

理科問題紙

令和3年2月25日

自 14:20

至 16:20

答案作成上の注意

1. 理科の問題紙は1から28までの28ページである。
2. 解答用紙は、生物⑦、⑧、⑨、化学⑩、⑪、⑫、⑬、物理⑭、⑮、⑯の10枚である。
3. 生物、化学、物理のうち2科目を選択すること。
4. 解答はすべて解答用紙の指定された箇所に書くこと。
5. 試験開始後30分以内に選択する科目を決定すること。
6. 折りこまれている白紙(2枚)は草案紙として使用すること。
7. 問題紙と草案紙は持ち帰ること。

化 学

1 以下の文章を読み、問1～問7に答えよ。

15族に属する窒素は、最外殻に5個の電子を有し、それらは1組の電子対と3個の〔ア〕からなる。窒素分子 N_2 は、窒素原子どうしが〔ア〕を出し合い、生じた3組の電子対を共有することで結合エネルギーの大きな三重結合を形成している。そのため、 N_2 は安定で反応性に乏しいが、自動車のエンジン内などで高温で燃焼する際には、酸素と反応して窒素酸化物を生成する。

窒素の化合物の一つであるアンモニア NH_3 は、窒素原子と水素原子間で共有電子対を形成して結合したもので、三角すいの形をしている。アンモニアは無色の有毒気体で、工業的には触媒を用いて窒素と水素から直接合成される。アンモニアは肥料など^①窒素化合物の合成原料となるほか、炭酸ナトリウムの工業的製造にも用いられている。アンモニアは水によく溶け、一部は水と反応して弱塩基性を示す。この時生成するアンモニウムイオンは、アンモニア分子中の窒素原子の非共有電子対を水素イオンと共有することによって結合したものであり、これは〔イ〕結合と呼ばれ、このアンモニウムイオンは〔ウ〕の形をしている。アンモニアは、金属イオンとも〔イ〕結合して〔エ〕を形成する。

アンモニアを高温で触媒を作用させて酸化する方法は、硝酸の工業的な製法として知られている。^③硝酸は強酸であるとともに強い酸化力を有し、イオン化傾向の小さい金属も酸化して溶かすことができる。

問1 〔ア〕～〔エ〕にあてはまる適当な語句を記せ。

問2 下線部②、③で示される方法には、それぞれ開発者にちなんだ名称がつけられている。それらの名称を記せ。また、下線部③で用いられる触媒を元素記号で記せ。

問 3 窒素と水素からアンモニア(気体)が生成するときの生成熱を $+46 \text{ kJ/mol}$, N-H , H-H の結合エネルギーをそれぞれ 391 kJ/mol , 436 kJ/mol とするとき, N_2 の三重結合の結合エネルギーを求めよ。

問 4 下線部①の反応について、平衡時のアンモニアの生成率に関する以下の記述の中で、間違っているものをすべて選び記号で答えよ。

- (a) 圧力が一定の時、反応温度が高いほど反応速度が大きくなり、アンモニアの生成率も高くなる。
- (b) 反応温度が低いと、平衡に達するまでの時間が長くなるが、アンモニアの生成率は高くなる。
- (c) 温度が一定の時、圧力が高いほどアンモニアの生成率も高くなる。
- (d) 反応温度が高い方がアンモニアの生成率が高くなるのは、この反応が吸熱反応だからである。
- (e) 触媒を使用すると反応速度が大きくなるとともに、アンモニアの生成率も高くなる。

問 5 0.10 mol/L のアンモニア水 10 mL を、 0.10 mol/L の塩酸で滴定したときの中和滴定について述べた以下の記述の中で、正しいものをすべて選び記号で答えよ。

- (a) この滴定の中和点は塩基性側にかたよっている。
- (b) 指示薬としてフェノールフタレインを用いたとき、中和点に達する前に溶液の色が赤から無色に変化する。
- (c) 指示薬としてメチルオレンジを用いたとき、中和点付近で溶液の色が赤色から黄色に変化する。
- (d) なるべく多量の指示薬を加えて、中和点での色の変化を明瞭にして滴定したほうがよい。
- (e) 塩酸を 10 mL 加えたときに中和点に達し、中和点付近で溶液の pH が大きく変化する。

問 6 以下に示す金属イオンの沈殿物のうち、アンモニア水を過剰に添加したときに溶解するものをすべて選び記号で答えよ。

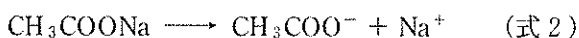
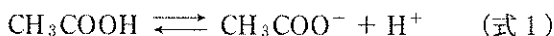
- (a) Ag_2O (b) $\text{Al}(\text{OH})_3$ (c) $\text{Fe}(\text{OH})_3$
(d) $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (e) $\text{Pb}(\text{OH})_2$

問 7 Ag, Al, Cu, Fe の金属片がそれぞれ入った試験管に、ある濃度の硝酸を加えたところ 2 種類の金属片だけが溶解した。金属片が溶解した 2 つの溶液それぞれにアンモニア水を十分量加えたところ、1 つの溶液だけが着色した。この着色した溶液に入っていた金属にどのような反応が起こったか、金属片の硝酸による溶解と、アンモニア水の添加によって起こった変化を化学反応式で示せ。

2 (I), (II)について答えよ。

(I) 以下の文章を読み、問1～問3に答えよ。

一般に、「弱酸」と「弱酸の塩」の混合水溶液は pH 緩衝作用がある。たとえば、酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液では、それぞれが(式1)、(式2)のよ^①うに電離している。



この水溶液に酸を加えると、加えた酸から生じる H^+ は酢酸イオンと結合して酢酸分子が生成する。一方、塩基を加えた場合には、中和反応により水分子が生成し、中和により減少した H^+ は酢酸分子が電離することで補われる。このように考えると、酢酸のみの水溶液でも緩衝作用を得られるように思えるが、② 十分な緩衝作用を得るには混合水溶液である必要がある。

問1 下線部①について、混合水溶液中の酢酸の濃度を C mol/L、酢酸ナトリウムの濃度を C' mol/L とする。酢酸の電離度を α 、酢酸の電離定数を K_a としたとき、この混合水溶液の pH を C 、 C' 、 α 、 K_a の中から必要な記号を用いて示せ。

問2 下線部①について、この混合水溶液に酸性溶液とアルカリ性溶液のどちらを加えた場合でも、pH の変化が小さくなるようにしたい。酢酸の電離定数を K_a として、 $-\log_{10} K_a = 4.8$ の場合、混合水溶液の pH の値をいくりに調製しておけばよいか、最も適当なものを1つ選び記号で答えよ。

(a) 2.4 (b) 3.8 (c) 4.8 (d) 5.8 (e) 9.6

問3 下線部②について、十分な緩衝作用を得るのに酢酸ナトリウムが必要な理由を100文字程度で記述せよ。

(II) 以下の文章を読み、問1～問6に答えよ。

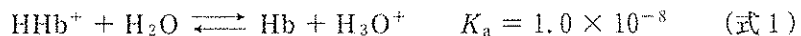
ただし、 $1.0 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 $\log_{10} 2 = 0.3$ とする。

1気圧、 20°C において1molの気体が占める容積は24Lとする。

また、酸素の原子量は16.0とする。

一般的に1気圧、 20°C において、健常者の安静時における呼吸数は1分間に16回で、1回の換気量は0.5リットル、呼気中の酸素濃度は16%である。吸気中の酸素濃度はほぼ21%だから、安静にしているも健常者は1日におよそ gの酸素を体の中に取り込んでいるという計算になる。

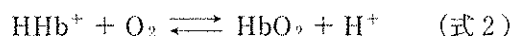
呼吸により体内の血液へ酸素が取り込まれる要因としては、 の法則に基づいて酸素が血液中へ溶解することと、酸素分子は血液中のヘモグロビン(Hb)との親和性が強く、血液中の酸素のほとんどがヘモグロビンと結合していることの2つが挙げられる。通常、血液のpHはほぼ7.4で一定であり、ヘモグロビンが水素イオンと結合したかたちを HHb^+ と表すと、次の(式1)のような平衡状態にある。



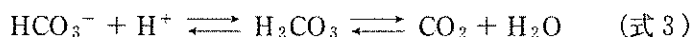
したがって、ヘモグロビンは血液中に $[\text{HHb}^+]/[\text{Hb}]$ が という割合で存在している。

大気中の酸素分圧は通常 mmHgであるが、気管支の末端の「肺胞」(直径 $8 \mu\text{m}$ 程度の半球状の小胞)に流れ込む空気中の酸素分圧(血液中に溶解しようとする圧力)は、吸った空気と肺に残存する空気が混ざって100 mmHg程度になる。この「肺胞」の薄い膜(肺胞膜)の外側には毛細血管が密着している。この毛細血管に肺以外の体内器官から流れ込む血液中の酸素分圧(血液中から外へ出ようとする圧力)は安静時には40 mmHg程度である。この60 mmHgの分圧差が、肺胞内の空気から毛細血管中の血液への酸素の移動を引き起こす。

ヘモグロビンが酸素分子と結合したかたちを HbO_2 と表し、1つの酸素分子に着目すると、血液中には(式2)のような平衡状態にある。



肺から出てくる血液は、酸素分圧 100 mmHg、ヘモグロビンの酸素飽和度 98 % 程度となっている。この血液が体内の各組織まで運搬されて酸素を引き渡す代わりに、その酸素が消費されてできた二酸化炭素を血液は組織から受け取り、主に炭酸水素イオン(HCO₃⁻)の形で肺まで運び、肺胞膜をとおして呼気という形で体外に二酸化炭素を放出する。その時、血液中では(式 3)のような平衡が起こっている。



この肺胞内の空気と毛細血管内の血液との間のガス交換は(式 2)と(式 3)の 2 つの平衡反応系が関わっている。つまり、息を吸うと肺胞内の空気から酸素が毛細血管の血液に移動する。すると(式)の平衡が にずれて、 の濃度が高くなる。すると、(式)の平衡が にずれて、 の濃度が高くなり、肺胞膜をとおして肺胞内の空気へ放出されて、息を吐くと大気へ廃棄される。

問 1 にあてはまる最も適当なものを 1 つ選び記号で答えよ。

- (a) 38 (b) 76 (c) 154 (d) 380
 (e) 760 (f) 1580 (g) 3600 (h) 7700

問 2 にあてはまる人の名前を記せ。

問 3 にあてはまるものを 1 つ選び記号で答えよ。

- (a) 0.03 (b) 0.1 (c) 0.25 (d) 1
 (e) 4 (f) 10 (g) 40

問 4 にあてはまる数値を有効数字 2 桁で示せ。

問 5 下線部①のとき，激しい運動をしていると筋肉組織では乳酸が生成してヘモグロビンからの酸素の解離をさらに促進するという。文中の(式2)に関連付けてその理由を60字程度で記述せよ。

問 6 (オ) , (カ) , (キ) および (ク) , (ケ) , (コ) にあてはまる語句の組み合わせとして正しいものをそれぞれ1つ選び記号で答えよ。

(a) 2, 右, O_2

(b) 3, 右, H^+

(c) 2, 左, H^+

(d) 3, 左, CO_2

(e) 2, 右, H^+

(f) 3, 右, CO_2

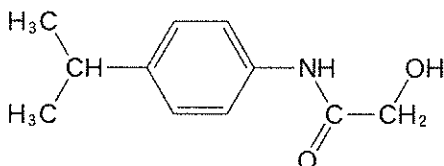
(g) 2, 左, O_2

(h) 3, 左, H^+

3 以下の文章を読み、問1～問5に答えよ。

原子量はH：1.0，C：12.0，N：14.0，O：16.0とする。

構造式は以下の例にならってかけ。



サリチル酸(*o*-ヒドロキシ安息香酸)は、ヒドロキシ基とカルボキシ基がベンゼン環に導入された芳香族化合物であり、フェノール類とカルボン酸の性質を併せもつ。また、サリチル酸は二価の酸であり、2段階の電離をする。1段階目の電離定数は 1.0×10^{-3} であり (ア) 基の、2段階目の電離定数は 4.2×10^{-13} であり (イ) 基の電離にそれぞれ対応する。

サリチル酸には解熱、鎮痛作用があるが、医薬品としては副作用が大きく、現在ではサリチル酸から合成されるさまざまな化合物が医薬品に用いられている。代表的なものとしては、アセチルサリチル酸、サリチル酸メチルなどがある。

問1 (ア) ， (イ) にあてはまる適切な語句を記せ。

問2 サリチル酸とその構造異性体の各段階の電離定数(K_{a1} ， K_{a2})を表に示す。

物質名	K_{a1}	K_{a2}
サリチル酸	1.0×10^{-3}	4.2×10^{-13}
<i>m</i> -ヒドロキシ安息香酸	8.4×10^{-5}	1.4×10^{-10}
<i>p</i> -ヒドロキシ安息香酸	2.6×10^{-5}	5.9×10^{-10}

表中の物質のうち、1価の陰イオンとして存在できるpHの範囲が最も広い物質名を記せ。また、その理由を、この物質の構造に着目して説明せよ。

問 3 アセチルサリチル酸とサリチル酸メチルをジエチルエーテルに溶かした溶液がある。水層と振り混ぜることによりこれらを分離したい。水層として用いることが可能なものを1つ選び記号で答えよ。また、このときジエチルエーテル層に残る物質はどちらかを答えよ。

- (a) 希硝酸 (b) 希塩酸 (c) 水酸化ナトリウム水溶液
(d) 炭酸水素ナトリウム水溶液

問 4 以下の文章の中で、サリチル酸、アセチルサリチル酸、サリチル酸メチルのそれぞれにあてはまるものをすべて選び記号で答えよ。なお、同じ記号を複数回選んでもよい。

- (a) エーテルである。
(b) エステルである。
(c) ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて温めると黄色結晶が生じる。
(d) 塩基性条件下で薄い硫酸銅(II)水溶液を少量加えると赤紫色になる。
(e) 塩化鉄(III)水溶液を加えると赤紫色になる。
(f) 薄いニンヒドリン溶液を加えて温めると赤紫色になる。
(g) さらし粉水溶液を加えると赤紫色になる。
(h) 1分子中に水素原子が偶数個ある。

問 5 不斉炭素原子をもつモノアミンとサリチル酸を反応させて、窒素原子を1つ含むアミドを合成した。元素分析の結果、このアミドは炭素を68.40%、水素を7.75%、窒素を7.25%含み、酸素以外のほかの元素は含まれていないことがわかった。このアミドの構造式をかけ。答に至る過程も示すこと。ただし、立体異性体は考えなくてよい。