

2022 年 2 月 7 日

ユニットクラスタテーマ提案書

1. テーマ名

プラズマ・複相間輸送 Transports in Plasma Multi-Phase Matter System

2. 核融合としての課題

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系における粒子・エネルギー・運動量の輸送現象の理解と予測、制御

3. 学術的な特徴づけ（何の研究だといえるか）

本テーマでは、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。並行して進めるべき研究として、原子物理、光-物質相互作用、分子構造形成・制御、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がある。

4. アプローチ（定式化）

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、素過程の研究を進める。開いた磁力線領域から壁・冷媒・排気装置に至る系の、時間・空間スケールが異なる素過程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。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して行うことにより、それぞれの研究分野間の synergy 効果を促進する。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、海外研究機関での共同実験・共同研究の推進は必須である。

非接触プラズマの生成・安定維持については、これを光とプラズマ（物質）の相互作用として捉える。すなわち磁力線構造とプラズマの熱的不安定性および乱流等の微視的不安定性に起因する輸送の時空間スケールが、原子分子過程による輻射とどのように相互作用しているかという観点からアプローチする。さらに、光によるプラズマの光学的特性の積極的な制御へと発展させる。この研究には、低温高密度プラズマ中の輻射輸送や、水素分子の回転・振動状態の原子・分子過程への影響、負イオンの効果などが含まれ、トラスプラズマの密度限界研究にも関わる。固体あるいは液体金属壁とプラズマの相互作用においては特に、中性子照射による固体材料の物性の変化、例えば水素同位体やヘリウムの材料内蓄積・放出について、中性子照射材や重イオン照射材へのプラズマ照射を行い、照射損傷の詳細な分析から明らかにする。また、原型炉の次を見据え、液体金属で構成するプラズマ対向壁を研究対象とし、プラズマと液体金属界面の不安定性、液体金属中の水素同位体やヘリウム蓄積に注目して研究を進める。対向壁中の粒子・エネルギー輸送については、プラズマ対向面と冷却管間の急峻な温度勾配下での材料および水素同位体・ヘリウム挙動について、ソレー効果に注目した研究などを行う。粒子・エネルギー輸送制御では、異材接合など工学的な取り組みも進める。理論・シミュレーションの取り組みでは、国内外の研究者と連携し、光と原子・分子の相互作用には量子力学理論、

2ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。青字の注意書きは削除してください。

固体原子分子の動的な振舞には分子動力学法、周辺プラズマ輸送には流体プラズマ・中性粒子輸送コードやPICを用いたシミュレーション研究を行う。

これら実験及び理論・シミュレーション研究の成果を連携・モデル化し、周辺プラズマから非接触領域の弱電離プラズマ、壁、そして冷媒に至る多様な現象を繋ぐ予測精度の高い熱・粒子・運動量輸送シミュレーションを可能とする。また、研究を進めるために必要な、プラズマ源、プラズマ計測、異種金属接合法、材料分析法、データ解析手法の研究を並行して行う。大学共同利用機関の役割を意識し、特徴ある装置、所外研究者にとって魅力的な装置の開発を進める。

5. 学際的展開

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。本テーマで用いる、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。

6. 独自性、優位性など

- ・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ことは、RMP運転時のトカマク装置を含む非軸対称トロイダルシステムにおける周辺およびダイバータプラズマ研究において優位性をもつ。

- ・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。

- ・本テーマは、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の共同提案であることが大きな特徴であり、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、NBIテストスタンド等を用いた実験、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、東北大、名古屋大、富山大、静岡大、九州大、北海道大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、分子研や名大低温プラズマセンター、信州大学、京都大学、山形大学との学際的な共同研究が進行中である。