順天堂大学

2026 年度　一般選抜　化学

（2 科目　120 分）

必要なら次の値を用いなさい。原子量：H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, S = 32, Cl = 35.5, Cr = 52, Cu = 63.5，アボガドロ定数：$N_A = 6.0 \times 10^{23}$/mol，気体定数：$R = 8.3 \times 10^3$ Pa·L/(K·mol)，ファラデー定数：$F = 9.65 \times 10^4$ C/mol，$\log_{10} 2 = 0.30$，$\log_{10} 3 = 0.48$，$\log_{10} 5 = 0.70$，$\sqrt{2} = 1.41$，$\sqrt{3} = 1.73$，$\sqrt{5} = 2.24$ とする。また，気体はすべて理想気体として扱い，化学式が [　] で囲まれている場合は，その物質のモル濃度〔mol/L〕を表している。

I　以下の問題（**第 1 問〜第 3 問**）の答えをマークシートに記しなさい。

第 1 問　次の各問いに答えなさい。〔**解答番号** 1 〜 8 〕

問 1　塩素には ^{35}Cl と ^{37}Cl の同位体が，炭素には ^{12}C と ^{13}C の同位体が存在するとして，四塩化炭素には質量数の和が異なる分子が何種類存在するか。正しい数を①〜⑥の中から一つ選びなさい。ただし，四塩化炭素は炭素を中心とした正四面体の分子である。 1

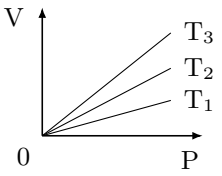
① 4　② 5　③ 8　④ 10　⑤ 16　⑥ 20

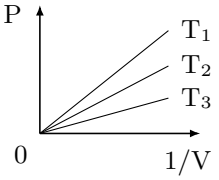
問 2　次の有機化合物 1 mol をそれぞれ完全燃焼させたとき，生じる二酸化炭素の物質量が最も多い化合物はどれか。正しいものを①〜⑥の中から一つ選びなさい。 2

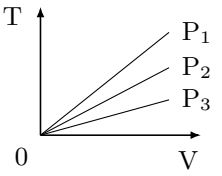
① CH_4　② CH_2O　③ C_2H_5OH

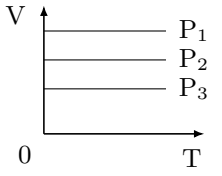
④ CH_3CHO　⑤ CH_3COCH_3　⑥ CH_3COOH

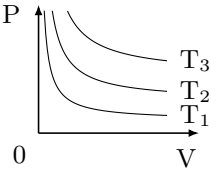
問 3　1 mol の理想気体の性質に関して，正しい関係を表しているグラフを①〜⑥の中から一つ選びなさい。ただし体積 V〔L〕，圧力 P〔Pa〕，絶対温度 T〔K〕であり，$P_1 < P_2 < P_3$，$T_1 < T_2 < T_3$ とする。 [3]

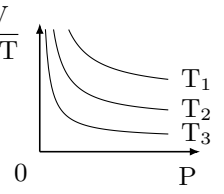
①


②


③


④


⑤


⑥


問 4　金属 M を含む，$MCl_3 \cdot 6\,H_2O$ の化学式で表される物質 A がある。金属 M のイオン（M^{3+}）には，塩化物イオンや水が配位子として結合しており，M^{3+} を中心とした正八面体構造をとる。A を水に溶かして硝酸銀水溶液を充分加えたが，沈殿は生じなかった。M^{3+} と配位子を立体配置の違いで区別すると正八面体の種類はいくつあるか。正しい数を①〜⑥の中から一つ選びなさい。ただし M^{3+} と配位子間の結合距離は配位子の種類に関わらずすべて等しいものとする。 [4]

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5　⑥ 6

問 5　硫酸ナトリウム十水和物 5.0 g を水 100 g に溶かした。この水溶液の凝固点は何℃か。最も近い値を①〜⑥の中から一つ選びなさい。ただし水の凝固点を 0.0 ℃，水のモル凝固点降下を 1.86 K·kg/mol とし，硫酸ナトリウムは水溶液中で完全に電離するものとする。 [5] ℃

① −0.15　② −0.28　③ −0.37　④ −0.45　⑤ −0.56　⑥ −0.84

問 6　次の問い (a)〜(c) に答えなさい。

(a) 硫酸銅 (II) は 20 ℃で 100 g の水に対して最大 20.2 g 溶ける。20 ℃における硫酸銅 (II) 飽和水溶液の質量パーセント濃度は何 % か。最も近い値を①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [6] %

① 10.8　② 14.5　③ 16.8　④ 21.6　⑤ 28.7　⑥ 33.6

(b) (a) の 20 ℃の硫酸銅 (II) 飽和水溶液から，4.00×10^{-2} mol/L の硫酸銅 (II) 水溶液を 1.00 L つくるとき必要な硫酸銅 (II) 飽和水溶液は何 g か。最も近い値を①〜⑥の中から一つ選びなさい。

[7] g

① 10.8　② 12.5　③ 24.8　④ 28.6　⑤ 32.8　⑥ 38.0

(c) 60 ℃における硫酸銅 (II) 飽和水溶液 100 g を 20 ℃まで冷却したところ，質量 x〔g〕の硫酸銅 (II) 五水和物が析出した。硫酸銅 (II) のモル質量〔g/mol〕を M，水のモル質量〔g/mol〕を m とし，硫酸銅 (II) は 60 ℃で 100 g の水に対して最大 A〔g〕溶けるとして，この 20 ℃の水溶液中に溶解している硫酸銅 (II) の質量〔g〕はどう表されるか。正しい式を①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [8]

① $\dfrac{(A-x)M}{M+5m}$　② $\dfrac{(100A-x)M}{M+5m}$

③ $\dfrac{100A}{100+A} - \dfrac{Mx}{M+5m}$　④ $\dfrac{100^2}{100+A} - \dfrac{Mx}{M+5m}$

⑤ $\dfrac{100A(M+5m)}{100M-5mA} - \dfrac{Mx}{M+5m}$　⑥ $A - \dfrac{Mx}{M+5m}$

第 2 問　次の各問いに答えなさい。〔**解答番号** [1] 〜 [9] 〕

水酸化ナトリウムを食塩水の電気分解によって製造するイオン交換膜法を考える。この方法では，図 1 に示すように電気分解槽内部がイオン交換膜によって陽極側と陰極側に分けられている。陽極側では反応 (I) が起こり，陰極側では反応 (II) が起こる。イオン交換膜法で純度の高い水酸化ナトリウムを得ることができるのは，イオン交換膜が [イ] のみを選択的に透過させるからである。ただしこの電気分解は 25 ℃，1.013×10^5 Pa でおこなわれたものとし，極板が溶解する反応は起こらないものとする。また必要であれば次の表 1 を参考にしなさい。

$2\boxed{} \longrightarrow \boxed{\text{ロ}} + 2e^-$ ---------- (I)

$2\boxed{} + 2e^- \longrightarrow \boxed{\text{ハ}} + 2\boxed{}$ ---------- (II)

表 1

反応式	エンタルピー（25 ℃，1.013×10^5 Pa）
H_2(気) + $\frac{1}{2}$ O_2(気) → H_2O(液)	$\Delta H = -286\,\mathrm{kJ}$
Na(固) + $\frac{1}{2}$ Cl_2(気) → NaCl(固)	$\Delta H = -411\,\mathrm{kJ}$
NaCl(固) + aq → NaCl aq	$\Delta H = +4.0\,\mathrm{kJ}$
Na(固) + $\frac{1}{2}$ O_2(気) + $\frac{1}{2}$ H_2(気) → NaOH(固)	$\Delta H = -425.5\,\mathrm{kJ}$
NaOH(固) + aq → NaOH aq	$\Delta H = -44.5\,\mathrm{kJ}$

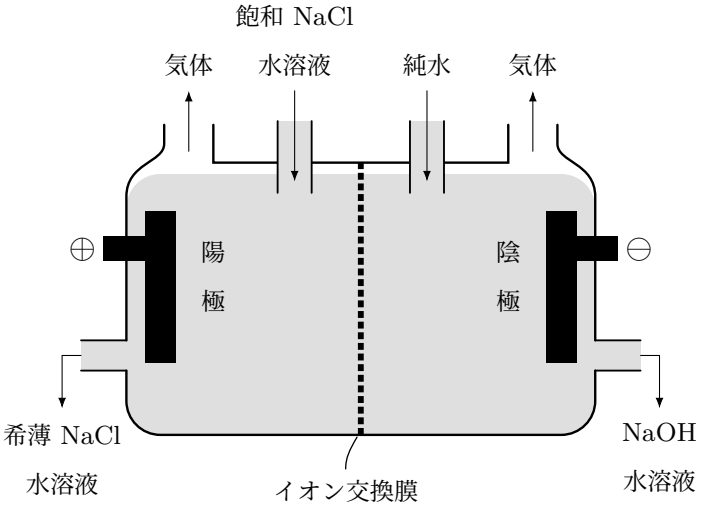


図 1

問 1　イ に当てはまる物質を①～⑥の中から一つ選びなさい。　1

① Cl_2　② H_2　③ O_2　④ Na^+　⑤ Cl^-　⑥ OH^-

問 2　ロ に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。　2

① NaCl　② H_2O　③ NaOH　④ Cl_2　⑤ H_2

⑥ O_2　⑦ H^+　⑧ Na^+　⑨ Cl^-　⑩ OH^-

問 3　[ハ]に当てはまる物質を①〜⑩の中から一つ選びなさい。 [3]

① $NaCl$　② H_2O　③ $NaOH$　④ Cl_2　⑤ H_2

⑥ O_2　⑦ H^+　⑧ Na^+　⑨ Cl^-　⑩ OH^-

問 4　反応 (I) および反応 (II) による水酸化ナトリウムの製造に関する次の問い (a)，(b) に答えなさい。このときの電気分解反応全体の式を反応 (III) とする。

$$NaCl\,aq + [\text{ニ}] \longrightarrow NaOH\,aq + \frac{1}{2}[\quad] + \frac{1}{2}[\quad] \qquad \Delta H = [\text{ホ}]\,kJ \qquad \text{---------- (III)}$$

(a)　[ニ]に当てはまる物質を①〜⑩の中から一つ選びなさい。 [4]

① $NaCl$　② H_2O　③ $NaOH$　④ Cl_2　⑤ H_2

⑥ O_2　⑦ H^+　⑧ Na^+　⑨ Cl^-　⑩ OH^-

(b)　[ホ]に当てはまる最も近い値を①〜⑫の中から一つ選びなさい。 [5] kJ

① -446　② -223　③ -184　④ -143　⑤ -121　⑥ -63

⑦ 63　⑧ 121　⑨ 143　⑩ 184　⑪ 223　⑫ 446

問 5　図 1 の電気分解をイオン交換膜を使わずにおこなった場合，反応 (III) では発生していなかった漂白作用を示す物質が，反応 (IV) によって生成した。次の問い (a)，(b) に答えなさい。

$$[\quad] + 2[\text{へ}] \longrightarrow [\quad] + [\quad] + [\quad] \qquad \text{---------- (IV)}$$

(a)　[へ]に当てはまる物質を①〜⑩の中から一つ選びなさい。 [6]

① $NaCl$　② H_2O　③ $NaOH$　④ Cl_2　⑤ H_2

⑥ O_2　⑦ H^+　⑧ Na^+　⑨ Cl^-　⑩ OH^-

(b) 反応 (IV) で生成した漂白作用を示す物質を①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [7]

① $NaCl$　② H_2O_2　③ $NaOH$　④ Cl_2　⑤ H_2　⑥ $NaClO$

問 6　消費電力削減のために，イオン交換膜法の陰極で酸素を直接還元する反応 (V) を利用する方法が開発されている。反応 (I) および反応 (V) による水酸化ナトリウムの製造に関する次の問い (a)，(b) に答えなさい。このときの電気分解反応全体の式を反応 (VI) とする。

$$O_2 + 2\,H_2O + 4e^- \longrightarrow 4\,OH^- \qquad \text{---------- (V)}$$

$$NaCl\,aq + \frac{1}{4}\boxed{} + \frac{1}{2}\boxed{\text{ト}} \longrightarrow NaOH\,aq + \frac{1}{2}\boxed{} \qquad \Delta H = \boxed{\text{チ}}\,kJ \qquad \text{---------- (VI)}$$

(a) ト に当てはまる物質を①～⑩の中から一つ選びなさい。 8

① $NaCl$　② H_2O　③ $NaOH$　④ Cl_2　⑤ H_2

⑥ O_2　⑦ H^+　⑧ Na^+　⑨ Cl^-　⑩ OH^-

(b) チ に当てはまる最も近い値を①～⑫の中から一つ選びなさい。 9 kJ

① -368　② -320　③ -252　④ -160　⑤ -126　⑥ -80

⑦ 80　⑧ 126　⑨ 160　⑩ 25　⑪ 320　⑫ 368

第 3 問　〔**解答番号** 1 ～ 8 〕

炭素，水素，酸素からなり，4 つのエステル結合をもつ化合物 W は炭素数が 20 の有機化合物である。1.0 mol の W を加水分解したところ，4 つのエステル結合がすべて分解され，ヒドロキシ基とカルボキシ基のいずれかの官能基，または両方の官能基，の数の合計が 2 つである 3 つの化合物 X，Y，Z が合計 4.0 mol 得られた。この 3 つの化合物に含まれる酸素原子はすべてヒドロキシ基またはカルボキシ基に属しており，3 つの化合物には三重結合は含まれない。X はベンゼン環に 2 つの官能基のみが直接 *o*-（オルト）位に置換されており，Y および Z は直鎖状の構造で官能基は両末端に 1 つずつ結合していた。Y とシュウ酸をエステル化すると 2 つのエステル結合をもつ化合物が得られ，この化合物の分子式と Z の分子式が同じであった。

次の各問いに答えなさい。ただし化合物中のカルボキシ基とヒドロキシ基はその位置やその化合物の化学的性質にかかわらずエステル結合できるとし，加水分解反応ではエステルの分解のみが，エステル化反応ではエステルの生成のみが起こり，反応は完全に進行するとする。

問 1　1.0 mol の W が完全に加水分解されたとき，生成する X，Y，Z の物質量比（X：Y：Z）はどうなるか。正しいものを①～③の中から一つ選びなさい。 1

① 2：1：1　② 1：2：1　③ 1：1：2

問 2　X に関する記述として正しいものを①～⑥の中から一つ選びなさい。 2

① *o*-（オルト）キシレンを過マンガン酸カリウムで酸化すると得られる。

② 工業的にはクメン法で得られる。

③ ポリエチレンテレフタラートの原料となる。

④ 無水酢酸と混合し濃硫酸を触媒として加えると，解熱鎮痛剤として用いられる針状結晶が得られる。

⑤ トルエンを穏やかな条件で酸化した後，還元すると得られる。

⑥ フェノールに無水酢酸を反応させると得られる。

問 3　Y が一般的に使用される用途として最も適切なものを①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [3]

① 除菌剤や消毒液として用いられる。

② 電気火災の消火剤として用いられる。

③ 自動車エンジンの冷却液として用いられる。

④ 吸湿性が強く，乾燥材として用いられる。

⑤ 胃腸薬（制酸剤）として用いられる。

⑥ 防腐剤として用いられる。

問 4　Z の分子式として正しいものを①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [4]

① $C_2H_2O_2$　② $C_2H_2O_3$　③ $C_2H_2O_4$　④ $C_3H_3O_3$　⑤ $C_3H_3O_4$　⑥ $C_4H_4O_4$

問 5　W のモル質量は何 g/mol か。最も近い値を①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [5] g/mol

① 306　② 360　③ 378　④ 382　⑤ 432　⑥ 454

問 6　95.5 mg の W に乾燥した酸素を加えながら完全燃焼させた。次の問い (a)，(b) に答えなさい。

(a) 発生した二酸化炭素は何 mg か。最も近い値を①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [6] mg

① 185　② 195　③ 220　④ 233　⑤ 255　⑥ 275

(b) 生成された水は何 mg か。最も近い値を①〜⑥の中から一つ選びなさい。 [7] mg

① 26.5　② 27.9　③ 31.5　④ 39.3　⑤ 53.0　⑥ 55.8

問 7　W として考えられる物質はいくつあるか。正しい数を①〜⑥の中から一つ選びなさい。ただし鏡像異性体および幾何異性体を区別しなさい。 [8]

① 1　② 2　③ 3　④ 4　⑤ 5　⑥ 6

II　以下の問題（第 1 問・第 2 問）の答えを解答用紙に記しなさい。

温度によらず，水のイオン積：$K_{\mathrm{w}} = 1.0 \times 10^{-14}\,(\mathrm{mol/L})^2$，酢酸の酸の電離定数：$K_{\mathrm{a(ac)}} = 2.0 \times 10^{-5}\,\mathrm{mol/L}$，アンモニアの塩基の電離定数：$K_{\mathrm{b(am)}} = 2.0 \times 10^{-5}\,\mathrm{mol/L}$ としなさい。

第 1 問　水溶液の pH に関する次の各問いに答えなさい。

問 1　次の問い (a)，(b) に答えなさい。

濃度が C_{am}〔mol/L〕の酢酸アンモニウム水溶液では，酢酸アンモニウムは水溶液中で完全に電離し，アンモニウムイオンと酢酸イオンとなる。加水分解の影響が充分に小さい（酢酸アンモニウム濃度がある程度大きい）場合，電離平衡の式 (I) において，$[NH_4^+]$ と $[CH_3COO^-]$，また $[NH_3]$ と $[CH_3COOH]$ は互いに等しいと考える。

$$NH_4^+ + CH_3COO^- \rightleftharpoons NH_3 + CH_3COOH \qquad \text{---------- (I)}$$

このとき，$K_{\mathrm{a(ac)}}$，$K_{\mathrm{b(am)}}$，K_{w} を用いた式 (II) が成立する。

$$K_{\mathrm{a(ac)}} \times \frac{K_{\mathrm{w}}}{K_{\mathrm{b(am)}}} = \boxed{\text{(A)}} \qquad \text{---------- (II)}$$

よってこの水溶液の pH は式 (III) で表すことができる。

$$\mathrm{pH} = \boxed{\text{(B)}} \qquad \text{---------- (III)}$$

(a)　式 (II) の $\boxed{\text{(A)}}$ に当てはまる最も適切な文字式を $[H^+]$ を用いて表しなさい。

(b)　式 (III) の $\boxed{\text{(B)}}$ から pH の値を求めなさい。解答欄には求めた値のみを書くこと。

問 2　次の問い (a)〜(c) に答えなさい。

純水に酸や塩基を加えるとその pH は大きく変化するが，酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液に酸や塩基を少量加えても pH の変化は少ない。このような pH があまり変化しないような働きを $\boxed{\text{(C)}}$ 作用という。

濃度が C_{ac}〔mol/L〕の酢酸水溶液と濃度が C_{so}〔mol/L〕の酢酸ナトリウム水溶液を混合した，混合水溶液の電離平衡は式 (IV)，$K_{\mathrm{a(ac)}}$ は式 (V) と表せる。

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+ \qquad \text{---------- (IV)}$$

$$K_{\mathrm{a(ac)}} = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]} \qquad \text{---------- (V)}$$

この混合水溶液では式 (IV) の電離平衡が左に偏るため，$[CH_3COOH]$ は初めの酢酸濃度 C_{ac}〔mol/L〕に等しく，$[CH_3COO^-]$ は初めの酢酸ナトリウム濃度 C_{so}〔mol/L〕に等しいと考える。よってこの混合水溶液の pH は式 (VI) で表すことができる。

$$\mathrm{pH} = -\log_{10} K_{\mathrm{a(ac)}} + \boxed{\text{(D)}} \qquad \text{---------- (VI)}$$

(a) 文中の (C) に当てはまる最も適切な言葉を書きなさい。

(b) 式 (VI) の (D) に当てはまる最も適切な文字式を C_{ac}，C_{so} を用いて書きなさい。

(c) アンモニウムイオンは酸として水に水素イオンを与えるため酸の電離反応をすると考えられるが，酢酸と酢酸ナトリウムが同じ濃度の混合水溶液中にアンモニウムイオンがある程度含まれていたとしてもその影響はほとんど無視でき，pH 変化は非常に小さい。その理由として混合水溶液の (C) 作用の他にどのような理由が考えられるか。混合水溶液の pH の値およびアンモニウムイオンの酸の電離定数の値を考慮して述べなさい。ただし化学式は用いないこと。

（注）解答欄は横 18 cm×5 行。

第 2 問　次の各問いに答えなさい。

ある物質 X は式 (VII) のように弱塩基として働き，標準状態では気体である。また $(\mathrm{XH})_2\mathrm{CO}_3$（モル質量：96.0 g/mol）は標準状態で固体として存在するが，60 ℃前後以上で式 (VIII) のように熱分解されるとする。

$$\mathrm{X} + \mathrm{H_2O} \rightleftharpoons \mathrm{XH^+} + \mathrm{OH^-} \qquad \text{---------- (VII)}$$

$$(\mathrm{XH})_2\mathrm{CO}_3 \longrightarrow 2\,\mathrm{X} + \mathrm{CO_2} + \mathrm{H_2O} \qquad \text{---------- (VIII)}$$

体積可変の容器にメタン，酸素，および 5.28 g の $(\mathrm{XH})_2\mathrm{CO}_3$ を封入し，体積を 2490 mL で固定した。27 ℃において混合気体の全圧は 1.425×10^6 Pa であった。容器内のメタンを完全燃焼させ，$(\mathrm{XH})_2\mathrm{CO}_3$ も完全に熱分解させた。メタンと酸素は過不足なく反応した。気体部分の体積を 2490 mL に保ちながら容器に 102.0 mL の純水を注入し温度を 27 ℃まで冷却してこの温度を保った。ただし初めに封入した $(\mathrm{XH})_2\mathrm{CO}_3$ の体積は無視でき，気体の溶解による液体の体積変化は無視する。また液体の密度はすべて 1.00 g/cm^3 であり，27 ℃における水の蒸気圧は 5.00×10^3 Pa で一定とし，炭酸の 2 段階目の電離は考慮しない。炭酸の酸の電離定数：$K_{\mathrm{a(ca)}} = 4.0 \times 10^{-7}$ mol/L，X の塩基の電離定数：$K_{\mathrm{b(x)}} = 2.0 \times 10^{-5}$ mol/L としなさい。

問 1　メタンを完全燃焼させたときの化学反応式を書きなさい。

問 2　初めに封入したメタンの質量は何 g か。

問 3　メタンの燃焼と，$(\mathrm{XH})_2\mathrm{CO}_3$ の熱分解によって発生した二酸化炭素の物質量は何 mol か。

問 4　次の問い (a)，(b) に答えなさい。ただし pH を求める際，第 1 問問 1 あるいは問 2 の pH の求め方のうち，適切な方を用いて答えなさい。また中和が進行することによって気相から新たに気体は溶解

しないとし，中和によって生じた塩は水溶液中で完全に電離しているものとする。

(a) 次の問い (i)，(ii) に答えなさい。

(i) 27 ℃における二酸化炭素と X の水への溶解量はそれぞれ，$5.00 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol/(L{\cdot}10^5\,Pa)}$ および $1.00\,\mathrm{mol/(L{\cdot}10^5\,Pa)}$ であるとすると，二酸化炭素と X はそれぞれ容器内の水に何 mol 溶解したか。ただしそれぞれの気体はヘンリーの法則に従うものとする。

(ii) 溶解した二酸化炭素と X は水溶液中で中和反応する。反応が終了した時点の水溶液の pH はいくつになるか。

(b) 仮にすべての X が水溶液中に溶解したとする。次の問い (i)，(ii) に答えなさい。

(i) このとき二酸化炭素も X と同じ物質量が溶解し中和反応が進行したとすると反応が終了した時点の水溶液の pH はいくつになるか。

(ii) このとき二酸化炭素は X の 2 倍の物質量が溶解し中和反応が進行したとすると反応が終了した時点の水溶液の pH はいくつになるか。