



中和滴定の量的関係

1 中和滴定

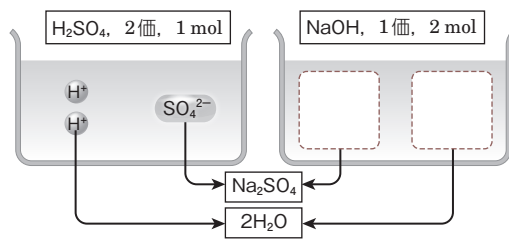
① 中和反応と物質質量 酸から生じる

[1.]イオンの物質質量と塩基から生じる [2.]イオンの物質質量が等しいとき、酸と塩基は過不足なく中和する。

この過不足なく中和する点を [3.]という。[3.]では、次式が成り立つ。

作図 1

1 mol の硫酸 H_2SO_4 と 2 mol の水酸化ナトリウム NaOH の中和反応が完成するように、下図左のビーカーにならって、右のビーカーにイオンのモデル図をかき込んでみよう。

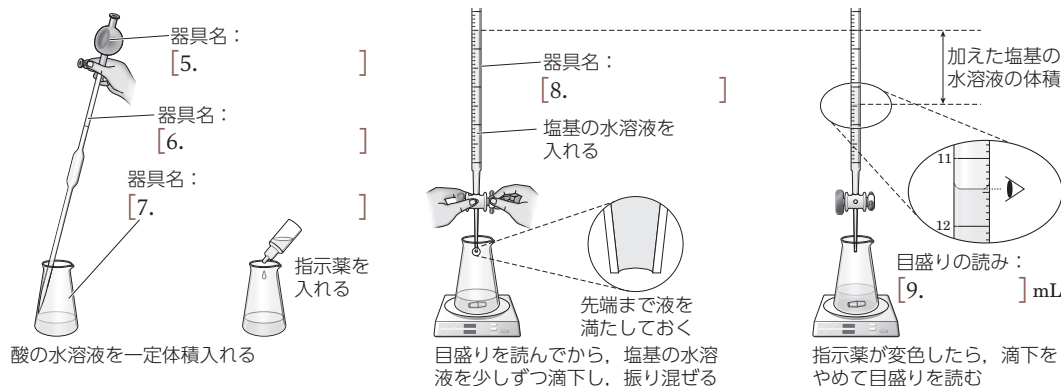


$$\begin{aligned} \text{H}^+ \text{の物質質量} &= \text{OH}^- \text{の物質質量 (塩基が受け取る H}^+ \text{の物質質量)} \\ (\text{酸の価数}) \times (\text{酸の物質質量}) (\text{mol}) &= (\text{塩基の価数}) \times (\text{塩基の物質質量}) (\text{mol}) \end{aligned}$$

② 中和滴定 中和点までに要した酸(または塩基)水溶液の体積から、濃度未知の塩基(酸)水溶液の [4.]を求める操作。濃度 c (mol/L) の a 価の酸 V (L) と、濃度 c' (mol/L) の b 価の塩基 V' (L) が過不足なく中和するとき、次式が成り立つ。

$$a \times c \text{ (mol/L)} \times V \text{ (L)} = b \times c' \text{ (mol/L)} \times V' \text{ (L)} \text{ または, } acV = bcV'$$

③ 中和滴定に用いる器具と操作



→ 共洗い 器具が純水でぬれている場合、使用する溶液の濃度がうすまらないように、ホールピペットや [10.]などの器具の内壁を、使用する溶液で洗うこと。

④ 弱酸・弱塩基の中和滴定と電離度 酢酸 CH_3COOH を強塩基で中和する場合を考える。酢酸は弱酸で電離度が [11.]く、水素イオン H^+ が少ししか存在しない。ここに強塩基を加えると、電離していた H^+ が中和される。それに伴って、別の酢酸が [12.]して新たに H^+ を生じる。これが繰り返され、最終的にすべての酢酸の H^+ が中和される。

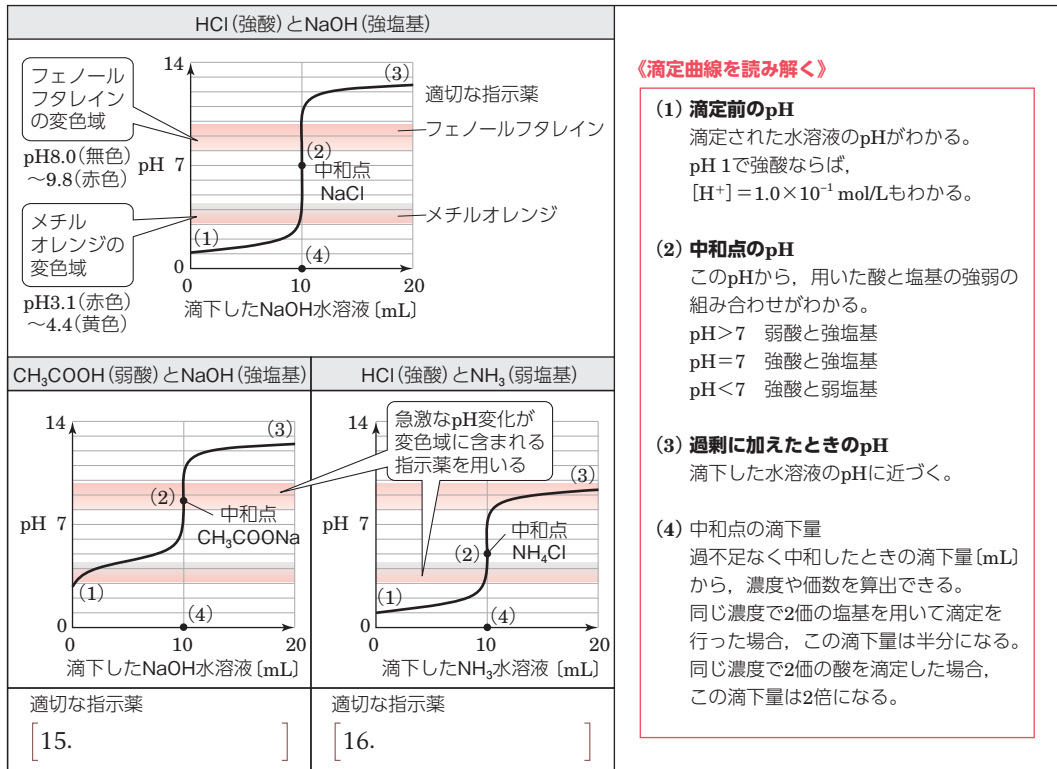
したがって、中和する酸・塩基の物質質量は、酸・塩基の強弱や電離度に関係しない。

2 滴定曲線

① 滴定曲線 中和滴定で酸や塩基の水溶液の滴下量(体積)と、混合溶液の pH の関係を表した曲線。

[13.] 付近では、pH が大きく変化する。

② 酸塩基指示薬 (pH 指示薬) [14.] の変化により変色する試薬。中和点付近に変色域がある指示薬を使用すると、その変色により中和滴定の終点を知ることができる。



▲ 滴定曲線 (0.10 mol/L の酸 10 mL に 0.10 mol/L の塩基を滴下した場合)

弱酸と弱塩基の組み合わせは、中和点付近の pH 変化が小さいので滴定に向かない。

☑ 解答を確認

STEP 1

解答編 P.49



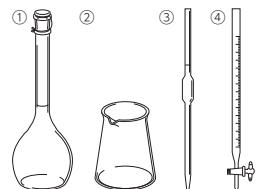
(1) 濃度既知の酸 (または塩基) 溶液を用いて、塩基 (酸) の濃度を求める操作を何というか。

[1.]

(2) (1) の操作で酸と塩基が過不足なく中和した点を何というか。

[2.]

(3) 器具①～④の名称を答え、使い方を次のア～オから選べ。



ア. 一定体積の水溶液を正確にはかり取る

イ. この中で中和反応を行う

ウ. この器具から滴下した水溶液の体積をはかる

エ. 一定濃度の水溶液を調製する

オ. 滴定に用いる試薬を水に溶かす

[3. ① ,], [3. ② ,]

[3. ③ ,], [3. ④ ,]

(4) 0.20 mol の硫酸 H₂SO₄ を中和するのに必要な水酸化ナトリウム NaOH の物質量は何 mol か。

[4.]

STEP 2

解答編 P.49 ~ 50

例題 21 中和滴定

$5.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ シュウ酸 $(\text{COOH})_2$ 水溶液を [ア] で正確に 10.0 mL はかり取り, [イ] に入れ, フェノールフタレインを加えた。そこに, 濃度未知の水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を [ウ] から滴下したところ, 中和点までに 12.5 mL を要した。

- (1) [ア] ~ [ウ] の器具の名称を答えよ。
- (2) [ア] ~ [ウ] から, 水洗いしてぬれたまま使用する器具を 1 つ選べ。また, ぬれたままでよい理由を説明せよ。
- (3) 指示薬は, 中和点で何色から何色に変化したか。
- (4) 水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度は何 mol/L か求めよ。

解説 (2)水でぬれていると水溶液の濃度はうすくなるが, コニカルビーカーに入っているシュウ酸の物質量は変化しないので, 中和滴定には影響しない。

(4)水酸化ナトリウム水溶液のモル濃度を $x \text{ (mol/L)}$ とすると, シュウ酸は 2 価の酸なので,

$$\underbrace{2}_{\text{価数}} \times \underbrace{5.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L} \times \frac{10.0}{1000} \text{ L}}_{(\text{COOH})_2 \text{ の物質量}} = 1 \times \underbrace{x \text{ (mol/L)} \times \frac{12.5}{1000} \text{ L}}_{\text{NaOH の物質量}} \quad x = 8.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$

解答 (1)ア：ホールピペット イ：コニカルビーカー ウ：ビュレット
 (2)器具：イ 理由：シュウ酸の物質量が変わらないから。
 (3)無色からうすい赤色に変化した。 (4) $8.00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$

150 中和滴定 次の問いに答えよ。式量 $\text{NaOH} = 40$

(1) 濃度未知の塩酸 HCl 10.0 mL を中和するのに, 0.10 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を 12.0 mL 要した。塩酸のモル濃度は何 mol/L か求めよ。 []

(2) $6.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 硫酸 H_2SO_4 10 mL を中和するのに必要な $8.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 水酸化カリウム KOH 水溶液は何 mL か求めよ。 []

151 希釈した水溶液の中和滴定 濃度未知の塩酸 HCl 10 mL をメスフラスコに入れ, 純水を加えて 100 mL にした。そこから正確に 5.0 mL をはかり取りコニカルビーカーに入れ, $2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液で滴定したところ, 10 mL を要した。もとの塩酸のモル濃度は何 mol/L か求めよ。 []



ケミ探

中和滴定

解答編 P.50

☆食酢中の酢酸の濃度を中和滴定で求めてみよう。

1 実験 G.P.118 1

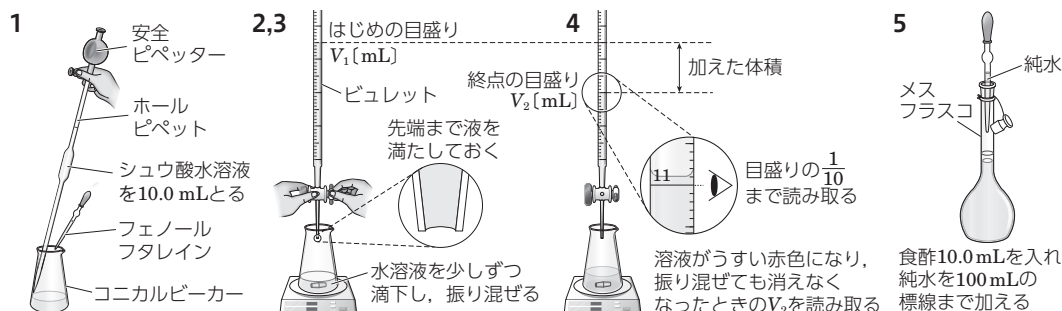
実験Ⅰ 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液の正確な濃度測定

- 0.050 mol/L シュウ酸 (COOH)₂ 水溶液 10.0 mL をホールピペットでコニカルビーカーに正確にはかり取り、指示薬としてフェノールフタレインを 1, 2 滴加える。
- 共洗いしたビュレットに、濃度未知の水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を入れる。
- はじめの目盛り V_1 を読み、ビュレットから水溶液を少しずつ滴下し振り混ぜる。
- 振り混ぜても赤色が消えなくなったとき、目盛り V_2 を読む。

実験Ⅱ 食酢の濃度決定

- 食酢 10.0 mL を、メスフラスコにはかり取り、純水を加えて 100 mL にうすめる。
- 5 の水溶液 10.0 mL をホールピペットでコニカルビーカーに正確にはかり取り、指示薬としてフェノールフタレインを 1, 2 滴加えて、**実験Ⅰ** の水酸化ナトリウム水溶液を用いて滴定する。
(2～4 と同様の操作を行う。)

※どちらの滴定も 3 回以上繰り返し、滴下量の平均を求める。



2 結果を記録しとめる

- ① Ⅰの実験結果から滴下量を求めて表に記せ。また、滴下量の平均を求めよ。

滴下量の平均 []

| 実験Ⅰ | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| はじめの目盛り V_1 (mL) | 1.32 | 10.87 | 20.40 |
| 滴定後の目盛り V_2 (mL) | 10.87 | 20.40 | 29.94 |
| 滴下量 $V_2 - V_1$ (mL) | [a.] | [b.] | [c.] |

- ② Ⅱの実験結果から滴下量を求めて表に記せ。また、滴下量の平均を求めよ。

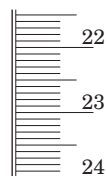
滴下量の平均 []

| 実験Ⅱ | 1 回目 | 2 回目 | 3 回目 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| はじめの目盛り V_1 (mL) | 3.90 | 10.43 | 16.91 |
| 滴定後の目盛り V_2 (mL) | 10.43 | 16.91 | 23.40 |
| 滴下量 $V_2 - V_1$ (mL) | [a.] | [b.] | [c.] |

- ③ Ⅱの 3 回目の滴定終点のビュレットの目盛りは、23.40 mL であった。このとき、正面から見た液面の状態を右図に記せ。



ビュレットの目盛りの 0 は上にあったよね。





STEP UP 中和滴定の応用 一気体を中和滴定するには？

解答編 P.51

STU 19 逆滴定 実験で発生させたアンモニア NH_3 を、 0.30 mol/L 硫酸 H_2SO_4 40 mL に完全に吸収させた。その後、この水溶液を 0.20 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液で中和滴定したところ、 20 mL を要した。発生したアンモニアの体積は、 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ で何 L か求めよ。

問題の意図をつかむ

- アンモニア NH_3 と過剰な硫酸 H_2SO_4 を反応させた後、残っている H_2SO_4 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液と反応させているよね。なぜ、こんな面倒なことをしているのかな。
- NH_3 が気体なので、直接中和滴定で求められないからかな。まず、[1.] 性気体の NH_3 を、[2.] 性の H_2SO_4 に吸収させているんだね。
- そうか。ということは、 NH_3 を H_2SO_4 に吸収させたとき、[3.] が過剰だったから、未反応の [3.] が残っているはず。それを、別の塩基である [4.] 水溶液で滴定し、その差から NH_3 の物質量を求めればいいね。この操作を逆滴定といったね。

解法を考える

- 中和反応が2回出てくる。その反応式を書いてみよう。まず、 NH_3 と H_2SO_4 の中和反応の化学反応式は [5.]
- 次に H_2SO_4 と NaOH の中和反応の化学反応式は [6.]
- これを、1つずつ解けばいいのだろうけど、混乱しそう。
- 登場する酸と塩基に分けて整理すると問題がつかめるかな。酸は [7.] 価の H_2SO_4 だけで、塩基は [8.] 価の NH_3 と [9.] 価の NaOH の2つだね。
- 中和滴定では、酸が出す [10.] イオンの物質量と塩基が出す [11.] イオンの物質量がつりあう。右図のように考えると、[11.] イオンは NH_3 から生じるものと NaOH から生じるものがあるから、それらを別の項にして、価数を考えると、次式が成り立つね。

| | |
|--|-----------------------------------|
| H_2SO_4 から生じる H^+ | |
| NH_3 から生じる OH^- | NaOH から生じる OH^- |

$$2 \times \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ の物質量} = 1 \times \text{NH}_3 \text{ の物質量} + 1 \times [12.] \text{ の物質量}$$

- NH_3 の物質量を $n \text{ (mol)}$ において、問題文の数値を代入すると、
- $$2 \times [13.] \text{ mol/L} \times \frac{40}{1000} \text{ L} = 1 \times n \text{ (mol)} + 1 \times 0.20 \text{ mol/L} \times \frac{[14.]}{1000} \text{ L}$$

- 1つの式にするとわかりやすいね。これを解くと、 $n = 0.020 \text{ mol}$ になった。

- あとは、 0°C 、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ での気体のモル体積 [15.] L/mol を使って、
- $$[15.] \text{ L/mol} \times 0.020 \text{ mol} = 0.448 \text{ L} \div 0.45 \text{ L}$$

答 0.45 L

STEP 3

解答編 P.51 ~ 55

㊦4分 154 水酸化ナトリウムの性質とイオンの量 食酢中の酢酸 CH_3COOH の濃度を決定するために、滴定ⅠとⅡを行った。次の問いに答えよ。

〔滴定Ⅰ〕 固体の水酸化ナトリウム NaOH を純水に溶かした水溶液を、正確な濃度のシュウ酸 $(\text{COOH})_2$ 水溶液で滴定し、水酸化ナトリウム水溶液の濃度を決定した。

〔滴定Ⅱ〕 食酢を純水で 10 倍に希釈しコニカルビーカーに入れて、Ⅰの水酸化ナトリウム水溶液で滴定し、食酢中の酢酸の濃度を決定した。

(1) 次の文章中の ア ~ エ に入る適切なものを、それぞれ下の a ~ d から選べ。

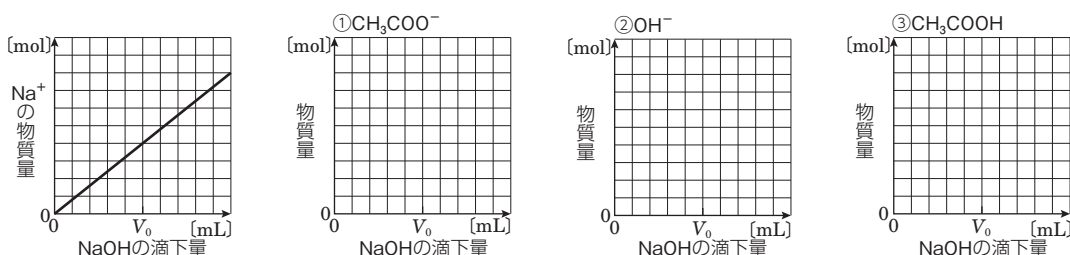
滴定Ⅰを行わずに、固体の水酸化ナトリウムの質量を測定し、それをもとに計算した水溶液の濃度を用いるとどうなるか考えてみよう。固体の水酸化ナトリウムは空気中の二酸化炭素や水蒸気を吸収しやすいので、質量は ア。したがって、そこに含まれる水酸化物イオン OH^- の物質量は、純粋に水酸化ナトリウムだけを含んでいると考えた場合に比べて イ。このため、水酸化ナトリウム水溶液の濃度は、滴定Ⅰで求めた濃度に比べて ウ。したがって、滴定Ⅱで求めた食酢の濃度は実際の濃度に比べて エ。

- a. 小さくなると予測される b. 大きくなると予測される c. 変わらない
d. 小さくなるか(大きくなるか)予測できない

ア[], イ[], ウ[], エ[]

(2) 滴定Ⅱで、水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を中和点の 2 倍まで入れたとき、コニカルビーカー中のナトリウムイオン Na^+ の物質量は下左図のように変化した。このとき、① CH_3COO^- 、② OH^- 、③ CH_3COOH の物質量は、どのように変化したか。それぞれ、グラフに記入せよ。

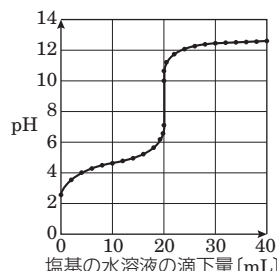
ただし、 V_0 は中和点に達したときの水酸化ナトリウム水溶液の滴下量を表している。また、酢酸の電離度は約 0.01 とする。



㊦4分 155 滴定曲線 1 価の酸の 0.10 mol/L 水溶液 10 mL を、ある塩基の水溶液で中和滴定した。図は塩基の水溶液の滴下量と pH の関係を示したものである。次の問いに答えよ。

(1) この滴定に関する記述として誤りを含むものを、次の a ~ e から 1 つ選べ。

- a. この酸は弱酸である。
b. この滴定に用いた塩基の水溶液の pH は 12 以上である。
c. 中和点における水溶液の pH は 7 である。
d. この滴定に適した指示薬はフェノールフタレインである。
e. この滴定に用いた塩基の水溶液で、0.20 mol/L 塩酸 HCl 5.0 mL を中和滴定するには、塩基の水溶液が 20 mL 必要である。



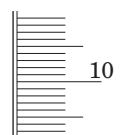
LINK! 分野横断問題

㉞8分 158 中和滴定と水溶液の溶解度 カルシウム Ca の単体は常温の水と反応して水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生成する。いま、カルシウム 1.0 g を 500 mL の純水に入れたところ、①気体を発生しながら溶けて水溶液が白濁した。これは、生成した水酸化カルシウムの水に対する溶解度が小さく、溶けきれない水酸化カルシウムによって白濁したものである。これをろ過し、その②ろ液 10.0 mL をコニカルビーカーにとり、 $5.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$ 塩酸 HCl で滴定したところ、ビュレットの目盛りは滴定前は 2.40 mL、中和点では 10.40 mL であった。実験の間、温度は一定に保たれていたとして次の問いに答えよ。

(1) 下線部①で発生した気体は何か。分子式を答えよ。

[]

(2) 中和点に達したとき、正面から見たビュレット内の液面の状態を右図に記せ。ただし、右図の 1 目盛りは 0.1 mL である。



(3) 次のア～エの記述の下線部の語は、それぞれ「元素」と「単体」のどちらの意味で使われているか。

ア. カルシウムの密度はアルミニウムより小さい。

イ. カルシウムのイオン化エネルギーはナトリウムより大きい。

ウ. 歯や骨にはカルシウムが多く含まれている。

エ. カルシウムの表面は空気に触れているので酸化されやすい。

ア[], イ[], ウ[], エ[]

(4) 下線部②のろ液に関する記述のうち、誤りを含むものを a～d から 1 つ選べ。

- a. 二酸化炭素を吹き込むと白濁する。
- b. 水溶液中でカルシウムイオンと水酸化物イオンはイオン結合をしている。
- c. ろ液に BTB 溶液を入れると青色に変化する。
- d. ろ液を白金線の先端につけてガスバーナーの外炎に入れると、炎が橙赤色になる。

(5) ろ液の水酸化カルシウム水溶液の濃度は何 mol/L か求めよ。

[]

(6) 100 g の溶媒に溶ける溶質の限度の質量を溶解度という。この温度での水酸化カルシウムの水に対する溶解度を有効数字 2 桁で求めよ。ただし、水酸化カルシウム水溶液の密度は 1.0 g/mL とする。式量 $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 74$

[]

199 2種類以上の物質が混ざり合った混合物から、その成分である①純物質を取り出す操作が分離である。分離操作には、ろ過、②蒸留、昇華法、再結晶、抽出、③クロマトグラフィーなどがある。

(1) 下線部①について、次のa～eから純物質をすべて選べ。 []

a. ボーキサイト b. 塩化ナトリウム c. 生石灰 d. トタン e. ドライアイス

(2) 下線部②について、蒸留を応用して液体の混合物を物質ごとに分離する方法を何というか。 []

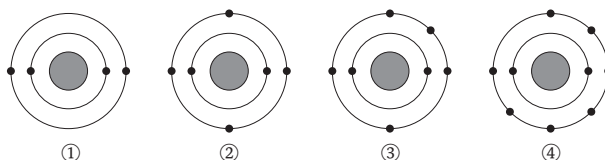
(3) 下線部③について、シリカゲルなどの吸着剤をつめたガラス管に混合物を入れ、その上から溶媒を流す方法をとることがある。この方法では、混合物中の物質ごとにどのような違いがあることを利用しているか。 [] の違い

(4) 分離に関する次の記述a～eから、正しいものをすべて選べ。 []

- a. 凝華は固体から気体になる現象を指し、気体から固体になる現象ではない。
- b. ヨウ素とナフタレンの混合物を加熱すると、ナフタレンのみが昇華する。
- c. ペーパークロマトグラフィーでは、混合物を紙に付着させた部分を、溶媒に浸す必要がある。
- d. 分液ろうとにヨウ素とヨウ化カリウムの水溶液を入れ、ヘキサンを加えてよく振ると、上層のヘキサン層にヨウ素が移る。
- e. 硝酸カリウムに少量の硫酸銅(Ⅱ)五水和物が混合しているとき、硝酸カリウムのみを取り出すには、再結晶法が有効である。

(群馬大・改)

200 図は第2周期の元素①～④について、原子の電子配置を模式的に示したものである。●は原子核、●は電子を表す。次の各問に答えよ。



(1) ④は、異なる種類の原子と共有結合するとき、共有電子対を引っつける強さが最大である。この強さの尺度を何というか。 []

(2) ①～④と同じ第2周期に属し、イオン化エネルギーが最小の元素と、電子親和力が最大の元素を元素記号で示せ。

イオン化エネルギーが最小 [] , 電子親和力が最大 []

(3) ②～④の原子が水素と結合すると、どのような分子の形となるか。a～eから1つずつ選べ。

② [] , ③ [] , ④ []

a. 直線形 b. 折れ線形 c. 三角錐形 d. 四角錐形 e. 正四面体形

発展 4 ①の単体は固体であり、右図のような結晶構造をとる。六角柱の内側に含まれる原子は何個か。また、1個の原子に接する原子の数は何個か。

含まれる原子の数 [] , 接する原子の数 []

