平成30年度・入学試験問題

理　　科（前）

注　意　事　項

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ません。
2. この冊子は39ページあります。
3. 試験開始後，落丁・乱丁・印刷不鮮明の箇所があったら申し出なさい。
4. 解答はすべて解答用紙に，それぞれの問題の指示にしたがって記入しなさい。
5. この冊子のどのページも切り離してはいけません。ただし，余白等は適宜利用してかまいません。
6. 試験終了後，問題冊子は持ち帰りなさい。
7. 受験科目選択上の注意（重要）

   「物理」，「化学」，「生物」のうち2科目を選択して解答しなさい。

   選択しなかった科目の解答用紙は試験開始後，90分で回収します。それ以後は選択の変更は認めません。

   全科目の解答用紙7枚ともに受験番号を記入しなさい。

化　　学

化学問題 1

次の文章を読み，問 1 ～問 7 に答えよ。数値を解答する場合は有効数字 2 桁まで求めよ。原子量：H = 1.00，O = 16.0，Na = 23.0，S = 32.0，K = 39.0，I = 127

オゾンは，酸素 O_2 の [a] で，酸素中での無声放電によって発生し，特異臭がある。上空では太陽からの [b] をオゾン層が吸収し，生物に有害な [b] を防御している。オゾンには強い [c] があるため，私たちの日常生活において，殺菌，消臭，上下水道の浄化などで使用されている。

過酸化水素水は，殺菌剤や漂白剤として使用されている。過酸化水素を含む水溶液に，十分な量のヨウ化カリウムを含む硫酸酸性水溶液を加えるとヨウ素が生じ，デンプン指示薬をさらに加えると無色の水溶液が青紫色に変化する。さらにチオ硫酸ナトリウム水溶液を加えると，水溶液の色が青紫色から無色へ変化する。この反応を利用して，試料水溶液中の過酸化水素の濃度を求めることができる。また，気体中のオゾンの定量もすることができる。

以下の実験 1 と実験 2 を行った。

実験 1　チオ硫酸ナトリウム標準溶液の調製

チオ硫酸ナトリウムは風解を受けやすく，標準溶液の調製が難しい。そのためチオ硫酸ナトリウムの標準溶液の濃度を(1)から(4)の手順で決定した。

(1) 2.48 g のチオ硫酸ナトリウムを量り取り，ビーカー中で水に溶かしてチオ硫酸ナトリウム水溶液を調製した。

(2) ヨウ素酸カリウムを天秤で量り取ってメスフラスコへ移した。水を加え正確に 100 mL にし，2.00×10^{-2} mol/L のヨウ素酸カリウム標準溶液を調製した。

(3) 2.00×10^{-2} mol/L のヨウ素酸カリウム標準溶液 15.0 mL をホールピペットで取り，コニカルビーカーへ入れた。さらに希硫酸，ヨウ化カリウム水溶液を加え，デンプン指示薬を数滴加えた。

(4) (1)で調製したチオ硫酸ナトリウム水溶液をビュレットに移した。そして(3)のコニカルビーカーに滴下すると 30.0 mL で反応が完了した。この結果からチオ硫酸ナトリウム水溶液の濃度を決定し，チオ硫酸ナトリウム標準溶液とした。ヨウ素酸イオンの半反応式は，以下のとおりである。

$$IO_3^- + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow I^- + 3H_2O$$

実験 2　オゾンの定量

標準状態で 1.00 L の酸素に無声放電を行い，酸素とオゾンの混合気体を得た。この気体を，硫酸酸性にした十分量のヨウ化カリウムを含む水溶液に通した。この時，発生したオゾンはすべて試薬と反応したものとする。この水溶液は，デンプン指示薬を加えると青紫色であった。この水溶液に，実験 1 で求められたチオ硫酸ナトリウム標準溶液を滴下すると，12.5 mL で反応が完了した。

問 1.　[a] ～ [c] にあてはまる語句を入れよ。

問 2.　下線部の反応式を記せ。

問 3.　下線部の反応について次の問いに答えよ。

(i)　還元された原子を元素記号で記せ。

(ii)　還元された原子の反応前後の酸化数をそれぞれ記せ。

問 4.　一つの反応の中で一つの物質が酸化剤と還元剤の両方の働きをしている反応式をすべて選び記号で記せ。

あ：$2FeCl_3 + SnCl_2 \longrightarrow 2FeCl_2 + SnCl_4$

い：$2H_2S + SO_2 \longrightarrow 3S + 2H_2O$

う：$2HNO_3 + 3H_2C_2O_4 \longrightarrow 2NO + 6CO_2 + 4H_2O$

え：$Cl_2 + H_2O \longrightarrow HCl + HClO$

問 5. 実験 1 で調製したチオ硫酸ナトリウム標準溶液のモル濃度(mol/L)を求めよ。

問 6. 実験 2 の無声放電により酸素の何%がオゾンに変化したか求めよ。

問 7. 実験 1 において，使用するメスフラスコ，ホールピペット，コニカルビーカー，ビュレットを水洗し，十分に乾燥していないとする。正確な滴定をするためにはどのようにしたらよいか。4 つの器具のうち次の(i)から(iii)にあてはまる器具の名称をすべて記せ。ただし，同じ器具を繰り返し記してもよい。また，該当する器具がないときは「なし」と記せ。

(i) 必ず乾燥した状態で用いる。

(ii) 少量の水に濡れたまま用いてもよい。

(iii) 使用する水溶液で共洗いする。

化学問題 2

次の文章を読み，問1～問7に答えよ。有効数字は3桁とし，必要であれば次の数値を用いよ。$\sqrt{2}=1.41$，$\sqrt{10}=3.16$，ファラデー定数：$F=9.65\times10^4$ C/mol

金属と酸の反応は金属の種類によって大きく異なり，金属のイオン化傾向と密接な関係がある。イオン化傾向の大小は標準水素電極を基準にした標準電極電位($E°$)で表される。標準電極電位は金属だけでなく，様々な物質についても求めることができる。表1に代表的な物質の標準電極電位が示してある。

電池は，酸化剤と還元剤および電解質の組み合わせでできている。標準状態(25 ℃，1.01×10^5 Pa)において，電池の起電力は両極の活物質の標準電極電位差に理論的に等しい。

亜鉛板と銅板を希硫酸水溶液に浸し，導線でつないだものがボルタ電池(図1)である。ボルタ電池の起電力は，電流を流すとすぐに低下する。ボルタ電池の電解槽を素焼き板で仕切り，二つの電解槽AとBにそれぞれ亜鉛板と銅板を浸し，導線でつないだ電池(図2)を作り，以下の実験を行った。電池は実験ごとに新しいものを使用した。

表 1. 標準水素電極を基準にした標準電極電位(25 ℃，1.01×10^5 Pa)

物　質	標準電極電位 $E°$ (V)
アルミニウムイオン ⇌ アルミニウム	− 1.68
亜鉛イオン ⇌ 亜鉛	− 0.763
鉄(II)イオン ⇌ 鉄	− 0.440
ニッケル(II)イオン ⇌ ニッケル	− 0.257
銅(II)イオン ⇌ 銅	+ 0.337
二クロム酸イオン ⇌ クロム(III)イオン	+ 1.33
過マンガン酸イオン ⇌ マンガン(II)イオン	+ 1.51

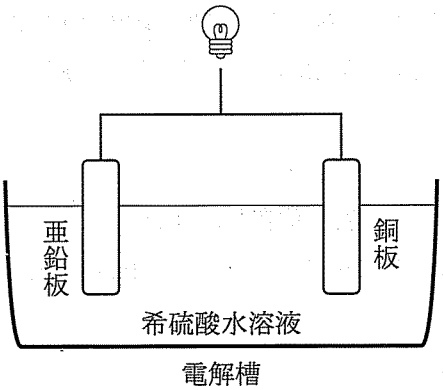


図１．ボルタ電池

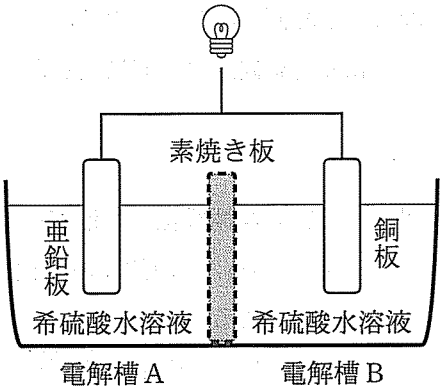


図２．ボルタ電池に素焼き板を入れ実験に使用した電池

実験１：空気に触れることなく保管された亜鉛版と銅板をすばやく電解槽ＡとＢに浸して，放電した。

実験２：銅板をバーナーで焼き電解槽Ｂにしばらく浸した後に，亜鉛板を電解槽Ａに浸し放電した。放電後しばらくの間，起電力は1.10 Ｖであった。

実験３：実験１と同様に金属板を各電解槽に浸し，電解槽Ｂに二クロム酸カリウム水溶液を加えて放電した。

実験４：実験１と同様に金属板を各電解槽に浸し，電解槽Ｂに1.45 mol/Lの過酸化水素水10.0 mLを加え，一定時間放電した。その後，電解槽Ｂの電解質液の容量を測定すると200 mLであった。この電解質液を10.0 mL取り，2.00×10^{-2} mol/Lの過マンガン酸カリウム水溶液を滴下した。過マンガン酸カリウム水溶液を14.0 mL加えたところで，赤紫色が消えなくなった。

問 1. 下線部に関して，よく磨いたアルミニウム，鉄，ニッケル，銅の4種類の金属片を濃硝酸水溶液に浸した。濃硝酸に溶ける金属について，その反応式を書け。

問 2. 金属の電極電位は，溶液の金属イオンの濃度に依存し，金属Mと金属イオンM^{n+}からなる電極の電極電位E_M(V)は，25 ℃，1.01×10^5 Paのとき次の式で表される。

$$E_M = E^\circ_M + \frac{0.0592}{n}\log_{10}[M^{n+}]$$

E°_Mは金属Mの標準電極電位(V)である。濃度不明の鉄(II)イオン水溶液の電極電位を測定すると，25 ℃，1.01×10^5 Paのとき，-0.514 Vであった。鉄(II)イオン水溶液の濃度を求めよ。

問 3. ボルタ電池の電池式を書け。

問 4. 実験1について，次の問いに答えよ。

(1) 正極で起こる反応を，電子(e^-)を含むイオン反応式で書け。

(2) 負極で起こる反応を，電子(e^-)を含むイオン反応式で書け。

問 5. 実験2について，次の問いに答えよ。

(1) バーナーで焼いた後に電解槽Bに浸した銅板で起こった反応を反応式で書け。

(2) 放電後の起電力が1.10 Vであり，この値がしばらく維持された理由を説明せよ。

問 6. 実験3について，次の問いに答えよ。

(1) 正極で生じる反応を，電子(e^-)を含むイオン反応式で書け。

(2) 各電極が標準状態にあるとき，理論的起電力(V)はいくらか。

問 7. 実験4について，次の問いに答えよ。

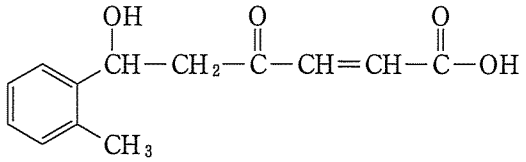
(1) 電解槽Bで消費された過酸化水素の物質量(mol)はいくらか。

(2) 放電された電気量(C)はいくらか。

化学問題 3

次の文章を読み，問 1 ～問 7 に答えよ。原子量は，H = 1.0，C = 12，N = 14，O = 16 とする。構造式は記入例に従って記せ。

・記入例



ベンゼン環を 1 つだけもち，水素，炭素，窒素，酸素以外を構成元素に含まない 5 種類の芳香族化合物(a)，(b)，(c)，(d)，(e)を含むジエチルエーテル溶液がある。この混合エーテル溶液について下記の実験操作を室温で行った。ただし，化合物はいずれも分子量 150 以下であり，置換基が 2 つの場合にはオルト位を取るものとする。

実験 1　上記の混合エーテル溶液に対して下記の分離操作を行った。

・操作 1　混合エーテル溶液に適当量の希塩酸を加えてよく混合したのち，エーテル層(A)と水層(A)に分離した。

・操作 2　水層(A)に十分量の水酸化ナトリウム水溶液を加え，化合物(a)を分離した。

・操作 3　①エーテル層(A)に試薬(f)の飽和水溶液を十分量加えよく混合したのち，エーテル層(B)と水層(B)に分離した。

・操作 4　水層(B)に十分量の希塩酸を加え，化合物(b)を分離した。

・操作 5　エーテル層(B)に十分量の水酸化ナトリウム水溶液を加えてよく混合したのち，エーテル層(C)と水層(C)に分離した。

・操作 6　水層(C)に二酸化炭素を十分に通じ化合物(c)を分離した。

・操作 7　②エーテル層(C)をビーカーに移し，十分量の金属ナトリウムを加えて反応させたところ，沈殿(D)が生じた。余剰の金属ナトリウムを取り除いたのちにエーテルを完全に気化したところ，液状の化合物(e)と沈殿(D)がビーカー内に残った。ろ過により沈殿(D)と化合物(e)を分離した。

・操作 8　沈殿(D)に水を加えて反応させたのち，化合物(d)を分離した。

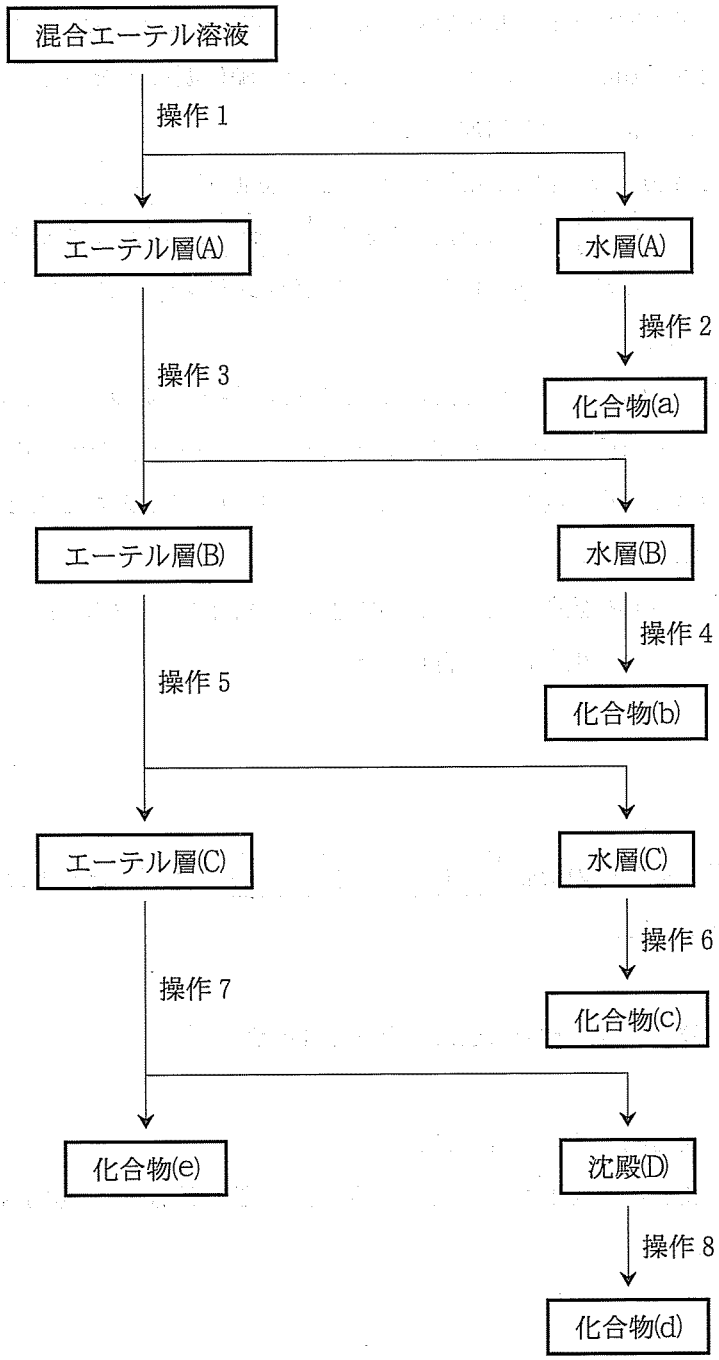


図 1　実験 1 のフローチャート

実験 2　実験 1 で得られた化合物(a), (b), (c), (d), (e)にそれぞれ水酸化ナトリウムを混ぜて加熱したものに，ガラス棒の先端に濃塩酸をつけて近づけたところ，化合物(a)のみで白煙が生じた。

実験 3　化合物(a)の希塩酸溶液を 5 ℃ 未満の低温で [(あ)] と反応させたところ，[(い)] が得られた。これに [(う)] の水溶液を加えるとカップリングし，橙赤色の *p*—ヒドロキシアゾベンゼン(*p*—フェニルアゾフェノール)が生じた。

実験 4　化合物(c), (d), (e)を精製し，それぞれ 54 mg ずつ完全燃焼させたところ，いずれの化合物も水 36 mg と二酸化炭素 154 mg を生じた。

実験 5　精製した化合物(a), (b), (c)に金属ナトリウムを反応させたところ，(b), (c)で水素が発生した。

実験 6　化合物(c)を硫酸酸性下において過マンガン酸カリウム水溶液により十分に酸化すると，化合物(b)が得られた。

問 1. 実験 3 の文中の空欄 [(あ)] ～ [(う)] に当てはまる化合物の物質名をそれぞれ記せ。

問 2. 化合物(c), (d), (e)の構造式をそれぞれ記せ。

問 3. (1) 化合物(b)の物質名を記せ。

(2) 化合物(b)を無水酢酸と反応させたときの反応式を，構造式を用いて記せ。

問 4. (1) 操作 3 の下線部①で使用した試薬(f)に最もふさわしいものを下記の(ア)～(カ)から選び，記号を記せ。

(ア) 二酸化炭素　　(イ) 炭酸水素ナトリウム

(ウ) 酢　酸　　(エ) 酢酸ナトリウム

(オ) 塩化ナトリウム　　(カ) 塩化アンモニウム

(2) 操作 3 において，試薬(f)を用いることによって起こった反応の反応式を記せ。

(3) 操作 3 において，試薬(f)を用いることで化合物(b)と化合物(c)，(d)，(e)を水層とエーテル層にそれぞれ分離できる理由を記せ。

問 5. 化合物(c)に加えると呈色が見られる試薬を下記(ア)～(カ)から選び，記号を記せ。

(ア) フェーリング液

(イ) 塩化鉄(Ⅲ)水溶液

(ウ) 臭素水

(エ) ヨウ素を含む水酸化ナトリウム水溶液

(オ) 二クロム酸カリウム水溶液

(カ) アンモニア性硝酸銀水溶液

問 6. 操作 7 の下線部②で沈殿(D)を生じた反応の反応式を，構造式を用いて記せ。

問 7. 実験 1 において，水層とエーテル層の分離に分液ろうとを用いた。分液ろうとを装置の全体像が分かるように図示せよ。ただし，分液ろうと内に適当量の水とジエチルエーテルが入っており，両者が層状に分離している状態であること。また，解答欄の枠内に「コック」「エーテル層」「水層」の語句を書き入れ，それぞれが図のどこに当たるか，矢印を用いて指し示すこと。

化学問題 4

次の[Ⅰ]および[Ⅱ]の文章を読み，問1～問8に答えよ。必要であれば，次の値を用いよ。

原子量：H＝1.0，C＝12，N＝14，O＝16

[Ⅰ] グルコースは，分子式$C_6H_{12}O_6$で示される単糖である。2分子の単糖類が脱水縮合したものを，二糖類という。二糖であるマルトースの水溶液は還元性を示すが，スクロースの水溶液は還元性を示さない。[1)] 一方，スクロースを加水分解して得られる転化糖の水溶液は，還元性を示す。

デンプンやセルロースは，多数のグルコースが［あ］結合してできた天然高分子化合物である。デンプンはヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加えると呈色するが，セルロースは呈色しない。[2)]

[Ⅱ] アミノ酸は，分子内に酸性の［い］基と塩基性の［う］基をもつ化合物である。結晶中では［い］基と［う］基が電離した［え］イオンとして存在しているため，アミノ酸は一般の有機化合物に比べて融点が高い。

［い］基と［う］基をひとつずつ持つアミノ酸の水溶液では，3種のイオンX，Y，Zが下式のような平衡状態にあり，pHによってその割合が変化する。

$$X \underset{H^+}{\overset{OH^-}{\rightleftharpoons}} Y \underset{H^+}{\overset{OH^-}{\rightleftharpoons}} Z$$

これらの平衡混合物の電荷が全体として0となる特定のpHを，そのアミノ酸の［お］という。アミノ酸の水溶液を電気泳動すると，pHが［お］より小さい水溶液中では，イオンXの割合が多くなるため，アミノ酸は［か］極側へ移動する。アミノ酸水溶液が［お］と同じpHのとき，アミノ酸はどちらの極にも移動しない。

問 1. 文中の空欄 $\boxed{\text{あ}}$ ～ $\boxed{\text{か}}$ に最も適切な語句を記入せよ。

問 2. 下線部1)に関して，マルトースや転化糖では還元性を示すのに，スクロースは還元性を示さない理由を，簡潔に説明せよ。

問 3. 下線部2)に関して，このような違いが生じる理由を，デンプンとセルロースの構造の違いから，簡潔に説明せよ。

問 4. セルロース 48.6 g に十分な量の濃硝酸と濃硫酸の混合物(混酸)を作用させて，完全にトリニトロセルロースにした。このとき，生成したトリニトロセルロースの質量(g)を計算せよ。答えは，有効数字 2 桁で示せ。

問 5. アミノ酸がアラニンであるとき，イオン Y の構造式を書け。

問 6. アラニン，グルタミン酸，リシンを含む混合水溶液がある。この混合水溶液 1 滴を，pH 7.0 の緩衝液で湿らせた細長いろ紙の中央に吸着させた後に電気泳動を行い，ニンヒドリン溶液で発色させたところ，陽極側，中央，陰極側の 3 つの位置に呈色が観察された。陰極側に観察されたのは，上記 3 つのうちいずれのアミノ酸か答えよ。

問 7. 3 種のイオン X，Y，Z の電離平衡が成り立つアミノ酸水溶液の電離定数 K_1 および K_2 は，

$$K_1 = \frac{[\mathrm{Y}]\,[\mathrm{H}^+]}{[\mathrm{X}]},\quad K_2 = \frac{[\mathrm{Z}]\,[\mathrm{H}^+]}{[\mathrm{Y}]}$$

と表される。電気泳動において，このアミノ酸がどちらの極にも移動しない pH を，K_1 と K_2 を用いて示せ。

問 8. $K_1 = 5.0 \times 10^{-3}$ mol/L，$K_2 = 2.0 \times 10^{-10}$ mol/L であるアミノ酸の水溶液に酸を加えて pH を 4.0 にした。このときの $\dfrac{[\mathrm{X}]}{[\mathrm{Z}]}$ の値を有効数字 2 桁で答えよ。