



バルクナノメタル：常識を覆す構造材料

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， 國峯 崇裕 特定助教

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。

構造用金属材料とは何なのか？

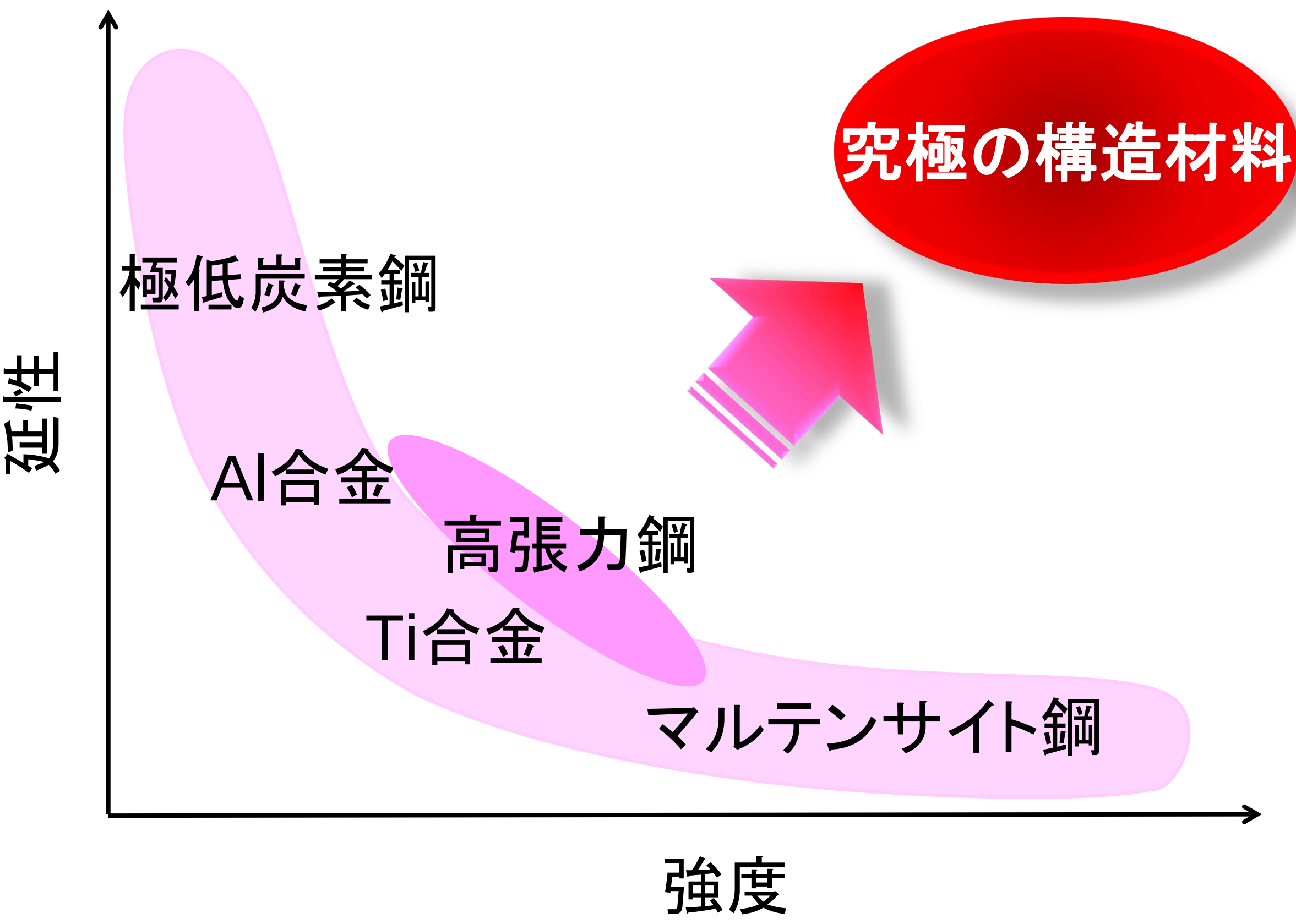
建設

輸送

エネルギー

構造用材料とは、様々な人工物の形状を構成する材料のことをいいます。その中でも構造用金属材料は建設、輸送、エネルギー等のあらゆる分野で使用されている、ものづくりの屋台骨ともいべき存在なのです。
我々が普段意識をしていないだけで、構造用金属材料はいたるところにあり、我々の社会を支えています。逆に言えば、構造用金属材料が今よりも高性能になれば、我々の社会もより豊かになるのです。

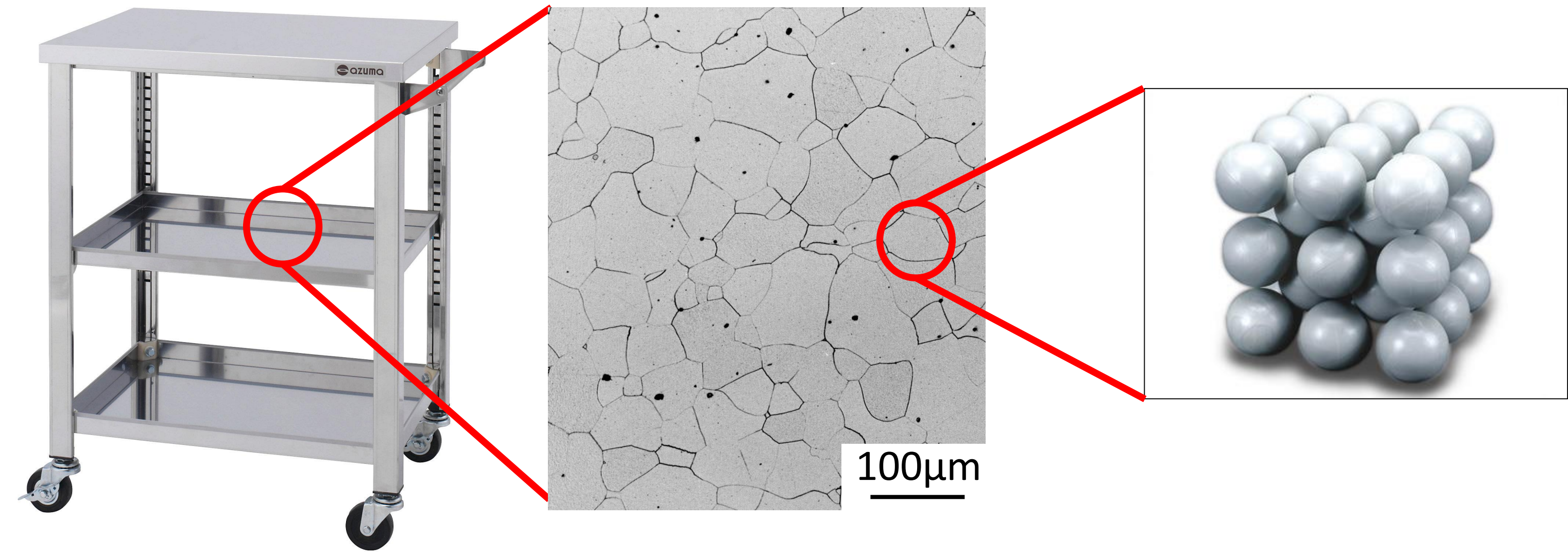
構造用金属材料に求められる性能とは？



構造用金属材料に求められる性能は主に強度と延性です。強度は材料がどれだけの力に耐えられるのか、延性は材料がどれだけの長さまで伸びうるのか、ということを示します。しかし一般にこの2つの性能は、一方が大きくなるほどもう一方は小さくなるという、トレードオフの関係にあります。そこで昨今では、この2つの性能を兼ね備えた構造材料の研究・開発が盛んに行われているのです。

どのようにして材料の性質を変化させるのか？

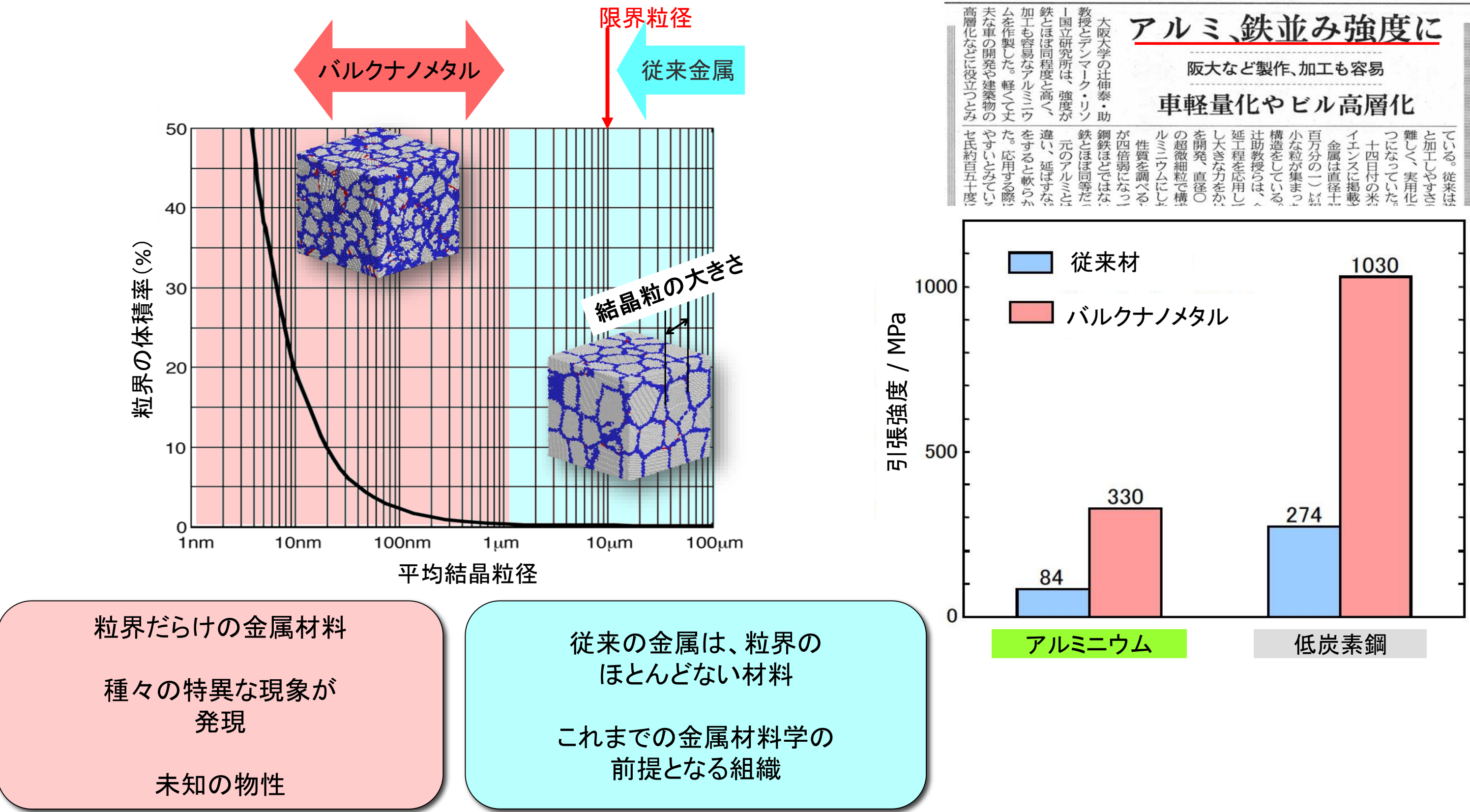
我々が用いている構造用金属材料のほとんどは多結晶体といわれるもので、多量の結晶粒が集まってできています。結晶粒とは、金属原子が規則正しく配列してできる塊で、材料によってその大きさは様々です。結晶粒をはじめとする金属内部の微視組織は材料の性質を著しく変化させます。
これまでは、異なる金属元素を混ぜ合わせることで結晶粒の形状などを変化させ、金属材料の高性能化が図られてきました。ところが、この方法で得られる材料は資源が限られた元素や環境に悪影響を及ぼす元素が必要な場合もあり、コストや安全性といった課題を残すものも少なくありません。
そこで我々の研究室では、添加元素を極力使わずに金属材料の性質を改善できないかと考え、結晶粒の大きさ(結晶粒径)を限りなく小さくすることに着目しました。そして、金属材料に独自の加工法を加えることによってナノスケールの結晶粒径を持つ材料を得ることに成功しました。我々の方法によって作られた結晶粒径1μm以下の金属材料(バルクナノメタル)は、結晶粒径数十μm以上の従来金属材料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特異な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。



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、局所的に原子構造の乱れている場所、すなわち**粒界(結晶粒の境界)**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。
バルクナノメタルが示す特異な物性の一例として、バルクナノメタル材が従来粒径材の4倍にも達する高強度を示すことが挙げられます(右図)。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、我々独自の加工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のです。

バルクナノメタル = 粒界だらけの材料



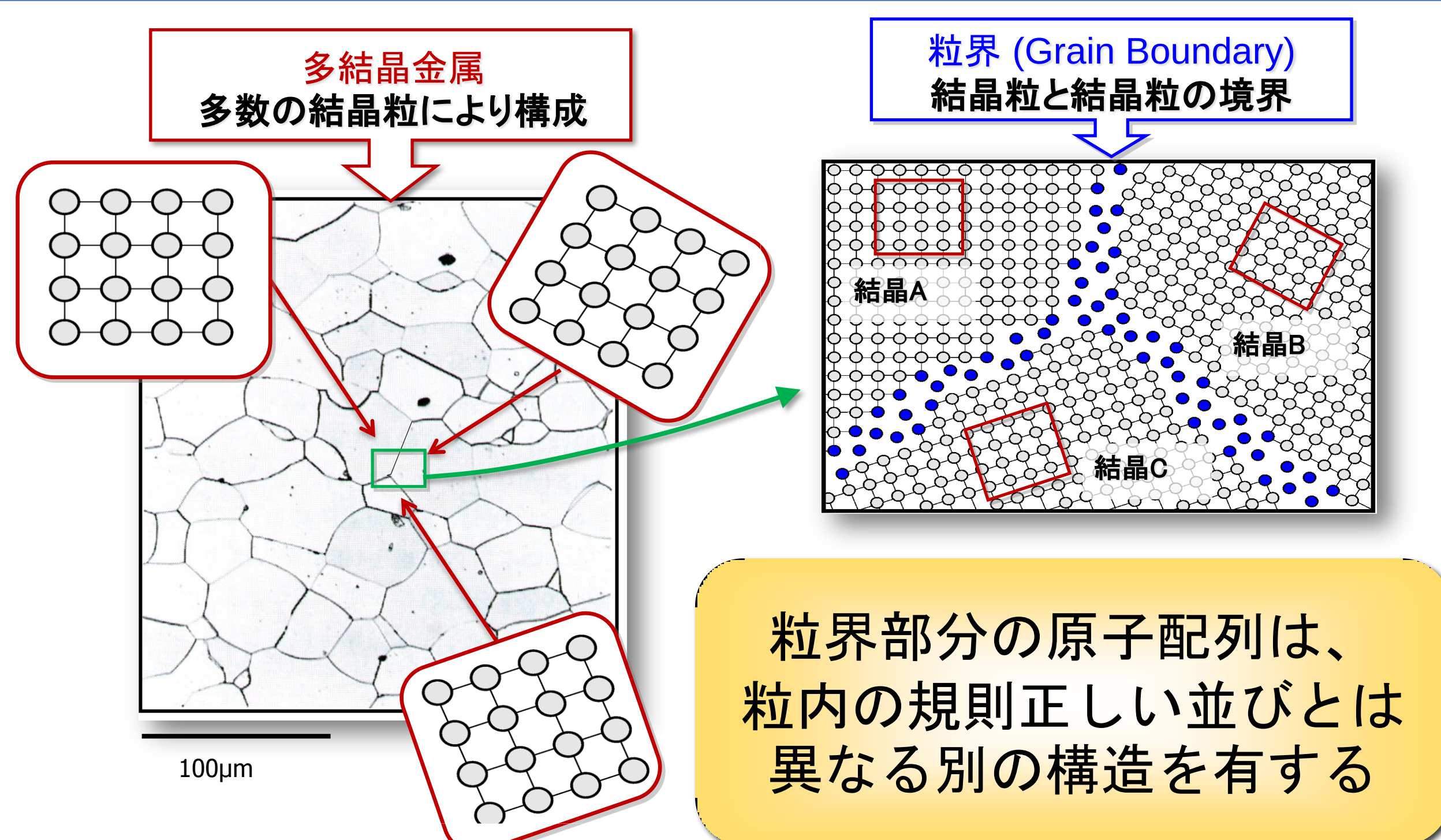
常識を覆す新しい構造材料、バルクナノメタルとは...?

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, 國峯 崇裕 特定助教

Q1. 金属の結晶粒って何?

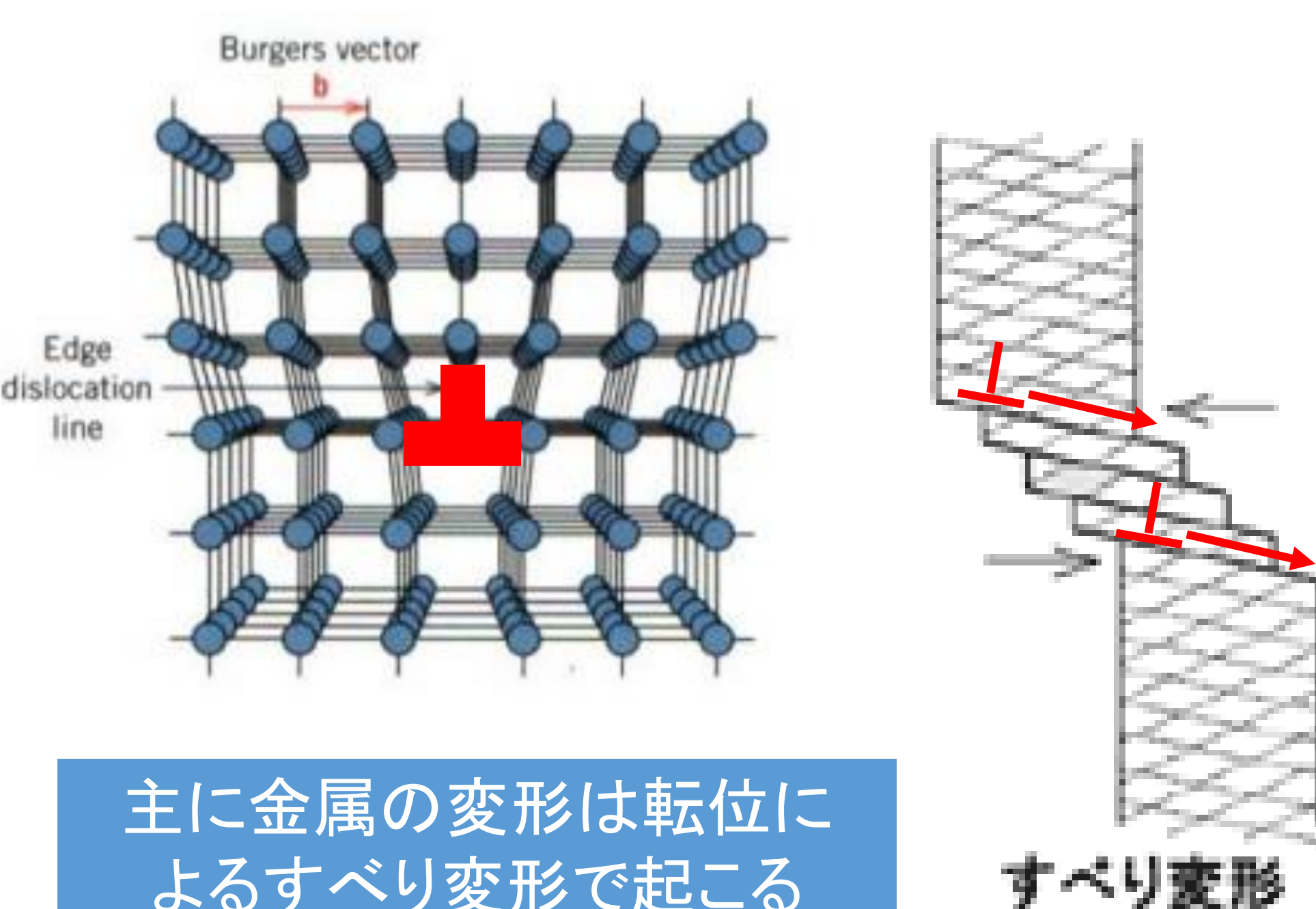
A1. 金属は原子が規則正しく並んで結合しています。これを、**金属結晶**といいます。しかしほとんどの金属材料は、材料全体で原子が規則正しく並ぶのではなく、一定の配列をもった小さな部分が集まってできているのです。この小さな部分ひとつひとつを**結晶粒**といいます。



Q2. どうして結晶粒を細かくするとよい材料になるの?

A2. 主に金属の変形は原子の配列が乱れた部分(**転位**)が移動することによって起こります。

結晶粒が極限まで細かくなった材料では、結晶粒の境界である**粒界**の割合が大きく増加し、この粒界が転位の運動を邪魔することで、変形しにくい強い材料を作ることができます。



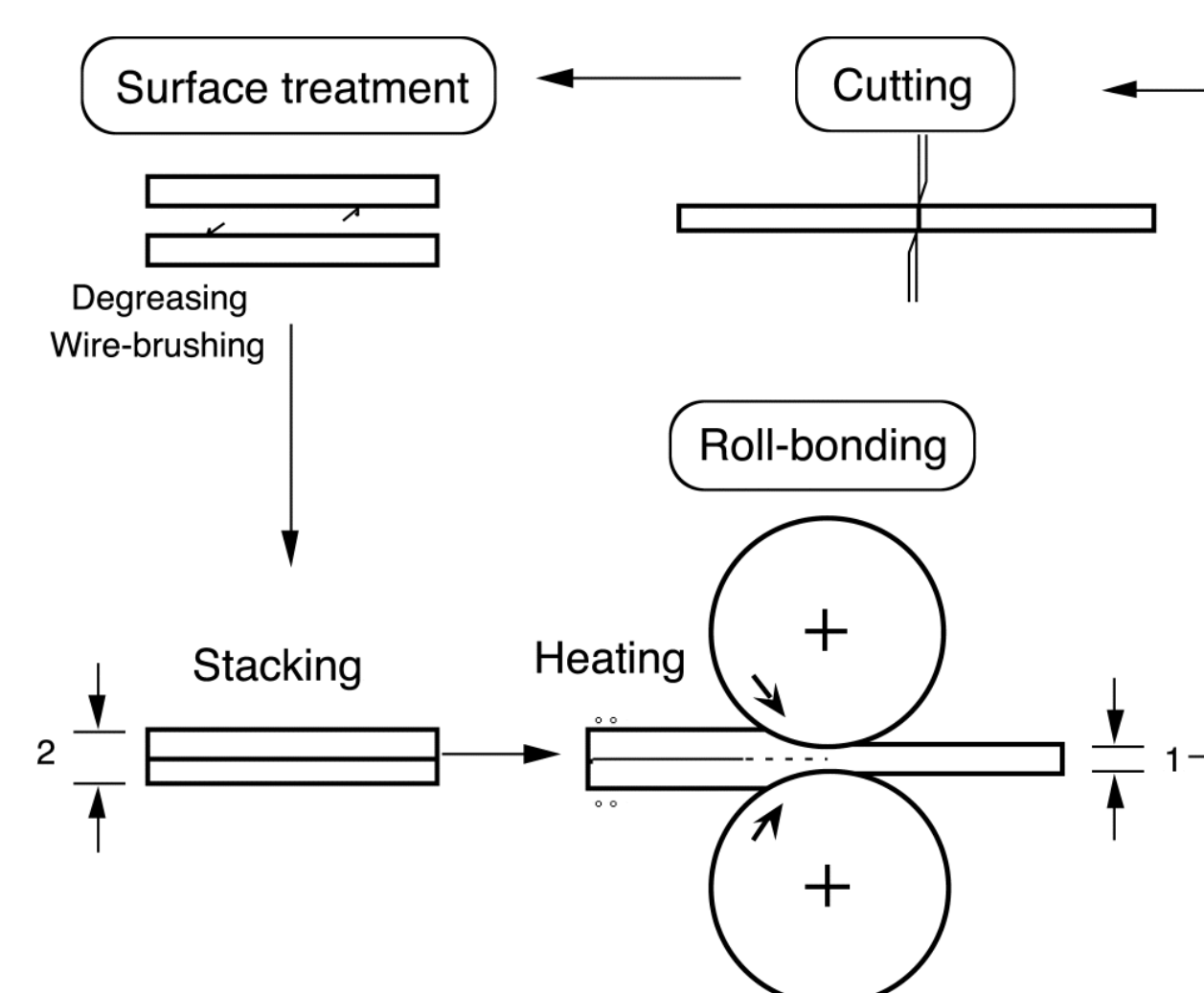
バルクナノメタルは粒界だらけ→転位の邪魔

Q3. どうすれば結晶粒は細くなるの?

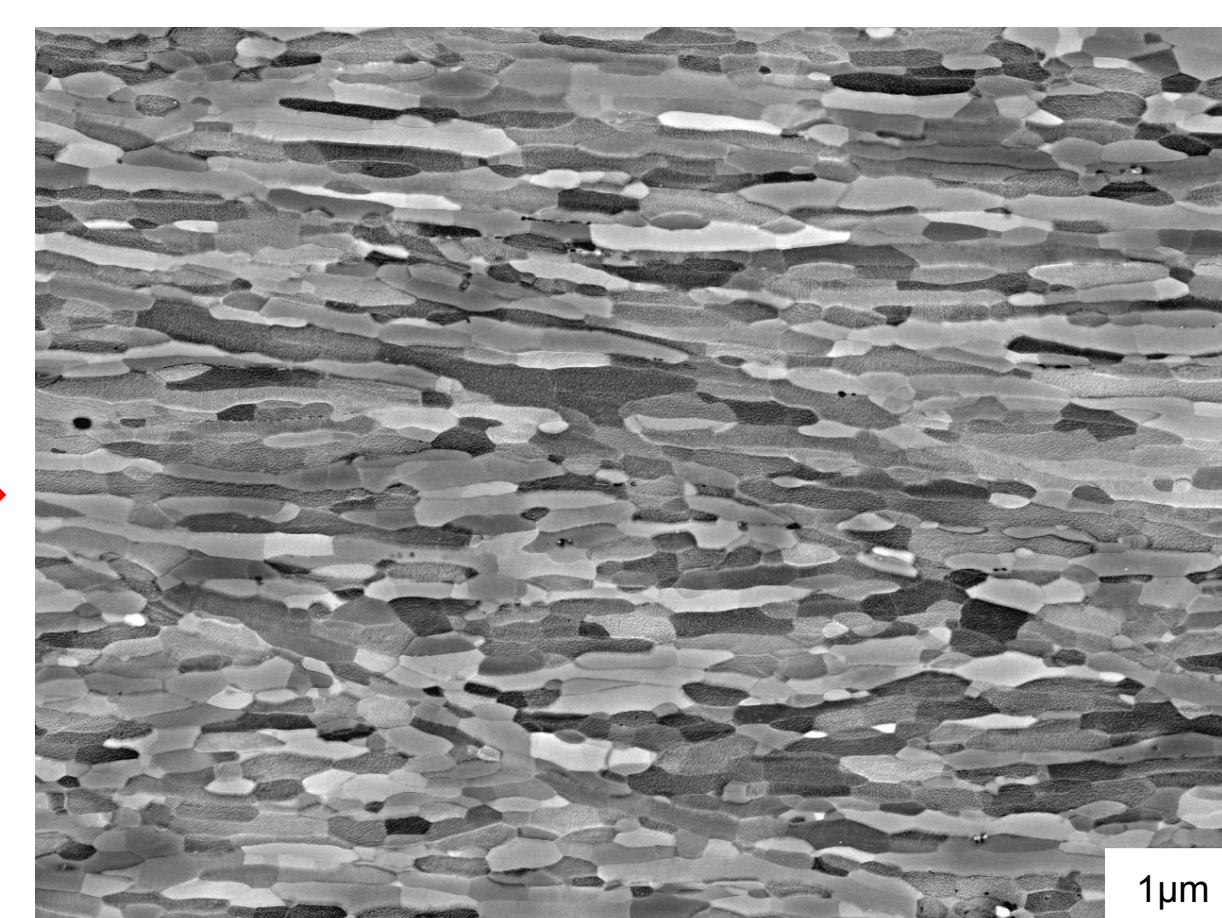
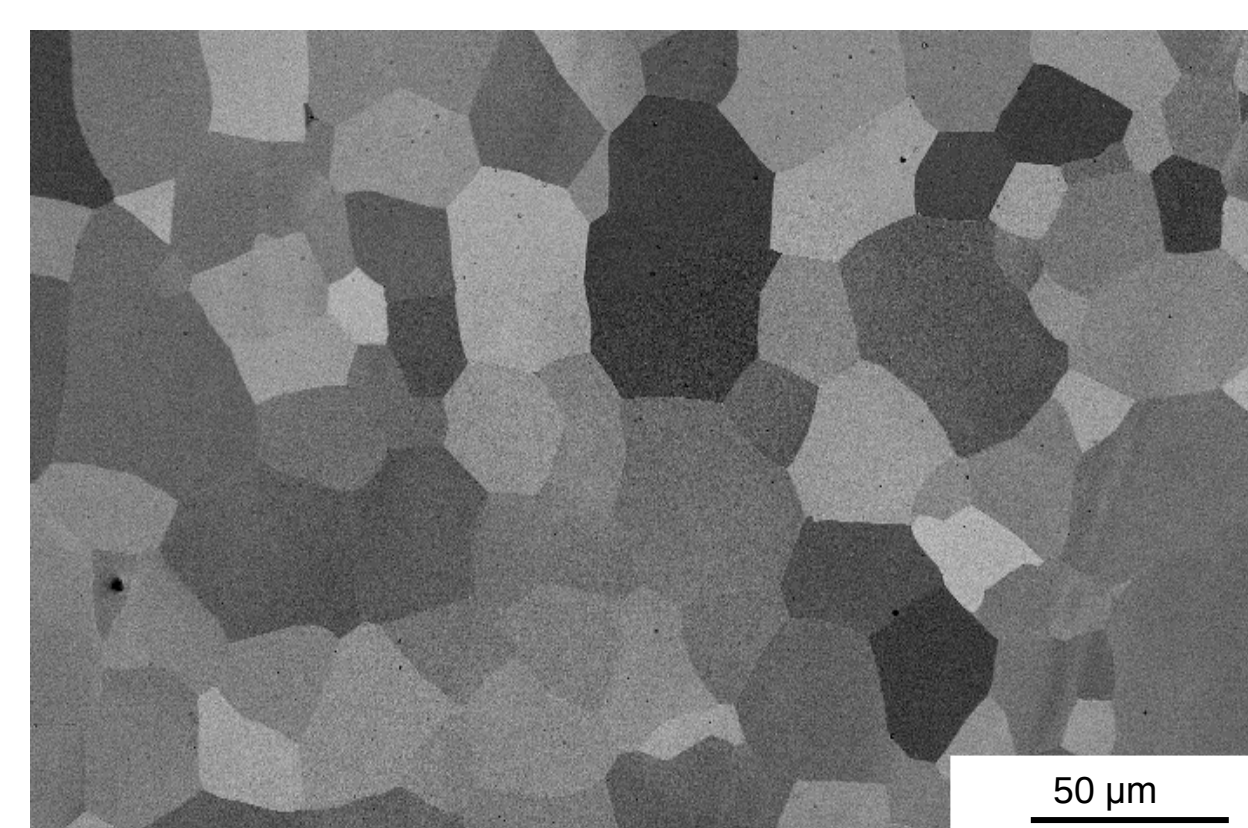
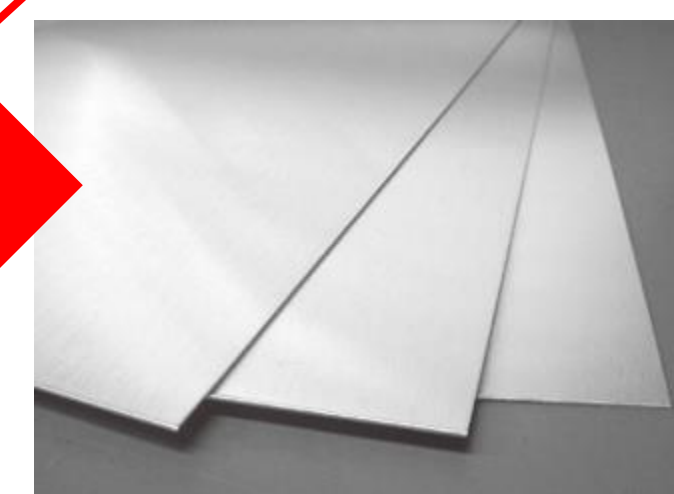
A3. 金属材料の結晶粒は材料を**加工**することで細かくすることができます。

バルクナノメタルになるまで結晶粒を細かくするには非常に大きな加工を与える必要があります。このような加工法の一つに**ARB(accumulative roll - bonding)**法があります。ARB法では**圧延加工**した板を分割し、重ねてくっつけて再度圧延する、という過程を繰り返すことで大きな加工を実現しています。

ARB (accumulative roll - bonding) 法



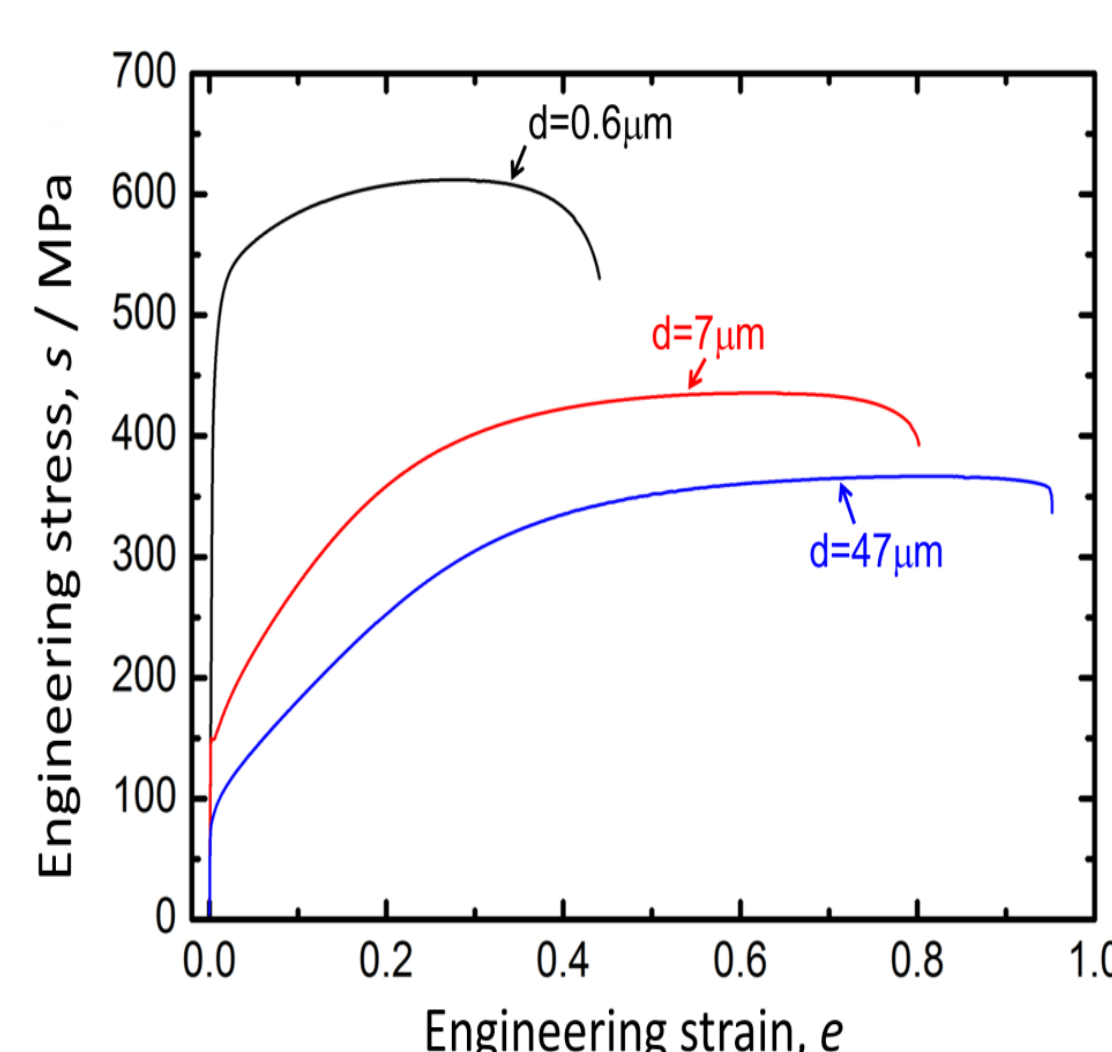
ARBを15サイクルすると、法隆寺の高さが1mmの板になる!?



Q4. 本当に性能の良い材料をつくることができるの?

A4. できます!!

現在、バルクナノメタルにすることで**アルミニウムに従来の鉄鋼材を超える強度を持たせる**ことができます。また、バルクナノメタルになると新たな変形機構が発現するため、これまでにない、常識を覆す新しい構造材料を作り出せる可能性があります。



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。

