

基礎材料組織学 第9回

- 前回 :
- ・ 臨界分解せん断応力
 - ・ 結晶粒微細化
 - ・ ホール・ペッチの関係式



- 今回 :
- ・ 純金属の凝固
 - ・ 平衡状態図の概要
 - ・ 1成分系平衡状態図
 - ・ 2成分系（2元系）平衡状態図

9.1 金属の凝固

●金属を炉中で一旦溶融したのち、**ゆっくり冷却**しながら温度を測定→経過時間に対してプロット

・純金属の場合

- ab間: 金属が液相状態で冷却
- bc間: 凝固温度、全体が固相になるまで一定温度
- cd間: 金属が固相状態で冷却

熱分析曲線

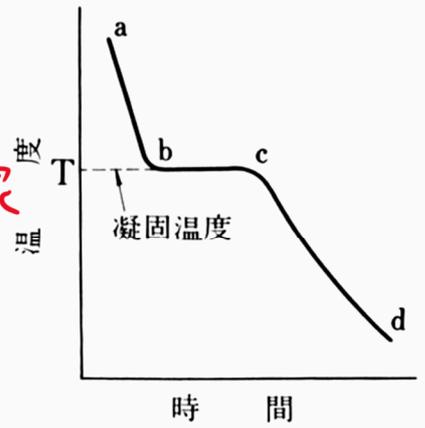
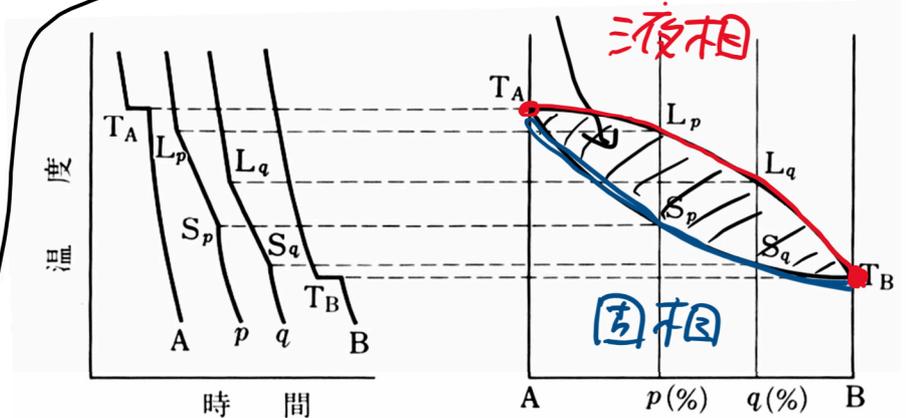


図 9.1 純金属の熱分析曲線
[大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版]

・合金の場合

- ・ $T_A L_p L_q T_B$: 液相線
- ・ $T_A S_p S_q T_B$: 固相線
- ・中間:

液相と固相が混在

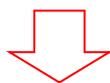


(a) 熱分析曲線 (b) A B 二元合金の状態図

図 9.2 合金の熱分析曲線と状態図

[大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版]

- ・ A 金属: 凝固温度 T_A
- ・ " : " : " T_B
- ・ A 金属に $p\%$ の B 金属を含む合金:
 - ・ L_p にて凝固開始, S_p にて終了
 - ・ 温度変化を伴う凝固
- ・ " $q\%$ の " :
 - ・ L_q にて凝固開始, S_q にて " 終了



- ・ (a) の各曲線で得られた各点を, 合金濃度に対応してプロット
- (b), 平衡状態図

9.2 平衡状態図の概要および1成分系平衡状態図

ある物質や合金について、相が変化する境界を圧力・温度、組成の変数として図示したもの。

「系」: 扱う対象物。

「相」: 系を構成する均一な部分・領域。同じ物質でも状態が異なる場合は異なる相と見做す。

「成分」: 系を構成する物質の種類。例: 水蒸気/水/氷
例: H_2O

「組成」: 成分の量比

・氷水: 1成分 2相

・塩水(塩が完全に溶け切っている場合): 2成分 1相

→ 複数の物質の混合でも、完全に混ざり合った状態であれば「1つの相」

・塩水(塩が飽和し水中に溶け残っている場合): 2成分 2相

●例: 水の平衡状態図

- ・ 水蒸気(気相, V), 水(液相, L), 氷(固相, S) が存在
- ・ 各相の境界線上(例: ②)は 2つの相が平衡して存在
- ・ ③: 三重点、3つの相が平衡して存在する唯一の位置

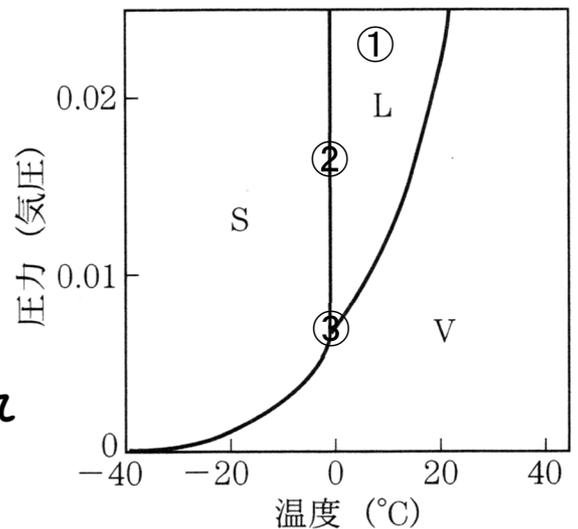


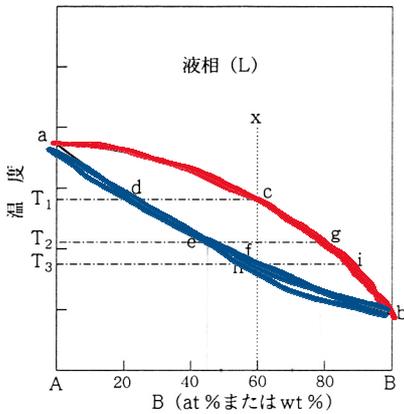
図 9.3 水の平衡状態図
[新版 基礎機械材料学, 朝倉書店]

●状態変化に及ぼす圧力の影響

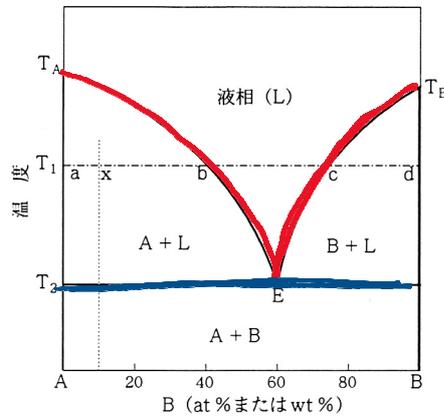
- ・ 気相 ⇄ 液相: 顕著な影響 ... 気圧と水の沸点の関係
- ・ 液相 ⇄ 固相: ほどんど変化しない, 「凝固系」

9.3 2成分系(2元系)平衡状態図

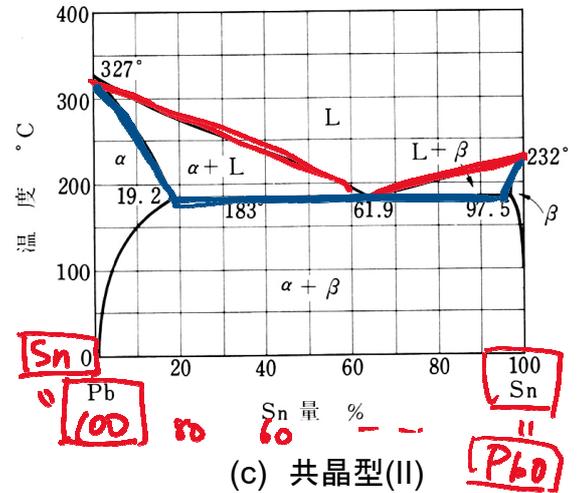
● 2成分系(2元系)における状態変数: **温度と組成** (圧力: 大気圧を想定)



(a) 全率固溶型



(b) 共晶型(I)



(c) 共晶型(II)

図 9.4 各種平衡状態図

[二元合金状態図集, アグネ技術センター]

●軸の意味

- ・縦軸: **温度**, [°C] もしくは [K]
- ・横軸: 横軸右端に記されている元素の組成割合。
[wt% (重量%)] もしくは [at% (原子数%)]

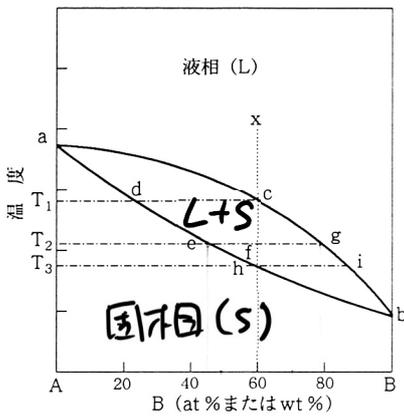
●それぞれの線の意味

- ・液相線: **それ以上はすべて液相となる境界**
- ・固相線: **それ以下はすべて固相となる境界**

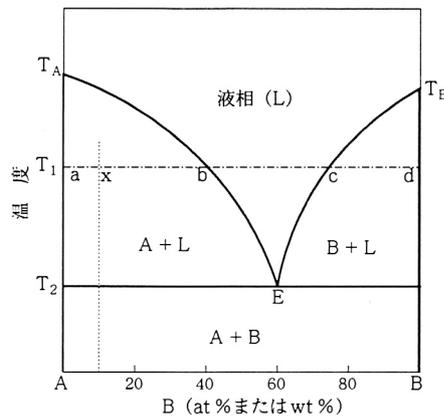
●固溶体について

- ・ α 固溶体: A金属 (c) 2はPb) 中にB金属 (c) 2はSn) が溶解したものの。
- ・ β 固溶体: B金属 (c) 2はSn) 中にA金属 (c) 2はPb) が溶解したものの。

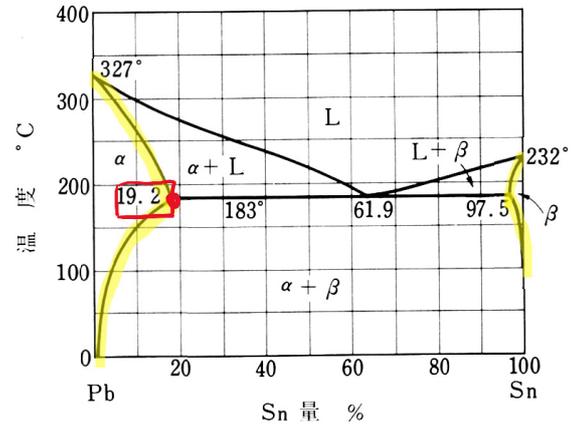
~~固溶体の名付け方:~~



(a) 全率固溶型



(b) 共晶型(I)



(c) 共晶型(II)

図 9.4 各種平衡状態図(再掲)

●それぞれの領域の意味

L: 液相単相領域

S: 固相 "

A: A 金属単相領域

B: B 金属 "

α : α 固溶体単相領域

β : β 固溶体 "

} L+S: 液相と固相の混合領域

A+L, B+L: A 金属 (もしくは B 金属) と液相の混合領域

} A+B: A 金属と B 金属の固相混合領域

α +L, β +L: α 固溶体 (もしくは β 固溶体) と液相の混合領域

} α + β : α 固溶体と β 固溶体の混合領域

● α 固溶体における B 金属の固溶量

β " A "

} 温度によって変化する

溶解度曲線 ((c) 中の黄色ライン), その温度における固溶できる限界量 (固溶限) を定義する.

9.4 第9回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

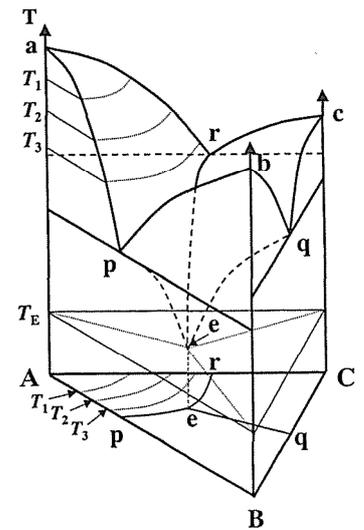
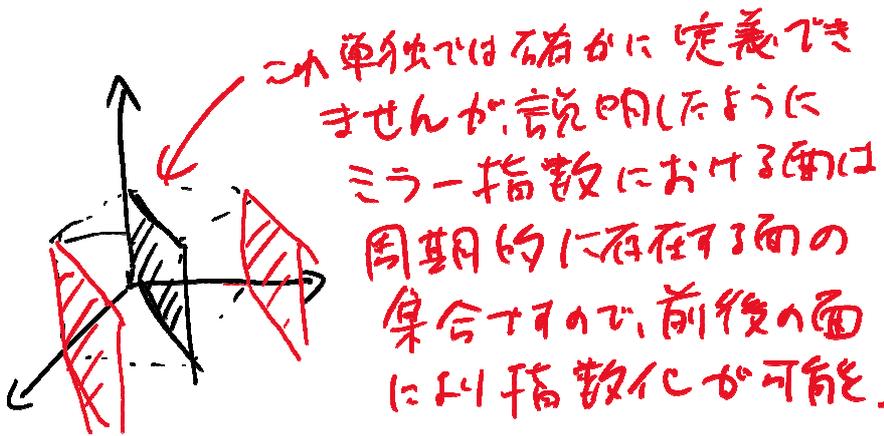
●意見・感想

- ・小テスト 1 問目で時間がかかってしまい解ききれなかった, 参考問題がなかったのもとても難しかった, 参考問題がなかったのも勉強が取り組みにくかった, 今後の小テストではもっと自主学習が必要, 計算ミスをしてとても悲しい, すべり面に対する理解を上げなくては, 想像よりも難しかったが補講でこまめに内容に触れていたのも慌てずに解けた, 難しかった, すべり面の法線について理解が足りなかった, これからはもっとプリントの復習をしっかりと, 小テストが全くわからなかった, ミラー指数についての理解が不十分であることを実感した, 今までにないくらいわからなかった:16 ← 今回の小テストは平均 4.1 点, 満点 5 名で, いままでで最低の結果でした. 結果を見ると, 前回の補講を休んだ人は今回の小テストでほとんど点数を取れていないのですが, 自分で補講の分の学習を行なわなかったのでしょうか?
- ・すべり面や方向に関する勉強をする, 授業プリントをよく復習して次のテストに備える, すべり系がまだうまく特定して描くことができていない, 平衡状態図についてよく復習する, 勉強する時間を増やす, 平衡状態図の読み方がわからなかったのも復習する:14
- ・授業内容は難しくなかった, 熱分析曲線から平衡状態図の流れがわかった, 「系」の意味が理解できた, よく出てくるけどなんとなくしかわかっていない言葉の定義が説明されてよかった, 平衡状態について理解した, 一見複雑そうに見えたが説明を聞いてある程度理解できた:8
- ・共晶型(I)と(II)の違いの理由が理解できなかった, 共晶型(I)と(II)のいずれも特徴的だと感じた, 共晶型についてまだよく理解できていない, 固溶体が難しかった, 新しい言葉が多くて大変:7 ← 授業内で何回も「状態図や固溶体については次回以降にきちんと説明する」と話しました(時間の関係上, 今回は概略に留めています). ですので固溶体についての質問もありましたがここでは答えません.
- ・平衡状態図の読み方を忘れていたのでしっかり復習したい, 中高でやった化学の内容の発展で面白かった:2 ← 2 元系の平衡状態図まで高校で習うのでしょうか?(私が把握できていないので)
- ・試験が持込み可なのでどれだけ難しいか怖くなってきた ← そんなことはないです, 基本的には小テストレベルの問題しか出しません. 問題なのはむしろ, 「どうせ持込み可の試験だから」とたかを括ってろくに勉強もせず臨んで, 当日どこに何が書いてあったかを探しているうちに時間が足りなくなって不正解が増える, というパターンです.
- ・小テストの提出日を書き忘れてしまった ← 気にしなくても大丈夫です.
- ・三重点の身近な例にどのようなものがあるか興味を持った
- ・ α 固溶体と β 固溶体で性質が異なるならそれらの混合は複雑な性質になりそう
- ・山の頂上に行くと沸点が下がるという話は他の講義でも聞いたが工学部の授業においてもつながりが感じられた
- ・平衡状態図についてよく調べる, 今日は WE が書かれているのが見えた, 固溶体がどういう状態なのかあまりイメージできなかった, τ_c と σ_Y が逆にしてしまった, 面指数の取り方に不安がある, 前回に比べてわかりやすかった, グラフの形が定型であれば小テストでも解けそうだが変わった形だと迷いそう, 補講を忘れていて小テストができなかった, 平衡状態図の読み取り方を理解できた, 去年は今日の内容がとても難しく感じたが今回はしっかり理解できた(当たり前のことだが), 復習頑張る ← 「グラフの形」というのは平衡状態図のことでしょうか? 「補講を忘れて」というのはもう問題外ですね.
- ・参考問題がなくなった分小テスト時間を増やしてしっかり問題を解かせてほしい ← 今日時間を延ばしていますが, どこまで延ばせばしっかり解けますか? 私から言わせてもらえば, しっかり理解して臨めば 10 分あれば十分解ける問題です(今回も満点をとっている人はいます). 自分の勉強不足を棚に上げて, 他人に要求するのは大学生が取るべき行動ではないですね. ちなみに以下のような意見の人もいます.

・例題のない小テストだったが授業内で学んだ内容に過ぎないのでしっかり復習して臨みたい

●質問

- ・平衡状態図の「系」の説明のあとの文字が読めなかった, 解読するのに数秒かかる文字がいくつかあった
←すみません, 「扱う」です.
- ・気相の「V」は何の略か? ←"Vapor"です.
- ・小テストであまり点が取れていないがこれからの立て直しは可能か? (落としたとしても来年また取る) ←もちろん, ここからの取り組み次第でまだ十分挽回可能と思います.
- ・3種以上の平衡状態図はあるのか? ←以下の右図のように, 3元系の場合は立体的になります.
- ・下図のようなすべり面はどう表すのか? ←以下の通りです.

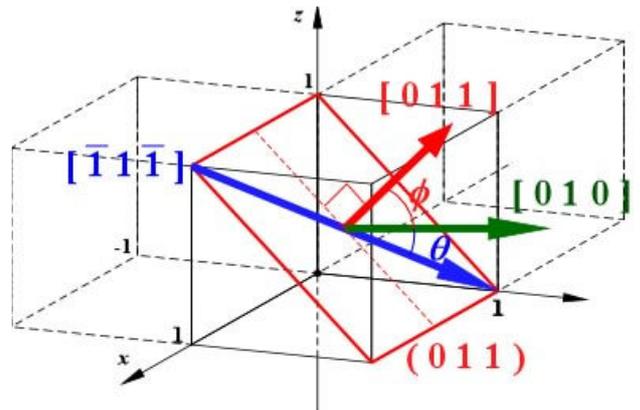


9.5 第8回小テスト解答

ある bcc 単結晶金属を $[010]$ 方向に引張る場合、 (011) 面 $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ 方向における臨界分解せん断応力 τ_c を考える。

Q.1 引張方向, すべり面, すべり面の法線方向, すべり方向を右図に図示せよ。[4点]

注: 本来は面や方向にミラー指数を付し, そこでの ϕ と θ も書き加えなければ不正解だが, そこは大目に見た。
数人は昨年の問題の丸暗記で全く異なる図を描いている人もいた。そうなるとうとうしようもないので, くれぐれもそうならないように。



Q.2 $\tau_c = 12.5$ MPa が既知の場合, この単結晶の降伏応力 σ_Y [MPa] を求めよ。[6点]

A.2 上図より, すべり面法線方向 $[011]$ と引張方向 $[010]$ のなす角 ϕ は

$$\cos\phi = \frac{|0 \times 0 + 1 \times 1 + 1 \times 0|}{\sqrt{(0)^2 + (1)^2 + (1)^2} \sqrt{(0)^2 + (1)^2 + (0)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (= \text{幾何学的判断から } \phi = \frac{\pi}{4}, \text{ でもよい})$$

すべり方向 $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$ と引張方向 $[010]$ のなす角 θ は

$$\cos\theta = \frac{|(-1) \times 0 + 1 \times 1 + (-1) \times 1|}{\sqrt{(-1)^2 + (1)^2 + (-1)^2} \sqrt{(0)^2 + (1)^2 + (0)^2}} = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

従って臨界分解せん断応力の定義式 $\tau_c = \sigma_Y \cos\phi \cos\theta$ より $\sigma_Y = \frac{\tau_c}{\cos\phi \cos\theta}$

$$\therefore \sigma_Y = 30.61 \dots = 30.6 \text{ MPa}$$

注! ϕ と θ の算出根拠が記されていない解答は減点とした。

そもそも, ϕ と θ の定義(何と何のなす角なのか?) から誤っている人が多数。

例: 「引張方向とすべり面のなす角 θ », 「すべり方向と法線方向の角度 ϕ », 等