

軸	装置学・技術
ユニット名 (英文名)	プラズマ装置学 (Plasma Apparatus)
核融合科学の キーワード	プラズマ装置取扱技術プラズマ、荷電粒子の生成・閉じ込め・輸送・制御技術、 プラズマ加熱装置技術、プラズマ計測装置技術、数値計算技術、基礎プラズマ/プ ラズマ応用装置、プラズマ理工学、ミュオン触媒核融合
学際的展開の キーワード	学術ネットワーク型研究、量子ビーム科学、反物質科学、ミュオン科学、電気推 進器、宇宙天気予報
研究組織	<div>① 核融合研職員</div> <ul style="list-style-type: none"> ●中野 治久：NBI、負イオン源、ペアプラズマ、電気推進器 ●津守 克嘉：負イオン NBI 装置学、ビーム理工学、低温プラズマ物理学、表面物 理学、原子分子物理学、負ミュオン生成 ●池田 勝則：粒子ビーム加熱 ●斎藤 健二：ICRF 加熱、RF 計測、電気推進器 <div>② 所外研究協力者</div> <ul style="list-style-type: none"> ● (省略)

プラズマ装置学ユニット計画書概要

プラズマ物性基礎研究、宇宙・天体プラズマ研究、核融合科学を始めとしたプラズマ応用研究、およびプラズマ条件を満たさないまでも荷電粒子の集団現象に関する研究を更に推進するためには、いかにプラズマ物性および荷電粒子の集団物性を理解して計測・制御し、対象とする科学の本質を抽出するかが重要となる。そこで、本ユニットのコンセプトを「**多様なエネルギーレベルを有した荷電粒子群の集団的特性を理解し、その特性を利用して荷電粒子群を制御し応用すること**」とし、このコンセプトを踏まえた本ユニットの目的を「**プラズマ・核融合科学実験で培ってきた最先端の計測・制御技術の更なる高度化および新たな計測・制御技術の創出をするとともに、常に視野を広く持って他分野とも連携・融合を行い、これら技術を用いて自然科学（応用科学を含む）の深化に質的变化もたらす手法および自然科学の新展開を追究する手法の探求すること**」と定める。

目的を遂行する手段として用いるプラズマ装置は荷電粒子群を制御する装置である。プラズマ・核融合科学では、最先端の学問的知見（プラズマ物理/応用工学、ビーム物理/工学、光/レーザー科学、原子分子科学、電気電子工学（電力工学、電磁波工学を含む）、材料工学、極低温物理・超伝導工学等）およびこれらに関連する極限技術（真空技術、プラズマ・荷電粒子生成/閉じ込め/輸送/制御技術、粒子/エネルギー循環技術、高電圧技術、レーザー技術、電気/電子/電力/電磁波技術、超伝導技術、各種検出・計測技術、放射線取扱技術等）を開拓しつつ、それらを駆使して荷電粒子群の制御を行ってきた。本ユニットでは、**更なるプラズマ装置の高度化**を着実に進めると同時に、**これらの基盤学問分野および技術の発展に寄与**する。プラズマ装置の高度化は、単に既存技術の統合を第一とするのではなく、装置を個別要素に分解してその仕組みを科学的に理解し、この理解に基づいた最善の手法に個別要素および装置を再構築することによって実現する。また、**他分野に対する知見を広め、プラズマ・核融合分野で培ってきた最先端の学問的知見と極限技術をテクノロジードライバとして、他分野との連携・協奏によって自然科学の深化に質的变化をもたらすと同時に自然科学の新展開を追究する。**

本ユニットでは、NIFS を始めとした全国、世界各地にある既存および新規プラズマ装置を、目的を達成するためのアプローチの対象とする。すなわち、本ユニットは NIFS 内外の幅広い分野の人材から構成される。現段階で実施が計画されている個別のアプローチ（研究テーマ）は、**中性粒子ビーム入射装置 (NBI, Neutral Beam Injector)**、**反物質プラズマ**、**ミュオンと核融合科学の融合**、**電気推進器**、**高周波 (RF) 加熱**である。NBI および RF 加熱の研究拠点は NIFS に、他の 3 つの研究テーマは NIFS 外に研究拠点をもち、NBI では、ITER や DEMO 用 NBI の開発に資する学術基盤（RF 負イオン源の高発散角ビームの起源とビーム発散角最小化制御、負イオン源における粒子循環・輸送の探求と一様・高ビーム電流密度・低ビーム発散角・低ガス圧・定常 RF 負イオン源の Cs レス化、高ビーム電流密度定常 Cs フリー負イオン源に向けた学理と実証、光中性化の原理検証、アンペア級ビームの高周波空洞加速による高エネルギービーム化の原理検証等）や派生研究（ペアイオンプラズマ物性の実験研究等）を行う。反物質プラズマでは、核融合プラズマの閉じ込め配位として開発されたミラー磁場や磁気浮上ダイポールを反物質の閉じ込め装置として活用し、大強度陽電子ビームの高効率捕獲により、陽電子と電子とのペアプラズマとしての同時閉じ込めを実証するとともに、生成した電子・陽電子プラズマの分散関係や安定性を実験的に調べることで、質量対称性が規定するペアプラズマ特有の集団現象を明らかにする。ミュオン科学では、主に素過程・相互作用ユニット軸で行われるミュオン原子・分子科学をベースとして、ミュオン触媒核融合 (μ CF) および宇宙ミュオン応用（宇宙線ミュオンを利用した宇宙天気予報）を行う。電気推進器（宇宙推進器）では、kW \sim MW を包括した磁気ノズルヘリコンプラズマ推進機の学理基盤構築（推力発生および推進機動作に関連する定常的な現象から、不安定性・乱流現象を含む動的挙動を包括したプラズマダイナミクスの理解等）と高性能化開発（高性能化に資するプラズマ発生・制御技術、乱れによる粒子輸送や自発的な構造形成の制御法を開拓等）を実施するとともに、得られる技術の応用開拓を進め、スペースデブリ除去や宇宙プラズマ室内実験等への展開、地上産業との連携開発、宇宙プラズマ現象のシミュレーション実験を進めることでダイバーシティを推進する。RF 加熱では、イオンサイクロトロン共鳴周波数帯加熱の長時間運転時におけるインピーダンス不整合に関する研究を行う。

各研究テーマは、装置や分野の方向は異なるものの、そこに内在する知見と技術には共通点がある。これら共通点は NIFS を拠点とする研究テーマと単一の研究テーマ間で共通なだけでなく、ここに挙げた

他のテーマでも共通点となっている（図1）。これら共通の焦点を起点として各研究テーマ間で緊密な情報共有を行うとともに研究協力を行う。これにより、各研究テーマに新たな視点もたらす、各研究テーマ間の新たな共通課題が見つかった場合に協力して多視点から課題に取り組み可能となる、全く新しい発想に繋がる等の相乗効果が期待できる。

NIFS は、プラズマ・核融合科学関連装置に関する知見と技術において世界的な優位性を持つ機関のひとつである。これまで NIFS が核融合炉の学術研究に関する中枢研究所のひとつとして培ってきた実績とネットワークを活かして、本ユニットにおいて NIFS を様々なプラズマ・核融合科学関連装置の知見と技術を推進する学術ネットワークのハブのひとつとして機能させる。

人材育成について、本ユニットに所属するポスドク研究員（PD）や大学院生は、プラズマ装置を自ら設計・製作・改良・制御することで、プラズマ科学関連分野の最先端の学問的知見や極限技術を習得できる。

中・小型装置を用いた研究では、PD や大学院生が自ら小課題を選定し、データ取得に関しても自ら実験の最中に柔軟に取得データを変更していく等、大型装置のみでは不可能な研究開発プロセスをトレーニングする事ができる。装置設計・制御やデータ解析には、AI や機械学習を含む数値計算技術を駆使することも想定される。これらのスキルを獲得した PD や大学院生は、アカデミック分野に限らず、製造関連分野、情報通信技術関連分野、コンサルタント関連分野等、様々な分野にキャリアパスが開かれることが期待される。

本ユニットは全てのユニットと連携関係を持つ。物理テーマ系のユニット軸とは、主にその物理テーマを実現するための装置の実現や既存装置の高度化で連携するとともに、装置を高度化する際の物理解釈において連携する。方法論的テーマ軸とは、主にプラズマ関連装置の高度化をするための手法について連携するとともに、物理解釈においても連携する。工学系テーマ軸とは、主に装置の高度化と物理解釈および高度化した装置の核融合システムとしての適用可能性の検証について連携する。

必要とする研究施設について、NIFS を拠点とする研究テーマは NIFS 既存装置（NIFS-NBTS 等）や協力関係にある国外機関の既存装置を用いると共に課題に応じて新装置を構築する。NIFS 外を拠点とする研究テーマについて、反物質プラズマについては、産業技術総合研究所の有する線形加速器ベースの線源、ミュンヘン工科大学（TUM）の FRM-II 原子炉で運転される NEPOMUC 陽電子源等を用いる。ミュオン応用については、J-PARC の施設や大阪大学の MuSIC 等を用いる。電気推進器については、大学の中型スペースチャンバーを用いるとともに、大型スペースチャンバーとして NIFS 施設を活用する。全ての課題を共通してシミュレーション研究については、拠点機関等のワークステーションやスーパーコンピュータを活用する。研究経費は、NIFS の資金および研究拠点機関の資金ならびに日本学術振興会（科学研究費補助金等）や科学技術振興機構等の公的資金、企業との連携、ITER 機構や量子科学技術研究開発機構等との受託・共同研究等、外部資金を獲得して実施する。

プラズマ科学分野のみならず他分野の専門家を含めてネットワーク型学術研究を行う中で、野心的な大型研究の研究構想を構築し、日本学術振興会・科学研究費補助金や科学技術振興機構の資金による大型計画を志向する。



図 1 NIFS と他機関に拠点を置く研究との知見と技術の共通点