

令和 4 年度

理 科

物	理	1 ページ～10 ページ
化	学	11 ページ～21 ページ
生	物	22 ページ～32 ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その1～その3)、化学(その1～その4)、生物(その1～その4)の3科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する2科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

化 学

必要に応じて、以下の数値を使用せよ。

原子量 $H = 1.0$, $C = 12.0$, $N = 14.0$, $O = 16.0$, $Cl = 35.5$

$\sqrt{2} = 1.414$, $\sqrt{3} = 1.732$, $\sqrt{5} = 2.236$, $\sqrt{7} = 2.646$

$\log_{10} 2 = 0.301$, $\log_{10} 3 = 0.477$, $\log_{10} 7 = 0.845$

水のイオン積 $K_w = 1.00 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ (25 °C)

数字は特に指定のない限り、有効数字 2 桁まで求めよ。

1 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。

化学結合には、共有結合、金属結合、イオン結合などがある。

共有結合では、2 個の原子の間で、価電子を共有して結合が形成される。たとえば、塩化水素 HCl の分子では、 Cl 原子の価電子のうちの対電子 1 個が H 原子の価電子と対をつくって、共有結合を形成している。非金属元素の原子が多数、次々に共有結合した構造からなる結晶を共有結合結晶という。共有結合結晶の多くはきわめて硬く、融点が非常に高い。

一般に、金属原子は陽性が強く、価電子が原子から離れやすい。金属原子が集まって、価電子をすべての構成原子で共有してできる結合を金属結合といい、金属結合でできた結晶を金属結晶という。金属の結晶構造は、体心立方格子、面心立方格子、六方最密構造などに分類される。原子が結晶中の空間に占める体積の割合を充填率といい、体心立方格子の充填率は 68 %、面心立方格子や六方最密構造の充填率は 74 % である。

陽イオンと陰イオンの結びつきをイオン結合といい、イオン結合でできている結晶をイオン結晶という。図 1 に示すように、陽イオンと陰イオンの数の比が 1 : 1 であるイオン結晶の構造には、配位数が異なるいくつかの型があり、配位数が大きい結晶ほど安定である。ただし、構成する陽イオンの半径(r_+)と陰イオンの半径(r_-)の比(r_+/r_- 、または r_-/r_+)によっては、同じ符号のイオンどう

しが接することになる。その場合には、結晶は不安定であり、配位数がより小さな結晶構造をとるようになる。例として、図1(A)の結晶構造において、イオンの大きさの比によって結晶が不安定になる場合を図2に示す。

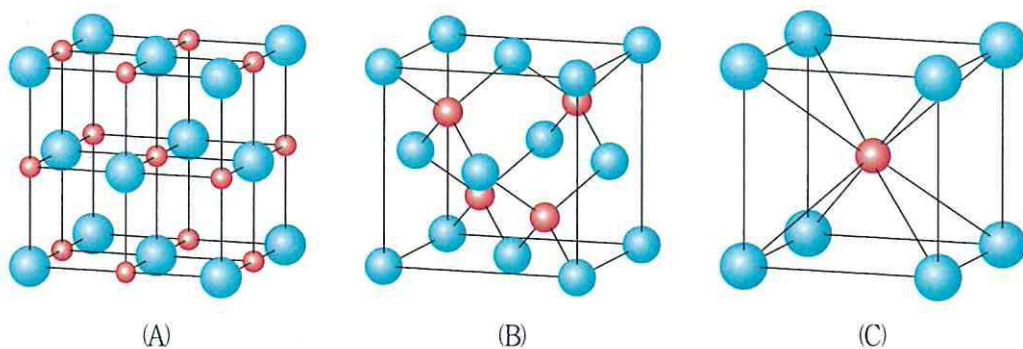


図1 さまざまなイオン結晶の構造

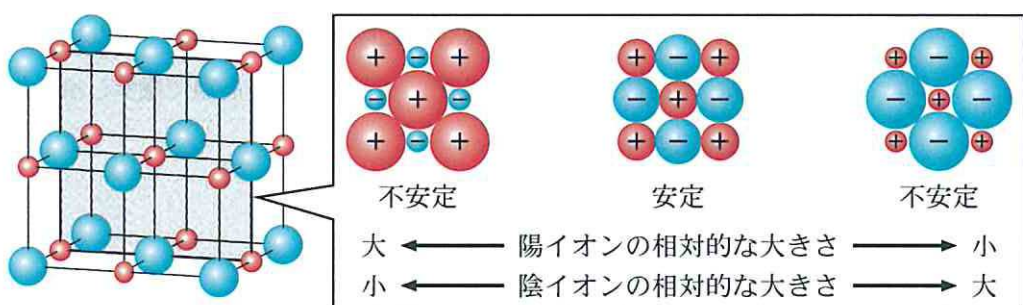


図2 図1(A)の結晶構造におけるイオンの大きさで結晶の安定性

問1 塩化水素 HCl およびホルムアルデヒド HCHO の電子式を記せ。

問2 次の(ア)~(オ)から、固体状態で共有結合結晶を形成する物質をすべて選び、その記号を記せ。

- (ア) 二酸化炭素
- (イ) 二酸化ケイ素
- (ウ) 酸化マグネシウム
- (エ) ナフタレン
- (オ) 水

問 3 金属結合において、すべての構成原子で共有されている価電子のことを何とよぶか、その名称を記せ。

問 4 ある金属 a (原子量 M_a) の結晶構造は面心立方格子であり、原子半径と密度はそれぞれ 2.00×10^{-8} cm, 1.20 g/cm³ である。体心立方格子の結晶構造をとり、原子半径が 2.40×10^{-8} cm である金属 b (原子量 M_b) の密度を求めよ。ただし、この 2 つの金属の原子量の比 M_b/M_a は 2.22 とする。

問 5 イオン結晶に関する次の(ア)~(エ)のうち、正しいものには○、誤りを含むものには×を記せ。

(ア) イオン結晶中の陽イオンと陰イオンは、分子間力によって引き合い結びついている。

(イ) イオン式とは、イオン結晶を表す化学式である。

(ウ) 3 種類以上のイオンが不規則に集合した固体はイオン結晶ではない。

(エ) イオン結晶の水溶液は電気を導くが、イオン結晶を高温で融解し液化したものは電気を導かない。

問 6 下線部(a)に関する以下の問いに答えよ。

(1) 図 1 (A), (B), (C) の結晶構造における配位数を記せ。

(2) 表 1 の化合物 X, Y, Z の結晶は、イオン半径の比から考えて、それぞれ図 1 (A), (B), (C) のどの構造か、(A)~(C) の記号で記せ。ただし、陽イオンと陰イオンはどちらも一価の単原子イオンとする。

表 1 化合物 X, Y, Z を構成する陽イオンと陰イオンの半径

化合物	陽イオン半径 r_+ (cm)	陰イオン半径 r_- (cm)	r_+/r_-
X	0.90×10^{-8}	2.06×10^{-8}	0.44
Y	1.81×10^{-8}	1.67×10^{-8}	1.08
Z	1.81×10^{-8}	1.19×10^{-8}	1.52

【補足説明】

本来、平衡状態は記号「 \rightleftharpoons 」で表されるが、ここでは「 \rightleftharpoons 」を用いる。

2 次の文を読んで、以下の問いに答えよ

一価の酸 HA を水に溶解したとき、HA は $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ のように電離する。この平衡の電離定数 K_a を 25℃ で $2.50 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ とする。HA 水溶液を①～⑥の手順にしたがって、25℃ で水酸化ナトリウム水溶液を用いて滴定した。ただし、HA は 80℃ 以下では安定な固体であるとする。

- ① 電子天秤で $1.00 \times 10^{-2} \text{ mol}$ の HA をはかり取り、全量を 100 mL のメスフラスコに入れ、純水を加えて溶解させてから、標線まで純水を加えてよく混ぜた。
- ② スタンドに固定したビュレットに 0.100 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を入れた。
- ③ ①で調製した HA 水溶液を 10 mL のホールピペットで正確にはかり取って、コニカルビーカーに入れた。これに指示薬を 1 滴加えた。指示薬を加えることによる溶液の体積変化は無視できるものとする。
- ④ ビュレットのコックを開き、水酸化ナトリウム水溶液を滴下した。
- ⑤ 約 10 mL の水酸化ナトリウム水溶液を滴下したときに、コニカルビーカー内の水溶液の色が変わった。
- ⑥ さらに水酸化ナトリウム水溶液を加えたが、コニカルビーカー内の水溶液の色は変わらなかった。

問 1 上記の実験を行う前に、メスフラスコ、ビュレット、ホールピペットを純水で洗浄した。その後の使い方として、(ア)～(オ)から、それぞれ適切な操作をすべて選び、その記号を記せ。

- (ア) 内側が純水で濡れたまま使用した。
- (イ) 乾燥機で 80℃ に加熱し、水分を完全に除いてから使用した。
- (ウ) 0.100 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で内側をすすぎ、濡れたまま使用した。
- (エ) 0.100 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で内側をすすぎ、乾燥機で 80℃ に加熱し、水分を完全に除いてから使用した。
- (オ) 0.100 mol/L の HA 水溶液で内側をすすぎ、濡れたまま使用した。

- (カ) 0.100 mol/L の HA 水溶液で内側をすすぎ、乾燥機で 80 °C に加熱し、水分を完全に除いてから使用した。

問 2 ①で調製した溶液の pH はいくらか、記せ。

問 3 ④で中和点に達する前に、水酸化ナトリウム水溶液を滴下しても pH があまり変化しなくなる領域があることが知られている。以下の問いに答えよ。ただし、HA の電離度は十分に小さいものとする。

- (1) HA と水酸化ナトリウムの反応によって生成する塩を NaA とする。HA が c_a [mol/L]、NaA が c_s [mol/L] の濃度で溶けている水溶液の水素イオン濃度を K_a 、 c_a 、 c_s を用いて記せ。
- (2) ④の状態では、コニカルビーカー内の水溶液を純水で希釈した場合、 c_a は減少する。しかし、水溶液は緩衝液になっていて、HA が電離して H^+ を生じるため、pH はほとんど変化しない。 c_a の値が変化しても pH はほとんど変化しない理由を問 3 (1) の解答に基づいて説明せよ。
- (3) ④の操作中に、水酸化ナトリウム水溶液の滴下量に対する④の水溶液の pH の変化が最小となるときの pH はいくらか、記せ。

問 4 ⑤で中和点に達したと判断した。NaA 水溶液中では、

$A^- + H_2O \rightleftharpoons HA + OH^-$ で表される平衡が成り立つ。この平衡定数 K_h は加水分解定数とよばれ、次式で定義される。

$$K_h = \frac{[HA][OH^-]}{[A^-]}$$

以下の問いに答えよ。ただし、HA の電離度は十分に小さいものとする。

- (1) K_h を K_a と水のイオン積 K_w を用いて記せ。
- (2) c_s [mol/L] の NaA 水溶液の水素イオン濃度を K_a 、 K_w 、 c_s を用いて記せ。
- (3) この滴定の中和点における pH はいくらか、記せ。

(4) この滴定において、指示薬として使用できるものを次の(ア)~(エ)からすべて選び、その記号を記せ。

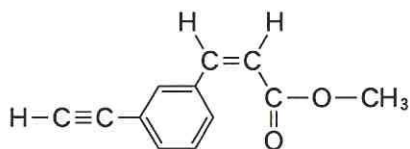
(ア) pH 4.2 以下で赤色，6.2 以上で青色に変色する指示薬

(イ) pH 1.2 以下で赤色，2.8~8.0 で黄色，9.6 以上で青色に変色する指示薬

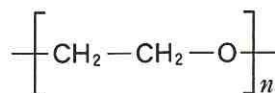
(ウ) pH 3.1 以下で赤色，4.4 以上で青色に変色する指示薬

(エ) pH 8.0 以下で無色，9.8 以上で赤色に変色する指示薬

- 3 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。構造式は下の(例1)と(例2)にならって示せ。



(例1)



(例2)

二置換ベンゼンには、2個の置換基が結合する位置によって3種類の異性体が存在する。たとえば、置換基がメチル基とヒドロキシ基の場合、*o*-クレゾール、*m*-クレゾール、*p*-クレゾールの異性体がある。2個の置換基がいずれもヒドロキシ基の場合、*o*-異性体はカテコール、*m*-異性体はレゾルシノール、*p*-異性体はヒドロキノンとよばれる。これらは、フェノール性のヒドロキシ基をもつので、 FeCl_3 との反応により呈色する。しかし、ヒドロキノンは、フェノールとは異なり、ただちに退色する。この現象は、ヒドロキノンの^(a)1により FeCl_3 が変化することによる。

ヒドロキノンの1個のヒドロキシ基がアミノ基に置換された化合物Aについて考える。1分子の化合物Aと1分子の無水安息香酸を反応させ、その生成物を分液ろうとに移し、分離操作を行った。まず、ジエチルエーテルと水酸化ナトリウム水溶液を用いて分離操作を試してみると、ジエチルエーテル層からは何も得られなかった。そこで、水酸化ナトリウム水溶液のかわりに炭酸水素ナトリウム水溶液を用いてみると、ジエチルエーテル層から生成物Bのみが得られた。

次に、ヒドロキノンの2個のヒドロキシ基がいずれもアミノ基に置換された化合物Cについて考える。化合物Cとテレフタル酸を反応させると高分子化合物Dが得られた。この高分子化合物Dは、強度と弾力性をもつ繊維の素材として利用されている。

問 1 クレゾールの構造異性体で、金属ナトリウムを加えても、水素を発生しない芳香族化合物の構造式を1つ記せ。

問 2 C_7H_9N の化合物を反応物に用いて、2段階で *p*-クレゾールをつくる反応を、化学反応式を用いて記せ。ただし、有機化合物は構造式を用いて記し、1段階目の生成物と2段階目の反応物が同じになるように解答欄に記すこと。

問 3 下線部(a)の現象は、ヒドロキノンを用いた写真の現象における化学反応(図3)と同じ原理で起こる。 1 にあてはまるヒドロキノンの性質を表す語句を記せ。

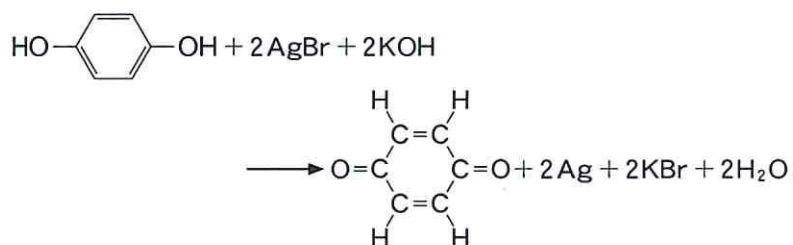


図3 ヒドロキノンを用いた写真の現象における化学反応式

問 4 化合物 B の構造式を記せ。

問 5 高分子化合物 D の構造式を記せ。

- 4 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、構造式や化学反応式は例にならって記せ。



新型コロナウイルス感染症などの感染症の予防には、流水やセッケンを用いた手洗いや消毒液を用いた手指の消毒が有効である。

セッケンは疎水性の炭化水素基と親水性のカルボキシ基からなる脂肪酸のナトリウム塩である。水溶液中のセッケンは、炭化水素基部分を中心にして多数集まり、 とよばれるコロイド粒子として存在する。

セッケンは水と空気の界面で、カルボキシ基部分を水中に、炭化水素基部分を空気中に向けて並び、水の を小さくする作用がある。このように、水の を低下させる物質を界面活性剤という。また、油をセッケン水に入れて振り混ぜると、セッケンは油のまわりをとり囲み、微細な小滴となって水中に分散する。これを 作用という。これらの総合的な作用により、セッケンは洗浄作用を示す。

手指の消毒液には、質量パーセント濃度が約75%のエタノール水溶液がよく使用される。また、消毒液に含まれる陽イオン界面活性剤は、セッケンほど界面活性作用が大きくなく、洗浄力は劣るが、 に帯電したタンパク質への吸着速度が大きいため、優れた殺菌力を示す。

感染症の予防には、ワクチン接種も有効である。昔の注射器はガラス製で、医療現場で乾熱滅菌して繰り返し使用していた。現在では、滅菌済みのプラスチック製ディスポーザブル注射器が広く使われており、その外筒とプランジャーロッドには熱可塑性樹脂のポリプロピレンが、ガスケットには加硫したゴムなどがそれぞれ使用されている(図4)。

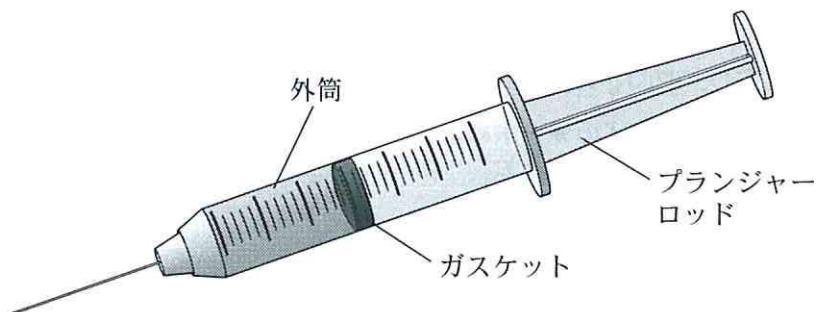


図4 プラスチック製ディスポーザブル注射器の模式図

問1 ~ にあてはまる適当な語句を記せ。ただし、 には正または負を記すこと。

問2 油脂を水酸化ナトリウム水溶液で完全にけん化すると、セッケンと化合物Aが得られる。化合物Aの名称と構造式を記せ。

問3 セッケンは Ca^{2+} や Mg^{2+} を多く含む水(硬水)の中で使用すると、泡立ちが悪くなる。この理由を30字程度で説明せよ。

問4 下線部(a)に関して、消毒液に含まれる代表的な陽イオン界面活性剤は塩化ベンザルコニウムであり、図5に示す反応によって、アルキル基の異なる塩化ベンザルコニウムを合成できる。

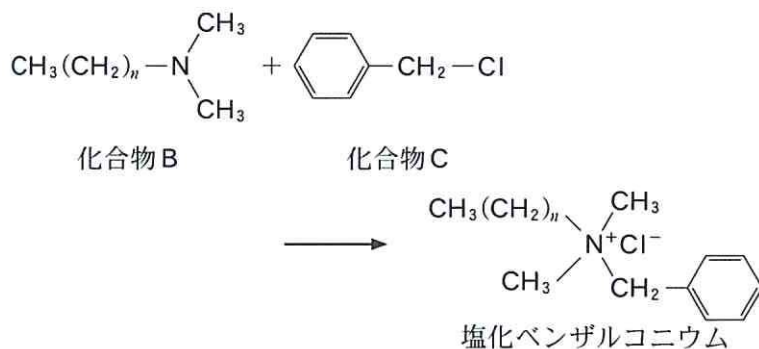


図5 塩化ベンザルコニウムの合成(n はメチレン基の数を示す)

特定のアルキル基(n は一定)をもつ化合物 B 37.0 g が化合物 C とすべて反応し、62.3 g の塩化ベンザルコニウムが得られた。この塩化ベンザルコニウムの構造式の n を求めよ。

問 5 下線部(b)に関して、次の問いに答えよ。

- (1) プロペン(プロピレン)からポリプロピレンをつくる化学反応式を記せ。
- (2) 熱可塑性とはどのような性質か、20 字程度で説明せよ。

問 6 下線部(c)に関して、生ゴムを加硫すると、その性質はどのように変化するか、適切なものを次の(ア)~(エ)からすべて選び、その記号を記せ。

- | | |
|------------------------|---------------|
| (ア) 石油などの有機溶媒に溶けやすくなる。 | (イ) 軟化点が高くなる。 |
| (ウ) 化学的安定性が高くなる。 | (エ) 弾性が高くなる。 |