



# 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
S	32	Cl	35.5	Co	59	Ag	108

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物質として最も適当なものを，下の①～⑤のうちから一つ選べ。

ア 共有結合を含む

イ 水にもヘキサンにも溶けにくい

① エタノール

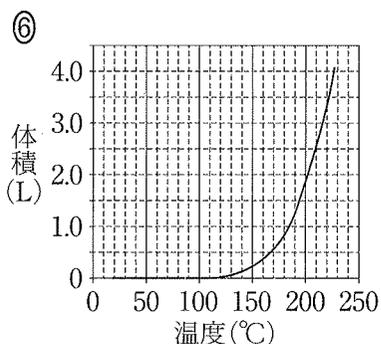
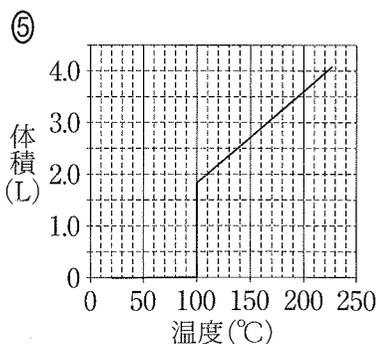
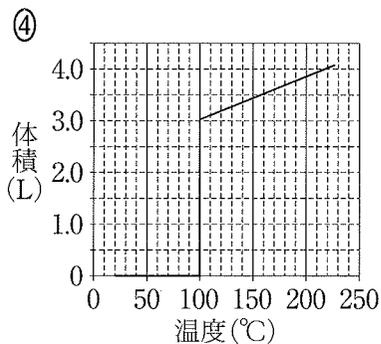
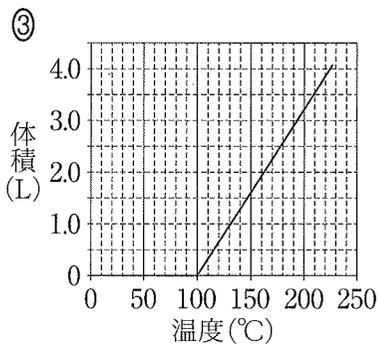
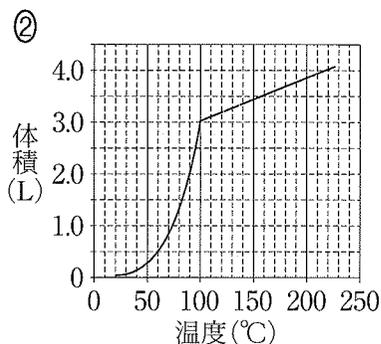
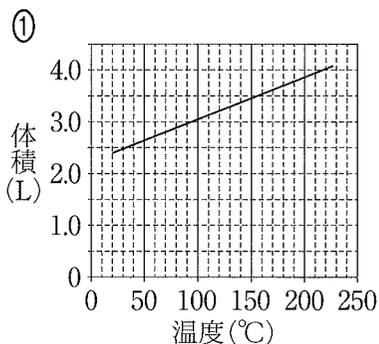
② 亜鉛

③ ヨウ素

④ 塩化ナトリウム

⑤ 炭酸バリウム

問2 ピストン付きの容積可変の容器に 0.10 mol の水のみを入れ、圧力を  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$  に保ったまま、容器内の温度を  $20^\circ\text{C}$  から  $227^\circ\text{C}$  まで徐々に上げた。このときの容器内の温度と気体の体積の関係を表したグラフとして最も適当なものを、次の ①～⑥ のうちから一つ選べ。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。 2



## 化学

問3 60℃,  $1.00 \times 10^5$  Paのもとで1.00 Lの水に溶解する酸素の体積は16.6 mLである。酸素を60℃,  $2.00 \times 10^5$  Paに保って, 3.00 Lの水に十分長い時間接触させた。このとき水3.00 Lに溶解した酸素の体積は, 60℃,  $2.00 \times 10^5$  Paで何mLか。最も適当な数値を, 次の①~④のうちから一つ選べ。  mL

- ① 16.6                      ② 24.9                      ③ 49.8                      ④ 99.6

問4 ケイ素に関する次の問い(a・b)に答えよ。

a ケイ素の単体および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①~④のうちから一つ選べ。

- ① ケイ素の単体は半導体であり, 集積回路(IC)に用いられる。  
② 二酸化ケイ素は, 塩酸によく溶ける。  
③ 二酸化ケイ素を主成分とするケイ砂は, ガラスの製造に用いられる。  
④ シリカゲルは, 多孔質の固体で, 水蒸気を吸着する力が強いので, 乾燥剤として用いられる。

b 従来、アボガドロ定数は質量数 12 の炭素原子  $^{12}\text{C}$  12 g に含まれる粒子の数と関連付けて定義されていたが、2019 年 5 月に物質量の定義が改定され、アボガドロ定数は厳密に  $6.02214076 \times 10^{23} / \text{mol}$  と定義された。この有効数字 9 桁の数値は、ケイ素の結晶を球に加工し、球の半径  $r$  (cm)、質量  $w$  (g)、および単位格子の一辺の長さ  $L$  (cm) を正確に測定することによって求められた。図 1 の立方体はケイ素の単位格子を表しており、ケイ素原子は立方体の各頂点 8 か所、各面の中心 6 か所、および内部 4 か所にある。ケイ素のモル質量を  $M$  (g/mol) とするとき、アボガドロ定数  $N_A$  (/mol) を表す式として最も適当なものを、下の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし、円周率を  $\pi$  とする。 5 /mol

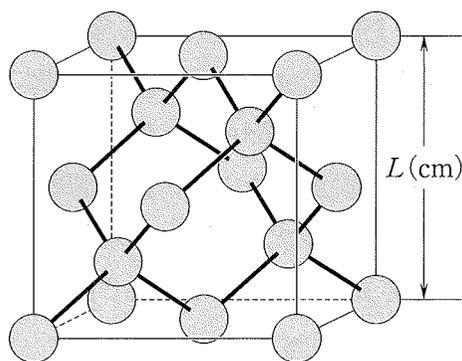


図 1 ケイ素の単位格子

①  $\frac{\pi Mr^3}{6wL^3}$

②  $\frac{8\pi Mr^3}{3wL^3}$

③  $\frac{32\pi Mr^3}{3wL^3}$

④  $\frac{3wL^3}{32\pi Mr^3}$

⑤  $\frac{3wL^3}{8\pi Mr^3}$

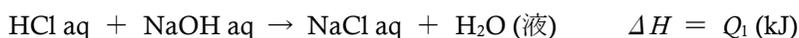
⑥  $\frac{6wL^3}{\pi Mr^3}$

化学

**第2問** 次の問い(問1~4)に答えよ。(配点 20)

問1 酸と塩基が中和して水 1 mol が生じるときのエンタルピー変化を中和エンタルピーという。

塩基と水酸化ナトリウム水溶液が中和するときの中和エンタルピーを  $Q_1$  (kJ/mol) とすると、この中和反応は、次式で表される。



この中和反応は、次の反応式で表すこともできる。



水溶液中で 1 価の弱酸 HA 1 mol が電離するときに吸収する熱量を  $Q_2$  (kJ) とする。 $c$  (mol/L) の 1 価の弱酸 HA の水溶液  $v$  (mL) に  $2c$  (mol/L) の水酸化ナトリウム水溶液を  $v$  (mL) 加えたとき、発生する熱量(kJ)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。ただし、HA の電離はすべて中和反応にともなって進行するものとする。  kJ

①  $\frac{(-Q_1 - Q_2)cv}{1000}$

②  $\frac{(-2Q_1 - Q_2)cv}{1000}$

③  $\frac{(-Q_1 - Q_2)cv}{2000}$

④  $\frac{(-Q_1 + Q_2)cv}{1000}$

⑤  $\frac{(-2Q_1 + Q_2)cv}{1000}$

⑥  $\frac{(-Q_1 + Q_2)cv}{2000}$

問2 リチウムイオン電池は、スマートフォンやタブレット端末などの電子機器のバッテリーとして広く利用されている二次電池である。図1はリチウムイオン電池の放電時の様子を模式的に示したもので、電極A、電極Bでは式(1)、式(2)で表される反応が起こる(ただし、 $0 < x \leq 1$ )。

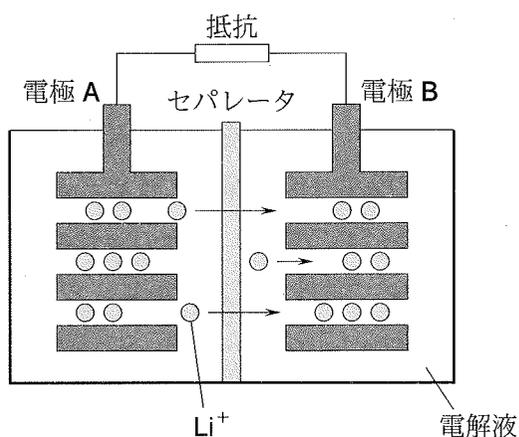
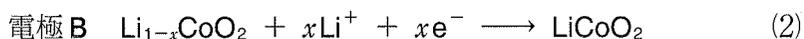
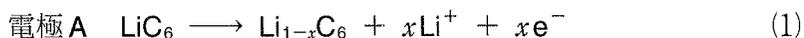


図1 リチウムイオン電池の放電時の様子

これ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①～④のうちから一つ選べ。 7

- ① 電極Aは、負極である。
- ② 放電すると、電極Bのコバルト原子の酸化数は増加する。
- ③ 放電しても、電解液の質量は変化しない。
- ④ 充電するときは、電極Aを外部電源の負極、電極Bを外部電源の正極にそれぞれ接続する。

## 化学

問3 気体Aから気体Bが生成する反応は可逆反応であり、式(1)で表される。



正反応による気体Bの生成速度  $v_1$  と、逆反応による気体Bの減少速度  $v_2$  は次式で表される。なお  $k_1$ ,  $k_2$  は反応速度定数である。

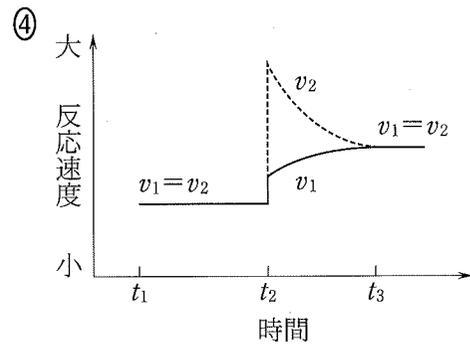
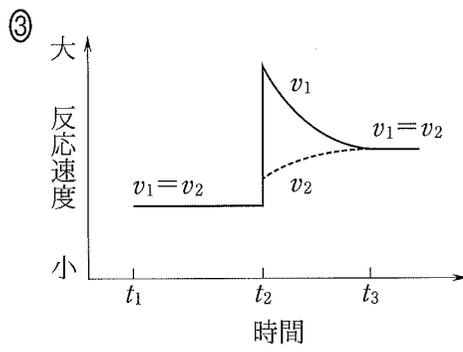
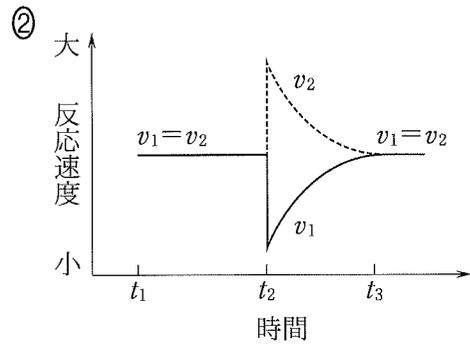
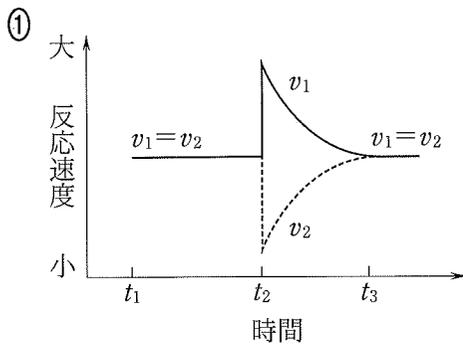
$$v_1 = k_1[A]^2$$

$$v_2 = k_2[B]$$

ピストン付きの密閉容器に気体Aを封入すると、気体Bが生成し、時刻  $t_1$  で平衡状態に達した。温度を一定に保ち、時刻  $t_1$  からしばらく時間が経過した時刻  $t_2$  でピストンを押して圧縮し、容器の容積を小さくした。容積と温度を一定に保ったまましばらく放置すると、時刻  $t_3$  で再び平衡状態に達した。

時刻  $t_1$  からの経過時間と、 $v_1$  (実線 —),  $v_2$  (破線 ·····) の関係を表したグラフとして最も適当なものを、次ページの①~④のうちから一つ選べ。

8



## 化学

問4 硫化水素は水に溶けると、次のように二段階で電離する。



式(1)、式(2)の電離定数を  $K_1$ 、 $K_2$  とすると、式(3)、式(4)で表される。

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L} \quad (3)$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol/L} \quad (4)$$

一段階目と二段階目の電離をあわせた反応は、式(5)で表される。



式(5)の平衡定数  $K$  は、 $K_1$  と  $K_2$  から、式(6)で表すことができる。

$$K = \frac{[\text{H}^+]^2[\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]} = K_1 K_2 = 1.0 \times 10^{-21} (\text{mol/L})^2 \quad (6)$$

これに関する次ページの問い(a・b)に答えよ。ただし、硫化水素を十分に通じて飽和させると、水溶液中の硫化水素のモル濃度は、pHに関係なく  $[\text{H}_2\text{S}] = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mol/L}$  に保たれるものとする。

a 純水に硫化水素を十分に通じて飽和させた水溶液の pH はいくらか。最も適当な数値を，次の①～⑥のうちから一つ選べ。ただし， $K_2$  の値は  $K_1$  の値に比べて極めて小さい値であることから，二段階目の電離によって生じる  $H^+$  は無視できるものとする。 9

- ① 1.0                      ② 2.0                      ③ 3.0  
 ④ 4.0                      ⑤ 5.0                      ⑥ 6.0

b マンガン(II)イオン  $Mn^{2+}$  と亜鉛イオン  $Zn^{2+}$  をいずれも  $1.0 \times 10^{-3}$  mol/L ずつ含む水溶液がある。この水溶液を pH 6.0 に保ち，硫化水素を十分に通じて飽和させたとき， $Mn^{2+}$  と  $Zn^{2+}$  のモル濃度はそれぞれ何 mol/L になるか。数値の組合せとして最も適当なものを，下の①～④のうちから一つ選べ。ただし，硫化マンガン(II)  $MnS$  と硫化亜鉛  $ZnS$  の溶解度積は，式(7)，式(8)でそれぞれ表される。また，硫化水素を通じたことによる水溶液の体積変化は無視できるものとする。 10

$$MnS : K_{sp, MnS} = [Mn^{2+}][S^{2-}] = 1.0 \times 10^{-10} \text{ (mol/L)}^2 \quad (7)$$

$$ZnS : K_{sp, ZnS} = [Zn^{2+}][S^{2-}] = 2.0 \times 10^{-18} \text{ (mol/L)}^2 \quad (8)$$

	$[Mn^{2+}]$ (mol/L)	$[Zn^{2+}]$ (mol/L)
①	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-3}$
②	$1.0 \times 10^{-3}$	$2.0 \times 10^{-8}$
③	$1.0 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^{-3}$
④	$1.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-8}$

化学

第3問 次の問い(問1～3)に答えよ。(配点 20)

問1 無機物質の工業的製法に関連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。 11

- ① 酸素は、工業的には液体空気の分留で得られる。
- ② 硫酸の工業的製法である接触式硫酸製造法(接触法)では、二酸化硫黄から三酸化硫黄を得る工程で、触媒として酸化バナジウム(V)が用いられる。
- ③ 水酸化ナトリウムは、塩化ナトリウム水溶液のイオン交換膜法による電気分解において、陽極側の水溶液を濃縮すると得られる。
- ④ 硝酸の工業的製法であるオストワルト法は三つの工程からなり、各工程で窒素原子が段階的に酸化されて硝酸が得られる。

問2 気体ア～エは  $N_2$ ,  $Cl_2$ ,  $CO$ ,  $HF$  のいずれかであり、次の記述(I・II)に述べる特徴をもつ。ア、ウ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

ウ

I ア、イは水に溶け、いずれも酸性を示す。アの水溶液は、漂白剤や消毒剤として用いられる。イの水溶液は、ガラスと反応するのでポリエチレン容器に保存される。

II ウ、エはいずれも水に溶けにくい。ウは高温で強い還元作用を示し、エの液体は冷却剤として利用される。

①  $N_2$

②  $Cl_2$

③  $CO$

④  $HF$

## 化学

問3 コバルト(Ⅲ)イオン  $\text{Co}^{3+}$  は、塩化物イオンやアンモニア分子を配位子とした錯イオンを形成することが知られている。錯イオンを含む塩を錯塩という。化合物 **A** は、化学式  $[\text{CoCl}_x(\text{NH}_3)_y]\text{Cl}_z$  ( $x, y, z$  は正の整数) で表される錯塩であり、水に溶かすと、次式に示すように錯イオン  $[\text{CoCl}_x(\text{NH}_3)_y]^{(3-x)+}$  と  $\text{Cl}^-$  に電離する。



化合物 **A** を構成する錯イオンの化学式を決定するため、**実験 I・II** を行った。これらの**実験**に関する下の問い(**a ~ c**)に答えよ。

**実験 I**  $2.00 \times 10^{-2}$  mol の化合物 **A** を水に溶かして全量を 100 mL とした水溶液に、十分な量の硝酸銀水溶液を加えたところ、2.87 g の<sub>(a)</sub>白色沈殿が得られた。

**実験 II** **実験 I** で得られたろ液に、十分な量の水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱したところ、錯イオンはコバルト(Ⅲ)イオン、塩化物イオン、アンモニア分子に解離し、含まれていたアンモニアがすべて気体となって発生したので、これを 1.00 mol/L の塩酸 100 mL に完全に吸収させた。この吸収液中の未反応の塩化水素を、メチルレッドを指示薬として、1.00 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、終点までに 20.0 mL を要した。

**a** **実験 I** の下線部(a)の白色沈殿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①~④のうちから一つ選べ。 14

- ① 光を当てると分解する。
- ② 熱水に溶けにくい。
- ③ 濃アンモニア水に溶けない。
- ④ チオ硫酸ナトリウム水溶液に溶ける。



化学

第4問 次の問い(問1～6)に答えよ。(配点 20)

問1 カルボン酸およびその誘導体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①～④のうちから一つ選べ。 19

- ① ギ酸を硫酸酸性の過マンガン酸カリウム水溶液に加えると、過マンガン酸イオンの赤紫色が脱色される。
- ② 純度の高い酢酸は、室温が低いと凝固するため、氷酢酸ともよばれる。
- ③ 2-プロパノールを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液を用いて十分に酸化すると、プロピオン酸が生じる。
- ④ マレイン酸を加熱すると、無水マレイン酸が生じる。

問2 分子式  $C_8H_{10}O$  で表される芳香族化合物のうち、水酸化ナトリウム水溶液に加えると、塩となって溶解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 3

② 5

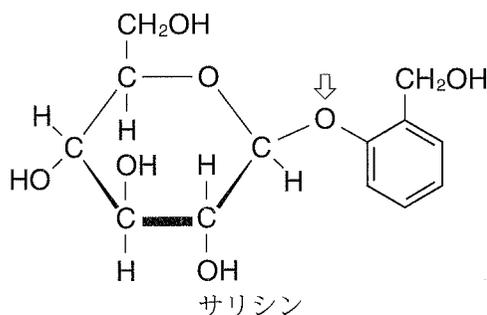
③ 6

④ 9

⑤ 12

## 化学

問3 次に示すサリシンは、ヤナギの樹皮に含まれている化合物であり、古代ギリシャでは、このサリシンを含むヤナギの樹皮が解熱剤や鎮痛剤として使われていたと伝えられている。



サリシンは、希硫酸を加えて加熱すると、上図の▽で示したエーテル結合の部分で加水分解され、グルコースと化合物Aを生じる。化合物Aを適当な条件で酸化すると、分子式  $C_7H_6O_3$  の化合物Bになる。化合物Bに、塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると赤紫色を呈し、炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると二酸化炭素が発生する。化合物Bにメタノールと濃硫酸を作用させると化合物Cが生じ、化合物Bに無水酢酸を作用させると化合物Dが生じる。図1は、サリシンを出発物質とした化合物A～Dの合成経路の概略を表したものである。

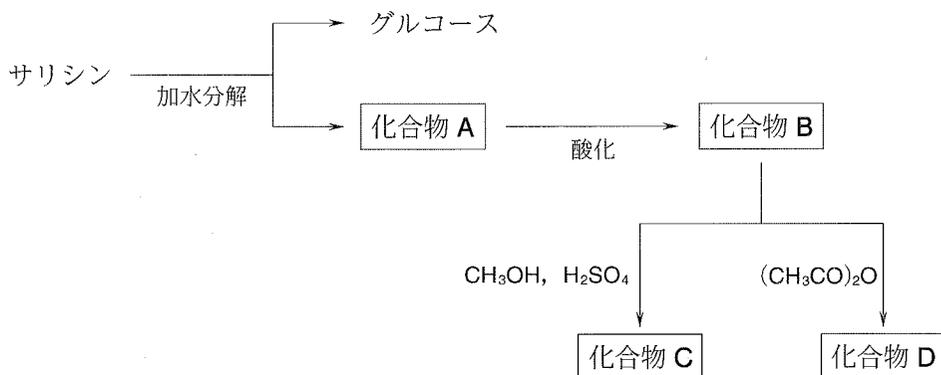


図1 サリシンを出発物質とした化合物の合成経路

化合物A, C, Dのうち, 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色するものはどれか。また, 炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると気体が発生するものはどれか。それぞれについて正しく選択しているものの組合せを, 次の①~⑥のうちから一つ選べ。

21

	塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色するもの	炭酸水素ナトリウム水溶液を加えると気体が発生するもの
①	A, C	A
②	A, C	C
③	A, C	D
④	C, D	A
⑤	C, D	C
⑥	C, D	D

## 化学

問4 合成高分子化合物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。 22

- ① 円筒容器(カラム)にスルホ基をもつ陽イオン交換樹脂を詰め、上から塩化ナトリウム水溶液を通したとき、得られる流出液は酸性を示す。
- ② フェノールとホルムアルデヒドの付加縮合によって得られるフェノール樹脂は、熱可塑性樹脂である。
- ③ ビニロンは、ポリビニルアルコールをホルムアルデヒド水溶液で処理することで得られ、合成繊維として用いられる。
- ④ ポリアミド系繊維のナイロン66やナイロン6は、分子間に多くの水素結合が形成されるため、強度や耐久性に優れている。

問5 糖類ア～エは、それぞれグルコース、スクロース、マルトース、アミロースのいずれかであり、次の記述(I・II)に述べる特徴をもつ。ア、エ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。

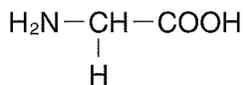
ア

エ

- I アとイの水溶液は還元性を示さないが、ウとエの水溶液は還元性を示す。  
 II アとウをそれぞれ希硫酸と加熱し、完全に加水分解すると、どちらからもエのみが得られる。

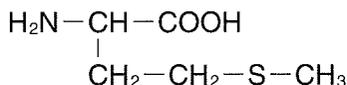
- ① グルコース    ② スクロース    ③ マルトース    ④ アミロース

問6 次に示す $\alpha$ -アミノ酸A、Bだけからなる鎖状のポリペプチドの硫黄含有率(質量パーセント)を調べたところ20%であった。このポリペプチドを構成しているAとBの数の比(A:B)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、このポリペプチドの分子量は十分大きく、分子の両末端のHとOHは無視できるものとする。



A

分子量：75



B

分子量：149

- ① 3:1    ② 2:1    ③ 1:1    ④ 1:2    ⑤ 1:3



- b 牛乳からラクトースを分離し、水に溶かして  $1.6 \times 10^{-4}$  mol/L のラクトース水溶液 100 mL とした。これに乳酸菌を作用させて放置すると、ラクトースの加水分解により生じた単糖が乳酸発酵し、水溶液の pH が 3.8 ( $[H^+] = 1.6 \times 10^{-4}$  mol/L) になった。ラクトースの加水分解により得られた単糖のうち、乳酸発酵した割合は何 % 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、ラクトースの加水分解は完全に進行し、乳酸発酵では式(2)の反応のみが起こったものとする。また、 $H^+$  は乳酸の電離によるのみ生じるものとし、乳酸菌を加えても水溶液の体積は変化しないものとする。

%

① 10

② 20

③ 50

④ 100

## 化学

問2 タンパク質の水溶液に水酸化ナトリウム水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えると、ビウレット反応が起こり、波長 540 nm の光を強く吸収する赤紫色の溶液になる。この色の濃さはタンパク質の濃度(g/L)に比例する。

色の濃さの測定方法の一つに、吸光光度法とよばれる方法がある。溶液を容器に入れ、これに特定の波長の光を当てると、溶液を通り抜ける光は弱くなる。溶液に当てた光(入射光)の強さを  $I_0$ 、溶液を通り抜けた光(透過光)の強さを  $I$  とし、 $A = -\log_{10} \frac{I}{I_0}$  と定義する。 $A$  は吸光度とよばれ、溶液中の光を吸収する物質の濃度(g/L)に比例する。

これらの原理を用いて、タンパク質の濃度を測定する**実験Ⅰ・Ⅱ**を行った。これに関する次ページ以降の問い(a～c)に答えよ。ただし、吸光度の測定で用いた容器の大きさはすべて同じである。

**実験Ⅰ** 純水および濃度がわかっている4種類のタンパク質水溶液を別々の容器にそれぞれ0.100 mLずつとり、一定量の水酸化ナトリウム水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えて放置した。これに波長 540 nm の光を当て、吸光度  $A$  を測定したところ、表1の結果が得られた。なお、水酸化ナトリウムおよび硫酸銅(Ⅱ)は、反応に十分な量を用いている。

表1 タンパク質水溶液の濃度  $c$  と吸光度  $A$  の関係

$c$ (g/L)	0	15	30	60	90
吸光度 $A$	0	0.170	0.325	0.660	0.982

**実験Ⅱ** 鶏卵 1 個の卵白からタンパク質 **A** を分離し、50 mL の水溶液 **B** を調製した。水溶液 **B** を用いて**実験Ⅰ**と同様の操作を行ったところ、吸光度  $A$  は 0.430 であった。

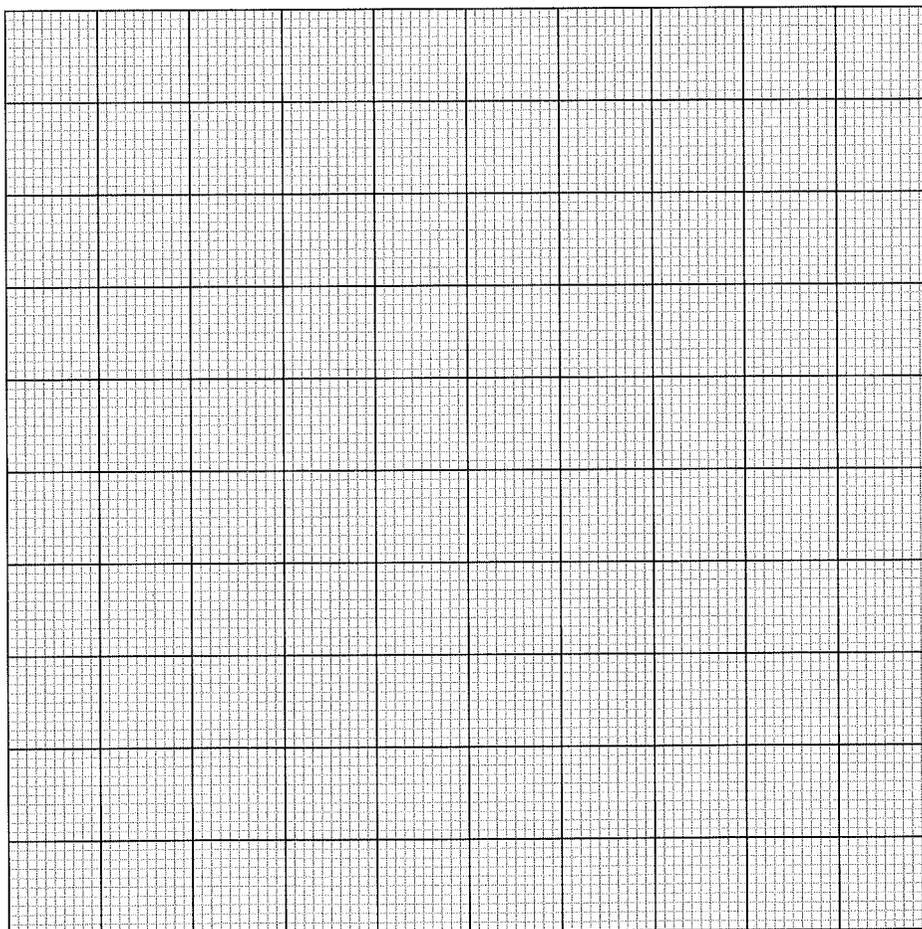
**a** 用いた鶏卵 1 個の卵白に含まれるタンパク質 **A** の質量は何 g か。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。必要があれば下の方眼紙を使うこと。  g

① 0.43

② 0.86

③ 2.0

④ 3.9



化学

b 実験Ⅱで調製したタンパク質水溶液Bの浸透圧を27℃で測定したところ、 $2.1 \times 10^3$  Paであった。タンパク質Aの平均分子量はいくらか。最も適当な数値を、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、気体定数は $R=8.3 \times 10^3$  Pa·L/(K·mol)とする。 29

- ①  $9.2 \times 10^3$       ②  $1.2 \times 10^4$       ③  $2.3 \times 10^4$       ④  $4.6 \times 10^4$

c この実験により濃度を測定することができる物質を、次の①～④のうちから一つ選べ。 30

- ① アラニン      ② カゼイン      ③ セルロース      ④ 酢酸

(下書き用紙)