

高校化学の準備

すべての物質はそれ以上分割できない最小の粒子「原子」からできている。物質を構成する原子の種類（元素）・名称・順番を覚えることが高校化学を学ぶ第一歩である。

以下の20種類については必ず覚えておくこと。算数で九九を覚えるのが基礎となるのと同じように、化学を学習する上で核心となる内容である。

元素の周期表

	1族	2族	13族	14族	15族	16族	17族	18族
1周期	H 水素							He ヘリウム
2周期	Li リチウム	Be ベリリウム	B ホウ素	C 炭素	N 窒素	O 酸素	F フッ素	Ne ネオン
3周期	Na ナトリウム	Mg マグネシウム	Al アルミニウム	Si ケイ素	P リン	S 硫黄	Cl 塩素	Ar アルゴン
4周期	K カリウム	Ca カルシウム	上段 元素記号 下段 元素の名称					

覚え方

「」

「」

水：水素 兵：ヘリウム リー：リチウム ベ：ベリリウム

ぼ：B ホウ素 く：C 炭素 の：NO→NとO 窒素・酸素 ふ：フッ素

ね：ネオン

七：ナトリウム まがり：マグネシウム・アルミニウム

シッ：Si ケイ素 プ：P リン ス：S 硫黄

クラー：クル+アー→ClとAr 塩素・アルゴン

ク：K カリウム か：カルシウム

昔から長年に渡って使われている非常に有名で古典的な覚え方である。

第1編 物質の構成と化学結合

第1章 物質の構成 (教科書14頁)

化学の歴史

化学の実験手法はもともと () の研究から発展

Chemistry (化学) … alchemy () に由来

(‘al’はアラビア語の冠詞 英語の‘the’に相当

例 アルジャジーラ カタールのテレビ局

アルアラビーヤ アラブ首長国連邦の放送)

化学の用語 () などにもその名残

1 混合物と純物質

A 混合物と純物質

() 1種類の物質だけでできているもの

() 2種類以上の物質からできているもの

純物質と混合物で性質が変わる

問い 次の物質は純物質・混合物のどちらに分類できるか。

(1) 水素 (2) 食塩水 (3) エタノール (4) 二酸化炭素 (5) 牛乳 (6) 塩酸

純物質 ()

混合物 ()

()

()

B 物質の分離・精製

() 混合物から目的の物質を分けること

() 分離によって純度の高い物質を得ること

分離の方法

1 ()

液体と固体をろ紙などを用いて分離する操作

例 コーヒーのペーパードリッ

ろと ビーカーの内壁に付ける

ろ過したい溶液はガラス棒を用いてろ紙に注ぐとよい

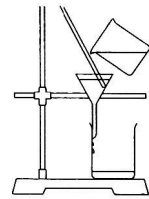


図 ろ過装置

2 ()

溶液を加熱して発生した蒸気を冷却することで目的の物質を得る操作

例 海水から純水を取り出す

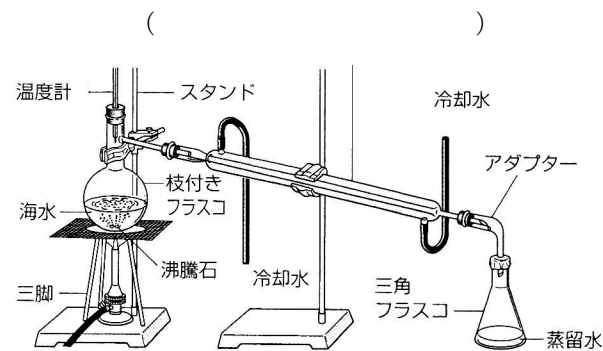


図 蒸留装置

冷却水を流す向きは冷却器の () から () の方向

蒸気の進む方向と () 方向

蒸留の操作のうち、沸点の差を利用して液体の混合物を分離することを特に () という。

例 エタノール (沸点 78 °C) と水 (沸点 100 °C) の混合物からエタノールだけを取り出す

3 ()

混合物を含んだ溶液を冷却し、目的の物質

(あるいは不要な物質) を結晶にすることで取り出す操作

温度変化により () が変わることを利用

4 ()

() (固体から液体にならずに気体になる変化) を

利用して目的の物質を分ける操作

昇華する物質は限られている

()

例 ナフタレンと砂の混合物からナフタレンを取り出す



図 昇華法による分離

5 ()

混合物に液体を加えてよく振り、加えた液体に

目的の成分だけを溶け出させて分離する操作

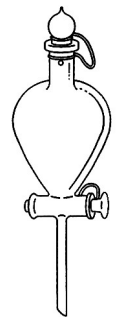


図 分液ろうと

6 ()

ろ紙などに対して物質の吸着力の違いを利用して物質を分類する方法

例 ろ紙を使って水性サインペンのインクの成分を分ける

2 物質とその成分

A 原子と元素

() それ以上分けられない最小の粒子

() 原子の種類のこと

B 単体と化合物

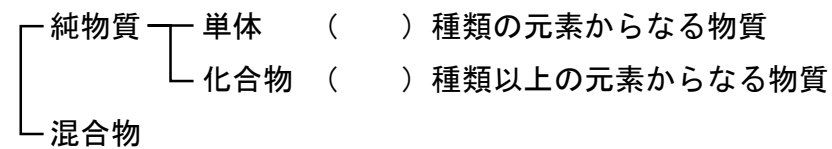
() 1種類の原子からできている物質

() 2種類以上の原子からできている物質

単体の例 酸素 O_2 窒素 N_2

化合物の例 水 H_2O 塩化水素 HCl

物質の分類



単体と元素

「ご飯」が「米」を表すか、朝食・昼食・夕食などの「食事」を表すかは文脈から判断しなければならない。元素も同様に判断する。

例 「酸素」 原子の種類「O」のことを表す場合 () と
気体の酸素分子「 O_2 」のことを表す場合 () がある。

人体の 65% は酸素 でできている () を表している

水を電気分解すると水素と酸素 が発生する () を表している

問い 次の物質を単体・化合物・混合物のいずれかに分類せよ。

(ア) アンモニア (イ) 窒素 (ウ) ダイヤモンド (エ) 水蒸気

(オ) 水酸化ナトリウム (カ) 牛乳

純物質 (単体 ())

(化合物 ())

(())

混合物 (())

C 同素体

() 同じ元素の原子でできていても性質の異なる物質のこと

同素体の4種類 (())

同素体をもつ元素

(1) 炭素 C

() ()

鉛筆の芯に用いられる

黒色・硬くてもろい・電気を通す性質(導電性)をもつ

()

宝石・工業用カッターなどに用いられる

無色透明・非常に硬い

(2) リン P

()

黄色・不安定(50℃で自然発火)・赤リンの原料

()

赤色・常温で安定・マッチの材料

(3) 硫黄 S

()

淡黄色

(

黄色・針状の結晶

()

弾力性がある・鎖状構造・タイヤのゴムなどに用いられる

(4) 酸素 O

()

無色・無臭

()

深青色・特有の臭い

問い 次の物質どうしの組み合わせのうち、互いに同素体であるものを選べ。

(ア) 塩素とヨウ素 (イ) 酸素とオゾン (ウ) 銀と水銀

(エ) 一酸化炭素と二酸化炭素 (オ) 黒鉛と亜鉛 (カ) 水と氷

D 成分元素の検出

簡易的な元素の検出方法の例

() 炎に入れた時に何色を示すかで確認する方法。

白金線に水溶液をつけてバーナーの外炎に入れると、

元素に固有の色が炎につく。

表 元素と炎色

元素	炎色	元素	炎色
リチウム	赤	ストロンチウム	紅
ナトリウム	黄	バリウム	黄緑
カリウム	赤紫	銅	青緑
カルシウム	橙赤		

覚え方 ()

()

リヤカー		借りようと	
なき		するもくれない	
K村		馬力	
動力			

() 水溶液に物質を加え沈殿の有無を確認する方法

例 プールの水に硝酸銀を加えると塩化銀となって沈殿が生じる

() の検出

3 物質の三態と熱運動

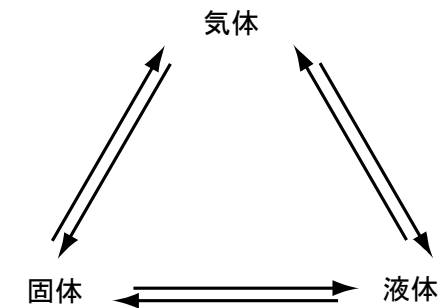
物質の三態

() 物質の粒子が規則正しく並んでいて互いに場所が入れ替わらない状態

() 物質の粒子が集合していて互いに位置が入れ替わる状態

() 物質の粒子が活発に動きまわっている状態

すべての粒子は熱運動している。(並進・振動・回転)



三態変化の名称

固体－液体間

() 固体→液体 () 液体→固体

液体－気体間

() 液体→気体 () 気体→液体

固体－気体間

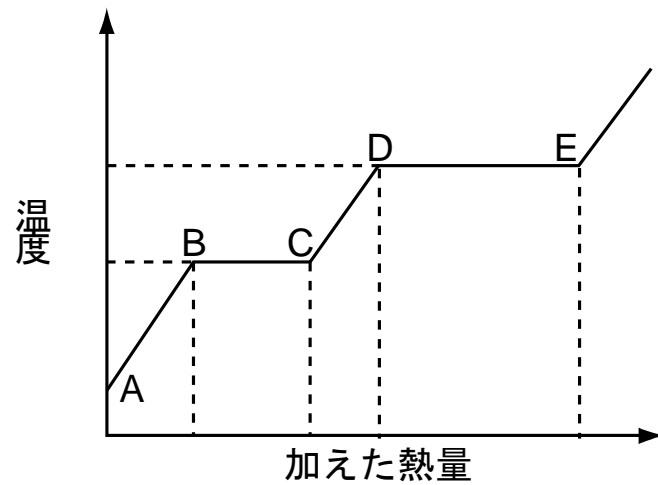
() 固体→気体

2015年現在、気体→固体の変化の名称ははっきりとは決まっていない。

古い本や一部の本では「気体→固体」の変化も「昇華」と表現しているが、

現在は「昇華」とは「固体→気体」の変化だけを表すようになってきている。

状態変化



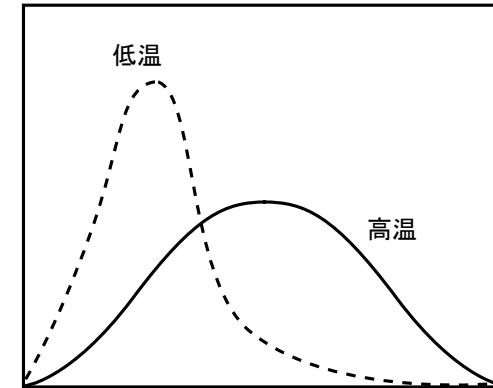
固体→液体の変化が起こる温度 ()

液体→固体の変化が起こる温度 ()

液体→気体の変化が起こる温度 ()

気体→液体の変化が起こる温度 ()

粒子の数



粒子の移動の速さ

温度によって熱運動の活発な粒子・活発でない粒子の分布が決まっている。

温度が高い 熱運動が () 粒子の割合が高い

温度が低い 熱運動が () 粒子の割合が高い

絶対温度

それ以上下がらない最も低い温度を()という。()°C

セルシウス温度 水の凝固する温度を 0 °C、水の蒸発する温度を 100 °C とし、その間を 100 等分して決める温度

単位 °C (セ氏)

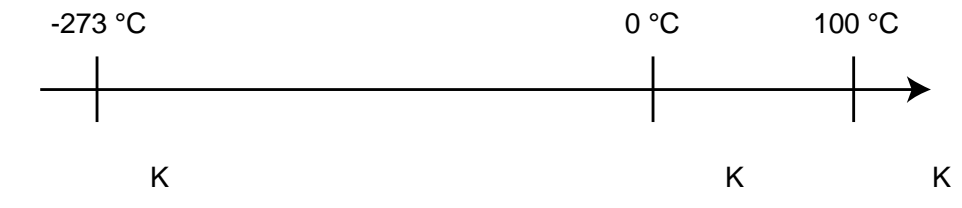
() 絶対零度 (-273.3 °C) を基準 (0 K) として考える温度。

絶対零度 ()

水の凝固点 ()

水の沸点 ()

単位 () 読み ()



第2章 物質の構成粒子

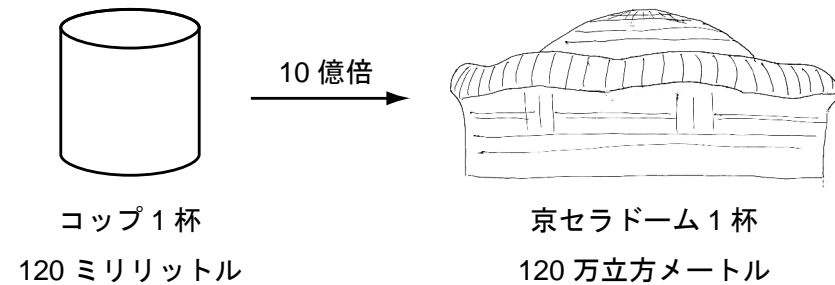
1 原子とその構造

A 原子の構造

原子の大きさ 原子の大きさは直径 1×10^{-10} m ほど

$$1 \times 10^{-10} = 1 \times \frac{\quad}{\quad} = 0.0000000001$$

(十億分の一メートル) = (一千万分の一ミリメートル)



原子の構造 原子は原子核と電子からなる。原子核はさらに陽子と中性子からなる。

原子 () () 電氣的に中性 (正でも負でもない)
() () 正 (+) の電荷をもつ
() () 負 (-) の電荷をもつ

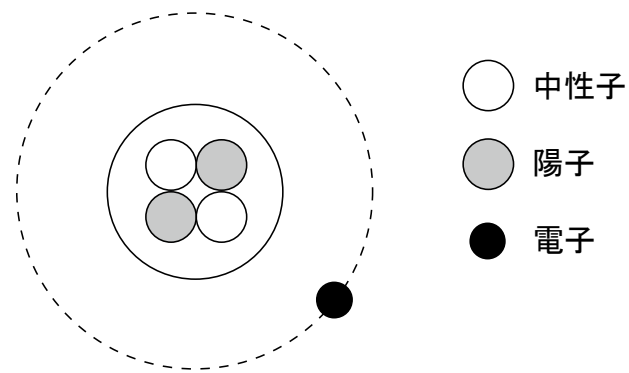


図 原子の構造模式図

なぜそのような種類があり、なぜそのような性質をもつかは未だに解明されていないが、宇宙には大きく分けて次の3種類の粒子があることがわかっている。

「正 (+) の性質の粒子」

「負 (-) の性質の粒子」

「中性 (どちらでもない) の粒子」

() 符号の粒子どうし () と ()、() と ()

() 性質をもつ。

粒子間に () がはたらく。

() 符号の粒子どうし () と ()

() 性質をもつ。

粒子間に引力がはたらく。

電氣的性質 原子核 () の電荷をもつ

電子 () の電荷をもつ

原子 全体としての電荷は ()

どの元素の原子も「中性子」「陽子」「電子」からなる。元素の種類によってそれを構成する数が違うだけである。

原子番号と質量数

元素記号に構成粒子の数を表した表現のしかたをする場合がある。

例 ヘリウム

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \begin{array}{l} () \\ () \end{array} \\
 \begin{array}{l} 4 \\ 2 \end{array} \text{He} \\
 \left. \begin{array}{l} \text{---} \\ \text{---} \end{array} \right\} \begin{array}{l} () \\ () \end{array} \\
 \begin{array}{l} = () \text{ の数} + () \text{ の数} \\ = () \text{ の数} = () \text{ の数} \end{array}
 \end{array}$$

質量の比 中性子：陽子：電子 = ():():()

原子の質量はほぼ () の数と () の数を合わせたもの

すなわち () で決まる。

問い 次の原子を構成する陽子の数・中性子の数・電子の数をそれぞれ示せ。

原子	${}^{24}_{12}\text{Mg}$	${}^{28}_{14}\text{Si}$	${}^{40}_{18}\text{Ar}$	${}^{39}_{19}\text{K}$	${}^{197}_{79}\text{Au}$
中性子の数					
陽子の数					
電子の数					

$${}^m_n\text{X} \quad m = \text{中性子の数} + \text{陽子の数}$$

$$n = \text{陽子の数} (= \text{電子の数})$$

$$\text{中性子の数} = m - n$$

$$\text{陽子の数} = n$$

$$\text{電子の数} = n$$

B 同位体

() 同じ元素の原子でも、() が違う
原子どうしのこと。「同素体」とは名称が似ているが、異なるものである。

例 水素の同位体の3種類

	${}^1_1\text{H}$	${}^2_1\text{H}$	${}^3_1\text{H}$
名称			
中性子の数			
陽子の数			
電子の数			

同位体の存在比 同位体には天然の存在比が決まっている

存在比 ある原子を集めたとき、どれだけの割合で各同位体が含まれているか表した量のこと

例 水素原子を1000個集めると、平均して、そのうち

999個(99.9%)が ${}^1_1\text{H}$

1個(0.1%)が ${}^2_1\text{H}$

元素名	元素記号	同位体	存在比
水素	H	${}^1_1\text{H}$	99.9885 %
		${}^2_1\text{H}$	0.0115 %
		${}^3_1\text{H}$	0 %
炭素	C	${}^{12}_6\text{C}$	98.93 %
		${}^{13}_6\text{C}$	1.07 %
		${}^{14}_6\text{C}$	0 %
酸素	O	${}^{16}_8\text{O}$	99.757 %
		${}^{17}_8\text{O}$	0.038 %
		${}^{18}_8\text{O}$	0.205 %
塩素	Cl	${}^{35}_{17}\text{Cl}$	75.76 %
		${}^{37}_{17}\text{Cl}$	24.24 %

C 電子配置

() 原子核の周りにおける電子の存在する層のこと

原子の中心側から外側の順に

() 殻、() 殻、() 殻、などがある。

n 番目の電子殻には最大で $2n^2$ 個の電子が入るが、原子番号 20 までの元素の原子の場合、K 殻に () 個、L 殻に () 個、M 殻に () 個までの電子しか入らない。

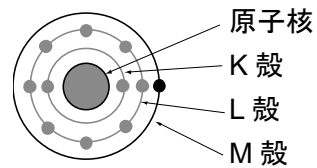


図 Na 原子の電子配置模式図

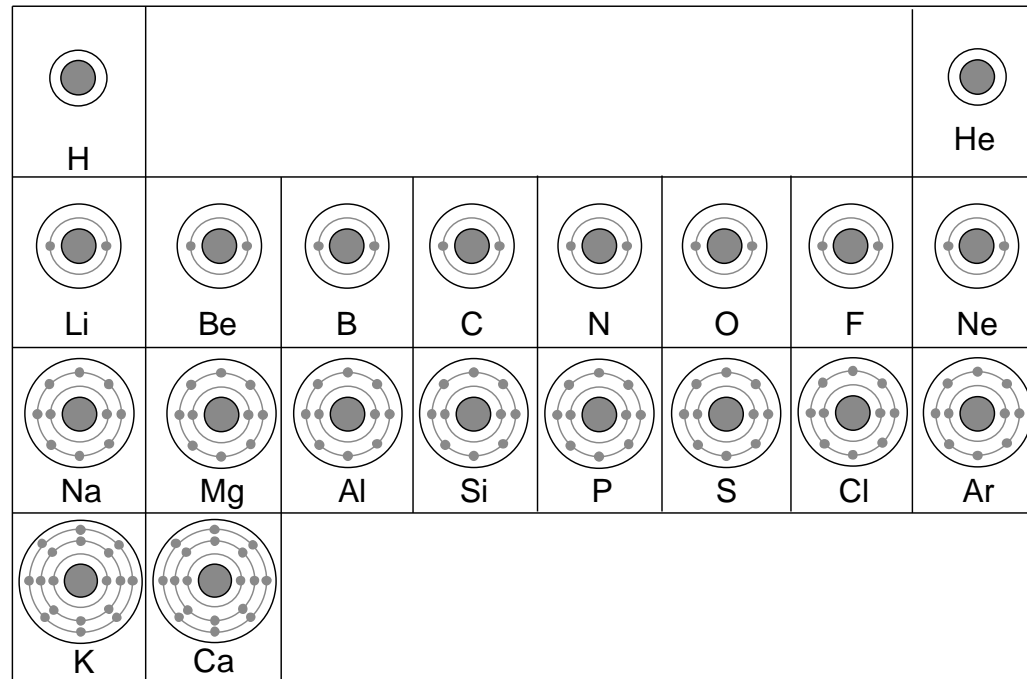


図 原子の電子配置模式図

() 最も外側にある電子殻

() 最外殻に入っている 1 個～7 個の電子

イオンになったり、原子どうしが結びついたりするときに重要なはたらきをもつ

表 電子配置と価電子の数

元素	H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
電子の数	K 殻									
	L 殻									
	M 殻									
	N 殻									
価電子の数										

元素	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca
電子数	K 殻									
	L 殻									
	M 殻									
	N 殻									
価電子の数										

() 収容できる最大の数の電子で満たされている電子殻

閉殻の電子殻は安定している。(電子が入りしにくい)

希ガスは安定していて他の原子と結びついたりイオンになったりしにくい。

2 イオン

A イオンとイオンの生成

イオン 原子が電子を（ ）したり（ ）したりして正か負のいずれかに電荷が偏った状態（原子は電氣的に中性で電荷をもたない）

語源 ギリシャ語で「 」するもの

（電圧をかけると電源の一方の極からもう一方の極へと動く）

正の状態に偏ったもの（ ）イオン

負の状態に偏ったもの（ ）イオン

イオンの表し方 イオン式

イオン式 元素記号の右上に（ ）と電荷の符号（ ）をつけて表す

価数 原子がイオンになる際に放出あるいは受取る電子の数

A^{nx}
A: イオンの元となる原子の元素記号
n: イオンの価数（1 の場合省略）
x: イオンのもつ電荷の符号

表現例 **Na⁺ Ca²⁺ Cl⁻ O²⁻**

イオンの名称

陽イオン 「(元素名) + イオン」の形になりやすい

陰イオン 「(元素名) + 化物イオン」の形になりやすい

価数が複数あるイオン（例 銅の Cu⁺と Cu²⁺、鉄の Fe²⁺と Fe³⁺など）の名称

「(元素名) + ((価数)) + イオン」の形

価数はローマ数字（ ）などで表す。

例 Cu⁺ 「 」イオン

Cu²⁺ 「 」イオン

イオンの分類

（ ）イオン 1つの原子が電子を放出・収受してできたイオン

（ ）イオン 複数の原子が結合して集まったもの（原子団）が電子を放出・収受してできたイオン

表 主な陽イオン（単原子イオン）

価数	イオンの名称	イオン式	価数	イオンの名称	イオン式
1	水素イオン	H⁺	2	亜鉛イオン	Zn²⁺
	リチウムイオン	Li⁺		スズ (II) イオン	Sn²⁺
	ナトリウムイオン	Na⁺			Pb²⁺
	カリウムイオン	K⁺			Mn²⁺
		Cu⁺			Fe²⁺
	銀イオン				Cu²⁺
2	マグネシウムイオン	Mg²⁺	3	アルミニウムイオン	Al³⁺
	カルシウムイオン	Ca²⁺		クロム (III) イオン	Cr³⁺
	バリウムイオン	Ba²⁺			Fe³⁺

表 主な陰イオン（単原子イオン）

価数	イオンの名称	イオン式	価数	イオンの名称	イオン式
1		F⁻	2		O²⁻
	塩化物イオン	Cl⁻		酸化物イオン	S²⁻
		Br⁻			

多原子イオンの成り立ち

表 主な陽イオン (多原子イオン)

価数	イオンの名称	イオン式
1		NH₄⁺
		H₃O⁺

表 主な陰イオン (多原子イオン)

価数	イオンの名称	イオン式
1	水酸化物イオン	OH⁻
		NO₃⁻
		CH₃COO⁻
		HCO₃⁻
	硫酸水素イオン	HSO₄⁻
2		CO₃²⁻
		SO₄²⁻
	亜硫酸イオン	SO₃²⁻
3	リン酸イオン	PO₄³⁻

表 多原子イオンとその生成式

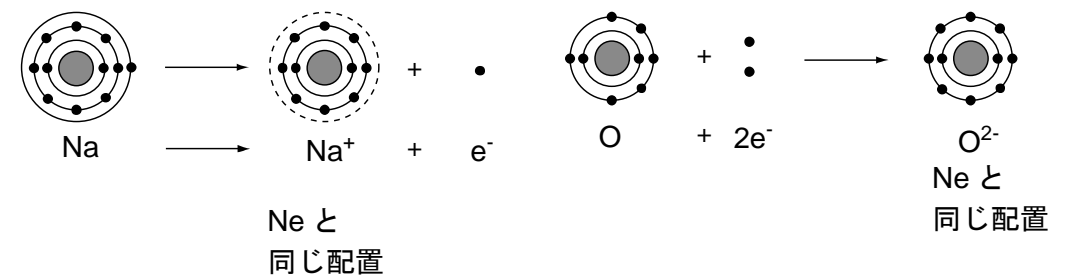
イオン	イオンの生成式
NH ₄ ⁺	NH ₃ + H ⁺ → NH ₄ ⁺
H ₃ O ⁺	H ₂ O + H ⁺ → H ₃ O ⁺
NO ₃ ⁻	HNO ₃ → H ⁺ + NO ₃ ⁻
CH ₃ COO ⁻	CH ₃ COOH → CH ₃ COO ⁻ + H ⁺
HCO ₃ ⁻	H ₂ CO ₃ → HCO ₃ ⁻ + H ⁺
CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻ → CO ₃ ²⁻ + H ⁺
HSO ₄ ⁻	H ₂ SO ₄ → HSO ₄ ⁻ + H ⁺
SO ₄ ²⁻	HSO ₄ ⁻ → SO ₄ ²⁻ + H ⁺
PO ₄ ³⁻	H ₃ PO ₄ → PO ₄ ³⁻ + 3H ⁺

イオンの生成式 (イオンができるための反応式) では
左辺と右辺で原子の数の他に () が等しくなっている。

化学反応式を組み立てる際は左辺と右辺で原子の数がそろるか検討するが、イオンも含めた反応式の場合は、電荷の合計がそろるかという点についても考えなければならぬ。

イオンの電子配置

原子がイオンになったときの電子配置は、最寄りの () 元素 (周期表の最も右側の列の元素) の原子の電子配置と同じになる。(原子核の正電荷の数は違うので、完全に同じ状態になるわけではない。)



B 元素の分類

元素の周期表

() (ロシア 1834~1907 年) が元素を原子量(原子の質量)の順番に配列したものを発表したのが最初とされる。元素を周期表に並べると規則性()が見られることを発見した。現在の周期表と似ている。

() 周期表の縦の並び(左から1族・2族……と続き18族まで)

() 周期表の横の列(上から1周期・2周期……と続き)

元素の分類と名称

元素の分類にはいくつかの切り口がある。

1 典型元素と遷移元素

() 1~2族・12~18族の元素 同族元素の性質が似る

() 第4周期以降の3~11族の元素 同周期の元素の性質が似る

2 金属元素と非金属元素

() 導電性(電流を流す性質)・金属光沢・

() (引っ張ると伸びる性質)・

() (たたくと広がる性質)をもつ

() 金属元素以外

H																			He
Li	Be										B	C	N	O	F				Ne
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl				Ar
K	Ca			V	Cr	Mn	Fe			Ni	Cu	Zn							Br
																			I
	Ba																		Pt
																			Hg
																			Pb

金属元素の一部

() 水素 H を除く 1 族元素

() ベリリウム Be とマグネシウム Mg を除く 2 族元素

非金属元素の一部

() 17 族元素

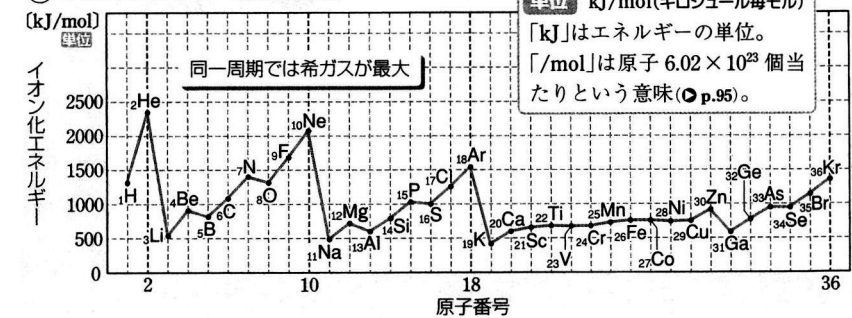
() 18 族元素 他の原子と結びつくことがなく、不活性ガスといわれる

周期律

規則性の現れるもの

イオン化エネルギー 電子の最外殻から電子を1個取り去って1価の陽イオンにするのに必要なエネルギー

⑤ イオン化エネルギーの周期的変化



⑥ 図 35 元素の周期律

同じ周期では希ガスが最大

イオン化傾向 $K < Ca < Na < Mg < Al < Zn < Fe < Ni < Sn < Pb < Hg < Pt < Au$

原子・イオンの大きさ

	1	2	13	14	15	16	17	18
1	H 0.030							He 0.140
2	Li 0.152	Be 0.111	B 0.081	C 0.077	N 0.074	O 0.074	F 0.072	Ne 0.154
	Li ⁺ 0.090	Be ²⁺ 0.059				O ²⁻ 0.126	F ⁻ 0.119	
3	Na 0.186	Mg 0.160	Al 0.143	Si 0.117	P 0.110	S 0.104	Cl 0.099	Ar 0.188
	Na ⁺ 0.116	Mg ²⁺ 0.086	Al ³⁺ 0.068			S ²⁻ 0.170	Cl ⁻ 0.167	
4	K 0.231	Ca 0.197						
	K ⁺ 0.152	Ca ²⁺ 0.114						

※ 原子○, 陽イオン●, 陰イオン●の大きさを, 相対的に表した。
 ※ 数値は, 原子やイオンの半径のおよその値をnm(ナノメートル)単位で示したもの(代表的な値を示した)。

単位 nm(ナノメートル)
 1 nm = 10⁻⁹m (p.217)

図A 原子・イオンの大きさの例 水素イオンH⁺は非常に小さい。

原子の大きさ

- 1 同じ族 原子番号が大きいくほど、原子は ()。
- 2 同じ周期 原子番号が大きいくほど原子は () (18 族除く)。

イオンの大きさ

- 3 原子が陽イオンになると、() なる。
- 4 原子が陰イオンになると、() なる。
- 5 電子配置が同じイオンどうしでは、原子番号の大きいイオンの方が、イオンの大きさは () なる。

第3章 粒子の結合

1 イオン結合とイオンからなる物質

A イオン結合

() 陽イオンと陰イオンが () で引き合っ
てできる結びつき

イオン結合でできている物質を () という。

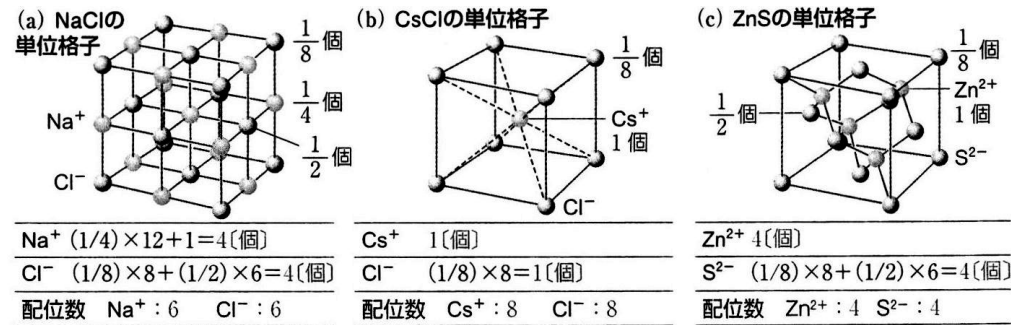
イオン結晶の構造

陽イオンや陰イオンの粒子が規則正しく並んでできている。

() イオンのとる規則正しい配列構造

() 繰り返しとなる最小単位の構造

結晶格子は何種類かある



() 単位格子の中でその粒子が何個の粒子と接しているか表した数

単位格子の中にある粒子の数え方

単位格子の角にある粒子 () 個 () 個の単位格子に1個の
粒子がまたがっている

単位格子の辺の真ん中にある粒子 () 個 () 個の単位格子に
1個の粒子がまたがっている

単位格子の中央にある粒子 () 個

イオンの電離

イオンからなる物質（イオンどうしがイオン結合してできている物質）は水中でイオンに分かれる性質をもつ。これを () という。

() 水に溶けたとき電離する物質

() 水に溶けても電離しない物質

B イオンからなる物質

() イオンからなる物質に含まれる元素の数を最も簡単な整数比で
表したものを分子式と似ている

分子式との違い

分子式 物質の粒子が一個一個の単位に分かれていて、
物質の実際の姿と化学式が完全に一致する

組成式 物質の粒子が一個一個の単位に分かれておらず、
物質の実際の姿と化学式が完全に一致するわけではない

イオンからなる物質の例

- 塩化ナトリウム NaCl (食塩の主成分)
 - 塩化カルシウム CaCl_2 (豆腐のにがり・融雪剤など)
 - 炭酸カルシウム CaCO_3 (チョークの原料・卵の殻や貝殻の主成分)
 - 硫酸カルシウム CaSO_4 (チョークの原料) など
- 陽イオンと陰イオンの組み合わせで何種類もある。

イオンの名称と組成式に示す元素の順序は逆になっている

<i>The house that Jack built</i>	ジャックが建てた家
This is the house that Jack built.	これはジャックが建てた家。
This is the malt that lay in the house that Jack built.	これはジャックが建てた家に置かれていた麦芽。
This is the rat that ate the malt that lay in the house that Jack built.	これはジャックが建てた家に置かれていた麦芽を食べたラット。
This is the cat that killed the rat that ate the malt that lay in the house that Jack built.	これはジャックが建てた家に置かれていた麦芽を食べたラットを殺した猫。

*Mother Goose (aka Nursery Rhymes)*の話より。英米で親しまれている伝承童謡で *London Bridge Is Falling Down* や *Humpty Dumpty* などのもその一つ。

英語と日本語とでは修飾の順が逆

組み立て方

組成式 () イオンを先、() イオンを後に書く。

正電荷と負電荷の数が () ように数字を添える。

イオンからなる物質は電氣的に中性

名称 語尾にある「～イオン」「～化物イオン」を外し、組成式とは逆の順に並べる。

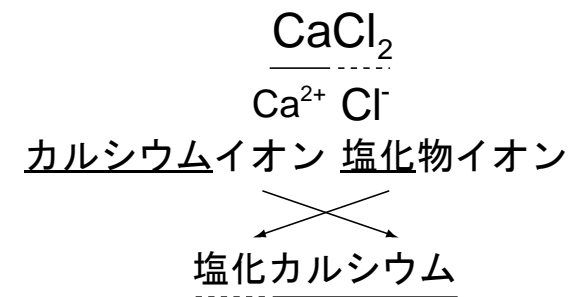
イオンからなる物質の名称・組成式の組み立ての例

CaCl_2 塩化カルシウム

$$\text{陽イオンの価数} \times \text{陽イオンの個数} = \text{陰イオンの価数} \times \text{陰イオンの個数}$$

となるように Ca^{2+} と Cl^- が結びついて「塩化カルシウム」ができることを考える。イオンどうしが結びついてできた「塩化カルシウム」は電氣的に中性なる。

カルシウムイオンの価数 = 2、塩化物イオンの価数 = 1 より、カルシウムイオンの数は () 個、塩化物イオンの数は () 個となる。カルシウムイオン Ca^{2+} 1 個に対して塩化物イオン Cl^- は 2 個が結びつかなければならない。よって $\text{Ca}^{2+} : \text{Cl}^- = (:)$ の比となる。



問い 次のイオンの組み合わせでできる物質の組成式と名称を記せ。

(1) K^+ と Cl^-

(2) Mg^{2+} と CO_3^{2-}

(3) Al^{3+} と OH^-

(4) NH_4^+ と SO_4^{2-}

イオンの生成とエネルギー

- () 原子から電子を1個取り去って1価の
 () イオンにするのに必要なエネルギー
- () 1価の陽イオンから電子を1個取り去って
 () 価の陽イオンにするのに必要な
 エネルギー

イオン化エネルギーが小さい 陽イオンになり ()
 大きい 陽イオンになり ()

- () 原子が電子を1個受け取って1価の陰イオンになる際に
 原子が放出するエネルギー

練習 次の物質の化学式(組成式)を答えよ。

ヒント 物質が何イオンからできているのか考え、組成式を組み立てる。

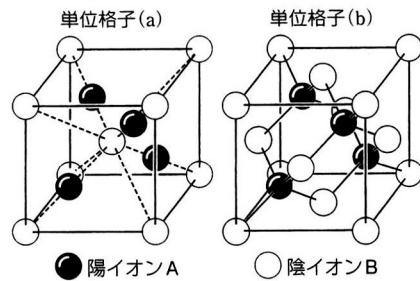
フッ化カルシウム	_____	硫化銅	_____
酸化鉄(III)	_____	水酸化鉄(II)	_____
塩化マグネシウム	_____	硫酸	_____
硫酸カリウム	_____	炭酸バリウム	_____
硝酸バリウム	_____	水酸化カリウム	_____
リン酸カリウム	_____	硝酸	_____
硫酸アルミニウム	_____	酸化カルシウム	_____
硝酸銀	_____	酸化銅(II)	_____
硫化水素	_____	塩化水素(塩酸)	_____
炭酸ナトリウム	_____	水酸化鉄(III)	_____
水酸化カルシウム	_____	水酸化ナトリウム	_____
硝酸マグネシウム	_____	酸化銀	_____
ヨウ化鉄(II)	_____	塩化亜鉛	_____
酸化アルミニウム	_____	硫酸銅(II)	_____
塩化銀	_____	硝酸ナトリウム	_____

発展例題 5 イオン結晶と組成式 化学

問題 58

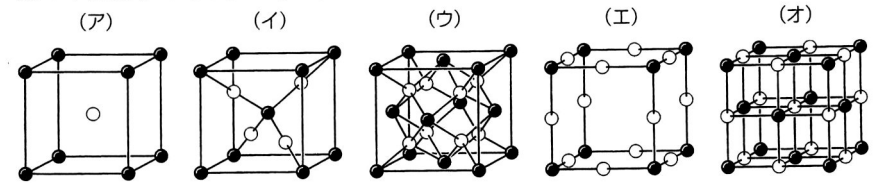
右図に、陽イオンAと陰イオンBからできたイオン結晶の単位格子(a)と(b)を示す。次の各問いに答えよ。

- (1) 単位格子(a)と(b)に含まれる陽イオンAと陰イオンBの個数は、それぞれいくらか。
- (2) 単位格子(a), (b)をもつイオン結晶の組成式を、それぞれ求めよ。



化学

58. イオン結晶と組成式 次の(ア)~(オ)は、Aイオン●とBイオン○からなるイオン結晶の単位格子である。AB₂の組成式で表されるものをすべて選び、記号で記せ。



(東京工業大 改)

第 2 編 物質と化学反応式

第 1 章 物質と化学反応式

1 原子量・分子量・式量

A 相対質量

原子 1 個の質量は「〇〇 g」と表さず、 ^{12}C 原子と比べて大きい小さいかを表す。

原子 1 個の質量は 1×10^{-23} g (0.000 000 000 000 000 000 000 01 g) ほどなので、

「〇〇 g」という量を使って実験すると扱いにくい。そこで

「 ^{12}C 原子 1 個の質量を 12 とする」として

他の原子の質量を決めている。

何かを基準として、それと比較して考える例

2 国間での物価を比較する場合、あるものを基準にして比べる。例えばビール 1 本の値段を挙げてみる。ドイツではビールが安いと言われる。どれだけ安いのだろうか。



ドイツ 0.5 L Löwenbräu 1.03 ユーロ

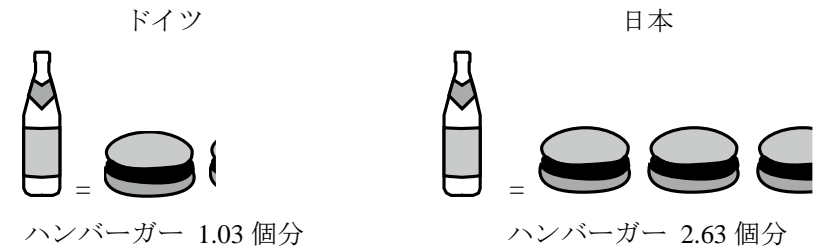


日本 0.5 L スーパードライ 263 円

2015 年 9 月末のレート (1 ユーロが 134 円) で換算すればドイツのビール

Löwenbräu 1 本は 138 円となる。しかしレートは毎日変わるので本当に安いかどうかはわからない。そこでレートに関係なく、両国でほぼ同じ価値のものを使って本当の価値を比較するのである。

例えばマクドナルドの普通のハンバーガー 1 個の価格を基準に比較をすることが経済学ではよく行われる。ハンバーガー 1 個のコスト・価格は世界各国で大して変わらないとされている。Löwenbräu 1 本の価格はハンバーガー 1.03 個分である。一方、スーパードライは 2.63 個分である。このように考えると、ドイツの人にとっては、ビール 1 本の価格は日本人にとっての、263 円ぐらいの感覚であることがわかる。このように比較する対象を用いて他の物の価値を計ることもできる。



- () ^{12}C 原子 1 個の質量を 12 として計算して決められた原子の質量 (比較する基準があって初めて決まる質量) 単位は ()
- () x [g] という質量 単位は () など 基準がなくとも天秤で絶対的に決まる質量

他の原子の相対質量の求め方

例 ^1H の相対質量はいくらか。 ^1H の絶対質量は 0.16375×10^{-23} g、 ^{12}C の絶対質量は 1.9926×10^{-23} g とする。

	^1H	^{12}C
相対質量		
絶対質量	g	g

求める質量を x とする。相対質量の比は

$$^1\text{H} : ^{12}\text{C} = x : 12 \quad (\text{ア})$$

絶対質量の比は

$$^1\text{H} : ^{12}\text{C} = 0.16375 \times 10^{-23} \text{ g} : 1.9926 \times 10^{-23} \text{ g} \quad (\text{イ})$$

質量の比はどちらで比べても変わらないので、(ア) と (イ) より、

$$x : 12 = 0.16375 \times 10^{-23} \text{ g} : 1.9926 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$x = 12 \times \frac{0.16375 \times 10^{-23}}{1.9926 \times 10^{-23}} = 1.0078 \quad \text{よって } \underline{1.0078}$$

B 原子量

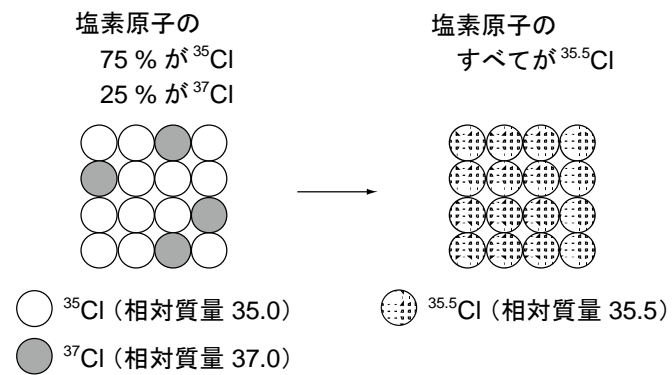
() 同位体の存在比と相対質量から決めた原子 1 個の平均の相対質量

1 塩素の原子量

同位体の存在比 () % ^{35}Cl (相対質量 35.0) ・ () % ^{37}Cl (相対質量 37.0)

塩素の原子量 =

原子量の考え方

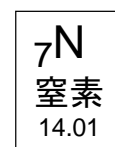


2 炭素の原子量

同位体の存在比 () % ^{12}C (相対質量 12.0) ・ () % ^{13}C (相対質量 13.0)

炭素原子の原子量 =

円周率と同様に、同位体の存在比や原子の相対質量は覚える必要はない。必ず与えられる量である。周期表には次のように元素の情報が描かれている。



これは窒素原子の原子量が 14.01 であることを表している。

C 分子量・式量

分子量 分子の相対質量がある。原子量の総和で表される。

例 水分子 H_2O の分子量

水素 H の原子量 1.0 酸素 O の原子量 16.0

水 H_2O の分子量 =

式量 イオンからなる物質・金属などの相対質量。分子量と同様に求める。

イオンの相対質量には、原子量をそのまま用いる。

(電子数個の質量は原子の質量の数千分の一と小さく無視できるので。)

例 塩化ナトリウム NaCl の式量

ナトリウムイオン Na^+ の相対質量 = ナトリウム Na の原子量 = ()

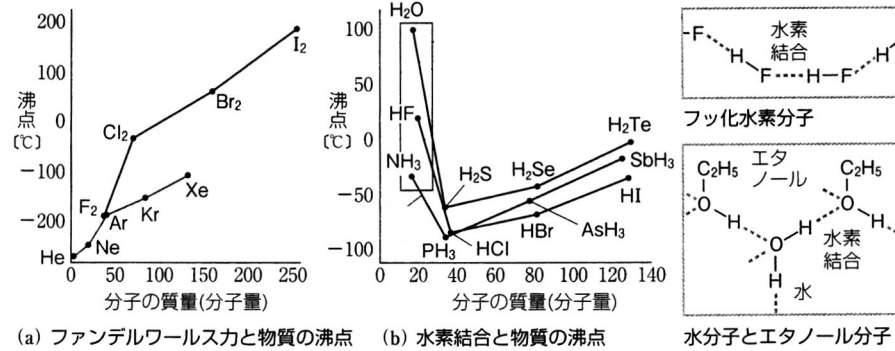
塩化物イオン Cl^- の相対質量 = 塩素原子 Cl の原子量 = ()

塩化ナトリウムの式量 =

結晶・結合の補足

() 分子間にはたらく弱い引力の総称

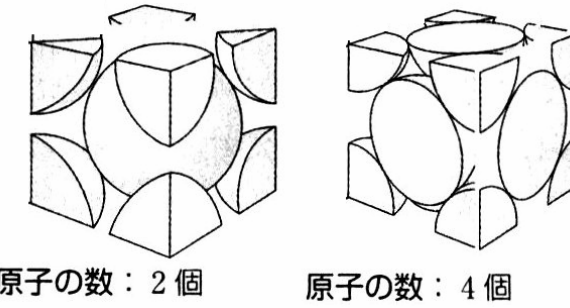
分子間力 () すべての分子間にはたらく弱い引力
 分子量が大きいほど強い
 極性分子間の静電的引力 極性分子どうしの間にはたらく
 () 水素原子と () () () 原子の間にはたらく強い引力

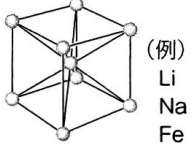
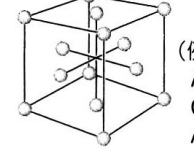
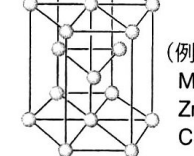


金属結晶

() 金属原子の作る結晶

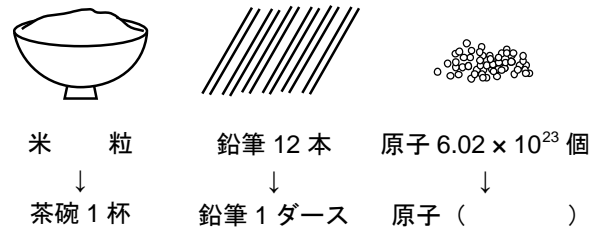
イオン結晶と同様に、規則正しく原子が並んだ配列をとる。



単位格子 (六方最密構造 は赤の部分)	 (例) Li Na Fe	 (例) Al Cu Ag	 (例) Mg Zn Co
格子名	体心立方格子	面心立方格子	六方最密構造
含まれる粒子数	$(1/8) \times 8 + 1 = 2$	$(1/8) \times 8 + (1/2) \times 6 = 4$	6(単位格子：2)
配位数	8	12	12

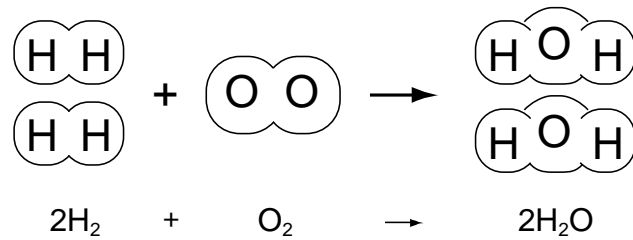
2 物質質量

A アボガドロ数と物質質量



原子・分子・イオンなどは () 個を一つのまとまりとして扱い、
() と表す。(mol … molecule (名) 分子より) 1 mol、2 mol、…
といった量を () という。

なぜ物質質量を使うか？



化学の実験で「反応する量」・「生成する量」を考えると

質量で考えると

「水素 4 g と酸素 32 g が反応して水 36 g ができる。」

個数で考えると

「水素分子 2 個と酸素分子 1 個が反応して水分子 2 個ができる。」

個数で考えるほうが化学反応式の係数比が使えて単純になる。

個数をそのまま使うと 10 の二十数乗の大きさの数となりとても

扱いにくい。そこで 6.02×10^{23} 個を 1 mol というひとまとまりして考え、

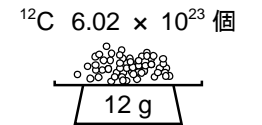
「水素分子 2 mol と酸素分子 1 mol が反応して水分子 2 mol ができる。」

として考える。

6.02×10^{23} () という。

アボガドロ (1776~1856) イタリアの物理学者)

() に含まれる原子の個数とされる。



(6.02×10^{23}) () という。

「1 mol の物質には粒が 6.02×10^{23} 個含まれている。」という意味で、
アボガドロ数に単位「/mol」をつけて表したもの。化学の計算で使う。

単位の読み方

「□ / ○」という単位を見たら、

単位を「□ / ○」と読みかえて「1○ごとに□」と考える。

例 速度の表記「60 km/h」(60 km 毎時)

⇒ 「1 () ごとに 60 km (進む)」

アボガドロ定数の読み方

「 6.02×10^{23} / mol」と書くのが正しいが、アボガドロ定数の扱いに
慣れるまでは「 6.02×10^{23} () / mol」(1 mol あたり 6.02×10^{23} 個)
と考える方が日本人にはわかりやすい。

欧米の言語 1 個、2 個などと数える習慣がなく個数の単位がない。

1、2 などの「数そのもの」が個数をいう。

日本語 1 個、2 個などと個数に単位がある。

物質質量 (モル) と個数の関係

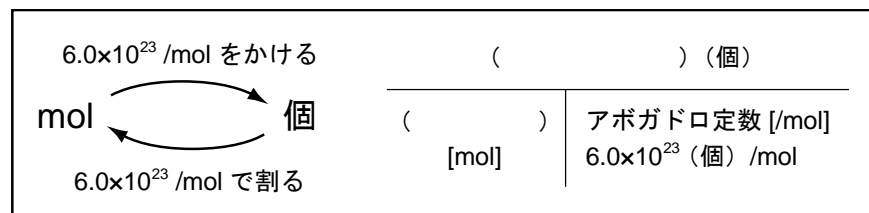
$$\text{物質質量}[\text{mol}] = \frac{\text{粒子の数}}{\text{アボガドロ定数}[\text{mol}] (6.0 \times 10^{23} / \text{mol})}$$

「mol」と「個」の換算

物質量の計算の際はアボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ として計算することが多い。

「mol」→「個」とするとき 個数にアボガドロ定数をかける

「個」→「mol」とするとき 物質量 (mol) をアボガドロ定数で割る



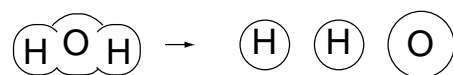
問い (96 頁) アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ として次の換算をせよ。

- (1) 炭素原子 1.8×10^{23} 個は何 mol か。
- (2) 水 3.0 mol には水素原子が何個含まれているか。
- (3) 二酸化炭素 0.75 mol は何個か。また、酸素原子は何個含まれているか。

(1) 「個」→「mol」の換算

(2) 「mol」→「個」の換算

まず水 H_2O の数と水素原子 H の個数の比より、H が何 mol か考える。



水分子 H_2O 1 個は水素原子 H () 個と酸素原子 O 1 個からなる。

$$\Rightarrow (\text{H}_2\text{O の数}) : (\text{H の数}) = () : ()$$

⇒ 水 3.0 mol の場合を考えているので

$$(\text{H}_2\text{O の数}) : (\text{H の数}) = 3.0 \text{ mol} : x \text{ mol} = () : ()$$

よって $x = ()$ 水素原子 H は () mol なので

水素原子は () 個

(3) 「mol」→「個」の換算

指数の計算

2^x の値を考える。

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \quad 2^2 = 2 \times 2 = 4 \quad 2^1 = 2$$

さらに x が 0 や負の整数の場合にも拡張すると

$$2^0 = 1 \quad 2^{-1} = \frac{1}{2} = \frac{1}{2^1} \quad 2^{-2} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2^2} \quad 2^{-3} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2^3}$$

となる。数学では x の部分を整数以外に複素数にも拡張するが、高校理科では整数か簡単な分数で使うことが多い。

指数には次の性質がある。

$$a^{-x} = \frac{1}{a^x} \quad a^x \times a^y = a^{x+y} \quad \frac{a^x}{a^y} = a^{x-y}$$

自然科学では何かの量を (1以上10未満の数) $\times 10^x$ の形で表す。

練習 次の計算をせよ。

(1) $10^{-5} \times 10^4$	(2) $10^2 \div 10^{-4}$
(3) $2 \times 10^{-4} + 3 \times 10^{-4}$	(4) $1.2 \times 10^{24} \div (6.0 \times 10^{23})$
(5) $6.0 \times 10^{23} + 5.0 \times 10^{22}$	(6) $3.0 \times 10^{22} + 6.0 \times 10^{23}$

B 物質と質量

^{12}C 原子 (相対質量 12) が 6.0×10^{23} 個あると 12 g

⇒ ^{10}Ne 原子 (相対質量 20) が 6.0×10^{23} 個あると

$$12 \times \text{---} = \text{---} \text{ g}$$

このように、原子量・分子量・式量とは物質が

1 mol (6.0×10^{23} 個) あるときに () を表している。

原子量・分子量・式量の数値に単位「g/mol」() をつけたものを () といい、計算の際に用いる。

モル質量の例

水 (分子量 18) なら () 1 mol で () g

炭素 (原子量 12) なら () 1 mol で () g

二酸化炭素 (分子量 44) なら () 1 mol で () g

「g/mol」の意味 「 」につき～g

物質と質量 (モル) と質量の関係

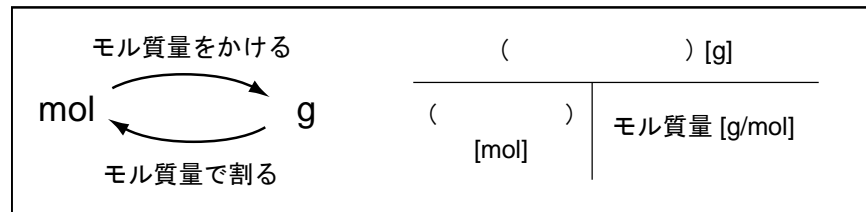
$$\text{物質と質量 [mol]} = \frac{\text{粒子の質量 [g]}}{\text{モル質量 [g/mol]}}$$

「mol」と「g (質量)」の換算

「mol」→「g」とするとき 物質とモル質量をかける

「g」→「mol」とするとき g をモル質量で割る

モル質量 物質ごとに違う。() を用いて計算で求める。



問い (97 頁) 次の換算をせよ。原子量には次の値を用いよ。

$$\text{H} = 1.0 \quad \text{C} = 12 \quad \text{N} = 14 \quad \text{O} = 16 \quad \text{Mg} = 24$$

- (1) 黒鉛 0.40 mol は何 g か。
- (2) マグネシウム 19.2 g は何 mol か。
- (3) アンモニア 0.50 mol は何 g か。
- (4) 酸素 24 g は何 mol か。

(1) 「mol」→「g」の換算

黒鉛 (炭素) の原子量は ()

よってモル質量は () g/mol

(2) 「g」→「mol」の換算

マグネシウムの原子量は ()

よってモル質量は () g/mol

(3) 「mol」→「g」の換算

アンモニアの分子量は ()

よってモル質量は () g/mol

(4) 「g」→「mol」の換算

単に「酸素」と書かれていたら普通は「酸素 ()」を指す。

酸素の分子量は ()

よってモル質量は () g/mol

C 物質質量と気体の体積

() 同じ温度・同じ圧力のもとでは、同じ体積の気体には
気体の種類によらず同じ数の分子が含まれている

これではわかりにくい。言い換えると次のようになる。

「気体の種類によらず () で 1 mol の気体の体積は
() L と決まっている」

「水素 H₂ でも酸素 O₂ でも窒素 N₂ でもヘリウム He でも、
気体分子 1 mol の体積は 22.4 L で不変」

標準状態 温度 (°C) (K) 気圧 (hPa) の状態

標準状態で 1 mol の気体の体積は決まっているので、気体の物質質量 (mol) と
体積 (L) の換算をするときには () (単位) が用いられる。

「22.4 L/mol」の意味 「) につき 22.4 L

物質質量 (モル) と体積の関係 (標準状態)

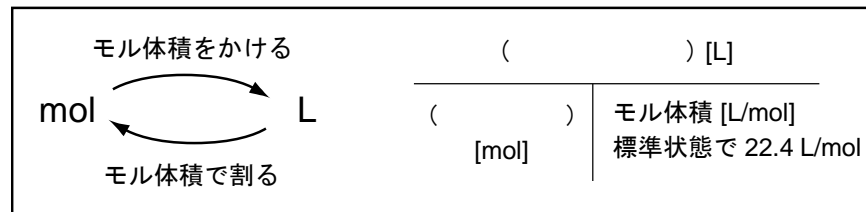
$$\text{物質質量[mol]} = \frac{\text{気体の体積[L]}}{22.4[\text{L/mol}]}$$

「mol」と「L (体積)」の換算 (標準状態)

「mol」→「L」とするとき 物質質量とモル体積をかける

「L」→「mol」とするとき Lをモル体積で割る

モル体積 気体ならどれも同じ 標準状態で 22.4 L/mol と決まっている。



問い (101 頁) 次の換算をせよ。ただし、気体はすべて標準状態とする。

- (1) メタン 0.25 mol の体積は何 L か。
- (2) 水素 11.2 L は何 mol か。

(1) 「mol」→「L」の換算

(2) 「L」→「mol」の換算

問い (99 頁) アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$ として、以下の問に答えよ。原子量は
次の値を用いよ。

$$H = 1.0 \quad C = 12 \quad O = 16 \quad Mg = 24$$

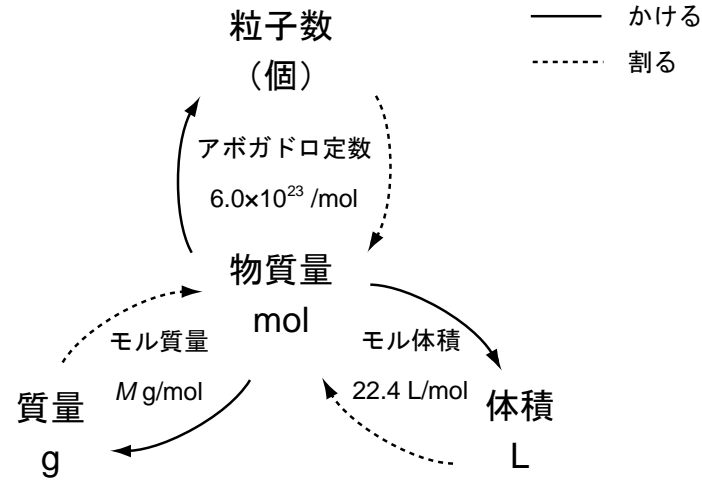
- (1) マグネシウム原子 1.8×10^{23} 個は何 g か。
- (2) 水 180 g には分子が何個含まれるか。

このような問いでは必ず「物質質量」に換算してから考える。

(1) 「個」→「mol」→「g」と換算する。

(2) 「g」→「mol」→「個」と換算する。

物質量の換算まとめ



アボガドロ定数 考えるときは 6.0×10^{23} 個/mol とし計算すると良い

モル質量 物質によって異なる 原子量・分子量・式量に g/mol をつけたもの

モル体積 標準状態の気体はどれも 22.4 L/mol

準備 次の物質のモル質量を求めよ。原子量には次の値を用いよ。

原子量 H = 1.0 C = 12 N = 14 O = 16
 Na = 23 Mg = 24 Al = 27 Cl = 35.5 K = 39 Ca = 40
 Fe = 56

黒鉛	カルシウム
硫化水素	酸化マグネシウム
ダイヤモンド	マグネシウム

1 粒子数－物質量の換算

「mol」→「個」

()	(個)
()	アボガドロ定数 [mol]
[mol]	6.0×10^{23} (個) /mol

- 炭素 1.0 mol の原子は何個か。
- ナトリウム 0.50 mol の原子は何個か。
- 二酸化炭素 1.5 mol の分子数は何個か
- 塩化カルシウム 2.0 mol のカルシウムイオンは何個か。

「個」→「mol」

- 水素原子 6.0×10^{23} 個は何 mol か。
- 銅原子 3.0×10^{24} 個は何 mol か。
- 水分子 1.5×10^{22} 個は何 mol か。
- アルミニウムイオン 6.0×10^{24} 個は何 mol か。

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

2 質量—物質量の換算

原子量 H = 1.0 He = 4.0 C = 12 N = 14 O = 16 Na = 23 Mg = 24
Al = 27 Cl = 35.5 K = 39 Ca = 40 Fe = 56

「mol」 → 「g」

- (1) 黒鉛 0.20 mol は何 g か。
- (2) カルシウム 0.75 mol は何 g か。
- (3) 硫化水素 1.5 mol は何 g か。
- (4) 酸化マグネシウム 0.30 mol は何 g か。

「g」 → 「mol」

- (5) ダイヤモンド 0.12 g は何 mol か。
- (6) マグネシウム 4.8 g は何 mol か。
- (7) 二酸化窒素 2.3 g は何 mol か。
- (8) 炭酸ナトリウム 5.3 g は何 mol か。

() [g]	() [mol]	モル質量 [g/mol]

3 体積—物質量の換算

「mol」 → 「L」

- (1) 酸素 0.25 mol は標準状態で何 L か。
- (2) ヘリウム 2.5 mol は標準状態で何 L か。

「L」 → 「mol」

- (3) 標準状態で水素 22.4 L は何 mol か。
- (4) 標準状態で塩化水素 67.2 L は何 mol か。
- (5) 標準状態でアンモニア 8.96 L は何 mol か。
- (6) 硫化水素 5.60 L は何 mol か。

() [mol]	() [L]	モル体積 [L/mol]
		標準状態で 22.4 L/mol

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

4 粒子数－質量の換算

「個」→「g」 「個」→「mol」→「g」と2回換算する

- (1) 水素原子 6.0×10^{23} 個は何 g か。
- (2) 鉄原子 3.0×10^{23} 個は何 g か。
- (3) 水分子 2.0×10^{22} 個は何 g か。
- (4) アルミニウムイオン 2.0×10^{24} 個は何 g か。

「g」→「個」 「g」→「mol」→「個」と2回換算する。

- (5) ダイヤモンド 0.12 g は炭素原子が何個含まれるか。
- (6) マグネシウム 4.8 g にはマグネシウム原子が何個含まれるか。
- (7) 二酸化窒素 2.3 g 中には二酸化窒素分子が何個含まれるか。
- (8) 炭酸ナトリウム 53 g 中にナトリウムイオンは何個含まれるか。

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

5 質量一体積の換算

「g」→「L」 「g」→「mol」→「L」と2回換算する。

- (1) メタン CH_4 4.0 g の体積は標準状態で何 L か。
- (2) 一酸化炭素 7.0 g の体積は標準状態で何 L か。

「L」→「g」 「L」→「mol」→「g」と2回換算する。

- (3) 標準状態で酸素 22.4 L は何 g か。
- (4) 標準状態でアンモニア 67.2 L は何 g か。
- (5) 標準状態で硫化水素 11.2 L は何 g か。
- (6) 標準状態でヘリウム 4.48 L は何 g か。

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

6 体積一粒子数の換算

「L」→「個」 「L」→「mol」→「個」と2回換算する。

- (1) 標準状態で水素 22.4 L の水素分子は何個か。
- (2) 標準状態で塩化水素 67.2 L の塩化水素分子は何個か。
- (3) 標準状態でアンモニア 3.36 L のアンモニア分子は何個か。
- (4) 二酸化窒素 5.60 L 中の二酸化窒素分子は何個か。

「個」→「L」 「個」→「mol」→「L」と2回換算する。

- (5) 酸素分子 1.5×10^{23} 個は標準状態で何 L か。
- (6) オゾン分子 7.5×10^{23} 個は標準状態で何 L か。

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

有効数字

実験で何かを測定し「3.14 cm」、「2.72 g」などの量を得たら、「3.14」「2.72」などの数を（ ）といい、信頼できる数字として扱う。

有効数字の桁数

小数点に関係なく数字がいくつ（何桁）あるか表す数を**有効数字の桁数**という。
例えば 3.14 という数ならば、有効数字の桁数は 3 桁という。

3.1416	有効数字 5 桁	2.71828	有効数字 6 桁
3.14	有効数字 3 桁	2.718	有効数字 4 桁
3.1	有効数字 2 桁	2.7	有効数字 2 桁

有効数字の**桁数が多い** ⇒ 信頼度が（ ）い**正確なデータ**

桁数が少ない ⇒ 信頼度が（ ）い**正確でないデータ**

と判断する。

例 牛乳 1 リットルの表記

表記	誤差	真の量
1.00 L	0.01 L 未満	0.995 L 以上 1.005 L 未満
1.0 L	0.1 L 未満	0.95 L 以上 1.05 L 未満
1 L	1 L 未満	0.5 L 以上 1.4 L 未満

有効数字の桁数の数え方

数値の表記を左側から右側へと見て、**0 以外の数が初めて現れるところの数字を 1 桁目**としていくつ数字があるか数える。

例 1.008 有効数字 4 桁 0.025 有効数字 2 桁 0.0001234 有効数字 4 桁

測定値が大きい数字となる場合は有効数字を「 $X \times 10^n$ 」の形で表す。

この場合の有効数字の桁数は、「**X**」の部分だけに注目する。

例 6.0×10^{23} 有効数字 2 桁 6.02×10^{23} 有効数字 3 桁

問い 次の測定値の有効数字は何桁か答えよ。

- (1) 0.00050 (2) 1.50×10^4

有効数字の計算

有効数字どうしをかける・わる・足す・引く場合は、**最も信頼度の低い数字に計算結果をあわせる。**

(1) 掛け算・割り算

計算結果の有効数字の桁数を、最も有効数字の桁数の（ ）い数字（最も正確でない数字）の桁数にあわせて答える。

例 $6.17 \text{ cm} \times 3.8 \text{ cm}$

6.17 cm 有効数字（ ）桁 3.8 cm 有効数字（ ）桁

計算結果の桁数は（ ）桁にする。

$$6.17 \text{ cm} \times 3.8 \text{ cm} = 23.446 \text{ cm}^2 = 23 \text{ cm}^2$$

注意 計算が済んだ最終段階で有効数字の桁数をあわせる。計算前に

「 6.17 cm 」を「 6.2 cm 」として計算しない。そうしてしまうと

$$6.2 \text{ cm} \times 3.8 \text{ cm} = 23.56 \text{ cm}^2 = 24 \text{ cm}^2$$

というように結果が変わってしまう。

(2) 足し算・引き算

最も信頼度の低い数字にあわせる。

例 $30 \text{ g} + 2.1 \text{ g}$

32 g と 2.1 g の信頼度について

30 g 信頼度が（ ）い 2.1 g 信頼度が（ ）い

計算結果は信頼度の低い方に合わせる。

$$30 \text{ g} + 2.1 \text{ g} = 32.1 \text{ g} = 32 \text{ g}$$

注意 足し算・引き算では**有効数字の桁数ではなく**

有効数字の信頼度（正確性）を見て答えを考える。

問い 次の有効数字の計算をせよ。

- (1) 1.34×2.3 (2) $2.35 \div 1.1$ (3) $5.46 + 1.5$

D 溶液の濃度

- () 物質を溶かすための液体
- () 溶媒に溶かす物質
- () 溶質を溶媒に溶かしたもの

溶液のうち溶媒が 水のもの 「水溶液」

エタノールのもの 「エタノール溶液」 などと呼ぶ

溶液の濃度

質量パーセント濃度

溶液の質量に対して溶質が何%含まれているか表した濃度

$$\begin{aligned} \text{質量パーセント濃度}[\%] &= \frac{\text{溶質の質量}[\text{g}]}{\text{溶液の質量}[\text{g}]} \times 100[\%] \\ &= \frac{\text{溶質の質量}[\text{g}]}{\text{溶媒の質量}[\text{g}] + \text{溶質の質量}[\text{g}]} \times 100[\%] \end{aligned}$$

モル濃度

溶液 1 L に溶質が何 mol 含まれているか表した濃度

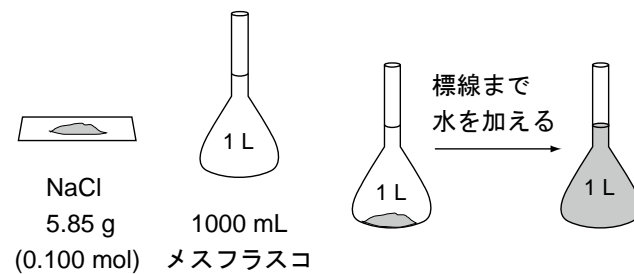
単位 () 読み方 ()
()

大学の研究ではこちらの方がよく使われる。質量パーセント濃度より単純。

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

濃度の正確な溶液を作ることを調製という。

0.10 mol/L 塩化ナトリウム水溶液の調製例 NaCl モル質量 58.5 g/mol



a 溶質とメスフラスコを
用意する。

b 溶質をメスフラスコに
入れ溶媒を加える。

注 塩化ナトリウム 0.10 mol に水 1 L を加えるのではなく、
塩化ナトリウムと水を混ぜて 1 L になるようにする。

問い (1) 水酸化ナトリウム 2.0 g を水で溶かして 200 mL の水溶液にした。

この水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何 mol/L か。

(2) 0.40 mol/L のアンモニア水が 250 mL ある。この水溶液の溶質の

物質質量は何 mol か。

原子量 H = 1.0 N = 14 O = 16 Na = 23

物質質量 [mol]

モル濃度
[mol/L]

体積 [L]

質量パーセント濃度とモル濃度の換算 (110 頁)

どちらも同じ「濃度」であるので換算ができる。

濃度を求める情報

質量パーセント— 溶質の () [] と溶液の () []

モル— 溶質の () [] と溶液の () []

例 質量パーセント濃度が 98 % の濃硫酸 (密度 1.8 g/cm^3) がある。この濃硫酸のモル濃度は何 mol/L か。(原子量 H = 1.0 O = 16 S = 32)

- 定石 1 溶質・溶液・質量パーセント濃度・モル濃度の 2×2 の表を作る。
2 溶液が 1 L あると仮定して他の情報を求める。

	質量パーセント濃度	モル濃度
溶質の量	g	mol
溶液の量	g	L

濃度が 98 % の濃硫酸 (水溶液) が 1 L あると仮定する。

濃硫酸 (水溶液) の密度が 1.8 g/cm^3 なので、濃硫酸 (水溶液) の質量は

とわかる。 < 質量[g] = 密度[g/cm³] × 体積[cm³] 1 L = () mL = () cm³ >

濃硫酸の濃度は 98 % なので、この水溶液に含まれる硫酸 (溶質) の質量は

とわかる。硫酸 (化学式) のモル質量は () g/mol

なので、この水溶液に含まれる硫酸の物質量は

とわかる。 < 物質量[mol] = $\frac{\text{質量[g]}}{\text{モル体積[g/mol]}}$ > この濃硫酸 (水溶液) 1 L に

硫酸が () mol 溶けているので、モル濃度は () mol/L とわかる。

問い モル濃度が 12.0 mol/L の濃塩酸 (塩化水素水溶液) (密度 1.20 g/cm^3) がある。

この濃塩酸の質量パーセント濃度は何 mol/L か。(原子量 H = 1.0 Cl = 35.5)

3 化学反応式と物質質量

A 化学反応式

B イオン反応式

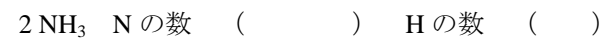
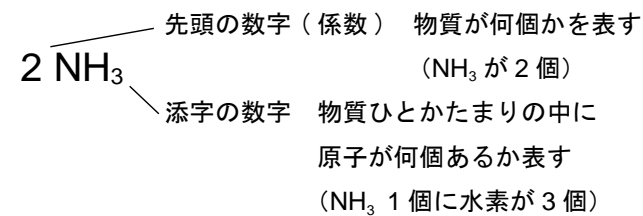
物質が別の物質になる変化を表す式を（化学）反応式といい、反応物・生成物にイオンの含まれるものを特にイオン反応式という。反応物を左辺、生成物を右辺に書き矢印で結んで表す。



化学反応式

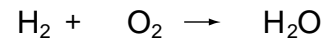
イオン反応式

反応式の左辺と右辺では () の数と () の合計が等しくなる。

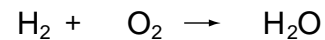


化学反応式の作り方

(1) 反応物を左辺、生成物を右辺に書き矢印で結ぶ。

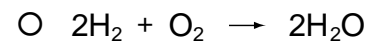


(2) 左辺と右辺で原子の数がそろえるように、反応物・生成物の化学式に係数をつける。



注意 ・係数が 1 のときは係数を省略する。

・係数は最も簡単な整数比にする



反応式の係数の決め方

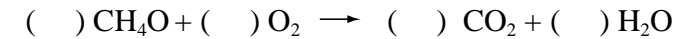
(ア) 反応式が簡単なとき ある係数を 1 と仮定して他の係数も決める

(イ) 反応式が複雑なとき 係数を文字で置き連立して求める（未定係数法）

(ア) の方法を用いる例

例題 メタノール CH₄O が完全燃焼すると、二酸化炭素と水ができる反応の化学反応式を答えよ。

(1) 反応物・生成物を書く。



(2) いずれかの物質の係数を 1 とおく。(例 CH₄O の係数を 1 とする。)



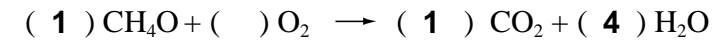
(3) C に注目すると、左辺に () 個あることになるので、右辺もそれにそろえて CO₂ の係数を 1 とする。



(4) C 以外の原子に注目する。H に注目すると、左辺に () 個あることになるので、右辺もそれにそろえて H₂O の係数を () とする。



(5) O に注目すると、右辺に 2×1+1×2=4 個あることになるので、左辺もそれにそろえる。左辺にはすでに CH₄O の O が 1 個あるので、残りの () 個が O₂ でそろえるように係数をつける。



(6) 反応式の係数は最も簡単な係数比となるように等倍する。

$$1 : \frac{3}{2} : 1 : 2 = (\quad) : (\quad) : (\quad) : (\quad)$$

(イ) 未定係数法の方法を用いる例

例題 アルミニウムと塩酸が反応して塩化アルミニウムと水素が生じる反応の
化学反応式を答えよ。

(1) 反応式・生成物を書き、それぞれの係数を文字で置く。



(2) 原子の数が左辺と右辺で等しくなることを利用して文字の連立式を立てる。

$$\text{Al} \quad (\quad) = (\quad) \quad <1>$$

$$\text{H} \quad (\quad) = (\quad) \quad <2>$$

$$\text{Cl} \quad (\quad) = (\quad) \quad <3>$$

(3) (2) で立てたいくつかの式のうち、出現頻度が最も () い文字を 1

(あるいは他の数でもよい) とおき、他の文字の数値を決める。

$$\begin{cases} a=c <1> \\ b=2d <2> \\ b=3c <3> \end{cases}$$

() と () が最も出現しているので $c=1$ とすると、

<1>式より $a=(\quad)$ 、<3>式より $b=(\quad)$ と求まる。さらに

b の値を<2>式に代入すると $d=(\quad)$ となる。

(4) 係数の比を最も簡単な整数比にする。

$$a:b:c:d=1:3:1:\frac{3}{2}=(\quad):(\quad):(\quad):(\quad)$$

(5) 係数の比が最も簡単な整数比となるように直し、化学反応式を完成させる。

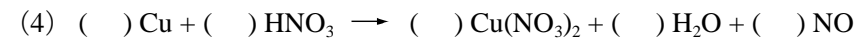
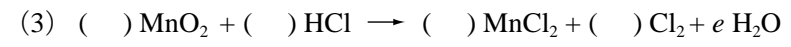
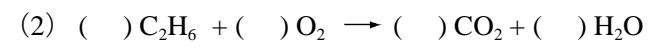
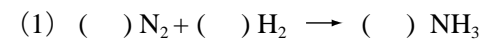


(3) で $b=1$ としても、<2>式より $d=\frac{1}{2}$ 、<3>式より $c=\frac{1}{3}$ となり

$a=\frac{1}{3}$ と求まるので、 $a:b:c:d=\frac{1}{3}:1:\frac{1}{3}:\frac{1}{2}=2:6:2:3$ となり同じ結果となる。

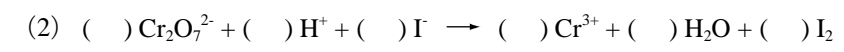
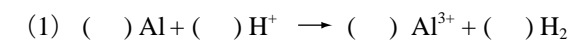
問い 次の化学反応式の () に適切な係数を入れ、化学反応式を完成させよ。

係数は最も簡単な整数比にせよ。



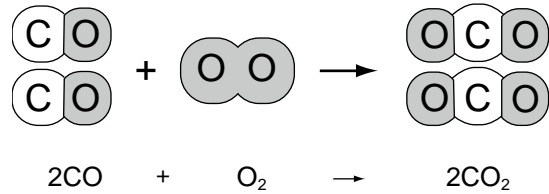
問い 次のイオン反応式の () に適切な係数を入れ、イオン反応式を完成させよ。

係数は最も簡単な整数比にせよ。



C 化学反応式が表す量的関係

化学反応式は反応する物質の量の比を表している。



「一酸化炭素 2 個と酸素 1 個が反応して二酸化炭素 2 個ができる。」

「一酸化炭素 2 mol と酸素 1 mol が反応して二酸化炭素 2 mol ができる。」

と読める。これを利用すると化学反応における体積や質量の関係もわかる。

例 プロパン C₃H₈ 22 g を完全燃焼させたとき、次の問いに答えよ。

- 生じた水の物質量は何 mol か。
- 生じた二酸化炭素の質量は何 g か。
- 燃焼に必要な酸素の体積は標準状態で何 L か。

考え方 全て mol で考え「反応前の量」「反応で変化する量」「反応後の量」を求める。

(A) 化学反応式を書き、反応式の下に表を作る。

プロパン C₃H₈ () 炭素と水素・(酸素) からなる物質の一つ

完全に燃焼させると () と () になる。



反応前

変化量

反応後

(B) 反応前の行に物質 (mol) を書き入れる。

「プロパン C₃H₈」 モル質量は $12 \times 3 + 1.0 \times 8 = 44 \text{ g/mol}$ なので、プロパン 22 g は 0.50 mol。「0.50 mol」と書き入れる。

「酸素」 プロパンの () 倍量が必要。「2.50 mol」と書き入れる。

「二酸化炭素」「水」 () であり反応前は存在しないので、CO₂ と H₂O の下の「反応前」の行に「0 mol」と書き入れる。

	C ₃ H ₈	+ 5 O ₂	→	3 CO ₂	+ 4 H ₂ O
反応前					
変化量					
反応後					

(C) 「変化量」の行に物質が反応によってどれだけ増減するか書き入れる。

左辺の物質 反応で使われる ⇒ 反応で () する。⇒ 符号は ()

右辺の物質 反応でできる ⇒ 反応で () する。⇒ 符号は ()

「プロパン」 「完全燃焼」するので全てがなくなる。⇒ 「- 0.50 mol」

「酸素」 燃焼にはプロパンの 5 倍量使われる ⇒ 「-2.50 mol」

「二酸化炭素」 プロパンの () 倍量できる ⇒ 「+1.50 mol」

「水」 プロパンの () 倍量できる ⇒ 「+2.00 mol」

	C ₃ H ₈	+ 5 O ₂	→	3 CO ₂	+ 4 H ₂ O
反応前	0.50 mol	2.50 mol		0 mol	0 mol
変化量					
反応後					

(D) 「反応後」の行に、(B) (C) の量の合計を書き入れる。

	C ₃ H ₈	+ 5 O ₂	→	3 CO ₂	+ 4 H ₂ O
反応前	0.50 mol	2.50 mol		0 mol	0 mol
変化量	-0.50 mol	-2.50 mol		+1.50 mol	+2.00 mol
反応後					

(E) 問題と照らしあわせて必要な量を求める。

(1) 生じた水は 2.00 mol なので 2.0 mol

(2) 生じた二酸化炭素は 1.50 mol。二酸化炭素のモル質量 () g/mol より、

(3) 燃焼に使われた酸素は 2.50 mol。標準状態で気体のモル体積 22.4 L/mol より、

演習 化学反応の量的関係

原子量 H = 1.0 C = 12 Mg = 24

問い マグネシウム 7.2 g と標準状態で 4.48 L の酸素を反応させると、
強い光を出して燃焼し、酸化マグネシウムができる。次の問いに答えよ。

- (1) 生成する酸化マグネシウムの質量は何 g か。
- (2) 反応せずに残った物質は何か。また、その質量は何 g か。

第2章 酸と塩基の反応

1 酸・塩基

A 酸と塩基の定義 (1)

B 酸と塩基の定義 (2)

酸性 青色リトマス紙を赤にする・鉄や亜鉛などと反応して水素を生じる性質

塩基性 (アルカリ性) 赤色リトマス紙を青にする・水溶液の酸性を消す性質

酸 酸性を示す物質 **塩基** 塩基性を示す物質

アレニウス (スウェーデン、1859~1927) は酸と塩基を次のように定義した。

() の定義
酸 水溶液中で水素イオン H^+ を生じる物質
塩基 水溶液中で水酸化物イオンを OH^- を生じる物質

中学理科ではこの定義を習う。ブレンステッド (デンマーク、1879~1947)

とローリー (イギリス、1874~1936) によって後に定義が次のように拡張された。

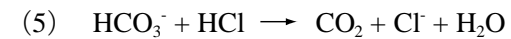
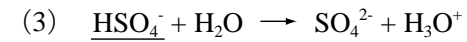
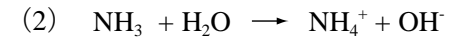
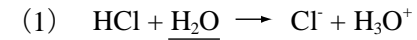
() の定義
酸 他者に水素イオン H^+ を () 物質
塩基 他者から水素イオン H^+ を () 物質

高校化学では両定義を用いて酸・塩基を考える。

	酸	塩基
アレニウスの定義	水に溶けて H^+ を生じる物質 $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$	水に溶けて OH^- を生じる物質 $NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$ $NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$
ブレンステッド・ローリーの定義	H^+ を与える物質 $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$	H^+ を受け取る物質 $NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$

両方の定義のうち少なくとも一方に当てはまれば、酸・塩基と判断する。

問い 次の反応で、ブレンステッド・ローリーの定義によると、下線を引いた物質は酸と塩基のどちらと判断できるか。



C 酸・塩基の価数

() 1分子の酸から生じる H^+ の数

1分子の塩基から生じる OH^- (受け取る H^+) の数

種類	物質名	水に溶解する反応
一価の酸	塩化水素	$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$
	硝酸	$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$
	酢酸	$CH_3COOH \rightarrow CH_3COO^- + H^+$
二価の酸	硫酸	$H_2SO_4 \rightarrow 2 H^+ + SO_4^{2-}$
	硫化水素	$H_2S \rightarrow 2 H^+ + S^{2-}$
	シュウ酸	$(COOH)_2 \rightarrow (COO^-)_2 + 2 H^+$
三価の酸	リン酸	$H_3PO_4 \rightarrow 3 H^+ + PO_4^{3-}$
	水酸化ナトリウム	$NaOH \rightarrow Na^+ + OH^-$
	水酸化カリウム	$KOH \rightarrow K^+ + OH^-$
	アンモニア	$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$
	水酸化カルシウム	$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2 OH^-$
	水酸化バリウム	$Ba(OH)_2 \rightarrow Ba^{2+} + 2 OH^-$
	水酸化鉄 (III)	$Fe(OH)_3 + 3 H^+ \rightarrow Fe^{3+} + 3 H_2O$

D 酸・塩基の強弱

酸・塩基といっても、物質によって酸性（塩基性）の強いもの、弱いものがある。

() 酸・塩基を（水）溶媒に溶かしたときに電離する分子の割合
酸・塩基の強弱の尺度にする。水に溶かしても全てが
電離するわけではない。

例 塩化水素 HCl ほぼ全てが電離する

酢酸 CH₃COOH 一部だけが電離する（0.10 mol/L、25 °C のとき 1.6 %）

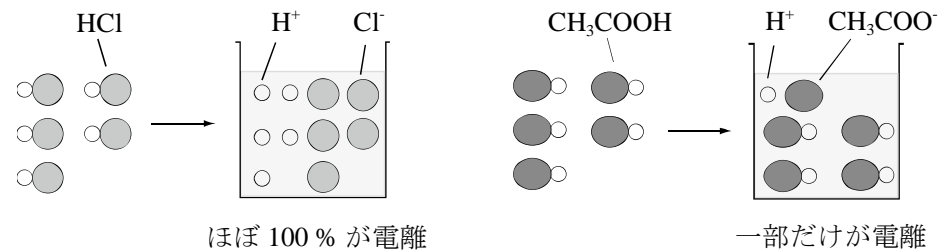


図 電離のイメージ

電離度は溶けている量全体を 1 として電離している割合を示す。

電離度のことをギリシャ文字 () で表す。

$$\text{電離度 } \alpha = \frac{\text{電離している酸 (塩基) の量 [mol]}}{\text{溶けている酸 (塩基) の量 [mol]}} \quad (0 < \alpha \leq 1)$$

$\alpha = 1 \Rightarrow 100\%$ が電離 $\alpha = 0.016 \Rightarrow 1.6\%$ が電離 という意味

() $\alpha = 1$ に近い酸 文字通り強い酸

代表的な物質 ()

()

()

() それ以外の酸

() $\alpha = 1$ に近い塩基 文字通り強い塩基

代表的な物質 ()

()

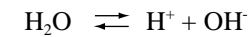
()

() それ以外の塩基

2 水の電離と水溶液の pH

A 水の電離

水はごくわずかに電離している。



25 °C の純粋な水では水素イオン H⁺ の濃度 [H⁺] と水酸化物イオンの濃度 [OH⁻] はともに 1.0×10^{-7} mol/L である。化学式を [] で囲んだものはその濃度を表す。

B pH

pH 水溶液の酸性・塩基性の強さを表す数値（水素イオン指数）。

読み () 年配の人には「ペーハー」と読む人が多い

[H⁺] と pH の関係

$$[\text{H}^+] = \text{mol/L のとき } \text{pH} =$$

例 $[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-3}$ mol/L のとき pH = 3

$[\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-12}$ mol/L のとき pH = 12

水素イオン濃度が高い \Rightarrow 酸性 水素イオンが低い \Rightarrow 塩基性

$$[\text{H}^+] = 1 \times 10^{-\text{pH}} = 1 \times \frac{1}{10^{\text{pH}}}$$

pH が大きい \Rightarrow 分母 (10^{pH}) が大きい \Rightarrow 水素イオンの濃度 [H⁺] が () い

\Rightarrow () 性が強い

pH が小さい \Rightarrow 分母 (10^{pH}) が小さい \Rightarrow 水素イオンの濃度が () い

\Rightarrow () 性が強い

pH	0	7	14
性質			
[H ⁺] (mol/L)			
[OH ⁻] (mol/L)			
[H ⁺][OH ⁻] (mol/L) ²			

pH が 1 変わる \Rightarrow [H⁺] が 10 倍変わる

水溶液の [H⁺][OH⁻] は pH によらず一定 (25 °C で 1.0×10^{-14} [(mol/L)²]) となる。

[H⁺][OH⁻] を () といい、pH の計算の際に用いる。

水素イオン濃度の求め方

$$[\text{H}^+] = \text{酸の濃度}[\text{mol/L}] \times \text{価数} \times \text{電離度}\alpha$$

$$[\text{OH}^-] = \text{塩基の濃度}[\text{mol/L}] \times \text{価数} \times \text{電離度}\alpha$$

酸性	$1 \leq \text{pH} < 7$
中性	$\text{pH} = 7$
塩基性	$7 < \text{pH} \leq 14$
水のイオン積 (25 °C)	$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-14}$

問い 25 °C における次の水溶液の水素イオン濃度 (mol/L) と pH を求めよ。

ただし、水のイオン積を $1.0 \times 10^{-14} [(\text{mol/L})^2]$ とする。

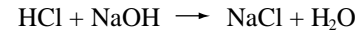
- (1) 0.10 mol/L の塩酸 ($\alpha = 1.0$)
- (2) 0.040 mol/L の酢酸水溶液 ($\alpha = 0.025$)
- (3) 0.0050 mol/L の水酸化カルシウム水溶液 ($\alpha = 1.0$)
- (4) 0.050 mol/L のアンモニア水 ($\alpha = 0.020$)

3 中和反応

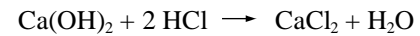
A 中和反応

中和反応 酸と塩基が反応して酸性・塩基性が互いに打ち消されること
中和反応の例

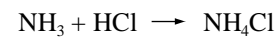
(a) 塩酸（酸）と水酸化ナトリウム水溶液（塩基）を混ぜる



(b) 水酸化カルシウム（塩基）と塩酸（酸）を混ぜる



(c) アンモニア（塩基）に塩化水素（酸）を反応させる



●中和反応では反応後、 H^+ や OH^- と対になっていた
陰イオン・陽イオンどうしからなる物質が生じる。

これを（ ）（読み方「 ）という。

●中和反応では塩ができるとともに水のできる場合が多い。

(a) (c) 一価の酸と一価の塩基 \Rightarrow (:) で反応

(b) 二価の塩基と一価の酸 \Rightarrow (:) で反応

中和に必要な酸・塩基の物質量は、酸・塩基の強さ（電離度）に関係ない。

問い 次の中和反応を化学反応式で表わせ。

(1) 酢酸 CH_3COOH と水酸化カリウム KOH

(2) 塩化水素 HCl と水酸化バリウム $\text{Ba}(\text{OH})_2$

(3) 硫酸 H_2SO_4 と水酸化ナトリウム NaOH

B 中和滴定

中和滴定 中和反応を用いて溶液の濃度を調べること

正確な濃度のわからない溶液の濃度を決めるために、
すでに正確な濃度のわかっている溶液と中和反応をする。

中和するときは

$$\text{H}^+ \text{のモル数} = \text{OH}^- \text{のモル数} \quad (1)$$

となる。モル数（物質質量）[mol]は

() \times () で求められるので、

H^+ と OH^- のモル数はそれぞれ次の式で与えられる。

$$\text{H}^+ \text{のモル数} = \frac{\text{物質質量 [mol]}}{\text{モル濃度 [mol/L]}} \quad (2)$$

$$\text{OH}^- \text{のモル数} = \frac{\text{物質質量 [mol]}}{\text{モル濃度 [mol/L]}} \quad (3)$$

(1) に (2) (3) を代入すると次の式となる。

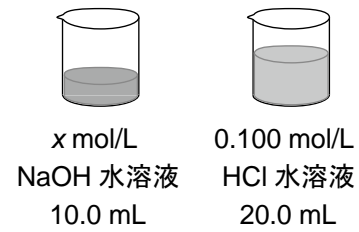
$$\frac{\text{酸の濃度 [mol/L]} \times \text{酸の体積 [L]} \times \text{酸の価数}}{\text{酸の濃度 [mol/L]} \times \text{酸の体積 [L]} \times \text{酸の価数}} = \frac{\text{塩基の濃度 [mol/L]} \times \text{塩基の体積 [L]} \times \text{塩基の価数}}{\text{塩基の濃度 [mol/L]} \times \text{塩基の体積 [L]} \times \text{塩基の価数}}$$

濃度のわからない酸（塩基）を濃度のわかる塩基（酸）で中和させる。

そのとき必要となった酸や塩基の水溶液の量を実験で求めて上の式に

代入することで正確な濃度がわかる。

問い 濃度の不明の水酸化ナトリウム水溶液がある。この水溶液 10.0 mL を中和させるには 0.100 mol/L の塩酸が 20.0 mL 必要であった。この水酸化ナトリウム水溶液の濃度は何 mol/L か。



考え方

- (a) 求める水酸化ナトリウム水溶液濃度を x mol/L と置く。
- (b) わかっている情報をもとにして

$$\text{H}^+ \text{ のモル数} = \text{OH}^- \text{ のモル数}$$

の式を立てる。

(計算の際は mol/L の式に当てはまるよう、量の単位を mL から L に換算して計算する。)

解答

酸 (塩酸) から生じる H^+ のモル数は

(塩酸の濃度) \times (塩酸の体積) \times (塩酸の価数) より

$$\quad \times \quad \times \quad = \quad \text{mol} \quad (1)$$

と求まる。

塩基 (水酸化ナトリウム NaOH 水溶液) から生じる OH^- のモル数は

(NaOH 濃度) \times (NaOH 水溶液の体積) \times (NaOH の価数) より

$$\quad \times \quad \times \quad = \quad \text{mol} \quad (2)$$

と求まる。

水溶液が中和するときは

$$\text{H}^+ \text{ のモル数} = \text{OH}^- \text{ のモル数}$$

となるので、() = () となる。(1) と (2) より、

=

$$\text{よって } x = \quad \text{[mol/L]}$$

したがって、水酸化ナトリウム水溶液の濃度は () mol/L

中和滴定の際はこの要領で水溶液の濃度を求める。

慣れてきたら次の式に数量を直接代入することで濃度を求めることができる。

$\text{酸の濃度} \times \frac{\text{酸の体積 (mL)}}{1000} \times \frac{\text{酸の価数}}{\text{価数}} = \text{塩基の濃度} \times \frac{\text{塩基の体積 (mL)}}{1000} \times \frac{\text{塩基の価数}}{\text{価数}}$
$\text{[mol/L]} \quad \text{[L]} \quad \quad \quad \text{[mol/L]} \quad \text{[L]}$