

名古屋大学工学研究科 エネルギー理工学専攻  
エネルギー流体工学講座

## エネルギー電磁流体工学グループ

渡邊清政(教授)

博士前期課程 1名、博士前期課程 1名、卒研生1名(2021 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はほぼ20年にわたって、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) トカマク型核融合実験装置におけるディスラプション研究

トカマク型核融合実験装置は、定常運転特性ではヘリカル型に劣るが、プラズマ閉じ込め性能では、ヘリカル型を上回る性能を持っている。しかしながら、プラズマ閉じ込めに必須の磁場をプラズマ電流により形成するため、この電流がいろいろな原因で急速に失われ、その電磁エネルギーが熱に変わりプラズマ閉じ込め設備に重篤なダメージを及ぼすディスラプション現象が起こることが知られており、この現象の抑制や回避の研究が進められている。我々は、MHD特性の観点からディスラプションの抑制や回避の手法の探索を世界最大級のトカマク型核融合実験装置であったJT-60Uの実験解析やシミュレーション研究を通じて行っている。

### (C) 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を使って、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不安定性への影響である。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。

## 2021年度の研究・教育の概要

### 【コラプスを伴うMHD不安定性の原因解明と外部コイルによる不安定性抑制手法の研究】

LHDで観測されるコラプスを伴うMHD不安定性について、その駆動原因を調査。磁場揺動強度のベータ値、磁気レイノルズ数依存性がLHDで一般的に観測される抵抗性交換型不安定性と異なることが判明。発現時の共鳴有理面とプラズマ境界との位置関係の磁場配位依存性から、観測された不安定性は外部モードである可能性が高いことを解明。また、不安定性発生時に外部コイルによるRMPを印加し、MHD不安定性の変化を調べる実験を実施。外部RMPを増加させるにつれて、不安定性の発現が間歇的になることを発見。結果をプラズマ核融合学会年会や国際土岐コンファレンス等で発表。

### 【「ロックトモード様不安定性」の発生条件と非線形飽和過程】

LHDで観測される「ロックトモード様不安定性」の発生条件と非線形飽和過程について、外部RMP印加時には、外部RMPと不安定性による摂動電流の相互作用で前駆振動の回転周波数の減速が決まっていることを発見。また、高時間分解の電子温度分布解析を行うことにより、「ロックトモード様不安定性」の減速終盤に回転する磁気島と回転しない圧力平坦部が共存する現象があることを発見。結果をNuclear Fusion誌やPlasma Fusion Res. 誌で発表。

### 【非等方圧力のMHD安定性に対する影響】

体積平均4%を超えるLHD高ベータ放電は、比較的低密度の接線NBI放電で達成されるので、プラズマ圧力が非等方になっていると推定される。圧力非等方度のMHD安定性への影響について考察。結果をプラズマ核融合学会年会で発表。

### 【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。 $\alpha$ 粒子の軌道と磁気面のズレの効果による径電場の効果による粒子軌道の影響を調べるためのコード改良と定性的効果についてLHDのパラメータで計算を実行。高速イオンの軌道に十分な影響を与えるためには、高速イオンのエネルギー程度の径電

場が必要なことがわかった。また、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。理論予測モデルの改良のための解析中。結果の一部をプラズマ核融合学会年会で発表。

【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	2
学生	1	1	0	0

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】

- 大型ヘリカル装置における交換型不安定性の磁場配位依存性

【修士論文】

- 無

【博士論文】

- 無

その他・特記事項

- 無