

化 学

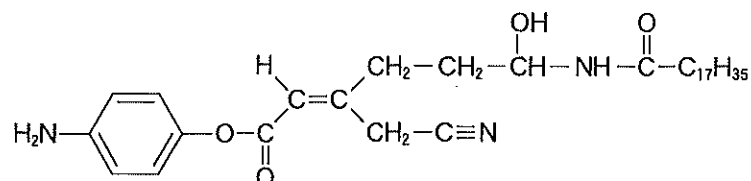
医学部・教育学部・工学部・応用生物科学部

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 10 ページで、医学部は解答用紙 4 枚、その他の学部は解答用紙 5 枚である。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあつた場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は医学部 4 枚、その他の学部 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。教育学部・工学部・応用生物科学部の受験生は、5 題すべてに解答すること。
5. 医学部の受験生は、問題 1 , 2 , 3 , 4 に解答すること。
6. 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。
7. 解答用紙は持ち帰らないこと。問題冊子は持ち帰ること。
8. 大問ごとに満点に対する配点の比率を表示してある。
9. 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 桁で示せ。
原子量：H = 1.0, Li = 6.9, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, Al = 27.0,
S = 32.0, Cl = 35.5, K = 39.0, Ca = 40.0, Fe = 56.0, Co = 58.9, Pb = 207.0
アボガドロ定数： $N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$
ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$
 $\log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 3 = 0.48$
10. 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。
11. 構造式は、特に指定がない限り、次の例にならい簡略に記すこと。

(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 医：25%，教育・工・応生：20%)

アルミニウムは、13族に属する元素で、地殻を構成している元素の割合では、酸素、
[ア] に次いで多い。アルミニウム原子は、[イ] 価の陽イオンになりやすい。アル
カリ金属に比べると、イオン化傾向は、やや小さい。単体のアルミニウムは、鉱石の [ウ]
から純粋な酸化物である [エ] をつくり、これを氷晶石とともに [オ] して製造される。

(a)
単体のアルミニウムを空气中に放置すると、表面に酸化物の被膜を生じる。このような被膜を
(b)
人工的につくり、内部を保護するようにしたアルミニウムの製品を [カ] という。

単体のアルミニウムは、塩酸にも水酸化ナトリウム水溶液にも溶けることから、[キ]
金属(または、[キ] 元素)とよばれる。同様に、アルミニウムの酸化物も塩酸にも水酸化
(c)
ナトリウム水溶液にも溶ける。また、単体のアルミニウムを濃硝酸に入れると、表面に緻密な酸
化物の被膜ができて反応が進まなくなる。このような状態を [ク] という。また、アルミ
ニウムイオンを含む水溶液に、水酸化ナトリウム水溶液を加えると、
(d)
白色沈殿が生じるが、さらに水酸化ナトリウム水溶液を加えると沈殿は溶ける。

硫酸カリウムアルミニウム十二水和物は、[ケ] とよばれ、水に溶かすと、硫酸アルミ
ニウムと硫酸カリウムの混合水溶液と同じ種類のイオンに電離する。このような塩を
[コ] という。

問 1. [ア] ～ [コ] にあてはまる適切な語句、または数値を答えよ。

問 2. 下線部(a)について、以下の問いに答えよ。

(1) アルミニウムを製造する際、氷晶石を加える理由を答えよ。

(2) [オ] により 4.5 kg のアルミニウムを得るのに必要な電気量[C]を求めよ。

問 3. 下線部(b)について、アルミニウムの金属結晶の単位格子は、面心立方格子である。以下の
問いに答えよ。

(1) 金属結晶の単位格子中のアルミニウム原子は、何個か求めよ。

(2) 金属結晶の密度が $d[\text{g}/\text{cm}^3]$ のとき、アボガドロ定数を $N_A[\text{/mol}]$ とし、単位格子の一
辺の長さ[cm]を、 d と N_A を用いて示せ。

問 4. 下線部(c)について、アルミニウムの酸化物と塩酸の反応と、アルミニウムの酸化物と水酸化ナトリウム水溶液の反応を、化学反応式でそれぞれ示せ。

問 5. 下線部(d)について、以下の問いに答えよ。

(1) この白色沈殿の化学式を示せ。

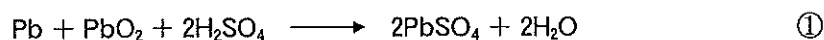
(2) (1)の白色沈殿は、塩酸に「溶ける」か、「溶けない」か答えよ。

2 次の文章を読み、以下の問1から問7に答えよ。

(配点比率 医：25%，教育・工・応生：20%)

現在、多くの種類の電池が実用化されている。ア 乾電池は、放電し続けると起電力を回復することができない。一方、鉛蓄電池やリチウムイオン電池は、外部から放電時とは逆向きの電流を流すと起電力を回復させることができる。この操作を充電という。充電できる電池をイ 電池もしくは蓄電池といい、充電できない電池を ウ 電池という。

鉛蓄電池は、自動車のバッテリーなどに使われている。負極活物質に鉛、正極活物質に酸化鉛(IV)、電解液に希硫酸を用いたもので、放電時の全体の化学反応式は①式ようになる。



リチウムイオン電池は、スマートフォンなどに使われている。負極活物質にリチウムを含む黒鉛 LiC_6 、正極活物質にコバルト(III)酸リチウム $\text{Li}_{(1-x)}\text{CoO}_2$ (x は、 LiCoO_2 から抜けた Li^+ の量を比率で表したものであり、0～1の範囲の値をとりうる)、電解液にはリチウム塩を含んだ有機溶媒を用いている。負極は、炭素原子が正六角形を基本単位とする平面構造をした黒鉛が層状に積み重なっている。炭素原子6個あたり最大1個の Li^+ が入り、 Li^+ は黒鉛の層と層の間を出入りできる。正極も CoO_2 が層状になっており、その間に Li^+ が出入りできる。放電時には、負極から正極に向けて Li^+ が図のように移動する。

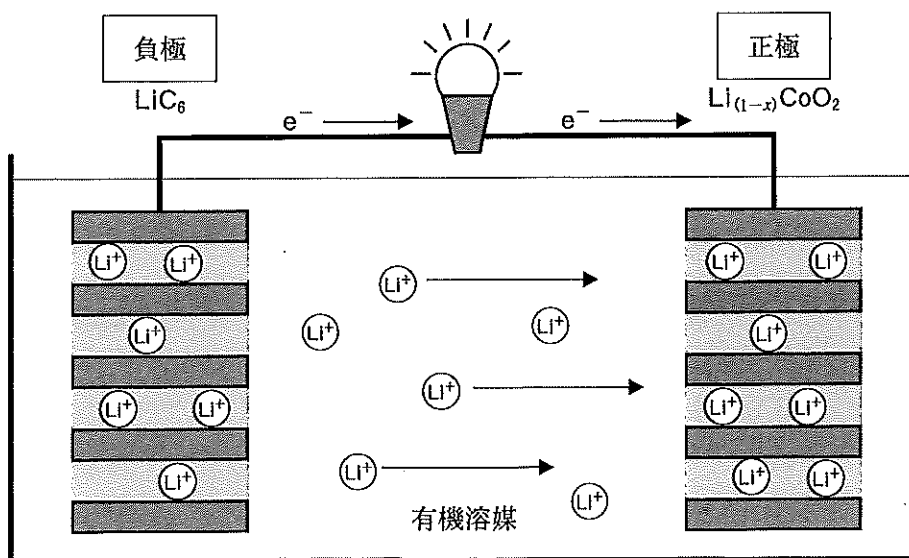
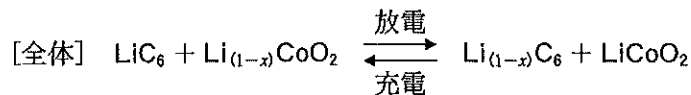
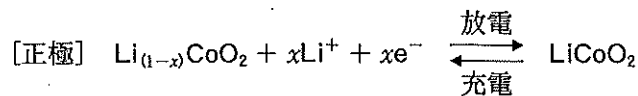
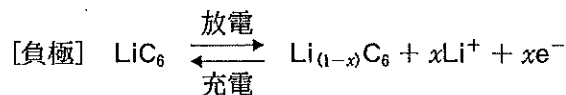


図 リチウムイオン電池のしくみ(放電時)

リチウムイオン電池の放電時および充電時の負極、正極での e^- を含む反応式、および全体の反応での化学反応式は次のとおりである。



問 1. ア ～ ウ にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。

問 2. 鉛蓄電池を放電したとき、①式を参考にして、負極と正極で起こるそれぞれの反応を電子 e^- を含む反応式でそれぞれ示せ。

問 3. 鉛蓄電池を放電したとき、正極で起きているのは、「酸化」、「還元」、どちらの反応かを答えよ。

問 4. 鉛蓄電池を 5.0 A の電流で 1 時間 4 分 20 秒間放電させた。負極、正極、電解液それぞれの質量の変化量 [g] を求めよ。増加したときは + で、減少したときは - で、それぞれ求めた値の前に示せ。

問 5. 鉛蓄電池は放電を続けると起電力が低下する。この理由として考えられる電極および電解液で起こる変化をそれぞれ 10 文字程度で答えよ。

問 6. リチウムイオン電池における負極活物質の重量が 52.6 g で、200 mA の一定電流で 9.65 時間の放電を行った。このとき、負極に含まれる Li^+ の何%が移動したかを求めよ。

問 7. 電池容量のことを放電容量といい、mAh という単位で表される。1 mAh は 1 mA の大きさの電流を 1 時間取り出すことができるという意味であり、次の式で表される。

$$\text{放電容量 [mAh]} = \text{電流 [mA]} \times \text{時間 [h]}$$

(1) 放電容量 5000 mAh のリチウムイオン電池を搭載したスマートフォンを 80 % まで充電した。次に、このスマートフォンを 3.00 時間使用した。このとき、電池残量は何%になっているか求めよ。ただし、このスマートフォンを使用しているときの電流の平均値は 200 mA とする。

(2) 同じスマートフォンを 3.00 時間使用したとき、そのリチウムイオン電池の正極の質量の増加量 [g] を求めよ。

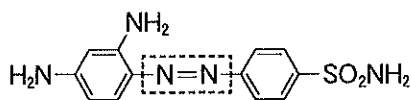
3 次の文章を読み、以下の問1から問6に答えよ。

(配点比率 医：25%，教育・工・応生：20%)

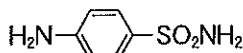
殺菌消毒剤および抗菌薬は、細菌感染症の抑止力としてはたらくことから広く用いられている。殺菌消毒剤として用いられているフェノールは、従来は、ベンゼンスルホン酸やクロロベンゼンを経て合成されていたが、現在は、ベンゼンから ^(a) ア 法により合成されている。硫酸などの触媒を用いてベンゼンと イ を反応させて ア を得る。次に ア を酸素で酸化した後、硫酸で分解してフェノールを得る。このとき、同時に ウ が生成される。

化学的に合成される抗菌薬の代表的なものにはスルホンアミド系抗菌薬(サルファ剤)がある。サルファ剤は、赤色色素成分の プロントジルの抗菌活性から見出された。のちに、その分解物であるスルファニルアミドが ^(b) 実際 ^(c) に抗菌活性を示すことがわかった。スルファニルアミドはベンゼンを出発原料にして合成される。

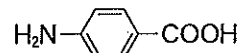
スルファニルアミドは、生命維持のために必要である葉酸の合成で利用される *p*-アミノ安息香酸と構造がよく似ている。このため、細菌が *p*-アミノ安息香酸と間違えてスルファニルアミドを取り込み、葉酸の合成が阻害され、その結果として細菌の増殖が抑制される。*p*-アミノ安息香酸は分子内にアミノ基とカルボキシ基をもつ化合物であり、水溶液(熱湯)中では、陽イオン、双性イオン、陰イオンが電離平衡の状態が存在しうる。^(d)



プロントジル



スルファニルアミド



p-アミノ安息香酸

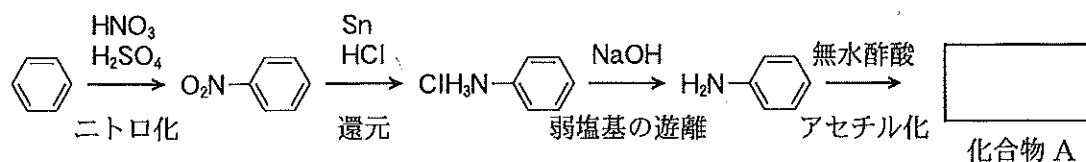
問 1. ア ～ ウ にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。

問 2. 下線部(a)について、フェノールは塩化鉄(Ⅲ)の薄い水溶液を加えることにより青紫～紫の呈色反応を示す。以下の①～⑤のうち、同様な反応を示す化合物を三つ選び、番号および構造式で示せ。

- ① *o*-クレゾール
- ② サリチル酸
- ③ アセチルサリチル酸
- ④ サリチル酸メチル
- ⑤ ベンジルアルコール

問 3. 下線部(b)について、プロントジルの で囲った構造をもつ化合物の名称を答えよ。

問 4. 下線部(c)について、ベンゼンからスルファニルアミドを合成するためには、化合物 A を経由する必要がある。化合物 A は下図のように合成される。



(1) ニトロベンゼンをスズと塩酸で還元するとアニリン塩酸塩が得られる。この反応を SnCl_4 の生成を含む化学反応式で示せ。

(2) 化合物 A は、アニリンを無水酢酸でアセチル化すると得られる。化合物 A の名称および構造式を答えよ。

問 5. 下線部(d)について、*p*-アミノ安息香酸の陽イオン、双性イオン、陰イオンの構造式をそれぞれ示せ。

問 6. *p*-アミノ安息香酸とメタノールに濃硫酸を加えて加熱すると生成する化合物の構造式を示せ。

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 医：25%，教育・工・応生：20%)

高分子化合物1分子を構成する繰り返し単位の数をも重合度という。合成高分子化合物では、一般に重合度にばらつきがあるため、分子量は平均分子量で表される。平均分子量は、高分子化合物の溶液の **ア** や粘度の測定により求めることができる。**ア** によって分子量を求める場合には、ファントホッフの法則を利用する。高分子化合物の固体を熱すると、**イ** 点を境に徐々にやわらかくなる。固体状態では、分子鎖が規則的に配列した **ウ** 部分と、分子鎖が不規則に配列した無定形領域が入り混じった状態をとることが多い。また、ゴムのように **ウ** 部分をもたない高分子化合物もある。

テレフタル酸とエチレングリコールの縮合重合により、ポリエチレンテレフタレートが得られ^(a)る。ポリエチレンテレフタレートは、吸湿性がほとんどない。一方、ポリアクリル酸ナトリウム^(b)を架橋することで、多量の水を吸収できる吸水性高分子(高吸水性樹脂)となる。このような特別な機能をもつ高分子化合物を機能性高分子という。スチレンと少量の *p*-ジビニルベンゼン^(c)との **エ** 重合により、立体網目構造の合成樹脂^(d)ができる。この合成樹脂のベンゼン環にスルホ基などの酸性官能基を導入したものは陽イオン交換樹脂、一方、 $-N^+(CH_3)_3OH^-$ などの塩基性官能基を導入したものは陰イオン交換樹脂として利用されている。光(おもに紫外線)により物理的・化学的性質が変わる樹脂^(e)を **オ** 性樹脂という。合成樹脂は、一般に安定であり、自然界では分解されにくい。生体内や自然環境中で微生物により、安全な物質に分解される高分子化合物を **カ** 性高分子という。**カ** 性高分子であるポリ乳酸^(f)は、低分子量のポリ乳酸から乳酸2分子が **キ** 縮合したラクチド(環状ジエステル)^(g)を経て合成される。また、合成樹脂は、一般に電気を導きにくい^(h)が、アセチレンの **ク** 重合により得られるポリアセチレンにヨウ素を添加すると電気伝導性を示すようになる。

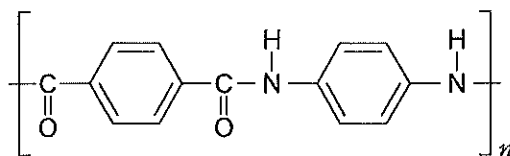
問 1. **ア** ～ **ク** にあてはまる適切な語句あるいは化合物名を答えよ。

問 2. 下線部(a)に関する以下の(1)と(2)の問いに答えよ。なお、計算において高分子鎖の両末端の構造は無視すること。

(1) テレフタル酸 200 g とエチレングリコール 200 g がある。これらを原料として重合反応を行ったところ、重合反応が完全に進行し、高分子化合物が得られた。この高分子化合物の質量[g]を求めよ。

(2) (1)で平均の重合度が 2000 の高分子化合物が得られた。このとき生成した水の質量[g]を求めよ。

問 3. 下線部(b), (c), (d), (f), (g), (h)の化合物の構造式を示せ。高分子化合物については、図にならって構造式を示せ。なお、立体異性体が存在する場合、立体異性体を区別する必要はない。



図

問 4. 下線部(e)について、十分な量の陰イオン交換樹脂をつめた円筒(カラム)に塩化カルシウム水溶液を流し、完全にイオン交換した。このとき流出した水溶液の液量は 100 mL であった。この水溶液を 0.10 mol/L の塩酸で滴定したところ、中和するのに 20 mL を要した。カラムから流出した水溶液の滴定前の pH を求めよ。ただし、水のイオン積を $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ とし、解答は小数点以下 1 桁まで示せ。

問 5. 下線部(f)について、十分に酸素が存在している条件下でポリ乳酸 3.6 g が微生物によって完全に分解された場合、発生する二酸化炭素の物質量 (mol) を求めよ。

5 次の文章を読み、以下の問1から問5に答えよ。

(配点比率 教育・工・応生：20%)

一定物質量の気体は、温度が一定のとき体積 V は圧力 P に ア {比例 | 反比例} する。また、圧力が一定のとき体積 V は絶対温度 T に イ {比例 | 反比例} する。前者をボイルの法則、後者をシャルルの法則という。両者を一つにまとめたボイル・シャルルの法則から、気体定数 R を定義することができる。また、アボガドロの法則より、温度、圧力が一定の時、同一体積には気体の種類によらず同じ数の分子が含まれる。さらに、気体は物質量と体積が ウ {比例 | 反比例} することを考慮すると、気体の状態方程式を導き出すことができる。

体積不変で密閉可能な、一辺が 20 cm の立方体の箱を使用して以下に示す実験Ⅰ～Ⅳを行った。

[実験Ⅰ] 箱の中を気体の化合物 A で満たした。このときの箱の中の圧力は 1.0×10^5 Pa、温度は 100°C であった。この箱の中に化合物 A とは化学反応しない気体の化合物 B を入れながら箱の中を冷却したところ、化合物 A のみが液体となり、箱の中の気体は化合物 B のみとなった。箱の中の液体を取り出して質量を測定したところ 15.0 g であった。

[実験Ⅱ] 箱の中を物質量比で窒素：酸素 = 4：1 の混合気体で満たした。このときの箱の中の全圧は 1.0×10^5 Pa、温度は 27°C であった。その後、密閉状態のまま箱の中の気体に紫外線照射すると、窒素は変化せず、箱の中の全酸素量のうち 4.5 % がオゾンに変化した。

[実験Ⅲ] 20°C の箱の中に水を底から 10 cm の高さまで入れた後、窒素と酸素の混合気体を、気体の全圧が 2.0×10^5 Pa、物質量比が窒素：酸素 = 4：1 となるよう箱の中に入れた。

[実験Ⅳ] 20°C の箱の中に水を底から 10 cm の高さまで入れた後、窒素と塩化水素の混合気体を、気体の全圧が 2.0×10^5 Pa、物質量比が窒素：塩化水素 = 99：1 となるよう箱の中に入れた。

問 1. ア ~ ウ にあてはまる適切な語句を{ }内から選び、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) 気体定数 R を、絶対温度 T_1 における気体 1.00 mol の圧力 P_1 、体積 V_1 を用いて示せ。

(2) 物質 1.00 mol の気体は、絶対温度 273 K、圧力 1.01×10^5 Pa のとき体積が 22.4 L であるとする。これらの値を使って、気体定数 R の値を有効数字 3 桁で単位も含めて求めよ。

問 3. [実験 I] より、化合物 A の分子量を整数で求めよ。また、化合物 A として最も適切であると考えられるのは以下の①~④のうちのいずれか、番号で答えよ。ただし、気体定数 R を用いる必要がある場合は、問 2 で求めた値を使用すること。

- ① アセトン ② ヘキサン ③ 酢酸エチル ④ ベンゼン

問 4. [実験 II] を行った後の箱の中の窒素、酸素、オゾンの物質質量比を、酸素を 1 として求めよ。

問 5. [実験 III] と [実験 IV] に関する次の文を読み、以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

一定量の溶媒に溶解する気体の最大量を、溶媒に対する気体の溶解度という。一般に、高温になるほど液体に溶解する気体の溶解度は小さくなるが、これは、高温になると気体分子の エ が大きくなるためである。また、溶解度の オ {大きい | 小さい} 気体は、温度が一定のとき、一定量の液体に溶解する気体の物質質量は、液体に接している気体の圧力に比例する。これを カ の法則という。

(1) エ ~ カ にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。ただし、オ には{ }内から適切な語句を選び、答えよ。

(2) [実験 III] で、水に溶けている酸素の物質質量[mol]と、[実験 IV] で、水に溶けている塩化水素の物質質量[mol]をそれぞれ求めよ。ただし、カ の法則にしたがって水に溶解する物質の物質質量[mol]を求めることができない場合は、解答欄に「×」と記すこと。

なお、 1.0×10^5 Pa、20℃での水に対する窒素、酸素、塩化水素の溶解度はそれぞれ 7.0×10^{-4} mol/L、 1.4×10^{-3} mol/L、19.7 mol/L である。