

軸	異相連成現象
ユニット名 (英文名)	プラズマ・複相間輸送 (Transports in Plasma Multi-Phase Matter System)
核融合科学の キーワード	周辺・ダイバータプラズマ・不純物輸送、非接触プラズマ、プラズマ・ 壁相互作用、粒子循環、プラズマ対向機器
学際的展開の キーワード	非平衡交差輸送、原子・分子過程、プラズマと固・液・気体間相互作用、 プラズマ誘起構造形成、固体表面物性、微細構造解析、異材接合
研究組織	宇佐見俊介 プラズマ物理学 大坪瑤子 細胞生物学 菅野龍太郎 プラズマ物理学 後藤勇樹 光物質相互作用 小林政弘 プラズマ物理学 庄司 主 プラズマ物理学(周辺プラズマ、PWI 解析など) 時谷政行 核融合炉材料学 中村浩章 物性物理学理論 浜地志憲 プラズマ材料相互作用 林 祐貴 プラズマ理工学 増崎 貴 プラズマ理工学 本島 徹 プラズマ理工学 森崎友宏 プラズマ理工学 矢嶋美幸 プラズマ理工学 吉村信次 プラズマ物理学

## 1. ユニットが掲げる研究目的の概要

核融合炉では、安定したエネルギー供給のために高温プラズマを定常保持することが望ましい。燃料である重水素、トリチウムは、プラズマ中に導入した内のわずか 10%程度だけが核融合反応に供されるため、残りの未反応粒子は排気して燃料供給系へ戻し、再び燃料としてプラズマへ導入する必要がある。高温プラズマの定常、そして燃料粒子循環を確立するためには、磁場閉じ込め核融合炉の開いた磁力線領域から壁へ、そして壁を冷却する冷媒、あるいは排気装置を経て燃料循環系に至る、プラズマと固体、液体、気体が接する系における熱・粒子・運動量の輸送現象の理解と予測、制御が必要であり、これが本ユニットの研究目的である。さらに、この研究から得られる知見や技術、例えば弱電離プラズマや光とプラズマの相互作用に関する知見や技術を、プラズマバイオ、SDGs、ひいては宇宙空間における生命材料物質の形成メカニズム解明など、様々な分野に展開し、それらの分野の進展に寄与することを目的とする。

## 2. 研究課題の定式化

本ユニットでは学術的課題を、「プラズマと、固体、液体、気体が接する系における、熱・粒子・運動量輸送の理解と予測、制御」とする。主軸となる研究は、磁化されたプラズマと固相、液相、気相の複相間の、異なる時空間スケールにわたる輸送現象の物理、プラズマと固・液・気相が連成する非平衡・非線形系の物理の研究と言える。研究対象となる様々な素過程の研究は、非平衡交差輸送、原子物理、光－物質相互作用、分子構造形成・制御などの研究と言える。さらにこれらの研究に必要な、プラズマ源、プラズマ計測、異種金属接合、材料分析法、データ解析手法などの研究も進める。

## 3. 研究の進め方

開いた磁力線領域から壁・冷媒・排気装置に至る、「プラズマと、固体、液体、気体が接する系」の、時間・空間スケールが異なる素過程あるいは素過程の集合である要素のつながりに焦点を当て、この系における輸送に対するモデリング、および制御方法を得る。非接触プラズマ生成・維持のためのプラズマと気体との相互作用、プラズマと固体・液体対向壁との相互作用、対向壁中の粒子・エネルギー輸送と粒子蓄積、およびこれらの動的現象への応答など、要素・素過程の研究を、実験および理論の両面から進め、輸送モデルを改良していく。プラズマと、固体、液体、気体という複数の相間にまたがる研究を一つのユニットで協同行うことにより、それぞれの研究分野間の synergy 効果を促進する。

大学等との共同研究により、現在の理解に基づく要素モデルの統合、すなわち独立した計算機シミュレーションコードの連携が進んでいる。今後はユニットの目標を達成するため、実験、および理論研究により素過程・要素の研究を進め、各要素モデルを改良してシミュレーションコードの連携を行い、シミュレーションの信頼度を高めていく。また、プラズマ・

液体対向壁相互作用など新しい要素モデルの構築も進める。さらに、系全体を俯瞰するため、定常プラズマおよび粒子循環に関する実験研究を行う。

本ユニットの目標を達成するためには、双方向拠点をはじめとする大学等や自然科学研究機構の各機関、QST、海外研究機関との共同実験・共同研究をこれまで以上に推進することが必要である。

#### 4. 期待される研究成果、その学術的な価値、波及効果

プラズマ中や壁材料中の粒子輸送は、例えばソレー効果のように複数の勾配が駆動する「非平衡交差輸送（クロス効果）」が関係する。また、プラズマと固体あるいは液体界面では、母材、界面、そしてプラズマへと「多相間」でのフォノン・フォトン・電子の受け渡しがあり、多相間の多様な相互作用が起きている。このように複雑な系を現す数理モデルは、半導体プロセッシング・物性物理・光物性物理・統計基礎論などの分野を横断して展開できる可能性を持つ。非接触プラズマにおける原子・分子過程の研究で得られる知見を、弱電離プラズマの総合理解、光によるプラズマ物性の計測・制御法の確立、固体・ソフトマター（生体分子）等物質との相互作用の解明、プラズマ中の化学物質の形成・分解過程などの研究に適用する。これらの研究は、プラズマバイオや、SDGs、ひいては宇宙空間における生命材料物質の形成メカニズム解明などへも発展し得る。また、研究対象となる現象のアナロジーを活用し、例えば熱プラズマや、液体金属を用いたプラズマプロセスへの展開も考えられる。本ユニットの研究で用いる、あるいは新たに開発する機器や実験・計測手法などを他分野の研究に適用した新たな展開も期待できる。

#### 5. 核融合分野での優位性、独創性、学際的な特徴

- ・非軸対称系システムである LHD において蓄積された実験データを有する。
- ・分子動力学法に基づくプラズマ・壁相互作用の計算機シミュレーション研究が進展している。
- ・本ユニットは、基礎プラズマ、核融合プラズマ、材料、水素同位体、そして理論シミュレーション研究者が参加しており、多様な研究テーマを包摂することができる。
- ・既設の設備である、直線型プラズマ装置 Hyper-I および TPD-II、熱負荷試験装置 ACT2 等を用いた実験、集束イオンビーム装置、透過型電子顕微鏡、イオンビーム分析装置など表面分析機器群を用いた試料分析等、また、これまで開発および導入してきたコードを用いた計算機シミュレーション研究が、協同して進められる。
- ・核融合炉の実現のために必要なプラズマ対向壁への中性子照射影響について、プラズマと固体壁相互作用の観点で、大学との共同研究が進行中である。
- ・非接触プラズマにおける原子・分子過程の研究で得られる知見を活かした学際的な共同研究が、自然科学研究機構の機関間、また大学等との間で進行中である。