

基礎材料組織学 第 13 回

- 前回：
- 共晶型（Ⅱ）平衡状態図
 - 固溶強化
 - 析出強化



- 今回：
- 鉄および鋼の概要
 - 鉄の変態と結晶構造
 - 炭素鋼の平衡状態図と組織

13.1 鉄鋼材料の概要

鉄(iron):	$< 0.02\% \text{C}$	} C量が鉄鋼材料の組織・特性に顕著な影響を及ぼす。
鋼(steel):	$0.02 \sim 2.1\% \text{C}$	

炭素鋼:	C以外の合金元素を特に加えない。 (製造工程においてMn, Si, P, Sが混入)
合金鋼:	(Cr, Ni, Mo, V等)を加えたもの。



高張力鋼...

13.2 鉄の変態と結晶構造

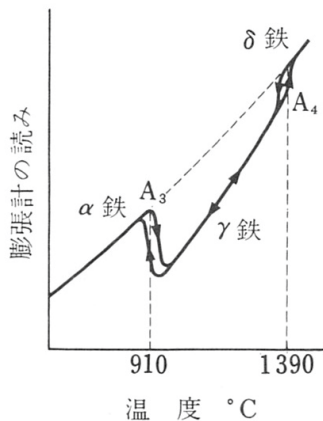


図 13.1 純鉄の変態による体積変化

[大学基礎 機械材料 SI単位版, 実教出版]

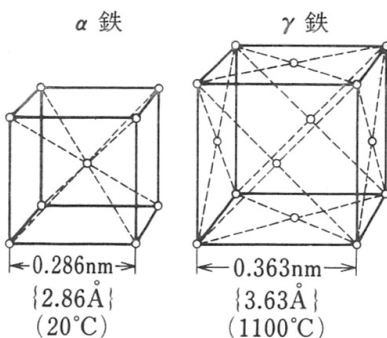


図 13.2 α鉄とγ鉄

[大学基礎 機械材料 SI単位版, 実教出版]

●鉄の変態: A_3 点 (910°C 付近) において
 α 鉄 (bcc) $\leftrightarrow$ γ 鉄 (fcc)

A_4 点 (1390°C 付近) において
 γ 鉄 (fcc) $\leftrightarrow$ δ 鉄 (bcc)

・ α 鉄 $\rightarrow$ γ 鉄への変態: 著しい収縮
 (最密構造になるため)

・鉄における格子定数: 0.286 nm ($a=b=c$)

α鉄:

γ鉄: 0.363 nm ()

13.3 炭素鋼の平衡状態図と組織

注：鉄の融点：1536°C

→ この図中は全て固相

- C
↓
・ α鉄と他の元素との固溶体：

→ α固溶体、「フェライト」

α固溶体へのCの固溶

・室温：0.00004%

・727°C：0.022%

α = フェライト

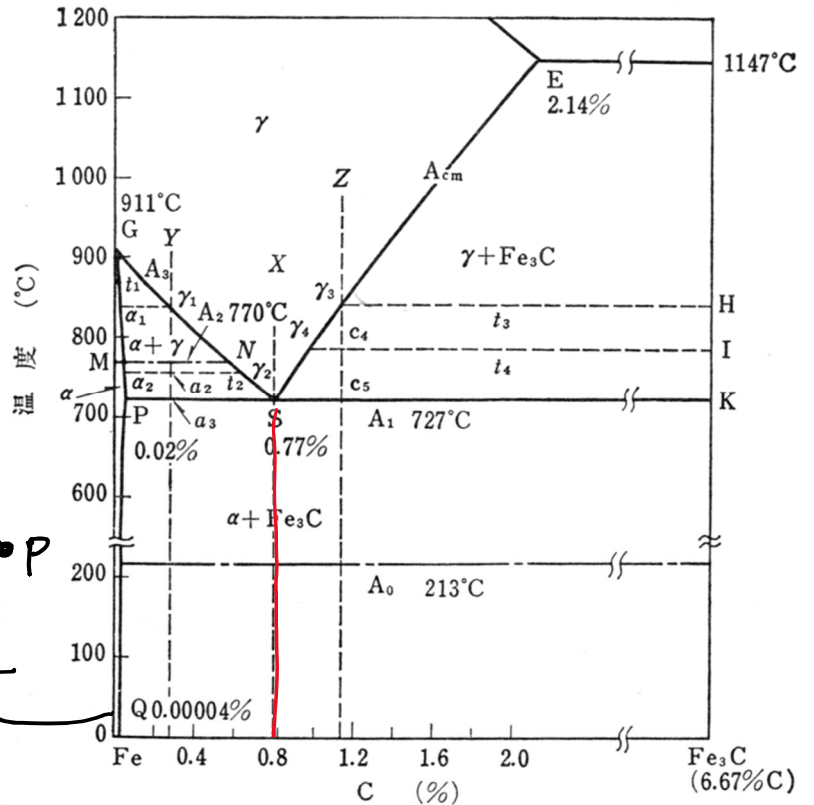


図 13.3 Fe-C 系状態図

[金属材料工学 改訂・SI版, 森北出版]

- ・問い：固溶限以上のCはどうなるか？

Fe_3C という金属間化合物
「セメンタイト」を形成する。

・そのC含有率：6.67%

α = オーステナイト

- ・ γ鉄と他の元素との固溶体：γ固溶体、「オーステナイト」

↑
C, γ固溶体へのCの固溶限 1147°C：2.14%

・ 高温相のため室温では存在しない。

●炭素含有量による呼称の相違

・ <0.77%C の炭素鋼：亜共析鋼

・ =0.77%C の炭素鋼：共析鋼

・ >0.77%C の炭素鋼：過共析鋼

「析出」

●共析鋼 (0.77%C) を γ 領域 (オーステナイト) からゆっくり冷却する

・温度 A_1 (727°C) 直下: オーステナイト相からフェライトとセメンタイトが同時に析出する (共析)

組成 フェライト: P点, 0.022% セメンタイト: K点, 6.67%

割合 フェライト: $\frac{\overline{SK}}{\overline{PK}}$, セメンタイト: $\frac{\overline{PS}}{\overline{PK}}$

・フェライトとセメンタイトが層状に重なりて存在する組織、**「パーライト」**

・共析鋼は室温で100%パーライトの組織となる。

・共析鋼の A_1 点におけるパーライト形成を伴う変態: **「共析変態」**
「パーライト変態」



図 13.4 パーライト
[金属材料工学 改訂・SI版, 森北出版]

●亜共析鋼 (<0.77%C, ここでは例として組成 Y) をオーステナイト状態からゆっくり冷却する

①GS (A_3) 線との交点 γ_1 直下: $\alpha + \gamma$ 領域に入る、フェライトの析出開始 (初析フェライト)

② A_1 線との交点 a_3 直上: $\alpha + \gamma$ 領域内

・組成 α : P点, 0.022%

γ : S点, 0.77%

・存在割合 α : $\frac{\overline{a_3S}}{\overline{PS}}$, γ : $\frac{\overline{Pa_3}}{\overline{PS}}$

③ a_3 直下: $\alpha + Fe_3C$ 領域に入る。
残っていた γ が共析変態を伴ってパーライトとなる。

・亜共析鋼は室温で初析フェライトとパーライトの混合組織となる。

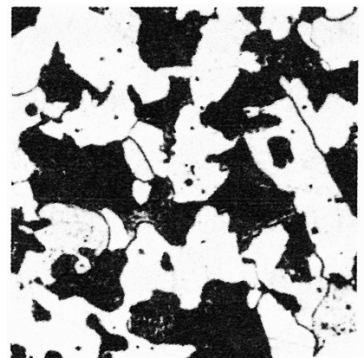


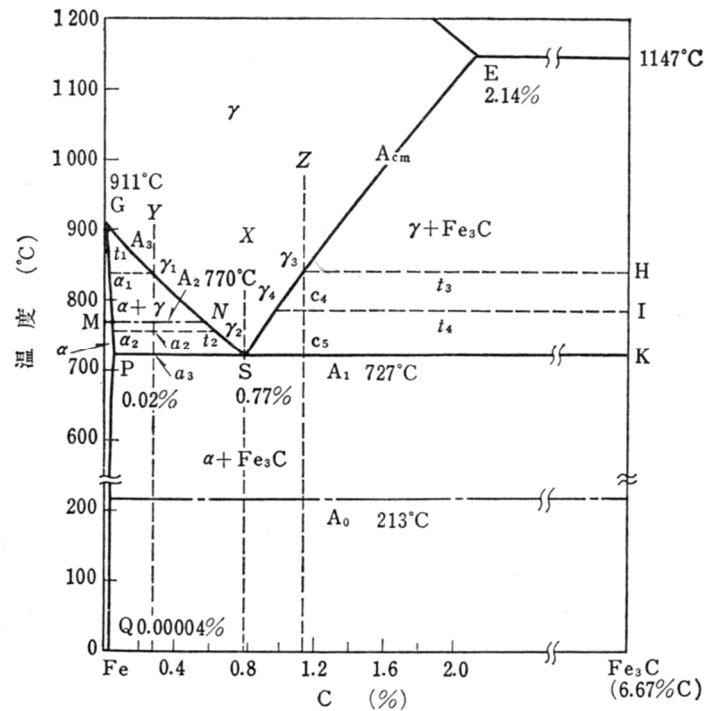
図 13.5 初析フェライト
+パーライト

[金属材料工学 改訂・SI版, 森北出版]

・例題: 図の Z の状態 (1.12% C, γ 単相) からゆっくり冷却した場合, 以下を答えよ.

① ES (A_{cm}) 線との交点 γ_3 直下で生じる現象

② C_5 直上における組織の組成および割合



① γ から Fe_3C の析出.

② γ 0.77%

Fe_3C 6.67%

$$\gamma : \frac{6.67 - 1.12}{6.67 - 0.77} \times 100 = 94.1\%$$

$$Fe_3C : 100 - 94.1 = 5.9\%$$

13.4 第 13 回講義に関する意見・感想・質問のまとめ

●意見・感想

- ・読み取り方をよく理解して暗記にならないようにする, プリントを見返して復習する, 期末テストの勉強を頑張りたい, レポート課題に着手する, 小テストの 2 問目がわからなかったので復習する, 状態図を正しく読み取るためにも固有名詞を覚えなければいけない, 平衡状態図を見る時どのような現象が起きているのかも理解したい, 定期試験も持ち込みで頼らずしっかり復習する, 復習を今日中にやる, 値や単位が変わっている問題にも対応できるよう学習する, 序盤の方の知識が抜けているので復習する:25
- ・一見情報量が多く見えるが噛み砕くと整理された, グラフの読み取りの基本について理解できた, Fe-C 平衡状態図が理解できた, 平衡状態図をやっとちゃんと見れるようになってきた, 鉄鋼材料の特性には C 量が影響することがわかった, 炭素鋼の平衡状態図は今までと同じ考え方で良いとわかった, 授業内容はかなり理解できた, これまでの内容の延長の話で理解がしやすかった, 前回の小テストでは存在割合の理解が甘く解けなかったが今日の演習は解けた, 鉄という身近な材料について知ることができた, 鉄のそれぞれの組織について興味深かった:18
- ・固有名詞が出るたびに確認せねばならず混乱した, Fe_3C を何と呼べばいいのかわからなかった, 授業内容が難しく感じた, グラフの問題がまだ完全に理解しきれなかった, 固有名詞がたくさん出て覚えることが多い, Fe-C 平衡状態図の読み取りが難しかった, 組成や存在割合を考えるのができなかった, 固有名詞が多く現象の説明を受けた時イメージできなかった, カタカナが多く覚えるのに苦労しそう, 固有名詞が多いことを拘っていたのが印象的だった:17←
- ・小テストの穴埋め問題が怪しかった, 難易度は簡単な方ではあったが埋めきれなかった, 対策をして解くことができた, 解けたが明確に覚えていなかった, 以前勉強した内容や用語を書けなくて残念だった, 穴埋め問題が思っていたのと違ったが書けてよかった, 単語の問題の予習をしてなかった, 小テストをしっかり取って期末の負担を減らしたい, ホール・ペッチの式について有効数字に注意できた:13←今回の小テストは平均 5.8 点, 満点 11 名でした. 今更ながら「転位」のことを「転移」と書いてる人が多いことが驚きでした(当然減点です).
- ・明日の補講を忘れないようにする, 明日も補講があるが頑張る:2←お互い大変ですが頑張りましょう!
- ・今年がとても早く感じてしまう←充実してる, ってことでは?

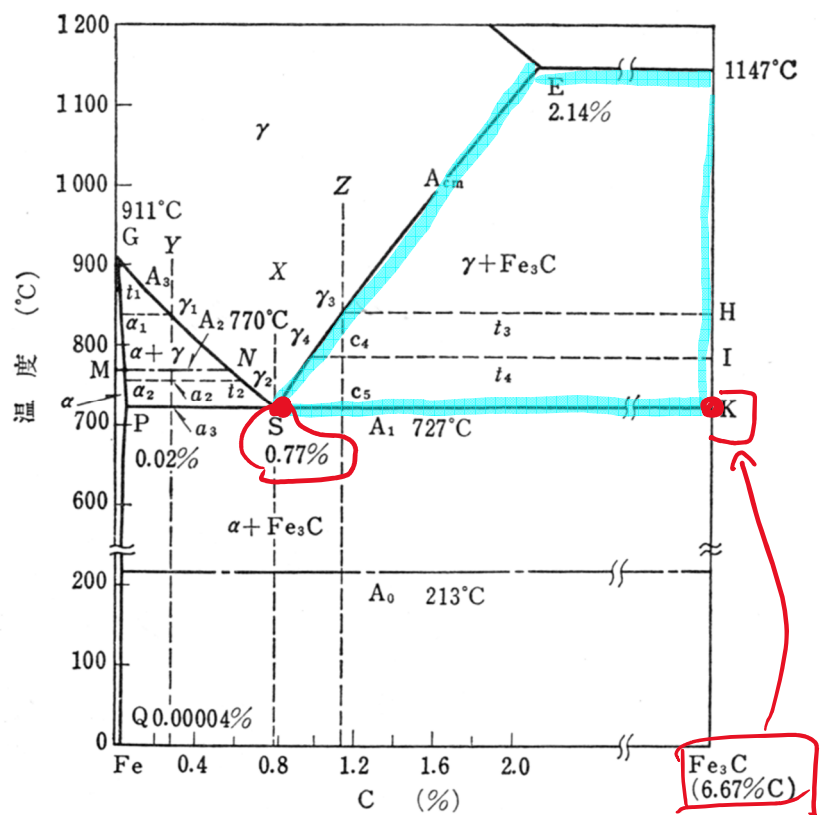
●質問

- ・13.1 の「高張力鋼」については何も書かなくて大丈夫か?←数年前までは高張力鋼の自動車への適用に関するニュースを説明していたのですが, もう最新の情報でもないのを止めました.
- ・パーライトは何故層状になるのか?←次回説明します.
- ・炭素鋼の名称についた「〇〇イト」は宝石や鉱石における意味と同じなのか?←同じだと思います.
- ・6.67%以上の C を混ぜようとしたらどうなるのか?←Fe と C の混合において C の含有量は 6.67%が上限 (100% Fe_3C 組織となる) ですので, それ以上 C を混ぜても黒鉛としての析出量が増加するのみです.
- ・高校の無機化学で「鋼を精錬することで鉄より強度が上がる」といった記載があったがどういうことか?←この文章が意味するところはちょっと分かりませんが, 純鉄(C を添加せずごくわずかな不純物のみを含む)と比較して炭素鋼や合金鋼といった合金の方が強度が高くなる, ということは言えます.
- ・定期試験の問題形式は例題や小テストと同じ形式か?←例題や小テストでは行わない記述式の問題も一部ありますが, 大半は同形式(計算問題や語句の穴埋め問題)です.
- ・どのようなメカニズムで α 鉄 $\leftrightarrow$ γ 鉄の構造変化が起きているのか?←簡潔にいうと各相(α 鉄/ γ 鉄)の自由エネルギーの温度に伴う大小関係の変化により変態は生じます. 910°C 以下, および 1390°C 以上で

は bcc (α 鉄)の方が fcc (γ 鉄)より自由エネルギーが小さいです.

- ・小テストの用語問題を予習するにはどのようにすればいいか？ ←これは授業内容全般を見直して、キーワードとなりそうな用語について自分なりの理解を確認する(複数あるなら全部について)しかないですね。
- ・ γ と Fe_3C の組成はどこを見て判断するのかわからなかった ←下図の通りです。

C_5 直上は「 $\gamma + Fe_3C$ 領域」の右下の水色領域, ϵ の下限の左右の境界は S 点 (0.77% C) と K 点 (6.67% C) となる.



金属材料の塑性変形は主に、[①]面上の[②]の運動に伴う原子の移動によって生じるため、それを[③]する事が金属材料強化の本質的メカニズムである。

① すべり
② 転位
③ 抑制 or 妨害 or 防ぐ

$\sigma_Y = 13.3 \times 10^6 + \frac{2.57 \times 10^6}{\sqrt{d}}$ [Pa]を示す金属材料において、 $d = 144 \mu\text{m}$ の場合の σ_Y を求めよ。

$$\begin{aligned}\sigma_Y &= 13.3 \times 10^6 + \frac{2.57 \times 10^6}{\sqrt{144 \times 10^{-6}}} = 13.3 \times 10^6 + 214.166... \times 10^6 \\ &= 227.466... \times 10^6 \text{ Pa} \\ &= 227 \text{ MPa}\end{aligned}$$