

化学反応量論

2009年 S 学院高校 高2 夏期講習 (基礎編・改訂版)

【問題】

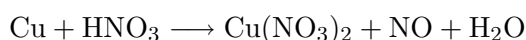
- (1) 原子量とは何か?
- (2) 分子量とは何か?
- (3) 式量とは何か?
- (4) アボガドロ定数とは何か?
- (5) アボガドロ定数はどのように求めるのか?
- (6) 物質量とは何か?
- (7) モル (mol) とは何か?
- (8) 原子や分子 1 個或いは組成式 1 組の質量 (g) はどのようにして求めることができるか?
- (9) 何故、物質量という量が必要になるのか?
- (10) モル濃度とは何か?
- (11) モル濃度と物質量の関係を示せ。
- (12) c_1 mol/L の NaCl 水溶液 v_1 L と、 c_2 mol/L の NaCl 水溶液 v_2 L を混合した場合、得られた NaCl の濃度は何 mol/L になるか。ただし、混合水溶液の体積は $v_1 + v_2$ L になるとする。
- (13) モル濃度を質量パーセント濃度に変換するにはどうしたらよいか。
- (14) 質量パーセント濃度をモル濃度に変換するにはどうしたらよいか。
- (15) 化学反応式の係数はどのように付けていけば良いか。
- (16) 化学反応式の係数はどのような意味を持つのか?
- (17) 化学反応に於ける反応物の物質量と生成物の物質量の関係について、具体例を挙げて述べよ。
- (18) 化学反応に於ける反応物の質量と生成物の質量の関係について、具体例を挙げて述べよ。
- (19) 気体反応に於ける反応物の体積と生成物の体積の関係について、具体例を挙げて述べよ。
- (20) アボガドロの法則とは何か?(気体の種類が違って、同温・同圧の下で同体積の気体にはほぼ同数の分子が含まれるのは何故なのか?)

【 解答 】

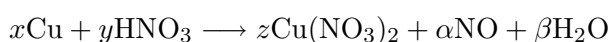
- (1) ^{12}C 原子の質量を正確に 12 として、他の元素の質量を相対的に示したもので、単位は付けない。ただし、各元素には同位体 (質量数の異なる原子) が存在するので、元素の原子量はそれぞれの同位体の相対質量の平均値で表す。従って、炭素にも ^{13}C や ^{14}C が含まれるので、炭素元素の原子量は 12.01 となる。因みに、陽子の質量 \approx 中性子の質量なので、質量数 \approx 同位体の相対質量となる。
- (2) 分子の質量を、 ^{12}C 原子の質量を基準にして相対質量で表したもの。単位は付けない。ある化学物質の分子量は、その分子を構成する原子の原子量の和に等しい。例えば、メタンの分子量は $\text{CH}_4 = 12.0 + 4 \times 1.0 = 16.0$ となり、グルコース (ブドウ糖) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ の分子量は、 $12.0 \times 6 + 1.0 \times 12 + 16.0 \times 6 = 180.0$ となる。因みに、グルコース 1 分子の質量は、 ^{12}C 原子 1 個の質量の 15 倍あるということになる。
- (3) 全ての物質が分子からできている訳ではないが、全ての物質は分子式同様に元素記号を用いて化学式で示すことができる。そこで化学式の中に含まれている原子の原子量の総和を式量という。
- (4) 質量数 12 の炭素の同位体 ^{12}C の 12g 中に含まれる炭素原子の数をアボガドロ定数という。具体的には、有効数字 3 桁で示せば、 6.02×10^{23} である。因みにアボガドロ定数個集めれば、その質量は、原子であれば、原子量に g 単位を付けた量になるし、分子であれば、分子量に単位 g を付けた量になるし、一般に物質は式量に g 単位を付けた量になる。
- (5) ファラデー定数を用いて、電気分解に電気量と生成物の質量の関係からアボガドロ定数を求めることができる。他に、ブラウン運動から求める方法や、原子核の壊変から算出する方法などがあるが、結晶の X 線回折により格子定数を求め、これと結晶の密度で算出する方法が精度が高い方法である。
- (6) アボガドロ定数に等しい数 (6.02×10^{23}) を 1 単位として表わした物質の量を (個数に基づいて表した量が) 物質質量である。因みに、「モル数」という表現は誤りであるので注意したい。
- (7) 物質質量の単位をモル (mol) という。例えば、 H_2O (分子量=18) 1mol は 18g ということになり、180g の水には 10mol の水分子が含まれるということになる。因みに「モル数」という表現は正しくないで使用してはならない。
- (8) 原子や分子、組成式で表された組み合わせの数が、アボガドロ数個集めれば、その質量は、原子量に g 単位を付けた量・分子量に g 単位を付けた量・式量に g 単位を付けた量になる。モル質量 (g/mol) の値は、原子量・分子量・式量に等しくなるので、モル質量をアボガドロ定数で割れば、原子 1 個・分子 1 個・組成式 1 組の質量は求まる。例えば水分子 1 個の質量は、 $\frac{18.0 \text{ g/mol}}{6.0 \times 10^{23} / \text{mol}} = 3.0 \times 10^{-23} \text{ g}$ ということになる。
- (9) 化学反応で大切になるのは、数の関係である (化学反応式の係数は、その物質の原子・分子・組成式の組み合わせの数の比を示す)。そこで、各物質の量を数に基づく量で示す必要がある為、物質質量というアイデアが誕生したのである。
- (10) 溶液 1L 中に含まれる溶質の量をその物質質量で表わした濃度をモル濃度といい、単位は mol/L である。
- (11) モル濃度が $c \text{ mol/L}$ の溶液が $v \text{ L}$ あれば、この溶液中に含まれる溶質の物質質量は $c \text{ mol/L} \times v \text{ L} = cv \text{ mol}$ である。
- (12) 混合水溶液に含まれる NaCl の物質質量は、 $c_1 v_1 + c_2 v_2 \text{ mol}$ であるから、求める濃度は $\frac{c_1 v_1 + c_2 v_2}{v_1 + v_2} \text{ mol/L}$

- (13) ある物質 (式量 = M) の溶液の濃度が c mol/L であり、この溶液の密度が d g/cm³ であれば、溶液 1 L (=1000 cm³) の質量は、1000 d g であり、含まれる溶質の物質量は cM g であるから、この溶液の質量パーセント濃度は $\frac{cM}{1000d} \times 100 \% = \frac{cM}{10d} \%$
- (14) ある物質 (式量 = M) の溶液の濃度が質量パーセント濃度で a % であり、この溶液の密度が d g/cm³ であれば、溶液 1 L (=1000 cm³) の質量は、1000 d g であり、この中に溶けている物質の質量は、 $1000d \times \frac{a}{100} \text{ g} = 10ad \text{ g}$ であり、これを物質量で表すと、 $\frac{10ad}{M} \text{ mol}$ であるから、結局、モル濃度は $\frac{10ad}{M} \text{ mol/L}$ となる。

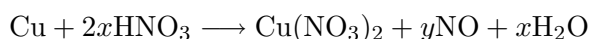
- (15) 例として、銅と希硝酸の反応



に係数を付ける場合で係数の付け方を考えてみよう。一般には未定係数法という方法で係数は付けていくが、



などと全ての係数を最初から未知数で置いてしまうのは、余り賢い方法ではない。係数は、反応に於いて、それらの化学種の数の関係を示している (絶対的な値を示しているのではない) ので、どれか 1 つの化学式の係数を 1 とし、これにより係数が一律に決まるものを先ず決めてしまうのが宜しい。どの化学式を係数 1 (つまりその物質 1 個あるとするか) が問題になるところであるが、なるべく多くの原子が集まっている化学式 (ここでは、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$) が 1 個 (1 組) あるとして、他の化学式の係数を決めていくのが良い。化学反応式では各元素の原子は新たに生まれたり消滅したりすることはない。従って、右辺で Cu は 1 個あるとしたので、左辺の Cu の係数も 1 となる。後は、直接係数を決めることが困難になるので、 H_2O の係数を x 、NO の係数を y とおく。すると、 HNO_3 の係数は $2x$ になる (未知数はなるべく少なくなるようにした方が連立方程式を解く場合に楽である)。



更に、まだ比較していなかった N 原子・O 原子について、両辺が等しくなるとすると、

N 原子については、 $2x = 2 + y$ が成り立ち、O 原子については $6x = 6 + y + x$ が成立する。よって、 $x = \frac{4}{3}$ 、 $y = \frac{2}{3}$ を得る。従って、求める化学反応式は、全体を 3 倍して

$3\text{Cu} + 8\text{HNO}_3 \longrightarrow 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO} + 4\text{H}_2\text{O}$ となる (勿論、係数は関係を表す数字なので、そのまま分数で表しても構わない)。

- (16) 化学反応式の係数は、その物質の原子・分子・組成式の組み合わせの数の比を表す。
- (17) 銅と希硝酸の反応の例では、3mol の銅と 8mol の硝酸 (希硝酸中の硝酸分子) が反応すれば、3mol の $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ と 2mol の NO、4mol の水が生成することになる。
- (18) 銅と希硝酸の反応の例では、192g の銅 (原子量=64) と 504g の (希硝酸中の) 硝酸 (分子量=63) が反応するということになる。
- (19) 気体反応 $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$ では、反応物と生成物の体積比は係数比 (1 : 3 : 2) に等しくなる。アボガドロの法則で、同温・同圧下では同数 (つまり同物質) の気体は、その種類によらず同体積を占めるということから、上記の関係が成り立つのである。
- (20) 「気体の種類が違って、同温・同圧の下で同体積の気体には (ほぼ) 同数の分子が含まれる」がアボガドロの法則である。この法則は、定温・高圧では成り立たない。この法則が成り立つのは、通常は気体分子どうしに働く引力 (分子間力) はとても小さく、気体が占める体積に比べて気体自身が占める体積が著しく小さい為である。