

解答はすべて「解答用紙」の指定された箇所に記入せよ。

必要があれば、次の数値を用いよ。

原子量：**H = 1.0, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, Cl = 35.5**

アボガドロ定数： **$6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$**

気体定数： **$8.3 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L} / (\text{K} \cdot \text{mol})$**

ファラデー定数： **$9.65 \times 10^4 \text{ C} / \text{mol}$**

セルシウス温度目盛りのゼロ点 **0 °C : 273 K**

『余 白』

1

問1 次の(1)～(8)の問いについて、正しいものを①～⑤のうちから1つ選び、番号で答えよ。(16点)

(1) 次のイオンのうち、イオン半径が最も大きいものはどれか。

- ①  $\text{Na}^+$     ②  $\text{Mg}^{2+}$     ③  $\text{Al}^{3+}$     ④  $\text{F}^-$     ⑤  $\text{O}^{2-}$

(2) 次の水素化合物のうち、常圧での沸点が最も高いものはどれか。

- ①  $\text{NH}_3$     ②  $\text{H}_2\text{O}$     ③  $\text{H}_2\text{S}$     ④  $\text{HBr}$     ⑤  $\text{CH}_4$

(3) 次の操作のうち、水上置換で捕集すべき気体が発生するものはどれか。

- ① 塩化ナトリウムに濃硫酸を加えて熱する。  
② 銅に濃硝酸を加える。  
③ 銅に濃硫酸を加えて熱する。  
④ 亜鉛に希硫酸を加える。  
⑤ 酸化マンガン(IV)に濃塩酸を加えて熱する。

(4) 次の元素のうち、黄色の炎色反応を示すものはどれか。

- ① Li      ② Na      ③ K      ④ Ca      ⑤ Cu

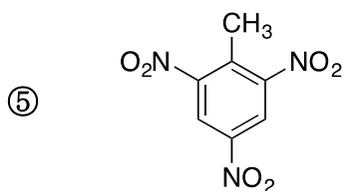
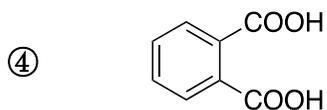
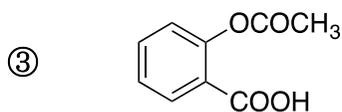
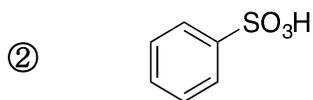
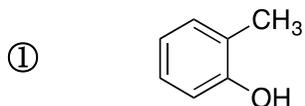
(5) 次のうち、「反応熱は、反応の経路によらず、反応の初めの状態と終わりの状態で決まる」という法則はどれか。

- ① シャルルの法則  
② ヘスの法則  
③ ファントホッフの法則  
④ ヘンリーの法則  
⑤ ボイルの法則

(6) 次の酸化物のうち、塩基性酸化物はどれか。

- ①  $\text{Al}_2\text{O}_3$     ②  $\text{P}_4\text{O}_{10}$     ③  $\text{SiO}_2$     ④  $\text{MgO}$     ⑤  $\text{SO}_3$

(7) 次の芳香族化合物のうち、解熱鎮痛薬として用いられるものはどれか。



(8) 次の糖のうち、二糖類でかつその水溶液が還元性を示すものはどれか。

- ① フルクトース
- ② スクロース
- ③ ガラクトース
- ④ マルトース
- ⑤ グルコース

『余 白』

# 下書き用紙

2

次の記述を読んで、問い（問2～問8）に答えよ。

(37点)

1869年、ロシアの化学者メンデレーエフは、当時知られていた約60種類の元素を原子量の順に並べると性質のよく似た元素が周期的に出現する規則性を発見し、周期表を発表した。現在の周期表は、元素を原子量ではなく原子番号の順に並べたものである。周期表の横の行を〔A〕といい、上から順に第1〔A〕、第2〔A〕・・・と呼ぶ。一方、縦の列を〔B〕といい、左から順に1〔B〕、2〔B〕・・・と呼ぶ。

	1B																		18B		
第1A	H																			+	
第2A	*								◆			◆	#	+							
第3A	*										◆	◆	#	+							
第4A	*		Sc																	#	+

上の図は周期表のうち、第4〔A〕までを示したものである。長方形の1マスは1つの元素を示す。斜線を付けた元素を〔ア〕元素といい、すべて金属元素である。〔ア〕元素は、同一の〔A〕については隣り合う元素どうしの性質が似ている場合が多い。これは原子の〔イ〕の数が〔ウ〕または〔エ〕で、ほとんど変化しないためである。ScからCuまで、電子殻のうち〔オ〕殻の電子が増加し、Cuでは〔オ〕殻に収容可能な最大数である〔カ〕個の電子が入っている。

〔ア〕元素以外の元素は〔キ〕元素と呼ばれ、金属元素と非金属元素を約半数ずつ含む。同じ〔B〕の〔キ〕元素は同数の〔ク〕を持つため、互いによく似た化学的性質を示す。たとえば、図の\*印の元素の単体は水と容易に反応して気体を発生し、強い〔ケ〕性を示す水酸化物を生じる。+印の元素は化合物をつくりにくく、その単体は単原子分子からなる。そのため、その原子の

[イ]の数は[コ]または**8**であるが、[ク]の数は**0**とする。#印の元素の単体はいずれも[サ]作用を示し、その[サ]力<sup>りょく</sup>は原子番号が大きくなるほど[シ]くなる。したがって、#印の**3**つの元素のうち原子番号が**2**番目に大きいもの(**X**と表す)の単体**X<sub>2</sub>**と原子番号が最も大きいもの(**Z**と表す)のカリウム塩**KZ**は、次のように反応する。



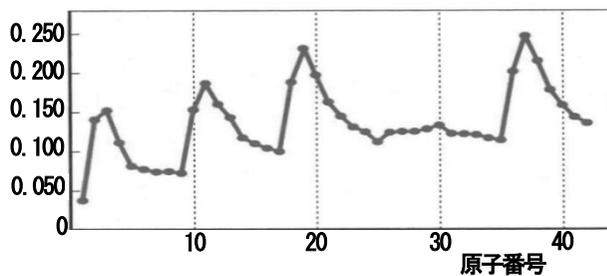
**問2** 文中の[**A**],[**B**],[**ア**]～[**シ**]に適切な語句または数字を記入せよ。

**問3** **Be, Br, K, Mn, P, Si**の元素のうち、金属元素には○を、非金属元素には×を解答欄に記入せよ。

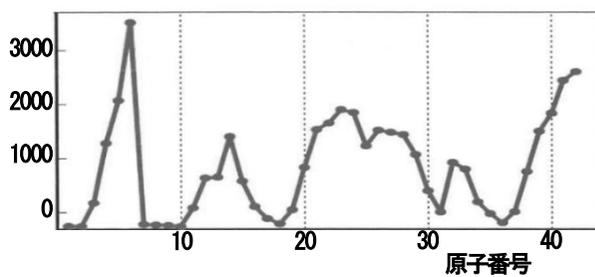
**問4** 図の\*印、+印、および#印の元素は、それぞれ固有の名称で呼ばれる元素の群に属している。それらの名称を答えよ。

問5 次の①～④のグラフ(縦軸の単位は省略されている)のうち、元素の原子番号とイオン化エネルギー(第一イオン化エネルギー)の関係を表しているものはどれか。1つ選べ。

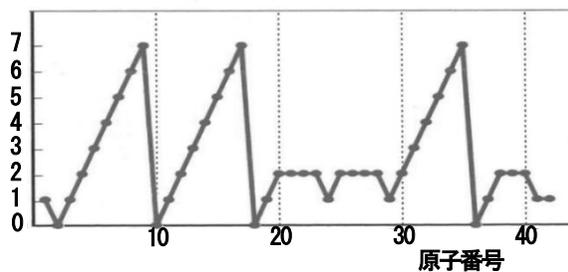
①



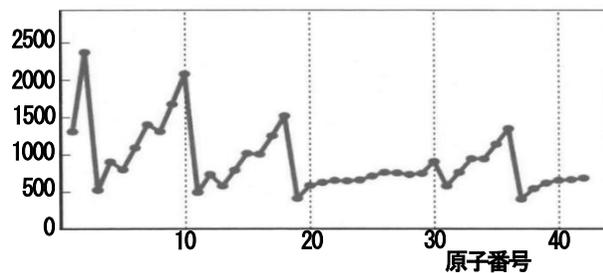
②



③



④



**問6** 図の◆印の元素には、いずれについても性質の異なる複数の単体が存在する。これらの関係を表す適切な語句を解答欄に記入せよ。また、◆印の元素のうち、最も原子番号が小さい元素について、具体例として、性質の異なる単体の名称を**2**つ答えよ。

**問7** 図の☆印の元素の原子には、原子核が不安定で、放射線を放出して自然に別の原子核に変わる同位体が存在する。この同位体を、下の例の下線部にならって元素記号を用いて表せ。

例：水素 **H** を構成する同位体のうち、 ${}^1\text{H}$  の存在比は**99.9%** 以上である。

**問8** 下線部の反応について、図の\*印の**3**つの元素のうち、原子番号が**2**番目に大きい元素を例として化学反応式を記せ。

『余 白』

**3**

次の記述を読んで、問い（問9～問13）に答えよ。

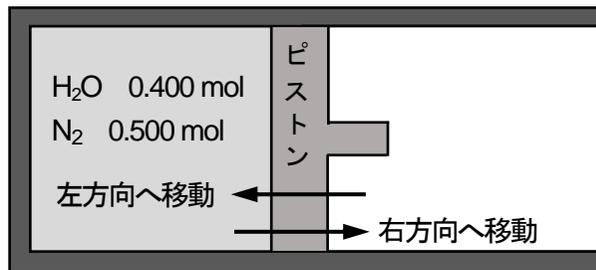
（23点）

下の図に示すピストンを備えた密閉容器を用いて、以下の実験を行った。

実験1 この容器内に水  $\text{H}_2\text{O}$  0.400 mol と窒素  $\text{N}_2$  0.500 mol を入れ、ピストンが抵抗なく自由に移動できる状態で容器全体を  $27^\circ\text{C}$  に保ち、平衡になるまで放置した。

実験2 実験1の状態ではピストンの位置を固定し、その後に容器全体の温度を  $87^\circ\text{C}$  にした。

窒素および水蒸気は理想気体としてふるまい、容器内の水の体積および水への窒素分子の溶解、ピストンおよび容器自体の熱による変形は無視できるものとする。また、 $27^\circ\text{C}$  における飽和水蒸気圧を  $4.00 \times 10^3 \text{ Pa}$ 、 $87^\circ\text{C}$  における飽和水蒸気圧を  $6.00 \times 10^4 \text{ Pa}$  とする。なお、大気圧は  $1.04 \times 10^5 \text{ Pa}$  とする。



問9 実験1の状態における容器内の気体の体積 [L] はいくらか。有効数字3桁で答えよ。

**問 1 0** 実験 1 の状態において容器内に液体として存在する水の物質質量 [mol] はいくらか。有効数字 3 桁で答えよ。

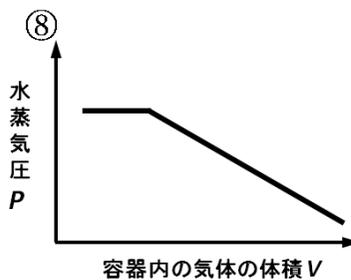
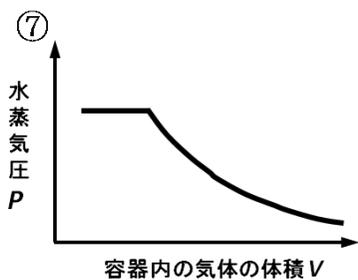
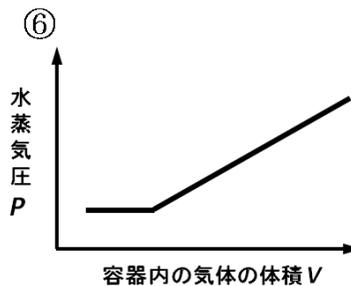
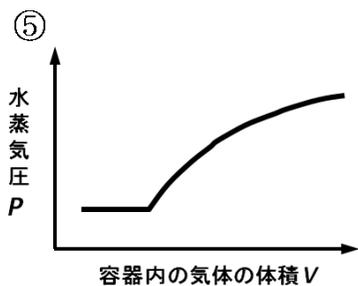
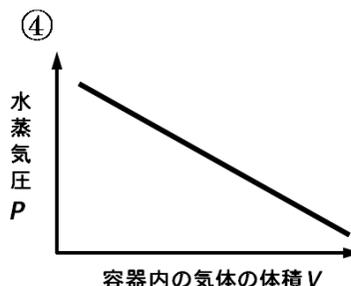
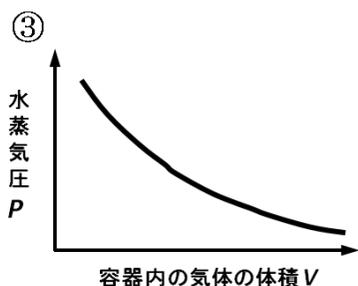
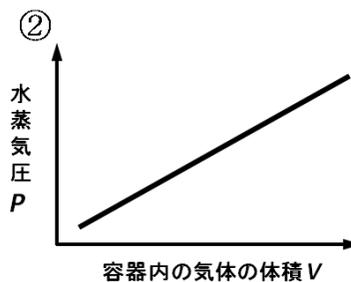
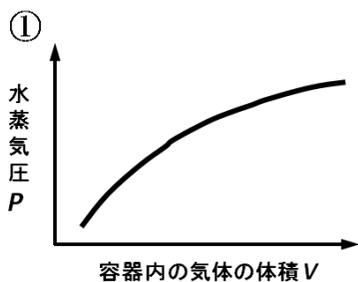
**問 1 1** 実験 2 の状態において容器内の気体を示す圧力 [Pa] はいくらか。有効数字 3 桁で答えよ。

『余 白』

**問 1 2** 実験 2 の状態からピストンを移動させたところ、水蒸気圧が  $1.50 \times 10^4$  Pa となった。このときの容器内の気体の体積 [L] はいくらか。有効数字 3 桁で答えよ。ただし、容器全体の温度は  $87^\circ\text{C}$  のまま一定とする。

『余 白』

問13 実験2の状態から、容器全体の温度は $87^{\circ}\text{C}$ に保ったまま、10ページの図に示すようにピストンを右方向に移動させた。このときの容器内の気体の体積  $V$  と水蒸気圧  $P$  の関係を示すグラフとして最も近いものを下の ①～⑧ から選べ。



4

次の記述を読んで、問い(問14～17)に答えよ。(38点)

アンモニア  $\text{NH}_3$  は、常温、常圧では無色で刺激臭がある気体であり、工業的には、鉄の酸化物を触媒に用いて窒素  $\text{N}_2$  と水素  $\text{H}_2$  から直接に合成する。この  $\text{NH}_3$  の製法を [ア] 法という。

$\text{NH}_3$  は弱塩基であり、水に溶かすとその一部だけが電離して、生じたイオン  $\text{NH}_4^+$  と電離していない分子の間に次のような電離平衡が成立する。



(1) 式の電離平衡の平衡定数  $K$  は、平衡状態における  $\text{NH}_3$  と  $\text{NH}_4^+$  のモル濃度 [mol/L] である  $[\text{NH}_3]$ ,  $[\text{NH}_4^+]$  などを用いて、(2) 式のように表される。

$$K = \quad (2)$$

ここで  $\text{H}_2\text{O}$  のモル濃度が一定とみなせることから、アンモニアの塩基の電離定数  $K_b$  は (3) 式のように表される。

$$K_b = \quad (3)$$

$\text{NH}_4^+$  は [イ] イオンと呼ばれる陽イオンであり、 $\text{NH}_3$  分子がその [ウ] 電子対を水素イオンに提供することにより生成する。ここでできた結合を特に [エ] 結合というが、普通の共有結合と区別はできない。このため、 $\text{NH}_3$  分子が三角錐形であるのに対し、 $\text{NH}_4^+$  は [オ] 形である。

$\text{NH}_4^+$  の塩化物である  $\text{NH}_4\text{Cl}$  は水溶液中で (4) 式のように電離し、生じた  $\text{NH}_4^+$  が (5) 式のように [①] 分子と反応して [②] 分子を生成する。その結果、[③] イオンの濃度が大きくなり、水溶液は弱酸性となる。このような現象を、塩の [カ] という。



25 °Cにおいて、0.10 mol/L の  $\text{NH}_3$  水溶液 10 mL をフラスコに取り、0.025 mol/L 塩酸で滴定したところ、中和点までに [ キ ] mL を要した。中和点では、フラスコ内の溶液は [ ク ] mol/L の  $\text{NH}_4\text{Cl}$  水溶液になっている。

**問 1 4** [ ア ] ~ [ ク ] に入る適切な語句または数値を記せ。数値は有効数字 2 桁で答えよ。

**問 1 5** (2), (3) 式として適切な式をそれぞれ記せ。

**問 1 6** (5) 式の ①, ②, ③ に適切な化学式を記入して式を完成させよ。

**問 1 7** 下線部の滴定について、次の (a) ~ (c) の水溶液の pH はいくらか。小数点第 1 位まで求めよ。ただし、25 °C における NH<sub>3</sub> の  $K_b$  は  $2.0 \times 10^{-5}$  mol/L とし、水のイオン積  $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$  (mol/L)<sup>2</sup> とする。必要ならば  $\log_{10}2 = 0.30$ ,  $\log_{10}3 = 0.48$  の値を用いよ。

(a) 滴定開始前の水溶液 (0.10 mol/L の NH<sub>3</sub> 水溶液)

(b) 中和点の水溶液

ただし、(5) 式における左辺から右辺への反応の進行は極めてわずかであるとする。

(c) [キ] の半分の体積 [mL] の 0.025 mol/L 塩酸を滴下したときの水溶液

『余 白』

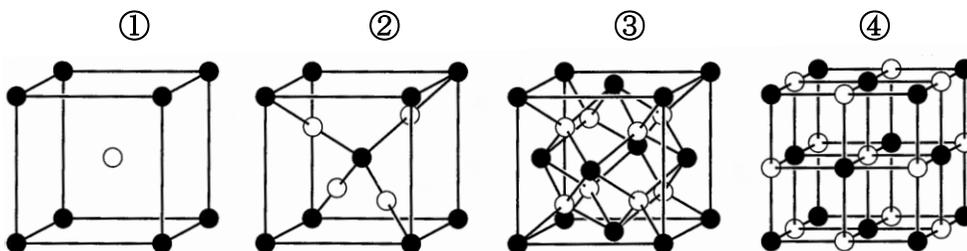
# 下書き用紙

5

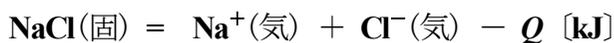
塩化ナトリウムに関する次の問い（問18～問21）に答えよ。

(22点)

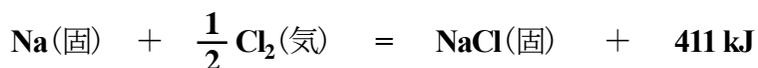
問18 次の①～④のうち、塩化ナトリウムの結晶構造として正しいものはどれか。1つ選べ。ただし、○はNa<sup>+</sup>を、●はCl<sup>-</sup>を示す。



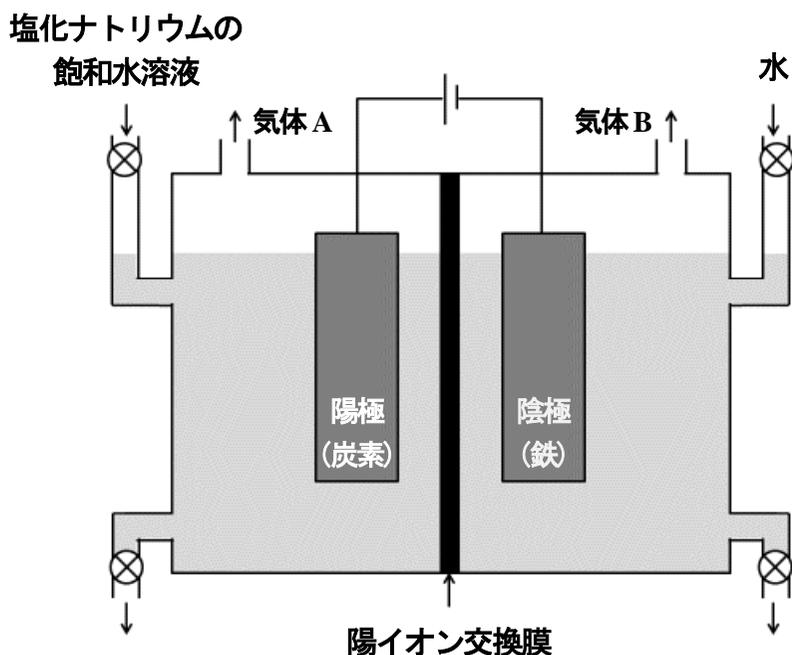
問19 1 mol の塩化ナトリウム結晶中の結合を切断して、気体状態のばらばらのイオンにするために必要なエネルギーを塩化ナトリウムの格子エネルギーという。格子エネルギーを  $Q$  [kJ/mol] とすると、次の熱化学方程式で表すことができる。



塩化ナトリウムの格子エネルギー  $Q$  [kJ/mol] はいくらか。整数で答えよ。ただし、以下の熱化学方程式が成立するものとする。



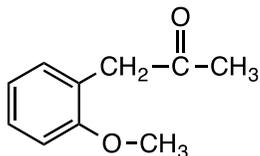
**問20** 下の図のように陽イオン交換膜によって陽極側と陰極側を隔て、陽極側に塩化ナトリウムの飽和水溶液、陰極側には水を入れて電気分解を行った。一定時間後、陰極側から水酸化ナトリウム水溶液(水溶液 X とする)1.00 L が得られた。この水溶液 X 全量を 0.100 mol/L の硫酸水溶液で中和したところ、20.0 mL を要した。この水溶液 X 中の水酸化ナトリウムを生成するときに流れた電気量 [C] はいくらか。有効数字 3 桁で答えよ。ただし、流れた電流はすべて電気分解に使用されたものとする。



**問21** 問20の電気分解において、陽極、陰極それぞれから発生する気体(気体 A, 気体 B)は何か。化学式で答えよ。また、水溶液 X の水酸化ナトリウムを生成するときに発生した気体の標準状態における体積 [mL] はそれぞれいくらか。有効数字 3 桁で答えよ。ただし、発生する気体の水溶液への溶解は考えないものとする。

6

次の記述を読んで、問い（問22～問26）に答えよ。ただし、構造式を書く場合は、例にならって書け。（38点）



構造式の例

- 化合物 **A**, **B**, **C** は、分子量 **200** 以下の化合物で、いずれもベンゼン環を **1** つ、エステル結合を **1** つ、不斉炭素原子を **1** つもつ。化合物 **A**, **B**, **C** の元素分析を行ったところ、いずれも質量百分率で、炭素 **74.1%**、水素 **7.9%**、酸素 **18.0%** であった。
- 化合物 **A** を水酸化ナトリウム水溶液で加水分解した後、酸を加えて酸性にすると、化合物 **D** と **E** が生成した。化合物 **B** と **C** を同様の操作で加水分解すると、化合物 **B** からは化合物 **F** と **G** が生成し、化合物 **C** からは化合物 **H** と **I** が生成した。
- 化合物 **D** は、適切な触媒を用いてトルエンを空气中で酸化して得られる化合物と同一である。
- 化合物 **E** に二クロム酸カリウムの希硫酸水溶液を加えて反応させると、中性の化合物 **J** が生成した。
- 化合物 **F** に濃硫酸を加えて加熱すると分子内脱水がおこり、スチレンを生じた。
- 化合物 **H** は、適切な触媒を用いてクメンを酸素で酸化した後、硫酸で分解すると得られる化合物と同一である。

問22 化合物 **A** の分子式を書け。

**問23** 化合物 **A**, **B**, および **I** の構造式を書け。

**問24** 化合物 **D**, **E**, および **H** の名称を書け。

**問25** 化合物 **F** の構造異性体のうち、ベンゼン環をもつ化合物で、金属ナトリウムの小片を加えたとき水素ガスを発生しないものは何種類存在するか。ただし、光学異性体が存在する場合は **2** と数える。

**問26** 化合物 **D**~**J** のうち、次の記述にあてはまる化合物はどれか。該当するものすべてを記号で答えよ。

- (a) 不斉炭素原子をもつ。
- (b) ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると、黄色沈殿が生じる。
- (c) 塩化鉄(III)水溶液で青紫~赤紫色を呈する。

**7**

次の記述を読んで、問い（問27～問30）に答えよ。（26点）

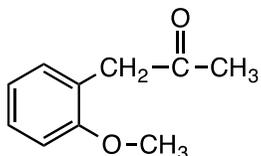
1. ある天然のタンパク質の水溶液に (i) 濃硝酸を加えて熱すると黄色になり、さらにアンモニア水を加えて塩基性になると橙黄色になった。このことから、このタンパク質には構成アミノ酸として、[ア]などのように分子内に [①] をもつアミノ酸が含まれていることがわかる。
2. このタンパク質の水溶液に水酸化ナトリウムを加えて熱し、酢酸で中和後、酢酸鉛(II)を加えると黒色沈殿が生じた。このことから、このタンパク質には構成アミノ酸として、[イ]などのように分子内に [②] 原子をもつアミノ酸が含まれていることがわかる。
3. このタンパク質を加水分解したところ、鎖状のペプチド **A** が得られた。このペプチド **A** をさらに加水分解したところ、構造の異なる2種類のペプチド **B**, **C** が得られた。
4. ペプチド **A**, **B**, **C** それぞれの水溶液に (ii) 水酸化ナトリウム水溶液を加えて塩基性にした後、少量の硫酸銅(II)水溶液を加えると、**A** の水溶液のみが赤紫色になった。
5. ペプチド **A** の分子式は  $C_{13}H_{17}N_3O_5$  であった。
6. ペプチド **A**, **B**, **C** いずれについても下線部(i)の反応の進行が認められた。

**問27** 文中の [ア], [イ] にあてはまるアミノ酸を次のページに示す10種類のアミノ酸から1つ選び、その名称を記入せよ。また, [①], [②] に適切な語句を記入せよ。

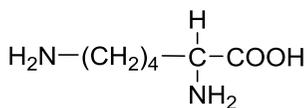
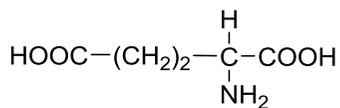
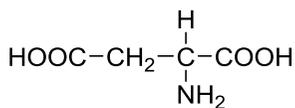
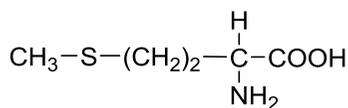
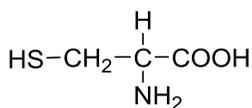
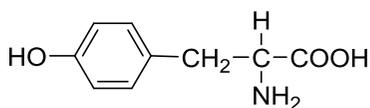
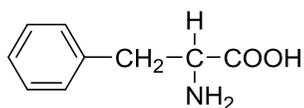
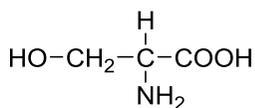
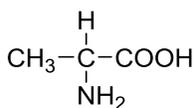
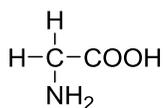
**問28** 下線部 (i), (ii) の反応名を書け。

問29 構造式の例にならって、ペプチドAの構造式を書け。ただし、ペプチドAは下に示す10種類のアミノ酸のうちいくつかから構成されている。

構造式の例



アミノ酸の構造式



**問30** 次の (a) ~ (d) の記述に最も関連の深い語句を下記の (あ) ~ (さ) の選択肢より **1**つ選び、記号で答えよ。

- (a) 水溶液中のタンパク質のポリペプチド鎖は、 $\alpha$ -ヘリックス構造や $\beta$ -シート構造をつくることが多い。
- (b) 水溶液中のタンパク質がセロハンのような膜を通過できない性質を利用して、タンパク質と低分子化合物を分離できる。
- (c) 加熱したり強酸・強塩基などを作用させると、タンパク質が凝固したり沈殿したりする。
- (d) タンパク質の水溶液に大量の硫酸ナトリウムを加えると、沈殿が生じる。

選択肢

- (あ) 異化
- (い) 加水分解
- (う) 変性
- (え) 透析
- (お) 塩析
- (か) 凝析
- (き) 凝縮
- (く) (タンパク質の) 一次構造
- (け) (タンパク質の) 二次構造
- (こ) (タンパク質の) 三次構造
- (さ) (タンパク質の) 四次構造

『以 上』