

【 数学－ 1 】

【 Mathematics－1 】

以下の問に答えよ.

Answer the following questions.

問 1 (Q1)

関数  $f(x, y, z) = 2x^2y + y + 3z$  の, (i) 勾配 (grad), (ii) 勾配の回転 (rot), (iii) 勾配の発散 (div)を求めよ.

Find the (i) gradient (grad), (ii) rotation (rot) of the gradient, and (iii) divergence (div) of the gradient of function  $f(x, y, z) = 2x^2y + y + 3z$ .

問 2 (Q2)

定数  $a, b, c$  を含む次の行列について, 行列  $\mathbf{A}$  が  $-2$  の固有値を持つ場合を考える.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & -3 \\ -2 & 4 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1 & b \\ c & -3 \end{pmatrix}$$

Consider the following matrices containing constants  $a, b$ , and  $c$ , where the matrix  $\mathbf{A}$  has an eigenvalue of  $-2$ .

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & -3 \\ -2 & 4 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{pmatrix} 1 & b \\ c & -3 \end{pmatrix}$$

(a) 定数  $a$  の値と行列  $\mathbf{A}$  の他方の固有値を求めよ.

Find the value of the constant  $a$  and the other eigenvalue.

(b) 行列  $\mathbf{A}$  と  $\mathbf{B}$  が可換(交換可能)となるような実数  $b, c$  は存在するかを判定せよ. 存在する場合は,  $b, c$  の値を求めよ.

Judge if real numbers  $b$  and  $c$  such that the matrix  $\mathbf{A}$  is commutative (exchangeable) with the matrix  $\mathbf{B}$  exist. If they exist, find their values.

【 数学－ 2 】

【 Mathematics－2 】

問 1 (Q1)

以下を計算し、 $x + iy$  の形で示せ。ただし、 $x$  と  $y$  は実数とし、 $i = \sqrt{-1}$  は虚数単位である。

(a)  $\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i\right)^2$

(b)  $\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i\right)^{2023}$

Calculate the following and show the answer with  $x + iy$ , where  $x$  and  $y$  are real numbers. Let the imaginary unit be defined as  $i = \sqrt{-1}$ .

(a)  $\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i\right)^2$

(b)  $\left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2}i\right)^{2023}$

問 2 (Q2)

以下の問に答えよ。ただし、 $z$  は複素数とする。

Answer the following questions. Let  $z$  be complex number.

(a)  $f(x) = (1-x)^{-1}$  をマクローリン展開せよ。

Find the Maclaurin expansion of  $f(x) = (1-x)^{-1}$ .

(b) 複素関数  $f(z) = \frac{1}{z(z-1)}$  を  $|z| > 1$  の領域に対して  $z = 0$  を中心にローラン展開せよ。

Find the Laurent expansion of complex function  $f(z) = \frac{1}{z(z-1)}$  around  $z = 0$  for the area of  $|z| > 1$ .

【 物理－ 1 】

以下の問に答えよ．ただし相対論的効果は無視する．なお，数値を求める場合，有効数字2桁で求めよ．プランク定数は  $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$  とする．

問1 図1のように同一原子が間隔  $d$  で規則的に並んでいる格子面に対して，波長  $\lambda$  の X 線が角度  $\theta$  で入射する．同じ角度  $\theta$  で散乱される X 線が強めあう条件を示せ．ただし，導出過程も示せ．

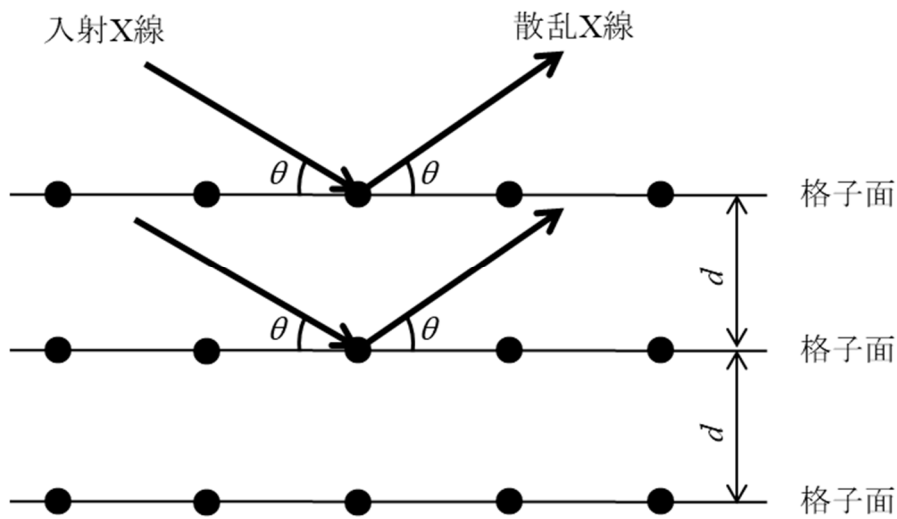


図1

問2 電荷  $e$  [C]で質量  $m$  [kg]の微粒子は波の性質をあわせもち，ド・ブロイ (de Broglie) 波で表現できる．この微粒子が真空中において加速電圧  $V$  [V]で加速された場合のド・ブロイ波長  $\lambda$  [m]を  $h$ ,  $V$ ,  $m$ ,  $e$  で表せ．

問3 静止している電子を加速して波長  $0.010 \text{ nm}$  のド・ブロイ波を得るために必要な加速電圧を計算せよ．ただし，電子の質量と電荷はそれぞれ  $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ，および， $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  とする．

問4 図1において，X 線の代わりに電子のド・ブロイ波を格子面に入射させる．加速電圧を  $0 \text{ V}$  から増やしながら，角度  $\theta$  で回折を観測したところ，問3で求めた加速電圧で最初に強い回折を観測した．加速電圧をさらに増やしていき，同じ角度で次に強い回折が観測されるとき加速電圧を求めよ．

## 【 物理－ 2 】

図1のような無限に深い一次元井戸型ポテンシャル中の質量  $m$  の電子を考える．ポテンシャル  $V(x)$  は領域  $x < 0$  および  $L < x$  で  $V = +\infty$ ，領域  $0 \leq x \leq L$  で  $V = 0$  と表される．このとき電子の波動関数  $u(x)$  は波数  $k$  および係数  $A, B$  を用いて以下の形に書ける．

$$\begin{array}{ll} \text{領域 } x < 0 \text{ および } L < x & u(x) = 0 \\ \text{領域 } 0 \leq x \leq L & u(x) = A \sin(kx) + B \cos(kx) \end{array}$$

これらを踏まえて以下の問に答えよ．以下では計算過程も示せ．

問1 シュレーディンガー (Schrödinger) 方程式

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2 u(x)}{dx^2} + V(x) = Eu(x)$$

を用いて領域  $0 \leq x \leq L$  における波数  $k$  とエネルギー  $E$  の関係を求めよ．ここで  $\hbar$  はディラック定数 ( $\hbar = h/2\pi$ ,  $h$  はプランク定数) である．

問2  $x = 0$  および  $x = L$  での境界条件を用いて，領域  $0 \leq x \leq L$  における定常状態の波動関数およびエネルギーを求めよ．得られた波動関数のグラフをエネルギーが低い方から3番目までプロットせよ．

問3 波動関数の係数  $A$  および  $B$  を，波動関数の規格化条件  $\int_0^L |u(x)|^2 dx = 1$  を用いて求めよ．

問4 エネルギー  $E$  と,  $0 \leq x \leq L$  の領域で波動関数  $u(x)$  がゼロになる点の数の関係について述べよ．

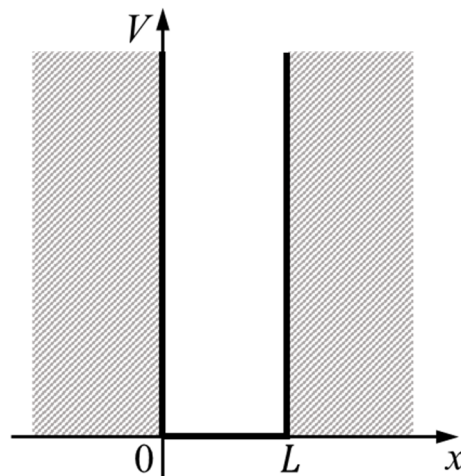


図1 井戸型ポテンシャル

【 化学-1 】

図1に示すカルノーサイクルについて次の問に答えよ。1 mol の理想気体を作動物質とする熱機関を動作させる。  $T, V, P$  は温度, 体積, 圧力である。定積モル比熱  $C_v$  は温度によらず一定とする。  $R$  は気体定数とする。カルノーサイクルにおいて, (a) は等温圧縮過程, (b) は断熱圧縮過程, (c) は等温膨張過程, (d) は断熱膨張過程である。

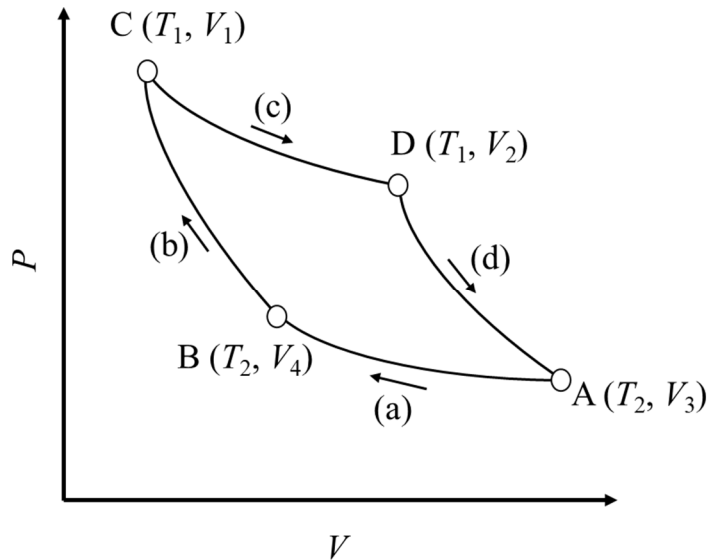


図1 カルノーサイクル

- 問1 (a)の過程で, 圧縮により外界が熱機関にする仕事が熱となって低熱源に放出される。このときの仕事を求めよ。
- 問2 (b)の過程で, 圧縮により外界が熱機関にする仕事を求めよ。
- 問3 (c)の過程で, 高熱源は熱機関に熱を与える。このとき膨張により外界が熱機関にする仕事を求めよ。
- 問4 (d)の過程で, 膨張により外界が熱機関にする仕事を求めよ。
- 問5 1 サイクルで外界に取り出せる仕事を示し, この熱機関の効率  $\eta$  が温度だけで決まることを示せ。
- 問6  $T = 278.0 \text{ K}$ ,  $P = 1.013 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $V = 22.80 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  の二原子分子の理想気体を断熱的に半分の体積まで圧縮したときに, この気体になされた仕事を有効数字 3 桁で求めよ。必要であれば  $2^{0.4}$  の値は 1.320 を用いてよい。

## 【 化学－ 2 】

気体分子運動論に関する以下の問に答えよ。

アルミニウム蒸気の圧力  $P$  を  $6.6 \times 10^{-6}$  Pa, アルミニウム原子の直径  $\delta_{\text{Al}}$  を 0.29 nm, 容器内の温度  $T$  を 900 K, 基板と蒸発源との距離  $L$  を 500 mm, アルミニウムのモル質量  $M_{\text{Al}} = 27 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , アボガドロ数  $N_{\text{A}} = 6.0 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , ボルツマン定数  $k = 1.4 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$  とする。なお, 蒸発源から基板への距離に対し, 容器壁面から基板への距離は十分に遠いものとする。

図1のように, 真空蒸着法によりアルミニウムを容器内上面に設置した基板に成膜する。

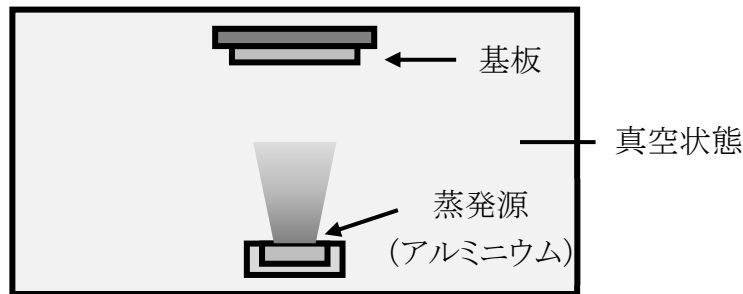


図1 真空蒸着法のご概念図

容器内にアルミニウム蒸気が放出された後, その原子が基板に到達するまでの時間は, アルミニウム原子の平均速さに依存する。図1の真空蒸着法におけるアルミニウム蒸気の速さ分布は単原子分子の理想気体として式(1)のマクスウェル-ボルツマン (Maxwell-Boltzmann) 分布に従う。重力は無視できるものとする。ここで, 速さを  $v$ , その速さでの存在確率を  $p(v)$ , 原子一個の質量を  $m$ , 円周率を  $\pi$  とする。

$$p(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 \exp\left( -\frac{mv^2}{2kT} \right) \quad (1)$$

問1 アルミニウム原子の平均自由行程  $\lambda_{\text{Al}}$  を, 平均速さ  $\langle v \rangle$  と一個のアルミニウム原子に注目した時の他のアルミニウム原子との単位時間あたりの衝突頻度  $z$  を用いて表せ。

問2 蒸発源からアルミニウム原子が基板に到達するまでの平均時間を求めよ。ただし,  $\sqrt{\quad}$  と  $\pi$  は残して良い。なお, 蒸発源から基板への距離に対してアルミニウム原子の平均自由行程が十分長いものとする。なお, 必要ならば式(2)の関係を利用して良い。 $\eta$  は係数である。

$$\int_0^{\infty} x^3 \exp(-\eta x^2) dx = \frac{1}{2\eta^2} \quad (2)$$

(次ページに続く)

問3 単位面積の基板に単位時間あたりに到達する原子数（入射頻度 $\Gamma$ ）が，アルミニウム蒸気の圧力 $P$ ，温度 $T$ を用いて式（3）で与えられるとき， $\Gamma$ を平均速さ $\langle v \rangle$ と単位体積あたりの気体原子の数，すなわち，原子密度 $d$ を用いて表せ．

$$\Gamma = \frac{P}{\sqrt{2\pi mkT}} \quad (3)$$

問4 基板表面に吸着できる単位面積あたりの原子数 $N_s$ がアルミニウム原子の直径 $\delta_{Al}$ を用いて $1/\delta_{Al}^2$ で表されると仮定するとき，アルミニウムが一原子層で表面を覆うのにかかる時間 $\tau_{Al}$ を求めよ．ただし， $\sqrt{\quad}$ と $\pi$ は残して良い．なお，一原子層が形成されるまでは多層吸着せず，基板に到達した原子は蒸発しないものとする．

【 材料化学－ 1 】

純粋な金属 M と酸素ガス  $O_2(g)$  から純粋な酸化物  $M_xO_y$  が生成する反応の標準ギブス (Gibbs) 自由エネルギー変化  $\Delta G^\circ$  [ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ] と温度  $T$  [K] の関係を示すグラフを図 1 に示す。なお、破線は補助線である。この図をもとに以下の問に答えよ。

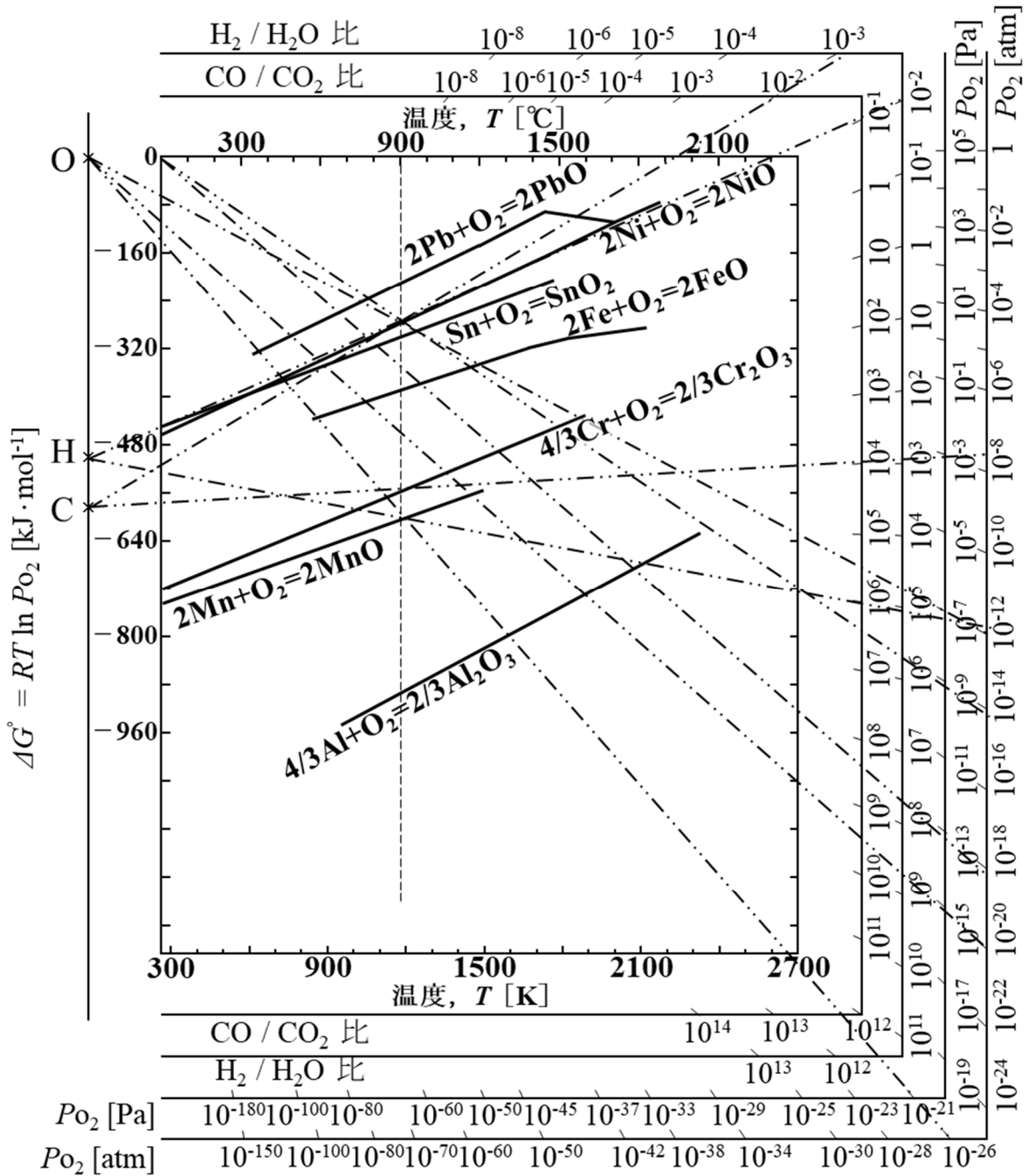


図 1 標準ギブス (Gibbs) 自由エネルギー変化と温度の関係

問 1 本図の名称は提唱した人物の名前をもとに名付けられた。その名称を答えよ。

(次ページに続く)



問2 図中の実線の傾きの意味を答えよ.

問3 Ni と NiO を  $900\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$  で  $\text{H}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  と平衡させた. そのときの  $\text{H}_2$  と  $\text{H}_2\text{O}$  の比および平衡酸素分圧を図から読み取り,  $10^x$  の形で示せ. なお,  $x$  は整数とする.

問4 問3 の状況にあるときの下記の反応式 (1) の平衡定数  $K$  を求めよ. なお, 問3 と同様に  $10^x$  ( $x$  は整数) の形で示せ.



問5 NiO が他の酸化物と化合物を形成し, NiO 活量が 1 から  $1.0 \times 10^{-4}$  まで低下した場合,  $900\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$  で NiO を還元できない金属を以下の中からすべて選べ. なお, NiO 以外の活量は 1 とする.

Al, Cr, Fe, Mn, Pb, Sn

問6 Pb と PbO が体積 1 L,  $1.013 \times 10^5\text{ Pa}$  の容器内で  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  および  $1600\text{ }^\circ\text{C}$  で平衡になっている状態を考える. これらの体積を 0.5 L まで圧縮するとそれぞれの温度で平衡はどちらに動くか. なお, この場合の化学反応は, 図 1 中に記載されているとおり, 下記の反応式 (2) で表現されるものとする.



【 材料化学－ 2 】

成分 A を濃度  $C_B$  [ $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ] で含む気流中に静置された物質 E の球形粒子が，気流中の成分 A と次の反応を生じている．



反応は右向き不可逆反応で球形粒子の表面でのみ生じ，粒子の直径は  $d_p$  [m] である．以下の問に答えよ．

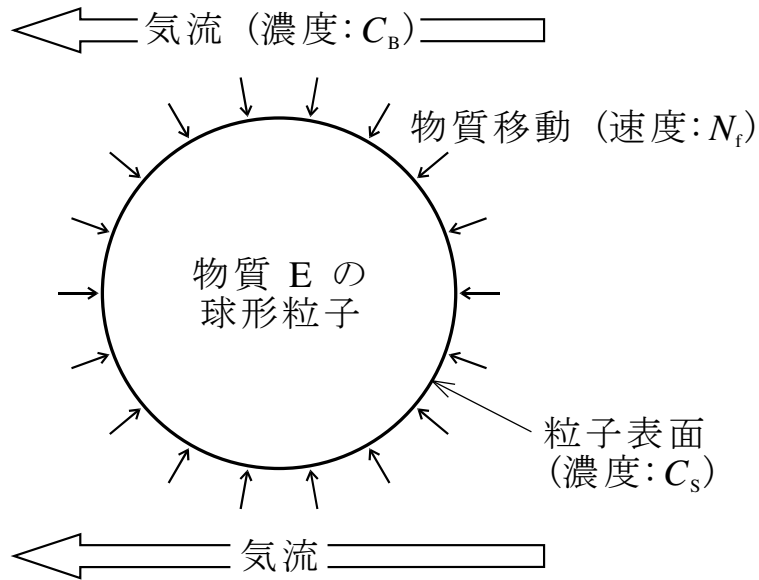


図1 気流中に静置された球形粒子への物質移動

- 問1 気流から球形粒子への成分 A の物質移動速度  $N_f$  [ $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ] を表す式を示せ．ただし，物質移動係数を  $k_f$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]，粒子表面での成分 A の濃度を  $C_s$  [ $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ] とせよ．
- 問2 球形粒子表面での成分 A の反応は，A の濃度に対する一次反応である．反応速度定数を  $k_c$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] として A の反応速度  $r_A$  [ $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ] を表す式を示せ．
- 問3 問1 および問2 の解答を利用して，球形粒子一つあたりの E の総括反応速度  $r_E$  [ $\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$ ] を与える式を示せ．なお，着目している時間範囲において，反応は定常状態で進行するとみなせ，粒子径の変化は無視できるものとせよ．

(次ページに続く)

問4 本系では物質移動係数が次の推算式(2)で求められる。

$$Sh = 2.0 + 0.6Re^{1/2}Sc^{1/3} \quad (2)$$

式中、 $Sc$ 、 $Sh$  および  $Re$  は、それぞれシュミット (Schmidt) 数、シャーウッド (Sherwood) 数およびレイノルズ (Reynolds) 数と呼ばれる無次元数であり、前二者は  $Sc = \mu / (\rho D_A)$  および  $Sh = (k_f d_p) / D_A$  と定義される。ここで、 $D_A$ 、 $\mu$  および  $\rho$  はそれぞれ成分 A の拡散係数 [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]、流体の粘度 [ $Pa \cdot s$ ] および流体の密度 [ $kg \cdot m^{-3}$ ] である。直径 0.020 m の物質 E の球形粒子を成分 A を含む気流中に静置して、以下の条件の下で反応させた場合の律速段階を推定し、その理由を述べよ。

条件  $D_A : 2.2 \times 10^{-5} m^2 \cdot s^{-1}$ ,  $k_c : 1.8 \times 10^{-5} m \cdot s^{-1}$ ,  $Re : 900$ ,  $Sc : 1.0$

問5 この反応の進行が物質移動律速である場合に、総括反応速度を向上させる方法を前問の推算式(2)に基づき、説明せよ。

【 材料物性－ 1 】

A-B 二元系において、B を過飽和に含む、B 濃度が  $x_0$  の $\alpha$ 相中から $\beta$ 相が析出する場合を考える。  $\alpha$ 相の平衡組成は  $x_{\alpha e}$ 、  $\beta$ 相の平衡組成は  $x_{\beta e}$  で、  $\beta$ 相は固溶幅をほとんどもたない。 また、  $\beta$ 相のモル体積は  $V_m [\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}]$  である。 核生成の駆動力を  $\Delta G_v [\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}]$ 、  $\alpha$ 相と $\beta$ 相の界面エネルギーを  $\sigma [\text{J} \cdot \text{m}^{-2}]$ 、 歪エネルギーを  $\Delta G_s [\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}]$  とする。 ただし、  $\Delta G_v > 0$  とする。

問 1  $\alpha$ 相から半径  $r$  [m] の球状 $\beta$ 相が均一核生成する過程を考える。 以下の問に答えよ。

- (a) 図 1 の $\alpha$ 相と $\beta$ 相のギブス (Gibbs) 自由エネルギー組成図を描き、  $x_{\beta e}$  の組成をもつ核が形成する際の駆動力  $\Delta G_v$  の大きさを図中に矢印で示せ。
- (b)  $\beta$ 相の核 1 つが均一核生成するときのエネルギー変化  $\Delta g$  [J] を  $r$  の関数として表せ。
- (c) (b) における  $\Delta g$  と  $r$  の関係を表す曲線の図を描き、  $\beta$ 相の核が自発的に成長する臨界核半径  $r_c$  と臨界核生成の活性化エネルギー  $\Delta g_c$  を図中に書き入れよ。 なお、自発的に核生成が起こるとききの  $\Delta G_v$  と  $\Delta G_s$  の大小関係を示せ。
- (d) 臨界核半径  $r_c$  と臨界核生成の活性化エネルギー  $\Delta g_c$  の式を導出せよ。 導出の過程も書くこと。

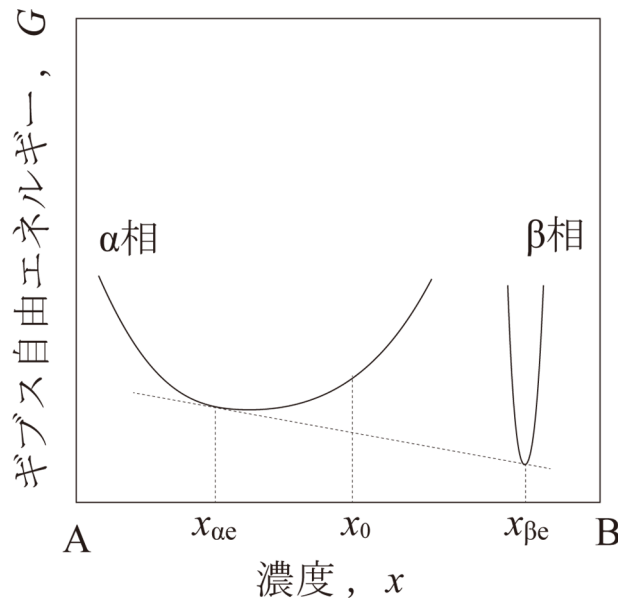


図 1  $\alpha$ 相と $\beta$ 相のギブス (Gibbs) 自由エネルギー組成図

(次ページに続く)

問2 析出した半径  $r$  [m] の球状 $\beta$ 相が成長する過程を考える。以下の間に答えよ。

- (a) 界面エネルギー  $\sigma$  が $\beta$ 相のギブス自由エネルギーに与える変化  $\Delta G$  を  $r$  の関数として表せ。導出の過程は書かなくてもよい。
- (b)  $\beta$ 相粒子の半径が  $r_1, r_2$  ( $r_1 < r_2$ ) のときの $\alpha$ 相と $\beta$ 相のギブス自由エネルギー組成図を1つの図の中に描き、その図を用いて、 $\beta$ 相粒子の半径  $r$  に依存して $\alpha$ 相の溶質濃度がどのように変化するかを説明せよ。なお、 $\beta$ 相粒子の半径が  $r_1, r_2$  のときのそれぞれの $\alpha$ 相の溶質濃度  $x_{\alpha 1}, x_{\alpha 2}$  を図に書き入れること。
- (c)  $\beta$ 相粒子がオストワルド (Ostwald) 成長している過程において、半径が  $r_1, r_2$  ( $r_1 < r_2$ ) の2つの $\beta$ 相粒子の中心を横切る線上の、距離に対する溶質濃度の変化を図で示せ。なお、溶質濃度を示す縦軸には、(b) で用いた  $x_{\alpha 1}, x_{\alpha 2}$ , および  $x_{\beta e}$  を書き入れ、これらと図中の溶質濃度との対応関係がわかるように描くこと。
- (d) オストワルド成長では、大きな $\beta$ 相粒子と小さな $\beta$ 相粒子は、時間と共に、それぞれどのような組織変化を示すか説明せよ。また、そのような現象が生じる理由を、(c) で解答した図を用いて界面エネルギー  $\sigma$  の影響から説明せよ。なお、ここでは歪エネルギーの影響は無視できるほど小さいとする。

【材料物性－2】

質量  $m$  の原子（質点）が，バネ定数  $C$ ，長さ  $a$  のバネで直線に結ばれた一次元バネモデル（図1）に基づいて，フォノン分散関係を考える．縦波振動（ $x$  軸方向に変位がある場合）のみを考え，時刻  $t$  における  $n$  番目の原子の平衡点からの変位を  $u_n(t)$  とする．角振動数を  $\omega$ ，波数を  $k$  とし， $i = \sqrt{-1}$  は虚数単位である．以下の問に答えよ．

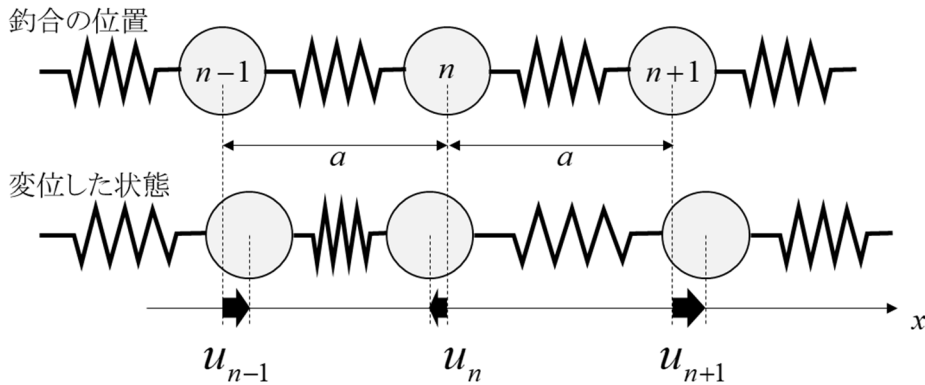


図1 一次元バネモデル

- 問1  $n$  番目の原子に着目した運動方程式を示せ．
- 問2 問1の運動方程式の解を  $u_n = A \exp(ikna - i\omega t)$  と仮定し， $C$ ， $m$ ， $a$  を用いて分散関係を求め，その概略図を示せ．ここで， $A$  は振幅である．
- 問3 群速度  $V_g$  の表式を求め， $k = \pi/a$  における群速度を求めよ．また， $u_{n+1}/u_n = \exp(ika)$  の関係を用いて， $k = \pi/a$  における波の性質を簡潔に述べよ．
- 問4 フォノンにおいては電子とは異なり， $-\pi/a < k \leq \pi/a$  の波数  $k$  のみが重要である．その物理的意味を簡潔に述べよ．
- 問5 長波長極限における音速  $V$  を求めよ．また，長波長極限において変位  $u_n(t)$  を  $u(x,t)$  とおき換えると，問1の運動方程式が  $\partial^2 u(x,t)/\partial t^2 = V^2 \partial^2 u(x,t)/\partial x^2$  になることを示せ．
- 問6 このモデルにおいて，重い原子と軽い原子が交互に配列した場合には音響分岐の他に光学分岐が出現する．重い原子あるいは軽い原子同士の原子間距離を  $a$  とし， $k = 0$  および  $k = \pi/a$  における光学分岐の原子振動の様子（変位の仕方）を，重い原子を○，軽い原子を●として図示せよ（図示のときは横波表示で構わない）．また， $k = \pi/a$  においてエネルギーギャップが生じる理由，および，光学分岐においては音響分岐とは異なり， $k = 0$  において振動エネルギーは最大になることを定性的に説明せよ．

## 【材料加工－１】

鋼の溶接性に関して、以下の問に答えよ。

問に用いる鋼 A および鋼 B の化学組成（表 1）、炭素当量  $C_{eq}$  の計算式、被覆アーク溶接およびサブマージアーク溶接の溶接条件（表 2）をそれぞれ以下に記す。

表 1 鋼 A と鋼 B の化学組成 [重量%]

	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
鋼 A	0.17	1.2	0.12	0.010	0.005	0.20	0.10	0.20	Bal.
鋼 B	0.12	1.8	0.24	0.012	0.014	0.40	0.50	0.40	Bal.

$$C_{eq}=[\%C]+\frac{1}{6}[\%Mn]+\frac{1}{24}[\%Si]+\frac{1}{40}[\%Ni]+\frac{1}{5}[\%Cr]+\frac{1}{4}[\%Mo]+\frac{1}{14}[\%V] \text{ [重量\%]}$$

表 2 溶接条件

	溶接電流 [A]	アーク電圧 [V]	溶接速度 [ $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ ]
被覆アーク溶接	200	15	10
サブマージアーク溶接	1500	30	45

- 問 1 被覆アーク溶接とサブマージアーク溶接における溶接入熱 [ $\text{kJ}\cdot\text{cm}^{-1}$ ] を求め、溶接熱影響部 (HAZ) が大きくなると推察される溶接法はどちらになるか述べてよ。
- 問 2 鋼 A の HAZ 用連続冷却変態図 (CCT 図) を図 1 に示す。被覆アーク溶接とサブマージアーク溶接の冷却過程での HAZ 粗粒域における組織変化と、最終的に得られる室温組織をそれぞれ述べてよ。
- 問 3 鋼 B の HAZ 用 CCT 図は鋼 A のもの (図 1) と比較して、どのように変化するか簡潔に述べてよ。
- 問 4 低温割れとはどのようなものか簡潔に説明せよ。また、低温割れの発生メカニズムを、3つの発生要因と関連付けて説明せよ。
- 問 5 低温割れが発生しやすいのは、鋼 A と鋼 B のどちらか、その理由も含めて述べてよ。

(次ページに続く)

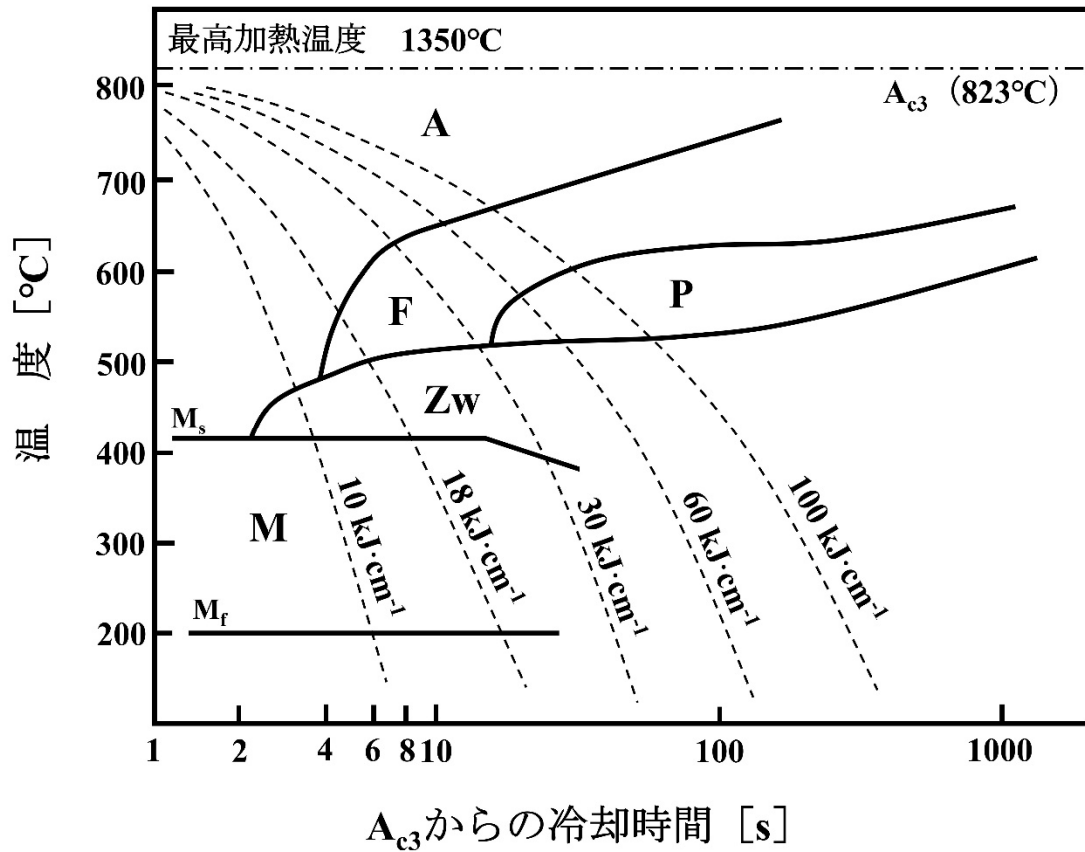


図1 鋼AのHAZ用CCT図。図中の記号は以下を指し、点線で示した冷却曲線の横には、溶接時の溶接入熱を記している。

A：オーステナイト

F：フェライト

P：パーライト

Zw：ベイナイト

M：マルテンサイト

Ac<sub>3</sub>：加熱時にフェライトがオーステナイトへの変態を完了する温度

Ms：冷却の間にオーステナイトがマルテンサイトに変態し始める温度

Mf：冷却の間にオーステナイトがほとんど完全にマルテンサイトに変態した温度



【 材料加工－ 2 】

アルミニウム合金（降伏応力 500 MPa, 引張強さ 560 MPa, 破壊じん性  $25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ ）からなる無限平板内に、一様な応力  $\sigma$  が作用するとき、以下の間に答えよ。

- 問 1 図 1 に示す貫通楕円孔を有する無限平板に、 $\sigma = 100 \text{ MPa}$  が作用する場合、弾性変形のみ収まる楕円孔の最大アスペクト比  $b/c$  を求めよ。なお、楕円孔の応力集中係数は  $1 + 2(b/c)$  とする。
- 問 2 図 1 に示す無限平板が  $b = 1.5c$  の貫通楕円孔を有する場合、引張強さに安全率 2 を考慮した引張応力まで許容できるとして、負荷できる最大の引張応力はいくらか求めよ。
- 問 3 図 2 に示す貫通き裂を有する無限平板に、破壊じん性まで負荷できると考える。そのとき、 $\sigma = 100 \text{ MPa}$  が作用する場合、許容可能な最大のき裂サイズ  $2a$  を求めよ。なお、円周率  $\pi$  はそのまま用いてよい。
- 問 4 構造物の大型化において注意すべき点について、問 1, 問 2 のような応力集中係数を用いる材料力学の設計と問 3 のような破壊力学の設計を比較して論ぜよ。
- 問 5 構造物にはさまざまな欠陥が発生しうるため、破壊力学に基づき構造物の維持管理を行うには、非破壊評価法による内部欠陥の計測が必要である。さまざまな非破壊評価法の中で内部検査が可能な方法として、X 線透過法と超音波法があげられる。これらのうち、どちらか一方を選び、基本原理を説明後、利点と欠点を 2 つずつ述べよ。

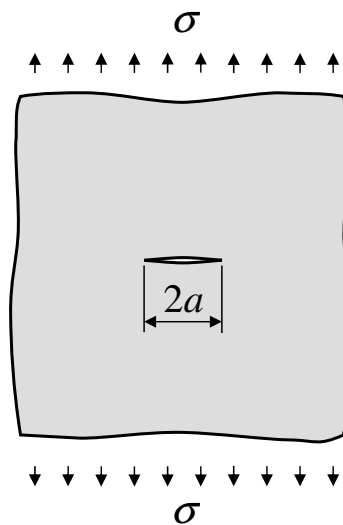
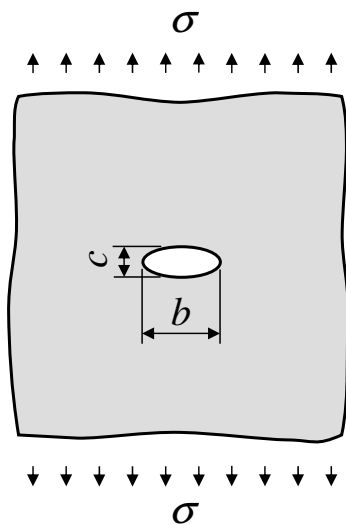


図 1 貫通楕円孔を有する無限平板

図 2 貫通き裂を有する無限平板