2. 物質量と化学反応式

14. 同位体と原子量の計算

(1)

「平均値＝基準値＋基準値との差の平均値」で解くと楽である。

^{35}Cl の相対質量 35.0 を原子量を求めるための基準値とすると，

$$\text{Clの原子量} = 35.0 + \frac{(35.0-35.0)\times 75.8\% + (37.0-35.0)\times 24.2\%}{100\%}$$
$$= 35.0 + \frac{2.0\times 24.2}{100}$$
$$\approx 35.5$$

原子量

同じ元素に属する原子（同位体）の相対質量の平均値をその元素の原子量という。

同位体が存在しない元素の場合

その元素に属する原子は一種類しかないから，原子の相対質量＝元素の原子量である。

同位体が存在する元素の原子量の場合

たとえば，塩素元素には相対質量が 35.0 の ^{35}Cl と 37.0 の ^{37}Cl の 2 つの同位体があり，全体を 100%とすると存在比（%）はそれぞれ 75.8%と 24.2%である。

よって，

$$\text{塩素の原子量} = \frac{{}^{35}\text{Clの相対質量}\times{}^{35}\text{Clの存在比} + {}^{37}\text{Clの相対質量}\times{}^{37}\text{Clの存在比}}{100\%}$$
$$= \frac{35.0\times 75.8\% + 37.0\times 24.2\%}{100\%}$$
$$\approx 35.5$$

一見むずかしそうではあるが，原子量の求め方は，

ある値についての 100 人の平均の求め方と同じである。

例題）

１ヶ月の通学費 4 千円の生徒が 30 人，6 千円の生徒が 20 人，8 千円の生徒が 50 人いる。

100 人の平均通学費は?

解答）

$$\text{平均通学費} = \frac{100\text{人の総通学費}}{100\text{人}}$$
$$= \frac{4000\text{円}\times 30\text{人} + 6000\text{円}\times 20\text{人} + 8000\text{円}\times 50\text{人}}{100\text{人}} = \frac{640000\text{円}\cdot\text{人}}{100\text{人}}$$
$$= 6400\text{円}$$

原子量の求め方との対応関係は,

平均通学費 ⇔ 原子量

各通学費 ⇔ 同位体の相対質量

100 人 ⇔ 100%

各人数 ⇔ 存在比（%）

$$\text{平均通学費} = \frac{\text{各通学費} \times \text{人数の合計}}{100}$$

$$\text{原子量} = \frac{\text{各同位体の相対質量} \times \text{存在比}(\%)\text{の合計}}{100\%}$$

ということ。

重要：原子量の楽な求め方

「**平均値＝基準値＋基準値との差の平均値**」を使うと平均値が楽に求められる。

したがって，原子量も，以下のようにして求めるのが楽である。

$$\textbf{基準とする同位体の相対質量} + \frac{\textbf{基準とする同位体との相対質量の差} \times \textbf{存在比}(\%)\textbf{の総和}}{\mathbf{100\%}}$$

たとえば，先ほどの塩素の原子量をこの方法で求めてみると,

$$\text{Cl の原子量} = 35.0 + \frac{(35.0 - 35.0) \times 75.8\% + (37.0 - 35.0) \times 24.2\%}{100\%}$$
$$= 35.0 + \frac{2.0 \times 24.2}{100}$$
$$\approx 35.5$$

と前者の方法より明らかに楽である。

注意

原子量とは同位体の相対質量の平均値のことだから同位体の存在比の影響を受ける。

したがって、原子番号の大きさの順と原子量の大きさの順は必ずしも一致しない。

事実, 原子番号 18 の Ar の原子量は 39.95 で, 原子番号 19 の K の原子量は 39.10 である。

つまり,

原子番号の大きさについては，Ar の原子番号 < K の原子番号であるが,

原子量の大きさについては，Ar の原子量 > K の原子量である。

これは,

Ar の同位体 ^{36}Ar, ^{38}Ar, ^{40}Ar のうち ^{40}Ar が 99.6%を占めるのに対し,

K の同位体 ^{39}K, ^{40}K, ^{41}K のうち ^{39}K が 93.1%を占めることによる。

「**Ar と K では原子量と原子番号の順が一致しない**」ことは入試に出たことがあるので,

要注意

(2)

方法 1

組み合わせ表を使って解く。

$^{35}\mathrm{Cl}$ の存在割合 $= \dfrac{3}{3+1} = \dfrac{3}{4}$

$^{37}\mathrm{Cl}$ の存在割合 $= \dfrac{1}{3+1} = \dfrac{1}{4}$

	$\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl}$	$\frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}$
$\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl}$	$\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} \times \frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} = \frac{9}{16}\ {}^{35}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{35}\mathrm{Cl}$	$\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} \times \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl} = \frac{3}{16}\ {}^{35}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{37}\mathrm{Cl}$
$\frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}$	$\frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl} \times \frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} = \frac{3}{16}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{35}\mathrm{Cl}$	$\frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl} \times \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl} = \frac{1}{16}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{37}\mathrm{Cl}$

$^{35}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{35}\mathrm{Cl}$ の相対質量＝70.0

$^{35}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{37}\mathrm{Cl}$ の相対質量＝72.0

$^{37}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{35}\mathrm{Cl}$ の相対質量＝72.0

$^{37}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{37}\mathrm{Cl}$ の相対質量＝74.0

よって，$70.0 : 72.0 : 74.0 = \dfrac{9}{16} : \dfrac{3}{16}\times 2 : \dfrac{1}{16} = 9 : 6 : 1$

方法 2

式を展開して解く。

上の表は，$\left(\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} + \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\right) \times \left(\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} + \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\right)$ を展開したものと同じである。

したがって，表ではなく，式の展開で処理すると，

$$\left(\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} + \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\right) \times \left(\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} + \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\right) = \left(\frac{3}{4}\ {}^{35}\mathrm{Cl} + \frac{1}{4}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\right)^2$$

$$= \frac{9}{16}\ {}^{35}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{35}\mathrm{Cl} + 2 \times \frac{3}{16}\ ({}^{37}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{35}\mathrm{Cl}) + \frac{1}{16}\ {}^{37}\mathrm{Cl}\text{-}{}^{37}\mathrm{Cl}$$

となる。

よって，$70.0 : 72.0 : 74.0 = \dfrac{9}{16} : \dfrac{3}{16}\times 2 : \dfrac{1}{16} = 9 : 6 : 1$

生物の遺伝問題で，この式処理の方法を使うと表を使うより楽な場合が多々ある。

式の展開で解く方法の利点

例 1

$^{1}\mathrm{H}$， $^{2}\mathrm{H}$， $^{3}\mathrm{H}$ の存在割合を p， q， r $(p+q+r=1)$ とし，
このときの $\mathrm{H_2}$ の各分子種の存在割合を求める場合

$\left(p{}^{1}\mathrm{H}+q{}^{2}\mathrm{H}+r{}^{3}\mathrm{H}\right)^2$ を展開したときの，$^{1}\mathrm{H}$-$^{1}\mathrm{H}$，$^{2}\mathrm{H}$-$^{2}\mathrm{H}$，$^{3}\mathrm{H}$-$^{3}\mathrm{H}$，$^{1}\mathrm{H}$-$^{2}\mathrm{H}$，$^{2}\mathrm{H}$-$^{3}\mathrm{H}$，

$^{3}\mathrm{H}$-$^{1}\mathrm{H}$ の各係数， p^2， q^2， r^2， $2pq$， $2qr$， $2rp$ がそれぞれの存在率になる。
$\left(\because p^2+q^2+r^2+2pq+2qr+2rp=(p+q+r)^2=1^2=1\right)$

例 2

$^{16}\mathrm{O}$， $^{17}\mathrm{O}$， $^{18}\mathrm{O}$ の存在割合を s， t， u $(s+t+u=1)$ とし，
このとき分子種が $^{16}\mathrm{O}$-$^{16}\mathrm{O}$-$^{17}\mathrm{O}$ のオゾンの存在割合を求める場合

予備知識： $(ax+by+cz)^n$ の $x^p y^q z^r$ $(p+q+r=n)$ の係数を求め方
n 個の $(ax+by+cz)$ を一列に並べ，各 $(ax+by+cz)$ から ax, by, cz のいずれか 1 つを選ぶ。
このとき ax が p 個， by が q 個， cz が r 個となるような選び方の数は，

p 個の ax， q 個の by， r 個の cz からなる順列の総数と等しいから， $\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}$

よって， $x^p y^q z^r$ の項の係数は $\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}a^p b^q c^r$

つまり，

$$
\begin{array}{cccccccc}
(ax+by+cz) & (ax+by+cz) & (ax+by+cz) & (ax+by+cz) & (ax+by+cz) & \cdots & (ax+by+cz) & (ax+by+cz) \\
\downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \cdots & \downarrow & \downarrow \\
a & b & c & b & b & \cdots & c & a
\end{array}
$$

$$\Downarrow$$

$$a\times b\times c\times b\times b\times\cdots\times c\times a=a^p b^q c^r$$

このような掛け算が全部で $\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}$ 通りできる。よって，係数は $\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}a^p b^q c^r$

とくに， $a+b+c=1$ のとき，
$(a+b+c)^n=1^n=1$ だから， $(ax+by+cz)^n$ を展開したときの係数の総和は 1 である。

この場合， $\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}a^p b^q c^r$ は， $x^p y^q z^r$ の項の存在割合となる。

以上より，

分子種が $^{16}\mathrm{O}$-$^{16}\mathrm{O}$-$^{17}\mathrm{O}$ のオゾンの存在割合

$\left(s{}^{16}\mathrm{O}+t{}^{17}\mathrm{O}+u{}^{18}\mathrm{O}\right)^3$ $(s+t+u=1)$ を展開したときの，

$\left({}^{16}\mathrm{O}\right)^2\cdot{}^{17}\mathrm{O}$ の係数 $\dfrac{3!}{2!\cdot 1!\cdot 0!}s^2t=3s^2t$ が求めるオゾンの存在割合である。

(3)

別解

陽子数が 78 だから，中性子数の平均は$195.08-78=117.08$

四番目の同位体の存在比をx%とすると，

三番目の同位体の存在比は$100-(34+33+x)=33-x$%

中性子数 116 を基準にし，中性子数の平均を求めると，

$$116+\frac{(117-116)\times 34\%+(116-116)\times 33\%+(118-116)(33-x)\%+(120-116)\times x\%}{100\%}$$

$$=116+\frac{100+2x}{100}$$

$$=117+\frac{2x}{100}$$

よって，$117+\dfrac{2x}{100}=117.08 \quad \therefore x=4$

19．原子量の計算

(1)

(b)

$4M + 3O_2 \rightarrow 2M_2O_3$ より，

2mol の M が反応すると 1mol の M_2O_3 が生成する。

よって，M の原子量をxとすると，

$2x$ g の M が反応するとき生成する M_2O_3 は$2x+48$ g

9.0g の M が反応すると 17g の M_2O_3 が生成したから，$\dfrac{2x}{9.0}=\dfrac{2x+48}{17} \quad \therefore x=27$

(2)

$MCO_3 \rightarrow MO + CO_2$ より，1mol の MCO_3 が熱分解すると CO_2 が 1mol 発生する。

よって，M の原子量をyとすると，

$y+60$ g の MCO_3 が熱分解するとき発生する CO_2 は 44g

25g の MCO_3 が熱分解すると 11g の CO_2 が発生したから，$\dfrac{y+60}{25}=\dfrac{44}{11} \quad \therefore y=40$

22．気体の燃焼

標準状態の体積のまま扱うと速く解ける。

同温同圧下では，気体の体積比＝気体の物質量比が成り立つから，

気体の体積と気体の物質量は比例関係にある。

したがって，標準状態で与えられた気体の体積をそのまま化学量論的に扱うとよい。

わざわざ物質量に換算していては大変である。

そこで，標準状態の体積で扱うことにする。

	C_3H_8	+	$5O_2$	→	$3CO_2$	+	$4H_2O$
反応前	1.68L		8.96L		0L		0L
変化	-1.68L		-5×1.68L		$+3\times1.68$L		$+4\times1.68$L
反応後	0L		0.56L		5.04L		6.72L

(2)

$$\frac{0.56\text{L}}{22.4\text{L/mol}}\times 32\text{g/mol}=0.80\text{g}$$

(3)

5.0L

(4)

$$18\times\frac{6.72}{22.4}=5.4\text{ g}$$

補足

物質量で扱うと，

	C_3H_8	+	$5O_2$	→	$3CO_2$	+	$4H_2O$
反応前	$\frac{1.68}{22.4}$mol		$\frac{8.96}{22.4}$mol		0mol		0mol
変化	$-\frac{1.68}{22.4}$mol		$-5\times\frac{1.68}{22.4}$mol		$+3\times\frac{1.68}{22.4}$mol		$+4\times\frac{1.68}{22.4}$mol
反応後	0mol		$\frac{0.56}{22.4}$mol		$\frac{5.04}{22.4}$mol		$\frac{6.72}{22.4}$mol

分母が同じだから，標準状態の体積のまま扱っていいことがわかる。

気体を体積のまま扱えるのは，気体の体積が同温同圧下の場合であればよく，

標準状態に限ったものではない。

したがって，同温同圧下の体積であれば，とりあえずその体積のまま化学量論的に扱い，

必要なときに物質量に換算すればよい。

25．化学の基礎法則（年代順）

1．ボイルの法則（1662 年　ボイル　イギリス）

温度一定のとき，一定質量の気体の圧力とその体積は互いに反比例する。

2．質量保存の法則（1788 年　ラボアジェ　フランス）

化学変化の前後で物質の全質量は変化しない

補足

アインシュタインの関係と質量保存の法則

アインシュタインの関係 $\Delta E = \Delta mc^2$ は，エネルギーと質量が等価であることを意味する。

（ΔE ：エネルギー変化$[\mathrm{J}]$，Δm ：質量変化$[\mathrm{kg}]$，c ：光速 $3 \times 10^8\ [\mathrm{m/s}]$）

つまり，「エネルギー変化が起こる⇔質量変化が起こる」ということ。

（物質のエネルギーが ΔE 変化すると，物質の質量が $\Delta m = \dfrac{\Delta E}{c^2}$ 変化する。
物質の質量が Δm 変化すると，物質のエネルギーが $\Delta E = \Delta mc^2$ 変化する。）

よって，質量も，広い意味で，エネルギーの一つである。

$\Delta E = \Delta mc^2$ が正しいことは，核分裂や核融合など原子核反応の実験により証明されている。

化学反応では，反応前と反応後で，物質の総エネルギー量も変化するので，

質量保存の法則は厳密には成り立たないということになる。

とはいえ，化学反応のレベルでは問題にならない変化である。

たとえば反応熱が 1000kJ のときの質量変化は，

$$\Delta m = \frac{1000 \times 10^3[\mathrm{J}]}{(3.0 \times 10^8[\mathrm{m/s}])^2} = \frac{1000 \times 10^3}{9.0 \times 10^{16}}[\mathrm{kg}] \approx 1.1 \times 10^{-11}[\mathrm{kg}] = 1.1 \times 10^{-8}[\mathrm{g}] = 11[\mathrm{ng}]$$

しかない。

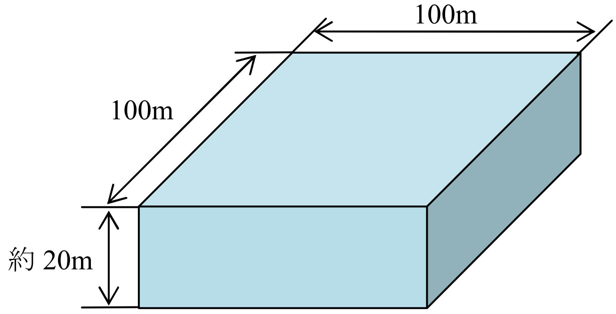
また，質量変化が 1.0g のときのエネルギー変化は，

$1.0 \times 10^{-3}[\mathrm{kg}] \times (3.0 \times 10^8[\mathrm{m/s}])^2 = 0.90 \times 10^{14}[\mathrm{J}]$ もあり，

質量が 1.0g 減少すると，それだけのエネルギーが放出されることになる。

それがすべて熱エネルギーであると仮定すると，

1 気圧の下，面積 1 ヘクタール，深さ約 20m の 0℃の水を沸騰させられる量である。



3．定比例の法則（1799 年　プルースト　フランス）

化合物中の成分元素の質量比は，製法に関係なく，常に一定である。

たとえば，水では，酸素と水素の質量比が 7.9369 : 1 になっている。

補足

この法則に従わない化合物を非化学量論的化合物（ベルトライド化合物）という。

例えば, 磁硫鉄鉱の組成は FeS ではなく, Fe_6S_7 から $Fe_{11}S_{12}$ の間のいろいろな組成をもつ。

これは，結晶内の陰イオンまたは陽イオンがいくらか欠損しているためと考えられている。

ベルトライド化合物とも呼ばれるのは，定比例の法則を唱えるプルーストとそれを認めないベルトレとの論争にちなむ。

（磁硫鉄鉱は，半導体や固体触媒などへの応用が考えられ，広く研究されている）

4．分圧の法則（ドルトンの法則）（1802 年　ドルトン　イギリス）

混合気体の圧力は，各成分気体の分圧の和に等しい。

分圧

混合気体と同温同体積の条件下で，混合気体の成分気体が示す圧力

分かりやすくいえば，

「容器の体積＝気体の体積」だから，混合気体の入った容器と温度はそのままにし，

気体を成分気体 A だけにしたとき，気体 A が示す圧力を「気体 A の分圧」という。

気体 A の分圧＝気体 A のモル分率×混合気体の圧力（全圧）

$$\text{気体 A のモル分率} = \frac{\text{気体 A の物質量}}{\text{混合気体の物質量}}$$

補足

一方，混合気体の圧力と温度はそのままにし，気体を成分気体 A だけにしたとき，

気体 A が示す体積＝気体 A のモル分率×混合気体の体積（全体積）となる。

5．倍数比例の法則（1803 年　ドルトン　イギリス）

2 元素 A と B から 2 種以上の化合物が生成する場合，A の量を一定としたとき，A と化合する B の量は簡単な整数比になる。例えば，炭素と酸素からつくられる 2 種類の化合物において，一方は 12g の炭素に 16g の酸素が化合してできるが，もう一方は 12g の炭素に 32g の酸素が化合してできる。したがって，一定量の炭素と化合する酸素の量は 16 : 32，すなわち 1 : 2 となる。（前者の化合物は CO，後者の化合物は CO_2）

6．ヘンリーの法則（1803 年　ヘンリー　イギリス）

液体に溶け込む気体の量はその気体の分圧に正比例する。

補足 1

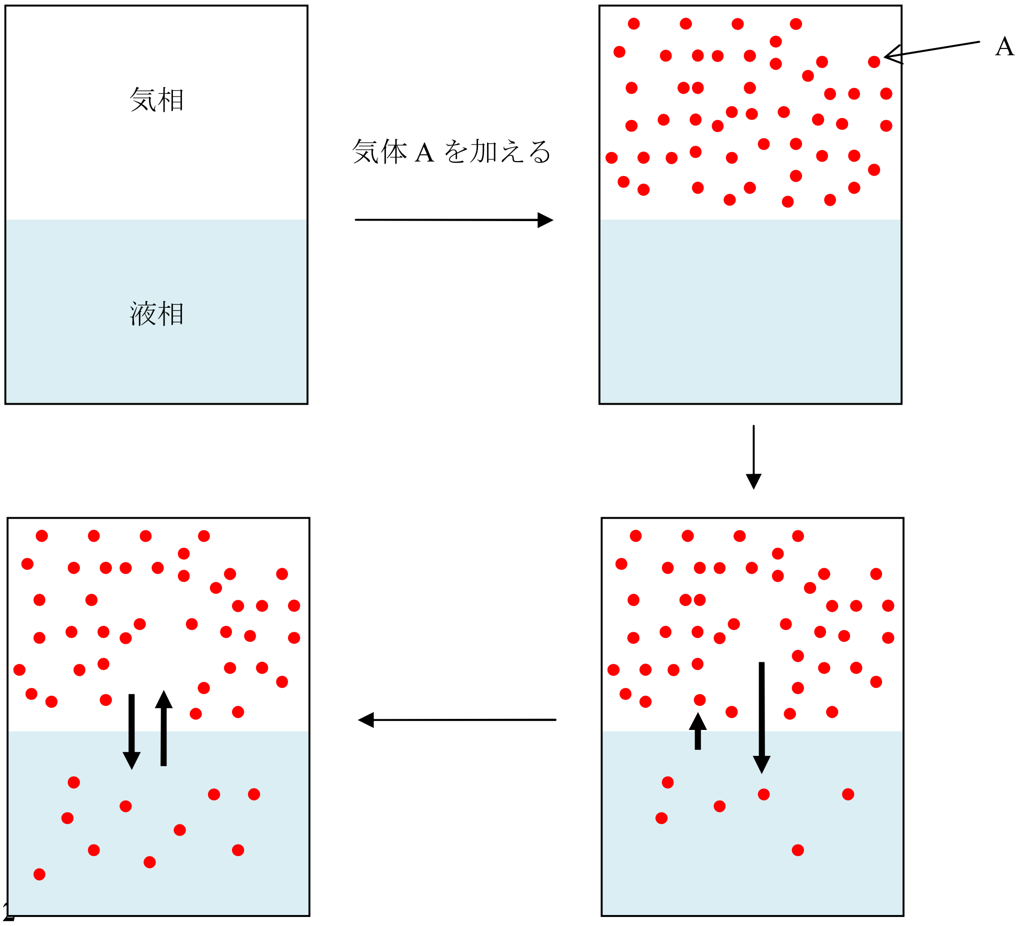
一定温度の下，液体と気体からなる相に気体 A を加えると，気体 A は液体に溶けるが，

溶けていくにつれ気体 A の分圧（あるいは気相中の濃度）が小さくなっていく。

そのため，気体 A が液体に溶ける速度が小さくなっていく。

逆に，液体に溶けた気体 A の液相中の濃度は大きくなっていくが，それに従い，

気体 A が液体中から気体中へ出て行く速度も大きくなっていく。
やがて，気体 A が液体に溶ける速さと液体中から出て行く速さがつり合い，
つまり，平衡状態となり，気体 A の液相中の濃度と気相中の濃度の比が一定になる。



補足 2

分配

2 種類の相が共存しているところに，任意の物質 A を加えると，
物質 A は両方の相それぞれに対する親和性の違いにより，
どちらか一方の相に主に溶解あるいは吸収され，残りが他の相に移る。
このようなとき，「物質 A は・・・と～の両相に分配された」という。
(「有機溶媒と水の両相に分配された」「イオン交換樹脂と水の両相に分配された」など)
一定温度の条件下では，物質 A の両相における濃度の比は一定であり，
この比の値を「分配比」あるいは「分配定数」という。

7. 気体反応の法則 (ゲイ・リュサックの第二法則) (1805 年　ゲイ・リュサック　フランス)

いくつかの気体が同温同圧条件の下で反応するとき，
反応物および生成物の体積は簡単な整数比になる。
たとえば，水素と酸素が反応し，水蒸気ができる反応では，

反応する水素と酸素，生成する水蒸気の体積の比は，
同温同圧の条件下では，2 : 1 : 2 という簡単な整数比になる。
「アボガドロの法則」は「気体反応の法則」をもとにして導かれたともいえる。

補足

ゲイ・リュサックの第一法則（シャルルの法則）

定圧条件下で，0℃および t ℃のときの気体の体積をそれぞれ V_0，V_t とすると，

$$V_t = V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

簡単にいえば,「定圧条件下では, 気体の体積の変化は温度変化に比例する」ということ。
この法則は 1787 年にシャルルよって発見され,
1802 年にゲイ・リュサックによって精密に確立された。

8．アボガドロの法則（1811 年　アボガドロ　イタリア）

同温同圧同体積の気体は同数の分子を含む。

9．総熱量保存の法則（ヘスの法則）（1840 年　ヘス　ロシア）

反応物が一連の化学反応によって生成物へ変化する際の各段階の反応熱の合計は,
反応物から生成物が直接得られた場合の反応熱と等しい。
この法則を使えば，ある反応熱を直接測定することができなくても,
その反応の各段階の反応熱を測定することができれば，間接的に求めることができる。

補足

「ヘスの法則」は「エネルギー保存則」の一つの形に過ぎないが,
「ヘスの法則」と「エネルギー保存則」を区別して呼ぶのは,
「ヘスの法則」が「エネルギー保存則」より先に発見された法則だからである。

10．質量作用の法則（1863 年　グルベル＆ウォーゲ　ノルウェイ）

均一系の可逆反応について見出された関係で,
可逆反応：$a\mathrm{A} + b\mathrm{B} + \cdots \rightleftarrows a'\mathrm{A'} + b'\mathrm{B'} + \cdots$　が平衡状態にあるとすれば,

一定温度条件の下,

$$\frac{[\mathrm{A'}]^{a'}[\mathrm{B'}]^{b'}\cdots}{[\mathrm{A}]^{a}[\mathrm{B}]^{b}\cdots} = K_C \quad \left(\ [\ ]\text{はモル濃度を表す記号}\right)$$

K_C は濃度平衡定数とよばれ，温度のみによって決まる定数である。

という関係が成立する。
また,
反応系が気体のときは，左辺のモル濃度の代わりに気体の分圧を用いることができ,
このときの平衡定数 K_P は，圧平衡定数とよばれる。

$$\frac{p_{\mathrm{A'}}{}^{a'}\cdot p_{\mathrm{B'}}{}^{b'}\cdots}{p_{\mathrm{A}}{}^{a}\cdot p_{\mathrm{B}}{}^{b}\cdots} = K_P$$

27. 金属の混合物の組成

できるだけ求めるべき値を x とおいて式をたてるようにする。そうするほうが速い。

希塩酸と反応しないのは銅なので，マグネシウムと鉄の質量の和は 0.40g である。

よって，鉄の質量を x g とすると，マグネシウムの質量は $0.40-x$ g

$Fe+2HCl \rightarrow FeCl_2+H_2\uparrow$ より，

鉄 1mol から水素が 1mol 発生する。

これを与えられた単位に換算すると，鉄 56g から水素が標準状態で 224×10^3 mL 発生する。

したがって，鉄 x g から水素が $\dfrac{x}{56}\times224\times10^3$ mL 発生する。

同様に， $Mg+2HCl \rightarrow MgCl_2+H_2\uparrow$ より，

マグネシウム $0.40-x$ g から水素が $\dfrac{0.40-x}{24}\times224\times10^3$ mL 発生する。

発生した水素は全部で 224mL だから， $\dfrac{x}{56}\times224\times10^3+\dfrac{0.40-x}{24}\times224\times10^3=224$

よって， $\dfrac{x}{56}+\dfrac{0.40-x}{24}=0.0100 \Leftrightarrow \dfrac{3x}{168}+\dfrac{7(0.40-x)}{168}=0.0100$ より， $4x=1.12 \quad \therefore x=0.28$ g

ゆえに，鉄の質量百分率は $\dfrac{0.28}{1.00}\times100\%=28\%$

補足

$56=7\cdot2^3$, $24=3\cdot2^3$ より， 56 と 24 の最小公倍数は $2^3\cdot7\cdot3=168$

28. 同位体の物質量比

^{63}Cu と ^{65}Cu の物質量比を ^{63}Cu ： ^{65}Cu ＝ t ： $1-t$ とすると，

平均相対質量は $63t+65(1-t)=65-25t$ ・・・①

15.9g の Cu が 19.9g の CuO に変化したから，

CuO に含まれる O は 4.0g，すなわち $\dfrac{4.0}{16.0}=0.25$ mol

CuO は，Cu と O の物質量比が 1：1 だから，15.9g の Cu の物質量も 0.25mol

よって，Cu の平均相対質量は， $15.9\times4=63.6$ ・・・②

①，②より， $65-2t=63.6 \quad \therefore t=0.7$

ゆえに， ^{63}Cu と ^{65}Cu の物質量比は

^{63}Cu ： ^{65}Cu ＝ t ： $1-t$

＝0.7：0.3

＝1： $\dfrac{3}{7}$

≒1：0.43

30. メタンハイドレート

ポイント

・計算のミスせぬよう数値に単位をつけて計算する。

(2)

メタンハイドレート（固体）1m^3 の物質量を求める

メタンハイドレートのモル質量

$$\frac{478\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} \quad ・・・①$$

メタンハイドレート（固体）1m^3 の質量

$$\begin{aligned}\mathrm{cm}^3 &= \left(10^{-2}\,\mathrm{m}\right)^3\\ &= 10^{-6}\,\mathrm{m}^3\end{aligned}$$

したがって，

$$\begin{aligned}\mathrm{g/cm}^3 &= \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm}^3}\\ &= \frac{\mathrm{g}}{10^{-6}\,\mathrm{m}^3}\\ &= \frac{10^6\,\mathrm{g}}{\mathrm{m}^3}\end{aligned}$$

よって，メタンハイドレート（固体）1m^3 あたりの密度は $0.91\mathrm{g/cm}^3 = \dfrac{0.91\times10^6\,\mathrm{g}}{\mathrm{m}^3}$

ゆえに，メタンハイドレート（固体）1m^3 の質量は $0.91\times10^6\,\mathrm{g}$ ・・・②

①，②より，メタンハイドレート（固体）1m^3 の物質量は

$$\begin{aligned}0.91\times10^6\,\mathrm{g}\div\frac{478\mathrm{g}}{\mathrm{mol}} &= 0.91\times10^6\,\mathrm{g}\times\frac{\mathrm{mol}}{478\mathrm{g}}\\ &= \frac{0.91\times10^6}{478}\,\mathrm{mol}\end{aligned}$$

メタンハイドレート（固体）1m^3 から得られるメタンガスの標準状態における体積を求める

メタンハイドレートの化学式 $4CH_4・23H_2O$ より，

1mol のメタンハイドレートに含まれるメタン CH_4 は 4mol である。

よって，$\dfrac{0.91\times10^6}{478}$ mol のメタンハイドレートから得られるメタンの物質量は

$$4\times\frac{0.91\times10^6}{478}\,\mathrm{mol} \quad ・・・③$$

気体 1mol の標準状態における体積は，この問題文中に指示はないが，

$$\frac{22.4\mathrm{L}}{\mathrm{mol}}=\frac{22.4\times10^{3}\,\mathrm{cm}^{3}}{\mathrm{mol}}$$
$$=\frac{22.4\times10^{3}\times10^{-6}\,\mathrm{m}^{3}}{\mathrm{mol}}$$
$$=\frac{22.4\times10^{-3}\,\mathrm{m}^{3}}{\mathrm{mol}}\quad\cdot\cdot\cdot④$$

③，④より，

メタンハイドレート（固体）$1\mathrm{m}^3$ から得られるメタンの標準状態における体積は，

$$4\times\frac{0.91\times10^{6}}{478}\mathrm{mol}\times\frac{22.4\times10^{-3}\,\mathrm{m}^{3}}{\mathrm{mol}}=\frac{4\times0.91\times10^{6}\times22.4\times10^{-3}}{478}\mathrm{m}^{3}$$
$$=\frac{4\times0.91\times22.4\times10^{3}}{478}$$
$$\approx1.70\times10^{2}\,\mathrm{m}^{3}$$

よって，$1.7\times10^{2}\,\mathrm{m}^{3}$

(3)

1mol のメタンハイドレートが完全燃焼したとき得られる水の物質量

1mol の $4CH_4$・$23H_2O$ は，4mol の CH_4 と 23mol の H_2O に分解し，

さらに 4mol の CH_4 が完全燃焼（化学反応式：$CH_4+2O_2\rightarrow CO_2+2H_2O$）すると

4mol の CO_2 と 8mol の H_2O が生成する。

よって，1mol のメタンハイドレートが完全燃焼したとき得られる水の物質量は

$23+8=31\,\mathrm{mol}$

メタンハイドレート（固体）$\mathbf{1m^3}$ が完全燃焼したとき得られる水の物質量

メタンハイドレート（固体）$1\mathrm{m}^3$ の物質量は

$$0.91\times10^{6}\,\mathrm{g}\div\frac{478\mathrm{g}}{\mathrm{mol}}=0.91\times10^{6}\,\mathrm{g}\times\frac{\mathrm{mol}}{478\mathrm{g}}$$
$$=\frac{0.91\times10^{6}}{478}\mathrm{mol}$$

だから，

得られる水の物質量は $31\times\dfrac{0.91\times10^{6}}{478}\approx5.90\times10^{4}\,\mathrm{mol}$

よって，$5.9\times10^{4}\,\mathrm{mol}$

31．混合気体の燃焼と体積

同温同圧条件下においては，気体の体積と物質量は比例関係にあるので，
気体の体積を気体の物質量と同等に扱える。
そこで，反応前の H_2，C_2H_2，CO の体積をそれぞれ x mL，y mL，z mL とすると，
$x+y+z=50$
それぞれの完全燃焼における体積変化以下に示す。尚，扱いやすさの目的で，化学反応式の書き方のルールを無視し，H_2，C_2H_2，CO の係数を 1 とした。

$$
\begin{array}{lcccccc}
 & H_2 & + & \frac{1}{2}O_2 & \rightarrow & H_2O \\
\text{気体の体積変化} & -x & & -\frac{1}{2}x & &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lcccccccc}
 & C_2H_2 & + & \frac{5}{2}O_2 & \rightarrow & 2CO_2 & + & H_2O \\
\text{気体の体積変化} & -y & & -\frac{5}{2}y & & +2y & &
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{lcccccc}
 & CO & + & \frac{1}{2}O_2 & \rightarrow & CO_2 \\
\text{気体の体積変化} & -z & & -\frac{1}{2}z & & +z
\end{array}
$$

よって，

$$
\begin{aligned}
\text{全体の体積変化} &= -(x+y+z)-\left(\frac{1}{2}x+\frac{5}{2}y+\frac{1}{2}z\right)+2y+z \\
&= -\frac{3}{2}(x+y+z)+z \\
&= -\frac{3}{2}\times 50+z \\
&= -75+z \quad \cdots ①
\end{aligned}
$$

一方，与えられ数値から，
$\text{全体の体積変化}=37.5-(50+60)=-72.5 \quad \cdots ②$
①，②より，$-75+z=-72.5 \quad \therefore z=2.5 \quad \cdots ③$
CO_2 の体積 $=2y+z \quad \cdots ④$
一方，与えられた数値から，

$$
\begin{aligned}
CO_2\text{の体積} &= \text{水酸化ナトリウム水溶液に通したときの体積の減少量} \\
&= 37.5-12.5 \\
&= 25 \quad \cdots ⑤
\end{aligned}
$$

④，⑤より，$2y+z=25$
これと③より，$2y+2.5=25 \quad \therefore y=11.25$
ゆえに，11mL

32．反応量の計算

解法 1：組成式から解く

Fe_2O_3 の組成比 Fe：O＝2：3

生成した Fe の物質量$=\dfrac{200\times0.98}{56}=\dfrac{7}{2}$ mol

よって，O の物質量$=\dfrac{7}{2}\times\dfrac{3}{2}=\dfrac{21}{4}$ mol　・・・①

O は CO と CO_2 からのであり，

CO の物質量：CO_2 の物質量＝37：13 より，

C の物質量：O の物質量＝$(37+13)$：$(37+2\times13)$＝50：63

これと①より，C の物質量：$\dfrac{21}{4}$ mol＝50：63　∴C の物質量＝$\dfrac{21\times50}{4\times63}=\dfrac{25}{6}$ mol

ゆえに，CO と CO_2 になった C（黒鉛）の質量＝$12\times\dfrac{25}{6}=50$ g

解法 2：化学量論的に解く

生成した CO と CO_2 の物質量比が 37:：13 だから，

生成した CO の物質量を $37k$ mol とすると，生成した CO_2 の物質量は $13k$ mol となる。

よって，反応物と生成物の量的関係は次のようになる。

$$\begin{array}{ccccccc} Fe_2O_3 & + & 3C & \rightarrow & 2Fe & + & 3CO \\ & & 37k & & 37k\times\dfrac{2}{3} & & 37k \end{array}$$

$$\begin{array}{ccccccc} 2Fe_2O_3 & + & 3C & \rightarrow & 4Fe & + & 3CO_2 \\ & & 13k & & 13k\times\dfrac{4}{3} & & 13k \end{array}$$

よって，得られた鉄の質量は $56\text{g/mol}\times\left(37k\times\dfrac{2}{3}+13k\times\dfrac{4}{3}\right)\text{mol}=56\cdot42k$ g　・・・①

純度 98.0%の鉄 200g が得られたから，得られた鉄の質量は $200\times\dfrac{98.0}{100}=196$ g　・・・②

①，②より，$56\cdot42k=196$　$\therefore k=\dfrac{1}{12}$

よって，CO と CO_2 になった C（黒鉛）の質量は，

$12\text{g/mol}\times(37k+13k)\text{mol}=12\times50\times\dfrac{1}{12}=50$ g