

軸	システム
ユニット名 (英文名)	構造形成・持続性 (Structure formation and sustainability)
核融合科学の キーワード	閉じ込め遷移現象, 分岐現象, 定常維持, プラズマ加熱, 高エネルギー 粒子, 中性子計測, アルヴェン固有モード, 電流駆動, MHD 平衡・崩 壊現象, ショック構造, フローと安定性, 複数イオン種輸送, 配位最適 化, 準対称性, 外部コイル, 小型化
学際的展開の キーワード	非平衡開放系, 構造形成, 自己組織化, 非平衡定常系, エントロピー生 成, エントロピーバランス, 代謝, 多目的最適化, 高次元構造, 隠れた 対称性, 不変測度
研究組織	<p>① 核融合研職員 (氏名, 専門分野)</p> <p>山口裕之, 統合シミュレーション, 加熱シミュレーション, 配位最適化 佐竹真介, 新古典輸送理論・シミュレーション, 配位最適化 奴賀秀男, フォッカープランク解析, 高速イオン解析, 統合コード 高橋裕己, プラズマ加熱, 閉じ込め性能改善, 高性能プラズマ 吉村泰夫, 電子サイクロトロン加熱・電流駆動 清水昭博, 揺動計測, 準対称配位物理, 最適化配位, 小川国大, 高エネルギー粒子物理, 計測, シミュレーション 長壁正樹, 高エネルギー粒子, 中性子計測, ビーム物理 磯部光孝, 高エネルギー粒子, 中性子計測, 準対称配位物理 川本靖子, 不純物イオン計測, 高エネルギー粒子計測 西村伸 , 高エネルギー・熱粒子新古典現象, 準対称配位 市口勝治, MHD 理論, シミュレーション, MHD 安定性 伊藤淳 , MHD 理論, 数理物理, 2 流体効果</p>

ユニットが掲げる研究目的の概要

本ユニットでは、閉じ込め改善と定常維持という磁場閉じ込め核融合の未解決課題を、物質・エネルギー・運動量等の流れの中における構造の形成と持続性の物理の問題として引き受ける。現実の多くの持続的なシステムは、上流と下流の間の絶え間の無い流れの中に置かれている。我々の興味の対象は、そのような流れの中に一定の再現性を持って現れる、自明でない不均一な分配状態としての構造であり、また、そのような構造が減衰や崩壊を免れて維持される持続性の物理的なメカニズムである。上流からやってきたエネルギーや運動量などの物理的実体が、システムを構成する複数の要素に対していかに分配されることでそれらの要素が持続的に共存するのか、あるいは遷移や崩壊へと至るのかという、非平衡開放系における流れと分配の蓋然性が本ユニットの中心的なテーマである。このテーマに対し、核融合科学独自のアプローチを軸に学術研究として取り組むことで、装置方式固有の知見の集約を脱却し、磁場閉じ込め核融合炉の未解決課題である閉じ込め改善現象の物理解明と定常維持手法の体系化、および核燃焼プラズマ定常閉じ込めのための新しい閉じ込め配位概念の創成につなげる。

研究課題の定式化

平衡系にエネルギー以外の保存量があるとき、エントロピー最大の停留点において非自明な構造が作られることが示されてきた。一方、流れの中に置かれた非平衡開放系に対してそのようなアプローチが可能か、どのような物理量の停留点をとるべきかといった点は、まだ未解決の問題である。プラズマ閉じ込めにおける磁場は、荷電粒子系の可能な分配状態に対する基本的な制約であって、プラズマ閉じ込めは、与えられた外部磁場と、物質・エネルギー・運動量入力などの境界条件、そして初期条件に対する最も蓋然性のある状態として実現される構造形成と考えられる。これらのことを踏まえ、プラズマにおける輸送の非線形性と磁場構造との関係を体系的に明らかにすること、エネルギーの吸収、緩和過程、力学的平衡、輸送といった物理・スケールの異なる現象が相互に結合したシステムとしての長時間のダイナミクスおよび持続的な閉じ込め状態を理解すること、および、これらに立脚して、エントロピー生成率最大原理・最小原理、またそれらを包括する拡張された原理等の、特定の系によらない普遍的仮説の探究、適用、検証を行い、ある種のポテンシャル関数の停留点としてプラズマの定常構造を理解することを試みる。

研究の進め方

実験と理論シミュレーションの協働体制によって研究を展開する。構造形成の駆動源となるエネルギーの吸収とその緩和・散逸過程、流れを伴う力学的平衡とその安定性、巨視的な分布や流れ場における遷移と分岐、複数粒子種間のバランスなど、フラックス駆動系としての物質・運動量・エネルギーの一連の流れを包括する形で、構造形成の上流から下流までをカバーするとともに、統合的記述につなげる。階層性の消失や乱流現象については、ユニッ

ト間連携も活用する。実・速度空間計測などの先進的な技術開発とシミュレーション技術の両面で、これまで培ってきた国際的な協力体制を活かし、研究の加速とリードにつなげる。これまでの実験研究、理論研究から予言されつつも、既存の磁場配位、加熱機器、計測機器では検証が難しかった物理課題に着目し、その解決という形で、戦略的に実験研究を進める。その中で、核融合研が設計し、世界初の準軸対称磁場配位装置となる CFQS も活用し、閉じ込め遷移の非線形性に対する磁場構造や共鳴粒子の役割の明確化など、成果創出を主導する。環状プラズマに関するこれまでの基礎的研究、および核融合科学で培われてきた精密な理論研究に立脚し、現実の磁場配位を考慮できるシミュレーションによる数値実験により、エントロピー生成率等の精密な評価を行い、多様な磁場配位における実験との比較検証を行う。閉じ込め配位最適化において、上述の研究活動の成果を注ぎ込み、プラズマの自己組織化を活用して核燃焼プラズマの高効率閉じ込めを目指すという独自の方向で、閉じ込め配位設計を行う。

期待される研究成果、その学術的価値、波及効果

特定の系によらない具体的な原理を探究しその検証を行うことで、生命科学や地球環境等の他分野との議論が可能となり、また、非平衡開放系一般の構造形成、維持・遷移・崩壊に関する分野を問わない理解が得られる。海洋循環や生態系、経済ネットワーク等においても検証・適用が行われてきているエントロピー生成最大原理など、共通の枠組みでの議論の土壌がある程度できている。地球温暖化においては、エントロピーバランスの変化が気候状態の急激な遷移を引き起こすことも懸念され、物質・エネルギー循環の大域的な構造が決定される機構の理解は喫緊の課題であり、相当の波及効果が予想される。代謝する生物とその進化の方向、地球の物質・エネルギー循環、社会といった複雑な秩序構造の持続あるいは遷移・崩壊の統一的な理解に寄与できる可能性がある。

核融合分野での優位性、独創性、学際的な特徴

準軸対称配位での実験は世界初のものであり、閉じ込め遷移現象の物理解明や、既存の非軸対称実験装置では検証が困難となってきた理論予測の検証、トカマクとヘリカルの違いと共通点を明確化する新しい知見の創出が期待される。重イオンビームプローブによる帯状流の計測や、高速イオン計測機器、中性子検出器の開発と運用といった高精度計測の技術と経験を有しており、当該研究分野を世界的にリードすることが期待される。非軸対称系の現実的な磁場配位を取り扱うことのできる輸送理論、MHD 理論、シミュレーションコード群とノウハウを有している。独自の最適化コードにより、従来の最適化では取り扱われてこなかった磁場・装置構造の詳細を考慮した磁場配位および装置設計が可能となってきた。本ユニットでは、磁場による束縛の下での自己組織化という観点からプラズマの自律的な構造形成の包括的理解を試み、これを配位設計に応用することで高効率閉じ込めを探究するという点で、国内外の他の研究グループとは異なる独自のアプローチと言える。