

## ユニットテーマ提案書

### 1. ユニットテーマ

複雑系のための実験計画法, Design of experiments for complex system

### 2. 提案者 (氏名・所属)

小林達哉(NIFS), 藤澤彰英(九大), 永島芳彦(九大), 井戸毅(九大), 佐々木真(日大)

### 3. テーマと研究内容の概要

非線形現象の宝庫である磁場閉じ込め乱流プラズマにおいて、その振る舞いをモデル化する研究が世界的に進められている。乱流プラズマのような複雑系では、マクロスコピックな物

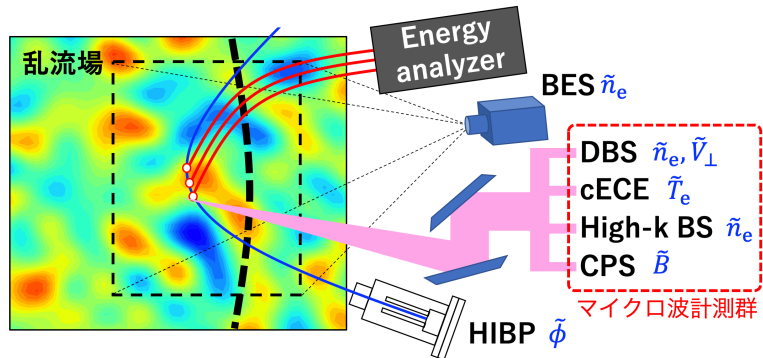


図1. 異種計測器連携運転の例

理量のみに基づく研究では、背景物理の定式化が困難である。本ユニットでは、マクロスコピックな現象を駆動する輸送、応力、およびそれらの空間不均一性をミクロスコピックな乱流計測を基に定量化し、モデル化に活用するというアプローチをとる。

乱流輸送を直接観測するためには、比較的容易な密度揺動計測だけでなく、静電ポテンシャルや温度の揺動計測を同一地点で同時に行う必要がある。これらを実現するため、異種計測器連携運転(図1)を行う。また、空間不均一な乱流輸送・応力の定量化のためには、多点同時計測の実施が重要となる。これらの完全な実施は一般的に困難を極める。そこで本ユニットでは、ヴァーチャル空間上に再現した実験装置とプラズマシミュレーション、および計測原理模擬を用いて、複雑系のモデル化に必要な乱流計測器のスペックや連携方法、空間不均一性の定量化に必要な空間点数を予め予測する。その予測に基づいて実験で乱流計測を行うことで、プラズマ乱流の未解決課題(LH遷移, 非局所輸送, 同位体効果など)に回答を与え、自己組織化の起源を追求する。これらの方法論を、複雑系のための実験計画法として体系化する。

### 4. 位置づけ

従来的なフィッシャーの実験計画法は、限られた実験機会において有益なデータを効率的に取得するための方法論であった。これらは線形・重ね合わせの原理に即しているため、乱流プラズマのような複雑系においては効果が限定的となる。本ユニットでは、乱流輸送の定量計測に基づいた、複雑現象の模擬実験に関する方法論を体系化し、複雑系のための実験計画法として提唱する。

磁場閉じ込めプラズマは、(1) 電磁的・光学的性質を利用した多様な乱流計測手法が確立されている、(2) エネルギーの総流出入が既知であり、定量性の検証が可能である、(3) 乱流シミュレーション手法が成熟している、という理由から、研究手法を最初に適用する場としてふさわしい。

## 5. 研究の方法

九州大学の PLATO トカマク装置のハードウェアや生成されるプラズマをヴァーチャル空間に模擬し、定量乱流輸送計測が可能になる計測器連携システムを構築する。PLATO は乱流計測に特化したハードウェア構成と高いアクセシビリティを持っており、定量乱流輸送計測を実証する上で有用である。シミュレーション空間上で異種計測器連携を模擬し、輸送計測の定量性を評価する。その結果に基づいて計画した計測器構成を現実の PLATO 装置に導入し、定量乱流輸送計測を実証する。エネルギー保存則から求めた総輸送量と、乱流計測より求めた輸送量の空間積分値を比較することで、定量性の検証を行う。PLATO において、非局所輸送現象や水素同位体効果、輸送分岐現象などの背景物理を研究する。研究費は、科研費などの外部資金をユニットメンバーが取得する。

PLATO で得られた知見を基に、より定量的乱流輸送計測に特化した新規実験装置の設計研究を行う。高磁場側の輸送や運動量輸送の上下非対称性などを計測するため、大域的な計測器システムを構築する。大型プロジェクト予算の獲得を目指し、日本学術会議マスタープランへの応募を行う。また、実験計画法、計測器連携技術、定量性検証法をパッケージ化し、国内外のプラズマ実験装置に提供する。更に、方法論を他分野に向けても提案する。燃焼プラズマにおける学術基盤となるのみならず、複雑系物理一般への波及効果をもたらすことを目指す。

## 6. 自己評価

### 1) 未来志向であること

既存実験装置に個別の計測器を後付けするという研究方式を脱し、輸送の定量計測を目的とした計測器群を構築することで、新たな研究手法を確立する。未開拓の研究手法である、ミクロスコピック領域における輸送と応力の定量化という課題に取り組み、新たな実験的知見を得る。

### 2) 目標を具体的に示していること

複雑現象の代表的な例としてプラズマ乱流を取り上げる。定量性の具体的な数値目標を設け、シミュレーションを駆使して計測器システムを構築する。その後構築した実験計測システムを現実世界で運用し、諸問題解決に当たる。提案する実験計画法の有効性をプラズマ乱流で実証することで、一般的な複雑現象の実験の方法論として定着させることを目指す。

### 3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと

PLATO での成功例を示し、実験計画・異種計測器連携運転を前提とした乱流輸送計測システムを一般化・標準化させる。プラズマ乱流物理という複雑系物理のケーススタディに留まらず、実験計画法を方法論に昇華させることを目標とする。また複雑系模擬実験の概念を他分野においても宣伝し、アイデアを受け入れ共同研究を活発化させる。

### 4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

実験計測システムの構築には、乱流計測だけでなく、乱流物理、乱流シミュレーション、実験ハードウェアの専門家の協力が必要である。また、乱流理論、情報科学、構造形成物理を扱う他のユニットに実験で得られた輸送の詳細データを提供し、連携研究を進める。乱流輸送計測器が整備されたプラズマ実験装置を、プラズマ核融合分野と広い開放系・複雑系物理分野とをつなぐハブ的な役割を果たすプラットフォームとして提供する。