

# 2020年度 北海道大学 一般（前期）

R-2 ④

## 理 科

（ 化 学 ）

15：00～17：30

### 解 答 上 の 注 意

1. 試験開始の合図があるまで、この問題紙を開いてはならない。
2. 問題紙は53ページある。このうち、「物理」は2～11ページ、「化学」は12～26ページ、「生物」は27～45ページ、「地学」は46～53ページである。
3. 「物理」、「化学」、「生物」、「地学」のうちから、あらかじめ届け出た2科目について解答せよ。各学部・系・群・学科・専攻の必須科目(◎印)と選択科目(○印)は下表のとおりである。

| 学部・系群・学科専攻<br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>科目 | 総合入試    |         |         |         |         | 学部別入試 |       |           |          |         |     |      |      |         |
|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|-----------|----------|---------|-----|------|------|---------|
|                                                      | 理系      |         |         |         |         | 医学部   |       |           |          |         | 歯学部 | 獣医学部 | 水産学部 |         |
|                                                      | 数学重点選抜群 | 物理重点選抜群 | 化学重点選抜群 | 生物重点選抜群 | 総合科学選抜群 | 医学科   | 保健学科  |           |          |         |     |      |      |         |
|                                                      |         |         |         |         |         |       | 看護学専攻 | 放射線技術科学専攻 | 検査技術科学専攻 | 理学療法学専攻 |     |      |      | 作業療法学専攻 |
| 物理                                                   | ○       | ◎       | ○       | ○       | ○       | ◎     | ○     | ◎         | ○        | ○       | ○   | ○    | ○    |         |
| 化学                                                   | ○       | ○       | ◎       | ○       | ○       | ○     | ○     | ○         | ◎        | ○       | ○   | ○    | ○    |         |
| 生物                                                   | ○       | ○       | ○       | ◎       | ○       | ○     | ◎     | ○         | ○        | ○       | ○   | ○    | ○    |         |
| 地学                                                   | ○       | ○       | ○       | ○       | ○       |       |       |           |          |         |     |      | ○    |         |

4. 受験する科目のすべての解答用紙には、受験番号および座席番号(上下2箇所)を、監督者の指示に従って、指定された箇所に必ず記入せよ。
5. 解答はすべて解答用紙の指定された欄に記入せよ。
6. 必要以外のことを解答用紙に書いてはならない。
7. 問題紙の余白は下書きに使用してもさしつかえない。
8. 下書き用紙は回収しない。

# 補 足 説 明

令和2年度 一般入試

前期日程

教科・科目名 理科 (化学)

## 記

教科・科目名 化学

<補足説明>

問題紙 24 ページ 3 I 問7

問題文の最後に次の一文を加える。

「ただし、小数点以下は四捨五入せよ。」

<補足説明>

問題紙 26 ページ 3 II 問4

問題文の最後に次の一文を加える。

「ただし、小数点以下は四捨五入せよ。」

## 化 学

解答はすべて各問題の指示にしたがって解答用紙の該当欄に記入せよ。必要があれば次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Br = 79.9

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

電子の電荷の大きさ： $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$

1

I, IIに答えよ。

I 次の文章を読み、問1～問6に答えよ。

物質は原子とよばれる小さな粒子からできており、その原子は正の電荷を持つ陽子、負の電荷を持つ電子、電氣的に中性である中性子の3種類の基本的粒子からなっている。陽子と中性子は原子核とよばれる原子の中心部分に存在し、電子は原子核から離れて原子核の周囲に存在している。元素の違いは原子が持つ陽子数に基づき、陽子数を原子番号、陽子と中性子の数の和を(ア)という。人工元素を合成する研究において、最近、日本の研究者が113番目の元素としてニホニウムNhの合成に成功している。

(i) 原子中の電子は原子核よりはるかに大きな空間に広がり、原子を結びつけることで化学結合が生まれ、分子を形成する。水分子を例にして化学結合を考えると、水素原子と酸素原子がそれぞれ価電子を出し合って共有電子対を作ることによって共有結合が形成される。さらに、水分子中の酸素原子は(イ)電子対を持ち、これを水素イオンに提供して共有結合を形成し、オキシニウムイオンとなる。このようにしてできる共有結合を、特に(ウ)結合とよぶ。また、異なる原子間で共有結合が形成されると、電子対はどちらか一方の原子に偏って存在する。

原子は、電子を放出したり受けとることでイオンになる。例えば、ナトリウ

ム原子は1個の価電子を放出してナトリウムイオン  $\text{Na}^+$  になり、塩素原子は1個の電子を受け取り塩化物イオン  $\text{Cl}^-$  になる。これらのイオンが静電気力<sup>(iv)</sup>で引き合って結びつく結合をイオン結合という。

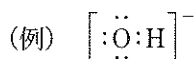
この他にも、鉄や銅のような金属原子は陽性が強いために価電子はもとの原子から離れやすく、すべての原子によって共有される (エ) となり、金属<sup>(v)</sup>結合を形成する。

問 1 空欄 (ア) ~ (エ) にあてはまる適切な語句を次の(あ)~(つ)から選び答えよ。

- |         |          |         |          |
|---------|----------|---------|----------|
| (あ) 共有  | (い) 非共有  | (う) 単   | (え) 二重   |
| (お) 三重  | (か) 質量数  | (き) 原子数 | (く) 分子数  |
| (け) 酸素  | (こ) 水素   | (さ) 配位  | (し) イオン  |
| (す) 同位体 | (せ) 錯イオン | (そ) 分子  | (た) 原子番号 |
| (ち) 原子核 | (つ) 自由電子 |         |          |

問 2 下線部(i)について、1個のニホニウム  $\text{Nh}$  は、亜鉛  $^{70}_{36}\text{Zn}$  とビスマス  $^{209}_{83}\text{Bi}$  の原子核を1個ずつ衝突させ、含まれている陽子数と中性子数は変わらずに1個の原子核にした後、中性子が一つ放出されることで合成される。合成されたニホニウムの陽子数、中性子数を答えよ。

問 3 下線部(ii)に関連し、アンモニア分子に水素イオンを (ウ) 結合させて作られるアンモニウムイオンの電子式を下記の例にならって記せ。



問 4 下線部(Ⅲ)に関連し、次の文章を読んで(1)～(3)に答えよ。

異なる原子間の共有結合中に生じる電子対の偏りはイオン結合が混在した状態と考えることができる。この電子対の偏りの程度は、正電荷  $+q$  [C] と負電荷  $-q$  [C] が距離  $r$  [m] 離れているときに式(1)で定義される双極子モーメントの大きさ  $\mu$  により調べられる。

$$\mu = qr \text{ [C} \cdot \text{m]} \quad (1)$$

例えば、実際のフッ化水素 HF 分子の結合距離は  $9.17 \times 10^{-11}$  m、双極子モーメントの大きさは  $6.09 \times 10^{-30}$  C·m である。この値と 100 % イオン結合であると仮定した場合の HF 分子の双極子モーメントの大きさとこの比は 0.415 となることから、実際の HF 分子の結合には 41.5 % のイオン結合が含まれていると考えられる。なお、結合距離はイオン結合の割合によらず変化しないものとする。

(1) 次の空欄  に当てはまる適切な語句を答えよ。

下線部(Ⅲ)は、各原子が電子対を引きつけようとする強さの差によって生じている。この強さを相対的な数値で表したものを  という。

(2) 塩化水素 HCl が  $\text{H}^+$  と  $\text{Cl}^-$  の 100 % イオン結合であると仮定した場合、双極子モーメントの大きさ [C·m] を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、H と Cl の間の結合距離は  $1.27 \times 10^{-10}$  m である。

(3) 臭化水素 HBr の実際の双極子モーメントの大きさが  $2.76 \times 10^{-30}$  C·m、HBr の結合距離が  $1.43 \times 10^{-10}$  m のとき、HBr に含まれるイオン結合の割合 [%] を有効数字 2 桁で答えよ。

問 5 下線部(iv)のイオン結合に関連して、次の(は)～(ほ)から正しいものを二つ選び、記号で答えよ。

(は) フッ化物イオン  $F^-$ 、ナトリウムイオン  $Na^+$ 、マグネシウムイオン  $Mg^{2+}$  の中で、イオン半径が最も大きいイオンは  $Mg^{2+}$  である。

(ひ) フッ素原子 F の電子親和力は、 $F^-$  から電子 1 個を取り去るのに必要なエネルギーと大きさが等しい。

(ふ) フッ化ナトリウム NaF よりも塩化ナトリウム NaCl の方が融点は低い。

(へ) ナトリウム原子 Na が電子 1 個を失って  $Na^+$  になるとき、エネルギーが放出される。

(ほ) カリウムイオン  $K^+$  は同じ周期の希ガス原子と同じ電子配置を持つ。

問 6 下線部(v)の金属結合をもつ下記の(ま)～(め)の元素について、原子半径が融点に影響を及ぼしている。最も融点が高いものを記号で示せ。

(ま) カリウム

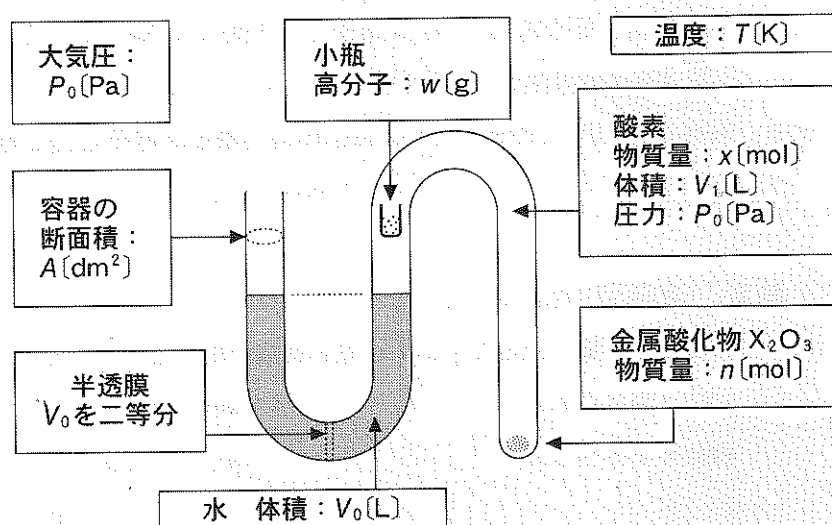
(み) セシウム

(む) ナトリウム

(め) ルビジウム

II 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

(A) 図Aに示すような断面積一定の筒状容器に水および、ある金属酸化物  $X_2O_3$  の粉末  $n[\text{mol}]$  が離して入れられている。ここで、水の体積  $(V_0[\text{L}])$  は半透膜により左右に二等分されている。また、水と金属酸化物  $X_2O_3$  を隔てる空間には酸素ガスが満たされており、ある高分子の粉末  $w[\text{g}]$  (平均分子量： $M$ )が入った小瓶が設置されている。

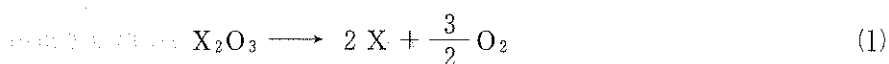


図A

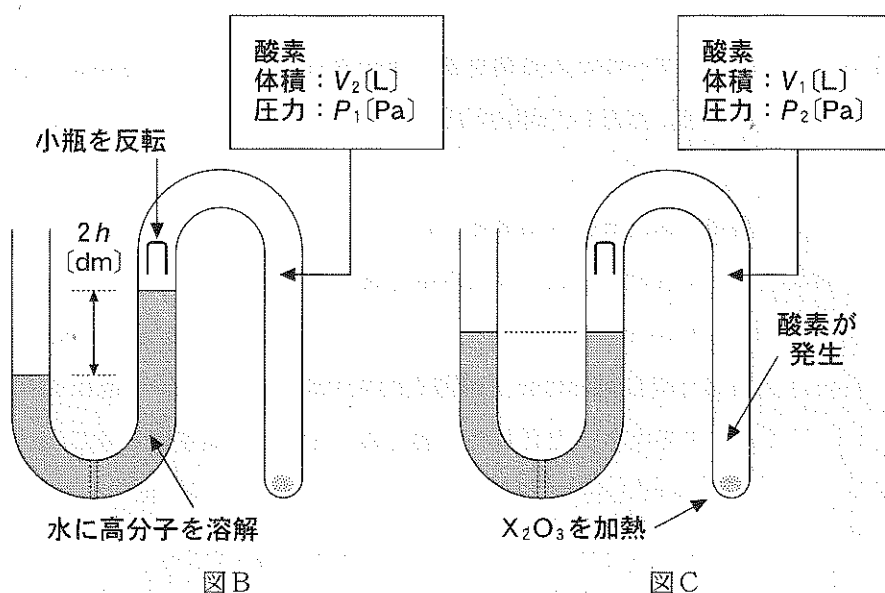
(B) ここで小瓶を反転させ高分子粉末を半透膜で仕切られた右側の部分の水に全量加え完全に溶解させたところ、十分時間が経過したのちに、図Bに示すように左右の液面の高さの差が  $2h[\text{dm}]$  となった。また、このときの酸素の圧力は  $P_1[\text{Pa}]$ 、体積は  $V_2[\text{L}]$  であった。

(C) 次に、物質量  $n$  [mol] の金属酸化物  $X_2O_3$  のみを一定時間加熱したところ、

不可逆反応(1)が進行し、金属  $X$  と酸素ガスが生成した。



続いて加熱を止めたところ酸素の発生は止み、系の温度は元の温度  $T$  [K] に戻った。その後十分時間が経過したのちに、図Cに示すように左右の液面の高さの差は  $0.0$  dm となった。このときの酸素の圧力は  $P_2$  [Pa]、体積は  $V_1$  [L] であり、未反応の  $X_2O_3$  の物質量は加熱前の  $\frac{2}{3}$  であった。



さて、図Bにおける酸素の体積  $V_2$  は液面位の変化により ア [L] と表されることがから、酸素の圧力  $P_1$  は イ [Pa] と表すことができる。このとき、水が半透膜を通して高分子水溶液側に移動しようとする圧力<sup>(i)</sup>は、液面差  $2h$  に相当する水溶液柱の圧力と、容器内の酸素と外気(空気)との圧力差に相当する圧力 ウ [Pa] の和に等しいと見なすことができる。一方、図Cにおいて、式(1)により生成した酸素の物質量は エ [mol] であるので、酸素の物質量増加を考慮すると



このときの酸素の圧力  $P_2$  は  $P_0 + \boxed{\text{(オ)}} \text{ [Pa]}$  と表すことができる。

なお、気体は全て理想気体とみなせ、気体の水への溶解や小瓶、高分子、 $\text{X}_2\text{O}_3$  および  $\text{X}$  の体積、高分子の溶解や気体の圧力変化に伴う水溶液の体積変化は無視できるものとする。また大気圧は常に一定、系の温度は加熱時を除いて常に一定であり、加熱に伴う高分子の性質変化等はないものとする。

問 1 下線部(i)について、これに相当する圧力を一般に何と呼ぶか答えよ。

問 2 (ア)~(ウ)に入る量を  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $h$ ,  $A$  のうち適切なものを用いて表せ。ただし、 $\text{dm} = 10^{-1} \text{ m}$  であることに注意せよ。

問 3 (エ), (オ)に入る量を  $P_0$ ,  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $n$ ,  $R$ ,  $T$  のうち適切なものを用いて表せ。なお、 $R$  は気体定数とする。

問 4 図 C における下線部(i)の圧力を計算し、Pa 単位にて有効数字 2 桁で答えよ。ただし、必要に応じて以下の値を用いること。

$$V_0 = 0.83 \text{ L}, V_1 = 1.66 \text{ L}, P_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ Pa},$$

$$n = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol}, T = 300 \text{ K}, w = 3.0 \text{ g}$$

問 5 高分子の平均分子量  $M$  を有効数字 2 桁で答えよ。ただし、必要に応じて問 4 に示した値を用いること。

2

I, IIに答えよ。

I 凝固点降下に関する次の問1～問7に答えよ。

ビーカーに100 gの水を入れ、非電解質Zを6.84 g溶かした後、かき混ぜながらゆっくりと冷却した。この水溶液の温度変化を示す冷却曲線は図1のようになった。

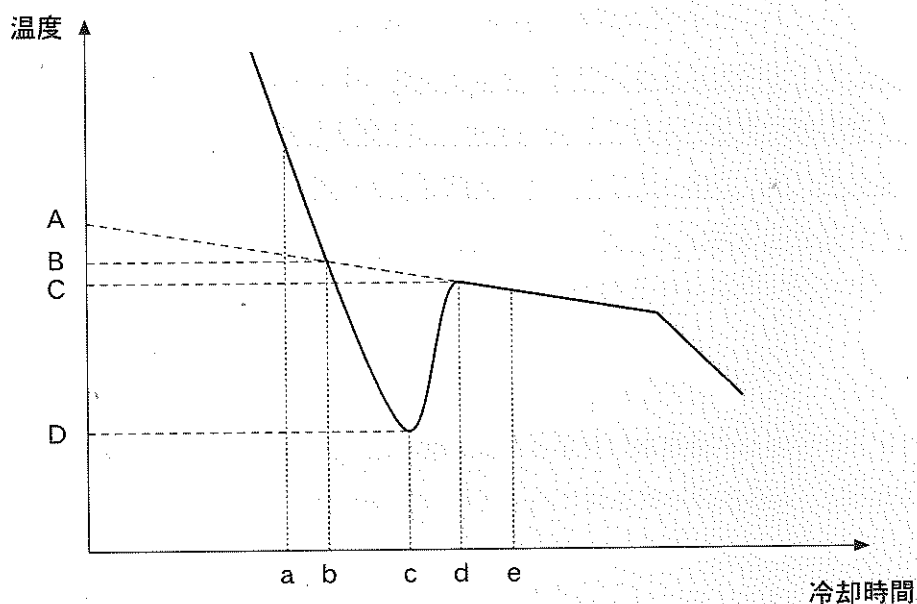


図 1

問 1 液体を冷却していくと凝固点以下になってもすぐには凝固しない。この現象を何というか。その名称を答えよ。

問 2 この水溶液の凝固点は図中の温度A, B, C, Dのうち、どの温度か。記号で答えよ。

問 3 図中の冷却時間 a, b, c, d, e のうち、水溶液が一番高い濃度を示すのはどの時点か。記号で答えよ。

問 4 次の(イ)～(ニ)に記す現象または事項のうち、凝固点降下に関係しない現象、事項を一つ選び、記号で答えよ。

(イ) 海水は凍りにくい。

(ロ) ナフタレンを利用した防虫剤とパラジクロロベンゼンを利用した防虫剤を混合すると、常温でも液体になり、衣類にシミができることがある。

(ハ) 自動車のエンジンの冷却水にエチレングリコールを混ぜる。

(ニ) 携帯用冷却パックには、硝酸アンモニウムや尿素が含まれている。

問 5 凝固点降下から分子量を求めることができる。この水溶液の凝固点を測定したところ、 $-0.370^{\circ}\text{C}$  であった。Z の分子量を整数値で答えよ。水のモル凝固点降下を  $1.85\text{ K}\cdot\text{kg/mol}$  とする。

問 6  $100\text{ g}$  の水に塩化カルシウムを  $2.22\text{ g}$  溶かした水溶液の凝固点は  $-1.00^{\circ}\text{C}$  であった。水溶液中の塩化カルシウムの電離度を有効数字 2 桁まで求めよ。ただし、塩化カルシウムの式量を 111 とする。

問 7 酢酸をベンゼンに溶かすと、酢酸の一部は、2 分子間で水素結合を形成し、1 個の分子のように振る舞う。この現象を、会合によって二量体が形成されたといい、二量体形成した酢酸の割合を会合度と呼ぶ。

$100\text{ g}$  のベンゼンに酢酸を  $1.2\text{ g}$  溶かした溶液の凝固点は  $4.93^{\circ}\text{C}$  であった。ベンゼン中の酢酸の会合度を有効数字 2 桁まで求めよ。ただし、ベンゼンの凝固点は  $5.53^{\circ}\text{C}$ 、モル凝固点降下は  $5.12\text{ K}\cdot\text{kg/mol}$ 、酢酸の分子量を 60 とする。

II. 次の文章を読み、問1～問8に答えよ。

マンガンは周期表第7族に属する元素であり、化合物中では A , B , +2の酸化数をとることが多い。過マンガン酸カリウム  $\text{KMnO}_4$  は酸化数 A の代表的な化合物で、その水溶液は (あ) 色をしている。アルカリマンガン乾電池の活物質として用いられる (い) 色の (う) は水に不溶の固体で、酸化数 B の代表的なマンガン化合物である。(う) は、塩酸から塩素  $\text{Cl}_2$  を発生させる場合は酸化剤としてはたらし、過酸化水素水から酸素  $\text{O}_2$  を発生させる場合は (え) としてはたらく。

クロムは周期表第6族に属する元素であり、マンガンと同様に化合物中で高い酸化数を取りうる元素である。酸化数 C をとる化合物として、クロム酸カリウム  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  が知られている。この化合物の水溶液を酸性にすると、水溶液の色は黄色から橙赤色に変化する。これは水素イオンとクロム酸イオンが反応して二クロム酸イオン  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  <sup>(i)</sup> が生成するためである。硫酸酸性溶液中では二クロム酸イオンは酸化剤としてはたらし、クロム(Ⅲ)イオン  $\text{Cr}^{3+}$  <sup>(ii)</sup> が生成する。

クロムのイオン化傾向は亜鉛と同程度であり、鉄よりも大きい。それにも関わらず、クロムの単体は鉄よりも錆びにくい。これは金属の表面に緻密な酸化被膜 <sup>(iii)</sup> が自然に形成されるからである。また、鋼にクロムとニッケルなどを添加した (お) 鋼と呼ばれる合金が錆びにくいのは、クロムのこの性質による。

問1 A ~ C にあてはまる適切な酸化数を答えよ。

問2 (あ) と (い) にあてはまる適切な色名を答えよ。

問3 (う) にあてはまる化合物を化学式で答えよ。

問 4 え にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

問 5 マンガン(Ⅱ)イオン  $\text{Mn}^{2+}$  において M 殻に入っている電子の数を答えよ。ただしマンガン(Ⅱ)イオン  $\text{Mn}^{2+}$  の M 殻より外側の電子殻には、電子は入っていない。

問 6 以下の(1), (2)に答えよ。

(1) 下線部(i)をイオン反応式で表せ。

(2) 下線部(ii)を電子  $e^-$  を含むイオン反応式で表せ。

問 7 アルミニウムのイオン化傾向が大きいにも関わらず、我々の身の回りにあるアルミニウム製品の耐食性が高いのは、下線部(iii)と同様な被膜を人工的につけているからである。このようなアルミニウム製品を何というか答えよ。

問 8 以下の(1), (2)に答えよ。

(1) 下線部(iv)は、ある少量の非金属元素が鉄 Fe に添加された合金である。この非金属元素の元素記号を答えよ。

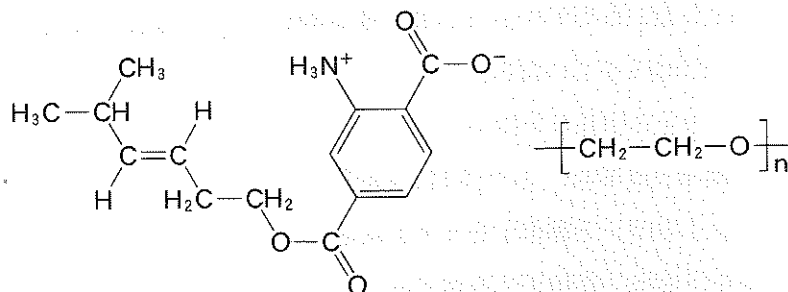
(2) お にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

3

I, II に答えよ。なお、構造式は記入例にならって記せ。

反応は全て 100 % の収率で進行することとする。

(記入例)



I 次の文章を読み、問 1 ～問 7 に答えよ。

(実験 1) 炭素、水素および酸素からなる直鎖状の化合物 A (1.0 mmol) を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 176 mg および水 36 mg が生じた。

(実験 2) 化合物 A (1.0 mmol) を加熱したところ、化合物 B と水がそれぞれ 1.0 mmol 生じた。

(実験 3) 実験 2 で得た化合物 B (1.0 mmol) にアニリン (1.0 mmol) を反応させたところ、<sup>(i)</sup>アミド結合を有する化合物 C が 1.0 mmol 生じた。

(実験 4) 化合物 C の水溶液に、臭素の色が消失しなくなるまで臭素を加えたところ、化合物 D が得られた。

問 1 実験 1 の結果から、化合物 A の分子式における酸素原子の数を  $x$  とした場合の化合物 A の分子式を示せ。

問 2 実験 1 ～ 4 の結果から導かれる化合物 A の名称を示せ。ただし、化合物 A は可能性のある構造のうち、酸素の数が最小のものを選択せよ。

問 3 化合物 C の構造式を示せ。

問 4 化合物 D の不斉炭素原子の数を答えよ。

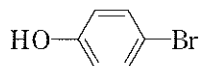
問 5 下線部(i)のアニリンに関する文章を読み、空欄 (ア) ~ (ウ) に入る適切な語句を記せ。

アニリンの希塩酸溶液を氷冷しながら (ア) 水溶液を加えると塩化ベンゼンジアゾニウムが得られる。この反応で得られたジアゾニウム塩にナトリウムフェノキシドの水溶液を加えると赤橙色の *p*-フェニルアゾフェノール (*p*-ヒドロキシアゾベンゼン) が生成する。この反応を (イ) といい、 (イ) 反応で得られる芳香族アゾ化合物は染料などの色素として使用される。芳香族アゾ化合物の一種である (ウ) の水溶液は酸の滴定指示薬としてよく使用される。

問 6 下線部(ii)について、アミド結合に関する以下の記述から誤っているものをすべて選び記号で記せ。

- (あ) 酸と共に水溶液中で加熱すると加水分解される。
- (い) 塩基と共に水溶液中で加熱すると加水分解される。
- (う) ナイロン 6 はアミド結合を有する環状の化合物の開環重合により合成される。
- (え) ニンヒドリン水溶液を加えて温めると赤紫～青紫色を呈する。
- (お) 他のアミド結合と水素結合を形成できる。
- (か) 試験管内で過剰のアンモニアと硝酸銀と共に温めると壁面に銀薄膜が形成される。
- (き) アミノ酸どうしのアミド結合を特にペプチド結合という。

問 7 以下の分子 1.00 mmol を含む水溶液を用いて、実験 4 の操作を行った場合、何 mg の臭素が消費されるか計算し、整数値で答えよ。



II 高分子に関する問 1 ~ 4 に答えよ。構造式は記入例にならって記せ。

問 1 合成高分子について、あてはまらないものをすべて選び、記号で記せ。

- (く) 合成高分子はおもに石油を原料として作られる。
- (け) ナイロン 66 の「66」という数字は、単量体の炭素原子及び窒素原子の数を表している。
- (こ) アラミド繊維は、ベンゼン環を含み、強度が大きいという特長がある。
- (さ) すべての合成高分子は電気を通さない。
- (し) 使用した陽イオン交換樹脂は強酸の水溶液で処理し再生される。

問 2 低密度ポリエチレンについて、正しいものをすべて選び、記号で記せ。

- (す) 高圧で 200℃ 前後で合成される。
- (せ) ポリ容器などに用いられる。
- (そ) 枝分かれが多い。
- (た) フィルムに成形後も、白色のままであり、透明にはならない。
- (ち) 硬く、加工性に優れる。



問 3 ゴムに関する以下の文章を読み、(1)、(2)に答えよ。

天然ゴムはゴムノキの樹液に含まれるポリイソプレンを主成分とする物質である。ポリイソプレンの構成単位の構造中には (A) があり、(A) が自由に回転できないことによる異性体が存在する。一般の天然ゴムの (A) はすべて (B) 形である。天然ゴムに少量の硫黄を加え加熱すると、(C) 構造が形成され、ゴム特有の弾性が生じ、強度および耐久性も向上する。また、アカテツ科の樹液から採れるグタペルカ(グッタペルカ)は、(D) 形のポリイソプレンであり、常温では硬い固体である。

一方、単量体であるイソプレンを (E) 重合させると、合成ゴムが得られる。人工的に合成されたイソプレンゴムでは (B) 形と (D) 形の両方が含まれる。しかし、目的・用途に合わせて、その比率を変えることで、様々な性質のゴムを合成することができる。

これらのゴムは長時間空気にさらされると、分子内にある (A) が空気中の (F) と反応して徐々に劣化する。現在では、炭素原子以外が骨格になっている合成ゴムとして、(G) ゴムが製造されている。このゴムは耐久性に優れている。

(1) 空欄 (A) ~ (G) にあてはまる最も適切な語句を答えよ。

(2) 下線部に関連して、天然ゴムに大量の硫黄(30~40%)を加えて加熱した生成物は、少量の硫黄(5~8%)を加えて加熱した生成物と比較して、どのような性質をもつと考えられるか。正しいものを1つ選び、記号で記せ。

- (つ) ゴム弾性が下がり、硬くなる。
- (て) ゴム弾性が上がり、柔らかくなる。
- (と) ゴム弾性が下がり、柔らかくなる。
- (な) ゴム弾性が上がり、硬くなる。

問 4 耐摩擦性(耐摩耗性)、耐寒性に優れるブタジエンゴムは1,3-ブタジエンから合成される。ブタジエンゴムの簡略した構造式を記し、平均分子量が6500であるブタジエンゴムの平均重合度を求め、整数値で答えよ。