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% C
- 鋼(steel): 0.02 ～ 2.1% C

} C量が鉄鋼材料の機械的特性に顕著な影響を及ぼす。

- 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が含まれる）
- 合金鋼: 合金元素(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

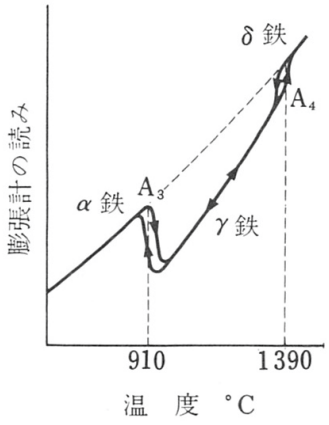


図 13.1 純鉄の変態による体積変化
［大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版］

●**鉄の変態**: A3点においてα鉄(bcc)⇔γ鉄(fcc)

A4点においてγ鉄(fcc)⇔δ鉄(bcc)の変態(結晶構造変化)が生じる。

・α鉄→γ鉄への変態: 長さ(体積)の著しい収縮(最密構造になるため)

・鉄における格子定数:

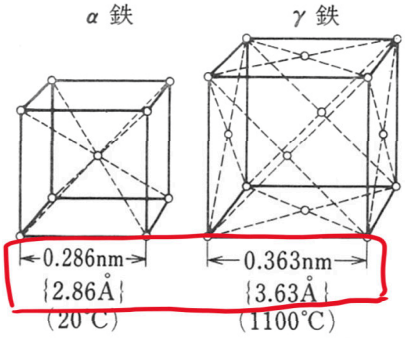


図 13.2 α鉄とγ鉄
［大学基礎 機械材料 SI 単位版, 実教出版］

13.3 炭素鋼の平衡状態図と組織

注：鉄の融点：1536℃

→ この図中はすべて固相

・α鉄と他の元素との固溶体：フェライト

C

α鉄へのCの固溶限

727℃で0.022%

室温で0.00004%

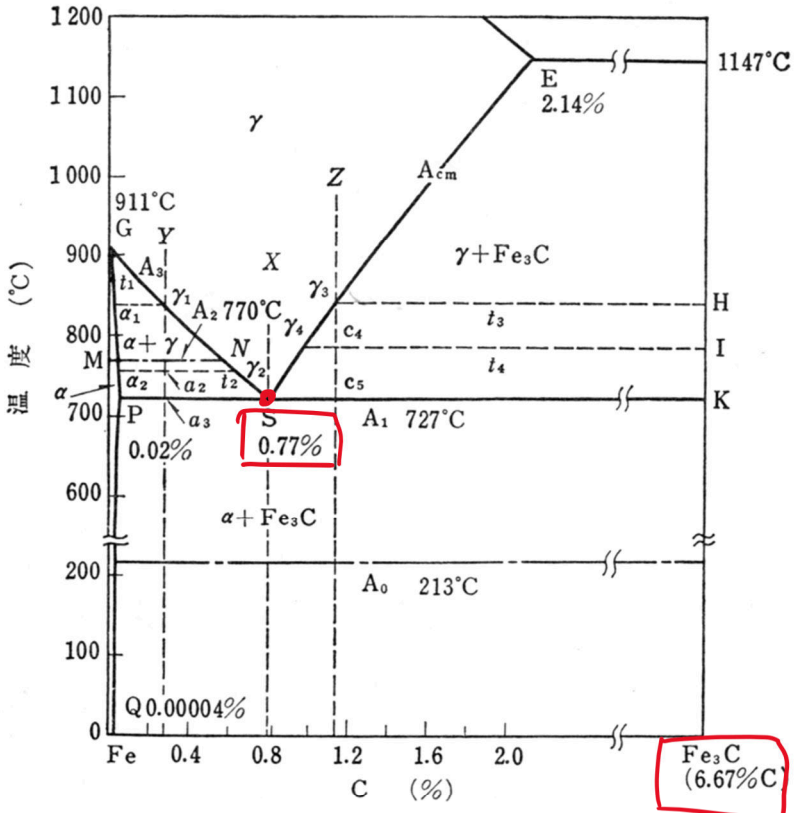


図 13.3 Fe-C 系状態図

［金属材料工学 改訂・SI 版，森北出版］

セメンタイトのC含有量：6.67%

・問い：固溶限以上の C はどうなるか？

Fe_3C となる．

セメンタイトという金属間化合物

・γ鉄と他の元素との固溶体：オーステナイト、

γ鉄へのCの固溶限：2.14%（1147℃）

オーステナイトは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

●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℃）直下：γの領域からα+Fe_3C領域に入る、オーステナイトからフェライトとセメンタイトが同時に析出する

組成　フェライト：P点（0.022%C）、セメンタイト：K点（6.67%C）

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

・フェライトとセメンタイトが層状に重なった組織、「パーライト」

・共析鋼は室温で100%パーライト組織となる

・共析鋼のA_1点（727℃）におけるγ⇔α変態：「共析変態」「パーライト～」

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：α+γ領域に入る、フェライトの初析開始

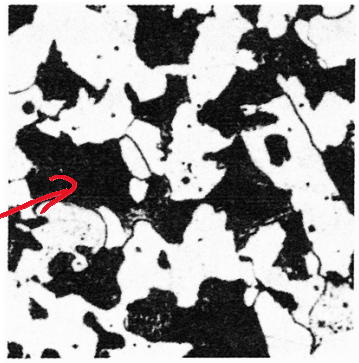
②A_1線との交点a_3直上：α+γ領域のまま、

・組成　フェライト：P点（0.022%C）、オーステナイト：S点（0.77%C）

・存在割合　フェライト：$\frac{a_3S}{PS}$、オーステナイト：$\frac{Pa_3}{PS}$

③a_3直下：α+Fe_3C領域に入る、残っていたオーステナイトが共析を生じてパーライトになる。

・亜共析鋼は室温において「フェライトの初析」+「パーライト」の混合状態となる。



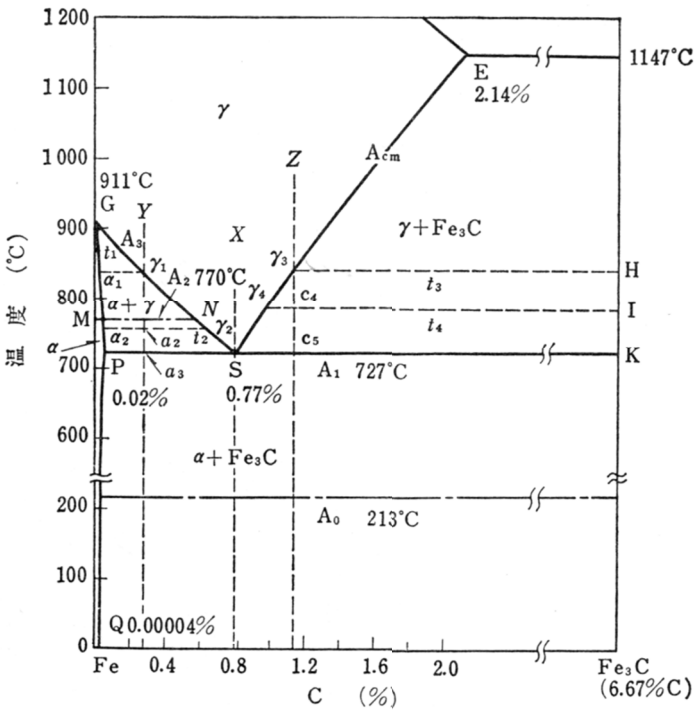
黒く見える部分：パーライト（拡大すると層状に見える）

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.

①ES（A_{cm}）線との交点γ_3直下で生じる現象

②C_5直上における組織の組成および割合



① γからのFe₃Cの初析

② γ：S点（0.77%C）
Fe₃C：K点（6.67%C） } 組成

存在割合

$$\gamma : \frac{C_5K}{SK} = \frac{6.67 - 1.12}{6.67 - 0.77}$$

$$= \frac{5.55}{5.90} = 0.940677\cdots$$

$$= 0.941 \rightarrow 94.1\%$$

Fe_3C : $1 - 0.941 = 0.059 \rightarrow 5.9\%$

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

・新しい用語が多く出て複雑に感じる，パーライト以外の名称について由来が気になったので自分で調べる，新しい言葉の復習をする，オーステ「ライト」にすればいいのに，名称が何を指すかを理解した上で暗記する，それぞれに名称があると初めて聞いた，用語の整理が必要，名称で頭がごちゃごちゃになったので整理する：15←名称に関しては覚えるしかないので，頑張ってください．

・小テストで覚えきれていないことがよくわかった，授業の復習が疎かになっておると小テストを受けて感じた，小テストで理解の浅いところや忘れた箇所が確認できた，少し難しかった，小テストの勉強を通して材料の強化方法についてしっかり理解が深められた，用語の名称や意味が疎かになっている部分があるとわかった，小テストの勉強をしてきたつもりだったが全然わからなかった，析出強化の理解が不十分だった，対策が不十分だった，すぐ答えがわかって良かった，強化についてまだまだ知識不足，共晶型の組成や存在割合しか見ていなかったので解けなかった：14←今日の小テストは平均 5.3 点，満点 13 名でした．文章穴埋め問題はある種サービス問題なのに，思いのほか出来が悪かったです．最後のコメントについて，毎回「ここが大事！」ってわざわざ知らせているのに，やっぱそういう人は聞いてないんですよね．人の話を聞かずに結果的に自分が損をする，まぁ自業自得ですね．

・平衡状態図の計算を練習する，グラフの読み取りがうまくできた，今までの授業のおかげでするりと頭に入った，前より複雑だが原理は同じなので復習する，炭素鋼の平衡状態図が複雑で見にくい，Fe-C 系平衡状態図を復習する：10

・晶出と析出の違いがわかった，共析鋼をゆっくり冷却した時の組成変化について理解した，鉄鋼材料の概要について知れた，鉄の結晶構造について理解できた，わかりやすかった：7

・期末テストも近いのでまとまった勉強する時間を作る，今までの総復習とレポートを計画的に進める：4

・自動車の強度に応用されている点が面白い，今までの内容を具体的に学べて面白かった，C%によって強度が変わるのが面白い，このような組織形成により高強度な材料がつくられるのだと思った：3

・最後の例題を自力で解けなかったので復習する，最後の例題に書かれている情報が複雑化している：2

・今日は暑く体調が悪かった，暑さに負けず残り 2 週間頑張る：2←そうですね，あと 2 週間頑張りましょう！

・a1 で共析が起きる理由を詳しく調べる，テストが近くなってきたので過去回の復習をする，色々な名称が出てきて難しかった，フェライト（組織の名前）とフェライト（磁石）が紛らわしい，平衡状態図の読み方を完璧にする，わかりやすかった，強化機構を復習する，学生実験でたくさん見た内容，計算ミスをしない，覚える単語が多かった，3 年の実験で学んだ内容そのものでつながりを感じた←3 年実験の時でも「2 年の組織学の内容を参考にして」と伝えますがなかなかレポートには活かされないです．むしろ組織学を第 1 タームに持ってきた方が，再履修の人が 3 年実験のレポート作成時に活かせるかな？

●質問

・共析「変態」か共析「変能」か？←すみません，こちらの書き損じです．共析「変態」が正しいです．

・鉄以外（銅やアルミ）でも同じような性質（炭素の含まれる割合によって強度が変わる）を持つのか？←そういうことを前回の固溶強化や析出強化として説明しているんですが・・・．もちろん，他の金属の場合は溶質原子は炭素じゃないですが．

13.5 第 12 回小テスト解答

Q.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[①]～[⑤]に当てはまる語句を答えよ．[各 2 点]

金属材料の塑性変形は主に，すべり面上の転位の運動に伴う原子の移動によって生じるため，転位の運動を[①]する事が金属材料強化の本質的メカニズムである．
主な強化手法として加工硬化（強化），[②]の微細化，[③]，析出強化がある．以下にその強化メカニズムを記す．

・加工硬化（強化）：塑性変形進行に伴う転位の増殖・[④]増加
・[②]の微細化：結晶粒界自体が転位運動の障壁として作用
・[③]：固溶体形成による[⑤]導入
・析出強化：GP ゾーン形成による[⑤]導入，析出粒子切断，転位の線張力

解答欄

① 抑制 or 妨害 or 防ぐ 等　② 結晶粒 （「結晶」も可とした．「粒子」「結晶粒界」は×）
③ 固溶強化　④ 転位密度
⑤ 格子ひずみ