

## 9章 問題解答

### 予習

1.

	低温相	高温相	変態点 (°C)
チタン	hcp	bcc	912
鉄	bcc	fcc	882

2.

軽い、強い、錆びにくい、生体適合性が良い、など

3.

	融点 (°C)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	引張強さ (MPa)	伸び (%)	ヤング率 (GPa)
チタン JIS1種	1668	4.51	270~410	27以上	106.3
チタン合金 Ti-6Al-4V	1540-1650	4.43	895以上	10以上	113.2
ステンレス鋼 SUS304	1400- 14270	7.90	520以上	40以上	199.9
アルミ合金 A5052P	476-638	2.80	190以上	26以上	71.5

4.

	機械的性質
チタン合金	硬くはならず、低ヤング率や形状記憶特性に関係
鉄鋼材料	硬く、もろい性質を示す

5.

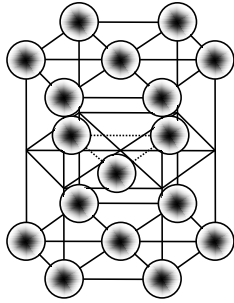
航空機材料、熱交換器、民生品、医療材料、など

### 演習問題A

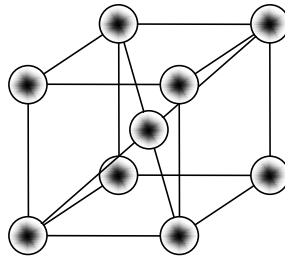
9-A1 解答例

チタンの $\alpha$ 相は稠密六方構造(hcp)、 $\beta$ 相は体心立方構造(bcc)である。  
それぞれの結晶構造は、以下のようなものである。

α相 (hcp)



β相 (bcc)

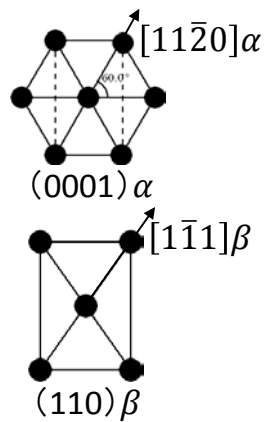


また、α相の底面(0001)と、β相の(110)を底面として積層した面が対応しており、**バーガースの関係** (Burgers relationship) で下記の方位関係で連続性を持って同素変態する。

$$(0001)_\alpha // (110)_\beta$$

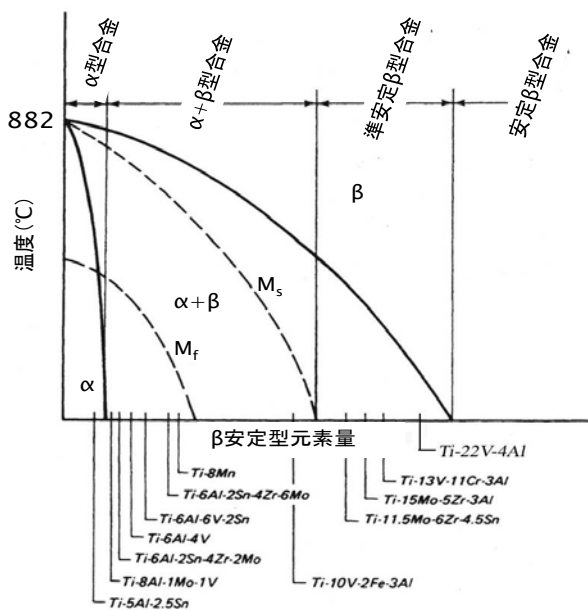
$$[11\bar{2}0]_\alpha // [1\bar{1}1]_\beta$$

この関係を模式的に示したものが右図である。



### 9-A2 解答例

チタン合金の模式状態図は下図のように表され、β安定型元素量の増加に伴い、α型、α+β型、β型(準安定β型、安定β型)に分類される。それぞれに該当するチタン合金を模式状態図の下側に列挙してある。



#### 9-A3 解答例

チタンとチタン合金の需要構造の傾向に見られるよう、世界的には宇宙航空用や軍用の割合が高く、静的強度や高温強度を求めするためにチタン合金の需要が多い。

一方、日本では化学工業や電力・造水分野の割合が多く、化学プラントなどで配管や熱交換器などとして使用される。このため、耐食性をメインとした視点で、CPチタンの使用量が比較的多い。医療材料や民生品として、チタン合金は多用途に広がっているが、小型の製品が多いため重量割合としては少なくなる。

### 演習問題 B

#### 9-B1 解答例

チタン合金は普通鋼やステンレス鋼と比べ、密度が小さく、軽量化することができる。そのためさびにくく、軽いという特徴が必要とされる用途に用いられている。また、ヤング率が低いことが特徴である。これはしなりやすいことを示しており、鋼などで使っていたしなりを嫌う構造物などでは適さない場合もある。しかし、ヤング率の低さを活かして骨に近いヤング率を目指した生体材料としての活用や、しなりを活かしてスポーツ用品としても利用されている。また、線膨張率が低いため、高温になっても膨張しにくいという特性を持っている。チタン合金の特性を知り、適した用途に用いていくことが大切である。

#### 9-B2 解答例

チタン合金の準安定相として、稠密六方構造の $\alpha'$ マルテンサイト、斜方晶構造の $\alpha''$ マルテンサイト、 $\omega$ 相があげられる。

針状 $\alpha$ 相組織と $\alpha'$ マルテンサイトは組織形態および結晶構造の観点からも区別がつきにくい、ヤング率の大幅低下や内部摩擦の大幅低下など、材料特性に変化が生じる。一方、 $\alpha'$ マルテンサイトと $\alpha''$ マルテンサイトについては組織形態からは判別が難しいが、結晶構造が異なるため、X線回折で結晶構造を調べることにより判別が可能である。斜方晶構造は低組成側から高組成側へ $\beta$ 安定化元素量の増加に伴い、稠密六方から体心立方へ遷移的に構造が変化する。そのため、低組成側では $\alpha'$ マルテンサイトの特性に近く、高組成側では $\beta$ 相から応力誘起で形成される、形状記憶特性や超弾性特性などに関係する特性を示す。チタン合金のマルテンサイトについては、鉄鋼材料のマルテンサイトのように硬い組織ではなく、 $\alpha$ 相や $\beta$ 相よりもやわらかい場合の方が多い。

また、準安定 $\beta$ 型チタン合金で形成される $\omega$ 相は溶体化処理により形

成される非熱的  $\omega$  相と時効により形成される熱的  $\omega$  相などと呼ばれる。  
非熱的  $\omega$  相は、数 nm オーダーのごく微細な粒子状の形態で、機械的性質  
に大きな影響は与えない。一方、時効により形成・成長した**熱的  $\omega$  相**は、  
母相と比較すると溶質濃度の低下を伴い、静的強度とヤング率は上がる  
ものの、著しい脆化をもたらすことで知られる。