

2021年度

# 理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

## 注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
  - 2 問題冊子は「物理」2～9ページ、「化学」10～21ページ、「生物」22～29ページ、「地学」30～37ページである。解答用紙は、「物理」3枚、「化学」4枚、「生物」4枚、「地学」3枚である。脱落のあった場合には申し出ること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさずに解答すること。
  - 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ氏名、受験学部、受験番号（最後のページは、左右2か所）を忘れずに記入すること。
  - 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
  - 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
  - 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
  - 7 理学部の受験者は、次により解答すること。なお、第2・3志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
    - (1) 数学科・生物学科・地球学科・理科選択を志望する者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから2科目を選択し、解答すること。
    - (2) 物理学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」と、その他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
    - (3) 化学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「化学」と、その他に「物理」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
  - 8 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
  - 9 医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択し、解答すること。
  - 10 生活科学部食品栄養科学科の受験者は、「化学」・「生物」のうちから1科目を選択し、解答すること。
  - 11 机上に各自の「受験票」と「大学入学共通テスト受験票」を出しておくこと。
  - 12 問題冊子および選択しない科目の解答用紙は持ち帰ること。
- ※ 本冊子の理科学科目は以下を表す。
- |            |            |
|------------|------------|
| 物理：物理基礎・物理 | 化学：化学基礎・化学 |
| 生物：生物基礎・生物 | 地学：地学基礎・地学 |

# 化 学

第1問～第3問において、必要であれば次の原子量を用いよ。

H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0, Si = 28.0, Ca = 40.0, Fe = 56.0

## 第 1 問 (33点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。必要であれば次の値を用いよ。

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

プロパン  $\text{C}_3\text{H}_8$  (気)  $x$  [mol] を酸素 (気)  $y$  [mol] と混合して完全燃焼させた。ただし、この燃焼により生じる水は液体とする。また、この時に発生した二酸化炭素 (気) と、燃焼に使用されなかった未反応の酸素の混合気体を  $27^\circ\text{C}$  に冷却した後、水酸化カルシウム水溶液に通じたところ沈殿が生じた。この時、炭酸水素カルシウムの生成は無視できるものとする。ここで生成した沈殿の質量は  $150 \text{ g}$  であった。沈殿の溶解度は十分に小さく、上記の操作により、発生した二酸化炭素をすべて沈殿にして完全に取り除いた。この様にして、二酸化炭素を取り除いた後の気体を純水に通じて水上置換法で捕集した。水上置換の操作は  $27^\circ\text{C}$ ,  $1.04 \times 10^5 \text{ Pa}$  で実施した。水酸化カルシウム水溶液や純水への酸素の溶解は無視できるものとする。なお、気体は理想気体とみなす。

- (1) プロパン (気)  $1 \text{ mol}$  の完全燃焼に必要な酸素 (気) の物質質量 [mol] を求めよ。
- (2) 二酸化炭素 (気), 水 (液), プロパン (気) の生成熱は、それぞれ  $394 \text{ kJ/mol}$ ,  $286 \text{ kJ/mol}$ ,  $105 \text{ kJ/mol}$  とする。次の (i) と (ii) の問いに答えよ。
  - (i) 炭素 (黒鉛) と水素 (気) の反応によってプロパン (気)  $1 \text{ mol}$  が生成する反応を熱化学方程式で記せ。
  - (ii) プロパン (気) の燃焼熱 [kJ/mol] を求めよ。

- (3) プロパンの物質質量  $x$  [mol] を有効数字 2 桁で答えよ.
- (4) 水上置換で捕集された気体の体積は 4.98 L であった. プロパンと混合した酸素の物質質量  $y$  [mol] を有効数字 2 桁で答えよ. 水上置換を行った時の水の蒸気圧は  $4.00 \times 10^3$  Pa とする.

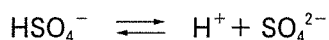
問2 次の文章を読み、(1)～(3)の問いに答えよ。

原子は、中心にある原子核と、その周りに存在するいくつかの電子で構成されている。原子核は正の電荷をもついくつかの  と、電荷をもたないいくつかの  からできている（ただし、 $^1\text{H}$ は  を含まない）。原子には、原子番号が同じでも、 の数が異なるものがある。これらを互いに  であるという。原子が電子を失ったり受け取ったりして、 と電子の数が異なるようになると、電荷をもつ粒子になる。このような粒子を単原子イオンという。2個以上の原子が結合した原子団が、電子を失ったり受け取ったりしてできたイオンを 多原子イオンという。<sup>②</sup>

(1)  ～  に当てはまる最も適切な語句を記せ。

(2) 下線部①に関して、天然の塩素原子には、 $^{35}\text{Cl}$  と  $^{37}\text{Cl}$  が存在する。塩素の原子量が35.5 のとき、 $^{35}\text{Cl}$  の存在比〔%〕を有効数字2桁で答えよ。ただし、 $^{35}\text{Cl}$  の相対質量は35.0、 $^{37}\text{Cl}$  の相対質量は37.0 とし、この2種類以外の塩素原子の存在比は無視できるものとする。

(3) 下線部②に関して、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  は次のように2段階に電離し、2段目の電離で  $\text{SO}_4^{2-}$  が生じる。



1段目は電離が完全に進むが、2段目は  $\text{HSO}_4^-$  の濃度が極めて小さい場合を除けば、完全に電離するわけではない。次の(i)と(ii)の問いに答えよ。

- (i) 濃度  $x$  [mol/L] の  $\text{H}_2\text{SO}_4$  水溶液の水素イオン濃度を  $25^\circ\text{C}$  で測定したところ、 $1.00 \times 10^{-2}$  mol/L となった。2 段目の電離定数を、 $25^\circ\text{C}$  で  $1.00 \times 10^{-2}$  mol/L としたとき、 $x$  の値を有効数字 2 桁で求めよ。
- (ii) (i) で用いた  $\text{H}_2\text{SO}_4$  水溶液に、硫酸ナトリウムを加えて溶かしたところ、pH が変化した。この説明として、(A)～(D) のうち正しいものを選び、記号で答えよ。ただし、水溶液の体積は、硫酸ナトリウムを溶かしても変化しないものとする。
- (A) 2 段目の平衡が左へ移動し、pH が大きくなった。
- (B) 2 段目の平衡が右へ移動し、pH が大きくなった。
- (C) 2 段目の平衡が左へ移動し、pH が小さくなった。
- (D) 2 段目の平衡が右へ移動し、pH が小さくなった。

# 化 学

## 第 2 問 (34点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

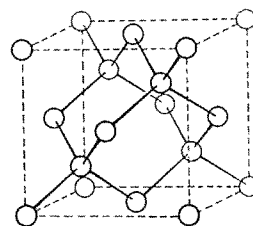
炭素とケイ素は周期表の  族に属する典型元素である。炭素の単体にはダイヤモンド、黒鉛、フラーレンなどがあり、それらを互いに  という。黒鉛では、炭素原子の価電子のうち  個が平面をつくる共有結合に使われ、残りの価電子がその平面内を自由に動くことができるため電気伝導性を示す。ケイ素の結晶は導体と絶縁体の中間の電気伝導性をもつ  として、太陽電池や集積回路などに用いられている。

ダイヤモンドでは炭素原子が共有結合で正四面体構造を形づくりながら連なっており、単位格子中に8個の原子を含んでいる。またケイ素の結晶では、ケイ素原子がダイヤモンドの場合と同様に、共有結合で正四面体構造を形づくりながら連なっている。炭化ケイ素SiCの結晶は様々な結晶格子をもつことが知られているが、その中の1つは、ダイヤモンドやケイ素の結晶と類似の構造をとる。その状態の炭化ケイ素では、1つの炭素原子に結合する4つのケイ素原子が正四面体の頂点に位置するようにして連なっており、単位格子中に炭素原子4個、ケイ素原子4個の計8個が含まれている。結晶構造をもつ固体物質では、その構成単位としての原子、イオン、あるいは分子が規則的に配列していて、その構造には周期性がある。それに対して、構成単位の配列に規則性がなく集合した固体の状態を  という。

(1)  ～  に当てはまる最も適切な数字または語句を記せ。

(2) 正四面体構造をもつ共有結合の結晶に関する次の (i) と (ii) の問いに答えよ。

- (i) 右図に炭化ケイ素の結晶の単位格子を示した。図中の○は炭素原子またはケイ素原子を表している。解答用紙の図に炭素原子に対応する○を全て黒く塗りつぶして示せ。



炭化ケイ素の結晶の  
単位格子

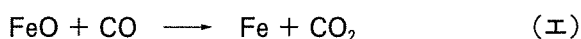
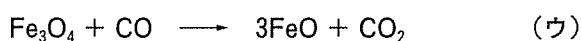
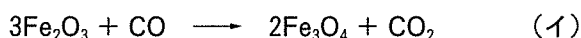
- (ii) 炭化ケイ素の結晶の単位格子は一辺の長さが  $4.35 \times 10^{-8}$  cm の立方体である。アボガドロ定数を  $6.00 \times 10^{23}$  /mol,  $(4.35)^3 = 82.3$  として、結晶の密度  $[\text{g}/\text{cm}^3]$  を有効数字 2 桁で求めよ。

問2 次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えよ。

酸化鉄が主成分である鉄鉱石から鉄鋼が製造される。鉄鉱石には磁鉄鉱  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  や赤鉄鉱  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  があり、現在の大規模な製鉄では赤鉄鉱が使用されている。酸化鉄から鉄への還元には高温が必要で、還元剤および熱源として、炭素を主成分とするコークスが用いられる。反応式(ア)に示すように、① 二酸化炭素と炭素との反応によって一酸化炭素が生成する。酸化鉄は反応式(イ)～(エ)のように一酸化炭素との反応により段階的に還元される。溶鉱炉内で生成した鉄には炭素が数%溶け込むため  $1200\text{ }^\circ\text{C}$  程度で融解し、液体状の銑鉄<sup>せんてつ</sup>として炉の底部から連続的に取り出される。

溶鉱炉には、鉄鉱石に含まれる岩石成分(ケイ素やアルミニウムの酸化物)を鉄から分離しやすくする目的で石灰石が一緒に加えられる。石灰石は溶鉱炉の高温で熱分解して生石灰となり、② これが岩石成分と反応して、比較的融点の低いケイ酸塩などになる。このような塩はスラグと呼ばれ、溶けた鉄と分離した状態で取りだされる。

得られた銑鉄は硬いが割れやすいため、その後転炉に移され、高温で酸素を吹き付けることにより炭素分を減らし、<sup>こ</sup>鋼と呼ばれる丈夫な鉄に変換される。③ また合金にするために他の金属が添加される。このように製鉄は還元反応や酸化反応を巧みに制御して行われているが、④ その過程で二酸化炭素も大量に発生する。



(1) 磁鉄鉱  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  は複雑な構造をもつ鉱物であるが、これには  $\text{Fe}^{2+}$  と  $\text{Fe}^{3+}$  の2種類の鉄イオンが含まれている。 $\text{Fe}^{3+}$  は1 mol の  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  中にどれだけ含まれているか、物質質量で答えよ。



(2) 下線部①に関して、反応式 (ア) の化学平衡により、高温になるほど CO の割合が大きくなる。この反応が平衡状態にあるとし、圧平衡定数を  $K_p$  [Pa] とする。ある温度において  $K_p$  が  $2.0 \times 10^4$  Pa であり、そのときの気体の全圧が  $1.2 \times 10^5$  Pa であった場合、気体中の CO のモル分率はいくらになるかを計算し、有効数字 2 桁で答えよ。気体は CO と  $\text{CO}_2$  以外には存在せず、コークスは過剰に存在するものとする。

(3) 下線部②に関して、石英が生石灰と反応してケイ酸カルシウム  $\text{CaSiO}_3$  となる反応を化学反応式で示せ。

(4) 下線部③に関して、鉄にクロムとニッケルを混ぜて得られる合金はさびにくい性質をもつ。この合金の名称を答えよ。

(5) 下線部④に関する、次の (i) と (ii) の問いに答えよ。

(i) コークスによる赤鉄鉱から鉄への還元反応は次の化学反応式で表すことができる。反応式中の係数  $a \sim d$  に当てはまる数字を答えよ。

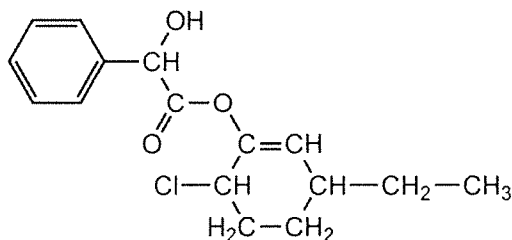


(ii) 1.0 kg の鉄を得る際に生じる二酸化炭素の質量は何 kg か、有効数字 2 桁で答えよ。ただし、ここでは炭素含有量については考えず、純粋な鉄が反応によって生成するものとする。また、反応した炭素はすべて二酸化炭素に変わるものとする。

# 化 学

## 第 3 問 (33点)

次の問1と問2に答えよ。ただし、構造式は下の例にならって記せ。



問1 次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

$C_{10}H_{12}O_2$  の分子式をもつ化合物 A、化合物 B および化合物 C がある。これらはいずれもエステル結合およびベンゼン環を含んでいた。A を加水分解して中和すると化合物 D と化合物 E が得られた。D はベンゼン環を含み、E はヨードホルム反応を示した。一方、B を加水分解して中和すると化合物 F と化合物 G が得られた。

E を硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で酸化すると化合物 H が得られた。また E を濃硫酸と加熱すると、分子内からの脱水反応が起こり、化合物 I が得られた。I を臭素と反応させると、化合物 J が得られた。J には不斉炭素原子が含まれていた。酸触媒を用いる条件で I をベンゼンと反応させると化合物 K が得られた。さらに K を酸素によって酸化したのち、希硫酸により分解すると、F と H が得られた。

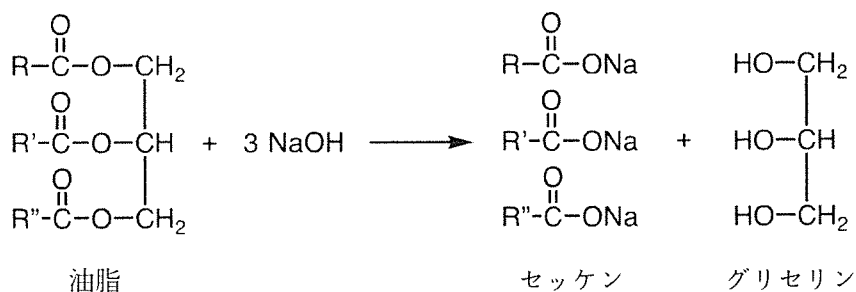
1-ブタノールを適当な酸化剤で酸化すると  $C_4H_8O$  の分子式をもつ化合物 L が生じた。L をさらに酸化すると G が得られた。

(1) 化合物 A、B、E、F、H、I、J および K の構造式を記せ。ただし、光学異性体の構造は区別しなくてよい。

- (2) 化合物 **C** を加水分解して中和すると、不斉炭素原子を含むカルボン酸 **M** がアルコールとともに得られた。**C** の構造式を記せ。ただし、光学異性体の構造は区別しなくてよい。

問2 次の文章を読み、(1)と(2)の問いに答えよ。

油脂は、グリセリンがもつ3つのヒドロキシ基に、脂肪酸がエステル化により結合した化合物である。天然の油脂を構成する脂肪酸にはパルミチン酸、ステアリン酸などが含まれるが、その種類と含有率はさまざまである。油脂を水酸化ナトリウム水溶液でけん化すると、加水分解されセッケン（脂肪酸のナトリウム塩）が生成する。



R, R', R'' は  $\text{C}_p\text{H}_q-$  の形 (p, q は自然数) で表される鎖式炭化水素基

(1) 次の文章を読み、(i)～(iii)の問いに答えよ。

ある油脂の加水分解により得られた脂肪酸Aは、炭素原子間に二重結合をもつ鎖状の不飽和脂肪酸であった。A 4.20 gを完全にナトリウム塩に変えるのに必要とした水酸化ナトリウムは  $1.50 \times 10^{-2}$  molであった。またA 5.60 gを適当な溶媒に溶かし、触媒を用いて水素を付加させた。このとき  $4.0 \times 10^{-2}$  molの水素が消費された。

油脂Bは、分子量256のパルミチン酸  $\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$  とAからなる化学的に純粋なグリセリンエステルである。Bの分子量は854であった。Aとパルミチン酸は不斉炭素原子をもたないが、Bには不斉炭素原子が存在する。

(i) 脂肪酸Aの分子量を求めよ。

(ii) 脂肪酸Aの示性式を記せ。ただし、脂肪酸の鎖式炭化水素基の二重結合の位置を示す必要はない。

(iii) 油脂 B の構造式を記せ。ただし、脂肪酸の鎖式炭化水素基については、二重結合の位置を示す必要はなく、それぞれ  $C_pH_q-$  の形 ( $p, q$  は自然数) で示せ。また、光学異性体の構造は区別しなくてよい。

(2) 次の文章を読み、 ～  に当てはまる最も適切な語句を下の語群から選んで記せ。

セッケンは  の炭化水素基と  のカルボキシ基をもつ。水溶液中では  部を中心に向けて多数集まり、球状などの  粒子として存在する。また、水の表面では、 部を水中に、 部を空中に向けて並び、水の表面張力を小さくする  として作用する。油をセッケン水に混ぜるとセッケンは油の周りを取り囲み、水中に分散して乳濁液となる。これを  作用という。これらの総合的な作用により、セッケンは汚れを落とす洗浄作用を示す。

語群：

チンダル 乳化 乾燥 ゾル ゴム弾性 拡散 コロイド 脱水剤 ゲル  
疎水性 親水性 界面活性剤 漂白剤