

2018年度

理 科

R B

化 学

[問題ページ数]

9 ページ

[解答用紙枚数]

8 枚

3月12日(月)

【後 期 日 程】

理 学 部 (化学科, 生物科学科, 創造理学コース)

工 学 部 (電子物質科学科, 化学バイオ工学科,
数理システム工学科)

農 学 部

13 : 30 ~ 14 : 50

注 意 事 項

試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで, 問題冊子, 解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い, 自分の選択した科目の問題冊子, 解答用紙であるかどうかを確かめ, 全部の解答用紙に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

- 4 はじめに, 問題冊子, 解答用紙を確かめ, 枚数の不足や, 印刷の不鮮明なもの, ページの落丁・乱丁があった場合は, 手をあげて監督者に申し出なさい。
- 5 問題は, 1 ~ 4 の全てを解答しなさい。
- 6 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 7 問題は, 声を出して読んではいけません。
- 8 各問ごとの配点は, 比率(%)で表示してあります。

試験終了後

- 9 問題冊子は, 必ず持ち帰りなさい。

【注意】 必要ならば、次の数値を用いること。

原子量：H 1.0, He 4.0, Li 6.9, Be 9.0, B 11, C 12, N 14, O 16, F 19,
Ne 20, S 32, Cl 35.5

気体定数： $8.3 \times 10^3 \text{ L}\cdot\text{Pa}/(\text{mol}\cdot\text{K})$ ，アボガドロ定数： $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$

1 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25 %)

元素の周期表において、8番目に登場する元素には「酸素」という名前がつけられている。この名前は、少し考えてみるとおかしい。なぜなら酸素は必ずしも「酸のもと(酸性の原因となるもの)」ではないからである。確かに硫黄を空气中で燃焼させて得られる気体を水に溶かすと酸性を示す。同様に、塩素の酸化物の一種である Cl_2O_7 も水に溶けて酸性を示す。一方、同じ酸化物でもカルシウムの酸化物を水に溶かすと塩基性を示す。また、塩化水素は酸素を含んでいないにもかかわらず、その水溶液は酸性を示す。「酸素」というネーミングは、どうも「酸は必ず酸素を含む」という、昔の人の誤った考えに由来するものらしい。現在では、「酸のもと」は水素イオン、より正確に言えば水素イオンが水分子と結合したオキシニウムイオンであることがわかっている。

一般に、非金属元素の酸化物は塩基とは反応するが酸と反応しない。一方、金属元素の酸化物の中には、酸とも強塩基とも反応するものがある。たとえば、酸化亜鉛は塩酸と反応して塩化物を生成するほか、水酸化ナトリウム水溶液とも反応して、テトラヒドロキシド亜鉛(II)酸ナトリウムを生成する。

問 1 下線部(a)について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) 硫黄を触媒を使わずに空气中で燃焼させると酸化物が生成する。この酸化物が水に溶けて酸を生成する反応を化学反応式を用いて記せ。
- (2) 第2周期の元素の酸化物で、硫黄酸化物と同様に水に溶けて酸性を示す物質の例を一つあげ、その化学式を記せ。なお、分子量もしくは式量が50以上の酸化物は除く。

問 2 下線部(b)について、次の(1)~(3)に答えよ。

- (1) Cl_2O_7 を水に溶かすとオキシ酸が生成する。1.83 g の Cl_2O_7 を水に溶かし、溶液の体積を 500 mL としたときの水素イオン(オキシニウムイオン)のモル濃度を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。なお、すべての Cl_2O_7 は、一種類のオキシ酸となるものとし、生成するオキシ酸はすべて電離するとする。
- (2) 設問(1)で調製した溶液の水素イオン指数(pH)の値として、最も適切なものを解答欄の中から選び、○で囲め。
- (3) 「 Cl_2O_7 」および「 Cl_2O_7 が水に溶けて生成するオキシ酸」における塩素の酸化数をそれぞれ記せ。

問 3 下線部(c)について、次の(1)および(2)に答えよ。

- (1) カルシウムの酸化物と水の反応を化学反応式を用いて記せ。
- (2) 設問(1)で生成する化合物の水溶液は二酸化炭素の検出にも用いられる。検出の際に見られる水溶液の変化について、化学反応式を用いて簡潔に説明せよ。

問 4 下線部(d)について、次の(1)~(4)に答えよ。

- (1) 酸化亜鉛のように酸とも強塩基とも反応して塩を生じる金属酸化物を一般に何とよぶか、その名称を記せ。
- (2) 酸化亜鉛と水酸化ナトリウム水溶液から、テトラヒドロキシド亜鉛(II)酸ナトリウムが生成する反応を化学反応式を用いて記せ。
- (3) テトラヒドロキシド亜鉛(II)酸ナトリウムは電離してテトラヒドロキシド亜鉛(II)酸イオンを生じる。このイオンにおける Zn^{2+} と OH^- の間にみられるような結合は共有結合の一種であるが、それには特別な名称が与えられている。その名称を記せ。
- (4) 設問(3)の結合は、通常の共有結合とはできるしくみが異なる。設問(3)の結合と通常の共有結合ができるしくみを、その違いがわかるように簡潔に記せ。

2 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25%)

次の図のようにガスポンベと接続された、温度制御可能なシリンダー状の容器(断面積 $S(\text{cm}^2)$)がある。この容器には滑らかに動くピストンがついており、容器内の体積を変化させることが可能である。バルブ A は、容器内の圧力が $3.60 \times 10^5 \text{ Pa}$ を少しでも超えると自動的に開いて気体を容器の外に素早く排出し、容器内圧力が $3.60 \times 10^5 \text{ Pa}$ まで下がると自動的に閉じる特殊なバルブである。また、バルブ B は流量コントローラーと一体構造になっており、バルブを開くとガスポンベから容器へ毎分一定量の物質量の気体を送り込むことができる。

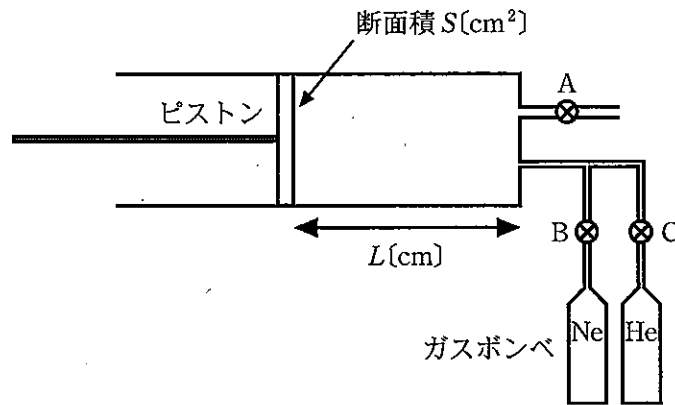


図 実験装置の模式図

この装置を使って、次の二つの実験を行った。ただし、容器内の気体は理想気体として扱えるものとする。また、バルブ内や配管内などの体積は無視できるほど小さく、温度変化にともなう容器内の体積の変化も無視でき、容器内の気体の温度・圧力・組成は常に均一になっているものとする。さらに、容器からガスポンベへ、および容器外から容器内への気体の逆流は無視できるものとする。

【実験 1】

- ① 容器内に気体を含まない状態ですべてのバルブを閉じ、容器温度を常に 300 K を保つように設定した。ピストンを $L = 90.0 \text{ cm}$ の位置に固定したのち、バルブ C を開いて容器内に 300 K のヘリウムガスを送り込み、容器内の圧力が $1.000 \times 10^5 \text{ Pa}$ となったところでバルブ C を閉じた。
- ② この時刻を時刻 0 分とし、そこから毎分 $x_1(\text{cm})$ ずつピストンを滑らかに右に動かしていった。時刻 100.0 分に圧力が $2.25 \times 10^5 \text{ Pa}$ となったところでピストンを停止・固定した。
- ③ ピストンを固定すると同時にバルブ B を開き、今度は 300 K のネオンガスを毎分一定の物質量 $[\text{mol}]$ ずつ容器に加えていった。時刻 130 分に圧力が $2.50 \times 10^5 \text{ Pa}$ となったところでバルブ B を閉じてガスを止めた。

- ④ バルブ B を閉じると同時に、容器の温度設定を変更し、温度を毎分 T_1 [K] ずつ下げていった。時刻 190 分に圧力が 2.25×10^5 Pa になったところで実験を終了した。

【実験 2】

- ① 容器内に気体を含まない状態ですべてのバルブを閉じ、容器温度を常に 300 K を保つように設定した。ピストンを $L = 90.0$ cm の位置に固定したのち、バルブ C を開いて容器内に 300 K のヘリウムガスを送り込み、容器内の圧力が 1.000×10^5 Pa となったところでバルブ C を閉じた(実験 1 と同じ初期条件)。
- ② この時刻を再び時刻 0 分とし、そこから実験 1 と同じく、ピストンを毎分 x_1 [cm] ずつ滑らかに右に動かしていった。時刻 t_1 [分] にバルブ A が開閉を繰り返し始め圧力が一定値 (3.60×10^5 Pa) を示すようになったが、そのままピストンを動かさずつけた。
- ③ 時刻 t_2 [分] にピストンの移動方向を左に変えると、バルブ A が自動的に閉じた。その後、ピストンを毎分 x_2 [cm] ずつ滑らかに左に動かしていった。
- ④ 時刻 $(t_2 + 20)$ [分] に圧力が 2.57×10^5 Pa になったところで装置が故障しピストンが停止した。すぐに修理を行ったところ、時刻 $(t_2 + 30)$ [分] にピストンが再び動き始めた。
- ⑤ その後も、ピストンを毎分 x_2 [cm] ずつ滑らかに左に動かしていき、時刻 $(t_2 + t_1 + 10)$ [分] に圧力が 1.000×10^5 Pa となったところで実験を終了した。

問 1 物質質量一定の理想気体が、一定温度で状態 A (圧力 P_A 、体積 V_A) から状態 B (圧力 P_B 、体積 V_B) に変化したときに満足する式を、次の(ア)~(ケ)のうちから三つ選び、記号で答えよ。

(ア) $P_A V_A = P_B V_B$	(イ) $P_A V_B = P_B V_A$	(ウ) $P_A P_B = V_A V_B$
(エ) $\frac{P_A}{V_A} = \frac{P_B}{V_B}$	(オ) $\frac{P_A}{V_B} = \frac{P_B}{V_A}$	(カ) $\frac{P_A}{P_B} = \frac{V_A}{V_B}$
(キ) $\frac{P_A}{P_B} = \frac{V_B}{V_A}$	(ク) $\frac{P_A}{V_A} = \frac{V_B}{P_B}$	(ケ) $\frac{P_A}{V_B} = \frac{V_A}{P_B}$

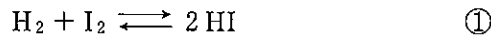
問 2 物質質量一定の理想気体が、一定圧力で状態 C (温度 T_C 、体積 V_C) から状態 D (温度 T_D 、体積 V_D) に変化したときに満足する式を、次の(コ)~(ツ)のうちから三つ選び、記号で答えよ。

(コ) $T_C V_C = T_D V_D$	(サ) $T_C V_D = T_D V_C$	(シ) $T_C T_D = V_C V_D$
(ス) $\frac{T_C}{V_C} = \frac{T_D}{V_D}$	(セ) $\frac{T_C}{V_D} = \frac{T_D}{V_C}$	(ソ) $\frac{T_C}{T_D} = \frac{V_C}{V_D}$
(タ) $\frac{T_C}{T_D} = \frac{V_D}{V_C}$	(チ) $\frac{T_C}{V_C} = \frac{V_D}{T_D}$	(ツ) $\frac{T_C}{V_D} = \frac{V_C}{T_D}$

- 問 3 実験 1 の④における温度降下速度 T_1 [K/分] の値を求めよ。計算過程を所定の欄に示し、有効数字 2 桁で答えよ。
- 問 4 実験 1 終了時の容器内気体におけるネオンのモル分率と気体全体の密度 [g/L] の値をそれぞれ求めよ。計算過程を所定の欄に示し、有効数字 2 桁で答えよ。
- 問 5 実験 1 の②の結果から、実験 2 の②でバルブ A が開閉を繰り返し始めた時刻 t_1 [分] を求めよ。計算過程を所定の欄に示し、有効数字 3 桁で答えよ。
- 問 6 実験 2 の②において、圧力が 1.000×10^5 Pa から 3.60×10^5 Pa に上昇するのにかかる時間と、③~⑤において圧力が 3.60×10^5 Pa から 1.000×10^5 Pa に下降するのにかかる時間は、ピストンの停止時間を除くと、両者とも t_1 [分] 間で同じであった。このことを使って、時刻 t_1 [分] における容器内の体積 V_1 [L] と時刻 t_2 [分] における体積 V_2 [L] の間に
- $$\frac{V_2}{V_1} = \frac{x_2}{x_1}$$
- の関係があることを示せ。ただし、この設問に限り V_1 , V_2 , x_1 , x_2 , t_1 には具体的な数値を代入せずに、記号(文字変数)のまま使用せよ。
- 問 7 $x_2 = 0.600 \times x_1$ であるとき、実験 1 および実験 2 における圧力の時間変化を表すグラフを所定の欄に図示せよ。なお、実験 1 と 2 のグラフが重なる部分は 1 本の線で表してよい。また、グラフの線には多少のゆがみがあっても、その特徴が正しくわかるように描かれていればよい。

3 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25%)

水素 H_2 とヨウ素 I_2 を密閉容器に入れて高温に保つと、 I_2 はすべて気体となり、 H_2 と I_2 が反応してヨウ化水素 HI を生成する。また、 HI を密閉容器に入れて高温に保つと、 HI が分解して H_2 と I_2 を生じる。このように、ある反応について、その逆向きの反応も進むとき、反応式を次の①式のように記号「 \rightleftharpoons 」を用いて表す。



反応式①において、右向きの反応を正反応、左向きの反応を逆反応という。

それぞれの成分のモル濃度(単位体積あたりの物質質量[mol/L])を $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ 、 $[\text{HI}]$ と表した場合、反応式①の正反応において、ある一定温度で反応速度を測定すると、 HI の生成速度 v_1 は、定数 k_1 を用いて

$$v_1 = k_1 [\text{H}_2] [\text{I}_2] \quad \text{②}$$

と表されることがわかっている。一方、反応式①の逆反応では、 HI の分解速度 v_2 は、定数 k_2 を用いて

$$v_2 = k_2 [\text{HI}]^2 \quad \text{③}$$

と表される。

H_2 と I_2 および HI を密閉容器に入れて高温に保ち、長時間経過すると化学平衡の状態に達する。このとき各成分の濃度は次の関係式④にしたがう。ただし、 K は平衡定数である。

$$K = \frac{[\text{HI}]^m}{[\text{H}_2]^n [\text{I}_2]} \quad \text{④}$$

平衡状態に達すると、それ以上時間が経過しても各成分の濃度は変化しない。平衡状態では反応が何も起きていないのではなく、正反応と逆反応の速度が等しいために、見かけ上、反応が止まったように見える。温度を変えると平衡定数は変化するが、温度が一定であれば、密閉容器に入れる各成分の物質質量によらず平衡定数は一定である。つまり、ある温度での平衡定数がわかれば、その温度での平衡状態における各成分の濃度は、最初に入れた各成分の物質質量と容器の容積から計算することができる。

問 1 下線部(a)について、正反応と逆反応の両方が起こりうるような反応を、一般に何とよぶか記せ。

問 2 本文中の式②および③にみられるような定数 k_1 や k_2 を、一般に何とよぶか記せ。

問 3 本文中の式④の中の m および n に当てはまる数値を、解答用紙の所定の欄にそれぞれ記せ。

問 4 下線部(b)について、平衡状態では、正反応で HI が生成する速度と、逆反応で HI が分解される速度が同じである。このことをふまえ、平衡定数 K が

$$K = \frac{k_1}{k_2}$$

と表されることを示せ。

問 5 下線部(c)について、この反応の平衡定数をさまざまな温度で測定したところ、高温になるほど平衡定数が小さくなることがわかった。次の(1)および(2)に答えよ。

(1) この実験結果より、反応式①の正反応は発熱反応と考えられるか、それとも吸熱反応と考えられるか答えよ。

(2) 設問(1)で発熱反応または吸熱反応を選んだ理由を、「正反応」または「逆反応」という語の少なくとも一方を用いて、簡潔に説明せよ。

問 6 下線部(d)について、容積が 10.0 L の容器に、はじめに H_2 を 0.160 mol、 I_2 を 0.220 mol 入れて密閉し、ある一定温度に保ち、長時間が経過して平衡状態に達した際の HI の生成量は 0.280 mol であった。下の(1)~(3)に答えよ。ただし、容器内には H_2 、 I_2 および HI のみが存在し、それ以外の物質は存在しないものとする。また、この温度では容器内の物質はいずれも気体の状態にあるとする。

(1) 平衡状態での、容器内の H_2 および I_2 の物質量 [mol] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

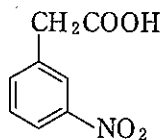
(2) この温度での平衡定数 K の値を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

(3) この温度において、最初に容器に入れる H_2 および I_2 の物質量をどちらも 0.270 mol とした場合、平衡状態での容器内の HI の物質量 [mol] を求めよ。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

問 7 多くの化学反応において、ほかの条件が一定の場合、温度を上げていくと反応速度は大きくなる。その理由を、「活性化エネルギー」という語を用いて簡潔に記せ。ただし、ここでは気体分子どうしの化学反応に限って考えればよい。

4 次の文章を読み、下の問いに答えよ。構造式は次の例にならって記せ。(配点 25 %)

(例)



化合物 A と化合物 B はともにベンゼンの水素原子 1 個が置換基で置き換わった化合物である。化合物 A は炭素と水素のみで構成されており、溶媒として用いられているが有毒である。

46.00 mg の化合物 A を完全燃焼させると、二酸化炭素が 154.0 mg 得られる。化合物 A に過マンガン酸カリウム水溶液を作用させ、硫酸で処理すると酸性を示す化合物 C が得られる。

化合物 B は、特有のにおいのある弱酸で、殺菌作用があり室温では結晶である。化合物 B に硝酸をおだやかに作用させると、生成物の一つとして (ア) 基をもつ化合物が得られる。その化合物は二つの置換基のみを有し、それらは互いに *p*(パラ) の関係にある。また、この化合物にスズと濃塩酸を作用させると (ア) 基が還元された化合物 D の塩酸塩が得られる。化合物 D に氷酢酸を加えて加熱すると (イ) 結合をもつ化合物が生成する。タンパク質中のアミノ酸どうしから生じた (イ) 結合を、特にペプチド結合とよぶ。

化合物 E の工業的合成では、化合物 B のナトリウム塩を高温高圧のもとで二酸化炭素と反応させ、希硫酸を作用させる。化合物 E に少量の硫酸と無水酢酸を加え加熱すると化合物 F が得られる。化合物 F は解熱鎮痛剤として広く用いられている。化合物 E と化合物 F のそれぞれの薄い水溶液に、(ウ) の薄い水溶液を加えると化合物 E のみが赤紫色に呈色する。

化合物 A と化合物 B を適切な温度で混酸(濃硫酸と濃硝酸の混合物)を作用させると、どちらもベンゼン環に結合した水素原子 3 個が (ア) 基で置き換わり、化合物 A からは化合物 G が、化合物 B からは化合物 H が得られる。これらはどちらも爆薬として知られている。そのうち、化合物 G は、その質量が核兵器の威力を示すときの目安に使われる。たとえば、「10 メガトン級の水爆」とは 10 メガトン(10⁷ トン)分の化合物 G と同じ程度の爆発力をもつことを意味する。

問 1 下線部(a)より、化合物 A の分子式を求めよ。また、所定の欄に求め方を記せ。ただし、化合物 A の分子量は 180 以下である。

問 2 化合物 A~H の構造式を記せ。

問 3 文章中の (ア) と (イ) に入る適切な語を記せ。また、(ウ) に入る適切な化学式を記せ。

問 4 化合物 A の水素原子 1 個を塩素原子 1 個で置き換えてできる異性体のすべてを構造式で記せ。

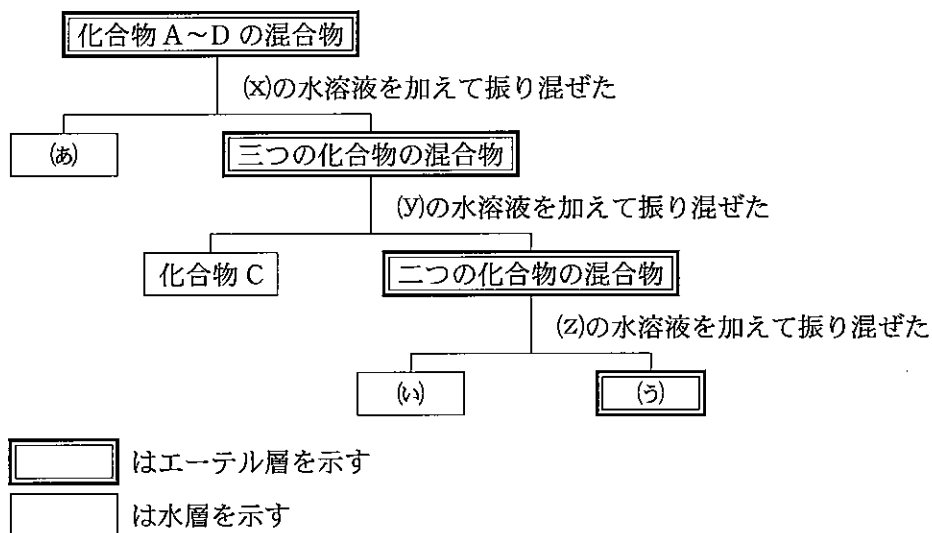
問 5 下線部(b)の化合物 D の塩酸塩が生成する反応の化学反応式を記せ。

問 6 化合物 A~D を含むジエチルエーテル(エーテル)溶液から、下の図のようにして各化合物を分離した。次の(1)および(2)に答えよ。

(1) 図中の(あ)~(う)にあてはまる化合物を、化合物 A, 化合物 B, 化合物 D のうちから一つ選び、それぞれの記号で答えよ。ただし、各層に含まれる芳香族化合物は塩として存在することもある。

(2) 図中の(x)~(z)に適切な物質を、次に示す候補のうちからそれぞれ一つ選び、化学式で記せ。

候補：塩化水素、塩化ナトリウム、塩化カリウム、炭酸水素ナトリウム、水酸化ナトリウム、硫酸ナトリウム



問題訂正

科目 理科（化学）

訂正箇所

1. 9ページ 問題

4

 問5 1行目

(誤) 下線部(b)の化合物Dの塩酸塩が生成する反応の化学反応式を記せ。

(正) 化合物Dの塩酸塩が生成する，下線部(b)の反応の化学反応式を記せ。