



永岡賢一教授

*永岡賢一 教授 Kenichi Nagaoka, Prof.

プラズマとは

宇宙空間内のほとんどの物質は、原子がイオンと電子に解離した「プラズマ」という、固体、液体、気体に次ぐ、「第4の状態」で存在しています。日本語で「電離気体」と訳されるプラズマは、温度の高い荷電粒子の集合体ではあるが全体としては電気的に中性を保っています。このためプラズマは、気体としての性質を残しつつも個々の粒子は電磁力の支配下にあり、離れた粒子間でも互いに影響を及ぼし合います。このような性質のためにプラズマは、その振る舞いが一気に複雑化し、多くの波や不安定性が励起され、自由度の大きい非線形媒質としての様相を呈します。ΣE研は、この「非線形現象の宝庫」と言われるプラズマを遠い宇宙に求めるのではなく“手の届く”実験室に実現し、能動的にプラズマに働きかけることによりその本質を探ろうという研究室です。

研究対象

プラズマは、複雑性科学を研究する対象としてとても魅力的なものです。個々の粒子の振る舞いは、シンプルに理解できるが、非常に多様な集団現象が知られており、なかなか全容を理解することができません。この難しさが科学としての面白さでもあります。プラズマを用いることのひとつの利点は、多様な計測手法です。荷電粒子は電磁場との相互作用をするため、波動をはじめと

した電磁場を持ちいた様々な計測が可能です。また、プラズマ加熱をはじめとする外部制御手法も核融合エネルギー開発や半導体加工技術の開発などにより進展してきました。本研究室では、このプラズマや流体を対象として、極限的な非平衡状態に現れる非線形現象の中に、マクロ系の普遍性を追求し、理解を深める研究を行ってきました。近年では、さらに、非線形現象により発現する様々な機能を制御することを目指した研究も行っています。トラスプラズマの乱流輸送を磁場で外部から制御することや、プラズマ中の異なるイオン種の選択的輸送を制御することは、核融合エネルギー開発に直結する課題でもあります。幅広く社会に役立つことも視野に入れて、物理の難問と一緒に挑戦してみませんか？

【磁気流体波動の非線形性の解明】磁場閉じ込め核融合プラズマ中に加熱用ビームを入射するとビームイオンが磁気流体波（アルベン波）を励起します。このアルベン波は、非常に速い周波数挿引、間欠的な励起など非線形な振る舞いを示します。また、ビームイオンの選択的な損失を引き起こす問題を生じます。この非線形な振る舞いを理解するため、波動粒子相互作用を直接観測し、アルベン波に対するイオン分布関数の応答を観測することに挑戦しています。この手法は、2016年12月に打ち上げられたジオスペース探査衛星「あらせ」が地球磁気圏の放射線帯に存在するMeVレベルの高エネルギー電子の起源を検証する手法と同じです。核融合プラズマにとって重要な研究であるだけでなく、宇宙プラズマの研究にも貢献できるかもしれません。

【乱流輸送と構造形成】磁場閉じ込めプラズマはほとんど乱流状態であり、乱流が駆動する輸送がプラズマの温度、密度を制限しています。乱流中にゾーナルフローと呼ばれる帯状の流れが大規模に励起されると乱流輸送レベルが低下して、閉じ込め改善と呼ばれるプラズマ性能（温度や密度）が高くなります。LHDプラズマを使って、ゾーナルフローが磁場の幾何構造に依存する性質を利用して、閉じ込め改善を実現する実験に取り組んでいます。数値



ΣE研のメンバーたち

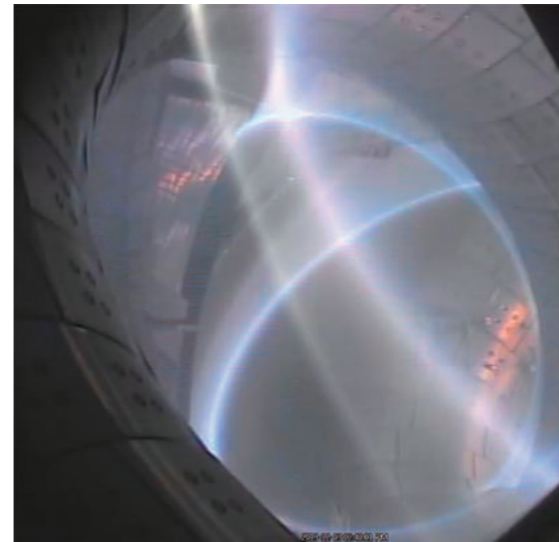


図1. 超高温度プラズマ（イオン温度9400万度）の写真。白く光っているのは、周辺部の低温プラズマ。

シミュレーションによる解析と合わせて、磁場閉じ込めプラズマの乱流輸送の理解とその制御を目指した研究に取り組んでいます。

【電気対流乱流実験】宇宙プラズマや磁場閉じ込めプラズマは、乱流状態にあるだけでなく自発的な構造形成を伴う複雑なシステムです。そのような複雑なシステムの性質を理解するために、シンプルな系で実験を行うことにより基本的な性質を一つずつ調べるアプローチで挑戦しています。近年、液晶セル内部にシア流を生成させる装置を開発し、流れ/シア流と乱流、乱流境界層などに注目した実験を行っています。シア流がある場合に、乱流領域と対流安定領域の境界に現れる特異な輸送現象を発見しました。強い非平衡状態における非線形現象の実験研究が進展しています。

【負イオンプラズマダイナミクスとビーム集束性】大型の磁場閉じ込めプラズマを加熱するためには、大電流負イオンビームが必要です。ドイツのマックスプランク研究所との共同研究で、負イオンビームの集束性の研究に取り組んでいます。1つの穴から引き出される負イオンビームが、3つのガウスビーム成分からなることを実験観測から初めて指摘しました。長年の未解決問題である負イオンビームの引き出し界面形成の物理モデル構築に重要な寄与を与える成果であり、ITER用負イオンビームの開発にも貢献が期待されます。負イオン源プラズマは、水素正イオンと水素負イオンからなる『ペアプラズマ（正負の電荷をもつ粒子質量が同一）』であるため、通常のプラズマの集団的振る舞いが全く異なります。宇宙では、電子・陽電子プラズマのペアプラズマの存在が指摘されており、



図2. 真空容器内でビーム計測器の改造を行っている様子。



図3. 液晶電気対流で生成した乱流構造。

重要な研究対象となっています。水素ペアイオンの集団的な振る舞いを理解し、制御する方法を開発することにより、負イオンビーム応用や宇宙プラズマの理解への貢献を目指した研究を行っています。

ΣE研における院生の研究活動では、テーマの選定から遂行、論文執筆に至るまで、本人の希望と自主性が最大限に尊重されます。テーマや実験内容に応じて、核融合科学研究所の施設を最大限活用することが可能であり、スタッフも柔軟に対応できる体制を整えています。プラズマ物理の（に限らず）実験研究では、先端技術を駆使した高性能計測器の独自開発が極めて重要です。この理念の元、当研究室では機器の開発研究にも重きを置いています。手作り計測器でトップレベルのデータが得られる場合も少なくありません。院生は在学中、プラズマ物理からエレクトロニクス、計算機科学に至るまで、幅広い知識を習得することができます。

最近の修士論文・博士論文

- 負イオンビーム集束性に関する研究
- 大型ヘリカル装置における高速イオン励起アルベン固有モードの安定性に関する研究
- 液晶電気対流を用いた乱対流と流れ及び界面の相互作用に関する実験研究
- 磁力線の測地曲率に着目したトラスプラズマの乱流輸送に関する研究
- 液晶電気対流を用いた乱流境界領域における粒子輸送の実験研究