

令和 7 年度 4 月入学
令和 6 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 6 年 8 月 20 日 (火) 9 : 00 ~ 12 : 00

試験科目 : A 材料物理化学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 4 枚からなる。
解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落
丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあつた場合は、直ちに試験監督者に
申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 問ある。設問 1 ~ 3 から 2 問を選択し、解答は受験番号を
明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択し
た解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 枚とも提出した場合は採点の対
象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰る
こと。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用し
てよい。

下書用紙

科目記号	A (1 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

設問1 図1はあるA-B二元系合金の平衡状態図を示している。図中、Lは液相、 α 、 β 、 γ および δ はそれぞれ固溶体を表している。以下の問(1)～問(8)に答えなさい。なお、平衡状態図中の各温度では十分に拡散が生じ、相変態は平衡状態図のとおりに進行すると考える。また、圧力は一定とする。

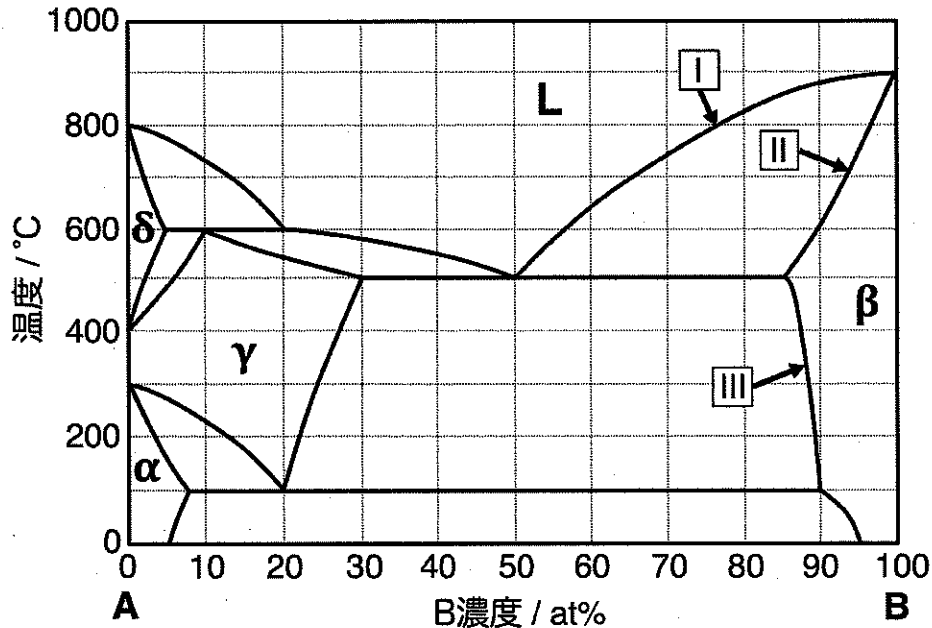


図1

問(1) この状態図中に存在する不変系反応の数およびそれぞれの名称を答えなさい。ただし、純金属は考慮しない。

問(2) 問(1)で解答した不変系反応以外の分解型不変系反応および加成型不変系反応の名称をそれぞれ1つ答えなさい。また、それらの不変系反応の反応式を、以下の例にならって示しなさい。

例: 液相 L $\rightarrow$ 固相 α + 固相 β

問(3) 状態図中に示された I 線～III 線の名称を答えなさい。

問(4) 1000°Cの a) A-10at%B, b) A-25at%B および c) A-60at%B 合金をゆっくりと冷却して0°Cとした。それぞれの冷却過程において生じる相変態について、以下の例にならって答えなさい。なお、不変系反応では、反応温度の直上、直下および反応温度における構成相をそれぞれ記載しなさい。

例: L $\rightarrow$ L + δ $\rightarrow$ δ + ϵ + θ $\rightarrow$ ϵ + θ

(次頁に続く)

令和 7 年度 4 月入学 令和 6 年度 10 月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A (1 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

(前頁より続き)

問(5) 問(4)の a)で解答した冷却過程について, 金属組織の変化の様子を模式的に描きなさい。模式図中には, それぞれの相の名称を明確に記載しなさい。なお, 三相平衡時の組織は描かなくてよい。また, 0℃において得られた相の組成および存在割合(at%基準)を答えなさい。

問(6) 0℃において初析 β 相と, α 相および β 相のラメラ組織からなる合金を得るためには, どのような組成範囲をもつ合金を 1000℃から冷却すればよいか, 答えなさい。

問(7) この状態図には自由度が 2 と 1 の領域が複数存在する。いずれの自由度の領域においても, 相の数を変えることなく温度を変化できる。この際, 相の組成はどうなるか, 3~4 行程度で説明しなさい。ただし, 純金属は考慮しない。

問(8) 固溶体合金と金属間化合物の違いについて, 3~4 行程度で説明しなさい。

科目記号	A (2/3)	試験科目	材料物理化学
------	---------	------	--------

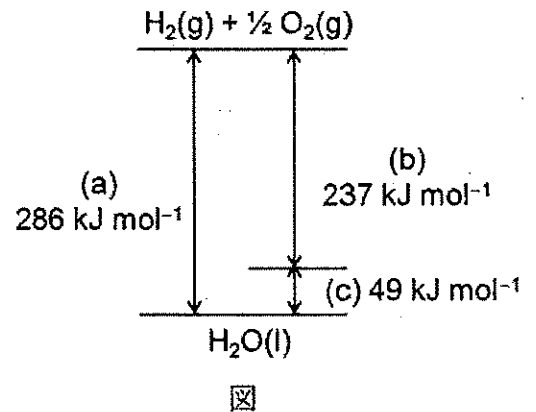
設問2 燃料電池に関する以下の文章を読み、問(1)～問(7)に答えなさい。また、必要であれば次の数値を用いなさい。ファラデー定数: $9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$

燃料電池とは外部から燃料と酸化剤を供給し、① 反応より得られる ② 変化を ③ エネルギーに換えるデバイスである。その燃料電池には、水素ガスと酸素ガスから水を生成する反応が用いられる場合がある。⑧この反応で放出されるエネルギー、つまり ④ は、② と ⑤ に分けられる。この反応による ② の減少分を ③ エネルギーとして外部に取り出すことができる。結果として、⑨水素の持つ ① エネルギーを ③ エネルギーに直接変換することができ、その際に CO_2 を出さないため持続可能社会で用いられる発電システムとして期待されている。今回用いる燃料電池では電解質に水酸化カリウム水溶液が用いられているとする。この電池の負極では ⑥ の酸化反応、正極では、⑦ の還元反応が生じる。

問(1) 上の文中にある ① ～ ⑦ に入る適切な語句を記しなさい。

問(2) 正極と負極で起こる反応を半反応式で書きなさい。

問(3) 下線⑧に関して、右図に 25°C での水の生成反応におけるエネルギー変化を示した。それぞれ(a)～(c)が ② , ④ , ⑤ のいずれに当たるか答えなさい。



問(4) 問(3)をもとに、水素ガスを燃料とする燃料電池の理論効率を有効数字3桁で求めなさい。

問(5) 水素ガスを燃料として用いる燃料電池の理論起電力を有効数字3桁で求めなさい。

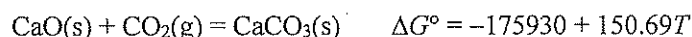
問(6) 下線⑨に関して、水素ガスを燃料として用いる燃料電池を 0.750 V で1時間放電したときに 90 g の水が発生した。このときのエネルギー変換効率を有効数字3桁で求めなさい。ここでは水素の分子量を2、酸素の分子量を32とする。

問(7) 実際の燃料電池ではなぜ理論起電力が得られないのか。その理由について、1～2行程度で答えなさい。

科目記号	A (3 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

設問3 Ca の化合物およびイオン溶液の定圧下での化学反応について、以下の問(1)～問(3)に答えなさい。必要ならば以下のデータを用いなさい。

気体定数: $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, 反応式とガス 1 mol あたりの標準自由エネルギー変化 $\Delta G^\circ (\text{J mol}^{-1})$ が以下で与えられる。式中の T は熱力学温度である。



問(1) CaCO_3 を CO_2 分圧 10^{-2} atm の雰囲気中で加熱した場合、分解が起こる最低温度を求めなさい。

問(2) 固体および液体 Ca の酸化反応に関する標準自由エネルギー変化 ΔG° の関係式を利用して 1 atm における Ca の融点、融解熱および融解のエントロピー変化を求めなさい。

問(3) 図1の MN 線は Ca^{2+} イオンの加水分解平衡を表している。図中縦軸の a は Henry の法則に基準をおいた Ca^{2+} イオンの活量である。温度が 298 K のとき、M 点の pH は 11.3 である。(A)～(B)に答えなさい。なお、反応式は以下ようになる。



(A) 上記反応の 298 K における標準自由エネルギー変化を求めなさい。

(B) 298 K において、 Ca^{2+} イオンを水酸化物の沈殿として除去したい。 Ca^{2+} イオンの活量が 10^{-4} の場合、pH をどのような値にすればよいかを理由とともに述べなさい。

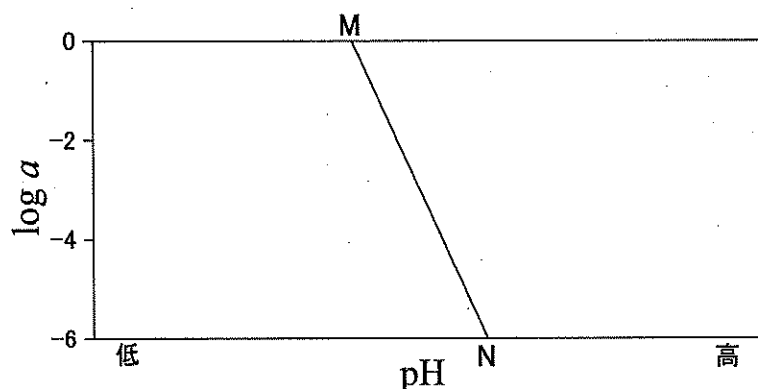


図1 Ca^{2+} の加水分解平衡模式図

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和 7 年度 4 月入学

令和 6 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 6 年 8 月 20 日 (火) 9 : 00 ~ 12 : 00

試験科目 : B 材料物性学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 3 枚からなる。
解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落
丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に
申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 問ある。設問 1 ~ 3 から 2 問を選択し、解答は受験番号を
明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択し
た解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 枚とも提出した場合は採点の対
象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰る
こと。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用し
てよい。

下書用紙

科目記号	B (1 / 3)	試験科目	材料物性学
------	-----------	------	-------

設問1 孤立した原子について考える。下記の文章を読み、以下の問(1)～問(6)に答えなさい。

原子核によるクーロンポテンシャルなどの中心力ポテンシャル中の電子の波動関数は、(あ) 量子数 n (n は自然数), (い) 量子数 l ($l \leq n-1$, l は0または自然数), (う) 量子数 m ($|m| \leq l$, m は整数), スピン量子数 m_s ($m_s = \pm 1/2$) という4つの量子数を持つ。例えば, 1s 軌道は $n=1, l=0, m=0$ という量子数を有する電子軌道である。原子が持つ電子が1個の場合, スピン軌道相互作用を無視すれば, 電子の固有エネルギーは (あ) 量子数のみに依存する。一方, 原子が複数の電子を持つ場合には, 電子の固有エネルギーは (い) 量子数にも依存する。基底状態にある原子の電子配置では, マーデルングの規則, (え) の規則, および (お) の排他原理に従って固有エネルギーの低い電子軌道から順に電子が収容される。

問(1) 文章中の (あ) ～ (お) に入る言葉を答えなさい。

問(2) 複数の電子を有する原子の場合, 電子の固有エネルギーが (い) 量子数にも依存する理由を簡潔に答えなさい。

問(3) (え) の規則および (お) の排他原理をそれぞれ簡潔に説明しなさい。

問(4) 2p 軌道と 3d 軌道の n と l をそれぞれ答えなさい。

問(5) 3s 軌道, 3p 軌道, 3d 軌道にはそれぞれ何個の異なる軌道が存在するか答えなさい。また, 各軌道に収容される電子の最大数をそれぞれ答えなさい。

問(6) 基底状態にあるナトリウム原子, 鉄原子, および銅原子について, 電子配置をそれぞれ答えなさい。また, これらの原子についてアップスピンを持つ電子数とダウンスピンを持つ電子数の差をそれぞれ答えなさい。ここで, ナトリウム, 鉄, 銅の原子番号はそれぞれ 11, 26, 29 である。なお, 1s 軌道を2個, 2s 軌道を1個の電子が占有しているリチウム原子の電子配置は $1s^2 2s^1$ のように記述する。

科目記号	B (2 / 3)	試験科目	材料物性学
------	-----------	------	-------

設問2 固体の比熱に関する以下の文章を読み、問(1)～問(4)に答えなさい。

固体の比熱は極低温で〔あ〕に近づく。古典論ではこの現象を説明できないため、〔い〕は比熱の扱いに量子論を導入し、独立した個々の原子の振動が固体の定積モル比熱の原因であると考えこの現象を説明した。〔い〕の理論では、「〔う〕の振動数がどの原子についても等しく、各エネルギー準位の〔う〕の個数の分布が〔え〕に従う」と仮定している。更にデバイは連成振動を考慮することで、低温で比熱が〔お〕に比例し〔あ〕に近づくことを説明した。

問(1) 〔あ〕～〔お〕に入る適切な語句または数字を答えなさい。

問(2) デュロン・プティの経験則によれば、室温付近での固体の定積モル比熱はほぼ一定値となる。この経験則を反映した固体の定積モル比熱の温度依存性を0 Kから室温まで図示しなさい。

問(3) N 個の原子からなる「体積 V の立方体の結晶」を考える。これら原子が互いにばねで結ばれていて熱振動しているような場合、フォノンの状態密度 $D(\omega)$ は以下で与えられる。ただし、 ω は角振動数、結晶中の縦波と横波の速さは v_l , v_t とする。

$$D(\omega) = \frac{V\omega^2}{2\pi} \left(\frac{1}{v_l^3} + \frac{2}{v_t^3} \right) \equiv A\omega^2$$

フォノンはこの系の自由度と同じ $3N$ 個の状態を取りうる。この考えを基に、デバイの角振動数 ω_D を導出しなさい。なお、 $A \equiv \frac{V}{2\pi} \left(\frac{1}{v_l^3} + \frac{2}{v_t^3} \right)$ とする。

問(4) 問(3)と同様の系を考える。内部エネルギー U が以下で与えられる。

$$U = \int_0^{\omega_D} \frac{\hbar\omega}{e^{\hbar\omega/k_B T} - 1} \frac{9N_0\omega^2}{\omega_D^3} d\omega$$

定積モル比熱 $C_{V\text{モル}}$ を、デバイ特性温度 Θ_D を用いて表しなさい。ただし、 $\Theta_D = \hbar\omega_D/k_B$, $\hbar$: 換算プランク定数, k_B : ボルツマン定数, T : 絶対温度, N_0 : アボガドロ数とする。必要に応じて記号を定義して用いてもよい。

科目記号	B (3 / 3)	試験科目	材料物性学
------	-----------	------	-------

設問3 立方晶系の金属材料に関する以下の問(1)～問(5)に答えなさい。

問(1) 図1は単純立方晶の座標を表している。面①のミラー指数を求めなさい。

問(2) 図1中の面①とX-Y平面、および面①とY-Z平面との間のなす角をそれぞれ求めなさい。

問(3) 方向ベクトル $[324]$ と $[532]$ とでつくる平行四辺形の面積 S を求めなさい。また、この面と面 (021) のなす角の余弦を求めなさい。

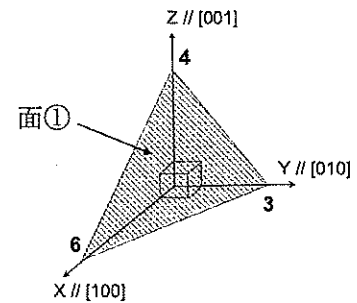


図1 単純立方晶系座標中の面①

問(4) 温度 T における α -Fe中の熱平衡空孔濃度 C は、エントロピー項 A 、空孔形成エネルギー E_F 、ボルツマン定数 k を用いて、 $C = A \exp(-E_F / kT)$ で表される。 α -Fe中の 400°C における空孔濃度を C_{400} とすると、空孔濃度が C_{400} の2000倍になるときの温度 T' を求めなさい。ただし、 α -Fe中における空孔の形成エネルギーを $E_F = 1.5 \text{ eV}$ 、ボルツマン定数を $k = 8.6 \times 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$ とする。

問(5) NiとCuの理想的な拡散対をある温度で保持した。このとき、拡散対の接合界面はNi側へ移動し、移動後の接合界面におけるNiの原子分率 N_{Ni} は0.25となった。続いてこの拡散対を700時間保持すると、この界面はさらに4.0 mm移動し、界面における濃度勾配は $\partial N_{\text{Ni}} / \partial x = 1.2 \text{ cm}^{-1}$ となった。NiとCuの相互拡散係数が $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ であるとして、NiとCuそれぞれの固有(真正)拡散係数 D_{Ni} および D_{Cu} を求めなさい。ここで、 x は接合界面に垂直方向の距離を表す。また、Ni-Cu合金のモル体積は組成によらず一定とする。

令和 7 年度 4 月入学 令和 6 年度 10 月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和 7 年度 4 月入学 令和 6 年度 10 月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和 7 年度 4 月入学

令和 6 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 6 年 8 月 20 日 (火) 13 : 00 ~ 16 : 00

試験科目 : C 材料プロセス工学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 3 枚からなる。
解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 問ある。設問 1 ~ 3 から 2 問を選択し、解答は受験番号を明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択した解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 枚とも提出した場合は採点の対象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰ること。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用し
てよい。

下書用紙

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (1 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

設問1 伝熱に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 伝熱に関する以下の文章を読み、文中の (あ) ～ (き) に入るべき適切な語句、単位を答えなさい。

伝熱の機構は伝導、対流、(あ) の三つに分類される。熱流束は単位時間、単位断面積当たりの伝熱量であり、伝導の場合、(い) の法則で表される。これは熱流束が熱伝導率と(う) の積に比例することを表している。従って、温度分布が同一の場合には熱伝導率が(え) 物質ほど、伝導による熱流束が増加する。一方、固体と流体との界面における熱流束は(お) の法則で表される。この法則によると、熱流束は(か) に比例し、比例係数は熱伝達率と呼ばれる。熱伝達率の単位をSI表示すると(き) である。

問(2) 半径 R 、比熱 C_p 、密度 ρ の球が、温度が常に T_0 の流体内に置かれている。初期状態で球の温度は周囲流体と同一であったが、時刻 $t = 0$ 以降、球は単位体積当たりの発熱速度 Q により自発的に昇温し、最終的にある一定温度に到達した。このとき、以下の(A)～(B)に答えなさい。

(A) 球に対して、発熱、周囲流体への放熱、昇温に使われる熱エネルギーを含む、熱収支式を導出しなさい。ただし、球の温度は均一であり、球と周囲流体との熱伝達率を h 、任意の時刻 t における温度を T とする。

(B) 比熱、密度、熱伝達率、単位体積当たりの発熱速度が一定であるとき、球の到達温度をできるだけ高温にするためには、球の半径をどのようにしたらよいのか、その理由とともに述べなさい。

科目記号	C (2 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

設問2 水素製造のため、開放容器(1 atm)を用いて硫酸水溶液を電解質とした水電解について考える。この電解について以下の問(1)～問(3)に答えなさい。なお数値は有効数字 2 桁で答え、必要ならば以下の数値を用いなさい。気体定数: $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, ファラデー定数: $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$, 標準化学ポテンシャル: $\mu_0(\text{Pt}^{2+}) = 230 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{Cu}^{2+}) = 65.5 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{Fe}^{2+}) = -78.9 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{OH}^-) = -157 \text{ kJ mol}^{-1}$, $\mu_0(\text{H}_2\text{O}) = -237 \text{ kJ mol}^{-1}$, 水素イオン指数: $\text{pH} = 3.0$, 温度: $T = 298 \text{ K}$

問(1) 電極に白金を用いた場合、次の(A)～(C)に答えなさい。

(A) アノードとカソードの半反応式を書きなさい。

(B) 電解に必要なカソード電位を求めなさい。

(C) 容器を密閉し高圧水素ガスを製造した。水素ガス分圧が 100 atm の場合、電解に必要なカソード電位を求めなさい。

問(2) 開放容器で電極に銅を用いた場合、次の(A)～(C)に答えなさい。なお、電解質中の銅イオンは無視できるとする。

(A) アノードとカソードの半反応式を書きなさい。

(B) 電解に必要な理論電圧を求めなさい。

(C) 実際は(B)で求めた理論電圧を印加しても、電流は流れない。その理由を説明しなさい。

問(3) 開放容器で鉄と白金を用いた電極を短絡(接続)させ、浸漬することで水素ガスを得ることができた。次の(A)～(B)に答えなさい。なお、電解質中の鉄イオンは無視できるとする。

(A) どちらの金属から水素ガスが発生したか答えなさい。

(B) 外部電源を必要としない理由を、標準化学ポテンシャルの観点から説明しなさい。

科目記号	C (3 / 3)	試験科目	材料プロセス工学
------	-----------	------	----------

設問3 硫化鉄のばい焼に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。必要に応じて以下の熱力学データ①～⑦を使用すること($K_1 \sim K_7$: 温度 953 K における各反応の平衡定数)。ただし, FeO(s) の活量は 0.93, それ以外の固体の活量は 1, 気体定数 R は $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

- | | |
|---|---------------------|
| ① $2\text{Fe(s)} + \text{S}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{FeS(s)}$ | $\log K_1 = 11.055$ |
| ② $2\text{Fe(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{FeO(s)}$ | $\log K_2 = 22.162$ |
| ③ $6\text{FeO(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$ | $\log K_3 = 21.934$ |
| ④ $2\text{FeS(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{FeO(s)} + \text{S}_2(\text{g})$ | $\log K_4 = 11.106$ |
| ⑤ $6\text{FeS(s)} + 4\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + 3\text{S}_2(\text{g})$ | $\log K_5 = 55.252$ |
| ⑥ $4\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ | $\log K_6 = 10.934$ |
| ⑦ $\text{S}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{SO}_2(\text{g})$ | $\log K_7 = 32.044$ |

問(1) 代表的な鉱石予備処理法として乾燥, か焼, ばい焼がある。それぞれについて 1 行程度で説明しなさい。

問(2) 953 K における硫化鉄の酸化ばい焼に関する諸反応の化学平衡を計算し, Fe-O-S 系ポテンシャル図を作成したところ, 図 1 を得た。以下の(A)～(C)に答えなさい。

(A) 各物質の安定存在領域を示す図中 a～e に当てはまる物質の化学式を答えなさい。

(B) 図 1 において, 各物質間の平衡を示すそれぞれの直線の交点 A, B における $\log P_{\text{S}_2}$ および $\log P_{\text{O}_2}$ の値を答えなさい。ただし, 計算過程を示すこと。

(C) 953 K で保持された炉内の P_{SO_2} が 0.1 atm 一定の条件で硫化鉄を酸化ばい焼したとき, 段階的にどの物質に変化するかを答えなさい。

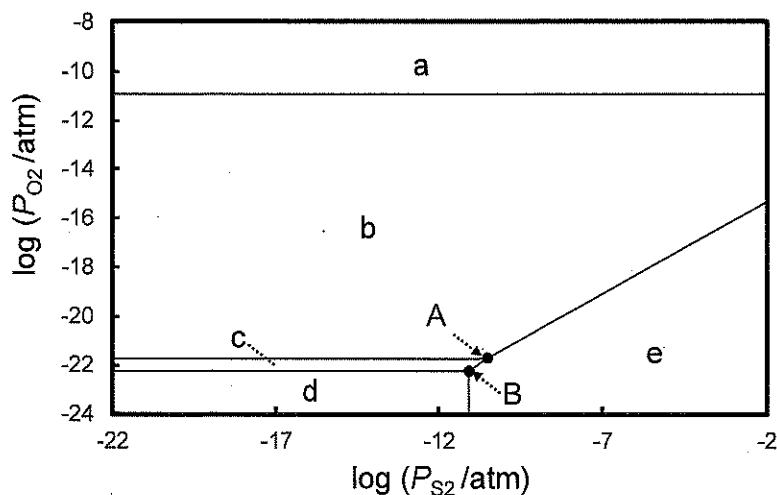


図 1

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和 7 年度 4 月入学 令和 6 年度 10 月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和 7 年度 4 月入学
令和 6 年度 10 月入学

北海道大学大学院工学院

修士課程

材料科学専攻 入学試験問題

令和 6 年 8 月 20 日 (火) 13 : 00 ~ 16 : 00

試験科目 : D 材料組織学

解答上の注意

- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙 1 枚、下書用紙 1 枚、問題用紙 3 枚からなる。
解答用紙は 3 枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落
丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に
申し出なさい。試験開始後に、解答用紙を冊子から外しなさい。
- 3) 設問は 3 問ある。設問 1 ~ 3 から 2 問を選択し、解答は受験番号を
明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。選択し
た解答用紙 2 枚を提出しなさい。3 枚とも提出した場合は採点の対
象としない。選択しない解答用紙、下書用紙、問題用紙は持ち帰る
こと。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用し
てよい。

下書用紙

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (1 / 3)	試験科目	材料組織学
------	-----------	------	-------

設問1 異なる結晶粒径を有する多結晶純金属板材の様々な温度における力学特性に関する以下の問(1)～問(4)に答えなさい。

問(1) あらかじめ焼鈍(焼きなまし)された平均結晶粒径(直径) d_M の板材から, 板材のまま結晶粒を粗大化させて d_M よりも大きい d_L にする方法と, 微細化させて d_M よりも小さい d_S にする方法についてそれぞれ説明しなさい。

問(2) 問(1)の方法で作製した異なる平均結晶粒径(d_S, d_M, d_L)を有する3つの試料に対して, 常温で引張試験を実施した結果, それぞれ降伏応力が $\sigma_S, \sigma_M, \sigma_L$ になった。これらの試料の降伏応力の大小関係を示しなさい。ただし, 試料の試験前の転位密度は同等とする。

問(3) 下記の文章を読み, 文中の(あ)～(お)に入る適切な語句または式を答えなさい。ただし, (お)については, 導出過程も示しなさい。

結晶粒径(直径)と降伏応力の関係は, (あ)として知られており, 実験的に低炭素鋼で確認された後, 他の立方晶系金属や規則合金にも成り立つことがわかっている。この(あ)の理論的説明の一つとして転位の堆積モデルがある。結晶粒に外部せん断応力 τ が加えられるとき, 結晶粒の中心に(い)がある場合, 結晶粒界近傍では, 転位の堆積が起こる。 n 個の転位が堆積すると先頭転位には(う)の力が作用することになる。(い)から粒界までの距離を L , 剛性率を G , バーガスベクトルの大きさを b , 転位の種類に依存する定数を k とすると, n は

$$n = \frac{k\pi\tau L}{Gb}$$

と表される。ここで結晶粒の直径 d と L の関係は,

$$L \approx \text{(え)}$$

である。隣接する結晶粒の(い)を活動させることができる臨界の応力 τ_c が, 先頭転位にかかる力と等しくなると考えると

$$\tau_c = \text{(う)}$$

となる。これら3式より, n と L を消去すると

$$\tau \approx \text{(お)}$$

の関係が得られる。このように全ての結晶粒内に増殖可能な(い)が存在すると, 巨視的な降伏すなわち, 試料全体の塑性変形が可能となる。したがって, d の大きさによってその応力が変わることから, (あ)を説明することができる。

問(4) 問(1)の方法で作製した異なる平均結晶粒径(d_S, d_M, d_L)を有する3つの試料を用いて, 常温から融点の半分の温度まで, 様々な温度で引張試験を行った。各試料の降伏応力の温度依存性を, 縦軸に降伏応力, 横軸に温度をとった模式図で示しなさい。また, 図示した温度依存性が発現する理由を答えなさい。なお, 引張試験中に結晶粒径は変化しないものとする。

科目記号	D (2 / 3)	試験科目	材料組織学
------	-----------	------	-------

設問2 炭素鋼の熱処理に関する以下の問(1)～問(7)に答えなさい。

問(1) 図1は共析鋼のTTT (Time-Temperature-Transformation) 線図である。ここで、図中の P_s はパーライト変態開始線, P_f はパーライト変態終了線を表す。図中の B_s の線が何を表すのかを答えなさい。

問(2) 高温で平衡状態にあるオーステナイトを 600°C まで急冷して等温保持した。そのときのパーライト組織の体積割合 X の時間変化を図示しなさい。その際、潜伏期と変態終了時間が何秒(s)であるかを図1から読み取って明記すること。

問(3) 問(2)における X の時間変化は、Avramiの式で表される。Avramiの式を示しなさい。なお、必要な記号は定義して用いること。

問(4) 図1のTTT線図において、 550°C 付近のnoseが現れる理由を数行程度で説明しなさい。

問(5) 図1の M_s 温度以下になると生じる無拡散変態の名称を答えなさい。

問(6) 問(5)の無拡散変態では母相と生成相の間に結晶方位関係が成立する。その代表例であるKurdjumov-Sachs (K-S) の関係とはどのような関係か、方位指数と面指数を用いて答えなさい。

問(7) 問(5)の無拡散変態で生じた組織は一般に硬くて脆いため、 A_1 点以下の温度に加熱して組織と性質を調整する処理を施すことがある。その処理の名称を答えなさい。

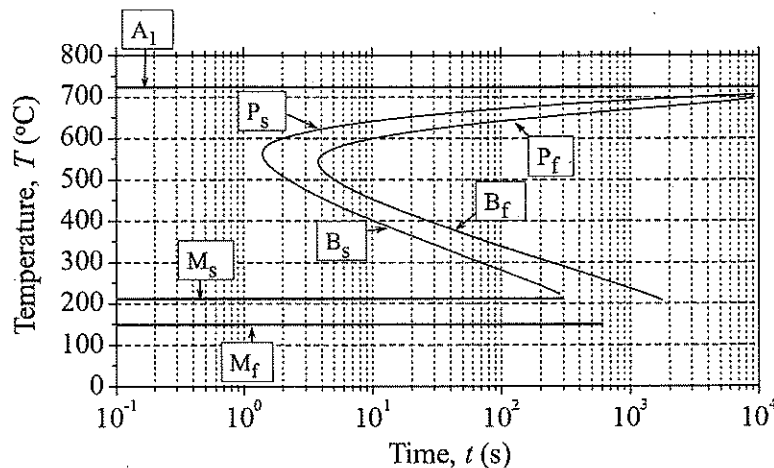


図1 共析鋼のTTT線図

科目記号	D (3 / 3)	試験科目	材料組織学
------	-----------	------	-------

設問3 金属の加工法に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 金属材料の圧縮応力による加工法について、圧延以外の加工法を2つ答えなさい。また、それぞれの加工法の目的を簡潔に説明しなさい。

問(2) 圧延に関する下記の文章を読んで以下の(A)～(C)に答えなさい。

半径 R の圧延ロールと被圧延材が接触している面を図1のように横から見たとき、接触している弧の長さ ab を (あ)、投影した長さ L を (い)、 α を (う) 角と呼ぶ。圧延が行われている状態では、(あ)内に (え) と呼ばれる c 点が存在する。(え) よりも入口側は (お) 域、出口側は (か) 域と呼ばれる。材料が圧延されている際の (お) および (か) 域における材料速度をそれぞれ v_1 , v_2 、圧延ロールの周速を v_R とすると、 v_1 (き) v_2 , v_1 (く) v_R , v_2 (け) v_R の関係がある。その結果、ロールから材料には、(え) に向かう方向の摩擦応力が作用する。この摩擦応力のために、圧延加工でも材料内部には鍛造の場合と類似した変形領域が生じる⁽¹⁾ことにより、板厚中心部のポロシティ(空隙)等の casting defects を圧着させることができる。

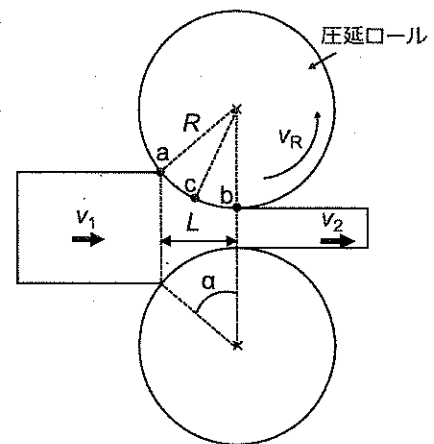


図1

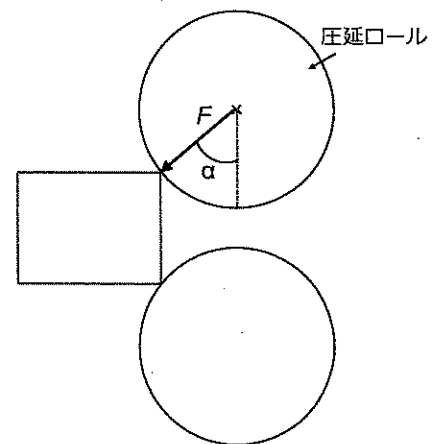


図2

(A) 文章中の (あ)～(か) に入る適切な語句を、(き)～(け) に入る等号あるいは不等号を答えなさい。

(B) 圧延開始の際にロールから材料に作用する力の大きさを F 、摩擦係数を μ としたとき、材料が圧延機に噛み込まれるための条件を、図2を参考にして求めなさい。

(C) 下線(1)に関して、被圧延材がロールと接触している領域における材料内部の変形領域図を模式的に描きなさい。

令和 7 年度 4 月入学 令和 6 年度 10 月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和 7 年度 4 月入学 令和 6 年度 10 月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	

令和7年度4月入学 令和6年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号		受験番号	
		評点	