



永岡賢一准教授

\*永岡賢一 准教授 Kenichi Nagaoka Assoc. 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分離した「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」中国語で「等離子体」と訳されるプラズマは、漢字が表現するとおり、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る、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。

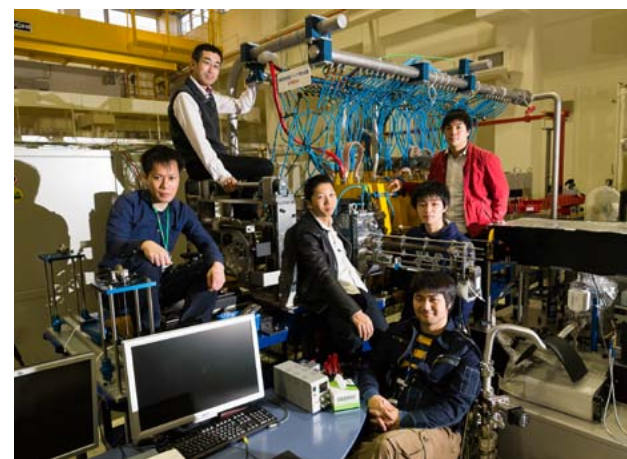
## 研究対象

プラズマは、じつは身近にたくさん存在します。発光している蛍光灯のガラス管内部では、プラズマ状態になっており、プラズマを使った製品は、ネオン管、ディスプレイなどたくさん身の回りに存在します。パソコンなどに使われる半導体の集積回路の製作工程の70%程度にプ

ラズマが用いられているなど、現代社会の基盤技術にも必要不可欠となっています。非線形現象の宝庫であるプラズマの性質を明らかにして、プラズマの制御技術を発展させることは、社会生活の更なる進展に貢献ができるのです。その典型的な応用として、核融合発電への応用が研究されています。核融合を実現するためには、燃料となる水素同位体を1億度以上の高温にする必要があります。プラズマを磁場で閉じ込めて加熱することで、核融合燃焼反応を起こすための研究が世界中で行なわれています。ΣE研は核融合科学研究所（岐阜県土岐市）で、世界最大級の大型ヘリカル装置（LHD）や直線型高密度発生装置（Hyper-I）、中性粒子ビーム試験装置（NBTS）、回転乱流実験装置（RHD）など、大小様々な実験装置を使った実験研究を行っています。現在行なっている具体的な研究内容をいくつか紹介します。

**【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、アルベン波に応答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では、閉じ込め改善と呼ばれる輸送レベルが低下して、プラズマ性能（温度や密度）が高性能化する現象があります。LHDプラズマでもコアプラズマ領域でイオン熱輸送が改善し、プラズマ中心が顕著に高温化する現象が観測されてい



ΣE研のメンバーたち

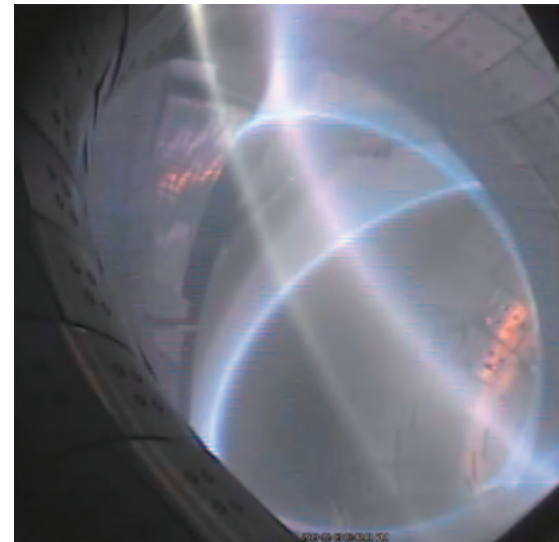


図2. 超高温度プラズマ（イオン温度94000万度）の写真。白く光っているのは、周辺部の低温プラズマ。

ます。この閉じ込め状態の変化に伴い、不純物イオンの吐き出し現象やプラズマの回転の高速化が観測されています。これらの現象は、乱流の性質の変化によるものと考えられており、その物理的素過程を調べる研究を行っています。

**【回転乱流実験】** 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調べ、回転や磁場のような軸性ベクトル場との結合や空間不均一性の影響などを一つずつ調べるアプローチで挑戦しています。液晶を用いた電気対流乱流を回転させて、乱流や乱流拡散に与える回転の影響を調べる実験を行っています。電気対流乱流を用いた太陽対流層の模擬実験にも挑戦しています。

**【負イオンプラズマの生成とダイナミクス】** サイズの大きな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。水素負イオンは、水素原子核の周りに電子が2個束縛されている状態であり、大量に生成することは容易ではありません。水素正イオンと水素負イオンからなるプラズマ状態（ペアイオン）を生成し、ビーム生成過程の研究を行っています。ペアイオンプラズマは、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ると考えられています。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、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の検証を



図3. らせん状に巻いた高周波アンテナにより生成されたプラズマの発光。

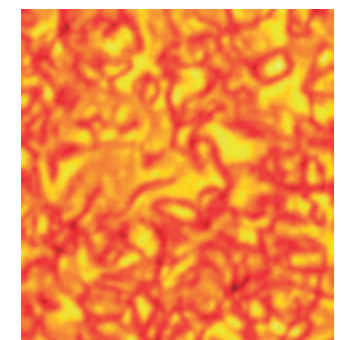


図4. 液晶の中に生成した電気対流乱流の速度場（実験観測）。粒子追跡により乱流輸送の実験的評価も行なっている。

視野に入れた研究にも挑戦しています。

**【先進プラズマ計測開発】** レーザーを駆使した先進的な計測手法を開発し、プラズマ中の粒子の速度分布関数の詳細計測に挑戦しています。通常の吸収分光だけでなく、光渦と呼ばれるラゲール・ガウシアンモードを用いた流速計測にも取り組んでいます。

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

- 液晶電気対流を用いた乱流の実験研究
- ラゲールガウスモードを用いたレーザー吸収分光システムの開発
- 磁化プラズマにおける渦対の形成
- 不均一ECRアルゴンプラズマのレーザー吸収分光