

次世代エネルギー技術の物理基盤に係わる研究



研究室紹介

福田 武 司*

Fundamental Physics Research for Exploitation of
Next Generation Energy Source

Key Words : Nuclear Fusion, LMFBFR, Magnetohydrodynamics,
Energy Transport, Maxwell Tensor

1. はじめに

当研究室が所属する環境・エネルギー工学専攻量子エネルギー工学講座は、エネルギー・資源などの社会基盤を支える技術とシステムに関する分野を中心とした教育・研究の一翼を担っている。平成17年の発足以来、同講座は長期的な経済成長と環境保全の両立に係わる中核技術である原子力エネルギーの研究開発を幅広く推進し、世界に誇る先駆的な研究成果と特筆すべき教育効果を挙げて来た。

一方、環境・エネルギーに関わる近年の社会的情勢や大学教育における長期的展望を鑑みると、幅広いエネルギー開発と応用の研究に必要な基礎分野の学術面における発展的拡充を目的とした分野横断的な教育・研究を重点的に実施する領域の設置が望まれる。これを踏まえ、従来から蓄積して来た原子力エネルギー技術の高度な活用を進めるとともに、基礎研究の学際的拡充を図ることによって量子エネルギー科学の革新的な利用形態を提案し、社会の持続的発展に貢献することを目的とした教育と研究を担う領域を平成25年度に設置し、その名称を量子エネルギー基礎工学領域とした。本領域では、次世代エネルギー技術の物理基盤に係わる研究を所掌する

とともに、混相流や電離気体における構造形成の動力学に注目した基礎研究、核融合炉や高速炉に関連する技術開発などを主に実施している。

2. 研究内容

核燃焼プラズマにおけるエネルギー輸送の他、高速炉の熱流動などの幅広い学際領域における渦と揺らぎの動力学が関与する自律的構造形成に注目した基礎研究を進めている。また、電離気体工学や量子科学分野（計測診断技術等）における応用研究を併行して展開している。以下、核融合と高速炉（液体金属の熱流動研究関連）、エネルギー基礎物理の3項目について研究の概要を記す。

2.1 核融合研究

次世代のエネルギー源として期待されている核融合の研究は、欧州で建設が進んでいるITER（国際熱核融合炉）の核燃焼プラズマ実験で工学的成立性を検証する段階にある。しかしながら、炉心プラズマ性能に顕著な影響を及ぼす乱流輸送の物理機構は未だ十分に解明されておらず、ITERの設計には国際協力活動で構築したデータベースを基に導いた経験則を援用している。数億度の超高温プラズマにおける温度と密度の分布は、磁場配位のほか乱流揺動による構造形成や流れ場の振れと密接に関わっており、統合的な理解を目指した研究が世界各国で重点的に進められている。

当研究室では、トロイダル系閉じ込め装置における普遍的な輸送機構を明らかにし、炉心性能の向上を図るため、共同研究の枠組みで原子力機構や核融合科学研究所に向いて実験したりBX900 計算機を用いた数値解析を遠隔で行ったりしている。核融合実験装置の大型化が進み、文部科学省指導の下で



* Takeshi FUKUDA

1956年12月生

大阪大学大学院工学研究科 原子力工学専攻博士前期課程修了（1983年）

現在、大阪大学大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 量子エネルギー工学講座 量子エネルギー基礎工学領域教授 工学博士 磁気流体力学

TEL : 06-6879-7918

FAX : 06-6879-7918

E-mail : fukuda.takeshi@see.eng.osaka-u.

ac.jp

URL <http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/>

seeeb/seeeb

平成7年度に整理統廃合が行われた結果、多くの大学は拠点となる研究機関に赴いて実験を実施している。乱流揺動の強度と成長率を計算するGS2と輸送解析コードGLF23を用いた最近の研究では、電子加熱が支配的となる核燃焼プラズマで輸送を低減するためには非軸加熱による分布制御が重要であることを示した。また、平衡解析コードTOSCAを用いて独自に開発したトカマク装置(写真1)では高周波加熱・電流駆動設備と種々の計測器を用いて波動物理や放電制御に係わる外挿性の高い実験研究を展開している。

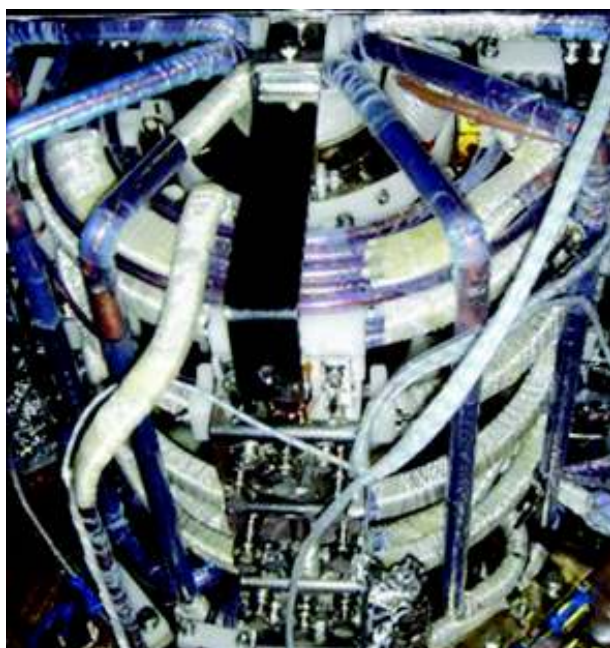


写真1

2.2 高速炉熱流動工学

従来より、導電性の高効率熱伝達媒質である液体金属は、重要な機能材料として注目されており、高速炉の冷却材として利用されている。当研究室では、人間の目には美しい鏡面に見える液体ナトリウムが真空紫外の波長を感じる目には半透明である(ドルーデ理論や密度汎関数法を用いた第一原理計算に整合しない)ことを利用し、真空紫外光を効率的に散乱する追跡元素を添加して、輝度分布の2次元画像を高速カメラで観測すること(粒子画像速度計測法)により、液体ナトリウム内部における流れ場の高精度可視化を実現する研究を進めている。

平成18-20年度に実施した原子力システム研究開発事業では、フッ素エキシマレーザー光を誘導ラマン散乱で波長変換する方式を採用したことから、スペクトル強度の低い反ストークス成分を用いた液体ナトリウムの透過計測を実証規模に拡張するのが困難であった。これを解決するため、アルゴンのエキシマ分子を電子ビームで励起する高強度真空紫外光源に切り替え、原子力機構等との連携のもと速度場計測の高性能化を図っている。また、機械的な外部摂動に対する応答特性や渦の構造形成に係わる動力学的な挙動を詳細に解析して、混相流体における気液界面の動力学やエネルギーの散逸過程を明らかにするとともに、大規模渦模擬計算の結果との比較検討を行うことによって、従来の理論模型を検証する試みを専攻内の講座間連携で実施している。写真2は、試験に用いている流路長15mの液体ナトリウム循環装置である。さらに、液体ナトリウムが導電性の作動流体であることを鑑みて、電磁場(ローレンツ力)による流れの構造制御に踏み込んだ基礎研究を展開し、原子力を含む幅広い分野における技術開発に資する学術基盤の構築に取り組んでいる。

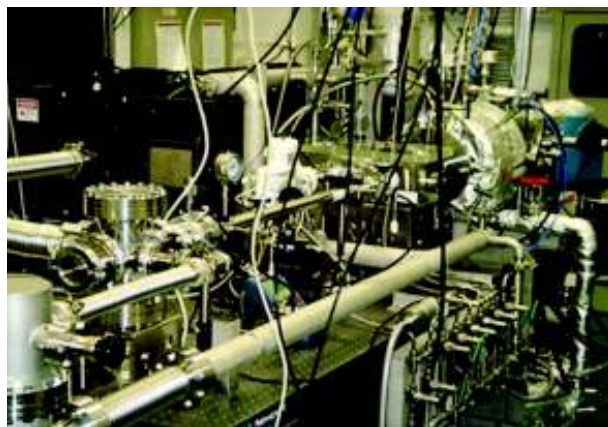


写真2

2.3 エネルギー基礎物理

核融合プラズマや高速炉の液体金属に留まらず、米国NASAのWMAP衛星で観測された画像など宇宙空間を含む自然界に幅広く見られる磁気流体(導電性気液混相流体)が作る渦や実空間における不連続な構造と帯域の広い揺らぎ、流れ場の歪みが相互作用する散逸系における運動量とエネルギー束の流れを相対論的電磁気学に倣った枠組みで包括的に理

解する試みを進めている。

WMAP 衛星のデータ解析には分布関数を論じる統計的手法が用いられているが、実空間（フーリエ空間）で異なる特性長（波数ベクトル）を持つ複数の物理現象が作る場（の歪み）が互いに作用して（逆）カスケードを起こしたり、特徴的な構造を形成したりする過程（エネルギーの流れが関与する動力学）を記述する理論模型が構築できれば幅広い分野における数多くの疑問が解決できると期待される。

また、電離気体工学（前頁の写真に示す宇宙機用ヘリコン波原動機やPPT〔脈動型プラズマ推進機〕の開発など）や量子科学分野（計測診断技術など）における応用研究を併行して展開している。後者に関しては、核融合プラズマの磁場揺動輸送（近年の電子系短波長静電揺動研究に続く注目課題）や地震研究に直結する環境磁場計測を鑑み、原子磁力計（プロトン磁力計）の検討を進めている。回転する円偏波でスピン偏極した原子のプリセッション周波数を基に磁場強度を求める計測法で1950年代後半に提案されたが、計測技術の発展を背景に昨今ではSQUID（超伝導量子干渉計）に匹敵する性能が報告されている。当研究室ではプラズマ計測分野で蓄

積した知見を基に「揺らぎの計測」に重点を置いた検討を進める計画である。

3. おわりに

研究室の紹介に際して毎年学生（学部生）に話す内容を以降に記す。大学院生には間違いを恐れずに自分で考える（疑う）ことの重要性や高い総合点よりも狭い分野における突出した専門家の優位性を説いている。

我々の周囲には不思議なことや分からないことが数多くあるが、大切なのは先ずそれらを認識して「なぜだろう」と思う気持ちを持つことである。直ぐに問題を解決する必要はないが、簡単に諦めないことが肝要である。複雑系の代表格である核融合や次世代の原子力発電を担う高速増殖炉などのエネルギー関連学際分野は数十年に及ぶ研究開発を経て新しい展開を迎えようとしている。当該の領域で急務とされている物理課題に取り組み、粘り強く自分で考える力を涵養すれば分野を問わず必ず役に立つ力になる。また、関連する論文を読むのも大切だが、人間が直感で捉える時空間を離れる思考の転換がしばしば威力を発揮することは科学的に明らかである。難題に直面した場合に思い起こして欲しい。

