

基礎材料組織学 第5回

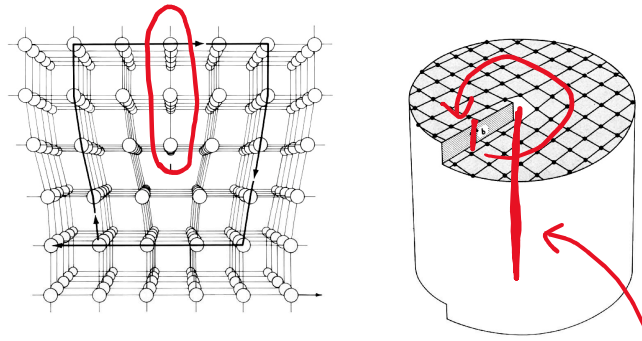
- 前回 :
- 理想変形強度
 - 金属の結晶構造
 - 格子欠陥
 - 転位とは



- 今回 :
- 転位とは (続き)
 - 転位の運動と特徴
 - パイエルス応力

5.1 転位とは(4.4の続き):

- 転位線: 転位による原子面配列のずれの中心。
- ・刃状転位: 「余分な半原子面」の下立端
- ・らせん転位: らせんを伴う原子のずれの中心



刃状転位

らせん転位

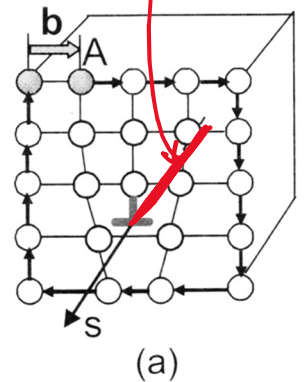
図 5.1 転位の中心
[入門 転位論, 裳華房]

転位が移動していくことにより、原子の位置がずれた部分と、まだずれていない部分の境界線

転位線

- バーガースベクトル: 転位によつて生じる原子のずれの方向と大きさを規定するベクトル。「 b 」で表わす。

- ・刃状転位では転位線と b が垂直
- ・らせん .. 平行

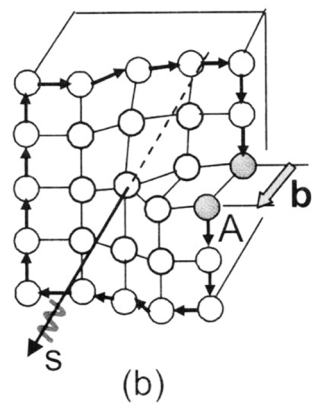


(a)

- すべり面: 転位の運動が進行する特定の結晶面。

↓
結晶構造に依存する。

- ・転位の記号: 「 \perp 」: 正の刃状転位 (上に余分な半原子面)
(らせん転位の記号は同じ)



(b)

図 5.2 バーガースベクトル
[入門 転位論, 裳華房]

5.2 転位の運動:

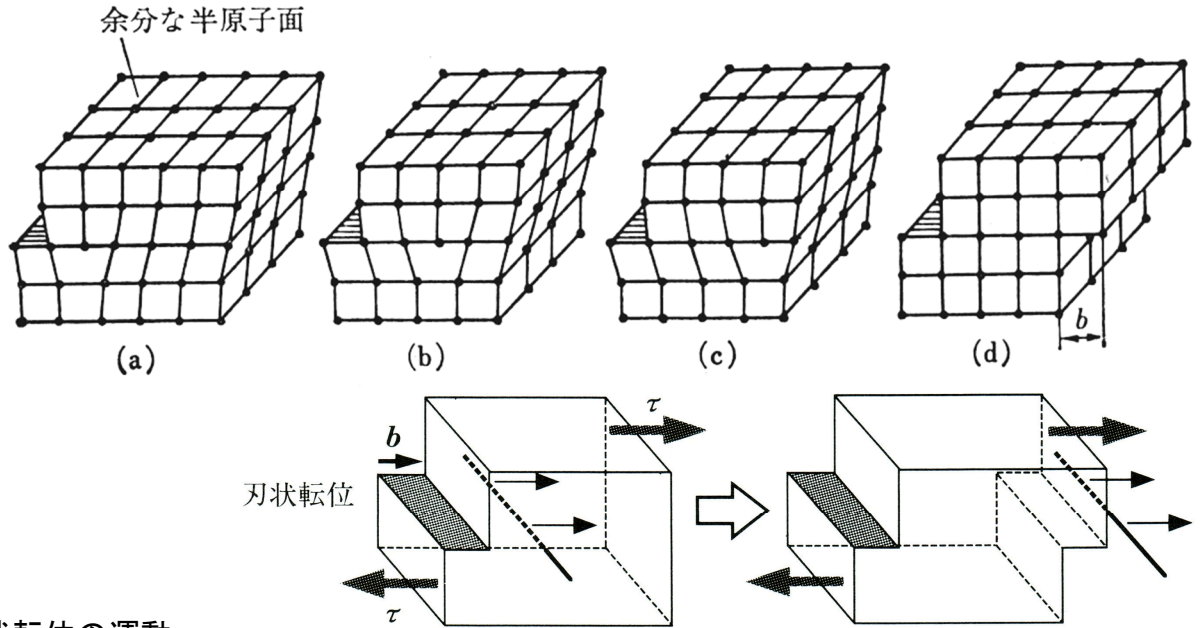


図 5.3 刃状転位の運動

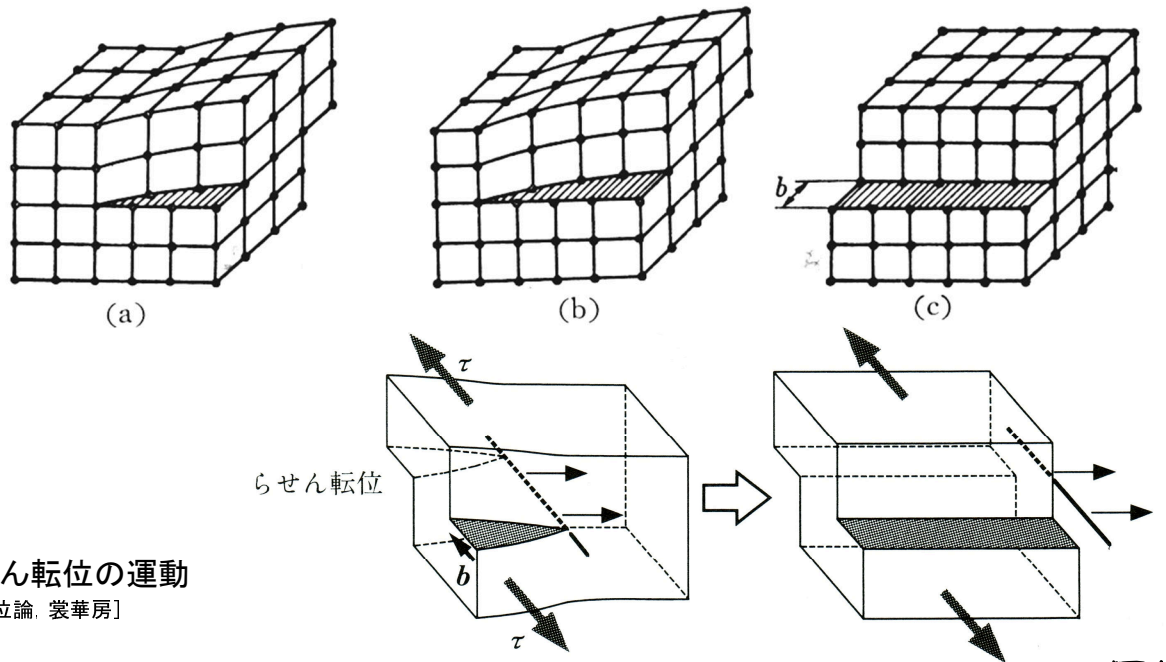


図 5.4 らせん転位の運動
[入門 転位論, 裳華房]

●転位の運動のまとめ

- ・刃状転位: 転位線の移動方向と原子が動いた方向は同一
- ・らせん転位: 垂直
- ・いずれの転位でも... 通過後にすべり面の上下で b 分のずれが生じる

||

すべり面の上下の原子が全て揃って動いたのと同じ移動量

5.3 転位の特徴

① 転位周辺において力の作用が働く

・例: 刃状転位

→ 余分な半原子面の存在により
 ・ 転位の上側では圧縮応力が作用する。
 ・ 下側では引張応力が作用する。

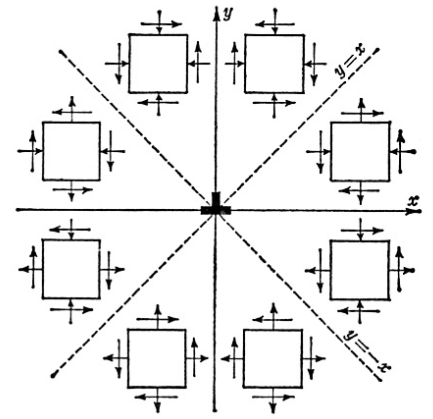
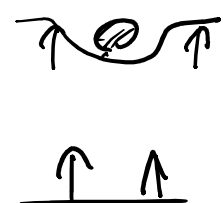


図 5.5 刃状転位周辺の応力場
 [金属材料工学 改訂・SI版, 森北出版]

② 転位は伸縮する

・決して直線形状のみではない

→ 転位が湾曲・伸長
 するために余分なエネルギーが必要となる。



③ 転位は増殖する

単位体積あたりの
 転位の総長さ

・転位の伸び: 転位密度の増加

・代表的な転位増殖機構: フランクリード源

→ 塑性変形の進行に伴い転位密度が上昇する。= 転位の増加

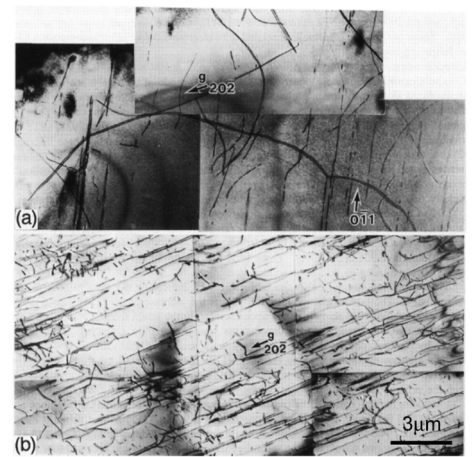


図 5.6 転位の透過電顕画像

④ 転位同士で相互作用が働く

・正の刃状転位が同一すべり面上にある場合
 → 反発する (斥力がはいる)

・正の刃状転位が異なるすべり面上にある場合
 → 上下に西己りあうよう
 引き合う (引力がはいる)

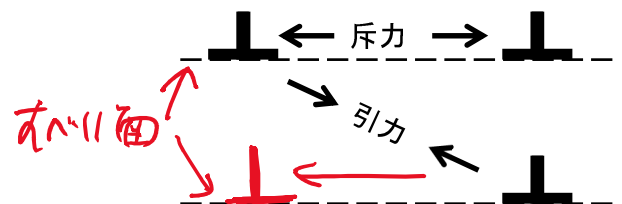


図 5.7 転位同士の相互作用

5.4 パイエルス応力

●パイエルス応力: 転位の運動に対して、結晶が示す抵抗。
 II

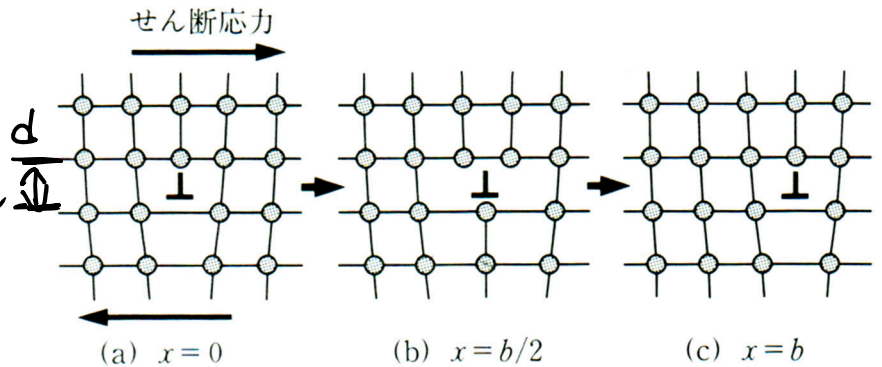
結晶中の転位運動に必要なせん断応力の理論値

・転位芯の部分のエネルギー

変化に着目

b : バーガーズベクトル

d : 平行面間隔



● 転位の周囲の原子
 配列の相違

II

・ 転位のポテンシャル
 エネルギーの変化

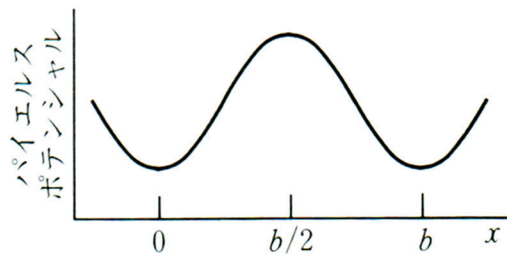
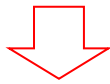


図 5.8 パイエルス応力の概念
 [入門 転位論, 裳華房]



周期的ポテンシャル変化 = (パイエルスポテンシャル)

● 転位が (b) の状態を乗り越えるためのエネルギーを
 外力が供給する必要があるので...パイエルス応力

(応力)

$$\tau_p = \frac{2G}{1-\nu} \exp \left\{ - \frac{2\pi d}{(1-\nu)b} \right\}$$

G : せん断弾性係数
 ν : ポアソン比
 d : 平行面間隔
 b : バーガーズベクトル

・例題: $G = 80.0 \text{ GPa}$, $\nu = 0.300$, $d/b = 1$ としたときのパイエルス応力 τ_p を求めよ。また理想変形強度(第4回で説明) $\tau_{\max} = G/(2\pi)$ も併せて求め、 τ_p と比較せよ。

$$\tau_p = 28.9 \text{ MPa} \quad \tau_{\max} = 12.7 \text{ GPa} \\ = 12700 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_p}{\tau_{\max}} = 0.00227 \dots \approx \frac{1}{439}$$

5.5 第5回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・転位について奥が深いと思った、刃状とらせんの区別がしっかりできた、転位の移動の仕方が種類で異なるのが面白かった、アニメーションで転位の運動をわかりやすく学べた、正の刃状転位の記号について理解できた、転位周辺に働く力の規則性について理解できなかった、立体的な図のおかげで転位についてよりイメージできるようになった、転位の湾曲や伸縮についてわかった、転位の特徴が増えて難しかった:19←転位はとにかく最初とつきにくいので、色々な手を使ってまずイメージができるようになることが大事ですね。
- ・小テストが応用的な問題で少し難しかった、復習を行ったので比較的解きやすかった、有効数字を間違えてしまった、小テストを通して電卓の扱い方が上達してきた。小テストで式の導出の部分まで考えられなかった、全然解けなかった、適切な難易度だった、単位の変換や有効数字をしっかり意識できた、小テストの難易度が上がってきたように感じた、出席と小テストをしっかりできるように気をつける単位を合わせることを意識して小テストに臨めた:16←今回の小テストは平均 6.9 点、満点 35 名でした。次ページに記したように少し甘めの採点にしました。
- ・例題がわからなかったので復習する、新しい用語が多かったので復習する、授業が難しくなってきたので復習する、パイエルスポテンシャルについて復習する、過去の内容を忘れていたので復習する、有効数字を復習する:14
- ・パイエルス応力について理解できた、パイエルス応力の部分がまだ少し理解できていない、式を覚えられるように問題を解く、1年ぶりにパイエルス応力の式を見て復習できた、 τ_p や τ_{max} の式を覚えたい:10← τ_{max} の式はともかく、 τ_p の式は暗記しなくてもいいですよ。そんな問題は出しません。
- ・W杯で寝不足だったので復習に努める、サッカー負けてしまった、寝不足なので体調に気をつける、日本の試合面白かった、寝不足で眠かった:5←負けちゃいましたね・・・でも確かに力の差はまだ歴然とある感じでしたので、まあ仕方ないですね。あと眠い・・・
- ・転位という言葉が何を言いたいのかがイメージできなかった、具体的な例で示してほしい(抽象的な話で理解が追いつかない)、ミクロな話になって難しくなってきた:3←「転位」は既に何回も話している通り線状の欠陥(原子の配列の乱れ)で、どのように配列が乱れているかも具体的に示しています。「ミクロな話」というのが確かに肝だと思うのですが、最初話した通りこの科目は材料の微細組織について理解するための科目なわけです。そうすると当たり前ですが目で見えないレベルの領域の話になります。これを以て「抽象的」というのは当たっていないと私は思います(ただ肉眼で見えないだけで、しっかり具体的な話をしています)。
- ・進行速度はちょうどよかった:2 ・少し早かった、書き込みながら話を聞くので進行が早い:2
- ・関数電卓が使いこなせなかったので練習する、使う場面が増えてくると思うので使えるようにする:2←自分のためになりますので、ぜひ！

●質問

- ・なぜらせん転位の記号がないのか？←私もわからなかったのですが調べたところ、「刃状転位では余分な半原子面がありそれが上側か下側かを示すために記号があるが、らせん転位では余分な半原子面はなく上下の区別もつけられないため記号化できない」というのが主な理由でした。
- ・らせん転位のバーガスベクトルは始点の原子で向きが変わるように思うがどこを基準とするのか？・・・←これは説明が不十分でした。まず転位周りを一周する経路については刃状・らせんに関わらず「時計回りで取る」と決まっています。またらせん転位の場合は、らせんによるステップの端の原子(図 5.2(b)の A の

原子)を始点としないと、うまくバーガースベクトルを定義できませんね。

- ・転位同士の相互作用は転位の周りの密や疎を解消する方向に働くのか？←そう考えてください。
- ・授業資料以外の参考資料はあるか？←シラバスに載せていますが、日本材料学会編『改訂 機械材料学』です。またそれ以外では、日本機械学会編『JSME テキストシリーズ 機械材料学』や日本材料学会編『改訂 材料強度学』も参考になります。
- ・桁が大きくなったら G や M に直したほうがいいのか？←もちろんそうです。
- ・パイエルス応力の格子抵抗の仕組みについて材料強度への影響を知りたい←例えば結晶構造によってパイエルス応力は異なり、fcc では低いですが bcc は高い傾向にあります。これは fcc が最密構造であり転位の運動に対する抵抗が低いからです。
- ・転位は普通に力を加えるだけで起こせるのか？←授業でも話したように、塑性変形が進行(=外力の作用による)することで湾曲・伸長や増殖が進みます。
- ・ゴムの弾性は転位が関係しているのか？←この質問は、これまでの授業内容の理解が足りていないです。逆に聞きますが、弾性変形に転位は関与しますか？
- ・転位の湾曲等に必要なエネルギーは熱でもいいのか？←熱では転位の移動が生じないと思われ(熱膨張は生じますが、これは一種の弾性変形です)ので、熱は転位の湾曲には作用しないと思います。

5.6 第4回小テスト解答

Q.1 ヤング率 $E = 70.0 \text{ GPa}$, 元の長さ $l_0 = 100.0 \text{ mm}$ の丸棒が垂直荷重 700.0 N で引張られるとき, 生じる伸びを $\lambda = 1.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$ 以下に抑えるためには, 直径 $d [\text{mm}]$ をどれくらいにすれば良いか求めよ. [10 点, 部分点あり]

$$\text{A.1} \quad \sigma = \frac{W}{A_0} = \frac{W}{(\pi d^2)/4}, \quad \varepsilon = \frac{\lambda}{l_0}, \quad \sigma = E\varepsilon, \quad \text{よって} \quad \frac{4W}{\pi d^2} = E \frac{\lambda}{l_0} \Rightarrow \lambda = \frac{4W}{\pi d^2} \cdot \frac{l_0}{E}$$

ここで, $W = 700.0 \text{ N}$, $l_0 = 100.0 \text{ mm}$, $E = 70.0 \text{ GPa} = 70.0 \times 10^3 \text{ MPa} = 70.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$,
また伸び $\lambda < 1.00 \times 10^{-2} \text{ mm}$ …上式に代入

$$\therefore 1.00 \times 10^{-2} > \frac{4 \times 700.0}{\pi d^2} \cdot \frac{100.0}{70.0 \times 10^3}$$

$$d^2 > \frac{4 \times 700.0}{\pi \times 1.00 \times 10^{-2}} \cdot \frac{100.0}{70.0 \times 10^3}$$

$$d > 11.283\dots = 11.3 \quad (\text{有効数字 3 桁}) \dots d \text{ を } 11.3. \text{ mm 以上にする}$$

注: 応力・ひずみの式やフックの法則からの導出ではなくいきなり $\lambda = \frac{Fl_0}{AE}$ という式を記述したり

(記号が授業で使っているものと異なっているので, 多分他から公式として調べたのでしょうか),
 $\lambda > \dots$ の式を立てずに λ を直接式に代入したりして計算している人が多数いましたが,
今回は全て〇としました.

参考問題

- Q. 転位と金属材料の強化機構について述べた以下の文章において、空欄[A]～[J]に当てはまる語句を答えよ。[FとGは順不同, 各1点]
- a) 転位は結晶中の[A]欠陥の一種である。せん断応力による原子の移動(=[B]変形)において、[C]面上の原子が全て同時に移動するのではなく、転位の運動を介した原子の逐次的移動が生じる。
- b) 転位を介した原子の逐次的移動により、通常の金属材料では[D]強度の数百～数千分の一の応力で[B]変形が進行する。
- c) [E]とは転位による原子配列の乱れの中心であり、原子が既に移動した部分とまだ移動していない部分の境界を示す。またバーガースベクトルとは、転位の運動によって生じる原子の移動の[F]と[G]を表すベクトルである。
- d) 転位の特徴として、①周辺と[H]の作用が働く、②運動に伴い伸縮や[I]をする、③転位同士の[J]が働く、といった点が挙げられる。

解答欄

A _____

B(2箇所) _____

C _____

D _____

E _____

F _____

G _____

H _____

I _____

J _____