

# エネルギー物理学講座 核融合・電磁工学分野



機械知能・航空工学科 量子サイエンスコース（大学院：量子エネルギー工学専攻）

教授 橋爪 秀利 准教授 伊藤 悟 准教授 江原 真司 講師 程 衛英 助教 宍戸 博紀

本研究室では、核融合炉を未来のエネルギー源として活用するために、流体工学・伝熱学・電磁気学・構造力学などを統合したエネルギー総合工学の観点から、核融合炉の先進設計研究に取り組んでいます。

橋爪・伊藤・江原・程研究室ホームページ：[http://web.tohoku.ac.jp/hashizume\\_fan\\_club/](http://web.tohoku.ac.jp/hashizume_fan_club/)  
研究室に興味があり、個別で相談したい場合は宍戸助教 (hiroki.shishido.a7@tohoku.ac.jp) まで。

## 核融合炉の実現に向けた挑戦！

### 分割型高温超伝導マグネットの設計・開発 ・マグネット構造・冷却システム設計

核融合炉の超伝導マグネット：複雑な形状・高い製造コスト  
 分割型高温超伝導マグネットの提案（分割製造+着脱可能）  
 利点：製造簡素化，メンテナンス性向上  
 核融合炉実現に必須！

大型高温超伝導導体の開発

大型高温超伝導導体 (100 kA 1時間通電 at 4.2 K 実証)

機械的接合法の開発

ステンレスジャケット  
 高温超伝導テープ線材  
 100 kA  
 高温超伝導導体の機械的ブリッジジョイント

分割型高温超伝導マグネット設計概念図

プロトタイプマグネットの製作

Removable Coil Bobbin  
 Joining Region  
 Voltage Tap  
 5-Layered BSCCO 2223 Cable

液体窒素冷却試験装置

液体窒素冷却試験装置

超伝導ホロタルコイル  
 クライオスタット (断熱真空容器)  
 プラズマ真空容器  
 電磁力支持構造  
 ダイバータ  
 超伝導ヘリカルコイル  
 プランケット放射線遮蔽材料保護熱交換器  
 中心プラズマ

ヘリカル型核融合炉FFHR-d1 (核融合科学研究所)

### 先進液体ブランケットの設計・開発

冷却と燃料(3H)増殖を兼ねた簡素な設計・高メンテナンス性

高温溶融塩Flibeブランケット：

- 冷却・燃料増殖に適した新型溶融塩の開発
- 放射性廃棄物処理（核転換処理）機能を有する先進核融合炉用ブランケットの冷却・核特性設計

分子動力学による新型溶融塩の開発

核転換処理機能を有するブランケットの冷却・核特性設計

液体Li/V流路ブランケット：

- 三面複層コーティングによるMHD圧力損失の低減
- Li/Vブランケットの熱流動設計

三面複層コーティング流路の試作

ErO<sub>2</sub> (0.08 mm)  
 V4O4Cl<sub>3</sub> (0.02 mm)  
 Liquid lithium flow  
 height of 4 mm  
 heat flux (0.8 - 1.2 MW/m<sup>2</sup>)

流路内MHD熱流動特性の評価

Circular MHD Flow Channel  
 東北大学強磁場超伝導材料研究センター  
 強磁場実験施設を利用したMHD圧力損失低減効果実証試験

UCLA

### ダイバータ冷却技術の開発

ダイバータでの超高温熱流束除去の必要性

自己形成流動場を利用したダイバータ冷却

- エルボ配管内に生じる旋回流を利用した高効率ダイバータ冷却方式
- 流動場解明および伝熱実験による除熱実証

三次元接続二重エルボ配管  
 三次元接続二重エルボ配管 (流動場解明試験用)  
 エルボ下流のReynoldsせん断応力  
 二重エルボ出口における旋回流  
 高熱流束アークプラズマガンを用いた除熱実証実験

### 検査技術の適用 核融合炉機器信頼性担保のための非破壊検査/評価技術の開発 検査技術の適用

各種非破壊検査法を用いた構造物欠陥探傷技術の開発

- 放射線：X線CT、X線透過法
- 超音波：高周波超音波
- 電磁気：直流/交流電位差法、渦電流探傷法、磁気探傷法

曲がり管欠陥モニタリング試験

長尺管欠陥モニタリング試験

X線CTを用いた分割型高温超伝導マグネット接合部非破壊検査

クラックレーダー（マイクロ波非破壊検査法）の開発

マイクロ波が配管内を高速に伝播する。配管内に欠陥がある場合、マイクロ波が反射する。

配管内欠陥の高速モニタリングを実現！

減肉位置予測実験データ

数値解析による管内電磁場分布解析 (電場管軸方向成分振幅)

配管内欠陥の高速モニタリングを実現！

50.0 mm  
 1.0 m  
 1.5 m  
 50.0 mm  
 9.5 mm  
 Microwave  
 Pipe wall  
 Coaxial Cable  
 Core Wire  
 断析体系  
 減肉部  
 減肉あり  
 減肉なし

### 研究テーマとその概要

- 分割型高温超伝導マグネットの設計・開発
- 先進液体ブランケットの設計・開発 (Flibe ブランケット、液体Liブランケット)
- 自己形成流動場を利用したダイバータ冷却技術の開発
- 核融合炉機器信頼性担保のための非破壊検査/評価技術の開発
- 核融合中性子の有効活用による高レベル放射性廃棄物の核変換システムの開発

### 2021年度の卒業生進路状況

[博士後期：山陽小野田市立山口東京理科大学(助教)] [博士前期：Texas Instruments, 京セラ, 東芝インフラシステムズ, IHI原動機, 博士後期課程進学] [学部：東洋熱工業]