



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, 高 斯 講師, 白 玉 助教, 朴 明駿 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。

① 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。

③ 構造用金属材料の性能向上の方法とメリット

金属材料の強度や延性を向上させる方法としては大きく分けて次の3種類が挙げられます。

1. 熱処理の仕方を工夫して特殊な組織を形成させる

2. メインとなる金属に他の様々な金属を混ぜる

3. 引張や圧延などの変形を加える

これらの方法によって構造用金属材料の強度や延性が向上すると、様々なメリットがあります。自動車を例にとると、各パーツにおいて十分な強度を得るために必要な金属材料の量が減り、軽量化とコスト削減につながります。さらに、軽量化によって燃費が良くなり省エネルギーにつながります。

しかし、これらのメリットが成り立つには材料の強度を高くするためのコストがかかり過ぎないことが重要です。2番の性能向上の方法だと、混ぜ合わせる金属が希少なものであった場合コストがかかり過ぎてしまいます。この観点から、1番や3番の方法のように、主に金属の加工や熱処理の方法を工夫することによる性能向上が特に重要であると言えます。

② 構造用金属材料に求められる性能とは？

構造用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(壊れにくい)、ということを示します。このうち片方だけが優れているものの例としてガラスとゴムが挙げられます。どちらも構造用材料に適していません。



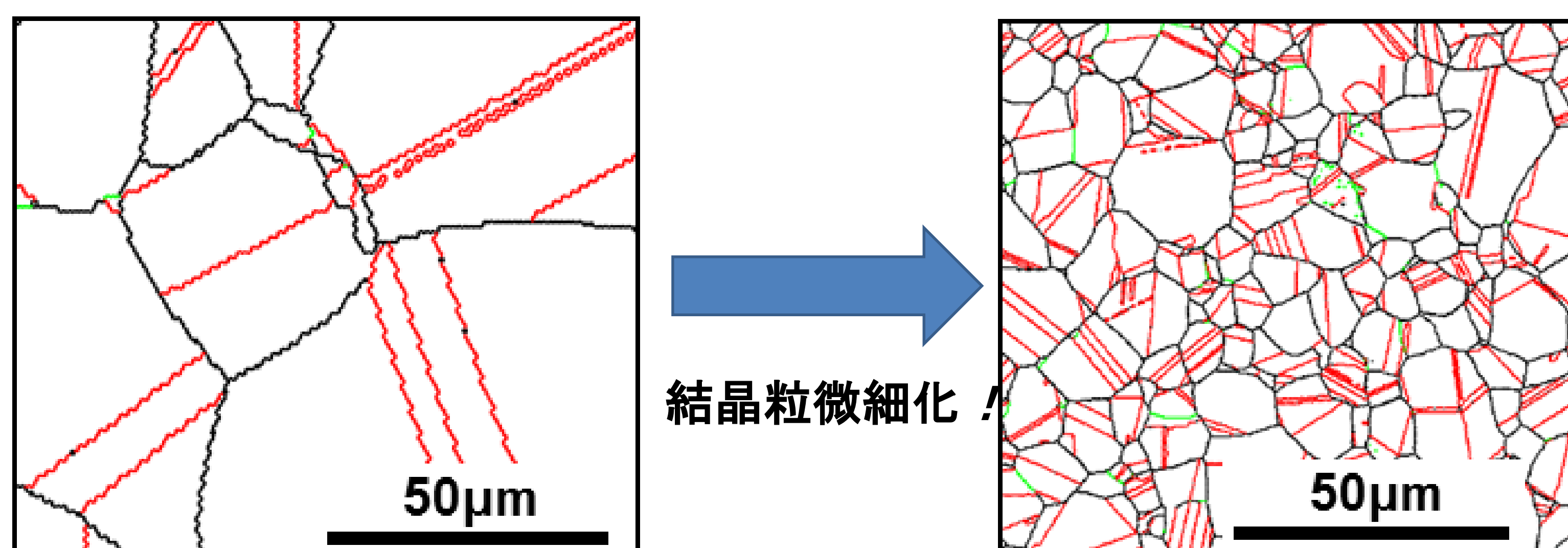
ガラス：硬いが壊れやすい ゴム：壊れにくいが強くない

金属材料においても強度と延性は、一方が優れていれば他方は劣るというトレードオフの関係にあります。高い強度と延性を両立させることができれば、それは材料の一つの理想の形態であると言えます。

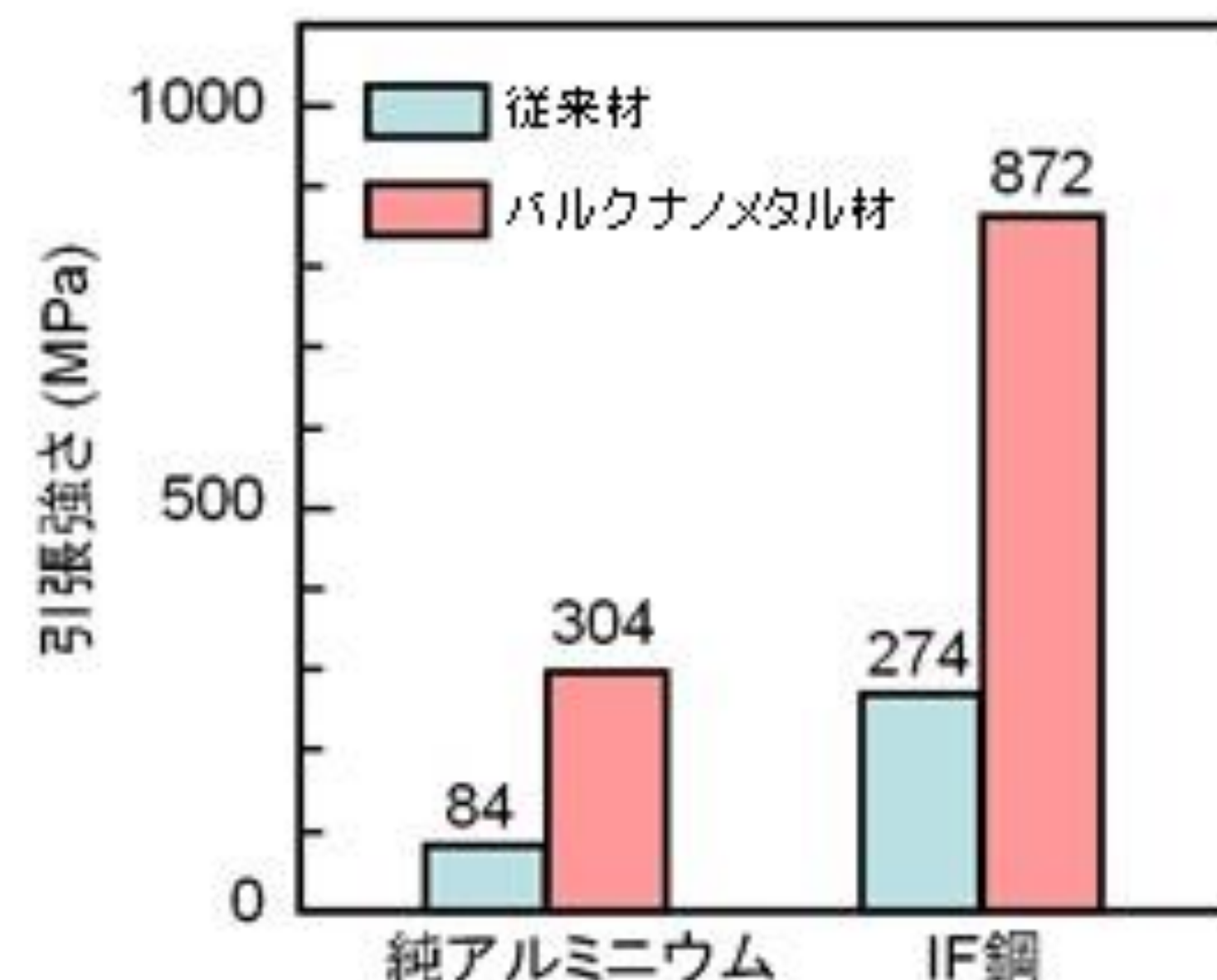
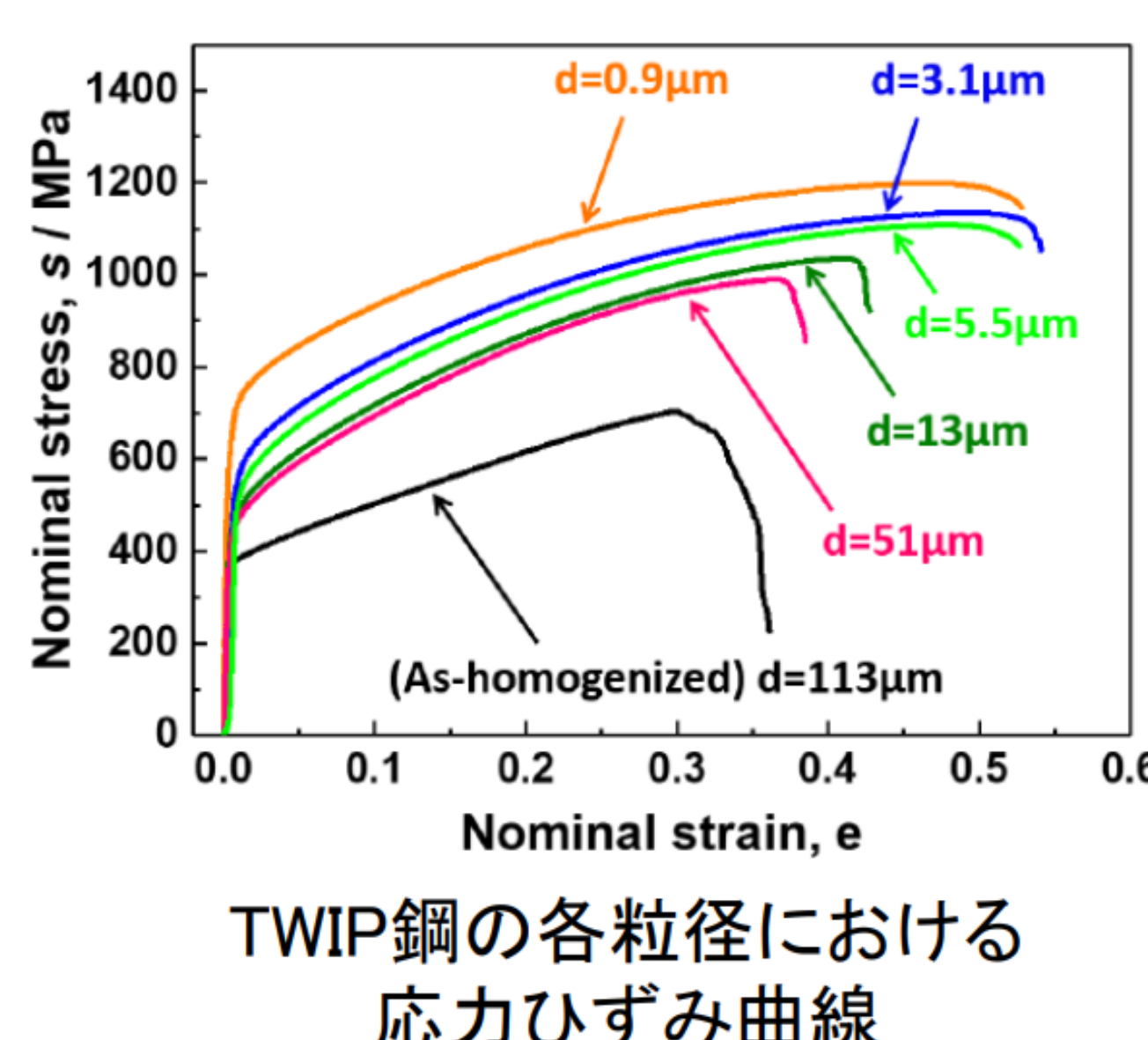


④ 常識を覆す新しい構造材料 “バルクナノメタル”

個々の結晶粒の大きさを1 μ m以下まで細かくしたバルク状多結晶金属をバルクナノメタルと言います。



バルクナノメタルは同じ成分の従来金属の4倍にも達する強度を示すなど、常識を覆す優れた力学特性を示します。強度・延性を両立する究極の構造材料を実現することも期待されています。



上記の3番の方法で強度を向上させて作製したのがこのバルクナノメタルであり、希少な合金元素や複雑な熱処理を必要としないため、省資源、省コストの観点からも優れた金属材料と言えます。

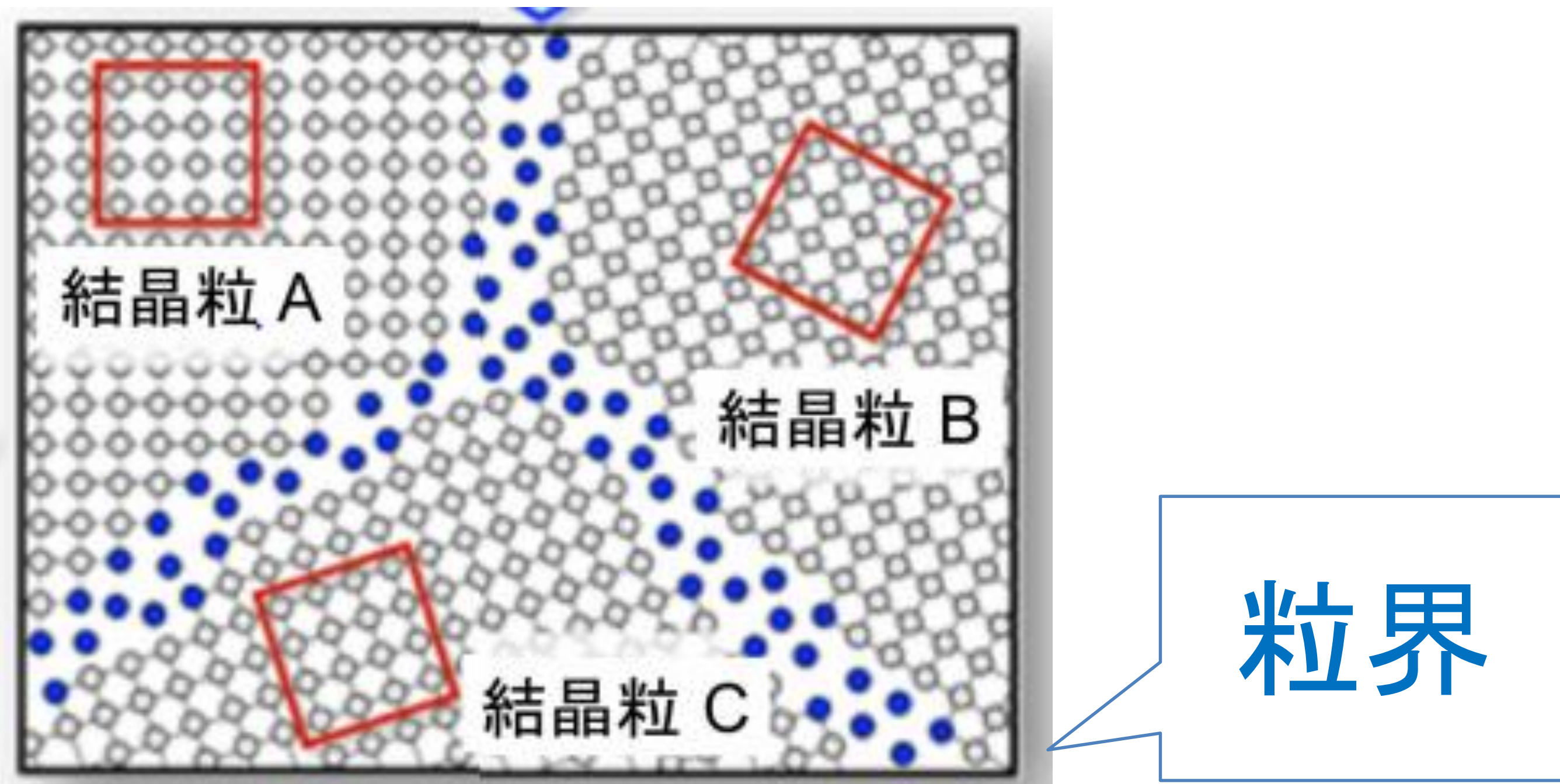
バルクナノメタル：常識を覆す構造材料

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, 高 斯 講師, 白 玉 助教, 朴 明駿 特定助教

⑤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よびます。また、結晶粒同士が接する境界を結晶粒界(粒界)と呼びます。

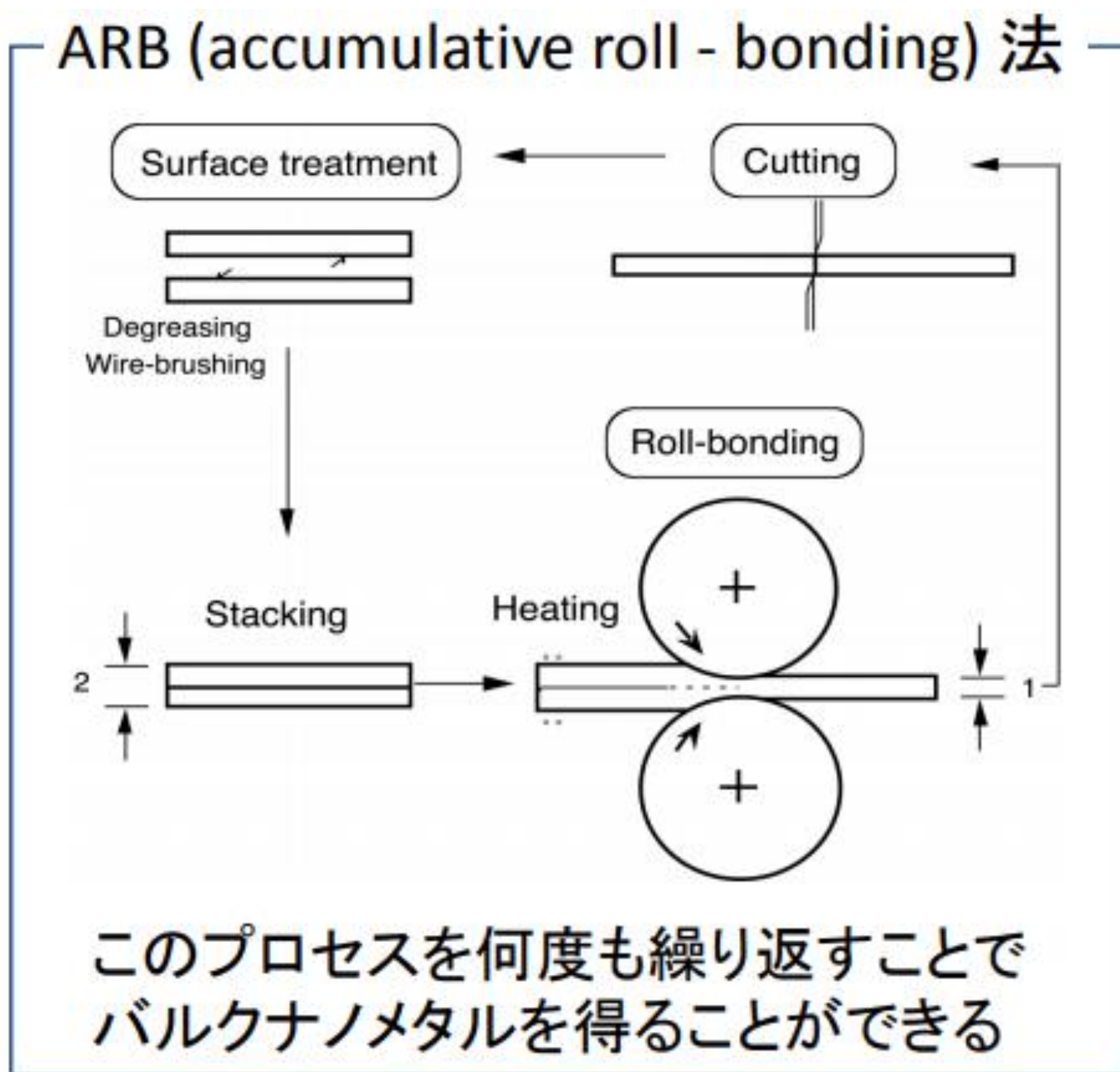


バルクナノメタルは結晶粒ひとつひとつの大きさが1μm以下

バルクナノメタル = 粒界だらけの材料

⑥バルクナノメタルの作り方: ARB法

金属材料に対して圧延などを行うことで結晶粒を細かくすることが可能なのですが、以下のARB(accumulative roll - bonding)法を用いることで従来の多結晶金属材料と比べてさらなる結晶粒の微細化が可能になります。



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

上図の通り、

- ①圧延する
- ②圧延後の板を切り分ける
- ③板の表面を処理して重ね合わせる

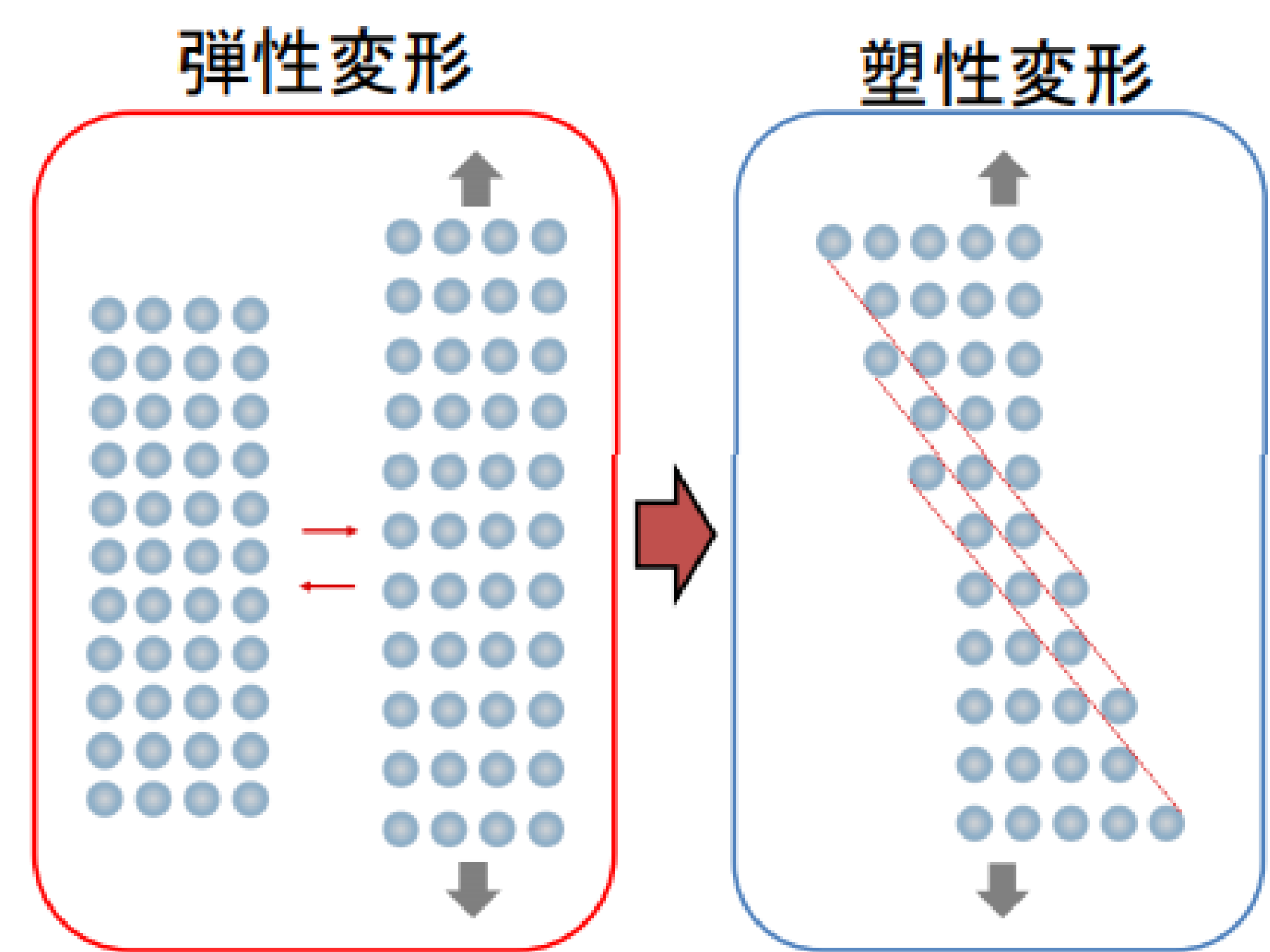
このプロセスを繰り返すことによりバルクナノメタルを得ることができます。

バルクナノメタルを得られる超強加工法としては

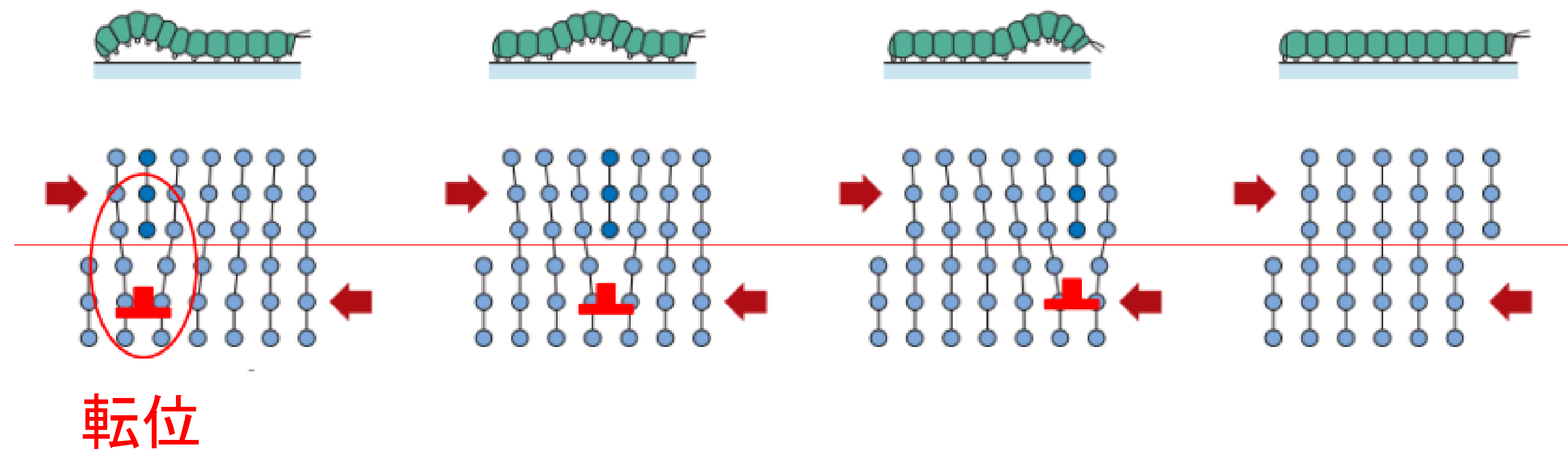
- ・ECAE(equal channel angular extrusion)法
 - ・HPT(high pressure torsion)法
 - ・MDF(multi directional forging)法
- などがあります。

⑦バルクナノメタルの強さの秘密:金属の変形と転位

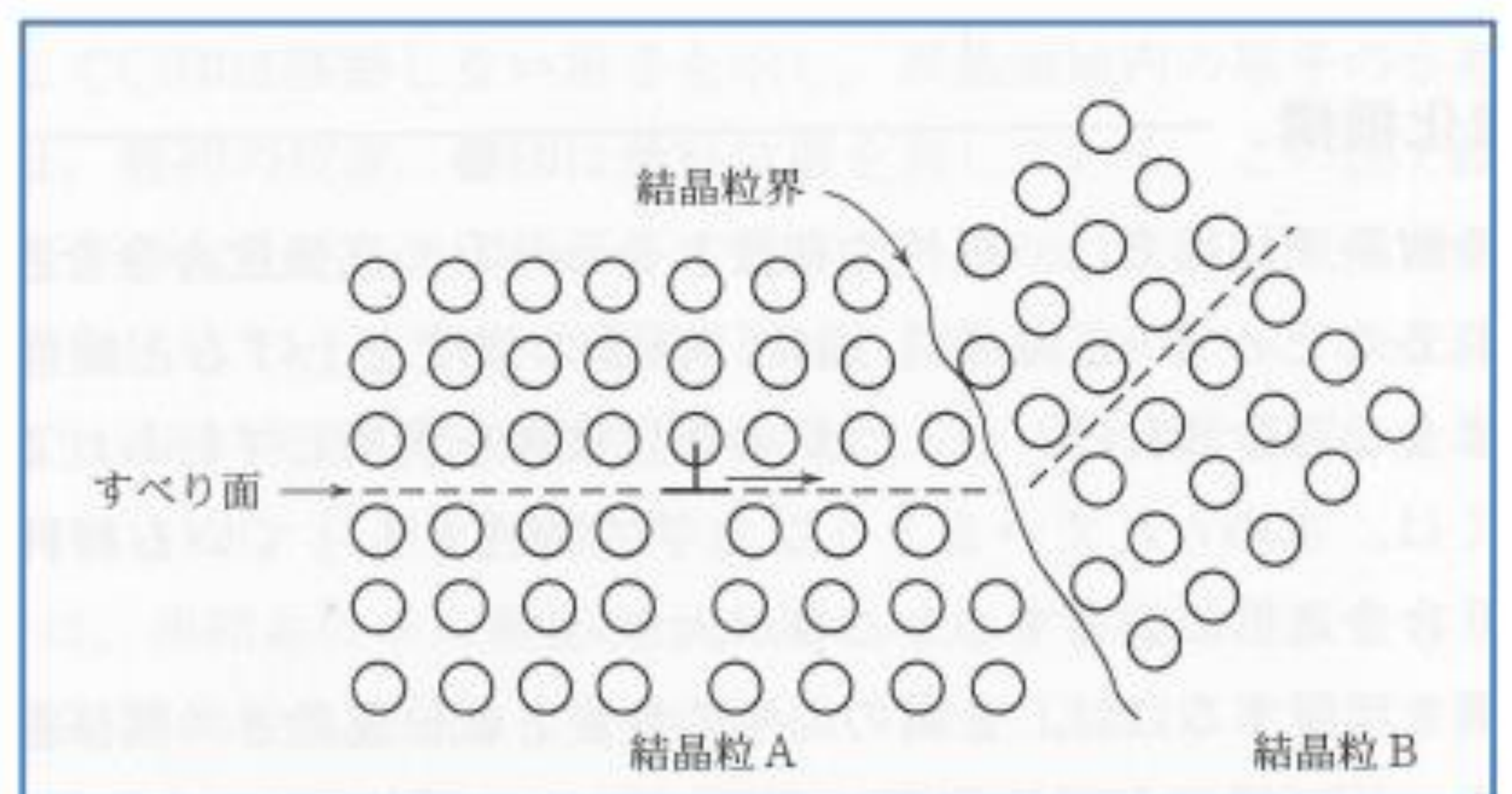
外力が加わることによる金属の変形のうち、その外力が無くなれば元に戻る変形を弾性変形と呼びます。一方外力が無くなっても元に戻らない変形を塑性変形と呼びます。



塑性変形は、原子の面がすべることで起こります。どのように原子の面がすべっているかは、よく芋虫の運動に例えられます。



このように原子が一気にすべるのではなく、芋虫が動くときのように一部だけがすべりそれが徐々に伝わっていく形で原子面がすべっていきます。このとき、すべっている部分(芋虫の浮いている節に当たる部分)を転位といい、原子面がすべることを転位が動くというように表現します。



上図のように転位が動く先に結晶粒界が存在する場合は考えます。結晶粒界を通過する前と後では結晶の並ぶ向きが異なるため、転位が結晶粒界を超えて移動するには大きなエネルギーが必要になります。これを言い換えると結晶粒界は転位の移動を妨げるということになります。

このため結晶粒界を多く持つバルクナノメタルは塑性変形を起こしにくい、つまりは大きな強度を持つのです。