

受験職種	研究職（金属）
------	---------

得点	※
----	---

地方独立行政法人大阪府立産業技術総合研究所
研究職（金属）専門試験

（注 意 事 項）

1. 試験時間中は、すべて試験係員の指示に従ってください。お互いに話をしたり、席を立ったり、そのほか、人の迷惑になるようなことをしてはいけません。指示に従わない、また、試験中にICレコーダーや携帯電話等を使用するなどの不正行為を行った場合は、失格として直ちに退室していただきます。
2. 受験番号及び氏名は必ず記入してください。（※欄は記入しないでください。）
3. 問題は、全部で7問あって、時間は2時間20分です。
4. 棄権するとき、気分が悪くなったときを除き、途中退室はできません。棄権するときには、試験用紙を必ず試験係員に提出し、確認を受けてください。こちらから渡したものは、一切持って出てはいけません。
5. 気分が悪くなった方は試験係員に申し出、指示に従ってください。

指示があるまで中をあけてはいけません

整理番号
※

整理番号
※

得点	※
----	---

受験職種
研究職（金属）

受験番号

氏名

問題 1 次の問い(1)から(6)について、答えを解答欄に記入しなさい。

- (1) 図 1-1 は金属に見られる代表的結晶構造の 1 つである体心立方構造の原子配列の 1 つの単位を模式的に示したものである。この結晶構造の最近接原子の数(配位数)を答えなさい。
- (2) 図 1-1 に示した結晶構造の格子定数を a としたとき、最近接原子間距離 L を式で表しなさい。
- (3) 図 1-1 に示した結晶構造を持つ金属の代表的なすべり面の 1 つをミラー指数によって表記すると(110)となるが、この面を解答欄の図に書き込みなさい。
- (4) 図 1-1 に示した結晶構造を持つ金属の代表的なすべり方向の 1 つをミラー指数によって表記すると[111]となるが、この方向(あるいはこれと等価な方向)を解答欄の図に書き込みなさい。
- (5) 金属の塑性変形は転位の移動であると解釈すると、金属材料強化の基本的な考え方は転位の動きをどのように阻止するかということになり、その方法には 4 つの考え方があると言われている。この 4 つの考え方をそれぞれ説明しなさい。
- (6) 一定温度の条件下で、ある鋼の結晶粒径と降伏応力の関係を調べたところ、結晶粒径 0.09mm のとき降伏応力は 230MPa で、結晶粒径 0.01mm のとき降伏応力は 390MPa であった。降伏応力と結晶粒径の間にホールペッチの法則が成立すると仮定し、降伏応力 σ [MPa]と結晶粒径 d [mm]の関係を式で示しなさい。

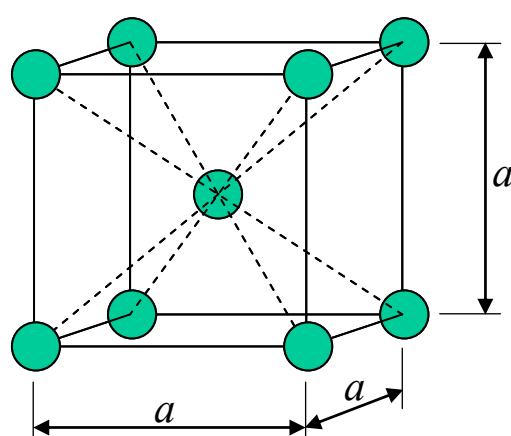
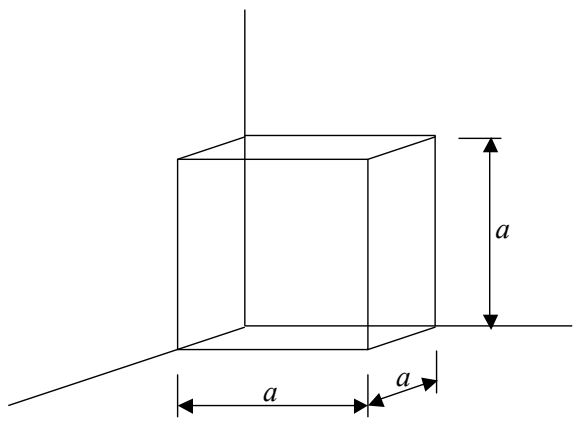


図 1-1 体心立方構造の原子配列模式図

(1)		
(2)	$L =$	
(3)		(4)
(5)	①	
	②	
	③	
	④	
(6)		

問題2 図 2-1 は Fe-Fe₃C 準安定系状態図を示したものである。また、図 2-2 は共析鋼の連続冷却変態線図(CCT 線図)である。さらに、図 2-3 はいくつかの元素の酸化反応の標準自由エネルギー(ΔG°) - 温度(T)図(エリンガム図)である。なお、図 2-3 の右端、縦方向に並んだ短いラインは、気体定数を $R [J K^{-1} mol^{-1}]$ 、温度を $T [K]$ 、酸素分圧を $p_{O_2} [atm]$ とした時、 $p_{O_2} [atm]$ の値を決めることでこのエリンガム図上、直線となる $RT \ln p_{O_2}$ の $T=1500 \sim 1550 K$ の部分であり、書き添えた値はその時の $p_{O_2} [atm]$ の値である。これらを参照しながら、次の問い(1)から(10)について、答えを解答欄に記入しなさい。

- (1) 図 2-1 によれば、オーステナイト状態の共析組成の鋼を室温まで緩冷した場合、フェライトとセメンタイトの 2 相共存状態の組織となることがわかるが、その場合のセメンタイト相中の炭素濃度はいくらになるか答えなさい。
- (2) 図 2-1 を参照し、オーステナイト状態の共析組成の鋼を室温まで緩冷した場合のフェライトとセメンタイトの 2 相の質量比率を計算し、整数比で答えなさい。ただし、共析組成の鋼の炭素濃度を 0.8mass%、室温におけるフェライト中の固溶炭素濃度をゼロとみなして計算しなさい。
- (3) 図 2-1 の丸印で示した部分では冷却過程で包晶反応と呼ばれる反応が起こることが読み取れる。この包晶反応とはどのような反応か説明しなさい。

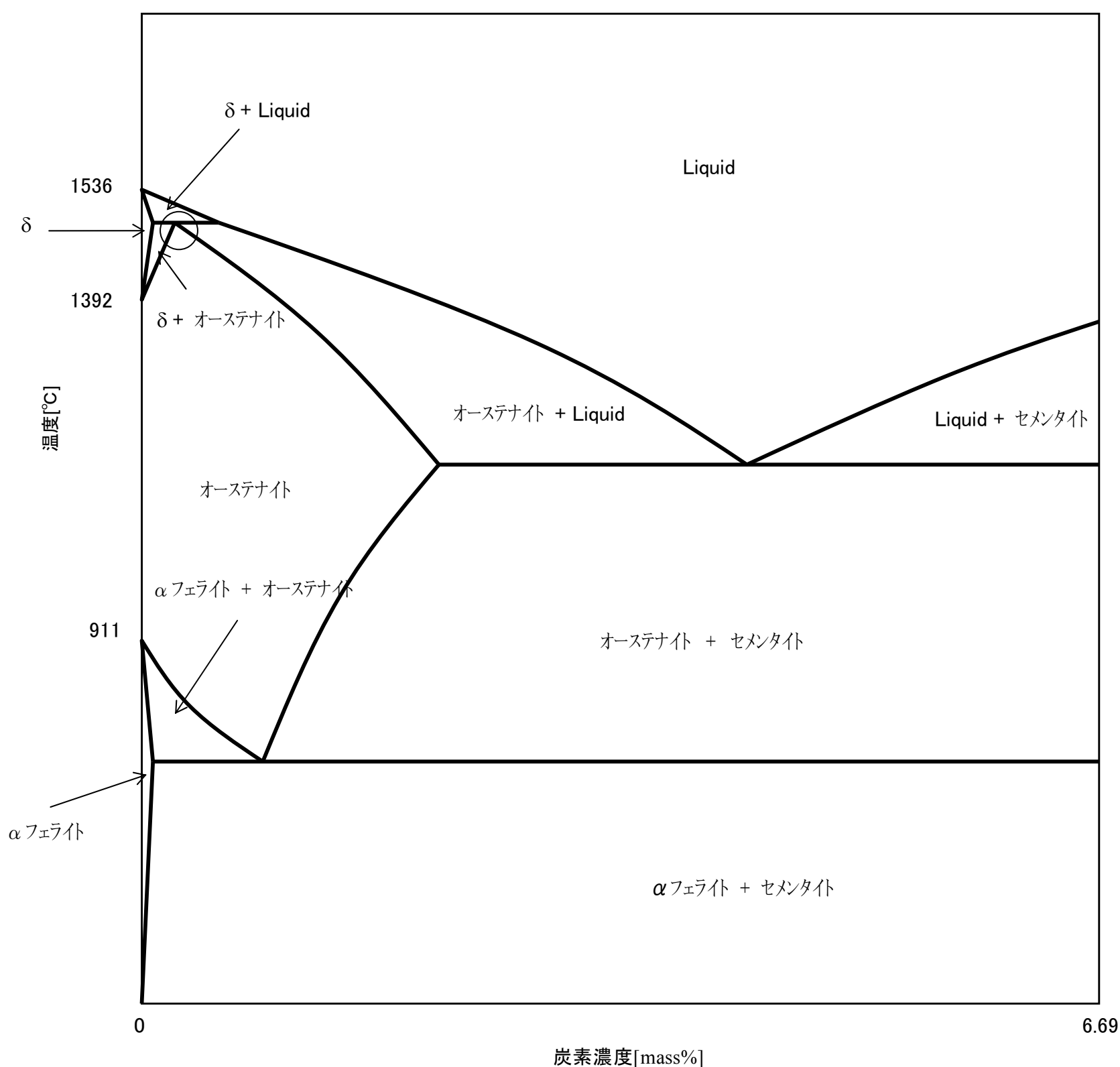


図 2-1 Fe-Fe₃C 準安定系状態図

- (4) 図 2-2 の名称である CCT 線図の「CCT」を略さずに英語で記述しなさい。
- (5) 図 2-2 に示した 5 本の冷却曲線①から⑤のうち、この鋼のマルテンサイト単相組織を得るための最小冷却速度を示す曲線はどれか、番号で答えなさい。
- (6) 図 2-2 の冷却曲線③に従って室温まで冷却した場合、この鋼はどのような組織となるか答えなさい。
- (7) (5) で解答した冷却速度よりも緩慢な冷却でマルテンサイト相単相組織とするための材料に対する金属学的な処理の一例を示しなさい。

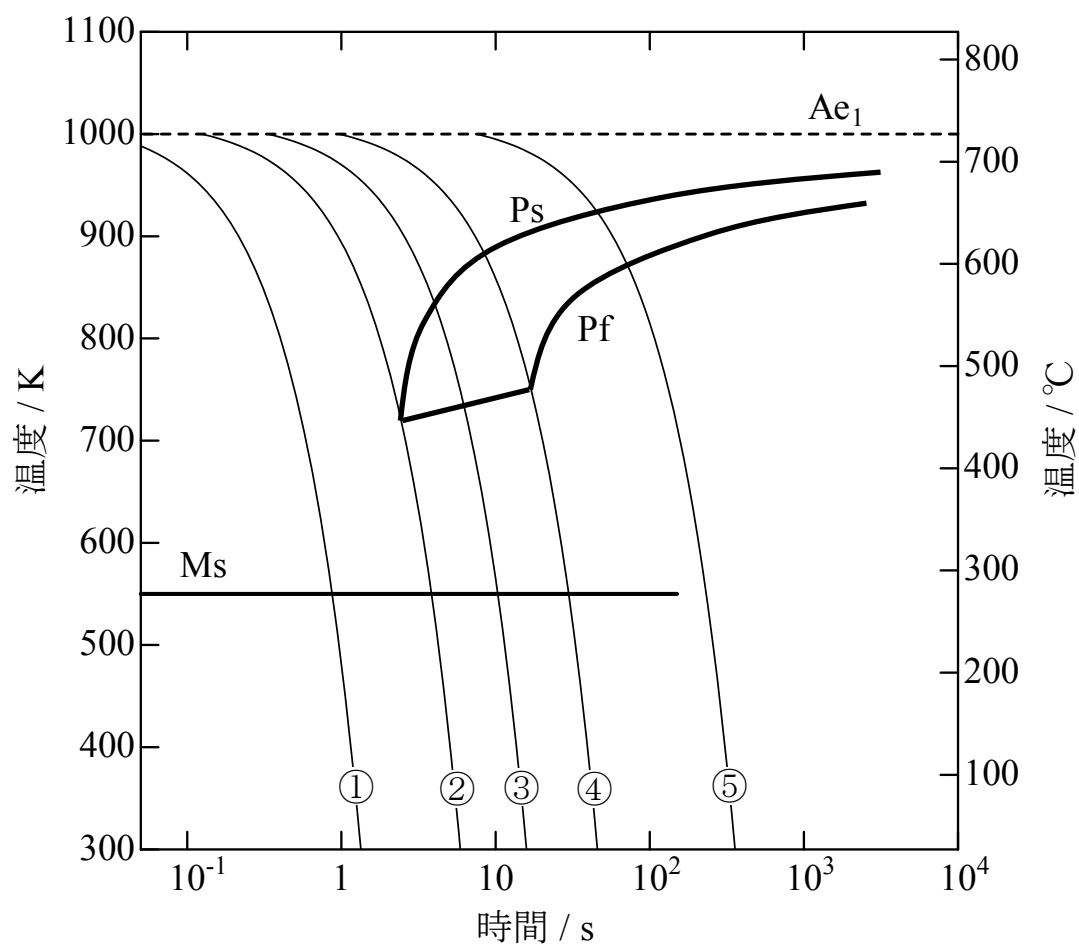


図 2-2 共析鋼の連続冷却変態線図 (CCT 線図)

(Ps: パーライト変態開始線、Pf: パーライト変態終了線、Ms: マルテンサイト変態開始線)

- (8) 図 2-3 に示された酸化物の中で温度 1100K において熱力学的に最も安定な酸化物はどれか、酸化物の化学式で答えなさい。
- (9) 1100K においてある雰囲気中で $2\text{Fe}+\text{O}_2=2\text{FeO}$ の反応が平衡している場合、その雰囲気中の酸素分圧はおおよそ① 1×10^{-17} [atm]、② 1×10^{-19} [atm]、③ 1×10^{-21} [atm]のいずれであるか、図 2-3 を参照して答えなさい。
- (10) ある温度での反応 $\text{Si}+\text{O}_2=\text{SiO}_2$ のエンタルピー ΔH° を -900 [kJ]、反応 $2\text{Cu}+\text{O}_2=2\text{CuO}$ のエンタルピー ΔH° を -300 [kJ]としたとき、同じ温度における反応 $\text{Si}+2\text{CuO}=\text{SiO}_2+2\text{Cu}$ のエンタルピー ΔH° をヘスの法則を用いて計算しなさい。

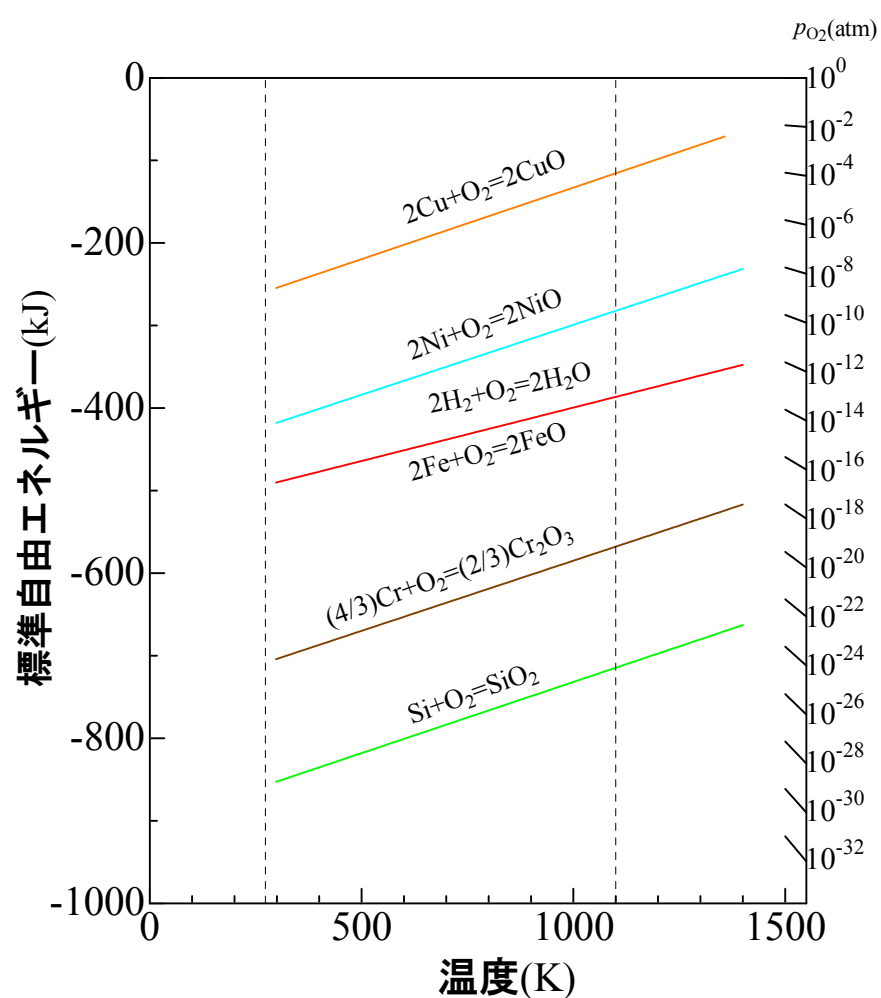


図 2-3 いくつかの元素の酸化反応の標準自由エネルギー (ΔG°) - 温度 (T) 図 (エリンガム図)

問題2 解答欄

(1)	
(2)	
(3)	
(4)	
(5)	
(6)	
(7)	
(8)	
(9)	
(10)	

問題 3 以下は、液相から固相が生じる均一核生成に関する記述である。次の文章中の(ア)から(カ)を埋めて文章を完成させなさい。
 答えは解答欄に記入しなさい。

液相が凝固点 T_m 以下の温度においても凝固しない状態を(ア)と呼ぶ。温度 T における液相と固相の単位体積あたりの自由エネルギーをそれぞれ G_L 、 G_S とすると、凝固点 T_m 以下の温度においては、 G_L は G_S より(イ)なる。したがって、凝固点 T_m 以下の温度において液相中に半径 r の球形の固相が生成したときの系の自由エネルギーの変化を ΔG_1 とすると、単位体積あたりの自由エネルギーだけに注目すると $\Delta G_1 =$ (ウ) となり、 ΔG_1 は負となる。

一方、温度 T において液相中に半径 r の球形の固相が生成した場合、液相と固相の界面には異相界面の形成に伴う自由エネルギーの増加が生じる。この自由エネルギー変化を ΔG_2 、単位面積あたりの界面エネルギーを σ とすると、 $\Delta G_2 =$ (エ) である。

したがって、温度 T において液相中に半径 r の球形の固相が生成したときの系の全自由エネルギー変化を ΔG_T とすると、 $\Delta G_T = \Delta G_1 + \Delta G_2$ であり、 ΔG_T を r の関数として表すと図 3-1 のようになり、 r^* で最大値となる。この図から r^* より小さな固相は収縮して消滅し、 r^* より大きな固相だけが核として成長することが分かる。この r^* を(オ)と呼び、 $r^* =$ (カ) と表すことができる。

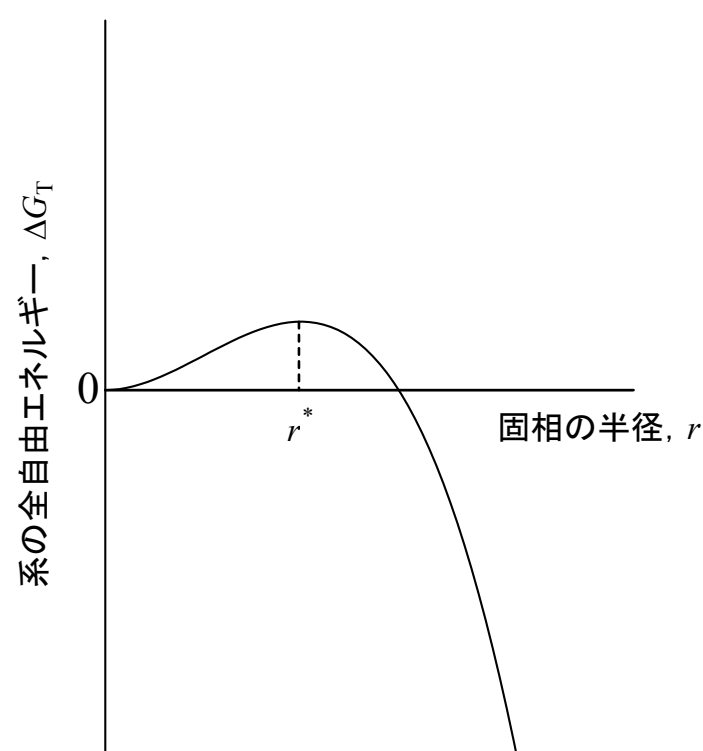


図 3-1 液相中の球形固相の半径 r と全自由エネルギー変化 ΔG_T の関係

問題 3 解答欄

(ア)	(イ)	(ウ)
(エ)	(オ)	(カ)

問題 4 金属製部材を加熱・高温状態から急速冷却させた場合の変形、あるいは残留応力に関する以下の問い(1)から(4)について、答えを解答欄に記入しなさい。なお、問い(1)から(3)に関しては、直径40mmで、高さが直径の2倍程度ある中実円柱状の部材を表面から均一に冷却したと想定して答えなさい。

- (1) 相変態の起こらない温度範囲で、あるいは相変態の起こらない金属を加熱・高温状態から室温まで急速冷却した場合、最表面に残留する周方向あるいは軸方向の応力は通常、圧縮、引張のどちらになるか答えなさい。ただし、この金属は冷却により熱収縮すると仮定して答えなさい。
- (2) 冷却により室温近傍で体積膨張する相変態をおこす金属を、加熱・高温状態から室温まで急速冷却した場合、最表面に残留する周方向あるいは軸方向の応力は通常、圧縮、引張のどちらになるか答えなさい。ただし、この金属は冷却により熱収縮するが、その収缩量は変態に伴う膨張量と比較して無視できるほど小さいと仮定して答えなさい。
- (3) 浸炭焼入れ処理された鋼の場合、最表面に残留する周方向あるいは軸方向の応力は通常、圧縮、引張のどちらであるか答えると共にその理由も説明しなさい。
- (4) 日本刀はその反った形状が特徴的ですが、この形状的特長を付与するための焼入れ時の作業要点を説明しなさい。

問題 4 解答欄

(1)	
(2)	
(3)	
(4)	

問題5 次の文章を読み、トライボロジーに関する以下の問い(1)から(3)について、答えを解答欄に記入しなさい。

「軸」と「すべり軸受け」のように組み合わせて使用した際に摩擦が生じる機械部品を設計する場合には、摩擦により発生する摩耗量を出来る限り少なくするよう設計すべきである。今回、「軸」あるいは「軸受け」の材料として鋼と銅合金を選定し、これらの材料をどのように組み合わせで「軸」および「軸受け」とすべきかを検討するために、試験片による摩擦摩耗試験を実施した。実施した摩擦摩耗試験は、回転させた円筒にピンを押し付けておこなう摩擦摩耗試験である。それぞれの材料で摩擦摩耗試験に供するピンと円筒を製作し、①鋼のピンと銅合金の円筒、②銅合金のピンと鋼の円筒、③鋼のピンと鋼の円筒、④銅合金のピンと銅合金の円筒、の計4通りの組み合わせについて、乾燥状態で試験を実施した。その結果を図5-1に示す。なお、縦軸はピンの摩耗量である。

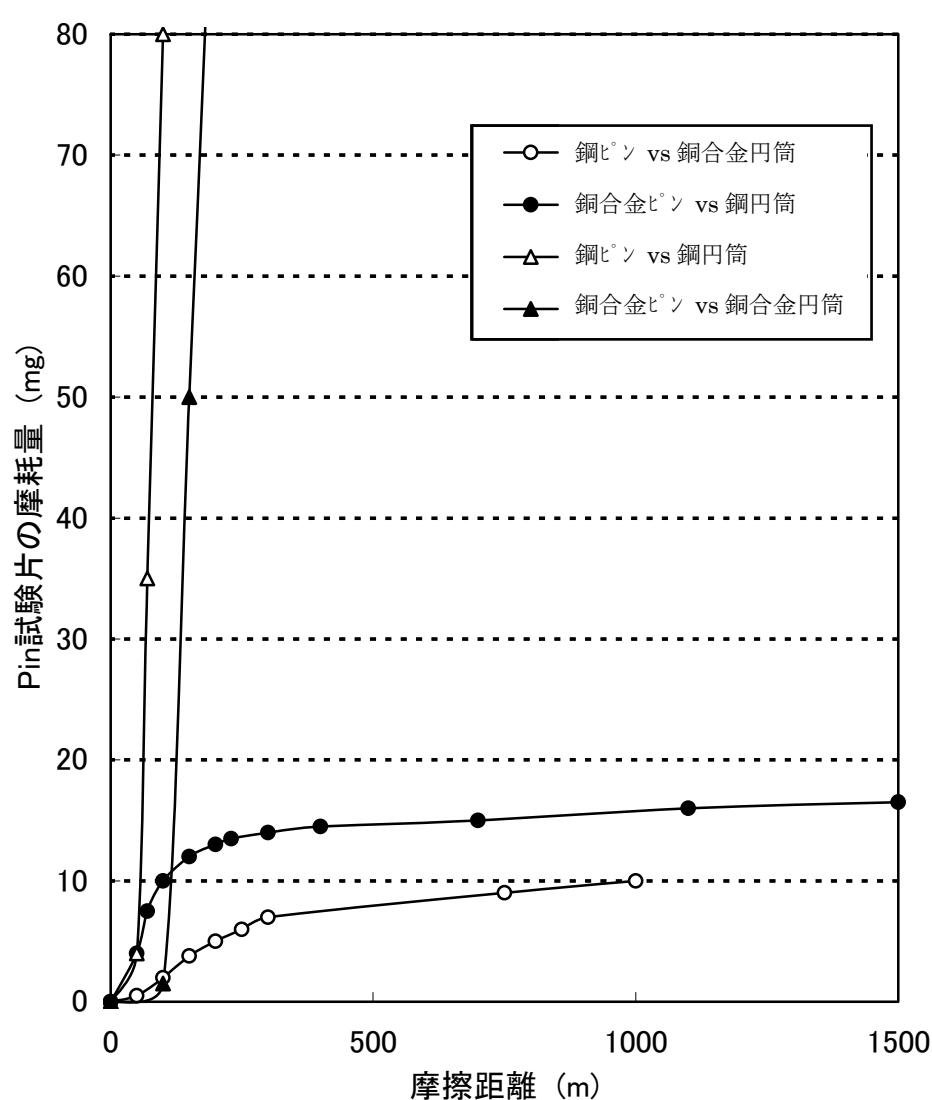


図5-1 摩擦摩耗試験結果

- (1) 上述の摩擦摩耗試験の結果を見ると、材料の組み合わせによりピンの摩耗量が大きく異なる結果となっているが、その理由について説明しなさい。
- (2) 上述の摩擦摩耗試験の結果を踏まえた場合、軸、および軸受けの材料としては鋼、銅合金をどのような組み合わせることが最良と言えるか答えなさい。
- (3) 部品材料の選定にあたって鋼が使用できないような条件、たとえば、
 - (a) 腐食環境下の場合
 - あるいは、
 - (b) 非磁性材料でなければならない場合
 それぞれどのような金属材料が候補となるか、その材料の耐摩耗性を向上させる手法とともにそれぞれ一例を答えなさい。

問題 5 解答欄

(1)	
(2)	軸 : , 軸受け :
(3)	(a) 腐食環境下で使用する場合の金属材料 : 耐摩耗性を向上させる手法 :
	(b) 非磁性材料を選択する場合の金属材料 : 耐摩耗性を向上させる手法 :

問題6 材料強度に関する以下の問い(1)から(4)について、答えを解答欄に記入しなさい。

- (1) 図6-1は金属材料の疲労試験における作用応力の時間変化を示す模式図である。図中に示した σ_a 、 σ_m の名称をそれぞれ答えなさい。
- (2) 図6-2は炭素鋼の疲労試験の結果を示す模式図である。 σ_a と破断までの荷重繰り返し数の関係を示すこの図6-2の名称、図中に示した σ_w の名称をそれぞれ答えなさい。
- (3) σ_w と σ_m との間に一般的に認められる相関関係について説明しなさい。必要ならば図を用いてもよい。
- (4) 材料強度を定量化するための力学量としては応力が広く用いられるが、き裂を含む材料については応力を用いることは適切ではない。その理由を説明するとともに、き裂を含む材料の強度を定量化するための力学量を1つ挙げなさい。

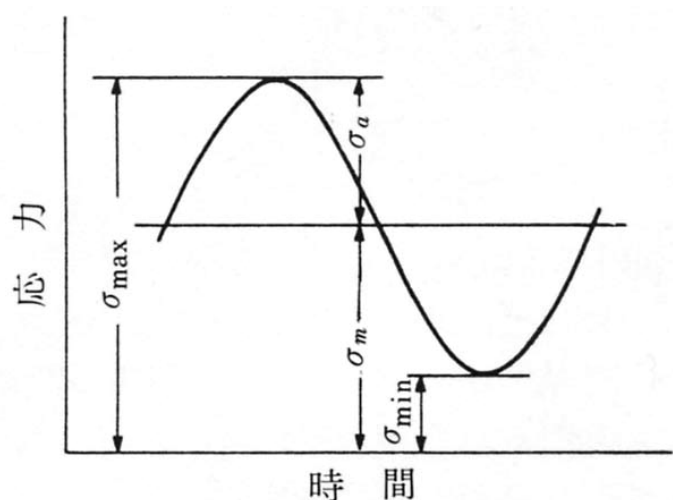


図6-1 金属材料の疲労試験における作用応力の時間変化

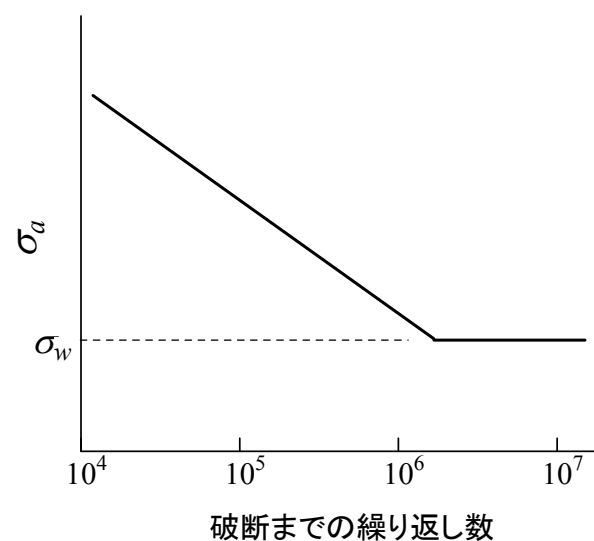


図6-2 炭素鋼疲労試験結果

問題6 解答欄

(1)	σ_a : _____ , σ_m : _____
(2)	図6-2 : _____ , σ_w : _____
(3)	
(4)	理由の説明: 力学量の名称:

問題7 以下は、アルミニウム製の飲料用缶(DI缶)の製造工程に関する記述である。文中の(ア)から(キ)を埋めて文章を完成させなさい。なお、(ア)、(エ)、(オ)、(カ)については適切な用語を、(キ)については適切な文章を、(イ)についてはミラー指数による表記を、(ウ)については少数点以下第4位を四捨五入した適切な数値を、解答欄に記入しなさい。

アルミニウム製のDI缶を製造する場合、最初にコイル材をカップ形状に絞り加工(Drawing)し、さらに側壁を数段階のしごき加工(Ironing)で引延ばして缶胴を成形します。絞り加工などのプレス成形は、材質のみならず(ア)の影響も大きく、一般的にアルミニウムのプレス成形性を向上させるためには、(イ)面の影響が大きいと言われています。

(ア)の解析手法は様々ありますが、X線回折は主要な解析法の一つです。図7-1は立方晶系のある金属粉末の回折パターンの一例です。ある原子面(hkl)の面間隔 d_{hkl} と格子定数の関係は、立方晶系の場合、次の関係になります。

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

ここで、X線の波長を0.154(18)nmとし、(200)面の 2θ 角度が44.7(37)で $\sin 22.35 = 0.380$ であるとする、この金属の格子定数 a は(ウ)であることがわかります。

しごき加工を終えた後、不要部分をカットし、その後に洗浄、塗装、乾燥などを繰り返し、最後に缶口を加工すれば底蓋と缶胴が一体となっている胴部が完成です。

一方、缶蓋部は、最近ではステイオンタブ式のものが主流です。図7-2は代表的な缶蓋部の拡大写真ですが、ステイオンタブ式には容易かつ安全に缶を開けて飲むことができるよう様々な工夫が施されています。タブを引くときは(エ)により、開口に必要な力を増大できる構造になっています。開口部が割れないのは(オ)のためです。さらに、タブによって押し込まれる部分にはスコア(切込み)による(カ)に加えて、スコア部分を(キ)、弱い力でも開口しやすい構造にしています。

以上のように製造された缶蓋部と、飲料を充填した胴部とを巻締により密閉し、飲料缶が出来上がります。

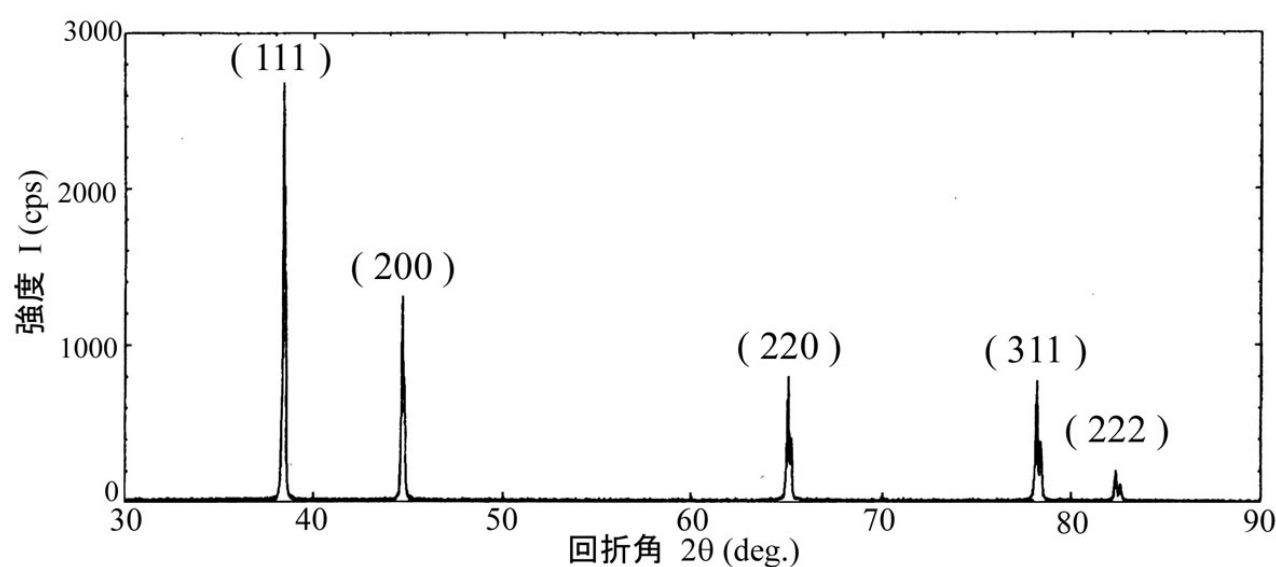


図 7-1 立方晶系のある金属粉末の回折パターンの一例



図 7-2 缶蓋部の様子

問題7 解答欄

(ア)	(イ)	(ウ)
(エ)	(オ)	(カ)
(キ)		