

2020 年度

慶應義塾大学入学試験問題

薬 学 部

理 科 (化 学)

- 注 意
1. 記述式解答用紙とマークシートの所定の欄に氏名と受験番号を記入し、マークシートの受験番号欄に受験番号をマークしなさい。記述式解答用紙には、受験番号を書く欄が2ヶ所あります。
 2. 問題の解答は、問題文の指示に従って記述式解答用紙またはマークシートの指定された場所に記入しなさい。マークの仕方は、2ページの「マークシートの解答上の注意」にあります。試験開始後に読んで、それに従いなさい。
 3. 解答用紙への記入、マークシートへのマークにはすべてHBの黒鉛筆を使用しなさい。
 4. 記述式解答用紙とマークシートの指定された場所以外には、いっさい記入してはいけません。
 5. 問題冊子の1～15ページに、文章などが印刷されています。試験開始直後、総ページ数および落丁の有無などを確認し、不備がある場合はすぐに手を挙げて監督者に知らせてください。
 6. 問題冊子の余白は、計算用紙として使用してもかまいません。
 7. 不明瞭な文字・まぎらわしい数字は採点の対象としないので、解答用紙に記入する際は注意してください。
 8. 問題冊子は、必ず持ち帰ってください。

《 指示があるまで開かないこと 》

マークシートの解答上の注意

問題文中の $\boxed{(1)(2)}$, $\boxed{(3)}$ などの $\boxed{\quad}$ には、数字またはマイナス符号(-)が入ります。
以下の方法でこれらをマークシートの指定欄にマークしなさい。

(1), (2), (3)・・・の一つ一つは、それぞれ0から9までの数字、またはマイナス符号(-)のいずれかに対応します。それらを(1), (2), (3)・・・で示された解答欄の該当する箇所にマークしなさい。

[例1] $\boxed{(1)(2)}$ に -8 と答えるとき。

(1)	(2)
①	①
②	②
③	③
④	④
⑤	⑤
⑥	⑥
⑦	⑦
⑧	●
⑨	○
⑩	○
○	○

[例2] $\boxed{(3).(4)}$ に 5.6 と答えるとき。

(3)	(4)
①	①
②	②
③	③
④	④
●	⑤
⑥	●
⑦	⑦
⑧	⑧
⑨	⑨
⑩	⑩
○	○

[例3] $\boxed{(5)(6)}$ に 7 と答えるとき。

(5)	(6)
①	①
②	②
③	③
④	④
⑤	⑤
⑥	⑥
⑦	●
⑧	⑧
⑨	⑨
●	⑩
○	○

解答上の注意

- ・必要に応じて、以下の値を使いなさい。

原子量： H = 1, C = 12, N = 14, O = 16, Na = 23, Fe = 56

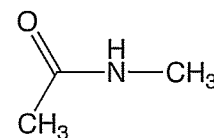
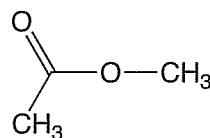
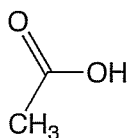
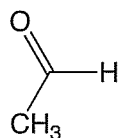
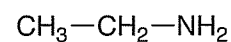
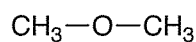
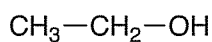
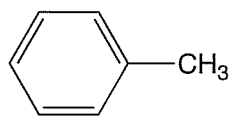
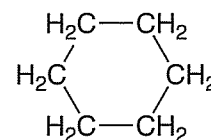
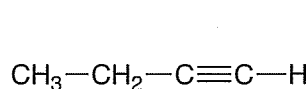
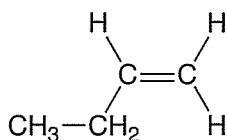
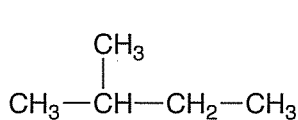
標準状態： 0°C, 1.01×10^5 Pa

気体定数： 8.31×10^3 Pa·L/(K·mol)

アボガドロ定数： 6.02×10^{23} /mol

0°C = 273 K

- ・計算結果は、四捨五入して、指定された桁で答えなさい。
- ・マス目に文章を記述するときは、英字、数字、記号、句読点も、それぞれ1マスを用いて書きなさい。
- ・構造式は下図の例にならって記入しなさい。



1. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔 I 〕

周期表の〔(1)(2)〕族に属する元素は一般にハロゲンと呼ばれ、いずれも〔(3)〕個の価電子を持つ。代表的なハロゲンとして、フッ素、塩素、臭素、ヨウ素がある。

①単体のフッ素 (F_2) は水と激しく反応する。また、②フッ化水素の水溶液はフッ化水素酸と呼ばれ、ガラスの成分である二酸化ケイ素を溶かすので、ガラス製ではなくポリエチレン製の容器に保存する。

単体の塩素 (Cl_2) の製法としては、さらし粉に塩酸を加える方法や、③酸化マンガン (IV) に濃塩酸を加えて熱する方法などがある。工業的には、④陽イオン交換膜によって仕切られた容器に塩化ナトリウム水溶液を入れ電気分解する方法がある。

Cl_2 は水と反応し、塩化水素と次亜塩素酸を生じる。次亜塩素酸はその殺菌作用から水道水の消毒に用いられる。また、衣類の漂白にも使われる。⑤次亜塩素酸を含む塩素系漂白剤と過酸化水素を含む酸素系漂白剤を混ぜると酸化還元反応が起こり、お互いの漂白作用を打ち消し合うことになる。

問1 〔(1)〕～〔(3)〕に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。

問2 下線部①、②、③および⑤の反応の化学反応式を、それぞれ解答用紙に書きなさい。

問3 下線部④について、陽極および陰極で起こる反応を、それぞれ e^- を含むイオン反応式で解答用紙に書きなさい。

問4 フッ素、塩素、臭素、ヨウ素のうち、フッ素が最も大きい、あるいは高い値を持つ性質はどれか。下記から3つ選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

- 1 原子量
- 2 電気陰性度
- 3 単体の酸化力
- 4 単体の融点
- 5 単体分子間に働く分子間力
- 6 水素化合物の沸点
- 7 水素化合物を水に溶かしたときの酸の強さ

問5 単体の臭素 (Br_2) は様々な有機化合物と反応する。下記のうち、室温で Br_2 を加えると付加反応を起こす化合物を1つ選び、その番号をマークシートの〔(4)〕にマークしなさい。

- 1 コハク酸
- 2 酒石酸
- 3 フタル酸
- 4 フマル酸
- 5 マロン酸

問6 ヨウ化カリウム水溶液とデンプン水溶液を混ぜて紙に塗ったものをヨウ化カリウムデンプン紙と呼ぶ。下記のうち、ヨウ化カリウムデンプン紙を青紫色に変化させない物質を1つ選び、その番号をマークシートの **(5)** にマークしなさい。

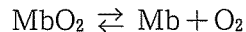
- 1 Cl₂ 2 H₂O₂ 3 KMnO₄ 4 NH₃ 5 O₃

〔Ⅱ〕

錯イオンや錯塩などの錯体は、アンモニアやシアン化物イオンのように非共有電子対を持った **ア** と金属イオンが結合した複合体であり、金属、 **ア** の種類によって、正四面体構造や **イ** 構造など様々な構造をとることが知られている。 **イ** 構造をとる例として ^⑥ ヘキサシアニド鉄(III)酸イオンがある。ヘキサシアニド鉄(III)酸カリウム水溶液に **ウ** 価の鉄イオンを加えると、濃青色(ターンプル青)の沈殿が生じる。一方、ヘキサシアニド鉄(II)酸カリウム水溶液に **ウ** 価の鉄イオンを加えると **エ** 色の沈殿が生じる。

錯体を含むタンパク質として筋肉中に存在するミオグロビンがある。1個のミオグロビンには、ヘムと呼ばれる鉄イオンを中心とした円盤構造の錯体が1つ存在する。鉄イオンを介してミオグロビンは酸素と可逆的に結合することで、生体内において酸素の貯蔵庫の役割を担っている。

ミオグロビン(Mb)と酸素が、結合状態(MbO₂)と解離状態(Mb + O₂)の平衡関係にあるとき、下記の式が成り立つ。



Mbと結合していない酸素の濃度を[O₂]、酸素と結合していないMbの濃度を[Mb]、酸素と結合しているMbの濃度を[MbO₂]とすると、濃度平衡定数K_{Mb}は下記の式で表される。

$$K_{\text{Mb}} = \frac{[\text{Mb}][\text{O}_2]}{[\text{MbO}_2]}$$

また、全Mbに対して酸素と結合したMbの割合をS_{Mb}とすると、S_{Mb}は下記の式で表すことができる。

$$S_{\text{Mb}} = \frac{[\text{MbO}_2]}{[\text{Mb}] + [\text{MbO}_2]}$$

生理的条件下で、酸素濃度が1.86×10⁻⁴ mol/LのときMbの半数が酸素と結合するものとし、動脈血および静脈血の血液中の酸素濃度をそれぞれ6.65×10⁻³ mol/L、2.66×10⁻³ mol/Lとすると、動脈血のS_{Mb}は **(6).(7)(8)**、静脈血のS_{Mb}は **(9).(10)(11)**となる。このように、Mbは酸素濃度の低い条件においても大半のMbが酸素と結合状態にあり、酸素濃度の低い条件において酸素の貯蔵を可能としている。

問7 ～ に入る適切な語あるいは数字を解答用紙に書きなさい。

問8 下線部⑥の化学式を解答用紙に書きなさい。

問9 S_{Mb} は K_{Mb} と $[O_2]$ のみを用いて、下記の式で表される。 に入る式を解答用紙に書きなさい。

$$S_{Mb} = \frac{[O_2]}{\text{オ}}$$

問10 ～ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。

2. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔 I 〕

① 反応が一定体積中で進行する場合、反応物 X から生成物 Y が生じる反応の反応速度 v は、単位時間に減少する反応物 X の濃度、あるいは単位時間に増加する生成物 Y の濃度で表される。

反応速度 v は、反応物 X の濃度を $[X]$ として、一般に以下の式で表すことができる。

$$v = k[X]^n$$

このように、反応物の濃度と反応速度の関係を表した式を反応速度式といい、② 比例定数 k は反応速度定数、 n は反応次数である。反応次数 n は実験によって求められる。

温度・体積が一定の条件で、水中における化合物 X_A , X_B , X_C の濃度 $[X_A]$, $[X_B]$, $[X_C]$ をいずれも 8.0×10^{-3} mol/L として分解反応を開始したところ、 $[X_A]$, $[X_B]$, $[X_C]$ は時間とともに、それぞれ表 1 のように変化した。このとき、分解反応開始から 20 分後の $[X_A]$, $[X_B]$, $[X_C]$ はいずれも 4.0×10^{-3} mol/L であり、開始時の半分であった。これらの化合物の分解反応について、縦軸に反応物の濃度、横軸に時間をとると図 1 のグラフのように表される。

表 1

時間 (min)	0	5	10	20	30
$[X_A]$ ($\times 10^{-3}$ mol/L)	8.0	6.4	5.3	4.0	3.2
$[X_B]$ ($\times 10^{-3}$ mol/L)	8.0	6.7	5.7	4.0	2.8
$[X_C]$ ($\times 10^{-3}$ mol/L)	8.0	7.0	6.0	4.0	2.0

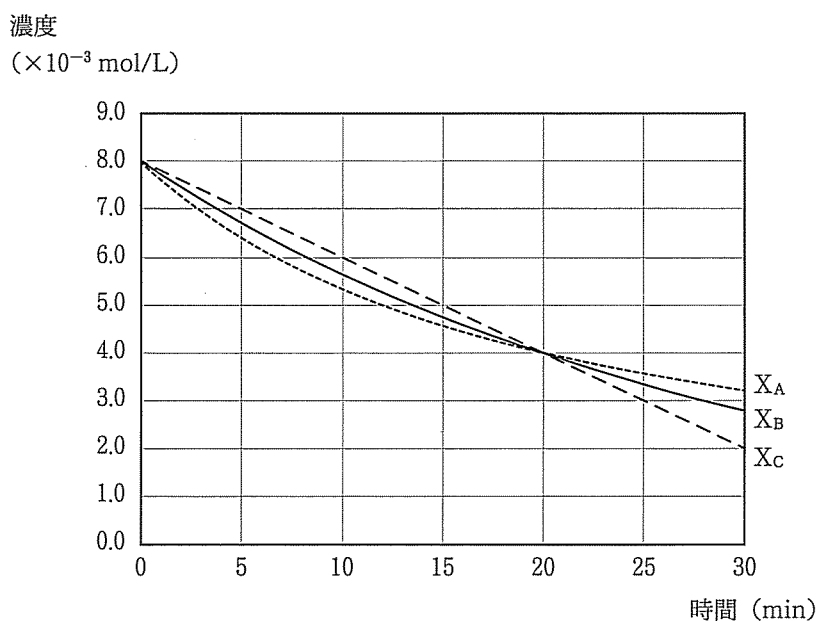


図 1

これらの反応の実験結果より、化合物 X_A の反応次数は (18) ，化合物 X_B の反応次数は (19) ，化合物 X_C の反応次数は (20) と求められる。時間 0～5 分までの間の平均分解速度と、0 分と 5 分における反応物の濃度の平均値から反応速度定数を求めると、化合物 X_A では $(21) \cdot (22) \times 10^{(23)(24)}$ ア，化合物 X_B では $(25) \cdot (26) \times 10^{(27)(28)}$ イ，化合物 X_C では $(29) \cdot (30) \times 10^{(31)(32)}$ ウ になる。

問 1 下線部①について、1 分子の X から 2 分子の Y が生じる反応 $X \rightarrow 2Y$ における X の減少速度が $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$ であるとき、 Y の増加速度は $(12) \cdot (13) \times 10^{-(14)}$ $\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{min})$ である。 (12) ～ (14) に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 (12) に入る数値は 0 ではない。

問 2 下線部②について、反応条件を以下の (a) ～ (c) のように変化させると一般に k はどのように変化するか。最も適切なものを選択肢から 1 つ選び、その番号をマークシートの (15) ～ (17) にマークしなさい。ただし、同じ選択肢を複数回使用できるものとする。

- (a) 反応物の濃度を高くする。 (15)
 (b) 温度を高くする。 (16)
 (c) 触媒を加える。 (17)

[選択肢]

- 1 大きくなる 2 小さくなる 3 変わらない

問 3 (18) ～ (20) には 0, 1, 2 のいずれかが入る。適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、各数字は 1 回のみ使用できるものとする。

問 4 (21) ～ (32) に入る適切な数字またはマイナス符号 (－) をマークシートにマークしなさい。ただし、 (21) ， (25) ， (29) に入る数値は 0 ではない。

問 5 ア，イ，ウ には下記のいずれかの単位が入る。それぞれ適切なものを下記から選び、ア に入るものを (33) ，イ に入るものを (34) ，ウ に入るものを (35) のマークシートにマークしなさい。

- 1 mol/L 2 L/mol 3 /min
 4 mol/(L·min) 5 (L·min)/mol 6 L/(mol·min)
 7 (mol·min)/L

〔Ⅱ〕

化合物 Z は固体では分解しないが，水に溶けると加水分解される。この化合物 Z を水に完全に溶かし，加水分解の反応次数 n を求めたところ， $n = 1$ であった。次に，水に対する溶解度を超える量の化合物 Z を水に懸濁し，加水分解反応を開始した。この反応について，縦軸に懸濁液中の化合物の量（溶け残った固体の化合物の量と溶液中の化合物の量の和），横軸に時間をとってグラフを書いて反応次数 n を求めたところ，溶け残った化合物の固体がなくなるまでは $n = 0$ ，その後は $n = 1$ であった。

問 6 最初の反応次数 n が 0 であった理由を，次の 3 つの語を用いて 40 字以内で解答用紙に書きなさい。【一定，濃度，飽和】

3. 次の文章を読み、問に答えなさい。

①塩化鉄(III)水溶液を沸騰した水に加えると、水酸化鉄(III)の微粒子が分散したコロイド溶液が生成する。この微粒子の直径は、約(36) m程度であり、このような大きさの粒子をコロイド粒子と呼ぶ。

水酸化鉄(III)の②コロイド溶液に強い光を当てると、光の通路が見える。また、コロイド粒子を限外顕微鏡により観察すると、③コロイド粒子が不規則に動いている様子が観察できる。

水酸化鉄(III)の④コロイド溶液に二本の電極を浸し、直流電圧をかけると水酸化鉄(III)のコロイド粒子は(ア)極の方へ移動する。また、水酸化鉄(III)のコロイド粒子は水との親和性が低いため、(イ)コロイドと呼ばれる。⑤この水酸化鉄(III)のコロイド溶液にイオンを含む水溶液を加えると沈殿が生成する。

問1 (36)に入る適切な値を下記から選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

- 1 $10^{-17} \sim 10^{-15}$ 2 $10^{-13} \sim 10^{-11}$ 3 $10^{-9} \sim 10^{-7}$ 4 $10^{-5} \sim 10^{-3}$

問2 (ア), (イ)に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問3 下線部②, ③, ④および⑤の現象を表す適切な語を解答用紙に書きなさい。

問4 下線部①の反応で、2.0 mol/Lの塩化鉄(III)水溶液 5.0 mLを沸騰した水に加えたところ、生成したコロイド溶液の全量は 80 mLだった。これを全てセロハン膜の袋に入れ、100 mLの水に浸して透析した。長時間経過し平衡状態に達した後、セロハン膜の内側のコロイド溶液は 90 mL、セロハン膜の外側の水溶液は 90 mLだった。このとき、セロハン膜の袋の外側の水溶液を中和させるのに必要な水酸化ナトリウムの物質量は (37). (38) $\times 10^{-(39)}$ molである。(37) ~ (39)に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、(37)に入る数値は 0 ではない。なお、塩化鉄(III)は全て水酸化鉄(III)のコロイド粒子となるものとする。

問5 問4と同様の操作を繰り返し、セロハン膜の袋の内側のコロイド溶液に含まれるコロイド粒子以外のイオンや分子を完全に除去するまで透析し、100 mLの精製コロイド溶液が得られた。図1に示すような中央部分をセロハン膜で隔てた断面積 1.0 cm²のU字管の片側にこのコロイド溶液を全て入れ、もう片側に 100 mLの水を入れた。温度 27°C、圧力 1.01×10^5 Paの条件下で長時間経過後に平衡状態に達した後、6.0 cmの液面の高さの違いが生じた。このときのコロイド溶液中のコロイド粒子の数は (40). (41) $\times 10^{(42)(43)}$ 個である。また、

水酸化鉄(III)のコロイド溶液のコロイド粒子1つあたりには、平均 $(44).(45) \times 10^{(46)}$ 個の鉄(III)イオンが含まれる。 $(40) \sim (46)$ に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、 (40) 、 (44) に入る数値は0ではない。なお、高さ1.0 mの水柱が示す圧力を 1.0×10^4 Pa、コロイド溶液および水の密度をともに 1.0 g/cm^3 とする。

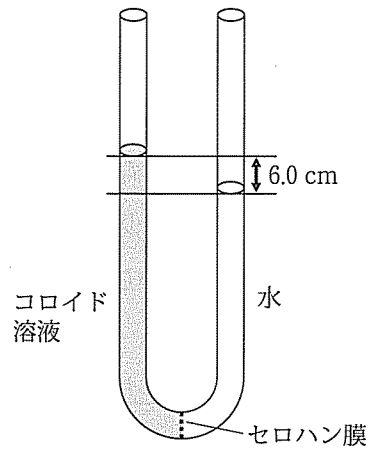


図1

問6 下線部⑤で加えるイオンのうち、最も少ない物質質量で沈殿が生成するイオンを下記から1つ選び、その番号をマークシートの (47) にマークしなさい。

- 1 Ca^{2+} 2 Na^+ 3 SO_4^{2-} 4 Cl^-

4. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔 I 〕

化合物 A, B は、水素原子、炭素原子、酸素原子、窒素原子のみから構成される分子量 300 以下の分子であり、互いに異性体の関係にある。① 53.4 mg の化合物 A を完全燃焼すると、二酸化炭素 140.8 mg と水 23.4 mg を生じた。化合物 A, B にそれぞれ水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱し加水分解すると、化合物 A から化合物 C, D, E が、化合物 B から化合物 C, D, F がそれぞれ生成した。なお、加水分解後の生成物がナトリウム塩の場合は、希塩酸を加えて遊離させた。化合物 E, F はそれぞれニッケル触媒の存在下で水素と反応し、いずれからも化合物 G が生成した。化合物 E を加熱すると分子量が 18 少ない化合物が生成した。

化合物 C, D は図 1 に示す方法でベンゼンからも合成できる。

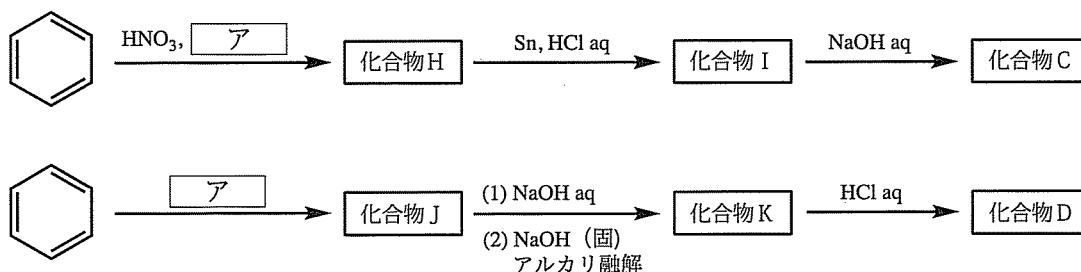


図 1

問 1 下線部①の実験において、試料を完全燃焼させて生成した気体は、窒素酸化物を窒素に還元した後、〔48〕を含む水の吸収管、〔49〕を含む二酸化炭素の吸収管の順に通して分析した。〔48〕と〔49〕に入る物質として最も適切なものを下記からそれぞれ選び、その番号をマークシートにマークしなさい。ただし、各選択肢は 1 回のみ使用できるものとする。

- 1 塩化カルシウム 2 塩化銀 3 酸化銅 (II) 4 ソーダ石灰 5 白金

問 2 問 1 で述べた実験において、〔49〕を含む二酸化炭素の吸収管、〔48〕を含む水の吸収管の順に気体を通すと、生成した二酸化炭素と水の質量を正しく分析できない。その理由を、物質〔49〕の名称を含めて 25 字以内で解答用紙に書きなさい。

問 3 化合物 A の分子式を解答用紙に書きなさい。

問 4 〔ア〕に入る物質の分子式を解答用紙に書きなさい。

問5 化合物 C を硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で酸化すると生成し、染料として用いられる物質の名称を解答用紙に書きなさい。

問6 化合物 A, D, F の構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。

〔II〕

化合物 L, M, N, O は、いずれも水素原子、炭素原子、酸素原子のみから構成される分子量 122 の分子である。化合物 L, M はベンゼン環に置換基が 1 個、化合物 N, O はベンゼン環に置換基が 2 個結合した構造を持ち、化合物 N, O はいずれも *p*-異性体である。化合物 L, M, N, O を含むジエチルエーテル溶液に炭酸水素ナトリウム水溶液を加え、分液漏斗に入れて振り混ぜ静置したところ、いずれの化合物も水層にはほとんど移動せずジエチルエーテル層に残った。さらに、化合物 L, M, N, O が持つ官能基を調べるため、表 1 に示す実験をそれぞれ行い、その結果を表にまとめた。

表 1

化合物	銀鏡反応	ヨードホルム反応	塩化鉄 (III) 水溶液による呈色反応	金属ナトリウムによる水素の発生 (注)
L	陽性	陰性	呈色しない	
M	陰性	陰性	呈色しない	発生する
N	陽性	陰性	呈色する	
O	陰性	陰性	呈色しない	発生しない

(注) 化合物に金属ナトリウム片を加えて、水素の発生の有無を調べた。化合物 L, N の実験は行っていない。

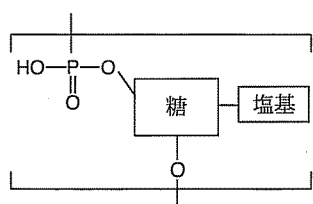
問7 化合物 L, M, N, O の構造式を、3 ページにある例にならって解答用紙に書きなさい。

5. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔I〕

核酸は、塩基、糖、及びリン酸が結合したヌクレオチドと呼ばれる構成単位（図1）が、多数縮合してできた直鎖状の高分子化合物である。核酸にはDNAとRNAがあり、DNAを構成する糖は① デオキシリボース、RNAを構成する糖はリボース（ $C_5H_{10}O_5$ ）である。DNAを構成する塩基には、ア、グアニン、イ、チミンの4種類がある（図2）。二本の鎖状のDNA分子は、縄のように互いに巻き合わされた ウ 構造をとっている。この二本のDNA分子の間では、② グアニンとイ、アとチミンがそれぞれ水素結合で塩基対を形成し、ウ 構造を安定に保っている。

一般に、ヒトは37兆個の細胞から成り立ち、1つの細胞には60億塩基対のDNAが存在する。このとき、ヒトのDNAにおける4つの塩基中のグアニンの割合を20%とすると、ヌクレオチド単位1個の平均式量は (50)(51)(52) であり、1つの細胞が有するDNAの質量は (53).(54) $\times 10^{(55)(56)}$ gとなる。よってヒト1人が有するDNAの総量は (57).(58) $\times 10^{(59)}$ gとなる。



ヌクレオチド単位

図1

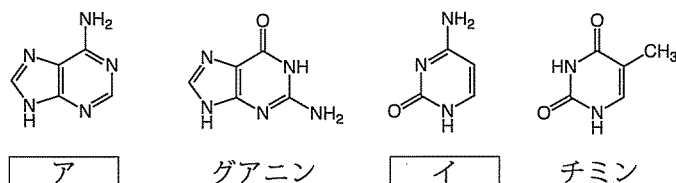


図2

問1 ア ~ ウ に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問2 下線部①の構造式を、図3にならって解答用紙に描きなさい。

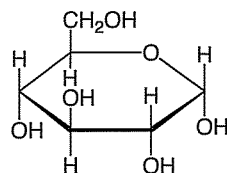


図3

問3 下線部②に関して、図4のグアニンと イ の塩基対にならって、ア とチミンの塩基対を左からDNAの主鎖、ア の構造、チミンの構造、DNAの主鎖の順に解答用紙に描きなさい。なお、塩基間の水素結合は点線で書きなさい。

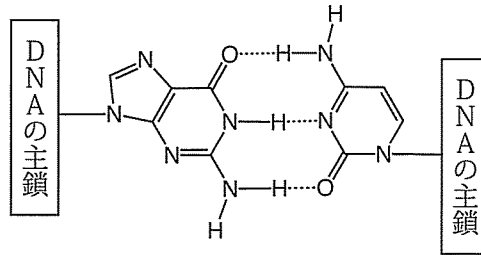


図 4

問 4 (50) ~ (59) に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、(53), (57) に入る数値は 0 ではない。なお、鎖状に縮合した状態における、ア, グアニン, イ, チミンを塩基としたヌクレオチド単位のそれぞれの式量を 313, 329, 289, 304 とする。

〔 II 〕

ヒトは炭水化物（糖類）や脂質などの栄養素を摂取し、呼吸による代謝を経て生命活動に必要なエネルギーを得ている。このとき生体内で呼吸による代謝から得られるエネルギー量は、生体外で完全燃焼したときに生じるエネルギー量と等しい。呼吸により発生する二酸化炭素の物質量を、消費した酸素の物質量で割った値を呼吸商と呼び、炭水化物と脂質では呼吸商が異なっている。例えば、グルコース ($C_6H_{12}O_6$) が呼吸により代謝される場合の化学反応式は A である。一方で、油脂は エ と オ がエステル結合した構造であり、パルミチン酸 ($C_{16}H_{32}O_2$) のみを構成成分とする油脂（トリパルミチン）が呼吸により代謝される場合の化学反応式は B である。このとき、グルコースの呼吸商は 1.00 であり、トリパルミチンの呼吸商は (60). (61) (62) $\times 10^{-}$ (63) となる。グルコースとトリパルミチンの燃焼熱はそれぞれ 2800 kJ, 31600 kJ であることから、標準状態で 5.60 L の酸素を消費する呼吸から生成する熱量（エネルギー）は、グルコースでは (64). (65) $\times 10$ (66) kJ, トリパルミチンでは (67). (68) $\times 10$ (69) kJ となる。

問 5 エ, オ に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問 6 トリパルミチンの分子式を解答用紙に書きなさい。

問 7 A, B に入る化学反応式を解答用紙に書きなさい。

問 8 (60) ~ (69) に入る適切な数字をマークシートにマークしなさい。ただし、(60), (64), (67) に入る数値は 0 ではない。

