

原子力安全工学実験 I - 2

～熱処理による鉄鋼材料の 硬度・金相観察実験～

附属国際原子力工学研究所
福元謙一



目的

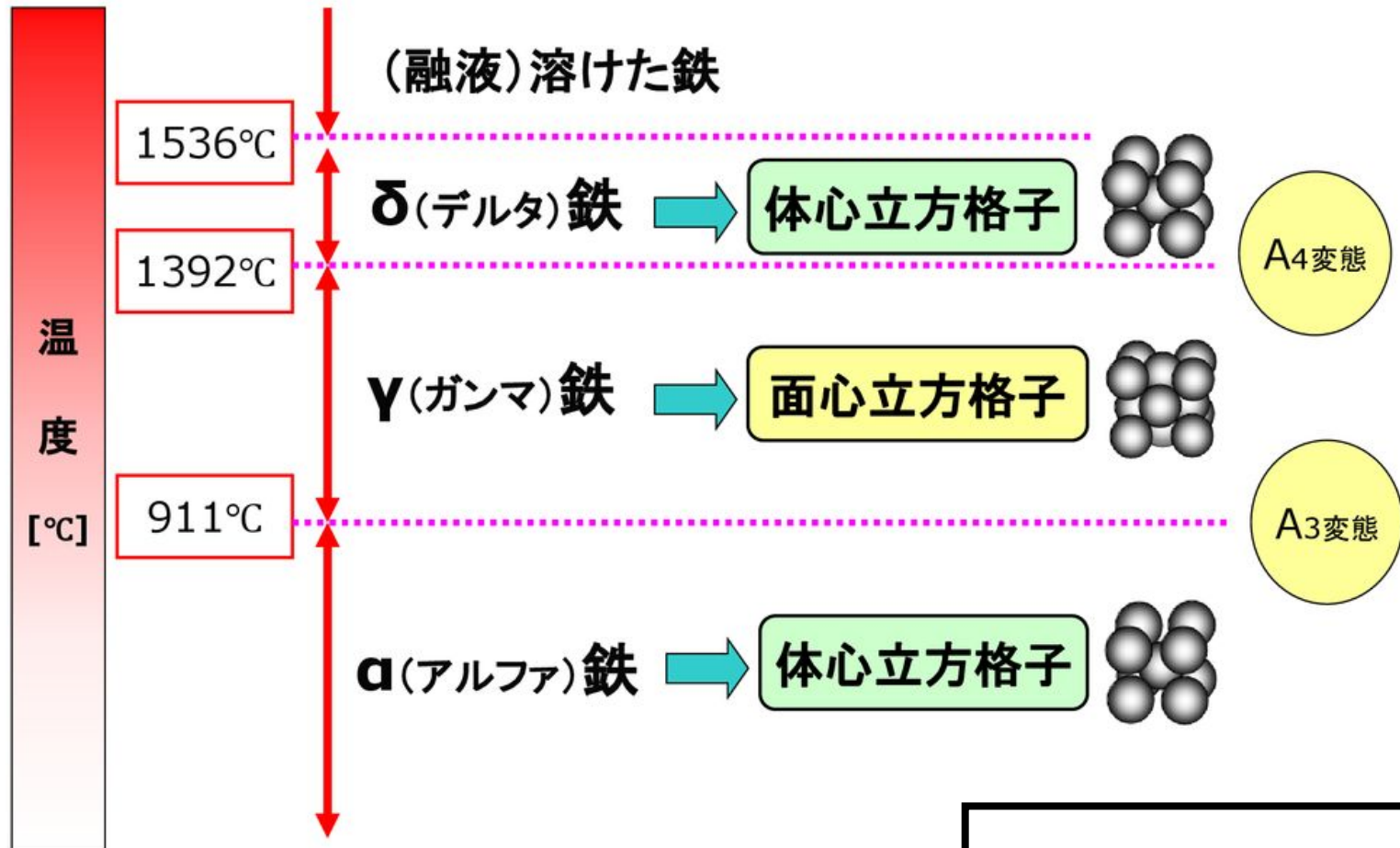


炭素含有量の異なる4種類の金属材料の顕微鏡組織（金相）観察と硬さ測定を行い、炭素含有量による組織変化および硬さの変化について検討する

実験作業工程



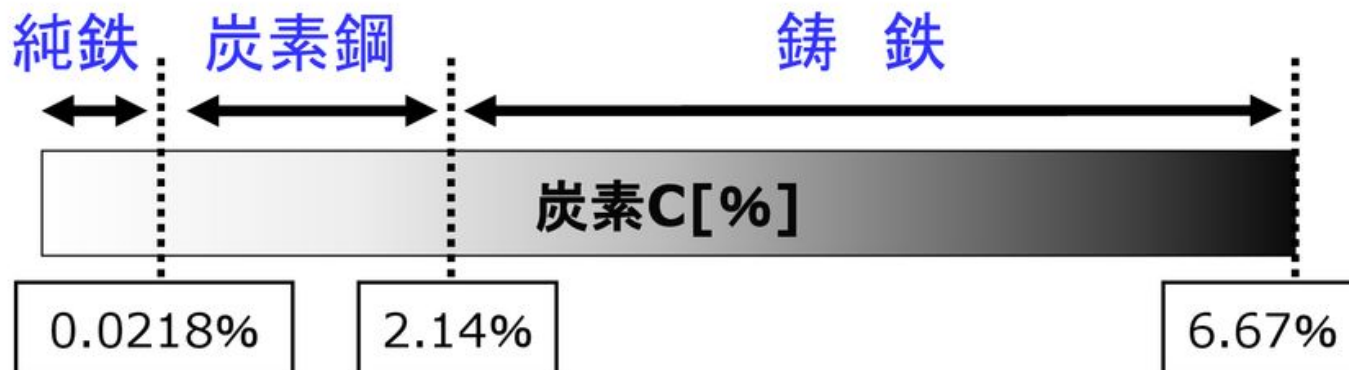
純鉄の温度による変態



鉄の分類



	炭素量による分類	性質
純鉄	0.0218%以下	やわらかい
炭素鋼	0.0218%~2.14%	種類によって性質が変わり、用途が広い。
鋳鉄	2.14%~6.67%	硬くてもろい



炭素鋼(鉄鋼)の主な用途



鉄橋



レール



スチール缶



モンキーレンチ



カッターの刃



ドライバ・ペンチ



くぎ



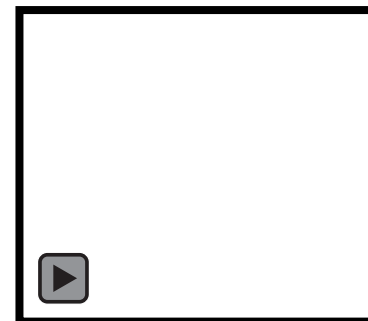
ねじ・ナット・ボルト

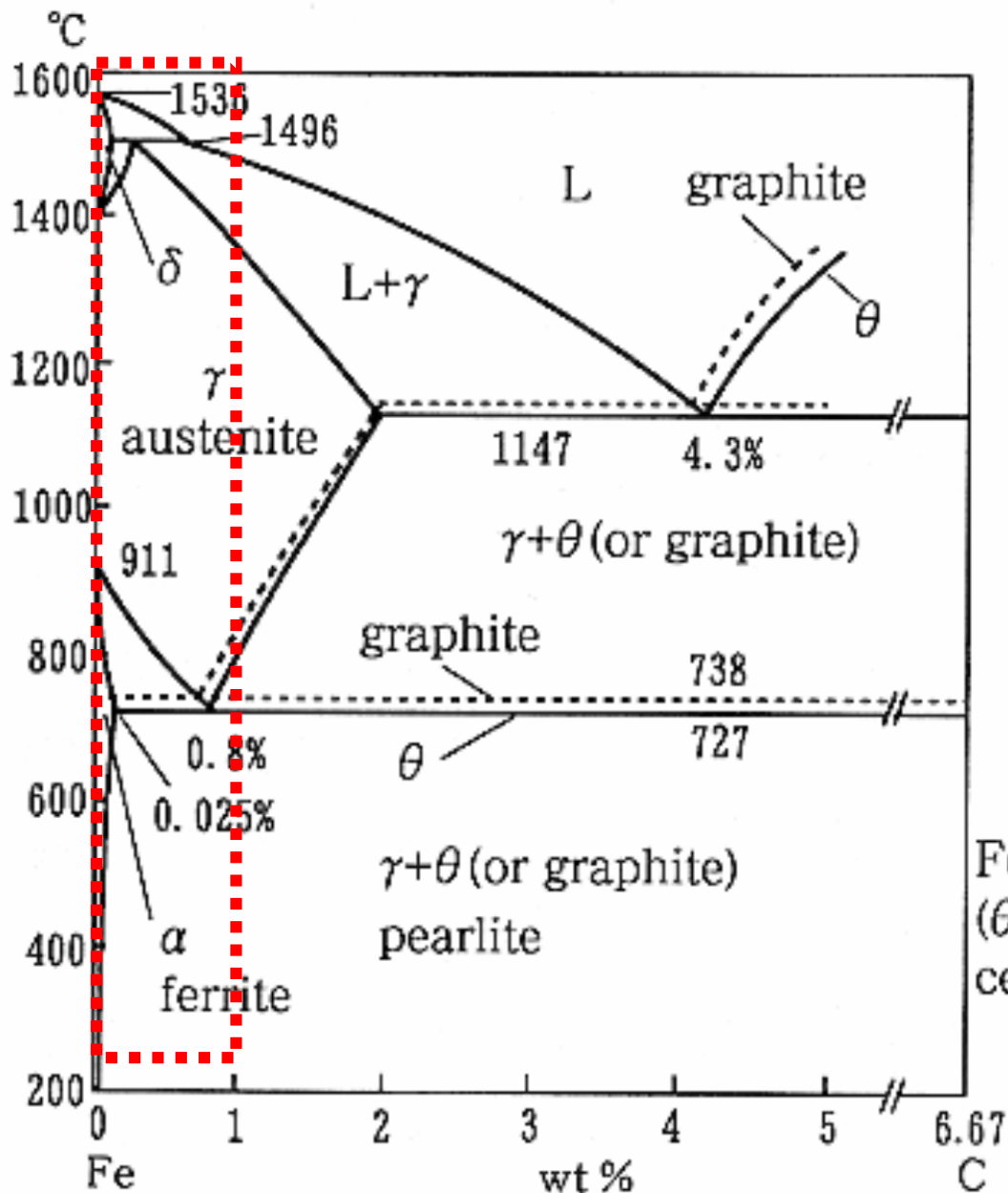


「鉄の分類」に戻る

0.25%以下
0.25~0.6%
0.6%以上

低炭素鋼
中炭素鋼
高炭素鋼





Fe-C系の状態図

- α : BCC 鉄
- γ : FCC 鉄
- θ : セメントタイト

セメントタイトは準安定化合物で安定状態下では鉄とグラファイトに分離

α 相とセメントタイト相とが層状に交互に重なり合った組織



パーライト (共析組織)



フェライト

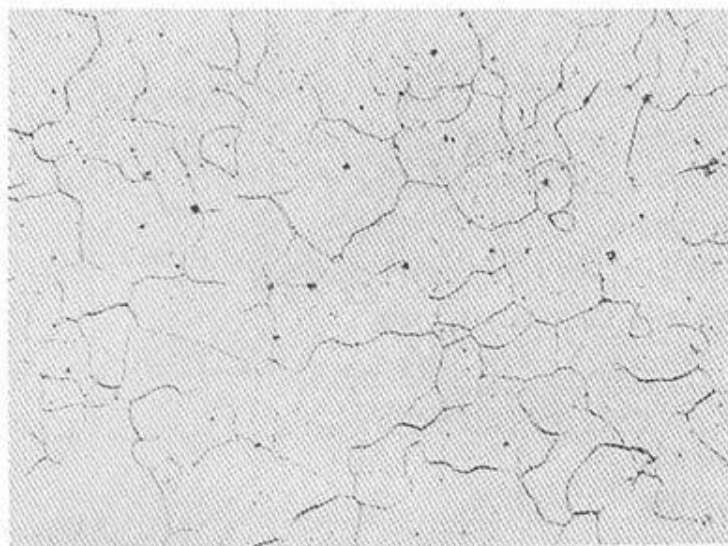
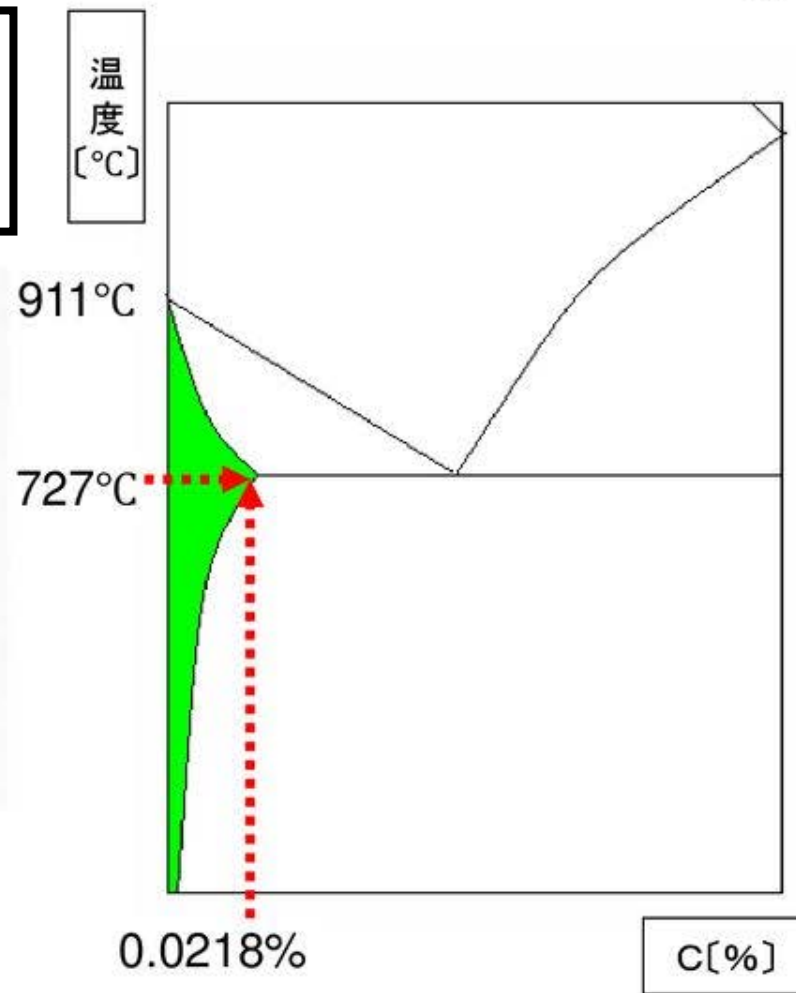


写真2・3
フェライト
950°C 焼ならし
3%ナイトル腐食
倍率 ×120
全体に白い地がフェラ
イトで、黒い細い線が
フェライト粒界、また
黒いボツボツの点は介
在物である。



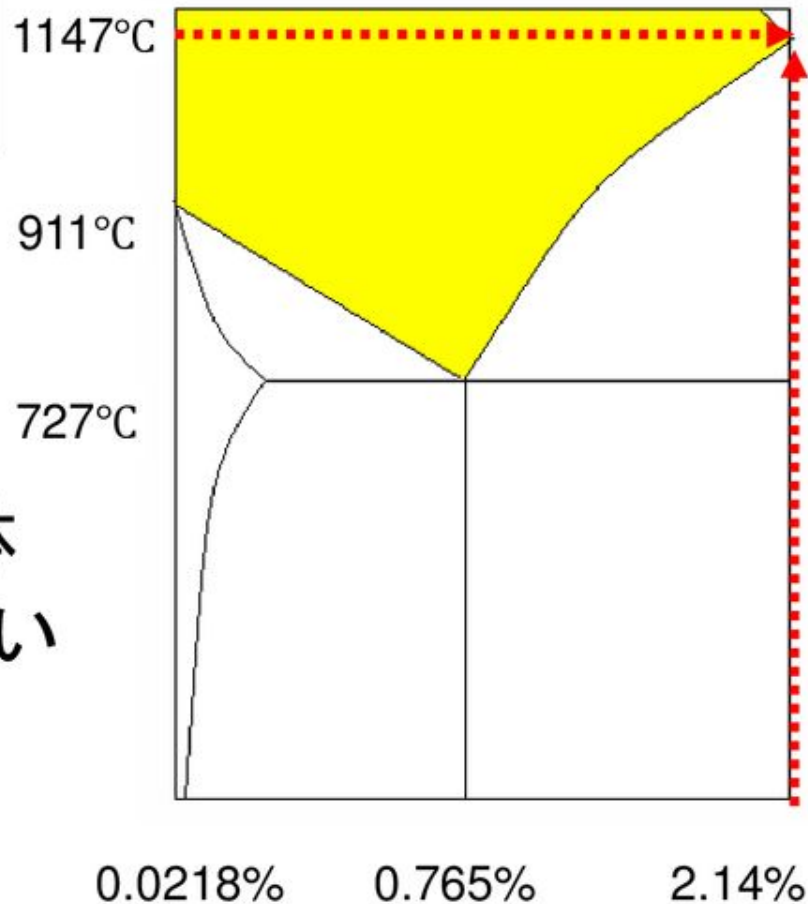
☆フェライトとは・・・α固溶体
軟らかい

[727°Cで炭素Cを最大0.0218%固溶する]

語源:鉄のラテン語『Ferrum』(フェルム)から由来している。

オーステナイト

温度
[°C]



C[%]

☆オーステナイトとは・・・ γ 固溶体
強くて粘い

[1147°Cで炭素Cを最大2.14%固溶する]

語源: 発見者であるイギリスのロバート・オーステンの名にちなんで命名

パーライト



写真2・4

パーライト

C 0.86 % 炭素工具鋼

950°C 焼なまし

3 % ナイタル 腐食

倍率 × 800

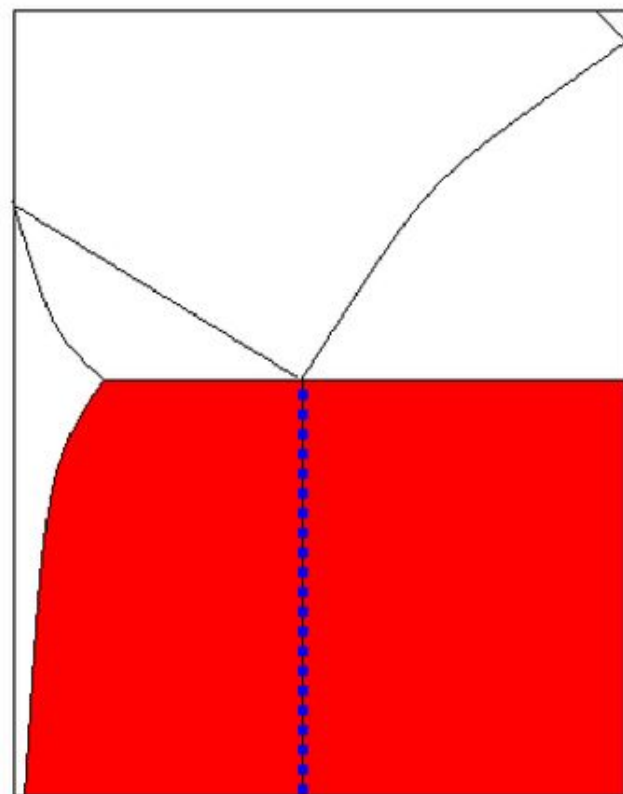
フェライトはセメンタイトにくらべて腐食されやすく、セメンタイトの板状結晶が突出して残り、その輪かくが黒く見える。



温度
[°C]

911°C

727°C



0.0218%

0.765%

C[%]

☆パーライトとは・・・フェライトとセメンタイトの層状組織

硬い

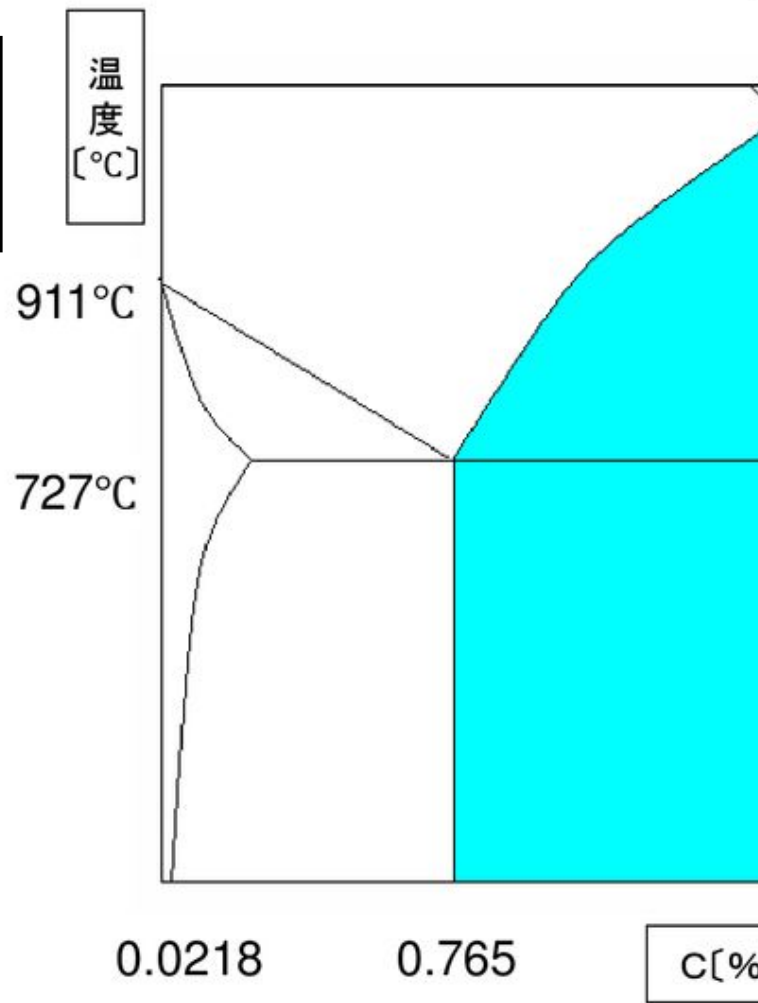
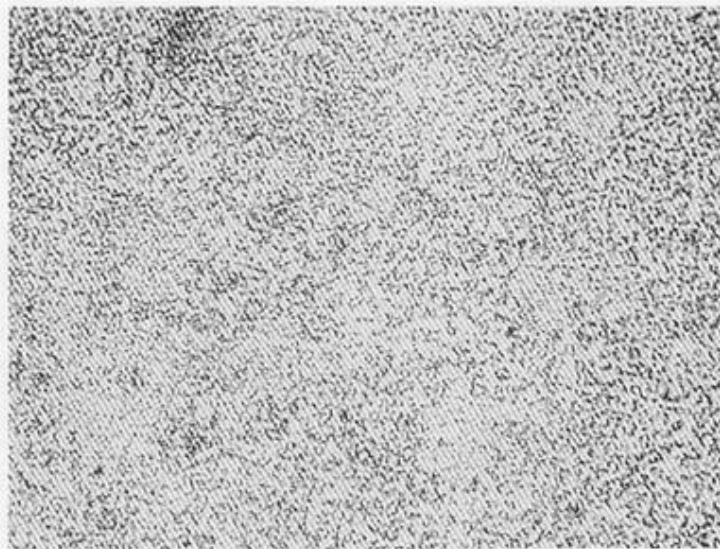
[0.765% Cで共析組織となる]

語源: 顕微鏡で見ると、真珠(パール)のような色合いを呈すところから名付けられた

セメントタイト



写真2・5
球状セメントタイト
C1.13% 炭素工具鋼
焼なまし後 780°C 1h
加熱して徐冷
3% ナイタル腐食
倍率 ×400
白いフェライトの地に
ほぼ球状のセメントタイトが
遊離散在している
のがみられる。



☆セメントタイトとは、 Fe_3C (鉄と炭素の化合物)
硬くてもろい

語源: セメントのように硬いので、セメントタイトと名付けられています

① フェライト



② オーステナイト

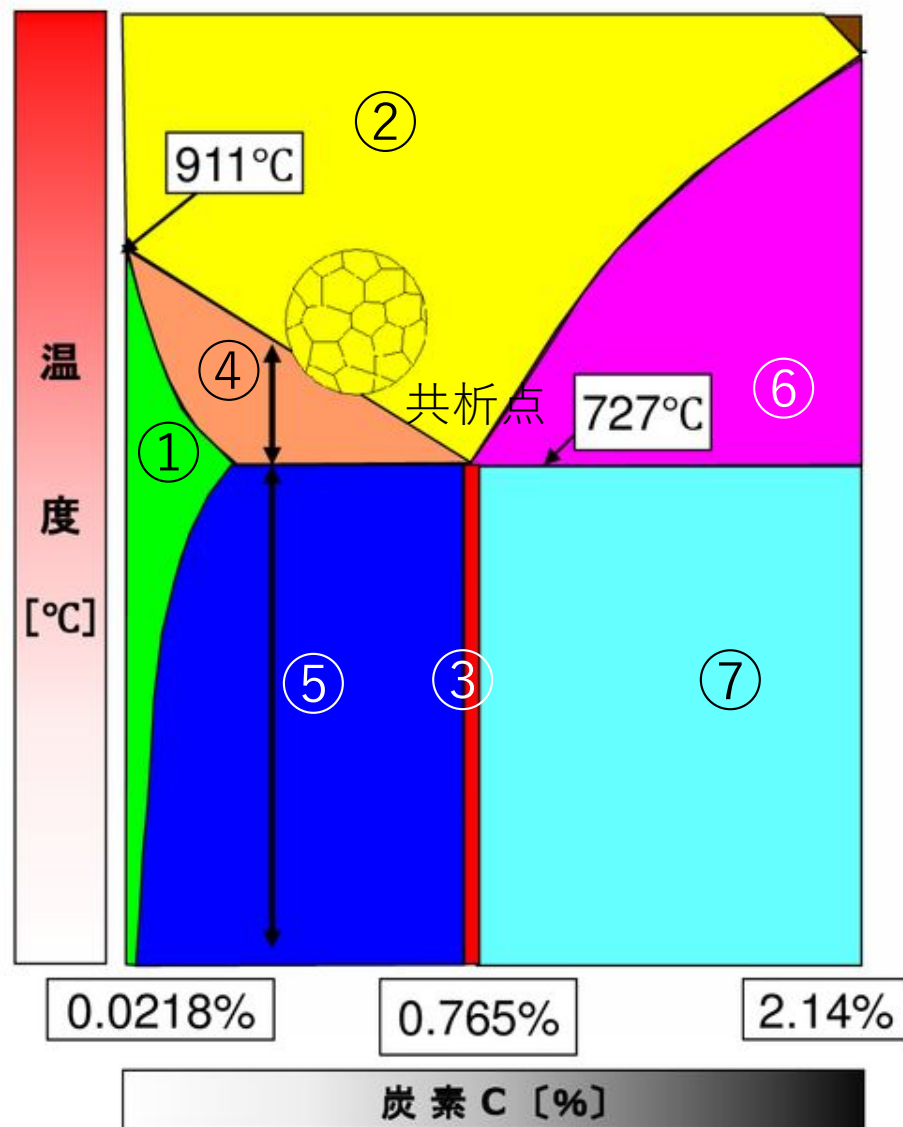
③ パーライト

④ オーステナイト＋初析フェライト

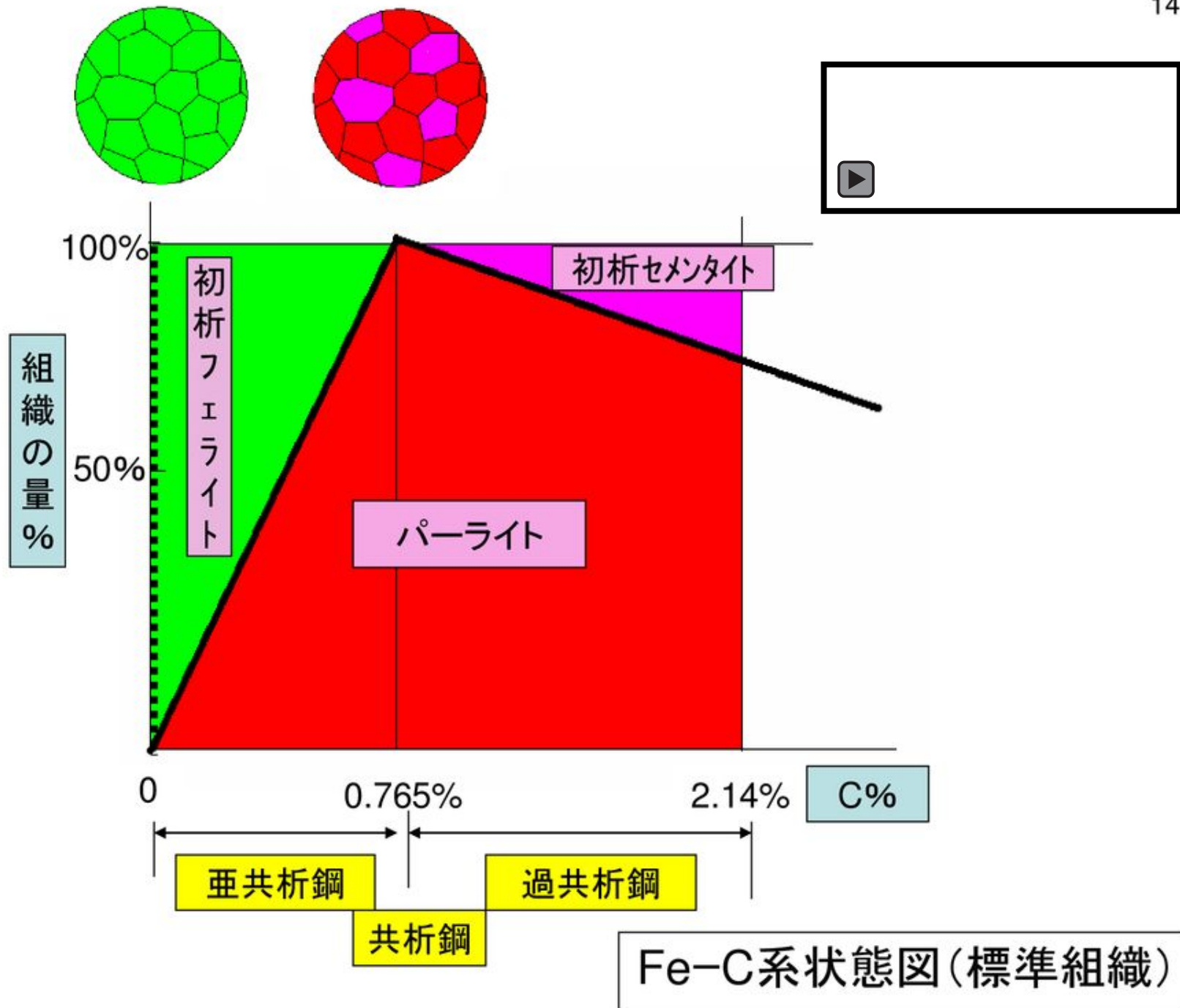
⑤ 初析フェライト＋パーライト

⑥ オーステナイト＋初析セメンタイト

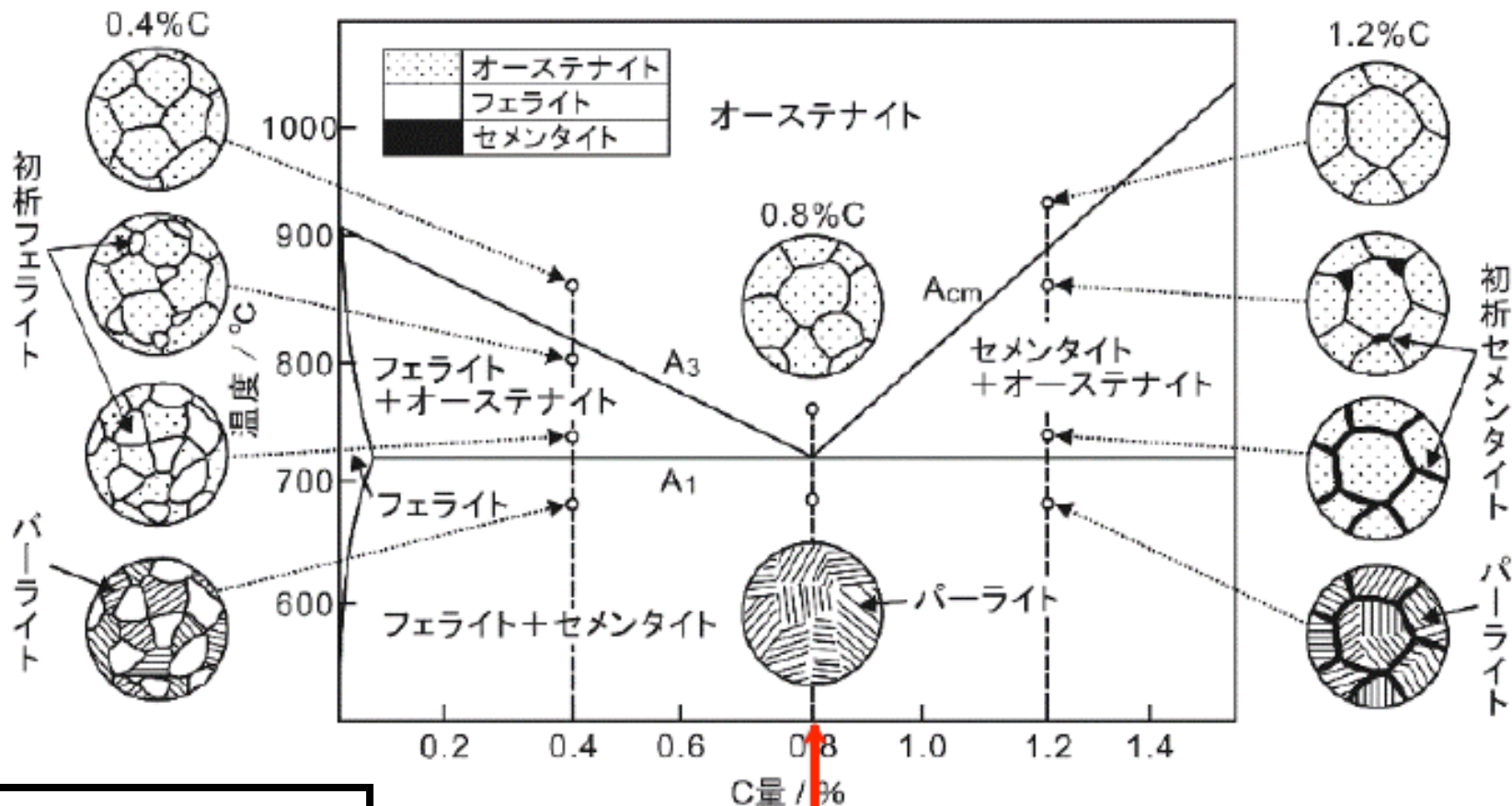
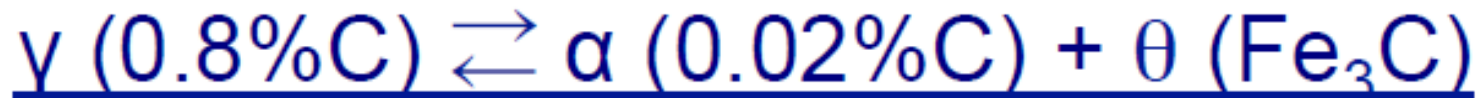
⑦ 初析セメンタイト＋パーライト



Fe-C系状態図の一部



共析変態(パーライト変態):



亜共析鋼

過共析鋼

共析鋼(0.77wt%C)





材料の機械的性質

① 頑丈さ

剛性

変形のしにくさ

強度

弾性範囲の広さと破壊のしにくさ

② 硬さ

材料表面の抵抗力

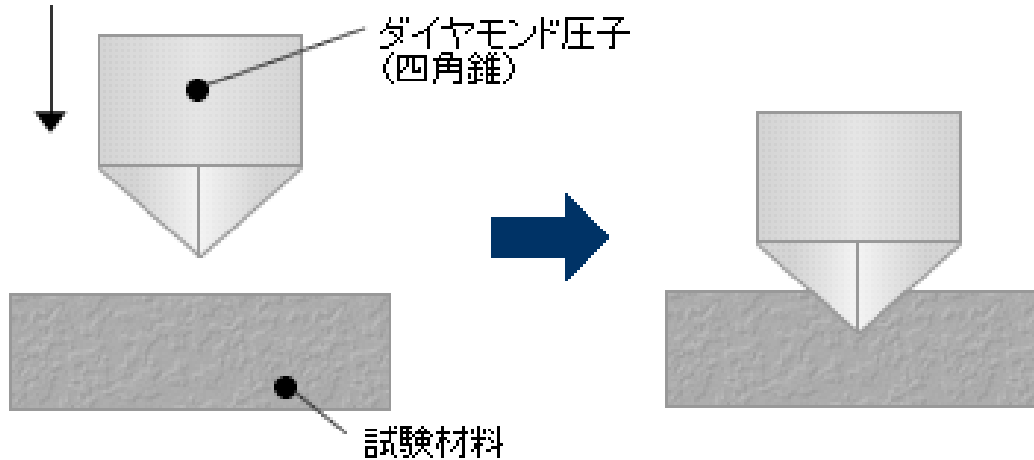
③ 粘り強さ

急激な力に対する破壊のしにくさ

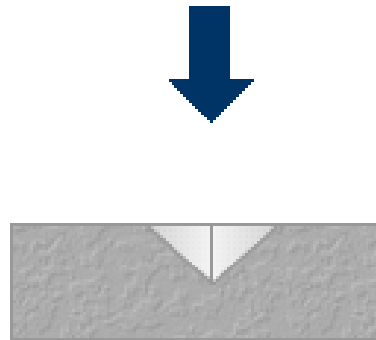
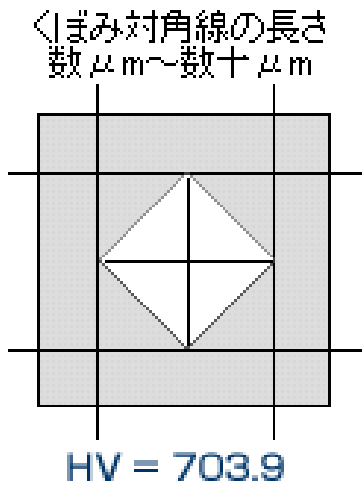
硬さ試験



試験力P(1ef~2000ef)



定荷重で所定の形状の圧子を試料に押し込み、試料表面にできる圧痕形状から試料硬さを求める。



マイクロビッカース試験器

ビッカース硬さ試験



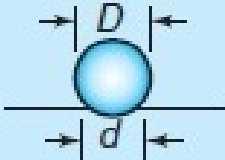



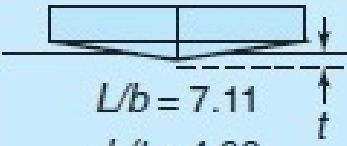
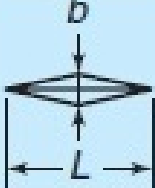
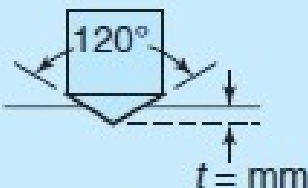

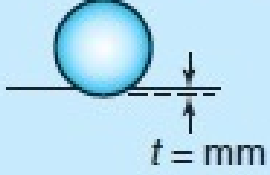

硬さHの定義

対面角 θ が 136° のダイヤモンド 4 角錐圧子を用いて出来た窪みの表面積で試験荷重を割った値

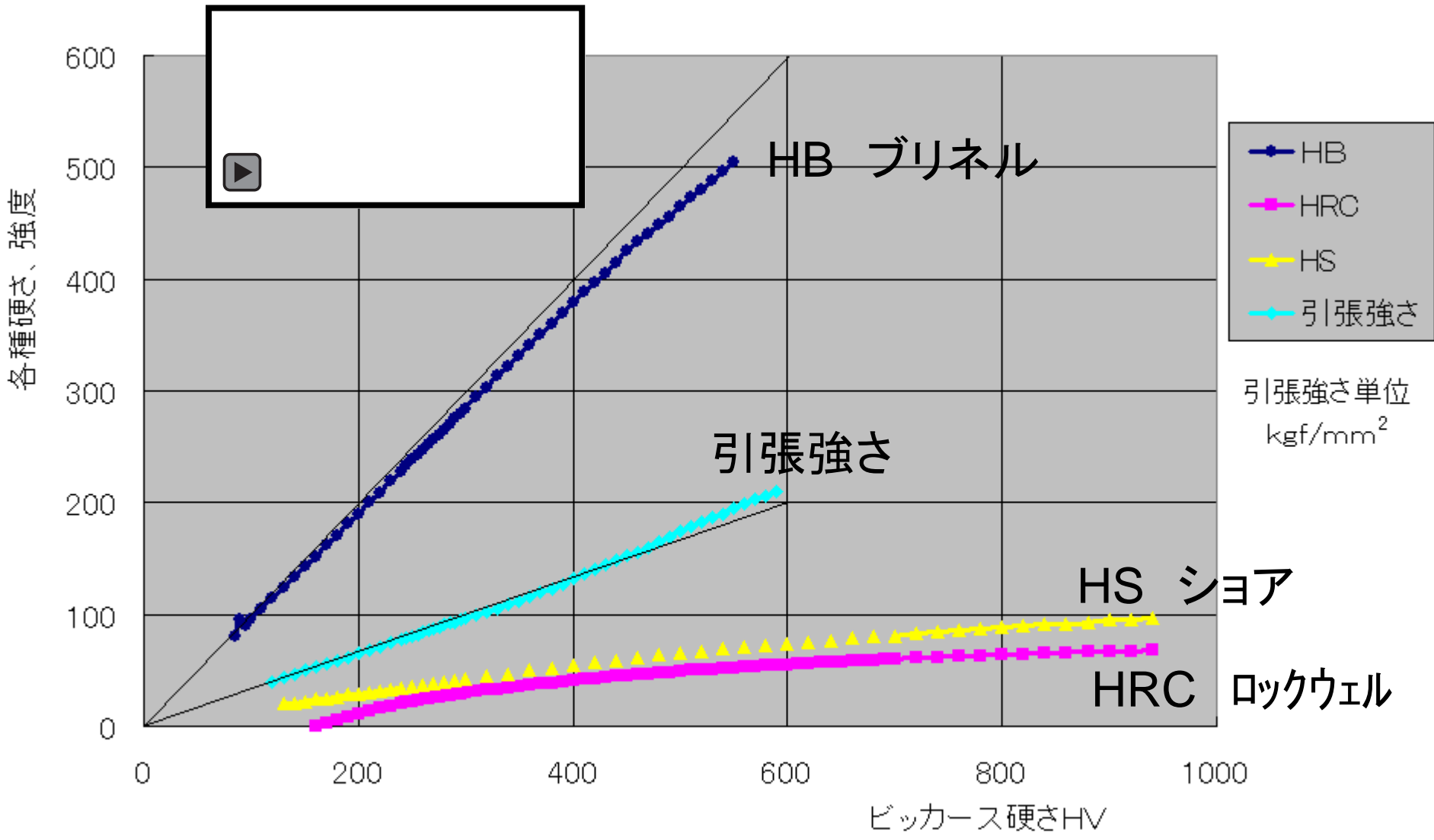
$$H = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} \approx 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

F: 試験荷重 (N)、d : くぼみの対角線長さ (mm)、S : くぼみの表面積 (mm²)、 θ : ダイヤモンド4角錐圧子の対面角 (136°)

くぼみの大小に関わらず形が相似であることから、原則的には荷重の大小は硬さ値に関係しない。⇒ 広範囲の硬さに対して硬さ試験値は適用される。

Test	Indenter	Shape of indentation		Load, P	Hardness number
		Side view	Top view		
Brinell ブリネル	10-mm steel or tungsten-carbide ball			500 kg 1500 kg 3000 kg	$HB = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers ビッカース	Diamond pyramid			1-120 kg	$HV = \frac{1.854P}{L^2}$
Knoop ヌープ	Diamond pyramid	 $L/b = 7.11$ $b/t = 4.00$		25 g-5 kg	$HK = \frac{14.2P}{L^2}$
Rockwell ロックウェル	Diamond cone	 $t = \text{mm}$		60 kg 150 kg 100 kg	HRA } HRC } = 100 - 500t HRD }
B } F } G }	$\frac{1}{16}$ -in. diameter steel ball	 $t = \text{mm}$		100 kg 60 kg 150 kg	HRB } HRF } = 130 - 500t HRG }
E	$\frac{1}{8}$ -in. diameter steel ball			100 kg	HRE }



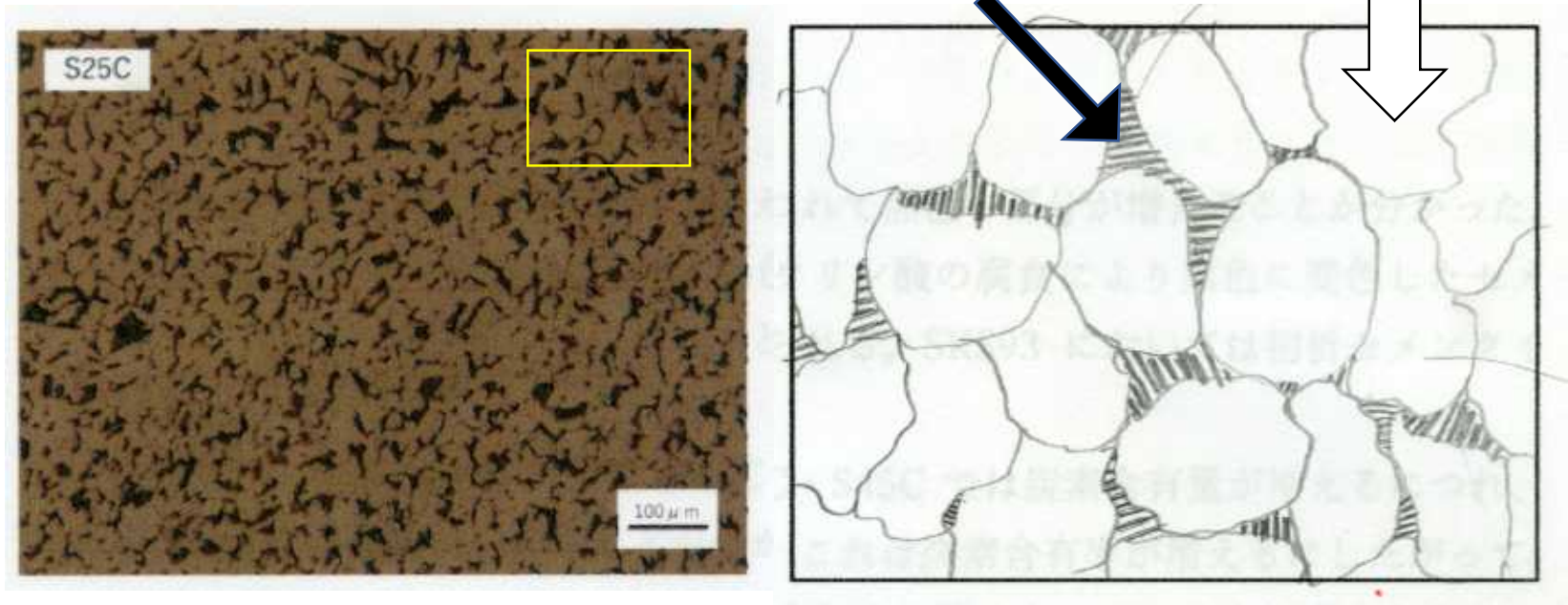


ビッカース硬さと各種硬度および引張試験による引張強度の相関

結果整理

(1) 金相観察写真とともに4種類（S25C、S35C、S45C、SKS93）の材質のスケッチを行い、材質、拡大倍率、腐食条件、スケール等を記入する。スケッチでは材料の構成要素の説明を図中に記載する（フェライト相やパーライト相など）。

例えば



(2) マイクロビッカース硬さの測定結果を表にまとめる。本実験では各試験片の炭素含有率を測定していないが、各材料の炭素含有率の値は、JIS規格（G4051, G4404）で決められている各材料の炭素含有率の中央値で示される。



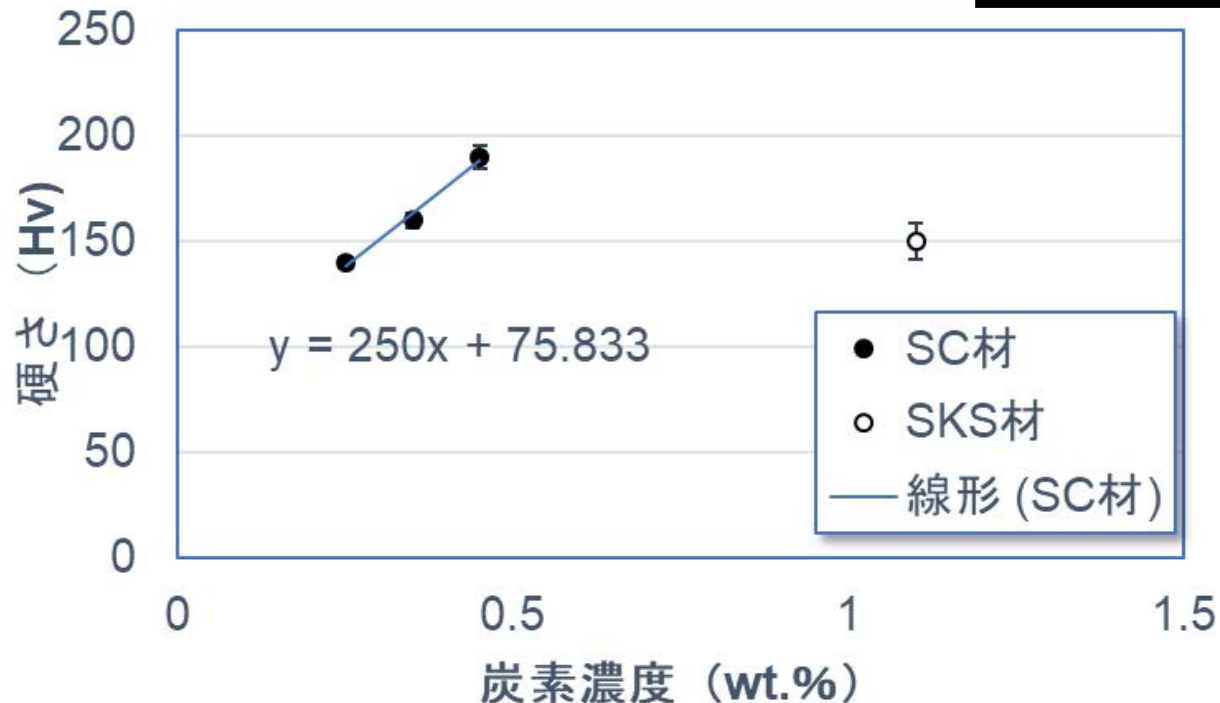
*は最大、最小であり、平均及び誤差から除外

測定回数	S25C 硬さ測定値 (Hv)
1回目	129
2回目	130
3回目	*146
4回目	*127
5回目	128
6回目	134
7回目	131
平均	130.4
誤差	2.3

平均の関数
= average(数値 1: 数値N)

誤差の関数
= stdev(数値 1: 数値N)

(3) ビッカース硬さー炭素含有率線図を作成する。縦軸にビッカース硬さ H、横軸に炭素含有率 C (%) をとり、全てのデータをプロットする。SKS93 以外のデータを用いて、最小二乗法により近似直線を決定し、図中に最小二乗近似直線を記入する。データを基に S45C ~ SKS93 間のグラフを加えて作図する。



(4) 上記の結果を基に炭素鋼の炭素含有率と顕微鏡組織、炭素含有率と硬さの関係について検討する。ただし、各組織の大きさ（粒径など）と圧痕の大きさ等のばらつき要因について考慮し注意深く議論すること



課題

金属材料の強度と組織の相関は機械系技術者には必須の技術・学問である。本実験の内容について理解を深めるため、以下の事項について調べてレポートで報告する。

(a) 鉄鋼の金属組織について調べる。特に鉄-炭素系の相図中に登場するフェライト、パーライト、セメンタイト、マルテンサイト、オーステナイトについて調べて、報告する。

(b) 鉄鋼の熱処理の基本的な処理法について調べる、特に、焼入れ、焼戻し、焼なまし、焼ならしについて調べて、レポートで報告する。

