

DAILY[®] PROGRAM

高校理科——化学Ⅱ（見本）

1

化学反応には、速く進む反応もあればゆっくり進む反応もあり、最終的には平衡状態に達して、見かけ上反応が止まった状態になります。この巻では、反応の速さの条件と化学平衡、平衡の移動について学習します。

反応の速さと化学平衡

第1章 反応の速さと化学平衡

§ 1	化学反応の速さと濃度	[M01]	.....	4
§ 2	化学反応の速さと温度・触媒	[M02]	.....	18
§ 3	化学平衡	[M03]	.....	30
§ 4	平衡の移動	[M04]	.....	42
§ 5	ルシャトリエの原理	[M05]	.....	52
§ 6	電離平衡	[M06]	.....	61
§ 7	水のイオン積と pH	[M07]	.....	72
§ 8	酸・塩基の水溶液と pH	[M08]	.....	84
§ 9	混合溶液の pH	[M09]	.....	94
§10	緩衝液	[M10]	.....	104
§11	溶解平衡	[M11]	.....	113

本書の構成と使い方

高校化学Ⅱトレーニングペーパーは、学校の授業と並行して使う学習書として、学習項目ごとのていねいな説明と必要な練習問題を用意してあります。復習用としてだけでなく、予習用としても利用できるようなくわしい説明です。また、定期試験対策用の問題も小冊子として用意してありますから、ぜひご利用ください。

構 成

《1 セクションの構成》

1 日分の学習量を1 セクション（§ 1， § 2 など）ごとに区切ってあります。

1 セクション（10 ページ前後）は、代表題部分と類題部分から構成されています。

（§ タイトルの右にある番号は定期試験対策と関連します）

【代表題部分】

まず、そのセクションの学習内容を示し、「考え方のポイント」がまとめてあります。

そして、そのセクションを代表する問題が2～5 題並べてあります。解答は巻末です。

➡ 代表題には類題番号およびタイトルが示してある。

例 類題 6160 ルシャトリエの原理

【類題部分】

代表題の1 題ごとに「類題トレーニング」として、くわしい内容解説と練習問題を用意してあります。解答は巻末です。

➡ 内容解説は、テーマまたは例題の形式で説明してある。

➡ 代表題での類題番号と、テーマまたは例題のタイトルが示してある。

例 類題トレーニング 6160

《定期試験対策の構成》

定期試験対策用の問題が、小冊子として用意してあります。問題は章ごとに4 段階に分けてあります。大学入試の基礎固めとしても、十分活用できる内容です。

- ・チェック……教科書の基本的なことがらをチェックする問題。
- ・基本問題……教科書の中にあるような基本的な問題。2 回分ある。
- ・標準問題……教科書の章末問題レベルまでの問題。
- ・実力問題……入試問題の中から選んだ入試での基本的な問題。

本書の構成をよくつかみ、効率のよい学習をしてください。

参考までに、使い方の例を示しておきます。

復習型の使い方

◇学校の授業の補習用として使用する。

このときには、【代表題部分】を中心に学習する。

◇まず、1セクションの【代表題部分】をやってみて、かんたんにわかるようであれば、【類題部分】は省略してもよい。

◇ただし、わかりづらい問題があれば、問題に示してある類題番号とタイトルの内容の「類題トレーニング」部分をよく読み、練習問題もやっておく。

➡このような使い方をすれば、学校の授業での理解の程度により学習の省力化ができる。

➡代表題の問題番号の右側にチェック欄があるので、この欄を有効に利用するとよい。

予習型の使い方

◇予習用または自学自習用として使用する。

このときには、【類題部分】を中心に学習する。

◇まず、1セクションの【類題部分】を順にやっていき、全部やり終えたあとで、【代表題部分】で理解の程度を確かめてみる。

◇または、全部のセクションの【類題部分】だけを順にやっていき、章単位で【代表題部分】を一気にやってみてもよい。

定期試験対策

◇定期試験前の学習に使用する。

小冊子になっているから、それだけを取り出してやればよい。

◇問題のレベルが4段階に分かれているので、まずは「チェック」で教科書の基本的な内容を確認したあと、「基本問題」にとり組む。基本問題までは、完全にわかるようにしておきたい。

◇次に、「標準問題」をやってみる。標準問題は教科書の章末問題レベルの問題も入っているので、すこし手ごわい。

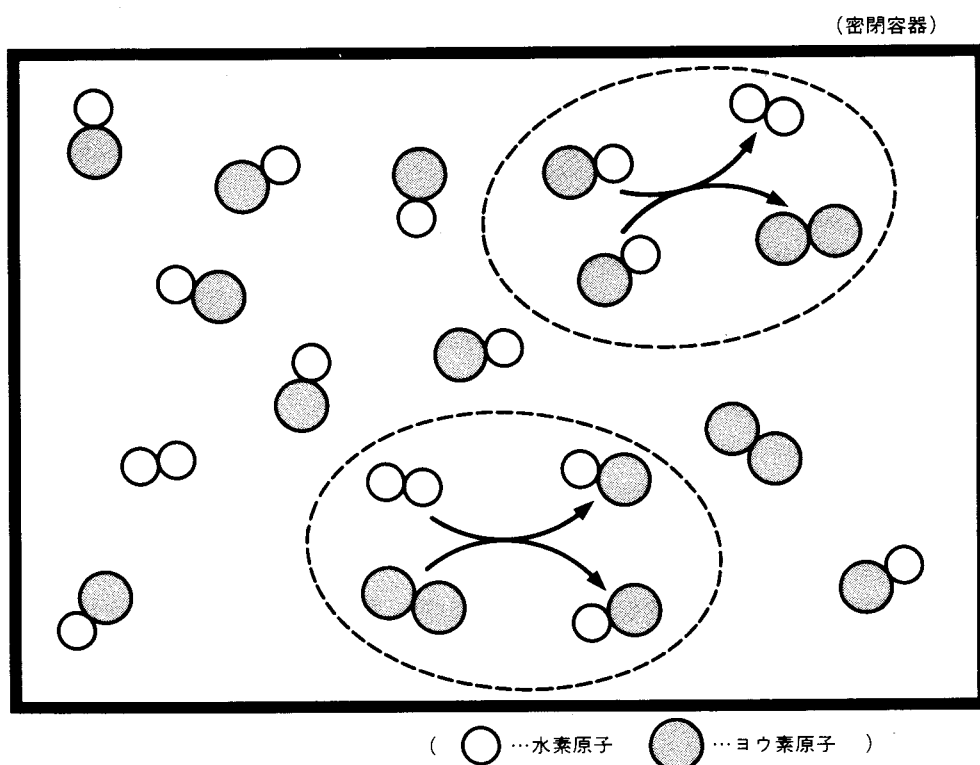
◇余裕があれば、「実力問題」もやってみるとよい。入試問題でのやさしい問題を中心に選んである。

➡それぞれの問題のあとに、「関連§番号」としてセクション番号または類題番号を示してあるので、どうしてもわからない問題は、関連する本文にもどるとよい。

※本書の構成と使い方をよくつかみ、自分なりの学習法で有効に活用してください。

第 1 章

反応の速さと化学平衡



[H_2 と I_2 の反応における化学平衡]

§ 1 化学反応の速さと濃度

M01

いままでに学習してきたいろいろな化学反応には、反応が激しく進行する場合や、おだやかに進行する場合など、反応の速さに違いがみられました。§ 1, § 2 では、この化学反応の速さについて学習していきます。

◇考え方のポイント◇

◆化学反応と粒子の衝突

化学反応は、反応物質を構成する分子・原子・イオンどうしの衝突によって起こる。
衝突回数が多いほど、反応の速さは大きい。

◆化学反応の速さ

化学反応の速さは、単位時間に減少する反応物質の濃度 $[\text{mol/l}]$ の変化量、または単位時間に増加する生成物質の濃度 $[\text{mol/l}]$ の変化量で表される。

$$\text{化学反応の速さ} = \frac{\text{ある物質の濃度の変化量}}{\text{反応時間}}$$

◆化学反応の速さと濃度

化学反応の速さは、反応物質の濃度に比例する。

反応の速さ v が反応物質のそれぞれの濃度の積に比例する場合は、反応物質の濃度 $[\text{mol/l}]$ をそれぞれ $[A]$, $[B]$ で表すと、

$$v = k[A][B]$$

で表される。比例定数 k を『速度定数』という。

また、この反応が気体反応である場合は、反応物質の濃度が分圧に比例するので、反応物質の成分気体の分圧を P_A , P_B , 速度定数を k とすると、反応の速さ v は、

$$v = k P_A P_B$$

で表される。

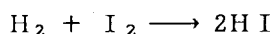
1 (0001) ☐ 類題 6010 化学反応と粒子の衝突

次の問いに答えなさい。

- (1) 固体の塩化ナトリウムと固体の硝酸銀を混合しました。反応は起こりますか。
[]
- (2) (1)で答えた理由は、塩化ナトリウムや硝酸銀のイオンどうしの衝突があるからですか。それとも、イオンどうしの衝突がないからですか。
[]
- (3) 塩化ナトリウムと硝酸銀をそれぞれ水溶液にして混合しました。反応は起こりますか。もし起こるとしたら、それははやい反応ですか、おそい反応ですか。
[] []
- (4) (3)で答えた理由を、簡単に述べなさい。
[]

2 (0002) ☐ 類題 6020 化学反応の速さの表し方

水素とヨウ素が化合してヨウ化水素になる反応は、次のような化学反応式で表せます。



ある瞬間の H_2 の濃度が 2.00 mol/l で、10 秒後の H_2 の濃度が 1.75 mol/l でした。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) このときの H_2 の反応の速さを求めなさい。
[]
- (2) このときの I_2 の反応の速さを求めなさい。
[]
- (3) このときの HI の反応の速さを求めなさい。
[]

3 (0003) ☐ 類題 6030 化学反応の速さと濃度(1)

一定体積の容器中で、水素とヨウ素からヨウ化水素を生成しました。このときの化学反応式は、 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \longrightarrow 2\text{HI}$ で表せます。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) この反応の速さ v を、反応物質の濃度をそれぞれ $[\text{H}_2]$ 、 $[\text{I}_2]$ とし、速度定数を k として、速度式で表しなさい。
[]
- (2) もし、 $[\text{H}_2]$ と $[\text{I}_2]$ の濃度を大きくすると、そのときの反応の速さは大きくなりますか、小さくなりますか。
[]
- (3) 速度定数 k は、 $[\text{H}_2]$ や $[\text{I}_2]$ の濃度を変えると、それによって変わりますか、変わりませんか。
[]
- (4) 速度定数 k は、反応の温度を変えると、それによって変わりますか、変わりませんか。
[]

ヒント (1) この反応の場合、 v は反応物質のそれぞれの濃度の積に比例する。

4 (0004) ☐ 類題 6040 化学反応の速さと濃度(2)

2.0 mol の水素 H_2 と 3.0 mol のヨウ素 I_2 を 4.0 l の容器中で反応させました。反応温度を 800 K として、このときの反応の速さ $[\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$ を、反応気体の分圧の関係より有効数字 2 けたで求めなさい。

ただし、気体定数を $R=0.082$ 、この温度での速度定数を k とし、反応の速さは反応気体のそれぞれの分圧の積に比例するものとします。

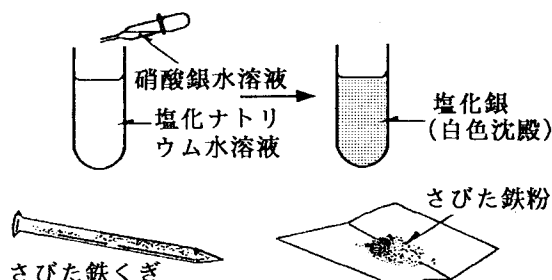
[]

類題トレーニング(6010)

- 学習の視点 化学反応が起こるためには、反応する分子・原子・イオンどうしが、衝突しなければならないことを知る。さらに、はやい化学反応とおそい化学反応の具体例について調べてみる。

テーマ 化学反応と粒子の衝突

- 塩化ナトリウムと硝酸銀を、固体のまま混ぜても、反応は起こらない。
- 塩化ナトリウムと硝酸銀をそれぞれ水溶液にして混ぜると、ただちに塩化銀の白色沈殿が生ずる。
- 鉄くぎや鉄粉を空气中に放置すると、徐々に赤褐色になるが、鉄粉のほうが変化がはやい。



【化学反応と粒子の衝突】

反応する物質を構成する分子・原子・イオンどうしの衝突によって化学反応が起こる。よって、反応の速さは、分子・原子・イオンの衝突回数が多いほどはやい。

■ 説明 ■

- 化学反応と粒子の衝突 化学反応が起こるためには、物質を構成する分子・原子・イオンどうしが、それぞれ衝突しなければならない。そのため、反応がはやいということは、この分子・原子・イオンどうしの衝突回数が多いということである。
- はやい反応 塩化ナトリウムと硝酸銀を固体のまま混ぜておいても、それぞれの粒子はしっかりイオン結合をしているため、塩化ナトリウムのイオンと硝酸銀のイオンとの衝突が起こらず、反応しない。ところが、塩化ナトリウムと硝酸銀をそれぞれ水溶液にして混ぜると、水溶液中でイオンに分離しているので、イオンどうしがただちに衝突し、反応がすぐに起こる。
また、ガソリンに点火すると、ただちに気体になったガソリンの分子と空気中の酸素分子が衝突して、瞬間的に反応が起こる。

このように、イオン反応や燃焼反応の速さは、ひじょうにはやい反応である。

- おそい反応 イオン反応や燃焼反応に比べると、鉄がさびるなどの反応は、おそい反応である。これは、金属結合している鉄と空気中の酸素が化合する反応なので、固体の鉄原子は動けないため衝突回数が少なく、反応はゆっくり進む。
- 同じ化学反応での速さの違い 同じ化学反応でも、速さが違う場合がある。

たとえば、ゆっくりした反応でも、鉄くぎと鉄粉を同じ条件で空气中に放置しておくと、鉄粉のほうがはやくさびる。これは、空気とふれる表面積が、鉄くぎより鉄粉のほうがずっと大きく、空気中の酸素と鉄の原子の衝突する回数が多くなるためである。同じような例として、固体と液体が反応する場合、ガラス棒などでかき混ぜて固体と液体のふれる表面積を大きくすると、反応がはやく進む。

以上のことをまとめると、固体と気体や、固体と液体の間で反応が起こるとき、固体のふれる表面積が大きいほど反応ははやいといえる。

1 (6011) M01

化学反応と粒子の衝突について、次の問いに答えなさい。

- (1) 化学反応が起こるためには、物質を構成する分子・原子・イオンどうしの間で、何が起こらなければなりませんか。

[]

- (2) 反応がはやく進むということは、分子・原子・イオンどうしの衝突回数が、多いのですか、少ないのですか。

[]

- (3) イオン反応や燃焼反応は、はやい反応ですか、おそい反応ですか。

[]

2 (6012) M01

鉄のさびができる反応について、次の問いに答えなさい。

- (1) 鉄くぎや鉄粉の原子は、自由に動けますか。

[]

- (2) 同じ質量の鉄くぎと鉄粉で、表面積が大きいのはどちらですか。

[]

- (3) 空気中の酸素分子は、自由に動けますか。

[]

- (4) 鉄のさびができる反応は、鉄と酸素の化合によるものです。(1)~(3)から考えて、同じ時間内にさびが多くできるのは、鉄くぎと鉄粉のどちらですか。

[]

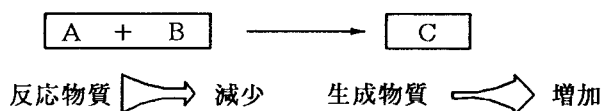


類題トレーニング(6020)

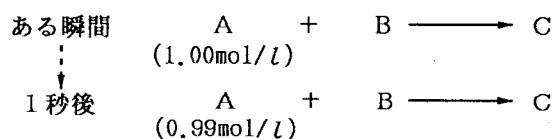
- 学習の視点 化学反応には、はやい反応とおそい反応があることがわかったが、その反応の速さはどのように定義されているのかを知る。

■■■■■ テーマ 化学反応の速さの表し方 ■■■■■

- $A + B \longrightarrow C$ の反応が進むということは、反応物質(AやB)が減少し、生成物質(C)が増加することである。



- ある瞬間の A の濃度を、 1.00 mol/l とする。
- 1 秒後の A の濃度を、 0.99 mol/l とする。
- A は、1 秒間に



$$1.00 - 0.99 = 0.01 [\text{mol/l}]$$

だけ減少したことになる。

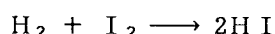
【化学反応の速さ】

化学反応の速さは、単位時間に減少する反応物質の濃度の変化量、または単位時間に増加する生成物質の濃度の変化量で表される。

$$\text{化学反応の速さ} = \frac{\text{ある物質の濃度の変化量}}{\text{反応時間}}$$

■■■ 説明 ■■■

- 化学反応の速さ たとえば、 1 mol の水素と 1 mol のヨウ素が反応して、 2 mol のヨウ化水素を生ずる場合で考えてみよう。



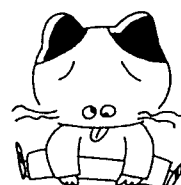
ある瞬間に H_2 の濃度が 0.10 mol/l で、10 秒後の濃度が 0.09 mol/l であったとすると、 H_2 は、10 秒間に $0.10 - 0.09 = 0.01 [\text{mol/l}]$ 減少したことになる。

つまり、1 秒間には $0.01 \div 10 = 0.001 [\text{mol/l}]$ だけ減少したことになる。

一方、 I_2 、 HI についても同様に考えると、1 分子の H_2 と 1 分子の I_2 が反応して、2 分子の HI が生ずるから、 H_2 と I_2 が 1 秒間に 0.001 mol/l ずつ減少すると、 HI が 2 倍の 0.002 mol/l 増加することがわかる。

ここで、反応物質(H_2 や I_2) または生成物質(HI) の一定時間内の濃度変化を反応の速さと定義すると、ある瞬間の反応の速さは、 H_2 、 I_2 については $0.001 \text{ mol/(l} \cdot \text{秒)}$ 、 HI については $0.002 \text{ mol/(l} \cdot \text{秒)}$ ということになる。

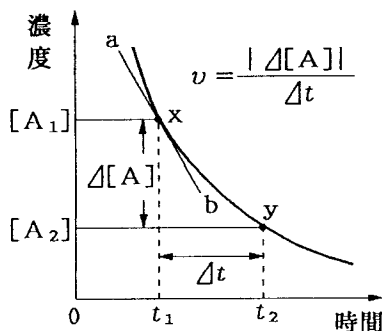
一定時間の単位としては、秒のほか、反応の速さによって分、時、日、年などを用いる。次に、反応の速さの一般的な表し方について、まとめてみよう。



物質 A のモル濃度は、一般に $[A]$ の記号で表す。物質 A のモル濃度が時刻 t_1 に $[A_1]$ であり、時刻 t_2 では $[A_2]$ になったとすれば、A の反応の速さ v は次式のように表される。

$$v = \frac{\text{A の濃度の変化量}}{\text{反応時間}} = \frac{|[A_2] - [A_1]|}{t_2 - t_1} = \frac{|\Delta[A]|}{\Delta t}$$

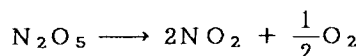
右のグラフは、反応物質 A の濃度 $[A]$ の変化を示している。反応の速さ $v = \frac{|\Delta[A]|}{\Delta t}$ は、



直線 xy の傾きの大きさに等しく、厳密には時刻 t_1 から t_2 までの平均の反応の速さである。これに対して瞬間の反応の速さは、グラフの接線の傾きの大きさに等しい。たとえば、時刻 t_1 の瞬間の反応の速さは、x 点の接線 ab の傾きの大きさに表される。

- 反応の速さと反応速度 日常生活や物理で用いる「速さ」ということばの意味は、物体が単位時間に移動する距離を表す。ところが、化学で用いる「速さ」ということばの意味は、これと異なる。つまり、「反応の速さ」というのは、「反応の割合」というほうがあてはまるが、化学では習慣上、「反応の速さ」または、「反応速度」ということばを用いる。

- 反応の速さの計算例 五酸化二窒素の分解反応は、次の化学反応式で表せる。



ある瞬間の N_2O_5 の濃度を 2.33 mol/l 、319 分後の N_2O_5 の濃度が 1.91 mol/l であったとすると、そのときの N_2O_5 についての反応の速さ v は、単位時間を「分」とすると、

$$v = \frac{|1.91 - 2.33|}{319} = \frac{0.42}{319} \approx 1.32 \times 10^{-3} [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{分})]$$

N_2O_5 1 分子から NO_2 が 2 分子、 O_2 が $\frac{1}{2}$ 分子に分解するから、このときの NO_2 と O_2 についての反応の速さは、次のように求まる。

$$\text{NO}_2 \text{ についての反応の速さ} \cdots 1.32 \times 10^{-3} \times 2 = 2.64 \times 10^{-3} [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{分})]$$

$$\text{O}_2 \text{ についての反応の速さ} \cdots 1.32 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 6.60 \times 10^{-4} [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{分})]$$

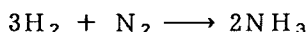
1 (6021) M01

化学反応の速さについて、次の問いに答えなさい。

- (1) 化学反応が進むと、反応物質は増加しますか、減少しますか。
[]
- (2) 化学反応が進むと、生成物質は増加しますか、減少しますか。
[]
- (3) 化学反応の速さは、単位時間における反応物質の何で定義されますか。
[]
- (4) 化学反応の速さは、単位時間における生成物質の何で定義されますか。
[]

2 (6022) M01

水素と窒素からアンモニアを生成する反応は、次のような化学反応式で表せます。



N_2 についての反応の速さが $0.01 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$ のとき、 H_2 と NH_3 についてのそれぞれの反応の速さを、次の(1)~(4)の順で求めなさい。

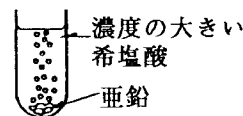
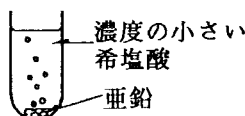
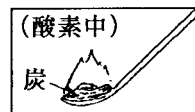
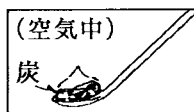
- (1) 1 分子の N_2 と反応するのは、何分子の H_2 ですか。
[]
- (2) 1 分子の N_2 と(1)で答えた H_2 が反応すると、何分子の NH_3 が生成しますか。
[]
- (3) (1)より、このときの H_2 の反応の速さを求めなさい。
[]
- (4) (2)より、このときの NH_3 の反応の速さを求めなさい。
[]

類題トレーニング(6030)

- 学習の視点 化学反応は粒子(分子・原子・イオン)どうしの衝突によって起こることを学習した。これより、濃度が大きくなると粒子の数も増えるので、化学反応の速さが大きくなると考えられる。では、濃度と化学反応の速さの間にはどのような関係があるのだろうか。これを調べるのがこのテーマの目的である。

テーマ 化学反応の速さと濃度(1)

- 化学反応は、分子・原子・イオンどうしの衝突によって起こる。
- 炭は、空气中で燃やすより酸素中で燃やしたほうが、ずっと激しく燃える。
- 亜鉛に希塩酸を加えると水素が発生するが、このとき、希塩酸の濃度が大きいほど、水素が激しく発生する。



【化学反応の速さと濃度(1)】

化学反応の速さは濃度に比例する。

反応の速さ v が反応物質のそれぞれの濃度の積に比例する場合、反応物質を A, B, その濃度を $[A]$, $[B]$ で表すと、 v は次のように表される。

$$v = k[A][B] \quad k: \text{速度定数}$$

■■説明■■

- 化学反応の速さと濃度 単位体積中にある粒子(分子・原子・イオン)の数が多いほど、粒子どうしの衝突回数が増えるから、反応の速さは大きくなる。たとえば、同じ体積を占める空気と酸素の中でそれぞれ炭を燃やした場合、空気中に含まれる酸素の体積の割合は約5分の1であるから、酸素中のほうがずっと激しく反応が進む。つまり、酸素の濃度が大きいほうが、反応ははやく進む。

また、亜鉛を希塩酸に溶かす場合で考えてみても、濃度の大きい希塩酸のほうが反応ははやく進むことがわかる。そして、反応の速さは、反応が進むにつれて反応物質の量が少なくなるので、小さくなる。

これらのことは、反応の速さが反応物質の濃度に比例することによるものである。

物質 A と物質 B が反応する場合、それぞれの濃度を $[A]$, $[B]$ と表すことにすると、反応の速さ v は、 $v = k[A][B]$ と表される場合がある。このような反応の速さと濃度の関係を示す式を『速度式』といい、比例定数 k を『速度定数』という。

たとえば、水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する反応 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \longrightarrow 2\text{HI}$ のように、2種の分子が反応する場合の反応の速さは、 $v = k[\text{H}_2][\text{I}_2]$ と表せる。

また、ヨウ化水素2分子から水素とヨウ素が生成する反応 $2\text{HI} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ の場合は、 2HI の濃度を $[\text{HI}]^2$ と表して、その反応の速さは、 $v = k[\text{HI}]^2$ と表せる。

五酸化二窒素の分解反応 $\text{N}_2\text{O}_5 \longrightarrow 2\text{NO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$ の場合の反応の速さは、

$$v = k[\text{N}_2\text{O}_5] \text{ と表せる。}$$

ただし、これらの速度式はすべて実験によって導かれるものである。よって、化学反応式の形から単純に求められるものではないことに注意しよう。この説明にある反応の

速度式だけは、少なくとも覚えておくと便利である。

- 速度定数 五酸化二窒素の実験データ(右の表)を利用して、速度定数について調べてみよう。
(ある瞬間を0としてある。)

$v = k[N_2O_5]$ の式より、

$$k = \frac{v}{[N_2O_5]} \quad \cdots \textcircled{1}$$

ある瞬間から82秒後の反応の速さは、前の学習で求めた方法と同様に、

$$\frac{|5.04 - 5.33|}{82 - 0} \doteq 3.54 \times 10^{-3} [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})] \quad \cdots \textcircled{2}$$

ある瞬間から82秒後までの濃度を、データの平均をとって求めると、

$$\frac{5.33 + 5.04}{2} \doteq 5.19 [\text{mol}/\text{l}] \quad \cdots \textcircled{3}$$

②、③式を①式に代入して、 $k = \frac{3.54 \times 10^{-3}}{5.19} \doteq 6.82 \times 10^{-4}$ が求まる。

以下同様に、それぞれの反応の速さと濃度、 k を求めると、次の表のようになる。

時間 [秒]	濃度 [mol/l]	速さ [mol/(l・秒)]	濃度 [mol/l]	速度定数 k [1/秒]
0	5.33			
82	5.04	3.54×10^{-3}	5.19	6.82×10^{-4}
162	4.78	3.25×10^{-3}	4.91	6.62×10^{-4}
409	4.06	2.91×10^{-3}	4.42	6.58×10^{-4}
604	3.48	2.97×10^{-3}	3.77	7.88×10^{-4}
1129	2.37	2.11×10^{-3}	2.93	7.20×10^{-4}
1721	1.57	1.35×10^{-3}	1.97	6.85×10^{-4}
1929	1.36	1.01×10^{-3}	1.47	6.87×10^{-4}
3399	0.53	0.56×10^{-3}	0.95	5.89×10^{-4}

この表からもわかるように、 k の値はほぼ同じ値をとるといえる。

一般に、速度定数 k が大きいほど反応の速さが大きい。また、速度定数 k は、反応の種類や温度により変化するが、反応物質の各成分の濃度には関係しない。

1 (6031) M01

化学反応の速さと濃度について、次の問いに答えなさい。

- 単位体積中の粒子の数が多ということは、物質の濃度が濃い場合とうすい場合のどちらにあてはまりますか。
[]
- 単位体積中にある粒子の数が多いほど、粒子どうしの衝突回数は多くなりますか、少なくなりますか。
[]
- 単位体積中の粒子の衝突回数が多いということは、化学反応の速さがはやい場合とおそい場合のどちらにあてはまりますか。
[]
- 化学反応の速さと反応物質の濃度は、比例しますか。それとも、反比例しますか。
[]
- ある化学反応において、その反応の速さ v は反応物質のそれぞれの濃度の積に比例するとします。反応物質 A, B の濃度を $[A]$, $[B]$ で表すと、速度式は次のように表されます。
() の中にあてはまる文字を入れなさい。ただし、 k は比例定数です。
 $v = k(\quad)(\quad)$
- (5)の式の比例定数 k を、何といいますか。
[]

(7) 速度式はその反応の化学反応式の形から単純に求められますか。それとも求められませんか。

[]

2 (6032) M01

ものを燃やす場合、一般に空気中では酸素中ほど激しく燃えないのはなぜですか。

[]

3 (6033) M01

一定体積の容器中で、ヨウ化水素を熱して水素とヨウ素に分解しました。このときの化学反応式は、 $2\text{HI} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ で表せます。これについて、次の問いに答えなさい。

(1) この反応の速さ v を、速度定数を k 、反応物質の濃度を $[\text{HI}]$ として、速度式で表しなさい。

[]

(2) 反応が進むにつれて、ヨウ化水素が分解する反応の速さは、どのように変わっていきますか。

[]

(3) (2)で答えた理由を簡単に述べなさい。

[]

ヒント (1) この反応の場合、 v は反応物質の濃度の 2 乗に比例する。

4 (6034) M01

次の化学反応の速度式を実験結果から求めなさい。ただし、速度定数を k とします。

(1) $\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{X} + \text{Y}$ の反応において、 $[\text{A}]$ だけを 2 倍にすると、反応の速さ v は 2 倍になり、 $[\text{B}]$ だけを 3 倍にすると、 v は 3 倍になった。

[]

(2) $\text{C} + \text{D} \longrightarrow \text{Z}$ の反応において、 $[\text{C}]$ だけを 2 倍にすると、反応の速さ v は 4 倍になり、 $[\text{D}]$ だけを 2 倍にすると、 v は 2 倍になった。

[]



類題トレーニング(6040)

- 例題の視点 気体の反応では、反応物質の濃度は分圧に比例することを理解し、反応物質 A, B の分圧をそれぞれ P_A , P_B とし、速度定数を k として、反応の速さ v を表す式、 $v = k P_A P_B$ を導き出す。

■■■■基本例題■■■■ 化学反応の速さと濃度(2) ■■■■

n_A [mol] の気体 A と、 n_B [mol] の気体 B を、 V [l] の容器中で反応させました。気体 A の分圧を P_A [atm]、気体 B の分圧を P_B [atm]、速度定数を k とすると、このときの反応の速さ v は、次の式で表せることを証明しなさい。ただし、温度は T [K] とし、 v は気体 A, B のそれぞれの濃度の積に比例するものとします。

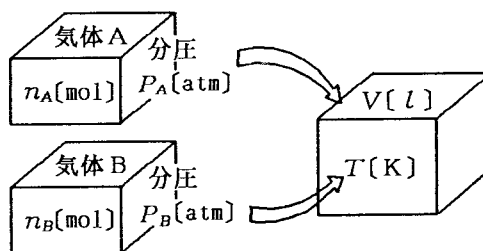
$$v = k P_A P_B$$

- 例題の内容を図に表すと、右の図のようになる。

気体 A, B の濃度の $[A]$, $[B]$ を、それぞれの分圧 P_A , P_B で表して、速度式

$$v = k' [A][B]$$

に代入すればよい。



■■■考え方■■■

化学 I B で学習した気体の状態方程式 $PV = nRT$ を用いる。

また、反応容器 V [l] 中の気体 A の濃度 [mol/l] を $[A]$ 、気体 B の濃度 [mol/l] を $[B]$ とすると、

$$[A] = \frac{n_A}{V} \text{ [mol/l]}, \quad [B] = \frac{n_B}{V} \text{ [mol/l]}$$

で表される。

速度式は、速度定数を k' とすると、

$$v = k' [A][B]$$

である。

■■■解答■■■

気体 A の濃度 [mol/l] を $[A]$ 、気体 B の濃度 [mol/l] を $[B]$ で表すと、そのときの反応の速さ v は、速度定数を k' とすると、

$$v = k' [A][B] \quad \cdots \cdots \text{①}$$

この式と問題に与えられている式

$$v = k P_A P_B$$

を比べてみると、気体 A と B の濃度 [mol/l] を、気体 A と B の分圧でおきかえたものであることがわかる。

$[A]$ と $[B]$ はそれぞれ、

$$[A] = \frac{n_A}{V} \text{ [mol/l]}, \quad [B] = \frac{n_B}{V} \text{ [mol/l]} \quad \cdots \cdots \text{②}$$

また、気体の状態方程式より、

$$P_A V = n_A R T \quad \therefore n_A = \frac{P_A V}{R T} \quad \cdots \cdots \text{③}$$

$$P_B V = n_B R T \quad \therefore n_B = \frac{P_B V}{R T} \quad \cdots \cdots \textcircled{4}$$

③, ④式をそれぞれ②の2つの式に代入して,

$$[A] = \frac{P_A}{R T}, \quad [B] = \frac{P_B}{R T} \quad \cdots \cdots \textcircled{5}$$

⑤式の[A]と[B]の値を①式に代入すると,

$$v = k' \cdot \frac{P_A}{R T} \cdot \frac{P_B}{R T} = k' \cdot \frac{1}{(R T)^2} P_A P_B$$

が得られる。 k' , R , T はそれぞれ定数なので, $k' \cdot \frac{1}{(R T)^2} \longrightarrow k$ として,

$$v = k P_A P_B$$

が導かれる。

つまり, 気体反応では, 反応物質の濃度は分圧に比例するので, 反応の速さは反応物質の成分気体の分圧の積に比例する。一般に, 分圧が大きいほど反応ははやくなる。

□ここがポイント!□

気体の状態方程式 $P V = n R T$ より, 反応気体の物質量 [mol] をそれぞれの分圧を含んだ式で表し, 速度式 $v = k [A][B]$ に代入して導く。

1 (6041) M01

水素 n_{H_2} [mol] とヨウ素 n_{I_2} [mol] を, V [l] の容器中で反応させました。このときの水素の分圧を P_{H_2} [atm], ヨウ素の分圧を P_{I_2} [atm] とし, 速度定数を k とすると, 反応の速さ v は, $v = k P_{H_2} P_{I_2}$ で表されることを, 次の(1)~(8)の順に証明しなさい。ただし, 温度は T [K] とします。

(1) 反応容器中の水素の濃度 $[H_2]$ [mol/l] を求めなさい。

[]

(2) 反応容器中のヨウ素の濃度 $[I_2]$ [mol/l] を求めなさい。

[]

(3) 気体の状態方程式 $P V = n R T$ を用いて, n_{H_2} を表しなさい。

[]

(4) 気体の状態方程式 $P V = n R T$ を用いて, n_{I_2} を表しなさい。

[]

(5) (1), (3)より, $[H_2]$ を P_{H_2} を含む式で表しなさい。

[]

(6) (2), (4)より, $[I_2]$ を P_{I_2} を含む式で表しなさい。

[]

(7) この反応の速度式を, 速度定数を k' として, $[H_2]$ と $[I_2]$ で表しなさい。

[]

(8) (7)の式に, (5)と(6)を代入して, $v = k P_{H_2} P_{I_2}$ を導き出しなさい。ただし, $\frac{k'}{(R T)^2} \longrightarrow k$ としなさい。

[]

ヒント この反応の場合， v は反応物質のそれぞれの濃度の積に比例する。

2 (6042) M01

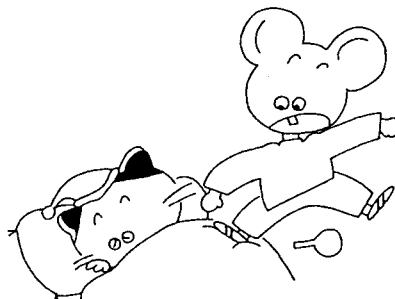
反応物質が A と B の気体反応で，反応気体のそれぞれの分圧 [atm]， P_A ， P_B がわかっているときに用いる，反応の速さ v を求める式（速度式）を答えなさい。ただし，速度定数を k とし， v は反応物質のそれぞれの濃度の積に比例するものとします。

[]

3 (6043) M01

一定温度で，1.00 atm の酸素 O_2 1.50 l と，1.60 atm の水素 H_2 4.00 l とを，5.00 l の容器に封入して，反応させました。このときの反応の速さ [mol/(l・秒)] を求めなさい。ただし，速度定数は k とし，反応の速さは酸素と水素のそれぞれの分圧の積に比例するものとします。

[]



memo



§ 2 化学反応の速さと温度・触媒

M02

§ 1 の学習の続きです。化学反応の速さを変える条件の1つとして、濃度について考えてきました。反応の速さは濃度に比例するのでしたね。このセクションでは、濃度以外の反応の速さを変える条件として、温度と触媒について、学習していきましょう。

◇考え方のポイント◇

◆化学反応の速さと温度

一般に反応の速さは、温度を上げると増大する。

化学変化が起こるためには、粒子が衝突する必要がある、さらに、そのときの粒子は『活性化エネルギー』以上の運動エネルギーをもっていなければならない。

反応物質の粒子はこの活性化エネルギー以上のエネルギーを得ると、高エネルギーの『活性化状態』を経て生成物質に変化する。

◆化学反応の速さと触媒

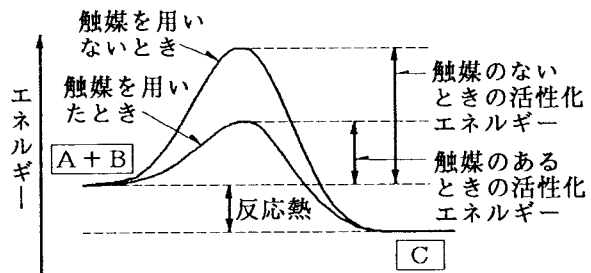
反応の前後で変化しないが、ごく少量で反応の速さを変えるはたらきをもつ物質を、『触媒』という。

正触媒と負触媒があり、反応の速さをはやくするのが『正触媒』、逆が『負触媒』である。

触媒(正触媒)には、活性化エネルギーを小さくして反応をはやく進行させるはたらきがある。

触媒を加えても、反応熱や生成物質の量は変化しない。また、起こり得ない反応を起こすことはできない。

触媒のはたらき方には、触媒が反応物質と均一に混合した状態ではたらく『均一触媒反応』と、触媒が反応物質と均一に混合しない状態ではたらく『不均一触媒反応』がある。



1 (0005) ☐ ●類題 6050 化学反応の速さと温度

反応の速さと温度の関係について、次の文の〔 〕の中にあてはまることばを入れなさい。

- (1) 一般に化学反応が起こるには、ある程度以上大きな〔 〕エネルギーをもった粒子どうしが〔 〕する必要があると考えられている。
- (2) 反応物質を加熱すると、粒子の〔 〕運動が盛んになり、それらのもっている運動エネルギーが〔 〕。したがって、大きな運動エネルギーをもった粒子の割合が増加するので、温度が高くなると反応の速さが〔 〕。
- (3) ある反応の速さが、温度が 10°C 上がるごとに約2倍になるとすると、温度が 40°C 上がるとはじめの速さの約〔 〕倍になる。

2 (0006) ☐ 類題 6060 活性化エネルギー

右の図はエネルギーと化学反応の進み方について表したものです。次の問いに答えなさい。

- (1) (ア)で示される高エネルギーの状態を何といいますか。

{ }

- (2) 活性化エネルギーの大きさは、 E_a 、 E_b 、 E_c の中のどれにあたりますか。記号で答えなさい。

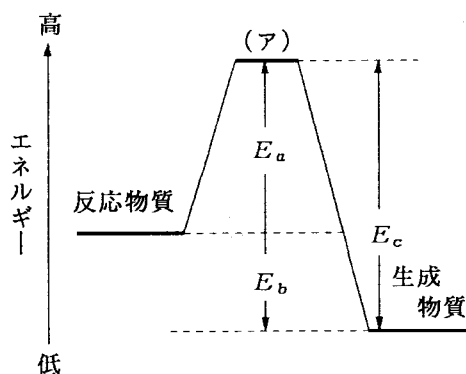
{ }

- (3) 反応熱の大きさは、 E_a 、 E_b 、 E_c の中のどれにあたりますか。記号で答えなさい。

{ }

- (4) 活性化エネルギーの大きさと反応の速さの大きさとの関係を、簡単に述べなさい。

{ }



3 (0007) ☐ 類題 6070 化学反応の速さと触媒

次の(1)～(4)の文から、触媒のはたらきについて正しく述べているものをすべて選び、番号で答えなさい。

- (1) 触媒を用いないときより、生成物質の量を多くする。
- (2) 反応熱を小さくする。
- (3) 活性化エネルギーを小さくし、反応が進みやすくする。
- (4) どんな反応でも進ませることができる。
- (5) 均一触媒反応では、反応物質と触媒がいったん反応中間物質をつくり、これから生成物質ができるとともに、触媒は再生される。
- (6) 不均一触媒反応では、反応物質は固体の触媒の表面に吸着されて反応を起こしやすい状態をつくる。

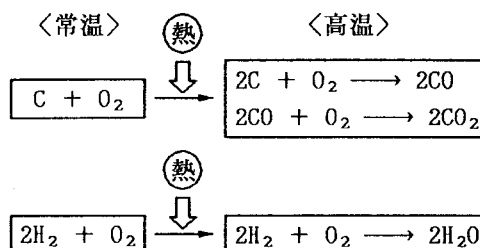
{ }

類題トレーニング(6050)

- 学習の視点 反応の速さと温度は、どのような関係にあるのだろうか。熱エネルギーとも関連させて調べていく。

テーマ 化学反応の速さと温度

- 黒鉛 C を空気中に放置しておいても、ほとんど反応しない。
- 温度を上げると、黒鉛は空気中の酸素と反応して、一酸化炭素 CO や二酸化炭素 CO₂ を生ずる。
- 酸素 O₂ と水素 H₂ は常温ではほとんど反応しないが、電気火花などで点火して温度を上げると、爆発的に反応して、水を生ずる。



【化学反応の速さと温度】

一般に化学反応の速さは、温度を上げると増大する。

■説 明■

- 温度と粒子の衝突回数 温度を上げる、つまり、熱を加えると熱運動が盛んになり、粒子(分子・原子・イオン)のもつ運動エネルギーが増大するために、粒子の衝突回数が多くなる。
- 反応の速さの増大原因 §1で学習したように、化学反応が起こるためには、反応物質の粒子どうしが衝突しなければならない。ところが、反応物質の粒子どうしが衝突しても、必ず反応が起こるわけではない。

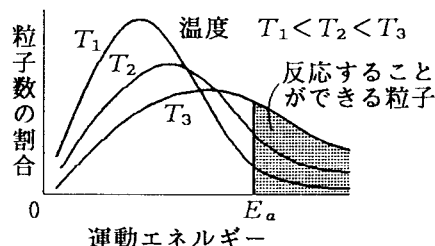
たとえば、水素 H₂ と酸素 O₂ を常温で混合した場合、水素分子も酸素分子も、ともに気体なので自由に混じり合って衝突していると考えられるが、ほとんど反応は起こらない。

このことは、化学反応が起こるためには粒子どうしが衝突する必要があるが、この条件だけでは不十分であることを示している。

つまり、衝突する粒子がたがいに相手の結合を切って反応するためには、ある程度以上大きな運動エネルギーをもっていなければならない。

物質を構成している粒子の運動エネルギーは、それぞれの温度で一定の分布をしている。ということは、ある温度での物質の粒子はすべて同じ運動エネルギーをもっているわけではなく、運動エネルギーの大きな粒子や運動エネルギーの小さな粒子が、決まった割合で含まれているのである。この中でも、ある程度以上大きな運動エネルギーをもつ粒子どうしが衝突して反応が起こる。

粒子の運動エネルギーの分布は、右の図のように、温度によって異なる。グラフの E_a よりも大きい運動エネルギーをもつ粒子だけ(E_a より右の部分)が反応に必要な運動エネルギーをもっていると考えると、温度が高いほどこの粒子の数が多くなる。この増加の割合のほうが、粒子の衝突回数の増加の割合よりもずっと大きい。このため、温度を上げたときの反応の速さの増大のもっとも大きな原因は、反応に必要な



運動エネルギー以上のエネルギーをもった粒子が増えることである。

- 活性化エネルギー 粒子が衝突して反応が起こるとき、粒子はある一定の運動エネルギー以上のエネルギーをもっていなければならないが、このエネルギーを『活性化エネルギー』という。前のグラフの E_a がそれにあたる。
- 反応の速さと温度 ふつう、反応の速さは、温度が10度上がるごとに2～3倍になると考えてよい。

温度を10度上げると反応の速さが2倍になる反応で考えてみると、次のようになる。

温度を20度上げると、前の速さの 2^2 倍になるから、 $2 \times 2 = 4$ で、反応の速さは4倍になる。

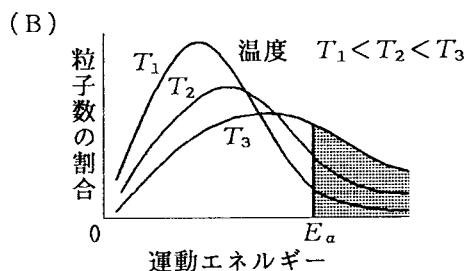
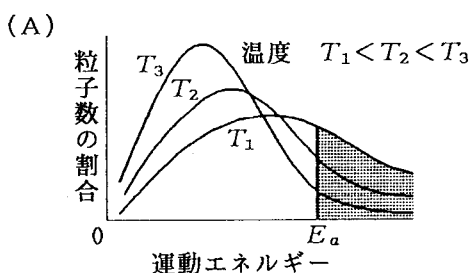
温度を30度上げると、前の速さの 2^3 倍になるから、 $2 \times 2 \times 2 = 8$ で、反応の速さは8倍になる。

このように温度を10度ずつ上げていくと、温度を100度上げたときには、反応の速さは、 $2^{10} = 1024$ で、1024倍にもなる。

1 (6051) M02

反応の速さと温度について、次の問いに答えなさい。

- (1) 温度を上げると、分子・原子・イオンの持つ運動エネルギーは、増加しますか、減少しますか。
[]
- (2) 温度を上げると、分子・原子・イオンどうしの衝突回数は、増えますか、減りますか。
[]
- (3) 反応物質の分子・原子・イオンどうしが衝突すると、必ず反応が起こるといえますか。
[]
- (4) 温度と粒子の運動エネルギーの分布をグラフに表すと、次の(A)、(B)のどちらになりますか。
[]



- (5) (4)で答えたグラフで、衝突する粒子がたがいに相手の結合を切って反応できるのは、 E_a より左の部分ですか、 E_a より右の部分ですか。
[]
- (6) (1)～(5)のことより、一般に、反応の速さは温度を上げると、増大しますか、減少しますか。
[]

2 (6052) M02

温度が10度上がると、反応の速さが3倍になる反応があります。次の(1)～(4)の反応の速さは、それぞれ何倍になりますか。

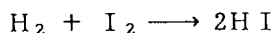
- (1) 温度を20度上げる。 []
- (2) 温度を40度上げる。 []
- (3) 温度を50度上げる。 []
- (4) 温度を100度上げる。 []

類題トレーニング(6060)

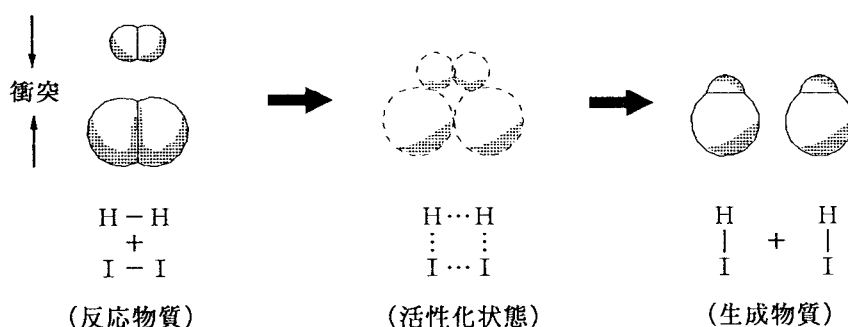
- 学習の視点 前のテーマで、化学反応はある程度以上大きなエネルギー、つまり活性化エネルギーをもった反応物質の粒子が衝突して起こることを学習した。この活性化エネルギーと反応の進み方について理解することがねらいである。

===== **テーマ** 活性化エネルギー =====

- 密閉容器の中に水素 H_2 とヨウ素 I_2 を入れて加熱すると、ヨウ化水素が生じる。

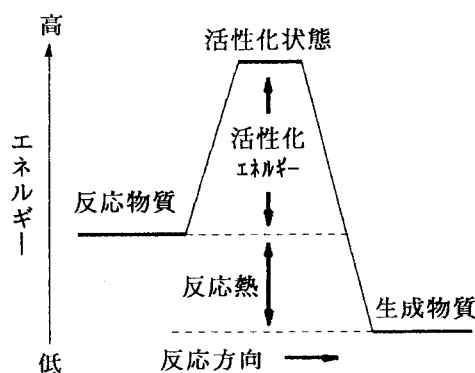


- この反応は、反応物質である $\text{H}-\text{H}$ と $\text{I}-\text{I}$ の共有結合が切れかかり、次のようなエネルギーの高い活性化状態を通り、生成物質である $\text{H}-\text{I}$ の共有結合ができるという道すじをとる。



【活性化エネルギー】

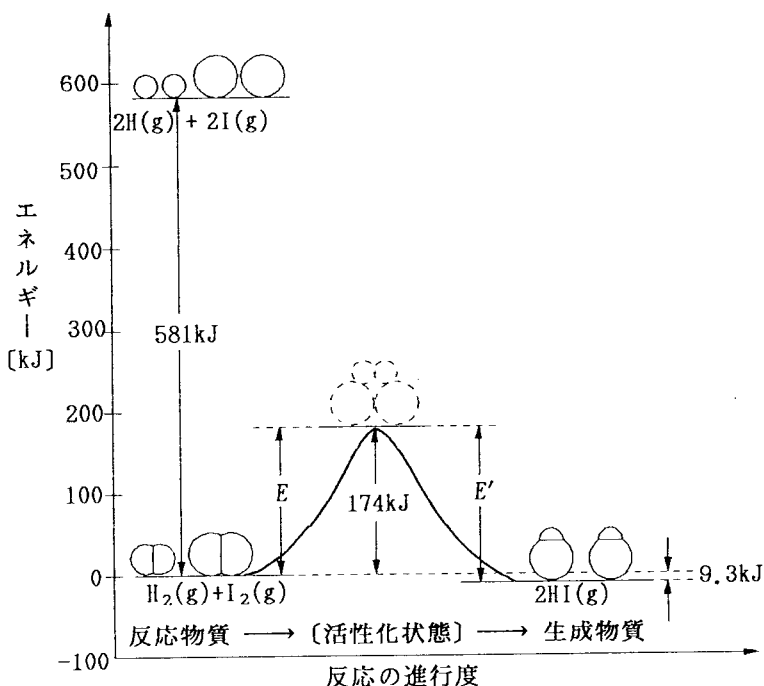
化学反応が起こるには、各反応に応じた一定のエネルギーが必要であり、これを『活性化エネルギー』という。反応物質の粒子は活性化エネルギー以上のエネルギーを得ると、高エネルギーの状態を経て生成物質に変化する。この高エネルギーの状態を『活性化状態』という。活性化エネルギーは熱だけではなく、光や電気によっても与えられる。



■■■ 説 明 ■■■

- 活性化エネルギーと化学反応の進み方
化学反応はある程度以上大きなエネルギーをもった反応物質の粒子が衝突して起こる。

たとえば、ヨウ化水素の生成反応では、大きなエネルギーをもった水素分子とヨウ素分子が、テーマの図のような方向で正面衝突すると、水素分子とヨウ素分子のそれぞれの共有結合が切れかかり、水素原子とヨウ素原子の間に共有結



合ができなかったようなエネルギーの高い中間の状態になると考えられる。この状態を活性化状態という。この活性化状態のエネルギーとはじめの反応物質のエネルギーとの差を活性化エネルギーという。前の図に示すように、 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$ の反応の活性化エネルギー E は 174 kJ である。活性化状態はエネルギーが高いために不安定で、すぐに $E = 174 \text{ [kJ]}$ のエネルギーを放出してもとの水素分子とヨウ素分子に戻るか、または、 $E' = 174 + 9.3 = 183.3 \text{ [kJ]}$ のエネルギーを放出してヨウ化水素になる。 9.3 kJ はこの反応の反応熱である。

このように、反応物質は活性化エネルギーの山を越えなければ生成物質になることはできない。この活性化エネルギーの大きさは各反応によって異なり、活性化エネルギーの小さい反応ほど、反応が起こりやすいために反応の速さが大きくなる。この反応の逆の反応 $2\text{HI} \rightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ の活性化エネルギーは、 $E' = 183.3 \text{ [kJ]}$ であり、 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$ の反応より、多少起こりにくいといえる。

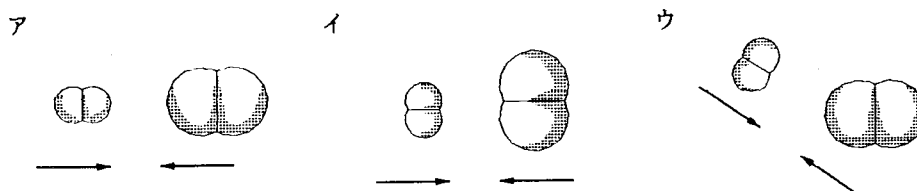
また、前の図の左のほうに示してある 581 kJ というのは、 H_2 と I_2 の結合エネルギーの和である。この値はかなり大きいので、この反応がいったん水素分子とヨウ素分子からそれぞれ水素原子とヨウ素原子に解離して、次にその水素原子とヨウ素原子が結合してヨウ化水素分子ができるという道すじを通るのではないと考えられる。

1 (6061) M02

$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{HI}$ の反応の進み方について、次の問いに答えなさい。

- (1) この反応は水素分子とヨウ素分子が衝突することによって起こりますが、次のア～ウの中でもっとも反応の起こりやすい衝突の方向を選び、記号で答えなさい。

[]



- (2) 化学反応が起こるには、各反応に応じた一定のエネルギーが必要です。このエネルギーを

何といますか。

[]

- (3) 水素分子やヨウ素分子は、(2)のエネルギー以上のエネルギーを得ると、高エネルギーの状態を経てヨウ化水素分子に変化します。この高エネルギーの状態を何といますか。

[]

- (4) この反応における(3)の状態を表しているのは、次のア～ウのどれですか。記号で答えなさい。

[]

ア



イ



ウ



- (5) (2)のエネルギーが大きいほど、その反応は起こりやすいですか。それとも起こりにくいのですか。

[]

2 (6062) M02

右の図は $\text{H}_2 + \text{I}_2 \longrightarrow 2\text{HI}$ の反応進行度とエネルギーの関係について示したものです。次の問いに答えなさい。

- (1) 反応物質と生成物質の中間にある A の状態を何といますか。

[]

- (2) この反応は発熱反応ですか。それとも吸熱反応ですか。

[]

- (3) 図中の 581 kJ という値は何を示していますか。

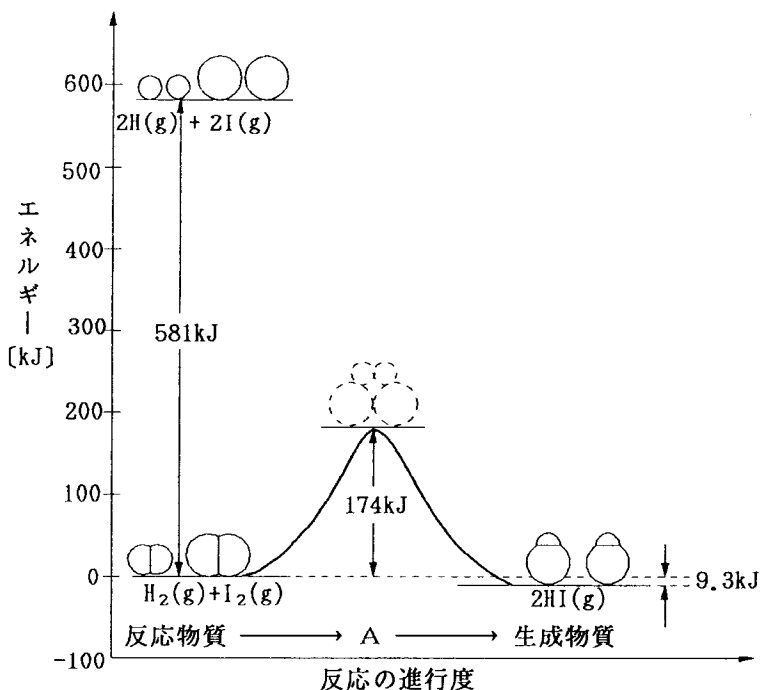
[]

- (4) 図中の 174 kJ という値は何を示していますか。

[]

- (5) 図中の 9.3 kJ という値は何を示していますか。

[]



- (6) $2\text{HI} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2$ の反応の活性化エネルギーの値を求めなさい。

[]

- (7) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \longrightarrow 2\text{HI} \cdots \cdots \textcircled{1}$ と $2\text{HI} \longrightarrow \text{H}_2 + \text{I}_2 \cdots \cdots \textcircled{2}$ の反応ではどちらが起こりやすいと考えられますか。番号で答えなさい。

[]

類題トレーニング(6070)

- 学習の視点 触媒とは、どのようなはたらきをする物質なのだろうか。また、触媒と反応の速さとはどのような関係にあるのだろうかなどを知る。

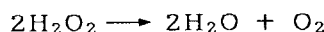
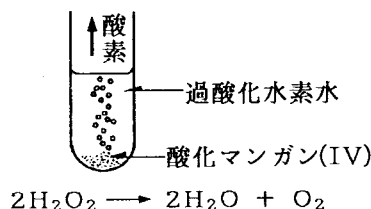
===== テーマ 化学反応の速さと触媒 =====

- 過酸化水素 H_2O_2 の水溶液を放置すると、ゆっくり反応が進んで、酸素の泡が生ずる。

- 過酸化水素の水溶液に酸化マンガン(IV) MnO_2 を少量入れると、さかんに酸素の泡が生ずる。

- 常温で、酸素と水素を混合しておいても、反応はほとんど進まない。

- 白金 Pt の金網に水素を吹きつけると、空気中の酸素と爆発的に反応して水を生ずる。



【化学反応の速さと触媒】

反応の前後でそれ自身は変化しないが、ごく少量で反応の速さを変えるはたらきをもつ物質を『触媒』という。触媒は活性化エネルギーを低下させるが、反応熱は変化させない。

【触媒のはたらき方】

触媒が反応物質と均一に混合した状態ではたらく『均一触媒反応』と、触媒が反応物質と均一に混合しない状態ではたらく『不均一触媒反応』の2とおりがある。

■■ 説 明 ■■

- 触媒 白金 Pt の金網に水素を吹きつけると水が生ずる反応は、 $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ で表される。つまり、Pt は、化学反応式にははいっていない物質であり、外見上は反応に関係しないようにみえる。Pt のようなはたらきをする物質を触媒といい、触媒の例としては、酸化マンガン(IV) MnO_2 、白金 Pt のほかに、銅 Cu、鉄 Fe、ニッケル Ni などがあり、デンプンやタンパク質を分解する酵素も触媒の一種と考えられる。

また、化学工業でよく用いられる触媒としては、次のような例がある。これらの反応については、化学 I B でも学習した。

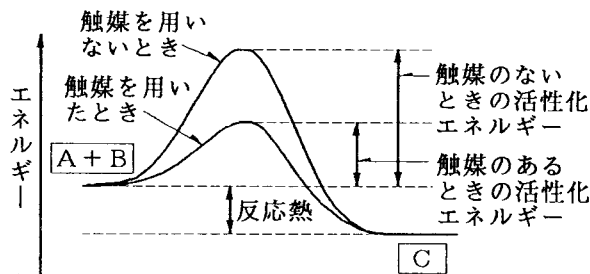
利用される化学工業	反 応 式	触 媒
アンモニアの合成 (ハーバー・ボッシュ法)	$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$	四酸化三鉄 Fe_3O_4 を主成分とした固体の触媒
硫酸の製造 (接触法)	$2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{SO}_3$ $(\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4)$	酸化バナジウム(V) V_2O_5
硝酸の製造 (オストワルト法)	$4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \longrightarrow 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ $(\text{NO} \longrightarrow \text{NO}_2 \longrightarrow \text{HNO}_3)$	白金網 Pt

- 正触媒と負触媒 ふつう、触媒は反応をはやくするが、反応をおそくする触媒もある。反応をはやくする触媒を『正触媒』、反応をおそくする触媒を『負触媒』という。これからの説明で用いる触媒は、正触媒を表すものとする。

●触媒と活性化エネルギー

触媒を用いると反応の速さが大きくなるということは、触媒のはたらきは、活性化エネルギーを小さくして反応する粒子数を多くすることであるといえる。

右のグラフのように、
 $A + B \longrightarrow C$ の反応にあてはめて考えてみる。



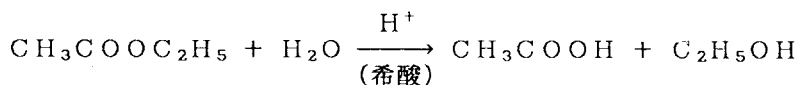
触媒を用いたときのグラフと用いないときのグラフを、2つの山の峠にたとえて比べると、触媒のあるときの峠のほうが低いため、らくに越えることができる。つまり、活性化エネルギーが小さいほど反応ははやく進むのである。しかし、触媒を加えることによって、反応熱や生成物質の量が変わるということはないし、起こり得ない反応を起こすこともない。

●触媒のはたらき方 触媒は反応の状態によって、次の2とおりのはたらき方がある。

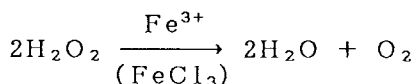
① 均一触媒反応

触媒が反応物質と均一に混合した状態ではたらくとき、この触媒を均一触媒という。均一触媒反応では、反応物質と触媒が反応していったん反応中間物質をつくり、そのあとこれから生成物質ができるとともに、触媒は再生される。

例酢酸エチルの加水分解 (触媒…希酸の H^+)

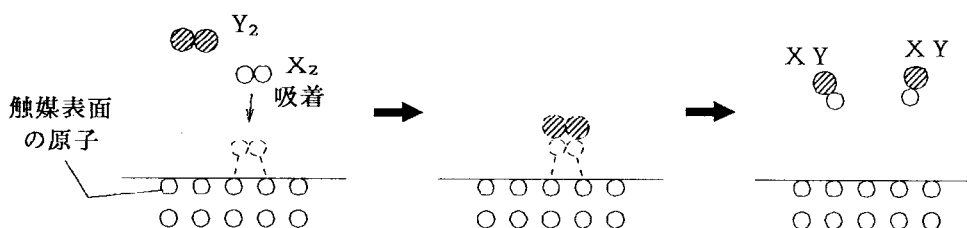


過酸化水素水の分解 (触媒… $FeCl_3$ の Fe^{3+})

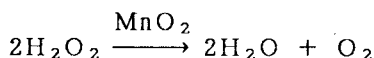


② 不均一触媒反応

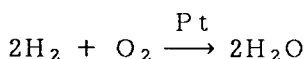
触媒が反応物質と均一に混合しない状態ではたらくとき、この触媒を不均一触媒という。気体や液体の反応物質に固体の触媒がはたらくような場合がそうで、触媒の表面が触媒作用を示す。次の図に示すように、反応物質は触媒の表面に『吸着』されて反応を起こしやすい状態になり、そのあとこの状態から生成物質ができるとともに触媒表面から離れていく。



例過酸化水素水の分解 (触媒… MnO_2)



水の生成反応 (触媒… Pt, Ni, Cu など)



1 (6071) M02

反応の速さと触媒について、次の問いに答えなさい。

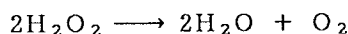
- (1) 反応の前後で変化しないが、ごく少量で反応の速さを変えるはたらきをもつ物質を、何といいますか。 []

- (2) 触媒を用いてある反応をさせた場合、その化学反応式には触媒を入れて書きますか、入れませんか。 []
- (3) 触媒を2つに分けると、何触媒と何触媒になりますか。 [] []
- (4) 反応をはやめる触媒は、何触媒ですか。 []
- (5) 正触媒を用いると、その反応の活性化エネルギーは大きくなりますか、小さくなりますか。 []
- (6) 触媒を用いると、その反応の反応熱は変化しますか、変化しませんか。 []
- (7) 触媒を用いると、その反応の生成物質の量は増加しますか、減少しますか。それとも、変化しませんか。 []
- (8) 触媒が反応物質と均一に混合した状態ではたらく反応を何といいますか。 []
- (9) 触媒が反応物質と均一に混合しない状態ではたらく反応を何といいますか。 []

2 (6072) M02

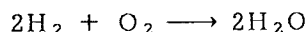
次の問いに答えなさい。ただし、触媒は不均一触媒であるとして。

- (1) 過酸化水素は、水溶液中で次のように反応して水と酸素になります。この反応をはやく進めるための触媒としては、何を用いますか。物質名と化学式を答えなさい。



[]

- (2) 水素と酸素から水が生成する反応は、次のようになります。爆発的にこの反応を進めるための金属の触媒としては、何を用いますか。その物質名と元素記号を答えなさい。



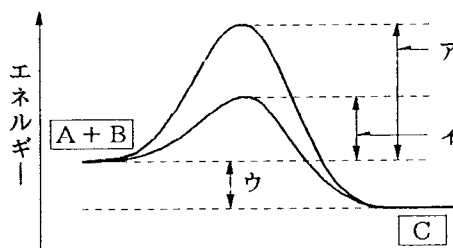
[]

3 (6073) M02

触媒と活性化エネルギーについて、次の文の [] にあてはまることばや記号を入れなさい。

- (1) 触媒を用いると反応の速さが大きくなるということは、触媒のはたらきは、活性化エネルギーを [] くして反応する粒子数を [] くすることであるといえる。

- (2) 右のグラフの $\text{A} + \text{B} \longrightarrow \text{C}$ の反応において、[] が触媒を用いたときの活性化エネルギー、[] が触媒を用いないときの活性化エネルギーを示す。また、反応熱は触媒を用いても用いなくても変わらず、グラフでは [] がそれを示す。



4 (6074) M02

次の文で均一触媒反応にあてはまるものには A、不均一触媒反応にあてはまるものには B、両方にあてはまるものには C を書きなさい。

- (1) 触媒が反応物質と均一に混合した状態ではたらく。

[]

- (2) 触媒が反応物質と均一に混合しない状態ではたらく。

[]

- (3) 反応の前後で触媒自身は変化しない。[]
- (4) 触媒が活性化エネルギーを低くするはたらきをする。[]
- (5) 過酸化水素水の分解に酸化マンガン(Ⅳ)を触媒として利用する。[]
- (6) 触媒の状態は固体のものが多い。[]
- (7) 酢酸エチルの加水分解に、希酸を触媒として利用する。[]
- (8) 反応物質が触媒表面に吸着されることにより、反応を起こしやすい状態をつくる。[]

5 (6075) M02

次の(1)～(5)の現象は、あとのア～オの化学反応の速さを変える条件の中のどれと関係が深い
ですか。1つずつ選び、記号で答えなさい。

- (1) 鉄くぎよりも鉄粉のほうが、はやくさびる。[]
- (2) 濃硝酸は褐色びんに入れて保存する。[]
- (3) マッチ棒は空気中よりも酸素中のほうが、激しく燃える。[]
- (4) 過酸化水素水に酸化マンガン(Ⅳ)を加えると、容易に酸素が発生する。[]
- (5) 銅片は空気中で表面が徐々に黒くなるが、バーナーで熱するとすぐに黒くなる。[]

ア 濃度 イ 接触面積 ウ 温度 エ 光 オ 触媒

memo



§ 3 化学平衡

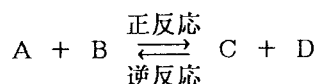
M03

§ 3 では、化学平衡について、その基本的な考え方をまとめて学習します。可逆反応とはどういうことか、化学平衡の意味、質量作用の法則、さらに平衡定数へと進んでいきます。化学反応の本質を知るうえで、ひじょうに重要なところです。新しい用語や考え方も出てきますので、1つ1つ確認しながら進めてください。

◇考え方のポイント◇

◆可逆反応

化学反応において、正反応と逆反応が同時に起こりうる反応を『可逆反応』という。



◆化学平衡

ある可逆反応で、正反応の速さと逆反応の速さが等しくなり、見かけ上反応が停止している状態を『化学平衡』という。

◆質量作用の法則

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ の化学平衡が成立しているとき、

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K \quad (\text{mol/l})^{c+d-a-b}$$

が成り立つ。この関係を『質量作用の法則』、または『化学平衡の法則』といい、 K を『平衡定数』という。 K は一定温度では各成分の濃度には無関係な、反応に特有な定数である。

1 (0008) ☐ 類題 6080 可逆反応

容器の中で、水素と窒素からアンモニアが生ずる反応について、次の問いに答えなさい。

- (1) 正反応の反応式を書きなさい。[]
- (2) 逆反応の反応式を書きなさい。[]
- (3) この反応を可逆反応として、反応式に表しなさい。[]
- (4) この反応が始まって一定時間後、反応がそれ以上進まなくなったときに、容器中にある粒子の種類をすべて、分子式で示しなさい。[]

2 (0009) ☐ 類題 6090 化学平衡

可逆反応 $2SO_2 + O_2 \rightleftharpoons 2SO_3$ において、化学平衡の状態とは次の(1)~(5)のどれをさしますか。番号で答えなさい。

- (1) SO_2 , O_2 , SO_3 の分子数の比が 2:1:2 の割合になった状態。
- (2) 左辺 (SO_2 と O_2) と右辺 (SO_3) の物質の分子数が等しくなった状態。
- (3) SO_2 と O_2 から SO_3 が生成する反応の速さと、 SO_3 が分解して SO_2 と O_2 になる反応の速さとが等しくなった状態。
- (4) 正反応、逆反応がともに停止した状態。

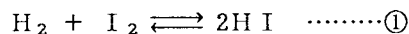
(5) すべての SO_2 と O_2 が反応して SO_3 になった状態。

[]

3 (0010) ☐ 類題 6100 質量作用の法則

化学平衡について述べた次の文の [] の中にあてはまる式やことばを入れなさい。

- (1) 水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する反応は [] 反応であり、次式のよう
に表される。



- (2) ①式の反応における正反応の速さ v_1 と逆反応の速さ v_2 は、速度定数 k_1 , k_2 を用い
て

$$v_1 = [] \quad \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$v_2 = [] \quad \cdots \cdots \textcircled{3}$$

と表すことができる。

- (3) 平衡状態では、 v_1 と v_2 には [] の関係があるから、②, ③式を用いて、
次の④式が成り立つ。

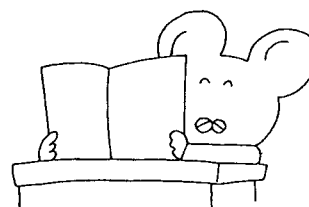
$$\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = [] = K \quad \cdots \cdots \textcircled{4}$$

ここで、 K を [] といい、一定 [] においては、
各成分の濃度に関係なく一定である。また、この関係を [] の法則、ま
たは [] の法則という。

4 (0011) ☐ 類題 6110 平衡定数と各物質の濃度

$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応で、 490.5°C のときの平衡定数 K の値は 46.0 です。 $V[\text{l}]$
の容器に 5.00 mol の水素とある量のヨウ素を入れて、 490.5°C で反応させたところ、平衡に
達したときのヨウ化水素の物質量は 6.80 mol でした。反応開始時のヨウ素の物質量を有効数
字 3 けたで求めなさい。

[]

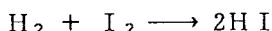


類題トレーニング(6080)

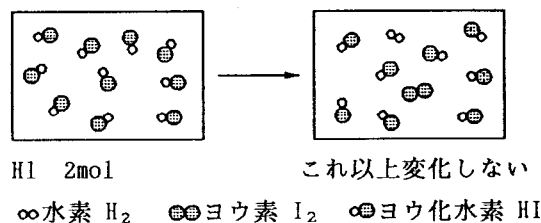
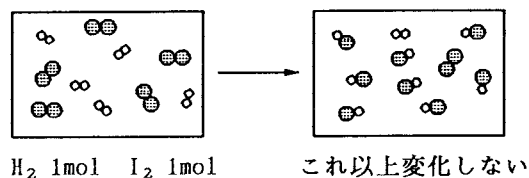
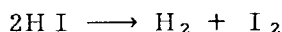
- 学習の視点 可逆反応の意味を知り、正反応と逆反応が起こるようすを、水素とヨウ素の反応を例にあげて理解する。また、不可逆反応はどのような場合に起こるかについても調べる。

テーマ 可逆反応

- 水素とヨウ素を各1molずつ容器に入れて加熱すると、反応が起こり、次の反応式によってヨウ化水素ができるが、すべてがHIになってしまうことはない。



- ヨウ化水素2molを容器に入れて加熱すると、次の反応式によって水素とヨウ素が生じるが、この反応もある程度までしか進まない。

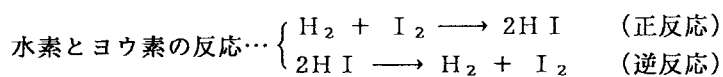


【可逆反応】

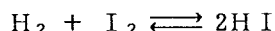
化学反応式において、左辺→右辺へ進む反応を『正反応』，右辺→左辺へ進む反応を『逆反応』という。この両方の反応が同時に起こりうる反応を『可逆反応』という。

■■説 明■■

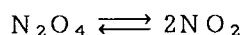
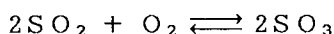
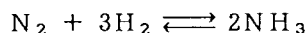
- 可逆反応 水素とヨウ素の反応では、ヨウ化水素が生じる反応を正反応といい、水素とヨウ素が生じる反応を逆反応という。テーマの図で、反応がある程度以上進まないのは、正反応と逆反応が同時に起こっているからだと考えられる。



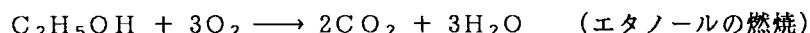
この反応の例のように、正反応と逆反応の両方が同時に起こりうる反応を、可逆反応とよぶ。可逆反応を反応式で表すときには、正反応と逆反応をまとめて、次のように表す。



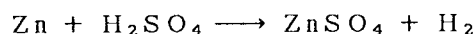
これまでの化学反応式の矢印は、ほとんどの化学反応が一方向にのみ進むように扱ってきたが、多くの化学反応は、じつは可逆反応である。その代表的な例を、前の反応のほかに2, 3あげておく。



- 不可逆反応 可逆反応に対して、正反応だけしか起こらない反応を『不可逆反応』という。たとえば、燃焼反応などは、不可逆反応である。



また、亜鉛が希硫酸中に溶ける反応も、不可逆反応である。



このような反応では、生成物質が気体として逃げってしまうので、逆反応は起こりえない。

1 (6081) M03

可逆反応について、次の問いに答えなさい。

- (1) 化学反応式の左辺から右辺へ進む反応を何とよびますか。また、右辺から左辺へ進む反応を何とよびますか。

左辺 $\longrightarrow$ 右辺 []

右辺 $\longrightarrow$ 左辺 []

- (2) (1)の2つの反応が同時に起こりうる場合がありますか。もしあれば、その反応の総称も答えなさい。

[]

- (3) (1)の2つの反応が同時に起こりえない場合がありますか。あれば、その反応の総称も答えなさい。

[]

- (4) 水素とヨウ素の反応を可逆反応として、反応式に表しなさい。

[]

2 (6082) M03

可逆反応と不可逆反応について述べた次の文の〔 〕の中に、あてはまることばを入れなさい。

- (1) { } と { } の両方が同時に起こりうる可逆反応に対し、{ } だけしか起こらない反応を { } という。

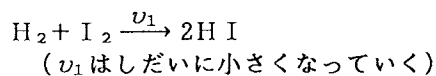
- (2) 亜鉛と希硫酸の反応などでは、生成物質が〔 〕として逃げってしまう。このような反応では、〔 〕は起こりえないので、この反応は〔 〕である。

類題トレーニング(6090)

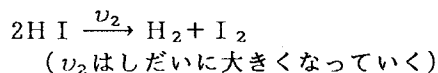
- 学習の視点 可逆反応が起こっているときの、2方向の反応の速さから、化学平衡の状態について考える。

テーマ 化学平衡

- 水素とヨウ素の反応が始まると、正反応が進むにつれて、 H_2 と I_2 の濃度が減っていく。



- 正反応の速さを v_1 とすると、 v_1 の大きさは反応が進むにつれて小さくなっていく。



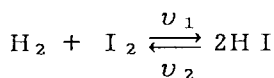
- 一方、正反応が進むにつれて HI の濃度が増していくため、逆反応の速さ v_2 は、0からしだいに大きくなっていく。
- v_1 と v_2 は、ついには等しくなるはずである。

【化学平衡】

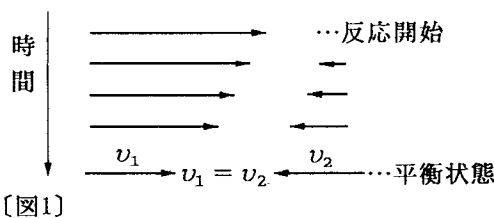
正反応の速さと逆反応の速さとが等しくなり、見かけ上反応が停止している状態を、『化学平衡』の状態という。

■ 説明 ■

- 反応の進行と反応速度 これまで学んだように、化学反応の速さは、反応物質の濃度が大きいほど大きい。このことをもとに、可逆反応における正反応の速さ v_1 と逆反応の速さ v_2 について考えてみよう。

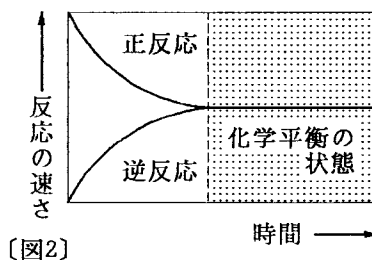


とすると、右の図1のように、 v_1 の大きさは、反応開始時にもっとも大きく、以後しだいに小さくなっていく。一方、 v_2 の大きさは反応開始時には0であるが、しだいに大きくなっていく。したがって、 v_1 と v_2 はついには等しくなって、 2HI と、 H_2 と I_2 が、同じ速さで生じることになる。



- 化学平衡の状態 v_1 と v_2 が等しくなると、生成物質と反応物質は増えも減りもしなくなるので、見かけ上、反応が停止している状態になる。この状態を化学平衡の状態という。

反応の速さの時間による変化のようすをグラフに表すと、右の図2のようになる。このように、正反応の速さが減り、逆反応の速さが増えていつて、あるとき等しくなると、化学平衡の状態となり、反応は見かけ上停止する。



- そのほかの平衡状態と化学平衡 平衡状態ということばは、これまでに何度か出てきた。
 - 飽和蒸気圧での気体と液体の平衡

飽和蒸気圧のもとでは、単位時間に液体から気体になる分子と気体から液体になる分子の数が同じになり、蒸発も凝縮も起こっていないようにみえる。

○溶解平衡

飽和溶液では、単位時間に溶媒に溶け出す粒子と溶液中から析出する粒子の数が等しくなり、溶解も析出も見かけ上行われていないため、溶液の温度は一定になる。

このように、ある方向への変化の速さと、その逆方向への変化の速さが等しくなっている状態を、平衡状態という。

1 (6091) M03

化学平衡について、次の問いに答えなさい。

- (1) 可逆反応が進むにつれて、正反応の速さはどうなっていきますか。
[]
- (2) 可逆反応が進むにつれて、逆反応の速さはどうなっていきますか。
[]
- (3) 正反応と逆反応の速さが等しくなったときの状態を、何とといいますか。
[]
- (4) 化学平衡の状態での、反応物質や生成物質の量の増減について述べなさい。
[]

2 (6092) M03

化学平衡の状態について述べた(1)~(4)の記述の中から正しいものを選び、番号で答えなさい。

- (1) 存在する物質の濃度の比が反応式の係数比と等しくなった状態。
- (2) 反応式の右辺の物質の物質量 [mol] の和と、左辺の物質の物質量 [mol] の和が等しくなった状態。
- (3) 正反応と逆反応の速さが等しくなった状態。
- (4) 反応物質がすべて生成物質となり、反応が見かけ上停止した状態。
[]

3 (6093) M03

$(a+2)$ [mol] の一酸化炭素と $(a-1)$ [mol] の酸素を混合し、次の可逆反応を行わせて平衡状態になったとき、二酸化炭素の量は 2 mol でした。二酸化炭素の分圧と全圧の比はいくらですか。



ヒント 気体の圧力は物質量 [mol] に比例する。

4 (6094) M03

0 °C, 1 気圧で 44.8 ml の純粋な N_2O_4 を放置し、次の可逆反応を行わせて平衡状態になったとき、その全体積は 67.2 ml でした。このとき、解離していない N_2O_4 は何 mol ですか。



類題トレーニング(6100)

- 学習の視点 化学平衡は、正反応と逆反応の速さが等しい状態である。このことから、質量作用の法則が導き出されることを学習する。

テーマ 質量作用の法則

- 水素 H_2 とヨウ素 I_2 との反応で、反応の速さと各物質の濃度の関係は、速度定数を用いて表すことができる。
- 平衡に達したときは、 $v_1 = v_2$ であるから、2つの速度式を等号で結ぶことができる。
- こうして得られた式における値の K は、一定温度においては各成分の濃度には無関係に一定である。

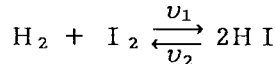
【質量作用の法則】

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ の化学平衡が成立しているとき、

$$\frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} = K \{(\text{mol/l})^{c+d-a-b}\}$$

が成り立つ。この関係を『質量作用の法則』、または『化学平衡の法則』といい、 K を『平衡定数』という。

＜可逆反応での反応の速さ＞



＜平衡時の両反応の速さ＞ (濃度一定)

$$v_1 = k_1 [H_2][I_2]$$

$$v_2 = k_2 [HI]^2$$

＜平衡時の両反応の速さの関係＞

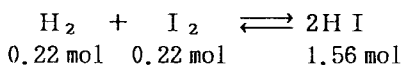
$$k_1 [H_2][I_2] = k_2 [HI]^2$$

＜平衡時の各物質の濃度の関係＞

$$\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{k_1}{k_2} = K$$

説明

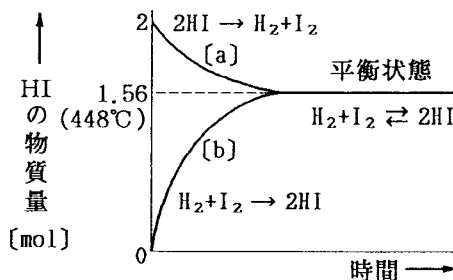
- 化学平衡に達したときの各物質の量の割合
密閉容器に、水素とヨウ素を 1 mol ずつ入れて、 448°C で反応させると、



の状態で平衡に達する。(右のグラフの [b])

密閉容器に 2 mol のヨウ化水素を入れて、同じ温度で反応させても、同じ割合で平衡に達する。(グラフの [a])

このように、一定温度における平衡時の各物質の量の割合は、一定になる。



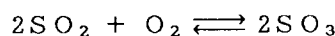
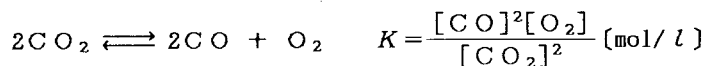
- 平衡定数 テーマの式で、平衡定数 K は、 $\frac{k_1}{k_2}$ であるから、一定温度においては、各成分の濃度には無関係な、その反応特有の値である。前のグラフの例で、ヨウ化水素の生成反応の平衡定数を求めてみよう。

容器の容積が $V [\text{l}]$ であるとする、

$$K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{\left(\frac{1.56}{V} [\text{mol/l}]\right)^2}{\frac{0.22}{V} [\text{mol/l}] \times \frac{0.22}{V} [\text{mol/l}]} = 50.28 \cdots \approx 50.3$$

平衡定数には決まった単位はなく、化学反応の種類によってそのつど考えなければならない。具体的には、単位のみを分母、分子に書いて約分すればよい。よって、前述の

反応の場合は、平衡定数に単位はないが、次のような反応には単位があるので注意しよう。



$$K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} \text{ [(mol/l)}^{-1}\text{], または [l/mol]}$$

1 (6101) M03

質量作用の法則について、次の問いに答えなさい。

- (1) 水素とヨウ素との反応で、正反応と逆反応のそれぞれの速さと物質の濃度との関係を表す式(速度式)を書きなさい。

正反応の速さ $v_1 = [\quad]$

逆反応の速さ $v_2 = [\quad]$

- (2) 平衡状態での v_1 と v_2 の関係から、(1)の2つの式を1つにまとめなさい。

$[\quad]$

- (3) (2)の式から、平衡定数 K を表す式を導きなさい。

$$\left[\quad \right] = \frac{k_1}{k_2} = K$$

- (4) (1)~(3)によって導き出された法則を何といいますか。

$[\quad]$

2 (6102) M03

次の反応で化学平衡に達しているとき、平衡定数 K を表す式を濃度 $[\quad]$ を用いて単位をつけて記しなさい。ただし、反応式中の物質はすべて気体とします。



3 (6103) M03

密閉容器中で二酸化窒素をある温度まで加熱したとき、 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{O}_2$ の反応は次の条件のもとで平衡になりました。これについて、あとの問いに答えなさい。

$$[\text{NO}_2] = 0.06 \text{ [mol/l]}, [\text{NO}] = 0.24 \text{ [mol/l]}, [\text{O}_2] = 0.12 \text{ [mol/l]}$$

- (1) 二酸化窒素の最初の濃度はいくらでしたか。

$[\quad]$

- (2) この温度における平衡定数はいくらですか。小数第2位まで求めなさい。

$[\quad]$

4 (6104) M03

$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の気体反応が700 Kで平衡状態にあります。このとき、水素とヨウ素の分圧はどちらも0.57 atm、ヨウ化水素の分圧は4.2 atmでした。次の問いに有効数字2けたで答えなさい。

- (1) 各気体の濃度 $[\text{mol/l}]$ を求めなさい。

$\text{H}_2 [\quad]$

$\text{I}_2 [\quad]$

類題トレーニング(6110)

- 基本例題 平衡定数と各物質の濃度

$$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$$

- ### ■ ■ 考え方 ■ ■

解 答

① 小数点を基準にして、2桁ずつ数字を区切る。

② 一番左端の区切りの中の数字 34 に注目する。2 乗して 34 にもっとも近く、34 を越えない数 5 を見つけ、その 5 を左の余白に縦に 2 つ書く。34 の上にも書く。

③ $5+5=10$ と $5 \times 5=25$ を計算し、それぞれ右の図の位置に書く。

④ $34-25=9$ を計算し、次の数 27 をおろす。

⑤ 927 に対し、 $10 \square \times \square$ が 927 以下になるような最大の数 8 を見つける。27 の上にも書く。

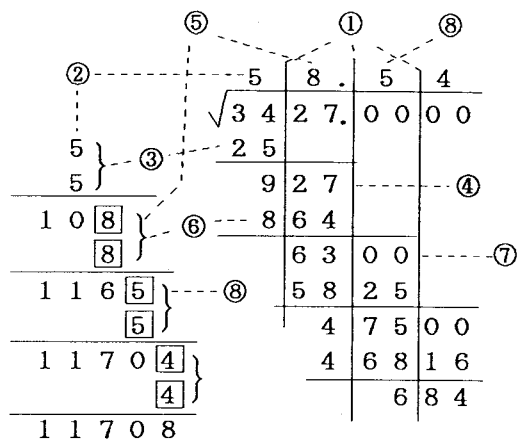
⑥ $108+8=116$ と $108 \times 8=864$ を計算し、それぞれ右の図の位置に書く。

⑦ $927-864=63$ を計算し、次の 00 をおろす。

⑧ $116 \square \times \square$ が 6300 以下になるような最大の数 5 を見つける。00 の上にも書く。

⑨ 以下④～⑧の計算をくり返す。

時間がないときは電卓でやってもいいけど、一応この方法は練習してマスターしておいたほうがよい。



□ここがポイント!□

ある物質の反応した量を x [mol] として、各物質の平衡時の濃度を x を用いて表し、質量作用の法則を適用する。

1 (6111) M03

水素とヨウ素を反応させると、 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の可逆反応が起こり、平衡に達します。V [l] の容器中に 18 mol の水素と 14 mol のヨウ素を入れて 490.5°C に保ち、平衡に達したとき、水素・ヨウ素・ヨウ化水素の各物質質量 [mol] を、次の順序で求めなさい。ただし、この温度での平衡定数を 46 とし、(3)と(4)は整数で答えなさい。

(1) 反応した水素の物質質量を x [mol] として、平衡時の水素の濃度 $[\text{H}_2]$ ・ヨウ素の濃度 $[\text{I}_2]$ ・ヨウ化水素の濃度 $[\text{HI}]$ を、 x を用いて表しなさい。

$$[\text{H}_2] \left[\quad \right] [\text{I}_2] \left[\quad \right] [\text{HI}] \left[\quad \right]$$

(2) (1)の式を質量作用の法則にあてはめて、 x の方程式をつくりなさい。

$$\left[\quad \right]$$

(3) (2)の式を解いて、 x を求めなさい。(題意に合うものだけを答えなさい。)

$$\left[\quad \right]$$

(4) 水素・ヨウ素・ヨウ化水素の平衡時の各物質質量を求めなさい。

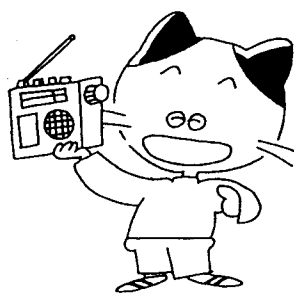
$$\text{H}_2 \left[\quad \right] \text{I}_2 \left[\quad \right] \text{HI} \left[\quad \right]$$

2 (6112) M03

$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応で、 600°C のときの平衡定数 K の値は 37.0 です。V [l] の容器中に 2.00 mol の水素と 1.00 mol のヨウ素を入れて、 600°C で反応させると、何 % のヨウ素が反応しますか。有効数字 3 けたで求めなさい。

$$\left[\quad \right]$$

memo



§ 4 平衡の移動

化学平衡の状態は、いろいろな条件の変化によってくずれていきます。§ 4では、化学平衡が、どのようなときに、どの方向に移動するかについて学習します。まず、反応物質や生成物質の濃度を変化させたときの影響、次に圧力を変化させたときの影響、最後に温度を変化させたときの影響について調べます。また、それらの変化によって、平衡定数はどうなるのかも考えます。

◇考え方のポイント◇

◆いろいろな条件の変化と平衡の移動の方向

反応が平衡状態にあるとき、濃度・圧力・温度などの条件を変化させると、平衡が移動し、新しい平衡状態に達する。

濃度の変化……平衡状態にある混合物の中の1つの物質の濃度を増加させると、その物質の濃度が減少する方向に平衡が移動する。逆に、1つの物質の濃度を減少させると、その物質の濃度が増加する方向に平衡が移動する。

圧力の変化……気体の混合物が平衡状態にあるとき、その圧力を高くすると、気体分子の数が減少する方向（圧力が低くなる方向）に平衡が移動する。逆に、圧力を低くすると、気体分子の数が増加する方向（圧力が高くなる方向）に平衡が移動する。

温度の変化……平衡状態の混合物を高温にすると、吸熱反応の方向に平衡が移動する。逆に、低温にすると、発熱反応の方向に平衡が移動する。

◆いろいろな条件の変化と平衡定数

濃度の変化によって…… K の値は変わらない。

圧力の変化によって…… K の値は変わらない。

温度の変化によって…… K の値は変わる。

{ 発熱反応の場合……温度上昇によって小さくなる。
吸熱反応の場合……温度上昇によって大きくなる。

1 (0012) ☐ 類題 6120 濃度の変化と平衡の移動

$2\text{N}_2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の反応が化学平衡に達しているとき、平衡を右辺のほうへ移動させるためには、二酸化窒素または、四酸化二窒素の濃度をどうしたらよいですか。

二酸化窒素の濃度 []

四酸化二窒素の濃度 []

2 (0013) ☐ 類題 6130 圧力の変化と平衡の移動

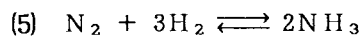
次の各反応で、正反応が起こるように平衡を移動させるには、圧力を高くしたらよいですか、低くしたらよいですか。

(1) $3\text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{O}_3$ []

(2) $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ []

(3) $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \rightleftharpoons 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ []

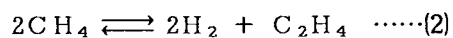
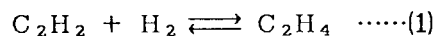
(4) $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ []



[]

3 (0014) ☐ 類題 6140 温度の変化と平衡の移動

次の反応は、温度を下げると平衡が(1)は右辺のほうへ、(2)は左辺のほうへ移動します。



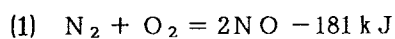
(1), (2)の反応が右辺のほうに進むときは、発熱反応ですか、吸熱反応ですか。

(1) []

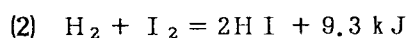
(2) []

4 (0015) ☐ 類題 6150 温度の変化と平衡定数

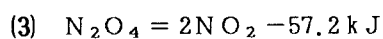
次の反応が平衡状態にあるとき、高温にすると平衡定数の値はどうなりますか。



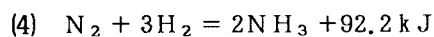
[]



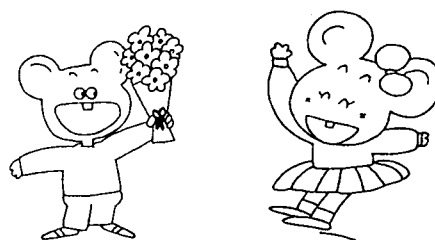
[]



[]



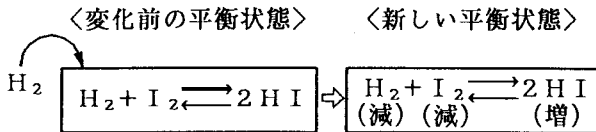
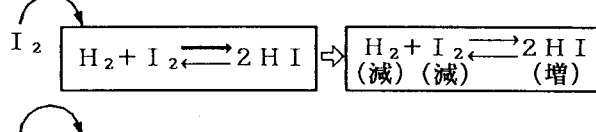
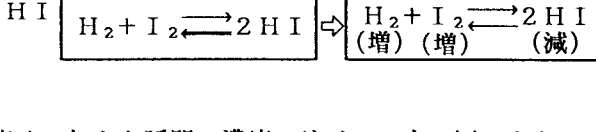
[]



類題トレーニング(6120)

- 学習の視点 反応が平衡状態にあるとき、反応物質や生成物質の濃度を変化させると、平衡がどのように移動するかを理解する。

テーマ 濃度の変化と平衡の移動

- $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応が平衡状態にあるところへ、水素を加えると、正反応が進み、ふたたび新しい平衡状態に達する。

- 同様に、ヨウ素を加えると、正反応が進み、そのちに平衡状態に達する。

- ヨウ化水素を加えると、逆反応が進み、そのちに平衡状態に達する。

- 新しい平衡状態での各物質の濃度は、加えた瞬間の濃度に比べて、右の図のように、それぞれ変化している。

【濃度変化と平衡の移動】

化学平衡の状態にある混合物の中の1つの物質の濃度を増加させると、その物質の濃度が減少する方向に反応が進み、新しい平衡状態に達する。このとき、平衡は移動したという。

■ 説明 ■

- 濃度変化と平衡の移動 化学平衡の状態にある混合物のそれぞれの濃度の間には、質量作用の法則 $\frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b} = K$ が成り立った。温度一定のとき、一部の成分が追加されてその濃度が変わると、新たに反応が進んで、ふたたび平衡状態に達する。これを『平衡の移動』という。
- ヨウ化水素の生成反応における変化の方向 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応では、 490.5°C で、 $K=46.0$ だから、 $\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = 46.0$ を保たせるように平衡が移動する。
 たとえば、 $[\text{H}_2]$ (式の分母)が大きくなれば、平衡定数を一定に保つために、 $[\text{HI}]$ が大きくなる方向、つまり、右へ平衡が移動する。
 したがって、この場合、 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \longrightarrow 2\text{HI}$ の反応が起こり、テーマの図のように、 $[\text{H}_2]$ と $[\text{I}_2]$ は減少し、 $[\text{HI}]$ は増加することになる。また、 $[\text{HI}]$ (式の分子)が大きくなれば、 $[\text{HI}]$ が減少して $[\text{H}_2]$ と $[\text{I}_2]$ が増加する方向に平衡が移動する。
- 成分の減少と平衡の移動 何らかの理由で化学平衡にある混合物の中の1つの物質の濃度が減少したときには、逆に、その物質の濃度が増加する方向に平衡が移動する。

1 (6121) M04

濃度の変化と平衡の移動について、次の問いに答えなさい。

- (1) 質量作用の法則によると、物質の濃度の変化によって平衡定数 K の値は変わりますか。
 []
- (2) 化学平衡にある混合物の中の1つの物質の濃度を増加させると、その物質の濃度がどうな

るように反応は進みますか。

[]

(3) 平衡状態にある混合物に反応物質を加えると、生成物質は増加しますか、減少しますか。

[]

(4) 平衡状態にある混合物に生成物質を加えると、反応物質は増加しますか、減少しますか。

[]

2 (6122) M04

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ の反応が平衡に達しているとき、次のように濃度を変化させると、平衡はどちらに移動しますか。濃度を変化させた物質の増減の方向で答えなさい。

(1) 窒素の濃度を増加させる。

[]

(2) 窒素の濃度を減少させる。

[]

(3) 水素の濃度を増加させる。

[]

(4) 水素の濃度を減少させる。

[]

(5) アンモニアの濃度を増加させる。

[]

(6) アンモニアの濃度を減少させる。

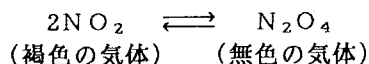
[]

類題トレーニング(6130)

- 学習の視点 気体反応の場合、圧力の変化によって平衡はどのように移動するのかを理解する。

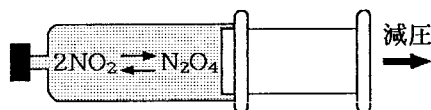
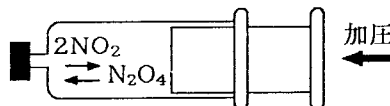
テーマ 圧力の変化と平衡の移動

- 二酸化窒素 NO_2 は、2 mol が反応して四酸化二窒素 N_2O_4 1 mol となり、



の化学平衡の状態に達する。

- 注射器の中に NO_2 (空気を含む) を入れて圧縮していくと、最初は NO_2 が濃縮されて色がこくなるが、しだいに色がうすくなっていく。これは、 N_2O_4 の量が増したためと考えられる。



- こんどは、ピストンを引いて、注射器の中の圧力を低くしていくと、気体の色はこくなる。これは、 NO_2 の量が増したためと考えられる。

【圧力の変化と平衡の移動】

気体の混合物が化学平衡の状態にあるとき、その圧力を高くすると、気体分子の数(物質)が減少する方向(圧力が低くなる方向)に、逆に圧力を低くすると、気体分子の数(物質)が増加する方向(圧力が高くなる方向)に、それぞれ平衡が移動する。

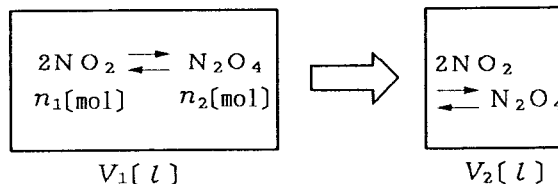
■ 説明 ■

- 圧力の変化と平衡の移動 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の可逆反応では、 N_2O_4 の量が増す方向に反応が進むと、全体の気体分子の数(すなわち物質)が減るため、圧力が低くなる。

テーマの実験では、圧力を加えると、 N_2O_4 が増して色がうすくなっている。つまり、圧力を加えると、圧力が低くなる方向に平衡が移動する。また、逆に圧力を低くすると、圧力が高くなる方向に平衡が移動する。

- 圧力の変化と物質の濃度

いま、右の図のように、 $V_1[\text{l}]$ で化学平衡の状態にあるものを、 $V_2[\text{l}]$ に圧縮して気体の圧力を高くとすると、最初の状態では、



$$[\text{NO}_2] = \frac{n_1}{V_1} \quad [\text{N}_2\text{O}_4] = \frac{n_2}{V_1}$$

質量作用の法則より、

$$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = \frac{\frac{n_2}{V_1}}{\left(\frac{n_1}{V_1}\right)^2} = \frac{n_2 \times V_1}{n_1^2} = K$$

K は温度一定ならば一定だから、 V_1 が V_2 に減ると、 $\frac{n_2}{n_1^2}$ はより大きな値をとる。

したがって、 n_2 の値(N_2O_4 の物質)が大きくなる。 $V_1 < V_2$ のとき(圧力を低く

したとき)は、その逆で、 n_1 の値(NO_2 の物質質量)が大きくなる。

反応の種類によっては、前の式で V_1 (または V_1^2 などとして)が分母のほうに残ることもある。しかしその場合も、加圧すると物質質量が減る方向に移動することになり変わらない。

- 反応の前後で総物質質量が変化しない場合 $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ のように、反応の前後で総物質質量が変化しない場合(左辺 2 mol, 右辺 2 mol)は、前の式で V_1 が消えてしまう。つまり、体積(圧力)が変化しても、濃度分布には何の変化もない。平衡は移動しないわけである。

1 (6131) M04

圧力の変化と気体反応の平衡の移動について、次の問いに答えなさい。

- (1) 反応の前後で気体分子の数(物質質量)が違う場合、平衡の移動によって圧力は変化しますか。

[]

- (2) (1)の場合、圧力を増すと、気体分子の数(物質質量)がどうなる方向に平衡が移動しますか。

[]

- (3) (1)の場合、圧力を減らすと、気体分子の数(物質質量)がどうなる方向に平衡が移動しますか。

[]

2 (6132) M04

次の可逆反応がそれぞれ平衡状態にあるとき、その圧力を高くすると、正反応・逆反応のどちらが新たに起こりますか。または、新たな反応は起こりませんか。

- (1) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$

[]

- (2) $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2$

[]

- (3) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$

[]

- (4) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$

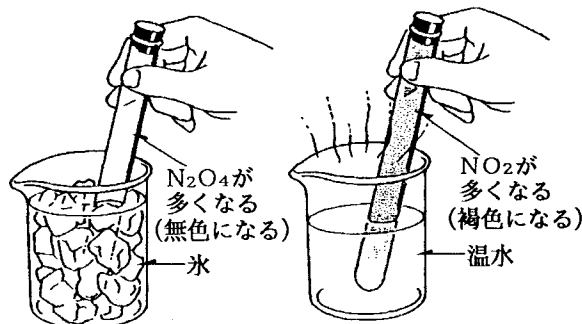
[]

類題トレーニング(6140)

- 学習の視点 これまで、温度一定という条件で化学平衡を考えてきたが、ここで、化学平衡が温度の影響でどのように変化するのかを理解する。

■■■■■ テーマ 温度の変化と平衡の移動 ■■■■■

- 二酸化窒素 NO_2 を試験管にとり、氷で冷やすと、 NO_2 の褐色がうすくなりついには無色になる。
- 次に、この試験管を温水であたためると、褐色に戻っていく。
- 以上のことから、
 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の反応で、
 温度を上げると NO_2 が増し、
 温度を下げると N_2O_4 が増すことがわかる。



- この移動の方向は、 $\text{N}_2\text{O}_4 \longrightarrow 2\text{NO}_2$ が吸熱反応であることと関係がありそうである。

【温度の変化と平衡の移動】

化学平衡の状態にある混合物を高温にすると、吸熱反応の方向に平衡が移動し、低温にすると、発熱反応の方向に平衡が移動する。

■■ 説明 ■■

- 発熱反応・吸熱反応と温度変化 温度による平衡の移動は、反応における熱の出入りのしかたによって決まる。すなわち、温度を上げると吸熱反応が起こる方向に反応が進み、温度を下げると発熱反応が起こる方向に反応が進む。
- N_2O_4 の解離反応*の場合 熱化学方程式 $\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2 - 57.2 \text{ kJ}$ をもとに考えてみよう。これより、

$$\left. \begin{array}{l} \text{N}_2\text{O}_4 \longrightarrow 2\text{NO}_2 \text{ は吸熱反応} \\ 2\text{NO}_2 \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_4 \text{ は発熱反応} \end{array} \right\} \text{であるから、高温にすると吸熱の方向に反応が進むため } \text{NO}_2 \text{ が増し、低温にすると逆に } \text{N}_2\text{O}_4 \text{ が増す。}$$
- NH_3 の生成反応の場合 熱化学方程式は、 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3 + 92.2 \text{ kJ}$ であるから、

$$\left. \begin{array}{l} \text{H}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3 \text{ は発熱反応} \\ 2\text{NH}_3 \longrightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2 \text{ は吸熱反応} \end{array} \right\} \text{である。したがって、高温にすると吸熱の方向に反応が進むため } \text{N}_2 \text{ と } \text{H}_2 \text{ が増し、低温にすると逆に } \text{NH}_3 \text{ が増す。}$$

*可逆反応での分解を解離という。

I (6141) M04

温度の変化と平衡の移動について、次の問いに答えなさい。

- (1) 高温にすると、反応は発熱反応・吸熱反応のどちらの方向に進みますか。

{ }

- (2) 低温にすると、反応は発熱反応・吸熱反応のどちらの方向に進みますか。

{ }

(3) 吸熱反応を進めたいとき、そのときの温度は高くしますか、低くしますか。

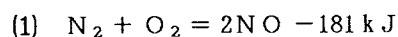
[]

(4) 発熱反応を進めたいとき、温度は高くしますか、低くしますか。

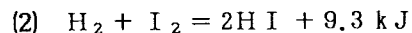
[]

2 (6142) M04

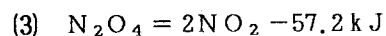
次の熱化学方程式で、その反応が平衡状態にあるとき、高温にすると、右辺・左辺のどちらの物質が増加しますか。



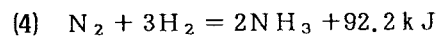
[]



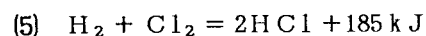
[]



[]



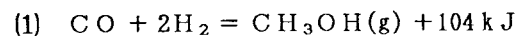
[]



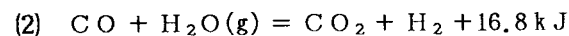
[]

3 (6143) M04

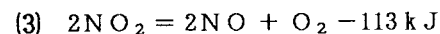
次の熱化学方程式で、その反応が平衡の状態にあるとき、生成物質が増すように平衡を移動させるには、温度をどうしたらよいですか。



[]



[]



[]

4 (6144) M04

二酸化窒素 NO_2 (褐色) と四酸化二窒素 N_2O_4 (無色) が平衡に達している混合気体をあたためたら、褐色がこくなり、冷やしたらうすくなりました。 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の反応で、右辺のほうに進むときは発熱反応ですか、吸熱反応ですか。

[]

類題トレーニング(6150)

- 学習の視点 温度が変化すると、平衡定数はどのように変化するかを理解する。また、そのほかの条件と平衡定数についてもまとめる。

テーマ 温度の変化と平衡定数

- アンモニアの生成反応,

$$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$$
 では、反応が右辺のほうへ進むとき発熱する。
- この反応のように、正反応が発熱反応である場合、平衡定数は温度の上昇とともに小さくなっていく(右の表)。
- 四酸化二窒素の解離反応,

$$\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$$
 では、反応が右辺のほうへ進むとき吸熱する。
- この反応のように、正反応が吸熱反応である場合、平衡定数は温度の上昇とともに大きくなっていく(右の表)。

〈 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ の平衡定数〉

温度 [°C]	平衡定数 [(mol/l) ⁻²]
400	1.87×10^{-4}
450	5.26×10^{-5}
500	1.62×10^{-5}

〈 $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ の平衡定数〉

温度 [°C]	平衡定数 [mol/l]
0	0.0154
18.8	0.0726
49.9	0.803
73.6	3.38
99.8	13.4

【温度の変化と平衡定数】

発熱反応の場合、平衡定数 K の値は高温になるほど小さくなる。吸熱反応の場合は逆に、高温になるほど大きくなる。

■ 説明 ■

- 温度変化による平衡定数の変化 濃度や圧力の変化では、平衡定数 K の値は変わらずに、平衡の移動が行われた。たとえば、 $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ の反応での平衡定数は、

$$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = K$$

で表されるから、濃度や圧力の変化では、 $[\text{NO}_2]$ や $[\text{N}_2\text{O}_4]$ が、いわばゆずり合うような変わり方をして、 K は一定に保たれる。ところが、温度が変化すると、テーマの表のように、 K の値そのものが変化する。同じ平衡の移動でも、濃度や圧力の変化によるものと、温度変化によるものとは、その点が異なっている。

- 温度変化と平衡の移動の方向 アンモニアの生成反応 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ (発熱反応) での平衡定数は、

$$\frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} = K$$

で表される。温度上昇に伴って K が小さくなっていくということは、この式で $[\text{NH}_3]$ が小さくなっていくことを意味する。つまり、テーマにあったように、吸熱反応の方向に平衡が移動する。

一方、四酸化二窒素の解離反応 $\text{N}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{NO}_2$ (吸熱反応) での平衡定数 K が、温度上昇に伴って大きくなっていくということは、 $[\text{NO}_2]$ が大きくなっていくことを意味する。そして、この場合も、やはり熱を吸収する方向に平衡が移動している。

- 反応式と平衡定数 平衡定数の値は、反応式によって決まるわけであるから、その反応をどうとらえるかで平衡定数の値も違ってくる。たとえば、前述の N_2O_4 の解離反応を、 $2\text{NO}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$ の反応ととらえれば、平衡定数は、

$$\frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} = K$$

となる。そして、これは発熱反応であるから、 K の値は温度上昇とともに小さくなっていくことになる。

1 (6151) M04

温度の変化と平衡定数について、次の問いに答えなさい。

- (1) 温度が変化すると、反応の平衡定数の値は変わりますか、変わりませんか。また、濃度や圧力の変化ではどうですか。

[]

- (2) 発熱反応の場合、温度の変化によって平衡定数はどう変わりますか。

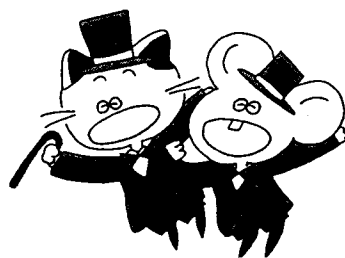
高温になると []

低温になると []

- (3) 吸熱反応の場合、温度の変化によって平衡定数はどう変わりますか。

高温になると []

低温になると []



§5 ルシャトリエの原理

M05

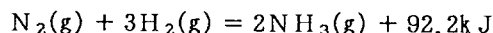
前回の学習では、化学平衡の状態にある混合物に対して、濃度・圧力・温度を変えるようなはたらきかけがあると、一定の方向に平衡の移動が起こって、新しい平衡の状態になることを学びました。そこで、§5では、これらの変化の方向を1つにまとめた「ルシャトリエの原理」について学習します。また、この原理の考え方をもとにして、いろいろな問題にも取り組んでいきます。

◇考え方のポイント◇

◆ルシャトリエの原理

一般に、化学平衡にある混合物に、外部から濃度・圧力・温度の条件の変化を与えると、その条件変化を打ち消す方向に平衡が移動して、新しい平衡に達する。

◆アンモニアの工業的合成法（ハーバー法）



化学平衡の面からは、低温・高圧が NH_3 の収量を上げる条件となる。

実際には Fe_3O_4 を主成分とする触媒を使って、 $400\sim 600^\circ\text{C}$ 、 $200\sim 1000\text{atm}$ でアンモニアの合成が行われている。

◆ルシャトリエの原理の応用

平衡の移動の結果から、加えられた条件変化を推定することができる。

◆ルシャトリエの原理の適用

ルシャトリエの原理は、可逆反応における平衡の移動に関してのみ適用できる。不可逆反応には適用できない。

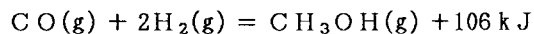
1 (0016) ☐ ●類題 6160 ルシャトリエの原理

$2\text{CO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2$ の化学平衡が成り立っています。この混合物に次の操作を加えるとどのようなになりますか。答えは、(ア) 減少する (イ) 増加する (ウ) 変化しないの中から選んで、[] 中に記号を記しなさい。

- (1) 温度一定のもとで、この平衡混合気体を圧縮すると、 CO_2 の濃度はどうなりますか。
[]
- (2) 一定体積の容器中のこの混合物から、温度を一定に保ちながら、 CO_2 の一部を取り除くと、 CO の濃度はどうなりますか。
[]
- (3) 一定温度のもとで、一定体積の容器中のこの平衡混合物に、さらにヘリウムを加えたとき、 CO_2 と CO の濃度の比の値 $\left(\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]} \right)$ はどうなりますか。
[]
- (4) この反応は、平衡が右へ移動するとき発熱します。圧力一定のもとで、平衡混合物の温度を高くすると、混合物中に存在する CO_2 の濃度はどうなりますか。
[]

2 (0017) ☐ ●類題 6170 ルシャトリエの原理の応用

メタノールが合成されるとき熱化学方程式は次のとおりです。この反応が平衡に達しているとき、平衡を右辺の方向に移動させるために考えられる条件をすべてあげなさい。



3 (0018) ☐ ●類題 6180 平衡の移動

次の(a)～(d)の現象について、あとの問いに答えなさい。

- (a) 亜鉛を希硫酸の中に入れたら、泡が発生した。
- (b) 銅線を空気中で熱すると、黒色の酸化銅(Ⅱ)が生じた。
- (c) 水素とヨウ素を反応させてヨウ化水素をつくる反応で、水素を加えたらヨウ化水素が増加した。
- (d) 一酸化炭素と水素からメタノール CH_3OH をつくる反応で、圧力を加えたらメタノールの量が増加した。

(1) (a)～(d)の反応式を書きなさい。可逆反応は $\rightleftharpoons$ を用いて表しなさい。

- (a) []
- (b) []
- (c) []
- (d) []

(2) ルシャトリエの原理は、どのような反応の、どのような現象について適用できますか。

[]

(3) (a)～(d)で、ルシャトリエの原理では説明できないものをすべて選び、理由も述べなさい。

説明できないもの []

理由 []

類題トレーニング(6160)

- 学習の視点 ルシャトリエの原理と、その応用であるアンモニアの工業的合成法について学習する。

■■■■■ テーマ ルシャトリエの原理 ■■■■■

- $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応で、 $[\text{H}_2]$ を大きくすると、 $[\text{H}_2]$ が小さくなる方向に平衡が移動する。 $[\text{H}_2]$ を小さくすれば、逆の方向に平衡が移動する。

- $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の反応で、圧力を高くすると圧力が低くなる方向に平衡が移動して N_2O_4 が増し、圧力を低くするとその逆に NO_2 が増す。

- $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の反応で、温度を高くすると $\text{N}_2\text{O}_4 \rightarrow 2\text{NO}_2$ (吸熱反応) の方向に平衡が移動し、温度を低くすると、その逆の方向に平衡が移動する。

[H ₂]を大きくする	⇒	[H ₂]が小さくなるように
[H ₂]を小さくする	⇒	[H ₂]が大きくなるように
高圧にする	⇒	低圧になるように
低圧にする	⇒	高圧になるように
高温にする	⇒	低温になるように
低温にする	⇒	高温になるように

【ルシャトリエの原理】

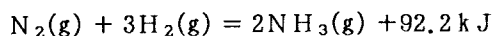
一般に、化学平衡にある混合物に対して、濃度・圧力・温度を変化させると、『その変化を打ち消そうとする方向に』平衡が移動する。これを『ルシャトリエの原理』、または『平衡移動の原理』という。

【ハーバー法】

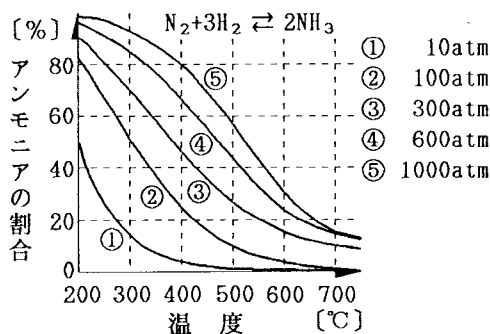
ルシャトリエの原理により、 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を用いて、 $400\sim 600^\circ\text{C}$ 、 $200\sim 1000\text{ atm}$ で水素と窒素からアンモニアを工業的に合成する方法を『ハーバー法』、または『ハーバー・ボッシュ法』という。

■■■ 説明 ■■■

- ルシャトリエの原理 この原理は、1884 年、フランスの化学者ルシャトリエによって発見されたもので、平衡移動の方向を端的に示している。この原理を用いると、平衡がどちらの方向に移動するかわかるばかりでなく、平衡の移動から、加えられた条件の変化を推定することもできる。さらに、この原理は化学平衡に限らず、気液平衡、溶解平衡にも適用される。
- 触媒と平衡状態 正反応に触媒としてはたらく物質は、逆反応においても触媒としてはたらき、正反応と逆反応は同じ活性化状態を通る。よって、触媒を加えると、正反応だけでなく逆反応の速さも大きくなる。つまり、触媒は平衡状態に達するまでの時間を短縮するが、平衡状態自体を変化させるものではないので、注意しよう。
- アンモニアの工業的合成法 アンモニアの合成は、ルシャトリエの原理を化学工業に応用して成功した輝かしい例として知られている。窒素と水素からアンモニアを合成する反応は、発熱反応であり、また総物質質量が減少する反応である。

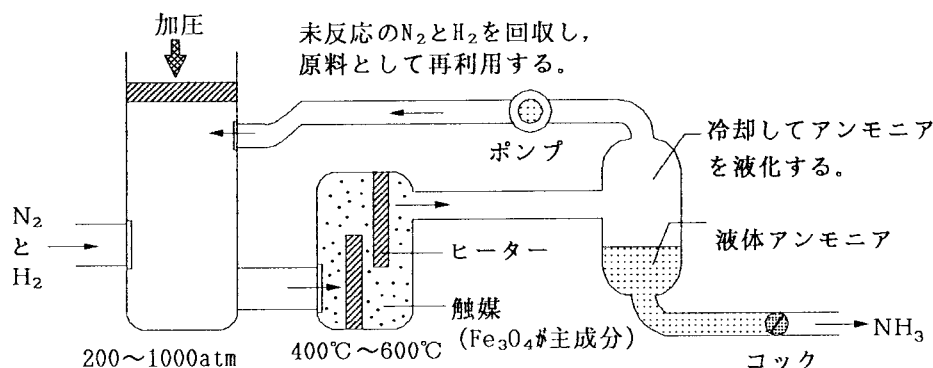


この反応は可逆反応であり、アンモニアの収量のよい平衡状態をつくるには、正反応の向きへの平衡移動を考えればよい。発熱反応だから温度が低いほど、また総物質量が減少する反応だから圧力が高いほど、正反応が進みやすい。したがって、化学平衡の面からは、低温・高圧の条件にすることが望ましい。右のグラフは、物質質量比 1:3 の窒素と水素を混合して、圧力を一定値に保ち、温度を変化させて平衡状態にしたときのアンモニアの割合（物質量の百分率）を示している。



しかしながら、あまり温度を低くすると、反応が遅くなって平衡状態になるまでに時間がかかる。また、あまり圧力を高くすると、高圧に耐えうる設備をつくるのに費用がかかる。よって、現在では四酸化三鉄 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を使って、400～600℃、200～1000 atm でアンモニアの合成が行われている。この合成法をハーバー法、またはハーバー・ボッシュ法という。アンモニアは比較的液化しやすいので、生成したアンモニアは冷却、液化して外にとり出し、残った水素と窒素は再び反応させて再利用される。これは、平衡を正反応の方向に移動させる目的もある。

● Fe_3O_4 が H_2 によって還元されて鉄 Fe になり、この Fe が触媒のはたらきをする。



1 (6161) M05

ルシャトリエの原理について、次の問いに答えなさい。

- (1) ルシャトリエの原理をひと言でいうと、化学平衡にある混合物への変化に対して、その変化をどうする方向に平衡が移動するのですか。
[]
- (2) 平衡状態にある混合物に触媒を加えると、平衡は移動しますか。それとも移動しませんか。
[]
- (3) 水素と窒素からアンモニアをつくる反応の熱化学方程式は、

$$\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3 + 92.2 \text{ kJ}$$
 で表される。この反応の正反応は発熱反応ですか。それとも吸熱反応ですか。
[]
- (4) (3)の正反応は気体分子の数(物質質量)が増加する反応ですか。それとも減少する反応ですか。
[]
- (5) (3), (4)からアンモニアの収量のよい平衡状態をつくる条件を答えなさい。
[]
- (6) ルシャトリエの原理を応用し、 Fe_3O_4 を主成分とする触媒を使って工業的にアンモニア

を合成する方法を何といますか。

[]

2 (6162) M05

$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{SO}_3(\text{g}) + 196\text{ kJ}$ の熱化学方程式で表される反応が平衡に達しているとき、次の条件で、平衡はどの方向に移動しますか。右・左で答えなさい。

- (1) 圧力を加える。 []
- (2) 温度を上げる。 []
- (3) O_2 を新しく加える。 []
- (4) SO_3 をとり去る。 []

3 (6163) M05

アンモニアの工業的合成法について、次の文の [] の中にあてはまることばを入れなさい。また、㊶と㊷についてはあとの数値から選び、入れなさい。

- (1) 化学平衡にある混合物に対して、濃度・圧力・温度を変化させると、その変化を打ち消そうとする方向に平衡が移動する。これを [] という。
- (2) $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g}) + 92.2\text{ kJ}$ の反応では、圧力を高くすると平衡は [] に移動する。また、温度を [] くとすると、平衡は右へ移動する。
- (3) したがって、化学平衡の面からはアンモニアの収量のよい平衡状態をつくるには、 [] の条件にすることが望ましい。
- (4) しかし、温度を [] くしすぎると、平衡に達するまでの時間が長くなるので、実際には [㊶] °C で反応を行っている。また、圧力を [] くしすぎると、それに耐えうる設備をつくるのに費用がかかるので、実際には [㊷] atm で反応を行っている。
- (5) さらに平衡にはやく到達させるために、 Fe_3O_4 を主成分とする [] を使っている。
[100~200, 400~600, 200~1000, 800~900]

4 (6164) M05

次の熱化学方程式で表される反応が平衡に達しているとき、温度を下げて、圧力を増しても、平衡が右辺のほうに移動するものはどれですか。番号で答えなさい。

- (1) $2\text{CO} = 2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2 - 218\text{ kJ}$
- (2) $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl} + 185\text{ kJ}$
- (3) $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO} - 181\text{ kJ}$
- (4) $2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 2\text{H}_2 + \text{O}_2 - 570\text{ kJ}$
- (5) $\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) = \text{CaCO}_3(\text{s}) + 176\text{ kJ}$
- (6) $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) - 172\text{ kJ}$

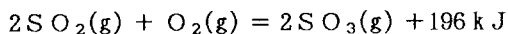
[]

ヒント 固体の物質の圧力は 0 と考える。

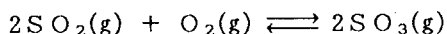
類題トレーニング(6170)

- 例題の視点 ルシャトリエの原理を使って、平衡の移動方向から、どんな条件が加えられたかを考える例題である。

~~~~~基本例題~~~~~ ルシャトリエの原理の応用 ~~~~~



の熱化学方程式で表される反応が、次の平衡状態にあります。



この平衡を右辺の方向に移動するには、次の条件をそれぞれどのようにすればよいですか。

- (1)  $\text{SO}_2$  の濃度
- (2)  $\text{O}_2$  の濃度
- (3)  $\text{SO}_3$  の濃度
- (4) 圧力
- (5) 温度

- ルシャトリエの原理により、「加えられた変化を打ち消すように平衡が移動する」のであるから、右辺の方向に反応が起こるために打ち消されるような変化、つまり逆の変化を考えればよい。

### ■ ■ 考え方 ■ ■

右辺の方向に反応が起こると、次のような効果がある。

濃度…… $\text{SO}_3$  は増加,  $\text{SO}_2$  と  $\text{O}_2$  は減少。

圧力……物質量が減るから、低くなる。

温度……発熱反応だから、上昇する。

### ■ ■ 解 答 ■ ■

- (1)  $\text{SO}_2$  減少の方向づけのためには、 $\text{SO}_2$  の濃度は大きくする。
- (2)  $\text{O}_2$  減少の方向づけのためには、 $\text{O}_2$  の濃度は大きくする。
- (3)  $\text{SO}_3$  増加の方向づけのためには、 $\text{SO}_3$  の濃度は小さくする。
- (4) 圧力を低くする方向づけのためには、圧力を高くする。
- (5) 温度上昇の方向づけのためには、温度を低くする。

(1) 大きくする。 (2) 大きくする。 (3) 小さくする。

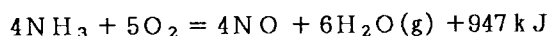
答え (4) 高くする。 (5) 低くする。

□ここがポイント!□

移動の方向から条件の変化を判断する場合には、平衡の移動でどんな効果が生じるかを考えて、その効果を方向づけるような条件の変化を考える。

**1** (6171) M05

次の熱化学方程式で表される反応が平衡に達している場合、平衡を右辺の方向に移動させたいと思います。これについて、次の問いに答えなさい。



(1) 平衡が右辺の方向に移動すると、各物質の濃度はどうなりますか。増す・減るで答えなさい。

[ ]

(2) 平衡が右辺の方向に移動すると、圧力と温度はそれぞれどうなりますか。

[ ]

(3) 平衡を右辺の方向に移動させるには、次の条件をどのようにすればよいですか。

(ア)  $\text{NH}_3$  の濃度 [ ]

(イ)  $\text{O}_2$  の濃度 [ ]

(ウ)  $\text{NO}$  の濃度 [ ]

(エ)  $\text{H}_2\text{O}$  の濃度 [ ]

(オ) 圧力 [ ]

(カ) 温度 [ ]

**2** (6172) M05

次の熱化学方程式で表される反応が平衡状態にあるとき、平衡を( )のような方向に移動させるために考えられる条件を、すべてあげなさい。

(1)  $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI} + 9.3 \text{ kJ}$  ( $\text{HI}$  が増す方向)

[ ]

(2)  $2\text{NH}_3 = \text{N}_2 + 3\text{H}_2 - 92.2 \text{ kJ}$  ( $\text{NH}_3$  が増す方向)

[ ]

(3)  $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + 947 \text{ kJ}$  ( $\text{NH}_3$  が増す方向)

[ ]

(4)  $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO} - 181 \text{ kJ}$  ( $\text{NO}$  が増す方向)

[ ]

## 類題トレーニング(6180)

- 例題の視点      自然界の現象や実験結果が、ルシャトリエの原理を用いて説明できる場合がある。このことについて、例題で学習する。

### 基本例題      平衡の移動

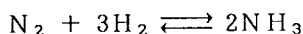
次の事項のうち、ルシャトリエの原理を用いて説明できないものはどれですか。理由とともに述べなさい。

- (1) 水素と窒素からアンモニアを合成するには、高压で反応させたほうがよい。
- (2) 飽和水蒸気圧は、温度が上がると大きくなる。
- (3) 鉄を希塩酸の中に入れたら、泡が発生した。
- (4)  $\text{N}_2\text{O}_4$  の圧力を下げると、解離して  $\text{NO}_2$  になる方向に反応が進む。
- (5) 炭素は、空気中よりも酸素中のほうが激しく燃える。

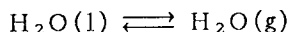
- ルシャトリエの原理は逆反応が起こる化学反応に適用される。したがって、条件を変えると逆の化学反応が生じるかどうか、ポイントとなる。

### ■ ■ 考え方 ■ ■

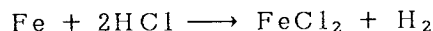
- (1) 水素と窒素とからアンモニアを合成する反応は可逆反応である。



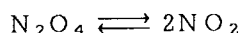
- (2) 飽和水蒸気圧は一定温度で一定の大きさを示し、水と水蒸気の間の変化は可逆反応である。



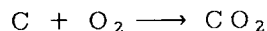
- (3) 鉄と希塩酸との反応は不可逆反応である。生じた水素が外へ出ていってしまうから、逆反応は起こりえない。



- (4) 四酸化二窒素の解離反応は可逆反応であり、条件を変えれば逆反応が起こる。



- (5) 燃焼は、一般に不可逆反応である。



### ■ ■ 解 答 ■ ■

(1), (2), (4)は可逆反応について述べていて、しかも平衡移動に関するものであるから、ルシャトリエの原理を用いて説明できる。(3), (5)は不可逆反応に関するものであるから、ルシャトリエの原理では説明できない。したがって、答えは、(3), (5)である。

答え (3), (5)

□ここがポイント!□

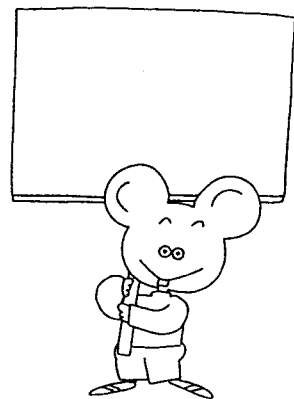
ルシャトリエの原理が適用できるのは、可逆反応のみである。

### 1 (6181) M05

次の(1)~(4)の変化の反応式を示し、ルシャトリエの原理を用いて説明しなさい。

- (1) 密閉容器中に水を一部入れて加熱すると、容器内の圧力が高まる。

- [ ]
- (2) 水と氷を混ぜて加熱すると、氷がとける。
- [ ]
- (3) 硝酸カリウムの水への溶解度は、高温で増加する。
- [ ]
- (4) ヨウ化水素は、高温にすると解離する方向に反応が進む。
- [ ]



## § 6 電離平衡

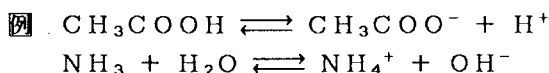
M06

§ 6 以降は、水溶液中での電解質とイオンの化学平衡について学習していきます。化学 I B で学習した「酸と塩基の反応」と重複するところもあるので、思い出しながらいを進めていきましょう。

## ◇ 考え方のポイント ◇

## ◆ 電離平衡

弱電解質などを水に溶かした場合、電解質分子の一部が電離して、生じたイオンと平衡状態になることを『電離平衡』という。



## ◆ 電離度

電解質を水に溶かしたとき、電解質がイオンに電離する割合を『電離度』という。

$$\text{電離度} = \frac{\text{電離した電解質の物質量 [mol]}}{\text{溶解した電解質の物質量 [mol]}}$$

## ◆ 電離定数

電離平衡に質量作用の法則を適用したときの平衡定数を『電離定数』という。

$$\begin{aligned} \text{例 } \text{酢酸の場合, } K_a &= \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \\ \text{アンモニアの場合, } K_b &= \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} \end{aligned}$$

電離定数の大きい酸・塩基のほうが、酸性・塩基性が強い。

弱酸の電離定数  $K_a$ 、弱塩基の電離定数  $K_b$  と電離度  $\alpha$  の間には、水溶液の濃度を  $c$  [mol/l] とすると、次の関係が成り立つ。

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} \quad \alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}}$$

## ◆ 電離平衡と移動

アンモニアや酢酸などの水溶液中では電離平衡が成立していて、ルシャトリエの原理にしたがって平衡が移動する。

1 (0019) ☐ ●類題 6190 電離平衡と電離度

次の①～⑤の文の中で正しいものをすべて選び、番号で答えなさい。

- ① 弱電解質などを水に溶かした場合、電解質分子の一部が電離して、生じたイオンと平衡状態になることを電離平衡という。
- ② 強電解質を水に溶かすと、ほとんど完全に電離し、電離度は 0 に近い。
- ③ 電解質の電離度は、水溶液の濃度が小さいほど小さくなる傾向にある。
- ④ 1 価の酸 0.10 mol から水素イオン 0.0040 mol が生じたとすると、この水溶液の電離度は 0.040 である。
- ⑤ 濃度 0.30 mol/l の酢酸水溶液 (電離度 0.0095) 中の水素イオン濃度は、0.0029 mol/l である。

[ ]

2 (0020) ☐ 類題 6200 酸・塩基の強弱と電離定数

0.10 mol/l の酢酸の 25 °C での電離度は 0.017 です。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) 酢酸の電離平衡を化学反応式で表しなさい。  
[ ]
- (2) 0.10 mol/l の酢酸の水溶液に含まれる水素イオンのモル濃度を求めなさい。  
[ ]
- (3) (2)の酢酸の水溶液中に分子のまま存在する酢酸分子のモル濃度を小数第4位まで求めなさい。  
[ ]
- (4) 酢酸の電離定数 [mol/l] を  $K_a = c \alpha^2$  を用いて求めなさい。ただし、有効数字2けたで答えなさい。  
[ ]
- (5) 同じ温度のギ酸の電離定数は  $2.8 \times 10^{-4}$  mol/l です。酢酸とギ酸ではどちらが強い酸ですか。  
[ ]

3 (0021) ☐ 類題 6210 電離平衡と移動

次の(1)~(3)の電離平衡が成りたっているとき、それぞれ(a), (b)の変化を与えると、平衡は、右辺・左辺のどちらのほうに移動しますか。または、移動しませんか。

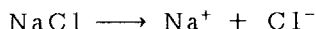
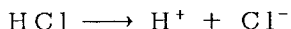
- (1)  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 
  - (a) アンモニア  $\text{NH}_3$  を加える。 [ ]
  - (b) 塩化アンモニウム  $\text{NH}_4\text{Cl}$  の水溶液を加える。 [ ]
- (2)  $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ 
  - (a) 食塩水を加える。 [ ]
  - (b) 塩酸を加える。 [ ]
- (3)  $\text{H}_2\text{S} \rightleftharpoons 2\text{H}^+ + \text{S}^{2-}$ 
  - (a) 硫化ナトリウム  $\text{Na}_2\text{S}$  水溶液を加える。 [ ]
  - (b) 高温にする。 [ ]

# 類題トレーニング(6190)

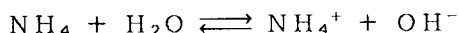
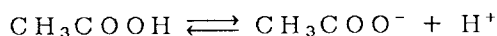
- 学習の視点 化学ⅠBでも学習した電離平衡や電離度について復習する。

## テーマ 電離平衡と電離度

- HClなどの強酸やNaOHなどの強塩基、NaClなどの塩類を水に溶かすと、次のように水溶液中でほとんど完全に電離する。電離度は1に近い。



- 酢酸などの弱酸やアンモニアなどの弱塩基は、水溶液中で一部の分子だけが電離し、大部分は分子のままで溶けている。電離した分子と電離によって生じたイオンの間には、次のような電離平衡が生じている。



### 【強電解質と弱電解質】

強酸や強塩基、および多くの塩類のように、水溶液中でほとんど完全に電離している電解質を『強電解質』という。一方、弱酸や弱塩基のように、水溶液中で一部の分子のみが電離している電解質を『弱電解質』という。

### 【電離平衡】

弱電解質などを水に溶かした場合、電解質分子の一部が電離して、生じたイオンと平衡状態になることを『電離平衡』という。

### 【電離度】

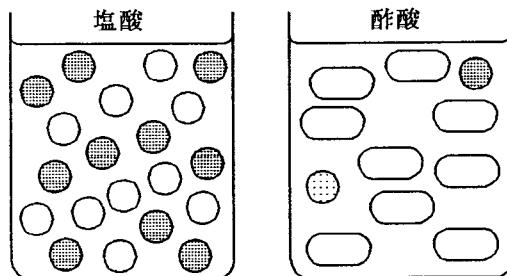
電解質を水に溶かしたとき、電解質がイオンに電離する割合を『電離度』といい、次式で表される。

$$\text{電離度} = \frac{\text{電離した電解質の物質質量} [\text{mol}]}{\text{溶解した電解質の物質質量} [\text{mol}]}$$

## ■ 説明 ■

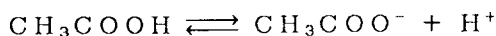
- 強酸と弱酸 酸の分子は水に溶けたとき電離して水素イオンになる水素原子をもっているが、実際に電離する酸の分子の数は酸の種類によって異なっている。

たとえば、右の図のように、塩酸中では塩化水素分子がほとんど完全に電離して水素イオンと塩化物イオンになっているが、酢酸ではあまり電離せず、ほとんどが分子のままで水溶液中に存在している。したがって、同じモル濃度の塩酸と酢酸に含まれる水素イオンの数は、塩酸のほうがはるかに多い。



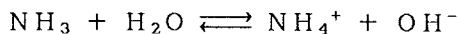
●-水素イオン    ○-塩化物イオン  
●-酢酸イオン    ○-酢酸分子

- 酢酸の電離平衡 25°C, 0.1 mol/l の酢酸の電離度は0.017である。これは、酢酸の水溶液1 l 中に0.1 molの酢酸が含まれているときに、0.0017 molの酢酸は電離するが、残り0.0983 molの酢酸は分子のままで存在しているということである。よって、次のような電離平衡の状態にある。





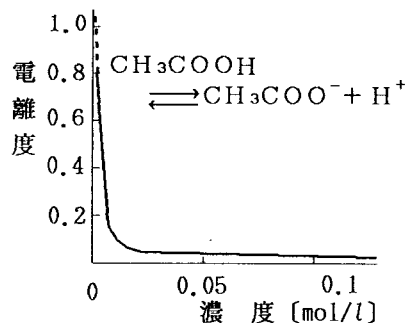
- アンモニアの電離平衡 アンモニアはかなり水に溶ける ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $1\text{atm}$  で, 水  $1\text{m}$   $\text{l}$  に  $702\text{m}$   $\text{l}$  溶ける)。しかし, 水溶液中のアンモニア分子がすべて水と反応するわけではない。  $0.1\text{mol/l}$  のアンモニア水溶液  $1\text{l}$  中では, わずか  $0.0013\text{mol}$  ( $25^{\circ}\text{C}$ ) のアンモニア分子が水と反応し, 残りは分子のまま水溶液中に存在して (電離度  $0.013$ ), 次のように電離平衡の状態になっている。



- 電解質の電離度と濃度 電離度は電解質の種類でも違うが, 濃度や温度でも値が異なる。

右のグラフは,  $25^{\circ}\text{C}$  での酢酸のモル濃度と電離度の関係を表したものである。このグラフを見ると, 酢酸のモル濃度が小さくなると, 電離度が大きくなっているのがわかる。

このように電解質では, 濃度が小さくなると電離度が大きくなる。



酢酸の濃度と電離度

# 1 (6191) M06

次の問いに答えなさい。

- (1) 強酸や強塩基, および  $\text{NaCl}$  などの塩を水に溶かすと, ほとんど完全に電離しますか。それとも, 一部のみが電離しますか。  
[ ]
- (2) (1)のような性質をもつ電解質を何といいますか。  
[ ]
- (3) 弱酸や弱塩基などを水に溶かすと, ほとんど完全に電離しますか。それとも, 一部のみが電離しますか。  
[ ]
- (4) (3)のような性質をもつ電解質を何といいますか。  
[ ]
- (5) 酢酸などを水に溶かした場合, 分子の一部が電離して, 生じたイオンと平衡状態になることを何といいますか。  
[ ]
- (6) 次の式は電離度を表しています。[ ]の中にあはまることばを入れなさい。

$$\text{電離度} = \frac{\text{① [ ]}}{\text{② [ ]}}$$

# 2 (6192) M06

次の酸の電離度を求めなさい。

- (1) 酸の分子がすべて電離している。 [ ]
- (2)  $1\text{mol}$  の酸のうち  $0.01\text{mol}$  が電離している。 [ ]
- (3)  $0.1\text{mol}$  の酸のうち  $0.0005\text{mol}$  が電離している。 [ ]
- (4) 電離した酸が  $0.02\text{mol}$  で, 電離しなかった酸が  $0.48\text{mol}$  の水溶液。 [ ]
- (5)  $1\text{ 桶}$  の酸  $0.20\text{mol}$  から, 水素イオン  $0.0030\text{mol}$  が生じた。 [ ]

# 3 (6193) M06

次の文の [ ]の中にあてはまることばや数値を入れなさい。

- (1) 塩酸や水酸化ナトリウムのような [ ] は, 水溶液中でほとんど完全

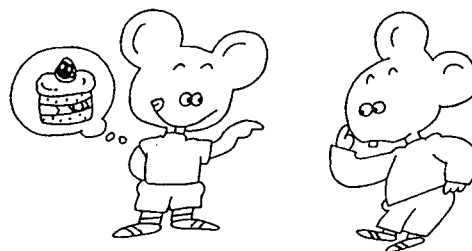
に電離しており，電離度は〔 〕に近い。

- (2) 酢酸やアンモニアのような〔 〕を水に溶かすと，電解質分子の〔 〕が電離して，生じたイオンと〔 〕の状態になる。電離度は1よりかなり〔 〕。
- (3) 電離度は電解質の種類でも違うが，濃度や〔 〕でも値が異なる。電離度は電解質の濃度が小さくなると〔 〕。

**4** (6194) M06

次の塩基の水溶液では，水酸化物イオンの濃度は何 mol/l ですか。

- (1) 濃度 0.2 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液 (電離度 1) 〔 〕
- (2) 濃度 0.01 mol/l の水酸化カルシウム水溶液 (電離度 1) 〔 〕
- (3) 濃度 0.25 mol/l の水酸化カリウム水溶液 (電離度 1) 〔 〕
- (4) 濃度 0.20 mol/l のアンモニア水 (電離度 0.0095) 〔 〕

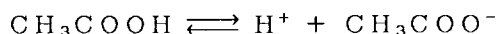


# 類題トレーニング(6200)

- 学習の視点 弱酸を水に溶かすと、一部は電離して残りは分子のままで水溶液中に存在しているため、電離平衡が成り立つ。このとき求められる電離定数の大小と酸の強弱との間にはどのような関係が成り立つか考えてみよう。

■■■■■ テーマ 酸・塩基の強弱と電離定数 ■■■■■

- 酢酸の水溶液中では、次のような電離平衡が成り立つ。



- この電離平衡に質量作用の法則を適用すると、次の式が成り立つ。このときの平衡定数  $K_a$  を電離定数という。

$$\frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = K_a$$

- 電離定数は、物質の種類と温度によって異なり、濃度にはよらない。また、電離度が大きい物質のほうが水溶液中のイオンのモル濃度も大きくなり、電離定数も大きくなる。

【酸・塩基の強弱と電離定数】

『電離定数』の大きい酸・塩基のほうが酸性・塩基性が強い。つまり、酸・塩基の強弱は電離定数の大小で表される。

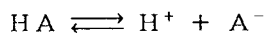
【電離定数と電離度】

弱酸の電離定数  $K_a$ 、弱塩基の電離定数  $K_b$  と電離度  $\alpha$  の間には、水溶液の濃度を  $c$  [mol/l] とすると、次の関係が成り立つ。

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} \quad \alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}}$$

## ■■■ 説明 ■■■

- 弱酸の電離定数 1 価の弱酸  $\text{HA}$  の水溶液中では次のような電離平衡が成り立つ。

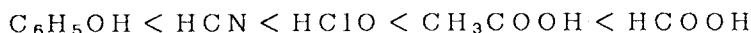


この電離平衡に質量作用の法則を適用すると、

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \text{一定}$$

この  $K_a$  は酸の電離定数とよばれ、右の表のように物質の種類によって決まる定数

で、水溶液の濃度にはよらない。電離度が小さい酸、すなわち弱い酸ほど生じるイオンの量が少なく、 $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{A}^-]$  が小さいため、電離定数が小さい。したがって、電離定数の大小は酸の強弱を表すことになる。右の表の場合、酸の強弱は次のようになっている。

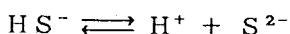
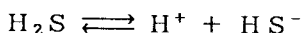


- $K_a$  の  $a$  は酸 (acid) を意味する。

おもな弱酸の電離定数  $K_a$  (25℃)

| 弱 酸                                   | 電離定数 [mol/l]           |
|---------------------------------------|------------------------|
| シアン化水素 $\text{HCN}$                   | $6.03 \times 10^{-10}$ |
| 次亜塩素酸 $\text{HClO}$                   | $2.45 \times 10^{-8}$  |
| ギ酸 $\text{HCOOH}$                     | $2.82 \times 10^{-4}$  |
| 酢酸 $\text{CH}_3\text{COOH}$           | $2.75 \times 10^{-5}$  |
| フェノール $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ | $1.51 \times 10^{-10}$ |

- 多価の酸の電離定数 多価の酸、たとえば硫化水素は、水溶液中で次のように電離している。



このため、水溶液中には、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{H}^+$ 、 $\text{HS}^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ の4種が溶質として存在しているわけである。

それぞれの電離平衡に対して質量作用の法則を適用すると、

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]}$$

| 酸                                     | 電離定数[mol/l]                                                                                |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 炭酸 $\text{H}_2\text{CO}_3$            | $K_1 = 4.45 \times 10^{-7}$<br>$K_2 = 4.69 \times 10^{-11}$                                |
| 硫化水素 $\text{H}_2\text{S}$             | $K_1 = 8.7 \times 10^{-8}$<br>$K_2 = 3.6 \times 10^{-13}$                                  |
| シュウ酸 $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ | $K_1 = 5.36 \times 10^{-2}$<br>$K_2 = 5.42 \times 10^{-5}$                                 |
| リン酸 $\text{H}_3\text{PO}_4$           | $K_1 = 7.11 \times 10^{-3}$<br>$K_2 = 6.34 \times 10^{-8}$<br>$K_3 = 1.78 \times 10^{-12}$ |

(硫化水素は20℃,その他は25℃のときの値である)

の2つの電離定数が存在する。3価の酸であるリン酸では、右の表に示すように、3つの電離定数がある。

これらの電離定数の値を比べてみるとわかるように、このような多段階的な電離では、第1段めの電離の度合いがいちばん大きく、2段め、3段めになるほど小さくなっていく。

- 電離度と電離定数  $c$  [mol/l] の1価の弱酸  $\text{HA}$  の水溶液で、 $\text{HA}$  の電離度が  $\alpha$  であったとすると、生じたイオンの濃度は次の式で与えられる。

$$[\text{H}^+] = [\text{A}^-] = c\alpha \text{ [mol/l]}$$

また、電離しないで残っている  $\text{HA}$  分子のモル濃度は、

$$[\text{HA}] = c(1-\alpha) \text{ [mol/l]}$$

したがって、 $\text{HA}$  の電離定数  $K_a$  は次の式で与えられる。

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = \frac{(c\alpha)^2}{c(1-\alpha)} \text{ [mol/l]}$$

弱酸の場合、電離度は1と比べてかなり小さいために、 $1-\alpha \approx 1$  と置くことができる。よって、上の  $K_a$  の式は次のようになる。

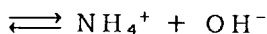
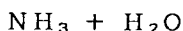
$$K_a = \frac{(c\alpha)^2}{c} = c\alpha^2$$

この式を変形すると、

$$\alpha^2 = \frac{K_a}{c} \quad (\alpha \text{ は正の数}) \quad \therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}$$

この式を用いれば、電離定数とモル濃度から、電離度が求められる。

- 弱塩基の電離定数 アンモニアなどの弱塩基では、その水溶液中で次のような電離平衡が成り立つ。



この電離平衡に質量作用の法則を適用すると、

$$K = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3][\text{H}_2\text{O}]}$$

ここで、 $[\text{H}_2\text{O}]$  (水のモル濃度) は一定なので、この値を  $K$  の値に含めたものを  $K_b$  と置くと、

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

この値が、アンモニアなどの弱塩基の電離定数である。

|     |                                                             |
|-----|-------------------------------------------------------------|
|     | $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$      |
| 電離前 | $c \qquad 0 \qquad 0 \text{ [mol/l]}$                       |
| 電離後 | $c(1-\alpha) \qquad c\alpha \qquad c\alpha \text{ [mol/l]}$ |

おもな弱塩基の電離定数  $K_b$  (25℃)

| 弱塩基                                    | 電離定数 [mol/l]           |
|----------------------------------------|------------------------|
| アンモニア $\text{NH}_3$                    | $1.74 \times 10^{-5}$  |
| アニリン $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ | $4.47 \times 10^{-10}$ |
| ピリジン $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$    | $2.63 \times 10^{-9}$  |

●  $K_b$  の  $b$  は塩基 (base) を意味する。

酸の場合と同じように、電離度が大きくなると電離定数も大きくなるため、塩基の強弱は、電離定数の大小で表される。

また、弱酸の場合と同じように考えると、 $K_b$  と電離度  $\alpha$  との間には、次の関係が成り立つ。

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}}$$

**1** (6201) M06

酸・塩基の強弱と電離定数について、次の問いに答えなさい。

- (1) 電離定数の値は濃度が変化すると、変わりますか。  
[ ]
- (2) 電離定数の大きい酸と小さい酸では、どちらのほうが強い酸ですか。  
[ ]
- (3) 電離定数の大きい塩基と小さい塩基では、どちらのほうが強い塩基ですか。  
[ ]
- (4) 次の式は、濃度  $c$  [mol/l] の水溶液の電離度  $\alpha$  と電離定数  $K_a$ ,  $K_b$  との関係を表したものです。[ ] の中にあてはまる文字式を入れなさい。

$$\textcircled{1} [ ] = \sqrt{\frac{K_a}{\textcircled{2} [ ]}} \quad \textcircled{3} [ ] = \sqrt{\frac{K_b}{\textcircled{4} [ ]}}$$

**2** (6202) M06

右の表はアンモニアとその類似の弱塩基の電離定数 (25℃) を示しています。これについて、次の問いに答えなさい。

| 弱 塩 基                                  | 電離定数 [mol/l]           |
|----------------------------------------|------------------------|
| アンモニア $\text{NH}_3$                    | $1.74 \times 10^{-5}$  |
| アニリン $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ | $4.47 \times 10^{-10}$ |
| ピリジン $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$    | $2.63 \times 10^{-9}$  |

- (1) アンモニア・アニリン・ピリジンのうち、もっとも強い塩基はどれですか。  
[ ]
- (2) アンモニア・アニリン・ピリジンのうち、もっとも弱い塩基はどれですか。  
[ ]

**3** (6203) M06

次の文は電離定数とモル濃度から、電離度を求める式の導き方を説明しています。[ ] の中にあてはまる数値や式を入れなさい。

- (1) 1 価の弱酸  $\text{HA}$  の電離平衡は [ ] で表される。
- (2)  $c$  [mol/l] の  $\text{HA}$  の水溶液で、 $\text{HA}$  の電離度が  $\alpha$  であったとすると、生じたイオンのモル濃度は、次の式で与えられる。

$$[\text{H}^+] = [ ], [\text{A}^-] = [ ]$$

- (3) 電離しないで残っている  $\text{HA}$  分子のモル濃度は、次の式で与えられる。

$$[\text{HA}] = [ ]$$

- (4) (2), (3) より、 $\text{HA}$  の電離定数  $K_a$  は、次のように表される。

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]} = [ ]$$

- (5) 弱酸の場合、電離度は 1 と比べてかなり小さいために、 $1 - \alpha \approx [ ]$  と置くことができる。よって、(4) の  $K_a$  の式は次のようになる。

$$K_a = [ ] = [ ]$$

この式を変形すると、次式が求められる。

$$\alpha = \left[ \quad \quad \quad \right]$$

**4** (6204) M06

次の問いに答えなさい。

- (1) ある 1 価の弱酸の電離定数は  $1.8 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$  です。この酸の水溶液 (濃度  $0.20 \text{ mol/l}$ ) の電離度を求めなさい。

[ ]

- (2) ある 1 価の弱塩基の電離定数は  $2.5 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$  です。この塩基の水溶液 (濃度  $1.0 \text{ mol/l}$ ) の電離度を求めなさい。

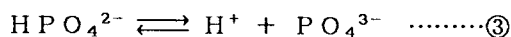
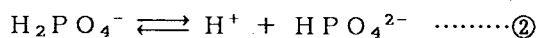
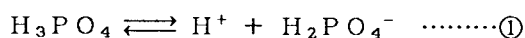
[ ]

- (3)  $0.10 \text{ mol/l}$  の酢酸の電離度は  $0.017$  です。酢酸の電離定数を求めなさい。ただし、有効数字 2 けたで答えなさい。

[ ]

**5** (6205) M06

リン酸は、水溶液中で次のように 3 段階に電離します。これについて、あとの問いに答えなさい。



- (1) リン酸は水溶液中で、どのようなイオンや分子として存在していますか。そのすべてを、化学式で示しなさい。

[ ]

- (2) ①, ②, ③の電離平衡における電離定数  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  を表す式を、それぞれ書きなさい。

$$K_1 = \left[ \quad \quad \quad \right]$$

$$K_2 = \left[ \quad \quad \quad \right]$$

$$K_3 = \left[ \quad \quad \quad \right]$$

- (3) 電離定数  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  を、値の大きい順に並べなさい。

[ ]

# 類題トレーニング(6210)

- 学習の視点 電解質溶液の化学平衡について、アンモニアと酢酸の水溶液を例に理解する。

## テーマ 電離平衡と移動

- アンモニア  $\text{NH}_3$  は、水に溶けると次のように電離して、化学平衡の状態になる。  

$$\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$$
- 酢酸  $\text{CH}_3\text{COOH}$  は、水に溶けると次のように電離して、化学平衡の状態になる。  

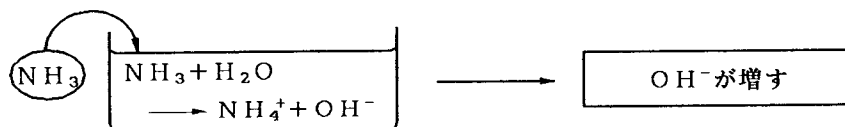
$$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$$
- これらの化学平衡に対しても、当然、ルシャトリエの原理が適用されるはずである。

### 【電離平衡と移動】

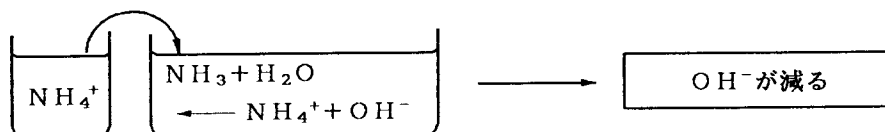
アンモニアや酢酸などの電解質は、水溶液中でその一部が電離してイオンとなり、電離平衡の状態になっている。したがって、ルシャトリエの原理によって平衡が移動する。

### ■ 説明 ■

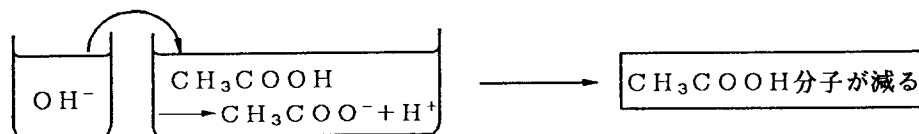
- 電離平衡 アンモニアや酢酸などの電解質を水に溶かすと、その一部が電離してイオンとなり、テーマにあげた反応式のように、水溶液中で化学平衡の状態になる。これを『電離平衡』という。
- アンモニアや酢酸の水溶液における平衡の移動 電離平衡の状態にある物質も、ルシャトリエの原理によって、次のように平衡が移動する。
  - ① アンモニアの水溶液にさらにアンモニアを溶かすと、左辺の  $\text{NH}_3$  の濃度が増加するので、平衡が右辺のほうに移動する。



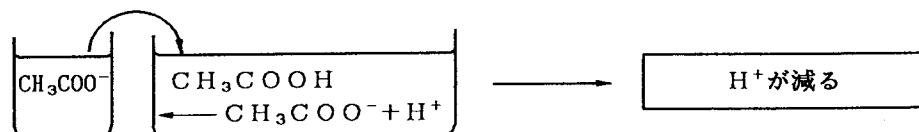
- ② アンモニア水溶液に塩化アンモニウム  $\text{NH}_4\text{Cl}$  の水溶液を加えると、右辺の  $\text{NH}_4^+$  の濃度が増加するので、平衡が左辺のほうに移動する。



- ③ 酢酸水溶液に水酸化ナトリウム  $\text{NaOH}$  水溶液を加えると、 $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$  の反応 (中和反応) により  $\text{H}^+$  の濃度が減少するので、平衡が右辺のほうに移動する。



- ④ 酢酸水溶液に酢酸ナトリウム  $\text{CH}_3\text{COONa}$  の水溶液を加えると、右辺の  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  の濃度が増加するので、平衡が左辺のほうに移動する。



- ②塩化アンモニウム  $\text{NH}_4\text{Cl}$  や酢酸ナトリウム  $\text{CH}_3\text{COONa}$  の水溶液には、  
 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Cl}^-$  や  $\text{CH}_3\text{COO}^-$ 、 $\text{Na}^+$  が含まれている。この場合、 $\text{Cl}^-$  や  $\text{Na}^+$  は、  
平衡の移動には関係しない。
- 

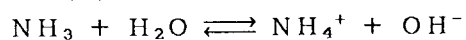
1 (6211) M06

電離平衡について、次の問いに答えなさい。

- (1) アンモニアや酢酸などが水に溶けると、その一部は何の状態になっていますか。  
[ ]
- (2) (1)のような電解質溶液は、化学平衡の状態になっていますか。  
[ ]
- (3) 電解質溶液の化学平衡を、とくに何とよびますか。  
[ ]

2 (6212) M06

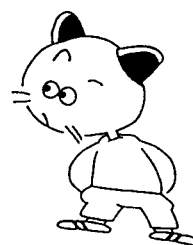
アンモニア水中では、次のような電離平衡が成りたっています。



この溶液に次の(1)~(4)の各物質を加えたとき、平衡は右・左のどちらの向きに移動しますか。

また、移動しないときは×を書きなさい。

- (1)  $\text{NH}_4\text{Cl}$  [ ]
- (2)  $\text{KOH}$  [ ]
- (3)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [ ]
- (4)  $\text{NaCl}$  [ ]





## § 7 水のイオン積と pH

M07

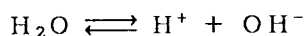
まったく電離していないように思える水は、じつはわずかに電離して、水素イオンと水酸化物イオンを生じています。

ここでは、化学 I B で学習した水の電離や、酸・塩基の水溶液での水素イオンと水酸化物イオンの量的な関係を復習します。ただし、化学 II では pH は常用対数を用いて表す方法をとるので、注意しましょう。

## ◇考え方のポイント◇

## ◆水の電離平衡とイオン積

水は電離して、次のような平衡状態を保っている。



『水のイオン積』は、次のように表される。

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (mol/l)}^2$$

## ◆酸と塩基の水溶液の水素イオン濃度と水のイオン積

酸の水溶液……… $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7} \text{ (mol/l)} > [\text{OH}^-]$

塩基の水溶液……… $[\text{H}^+] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ (mol/l)} < [\text{OH}^-]$

水のイオン積  $K_w$  の値は、酸、塩基のどちらの水溶液でも水の場合と等しく、一定である。したがって、 $[\text{H}^+]$  と  $[\text{OH}^-]$  は反比例の関係にある。

## ◆pH (水素イオン指数)

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log[\text{H}^+]$$

または、 $[\text{OH}^-]$  を用いて、 $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-]$  と表すこともできる。

## ◆酸性・塩基性と水素イオン濃度、pH

酸性  $[\text{H}^+] > 1 \times 10^{-7} \text{ (mol/l)} > [\text{OH}^-]$   $\text{pH} < 7$

中性  $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-7} \text{ (mol/l)} = [\text{OH}^-]$   $\text{pH} = 7$

塩基性  $[\text{H}^+] < 1 \times 10^{-7} \text{ (mol/l)} < [\text{OH}^-]$   $\text{pH} > 7$

## 1 (0022) □ ●類題 6220 水の電離とイオン積

25 °C の純粋な水について、次の問いに答えなさい。

- (1) 純粋な水 1.0 l は約何 mol ですか。ただし、分子量は  $\text{H}_2\text{O} = 18.0$  とし、小数第 1 位まで求めなさい。

[ ]

- (2) 純粋な水 1.0 l に含まれる水素イオンと水酸化物イオンは、それぞれは何 mol ですか。

水素イオン [ ] 水酸化物イオン [ ]

- (3) (1), (2) の結果を用いて、水の電離度を有効数字 2 けたで求めなさい。

[ ]

- (4) また、(2) より水のイオン積はいくらですか。

[ ]

## 2 (0023) □ ●類題 6230 酸の水溶液と水素イオン濃度

0.10 mol/l の酢酸について、次の問いに答えなさい。ただし、酢酸の電離度は 0.017 とします。

- (1)  $[H^+]$  を求めなさい。  
[ ]
- (2) 50 ml 中に含まれる  $H^+$  は何 mol ですか。  
[ ]
- (3)  $[OH^-]$  はいくらですか。有効数字 2 けたで答えなさい。  
[ ]
- (4) (1), (3)より酸の水溶液中では,  $[H^+]$  と  $[OH^-]$  と  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$  (純粋な水の  $[H^+]$  または  $[OH^-]$ ) の間にはどのような関係がありますか。不等号を用いて答えなさい。  
[ ]

**3** (0024) ☐ ●類題 6240 塩基の水溶液と水素イオン濃度

次の(1)~(4)の各組の水溶液を  $[H^+]$  の大きい順にならべ, 記号で答えなさい。

- (1) (ア) 1 mol/l の塩酸 (イ) 1 mol/l の硫酸 (ウ) 1 mol/l の酢酸  
[ ]
- (2) (ア) 0.1 mol/l の酢酸 (イ) 0.1 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液  
(ウ) 純粋な水  
[ ]
- (3) (ア) 0.01 mol/l の水酸化カルシウム水溶液  
(イ) 0.01 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液  
(ウ) 0.01 mol/l のアンモニア水  
[ ]
- (4) (ア)  $[OH^-] = 1.0 \times 10^{-10} \text{ [mol/l]}$  の水溶液  
(イ)  $[H^+] = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$  の水溶液  
(ウ) 純粋な水  
[ ]

**4** (0025) ☐ ●類題 6250 pH (水素イオン指数)

次の問いに答えなさい。

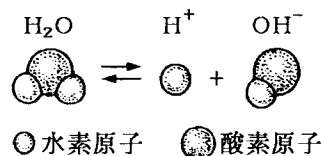
- (1)  $[OH^-] = 4.9 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$  のときの pH を小数第 1 位まで求めなさい。  $\log 4.9 = 0.69$  とします。  
[ ]
- (2)  $[H^+] = 0.60 \text{ mol/l}$  のときの pH を求めなさい。  $\log 2 = 0.30$ ,  $\log 3 = 0.48$  とします。  
[ ]
- (3) pH = 4.0 の水溶液の水素イオン濃度は, pH = 6.0 の水溶液の水素イオン濃度の何倍ですか。  
[ ]
- (4) pH = 2.0 の水溶液の水酸化物イオン濃度を求めなさい。  
[ ]
- (5) pH = 3.0 の水溶液の水酸化物イオン濃度は pH = 5.0 の水溶液の水酸化物イオン濃度の何倍ですか。  
[ ]

# 類題トレーニング(6220)

- 学習の視点 純粋な水の場合、水分子だけで構成されているのだろうか。ここでは、水素イオンと水酸化物イオンの存在を確認し、そこに成りたつ関係を学習する。化学ⅠBの復習である。

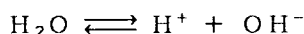
## テーマ 水の電離とイオン積

- 純粋な水は、ごくわずかではあるが電気を導く。
- このことから、水は水素イオンと水酸化物イオンに電離して平衡状態を保っていると考えられる。(右図参照)



### 【水の電離】

純粋な水は、水素イオンと水酸化物イオンに電離して、次のような平衡状態を保つ。



このときの水素イオンのモル濃度  $[\text{H}^+]$  と水酸化物イオンのモル濃度  $[\text{OH}^-]$  は等しく、 $25^\circ\text{C}$  のときの濃度は次のようになる。

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} [\text{mol/l}]$$

### 【水のイオン積】

水素イオンのモル濃度と水酸化物イオンのモル濃度との積は、温度が一定ならば、つねに一定になる性質がある。これを『水のイオン積』といい、 $K_w$  で表す。 $25^\circ\text{C}$  のとき、次のような値を示す。

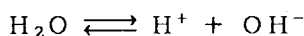
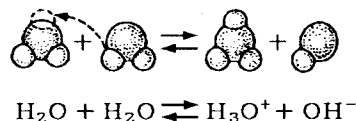
$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} [(\text{mol/l})^2]$$

## ■ 説明 ■

- 水の電離 天然の水や水道の水などには、いろいろな物質が含まれているので、簡単に電気を通すが、蒸留した純粋な水の場合には電気を通さないことは中学のときに学んだ。

しかし、精度の高い電流計を用いると、純粋な水でも、ごくわずかではあるが電流を通すことがわかった。これは、水が電離しているからである。

実際には、右の図のように、ある水分子が他の水分子から水素イオンを奪い、オキソニウムイオンと水酸化物イオンになる。そして、電離していない水分子との間に平衡が成りたっている。これを水の電離平衡といい、ふつうは次のように表される。



- 水の電離度と水素イオン濃度  $25^\circ\text{C}$  の純粋な水では、水分子5億6千万個について1個の割合で電離しているの、電離度は次のような値になる。

$$\frac{1}{5.6 \times 10^8} = 1.78 \cdots \times 10^{-9} \approx 1.8 \times 10^{-9}$$

この値は、 $\text{H}_2\text{O}$  1 mol に含まれる  $\text{H}^+$  または  $\text{OH}^-$  の物質量 [mol] を表している。

次に、水  $\text{H}_2\text{O}$  1 l の物質量 [mol] を考えると、水のモル質量は 18 g/mol だから、

$$\frac{1000}{18} [\text{mol}] \text{ となる。}$$

したがって、水の水素イオンのモル濃度(水素イオン濃度)  $[\text{H}^+]$  と水酸化物イオンのモル濃度(水酸化物イオン濃度)  $[\text{OH}^-]$  は、

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1.8 \times 10^{-9} \times \frac{1000}{18} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

となる。

- 水のイオン積と温度 水中の  $[\text{H}^+]$  と  $[\text{OH}^-]$  の積を水のイオン積といい、次のようにふつう  $K_w$  で表される。

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$$

$K_w$  は、純粋な水や中性の水溶液の場合でも、また、酸性あるいは塩基性水溶液のように  $[\text{H}^+]$  と  $[\text{OH}^-]$  が等しくない場合でも、一定温度では、つねに一定に保たれる性質がある。たとえば  $25^\circ\text{C}$  のとき、水のイオン積は、

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ [(mol/l)}^2\text{]}$$

である。また、 $K_w$  の値は右の表で示すように、高温ほど大きくなる。

| 温度<br>[ $^\circ\text{C}$ ] | $K_w$<br>[(mol/l) $^2$ ] |
|----------------------------|--------------------------|
| 0                          | $0.114 \times 10^{-14}$  |
| 5                          | $0.185 \times 10^{-14}$  |
| 15                         | $0.451 \times 10^{-14}$  |
| 25                         | $1.008 \times 10^{-14}$  |
| 35                         | $2.089 \times 10^{-14}$  |
| 45                         | $4.018 \times 10^{-14}$  |

水のイオン積と温度

- ⊕問題に温度が記されていないときは、 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$  [(mol/l) $^2$ ] と考えてよい。

**1** (6221) M07

水の電離と水のイオン積について、次の問いに答えなさい。

- (1) 純粋な水の水素イオン濃度は、 $25^\circ\text{C}$  ではいくらですか。  
[ ]
- (2) 水の水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度の積を何といいますか。  
[ ]
- (3) 水のイオン積の値は、 $25^\circ\text{C}$  ではいくらですか。  
[ ]

**2** (6222) M07

次の問いに答えなさい。

- (1) 純粋な水は電気を通しますか。  
[ ]
- (2) (1)のようになるのはなぜですか。  
[ ]
- (3)  $25^\circ\text{C}$  のときの純粋な水の水素イオン濃度  $[\text{H}^+]$  と水酸化物イオン濃度  $[\text{OH}^-]$  を答えなさい。  
[  $[\text{H}^+]$  [ ] ] [  $[\text{OH}^-]$  [ ] ]
- (4) 水のイオン積を求めなさい。  
[ ]

## 類題トレーニング(6230)

- 学習の視点 純粋な水では、 $[H^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$  であるが、酸を溶かした水溶液では、この関係がどのように変わるか調べてみる。化学 I B の復習である。

■■■■■ テーマ 酸の水溶液と水素イオン濃度 ■■■■■

- 酸は、水に溶かすと水素イオンを出す物質である。したがって、酸の水溶液中には水素イオンが多量に含まれている。
- 水は、平衡状態にあり、 $[H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ [(mol/l)}^2\text{]}$  の関係が成りたっている。
- 酸の水溶液中では  $[H^+]$  が増え、水のイオン積は一定だから、 $[OH^-]$  は減る。

【酸の水溶液と水素イオン濃度】

酸の水溶液中の水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度は、次のような関係になる。

$$[H^+] > 1.0 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]} > [OH^-]$$

このときの水のイオン積は、一定に保たれる。

$$[H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ [(mol/l)}^2\text{]}$$

### ■■■ 説 明 ■■■

- 酸の水溶液の  $[H^+]$  純粋な水では、水はごくわずかに電離して水素イオンが生じる。このときの水素イオン濃度  $[H^+]$  は  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$  である。

この水に酸を溶かすと、酸は水中で水素イオンを出す物質であるから、水中には多量の水素イオンが含まれることになる。

たとえば、 $1.0 \text{ mol/l}$  の塩酸（電離度 1）では  $[H^+] = 1.0 \text{ mol/l}$ ， $0.10 \text{ mol/l}$  の硫酸（電離度 1）では  $[H^+] = 0.20 \text{ mol/l}$ ， $0.10 \text{ mol/l}$  の酢酸（電離度 0.017）では  $1.7 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$  というように強酸・弱酸にかかわらず水素イオン濃度は純粋な水に比べて大きくなっている。水素イオン濃度が大きいほど酸性は強い。

- 酸の水溶液の  $[OH^-]$  酸の水溶液中では、 $[H^+]$  が大きくなるので  $[OH^-]$  は減少する。これは次のことから明らかである。

$$[H^+][OH^-] = K_w \text{ を変形して, } [OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

ここで、温度が一定のとき水のイオン積  $K_w$  は一定だから、 $[H^+]$  が大きくなれば  $[OH^-]$  は小さくなる。

したがって  $[OH^-]$  は  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$  より小さく、 $[H^+]$  が大きいほど（酸性が強いほど） $[OH^-]$  は小さくなる。いいかえると、 $[H^+]$  と  $[OH^-]$  は反比例の関係にあるといえる。

### 1 (6231) M07

酸の水溶液中の  $[H^+]$ ， $[OH^-]$  について、次の問いに答えなさい。

- (1) 酸を水に溶かすと、 $H^+$ ， $OH^-$  のどちらが生じますか。[                      ]
- (2) 酸の水溶液中の  $[H^+]$ ， $[OH^-]$  は、それぞれ  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$  より大きいですか、小さいですか。不等号を用いて表しなさい。[                      ]
- (3) 酸の水溶液中では、 $[H^+]$  と  $[OH^-]$  との間にどのような関係が保たれていますか。式で示しなさい。[                      ]

2 (6232) M07

0.10 mol/l の塩酸 (電離度 1) について, 次の問いに答えなさい。

- (1)  $[H^+]$  はいくらですか。 [ ]
- (2) (1)の値は水の  $[H^+]$  の何倍ですか。 [ ]
- (3)  $[OH^-]$  はいくらですか。 [ ]
- (4) (3)の値は, 水の  $[OH^-]$  の何倍ですか。 [ ]



## 類題トレーニング(6240)

- 学習の視点 塩基の水溶液についても、酸の水溶液の場合と同じように、 $[\text{H}^+][\text{OH}^-]=1.0\times 10^{-14}[(\text{mol/l})^2]$  の関係が保たれているので、 $[\text{OH}^-]$  から  $[\text{H}^+]$  を求める。化学ⅠBの復習である。

■■■■ テーマ 塩基の水溶液と水素イオン濃度 ■■■■

- 塩基は水に溶かすと水酸化物イオンを出す物質である。したがって、塩基の水溶液中には水酸化物イオンが多量に含まれている。
- 水は平衡状態にあり、 $[\text{H}^+][\text{OH}^-]=1.0\times 10^{-14}[(\text{mol/l})^2]$  の関係が成りたっている。
- 塩基の水溶液では、 $[\text{OH}^-]$  が増え、水のイオン積は一定だから  $[\text{H}^+]$  は減る。

【塩基の水溶液と水素イオン濃度】

塩基の水溶液中の水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度は、次のような関係にある。

$$[\text{OH}^-]>1.0\times 10^{-7}[\text{mol/l}]>[\text{H}^+]$$

このときの水のイオン積は、一定に保たれる。

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-]=1.0\times 10^{-14}[(\text{mol/l})^2]$$

### ■■■ 説明 ■■■

- 塩基の水溶液中の  $[\text{OH}^-]$  塩基は水溶液中で水酸化物イオンを出す物質であるから、水溶液中には多量の水酸化物イオンが含まれていることになる。たとえば、  
 $1.0\text{ mol/l}$  の水酸化ナトリウム水溶液中（電離度 1）では、 $[\text{OH}^-]=1.0\text{ mol/l}$   
 $0.10\text{ mol/l}$  の水酸化バリウム水溶液中（電離度 1）では、 $[\text{OH}^-]=0.20\text{ mol/l}$   
 $0.10\text{ mol/l}$  のアンモニア水中（電離度 0.013）では、 $[\text{OH}^-]=1.3\times 10^{-3}\text{ mol/l}$   
 というように、強塩基・弱塩基にかかわらず、純粋な水の場合に比べて、水酸化物イオン濃度は、 $1.0\times 10^{-7}\text{ mol/l}$  より大きくなる。水酸化物イオン濃度が大きいほど塩基性が強くなることは、すでに学んだとおりである。
- 塩基の水溶液中の  $[\text{H}^+]$  塩基を水に溶かすと  $[\text{OH}^-]$  が増え、 $[\text{H}^+]$  が減る。  
 これは、次のことから明らかである。

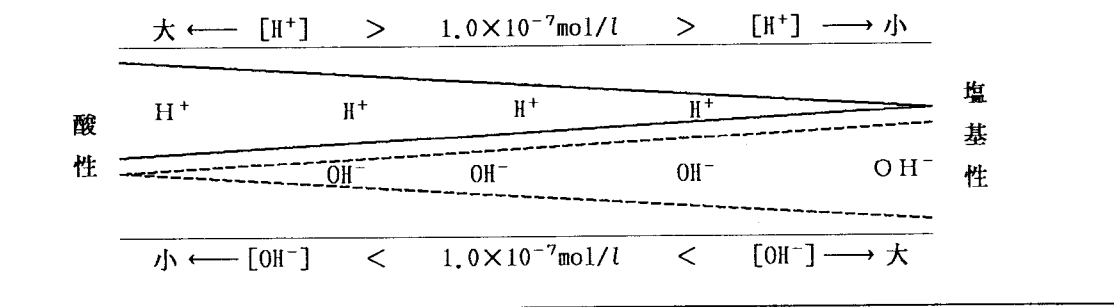
$$[\text{H}^+][\text{OH}^-]=K_w \text{ を変形して, } [\text{H}^+]=\frac{K_w}{[\text{OH}^-]}$$

ここで、温度が一定のとき水のイオン積  $K_w$  は一定だから、 $[\text{OH}^-]$  が大きくなれば  $[\text{H}^+]$  は小さくなる。

したがって、 $[\text{H}^+]$  は  $1.0\times 10^{-7}\text{ mol/l}$  より小さくなり、 $[\text{OH}^-]$  が大きいほど（塩基性が強いほど） $[\text{H}^+]$  は小さくなる。つまり、 $[\text{H}^+]$  と  $[\text{OH}^-]$  は反比例で変化するといえる。

- 酸性・塩基性の程度と  $[\text{H}^+]$  上で述べたように、塩基性が強く  $[\text{OH}^-]$  が大きいとき、これに反比例して  $[\text{H}^+]$  が小さくなる。  
 したがって、水溶液の酸性・塩基性の程度は  $[\text{H}^+]$  だけで表せることになる。  
 すなわち、酸性では  $[\text{H}^+]>1.0\times 10^{-7}[\text{mol/l}]$  で、酸性が強いほど  $[\text{H}^+]$  が大きくなり、塩基性では  $[\text{H}^+]<1.0\times 10^{-7}[\text{mol/l}]$  で、塩基性が強いほど  $[\text{H}^+]$  は小さくなる。

この関係を図に表すと次のようになる。



**1** (6241) M07

塩基の水溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 塩基を水に溶かすと  $H^+$ ,  $OH^-$  のどちらが生じますか。  
[ ]
- (2) 塩基の水溶液中の  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$  は、それぞれ  $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$  より大きいですか、小さいですか。不等号を用いて表しなさい。  
[ ]
- (3) 塩基の水溶液中では、 $[H^+]$  と  $[OH^-]$  との間にどのような関係が保たれていますか。式で示しなさい。  
[ ]

**2** (6242) M07

$0.10 \text{ mol/l}$  のアンモニア水と  $0.10 \text{ mol/l}$  の水酸化ナトリウム水溶液があります。これについて、次の問いに答えなさい。ただし、アンモニア水の電離度を  $0.013$ 、水酸化ナトリウム水溶液の電離度を  $1$  とします。

- (1) アンモニア水の  $[OH^-]$  はいくらですか。  
[ ]
- (2) 水酸化ナトリウム水溶液の  $[OH^-]$  はいくらですか。  
[ ]
- (3) アンモニア水の  $[H^+]$  はいくらですか。有効数字 2 けたで答えなさい。  
[ ]
- (4) 水酸化ナトリウム水溶液の  $[H^+]$  はいくらですか。  
[ ]
- (5) アンモニア水と水酸化ナトリウム水溶液の  $[OH^-]$  の値を比べて、塩基性の強いのはどちらですか。  
[ ]



## 類題トレーニング(6250)

- 学習の視点 水溶液の水素イオン濃度は、数  $\text{mol/l} \sim 1.0 \times 10^{-14} \text{mol/l}$  までひじょうに大きな範囲にあり、数値としても扱いにくい。ここでは、これにかわる表し方について学習する。

### ■ テーマ ■ pH (水素イオン指数)

- $1.0 \text{mol/l}$  の塩酸の  $[\text{H}^+]$  は、 $1.0 \text{mol/l}$  である。
- 純粋な水の  $[\text{H}^+]$  は  $1.0 \times 10^{-7} [\text{mol/l}]$  である。
- $1.0 \text{mol/l}$  の水酸化ナトリウム水溶液の  $[\text{H}^+]$  は、 $1.0 \times 10^{-14} [\text{mol/l}]$  である。
- 塩酸と比べると、純粋な水の  $[\text{H}^+]$  は  $\frac{1}{10^7}$  (1000 万分の 1)、水酸化ナトリウム水溶液では、 $\frac{1}{10^{14}}$  (100 兆分の 1) の値である。
- このように、水溶液中の水素イオン濃度はひじょうに大きな範囲の値をとる。
- 大きな範囲の値を比較するには、対数 (log) を使うと便利である。

#### 【pH】

水素イオン濃度 (単位:  $\text{mol/l}$ ) の逆数の常用対数を『水素イオン指数』といい、『pH (ペーハー, ピーエイチ)』で表す。

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log [\text{H}^+]$$

#### ■ 説明 ■

- pH の定義 数値がひじょうな大きな範囲に分布している場合、対数を用いると扱いやすい数値になるので、水素イオン濃度についても対数を用いて表すことにする。

ただし、多くの水溶液の場合、そのままでは負の値になるので、値を正にするために水素イオン濃度の逆数の常用対数を用いるのである。これは、水素イオン濃度の常用対数の符号を変えた値を用いても、同じ結果が得られる。

例  $[\text{H}^+] = 1 \text{mol/l}$  のとき,  $\text{pH} = \log \frac{1}{1} = -\log 1 = 0$

$[\text{H}^+] = 0.1 \text{mol/l}$  のとき,  $\text{pH} = \log \frac{1}{10^{-1}} = -\log 10^{-1} = 1$

$[\text{H}^+] = 10^{-7} [\text{mol/l}]$  のとき,  $\text{pH} = \log \frac{1}{10^{-7}} = -\log 10^{-7} = 7$

$[\text{H}^+] = 10^{-14} [\text{mol/l}]$  のとき,  $\text{pH} = \log \frac{1}{10^{-14}} = -\log 10^{-14} = 14$

- 化学 I B では pH を次のように定義した。

「 $[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-n} [\text{mol/l}]$  のとき,  $\text{pH} = n$  とする。」

これは、常用対数を用いて表した  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$  を整数の場合にのみあてはめたものといえる。

- 酸性・塩基性と pH 中性のときは  $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-7} [\text{mol/l}]$  であるから、pH は 7.0 となる。酸性では  $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7} [\text{mol/l}]$  であるから、 $\text{pH} < 7.0$  となる。また、塩基性では  $[\text{H}^+] < 1.0 \times 10^{-7} [\text{mol/l}]$  であるから、 $\text{pH} > 7.0$  となる。

酸性、中性、塩基性の関係を pH で表すと、次のようになる。



(3)  $[\text{OH}^-]$  から pH を求める式を書きなさい。

[ ]

**2** (6252) M07

次の水溶液の pH を求めなさい。ただし,  $\log 2 = 0.30$ ,  $\log 3 = 0.48$ ,  $\log 5 = 0.70$  とし, (1)~(3) は整数で, (5) は小数第 1 位まで, 残りは有効数字 2 けたで答えなさい。

- |                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| (1) $[\text{H}^+] = 0.10 \text{ [mol/l]}$                | [ ] |
| (2) $[\text{H}^+] = 1.0 \text{ [mol/l]}$                 | [ ] |
| (3) $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-4} \text{ [mol/l]}$  | [ ] |
| (4) $[\text{H}^+] = 2.0 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$  | [ ] |
| (5) $[\text{H}^+] = 5.0 \times 10^{-12} \text{ [mol/l]}$ | [ ] |
| (6) $[\text{H}^+] = 0.30 \text{ [mol/l]}$                | [ ] |

**3** (6253) M07

次の水溶液の pH を求めなさい。ただし,  $\log 2 = 0.30$ ,  $\log 5 = 0.70$  とし, (1)~(3) は整数で, (4), (5) は小数第 1 位まで答えなさい。

- |                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| (1) $[\text{OH}^-] = 1.0 \text{ [mol/l]}$                | [ ] |
| (2) $[\text{OH}^-] = 0.010 \text{ [mol/l]}$              | [ ] |
| (3) $[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$ | [ ] |
| (4) $[\text{OH}^-] = 0.20 \text{ [mol/l]}$               | [ ] |
| (5) $[\text{OH}^-] = 0.050 \text{ [mol/l]}$              | [ ] |

**4** (6254) M07

pH が次の値を示す水溶液の水素イオン濃度を求めなさい。ただし,  $\log 2 = 0.30$ ,  $\log 3 = 0.48$ ,  $\log 3.3 = 0.52$ ,  $\log 5 = 0.70$  とし, 有効数字 2 けたで答えなさい。

- |                |     |
|----------------|-----|
| (1) pH = 1.0   | [ ] |
| (2) pH = 3.0   | [ ] |
| (3) pH = 10    | [ ] |
| (4) pH = 0     | [ ] |
| (5) pH = 2.3   | [ ] |
| (6) pH = 11.52 | [ ] |

memo



## § 8 酸・塩基の水溶液と pH

M08

§ 8 は、§ 7 に続いて酸や塩基の水溶液の pH について学習します。とくに、新しい内容はありませんが、もし、わからないことが出てきたら、§ 6 と § 7 に戻って内容の確認をしてください。

## ◇ 考え方のポイント ◇

◆ 酸の水溶液の  $[H^+]$  と pH ( $n$  価の  $c$  [mol/l] 水溶液)

- 強酸の場合…… $[H^+] = n c$  [mol/l]

$$pH = -\log n c$$

- 弱酸の場合 (第一段階の電離度  $\alpha$ )…… $[H^+] = c \alpha$  [mol/l]

$$pH = -\log c \alpha$$

◆ 塩基の水溶液の  $[H^+]$  と pH ( $n$  価の  $c$  [mol/l] 水溶液)

塩基の場合には、初めに  $[OH^-]$  を考える。

- 強塩基の場合…… $[OH^-] = n c$  [mol/l]

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{n c} \text{ [mol/l]}$$

$$pH = 14 + \log n c$$

- 弱塩基の場合 (第一段階の電離度  $\alpha$ )…… $[OH^-] = c \alpha$  [mol/l]

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{c \alpha} \text{ [mol/l]}$$

$$pH = 14 + \log c \alpha$$

1 (0026) ☐ 類題 6260 強酸の水溶液の  $[H^+]$  と pH

0.20 mol/l の硫酸について、次の値を求めなさい。log2=0.30 とします。

- (1) 水素イオン濃度 [ ]
- (2) pH [ ]

2 (0027) ☐ 類題 6270 強塩基の水溶液の  $[H^+]$  と pH

次のそれぞれの値を有効数字 2 けたで求めなさい。ただし、原子量は H=1.0, O=16, Na=23, また log2=0.30, log5=0.70 とします。

- (1) 水酸化ナトリウム 0.40g を水に溶かして 1.0 l にした水溶液の  $[OH^-]$  と pH  
 $[OH^-]$  [ ] pH [ ]
- (2) pH=12 の強塩基水溶液の  $[OH^-]$   
[ ]
- (3) (2)の強塩基が 2 価であるとしたときのこの水溶液のモル濃度  
[ ]
- (4) pH=12.30 の 1 価の強塩基水溶液の  $[H^+]$  とモル濃度  
 $[H^+]$  [ ] モル濃度 [ ]

3 (0028) ☐ 類題 6280 弱酸の水溶液の  $[H^+]$  と pH

ある 1 価の酸 HA の水溶液の pH は 0.10 mol/l で 3.0, 0.016 mol/l で 3.40 です。これについて、次の問いに有効数字 2 けたで答えなさい。ただし、log4=0.60 とします。

(1)  $0.10 \text{ mol/l}$  水溶液の水素イオン濃度はいくらか。

[ ]

(2)  $0.10 \text{ mol/l}$  における電離度を求めなさい。

[ ]

(3)  $0.016 \text{ mol/l}$  における電離度を求めなさい。

[ ]

**ヒント** 電離度は、電離した酸分子の全酸分子に対する割合である。1価の場合は、電離する酸分子と水素イオンの数は等しい。

**4** (0029)  ●類題 6290 弱塩基の水溶液の  $[\text{H}^+]$  と  $\text{pH}$  を求める

ある塩基の水溶液  $0.20 \text{ mol/l}$  の電離度は  $0.030$  です。この水溶液の  $\text{pH}$  を小数第1位まで求めなさい。ただし、 $\log 6 = 0.78$  とします。

[ ]

## 類題トレーニング(6260)

- 学習の視点      いろいろな酸・塩基の水溶液のうち、まず強酸の水溶液について、水素イオン濃度や pH がどのような値になるかを調べてみる。

テーマ 強酸の水溶液の  $[H^+]$  と pH

- 強酸は，水に溶かすとほとんどの酸分子が電離する。
- 1 価の強酸 1 mol を水に溶かすと，水素イオン 1 mol が生じる。  
したがって， $c$  [mol/l] の強酸の水溶液の水素イオン濃度は  $c$  [mol/l] となり， $\text{pH}$  も  $-\log c$  となる。
- 2 価の強酸 1 mol を水に溶かすと，水素イオン 2 mol が生じる。  
したがって， $c$  [mol/l] の 2 価の強酸の水溶液の水素イオン濃度は  $2c$  [mol/l] となり， $\text{pH}$  も  $-\log 2c$  となる。

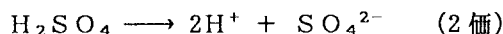
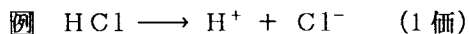
### 【強酸の水溶液の $[H^+]$ と pH】

$n$  価の強酸の  $c$  [mol/l] 水溶液では、水素イオン濃度と pH は次のように表すことができる。

$$[\text{H}^+] = n c \text{ (mol/l)} \quad \text{pH} = -\log n c$$

圖 說 明

- 強酸の水溶液中の水素イオン濃度      強酸は電離度 1，すなわち水溶液中の酸分子は全部電離すると考えてよい。したがって，酸のモル濃度がわかれば，水素イオン濃度も簡単に求めることができる。ただ，価数によって，水溶液中に生じる水素イオンの物質質量 [mol] が異なっている。



例からもわかるように、1 mol の酸から、1 価の場合には 1 mol、2 価の場合には 2 mol の水素イオンが生じる。以上のことから、強酸の水溶液中の水素イオン濃度は、酸のモル濃度と価数から求めることができることがわかる。

$n$  価の強酸の  $c$  [mol/l] 水溶液では、水素イオン濃度は次のように表す。

$$[\text{H}^+] = n \cdot c \text{ [mol/l]}$$

- 強酸の水溶液の pH      pH は、水溶液中の水素イオン濃度がわかれば、求めることができる。

したがって、 $n$  価の強酸の  $c$  [mol/l] 水溶液の水素イオン濃度は、 $[H^+] = nc$  [mol/l] であるから、この水溶液の pH は次のように表される。

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log n c$$

**1** (6261) M08

強酸の水溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 1 価の強酸の水溶液では、酸 1 mol から水素イオン何 mol が生じますか。また、2 価の強酸 1 mol の場合は、水素イオンは何 mol 生じますか。

1 桶〔                    〕 2 桶〔                    〕

- (2) 1 価の強酸  $0.10 \text{ mol/l}$  水溶液の  $[\text{H}^+]$  はいくらですか。また、2 価の強酸  $0.10 \text{ mol/l}$  水溶液ではいくらですか。

1 個〔                    〕 2 個〔                    〕

- (3) (2)のそれぞれの水溶液の pH を求めなさい。  $\log 2 = 0.30$  とし、有効数字 2 けたで答えな

さい。

1 価〔                      〕 2 価〔                      〕

(4)  $n$  価の強酸の  $c$  [mol/l] 水溶液の  $[H^+]$  を表す式と pH を表す式を書きなさい。  
 { } { }

**2** (6262) M08

0.30 mol/l の硝酸について、次の値を有効数字 2 けたで求めなさい。 $\log 3 = 0.48$ 、アボガドロ数は  $6.0 \times 10^{23}$  とします。

- |                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| (1) 水素イオン濃度          | [ | ] |
| (2) 50 ml 中の水素イオンの個数 | [ | ] |
| (3) 水酸化物イオン濃度        | [ | ] |
| (4) pH               | [ | ] |

**3** (6263) M08

次の問いに答えなさい。 $\log 2=0.30$ ,  $\log 2.5=0.40$ ,  $\log 3=0.48$  とします。

- (1)  $\text{pH}=2.0$  の硫酸のモル濃度はいくらですか。有効数字 2 けたで答えなさい。  
[ ]
- (2)  $0.020 \text{ mol/l}$  の強酸の水溶液の  $\text{pH}$  が  $1.40$  でした。この強酸は何価ですか。  
[ ]
- (3)  $\text{pH}=1.60$  の 1 価の強酸の水溶液のモル濃度を有効数字 2 けたで求めなさい。  
[ ]



# 類題トレーニング(6270)

- 学習の視点      ここでは、強塩基の水溶液について、水酸化物イオン濃度から水素イオン濃度、pH の値を求めてみる。基本的な考え方は強酸の場合と同じである。

■■■■■ テーマ 強塩基の水溶液の  $[H^+]$  と pH ■■■■■

- 強塩基は、水に溶けるとほぼ完全に電離し、水酸化物イオンを生じる。
- 1 価の強塩基 1 mol を水に溶かすと、水酸化物イオン 1 mol が電離する。  
したがって、 $c$  [mol/l] の強塩基の水溶液の水酸化物イオン濃度は  $c$  [mol/l] となる。
- 2 価の強塩基 1 mol に対しては、水酸化物イオンが 2 mol 電離する。  
したがって、 $c$  [mol/l] の水溶液の場合の水酸化物イオン濃度は  $2c$  [mol/l] となる。
- 水酸化物イオン濃度から水素イオン濃度を求めるには、次の式にあてはめる。

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[OH^-]}$$

- 上の式から、pH を求めると、 $pH = 14 + \log[OH^-]$  となる。

【強塩基の水溶液の  $[H^+]$  と pH】

$n$  価の強塩基の  $c$  [mol/l] 水溶液では、水酸化物イオン濃度  $nc$  [mol/l] から水素イオン濃度と pH を求めることができる。

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{nc} \text{ [mol/l]} \quad pH = 14 + \log nc$$

## ■■ 説明 ■■

- 強塩基の水溶液中の水酸化物イオン濃度      強塩基は、水に溶けると 100 % 電離する (電離度 = 1) と考えてよい。

したがって、強塩基の水酸化物イオン濃度を求める場合も強酸の水素イオン濃度を求めるときと同じように、塩基のモル濃度と価数がわかれば、簡単に求めることができる。

- $[OH^-]$  から  $[H^+]$  を求める      強塩基の水溶液中の水酸化物イオン濃度は、上で述べたようにして求められる。

$[H^+]$  と  $[OH^-]$  のあいだでは、つねに水のイオン積  $K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$  [(mol/l)<sup>2</sup>] が保たれているから、 $[H^+]$  は次のようにして求めることができる。

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[OH^-]} \text{ [mol/l]}$$

したがって、 $n$  価の強塩基の  $c$  [mol/l] 水溶液中の水素イオン濃度は、

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{nc} \text{ [mol/l]}$$

となる。

- 強塩基の水溶液の pH      水素イオン濃度が求められれば、pH は簡単に求めることができる。

したがって、 $n$  価の強塩基の  $c$  [mol/l] 水溶液の pH は、次のようにして求めることができる。

$$\begin{aligned} pH &= -\log[H^+] = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{nc} = -(-14 - \log nc) \\ &= 14 + \log nc \end{aligned}$$

**1** (6271) M08

強塩基の水溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1)  $n$  価の強塩基  $1\text{ mol}$  からは、水酸化物イオンが何  $\text{mol}$  生じますか。

[ ]

- (2)  $n$  価の強塩基の  $c\text{ [mol/l]}$  水溶液の  $[\text{OH}^-]$  を求めなさい。

[ ]

- (3) (2)の水溶液の  $[\text{H}^+]$  を求めなさい。

[ ]

- (4) (2)の水溶液の  $\text{pH}$  を求めなさい。

[ ]

**2** (6272) M08

$0.30\text{ mol/l}$  の水酸化カリウム水溶液について、次の値を求めなさい。ただし、 $\log 3 = 0.48$ ,  $\log 3.3 = 0.52$  とし、(1), (2)は有効数字2けた、(3)は小数第1位まで求めなさい。

- (1) 水酸化物イオン濃度

[ ]

- (2) 水素イオン濃度

[ ]

- (3)  $\text{pH}$

[ ]

# 類題トレーニング(6280)

- 学習の視点 弱酸の水溶液について、 $[H^+]$ とpHを考える。強酸の場合と違う点は、電離度の影響を考えなければならないことである。

~~~~~ テーマ 弱酸の水溶液の $[H^+]$ とpH ~~~~~

- 弱酸は、水に溶かしても、一部の酸分子が電離するだけである。
- 電離度は、全酸分子に対する電離する酸分子の割合である。
- 電離度 α の1価の弱酸1molから生じる水素イオンは、 α [mol]である。
- c [mol/l]水溶液中の水素イオン濃度は、 $c\alpha$ [mol/l]である。

【弱酸の水溶液の $[H^+]$ とpH】

1価の弱酸について、濃度が c [mol/l]、電離度 α のとき、 $[H^+]$ とpHは次のように表される。

$$[H^+] = c\alpha \text{ [mol/l]} \quad \text{pH} = -\log c\alpha$$

■■ 説 明 ■■

- 1価の弱酸の水溶液の $[H^+]$ とpH 弱酸は、水溶液中ですべての酸分子が電離しているわけではない。電離している酸分子の全酸分子に対する割合を電離度で表している。

1価の弱酸HAの電離度を α とすると、1molの酸分子のうち電離する酸分子は α [mol]であり、このとき生じる水素イオンも α [mol]になる。

| | | | | |
|-----|-----------------|----------------------|---------------------------------|--------------------|
| | HA | $\rightleftharpoons$ | H ⁺ + A ⁻ | |
| 電離前 | c | | 0 | 0 [mol/l] |
| 電離後 | c(1- α) | | c α | c α [mol/l] |

したがって、電離度 α の1価の弱酸の c [mol/l]水溶液中の $[H^+]$ は、次のように表すことができる。

$$[H^+] = c\alpha \text{ [mol/l]}$$

また、 $\text{pH} = -\log[H^+]$ であるから、次のようになる。

$$\text{pH} = -\log c\alpha$$

ただし、電離度は濃度によって異なり、濃度が小さくなるにつれて大きくなる(§6参照)ので、十分注意しなければいけない。

- 多価の弱酸の水溶液の $[H^+]$ とpH 一般に多価の弱酸では、第一段階の電離度に比べて、第二段階以降の電離度がひじょうに小さい値であるため、第一段階の電離だけで、 $[H^+]$ とpHが決まってしまうと考えてよい。したがって、第一段階の電離度を α とすると、 c [mol/l]水溶液中の多価の弱酸の $[H^+]$ とpHは、

$$[H^+] = c\alpha \text{ [mol/l]}$$

$$\text{pH} = -\log c\alpha$$

となる。

1 (6281) M08

1価の弱酸の水溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 電離度が α のとき、1molの弱酸から生じる水素イオンは何molですか。

{ }

- (2) 濃度 c [mol/l]、電離度の α のときの $[H^+]$ はいくらですか。

{ }

(3) (2)の水溶液の pH はどのように表しますか。

[]

2 (6282) M08

0.10 mol/l の酢酸水溶液の電離度は 0.017 です。次の問いに有効数字 2 けたで答えなさい。
ただし, $\log 1.7 = 0.23$, $\log 5.4 = 0.73$ とします。

(1) 0.10 mol/l の酢酸水溶液の $[H^+]$ はいくらですか。

[]

(2) 0.10 mol/l の酢酸水溶液の pH を求めなさい。

[]

(3) 0.10 mol/l の酢酸水溶液を 10 倍にうすめると, 電離度は $\sqrt{10}$ 倍になります。このときの $[H^+]$ はいくらですか。ただし, $\sqrt{10} = 3.16$ とし計算しなさい。

[]

(4) 0.010 mol/l の酢酸水溶液の pH を求めなさい。

[]



類題トレーニング(6290)

- 例題の視点　　いままで学習してきた知識を組み合わせ、弱塩基の水溶液の水素イオン濃度と pH を求める方法をしっかり身につける。

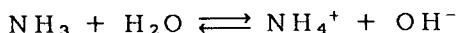
~~~~~基本例題~~~~~ 弱塩基の水溶液の  $[H^+]$  と pH を求める ~~~~~

0.10 mol/l のアンモニア水の水素イオン濃度と pH を求めなさい。ただし、アンモニア水の電離度は 0.013 とし、 $\log 7.7 = 0.89$ 、 $\log 1.3 = 0.11$  とします。また、水素イオン濃度は有効数字 2 けた、pH は小数第 1 位まで答えなさい。

- 塩基の場合は、水酸化物イオンから考え始める。
- 弱塩基も弱酸と同じように、電離度と濃度の関係に注意する。

## ■ ■ 考え方 ■ ■

アンモニア水は次のように電離している。



ここで、電離度が1であれば、与えられた水溶液の濃度が水酸化物イオン濃度になることは強塩基で学習した。

しかし、アンモニア水は  $0.10 \text{ mol/l}$  のとき電離度が  $0.013$  であるから、このときの水酸化物イオン濃度  $[\text{OH}^-]$  は、弱酸と同じように考えることができるので、次のような式で求めることができる。

$$[\text{OH}^-] = c \alpha \text{ [mol/l]}$$

求められた水酸化物イオン濃度  $[\text{OH}^-]$  から、この水溶液の水素イオン濃度  $[\text{H}^+]$  を求めるには、水のイオン積の式にあてはめればよい。

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} \text{ (mol/l)}$$

水素イオン濃度がわかれば、pH は  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$  の式で求めることができる。

または、先に求めた水酸化物イオン濃度  $[\text{OH}^-]$  から、次のようにして直接求めることもできる。

$$\text{pH} = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = 14 + \log [\text{OH}^-] = 14 + \log c \propto$$

■ ■ 解 答 ■ ■

0.10 mol/l のアンモニア水の水酸化物イオン濃度は,

$$[\text{OH}^-] = 0.10 \times 0.013 = 1.3 \times 10^{-3} \text{ [mol/l]}$$

これより、水素イオン濃度を求めると、

$$[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.3 \times 10^{-3}} = 7.7 \times 10^{-12} \text{ (mol/l)}$$

さらに、pH は次のようにして求める。

$$\text{pH} = -\log(7.7 \times 10^{-12}) = 12 - \log 7.7 = 12 - 0.89 = 11.11 \div 11.1$$

または、 $[\text{OH}^-]$ を用いて、次のように求めてもよい。

$$\text{pH} = 14 + \log(1.3 \times 10^{-3}) = 14 + \log 1.3 + \log 10^{-3} = 14 + 0.11 - 3 = 11.11 = 11.1$$

答え  $[\text{H}^+] = 7.7 \times 10^{-12} [\text{mol/l}]$ ,  $\text{pH} = 11.1$

□ここがポイント!□

弱塩基の水溶液では、 $[\text{OH}^-] = c \alpha$   $[\text{mol/l}]$  である。

$[\text{H}^+]$  は、 $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (mol/l)}^2$  から求める。

$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 14 + \log[\text{OH}^-]$

1 (6291) M08

1.0 mol/l のアンモニア水の電離度は 0.0042 です。1.0 mol/l のアンモニア水について、次の問いに答えなさい。ただし、 $\log 4.2 = 0.62$  とします。

(1) 1.0 mol/l のアンモニア水の  $[\text{OH}^-]$  はいくらですか。有効数字 2 けたで答えなさい。

[ ]

(2) 1.0 mol/l のアンモニア水の  $[\text{H}^+]$  はいくらですか。有効数字 2 けたで答えなさい。

[ ]

(3) 1.0 mol/l のアンモニア水の pH はいくらですか。小数第 1 位まで求めなさい。

[ ]

2 (6292) M08

1 価の弱塩基の 0.20 mol/l 水溶液の pH を調べたら、11.60 でした。この水溶液について、次の問いに有効数字 2 けたで答えなさい。ただし、 $\log 2.5 = 0.40$  とします。

(1) この水溶液の水素イオン濃度はいくらですか。

[ ]

(2) この水溶液の水酸化物イオン濃度はいくらですか。

[ ]

(3) この水溶液の電離度はいくらですか。

[ ]

## § 9 混合溶液の pH

M09

§ 9 では、酸・塩基の水溶液の pH を電離定数と関連させて調べたのち、2 種類の酸あるいは塩基の水溶液を混合した場合の pH や、酸と塩基を混合した場合（中和反応）の pH、酸・塩基の水溶液を希釈（水で薄めること）した場合の pH について考えていきます。計算が少しいへんですが、めげずにがんばってください。

## ◇考え方のポイント◇

◆弱酸の水溶液の  $[H^+]$ , pH と電離定数

弱酸の水溶液のモル濃度を  $c$   $[mol/l]$ , 電離定数を  $K_a$  とすると,  $[H^+]$  と pH は, それぞれ次のように表される。

$$[H^+] = \sqrt{K_a c} \quad pH = -\frac{1}{2} \log K_a c$$

◆弱塩基の水溶液の  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$ , pH と電離定数

弱塩基の水溶液のモル濃度を  $c$   $[mol/l]$ , 電離定数を  $K_b$  とすると,  $[H^+]$ ,  $[OH^-]$  と pH は, それぞれ次のように表される。

$$[OH^-] = \sqrt{K_b c} \quad [H^+] = \frac{K_w}{\sqrt{K_b c}} \quad (K_w: \text{水のイオン積})$$

$$pH = 14 + \frac{1}{2} \log K_b c$$

## ◆強酸と強酸, 強塩基と強塩基の混合

強酸や強塩基どうしの混合では, 次のようにして混合溶液の  $[H^+]$  や  $[OH^-]$  を求められる。

$$[H^+] = \frac{(\text{溶液 A の } H^+ \text{ の物質質量 } [mol]) + (\text{溶液 B の } H^+ \text{ の物質質量 } [mol])}{(\text{溶液 A の体積 } [l]) + (\text{溶液 B の体積 } [l])}$$

$$[OH^-] = \frac{(\text{溶液 A の } OH^- \text{ の物質質量 } [mol]) + (\text{溶液 B の } OH^- \text{ の物質質量 } [mol])}{(\text{溶液 A の体積 } [l]) + (\text{溶液 B の体積 } [l])}$$

## ◆弱酸と弱酸, 弱塩基と弱塩基の混合

弱酸や弱塩基どうしの混合では, モル濃度が変わると, 電離度の値も変わってしまうので, 濃度の変化に関係なく一定の値をもつ電離定数を用いて考えるとよい。

混合溶液の  $[H^+]$  や  $[OH^-]$  の求め方は, 強酸や強塩基どうしの混合の場合と同じである。

## ◆強酸と強塩基の混合の場合

強酸と強塩基の混合では, 中和反応が起こる。 $[H^+] = [OH^-]$  の場合は過不足なく中和反応が起こるため,  $pH = 7.0$  となる。それ以外の場合は, 過剰分の  $H^+$ , または  $OH^-$  の物質質量を求めたのち,  $[H^+]$  または  $[OH^-]$  を計算する。

## ◆酸や塩基の水溶液の希釈

$n$  倍にうすめると, 水溶液のモル濃度は  $\frac{1}{n}$  になる。

ひじょうにうすい水溶液の場合には, 水の電離による  $H^+$ ,  $OH^-$  の影響を考えなければならない。

**1** (0030)  類題 6300 電離定数と pH

次の問いに小数第1位まで答えなさい。ただし、酢酸の電離定数  $K_a=2.8 \times 10^{-5}$  [mol/l], アンモニアの電離定数  $K_b=1.7 \times 10^{-5}$  [mol/l],  $\log 1.4=0.15$ ,  $\log 5.1=0.71$  とします。

(1) 0.50 mol/l の酢酸の pH はいくらですか。

[                      ]

(2) 0.30 mol/l のアンモニア水の pH はいくらですか。

[                      ]

**2** (0031)  類題 6310 混合溶液の pH

次の混合溶液の pH を小数第1位まで求めなさい。ただし、 $\log 2=0.30$ ,  $\log 5.6=0.75$  とし、酢酸の電離定数  $K_a=2.8 \times 10^{-5}$  [mol/l] とします。

(1) 0.10 mol/l の酢酸 100 ml と 0.30 mol/l の酢酸 100 ml

[                      ]

(2) 0.10 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液 200 ml と 0.60 mol/l の水酸化カリウム水溶液 300 ml

[                      ]

(3) 0.10 mol/l の塩酸 20.0 ml と 0.10 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液 30.0 ml

[                      ]

**3** (0032)  類題 6320 希釈水溶液の pH

次の水溶液の pH を小数第2位まで求めなさい。ただし、 $\log 1.16=0.06$ ,  $\log 1.10=0.04$  とし、水の電離を考えて答えなさい。

(1) 0.30 mol/l の塩酸を  $10^7$  倍にうすめた水溶液

[                      ]

(2) 0.020 mol/l 水酸化カリウム水溶液を  $10^6$  倍にうすめた水溶液

[                      ]

**ヒント** 水の電離によって生じる  $[H^+]$  や  $[OH^-]$  の影響も考える。



# 類題トレーニング(6300)

- 学習の視点 弱酸や弱塩基の強さは、電離定数によって表されることは、すでに学習した。ここでは、弱酸や弱塩基の水溶液の水素イオン濃度や pH は、電離定数を用いてどのように表されるかを学習する。

## テーマ 電離定数と pH

- 1 価の弱酸 HA の電離定数  $K_a$  は次のように表される。

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} \dots\dots\dots ①$$

|     |        |                      |                                 |            |
|-----|--------|----------------------|---------------------------------|------------|
|     | HA     | $\rightleftharpoons$ | H <sup>+</sup> + A <sup>-</sup> |            |
| 電離前 | c      |                      | 0                               | 0 [mol/l]  |
| 電離後 | c(1-α) |                      | cα                              | cα [mol/l] |

- また、上の弱酸のモル濃度を  $c$ 、電離度を  $\alpha$  とすると、 $[H^+]$  は次のように表される。  
 $[H^+] = c\alpha \dots\dots\dots ②$
- ①、②の関係から、電離定数  $K_a$  は次のように表すことができる。  
 $K_a = c\alpha^2$
- 1 価の弱塩基についても同じことがいえるので、この弱塩基の電離定数を  $K_b$  とすると、モル濃度  $c$ 、電離度  $\alpha$  で、次のように表される。  
 $K_b = c\alpha^2$

### 【弱酸の水溶液の $[H^+]$ と pH】

1 価の弱酸について、電離定数  $K_a$  とモル濃度  $c$  を用いて  $[H^+]$  と pH を次のように表すことができる。

$$[H^+] = \sqrt{K_a c} \quad \text{pH} = -\frac{1}{2} \log K_a c$$

### 【弱塩基の水溶液の $[H^+]$ と pH】

1 価の弱塩基について、電離定数  $K_b$  とモル濃度  $c$  を用いて  $[OH^-]$ 、 $[H^+]$  と pH を次のように表すことができる。

$$[OH^-] = \sqrt{K_b c} \quad [H^+] = \frac{K_w}{\sqrt{K_b c}} \quad \text{[mol/l]} \quad (K_w: \text{水のイオン積})$$

$$\text{pH} = 14 + \frac{1}{2} \log K_b c$$

## ■■ 説 明 ■■

- 1 価の弱酸の水溶液の  $[H^+]$  と pH 電離度  $\alpha$  は濃度によって変化するので、濃度に関係なく酸の強弱を表したいときには、電離定数を用いると便利である。  
 テーマで考えた弱酸について、もう少し詳しく考えてみることにする。

電離定数  $K_a$  は、 $K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$  で表され、 $c$  [mol/l] 水溶液で電離度  $\alpha$  のとき

きの  $[H^+]$  と  $[A^-]$  は、ともに  $c\alpha$  [mol/l] である。また、 $[HA]$  は  $c(1-\alpha)$  [mol/l] だが、 $1-\alpha \approx 1$  より  $c$  [mol/l] に等しいと考えてよいから、電離定数  $K_a$  は次のように表される。

$$K_a = c\alpha^2$$

この式より、電離度  $\alpha$  を電離定数  $K_a$  を用いて表すと、

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} \dots\dots\dots ③$$

ここまでは、§ 6 でも学習したね。さて、次にこの弱酸の水溶液の  $[H^+]$  は、 $[H^+]$

$= c \alpha$  [mol/l] だから、この式に③式を代入すると、

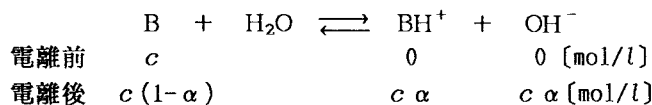
$$[H^+] = c \sqrt{\frac{K_a}{c}} = \sqrt{\frac{K_a \times c^2}{c}} = \sqrt{K_a c} \text{ [mol/l]}$$

となり、 $[H^+]$  を電離定数  $K_a$  を用いて表すことができる。

さらに、pH はこの  $[H^+]$  を用いて、次のようにして求めることができる。

$$\text{pH} = -\log [H^+] = -\log \sqrt{K_a c} = -\log (K_a c)^{\frac{1}{2}} = -\frac{1}{2} \log K_a c$$

- 1 価の弱塩基の水溶液の  $[H^+]$  と pH      1 価の弱塩基 B については、次のような電離平衡が成りたっている。



また、電離定数  $K_b$  は次のように表される。

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]}$$

この水溶液で、モル濃度  $c$ 、電離度  $\alpha$  のとき、 $[BH^+]$ 、 $[OH^-]$  は  $c\alpha$  [mol/l] である。また、 $[B]$  は  $c(1-\alpha)$  [mol/l] だが、 $1-\alpha \approx 1$  より  $c$  [mol/l] に等しいと考えてよいから、電離定数  $K_b$  は次のように表される。

$$K_b = c \alpha^2$$

この式より、電離度  $\alpha$  を電離定数  $K_b$  を用いて表すと、

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}} \quad \dots\dots\dots ④$$

ここまでは、やはり § 6 で学習した。この弱塩基の水溶液の  $[OH^-]$  は、 $[OH^-] = c\alpha$  [mol/l] だから、この式に④式を代入すると、次のように表される。

$$[OH^-] = c \times \sqrt{\frac{K_b}{c}} = \sqrt{\frac{K_b \times c^2}{c}} = \sqrt{K_b c} \text{ [mol/l]}$$

この  $[OH^-]$  より、 $[H^+]$  は次のようにして求めることができる。

$$[H^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{\sqrt{K_b c}} \text{ [mol/l]}$$

さらに、pH も求めることができる。

$$\text{pH} = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{\sqrt{K_b c}} = 14 + \log \sqrt{K_b c} = 14 + \frac{1}{2} \log K_b c$$

# 1 (6301) M09

弱酸や弱塩基の水溶液の  $[H^+]$  や pH について、次の問いに答えなさい。

- (1) 1 価の弱酸の  $c$  [mol/l] 水溶液の電離度が  $\alpha$  のとき、この水溶液の電離定数が  $K_a$  ならば、電離度  $\alpha$  は、 $c$  と  $K_a$  でどのように表せますか。

[ ]

- (2) (1)の水溶液の  $[H^+]$  を電離定数  $K_a$  を用いて表しなさい。

[ ]

- (3) (1)の水溶液の pH を電離定数  $K_a$  を用いて表しなさい。

[ ]

- (4) (1)の水溶液を弱塩基としたら、 $[OH^-]$  は電離定数  $K_b$  を用いてどのように表されますか。

[ ]

- (5) (4)で求めた  $[OH^-]$  から、この水溶液の  $[H^+]$  を求めなさい。

[ ]

- (6) この弱塩基の水溶液の pH を電離定数  $K_b$  を用いて表しなさい。

{ }

**2** (6302) M09

酢酸について、次の値を有効数字2けたで求めなさい。ただし、電離定数  $K_a = 2.8 \times 10^{-5}$  [mol/l] とします。

- (1) 0.20 mol/l のときの  $[H^+]$  { }
- (2) 0.20 mol/l のときの pH (ただし,  $\log 2.4 = 0.38$  とします。) { }
- (3)  $[H^+] = 1.2 \times 10^{-3}$  [mol/l] になるときのモル濃度 { }
- (4) pH = 3.05 になるときのモル濃度 (ただし,  $\log 9 = 0.95$  とします。) { }

**3** (6303) M09

アンモニア水について、次の問いに(1), (4)は小数第1位まで、(2), (3)は有効数字2けたで答えなさい。ただし,  $\log 3 = 0.48$ ,  $\log 6 = 0.78$  とします。

- (1) 0.50 mol/l では,  $NH_3$  分子の 0.60 % が水と反応します。この濃度での pH はいくらですか。 { }
- (2) アンモニアの電離定数  $K_b$  を求めなさい。 { }
- (3) 0.020 mol/l のアンモニア水の  $[OH^-]$  を求めなさい。 { }
- (4) 0.020 mol/l のアンモニア水の pH を求めなさい。 { }

# 類題トレーニング(6310)

- 例題の視点 2種類の酸の水溶液を混合してできた水溶液のpHを求める問題である。ここでは、混合溶液の水素イオン濃度を求めるのがポイントになる。

===== 基本例題 ===== 混合溶液のpH =====

0.10 mol/l の塩酸 100 ml と 0.10 mol/l の硫酸 200 ml を混合しました。できた溶液のpHを有効数字2けたで求めなさい。ただし、 $\log 2 = 0.30$ ,  $\log 3 = 0.48$  とします。

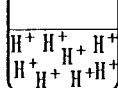
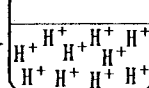
=====

- 塩酸と硫酸に含まれている水素イオンの物質量 [mol] を考える。

- 混合溶液中に含まれている水素イオンの物質量を考える。

- 混合溶液の体積は 300 ml である。

- 混合溶液の水素イオン濃度を、図のようにして考える。

| 塩酸                                                                                | 硫酸                                                                                 | 混合溶液                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| [H <sup>+</sup> ]<br>0.10 mol/l                                                   | 0.10 mol/l                                                                         | ? mol/l                                                                             |
| 体積<br>100 ml                                                                      | 200 ml                                                                             | 300 ml                                                                              |

## ■■ 考え方 ■■

混合溶液のpHを求めるには、水素イオン濃度を知らなければならない。

水素イオン濃度は、 $\frac{\text{含まれる水素イオンの物質量 [mol]}}{\text{混合溶液の体積 [l]}}$  で求めることができる。

混合溶液の体積は、塩酸と硫酸の体積の和である。

混合溶液に含まれる水素イオンの物質量 [mol] は、塩酸も硫酸も強酸なので、電離度1と考えてよいから、塩酸に含まれている水素イオンの物質量 [mol] と硫酸に含まれている水素イオンの物質量 [mol] の和に等しい。

## ■■ 解 答 ■■

0.10 mol/l の塩酸 100 ml 中に含まれている水素イオンの物質量 [mol] は、

$$0.10 \times \frac{100}{1000} = 0.010 \text{ [mol]}$$

硫酸は2価の酸だから、0.10 mol/l の硫酸 200 ml 中に含まれている水素イオンの物質量 [mol] は、

$$2 \times 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.040 \text{ [mol]}$$

したがって、混合溶液中に含まれる水素イオンは、 $0.010 + 0.040 = 0.050$  [mol] である。

混合溶液の体積は、300 ml であるから、水素イオン濃度は、 $\frac{0.050}{0.300} = \frac{1}{6}$  [mol/l] となる。これよりpHを求めると、

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log [\text{H}^+] = -\log \frac{1}{6} = -(\log 1 - \log 6) = \log 6 \\ &= \log 2 + \log 3 = 0.30 + 0.48 = 0.78 \end{aligned}$$

答え 0.78

□ここがポイント!□

塩酸は 1 価，硫酸は 2 価の強酸である。 $[H^+] = \frac{\text{含まれる水素イオンの物質量 [mol]}}{\text{混合溶液の体積 [L]}}$

**1** (6311) M09

0.20 mol/l の塩酸 200 ml と 0.10 mol/l の硫酸 200 ml を混合しました。これについて、次の問いに有効数字 2 けたで答えなさい。ただし、 $\log 2 = 0.30$  とします。

- (1) この塩酸に含まれている水素イオンは何 mol ですか。[                      ]
- (2) この硫酸に含まれている水素イオンは何 mol ですか。[                      ]
- (3) 混合溶液中の水素イオン濃度はいくらですか。[                      ]
- (4) 混合溶液の pH を求めなさい。[                      ]

**2** (6312) M09

次の混合溶液の pH を(1)，(2)は有効数字 2 けたで，(3)は小数第 1 位まで求めなさい。ただし， $\log 2.5 = 0.40$ ， $\log 5.5 = 0.74$ ， $\log 6.8 = 0.83$ ，アンモニアの電離定数  $K_b = 1.7 \times 10^{-5}$  [mol/l] とします。

- (1) 0.10 mol/l の硫酸 100 ml と 0.30 mol/l の塩酸 100 ml[                      ]
- (2) pH 1.0 の硫酸 100 ml と pH 2.0 の塩酸 100 ml[                      ]
- (3) 0.10 mol/l のアンモニア水 200 ml と 0.60 mol/l のアンモニア水 300 ml[                      ]

ヒント (3)は pH から  $[H^+]$ ，または  $[OH^-]$  を求めてから考える。

**3** (6313) M09

0.20 mol/l の塩酸 10.0 ml に 0.20 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液を加えていきました。次の(1)～(4)について，混合溶液の pH を小数第 1 位まで求めなさい。ただし， $\log 2 = 0.30$ ， $\log 6.7 = 0.83$  とします。

- (1) 水酸化ナトリウム水溶液を加える前の塩酸[                      ]
- (2) 水酸化ナトリウム水溶液を 5.0 ml 加えたとき[                      ]
- (3) 水酸化ナトリウム水溶液を 10.0 ml 加えたとき[                      ]
- (4) 水酸化ナトリウム水溶液を 15.0 ml 加えたとき[                      ]

## 類題トレーニング(6320)

- ~~~~~基本例題~~~~~ 希釈水溶液の pH ~~~~~

(1) 2 倍      (2) 200 倍      (3)  $10^4$  倍      (4)  $10^7$  倍

- ## ■ ■ 考え方 ■ ■

- 
- Diagram illustrating the dilution of a solution:
- Beaker 1:  $0.10 \text{ mol/l}$  (Contains 4  $\text{H}^+$  ions)
- Beaker 2:  $0$  (Empty)
- Resulting Solution:  $0.050 \text{ mol/l}$  (Contains 4  $\text{H}^+$  ions)

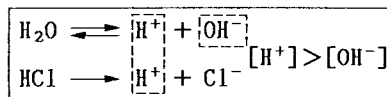
- となり、この値から pH を求めると、 $-\log(1.0 \times 10^{-8}) = 8.0$  となる。

では、このような場合、どのようにして正しい pH の値を求めるのかを考えよう。

水の電離で生じる  $[H^+]$  と  $[OH^-]$  は等しいが、これに酸の電離によって生じる水素イオンが加わっているの、どんなにうすい酸であっても、かならず、

$$[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$$

の関係が成り立っているのです、溶液は酸性を示す。



$10^{-8} \text{ mol/l}$  の塩酸の水素イオン濃度は、 $10^{-8} \text{ mol/l}$  である。

水の電離による水素イオン濃度と水酸化物イオン濃度を  $a \text{ [mol/l]}$  とすると、実際の水素イオン濃度は  $(10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$  となる。

$(10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$  を  $x \text{ [mol/l]}$  とおくと、水酸化物イオン濃度  $a \text{ [mol/l]}$  は、 $(x - 10^{-8}) \text{ [mol/l]}$  となる。

水のイオン積を利用して、水素イオン濃度  $x \text{ [mol/l]}$  を求め、pH の値は求められる。

### ■■解 答■■

(1)  $0.10 \text{ mol/l}$  を 2 倍にうすめると、モル濃度は  $0.10 \div 2 = 0.050 \text{ [mol/l]}$  となる。

したがって、 $[\text{H}^+] = 0.050 \text{ mol/l}$  となり、pH は、

$$-\log 0.050 = -\log(5.0 \times 10^{-2}) = 2 - \log 5 = 2 - 0.70 = 1.30 \doteq 1.3$$

(2)  $0.10 \text{ mol/l}$  を 200 倍にうすめると、モル濃度は、 $0.10 \div 200 = 5.0 \times 10^{-4} \text{ [mol/l]}$  となる。

したがって、 $[\text{H}^+] = 5.0 \times 10^{-4} \text{ [mol/l]}$  となり、pH は、

$$-\log(5.0 \times 10^{-4}) = 4 - \log 5 = 4 - 0.70 = 3.30 \doteq 3.3$$

(3)  $0.10 \text{ mol/l}$  を  $10^4$  倍にうすめると、モル濃度は、 $0.10 \div 10^4 = 1.0 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$  となる。

したがって、 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$  となり、pH は、

$$-\log(1.0 \times 10^{-5}) = 5.0$$

(4)  $0.10 \text{ mol/l}$  を  $10^7$  倍にうすめると、モル濃度は、 $0.10 \div 10^7 = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$  となる。

したがって、 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$  となるが、このままでは pH は求められない。

ここで、水の電離によって生じる  $[\text{H}^+]$ 、および  $[\text{OH}^-]$  を考えなければならない。

いま、水の電離によって生じる  $[\text{H}^+]$ 、および  $[\text{OH}^-]$  を  $a \text{ [mol/l]}$  とすると、このときの水素イオン濃度は  $(1.0 \times 10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$  となる。

さらに、この値を  $x \text{ [mol/l]}$  とおくと、 $[\text{OH}^-]$  は  $a = (x - 1.0 \times 10^{-8}) \text{ [mol/l]}$  となる。

$[\text{H}^+] = x \text{ [mol/l]}$  の値と水のイオン積を利用して、次の式をたてる。

$$x \times (x - 1.0 \times 10^{-8}) = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$x^2 - 10^{-8}x - 10^{-14} = 0$$

この 2 次方程式の解を求めると、

$$x = \frac{10^{-8} \pm \sqrt{10^{-16} + 4 \times 10^{-14}}}{2} = \frac{10^{-8} \pm 10^{-8} \sqrt{401}}{2} \doteq \frac{10^{-8}(1 \pm 20)}{2}$$

$$\doteq 1.05 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]} \quad (x > 0)$$

したがって、この溶液の  $[\text{H}^+]$  は  $1.05 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$  となり、pH は、

$$-\log(1.05 \times 10^{-7}) = 7 - \log 1.05 = 7 - 0.02 = 6.98$$

答え (1) 1.3 (2) 3.3 (3) 5.0 (4) 6.98

□ここがポイント!□

$n$  倍にうすめると、モル濃度は  $\frac{1}{n}$  になる。

ひじょうにうすい酸の場合は、電離した  $[\text{H}^+]$  のほかに水の電離によって生じる  $[\text{H}^+]$  も考えなければならない。

1 (6321) M09

0.20 mol/l の硫酸を  $10^7$  倍にうすめました。次の問いに答えなさい。ただし、 $\log 1.2 = 0.08$  とし、(1), (2), (4)は有効数字 2 けたで、(5)は小数第 2 位まで求めなさい。

- (1) 0.20 mol/l の硫酸の水素イオン濃度はいくらですか。  
[ ]
- (2)  $10^7$  倍にうすめたときの水素イオン濃度はいくらですか。  
[ ]
- (3) (2)の値だけでは正しい pH を求めることができません。このほかにどんなことを考えなければいけませんか。  
[ ]
- (4) この硫酸の正しい水素イオン濃度はいくらですか。  
[ ]
- (5) この硫酸の pH を求めなさい。  
[ ]

2 (6322) M09

pH=10 の水酸化ナトリウム水溶液を、10 倍、100 倍、 $10^4$  倍にそれぞれうすめたときの pH の値を、次の(1)~(6)の順に求めなさい。ただし、(1)~(4)は有効数字 2 けたで、(5), (6)は有効数字 3 けたで答えなさい。

- (1) pH=10 のときの水素イオン濃度はいくらですか。  
[ ]
- (2) pH=10 のときの水酸化物イオン濃度はいくらですか。  
[ ]
- (3) 10 倍にうすめたときの水酸化物イオン濃度と pH を求めなさい。  
[ ] [ ]
- (4) 100 倍にうすめたときの水酸化物イオン濃度と pH を求めなさい。  
[ ] [ ]
- (5)  $10^4$  倍にうすめたときの水酸化物イオン濃度はいくらですか。水の電離を考えて答えなさい。  
[ ]
- (6)  $10^4$  倍にうすめたときの pH を求めなさい。ただし、 $\log 1.05 = 0.02$  とします。  
[ ]

ヒント (5) 水のイオン積を考えるとよい。



## § 10 緩衝液

M10

§ 10 では、弱酸にその酸の塩を混ぜたときや弱塩基にその塩基の塩を混ぜたとき、その水溶液が示す性質について学習します。このような溶液は化学以外の分野（生物学，医学）でも重要なので，応用範囲が広いので，ここでよく理解しておきましょう。

## ◇考え方のポイント◇

## ◆緩衝液

少量の酸や塩基を加えても pH がほとんど変化しない溶液をいう。

弱酸とその酸の塩の混合溶液，弱塩基とその塩基の塩の混合溶液は『緩衝液』である。

例 酢酸と酢酸アンモニウムの混合溶液，

アンモニアと塩化アンモニウムの混合溶液

## ◆緩衝液の pH

弱酸とその酸の塩の混合溶液の  $[H^+]$  と pH の求め方

$$[H^+] = \frac{\text{酸の濃度}}{\text{塩の濃度}} \times \text{電離定数}, \quad \text{pH} = -\log[H^+]$$

弱塩基とその塩基の塩の混合溶液の  $[OH^-]$  と pH の求め方

$$[OH^-] = \frac{\text{塩基の濃度}}{\text{塩の濃度}} \times \text{電離定数}, \quad \text{pH} = 14 + \log[OH^-]$$

1 (0033) ☐ ●類題 6330 緩衝液(1)

酢酸と酢酸ナトリウムとの混合溶液は，少量の酸や塩基を加えても pH はほぼ一定に保たれます。この理由を化学反応式を使って説明しなさい。

2 (0034) ☐ ●類題 6340 緩衝液(2)

アンモニアと塩化アンモニウムとの混合溶液は，少量の酸や塩基を加えても pH はほぼ一定に保たれます。この理由を化学反応式を使って説明しなさい。

3 (0035)  ●類題 6350 緩衝液のpH

次の問いに答えなさい。ただし、アンモニアの電離定数  $K_b = 1.7 \times 10^{-5}$  [mol/l],  $\log 3.4 = 0.53$ ,  $\log 2.1 = 0.32$ , 原子量は, H=1.0, N=14.0, Cl=35.5 とします。

(1) 0.20 mol/l アンモニア水の pH はいくらですか。小数第1位まで求めなさい。

[ ]

(2) 0.20 mol/l アンモニア水 250 ml に塩化アンモニウム 2.14 g を溶かすと、溶液の pH はいくらになりますか。小数第1位まで求めなさい。

[ ]

(3) (2)の溶液は(1)の溶液と比べて、どのような特徴がありますか。

[ ]



## 類題トレーニング(6330)

- 学習の視点      弱酸の水溶液にその酸の塩を溶かすと、その水溶液の液性はどうなるだろうか。また、この水溶液に強酸や強塩基の水溶液を加えたときの pH の変化について考える。

~~~~~ テーマ 緩衝液(1) ~~~~~

- 酢酸の水溶液に酢酸ナトリウムを溶かすと、水溶液中には酢酸イオンが増加する。
- 酢酸の電離平衡は $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ の方向に移動する。
- この混合溶液中では、水素イオンが減り、酢酸分子、酢酸イオン、ナトリウムイオンを多く含む溶液になる。
- この混合溶液に、少量の強酸を加えると、酸の電離によって生じた水素イオンは溶液中の酢酸イオンと結合するので、水素イオンの量は増えない。
- この混合溶液に、少量の強塩基を加えると、塩基の電離によって生じた水酸化物イオンは溶液中の酢酸分子の水素原子と結合するので、水酸化物イオンの量は増えない。

【弱酸とその塩の混合溶液】

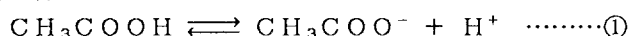
少量の強酸や強塩基を加えても、溶液の pH はほとんど変化しない。

【緩衝液】

少量の酸や塩基を加えても pH の値をほぼ一定に保つはたらきを『緩衝作用』といい、緩衝作用のある溶液を『緩衝液』という。

■■ 説 明 ■■

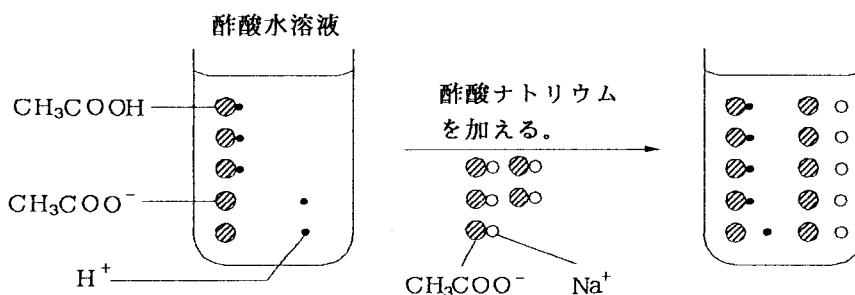
- 酢酸と酢酸ナトリウムの混合溶液 酢酸は弱酸であり、水溶液中では次のような電離平衡を保っている。



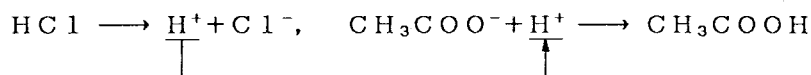
酢酸水溶液に酢酸ナトリウムを溶かすと、酢酸ナトリウムが酢酸イオンとナトリウムイオンに電離するので、水溶液中には酢酸イオンが増加する。



このため、酢酸の電離平衡は①の左辺のほうに移動し、水素イオンが減少し、溶液中にはおもに酢酸分子、酢酸イオン、ナトリウムイオンが存在することになる。図にすると次のようになる。



- 混合溶液に少量の強酸や強塩基を加える 酢酸と酢酸ナトリウムの混合溶液に、少量の塩酸（強酸）を加えると、①の電離平衡は左辺のほうに移動し、酸の電離によって生じた水素イオンは大部分が、溶液に含まれている酢酸イオンと結合して電離度の小さな酢酸分子になる。



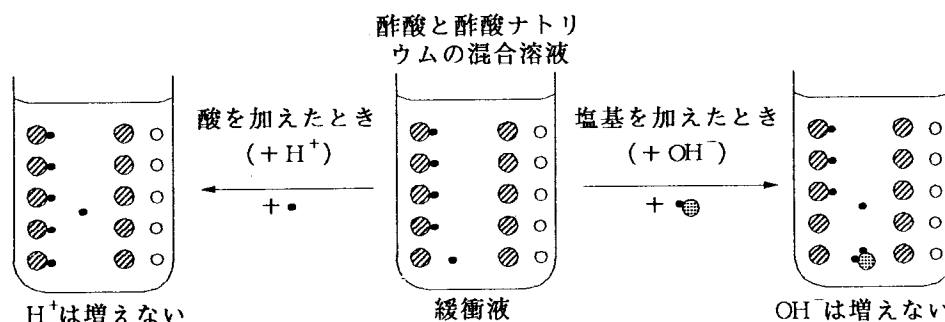
また、少量の水酸化ナトリウム水溶液（強塩基）を加えると、塩基の電離によって生じた水酸化物イオンは、溶液中に含まれる酢酸分子と反応し、大部分が H_2O になる。



したがって、どちらの場合にも、水素イオン、水酸化物イオンの量は増加せず、また、酢酸分子、酢酸イオンは、加えた塩酸や水酸化ナトリウム水溶液に比べて多量にあるため、その量はほとんど変わらない。

すなわち、溶液中の平衡状態は変わらず、溶液の pH はほぼ一定に保たれる。

図にすると、次のようになる。



このように、弱酸とその塩の混合溶液では、少量の酸や塩基を加えても溶液の pH は変わりにくく、ほぼ一定に保たれている。

- 緩衝液 弱酸とその塩の混合溶液や次のテーマで学習する弱塩基とその塩の塩の混合溶液のように、酸や塩基を加えても、pH の変わりにくい溶液を緩衝液という。緩衝液の pH は、酸や塩基と塩の種類、およびその混合比によって決まっている。

例 酢酸と酢酸ナトリウムがともに 0.1 mol/l である溶液（混合比 1 : 1）の場合、
pH = 4.74

酢酸が 0.2 mol/l 、酢酸ナトリウムが 0.1 mol/l である溶液（混合比 2 : 1）の場合、pH = 4.44

1 (6331) M10

弱酸とその塩の混合溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 弱酸 HA の水溶液にその酸の塩 NaA を加えると、弱酸の電離平衡は次の式の右、左のどちらに移動しますか。 $(\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-)$
[]
- (2) (1)の混合溶液中におもに含まれている分子、イオンは何ですか。
[]
- (3) (1)の混合溶液に少量の強酸 HB を加えたときの反応をイオン反応式で表しなさい。また、このとき pH はどのように変化しますか。
[] []
- (4) (1)の混合溶液に少量の強塩基 C OH を加えたときの反応をイオン反応式で表しなさい。また、このとき pH はどのように変化しますか。
[] []

2 (6332) M10

次の問いに答えなさい。

- (1) 酢酸の電離平衡を表す式を書きなさい。

[]

(2) 酢酸水溶液に酢酸ナトリウムを加えた溶液中に多量に含まれる分子，イオンの化学式を書きなさい。

[]

(3) 酢酸と酢酸ナトリウムの混合液に少量の塩酸を加えたときの変化を表すイオン反応式を書きなさい。

[]

(4) 酢酸と酢酸ナトリウムの混合液に少量の水酸化ナトリウム水溶液を加えたときの変化を表すイオン反応式を書きなさい。

[]

(5) (3), (4)の混合溶液の pH はそれぞれどのように変化しますか。

(3) []

(4) []

3 (6333) M10

次の文の [] にあてはまることばを書きなさい。

弱酸とその酸の塩の混合溶液や弱塩基とその塩基の塩の混合溶液では，[] の酸や塩基を加えても，溶液の [] はほとんど変化しなさい。

このような溶液を [] という。

この溶液の pH は，酸や塩基の塩の [] ，および [] によって決まる。

類題トレーニング(6340)

- 学習の視点 弱塩基の水溶液にその塩を加えた場合について、弱酸の場合と同じことがいえるかどうかを考える。

テーマ 緩衝液(2)

- アンモニア水に塩化アンモニウムを溶かすと、水溶液中にはアンモニウムイオンが増加する。
- アンモニアの電離平衡は $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ の方向に移動する。
- この混合溶液中では、水酸化物イオンが減り、アンモニア分子、アンモニウムイオン、塩化物イオンが多く含まれている。
- この混合溶液に少量の強酸を加えると、酸の電離によって生じた水素イオンは、多量に含まれているアンモニア分子と結合するので、水素イオンの量は増えない。
- この混合溶液に少量の強塩基を加えると、塩基の電離によって生じた水酸化物イオンは、多量に含まれているアンモニウムイオンと反応するので、水酸化物イオンの量は増えない。

【弱塩基とその塩の混合溶液】

少量の強酸や強塩基を加えても、溶液の pH はほとんど変わらない。

■■説明■■

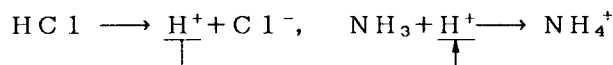
- アンモニアと塩化アンモニウムの混合溶液 アンモニアは弱塩基であり、水溶液中では次のような電離平衡を保っている。



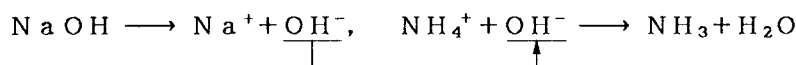
アンモニア水に塩化アンモニウムを溶かすと、塩化アンモニウムはアンモニウムイオンと塩化物イオンに電離するので、溶液中のアンモニウムイオンは増加する。

このため、アンモニアの電離平衡は①の左辺のほうに移動し、水酸化物イオンが減少し、溶液中には、おもにアンモニア分子、アンモニウムイオン、塩化物イオンが存在することになる。

- 混合溶液に少量の強酸や強塩基を加える アンモニアと塩化アンモニウムの混合溶液に、少量の塩酸（強酸）を加えると、酸の電離によって生じた水素イオンは、溶液中に含まれているアンモニア分子と結合して、アンモニウムイオンになる。



また、少量の水酸化ナトリウム水溶液（強塩基）を加えると、塩基の電離によって生じた水酸化物イオンは、溶液中に含まれているアンモニウムイオンと反応して、アンモニア分子と水になる。つまり、①の平衡が左へ移動するのである。



したがって、どちらの場合にも水素イオン、水酸化物イオンの量は増加せず、また、アンモニア分子、アンモニウムイオンは加えた塩酸や水酸化ナトリウム水溶液に比べて多量にあるため、その量はほとんど変わらない。

すなわち、溶液中の平衡状態は変わらず、溶液の pH もほぼ一定に保たれる。たとえば、アンモニアと塩化アンモニウムがともに 0.1 mol/l である溶液（混合比 1 : 1）の場合、 $\text{pH} = 9.26$ である。

1 (6341) M10

弱塩基とその塩基の塩の混合溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 弱塩基 B の水溶液に、その塩基の塩 $[BH^+]Cl^-$ を加えると、弱塩基の電離平衡

$(B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-)$ は式の右、左のどちらに移動しますか。

[]

- (2) (1)の混合溶液中に多量に含まれている分子、イオンは何ですか。

[]

- (3) (1)の混合溶液に少量の強酸 HA を加えると、どのような反応が起こりますか。イオン反応式で表しなさい。

[]

- (4) (1)の混合溶液に少量の強塩基 COH を加えると、どのような反応が起こりますか。イオン反応式で表しなさい。

[]

- (5) (3), (4)では混合溶液の pH はそれぞれどのように変化しますか。

[]

- (6) 少量の酸や塩基を加えても、pH がほとんど変化しない溶液を何といいますか。

[]

2 (6342) M10

次の問いに答えなさい。

- (1) アンモニアの電離平衡を表す式を書きなさい。

[]

- (2) アンモニア水に塩化アンモニウムを加えた溶液中に多量に含まれている分子、イオンの化学式を書きなさい。

[]

- (3) (2)の混合溶液に少量の塩酸を加えたときの反応をイオン反応式で表しなさい。

[]

- (4) (2)の混合溶液に少量の水酸化ナトリウム水溶液を加えたときの反応をイオン反応式で表しなさい。

[]

- (5) (3), (4)の反応の結果、混合溶液の pH はどのように変化しますか。

[]

類題トレーニング(6350)

- 例題の視点 緩衝液の pH はどのようにして求めるのだろうか。ここでは、電離定数を利用して緩衝液の pH を求める方法について考える。

=====基本例題===== 緩衝液の pH =====

酢酸を 0.20 mol/l 、酢酸ナトリウムを 0.10 mol/l 含む混合溶液の pH を有効数字 2 けたで求めなさい。ただし、酢酸の電離定数 $K_a = 2.8 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$ 、 $\log 5.6 = 0.75$ とします。

- 電離定数を表す式から $[\text{H}^+]$ を求める方法を考えればよい。

■■考え方■■

酢酸の電離定数 K_a は次の式で表される。

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \quad \cdots \cdots \text{①}$$

酢酸と酢酸ナトリウムの混合溶液では、酢酸は弱酸で、電離度が小さいので、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ は、「酢酸の濃度」にほぼ等しいと考えてよい。

また、酢酸の電離による $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ は無視できることは前述のとおりであるから、酢酸ナトリウムの電離によるものについて考えればよい。

酢酸ナトリウムはイオン結合している物質だから、電離度は 1 と考えてよい。したがって、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ は「酢酸ナトリウムの濃度」に等しい。

これらの数値を①式に代入すれば、この混合溶液の $[\text{H}^+]$ は求められる。

さらに、pH は $[\text{H}^+]$ より求められる。

■■解答■■

酢酸の電離定数を求める①式を変形して、 $[\text{H}^+]$ は次の式で求めることができる。

$$[\text{H}^+] = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \times K_a$$

問題より、 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.20 [\text{mol/l}]$ 、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0.10 [\text{mol/l}]$ 、電離定数 $K_a = 2.8 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$ であるから、

$$[\text{H}^+] = \frac{0.20}{0.10} \times 2.8 \times 10^{-5} = 5.6 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(5.6 \times 10^{-5}) = 5 - \log 5.6 = 5 - 0.75 = 4.25 \div 4.3$$

答え 4.3

□ここがポイント!□

$[\text{CH}_3\text{COOH}]$ = 酢酸の濃度, $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ = 酢酸ナトリウムの濃度

1 (6351) M10

アンモニアと塩化アンモニウムを、それぞれ 0.50 mol/l 含む混合溶液について、次の問いに答えなさい。ただし、アンモニアの電離定数 $K_b = 1.7 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$ 、 $\log 1.7 = 0.23$ とします。

- (1) アンモニアの電離定数を表す式を書きなさい。

(2) 混合溶液中のアンモニアとアンモニウムイオンの濃度は、それぞれいくらか。

アンモニア [

アンモニウムイオン [

(3) 混合溶液の水酸化物イオン濃度を求めなさい。

(4) 混合溶液の pH はいくらか。有効数字 2 けたで答えなさい。

2 (6352) M10

次の問いに有効数字 2 けたで答えなさい。ただし、酢酸の電離定数 $K_a = 2.8 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$, $\log 1.4 = 0.15$, $\log 2 = 0.30$, 原子量は, H=1.0, C=12, O=16, Na=23 とします。

(1) 500 ml 中に酢酸 15 g と酢酸ナトリウム 41 g が溶けている水溶液の pH はいくらか。

(2) pH=4.7 の緩衝溶液をつくるには, 1.0 mol/l 酢酸 200 ml に酢酸ナトリウムを何 g 溶かしたらよいですか。



§ 11 溶解平衡

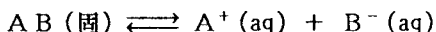
M11

さあ、最後のセクションとなりました。§ 11 では、溶解平衡について学習していきましょう。後半の溶解度積と沈殿生成は、教科書では定性的にしかとり扱っていません。しかし、大学入試では定量的な問題が出題される可能性があるのです、あえてとりあげてみました。がんばってマスターしてください。

◇考え方のポイント◇

◆溶解平衡

塩の飽和溶液では、溶けきれずに残っている固体の塩と溶液中のイオンとの間で、次のような『溶解平衡』が成りたっている。



この溶液に A^+ または B^- のイオンを含む物質を外から加えると、そのイオンが減少する方向、つまり左のほうに平衡が移動する(『共通イオン効果』)。この結果、新たに AB の固体(沈殿)が析出する。

◆溶解度積と沈殿生成

難溶性の塩 A_mB_n が水溶液中で、 $A_mB_n(\text{固}) \rightleftharpoons mA^{n+}(\text{aq}) + nB^{m-}(\text{aq})$ の溶解平衡が成りたっているとき、『溶解度積 K_s 』は次式で表される。

$$K_s = [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$$

K_s は温度が変わらなければ、一定値を示す。

$K_s > [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$ のとき、沈殿は生じない。

$K_s < [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$ のとき、沈殿が生じる。

1 (0036) ☐ ●類題 6360 塩の溶解平衡

次の問いに答えなさい。

- (1) 電解質水溶液中にあるイオンと同じ種類のイオンを含む物質を外から加えると、そのイオンがどのような方向に平衡が移動しますか。

{ }

- (2) (1)のような現象を何といいますか。

{ }

- (3) (1)の結果、どのようなことが起こりますか。

{ }

- (4) 水溶液中の塩化物イオンをできるだけ完全にとり除くためには、硝酸銀水溶液をやや過剰に加えるとよい理由を説明しなさい。

{ }

2 (0037) ☐ ●類題 6370 溶解度積と沈殿生成

次の問いに答えなさい。

- (1) 一定温度の難溶性塩 AB の飽和溶液において、陽イオンの濃度 $[A^+]$ と陰イオンの濃度 $[B^-]$ の積は、一定の値となります。これを何といいますか。

{ }

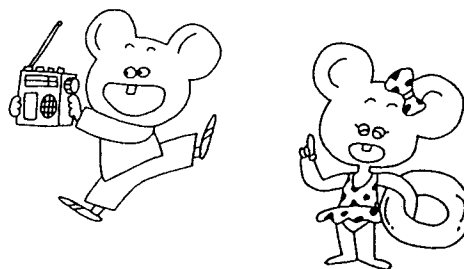
- (2) いま、 25°C で、濃度が 0.0030 mol/l の水酸化カルシウム水溶液 40 ml と 0.0012 mol/l

の硫酸 60 ml を混合したとき、混合後のカルシウムイオンと硫酸イオンの濃度の積は何 $(\text{mol/l})^2$ になりますか。有効数字 2 けたで答えなさい。

[]

- (3) 硫酸カルシウムの(1)の値は $1.2 \times 10^{-6} (\text{mol/l})^2$ です。(2)の混合溶液において、硫酸カルシウムは沈殿しますか。それとも沈殿しませんか。

[]

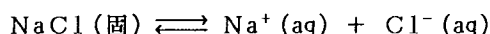


類題トレーニング(6360)

- 学習の視点 電解質の飽和溶液にそのイオンと同じ種類のイオンを加えると、どのような現象が起こるかルシャトリエの原理より考えていく。

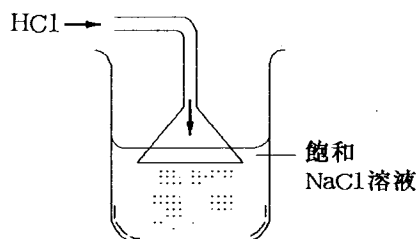
テーマ 塩の溶解平衡

- 塩化ナトリウム NaCl の結晶を水に加えていくと、はじめはよく溶けるが、だんだん溶けにくくなり飽和溶液になる。このような状態を『溶解平衡』といい、次のような電離平衡が成りたっている。



- この溶液に塩化水素 HCl を通じると、新たに塩化ナトリウムの固体が析出する。塩化水素のかわりに濃塩酸を加えても同じ結果が得られる。

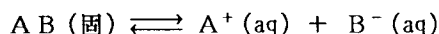
- 難溶性塩の塩化銀 AgCl の飽和溶液に Ag^+ 、 Cl^- のどちらか一方のイオンを加えると、新たに塩化銀の固体が析出する。



固体の NaCl が雪が降るように析出してくる。

【溶解平衡】

塩の飽和溶液では、溶けきれずに残っている固体の塩と溶液中のイオンの間で『溶解平衡』が成りたっている。

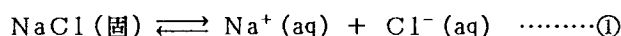


【共通イオン効果】

電解質の飽和溶液中にあるイオンと同じ種類のイオン（共通イオン）を含む物質を外から加えると、そのイオンが減少する方向に平衡が移動する。この結果、もとの電解質の溶解度が減少し、新たに固体（沈殿）が析出する。

説明

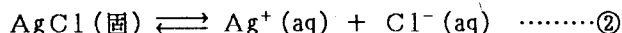
- 共通イオン効果 塩化ナトリウムの飽和溶液中では、次のような溶解平衡が成りたっている。



この溶液に塩化水素を通じると、 $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ より溶液中の $[\text{Cl}^-]$ が増加し、①の平衡は左辺のほうに移動する。よって、テーマの中の図に示されるように、新たに固体の塩化ナトリウムが析出してくる。つまり、 NaCl の溶解度は Cl^- の存在により小さくなるのである。

このように、水溶液中に含まれるイオンと同じイオンを生じる物質を外から加えたとき、ルシャトリエの原理により、もとのイオンの濃度を減少させる方向に平衡が移動することを、『共通イオン効果』という。

- 難溶性塩の溶解平衡 塩化銀 AgCl は水に溶けにくい塩であるが、水に入れよくかき混ぜていると、わずかに水に溶解して飽和溶液となる。この水に溶けた微量の AgCl は、 Ag^+ と Cl^- に完全に電離しており、次のような溶解平衡が成りたっている。

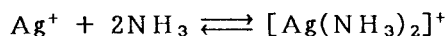


このとき、水溶液中の $[\text{Ag}^+]$ と $[\text{Cl}^-]$ の積 $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$ は水のイオン積の場合と同じように、ほかのイオンが存在していてもいなくても、また、 $[\text{Ag}^+]$ と $[\text{Cl}^-]$ が等しくない場合でも、温度が変わらなければ、つねに一定に保たれている。

この飽和溶液に Ag^+ 、 Cl^- のどちらか一方のイオンを加えると、共通イオン効果に

よって②の平衡が左辺のほうに移動し、固体の AgCl が析出する。つまり、わずかではあるが AgCl の沈殿の量が増えるのである。

また、 AgCl の沈殿を含む飽和溶液にアンモニア水を加えていくと、②の右辺の Ag^+ は、ほとんどジアンミン銀(Ⅰ)イオン $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ になってしまう。



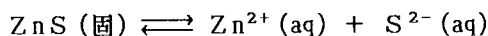
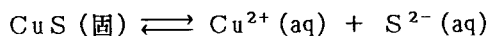
Ag^+ の濃度が減少するので、②の平衡は右辺のほうに移動して、 AgCl (固) の沈殿は溶けてしまう。

- 硫化物の沈殿と平衡 化学ⅠBで学習したように、金属イオンの水溶液に硫化水素を通じると、いろいろな金属硫化物が沈殿してくる。右の表に示したように、これらの硫化物には硫化銅(Ⅱ) CuS のように水溶液の pH に関係なく沈殿するものや、硫化亜鉛 ZnS のように酸性溶液中では沈殿せず、中性・塩基性水溶液中では沈殿するものもある。このような相違は、次のように説明できる。

金属硫化物の沈殿と色

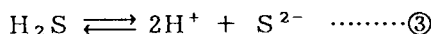
| 沈殿の条件 | 硫化物沈殿と色 |
|--------------|---|
| pH に関係なく沈殿する | Ag_2S (黒), PbS (黒), CuS (黒), CdS (黄), SnS (褐), HgS (黒) |
| 中性・塩基性で沈殿する | MnS (淡赤), NiS (黒), ZnS (白), FeS (黒) |

CuS も ZnS も難溶性の電解質であり、これらの飽和溶液では、次のような溶解平衡が成りたっている。



CuS と ZnS の溶解度を比べると、室温で CuS が $2.6 \times 10^{-15} \text{ mol/l}$ 、 ZnS が $1.5 \times 10^{-9} \text{ mol/l}$ と、 ZnS のほうがかなり大きい。

一方、硫化水素は弱酸であり、水溶液中で次のような電離平衡が成りたっている。



この③の電離平衡は酸性溶液中では、左辺のほうに片寄っているため硫化物イオンの濃度 $[\text{S}^{2-}]$ はきわめて小さい。よって、 Zn^{2+} が存在していても溶解度の大きい ZnS は飽和に達しないので、沈殿は生じない。これに対して Cu^{2+} の場合は $[\text{S}^{2-}]$ が小さくても、 CuS の溶解度がきわめて小さいので、 CuS は飽和に達し沈殿が生じる。

しかし、水溶液を塩基性になると、中和反応が起こり、③の平衡は右辺のほうに移動して、 $[\text{S}^{2-}]$ が大きくなるので、 ZnS も CuS も沈殿するようになる。

1 (6361) M11

次の各問いに答えなさい。

- (1) 塩化ナトリウムの飽和溶液中で、溶けきれずに残っている塩と溶液中のイオンの間で成りたっている平衡を何といいますか。
[]
- (2) (1)の平衡を式で表しなさい。
[]
- (3) (1)の飽和溶液に Cl^- を含む物質を外から加えると、(2)の平衡が左辺のほうに移動します。このような現象を何といいますか。
[]
- (4) (3)の結果、飽和溶液中ではどのような変化が起こりますか。
[]

2 (6362) M11

難溶性の塩である塩化銀 AgCl の飽和溶液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 塩化銀の溶解平衡を表す化学反応式を書きなさい。
[]
- (2) 塩化銀の飽和溶液に Ag^+ または Cl^- のどちらかイオンを加えると、どのような変化が起こ

こりますか。

[]

(3) (2)が起こる理由を(1)の式を用いて答えなさい。

[]

(4) 塩化銀の沈殿を含む飽和溶液にアンモニア水を加えていくと、どのような変化が起こりますか。

[]

(5) (4)が起こる理由を答えなさい。

[]

3 (6363) M11

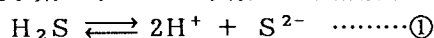
硫化物の沈殿と平衡について、次の文の[]にあてはまることばを入れなさい。

(1) 金属イオンの硫化物には、CuSのように[]に関係なく沈殿するものや、

ZnSのように中性・[]性溶液中で沈殿するものがある。

(2) CuSとZnSの溶解度を比べると、ZnSのほうがかなり[]。

(3) 硫化水素は[]酸で、水溶液中では次のような電離平衡が成りたっている。



この①の電離平衡は酸性溶液中では、[]辺のほうに片寄っているため、 $[\text{S}^{2-}]$ はきわめて[]。

よって、 Zn^{2+} が存在していても溶解度の[] ZnSは飽和に達しないので、沈殿は生じない。これに対して Cu^{2+} の場合は、 $[\text{S}^{2-}]$ が小さくてもCuSの溶解度がきわめて[]ので、CuSは飽和に達して沈殿が[]。

類題トレーニング(6370)

- 学習の視点 溶解度積の概念を理解し、それを用いて沈殿生成の有無を判断できるようになることがねらいである。

■■■■■ テーマ 溶解度積と沈殿生成 ■■■■■

- 難溶性の塩も、水の中でわずかながら溶けて電離している。
- 塩化銀 AgCl の溶解平衡は、 $\text{AgCl}(\text{固}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ と表される。
これについても質量作用の法則が成り立つから、

$$\frac{[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl}(\text{固})]} = K$$

とおける。溶解度が著しく小さいので、 $[\text{AgCl}(\text{固})] = \text{一定}$ であると考え、イオンの濃度の積 $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]$ は温度に変化がなければ、一定である。

【溶解度積】

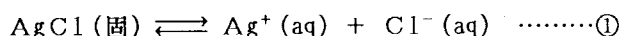
難溶性の塩 A_mB_n が水溶液中で、 $\text{A}_m\text{B}_n(\text{固}) \rightleftharpoons m\text{A}^{n+}(\text{aq}) + n\text{B}^{m-}(\text{aq})$ の平衡を保っている場合、イオンの濃度の係数乗の積 $[\text{A}^{n+}]^m[\text{B}^{m-}]^n$ は、温度が変わらなければ一定値を示す。この一定値をふつう K_s で表し、これを『溶解度積』という。

【溶解度積と沈殿生成】

難溶性の塩の水溶液において、イオンの濃度の積が溶解度積 K_s の値よりも小さいときは沈殿を生じない。反対に、イオンの濃度の積が溶解度積 K_s の値よりも大きいときは沈殿を生じる。

■■ 説明 ■■

- 難溶性塩の溶解度積 塩化銀のような難溶性の塩が溶解平衡に達しているとき、固体の AgCl と溶液中の Ag^+ 、 Cl^- のイオンの間には、次のような平衡が成り立っている。



このような平衡では、溶液中に存在するイオンの濃度は、温度が一定であれば固体の量に関係なく一定であるから、

$$[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = K_s(\text{一定}) \quad \cdots \cdots \text{②}$$

とおくことができる。塩化銀の飽和溶液中では、固体の AgCl と接している水溶液中の Ag^+ のモル濃度 $[\text{Ag}^+]$ と Cl^- のモル濃度 $[\text{Cl}^-]$ は等しいが、この水溶液に塩酸 HCl などを加えて、水溶液中の $[\text{Cl}^-]$ を大きくしたりしても、②式の関係は成り立つ。これは K_s が平衡定数の一種だからであり、 K_s を溶解度積という。

では、質量作用の法則から②式を導いてみよう。①式より、平衡定数を表すと、

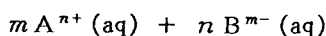
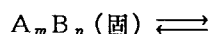
$$\frac{[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl}(\text{固})]} = K \quad \cdots \cdots \text{③}$$

分母の $[\text{AgCl}(\text{固})]$ とは、固体の塩化銀の濃度という意味であるが、固体ではその量がどのくらいあっても、その濃度はつねに 100% で一定であると考え。したがって、③式は、

$$[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = K[\text{AgCl}(\text{固})] = K_s(\text{一定})$$

となる。

一般に A_mB_n の難溶性塩の水溶液で、次のような溶解平衡が成りたっているとき、



溶解度積 K_s は、

$$[A^{n+}]^m [B^{m-}]^n = K_s$$

で表される。右におもな難溶性塩の溶解度積の値を示した。

おもな化合物の溶解度積 $K_s(25^\circ\text{C})$

| 化合物 | 溶解度積 K_s |
|----------------------------------|--|
| 塩化銀 AgCl | $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.7 \times 10^{-10}$ |
| 臭化銀 AgBr | $[\text{Ag}^+][\text{Br}^-] = 4.9 \times 10^{-13}$ |
| 炭酸鉛(Ⅱ) PbCO_3 | $[\text{Pb}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 8.0 \times 10^{-14}$ |
| 硫化鉛(Ⅱ) PbS | $[\text{Pb}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 3.4 \times 10^{-28}$ |
| 硫酸カルシウム CaSO_4 | $[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 1.2 \times 10^{-6}$ |
| 硫酸バリウム BaSO_4 | $[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 1.0 \times 10^{-10}$ |
| 水酸化鉄(Ⅲ) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ | $[\text{Fe}^{3+}][\text{OH}^-]^3 = 2.5 \times 10^{-39}$ |

●溶解度積と溶解度 難溶性塩

の溶解度積から溶解度を求めることができるし、反対に溶解度が与えられれば、それから溶解度積を計算することもできる。

たとえば、塩化銀 AgCl の溶解度積 (25°C) が $1.7 \times 10^{-10} (\text{mol/l})^2$ であることから、溶解度を求めてみよう。

$$K_s = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.7 \times 10^{-10} [(\text{mol/l})^2] \quad \cdots \cdots \textcircled{4}$$

AgCl の飽和溶液だから、 $[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-]$ が成りたつ。したがって、 $\textcircled{4}$ 式より、

$$\begin{aligned} [\text{Ag}^+] &= [\text{Cl}^-] = \sqrt{K_s} \\ &= \sqrt{1.7 \times 10^{-10}} = 1.30 \cdots \times 10^{-5} \doteq 1.3 \times 10^{-5} [\text{mol/l}] \end{aligned}$$

AgCl は、1 l 中に $1.3 \times 10^{-5} \text{mol}$ 溶けることがわかる。

また、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ の飽和溶液のモル濃度が 25°C で $1.64 \times 10^{-4} \text{mol/l}$ であることから、溶解度積 K_s を計算してみよう。

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ の溶解平衡は、



で表されるから、 $[\text{Mg}^{2+}] = 1.64 \times 10^{-4} [\text{mol/l}]$ 、 $[\text{OH}^-] = 2 \times 1.64 \times 10^{-4} [\text{mol/l}]$ である。したがって、溶解度積 K_s は次式で求められる。

$$\begin{aligned} K_s &= [\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 1.64 \times 10^{-4} \times (2 \times 1.64 \times 10^{-4})^2 \\ &= 1.764 \cdots \times 10^{-11} \doteq 1.76 \times 10^{-11} [(\text{mol/l})^3] \end{aligned}$$

●溶解度積と沈殿の生成 難溶性塩の溶解度積を用いると、ある塩が沈殿するかしな

いかを判断したり、ある塩だけを沈殿させるための条件を考えたりすることができる。

いま、 $6.0 \times 10^{-6} \text{mol/l}$ の硝酸銀 AgNO_3 水溶液と $6.0 \times 10^{-6} \text{mol/l}$ の塩化ナトリウム NaCl 水溶液を同じ体積で混合したとき、 AgCl の沈殿が生じるかどうかを考えてみよう。

混合溶液では、体積が2倍だから濃度は $\frac{1}{2}$ 倍になるから、 $[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = 3.0 \times 10^{-6}$

$[\text{mol/l}]$ である。よって、イオンの濃度の積は、

$$[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = (3.0 \times 10^{-6})^2 = 9.0 \times 10^{-12} [(\text{mol/l})^2]$$

となり、 AgCl の溶解度積、 $K_s = 1.7 \times 10^{-10} [(\text{mol/l})^2]$ よりも小さい。つまり、飽和に達していない。このように、イオンの濃度の積が溶解度積 K_s の値よりも小さいときは沈殿を生じない。

一般に溶液中で、イオンの濃度の積が溶解度積 K_s に達すると沈殿を生じ始め、それより大きくなると、その分だけ沈殿となる。そのとき、溶液中ではイオンの濃度の積の値が溶解度積と等しくなっている。

1 (6371) M11

次の問いに答えなさい。

- (1) 難溶性の塩である塩化銀の飽和溶液において、温度が変わらなければ、溶液中の銀イオンの濃度と塩化物イオンの濃度の積は一定となりますか。それとも一定にはなりませんか。

{ }

(2) (1)の値を一般に何とよんでいますか。

[]

(3) 硫化銅(Ⅱ)の溶解度積を $[\text{Cu}^{2+}]$ と $[\text{S}^{2-}]$ で表しなさい。

[]

(4) 水酸化鉄(Ⅲ)の溶解度積を $[\text{Fe}^{3+}]$ と $[\text{OH}^-]$ で表しなさい。

[]

(5) 難溶性の塩 AB の水溶液において、溶液中のそれぞれのイオン A^+ と B^- の濃度の積が溶解度積の値よりも小さいときは、沈殿を生じますか。それとも沈殿を生じませんか。

[]

(6) (5)において、それぞれのイオン A^+ と B^- の濃度の積が溶解度積の値よりも大きいときは、沈殿を生じますか。それとも沈殿を生じませんか。

[]

2 (6372) M11

次の問いに有効数字2けたで答えなさい。

(1) 臭化銀 AgBr の飽和溶液 1 l 中に溶けている AgBr の質量は何 g ですか。ただし、AgBr の溶解度積 (25°C) は $4.9 \times 10^{-13} (\text{mol/l})^2$ であり、各原子量を $\text{Ag}=108, \text{Br}=80$ とします。

[]

(2) 水酸化鉄(Ⅲ) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の飽和溶液のモル濃度は、25°C で $1.0 \times 10^{-10} \text{ mol/l}$ です。溶解度積を求めなさい。

[]

3 (6373) M11

溶解度積と沈殿の生成について、次の文の [] の中にあてはまることばを入れなさい。

(1) 一般に溶液中で、イオンの濃度の積が溶解度積 K_s の値よりも [] ときは、飽和に達していないので沈殿を生じない。

(2) イオンの濃度の積が [] に達すると沈殿を生じ始め、それより [] になると、その分だけ沈殿となる。そのとき、溶液中ではイオンの濃度の積の値が溶解度積と [] になっている。

(3) 溶解度積の値は、化合物の種類によって決まっているが、[] によって変化する。

4 (6374) M11

$2.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ の硝酸銀溶液 100 ml に $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ のクロム酸カリウム溶液 100 ml を加えると、沈殿を生じますか。それとも生じませんか。ただし、クロム酸銀の溶解度積を $2.4 \times 10^{-12} (\text{mol/l})^3$ とします。

[]

1 巻の解答

| |
|----------------|
| 第1章 反応の速さと化学平衡 |
|----------------|

| | | | | |
|-----|---------------------|-------|-------|----|
| § 1 | 化学反応の速さと濃度 | {M01} | ..... | 2 |
| § 2 | 化学反応の速さと温度・触媒 | {M02} | ..... | 5 |
| § 3 | 化学平衡 | {M03} | ..... | 7 |
| § 4 | 平衡の移動 | {M04} | ..... | 12 |
| § 5 | ルシャトリエの原理 | {M05} | ..... | 15 |
| § 6 | 電離平衡 | {M06} | ..... | 18 |
| § 7 | 水のイオン積と pH | {M07} | ..... | 22 |
| § 8 | 酸・塩基の水溶液と pH | {M08} | ..... | 27 |
| § 9 | 混合溶液の pH | {M09} | ..... | 32 |
| §10 | 緩衝液 | {M10} | ..... | 40 |
| §11 | 溶解平衡 | {M11} | ..... | 45 |

§ 1 化学反応の速さと濃度

M01

1 (0001) ☐ ●類題 6010 化学反応と粒子の衝突

- (1) 起こらない。 (2) イオンどうしの衝突がないから。
 (3) 起こる、はやい反応
 (4) 塩化ナトリウムや硝酸銀の水溶液中では、それぞれのイオンがただちに衝突して反応が起こるから。

2 (0002) ☐ ●類題 6020 化学反応の速さの表し方

- (1) $0.025 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$ (2) $0.025 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$ (3) $0.050 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$

解説

- (1) H_2 の反応の速さ $= \frac{\text{H}_2 \text{ の濃度の変化量}}{\text{反応時間}}$ より、

$$\frac{|1.75 - 2.00|}{10} = \frac{0.25}{10} = 0.025 [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

- (2) 1 分子の I_2 は 1 分子の H_2 と反応するから、 I_2 の反応の速さは H_2 の反応の速さと同じになる。

- (3) 1 分子の H_2 から 2 分子の HI が生成するから、 HI の反応の速さは H_2 の反応の速さの 2 倍となる。したがって、

$$0.025 \times 2 = 0.050 [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

3 (0003) ☐ ●類題 6030 化学反応の速さと濃度(1)

- (1) $v = k[\text{H}_2][\text{I}_2]$ (2) 大きくなる。 (3) 変わらない。 (4) 変わる。

4 (0004) ☐ ●類題 6040 化学反応の速さと濃度(2)

$$1.6 \times 10^3 \times k [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

解説

$$\text{気体の状態方程式 } PV = nRT \text{ より、} P = \frac{nRT}{V}$$

ゆえに、水素とヨウ素の分圧をそれぞれ、 P_{H_2} 、 P_{I_2} とすると、

$$P_{\text{H}_2} = \frac{2.0}{4.0} \times 0.082 \times 800 [\text{atm}] \quad P_{\text{I}_2} = \frac{3.0}{4.0} \times 0.082 \times 800 [\text{atm}]$$

求める反応の速さを v とすると、 $v = k P_{\text{H}_2} P_{\text{I}_2}$ だから、

$$\begin{aligned} v &= k \times \frac{2.0}{4.0} \times \frac{3.0}{4.0} \times (0.082 \times 800)^2 \\ &= 1.61 \cdots \times 10^3 \times k \approx 1.6 \times 10^3 \times k [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})] \end{aligned}$$



類題トレーニング(6010)

1 (6011) M01

- (1) 衝突 (2) 多い。 (3) はやい反応

2 (6012) M01

- (1) 動けない。 (2) 鉄粉 (3) 動ける。 (4) 鉄粉

類題トレーニング(6020)

1 (6021) M01

- (1) 減少する。 (2) 増加する。
(3) 減少する濃度の変化量 (4) 増加する濃度の変化量

2 (6022) M01

- (1) 3 分子 (2) 2 分子 (3) $0.03 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$ (4) $0.02 \text{ mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$

解説

- (3) 1 分子の N_2 は 3 分子の H_2 と反応するから、 H_2 の反応の速さは N_2 の反応の速さの 3 倍となる。したがって、

$$0.01 \times 3 = 0.03 [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

- (4) 1 分子の N_2 からは 2 分子の NH_3 が生成するから、 NH_3 の反応の速さは N_2 の反応の速さの 2 倍となる。したがって、

$$0.01 \times 2 = 0.02 [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

類題トレーニング(6030)

1 (6031) M01

- (1) 濃い場合 (2) 多くなる。 (3) はやい場合 (4) 比例する。
 (5) $[A][B]$ (6) 速度定数 (7) 求められない。

解説

(7) 速度式はすべて実験から導かれるものなので、化学反応式から単純に求められない。

2 (6032) M01

空気中のほうが酸素の濃度が小さいため。

3 (6033) M01

- (1) $v = k[H I]^2$ (2) だんだん小さくなる。
 (3) 反応が進むにつれて、反応物質であるヨウ化水素の濃度が小さくなるから。

4 (6034) M01

- (1) $v = k[A][B]$ (2) $v = k[C]^2[D]$

解説

- (1) v は $[A]$, $[B]$ それぞれに比例している。よって、 $v = k[A][B]$ が成り立つ。
 (2) $[C]$ だけを2倍にすると、 v は4倍(2²倍)になったのだから、 v は $[C]^2$ に比例する。また、 v は $[D]$ に比例する。よって、 $v = k[C]^2[D]$ が成り立つ。

類題トレーニング(6040)

1 (6041) M01

- (1) $[H_2] = \frac{n_{H_2}}{V}$ (2) $[I_2] = \frac{n_{I_2}}{V}$ (3) $n_{H_2} = \frac{P_{H_2}V}{RT}$ (4) $n_{I_2} = \frac{P_{I_2}V}{RT}$
 (5) $[H_2] = \frac{P_{H_2}}{RT}$ (6) $[I_2] = \frac{P_{I_2}}{RT}$ (7) $v = k'[H_2][I_2]$
 (8) $v = k' \cdot \frac{P_{H_2}}{RT} \cdot \frac{P_{I_2}}{RT} = \frac{k'}{(RT)^2} \rightarrow k$ とするから、 $v = k P_{H_2} P_{I_2}$

2 (6042) M01

$$v = k P_A P_B$$

3 (6043) M01

$$0.384 k [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

解説

温度一定なので、ボイルの法則 $PV = P'V'$ より、 O_2 の分圧を P_{O_2} , H_2 の分圧を P_{H_2} とすると、

$$1.00 \times 1.50 = P_{O_2} \times 5.00 \quad \therefore P_{O_2} = 0.300 [\text{atm}]$$

$$1.60 \times 4.00 = P_{H_2} \times 5.00 \quad \therefore P_{H_2} = 1.28 [\text{atm}]$$

反応の速さを v とすると、 $v = k P_{O_2} P_{H_2}$ だから、

$$v = k \times 0.300 \times 1.28 = 0.384 k [\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})]$$

§ 2 化学反応の速さと温度・触媒

M02

1 (0005) ☐ 類題 6050 化学反応の速さと温度

- (1) 運動, 衝突 (2) 熱, 大きくなる, 大きくなる (3) 16

解説

- (3) $2^4 = 16$ [倍]

2 (0006) ☐ 類題 6060 活性化エネルギー

- (1) 活性化状態 (2) E_a (3) E_0
(4) 活性化エネルギーの小さい反応ほど, 反応の速さは大きい。

解説

- (4) 化学反応は, 活性化エネルギーの山を越えなければ起こらない。したがって, 活性化エネルギーが小さいほど山を越えやすいので, 反応時間は短くなる。

3 (0007) ☐ 類題 6070 化学反応の速さと触媒

- (3), (5), (6)

解説

触媒を用いると, 反応の速さを変えることができるが, 反応熱や生成物質の量が変えることはない, 起こり得ない反応を起こすこともできない。

類題トレーニング(6050)

1 (6051) M02

- (1) 増加する。 (2) 増える。 (3) いえない。 (4) (B)
(5) E_a より右の部分 (6) 増大する。

解説

- (4) 温度が高いほど, 大きい運動エネルギーをもった粒子の数が増える。したがって, (B)を選ぶ。

2 (6052) M02

- (1) 9 倍 (2) 81 倍 (3) 243 倍 (4) 59049 倍

解説

温度が 10 度上がると, 反応の速さが 3 倍になるのだから, それぞれ(1)は 3^2 倍, (2)は 3^4 倍, (3)は 3^5 倍, (4)は 3^{10} 倍となる。

類題トレーニング(6060)

1 (6061) M02

- (1) イ (2) 活性化エネルギー (3) 活性化状態
(4) ア (5) 起こりにくい。

2 (6062) M02

- (1) 活性化状態 (2) 発熱反応 (3) H_2 と I_2 の結合エネルギーの和
(4) 活性化エネルギー (5) 反応熱 (6) 183.3 kJ (7) ①

解説

(2) 反応物質よりも生成物質のほうがエネルギーが低いので、発熱反応である。

(6) $174 + 9.3 = 183.3 [\text{kJ}]$

(7) 活性化エネルギーが小さいほど、反応は起こりやすい。

類題トレーニング(6070)

1 (6071) M02

- (1) 触媒 (2) 入れない。 (3) 正触媒, 負触媒
(4) 正触媒 (5) 小さくなる。 (6) 変化しない。
(7) 変化しない。 (8) 均一触媒反応 (9) 不均一触媒反応

解説

(2) 触媒は反応の前後で変化しないので、化学反応式には入れない。ただし、矢印の上
に書くことはある。

2 (6072) M02

- (1) 酸化マンガン(IV), MnO_2 (2) 白金, Pt (または Ni, Cu でもよい)

3 (6073) M02

- (1) 低 (または, 小さ), 多 (2) イ, ア, ウ

4 (6074) M02

- (1) A (2) B (3) C (4) C (5) B (6) B (7) A (8) B

5 (6075) M02

- (1) イ (2) エ (3) ア (4) オ (5) ウ

解説

(1) 鉄くぎよりも鉄粉のほうが空気との接触面積が大きいために、はやくさびる。

(2) 濃硝酸は光によって分解されやすい。

(3) 空気中は酸素中よりも酸素の濃度が小さいために、燃えにくい。

(4) MnO_2 が触媒としてはたらく。

(5) 銅片は温度を上げることにより、はやく反応して黒色の CuO になる。

§ 3 化学平衡

M03

1 (0008) ☐ 類題 6080 可逆反応



解説

水素と窒素からアンモニアが生ずる反応は可逆反応で、 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ で表される。この化学反応式で、左辺 → 右辺へ進む反応を正反応、右辺 → 左辺へ進む反応を逆反応という。

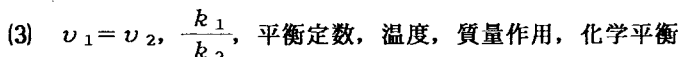
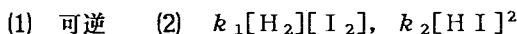
2 (0009) ☐ 類題 6090 化学平衡

(3)

解説

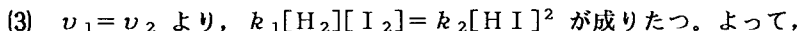
正反応と逆反応の速さが等しくなった状態を化学平衡という。

3 (0010) ☐ 類題 6100 質量作用の法則



質量作用と化学平衡は逆でもよい。

解説



$$\frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{k_1}{k_2}$$

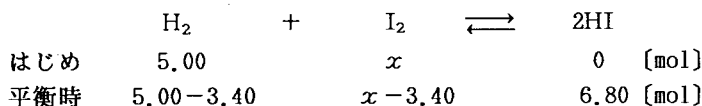
が導かれる。

4 (0011) ☐ 類題 6110 平衡定数と各物質の濃度

4.03 mol

解説

H_2 5.00 mol から 6.80 mol の HI が生じているから、反応した H_2 は、 $6.80 \div 2 = 3.40$ [mol]。反応開始時の I_2 の物質量を x [mol] とすると、平衡時の各物質量は、



したがって、質量作用の法則により、次式が成り立つ。

$$\frac{\left(\frac{6.80}{V}\right)^2}{\frac{1.60}{V} \times \frac{x - 3.40}{V}} = 46.0$$

この式を整理すると、 $73.6x = 296.48$ $x = 4.028 \cdots \approx 4.03$ [mol]

類題トレーニング(6080)

1 (6081) M03

- (1) 左辺 → 右辺…正反応, 右辺 → 左辺…逆反応 (2) ある, 可逆反応
(3) ある, 不可逆反応 (4) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$

2 (6082) M03

- (1) 正反応, 逆反応, 正反応, 不可逆反応 (2) 気体, 逆反応, 不可逆反応



類題トレーニング(6090)

1 (6091) M03

- (1) しだいにおそくなっていく。 (2) しだいにはやくなっていく。
 (3) 化学平衡 (4) 反応物質や生成物質は、見かけ上、増えも減りもしない。

2 (6092) M03

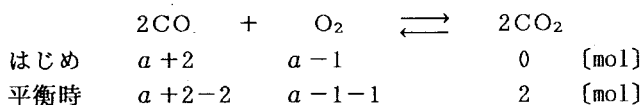
(3)

3 (6093) M03

1 : a

解説

化学反応式から、 CO_2 が 2 mol できたのだから、 CO は 2 mol 減り、 O_2 は半分の 1 mol 減ったことになる。



気体の圧力は物質質量 [mol] に比例するから、

$$\text{CO}_2 \text{ の分圧 : 全圧} = 2 : (a + 2 - 2) + (a - 1 - 1) + 2 = 2 : 2a = 1 : a$$

4 (6094) M03

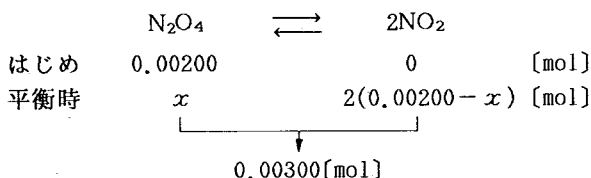
0.00100 mol

解説

44.8 ml の N_2O_4 の物質質量は、 $\frac{0.0448}{22.4} = 0.00200$ [mol]

平衡状態での気体の全物質質量は、 $\frac{0.0672}{22.4} = 0.00300$ [mol]

このうちの解離していない N_2O_4 の物質質量を x [mol] とすると、解離した N_2O_4 は、 $(0.00200 - x)$ [mol]。したがって、生じた NO_2 は、 $2(0.00200 - x)$ [mol] である。



これより、次式が成り立つ。

$$x + 2(0.00200 - x) = 0.00300 \quad \therefore x = 0.00100 \text{ [mol]}$$

類題トレーニング(6100)

1 (6101) M03

- (1) $v_1 = k_1 [H_2][I_2]$ $v_2 = k_2 [HI]^2$ (2) $k_1 [H_2][I_2] = k_2 [HI]^2$
 (3) $\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$ (4) 質量作用の法則(または, 化学平衡の法則)

2 (6102) M03

- (1) $\frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$ $[(\text{mol}/l)^{-1}]$, または $[l/\text{mol}]$
 (2) $\frac{[CO_2]^2}{[CO]^2[O_2]}$ $[(\text{mol}/l)^{-1}]$, または $[l/\text{mol}]$
 (3) $\frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$ $[(\text{mol}/l)^{-2}]$, または $[(l/\text{mol})^2]$
 (4) $\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$ $[\text{mol}/l]$

解説

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ の化学平衡が成立しているとき, 平衡定数 K は次の式で表される。

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} [(\text{mol}/l)^{c+d-a-b}]$$

3 (6103) M03

- (1) $0.30 \text{ mol}/l$ (2) $1.92 \text{ mol}/l$

解説

- (1) $2NO_2 \rightleftharpoons 2NO + O_2$ の式より, 分解した NO_2 と生成した NO の物質量は等しい。したがって, NO_2 の最初の濃度は, 平衡時の,

$$[NO_2] + [NO] = 0.06 + 0.24 = 0.30 [\text{mol}/l]$$

- (2) $K = \frac{[NO]^2 [O_2]}{[NO_2]^2} = \frac{0.24^2 \times 0.12}{0.06^2} = 1.92 [\text{mol}/l]$

4 (6104) M03

- (1) $H_2 \cdots 9.9 \times 10^{-3} \text{ mol}/l$, $I_2 \cdots 9.9 \times 10^{-3} \text{ mol}/l$, $HI \cdots 7.3 \times 10^{-2} \text{ mol}/l$
 (2) 54

解説

- (1) 温度 T [K], 体積 V [l] の混合気体中に成分気体 A が n_A [mol] 存在するとき, その濃度 c_A [mol/l] は気体の状態方程式 $P_A V = n_A R T$ より, 次式のように表される。

$$c_A = \frac{n_A}{V} = \frac{P_A}{R T}$$

したがって, 各気体の濃度は分圧に比例するから, H_2 と I_2 の濃度は等しく,

$$\frac{0.57}{0.082 \times 700} = 9.93 \cdots \times 10^{-3} \doteq 9.9 \times 10^{-3} [\text{mol}/l]$$

同様に HI の濃度は,

$$\frac{4.2}{0.082 \times 700} = 7.31 \cdots \times 10^{-2} \doteq 7.3 \times 10^{-2} [\text{mol}/l]$$

- (2) $K = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} = \frac{(7.3 \times 10^{-2})^2}{(9.9 \times 10^{-3})^2} = 54.3 \cdots \doteq 54$

類題トレーニング(6110)

1 (6111) M03

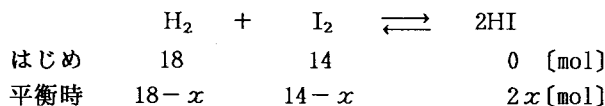
$$(1) [\text{H}_2] \cdots \frac{18-x}{V} [\text{mol/l}], [\text{I}_2] \cdots \frac{14-x}{V} [\text{mol/l}], [\text{HI}] \cdots \frac{2x}{V} [\text{mol/l}]$$

$$(2) \frac{(2x)^2}{(18-x)(14-x)} = 46$$

$$(3) 12 \text{ mol} \quad (4) \text{H}_2 \cdots 6 \text{ mol}, \text{I}_2 \cdots 2 \text{ mol}, \text{HI} \cdots 24 \text{ mol}$$

【解説】

(1) はじめと平衡時のそれぞれの物質量は、次のように表される。



求められているのは濃度だから、それぞれを V [l] で割ればよい。

$$(2) K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{2x}{V}\right)^2}{\frac{18-x}{V} \times \frac{14-x}{V}} = \frac{(2x)^2}{(18-x)(14-x)} = 46$$

$$(3) (2) \text{の式を整理すると, } 21x^2 - 736x + 5796 = 0$$

この2次方程式を解くと,

$$x = \frac{368 \pm \sqrt{13708}}{21} \doteq \frac{368 \pm 117}{21} \doteq 23, 12$$

$$14 > x > 0 \text{ より, } x = 12 [\text{mol}]$$

$$(4) \text{H}_2 \cdots 18 - 12 = 6 [\text{mol}] \quad \text{I}_2 \cdots 14 - 12 = 2 [\text{mol}]$$

$$\text{HI} \cdots 2 \times 12 = 24 [\text{mol}]$$

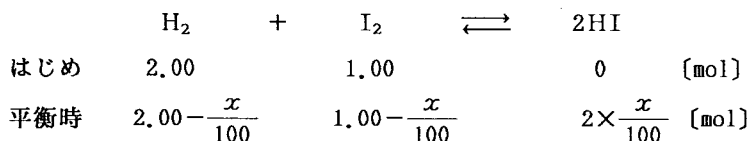
2 (6112) M03

91.6 %

【解説】

$$x [\%] \text{ のヨウ素が反応したとすると, 反応したヨウ素の物質量は, } 1.00 \times \frac{x}{100} = \frac{x}{100}$$

[mol]。したがって、はじめと平衡時の各物質量は、



よって、質量作用の法則により、次式が成り立つ。

$$\frac{\left(\frac{2x}{100V}\right)^2}{\left(\frac{200-x}{100V}\right)\left(\frac{100-x}{100V}\right)} = 37.0$$

$$\text{この式を整理すると, } 33x^2 - 11100x + 740000 = 0$$

この2次方程式を解くと,

$$x = \frac{5550 \pm \sqrt{6382500}}{33} \doteq \frac{5550 \pm 2526}{33} \doteq 245, 91.6$$

$$0 < x < 100 \text{ より, } x = 91.6 [\%]$$

§ 4 平衡の移動

M04

1 (0012) ☐ ●類題 6120 濃度の変化と平衡の移動

二酸化窒素……大きくする。 四酸化二窒素の濃度……小さくする。

解説

一般に、化学平衡の状態にある混合物の中の1つの物質の濃度を増加させると、その物質の濃度が減少する方向に反応が進み、新しい平衡状態に達する。また、逆に、1つの物質の濃度が減少したときには、その物質の濃度が増加する方向に平衡が移動する。

したがって、 $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4$ の平衡を右辺のほうへ移動させるためには、 NO_2 の濃度を大きくするか、もしくは N_2O_4 の濃度を小さくすればよい。

2 (0013) ☐ ●類題 6130 圧力の変化と平衡の移動

(1) 高くする。 (2) 高くする。 (3) 低くする。 (4) 高くする。
(5) 高くする。

解説

気体の混合物が化学平衡の状態にあるとき、その圧力を高くすると、気体分子の数(物質質量)が減少する方向に、逆に圧力を低くすると、気体分子の数(物質質量)が増加する方向に、それぞれ平衡が移動する。

したがって、(1)、(2)、(4)、(5)の正反応は、物質質量が減少する反応だから、圧力を高くすればよい。反対に(3)の正反応は、物質質量が増加する反応だから、圧力を低くすればよい。

3 (0014) ☐ ●類題 6140 温度の変化と平衡の移動

(1) 発熱反応 (2) 吸熱反応

解説

化学平衡の状態にある混合物を低温にすると、発熱反応の方向に平衡が移動する。したがって、(1)では右辺に進む反応(正反応)が、(2)は左辺に進む反応(逆反応)がそれぞれ発熱反応となる。よって、(2)の反応が右辺に進むときは、吸熱反応である。

4 (0015) ☐ ●類題 6150 温度の変化と平衡定数

(1) 大きくなる。 (2) 小さくなる。 (3) 大きくなる。 (4) 小さくなる。

解説

(1)と(3)は吸熱反応だから、高温になるほど平衡定数 K の値は大きくなり、逆に(2)と(4)は発熱反応だから、高温になるほど小さくなる。

類題トレーニング(6120)

1 (6121) M04

- (1) 変わらない。 (2) その物質の濃度が減少するように進む。
(3) 増加する。 (4) 増加する。

解説

(3), (4) 反応物質 $\rightleftharpoons$ 生成物質 の反応において, 反応物質を加えると, その物質の濃度が減少する方向, つまり, 右のほうに平衡が移動する。また, 逆に, 生成物質を加えると, その物質の濃度が減少する方向, つまり, 左のほうに平衡が移動する。

2 (6122) M04

- (1) 窒素が減少する方向 (2) 窒素が増加する方向
(3) 水素が減少する方向 (4) 水素が増加する方向
(5) アンモニアが減少する方向 (6) アンモニアが増加する方向

解説

$\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$ の平衡は, (1)は右へ, (2)は左へ, (3)は右へ, (4)は左へ, (5)は左へ, (6)は右へそれぞれ移動する。

類題トレーニング(6130)

1 (6131) M04

- (1) 変化する。 (2) 減少する方向 (3) 増加する方向

2 (6132) M04

- (1) 正反応 (2) 正反応 (3) 起こらない。 (4) 正反応

解説

気体の混合物が化学平衡の状態にあるとき, その圧力を高くすると, 全体の物質量が減少する方向に平衡が移動する。左辺と右辺の全体の物質量の比は, それぞれ(1)と(2)は3:2, (3)は2:2, (4)は4:2である。したがって, (1), (2), (4)は正反応が新たに起こり, (3)は左辺と右辺の全体の物質量が等しいため, 新たな反応は起こらない。

類題トレーニング(6140)

1 (6141) M04

- (1) 吸熱反応の方向に進む。 (2) 発熱反応の方向に進む。
(3) 高くする。 (4) 低くする。

2 (6142) M04

- (1) 右辺 (2) 左辺 (3) 右辺 (4) 左辺 (5) 左辺

解説

高温にすると、吸熱反応のほうに平衡が移動する。

3 (6143) M04

- (1) 低温にする。 (2) 低温にする。 (3) 高温にする。

解説

正反応の方向に平衡を移動させるように考える。正反応が発熱反応のときは低温に、吸熱反応のときは高温にすればよい。

4 (6144) M04

発熱反応

解説

高温にしたら NO_2 が増加したのだから、左辺のほうに進む反応が吸熱反応である。したがって、右辺のほうに進む反応は発熱反応となる。

類題トレーニング(6150)

1 (6151) M04

- (1) 温度の変化によっては変わるが、濃度や圧力の変化では変わらない。
(2) 高温…小さくなる。 低温…大きくなる。
(3) 高温…大きくなる。 低温…小さくなる。

§5 ルシャトリエの原理

M05

1 (0016) ☐ ●類題 6160 ルシャトリエの原理

- (1) (イ) (2) (ア) (3) (イ) (4) (ア)

解説

- (1) 圧力を高くすると、気体分子の数(物質質量)が減少する方向に平衡が移動する。この反応の物質はすべて気体だから、左辺の総物質質量は 3 mol、右辺は 2 mol である。したがって、右のほうに平衡は移動する。すると、右辺の CO_2 の濃度は増加する。
- (2) 1 つの物質の濃度を減少させると、その物質の濃度が増加する方向に平衡が移動する。よって、 CO_2 が増加する方向、つまり右のほうに平衡は移動する。すると、左辺にある CO の濃度は減少する。
- (3) ヘリウムを加えても体積は変わらないから、圧力が高くなる。よって、(1)と同様に気体分子の数が減少するほうに移動するから、 $[\text{CO}_2]$ が大きくなり、 $[\text{CO}]$ が小さくなる。したがって、 $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{CO}]}$ は増加する。
- (4) 温度を高くすると、吸熱反応の方向に平衡は移動する。よって、左のほうに平衡は移動するから、 CO_2 の濃度は減少する。

2 (0017) ☐ ●類題 6170 ルシャトリエの原理の応用

CO の濃度を大きくする。 H_2 の濃度を大きくする。
 CH_3OH の濃度を小さくする。(外にとり出す。)
 低温にする。 高圧にする。

解説

右辺の方向に反応が起こると、次のような効果がある。

濃度…… CH_3OH は増加、 CO と H_2 は減少。

圧力……物質質量が減るから、低くなる。

温度……発熱反応だから、上昇する。

したがって、ルシャトリエの原理により、この効果が起こるために打ち消されるような変化、つまり逆の変化を考えればよい。

3 (0018) ☐ ●類題 6180 平衡の移動

- (1) (a) $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$
 (b) $2\text{Cu} + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{CuO}$
 (c) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ (d) $\text{CO} + 2\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OH}$
- (2) 可逆反応の平衡移動に適用できる。
- (3) (a), (b)
 理由…(a), (b)は不可逆反応のため、化学平衡が成立しないから。

類題トレーニング(6160)

1 (6161) M05

- (1) 打ち消そうとする方向 (2) 平衡は移動しない。
(3) 発熱反応 (4) 減少する反応 (5) 低温・高圧
(6) ハーバー法(または、ハーバー・ボッシュ法)

解説

- (2) 触媒は平衡状態に達するまでの時間を短縮するが、平衡は移動させない。

2 (6162) M05

- (1) 右 (2) 左 (3) 右 (4) 右

解説

すべてルシャトリエの原理によって考える。

- (1) 圧力を加えると、気体分子の数(物質質量)が減少する方向に平衡が移動する。左辺の気体分子の総物質質量は3 mol、右辺は2 mol だから、右へ平衡は移動する。
(2) 温度を上げると、吸熱反応の方向に平衡が移動する。右へ進む反応が発熱反応だから、左へ平衡は移動する。
(3) 1つの物質の濃度を増加させると、その物質の濃度が減少する方向に平衡が移動する。 O_2 は左辺にあるから、それが減少するには右へ平衡が移動すればよい。
(4) 1つの物質の濃度を減少させると、その物質の濃度が増加する方向に平衡が移動する。 SO_3 は右辺にあるから、それが増加するには右へ平衡が移動すればよい。

3 (6163) M05

- (1) ルシャトリエの原理(または、平衡移動の原理) (2) 右, 低
(3) 低温・高圧 (4) 低, 400~600, 高, 200~1000 (5) 触媒

4 (6164) M05

- (5)

解説

まず、温度を下げると平衡が右辺のほうに移動するのは、右へ進む反応が発熱反応の場合である。したがって、(2)、(5)が該当する。

次に、圧力を増すと平衡が右辺のほうに移動するのは、右へ進む反応が気体分子の数(物質質量)が減少する場合である。(2)の左辺と右辺の気体分子の総物質質量は、それぞれ2 molで同じである。(5)の左辺の気体分子の総物質質量は1 mol、右辺は0 molである。よって、(2)は平衡移動は起こらないが、(5)は右へ移動する。

したがって、両方に該当するのは(5)ということになる。

類題トレーニング(6170)

1 (6171) M05

- (1) NH_3 , O_2 の濃度は減り, NO , H_2O の濃度は増す。
- (2) 圧力は増し, 温度は上昇する。
- (3) (ア) 大きくする。 (イ) 大きくする。 (ウ) 小さくする。
(エ) 小さくする。 (オ) 低圧にする。 (カ) 低温にする。

解説

- (2) 左辺の気体分子の総物質量は 9 mol, 右辺は 10 mol である。よって, 圧力は増す。
また, 発熱反応だから, 温度は上昇する。
- (3) ルシャトリエの原理により, (1), (2)の効果が打ち消されるような変化, つまり逆の変化を考える。

2 (6172) M05

- (1) H_2 , I_2 の濃度を大きく, HI の濃度を小さくし, 低温にする。
- (2) NH_3 の濃度を小さく, N_2 , H_2 の濃度を大きくし, 低温, 高圧にする。
- (3) NH_3 , O_2 の濃度を小さく, NO , H_2O の濃度を大きく, 高温, 高圧にする。
- (4) N_2 , O_2 の濃度を大きく, NO の濃度を小さくし, 高温にする。

解説

- (1), (4) 反応の前後で物質量の変化がないから, 圧力は平衡の移動に無関係である。

類題トレーニング(6180)

1 (6181) M05

- (1) $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ は正反応が吸熱反応であるから, 高温にすると平衡が右辺のほうへ移動して水蒸気が増加し, 圧力が高くなる。
- (2) $\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(\text{l})$ は正反応が吸熱反応であるから, 加熱すると平衡が右辺のほうへ移動して氷が溶ける。
- (3) $\text{KNO}_3(\text{s}) + \text{aq} \rightleftharpoons \text{KNO}_3 \text{aq}$ は正反応が吸熱反応であるから, 高温では平衡が右辺のほうへ移動して, 溶解度が増加する。
- (4) $2\text{HI} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{I}_2$ は正反応が吸熱反応なので, 高温にすると平衡が右辺のほうへ移動し, ヨウ化水素は解離する。

解説

すべて温度変化による平衡移動だから, 変化の方向によって発熱・吸熱反応が推定できる。

§ 6 電離平衡

M06

1 (0019) ☐ ●類題 6190 電離平衡と電離度

①, ④, ⑤

解説

② 電離度は1に近い。

③ 電解質の電離度は、水溶液の濃度が小さいほど大きくなる傾向にある。

$$\text{④ 電離度} = \frac{\text{電離した電解質の物質質量 [mol]}}{\text{溶解した電解質の物質質量 [mol]}} = \frac{0.0040}{0.10} = 0.040$$

$$\begin{aligned} \text{⑤ 水素イオン濃度} &= \text{酢酸の濃度} \times \text{電離度} \\ &= 0.30 \times 0.0095 = 0.00285 \div 0.0029 \text{ [mol/l]} \end{aligned}$$

2 (0020) ☐ ●類題 6200 酸・塩基の強弱と電離定数



(3) 0.0983 mol/l (4) $2.9 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ (5) ギ酸

解説

(2) 酸の水溶液中の水素イオンのモル濃度は、酸の濃度×電離度×酸の価数 で求められる。

$$0.10 \times 0.017 \times 1 = 0.0017 \text{ [mol/l]}$$

(3) 酢酸の電離式から、水溶液中の水素イオン濃度と酢酸イオンの濃度は等しいので、分子のまま存在する酢酸のモル濃度は、 $0.10 - 0.0017 = 0.0983 \text{ [mol/l]}$

$$\text{(4) } K_a = c \alpha^2 = 0.10 \times 0.017^2 = 2.89 \times 10^{-5} \div 2.9 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$$

(5) 電離定数の値が大きいほど、強い酸である。

3 (0021) ☐ ●類題 6210 電離平衡と移動

(1) (a) 右辺 (b) 左辺

(2) (a) 移動しない。 (b) 左辺

(3) (a) 左辺 (b) 左辺

解説

(1)(b) $\text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$ より、右辺の NH_4^+ が増えるので、左辺へ平衡が移動する。

(2)(a) 食塩水には Na^+ と Cl^- が含まれているが、この電離平衡には影響を及ぼさない。

(b) $\text{HCl} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ より、右辺の H^+ が増えるので、左辺へ平衡が移動する。

(3)(a) $\text{Na}_2\text{S} \longrightarrow 2\text{Na}^+ + \text{S}^{2-}$ より、右辺の S^{2-} が増えるので、左辺へ平衡が移動する。

(b) 溶質が気体である溶液を高温にすると、溶質は気体となって出ていく。したがって、この場合、左辺の H_2S が減少するので、左辺へ平衡が移動する。

類題トレーニング(6190)

1 (6191) M06

- (1) ほとんど完全に電離する。 (2) 強電解質
 (3) 一部のみが電離する。 (4) 弱電解質 (5) 電離平衡
 (6) ① 電離した電解質の物質量 [mol] ② 溶解した電解質の物質量 [mol]

2 (6192) M06

- (1) 1 (2) 0.01 (3) 0.005 (4) 0.04 (5) 0.015

解説

電離度 = $\frac{\text{電離した電解質の物質量 [mol]}}{\text{溶解した電解質の物質量 [mol]}}$ を用いる。

- (1) すべての分子が電離しているとき、電離度は1である。

$$(2) \frac{0.01}{1} = 0.01$$

$$(3) \frac{0.0005}{0.1} = 0.005$$

$$(4) \frac{0.02}{0.02+0.48} = 0.04$$

- (5) 1 価の酸なので、生じた水素イオンの物質量と電離した溶質の物質量は等しい。よって、

$$\frac{0.0030}{0.20} = 0.015$$

3 (6193) M06

- (1) 強電解質, 1 (2) 弱電解質, 一部, 電離平衡, 小さい
 (3) 温度, 大きくなる

4 (6194) M06

- (1) 0.2 mol/l (2) 0.02 mol/l (3) 0.25 mol/l (4) 0.0019 mol/l

解説

- (1) 水酸化ナトリウム NaOH は 1 価の強塩基だから、水酸化物イオンの濃度 = 価数 × モル濃度 より、

$$1 \times 0.2 = 0.2 \text{ [mol/l]}$$

- (2) 同様に、 $2 \times 0.01 = 0.02 \text{ [mol/l]}$

- (3) 同様に、 $1 \times 0.25 = 0.25 \text{ [mol/l]}$

- (4) アンモニアは 1 価の弱塩基だから、水酸化物イオンの濃度 = モル濃度 × 電離度 より、

$$0.20 \times 0.0095 = 0.0019 \text{ [mol/l]}$$

類題トレーニング(6200)

1 (6201) M06

- (1) 変わらない。 (2) 電離定数の大きい酸 (3) 電離定数の大きい塩基
(4) ① α ② c ③ α ④ c

2 (6202) M06

- (1) アンモニア (2) アニリン

解説

電離定数の値が大きいほど、強い塩基である。

3 (6203) M06

- (1) $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ (2) $c\alpha$, $c\alpha$ (3) $c(1-\alpha)$
(4) $\frac{(c\alpha)^2}{c(1-\alpha)}$ (5) 1 , $\frac{(c\alpha)^2}{c}$, $c\alpha^2$, $\sqrt{\frac{K_a}{c}}$

4 (6204) M06

- (1) 0.030 (2) 0.000050 (3) $2.9 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

解説

$$(1) \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} \text{ より,}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-4}}{0.20}} = \sqrt{9.0 \times 10^{-4}} = 3.0 \times 10^{-2} = 0.030$$

$$(2) \alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}} \text{ より,}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{2.5 \times 10^{-9}}{1.0}} = \sqrt{25 \times 10^{-10}} = 5.0 \times 10^{-5} = 0.000050$$

$$(3) K_a = c\alpha^2 \text{ より,}$$

$$K_a = 0.10 \times 0.017^2 = 2.89 \times 10^{-5} \approx 2.9 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$$

5 (6205) M06

$$(1) \text{H}_3\text{PO}_4, \text{H}^+, \text{H}_2\text{PO}_4^-, \text{HPO}_4^{2-}, \text{PO}_4^{3-}$$

$$(2) K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{H}_3\text{PO}_4]} \quad K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \quad K_3 = \frac{[\text{H}^+][\text{PO}_4^{3-}]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

$$(3) K_1, K_2, K_3$$

解説

- (3) 多段階的な電離では、第1段階目の電離の度合いがいちばん大きく、2段階目、3段階目になるほど小さくなっていく。

類題トレーニング(6210)

1 (6211) M06

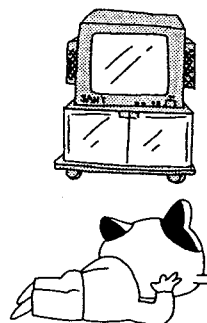
- (1) イオン (2) なっている。 (3) 電離平衡

2 (6212) M06

- (1) 左 (2) 左 (3) 右 (4) ×

解説

- (1) $\text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-$ より、右辺の NH_4^+ が増えるので、左辺に平衡が移動する。
- (2) $\text{KOH} \longrightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$ より、右辺の OH^- が増えるので、左辺に平衡が移動する。
- (3) $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ より、右辺の OH^- が $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ の中和反応を起こし減るので、右辺に平衡が移動する。
- (4) Na^+ も Cl^- も、アンモニアの電離平衡には影響を及ぼさない。



§ 7 水のイオン積と pH

M07

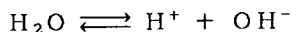
1 (0022) ☐ ●類題 6220 水の電離とイオン積

- (1) 55.6 mol (2) 水素イオン… 1.0×10^{-7} mol, 水酸化物イオン… 1.0×10^{-7} mol
(3) 1.8×10^{-9} (4) 1.0×10^{-14} (mol/l)²

解説

(1) 水 1.0 l は 1000 g であるから, $\frac{1000}{18.0} = 55.55 \dots \approx 55.6$ [mol]

(2) 純粋な水は, 一部電離して次のようになっている。



$[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ の値は等しく, 25℃ では 1.0×10^{-7} mol/l である。したがって, 純粋な水 1.0 l 中の水素イオンと水酸化物イオンの物質量は, それぞれ 1.0×10^{-7} mol である。

(3) 電離した水の物質量は, (2) の水素イオン, または水酸化物イオンの物質量と等しいから,

$$\text{電離度} = \frac{\text{電離した水の物質量}}{\text{水の物質量}} = \frac{1.0 \times 10^{-7}}{55.6} = 1.79 \dots \times 10^{-9} \approx 1.8 \times 10^{-9}$$

(4) 水のイオン積は,

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = (1.0 \times 10^{-7})^2 = 1.0 \times 10^{-14} \text{ [(mol/l)}^2\text{]}$$

2 (0023) ☐ ●類題 6230 酸の水溶液と水素イオン濃度

- (1) 1.7×10^{-3} mol/l (2) 8.5×10^{-5} mol (3) 5.9×10^{-12} mol/l
(4) $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ [mol/l] $> [\text{OH}^-]$

解説

(1) 酢酸の電離度は 0.017 であり, また 1 価の酸だから, $[\text{H}^+]$ は,
 $0.10 \times 0.017 \times 1 = 1.7 \times 10^{-3}$ [mol/l]

(2) $1.7 \times 10^{-3} \times \frac{50}{1000} = 8.5 \times 10^{-5}$ [mol]

(3) 水のイオン積は 1.0×10^{-14} (mol/l)² だから,

$$[\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.7 \times 10^{-3}} = 5.88 \dots \times 10^{-12} \approx 5.9 \times 10^{-12} \text{ [mol/l]}$$

(4) (1), (3) より, $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7}$ [mol/l] $> [\text{OH}^-]$

酸の水溶液中ではこの関係が成り立つ。

3 (0024) ☐ ●類題 6240 塩基の水溶液と水素イオン濃度

- (1) (イ), (ア), (ウ) (2) (ア), (ウ), (イ) (3) (ウ), (イ), (ア)
(4) (ア), (ウ), (イ)

解説

(1) まず, 塩酸と硫酸は強酸であり, 酢酸は弱酸だから, $[\text{H}^+]$ の大きさは, (ア), (イ) $>$ (ウ) となる。また, 塩酸は 1 価であり, 硫酸は 2 価だから, (イ) $>$ (ア) となる。したがって $[\text{H}^+]$ の大きい順にならべると, (イ), (ア), (ウ) となる。

(2) 酸の水溶液の $[\text{H}^+]$ は純粋な水の $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-7}$ [mol/l] より大きく, 塩基の $[\text{H}^+]$ は純粋な水の $[\text{H}^+]$ より小さい。したがって (ア), (ウ), (イ)

(3) まず水酸化カルシウムと水酸化ナトリウムは強塩基であり, アンモニアは弱塩基だから, $[\text{OH}^-]$ の大きさは, (ア), (イ) $>$ (ウ) となる。また, 水酸化カルシウムは 2

価であり、水酸化ナトリウムは1価だから、 $[\text{OH}^-]$ の大きい順にならべると、(ア)、(イ)、(ウ)となる。

ここで水のイオン積の式より、 $[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]}$ である。これより、 $[\text{OH}^-]$ が大きいほど $[\text{H}^+]$ は小さくなるから、 $[\text{H}^+]$ の大きい順にならべかえると、(ウ)、(イ)、(ア)となる。

(4) 水のイオン積の式より、(ア)の $[\text{H}^+]$ は、

$$[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-10}} = 1.0 \times 10^{-4} [\text{mol/l}]$$

また、純粋な水の $[\text{H}^+]$ は $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ だから、 $[\text{H}^+]$ の大きい順にならべかえると、(ア)、(ウ)、(イ)となる。

4 (0025) ☐ 類題 6250 pH (水素イオン指数)

- (1) 11.7 (2) 0.22 (3) 100 倍 (4) $1.0 \times 10^{-12} \text{ mol/l}$ (5) $\frac{1}{100}$ 倍

解説

(1) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = 14 + \log[\text{OH}^-]$ より、

$$14 + \log(4.9 \times 10^{-3}) = 14 - 3 + \log 4.9 = 11 + 0.69 = 11.69 \approx 11.7$$

(2) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ より、

$$-\log 0.60 = -\log(2 \times 3 \times 10^{-1}) = 1 - \log 2 - \log 3 = 1 - 0.30 - 0.48 = 0.22$$

(3) $\text{pH} = 4.0$ の水溶液の水素イオン濃度は、

$$-\log[\text{H}^+] = 4.0 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-4} [\text{mol/l}]$$

$\text{pH} = 6.0$ の水溶液の水素イオン濃度は、

$$-\log[\text{H}^+] = 6.0 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-6} [\text{mol/l}]$$

$$\frac{1.0 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-6}} = 100 [\text{倍}]$$

(4) $\text{pH} = 2.0$ の水溶液の水酸化物イオン濃度は、

$$14 + \log[\text{OH}^-] = 2.0 \quad \log[\text{OH}^-] = -12$$

$$\therefore [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-12} [\text{mol/l}]$$

(5) $\text{pH} = 3.0$ の水溶液の水酸化物イオン濃度は、

$$14 + \log[\text{OH}^-] = 3.0 \quad \therefore [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-11} [\text{mol/l}]$$

$\text{pH} = 5.0$ の水溶液の水酸化物イオン濃度は、

$$14 + \log[\text{OH}^-] = 5.0 \quad \therefore [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-9} [\text{mol/l}]$$

$$\frac{1.0 \times 10^{-11}}{1.0 \times 10^{-9}} = 10^{-2} = \frac{1}{100} [\text{倍}]$$

類題トレーニング(6220)

1 (6221) M07

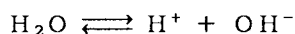
- (1) $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ (2) 水のイオン積 (3) $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/l})^2$

2 (6222) M07

- (1) 通す。 (2) 水が一部電離して、水素イオンと水酸化物イオンとなっているから。
 (3) $[\text{H}^+] \cdots 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$, $[\text{OH}^-] \cdots 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$
 (4) $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/l})^2$

解説

- (3) 純粋な水は、次のような平衡状態を保っている。



$[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ の値は等しく、25℃では $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ である。

- (4) 水のイオン積は、

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = (1.0 \times 10^{-7})^2 = 1.0 \times 10^{-14} [(\text{mol/l})^2]$$

類題トレーニング(6230)

1 (6231) M07

- (1) H^+ (2) $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l} > [\text{OH}^-]$
 (3) $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} [(\text{mol/l})^2]$

2 (6232) M07

- (1) 0.10 mol/l (2) 1.0×10^6 倍 (100 万倍)
 (3) $1.0 \times 10^{-13} \text{ mol/l}$ (4) 1.0×10^{-6} 倍 (100 万分の1倍)

解説

- (1) 塩酸は1価の酸であり、電離度が1なので、水素イオン濃度は塩酸の濃度に等しくなる。したがって 0.10 mol/l である。

- (2) 水の水素イオン濃度は $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ なので、

$$\frac{0.10}{1.0 \times 10^{-7}} = 1.0 \times 10^6 \text{ [倍]}$$

- (3) 水溶液中では、 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} [(\text{mol/l})^2]$ の関係が成り立つので、

$$[\text{OH}^-] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.10} = 1.0 \times 10^{-13} \text{ [mol/l]}$$

- (4) 水の水酸化物イオン濃度は $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ なので、

$$\frac{1.0 \times 10^{-13}}{1.0 \times 10^{-7}} = 1.0 \times 10^{-6} \text{ [倍]}$$

類題トレーニング(6240)

1 (6241) M07

- (1) OH^- (2) $[\text{H}^+] < 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l} < [\text{OH}^-]$
 (3) $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14} [(\text{mol/l})^2]$

2 (6242) M07

- (1) $1.3 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ (2) 0.10 mol/l (3) $7.7 \times 10^{-12} \text{ mol/l}$
 (4) $1.0 \times 10^{-13} \text{ mol/l}$ (5) 水酸化ナトリウム水溶液

解説

- (1) アンモニアは1価の弱塩基で、電離度が0.013なので、

$$[\text{OH}^-] = 0.10 \times 0.013 \times 1 = 1.3 \times 10^{-3} [\text{mol/l}]$$

- (2) 水酸化ナトリウムは1価の強塩基で、電離度が1なので、 $[\text{OH}^-]$ は水酸化ナトリウムの濃度に等しくなる。

- (3) 水のイオン積の式から、

$$[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.3 \times 10^{-3}} = 7.69 \dots \times 10^{-12} \div 7.7 \times 10^{-12} [\text{mol/l}]$$

- (4) 同様に、 $[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.10} = 1.0 \times 10^{-13} [\text{mol/l}]$

- (5) (1), (2)より、アンモニア水の $[\text{OH}^-]$ より水酸化ナトリウム水溶液の $[\text{OH}^-]$ のほうが値が大きいのので、水酸化ナトリウム水溶液のほうが塩基性が強いといえる。



類題トレーニング(6250)

1 (6251) M07

- (1) 水素イオン指数, pH (2) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$
 (3) $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-]$

【解説】

$$(3) [\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} \text{ より,}$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = 14 + \log[\text{OH}^-]$$

2 (6252) M07

- (1) 1 (2) 0 (3) 4 (4) 1.7 (5) 11.3 (6) 0.52

【解説】

$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ より求める。

- (1) $-\log(1.0 \times 10^{-1}) = -\log 1.0 - \log 10^{-1} = 0 + 1 = 1$
 (2) $-\log 1.0 = 0$
 (3) $-\log(1.0 \times 10^{-4}) = 0 + 4 = 4$
 (4) $-\log(2.0 \times 10^{-2}) = 2 - \log 2 = 2 - 0.30 = 1.70 \doteq 1.7$
 (5) $-\log(5.0 \times 10^{-12}) = 12 - \log 5 = 12 - 0.70 = 11.30 \doteq 11.3$
 (6) $-\log(3.0 \times 10^{-1}) = 1 - \log 3 = 1 - 0.48 = 0.52$

3 (6253) M07

- (1) 14 (2) 12 (3) 6 (4) 13.3 (5) 12.7

【解説】

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]} = 14 + \log[\text{OH}^-] \text{ より, 求める。}$$

- (1) $14 + \log 1.0 = 14$
 (2) $14 + \log(1.0 \times 10^{-2}) = 14 - 2 = 12$
 (3) $14 + \log(1.0 \times 10^{-8}) = 14 - 8 = 6$
 (4) $14 + \log(2.0 \times 10^{-1}) = 14 - 1 + \log 2 = 13 + 0.30 = 13.30 \doteq 13.3$
 (5) $14 + \log(5.0 \times 10^{-2}) = 14 - 2 + \log 5 = 12 + 0.70 = 12.70 \doteq 12.7$

4 (6254) M07

- (1) 0.10 mol/l (2) $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ (3) $1.0 \times 10^{-10} \text{ mol/l}$
 (4) 1.0 mol/l (5) $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ (6) $3.0 \times 10^{-12} \text{ mol/l}$

【解説】

- (1) $-\log[\text{H}^+] = 1.0 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-1} = 0.10 \text{ [mol/l]}$
 (2) $-\log[\text{H}^+] = 3.0 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ [mol/l]}$
 (3) $-\log[\text{H}^+] = 10 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-10} \text{ [mol/l]}$
 (4) $-\log[\text{H}^+] = 0 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \text{ [mol/l]}$
 (5) $-\log[\text{H}^+] = 2.3$
 $\log[\text{H}^+] = -2.3 = -3 + 0.7 = \log 10^{-3} + \log 5 = \log(5.0 \times 10^{-3})$
 $\therefore [\text{H}^+] = 5.0 \times 10^{-3} \text{ [mol/l]}$
 (6) $-\log[\text{H}^+] = 11.52$
 $\log[\text{H}^+] = -11.52 = -12 + 0.48 = \log 10^{-12} + \log 3 = \log(3.0 \times 10^{-12})$
 $\therefore [\text{H}^+] = 3.0 \times 10^{-12} \text{ [mol/l]}$

§ 8 酸・塩基の水溶液と pH

M08

1 (0026) ☐ ●類題 6260 強酸の水溶液の $[H^+]$ と pH

- (1) 0.40 mol/l (2) 0.40

解説

- (1) 硫酸 H_2SO_4 は 2 価だから, $[H^+] = nc = 2 \times 0.20 = 0.40 \text{ (mol/l)}$
 (2) $pH = -\log 0.40 = -\log(2^2 \times 10^{-1}) = 1 - 2\log 2 = 1 - 2 \times 0.30 = 0.40$

2 (0027) ☐ ●類題 6270 強塩基の水溶液の $[H^+]$ と pH

- (1) $[OH^-] \cdots 0.010 \text{ mol/l}$, $pH \cdots 12$
 (2) 0.010 mol/l (3) 0.0050 mol/l
 (4) $[H^+] \cdots 5.0 \times 10^{-13} \text{ mol/l}$, モル濃度 $\cdots 2.0 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$

解説

- (1) $NaOH$ のモル質量は, $23 + 16 + 1.0 = 40 \text{ [g/mol]}$ だから, 0.40 g の物質量は $\frac{0.40}{40}$
 $= 0.010 \text{ [mol]}$ となる。これを水に溶かして 1.0 l にした水溶液のモル濃度は 0.010
 [mol/l] である。 $NaOH$ は 1 価だから,

$$[OH^-] = nc = 1 \times 0.010 = 0.010 \text{ [mol/l]}$$

$$pH = 14 + \log nc = 14 + \log 0.010 = 14 + \log(1.0 \times 10^{-2})$$

$$= 14 - 2 = 12$$

- (2) $pH = 14 + \log[OH^-] = 12$ より,
 $\log[OH^-] = 2 \quad \therefore [OH^-] = 10^{-2} = 0.010 \text{ [mol/l]}$
 (3) 求めるモル濃度を $c \text{ [mol/l]}$ とすると, $[OH^-] = nc$ より,

$$c = \frac{[OH^-]}{n} = \frac{0.010}{2} = 0.0050 \text{ [mol/l]}$$

- (4) $pH = -\log[H^+] = 12.30$ より,
 $\log[H^+] = -12.30 = -13 + 0.70 = \log 10^{-13} + \log 5 = \log(5.0 \times 10^{-13})$
 $\therefore [H^+] = 5.0 \times 10^{-13} \text{ [mol/l]}$

1 価の強塩基だから, $[OH^-] = nc = c \text{ [mol/l]}$ である。したがって,

$$c = [OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{5.0 \times 10^{-13}} = 2.0 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$$

3 (0028) ☐ ●類題 6280 弱酸の水溶液の $[H^+]$ と pH

- (1) $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ (2) 0.010 (3) 0.025

解説

- (1) $pH = 3.0$ であるから,
 $-\log[H^+] = 3.0 \quad \therefore [H^+] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ [mol/l]}$

- (2) $c\alpha = [H^+]$ であるから,
 $0.10 \times \alpha = 1.0 \times 10^{-3} \quad \therefore \alpha = 1.0 \times 10^{-2} = 0.010$

- (3) $pH = -\log[H^+] = -\log c\alpha = 3.40$ であるから,
 $-\log(0.016 \times \alpha) = 3.40$
 $\log(0.016 \times \alpha) = -3.40 = -4 + 0.60$
 $= \log 10^{-4} + \log 4 = \log(4.0 \times 10^{-4})$
 $0.016 \times \alpha = 4.0 \times 10^{-4}$

$$\therefore \alpha = \frac{4.0 \times 10^{-4}}{0.016} = 0.025$$

- 4 (0029) 類題 6290 弱塩基の水溶液の $[\text{H}^+]$ と pH を求める
11.8

解説

弱塩基の pH は, $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log c \alpha$ で求められるから,

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 + \log(0.20 \times 0.030) = 14 + \log(6.0 \times 10^{-3}) \\ &= 14 - 3 + \log 6 = 11 + 0.78 = 11.78 \doteq 11.8 \end{aligned}$$



類題トレーニング(6260)

1 (6261) M08

- (1) 1 価… 1 mol, 2 価… 2 mol
- (2) 1 価… 0.10 mol/l, 2 価… 0.20 mol/l
- (3) 1 価… 1.0, 2 価… 0.70
- (4) $[H^+] = n c$ (mol/l), $pH = -\log n c$

解説

- (1) 1 価の強酸は, $1 \times 1 = 1$ (mol)
2 価の強酸は, $2 \times 1 = 2$ (mol)
- (2) $[H^+] = n c$ より, 1 価の強酸は, $1 \times 0.10 = 0.10$ (mol/l)
2 価の強酸は, $2 \times 0.10 = 0.20$ (mol/l)
- (3) $pH = -\log[H^+]$ より, 1 価の強酸は, $-\log 0.10 = -\log(1.0 \times 10^{-1}) = 1.0$
2 価の強酸は, $-\log 0.20 = -\log(2.0 \times 10^{-1}) = 1 - \log 2 = 1 - 0.30 = 0.70$

2 (6262) M08

- (1) 0.30 mol/l (2) 9.0×10^{21} 個 (3) 3.3×10^{-14} mol/l (4) 0.52

解説

- (1) HNO_3 は 1 価の強酸だから, $[H^+] = n c = 1 \times 0.30$ (mol/l)
- (2) $6.0 \times 10^{23} \times 0.30 \times \frac{50}{1000} = 9.0 \times 10^{21}$ (個)
- (3) $[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.30} = 3.33 \dots \times 10^{-14} \approx 3.3 \times 10^{-14}$ (mol/l)
- (4) $pH = -\log[H^+] = -\log 0.30 = -\log(3.0 \times 10^{-1}) = 1 - \log 3 = 1 - 0.48 = 0.52$

3 (6263) M08

- (1) 5.0×10^{-3} mol/l (2) 2 価 (3) 2.5×10^{-2} mol/l

解説

- (1) 硫酸は 2 価の強酸だから, 求めるモル濃度を c (mol/l) とすると, $[H^+] = 2c$ (mol/l) となる。よって, $pH = -\log[H^+] = 2.0$ より,

$$-\log 2c = 2.0$$

$$\log 2c = -2.0$$

$$2c = 1.0 \times 10^{-2} \quad \therefore c = 5.0 \times 10^{-3} \text{ (mol/l)}$$
- (2) 求める価数を n とすると, $[H^+] = n \times 0.020$ (mol/l) となる。
 よって, $pH = -\log[H^+] = 1.40$ より,

$$-\log(n \times 0.020) = 1.40$$

$$\log(n \times 0.020) = -1.40 = -2 + 0.60 = -2 + 2 \times 0.30$$

$$= \log 10^{-2} + 2 \log 2 = \log(2^2 \times 10^{-2})$$

$$n \times 0.020 = 0.04 \quad \therefore n = 2$$
- (3) 1 価の強酸だから, 求めるモル濃度を c (mol/l) とすると, $[H^+] = n c = c$ (mol/l) である。 $pH = 1.60$ より,

$$-\log c = 1.60$$

$$\log c = -1.60 = -2 + 0.40 = \log 10^{-2} + \log 2.5 = \log(2.5 \times 10^{-2})$$

$$\therefore c = 2.5 \times 10^{-2} \text{ (mol/l)}$$

類題トレーニング(6270)

1 (6271) M08

(1) n [mol] (2) nc [mol/l] (3) $\frac{1.0 \times 10^{-14}}{nc}$ [mol/l]

(4) $14 + \log nc$

解説

(3) $[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{nc}$ [mol/l]

(4) $pH = -\log[H^+] = -\log \frac{1.0 \times 10^{-14}}{nc} = -(-14 - \log nc) = 14 + \log nc$

2 (6272) M08

(1) 0.30 mol/l (2) 3.3×10^{-14} mol/l (3) 13.5

解説

(1) KOH は 1 価だから, $1 \times 0.30 = 0.30$ [mol/l]

(2) $[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{0.30} = 3.33 \dots \times 10^{-14} \approx 3.3 \times 10^{-14}$ [mol/l]

(3) $pH = -\log[H^+] = -\log(3.3 \times 10^{-14}) = 14 - \log 3.3$
 $= 14 - 0.52 = 13.48 \approx 13.5$

または, $pH = 14 + \log[OH^-] = 14 + \log 0.30$
 $= 14 + \log(3.0 \times 10^{-1}) = 14 - 1 + \log 3$
 $= 13 + 0.48 = 13.48 \approx 13.5$

類題トレーニング(6280)

1 (6281) M08

(1) α [mol] (2) $c\alpha$ [mol/l] (3) $-\log c\alpha$

解説

(3) $pH = -\log[H^+] = -\log c\alpha$

2 (6282) M08

(1) 1.7×10^{-3} mol/l (2) 2.8 (3) 5.4×10^{-4} mol/l (4) 3.3

解説

(1) $[H^+] = c\alpha = 0.10 \times 0.017 = 1.7 \times 10^{-3}$ [mol/l]

(2) $pH = -\log[H^+] = -\log(1.7 \times 10^{-3})$
 $= 3 - \log 1.7 = 3 - 0.23 = 2.77 \approx 2.8$

(3) $[H^+] = c\alpha = 0.10 \times \frac{1}{10} \times 0.017 \times \sqrt{10}$
 $= 1.7 \times 10^{-4} \times 3.16 = 5.372 \times 10^{-4} \approx 5.4 \times 10^{-4}$ [mol/l]

(4) $pH = -\log[H^+] = -\log(5.4 \times 10^{-4})$
 $= 4 - \log 5.4 = 4 - 0.73 = 3.27 \approx 3.3$

類題トレーニング(6290)

1 (6291) M08

- (1) $4.2 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ (2) $2.4 \times 10^{-12} \text{ mol/l}$ (3) 11.6

解説

(1) $[\text{OH}^-] = c\alpha = 1.0 \times 0.0042 = 4.2 \times 10^{-3} \text{ (mol/l)}$

(2) $[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[\text{OH}^-]}$ より,

$$[\text{H}^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{4.2 \times 10^{-3}} = 2.38 \cdots \times 10^{-12} \approx 2.4 \times 10^{-12} \text{ (mol/l)}$$

(3) $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-]$ より,

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 + \log(4.2 \times 10^{-3}) = 14 - 3 + \log 4.2 \\ &= 11 + 0.62 = 11.62 \approx 11.6 \end{aligned}$$

⊕ $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ から求めてもよいが、 $\log 2.4$ の値が与えられていないので、 $[\text{OH}^-]$ を用いて求める方法をとった。

2 (6292) M08

- (1) $2.5 \times 10^{-12} \text{ mol/l}$ (2) $4.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ (3) 0.020

解説

(1) $\text{pH} = 11.60$ だから, $-\log[\text{H}^+] = 11.60$

$$\log[\text{H}^+] = -11.60 = -12 + 0.40 = \log 10^{-12} + \log 2.5 = \log(2.5 \times 10^{-12})$$

$$\therefore [\text{H}^+] = 2.5 \times 10^{-12} \text{ (mol/l)}$$

(2) $[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.5 \times 10^{-12}} = 4.0 \times 10^{-3} \text{ (mol/l)}$

(3) $c\alpha = [\text{OH}^-]$ だから, $0.20 \times \alpha = 4.0 \times 10^{-3}$

$$\therefore \alpha = \frac{4.0 \times 10^{-3}}{0.20} = 0.020$$



§ 9 混合溶液のpH

M09

1 (0030) ☐ 類題 6300 電離定数とpH

(1) 2.4 (2) 11.4

解説

(1) K_a の値と $c=0.50$ [mol/l] が与えられているから, $[H^+]=\sqrt{K_a c}$ の関係より $[H^+]$ を求めることができる。

$$[H^+]=\sqrt{2.8 \times 10^{-5} \times 0.50}=\sqrt{1.4 \times 10^{-5}} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH}=-\log[H^+]=-\log\sqrt{1.4 \times 10^{-5}}=-\frac{1}{2}\log(1.4 \times 10^{-5})$$

$$=-\frac{1}{2} \times (-5) - \frac{1}{2} \log 1.4 = 2.5 - \frac{0.15}{2} = 2.425 \doteq 2.4$$

(2) K_b の値と $c=0.30$ [mol/l] が与えられているから, $[OH^-]=\sqrt{K_b c}$ の関係より $[OH^-]$ を求めることができる。

$$[OH^-]=\sqrt{1.7 \times 10^{-5} \times 0.30}=\sqrt{5.1 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore \text{pH}=14+\log[OH^-]=14+\log\sqrt{5.1 \times 10^{-6}}=14+\frac{1}{2}\log(5.1 \times 10^{-6})$$

$$=14+\frac{1}{2} \times (-6) + \frac{1}{2} \log 5.1 = 11 + \frac{0.71}{2} = 11.355 \doteq 11.4$$

2 (0031) ☐ 類題 6310 混合溶液のpH

(1) 2.6 (2) 13.6 (3) 12.3

解説

(1) 混合溶液中の酢酸の全物質量は,

$$0.10 \times \frac{100}{1000} + 0.30 \times \frac{100}{1000} = 0.040 \text{ [mol]}$$

混合溶液の体積は $100+100=200$ [ml] だから, 混合溶液のモル濃度 c [mol/l] は,

$$c=\frac{0.040}{0.200}=0.20 \text{ [mol/l]}$$

よって, 弱酸である 0.20 mol/l の酢酸の $[H^+]$ は,

$$[H^+]=\sqrt{K_a c}=\sqrt{2.8 \times 10^{-5} \times 0.20}=\sqrt{5.6 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore \text{pH}=-\log[H^+]=-\log\sqrt{5.6 \times 10^{-6}}=-\frac{1}{2}\log(5.6 \times 10^{-6})$$

$$=-\frac{1}{2} \times (-6) - \frac{1}{2} \log 5.6 = 3 - \frac{0.75}{2} = 2.625 \doteq 2.6$$

(2) NaOH も KOH も 1 価の強塩基である。したがって, 混合溶液中の水酸化物イオンの物質量は,

$$0.10 \times \frac{200}{1000} + 0.60 \times \frac{300}{1000} = 0.20 \text{ [mol]}$$

混合溶液の体積は $200+300=500$ [ml] だから, 水酸化物イオン濃度 $[OH^-]$ は,

$$\frac{0.20}{0.500}=0.40=4.0 \times 10^{-1} \text{ [mol/l]}$$

したがって, $\text{pH}=-\log[H^+]=14+\log[OH^-]$ より,

$$\text{pH}=14+\log(4.0 \times 10^{-1})=14-1+2 \log 2$$

$$=13+2 \times 0.30=13.60 \doteq 13.6$$

- (3) $\text{HCl} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ の中和反応が起こる。ただし、 0.10 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液の $30.0 - 20.0 = 10.0 \text{ [ml]}$ が過剰だから、混合溶液中の水酸化物イオンの物質量は、

$$0.10 \times \frac{10.0}{1000} = 0.0010 \text{ [mol]}$$

混合溶液の体積は $20.0 + 30.0 = 50.0 \text{ [ml]}$ だから、水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ は、

$$\frac{0.0010}{0.0500} = 0.020 = 2.0 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$$

したがって、 $\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = 14 + \log [\text{OH}^-]$ より、

$$\text{pH} = 14 + \log (2.0 \times 10^{-2}) = 14 - 2 + \log 2 = 12 + 0.30 = 12.30 \div 12.3$$

3 (0032) ●類題 6320 希釈水溶液の pH

- (1) 6.94 (2) 7.04

解説

- (1) 塩酸は完全に電離していると考えてよいから、 0.30 mol/l の塩酸の水素イオン濃度は、 0.30 mol/l である。これを 10^7 倍にうすめたときの水素イオン濃度は、

$$[\text{H}^+] = 0.30 \div 10^7 = 3.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

となる。ところが、このようにひじょうにうすい酸の水溶液では水の電離による影響も考えなければならない。水の電離で生じる $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ を $a \text{ [mol/l]}$ とすると、この塩酸水溶液の $[\text{H}^+]$ は、 $(3.0 \times 10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$ となる。これを x とおくと、

$$[\text{OH}^-] = a = x - 3.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

となる。したがって、水のイオン積の式 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ より、

$$x(x - 3.0 \times 10^{-8}) = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$x^2 - 3.0 \times 10^{-8}x - 1.0 \times 10^{-14} = 0$$

この2次方程式を解くと、

$$x = \frac{3.0 \times 10^{-8} \pm \sqrt{9.0 \times 10^{-16} + 4.0 \times 10^{-14}}}{2} = \frac{3.0 \times 10^{-8} \pm \sqrt{409} \times 10^{-8}}{2}$$

$$\div \frac{1}{2} (3.0 \pm 20.2) \times 10^{-8} = 11.6 \times 10^{-8}$$

$$= 1.16 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]} \quad (x > 0)$$

したがって、 $[\text{H}^+] = 1.16 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$ となり、pH は次のように求められる。

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1.16 \times 10^{-7})$$

$$= 7 - \log 1.16 = 7 - 0.06 = 6.94$$

- (2) (2)もひじょうにうすい塩基の水溶液となるので、(1)と同じような考え方で解いていく。

水酸化カリウムも完全に電離していると考えてよいから、 0.020 mol/l の KOH 水溶液の水酸化物イオン濃度は、 0.020 mol/l である。これを 10^6 倍にうすめたときの水酸化物イオン濃度は、

$$[\text{OH}^-] = 0.020 \div 10^6 = 2.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

となる。水の電離で生じる $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ を $a \text{ [mol/l]}$ とすると、この KOH 水溶液の $[\text{OH}^-]$ は、 $(2.0 \times 10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$ となる。これを x とおくと、

$$[\text{H}^+] = a = x - 2.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

となる。したがって、水のイオン積の式 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ より、

$$(x - 2.0 \times 10^{-8})x = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$x^2 - 2.0 \times 10^{-8}x - 1.0 \times 10^{-14} = 0$$

この2次方程式を解くと、

$$x = \frac{2.0 \times 10^{-8} \pm \sqrt{4.0 \times 10^{-16} + 4.0 \times 10^{-14}}}{2} = \frac{2.0 \times 10^{-8} \pm \sqrt{101} \times 10^{-8}}{2}$$

$$\div (1.0 \pm 10.0) \times 10^{-8} = 11.0 \times 10^{-8}$$

$$=1.10 \times 10^{-7} \text{ [mol/l] } \quad (x > 0)$$

したがって, $[\text{OH}^-] = 1.10 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$ となり, pH は次のようにして求められる。

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 14 + \log [\text{OH}^-] = 14 + \log (1.10 \times 10^{-7}) \\ &= 14 - 7 + \log 1.10 = 7 + 0.04 = 7.04 \end{aligned}$$



類題トレーニング(6300)

1 (6301) M09

- (1) $\sqrt{\frac{K_a}{c}}$ (2) $\sqrt{K_a c}$ [mol/l] (3) $-\frac{1}{2}\log K_a c$
 (4) $\sqrt{K_b c}$ [mol/l] (5) $\frac{1.0 \times 10^{-14}}{\sqrt{K_b c}}$ [mol/l] (6) $14 + \frac{1}{2}\log K_b c$

解説

(1) 1価の弱酸 HA の電離定数 K_a は,

$$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]} = \frac{c\alpha \cdot c\alpha}{c(1-\alpha)} = \frac{(c\alpha)^2}{c} = c\alpha^2$$

したがって, α を K_a で表すと, $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}$

(2) $[H^+] = c\alpha = c \times \sqrt{\frac{K_a}{c}} = \sqrt{K_a c}$ [mol/l]

(3) $pH = -\log[H^+] = -\log\sqrt{K_a c} = -\log(K_a c)^{\frac{1}{2}} = -\frac{1}{2}\log K_a c$

(4) 1価の弱塩基 B の電離定数 K_b は,

$$K_b = \frac{[BH^+][OH^-]}{[B]} = \frac{c\alpha \cdot c\alpha}{c(1-\alpha)} = \frac{(c\alpha)^2}{c} = c\alpha^2 \quad \therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}}$$

よって, $[OH^-] = c\alpha = c \times \sqrt{\frac{K_b}{c}} = \sqrt{K_b c}$ [mol/l]

(5) (4)より, $[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{\sqrt{K_b c}}$ [mol/l]

(6) $pH = -\log[H^+] = -\log\frac{1.0 \times 10^{-14}}{\sqrt{K_b c}} = 14 + \log\sqrt{K_b c} = 14 + \frac{1}{2}\log K_b c$

2 (6302) M09

- (1) 2.4×10^{-3} mol/l (2) 2.6 (3) 0.051 mol/l (4) 2.9×10^{-2} mol/l

解説

(1) $[H^+] = \sqrt{K_a c} = \sqrt{2.8 \times 10^{-5} \times 0.20} = \sqrt{5.6 \times 10^{-6}}$
 $= 2.36 \dots \times 10^{-3} \approx 2.4 \times 10^{-3}$ [mol/l]

(2) $pH = -\log[H^+] = -\log(2.4 \times 10^{-3}) = 3 - \log 2.4$
 $= 3 - 0.38 = 2.62 \approx 2.6$

(3) $[H^+] = \sqrt{K_a c}$ より, $1.2 \times 10^{-3} = \sqrt{2.8 \times 10^{-5} \times c}$
 $1.44 \times 10^{-6} = 2.8 \times 10^{-5} \times c \quad \therefore c = \frac{1.44 \times 10^{-6}}{2.8 \times 10^{-5}} = 0.0514 \dots \approx 0.051$ [mol/l]

(4) まず, $[H^+]$ を求める。pH=3.05 だから,

$$-\log[H^+] = 3.05$$

$$\log[H^+] = -3.05 = -4 + 0.95 = \log 10^{-4} + \log 9 = \log(9.0 \times 10^{-4})$$

$$\therefore [H^+] = 9.0 \times 10^{-4}$$

次に, $[H^+] = \sqrt{K_a c}$ より, c を求めると,

$$9.0 \times 10^{-4} = \sqrt{2.8 \times 10^{-5} \times c}$$

$$8.1 \times 10^{-7} = 2.8 \times 10^{-5} \times c$$

$$\therefore c = \frac{8.1 \times 10^{-7}}{2.8 \times 10^{-5}} = 2.89 \dots \times 10^{-2} \approx 2.9 \times 10^{-2}$$
 [mol/l]

3 (6303) M09

- (1) 11.5 (2) $1.8 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ (3) $6.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ (4) 10.8

解説

- (1) 0.60 % が水と反応するとは、言い換えれば、電離度が 0.0060 ということに気がつけばよい。 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ において、

$$[\text{OH}^-] = c \alpha = 0.50 \times 0.0060 = 3.0 \times 10^{-3} [\text{mol/l}]$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(3.0 \times 10^{-3})$$

$$= 14 - 3 + \log 3 = 11 + 0.48 = 11.48 \doteq 11.5$$

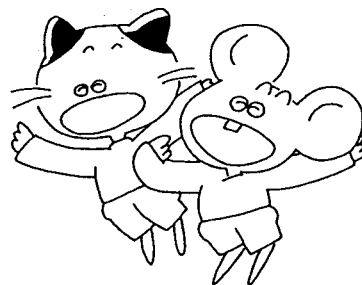
- (2) $K_b = c \alpha^2$ より, $K_b = 0.50 \times (0.0060)^2 = 1.8 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$

$$(3) [\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c} = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 0.020} = \sqrt{0.36 \times 10^{-6}}$$

$$= 0.60 \times 10^{-3} = 6.0 \times 10^{-4} [\text{mol/l}]$$

- (4) $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(6.0 \times 10^{-4}) = 14 - 4 + \log 6$

$$= 10 + 0.78 = 10.78 \doteq 10.8$$



類題トレーニング(6310)

1 (6311) M09

- (1) 0.040 mol (2) 0.040 mol (3) 0.20 mol/l (4) 0.70

解説

$$(1) \quad 0.20 \times \frac{200}{1000} = 0.040 \text{ [mol]}$$

$$(2) \quad \text{硫酸は2価の酸だから, } 2 \times 0.10 \times \frac{200}{1000} = 0.040 \text{ [mol]}$$

$$(3) \quad \text{混合溶液の体積は, } 200 + 200 = 400 \text{ [ml]} = 0.400 \text{ [l]}$$

$$\text{したがって, } [\text{H}^+] = \frac{0.040 + 0.040}{0.400} = 0.20 \text{ [mol/l]}$$

$$(4) \quad \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log 0.20 = -\log(2.0 \times 10^{-1}) \\ = 1 - \log 2 = 1 - 0.30 = 0.70$$

2 (6312) M09

- (1) 0.60 (2) 1.3 (3) 11.4

解説

$$(1) \quad [\text{H}^+] = \left(2 \times 0.10 \times \frac{100}{1000} + 0.30 \times \frac{100}{1000} \right) \times \frac{1}{0.100 + 0.100} \\ = 0.25 = 2.5 \times 10^{-1} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(2.5 \times 10^{-1}) = 1 - \log 2.5 \\ = 1 - 0.40 = 0.60$$

$$(2) \quad \text{pH} = 1.0 \text{ の水溶液の } [\text{H}^+] \text{ は } 0.10 \text{ mol/l, pH} = 2.0 \text{ の水溶液の } [\text{H}^+] \text{ は } 0.010 \\ \text{mol/l である. したがって, 混合溶液の } [\text{H}^+] \text{ は,}$$

$$\left(0.10 \times \frac{100}{1000} + 0.010 \times \frac{100}{1000} \right) \times \frac{1}{0.100 + 0.100} = 0.055 = 5.5 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(5.5 \times 10^{-2}) = 2 - \log 5.5 \\ = 2 - 0.74 = 1.26 \approx 1.3$$

$$(3) \quad \text{混合溶液中のアモニアの総物質量は,}$$

$$0.10 \times \frac{200}{1000} + 0.60 \times \frac{300}{1000} = 0.20 \text{ [mol]}$$

混合溶液の体積は $200 + 300 = 500 \text{ [ml]}$ だから, このアモニア水のモル濃度は,

$$c = \frac{0.20}{0.500} = 0.40 \text{ [mol/l]}$$

となる. この混合溶液中の $[\text{OH}^-]$ は, $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c}$ より,

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1.7 \times 10^{-5} \times 0.40} = \sqrt{6.8 \times 10^{-6}} \text{ [mol/l]}$$

$$\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \frac{1}{2} \log(6.8 \times 10^{-6}) = 14 - 3 + \frac{1}{2} \log 6.8$$

$$= 11 + \frac{0.83}{2} = 11.415 \approx 11.4$$

3 (6313) M09

- (1) 0.7 (2) 1.2 (3) 7.0 (4) 12.6

解説

$$(1) \quad 0.20 \text{ mol/l の HCl は完全に電離しているので, } [\text{H}^+] = 0.20 \text{ [mol/l]} \text{ となる.}$$

よって,

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log 0.20 = -\log(2.0 \times 10^{-1})$$

$$= 1 - \log 2 = 1 - 0.30 = 0.70 \doteq 0.7$$

- (2) $\text{HCl} + \text{NaOH} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ の中和反応が起こるが、 0.20 mol/l の HCl が $10.0 - 5.0 = 5.0 \text{ [ml]}$ 過剰である。したがって、混合溶液中の水素イオン濃度 $[\text{H}^+]$ は、

$$[\text{H}^+] = 0.20 \times \frac{5.0}{1000} \times \frac{1}{0.0100 + 0.0050} = 0.0666 \dots \doteq 6.7 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (6.7 \times 10^{-2}) \\ = 2 - \log 6.7 = 2 - 0.83 = 1.17 \doteq 1.2$$

- (3) HCl と NaOH が過不足なく中和し、 $\text{pH} = 7.0$ となる。

- (4) 0.20 mol/l の NaOH が $15.0 - 10.0 = 5.0 \text{ [ml]}$ 過剰である。したがって、混合溶液中の水酸化物イオン濃度 $[\text{OH}^-]$ は、

$$[\text{OH}^-] = 0.20 \times \frac{5.0}{1000} \times \frac{1}{0.0100 + 0.0150} = 0.040 = 4.0 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = 14 + \log [\text{OH}^-] = 14 + \log (4.0 \times 10^{-2}) \\ = 14 - 2 + 2 \log 2 = 12 + 2 \times 0.30 = 12.60 \doteq 12.6$$

《 詳解 》

類題トレーニング(6320)

1 (6321) M09

- (1) 0.40 mol/l (2) $4.0 \times 10^{-8} \text{ mol/l}$

- (3) 水の電離による H^+ や OH^- を考える。 (4) $1.2 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ (5) 6.92

解説

- (1) $[\text{H}^+] = n c = 2 \times 0.20 = 0.40 \text{ [mol/l]}$

- (2) $[\text{H}^+] = 0.40 \div 10^7 = 4.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$

- (4) 水の電離で生じる $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ を $a \text{ [mol/l]}$ とすると、この硫酸の $[\text{H}^+]$ は、 $(4.0 \times 10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$ となる。これを x とおくと、 $[\text{OH}^-] = a = x - 4.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$ となる。したがって、水のイオン積の式 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ より、次式が成り立つ。

$$x(x - 4.0 \times 10^{-8}) = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$x^2 - 4.0 \times 10^{-8} x - 1.0 \times 10^{-14} = 0$$

この二次方程式を解くと、

$$x = 2.0 \times 10^{-8} \pm \sqrt{4.0 \times 10^{-16} + 1.0 \times 10^{-14}} = (2.0 \pm \sqrt{104}) \times 10^{-8}$$

$$\doteq (2.0 \pm 10.2) \times 10^{-8} = 12.2 \times 10^{-8}$$

$$\doteq 1.2 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]} \quad (x > 0)$$

$$\therefore [\text{H}^+] = 1.2 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

- (5) $\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1.2 \times 10^{-7}) = 7 - \log 1.2 = 7 - 0.08 = 6.92$

2 (6322) M09

- (1) $1.0 \times 10^{-10} \text{ mol/l}$ (2) $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ (3) $1.0 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$, 9.0
 (4) $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/l}$, 8.0 (5) $1.05 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ (6) 7.02

解説

(1) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 10 \quad \therefore [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-10} \text{ [mol/l]}$

(2) $[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-10}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ [mol/l]}$

(3) $[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-4} \div 10 = 1.0 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$
 $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(1.0 \times 10^{-5}) = 14 - 5 = 9.0$

(4) $[\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-4} \div 100 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ [mol/l]}$
 $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(1.0 \times 10^{-6}) = 14 - 6 = 8.0$

(5) 水酸化物イオン濃度が $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ の水溶液を 10^4 倍にうすめると, $[\text{OH}^-]$ は,

$$1.0 \times 10^{-4} \div 10^4 = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

となる。しかし、このようにひじょうにうすい溶液では水の電離による影響を考えなければならない。水の電離で生じる $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ を $a \text{ [mol/l]}$ とすると、この水酸化ナトリウム水溶液の $[\text{OH}^-]$ は、 $(1.0 \times 10^{-8} + a) \text{ [mol/l]}$ となる。これを x とおくと、 $[\text{H}^+] = a = x - 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$ となる。したがって、水のイオン積の式 $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ より、次式が成り立つ。

$$(x - 1.0 \times 10^{-8})x = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$x^2 - 1.0 \times 10^{-8}x - 1.0 \times 10^{-14} = 0$$

この2次方程式を解くと、

$$x = \frac{10^{-8} \pm \sqrt{10^{-16} + 4 \times 10^{-14}}}{2} = \frac{10^{-8} \pm 10^{-8} \sqrt{401}}{2} \doteq \frac{10^{-8}(1 \pm 20)}{2}$$

$$\doteq 1.05 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]} \quad (x > 0)$$

したがって、 $[\text{OH}^-] = 1.05 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$

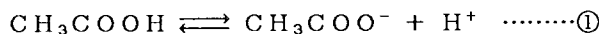
(6) $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(1.05 \times 10^{-7}) = 14 - 7 + \log 1.05$
 $= 7 + 0.02 = 7.02$

§ 10 緩衝液

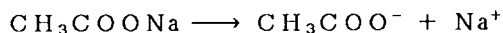
M10

1 (0033) ☐ 類題 6330 緩衝液(1)

酢酸水溶液の電離平衡は、

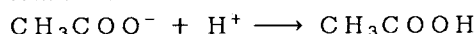


で表される。一方、酢酸ナトリウムは水溶液中で完全に電離している。



ここで生じた酢酸イオンは、①の電離平衡を左に移動させるので、混合溶液中には酢酸分子、酢酸イオン、ナトリウムイオンがおもに存在することになる。

この混合溶液に少量の酸、すなわち H^+ が加わると、



の反応が起こる。一方、少量の塩基、すなわち OH^- が加わると、



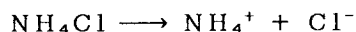
の反応が起こるので、溶液の水素イオン濃度はほとんど変化せず、pH はほぼ一定に保たれる。

2 (0034) ☐ 類題 6340 緩衝液(2)

アンモニア水の電離平衡は、

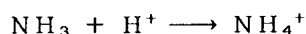


で表される。一方、塩化アンモニウムは水溶液中で完全に電離している。

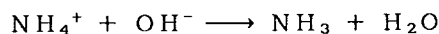


ここで生じたアンモニウムイオンは、①の電離平衡を左に移動させるので、混合溶液中にはアンモニア分子、アンモニウムイオン、塩化物イオンがおもに存在することになる。

この混合溶液に少量の酸、すなわち H^+ が加わると、



の反応が起こる。一方、少量の塩基、すなわち OH^- が加わると、



の反応が起こるので、溶液中の水素イオン濃度はほとんど変化せず、pH はほぼ一定に保たれる。

3 (0035) ☐ 類題 6350 緩衝液の pH

(1) 11.3 (2) 9.3 (3) 緩衝作用がある。

【解説】

$$(1) [\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c} = \sqrt{1.7 \times 10^{-5} \times 0.20} = \sqrt{3.4 \times 10^{-6}} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \frac{1}{2} \log(3.4 \times 10^{-6})$$

$$= 14 - 3 + \frac{1}{2} \log 3.4 = 11 + \frac{0.53}{2} = 11.265 \approx 11.3$$

(2) この緩衝液 250 ml 中のアンモニアのモル濃度は 0.20 mol/l。一方、緩衝液中の塩化アンモニウムのモル濃度を求めると、

モル質量が $\text{NH}_4\text{Cl} = 14.0 + 1.0 \times 4 + 35.5 = 53.5 \text{ [g/mol]}$ だから、

$$\frac{\frac{2.14}{53.5}}{0.250} = 0.160 \text{ [mol/l]}$$

そして、アンモニアの電離平衡 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ の電離定数 K_b は、次のように表される。

$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

ここで、 $[\text{NH}_3]$ =アンモニアの濃度、 $[\text{NH}_4^+]$ =塩化アンモニウムの濃度 とおける。したがって、水酸化物イオン濃度は、

$$[\text{OH}^-] = K_b \times \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 1.7 \times 10^{-5} \times \frac{0.20}{0.160} \\ = 2.125 \times 10^{-5} \approx 2.1 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(2.1 \times 10^{-5}) \\ = 14 - 5 + \log 2.1 = 9 + 0.32 = 9.32 \approx 9.3$$

《 詳 解 》

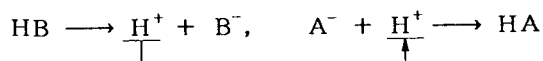
類題トレーニング(6330)

1 (6331) M10

- (1) 左 (2) HA , A^- , Na^+
 (3) $\text{A}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{HA}$, ほとんど変わらない。
 (4) $\text{HA} + \text{OH}^- \longrightarrow \text{A}^- + \text{H}_2\text{O}$, ほとんど変わらない。

解説

- (1) $\text{NaA} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{A}^-$ の反応により、 A^- が増えるので、 $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ の平衡は左のほうに移動する。
 (3) HA は弱酸だから電離度は小さい。よって、加えられた強酸 HB から生じる H^+ は、 A^- と結合して HA になる。つまり、 $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{A}^-$ の平衡が左のほうに移動するのである。



- (4) 加えられた強塩基 COH から生じる OH^- は、 HA と反応し、 H_2O となる。



2 (6332) M10

- (1) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$
 (2) CH_3COOH , CH_3COO^- , Na^+
 (3) $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{CH}_3\text{COOH}$
 (4) $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$
 (5) (3)…ほとんど変わらない。 (4)…ほとんど変わらない。

3 (6333) M10

(順に) 少量, pH, 緩衝液, 種類, 混合比

類題トレーニング(6340)

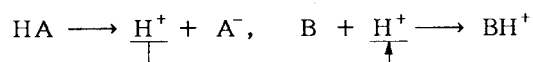
1 (6341) M10

- (1) 左 (2) B, BH^+, Cl^- (3) $B + H^+ \longrightarrow BH^+$
 (4) $BH^+ + OH^- \longrightarrow B + H_2O$ (5) どちらもほとんど変わらない。
 (6) 緩衝液

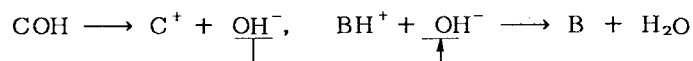
解説

- (1) $[BH^+]Cl^- \longrightarrow BH^+ + Cl^-$ の反応により, BH^+ が増えるので,
 $B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$ の平衡は左のほうに移動する。

- (3) 加えられた強酸 HA から生じる H^+ は, B と反応して BH^+ になる。



- (4) 加えられた強塩基 COH から生じる OH^- は, BH^+ と反応して H_2O になる。
 つまり, $B + H_2O \rightleftharpoons BH^+ + OH^-$ の平衡が左のほうに移動するのである。



2 (6342) M10

- (1) $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ (2) NH_3, NH_4^+, Cl^-
 (3) $NH_3 + H^+ \longrightarrow NH_4^+$ (4) $NH_4^+ + OH^- \longrightarrow NH_3 + H_2O$
 (5) どちらもほとんど変わらない。

類題トレーニング(6350)

1 (6351) M10

- (1) $K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$ (2) $\text{NH}_3 \cdots 0.50 \text{ mol/l}, \text{NH}_4^+ \cdots 0.50 \text{ mol/l}$
 (3) $1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ (4) 9.2

【解説】

(1) アンモニアは水溶液中で、 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ の電離平衡の状態にある。

(2) アンモニアと塩化アンモニウムの混合溶液では、アンモニアは弱塩基で電離度が小さいので、 $[\text{NH}_3]$ はアンモニアの濃度 0.50 mol/l にほぼ等しいと考えられる。また、塩化アンモニウムは塩で電離度は1と考えてよい。よって、 $[\text{NH}_4^+]$ は塩化アンモニウムの濃度 0.50 mol/l である。

(3) (1)より、 $[\text{OH}^-] = K_b \times \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]}$ で表される。諸量を代入すると、

$$[\text{OH}^-] = 1.7 \times 10^{-5} \times \frac{0.50}{0.50} = 1.7 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$$

(4) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(1.7 \times 10^{-5})$
 $= 14 - 5 + \log 1.7 = 9 + 0.23 = 9.23 \approx 9.2$

2 (6352) M10

- (1) 4.9 (2) 23 g

【解説】

(1) まず、酢酸と酢酸アンモニウムのモル質量を求めると、

$$\text{CH}_3\text{COOH} = 12 + 1.0 \times 3 + 12 + 16 \times 2 + 1.0 = 60 [\text{g/mol}]$$

$$\text{CH}_3\text{COONa} = 60 - 1.0 + 23 = 82 [\text{g/mol}]$$

$$\text{水溶液中の酢酸のモル濃度は, } \frac{\frac{15}{60}}{0.500} = 0.50 [\text{mol/l}]$$

$$\text{酢酸ナトリウムのモル濃度は, } \frac{\frac{41}{82}}{0.500} = 1.0 [\text{mol/l}]$$

そして、酢酸の電離平衡 $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ の電離定数 K_a は、次のように表される。

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

ここで、 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = \text{酢酸のモル濃度}$ 、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = \text{酢酸ナトリウムのモル濃度}$ とおける。

したがって、水素イオン濃度は、

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} = 2.8 \times 10^{-5} \times \frac{0.50}{1.0} = 1.4 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1.4 \times 10^{-5})$$

$$= 5 - \log 1.4 = 5 - 0.15 = 4.85 \approx 4.9$$

(2) まず、 $\text{pH} = 4.7$ から $[\text{H}^+]$ を求める。

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 4.7$$

$$\log[\text{H}^+] = -4.7 = -5 + 0.3$$

$$= \log 10^{-5} + \log 2 = \log(2.0 \times 10^{-5})$$

$$\therefore [\text{H}^+] = 2.0 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$$

(1)と同様に、 $K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ に諸量を代入して、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ を求めればよい。

題意より、 $[\text{CH}_3\text{COOH}] = 1.0 \text{ [mol/l]}$ だから、

$$\begin{aligned} [\text{CH}_3\text{COO}^-] &= K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{H}^+]} = 2.8 \times 10^{-5} \times \frac{1.0}{2.0 \times 10^{-5}} \\ &= 1.4 \text{ [mol/l]} \end{aligned}$$

したがって、 1.4 mol/l の水溶液 200 ml に溶けている酢酸ナトリウムの質量を求めると、

$$82 \times 1.4 \times \frac{200}{1000} = 22.96 \approx 23 \text{ [g]}$$



§ 11 溶解平衡

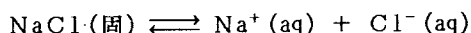
M11

1 (0036) ☐ ●類題 6360 塩の溶解平衡

- (1) 減少する方向 (2) 共通イオン効果
 (3) もとの電解質の溶解度が減少して、新たに沈殿が生じる。
 (4) AgNO_3 水溶液を加えることにより、水溶液中の $\text{AgCl}(\text{固}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ の溶解平衡が共通イオン効果によって、左のほうへ移動する。したがって、水溶液中の Cl^- は AgCl として析出してくるので、 Cl^- をとり除くことができる。

解説

- (1)~(3) たとえば、塩化ナトリウムの飽和溶液に塩化水素を通じると、 Cl^- の共通イオン効果によって、



の溶解平衡が左のほうに移動し、新たに NaCl の固体が析出する。

2 (0037) ☐ ●類題 6370 溶解度積と沈殿生成

- (1) 溶解度積 (2) $8.6 \times 10^{-7} (\text{mol/l})^2$ (3) 沈殿しない。

解説

- (2) 水酸化カルシウムは水溶液中で、 $\text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$ のように電離するから、混合溶液 ($40+60=100 [\text{ml}]$) 中のカルシウムイオンの濃度は、

$$[\text{Ca}^{2+}] = 0.0030 \times \frac{40}{100} = 1.2 \times 10^{-3} [\text{mol/l}]$$

また、硫酸は水溶液中で、 $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ のように電離するから、混合溶液中の硫酸イオンの濃度は、

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 0.0012 \times \frac{60}{100} = 7.2 \times 10^{-4} [\text{mol/l}]$$

したがって、求める濃度の積は、

$$\begin{aligned} [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] &= 1.2 \times 10^{-3} \times 7.2 \times 10^{-4} \\ &= 8.64 \times 10^{-7} \approx 8.6 \times 10^{-7} [(\text{mol/l})^2] \end{aligned}$$

- (3) (2)の結果より、 $K_s > [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$ となるため、 CaSO_4 は沈殿しない。

類題トレーニング(6360)

1 (6361) M11

- (1) 溶解平衡 (2) $\text{NaCl(固)} \rightleftharpoons \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
(3) 共通イオン効果 (4) 新たに固体の塩化ナトリウムが析出する。

【解説】

- (3) 右辺の Cl^- が増加するので、平衡は Cl^- が減少する方向つまり、左辺のほうに移動する。

2 (6362) M11

- (1) $\text{AgCl(固)} \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ (2) 固体の AgCl が析出する。
(3) Ag^+ または Cl^- の共通イオン効果によって、 $\text{AgCl(固)} \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ の平衡が左辺のほうに移動するため。
(4) AgCl の沈殿が溶ける。
(5) Ag^+ は、 $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ の反応により、アンミン錯イオンになってしまうため、 Ag^+ の濃度が減少する。したがって、(1)の平衡が右辺のほうに移動するため。

3 (6363) M11

- (1) pH, 塩基性 (2) 大きい
(3) 弱, 左, 小さい, 大きい, 小さい, 生じる

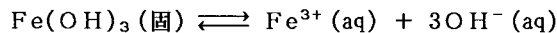
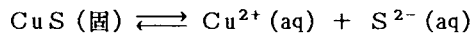
類題トレーニング(6370)

1 (6371) M11

- (1) 一定になる。 (2) 溶解度積 (3) $[\text{Cu}^{2+}][\text{S}^{2-}]$ (4) $[\text{Fe}^{3+}][\text{OH}^{-}]^3$
 (5) 沈殿を生じない。 (6) 沈殿を生じる。

解説

(3), (4) 難溶性の塩 A_mB_n の溶解度積 K_S は, $K_S = [\text{A}^{n+}]^m[\text{B}^{m-}]^n$ で表される。



- (5), (6) $K_S > [\text{A}^{+}][\text{B}^{-}]$ のとき, 沈殿しない。
 $K_S < [\text{A}^{+}][\text{B}^{-}]$ のとき, 沈殿する。

2 (6372) M11

- (1) $1.3 \times 10^{-4} \text{ g}$ (2) $2.7 \times 10^{-39} (\text{mol/l})^4$

解説

(1) AgBr の溶解平衡は, $\text{AgBr}(\text{固}) \rightleftharpoons \text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{Br}^{-}(\text{aq})$ で表されるから,

$$K_S = [\text{Ag}^{+}][\text{Br}^{-}] = 4.9 \times 10^{-13} (\text{mol/l})^2$$

$$\therefore [\text{Ag}^{+}] = [\text{Br}^{-}] = \sqrt{K_S} = \sqrt{4.9 \times 10^{-13}} = 7.0 \times 10^{-7} (\text{mol/l})$$

つまり, 飽和溶液 1 l 中には, $7.0 \times 10^{-7} \text{ mol}$ の AgBr が溶けている。 AgBr のモル質量は, $108 + 80 = 188 [\text{g/mol}]$ だから, 求める質量は,

$$188 \times 7.0 \times 10^{-7} = 1.316 \times 10^{-4} \approx 1.3 \times 10^{-4} [\text{g}]$$

(2) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ の溶解平衡は, $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{固}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^{-}(\text{aq})$ で表されるから, $[\text{Fe}^{3+}] = 1.0 \times 10^{-10} [\text{mol/l}]$, $[\text{OH}^{-}] = 3 \times 1.0 \times 10^{-10} [\text{mol/l}]$ である。

したがって, 溶解度積は次式で求められる。

$$\begin{aligned} K_S &= [\text{Fe}^{3+}][\text{OH}^{-}]^3 = 1.0 \times 10^{-10} \times (3 \times 1.0 \times 10^{-10})^3 \\ &= 2.7 \times 10^{-39} (\text{mol/l})^4 \end{aligned}$$

3 (6373) M11

- (1) 小さい (2) 溶解度積, 大きく, 等しく (3) 温度

4 (6374) M11

沈殿を生じる。

解説

Ag_2CrO_4 の溶解平衡は, $\text{Ag}_2\text{CrO}_4(\text{固}) \rightleftharpoons 2\text{Ag}^{+}(\text{aq}) + \text{CrO}_4^{2-}(\text{aq})$

混合溶液では, 体積が 2 倍だから濃度は $\frac{1}{2}$ になるから,

$$[\text{Ag}^{+}] = 2.0 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} = 1.0 \times 10^{-4} (\text{mol/l})$$

$$[\text{CrO}_4^{2-}] = 3.0 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 1.5 \times 10^{-3} (\text{mol/l})$$

よって, イオンの濃度の積は,

$$[\text{Ag}^{+}]^2[\text{CrO}_4^{2-}] = (1.0 \times 10^{-4})^2 \times 1.5 \times 10^{-3} = 1.5 \times 10^{-11} (\text{mol/l})^3$$

この値は $K_S = 2.4 \times 10^{-12} (\text{mol/l})^3$ よりも大きい。したがって, 沈殿を生じる。

memo



定期試験対策

定期試験対策用の問題です。

問題は次の4段階に分かれています。

チェック……教科書の基本的なことがらをチェックする問題。

基本問題……教科書の中にあるような基本的な問題。2回分ある。

標準問題……教科書の章末問題レベルまでの問題。

実力問題……入試問題の中からやさしい問題を選んである。

- チェック・基本問題・標準問題は必ずやるようにしてください。また問題ごとに「関連8番号」をつけてありますから、答えの解説をみてもわからない場合は、関連する本文にもどってください。

第1章 反応の速さと化学平衡

| | 問題ページ | 解答ページ |
|----------------|-------|-------|
| ●第1回 チェック…………… | 2 | 23 |
| ●第2回 基本問題…………… | 7 | 26 |
| ●第3回 基本問題…………… | 11 | 29 |
| ●第4回 標準問題…………… | 15 | 33 |
| ●第5回 実力問題…………… | 19 | 37 |

定期試験

M01~M11

第1回—チェック—

年 組 名前 _____

1 (0101)

化学反応の速さについて、次の問いに答えなさい。

- (1) 化学反応が起こるためには、分子・原子・イオンどうしが、何をしなければならないか。
[]
- (2) 鉄粉と鉄くぎでは、どちらのほうのがはやくさびを生じるか。
[]
- (3) 単位時間に減少する反応物質の濃度 $[\text{mol/l}]$ の変化量、または単位時間に増加する生成物質の濃度の変化量を何というか。
[]

関連 § 番号 ⇨ M01

2 (0102)

化学反応の速さと濃度について、次の問いに答えなさい。ただし、(1)~(3)のいずれの場合も、反応の速さは反応物質のそれぞれの濃度の積に比例するものとする。

- (1) 反応物質 A, B の濃度をそれぞれ $[A]$, $[B]$ として、そのときの反応の速さ v を式に表しなさい。ただし、速度定数を k とする。
[]
- (2) 物質 A が分解する反応で、A の濃度を $[A]$, 速度定数を k として、そのときの反応の速さ v を式に表しなさい。
[]
- (3) 物質 A, B が気体の場合、それぞれの分圧を P_A , P_B , 速度定数 k として、そのときの反応の速さ v を式に表しなさい。
[]

関連 § 番号 ⇨ M01(6030, 6040)

3 (0103)

化学反応の速さについて、次の各問いに答えなさい。

- (1) 速度定数 k が大きいと、反応の速さは大きいのか、それとも小さいか。
[]
- (2) 速度定数 k の値は、何に影響されないか。
[]
- (3) 速度定数 k の値は、何に影響されるか。
[]
- (4) 一般に、反応する物質の濃度が大きいほど、反応の速さは大きくなるか、それとも小さくなるか。
[]
- (5) 反応の速さは、温度が高くなると大きくなるか、それとも小さくなるか。
[]
- (6) それ自身は反応の前後で変化しないが、ごく少量で反応の速さを変えるはたらきをする物質は何か。
[]

関連 § 番号 ⇨ M01(6030), M02(6050, 6070)

4 (0104)

温度を 10 度上げると、反応の速さが 2 倍になる反応がある。次の(1)~(3)の場合、反応の速さはそれぞれ何倍になるか。

(1) 温度を 20 度上げたとき

[]

(2) 温度を 50 度上げたとき

[]

(3) 温度を 70 度上げたとき

[]

関連 § 番号 ⇨ M02(6050)

5 (0105)

次の問いに答えなさい。

(1) 触媒とは何か、簡単に説明しなさい。

[]

(2) 正触媒と負触媒の違いを述べなさい。

[]

(3) 化学反応はある程度以上大きなエネルギーをもった反応物質の粒子が衝突して起こるが、このエネルギーを何というか。

[]

(4) 正触媒を用いると、ある反応の活性化エネルギーは大きくなるか、それとも小さくなるか。

[]

(5) 触媒を用いると、反応熱や生成物質の量は変化するか、それとも変化しないか。

[]

(6) 触媒が反応物質と均一に混合した状態ではたらく反応を何というか。

[]

関連 § 番号 ⇨ M02(6070)

6 (0106)

次の問いに答えなさい。

(1) 正反応と逆反応の両方が同時に起こりうる反応を何というか。

[]

(2) 化学平衡とは、どのような状態をいうか。反応の速さから説明しなさい。

[]

(3) $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ の化学平衡が成立しているとき、 $\frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} = K$ が成り

たつ。この関係を何というか。

[]

(4) (3)の式の K を何というか。

[]

(5) (3)の式の K は何によって決まる定数か。

[]

関連 § 番号 ⇨ M03(6080, 6090, 6100)

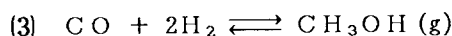
7 (0107)

次の可逆反応がそれぞれ化学平衡になっているとき、質量作用の法則により平衡定数 K を表す式を濃度 [] を用いて表しなさい。ただし、単位があるものは単位もつけて答えなさい。

(1) $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$

[]

(2) $C_2H_2 + H_2 \rightleftharpoons C_2H_4$



関連 § 番号 ⇨ M03(6100)

8 (0108)

平衡の移動について、次の問いに答えなさい。

- (1) 化学平衡にある混合物に成分の一部を加えると、平衡はどのように移動するか。
[]
- (2) 化学平衡にある気体混合物を圧縮すると、平衡はどのように移動するか。また、移動が起こらないのはどのような場合か。
[]
- (3) 化学平衡にある混合物を加熱すると、平衡はどのように移動するか。また、このとき平衡定数は変わるか。
[]
- (4) (1)~(3)をまとめた、平衡の移動に関する原理を何というか。
[]
- (5) (4)の原理を説明しなさい。
[]

関連 § 番号 ⇨ M04, M05(6160)

9 (0109)

次の反応が化学平衡にあるとき、() 内の操作をすると、平衡は右辺・左辺のどちらの方向に移動するか。または、移動しないか。

- (1) $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI} + 9.3 \text{ kJ}$ (温度を上げる) []
- (2) $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO} - 181 \text{ kJ}$ (圧力を加える) []
- (3) $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O} + 947 \text{ kJ}$ (NH_3 を加える) []
- (4) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3 + 92.2 \text{ kJ}$ (硫酸を加える) []

関連 § 番号 ⇨ M04, M05(6160)

10 (0110)

電離平衡について、次の問いに答えなさい。

- (1) 酢酸やアンモニアの水溶液で成りたっている化学平衡を何というか。
[]
- (2) (1)の化学平衡に質量作用の法則をあてはめて得られる平衡定数を何というか。
[]
- (3) (2)の平衡定数が大きい酸・塩基のほうが、酸性・塩基性が強い、それとも弱い。
[]
- (4) 弱酸の電離定数を K_a 、水溶液の濃度を $c [\text{mol/l}]$ とすると、電離度 α はどのように表されるか。
[]
- (5) 弱塩基の電離定数を K_b 、水溶液の濃度を $c [\text{mol/l}]$ とすると、電離度 α はどのように

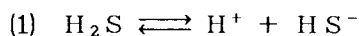
表されるか。

[]

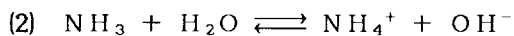
関連 § 番号 ⇨ M06(6190, 6200)

III (0111)

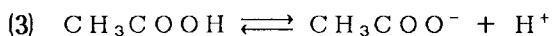
次の電離平衡における電離定数 K を表す式を書きなさい。



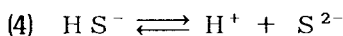
[]



[]



[]



[]

関連 § 番号 ⇨ M06(6200)

IV (0112)

水のイオン積と pH について、次の問いに答えなさい。

(1) 水のイオン積 K_w を表す式を書きなさい。また、 25°C のときの値を答えなさい。

[]

[]

(2) 酸の水溶液中での $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ の大小関係を、 $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ の値を使って示しなさい。

[]

(3) 塩基の水溶液中での $[\text{H}^+]$ と $[\text{OH}^-]$ の大小関係を、 $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ の値を使って示しなさい。

[]

(4) (2), (3)の水溶液中では、水のイオン積の値はどのようにになっているか。

[]

(5) pH を $[\text{H}^+]$ を用いて定義しなさい。

[]

(6) pH を $[\text{OH}^-]$ を用いて表すと、どうなるか。

[]

(7) 酸性、中性、塩基性のときの pH の値は、どのように表されるか。

酸性 []

中性 []

塩基性 []

関連 § 番号 ⇨ M07

V (0113)

次の水溶液の pH を求めなさい。ただし、 $\log 2 = 0.30$, $\log 1.7 = 0.23$, $\log 1.3 = 0.11$ とし、

(1), (2)は有効数字 2 けた, (3), (4)は小数第 1 位まで答えなさい。

(1) 0.10 mol/l の硫酸

[]

(2) 0.010 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液

[]

- (3) 0.10 mol/l の酢酸 (電離度 = 0.017)

[]

- (4) 0.10 mol/l のアンモニア水溶液 (電離度 = 0.013)

[]

関連 § 番号 ⇨ M08

14 (0114)

電離定数と pH について、次の問いに答えなさい。ただし、 $\log 1.7 = 0.23$, $\log 5.6 = 0.75$ とする。

- (1) 弱酸の水溶液の濃度を c [mol/l], 電離定数を K_a とすると, $[H^+]$ はどのように表されるか。

[]

- (2) 弱塩基の水溶液の濃度を c [mol/l], 電離定数を K_b とすると, $[OH^-]$ はどのように表されるか。

[]

- (3) 0.20 mol/l の酢酸の pH を有効数字 2 けたで求めなさい。($K_a = 2.8 \times 10^{-5}$ [mol/l])

[]

- (4) 0.010 mol/l のアンモニア水の pH を小数第 1 位まで求めなさい。

($K_b = 1.7 \times 10^{-5}$ [mol/l])

[]

関連 § 番号 ⇨ M09(6300)

15 (0115)

緩衝液について、次の問いに答えなさい。

- (1) 緩衝液とは何か、簡単に説明しなさい。

[]

- (2) 一般に、どのような物質の混合溶液が緩衝液となりうるか。2 種類答えなさい。

[]

[]

関連 § 番号 ⇨ M10(6330, 6340)

16 (0116)

塩の溶解平衡について、次の問いに答えなさい。

- (1) 塩の飽和溶液では、溶けきれずに残っている固体の塩と溶液中のイオンとの間でどのような平衡が成りたっているか。

[]

- (2) $AB(固) \rightleftharpoons A^+(aq) + B^-(aq)$ の溶解平衡が成りたっている溶液に、 A^+ または B^- のイオンを含む物質を加えると、そのイオンが減少する方向に平衡が移動する。このことを何というか。

[]

- (3) (2)の結果、どのような現象が見られるか。

[]

- (4) 難溶性の塩 $A_m B_n$ が水溶液中で、 $A_m B_n(固) \rightleftharpoons m A^{n+}(aq) + n B^{m-}(aq)$ の溶解平衡が成りたっているとき、溶解度積 K_S はどのように表されるか。

[]

- (5) 溶解度積 K_S の値は、何によって決まるか。

[]

- (6) $K_S > [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$ のとき、沈殿は生じるか、それとも生じないか。

[]

- (7) $K_S < [A^{n+}]^m [B^{m-}]^n$ のとき、沈殿は生じるか、それとも生じないか。

[]

関連 § 番号 ⇨ M11

定期試験

M01~M11

第2回—基本問題—

 年 組 名前

1 (0201)

$A + B \longrightarrow C + D$ で表される化学反応がある。A の濃度を 2 倍にすると反応の速さは 2 倍に、B の濃度を 3 倍にすると反応の速さは 3 倍になる。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) 反応の速さ v を、反応物質の濃度 $[A]$, $[B]$ を用いて表しなさい。ただし、速度定数を k とする。

[]

- (2) A, B の濃度をともに 3 倍にすると、反応の速さははじめの何倍になるか。

[]

- (3) 反応の速さを 10 倍にしたいと思う。A の濃度を 2 倍にするときは、B の濃度を何倍にしたらいいか。

[]

- (4) A の濃度を 3 倍にしても、反応の速さは変化しなかった。B の濃度を何倍にしたか。

[]

関連 § 番号 ⇨ M01(6030)

2 (0202)

次の(1)~(6)の反応の速さの違いは、(a)濃度、(b)温度、(c)触媒のどれに関係があるか。それぞれ記号で答えなさい。

- (1) 塩素酸カリウムに酸化マンガンを混ぜて加熱したら、塩素酸カリウムだけのときよりも低い温度で酸素が発生した。

[]

- (2) 空気中で消えなかったマッチ棒を酸素中に入れると、炎を上げて燃え始めた。

[]

- (3) 銅板は空気中で変化しにくいですが、バーナーで加熱すると黒色の酸化銅(Ⅱ)が生成した。

[]

- (4) 細い鉄線は、酸素中で線香花火のように燃える。

[]

- (5) 過酸化水素水に酸化マンガンを加えると、激しく酸素が発生する。

[]

- (6) 二酸化硫黄と酸素とを混合しても特別の変化はないが、赤熱した白金線をその中に入れると、三酸化硫黄が生じる。

[]

関連 § 番号 ⇨ M01(6030), M02(6050, 6070)

3 (0203)

右の図は、 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$ の反応における触媒を用いたときと用いないときのエネルギーの変化を示したものである。次の問いに答えなさい。

- (1) 図中の A の状態を何とよぶか。

[]

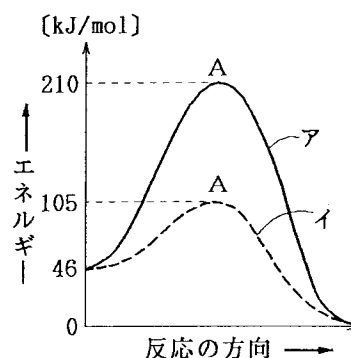
- (2) 触媒を用いない場合のこの反応のエネルギーの変化を示しているのは、アとイのどちらか。

[]

- (3) 触媒を用いた場合の、この反応の活性化エネルギーは何 kJ/mol か。

- (4) この反応の反応熱は何 kJ/mol か。

- (5) この反応は発熱反応か、それとも吸熱反応か。



[]

[]

[]

関連 § 番号 ⇨ M02(6060, 6070)

4 (0204)

次の(1), (2)の化学反応に使用される酸化マンガン(IV)が触媒として作用しているのは、どちらの場合か。番号で答えなさい。

- (1) 過酸化水素水に酸化マンガン(IV)を作用させて酸素を発生させる。
 (2) 濃塩酸に酸化マンガン(IV)を加えて加熱し、塩素を発生させる。

[]

関連 § 番号 ⇨ M02(6070)

5 (0205)

$\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応で、平衡状態とは次の(1)~(5)のどの場合をさすか。番号で答えなさい。

- (1) 水素、ヨウ素、ヨウ化水素のそれぞれの分子数の比が、1:1:2の割合になった状態。
 (2) 化学反応の左辺と右辺の分子数が等しくなった状態。
 (3) 水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する速さと、ヨウ化水素が解離して水素とヨウ素になる速さとが等しくなった状態。
 (4) 正反応、逆反応がともに停止した状態。
 (5) すべての水素とヨウ素が反応した状態。

[]

関連 § 番号 ⇨ M03(6090)

6 (0206)

$2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{SO}_3(\text{g}) + 196\text{kJ}$ の反応が化学平衡の状態にある。次の場合、平衡は右辺・左辺のどちらのほうに移動するか。または移動しないか。

- (1) ヘリウムガスをポンプで注入する。

[]

- (2) 水を加えてよく振る。

[]

- (3) 反応容器を氷水の中に入れる。

[]

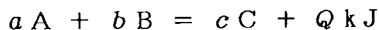
- (4) 新しく酸素ボンベから酸素を注入する。

[]

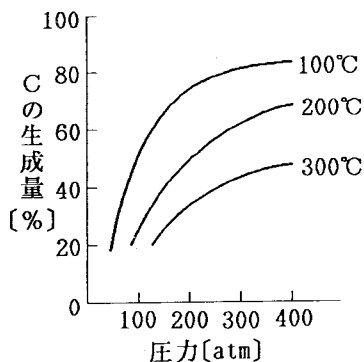
関連 § 番号 ⇨ M04

7 (0207)

気体 A と気体 B から気体 C が生成する反応は可逆反応であり、その熱化学方程式は次のように表される。



この反応が平衡に達したとき、C の生成量 (体積 %) と温度・圧力の関係が右図のようになった。係数 $a \sim c$ と Q の関係を正しく表したものを次の中から選び、番号で答えなさい。



- (1) $a + b > c$, $Q > 0$
- (2) $a + b < c$, $Q < 0$
- (3) $a + b > c$, $Q < 0$
- (4) $a + b < c$, $Q > 0$
- (5) $a + b = c$, $Q = 0$

[]

関連 § 番号 ⇨ M04

8 (0208)

次の文は、化学反応における2つの法則や原理を説明したものである。[]の中にあてはまることばを入れて、文を完成しなさい。

- (1) $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ の可逆反応が化学平衡の状態にあるとき、各物質の濃度の間には

$$\left[\right] = K$$

の関係がある。この式で K は、一定 []のもとでは一定の値をもち、その反応の [] 定数とよばれる。この関係を [] の法則という。

- (2) 化学平衡の状態にある混合物の [] ・ [] ・ [] を外から変化させると、加えられた条件の変化を [] ような方向に平衡が [] する。これを [] の原理という。

関連 § 番号 ⇨ M03(6100), M05(6160)

9 (0209)

次の電解質溶液が電離平衡に達しているとき、() 内の操作をすると、平衡は右辺・左辺のどちらの方向に移動するか。または、移動しないか。

- (1) $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (塩酸を加える) []
- (2) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ (酢酸ナトリウムを加える) []
- (3) $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ (高温にする) []
- (4) $\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$ (酢酸を加える) []

関連 § 番号 ⇨ M06(6210)

10 (0210)

次の問いに答えなさい。

- (1) 0.050 mol/l の硫酸水溶液の $[\text{H}^+]$ と pH を求めなさい。
 $[\text{H}^+]$ []
 pH []
- (2) 0.10 mol/l 酢酸水溶液の pH が 3.0 であるとき、酢酸の電離度はいくつになるか。
 []

- (3) pH=1.0 の塩酸水溶液と pH=2.0 の塩酸水溶液を同体積混合した溶液の pH はいくらか。ただし、 $\log 5.5=0.74$ とし、有効数字 2 けたで答えなさい。

[]

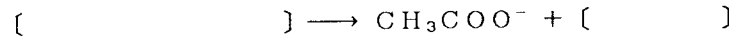
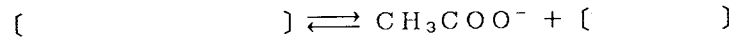
関連 § 番号 ⇨ M08(6260, 6280), M09(6310)

11 (0211)

緩衝液について、(1)の文の [] の中にはあてはまることばを、(2)、(3)の文の [] の中には化学式を入れなさい。

- (1) 緩衝液は [] とその酸の塩の混合溶液、または、弱塩基とその塩基の [] の混合溶液である。

- (2) 酢酸と酢酸ナトリウムの混合溶液では、



の反応が起こり、ごくわずかの [] と多量の [] ,
 CH_3COO^- , [] が存在する。

- (3) これに少量の塩酸を加えると、 H^+ は [] と結合して []
 となり、[] の濃度はほとんど変わらない。また、これに少量の水酸化
 ナトリウムを加えると、 OH^- は [] と反応するから、 OH^- の濃度は
 ほとんど変わらない。

関連 § 番号 ⇨ M10(6330)

12 (0212)

塩化銀の溶解平衡について、次の問いに答えなさい。

- (1) 塩化銀の飽和溶液中での溶解平衡を化学反応式で表しなさい。

[]

- (2) (1)の飽和溶液に塩化ナトリウムを加えたときの現象について、次のア～ウの文の中から正しいものを選び、記号で答えなさい。

ア 平衡が右辺のほうに移動し、塩化銀の溶解度は増加する。

イ 平衡が左辺のほうに移動し、塩化銀の沈殿がさらに生じる。

ウ ほとんど何の変化も起こらない。

[]

- (3) 25°C での塩化銀の溶解度積は $1.7 \times 10^{-10} (\text{mol/l})^2$ である。この温度での塩化銀の溶解度は何 mol/l か。有効数字 2 けたで答えなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M11

定期試験

M01~M11

第3回—基本問題—

 年 組 名前

1 (0301)

反応の速さと条件について、次の問いに答えなさい。

- (1) 次の条件の中から、化学反応の速さに関するものをすべて選び、番号で答えなさい。

① 温度 ② 比重 ③ 物質の表面積 ④ 物質の色 ⑤ 濃度

[]

- (2) 反応の速さは、単位時間あたりに増加する何の濃度で表されるか。

[]

- (3) 反応の速さは、単位時間あたりに減少する何の濃度で表されるか。

[]

関連 § 番号 ⇨ M01, M02

2 (0302)

$C_2H_2 + H_2 \longrightarrow C_2H_4$ の反応で、アセチレン C_2H_2 をエチレン C_2H_4 に変化させた。反応の速さ v が次のように表せるとき、あとの問いに答えなさい。答えは k (速度定数) と R (気体定数) を用いて表し、有効数字 3 けたで答えなさい。

$$v = k P_{C_2H_2} P_{H_2}$$

- (1) 2.00 mol のアセチレンと 3.00 mol の水素を、4.00 l の容器に入れて 300 K に保った。反応の速さを求めなさい。

[]

- (2) 0.500 mol のアセチレンと 0.700 mol の水素を、20.0 l の容器に入れて 300 K に保った。反応の速さを求めなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M01(6040)

3 (0303)

反応の速さと温度について、次の記述の中からもっとも正しいものを 1 つ選び、番号で答えなさい。

- (1) 反応物質の粒子が衝突した場合、反応する割合は、高温のときより低温のときのほうが大きい。
- (2) 低温では、反応物質の粒子が衝突しても反応しない。
- (3) 反応物質の粒子が衝突した場合、反応する割合は、低温のときより高温のときのほうが大きい。
- (4) 高温で反応の速さが大きくなるのは、反応物質の粒子の衝突回数が増加するためである。

[]

関連 § 番号 ⇨ M02(6050)

4 (0304)

温度を 10 度上げると、反応の速さが 3 倍になる反応がある。次の場合、この反応の速さは何倍になるか。

- (1) 温度を 30 度上げる。

[]

- (2) 温度を 60 度上げる。

[]

関連 § 番号 ⇨ M02(6050)

5 (0305)

次の現象の起こる理由を説明しなさい。

- (1) 鉄くぎよりもスチールウールのほうが、さび方が激しい。

[]

- (2) 塩酸の中で亜鉛が反応して水素を発生しているとき水を加えると、発生のしかたがゆるやかになる。

[]

- (3) 過酸化水素水に酸化マンガン(IV)を加えると、分解がはやまる。

[]

- (4) 気体反応では、温度が10度上がるごとに、反応の速さが2～3倍にはね上がる。

[]

関連 § 番号 ⇨ M01, M02

6 (0306)

次の反応で化学平衡が成立しているとき、平衡定数 K を表す式を濃度 [] を用いて表しなさい。ただし、単位があるものは単位もつけて答えなさい。

- (1) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$

[]

- (2) $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$

[]

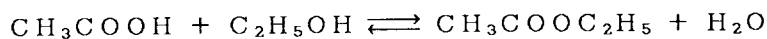
- (3) $2\text{NO}_2 \rightleftharpoons 2\text{NO} + \text{O}_2$

[]

関連 § 番号 ⇨ M03(6100)

7 (0307)

酢酸とエタノールを反応させると、次のような平衡状態に達する。



酢酸 3.0 mol にエタノール 2.0 mol を加えてある温度で反応させ、平衡に達したとき、酢酸エチルは何 mol 生成するか。ただし、この温度における平衡定数を 4.0 とし、有効数字 2 けたで答えなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M03(6110)

8 (0308)

次の熱化学方程式で表される反応が化学平衡の状態に達しているとき、温度を上げても、圧力を減らしても平衡が右辺に移動するものはどれか。すべてを選び、番号で答えなさい。

- (1) $2\text{CO} = 2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2 - 218 \text{ kJ}$

- (2) $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2\text{HCl} + 184 \text{ kJ}$

- (3) $\text{N}_2 + \text{O}_2 = 2\text{NO} - 181 \text{ kJ}$

- (4) $2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) = 2\text{H}_2 + \text{O}_2 - 570 \text{ kJ}$

- (5) $\text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) = \text{CaCO}_3(\text{s}) + 176 \text{ kJ}$

- (6) $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) - 172 \text{ kJ}$

[]

関連 § 番号 ⇨ M04

9 (0309)

ヨウ化水素 0.01000 mol は、458 °C において、水素とヨウ素の気体それぞれ 0.001433 mol ずつと平衡にある。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) この温度における $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$ の反応の平衡定数の値を有効数字 4 けたで求めなさい。

[]

- (2) この反応の温度を上げると平衡定数の値は小さくなる。このことからいえることを次の中から選び、記号で答えなさい。

- (ア) この反応は吸熱反応である。
 (イ) この反応は発熱反応である。
 (ウ) 温度を高くしたほうが、ヨウ化水素を多く得られる。
 (エ) 温度を低くしたほうが、ヨウ化水素を多く得られる。
 (オ) この反応の逆反応の平衡定数の値は、温度を上げると大きくなる。
 (カ) この反応の逆反応の平衡定数の値も、温度を上げると小さくなる。

[]

関連 § 番号 ⇨ M03(6100), M04(6150)

10 (0310)

次の問いに答えなさい。ただし、 $\log 2 = 0.30$, $\log 3.4 = 0.53$ とする。

- (1) 0.020 mol/l の水酸化カリウムの pH を小数第 1 位まで求めなさい。

[]

- (2) 2.0 mol/l のアンモニア水の $[\text{OH}^-]$ (有効数字 2 けた) と pH (小数第 1 位まで) を求めなさい。ただし、アンモニアの電離定数を $1.7 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ とする。

 $[\text{OH}^-]$ []

pH []

- (3) 0.10 mol/l の硫酸 20 ml と 0.20 mol/l の水酸化カリウム溶液 30 ml の混合溶液の pH を小数第 1 位まで求めなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M08(6270), M09(6300, 6310)

11 (0311)

気体の塩化水素が含まれている標準状態の空気 2.0 l を蒸留水 500 ml に通して、塩化水素を完全に吸収させたら、pH が 3.0 になった。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) この空気中には、体積で何 % の気体の塩化水素が含まれていたか。

[]

- (2) この水溶液を蒸留水で 10 万倍にうすめたら、pH はおよそいくらかになるか。整数値で答えなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M09

12 (0312)

次の①~⑤の物質を混入した溶液の中で、緩衝液になるものをすべて選び、番号で答えなさい。

- ① 硝酸と硝酸ナトリウム
 ② 酢酸と酢酸ナトリウム
 ③ 塩化ナトリウムと塩化カリウム
 ④ アンモニアと塩化アンモニウム
 ⑤ アンモニアと硝酸カリウム

[]

関連 § 番号 ⇨ M10(6330, 6340)

E (0313)

$2.0 \times 10^{-8} \text{ mol/l}$ の硝酸銀溶液 20 ml に、 $1.0 \times 10^{-6} \text{ mol/l}$ のヨウ化ナトリウム溶液 20 ml を加えた。沈殿は生じるか。ただし、ヨウ化銀の溶解度積を $1.5 \times 10^{-16} (\text{mol/l})^2$ とする。

{ }

関連 § 番号 ⇨ M11(6370)

定期試験

M01~M11

第4回—標準問題—

年 組 名前

1 (0401)

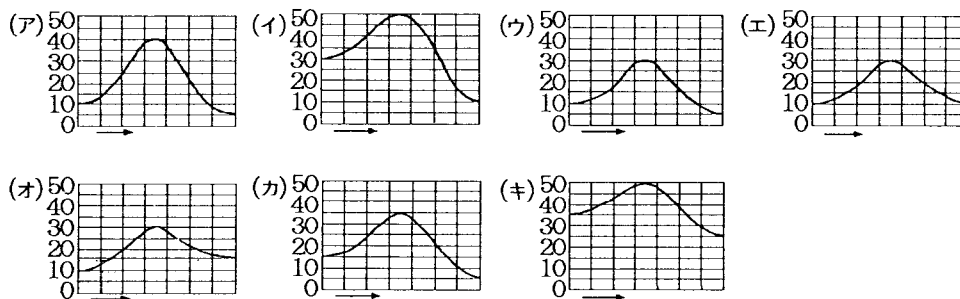
水素とヨウ素からヨウ化水素ができる反応で、反応の初期においては水素の濃度を2倍にすると、ヨウ化水素生成の速さが2倍になった。また、ヨウ素の濃度を3分の1にしたところ、ヨウ化水素生成の速さは3分の1となった。この反応について、次の問いに答えなさい。

- (1) ヨウ化水素生成の速さは、どのような単位を用いて表されるか。
[]
- (2) ヨウ化水素生成の速さは、ヨウ素と水素の濃度とどのような関係式で結ばれるか。
[]
- (3) (A)ヨウ化水素生成の速さとヨウ素の減少の速さの比はいくらか。
[]
- (B)ヨウ化水素生成の速さと水素の減少の速さの比はいくらか。
[]
- (4) この反応の速さは、(A)温度を上げたとき、または、(B)触媒を加えたときに増加する。(A)、(B)で、速さが増加する理由は何か。次に示す①~⑤から(A)、(B)それぞれの場合において、もっともふさわしい理由を選び、番号で答えなさい。
- ① 分子の衝突回数が増加した。
 - ② ヨウ化水素生成の速さがより大きい、新しい反応の道すじが生じた。
 - ③ 化学平衡がヨウ化水素の増加する方向に移動した。
 - ④ 衝突した分子のうちで、反応を起こすために必要なエネルギーをもつ分子の割合が増加した。
 - ⑤ ヨウ素または水素のどちらか一方、あるいは両方が、反応性に富んだ中間物質に変わった。
- (A) []
(B) []

関連 § 番号 ⇨ M01, M02

2 (0402)

次の図は化学反応の進む方向(横軸; →)に対応したエネルギー(縦軸; kJ/mol)の変化を示した反応経路図である。(1)~(4)には図中の記号を、(5)には数値を書きなさい。解答が複数になる場合は、そのすべてを書きなさい。(大阪工大)



- (1) 吸熱反応を示す図はどれか。
[]
- (2) 図(ア)~(キ)の中で、反応がもっともはやく進むのはどれか。
[]
- (3) 図(ア)~(キ)の中で、反応がもっともおそく進むのはどれか。
[]

(4) 図(ア)に示す反応に、触媒を加えて反応が加速されることを示す図はどれか。

[]

(5) 図(ア)に示す反応の活性化エネルギーはいくらか。

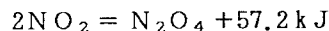
[]

関連 8 番号 ⇨ M02(6060, 6070)

3 (0403)

次の文の [] にあてはまる語をあとから選び、番号を記入しなさい。ただし、(ア)と(イ)については①～④から、(ウ)と(オ)については⑤～⑦から、(エ)と(カ)については⑧～⑩からそれぞれ選びなさい。同じ番号を何度使ってもよい。

二酸化窒素 NO_2 は(ア) [] の気体である。二酸化窒素の 2 分子が反応すると、(イ) [] の気体である四酸化二窒素に変わる。



この反応は逆の方向にも進み、化学平衡の状態に到達する。二酸化窒素を試験管に詰めてゴムせんをし、氷水で冷やすと、試験管の中の気体の色は(ウ) []，反応は(エ) [] ことがわかる。

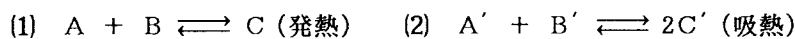
次に二酸化窒素を注射器に入れ、口にかたく栓をする。注射器のピストンを押して内部の気体を圧縮すると、気体の色は(オ) []，反応は(カ) [] ことがわかる。

- | | |
|---|--|
| { | ① 淡黄色 ② 黄緑色 ③ 褐色 ④ 無色 ⑤ こくなり |
| | ⑥ うすくなり ⑦ 変化せず ⑧ 左辺の方向に進んだ |
| | ⑨ 右辺の方向に進んだ ⑩ どちらにも進まない |

関連 8 番号 ⇨ M04

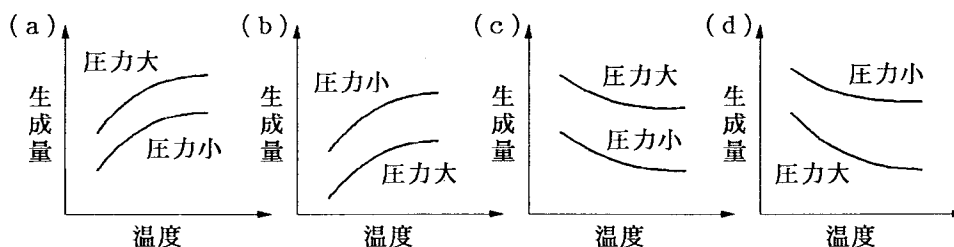
4 (0404)

次の(1)と(2)の一般式で示される気体反応がある。



(1)および(2)の反応のおおのは、(a)～(d)の図のどれで示されるかを答えなさい。もし該当する図がなければ「なし」と答えなさい。ただし、(a)～(d)の図は平衡状態での C，または C' の生成量と反応温度との関係を示し、また、図中の各曲線は等圧曲線である。

(筑波大)



(1) []

(2) []

関連 8 番号 ⇨ M04

5 (0405)

気体反応 $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$ の 1 atm における平衡定数 K は次のとおりである。これについて、あとの問いに答えなさい。

| 温度[℃] | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| K | 283 | 43 | 13 | 5.0 | 2.0 |

(1) K の値は温度によって変化しているが、圧力によってはどうなると推定されるか。

[]

- (2) 水蒸気は、実際の工業では化学反応式で計算された量より多く用いられる。この理由を説明しなさい。

[]

- (3) 鉄・クロム系触媒が用いられる場合、この反応は実際は $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ で行われるが、このような温度が選ばれる理由を推定しなさい。

[]

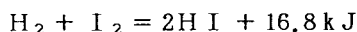
- (4) 一酸化炭素 1.0 mol と水蒸気 2.0 mol の混合気体を 1 atm , 500°C で容積が $V [\text{l}]$ の容器で十分長時間反応させた場合、一酸化炭素は何 mol 反応したか。有効数字 2 けたで答えなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M03 ~ M05

6 (0406)

水素とヨウ素からヨウ化水素を生成する反応は、次の熱化学方程式で表される。



水素 1.0 mol とヨウ素 2.0 mol を密閉容器に入れ、ある温度に保って反応させたところ、ヨウ化水素を 1.8 mol 生じて平衡状態に達した。これについて、次の問いに答えなさい。

- (1) この反応のこの温度における平衡定数を有効数字 2 けたで求めなさい。

[]

- (2) 別の密閉容器に 5.0 mol のヨウ化水素を入れ、この温度で平衡状態に到達させた。このとき何 % のヨウ化水素が解離しているか。有効数字 2 けたで答えなさい。

[]

- (3) この反応が平衡状態に達しているとき、次のア～エの操作を行うと、平衡はどうなるか。

ア 触媒を加える。 []

イ さらに水素を加える。 []

ウ 温度を上げる。 []

エ 温度はそのまま、容器の体積を半分にする。 []

関連 § 番号 ⇨ M03 ~ M05

7 (0407)

$2.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ のギ酸 HCOOH の水溶液 (25°C) について、電離度と pH を有効数字 2 けたで求めなさい。ただし、この温度でのギ酸の電離定数は $2.8 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ とし、 $\log 5.6 = 0.75$ とする。

電離度 []

pH []

関連 § 番号 ⇨ M06(6200), M09(6300)

8 (0408)

0.020 mol/l の硫酸 500 ml に 0.020 mol/l 塩化バリウム水溶液 500 ml を加えた。得られる溶液の pH を有効数字 2 けたで求めなさい。ただし、 $\log 2 = 0.30$ とする。

[]

関連 § 番号 ⇨ M09(6310)

9 (0409)

次の問いに答えなさい。ただし、酢酸の電離定数 $K_a = 2.8 \times 10^{-5} [\text{mol/l}]$, $\log 2.8 = 0.45$ とし、(2), (3) は有効数字 2 けたで求めなさい。

- (1) 1.0 mol/l の酢酸 50 ml に 1.0 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液 25 ml を加えました。このとき起こる反応の化学反応式を書きなさい。

[]

(2) (1)の混合溶液(反応後)中に含まれる酢酸と酢酸ナトリウムのモル濃度を求めなさい。

酢酸 []
酢酸ナトリウム []

(3) (1)の混合溶液の pH を求めなさい。

[]

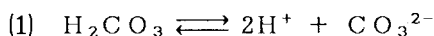
(4) (1)の混合溶液に①少量の塩酸、②少量の水酸化ナトリウム水溶液をそれぞれ加えると、液の pH はどのように変化するか。

① [] ② []

関連 § 番号 ⇨ M10(6350)

Ⅹ (0410)

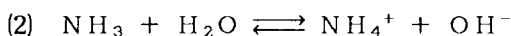
次の(1)~(3)の電離平衡や溶解平衡が成りたっているとき、それぞれ(ア)~(ウ)の変化を与えると、平衡はどちらに移動するか。右辺のほうに移動するものには A、左辺のほうに移動するものには B、移動しないものには C を書きなさい。



(ア) 水酸化ナトリウム水溶液を加える。 []

(イ) 加熱する。 []

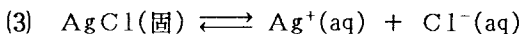
(ウ) 炭酸ナトリウム水溶液を加える。 []



(ア) 水酸化カリウム水溶液を加える。 []

(イ) 食塩水を加える。 []

(ウ) 水を蒸発させる。 []



(ア) 塩酸を加える。 []

(イ) アンモニア水を加える。 []

(ウ) 加熱する。 []

関連 § 番号 ⇨ M06(6210), M11(6360)

Ⅺ (0411)

25°C において MgCO_3 と BaCO_3 の溶解度積は、それぞれ $1.0 \times 10^{-5} (\text{mol/l})^2$, $8.1 \times 10^{-9} (\text{mol/l})^2$ である。 Mg^{2+} と Ba^{2+} をともに $1.0 \times 10^{-3} \text{mol/l}$ 含む水溶液について、次の問いに答えなさい。 (京都薬科大)

(1) Mg^{2+} を沈殿させずに、含まれるすべての Ba^{2+} をできるだけ沈殿させたいときに必要な炭酸イオンの濃度を求めなさい。

[]

(2) (1)に続いて、 Mg^{2+} が沈殿しはじめるときの Ba^{2+} の濃度を求めなさい。

[]

関連 § 番号 ⇨ M11(6370)

定期試験

M01~M11

第5回一実力問題一

年 組 名前

1 (0501)

次の文章の [] に最も適した語を、下の語群から選べ。

(室蘭工大)

化学反応を能率よく起こさせるためには、次の3つの条件が必要である。①反応物の濃度を高くして、分子の(1)[]を増す。②(2)[]を上げて、(3)[]状態をつくる(4)[]を多くする。③(5)[]を用いて、(6)[]とよばれる位置に反応物を(7)[]させ、(8)[]の(9)[]反応経路に沿って反応を起こさせる。これらの条件を満足させることにより、反応の(10)[]をできるだけ大きくすることが有効に反応を利用することになる。

語群 濃度 圧力 温度 活性化 活性化エネルギー 活性点 小さい
大きい ふつう 触媒 吸着 脱離 速度 衝突回数 分子の割合

関連番号 ⇨ M01, M02

2 (0502)

ヨウ化水素に関する以下の問いに対し、空欄の中にあてはまる用語、式を記せ。ただし、(a), (b), (c)は図中の記号で答えよ。X, Yの値は正とする。

(東京農工大)

一定体積の容器中で、ヨウ素および水素ガスを混合し容器を500℃に保った。原料の一部はヨウ化水素に変化し、みかけ上反応は停止した。1molのヨウ化水素が生成するときのエネルギー変化は図1.1のように示される。このときの反応熱は図の(a)[]、活性化エネルギーは(b)[]であり、(c)[]熱反応である。このときの反応熱をX[kJ]とすると、熱化学方程式は次のようになる。(d)[]一方、ヨウ化水素ガスの1molを容器中に封入し一定温度に保つと、解離反応が起こり反応はみかけ上停止する。このときのエネルギー変化は図1.2のように示される。反応熱は図の(e)[]で示され、(f)[]熱反応である。反応熱をY[kJ]とすると、熱化学方程式は次のようになる。(g)[]

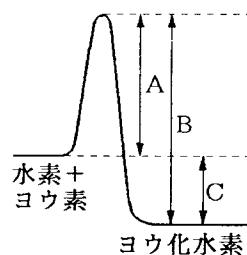


図1.1

反応のエネルギー変化

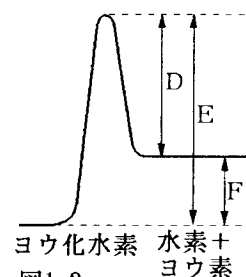


図1.2

反応のエネルギー変化

関連番号 ⇨ M02 (6060)

3 (0503)

次の文を読み、下記の問いに答えよ。(熊本大)

一般に化学反応では、反応物質は右図に示すようにエネルギーの高い活性化状態をへて生成物質へと変化するが、活性化状態のエネルギーが高いと反応は起こりにくい。

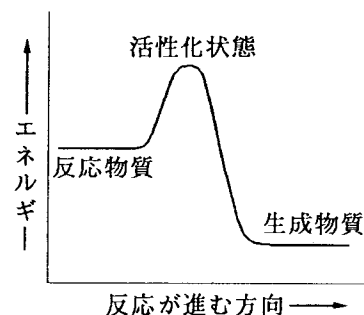
過酸化水素水は放置すると室温でも徐々に分解していく。この場合、温度を上げるとその分解は速くなるが、室温においても少量の酸化マンガン(IV)を加えることにより分解は速くなる。

問[1] 過酸化水素の分解を化学反応式で示せ。

問[2] 反応温度を25℃から55℃に上げると分解の速さは何倍になるか。ただし、この反応は温度が10度上がるごとに速さが2倍になるとする。

問[3] (イ) 酸化マンガン(IV)のように、反応を促進する物質を何というか。

(ロ) 酸化マンガン(IV)を加えた場合、反応はどのようなエネルギーの変化をへて進むか。



図示せよ。

問〔4〕 3.0 % 過酸化水素水の 100 g が完全に分解したとき、発生する気体の標準状態での体積を計算せよ。有効数字は 2 桁とする。

関連 § 番号 ⇨ M02

4 (0504)

ヨウ素が気体状態で、 $I_2 \rightleftharpoons 2I$ の解離平衡にあるとき、ある温度、圧力(全圧)で 5 % の解離度を示した。容積を一定にしたまま、温度を絶対温度で 1.5 倍に上げたところ、圧力が 2.5 倍となった。このときの解離度は何%か。ただし、固体のヨウ素は残っていないものとし、気体は理想気体とする。

(東京工大)

ヒント 容積が一定のとき、圧力は物質質量と絶対温度に比例する。

関連 § 番号 ⇨ M03

5 (0505)

ある温度で 1 mol の酢酸と 2 mol のエタノールの混合物に触媒を加えて放置したところ、酢酸が 85 % 反応して酢酸エチルになり平衡に達した。この反応の平衡定数を求めよ。答えは小数点以下 2 桁目を四捨五入せよ。

(青山学院大)

関連 § 番号 ⇨ M03

6 (0506)

水素とヨウ素を密閉した反応容器に入れて一定の高温に保つと、ヨウ化水素が生じて次の平衡状態となる。 $H_2 + I_2 \rightleftharpoons 2HI$

この化学平衡について次の問いに答えよ。数値は小数点以下第 3 位まで求めよ。(筑波大)

問 1 反応容器に入れる水素を a [mol]、ヨウ素を b [mol]、平衡状態におけるヨウ化水素を x [mol] とし、平衡定数 K を a 、 b 、 x で表せ。

問 2 $a = 0.500$ [mol]、 $b = 0.500$ [mol] とし、500 °C での平衡状態における水素、ヨウ素、ヨウ化水素の物質質量を求めよ。ただし、500 °C における平衡定数は $K = 45.0$ である。

問 3 反応容器に水素とヨウ素を入れるかわりに、ヨウ化水素を 1.00 mol 入れて 500 °C に保った。平衡状態において生成する水素とヨウ素の物質質量を求めよ。

関連 § 番号 ⇨ M03

7 (0507)

次の(1)~(4)の反応式で表される化学平衡に対して、(イ)、(ロ)、(ハ)で表される条件の変化が与える影響について、最も適当なものを下の(a)~(d)の中から選べ。(東京工芸大)

(a) 平衡が左に移動する。 (b) 平衡が右に移動する。

(c) いずれの方向にも移動しない。

(d) 与えられた条件だけでは平衡の移動について判断できない。

(1) $N_2(\text{気}) + O_2(\text{気}) = 2NO(\text{気}) - 181 \text{ kJ}$

(イ) 温度を上げる。 (ロ) 圧力を加える。 (ハ) 窒素を加える。

(2) $N_2(\text{気}) + 3H_2(\text{気}) = 2NH_3(\text{気}) + 92.2 \text{ kJ}$

(イ) 温度を上げる。 (ロ) 圧力を加え、窒素を除く。 (ハ) 触媒を加える。

(3) $C(\text{固}) + H_2O(\text{気}) = CO(\text{気}) + H_2(\text{気}) - 132 \text{ kJ}$

(イ) 温度を下げる。 (ロ) 圧力を下げる。 (ハ) 水素を除く。

(4) $NH_3(\text{気}) + H_2O(\text{液}) = NH_4^+(\text{aq}) + OH^-(\text{aq}) + 34.7 \text{ kJ}$

(イ) 塩化アンモニウムを加える。 (ロ) 塩化ナトリウムを加える。

(ハ) 水を加える。

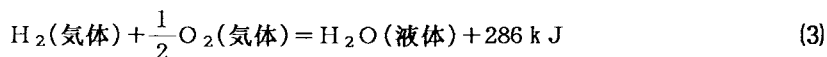
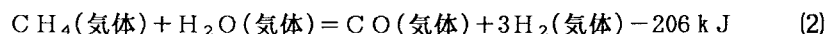
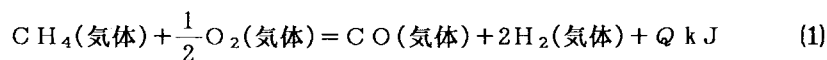
関連 § 番号 ⇨ M04

8 (0508)

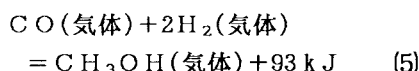
一酸化炭素や水素が関与する反応について、以下の問いに答えよ。

(北海道大)

問1 一酸化炭素と水素はメタンから触媒を用いて、次の(1)式および(2)式の反応によりつくることができる。(1)式における Q の値を(2)~(4)式を用いて求めよ。

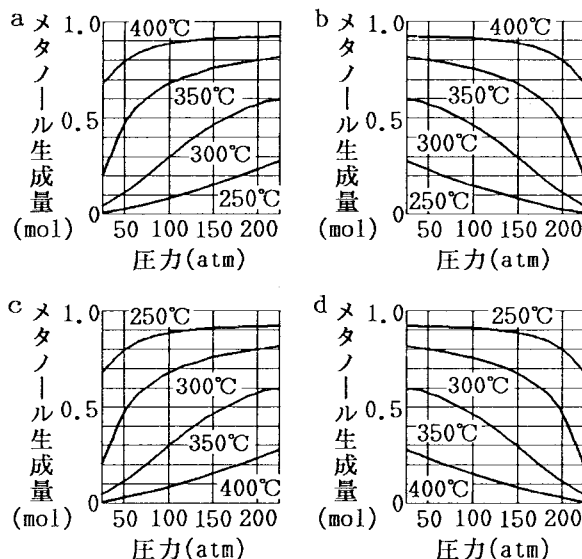


問2 一酸化炭素と水素から触媒を用いてメタノールを合成する反応は(5)式で表される。



いま、一酸化炭素 1.0 mol と水素 2.0 mol を種々の温度、圧力の下で反応させ平衡に到達させた。ただし、反応の前後において温度、圧力は変わらないものとする。

そのときのメタノール生成量 (mol) と温度、圧力との関係を最も適切に表しているのは右図のうちどれか。記号 a ~ d で答えよ。



問3 水素と窒素から触媒を用いて、ア

ンモニアを合成することができる。いま、水素 3.0 mol と窒素 1.0 mol を高温・高圧下で反応させたところ、アンモニアが 1.2 mol 生成した。このとき、反応せずに残っている水素は、はじめの水素の何 % に相当するか。

関連 § 番号 ⇨ M03, M04

9 (0509)

次の問いに答えよ。必要ならば次の値を用いよ。 $\log 1.33 = 0.124$, $\log 1.77 = 0.248$, $\log 2.66 = 0.425$, $\log 3.99 = 0.601$ (岐阜大)

(1) 通常、市販されているアンモニア水は 28 % のアンモニアを含んでおり、その比重は 0.90 である。0.100 モル/ℓ のアンモニア水を 1.00 ℓ つくるには市販のアンモニア水は何 ml 必要か。有効数字二桁で求めよ。

(2) (1)で調製したアンモニア水の OH^- イオンの濃度は 25 °C で 1.33×10^{-3} モル/ℓ である。そのアンモニア水の pH および電離度を有効数字三桁で求めよ。

関連 § 番号 ⇨ M06~M08

10 (0510)

pH は水溶液中の水素イオン濃度の尺度である。これと全く同様の考え方で、水酸化物イオンの濃度について、pOH という尺度を用いることもできる。この pOH について、以下の問いに答えよ。 (お茶の水女子大)

(1) pOH と水酸化物イオンの濃度 C との関係を式で表せ。

(2) 3 種の水溶液 (a) ~ (c) がある。

(a) 0.1 モル/ℓ 水酸化ナトリウム水溶液 (b) 0.1 モル/ℓ アンモニア水

(c) 0.1 モル/ℓ 塩化アンモニウム水溶液

これらの溶液の pOH の大きさの大小関係を、(a), (b), (c) の記号を用いて示せ。

(3) ある水溶液の pOH と、その溶液の pH との関係を式で表せ。

関連 § 番号 ⇨ M07, M08

II (0511)

pH が 3.0 の希塩酸 100 ml と、pH が 2.0 の希塩酸 50 ml とを混合すると、混合溶液の pH はいくらになるか。ただし、塩酸は完全に電離しているものとする。 $\log 2 = 0.3$

(東京女子医大)

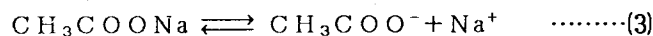
ヒント 混合溶液中の水素イオンの物質量と溶液の体積を別々に考え、混合溶液の水素イオン濃度を算出する。

関連 § 番号 ⇨ M09 (6310)

II (0512)

次の文中の、() には適当な数値または語句を、 には適当な式または化学反応式を入れよ。 (信州大)

0.60 mol/l の酢酸溶液 50.0 ml と 0.20 mol/l の水酸化ナトリウム溶液 50.0 ml をよく混合し、pH を測定したところ、25℃で 4.44 であった。すなわち、水素イオン濃度 $[H^+] = 3.6 \times 10^{-5}$ mol/l である。このとき起こった化学反応は(1)式、(a) …(1) で示される中和反応で、その結果、混合溶液中には、(b) () mol/l の酢酸と(c) () mol/l の酢酸ナトリウムが存在することになる。弱酸である酢酸は、そのごく一部が(2)式のように電離しているにすぎないが、酢酸ナトリウムは塩であり、ほぼ完全に(3)式のように電離している。



[] で mol/l 濃度を表すとすれば、酢酸の電離定数 K_a は(4)式のように表される。

$$K_a = (e) \text{ } \cdots \cdots (4)$$

上の酢酸-酢酸ナトリウム混合溶液の場合、 $[H^+]$ はわかっており、また、電離による酢酸濃度の変化は無視できるから、 $[CH_3COOH] = (b) ()$ mol/l、 $[CH_3COO^-] = (c) ()$ mol/l としてよい。これらの数値を(4)に代入すれば、酢酸の電離定数 $K_a = (f) ()$ が求められる。次に溶液に純水を加えて 10 倍にうすめると、 $[CH_3COOH] = (g) ()$ mol/l、 $[CH_3COO^-] = (h) ()$ mol/l となり、(4)式より $[H^+] = (i) ()$ mol/l が得られる。一方 0.30 mol/l の酢酸のみの溶液の $[H^+]$ の値は、(4)式から 2.3×10^{-3} mol/l と計算されるが、この溶液を純水で 10 倍にうすめた場合には、同様にして $[H^+] = (j) ()$ mol/l が得られる。したがって、(k) () 溶液の水素イオン濃度は 10 倍にうすめることによって大きく変化するが、(l) () 溶液の場合には、うすめてもほとんど変化しないことがわかる。

関連 § 番号 ⇨ M10

II (0513)

カドミウムイオン Cd^{2+} が溶けている濃度 0.10 mol/l の廃水が 1 l ある。この廃水よりカドミウムを水酸化物の沈殿として回収・除去したい。水酸化カドミウムの溶解度積を $K_S = [Cd^{2+}] \cdot [OH^-]^2 = 1.0 \times 10^{-15}$ [mol/l]³ として、(1), (2)の問いに有効数字 2 けたで答えなさい。 (東京農工大)

- (1) 水酸化ナトリウム水溶液を加えて水酸化物の沈殿をつくるとき、沈殿が生じはじめる pH を求めなさい (加えた水酸化ナトリウム水溶液の体積増加分は無視する)。
- (2) 水酸化ナトリウム水溶液を加えて、pH を 10 としたとき、沈殿しないで溶液中に残るカドミウムイオンの濃度 [mol/l] を求めなさい。

関連 § 番号 ⇨ M11(6370)

定期試験詳解

M01~M11

第1回一チェック

【83点満点】

1 (0101) 各1点, 計3点 M01

- (1) 衝突 (2) 鉄粉 (3) 化学反応の速さ

関連 § 番号 ⇨ M01

2 (0102) 各1点, 計3点 M01

- (1)
- $v = k[A][B]$
- (2)
- $v = k[A]$
- (3)
- $v = k P_A P_B$

解説

- (3) 気体の場合, 各成分の濃度は分圧に比例する。

関連 § 番号 ⇨ M01(6030, 6040)

3 (0103) 各1点, 計6点 M02

- (1) 大きい。 (2) 濃度 (3) 温度 (4) 大きくなる。
-
- (5) 大きくなる。 (6) 触媒

関連 § 番号 ⇨ M01(6030), M02(6050, 6070)

4 (0104) 各1点, 計3点 M02

- (1) 4倍 (2) 32倍 (3) 128倍

解説

温度を10度上げると, 反応の速さが2倍になるのだから, (1)は $2^2=4$ [倍], (2)は $2^5=32$ [倍], (3)は $2^7=128$ [倍] となる。

関連 § 番号 ⇨ M02(6050)

5 (0105) 各1点, 計6点 M02

- (1) 自分自身は反応の前後で変化しないが, ごく少量で反応の速さを変えるはたらきをもつ物質。
 (2) 正触媒は反応の速さを大きくするが, 反対に負触媒は反応の速さを小さくする。
 (3) 活性化エネルギー (4) 小さくなる。 (5) 変化しない。
 (6) 均一触媒反応

関連 § 番号 ⇨ M02(6070)

6 (0106) 各1点, 計5点 M03

- (1) 可逆反応
 (2) 正反応と逆反応の速さが等しくなり, 見かけ上反応が停止している状態。
 (3) 質量作用の法則 (または, 化学平衡の法則) (4) 平衡定数 (5) 温度

関連 § 番号 ⇨ M03(6080, 6090, 6100)

7 (0107) 各1点, 計3点 M03

- (1) $\frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]}$ (2) $\frac{[C_2H_4]}{[C_2H_2][H_2]}$ [(mol/l)⁻¹], または [l/mol]
 (3) $\frac{[CH_3OH]}{[CO][H_2]^2}$ [(mol/l)⁻²], または [(l/mol)²]

解説

$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$ の化学平衡が成立しているとき, 平衡定数 K は次の式で表される。

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \{(\text{mol/l})^{c+d-a-b}\}$$

関連 § 番号 ⇨ M03(6100)

8 (0108) (1), (4), (5)各1点, (2), (3)各2点, 計7点 M05

- (1) 加えられた成分が減少する方向に移動する。
- (2) 分子数(物質質量)が減る方向に移動する。反応の前後で物質質量が変わらないときは、移動が起こらない。
- (3) 吸熱反応が起こる方向に移動する。このとき、平衡定数は変化する。
- (4) ルシャトリエの原理
- (5) 化学平衡にある混合物に外部から変化を与えると、その変化を打ち消す方向に平衡が移動する。

解説

- (3) 吸熱反応の場合、温度上昇によって平衡定数は大きくなる。

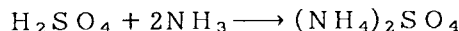
関連 § 番号 ⇨ M04, M05(6160)

9 (0109) 各1点, 計4点 M05

- (1) 左辺 (2) 移動しない。 (3) 右辺 (4) 右辺

解説

- (1) 温度を上げると、吸熱反応のほう(左辺)に平衡が移動する。
- (2) 圧力を加えても、左辺と右辺の気体分子の分子数(物質質量)が同じなので、平衡は移動しない。
- (3) 左辺の $[\text{NH}_3]$ が増加するので、 $[\text{NH}_3]$ が減少するほう(右辺)に平衡が移動する。
- (4) 硫酸がアンモニア NH_3 を吸収するので、 $[\text{NH}_3]$ が減少する。よって、 $[\text{NH}_3]$ が増加するほう(右辺)に平衡が移動する。ここで、硫酸とアンモニアの反応は、次のように表される。



関連 § 番号 ⇨ M04, M05(6160)

10 (0110) 各1点, 計5点 M06

- (1) 電離平衡 (2) 電離定数 (3) 強い。

$$(4) \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}} \quad (5) \alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}}$$

関連 § 番号 ⇨ M06(6190, 6200)

11 (0111) 各1点, 計4点 M06

$$(1) \frac{[\text{H}^+][\text{HS}^-]}{[\text{H}_2\text{S}]} = K \quad (2) \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = K$$

$$(3) \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = K \quad (4) \frac{[\text{H}^+][\text{S}^{2-}]}{[\text{HS}^-]} = K$$

関連 § 番号 ⇨ M06(6200)

12 (0112) 各1点, 計10点 M07

- (1) $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$, $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/l})^2$
- (2) $[\text{H}^+] > 1.0 \times 10^{-7} (\text{mol/l}) > [\text{OH}^-]$
- (3) $[\text{H}^+] < 1.0 \times 10^{-7} (\text{mol/l}) < [\text{OH}^-]$
- (4) 一定になっている。 (5) $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$ (6) $\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-]$
- (7) 酸性… $\text{pH} < 7$, 中性… $\text{pH} = 7$, 塩基性… $\text{pH} > 7$

関連 § 番号 ⇨ M07

[E] (0113) 各 2 点, 計 8 点 M08

- (1) 0.70 (2) 12 (3) 2.8 (4) 11.1

解説

(1) $[\text{H}^+] = n c = 2 \times 0.10 = 2.0 \times 10^{-1} [\text{mol/l}]$ より,

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(2.0 \times 10^{-1})$$

$$= 1 - \log 2 = 1 - 0.30 = 0.70$$

(2) $[\text{OH}^-] = n c = 1 \times 0.010 = 1.0 \times 10^{-2} [\text{mol/l}]$ より,

$$\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(1.0 \times 10^{-2})$$

$$= 14 - 2 + \log 1.0 = 12$$

(3) $[\text{H}^+] = c \alpha = 0.10 \times 0.017 = 1.7 \times 10^{-3} [\text{mol/l}]$ より,

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log(1.7 \times 10^{-3})$$

$$= 3 - \log 1.7 = 3 - 0.23 = 2.77 \doteq 2.8$$

(4) $[\text{OH}^-] = c \alpha = 0.10 \times 0.013 = 1.3 \times 10^{-3} [\text{mol/l}]$ より,

$$\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(1.3 \times 10^{-3})$$

$$= 14 - 3 + \log 1.3 = 11 + 0.11 = 11.11 \doteq 11.1$$

関連 § 番号 ⇨ M08

[F] (0114) (1), (2) 各 1 点, (3), (4) 各 2 点, 計 6 点 M09

(1) $[\text{H}^+] = \sqrt{K_a c}$ (2) $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c}$ (3) 2.6 (4) 10.6

解説

(3) $[\text{H}^+] = \sqrt{K_a c} = \sqrt{2.8 \times 10^{-5} \times 0.20} = \sqrt{5.6 \times 10^{-6}} [\text{mol/l}]$

$$\therefore \text{pH} = -\log[\text{H}^+] = -\log \sqrt{5.6 \times 10^{-6}} = -\frac{1}{2} \log(5.6 \times 10^{-6}) = 3 - \frac{1}{2} \log 5.6$$

$$= 3 - \frac{1}{2} \times 0.75 = 3 - 0.375 = 2.625 \doteq 2.6$$

(4) $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c} = \sqrt{1.7 \times 10^{-5} \times 0.010} = \sqrt{1.7 \times 10^{-7}} [\text{mol/l}]$

$$\therefore \text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log \sqrt{1.7 \times 10^{-7}} = 14 + \frac{1}{2} \log(1.7 \times 10^{-7})$$

$$= 14 - 3.5 + \frac{1}{2} \log 1.7 = 10.5 + \frac{1}{2} \times 0.23 = 10.615 \doteq 10.6$$

関連 § 番号 ⇨ M09(6300)

[G] (0115) 各 1 点, 計 3 点 M10

(1) 少量の酸や塩基を加えても, pH がほとんど変化しない溶液。

(2) 弱酸とその酸の塩の混合溶液, 弱塩基とその塩基の塩の混合溶液

関連 § 番号 ⇨ M10(6330, 6340)

[H] (0116) 各 1 点, 計 7 点 M11

(1) 溶解平衡 (2) 共通イオン効果 (3) 新たに AB の固体が析出する。

(4) $K_s = [\text{A}^{n+}]^m [\text{B}^{m-}]^n$ (5) 温度 (6) 生じない。 (7) 生じる。

関連 § 番号 ⇨ M11

定期試験詳解

M01~M11

第2回—基本問題—

【91 点満点】

1 (0201) (1) 2 点, (2)~(4) 各 3 点, 計 11 点 M01

- (1)
- $v = k[A][B]$
- (2) 9 倍 (3) 5 倍 (4)
- $\frac{1}{3}$
- 倍

解説

(1) 反応の速さは $[A]$, $[B]$ それぞれに比例しているので, $v = k[A][B]$ と表される。(2) 濃度がそれぞれ $3[A]$, $3[B]$ になるので,

$$v = k \times 3[A] \times 3[B] = 9k[A][B]$$

はじめの式は, $v = k[A][B]$ だから, 9 倍になったといえる。(3) A の濃度を 2 倍なので, $2[A]$ とし, 反応の速さを 10 倍にしたいので, 求める $[B]$ の倍数を x とすると, 次式が成り立つ。

$$k \times 2[A] \times x[B] = 10k[A][B]$$

$$2xk[A][B] = 10k[A][B]$$

$$2x = 10 \quad \therefore x = 5 \text{ [倍]}$$

(4) A の濃度を 3 倍なので, $3[A]$ とし, 求める $[B]$ の倍数を x とすると, 反応の速さは変わらないから, 次式が成り立つ。

$$k[A][B] = k \times 3[A] \times x[B]$$

$$k[A][B] = 3xk[A][B]$$

$$3x = 1 \quad \therefore x = \frac{1}{3} \text{ [倍]}$$

関連 § 番号 $\Rightarrow$ M01(6030)

2 (0202) 各 1 点, 計 6 点 M02

- (1) (c) (2) (a) (3) (b) (4) (a) (5) (c) (6) (c)

解説

(1) $2KClO_3 \longrightarrow 2KCl + 3O_2$ の反応において, MnO_2 は触媒としてはたらく, 反応の速さを大きくしている。

(2) 空気中よりも酸素中のほうが, 酸素の濃度が大きいので, マッチ棒はよく燃える。

(3) バーナーで加熱し温度を上げることにより, Cu の酸化反応が進み CuO が生成した。

(4) (2) と同じように, 酸素中では酸素の濃度が大きいので, 鉄線はよく燃える。

(5) (1) と同じように, $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$ の反応において, MnO_2 は触媒としてはたらく。(6) $2SO_2 + O_2 \longrightarrow 2SO_3$ の反応において, Pt は触媒としてはたらく。関連 § 番号 $\Rightarrow$ M01(6030), M02(6050, 6070)

3 (0203) 各 2 点, 計 10 点 M02

- (1) 活性化状態 (2) ア (3)
- 59 kJ/mol
- (4)
- 46 kJ/mol
- (5) 発熱反応

解説

(2) 触媒を用いないときのほうが活性化エネルギーが大きいから, アの曲線である。

$$(3) 105 - 46 = 59 \text{ [kJ/mol]}$$

$$(4) 46 - 0 = 46 \text{ [kJ/mol]}$$

(5) 反応物質よりも生成物質のほうがエネルギーが低いので, 発熱反応である。

関連 § 番号 $\Rightarrow$ M02(6060, 6070)

4 (0204) 2点 M02

(1)

解説

(1) $2\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ の反応において、 MnO_2 は触媒として作用している。(2) $4\text{HCl} + \text{MnO}_2 \longrightarrow \text{MnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$ の反応において、 MnO_2 は酸化剤として作用している。

関連 § 番号 ⇨ M02(6070)

5 (0205) 2点 M03

(3)

関連 § 番号 ⇨ M03(6090)

6 (0206) 各2点, 計8点 M04 要点 ⇨ 4002

(1) 右辺 (2) 右辺 (3) 右辺 (4) 右辺

解説

(1) 高圧になるので、分子数(物質質量)が減少するほう(右辺)に平衡が移動する。

(2) SO_3 は水によく溶けるので吸収される。よって、 $[\text{SO}_3]$ が減少するので、 $[\text{SO}_3]$ が増加するほう(右辺)に平衡が移動する。

(3) 低温にすると、発熱反応のほう(右辺)に平衡が移動する。

(4) $[\text{O}_2]$ が増加するので、 $[\text{O}_2]$ が減少するほう(右辺)に平衡が移動する。

関連 § 番号 ⇨ M04

7 (0207) 4点 M04

(1)

解説

まず、温度が低いほど C の生成量が多いから、発熱反応である。よって、 $Q > 0$ 。次に、圧力が大きいほど C の生成量が多いから、反応の前後で気体分子の数が減少する反応である。よって、 $a + b > c$ 。

関連 § 番号 ⇨ M04

8 (0208) 各1点, 計10点 M05

(1) $\frac{[\text{C}]^c[\text{D}]^d}{[\text{A}]^a[\text{B}]^b}$, 温度, 平衡, 質量作用(または, 化学平衡)

(2) 濃度, 圧力, 温度, 打ち消す, 移動, ルシャトリエ

関連 § 番号 ⇨ M03(6100), M05(6160)

9 (0209) 各2点, 計8点 M06

(1) 右辺 (2) 左辺 (3) 左辺 (4) 右辺

解説

(1) $\text{H}^+ + \text{OH}^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$ の中和反応により、 $[\text{OH}^-]$ が減少するので、 $[\text{OH}^-]$ が増加するほう(右辺)に平衡が移動する。(2) 酢酸ナトリウムが $\text{CH}_3\text{COONa} \longrightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$ のように電離するので、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ が増加する。よって、 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ が減少するほう(左辺)に平衡が移動する。(3) アンモニア水を高温にすると、気体分子の NH_3 が外に出ていくので、 $[\text{NH}_3]$ が減少する。よって、 $[\text{NH}_3]$ が増加するほう(左辺)に平衡が移動する。(4) $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ が増加するので、 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ が減少するほう(右辺)に平衡が移動する。

関連 § 番号 ⇨ M06(6210)

10 (0210) (1), (2)各2点, (3)4点, 計10点 M09

- (1) $[H^+] \cdots 0.10 \text{ mol/l}$, $\text{pH} \cdots 1.0$ (2) 0.010 (3) 1.3

解説

- (1) 硫酸は2価の強酸だから, $[H^+] = n c = 2 \times 0.050 = 0.10 \text{ [mol/l]}$

これより, $\text{pH} = -\log[H^+] = -\log(1.0 \times 10^{-1}) = 1.0$

- (2) $\text{pH} = 3.0$ より, $[H^+] = c \alpha = 0.10 \times \alpha = 1.0 \times 10^{-3} \quad \therefore \alpha = 0.010$

- (3) $\text{pH} = 1.0$ と $\text{pH} = 2.0$ の塩酸水溶液の $[H^+]$ はそれぞれ, 0.10 mol/l , 0.010 mol/l である。これを同体積で混合した溶液の $[H^+]$ は, 次のようになる。

$$\frac{0.10 + 0.010}{2} = 0.055 \text{ [mol/l]}$$

したがって, これより pH を求めると,

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log[H^+] = -\log 0.055 = -\log(5.5 \times 10^{-2}) \\ &= 2 - \log 5.5 = 2 - 0.74 = 1.26 \approx 1.3 \end{aligned}$$

関連 § 番号 $\Rightarrow$ M08(6260, 6280), M09(6310)

11 (0211) 各1点, 計13点 M10

- (1) 弱酸, 塩

- (2) CH_3COOH , H^+ , CH_3COONa , Na^+ , H^+ , CH_3COOH , Na^+

- (3) CH_3COO^- , CH_3COOH , H^+ , CH_3COOH

関連 § 番号 $\Rightarrow$ M10(6330)

12 (0212) (1)1点, (2)2点, (3)4点 計7点 M11

- (1) $\text{AgCl}(\text{固}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$ (2) イ (3) $1.3 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$

解説

- (2) $\text{AgCl}(\text{固}) \rightleftharpoons \text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$

ルシャトリエの法則により, 共通イオンである Cl^- が加えられると, $[\text{Cl}^-]$ が増加するので $[\text{Cl}^-]$ が減少するほう, つまり左辺のほうに平衡が移動する(共通イオン効果)。その結果, 塩化銀の沈殿がさらに生じることになる。

- (3) 題意より, $K_s = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] = 1.7 \times 10^{-10} \text{ [(mol/l)}^2]$

ここで, AgCl の飽和溶液だから, $[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-]$ が成り立つ。したがって,

$$\begin{aligned} [\text{Ag}^+] &= [\text{Cl}^-] = \sqrt{K_s} = \sqrt{1.7 \times 10^{-10}} \\ &= 1.30 \cdots \times 10^{-5} \approx 1.3 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]} \end{aligned}$$

これが, 溶解度となる。

関連 § 番号 $\Rightarrow$ M11

定期試験詳解

M01~M11

第3回—基本問題—

【72点満点】

1 (0301) (1)は全部できて3点, (2)(3)各1点, 計5点 M02

(1) ①, ③, ⑤ (2) 生成物質 (3) 反応物質

関連§番号 ⇨ M01, M02

2 (0302) 各3点, 計6点 M01(1) $3.38 k R^2 \times 10^4$ (2) $78.8 k R^2$ **解説**(1) 気体の状態方程式 $PV = nRT$ より, $P = \frac{n}{V}RT$

$$P_{C_2H_2} = \frac{2.00}{4.00} \times R \times 300 = 150 R$$

$$P_{H_2} = \frac{3.00}{4.00} \times R \times 300 = 225 R$$

したがって,

$$\begin{aligned} v &= k P_{C_2H_2} P_{H_2} = k \times 150 R \times 225 R \\ &= 3.375 \times 10^4 \times k R^2 \doteq 3.38 k R^2 \times 10^4 \end{aligned}$$

(2) (1)と同様に,

$$P_{C_2H_2} = \frac{0.500}{20.0} \times R \times 300 = 7.50 R$$

$$P_{H_2} = \frac{0.700}{20.0} \times R \times 300 = 10.5 R$$

したがって,

$$\begin{aligned} v &= k P_{C_2H_2} P_{H_2} = k \times 7.50 R \times 10.5 R \\ &= 78.75 k R^2 \doteq 78.8 k R^2 \end{aligned}$$

関連§番号 ⇨ M01(6040)

3 (0303) 2点 M02

(3)

解説

温度を上げると, 反応物質の粒子の衝突回数が増える。また, 反応に必要な運動エネルギー(活性化エネルギー)をもった粒子の割合も増える。しかしながら, 後者の増加の割合のほうが前者の増加の割合よりもずっと大きいため, 温度を上げたときの反応の速さの増大のもっとも大きな原因は, 反応に必要な運動エネルギーをもった粒子が増えることである。

(2)で, 低温でも割合は小さいが, 反応に必要な運動エネルギーをもった粒子も存在するので, 反応しないということはない。

関連§番号 ⇨ M02(6050)

4 (0304) 各2点, 計4点 M02

(1) 27倍 (2) 729倍

解説

30度上がれば, $3^3 = 27$ [倍] に, 60度上がれば, $3^6 = 729$ [倍] になる。

関連§番号 ⇨ M02(6050)

5 (0305) 各3点, 計12点 M02

- (1) 反応する粒子の衝突する回数が, 表面積の大きいスチールウールのほうが多いので反応がはやくなるから。
- (2) 反応する物質の濃度が小さくなると, 反応の速さはおそくなるから。
- (3) 酸化マンガン(IV)は, H_2O_2 の分解反応で触媒のはたらきをするから。
- (4) 温度が上がると, エネルギーを得て反応を起こしうる状態になる分子が増えるから。

関連 § 番号 ⇨ M01, M02

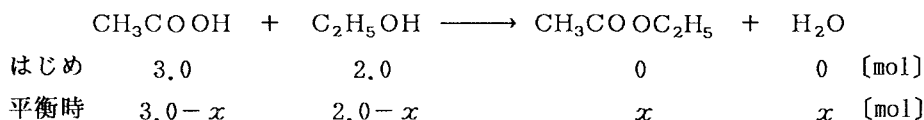
6 (0306) 各2点, 計6点 M03

- (1) $\frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3} [(\text{mol}/\text{l})^{-2}]$, または $[(\text{l}/\text{mol})^2]$
- (2) $\frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]} [(\text{mol}/\text{l})^{-1}]$, または $[(\text{l}/\text{mol})]$ (3) $\frac{[\text{NO}]^2[\text{O}_2]}{[\text{NO}_2]^2} [\text{mol}/\text{l}]$

関連 § 番号 ⇨ M03(6100)

7 (0307) 5点 M03

1.6 mol

解説生成した酢酸エチルの物質量を x [mol] とすると, 次の関係が成り立つ。したがって, 全体積を V [l] とすると, 質量作用の法則より,

$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} = \frac{\frac{x}{V} \times \frac{x}{V}}{\frac{3.0-x}{V} \times \frac{2.0-x}{V}} = 4.0$$

この式を整理すると, $3x^2 - 20x + 24 = 0$

この2次方程式を解くと,

$$x = \frac{10 \pm \sqrt{10^2 - 3 \times 24}}{3} = \frac{10 \pm 2\sqrt{7}}{3} \doteq \frac{10 \pm 2 \times 2.65}{3} \doteq 5.1, 1.6$$

 $2.0 > x > 0$ より, $x = 1.6$ [mol]

関連 § 番号 ⇨ M03(6110)

8 (0308) 全部できて4点 M04

(4), (6)

解説

吸熱反応で, かつ正反応によって気体の物質量が増す反応を選ばばよい。(s) がついている化合物は固体だから, 気体の物質量には加えないので注意する。

関連 § 番号 ⇨ M04

9 (0309) (1)2点, (2)全部できて4点, 計6点 M04

(1) 48.71 (2) (イ), (エ), (オ)

解説

$$(1) \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{0.01000^2}{0.001433^2} = 48.709 \dots \doteq 48.71$$

- (2) 平衡定数の値は, 濃度と圧力によっては変わらないが, 温度によって変わる。発熱反応では温度が高くなるほど小さくなり, 吸熱反応ではその逆である。したがって, この反応は発熱反応である。

発熱反応の場合、温度を低くしたほうが生成物質を多く得られる。また、この反応の逆反応は吸熱反応だから、平衡定数の値は温度が高くなるほど大きくなる。

関連 § 番号 ⇨ M03(6100), M04(6150)

Ⅹ (0310) (1) 2 点, (2) 3 点, (3) 4 点, 計 9 点 M09

- (1) 12.3 (2) $[\text{OH}^-] \cdots 5.8 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$, $\text{pH} \cdots 11.8$ (3) 12.6

解説

$$(1) [\text{OH}^-] = n c = 1 \times 0.020 = 0.020 \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(2.0 \times 10^{-2})$$

$$= 14 - 2 + \log 2 = 12 + 0.30 = 12.3$$

- (2) 1 価の弱塩基の場合, $[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b c}$ が成り立つから,

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1.7 \times 10^{-5} \times 2.0} = \sqrt{3.4 \times 10^{-5}}$$

$$\doteq 5.83 \cdots \times 10^{-3} \doteq 5.8 \times 10^{-3} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log \sqrt{3.4 \times 10^{-5}}$$

$$= 14 + \frac{1}{2} \log(3.4 \times 10^{-5}) = 14 - 2.5 + \frac{1}{2} \log 3.4$$

$$= 11.5 + \frac{1}{2} \times 0.53 = 11.5 + 0.265 = 11.765 \doteq 11.8$$

- (3) $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ の中和反応が起こる。

$$\text{硫酸中の } \text{H}^+ \text{ の物質量は, } 2 \times 0.10 \times \frac{20}{1000} = 4.0 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$$

$$\text{水酸化カリウム溶液中の } \text{OH}^- \text{ の物質量は, } 0.20 \times \frac{30}{1000} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$$

したがって, $6.0 \times 10^{-3} - 4.0 \times 10^{-3} = 2.0 \times 10^{-3} \text{ [mol]}$ だけ, OH^- が過剰である。

混合溶液の体積は $20 + 30 = 50 \text{ [ml]}$ だから, 混合溶液の $[\text{OH}^-]$ は,

$$\frac{2.0 \times 10^{-3}}{0.050} = 0.040 \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] = 14 + \log(4.0 \times 10^{-2})$$

$$= 14 - 2 + 2 \log 2 = 12 + 2 \times 0.30 = 12.60 \doteq 12.6$$

関連 § 番号 ⇨ M08(6270), M09(6300, 6310)

Ⅲ (0311) (1) 4 点, (2) 3 点, 計 7 点 M09

- (1) 0.56 % (2) 7

解説

- (1) 求める体積百分率を $x \text{ [%]}$ とすると, この空気中に含まれる HCl の物質量は,

$$\frac{2.0 \times \frac{x}{100}}{22.4} \text{ [mol]} \text{ と表される。} \text{pH} = 3.0 \text{ より, } \text{HCl} \text{ を吸収させた水溶液の } [\text{H}^+] \text{ は,}$$

$1.0 \times 10^{-3} \text{ mol/l}$ となる。 $\text{HCl} \longrightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ より, $[\text{H}^+] = [\text{Cl}^-]$ だから, 次式が成り立つ。

$$\frac{\frac{2.0 \times \frac{x}{100}}{22.4}}{0.500} = 1.0 \times 10^{-3}$$

$$\therefore x = \frac{1.0 \times 10^{-3} \times 0.500 \times 22.4 \times 100}{2.0} = 0.56 \text{ [%]}$$

- (2) この水溶液を 10 万倍 (10^5 倍) にうすめたら,

$$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3} \times 10^{-5} = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

となるが, $\text{pH} = 8$ とはならない。実際には酸性であることに変わらないので, ほぼ中性, つまり $\text{pH} = 7$ としてよい。

関連 § 番号 ⇨ M09

12 (0312) 全部できて 2 点 M10

②, ④

解説

緩衝液になりうるのは、弱酸とその酸の塩の混合溶液、そして弱塩基とその塩基の塩の混合溶液である。

関連 § 番号 ⇨ M10(6330, 6340)

13 (0313) 4 点 M11

沈殿を生じる。

解説

体積が 2 倍になるので、混合溶液のそれぞれのイオンの濃度は $\frac{1}{2}$ 倍になる。したがって、

$$[\text{Ag}^+] = 2.0 \times 10^{-8} \times \frac{1}{2} = 1.0 \times 10^{-8} \text{ [mol/l]}$$

$$[\text{I}^-] = 1.0 \times 10^{-6} \times \frac{1}{2} = 5.0 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore [\text{Ag}^+][\text{I}^-] = 1.0 \times 10^{-8} \times 5.0 \times 10^{-7} = 5.0 \times 10^{-15} \text{ [(mol/l)}^2\text{]}$$

$K_s = 1.5 \times 10^{-16} \text{ [(mol/l)}^2\text{]}$ より, $[\text{Ag}^+][\text{I}^-] > K_s$ となるので、沈殿を生じる。

関連 § 番号 ⇨ M11(6370)

定期試験詳解

M01~M11

第4回一標準問題一

【122点満点】

1 (0401) 各2点, 計12点 M02

- (1) $\text{mol}/(\text{l} \cdot \text{秒})$ (2) $v = k[\text{H}_2][\text{I}_2]$
 (3) (A) 2:1 (B) 2:1 (4) (A) ④ (B) ②

解説

- (3) $\text{H}_2 + \text{I}_2 \longrightarrow 2\text{HI}$ の反応において, 1分子の H_2 や I_2 から2分子の HI を生成する。したがって, HI の生成の速さは, H_2 や I_2 の減少の速さの2倍となる。
 (4)(A) 温度を高くすると反応の速さが増すのは, 衝突回数の増加によるよりも, 反応できるエネルギーをもった分子が増加するためである。
 (B) 触媒のはたらきは, 平衡を移動させることなく, 比較的小さい活性化エネルギーでも反応できるような道すじをつくることである。

関連 § 番号 ⇨ M01, M02

2 (0402) 各2点, 計10点 M02

- (1) (オ) (2) (キ) (3) (ア) (4) (ウ) (5) 30 kJ/mol

解説

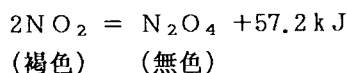
- (1) 吸熱反応の場合, 生成物質のほうが反応物質よりもエネルギーが高いので, (オ)を選ぶ。
 (2), (3), (5) 活性化エネルギーの値が小さいほど反応ははやく進む。それぞれの活性化エネルギーは, (ア)が 30 kJ/mol , (イ)~(カ)が 20 kJ/mol , (キ)が 15 kJ/mol である。
 (4) 反応物質のエネルギーが 10 kJ/mol , 生成物質のエネルギーが 5 kJ/mol で, 活性化エネルギーが 30 kJ/mol より小さいグラフを選ばばよい。

関連 § 番号 ⇨ M02(6060, 6070)

3 (0403) 各2点, 計12点 M04

- (ア) ③ (イ) ④ (ウ) ⑥ (エ) ⑨ (オ) ⑥ (カ) ⑨

解説



この反応は発熱反応だから, 低温にすると平衡が右辺のほうに移動する。また, 右辺のほう気体分子の数が少ないので, 圧縮すると平衡が右辺のほうに移動する。

関連 § 番号 ⇨ M04

4 (0404) 各3点, 計6点 M04

- (1) (c) (2) なし

解説

- (1) 発熱反応であるから, 温度の上昇とともに生成量が減る反応である。また, 気体分子の数が減る反応であるから, 圧力大のときのほうが生成量が多い。したがって, (c)を選ぶ。
 (2) 吸熱反応であるから右上がりにはなるが, 気体分子の数が反応の前後で変わらないから, 圧力による差は生じない。したがって, 該当する図はない。

関連 § 番号 ⇨ M04

5 (0405) (1), (2)各3点, (3), (4)各5点, 計16点 M05

- (1) 変化しないと推定される。

- (2) 反応物質を多くすれば、生成物質を生じるほうに平衡が移動し、より多くの生成物質が得られるから。
- (3) 化学平衡の面から考えると、平衡定数の値は小さいので、生成物質の量は少ない。しかし、反応の速さの面から考えると、温度が高く、かつ触媒の使用により反応がはやくなるから、単位時間あたりの生成物質の収量は大となる。
- (4) 0.87 mol

解説

- (4) CO が x [mol] 反応したとすると、平衡時における各成分の濃度 [mol/l] は、

$$[\text{CO}] = \frac{1.0 - x}{V} \quad [\text{H}_2\text{O}] = \frac{2.0 - x}{V}$$

$$[\text{CO}_2] = \frac{x}{V} \quad [\text{H}_2] = \frac{x}{V}$$

これを質量作用の法則にあてはめると、

$$K = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]} = \frac{\left(\frac{x}{V}\right)^2}{\frac{1.0 - x}{V} \times \frac{2.0 - x}{V}} = 5.0$$

この式を整理すると、 $4x^2 - 15x + 10 = 0$

$$\text{この2次方程式を解くと、} \quad x = \frac{15 \pm \sqrt{65}}{8} \doteq \frac{15 \pm 8.06}{8} \doteq 2.9, 0.87$$

$$1.0 > x > 0 \text{ より、} \quad x = 0.87 \text{ [mol]}$$

関連番号 ⇨ M03 ~ M05

- 6** (0406) (1) 3 点, (2) 5 点, (3) 各 2 点, 計 16 点 M05

- (1) 29 (2) 27 %

- (3) ア…移動しない。 イ…右辺のほうに移動する。
ウ…左辺のほうに移動する。 エ…移動しない。

解説

- (1) まず、平衡時における H_2 と I_2 の物質量を求める。化学反応式より、生成した HI の半分の物質量がはじめより減少しているから、

$$\text{H}_2 \cdots 1.0 - \frac{1.8}{2} = 0.10 \text{ [mol]} \quad \text{I}_2 \cdots 2.0 - \frac{1.8}{2} = 1.1 \text{ [mol]}$$

容器の体積を V [l] とすると、質量作用の法則より、

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{1.8}{V}\right)^2}{\frac{0.10}{V} \times \frac{1.1}{V}} = 29.4 \cdots \doteq 29$$

- (2) 解離した HI の物質量を x [mol] とすると、

| | | |
|-----|---|-----------------------------------|
| | $2\text{HI} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{I}_2$ | |
| はじめ | 5.0 | 0 0 [mol] |
| 平衡時 | $5.0 - x$ | $\frac{x}{2}$ $\frac{x}{2}$ [mol] |

- (1) で求めた平衡定数の値 29 を用いて、質量作用の法則より、次式が成り立つ。

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{(5.0 - x)^2}{\left(\frac{x}{2}\right)^2} = 29$$

この式を整理すると、 $5x^2 + 8x - 20 = 0$

この2次方程式を解くと、

$$x = \frac{-4 \pm \sqrt{116}}{5} \doteq \frac{-4 \pm 10.8}{5} = 1.36 \quad (\because x > 0)$$

したがって、解離した HI は、 $\frac{1.36}{5.0} \times 100 = 27.2 \div 27 [\%]$

- (3)エ 温度はそのまま容器の体積を半分にすると、圧力が2倍になる。しかし、この反応は反応の前後で気体分子の数は変化しないから、平衡は移動しない。

関連 § 番号 ⇨ M03 ~ M05

7 (0407) 各3点, 計6点 M09

電離度…0.37 pH …3.1

解説

1 価の弱酸では、電離度 $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}$ が成り立つから、

$$\alpha = \sqrt{\frac{2.8 \times 10^{-4}}{2.0 \times 10^{-3}}} = \sqrt{0.14} = 0.374 \cdots \div 0.37$$

次に、 $[H^+] = c \alpha = c \times \sqrt{\frac{K_a}{c}} = \sqrt{K_a c}$ が成り立つから、

$$[H^+] = \sqrt{2.8 \times 10^{-4} \times 2.0 \times 10^{-3}} = \sqrt{5.6 \times 10^{-7}} \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[H^+] = -\log \sqrt{5.6 \times 10^{-7}} = -\frac{1}{2} \log(5.6 \times 10^{-7})$$

$$= 3.5 - \frac{1}{2} \log 5.6 = 3.5 - \frac{1}{2} \times 0.75 = 3.125 \div 3.1$$

関連 § 番号 ⇨ M06(6200), M09(6300)

8 (0408) 5点 M09

1.7

解説

$H_2SO_4 + BaCl_2 \longrightarrow BaSO_4 \downarrow + 2HCl$ の反応が起こるが、1 mol の硫酸から 2 mol の塩酸が生じるため、混合溶液中の水素イオンの物質量は混合前の硫酸中の水素イオンの物質量と変わらない。

0.020 mol/l の硫酸の $[H^+]$ は、 $2 \times 0.020 = 0.040 \text{ [mol/l]}$

混合溶液中では体積が2倍になるので、濃度は $\frac{1}{2}$ となる。したがって、混合溶液の $[H^+]$ は、

$$[H^+] = \frac{0.040}{2} = 0.020 \text{ [mol/l]}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log[H^+] = -\log 0.020 = -\log(2.0 \times 10^{-2}) \\ = 2 - \log 2 = 2 - 0.30 = 1.70 \div 1.7$$

関連 § 番号 ⇨ M09(6310)

9 (0409) (1)2点, (2)全部できて5点, (3)4点, (4)各1点, 計13点 M10

(1) $CH_3COOH + NaOH \longrightarrow CH_3COONa + H_2O$

(2) 酢酸…0.33 mol/l, 酢酸ナトリウム…0.33 mol/l

(3) 4.6 (4) ① ほとんど変化しない。 ② ほとんど変化しない。

解説

(2) 両液を混合する前の CH_3COOH の物質量は、 $1.0 \times \frac{50}{1000} = 0.050 \text{ [mol]}$

同じく $NaOH$ の物質量は、 $1.0 \times \frac{25}{1000} = 0.025 \text{ [mol]}$

よって、(1)の反応式より、 CH_3COOH が 0.025 mol 残り、 CH_3COONa が 0.025 mol 生じることがわかる。混合溶液の体積は、 $50 + 25 = 75 \text{ [ml]}$ だから、 CH_3COOH の濃度は、

$$\frac{0.025}{0.075} = 0.333 \dots \doteq 0.33 \text{ [mol/l]}$$

同様に、 CH_3COONa の濃度は、 $\frac{0.025}{0.075} = 0.333 \dots \doteq 0.33 \text{ [mol/l]}$

(3) 質量作用の法則から、 $K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$ より、

$$[\text{H}^+] = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]} \times K_a = \frac{0.33}{0.33} \times 2.8 \times 10^{-5} = 2.8 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{pH} &= -\log[\text{H}^+] = -\log(2.8 \times 10^{-5}) = 5 - \log 2.8 \\ &= 5 - 0.45 = 4.55 \doteq 4.6 \end{aligned}$$

(4) この混合溶液は緩衝液である。

関連 § 番号 ⇨ M10(6350)

Ⅹ (0410) 各 2 点, 計 18 点 M11

(1) (ア) A (イ) B (ウ) B

(2) (ア) B (イ) C (ウ) B

(3) (ア) B (イ) A (ウ) C

解説

(1)(ア) 中和反応が起こり、 $[\text{H}^+]$ が減少するので、右辺のほうに平衡が移動する。

(イ) 水溶液中から CO_2 が出ていき、 $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ が減少するので、左辺のほうに平衡が移動する。

(2)(イ) NaCl はこの平衡に影響を与えない。

(ウ) H_2O が減少するので、左辺のほうに平衡が移動する。

(3)(ア) $[\text{Cl}^-]$ が増加するので、左辺のほうに平衡が移動する。

(イ) $\text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3 \longrightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ の反応が起こるため、 $[\text{Ag}^+]$ が減少するので、右辺のほうに平衡が移動する。

関連 § 番号 ⇨ M06(6210), M11(6360)

Ⅺ (0411) 各 4 点, 計 8 点 M11

(1) $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ (2) $8.1 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$

解説

(1) 溶解度積の値が小さいほど沈殿しやすいので、この水溶液に CO_3^{2-} を加えていくとき、まず BaCO_3 が沈殿し、そのあと MgCO_3 が沈殿しはじめる。したがって、 MgCO_3 が飽和溶液になるところまで CO_3^{2-} を加えると、 Ba^{2+} をできるだけ多く沈殿させることができる。よって、求める CO_3^{2-} の濃度を $x \text{ [mol/l]}$ とすると、

$$K_S = [\text{Mg}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = 1.0 \times 10^{-3} \times x = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\therefore x = \frac{1.0 \times 10^{-5}}{1.0 \times 10^{-3}} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ [mol/l]}$$

(2) MgCO_3 の飽和溶液中の CO_3^{2-} は、同時に Ba^{2+} とも飽和溶液をつくっている。よって、求める Ba^{2+} の濃度を $y \text{ [mol/l]}$ とすると、

$$K_S = [\text{Ba}^{2+}][\text{CO}_3^{2-}] = y \times 1.0 \times 10^{-2} = 8.1 \times 10^{-9}$$

$$\therefore y = \frac{8.1 \times 10^{-9}}{1.0 \times 10^{-2}} = 8.1 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

関連 § 番号 ⇨ M11(6370)

定期試験詳解

M01~M11

第5回—実力問題—

【164 点満点】

1 (0501) 各2点, 計20点 M02

- (1) 衝突回数 (2) 温度 (3) 活性化 (4) 分子の割合 (5) 触媒
 (6) 活性点 (7) 吸着 (8) 活性化エネルギー (9) 小さい (10) 速度

解説

反応を能率よく起こさせるには, 反応物質どうしの接触する機会を増やし, 反応に必要なエネルギーを供給してやるとよい。

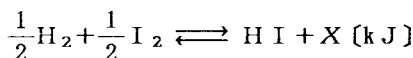
関連番号 ⇨ M01, M02

2 (0502) 各2点, 計14点 M02

- (a) C (b) A (c) 発 (d) $\frac{1}{2}\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{I}_2 = \text{HI} + X \text{ [kJ]}$
 (e) F (f) 吸 (g) $\text{HI} = \frac{1}{2}\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{I}_2 - Y \text{ [kJ]}$

解説

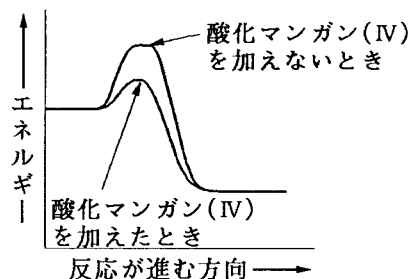
この反応は, ヨウ素と水素からヨウ化水素が生ずる反応と, ヨウ化水素が解離してヨウ素と水素になる反応が同時に起こるため, あるところまで反応が進むと見かけ上反応は停止してしまう。



関連番号 ⇨ M02 (6060)

3 (0503) 各2点, 計10点 M02

- 問1 $2\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
 問2 8倍
 問3 (イ) 触媒 (または, 正触媒) (ロ) 右図
 問4 0.99 l

**解説**

問2 温度が10℃上がるごとに速さが2倍になるから, 温度が55-25=30[℃]上昇すると, $2^3=8$ [倍]となる。

問3 (ロ) 反応は, 活性化エネルギーの低い経路を通して進行する。

問4 $2\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ より, 発生する O_2 の体積は, $\text{H}_2\text{O}_2=34$ より,

$$22.4 \times \frac{100 \times \frac{3.0}{100}}{34} \times \frac{1}{2} = 0.988 \dots \approx 0.99 \text{ [l]}$$

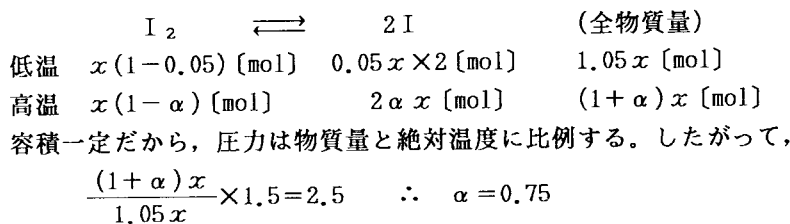
関連番号 ⇨ M02

4 (0504) 5点 M03

75 %

解説

ヨウ素の全物質量を x [mol], 高温での解離度を α とすると,

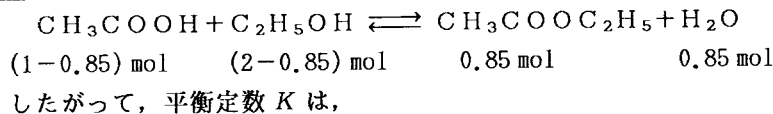


関連 § 番号 ⇨ M03

5 (0505) 4 点 M03

4.2

解説



$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}]} = \frac{(0.85)^2}{0.15 \times 1.15} = 4.188 \cdots \approx 4.2$$

関連 § 番号 ⇨ M03

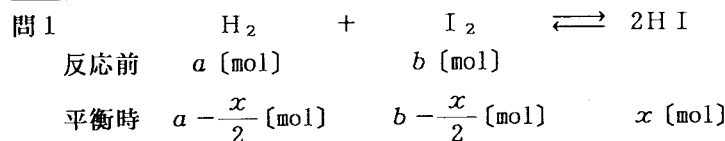
6 (0506) 問1は2点, 問2, 問3各3点, 計17点 M03

$$\text{問1} \quad K = \frac{4x^2}{(2a-x)(2b-x)}$$

$$\text{問2} \quad \text{H}_2 : 0.115 \text{ mol} \quad \text{I}_2 : 0.115 \text{ mol} \quad \text{HI} : 0.770 \text{ mol}$$

$$\text{問3} \quad \text{H}_2 : 0.115 \text{ mol} \quad \text{I}_2 : 0.115 \text{ mol}$$

解説

したがって平衡定数 K は,

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{x^2}{(a - \frac{x}{2})(b - \frac{x}{2})} = \frac{4x^2}{(2a-x)(2b-x)}$$

問2 それぞれの値を問1の式に代入すると,

$$45.0 = \frac{4x^2}{(2 \times 0.500 - x)(2 \times 0.500 - x)} \quad \therefore \frac{4x^2}{(1.00 - x)^2} = 45.0$$

これを解いて, $x = 0.770 [\text{mol}]$ したがって, H_2 と I_2 の物質量は, $0.500 - \frac{0.770}{2} = 0.115 [\text{mol}]$ 問3 0.500 mol ずつの H_2 と I_2 からの正反応であっても, 1.00 mol の HI からの逆反応であっても, 温度が一定であれば, 同じ平衡状態となる。

関連 § 番号 ⇨ M03

7 (0507) 各2点, 計24点 M04

- (1) (イ) (b) (ロ) (c) (ハ) (b)
 (2) (イ) (a) (ロ) (d) (ハ) (c)
 (3) (イ) (a) (ロ) (b) (ハ) (b)
 (4) (イ) (a) (ロ) (c) (ハ) (b)

解説

- (1)(イ) 温度を上げると吸熱反応なので右に平衡が移動する。
 (ロ) 圧力を加えても, 両辺の気体分子数が同じなので平衡は移動しない。
 (ハ) 窒素が減少する右方向へ反応が進む。

- (2)(イ) 左方向が吸熱反応の方向である。
 (ロ) 圧力を加えると右へ、窒素を除くと左へ移動するので、与えられた条件だけでは、どちらの影響が強いかわからない。
 (ハ) 触媒は平衡移動には無関係である。
 (3)(イ) 発熱反応の方向である左へ移動する。
 (ロ) 気体分子数の増加方向は右である。
 (ハ) 水素を補う方向に反応が進む。
 (4)(イ) NH_4^+ の共通イオンの影響で、 NH_4^+ の減少方向である左に反応が進む。
 (ロ) Na^+ , Cl^- ともに平衡に無関係である。
 (ハ) 水を減少させる方向、右に移動する。

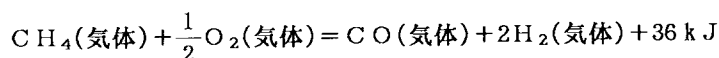
関連 § 番号 ⇨ M04

3 (0508) 問 1, 問 2 各 3 点, 問 3 は 4 点, 計 10 点 M04

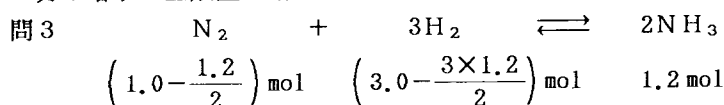
問 1 36 kJ 問 2 c 問 3 40 %

解説

問 1 (2) + (3) + (4) より,



問 2 メタノールの生成反応は、気体 3 mol から気体 1 mol が生成する反応なので、圧力が増すと生成量が増える。また、発熱反応なので、高温では、生成量が減少する。



したがって、残っている H_2 は、はじめの H_2 の、

$$\frac{3.0 - \frac{3 \times 1.2}{2}}{3.0} \times 100 = 40 [\%]$$

関連 § 番号 ⇨ M03, M04

9 (0509) (1) 5 点, (2) 各 4 点, 計 13 点 M08

(1) 6.7 ml (2) $\text{pH} = 11.1$, 電離度 1.33×10^{-2}

解説

(1) 28 % アンモニア水 1 l 中の $\text{NH}_3 = 17$ の物質量は、比重が 0.90 より、

$$\frac{1000 \times 0.90 \times 0.28}{17} \div 14.82 [\text{モル}]$$

よって、0.100 モル/l のアンモニア水を 1.00 l つくるときに必要な 28 % アンモ

$$\text{ニア水の体積は, } 1000 \times \frac{0.100 \times 1.00}{14.82} = 6.74 \cdots \div 6.7 [\text{ml}]$$

$$\begin{aligned} (2) \text{ pH} &= -\log[\text{H}^+] = -\log \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = -\log \frac{1.00 \times 10^{-14}}{1.33 \times 10^{-3}} = -\log \frac{10^{-11}}{1.33} \\ &= -\log 10^{-11} + \log 1.33 = 11 + 0.124 = 11.124 \div 11.1 \end{aligned}$$

アンモニアは、 $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ のように電離しているから、

$$\text{電離度 } \alpha = \frac{[\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = \frac{1.33 \times 10^{-3}}{0.100} = 1.33 \times 10^{-2}$$

関連 § 番号 ⇨ M06~M08

10 (0510) (1) 2 点, (2), (3) 各 3 点, 計 8 点 M08

(1) $\text{pOH} = -\log C$ (2) $(a) < (b) < (c)$ (3) $\text{pH} + \text{pOH} = 14$

解説

(1) pOH は溶液中の $[\text{OH}^-]$ の逆数の常用対数と考えられるから、

$$pOH = \log \frac{1}{[OH^-]} = -\log[OH^-] = -\log C$$

(2) (a)の水酸化ナトリウムは1価の強塩基であるから, $pOH = -\log 0.1 = 1$

(b)のアンモニア水は1価の弱塩基であるから, $1 < pOH < 7$

(c)の塩化アンモニウムは強酸と弱塩基から生じた塩で, 加水分解し水溶液は弱酸性を示す。

$$pOH > 7$$

よって pOH は, (a) < (b) < (c)

(3) 水のイオン積より, $[H^+][OH^-] = 10^{-14} [(mol/l)^2]$

両辺の対数をとると, $\log[H^+][OH^-] = \log 10^{-14}$

$$\log[H^+] + \log[OH^-] = -14$$

$pH = -\log[H^+]$, $pOH = -\log[OH^-]$ であるから,

$$(-pH) + (-pOH) = -14 \quad \text{よって,} \quad pH + pOH = 14$$

関連 § 番号 ⇨ M07, M08

II (0511) 5点 M09

2.4

解説

$pH 3.0$ の希塩酸 100 ml 中の水素イオンの物質量は,

$$pH = -\log[H^+] = 3.0 \quad \text{より} \quad [H^+] = 1.0 \times 10^{-3} [mol/l]$$

$$\text{よって,} \quad 1.0 \times 10^{-3} \times \frac{100}{1000} = 1.0 \times 10^{-4} [mol]$$

$pH 2.0$ の希塩酸 50 ml 中の水素イオンの物質量は, $[H^+] = 1.0 \times 10^{-2} [mol/l]$ より,

$$1.0 \times 10^{-2} \times \frac{50}{1000} = 5.0 \times 10^{-4} [mol]$$

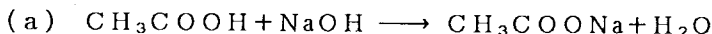
混合溶液の体積は $100 + 50 = 150 [ml]$ であるから, 混合溶液の水素イオン濃度は,

$$[H^+] = (1.0 \times 10^{-4} + 5.0 \times 10^{-4}) \times \frac{1000}{150} = 6.0 \times 10^{-4} \times \frac{1000}{150} \\ = 4.0 \times 10^{-3} [mol/l]$$

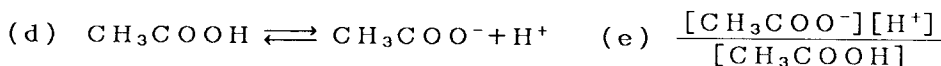
$$\text{よって,} \quad pH = -\log[H^+] = -\log(4.0 \times 10^{-3}) = -(2\log 2 + \log 10^{-3}) \\ = 3 - 2\log 2 = 3 - 2 \times 0.3 = 2.4$$

関連 § 番号 ⇨ M09 (6310)

II (0512) 各2点, 計24点 M10



(b) 0.20 (c) 0.10

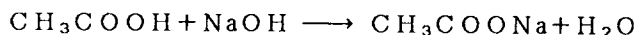


(f) 1.8×10^{-5} (g) 0.020 (h) 0.010 (i) 3.6×10^{-5}

(j) 7.3×10^{-4} (k) 酢酸 (l) 酢酸-酢酸ナトリウム混合

解説

(a)~(c) 酢酸と水酸化ナトリウムの中和反応は,



であり, 酢酸と水酸化ナトリウムが 1 mol ずつ反応する。

$$0.60 \text{ mol/l の酢酸溶液 } 50.0 \text{ ml 中の酢酸は,} \quad 0.60 \times \frac{50.0}{1000} = 0.030 [mol]$$

0.20 mol/l の水酸化ナトリウム溶液 50.0 ml 中の水酸化ナトリウムは,

$$0.20 \times \frac{50}{1000} = 0.010 [mol]$$

よって, この中和反応では, $0.030 - 0.010 = 0.020 [mol]$ の酢酸が残り, 酢酸ナトリウムは, 0.010 mol できていることになる。

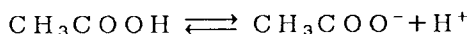
中和反応後の溶液の体積は、 $50.0+50.0=100$ [ml] であるから、

$$\text{残った酢酸の濃度は, } 0.020 \times \frac{1000}{100} = 0.20 \text{ [mol/l]}$$

$$\text{酢酸ナトリウムの濃度は, } 0.010 \times \frac{1000}{100} = 0.10 \text{ [mol/l]}$$

となる。

(d)~(f) 酢酸は次のように電離している。



$$\text{よって, 酢酸の電離定数 } K_a \text{ は, } K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

酢酸-酢酸ナトリウム混合溶液では、酢酸はごく一部しか電離していないが、酢酸ナトリウムはほぼ完全に電離している。このため、

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.20 \text{ [mol/l]}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{CH}_3\text{COONa}] = 0.10 \text{ [mol/l]}$$

としてよい。 $[\text{H}^+] = 3.6 \times 10^{-5}$ [mol/l] であるから、電離定数 K_a は、

$$K_a = \frac{0.10 \times 3.6 \times 10^{-5}}{0.20} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$$

(g)~(1) 混合溶液に純水を加えて 10 倍にうすめると、

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 0.020 \text{ [mol/l]}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0.010 \text{ [mol/l]}$$

になるから、

$$K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{0.010 \times [\text{H}^+]}{0.020} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$$

$$\text{これより, } [\text{H}^+] = 3.6 \times 10^{-5} \text{ [mol/l]}$$

また、 0.30 mol/l の酢酸のみの溶液を 10 倍にうすめると、濃度は 0.030 mol/l になるから、

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a C} = \sqrt{1.8 \times 10^{-5} \times 0.030} = \sqrt{54} \times 10^{-4} \approx 7.35 \times 10^{-4} \text{ [mol/l]}$$

したがって、酢酸溶液の水素イオン濃度は 10 倍にうすめることによって大きく変化するが、酢酸-酢酸ナトリウム混合溶液の場合には、うすめてもほとんど変化しないことがわかる。

関連 § 番号 ⇨ M10

㊦ (0513) 各 5 点, 計 10 点 M11

(1) 7.0 (2) $1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$

解説

(1) $K_s = [\text{Cd}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 1.0 \times 10^{-15} \text{ [(mol/l)}^3]$ が成りたつとき、沈殿が生じはじめる。したがって、そのときの水酸化物イオンの濃度を $x \text{ [mol/l]}$ とすると、

$$0.10 \times x^2 = 1.0 \times 10^{-15}$$

$$x^2 = \frac{1.0 \times 10^{-15}}{0.10} = 1.0 \times 10^{-14} \quad \therefore x = 1.0 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

$$\text{pH} = 14 + \log[\text{OH}^-] \text{ より, } \text{pH} = 14 + \log(1.0 \times 10^{-7}) = 7.0$$

(2) $\text{pH} = 10$ のとき、 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-10} \text{ [mol/l]}$ だから、

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{1.0 \times 10^{-10}} = 1.0 \times 10^{-4} \text{ [mol/l]}$$

このとき、飽和溶液中では、 $K_s = [\text{Cd}^{2+}][\text{OH}^-]^2$ の関係が保たれている。したがって、求める溶けている Cd^{2+} の濃度を $y \text{ [mol/l]}$ とすると、

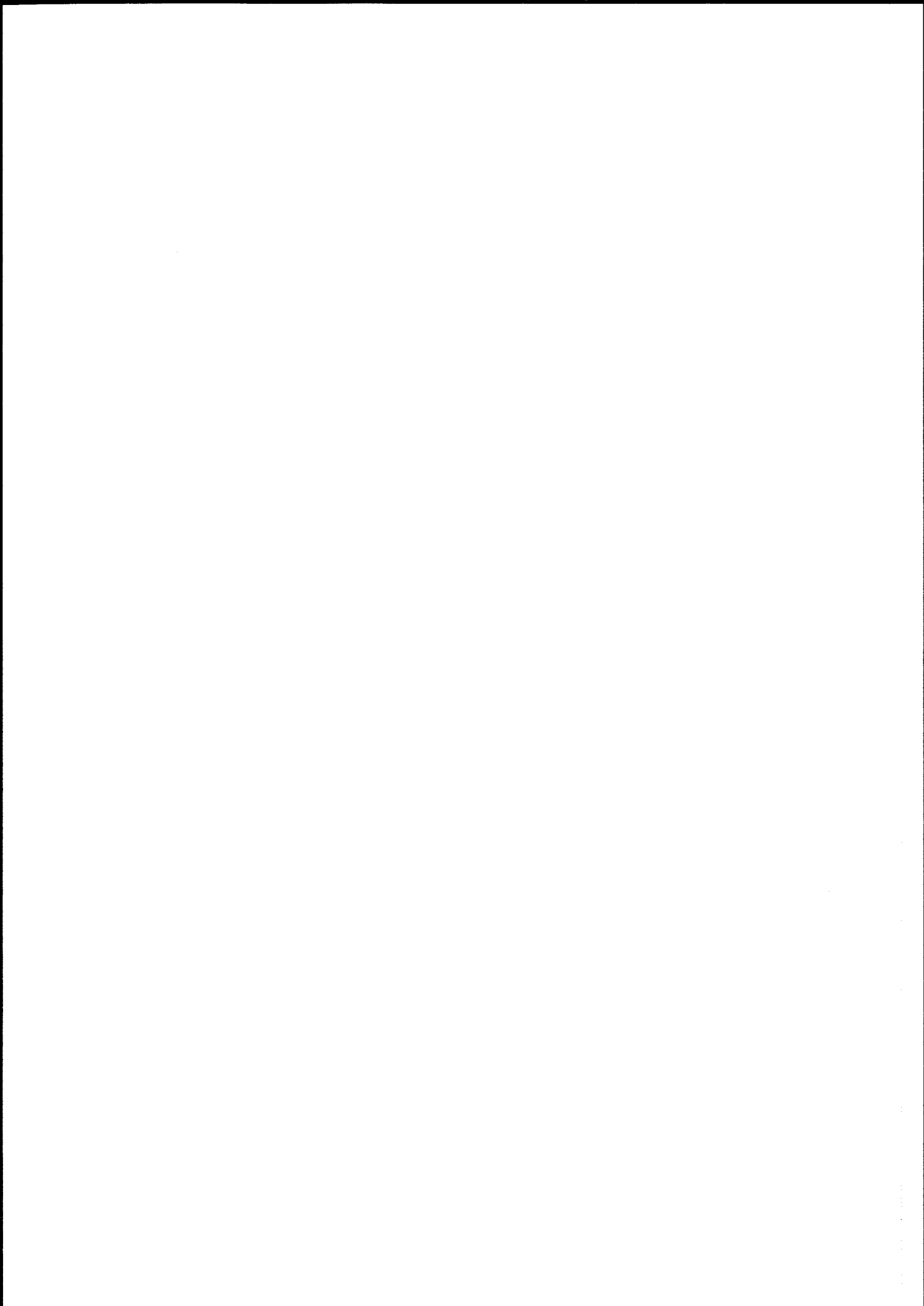
$$y \times (1.0 \times 10^{-4})^2 = 1.0 \times 10^{-15}$$

$$\therefore y = \frac{1.0 \times 10^{-15}}{1.0 \times 10^{-8}} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ [mol/l]}$$

関連 § 番号 ⇨ M11(6370)

memo







教育社

TRAINING PAPER

DAILY PROGRAM

高校理科／化学II