

関西学院大学大学院理工学研究科

2025 年度入学試験

(二次：2025 年 2 月 27 日実施)

基礎科目

化学専攻

(11:10-12:50 100 分)

【試験にあたっての注意】

1. 筆記用具以外はカバンに入れ、カバンは床の上に置くこと。
2. 携帯電話、スマートフォン、ウェアラブル端末、音楽プレーヤー等の音の出る機器の電源を切ること。なお、アラームを設定している人は解除してから電源を切り、カバンにしまうこと。
3. 時計のアラームは解除すること。携帯電話を時計として使用することは認めない。
4. 試験の途中退場は認めない。ただし、やむを得ない場合は挙手し監督者に知らせること。
5. 不審な言動は慎むこと。不正行為が発覚した場合、全科目を0点とする。
6. 試験用紙は以下の構成となっている。
 - ① 問題冊子1冊
 - ② 解答用紙
7. 指示があるまで問題冊子および解答用紙を開かないこと。
8. 解答用紙のホチキスは、はずさないこと（提出時もホチキス留めのまま提出すること）。
9. 各問題は、所定の解答用紙に解答すること。
10. 解答にあたっては、問題冊子および解答用紙に書かれた注意に従うこと。
11. 解答用紙には、氏名は記入せず、受験番号のみを記入すること。
12. 原則、解答用紙の裏面使用は不可。やむを得ず解答欄が不足する場合は「裏面に続く」と記載することで、裏面への記載を認める。
13. 試験終了後、問題冊子は各自持ち帰ること。

以上

[化学専攻（基礎科目）]

次の3題【Ⅰ】～【Ⅲ】のすべてに解答せよ。

問題1 題につき解答用紙1枚を使用し、問題番号および受験番号を解答用紙所定欄に必ず記入すること。

【I】

問 1. 次の問に答えよ. 計算では有効数字を考慮せよ.

(a) Kohlrausch ブリッジを用いると試料の抵抗 R_x は次式で求まる.

$$R_x = R_s \frac{(n_0 - n_1)}{(n_2 - n_0)}$$

ここで R_s は内部の標準抵抗, n_0 はダイヤルの読み取り値, n_1, n_2 は各々ダイヤルの始点と終点である. R_s, n_1, n_2 の誤差を無視し n_0 の誤差を Δn_0 として, R_x の誤差 ΔR_x を求める式を導出せよ.

(b) 分子量 252.3 の化合物を 63.1 mg 計り取り, 溶媒 50 mL に溶解した. この溶液のモル濃度を計算せよ.

(c) 反応式 $2A \rightarrow 2B + C$ に従い, 質量パーセント濃度 $a\%$ の A を含む密度 b [g cm^{-3}] の溶液 c [mL] から気体分子 C が発生した. A の分子量を m とした場合, 温度 T , 圧力 P の条件下で発生する気体の体積 V を求める式を書け. C は理想気体とし気体定数を R とせよ.

(d) 次の単位を SI 基本単位系で表せ. dyn は力を cgs 単位系で表したものである.

i) 圧力 Pa, ii) エネルギー kJ, iii) 力 mN, iv) 粘度 cP (P は Poise, $P = \text{dyn s cm}^{-2}$)

問 2. 次の問に答えよ.

(a) J. J. Thomson は, 真空管の陰極から放出されるビームに対しどのような実験を行い, 何を発見したか, 簡潔に説明せよ.

(b) E. Rutherford は, 金の薄膜に α 線を照射する実験を行った. (i) α 線とは何か説明せよ. (ii) この実験からどのような結果が得られ, 何が明らかになったか簡潔に述べよ.

(c) 電磁波の粒子性を示す実験を2つ挙げ, 何故それが粒子性を示す事になるのか説明せよ.

問 3. 水素原子のエネルギー E_n は次式で表される.

$$E_n = - \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0 n^2}$$

a_0 は Bohr 半径, ϵ_0 は真空の誘電率, e は電気素量, n はエネルギーを決める量子数である. 水素原子の発光スペクトルは, エネルギーの高い励起状態 $n = n_i$ から低い状態 $n = n_f$ への遷移によって説明できる. 可視領域では, $n_f = 2$ に対応する長波長側の 656.3 nm から短波長側の 397.0 nm まで計 5 本の離散的な発光スペクトルが観測される. これに関して次の問に答えよ.

(a) 水素原子の可視領域の発光スペクトルは何系列と呼ばれているか.

(b) 可視領域の発光スペクトルの波長 λ を求める式を $1/\lambda =$ の形で示せ.

(c) n は何と呼ばれている量子数か.

(d) 波長 397.0 nm の発光に対応する n_i を求めよ.

(e) 水素原子の (i) 基底状態, および (ii) 励起状態の 2s オービタル, からのイオン化エネルギーを求める式を書け.

(f) 水素原子のエネルギー準位を下から順に $n = 3$ まで描き, オービタルの記号 (例: 1s) を入れよ. 縦軸にエネルギーを取り, 横棒 (—) がエネルギー準位を表すものとする.

(g) 多電子系のエネルギー準位は, 水素原子とは異なっている. 硫黄原子 S とそのイオン S^+ の基底状態の電子配置を図で示せ. 縦軸にエネルギーを取り, 横棒 (—) がエネルギー準位を表すものとし, 電子のスピンは矢印 (\uparrow ないし \downarrow) で示せ. オービタルの記号 (例: 1s) も入れよ.

【II】

問1. シクロヘキサンの標準沸点 (1 bar における沸点) は 354 K であり, その温度における標準蒸発エンタルピーは 30.1 kJ mol^{-1} である. 以下の問いに答えよ.

- (a) 354 K におけるシクロヘキサンの標準凝縮エンタルピーは何 kJ mol^{-1} か.
(b) 354 K におけるシクロヘキサンの標準蒸発エントロピーは何 $\text{J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ か.
(c) シクロヘキサンの限らず多くの液体は(b)で求めた値とほぼ同じ標準蒸発エントロピーを持つ (Trouton の規則). その理由を説明せよ.
(d) 水の標準蒸発エントロピーの値はシクロヘキサンのその約 1.3 倍大きく, Trouton の規則から外れている. その理由を説明せよ.

問2. 次の文に関して, 後の問いに答えよ.

弱塩基 B の水溶液中では解離平衡 $\text{B} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{BH}^+ + \text{OH}^-$ が成り立っている. B の塩基解離定数 K_b は $[\text{B}], [\text{BH}^+], [\text{OH}^-]$ を用いて

$$K_b = \boxed{\text{ア}} \quad (1)$$

と表せる. 一方, 水のイオン積 (自己プロトリス定数) K_w は $[\text{H}_3\text{O}^+], [\text{OH}^-]$ を用いて

$$K_w = \boxed{\text{イ}} \quad (2)$$

と表せる. 25°C において $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$ である.

水溶液中の B の濃度を C とすると, 物質収支の式は $[\text{B}], [\text{BH}^+], [\text{H}_3\text{O}^+], [\text{OH}^-]$ のうち必要なものを用いて

$$C = \boxed{\text{ウ}} \quad (3)$$

と書ける. また, 電荷収支の式は $[\text{B}], [\text{BH}^+], [\text{H}_3\text{O}^+], [\text{OH}^-]$ のうち必要なものを用いて

$$\boxed{\text{エ}} \quad (4)$$

と書ける. 式(1) ~ (4) から $[\text{OH}^-]$ の 3 次方程式

$$\boxed{\text{オ}} \quad (5)$$

が得られる.

ここで, $[\text{OH}^-] \gg [\text{H}_3\text{O}^+]$ および $C \approx [\text{B}]$ と仮定すると, 3 次方程式(5)は $[\text{OH}^-]$ の 1 次の項がない 2 次方程式となり, 簡単に解くことができる. その解は C, K_b を用いて

$$[\text{OH}^-] = \boxed{\text{カ}} \quad (6)$$

となり, この式から $\text{pOH} = -\log_{10}[\text{OH}^-]$ を計算することができる.

- (a) 空欄ア~カに入る式を答えよ.
(b) 式(6)を用いて 0.030 M のアンモニア水溶液の pH を小数第 2 位まで求めよ. ただし, アンモニアの塩基解離定数は $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ とする. 必要であれば, $\log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 3 = 0.48$ を用いよ.

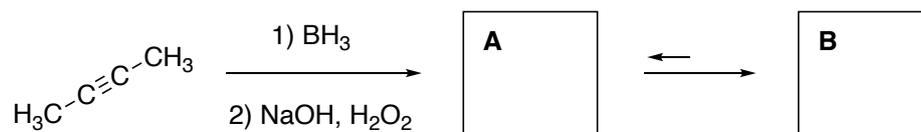
【III】

問1. 次の化合物のルイス構造式を形式電荷と共に書け.

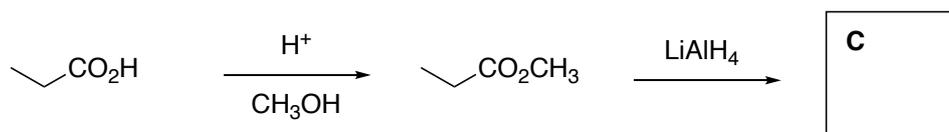
- (a) I-CH₂-Cl (b) CH₃CN
 (c) BH₄⁻ (d) CH₂=CH-O⁻ (e) HOOH

問2. 下に示す反応式について, 化合物 **A** と **B** を記し, 完成させよ.

(注) 化合物 **A** と **B** は異性体の関係にある.

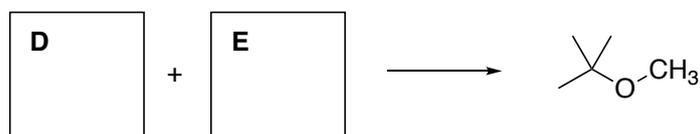


問3. 次の合成について考える.



- (a) 生成物 **C** の構造を書け.
 (b) プロピオン酸からプロピオン酸メチルを合成する反応の機構を記載せよ. 電子の流れを示す曲がった矢印で示すこと.

問4. 下に示すエーテルの合成反応について考える.



- (a) 原料となる分子 **D** ならびに **E** の構造を書け. なお 分子 **D** はナトリウムアルコキシドであり, 分子 **E** は有機ハロゲン化物である.
 (b) 反応機構を記載せよ. 電子の流れを示す曲がった矢印で示すこと.

化学専攻 2025 年度二次 基礎科目 出題意図

【I】

量子化学における基礎的な知識を問うた。

【II】

- 問1. 液体-気体間の相転移に伴うエンタルピーおよびエントロピーの変化に関する出題である。蒸発エントロピーの物理的な意味を、様々な物質の間での比較に基づいて考察できるかどうかを問うた。
- 問2. 化学平衡の系統的な計算に必要な酸解離定数，物質収支，電荷収支などの基礎概念を理解しているかどうか，それらを塩基の pH の計算に正しく応用できるかどうかを問うた。

【III】

基礎的な有機化学における分子の構造や反応性に関する理解を問うた。

化学専攻 2025 年度二次 基礎科目 解答例

【I】

問 1.

(a) $|\Delta R_x| \leq R_S \Delta n_0 \frac{n_2 - n_1}{(n_2 - n_0)^2}$

(b) $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$

(c) $V = \frac{10^{-2} abcRT}{mP}$

(d) i) $\text{kg m}^{-1} \text{ s}^{-2}$ ii) $10^3 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$ iii) $10^{-3} \text{ kg m s}^{-2}$ iv) $10^{-3} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$

問 2.

(a) 陰極線を電場と磁場を加えて偏向させる研究から電子を発見し、その比電荷 e/m_e を求めた。

(b) (i) α 線は、放射線の一種で He の原子核 (ii) 殆どの α 線が直線上に金の薄膜を通り抜けるが、僅かなものが反射される。これから、原子には正電荷と質量が非常に小さな体積に集中している原子核が存在している事を見だし、核の周りを電子が回っている原子（惑星）モデルを提案した。

(c) (i) 光電効果：真空中である閾値以上の振動数 n を持つ電磁波を金属に照射すると、どんなに弱くても電子が飛び出すが、閾値以下だと強度を強くしても電子は飛び出さない。電磁波を hn のエネルギーを持った粒子的な性質をもつ光量子 photon と考えるとこの現象を説明できる。

(ii) Compton 効果：グラフィイト中の電子にある波長 λ の X 線を照射すると、その波長が僅かに長くなる。電磁波である X 線をエネルギー $E = hn$ 、運動量 $p = h/\lambda$ を持つ光量子と考えると説明できる。

問 3.

(a) バルマー系列

(b) $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{hc} \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{n_i^2} \right)$

(c) 主量子数

(d) $n_i = 7$

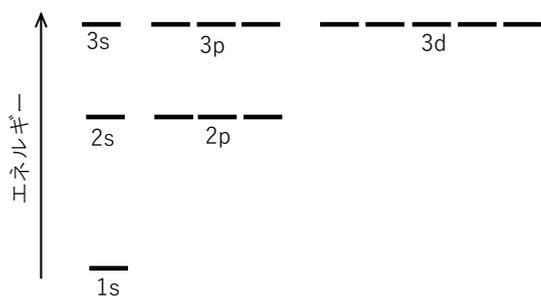
化学専攻 2025 年度二次 基礎科目 解答例

(e) (i) 基底状態からのイオン化エネルギー $I = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0}$

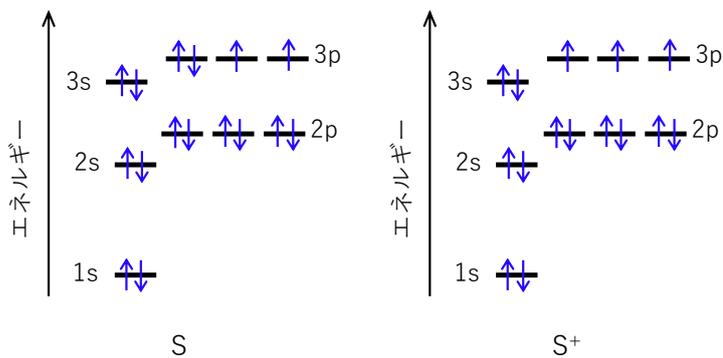
(ii) 2s オービタルからのイオン化エネルギー

$$I = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 a_0} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{\infty^2} \right) = \frac{e^2}{32\pi\epsilon_0 a_0}$$

(f)



(g)



化学専攻 2025 年度二次 基礎科目 解答例

【II】

問 1.

(a) $-30.1 \text{ kJ mol}^{-1}$

(b) $85.0 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

(c) どのような液体でも蒸発して気体になる際には同程度の体積変化が生じるため、乱雑さの変化はほぼ同じであると考えられるため.

(d) 液体の水では水素結合が存在するため、液体状態のエントロピーが低く、気体になる場合に余分のエントロピーの増加が生じる.

問 2.

(a)

ア. $\frac{[\text{BH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]}$

イ. $[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$

ウ. $[\text{B}] + [\text{BH}^+]$

エ. $[\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+] + [\text{BH}^+]$

オ. $[\text{OH}^-]^3 + K_b[\text{OH}^-]^2 - (CK_b + K_w)[\text{OH}^-] - K_bK_w = 0$

カ. $\sqrt{CK_b}$

(b)

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{CK_b} = \sqrt{0.03 \times 1.8 \times 10^{-5}} = \sqrt{54} \times 10^{-4} \text{ M}$$

したがって

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14.00 - \text{pOH} = 14.00 + \log_{10}(\sqrt{54} \times 10^{-4}) \\ &= 14.00 - 4 + \frac{1}{2}(3 \log_{10} 3 + \log_{10} 2) = 10.87 \end{aligned}$$

化学専攻 2025 年度二次 基礎科目 解答例

