ISSN 2432-3551

創成 SOSEI

31

2018

Graduate School of
Frontier Sciences,
The University of Tokyo

研究科創立20周年記念 特別座談会

「学融合」の先を見据えて

FRONTIER SCIENCES
留学生の窓
学会参加報告
EVENTS/TOPICS
INFORMATION
Relay Essay

東京大学大学院新領域創成科学研究科
GRADUATE SCHOOL OF FRONTIER SCIENCES, THE UNIVERSITY OF TOKYO

基盤科学研究系 Division of Transdisciplinary Sciences

西浦正樹 准教授
先端エネルギー工学専攻

http://www.ppl.k.u-tokyo.ac.jp/nishiura

磁気圏型プラズマ装置RT-1のプラズマ物理実験：実験室磁気圏プラズマから核融合エネルギー開発研究

宇宙の惑星の周辺には磁気圏が存在し、その中には高エネルギー粒子や電子・イオン・中性粒子から構成されるプラズマが自然な状態で集団を形作っていることが、探査機Voyager 2によって明らかにされました。惑星が作るダイポール磁場内に、粒子がどのように寄り集まり、どの程度効率良く安定に存在可能なのでしょうか。惑星探査機によりその状態を探るのも一つの方法ですが、吉田・西浦研究室では実験室に惑星の磁気圏を再現し、内在する物理を解明するための研究を進めています。実験室磁気圏は宇宙空間のスケールと大きく異なりますが、実験条件を工夫することで、惑星探査機では捉えきれない現象を理解できるようになります。従来、宇宙で観測されるVan Allen放射帯の形成や、高エネルギー粒子の生成などの多彩な検証実験も可能です。

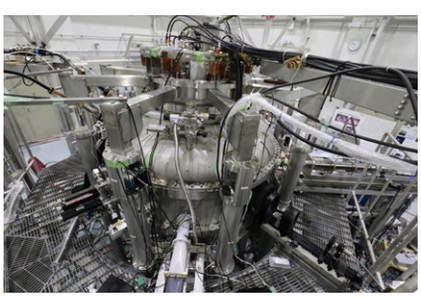

図1. 磁気圏型プラズマ装置RT-1。

我々の実験室には、半径1mのステンレスの真空容器が設置してあります（図1）。この磁気圏型プラズマ装置RT-1の内部は超高真空状態になっており、中心のドーナツ状の高温超伝導コイル（重さ約100キログラム, 絶対温度約20ケルビン）は、大気側上部の外部磁石により浮上させることが出来ます（図2）。磁気圏に倣ったダイポール磁場を発生させ、その見えない磁場の籠の中でプラズマを発生・閉じ込めます。これまでの実験から、プラズマの高温成分の電子温度は3億度、エネルギー閉じ込め時間は0.5秒程度を達成しています。数億度の高温プラズマを用いると、夜空の星が輝き続けるのと同じ原理の核融合反応から、莫大なエネルギーを得て、電気を生み出すことも可能です。現在、国際協力により新たな核融合研究炉が南フランスに建設中です。その国際熱核融合炉（ITER）はトカマク方式と呼ばれていますが、我々の惑星磁気圏型方式は、ユニークで効率の良い先進的なプラズマ核融合炉として期待されています。

物理現象の全体像を明らかにするためには、可視化する新しい技術開発が欠かせません。最近の研究から、エックス線の多視線計測により、図2の右図のようにプラズマ中の高温電子を可視化することで、閉じ込め磁場の圧力に対して非常に高い電子圧力分布を持つことが分かってきました。ミクロな世界で見れば電子は外部から入射した電磁波により加熱され、磁力線に巻きつくように螺旋運動をしています。このようなミクロな運動が、非平衡なプラズマ中でなぜ自然にこのような構造に落ち着くのかを、今後解き明かす必要があります。プラズマは、電子とイオンが共存し、集団運動をしています。イオンを可視化するために、我々はコヒーレンスイメージング手法を新たに導入し、プラズマ内部のイオン温度と流速の可視化にも成功しました。この新しい計測手法は光のドップラー効果（観測視線に向かってくる光は短波長側、遠ざかる光は長波長側に波長が変化する）と、光の干渉性を利用しています。計測結果から、浮上コイル外側に強い流れが発生していることが分かりました。プラズマを構成する粒子の物理量を可視化することで、プラズマの構造形成との関係やミクロとマクロ構造を紐付けるメカニズムの解明が今後の課題となっています。

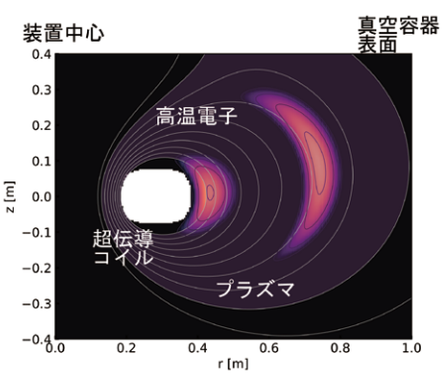

図2. RT-1内部の様子（写真）。左半分は真空、右半分はプラズマ生成時。超伝導コイルは真空容器内で浮上状態を保っています。明るい領域は水素原子の発光で、低温領域です。プラズマ内部から発生したX線計測により得られた数億度の高温電子の分布図（右図）。Van Allen帯のような2重構造が観測されています。紫色はプラズマ領域。灰色の線は磁力線。