

令和 2 (2020) 年度入学者選抜個別 (第 2 次) 学力検査問題

理 科

注 意 事 項

1. 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけません。
2. この冊子は、全部で 30 ページあり、第 1 ～ 3 ページは下書用紙です。下書用紙は切り離してはいけません。
3. 解答用紙は、問題冊子と別に印刷されているので、誤らないように注意しなさい。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された欄内に記入しなさい。点線より右側には何も記入しないこと。
5. 入学志願票に選択を記載した 2 科目について解答しなさい。選択していない科目について解答しても無効です。
6. 各解答用紙には、受験番号欄が 2 か所ずつあります。それぞれ記入を忘れないこと。
7. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、机上に置き、持ち帰ってはいけません。この冊子は持ち帰りなさい。
8. 落丁または印刷の不鮮明な箇所があれば申し出なさい。

化 学

必要のある場合には次の数値を用いよ。

原子量：H = 1.0 Li = 6.9 C = 12.0 N = 14.0 O = 16.0

Na = 23.0 Cl = 35.5 K = 39.1 Ca = 40.1 Hg = 201

気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \frac{\text{Pa} \cdot \text{L}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$

アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$

ファラデー定数： $F = 9.65 \times 10^4 \text{ C/mol}$

対数： $\log_{10} 2 = 0.30$ $\log_{10} 3 = 0.48$ $\log_{10} 7 = 0.85$ $\log_{10} 11 = 1.04$

$\log_{10} 13 = 1.11$ $\log_{10} 17 = 1.23$ $\log_{10} 19 = 1.28$ $\log_{10} 23 = 1.36$

$\log_e 10 = 2.30$ ($e = 2.718$)

数値を計算して答える場合は、結果のみではなく途中の計算式も書き、計算式には必ず簡単な説明文または式と式をつなぐ文をつけよ。

1 次の文を読み下の問に答えよ。

細胞において、ほとんど全ての生物活動の過程は pH に依存し、たとえ小さな pH の変化であっても、細胞の機能などに大きく影響を及ぼす。生体において、細胞内・外の主要な緩衝液の系として、炭酸緩衝系およびリン酸緩衝系が利用されている。そのためシャーレ(培養容器)内で細胞を培養する時、培養液中には緩衝剤として NaHCO_3 が含まれていることが多い。細胞培養装置(インキュベーター)には、細胞培養に必要な一定の温度や湿度を保つだけでなく、ボンベから二酸化炭素を装置内に送りこむ仕組みが備わっている(図 1-1)。

培養装置内では、図 1-2 に示すように気体と液体において、a) 気体と液体中における CO_2 の平衡関係、b) 液体中における CO_2 と H_2CO_3 との間の平衡関係、c) H_2CO_3 と HCO_3^- との間の平衡関係が成り立っている。液体中では、実際には H_2CO_3 の存在比は極めて低いため、液体中の CO_2 を $(\text{CO}_2)_L$ と表すとき、液体中における平衡は実質的に①のように表すことができる。

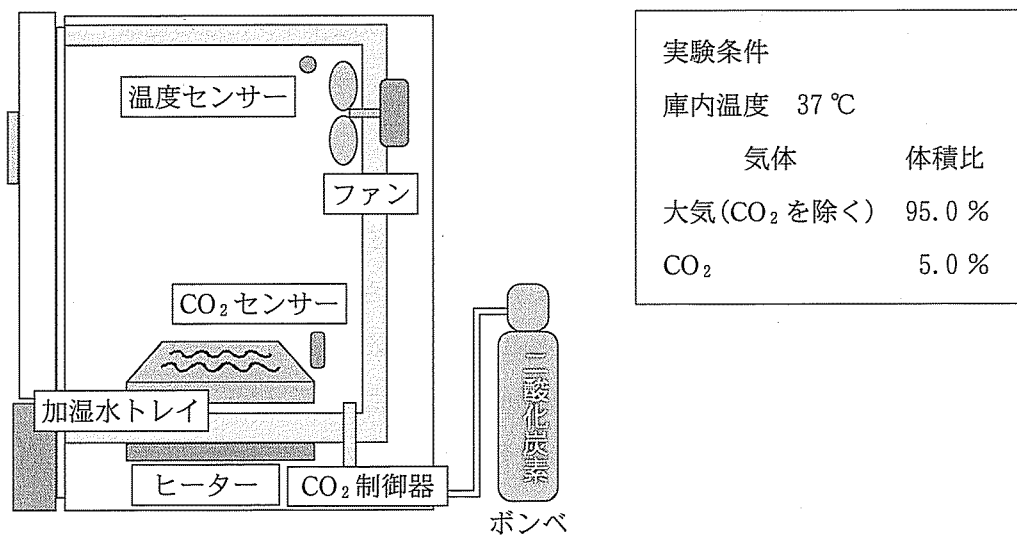


図 1-1 細胞培養装置(インキュベーター)

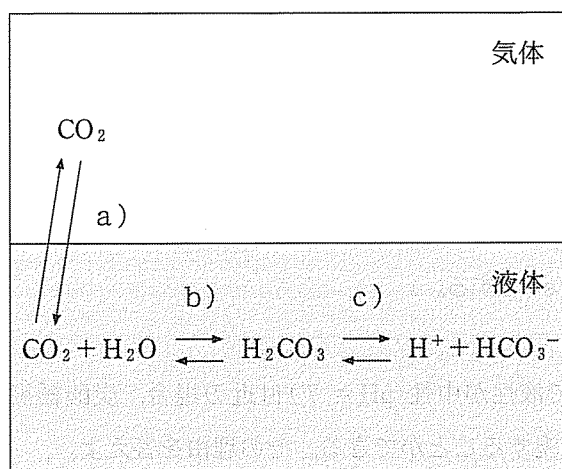
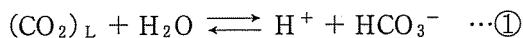


図 1-2 液体中と気体の CO₂ の平衡関係



この平衡定数を K とすると,

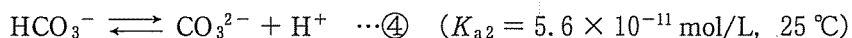
$$K = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] / [(\text{CO}_2)_L][\text{H}_2\text{O}] \quad \dots \textcircled{2}$$

$[\text{H}_2\text{O}]$ は一定と考えてよいため, 酸の電離定数 $K_{a1} (= K[\text{H}_2\text{O}])$ は

$$K_{a1} = [\text{H}^+][\text{HCO}_3^-] / [(\text{CO}_2)_L] \quad \dots \textcircled{3} \quad (K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7} \text{ mol/L}, 25 \text{ }^\circ\text{C})$$

と表せる。

なお、炭酸水素イオンは更に H^+ を電離して、炭酸イオンになる電離平衡



がある。

問 1 圧力の単位は現在パスカル(Pa)が使用されており、大気圧(1 atm)は $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ である。圧力は水銀柱の高さで表記されることもあり、水銀柱の高さが 760 mm のところで大気圧と釣り合うことから、 $1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$ と表せる。

(1) 水銀について誤っているものを A ~ F の中から 2 つ選べ。

- A. 蛍光灯に使われる。
- B. 温度計に使われる。
- C. 濃硝酸により不動態を生じる。
- D. 融点が低く常温で液体で存在する。
- E. はんだの合金成分として用いられる。
- F. 多くの金属元素と合金を作りやすい。

(2) 水銀の密度(kg/m^3)を有効数字 2 桁で求めよ。なお、重力加速度は 9.8 m/s^2 とする。

問 2 25°C で液性が中性($\text{pH} = 7$)付近の場合、炭酸緩衝系の 2 段階目の電離式④を無視することができる。その理由を答えよ。

問 3 K_{a1} , $[HCO_3^-]$, $[(CO_2)_L]$ を用いて、培養液中の pH を表す式を $\text{pH} = -\log_{10} K_{a1} + \boxed{}$ の形で求めよ。

Aさんは海拔0 mにあるB研究所(1 atm下)で、0.029 mol/L NaHCO₃含有培養液を用いて、インキュベーター庫内温度37℃および庫内CO₂濃度5.0%の条件で、ある細胞を培養している(図1-1)。気体中のCO₂はドルトンの分圧の法則にしたがい、さらに、CO₂の液体への溶解はヘンリーの法則にしたがうものとする。その結果、[(CO₂)_L]は二酸化炭素分圧P_{CO₂}を用いて、

$$[(\text{CO}_2)_L] = 2.9 \times 10^{-5} \times P_{\text{CO}_2} \quad \cdots \textcircled{5}$$

と表せる。ここでの圧力の単位はmmHgである。

問4 気体の溶解に関するヘンリーの法則について50字以内で説明せよ。

問5 問3で求めた式と式⑤を用いて、この培養液中のpHを小数点第2位を四捨五入して求めよ。なお電離定数は $K_{a1} = 7.9 \times 10^{-7}$ mol/L(37℃)とする。対数計算の際、 $\log_{10} X$ のXは小数点第1位を四捨五入して整数として扱ってよいものとする。

問6 富士山頂にあるC研究所(大気圧500 mmHg)において、0.029 mol/L NaHCO₃含有培養液を用いて、インキュベーター庫内温度37℃でこの細胞を培養する時、pHを7.10に保つためには、庫内のCO₂濃度を何%に設定すれば良いか。有効数字2桁で答えよ。

2 [A], [B]に答えよ。

[A] 合成高分子化合物は合成繊維，合成樹脂，合成ゴムなど幅広い用途で私たちの生活を支えている。ポリエチレンテレフタレート(PET)は図2-1に示す物質 (A) と (B) を (C) 重合させて得られる高分子であり，樹脂にも繊維にも用いられる。

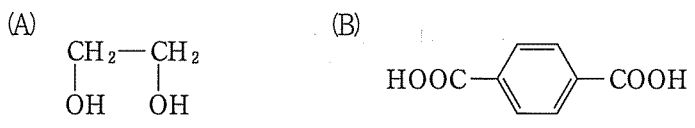


図2-1 ポリエチレンテレフタレートの原料

- 問 1 (A)と(B)に該当する物質名，(C)に該当する用語を埋めよ。
- 問 2 PET の構成単位の構造式を記せ。
- 問 3 平均分子量が 7.2×10^4 の PET の平均重合度を有効数字 2 桁で求めよ。

[B] メタクリル樹脂(アクリル樹脂)は透明度が高く，屋内外の種々の環境でも優れた耐久性を示すことから様々な用途に用いられている。メタクリル樹脂はメタクリル酸メチル(MMA)を (D) 重合させて得られ，ポリメタクリル酸メチル(PMMA)から成る。MMA は常温では透明で粘度の低い液体であり，図2-2の反応で重合してPMMA となる。PMMA は鎖状の高分子が規則性を持たず無秩序に絡まった (E) 構造を持ち，その透明度の高さもあって，「アクリルガラス」とも呼ばれる。PMMA は医療用としても義歯(入れ歯)や骨セメント(骨を接合する接着剤)などに用いられている。

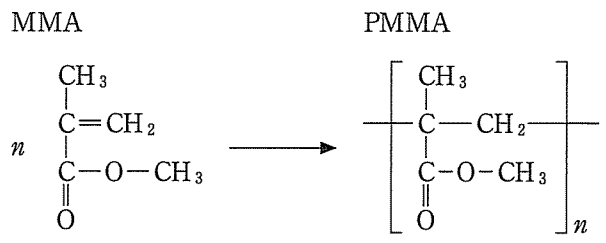


図2-2 メタクリル酸メチルの重合反応

問 4 (D), (E)に該当する用語を埋めよ。

問 5 MMA が重合して PMMA となると、もとの MMA の体積に対して何%になるか。有効数字 2 桁で答えよ。ただし、MMA, PMMA の密度はそれぞれ 0.94, 1.20 g/cm³ とする。

問 6 前述の医療用 PMMA では全てを MMA から重合させるのではなく、粉末の PMMA と液体の MMA を混合し、MMA 部分を重合させて全体を PMMA とすることが多い。MMA が重合する際には MMA 1.0 mol 当たり 54 kJ の熱が発生する。いま、10 mL の MMA と 20 g の粉末の PMMA を混合し、MMA が完全重合して全て PMMA になった場合、何°C の温度上昇が起こるか有効数字 2 桁で推定せよ。ただし外部への熱の流出は考えず、重合以外の MMA や PMMA の変化(蒸発や分解など)は起こらないものと仮定する。また PMMA の比熱(比熱容量) = 1.5 J/(g·K) とする。

問 7 う蝕(むし歯)の治療などで用いる歯の詰め物にも MMA に類似した化合物を重合して用いる。図 2-3 にはその代表的な化合物であるトリエチレングリコールジメタクリレートの構造式を示す。このような用途に用いられる材料では、歯の一部に使われるため強度が求められる。図 2-3 のような化合物を重合して用いることで、PMMA より強度が高まる理由を 100 字以内で説明せよ。

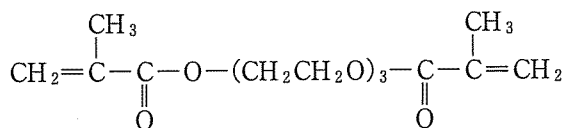


図 2-3 トリエチレングリコールジメタクリレート

3

次の文を読み、下の問に答えよ。

中性脂肪とは、グリセリン(1,2,3-プロパントリオール) $C_3H_5(OH)_3$ に1～3個の脂肪酸が結合した油脂の総称であり、食事からの摂取または肝臓で合成され、血液を通して全身に運ばれ、各組織でエネルギー源として利用されている。血液を採取、凝固させた後に分離操作によって得られる黄色味を帯びた透明な液体は血清と呼ばれ、その血清中の中性脂肪濃度は生体内における脂質代謝(注1)の指標となるため、日常的にその濃度が測定されている。血清中の中性脂肪濃度は、血清と試薬を混和し、図3-1の連続的な反応を行わせると測定することができる。図3-1の反応④にあるNADH(注2)は340nmの光を吸収する性質を有するため、透明な容器にNADHを含む溶液を入れ、この光を当てると溶液を通過した光は弱まる。この光の吸収量を調べることによりNADHの濃度を測定することができる。すなわち、血清と試薬を混和すると血清中の中性脂肪濃度に応じて試薬に含まれるNADHの濃度が減少するため、この減少したNADHの濃度を測定することにより、血清中の中性脂肪濃度が測定できる。例えば、試薬との反応によって、反応溶液中の中性脂肪1molがすべて反応すると試薬に含まれているNADHが1mol減少する。

注1) 代謝：生命の維持のために生体内で行われる物質の化学反応

注2) NADH：還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド

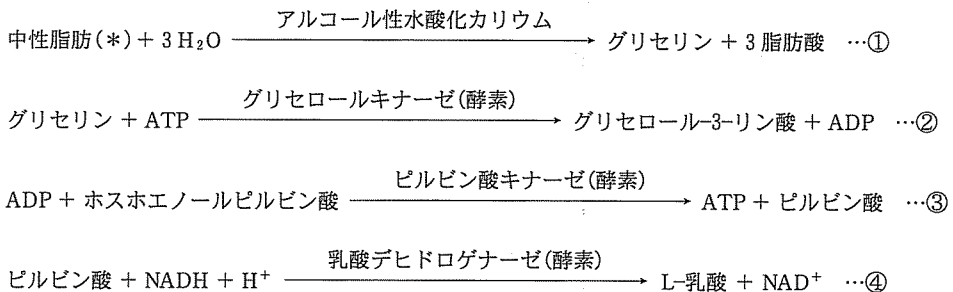


図3-1 中性脂肪濃度測定のための化学反応

(*)：グリセリンに脂肪酸が3個結合した中性脂肪の場合
 ATP：アデノシン三リン酸，ADP：アデノシン二リン酸
 NADH：還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド
 NAD⁺：酸化型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド

問 7 中性脂肪濃度既知の、異なる二種類の溶液と試薬を体積比で 1 : 49 でそれぞれ混和した溶液を反応溶液 1, 反応溶液 2 とする。これらの反応溶液をそれぞれ測定したところ、反応溶液中の反応開始前の中性脂肪濃度と反応終了後の NADH 濃度に関して表 3-1 のような関係が得られた。

表 3-1 反応溶液中の中性脂肪濃度と NADH 濃度

	中性脂肪濃度 (mg/dL)	NADH 濃度 (mmol/L)
反応溶液 1	3.536	0.160
反応溶液 2	6.188	0.130

(1 mmol/L = 10^{-3} mol/L)

濃度未知の中性脂肪溶液 X を測定したところ、反応溶液中の反応終了後の NADH 濃度は 0.150 mmol/L であった。試薬と混和する前の溶液 X の中性脂肪濃度 (mg/dL) を有効数字 3 桁で求めよ。ただし、中性脂肪は反応溶液中で全て反応したとする。また、この中性脂肪は全てトリオレインとする。