



文部科学省科学研究費補助金「新学術領域研究 (研究領域提案型)」
研究期間：平成22年度～平成26年度



バルクナノメタル ～常識を覆す新しい構造材料の科学⁽¹⁾

京都大学大学院
材料物性学講座

工学研究科
構造物性学分野

材料工学専攻

辻 伸泰 教授
柴田 暁伸 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。

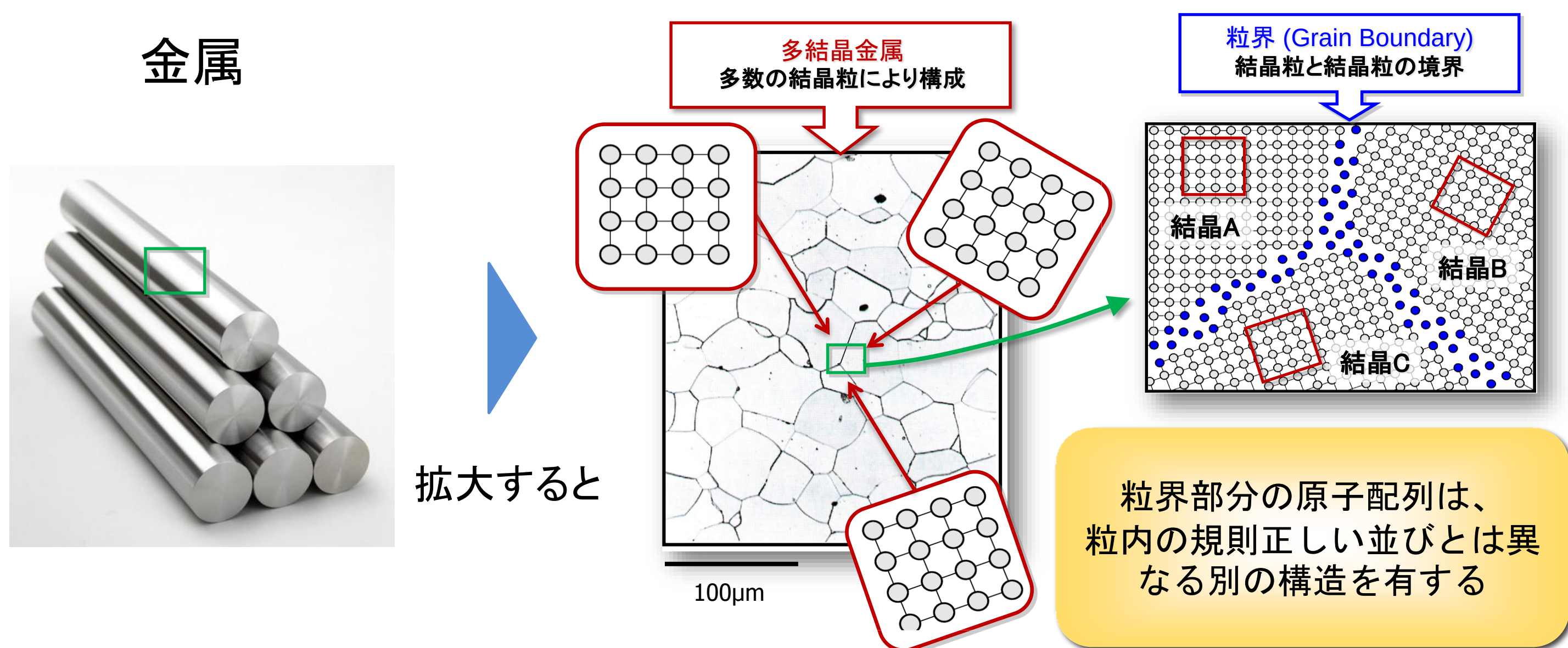
構造用金属材料はどんな所に使われているの？



構造用金属材料の存在を普段意識することはあまりないと思いますが、実は我々の生活のいたるところで使われています。その中の一つが自動車ですが、自動車は衝突した際に運転手の安全を確保しなければなりません。よって、自動車に用いられる構造用金属材料は高強度であることが求められます。自動車に限らず、飛行機や橋などにおいても同様の特性が要求されます。

このように構造用金属材料は、我々が安全で、安心な生活を送る上で、必要不可欠なものとなっています。

金属はどういう構造をしているの？



金属は多数の結晶粒により構成されています。一つの結晶粒の中では、原子が規則正しく並んでおり、結晶粒ごとで原子の並ぶ方向は異なっています。また、結晶粒と結晶粒の境界は粒界といい、粒界部分の原子の配列は粒内の原子の配列とは異なります。結晶粒の大きさやと粒界の数は金属の力学特性に大きな影響を及ぼします。

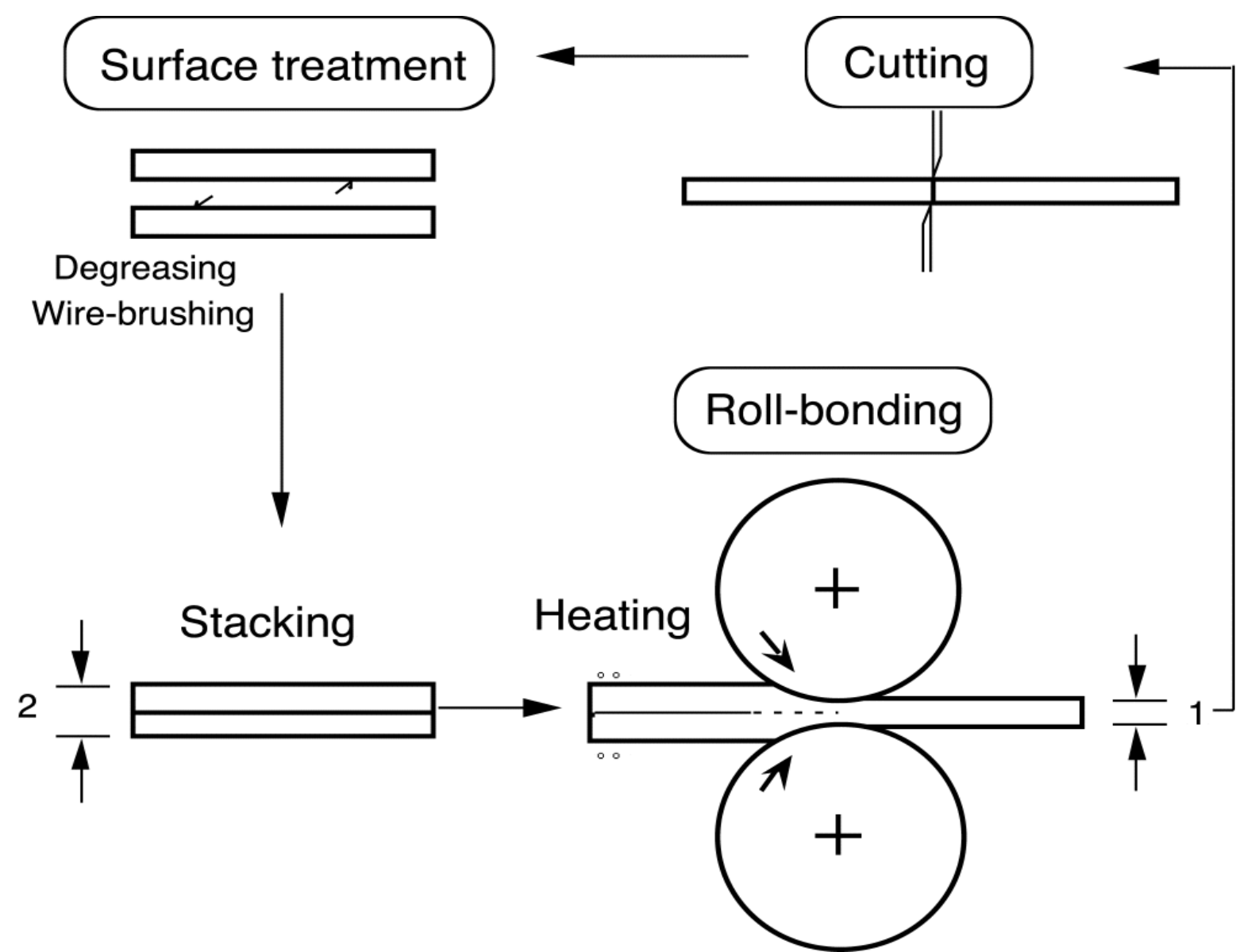
我々は、金属の結晶粒の大きさを極限まで微細にすることに成功し、その結果、金属の力学特性に関して従来では考えられないような特異な現象を発見しました。この結晶粒を極限まで微細化した金属のことをバルクナノメタルといいます。

バルクナノメタルはどうやって作られるの？

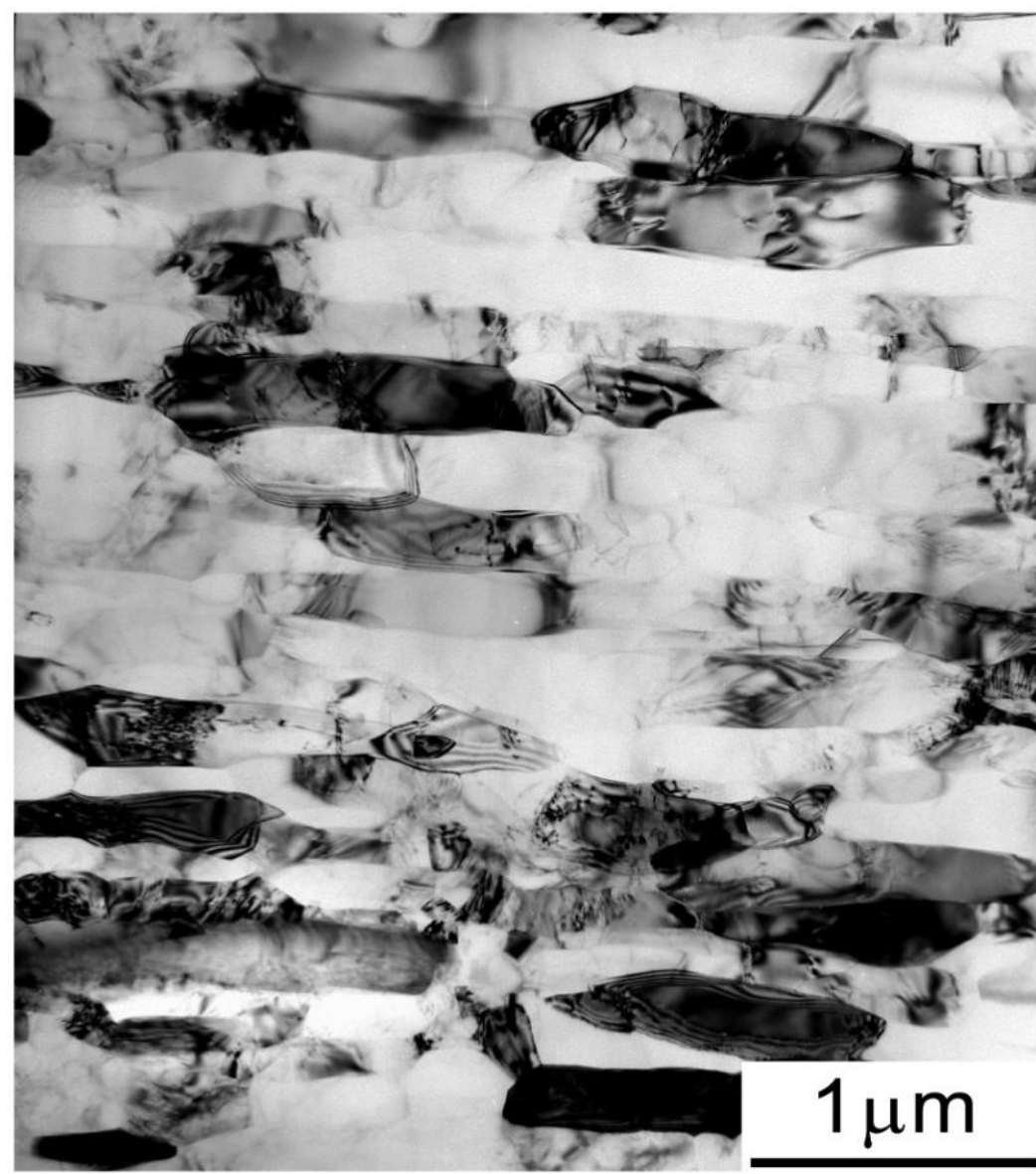
我々が用いている構造用金属材料のほとんどは多結晶体で、これまでは、その平均結晶粒径はせいぜい 10 μm 程度までしか微細化することができませんでした。しかし、我々は、ARB (accumulative roll - bonding) という、大きな塑性変形を施す巨大ひずみプロセスを独自に開発し、超微細粒・ナノ組織の創製に成功しました。

このようにして作られた結晶粒径 1 μm 以下の金属 (バルクナノメタル) は、粒径数十 μm 以上の従来金属とは大きく異なる特性を示します。我々の研究室では、なぜバルクナノメタルがこのような異なる力学物性を示すのかを明らかにするための基礎研究に取り組んでいます。

ARB (accumulative roll - bonding) 法



このプロセスを何度も繰り返すことでバルクナノメタルを得ることができる



ARB 法により作製された超微細粒アルミニウムの透過電子顕微鏡 (TEM) 写真

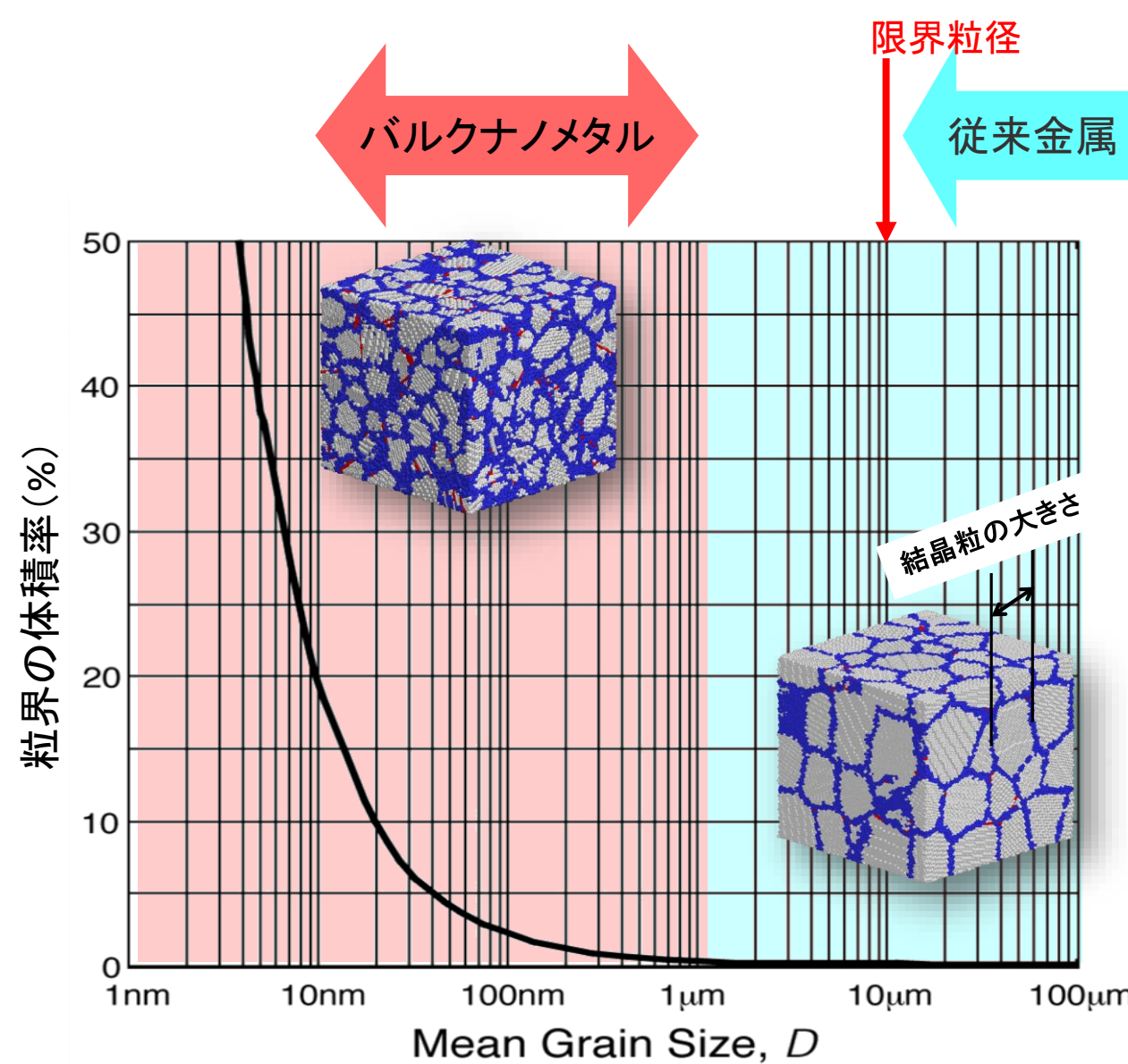
常識を覆す新しい構造材料 “バルクナノメタル”

バルクナノメタルが従来金属と異なる物性を示す理由の一つとして、結晶粒間の境界であり、局所的に原子構造の乱れた粒界の多さがあげられます。左側の図に示すように、バルクナノメタルは従来考えられてきた金属よりもはるかに多くの粒界を有しています。その結果、これまでの理論では説明ができないような物性を示すと考えられています。

また、バルクナノメタルが示す特異な物性の一例として、右側の図に示すように、バルクナノメタル材は、単純組成で従来粒径材の 4 倍にも達する高強度を示すことが挙げられます。また、アルミニウムに関しても、従来材だと鋼よりも強度が劣りますが、ARB を行うことで従来材の鋼よりも優れた強度を示していることがわかります。

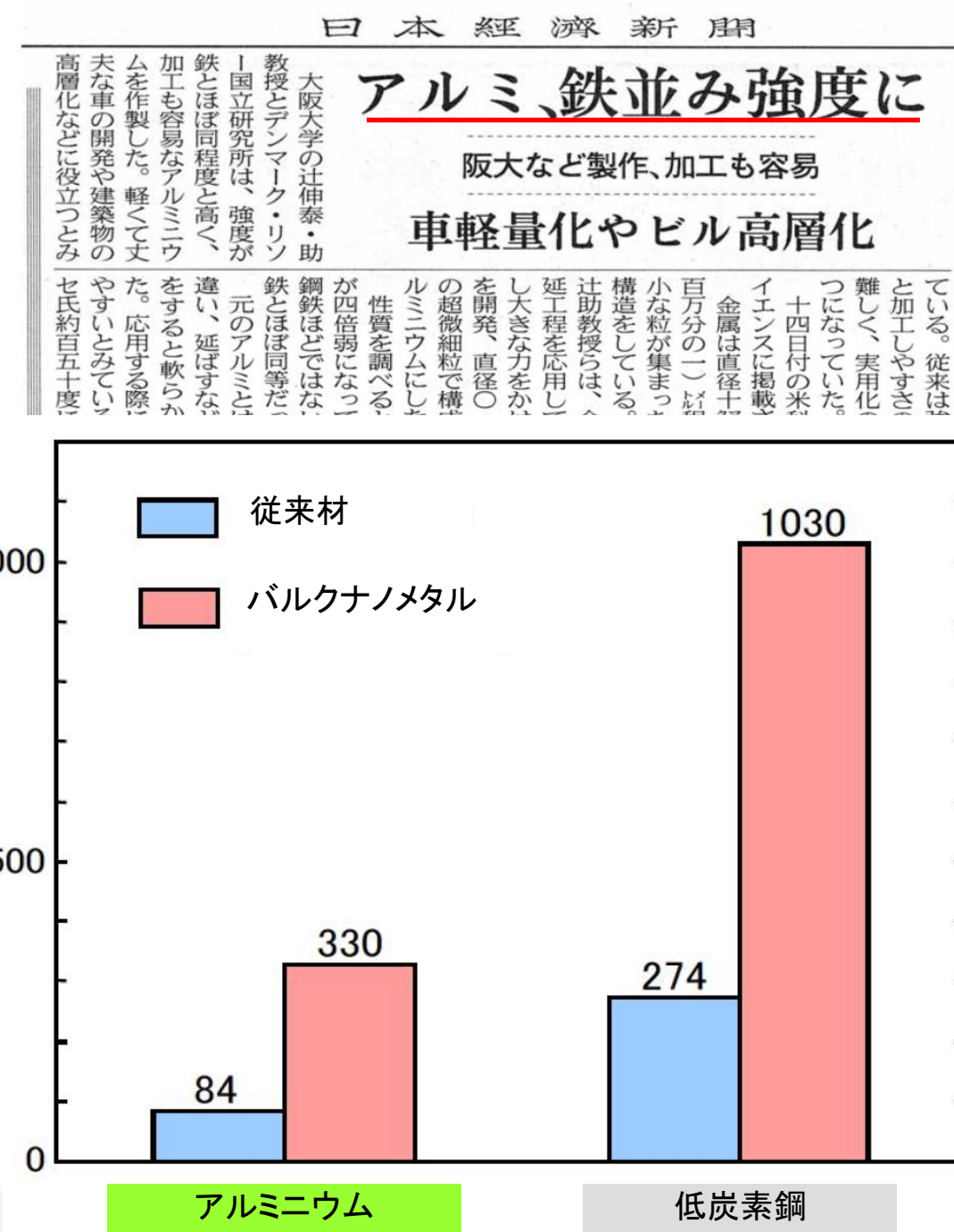
このように、バルクナノメタルは非常に特異な物性を有しており、非常に興味深い構造用金属材料であると言えます。

バルクナノメタル = 粒界だらけの材料



粒界だらけの金属材料
種々の特異な現象が発現
未知の物性

従来の金属は、粒界のほとんどない材料
これまでの金属材料学の前提となる組織



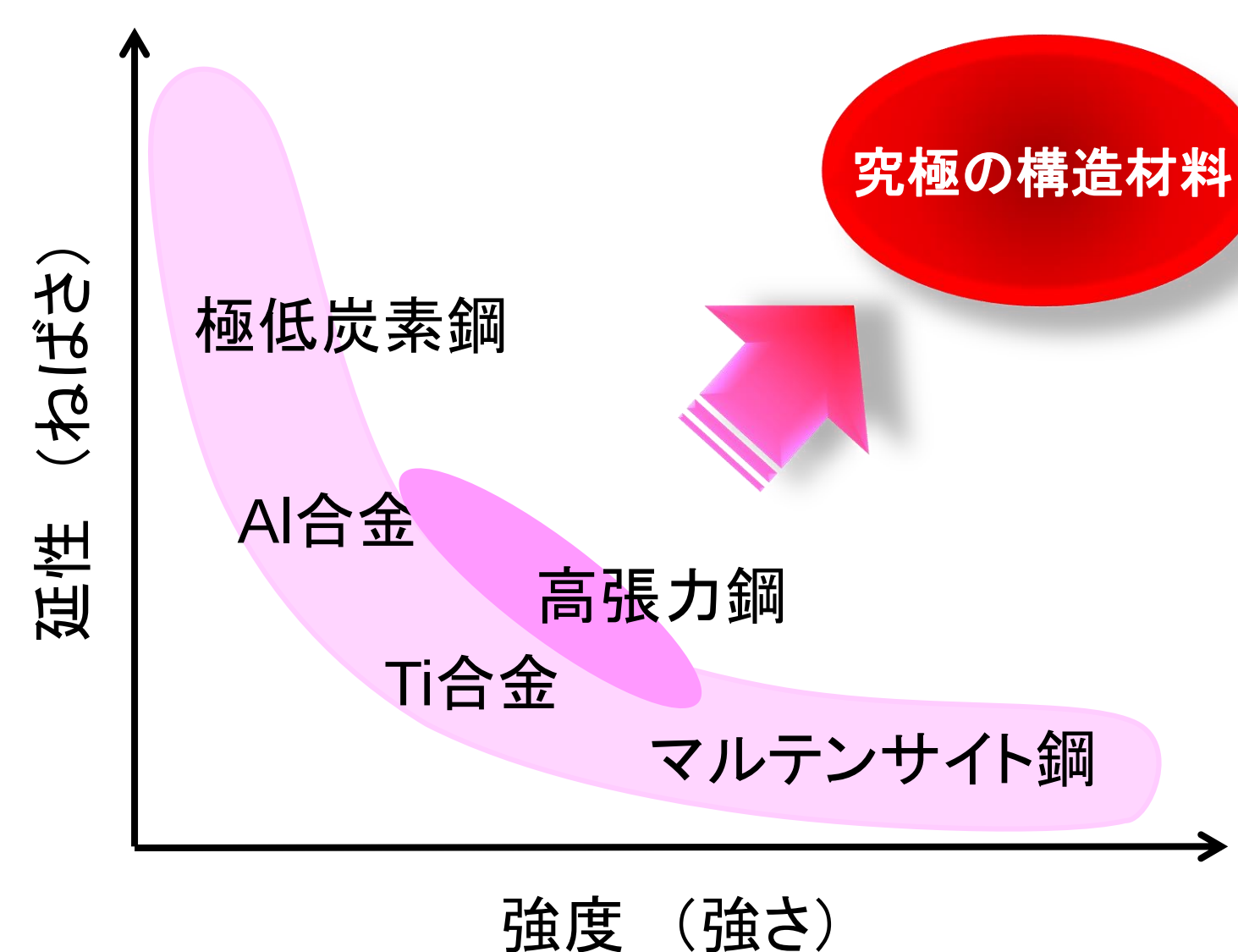
(1) バルクナノメタルプロジェクト

バルクナノメタルの特異な性質を明らかにすることを目的として、国内25機関の40研究者を集結して実行
科学研究費補助金・新学術領域：2010年度～2014年度

バルクナノメタルの科学 ～先端的な研究結果の紹介

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 助教

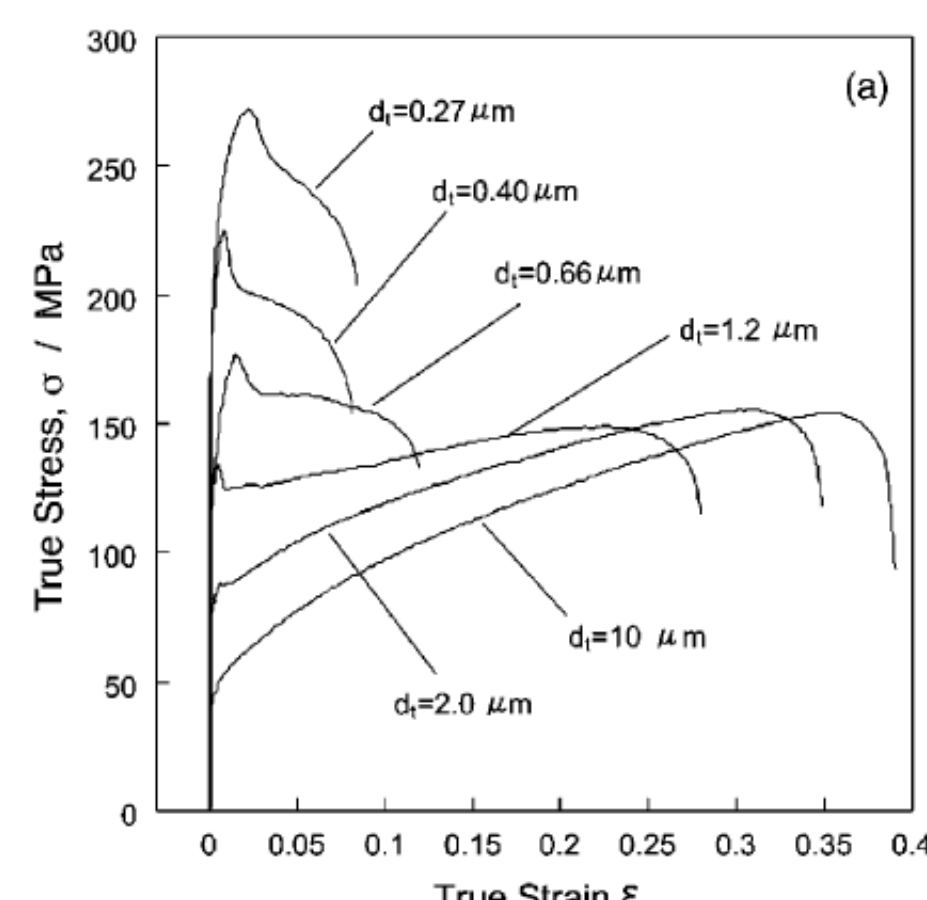
先端的な研究結果 その1 バルクナノメタルの力学特性 ～強度・延性の両立



一般的な金属材料において、強度・延性の両立は難しい。

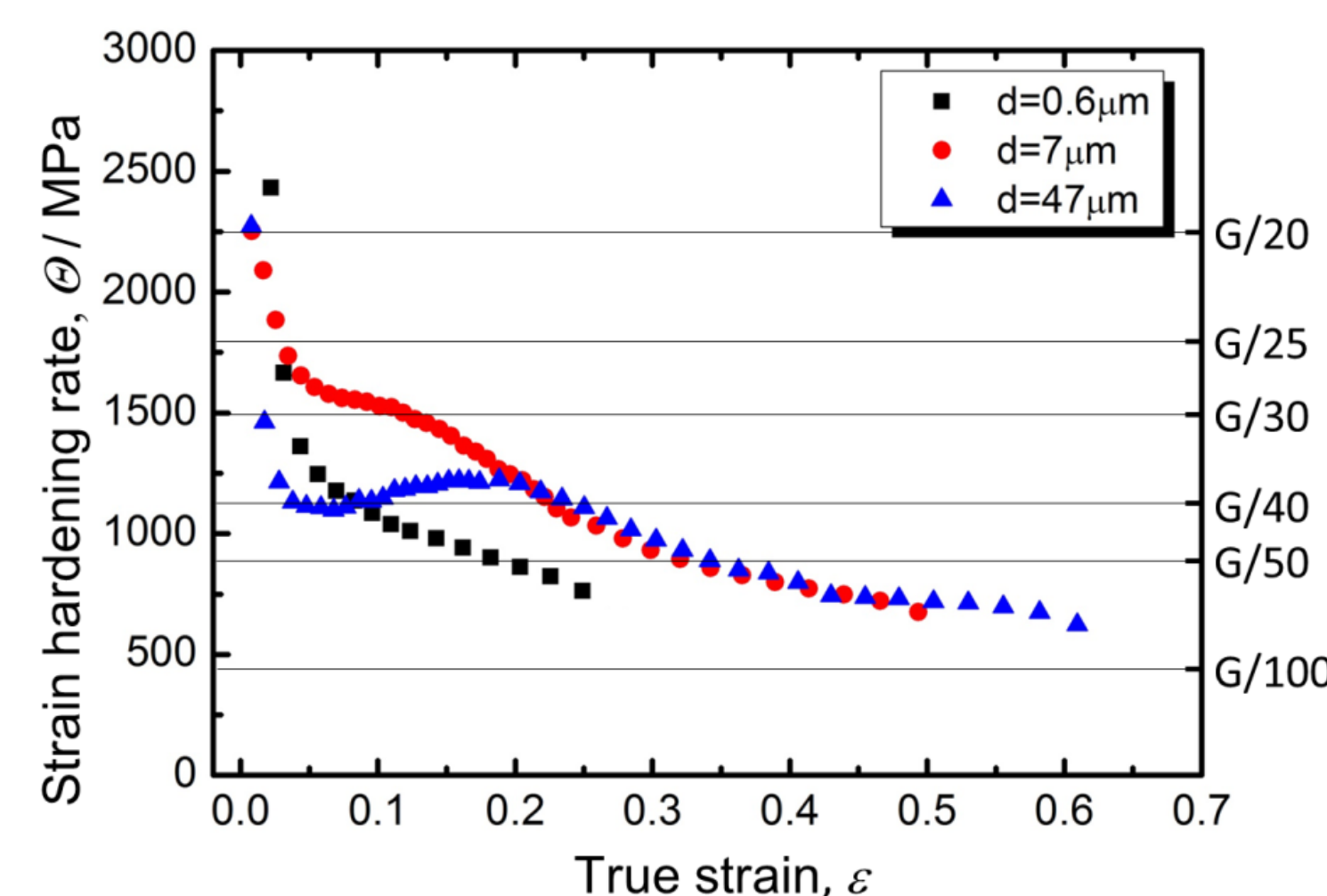
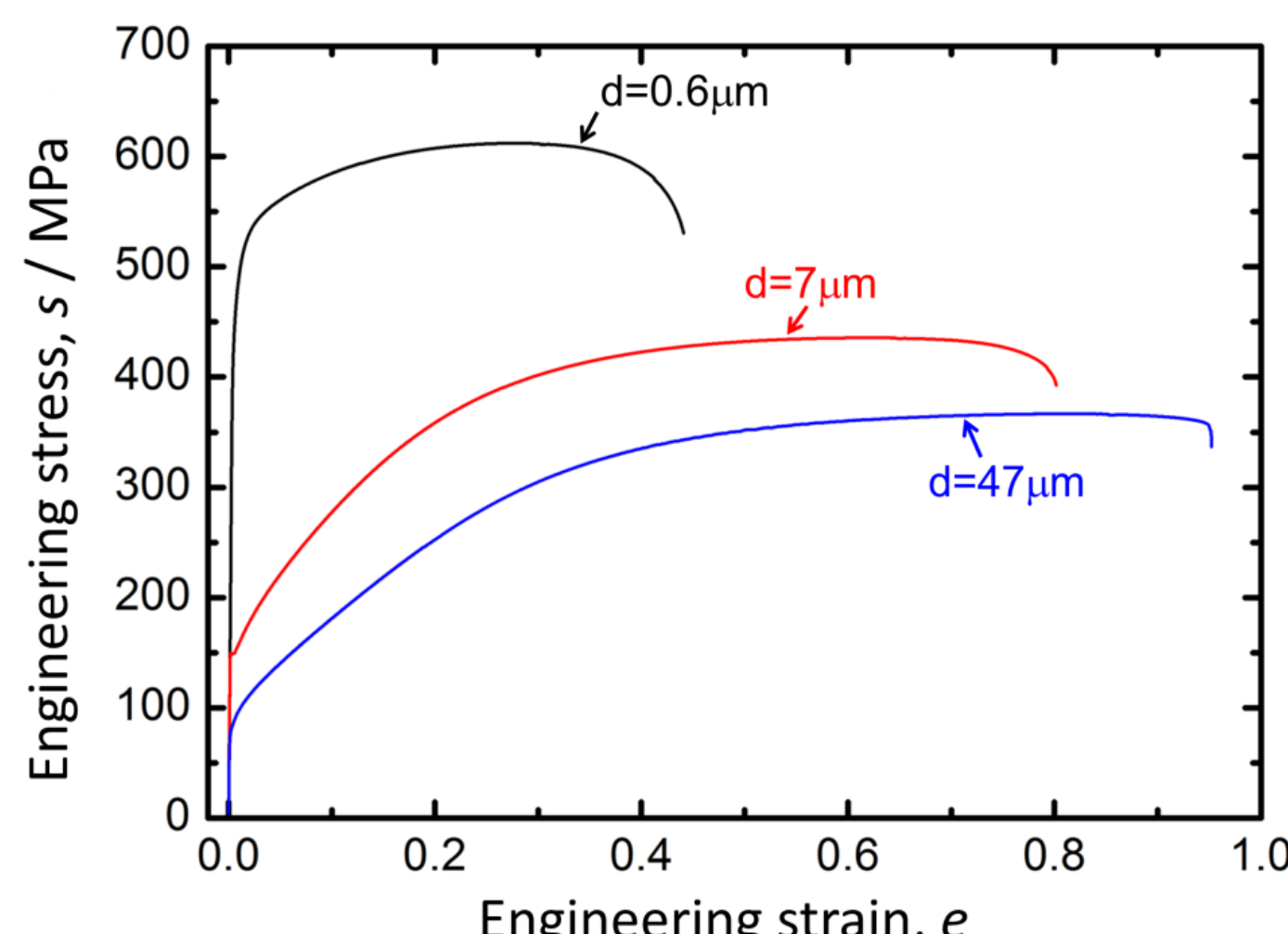
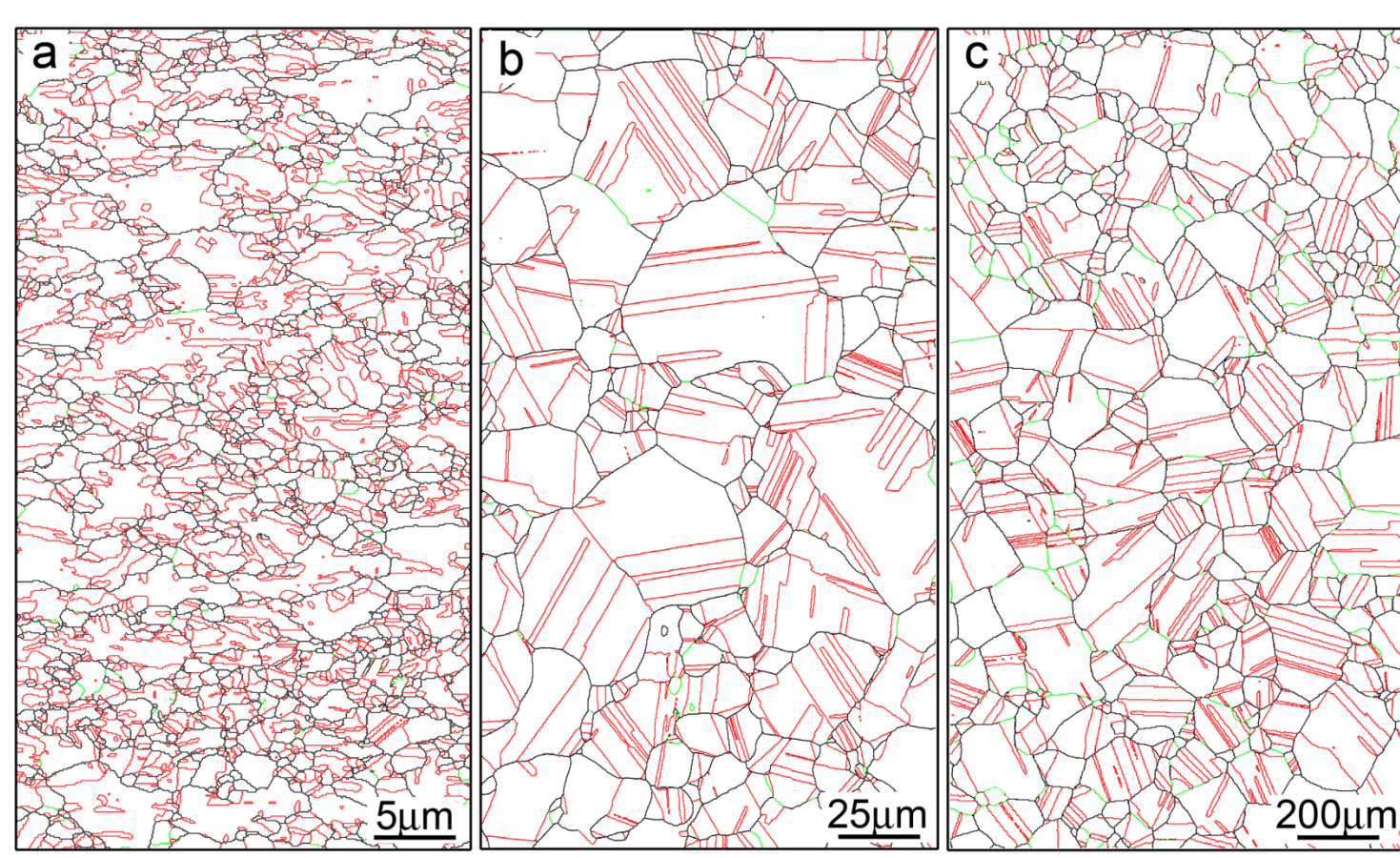
バルクナノメタルは強度・延性を両立する究極の構造材料を生み出す可能をもつ。

ARB(accumulative roll bonding)により作製した超微細粒Alの力学特性



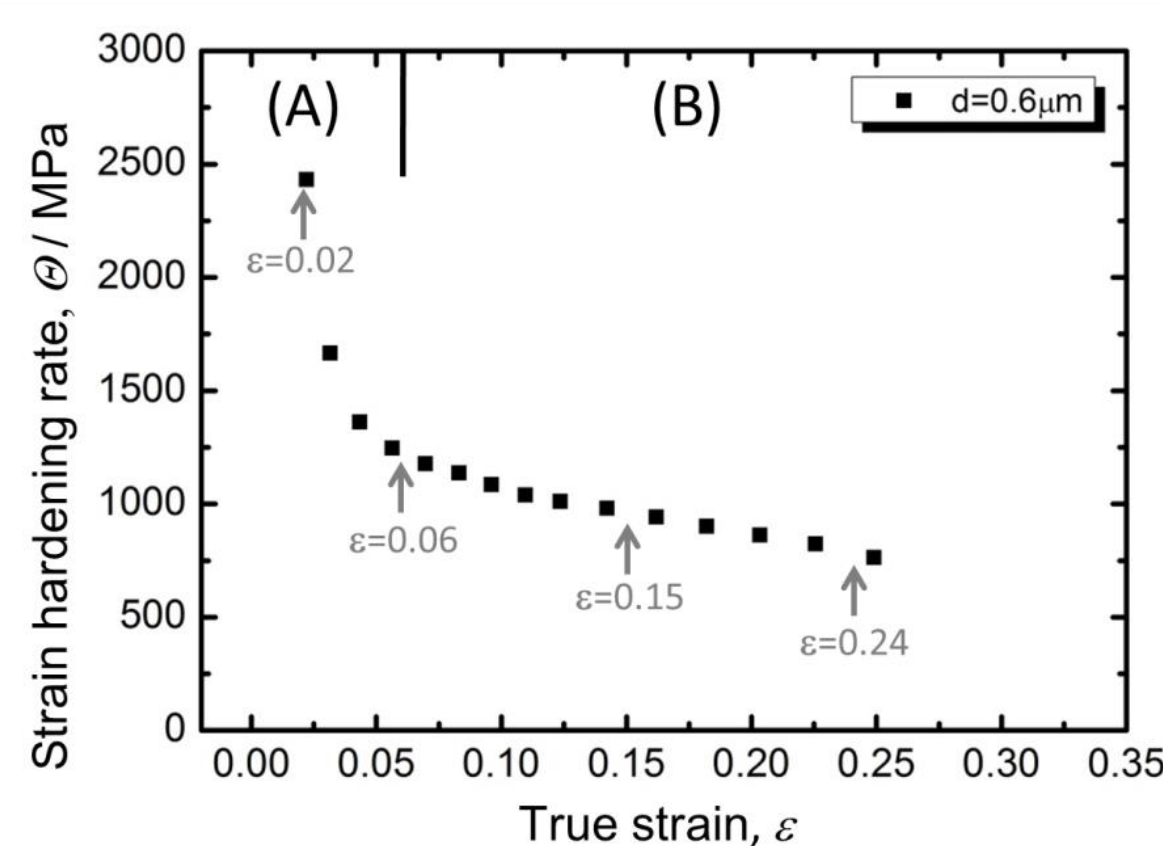
強度は大幅に向上するが、延性は大きく減少。
→ 実用的な構造用材料として、不適切。

Cu-6.8 wt% Al 合金



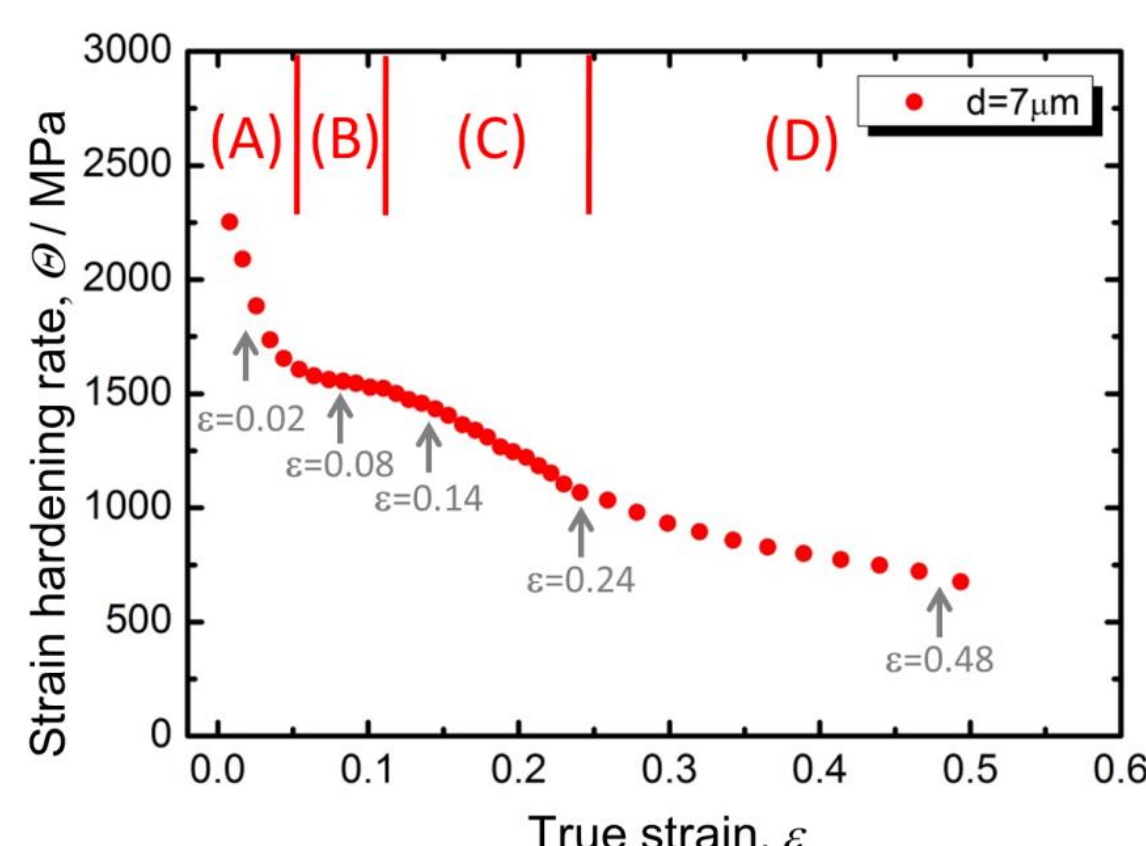
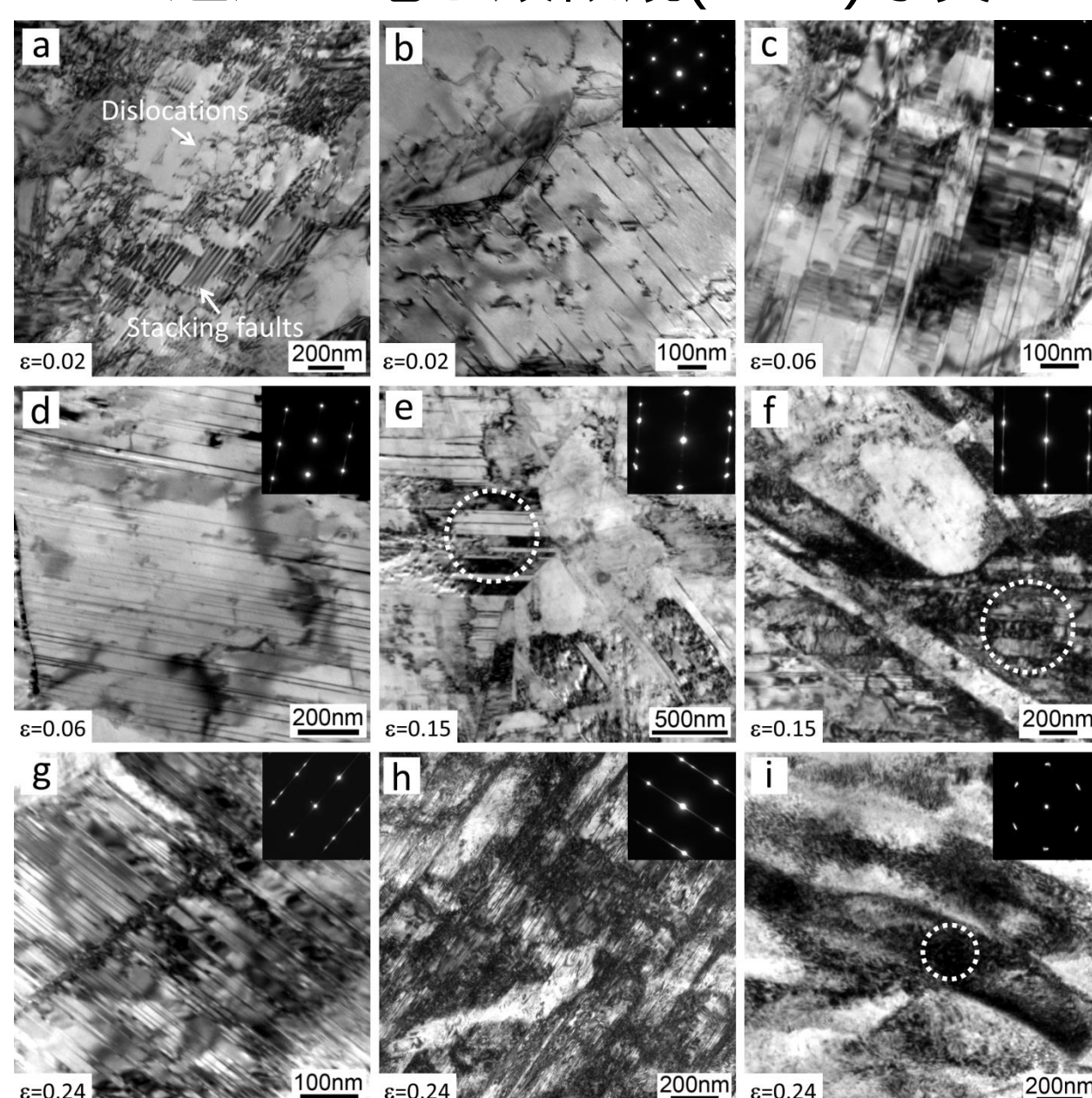
結晶粒微細化に伴い、強度が大幅に上昇。
延性はほとんど低下せず。
材料選定により、**高強度・大延性の両立**が可能。

粗大粒材と超微細粒材で異なる加工硬化挙動を示す。
特異な材料物性の発現。



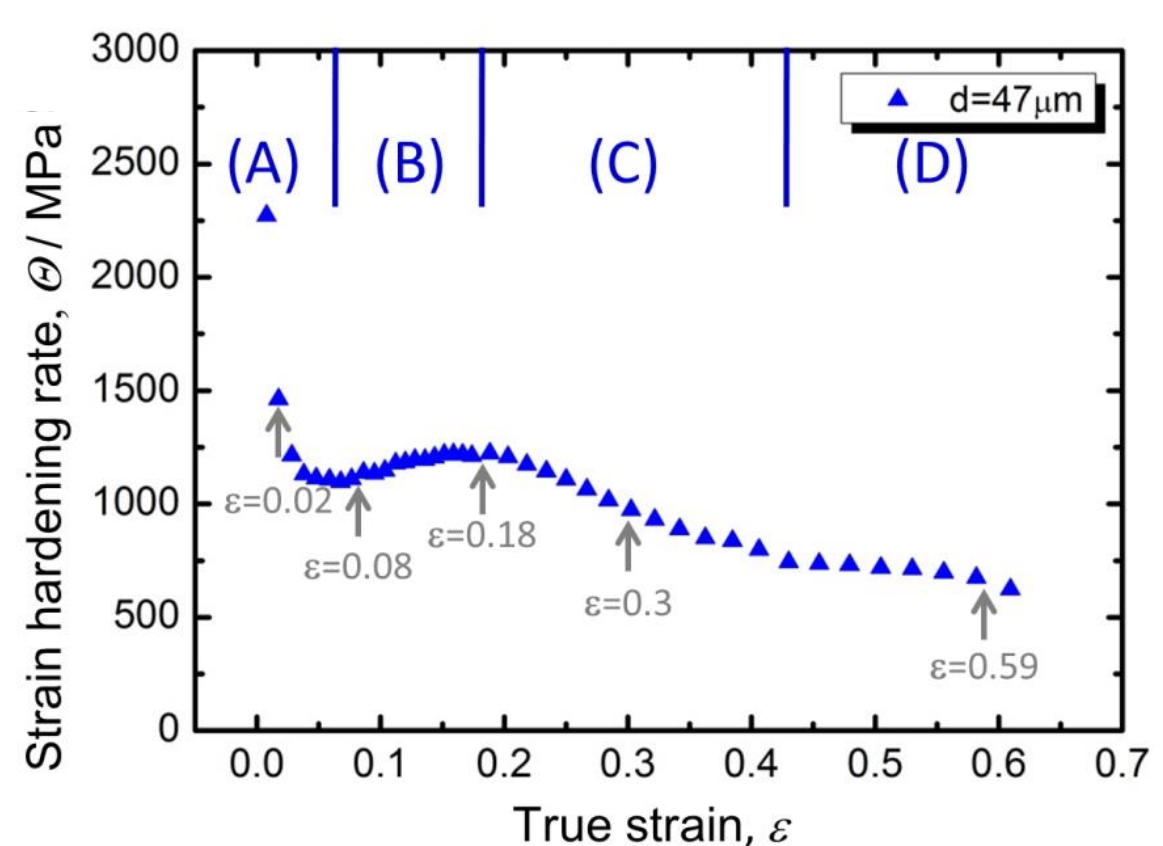
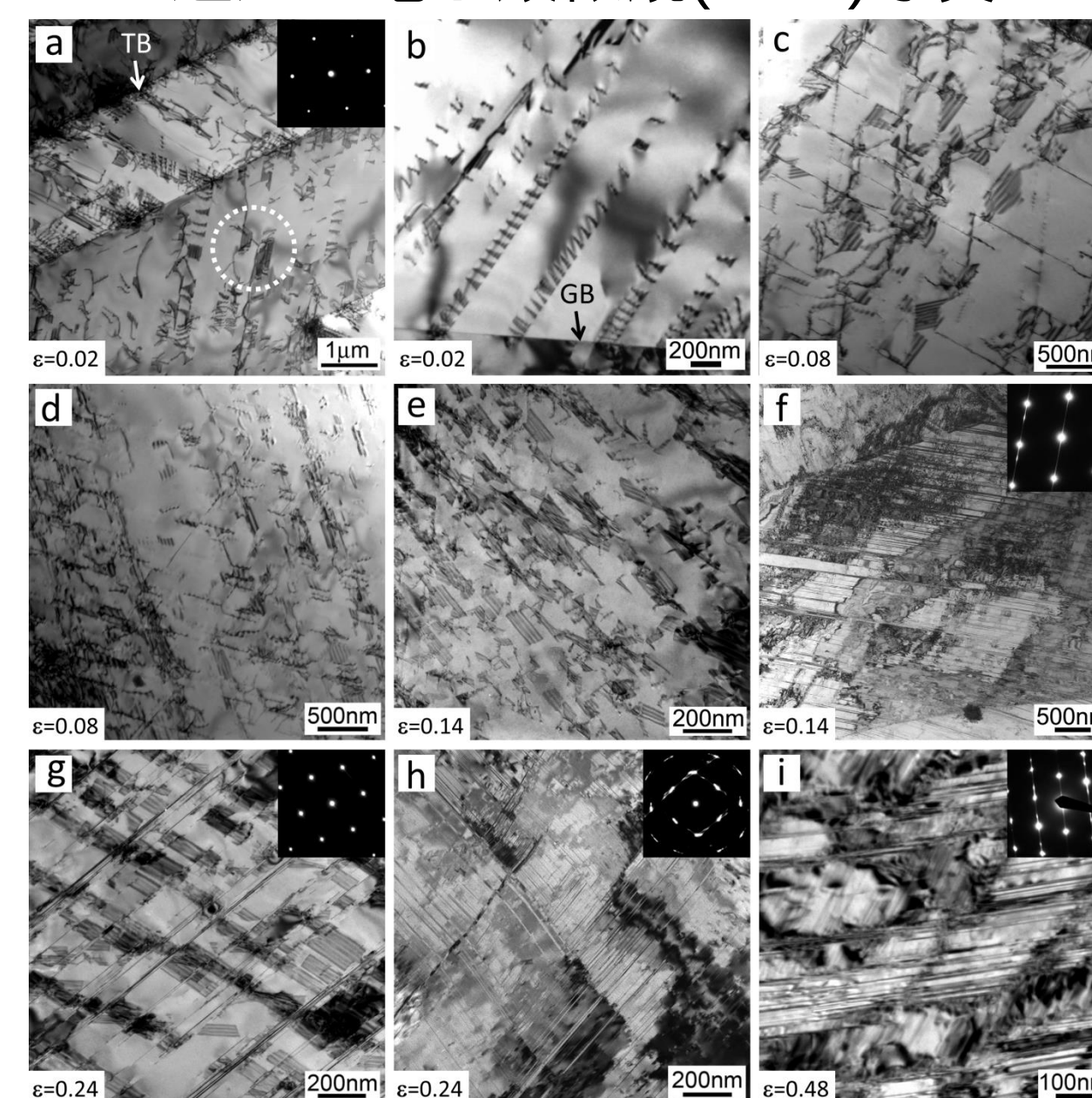
0.02: 少量の転位, 多くの積層欠陥。
0.06: 変形双晶が形成。
0.24: 多くの変形双晶が観察。

透過型電子顕微鏡(TEM)写真



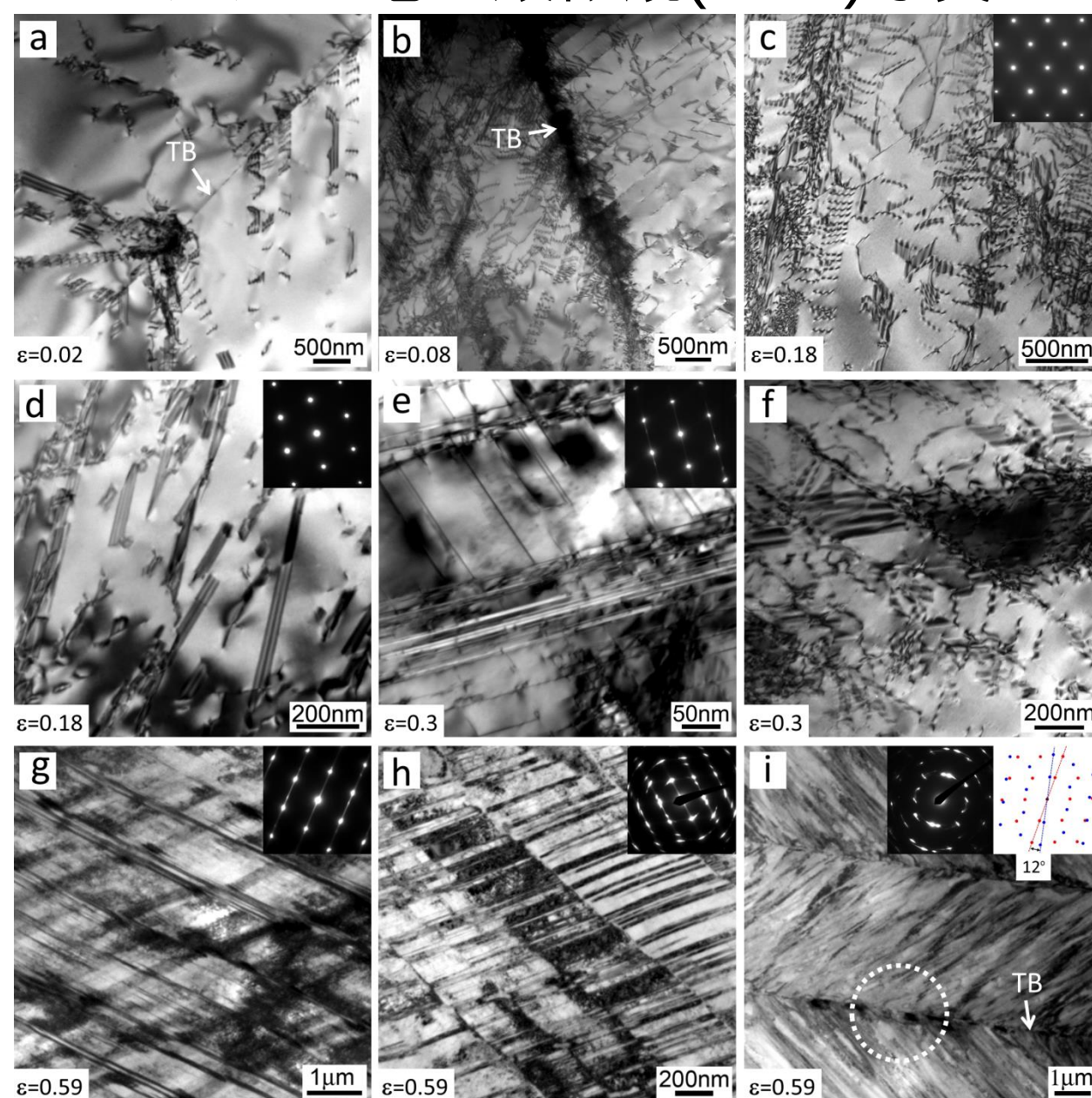
0.02: 多くの転位, 少量の積層欠陥。
0.08: 多くの転位と積層欠陥が観察。
0.14: 変形双晶が形成。
0.24: 変形双晶同士が交差。
0.48: 転位バンドが形成。

透過型電子顕微鏡(TEM)写真



0.02: 多くの転位, 積層欠陥が観察。
0.08: 多くの転位と積層欠陥が観察。
0.14: 多くの転位と積層欠陥が観察。
0.24: 変形双晶が形成。
0.59: 転位バンドが形成。

透過型電子顕微鏡(TEM)写真

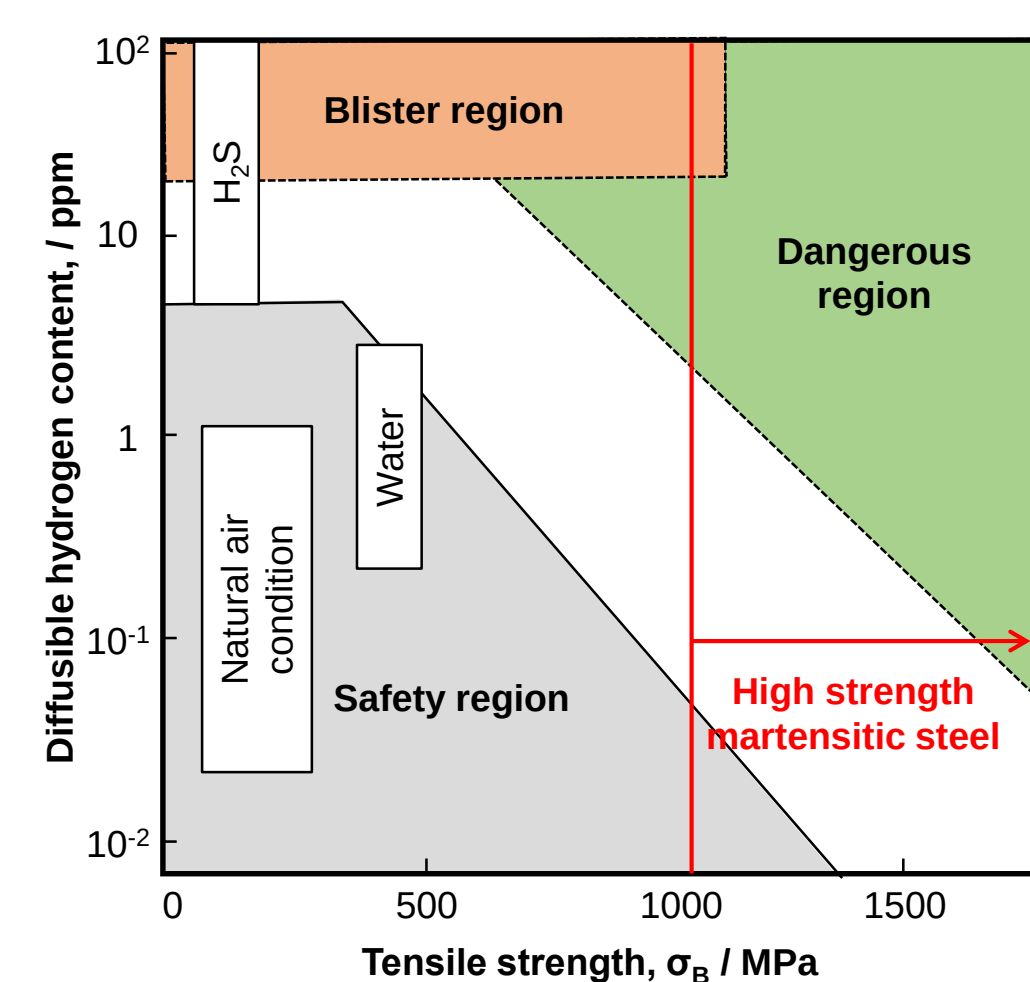


粗大粒(7 μm, 47 μm)と超微細粒(0.6 μm)で、塑性変形中の変形機構が異なり、それが加工硬化挙動に影響をおよぼしている。

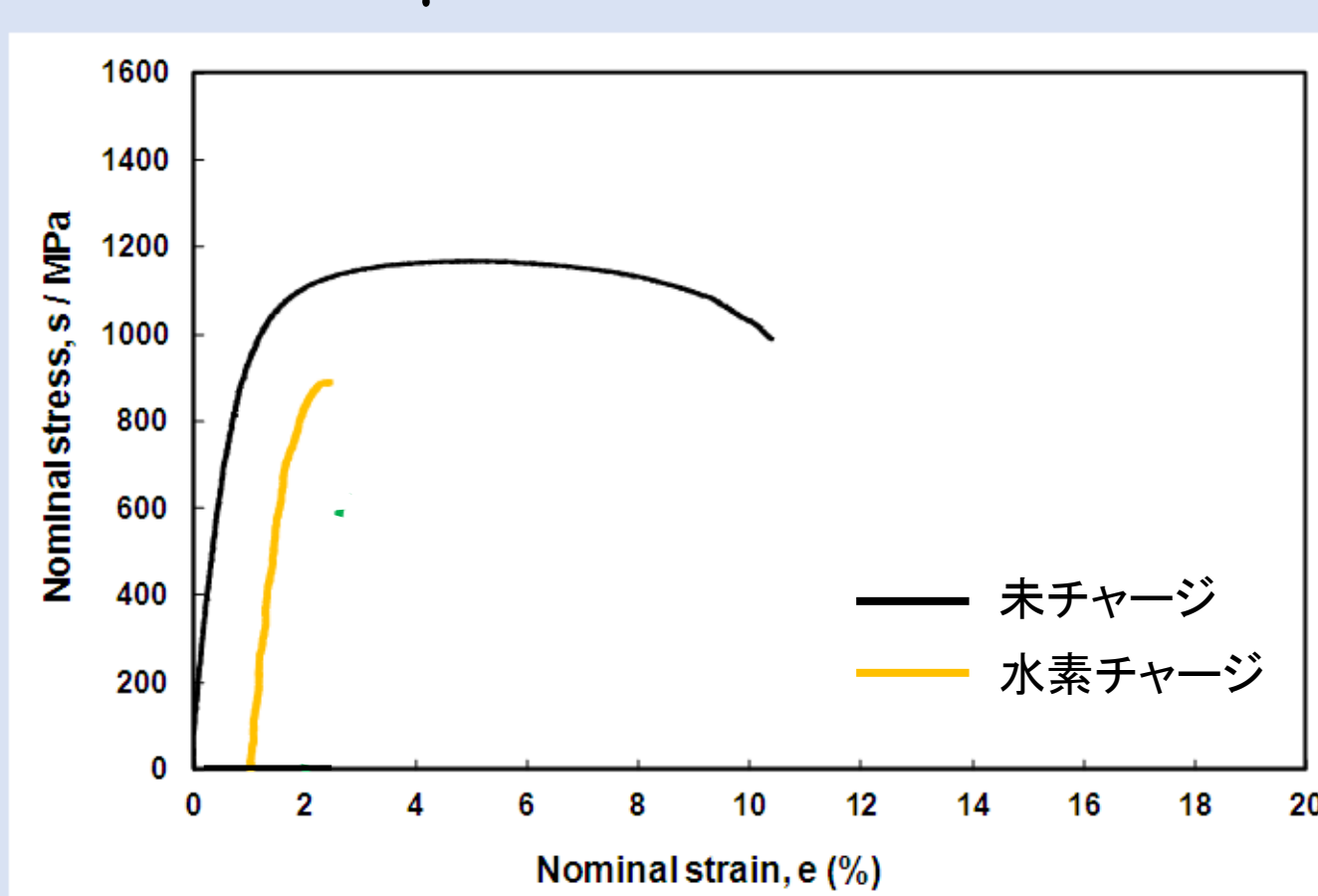
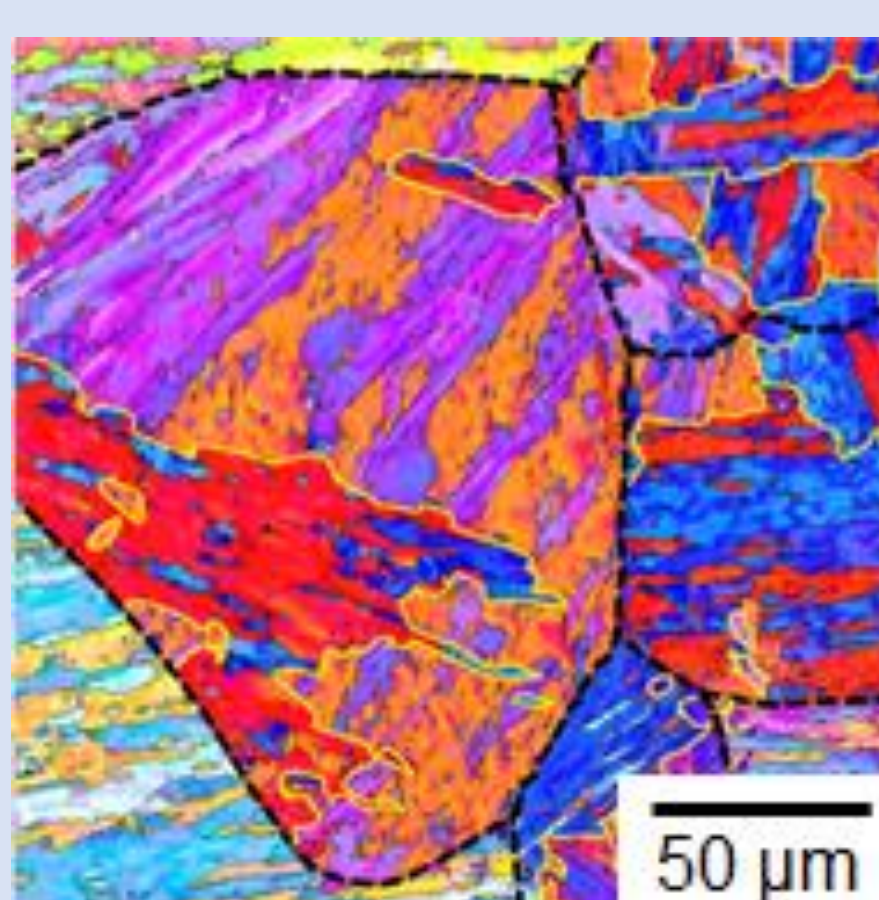
→ **超微細粒材において高強度と大延性の両立を実現。**

先端的な研究結果 その2 結晶粒微細化による水素脆性の克服

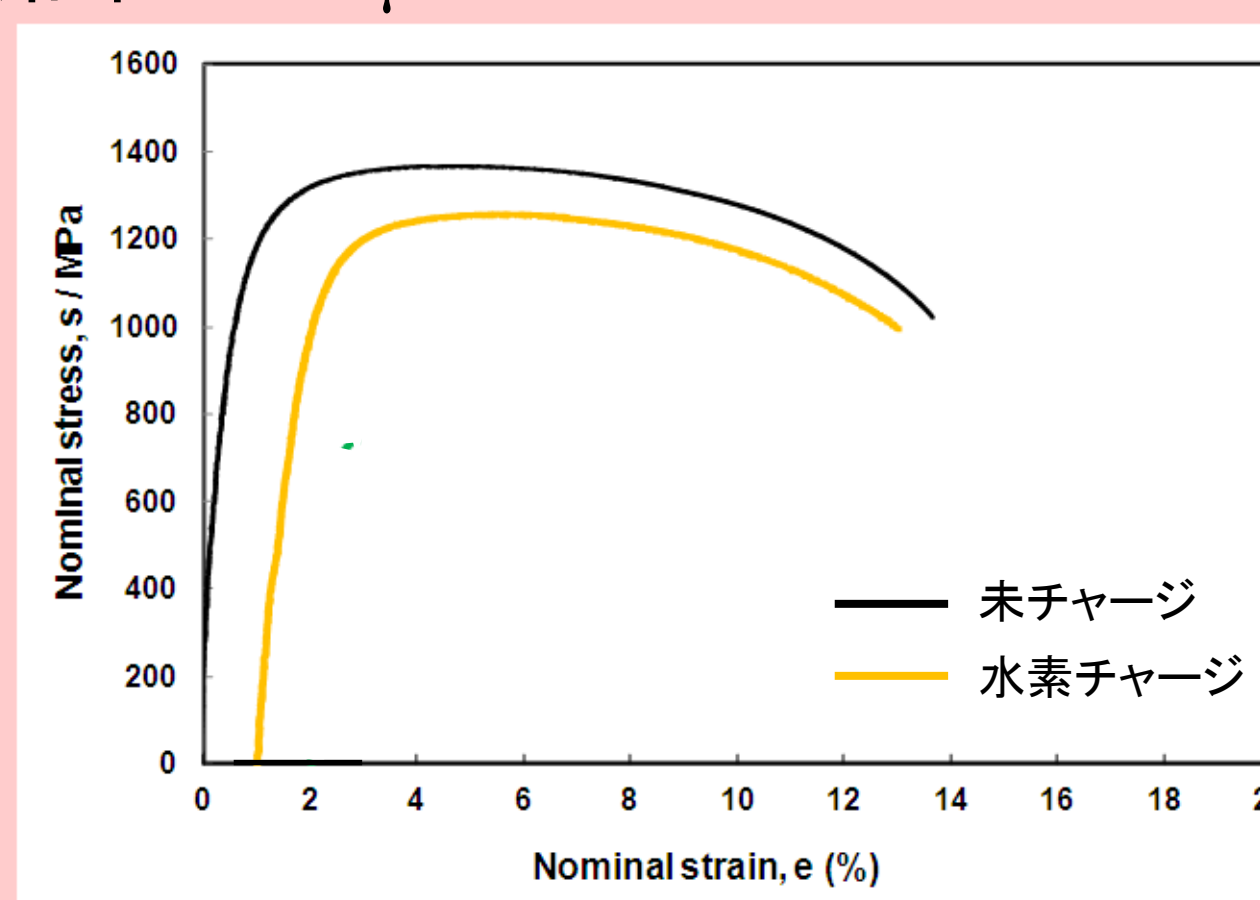
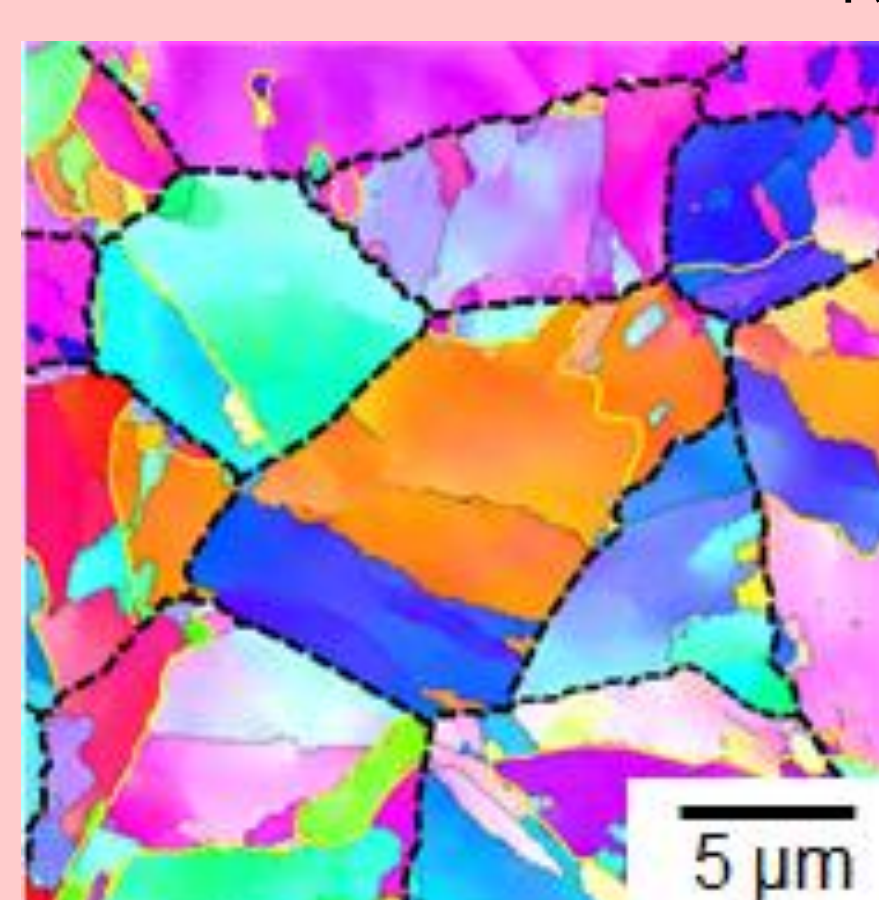
水素脆性 = 材料中に水素が侵入することにより、破壊強度や延性が低下する現象。早期に破壊してしまい、重大な事故を引き起こす。



粗大粒 124 μm



微細粒 4.7 μm



結晶粒微細化により、水素を導入した後も良い延性を保持している。 → **結晶粒微細化による水素脆性の克服**