

化 学

工学部・応用生物科学部

問 題 冊 子

注意事項

1. 試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。
2. 本問題冊子は 11 ページで、解答用紙 5 枚である。落丁、乱丁、印刷不鮮明の箇所などがあった場合には、ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 受験番号は 5 枚の解答用紙のそれぞれ指定した欄すべてに必ず記入すること。
4. 問題は 5 題である。5 題すべてに解答すること。
5. 解答は解答用紙の指定箇所に記入すること。指定箇所以外に記入された解答は採点の対象としない。
6. 解答用紙は持ち帰らないこと。問題冊子は持ち帰ること。
7. 大問ごとに満点に対する配点の比率を表示してある。
8. 必要があれば、次の数値を用いよ。計算結果は、特に指定がない限り有効数字 2 桁で示せ。

原子量：H = 1.0, C = 12.0, N = 14.0, O = 16.0, Na = 23.0, Cl = 35.5, Fe = 56.0,

Sn = 119.0, I = 127.0

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

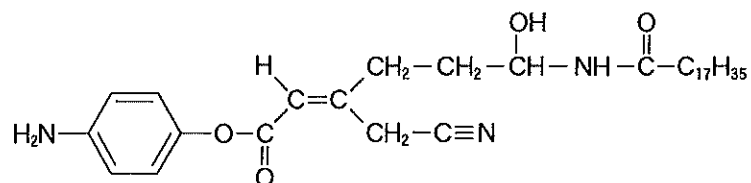
気体定数： $R = 8.31 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

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

$\log_{10} 2 = 0.30, \log_{10} 3 = 0.48$

9. 気体は指定がない限り理想気体としてふるまうものとする。
10. 構造式は、特に指定がない限り、次の例にならい簡略に記すこと。

(例)



1 次の文章を読み、以下の問1から問7に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

周期表の1族元素のうち、**ア**を除くリチウム、ナトリウム、カリウム、ルビジウム、**イ**、フランシウムの6種類の元素をアルカリ金属という。これらの元素は、自然界には単体で存在せず、化合物の形で海水中や鉱物中に存在する。それぞれの原子は1個の価電子をもち、1価の陽イオンになりやすい。アルカリ金属は一般に密度が小さく、融点が**ウ** {高い | 低い}。アルカリ金属の単体は空気中で速やかに酸化され、金属光沢を失う。また、**エ** {酸化力 | 還元力} が強く、^(a)常温の水と反応して水素を発生し、強塩基性の水酸化物を生じる。^(b)アルカリ金属の単体や化合物はそれぞれの元素に特有な炎色反応を示す。

アルカリ金属の単体は、^(c)アルカリ金属の化合物を高温で融解し、電気分解することで得られる。アルカリ金属の水酸化物は、^(d)すべて白色固体で水によく溶け、その水溶液は強い塩基性を示す。また、水酸化ナトリウムや水酸化カリウムの固体を湿った空气中に放置すると、空気中の水分を吸収して溶解する。

水酸化ナトリウムは、工業的には、下図のように塩化ナトリウム水溶液の電気分解により製造される。陰極に鉄、陽極に炭素を用いて、塩化ナトリウム水溶液を電気分解すると、陰極では^(e)**オ**が発生し、陽極では**カ**が発生する。**キ** {陰極 | 陽極} 付近の水溶液を濃縮すると、水酸化ナトリウムが得られる。両極の水溶液が混合して水酸化ナトリウムと**カ**の間で反応が起こるのを防ぐため、両電極間を陽イオン交換膜で仕切って純度の高い水酸化ナトリウムを得る。陽イオン交換膜は図中の**ク**を通すが、**ケ**は通さない。このような水酸化ナトリウムの製造法をイオン交換膜法という。

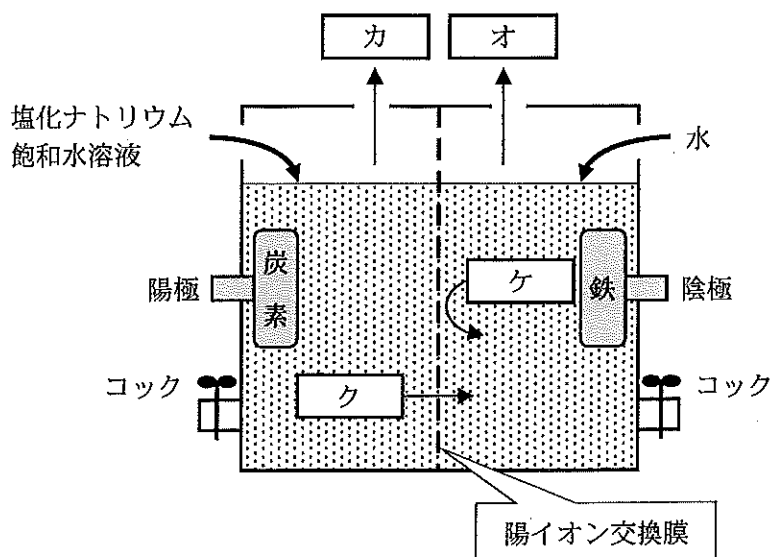


図 イオン交換膜法

問 1. ア と イ にあてはまる元素を元素名と元素記号でそれぞれ答えよ。

問 2. ウ , エ , キ にあてはまる適切な語句をそれぞれ{ }内から選び、答えよ。

問 3. オ , カ , ク , ケ にあてはまる気体およびイオンをそれぞれ化学式で示せ。

問 4. ナトリウム単体の場合について、下線部(a)と(b)のそれぞれの反応の化学反応式を示せ。

問 5. 下線部(c)について、リチウム、ナトリウム、カリウムの炎色反応が示す色を以下の①～⑤から選び、番号で答えよ。なお、必要であれば、同じ番号を何回選んでもよい。

{ ①青, ②緑, ③赤紫, ④黄, ⑤赤 }

問 6. アルカリ金属の単体は、下線部(d)のように、アルカリ金属の化合物を熔融塩電解して得られる。一方、アルカリ金属のイオンを含む水溶液の電気分解では、アルカリ金属の単体は得られないが、その理由を答えよ。

問 7. イオン交換膜法による水酸化ナトリウムの工業的製造法について、以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 下線部(e)について、陰極と陽極で起こる変化をそれぞれ、電子 e^- を含む反応式で示せ。

(2) 1.50 A の電流で 20 分 30 秒間電気分解したとき、生成した水酸化ナトリウムの物質量 [mol] と、陽極で発生した気体の 0℃, 1.013×10^5 Pa の状態(標準状態)での体積 [mL] をそれぞれ有効数字 3 桁で求めよ。ただし、発生した気体は水に溶解しないものとする。

2 次の文章を読み、以下の問1から問6に答えよ。

(配点比率 工・応生 20 %)

いくつかの原子が結びついてできた粒子を分子という。このとき、原子どうしを結びつける結合の一つが共有結合である。共有結合では、2個の原子間で、それぞれの原子が価電子^(a)を出しあって両方の原子で共有している。例えば、ヨウ素分子は、それぞれのヨウ素原子の価電子のうち、1個の 電子が対をつくって共有結合を形成している。このような共有結合をつくっている電子対を 電子対という。残るヨウ素原子の6個の価電子はもともと対になっていて共有結合には使われない。このような電子対を 電子対という。

分子の原子間の結合が変化することを化学反応^(b)という。分子の間で化学反応が進行するためには、分子どうしが衝突する必要がある。互いに衝突した分子が遷移状態(活性化状態)を経て別の分子に化学変化する。例えば、気体の水素分子とヨウ素分子は、400℃前後の温度で反応し、気体のヨウ化水素を生成する。^(c)

問 1. ～ にあてはまる適切な語句を答えよ。

問 2. 下線部(a)について、正しい文章を以下の①～④からすべて選び、番号で答えよ。正しい文章がない場合、「なし」と答えよ。

- ① 価電子とは原子を構成する電子のうち最も内側の電子殻に存在する電子を示す。
- ② 原子のもつ価電子の数とその原子の化学的性質との間に相関はない。
- ③ イオンになりにくく他の原子との結合も形成しにくい貴ガス(希ガス)の価電子数は0である。
- ④ アルカリ土類金属元素の原子の価電子数は2であり、2個の価電子を放出することで2価の陽イオンになりやすい。

問 3. 酢酸は水素原子、炭素原子、酸素原子からなる分子である。酢酸について、以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 例にならって、酢酸を電子式で示せ。



例 水分子の電子式

(2) 酢酸に 電子対は何組存在するか答えよ。

問 4. 下線部(b)について、以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

- (1) 図の E_a および E_b の名称を答えよ。
- (2) 触媒を用いたときの変化として、以下の①～④の中から適切なものを一つ選び番号で答えよ。

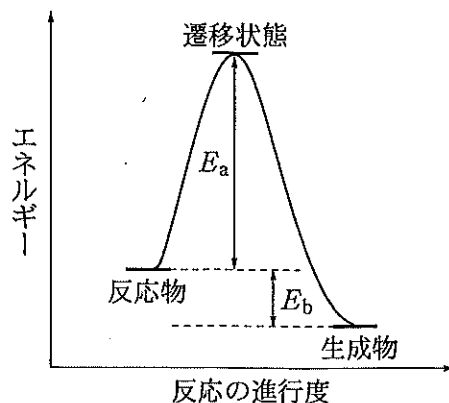


図 反応におけるエネルギー変化

- ① E_a および E_b は変化しない。
- ② E_a および E_b は小さくなる。
- ③ E_a は小さくなるが、 E_b は変化しない。
- ④ E_a は変化しないが、 E_b は小さくなる。

問 5. 下線部(c)について、同じ物質量の水素分子とヨウ素分子を 5.0 L の密閉容器に入れ、一定温度で加熱したところ、30 秒(s)後にヨウ化水素が $6.0 \times 10^{-2} \text{ mol}$ だけ生成した。この間の水素分子の反応速度とヨウ化水素の生成速度 $[\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})]$ をそれぞれ求めよ。ただし、この反応以外の反応はまったく起こらないものとする。

問 6. 10 mL の溶液中で化合物 A が化合物 B と化合物 C に分解する以下の反応を行った結果、下表が得られた。以下の(1)～(3)の問いに答えよ。ただし、反応により体積は変化しないものとする。

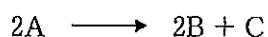


表 化合物 A が分解する反応の経過時間と溶液中の化合物 A の物質質量

反応の経過時間[s]	0	20	40	60	80
溶液中の化合物 A の物質質量[mol]	1.00×10^{-5}	4.30×10^{-6}	1.84×10^{-6}	7.89×10^{-7}	3.38×10^{-7}

- (1) 反応経過時間 20 秒から 40 秒までの化合物 A の平均分解速度 $\bar{v}[\text{mol}/(\text{L} \cdot \text{s})]$ を答えよ。
- (2) 化合物 A の平均分解速度 $\bar{v}$ を、反応速度定数 k 、化合物 A の平均濃度 $[\bar{\text{A}}]$ を用いて表すと、 $\bar{v} = k[\bar{\text{A}}]^n$ である。 n にあてはまる値は、0, 1, 2, 3 のうちのいずれか答えよ。
- (3) 反応速度定数 k を単位も含めて答えよ。

3 以下の問1と問2に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

問1. 分液ろうとを用いた有機化合物の分離操作に関する次の文章を読み、以下の(1)～(3)の問いに答えよ。

いくつかの有機化合物が混ざっている溶液から各々の化合物を分離するには、化合物の溶媒への溶解性の違いを利用する。この分離操作は分液ろうとで行う。分液ろうとを持って振るとき、上栓と活栓が閉まっていることを確認し、ア {a 上栓を上、活栓が下 | b 上栓を下、活栓が上} になるように持って上下に振り混ぜる。振り混ぜていると、分液ろうと内の気体の圧力は イ {c 増してくることもあるので、ときどき活栓を開いて気体を逃がす | d 変化しないので、そのまま振り続ける}。ジエチルエーテル(以後エーテル)と水を振り混ぜた分液ろうとを図1のような向き(上栓が上、活栓が下)にしてしばらく静置すると、ウ {e エーテル層は上層、水層は下層 | f エーテル層は下層、水層は上層} に分離する。

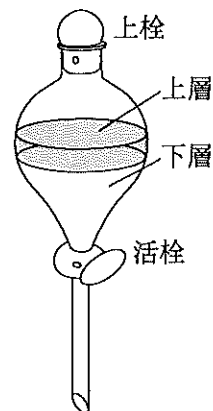


図1 分液ろうと

いま、酢酸とエタノールに触媒として少量の濃硫酸を加え、加熱し化合物Aを合成した反応液がある。① 反応液をエーテルと水と一緒に分液ろうとに移してよく振り混ぜ、静置した。
②

(1) 図1を参照して文中の ア ～ ウ のそれぞれの{ }内から正しいものを選び、記号で答えよ。

(2) 下線部①に関して、酢酸とエタノールから化合物Aが合成される化学反応式を示せ。

(3) 下線部②に関して、化合物Aと未反応のエタノールは「エーテル層」と「水層」のどちらの層に多く存在するか、それぞれ答えよ。

問2. 以下に記した性質を示す有機化合物B, C, D, Eが混合しているエーテル溶液がある。この混合溶液より化合物B, C, D, Eを分離するため、分液ろうとを用いて図2に示す分離操作を行った。以下の(1)～(5)の問いに答えよ。

化合物B 分子式は $C_8H_8O_2$ で、水酸化ナトリウム水溶液と反応して塩が生成する。また、過マンガン酸カリウム水溶液と反応させるとテレフタル酸が得られる。

化合物 C 分子式は $C_8H_{10}O$ で、塩化鉄(III)水溶液を加えても呈色しない。穏やかな条件で酸化すると銀鏡反応を示す物質を経て化合物 B が得られる。

化合物 D 分子式は C_7H_9N で、*p*-ニトロトルエンをスズと濃塩酸を加えて還元し、さらに水酸化ナトリウム水溶液を加えると遊離し、得られる化合物である。

化合物 E 分子式は C_7H_8O で、その水溶液に塩化鉄(III)水溶液を加えると青色に呈色する。過マンガン酸カリウム水溶液と反応させるとサリチル酸が得られる。また、水酸化ナトリウム水溶液と反応して塩を生成する。生じた塩の水溶液に二酸化炭素を通すと化合物 E が再び遊離する。

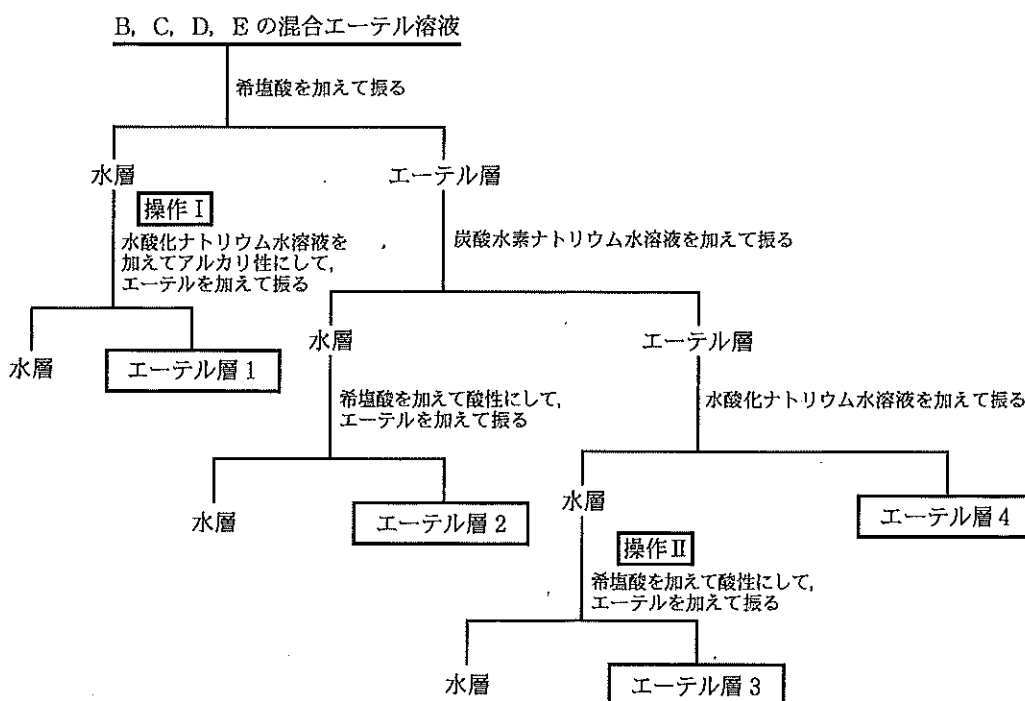


図 2 分離操作の概略

- (1) 化合物 B, C, D, E の構造式を示せ。
- (2) 化合物 B, C, D, E それぞれに炭酸水素ナトリウム水溶液を加えたとき、二酸化炭素が発生するものを一つ選び記号で答えよ。また、その化合物 6.8 mg に十分な量の炭酸水素ナトリウム水溶液を加えたとき、発生する二酸化炭素は標準状態(0℃, 1.013×10^5 Pa)で何 mL となるか求めよ。ただし、化合物はすべて反応し、未反応物はないものとする。

- (3) 化合物 B, C, D, E は図 2 の操作で分離されたエーテル層 1 ~ 4 のうちどれに含まれているか、それぞれ数字で答えよ。ただし、同じ数字は 1 度のみしか使用できないものとする。
- (4) 図 2 の操作 I で起こる反応を化学反応式で示せ。
- (5) 図 2 の操作 II で起こる反応を化学反応式で示せ。

4 次の記事を読み、以下の問1から問4に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

多くの高分子化合物(以後、高分子)は、繊維、フィルム、容器などの生活用品の材料として人類にとって欠かせないものになっている。^(a)さらに、たとえば吸水性、導電性、生分解性など特定の性能を有した **ア** 高分子も開発され、進化し続けている。高分子は、小さな構成単位が ^(b)くり返し共有結合することにつながっている。この構成単位となる小さな分子を **イ** と言う。重合反応で得られる高分子には、二重結合や三重結合のような不飽和結合をもつ **イ** が ^(c)次々と分子間で **ウ** 反応することによって得られるものと、分子内に2個以上の官能基をもつ **イ** から水などの分子が取れて次々と **エ** 反応することによって得られるものがある。また、重合反応によって人工的につくられた高分子を **オ** 高分子とよぶ。

一部の **オ** 高分子(たとえば生分解性高分子)を除いた、一般的な高分子は「腐らず丈夫」という性質をもつ。一方で、この性質によって、海洋汚染、マイクロプラスチックなど新たな環境問題の原因物質にもなっている。そうした観点から、廃棄物をしっかり回収し、再利用やリサイクルする重要性が問われている。プラスチックのリサイクルとして、焼却処理して得られる熱エネルギーを有効活用するサーマルリサイクルがある。しかし、同時に生じる地球の温暖化 ^(d)につながる **カ** の排出が課題である。その他のリサイクル方法には、そのまま再度プラスチック製品の原料として再利用する **キ** リサイクルと、何らかの処理によって化学的に分解して化成品の原料として再利用する **ク** リサイクルがある。

問 1. **ア** ～ **ク** にあてはまる適切な語句をそれぞれ答えよ。

問 2. 下線部(a)に関して、**オ** 高分子から得られた世界初の繊維がナイロンであり、アミド結合を有した高分子である。ナイロン6およびナイロン66の構造式を示せ。なお、下記の例を参考に簡略に示して良い。



例：ヘキサン

問 3. 下線部(b), (c)について, 以下の(1)~(3)の問いに答えよ。

(1) 反応で得られるポリアクリロニトリルと, 反応で得られるポリエチレンテレフタラートの の構造式をすべて示せ。

(2) ポリアクリロニトリルを繊維にしたあと, 不活性ガス中で焼成(高温で熱処理)すると, 航空機の機体などに使われている炭素繊維が得られる。焼成後の炭素繊維の構成元素が炭素のみとなり, 焼成中に脱離するガスは窒素と水素のみであると仮定した場合, 1.0 kg のポリアクリロニトリル繊維から何 kg の炭素繊維が得られるか求めよ。

(3) 下線部(b)に関して, この繰り返し単位構造の数を重合度とよび, 重合度によって分子量が決まる。ここで, 平均分子量が 4.5×10^5 であるポリエチレンテレフタラートの分子1個に含まれる平均のベンゼン環の個数を求めよ。

問 4. 下線部(d)に関して, 2020 年 7 月にレジ袋の有料化がスタートした。レジ袋の主原料はさまざまであるが, 最も使われているのはポリエチレンである。ここで, 国民一人当たりポリエチレン製のレジ袋(1枚あたり 5.0 g とする)を年間 260 枚使用し, 全てが焼却処理されると仮定する。国民一人当たりレジ袋から排出する年間の の質量(g)を求めよ。なお, ポリエチレンは添加剤などの不純物を含んでいない。分子量は十分に大きく, 末端官能基は無視し, 完全燃焼することにより水(水蒸気)と 以外の成分は排出されないこととする。

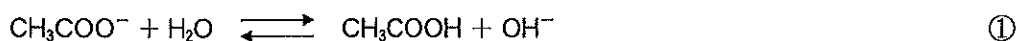
5 以下の問 1 から問 4 に答えよ。

(配点比率 工・応生：20%)

ただし、水のイオン積を $K_w = 1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/L})^2$ 、酢酸の電離定数を $K_a = 2.0 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$ として、酢酸の電離度は 1 に比べてきわめて小さいものとする。

問 1. 次の文章を読み、以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

濃度 $c \text{ mol/L}$ の酢酸ナトリウム水溶液の pH について考える。この水溶液中では次の①式の平衡が成り立つ。



加水分解定数 K_h は次の②式で表される。

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \quad \text{②}$$

このとき加水分解している酢酸イオンの割合を h (ただし $0 < h < 1$) とし、 c と h を用いると平衡時の $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ は ア mol/L 、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ および $[\text{OH}^-]$ は イ mol/L 、加水分解定数 K_h は ウ とそれぞれ表される。ここで h は 1 に比べて非常に小さいため $1 - h \approx 1$ と近似でき、 h は K_h と c を用いると $\sqrt{\text{エ}}$ と、 $[\text{OH}^-]$ は $\sqrt{\text{オ}}$ とそれぞれ表すことができる。一方、②式の分母と分子に $[\text{H}^+]$ をかけて整理すると、

$$K_h = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \times \frac{[\text{H}^+]}{[\text{H}^+]} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} \times [\text{H}^+][\text{OH}^-] = \frac{K_w}{K_a} \quad \text{③}$$

となる。

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] \text{ を変形すると } [\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{K_w}{\sqrt{\text{オ}}} \text{ であるから、}$$

ここに③式を代入すれば $[\text{H}^+]$ は K_a 、 K_w および c を用いて $\sqrt{\text{カ}}$ と表される。

(1) ア ~ カ にあてはまる適切な式をそれぞれ答えよ。

(2) 酢酸ナトリウム水溶液の濃度が 0.20 mol/L である場合、水溶液の pH を求めよ。

問 2. 濃度 0.20 mol/L の酢酸水溶液 200 mL , 0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液 200 mL を混合した。以下の(1)~(3)の問いに答えよ。

(1) この水溶液中における $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ $[\text{mol/L}]$ と $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ $[\text{mol/L}]$ を求めよ。

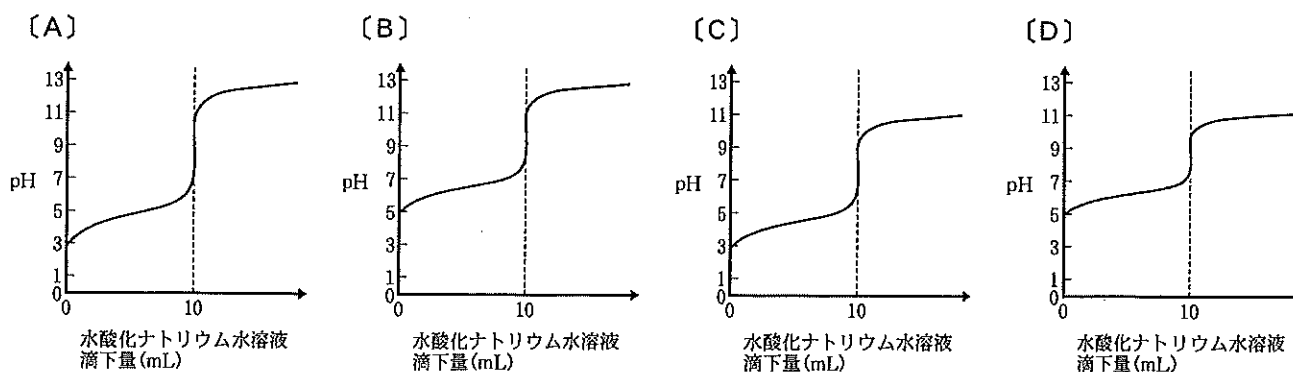
(2) この水溶液の pH を求めよ。

(3) この水溶液 400 mL に 1.0 mol/L の塩酸を 4.0 mL 加えた場合の pH を求めよ。

問 3. 濃度 0.10 mol/L の酢酸水溶液 10 mL に対して 0.10 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定を行った。以下の(1)と(2)の問いに答えよ。

(1) 中和滴定を行う前における酢酸水溶液の pH を求めよ。

(2) 中和滴定で得られる滴定曲線として最も適切なもの、および適切な指示薬と中和点前後での色の変化を次の〔A〕~〔D〕のグラフおよび選択肢①~④より一つずつ選べ。



指示薬	色の変化
① メチルオレンジ	: 赤→黄
② メチルオレンジ	: 黄→赤
③ フェノールフタレイン	: 赤→無色
④ フェノールフタレイン	: 無色→赤

問 4. 酢酸と酢酸ナトリウムをそれぞれ水に溶かした水溶液の pH を 5.0 に調整する場合、酢酸の濃度を 1 とし、酢酸ナトリウムの濃度比を整数で答えよ。