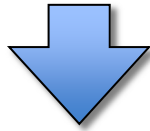


基礎材料組織学 第 12 回

- 前回：
- ・ てこの関係
 - ・ 共晶型（Ⅰ）平衡状態図



- 今回：
- ・ 共晶型（Ⅱ）平衡状態図
 - ・ 固溶強化
 - ・ 析出強化

12.1 共晶型(Ⅱ)平衡状態図

●A金属とB金属がある範囲内でそれぞれ固溶体を形成し、かつそれらが混ざり合う

・α固溶体: A金属に少量のB金属が
固溶、固溶限: CFH

・β固溶体: B " " A " " が
固溶、固溶限: DGK

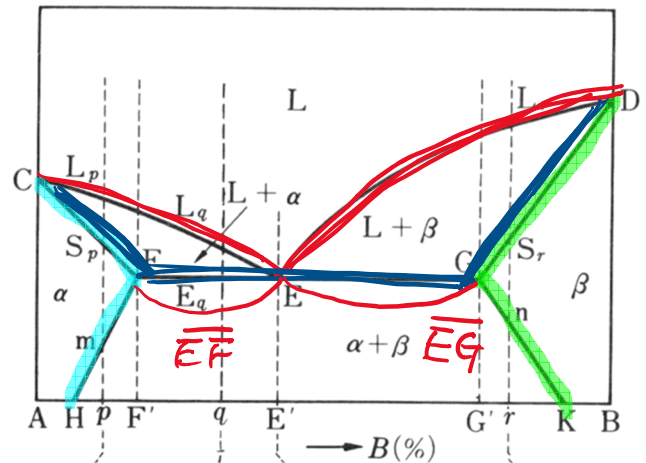


図 12.1 共晶型(Ⅱ)平衡状態図

[大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版]

・液相線: CED

固相線: CFEGD

●図中 E' の組成を持つ合金を液相からゆっくり冷却

①温度 E 直下: α + β 領域に入る, α 固溶体と β 固溶体を共晶し凝固完了

・組成 α: F 点に該当する組成, β: G 点に該当する組成

・存在割合 α: $\frac{\overline{EG}}{\overline{FG}}$, β: $\frac{\overline{EF}}{\overline{FG}}$

②室温: α + β 領域内のまま

・組成 α: H 点に該当する組成, β: K 点に該当する組成

・存在割合 α: $\frac{\overline{E'K}}{\overline{HK}}$, β: $\frac{\overline{HE'}}{\overline{HK}}$

・αおよびβ固溶体の組成が温度低下に伴い変化する(固溶限の変化)。

●図中 q の組成の場合

①液相線との交点 L_q 直下: L + α 領域に入る, α 固溶体の晶出開始(αの初晶)

② 固相線との交点 E_p 直上: $L + \alpha$ 領域内 $\rightarrow$ 初晶 $\alpha + L$

・組成 L : E 点, α : F 点.

・存在割合 L : $\frac{\overline{FEg}}{\overline{FE}}$, α : $\frac{\overline{FgE}}{\overline{FE}}$

③ E_p 直下: $\alpha + \beta$ 領域に入る. $\rightarrow$ 初晶 $\alpha +$ 共晶 ($\alpha + \beta$)

・組成 α : F 点, β : G 点. 存在割合 α : $\frac{\overline{FgG}}{\overline{FG}}$, β : $\frac{\overline{FgF}}{\overline{FG}}$

④ 室温: $\alpha + \beta$ のまま、

・組成 α : H 点

・存在割合

α : $\frac{\overline{HK}}{\overline{HK}}$ β : $\frac{\overline{HG}}{\overline{HK}}$

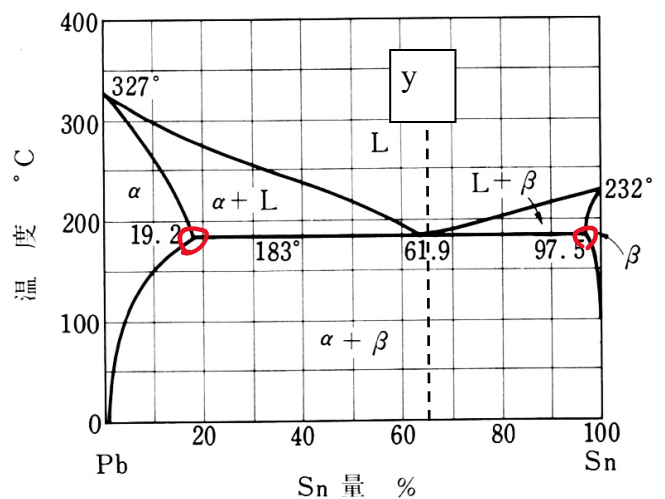
β : K 点

・例題: 組成 y の合金を液相からゆっくり冷却した場合、以下について述べよ。

① 183°C 直下で生じる現象

② 183°C 直下における組成

③ " 存在割合



① 共晶

② α : 19.2% Sn - 80.8% Pb

β : 97.5% Sn - 2.5% Pb

③ α : $\frac{97.5 - 61.9}{97.5 - 19.2} \times 100 = 45.5\%$ $\beta = 100\% - 45.5\% = 54.5\%$

12.2 固溶強化

- 溶質原子により生じる格子ひずみ、もしくは溶質原子の存在そのものにより、転位の運動が妨げられる。

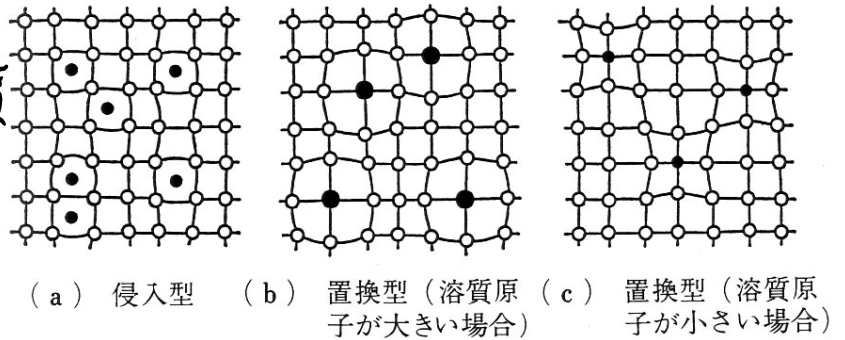


図 12.2 固溶体形成による格子ひずみ

[新版 基礎機械材料学 朝倉書店]

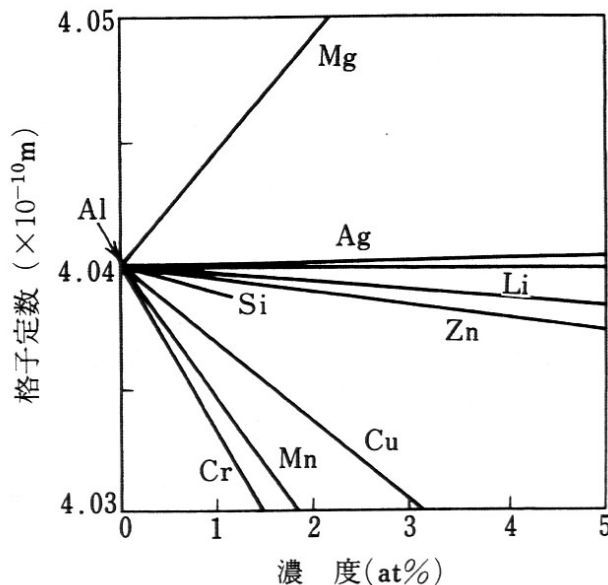
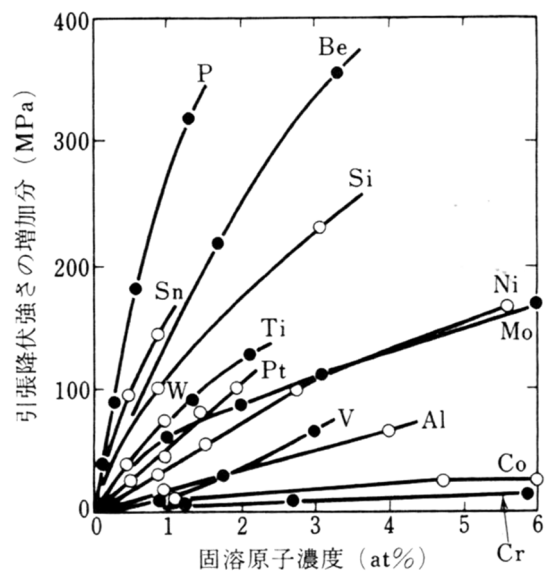


図 12.3 固溶濃度とAl 格子定数の関係

[新版 基礎機械材料学 朝倉書店]

図 12.4 固溶濃度と α -Fe 強度の関係

[新版 基礎機械材料学 朝倉書店]

・問い: 全ての金属において、固溶強化は適用出来るのか?

→ 固溶体を形成できる組み合わせは限られている。

→ 固溶できる限界がある。(全率固溶型以外は)

↓
ヒューム-ロザリーの法則

12.3 析出強化

- Al-Cu 系における α 固溶体: $T^\circ\text{C}$ では $\chi\%$ の Cu は固溶可能だが、室温では完全には固溶できていない。

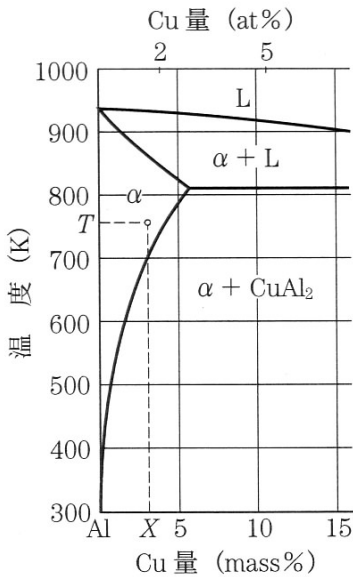


図 12.5 Al-Cu 系
平衡状態図(一部)

[新版 基礎機械材料学, 朝倉書店]

・ゆっくり冷却: α 固溶体と金属間化合物 CuAl_2 からなる組織となる。

・急速に冷却: CuAl_2 の結晶形成が間に合わず、室温で Cu を過剰に固溶した組織となる。



・本来、室温では固溶できない程の Cu 量を含んだ固溶体:

→ 「過飽和固溶体」 下図 (a)

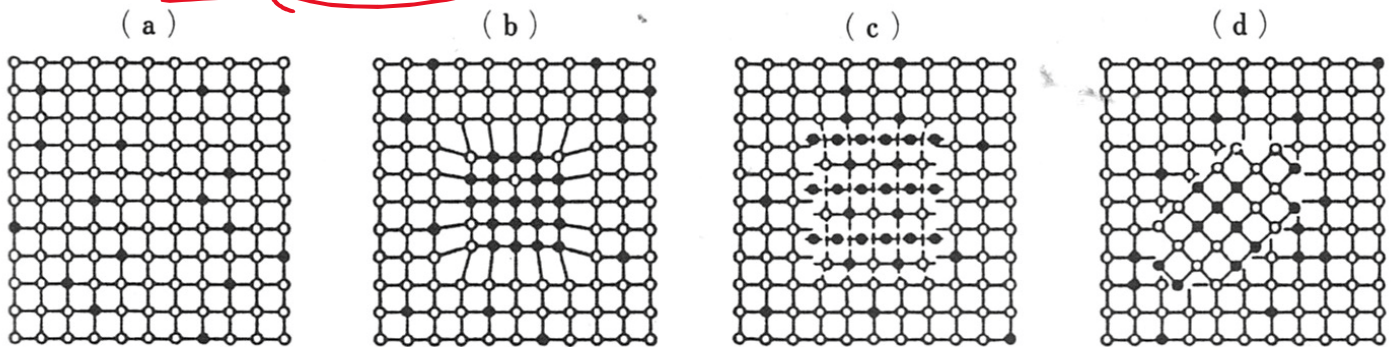
● 過飽和固溶体は不安定

→ 特定の熱処理(時効処理)により

- ① 溶質原子の集合体 (GPゾーン) 下図 (b)
- ② 中間相粒子 下図 (c)
- ③ 安定相粒子 下図 (d)

を連続的に析出していく

固相中から新たな固相が形成される



○ 溶媒

● 溶質原子

図 12.6 析出強化の形態

[新版 基礎機械材料学, 朝倉書店]

● 析出強化のメカニズム

1) GPゾーンによる格子のひずみ

2) 粒子を車雲位が切断して進行する際の新生面形成

3) 切断でより伸長・歪曲するためのエネルギー

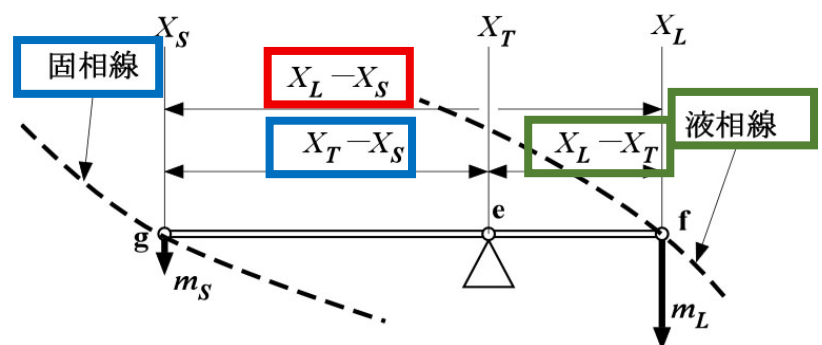
12.4 第 12 回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・平衡状態図は様々なパターンがあったが考え方は全て同じことがわかった, α や β がどのように生成されるのかを学んだ, 共晶型(II)の求め方を知れた, 固溶体形成の制約について理解できた, 固相の成分変化や晶出のタイミングについて知った, 固溶強化と析出強化について学んだ, 共晶の理解ができた:15
- ・小テストの出来があまり良くなかった, 比較的解きやすかった, 難易度はちょうど良かった, 前回内容をしっかり復習できたので問題なく解けた, 分かったつもりが詰めが甘かった, いまいち理解できないまま小テストを受けてしまった, 小テストの範囲を勘違いしていて解けなかった, 少し難しく苦戦した, 小テストの時間が最近長くて助かっている, 前回の後半がわかっていなかった, 遅刻して小テストを万全で受けられなかったが予習が活きた, 「その温度で存在する相」が不安, ちゃんと理解して解けた気がする:15 ←今回の小テストは平均点, 満点名でした. 今回の小テストの解答内容で, 誰が昨年度の小テスト問題だけしか勉強していないかがはっきり分かりましたので, 今後も注目していこうと思います.
- ・少し混乱してきたため復習する, 例題を復習する, どの状態図でも正しく読み取れるように訓練する, 演習量を増やす, 共晶型(II)はグラフが複雑なのでしっかり復習する, 満遍なく復習する, 析出強化のメカニズムについて確認する, テストが近くなってきたのでしっかり復習する, 最初から復習し直す:15
- ・前回の延長の内容で分かりやすかった, 共晶型(II)が分かりやすかった, 組成や存在割合を求める考え方はかなり理解してきた, 平衡状態図に関してかなり理解できている, 平衡状態図の話にだんだん慣れてきた, てこの原理について復習でよく理解できた, 冒頭の説明で理解が深まった:8
- ・強化の話がちょっと面白かった, 冷却の仕方に変化するのが面白い:2
- ・残り少ないのでレポートを進める, レポートを早めに仕上げる:2
- ・前回の小テストの問題で「固相と液相」ではダメだとわかった ←「正確に記述すること」と但し書きを付けたはずです.
- ・例題が難しかった
- ・W 杯が終わって喪失感が大きい ←同感です. まあ新しいシーズンがじき始まりますので, それまで待ちましょう!
- ・テストを頑張って気持ちよく夏休みに入りたい ←そうなれるように頑張ってください!
- ・今受講している講義が概ね 4 年次の研究に直結していることを感じた ←専門科目ですから.
- ・存在割合の式の順番が分からなくなる, 存在割合を求める時どれを分子にすれば良いかを間違えそう:2
←式として覚えるのではなく, 下図の通りパターン(図形)として覚えることをお勧めします.
...常に逆側の長さ(液相の割合は固相側の長さ, 固相の割合は液相側の長さ)が算出式の分子となる

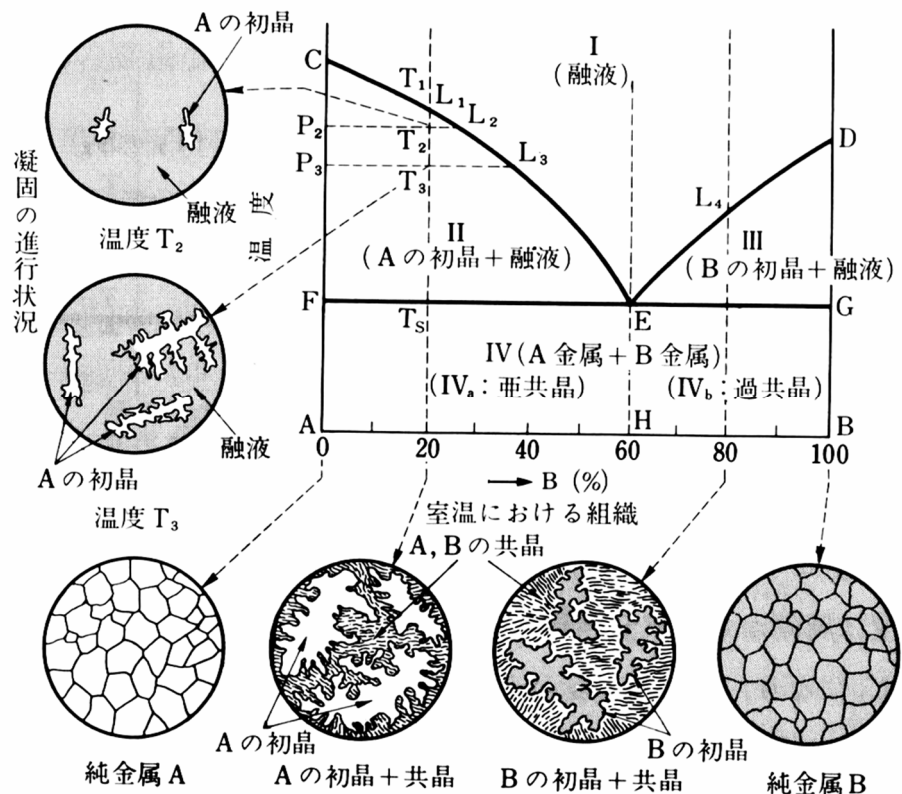
・液相の割合: $\frac{\text{固相線側の長さ}}{\text{全体の長さ}}$

・固相の割合: $\frac{\text{液相線側の長さ}}{\text{全体の長さ}}$



●質問

- ・固溶強化や析出強化した物質はする前から物性が変わるのか？←「物性」とはその材料固有の特性であり、微細組織(固溶体形成や析出物含有のような)では変化しないものを指します。
- ・定期試験の時間は(どのくらいの時間で解き終わることを想定するのか)？←試験時間は 80 分です。毎年、時間前に解き終わって出ていく人もいますので、しっかり準備すれば 80 分以内で解き終わられると思います。
- ・気相から固相が生じる現象にも名称があるのか？←気相から固相が形成される現象は「凝華」と言うそうです。私も知りませんでした。
- ・温度が一定なら一定の組成の固溶体ができ続けるのか？←「でき続ける」ということはいりません、その温度における液相と固相の存在割合も決まっていますので。
- ・お勧めの問題集は？←今出しているレポートの課題は、自分でそういうものを探すことですよね。
- ・初晶 $\alpha +$ 共晶($\alpha + \beta$)においてそれぞれの α は区別がつくのか？←下図で示すように、同じ α でも初晶の方が結晶粒が成長しているはずなので、見分けはつくはずですよ。
- ・固溶強化や析出強化は実際にどのように活用されているか？身の回りに析出強化を使って作られた材料はあるのか？←例えば身の回りのほとんどの Al 合金は析出強化を施されています(純 Al は別ですが)。
- ・固溶体の組み合わせを見つける実験は今でもあるのか？←今時ですと元素の情報からある程度はコンピュータによる計算(シミュレーション)で判断できてしまうと思います。
- ・試験での持ち込みは自分の手書きであれば何枚でも良いのか？←何枚でも OK です。



12.5 第 11 回小テスト解答

Q.1 右図の Y 組成 (A 10%–B90%) を液相からゆっくり冷却した場合、以下の問いに答えよ。[4, 4, 2 点]

- 温度 T_1 で存在する相 (正確に記述すること)
- " 各相の存在割合
- 温度 T_2 直下で生じる現象

A.1

a) 「B の初晶 or B 金属 100%」と液相 (「固相と液相」や「B+L」では減点)

b) B の組成: B100%–A0%

液相の組成: c 点が該当 → B75%–A25%

$$\therefore B \text{ の存在割合: } F_S = \frac{90-75}{100-75} = 0.6 \rightarrow 60\%$$

$$\text{液相の存在割合: } 1 - 0.6 = 0.4 \rightarrow 40\%$$

c) 共晶

