

化 学

注 意 事 項

1. 「解答始め」の合図があるまでこの冊子は開かないこと。
2. この冊子は表紙を除き、13 ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まずホワイトボード等に掲示または板書してある問題冊子ページ数・解答用紙枚数・下書き用紙枚数が、自分に配付された数と合っているか確認し、もし数が合わない場合は手を高く挙げて申し出ること。次に、学部名・受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから、解答を始めること。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に、問題に指示してある方法で記入すること。
5. 1 ページに原子量・定数が記載してあるので、必要に応じて使用しなさい。
6. 文字、記号、数字などは誤読されないように正確に書くこと。

必要に応じて、次の原子量・定数を使用しなさい。

〔原子量〕

$$H = 1.00 \quad C = 12.0 \quad N = 14.0 \quad O = 16.0 \quad F = 19.0$$

$$S = 32.0 \quad Cl = 35.5 \quad Ag = 108$$

〔気体定数〕

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

〔アボガドロ定数〕

$$N_A = 6.02 \times 10^{23}/\text{mol}$$

1

次の問1～問8に答えなさい。

問1 同素体に関する記述として正しいものを次のうちから1つ選びなさい。

- (A) 同素体である黄リンと赤リンは、融点などの物理的性質は異なるが、毒性や発火性といった化学的性質は同じである。
- (B) 水と過酸化水素水は、どちらも酸素と水素のみから構成されているので、同素体である。
- (C) 斜方硫黄と単斜硫黄は同素体であり、どちらが安定か温度によって決まる。
- (D) 同素体は固体の状態のみ存在し、液体や気体の同素体は存在しない。
- (E) ダイヤモンドは炭素原子が平面構造をとっており非常に硬く電気を通すが、黒鉛は炭素原子が正四面体構造をとっておりやわらかく電気を通さない。

問2 非共有電子対を持たない分子を次のうちから1つ選びなさい。

- (A) HCl
- (B) N₂
- (C) CO₂
- (D) NH₃
- (E) C₂H₆

問3 次の化学反応のうち下線の原子の酸化数の変化が最も大きいものを1つ選びなさい。

- (A) $\underline{\text{Mn}}\text{O}_2 + 4\text{HCl} \longrightarrow \underline{\text{Mn}}\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- (B) $\underline{\text{N}}\text{H}_3 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \underline{\text{H}}\underline{\text{N}}\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- (C) $\underline{\text{S}}\text{O}_2 + \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\underline{\text{S}}\text{O}_4 + 2\text{HI}$
- (D) $\underline{\text{Fe}}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \longrightarrow 2\underline{\text{Fe}} + 3\text{CO}_2$

問 4 次の文中の(ア), (イ), (ウ)に当てはまる組み合わせとして適切なものを, 下から1つ選びなさい。

希薄溶液の浸透圧は溶液のモル濃度に(ア)し, 絶対温度に(イ)し, 溶媒の種類に(ウ)値である。

- (A) ア: 比例 イ: 比例 ウ: 固有の
- (B) ア: 反比例 イ: 比例 ウ: 固有の
- (C) ア: 比例 イ: 反比例 ウ: 固有の
- (D) ア: 比例 イ: 比例 ウ: 依存しない
- (E) ア: 反比例 イ: 比例 ウ: 依存しない
- (F) ア: 比例 イ: 反比例 ウ: 依存しない

問 5 コロイドに関する記述として誤っているものを, 次のうちから1つ選びなさい。

- (A) 直径が $10^{-9} \text{ m} \sim 10^{-7} \text{ m}$ 程度の粒子が均一に分散した状態をコロイドと呼ぶ。
- (B) 気体・液体・固体のいずれも, 分散媒と分散質のいずれにもなり得る。
- (C) 親水コロイドおよび疎水コロイドは, いずれも電解質を加えるとコロイド粒子が安定に分散しにくくなり, 場合によっては沈殿する。
- (D) 親水コロイドを加えることで分散しやすくなった疎水コロイドを, 保護コロイドと呼ぶ。
- (E) コロイド溶液中の粒子は, 熱運動する溶媒分子との衝突によってブラウン運動している。

問 6 合成樹脂のうち、難燃性・耐薬品性が高く、安価であるため、水道管・排水管・雨どいなどに使用されているものを、次のうちから1つ選びなさい。

- (A) ポリスチレン
- (B) ポリエチレン
- (C) ポリ酢酸ビニル
- (D) ポリ塩化ビニル
- (E) フッ素樹脂
- (F) メタクリル樹脂

問 7 還元性を示さない糖水溶液に希酸を加えて加熱したところ、操作後は還元性を示した。最初に溶液中に存在した糖を次のうちから1つ選びなさい。

- (A) ガラクトース
- (B) セロビオース
- (C) マルトース
- (D) ラクトース
- (E) スクロース

問 8 次のそれぞれの多糖類の水溶液にヨウ素ヨウ化カリウム水溶液を加える操作を行った。呈色反応を示さなかったものを1つ選びなさい。

- (A) セルロース
- (B) アミロース
- (C) アミロペクチン
- (D) デキストリン
- (E) グリコーゲン

2 次の文章を読み、問1～問4に答えなさい。

原子は正電荷を持つ原子核と負電荷を持つ電子から構成されている。原子内で電子が存在する空間を電子殻と呼び、原子核に近いものから順にK殻、L殻、M殻、N殻・・・と名付けられる。これらに収容される電子の最大数は、K殻が2個、L殻が8個、M殻が(ア)個、N殻が(イ)個である。電子配置を原子番号順に見ていくと、K殻に最初の電子が入るのはH、L殻に最初の電子が入るのは(a)、M殻に最初の電子が入るのは(b)である。また、N殻に最初の電子が入るのは(c)であるが、この段階でM殻は満たされていない。Scから再びM殻に電子が入りCuで完全に満たされ、これらの元素は(ウ)元素と呼ばれる。各原子における最も外側の電子殻を最外殻と呼び、そこに収容される電子を最外殻電子と呼ぶ。例えば(d)は最外殻がL殻で最外殻電子の数が3個である。また、Clは最外殻がM殻で最外殻電子の数が(エ)個である。

最外殻電子数が等しい原子は良く似た性質を示すことが知られている。(e)、(f)、Kr、Xe、Rnは共に最外殻電子の数が(オ)個であり、Heと合わせて貴ガス(希ガス)と呼ばれ、融点および沸点が低いという特徴を持つ。このうち(f)は大気の約1%を占め、大気中における存在率はNとOに次ぐ3番目である。NやOの単体が常温でN₂やO₂のような分子として存在するのに対し、貴ガスは(カ)分子として存在する。一方、(a)、(b)、(c)は共に最外殻電子の数が1個であり、Rb、Cs、Frと合わせて(キ)と呼ばれる。これらの単体はやわらかい銀白色の金属で、イオン化エネルギーが小さく一価の陽イオンになりやすい。

問1 (a)～(f)に当てはまる適切な元素記号を答えなさい。

問2 (ア)～(キ)に当てはまる適切な語句または数字を答えなさい。

問 3 下線部①に関して、(f), He, HCl を沸点の低い順に並べたとき、正しいものを次のうちから1つ選びなさい。また、そうなる理由を書きなさい。

- (A) (f), He, HCl
- (B) (f), HCl, He
- (C) He, (f), HCl
- (D) He, HCl, (f)
- (E) HCl, (f), He
- (F) HCl, He, (f)

問 4 下線部②に関して、(a), (b), (c) をイオン化エネルギーの小さい順に並べたとき、正しいものを次のうちから1つ選びなさい。また、そうなる理由を書きなさい。

- (A) (a), (b), (c)
- (B) (a), (c), (b)
- (C) (b), (a), (c)
- (D) (b), (c), (a)
- (E) (c), (a), (b)
- (F) (c), (b), (a)

3 次の文章を読み、問1～問6に答えなさい。問3および問5は有効数字3桁で答えなさい。

図1のように、十分量の塩化ナトリウムを溶解した濃度未知の酢酸水溶液 50.0 mL にフェノールフタレインを少量加え、白金板、あらかじめ質量を測定した銀板、および pH 電極を浸した。白金板を陰極、銀板を陽極として、水溶液を攪拌しながら、定電流発生装置を用いて 0.750 A で電気分解した。この間、電極間の電圧および pH を記録した。通電を開始すると白金板の表面からは気体が発生し、銀板の表面は塩化銀へと変化した。通電を開始してから 6 分 26 秒後に水溶液の色が変化した。引き続き電気分解を続け、最初から 13 分ちょうど経過したところで通電を止め、銀板を良く乾燥し、再度質量を測定したところ、0.213 g の質量増加が観測された。pH 変化の記録は図2のようになった。

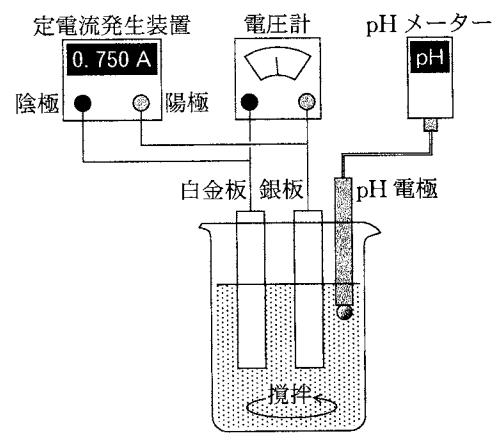


図1 実験に用いた電気分解装置

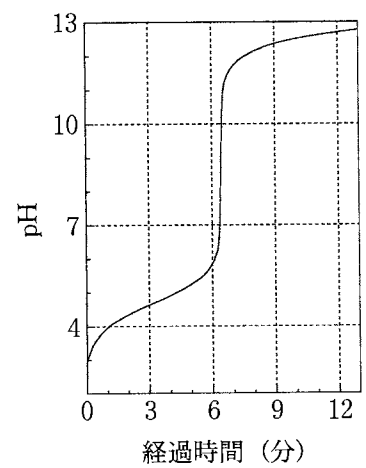
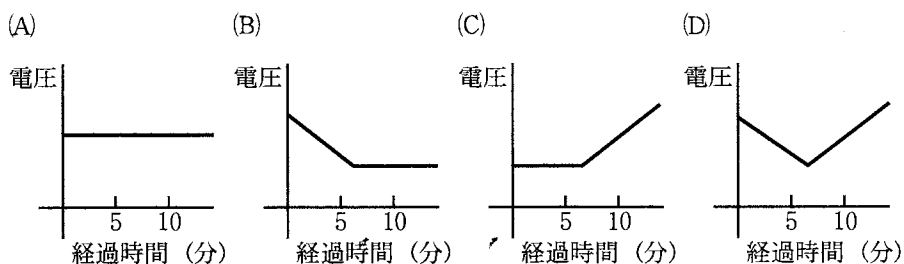


図2 pH の変化

- 問1 下線部①および②で起こっている化学反応を書きなさい。
- 問2 下線部③では、どちらの電極付近でどのような色の変化が観測されるか、答えなさい。

問 3 もとの水溶液の酢酸のモル濃度を求めなさい。計算過程も書きなさい。ただし、ファラデー定数は $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$ とする。

問 4 水溶液中では、イオンの濃度に比例して電流が流れやすくなる。定電流発生装置では、イオンの濃度が変化しても一定の電流を流すために、電極間にかかる電圧を自動で制御している。この実験における電極間の電圧の時間変化をグラフにしたものについて、最も適当なものを次のうちから選びなさい。ただし、金属電極表面の化学変化は考慮しなくて良い。



問 5 従来、ファラデー定数の値は、測定によって決められてきた。今回の実験結果からも、ファラデー定数を決定してみよう。まず、ファラデー定数を使わずに、下線部④までに流れた電気量と、下線部⑤の質量変化に必要な電子の物質質量(モル数)を求め、それぞれ答えなさい。次に、これらの値からファラデー定数を見積もり、答えなさい。

問 6 国際的に参照できるファラデー定数として、国際科学会議の科学技術データ委員会では、不確かさ(誤差)を含んだ以下の値を推奨値としていた。

$$(9.648533289 \pm 0.000000059) \times 10^4 \text{ C/mol}$$

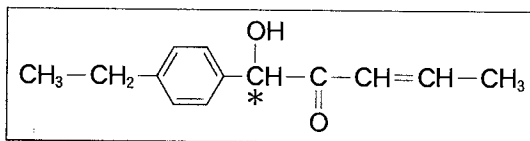
2019年5月20日から、ファラデー定数は、測定による値ではなく、以下の数値とすることが取り決められた。

$$9.648533212 \times 10^4 \text{ C/mol}$$

この変更による、実生活における影響の有無とその理由を、簡潔に答えなさい。

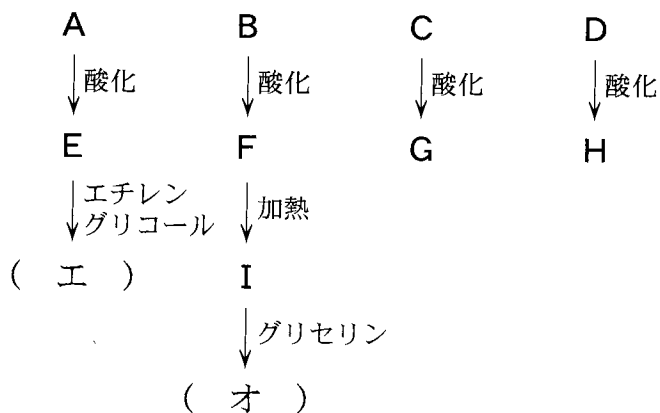
- 4 次の文章(i), (ii)を読み, 問1～問7に答えなさい。なお, 構造式を記入するとき, 記入例にならって記すこと(図中*マークは不斉炭素原子を示している)。

構造式の記入例:



- (i) 分子式 C_8H_{10} の芳香族化合物には, 4つの異性体 A ~ D が存在する。このうち2個のメチル基を持つ A, B, C は(ア)と呼ばれる化合物であり, メチル基が置換する位置によって, (イ), (ウ), *p*-の3種類の異性体が存在する。それぞれ過マンガン酸カリウムで酸化し硫酸で酸性にすると, A, B, C からはそれぞれ E, F, G が得られ, D からは H が得られる。

E はエチレングリコールとの縮合重合により(エ)を与え合成樹脂の原料として重要である。一方, F は加熱すると酸無水物 I を与え, I とグリセリンとの反応で得られる合成樹脂も(オ)樹脂として広く利用されている。一般的に合成樹脂は熱に対する性質により分類される。(エ)のように加熱するとやわらかくなるものを(カ), (オ)樹脂のように加熱しても軟化せず, 過熱すると分解してしまうものを(キ)と分類する。



問 1 (ア)～(キ)に当てはまる適切な語句もしくは化合物名を答えなさい。

問 2 化合物 A～I の構造式を書きなさい。

(ii) 分子式 $C_4H_{10}O$ で表される化合物には鎖状構造を持つ複数の異性体が存在し、3 種類のエーテルと 4 種類のアルコールに分別される。これらのアルコールのうち、① 2 種類のアルコールは酸化することでカルボン酸を与える。残りの ② 2 種類のアルコールは、酸化されにくいアルコールと、不斉炭素を持つアルコールである。これら ③ 7 種類の異性体のうちの 1 つは、ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めることで、黄色沈澱の J を生じる。

問 3 下線部①に当てはまる化合物の構造式をすべて書きなさい。

問 4 下線部②に当てはまる化合物の構造式をすべて書きなさい。

問 5 下線部③に当てはまる化合物の構造式を書きなさい。


問 6 下線部④に当てはまる化合物の構造式を書きなさい。なお、不斉炭素原子には記入例にならって*マークを付けること。

問 7 下線部⑤の反応名と J の分子式を書きなさい。さらに、これら 7 種類の異性体のうち、この反応が観測される化合物の構造式を 1 つ書きなさい。

5 次の問1～問3に答えなさい。

問1 下表のアミノ酸のうち3つのアミノ酸から構成されるペプチドAについて、(1)～(4)に答えなさい。

表

名称	分子量	等電点	側鎖の構造式
グリシン	75	6.0	-H
アラニン	89	6.0	-CH ₃
リシン	146	9.7	-CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -NH ₂
グルタミン酸	147	3.2	-CH ₂ -CH ₂ -COOH
メチオニン	149	5.7	-CH ₂ -CH ₂ -S-CH ₃
フェニルアラニン	165	5.5	-CH ₂ - 

- (1) ペプチドAの水溶液に濃硝酸を加えて加熱後、アンモニア水を加えて塩基性にしたところ、橙黄色を呈した。ペプチドAに含まれ、呈色の原因と考えられるアミノ酸を表より選びなさい。
- (2) ペプチドAの水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱後、酢酸鉛(II)の水溶液を加えたところ、黒色沈殿が生じた。ペプチドAに含まれ、沈殿の原因と考えられるアミノ酸を表より選びなさい。
- (3) ペプチドAを加水分解し、得られたアミノ酸をpH = 7.0の緩衝液で十分に湿潤させたろ紙を用いて電気泳動を行ったところ、2つのアミノ酸が陽極側に、1つのアミノ酸が陰極側に移動した。
 - ① 陰極側に移動したアミノ酸を表より選びなさい。
 - ② このアミノ酸が陰極側に移動した理由を書きなさい。
- (4) ペプチドAの分子量を求めなさい。解答には計算の過程も記すこと。

問 2 2つのアミノ酸から構成されるペプチド B, および3つのアミノ酸から構成されるペプチド C それぞれの水溶液について, 水酸化ナトリウム水溶液を加えて塩基性にした後, 硫酸銅(II)の水溶液を少量加えたところ, 片方の溶液では赤紫色を呈した。ただしペプチドの濃度などの実験条件は同じであった。

- ① 呈色したペプチドはどちらか, 答えなさい。
- ② この呈色反応の名称を答えなさい。
- ③ この呈色の違いが生じる理由を書きなさい。

問 3 一般にペプチド中のアミノ酸の数が 50 以上になったものをタンパク質と呼んでいる。タンパク質はヒトの栄養素として重要であるため, 食品中のタンパク質の含有量の測定が必要である。一般的には, タンパク質中に一定量含まれ, 比較的容易に測定ができる窒素の含有量からタンパク質の含有量を算出する。窒素の測定法の1つであるケルダール法では, 食品を熱硫酸で分解し, タンパク質中の窒素を硫酸アンモニウムとして反応溶液中に残留させる。この硫酸アンモニウムからアンモニアを発生させ, その生成量を測定して, タンパク質の含有量を算出する。

ある食品 0.70 g を用いて, この分析操作を行ったところ, 0.034 g のアンモニアが測定された。タンパク質中の窒素の質量百分率を 16 % とし, 窒素は全てタンパク質に由来したとして, この食品中のタンパク質の質量百分率(%)を計算しなさい。解答には計算の過程も記すこと。有効数字は2桁で答えなさい。