

令和6年度 個別学力試験問題

理 科 (120 分)

●総 合 選 抜

理系Ⅰ，理系Ⅱ，理系Ⅲ

●学類・専門学群選抜

人 間 学 群 (教育学類，心理学類，障害科学類)※1科目選択で60分

生命環境学群 (生物学類，生物資源学類，地球学類)

※生物資源学類，地球学類で地理歴史を選択する者は，
地理歴史と理科1科目を合わせて120分

理 工 学 群 (数学類，物理学類，化学類，応用理工学類，
工学システム学類)

情 報 学 群 (情報科学類)

医 学 群 (医学類，医療科学類)

(看護学類)※1科目選択で60分

目 次

物 理	 1
化 学	 8
生 物	 19
地 学	 36

注 意

1. 問題冊子は1ページから43ページまでである。
2. 受験者は下表を確認し，志望する学類の出題科目を解答すること。

【出題科目】

選 抜 区 分・学 類	出 題 科 目				備 考
	物理	化学	生物	地学	
総 合 選 抜	理 系 Ⅰ				
学 類・専 門 学 群 選 抜	数 学 類 物 理 学 類 応 用 理 工 学 類 工 学 シ ス テ ム 学 類	◎	○	○	◎印の物理は必須，○印の中から1科目を選択解答
学 類・専 門 学 群 選 抜	化 学 類	○	◎	○	◎印の化学は必須，○印の中から1科目を選択解答
学 類・専 門 学 群 選 抜	生 物 資 源 学 類 地 球 学 類	○	○	○	○印の中から2科目を選択解答 又は地理歴史を選択する者は○ 印の中から1科目選択
総 合 選 抜	理 系 Ⅱ 理 系 Ⅲ	○	○	○	○印の中から2科目を選択解答
学 類・専 門 学 群 選 抜	生 物 学 類 情 報 科 学 類	○	○	○	○印の中から2科目を選択解答
学 類・専 門 学 群 選 抜	医 学 類 医 療 科 学 類	○	○	○	○印の中から2科目を選択解答
学 類・専 門 学 群 選 抜	教 育 学 類 心 理 学 類 障 害 科 学 類	○	○	○	○印の中から1科目を選択解答
学 類・専 門 学 群 選 抜	看 護 学 類	○	○	○	○印の中から1科目を選択解答

化 学

問題Ⅰ～Ⅲについて解答せよ。字数を指定している設問の解答では、数字、句読点、アルファベット、括弧、記号も、すべて1字として記入せよ。なお、計算に必要なならば、次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, S = 32.1,

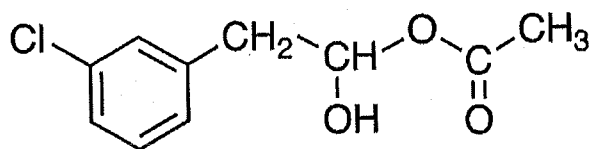
Cl = 35.5, Cr = 52.0, Cu = 63.5, Pt = 195.1

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

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

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

有機化合物の構造式は、下に示す例にならって記せ。なお、構造式の記入に際し、不斉炭素原子の存在により生じる異性体は区別しないものとする。



I 次の問1～問7に答えよ。

[1]

物質が物理変化や化学変化を起こすときは、エネルギーの出入りがある。例えば、水分子の集合状態が、液体から気体(水蒸気)へ変化するときは熱エネルギーを吸収し、液体から固体(氷)へ変化するときは熱エネルギーを放出する。また水は、電気エネルギーを与えると、水素と酸素に電気分解される。逆に、水素を燃料とした燃料電池は、水を生成しながら電気エネルギーを取り出すことができる。^(a)燃料電池は、環境負荷の小さい発電装置として期待されている。一方、緑色植物が行う光合成では、光エネルギーを使って水と二酸化炭素から化学エネルギーの高い糖類が^(b)合成される。また、様々なエネルギーを吸収して高いエネルギー状態になった物質は、光としてそのエネルギーを放出することがある。^(c)

問1 多くの物質とは異なり、水分子の集合状態では、液体の密度より固体(氷)の密度の方が小さい。その理由を40字以内で説明せよ。

問2 下線部(a)に関して、以下の問に答えよ。

- (i) 燃料電池の正極と負極で起こる反応を、それぞれイオン反応式で示せ。
- (ii) 燃料電池を1時間運転したところ、起電力が0.800 Vで18.0 kgの水が得られた。このとき、流れた電気量[C]を有効数字3桁^{けた}で求めよ。
- (iii) (ii)で得られた電気エネルギーが、水素の燃焼で18.0 kgの水が生じるときの発熱量の何%であるかを有効数字2桁で求めよ。ただし、 $1\text{ J} = 1\text{ C} \cdot \text{V}$ であり、水素の燃焼熱は286 kJ/molとする。

問 3 下線部(b)に関して、以下の問に答えよ。

- (i) 光合成において、水と二酸化炭素から単糖類のグルコース($C_6H_{12}O_6$)が生成する反応を化学反応式で示せ。
- (ii) 多糖類の一種であるデンプンにヨウ素溶液を加えると、デンプン分子の特徴的な構造の内部にヨウ素が取り込まれることで青紫色を示す。この構造の名称を答えよ。

問 4 下線部(c)に関して、以下の文章の ① ~ ③ にあてはまる適切な語句を、以下の(a)~(i)から選び、それぞれ記号で答えよ。

金属などを燃焼させると、原子固有の波長の光が放出される現象を ① と呼び、定性分析や花火に利用されている。例えば、 ① によって青緑色に光る原子は、 ② である。 ① では、内側の ③ に存在する電子が、熱エネルギーを吸収して外側の ③ に移動して高いエネルギー状態(励起状態)となる。その電子が内側の ③ に戻るとき、原子固有の光を放出する。

(a) 炎色反応

(b) 化学発光

(c) 金属表面

(d) 原子核

(e) ストロンチウム

(f) テルミット反応

(g) 電子殻

(h) 銅

(i) ナトリウム

[2]

固体の銅は、電気をよく通す性質を示す。銅線を熱濃硫酸に入れると、気体を発生しながら溶けた。この水溶液から結晶を析出させると、青色結晶が得られた。この青色結晶を溶かした水溶液にアンモニア水を加えると、青白色の沈澱が生じた。さらにアンモニア水を加えると、沈澱は溶けて深青色の水溶液になった。

問 5 下線部(d)に関して、金属はなぜ電気をよく通すのかを金属結合の特徴に基づいて、簡潔に述べよ。

問 6 下線部(e)に関して、以下の問に答えよ。

- (i) 青色結晶の化学式を示せ。
- (ii) 青色結晶を 200 °C で加熱したときに起こる、色と形状の変化を述べよ。

問 7 下線部(f)の化学反応式を示せ。

(次ページに問題Ⅱがあります。)

Ⅱ 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。ただし、気体はすべて理想気体とする。

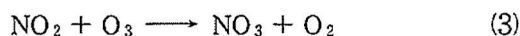
一酸化窒素(NO)や二酸化窒素(NO₂)などの窒素酸化物はNO_x(ノックス)と呼ばれ、大気汚染や酸性雨の原因となる気体成分である。NOは、自動車のエンジン内などの高温条件で窒素と酸素が反応すると生成する。NOは、空気中でオゾン(O₃)と反応し、NO₂と酸素(O₂)が生成する。NO₂の一部は四酸化二窒素(N₂O₄)となる。



(1)式のような可逆反応が平衡状態にあるとき、濃度、圧力、温度などの条件を変化させると、その変化による影響を緩和する方向に平衡が移動し、新しい平衡状態になる。これを ア の原理と呼ぶ。ア の原理を化学工業に応用した例に、窒素と水素を原料にしてアンモニア(NH₃)を合成する イ 法がある。NH₃は弱塩基であり、水溶液中では次のような電離平衡が成立する。



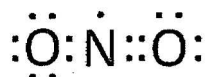
また、NO₂(気)は空気中のO₃(気)と反応して、三酸化窒素(気)と酸素(気)になる。



問1 下線部(a)の反応を熱化学方程式で表せ。ただし、NO(気)、NO₂(気)、O₂(気)、O₃(気)の生成熱はそれぞれ -90 kJ/mol、-33 kJ/mol、0 kJ/mol、-143 kJ/mol とする。

問2 下線部(b)に関して、次の問に答えよ。

- (i) 反応(1)の正反応は発熱反応である。その理由を、反応物と生成物の電子式の違いに基づき50字以内で説明せよ。なお、NO₂を電子式で表すと次のようになる。



NO₂の電子式

- (ii) 気体物質が平衡状態にある場合、各成分気体の濃度の代わりに分圧を用いて平衡定数を表すことができ、この平衡定数を圧平衡定数 K_p という。反応(1)の圧平衡定数 K_p を、気体定数 $R[\text{Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$ 、絶対温度 $T(\text{K})$ 、反応(1)の濃度平衡定数 $K_c[\text{L}/\text{mol}]$ を用いて表せ。
- (iii) 体積一定の容器に 2.0 mol の N_2O_4 を封入し一定温度に保つと、その 50% が解離して NO_2 となり、全圧は $3.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ となった。反応(1)の K_p の値を、有効数字2桁で単位とともに答えよ。

問 3 文中の ア , イ にあてはまる語句を答えよ。

問 4 下線部(c)に関して、次の問に答えよ。

- (i) アンモニアの電離定数 K_b を、アンモニアの濃度 C とアンモニアの電離度 α を用いて表せ。ただし、アンモニアの電離度 α は1に比べて非常に小さく、 $1 - \alpha \approx 1$ とみなせるとする。
- (ii) 25°C における $2.3 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ のアンモニア水の pH を小数第1位まで求めよ。ただし、この温度における NH_3 の電離定数は $K_b = 2.3 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ 、水のイオン積は $K_w(25^\circ\text{C}) = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ 、また $\log_{10} 2.3 = 0.36$ とする。
- (iii) 液体の水の電離 $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$ は吸熱反応である。 25°C と 60°C の水のイオン積 $K_w(25^\circ\text{C})$ と $K_w(60^\circ\text{C})$ の関係について、正しいものを次の①～③から一つ選び、番号で答えよ。
- ① $K_w(25^\circ\text{C}) = K_w(60^\circ\text{C})$
② $K_w(25^\circ\text{C}) > K_w(60^\circ\text{C})$
③ $K_w(25^\circ\text{C}) < K_w(60^\circ\text{C})$
- (iv) 25°C の純水の pH を測定したところ 7.0 であった。 60°C の純水の pH の値について、正しいものを次の①～③から一つ選び、番号で答えよ。
- ① 7.0 になる ② 7.0 より小さくなる ③ 7.0 より大きくなる

問 5 下線部(d)に関して、次の問に答えよ。

- (i) 反応(3)の反応速度定数 k と温度 T の関係は、 $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$ で表される。 A は定数、 E_a は反応の活性化エネルギー、 R は気体定数である。実験によって反応(3)の k を各 T で測定した。横軸に T の逆数 ($\frac{1}{T}$) [K^{-1}] を取り、縦軸に k [$L/(mol \cdot s)$] の自然対数 ($\log_e k$) を取りプロットしたところ、その直線の傾きは $-2.50 \times 10^3 K$ になった。反応(3)の E_a [kJ/mol] を有効数字 3 桁で求めよ。
- (ii) 反応(3)の逆反応 $NO_3 + O_2 \rightarrow NO_2 + O_3$ の活性化エネルギー [kJ/mol] を、有効数字 3 桁で求めよ。ただし、反応(3)の反応熱は $102.2 kJ/mol$ とする。
- (iii) 活性化エネルギーに関する記述として正しいものを、次の①～⑤からすべて選び、番号で答えよ。
- ① 活性化エネルギーは、反応物の結合エネルギーの和と等しい。
 - ② 温度が上昇すると、活性化エネルギー以上の運動エネルギーをもつ分子の割合が増加し、反応速度は増加する。
 - ③ 反応物の濃度を大きくすると、活性化エネルギーが低くなるため、反応速度が大きくなる。
 - ④ 触媒は活性化エネルギーと反応熱を小さくするため、反応速度が大きくなる。
 - ⑤ 可逆反応に触媒を加えると、正反応と逆反応の両方の活性化エネルギーが小さくなり、平衡に達するまでの時間は短くなるが、平衡の移動は起こらない。

(次ページに問題Ⅲがあります。)

Ⅲ 次の文章を読み、問 1 ～問 8 に答えよ。

核磁気共鳴分光装置を用いると、有機化合物の分子中に物理的・化学的性質の異なる炭素原子が何種類存在するかを調べることができる。たとえば、ベンゼンを核磁気共鳴分光装置で調べると、1 種類のみ炭素原子が観測される。これは、ベンゼンの 6 個の炭素原子が正六角形に配置していることや、ベンゼンの 6 個の炭素原子の反応性が全て等しいことと合致する。一方、メトキシベンゼンを核磁気共鳴分光装置で調べると、5 種類の炭素原子ア～オが観測される(図 1)。

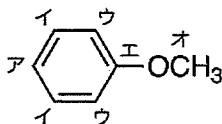
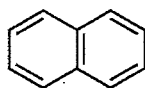


図 1 メトキシベンゼン

分子式 $C_{10}H_{12}$ で表される芳香族化合物 A, B, C がある。化合物 A, B, C を核磁気共鳴分光装置で調べると、それぞれ 10 種類、8 種類、8 種類の炭素原子が観測された。化合物 A, B, C に白金触媒存在下で十分な量の水素を反応させると、
それぞれ芳香族化合物 D, E, F になった。^(a) 化合物 D, E, F を核磁気共鳴分光装置で調べると、それぞれ 5 種類、4 種類、7 種類の炭素原子が観測された。化合物 E
に濃硫酸と濃硝酸の混合物を室温で作用させたところ、ベンゼン環上の置換基が一
つ増え、ただ一つの化合物 G が生成した。^(b) 化合物 D, E, F に酸性条件で三酸化クロムを反応させると、化合物 D からはカルボン酸 H が、化合物 E, F からはカルボン酸 I が得られた。^(c) カルボン酸 H, I の分子式は、いずれも $C_8H_6O_4$ であった。^(d) カルボン酸 H を加熱すると脱水が起こり、無水フタル酸になった。^(e) カルボン酸 I は、縮合重合を利用してポリエステル繊維を合成する際の原料として用いられている。

問 1 ナフタレンを核磁気共鳴分光装置で調べると何種類の炭素原子が観測されるか答えよ。



ナフタレン

問 2 下線部(a)について、次の問に答えよ。

- (i) 1.98 g の化合物 A を完全に化合物 D とするのに理論上必要な水素の体積を、mL 単位で有効数字 3 桁で求めよ。ただし水素の体積は、標準状態におけるものとせよ。
- (ii) このような形式の反応を何と呼ぶか。①～④から一つ選び、番号で答えよ。

① 置換反応 ② 酸化反応 ③ 付加反応 ④ 脱離反応

問 3 下線部(c)では、ベンゼン環に結合している炭化水素基がカルボキシ基に変換されている。化合物 D, E, F の構造について下線部(d)からわかることを、30 字以内で述べよ。

問 4 化合物 A に関連して、次の問に答えよ。

- (i) 下線部(e)の反応を、化学反応式で表せ。ただし化学反応式において、カルボン酸 H と無水フタル酸は構造式で示すこと。
- (ii) 化合物 A の構造を、構造式で示せ。

問 5 カルボン酸 I の化合物名を答えよ。

問 6 下線部(b)に関連して、次の問に答えよ。

- (i) 濃硫酸と濃硝酸の混合物を室温でトルエンに作用させたところ、互いに異性体の関係にある二置換ベンゼンが 3 種類得られた。これら 3 種類の二置換ベンゼンを、構造式で示せ。
- (ii) 化合物 G の構造を、構造式で示せ。

問 7 化合物 B の構造を、構造式で示せ。

問 8 化合物 C の構造を、構造式で示せ。

