

## 材料強度の原子論と格子欠陥制御工学

Atomistic of material strength and lattice defect control engineering

教授 丸山 公一  
Professor  
Koichi Maruyama



Weight saving and mechanical property development of materials are very important issues for the reduction of environmental burdens and the construction of infrastructure for the sustainable society. Maruyama group is challenging to create new structural materials with the viewpoint of atomistic approaches of material strength and deformation and lattice defect engineering in crystals.

### 高温材料の長時間損傷機構

福島原発事故の後、超々臨界圧蒸気火力発電(USC)プラントが原発に代わる役割を果たしている。USCプラントは、長期間安定した運転を求められているが、プラント設計時の寿命に近付きつつある物が多く、構造部材の残存寿命の高精度評価が重要課題となっている。USCプラントに使う高Crフェライト鋼では、焼戻しマルテンサイト組織がその高温強度を支え、クリープ変形でラス組織が回復すると、材料が強度を失い破壊する。したがって、残存寿命評価では、ラス組織の劣化過程を計測・評価する必要がある。ラス組織劣化の指標となるラス幅  $d$  の増大は、ひずみ  $\epsilon$  に支配され、次式で表現される。

$$d - d_0 = a \epsilon$$

ここで  $d_0$  はラス幅の初期値、 $a$  は比例係数である。材料中の原子の拡散距離が短い短時間クリープ条件では、クリープ試験条件によらず、 $a$  は同じ値を取る。原子が十分拡散し、析出物が成長・合体する長時間クリープ条件でも、(1)式の比例関係は成立する。しかし、比例係数は短時間試験条件より大きい。また、ラス組織の熱的回復がより顕著になる高温あるいは低応力(長寿命)では、 $a$  が増大する。実プラントは長時間クリープ条件で使われることが多く、当分野では時間依存型の  $a$  値を使った残存寿命評価が必要であることを提案した。そして、高Crフェライト鋼のデータベースに基づく残存寿命評価の具体的方法を開発中である。当分野のこれらの研究成果に対して、International Conference on Processing and Manufacturing of

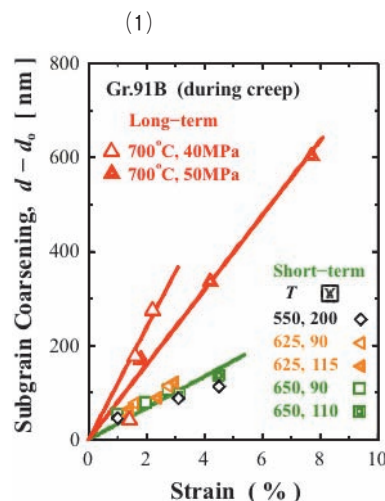


Fig.1 Subgrain coarsening during short-term and long-term creep of grade 91 steel as a function of creep strain.

Advanced Materials において、Thermec Distinguished Award が授与された。また関連研究の発表で、当分野の学生が、日本鉄鋼協会第162回秋季講演大会学生ポスターセッション優秀賞を受賞した。

### 究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価

燃機関の基本原理解から、燃焼ガスの温度を高くすればするほど熱効率は向上することがよく知られているが、実際の熱効率は熱力学が示す理想的な値に比べて低くなる。これは、燃機関で理想的な断熱仕事となされていないためであり、その主たる原因は目的に適った高強度な耐熱材料が提供できていないことにある。したがって、現在人類が直面している石油資源の枯渇問題を回避するためにも、高効率燃機関の提案に向けた新規な超高温材料の開発は急務である。そこで当グループでは、高融点金属であるモリブデンの高融点、高強度、そして資源の豊富さに着目し、Mo-Si-B 三元系合金の状態図および金属組織学的研究、粉末材料プロセッシングの検討、超高温特性の評価、さらには Mo-Si-B 合金に基づいた新規な超高温材料の探索等々を進めた。図2に、当グループで明らかにした、1800°Cにおける Mo-S-B 三元系平衡状態図を示す。この状態図の決定によって Mo-Si-B 合金中の相平衡の問題が解決され、正確で緻密な Mo-Si-B 合金の設計が可能となった。また当グループは、この Mo-Si-B 合金中の構成相である Mo<sub>5</sub>SiB<sub>2</sub>、Mo<sub>3</sub>Si が炭化チタン(TiC)と相平衡することを世界で初めて見出した。この発見によって、Mo-Si-B 合金に TiC を安定

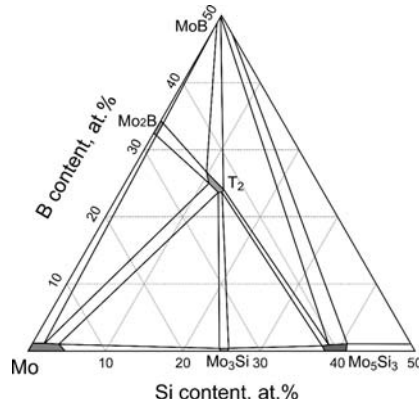


Fig.2 Mo-Si-B ternary phase diagram at 1800°C.



准教授  
吉見 亨祐  
Associate Professor  
Kyosuke Yoshimi



助教  
中村 純也  
Assistant Professor  
Junya Nakamura

的に分散させることができるようになった。さらにこの発見によって、これまで Mo-Si-B 合金が克服すべき課題の一つと言われてきた低密度化を実現できるようになり、新規超高温材料の開発に新たな一歩を踏み出すこととなった。こういった取組みが評価され、吉見准教授は平成23年2月から平成26年3月まで、最先端・次世代研究開発支援プログラムの支援を受けることとなった。また、平成23年10月に東京工大岡岡キャンパスで、12月には宮城県せんだいメディアテークで、高校生以上の一般を対象とした市民公開講座を開催し、「火を司(つかさど)る超高温材料」というタイトルで吉見准教授が Mo-Si-B 合金について講演した(図3)。最先端・次世代研究開発支援プログラムによって支援されている研究テーマ「究極の耐熱性を有する超高温材料の創製と超高温特性の評価」の詳細は、<http://www.ultra-htm.org/> に掲載している。

#### 特筆すべき業績

1. H23年8月にカナダで開催された国際会議 THERMEC'2011において、丸山公一教授が THERMEC'2011 Distinguished Awardが授与された。
2. 最先端・次世代研究開発支援プログラム (H23.2-H26.3)
3. 市民公開講座 「東北大ブランドの最先端・次世代材料を語る」 H23.12.28、於せんだいメディアテーク



Fig.3 Open class on Tohoku Univ. next-generation, world-leading materials held at Sendai Medaitheque on Dec. 28th, 2011.

### AI 合金: ナノスケール析出物の結晶構造

時効硬化型 AI 合金は、中、高強度軽量材料として自動車や高速輸送機関、宇宙航空機関、エレクトロニクスや建材など広範囲な分野で構造材料及び機能材料として利用されている。この系の合金は熱処理によって析出する微細なナノスケール化合物相によって著しく強度を増す材料であり、材料を強化するためのカギとなるのが化合物相の析出を制御する事であるが、この系では非常に多くの種類の化合物が材料中に存在するためその組織は非常に複雑となり析出挙動を理解することが難しい。当グループでは、原子分解能分析電子顕微鏡を始めとする透過型電顕を用いた化合物相の結晶構造解析、析出組織観察をもって AI 合金の組織制御、強度向上への貢献を目指す。日本金属学会第4回格子欠陥制御工学研究会にて若手優秀講演賞を受賞した。

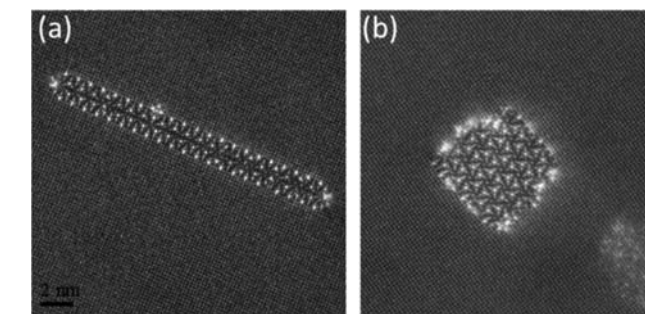


Fig.4 HAADF-STEM images of precipitate with two kinds of morphology.

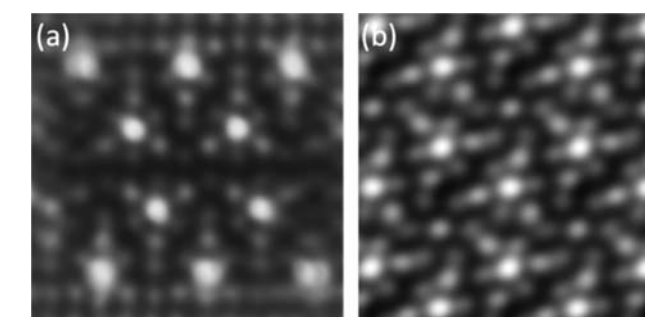


Fig.5 Average HAADF-STEM images of two different crystal structures.