

令和 3 (2021) 年度入学試験問題 (前期)

理 科

注 意

1. 台図があるまで表紙をあけないこと。
2. 化学, 物理, 生物のうちから 2 科目を選択し, 別紙解答用紙に受験番号, 氏名を記入すること。  
(ただし受験票, 入学願書に記入した 2 科目に限る。)
3. 選択した科目以外の科目 (例えば化学, 物理を選択した場合は生物) の解答用紙にも受験番号, 氏名を記入し, 全体に大きく×印をすること。
4. 解答は解答用紙の枠内に記入すること。
5. 裏表紙は計算に使用する。
6. 選択した科目以外の解答用紙に解答を記入した場合, 及び解答用紙に解答以外のことを書いた場合, その答案は無効とする。
7. 問題冊子は 1 冊, 別紙解答用紙は各科目それぞれ 1 枚である。
8. 受験票は机に出しておくこと。

(注意) 必要な場合には、次の値を用いよ。

原子量 H : 1.0, C : 12.0, O : 16.0 気体定数 :  $8.31 \times 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{L}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  ファラデー定数 :  $9.6 \times 10^4 \text{ C/mol}$

字数制限のある解答に化学式を用いる場合、例えば  $\text{Fe}^{2+}$  はそれぞれの字を1マスに、全部で4マスに書くこと。

I 容積 22.4 L の容器に一酸化炭素 1.40 g と酸素 30.40 g の混合気体を入れて密閉したところ、圧力は  $1.105 \times 10^5 \text{ Pa}$  であった。この混合気体に点火し、完全に燃焼させた。以下の問に有効数字 3 桁で答えよ。ただし気体はすべて理想気体としてふるまうものとする。また、一定体積での二酸化炭素と酸素の比熱 (1 g の物質の温度を 1 K 上昇させるのに必要な熱) は、いずれも  $0.660 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{g})$  とし、一酸化炭素の燃焼熱は  $282 \text{ kJ/mol}$  とする。さらに、容器の容積は温度で変化せず、点火に要した熱量は無視でき、問 5 以外では気体の熱は容器や容器の外に移動しないものとする。

問 1 燃焼前の混合気体の温度はいくらか。K を単位として答えよ。

問 2 燃焼後の気体に含まれる二酸化炭素と酸素の量はそれぞれいくらか。g を単位として答えよ。

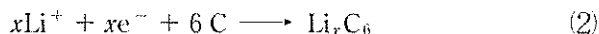
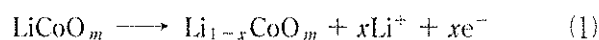
問 3 燃焼後の温度はいくらか。K を単位として答えよ。

問 4 燃焼後の気体の圧力はいくらか。Pa を単位として答えよ。

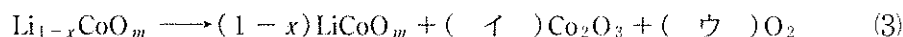
問 5 燃焼後の気体を燃焼前の温度まで冷却した。気体の圧力はいくらか。Pa を単位として答えよ。

II リチウムイオン電池では電極にコバルト酸リチウムと黒鉛、電解液に  $\text{LiPF}_6$  を溶解して電離させた有機溶媒を用いている。コバルト酸リチウムは図の左のようにそれぞれの元素の層からなり、コバルト層とそれを包む酸素層(合わせて  $\text{CoO}_m$  層と呼ぶ)がリチウム層と交互に並ぶ構造になっている。 $\text{CoO}_m$  層を層の面に垂直の方向から見ると、図の右のように Co 原子が 6 個の O 原子に囲まれて規則正しく並んだ構造になっている。また、リチウム層ではリチウムはイオンとして存在している。

この電池に充電を行った結果両極において起こる反応は次式で表される。なお、 $0 < x \leq 1$  である。



(1)の反応が起こった電極では、もともとあった Li の数の (ア) 倍にあたる数の Li が  $\text{Li}^+$  として抜けて電解液に移動している。ただし、 $\text{CoO}_m$  層は Li によって安定化されているため、あまり多くの Li が抜けると以下の反応が起こって  $\text{CoO}_m$  層の構造が壊れてしまう。そこで通常  $x = 0.5$  で充電が止まるような電子回路が電池に付けられている。



放電の際は(1)と(2)の反応の逆反応が起こっている。これを 1 つの反応式で示すと (エ) となる。

以下の問に答えよ。なお、問 2 と問 3 では必要があれば問 1 で答えた  $m$  の数値を使い、記号  $m$  を用いずに答えること。

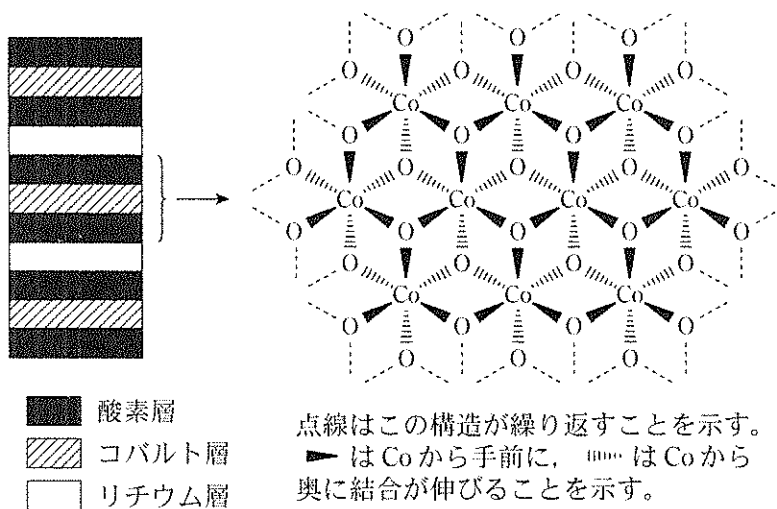
問 1 図の構造から定まる  $m$  の値を答えよ。

問 2 (1)の反応においては一部の Co が酸化されている。その酸化数の変化を例にならって答えよ。例 :  $+4 \rightarrow +7$

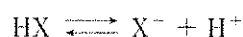
問 3 (ア)~(エ)を適切な数字、記号、式を用いて埋めよ。なお、(イ)(ウ)は小数や分数を用いてよい。また、(エ)はイオンを含まない式で示すこと。

問 4  $\text{LiPF}_6$  を溶解して電離させるためには電解液の溶媒として水を用いるのが簡単であるが、有機溶媒を用いている理由として最も重要と考えられることを 30 字以内で述べよ。

問 5 あるスマートフォンのリチウムイオン電池には Co が 0.225 mol 含まれている。この電池を  $x = 0.5$  まで充電して 200 mA の消費電流でスマートフォンを使用した場合、(エ)の反応が終了するまで何時間何分使用することができるか。



Ⅲ 中和滴定に用いる pH 指示薬(以下、指示薬)は、水溶液の pH の変化によってその色が変わる。これは、指示薬の多くが弱酸あるいは弱塩基であり、水溶液中で電離平衡状態にあるためである。ある指示薬 X について、電離していない分子を HX で表すと、水溶液中ではその一部が電離して次のような平衡が成り立つ。





HX は赤色を、X<sup>-</sup> は黄色を呈する。指示薬 X を含む水溶液は、HX のモル濃度 [HX] と X<sup>-</sup> のモル濃度 [X<sup>-</sup>] が 10 倍以上違うと肉眼では片方の色だけが認識される。したがって、[HX] : [X<sup>-</sup>] = 1 : 10 となる pH と [HX] : [X<sup>-</sup>] = 10 : 1 となる pH の間では、pH の変化による HX と X<sup>-</sup> の濃度の変化が溶液の色の変化として表れる。この pH の範囲を変色域という。以下の問に答えよ。ただし、指示薬 X の電離定数は  $K_X = 4.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  である。また、 $\log_{10} 2.0 = 0.30$ ,  $\log_{10} 3.0 = 0.48$  とする。

- 問 1 電離定数  $K_X$  を [HX], [X<sup>-</sup>], および水素イオン濃度 [H<sup>+</sup>] を含む式で表せ。
- 問 2 [HX] = [X<sup>-</sup>] となる pH を小数第 1 位まで答えよ。
- 問 3 指示薬 X の変色域を例にならって示せ。 例: pH 6.2~9.2
- 問 4 次の(a)~(d)のうち、滴定の指示薬として指示薬 X を用いるのが適切なものをすべて選び記号で書け。ただし、使用する水溶液の濃度はすべて 0.1 mol/L とする。
- (a) 酢酸水溶液を水酸化ナトリウム水溶液で滴定する。      (b) 塩酸を水酸化ナトリウム水溶液で滴定する。
- (c) 塩酸をアンモニア水溶液で滴定する。      (d) 酢酸水溶液をアンモニア水溶液で滴定する。
- 問 5 指示薬 Y は同様に電離によって色の変化を示し、その電離定数は  $K_Y = 2.0 \times 10^{-10} \text{ mol/L}$  である。問 4 の(a)~(d)のうち、滴定の指示薬として指示薬 Y を用いるのが適切なものをすべて選び記号で書け。

Ⅳ α-アミノ酸は一般に R—CH(NH<sub>2</sub>)—COOH で表され、表に示すように置換基 R の違いによってさまざまな種類がある。α-アミノ酸のうち(ア)以外は不斉炭素原子を少なくとも 1 つ有している。ペプチドはアミノ酸どうしがアミノ基とカルボキシ基の間で脱水縮合して結合したものであり、ここで形成される(イ)結合をペプチド結合という。アミノ酸 2 分子が結合したものはジペプチド、3 分子が結合したものはトリペプチドと呼ばれる。多数のアミノ酸が結合したものは(ウ)と呼ばれ、タンパク質を構成する主体である。水溶性タンパク質の表面は(ア)の置換基 R を持つアミノ酸が分布しており、内部はその反対の性質の置換基 R を持つアミノ酸が分布している。これによってタンパク質の立体構造が維持されているが、細部においてはペプチド結合どうしに形成される水素結合によってα-ヘリックスやβ-シートのような(エ)構造が形成されている。水中の水溶性タンパク質の表面は水和され、安定なコロイドとして存在するが、多量の電解質を加えると水和している水がイオンに奪われるため沈殿する。この現象を(オ)という。

ある天然のタンパク質を部分的に加水分解したところ、直線状のトリペプチド X が得られた。X は表に示す α-アミノ酸の一部で構成されている。X を酸化すると、X の分子量の 2 倍より 2 だけ少ない分子量を持つ化合物が得られ、それを還元するとふたたび X に戻った。また、X の水溶液に塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色した。

- 問 1 (ア)~(オ)に適切な語句を入れよ。
- 問 2 (ア)には置換基 R の性質を示す語句が入る。その語句を答えよ。
- 問 3 下線部から X に存在することが予想されるアミノ酸を検出する方法一つを簡単に説明し、どのような結果が得られるかを述べよ。
- 問 4 X は 4 個の不斉炭素原子を持つことが分かった。電荷を持たない状態での X の分子量はいくらか。
- 問 5 X の立体構造を調べると 1 種類のものであった。X の 4 個の不斉炭素原子の存在により生じる立体異性体は X 以外に何種類存在するか。
- 問 6 問 5 のうち、X の鏡像異性体でないものは何種類存在するか。

名称	分子量*	置換基 R
アラニン	89	CH <sub>3</sub> —
グリシン	75	H—
グルタミン酸	147	HOOC—(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> —
システイン	121	HS—CH <sub>2</sub> —
セリン	105	HO—CH <sub>2</sub> —
チロシン	181	HO—  —CH <sub>2</sub> —
フェニルアラニン	165	 —CH <sub>2</sub> —
バリン	117	CH <sub>3</sub> —CH(CH <sub>3</sub> )—
イソロイシン	131	CH <sub>3</sub> —CH <sub>2</sub> —CH(CH <sub>3</sub> )—

\*電荷を持たない状態での分子量を示す。