

化学基礎編

第2章

～ 物質質量と化学反応式 ～

【物質質量】

■原子量・分子量・式量■

○原子量

質量数 12 の炭素原子 ^{12}C を基準とし、その質量を 12 としたとき、他の原子の相対質量をその原子の原子量という。原子量は比較質量であるので、無名数である。

また、厳密には同位体の存在率を掛けてその荷重平均をとっている。

<例> ^{35}Cl … 相対質量 35, 存在比 76%

^{37}Cl … 相対質量 37, 存在比 24%

$$\text{塩素の原子量は} \frac{35 \times 76 + 37 \times 24}{100} = 35.5$$

○分子量

分子式中の各原子の原子量の総和…無名数

○式量

化学式（組成式、イオン式等）中の各原子の原子量の総和…無名数

■物質質量■

○アボガドロ定数 N : ^{12}C 原子 12g 中に含まれる ^{12}C 原子の数 6.02×10^{23} [mol^{-1}]

○物質質量: ^{12}C 原子 12g 中に含まれる ^{12}C 原子の数(アボガドロ数)を基準として、この数と等しい同一種類の粒子の集団を 1mol という。

$$\text{物質質量}[\text{mol}] = \frac{\text{粒子の個数}}{6.02 \times 10^{23} [\text{/mol}]}$$

○モル質量: 1mol 当たりの質量

つまり原子量・分子量・式量に g 単位をつけると、その物質の 1mol あたりの質量になる。

$$\text{物質質量}[\text{mol}] = \frac{\text{物質の質量} [\text{g}]}{\text{モル質量}[\text{g/mol}]}$$

○モル体積: 標準状態(0°C , 1atm)におけるすべての気体 1mol の体積は 22.4 L になる。

←アボガドロの法則「すべての気体は、同温・同圧・同体積中に同数の分子を含む。」

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

$1\text{mol} = 6.02 \times 10^{23} \text{個} = \frac{\text{原子量}[\text{g}]}{\text{分子量}[\text{g}]} = \frac{22.4[\text{L}]}{\text{式量}[\text{g}]} \quad (\text{標準状態の気体の場合})$

原子量 H=1.0, He=4.0, C=12, N=14, O=16, F=19, Na=23, Mg=24, Al=27, P=31, S=32, Cl=35.5, Ar=40, K=39,
Ca=40, Fe=56, Cu=64, Zn=65, Ag=108, Ba=137, Pb=207, アボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

<例題 1 >

- (1) ^{12}C 1 個の質量は $2.0 \times 10^{-23}\text{g}$, ベリリウム原子 1 個の質量は $1.5 \times 10^{-23}\text{g}$ である。
ベリリウム原子の相対質量はいくらか。
- (2) 銅には ^{63}Cu が 69.2%, ^{65}Cu が 30.8% 含まれている。銅の原子量はいくらか。
- (3) 水素分子 H_2 1.5mol は分子何個か。
- (4) 酸素分子 O_2 0.3mol は何 g か。
- (5) 二酸化炭素 CO_2 5.6L (標準状態) は何 mol か。
- (6) 水分子 H_2O 1.0×10^{23} 個は何 g か。

【1】 次の各問いに答えよ。

- (1) アルミニウム原子 ^{27}Al の相対質量は 27 である。アルミニウム原子 1 個の質量は、 ^{12}C 1 個の質量の何倍か。
- (2) 銀には ^{107}Ag と ^{109}Ag からなっており、銀の原子量は 107.9 である。
銀原子 1000 個中には ^{107}Ag が何個存在しているか。
- (3) メタノール CH_3OH 3.2g は何 mol か。また、この中に含まれる水素原子の物質質量と質量は、それぞれいくらか。
- (4) グルコース $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 0.25mol は何 g か。また、グルコース中において炭素原子は質量で何%を占めるか。
- (5) 硝酸マグネシウム $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 0.50mol は何 g か。また、この中に含まれるマグネシウムイオン Mg^{2+} は何個か。
- (6) メタン分子 CH_4 0.25mol の質量および体積を、それぞれ求めよ。

<例題 2>

5.0%塩酸溶液 400g と 10%塩酸溶液 100g を混合したとき何%の塩酸溶液になるか。

<例題 3>

ある気体の標準状態での密度は 1.25g/L であった。この気体の分子量を求めよ。

【2】次の問いに答えよ。

- (1) 水素 H_2 840mL と酸素 O_2 1120mL を混合すると、質量は何 g になるか。
- (2) ある気体の密度を測定すると、1.34g/L であった。この気体は次のどれか。
(ア) 窒素 N_2 (イ) エタン C_2H_6 (ウ) 酸素 O_2 (エ) 硫化水素 H_2S
- (3) 窒素と酸素の混合気体 5.6L 中には、何個の分子が存在するか。
- (4) 体積で、水素が 80%，酸素が 20%の混合気体がある。この混合気体の見かけの分子量を求めよ。

※密度と溶液の濃度

$$\text{固体・液体の密度}[\text{g/cm}^3] = \frac{\text{物質の質量}[\text{g}]}{\text{物質の体積}[\text{cm}^3]}$$

$$\text{気体の密度}[\text{g/L}] = \frac{\text{物質の質量}[\text{g}]}{\text{物質の体積}[\text{L}]}$$

$$\text{質量パーセント濃度}(\%) = \frac{\text{溶質の質量}(\text{g})}{\text{溶液の質量}(\text{g})} \times 100$$

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

$$\text{質量モル濃度}(\text{mol/kg}) = \frac{\text{溶質の物質量}(\text{mol})}{\text{溶媒の質量}(\text{kg})}$$

<例題4> (2007年 神戸学院大)

市販の濃硫酸の質量パーセント濃度は96%、密度1.84g/cm³である。水でうすめて6.0mol/Lの希硫酸500mLつくりたい。何mLの濃硫酸が必要か。

【3】 次の各問いに答えよ。

- (1) 尿素 5.0g を水 45g に溶かした水溶液の質量パーセント濃度は何%か。
- (2) グルコース $C_6H_{12}O_6$ 9.0g を水に溶かして 200mL にした水溶液は何 mol/L か。
- (3) 0.25mol/L の水酸化ナトリウム NaOH 水溶液 200mL 中には、NaOH は何 mol 含まれるか。また、NaOH の質量は何 g か。
- (4) 0.20mol/L 硫酸水溶液の質量パーセント濃度は何%か。ただし、水溶液の密度は $1.05g/cm^3$ とする。
- (5) 10%硫酸水溶液を用いて、0.50mol/L の水溶液を 100mL つくりたい。10%硫酸水溶液が何 g 必要か。

【4】硫酸銅(Ⅱ)五水和物 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を用いて、 0.10mol/L の硫酸銅(Ⅱ)水溶液 100mL を調整した。次の問いに答えよ。

(1) 必要な硫酸銅(Ⅱ)五水和物は何 g か。

(2) 0.10mol/L 硫酸銅(Ⅱ)水溶液 50mL 中には、銅(Ⅱ)イオン Cu^{2+} は何 g 含まれるか。

【5】 0.100mol/L のシュウ酸水溶液のつくり方として正しいものを、次の①～⑥から選べ。ただし、シュウ酸の結晶は $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ で表される。

- ① シュウ酸の結晶 9.00g を 1000mL の水に溶かす。
- ② シュウ酸の結晶 9.00g を水に溶かして 1000mL にする。
- ③ シュウ酸の結晶 9.00g を 991.0g の水に溶かす。
- ④ シュウ酸の結晶 12.6g を 1000mL の水に溶かす。
- ⑤ シュウ酸の結晶 12.6g を水に溶かして 1000mL にする。
- ⑥ シュウ酸の結晶 12.6g を 987.4g の水に溶かす。

【6】質量パーセント濃度が98%の濃硫酸の密度は 1.8g/cm^3 である。次の問いに答えよ。

- (1) この濃硫酸のモル濃度は何 mol/L か。
- (2) 3.0mol/L の硫酸水溶液 100mL をつくるのに必要な濃硫酸の体積は何 mL か。
- (3) この濃硫酸を水で希釈して、質量パーセント濃度が7.0%の硫酸水溶液を 700g 作りたい。希釈するときに必要な水の質量は何 g か。

(2006年 大阪工業大)

■発展問題■

【1】分子量 M のステアリン酸 w [g] を有機溶媒に溶かし、全体積を 100mL にした。この溶液 v [mL] を静かに水面に滴下し、溶媒を蒸発させて単分子膜を形成させた。面積を測定すると、 S_1 [cm²] であった。

- (1) 単分子膜を形成したステアリン酸の物質量は何 mol か。
- (2) ステアリン酸分子の断面積が S_0 [cm²] のとき、単分子膜中の分子数は何個か。
- (3) この実験から求められるアボガドロ定数 (単位/mol) の値はいくらか。
- (4) 単分子膜の密度 d [g/cm³] とすると、ステアリン酸分子の長さは何 cm か。

【2】(2007年 近畿大)

- (1) 密度が 0.94g/mL で、質量パーセント濃度が 36%のエタノール水溶液のモル濃度はいくらか。
- (2) 質量モル濃度が 4.0mol/kg の水酸化カリウム水溶液 60g には、水酸化カリウムは何 g 含まれているか。また、この水溶液に水 40g を加えたら、密度が 1.17g/mL の水酸化カリウム水溶液となった。この水溶液のモル濃度はいくらか。

【3】(2000年 愛知学院大)

標準状態で 470.4L のアンモニアをすべて、 1.0L の水 (水の密度は 1.0g/cm^3 とする) に溶解させたら、溶液の密度は 0.90g/cm^3 であった。アンモニア水のモル濃度を求めよ。

【4】

$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 1mol を 1kg の水に溶かした。この溶液の質量モル濃度を求めよ。

V. 【化学の基本法則と化学反応式・物質質量】

○質量保存の法則…ラボアジエ（フランス）

「化学反応の前後において、物質の総質量は変化しない。」

○定比例の法則…プールのスト（フランス）

「ある化合物を構成する成分元素の質量比は、その製法の如何を問わず、常に一定である。」

(例)炭素を燃焼させてできる二酸化炭素も、動物の呼吸中に含まれる二酸化炭素も、炭素と酸素の質量比は 3 : 8 である。

○倍数比例の法則…ドルトン（イギリス）

「2 種類の元素 A と B が化合して、いくつかの異なる化合物を作るとき、一定質量の A と 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中の炭素と酸素の質量比は、それぞれ 3 : 4 と 3 : 8 である。したがって、一定質量の炭素と化合する酸素の質量比は、一酸化炭素と二酸化炭素では、それぞれちょうど 1 : 2 の関係にある。

○気体反応の法則…ゲーリュサック（フランス）

「気体どうしの反応では、反応に関する気体の体積の間には、同温・同圧のもとでは、簡単な整数比が成り立つ。」

(例)水素と酸素が反応して水蒸気を生じるとき、反応した水素と酸素および生成した水蒸気の体積比は、同温・同圧のもとでは 2 : 1 : 2 となる。

■化学反応式■

○物理変化と化学変化

物理変化：物質の種類が変化せず、その状態だけが変わる変化。(溶解, 融解, 蒸発など)

化学変化：ある物質がもとと異なる物質に変わる変化。

化学反応：化学変化の過程。

- | | | |
|---|----|---------------------------------|
| { | 分解 | ：1つの物質から2種類以上の物質が生じる変化。 |
| | 化合 | ：2種類以上の物質からそれらとは異なる1つの物質が生じる変化。 |
| | 合成 | ：簡単な物質から複雑な物質をつくること。 |

化学反応式：反応する物質（反応物）と反応してできた物質（生成物）との関係を、化学式を用いて表したものを。

○化学反応式の作り方

(i) 反応物を左辺に、生成物を右辺に書き、両辺を「→」で結ぶ。

(ii) 各原子の数が左辺と右辺で等しくなるように、化学式に係数をつける。

また、係数は最も簡単な整数比で表し、係数が1になるときは省略する。

- ①目算法 ②未定係数法（※最終手段）

(iii) 触媒は反応式に加えない。

<例題>

(1) 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 が生成する
化学反応式

(2) エタン C_2H_6 を完全燃焼させたときの化学反応式を書け。

(3) 塩素酸カリウム KClO_3 に酸化マンガン(IV)を加えて熱すると、塩化カリウムと酸素に分解した。このときの化学反応式を書け。

(4) 次の化学反応式の係数 $a \sim e$ を定めよ。

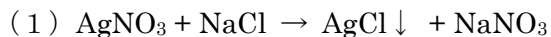


■イオン反応式■









水に溶け、しかも水中で(完全に)電離しているものは、イオンに分けて書き、それ以外のものは化学式のままで書く。その上で、左右両辺に同じイオンがあるときは、そのイオンを消去する。イオン反応式では、左辺の電荷の和と右辺の電荷の和も等しくなっている。

cf. 水中で完全電離する物質(強電解質)：強酸，強塩基，水溶性塩

<例題> 次の各反応をイオン反応式で表せ。



■化学反応式の表す意味■

	CH_4	+	2O_2	\rightarrow	CO_2	+	$2\text{H}_2\text{O}$
分子数の関係	1		2		1		2
							
物質量の関係	1		2		1		2
							
質量の関係 (質量保存の法則)	16		2×32	=	44		2×18
体積の関係 (標準状態) (気体反応の法則)	22.4		2×22.4		22.4		36ml

■化学反応の量的計算■

化学反応において、反応物や生成物の質量や気体の体積に関して量的関係を求めるには、物質量を反応式の係数比に比例させて計算するのが最も便利である。

- ① 与えられた物質の質量(g) → 物質量(mol), または,
標準状態の気体の体積(L) → 物質量への変換は, 次のように行う。

$$\text{物質量 [mol]} = \frac{\text{質量 [g]}}{\text{モル質量 [g/mol]}} = \frac{\text{標準状態の気体の体積 [L]}}{22.4 \text{ [L/mol]}}$$

- ② ①で求めた物質量と化学反応式の係数比から, 求める物質の物質量がいくらになるかを求める。
③ 求める物質の物質量から, 題意に応じて, 物質量(mol) → 質量(g),
または物質量(mol) → 標準状態の気体の体積(L)への変換を, 次のように行う。

$$\begin{aligned}\text{質量(g)} &= \text{物質量 [mol]} \times \text{モル質量 [g/mol]} \\ \text{標準状態の気体の体積 [L]} &= \text{物質量 [mol]} \times 22.4 \text{ [L/mol]}\end{aligned}$$

○反応式による気体の体積関係の計算

同温・同圧のもとでは, 同体積の気体は同数の分子を含む(アボガドロの法則)ため, 気体どうしが反応する場合には, **体積比=物質量の比=係数比**の関係が成り立つ。この場合に限り, **体積比=係数比**の関係だけで量的計算を行うことが出来る。なお, 液体や固体の体積は, 気体の体積に比べて著しく小さいので, 計算上, 無視してよい。

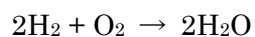
原子量 H=1.0, He=4.0, C=12, N=14, O=16, F=19, Na=23, Mg=24, Al=27, P=31, S=32, Cl=35.5, Ar=40, K=39,
Ca=40, Fe=56, Cu=64, Zn=65, Ag=108, Ba=137, Pb=207, アボガドロ定数 $6.0 \times 10^{23} / \text{mol}$

<例題 1> (質量・体積関係の計算)

標準状態のプロパン(C_3H_8) 5.6 L を空气中で完全燃焼させた。

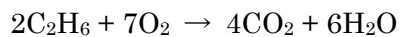
- (1) この反応で生成する二酸化炭素の質量は何 g か。
- (2) 燃焼に必要な酸素の体積は、標準状態で何 L か。

【1】水素と酸素が反応すると水が得られる。下の各問いに答えよ。



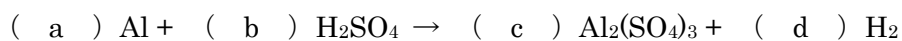
- (1) 0.50mol の水素は何 g の酸素とちょうど反応するか。また、このとき生じる水は何 g か。
- (2) 標準状態で 5.0L ずつの水素と酸素を反応させた。反応せずに残る気体の名称を記せ。また、その体積は標準状態で何 L か。

【2】標準状態で 5.6L のエタン C_2H_6 を完全燃焼させると、二酸化炭素と水が生じた。
下の問いに答えよ。



- (1) この燃焼によって、水は何 mol 生成するか。
- (2) この燃焼に必要な酸素の体積は、標準状態で何 L か。
- (3) 標準状態で 11.2L の二酸化炭素を得るには、エタンは何 g 必要か。

【3】アルミニウムに希硫酸を加えると、水素が発生し、硫酸アルミニウム $Al_2(SO_4)_3$ が生じる。下の問いに答えよ。



- (1) 係数(a)~(d)を求めよ。ただし、係数が 1 の場合には 1 と記せ。
- (2) 1.2g のアルミニウムと反応する硫酸は何 g か。
- (3) 標準状態で 1.4L の水素を得るために必要なアルミニウムは何 g か。

＜例題 2＞（過不足のある問題）

亜鉛は、希塩酸に溶けて水素を発生する。亜鉛 6.5g を 15%希塩酸 73g に溶かしたとき、次の問いに答えよ。

- (1) 発生する水素は、標準状態で何 L か。
- (2) 計算上、あと何 g の亜鉛を溶かすことができるか。

【4】 3.9g のアセチレン C_2H_2 と標準状態で 11.2L の酸素を燃焼させた。次の問いに答えよ。

- (1) この変化を化学反応式で表せ。
- (2) 反応終了後、反応せずに残る気体は何か。また、その質量は何 g か。
- (3) 生成した二酸化炭素は標準状態で何 L か。また、生成した水は何 g か。

<例題 3> (気体の体積関係の計算)

水素と一酸化炭素の混合気体 80mL に、酸素 100mL を加えて完全燃焼させたら、反応後に 90mL の気体が残った。はじめの混合気体中には、水素と一酸化炭素がそれぞれ何 mL ずつ含まれていたか。ただし、気体の体積はすべて標準状態で測定した値とする。

【5】メタン CH_4 とエタン C_2H_6 の混合気体を、十分な酸素の存在下で完全に燃焼させたところ、標準状態で 1.12L の二酸化炭素と 1.62g の水が得られた。次の問いに答えよ。

- (1) メタンの完全燃焼を化学反応式で記せ。
- (2) エタンの完全燃焼を化学反応式で記せ。(3) 燃焼前の混合気体中のメタンとエタンの物質量の比を求めよ。
- (4) この混合気体を完全燃焼させるために消費された酸素の体積は、標準状態で何 L か。

【6】窒素 3.0L と水素 5.0L を混合して触媒を加えたところ、一部反応してアンモニアが生じ、反応前と同温・同圧で体積は 7.0L になった。反応後の気体には何が何 L ずつ含まれているか。

＜例題 4＞（混合物の純度の計算）

不純物を含んだ大理石（主成分は炭酸カルシウム CaCO_3 ）1.0g をとり、十分量の希塩酸と反応させたところ、二酸化炭素が標準状態で 196mL 発生した。この大理石の純度は何%か。ただし、この不純物は塩酸とは反応しないものとする。

【7】カーバイド CaC_2 が水と反応するとアセチレン C_2H_2 と水酸化カルシウムになる。不純なカーバイド 2.5g と水との反応で標準状態のアセチレン 0.70L が発生した。カーバイドの純度は何%か。

<例題 5> (原料と最終生成物に関する質量計算)

純度 80%の硫黄鉱石 1kg を燃焼させて二酸化硫黄とし、さらにこの二酸化硫黄を酸化して三酸化硫黄に変え、これを水と反応させて 95%の濃硫酸を製造した。これらの反応はすべて完全に進行したものとして、得られる濃硫酸は何 kg か。

■ 発展問題 ■

【1】炭素と水素のみからなる化合物 5.8mg を完全燃焼させたところ、水 9.0mg が生じた。このとき、標準状態で何 mL の二酸化炭素が生成したか。

【2】ある金属 M 0.20mol と十分な量の塩酸の反応で、標準状態の水素 6.72L が発生した。金属を M と表して、この金属と塩酸の反応の化学反応式を記せ。

【3】炭酸ナトリウム水溶液を濃縮すると、無色の十水和物の結晶が析出する。

この結晶 5.72g を水に溶かして、密度 1.095g/cm³、質量パーセント濃度 20.0%の塩酸を少しずつよく混ぜながら 5.00mL 加えたところ、二酸化炭素が発生した。
発生した二酸化炭素をすべて捕集して、十分な量の石灰水に通すと白色沈殿が生じた。ただし、二酸化炭素は水に溶けないとする。

- (1) 下線部の反応はまず、炭酸水素ナトリウムが生じる反応、続いて二酸化炭素が生じる反応と 2 段階で起こる。それぞれの化学反応式を記せ。
- (2) 下線部の反応で発生した二酸化炭素は標準状態で何 mL か。
- (3) 得られた白色沈殿の化学式を示せ。また、その質量は何 g か。

【4】硫酸と塩酸の混合水溶液がある。これに 0.020mol の塩化バリウムを含む水溶液を加えたところ、硫酸バリウムの沈殿 2.33g が生じた。この沈殿を除いたろ液に 0.060mol の硝酸銀を含む水溶液を加えたところ、塩化銀の沈殿 7.17g が生じた。
最初の混合水溶液中の硫酸と塩酸はそれぞれ何 mol か。

【5】水素，メタンおよび酸素の混合気体 120mL を完全に反応させ，十酸化四リンで水を吸収したところ，その気体は 42mL になった。この残った気体を水酸化ナトリウム水溶液に通じると，酸素のみが 30mL 残った。最初の水素とメタンの物質量の比はいくらか。