

化 学

(解答番号 ~)

必要があれば、原子量は次の値を使うこと。

H	1.0	C	12	N	14	O	16
Ca	40	Fe	56	Zn	65		

気体は、実在気体とことわりがない限り、理想気体として扱うものとする。

第1問 次の問い(問1～4)に答えよ。(配点 20)

問1 次の記述(ア・イ)の両方に当てはまる金属元素として最も適当なものを、下の①～④のうちから一つ選べ。

ア 2価の陽イオンになりやすいもの

イ 硫酸塩が水に溶けやすいもの

① Mg

② Al

③ K

④ Ba

問 2 単位格子の一辺の長さ $L(\text{cm})$ の体心立方格子の構造をもつモル質量 $M(\text{g/mol})$ の原子からなる結晶がある。この結晶の密度が $d(\text{g/cm}^3)$ であるとき、アボガドロ定数 $N_A(\text{/mol})$ を表す式として最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 2 /mol

- ① $\frac{L^3 d}{M}$ ② $\frac{L^3 d}{2M}$ ③ $\frac{2L^3 d}{M}$
 ④ $\frac{M}{L^3 d}$ ⑤ $\frac{2M}{L^3 d}$ ⑥ $\frac{M}{2L^3 d}$

問 3 物質の溶媒への溶解や分子間力に関する次の記述 (Ⅰ～Ⅲ) について、正誤の組合せとして最も適当なものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。 3

- Ⅰ ヘキサンが水にほとんど溶けないのは、ヘキサン分子の極性が小さいためである。
 Ⅱ ナフタレンが溶解したヘキサン溶液では、ナフタレン分子とヘキサン分子の間に分子間力がはたらいている。
 Ⅲ 液体では、液体の分子間にはたらく分子間力が小さいほど、その沸点は高くなる。

	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
①	正	正	正
②	正	正	誤
③	正	誤	正
④	正	誤	誤
⑤	誤	正	正
⑥	誤	正	誤
⑦	誤	誤	正
⑧	誤	誤	誤

化 学

問 4 蒸気圧(飽和蒸気圧)に関する次の問い(a・b)に答えよ。ただし、気体定数は $R = 8.3 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{K}\cdot\text{mol})$ とする。

a エタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の蒸気圧曲線を次ページの図 1 に示す。ピストン付きの容器に 90°C で $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ の $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の気体が入っている。この気体の体積を 90°C のままで 5 倍にした。その状態から圧力を一定に保ったまま温度を下げたときに凝縮が始まる温度を 2 桁の数値で表すとき、 と に当てはまる数字を、次の①~⑩のうちから一つずつ選べ。ただし、温度が 1 桁の場合には、 には⑩を選べ。また、同じものを繰り返し選んでもよい。 $^\circ\text{C}$

- | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ① | 1 | ② | 2 | ③ | 3 | ④ | 4 | ⑤ | 5 |
| ⑥ | 6 | ⑦ | 7 | ⑧ | 8 | ⑨ | 9 | ⑩ | 0 |

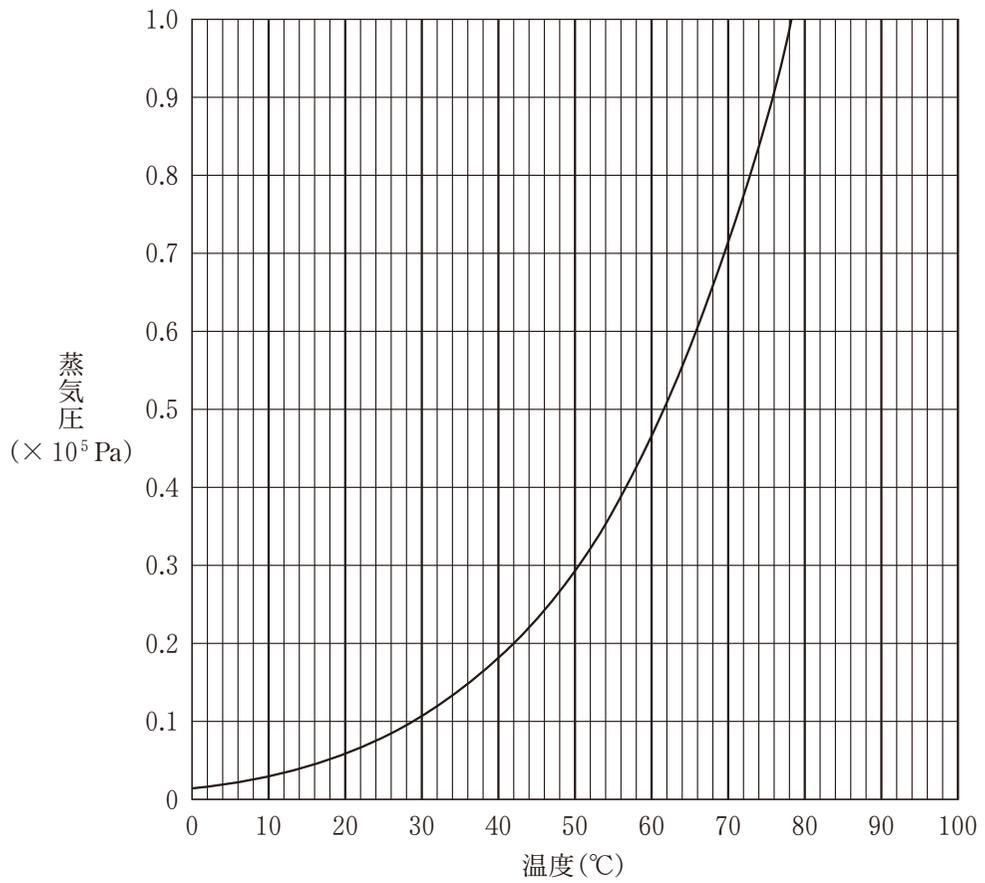


図1 C_2H_5OH の蒸気圧曲線

化 学

- b 容積一定の 1.0 L の密閉容器に 0.024 mol の液体の $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ のみを入れ、その状態変化を観測した。密閉容器の温度を 0°C から徐々に上げると、ある温度で $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ がすべて蒸発したが、その後も加熱を続けた。蒸発した $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ がすべての圧力領域で理想気体としてふるまうとすると、容器内の気体の $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の温度と圧力は、図 2 の点 A ~ G のうち、どの点を通り変化するか。経路として最も適当なものを、下の ① ~ ⑤ のうちから一つ選べ。ただし、液体状態の $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の体積は無視できるものとする。 6

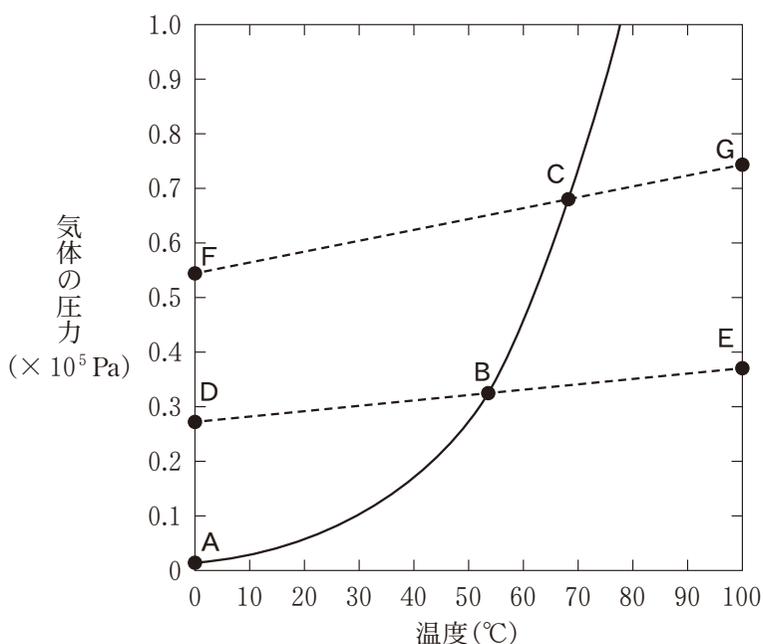


図 2 気体の圧力と温度の関係(実線 — は $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の蒸気圧曲線)

- ① A → B → C → G
- ② A → B → E
- ③ D → B → C → G
- ④ D → B → E
- ⑤ F → C → G

化学

第2問 次の問い(問1～3)に答えよ。(配点 20)

問1 光が関わる化学反応や現象に関する記述として下線部に誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

7

- ① 塩素と水素の混合気体に強い光(紫外線)を照射すると、爆発的に反応して塩化水素が生成する。
- ② オゾン層は、太陽光線中の紫外線を吸収して、地上の生物を保護している。
- ③ 植物は光合成で糖類を生成する。二酸化炭素と水からグルコースと酸素が生成する反応は、発熱反応である。
- ④ 酸化チタン(IV)は、光(紫外線)を照射すると、有機物などを分解する触媒として作用する。

問 2 補聴器に用いられる空気亜鉛電池では、次の式のように正極で空気中の酸素が取り込まれ、負極の亜鉛が酸化される。



この電池を一定電流で 7720 秒間放電したところ、上の反応により電池の質量は 16.0 mg 増加した。このとき流れた電流は何 mA か。最も適当な数値を、次の①~④のうちから一つ選べ。ただし、ファラデー定数は $9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。 mA

① 6.25

② 12.5

③ 25.0

④ 50.0

化 学

問 3 氷の昇華と水分子間の水素結合について、次の問い(a～c)に答えよ。

a 水の三重点よりも低温かつ低圧の状態に保たれている氷を、水蒸気に昇華させる方法として適当なものは、次のア～エのうちどれか。すべてを正しく選択しているものを、下の①～④のうちから一つ選べ。

9

ア 温度を保ったまま、減圧する。

イ 温度を保ったまま、加圧する。

ウ 圧力を保ったまま、加熱する。

エ 圧力を保ったまま、冷却する。

① ア, ウ

② ア, エ

③ イ, ウ

④ イ, エ

b 図1に示すように、氷の結晶中では、1個の水分子が正四面体の頂点に位置する4個の水分子と水素結合をしており、水素結合1本あたり2個の水分子が関与している。0℃における氷の昇華熱を Q (kJ/mol)としたとき、0℃において水分子間の水素結合1 molを切るために必要なエネルギー(kJ/mol)を表す式として最も適当なものを、下の①~⑤のうちから一つ選べ。ただし、氷の昇華熱は、水分子1 molの結晶中のすべての水素結合を切るためのエネルギーと等しいとする。 10 kJ/mol

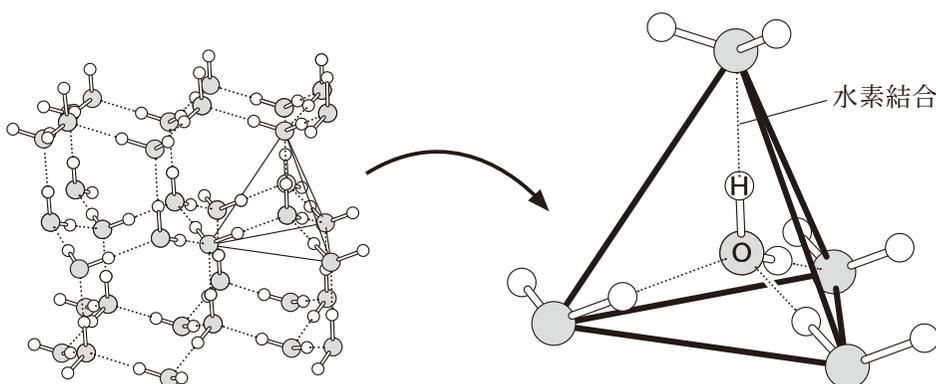


図1 氷の結晶構造と水素結合の模式図

- ① $\frac{1}{4}Q$ ② $\frac{1}{2}Q$ ③ Q ④ $2Q$ ⑤ $4Q$

化学

- c 図2に0℃および25℃における水の状態とエネルギーの関係を示す。この関係を用いて、0℃における氷の昇華熱 Q (kJ/mol) の値を求めると何 kJ/mol になるか。最も適当な数値を、下の①~⑤のうちから一つ選べ。ただし、1 mol の H_2O (液) および H_2O (気) の温度を 1 K 上昇させるのに必要なエネルギーはそれぞれ 0.080 kJ、0.040 kJ とする。また、すべての状態変化は $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで起こるものとする。 11 kJ/mol

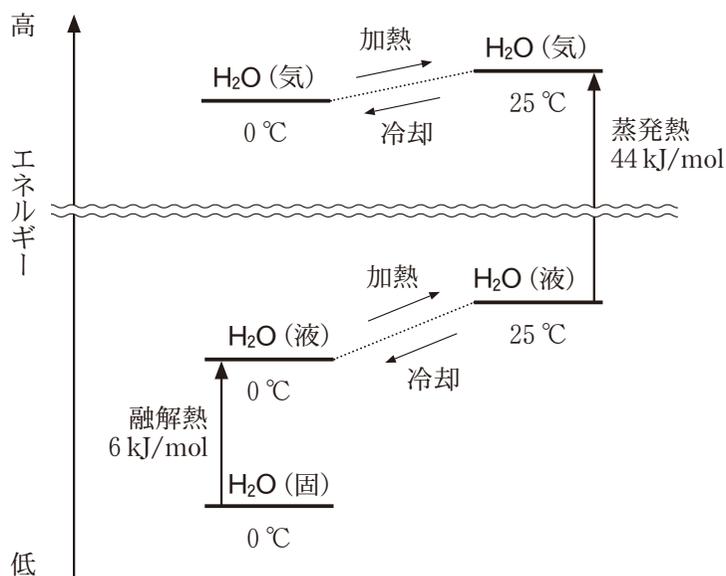


図2 0℃および25℃における水の状態とエネルギーの関係

- ① 45 ② 49 ③ 50 ④ 51 ⑤ 52

化 学

第 3 問 次の問い(問 1 ~ 3)に答えよ。(配点 20)

問 1 塩化ナトリウムの熔融塩電解(融解塩電解)に関連する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。 12

- ① 陰極に鉄，陽極に黒鉛を用いることができる。
- ② ナトリウムの単体が陰極で生成し，気体の塩素が陽極で発生する。
- ③ ナトリウムの単体が 1 mol 生成するとき，気体の塩素が 1 mol 発生する。
- ④ 塩化ナトリウム水溶液を電気分解しても，ナトリウムの単体は得られない。

問 2 元素ア～エはそれぞれ Ag, Pb, Sn, Zn のいずれかであり，次の記述 (I～III) に述べる特徴をもつ。ア，イとして最も適当なものを，それぞれ下の ①～④のうちから一つずつ選べ。

ア

13

イ

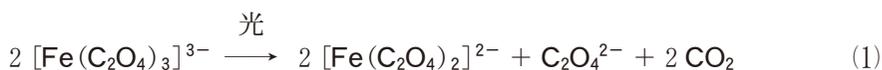
14

- I アとイの単体は希硫酸に溶けるが，ウとエの単体は希硫酸に溶けにくい。
- II ウの 2 価の塩化物は，冷水にはほとんど溶けないが熱水には溶ける。
- III アとウのみが同族元素である。

① Ag ② Pb ③ Sn ④ Zn

化 学

問 3 次の化学反応式(1)に示すように、シュウ酸イオン $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ を配位子として 3 個もつ鉄(Ⅲ)の錯イオン $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ の水溶液では、光をあてている間、反応が進行し、配位子を 2 個もつ鉄(Ⅱ)の錯イオン $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$ が生成する。



この反応で光を一定時間あてたとき、何 % の $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ が $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$ に変化するかを調べたいと考えた。そこで、式(1)にしたがって CO_2 に変化した $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ の量から、変化した $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ の量を求める実験Ⅰ～Ⅲを行った。この実験に関する次ページの問い(a～c)に答えよ。ただし、反応溶液の pH は実験Ⅰ～Ⅲにおいて適切に調整されているものとする。

実験Ⅰ 0.0109 mol の $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ を含む水溶液を透明なガラス容器に入れ、光を一定時間あてた。

実験Ⅱ 実験Ⅰで光をあてた溶液に、鉄の錯イオン $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ と $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$ から $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ を遊離(解離)させる試薬を加え、錯イオン中の $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ を完全に遊離させた。さらに、 Ca^{2+} を含む水溶液を加えて、溶液中に含まれるすべての $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ をシュウ酸カルシウム CaC_2O_4 の水和物として完全に沈殿させた。その後、ろ過によりろ液と沈殿に分離し、さらに、沈殿を乾燥して 4.38 g の $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (式量 146) を得た。

実験Ⅲ 実験Ⅱで得られたろ液に、(a) Fe^{2+} が含まれていることを確かめる操作を行った。

a 実験Ⅲの下線部(a)の操作として最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

- ① H₂S 水溶液を加える。
- ② サリチル酸水溶液を加える。
- ③ K₃[Fe(CN)₆]水溶液を加える。
- ④ KSCN 水溶液を加える。

b 1.0 mol の $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ が、式(1)にしたがって完全に反応するとき、酸化されて CO₂ になる $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ の物質量は何 mol か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。 mol

- ① 0.5
- ② 1.0
- ③ 1.5
- ④ 2.0

c 実験Ⅰにおいて、光をあてることにより、溶液中の $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$ の何%が $[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-}$ に変化したか。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。 %

- ① 12
- ② 16
- ③ 25
- ④ 50

化 学

第 4 問 次の問い(問 1 ~ 5)に答えよ。(配点 20)

問 1 芳香族炭化水素の反応に関する記述として下線部に誤りを含むものを、次の①~④のうちから一つ選べ。 18

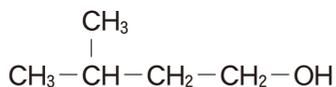
- ① ナフタレンに、高温で酸化バナジウム(V)を触媒として酸素を反応させると、o-キシレンが生成する。
- ② ベンゼンに、鉄粉または塩化鉄(III)を触媒として塩素を反応させると、クロロベンゼンが生成する。
- ③ ベンゼンに、高温で濃硫酸を反応させると、ベンゼンスルホン酸が生成する。
- ④ ベンゼンに、高温・高圧でニッケルを触媒として水素を反応させると、シクロヘキサンが生成する。

問 2 油脂に関する記述として下線部に誤りを含むものを、次の①～④のうちから一つ選べ。 19

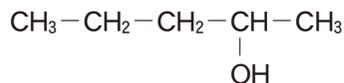
- ① けん化価は、油脂 1 g を完全にけん化するのに必要な水酸化カリウムの質量を mg 単位で表した数値で、この値が大きいほど油脂の平均分子量は小さい。
- ② ヨウ素価は、油脂 100 g に付加するヨウ素の質量を g 単位で表した数値で、油脂の中でも空気中で放置すると固化しやすい乾性油はヨウ素価が大きい。
- ③ マーガリンの主成分である硬化油は、液体の油脂を酸化してつくられる。
- ④ 油脂は、高級脂肪酸とグリセリン(1,2,3-プロパントリオール)のエステルである。

化学

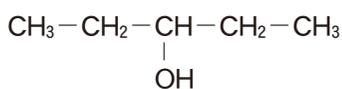
問 3 次のアルコールア～エを用いた反応の生成物について、下の問い(a・b)に答えよ。



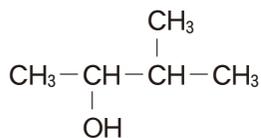
ア



イ



ウ



エ

a ア～エに適切な酸化剤を作用させると、それぞれからアルデヒドまたはケトンのどちらか一方が生成する。ア～エのうち、ケトンが生成するものはいくつあるか。正しい数を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 20

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 0

b ア～エにそれぞれ適切な酸触媒を加えて加熱すると、OH基の結合した炭素原子とその隣の炭素原子から、OH基とH原子がとれたアルケンが生成する。ア～エのうち、このように生成するアルケンの異性体の数が最も多いアルコールはどれか。最も適当なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、シス-トランス異性体(幾何異性体)も区別して数えるものとする。

21

- ① ア ② イ ③ ウ ④ エ

問 4 高分子化合物に関する記述として誤りを含むものはどれか。最も適当なものを、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 22

- ① ナイロン6は、繰り返し単位の中にアミド結合を二つもつ。
- ② ポリ酢酸ビニルを加水分解すると、ポリビニルアルコールが生じる。
- ③ 尿素樹脂は、熱硬化性樹脂である。
- ④ 生ゴムに数%の硫黄を加えて加熱すると、弾性が向上する。
- ⑤ ポリエチレンテレフタレートは、合成繊維としても合成樹脂としても用いられる。

化学

問 5 分子量 2.56×10^4 のポリペプチド鎖 A は、アミノ酸 B(分子量 89)のみを脱水縮合して合成されたものである。図 1 のように、A がらせん構造をとると仮定すると、A のらせんの全長 L は何 nm か。最も適当な数値を、下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、らせんのひと巻きはアミノ酸の単位 3.6 個分であり、ひと巻きとひと巻きの間隔を 0.54 nm ($1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$) とする。

23 nm

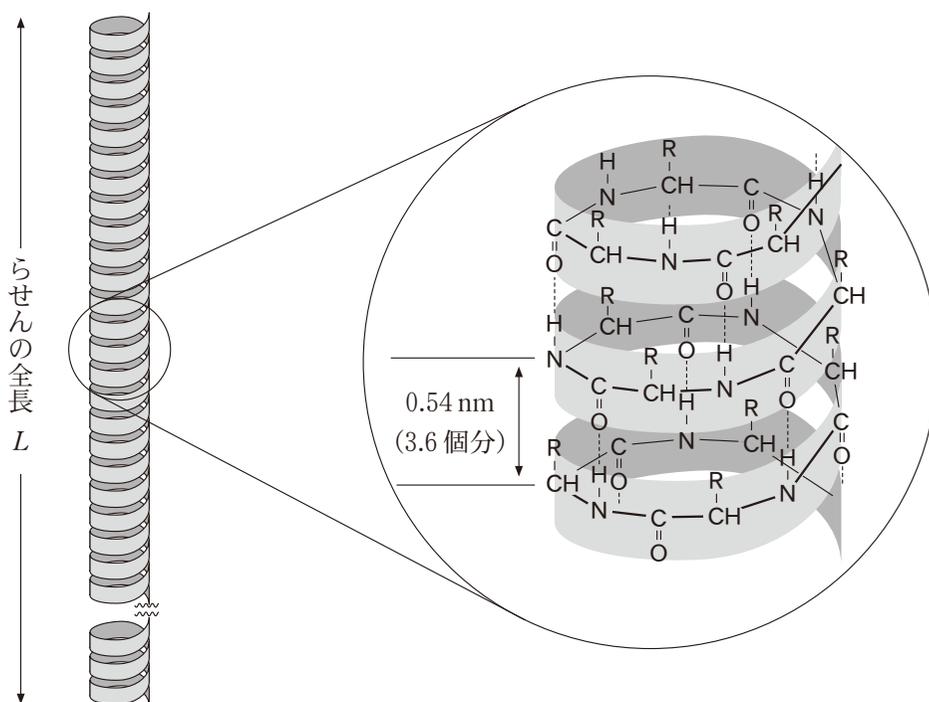


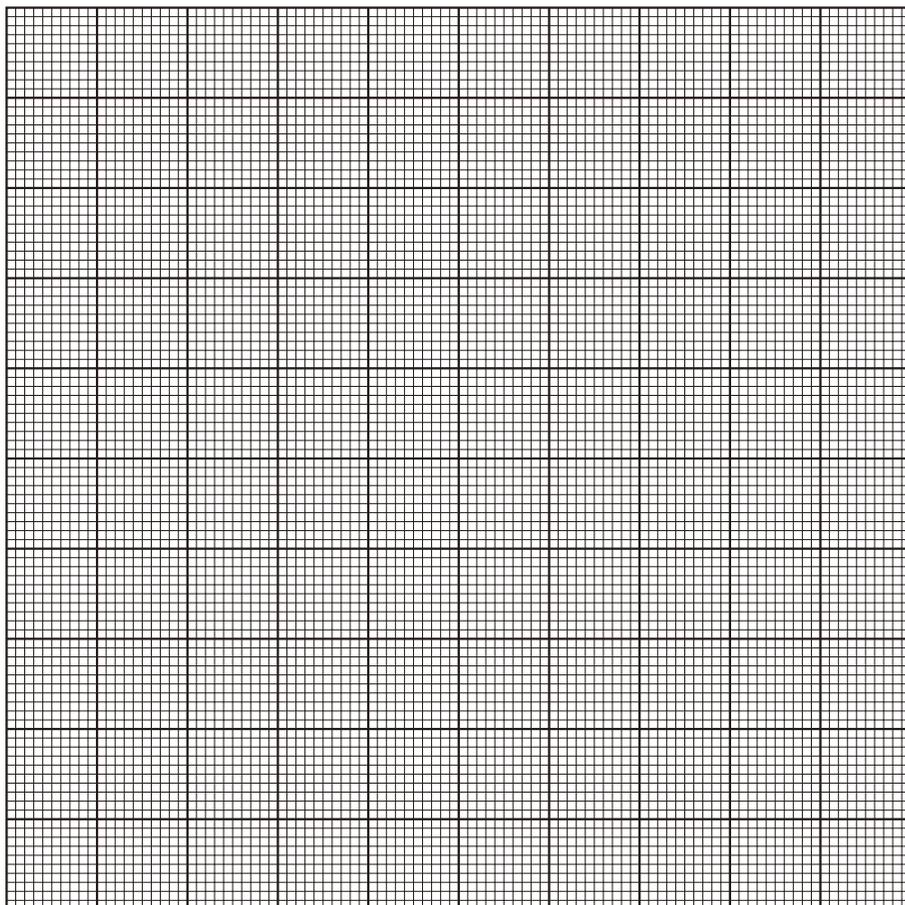
図 1 ポリペプチド鎖 A のらせん構造の模式図

- | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|
| ① 43 | ② 54 | ③ 72 |
| ④ 1.6×10^2 | ⑤ 1.9×10^2 | ⑥ 2.6×10^2 |

化 学

第 5 問 グルコース $C_6H_{12}O_6$ に関する次の問い(問 1 ~ 3)に答えよ。(配点 20)

問 1 グルコースは、水溶液中で主に環状構造の α -グルコースと β -グルコースとして存在し、これらは鎖状構造の分子を経由して相互に変換している。グルコースの水溶液について、平衡に達するまでの α -グルコースと β -グルコースの物質量の時間変化を調べた次ページの**実験 I**に関する問い(a・b)と**実験 II**に関する問い(c)に答えよ。ただし、鎖状構造の分子の割合は少なく無視できるものとする。また、必要があれば次の方眼紙を使うこと。



実験 I α -グルコース 0.100 mol を 20 °C の水 1.0 L に加えて溶かし、20 °C に保ったまま α -グルコースの物質量の時間変化を調べた。表 1 に示すように α -グルコースの物質量は減少し、10 時間後には平衡に達していた。こうして得られた溶液を**溶液 A** とする。

表 1 水溶液中での α -グルコースの物質量の時間変化

時間 (h)	0	0.5	1.5	3.0	5.0	7.0	10.0
α -グルコースの物質量 (mol)	0.100	0.079	0.055	0.040	0.034	0.032	0.032

a 平衡に達したときの β -グルコースの物質量は何 mol か。最も適当な数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 mol

- ① 0.016 ② 0.032 ③ 0.048 ④ 0.068 ⑤ 0.084

b 水溶液中の β -グルコースの物質量が、平衡に達したときの物質量の 50 % であったのは、 α -グルコースを加えた何時間後か。最も適当な数値を、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 時間後

- ① 0.5 ② 1.0 ③ 1.5
④ 2.0 ⑤ 2.5 ⑥ 3.0

実験 II **溶液 A** に、さらに β -グルコースを 0.100 mol 加えて溶かし、20 °C で 10 時間放置したところ新たな平衡に達した。

c 新たな平衡に達したときの β -グルコースの物質量は何 mol か。最も適当な数値を、次の①～⑤のうちから一つ選べ。 mol

- ① 0.032 ② 0.068 ③ 0.100 ④ 0.136 ⑤ 0.168

化学

問 2 グルコースにメタノールと塩酸を作用させると、グルコースとメタノールが 1 分子ずつ反応して 1 分子の水がとれた化合物 X が、図 1 に示す α 型 (α 形) と β 型 (β 形) の異性体の混合物として得られた。X の水溶液は、還元性を示さなかった。この混合物から分離した α 型の X 0.1 mol を、水に溶かして 20 °C に保ち、 α 型の X の物質量の時間変化を調べた。 α 型の X の物質量の時間変化を示した図として最も適当なものを、下の①~④のうちから一つ選べ。

27

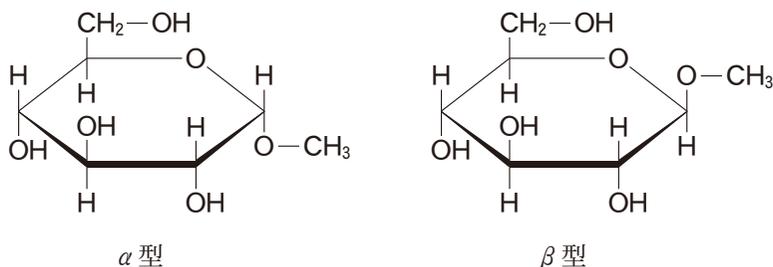
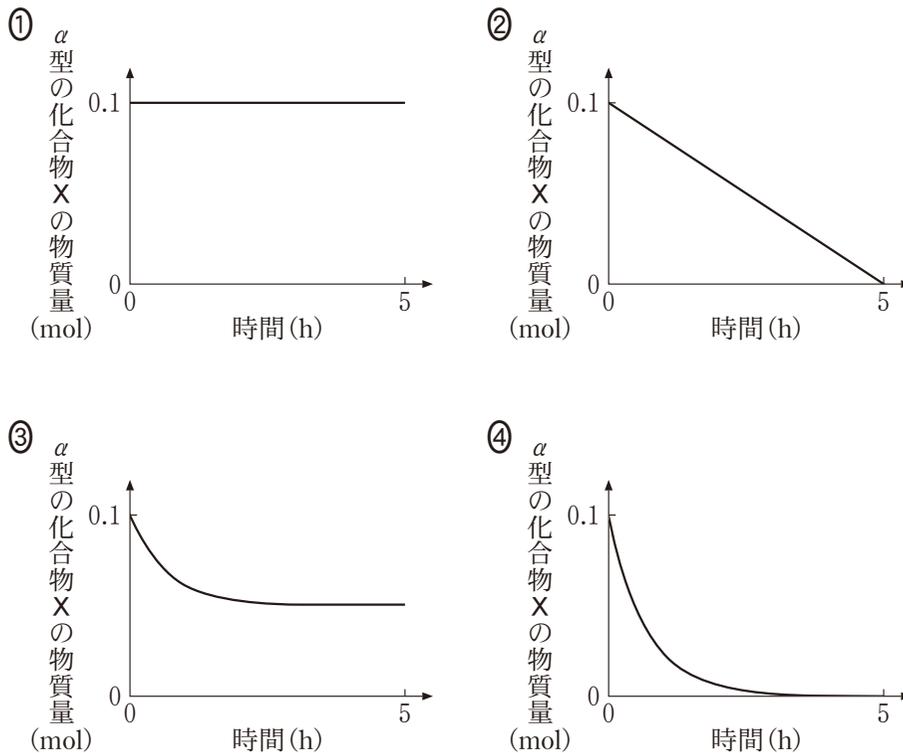


図 1 α 型と β 型の化合物 X の構造



問 3 グルコースに、ある酸化剤を作用させるとグルコースが分解され、水素原子と酸素原子を含み、炭素原子数が1の有機化合物 Y・Z が生成する。この反応でグルコースからは、Y・Z 以外の化合物は生成しない。この反応と Y・Z に関する次の問い(a・b)に答えよ。

- a Y はアンモニア性硝酸銀水溶液を還元し、銀を析出させる。Y は還元剤としてはたらくと、Z となる。Y・Z の組合せとして最も適当なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 28

	有機化合物 Y	有機化合物 Z
①	CH ₃ OH	HCHO
②	CH ₃ OH	HCOOH
③	HCHO	CH ₃ OH
④	HCHO	HCOOH
⑤	HCOOH	CH ₃ OH
⑥	HCOOH	HCHO

- b ある量のグルコースがすべて反応して、2.0 mol の Y と 10.0 mol の Z が生成したとすると、反応したグルコースの物質質量は何 mol か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。 29 mol

- ① 2.0 ② 6.0 ③ 10.0 ④ 12.0