

化 学

学 部	学 科 (コース)	配 点
理工学部	化学・生命理工学科(化学コース)	450 点
	化学・生命理工学科(生命コース), 物理・材料理工学科, システム創成工学科(機械科学コース, 社会基盤・環境コース)	300 点
	システム創成工学科(電気電子通信コース)	250 点
	システム創成工学科(知能・メディア情報コース)	400 点
農 学 部	植物生命科学科, 応用生物化学科, 森林科学科, 食料生産環境 学科, 動物科学科	300 点
	共同獣医学科	200 点

注 意 事 項

1. 問題は, ① から ⑤ までの計 5 問です。
2. ① から ⑤ までのすべてを解答しなさい。
3. 解答用紙は, (7 の 1) から (7 の 7) までの計 7 枚です。解答は, すべて解答用紙の指定欄に記入しなさい。
4. 必ず解答用紙のすべてに, 本学の受験番号を記入しなさい。
5. 印刷不鮮明及びページの落丁・乱丁等に気づいた場合は, 手を挙げて監督者に知らせなさい。
6. 問題冊子の余白等は適宜利用してよい。
7. 試験終了後, 問題冊子及び計算用紙は持ち帰りなさい。

1) 必要なときは、次の原子量および数値を用いよ。

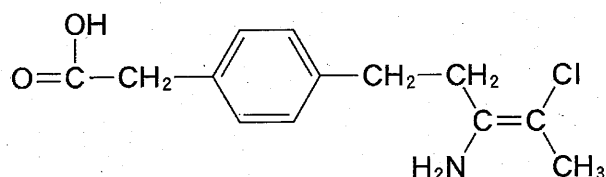
H : 1.00 C : 12.0 O : 16.0 Al : 27.0

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

$\sqrt{2} = 1.41$ $\sqrt{3} = 1.73$ $\log_{10} 2 = 0.30$ $\log_{10} 3 = 0.48$

2) 構造式は例にならって書け。

(例)



1 次の[I]と[II]の文章を読み、問1と問2に答えよ。

[I] 表1は11種類の原子(ア)~(サ)の電子配置を原子番号の小さいものから大きな順に示したものであり、表中の太枠内には電子の数が入る。

表1

原 子	電子の数			
	K 殻	L 殻	M 殻	N 殻
(ア)	2	0	0	0
(イ)	2	1	0	0
(ウ)			0	0
(エ)	2	6	0	0
(オ)				0
(カ)				0
(キ)				0
(ク)				0
(ケ)				0
(コ)				0
(サ)				

表 1 中の(ア), (オ), (コ)はいずれも単原子分子として存在する。また, (イ)と(サ)は同族元素でいずれも水と反応しやすく, 反応後の水溶液はいずれも強塩基性を示す。さらに, (ウ), (キ), (ク)の元素記号を X であらわした場合に, X は酸化により組成式 XO_2 をもつ化合物を生成し, それらは常温・常圧において表 2 に示すような化学的特徴を有する。(カ)は 13 族の典型元素であり, ^①その単体は塩酸と水酸化ナトリウム水溶液のいずれとも反応して溶解する。

表 2

X	XO_2 の化学的特徴
(ウ)	刺激臭のある赤褐色の気体
(キ)	共有結合性の無色の結晶
(ク)	還元性も酸化性も有する無色の気体

- 問 1. 表 1 に示した原子(ア)~原子(サ)について, 以下の設問(1)~設問(8)に答えよ。
- (1) 第 2 周期に属する元素が何種類あるか書け。
 - (2) 第 1 イオン化エネルギーの最も大きい原子と最も小さい原子をそれぞれ元素記号で書け。
 - (3) (ウ)のみからなる純物質は二原子分子である。この分子の電子式を書け。
 - (4) (キ)と(ク)にあてはまる原子の元素記号を書け。
 - (5) (ク)は植物の肥料の三要素の 1 つである。(ク)にはいくつかの同素体があるが, 中には極めて反応性に富むものがあり, 保存方法に注意する必要がある。この保存方法を書け。
 - (6) (エ)の単体には, 淡青色で特異臭のある気体がある。この気体をヨウ化カリウム水溶液に通じたときの反応の化学反応式を書け。
 - (7) (ア), (オ), (コ)を沸点の高い順に並べよ。
 - (8) 下線部①に関して, (カ)の単体と水酸化ナトリウム水溶液との反応の化学反応式を書け。

[Ⅱ] 一般に化学反応は反応熱の出入りを伴って進行し、反応熱は反応の種類に応じてそれぞれ固有の名称でよばれる。たとえば、化合物 1 mol がその成分元素の単体から生成するときの反応熱は生成熱であり、物質 1 mol が完全燃焼する際の反応熱は燃焼熱、1 mol の物質が多量の水に溶けて希薄な水溶液になる際の反応熱は 、水溶液中で酸と塩基が反応して 1 mol の水を生成する際の反応熱は とよばれる。なお、化学反応の中には、化学エネルギーが光エネルギーに変換されるものもある。化学反応における⑥反応熱の出入りを含めた反応式は熱化学方程式とよばれ、化学変化ではないが、融解や蒸発などの物質の状態変化に伴う熱の出入りも、熱化学方程式で表すことができる。

問 2. 以下の設問(1)～設問(4)に答えよ。

- (1) 空欄 , 空欄 に入る最も適切な語句を書け。
- (2) 下線部②～下線部⑤の反応の熱の出入りについて、以下の(a)～(c)の中からあてはまるものをそれぞれひとつ選び、記号で書け。
 - (a) 常に発熱反応である。
 - (b) 発熱反応の場合も吸熱反応の場合もある。
 - (c) 常に吸熱反応である。
- (3) 下線部⑥の例を以下の(a)～(f)の中からすべて選び、記号で書け。
 - (a) 光合成 (b) 燃料電池 (c) ケミカルライト
 - (d) 太陽電池 (e) ルミノール反応 (f) ニンヒドリン反応
- (4) 図 1 は水素 H_2 、臭素 Br_2 および臭化水素 HBr に関するさまざまな状態のエネルギーを示している。
 - ① 1 mol の気体の HBr を気体状態で完全に水素原子 H と臭素原子 Br に引き離す際に、 $Q[\text{kJ}]$ のエネルギーが必要であり、これが結合エネルギーとなる。このときの熱化学方程式を示せ。
 - ② $\text{HBr}(\text{気})$ の生成熱は 36 kJ/mol 、 $\text{Br}_2(\text{液})$ の蒸発熱は 31 kJ/mol である。図 1 より、 $\text{H}-\text{Br}$ 結合の結合エネルギーの値を求めよ。そのときの計算式も示せ。

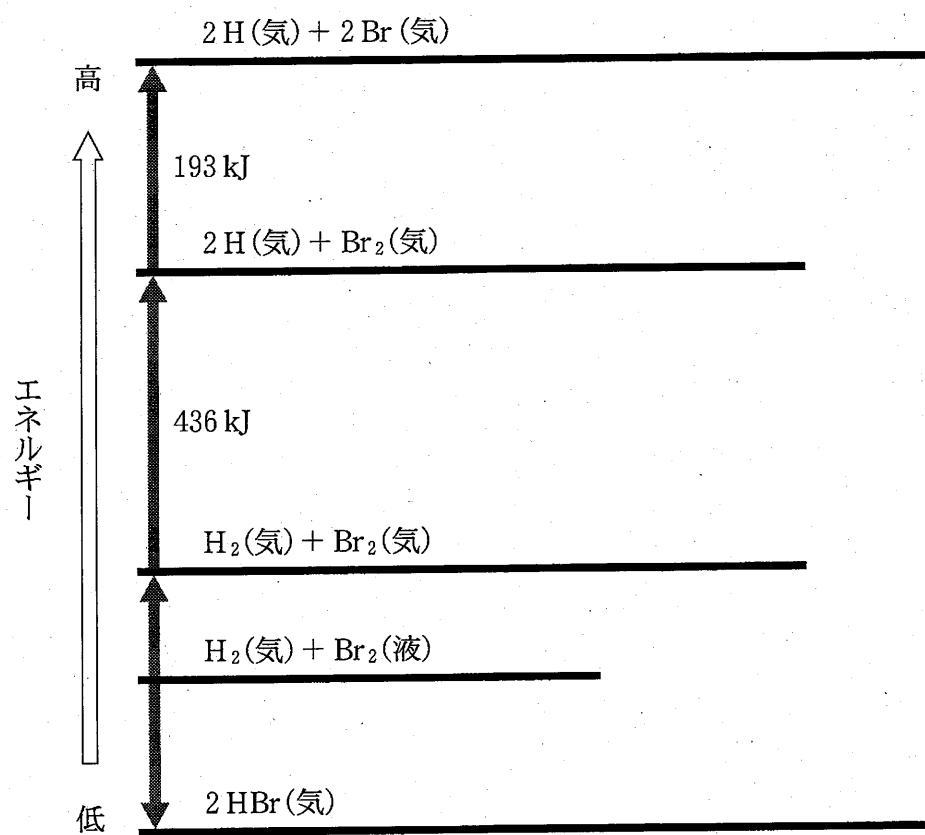


図1 エネルギーの関係図

2 次の[I]と[II]の文章を読み、問1～問8に答えよ。

[I] 金属結晶であるアルミニウムの単位格子は図2に示すように (ア) 格子であり、そのABCD面の断面は、図3のとおりである。また、1個の原子に隣接する原子の配位数は12であり、単位格子中の原子の数は (イ) 個である。そして、単位格子中の各原子は図3のように互いに接しているものとし、 a は単位格子の一辺の長さ、 r はアルミニウム原子の半径を表している。

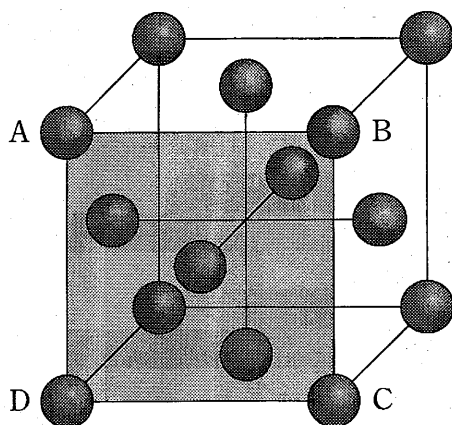


図2 アルミニウムの単位格子

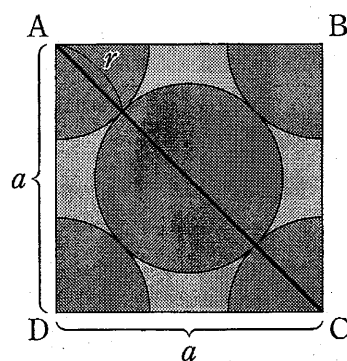


図3 アルミニウムの単位格子の
ABCD面の断面図

問1. 上記文章中の空欄 (ア) にあてはまる適切な語句、および、空欄 (イ) にあてはまる適切な数値を答えよ。

問2. アルミニウムの単位格子に関する以下の設問(1)および設問(2)に答えよ。

(1) 単位格子の一辺の長さ a を、アルミニウムの原子半径 r を用いて示せ。
計算過程も示せ。

(2) 図3のアルミニウムの単位格子の一辺の長さ a [cm] を有効数字2桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。ただし、原子半径 r は 1.43×10^{-8} cm とする。

問3. 金属結晶のアルミニウムの密度を有効数字2桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。

〔Ⅱ〕 化学反応の速さは、一般に、単位時間あたりの反応物の濃度の減少量、または、生成物の濃度の増加量で表される。酢酸メチルは、希硫酸水溶液中で①徐々に加水分解され、酢酸を生じ、酢酸メチルの減少量と酢酸の生成量は等しい。この化学反応の速度に関し、以下の実験を行った。

4.0 mol/L の酢酸メチルを含む希硫酸水溶液を 200 mL 調製し、かき混ぜながら温度を 25 ℃ に保持し、酢酸メチルの加水分解反応を進行させ、酢酸を生じさせた。反応開始($t = 0$)から所定の時間ごとに、ホールピペットを用い反応溶液 2.0 mL を正確にはかり取り、コニカルビーカーに入れ、指示薬を加えた。これに、ビュレットを用いて 0.50 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を滴下し、中和滴定を行った。反応時間 t (s) において、反応溶液 2.0 mL を中和するのに要した水酸化ナトリウム水溶液の滴下量 (mL) は表 3 のようになった。

表 3 酢酸メチルの加水分解の反応時間 t と中和に要する水酸化ナトリウム水溶液の滴下量の関係

$t_{\min}$ [min]	0	30	60	90	120	480	720
t (s)	0	18.0×10^2	36.0×10^2	54.0×10^2	72.0×10^2	28.8×10^3	43.2×10^3
滴下量 [mL]	8.0	12.0	16.0	18.8	19.5	19.6	19.6

この中和反応の化学反応式は、次のように表される。



中和点では、反応溶液と水酸化ナトリウム水溶液との間に次の関係が成り立つ。

反応溶液中の酢酸の濃度 [mol/L] ×

ホールピペットではかり取った反応溶液の量 [L] =

水酸化ナトリウム水溶液の濃度 [mol/L] ×

(反応時間 t での滴下量 [L] - 反応開始時 ($t = 0$) での滴下量 [L]) (2)

なお、反応開始時 ($t = 0$) の反応溶液中では、酢酸メチルの加水分解は生じておらず、酢酸は存在しないものとする。また、取り出した反応溶液中で酢酸メチルの加水分解反応は進行しないものとする。

時間 t_1 [s] から t_2 [s] の間に、反応物の酢酸メチルの濃度が $[A]_1$ [mol/L] から $[A]_2$ [mol/L] に減少したとき、この間の酢酸メチルの加水分解の平均反応速度 v_A [mol/(L·s)] は、次のように表される。

$$v_A = - \frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1} = - \frac{\Delta[A]}{\Delta t} \quad (3)$$

また、反応時間 120 min までの間、ある時間における平均反応速度 v_A [mol/(L·s)] と酢酸メチルの平均のモル濃度 $[A]$ [mol/L] との間には、次式の関係があった。

$$v_A = k[A] \quad (4)$$

この比例定数 k [/s] は、酢酸メチルの加水分解反応の反応速度定数となる。

問 4. 下線部①における、平衡時の化学反応式を答えよ。

問 5. 表 3 を参考に、反応開始後 30 min および 60 min における酢酸メチルのモル濃度を有効数字 2 桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。

問 6. 30～60 min の酢酸メチルの平均反応速度を有効数字 2 桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。

問 7. 反応速度定数 k [/s] を, 30～60 min の酢酸メチルの平均モル濃度と反応速度から求め, 有効数字 2 桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。ただし, 反応開始後 90 min までの逆反応の影響は無視してよい。

問 8. 反応開始から 480 min 以降は水酸化ナトリウム水溶液の滴下量が一定になっている。このような現象が見られる理由を簡潔に説明せよ。

3 次の文章を読み、問1～問5に答えよ。

純粋な水は、そのごく一部の分子が電離して水素イオンと水酸化物イオンとなり、次式のような平衡状態になっている。



これを電離平衡の状態にあるという。水素イオンのモル濃度 $[\text{H}^+]$ [mol/L]と水酸化物イオンのモル濃度 $[\text{OH}^-]$ [mol/L]の積 K_w は水のイオン積と呼ばれ、次式で表される。

$$K_w = \boxed{\text{(ウ)}} \quad (2)$$

K_w は一定温度で一定値となる。例えば、25℃における K_w は $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ である。したがって、25℃における純粋な水の水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度は等しく、次の値をとる。

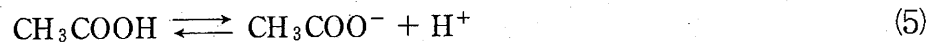
$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \boxed{\text{(エ)}} \text{ [mol/L]} \quad (3)$$

K_w の値は、純粋な水や中性の水溶液だけでなく、酸性および塩基性の水溶液においても温度が一定であれば常に一定である。例えば、酸性の水溶液では、水素イオン濃度が高くなる一方で、水酸化物イオン濃度が低くなり、 K_w は一定に保たれる。

水溶液の酸性および塩基性の強弱は、水素イオン指数pHで表される。pHは、水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ を使って次式で定義されている。

$$\text{pH} = \boxed{\text{(オ)}} \quad (4)$$

ある温度で酢酸を水に溶かすと、水溶液中で一部の分子だけが電離し、次に示す電離平衡が成り立つ。



反応式(5)から、酢酸の電離定数 K_a は次式で表される。

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = 2.7 \times 10^{-5} \text{ mol/L (25 }^\circ\text{C における値)} \quad (6)$$

酢酸の初濃度を c [mol/L]、電離度を α とすると、電離平衡時の各成分の濃度は、 c と α を用いて、 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = \boxed{\text{(カ)}} \text{ [mol/L]}$ 、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \boxed{\text{(キ)}} \text{ [mol/L]}$ 、 $[\text{H}^+] = \boxed{\text{(ク)}} \text{ [mol/L]}$ と表される。したがって、酢酸の電離定数 K_a は次式で表される。

$$K_a = \boxed{\text{(ケ)}} \quad (7)$$

① 電離度 α が 1 に比べて無視できるほどに小さいとき、上式は次式で表される。

$$K_a = \boxed{\text{(コ)}} \quad (8)$$

したがって、電離度 α は次のように表される。

$$\alpha = \boxed{\text{(サ)}} \quad (9)$$

酢酸の電離定数 K_a の値は、酢酸ナトリウムの水溶液や、酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液②においても、温度が一定であれば一定である。初濃度 x [mol/L] の酢酸水溶液に、酢酸ナトリウムを y [mol/L] の濃度になるように溶かすと、酢酸ナトリウムが電離して水溶液中に CH_3COO^- が増加するので、式(5)の平衡が左に移動して、もとの酢酸がほとんど電離していない状態となる。したがって、この混合水溶液では、 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = x$ [mol/L]、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = y$ [mol/L] とみなすことができるので、水溶液の pH は α によらず、 x と y によって決まることになる③。

- 問 1. 上記文章中の空欄 (ア) ~ 空欄 (サ) に入る適切な語句、数式、化学式、または数値を書け。
- 問 2. 初濃度 $c = 0.27$ mol/L の酢酸水溶液では、酢酸の電離度 α は 1 に比べて無視できるほどに小さくなる。電離度 α の値を求め有効数字 2 桁^{けた}で書け。計算過程も示せ。また、酢酸水溶液の pH の値を求め小数第一位まで書け。
- 問 3. 下線部①について、弱酸では初濃度が小さくなると電離度 α は大きくなり、初濃度 $c = 5.4 \times 10^{-5}$ mol/L の酢酸水溶液では、 α が 1 に比べて無視できなくなる。このときの電離度 α を求め有効数字 2 桁^{けた}で書け。計算過程も示せ。また、酢酸水溶液の pH の値を求め小数第一位まで書け。
- 問 4. 下線部②について、酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液に、少量の H^+ (酸の水溶液) や OH^- (塩基の水溶液) を加えても pH はほとんど変化しない。このような、水溶液の pH をほぼ一定に保つ作用の名称を書け。
- 問 5. 下線部③について、酢酸が x [mol/L]、酢酸ナトリウムが y [mol/L] の濃度で溶けている水溶液の pH を、 K_a 、 x 、および y を用いた式で表せ。導出過程も示せ。また、 $x = 0.30$ mol/L、 $y = 0.10$ mol/L のときの水溶液の pH の値を求め、小数第一位まで書け。

4 次の(1)~(8)の文章を読み、問1~問7に答えよ。

- (1) 炭素、水素、および酸素からなり、ヒドロキシ基を1つもつ有機化合物 A, B, ならびにヒドロキシ基を2つもつ有機化合物 C をそれぞれ 0.600 g 取り、図4に示す元素分析装置で完全燃焼させた。その結果、いずれの場合も吸収管 X の質量が 0.360 g, 吸収管 Y の質量が 0.880 g それぞれ増加した。

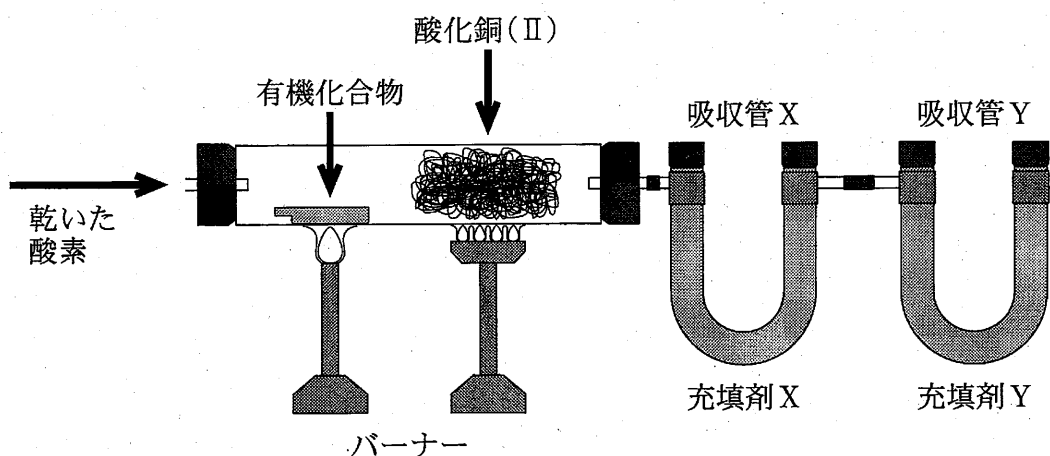


図4 有機化合物 A, B, C の分析装置

- (2) 有機化合物 A, B, C の分子量はいずれも 90.0 であった。
- (3) 有機化合物 A, B, C の水溶液にそれぞれ炭酸水素ナトリウム水溶液を加えたところ、有機化合物 A, B の水溶液からのみ気体が発生した。
- (4) 有機化合物 A, B, C の水溶液を試験管に入れ、アンモニア性硝酸銀水溶液を加えて温めたところ、有機化合物 C の試験管の内壁にのみ銀が析出した。
- (5) 有機化合物 A, B, C の水溶液にそれぞれ水酸化ナトリウム水溶液とヨウ素^①を加えて加熱したところ、有機化合物 A の水溶液でのみ特有の臭気をもつ黄色の沈殿 D が生成した。
- (6) 有機化合物 A, B, C のうち、有機化合物 A, C のみ不斉炭素が存在した。
- (7) 有機化合物 A は、糖類の発酵で生じ、ヨーグルトなどの乳製品に含まれ、酸味料などに利用されている。

- (8) 有機化合物 A を加熱したところ、有機化合物 A の 2 分子から 2 分子の水が脱離して環状の有機化合物 E が得られた。さらに、有機化合物 E を耐圧容器^③に入れ、触媒を加えて減圧し、加熱して重合を行うと、結果的に化合物 A が縮合重合した高分子化合物 F が得られた。

問 1. 元素分析で用いられる吸収管 X と吸収管 Y に入れる物質の名称と、それぞれの吸収管で吸収される物質の化学式を答えよ。

問 2. 有機化合物 A, B, C はいずれも同じ分子式を示す。その分子式を答えよ。導出過程も示せ。

問 3. 有機化合物 A, B, C, E の構造式をそれぞれ例にならって書け。また、不斉炭素原子を有する場合は、その構造式中の不斉炭素原子に「*」を示せ。

問 4. 下線部①の化学反応の原因となる有機化合物 C の官能基の名称を書け。

問 5. 下線部②に関して、この反応により生成する黄色沈殿 D の物質名を書け。

問 6. 下線部③に関して、有機化合物 E の重合により得られる高分子化合物 F の名称および構造式を書け。

問 7. 高分子化合物 F の説明として適切なものをすべて選び答えよ。

- (あ) 水に溶けにくく、多量の水を吸収することから、紙おむつや土壤保水材などに利用されている。
- (い) ヨウ素を添加すると銅に近い導電性を示す。
- (う) 微生物により分解されることから生分解性樹脂として包装用フィルムなどに利用されている。
- (え) 塩化ナトリウム水溶液を加えるとナトリウムイオン Na^+ が吸着して、水素イオン H^+ が放出される。
- (お) 硫黄を数%加えてよく混合し、成形して加熱すると弾性ゴムが得られる。

5 次の[I]と[II]の文章を読み、問1～問6に答えよ。

[I] 核酸は、糖、、および窒素を含む塩基によって構成されたとよばれる単量体から構成され、糖の基とが脱水縮合した鎖状の高分子化合物である。核酸は、構造の違いによりRNAとDNAに大別され、RNAを構成する糖はであるのに対し、DNAを構成する糖はの基の1つが水素原子に置き換わったである。塩基については、DNAとRNAで、、グアニン、シトシンの3種類が共通しているが、それ以外にDNAには、RNAにはウラシルが含まれる。特にDNAでは2本の鎖状高分子化合物が構造をとっており、それぞれの鎖のとの間に箇所、グアニンとシトシンの間に箇所の結合がある。一方、RNAはそのような構造を通常は形成しない。

核酸は遺伝子の本体として遺伝情報伝達の中心的な役割を果たしている。細胞内ではDNAの塩基配列がRNAに写し取られ、そのRNAの塩基配列に基づいてアミノ酸どうしが一定の順序でペプチド結合によって結びつくことによりタンパク質が合成される。^①合成されたタンパク質は、酵素や細胞の成分などとして生命活動を支える役割を担う。酵素は生体内の反応の触媒としてだけでなく、酵素反応では温度が上がると反応速度が大きくなるが、最適温度以上の温度では反応速度が急激に低下し、さらに温度が上がると酵素としてのはたらきがなくなる。^②

問 1. 上記文章中の空欄～空欄に入る適切な化合物名、語句、あるいは数値を書け。

問 2. 下線部①に関して、このポリペプチドを完全に加水分解したところ、グリシンとアラニンのみが得られ、両者の物質量は等しかった。なお、このポリペプチドはグリシンとアラニンが結合してできたジペプチドが脱水縮合することで構成されている。次の設問(1)～設問(3)に答えよ。

- (1) グリシンとアラニンより構成されるジペプチドには2種類の構造異性体が存在する。図5と図6を参考にして、それぞれの構造式を書け。

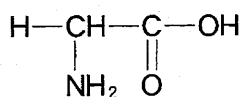


図5 グリシンの構造式

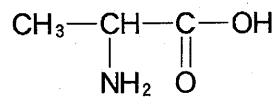


図6 アラニンの構造式

- (2) このポリペプチドの分子量は1298であった。このポリペプチドに含まれる、グリシンとアラニンより構成されるジペプチドの数を有効数字2桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。なお、グリシンとアラニンの分子量はそれぞれ75.0および89.0である。
- (3) このポリペプチド12.98 gを完全に加水分解することにより得られるアラニンの質量[g]を有効数字2桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。

問 3. 下線部②の現象が生じる理由を簡潔に説明せよ。

[Ⅱ] 油脂は高級脂肪酸とグリセリンのエステルであり、油脂のうち、オリーブ油のように室温で液体のものを脂肪油、ラード(豚脂)のように室温で固体のものを脂肪という。脂肪油を構成する主な脂肪酸には、炭素原子間に二重結合が存在する。これらに触媒を用いて水素を付加させると固体の脂肪となる。^③このような脂肪を という。

油脂に水酸化ナトリウムや水酸化カリウムなどを反応させると、脂肪酸のアルカリ金属塩である が生成する。 を水に溶かすと、^④水中で炭化水素基からなる 性の部分を粒子の内側に、カルボン酸塩からなる 性の部分を外側に向けたコロイド粒子である を形成する。 の水溶液に油脂を加えて振り混ぜると、 の内部に油脂が取り込まれて、微粒子となって水溶液中に分散する。これを の 作用という。

問 4. 上記文章中の空欄 ~空欄 に入る適切な語句を書け。

問 5. 下線部③について、トリオレイン(3分子のオレイン酸 $C_{18}H_{34}O_2$ と1分子のグリセリン $C_3H_8O_3$ によって構成される脂肪油)400 g に十分な量の水素を反応させて付加し、脂肪を生成した。次の設問(1)と設問(2)に答えよ。

- (1) トリオレインの分子量を有効数字3桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。
- (2) すべての $C=C$ 結合に水素が付加されたとした場合に生成する脂肪の質量[g]を有効数字3桁^{けた}で答えよ。計算過程も示せ。

問 6. 以下の(a)~(c)について、下線部④の水溶液の性質として正しいものには○を、誤っているものには×を解答欄に書け。

- (a) 塩化カルシウム $CaCl_2$ や塩化マグネシウム $MgCl_2$ の水溶液を加えると、沈殿が生じる。
- (b) 中性の溶液である。
- (c) 水と比べて表面張力が高い。