

# 材料強度設計No.5

知能機械システム工学科

坂本東男

Sakamoto.haruo@kochi-tech.ac.jp

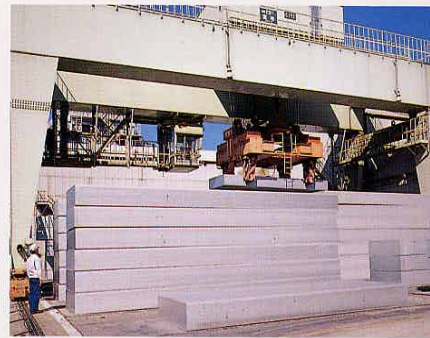
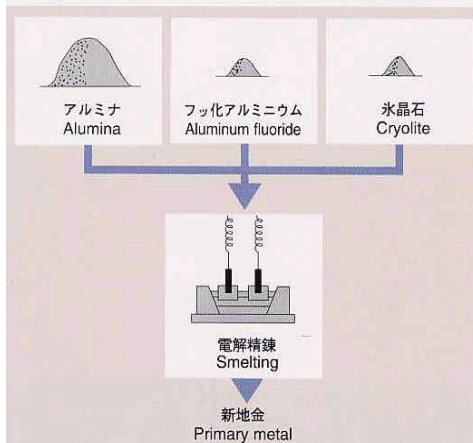
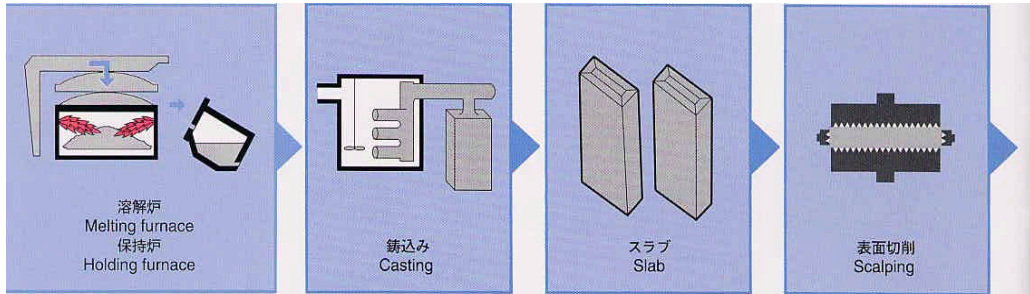
教員室A429、TEL:0887-57-2317

研究室A213、TEL:57-2243

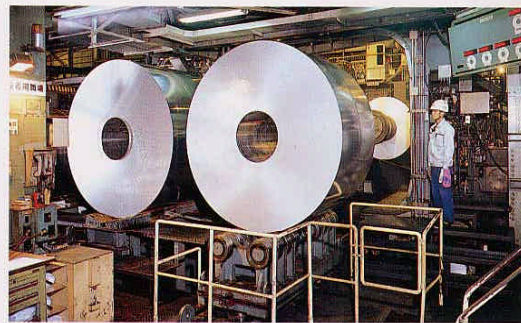
# No.5の講義内容

- 1. アルミニウム合金
- 2. マグネシウム合金
- 3. 銅合金
- 4. チタニウム合金

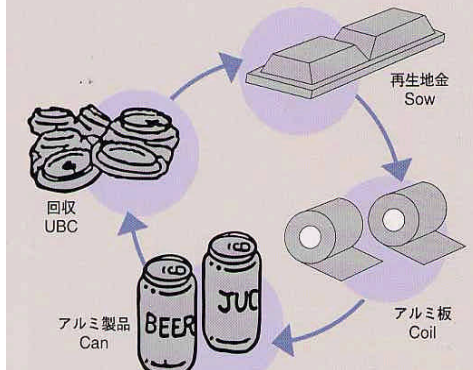
# アルミニウムの製造-板(1)



スラブ  
Cast metal for sheet rolling is called a "slab".

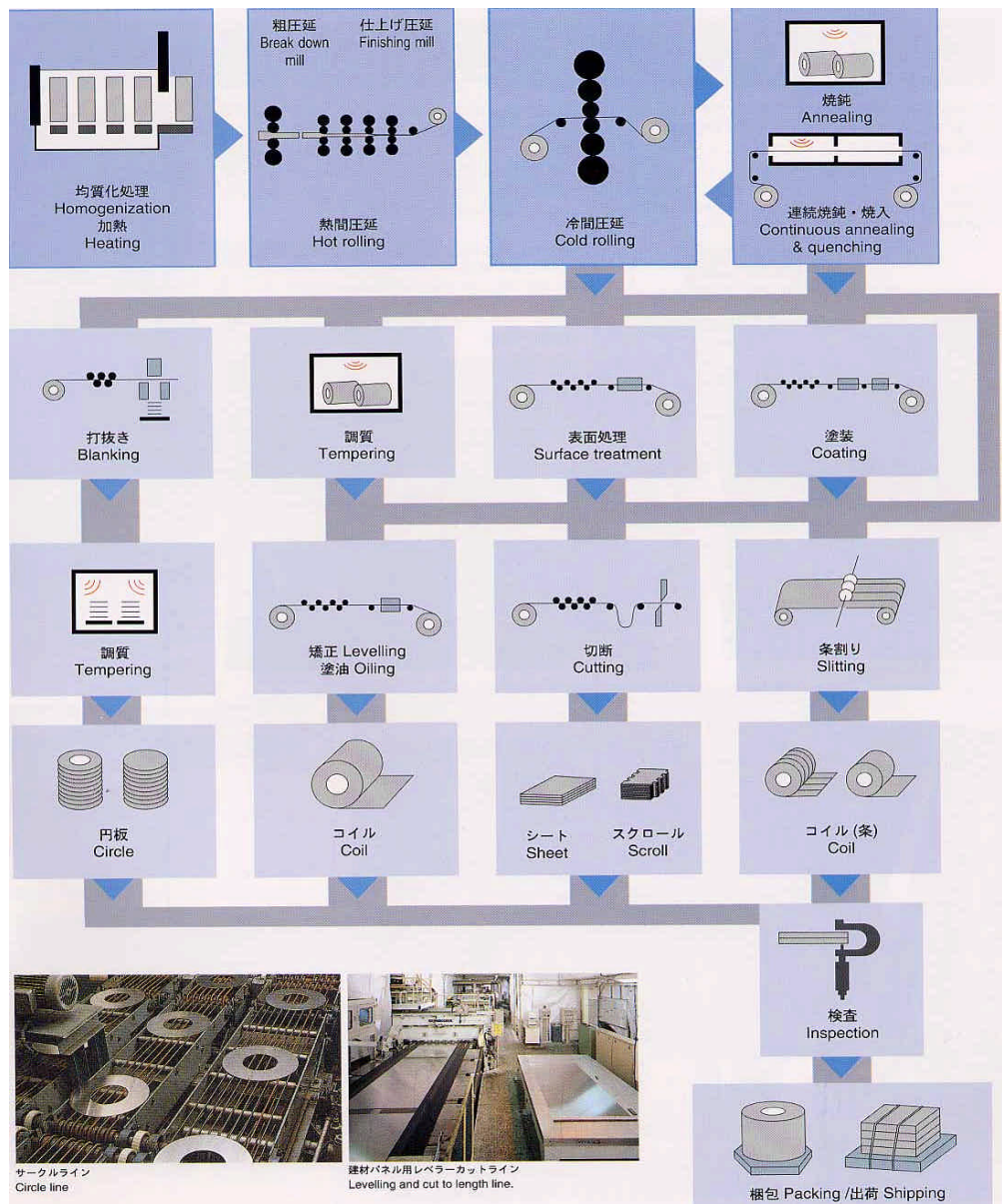


幅2,100ミリ、最大22トンの大型コイルを生産する熱間圧延機  
Hot rolling mill capable of producing 2,100mm wide, max.22ton coils.



- 1.原料はアルミナ、フッ化アルミニウム、氷晶石。これらを電解精錬で地金を作る。あるいは回収したアルミから再生地金を作る。(左下図)
- 2.地金を溶解して型に鋳込む。スラブが出来るので表面切削で表面をきれいにする。(上の図)

# アルミニウムの製造-板(2)

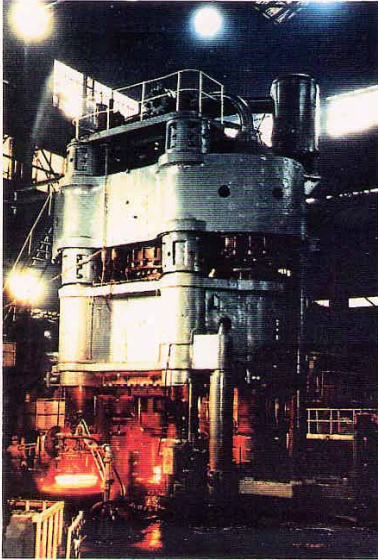


- 加熱、熱間圧延、冷間圧延を実施。
- その後、打ち抜き調質で円板、調質 矯正でコイル、表面処理 切断でシート、熱処理 塗装 条割りでコイルを製造。
- 3. 検査の後、梱包、出荷。

# アルミ (チタン) の鍛造

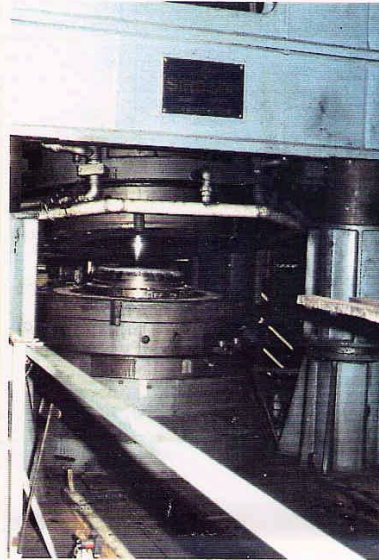
(型入鍛造)

9000T水圧プレス

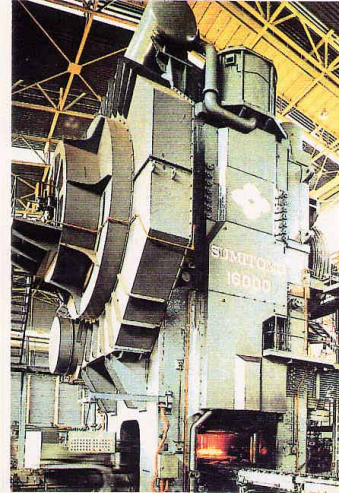


(回転鍛造)

ディスクローリングミル (SIRD)



16000Tプレス



(型鍛造)

35TMハンマー



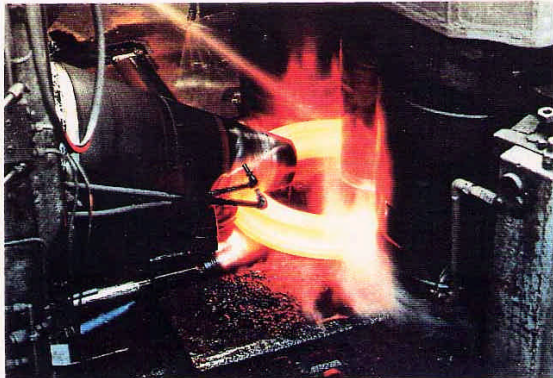
(恒温鍛造)

8000Tプレス



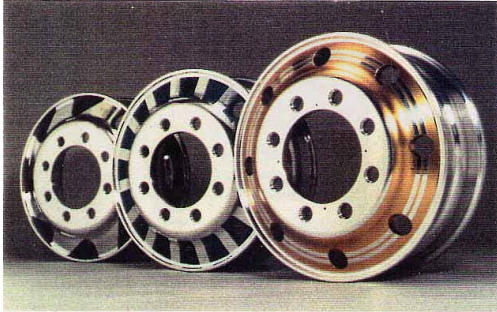
(リング圧延)

ワグナーミル



# アルミ (チタン) の鍛造製品

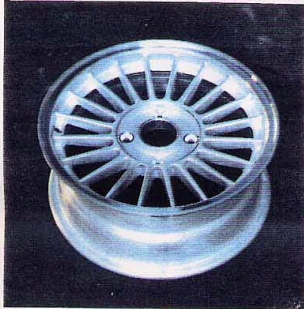
(1) Al合金



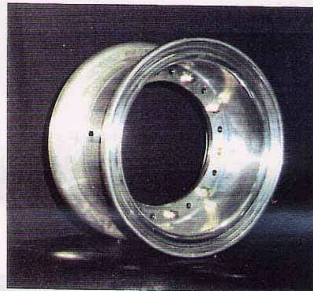
デザインホイール (6061-T6)



トラック・バス用アルミホイール  
(6061-T6)



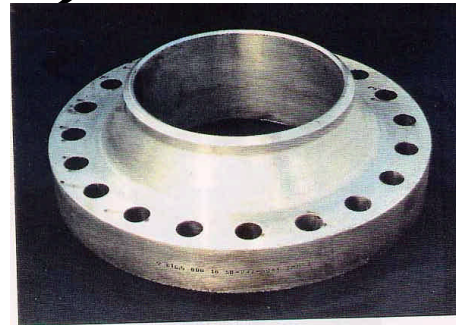
乗用車用アルミホイール  
(6151-T6)



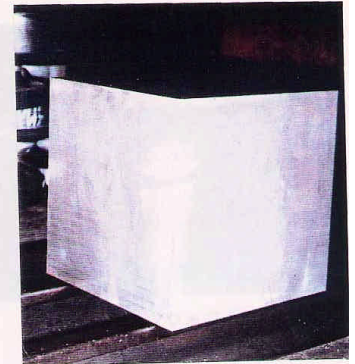
特殊用ホイール  
(6151-T6)



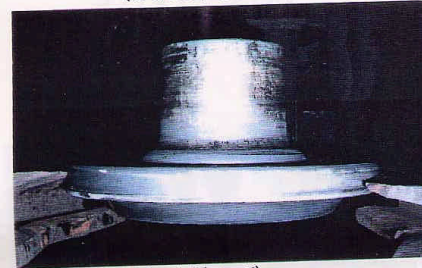
ローアーム (6061-T6)



熱交用フランジ  
(5083, 6061)

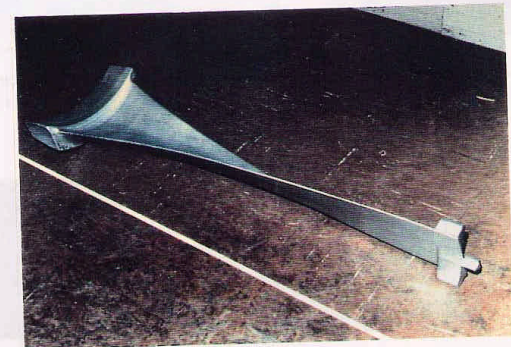


プラスチック成形用金型材  
(7075Mod.)



車両用ハブ  
(7050-T736)

(2) チタン合金



発電用大型タービンブレード  
(Ti-6-4)

# アルミニウム

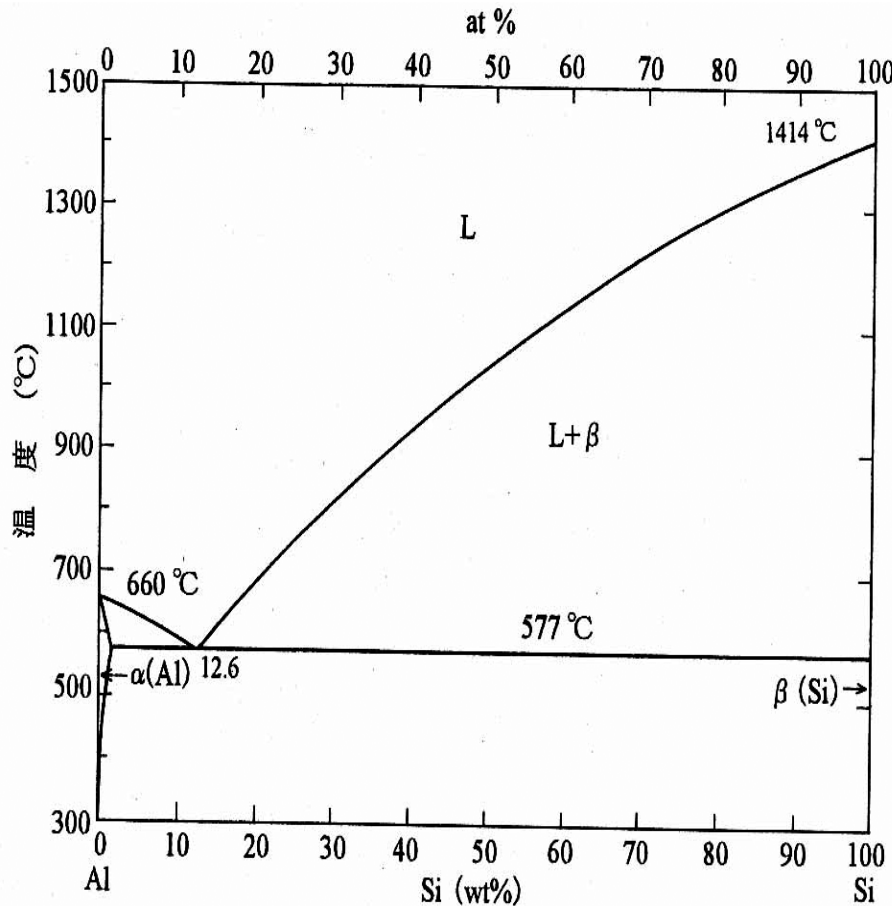


図 7.35 Al-Si 平衡状態図 (ASM Handbook. 1995)

アルミニウムは軽くて  
(比重2.7)電気伝導性、  
熱伝導性に富む。

アルミニウム合金の  
基本系はAl-Cu、Al-  
Si、Al-Mg、Al-Znであ  
る。例えば左図はAl-  
Si系の平衡状態図で  
ある。Siが0%で660度  
Cで液体化する。

# アルミニウム合金の分類

表 7.12 アルミニウム合金の分類

分類	規定	内容
冷間加工	H1X	Xの数字の大きい程加工度は大。例えば1060-H14は1060合金の加工能の50%、1060-H19は加工能100%を示す。
	H2X	冷間加工+焼ならし。 Xの意味は上と同じ
	H3X	冷間加工+安定化处理。安定化は経年変化を防ぐため使用温度より30~55℃高い温度に加熱する。 Xの意味は上と同じ。
製造のまま	F	圧延、押出し、鋳造のままの状態。
焼なまし	O	焼なました状態。
溶体化処理 + 時効	T3	溶体化処理+加工硬化+自然時効(常温時効)
	T4	溶体化処理+自然時効
	T5	鍛造、鋳造温度より急冷して時効硬化(溶体化処理省略)
	T6	溶体化処理+最高強度を得る温度で時効硬化
	T7	溶体化処理+最高強度を得る温度以上の時効。安定化、耐食性付与。
	T8	溶体化処理+冷間加工+時効硬化
	T9	溶体化処理+時効硬化+冷間加工

- 冷間加工材料、
- 製造のまま、
- 焼きなまし(材料が軟化する温度に加熱して、保持した後徐冷する)
- 溶体化処理(焼き入れ)+時効処理(焼き戻し)
- 以上によって記号が異なる。



# アルミニウム合金展伸材の化学成分

表 7.13 アルミニウム合金展伸材の化学成分と機械的性質

分類	相	タイプ	合金番号例	主要組成 (wt%)					
				Cu	Mg	Mn	Si	Cr	Zn
1000系 (純Al)	単相	非熱処理型	1080	Al>99.80					
			1050	Al>99.50					
2000系 (Al-Cu-Mg合金)	二相	熱処理型	2014	4.4	0.5	0.8	0.8	-	-
			2024	4.4	1.5	0.6			
3000系 (Al-Mn合金)	単相	非熱処理型	3003	0.1	-	1.2	-	-	-
			3004	-	1.0	1.2			
			3203	-	-	1.2			
4000系 (Al-Si合金)	二相	熱処理型	4032	0.9	1.0	-	12	-	-
		非熱処理型	4043	-	-	-	5	-	-
5000系 (Al-Mg合金)	単相	非熱処理型	5005	-	0.8	-	-	-	-
			5052	-	2.5	-	-	0.25	-
			5083	-	4.5	0.7	-	0.1	-
6000系 (Al-Mg-Si合金)	二相	熱処理型	6061	0.25	1.0	-	0.6	0.25	-
			6063	-	0.7	-	0.4	-	-
7000系 (Al-Zn-Mg-Cu合金)	二相	熱処理型	7075	1.6	2.5	-	-	0.25	5.6
			7178	2.0	3.0	0.3	-	0.3	7
			7N01	0.5	1.5	-	-	-	4.5

- アルミニウム合金には1,000系 (純Al)から7,000系までである。
- この内日本で開発されたのは6N01、7N01の2種類である。ほとんどが米国製であり、AA7075などの規格番号となっている。

# アルミニウム合金展伸材の機械的性質

合金	処理	機械的性質			用途
		$\sigma_B$ (MPa)	$\sigma_Y$ (MPa)	El(%)	
1080	O	$\geq 55$	$\geq 15$	$\geq 30$	電気器具、家庭用品
	H18	$\geq 120$	—	$\geq 4$	送配電用電線
2024	O	$\leq 215$	$\leq 95$	$\geq 12$	航空機用
	T4	$\geq 430$	$\geq 275$	$\geq 15$	機械部品
3003	O	$\geq 95$	$\geq 35$	$\geq 25$	容器、建材
	H18	$\geq 185$	$\geq 165$	$\geq 4$	トラック用パネル
4032	T6	$\geq 365$	$\geq 295$	$\geq 5$	ピストン、耐摩耗部品
5052	O	$\geq 175$	$\geq 65$	$\geq 18$	車輛、船舶の外装
	H38	$\geq 275$	$\geq 225$	$\geq 4$	バスの車体
5083	O	$\geq 275$	$\geq 125$	$\geq 16$	建材
	H32	$\geq 305$	$\geq 215$	$\geq 12$	
6061	O	$\leq 145$	$\leq 85$	$\geq 18$	門扉、サッシ
	T6	$\geq 295$	$\geq 245$	$\geq 10$	クレーン
7075	O	$\leq 275$	$\leq 145$	$\geq 10$	航空機用
	T6	$\geq 540$	$\geq 480$	$\geq 8$	機械部品
7N01	T4	$\geq 315$	$\geq 195$	$\geq 11$	車輛、スポーツ用具
	T6	$\geq 335$	$\geq 275$	$\geq 10$	

(注) Nの記号は日本独特の規格。他は米国AA(Aluminium Association of America)規定に同じ。  
機械的性質は4032(鑄造品の規格)以外は板の例(板厚で多少異なる)

1. 2024 (超ジュラルミン)、7075 (超々ジュラルミン)は航空機用材料で高強度である。ただし溶接不可の為リベット。
2. トラックバス用鍛造アルミホイールは6061。
3. 7N01は溶接可能な材料で最も高強度の材料。

# 鑄造用アルミニウム合金の化学成分と機械的性質

表 7.14 鑄造用アルミニウム合金の化学成分と機械的性質

分類	記号	主要組成 (wt%)				熱処理	機械的性質			用途	
		Cu	Si	Mg	Ni		$\sigma_B$ (MPa)	El (%)	硬さ (H <sub>B</sub> )		
鑄	Al-Cu	AC1A	4.5	-	-	-	F	≥160	≥5	55	航空機油圧部品 自転車用部品 架線用部品
							T4	≥235	≥5	70	
造	Al-Cu-Mg	AC1B	4.5	-	0.25	-	F	≥180	≥2	60	マニホールド シリンダーヘッド
							T6	≥305	≥3	95	
用	Al-Cu-Si	AC2A	4.0	5.0	-	-	F	≥185	≥2	75	マニホールド シリンダーヘッド
							T6	≥275	≥1	90	
合	Al-Si	AC3A	-	12	-	-	F	≥180	≥5	50	ケース類 ハウジング類
							T6	≥245	≥2	90	
金	Al-Si-Mg	AC4A	-	9.0	0.50	-	F	≥180	≥3	60	ブレーキドラム ギヤボックス
							T6	≥245	≥2	90	
金	Al-Si-Cu	AC4B	3.0	8.5	-	-	F	≥180	-	80	クランクケース マニホールド
							T6	≥245	-	100	
金	Al-Si-Mg	AC4C	-	7.0	0.35	-	F	≥160	≥3	35	油圧部品 小型船用エンジン
							T6	≥225	≥3	85	
金	Al-Si-Cu-Mg	AC4D	1.3	5.0	0.5	-	F	≥180	≥2	70	シリンダーヘッド クランクケース
							T6	≥275	≥1	90	
金	Al-Cu-Ni-Mg	AC5A	4.0	-	1.5	2.0	0	≥185	-	65	空冷シリンダーヘッド ピストン
							T6	≥295	-	100	
金	Al-Mg	AC7A	-	-	4.5	-	F	≥215	≥12	60	取手 彫刻素材
		AC7B	-	-	10.0	-	T4	≥295	≥10	75	光学機械フレーム 航空機用機体部品
金	Al-Si-Cu-Ni-Mg	AC8A	1.0	12	1.0	1.0	F	≥180	-	85	自動車用ピストン
							T6	≥275	-	110	プーリー
		AC8B	3.0	9.5	1.0	1.0	F	≥180	-	85	軸受
							T6	≥275	-	110	

- 記号はACが付く。
- 新幹線のぞみの歯車装置、歯車箱はAC4Cで製造。鑄込み時の湯流れがポイント。

# マグネシウム

表 7.16 鋳適用マグネシウム合金の化学成分と機械的性質

分類	記号		主要組成 (wt%)					熱処理	機械的性質		
	JIS	ASTM	Al	Zn	Zr	Mn	R. E		$\sigma_B$ (MPa)	$\sigma_Y$ (MPa)	El(%)
合金 物	MC1	AZ63A	6	3	-	0.35	-	F	$\geq 180$	$\geq 70$	$\geq 4$
								T4	$\geq 240$	$\geq 70$	$\geq 7$
	MC2	AZ91C	9.2	0.7	-	0.3	-	F	$\geq 160$	$\geq 70$	-
								T6	$\geq 240$	$\geq 110$	$\geq 3$
	MC3	AZ92A	9	2	-	0.3	-	F	$\geq 160$	$\geq 70$	-
								T4	$\geq 240$	$\geq 70$	$\geq 6$
	MC5	AZ100A	10	$< 0.3$	-	0.3	-	F	$\geq 140$	$\geq 70$	-
								T4	$\geq 240$	$\geq 70$	$\geq 6$
MC6	ZK51A	-	4.5	0.7	-	-	T5	$\geq 240$	$\geq 140$	$\geq 5$	
MC7	ZK61A	-	6	0.8	-	-	T6	$\geq 270$	$\geq 180$	$\geq 5$	
MC8	ZK33A	-	2.6	0.7	-	3.3	T5	$\geq 140$	$\geq 100$	$\geq 2$	
ダイカスト	MDC1A	AZ91A	9	0.2	-	0.15	-	F	$(> 230)$	$(> 150)$	$(> 3)$
	MDC1B	AZ91B									

(注) ASTMの最初の二文字は主要合金(A: Al, K: Zr, Z: Zn, R. E: 希土類元素など)を、次の数字はその成分量を示している。又、質別記号(F, H, Tなど)はアルミニウム合金と同様である。

- マグネシウムは比重が1.74。アルミの2/3。結晶構造はちょう密六方晶
- マグネシウムは熱間での加工性が良い。減衰能が大きい。
- 溶解点は660度でアルミニウムと同じ。

# マグネシウム合金の成分と機械的性質

表 7.17 マグネシウム合金展伸材料

記 号					主要成分 (wt%)					熱処理	機械的性質		
JIS (形状)				ASTM	Al	Zn	Zr	Mn	$\sigma_B$ (MPa)		$\sigma_Y$ (MPa)	El (%)	
Mg   Al   Zn 系	MP1	MT1	MB1	MS1	AZ31	3.0	1.5	-	0.15	H112 <sup>(***)</sup>	$\geq 230$	$\geq 140$	$\geq 6$
		MT2	MB2	MS2	AZ61A	6.3	1.0	-	0.22	H112	$\geq 260$	$\geq 150$	$\geq 6$
			MB3	MS3	AZ80A	8.3	0.6	-	0.22	H112	$\geq 280$	$\geq 190$	$\geq 5$
Mg   Zn   Zr 系	MP4	MT4	MB4	MS4		-	1.1	0.6	-	H112	$\geq 250$	$\geq 170$	$\geq 8$
	MP5		MB5	MS5		-	3.2	0.6	-	H112	$\geq 270$	$\geq 190$	$\geq 8$
			MB6	MS6	ZK60A	-	5.5	0.6	-	H112	$\geq 300$	$\geq 210$	$\geq 5$
										T5	$\geq 310$	$\geq 230$	$\geq 5$
形 状	板 <sup>(*)</sup> 材	継目 無管	棒 材	形 材	(*) MP1, MP4, MP5の強度の規定は他の形状品より僅かに低い (***) 積極的な加工硬化を加えない製造のままの状態								

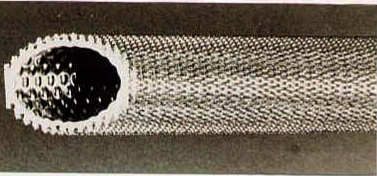
マグネシウム合金は加工性が劣るため鋳造材より種類は少ない。

JISでは板材 (MP1-7)、押し出し材 (MT1-4)、継ぎ目無し管 (MT1-4)、押し出し棒材 (MB1-6)、押し出し型材 (MS1-6) がある。

# 銅製品の例

## 銅・銅合金各種高性能伝熱管

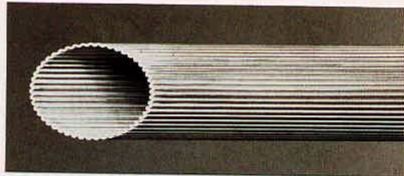
住友軽金属工業株式会社



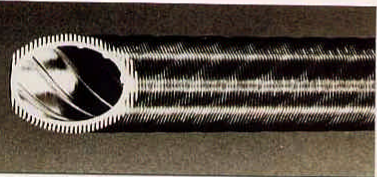
トレッドフィンチューブ



スパイラルチューブ



フルーテッドチューブ



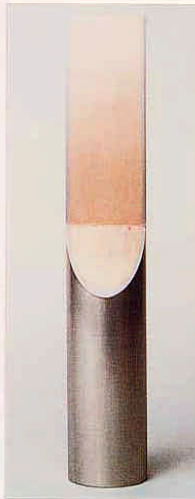
ライフルフィンチューブ



スミトロン

## クラッド給電棒

住友金属工業株式会社



# 純銅の化学成分と機械的性質

表 7.18 工業用純銅の化学成分と機械的性質

種類	記号※	主要組成(wt%)		熱処理	機械的性質		用途
		Cu	P		$\sigma_B$ (MPa)	El(%)	
無酸素銅	C1020P	$\geq 99.96$	-	O	$\geq 195$	$\geq 35$	電気用、ガスケット 化学工業用
				H	$\geq 275$	-	
タフピッチ銅	C1100P	$\geq 99.90$	0.004~ 0.015	O	$\geq 195$	$\geq 35$	建築用
				H	$\geq 275$	-	
りん脱酸銅	C1220P	$\geq 99.90$	0.015~ 0.040	O	$\geq 195$	$\geq 35$	風呂釜、湯沸器 ガスケット、建築用
				H	$\geq 275$	-	

※ Pは板を示す。

- 用途はガスケット、電気関連など。

# 加工用黄銅合金の例

表 7.19 加工用黄銅合金の例

種類	記号※	主要組成 (wt%)				熱処理	機械的性質		用途
		Cu	Sn	Zn	その他		$\sigma_B$ (MPa)	El(%)	
円銅	C2300P	85	-	残	Pb<0.05	0	$\geq 245$	$\geq 40$	建築用、装身具
					Fe<0.05	1/2H	$\geq 305$	$\geq 23$	
黄銅	C2600P	70	-	残	Pb 0.5	0	$\geq 275$	$\geq 50$	自動車用ラジエーター
					Fe<0.05	1/2H	$\geq 350$	$\geq 28$	配線器具
	C2720P	63	-	残	Pb<0.07	0	$\geq 275$	$\geq 50$	ネームプレート
					Fe<0.07	1/2H	$\geq 325$	$\geq 35$	計装板
高力黄銅	C6783B	57	-	残	Fe 0.8 Pb<0.5 Al 1.1 Mn 2.0	F	$\geq 540$	$\geq 12$	船舶用プロペラ ポンプ軸
快削黄銅	C3560P	62.5	-	残	Pb 2.5	1/4H	$\geq 345$	$\geq 18$	時計部品
					Fe<0.1	1/2H	$\geq 375$	$\geq 10$	歯車
すず入黄銅	C4250P	88.5	2.2	残	Pb<0.05	0	$\geq 300$	$\geq 35$	スイッチ、リレー、コネクタ
					Fe<0.05	3/4H	$\geq 420$	$\geq 5$	ばね部品
アドミラルティ黄銅	C4430P	71.5	1.1	残	As 0.04 Fe<0.05 Pb<0.05	0	$\geq 315$	$\geq 35$	熱交換器 ガス配管用コネクタ
ネーバル黄銅	C4621P	62.5	1.1	残	Pb<0.2 Fe<0.1	F	$\geq 315$	$\geq 20$	熱交換器 船舶海水取入口用

※ Pは板、Bは棒を示す。

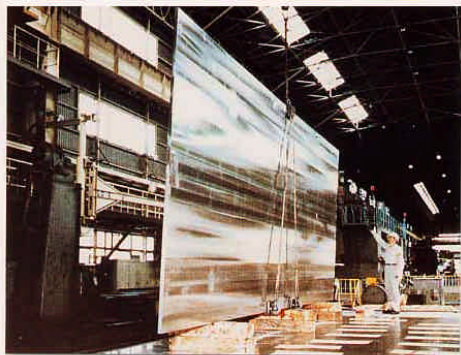
加工に今日されるCu合金では黄銅が最も生産量が多い。主としてCu-Zn合金。他にCu-Al、Cu-Sn、Cu-Be系の青銅合金、Cu-Ni系の白銅合金がある。Ni10-30%-Cu合金はキューロニッケルとして耐海水性が優れている。



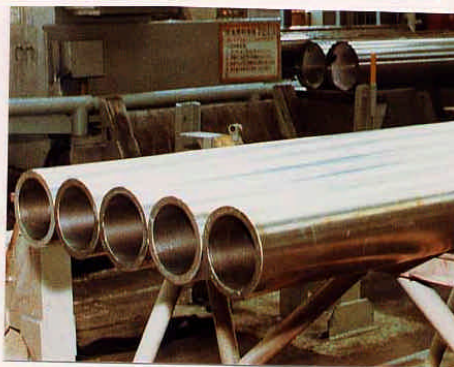
# チタン、チタン合金の製品例(1)

## 純チタン製品

住友金属工業株式会社，住友軽金属工業株式会社，日本ステンレス株式会社



チタン板



チタンシームレス管

## 金属チタン

大阪チタニウム製造株式会社

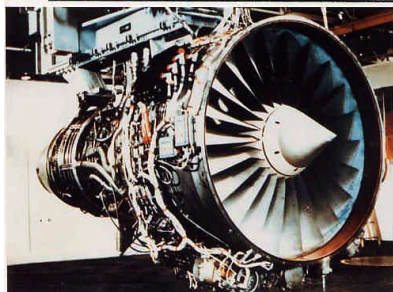


インゴット (純チタン8トン)

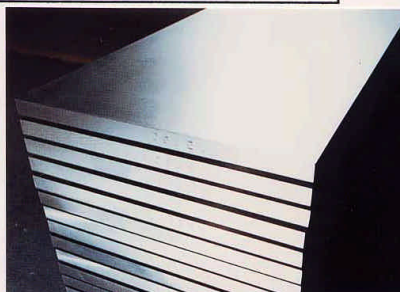
# チタン、チタン合金の製品例(2)

## チタン合金製品

住友金属工業株式会社



V2500 ファンブレード



同左用チタン合金板



(左) ニアネット

シェイプ  
ディスク



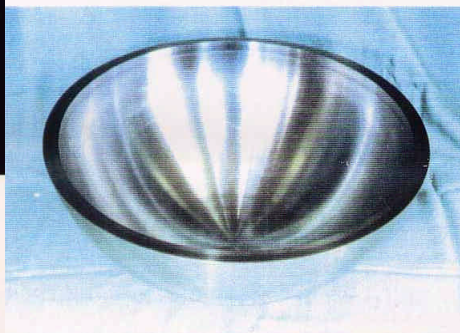
(右) 同左  
機械加工後



コンプレッサーディスク  
(Ti-6-4)



リアファンシャフト  
(Ti-6-4)

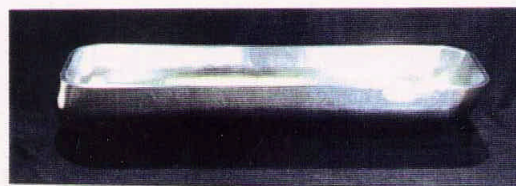


半球  
(Ti-6-4)



恒温鍛造製品  
(Ti-10-2-3)

### (3) ジルコニウム



特殊容器(純Zr)

# チタン、チタン合金の製品例(3)

## チタンアートジュエリー

大阪チタニウム製造株式会社



大阪チタニウム製造株式会社  
TEL.06-411-1121

## 建材用チタン製品

住友金属工業株式会社



チタン製トップライト

# チタン、チタン合金の製品例(4)

チタンローフィンチューブ

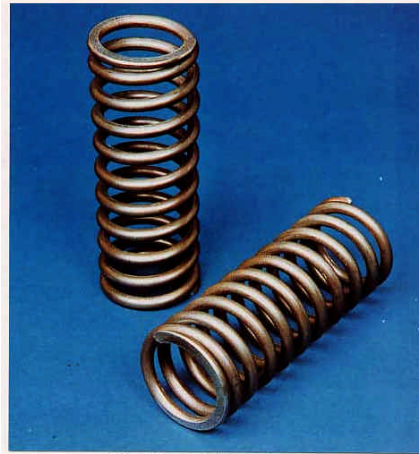
住友金属工業株式会社



チタンローフィンチューブ (管厚0.71~2.11mm)

自動車用チタン合金

住友金属工業株式会社



チタンコイルスプリング



チタンエンジンバルブ

# 純チタンの成分、機械的性質

表 7.24 純チタンの例

種類	記号※	主要組成 (wt%)				機械的性質			用途
		H	O	N	Fe	$\sigma_B$ (MPa)	$\sigma_Y$ (MPa)	El(%)	
1種	TP28H	$\leq 0.13$	$\leq 0.15$	$\leq 0.05$	$\leq 0.20$	$\geq 270$	$\geq 165$	$\geq 27$	化学装置、石油精製装置
2種	TP35H		$\leq 0.20$		$\leq 0.25$	$\geq 340$	$\geq 215$	$\geq 23$	海水熱交換器、建築用屋根、内装
3種	TP49H		$\leq 0.30$	$\leq 0.07$	$\leq 0.30$	$\geq 480$	$\geq 345$	$\geq 18$	航空機用

※ Hは熱間圧延、Cは冷間圧延を示す

- 耐食性が優れているため、海水、化学プラント材料に使用されている。
- 引張強度は300-500MPa程度

# チタン合金の機械的性質

表 7.25 代表的なチタニウム合金

種類	主要組成 (wt%)	熱処理	機械的性質		
			$\sigma_B$ (MPa)	$\sigma_Y$ (MPa)	El (%)
耐食合金	Ti-0.15Pd	焼なまし	343	216	23
	Ti-0.3Mo-0.8Ni	焼なまし	519	441	25
$\alpha$ 合金	Ti-5Al-2.5Sn	焼なまし	862	804	16
	Ti-5Al-3.5Sn-3Zr-1Nb-0.3Mo-0.3Si	溶体化+時効	1020	892	16
$\alpha + \beta$ 合金	Ti-3Al-2.5V	焼なまし	686	588	20
	Ti-6Al-4V	焼なまし	980	921	14
		溶体化+時効	1166	1098	10
	Ti-6Al-4V-2Sn	溶体化+時効	1274	1078	10
Near $\alpha$ 合金	Ti-8Al-1Mo-V	2段焼なまし	1000	951	15
	Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo	焼なまし	980	892	15
Near $\beta$ 合金	Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	溶体化+時効	1274	1176	10
	Ti-10V-2Fe-3Al	溶体化+時効	1274	1196	10
$\beta$ 合金	Ti-13V-11Cr-3Al	溶体化+時効	1215	1166	8
	Ti-11.5Mo-6Zr-4.5Sn	溶体化+時効	1382	1313	11
	Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr	溶体化+時効	1441	1372	7
	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn	溶体化+時効	1225	1107	10

- よく使用される材料はTi-6Al-4V (Alが6%、Vが4%、残りがTi)
- チタンの強度は比較的高い。(1,400MPaのものも)
- チタン組織の $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\alpha + \beta$ 合金に分かれる。 $\alpha$ はHCP、 $\beta$ はBCC

# 比強度 (引張強さ/密度) と引張強さの関連

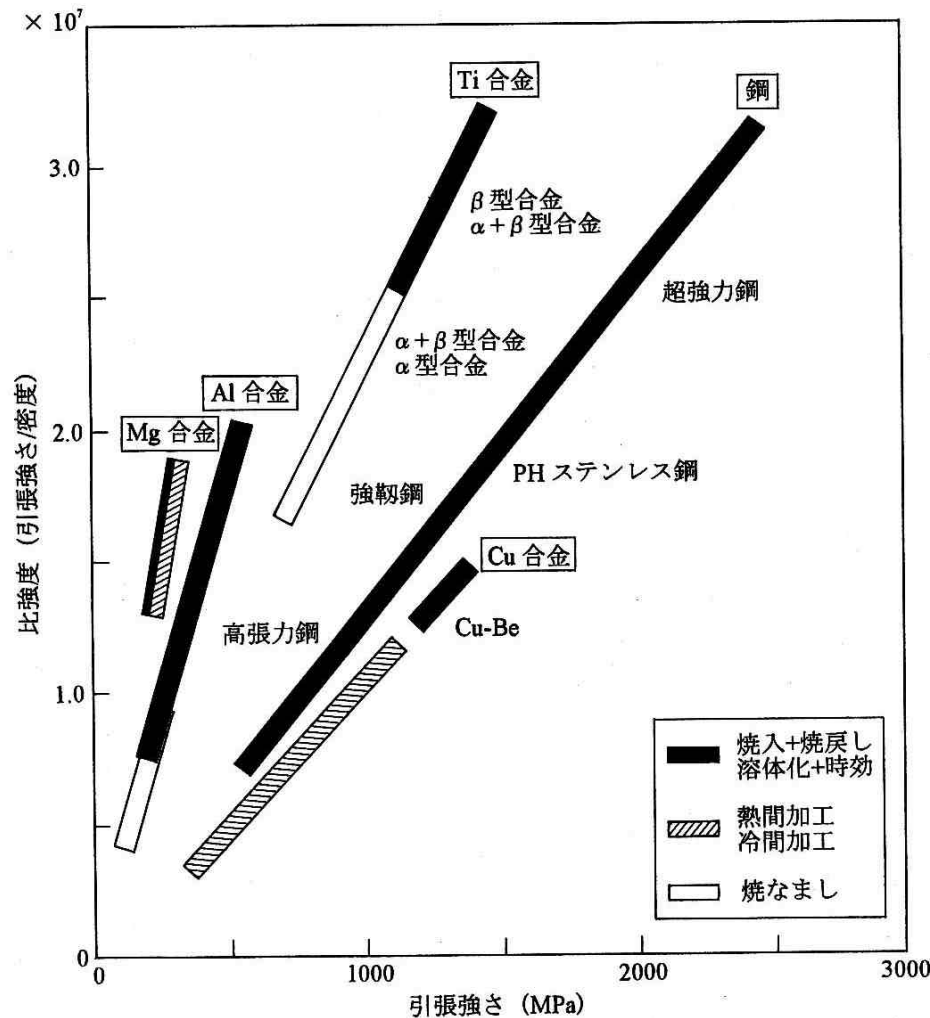


図 7.44

- 比強度 (引張強さ/密度) では Mg、Al、Ti、鋼の順に優れている。
- 引張強さの絶対値は鋼が有利。