

令和3年度入学者選抜学力検査問題

〈前期日程〉

理 科

(医学部 医学科)

科 目	頁 数
物理基礎・物理	2 頁 ～ 7 頁
化学基礎・化学	8 頁 ～ 19 頁
生物基礎・生物	20 頁 ～ 27 頁

注 意 事 項 I

この冊子には物理, 化学, 生物の問題がのっている。そこから2科目を選択し, 解答すること。

注 意 事 項 II

- 1 試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけない。
- 2 試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
- 3 解答にかかる前に必ず受験番号を解答用紙に記入すること。
- 4 解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。  
所定の欄以外に記入したものは無効である。
- 5 問題冊子は持ち帰ってよい。

## 化学基礎・化学

必要があれば、次の原子量、定数、および対数値を用いて計算しなさい。

H = 1.00, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, Cl = 35.5, Cu = 63.6, Zn = 65.4

ファラデー定数:  $9.65 \times 10^4$  (C/mol), アボガドロ定数:  $6.02 \times 10^{23}$  (/mol)

$\log_{10} 2 = 0.30$ ,  $\log_{10} 3 = 0.48$ ,  $\log_{10} 5 = 0.70$

**I** 次の電池・電気分解に関する文章を読み、以下の問1～問10に答えなさい。

電池は、負極で酸化反応、正極で還元反応が起きることによって放出されるエネルギーを、電気エネルギーとして利用する装置である。負極で酸化される還元剤と正極で還元される酸化剤を、ともに **(ア)** 物質という。

電池の負極と正極の間で生じる電位差を電池の起電力とよぶ。アレッサンドロ・ボルタが開発したボルタ電池は、電極に亜鉛板と銅板、電解液に希硫酸を用いて作製された(図I-1)。ボルタ電池の起電力は、はじめ約1.1Vであるが、放電を続けると0.4V程度に低下する。ここでは、起電力が放電の時間とともに低下する理由について考察する。

ボルタ電池の起電力は、放電直後約1.1Vである。しかし、この起電力は、水素と亜鉛の標準電極電位の差から想定される起電力の0.76Vよりも高い。これは、使用した銅板が酸化されていたために、銅電極の表面に酸化銅のうすい被膜があり、その酸化銅が酸化剤としてはたらくためである。<sup>(a)</sup>酸化銅がすべてなくなると、本来の想定される反応が始まり、起電力は、0.76V程度になる。一方、亜鉛電極では、放電の時間とともに電極での反応が低下する。これは、ルシャトリエの原理で説明される現象で、<sup>(b)</sup>起電力低下の1つの要因となる。また、放電を続けると、銅電極に水素の気体が発生することにより、水素イオンと銅電極との接触が妨げられることも、起電力低下の1つの要因となる。これを防ぐために、水素イオンよりも強い酸化剤である過酸化水素や二クロム酸カリウムなどの減極剤を添加すると、起電力低下を抑制できる。<sup>(c)</sup>

ボルタ電池の弱点を改善した電池として、ジョン・ダニエルが開発したダニエル電池がある。ダニエル電池では、亜鉛板を浸した硫酸亜鉛  $\text{ZnSO}_4$  水溶液と、銅板を浸した硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4$  水溶液を、素焼き板で仕切ることで起電力低下を抑制することができる(図I-2)。<sup>(d)</sup>

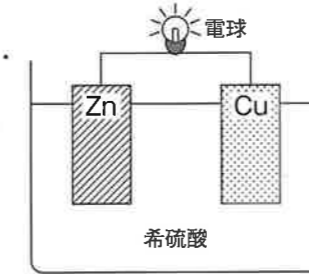


図 I-1 ボルタ電池の概要図

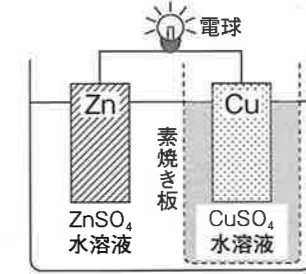


図 I-2 ダニエル電池の概要図

問1 文章中の空欄 **(ア)** にあてはまる語を答えなさい。

問2 ボルタ電池の構成を電池式で記しなさい。

問3 下線部(a)の化学反応を、反応式で記しなさい。

問4 下線部(b)について、亜鉛電極で起きる化学反応を、反応式で記しなさい。また、放電の継続により亜鉛電極で起きる化学反応が低下する理由を、ルシャトリエの原理にもとづいて100字程度で説明しなさい。

問5 下線部(c)について、ボルタ電池で過酸化水素が減極剤としてはたらくときの化学反応を、反応式で記しなさい。

問6 ダニエル電池の構成を電池式で記しなさい。

問7 ダニエル電池の負極と正極で起きる化学反応を、それぞれ反応式で記しなさい。

問8 下線部(d)について、ダニエル電池での起電力の維持における素焼き板の役割を、50字程度で説明しなさい。

問9 ダニエル電池で起電力を維持するために、素焼き板を用いること以外で、ルシャトリエの原理にもとづいてどのような工夫ができるか、50字程度でその方法を答えなさい。

問10 次の電気分解に関する**実験 I**について、以下の問(1)と問(2)に答えなさい。

**実験 I**

図 I-3 に示したように 濃度未知の  $\text{CuSO}_4$  水溶液 100 mL をビーカーに入れて、質量の等しい 2 枚の白金電極 Pt(1) と白金電極 Pt(2) を浸した。

次に、1 A で 32 分 10 秒間電気分解を行ったところ、ビーカーの溶液がちょうど無色になった。慎重に電極をビーカーから取り出して重さを測ると、白金電極 Pt(1) は、白金電極 Pt(2) に比べて重くなっていた。

問(1) 白金電極 Pt(1) と白金電極 Pt(2) で起きた化学反応を、それぞれ反応式で記しなさい。

問(2) 下線部(e)の濃度未知の  $\text{CuSO}_4$  水溶液の濃度と、下線部(f)で重くなった分の質量を、それぞれ有効数字 3 桁で求めなさい。また、答えを求める計算過程もそれぞれ記しなさい。ただし、使用した電気量は、すべて問(1)の反応に使われたものとする。

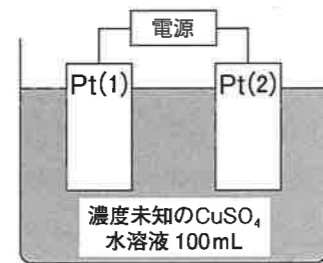


図 I-3 濃度未知の  $\text{CuSO}_4$  水溶液 100 mL の電気分解の概要図

(この頁は空白)

II 次の炭酸ナトリウムに関する文章を読み、以下の問1～問4に答えなさい。

炭酸ナトリウムは、酸と塩基の塩であり、水 $\text{H}_2\text{O}$ に溶かすと塩基性の水溶液となる。これは、炭酸ナトリウム水溶液中のが次の反応(1)に示すように加水分解し、水酸化物イオン $\text{OH}^-$ が生成するためである。



また、も加水分解するが、この分解によって生成する $\text{OH}^-$ は、反応(1)と比較して無視できるほど少ない。そこで、反応(1)だけを考慮して、以下、炭酸ナトリウム水溶液中の水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ を求めてみよう。

まず、反応(1)の平衡定数 $K$ は、平衡状態での各成分の濃度、、水の濃度 $[\text{H}_2\text{O}]$ 、および $[\text{OH}^-]$ を用いて、次の式(1)で表される。

$$K = \text{[A]} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $[\text{H}_2\text{O}]$ は、ほとんど一定で定数とみなせるので、式(1)は、次の式(2)のように書き換えられる。

$$K \cdot [\text{H}_2\text{O}] = \text{[B]} = K_h \quad \text{式(2)}$$

ここで、 $K_h$ は、加水分解定数である。

一方、水溶液中では、次の反応(2)のように酸として電離することができる。



この反応(2)は、二酸化炭素の第二電離平衡反応でもあり、の酸としての電離平衡定数 $K_a$ は、、、および水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を用いて、次の式(3)で表される。

$$K_a = \text{[C]} \quad \text{式(3)}$$

ここで、式(2)に戻りの分母と分子に $[\text{H}^+]$ をかけ、 $K_h$ を水のイオン積 $K_w$ と $K_a$ を用いて整理すると、次の式(4)になる。

$$K_h = \text{[D]} \quad \text{式(4)}$$

水溶液中の炭酸ナトリウムの濃度を $c \text{ mol/L}$ 、反応(1)で加水分解しているの割合を $\alpha$ とすると、とは、 $c$ と $\alpha$ を用いて、式(5)と式(6)でそれぞれ表すことができる。

$$\text{[ウ]} = \text{[E]} \quad \text{式(5)}$$

$$\text{[エ]} = [\text{OH}^-] = \text{[F]} \quad \text{式(6)}$$

そこで、式(2)に式(5)と式(6)を代入して整理すると、 $K_h$ を $c$ と $\alpha$ を用いて次の式(7)で表すことができる。

$$K_h = \text{[G]} \quad \text{式(7)}$$

さらに、 $\alpha \ll 1$ とみなすと、 $K_h$ は次の式(8)のように近似できる。

$$K_h = \text{[H]} \quad \text{式(8)}$$

式(8)を変形して整理すると、次の式(9)が得られる。

$$\alpha = \text{[I]} \quad \text{式(9)}$$

最終的に、求める炭酸ナトリウム水溶液中の $[\text{OH}^-]$ は、 $c$ と $K_h$ を用いて次の式(10)で表すことができる。

$$[\text{OH}^-] = \text{[J]} \quad \text{式(10)}$$

問1 文章中の空欄とにあてはまる語と、空欄とにあてはまるイオンの化学式を、それぞれ答えなさい。

問2 文章中の空欄～にあてはまる式をそれぞれ記しなさい。また、空欄には反応(1)にならって化学平衡式を記しなさい。

問3 式(4)と式(10)を使い、濃度 0.10 mol/L の炭酸ナトリウム水溶液の pH を小数第一位まで求めなさい。また、答えを求める計算過程も記しなさい。  
ただし、ここでは  $K_a = 4.0 \times 10^{-11}$  mol/L、また、 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$  (mol/L)<sup>2</sup> とする。

問4 次の炭酸ナトリウムの合成に関する文章を読み、以下の問(1)~問(4)に答えなさい。

炭酸ナトリウムは、炭酸水素ナトリウムを乾燥しながら、熱分解することによって合成 (a) できる。しかし、ここで熱分解処理が不完全だと、炭酸水素ナトリウムが未反応で残留する。そこで、反応効率を調べるために、炭酸水素ナトリウムをある一定時間熱分解処理した試料の一部を、正確にはかりとって水に溶かし全量を 100 mL とした。 (b) 次に、ここから 10.0 mL をビーカーに移しとり、0.100 mol/L の塩酸を用いて中和滴定を行った結果、図 II-1 の滴定曲線が得られた。

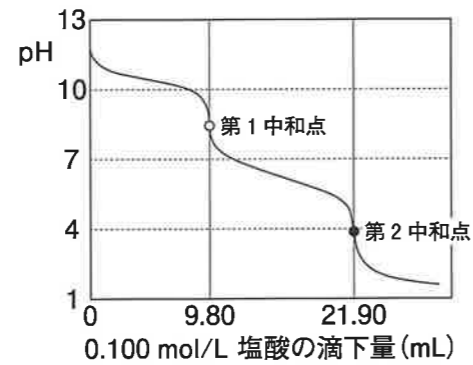


図 II-1 炭酸水素ナトリウムを一定時間熱分解処理した試料の滴定曲線

問(1) 下線部(a)の化学反応を、反応式で記しなさい。

問(2) 図 II-1 で、滴定開始から第1中和点(○)までに起こる化学反応、および第1中和点(○)から第2中和点(●)までに起こる化学反応を、それぞれ反応式で記しなさい。

問(3) 図 II-1 で、第1中和点(○)と第2中和点(●)に達したことを知るための指示薬として、最も適切なものを次のなかから選び、それぞれ名称で答えなさい。

ヨウ素、メチルオレンジ、ニンヒドリン、プロモチモールブルー、フェノールフタレイン、過マンガン酸カリウム

問(4) 図 II-1 で、滴定開始から第1中和点(○)および第2中和点(●)までに滴下した塩酸は、それぞれ、9.80 mL および 21.90 mL であった。下線部(b)において、はかりとった試料の質量と、熱分解された炭酸水素ナトリウムの割合(%)を、それぞれ有効数字3桁で求めなさい。また、答えを求める計算過程も記しなさい。

Ⅲ 次のイオン交換樹脂に関する文章を読み、以下の問1～問5に答えなさい。

溶液中のイオンを別のイオンと交換するはたらきをもつ合成樹脂を、イオン交換樹脂という。イオン交換樹脂は、純水の製造や溶液中の物質の分離・濃縮など広範囲に応用されている。ここでは、図Ⅲ-1に示したイオン交換樹脂の合成とその利用について考えてみる。

〔ア〕と少量の〔イ〕を混合した後、加熱して合成した樹脂に〔ウ〕を加えて約150℃に保った。樹脂が淡褐色になったところで反応を止めて、樹脂を取り出して、十分に水洗いした。ここで用いた〔ア〕と〔イ〕の反応を、〔エ〕とよぶ。また、合成した樹脂に〔ウ〕を反応させることで、図Ⅲ-1に示したように樹脂中のベンゼン環に〔オ〕基が導入されている。この十分に水洗された樹脂に硝酸カルシウム水溶液を加えてよく混合し、水溶液のpHを測定したところ、〔カ〕性を示した。これは、樹脂中の〔キ〕イオンが〔ク〕イオンと交換したためである。このような合成樹脂は、その機能から陽イオン交換樹脂とよばれる。

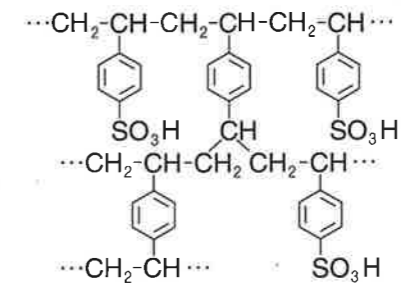
そこで、この樹脂を利用して、次の図Ⅲ-2の分離操作(1)～分離操作(5)により、表Ⅲ-1にあげた物質の分離を行った。

- 分離操作(1): 図Ⅲ-1の陽イオン交換樹脂を、図Ⅲ-2に示した円筒形のカラムに充填し、樹脂に緩衝液A(pH 2.0)を通して流出液のpHが2.0になるまで洗浄した。
- 分離操作(2): 次に、表Ⅲ-1の混合液(pH 2.0)を樹脂に通した後、再び緩衝液A(pH 2.0)を通して流出液のpHが2.0になるまで洗浄した。この操作の流出液を溶出液Aとしてすべて新しいビーカーに回収した。
- 分離操作(3): 続けて、樹脂に緩衝液B(pH 4.0)を通して流出液のpHが4.0になるまで洗浄した。この操作の流出液を溶出液Bとしてすべて新しいビーカーに回収した。
- 分離操作(4)と分離操作(5): さらに、緩衝液C(pH 7.0)と緩衝液D(pH 12.0)を用いて、順次、操作(3)と同様の操作を行い、溶出液Cと溶出液Dを新しいビーカーに、それぞれ回収した。

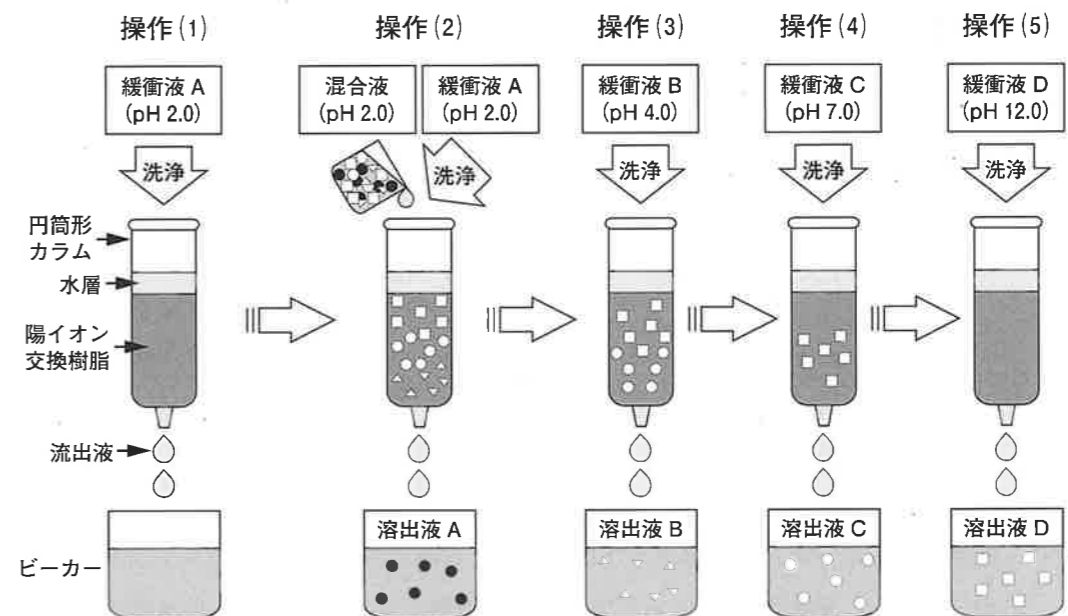
さらに、上記分離操作で回収した溶出液A～溶出液Dに含まれる物質を調べるため、各試料を試験管にとり次の分析実験1～分析実験3を行った。

- 分析実験1 溶出液Aにアンモニア性硝酸銀水溶液を加えて温浴中で温めると、試験管の内壁面に銀が析出した。
- 分析実験2 溶出液A～溶出液Dの各溶液にニンヒドリン溶液を加えて加熱したところ、溶出液B～溶出液Dに呈色反応がみられた。

分析実験3 溶出液A～溶出液Dの各溶液に濃硝酸を加えて加熱し、冷却後アンモニア水を加えたところ、溶出液Cのみ橙黄色の呈色反応がみられた。



図Ⅲ-1 陽イオン交換樹脂の構造



(●, ▽, ○, □)は混合液(pH 2.0)に含まれる代表的な糖類とアミノ酸を模式的に表したものである。

図Ⅲ-2 陽イオン交換樹脂による物質の分離操作(1)～分離操作(5)の概要図

表Ⅲ-1 「混合液(pH 2.0)」に含まれる糖類とアミノ酸：(a)～(o)

(a) アスパラギン酸	(b) アラニン	(c) アルギニン	(d) グリシン	(e) グルコース
(f) グルタミン酸	(g) システイン	(h) スクロース	(i) セリン	(j) チロシン
(k) フェニルアラニン	(l) フルクトース	(m) リシン	(n) ガラクトース	(o) ラクトース

問1 文章中の空欄 (ア) ~ (ク) にあてはまる物質名または語・語句を、それぞれ答えなさい。また、空欄 (ア) と (イ) にあてはまる物質の構造式を、それぞれ所定の解答欄に記しなさい。

問2 分離操作(1)~分離操作(5)について、表Ⅲ-1の混合液(pH 2.0)に含まれる糖類とアミノ酸:(a)~(o)は、溶出液 A~溶出液 D のどこに回収されるか、それぞれ a~o の記号で答えなさい。また、表Ⅲ-2に示したアミノ酸の等電点の値を参考にして答えなさい。

表Ⅲ-2 混合溶液中に含まれるアミノ酸

アミノ酸	略記号	等電点	側鎖(-R)の構造
アスパラギン酸	Asp	2.8	$-\text{CH}_2-\text{COOH}$
アラニン	Ala	6.0	$-\text{CH}_3$
アルギニン	Arg	10.8	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-\text{C}(-\text{NH}_2)=\text{NH}$
グリシン	Gly	6.0	$-\text{H}$
グルタミン酸	Glu	3.2	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$
システイン	Cys	5.1	$-\text{CH}_2-\text{SH}$
セリン	Ser	5.7	$-\text{CH}_2-\text{OH}$
チロシン	Tyr	5.7	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH}$
フェニルアラニン	Phe	5.5	$-\text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_5$
リシン	Lys	9.7	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$

(この頁は空白)

問3 硫酸銅(Ⅱ)水溶液と酒石酸ナトリウムカリウム塩と水酸化ナトリウムの混合水溶液を使用直前に調製し、溶出液 A を加えて加熱すると沈殿が生じた。この混合水溶液の名称と生じた沈殿の色を、それぞれ答えなさい。

問4 分析実験 3 の呈色反応は、溶出液 C に含まれる物質のどのような反応によるものか簡潔に説明し、その反応の名称を答えなさい。

問5 表Ⅲ-2のアミノ酸のうち、エタノール中で少量の濃硫酸を加えておだやかに反応させると分子量が56大きくなるものはどれか、該当するアミノ酸をすべて略記号で答えなさい。また、その理由を100字程度で説明しなさい。