

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

フローと構造形成の非線形ダイナミクス

2. 提案者（氏名・所属）

高橋裕己（NIFS）、清水昭博（NIFS）、吉村泰夫（NIFS）

3. テーマと研究内容の概要

テーマの意味：

磁場閉じ込めプラズマにおいて、フローあるいはそのシアがプラズマの閉じ込めや安定性に大きな影響を与えることが広く知られている一方、閉じ込め改善に代表される非線形なフロー・構造形成メカニズムは未解明の重要課題である。本ユニットではプラズマ中での非線形なフロー・構造形成の発現機構と、その発現の結果、なぜ発現前とは異なる平衡状態になるのかを追求する。

具体的な研究課題：

本ユニットでは閉じ込め改善とフローの関係の解明を中心課題に掲げ、その課題を分節化し、多角的にアプローチする。具体的には、アクチュエータによるフロー駆動・フラックス制御、磁場の対称性・トポロジーとフロー、粘性の非線形性による突発的フロー形成、高マッハ数でのショック、乱流とゾーナルフロー、フローと不純物輸送、非対角輸送などの物理トピックに加え、フローを考慮した配位最適化研究や、そのフィージビリティ研究など、モデリングや工学研究も対象とする。

10 年間のプロジェクトで達成する目標と予測される成果の学術的な意義：

磁場閉じ込めプラズマ中で、非線形なフロー形成・構造形成を引き起こしその前後における異なる平衡状態を決定づけるパラメータ(ズ)を明らかにし、定式化と物理的解釈の提示をする。非線形なフローと構造形成の定式化により、プラズマの機能や分布の制御が可能となり、核融合炉実現の最重要課題であるダイバータ熱負荷制御や出力制御に対して有効な指針を与える。さらに、一般的な法則化ができれば、自然界で見られる構造形成や、人の集団行動原理の解明につながる。

4. 位置づけ

研究課題の背景：

フローは磁場閉じ込めプラズマの輸送や安定性に大きな影響を与えるが、どのような条件を満たすことで閉じ込め改善が起こるのかは、依然として未解明の研究課題である。また、閉じ込め改善の度合いは、核融合炉の実現性・コストに大きく影響するため、閉じ込め改善が起こった後に、どのようなフロー分布や構造が形成されるのかは重要な課題である。

関連するテーマとの比較・特徴・独創性・有意性：

流れと構造形成の関係は自然界で広く見られるが、生物群の特徴的な構造形成や、太陽フレアなど

2ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

の天体現象では、再現性が担保できない、人が制御できない、時空間スケールが大きいなどの理由で、実験研究による系統的アプローチが限定的となり、法則化が困難である。

一方、プラズマ研究では第一原理がわかっており、コレクティブな荷電粒子集団の中で、構造形成ダイナミズムのもととなるフローや閉じ込め磁場を制御でき、また、高精度で集団の状態を調べることができる。再現性を得ることも容易であり、これらが本研究の強みである。さらに、磁場を二次元から三次元まで制御可能、すなわち環境自由度の能動的制御が可能であるため、集団運動のトレンド(流れ)と集団が形成する構造に対する環境の影響を調べることができる。トレンドと構造の関係を突き詰めると、自然科学にとどまらず、消費者心理・パニック心理といった、人の集団行動原理を研究する学問(心理学、社会科学)にもつながり、幅広い研究分野への波及が見込まれる。

5. 研究の方法

本研究での対象装置に求める最重要の機能は、フローの広範囲での能動的制御、かつ、フローの高精度計測ができることである。そのため、QAS 配位の世界初の実機 CFQS を主プラットフォームとし、HIBP による世界最高精度のフロー計測、定式化の糸口をつかむためのデータ駆動手法、先進的計測シミュレータなどを活用して課題に取り組む。他方、国内外の環状装置と連携し、それぞれの装置の機能や特徴を活かした実験を行い、装置間比較を通じた原理検証研究、実証研究を行う。フローと構造形成の非線形相互作用を考慮したシミュレーションやモデリングを行い、実験結果の予測可能性の検証をイタレーティブに進め、定式化につなげる。また、他分野で見られる『流れと構造形成』との間に横たわる普遍的な法則を見出すため、分野間連携研究を積極的に推進する。本ユニットでは先進ヘリカル配位の QAS 装置でフローと構造形成の発展的な研究を行いつつ、さらに、マスタープラン申請を視野に入れた、中・大型の先進最適化配位装置での研究展開を検討する。

6. 自己評価

1) 未来志向であること

フロー形成と閉じ込め改善機構の解明は 40 年来の重要課題であり、その解決は磁場閉じ込めプラズマ研究のブレークスルーとなり、核融合エネルギー実現に向けた大きなステップとなる。また、本研究は世界的潮流である磁場配位最適化研究を先導し、そのアクティビティに指針を与える。

2) 目標を具体的に示していること

本ユニットテーマに対し、非線形なフロー形成・構造形成を引き起こし閉じ込め状態を決定づける因子の解明、並びに、その定式化というアプローチ可能な目標を提示している。そして、それに取り組むための適切な機能を備えた現実的プラットフォーム、具体的手段、研究展開を示している。

3) 10 年後に学术界に輝くテーマに育つこと

プラズマの『フローと構造形成』と、自然界や人間社会における『流れと構造形成』のアナロジーを、実験室プラズマ研究の強みを活かして法則化し、学术界に大きなインパクトを与える。

4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

フローと構造形成のテーマは極めて多様に分節化された研究トピックを包摂する。また、小・中型装置での研究は、装置全体を俯瞰する視点の涵養など、若手研究者や学生の教育に資する。