディスラプション等)に関連した研究課題も取り扱う。

【キーワード】

磁場閉じ込め、トカマク、ヘリカル、MHD(電磁流体力学的)平衡・安定性、非等方圧磁化プラズマ、高エネルギーイオン、磁場計測、静電プローブ計測、マイクロ波計測、ディスラプション、プラズマ位置安定性、崩壊現象、共鳴摂動磁場(RMP)

【主な研究と内容】

(A) 大型ヘリカル装置(LHD)を使った核融合炉心プラズマに関する研究

LHDは世界で5本の指に入る大型の磁場閉じ込め核融合炉心プラズマ実験装置である。特に、定常運転特性に優れたヘリカル型では最大級の実験装置で20年以上にわたって、世界最先端の核融合炉心プラズマ性能向上研究に利用されており、核融合発電炉に必要なプラズマ性能のうち、経済的な核融合炉に必要な5%を超える高ベータ運転、1億度を超えるイオン温度を達成している。この実験装置を使って、高い閉じ込め性能を持つ高ベータ運転手法の開発研究を行っている。特に、プラズマの閉じ込め容器である磁場容器の形状やプラズマの温度、密度分布、プラズマ電流分布を制御して、核融合炉により近いプラズマ閉じ込め性能の実現と炉心領域でのMHD特性のデータ収集を行う。研究手法は、実験データの解析、実験計画の立案、計測装置の設計・設置、データ収集等の多岐にわたる。実験データの解析、実験解析の立案、計測装置の設計には、シミュレーションコードを用いた研究も行う。

また、LHDをベースにした核融合発電炉の運転シナリオに関する研究をLHD実験データのモデル化とシミュレーションを使って行う。

(B) 小型トカマク装置(HYBTOK-II)を使ったMHD研究

名大工学部電気工学科の大野研究室の小型トカマク装置使って、共同研究の枠組みでMHDに関する研究を行っている。現在、取り組んでいる研究課題は、外部共鳴摂動磁場のプラズマへの浸透やプラズマの遮蔽特性、MHD不安定性へ影響である。共鳴摂動磁場に対するプラズマの応答特性はプラズマの流速に大きな影響を受けることが理論的に予測されているので、プラズマの流速の計測やその特性についても研究を進めている。結果をシミュレーション結果と比較し、核融合実験炉での影響を推測する研究も行う。

2023年度の研究・教育の概要

【外部共鳴摂動磁場印加による抵抗性交換型MHD不安定性安定化手法に関する研究】

LHDで観測される抵抗性交換型MHD不安定性を閉じ込め性能を劣化させずに、完全に安定化するのに必要な外部共鳴磁場摂動強度を幅広い放電条件で調べ、そのベータ値や衝突頻度、規格化イオンラマ半径依存性に関する実験則を導出。一方、外部共鳴摂動磁場が大きすぎると、磁気島発生し閉じ込め性能が劣化するが、その時の外部摂動磁場強度の実験則も導出した。結果をある核融合炉設計モデルに適用したところ、その運転条件は、抵抗性交換型MHD不安定性を閉じ込め性能を劣化させずに完全に安定化できると予測できた。結果はプラズマ核融合学会・年会で発表。

また、複数の磁場配位実験で観測された磁場揺動強度の β 値、磁気レイノルズ依存性を調べた結果、その包絡線の磁気レイノルズ数依存性、 β 値依存性とも抵抗性交換型不安定性のモード幅の2乗の線形予測とほぼ一致することがわかった。

【環状磁場プラズマ閉じ込め装置における外部印加共鳴摂動磁場の伝搬特性の研究】

環状磁場を使った核融合実験装置では無数の層状の磁気面により高温のプラズマが閉じ込められ、層間の断熱特性により温度勾配が維持されている。但し、装置の製作誤差等の原因で特定の周期を持つ磁気面に垂直方向の磁場揺動が存在すると、層状の磁気面が結合して磁気島と呼ばれる熱伝導の高い領域が出現する。しかし、磁気島は誤差磁場強度、分布が同じでも、プラズマパラメータにより現れたり、現れなかったりする。この物理的機構の解明と磁気島発現時のプラズマパラメータの予測精度向上のため、小型トカマク装置(HYBTOK-II)で外部摂動磁場の回転数やその向き、摂動磁場強度を変化させる実験を行い、プラズマ中の摂動磁場の伝搬分布を計測した。その結果、摂動磁場がイオン反磁性方向に回転する場合、摂動磁場強度の減少がプラズマ中心付近で起こり、一方、摂動磁場が電子反磁性方向に回転する場合、摂動磁場強度の増加がプラズマ中心部で起こることがわかった。今後は、共鳴有理面の位置計測、そこでのプラズマ流速、温度、密度と摂動磁場強度の関係の定量的なデータ収集を行う予定である。また、並行して、再現性の高い実験実現のために磁気軸位置やプラズマ密度の実時間制御システムの開発も行っている。

【核融合炉運転シナリオの検討】

LHDの高密度放電に基づく、核融合炉運転シナリオを検討。高密度核融合炉運転シナリオにおけるブートストラップ電流の大きさの予測精度向上のため、高密度領域でのブートストラップ電流のベータ値依存性を習得する実験をLHDで実施。高衝突領域で観測電流値の減少が確認でき、理論予測の妥当性を確認。定量的な予測精度向上のため、実験結果との比較を通じて理論予測モデルの改良作業中。

【本年度の研究成果発表の概要】

	国内会議発表	国際会議発表	国際会議予稿	学術論文
教員	1	0	0	0
学生	2	0	0	2

本年度の卒業論文・修士論文・博士論文のタイトル

【卒業論文】

- ・ 小型トカマク装置の実時間磁気軸制御法の研究
- ・ 外部共鳴摂動磁場と環状磁場閉じ込めプラズマの相互作用の研究
- ・

【修士論文】

- ・ LHDプラズマにおけるMHD不安定性の圧力、抵抗、閉じ込め磁場構造依存性

【博士論文】

- ・ 外部共鳴摂動磁場によるヘリカルプラズマのMHD不安定性抑制法の研究

その他・特記事項

- ・ 無