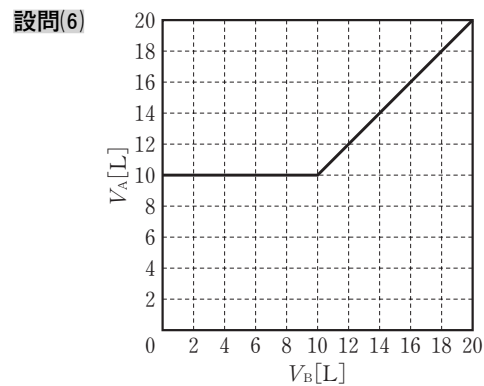
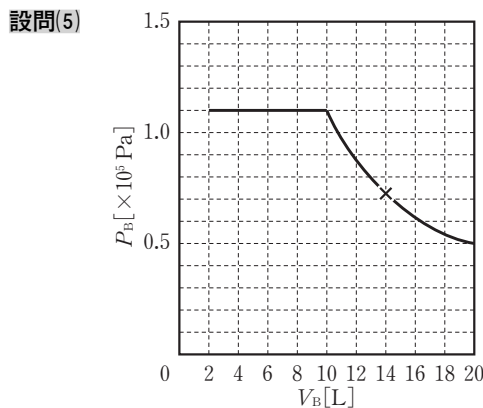




解答 I 設問(1) 9.2[g] 導出過程は解説を参照。 設問(2) 蒸気圧が外圧と等しくなり、水蒸気の一部が凝縮し、液化する。 設問(3) ア 体積 イ 分子間力 設問(4)  $7.2 \times 10^4$  [Pa]



設問(7)  $6.1 \times 10^{-3}$  [L] 導出過程は解説を参照。 II 問1 設問(1)  $\text{CO}_2 : n(1-\alpha)$   $\text{CO} : 2n\alpha$

設問(2)  $(1+\alpha)P_0$  設問(3)  $\frac{-Kp + \sqrt{Kp^2 + 16P_0Kp}}{8P_0}$  設問(4) ウ (理由) 体積が増加すると CO の物質量は減少し、

その影響を緩和するような方向に移動する。 設問(5) イ (理由) アルゴンは、CO 及び  $\text{CO}_2$  と反応しないので体積一定では各分圧は変化しない。 問2 設問(1) ハーバー・ボッシュ法 設問(2) ②  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$

③  $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$  設問(3) 1.0 [kg] 設問(4) 27 [°C] 設問(5) 活性化エネルギーを小さくする別の反応経路で反応が進むため。 III 問1 設問(1)  $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$  設問(2) -0.33 g 設問(3) 発生した水素が金属板の表面に気泡となり、付着する。

設問(4) (c) (理由) エタノールは、非電解質で電離しないため電気を導かない。 設問(5) 負極:  $2\text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$ , 正極:  $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

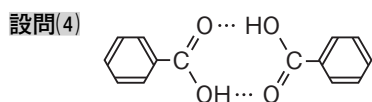
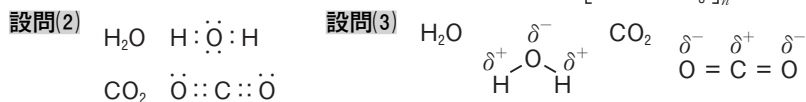
問2 設問(1)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  設問(2) (a) -2 (c) 0 (d) +6 設問(3) 金属: 銅 (条件) 濃度の濃い(d)の水溶液をつくり加熱する。 設問(4) ア.  $\text{Pb}^{2+}$  イ.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  エ.  $\text{Mg}^{2+}$

IV 設問(1) アルケン 設問(2)  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  設問(3) (a)  $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_3$  (f)  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$

設問(4) (b)  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$   $(\text{CH}_3)_2\text{CO} + 3\text{I}_2 + 4\text{NaOH} \rightarrow \text{CHI}_3 + \text{CH}_3\text{COONa} + 3\text{NaI} + 3\text{H}_2\text{O}$

設問(5) (c) クメン (d) フェノール 設問(6)  $\left[ \text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3) \right]_n$  設問(7)  $\text{HO}-\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_4-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$

V 設問(1) ア 電気陰性度 イ 二次構造

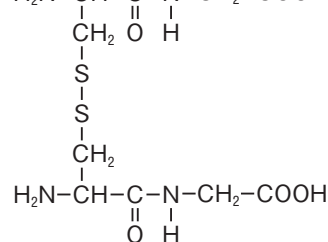
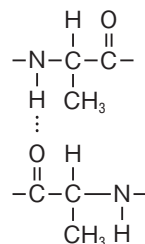


設問(6) 名称: ジスルフィド結合

構造式は図参照。  $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}(\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_2)-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}-\text{CH}_2-\text{COOH}$

設問(5) 原子団: I, IV

図(右記)



解説 I 設問(1) 空間A中の窒素の質量を  $x$  (g) とすると、気体の状態方程式  $PV=nRT=\frac{w}{M}RT$  より、 $w$  は窒素の質量  $x$ ,  $M$  は窒素の分子量28を代入すると

$$5.065 \times 10^4 \times 20 = \frac{x}{28} \times 8.3 \times 10^3 \times (273 + 100)$$

よって  $x = 9.16 \div 9.2$  [g]

設問(2) ②では100℃に保たれた水の飽和蒸気圧が外圧(大気圧)と等しくなったため、容器内では水蒸気が十分な

量存在し、凝縮して液化が起こり、気液平衡を保とうとする。

設問(3) 理想気体は、気体の状態方程式に厳密に従うと仮想した気体で、気体分子の体積は0とみなし、気体分子の分子間力を0と仮想している。よって、アは体積、イは分子間力である。

設問(4) 水がすべて気体であると仮想するとボイルの法則  $PV=\text{一定}$  から、 $V_B=14$  L のとき、 $P_B$  は、



電話: 400-6321-400/13601043104(微信) QQ: 1925811302

地址: 北京市海淀区海淀路北大资源东楼1433室



$$P_B = \frac{20 \times 5.065 \times 10^4}{14} = 7.23 \times 10^4 = 7.2 \times 10^4 \text{ [Pa]}$$

である。

**設問(5)** 同様にボイルの法則から、大気圧の  $P_B = 1.013 \times 10^5$  から  $V_B$  を求めると、

$$V_B = \frac{20 \times 5.065 \times 10^4}{1.013 \times 10^5} = 10.0 \text{ [L]}$$

よって、 $20 \text{ L} \geq V_B \geq 10.0 \text{ L}$  まで水蒸気で存在する。 $10.0 \text{ L} \geq V_B \geq 2 \text{ L}$  では蒸気圧は大気圧と等しいままなので、水蒸気の一部が凝縮して液化する。それゆえ、 $10.0 \text{ L} \geq V_B \geq 2 \text{ L}$  では  $P_B$  は一定である。

**設問(6)**  $20 \text{ L} \geq V_B \geq 10.0 \text{ L}$  では  $V_A$  でも圧力と体積の関係が同じである。 $10.0 \text{ L} \geq V_B \geq 2 \text{ L}$  では、Bの体積が  $10.0 \text{ L}$  になると、Bの圧力は大気圧 ( $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) となる。さらにピストンを押し込むとBの圧力は一定で、水蒸気は凝縮して液化し、体積が減少する。Aも圧力が一定になるが、気体の状態は変化しないので体積は一定である。

**設問(7)**  $V_B$  が変化しなくなったことは、水蒸気がすべて水になったということから水蒸気の質量を  $x$  とすると

$$5.065 \times 10^4 \times 20 = \frac{x}{18} \times 8.3 \times 10^3 \times (273 + 100)$$

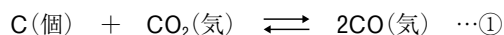
$$x = 5.889 \div 5.89 \text{ [g]}$$

この水蒸気がすべて水になると、体積は、

$$V_B = \frac{5.89}{0.96} \times \frac{1}{1000} = 6.13 \times 10^{-3} \div 6.1 \times 10^{-3} \text{ [L]}$$

である。

**Ⅱ 問1 設問(1)** 反応前の  $\text{CO}_2$  (気) の物質量を  $n \text{ mol}$  とする。 $1 \text{ mol}$  の  $\text{CO}_2$  から  $2 \text{ mol}$  の  $\text{CO}$  (気) が生成し、 $\text{CO}_2$  が反応した割合を  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) とするとき、



反応前 十分な量  $n$  [mol]

変化量  $-n\alpha$   $+2n\alpha$  [mol]

平衡時 十分な量  $n(1-\alpha)$   $2n\alpha$  [mol]

から平衡時の  $\text{CO}_2$  の物質量は  $n(1-\alpha)$ 、 $\text{CO}$  の物質量は  $2n\alpha$  である。

**設問(2)** 体積と温度は一定であるので気体の状態方程式  $PV = nRT$  から圧力は物質量に比例する。平衡時の気体の全物質量は

$$n(1-\alpha) + 2n\alpha = n(1+\alpha) \text{ [mol]}$$

である。それゆえ、平衡時の気体の全圧は反応前の圧力  $P_0$  と比べて  $(1+\alpha)P_0$  となる。

**設問(3)** 分圧  $P(\text{CO}_2)$  および  $P(\text{CO})$  はそれぞれの気体のモル分率で全圧を比例配分した圧力であるから

$$P(\text{CO}_2) = (1+\alpha)P_0 \times \frac{n(1-\alpha)}{n(1+\alpha)} = (1-\alpha)P_0$$

$$P(\text{CO}) = (1+\alpha)P_0 \times \frac{2n\alpha}{n(1+\alpha)} = 2\alpha P_0$$

これらを平衡定数の式に代入すると

$$K_p = \frac{P(\text{CO})^2}{P(\text{CO}_2)} = \frac{(2\alpha P_0)^2}{(1-\alpha)P_0} = \frac{4P_0\alpha^2}{1-\alpha}$$

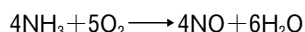
これを  $\alpha$  について解くと、 $4P_0\alpha^2 + K_p\alpha - K_p = 0$   $\alpha > 0$  より、
$$\alpha = \frac{-K_p + \sqrt{K_p^2 + 16P_0K_p}}{8P_0}$$

**設問(4) ウ** 理由：容器内の圧力が外圧  $P_0$  と釣り合った状態の中で、固体炭素  $\text{C}$  を加えて反応させると  $\text{CO}$  が生成し、 $\text{CO}$  の物質量が増加するため圧力が高くなる。ピストンを自由に動けるようにすると圧力を  $P_0$  に近づけるように体積は増加するので  $\text{CO}$  の物質量が減少する。ルシャトリエの原理から物質量が減少するのでその影響を緩和するように増加する方向に平衡は移動する。よって、平衡は右向きに移動する。

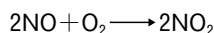
**設問(5) イ** 体積一定で、アルゴンを加えると圧力は高くなり、全圧は増加するが、アルゴンは  $\text{CO}$  及び  $\text{CO}_2$  と反応しないのでそれぞれの物質量に変化はない。よって、それぞれの分圧も変化しないので平衡は移動しない。

**問2 設問(1)** 窒素と水素の混合物を、高温高压下で、四酸化三鉄  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  を主成分とする触媒を使って、直接反応させる工業的な製法で、ハーバー・ボッシュ法という。

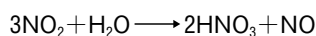
**設問(2)** アンモニアから硝酸を製造する工業的な製法でオズワルド法という。②の反応式：白金を触媒として高温下で反応させる。



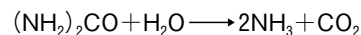
次に空気中の酸素と反応させる。



③の反応式：水に吸収させる。



**設問(3)** [1]より  $\text{NO}$  (分子量 30) と  $\text{NH}_3$  の物質量は等しい。尿素は加水分解するとアンモニアを生成する。



より  $1 \text{ mol}$  の尿素 (分子量 60.0) から  $2 \text{ mol}$  の  $\text{NH}_3$  が生成するので尿素の必要量 (kg) は、 $\text{NO}$  の質量  $1.0 \text{ kg}$  に対し

$$\frac{1.0}{30} \times \frac{1}{2} \times 60.0 = 1.0 \text{ [kg]}$$

である。

**設問(4)** アンモニア (分子量 17.0) の物質量： $\frac{17}{17.0} = 1.00 \text{ mol}$ 、

尿素の物質量： $\frac{15}{60.0} = 0.25 \text{ mol}$  から発生する熱量は

$$1.00 \times 34.2 - 0.25 \times 15.4 \div 30.3 \text{ [kJ]}。$$

$Q = mc \Delta t$  から

$$30.3 \times 10^3 = 1.0 \times 10^3 \times 4.2 \times \Delta t$$

$$\Delta t = 7.21 \div 7.2$$

$7.2^\circ\text{C}$  上昇したので水溶液の温度は  $27.2^\circ\text{C}$  である。

**設問(5)** 触媒が存在する経路の活性化エネルギーが、反応物だけの活性化エネルギーより小さいので、触媒が存在すると反応速度が大きくなる。

**Ⅲ 問1 設問(1)** 亜鉛は銅よりイオン化傾向が大きいので、亜鉛板の表面から  $\text{Zn}$  が電子を亜鉛板に残して  $\text{Zn}^{2+}$  となって溶液の中に入る。一方、銅はイオン化傾向が比較的小さいので、イオンになりにくい。亜鉛板の電子は銅板に流れ、溶液中の  $\text{Cu}^{2+}$  を引き付け、単体の銅を析出する。





電子が流れ出る方が電池の負極になるので、負極  
 $\text{Zn} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$  正極  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{Cu}$  この2式  
 を加えるとイオン反応式は  $\text{Zn} + \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{Cu}$  と  
 なる。

**設問(2)** Znは溶けだすので減少する。電子2 mol が流れ  
 できると Zn(原子量 65.4) が1 mol 溶けだすので

$$65.4 \times \frac{1}{2} \times \frac{965}{9.65 \times 10^4} = 0.327 \approx 0.33 [\text{g}]$$

よって  $-0.33 [\text{g}]$

**設問(3)** 電子の流れる方向と逆の方向を電流の流れという。  
 それ故、ユニットBは、正極で、白金板上の  $\text{H}^+$  が負極か  
 ら電子を受け取り、 $\text{H}_2$  が発生する。

**設問(4)** 電池は、水溶液中の溶質としてイオンに電離する  
 物質である電解質が、化学反応により放出されるエネルギー  
 を直流電流に変える。(c)エタノールは、電離しない物質  
 である非電解質で、電気を導かない。

**設問(5)** 酸化剤は、電子を奪うので正極、還元剤は、電子  
 を与えるので負極となる。硫酸溶液中で  $\text{KMnO}_4$  は、酸化  
 剤として働き、**設問(2)**よりユニットBは、正極である。よ  
 って、負極  $2\text{I}^- \longrightarrow \text{I}_2 + 2\text{e}^-$

正極  $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e}^- \longrightarrow \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$

**問2** 物質(a)は、火山性ガス、悪臭等から硫化水素( $\text{H}_2\text{S}$ )  
 である。(c)は、黄色の固体で酸化すると刺激臭の無色の気  
 体(b)になり、水溶液中で(b)は弱酸であるということから(b)  
 は二酸化硫黄( $\text{SO}_2$ )である。(a)の水溶液に(b)を吹き込むと  
 生成されることから(c)は硫黄(S)と推定される。過酸化水  
 素( $\text{H}_2\text{O}_2$ )水に(b)を吹き込むと酸化されて(d)の硫酸( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  
 が生成する。以上から、

**設問(1)**  $\text{H}_2\text{O}_2$  は酸化剤、 $\text{SO}_2$  は還元剤としてはたらく酸  
 化還元反応で  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{SO}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$  のように硫酸が得ら  
 れる。

**設問(2)** 含まれる原子は硫黄である。酸化数は、(a)は  $\text{H}_2\text{S}$   
 から  $-2$ 、(c)は単体である S から  $0$ 、(d)は、 $\text{H}_2\text{SO}_4$  から  
 $+6$  である。

**設問(3)** ②はイオン化傾向の大きな金属と希硫酸との反応  
 で水素を発生する。イオン化傾向の小さな金属は、希硫酸  
 とは反応しないが、酸化力の強い硝酸や熱濃硫酸には反応  
 する。銅・水銀・銀は熱濃硫酸と反応して  $\text{SO}_2$  を発生する。  
 例、 $\text{Cu} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$   $\text{SO}_2$  は空気よ  
 り重いので下方置換で集める。

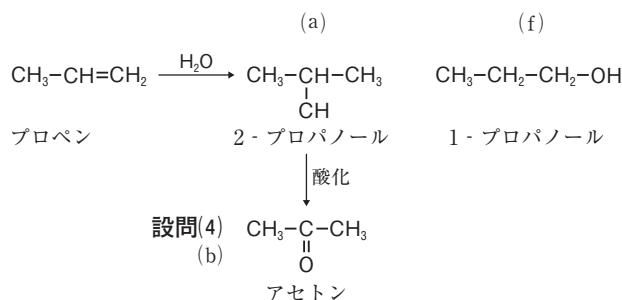
**設問(4)** アは、硫化鉛となり黒色の沈澱が生じる。 $\text{Pb}^{2+}$   
 イ、ウは、硫酸と反応して  $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{BaSO}_4$  となり、白色  
 の沈澱を生ずる。 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Ba}^{2+}$  エは、いずれにも沈澱し  
 ない  $\text{Mg}^{2+}$  である。

**IV 設問(1)** 分子の中に C、C 間の二重結合が一つある  
 不飽和炭化水素をアルケンという。

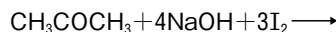
**設問(2)** 炭素数3のプロペン( $\text{C}_3\text{H}_6$ )では鎖状では異性体  
 はなく、環状で一つある。従って、この構造異性体はシク  
 ロプロパン(解答図)である。

**設問(3)** 非対称の  $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$  に極性の分子の水( $\text{H}-$   
 $\text{OH}$ )が付加すると二重結合を挟む炭素原子の水素原子の

少ない方に  $-\text{OH}$  が付く 2-プロパノール  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$   
 (下図(a))が主に生成され、水素原子の多い方に  $-\text{OH}$  が付  
 く 1-プロパノール  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$  (下図(f))も生成される。



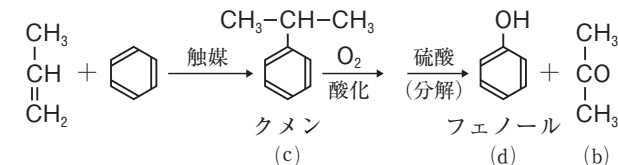
**設問(4)**  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$  を酸化すると転位してアセトン  
 $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  (上図(b))となる。③の反応はヨードホルム反  
 応で特にならにおいを持った黄色結晶の  $\text{CHI}_3$  が生成する。



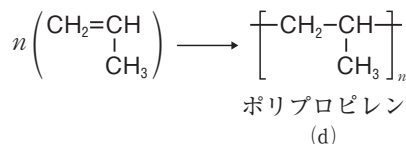
これは  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})-$  または  $\text{CH}_3\text{CO}-$  の構造を持った物  
 質と反応するので(b)の 2-プロパノールも  $\text{CHI}_3$  を生成す  
 る。

**設問(5)** 工業的にフェノールを製造するクメン法(下図)と  
 呼ばれ、触媒の存在下でプロペンにベンゼンを付加すると  
 クメン(c)が生成され、酸化後、希硫酸で分解するとフェ  
 ノール(d)が生成され、アセトン(b)が副生する。

クメン法

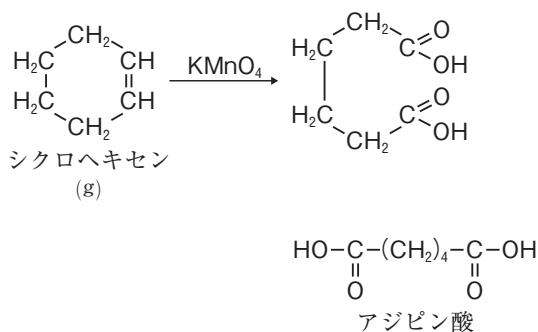
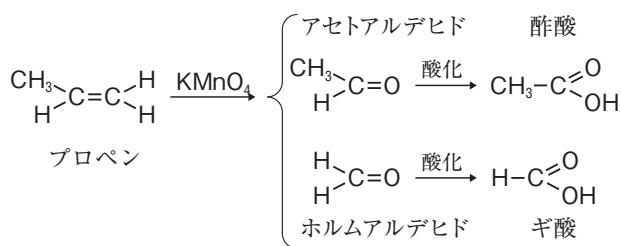


**設問(6)** プロペンの付加重合により高分子化合物のポリプ  
 ロピレン(e)が得られる。その構造式は下図を参照。



**設問(7)** 二重結合は酸化されやすく、酸化剤  $\text{KMnO}_4$  を与  
 えると二重結合が開裂し、ケトンやアルデヒドとなる。アル  
 デヒドは更に酸化されてカルボン酸になる。プロペン  
 ( $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ )では  $-\text{CH}_3$  が付いている方がアセトアル  
 デヒド、 $-\text{H}$  が付いている方がホルムアルデヒドになり、  
 更に酸化するとそれぞれが酢酸とギ酸になる(下図)。炭素  
 数6の炭化水素で二重結合が一つあり、酸化されて両端が  
 $-\text{COOH}$  のアジピン酸を製するのはシクロヘキセン(下  
 図)である。

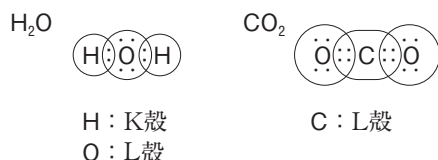




グリシン  $\text{CH}_2(\text{NH}_2)-\text{COOH}$  とシステインは、グリシンの  $-\text{CO}-$  とシステインの  $-\text{NH}-$  でペプチド結合を形成する。この2分子の  $-\text{SH}$  が  $-\text{S}-\text{S}-$  結合したものがジスルフィド結合である(解答図参照)。

**V 設問(1) ア** 電気陰性度は、周期律表の族番号が大きくなると大きくなる。よって、 $\text{H}-\text{F}$  中の共有結合は、 $\text{H} < \text{F}$  となり、 $\text{H}$  原子は陰性の強い  $\text{F}$  原子の方に引き寄せられる。イ. タンパク質は、 $\alpha$ -アミノ酸のペプチド結合が直鎖に結合したものを一次構造といい、ペプチド結合している一つのアミノ酸の  $-\text{CO}-$  と、他のアミノ酸の4番目のアミノ酸の  $-\text{NH}-$  との間の共有結合でらせん構造を構成しているものを二次構造という。

**設問(2)**  $\text{H}_2\text{O}$  は、水素2原子の最外殻電子1個ずつと酸素1原子の最外殻電子6個より閉殻となり希ガスの電子配置  $\text{L}$  殻と  $\text{K}$  殻の安定な電子殻となる。 $\text{CO}_2$  では炭素1原子の4個と酸素2原子の6個ずつの電子から閉殻となり二つの  $\text{L}$  殻ができる(下図)。



**設問(3)**  $\text{H}_2\text{O}$  は、電気陰性度の大きな  $\text{O}$  原子が共有電子対を強く引き寄せるため、 $\text{O}$  原子は負の電荷( $\sigma^-$ )を、 $\text{H}$  原子は正の電荷( $\sigma^+$ )を帯び、共有結合している原子間に電子の偏りがある極性分子で、 $\text{CO}_2$  は、分子内の原子間の電荷に偏りがあるが、 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$  のように分子は直線形で、二つの  $\text{C}=\text{O}$  結合が正反対の方向に向いているので、たがいに極性を打消しあう無極性分子である(解答図参照)。

**設問(4)** 安息香酸  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  の二量体は、一方の安息香酸の  $-\text{C}=\text{O}$  と他方の安息香酸の  $-\text{OH}$  の間で起こる水素結合により、強く結合する(添付図9)。

**設問(5)** タンパク質の高次構造に関与するのはペプチド結合するアラニンの  $-\text{CO}-$  と  $-\text{NH}-$  が分子間で水素結合を形成するので **I** と **IV** である(解答図参照)。

**設問(6)** システイン  $\text{CH}_2\text{SH}-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$  のチオール基  $-\text{SH}$  は、空気により酸化されると、2つの  $-\text{SH}$  が結合してジスルフィド結合( $-\text{S}-\text{S}-$ )を持つ二量体となる。



電話: 400-6321-400/13601043104(微信) QQ: 1925811302

地址: 北京市海淀区海淀路北大资源东楼 1433 室