

TRAINING PAPER

[特許出願中]

# DAILY<sup>®</sup> PROGRAM

大学受験デイリープログラム100日

高校3年

化学

《見本》

1

化学の基本・理科 I

第 1 日	物質の種類	4
第 2 日	化学の基本法則	13
第 3 日	原子の構造	18
第 4 日	原子量と化学式量	24
第 5 日	アボガドロ数とモル(1)	30
第 6 日	アボガドロ数とモル(2)	36
第 7 日	化学式の決定	42
第 8 日	モル濃度	49
第 9 日	化学反応式による計算(1)	56
第10日	化学反応式による計算(2)	63
第11日	演習問題	69

KYOIKUSHA

# **DAILY<sup>®</sup> PROGRAM**

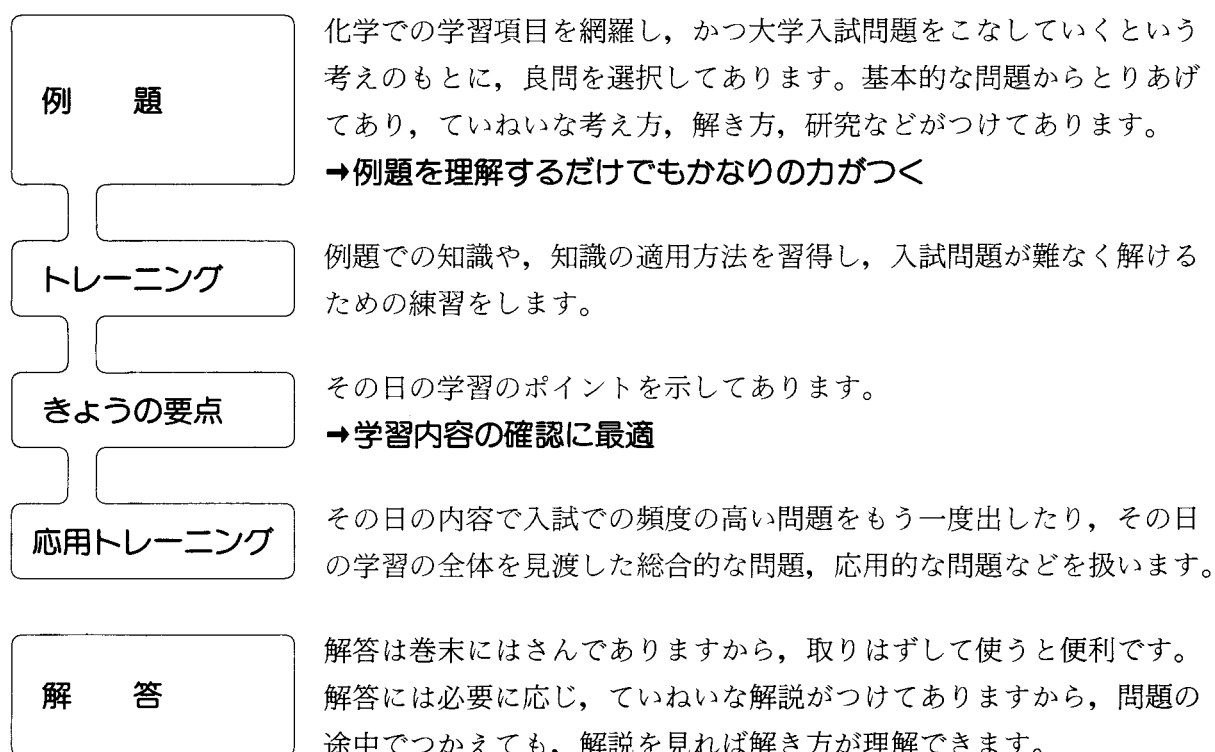
# 本書の構成と使い方

## ♣化学の受験対策を100日+補充演習編で完成

- 「大学受験デイレプログラムー化学100日」は、大学受験で化学を選択する生徒が使う良書として、学習項目を理解しやすい形に分け、また、入試に出やすい問題パターンを分析し、100日のプログラムにまとめてあります。  
一部難問は除いてありますが、大学受験を目指すすべての受験生が使用できるものです。
- 全体は8巻からなり、1～7巻で100日の学習、8巻で補充演習ができるようになっています。

## ♣1日の学習を効果的に進めるために

- 例題学習日の構成（例題は1日に2～3問）



- 演習問題日の構成

### 演習問題6～10問

1つの章の最後の日には、演習問題日があります。ここでは、その章の学習の確認と実力だめしをします。

- 8巻の補充演習は、100日の学習に対応していますから、100日の学習と並行して使うとより効果的です。

## ♣この巻での学習は

- 第1巻では、「化学の基本・理科I」として、11日の学習を用意してあります。  
理科I化学分野での重要な概念は『モル』です。この概念は化学の世界において、いつも裏からささえているものです。理科Iでの学習をすこしでも覚えていれば、簡単に進められるでしょう。第1巻での学習は、第2巻以降の学習を進める上で、必要不可欠の基礎となるものです。例題、トレーニングを通して、考え方を身につけなさい。

# 化学の基本・理科 I

◇化学の基本・理科 I の学習を 11 日間で完成させます。

化学の基本・理科 I では、化学の学習を進める上で最低限必要な物質の種類、化学の基本法則、原子の構造、原子量、分子量、モル、モル濃度、化学反応式などを順にとり上げます。

これらはいずれも重要なのですが、とくに、

第 4 日 原子量と化学式量

第 5 日 アボガドロ数とモル(1)

第 8 日 モル濃度

の 3 日間は、完全に理解するようにしなさい。

入試問題での理科 I の範囲の問題はそれほど多くはありません。1 つの問題の中の一部として出されることが多いのですが、11 日間の学習を順に進めていけば、難なく解けるようになります。

# 第 1 日

## 物質の種類

きょうから化学の基本・理科 I の学習をしていきます。はじめのきょうは、物質の種類や混合物の分離・精製についてです。例題をしっかりと読み、トレーニングしなさい。例題は 3 題あります。

はじめは、物質の分類についてです。それぞれの特徴をよくとらえて、物質を見分ける方法を身につけなさい。

### ●例題 1 物質の分類

(a)~(g)の物質は単体、化合物および混合物に分類できる。(ア)~(オ)の組み合わせのうち化合物だけからなるものはどれか。

(a) 空気 (b) ダイヤモンド (c) ベンゼン (d) 黒鉛 (e) ショ糖  
(f) 硫黄 (g) プロパン

(ア) (a, b, c) (イ) (b, c, g) (ウ) (c, d, e) (エ) (a, f, g) (オ) (c, e, g)

(徳島文理大一葉)

### 考え方

●物質は次のように分類できる。

物質 { 純物質 { 単体 (1 種類の元素のみからなる物質) 例 ダイヤモンド, 硫黄など。  
化合物 (2 種類以上の元素からなる物質) 例 ベンゼン, ショ糖など。  
混合物 (2 種類以上の純物質が混ざり合っている物質) 例 空気, 海水など。

<注> 同素体 (同じ元素のみからなる単体で性質が異なる物質)

例 ダイヤモンドと黒鉛, 酸素とオゾン, 斜方硫黄と単斜硫黄とゴム状硫黄など。

●物質の見分け方と特徴

① 純物質を化学式で表すと、単体か化合物かがすぐわかる。

例 { プロパン ( $C_3H_8$ ) …… C と H からなる化合物。  
オゾン ( $O_3$ ) …… O のみからなる単体。  
ドライアイス (固体の二酸化炭素  $CO_2$ ) …… C と O からなる化合物。

② 分離の可否 { 混合物 …… 物理的方法 (ろ過, 蒸留など) で純物質に分離できる。  
化合物 …… 化学的方法 (電気分解など) で単体に分離できる。

③ 沸点・融点 { 混合物 …… 混合の割合により変化する。  
純物質 …… 一定の沸点・融点を示す。

④ 組成の変化 { 混合物 …… 成分となる純物質を, 自由な割合で混合できる。  
化合物 …… 構成元素の原子数の比は決まっている。

### 解き方

- (a) 空気は、窒素 ( $N_2$ ), 酸素 ( $O_2$ ), その他からなる混合物である。  
(b) ダイヤモンドは、炭素 (C) からなる単体である。  
(c) ベンゼン ( $C_6H_6$ ) は、C と H からなる化合物である。  
(d) 黒鉛は、炭素 (C) からなる単体である。  
(e) ショ糖 ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) は、C と H と O からなる化合物である。  
(f) 硫黄 (S) は単体である。  
(g) プロパン ( $C_3H_8$ ) は、C と H からなる化合物である。

〔解答〕 (オ)

●研究● 元素と単体 「水素」, 「ナトリウム」などの語は, 元素名としても, 単体名としても用いられる。

① 元素名として用いられるとき(化合物中の成分元素を示す場合)

例 発育期にはカルシウムの多い食品をとる。

カルシウムそのものではなく, 成分としてカルシウムが含まれている食品。

② 単体名として用いられるとき(単体そのものを示す場合)

例 塩素は酸化力が強い。

単体の塩素の性質として酸化力の強さがある。

ではトレーニングです。簡単な問題が3題あります。3は, 研究で述べたことの問題です。

### ■ トレーニング ■

1 次の文の□に適切な語を入れよ。

水のように2種以上の純成分が, 一定の割合で結合しているものを(1)□といい, 水素や酸素のようにもはや2種以上の純成分に分解できないものを(2)□という。(1)□や(2)□を構成している究極の成分を(3)□という。 (昭和薬大-薬)

2 次の各組の物質について問いに答えよ。

(ア) 金と白金 (イ) 酸素とオゾン (ウ) 水と過酸化水素 (エ) 一酸化炭素と二酸化炭素  
(オ) 黄リンと赤リン (カ) 黒鉛とダイヤモンド (キ) 食塩と食塩水

(1) 化合物だけの組み合わせはどれか。

(2) たがいに同素体の関係にあるものはどれか。

3 次の(1), (2)の文章中の下線を付した物質名は, 元素, 単体のいずれを表すか。

(1) 硫酸銅(II)水溶液の中に鉄製のナイフを浸すと, ナイフの表面に銅が析出する。

(2) 銅, 水銀, クロムなどは毒性が強く, 工場排水に含まれていてはならない。

次は、物質の分離と精製についての例題です。

### ●例題2 物質の分離・精製

次の(1)~(5)の混合物からそれぞれ指定した物質を取り出すには、下の(a)~(f)のどの操作によるのが最もよいか、記号で答えよ。

- (1) 食塩水から塩化ナトリウムの結晶を取り出す。
  - (2) 白濁した石灰水から透明な石灰水をつくる。
  - (3) 水道水から純水をつくる。
  - (4) 砂の混じったヨウ素から純粋なヨウ素を取り出す。
  - (5) 空気中の窒素と酸素を分離させる。
- (a) ろ過する    (b) 液化して分留する    (c) 溶媒を蒸発させる    (d) 水溶液を蒸留する  
(e) 昇華させる    (f) 水に溶かし再結晶させる

#### 考え方

混合物から純物質を分離していく操作は化学の基本的な操作である。

- ① ろ過(液体中の固体を、ろ紙などを用いて分離する方法)  
例 白濁した石灰水をろ過すると沈殿物を取り除かれる。
- ② 蒸留(蒸発する物質の沸点の違いを利用して分離する方法。蒸気を冷却し集める。)  
〈注〉液体どうしの混合物の場合は分留とよばれる。  
例 { 食塩水を蒸留すると水と食塩に分けられる。  
      空気を冷却し液化後、分留すると沸点の低い窒素が先に気化する。
- ③ 再結晶(温度による溶解度差を利用して分離する方法。不純物は不飽和なので溶液中に残る。)  
例 食塩の少量混じった硝酸カリウムは再結晶により精製される。
- ④ 抽出(液体の種類による物質の溶解性の違いを利用して分離する方法。)  
例 お茶の葉に熱湯を注ぐと、お茶の成分が抽出される。
- ⑤ 昇華(固体どうしの混合物から昇華する物質を分離する方法。)  
例 砂の混じったヨウ素を加熱すると、ヨウ素が昇華して除かれる。

[解答] (1) (c)    (2) (a)    (3) (d)    (4) (e)    (5) (b)

●研究● 混合物は成分物質の性質が保存されているので、その性質の違いを用いて分離することができる。沸点の違い、溶解性の違いを利用した蒸留や抽出のほか、吸着力の差を利用して分離するカラムクロマトグラフィーなどもあるが、クロマトグラフィーでは、吸着剤と溶媒の組み合わせで、成分を分離し、その分析から成分の決定もできる。ペーパークロマトグラフィーなどによる植物色素の分離やガスクロマトグラフィーなどがその例である。

一方、沸点の違いにより蒸留しても、成分物質が温度上昇により分解してしまうことがある。このような場合、低温で蒸留するために減圧蒸留(圧力を下げることにより沸点を下げて蒸留できる)が行われる。また、水に溶けにくい、アニリンなどは、水蒸気蒸留(水と混合することによりアニリンの沸点を下げて蒸留できる)を行ったりする。

ではトレーニングです。簡単な問題が2題あります。

4 蒸留について、最も適当な説明は次の(ア)～(エ)のどれか。

- (ア) 液体を加熱して気化させ、それを冷却し液体として取り出すこと。
- (イ) 液体を沸騰させて気体とし、それを気体のまま取り出すこと。
- (ウ) 液体を沸騰させて気体とし、それを冷却して元にもどし循環させること。
- (エ) 液体を加熱して、ある容器内の蒸気圧を一定にしておくこと。

(広島工大-工)

5 次の(1)～(5)の各混合物から、指定の物質をできるだけ多く取り出す操作を A 群より、その原理を B 群より選び記号で答えよ。

- (1) 液体窒素と液体酸素の混合物から、窒素を取り出す。
- (2) 硫酸バリウムと塩化バリウムの混合物から、硫酸バリウムを取り出す。
- (3) 硝酸ナトリウムと少量の塩化ナトリウムを含む混合物から、硝酸ナトリウムを取り出す。
- (4) ヨウ素とヨウ化カリウムの混合物から、ヨウ素を取り出す。
- (5) 鉄粉とアルミニウム粉末の混合物から、アルミニウムを取り出す。

- <A群> ㊦ 水に溶かし、ろ過する。    ㊧ 熱水に溶かし、再結晶する。  
 ㊨ 分留する。    ㊩ 磁石ですいつける。    ㊪ ベンゼンで抽出する。
- <B群> ㊫ 温度差による溶解度の違い    ㊬ 溶媒に対する溶解度の違い  
 ㊭ 強磁性    ㊮ 沸点の差    ㊯ 溶液と沈殿の分離

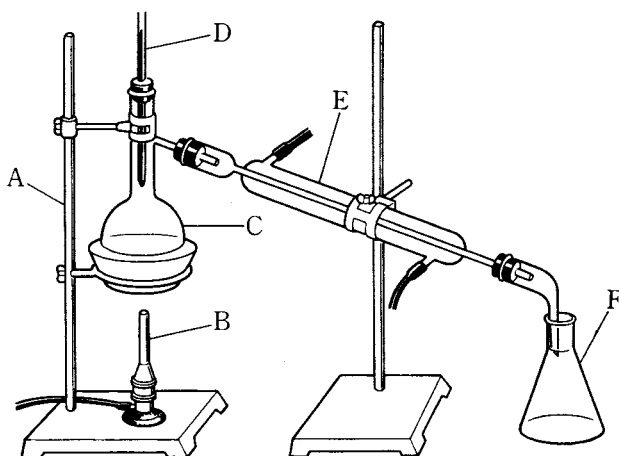
次はきょう最後の例題です。分離・精製の実験操作についての問題です。しっかり読みなさい。



●例題3 分離精製の実験操作

右の図に簡単な蒸留装置が示してある。蒸留の操作に関する次の問(1)～(6)の答えを記せ。

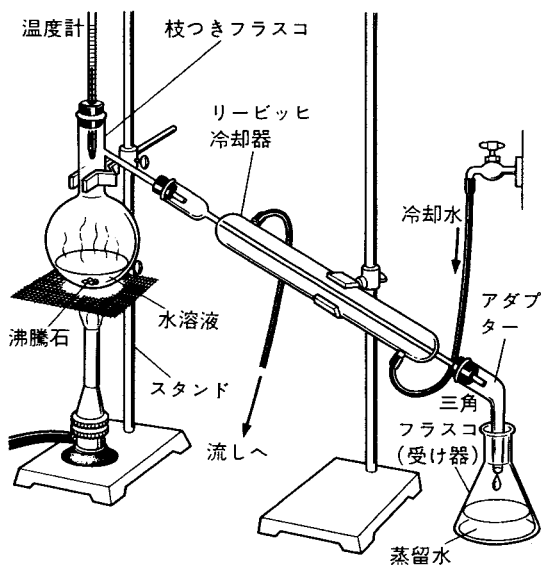
- (1) A～Fの名称を記せ。
- (2) Cに1 lの容器を使う場合、中に入れる液の体積としては次のいずれが適当か。  
(ア), (イ), …の記号で答えよ。  
(ア) 約 200 ml (イ) 約 500 ml  
(ウ) 約 800 ml
- (3) Dの下端の位置は次のいずれがよいか。(ア), (イ), …の記号で答えよ。  
(ア) 図に示された位置  
(イ) 液中 (ウ) 側管のつけねの位置
- (4) Eに水を通す場合、流れの方向は次のいずれがよいか。(ア), (イ), …の記号で答えよ。  
(ア) 上から下 (イ) 下から上 (ウ) どちらでもよい
- (5) C中の液の温度は沸点に達していると思われるのに沸騰してこない。このまま加熱を続けると内容物が一時にふきだすおそれがある。安全に蒸留をするためにはどのようにすればよいか。その手順を述べよ。(50字以内)
- (6) 液体の沸点が高く、加熱によって分解するおそれがある場合には、より低い温度で蒸留する必要がある。その場合の蒸留の原理を説明せよ。(50字以内) (広島大)



考え方

分離操作の中で、とくに重要なものは蒸留の操作である。忘れてはならないポイントを示しておく。

- ① 沸騰石を入れる。(急激な沸騰(突沸という)を防ぐため。)
- ② 温度計の球部は側管のつけ根の位置にする。(留出する蒸気の温度がはかれるように。)
- ③ 枝つきフラスコの液量は  $\frac{1}{2}$  以下にする。(沸騰しても、側管から流れ出さないため。)
- ④ 冷却水は下から上へ流す。(外管内に水を満たすと、効率よく冷却できる。)
- ⑤ アダプターと受け器の間は密栓しない。(圧力が高まり、つなぎ目がはずれるので。)



また、枝つきフラスコは、均等に加熱できるように丸底になっているが、有機溶媒などの直火での加熱は引火する恐れがあり危険である。そこで、沸点が 100℃ 以下の溶媒の蒸留には水浴を、100℃ 以上では油浴や砂浴を用いて間接的に加熱する。

**解き方**

- (5) 加熱中の容器に、そのまま沸騰石を入れると突沸が起こり危険なので、一度冷却した後、あらためて沸騰石を入れる。
- (6) 沸騰は、蒸気圧と大気圧が等しくなったときに起こる。蒸気圧は温度により決まっているので、外圧の方を減圧してやると、より低い温度で沸騰が起こる。これを減圧蒸留という。

〔解答〕 (1) A スタンド B ガスバーナー C 枝つきフラスコ D 温度計

E リービッチ冷却器(リービッチコンデンサー) F 三角フラスコ

(2) (イ) (3) (ウ) (4) (イ)

(5) 直ちに加熱を中止し、放冷後、常温にもどしてからフラスコ内に沸騰石を数粒入れて、再び加熱を開始する。(49字)

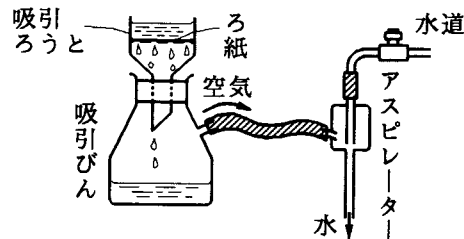
(6) アスピレーターで減圧しながら蒸留すると、蒸気圧が低くても沸騰が始まり、より低温で蒸留ができる。(47字)

● 研 究 ● 分離操作には、減圧蒸留のほかにも、いくつか特殊な操作がある。

**保温ろ過** 保温ろうとを用いて、液体の温度を高温に保ちながらろ過する。再結晶法で有効である。

**吸引ろ過** アスピレーターに吸引びん、吸引ろうとを接続し、減圧しながらろ過する。この方法はろ過速度が速く便利である。

**水蒸気蒸留** 沸点が高く、分解する恐れのある物質で、水に溶けにくい物質は、水蒸気を吹き込みながら加熱すると、100℃以下で蒸留できる。(水蒸気圧と物質の蒸気圧の和が大気圧に等しくなる温度で留出する。)



ではトレーニングです。基本的な問題が2題あります。7の問題では、実験操作のポイントがよくまとめられています。

### トレーニング

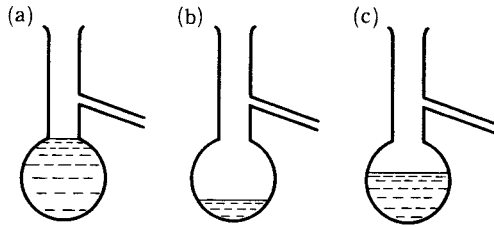
6 ビーカー内に生じた沈殿を分離するのに用いる器具などの組み合わせで、最も適当なものはいくつか。

- (ア) ろ紙、ろ過びん、分液ろうと、アスピレーター、ガラスさじ
- (イ) ろ紙、ろうと、フラスコ、アダプター、ガラス棒
- (ウ) ろ紙、ろうと、ビーカー、ろうと台、ガラス棒
- (エ) ろうと、スタンド、リング、フラスコ、ガラスさじ
- (オ) 分液ろうと、ろ紙、スタンド、ピュレット、ピペット

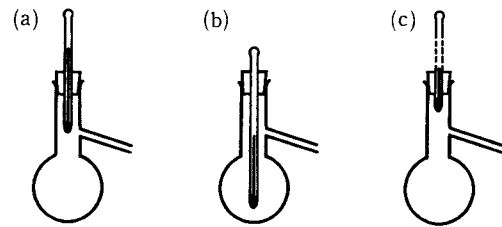
(東京医大)

7 酢酸 (沸点  $118^{\circ}\text{C}$ ) を蒸留して精製したい。そのための装置として最も適した組み合わせになるように、次の(1)~(5)についてそれぞれ(a)~(c)から1つずつ選んで記号で答えよ。

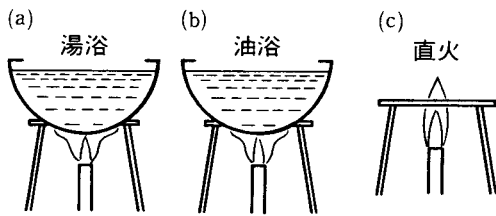
(1) フラスコの液量



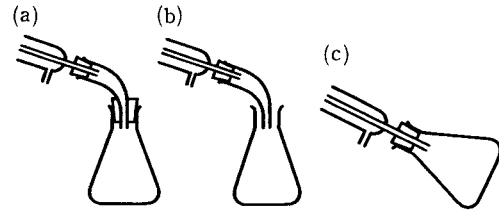
(2) 温度計の位置



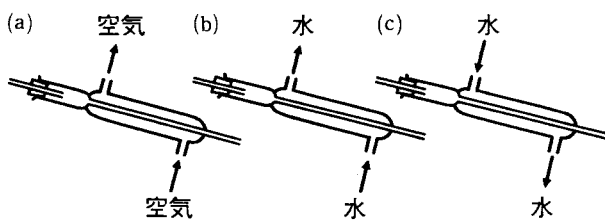
(3) 加熱方法



(4) 受け器のとりつけ方法



(5) 冷却方法



(岐阜薬大)

ここまで簡単にできましたね。ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。

きょうの  
要 点

① 化学式が書ければ、物質は分類できる。化学式をしっかりと身につけること。

物質  $\left\{ \begin{array}{l} \text{純物質} \left\{ \begin{array}{l} \text{単体 (1種類以上の元素のみからなる物質)} \quad \text{H}_2, \text{O}_2, \text{O}_3 \text{ など。} \\ \text{化合物 (2種類以上の元素からなる物質)} \quad \text{H}_2\text{O}, \text{CO}_2 \text{ など。} \end{array} \right. \\ \text{混合物 (2種類以上の純物質が混ざり合っている物質)} \quad \text{食塩水 (NaCl+H}_2\text{O) など。} \end{array} \right.$

② 次にあげる実験器具は、名称と実物が一致するようにすること。

(ア) 枝つきフラスコ (イ) リービヒ冷却器 (ウ) アダプター (エ) アスピレーター  
(オ) 吸引びん (カ) 吸引ろうと (キ) 分液ろうと

③ 蒸留装置では、次のポイントをしっかりと押えておくこと。

(ア) 沸騰石の使用 (イ) 温度計の位置 (ウ) フラスコ内の液量  
(エ) 冷却水を流す向き (カ) アダプターの接続方法 (ク) 水浴・油浴・砂浴の選択

分離・精製の実験操作では、覚えるポイントが決まっていますから、頭を整理しておきなさい。  
では、応用トレーニングに進みましょう。2題です。

■ 応用トレーニング ■

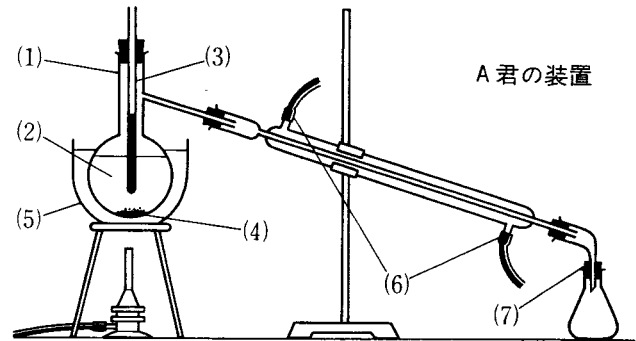
8 《化合物と混合物の識別》

空気が酸素と窒素の化合物ではなく、混合物であることを確かめるためには、次のどの方法によるのが最も適当であるか。

- (1) 水酸化ナトリウム水溶液に空気を通じる。
- (2) 金属マグネシウムを空気中で燃焼する。 (3) 液体空気にして分留する。
- (4) 空気の密度を測定する。 (5) 温度と体積の関係を調べる。 (岡山大)

## 9 《蒸留装置》

A君が、右の図のような酢酸(沸点118℃)の蒸留装置を組み立てたところ、B君から図の(1)~(7)の箇所が誤りだと注意された。次の表で、A君が正しければA、B君が正しければB、また、2人とも正しく、どちらでもよければ○印、2人とも誤りであれば×印を記せ。



	A君の考え	B君の考え
(1) 枝つきフラスコ	均一な加熱ができ、熱にもじょうぶなので、丸底フラスコを使う。	加熱面積が大きいし、机の上に置きやすいので、平底フラスコを使う。
(2) フラスコ内の液	フラスコの首まで入れてはいけないうが、このくらいならよい。	大きなフラスコを使い、フラスコ容積の $\frac{1}{2}$ くらいで蒸留する。
(3) 温度計の位置	温度計の水銀球が液中に浸ってなければ、沸点がはかれない。	水銀球を枝の下部に置き、留出気体の温度をはからなければならない。
(4) 沸騰石	よく洗って、不純物を除いた硬い小石を使う。素焼片などは、穴の内部が洗えないので使えない。	素焼板の <small>ちみつ</small> 小片を使う。緻密な表面をもつ小石は役に立たない。
(5) 水浴	おだやかな加熱ができ、酢酸をゆっくり蒸発させることができる。	油浴などに代える。水浴では温度が低すぎる。
(6) 冷却水の流し方	上から入れる方が流れやすいし、低温の水で冷却できる。	水を充滿させるために、下から入れなければいけない。
(7) 受け器の栓	酢酸蒸気が逃げたり、空気中の水分が入りやすいので、しっかり栓をしなければならぬ。	綿栓などをゆるくする。しっかり栓をすると、圧力が上がって接続部がはずれる。

(順天堂大)

きょうの学習はこれで終わりです。余裕のある人は、第8巻の補充演習をやりなさい。きょうは第1日ですから、1のつく問題番号の問題が対応しています。

## 第 2 日

### 化学の基本法則

きょうは化学の基本法則の学習です。例題は1つしかありませんから、徹底してトレーニングします。簡単にできてしまった人は、第3日の学習に進んでもよいでしょう。

では例題です。考え方をしっかり読みなさい。

#### ●例題 1 化学の基本法則

化学の発展の基礎になった諸法則には、下の語群のようなものがある。次の(1)~(4)の説明に最も適した法則を、下の語群から選んで記号で答えよ。

- (1) 同温、同圧の気体は、同体積中に同数の分子を含む。
- (2) 1つの化合物の成分の質量比は一定である。
- (3) 化学変化にあずかる物質が気体であるときは、それらの体積間に簡単な整数比が成り立つ。
- (4) X, Y 2種の元素が2種以上の化合物をつくるとき、Xの一定量と化合するYの量の間には簡単な整数比が成り立つ。

語群 (ア) 倍数比例の法則 (イ) 質量保存の法則 (ウ) 定比例の法則  
(エ) 気体反応の法則 (オ) アボガドロの法則 (カ) シャルルの法則 (東海大)

#### 考え方

1803年、ドルトンは質量保存の法則と定比例の法則を説明するために原子説を主張した。

- ① すべての物質は、それ以上分割できない粒子である原子からできている。
  - ② 同じ元素の原子は、大きさ・形・質量・性質などがすべて等しい。
  - ③ 化学変化では、原子の結合のしかたが変わるだけで、原子はなくなることも新たに生まれることもない。(質量保存の法則の説明)
  - ④ 化合物は、異なる種類の原子が一定の割合で結合している(定比例の法則の説明)。
- さらに、これらの考え方をもとに倍数比例の法則を推定し、実験により確かめた。

#### ●質量保存の法則(1774年 ラボアジエ)

化学反応の前後で、物質の質量の総和は変わらない。

例 水素1gと酸素8gが化合して生じる水の質量は9gである。

#### ●定比例の法則(1799年 プルースト)

化合物を構成する成分元素の質量比は一定である。

例 水分子をつくるときの水素と酸素の質量比は1:8で一定である。

#### ●倍数比例の法則(1803年 ドルトン)

A, B 2種類の元素から2種類以上の化合物ができるとき、元素Aの一定量と化合する元素Bの質量の間には簡単な整数比が成り立つ。

例 一酸化炭素と二酸化炭素では、同一量の炭素と化合する酸素の質量比は1:2となる。

1811年、アボガドロは気体反応の法則と原子説を調和させるために分子説を唱えた。

- ① 気体は、いくつかの原子が集まった分子という粒子からできている。
- ② 同温・同圧では、同体積中に同数の分子が気体の種類に関係なく含まれている。

(アボガドロの法則)

#### ●気体反応の法則(1808年 ゲイリュサック)

同温・同圧で互いに反応しあう気体の体積間には、簡単な整数比が成り立つ。また反応生成物が気体の場合は、その体積も含めて簡単な整数比となる。

例 水素と酸素が反応し水蒸気ができるとき、同温・同圧での体積比は次のようになる。

水素：酸素：水蒸気=2：1：2

[ 解 答 ] (1) (オ) (2) (ウ) (3) (エ) (4) (ア)

- 研 究 ● 質量保存の法則は、原子核の壊変など原子核反応を考えると、質量は必ずしも保存されない。しかし、いわゆる化学反応(中和、燃焼など)では、この法則が成り立つものと考えてよい。
- ドルトンの原子説は、質量保存の法則と定比例の法則を説明するために生まれ、この原子説から、倍数比例の法則が考え出された。一方、気体反応の法則との矛盾からアボガドロの分子説が導かれることになる。また、のちに、陽子、中性子、電子の存在が確かめられたこと、および、同位体の存在が確認されたことで、原子説が修正されるが、化学変化を粒子的な概念で説明するためには、この原子説は十分意義がある。

それではトレーニングです。6題です。2～5は、具体例での問題です。

### ■ トレーニング ■

1 次の文中の□□□□にあてはまる事項を(a)～(d)の記号で答えよ。

19世紀のはじめ、次のような法則が基礎になって原子・分子の概念ができあがった。

- (a) 定比例の法則 (b) アボガドロの法則 (c) 気体反応の法則  
(d) 倍数比例の法則

まず、実験によって導かれた(1)□□□□を説明するためには、原子の存在を仮定すると都合がよかった。そして、原子論の立場から(2)□□□□が成立することが予想され、のちに実験的に証明された。一方(3)□□□□を説明するために分子が考えられ、(4)□□□□が1つの仮説として提出された。(岩手医大)

2 2.02 gの水素と20.02 gの酸素とを反応させると18.02 gの水が生じ、4.02 gの酸素が残る。この事実は次のどの法則に対応するか。

- (ア) 質量作用の法則 (イ) 倍数比例の法則 (ウ) 気体反応の法則  
(エ) アボガドロの法則 (オ) 質量保存の法則

(芝浦工大一工)

**3** 元素 A と元素 B よりなる 2 種類の化合物 X, Y は、いずれも気体で、X は、その質量の 42.9 % が A で、Y はその質量の 27.3 % が A である。この事実は、次の①～⑥のどの法則と関係が深いのか。

- ① 質量保存の法則    ② 定比例の法則    ③ 倍数比例の法則  
④ 気体反応の法則    ⑤ アボガドロの法則    ⑥ ヘンリーの法則

▶ ヒント ⑥のヘンリーの法則は、気体の溶解度が圧力に比例するという法則である。

**4** 次の各項の  に適当な数値を入れ、さらに、それぞれの事項に最も関係の深い法則名をあげよ。

- (1) メタンが完全燃焼するには、1 体積のメタンに対し、 体積の酸素が必要である。  
(2) 水 36 g 中の水素と酸素の質量比は、1 :  である。  
(3) 一酸化炭素および二酸化炭素で、酸素は、おのおの炭素 1 g に対して、1 :  の質量比で結合している。

**5** 水素 0.80 g を燃焼させると水 7.20 g を生じる。また、酸化銅(II) 1.98 g を水素で還元すると、1.58 g の銅と 0.45 g の水を生じる。このことから水を構成する水素と酸素の質量比は一定であることを示せ。

**6** 次の(1)～(4)の記述のうち、誤っているものはどれか。番号で答えよ。

- (1) ラボアジェは、質量保存の法則を発見した。  
(2) ドルトンは、物質を構成する分子の組みかえによって化学変化が起こるという考え、分子説を提出した。  
(3) アボガドロは、同温、同圧、同体積の気体中に同数の分子を含むという仮説を提出した。  
(4) メンデレーエフは、元素の周期律を発見し、元素を分類して周期表を提出した。

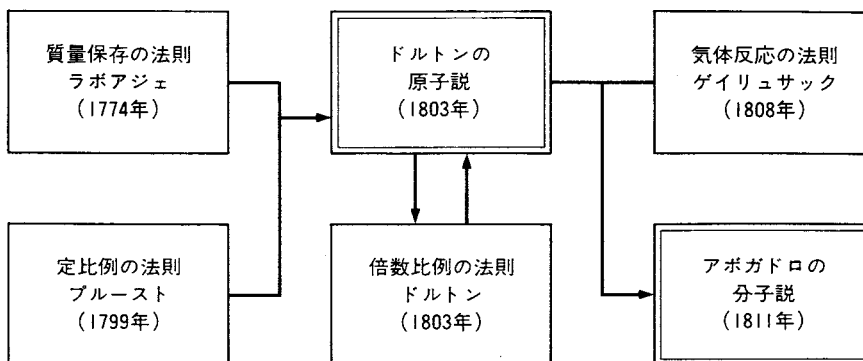
(愛知工大一工)

トレーニングはできましたか。ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。



きょうの  
要 点

① 基本法則の生まれた歴史的な流れをつかんでおくこと。



質量保存の法則と定比例の法則を説明するためにドルトンの原子説が生まれ、原子説をもとに、倍数比例の法則が考えられた。この倍数比例の法則の実証により、ドルトンの原子説の正しさが証明された。一方、ドルトンの原子説と気体反応の法則との矛盾から、分子の存在が考えられることになる。

② 法則名、発見者、法則の内容が一致するようにしておくこと。

とくに法則の内容は、ことばを丸暗記するだけでなく、実験事実と関連させておくことよ。

例 一酸化窒素 30 g 中の窒素と酸素の質量比は、つねに 7:8 である。

→ 定比例の法則(プルースト)と関連している。

基本法則の歴史的な流れがはっきりしましたね。この図をよく頭に入れておきなさい。  
では、応用トレーニングです。3題あります。

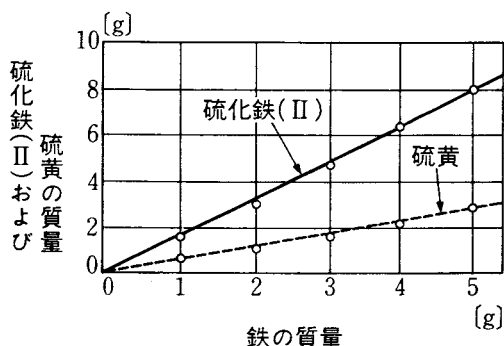
応用トレーニング

7 《質量保存の法則と原子説》

右の図は鉄と硫黄との反応によって生成する硫化鉄(II)の質量、および硫黄の質量と鉄の質量との関係を実験で求めた結果である。

- (1) 硫化鉄(II)の生成反応を例にして、質量保存の法則が成り立つことを、原子説の考え方をを用いて説明せよ。
- (2) また、硫黄の原子量を 32 として、鉄の原子量を計算式を示して算出せよ。(奈良教育大)

▶ ヒント 硫化鉄(II)は、硫黄原子1個に対し、鉄原子1個の割合で結びついている。



## 8 《アボガドロの法則》

アボガドロの法則に関する次の文で間違っているのはどれか。番号で答えよ。

- (1) 同温・同圧のもとでは、気体の体積は分子数に比例する。
- (2) ヘリウムは同温・同圧のもとで、同体積中に同数の原子を含む。
- (3) アボガドロの法則は気体だけでなく、液体でも成り立つ法則である。
- (4) 酸素  $O_2$  もオゾン  $O_3$  も同温・同圧のもとでは、同体積中に同数の分子を含む。 (東京工大)

## 9 《気体反応と体積》

温度・圧力が等しい条件下で、気体 Q 1.00 l と気体 R 1.00 l とを混合した。これらを反応させた後、反応しないで残った Q および R の体積を、温度・圧力が最初と同じ条件で調べたところ、Q は 0.25 l, R は 0.75 l であった。反応生成物は 1 種類だけであるとして、その化学式を下の①～⑤のうちから 1 つ選べ。ただし、Q, R はそれぞれ  $X_2$ ,  $Y_2$  の分子式をもつものとする。

- ① XY    ②  $XY_6$     ③  $X_2Y$     ④  $XY_3$     ⑤  $X_3Y$  (共通一次)

きょうの学習はこれで終わりです。

# 第 3 日

## 原子の構造

きょうは、原子の構造について学習します。基本的な学習ですが、今後の学習を進める上で大変重要です。例題は、原子番号と質量数、同位体の 2 題です。

それでは、原子の構造の例題から始めましょう。

### ●例題 1 原子の構造

次の文章の  の中に適当な語句、記号または数字を記入せよ。

原子は原子核と(1) からできており、原子核は(2) と(3) からできている。原子核中の(2) の数を(4)、(2) と(3) の数の和を(5) という。(5) および(4) の値は、ふつう、元素記号の(6) および(7) に添字して表す。たとえば、原子番号が 2 で質量数が 4 のヘリウム原子核は(8) と書くことができる。(琉球大)

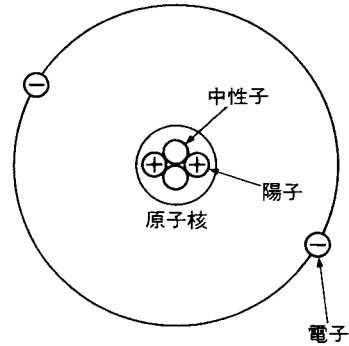
#### 考え方

原子の中心には、正電荷を帯びた陽子と電氣的に中性な中性子からなる原子核があり、そのまわりを負電荷を帯びた電子が、陽子と同数だけとりまく。このため、原子は、全体として電氣的に中性になっている。

原子 { 原子核 { 陽子(プロトン)……正電荷を帯びる  
                  中性子(ニュートロン)……電荷なし  
                  電子(エレクトロン)……負電荷を帯びる

原子番号……原子では、その原子の陽子数と電子数は等しく、その数を原子番号という。

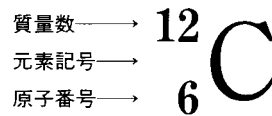
質量数……陽子の質量と中性子の質量は、ほぼ等しく、電子の質量は、これらの約  $\frac{1}{1840}$  しかないので、原子の質量は、陽子の数と中性子の数によって決まる。これらの数の和を質量数という。



ヘリウム原子の構造

$$\text{原子番号} = \text{陽子の数} = \text{電子の数}$$

$$\text{質量数} = \text{陽子の数} + \text{中性子の数}$$



[解答] (1) 電子 (2) 陽子 (3) 中性子 (4) 原子番号 (5) 質量数 (6) 左上  
 (7) 左下 (8)  ${}^4_2\text{He}$

●研究● 原子を構成する粒子の質量、電気量、電荷についてまとめると、次のようになる。

粒子の種類	質量 [g]	電気量 [クーロン]	電 荷
陽 子	$1.673 \times 10^{-24}$	$+1.602 \times 10^{-19}$	+1
中性子	$1.675 \times 10^{-24}$	0	0
電 子	$9.110 \times 10^{-28}$	$-1.602 \times 10^{-19}$	-1

※電荷は  $1.602 \times 10^{-19}$  クーロンを単位とする。

ではトレーニングです。5題あります。原子番号、質量数の意味をしっかりと理解しなさい。5は少し難しいかもしれませんが。

## ■ トレーニング ■

1 次の各文の( )の中に適当な語句・記号を記せ。

原子の中心にはア( )の電気を帯びた原子核があり、そのまわりをイ( )の電気を帯びたいくつかのウ( )がとりまいている。原子核はエ( )とオ( )からできていて、両者の数の和はカ( )数とよばれ、キ( )の数は原子番号とよばれる。(高知大)

2 次の(1)~(3)から、正しいものを選んで番号で答えよ。

- (1) 原子番号は、原子核に含まれる陽子と中性子の数の和によって決まる。
- (2) 原子は、原子核に含まれる陽子と同じ数の電子を含み、電氣的に中性である。
- (3) 原子は、同じ数の陽子と中性子からできていて、中性子を含まない原子は存在しない。

(中部大)

3 次の表中の空欄①~⑫を埋めて表を完成せよ。

	原子番号	陽子数	中性子数	電子数	質量数
${}^{19}_9\text{F}$	①	②	③	④	⑤
${}^{27}_{13}\text{Al}$	⑥	⑦	14	⑧	⑨
$\text{Ca}^{2+}$	⑩	⑪	⑫	18	40

▶ ヒント  $\text{Ca}^{2+}$  は、Ca 原子が電子を2個失った状態である。

4 次の原子のうち、中性子の数が等しいものはどれか。

- (ア)  ${}^{19}_9\text{F}$  (イ)  ${}^{12}_6\text{B}$  (ウ)  ${}^{14}_7\text{N}$  (エ)  ${}^{18}_8\text{O}$  (オ)  ${}^7_3\text{Li}$

(東京工芸大-工)

- 5  $^{18}\text{A}^{2-}$  の記号で表されるイオンの電子数は  $_{10}\text{Ne}$  原子の電子数に等しい。原子 A について、(1)陽子数、(2)電子数、(3)中性子数、(4)原子番号 を答えよ。

5 のイオンでの電子数については、第 2 巻でくわしく説明します。  
 次は、同位体についての例題です。

●例題 2 同位体

同位体に関する記述のうち正しいものはどれか。

- (ア) 質量数は等しいが原子番号が異なり、化学的性質がよく似ている。  
 (イ) 質量数は異なるが原子番号が等しく、化学的性質もよく似ている。  
 (ウ) 質量数も原子番号も等しいが、化学的性質は異なる。  
 (エ) 質量数は異なるが原子番号が等しく、化学的性質は異なる。  
 (オ) 質量数も原子番号も異なるが、化学的性質は似ている。

(東海大一工)

考え方

原子番号が同じで、質量数の異なる原子どうしを同位体(アイソトープ)という。同位体は、原子番号すなわち陽子の数が同じで、同じ元素に属し、化学的性質も同じである。しかし、中性子数が違うので質量数が異なる。

<同位体の例>

元素	同位体	陽子の数	中性子の数	同位体存在比 [%]
水素	$^1_1\text{H}$	1	0	99.985
	$^2_1\text{H}$	1	1	0.015
炭素	$^{12}_6\text{C}$	6	6	98.89
	$^{13}_6\text{C}$	6	7	1.11

\* $^2_1\text{H}$  は重水素とよばれ、 $^2_1\text{D}$  で表すこともある。

〔解答〕 (イ)

- 研究● 同位体は、質量数は違うが原子番号が同じなので、周期表上で同じ位置にある。アイソトープの語源は、「同じ場所」という意味である。

原子量は、天然に存在するその元素の同位体の存在比を考慮して求められる(第 4 日にて学習)。

ではトレーニングです。同位体の意味をしっかりと理解しなさい。8 は、順に書き出すとよくわかります。

6 次の文章の [ ] に最も適した語を、下の語群から選んで記号で答えよ。

原子を構成している粒子のうち、最も基本的なものは、中性子と(1)[ ]と電子である。このうち、中性子と(1)[ ]は、せまい空間内に密につまって(2)[ ]を構成している。また、中性子の数と(1)[ ]の数の和を(3)[ ]という。多くの(2)[ ]の中には、(1)[ ]の数が同じで、中性子の数が異なるものがあり、これを(4)[ ]という。

語群 (ア) 質量数 (イ) 同位体 (ウ) 異性体 (エ) 原子核 (オ) 極性  
(カ) 配位 (キ) 原子番号 (ク) 最外殻電子 (ケ) 陽子 (コ) 遊離基 (神戸学院大)

7  ${}^1_1\text{H}$  と  ${}^2_1\text{H}$  は、自然界に存在する水素原子の同位体である。これらの原子番号、電子数、中性子数および質量数は右のように示される。( )の中に数値を記せ。

	原子番号	電子数	中性子数	質量数
${}^1_1\text{H}$	a( )	b( )	c( )	d( )
${}^2_1\text{H}$	a'( )	b'( )	c'( )	d'( )

(第一薬大一葉)

8  ${}^1_1\text{H}$ ,  ${}^2_1\text{H}$ ,  ${}^{16}_8\text{O}$ ,  ${}^{17}_8\text{O}$  からできる水は、最大何種類か。次の数から選べ。

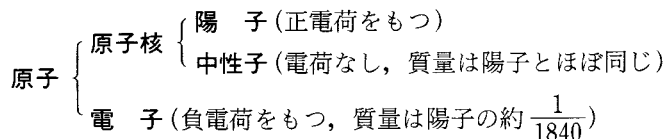
2, 4, 6, 8, 10

(大阪産業大)

それでは、きょうの学習の要点を整理しておきます。

きょうの  
要 点

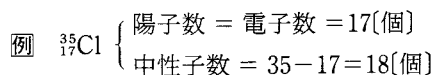
① 原子を構成する粒子について整理しておくこと。



② 原子番号, 陽子数, 中性子数, 電子数の関係をまとめておくこと。

$$\text{原子番号} = \text{陽子数} = \text{電子数}$$

$$\text{陽子数} + \text{中性子数} = \text{質量数}$$



③ 同位体についてまとめておくこと。

(ア) 原子番号が同じで, 質量数が異なる原子どうしを同位体という。



(イ) 同位体どうしの化学的性質は同じである。

原子番号 20 番までの元素は, 元素記号, 元素名, 原子番号が一致するようにしておく。

応用トレーニングです。同位体についての問題が 3 題あります。10, 11 は, すこし手ごわいです。

## 応用トレーニング

### 9 《同位体と同素体》

次の  の中に適当な語句を入れよ。

炭素には質量数 12, 13, などの原子がある。これらの原子では原子核内の(1)  の数は同じで(2)  の数が異なっている。これらをたがいに(3)  という。また, 炭素には(4)  やダイヤモンドのように性質の異なる単体があり, これらをたがいに(5)  という。(筑波大)

### 10 《同位体》

次の文の  に入れるのに適した語句・化学式または記号を入れよ。

元素  ${}_Z^y\text{M}$  の陽子数は(a)  であり, 中性子数は(b)  である。 ${}^x{}_Z\text{M}$  と  ${}_Z^y\text{M}$  との関係はたがいに(c)  であるといわれる。 $y=13$  の元素の酸化物は天然に安定に存在し, その化学式は(d)  で表される。また,  $y=16$  の元素の水素化合物の化学式は(e)  である。

(甲南大一理)

## 11 《同位体》

同位体に関する次の各問いに答えよ。なお、解答には質量数を明記した元素記号(同位体記号)を用いよ。

問1 いずれも純度 100 % の軽水素ガス ( $^1\text{H}_2$ )、重水素ガス ( $^2\text{D}_2$ ) と、酸素ガス ( $^{16}\text{O}_2$ ) をモル比で 1:1:1 の割合で混合し、電気火花を飛ばしたところ、爆発的に反応した。生成物の質量を調べたところ、その分子量  $M$  は、18, 19, 20 の 3 種類であった。推定される生成物のそれぞれの化学式と、生成量の比 ( $M=18$  の生成物の量を 1 とする 1 けたのモル比) を記せ。

問2 純度 100 % の軽水素ガスと 2 種の塩素の同位体を含む天然の塩素ガスをモル比 1:1 で混合し、紫外線を照射したところ、爆発的に反応した。生成物は気体で分子量  $M=36$  のものが 75.5 モル%、 $M=38$  のものが 24.5 モル% であった。この反応の結果を説明するために必要な、3 つの化学反応式を記せ。

問3 次に、純度がいずれも 100 % の軽水素ガスと重水素ガス、および天然の塩素ガスをモル比 1:1:2 の割合で混合し、問 2 の場合と同様に反応させたところ、分子量の異なる 4 種の気体生成物を得た。推定されるこれらの生成物の、それぞれの分子量、化学式と、生成量のモル比 (1 けたの整数比) を、分子量の小さい順に記せ。なお、反応は完全に進行したものとしてよい。

(千葉大)

きょうの学習はこれで終わりです。



## 第 4 日

### 原子量と化学式量

きょうの学習は、化学を学習する上で基本となる原子量と化学式量についてです。例題は全部で3つあります。どの例題も重要ですから、しっかりトレーニングしなさい。

はじめは、原子量の意味についてです。

#### ●例題 1 原子量の意味

次の文の  内に適当な語句または数値を入れて、文章を完成せよ。

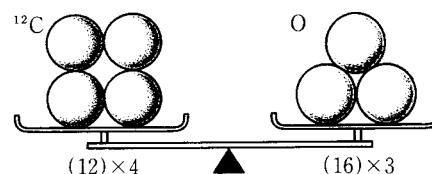
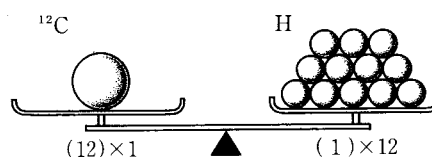
原子量は、ある原子の質量を基準にして、他の原子の質量を相対的に示した数値である。現行の原子量は、質量数①  の②  原子の質量を 12.0000 と定めて、これを基準にしている。したがって、酸素の原子量が 16.0 であるということは、酸素原子の質量が基準原子の③  倍の質量であることを意味する。しかし、酸素原子には、質量数の異なる 3 種の④  が存在するので、これら 3 種の④  を平均して 1 個の原子とみなしたときの質量が基準原子の③  倍ということになる。もし、原子量の基準を現行の 12.0000 から 24 に変更したとすれば、酸素の原子量は⑤  になる。

#### 考え方

原子量は、質量数 12 の炭素原子 ( $^{12}\text{C}$ ) の質量を 12 とし、これを基準にして各元素の原子 1 個あたりの平均質量を比較して表したものである。

すなわち、水素の原子量が 1.0 ということは、水素原子 1 個あたりの平均質量が、 $^{12}\text{C}$  の質量の  $\frac{1}{12}$  であることを意味し、酸素の原子量が 16.0 ということは酸素原子 1 個あたりの平均質量が、 $^{12}\text{C}$  の質量の  $\frac{16}{12} = \frac{4}{3}$  であることを意味する。

〈注〉 酸素原子 1 個あたりの平均質量とは、酸素原子には、質量数の異なる 3 種の同位体 ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) が存在するため、これら 3 種の同位体の質量と存在比を考慮に入れて平均し、1 個の原子とみなしたときの質量である。



〔解答〕 ① 12 ② 炭素 ③  $\frac{4}{3}$  ④ 同位体 ⑤ 32.0

#### ●研究● 原子量の基準の移りかわり

原子量は、はじめドルトンにより質量の最も小さい水素を 1 として測定された。その後、ベルツェリウスは、酸素を 100 として原子量を求め、スタスは、酸素の原子量を 16 として精密な原子量測定をした。この基準はその後ずっと用いられたが、同位体の発見により、酸素の同位体 ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) の平均質量を 16 とする考え方で、 $^{16}\text{O}$  の原子量を 16 とする考え方に分かれ不便となったため、1961 年に現在の  $^{12}\text{C}$  の原子量を 12 とする原子量に統一された。

ではトレーニングです。❶ はよく考えなさい。❷ は簡単にできるでしょう。

1 現在の原子量は、 $^{12}\text{C}$ の原子量を12とする基準によって他の原子量が決められている。もし、現在の原子量の基準が変わった場合、次のうち、どの数値が現在の数値と異なるか。

- (1) 電子の質量 (2) 中性子の質量 (3) モル濃度 (4) 重量パーセント  
 (5) 密度 (6) アボガドロ数 (7) 陽子の質量 (8) 純物質の融点 (東海大(改))

2 次の問いに答えよ。

- (1)  $^{12}\text{C}$ 原子1個の質量は $1.99 \times 10^{-23} \text{g}$ である。いま、酸素原子1個の質量を $2.66 \times 10^{-23} \text{g}$ とすると、酸素原子の原子量はいくらか。  
 (2) 水素の原子量は、1.0であるが、仮に $^{12}\text{C}$ 原子の原子量を1とすると、水素の原子量を示す数値はいくらか。

次は、原子量と同位体についての例題です。

●例題2 原子量と同位体

次の文の□にあてはまる語句または反応式を記せ。

天然に存在する塩素には、(1)□が35と37の2種類の(2)□があり、それらの原子量は、それぞれ34.969と36.966である。また存在率は、75.77%と24.23%である。したがって、天然に存在する塩素の原子量は(3)□となる。 (東京学芸大)

考え方

多くの元素は、天然に同位体が存在し、その存在率はどこでも一定である。元素の原子量とは、その同位体の原子質量と存在率に応じた平均値である。

$$\text{元素の原子量} = \left( \text{同位体の原子質量} \times \frac{\text{存在率}\%}{100} \right) \text{の和}$$

解き方

塩素の原子量は次式で求まる。

$$34.969 \times \frac{75.77}{100} + 36.966 \times \frac{24.23}{100} \approx 35.453$$

〔解答〕 (1) 質量数 (2) 同位体 (3) 35.45

- 研究● 炭素の原子量は、12.011 であり、12.000 ではない。これは、天然の炭素には、 $^{12}\text{C}$  と  $^{13}\text{C}$  の 2 種の同位体がそれぞれ、98.892 %、1.108 % 存在するためである。

$^{13}\text{C}$  の質量を 13.003 とすると、炭素の原子量は次式で求まる。

$$12.000 \times \frac{98.892}{100} + 13.003 \times \frac{1.108}{100} \doteq 12.011$$

この値が、炭素の原子量として採用されているわけであるが、高校の化学の学習には、原子量の概数値を用いれば十分である。

おもな元素の原子量の概数値を示す。

H=1.0, C=12.0, N=14.0, O=16.0, Na=23.0, Cl=35.5 など。

ではトレーニングです。計算の手法を練習しなさい。4 では、同位体が 3 つありますが、計算の手法は同じです。

### トレーニング

- 3 天然に存在する塩素には、原子量 35 のもの(A)と原子量 37 のもの(B)とが混じっているため、塩素の原子量は 35.4 となっている。A と B の存在率を求めよ。(徳島大)

- 4 自然に存在するある元素 Y には、 $^{24}\text{Y}$ 、 $^{25}\text{Y}$ 、 $^{26}\text{Y}$  の 3 種の同位体がある。 $^{24}\text{Y}$  が 79.0 % 含まれるとすれば、 $^{25}\text{Y}$ 、 $^{26}\text{Y}$  はそれぞれ何 % ずつ含まれるか。ただし、同位体それぞれの原子量は近似的にそれぞれ 24、25、26 に等しく、Y の原子量は 24.3 とし、小数点以下第 1 位まで求めよ。

きょう最後の例題です。分子量と式量についてです。

#### ●例題 3 分子量と式量

次の化学式で示される物質の名称を述べ、また、その物質の分子量あるいは式量を求めよ。ただし、原子量は H=1.0, C=12.0, N=14.0, O=16.0, Na=23.0, S=32.0, Cl=35.5, Ca=40.0 とする。

- (a) NaCl (b) CO<sub>2</sub> (c) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (d) Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (e) NaHCO<sub>3</sub>

**考え方**

分子量は、分子中の各原子の原子量の総和となる。

例 水分子 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) の分子量；  $1.0 \times 2 + 16.0 = 18.0$

塩化ナトリウムのように分子をつくらない物質は、組成式で表される各原子の原子量の総和を用いて式量として表す。

例 塩化ナトリウム ( $\text{NaCl}$ ) の式量；  $23.0 + 35.5 = 58.5$

〈注〉 分子量や式量も、原子量と同じく基準は  $^{12}\text{C}$  の質量を 12 とし、分子の相対的な質量として表したものであるが、一般的には、上記のように原子量の概数値を用いて計算される。

**解き方**

(a)  $23.0 + 35.5 = 58.5$       (b)  $12.0 + 16.0 \times 2 = 44.0$

(c)  $1.0 \times 2 + 32.0 + 16.0 \times 4 = 98.0$       (d)  $40.0 + (14.0 + 16.0 \times 3) \times 2 = 164.0$

(e)  $23.0 + 1.0 + 12.0 + 16.0 \times 3 = 84.0$

〔解答〕 (a) 塩化ナトリウム, 58.5      (b) 二酸化炭素, 44.0      (c) 硫酸, 98.0  
(d) 硝酸カルシウム, 164.0      (e) 炭酸水素ナトリウム, 84.0

● 研究 ● 分子量や式量を求めるには、物質の化学式がしっかり書けなくてはならない。

次の物質を化学式で示してみよう。

(1) ドライアイス      (2) 大理石      (3) 塩化マグネシウム      (4) 硫酸アルミニウム

(1)や(2)のように物質名に慣用名が使われているとわかりにくいかもしれない。ドライアイスは固体の二酸化炭素であり、大理石は炭酸カルシウムである。石灰石なども炭酸カルシウムでできている。一方、(3)や(4)は、各原子の価数を考えないと、 $\text{MgCl}$  や  $\text{AlSO}_4$  と書いてしまう。ここでは、 $\text{Mg}^{2+}$  と  $\text{Cl}^-$  の結合および、 $\text{Al}^{3+}$  と  $\text{SO}_4^{2-}$  の結合として考えることができる。

(解答) (1)  $\text{CO}_2$       (2)  $\text{CaCO}_3$       (3)  $\text{MgCl}_2$       (4)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

ではトレーニングです。2 題ですが、たくさん練習できるようにしてあります。

**トレーニング**

5 次の(1)~(10)の物質の分子量・式量を求めよ。ただし、原子量は  $\text{H}=1.0$ ,  $\text{C}=12.0$ ,  $\text{N}=14.0$ ,  $\text{O}=16.0$ ,  $\text{Na}=23.0$ ,  $\text{Al}=27.0$ ,  $\text{S}=32.0$ ,  $\text{Cl}=35.5$  とする。

- (1) アンモニア      (2) 塩化水素      (3) 硫酸      (4) ブドウ糖      (5) 硫酸アルミニウム  
(6) 硫酸ナトリウム      (7) 塩素      (8) 水酸化ナトリウム      (9) エタン      (10) 過酸化水素

6 次の化学式で表される物質やイオンの分子量・式量を求めよ。ただし、原子量は  $H=1.0$ ,  $C=12.0$ ,  $N=14.0$ ,  $O=16.0$ ,  $Na=23.0$ ,  $Mg=24.3$ ,  $P=31.0$ ,  $Cl=35.5$ ,  $K=39.1$ ,  $Ca=40.1$ ,  $Cr=52.0$ ,  $Fe=55.9$  を用いよ。

- (1)  $P_4O_{10}$     (2)  $Na_2CO_3$     (3)  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$     (4)  $(CH_3COO)_2Ca$   
(5)  $NH_4^+$     (6)  $ClO_3^-$     (7)  $Cr_2O_7^{2-}$     (8)  $K_4[Fe(CN)_6]$

ここで、きょうの要点をまとめておきます。

きょうの  
要点

- ① 原子量の表すことがらを理解すること。  
 $^{12}C$  (質量数 12 の炭素原子) の 1 個の質量を 12 とした原子の相対的質量が原子量である。  
(原子量は質量比であるから単位はつかない。)  
いくつかの同位体の存在する元素では、その元素の原子量は、同位体の質量と存在比から求めた平均原子量として示される。
- ② おもな元素の原子量の概数値は、覚えておくことと便利である。  
 $H=1.0$ ,  $C=12.0$ ,  $N=14.0$ ,  $O=16.0$ ,  $Na=23.0$ ,  $S=32.0$ ,  $Cl=35.5$   
 $Cu=63.5$ ,  $Ag=108$  など。  
本書では、第 5 日め以降の学習において、 $H=1.0$ ,  $C=12.0$ ,  $N=14.0$ ,  $O=16.0$  の 4 つは、特別な場合を除き、覚えているものとして設問する。
- ③ 化学式の書き方および物質のよび方は、確実に理解しておくこと。  
分子式の場合、原子価の総和を等しくする。  
 $CH_4$  ( $C \cdots 4$  価,  $H \cdots 1$  価,  $4 \times 1 = 1 \times 4$ )  
組成式の場合、正原子価の総和と負原子価の総和が 0 になるようにする。  
 $NaCl$  ( $Na \cdots +1$ ,  $Cl \cdots -1$ )

それでは、応用トレーニングです。3 題あります。8 はすこし難しいですよ。原子の構造をよく考えなさい。

7 《原子量の意味》

原子量の定義を述べよ。(80字以内)

(九州大)

8 《原子の構造》

次の文を読んで設問に答えよ。

陽子1個の質量は、原子質量単位で表すと1にきわめて近い値である。どんな原子の質量も原子質量単位で表すと、ほぼ整数に近い値になる。

問1 この事実を説明する文を、次の語句を使ってつくれ。

語句(中性子, 電子)

問2 この整数を何というか。

問3 水素, 炭素, 酸素をはじめとするいくつかの元素の原子量は整数に近い値なのに, 塩素の原子量は約35.5である。その理由を、次の語句の中の1つを使った文で説明せよ。

語句(同位体, 同素体, 同族, 異性体)

(早稲田大-教育)

9 《化学式》

次の化学式で示される化合物の名称を書き、これらの中で硫黄の重量パーセントが最も大きいものを示せ。ただし、原子量は、 $H=1.0$ ,  $N=14.0$ ,  $O=16.0$ ,  $Na=23.0$ ,  $Al=27.0$ ,  $S=32.0$ ,  $K=39.0$ ,  $Cu=63.5$ ,  $Zn=65.4$  とする。

(1)  $Al_2(SO_4)_3$     (2)  $(NH_4)_2SO_4$     (3)  $ZnSO_4$     (4)  $NaHSO_4$

(5)  $CuSO_4$     (6)  $SO_3$     (7)  $H_2SO_4$     (8)  $K_2SO_4$

きょうの学習はこれで終わりです。

## 第 5 日

### アボガドロ数とモル(1)

きょうと第6日は、化学での重要な概念“モル”について学習します。きょうは基本的な2つの例題を用意してあります。しっかりトレーニングしなさい。

はじめは、モルと質量についてです。

#### ●例題1 モルと質量

次の各問いに答えよ。ただし、 $K=39.0$ 、アボガドロ数 $=6.0\times 10^{23}$ とする。

- (1) 1 mol の酸素原子の質量は 16.0 g である。酸素原子 1 個の質量を求めよ。
- (2) カリウム 7.8 g の中には、カリウム原子が何 mol 含まれているかを計算し、これを用いてカリウム原子の個数を求めよ。
- (3) 水 100 g にブドウ糖  $C_6H_{12}O_6$  を 54 g 溶かした溶液がある。ブドウ糖の分子数はいくらか計算せよ。  
(東京理科大一薬)

#### 考え方

原子や分子を、 $6.02\times 10^{23}$  個(アボガドロ数個)だけ集めたときの物質の質量は、原子量や分子量の数値にグラム単位をつけた値と同じである。

質量のかわりに、物質を構成している原子・分子・イオンなどの個数をもとにして表した量を物質量といい、その単位はモル(mol)が使われる。1モルとは、 $6.02\times 10^{23}$  個の原子・分子の集団のことであり、その質量は、原子量・分子量にグラム単位をつけたものに等しい。

例 水素分子( $H_2$ ) 1 mol とは、

- ① 水素分子  $6.02\times 10^{23}$  個の集まりで、
- ② 水素分子  $6.02\times 10^{23}$  個の質量は、2 g である。

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ mol} & \iff & 6.02\times 10^{23} \text{ 個} & \iff & \text{原子量}\cdot\text{分子量} [\text{g}] \\ \text{(物質量)} & & \text{(個数)} & & \text{(質量)} \end{array}$$

#### 解き方

- (1) 酸素原子 1 mol は、酸素原子  $6.0\times 10^{23}$  個の集まりである。1 mol の質量が 16.0 g なので、

$$\text{酸素原子 1 個の質量は、} \quad \frac{16.0}{6.0\times 10^{23}} \div 2.7\times 10^{-23} [\text{g}]$$

- (2) カリウムの原子量は 39.0 である。原子量にグラム単位をつけた値が 1 mol の質量に等しい

$$\text{ので、カリウム 7.8 g の物質量は、} \quad \frac{7.8}{39.0} = 0.20 [\text{mol}]$$

したがって、このときのカリウムの原子数は、 $6.0\times 10^{23}\times 0.20 = 1.2\times 10^{23}$  [個]

- (3) ブドウ糖  $C_6H_{12}O_6$  の分子量は、

$$12.0\times 6 + 1.0\times 12 + 16.0\times 6 = 180.0$$

ブドウ糖 1 mol ( $6.0\times 10^{23}$  個) が 180 g なので、54 g の分子数は、

$$6.0\times 10^{23}\times \frac{54}{180} = 1.8\times 10^{23} [\text{個}]$$

[解答] (1)  $2.7\times 10^{-23}$  g    (2) 0.20 mol,  $1.2\times 10^{23}$  個    (3)  $1.8\times 10^{23}$  個

●研究● アボガドロ数は、正式には、 $^{12}\text{C}$  の 12 g 中の  $^{12}\text{C}$  原子の数として定義される。

$^{12}\text{C}$  原子 1 個の質量が、 $1.993 \times 10^{-23} \text{ g}$  なので、アボガドロ数は、

$$\frac{12 \text{ [g]}}{1.993 \times 10^{-23} \text{ [g/個]}} \doteq 6.02 \times 10^{23} \text{ [個]}$$

となる。

アボガドロ数個の原子、分子、イオン、電子などの粒子の集団を 1 mol とよぶが、1 mol は、分子が存在しない物質（組成式で表される物質、たとえば NaCl など）にも適用される。

ではトレーニングです。この例題を完全に理解するために、トレーニングをたくさん用意してあります。6 題です。5, 6 は、すこし難しくしてあります。途中でつかえたら、解答の解説をよく読んで理解しなさい。

## ■ トレーニング ■

1 次の文の ( ) の中に、適当な語句または数値を入れよ。

モル (mol) は原子・分子などの粒子の量を示す基本的な単位であり、1 モルは(ア) ( ) 個の粒子を含んでいる。1 モルに含まれる粒子数は(イ) ( ) 数とよばれている。 (高知大)

2  $^{12}\text{C}$  だけからなる 1.2 カラットのダイヤモンドは何個の炭素原子を含むか。ただし 1 カラットは 200 mg である。またアボガドロ数は  $6 \times 10^{23}$  とする。 (岩手大)

3 アルミニウム貨幣<sup>かへい</sup> 1 枚の質量を測定したら 1.00 g あった。これが純粋なアルミニウムであるとすると、この中にはアルミニウム原子が何個含まれているか。ただし、 $\text{Al}=27.0$ 、アボガドロ数  $=6.02 \times 10^{23}$ 、有効数字 3 桁で答えよ。 (山梨大)

4 ヨウ素 2.54 g の中に含まれているヨウ素の原子数と同数の原子を含むダイヤモンドの重量は何 g か。ただし  $\text{I}=127$ 。

(A) 0.12 (B) 0.24 (C) 1.2 (D) 12 (E) 24 (芝浦工大一工)



- 5 オレイン酸 ( $C_{17}H_{33}COOH$ )  $9.4 \times 10^{-3}$  mg を含むアルコール溶液を水の表面にひろげ、オレイン酸の分子が一層に並んだ膜をつくり、その面積を測定したところ  $50.0 \text{ cm}^2$  であった。この面積をオレイン酸のすべての分子に均等に配分し、その1個当たりの面積を正方形と考えると、その一辺は何 cm となるか。ただし、アボガドロ数  $= 6 \times 10^{23}$  とする。 (同志社大-工)

- 6 炭素原子のみからなる固体を X 線を用いて調べたところ、1 辺が  $3.4 \text{ \AA}$  の立方体の中に炭素原子が 8 個含まれていた。この固体の密度を  $4.0 \text{ g/cm}^3$  としたとき、炭素原子の 1 個の質量を①～⑧から選び、番号で答えよ。

- ①  $1.2 \times 10^{23} \text{ g}$     ②  $1.5 \times 10^{23} \text{ g}$     ③  $1.8 \times 10^{23} \text{ g}$     ④  $2.4 \times 10^{23} \text{ g}$   
⑤  $2.0 \times 10^{-23} \text{ g}$     ⑥  $2.4 \times 10^{-23} \text{ g}$     ⑦  $2.7 \times 10^{-23} \text{ g}$     ⑧  $3.8 \times 10^{-23} \text{ g}$  (東京理科大)

▶ ヒント  $1 \text{ [\AA]} (\text{オングストローム}) = 1 \times 10^{-8} \text{ [cm]}$  である。

次は、気体物質の体積について考えます。

●例題 2 モルと気体の体積

次の(ア)～(キ)の条件のうち酸素原子が最も多く含まれるものを 1 つ選び、その記号を記せ。

- (ア) 3.2 g の酸素ガス    (イ)  $0^\circ\text{C}$ , 1 気圧で 2.24 l の酸素ガス    (ウ) 1.8 g の水  
(エ)  $0^\circ\text{C}$ , 1 気圧で 1.12 l のオゾン    (オ) 0.2 mol の二酸化炭素  
(カ)  $6.02 \times 10^{22}$  個の酸素ガス    (キ)  $0^\circ\text{C}$ , 1 気圧で 2.24 l の二酸化炭素 (金沢工大)

考え方

アボガドロの法則によれば、「同温・同圧・同体積中に含まれる気体の分子数は、気体の種類に関係なく同数である。」から、同温・同圧で同じ物質量の気体の体積は、気体の種類に関係なく同体積となる。 $0^\circ\text{C}$ , 1 気圧 (標準状態という) を基準にすると、1 mol の気体の体積は 22.4 l である。

$$\text{気体 1 mol (標準状態)} \rightleftharpoons 22.4 \text{ l}$$

**解き方**

- (ア) 酸素ガス  $O_2$  (分子量 32) 3.2 g 中に含まれる酸素原子の物質量は、 $\frac{3.2}{32} \times 2 = 0.2$  [mol]
- (イ)  $0^\circ C$ , 1 気圧で 2.24 l の酸素ガス  $O_2$  (1 mol は 22.4 l) 中に含まれる酸素原子は、  
 $\frac{2.24}{22.4} \times 2 = 0.2$  [mol]
- (ウ) 1.8 g の水  $H_2O$  (分子量 18) 中の酸素原子は、 $\frac{1.8}{18.0} \times 1 = 0.1$  [mol]
- (エ)  $0^\circ C$ , 1 気圧で 1.12 l のオゾン  $O_3$  中の酸素原子は、 $\frac{1.12}{22.4} \times 3 = 0.15$  [mol]
- (オ) 0.2 mol の二酸化炭素  $CO_2$  中の酸素原子は、 $0.2 \times 2 = 0.4$  [mol]
- (カ)  $6.02 \times 10^{22}$  個の酸素ガス  $O_2$  中の酸素原子は、 $\frac{6.02 \times 10^{22}}{6.02 \times 10^{23}} \times 2 = 0.2$  [mol]
- (キ)  $0^\circ C$ , 1 気圧で 2.24 l の二酸化炭素  $CO_2$  中の酸素原子は、 $\frac{2.24}{22.4} \times 2 = 0.2$  [mol]

[ 解 答 ] (オ)

● 研 究 ● 物質でとらえるとき、分子について問われたものか、その分子を構成する原子について問われたものか、対象をはっきりと把握することが大切である。

たとえば、ブドウ糖  $C_6H_{12}O_6$  1 mol 中には、炭素原子 6 mol, 水素原子 12 mol, 酸素原子 6 mol がそれぞれ含まれ、各原子の物質量の和は 24 mol ということになる。

ではトレーニングです。基本的な問題が 4 題あります。

### ト レ ー ニ ン グ

7 次の気体が 10 g ずつある。これらの気体を標準状態における体積が大きい順に並べよ。

- (ア)  $C_2H_4$  (イ)  $NH_3$  (ウ)  $CH_4$  (エ)  $NO$  (東京工芸大)

8  $0^\circ C$ , 1 気圧で 11.2 l のヘリウム  ${}^4He$  は何個の中性子を含むか。次のうち最も近いものを選べ。  
 ただし、アボガドロ数  $= 6.0 \times 10^{23}$  とする。

- (ア)  $3.0 \times 10^{23}$  個 (イ)  $6.0 \times 10^{23}$  個 (ウ)  $1.2 \times 10^{21}$  個 (エ)  $3.0 \times 10^{21}$  個  
 (オ)  $6.0 \times 10^{21}$  個 (東海大一工)

- 9 0°C, 1 気圧, 1.12 l の空気中に含まれる酸素分子の数はいくらか。ただし, 空気の組成は窒素と酸素の比=4:1, アボガドロ数は  $6.0 \times 10^{23}$  とする。 (昭和薬大-薬)

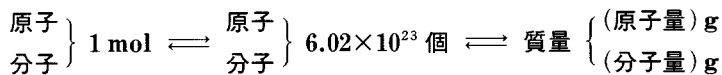
- 10 次の計算をせよ。ただし, 原子量は H=1.0, N=14.0, Cl=35.5, アボガドロ数は  $6.0 \times 10^{23}$  とする。

- (1) 塩化水素 HCl 0.15 mol は何 g か。また, 0°C, 1 atm で何 l を占めるか。  
 (2) アンモニア NH<sub>3</sub> 2.8 l (0°C, 1 atm) の質量は何 g か。また, この中にはアンモニアの分子が何個含まれているか。

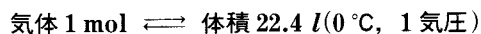
ここで, きょうの学習の要点をまとめておきます。よく読みなさい。

きょうの  
要 点

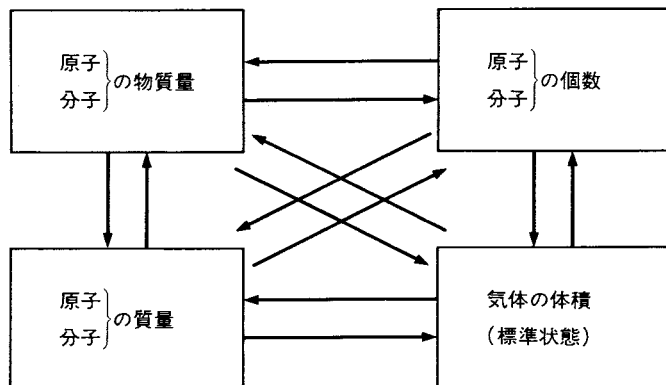
- ① 1 mol という物質量が示すことから理解すること。



- ② 気体については, 標準状態における体積と, 物質量の関係を理解すること。



- ③ 上記, ①と②を自由に換算できるようにしておくこと。



では応用トレーニングです。モルの計算練習をもうすこししておきます。

## ■ 応用トレーニング ■

### 11 《アボガドロ数》

次の(1)~(5)の記述のうち、アボガドロ数と一致しないものはどれか。番号で答えよ。

- (1) 1 g の水素の中に含まれる水素分子の数
- (2) 16 g の酸素の中に含まれる酸素原子の数
- (3) 1 mol の水の中に含まれる酸素原子の数
- (4) 1 mol の 0°C, 1 気圧の標準体積中に含まれる気体分子数
- (5) 食塩の 1 mol/l 溶液 1 l 中に含まれるナトリウムイオンの数 (愛知学院大)

▶ ヒント (5)  $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$  と電離するから、 $\text{Na}^+$  の物質量は  $\text{NaCl}$  の物質量に等しい。

### 12 《物質の量》

次の  内に適当な語句または数値を下記の(ア)~(コ)から選べ。気体は標準状態として考えよ。アボガドロ数 =  $6 \times 10^{23}$ , S = 32, Cl = 35.5, Hg = 201

- (1) 酸素分子  $1.5 \times 10^{23}$  個は①  l を占める。
- (2) 窒素 8.4 g と酸素 6.4 g の混合気体の分子数は②  個である。
- (3) 水銀 1 cm<sup>3</sup> (密度 13.6 g/cm<sup>3</sup>) 中には③  個の原子がある。
- (4) 塩化水素 0.2 mol は④  g であり、その体積は⑤  l である。
- (5) 二酸化炭素 1 g の体積は二酸化硫黄 1 g の体積より⑥ 。  
(ア)  $0.4 \times 10^{23}$  (イ)  $3 \times 10^{23}$  (ウ)  $5 \times 10^{23}$  (エ)  $6 \times 10^{23}$  (オ) 4.48  
(カ) 5.6 (キ) 7.3 (ク) 11.2 (ケ) 大きい (コ) 小さい (日本文理大)

きょうの学習はこれで終わりです。第6日は、すこし応用的な学習に入ります。

## 第 6 日

### アボガドロ数とモル(2)

きょうは、固体や気体の密度と分子量の関係や、混合気体の平均分子量についての学習です。例題をよく読み、トレーニングでしっかり練習しなさい。例題は3つです。

はじめは、固体の密度と原子量についての例題です。

#### ●例題 1 固体の密度と原子量

ある金属  $1 \text{ cm}^3$  中には、 $6.4 \times 10^{22}$  個の原子が含まれていることがわかった。また、この金属の密度は  $19.2 \text{ g/cm}^3$  であった。この金属の原子量を求めよ。ただし、アボガドロ数は、 $6.0 \times 10^{23}$  とする。  
(大阪女大)

#### 考え方

原子量は、アボガドロ数 ( $6.0 \times 10^{23}$ ) 個の原子の総質量を無名数で表したものである。したがって、原子数と質量がわかれば、原子量を求めることができる。

たとえば、 $a [\text{cm}^3]$  中に  $X$  [個] の原子が含まれており、その密度が  $d [\text{g/cm}^3]$  であるとき、この物質の原子量  $M$  は、次のようにして求められる。

$$X \text{ [個]} : 6.0 \times 10^{23} \text{ [個]} = a \times d \text{ [g]} : M \text{ [g]} \quad \therefore M = a \times d \times \frac{6.0 \times 10^{23}}{X}$$

#### 解き方

この金属  $1 \text{ cm}^3$  の質量は、 $1 \times 19.2$  [g] であるから、原子量を  $M$  とすると、

$$6.4 \times 10^{22} \text{ [個]} : 6.0 \times 10^{23} \text{ [個]} = 1 \times 19.2 \text{ [g]} : M \text{ [g]}$$

$$\therefore M = 1 \times 19.2 \times \frac{6.0 \times 10^{23}}{6.4 \times 10^{22}} = 180$$

[解答] 180

- 研究● 物質の質量、体積、原子・分子の数の関係を考えるとき、一度物質質量にしてから考えてもよい。たとえば、この問題では、 $6.4 \times 10^{22}$  個の物質量は、 $\frac{6.4 \times 10^{22}}{6.0 \times 10^{23}} \text{ mol}$  で、質量が、 $1 \times 19.2 = 19.2$  [g] であるから、原子量を  $M$  とすると、

$$\frac{6.4 \times 10^{22}}{6.0 \times 10^{23}} \text{ [mol]} : 1 \text{ [mol]} = 19.2 \text{ [g]} : M \text{ [g]} \quad \therefore M = 180$$

ではトレーニングです。密度の意味、原子量の意味を理解しなさい。トレーニングは2題です。

## トレーニング

1 次の文の( )内には語句を、内には適当な数値を記せ。ただし、アボガドロ数は  $6.0 \times 10^{23}$  とする。

天然に存在する炭素の結晶にはダイヤモンドと黒鉛の二種類があり、それらは(1)( )という。ダイヤモンドの結晶 1 g は(2)モルに相当し、(3)個の炭素原子を含む。ダイヤモンドの結晶の密度が  $3.51 \text{ g/cm}^3$  であることから、単位格子(辺の長さ  $= 3.57 \times 10^{-8} \text{ [cm]}$ )の立方格子中には(4)個の炭素原子が詰まっていることになる。(武蔵工大-工)

2 炭素原子のみからなる固体を X 線を用いて調べたところ、1 辺が  $3.4 \text{ \AA}$  の立方体の中に炭素原子が 8 個含まれていた。この固体の密度を  $4.0 \text{ g/cm}^3$  としたとき、炭素原子の原子量を求めよ。ただし、アボガドロ数は  $6.0 \times 10^{23}$  とする。

▶ ヒント  $1 \text{ (\AA)} (\text{オングストローム}) = 1 \times 10^{-8} \text{ [cm]}$  である。

次は、気体についての密度を考えます。

### ●例題 2 気体の密度と分子量

ある気体の密度が標準状態で  $1.43 \text{ g/l}$  とすれば、この気体の分子量はいくらか。

#### 考え方

気体 1 mol の体積は、標準状態で  $22.4 \text{ l}$  である。したがって、 $22.4 \text{ l}$  の体積の気体の質量は、気体の分子量にグラム数をつけた量となる。つまり、気体の体積と質量を測定することにより、気体の分子量が求まる。

たとえば、ある気体の標準状態での体積が  $V \text{ [l]}$  で、その質量が  $m \text{ [g]}$  (密度  $\frac{m}{V} \text{ [g/l]}$ ) であるとき、この気体の分子量  $M$  は、次のようにして求めることができる。

$$V \text{ [l]} : 22.4 \text{ [l]} = m \text{ [g]} : M \text{ [g]} \quad \therefore M = 22.4 \times \frac{m}{V}$$

#### 解き方

標準状態での密度が、 $1.43 \text{ g/l}$  であるということは、気体  $1 \text{ l}$  の質量が  $1.43 \text{ g}$  であるということである。したがって、この気体の分子量  $M$  は、次のようにして求めることができる。

$$1 \text{ [l]} : 22.4 \text{ [l]} = 1.43 \text{ [g]} : M \text{ [g]} \quad \therefore M = 22.4 \times \frac{1.43}{1} \doteq 32.0$$

[ 解 答 ] 32.0

- 研 究 ● 同温・同圧・同体積の気体は、同数の分子を含むから、同温・同圧・同体積での気体の質量の比は、分子量の比に等しくなる。

ある気体 A の分子量が知られていれば、この関係を利用して、他の気体 B の分子量を求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{気体 A の質量 [g]} : \text{気体 A と同温・同圧・同体積の気体 B の質量 [g]} \\ = \text{気体 A の分子量} : \text{気体 B の分子量} \end{aligned}$$

ではトレーニングです。3 題です。5 は、空気に対する比重ということばが出てきますが、よく考えればわかります。

### ■ トレーニング ■

- 3 標準状態で、ある気体の密度をはかったら  $1.34 \text{ g/l}$  であった。

- (1) この気体の分子量はいくらか。  
(2) この気体は次のどれか、記号で答えよ。ただし、 $\text{H}=1$ 、 $\text{C}=12$ 、 $\text{O}=16$   
(ア)  $\text{CO}$  (イ)  $\text{NO}$  (ウ)  $\text{CH}_4$  (エ)  $\text{C}_2\text{H}_2$  (オ)  $\text{CH}_4\text{O}$

- 4 次の文の  に適する数値を下の①～⑥より選び、番号で答えよ。

$1.5 \times 10^{23}$  個の分子を含む気体がある。標準状態において、その気体密度は   $\text{g/l}$  である。ただし、気体分子 1 個の質量は  $10.6 \times 10^{-23} \text{ g/個}$  とする。

- ① 0.15    ② 0.28    ③ 1.43    ④ 2.8    ⑤ 5.8    ⑥ 16    (日本大-理工)

- 5 同じ温度と同じ圧力のもとで、空気に対する比重が一酸化炭素の値に最も近いものは、(a)～(e) のどれか。

- (a)  $\text{CH}_4$     (b)  $\text{CO}_2$     (c)  $\text{O}_2$     (d)  $\text{NH}_3$     (e)  $\text{HCN}$     (東京工芸大-工)

きょう最後の例題です。混合気体の平均分子量を求めてみます。

### ●例題3 混合気体の平均分子量

0°C, 1気圧において、酸素 0.160 g, 窒素 0.560 g からなる混合気体がある。この混合気体の占める体積はいくらか。また、この混合気体のみかけの分子量はいくらか。

#### 考え方

標準状態では、気体の種類によらず 1 mol の気体の体積は 22.4 l である。したがって、混合気体の体積は、それぞれの成分気体の標準状態における体積の総和として与えられる。このとき、気体は混合しているわけだから、混合気体のみかけ上の密度は、成分気体 A の質量を  $m_A$  [g], 体積を  $V_A$  [l], 成分気体 B の質量を  $m_B$  [g], 体積を  $V_B$  [l] とすると、次のように示される。

$$\frac{m_A + m_B}{V_A + V_B} \text{ [g/l]}$$

この値をもとに混合気体 22.4 l あたりの質量を求めると、混合気体のみかけの分子量(平均分子量)となる。

#### 解き方

0°C, 1気圧における 0.160 g の酸素  $O_2$ (分子量 32) の体積は、

$$22.4 \times \frac{0.160}{32} = 0.112 \text{ [l]}$$

0°C, 1気圧における 0.560 g の窒素  $N_2$ (分子量 28) の体積は、

$$22.4 \times \frac{0.560}{28} = 0.448 \text{ [l]}$$

したがって、混合気体の体積は、 $0.112 + 0.448 = 0.560$  [l]

次に、混合気体のみかけ上の密度は、 $\frac{0.160 + 0.560}{0.112 + 0.448} \doteq 1.286$  [g/l]

したがって、この混合気体の平均の分子量を  $M$  とすると、

$$1 \text{ [l]} : 22.4 \text{ [l]} = 1.286 \text{ [g]} : M \text{ [g]} \quad \therefore M \doteq 28.8$$

[解答] 体積 0.560 l 分子量 28.8

●研究● 混合気体の平均分子量を求めるのに、この問題では平均密度を用いたが、混合気体の体積組成より求めることもできる。このような考え方は、気体の体積比が物質量の比に等しいことにもとづいている。

たとえばこの問題では、酸素 0.160 g, 窒素 0.560 g からなる混合気体であるから、混合気体中の酸素と窒素の物質量の比は、

$$\text{酸素} : \text{窒素} = \frac{0.160}{32} : \frac{0.560}{28} = 0.005 : 0.02 = 1 : 4$$

標準状態において、この混合気体 22.4 l (1 mol) をとると、その中には、 $\frac{1}{5}$  mol の酸素と

$\frac{4}{5}$  mol の窒素が含まれているので、この混合気体の分子量は次式で求まる。

$$32 \times \frac{1}{5} + 28 \times \frac{4}{5} = 28.8 \text{ [g]}$$

また一般に、分子量  $M_A$  の気体 A と分子量  $M_B$  の気体 B からなる混合気体があり、その体積組成が A が  $a$  %, B が  $b$  % であるとき、この混合気体の平均分子量  $M$  は次の式で求められる。

$$M = M_A \times \frac{a}{100} + M_B \times \frac{b}{100}$$



逆に、混合気体の平均分子量より、混合気体の体積組成を求めるときには、気体 A の体積パーセントを  $x$  [%] とすると、気体 B の体積パーセントは、 $100-x$  [%] であるから、

$$M = M_A \times \frac{x}{100} + M_B \times \frac{100-x}{100}$$

この式から  $x$  を求めることにより、混合気体の体積組成がわかる。

ではトレーニングです。混合気体の平均分子量を計算する手法を練習します。2 題です。

### ■■■■ トレーニング ■■■■

**6**  $0^\circ\text{C}$ 、1 気圧で、水素と窒素の混合気体 1 l をとって質量を測定したら、0.960 g であった。この混合気体中の両気体の体積百分率を求めよ。

**7** 容積 784 l の容器に標準状態 ( $0^\circ\text{C}$ 、1 気圧) で、水素、ヘリウム、窒素の混合気体が入っている。その気体の総重量は 370 g で、このうち水素の重量が 10 g であった。ヘリウムと窒素の重量 (グラム) はそれぞれいくらか。正しいものの組み合わせを選べ。ただし、 $\text{He}=4$ 、 $\text{N}=14$  とする。

- (1) ヘリウム：窒素 = 24 g : 336 g      (2) ヘリウム：窒素 = 40 g : 320 g  
(3) ヘリウム：窒素 = 80 g : 280 g      (4) ヘリウム：窒素 = 185 g : 175 g  
(5) ヘリウム：窒素 = 192 g : 168 g

(神戸女子薬大一薬)

ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。

きょうの  
要点

- ① 固体の場合は、密度  $d$  [g/cm<sup>3</sup>] と単位体積中に含まれる原子・分子の数  $N$  [個] がわかれば、原子量・分子量  $M$  を求めることができる。

$$M = \frac{d}{N} \times 6.02 \times 10^{23}$$

1 mol 中に含まれる原子・分子の個数  $6.02 \times 10^{23}$  個は覚えておくこと。

- ② 気体の場合は、標準状態における密度  $d$  [g/l] がわかれば、分子量  $M$  を求めることができる。  $M = d \times 22.4$

標準状態における 1 mol の気体の体積 22.4 l は覚えておくこと。

- ③ 混合気体の場合は、その混合気体 (標準状態で成分気体 A の質量を  $m_A$  [g], 体積を  $V_A$  [l], 成分気体 B の質量を  $m_B$  [g], 体積を  $V_B$  [l] とする) のみかけ上の密度  $d$  [g/l] がわかれば、平均の分子量  $M$  を求めることができる。

$$M = d \times 22.4 = \frac{m_A + m_B}{V_A + V_B} \times 22.4$$

標準状態における同じ分子数の気体の体積は、気体の種類によらず同じである。

それでは、応用トレーニングです。それほど難しくはありません。2 題です。

■ 応用トレーニング ■

8 《気体の密度》

次にあげる物質を、標準状態における密度が、空気より小さいものと大きいものとに分類し、それぞれ化学式で記入せよ。ただし、S=32.0, Cl=35.5 とする。

アンモニア, 塩化水素, 塩素, オゾン, 二酸化硫黄, 二酸化炭素, 硫化水素, 水素,  
メタン, プロパン

(東京学芸大)

9 《混合気体の分子量》

みかけの分子量が 31 の窒素とアルゴンの混合気体があり、アルゴンが占めている体積は全体の 25% であった。アルゴンの分子量を求めよ。

また、この混合気体のみかけの分子量を空気と等しくするには、アルゴンの占める体積を何% にしなければならないか。

きょうの学習はこれで終わりです。密度についての問題を第 8 巻の補充演習に用意しておきますから、余裕のある人はやってみなさい。

## 第 7 日

### 化学式の決定

きょうは、元素分析から化学式を決定する問題を中心に学習します。この学習は第 6 巻の有機化合物でも扱いますが、ここでは、基本的な計算の手法を身につけなさい。例題は 3 つあります。

はじめは、物質の変化量と化学式の例題です。

#### ●例題 1 物質の変化量と化学式

原子量 26.9 の金属 M の酸化物 10.18 g を還元して、金属 5.38 g を得た。この金属の酸化物の化学式は、次の(1)~(5)のうちのどれか。番号で答えよ。

- (1) MO    (2) MO<sub>2</sub>    (3) MO<sub>3</sub>    (4) M<sub>2</sub>O<sub>3</sub>    (5) M<sub>3</sub>O<sub>2</sub>    (大同工大一工)

#### 考え方

物質の化学式を書くには、元素の原子価を知っていると便利である。

- (A) 分子性物質の場合の原子価……構造式の価標の数にあたる。

H(1 価), O(2 価), N(3 価), C(2 価, 4 価), S(2 価, 4 価, 6 価)

例 H<sub>2</sub>O (H—O—H: H … 1 価, O … 2 価)

原子価の総和が等しくなるように結合する。 1 価×2=2 価×1

- (B) イオン性物質の場合のイオンの原子価……イオンの価数

H<sup>+</sup>(+1 価), Na<sup>+</sup>(+1 価), Ag<sup>+</sup>(+1 価), Cu<sup>2+</sup>(+2 価), Mg<sup>2+</sup>(+2 価), Al<sup>3+</sup>(+3 価)

Fe<sup>2+</sup>(+2 価), Fe<sup>3+</sup>(+3 価), NH<sub>4</sub><sup>+</sup>(+1 価)

Cl<sup>-</sup>(-1 価), OH<sup>-</sup>(-1 価), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(-1 価), O<sup>2-</sup>(-2 価), SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(-2 価)

例 MgCl<sub>2</sub> (Mg<sup>2+</sup> … +2 価, Cl<sup>-</sup> … -1 価)

正・負の原子価の総和が 0 になるように結合する。

$$(+2) \text{ 価} \times 1 + (-1) \text{ 価} \times 2 = 0$$

以上をまとめてみると、元素 M と元素 X について、その原子価と化学式の関係は次のようになる。

① M(1 価) で X(1 価, 2 価, 3 価) のとき…… MX, M<sub>2</sub>X, M<sub>3</sub>X

② M(2 価) で X(1 価, 2 価, 3 価) のとき…… MX<sub>2</sub>, MX, M<sub>3</sub>X<sub>2</sub>

③ M(3 価) で X(1 価, 2 価, 3 価) のとき…… MX<sub>3</sub>, M<sub>2</sub>X<sub>3</sub>, MX

未知の元素の原子価は、化合物を構成している原子価の既知の元素との結合による物質量の比より求めることができる。

#### 解き方

金属 M の酸化物 10.18 g 中の金属 M の物質量は、還元により 5.38 g の金属が得られているの

で、 $\frac{5.38}{26.9} = 0.200$  [mol]

一方、同じく酸化物 10.18 g 中の酸素原子の物質量は、 $\frac{10.18 - 5.38}{16.0} = 0.300$  [mol]

したがって、金属 M の原子価を  $x$  とすると、

$$0.200 \times x = 0.300 \times 2 \quad \therefore x = 3 \text{ [価]}$$

3 価の金属 M と 2 価の酸素の結合でできる物質の化学式は、M<sub>2</sub>O<sub>3</sub> となる。

〔解答〕 (4)

● 研 究 ● 化合物は、等しい当量で結合するという考え方がある。当量とは、元素の原子量を元素の原子価で割った値である。たとえば、酸素の1当量とは、 $\frac{16}{2}=8$ である。

したがって、上の問題では、5.38 gの金属の当量と、 $10.18-5.38=4.8$  [g]の酸素の当量が等しいことになる。

$$1 \text{ [グラム当量]} : 8 \text{ [g]} = x \text{ [グラム当量]} : 4.8 \text{ [g]} \quad \therefore x = 0.6 \text{ [グラム当量]}$$

$$1 \text{ [グラム当量]} : y \text{ [g]} = 0.6 \text{ [グラム当量]} : 5.38 \text{ [g]} \quad \therefore y = 8.97 \text{ [g]}$$

したがって、金属Mの原子価は、 $\frac{26.9}{8.97}=3$  [価]

それでは、トレーニングです。例題と同じような問題が3題あります。

### ■ トレーニング ■

1 ある金属元素Mの原子量は150で、その25gは酸素4gと化合して、酸化物を生ずる。この酸化物の化学式として考えられるものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。

- ①  $M_2O$     ②  $MO$     ③  $M_2O_3$     ④  $MO_2$     ⑤  $M_2O_5$     ⑥  $MO_3$  (共通一次-追試)

2 分子式が $X_2O_5$ で表される酸化物が4.55gある。そのうち2.55gは元素Xの質量である。Xの原子量はいくらか。ただし、 $O=16.0$

- (ア) 91.0    (イ) 31.4    (ウ) 20.4    (エ) 51.0    (オ) 101 (独協医大)

3 1.1194 gの $CuCl_2$ を電気分解によって、金属CuとCuを含まない物質とに分離した。得られたCuは、0.5285 gであった。この結果からCuの原子量を求めよ。ただし、 $Cl=35.5$ とする。

次は、元素の組成から化学式を求める例題です。

●例題 2 元素の組成と化学式

マンガンのある酸化物は、69.6%のマンガンを含んでいる。この酸化物の化学式は、次のどれに相当するか。ただし、 $Mn=54.9$ 、 $O=16.0$ とする。

- (1)  $MnO$     (2)  $Mn_3O_4$     (3)  $Mn_2O_3$     (4)  $MnO_2$     (5)  $MnO_3$     (東京工大)

**考え方** 元素の組成を、物質量の関係に置き換える。元素の組成は質量の割合であるから、元素の組成をそれぞれの元素の原子量で割れば、物質量の関係が求められる。たとえば、原子量  $M_A$  の元素 A が  $x$  [%] と原子量  $M_B$  の元素 B が  $(100-x)$  [%] よりなる化合物の場合、物質量の比は次のようになる。  $A$  の物質量 :  $B$  の物質量 =  $\frac{x}{M_A} : \frac{100-x}{M_B}$

**解き方** 酸化物中のマンガンと酸素の物質量の比は、次のようになる。

$$\text{マンガンの物質量} : \text{酸素の物質量} = \frac{69.6}{54.9} : \frac{100-69.6}{16.0} \approx 2 : 3$$

したがって、化学式は、 $Mn_2O_3$  である。

[ 解 答 ] (3)

ではトレーニングです。**6**では、構成元素が3つありますが、同じように解けます。**7**では質量の比が与えられていますが、原子数の比に直して解くことに変わりはありません。

■ トレーニング ■

**4** 次の各問いに答えよ。ただし、 $Na_2CO_3=106$ 、 $Fe=56$ 、 $O=16$ とする。

- (1) 結晶炭酸ナトリウム  $Na_2CO_3 \cdot 10 H_2O$  は何%の水和水(結晶水)を含むか。  
(2) 80%の  $Fe_2O_3$  を含む赤鉄鉱 1 kg の中には何 g の鉄が含まれているか。

**5** ある金属酸化物の組成は金属 70%、および酸素 30%であった。この金属の原子量を 56 として、この金属の原子価はつぎのうちどれに近いか。

- (ア) 1 価    (イ) 2 価    (ウ) 3 価    (エ) 4 価    (オ) 5 価    (東海大一工)

- 6 窒素，塩素，硫黄を含む炭素化合物がある。これを分析したところ，窒素 16.62%，塩素 21.06%，硫黄 9.50% を含むことがわかった。この炭素化合物の分子量は，次のどれに最も近いか。ただし， $N=14$ ， $Cl=35.5$ ， $S=32$  とする。
- (a) 168 (b) 258 (c) 336 (d) 420 (e) 504 (東京工大)

- 7 炭素と水素の質量比が 6:1 である炭化水素の分子量を測定したところ 28 であった。この炭化水素の組成式および分子式を求めよ。(長崎大)

最後の例題です。燃焼生成物の質量から化学式を求める問題です。

●例題 3 燃焼生成物の質量と化学式

炭素，水素，酸素からなる有機化合物 30.0 mg を，完全燃焼させると，水 35.2 mg および二酸化炭素 57.4 mg を生じた。各元素の重量百分率 (%) とこの化合物の実験式 (組成式) を求めよ。(東京水産大)

考え方

炭素，水素，酸素からなる有機化合物の燃焼では，完全燃焼によって生じた二酸化炭素  $CO_2$  の質量の  $\frac{12}{44}$  が炭素の質量になる。同様に水  $H_2O$  の質量の  $\frac{2}{18}$  が水素の質量になる。また，燃焼に用いた有機化合物の質量から，炭素の質量と水素の質量を差し引くと酸素の質量になる。

化合物を構成する元素の原子数の比は， $\frac{\text{化合物中の各元素の質量}}{\text{各元素の原子量}}$  の比で与えられる。実験式は，この原子数を最も簡単な整数の比で表したものである。

解き方

化合物中の炭素・水素・酸素の質量は，それぞれ次のようになる。

$$C \text{ の質量} = 57.4 \times \frac{12}{44} \approx 15.65 \text{ [mg]}$$

$$H \text{ の質量} = 35.2 \times \frac{2}{18} \approx 3.91 \text{ [mg]}$$

$$O \text{ の質量} = 30.0 - 15.65 - 3.91 = 10.44 \text{ [mg]}$$

したがって，各元素の重量百分率 [%] は，

$$C: \frac{15.65}{30.0} \times 100 \approx 52.2 \text{ [%]}$$

$$H: \frac{3.91}{30.0} \times 100 \approx 13.0 \text{ [%]}$$

$$O: \frac{10.44}{30.0} \times 100 \approx 34.8 \text{ [%]}$$

化合物中の原子数の比は，

$$C:H:O = \frac{15.65}{12.0} : \frac{3.91}{1.0} : \frac{10.44}{16} = 2:6:1$$

ゆえに，実験式は， $C_2H_6O$  である。

〔解答〕 C:52.2%, H:13.0%, O:34.8% 実験式  $C_2H_6O$

- 研究● 物質を燃焼させて、燃焼生成物から各元素の質量を求めるとき、注意すべき点は、酸素の質量が、化合物の質量から、他の元素の総質量を差し引いた値として与えられることである。化合物が燃焼して生じた  $CO_2$  や  $H_2O$  中の酸素は、化合物中の酸素以外に外部から加わった酸素も含まれる。

この方法は、有機化合物の組成式を決定するのに大変重要です。トレーニングで考え方を身につけなさい。同じような問題が3題あります。

### トレーニング

- 8 次の文中の  には数値を、( ) には組成式または分子式を記せ。ただし、数値ア、イは小数点以下2桁まで示せ。

炭素、水素および酸素からできた化合物 A がある。その 3.05 mg をとり酸素を通じて完全燃焼させると、二酸化炭素 6.71 mg と水 3.69 mg とが生じた。この実験から化合物 A 3.05 mg に含まれる炭素および水素の量はそれぞれ炭素ア  mg、水素イ  mg である。この化合物 A の組成式はウ( ) となる。 (岡山大)

- 9 ある有機化合物 6.9 g を酸素中で完全燃焼させたら、8.1 g の  $H_2O$  と 13.2 g の  $CO_2$  を生じ、ほかに生成したものはなかった。この有機化合物が次の中にあるとすればどれか。

(ア)  $CH_3COOH$  (イ)  $C_2H_6$  (ウ)  $CH_3CHO$  (エ)  $C_2H_5OH$  (オ)  $C_2H_4(OH)_2$

(芝浦工大一工)

- 10 炭素、水素および酸素からなる化合物がある。その 3.00 mg を完全に燃焼させたところ、二酸化炭素 6.80 mg と水 1.39 mg を生じた。この化合物の分子式は、次の中ではどれか。

(ア)  $C_6H_{12}O_6$  (イ)  $C_8H_8O_2$  (ウ)  $C_{10}H_{10}O_4$  (エ)  $C_{12}H_{18}O_2$

(京都工芸繊維大)

ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。

**きょうの  
要点**

- ① 化学変化にともなう量的関係を利用して、組成式が求められるようにすること。  
 質量の関係を物質量(モル)の関係に導く。  
 各原子の原子価を知っていると便利である。

$$\text{原子数の比} = \frac{\text{物質中の各元素の質量}}{\text{各元素の原子量}} \text{の比}$$

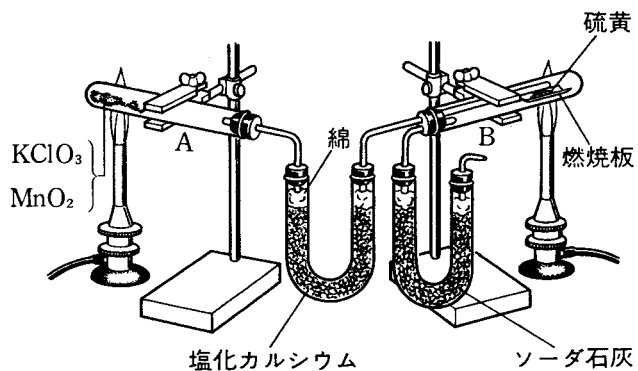
- ② 物質を燃焼させ、燃焼生成物から各元素の質量を求めるとき、酸素の質量は、試料の質量から、他の元素の質量の総和を引いた値として与えられる。  
 化合物を燃やして生じた  $\text{CO}_2$  や  $\text{H}_2\text{O}$  中の O は、試料中の O と外部からの O を含んでいるので、そのまま試料中の O とすることはできない。
- ③ 組成式は、各元素の原子数の比を最も簡単な整数の比で表したものである。  
 分子量が求まれば、分子式を示すことができる。

では応用トレーニングです。11では、実際の実験場面が示されています。12は、問題文をしっかりと読みなさい。

**応用トレーニング**

**11 《物質の変化量と原子量》**

次の図のような装置を用いて、硫黄の原子量を算出したい。まず、小さい燃焼板に粉末硫黄 0.86 g をとり、試験管 B に入れる。試験管 A には塩素酸カリウムと酸化マンガン(IV)の 3:1 の混合物が入っている。これを加熱して発生する酸素を試験管 B に通す。試験管 B を加熱し、硫黄を燃焼させる。このとき発生する気体を U 字管に入ったソーダ石灰に吸収させる。実験前のソーダ石灰の入った U 字管は 46.23 g だったが、試験管 B 中の硫黄が完全になくなった後は 47.98 g だった。次の問いに答えよ。ただし、解答は小数第 2 位まで求めよ。



実験前のソーダ石灰の入った U 字管は 46.23 g だったが、試験管 B 中の硫黄が完全になくなった後は 47.98 g だった。次の問いに答えよ。ただし、解答は小数第 2 位まで求めよ。

- (1) 試験管 B の中で生成した硫黄の酸化物は気体である。この気体の硫黄と酸素の質量の比、すなわち  $\frac{\text{硫黄}}{\text{酸素}}$  の値はいくらか。
- (2) 酸素の原子量を 16.00 として、この実験から求められる硫黄の原子量はいくらか。

(金沢工大一工)



**12 《物質の変化量と化学式》**

ある金属を塩酸に溶かした溶液に、塩素ガスを十分に吹き込んだのち、結晶を析出させると、 $6\text{H}_2\text{O}$  の結晶水をもった金属塩化物が得られる。この反応が完全に行われたときに、もとの金属単体の 4.83 倍の質量の、結晶水を含む塩化物結晶を得た。またこの塩化物結晶を  $100\text{ }^\circ\text{C}$  以上に加熱して無水の塩化物にすると、結晶水を失うことによってその質量の 40.0 % を減少する。この金属の元素記号を M として、結晶水を含む金属塩化物の化学式を書け。ただし、 $\text{Cl}=35.5$  とする。

(法政大-工)

きょうの学習内容は、入試でも比較的出やすいところです。余裕のある人は、第 8 巻の補充演習をやりなさい。

## 第 8 日

### モル濃度

きょうは、モル濃度についての学習です。これからの学習を進める上で最も基本となる学習の1つですから、しっかりトレーニングしなさい。例題は3題あります。

はじめは、モル濃度の定義からです。

#### ●例題 1 モル濃度

0.20 mol/l の塩化ナトリウム水溶液がある。これについて次の問いに答えよ。

ただし、Na=23.0, Cl=35.5 とする。

- (1) この水溶液 250 ml 中には何 g の塩化ナトリウムが含まれているか。
- (2) この水溶液 10 ml に水を加えて 80 ml にしたら、濃度は何 mol/l になるか。

#### 考え方

溶液 1 l 中に溶けている溶質の量をモル単位で表した濃度をモル濃度 (体積モル濃度) という。

$$\text{モル濃度 [mol/l]} = \frac{\text{溶質の物質質量 [mol]}}{\text{溶液の体積 [l]}}$$

たとえば、塩化ナトリウム NaCl (58.5) 5.85 g を水に溶かし、全体を 1 l にしたとき、この溶

液のモル濃度は、
$$\frac{5.85}{58.5} \frac{[\text{mol}]}{1 [\text{l}]} = 0.10 [\text{mol/l}]$$

モル濃度を用いると、ある体積の溶液をとったとき、その溶液の中に含まれる溶質の物質質量や質量が簡単にわかる。たとえば、0.10 mol/l の食塩水 50 ml 中に含まれる、NaCl の物質質量は、

$$0.10 [\text{mol/l}] \times \frac{50}{1000} [\text{l}] = 0.0050 [\text{mol}]$$

質量は、1 mol あたりの質量が、58.5 g なので、 $58.5 \times 0.0050 = 0.2925 [\text{g}]$

#### 解き方

- (1) 0.20 mol/l の塩化ナトリウムの溶液は、1 l 中に 0.20 mol ( $58.5 \times 0.20 [\text{g}]$ ) の塩化ナトリウムが含まれている。したがって、250 ml 中には、

$$58.5 \times 0.20 \times \frac{250}{1000} = 2.925 [\text{g}]$$

- (2) この溶液 10 ml 中に含まれる NaCl の物質質量は、

$$0.20 \times \frac{10}{1000} = 0.0020 [\text{mol}]$$

溶液 80 ml 中に 0.0020 mol 含まれていると、そのモル濃度は、

$$0.0020 \times \frac{1000}{80} = 0.025 [\text{mol/l}]$$

- 別解** (2) 10 ml の溶液に水を加えて 80 ml にしているので、濃度は、はじめの  $\frac{1}{8}$  となる。

したがって、 $0.20 \times \frac{1}{8} = 0.025 [\text{mol/l}]$

[ 解 答 ] (1) 2.93 g (2) 0.025 mol/l

● 研 究 ● 1 mol/l の塩化ナトリウム水溶液の調製法

- ① 正確にはかりとった塩化ナトリウム 58.5 g を、1 l 用のメスフラスコに入れ、水を 8 分目ほど加えよく振る。
- ② 塩化ナトリウムを完全に溶解させたのち、水を少しずつ加えて、溶液の液面を標線に合わせる。
- ③ 栓をしてよく振り、均一な水溶液にする。

ではトレーニングです。基本的な問題が 3 題あります。

■■■■ トレーニング ■■■■

- 1 0.200 mol/l の NaCl 溶液 50.0 ml をつくるには、何グラムの NaCl の結晶が必要か。ただし、Na=23.0, Cl=35.5 (岡山理科大)

- 2 硫酸水溶液についての記述のうち正しいものはどれか。

- (ア) 1 モル/l の水溶液とは水 1000 ml に硫酸 1 モルを溶かしたものである。
- (イ) 1 モル/l の水溶液 1000 ml 中には硫酸 98 g が溶けている。
- (ウ) 硫酸 98 g を水 1000 ml に溶かした溶液は 1 モル/l の水溶液である。
- (エ) 1 モル/l の水溶液 1000 ml 中には硫酸 49 g が溶けている。

(東海大-工)

- 3 次の文を読み、(イ)~(ホ)の答えの中から、最も近い数値を選び、記号で記せ。

NaCl 3.78 g を含む 100 cm<sup>3</sup> の溶液と同じ濃度の Cl<sup>-</sup> を含む BaCl<sub>2</sub> 溶液 250 cm<sup>3</sup> をつくるには、BaCl<sub>2</sub> が何 g 必要か。ただし、Na=23, Cl=35.5, Ba=137 とする。

- (イ) 9 (ロ) 11 (ハ) 13 (ニ) 15 (ホ) 17

(神奈川大-工)

次は、結晶水をもつ物質を溶かしたときの溶液のモル濃度についてです。

●例題2 結晶水とモル濃度

10.0 g の硫酸銅(II)  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  を用いて 0.2 mol/l の水溶液をつくるには、水を加えて溶解したときの全量を何 ml にしたらよいか。ただし、S=32.0, Cu=63.5 とする。 (群馬大)

**考え方** 結晶水を含む場合は、水溶液中では、結晶水は水となるので、そのモル濃度を求めるには、結晶中の無水物の物質量で考える。

**解き方** 10.0 g の  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  は、

$$\frac{10.0}{63.5+32+16 \times 4+5 \times 18} \doteq 0.040 \text{ [mol]}$$

溶液  $x$  [ml] 中に 0.040 mol の溶質が溶けたときの濃度を 0.2 mol/l とすると、

$$0.040 \times \frac{1000}{x} = 0.2 \quad \therefore x = 200 \text{ [ml]}$$

[解答] 200 ml

●研究● モル濃度は、溶液 1 l 中に溶けている溶質の物質量 (mol) で示されるが、結晶水を含む物質の場合には、その結晶水は、溶液中の水として扱われる。

ではトレーニングです。考え方をつかめば簡単です。

■ トレーニング ■

4  $\text{MCl}_3$  の式量を  $Y$  とすると、 $\text{MCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  の 0.5 mol/l 水溶液は次のどれに相当するか。

(ア) 1 l 中に  $\text{MCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  が  $\frac{108+Y}{2}$  [g] 溶けている水溶液。

(イ) 1 l 中に  $\text{MCl}_3$  が  $\frac{108+Y}{2}$  [g] 溶けている水溶液。

(ウ) 1 l 中に  $\text{MCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  が  $\frac{Y}{2}$  [g] 溶けている水溶液。

(エ) 水 946 ml に  $\text{MCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  を  $\frac{108+Y}{2}$  [g] 溶かした溶液。

(オ) 水 946 ml に  $\text{MCl}_3$  を  $\frac{Y}{2}$  [g] 溶かした溶液。

(芝浦工大-工)

5 炭酸ナトリウムの結晶 ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) 20 g をとって水に溶かし、全量を 200 ml とした。この溶液の濃度は何 mol/l か。ただし、Na=23 とする。

最後は、溶液の密度とモル濃度との関係です。

●例題3 溶液の密度とモル濃度

水 100 グラムに無水硫酸銅(II)  $w$  グラムを溶かした溶液の密度は  $d$  グラム/ml であった。この溶液の濃度は何モル/l か。答えを次の(ア)~(カ)の中から選び、その記号を記せ。無水硫酸銅(II)の式量を  $M$  とする。

(ア)  $10 dw/M$     (イ)  $10w/(dM)$     (ウ)  $10w/M$     (エ)  $\frac{1000d}{(100+w)M}$

(オ)  $\frac{1000w}{(100+w)dM}$     (カ)  $\frac{1000dw}{(100+w)M}$  (長崎大)

**考え方**    単位体積あたりの質量のことを密度という。ある物体の密度を  $d$  [g/ml]、質量を  $m$  [g]、体積を  $V$  [ml] とすれば、

$$d \text{ [g/ml]} = \frac{m \text{ [g]}}{V \text{ [ml]}}$$

**解き方**    溶液の質量は  $(100+w)$  [g] で、密度が  $d$  [g/ml] であるから、溶液の体積は、

$$\frac{100+w}{d} \text{ [ml]}$$

また、無水硫酸銅  $\text{CuSO}_4$  の式量が  $M$  であるから、 $w$  [g] の溶質の物質量は  $\frac{w}{M}$  [mol] である。したがって、 $\text{CuSO}_4$  のモル濃度を  $x$  とすると、

$$\frac{(100+w)}{d} \text{ [ml]} : 1000 \text{ [ml]} = \frac{w}{M} \text{ [mol]} : x \text{ [mol]}$$

$$\therefore x = \frac{1000dw}{(100+w)M} \text{ [mol/l]}$$

[ 解 答 ] (カ)

● 研 究 ●    濃度表示には、体積モル濃度や重量パーセントなどがある。前者が溶液の体積を基準にしているのに対し、後者は、溶液の質量を基準にしているため、これらの単位の換算には、溶液の密度が必要となる。

ではトレーニングです。4題あります。8, 9は、入試でもよく出される形式の基本問題です。

■ トレーニング ■

6 0.10 mol/l のアンモニア水の重量パーセント濃度を求めよ。ただし、この溶液の比重を 0.98 とする。 (甲南大一理)

7 次の文の  の中に最も近い数値を下の(a)~(g)の中から選べ。

100 ml の食塩水溶液があり、その重さは 115 g であった。また、この溶液から水を全部蒸発させたところ 23 g の食塩が残った。これから、この食塩水溶液のモル濃度は  モル/l となる。

(a) 0.0342    (b) 0.0393    (c) 0.342    (d) 0.393    (e) 3.42    (f) 3.93    (g) 4.52

(東京工芸大-工)

8 水 160 g に純硫酸 40 g を混合すると、密度  $1.145 \text{ g/cm}^3$  の希硫酸が得られる。この希硫酸の (1) 重量パーセント濃度、(2)モル濃度を求めよ。ただし、 $S=32.0$  とする。

9 市販の濃塩酸は濃度 35 %、密度  $1.18 \text{ g/cm}^3$  である。これについて次の問いに答えよ。ただし、 $\text{HCl}=36.5$  とする。

(1) この塩酸 1 l の質量は何 g か。

(2) この塩酸は何 mol/l か。

(3) 2 mol/l の塩酸 500 ml つくるには、この濃塩酸何 ml を水でうすめればよいか。

ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。

きょうの  
要点

- ① 濃度の表示のしかたとして、モル濃度を理解すること。  
溶液 1 l 中に含まれる溶質の物質質量 (モル数) を、その溶液のモル濃度という。単位: mol/l

溶液  $V$  [ml] 中に分子量  $M$  の物質が、 $w$  [g] 含まれているときのモル濃度

$$\text{モル濃度} = \frac{w}{M} \times \frac{1000}{V} \text{ [mol/l]}$$

- ② 重量パーセント濃度からモル濃度、モル濃度から重量パーセント濃度への換算が自由に行えるようにすること。  
重量パーセント濃度は溶液の質量、モル濃度は溶液の体積を基準にしているため、溶液の密度を用いて両者の換算を行う。
- ③ モル濃度表示の試薬の調製ができるようにすること。  
メスフラスコなどを用いて、溶液の正確な濃度調製法を身につけよう。

では応用トレーニングです。3題あります。12は、結晶水、密度など、きょうの3つの例題をまとめた問題です。

■ 応用トレーニング ■

10 《モル濃度 (溶液の調製)》

0.100 mol/l の NaCl 水溶液 200 ml を、化学実験室で、試薬・器具を使ってつくるには、どのようにすればよいか。ただし、Na=23, Cl=35.5 とする。(横浜市大)

11 《モル濃度と重量パーセント濃度》

分子量  $M$  の物質  $n$  [mol] を  $v$  [cm<sup>3</sup>] 中に含む水溶液がある。密度は  $d$  [g/cm<sup>3</sup>] である。水の密度を 1 [g/cm<sup>3</sup>] とする。次の問いの答えを  $v$ ,  $d$ ,  $M$ ,  $n$  などで表せ。

- (1) この溶液のモル濃度はどれだけか。  
(2) この溶液の重量パーセント濃度はどれだけか。(中央大(改))

**12 《結晶水を含んだ物質のモル濃度，重量パーセント濃度》**

次の文の( )内に適する数値を入れよ。CuSO<sub>4</sub>=160

硫酸銅(II)の結晶 CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O は水 100 g に対して 20 °C で 35.3 g 溶解し，この水溶液の密度は 1.23 g/cm<sup>3</sup> である。この溶液の硫酸銅(II)のモル濃度は①( ) mol/l，重量パーセント濃度は②( )% である。この水溶液③( ) ml を水でうすめて 100 ml にすれば，0.10 mol/l の硫酸銅(II)水溶液が得られる。 (中部大)

きょうは計算をたくさんやりましたが，今後の学習を進める上で大変重要な内容です。わからないところがあったら，解答の解説をしっかりと読んで理解しておきなさい。



## 第 9 日

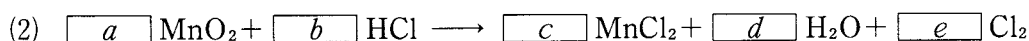
### 化学反応式による計算(1)

きょうは、化学反応式のつくり方と、化学反応式を利用した基本的な計算問題です。これまでの学習をまとめていく内容です。例題は 3 題です。

はじめは、化学反応式のつくり方の例題です。

#### ●例題 1 化学反応式

次の化学反応式の空欄の中に、最も適する数値を入れて、化学反応式を完成せよ。



#### 考え方

化学反応の式の書き方には、次のような決まりがある。

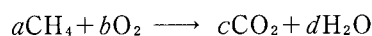
① 反応物質を左辺に、生成物質を右辺に書き、矢印 → で結ぶ。

② 触媒など、反応の前後で変化しない物質は書かない。

③ 左辺と右辺で、各元素の原子の数が等しくなるように係数(整数)をつける。

③にて、係数を決めるのは、目算によって決めるのがふつうであるが、複雑で目算が困難なものは未定係数法により求める。未定係数法とは、各元素の原子数が化学反応式の左右両辺で等しいことを利用して係数を決める方法である。

たとえば(1)において、係数を  $a, b, c, d$  とおくと、



両辺で各元素の原子の数が等しいから、各係数について次の式が成り立つ。

$$\text{C 原子について, } a = c$$

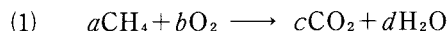
$$\text{H 原子について, } 4a = 2d$$

$$\text{O 原子について, } 2b = 2c + d$$

ここで  $a=1$  とおくと、 $c=1, d=2, b=2$  となる。

したがって、 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$  となる。

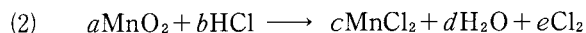
#### 解き方



$a=1$  とおくと、炭素原子の数より、 $c=1$ 、水素原子の数より、 $d=2$

このとき、右辺の酸素原子の数は、 $1 \times 2 + 2 = 4$  であるから、 $b=2$

したがって、 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



$a=1$  とおくと、マンガン原子の数より、 $c=1$ 、酸素原子の数より、 $d=2$

$d=2$  のとき、水素原子の数より、 $b=4$

このとき、左辺の塩素原子の数は 4、右辺の塩素原子の数は  $2 + 2e$ 、よって、 $e=1$

したがって、 $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \longrightarrow \text{MnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Cl}_2$

[ 解 答 ] (1)  $a=1, b=2, c=1, d=2$

(2)  $a=1, b=4, c=1, d=2, e=1$

● 研 究 ● ① 反応式の係数は、整数を用いる。したがって、小数や分数で係数が得られたら、必ず何倍か

して整数に直す。

- ② 係数は、各物質の分子数そのものを表すというより、分子数の比を表している。したがって係数を求めるとき、まず  $a=1$  とおいて、そのときの  $b, c, \dots$  の値を求めて、この比を整数化すればよい。

ではトレーニングです。**1** は、例題と同じような問題です。**2** は、それぞれの物質の化学式を書いてから係数を考えなさい。**3** は、これまでの化学の学習の知識をもとに、反応を考えて反応式をつくる問題です。

## ■ トレーニング ■

**1** 次の化学反応式の係数をつけよ。

- (1)  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- (2)  $\text{Al} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2$
- (3)  $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HNO}_3 + \text{NO}$
- (4)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{NO}$

**2** 次の反応を化学反応式で表せ。

- (1) 亜鉛に希硫酸を加えると水素が発生する。
- (2) 過酸化水素水に酸化マンガン(IV)を加えると、過酸化水素が分解し酸素が発生する。
- (3) 石灰水(水酸化カルシウム水溶液)に二酸化炭素を吹き込むと、炭酸カルシウムの白色沈殿を生じる。
- (4) 食塩水に硝酸銀水溶液を加えると塩化銀の白色沈殿を生じる。

▶ ヒント (2) 酸化マンガン(IV)は触媒としてはたらし、反応には直接はかかわらない。

**3** 次のときに起こる化学変化を化学反応式で表せ。

- (1) 水にナトリウムを入れる。
- (2) 炭酸ナトリウムに希塩酸を十分に加える。
- (3) 硫酸ナトリウム水溶液に塩化バリウム水溶液を加える。
- (4) 磨いた亜鉛板を硫酸銅水溶液に浸す。
- (5) 塩化銀をアンモニア水に入れる。

次は、化学反応式を使った基本的な計算問題です。

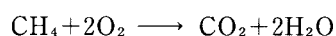
### ●例題 2 化学反応と質量

亜鉛 5.0 g に塩酸を十分に作用させた後、溶液をおだやかに加熱して、無水の塩化亜鉛をつくった。生成した塩化亜鉛は何グラムか。ただし、塩化亜鉛は昇華しなかったものとし、 $Zn=65.4$ 、 $Cl=35.5$  とせよ。

#### 考え方

化学反応式は、その反応に関係する物質の種類を示すとともに、反応の前後での各物質の量的関係も示している。

たとえば、メタン  $CH_4$  と酸素  $O_2$  が反応して、二酸化炭素  $CO_2$  と水  $H_2O$  になる場合を考えてみると、化学反応式は次のようになる。



ここで係数は、反応する物質の分子数の比を示しているのだから、 $CH_4$  1 分子について、2 分子の  $O_2$  が反応し、 $CO_2$  1 分子と  $H_2O$  2 分子が生成することを示すとともに、その  $6.0 \times 10^{23}$  倍した、 $CH_4$   $6.0 \times 10^{23}$  個 (1 mol) と  $O_2$   $2 \times 6.0 \times 10^{23}$  個 (2 mol) が反応し、 $CO_2$   $6.0 \times 10^{23}$  個 (1 mol) と  $H_2O$   $2 \times 6.0 \times 10^{23}$  個 (2 mol) が生成することも示している。すなわち、係数は物質量の比でもある。

また、物質 1 mol の質量は、分子量や式量にグラム単位をつけた値であるから、物質量を質量におきかえることができる。

#### 解き方

まず、化学変化を反応式で示すと、



ここでは、 $Zn$  5.0 g を十分な量の塩酸と反応させ  $ZnCl_2$  を生成させているので、 $ZnCl_2$  の質量は、 $Zn$  との物質量の比で求まる。

$$Zn : ZnCl_2 = 1 \text{ [mol]} : 1 \text{ [mol]} = \frac{5.0}{65.4} : x \quad \therefore x \approx 0.076 \text{ [mol]}$$

生成した  $ZnCl_2$  の質量は、 $(65.4 + 35.5 \times 2) \times 0.076 \approx 10.4 \text{ [g]}$

[ 解 答 ] 10.4 g

- 研 究 ●
- ① 計算に必要な化学反応式は与えられないことが多い。計算には正確な化学反応式が必要であるから、示された条件にもとづいて正確な反応式をつくらなければならない。基本的な化学反応式は、スラスラ書けるようにしたい。
  - ② 化学反応式ができて、次のポイントとなることは、与えられた物質が、どちらも余らず反応するとは限らないことである。反応式の量的関係を見て、過不足がないか確認すること。

ではトレーニングです。基本的な問題が 2 題あります。

## トレーニング

4 硝酸カリウムと硝酸銀との混合粉末 4.86 g を水に溶解した。この水溶液に塩化ナトリウム水溶液を沈殿が生じなくなるまで加えた。生成した沈殿の乾燥重量は 2.87 g であった。これについて次の問いに答えよ。ただし、Na=23.0, Cl=35.5, K=39.0, Ag=108 とする。

- (a) この沈殿は何色か。  
(b) この沈殿が生成する反応の化学反応式を書け。  
(c) はじめの混合粉末中の硝酸カリウムの重量百分率を求めよ。計算の過程も示せ。 (埼玉大)

5 10 g のアンモニアと、10 g の塩化水素を反応させたときに生成する塩化アンモニウムの質量は何グラムか。ただし、Cl=35.5 とする。 (東京理科大)

▶ ヒント 反応物質がすべて反応するとは限らないので注意すること。

最後の例題は、化学反応式を使って体積を考える問題です。

### ●例題 3 化学反応と体積

15.9 g の酸化銅(II)  $\text{CuO}$  を水素気流中で加熱して完全に還元すると、何 g の銅が生成するか。また、このとき反応に消費される水素ガスは標準状態で何 l か。ただし、O=16.0, Cu=63.5 とする。

#### 考え方

気体の場合は、化学反応式で示される物質量の関係を、体積の関係に換算できる。標準状態 (0°C, 1 気圧) で 1 mol の気体の体積は、22.4 l である。

#### 解き方

まず、酸化銅(II)  $\text{CuO}$  の還元化学反応式は、



ここでは、15.9 g の  $\text{CuO}$  を完全に還元するので、生成する Cu の質量を  $x$  [g] とすると、

$$79.5 \text{ [g]} : 63.5 \text{ [g]} = 15.9 \text{ [g]} : x \text{ [g]} \quad \therefore x = 12.7 \text{ [g]}$$

つぎに、水素の体積を  $y$  [l] とすると、

$$79.5 \text{ [g]} : 22.4 \text{ [l]} = 15.9 \text{ [g]} : y \text{ [l]} \quad \therefore y = 4.48 \text{ [l]}$$

{ 解答 } 銅 12.7 g 水素 4.48 l

- 研 究 ● 気体の関係する反応で、量的な関係を導くには、標準状態 ( $0^{\circ}\text{C}$ , 1 気圧) の気体の体積を物質量に換算して考えればよい。しかし、反応によっては、必ずしも、 $0^{\circ}\text{C}$ , 1 気圧の条件には当てはまらないものもある。第 2 巻の気体の性質のところでは、 $0^{\circ}\text{C}$ , 1 気圧以外の条件での気体の体積と物質量の関係を学習する。

ではトレーニングです。8 は、すこし変わった問題です。図をかいて考えれば難しくありません。

### ■ トレーニング ■

- 6 塩化ナトリウムと濃硫酸を用いて塩化水素をつくる反応について次の問いに答えよ。Na=23, Cl=35.5 とする。

- (1) この反応の化学反応式を書け。
- (2) 反応が完全に行われた場合、 $0^{\circ}\text{C}$ , 1 atm で 13.0 リットルの塩化水素を得るためには何グラムの塩化ナトリウムが必要か。 (共立薬大(改))

- 7 大理石 (成分は  $\text{CaCO}_3$ ) 5.0 g を希塩酸に溶かしたら、二酸化炭素が  $0^{\circ}\text{C}$ , 1 atm で 0.92 l 発生した。不純物は塩酸に溶けないものとして、この大理石の純度を求めよ。ただし、Ca=40 とする。

- 8 直径 3.0 cm の球状石灰石  $\text{CaCO}_3$  の多数個をある温度で均一に加熱したのち、1 個の石灰石を取り出して半球状に分割してみると、球の中心から半径 0.9 cm までが未反応であることがわかった。この場合、石灰石 1 kg あたり何モルの  $\text{CO}_2$  が発生したことになるか。(小数点以下第 2 位まで求めよ。)ただし、Ca=40 とする。 (中央大-理工)

ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。

きょうの  
要 点

① 化学反応式が表すことがらをしっかり理解すること。

例  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$  という化学反応式は、水素と酸素が反応し、水ができるという物質の関係を表すとともに、水素 2 分子 (2 mol) と酸素 1 分子 (1 mol) が反応し、水 2 分子 (2 mol) が生じるという量的関係を表す。

② 化学反応式の係数から、物質質量、質量、気体の体積などの換算が自由にできるようにすること。

物質質量	$\rightleftharpoons$	個 数	$\rightleftharpoons$	質 量	$\rightleftharpoons$	気体の体積
1 mol		$6.0 \times 10^{23}$ 個		原子量・分子量 [g]		22.4 l (0°C, 1 atm)

③ 化学反応式から、反応物質の過不足が考えられるようにすること。

与えられた物質が、すべて反応するとは限らない。過不足を考えることにより、混合物中の元素の組成や純度などの応用問題を解くことができる。

④ 化学反応式はしっかり書けるようにすること。

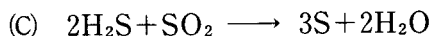
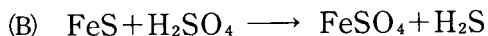
係数をつけられることは、もちろんであるが、量的関係の基本は化学反応式である。これが、まちがっていたのでは、計算ができない。基本的なものを中心にスラスラ書けるようにしたい。

それでは、応用トレーニングです。きょうの学習の成果を試してみなさい。3 題です。

■ 応用トレーニング ■

9 《化学反応式と量的関係》

次の(A), (B), (C)の反応式に関して、各問いに答えよ。ただし、S=32, Fe=56 とする。



(1) (A)の反応式の係数 a, b, c, d を求め、その数値を記せ。

(2) (A), (B), (C)の反応式により、硫化鉄(II) FeS から硫黄を得ようと思う。硫黄 32 g を得るためには硫化鉄(II)が最低何 g 必要か。次の値の中から最適のものを選び、その番号を記せ。ただし、反応はすべて 100 パーセント進行するものと考えよ。

- ① 29.3 g    ② 44 g    ③ 88 g    ④ 176 g    ⑤ 264 g    ⑥ 352 g    ⑦ 440 g  
⑧ 528 g    ⑨ 616 g

(東京理科大一薬)

### 10 《気体の発生する反応と合金》

カルシウムとアルミニウムとからなる合金がある。この合金中の二つの元素の量は、カルシウム 1 mol に対しアルミニウム 2 mol の割合になっている。

- (1) この合金中に含まれるカルシウムの重量百分率はいくらか。ただし、 $\text{Al}=27$ 、 $\text{Ca}=40$  とする。
- (2) この合金 0.47 g をとり、塩酸に完全に溶かしたとき、発生する水素は  $0^\circ\text{C}$ 、1 気圧で何 l か。  
(共通一次-追試(改))

### 11 《化学反応式による量の計算》

次の問いに答えよ。

密閉した容器中で  $a$  モルの酸素と  $b$  モルの炭素を反応させたところ、2 種の気体 (X および Y) が生じ、あとに酸素も炭素も残らなかった。これを水酸化バリウム水溶液に通じたところ、X だけが反応して白色沈殿を生じた。

- (1) 上記の反応で気体 Y を生じる化学反応式を書け。
- (2) 上記の反応が起こるためには  $a$  と  $b$  の間にどのような関係が必要か。次の(ア)~(オ)の中から選び、その記号を記せ。

(ア)  $3a > b > a$     (イ)  $2a > b > a$     (ウ)  $\frac{3}{2}a > b > a$     (エ)  $\frac{3}{2}a > b > \frac{1}{2}a$

(オ)  $a > b > \frac{1}{2}a$  (青山学院大-理工)

きょうの学習はこれで終わりです。第 10 日は、もうすこし応用的な問題に入ります。

# 第 10 日

## 化学反応式による計算(2)

きょうは、化学反応式を利用した計算の中で、すこし複雑な問題を学習します。この巻の学習の総整理と違って取り組みなさい。例題は 3 題です。

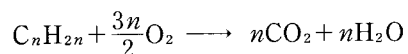
はじめは、燃焼反応での必要空気量を求める例題です。

### ●例題 1 燃焼反応での必要空気量

一般式が  $C_nH_{2n}$  で表される気体の炭化水素がある。0°C, 1 気圧において、この炭化水素 1 l に、これと同温・同圧の空気を加えて完全に燃焼させるためには、何 l の空気が必要か。ただし、空気 1 l は、窒素 0.8 l と酸素 0.2 l よりなるものとする。(第一薬大-薬(改))

**考え方** 燃焼が、空気中で行われるとき、空気中の酸素が消費される。空気中には、約 20% の酸素が含まれているので、その組成を考えて必要な空気の量を求める。

**解き方**  $C_nH_{2n}$  の燃焼の化学反応式は、次式で示される。



気体反応においては、物質量の比が、体積比になるので、 $C_nH_{2n}$  が 1 l 燃焼するのに必要な酸素は、 $\frac{3n}{2}$  [l] となる。

したがって、必要な空気の量は、 $\frac{3n}{2} \times \frac{1}{0.2} = 7.5n$  [l]

[解答]  $7.5n$  [l]

●研究● 酸素の原子価は 2 価なので、1 価の原子 M とは、 $M_2O$ 、2 価の原子 M' とは  $M'O$ 、3 価の原子 M'' とは  $M''_2O_3$  のような化合物をつくる。したがって、消費される酸素の物質量は反応する原子の価数によって変化するので注意しよう。

簡単ですね。ではトレーニングです。

### トレーニング

1 次の金属 1 g をそれぞれ酸素中で完全に燃焼させるとき、最も多く酸素を消費するものはどれか。ただし、Cu=63.5, Zn=65.0, Mg=24.0, Al=27.0 とする。

- ① 銅    ② 亜鉛    ③ マグネシウム    ④ アルミニウム

(愛知工大-工)



2 1モルを完全燃焼して生成する物質の体積が0°C, 1気圧で最も大きいものはどれか。

- (a) C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>    (b) C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>    (c) C<sub>7</sub>H<sub>12</sub>    (d) C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>    (e) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>    (東京工芸大一工)

次は、混合気体の燃焼反応についてです。

●例題2 混合気体の燃焼

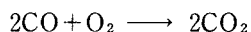
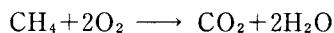
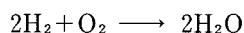
次の体積組成の混合ガス 10 m<sup>3</sup> (標準状態) を完全に燃焼させるのに必要な空気の量は、標準状態で何 m<sup>3</sup> か。 H<sub>2</sub>: 40%    CH<sub>4</sub>: 30%    N<sub>2</sub>: 4%    CO: 16%    CO<sub>2</sub>: 10% (秋田大)

考え方

混合気体の体積の比が、物質量の比となるので、各成分気体についての量的な関係を用いて、燃焼に必要な空気の量を求める。各成分気体が完全燃焼するときの化学反応式をしっかりと書いて考えていこう。

解き方

各成分気体の燃焼の化学反応式を示すと次のようになる。(N<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>は燃焼しない。)



10 m<sup>3</sup> 中に存在する H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO を燃焼させるのに必要なそれぞれの酸素の量は、

$$10 \times \frac{40}{100} \times \frac{1}{2} + 10 \times \frac{30}{100} \times 2 + 10 \times \frac{16}{100} \times \frac{1}{2} = 8.8 \text{ [m}^3\text{]}$$

H<sub>2</sub>の燃焼に要する O<sub>2</sub>    CH<sub>4</sub>の燃焼に要する O<sub>2</sub>    COの燃焼に要する O<sub>2</sub>

したがって、必要な空気の量は、 8.8 × 5 = 44 [m<sup>3</sup>]

[解答] 44 m<sup>3</sup>

- 研究● 混合気体の燃焼では、窒素や二酸化炭素のように、燃焼しない成分が含まれることがあるので注意しよう。また、燃焼する物質についても、どのように酸素と結合するかがわからないと量的な関係がわからない。したがって、各物質についての化学的特性をよく理解すると同時に、反応式についてもできるだけ多く覚えておく必要がある。

ではトレーニングです。例題と同じような問題が2題あります。

3 メタン、水素、窒素の混合気体 40 ml を酸素 90 ml と混ぜて燃焼させた。燃焼後における気体の全体積は 65 ml であった。この気体のうち 25 ml は、水酸化ナトリウム水溶液で吸収された。

これについて、次の(i)～(iii)の文の□に適する化学反応式および数値を入れよ。

(i) メタンおよび水素が完全燃焼するときの反応を反応式で示せば、それぞれ(1)□および(2)□である。

(ii) 燃焼後における気体のうちで、水酸化ナトリウム水溶液に吸収されるとき反応を反応式で示せば(3)□となる。

(iii) 酸素を混ぜる前の混合気体中における水素および窒素の体積は、それぞれ(4)□ ml および(5)□ ml である。ただし、燃焼によって生成した水の体積は無視する。

(東京電機大-工)

4 メタン( $\text{CH}_4$ )とアセチレン( $\text{C}_2\text{H}_2$ )の混合気体 8.4 g が完全燃焼し、等しいモル数の水と二酸化炭素とが生じた。はじめの混合気体中のメタンの質量は何 g か。(東京大)

最後は、混合溶液の反応についての例題です。

●例題3 混合溶液の反応

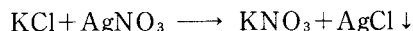
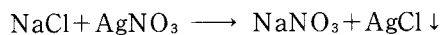
塩化ナトリウムと塩化カリウムの混合物 1.00 g を水に溶かし、硝酸銀水溶液を十分に加えた。生じた白色沈殿をろ別し、水で洗って洗浄し、質量をはかったところ 2.06 g であった。はじめの混合物中には塩化ナトリウムは何% (質量) 含まれていたか。ただし、 $\text{NaCl}=58.5$ ,  $\text{KCl}=74.6$ ,  $\text{AgCl}=143.4$  とする。(上智大)

考え方

物質の化学反応式を利用して、その物質の一定量中に含まれる元素の質量を求めることができる。ここでは、混合溶液中の成分の量を知るために、その成分と反応して、水に不溶の沈殿をつくる試薬として、硝酸銀溶液を用いている(生じる沈殿は、 $\text{AgCl}$ )。生じた沈殿の量の測定や、ちょうど沈殿が終わるまでに加えた試薬の量から、混合溶液中の成分の量を計算する。

**解き方**

白色沈殿の生成の化学反応式は、次式で示される。



すなわち、1 mol ずつの NaCl (58.5 g) と KCl (74.5 g) から、1 mol ずつの AgCl (143.4 g) が沈殿する。そこで、混合物中の NaCl を  $x$  [g] とすると、

$$143.4 \times \frac{x}{58.5} + 143.4 \times \frac{1.00 - x}{74.5} = 2.06 \quad \therefore x \doteq 0.257 \text{ [g]}$$

したがって、混合物中の NaCl の重量百分率は、 $\frac{0.257}{1.00} \times 100 = 25.7\%$

〔解答〕 25.7%

● 研究 ● 混合物の組成を決めるには、混合物中の特定の成分だけが反応するような化学反応を行わせ、そのとき生ずる物質の量の変化から成分の量を決定する。

沈殿を生ずる陽イオンと陰イオンの組み合わせで、とくに重要なものを次に示す。

Cl<sup>-</sup> と沈殿を生ずる陽イオン…… Ag<sup>+</sup>, Pb<sup>2+</sup> など。

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> と沈殿を生ずる陽イオン…… Pb<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> など。

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> と沈殿を生ずる陽イオン…… Mg<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> など。

S<sup>2-</sup> と沈殿を生ずる陽イオン…… Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, 塩基性溶液で Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> など。

OH<sup>-</sup> と沈殿を生ずる陽イオン…… Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>

(Ag<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> はアンモニアの過剰には錯イオンをつくって溶け、Zn<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup> は水酸化ナトリウムの過剰に溶ける。)

研究にあるイオンの反応は、ここで全部覚える必要はありません。第5巻にてくわしく学習します。ここでは、計算の考え方を身につけることが大切です。ではトレーニングです。6 はすこし難しいです。ヒントをよく読んで考えなさい。

### トレーニング

5 炭酸ナトリウムと食塩の混合水溶液がある。これに<sub>(イ)</sub>硝酸銀の水溶液を十分に加え生じた沈殿の質量をはかったところ、2.82 g であった。次に<sub>(ロ)</sub>この沈殿を硝酸でよく洗ったところ、その量は 1.44 g に減じた。

下線を付した(イ)、(ロ)の変化を反応式で示し、かつ、はじめの混合水溶液中の炭酸ナトリウムと食塩の量を求めよ。原子量 Na=23.0, C=12.0, O=16.0, Cl=36, Ag=108 とする。

(大阪薬大)

▶ ヒント Ag<sup>+</sup> は、炭酸塩、塩化物となって沈殿するが、炭酸塩は硝酸に溶ける。

6 NaCl と KCl の混合物に含まれるそれぞれの量を知るため、6.70 g の混合物をとり純水に溶かして正確に 100 ml とした。

この 10 ml をとり純水で 50 ml とした。このうすめた液から 10 ml をとり、純水を加えて約 40 ml としたのち、少量 (ほぼ 0.1 ml) の 10 % クロム酸カリウム  $K_2CrO_4$  溶液を加えた。この溶液を振り混ぜながら、少しずつ 0.1 mol/l 硝酸銀水溶液を滴下したところ白濁した。さらに滴下を続けていくと AgCl の白色沈殿の量が増加した。硝酸銀水溶液を 20.0 ml 加えたとき、 $Ag_2CrO_4$  の赤色不溶物が生じはじめた。

混合物 6.70 g に含まれる NaCl は何 g か。ただし、 $Na=23.0$ ,  $Cl=35.5$ ,  $K=39.0$  とする。

▶ ヒント  $K_2CrO_4$  は、 $Cl^-$  の定量のための指示薬として加えている。 $AgNO_3$  で滴定すると、AgCl の沈殿ができ、それが完結すると  $Ag_2CrO_4$  の赤色沈殿を生じるので、反応の終点を知ることができる。

(愛媛大(改))

ここで、きょうの学習の要点をまとめておきます。

きょうの  
要 点

- ① 空気中での燃焼では、その組成の 20 % を占める酸素が消費されることに注意すること。  
また、酸素の原子価は 2 価なので、化学反応式を書くときに注意すること。
- ② 混合物の反応では、混合物中の特定の成分だけが反応することがあるので注意すること。  
また、一部の成分の反応による生成物の量から、成分の量を決定することができるので、各物質の性質や化学反応式などについても、広く知識を身につけておくこと。
- ③ 化学式をどのように利用したらよいかつねに考えておくこと。また、量的なとらえ方については経験で理解できるところも多いので、多くの問題に取り組んでみよう。

それでは、応用トレーニングです。

## ■ 応用トレーニング ■

### 7 《混合気体の燃焼》

水素、一酸化炭素およびメタンからなる混合気体を  $0^{\circ}\text{C}$ 、 $1\text{ atm}$  で  $560\text{ ml}$  とり、これを完全に燃焼させたところ、 $0.66\text{ g}$  の二酸化炭素と  $0.36\text{ g}$  の液体の水が生じた。この燃焼には何モルの酸素が消費されたか。(イ)から(ヘ)の中から正しいものを1つ選び、その記号を記せ。

(イ)  $0.005$    (ロ)  $0.010$    (ハ)  $0.015$    (ニ)  $0.020$    (ホ)  $0.05$    (ヘ)  $0.10$    (神奈川大-工)

### 8 《混合物の組成》

アルミニウムとマグネシウムを成分とする合金がある。これを完全に酸化すると、その質量はもとの1.8倍となった。この合金中のAlとMgの原子数比は、次の値のうちどれに最も近いか。ただし、Alの原子量= $27.0$ 、Mgの原子量= $24.3$ とする。

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
Al	1	2	1	3	3
Mg	3	3	1	2	1

(東京工大)

きょうの学習はこれで終わりです。第11日は、演習問題をやります。

# 第 11 日

## 演習問題

きょうは、化学の基本・理科 I についての演習問題です。これまでの学習でどのくらい力がつきたかを試してみなさい。問題は、全部で 7 題あります。

### 1 《物質の分類》

次の文中の(a)~(h)に最も適する語句を入れよ。物質の分類とその例を示すと次の表のようになる。

物質	{	混合物	例	空気, 食塩水, 石油, ハンダなど
		純物質	{	(a) 例 水, 塩化ナトリウム, 硫酸など
	(b) 例 水素, 酸素, オゾンなど			

純物質は ( a ) と ( b ) とに分類され, ( b ) のうちの酸素  $O_2$  とオゾン  $O_3$  のように同一の元素で構成されていながら性質の違うものを ( c ) という。では, 純物質と混合物はどこが違うのであろうか。一例として, 水と食塩水の沸点を比べてみると, ( d ) の下で, 水の沸点はつねに  $100^\circ C$  であるが, 食塩水の沸点は食塩の濃度によって違っている。

さて, 混合物から純物質を分離する操作を一般に ( e ) という。液体状の混合物を加熱すると蒸発しやすいほうの液体が先に ( f ) して蒸気となるので, この蒸気を冷却して分離する方法を ( g ) 法という。また, 沸点の異なる 2 種以上の液体混合物を沸点の差でそれぞれの液体に分離する方法を ( h ) 法とよぶ。 (玉川大)

### 2 《化学の基本法則》

化学の発展の基礎となった諸法則について述べた(1)~(6)を読んで, 問いに答えよ。

- (1) ある化合物を構成する成分元素の質量の比はつねに一定である。
- (2) 同温・同圧で, 同体積の気体は同数の粒子を含む。
- (3) 化学変化が生じて, 変化の前後で物質の質量の総和は一定に保たれる。
- (4) 元素は, 原子という小さい粒子からできており, 同一元素の原子は同じ性質・質量をもつが, 異なる元素の原子はこれらが異なる。
- (5) 2 種の元素から, 2 種以上の化合物を生じるとき, 一方の元素の一定量と化合する他方の元素の質量の間には, 簡単な整数比が成り立つ。
- (6) 反応しあう気体の体積の間には, 簡単な整数比が成り立つ。

問 1 (1)~(6)の法則・説の名称を記せ。

問 2 次の文中の空欄に適する法則名, 人名などを入れよ。

(1)~(6)の法則中,  (ア) ,  (イ) ,  (ウ) , の三つは,  (エ) の  (オ) によりみごとに説明されるが,  (カ) を説明するのに矛盾を生じた。そこで, これを矛盾なく説明するために,  (キ) が  (ク) を提唱した。

### 3 《原子の構造と原子量》

次の文の  の中に適当な語句または数値を記せ。

原子は①  と電子からできており、①  は正電気を帯びた②  と電氣的に中性な③  からできている。②  の数を④  といい、②  の数と③  の数の和を⑤  という。④  が同じで、⑤  が異なる原子を、たがいに⑥  という。

⑥  は④  が等しいので化学的な性質は同じで、同一の元素とみなせ、天然にはこの⑥  が一定の割合で存在している。たとえば、周期表で第3周期、7族の元素には⑤  が35と37のものが存在する。35の③  は⑦  個で37のは⑧  個である。また、この元素の原子量を35.5とすると⑤  が35と37の存在比は⑨  %と⑩  %である。  
(近畿大)

### 4 《化学反応式による計算》

次の計算問題を解け。ただし酸素の原子量は16、標準状態での水素1モルの体積は22.4 lとする。

ある金属 M の  $w$  [g] を酸化して  $M_2O_3$  の化学式を有する酸化物  $x$  [g] を得た。

- 金属 M の原子量を求めよ。
- 酸化物  $M_2O_3$  の  $x$  [g] を還元するために必要な水素は標準状態で何 l か。
- この金属  $w$  [g] を塩酸に溶かしたところ、水素を発生して反応は完全に進んだ。発生した水素は標準状態で何 l か。  
(静岡薬大一薬)

**5 《化学反応の量的関係・化学反応式》**

(1) 79.5 グラムの硫化銅(Ⅰ)  $\text{Cu}_2\text{S}$  を空気の気流中で強熱したところ、50.8 グラムの金属銅が得られ、その他に二酸化硫黄と酸化銅(Ⅱ)も生成した。銅と硫黄の原子量をそれぞれ 63.5, 32.0 とし以下問いに答えよ。

- (a) 標準状態で二酸化硫黄は何リットル生ずるか。
- (b) 原料中の銅の何パーセントが金属として得られたか。
- (c) 酸化銅(Ⅱ)中には銅が何グラム含まれているか。

(2) 次の操作のときに起こる化学変化を化学反応式で表せ。

- (a) 硫酸アルミニウム水溶液に酢酸バリウム水溶液を加える。
- (b) 酸化マンガン(Ⅳ)(二酸化マンガン)に塩酸を加えて加熱する。
- (c) 硝酸鉛水溶液に硫化ナトリウム水溶液を加える。
- (d) 塩化鉄(Ⅱ)の酸性水溶液に過酸化水素水を加える。
- (e) 炭酸カルシウムに過剰の臭化水素酸を加える。

(学習院大一理)

**6 《混合気体の反応》**

メタンとエタンを等モルずつ混合した気体があり、その一定量を完全燃焼させたところ、9.0 g の水が生成したが、そのとき同温・同圧の酸素は混合気体の何倍消費されたか。次の中から最も近い値を選べ。

- (A) 2.00    (B) 2.25    (C) 2.50    (D) 2.75    (E) 3.00

(芝浦工大一工)

**7 《混合物の反応》**

水酸化カルシウム、炭酸カルシウムからなる混合物がある。この混合物を加熱して完全に熱分解を行わせたら 19.2 g の白色の固体が得られた。また、この反応で生成した気体から水を完全に取り除いた残りの気体の容積は標準状態で 3.2 l あった。もとの混合物の質量を求めよ。(小数第 1 位まで)  $\text{Ca}=40$  とする。

(宇都宮大)

きょうの学習はこれで終わりです。答え合わせをなさい。



**memo**

教育社

TRAINING PAPER  
**DAILY PROGRAM**

発行人 加藤 譲  
発行所 株式会社 教育社

大学受験デイリープログラム100日  
**高校3年 化学**