

## ②結晶組織と力学物性

# 前半：理論編

## ②結晶組織と力学物性

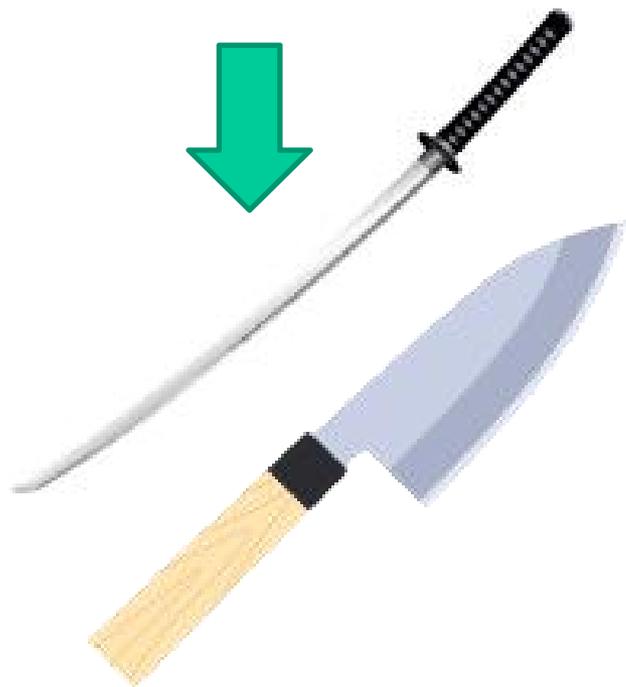
金属結晶の組織を顕微鏡で観察  
マイクロビッカース硬度計による硬さの評価

鋼の「焼入れ」とは何か？

組織の評価・硬さの評価

# 「焼入れ」とは

こういう物(鋼製品)を  
強靱化する手法として  
知られています



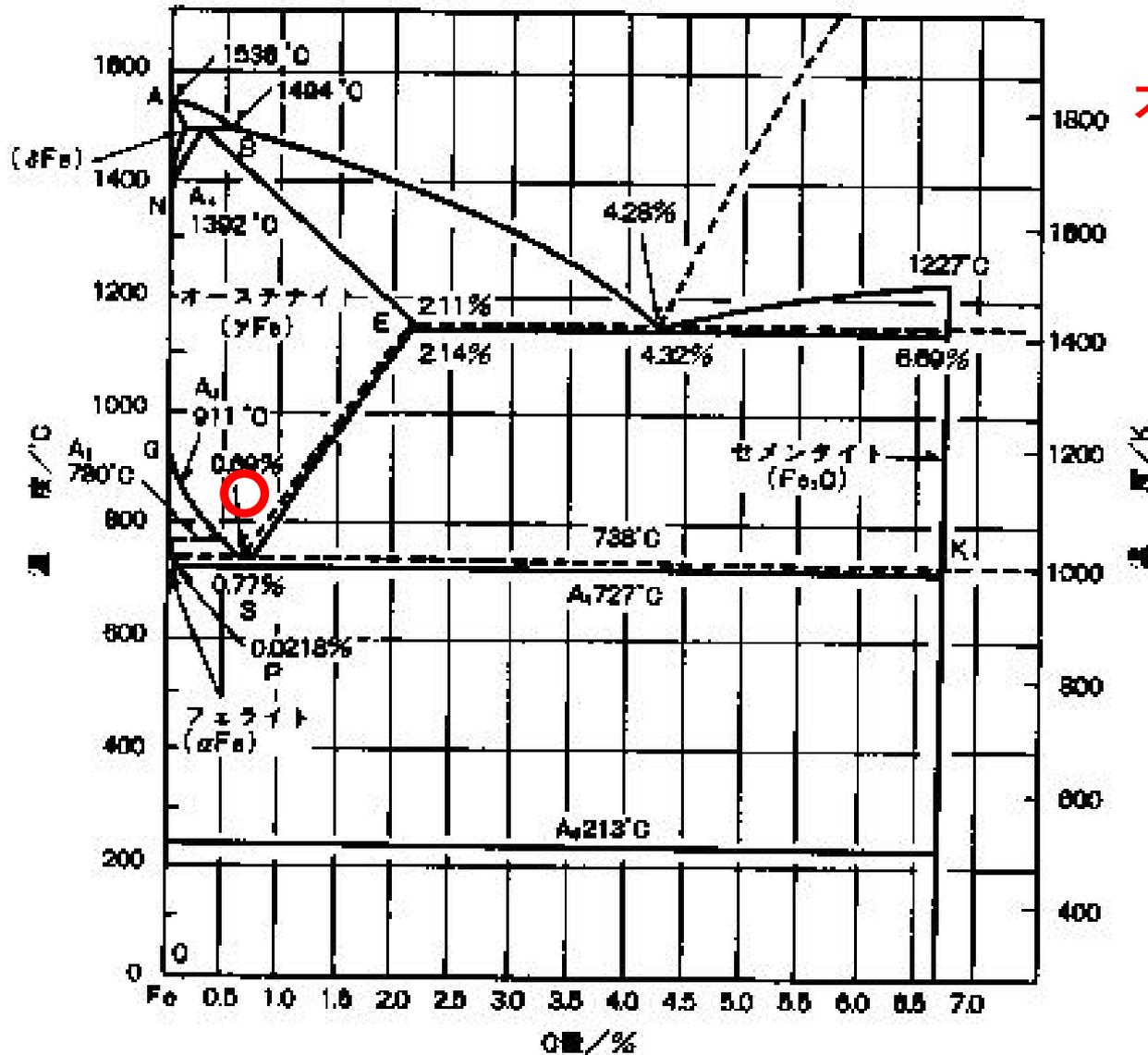
鉄製調理器具の初期処理  
(油をなじませる)も「焼入れ」と  
言われますが、ここで言う  
焼入れとは意味が異なります。



「ヤキ入れ」



# 鉄-炭素系 状態図



フェライト = α鉄  
 オーステナイト = γ鉄  
 セメンタイト = Fe<sub>3</sub>C

これらは「相」の名

γ相中の○の点から  
 室温まで冷却するとき、

- 1: 平衡に近い状態を保ち、  
 長時間かけてゆっくり冷やす  
 (「徐冷」と言う)
- 2: できるだけ急冷する

....で、どのような違いが出るか？

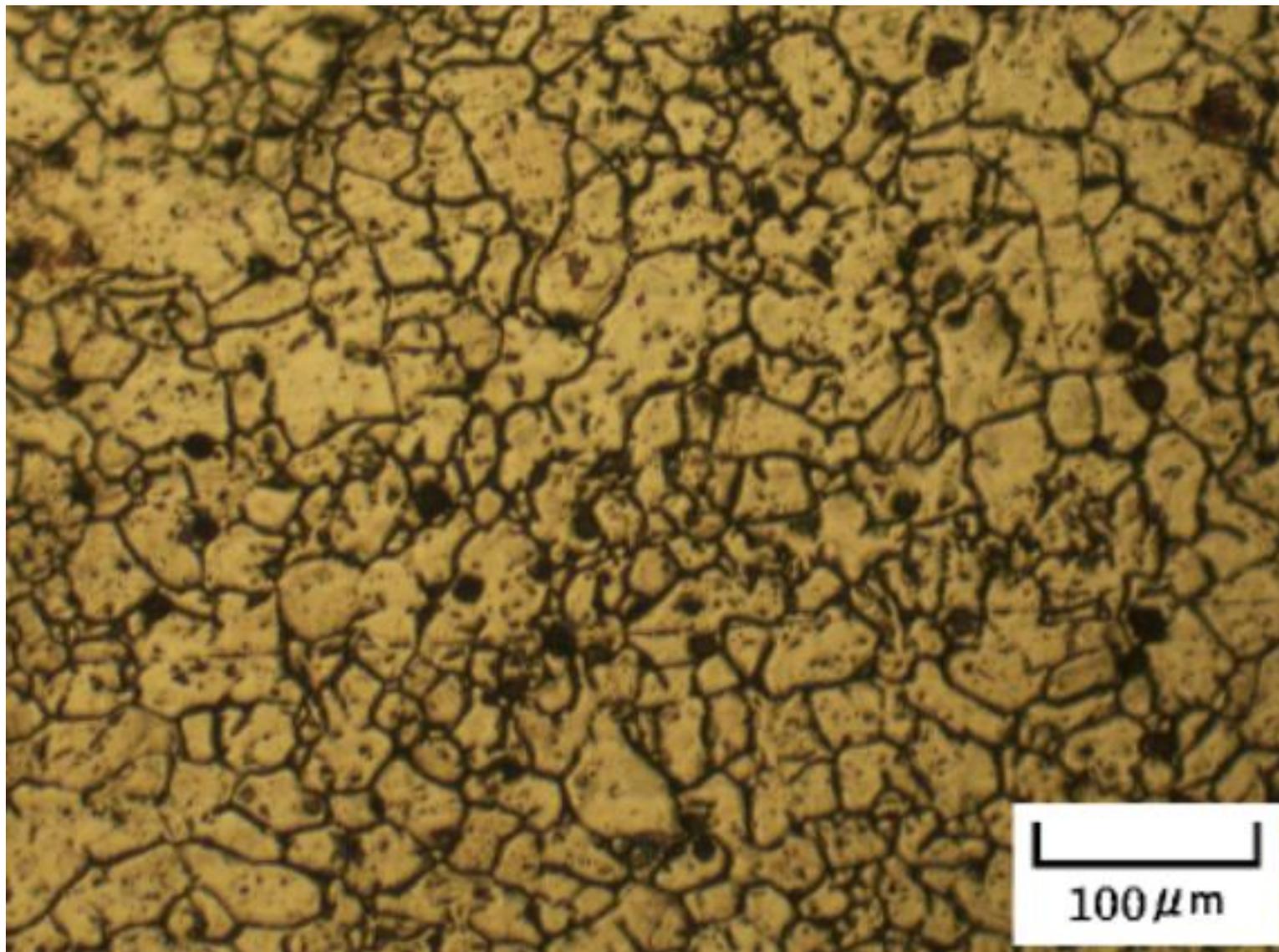
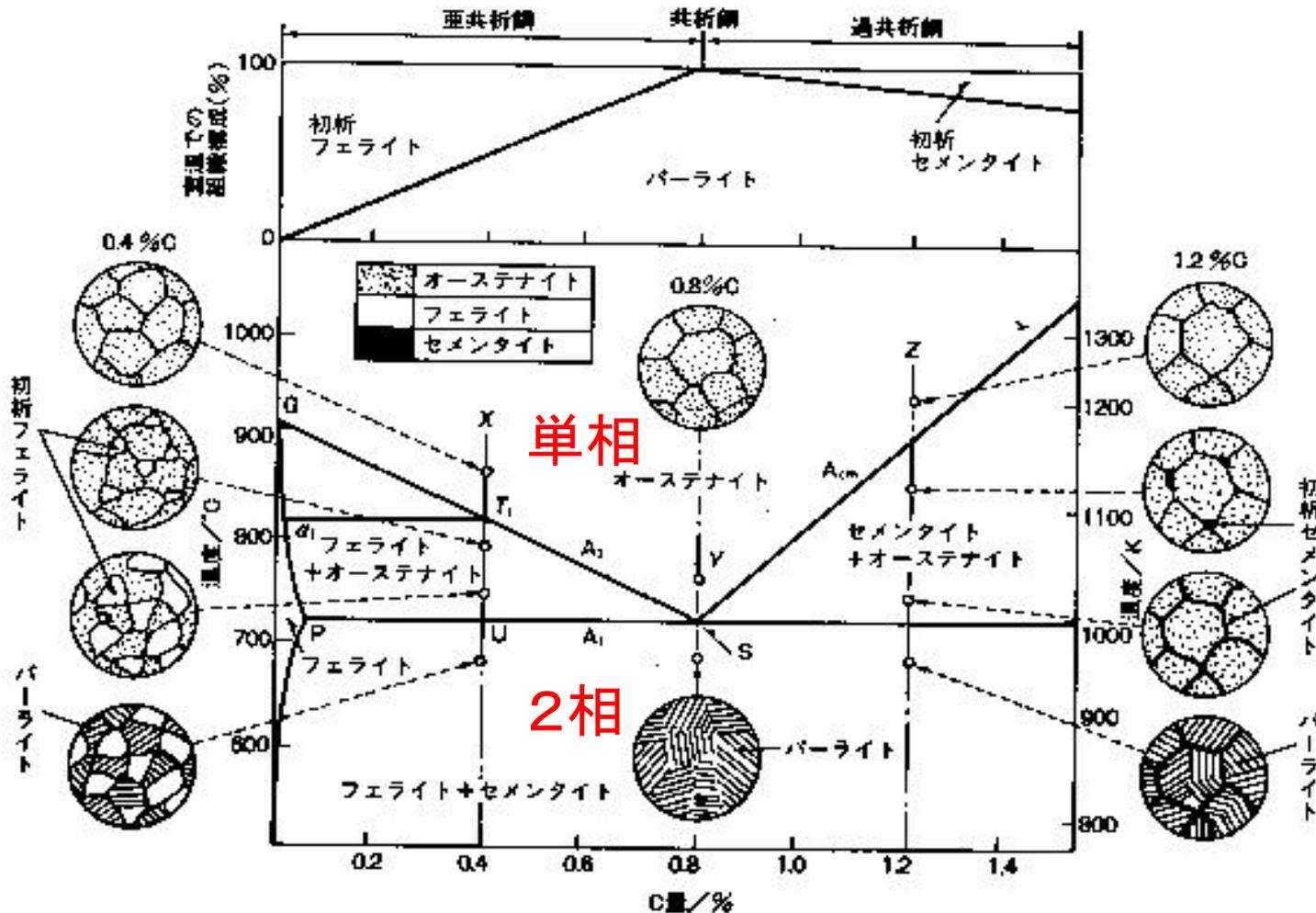


図1 真空中、900°Cで2時間焼きなましを行った鋼の組織

# 徐冷(=ゆっくり冷却)した場合の鋼の結晶組織



Fe-Fe<sub>3</sub>C 系平衡状態図の説明および室温での標準組織構成図

パーライト = フェライト + セメンタイト

↑ 「組織」の名      ↑ 「相」の名      ↑ 「相」の名

# 徐冷した場合 → 共析反応による相分離

共析点あたりでのオーステナイト( $\gamma$ 鉄)の炭素濃度は約0.8%

フェライト( $\alpha$ 鉄)の炭素濃度は0.1%未満

Fe<sub>3</sub>Cでは、構成原子の1/4が炭素

パーライト → フェライト + セメンタイト に分相するには、炭素の移動(拡散)が必要である。

## 拡散変態

# 急冷した場合の組織を予想する

共析変態は固体から固体への相変態なので、  
原子が動きにくい

急激に冷やすと、原子が動くヒマが無い！



(急冷された鉄の声です)

「仕方がないので、平衡相ではない  
別の構造を有する結晶になって、  
我慢しといたるわっ！」

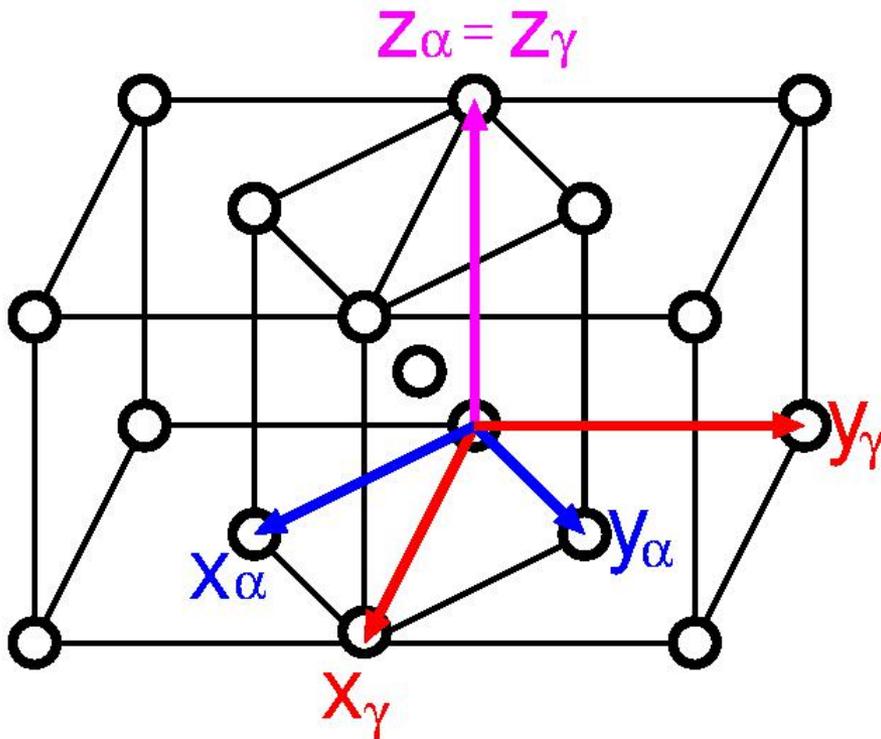
体心正方晶(BCT)になる

無拡散変態  
マルテンサイト変態

# ベイン (E.C. Bain) による考察 (これは参考です)

詳細は後期科目「材料組織学」で説明します

マルテンサイト変態の場合、FCC ( $a=b=c$ ) から BCT ( $a=b \neq c$ ) となるが、もし BCT相のc軸の長さが a軸の  $\sqrt{2}$  倍であれば、**全原子位置を不変に保ったまま、基本ベクトルのとり方を変えることだけで、格子を変換できる。**



左の図において、

X、Y、Z : 各単位格子の基本ベクトル、

添字  $\alpha$  : マルテンサイト

添字  $\gamma$  : オーステナイト

c 軸は共通 (紫色で表示)

C軸は同じ方向を向き、

AB平面が45度傾いた関係である

# マルテンサイト

剪断(せんだん)機構による変態によって生成する

母相(鉄-炭素系の場合は、もとの相すなわちオーステナイト)と、一定の結晶方位関係を有する

独特の起伏ができる

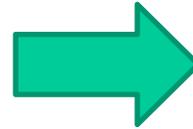
高い硬度を有する

## なんで硬いのか？

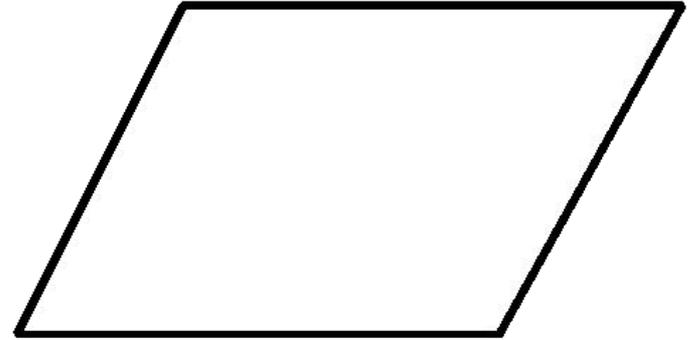


金属の変形機構を  
知る必要あり

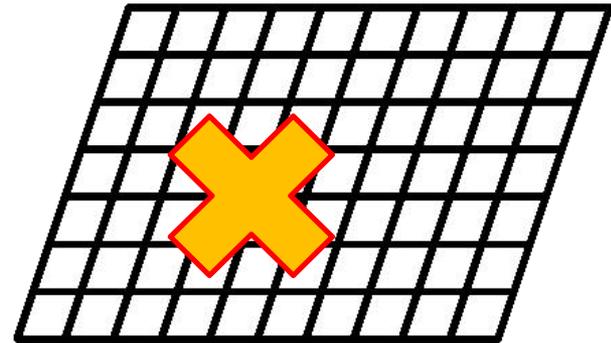
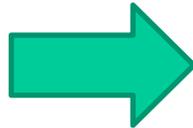
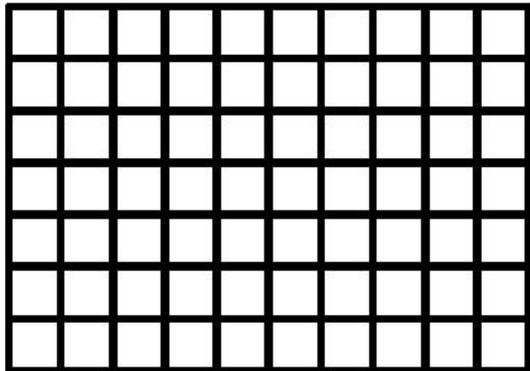
# 金属の変形機構



剪断応力による変形

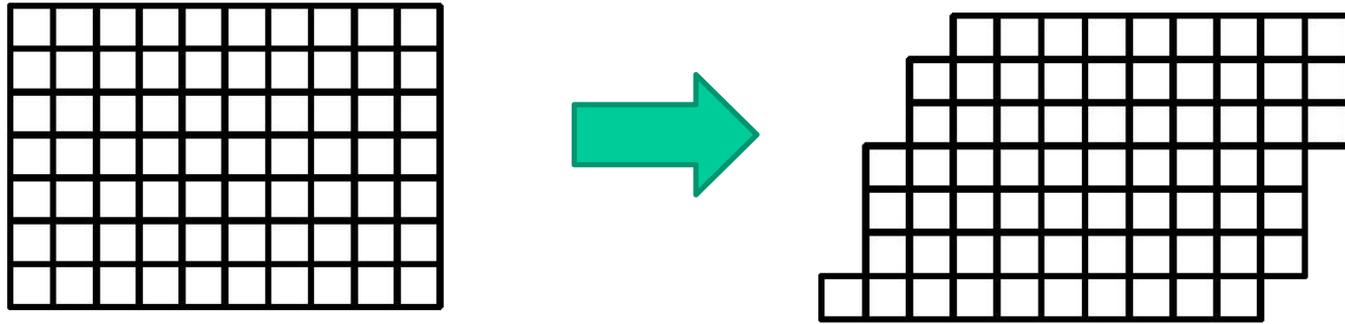


このとき、結晶格子は変形するか？

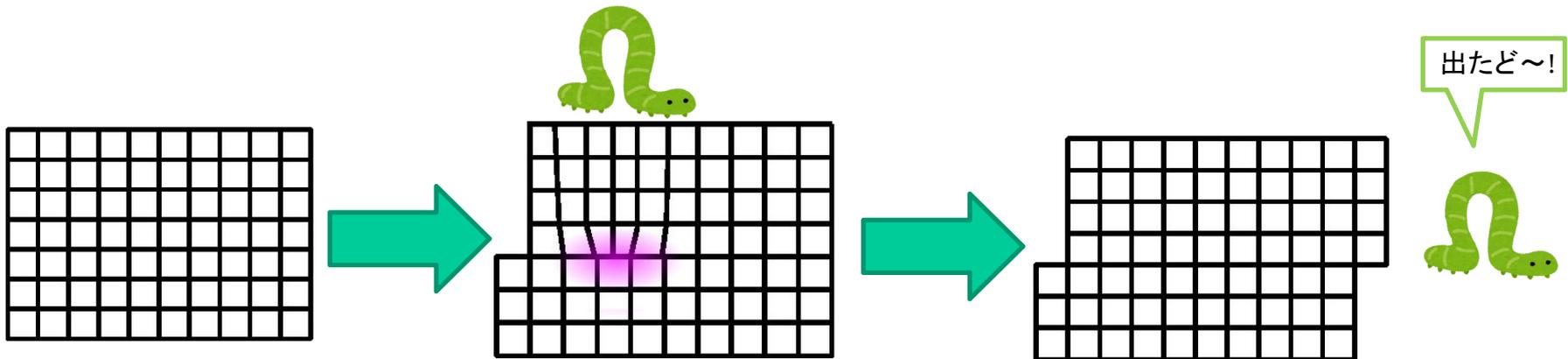


格子は変形しません！

# 金属の変形は**転位**の運動によって起こる



単位格子の形は変わらない。隣に来る原子がずれるだけ。  
この「ずれ」もすべての原子について同時に起こるわけではなく、  
絨毯のシワが移動するように変形が進行する



変形途中では、結晶の一部だけが変形し、格子の周期を乱している。  
これを**転位**(てんい: dislocation)という。転位には大別して2種類あり、  
この図のような物は「刃状転位」という。これとは別に「らせん転位」がある。

# 金属の変形とは

転位が運動するということである

金属を強靱化するには

転位の運動を妨げると良い。

## 転位の運動を妨げる方法は？

### 1: 異種原子を固溶させる

異種原子を固溶させると、溶質原子のまわりに応力場ができる。  
応力場は転位と相互作用するため、運動が妨げられる。

### 2: 多数の転位を導入し、互いに運動を妨害させる

変形を進めていくと、結晶の中に残留する転位が多くなり、  
互いに干渉しあって運動を妨げる → 「加工硬化(Work Hardening)」  
と言う

# マルテンサイト変態すると

本来なら $\text{Fe}_3\text{C}$ となって析出するはずの固溶炭素原子が無理やり格子間に押し込められる

FCC → BCT への相変態に伴い、大きな歪みが導入され、転位密度が大きくなる

# まとめ

☆ 鋼に「焼きが入る」とはどういうことか？

高温からの急冷によって、

**マルテンサイト変態が起こること**

☆ 鋼に「焼きが入る」とどうなるのか？

**硬くなる**      結晶組織が変わる

☆ 鋼に「焼きが入る」となぜ硬くなるのか？

過飽和の炭素が固溶し、また転位密度が

高くなるので、**転位が動きにくくなるため**