

# 材料強度設計No. 4

知能機械システム工学科

坂本東男

Sakamoto.haruo@kochi-tech.ac.jp

教員室A429、TEL:0887-57-2317

研究室A213、TEL:57-2243

# No,4の講義内容

## 鉄鋼材料 'テキスト' p103-p124

- 1. 鉄鋼の製造方法
- 2. 鉄鋼材料の概略
- 3. 構造用鋼
- 4. 機械構造用鋼
- 5. 薄鋼板
- 6. ステンレス鋼
- 7. 鋳鉄と鋳鋼

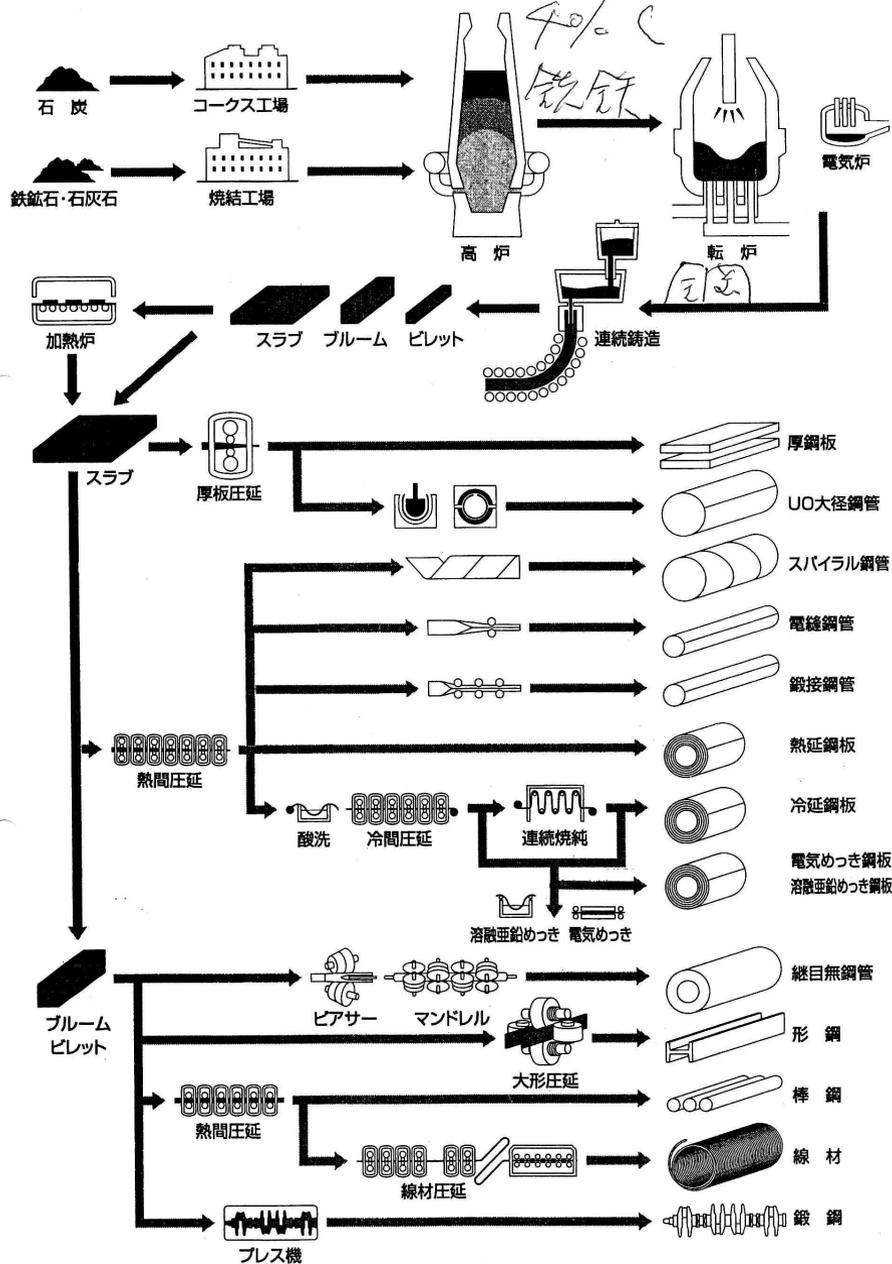


図 7.23 鉄鋼の製造工程

## 鉄鋼の製造方法

- 高炉から出てくるものが鉄鉄 (4% C含有) 製鋼課程でCを抜いて強靱にする。これが鋼。
- 連続鋳造でスラブ (板等の元)ブルーム (シームレスパイプ、形鋼など) ビレット (丸棒、クランクシャフト)に分かれ圧延、板溶接、穿孔、などの加工工程で製品化

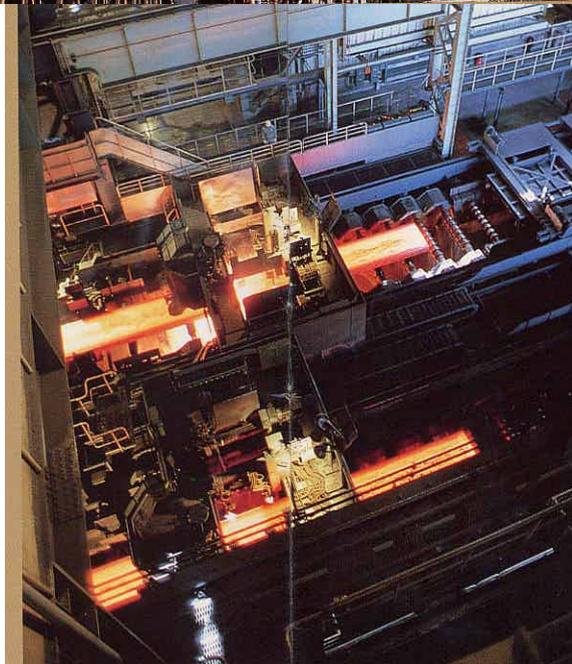
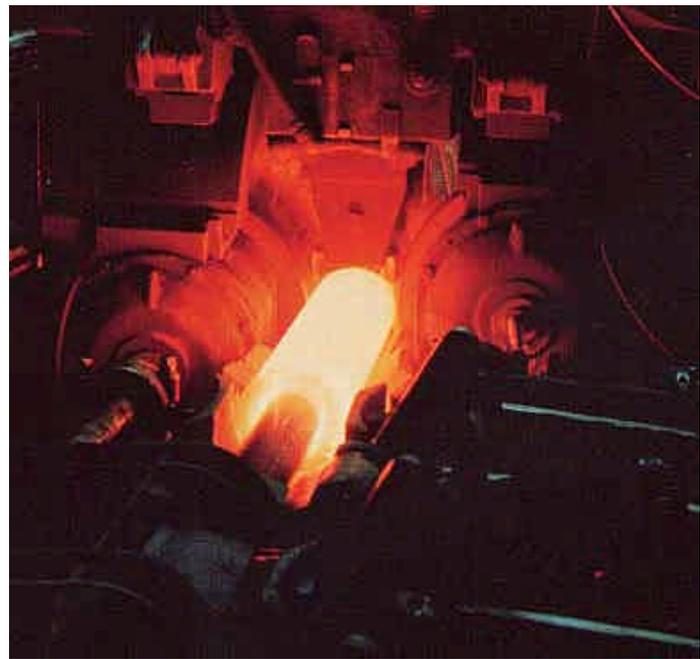


表 7.2 鉄鋼材料の用途例

製品形状	用途例
1.厚鋼板	造船, 橋梁, 圧力容器, 石油・天然ガス貯蔵タンク ラインパイプ, 海洋構造物, 高層鉄骨ビル, 建設機 械, 揚水発電所用ペンストック
2.熱延鋼板	自動車部品(ボイル, パンパー, フレーム), 配管, 建設機械, 溶接H形鋼
3.冷延鋼板	自動車用内外板, トタン・ブリキ原板, 家電製品, トランスモーター用電磁鋼板
4.表面処理鋼板	自動車・家電製品・建材用のめっき鋼板および有機 被膜鋼板
5.鋼管 継目無し鋼管 (マンネスマン, エジソン) 溶接管(UO, ERW)	発電用(ボイラー, 熱交換器等), 油井管, ラインパイプ 化学工業プラント用(加熱炉管, 熱交換器, リフォーマ等) 配管, 自動車用(トリアインパクトバー, 排ガス用, プロペラシャ フト等) 建設機械, 産業機械
6.形鋼	建設用H形鋼・鋼矢板, レール
7.棒鋼・線材	ワイヤーロープ, ボルト, ナット, 自動車用部品・ スチールコードワイヤー, PC鋼線, 熱間・冷間加 工製品, ACSR用めっき線材, 鉄筋
8.鍛鋼品	発電用ローター, 車輪, 車軸, 自動車用(クランク, コネ クトロッド, 歯車等), 圧力容器, 継手, 工具, 金型
9.鋳造品	ローラー, 農機具, 耐摩耗部品, 車輪, カムシャフト 継手, 配管

# 鋼の用途

- 鋼板は厚鋼板(6mm厚さ以上) 熱延鋼板 (自動車部品) 冷延鋼板 (自動車外板) 表面処理鋼板 (家電)
- 鋼管は発電用、油井管、ラインパイプなど。
- 形鋼 (レールなど) 棒鋼線材、鍛鋼品 (車輪車軸)
- 鋳造品

# 強度と製品

炭素の含有量で強度が決まる。  
熱処理で強度が決まる。

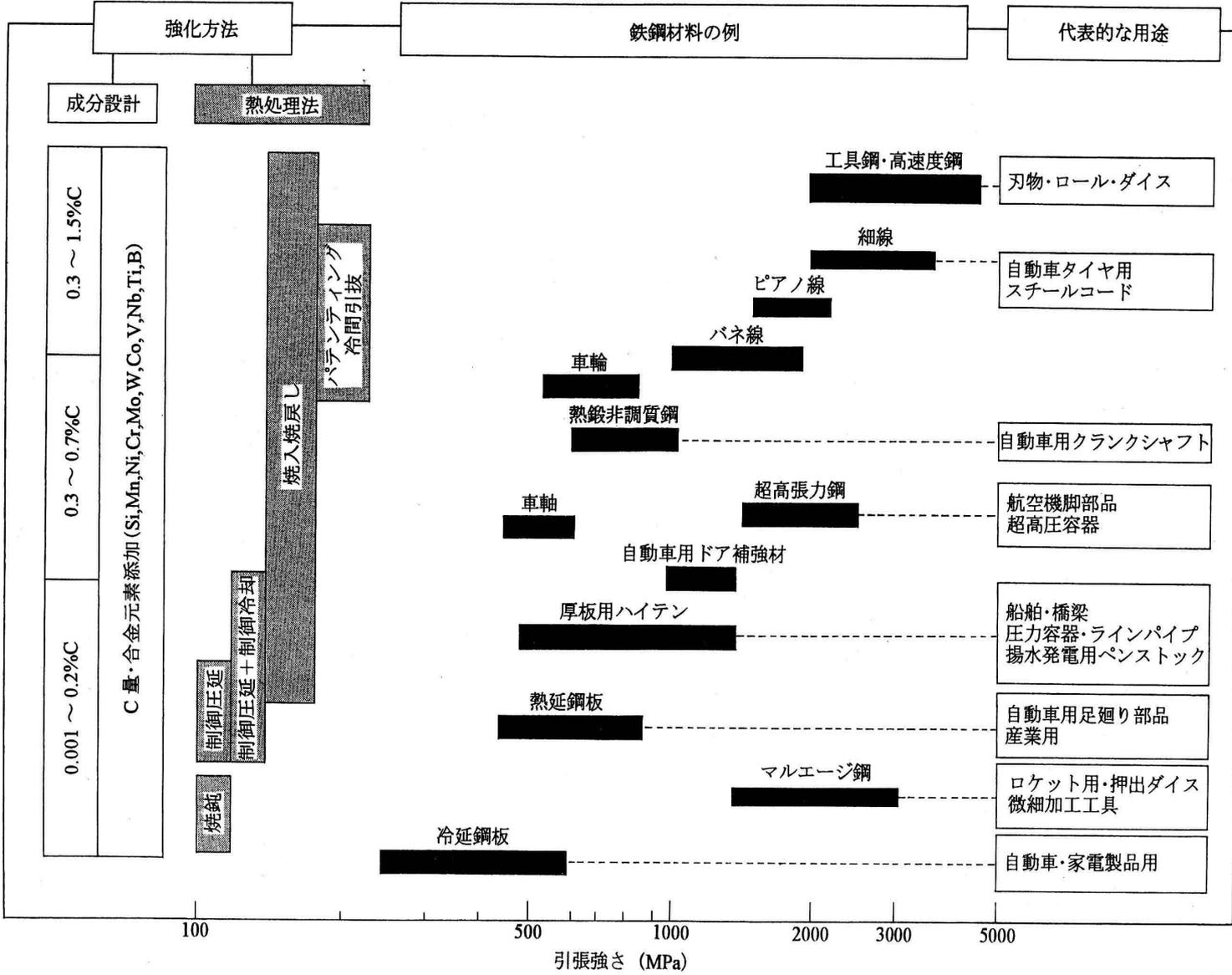


図 7.24 鉄鋼材料の強度と製品例

# 使用環境と材料

高温水、海水、酸、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>環境、極低温などで使用される材料は異なる。

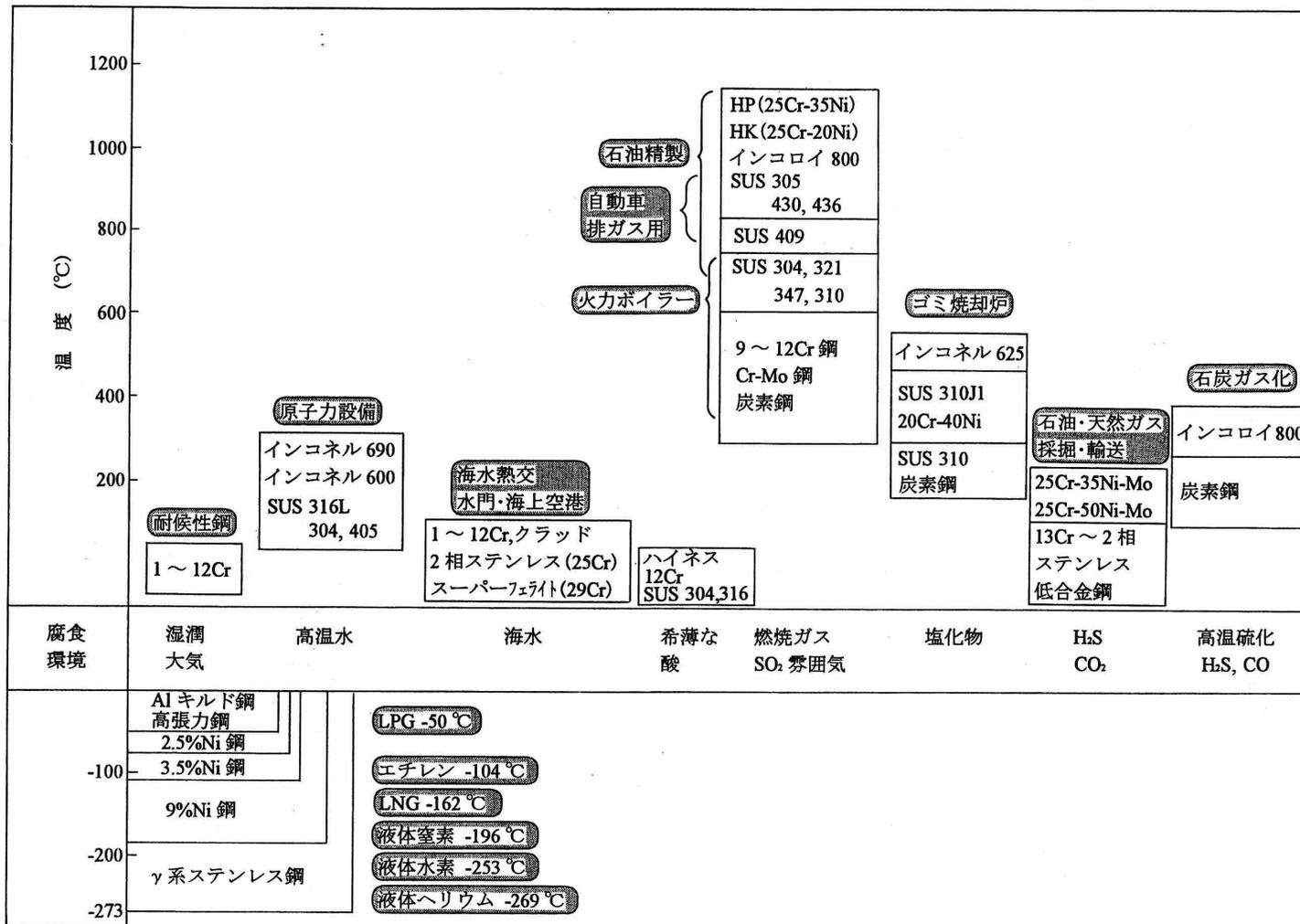


図 7.25 使用環境と鉄鋼材料

# 構造用鋼板

表 7.3 構造用鋼板

種類	例	化学成分 (wt%)				機械的性質				熱処理	
		C	Si	Mn <sup>P/S</sup>	Ni	$\sigma_r$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	El (%)	vE(kgf·m) (°C)		
一般構造用 SS △△△	SS 540	≤0.30	—	≤1.60	—	≥390	≥540	≥17	—	—	
溶接構造用 SM △△△	SM 570	≤0.18	≤0.55 (合金元素添加可)	≤1.60	—	≥450	570 ∪ 720	≥20	≥4.8 (-5°C)	N, QT* TMC	
溶接構造用 HW △△△	HW 885	≤0.18 (合金元素添加可)	—	—	—	≥885	950 ∪ 1130	≥12	≥2.8 (-30°C)	QT**	
低温用	炭素鋼 SLA △△△	SLA 325 B	≤0.16	0.15 ∪ 0.53	0.8 ∪ 1.6	—	≥325	440 ∪ 560	≥22	$\frac{1}{2}E_{max}$ (-55°C)	QT TMC
	ニッケル鋼 SL2 N △△△	SL3 N 275	≤0.17	≤0.30	≤0.70	3.25 ∪ 3.75	≥275	480 ∪ 620	≥22	≥2.1 (-101°C)	N, NT TMC
	SL3 N △△△										
	SL5 N △△△	SL9 N 590	≤0.12	≤0.30	≤0.90	8.5 ∪ 9.5	≥590	690 ∪ 830	≥21	≥4.2 (-196°C)	QT LT
SL9 N △△△											

$$C_{eg} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14 (\%)$$

$$P_{CM} = C + Mn/20 + Si/30 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + Cu/20 + 5 B (\%)$$

$$*C_{eg} \leq 0.44, P_{CM} \leq 0.28, **C_{eg} \leq 0.76, P_{CM} \leq 0.33$$

- 橋梁、建設にはSS、SM、HWが使用される。
- LNGタンクなどなNi鋼など。

# 高温用鋼

表 7.4 高温用鋼

分類	最小引張強さ (MPa)	ボイラ・圧力容器用 鋼板	圧力容器用鋼板	ボイラ・熱交換器用 綱管	
C	410, 450, 480	SB 410, 450, 480	SGV 410, 450, 480		
Si-Mn	410, 490, 520 550, 570, 610	—	SPV 410, 490, 520 550, 570, 610	STB 340, 410, 510	
0.5 Mo	450, 480	SB 450 M, 480 M	—	STBA 12, 13	
Mn-0.5 Mo	520, 550	SBV 1 A, V 1 B	—		
	550, 620	—	SQV 1 A, V 1 B		
Mn-0.5 Mo -0.5 Ni	550	SBV 2	SQV 2 A		
	620	—	SQV 2 B		
Mn-0.5 Mo -0.8 Ni	550	SBV 3	SQV 3 A		
	620	—	SQV 3 B		
Cr	0.5 Cr-0.5 Mo	380	SCMV 1	—	STBA 20
	1 Cr-0.5 Mo	410	SCMV 2	—	STBA 22
	1.25 Cr-0.5 Mo	410	SCMV 3	—	STBA 23
Mo	2.25 Cr-1 Mo	410	SCMV 4	—	STBA 24
	3 Cr-1 Mo	410	SCMV 5	—	—
	5 Cr-0.5 Mo	410	SCMV 6	—	STBA 25
	9 Cr-1 Mo	410	—	—	STBA 26
(注) JIS G		3103, 3119, 4109	3115, 3118, 3120	3461, 3462	

# 機械構造用鋼

表 7.5 機械構造用鋼

種類	例	化学成分 (wt%)						熱処理	機械的性質				
		C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo		$\sigma_Y$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	El (%)	$vE$ (kgf·m/cm <sup>2</sup> )	
炭素鋼	S△△C	S 45 C	0.42	0.15	0.60				N	≥392	≥648	≥15	—
			~ 0.48	~ 0.35	~ 0.90					QT	≥588	≥785	≥14
合金鋼	SMn△△△	SMn 433	0.29 ~ 0.36	0.15 ~ 0.35	1.15 ~ 1.55				QT	≥539	≥686	≥20	≥10
	SMnC△△△	SMnC 443	0.40 ~ 0.46		1.35 ~ 1.65		0.35 ~ 0.70			≥785	≥932	≥13	≥5
	SCr△△△	SCr 430	0.28 ~ 0.33		0.65 ~ 0.90					≥637	≥785	≥18	≥9
	SCM△△△	SCM 440	0.38 ~ 0.43		0.85 ~ 1.20			0.15 ~ 0.30		≥834	≥981	≥12	≥6
	SNC△△△	SNC 631	0.27 ~ 0.35		0.35 ~ 0.65	2.5 ~ 3.0		0.6 ~ 0.6		≥686	≥834	≥18	≥12
	SNCM△△△	SNCM 439	0.36 ~ 0.43		0.6 ~ 0.90	1.6 ~ 2.0		1.0 ~ 0.30		≥883	≥981	≥16	≥7

N: 焼ならし (空冷)、Q: 焼入 (水冷、油冷)、T: 焼戻し

- 炭素鋼 (合金を含まない) の代表は S45C (Carbon Steelで炭素含有の中央値が0.45%)
- 高強度のため合金 (Ni, Cr, Mo等) を添加合金鋼

表 6.3 機械構造用炭素鋼材 (JIS G4051 より抜粋)

記号	化学成分 (wt%)				
	C	Si	Mn	P	S
S15C	0.13-0.18	0.15-0.35	0.30-0.60	≤0.030	≤0.035
S25C	0.22-0.28		0.30-0.60		
S35C	0.32-0.38		0.60-0.90		
S45C	0.42-0.48		0.60-0.90		
S15CK	0.13-0.18		0.30-0.60	≤0.025	≤0.025

# 炭素鋼

表 6.3 機械構造用炭素鋼材 (続き)

記号	熱処理 (°C)				機械的性質				
	焼ならし (N)	焼なまし (A)	焼入れ (H)	焼戻し (H)	熱処理	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	伸び (%)	シャルピ 衝撃値 (J/m <sup>2</sup> )
S15C	880-930 空冷	約 880 炉冷	-	-	N	≥235	≥373	≥30	-
					A	-	-	-	
S25C	860-910 空冷	約 850 炉冷	-	-	N	≥265	≥441	≥27	-
					A	-	-	-	
S35C	840-890 空冷	約 830 炉冷	840-890 水冷	550-650 急冷	N	≥304-	≥510	≥23	-
					A	-	-	-	
					H	≥392	≥569	≥22	
S45C	820-870 空冷	約 810 炉冷	820-870 水冷	550-650 急冷	N	≥343	≥569	≥20	-
					A	-	-	-	
					H	≥490	≥686	≥17	
S15CK	空冷	炉冷	1次 870-920 油(水)冷	150-200 空冷	A	-	-	-	-
			2次 750-800 水冷		H	≥343	≥490	≥20	

- (1) 炭素鋼の強度は、ある程度の靱性や衝撃値を確保するためには、700MPa が上限である。
- (2) 炭素鋼は焼入れ性が劣るため、板厚 (あるいは直径) が 15mm を越えるものは中心部までマルテンサイト構造にすることはできない。
- (3) 炭素鋼は耐食性、耐酸化性に劣る。
- (4) 中炭素鋼を焼き入れて完全なマルテンサイト組織を得るためには、急速冷却が必要であり、そのために熱処理に伴う焼割れや変形の原因となる。
- (5) 炭素鋼は低温での衝撃値が低い。

# 合金添加の効果

表 6.4 合金鋼中の元素の分布形態

元素	フェライトへの溶解	炭化物の形成	炭化物	化合物
Ni	◎			Ni <sub>3</sub> Al
Si	◎			SiO <sub>2</sub> · M <sub>x</sub> O <sub>y</sub>
Mn	◎	○	(Fe, Mn) <sub>3</sub> C	MnS, MnO · SiO
Cr	○	○	(Fe, Cr) <sub>3</sub> C Cr <sub>7</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>23</sub> O <sub>6</sub>	
Mo	○	○	Mo <sub>2</sub> C	
W	○	○	W <sub>2</sub> C	
V	△	◎	V <sub>4</sub> C <sub>3</sub>	
Ti	△	◎	TiC	
Nb	△	◎	NbC	
Al	◎			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , AlN
Cu	△ (微量)			

傾向：◎大，○中，△小

# クロム鋼

表 6.5 クロム鋼鋼材 (JIS G4103 より抜粋)

記号*	化学成分					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
SCr435	0.33-0.38	0.15-0.35	0.60-0.85	≤0.030	≤0.030	0.90-1.20
SCr440	0.38-0.43					
SCr415	0.13-0.18					

記号*	熱処理 (°C)		$\sigma_Y$ (MPa)	$\sigma_B$ (MPa)	伸び (%)	シャルピー 衝撃値(J/m <sup>2</sup> )
	焼入れ	焼戻し				
SCr435	830-880 油冷	550-650 急冷	≥735	≥882	≥15	≥6.9×10 <sup>5</sup>
SCr440	830-880 油冷	550-650 急冷	≥784	≥931	≥13	≥5.9×10 <sup>5</sup>

表 6.5 クロム鋼鋼材 (続き)

SCr415	1次 850-900 油冷 2次 800-850 油冷	150-200 空冷	-	≥784	≥15	≥5.9×10 <sup>5</sup>
--------	--------------------------------------------	---------------	---	------	-----	----------------------

\*記号の数字下2桁は C の中央値を示す

# クロム モリブ デン鋼

表 6.6 クロムモリブデン鋼鋼材 (JIS G4105 より抜粋)

記号*	化学成分 (wt%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
SCM435	0.33-0.38	0.15-0.35	0.60-0.85	≤0.030	≤0.030	0.90-1.20	0.15-0.30
SCM415	0.13-0.18		0.60-0.85			0.90-1.20	0.15-0.30

記号	熱処理 (°C)		機械的性質			
	焼入れ	焼戻し	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	シャルピー衝撃値 (J/m <sup>2</sup> )
SCM435	830-880 油冷	550-650 急冷	≥784	≥931	≥15	≥7.8×10 <sup>5</sup>
SCM415	1次 850-900 油冷 2次 800-850 油冷	150-200 空冷	—	≥833	≥16	≥6.9×10 <sup>5</sup>

\*記号の数字下 2 桁は C の中央値を示す。

# ニッケルクロ ムモリブデ ン鋼

表 6.7 ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材 (JIS G4103 より抜粋)

記号*	化学成分 (wt%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
SNCM240	0.38— 0.43	0.15— 0.35	0.70— 1.00	≤0.030	≤0.030	0.40— 0.70	0.40— 0.65	0.15— 0.30
SNCM439	0.36— 0.43		0.60— 0.90			1.60— 2.00	0.60— 1.00	
SNCM220	0.17— 0.23		0.60— 0.90			0.40— 0.70	0.40— 0.65	

表 6.7 ニッケルクロムモリブデン鋼鋼材 (続き)

記号	熱処理 (°C)		機械的性質			
	焼入れ	焼戻し	耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	シャルピー衝撃値 (J/m <sup>2</sup> )
SNCM240	820—870 油冷	580—680 急冷	≥785	≥883	≥17	≥6.9×10 <sup>5</sup>
SNCM439	820—870 油冷	580—680 急冷	≥883	≥980.7	≥16	≥6.9×10 <sup>5</sup>
SNCM220	1次 850—900 油冷 2次 800—850 油冷	150—200 空冷	—	≥834	≥17	≥5.9×10 <sup>5</sup>

\*記号の数字下2桁はCの中央値を示す。

# 鋼の組織 (高温と徐冷後の場合)

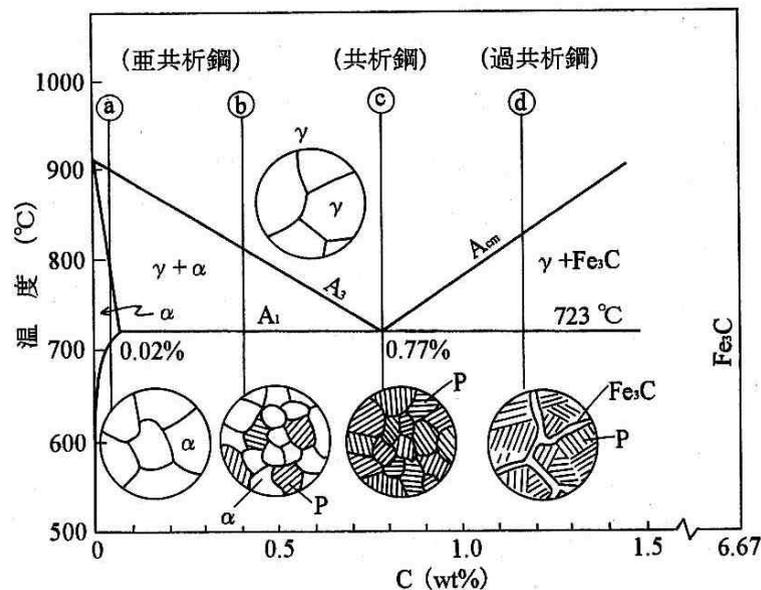
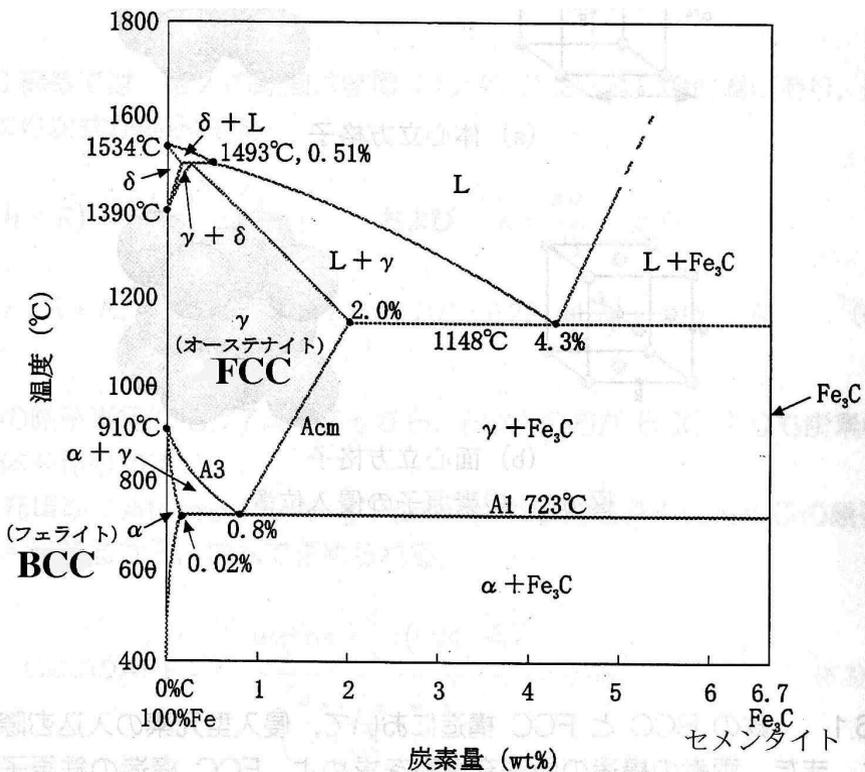


図 7.3 Fe-Fe<sub>3</sub>C 状態図と徐冷時の変態組織

# 熱延高張力鋼板の例

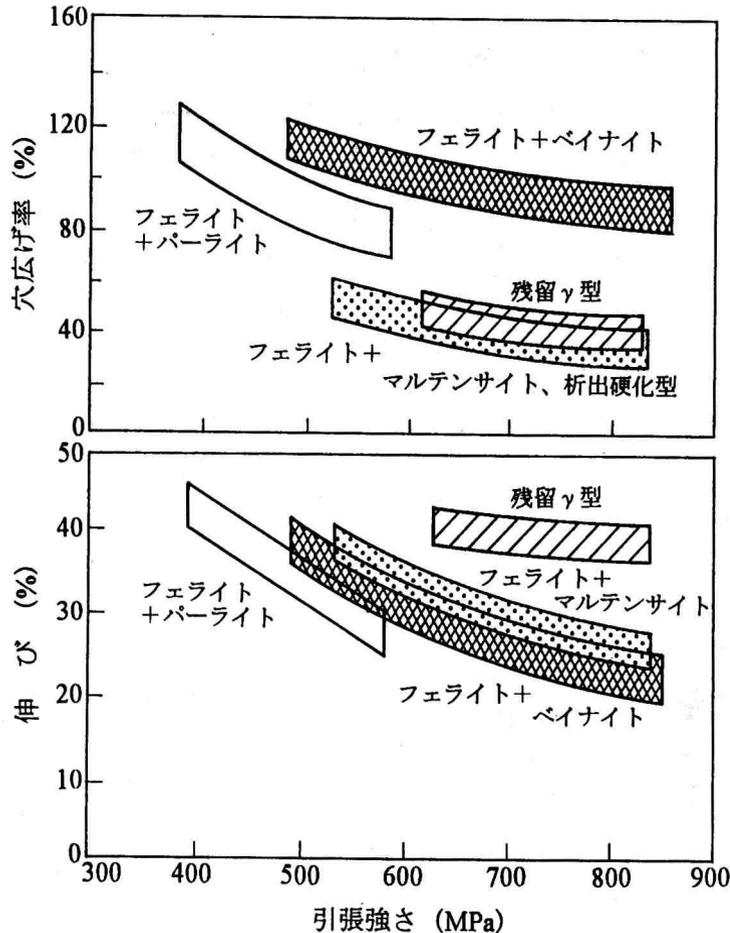


図 7.26 熱延高張力鋼板の例

- フェライト+パーライトは通常徐冷したときに出来る組織。
- フェライトは $\alpha$ 鉄、パーライトは $\alpha$ 鉄とセメントイト  $Fe_3C$ との混合組織。
- ベイナイト、マルテンサイトは急速冷却 (焼き入れ) 時に表れる組織

# ステンレス鋼(1)

表 6.7 ステンレス鋼の機械的性質とその応用例

JIS 記号	化学成分 (wt%)	熱処理	機械的性質			用途
			引張強さ (MPa)	降伏点 (MPa)	伸び (%)	
フェライト系ステンレス鋼						
SUS430	17Cr, 0.012C	Anneal	517	345	25	建築・厨房機器 家電部品
SUS446	25Cr, 0.20C	Anneal	552	345	20	高温用機器・熱交換器
マルテンサイト系ステンレス鋼						
SUS410	12.5Cr 0.05C	Anneal Q&T	517	276	30	機械要素, ポンプ軸, バルブ
SUS440A	17Cr, 0.70C	Anneal Q&T	724 1828	414 1690	20 5	刃物, ベアリング, ゲ ージ
SUS440C	17Cr, 1.1C	Anneal Q&T	759 1966	276 1897	13 2	ベアリング, バルブ, 軸受

# ステンレス鋼(2)

## オーステナイト系ステンレス鋼

SUS301	17Cr 7Ni	Anneal	759	276	60	構造部材, 鉄道車両
SUS304	19Cr, 10Ni	Anneal	580	290	55	化学・食品製造装置, 車両・建築
SUS304L	19Cr, 10Ni, 0.03C	Anneal	559	269	55	化学・食品製造装置, 溶接構造物
SUS321	18Cr, 10Ni, Ti $\geq$ 5 $\times$ %C	Anneal	621	241	45	圧力容器, 化学製造機器, 溶接構造物, 熱交換器
SUS347	18Cr, 10Ni, Nb $\geq$ 10 $\times$ C%	Anneal	655	276	45	化学工業用容器, 溶接構造物, 熱交換器, ボイラー

## 析出硬化型ステンレス鋼

17-4PH (SUS630)	16Cr, 4Ni, 4Cu 0.03Nb	時効	1311	1207	14	歯車, カム, シャフト, 航空機・タービン部品
17-7PH (SUS631)	17Cr, 7Ni, 1Nb	時効	1379	1276	9	ばね, エンジン部品

# 鑄鉄の種類

表 7.11 鑄鉄の種類

分 類		反 応	JIS記号(数字は最小引張強さ MPa)
白鑄鉄	チルド鑄鉄	$L \rightarrow \gamma + \theta$	
ねずみ鑄鉄	普通鑄鉄	$L \rightarrow \gamma + \text{片状C}$	FC 100~300
	強靱鑄鉄		FC 300~350
球状黒鉛鑄鉄	球状黒鉛鑄鉄	$L \rightarrow \gamma + \text{球状C}$	FCD 370~800
	オーステンパー球状黒鉛鑄鉄	オーステンパー熱処理	FCD 900A~1200A
可鍛鑄鉄	白心可鍛鑄鉄 黒心可鍛鑄鉄 パーライト鑄鉄	$L \rightarrow \gamma + \theta \rightarrow \text{熱処理}$	FCMW 330~540
			FCMB 270~360
			FCMP 440~690
合金鑄鉄	低温用フェライト球状	$L \rightarrow \gamma + \text{球状C}$	FCD -300LT
	黒鉛鑄鉄		
	オーステナイト鑄鉄	$L \rightarrow \gamma + \text{片状C}$	FCA
		$L \rightarrow \gamma + \text{球状C}$	FCDA

# 鑄鉄の組織



(a) 片状黒鉛鑄鉄



(b) 球状黒鉛鑄鉄

図 7.33 鑄鉄の組織写真