

1. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔 I 〕

硫黄の同素体には ア , イ , ウ の3種類がある。 ア を 120℃に熱して生じる液体硫黄を冷やすと イ が得られ、 ア を 250℃に熱して生じる液体硫黄を水中に注いで急激に冷やすと ウ が得られる。

硫黄の酸化物あるいはオキソ酸として エ , オ , カ および硫酸などがあげられる。 エ は無色の気体であり、①黄鉄鉱（主成分 FeS_2 ）の燃焼により発生する。実験室的には②亜硫酸ナトリウムに希硫酸を加えるか、③銅に濃硫酸を加えて熱することで エ が得られる。 エ を水に溶かすことで オ が生成し、酸化バナジウム(V)を触媒にして エ を空気中の酸素と反応させることで カ を作ることができる。 カ を水と反応させると硫酸が生成する。

一方、硫化鉄(II)に希硫酸を入ると キ が気体として発生する。④ キ は強い還元剤として働く。また、⑤ キ を、金属イオンを含む水溶液に通じると沈殿を生成することが多い。この反応は、金属イオンの検出に利用される。

問1 ア ～ ウ に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問2 エ ～ キ に入る化学式を解答用紙に書きなさい。

問3 下線部①、②および③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4 下線部④に関して、次の実験を行った。ヨウ化カリウム 5.00 g とヨウ素 0.508 g を溶かした水溶液（ヨウ素水溶液）200 mL に、ある量の キ を完全に溶解させた。この水溶液を、デンプン溶液を指示薬として、0.100 mol/L の $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 水溶液で滴定したところ、終点までに 24.2 mL を要した。ヨウ素水溶液に溶解させた キ の気体の標準状態における体積は (1) . (2) $\times 10^{-$ (3) L である。 (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。ただし、 (1) に入る数値は 0 ではない。なお、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ は酸化されると $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ になる。

問5 下線部⑤に関して、強酸性条件下において沈殿を生じる金属イオンを下記からすべて選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

1 Al^{3+} 2 Cu^{2+} 3 Fe^{2+} 4 Mn^{2+} 5 Pb^{2+} 6 Zn^{2+}

〔Ⅱ〕

純物質の状態は、温度と圧力により決まる。水の場合、氷（固体）、水（液体）、水蒸気（気体）の3つの状態は図1のような状態図としてあらわされ、図中の3本の曲線で分けられる。図中の曲線ACを ク 曲線、曲線BCを ケ 曲線といい、点Bを臨界点、点Cを コ という。

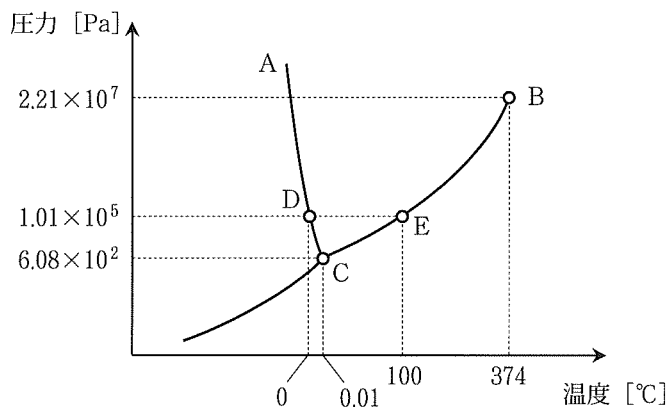


図 1

海拔 0 m の地表では気圧はおよそ 1.01×10^5 Pa であり、この条件では氷は 0°C で溶けて水になり、100°C で沸騰して水蒸気になる。一方、富士山の山頂では、水は 100°C より サ 温度で沸騰する。また、圧力を 6.08×10^2 Pa よりも十分に低くして温度を上げると、⑥ 氷は液体の状態を経ることなく、直接水蒸気に変化する。

図 2 は、14 族元素と 16 族元素の水素化合物の分子量と沸点の関係を示したグラフである。14 族元素の水素化合物では、分子量が大きくなるほど沸点は高くなる。一方、16 族元素の水素化合物の中では、⑦ 水の沸点はほかの水素化合物の沸点に比べて著しく高い。

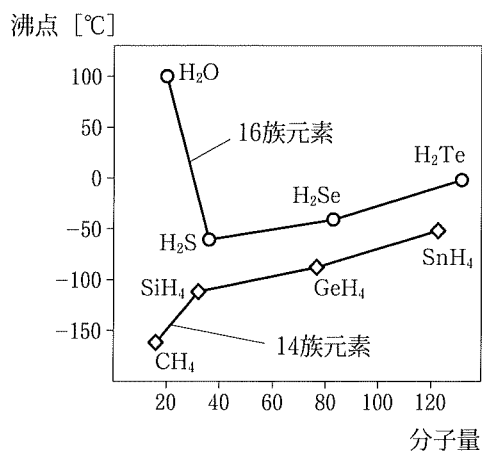


図 2

問6 ～ に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問7 温度、圧力ともに図1の点B (374℃, 2.21×10^7 Pa) を超えると、水は超臨界状態になる。
このとき、水はどのような状態で存在するか、25字以内で解答用紙に書きなさい。

問8 図1の点Dの水 45 g を加熱して、点Eですべて水蒸気にした。このときに必要な熱量は $\times 10^{\text{$ kJ である。 ～ 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、 に入る数値は0ではない。また、水の融解熱を 6.0 kJ/mol, 水の蒸発熱を 41 kJ/mol, 水 1 g の温度を 1 K 上げるのに必要な熱量を 4.2 J とする。

問9 下線部⑥の状態変化を何というか。漢字2字で解答用紙に書きなさい。

問10 以下の文章は、下線部⑦のようになる理由である。, に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

酸素原子は、ほかの16族元素に比べ水素原子との間の の差が大きいので、水分子では、より強い 結合が分子間に形成されるためである。

2. 次の文章を読み、問に答えなさい。ただし、大気圧は 1.01×10^5 Pa、空気中の酸素の割合は体積パーセントで 21% とする。

血液は、肺から取り入れられた酸素を体内に運ぶ役割を果たしている。血液は血球成分と血漿成分から構成され、酸素はおもに赤血球により運ばれるが、血漿中にも溶解する。血漿のみを 37°C 、大気圧において空気と接触させて血漿中の酸素濃度が平衡状態に達したとき、血漿 100 mL 中に含まれる酸素の物質量は $\boxed{(7).(8)} \times 10^{-\boxed{(9)}} \text{ mol}$ である。

赤血球の酸素運搬機能を代替する方法の一つとして、酸素溶解能の高い FDC と呼ばれる化合物を用いた人工血液が開発された。FDC は炭化水素の水素原子をすべてフッ素原子で置き換えた化合物の一つで高い酸素溶解能を持つが、疎水性が大きく水に溶けないため界面活性剤を用いて乳濁液として用いられる。血漿 90 mL と FDC 10 mL から調製した人工血液を 37°C 、大気圧において空気と接触させて酸素濃度が平衡状態に達したとき、この人工血液に含まれる酸素の物質量は $\boxed{(10).(11)} \times 10^{-\boxed{(12)}} \text{ mol}$ である。

一方、血漿中には電解質や①タンパク質が溶解しており、血漿はこれらの物質を運搬する役割も担っている。血漿の浸透圧は一定に保たれており、②血漿と同等の浸透圧を持つ輸液剤と呼ばれる水溶液は、体内から失われた水分・電解質・栄養などを補う目的に利用される。

問 1 $\boxed{(7)}$ ～ $\boxed{(12)}$ 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、 $\boxed{(7)}$ 、 $\boxed{(10)}$ に入る数値は 0 ではない。また、 37°C 、大気圧における酸素の、血漿に対する溶解度を $1.03 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 、FDC に対する溶解度を $2.06 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ とし、界面活性剤は酸素の溶解度に影響せず、人工血液への酸素の溶解量は血漿と FDC それぞれへの溶解量の和として求めることができるものとする。

問 2 下線部①について、血漿中に含まれているタンパク質 P 0.500 g を水に溶解し 100 mL の水溶液とした。このタンパク質 P の水溶液の浸透圧を 37°C で測定したところ、 $2.08 \times 10^2 \text{ Pa}$ であった。このタンパク質 P の分子量は $\boxed{(13).(14)} \times 10^{\boxed{(15)}}$ である。 $\boxed{(13)}$ ～ $\boxed{(15)}$ 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、 $\boxed{(13)}$ に入る数値は 0 ではない。また、水溶液にはタンパク質 P のみが溶解しており、タンパク質 P の電離による分子量の変化は無視できるものとする。

問 3 下線部②について、グルコース 3.60 g および塩化ナトリウムを水に溶解して、 37°C で血漿と同じ浸透圧となる輸液剤 200 mL を調製する。このとき、必要となる塩化ナトリウムの質量は $\boxed{(16).(17)} \text{ g}$ である。 $\boxed{(16)}$ 、 $\boxed{(17)}$ 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°C における血漿の浸透圧は $7.34 \times 10^5 \text{ Pa}$ とし、塩化ナトリウムは 100% 電離するものとする。

3. 次の文章を読み、問に答えなさい。

〔 I 〕

化学エネルギーを電気エネルギーに変換する装置を、電池（化学電池）という。電池の正極では ア 反応、負極では イ 反応が起こる。正極と負極を導線で結ぶと、導線中を電子が ウ 極から エ 極の向きに移動することで電流が流れる。①ダニエル電池は、亜鉛板を浸した硫酸亜鉛水溶液と、銅板を浸した硫酸銅水溶液を、②素焼き板で仕切ったものであり、亜鉛板と銅板を導線で結ぶと③電流が流れる。このように、 オ の大きさが異なる金属からなる電極を組み合わせると、起電力が生じ、導線中を電子が移動する。

問 1 ア ～ オ に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問 2 下線部①について、放電時に正極と負極で起こる反応を、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。また、電池全体の反応式を解答用紙に書きなさい。

問 3 放電時に下線部②の素焼き板を通る主なイオンについて、 (18) , (19) に入る適切なイオン式を下記から選び、その番号をマークシートにマークしなさい。

正極側から負極側へ移動するイオン： (18)

負極側から正極側へ移動するイオン： (19)

1 Cu^{2+} 2 H^+ 3 OH^- 4 SO_4^{2-} 5 Zn^{2+}

問 4 下線部③について、60分間の放電後に金属板の質量を測定したところ、一方が 180 mg 増加していた。この間に流れた電流の大きさの平均値は (20) , (21) , (22) $\times 10^{-$ (23) A である。 (20) ～ (23) 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、 (20) に入る数値は 0 ではない。

問 5 電池に関する以下の選択肢のうち、正しいものをすべて選び、その番号を解答用紙に書きなさい。

- 1 ダニエル電池の亜鉛板をアルミニウム板に代えると、起電力が低くなる。
- 2 鉛蓄電池では、負極に酸化鉛を使う。
- 3 希硫酸に亜鉛板と銅板を浸した電池では、銅板で水素が発生する。
- 4 水素や酸素といった気体も、活物質として用いることができる。
- 5 アルカリマンガン乾電池は、二次電池である。

〔Ⅱ〕

図1のように、硫酸亜鉛水溶液に亜鉛板を浸した容器Aと容器Bを用意し、硫酸亜鉛水溶液を塩橋で、亜鉛板を導線でつないで電池を作った。塩橋とはKCl、KNO₃などの高濃度の電解質溶液を寒天などで固めたものであり、両電解質溶液を電氣的につなぐはたらきをする。容器Aと容器Bに同じ濃度の硫酸亜鉛水溶液を入れた場合には電流は流れなかったが、④容器 に低濃度、容器 に高濃度の硫酸亜鉛水溶液を入れたところ、導線中を容器Aから容器Bの向きに電流が流れた。放電後に亜鉛板を取り出して質量を測定すると、容器 では亜鉛板の質量が増大し、容器 では亜鉛板の質量が減少していた。

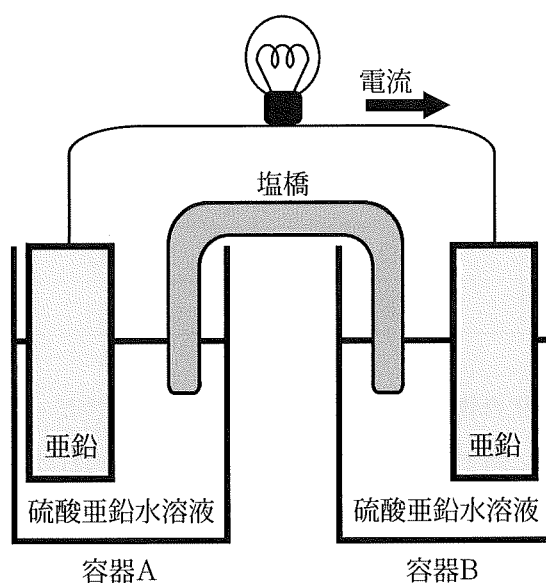


図1

問6 ～ にはAまたはBが入る。それぞれ適切なアルファベットを解答用紙に書きなさい。

問7 下線部④について、容器Aと容器B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。

4. 次の文章を読み、問に答えなさい。ただし、化合物 A ～ P はすべて異なる化合物である。

化合物 A ～ E は、水素原子、炭素原子、酸素原子のみから構成される分子量 160 以下の異性体であり、いずれも分子内にベンゼン環を 1 つ、エステル結合を 1 つ持つ化合物である。化合物 A を ア mg 完全燃焼すると、二酸化炭素が 198 mg と水が 36 mg 生成した。化合物 A ～ E をそれぞれ塩基を用いて加水分解した後に酸性にすると、表 1 に示す化合物 F ～ M がそれぞれ生成した。

表 1

化合物	生成した化合物
A	F, G
B	H, I
C	I, J
D	K, L
E	M

化合物 A から生成した化合物 G は、① ヨードホルム反応陽性だった。

化合物 B には二重結合に関する幾何異性体が存在し、化合物 B はトランス形の構造を持つ。

化合物 C のベンゼン環の 1 つの水素を塩素原子に置換した化合物は 2 種類のみである。

化合物 D から生成した化合物 K は、クメン法でカルボニル基を持つ化合物 N と共に合成される。

化合物 K のナトリウム塩を、高温高压で イ と反応させると、化合物 O のナトリウム塩が生成した。② 化合物 O にメタノールと濃硫酸を作用させると、消炎鎮痛作用を持つ化合物 P が生成した。

化合物 E, M は不斉炭素原子を持ち、化合物 M は塩化鉄 (III) 水溶液で呈色した。

問 1 ア に当てはまる数字を整数で解答用紙に書きなさい。

問 2 化合物 A ～ E 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。

問 3 下線部①で生成した黄色沈殿の分子式を解答用紙に書きなさい。

問 4 化合物 N の名称を解答用紙に書きなさい。

問5 に当てはまる物質を下記から1つ選び、その番号をマークシートの (24) にマークしなさい。

- 1 エチレン 2 酢酸 3 酸素 4 二酸化炭素 5 メタノール

問6 下線部②の反応の種類を下記から1つ選び、その番号をマークシートの (25) にマークしなさい。

- 1 還元 2 けん化 3 酸化 4 重合 5 縮合

問7 化合物F～Mの中で、銀鏡反応を示す化合物の記号をすべ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 〕

ヒトの体内には、糖類、脂質、タンパク質など、それぞれ特有の機能をもつ有機化合物が存在し、生命活動に利用されている。

デンプンやセルロースは、多数のグルコースが 結合を介して重合した構造をもつ多糖類である。食物から摂取されたデンプンは、だ液中のアミラーゼや小腸中のマルターゼにより消化されてグルコースに分解された後、腸管から吸収される。①グルコースは主にエネルギー源として利用されるが、過剰な分は肝臓や筋肉に多糖類である として蓄えられる。一方、セルロースは、植物の細胞壁に多く含まれる多糖類である。ヒトはセルロースを消化できないが、ウシやウマの消化管内には を産生する微生物が生息しており、セルロースを分解することができる。

脂質は、主に食用油や食物中に含まれる油脂として摂取される。油脂は、グリセリンに 結合を介して高級脂肪酸が結合した化合物である。脂肪酸は、パルミチン酸やステアリン酸などの、炭素原子間に二重結合をもたない 脂肪酸と、オレイン酸やリノール酸などの、二重結合をもつ 脂肪酸に分類される。摂取された油脂は、すい液などに含まれる によって加水分解され、腸管から吸収される。

タンパク質は、多数のアミノ酸がペプチド結合を介して重合した化合物であり、アミノ酸のみで構成される単純タンパク質と、②アミノ酸以外に糖やリン酸、核酸、色素を含む複合タンパク質に分類される。食物から摂取されたタンパク質は、胃の中で胃酸や による消化を受けた後、すい液に含まれる によりペプチドまで消化され、さらに小腸でアミノ酸まで分解される。アミノ酸の中には体内で合成できない、または合成しにくく、外部から摂取する必要があるものがあり、これらは と呼ばれる。

問 1 ～ に入る適切な語を解答用紙に書きなさい。

問 2 ～ に入る適切な消化酵素名を解答用紙に書きなさい。

問 3 下線部①について、酵母菌はグルコースを利用してアルコール発酵を行うことでエネルギーを得ることができる。グルコースを原料としたアルコール発酵の化学反応式を解答用紙に書きなさい。

問 4 下線部②について、色素を含む複合タンパク質を下記から 1 つ選び、その番号をマークシートの にマークしなさい。

- | | | | |
|---------|----------|----------|--------|
| 1 アルブミン | 2 カゼイン | 3 グロブリン | 4 ケラチン |
| 5 コラーゲン | 6 フィブロイン | 7 ヘモグロビン | 8 ムチン |

〔Ⅱ〕

アミノ酸 X は水溶液中で陽イオン (X^+)、双性イオン (X^\pm)、陰イオン (X^-) として存在し、電離定数を K_1 、 K_2 とすると次の電離平衡が成り立つ。

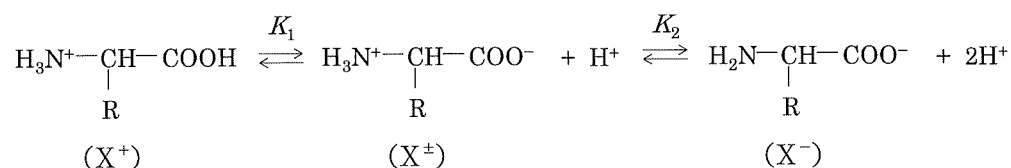


表 1 は、4 種の異なるアミノ酸 X_A 、 X_B 、 X_C 、 X_D の電離平衡と 25℃における電離定数を示している。なお、置換基 R の性質の違いにより、アミノ酸 X_B 、 X_C のように 2 価の陰イオン X_B^{2-} 、 X_C^{2-} になるものや、アミノ酸 X_D のように 2 価の陽イオン X_D^{2+} になるものがあり、それぞれ表 1 に示す電離平衡が成り立つ。

表 1

アミノ酸	電離平衡	電離定数 (mol/L)
X_A	$X_A^+ \xrightleftharpoons{K_1} X_A^\pm + \text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_2} X_A^- + 2\text{H}^+$	$K_1 = 6.30 \times 10^{-3}$ $K_2 = 1.26 \times 10^{-10}$
X_B	$X_B^+ \xrightleftharpoons{K_1} X_B^\pm + \text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_2} X_B^- + 2\text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_3} X_B^{2-} + 3\text{H}^+$	$K_1 = 1.00 \times 10^{-2}$ $K_2 = 1.00 \times 10^{-4}$ $K_3 = 6.30 \times 10^{-10}$
X_C	$X_C^+ \xrightleftharpoons{K_1} X_C^\pm + \text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_2} X_C^- + 2\text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_3} X_C^{2-} + 3\text{H}^+$	$K_1 = 1.00 \times 10^{-2}$ $K_2 = 6.30 \times 10^{-9}$ $K_3 = 2.00 \times 10^{-11}$
X_D	$X_D^{2+} \xrightleftharpoons{K_1} X_D^+ + \text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_2} X_D^\pm + 2\text{H}^+ \xrightleftharpoons{K_3} X_D^- + 3\text{H}^+$	$K_1 = 1.00 \times 10^{-2}$ $K_2 = 6.30 \times 10^{-10}$ $K_3 = 2.00 \times 10^{-11}$

各イオンの存在比は水溶液の pH とアミノ酸の種類により異なる。アミノ酸 X_C の 25℃における陽イオンと双性イオンの存在比 $\frac{[X_C^\pm]}{[X_C^+]}$ は、 K_1 と $[\text{H}^+]$ を用いて、

$$\frac{[X_C^\pm]}{[X_C^+]} = \boxed{\text{キ}}$$

と表され、pH 2.0 の緩衝液中では、

$$[X_C^+] : [X_C^\pm] = \boxed{\text{ク}}$$

となる。同様に pH 2.0 のとき、

$$[X_C^\pm] : [X_C^-] = 1 : \boxed{(29). (30)} \times 10^{\boxed{(31) (32)}}$$

$$[X_C^-] : [X_C^{2-}] = 1 : \boxed{(33). (34)} \times 10^{\boxed{(35) (36)}}$$

となる。

次にアミノ酸 X_B について考える。全イオンのうち存在率が 0.1% 以下のイオンを無視すると、pH 2.0 のときアミノ酸 X_B の平均電荷^(注)は $\boxed{(37). (38) (39)}$ であり、pH $\boxed{(40). (41)}$ のときアミノ酸 X_B の平均電荷は 0 となる。このように平均電荷が 0 となる pH は等電点と呼ばれ、アミノ酸ごとに異なる値を示す。

このような性質を利用して、複数のアミノ酸を電気泳動により分離することができる。図 1 のように、緩衝液で湿らせたろ紙の中央にアミノ酸 X_A , X_B , X_C , X_D を混合した水溶液を塗布し、ろ紙の両端に電極を取り付けて 25℃、一定電圧下で電気泳動を行った。図 2 は、pH の異なる緩衝液を用いて電気泳動を行った後のろ紙にニンヒドリン溶液を噴霧し、分離したアミノ酸を呈色させた結果を示している。ただし、pH のみを変化させたとき、電気泳動によるアミノ酸の移動の向きと距離は、各 pH における各アミノ酸の平均電荷にのみ依存し、平均電荷が 0 となる pH ではアミノ酸は電気泳動により移動しない。なお、電気泳動中に温度および pH は変化しないものとする。

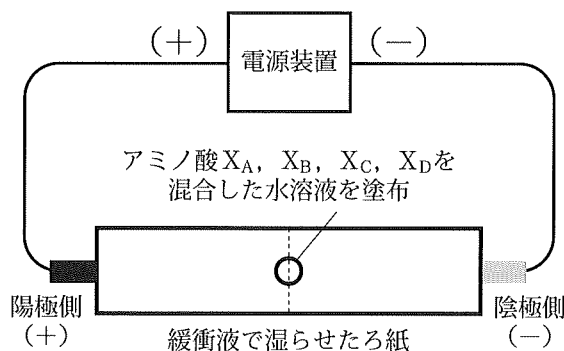


図 1

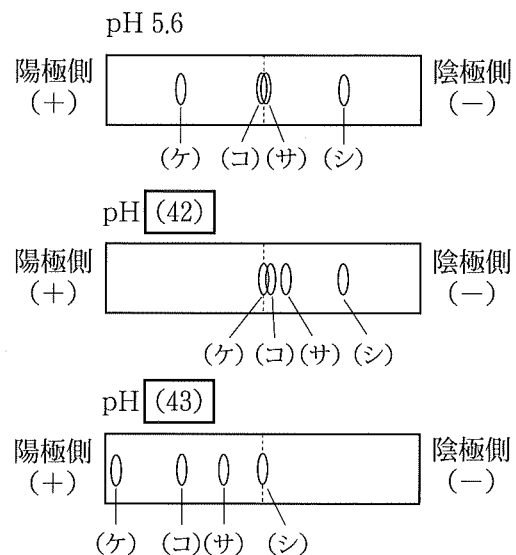


図 2

(注) m 価の陽イオンの電荷を $+m$, n 価の陰イオンの電荷を $-n$ としたときの、各イオンの電荷に存在率を乗じたものの和

問 5 $\boxed{\text{キ}}$ に入る適切な式を下記から選び、その番号をマークシートの $\boxed{(27)}$ にマークしなさい。

- | | | | |
|--------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1 K_1 | 2 $\frac{1}{K_1}$ | 3 $[H^+]$ | 4 $\frac{1}{[H^+]}$ |
| 5 $K_1[H^+]$ | 6 $\frac{1}{K_1[H^+]}$ | 7 $\frac{K_1}{[H^+]}$ | 8 $\frac{[H^+]}{K_1}$ |

問6 ク に入る適切な比を下記から選び、その番号をマークシートの (28) にマークしなさい。

- | | | | | | | | | | |
|---|----------|---|----------|---|-----------|---|-----------|---|---------|
| 1 | 1 : 1 | 2 | 1 : 10 | 3 | 10 : 1 | 4 | 1 : 100 | 5 | 100 : 1 |
| 6 | 1 : 1000 | 7 | 1000 : 1 | 8 | 1 : 10000 | 9 | 10000 : 1 | | |

問7 (29) ～ (41) 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、 (29) と (33) に入る数値は 0 ではない。

問8 図2の (42) , (43) に入る pH 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。

- | | | | | | | | | | |
|---|-----|---|-----|---|------|---|------|---|-----|
| 1 | 2.1 | 2 | 3.0 | 3 | 3.9 | 4 | 4.8 | 5 | 7.3 |
| 6 | 8.2 | 7 | 9.1 | 8 | 10.0 | 9 | 10.9 | | |

問9 図2の (ケ) ～ (シ) に当てはまるアミノ酸を下記からそれぞれ選び、その番号をマークシートの (44) ～ (47) にマークしなさい。

(ケ) (44) (コ) (45) (サ) (46) (シ) (47)

- | | | | | | | | |
|---|----------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|
| 1 | X _A | 2 | X _B | 3 | X _C | 4 | X _D |
|---|----------------|---|----------------|---|----------------|---|----------------|

問10 下記の pH で一定時間電気泳動を行うとき、アミノ酸 X_C と X_D の距離が最大になる pH はどれか。その番号をマークシートの (48) にマークしなさい。ただし、電気泳動中にアミノ酸 X_C と X_D のいずれもろ紙の端に到達しないものとする。

- | | | | | | | | |
|---|-----|---|------|---|------|---|------|
| 1 | 2.7 | 2 | 4.2 | 3 | 5.7 | 4 | 7.2 |
| 5 | 8.7 | 6 | 10.2 | 7 | 11.7 | 8 | 13.2 |