令　和　2　年　度

理　　科

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2)，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

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

1 次の文を読んで，以下の問いに答えよ。

異なる2原子間の共有結合では，それぞれの原子が共有電子対を引き寄せる強さに差が生じる。この強さの程度を表した値を電気陰性度という。たとえば，HCl 分子では，電気陰性度のより大きな Cl 原子が共有電子対を引き寄せるため，Cl 原子はいくらか負の電荷($\delta-$)を帯び，H 原子はいくらか正の電荷($\delta+$)を帯びている。このように，共有結合している原子間に電荷のかたよりがあるとき，その結合には極性があるという。

2個の原子からなる分子(二原子分子)では，共有結合の極性がその分子の極性になるが，3個以上の原子からなる分子の極性は分子の形の影響を受ける。たとえば，二酸化炭素分子では2つの C=O の共有結合にはそれぞれ極性があるが，それらの極性は正反対の方向を向いているので互いに打ち消し合い，分子全体として無極性分子になる。一方，水分子では，分子の形が折れ線形をしているので，2つの O-H 結合の極性が完全には打ち消されず，分子全体では極性分子になる。

分子の極性や原子間の結合の極性の大きさを示す尺度として双極子モーメントがある。双極子モーメントは負電荷から正電荷へ向かうベクトルとして表され，正電荷 $+q$〔C〕と負電荷 $-q$〔C〕が距離 r〔m〕だけ離れているとき，双極子モーメント $\vec{\mu}$〔C・m〕は

$$\vec{\mu} = q\vec{r}$$

で表される。双極子モーメントが大きいものほど，極性が大きいことになる。双極子モーメントの大きさは誘電率の温度変化を測定することによって決定される。

双極子モーメントの大きさを決定することにより，共有結合におけるイオン結合の寄与(イオン結合性)を調べることができる。結合におけるイオン結合性は，双極子モーメントの測定値$|\vec{\mu}|$と，100 % のイオン結合で結びついていると仮定して求めた双極子モーメント$|\vec{\mu_0}|$の比から計算することができる。

$$\text{イオン結合性}(\%) = \frac{|\vec{\mu}|}{|\vec{\mu_0}|} \times 100$$

HF 分子では H−F の結合距離が 9.17×10^{-11} m である。水素イオン H^+ とフッ化物イオン F^- (電子の電荷の大きさは 1.60×10^{-19} C)がこの距離だけ離れているとき，$|\vec{\mu_0}|$は [1] C·m となる。$|\vec{\mu}|$が 6.09×10^{-30} C·m であるとき，イオン結合性は [2] %であると考えられる。

問 1　[1] と [2] に入る数値を有効数字 3 桁で答えよ。

問 2　図 1 の(ア)～(オ)は，元素のさまざまな性質を原子番号順に並べたものである。縦軸が電気陰性度を表すものを(ア)～(オ)から選び，その記号を答えよ。

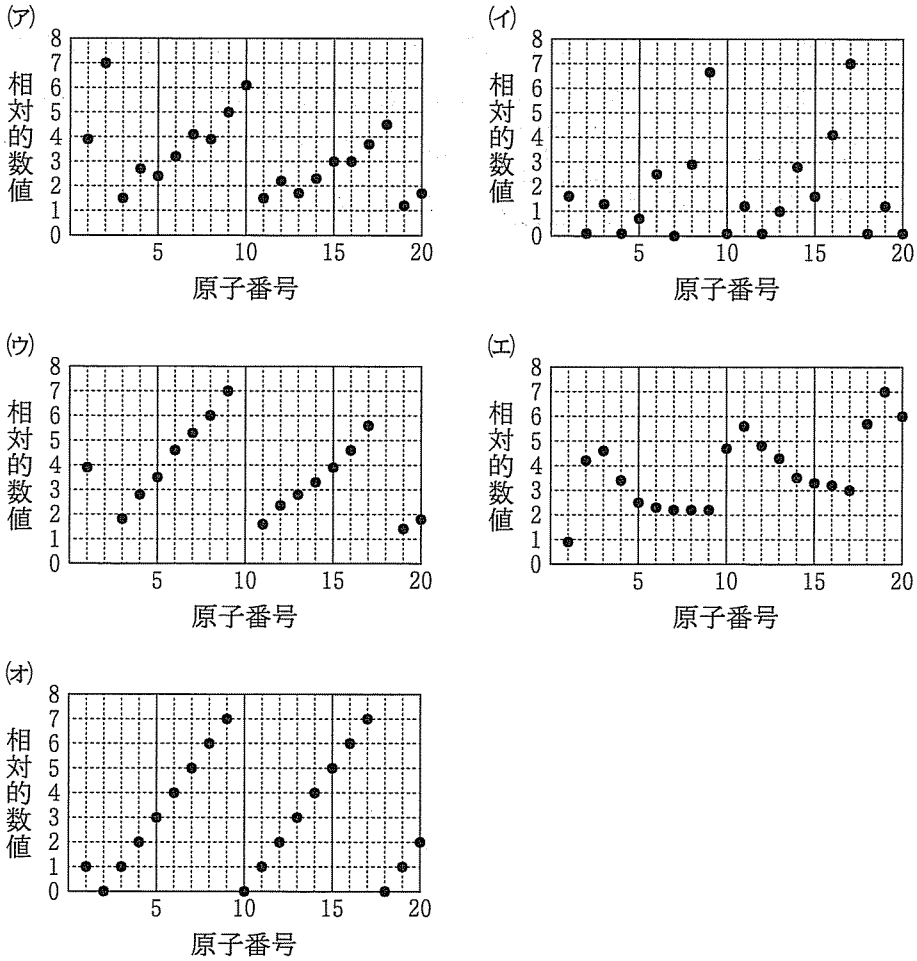


図 1　原子番号と元素の性質

問 3　二酸化硫黄分子 SO_2 では，S 原子はいくらか正の電荷を帯び，O 原子はいくらか負の電荷を帯びている。SO_2 では 2 つの共有結合の角度が 120° であり，S と O の結合の双極子モーメントの大きさが 5.44×10^{-30} C·m であるとき，この分子の双極子モーメントの大きさを有効数字 3 桁で答えよ。

問 4　分子の双極子モーメントの値が 0 C·m であると考えられる化合物を，次の(ア)～(ク)からすべて選び，その記号を記せ。

(ア)　硫化水素　　(イ)　アンモニア　　(ウ)　テトラクロロメタン

(エ)　エチレン　　(オ)　メタノール　　(カ)　ベンゼン

(キ)　ギ酸　　(ク)　*m*-キシレン

2 次の(文1)と(文2)を読んで，以下の問いに答えよ。

(文1)　ある化合物Aが，別の化合物Bと反応して化合物Cを生じる均一系化学反応R1を考える。

$$A + B \longrightarrow C \qquad \text{(R 1)}$$

温度を一定に保ち，反応R1の反応速度v_1を実験で測定した結果，v_1と反応物の濃度の関係が

$$v_1 = k_1[A][B] \qquad (1)$$

と表されることがわかった。ただし，k_1は速度定数であり，[A]，[B]はそれぞれ化合物A，Bのモル濃度である。

反応R1で化合物Cが生成する一方で，化合物Cが化合物AとBに分解する反応R2も同時に起きる。

$$C \longrightarrow A + B \qquad \text{(R 2)}$$

また，反応R2の反応速度v_2は，速度定数k_2を用いて

$$v_2 = k_2[C] \qquad (2)$$

と表せることがわかった。[C]は化合物Cのモル濃度である。

密閉容器に化合物A，Bを混合して温度を一定に保つと，反応R1およびR2が進行し，長時間経過すると，[A]，[B]，[C]はそれ以上変化しない状態となる。このような状態を [1] 状態とよぶ。

[1] 状態では，[A]，[B]，[C]の間に，ある定数Kを用いて式(3)に示すような関係が成り立つ。

$$K = \frac{[C]}{[A][B]} \qquad (3)$$

この定数Kを [1] 定数とよぶ。

問1　[1] にあてはまる適切な語句を記せ。

問2　速度定数k_1の値は，反応温度を上げると大きくなった。その理由のうち，最も影響が大きいと考えられるものを簡潔に記せ。

問 3　式(3)の K を k_1，k_2 を用いて表せ。

問 4　反応温度を上げると，式(3)の K の値は大きくなった。この場合に，次の(ア)～(ウ)のうち必ず成立するものには○，必ずしも成立するとは限らないものには×を，解答欄に記せ。

(ア)　化合物Ｃの濃度は，化合物Ａの濃度より大きい。

(イ)　反応Ｒ１は吸熱反応であり，反応Ｒ２は発熱反応である。

(ウ)　k_2 の値は，反応温度を上げると小さくなる。

（文２）　次に，反応Ｒ１およびＲ２と同時に，次に示す反応Ｒ３が起きる場合を考える。

$$\mathrm{C} \longrightarrow \mathrm{B} + \mathrm{D} \qquad \text{(R 3)}$$

反応Ｒ１に続いて反応Ｒ３が進行した場合，全体の反応式は次のように表される。

$$\mathrm{A} \longrightarrow \mathrm{D} \qquad \text{(R 4)}$$

すなわち，化合物Ｂは式(1)に示すように反応速度に影響するにもかかわらず，全体の化学反応式Ｒ４には現れない。このような物質を一般的には，[2] とよぶ。

反応Ｒ３の反応速度 v_3 を，定数 k_3 を用いて

$$v_3 = k_3[\mathrm{C}] \qquad (4)$$

と表せるとする。ここで，化合物Ｄが反応Ｒ３以外で生じることがなく，他の反応で消費されないので，式(5)に示すとおり，化合物Ｄの生成速度 r_D は v_3 に等しい。

$$r_\mathrm{D} = v_3 = k_3[\mathrm{C}] \qquad (5)$$

一方，化合物Ｃは反応Ｒ１で生じるが，反応Ｒ２およびＲ３で分解して消費される。このように，化合物Ｃの生成と分解が同時に起こるとき，化合物Ｃの生成速度を r_c とすると，r_c は k_1，k_2，k_3，[A]，[B]，[C]を用いて，

$$r_\mathrm{c} = \boxed{\quad 3 \quad} \qquad (6)$$

と表される。

実際に実験を行ってr_C，r_Dを測定した。なお，最初に容器内に化合物C，Dは存在せず，化合物A，Bの初期濃度をそれぞれ$[A]_0$，$[B]_0$として実験を開始した。この実験の結果，$r_C \fallingdotseq 0$と近似されることがわかった。したがって，式(6)より，化合物Cの濃度[C]はk_1，k_2，k_3，[A]，[B]を用いて，

$$[C] = \frac{k_1}{k_2 + k_3}[A][B] \tag{7}$$

と表すことができる。ここで，$\dfrac{k_2 + k_3}{k_1} = K_M$とおくと，

$$[C] = \frac{[A][B]}{K_M} \tag{8}$$

となる。また，$[A]_0$が非常に大きい場合，$[A] \fallingdotseq [A]_0$とおける。一方，$[B]_0$は$[B]_0 = [B] + [C]$で表される。これらを考慮すると，

$$[C] = \frac{[B]_0}{\left(1 + \dfrac{K_M}{[A]_0}\right)} \tag{9}$$

と近似できる。式(9)の[C]を式(5)に代入すると，r_Dは，

$$r_D = \frac{k_3[B]_0}{\left(1 + \dfrac{K_M}{[A]_0}\right)} \tag{10}$$

と表される。次に，両辺の逆数をとると，

$$\frac{1}{r_D} = \frac{1}{k_3[B]_0} + \frac{K_M}{k_3[B]_0} \times \frac{1}{[A]_0} \tag{11}$$

となる。したがって，r_Dの逆数と$[A]_0$の逆数とは比例関係にある。

問 5　[2]，[3] にあてはまる適切な語句または数式を記せ。

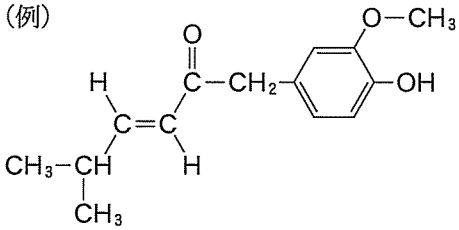
問 6　Aの初期濃度$[A]_0$をさまざまな値に設定し，反応初期でのDの生成速度r_Dを測定した結果，表1に示す数値が得られた。表1のxおよびyの数値を推測し，有効数字2桁で答えよ。

表1　Aの初期濃度$[A]_0$とDの生成速度r_Dの測定結果

$[A]_0$〔mol/L〕	x	1.0	2.0	4.0	6.0
r_D〔mol/(L・s)〕	1.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	y	5.0×10^{-5}	6.0×10^{-5}

3 次の文を読んで，以下の問いに答えよ。構造式は例にならって示すこと。

（例）



カルボン酸はカルボキシ基(−COOH)をもつ化合物であり，分子内のカルボキシ基の数によりモノカルボン酸，ジカルボン酸などに分類される。脂肪族のモノカルボン酸 R−COOH(R は炭化水素基または H 原子)を脂肪酸という。(a)脂肪酸は炭化水素基の構造により，飽和脂肪酸，不飽和脂肪酸，高級脂肪酸などに分類される。油脂は，脂肪酸のカルボキシ基とグリセリンのヒドロキシ基が反応して得られるエステルの一種である。

たとえば，最も簡単な構造の脂肪族ジカルボン酸はシュウ酸であり，(b)酸化還元滴定の標準試薬として用いられる。また，ジカルボン酸からもモノカルボン酸と同様にエステルを生成することができ，(c)1分子のシュウ酸に2分子の化合物Aを反応させて得られたエステルBは，コンサート会場などで見かけるケミカルライトに用いられている。

カルボキシ基がベンゼン環に直接結合している化合物を芳香族カルボン酸という。最も簡単な芳香族モノカルボン酸は安息香酸であり，(d)ベンズアルデヒドを酸化することにより得られる。

分子内にヒドロキシ基をもつカルボン酸はヒドロキシ酸という。例えば，マレイン酸に1分子の水を付加して得られるリンゴ酸や，炭素数が4つのジカルボン酸であり，2価のアルコールでもある酒石酸は，どちらもヒドロキシ酸である。

また，分子内にアミノ基をもつカルボン酸をアミノ酸という。ベンゼン環にカルボキシ基とアミノ基が *o*−位の位置で結合した化合物はアントラニル酸とよばれ，生体内反応においても重要な化合物である。

問 1　下線部(a)に関連して，以下の文の [1] ～ [4] に当てはまる適当な語句を記せ。

油脂を構成する脂肪酸の炭化水素基中に [1] を多く含むほど，その油脂は固化しにくくなり，常温で液体の場合には [2] とよばれる。しかし，[2] の中でも，長時間放置すると固化する油脂もある。これは空気中の [3] 分子が炭化水素基中の [1] と反応して，油脂分子どうしが [3] 原子で架橋され，分子量が大きくなったためである。このような油脂のことを [4] とよぶ。

問 2　下線部(b)に関連して，以下の問いに答えよ。

(1)　濃度不明の過マンガン酸カリウム水溶液の濃度を決定するためにシュウ酸水溶液を用いた。このときのシュウ酸の酸化剤または還元剤としてのはたらきを示す e^- を含んだ反応式を記せ。

(2)　シュウ酸と過マンガン酸カリウムが過不足なく反応するには，シュウ酸は過マンガン酸カリウムの何倍の物質量が必要か，記せ。

問 3　下線部(c)に関連して，1分子のエステルBと1分子の化合物Cを混合すると，不安定な環状の中間体を生じ，それが2分子の化合物Aと2分子の二酸化炭素に分解する。この分解のときに発生したエネルギーが蛍光物質に与えられて発光する。なお，化合物Aは，ベンゼンスルホン酸ナトリウムと水酸化ナトリウムを高温で融解させたのち，酸で処理することでも得られる。エステルBの化学構造式と化合物Cの分子式を記せ。

問 4　下線部(d)に関して，ベンズアルデヒドとアンモニア性硝酸銀水溶液の反応では銀鏡反応が進行する。しかし，ベンズアルデヒドとフェーリング液の反応では酸化銅(Ⅰ)の沈殿は生成しない。これは，フェーリング液に含まれる水酸化物イオンの存在により，ベンズアルデヒドどうしで酸化還元反応が起こったためである。この酸化還元反応では2分子のベンズアルデヒドと1分子の水から，1分子の安息香酸と1分子の化合物Dが生成する。化合物Dの化合物名を記せ。

問 5　ヒドロキシ酸やアミノ酸に関する次の記述(ア)～(エ)のうち，正しいものには○を，誤っているものには×を解答欄に記せ。

(ア)　リンゴ酸と酒石酸は，どちらも不斉炭素原子をもつ。

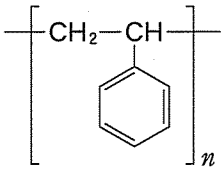
(イ)　リンゴ酸は，フマル酸への水の付加反応では得られない。

(ウ)　アントラニル酸と無水酢酸を反応させて得られる主な生成物は酸の性質を示さない。

(エ)　アラニンは，ビウレット反応およびニンヒドリン反応のどちらでも呈色しない。

4 次の文を読んで，以下の問いに答えよ。ただし，構造式は例にならって示せ。数値は有効数字２桁で答えよ。

（例）



近年，海洋や河川に投棄されたプラスチックによる漁業，観光，沿岸域環境や海洋生物への影響が深刻化している。特に，微細なプラスチックである“マイクロプラスチック”が生態系に及ぼす影響が懸念されている。

プラスチックの中には，土壌や水中の微生物によって分解される［ 1 ］高分子がある。例えば，図２に示す高分子化合物Ａは，3-ヒドロキシ酪酸と3-ヒドロキシヘキサン酸の［ 2 ］重合から得られる［ 1 ］高分子であり，２種類の単量体から得られた高分子化合物であるため，［ 3 ］重合体とよばれる。

高分子化合物Ａは海洋中で微生物により分解される。海洋中のプラスチックの微生物による分解量を見積もる指標のひとつにBOD（生物化学的酸素要求量）がある。BODは水中の有機化合物を好気性微生物が酸化分解するときに消費される酸素量である。高分子化合物Ａは万が一，海洋に投棄されても最終的には［ 4 ］と［ 5 ］に分解されるため，環境負荷が低減されると期待されている。

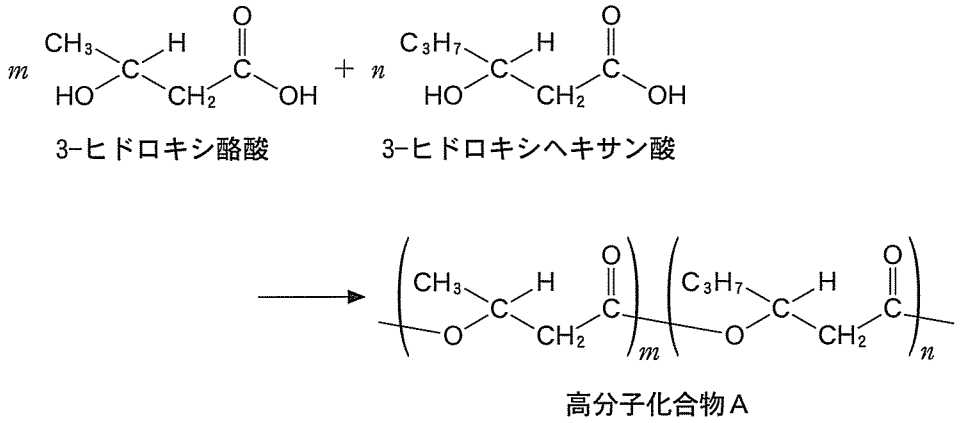


図２　高分子化合物Ａの合成（m および n は重合度を示す）

問 1 [1] ～ [5] にあてはまる適当な語句を記せ。ただし，[2] と [3] には異なる語句を記すこと。

問 2 重合度 $m = 9.0 \times 10^3$，$n = 1.0 \times 10^3$ である高分子化合物 A（化合物 A_1 とする）の元素分析で得られる炭素と水素の質量パーセントをそれぞれ求めよ。

問 3 [1] 高分子の一つにポリ乳酸がある。ポリ乳酸の構造式を記せ。

問 4 ポリ乳酸 30 mg を有機溶媒に溶解し，高分子鎖の末端に存在するカルボキシ基を 1.0×10^{-3} mol/L の水酸化カリウム-エタノール溶液で中和滴定したところ，2.0 mL を要した。滴定によるポリ乳酸の加水分解は起こらないものとして，ポリ乳酸の平均分子量（数平均分子量）を求めよ。

問 5 下線部に関連して，高分子化合物 A，ポリ（3-ヒドロキシ酪酸）やポリ（3-ヒドロキシヘキサン酸）が酸素により，[4] と [5] に完全に分解されるとしたとき，以下の問いに答えよ。

(1) ポリ（3-ヒドロキシ酪酸）0.86 g を完全に分解するために必要な酸素の物質量を求めよ。

(2) 重合度 $m = 1.0 \times 10^3$，$n = 9.0 \times 10^3$ である高分子化合物 A を化合物 A_2 とする。同じ物質量の化合物 A_1（問 2 を参照）と A_2 を用い，それらを完全に分解するために必要な酸素の物質量を比較した場合，どちらが何倍大きいか，大きい方を丸で囲み，数値を記入せよ。ただし，化合物 A_1 と A_2 は同じ分解速度であるとする。