

# 化 学

工学部・応用生物科学部

## 問 題 冊 子

### 注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 本問題冊子は 11 ページで、解答用紙 5 枚である。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は 5 枚の解答用紙のそれぞれ指定した欄すべてに必ず記入すること。
4. 問題は 5 題である。5 題すべてに解答すること。
5. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。指定箇所以外に記入された解答は採点の対象としない。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。問題冊子は持ち帰ること。
7. 大問ごとに満点に対する配点の比率を表示してある。
8. 必要があれば、次の数値を用いよ。計算結果は、特に指定がない限り有効数字 2 桁で示すこと。

原子量：H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, S = 32.0, Cl = 35.5,

Ca = 40.0

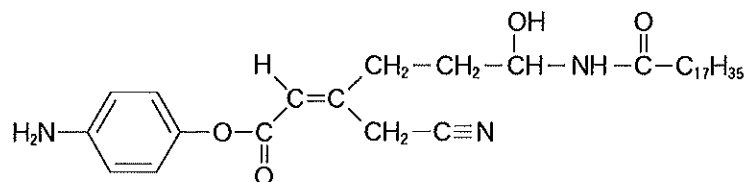
アボガドロ定数： $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$

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

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

9. 気体は指定がない限り理想気体としてふるまうものとする。
10. 構造式は、特に指定がない限り、次の例にならいう簡略に記すこと。

(例)



1 次の文章を読み、以下の問1から問5に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

周期表の1族元素のうち、水素を除く6種類の元素を **ア** という。原子番号が大きくなるほど原子半径が大きくなり価電子を放出しやすくなるので、イオン化エネルギーが **イ** {大きく|小さく} なり、反応性が高くなる。また **ア** は還元力が **ウ** {強く|弱く} 常温の水と激しく反応して水素を発生し、水酸化物を生じる。 この水酸化物は **エ** {強い|弱い} **オ** {酸性|塩基性} を示す。

自然界には単体で存在しない2族元素の原子は **カ** 個の価電子をもち、**キ** {陽イオン|陰イオン} になりやすい。この傾向は原子番号が大きいものほど **ク** {強い|弱い} 。2族元素のうち、カルシウム、ストロンチウム、バリウム、ラジウムの4種類の元素は特に性質が似ており、**ケ** とよばれる。**ケ** のイオンは、炭酸イオンと反応して炭酸塩の白色沈殿を生じる。この沈殿は強酸に溶けて二酸化炭素を発生する。

問 1. **ア** ~ **ケ** にあてはまる適切な数字あるいは語句をそれぞれ答えよ。ただし、**イ** ~ **オ** , **キ** , **ク** には{ }内から適切な語句を選び、答えよ。

問 2. 下線部(a)について、以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 下線部(a)について、**ア** のうち、第4周期元素の単体が水と反応して水酸化物を生じる反応の化学反応式を示せ。

(2) (1)で生じた水酸化物の固体を空气中に放置すると起こる「潮解」とよばれる現象を簡潔に説明せよ。

問 3. 水酸化ナトリウムが二酸化炭素を吸収して生じる化合物 A について、以下の(1)~(4)の問いに答えよ。

- (1) 化合物 A が生じる反応の化学反応式を示せ。
- (2) 化合物 A の十水和物の結晶を乾いた空気中に放置すると「風解」とよばれる現象が起きた。風解によって化合物 A にどのような変化が起きたか答えよ。
- (3) 化合物 A は工業的にはアンモニアソーダ法(ソルベール法)を使って、二段階の反応で得られる。その反応をそれぞれ化学反応式で示せ。
- (4) アンモニアソーダ法で化合物 A を 1.5 kg 製造するために必要な塩化ナトリウムは何 kg か求めよ。

問 4. 下線部(b)について、石灰石や貝殻などの主成分として天然に広く存在する化合物が塩酸と反応して二酸化炭素を発生する反応の化学反応式を示せ。

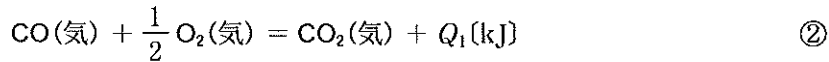
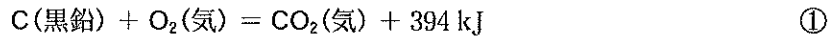
問 5. さまざまな化合物について説明した①~⑤について、正しいものには○、正しくないものには×と示せ。

- ① 石灰石を強熱して得られる白色固体に水を加えると発熱する。
- ② 単体のマグネシウムは常温の水と反応しやすい。
- ③ カリウムを含む化合物やその水溶液を炎の中に入れると黄色に呈色する。
- ④ 炭酸ナトリウムと二酸化ケイ素から得られる化合物に水を加えて加熱すると粘性の大きな液体になる。
- ⑤ 硫酸バリウムの水和物は天然にセッコウとして産出され建築材料に利用される。

2 次の文章を読み、以下の問1から問5に答えよ。計算結果は有効数字3桁で答えよ。

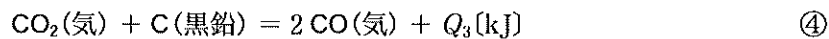
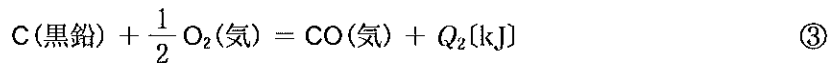
(配点比率 工・応生：20%)

二酸化炭素は炭素や一酸化炭素の燃焼により生じる。

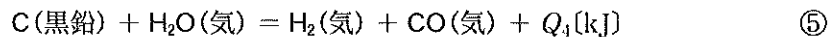


熱化学方程式①で示される反応熱は、炭素(黒鉛)の  熱であり、また二酸化炭素の  熱でもある。この反応式は、二酸化炭素 1 mol のもつエネルギーは黒鉛 1 mol のもつエネルギーと酸素分子 1 mol のもつエネルギーの和より  kJ だけ  ことを示している。

一酸化炭素は炭素の不完全燃焼で生じるほか、二酸化炭素が高温の炭素に触れると発生する。赤熱したコークスに二酸化炭素を反応させると一酸化炭素が得られる。

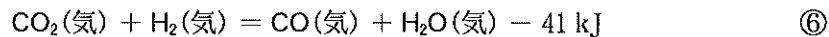


高温に加熱したコークスに水蒸気を反応させても一酸化炭素が得られる。

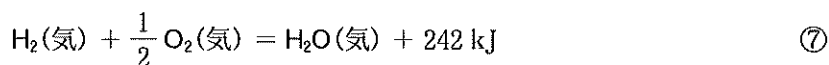


水素と一酸化炭素の混合気体は水性ガスとよばれ、高温・高圧下で亜鉛やクロムの触媒を用いて、メタノールの合成に利用されている。一酸化炭素の強い  は鉄鉱石からの金属鉄の製造に利用されている。

また、高温下では水素と二酸化炭素から、水蒸気と一酸化炭素が生じる。



水素の燃焼により水蒸気が生じる反応は熱化学方程式⑦で表される。



問 1.  ~  にあてはまる適切な語句または数字をそれぞれ答えよ。また、 および  には{ }内から適切な語句を選び、答えよ。

問 2. 熱化学方程式②～⑤の  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ,  $Q_4$  の値をそれぞれ求めよ。

問 3. 熱化学方程式①～⑦の反応について、以下の(1)～(4)の条件に合うものをそれぞれすべて選び、①～⑦の番号で答えよ。ただし、該当するものがない場合は、解答欄に「なし」と記せ。

- (1) 平衡状態から容器を圧縮して圧力を増加させると平衡は右向きに移動する。
- (2) 平衡状態から容器を圧縮して圧力を増加させても平衡は移動しない。
- (3) 平衡状態から容器を加熱して温度を上げると平衡は右向きに移動する。
- (4) 平衡状態から容器の圧力を一定に保ったままヘリウムを加えても平衡は移動しない。

問 4. 熱化学方程式⑥の反応について、炭素 1.00 mol と水蒸気 0.700 mol を容積可変の容器内で反応させた。975 K,  $1.01 \times 10^6$  Pa で平衡状態に達したとき、気体の全体積は 96.0 L となった。ただし、975 K,  $1.01 \times 10^5$  Pa で気体 1.00 mol の体積は 80.0 L とする。

- (1) 平衡状態に達したとき、水蒸気と水素はそれぞれ何 mol 存在するか求めよ。
- (2) 平衡定数  $K_{1e}$  [mol/L] を求めよ。
- (3) 975 K,  $1.01 \times 10^5$  Pa で炭素 2.00 mol, 水蒸気 0.500 mol, 一酸化炭素 0.500 mol, 水素 0.500 mol を 120 L の反応容器に入れた。反応が平衡状態に達したとき、水蒸気は 0.500 mol より「多い」か、「少ない」か、「変わらない」か、答えよ。また、その理由を、平衡定数を考慮して述べよ。

問 5. 熱化学方程式⑥の反応について、ある温度で平衡状態に達したときの平衡定数  $K_{2e}$  は  $2.50 \times 10^{-1}$  であった。この温度で二酸化炭素と水素をそれぞれ 1.00 mol ずつ反応させたところ、平衡状態に達した。

- (1) このとき生成した一酸化炭素の分圧は全圧の何%か求めよ。
- (2) このときの一酸化炭素と水素のモル比(物質量の比)を求めよ。

3 次の文章を読み、以下の問1から問5に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

下の図は、純水(水)と水溶液の冷却曲線を示している。液体を凝固点以下に冷却しても凝固しない状態を **ア** といい、この状態で凝固が始まると、**イ** が発生して温度が一時的に **ウ** {上昇 | 降下} する。水は0℃で凝固し始めるが、水溶液は0℃では凝固せず、水溶液の温度を0℃よりも下げると、溶媒の水が凝固し始める。このように、溶液の凝固点が純溶媒の凝固点よりも低くなることを、凝固点降下といい、純溶媒と溶液の凝固点の差  $\Delta t$  [K] を凝固点降下度という。非電解質の **エ** {濃厚 | 希薄} 溶液では、凝固点降下度は **オ** {溶質 | 溶媒 | 溶液} の種類に無関係で、次式のように溶液の質量モル濃度  $m$  [mol/kg] のみに比例する。

$$\Delta t = K_f m$$

ここで、比例定数  $K_f$  [K·kg/mol] はモル凝固点降下とよばれ、その値は **カ** {溶質 | 溶媒 | 溶液} の種類で決まる。

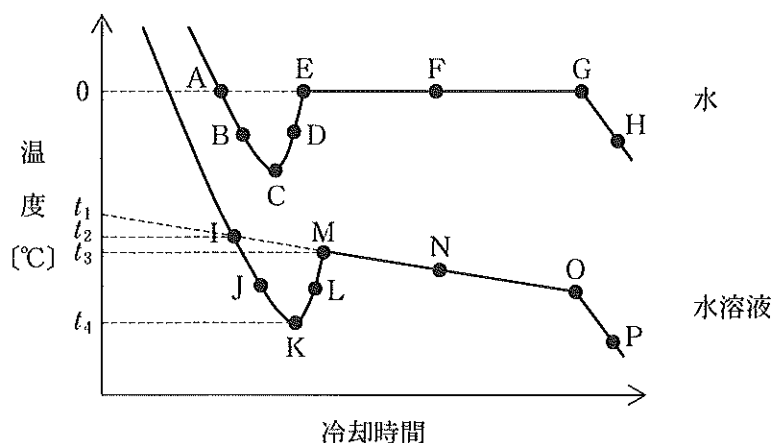


図 水と水溶液の冷却曲線

問 1. **ア** ~ **カ** にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。ただし、**ウ** ~ **カ** には{ }内から適切な語句をそれぞれ選び、答えよ。

問 2. 水と水溶液において、水の結晶(氷)が析出し始めるのは、冷却曲線上のどの点か、それぞれ図中の A 点~ P 点の中から選び、答えよ。

問 3. 水溶液の凝固点は、どの温度であるのか、図中の  $t_1 \sim t_4$  の中から選び、答えよ。

問 4. 水溶液において、冷却曲線上の M 点~ O 点間で温度が徐々に下がり続ける理由を答えよ。

問 5. 以下の(1)と(2)の問いに答えよ。ただし、水の凝固点は $0^{\circ}\text{C}$ 、水のモル凝固点降下は $1.85\text{ K}\cdot\text{kg}/\text{mol}$ とし、非電解質は完全に水に溶解し、電解質は水溶液中で完全に電離するものとする。

(1)  $0.63\text{ g}$ のグルコース  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  を  $100\text{ g}$  の水に溶かした水溶液の凝固点降下度  $[\text{K}]$  を求めよ。また、この水溶液を  $-0.10^{\circ}\text{C}$  まで冷却したときに析出する氷の質量  $[\text{g}]$  を求めよ。

(2) 以下の①～⑤の物質  $1.0\text{ g}$  をそれぞれ  $100\text{ g}$  の水に溶かした水溶液がある。これらを凝固点が高いものから順に番号で答えよ。なお、解答欄には、凝固点が高いものを左側の枠から順に示せ。

- ① 尿素  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
- ② 塩化カルシウム二水和物
- ③ 塩化ナトリウム
- ④ グルコース
- ⑤ 硫酸ナトリウム十水和物

4 次の文章を読み、以下の問1から問5に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

2つの分子間で、水のような簡単な分子が取れて結びつく反応を **ア** という。単量体の間で **ア** の繰り返しにより高分子が生成する反応を、**ア** 重合という。アジピン酸とヘキサメチレンジアミンとの **ア** 重合により、**イ** が得られる。テレフタル酸とエチレングリコールとの **ア** 重合により、ポリエチレンテレフタレートが得られる。ポリエチレンテレフタレートのように、**ウ** 結合でつながった合成繊維を、ポリ**ウ**系合成繊維という。テレフタル酸ジクロリドと *p*-フェニレンジアミンとの **ア** 重合により、ポリアミド系合成繊維(アラミド繊維)であるポリ(*p*-フェニレンテレフタルアミド)<sup>(a)</sup>が得られる。環状構造をもつ単量体はその環を開きながら結びつく重合反応を **エ** 重合という。 $\epsilon$ -カプロラクタムに少量の水を加えて加熱すると、**エ** 重合が起こり、ナイロン6<sup>(b)</sup>が得られる。

二重結合のような不飽和結合をもつ単量体が、**オ** 反応により次々に結びつく反応を、**オ** 重合という。メタクリル酸メチルの **オ** 重合により、ポリメタクリル酸メチル<sup>(c)</sup>が得られる。酢酸ビニルの **オ** 重合によりポリ酢酸ビニル<sup>(c)</sup>が得られる。ポリ酢酸ビニルを **カ** 分解することにより、ポリビニルアルコール<sup>(d)</sup>が得られる。ポリビニルアルコールとホルムアルデヒド水溶液との反応により、水に不溶な繊維であるビニロン<sup>(e)</sup>が得られる。2種類以上の単量体を混合して行う重合を、**キ** 重合という。アクリロニトリルと塩化ビニルとの **キ** 重合により得られる繊維は燃えにくく、防災カーテンなどに用いられる。

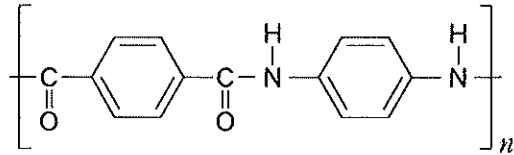
天然ゴム(生ゴム)はイソプレンが **オ** 重合したポリイソプレンの構造をもつ。天然ゴムに数%の **ク**<sup>(f)</sup>を加えて加熱すると、弾性が大きくなる。これは、**ク** 原子が鎖状のゴム分子のところどころで、**ケ** 構造をつくるためである。天然ゴムに約30%の **ク**を加えて長時間加熱すると、**コ**とよばれる黒色の硬い物質が得られる。**コ**は電気絶縁材料や万年筆の軸などに用いることができる。

合成樹脂(プラスチック)は熱に対する性質の違いにより、熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂に分類される。メラミンは **サ**<sup>(g)</sup>基をもつ単量体である。メラミンとホルムアルデヒドとの重合反応によりメラミン樹脂が得られる。メラミン樹脂は熱硬化性の **サ**樹脂の一つである。



問 1. ア ~ サ にあてはまる適切な語句あるいは化合物名をそれぞれ答えよ。

問 2. 下線部(a)ポリ(*p*-フェニレンテレフタルアミド)の構造式を図に示した。平均分子量  $4.76 \times 10^5$  のポリ(*p*-フェニレンテレフタルアミド) 1分子中には、何個のアミド結合が含まれているか答えよ。



図

問 3. 下線部(b), (c), (d), (f)の化合物の構造式を示せ。高分子化合物については、問2の図にならって構造式を示せ。

問 4. 下線部(d)および(e)について、ポリビニルアルコールが水に溶けやすい理由およびピニロンが水に不溶である理由を答えよ。

問 5. 下線部(g)について、熱硬化性樹脂と熱可塑性樹脂との一般的な構造の違いを答えよ。

5 次の文章を読み、以下の問1から問3に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

細胞には、タンパク質、核酸、糖類、脂質などの天然高分子化合物が含まれる。タンパク質は、約20種類の $\alpha$ -アミノ酸がペプチド結合で多数連なったポリペプチドである。ポリペプチドを構成する $\alpha$ -アミノ酸配列は、アミノ酸の側鎖の構造に基づく呈色反応などにより、その順序を決定できる。タンパク質は、らせん状に巻いた **ア** 構造や、ジグザグに折れ曲がった **イ** 構造になる場合がある。 **ア** や **イ** のような部分的な立体構造をタンパク質の **ウ** (一次|二次|三次|四次) 構造という。

核酸にはDNAとRNAがあり、いずれも、ヌクレオチド(リン酸-五炭糖-塩基で構成される単量体)を繰り返し単位とする高分子化合物(ポリヌクレオチド)である(図1)。DNAの糖部分はデオキシリボース( **エ** ), RNAの糖部分はリボース( $C_5H_{10}O_5$ )である。DNAの塩基部分には、グアニン(略語G)、 **オ** (C)、 **カ** (A)、チミン(T)の4種類がある(図2)。DNAは、2本のポリヌクレオチド鎖内の五炭糖に結合した塩基どうしが向かい合い、水素結合を介した塩基対(GとCおよびAとT)を形成し(図3)、安定な **キ** 構造をとっている。

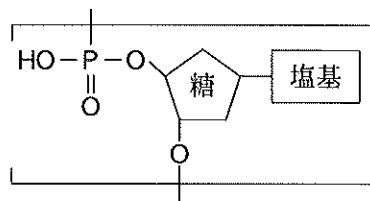


図1 ヌクレオチド構成単位

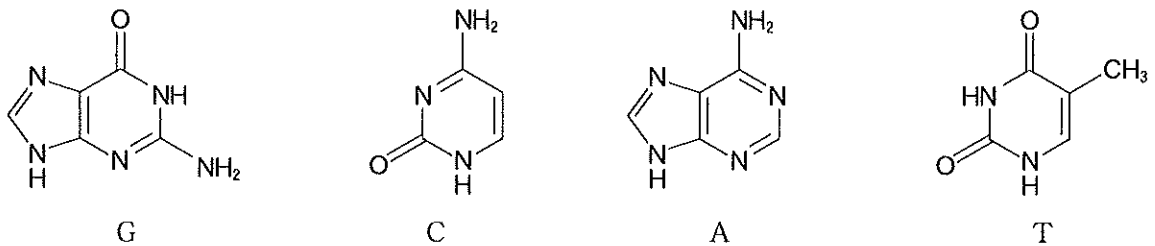


図2 各塩基の構造式

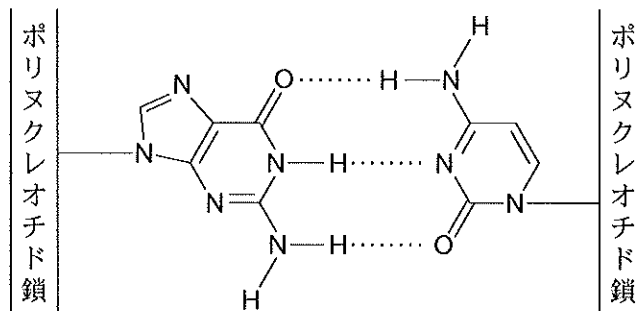


図3 GとCの塩基対における相補性

問 1. ア ~ キ にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。ただし、ウ には{ }内から適切な語句を選び答えよ。エ には下線部(b)の分子式を答えよ。

問 2. 下線部(a)について、次の文章を読み、(1)~(3)の問いに答えよ。

異なる4つの $\alpha$ -アミノ酸で構成されるペプチドX(図4)のアミノ酸配列を決定するために、以下に示す操作I~IIIを行った。

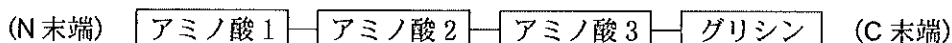


図4 ペプチドXの構造

[操作I] ペプチドXをキモトリプシン(「芳香族アミノ酸」のカルボキシ基側のペプチド結合を加水分解する酵素)で処理し、分離・精製すると、2種類の断片(N末端側からA1, A2と命名)が得られた。

[操作II] 得られた断片(A1, A2)を含む水溶液について、それぞれ次の定性分析を行った。

① 濃硝酸を加えて加熱し、冷却後にアンモニア水を加えると、A1のみ橙黄色<sup>(d)</sup>を示した。

② 濃い水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱後、酢酸鉛(II)水溶液を加えると、A2のみ黒色沈殿物が生じた。<sup>(e)</sup>

[操作III] ペプチドXをトリプシン(「側鎖にアミノ基をもつアミノ酸」のカルボキシ基側のペプチド結合を加水分解する酵素)で処理し、分離・精製すると、2種類の断片(N末端側からB1, B2と命名)が得られた。これらの断片(B1, B2)を含む水溶液について、[操作II]と同一の定性分析を行った。その結果、下線部(d)を行うと、B1のみ橙黄色を示した。また、下線部(e)を行うと、B1のみ黒色沈殿物が生じた。

(1) 下線部(d)による呈色反応の反応名を答えよ。

(2) 下線部(e)により生じた黒色沈殿物を化学式で答えよ。

(3) ペプチドX中のアミノ酸1, アミノ酸2, アミノ酸3にあてはまる適切なアミノ酸を、以下の選択肢からそれぞれ一つ選び答えよ。ただし、それぞれの選択肢は一回のみしか使用できないものとする。

選択肢 { アラニン フェニルアラニン メチオニン グルタミン酸 リシン }

問 3. DNA について, (1)~(3)の問いに答えよ。計算結果は有効数字 3 桁で答えよ。

- (1) 下線部(c)について, A と T の塩基対における相補性を, 図 3 を参考に構造式にて示せ。  
なお, 水素結合は点線(·····)で示せ。
- (2) ある細胞がもつ二本鎖 DNA では, 全塩基数に対する T の数の比率が 20.0 % であった。この DNA の全塩基数に対する G の数の比率は何%か求めよ。
- (3) (2)の DNA のヌクレオチド単位の式量(図 1)の平均値を求めよ。なお, この DNA 中には 4 種類の塩基のみ存在し, 各塩基を含むヌクレオチド単位の式量は, A, T, G, C の順に, 313, 304, 329, 289 とする。