

2021年8月3日

## ユニットテーマ提案書

### 1. ユニットテーマ

プラズマ・異相間相互作用

### 2. 提案者（氏名・所属）

増崎貴、森崎友宏、庄司主、時谷政行、浜地志憲、矢嶋美幸、林祐貴（NIFS）

波多野雄治・富山大、大矢恭久・静岡大、利根川昭・東海大

### 3. テーマと研究内容の概要

**テーマの意味：**異相は、気相・液相・固相、を指す。核融合装置の周辺プラズマからプラズマ対向壁に至る系は、気相（燃料ガスおよびプラズマ対向壁への熱負荷軽減のために導入する不純物ガス）、固相（固体プラズマ対向壁）、液相（大きな熱負荷により対向壁表面に形成される溶融層や液体金属プラズマ対向壁）が混在する複合系といえる。この系において、プラズマから対向壁、冷媒に至る熱と粒子の輸送の理解を得ることを一つの目標として、プラズマと異相間の相互作用研究を行う。

**具体的な研究課題：**周辺プラズマからプラズマ対向材料中に至るまでの熱・粒子輸送に関する研究課題の例を以下に示す。「プラズマと気相の相互作用研究」では、ダイバータ板への熱負荷軽減のために必須である非接触プラズマ生成の物理機構を明らかにするための研究を行う。特に、非接触プラズマ生成のために導入する不純物ガス（主として希ガス）とプラズマの相互作用における原子・分子過程に注目した研究を行う。また、プラズマと、液体金属や固体金属の溶融層との相互作用で発生する金属蒸気とプラズマの相互作用による蒸気遮蔽効果などについても研究を行う。「プラズマと固相の相互作用研究」では、核融合炉で起きる中性子照射による材料の損傷が、水素同位体やヘリウムの材料内蓄積、材料損耗などに与える影響を明らかにするため、実際に中性子を照射した材料、中性子照射を模擬する重イオン照射を行った材料を用いた研究を行う。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を行う。また、稼働中の核融合装置におけるプラズマ対向材料の損耗と再堆積過程およびダストの形成、プラズマ対向壁中の三重水素を含む水素同位体蓄積の研究などを行う。「プラズマと液相の相互作用研究」では、高融点金属であるタングステンがプラズマ対向材料として使われることになる原型炉の更に見据え、液体金属で構成するプラズマ対向壁を研究対象とする。直線型プラズマ装置 TPD-II に液体金属ループを設置し、プラズマ照射実験により、損耗特性、水素同位体・ヘリウムの材料内蓄積、プラズマと液体金属界面の表面不安定性などの研究を行う。

これらの研究の成果を統合、モデル化し、周辺プラズマからプラズマ対向材料中に至る予測精度の高い熱・粒子輸送シミュレーションを可能とする。また、これらの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。

**10 年間で達成する目標：**核融合装置における周辺プラズマからプラズマ対向材料中までの熱・粒子輸送を理解し、未見の核融合炉における輸送の予測と、輸送の制御を可能とし、原型炉設計にも寄与する。また、その過程で得られる知見、分析手法等を他の研究分野にも展開する。

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。

**予測される成果の学術的意義：**上述したプラズマと各相間相互作用の研究課題は、世界的にも未だ研究は少なく新規性がある。特に中性子照射材や液体金属中の熱・粒子輸送に関わる成果は、物質中の輸送現象の理解を深めると期待できる。

#### 4. 位置づけ

**研究課題の背景：**周辺プラズマからプラズマ対向材料中に至る熱・粒子輸送を予測し、制御することは、核融合炉の実現に必須である。これまでに得られている知見に加え、さらに非接触プラズマ形成のための詳細な原子・分子過程、中性子照射の材料特性への影響などの理解が必要であるとともに、新たなプラズマ対向壁概念を検討することも必要である。

**関連するテーマとの比較：**同じく核融合炉を目指したテーマである材料開発や炉システム研究は、関係するところが多く、連携して研究を進める。

**特徴など：**本テーマは、プラズマと材料の研究者の共同提案であることが特徴である。これまでもプラズマと固相の相互作用については、それぞれの知見を重ねることで理解を得てきている。本テーマで進めるプラズマと液相（溶融層、液体金属）の相互作用研究は、プラズマ、材料の両者にとって新しい研究領域であり、新たな展開が期待できる。また、本テーマで用いる、あるいは新たに開発するプラズマ源、プラズマ計測、異種金属接合法、材料分析法、データ解析手法などを他分野の研究に適用することでも新たな展開が期待できる。

#### 5. 研究の方法

所内においては直線型プラズマ装置 TPD-II、熱負荷試験装置 ACT2 を用いた実験、表面分析機器群を用いた試料分析、これまで開発、導入してきたシミュレーションコードなどを用いて研究を行う。LHD については、膨大なデータを新しい解析手法で活用し、可能であれば 2023 年度以降も実験を行う。また、新たに TPD-II に小型の液体金属ループや、先進的な計測装置を設置するなど、大学共同利用機関の役割を意識し、特徴ある装置、所外の研究者にとって魅力的な装置の開発を進める。また、双方向拠点など大学等や QST、海外研究機関での実験など、共同研究を推進することも必要である。

#### 6. 自己評価

##### 1) 未来志向であること

このテーマで行う研究課題は現在進行形で国際的にも先端を走っている研究、世界的にまだ端緒に付いたばかりの研究である。

##### 2) 目標を具体的に示していること

大きな目標を、「核融合における周辺プラズマから壁に至る熱・粒子輸送を理解し、予測と制御を可能とする」と具体的に示している。

##### 3) 10 年後に学术界に輝くテーマに育つこと

プラズマ・異相間相互作用研究は、すでに学术界に一定の位置を占める研究分野であるが、この研究により、新たな領域を切り拓くことができる。

##### 4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

プラズマから原子・分子過程、材料物性まで、幅広い研究、多様な個人のテーマを包摂できる。