

化 学

医学部・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・白紙 3 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。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。問題冊子および白紙は持ち帰ること。
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、特に指定のない限り有効数字 2 桁で示せ。

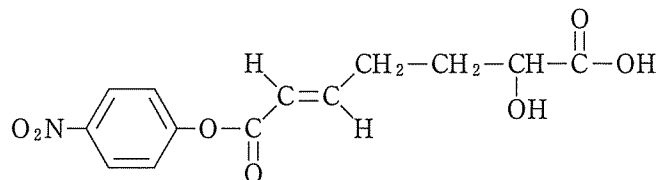
原子量 : H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, S = 32.0, Cl = 35.5,

K = 39.1, Ag = 108, Ba = 137

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

10. 構造式は次の例にならいう簡略に示せ。

(例)



1 次の文章を読み、以下の問1から問3に答えよ。 (配点比率 医：25%，工・応生：20%)

ある化学反応「 $A + B \rightleftharpoons AB$ 」が起こるとき、左辺から右辺に進む反応「 $A + B \rightarrow AB$ 」を正反応といい、右辺から左辺に進む反応「 $A + B \leftarrow AB$ 」を逆反応という。右辺と左辺のどちらにも進む反応を **ア** 反応という。一方、一方向にしか進まない反応を **イ** 反応という。
ア 反応において、正反応と逆反応の **ウ** が等しくなり、見かけ上反応が止まったように見える状態を平衡状態という。化学反応が平衡状態にあるとき、反応条件(濃度、圧力、温度)を変化させると、変化の影響をやわらげる方向に反応が進み、新たな平衡状態になる。これを **エ** の原理という。

問 1. **ア** ~ **エ** にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2. 次の文章を読み、以下の(1)~(3)に答えよ。

下線部(a)を満たす、気体 A と気体 B から気体 C を生じる次の反応があり、ある温度と圧力下で平衡状態に達したとする。

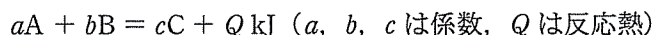


図1と図2は、それぞれ、圧力が一定の条件で温度を変化させたときの気体 C の体積百分率の変化、温度と圧力が一定の条件で時間を変化させたときの気体 C の体積百分率の変化を表した図である。

- (1) 図1から導かれる反応熱 Q について正しいものを①~③から選び、記号で答えよ。
 ① $Q < 0$ ② $Q = 0$ ③ $Q > 0$
- (2) 図1から導かれる係数 a, b, c の関係を①~③から選び、記号で答えよ。
 ① $a + b < c$ ② $a + b = c$ ③ $a + b > c$
- (3) 図2において、次の①と②の条件で反応を起こした。気体 C の体積百分率は、どのように変化するか。図2の(i)~(v)から選択し、それぞれ答えよ。
 ① 500℃よりも低い温度で反応させた場合
 ② 500℃で触媒を用いて反応させた場合

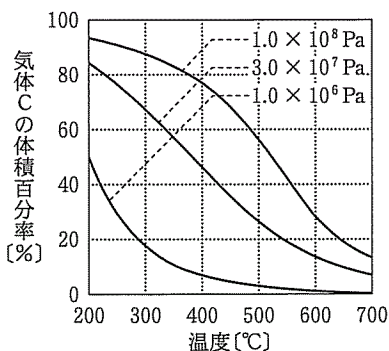


図 1

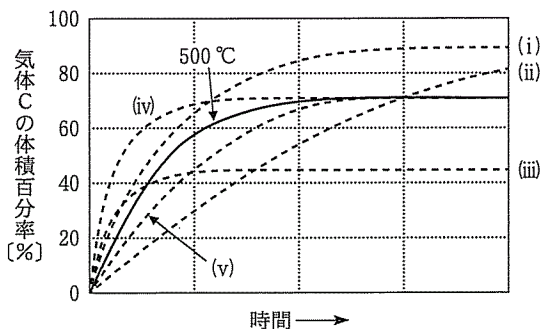
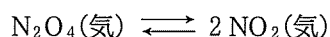


図 2

問3. 次の文章を読み、以下の(1)~(5)に答えよ。

ピストンの付いた密閉容器内に液体の四酸化二窒素(N_2O_4)を n [mol] 入れ、容器内をある温度にしたところ、四酸化二窒素がすべて気体となった。さらに時間が経過すると四酸化二窒素の分解が進み、二酸化窒素(NO_2)が生成した。最終的に、四酸化二窒素と二酸化窒素の気体は、以下の平衡状態になった。



平衡状態に達したときに、四酸化二窒素が分解した割合を α (ただし、 $0 \leq \alpha \leq 1$) とする。ここで、気体はすべて理想気体とし、容器内には四酸化二窒素と二酸化窒素の気体しかないものとする。また、平衡状態のときの気体の全圧は P [Pa] とする。

- (1) 平衡状態での四酸化二窒素と二酸化窒素の物質質量 [mol] を、それぞれ n と α を用いて数式で表せ。
- (2) 平衡状態での気体の総物質質量 [mol] を、 n と α を用いて数式で表せ。
- (3) 平衡状態に達したときの四酸化二窒素と二酸化窒素の気体の分圧を、それぞれ $p_{\text{N}_2\text{O}_4}$ と p_{NO_2} とする。それぞれの分圧 [Pa] を、 α と P を用いて数式で表せ。
- (4) 平衡状態における気体間の反応では、各成分気体の分圧を用いて平衡定数を表すことができる。この平衡定数を圧平衡定数 K_p という。 K_p [Pa] を、 α と P を用いて数式で表せ。また、 25°C における K_p の値は、 2.0×10^4 Pa とする。この温度で四酸化二窒素が分解した割合 α が 0.50 のとき、全体の圧力 [Pa] を求めよ。
- (5) 混合気体を構成する各成分気体の圧力と濃度には、気体の状態方程式が成り立つ。平衡状態に達したときの濃度 [mol/L] から求められる濃度平衡定数を K_c とする。 K_c を、 K_p 、気体定数 R 、絶対温度 T を用いて数式で表せ。

2

次の文章を読み、以下の問1から問9に答えよ。(配点比率 医：25%，工・応生：20%)

質量パーセントで5.0%の不純物(塩化ナトリウムと塩化バリウムの混合物)を含む硝酸カリウムの白色粉末がある。この白色粉末に対して以下の実験を行った。

[実験Ⅰ] ある量の白色粉末をビーカーに移し、100 gの水を入れてかき混ぜながら40℃で熱したところ、白色粉末はすべて溶解、無色透明の水溶液Aとなった。

[実験Ⅱ] 水溶液Aをゆっくりと0℃まで冷却し、しばらく放置したところ結晶Bが析出したため、ろ過により結晶Bとろ液Cに分けた。このとき、ろ液Cの体積は106 mLであった。

[実験Ⅲ] ろ液Cを25℃に温め、4.88 mol/L硝酸銀水溶液を滴下したところ沈殿Dが生じた。そこで、新たな沈殿生成が見られなくなるまで硝酸銀水溶液を加えたところ、計5.18 mLを要した。この沈殿Dをろ過によりろ液Eと分けた。沈殿Dの質量は3.3 g、ろ液Eの体積は110 mLであった。

[実験Ⅳ] ろ液Eを25℃に保ち、0.620 mol/L硫酸カリウム水溶液を滴下したところ沈殿Fが生じた。そこで、新たな沈殿生成が見られなくなるまで硫酸カリウム水溶液を加えたところ、計13.0 mLを要した。この沈殿Fをろ過によりろ液Gと分けた。沈殿Fの質量は1.7 g、ろ液Gの体積は123 mLであった。

なお、ろ過操作にともなう各物質や水の損失はないものとする。また、実験にかかわる物質の性質については、以下の表1および表2を参考にしなさい。

表1 固体の溶解度 [g/100 g 水]

名称	0℃	10℃	20℃	25℃	30℃	40℃
硝酸カリウム	13.3	22.0	31.6	37.9	45.6	63.9
塩化ナトリウム	35.7	35.7	35.8	35.9	36.1	36.3
塩化バリウム	31.2	33.3	35.7	37.2	38.3	40.6

表2 溶解度積(25℃)

名称	溶解度積 K_{sp} [(mol/L) ²]
塩化銀	1.8×10^{-10}
硫酸バリウム	1.0×10^{-10}

- 問 1. [実験 I]の結果から導きだされる, 白色粉末に含まれる可能性のある硝酸カリウムの最大量[g], およびこのとき含まれる不純物量[g]をそれぞれ小数点以下1桁まで求めよ。
- 問 2. [実験 II]で析出する物質の名称を答えよ。
- 問 3. ろ液 Cに含まれるすべてのイオンを, 陽イオンと陰イオンに分けてそれぞれイオン式で答えよ。なお, 水素イオンと水酸化物イオンは考慮しなくてよい。
- 問 4. ろ液 Eに含まれる塩化物イオンのモル濃度[mol/L]を求めよ。
- 問 5. 水溶液 A中の塩化物イオンの含有量[g]を求めよ。
- 問 6. ろ液 Gに含まれるすべてのイオンを, 陽イオンと陰イオンに分けてそれぞれイオン式で答えよ。なお, 水素イオンと水酸化物イオンは考慮しなくてよい。
- 問 7. ろ液 G中のバリウムイオンの含有量[g]を求めよ。
- 問 8. [実験 I]で溶かした白色粉末に含まれている塩化ナトリウムの質量[g]を求めよ。
- 問 9. [実験 II]で析出した結晶 Bの質量[g]を求めよ。

3 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%，工・応生：20%)

ベンゼン環をもつ有機化合物は特有の香りをもつものが多いことから、芳香族化合物と呼ばれる。芳香族化合物は、ベンゼン環の構造が安定しているため、**ア** 反応を起こしにくい。しかし、特別な反応条件の下では **ア** 反応を起こす。例えば、ベンゼンに、白金やニッケルを触媒として、高温・高圧で水素を **ア** させると、飽和炭化水素である **イ** を生じる。一方で、芳香族化合物の置換反応は起こりやすく、**ウ** 化、ハロゲン化、ニトロ化などが知られている。**ウ** 化では、ベンゼンに濃硫酸を加えて加熱すると、強酸性化合物である **エ** が得られる。^(a)ハロゲン化の例では、ベンゼンに鉄を触媒として塩素を作用させると、ベンゼンの一置換体 **オ** と化合物 **カ** が得られる。なお、**カ** は水に溶けると強酸性を示す。また、ニトロ化では、ベンゼンに濃硝酸と濃硫酸の混合物(混酸)を作用させると、ニトロベンゼンが生じる。

ニトロベンゼンは、以下に示す[操作Ⅰ]～[操作Ⅶ]を行うことで、様々な化合物に誘導することができる。

[操作Ⅰ] … 試験管にニトロベンゼンを取り、粒状のスズと濃塩酸を加えて、約60℃の温湯につけて加熱した。

[操作Ⅱ] … ニトロベンゼンの油滴が消えた後、試験管内の液体部分をフラスコに移した。

[操作Ⅲ] … このフラスコに、水酸化ナトリウム水溶液を少しずつ加え、振り混ぜた。この際、一度生じた白色沈殿が溶けた後、乳濁液となった。

[操作Ⅳ] … 得られた乳濁液に、ジエチルエーテルを加えてよく振り混ぜた後、静置した。

[操作Ⅴ] … 2層に分かれた上部のエーテル層をスポイトで蒸発皿に移し、ジエチルエーテルを自然蒸発させたところ、化合物Aが得られた。

[操作Ⅵ] … 化合物Aに希硫酸を加え、二クロム酸カリウム水溶液を少量加えた後、穏やかに加熱すると沈殿Bが生じた。

[操作Ⅶ] … 化合物Aを希塩酸に溶かした後、5℃に冷却しながら亜硝酸ナトリウム水溶液を加えた。その後、この反応液を25℃で数時間静置したところ、フェノールが生成した。

問 1. ~ にあてはまる適切な語句を答えよ。また, , は, あてはまる化合物を構造式で, は化学式で答えよ。

問 2. 下線部(a)の反応で, ベンゼン 4.0 mL を用いた場合, 理論上生じる化合物 の質量 [g] を答えよ。ただし, ベンゼンの密度は 0.88 g/mL とし, 反応は完全に進行するものとする。

問 3. [操作 I] で起こる反応の化学反応式を示性式を用いて答えよ。

問 4. [操作 III] で, 水酸化ナトリウム水溶液を加えた理由を 15 字以内で答えよ。

問 5. 化合物 A の性質のうち, 正しいものを以下の①~⑤からすべて選び, 記号で答えよ。

- ① 水にわずかに溶け, 弱酸性を示す。
- ② さらし粉水溶液を加えると, 黄色を呈する。
- ③ 濃硝酸と濃硫酸を作用させると, ピクリン酸を生じる。
- ④ 特有の臭気をもつ無色の液体で, 空気中で酸化されやすい。
- ⑤ 無水酢酸を作用させると, アミドを生じる。

問 6. 沈殿 B の名称を答えよ。

問 7. [操作 VII] で得られたフェノールを精製し完全燃焼させたところ, 二酸化炭素 52.8 mg, 水 10.8 mg が得られた。完全燃焼させたフェノールの質量 [mg] を答えよ。ただし, 解答は有効数字 3 桁で示せ。

4 次の文章を読み、以下の問 1 から問 4 に答えよ。 (配点比率 医：25%，工・応生：20%)

高分子化合物にはデンプンやタンパク質などの天然に存在する天然高分子化合物と、石油などを原料として人工的に合成された合成高分子化合物がある。合成高分子化合物は形態や機能によって、合成樹脂、合成繊維、合成ゴムなどに分類される。

合成樹脂には、加熱すると軟化し、冷やすと再び硬くなる **ア** 樹脂と、加熱によって硬化し、再び軟らかくならない **イ** 樹脂がある。**ア** 樹脂には、塩化ビニルの重合体^(a)であるポリ塩化ビニルや、プロピレンの重合体であるポリプロピレンなどがある。一方、**イ** 樹脂には、^(b)フェノールと **ウ** の付加縮合反応により得られるフェノール樹脂、尿素と **ウ** の付加縮合反応により得られる尿素樹脂などがある。

^(c)合成繊維は、単量体の結合様式によって分類され、ポリ **エ** 系合成繊維、ポリエステル系合成繊維やポリビニル系合成繊維などがある。代表的なポリ **エ** 系合成繊維である **オ** は、 ϵ -カプロラクタムの開環重合により得られる。ポリエステル系合成繊維であるポリエチレンテレフタレートは、エチレングリコールとテレフタル酸の縮合重合により得られる。また、ポリビニル系合成繊維である **カ** は、酢酸ビニルの付加重合、^(d)続く加水分解により得られる **キ** に **ウ** の水溶液を作用させることで得られる。

アクリロニトリルと1,3-ブタジエンとの **ク** 重合により得られる合成ゴムである **ク** ^(f)リロニトリル-ブタジエンゴムは、耐油性に優れている。

高分子化合物は、官能基を付け加えることにより、特別な機能をもたせることができる。例えば、スチレンと少量の *p*-ジビニルベンゼンの **ク** 重合体を母体として、そのベンゼン環^(g)の水素原子を酸性や塩基性の官能基で置換したものは、イオン交換樹脂として利用されている。

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)~(f)の化合物について、これらの構造式をそれぞれ示せ。

問 3. 下線部(f)の化合物はアセチレンから得ることができる。1.0 kg のアセチレンを用いたときの生成量 [kg] を求めよ。ただし、反応が完全に進行しているものとする。

問 4. 下線部(㉔)に関する以下の(1)および(2)に答えよ。なお、必要であれば、 $\log_{10} 2 = 0.3$ を用いよ。

(1) 酸性のスルホ基($-\text{SO}_3\text{H}$)を導入した陽イオン交換樹脂 1.0 g をカラムにつめた。これに十分な量の塩化ナトリウム水溶液を流し、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 の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ、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 を答えよ。

(2) 塩化カリウム 500 mg を溶かした水溶液 20 mL 中のすべてのカリウムイオンを(1)と同じ陽イオン交換樹脂を用いてイオン交換するとき、最低限必要な陽イオン交換樹脂の量 [g] 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 工・応生：20%)

エネルギーは、原子から電子を1つ取り去り、1価の陽イオンとするために必要なエネルギーのことである。 エネルギーは、同じ周期の原子であれば原子番号が {小さく|大きく} なるほど増加する傾向がある。陽イオンと陰イオンによる化学結合は といい、 によって規則正しくイオンが配列した結晶を、イオン結晶とい(a)う。一方、結合をつくる原子どうしがお互いの電子を出し合っ(a)てつくる化学結合は とい(a)う。異なる原子による では、電気陰性度の差が大きい場合、 が電気陰性度の大きい原子に引き寄せられ、結合に電荷の偏りが生じる。これを結合に極性があるとい(a)い、分子全体として電荷の偏りをもつ分子のことを極性分子という。

問 1. ~ にあてはまる適切な語句を答えよ。ただし、 には { } 内から適切な語句を選んで答えよ。

問 2. 下線部(a)について、次の文章中の ~ にあてはまる適切な語句を { } 内から選んで答えよ。

イオン結晶は一般に融点が {高く|低く} , {硬い|柔らかい} 。また、固体では電気を {通す|通さない} が、融解させたり水溶液にしたりすると電気を {通すように|通さなく} なる。

問 3. イオンが球形であるとみなしたとき、その半径をイオン半径という。次の各組のイオンについて、イオン半径が大きいのはどちらか答えよ。また、その理由を説明したそれぞれの文の空欄を15字以内で適切に埋めよ。

(1) O^{2-} と Na^+

理由：同じ電子配置では、 ほど、イオン半径が大きい。

(2) Na^+ と K^+

理由：同じ族では、 ほど、イオン半径が大きい。

問 4. 極性分子について、以下の(1)および(2)に答えよ。

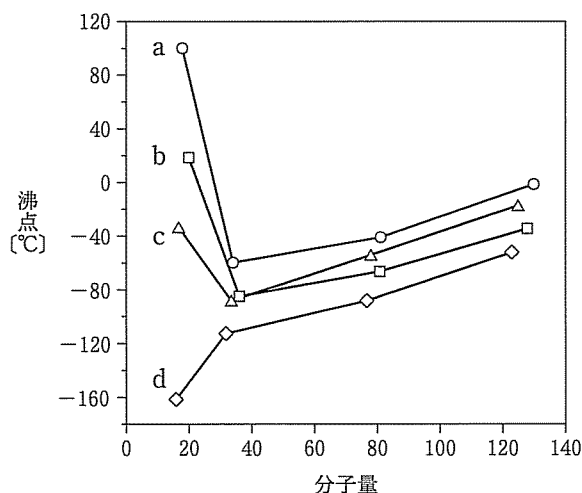
(1) O-H 結合と C=O 結合はともに極性をもつ。しかしながら、水分子 H_2O は極性分子であるのに対し、二酸化炭素分子 CO_2 は極性分子ではない。以下の①～④の文章のうち、その理由として適切なものをすべて選べ。該当するものがない場合には、解答欄に「なし」と記せ。

- ① O-H 結合と C=O 結合では極性の大きさが著しく異なるから。
- ② O-H 結合は単結合であるのに対し、C=O 結合は二重結合であるから。
- ③ C=O 結合は二酸化炭素分子中では極性をもたないから。
- ④ 水分子は折れ曲がった形をしているから。

(2) 以下の①～⑤の分子のうち、極性分子をすべて選び、記号で答えよ。該当するものがない場合には、解答欄に「なし」と記せ。

- ① 水素 H_2
- ② 塩化水素 HCl
- ③ アンモニア NH_3
- ④ メタン CH_4
- ⑤ 四塩化炭素 CCl_4

問 5. 下の図は 14 族から 17 族の水素化合物の分子量と沸点の関係を示したものである。以下の(1)および(2)に答えよ。



(1) a～c の最も分子量の小さい水素化合物の沸点は、同じ族の他の化合物の沸点から予想されるより明らかに高い。この理由に密接に関与する分子間力は何か答えよ。

(2) d のグラフは 14 族から 17 族の中のどれか、答えよ。

