

# S 令和6年度総合問題

## 問題冊子

下記 **1** **2** **3** のうち、2 題を選択し、指定された解答用紙を用いて答えなさい。

**1** (1 ページ), **2** (2～4 ページ), **3** (5～10 ページ)

配付される解答用紙の枚数、解答用紙コードの組合せは次のとおりである。解答用紙コードは解答用紙右上にある。各題の解答用紙の組合せを確認し、選択した2題計4枚の解答用紙の選択の点線内を黒くぬりつぶしなさい。

**1** (解答用紙コード：801-1 と 801-2) 2 枚

**2** (解答用紙コード：802-1 と 802-2) 2 枚

**3** (解答用紙コード：803-1 と 803-2) 2 枚

「2 題選択の組合せ(解答用紙 4 枚)」は、次の3つのうちいずれかである。

**1** (解答用紙コード：801-1 と 801-2) と **2** (解答用紙コード：802-1 と 802-2)

**1** (解答用紙コード：801-1 と 801-2) と **3** (解答用紙コード：803-1 と 803-2)

**2** (解答用紙コード：802-1 と 802-2) と **3** (解答用紙コード：803-1 と 803-2)

### 注意事項

1. 監督者の指示があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 落丁・乱丁及び印刷不鮮明なものがあれば、すぐに申し出ること。
3. 全ての解答用紙に、本学の受験番号、氏名を記入すること。各解答用紙に受験番号欄と氏名欄がそれぞれ1箇所ある。
4. 各題の解答用紙コードの組合せを上記で確認し、選択した2題計4枚の解答用紙の選択の点線内を黒くぬりつぶすこと。
5. 上記「2 題選択の組合せ」のいずれでもない場合、又は、解答用紙の選択の点線内を黒くぬりつぶしていない場合は、採点されない。
6. 解答は、解答用紙の指定された解答欄に記入すること。異なる解答用紙・解答欄に記入されたものは採点されない。
7. 解答用紙の裏面は記入しないこと。解答用紙の裏面に記入された部分は採点されない。
8. 解答用紙の※欄は記入しないこと。
9. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。解答用紙は全て回収される。

1  $n$  を 0 以上の整数とする。  $a_k (k = 0, 1, \dots, n)$  は整数で、  $-1$  または  $0$  または  $1$  の値をとるものとし、  $a_n \neq 0$  とする。  $\sum_{k=0}^n 3^k a_k$  を  $[a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0]$  と表記する。すなわち、

$$[a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0] = \sum_{k=0}^n 3^k a_k$$

である。このとき、以下の設問(1)から(6)に答えなさい。

- (1)  $[1, -1, 0, 1]$  の値を求めなさい。
- (2) 25 を  $[a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0]$  の形の表記で表しなさい。表記が複数ある場合は 1 通りでよい。
- (3)  $[a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0]$  が正のとき、各  $n$  に対して、この表記のとり得る値の最大値と最小値を  $n$  を用いて表しなさい。
- (4)  $A = [a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0]$  とする。  $a_k \neq 0$  である  $k$  が  $t$  個あるとき、  $t$  が偶数であることは、  $A$  が偶数であることの必要十分条件であることを示しなさい。
- (5)  $m$  は 0 以上の整数で、  $b_k (k = 0, 1, \dots, m)$  は  $-1$  または  $0$  または  $1$  の値をとるものとし、  $b_m \neq 0$  とする。  $\sum_{k=0}^m 3^k b_k$  を  $[b_m, b_{m-1}, \dots, b_1, b_0]$  と表記する。このとき、  $[a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0] = [b_m, b_{m-1}, \dots, b_1, b_0] > 0$  ならば、  $m = n$  であることを示しなさい。
- (6) 設問(5)において、  $[a_n, a_{n-1}, \dots, a_1, a_0] = [b_n, b_{n-1}, \dots, b_1, b_0]$  となる。さらにこのとき、  $a_k = b_k (k = 0, 1, \dots, n)$  であることを示しなさい。

2 次の問題A, Bの両方に答えなさい。

A 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(5)に答えなさい。

図1に示すように、水平でなめらかな床の上に質量  $M$  の台が置かれている。台の上面は水平でなめらかであり、両端は鉛直な壁となっている。台は初め静止している。台の上面に質量  $m$  ( $m < M$ ) の小球を置き、水平右向きに速度  $v$  を与え壁に垂直に衝突させたところ、小球は台の上で両側の壁と衝突を繰り返した。小球と壁の間の反発係数(はねかえり係数)を  $e$  ( $0 < e < 1$ ) とする。また、 $k$  回目の衝突直後の小球と台の水平方向の速度を、それぞれ、 $v_k$ ,  $V_k$  とする。速度はすべて床面上に静止した観測者から見るものとし、右方向を正とする。

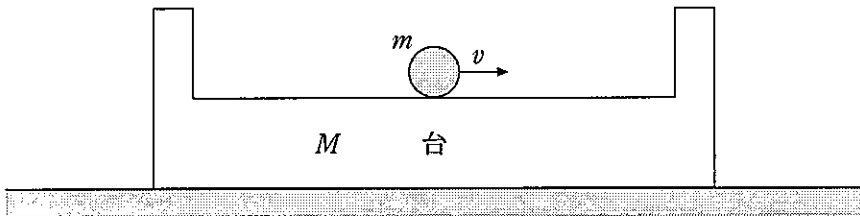


図1

- (1) 1 回目の衝突直後の小球と台の速度  $v_1$ ,  $V_1$  をそれぞれ求めなさい。
- (2) 2 回目の衝突直後の小球と台の速度  $v_2$ ,  $V_2$  をそれぞれ求めなさい。
- (3)  $k$  回目の衝突直後の小球と台の相対速度  $v_k - V_k$  を求めなさい。
- (4)  $k$  回目の衝突直後の小球と台の速度  $v_k$ ,  $V_k$  をそれぞれ求めなさい。
- (5) 衝突を繰り返していくと小球と台の速度はどのようになるか、根拠とともに述べなさい。

B 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(4)に答えなさい。

電気配線などに用いられる銅は、面心立方格子の格子点に銅原子が配置した結晶で、原子の最外殻電子が結晶中を自由に動き回れるため、金属に分類される。そのような金属に電場をかけると電流が流れるが、それを自由電子の運動としてみると、電子全体が一定の速さ  $v$  (m/s) で進む現象とみなせる。電気素量を  $e$  (C)、自由電子の数密度を  $n$  (個/m<sup>3</sup>)、銅線の断面積を  $S$  (m<sup>2</sup>)、流れる電流を  $I$  (A) とする。そのとき、電流の大きさは、 $I = evnS$  で表される。

- (1) 銅結晶では、体積  $1.2 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup> の中に銅原子が  $1.0 \times 10^{23}$  個あり、原子1個あたり1個の電子が自由電子として電流を担う。断面積  $1.2 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup> の銅線の中を1.0 Aの電流が流れるとき、自由電子の速さ  $v$  (m/s) の値を有効数字2桁で答えなさい。なお、電気素量は  $1.6 \times 10^{-19}$  C である。

図2は、温度に対する銅の電気抵抗率  $\rho$  (Ω・m) を表す。

- (2) 電気抵抗率を図2から読み取り、断面積  $1.2 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>、長さ1.0 mの銅線の200 °Cにおける電気抵抗  $R$  (Ω) の値を有効数字2桁で答えなさい。

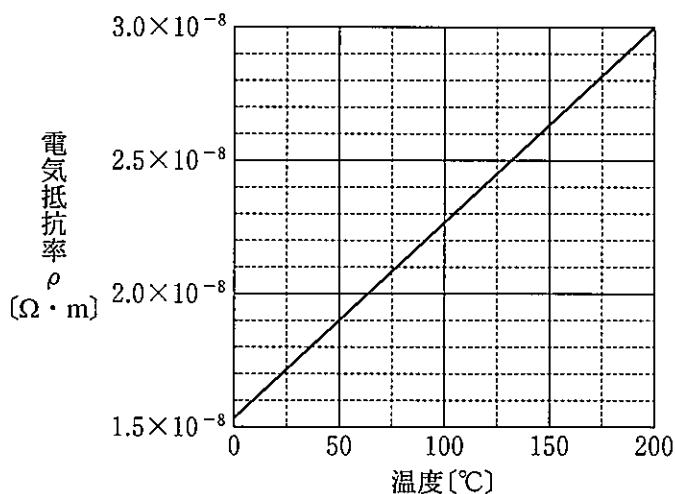


図2

- (3) 図2に表示された温度範囲での電気抵抗率は、高温ほど増大している。次の文は、金属の電気抵抗の原因とその温度変化について考察している。文中の (a) から (f) に当てはまる式や用語を答えなさい。なお、式には  $e$ ,  $n$ ,  $S$ ,  $E$ ,  $k$ ,  $l$  を用いなさい。ただし、(f) に当てはまる用語は、選択肢(ア)~(ウ)から一つ選びなさい。

金属結晶の内部において、自由電子は電場  $E$  [V/m] から受ける大きさ (a) の力により加速されるが、一方で、格子点に配置している陽イオンは絶えず熱振動しているため、電子は陽イオンと一定の頻度で衝突して減速される。この衝突は、自由電子全体の流れに対する抵抗力と考えられ、その抵抗力は電子の速さに比例すると近似できる。その比例定数を  $k$  [N·s/m] とすると、抵抗力が電場  $E$  から受ける力に等しくなるときの平衡状態が達成され、電子の速さは  $v =$  (b) となる。このとき、電流は、 $I =$  (c)  $E$  と書ける。銅線の長さを  $l$  [m]、両端の電位差を  $V$  [V] とすれば、 $V$  と  $I$  が比例関係にあるという「(d) の法則」を導くことができ、電気抵抗は  $R =$  (e) と書ける。温度が高くなると陽イオンの熱振動が激しくなり電子との衝突頻度が上がるので、比例定数  $k$  の値は (f) と考えられる。よって、金属である銅の電気抵抗率は、図2に表示された温度範囲では高温ほど増大する。

選択肢：(ア) 一定 (イ) 増大する (ウ) 減少する

- (4) 銅線の温度を変えて同じ大きさの電位差を与えたときに発生する単位時間あたりのジュール熱について考える。最も適切な記述を、図2を参照して、次の選択肢(a)~(e)から一つ選びなさい。ただし、銅線の断面積、長さは温度によらず一定とみなす。

- (a) 200℃の方が0℃の約4倍になる
- (b) 200℃の方が0℃の約2倍になる
- (c) 200℃の方が0℃の約1倍になる
- (d) 200℃の方が0℃の約0.5倍になる
- (e) 200℃の方が0℃の約0.25倍になる

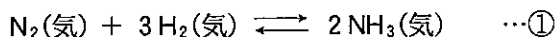
3 次の問題A, B, Cのすべてに答えなさい。

A 以下の設問(1)から(5)に答えなさい。設問(5)を除く解答においては、計算過程も示しなさい。なお、設問中の気体は理想気体であり、原子量は、 $H = 1.0$ 、 $N = 14.0$ とする。

(1) 同じ物質量の  $H_2$  と  $N_2$  のみを密閉容器に入れ、温度  $T$  [K] に保ったところ、全圧が  $P$  [Pa] の混合気体になった。気体定数を  $R$  [Pa·L/(K·mol)] としたとき、混合気体の密度  $d$  [g/L] を答えなさい。ただし、 $H_2$  と  $N_2$  は反応しないものとする。

(2) 同じ質量の  $H_2$  と  $N_2$  のみを密閉容器に入れ、温度  $T$  [K] に保ったところ、全圧が  $P$  [Pa] の混合気体になった。気体定数を  $R$  [Pa·L/(K·mol)] としたとき、混合気体の密度  $d$  [g/L] を答えなさい。ただし、 $H_2$  と  $N_2$  は反応しないものとする。

(3)  $N_2$  と  $H_2$  から  $NH_3$  が生成する反応を式①に示した。ただし、(気)は物質の状態が気体であることを示している。



$N_2$  0.70 mol と  $H_2$  2.10 mol を、触媒が入った容積一定の反応容器に入れて、773 K に保ち平衡状態に到達するまで待った。このとき全圧が  $5.8 \times 10^7$  Pa であり、生成した  $NH_3$  の体積百分率は 40 % であった。生成した  $NH_3$  の物質質量は何 mol か、答えなさい。

- (4) 設問(3)の式①の反応熱および結合エネルギーの関係を図1に示した。ただし、(気)は物質の状態が気体であることを示している。NH<sub>3</sub>分子のN-H結合1 molあたりの結合エネルギーは何kJか、答えなさい。

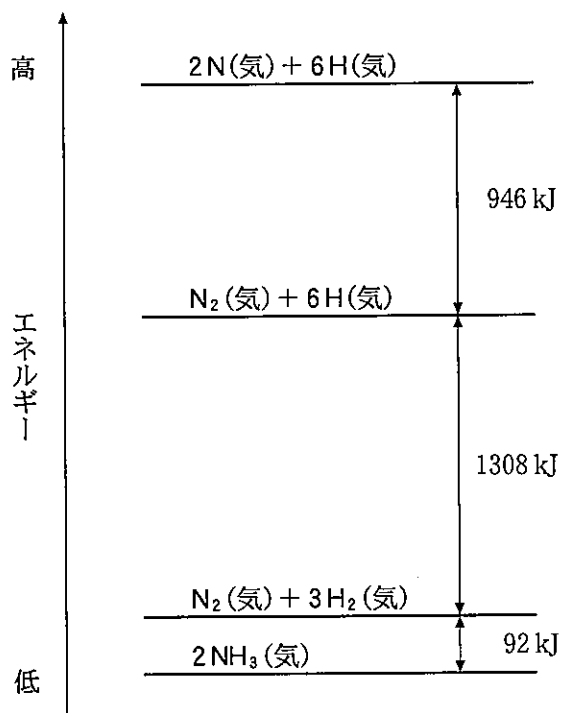


図1 NH<sub>3</sub>の生成における反応熱，および結合エネルギーの関係

- (5) NH<sub>3</sub>の構造と極性に関して，最も適切な組み合わせを次の(ア)から(エ)の中から，一つ選び答えなさい。
- |               |                |
|---------------|----------------|
| (ア) 平面形・極性分子  | (イ) 平面形・無極性分子  |
| (ウ) 三角錐形・極性分子 | (エ) 三角錐形・無極性分子 |

- B 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(6)に答えなさい。ただし、原子量は、 $O = 16$ ,  $Fe = 56$  とする。

鉄は古来より重要な金属の一つであり、現代でも広く利用されている。単体の鉄は天然にはほとんど存在しないが、地殻中では酸化鉄を主成分とし、ケイ砂などを不純物として含む鉄鉱石として存在する。単体の鉄を得るための工業的製法としては、炭素を主成分とする **A** や石灰石とともに、鉄鉱石を溶鉱炉に投入して製錬する。溶鉱炉内に熱風を送り込むと、**A** の燃焼により生じた二酸化炭素と未反応の **A** が反応して **B** が生成する。生成した **B** により酸化鉄は還元され、約4%の炭素を含み固くてもろい性質の鉄である **C** となる。**C** を溶鉱炉より転炉に移して、酸素を吹き込み、炭素の含有量を減少させた鉄が **D** である。**D** は硬くて強いので、構造材として広く利用されている。

鉄に希硫酸を加えると可燃性気体である **E** を発生して溶解するが、<sup>(1)</sup>濃硝酸を加えても溶解しない。また、鉄を湿った空气中に放置するとさびが生じる。金属表面を別の金属で被覆する操作をめっきといい、さびから鉄を守るためなどに利用されている。トタンは、鉄表面を亜鉛でめっきしたものである。<sup>(2)</sup>鉄にクロムやニッケルを混ぜ合わせてできる合金は **F** であり、さびにくく、台所用品や構造材などに使われている。

- (1) 文中の **A** から **F** にあてはまる最も適切な語句をそれぞれ答えなさい。

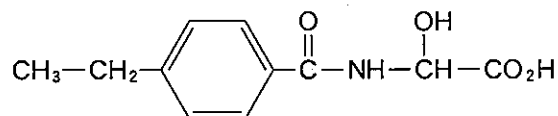
- (2) 鉄鉱石に含まれる酸化鉄は全て  $Fe_2O_3$  として、下線部(ア)が示す反応の化学反応式を答えなさい。またこの反応式をもとに、仮に鉄鉱石に71%の  $Fe_2O_3$  が含まれるとすると、1.0tの鉄を得るためには何tの鉄鉱石が必要となるか。ただし計算では、製鉄の過程で  $Fe_2O_3$  に含まれる鉄がすべて鉄単体に変換するものと仮定し、有効数字2桁で答えなさい。なお、計算過程も示しなさい。



- (3) 下線部(イ)が示す反応の化学反応式を答えなさい。
- (4) 下線部(ウ)について、鉄が濃硝酸に溶解しない理由を答えなさい。また、同じ理由で濃硝酸に溶解しない鉄以外のその他の元素名を一つ答えなさい。
- (5) 下線部(エ)において、鉄表面をスズでめっきしたものがブリキであるが、ブリキとトタンでは表面に傷がついて鉄が露出したときにどちらの方がさびにくいのか、理由とともに答えなさい。
- (6) 環境負荷をより低減できると期待されている新しい製鉄法として、下線部(イ)中の可燃性気体である E を還元剤として用いる方法について考察する。鉄鉱石に含まれる酸化鉄は全て  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  とし、還元剤として E を用いて鉄が生じる反応の化学反応式を答えなさい。またその反応式と下線部(ア)が示す反応の化学反応式とを比較して、この新しい製鉄法が環境負荷をより低減できると考えられている理由について答えなさい。

- C 次の文章を読んで、以下の設問(1)から(6)に答えなさい。なお、構造式は下記の例にならって記入しなさい。

[構造式の記入例]



フェノールは、多くの有機化合物を合成する際に原料として広く用いられている。例えばフェノールから合成できる化合物として、解熱鎮痛剤として用いられている化合物 A と化合物 B がある。化合物 A は分子式が  $\text{C}_8\text{H}_9\text{NO}_2$  でアミド結合を有し、化合物 B は分子式が  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$  でエステル結合を有する。

化合物 A を合成するには、まずフェノールをニトロ化し、ベンゼンの二置換体である化合物 C および化合物 D を混合物として得る。この混合物のうち、パラ位が置換された化合物 C のニトロ基をアミノ基に還元して、化合物 E を合成する。さらに化合物 E を分子式が  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$  の試薬 F と反応させ、アミノ基をアセチル化することにより、化合物 A が合成できる。

一方、化合物 B を合成するには、フェノールから調製したナトリウムフェノキシドに、高温・高圧下で二酸化炭素を反応させた後、酸を作用させて化合物 G を得る。次に、化合物 G と分子式が  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$  の試薬 F に少量の濃硫酸を加えて加熱することにより、化合物 B が合成できる。

フェノールは、工業的にはベンゼンとプロペンを原料として合成できる。さらに、ベンゼンを濃硫酸とともに加熱して化合物 H を合成し、そのナトリウム塩をアルカリ融解した後、酸を加えることによっても合成できる。また、塩化ベンゼンジアゾニウムから合成する方法もある。

(ア)

- (1) 化合物 A から E、化合物 G および H の構造式を、例にならってそれぞれ答えなさい。

- (2) 化合物 H の化合物名を答えなさい。
- (3) 分子式が  $C_4H_6O_3$  の試薬 F に適する化合物名を答えなさい。
- (4) 化合物 B と化合物 G の薄い水溶液をそれぞれ調製し、各溶液に塩化鉄(Ⅲ)の薄い水溶液を加えた。水溶液の色の変化をそれぞれ答えなさい。
- (5) 化合物 G を炭酸水素ナトリウム水溶液に完全に溶かした。このときの反応を、化学反応式で答えなさい。
- (6) 下線部(ア)の塩化ベンゼンジアゾニウムからフェノールを合成する反応を、化学反応式で答えなさい。