

岡山大学大学院環境生命自然科学研究科

博士前期課程

創成化学学位プログラム

応用化学コース

2026 年度入学学力試験問題

専門科目

【注意】

問題は、第1問から第9問までである。

これら9問の中から5問を選択して解答すること。

選択した5問については、解答用紙の「選択」欄に○印をつけること。

選択しない4問については、解答用紙の「選択」欄に×印をつけること。

5問より多く選択したり少なく選択した場合は、採点しない。

選択の有無にかかわらず、全ての解答用紙に受験番号と氏名を記入すること。

解答用紙は1問あたり1枚である。解答は、指定された解答用紙に記入すること。

「受験番号」、「氏名」、「選択」の欄が指示通りに記載されていない場合は採点しない。

第1問

問1. 以下の各問いに答えよ。

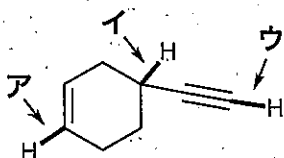
- (1) 次の化合物について、酸性度の高いものから順に並べ、
- 記号で答えよ
- 。

ア : *p*-methoxyphenol イ : *p*-nitrophenol ウ : *m*-nitrophenol エ : cyclohexanol

- (2) 次の化合物について、酸性度の高いものから順に並べ、
- 記号で答えよ
- 。

ア : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ イ : $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ウ : $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ エ : $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{OH}$

- (3) 矢印で示した C-H 結合について、結合の長さが長いものから順に並べ、
- 記号で答えよ
- 。

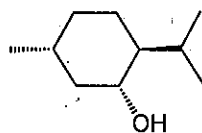


- (4) 分子式
- $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$
- で示されるアルカンのうち、分子量が最小のキラル化合物の構造式を書け。その際、構造異性体が存在する場合は、それらを全て書け。一方のエナンチオマーのみを書け。

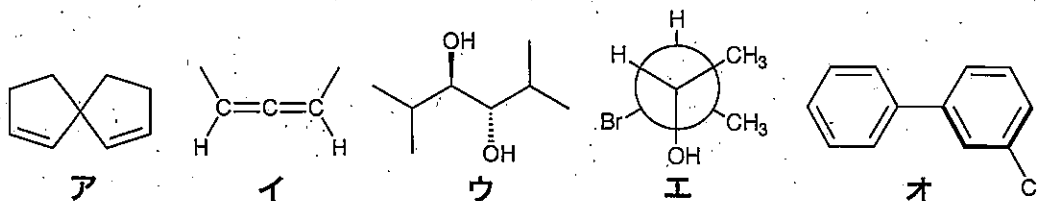
- (5) 以下の分子式ならびにスペクトルを示す化合物の構造式を書け。

molecular formula : $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$ IR (cm^{-1}) : 3600–3200 (broad) ^1H NMR (ppm) : 0.8 (triplet, 6H), 1.0 (singlet, 3H), 1.5 (quartet, 4H), 1.6 (singlet, 1H)

- (6) 次の化合物の最安定な「いす形配座」を書け。



- (7) 次の化合物の中から、キラル化合物を全て選び、
- 記号で答えよ
- 。

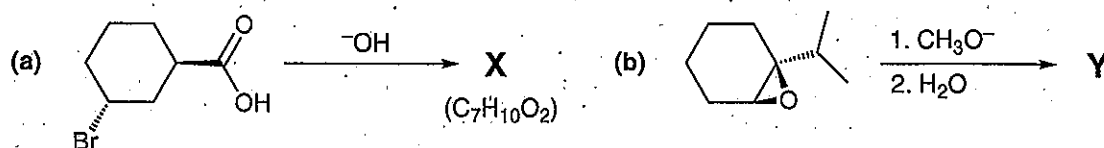


(次ページに続く)

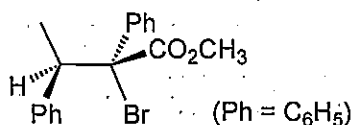
第1問の続き

問2. 以下の各問いに答えよ。

- (1) 反応 (a) と (b) の主生成物 **X** と **Y** の構造式を書け。その際、立体化学が分かるように書け。

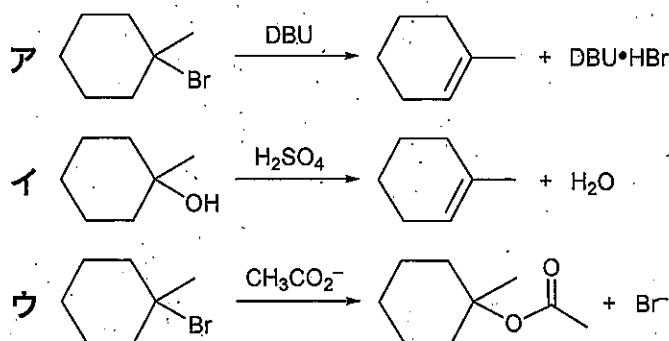
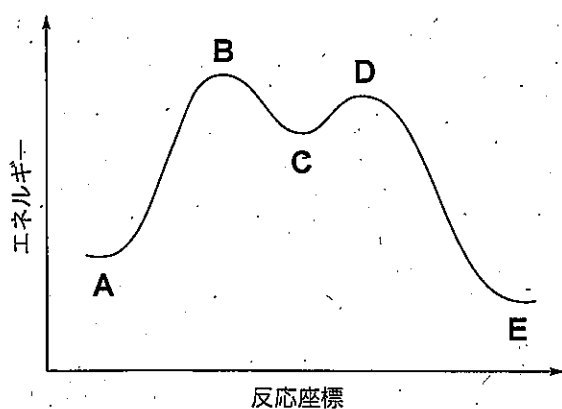


- (2) 以下の methyl 2-bromo-2,3-diphenylbutanoate に関する問いに答えよ。



- (a) この化合物の立体配置を *R, S* 表示法で答えよ。
 (b) 上に示す配座を C2-C3 結合まわりの Newman 投影式に変換せよ。
 (c) この化合物を $K^+ \text{ } ^-\text{OC}(\text{CH}_3)_3$ で処理した際の主生成物の構造式を書け。

- (3) ある反応 $A \rightarrow E$ のエネルギー図に関する問いに答えよ。

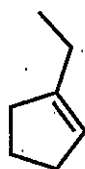


- (a) 反応全体として「発熱反応」であるか「吸熱反応」であるか答えよ。
 (b) 「状態 B」と「状態 C」は何と呼ばれるか。それぞれの一般名称を答えよ。
 (c) このエネルギー図に合致する反応を **ア ~ ウ** の中から1つ選び、記号で答えよ。
 (d) 問い (c) で選択した反応における「状態 C」の構造式を書け。

第2問

問1. 以下の各問いに答えよ。立体異性体が生じる場合は、立体化学がわかるように書くこと。ただし、ラセミ混合物が生じる場合は、一方のエナンチオマーのみを書くこと。

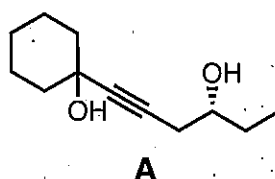
- (1) 1-ethylcyclopentene を次にあげた各反応剤と反応させるとき、予想される主生成物の構造式を記せ。



1-ethylcyclopentene

- | | | |
|------------------------|---|--|
| (a) D_2 , Pd-C | (b) HCl | (c) [1] BH_3 ; [2] H_2O_2 , HO^- |
| (d) Cl_2 | (e) mCPBA | (f) [1] O_3 ; [2] CH_3SCH_3 |
| (g) H_2SO_4 , H_2O | (h) [1] OsO_4 , NMO; [2] $NaHSO_3$, H_2O | |

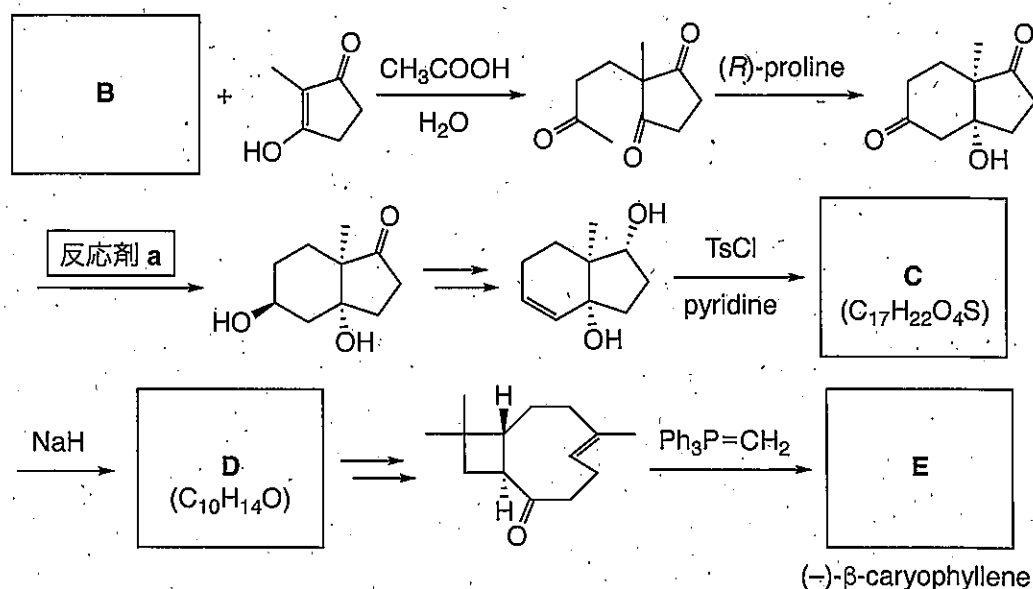
- (2) アセチレン (C_2H_2) を出発物質として次の光学活性化合物 **A** を合成する経路を考案せよ。6 炭素以下の有機化合物と反応に必要な試薬は自由に用いてよい。ただし、その試薬が原理的に 2 当量以上必要な場合は反応剤の下もしくは右に (n 当量) と示すこと。なお、n は原理的に必要な当量数である。



(次ページに続く)

第2問の続き

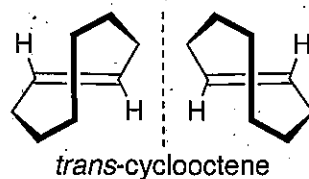
問2. (-)-β-Caryophyllene の合成研究に関する以下の問いに答えよ。



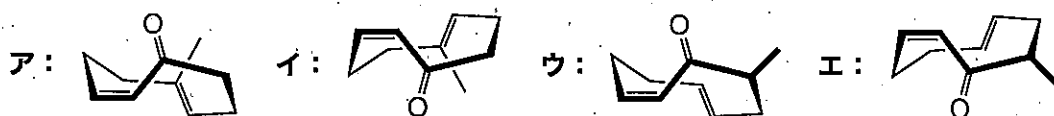
- (1) 反応剤 **a** として適切な試薬を以下の **ア～エ** から選び、記号で答えよ。

ア : NaBH_4 , CH_3COOH **イ** : H_2O , H_2SO_4 **ウ** : H_2 , Lindlar触媒 **エ** : KMnO_4 , KOH

- (2) 化合物 **B** と **C** と **E** の構造式を記せ。なお、光学活性化合物は、立体化学がわかるように記せ。
- (3) 分子内のある面の表と裏で原子の配列が異なることによって生じるキラリティーを面性キラリティー (planar chirality) と呼ぶ。*trans*-cyclooctene は、二重結合面の回転が阻害されるために面性キラリティーが発現している。

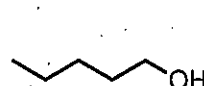
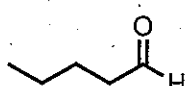
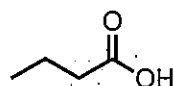
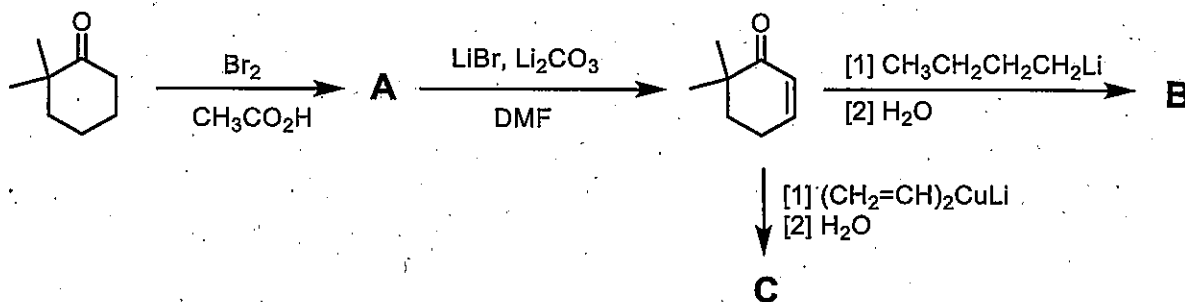


化合物 **D** は、面性キラリティーをもつ光学活性化合物である。化合物 **D** として適切な構造式を以下の **ア～エ** から選び、記号で答えよ。

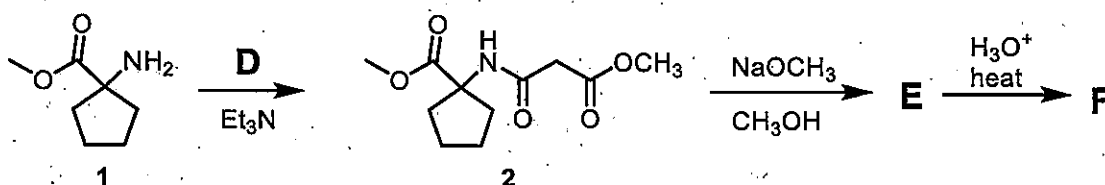


第3問

問1. 以下の問いに答えよ。

(1) 化合物 **ア**～**エ** を沸点が高いものから順に並べ、記号で答えよ。(2) 予想される主生成物 **A**～**C** の構造式を書け。(3) アセトアルデヒドとハロゲン化アルキルのみを炭素源として用いて pentan-3-one ($\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CO})\text{CH}_2\text{CH}_3$) を合成する反応経路を書け。ただし, butan-2-one を経由して合成すること。なお, 反応剤は何を用いてもよい。

問2. 以下の各問いに答えよ。

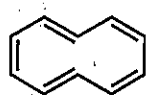
(1) 化合物 **D** は酸塩化物 (acid chloride) である。その構造式を書け。(2) 化合物 **2** に対してメタノール中で NaOCH_3 を作用させると, Dieckmann 縮合が進行して, 化合物 **E** を与えた。化合物 **E** は酸性条件下で加熱すると, 化合物 **F** へと変化した。化合物 **E, F** のそれぞれの構造式を書け。

(次ページに続く)

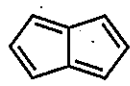
第3問の続き

問3. 共役化合物に関する以下の問いに答えよ。

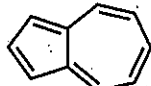
(1) 化学種 **ア**～**キ** のうち、芳香族性を示すものを全て選び、記号で答えよ。



ア



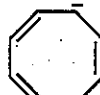
イ



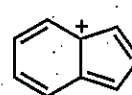
ウ



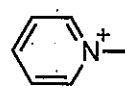
エ



オ

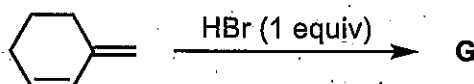


カ

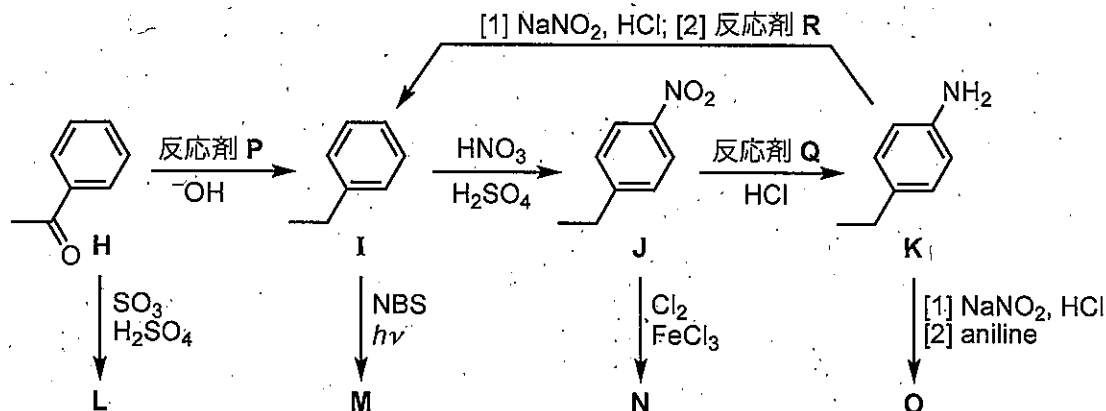


キ

(2) 次の反応で得られる化合物のうち、熱力学支配の生成物 **G** の構造式を書け。



問4. 芳香族化合物の反応について、以下の問いに答えよ。



(1) 化合物 **L**～**O** の構造式を書け。

(2) 反応剤 **P** として最も適切な試薬を以下の選択肢から選び、記号で答えよ。

ア: NH_2NH_2 **イ**: NaBH_4 **ウ**: $\text{Zn}(\text{Hg})$ **エ**: DIBAL-H **オ**: LiAlH_4

(3) 反応剤 **Q** として最も適切な金属を以下の選択肢から選び、記号で答えよ。

ア: Mg **イ**: Pd **ウ**: Ag **エ**: Zn **オ**: Sn

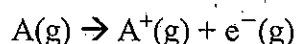
(4) 反応剤 **R** として適切な化合物を化学式で答えよ。

(5) 化合物 **H**～**K** について、 AlCl_3 を用いて Friedel-Crafts アシル化反応を行った場合、最も反応速度が大きい化合物はどれか、記号で答えよ。

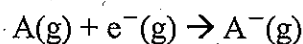
第4問 原子パラメーターについて以下の問1～問4に答えよ。

問1. 次の文章は Weller, Overton, Rourke, Armstrong による著書 *Inorganic Chemistry* 第六版 (2014 年刊行) からの抜粋である。(a)～(d)にあてはまる用語を(あ)～(か)から選べ。ただし複数形が入る場合でも単数形で記述している。

(a) are lowest at the lower left of the periodic table (near cesium) and greatest near the upper right (near helium). Successive ionizations of a species require higher energies. The ease with which an electron can be removed from an atom is measured by its (a), the minimum energy needed to remove an electron from a gas-phase atom:



(b) are highest for elements near fluorine in the periodic table. The (c) is the change in standard molar enthalpy when a gaseous atom gains an electron:



The (d) of an element is the power of an atom of the element to attract electrons when it is part of a compound; there is a general increase in (d) across a period and a general decrease down a group.

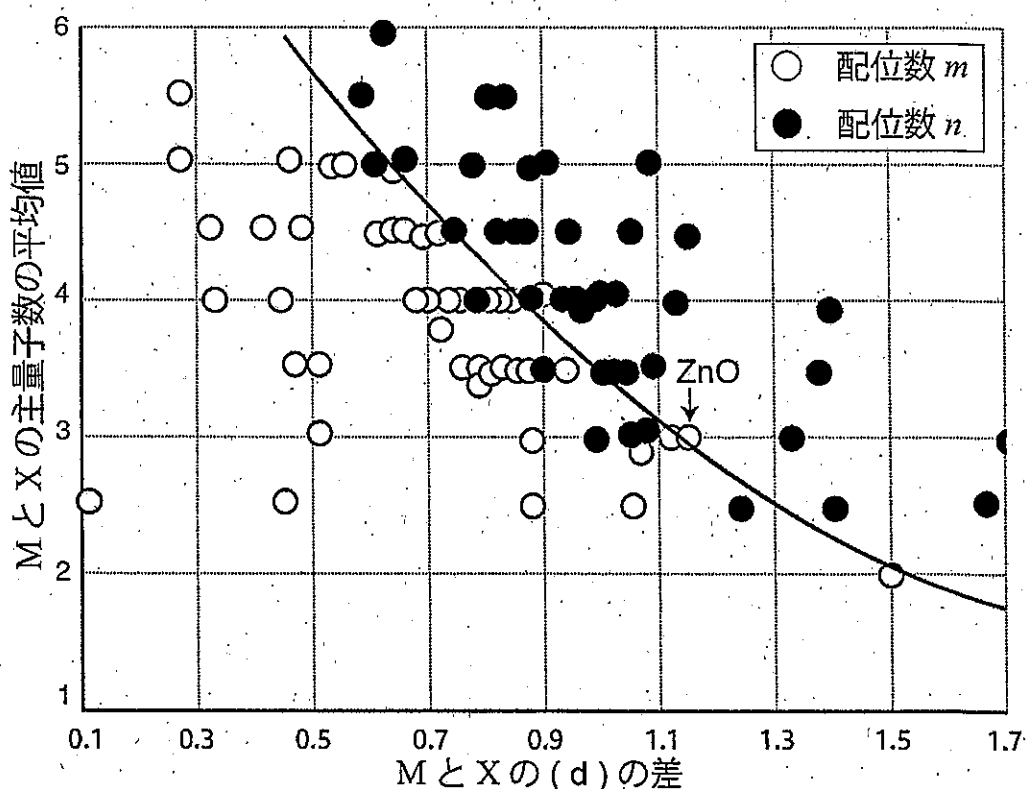
(あ) electronegativity (電気陰性度), (い) first ionization energy (第一イオン化エネルギー), (う) Gibbs energy (ギブズエネルギー), (え) electron-gain enthalpy (電子取得エンタルピー), (お) lattice enthalpy (格子エンタルピー), (か) electron affinity (電子親和力)

(次ページに続く)

第4問の続き

問2. 問1の(d)についてもう少し考えてみよう。下の図はカチオン(M)とアニオン(X)が同じ配位数をとる二元系化合物MXの構造マップである。白丸・黒丸のMXの取り得る配位数の組み合わせとして正しいものを(あ)～(か)から選べ。

- (あ) $(m, n) = (4, 6)$, (い) $(m, n) = (4, 8)$, (う) $(m, n) = (6, 4)$
 (え) $(m, n) = (6, 8)$, (お) $(m, n) = (8, 4)$, (か) $(m, n) = (8, 6)$



問3. 問2で触れた2種類の異なる配位数をとるMX化合物について、両者の結合性およびイオン半径の違いを理由とともに説明せよ。

問4. 問2で触れた2種類の異なる配位数をとるMX化合物について具体例をあげそれぞれ化学式と結晶構造を描け。あわせてM・Xイオンの最密充填についても説明せよ。

第5問 次の問1～問2に答えよ。

問1. ルイス酸・塩基について、以下の設問に答えよ。

- (1) 次の文の空欄 (あ) ～ (う) に当てはまる語句を選択肢からそれぞれ選び記号で答えよ。

ルイス酸・塩基を「硬い酸・塩基と軟らかい酸・塩基」に分けて考えるとき、(あ) が高く、容易に (い) されない (う) サイズのイオンや分子が、一般的に硬い酸・塩基とみなされる。

【選択肢】 ア：熱安定性 イ：電荷密度 ウ：反応活性 エ：励起
オ：分極 カ：原子化 キ：大きい ク：小さい

- (2) 次の塩基について、例のように不等号を用いて、「軟らかい酸」との結合が強いものから順に並べて解答せよ。(例) $A^- > B^- > C^-$

【塩基】 Br^- Cl^- I^-

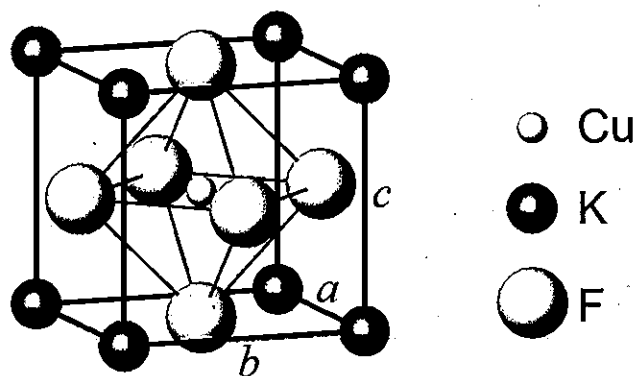
(次ページに続く)

第5問の続き

問2. 水溶液における $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 系と $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 系との組からなる電池 (全反応: $\text{Ce}^{4+} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Ce}^{3+} + \text{Fe}^{3+}$) について, 以下の設問に答えよ。ただし, イオンの活量をモル濃度で近似できるものとし, 温度 $T=298\text{ K}$, 気体定数 $R=8.31\text{ J K}^{-1}\text{ mol}^{-1}$, ファラデー定数 $F=96500\text{ C mol}^{-1}$ とする。また, 酸化還元系の標準電位 E° の値は, $E^\circ(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+})=+1.760\text{ V}$, $E^\circ(\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+})=+0.771\text{ V}$ とする。必要に応じて, $RT/F=0.0257$, $\ln 10=2.30$ を用いよ。

- (1) この電池のアノードは, $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 系, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 系のどちらにあてはまるか。
 $\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}$ 系, $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 系, のいずれかで答えよ。
- (2) この電池の標準電池電位 (V) を求め, 小数点以下第3位を四捨五入して答えよ。
- (3) この電池反応の標準反応ギブズエネルギーを求め, 有効数字2桁で答えよ。
- (4) 設問(2)における標準電池電位の測定条件から, Fe^{2+} のモル濃度のみが $\frac{1}{10}$ に減少すると, 標準電池電位に比べて電池電位はいくら変化するか。「○V 高くなる」あるいは「○V 低くなる」という形で, ○に有効数字2桁の数値をいれて答えよ。なお, 計算過程も解答用紙に記述すること。
- (5) この電池反応の平衡定数 K について, $\log K$ を求め, 有効数字2桁で答えよ。なお, 計算過程も解答用紙に記述すること。

第6問 ペロブスカイト型構造をとる KCuF_3 について、以下の問1～問4に答えよ。



KCuF_3 の結晶構造

問1. KCuF_3 中の銅イオンの形式的な価数と 3d 電子の数を答えよ。

問2. 理想的なペロブスカイト型構造は $a=b=c$ の立方晶である。 KCuF_3 が立方晶ペロブスカイト型構造をとると仮定し、以下の(a)～(c)に答えよ

(a) CuF_6 配位多面体が帰属される点群の記号を記せ。

(b) CuF_6 配位多面体の中心にある銅イオンの 3d 軌道のエネルギー準位図を記し、そこに 3d 電子を $\uparrow\downarrow$ で配置せよ。なお、3d 軌道のエネルギー準位図上には、各準位に対応する 3d 軌道の名称 ($3d_{xy}$ など) を記すこと。

(c) フッ素の 2p 軌道と σ 結合を形成する銅イオンの 3d 軌道の名称をすべて記せ。

(次ページに続く)

第6問の続き

問3. 実際の KCuF_3 結晶は、格子が c 軸方向に縮んだ正方晶ペロブスカイト型構造 ($a=b>c$) をとっている。このとき CuF_6 配位多面体が帰属される点群の指標表は次のようになる。

	E	$2(C_1)$	C_2	$2C_2'$	$2C_2''$	(C_4)	$2S_4$	(σ_h)	$2\sigma_v$	$2\sigma_d$	
A_{1g}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	x^2+y^2, z^2
A_{2g}	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	R_z
B_{1g}	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	x^2-y^2
B_{2g}	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	xy
E_g	2	0	-2	0	0	2	0	-2	0	0	$(R_x, R_y) (zx, yz)$
A_{1u}	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	
A_{2u}	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	z
B_{1u}	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	
B_{2u}	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	
E_u	2	0	-2	0	0	-2	0	2	0	0	(x, y)

- (a) 表の空欄(イ)～(ハ)にあてはまる対称操作の記号を記せ。
- (b) 対称操作 S_4 は、どのような操作なのかを説明せよ。
- (c) この指標表の点群を記号で記せ。
- (d) CuF_6 配位多面体中の銅イオンの 3d 軌道のエネルギー準位図を記し、そこに 3d 電子を $\uparrow\downarrow$ で配置せよ。
- (e) (d) で記した 3d 軌道のエネルギー準位図上に、各準位に対応する軌道の対称種 (A_{1g} など) をそれぞれ記入せよ。

問4. 問3のように結晶の構造を歪ませることで軌道の縮退を解き、エネルギーを安定化させることを何効果というか。

第7問 以下の文章を読んで、各問いに答えよ。

物質に、加熱によってエネルギー q が加えられたときの温度上昇 ΔT は、次式で定義される熱容量 C に依存している。

$$C = q / \Delta T \quad (1)$$

一方、系がもつエネルギーの総和を、系の内部エネルギー U といい、それは、系に存在する原子やイオン、分子すべての（ア）エネルギーと（イ）エネルギーの合計である。完全気体の内部エネルギー U は、この2つのエネルギーのうち、（ア）エネルギーのみを考える。系内の物質の内部エネルギーの変化 ΔU は、仕事として系に流入したエネルギー w と熱として系に流入したエネルギー q とを使って次式で表される。

$$\Delta U = \quad (\text{あ}) \quad (2)$$

膨張や収縮が自由にできる系の場合には、内部エネルギー変化は系に熱として加えたエネルギーに等しくはならない。このような場合、エンタルピー H を用いると便利である。温度 T において、系の圧力を p 、体積を V で表すと、エンタルピー H は次式で定義される。

$$H = \quad (\text{い}) \quad (3)$$

膨張や収縮が自由にできる系に熱として加えられたエネルギーは、エンタルピー H と等しくなる。完全気体の場合、モルエンタルピー H_m はモル内部エネルギー U_m や気体定数 R などを用いて次式で表される。

$$H_m = \quad (\text{う}) \quad (4)$$

内部エネルギー U もエンタルピー H も示（ウ）性の性質をもつが、モル内部エネルギー U_m 、モルエンタルピー H_m は示（エ）性の性質を示す。

内部エネルギー、エンタルピーを用いると、定容熱容量 C_v 、および、定圧熱容量 C_p は、それぞれ次式で定義される。

$$C_v = \quad (\text{え}) \quad (5)$$

$$C_p = \quad (\text{お}) \quad (6)$$

定圧熱容量は、圧力を一定に保った系において、（オ）を（カ）に対してプロットした時の（キ）である。

（次ページに続く）

第7問の続き

問1. (ア)～(キ)に適切な語句や文字を記せ。

問2. (あ)～(お)に適切な式を記せ。

問3. モル数を n とし、完全気体の定容熱容量 C_v と定圧熱容量 C_p の関係式を導出せよ。

問4. 単原子からなる完全気体の定容モル熱容量 $C_{v,m}$ を求めよ。なお、気体定数 $R = 8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ とする。

問5. 容積一定の断熱容器に入った 2 mol の気体を、電気ヒーターに 100 V , 1 A の電流を供給し、 60 s 加熱したところ、気体の温度が $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 上昇した。この気体の定容熱容量 $C_v [\text{kJ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}]$ を求めよ。なお、電気ヒーターに供給された電気エネルギーは全て加熱のための熱エネルギーに変換されたとする。

第8問 以下の文章を読んで、各問いに答えよ。

底部に (ア)半透膜を設置し、上部に大気開放されたガラス管の付いた容器内に溶液（溶媒 A、溶質 B）を入れ（図 (a) の状態）、これを純溶媒 A で満たされた槽内に容器内外の液面が揃うように設置した。室温条件下でしばらく静置すると、図 (b) のように、ガラス管内に溶液が流れ込み、ある高さまで液面が上昇して液柱を形成した。このとき、(イ)液柱による下向きの圧力と、上向きの浸透圧が釣り合っている。

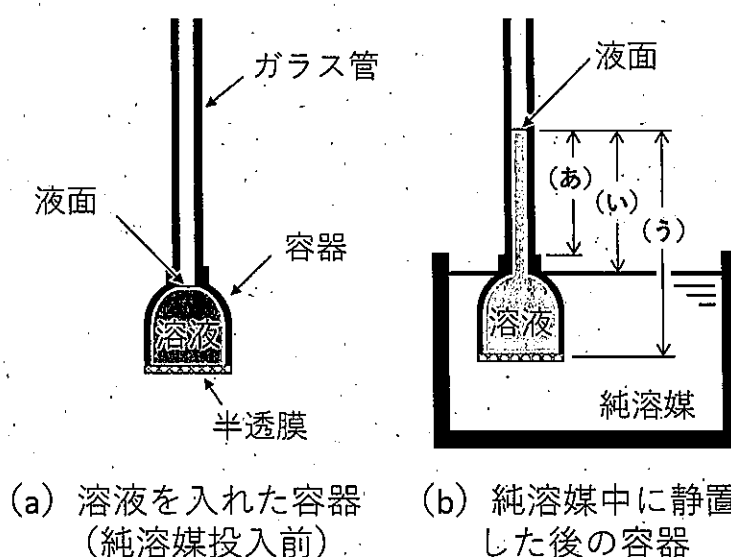


図 実験装置

問1. 下線部 (ア) 「半透膜」とは何か。説明せよ。

問2. 下線部 (イ) に関して、「液柱による下向きの圧力」とは何か。説明せよ。また、図 (b)中の (あ) ~ (う) のうち、浸透圧に比例する液高さはどれか。

問3. 理想溶液の浸透圧 Π を表すファンツホッフの式は、溶媒 A の化学ポテンシャルが半透膜を挟んだ両側で等しいことにより導かれる。ここで、純溶媒側の圧力を p とすると、溶液側の圧力は $(p + \Pi)$ となる。また、溶媒のモル分率は溶液側で x_A となっている。気体定数を R 、温度を T として以下の問いに答えよ。

(次ページに続く)

第8問の続き

- (1) ある液の圧力変化 Δp によるモルギブズエネルギー変化 ΔG_m は、モル体積 V_m が一定とみなせる場合、 $\Delta G_m = V_m \Delta p$ で表される。いま、純溶媒 A について、そのモル体積 $V_{A,m}$ が一定とみなせる場合、圧力が p から $(p + \Pi)$ まで変化したときの化学ポテンシャル変化 $\Delta \mu_A^*$ ($= \mu_A^*(p + \Pi) - \mu_A^*(p)$) はどのように表すことができるか。
- (2) 圧力 $(p + \Pi)$ での純溶媒 A の化学ポテンシャルを $\mu_A^*(p + \Pi)$ とすると、圧力 $(p + \Pi)$ におけるモル分率 x_A の溶液の化学ポテンシャル $\mu_A(x_A, p + \Pi)$ はどのように表すことができるか。
- (3) 平衡状態では、半透膜を挟んだ両側の溶媒 A の化学ポテンシャルが等しい、すなわち、 $\mu_A^*(p) = \mu_A(x_A, p + \Pi)$ という関係が成り立つ。このとき、上記の(1)と(2)から得られる関係式を用いて、温度 T における浸透圧 Π と純溶媒 A のモル体積 $V_{A,m}$ 、モル分率 x_A の関係式を導出せよ。
- (4) 理想溶液のファンツホッフの式は、上記の(3)で得られる関係式からどのような仮定を用いれば導けるか。

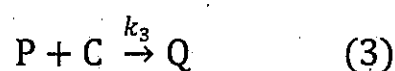
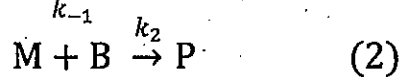
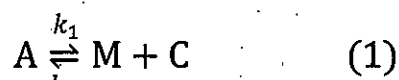
問4. 本実験では測定中に溶液濃度が変化するため、浸透圧の評価が複雑になる。浸透圧測定における溶液濃度の変化を生じさせないために、本実験の装置や方法にどのような改良を加えればよいか。簡潔に答えよ。

問5. 浸透圧の測定は、高分子のモル質量の測定にも利用される。その際に得られるモル質量は、数平均、もしくは、質量平均のいずれの平均モル質量か。理由とともに述べよ。

以上

第9問 以下の文章を読んで、各問いに答えよ。

物質 A と物質 B が反応し、中間体 M と P を経て生成物 Q を与える反応は、次の3つの素過程 (1) ~ (3) からなる。式中の k_1, k_{-1}, k_2, k_3 は反応速度定数を表す。なお、物質 X の濃度を $[X]$ と表すこととする。



- 問1. 中間体 M の濃度 $[M]$ の微小時間変化 $d[M]/dt$ を各物質の濃度と反応速度定数を使って記せ。
- 問2. 一般的に定常状態近似を適用するには、どのような条件が必要とされるか文章で記せ。
- 問3. 定常状態近似を使って、中間体 M の濃度 $[M]$ を各物質の濃度と反応速度定数を使って記せ。
- 問4. 生成物 Q の生成速度 $d[Q]/dt$ を各物質の濃度と反応速度定数を使って記せ。
- 問5. 問4の生成速度 $d[Q]/dt$ について、ある条件を満たせば、生成速度が物質 A の濃度 $[A]$ についての1次式に近似される。その条件を記せ。また、その1次式の比例定数を記せ。

以上