

2026年度

熊本大学大学院自然科学教育部（博士前期課程）入学試験

## 材料・応用化学専攻 物質材料工学教育プログラム

### 専 門

### 解答例

#### 注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、専門科目の解答紙を綴じたもので、表紙を含め6枚あります。
3. 試験開始後、表紙も含めすべての解答紙の受験番号記載欄に受験番号を記入してください。
4. 必須問題と、選択問題の4分野から1題を選択して解答してください。選択した選択問題の解答紙には「 選択する」にチェックを入れ、選択しなかった選択問題の解答紙には「 選択しない」にチェックを入れてください。選択問題数に過不足がある場合には、選択問題すべての解答が採点されません。
5. 解答紙には、科目と問題番号が記載されています。解答は、必ず指定された解答紙の所定の欄に記入してください。違う問題番号の解答紙に解答を書いた場合には、採点されません。
6. 試験終了後、すべての解答紙を問題番号順に揃えて、配布時と同じように左上をクリップで止めてください。解答紙は表紙も含めてすべて回収します。

受験番号

材料・応用化学専攻 物質材料工学教育プログラム  
専 門

## 数学（必須問題）

1

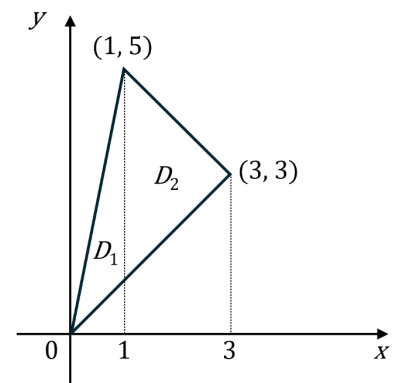
（問1）

$D$  の境界の3直線の方程式は、 $y=x, y=5x, y=-x+6$  より、

直線  $x=1$  で2つの部分  $D_1$  と  $D_2$  に分けて

$D_1: x \leq y \leq 5x, 0 \leq x \leq 1$   $D_2: x \leq y \leq -x+6, 1 \leq x \leq 3$

$$\begin{aligned} & \therefore \iint_D xy dx dy \\ &= \iint_{D_1} xy dx dy + \iint_{D_2} xy dx dy \\ &= \int_0^1 \left( \int_x^{5x} xy dy \right) dx + \int_1^3 \left( \int_x^{-x+6} xy dy \right) dx \\ &= \int_0^1 x \left[ \frac{y^2}{2} \right]_x^{5x} dx + \int_1^3 x \left[ \frac{y^2}{2} \right]_x^{-x+6} dx \\ &= \int_0^1 12x^3 dx + \int_1^3 (-6x^2 + 18x) dx \\ &= 3[x^4]_0^1 + [-2x^3 + 9x^2]_1^3 \\ &= 23 \end{aligned}$$



（問2）

$$|A| = \begin{vmatrix} a & b & c \\ 0 & d & e \\ 0 & 0 & a \end{vmatrix} = a^2 d \quad \therefore a \neq 0, \text{ かつ } d \neq 0 \text{ のとき正則となる.}$$

余因子  $A_{ij}$  ( $1 \leq i, j \leq 3$ )は、

$$A_{11} = ad, A_{21} = -ab, A_{31} = be - cd,$$

$$A_{12} = 0, A_{22} = a^2, A_{32} = -ae,$$

$$A_{13} = 0, A_{23} = 0, A_{33} = ad,$$

$$\therefore \tilde{A} = \begin{bmatrix} ad & -ab & be - cd \\ 0 & a^2 & -ae \\ 0 & 0 & ad \end{bmatrix} \quad \therefore A^{-1} = \frac{1}{|A|} \tilde{A} = \frac{1}{a^2 d} \begin{bmatrix} ad & -ab & be - cd \\ 0 & a^2 & -ae \\ 0 & 0 & ad \end{bmatrix}$$

裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は、裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点

物理/応用物理分野（選択問題）

2

(問1)	(ア)	0 以上 $n-1$ 以下の整数 ( $l = 0, 1, 2, \dots, n-2, n-1$ に類する表現も可)					
	(イ)	$-l$ 以上 $+l$ 以下の整数 ( $m_l = -l, -(l-1), \dots, -1, 0, +1, \dots, +l-1, +l$ に類する表現も可)					
	(ウ)	(a)	2p 軌道	(b)	存在しない	(c)	2s 軌道
		(d)	存在しない	(e)	4d 軌道		
	(エ)	パウリの原理 (パウリの排他原理 パウリの排他律 も可)					
	(オ)	フントの規則					

(問2)	(a)	3s	(b)	価電子	(c)	伝導
	(d)	自由電子	(e)	フェルミ準位	(f)	3p
	(g)	3d	(h)	4s	(i)	凝集
	(j)	強磁性				

裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は、裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点

## 化学/応用化学分野（選択問題）

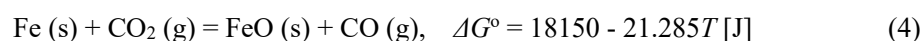
3

(問1)

(ア) 「ブーダア反応」, もしくは「Boudouard 反応」

(イ)

与えられている式 (2) から式 (3) を引いて  $O_2$  の項を消去して係数を最小にすると次式 (4) が求められる。



この反応のギブス自由エネルギー変化  $\Delta G$  を求める式を立てると,

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_Q \quad (5)$$

ここで,  $K_Q$  は反応商 (reaction quotient) である。ここで平衡状態  $\Delta G = 0$  を考えると,

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_{eq} \quad (6)$$

ここで,  $K_{eq}$  は平衡定数 (equilibrium constant) であり, 一酸化炭素の分圧  $P_{CO}$  と二酸化炭素の分圧  $P_{CO_2}$ , 酸化鉄 II の活量  $a_{FeO}$  と鉄の活量  $a_{Fe}$  を用いて表すと次のようになる。

$$K_{eq} = (a_{FeO} \cdot P_{CO}) / (a_{Fe} \cdot P_{CO_2}) \quad (7)$$

ここで, Fe および FeO は純粋な固体状態であるため, 活量は 1 とすることができ,  $P_{CO} : P_{CO_2} = 2 : 1$  であるため,  $K_{eq} = 2$  となる。

式 (6) にそれぞれの値を代入して整理すると,

$$18150 - 21.285T = -8.314T \cdot \ln 2 \quad (8)$$

よって, 求める酸化鉄 II が鉄に還元され始める温度は,  $T = 1169.203 [K]$  となる。有効数字 4 桁で表して, 正解は「**1169 K**」となる。

裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は, 裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点

(問 2)

(ア) (回答例) 単一電極反応(例えば,  $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ )の進行に伴って流れる全電流は, 酸化方向の電流(アノード電流)と還元方向の電流(カソード電流)の和として表される。単一電極反応が動的平衡状態にある場合には, アノード電流とカソード電流の絶対値は等しくなるが, このとき流れている電流を交換電流といい, 電極の単位面積当たりの交換電流を交換電流密度という。腐食電流密度とは, 複合電極反応(例えば, 鉄の酸化反応  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$ と水素イオンの還元反応  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$ が組み合わさっている反応  $\text{Fe} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2$ )の進行に伴って流れるアノード電流とカソード電流の絶対値が等しい場合の電流の密度をいう。

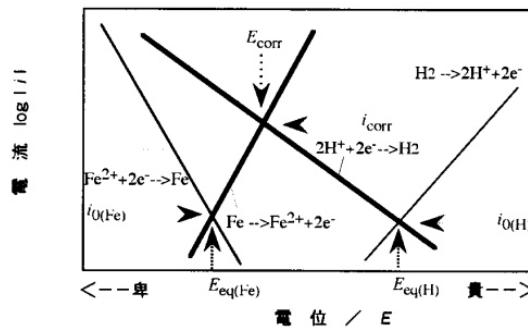


Fig. 平衡系と腐食系の内部分極曲線の模式図.

(イ)

- (a) (回答例) 実線で示されている(0001)面のアノード分極曲線とカソード曲線の交点, すなわち腐食電位における電流密度の方が, 破線で示されている(10 $\bar{1}$ 0)面のアノード分極曲線とカソード曲線の交点(腐食電位)での電流密度より低いことから, (0001)面の方が腐食速度が低く, 耐食性が高い。
- (b) (回答例) (0001)面と(10 $\bar{1}$ 0)面のカソード分極曲線はほぼ重なっているのに対して, アノード分極曲線は二つの結晶面で大きく異なっており, (10 $\bar{1}$ 0)面の方が(0001)面よりもアノード溶解速度が高いと考えられる。従って, アノード支配の腐食挙動であると判断できる。

裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は, 裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点

材料力学/構造力学分野（選択問題）

4

（問1）

接合点 **A** における水平方向の力のつり合い： $P_{AB} \cos 60^\circ + P_{AC} \cos 30^\circ - P = 0$

$$P_{AB} + \sqrt{3} P_{AC} = 2P \dots\dots\dots (1)$$

接合点 **A** における鉛直方向の力のつり合い： $P_{AB} \sin 60^\circ - P_{AC} \sin 30^\circ - P = 0$

$$\sqrt{3} P_{AB} - P_{AC} = 2P \dots\dots\dots (2)$$

(1) + (2)  $\times \sqrt{3}$  :

$$P_{AB} = \frac{(\sqrt{3} + 1)P}{2}$$

(1)  $\times \sqrt{3}$  - (2) :

$$P_{AC} = \frac{(\sqrt{3} - 1)P}{2}$$

（問2）

棒 **AB** および **AC** に生じる伸びをそれぞれ  $\lambda_{AB}$  と  $\lambda_{AC}$  とする。

フックの法則より

$$\lambda_{AB} = \frac{(3 + \sqrt{3})Pl}{2EA}$$

$$\lambda_{AC} = \frac{(\sqrt{3} - 1)Pl}{2EA}$$

棒 **AB** および **AC** の伸びと点 **A** から点 **A'** への移動における変位の関係を示した下図より

$$\delta_H = \lambda_{AB} \cos 60^\circ + \lambda_{AC} \cos 30^\circ$$

$$\delta_H = \frac{3Pl}{2EA}$$

$$\delta_V = \lambda_{AB} \sin 60^\circ - \lambda_{AC} \sin 30^\circ$$

$$\delta_V = \frac{(\sqrt{3} + 2)Pl}{2EA}$$

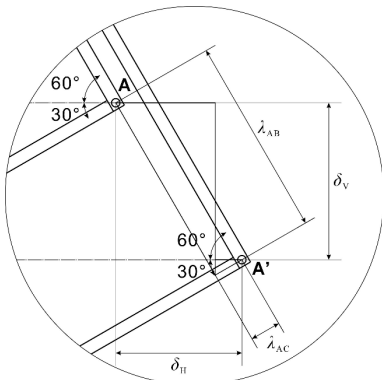


図 1a

裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は、裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点

材料・応用化学専攻 物質材料工学教育プログラム  
専 門

## 材料工学分野（選択問題）

5

(問1) Fickの第一法則  $J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$

ただし、 $J$ は原子流束、 $D$ は拡散係数、 $\partial C/\partial x$ は濃度勾配、である。

(問2) Fickの第一法則を用いる。

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x}$$

$\gamma$ 鉄表面および表面より1mm内部におけるニッケル原子の単位体積あたりの個数を求める。  
fcc鉄の単位胞には原子が4個存在するので、

$$C_{x=0} = 4 \times 0.1 / (0.37 \times 10^{-9})^3 \text{ atom / m}^3$$

$$C_{x=1} = 4 \times 0.08 / (0.37 \times 10^{-9})^3 \text{ atom / m}^3$$

$$\therefore \frac{dC}{dx} = \frac{C_{x=1} - C_{x=0}}{10^{-3}} = -1.6 \times 10^{30} \text{ atom / m}^4$$

$J = 3.2 \times 10^{14} \text{ atom / (m}^2 \cdot \text{s)}$ であるので、

$$D = -\frac{J}{\left(\frac{dC}{dx}\right)} = \frac{3.2 \times 10^{14}}{1.6 \times 10^{30}} = 2.0 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$$

(問3)

① 図1より読み取った値

温度(1/T)  $0.90 \times 10^{-3} \text{ (1/K)}$       拡散係数 (D)  $1.00 \times 10^{-14} \text{ (m}^2/\text{s)}$

温度(1/T)  $1.55 \times 10^{-3} \text{ (1/K)}$       拡散係数 (D)  $1.00 \times 10^{-21} \text{ (m}^2/\text{s)}$

② 拡散の活性化エネルギーの計算過程

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \text{ より}$$

$$\ln D = \ln D_0 - \frac{Q}{RT}$$

$$\log D = \log D_0 - \frac{Q}{2.3RT}$$

図1より、例えば、

$$\log 10^{-14} = \log D_0 - \frac{Q}{2.3R} \times (0.90 \times 10^{-3})$$

$$\log 10^{-21} = \log D_0 - \frac{Q}{2.3R} \times (1.55 \times 10^{-3}) \text{ であるので、}$$

裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は、裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点

材料・応用化学専攻 物質材料工学教育プログラム  
専 門

$$-\frac{Q}{2.3R} = \frac{\Delta \log D}{\Delta \left(\frac{1}{T}\right)} = \frac{-21 - (-14)}{(1.55 - 0.90) \times 10^{-3}} = -10.8 \times 10^3 \text{ K}^{-1}$$

$$\therefore Q = 206 \times 10^3 \text{ J/mol (206 kJ/mol)}$$

(問 4)

$\gamma$  鉄中のニッケルは置換型元素であり、炭素は侵入型元素であるため、拡散の活性化エネルギーはニッケルの方が大きい。

(理由) 置換型溶質原子の拡散は、空孔機構によって進行し、隣接する空孔に溶質原子が移動することにより拡散が生じる。そのため、拡散が起こるには隣接位置に空孔が存在する必要がある。空孔が形成される確率は、空孔形成エネルギーを  $Q_F$  とすると、 $A \exp(-Q_F/RT)$  で与えられる。さらに空孔の位置に溶質原子が移動するためには、活性化状態を経過しなければならないので、移動のための活性化エネルギーを  $Q_M$  とすると、溶質原子が移動する確率は、 $\exp(-Q_M/RT)$  となる。したがって、置換型溶質原子の拡散に必要な活性化エネルギー  $Q$  は、 $Q = Q_F + Q_M$  で表される。

一方、侵入型溶質原子は、格子間から格子間へと移動して拡散するため、空孔の形成を必要としない。この場合の拡散の活性化エネルギーは、移動に必要な活性化エネルギー  $Q_M$  のみであり、 $Q = Q_M$  となる。したがって、一般に、置換型溶質原子の拡散の活性化エネルギーは、侵入型溶質原子の拡散の活性化エネルギーよりも大きくなる。

- 裏面を使う場合は左の□にチェック(レ)をしてください。  
チェックがない場合は、裏面を採点の対象としません。

※受験者はこの欄に  
記入しないこと

点