

## ユニットテーマ提案書

### 1. ユニットテーマ

過酷環境における適応の材料科学と応用

### 2. 提案者（氏名・所属）

長坂琢也・NIFS

### 3. テーマと研究内容の概要

#### 3-1. テーマの意味

核融合、原子力、宇宙、航空、化学プラント等で使用される高温機器は過酷環境にある。その材料には耐熱性が求められるため、熱的に安定な結晶、界面、析出物等を含む組織とする。しかし、過酷環境では温度、応力、濃度場に急勾配があり、放射線環境下では照射損傷も加わって大きな物質・エネルギー流が駆動され、材料には非平衡状態がもたらされる。熱平衡組織は必ずしも安定ではなく、その変質によって材料は劣化する。一方、非平衡状態だからこそ安定な非平衡物質（非晶質、準安定化合物）や、結晶格子欠陥の自己組織化による安定周期構造（散逸構造）が見出されている。これらの機構や特性を深く理解して活用すれば、材料自らの安定化によって劣化が停止したり、逆に特性が改善する、いわば適応と呼べる挙動が期待できる。本研究のテーマは、このような環境適応の原理を究めて、新材料創製に应用することである。

#### 3-2. 具体的な研究課題及び 10 年間のプロジェクトで達成する目標

##### （1）過酷環境における材料組織の安定性、非平衡物質の形成と自己組織化の理解

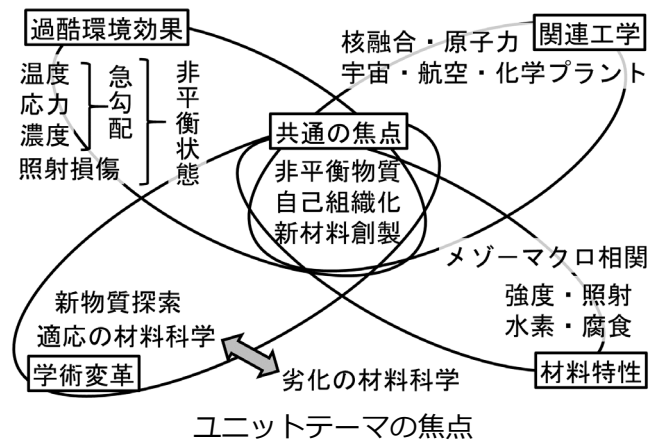
実績のある核融合材料に加えて、他分野材料及び、それらの成分や組織を単純化したモデル合金・化合物も研究対象として比較参照しつつ、過酷環境における材料挙動を広範に調査する。注目するのは、初期材料組織を構成する機能・強化因子の安定性、非平衡物質の形成、そして自己組織化による安定周期構造の形成過程である。これらに及ぼす温度、応力、濃度場、そして照射の影響を、相乗効果を含めて明らかにするとともに、その機構を理解するためのモデルを構築する。

##### （2）過酷環境で発達した材料組織が物性や機械特性に及ぼす影響の理解

過酷環境誘起の非平衡物質が未知の新物質である場合には、まず単体としての物性を調べる。そのうえで非平衡物質や結晶格子欠陥がナノスケールで均一に分布する場合には、ミクロ組織から材料の物性や強度等マクロ特性を説明する理論はかなり確立されている。一方自己組織化は数 10 nm～数μm 周期の不均一なメゾスケール構造をもたらす。メゾ構造が材料のマクロ特性に及ぼす影響の実験的、理論的な理解は未だ乏しく、極めて興味深い研究課題であるため、これに取り組む。

##### （3）過酷環境に適応する新材料の創製

過酷環境で生き残る、あるいは新たに生まれる安定な機能・強化因子、そして自己組織化による安定構造を明らかにする。これらの活用と増幅のための初期材料組織の設計を追究することで新材料の創製に繋げ、過酷環境への適応化が可能であることを示す。



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。

### 3-3. 予測される成果の学術的な意義

過酷環境における非平衡物質形成、自己組織化、メゾーマクロ相関の理解と、それらを新材料創製に繋げるところに学術的な意義がある。固体材料では、液体、気体、プラズマと比較して自己拡散や流動が小さく、物質・エネルギー流が絶たれても急冷により構造が保たれるので、非平衡物質や自己組織化の詳細分析が可能である。核融合条件は各種急勾配と重照射の重畳が特徴だが、他分野や単純な条件と比較することで、より一般化された機構モデルの構築が可能と見込まれる。これらの知見を体系化することで、適応の科学と応用を新しい材料工学に発展させることができる。

### 4. 位置づけ

非平衡状態における材料の自己組織化は、ナノ構造ボトムアップ製造への応用が期待され、学术界で注目分野となっているが、低コスト大量製造が目的であるため、いわば通常環境での研究が主である。過酷環境では、従来には無い非平衡状態を創りだすところに優位性があり、新物質探索の地平を切り拓くはずである。核融合は他分野の環境要素（熱、応力、腐食、照射）全てを網羅することから、その相乗効果研究をリードするのに相応しい分野である。特に照射は結晶格子点から原子をはじき出し、熱（拡散）、応力（結晶すべり変形）や腐食（界面濃度勾配）では不可能な格子間位置に大量の原子を移動させ過飽和格子欠陥を作る。材料の創製と劣化の機構は表裏一体であり、格子欠陥による材料劣化をもたらす照射が、実は新材料創製の強力な手段となり得る。

### 5. 研究の方法

材料創製、過酷環境試験、各種材料分析はNIFSの炉工学関連装置を用いて実施する他、京大、東北大、北大、静大、東工大、富山大等の材料研究拠点と連携する。実験で必要となるのは、多様な非平衡状態である。従来は一様温度場で実施してきた高温での機械試験、腐食試験、照射試験等に対し、さらに温度と応力勾配を付加するため、その機構と試験治具の開発が必要である。有望な手段はレーザー照射等による局所加熱と熱応力誘起であり、核融合で培った微小試験技術と組み合わせることで実現できる見込みである。一方、自己組織化とメゾーマクロ相関におけるモデル構築のために、実験だけではなく多体相互作用の計算による機構の再現にも取り組む。

### 6. 自己評価

#### 1) 未来志向であること

材料の特性変化から寿命を割り出す劣化の材料科学から脱却し、過酷環境に物質の反応や自己組織化を学び応用する、適応の材料科学を新たに確立し学術の変革を目指す点で未来志向である。

#### 2) 目標を具体的に示していること

非平衡物質形成、自己組織化、メゾーマクロ相関を理解するとともに、材料の環境適応化が可能であると示すこと、さらに過酷環境が新材料創製の場になり得ると示すことが10年の目標である。

#### 3) 10年後に学术界に輝くテーマに育つこと

材料の環境適応の科学及び、過酷環境における新物質探索という新たな学術領域を拓くとともに、その応用である新材料創製を含めて適応材料工学と呼べる新しい展開が見込める。

#### 4) 多様な「個人のテーマ」を包摂できること

核融合、原子力、航空宇宙、応用化学分野からの参加者による10回の会合で重ねた議論にもとづいて、材料の強度、照射、水素、腐食特性等に関する多様な個人テーマを包摂できる。