2. 化学量と化学反応式

17. 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」で解く方が楽である。

^{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，

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

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，

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

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）

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

原子量の求め方と対応させると，

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，

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

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 であるのに対し, 原子番号 19 の K の原子量は 39.10，
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，

$70.0:72.0:74.0=\dfrac{9}{16}:\dfrac{3}{16}\times2:\dfrac{1}{16}=9:6:1$

方法 2

多項展開で解く。

上の表は，$\left(\dfrac{3}{4}\,{}^{35}\mathrm{Cl}+\dfrac{1}{4}\,{}^{37}\mathrm{Cl}\right)\times\left(\dfrac{3}{4}\,{}^{35}\mathrm{Cl}+\dfrac{1}{4}\,{}^{37}\mathrm{Cl}\right)$ 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，

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

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

となる。

よって，$70.0:72.0:74.0=\dfrac{9}{16}:\dfrac{3}{16}\times2:\dfrac{1}{16}=9:6:1$

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。

多項展開で解く方法の利点

例 1

^{1}H，^{2}H，^{3}H の存在割合を p，q，r $(p+q+r=1)$ とし，
このときの 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}H-^{1}H，^{2}H-^{2}H，^{3}H-^{3}H，^{1}H-^{2}H，^{2}H-^{3}H，^{3}H-^{1}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}O，^{17}O，^{18}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}O-^{16}O-^{17}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 $x^p y^q z^r$ $(p+q+r=n)$ の係数を求めるとき，
$x^p y^q z^r$ の項をつくるには，n 個の $(ax+by+cz)$ から，
ax を p 個，by を q 個，cz を r 個選んで掛け算すればよいから，
選び方の総数×$a^p b^q c^r x^p y^q z^r$
選び方の総数は，
まず，n 個の $(ax+by+cz)$ から ax を p 個選び（${}_n\mathrm{C}_p$ 通り），
続いて，残った $n-p$ 個の $(ax+by+cz)$ から by を q 個選び（${}_{n-p}\mathrm{C}_q$ 通り），
最後に $n-p-q=r$ 個の cz を回収（1 通り）するとすれば，
${}_n\mathrm{C}_p\cdot{}_{n-p}\mathrm{C}_q\cdot 1$ 通り
よって，$x^p y^q z^r$ の項の係数は，

$$
\begin{aligned}
{}_n\mathrm{C}_p\cdot{}_{n-p}\mathrm{C}_q\cdot 1\cdot a^p b^q c^r &= \frac{{}_n\mathrm{P}_p}{p!}\cdot\frac{{}_{n-p}\mathrm{P}_q}{q!}\cdot\frac{{}_r\mathrm{P}_r}{r!}a^p b^q c^r \\
&= \frac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}a^p b^q c^r
\end{aligned}
$$

あるいは，というより，変数が 3 つ以上の場合は，こっちの方が楽なのだが，
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、
ax が p 個，by が q 個，cz が r 個となるように選び，端から順に掛け算するとすれば，
ax が p 個，by が q 個，cz が r 個の順列の総数 $\times\, a^p b^q c^r x^p y^q z^r$
となる。

順列の数は，同じものを含む順列の公式より，$\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!}$ 通りだから，

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

わかりやすく説明すると，

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

$$\Downarrow$$

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

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，$\dfrac{n!}{p!\cdot q!\cdot r!} a^p b^q c^r$

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

↑

後者の方法を用いた

20．気体の密度と物質量

ネオンとアルゴンの物質量比を p ：$1-p$ とすると，

この混合気体の平均分子量は，$p\times 20+(1-p)\times 40=40-20p$ ・・・①

混合気体の標準状態での密度 1.34g/L より，

この混合気体の平均分子量は，$1.34\text{g/L}\times 22.4\text{L}\approx 30.0$ ・・・②

①，②より，$40-20p=30.0$

$\therefore p=0.50$

よって，ネオンとアルゴンの物質量比は，1：1

21．気体の質量と分子量

空気の分子量は，ここでは窒素と酸素の体積比が 4：1 の混合気体の，

つまり，窒素と酸素の物質量比が 4：1 の混合気体の平均分子量のことである。

　アボガドロの法則より，同温同圧下では，気体の体積比＝物質量比

平均分子量＝Σ（構成分子の分子量×存在割合）

　原子量の求め方と同じである。

より，

空気の分子量＝$32\times\dfrac{1}{1+4}+28\times\dfrac{4}{1+4}=28.8\approx 29$

よって，

0.29g の空気の物質量＝0.10mol

アボガドロの法則より，

同温・同圧・同体積における気体の物質量は気体の種類に関係なく等しいから，

質量 0.58g の別の気体の物質量も 0.10mol である。

よって，この気体の分子量は 58

22．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。

つまり，M の原子量を x とすると，

$2x$ g の M が反応すると，$2x+48$ g の M_2O_3 が生成する。

9.0g の M が反応し，17g の M_2O_3 が生成したから，

$$\frac{2x}{9.0}=\frac{2x+48}{17}$$

$$\therefore x=27$$

(2)

$MCO_3 \rightarrow MO + CO_2$ より，

1mol の MCO_3 が熱分解すると，1mol の CO_2 が発生する。

つまり，M の原子量を y とすると，

$y+60$ g の MCO_3 が熱分解すると，44g の CO_2 が発生する。

25g の MCO_3 が熱分解すると，11g の CO_2 が発生したから，

$$\frac{y+60}{25}=\frac{44}{11}$$

$$\therefore y=40$$

24．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，

つまり，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)

$$\frac{0.56\text{L}}{22.4\text{L/mol}}\times32\text{g/mol}=0.80\text{g}$$

(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，

必要とあれば物質量に換算すればよい。

26. 金属の混合物の組成

たいていの問題は求めるべき解を x とおいて式をたてることができるので，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

$\mathrm{Fe}+2\mathrm{HCl}\rightarrow \mathrm{FeCl_2}+\mathrm{H_2}\uparrow$ 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，

$\mathrm{Mg}+2\mathrm{HCl}\rightarrow \mathrm{MgCl_2}+\mathrm{H_2}\uparrow$ 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，

$$\frac{x}{56}\times224\times10^3+\frac{0.40-x}{24}\times224\times10^3=224$$

$$\frac{x}{56}+\frac{0.40-x}{24}=0.0100$$

$$\frac{3x}{168}+\frac{7(0.40-x)}{168}=0.0100$$

$$\left(\begin{array}{l}
2\,\underline{)56\quad24}\\
2\,\underline{)28\quad12}\\
2\,\underline{)14\quad\ \ 6}\\
\quad\ \ 7\quad\ \ 3\\
\text{より，}\\
56\text{ と }24\text{ の最小公倍数は，}\ 2\times2\times2\times7\times3=168
\end{array}\right)$$

$$4x=1.12$$

$$\therefore x=0.28\text{ g}$$

よって，鉄の質量百分率は，

$$\frac{0.28}{1.00}\times100\%=28\%$$

27. 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， $15.9\times 4=63.6$ ・・・②
①，②より，
$65-2t=63.6 \qquad \therefore t=0.7$
よって，
^{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

28. 同位体と分子量の計算

(1)
B の原子量
^{11}B の相対質量 11 を基準に，差の平均から原子量を求めると，

$$11+\frac{(10-11)\times 19.9+(11-11)\times 80.1}{100}=11-0.199\approx 10.8$$

Cl の原子量
^{35}Cl の相対質量 35 を基準に，差の平均から原子量を求めると，

$$35+\frac{(35-35)\times 75.8+(37-35)\times 24.2}{100}=35+0.484\approx 35.5$$

よって，
BCl_3 の分子量＝$10.8+35.5\times 3=117.3$

29．ヘモグロビン中の鉄

(1)

血液 100mL 中のヘモグロビンに結合した Fe^{2+} の物質量を x mol とすると，

血液 100mL 中のヘモグロビンの物質量 $= \dfrac{x}{4}$ mol

よって，

血液 100mL 中のヘモグロビンの質量 $= \dfrac{x}{4}\,\text{mol} \times 6.45 \times 10^4\,\text{g/mol} = \dfrac{6.45 \times 10^4}{4} x\,\text{g}$

血液 100mL 中には平均 12.9g のヘモグロビンが含まれているから，

$$\frac{6.45 \times 10^4}{4} x = 12.9$$

$\therefore x = 8.00 \times 10^{-4}$

(2)

血液中の O_2 には，

ヘモグロビンの Fe^{2+} に配位結合しているものと遊離のまま溶存しているものがあり，

37℃, 1.01×10^5 Pa 下の血液 100mL 中に，遊離 O_2 が 0.279mL 溶存しているのはわかっている。

よって， Fe^{2+} に配位結合している O_2 の物質量を，37℃， 1.01×10^5 Pa の体積に換算し，

0.279mL に加えればよい。

Fe^{2+}に配位結合している O_2 の物質量

本文より，

「ヘモグロビンの Fe^{2+} にはすべて O_2 が結合している」

「各 Fe^{2+} が 1 分子の O_2 と結合」つまり，「Fe^{2+} と O_2 は物質量比で 1：1 の結合」

これと(1)より，

血液 100mL 中の Fe^{2+} の物質量 $= 8.00 \times 10^{-4}$ mol

よって，

Fe^{2+} と結合している O_2 の物質量 $= 8.00 \times 10^{-4}$ mol

O_2 の物質量を体積に換算

標準状態（0℃，1.01×10^5 Pa）における気体 1mol の体積 22.4L を使えるなら，

求める体積を V とすると，

ボイル・シャルルの法則（$\dfrac{PV}{T} =$ 一定）より，

$$\frac{1.01 \times 10^5 \times V}{273 + 37} = \frac{1.01 \times 10^5 \times 22.4}{273}$$

$\therefore V \approx 20.35\,\text{mL}$

血液 100mL 中にとり込まれるすべての O_2 の体積

$0.279 + 20.35 \approx 20.6\,\text{mL}$

30. 単分子膜とアボガドロ定数

(1)

溶液 v mL 中に含まれるステアリン酸の物質量を x mol とすると，
溶液 v mL 中に含まれるステアリン酸の質量 $= Mx$ g

よって，溶液 100mL 中に含まれるステアリン酸の質量 $= Mx \times \dfrac{100}{v}$

これが w g と一致するから，

$$Mx \times \frac{100}{v} = w$$

$$\therefore x = \frac{vw}{100M}$$

(2)

アボガドロ定数を N/mol とすると，
単分子膜の物質量 x mol から求めた分子数 $= x\text{mol} \times N / \text{mol} = xN$

単分子膜の面積から求めた分子数 $= \dfrac{S_a}{S_1}$

よって，

$$xN = \frac{S_a}{S_1}$$

$$\therefore N = \frac{S_a}{xS_1}$$

$x = \dfrac{vw}{100M}$ より，

$$N = \frac{100MS_a}{S_1vw}$$

31．混合気体の燃焼と体積

問題 24 の補足

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，
必要とあれば物質量に換算すればよい。

気体の体積はすべて同温同圧下のものなので，
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，扱いやすくする目的で，化学反応式は，その定義に従わず，
H_2，C_2H_2，CO の係数を 1 とした。

	H_2	+	$\frac{1}{2}O_2$	→	H_2O		
気体の体積変化	$-x$		$-\frac{1}{2}x$				

	C_2H_2	+	$\frac{5}{2}O_2$	→	$2CO_2$	+	H_2O
気体の体積変化	$-y$		$-\frac{5}{2}y$		$+2y$		

	CO	+	$\frac{1}{2}O_2$	→	CO_2		
気体の体積変化	$-z$		$-\frac{1}{2}z$		$+z$		

よって，

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

一方，与えられ数値から，

$\text{全体の体積変化}=37.5-(50+60)=-72.5$ ・・・②

①，②より，

$-75+z=-72.5$

$\therefore z=2.5$ ・・・③

CO_2 の体積$=2y+z$　・・・④
一方，与えられた数値から，
CO_2 の体積$=$水酸化ナトリウム水溶液に通したときの体積の減少量
$=37.5-12.5$
$=25$　・・・⑤
④，⑤より，
$2y+z=25$
これと③より，
$2y+2.5=25$
$\therefore y=11.25$
よって，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

$\therefore$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

量的関係は,

$$
\begin{array}{ccccccccc}
Fe_2O_3 & + & 3C & \rightarrow & 3CO & + & 2Fe \\
 & & 3\text{mol} & & 3\text{mol} & & 2\text{mol} \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & 36\text{g} & & 3\text{mol} & & 2\times 56\text{g} \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & x\text{g} & & \dfrac{1}{12}x\text{mol} & & \dfrac{28}{9}x\text{g}
\end{array}
$$

$$
\begin{array}{ccccccccc}
2Fe_2O_3 & + & 3C & \rightarrow & 3CO_2 & + & 4Fe \\
 & & 3\text{mol} & & 3\text{mol} & & 4\text{mol} \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & 36\text{g} & & 3\text{mol} & & 4\times 56\text{g} \\
 & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\
 & & y\text{g} & & \dfrac{1}{12}y\text{mol} & & \dfrac{56}{9}y\text{g}
\end{array}
$$

純度 98%の鉄 200g が得られたから,

$$\frac{28}{9}x+\frac{56}{9}y=200\times 0.98$$

$$\frac{28}{9}(x+2y)=196$$

$\therefore x+2y=63$　・・・②

CO の物質量：CO_2 の物質量＝37：13 より,

$\frac{1}{12}x$ ： $\frac{1}{12}y$ ＝37：13

$\therefore x$ ： y ＝37：13　・・・③

②，③より,

$x=37$， $y=13$

よって,

CO と CO_2 になった C（黒鉛）の質量＝ $37+13=50$ g