

令和4年度4月入学

令和3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3年8月24日(火) 9:00~12:00

試験科目：A 材料物理化学

解答上の注意

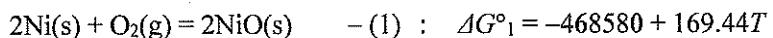
- 1) 試験監督者の指示があるまで本問題冊子を開いてはならない。
- 2) 本問題冊子は、表紙1枚、下書用紙1枚、問題用紙4枚からなる。解答用紙は3枚である。試験開始の合図の後、枚数を確認し、落丁、乱丁、印刷の不鮮明などがあった場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。
- 3) 設問は3問ある。設問1~3から2問を選択し、解答は受験番号を明記した上で、設問ごとに所定の解答用紙に記入すること。3問とも選択した場合は採点の対象としない。
- 4) 解答用紙が不足する場合は、続き具合を明示した上で裏面を使用してよい。

下書用紙

令和4年度4月入学 令和3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
------	-----------	------	--------

設問1 標準大気圧下でのニッケルの融解および酸化還元反応について、以下の問(1)～問(3)に答えなさい。ここで、固体ニッケル(Ni(s))および液体ニッケル(Ni(l))の酸化反応の反応式と酸素(O₂(g))1 mol当たりの標準自由エネルギー変化ΔG°(J mol⁻¹)は以下のように与えられる。式中のTは熱力学的温度である。ニッケルおよび酸化ニッケルはいずれも純物質と見なせるものとする。また、気体定数Rは8.31446 J K⁻¹ mol⁻¹である。



問(1) 上記のデータをもとにして、ニッケルの融点T_fを有効数字4桁、また融解熱ΔH°_fおよび融解エントロピーΔS°_fをそれぞれ有効数字3桁で答えなさい。単位も併せて記すこと。なお、融解熱および融解エントロピーの温度依存性は無視できるものとする。

問(2) 温度1600 Kにおいてニッケルと酸化ニッケルが平衡するときの酸素分圧P_{O2}(atm)を有効数字3桁で答えなさい。

問(3) 雰囲気ガスとして一酸化炭素と二酸化炭素の混合ガスを用い、温度1600 Kで酸化ニッケルからニッケルを生成させたい。一酸化炭素の分圧P_{CO}(atm)が満たすべき条件を答えなさい。必要があれば以下のデータおよび問(1)～問(2)の結果を用いても良い。



令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問2 金属の凝固における核生成に関する下記の文章を読み、問(1)～問(6)に答えなさい。

液相から半径 r の球の固相が晶出する均一核生成を考える。液相が固相に変態したことに伴う単位体積あたりの自由エネルギー変化を $\Delta G_v (< 0)$ 、液相と固相の界面における単位面積あたりの界面エネルギーを θ としたとき、半径 r の球の核が生成したことに伴う系全体の自由エネルギー変化 ΔG は、

$$\Delta G = \boxed{\text{(あ)}} \Delta G_v + \boxed{\text{(い)}} \theta \quad (1)$$

と表される。ここで、 ΔG_v は負の値であるため、(1)式の右辺第1項は ΔG の減少に寄与するのに対し、第2項は ΔG の増大に寄与する。 ΔG には極大値が存在し①、 ΔG が極大値となる核の半径は

(力) (r^*) とよばれ、(1)式を用いることによって以下のように表される。

$$r^* = \boxed{\text{(う)}} \quad (2)$$

得られた r^* を(1)式に代入すると、 ΔG の極大値 (ΔG^*) は以下のように表される。

$$\Delta G^* = \boxed{\text{(え)}} \quad (3)$$

(3)式により得られた ΔG^* は、核生成の活性化エネルギーに相当する。金属の凝固過程においては、過冷度が大きくなると r^* は (A) なる。すなわち、過冷度が大きくなると核生成は (B) なる。

問(1) 上の文章中の (あ) ～ (え) に入る数式を答えなさい。

問(2) (1)式により表される ΔG の曲線の概略図を解答用紙に描きなさい。概略図の作成にあたっては、縦軸を ΔG 、横軸を r としなさい。また、縦軸上に ΔG^* を、横軸上に r^* を示しなさい。

問(3) 下線部(i)について、 ΔG が極大値を示す理由を、(1)式の右辺第1項および第2項を用いて2～3行で説明しなさい。

問(4) 上の文章中の (力) に入る適切な語句を答えなさい。

問(5) (力) (r^*) について、 r^* よりも小さな核が生じた場合、その核はどのように変化するか 2～3 行で説明しなさい。解答にあたっては、問(2)で描いた ΔG の概略図を用いて熱力学的に考察しなさい。

問(6) 上の文章中の (A) ～ (B) に入る最も適切な語句を以下の語群から選びなさい。

(A) の語群：大きく、ほとんど変わらなく、小さく

(B) の語群：容易に、ほとんど同じ頻度に、困難に

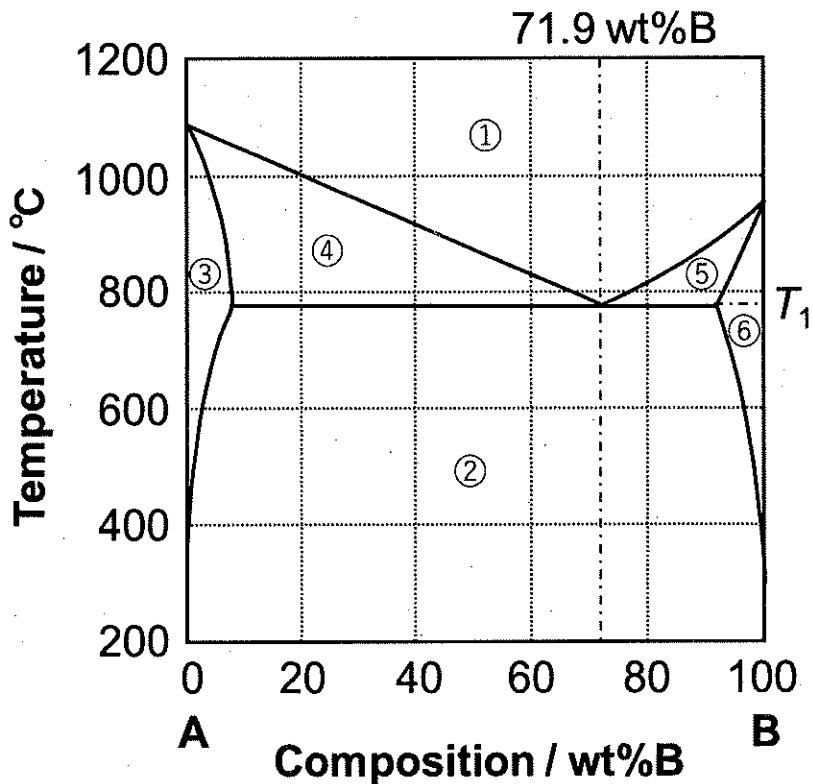
科目記号	A (3 / 3)	試験科目	材料物理化学
------	-----------	------	--------

設問3 図は金属Aと金属Bの2元系平衡状態図である。この状態図に関して下記の文章を読み、次の問(1)～問(5)に答えなさい。

A-20wt% BとA-71.9wt% Bの2種類の合金を作製した。それぞれ十分に加熱し、液体状態に長時間おいてから徐冷し、平衡状態を保ちながら凝固させた。AとBの原子量はそれぞれ63.5, 107.9とする。また、 α 相、 β 相、液相の密度はどの温度領域においてもそれぞれ、 9.00 Mg m^{-3} , 2.90 Mg m^{-3} , 10.00 Mg m^{-3} であるとする。 T_1 以下の温度において組成は変化しないものとする。なお、計算を伴う解答についてはその算出過程も記述すること。

問(1) 図に示したAとBの2元系平衡状態図は (あ) 型の状態図といい、 T_1 の温度を (あ) 温度という。(あ)に入れるべき言葉を書きなさい。また、なぜそういう名称がついているのか 1~2行で説明しなさい。

問(2) 図の中で単相領域、2相領域はそれぞれどの領域か。①～⑥までの番号から選んで答えなさい。なお、③、④の相に含まれるもののが α 相、⑤、⑥の相に含まれるもののが β 相である。



図

(次頁につづく)

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

(前頁よりつづき)

問(3) 相平衡論において使われる「てこの法則(原理)」について図を用いて3行程度で説明しなさい。

問(4) T_1 の直上の温度で、2つの合金中に残存している液相の組成(wt%，小数点以下1桁)をそれぞれ答えなさい。

問(5) それぞれの合金において T_1 の直下の温度まで平衡状態を保ちながら徐冷し、凝固させたときに得られる固体の組織について以下の(A)～(D)に答えなさい。

(A) A-71.9 wt% B 合金における組織構成について書きなさい。また、組織に含まれる相の体積分率(vol%)について小数点以下1桁で求めなさい。

(B) 次の文章は、A-71.9 wt% B の組成の液相を徐冷し平衡状態を保ちながら凝固させるときの様子を示したものである。なお (あ) の言葉は問(1)と同じである。(い)から(き)に当てはまる単語を書きなさい。また、下線(く)について以下の文章に沿ってその機構を示す概略図を描きなさい。

A-71.9 wt% B の組成の液相は徐冷すると (あ) 点を通るため、 T_1 まで液相が存在したのち、(あ) 温度において、(い)と(う)が晶出し、(え)または(お)の2相が共存する(か)特有の組織となる。このとき (く)(え)や(お)の組織が形成される機構は次のように考えられている。この組織の形成において、(い)が先に核生成した場合、次にこの(い)に隣接して(う)が核生成する。次にこの組織の成長について考える。A 成分の濃度が高い(い)と液相の界面付近の液相の中では平衡状態図に示すように B 成分の濃度が高くなる。一方において B 成分の濃度が高い(う)と液相の界面近傍の液相中では逆に A 成分の濃度が高くなる。その結果、固相と接する液相との界面においては、A, B 両成分とともに界面に沿う方向に局所的に(き)が生じ、界面に沿って両成分の拡散が進行する。このため、A 成分の濃度の高い(い)と液相の界面、B 成分の濃度の高い(う)と液相の界面では、いずれも固相がさらに定常的に成長する。

(C) A-20 wt% B 合金を高温で溶解して徐冷して 900 °C に保持し、平衡状態に達したときに存在する相のすべてについてそれぞれの相の組成の原子分率(at%)およびそれぞれの相の体積分率(vol%)を小数点以下1桁で求めなさい。

(D) A-20 wt% B 合金を T_1 の直下の温度に保持し、平衡状態に達したときに存在する相のすべてについてそれぞれの体積分率(vol%)を小数点以下1桁で求めなさい。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A (1 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A (2 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	A (3 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学

令和3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3年8月24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。
- 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。3問とも選択した場合は採点の対象としない。
- 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4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問1 材料量子力学に関する以下の問(1)~問(2)に答えなさい。

問(1) 一次元の自由空間における電子の波動関数が $\phi(x, t) = Ae^{ikx - \omega t}$ で与えられたとき、以下の文章中の (あ) ～ (き) に入る適切な式、記号を答えなさい。ここで、 x は電子の位置、 t は時間、 A は振幅、 k は波数、 ω は角周波数である。また、電子の質量は m とする。

光量子仮説に関するアインシュタインの関係式によれば、プランク定数を h 、 $\hbar = h/2\pi$ とすれば電子のエネルギー E は $E = \boxed{\text{(あ)}}$ と表される。電子の運動量 p はド・ブロイの関係式より $p = \boxed{\text{(い)}}$ となる。これより、電子の角周波数と波数の間の関係式(分散関係)は古典力学におけるエネルギーと運動量の関係を用いて $\boxed{\text{(あ)}} = \boxed{\text{(う)}}$ と整理することができる。ここで、電子の波動関数を時間で偏微分すると $\partial\phi/\partial t = \boxed{\text{(え)}}$ ϕ と表すことができる。さらに、波動関数を電子の位置で二回微分すると、 $\partial^2\phi/\partial x^2 = \boxed{\text{(お)}}$ ϕ となる。以上の式と分散関係より、ポテンシャルの無い自由空間における電子波の波動方程式(シュレディンガー方程式)は $\boxed{\text{(か)}}$ で与えられる。また、ポテンシャル $V(x, t)$ のもとで運動する電子に対するシュレディンガー方程式は、分散関係を力学的エネルギーの保存則をもとに整理することで $\boxed{\text{(き)}}$ と表される。

問(2) 水素(H)が水素分子(H₂)を形成する理由を量子力学的な観点から答えなさい。必要であれば図や式を用いてよい。なお、説明の中には以下のキーワードを必ず含めること。

キーワード：電子の波動関数、スピン、パウリの排他律、電子の運動エネルギー

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問2 ある真性半導体と熱平衡状態の不純物ドープ p 型および n 型半導体の接合に関する以下の問(1)～問(5)に答えなさい。

ただし、ボルツマン定数 $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ 、プランク定数 $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$ 、光速 $c = 2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ とし、絶対温度を T 、バンドギャップエネルギーは ε_g とする。1 eV = $1.60 \times 10^{-19} \text{ J}$ である。

問(1) pn 接合半導体の接合前と接合後におけるエネルギー・バンド模式図を描き、それぞれの図中にフェルミエネルギー ε_F を示し、さらに接合後の図には空乏層を示しなさい。

問(2) pn 接合の場合における(A)空間電荷分布、(B)電界分布、(C)電位分布を図示しなさい。

問(3) 順方向バイアス電圧 V を印加する場合、 V の印加前後における変化が分かるように、pn 接合のエネルギー・バンド模式図を描きなさい。

問(4) 逆方向から順方向にバイアス電圧 V を変化させたときの pn 接合の電流一電圧特性について、図や式などを用いて説明しなさい。

問(5) 真性半導体 Si のバンドギャップエネルギー $\varepsilon_g = 1.12 \text{ eV}$ に相当する光の波長とその換算温度(絶対温度 T)を求めなさい。また、n 型半導体 Si に対するドナーの束縛エネルギー $\varepsilon_d = 25 \text{ meV}$ に相当するそれらを求めなさい。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問3 金属中の自由電子に関する下記の文章を読み、以下の問(1)～問(6)に答えなさい。

自由電子とは、束縛を受けていない電子であり、電子気体（（あ）気体）とも呼ばれる。通常、電子は何らかの束縛を受けているため、自由電子は実在しない。しかし、自由電子を用いたモデル（自由電子模型）のおかげで、我々は金属の様々な特徴についての理解が持る。自由電子による結合を（い）と呼ぶ。

問(1) 文章中の（あ）、（い）に入る適切な用語を答えなさい。また、下線部について具体例を3つ挙げなさい。

問(2) 自由電子の質量を m 、電荷を $-q$ とし、その i 番目の電子の速度を v_i とする。その自由電子の電界 E による E の方向の加速度を dv_i/dt としたときの運動方程式を答えなさい。

問(3) 電界 E における自由電子のドリフト速度 v_d と衝突時間 τ の関係式を答えなさい。

問(4) 単位体積当たりの自由電子の個数（数密度）を n とするとき、電流密度 J を求めなさい。ただし、電荷を $-q$ 、ドリフト速度を v_d とする。

問(5) 室温における銅の電気抵抗率が $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ であることを用いて、銅の電子の易動度 μ を求めなさい。ただし、自由電子の数密度を $n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 、電荷を $q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

問(6) 二種類の金属元素A, Bからなる合金の焼き入れ材および焼きなまし材の電気抵抗率と組成の関係（室温）をそれぞれグラフにしなさい。ただし、抵抗率は任意単位とする。なお、焼き入れ材は不規則固溶体であるが、焼きなまし材では組成に応じて規則相 A_3B または AB が現れることとする。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B (1 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B (2 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	B (3 / 3)	受験番号	
		評点	

令和 4 年度 4 月入学

令和 3 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 3 年 8 月 24 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、下書き用紙 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った場合は、直ちに試験監督者に申し出なさい。
- 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。3 問とも選択した場合は採点の対象としない。
- 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4年度4月入学 令和3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 流動に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 相似則とレイノルズ数に関する以下の(A)～(C)に答えなさい。

(A) レイノルズ数 Re の物理的意味を述べなさい。

(B) 直径 $D = 50.0 \text{ mm}$ の水平管内を水が体積流量 $Q = 6.67 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ で流れている。ハーゲン-ポアズイユ流れが仮定できるとして、水の代わりに空気を流して、流動状態を力学的に相似にするために必要な空気の中心流速（最大流速） v_{MAX} を求めなさい。ただし、動粘性係数 ν は、空気： $15.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、水： $1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ とする。

(C) 特性長さ $L_1 = 10.0 \text{ mm}$ の小型ドローンが、動粘性係数 $\nu_1 = 15.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ の空气中を速度 $v_1 = 10.0 \text{ m s}^{-1}$ で飛んでいる。空気とドローンとの相対運動を調べるために、特性長さ $L_2 = 50.0 \text{ mm}$ の静止した模型を用い、動粘性係数 $\nu_2 = 160 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ の潤滑油流れの中で実験を行う場合の潤滑油の速度 v_2 を求めなさい。また、模型の受ける抵抗は、実際のドローンが受ける抵抗の何倍となるか、答えなさい。ただし、空気と潤滑油の密度をそれぞれ、 $\rho_1 = 1.20 \text{ kg m}^{-3}$ 、 $\rho_2 = 900 \text{ kg m}^{-3}$ とする。

問(2) 抵抗係数に関する下記の文章を読み、以下の(A)～(C)に答えなさい。ただし、 p は圧力、 ρ は流体の密度、 η は流体の粘性係数を表し、 ρ 、 η は一定とする。また、デカルト座標系 (x, y, z) および、球面座標系 (r, θ, ϕ) における i 方向の速度成分を v_i とする。

定常な一様流中に置かれた表面が滑らかな半径 a の球体周りの流れを考える。球体の中心を原点にとり、一様流は速度 U で z 軸正方向に流れ、球面座標系は下流方向を $\theta = 0$ とする。この球体は、表面に働く応力の法線方向成分から定まる (あ) 抵抗と接線方向成分から定まる (い) 抵抗を受ける。これらの和（総括抵抗）を (イ) で除したものを作成係数 C_D と呼ぶ。

ストークス近似の下で、球体が受ける抵抗を考える。球体を過ぎる流れの速度は、

$$v_r = U \left(1 - \frac{3a}{2r} + \frac{a^3}{2r^3} \right) \cos \theta \quad (1)$$

$$v_\theta = -U \left(1 - \frac{3a}{4r} - \frac{a^3}{4r^3} \right) \sin \theta \quad (2)$$

となる（球対称であるため、速度は角度 ϕ には依存しない）。また、速度の分布により、球体表面の法線方向に応力（圧力差による力）

$$p_n = P - \frac{3\eta a U}{2r^2} \cos \theta \quad (3)$$

(次頁につづく)

令和4年度4月入学 令和3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
------	-----------	------	----------

(前頁よりつづき)

接線方向には剪断応力

$$\tau = \frac{3\eta a^3 U}{2r^4} \sin \theta \quad (4)$$

が働く。ただし、 P は周囲の圧力である。

球体が流体から受ける抵抗は、これらの応力を球体表面全体に渡って積分することで得られる。法線方向応力の z 成分 $(-p_n \cos \theta)$ に、球体表面の微小面積 $dS (= a^2 \sin \theta d\theta d\phi)$ を掛けて球体表面全体に渡り積分すると、(あ) 抵抗は(ロ)，同様に剪断応力の z 成分を球体表面全体に渡り積分して、(い) 抵抗は(ハ)となる。また、抵抗係数 C_D は一様流の速度 U と球体の直径に基づくレイノルズ数 Re_p を用いて

$$C_D = 24/Re_p \quad (5)$$

と表せる。

(A) (あ)～(い)に適切な語句を、(イ)～(ハ)には適切な式をいれ、文章を完成させなさい。

(B) ストークス近似とはどのような近似か述べなさい。

(C) (イ)～(ハ)を用いて式(5)が成り立つことを示しなさい。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問2 製鉄法に関する問(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。



Fe の原子量 : 55.85

気体定数 R : 8.314 J K⁻¹ mol⁻¹

問(1) 金属製錬では鉱山から採掘された鉱石をそのまま利用することは稀であり、選鉱、乾燥、か焼、ばい焼などの予備処理を施す。この4種の代表的予備処理法についてそれぞれ1行程度で説明しなさい。

問(2) コークスを還元剤に用いる高炉法の代替技術として、H₂(g)を還元剤に用いる製鉄法がある。以下の(A)～(D)に答えなさい。

(A) コークス、スラグをそれぞれ1行程度で説明しなさい。

(B) コークスを還元剤に用いる高炉法において主となる還元反応の反応式を一つ示しなさい。なお、鉄鉱石の主成分は FeO(s)のみとする。また、この反応が直接還元または間接還元のどちらに相当するかを答え、その理由を2行程度で説明しなさい。

(C) H₂(g)による FeO(s)の還元反応の反応熱を計算し、発熱か吸熱かを答えなさい。

(D) H₂(g)を還元剤として流通させた製鉄炉のある部分において、1173 K で H₂(g)による FeO(s)の還元反応が起こっている。この部分に到達したガスが 5 vol% H₂O(g), 35 vol% H₂(g)を含んでいたとすると、この部分で 55.85 kg の Fe(s)を製造するのに必要な H₂(g)の量を求めなさい。なお、ガスと FeO(s)は反応して平衡に達しており、還元に寄与するのは H₂(g)のみとする。

問(3) 代表的な水素製造方法を二つ示し、それぞれ1行程度で説明しなさい。なお、それぞれの製造法において主となる反応を明記すること。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問3 2021年、火星探査車「パーシビアランス」に搭載された電解装置にて、人類は火星の二酸化炭素(CO_2)から10.0 gの酸素(O_2)を作り出すことに成功した。この電解装置について、以下の問(1)～問(2)に答えなさい。なお数値は有効数字二桁で答え、必要ならば以下の数値を用いなさい。 Faraday一定数: $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ 、気体定数: $R = 8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ 、原子量 C = 12.0, O = 16.0とする。

問(1) 地球の標準状態における、電解装置の原理について考える。カソードでは、反応(あ)により CO_2 は一酸化炭素(CO)と酸化物イオン(O^{2-})に分解される。生成した O^{2-} は選択的に電解質膜を通り、アノードで反応(い)により O_2 が作られる。必要ならば表1を参考にし、以下の(A)～(C)に答えなさい。

(A) (あ)および(い)について電子 e^- を用いた半反応式で答えなさい。

(B) この装置に必要な理論電解電圧を求めなさい。ただし、過電圧や電気抵抗は無視できるとする。

(C) カソード表面を観察すると、ある物質が付着していた。考えられる物質を答え、その理由を 40 文字以内で説明しなさい。

表1

Reaction	$\Delta H^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$	$\Delta G^\circ / \text{kJ mol}^{-1}$
(a) $\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g})$	890	817
(b) $\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g}) + 1/2\text{O}_2(\text{g})$	283	257
(c) $\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g})$	394	394

問(2) 火星における電解について考える。火星の大気圧は $1.00 \times 10^{-2} \text{ atm}$ として、以下の(A)～(C)に答えなさい。

(A) 気体 X の分圧を P_X として、電解装置で起こる反応の平衡定数 K を答えなさい。

(B) 電解装置を温度 700 K で稼働させると、 CO_2 は反応により消費され、 P_{CO_2} は $5.00 \times 10^{-4} \text{ atm}$ となった。このとき、この装置に必要な理論電解電圧を求めなさい。ただし、過電圧や電気抵抗は無視できるとし、カソードおよびアノードでの各全圧は火星の大気圧と等しいとする。

(C) (B)のとき、消費された CO_2 の質量を求めなさい。ただし副反応は無視できるとする。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (1／3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (2／3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	C (3 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学

令和3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3年8月24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。
- 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。3問とも選択した場合は採点の対象としない。
- 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4年度4月入学 令和3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 炭素鋼の相変態に関する以下の問(1)～問(4)に答えなさい。

問(1) 図1は共析鋼のTTT(Time-Temperature-Transformation)線図である。図中の(あ)～(え)の線が何を意味するのか、答えなさい。

問(2) 共析鋼を800°Cで平衡相になるまで保持した後、下記の(A)～(C)の熱処理を施した。図1に基づいて、それぞれの熱処理で形成する組織を答えなさい。

- (A) 600°Cに急冷し、200 s保持した後、室温まで空冷
- (B) 350°Cに急冷し、100 s保持した後、室温まで急冷
- (C) 250°Cに急冷し、150 s保持した後、室温まで空冷

問(3) 図1のTTT線図において、550°C付近でnoseが現れる理由を数行程度で説明しなさい。

問(4) マルテンサイト変態に関する以下の(A)～(C)に答えなさい。

- (A) T_0 温度以下でマルテンサイト変態の駆動力が発生するが、より低温にならないと変態は開始しない。その理由を数行程度で答えなさい。なお、 T_0 温度とはフェライトとオーステナイトのGibbsの自由エネルギーが同組成で等しくなる温度である。
- (B) マルテンサイト変態によって格子欠陥が多量に導入される理由を数行程度で答えなさい。
- (C) マルテンサイト変態における晶へき面とは何かを説明しなさい。

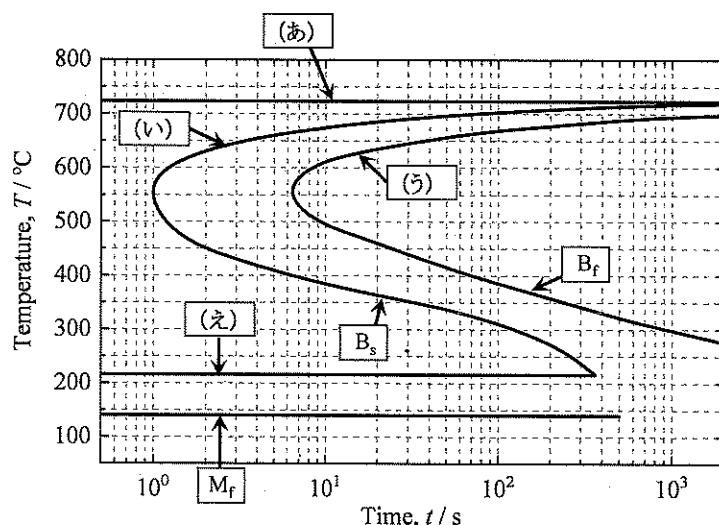


図1 共析鋼のTTT線図。BsとBfはそれぞれベイナイト変態開始線と終了線、Mfはマルテンサイト変態終了温度である。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

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

設問2 粒子分散による金属材料の強化機構に関する以下の問(1)～問(2)に答えなさい。

問(1) 二種類の金属元素 A, B からなる A-B 二元系合金を用いて常温で使用する析出強化型合金を作製することを考える。この合金の状態図の一部を図 1 に示す。ここで、A 元素からなる純金属に B 元素が固溶した固溶体相を α 相、 α 相と平衡し A_2B の化学式で表される固相を β 相とする。以下の(A)～(C)に答えなさい。

(A) x at%の B 元素濃度を持つ A-B 二元系合金(x at% B 合金)に β 相による析出強化を施したい。そのための熱処理として、溶体化処理後に時効処理を行う工程がある。この熱処理工程について図中の記号を用いて簡潔に説明しなさい。

(B) 時効処理時間に伴う x at% B 合金の硬さ変化の模式図を描き、なぜそのような変化が生じるのかを析出粒子と転位の相互作用の観点から説明しなさい。

(C) x at% B 合金の時効処理温度 T が、 $T_0 < T < T_1$ の場合と、 $T_1 < T < T_2$ の場合では、どちらの析出強化量が大きくなると予想されるか、理由とともに述べなさい。ただし、 β 相は時効初期から安定相として析出するものとする。なお、時効時間は考慮せず、最大強化量で比較すること。

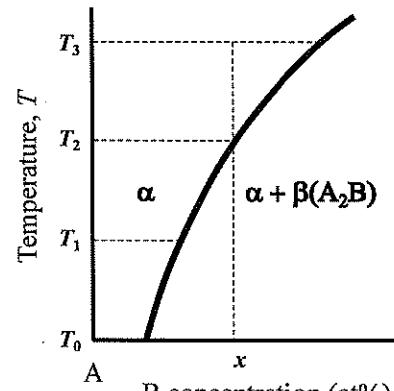


図 1

問(2) 母相の融点近傍でも安定に存在する非整合な微細粒子を用いた分散強化型合金を作製することを考える。以下の(A)～(C)に答えなさい。

(A) このような合金を作製する手法を挙げなさい。

(B) 図 2 のように微細粒子が存在する母相に外部せん断応力が負荷され、転位が白矢印の方向に移動することで微細粒子を通過した。転位がこれらの微細粒子を通過する過程の模式図を描きなさい。

(C) 図 2 の微細粒子の表面間距離を L_0 、半径を r とした場合、微細粒子分散による強化量を求めなさい。必要な文字は定義して用いること。

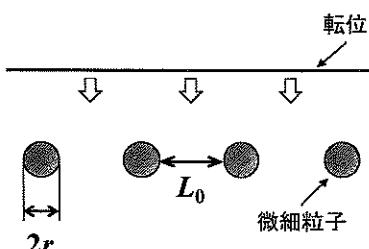
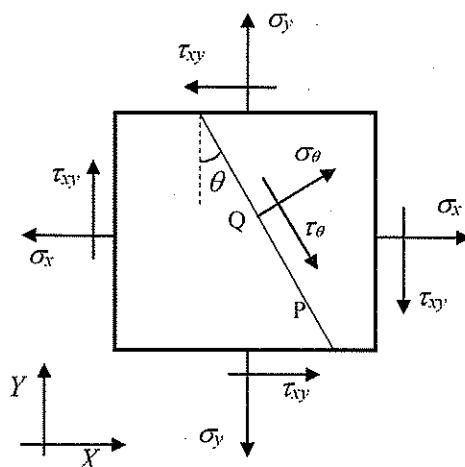


図 2

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

設問3 応力が与えられた薄い鋼板中の任意の点について、水平面内の応力状態を考える。図1のように、板面に平行な二次元のXY平面($X \perp Y$)を考え、角度 θ 傾斜したP面上の任意の点Qに作用する応力を垂直応力 σ_θ とせん断応力 τ_θ で表す。このとき、 σ_θ の応力テンソルは σ_x , σ_y , τ_{xy} を用いて①式のように記述される。以下の問(1)～問(5)に答えなさい。

$$\sigma_\theta = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} \\ \tau_{xy} & \sigma_y \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$



問(1) σ_θ の主応力、 σ_{\max} 及び σ_{\min} を σ_x , σ_y , τ_{xy} で示しなさい。

図1

問(2) $\sigma_x = 50 \text{ MPa}$, $\sigma_y = -30 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 10 \text{ MPa}$ のとき、 σ_{\max} 及び σ_{\min} を求めなさい。また、モールの応力円を描き、 τ_{\max} を求めなさい。

問(3) ②式で表される三次元応力状態について、主応力及び主軸方位を求めなさい。

$$\sigma = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

問(4) ③式で表される応力条件(MPa)で鋼板を使用する。この鋼板が健全性を維持するための強度について、トレスカとミーゼスの降伏条件を比較しつつ論じなさい。

$$\sigma = \begin{pmatrix} 200 & 300 & 0 \\ 300 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 300 \end{pmatrix} \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

問(5) 引張降伏応力 $\sigma_y = 250 \text{ MPa}$ の薄い鋼板に、 $\sigma_x = 40 \text{ MPa}$, $\tau_{xy} = 20 \text{ MPa}$ の応力が作用している。この材料を安全率 $S = 5$ で使用する場合における許容応力 σ_x の範囲をトレスカの条件に基づいて求めなさい。ここで、許容せん断応力 τ_{\max} は $\sigma_y/2S$ で表されるものとする。

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (1 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (2 / 3)	受験番号	
		評点	

令和4年度4月入学 令和3年度10月入学 材料科学専攻 専門科目

科目記号	D (3 / 3)	受験番号	
		評点	