

軸	材料学
ユニット名 (英文名)	当初案 エネルギー・粒子高流束下材料学ユニット (Unit for materials science at high flux of energy and particles) 新提案 超高流束協奏材料ユニット (Ultrahigh-flux concerting materials unit)
核融合科学の キーワード	核融合炉材料、ブランケット、ダイバータ、真空容器、低放射化材、燃料増殖材、中性子増倍材、水素同位体、水素透過、高熱流束、重照射
学際的展開の キーワード	準安定相、自己組織化、メゾスケール構造、物性、新材料創製、強度、水素超透過、水素貯蔵、格子欠陥、変形、拡散、金属、セラミック、複合材料、被覆、界面、構造材料、機能材料、非平衡熱力学、非平衡統計力学、非平衡化学、過酷環境、寿命、適応
研究組織	核融合研職員 (氏名, 専門分野) 長坂琢也, 金属・合金, 強度学, 核融合炉構造材料 田中照也, セラミック, 物性学, 核融合炉システム 高山定次, セラミック, 電磁気学, マイクロ波応用 小林真, セラミック, 物理化学, 水素同位体応用 能登裕之, 金属・合金, 冶金学, 材料システム・加工 申晶潔, 金属・合金, 組織学, 高熱流プラズマ対向壁

1. 研究目的

図 1 にユニットテーマの焦点を示す。核融合、原子力、宇宙、航空、化学プラント等で使用される材料は複合的な過酷環境にある。過酷環境では温度、応力、濃度場に急勾配があり、中性子照射下等では照射損傷も加わって超高流束のエネルギーと物質粒子が駆動され、非平衡状態がもたらされる。非平衡状態では非晶質や準安定化合物(準安定相)、そして結晶格子欠陥を含む構成原子集団の自己組織化による準安定

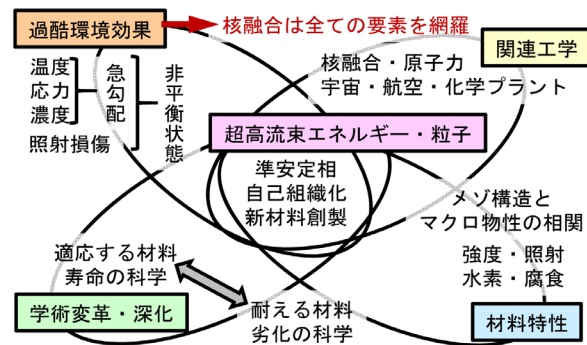


図 1 ユニットテーマの焦点

周期構造(散逸構造)が見出されている。それらの生成機構と物性への寄与を深く理解し活用すれば、材料自らが安定化して劣化が止まったり、逆にその特性が改善する、いわば適応と呼べる新しい挙動が期待できる。特に、自己組織化がもたらす不均一な、そして多様なメゾスケール構造と、強度等マクロな材料特性との相関の理解は未だ乏しく、大変興味が湧く新領域の課題である。このメゾ構造-マクロ物性相関の理解にもとづき、過酷環境下、非平衡状態でも安定な強化・機能因子を活用し増幅することで、過酷環境に耐える、から適応する材料へのパラダイム転換を図り新材料創製につなげる。一方完璧な適応は困難と考えるのが現実的であり、環境の揺動や損傷の蓄積・質的变化に適応が追いつかなければ材料特性の劣化が進む。非平衡状態では、統計集団の複雑性と不安定性に起因する不可逆的な劣化が材料の寿命を決める可能性がある。劣化の可逆性、不可逆性を理解し制御することで長寿命化が可能となり、さらに寿命を正確に見極め最小限の材料でシステムを維持することで経済性と安全性が両立する。

核融合は全ての過酷環境要素を網羅するので関連工学を先導できる。そこにあって本研究では、材料の適応と寿命を支配する根本法則を究めて体系化し、過酷環境下工学システムを変革する高強度、高機能かつ長寿命材料の創製と寿命予測理論の確立を目指す。

2. 課題の定式化と戦略

超高流束のエネルギー・粒子がもたらす非平衡下において、材料のミクロな構造と、それによって発現するマクロな物性の動態(ダイナミクス)を、原子の集団現象から理解し制御する。注目するのは、材料の製造工程で導入した強化・機能因子の安定性、準安定相の形成、自己組織化構造の発達である。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。

過酷環境・非平衡下で生き残る、あるいは新たに生まれる強化・機能因子や、自己組織化による準安定構造を増幅するための材料設計を追及し、適応化を実現する。これらの因子や構造の物理的寿命を支配する基礎機構にもとづき、マクロ物性が工学的要求を下回る、材料としての寿命、そして様々な材料と異材界面で構成されるシステムの寿命を理解し、正確に予測する理論を確立する。

研究対象とする材料を大きく分類すると構造材料と機能材料となる。構造材料においては、金属材料、セラミック材料ともに対象とする。金属にあっては共有結合性が比較的大きく、セラミック的な高温強度が見込める高融点金属、あるいは鉄鋼であっても高融点セラミ

ックナノ粒子分散強化合金等を中心とする。セラミック材料においては逆に、極細繊維化、金属との接合、複合化によって、擬延性等の金属的な性質を付与した材料が対象である。一方、機能材料としては、絶縁、水素制御、各種センサーに利用できるセラミック材料を対象とするが、金属粒子を注入、分散させる、あるいは過飽和非金属欠損を導入し過剰な金属成分により発現する新たな現象を利用して高機能化を目指す。いわば、セラミック的金属、金属的セラミックというメタな状態にこそ新材料創製の可能性があると考ええる。

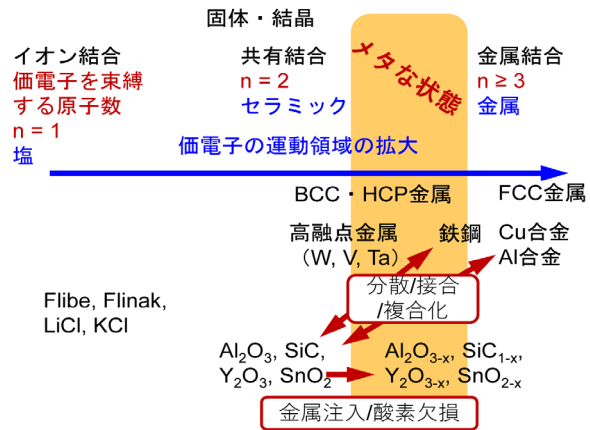


図2 固体・結晶の分類とメタな状態

10年で目標とする具体的なアウトプットは、過酷環境、非平衡状態にある材料の適応化に関わる理論と、長寿命材料の開発指針を工学図書として纏めることである。その途上において多くの新材料創製と、既存核融合炉材料を含む過酷環境材料における長寿命化、材料とそれを複雑に組み合わせたシステムの寿命予測の高精度化が期待できる。

3. 将来の大型計画

本ユニットの実験に必要なのは多様で複合的な過酷環境である。さらに、核融合材料コミュニティの歴史と実績、さらにユニット参画者の専門分野を考慮すると、ユニットの強みは重照射材料研究である。照射損傷は他の過酷環境要素、すなわち温度、応力、濃度勾配と比較して際立った非平衡状態を材料に与え、特に熱的には得られない格子間原子や核変換元素を大量に導入することで材料の多様な応答を誘起する。ひとたび照射下で有用な物質が見いだされれば、それを非照射下のマイルドな非平衡状態で大量に生成させ、核融合、原子力以外の関連工学分野で応用するための、より一般的な格子欠陥論の確立と新材料創製につながる工学研究が展開できる。

一方、核融合炉工学研究のあり方を考える Fusion2030 研究会の炉工ワーキング最終報告書によると、核融合研が整備すべきプラットフォームとして、核融合炉に特有な環境と照射が重畳する「場」及び、イオン・プラズマ照射装置があげられている。これらを踏まえ、本ユニットでは多重ビーム同時照射加速器複合施設を将来の大型計画として提案する。

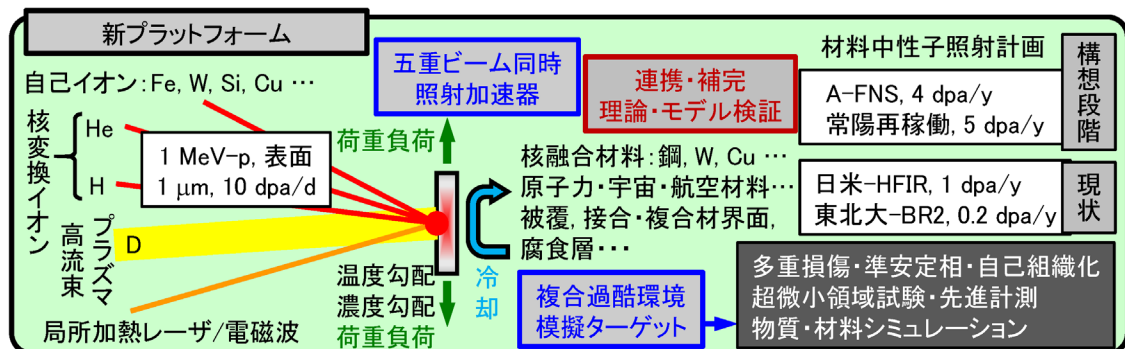


図3 多重ビーム同時照射加速器複合施設の構想