

バルクナノメタル：常識を覆す金属材料

京都大学大学院 工学研究科 材料工学専攻 材料物性学講座 構造物性学分野

辻 伸泰 教授, 柴田 暁伸 准教授, 白玉 助教

構造用金属材料の組織制御と力学特性の解明

鉄鋼材料、アルミニウム合金、チタン合金、銅合金等、我々の社会の基盤を支えるために、様々な金属材料が多量に用いられています。この多くは、モノの形を保ったり、重量を支えたりという、力学的な機能を果たしています。我々は、構造用金属材料のナノ・マイクロ組織・構造とその形成機構、そして力学特性を発現する基本原理と組織の相関に関する基礎研究を行っています。

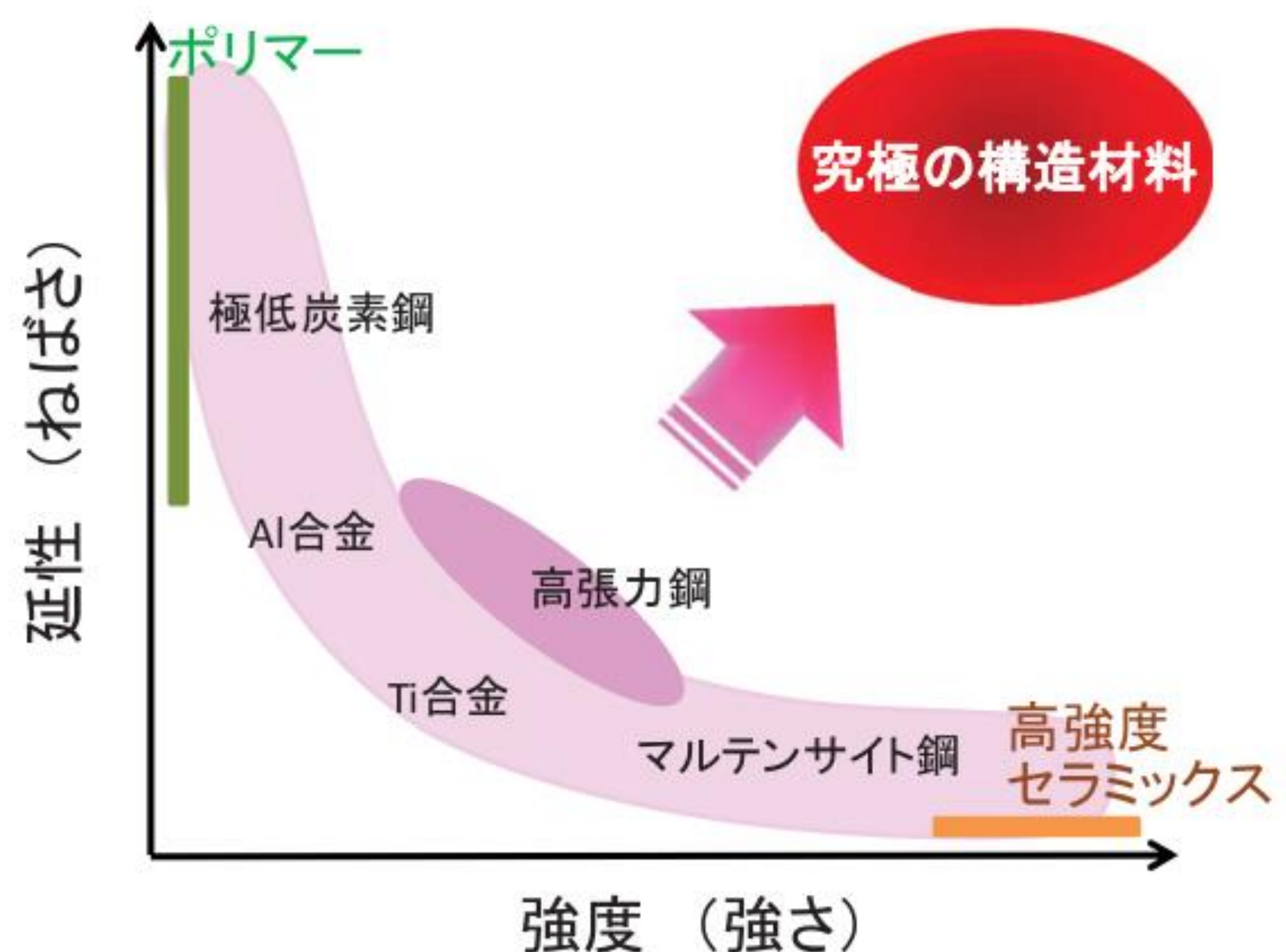
◎ そもそも、構造用金属材料って？



- 自動車や高層ビル、橋などの構造物において、自重や外力などに対して形状・構造を維持するための強度を担う金属材料のこと。
- 構造材料は建設や輸送、エネルギーなどの幅広い分野で使われており、私たちの生活に欠かせない存在です。

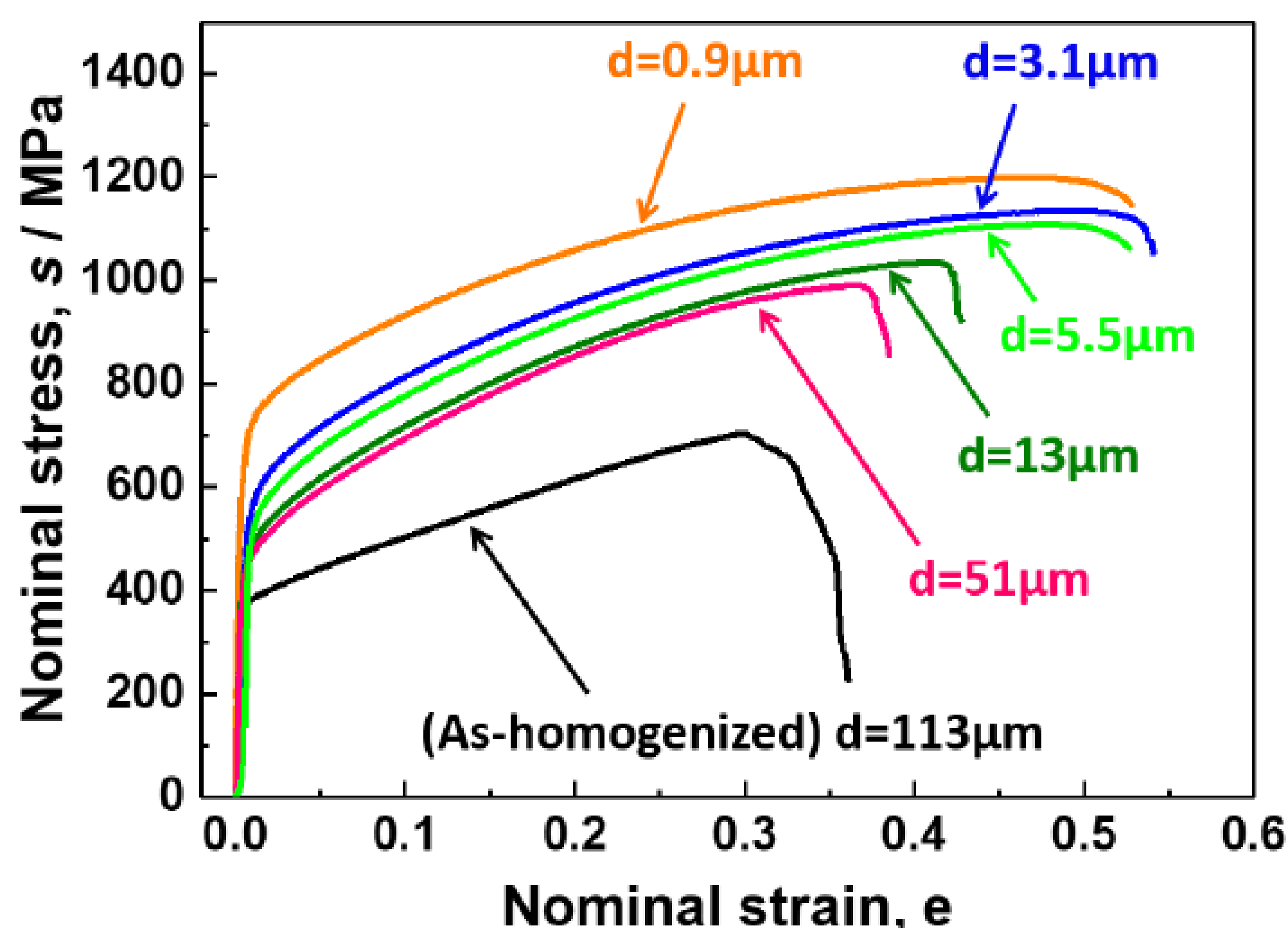
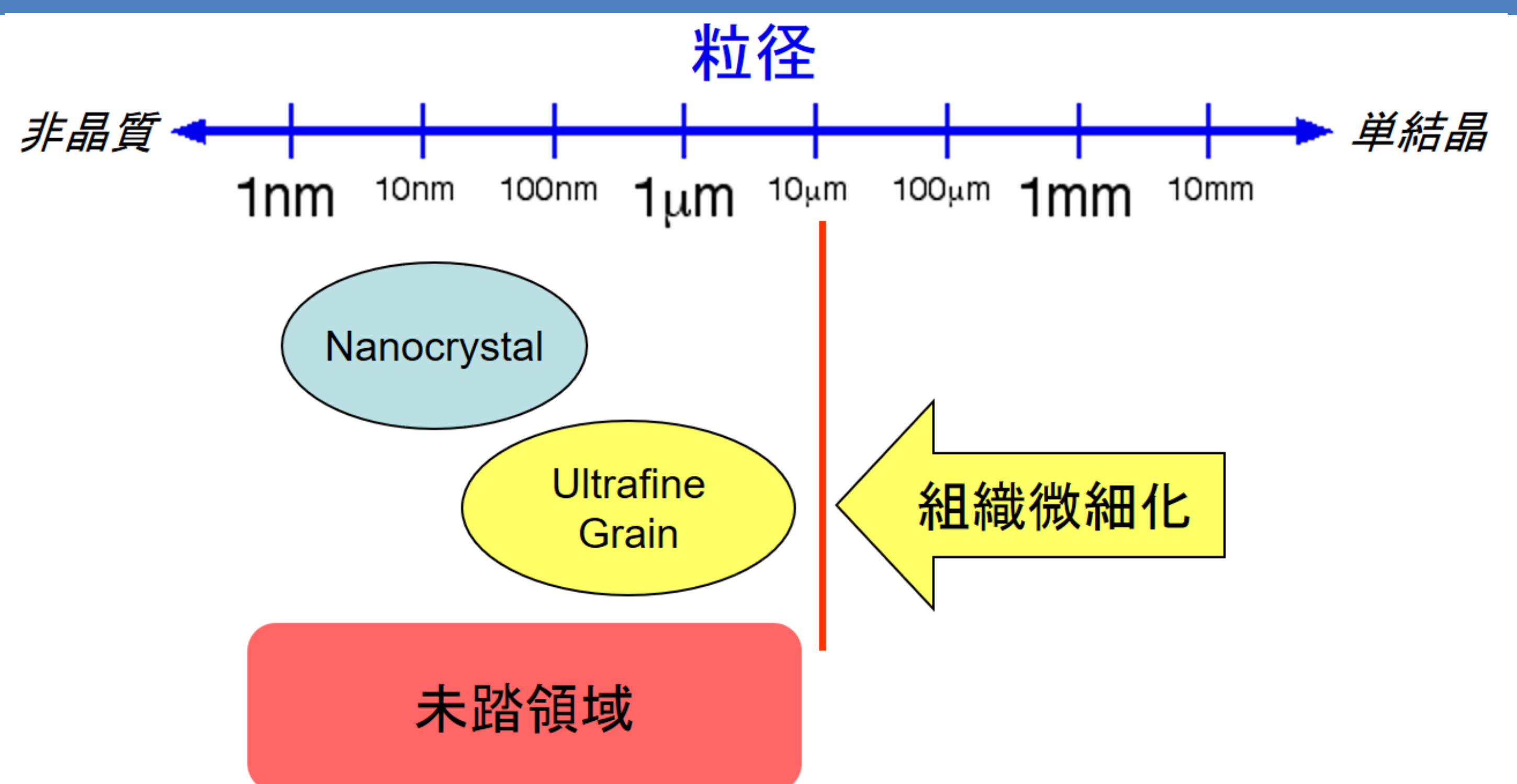
◎ 構造材料に求められる性能

- 構造材料には、『**硬さ(強度)**』と『**壊れにくさ(延性)**』が求められます。
- しかし従来の金属材料にて高い強度と大きな延性を同時に実現することは極めて困難です。



◎ 常識を覆す新しい構造材料 “バルクナノメタル”

- 規則的に配列した原子の集団のことを**結晶粒**といい、結晶粒間の境界のことを**結晶粒界(粒界)**といいます。
- これまでの金属材料学は、結晶**粒径数十μm以上の「粗大粒材」**に対して構築されてきました。
- しかし「粒界だらけ」の材料である**バルクナノメタル**に従来の常識は通じません。



TWIP鋼の各粒径における応力ひずみ曲線

単純な化学組成で優れた特性
レアメタルや合金元素はいら
ない
資源の有効利用

製造エネルギー低減、
再資源化エネルギー低減
複雑な熱処理がいら
ない
リサイクル容易

構造物の高強度・軽量化
輸送機器の燃費向上
長寿命化、安全性向上

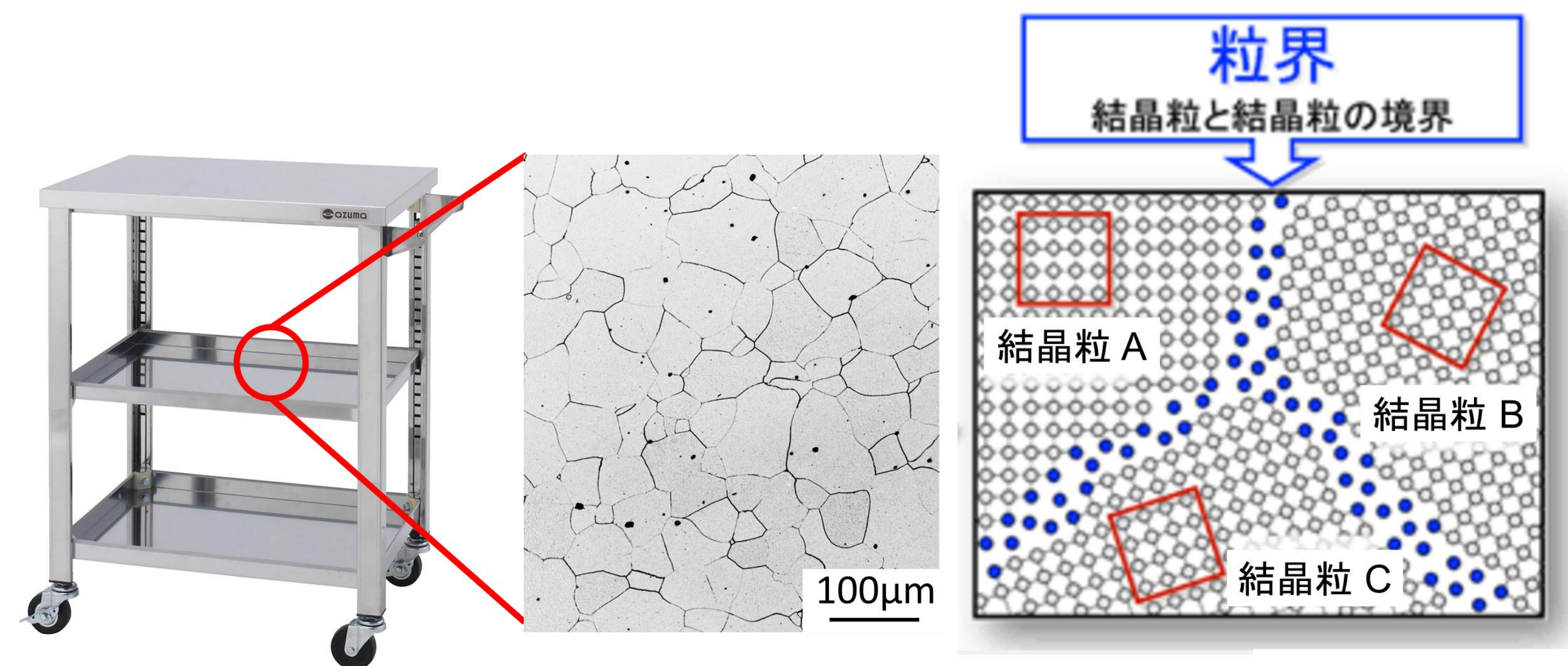
- 新しい合金設計概念: **バルクナノメタル**
- 長期的には社会基盤の大きな変革を促す革新的な試みです。
- 従来粒径材の**4倍にも達する高強度**を実現できます。
- **資源枯渇問題、エネルギー問題、環境問題の解決**につながることを期待されます。
- **安全で持続可能な社会の発展**に資することが期待されています。

常識を覆す新しい金属材料、バルクナノメタルとは...?

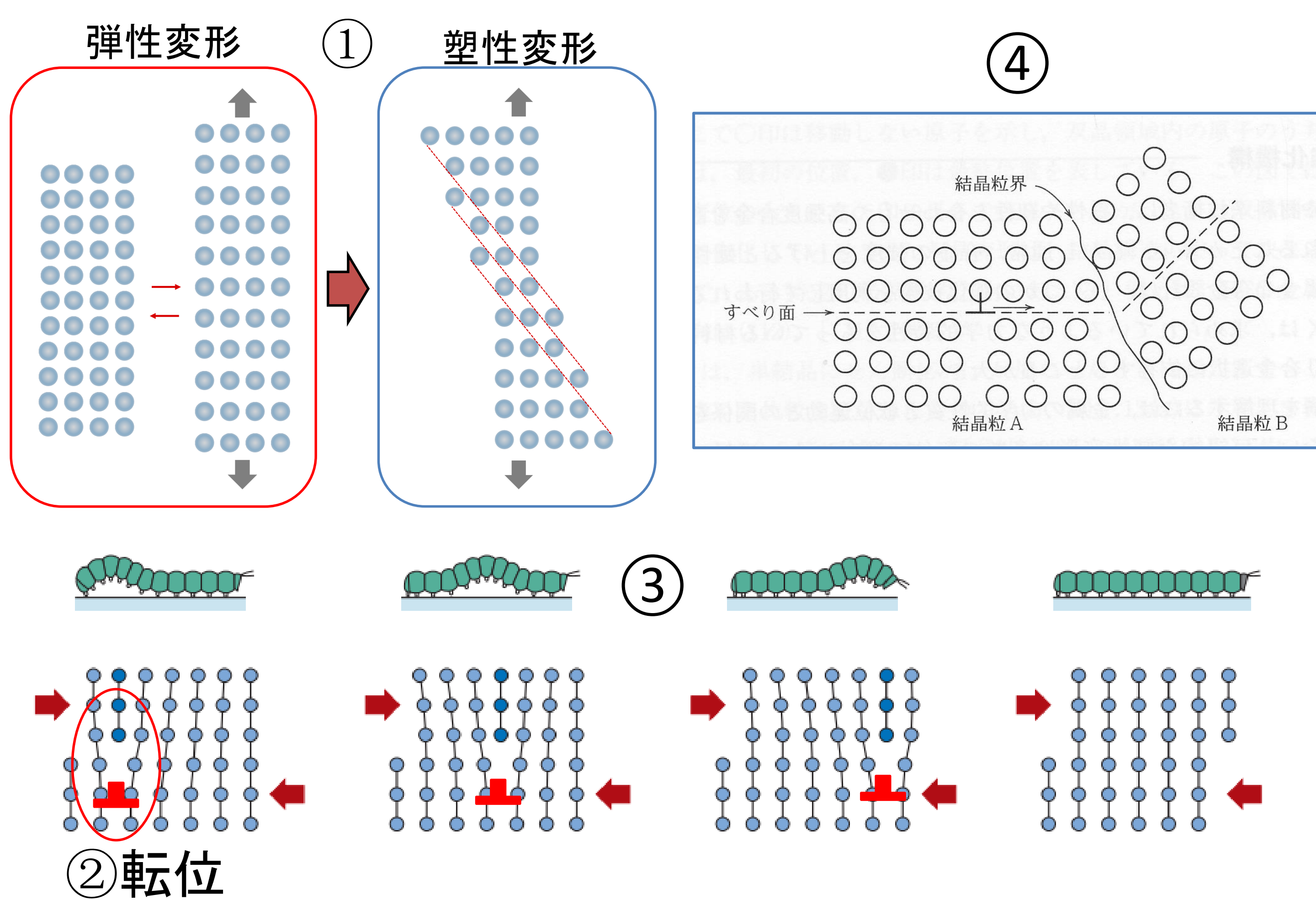
京都大学大学院 工学研究科 材料工学専攻 材料物性学講座 構造物性学分野
辻伸泰 教授, 柴田 暁伸 准教授, 白玉 助教

バルクナノメタルの構造：結晶粒と粒界～

- 金属は、規則的な配列をした原子のかたまりがいくつも集まった構造をしています。この原子のかたまりのひとつひとつを『結晶粒』といいます。
- 結晶粒同士が接する境界を『結晶粒界 (粒界)』と呼びます。
- バルクナノメタルとは結晶粒ひとつひとつの大きさを1 μm 以下まで細かくした、粒界がとても多い金属のことを指します。

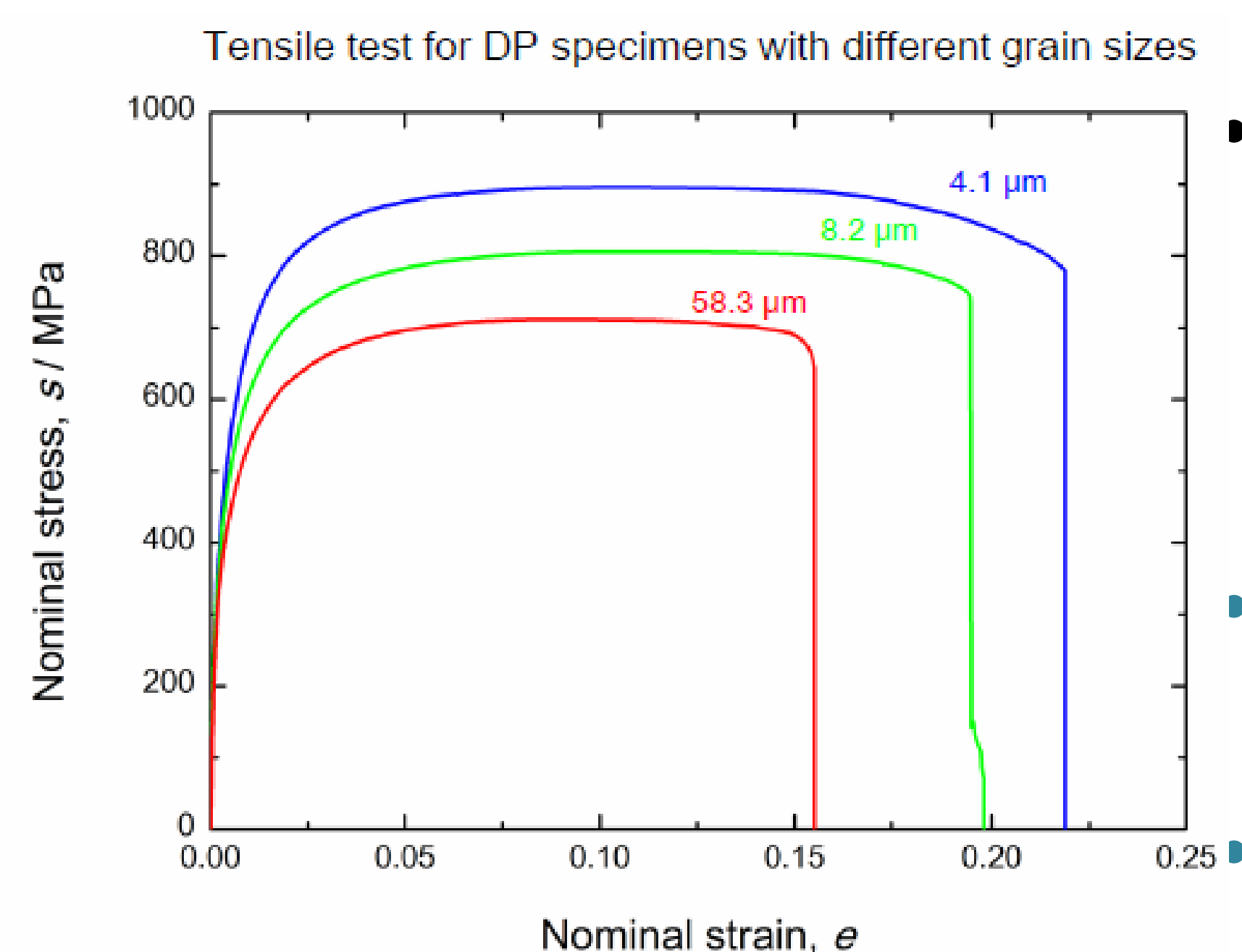
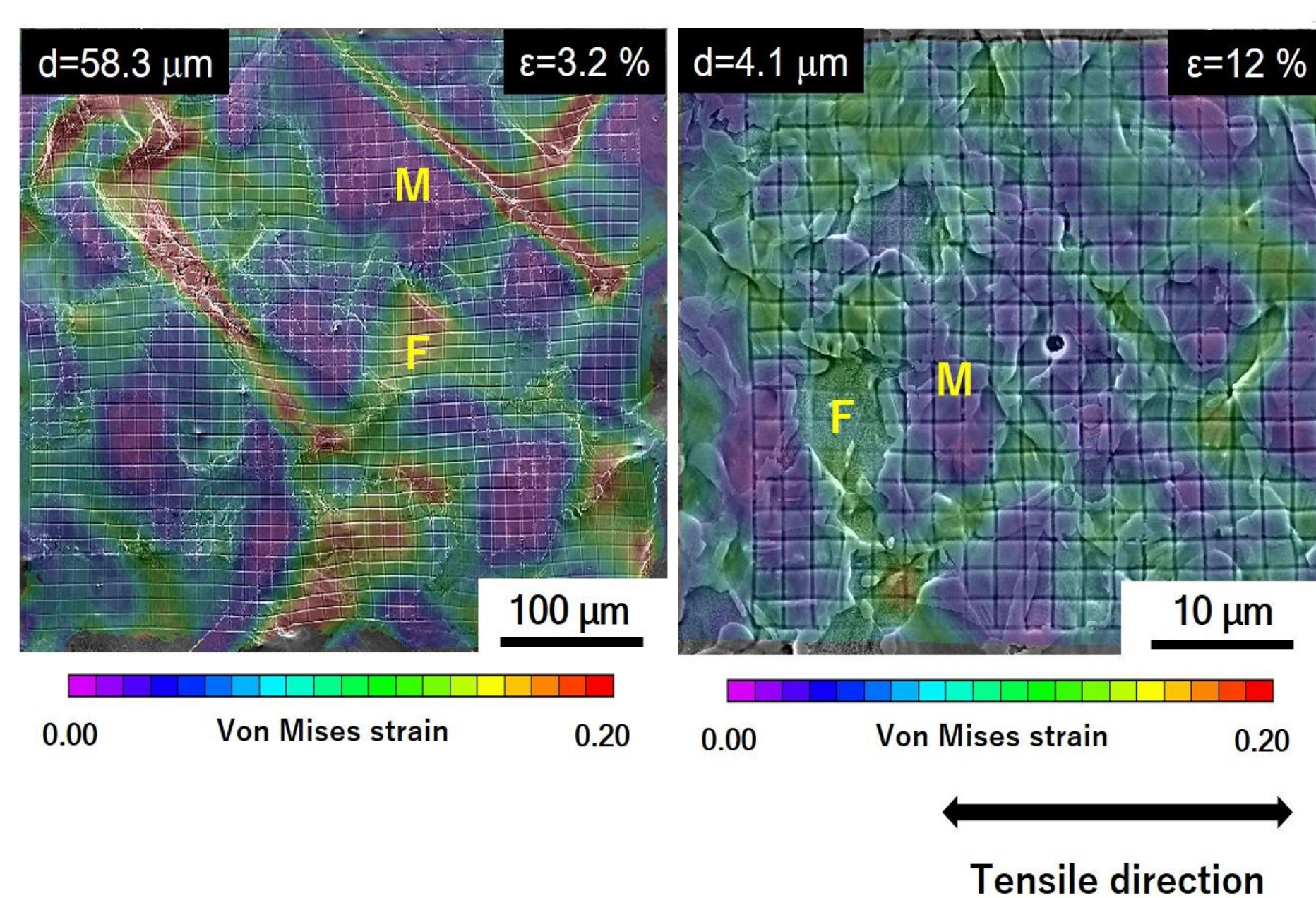


バルクナノメタルの強さの秘密：金属の変形と転位～



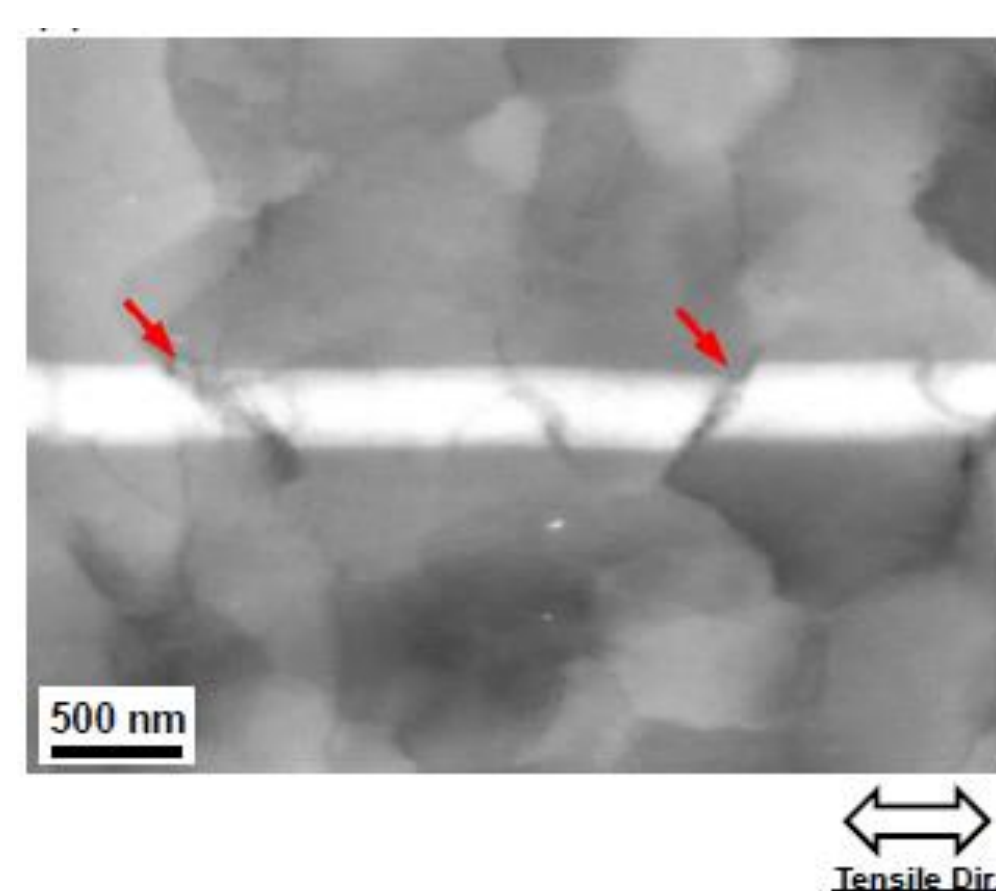
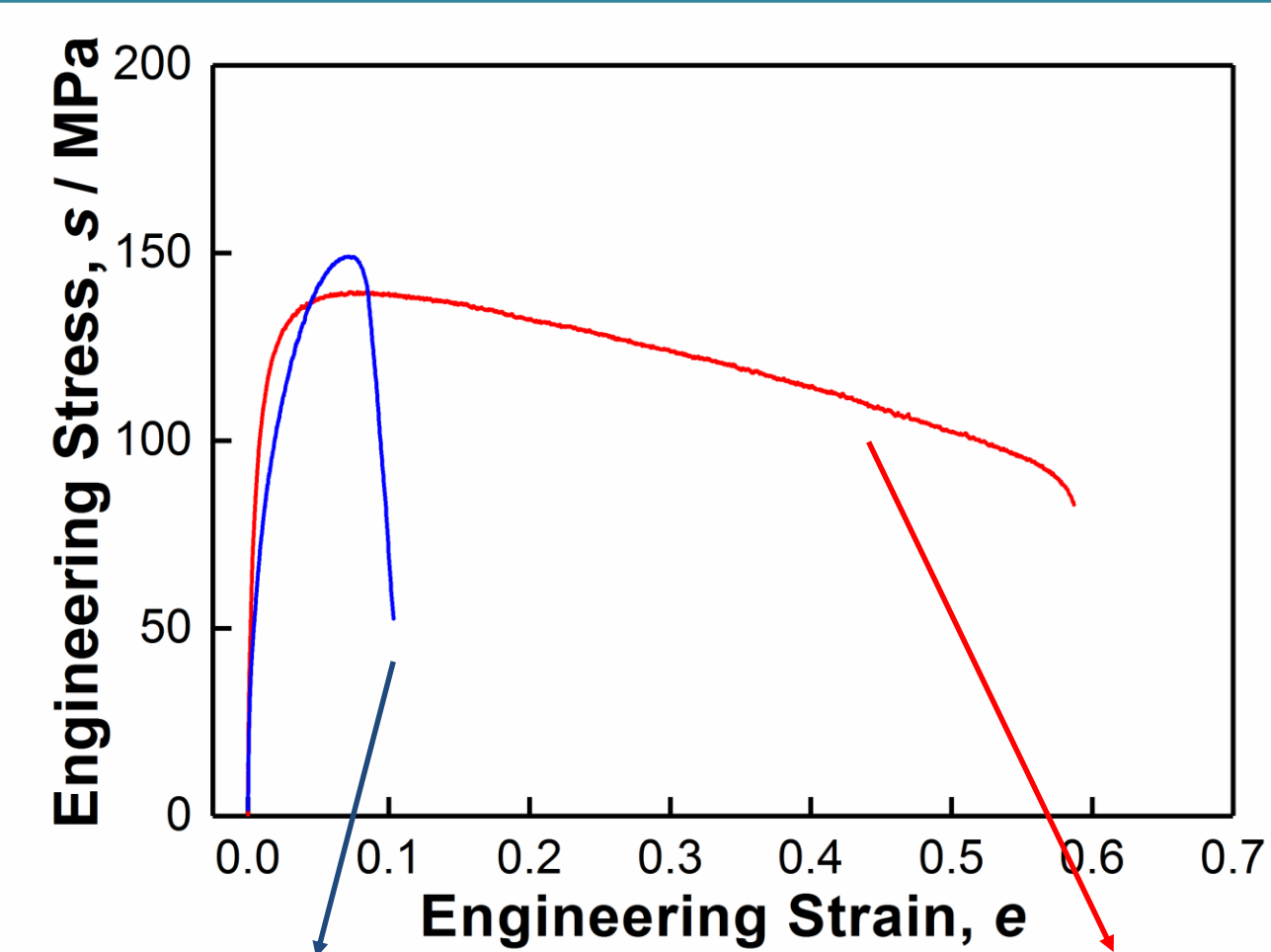
- 金属の変形のうち、力を抜いても、元に戻らない変形を『塑性変形』と呼びます。
- 塑性変形は、結晶を構成する原子配列のズレである『転位』が移動することで起こります。
- つまり、金属を変形しにくくするためには、転位を動きにくくすればよいわけです。
- 結晶粒界は転位の移動を妨げます。
- だから、結晶粒界を多く持つ、バルクナノメタルは驚異的な強度を持つのです。

バルクナノメタルの研究例①: DP鋼の結晶粒径微細化～



- DP鋼とは組織中にフェライト相とマルテンサイト相の2相を持つ鋼のことです。
 - 左図は画像相関法(DIC)により解析した、DP鋼の引張変形後の二次元局所ひずみ分布図、およびその応力ひずみ曲線です。
 - 結晶粒が微細になるほど両相が均一に変形する傾向がみられます。
- 結晶粒の微細化により、フェライト相のひずみ集中が抑制され、その結果全伸びが大幅に向上したと考えられます。

バルクナノメタルの研究例②: Mgの結晶粒径微細化による延性向上～



- マグネシウムは構造用金属材料の中で最も密度が低く、軽量化に有効です。
- しかし、加工性が悪いなどの理由から広く実用化されていません。
- HPT加工によって微細化した純マグネシウムにおいて、延性が著しく向上しました。
- 結晶粒の微細化により粒界すべりが活性化されたためであると考えられます。

