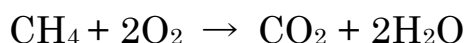


2010 年度前期化学試験の問題と解答と解法

原子量は H: 1.0, C:12.0, N:14.0, O: 16.0 とし, $0\text{ }^{\circ}\text{C}=273\text{ K}$,
 $1\text{ atm}=1013\text{ hPa}$, $1\text{ cal}=4.18\text{ J}$, 気体定数は $8.31\text{ J mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$, もしくは
 $0.0821\text{ L atm mol}^{-1}\text{ K}^{-1}$, 液体の水の密度は 1.00 g mL^{-1} , 液体の水の比熱は
 $1.00\text{ cal g}^{-1}\text{ K}^{-1}$ とする. また, 気体は種類によらず $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1013 hPa において
 22.4 L の体積をもつものとする. 有効数字は 3 桁として解答せよ. 大気圧は
断りの無い限り 1013 hPa とする.

[1] 大学に入って最初の夏休み, プールに泳ぎに行く者も多いであろう. 全長
 25.0 m , 幅 10.0 m , 水深 1.20 m の室内プールの水温を温める場合に関し
て, 以下の各問に答えよ. 燃料としてはメタン CH_4 を用いることとし, メ
タンの完全燃焼に伴う反応熱を $\Delta H = -891\text{ kJ mol}^{-1}$ とする.

問 1 メタンの完全燃焼をあらわす化学反応式を記せ.



問 2 このプールの水温を $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ まで上昇させるために必要とさ
れる熱エネルギー量を求めよ. 単位には kJ を用いよ.

このプールの体積は

$$(25.0\text{ m})(10.0\text{ m})(1.20\text{ m})=300\text{ m}^3$$

これの質量は

$$(300\text{ m}^3)(10^3\text{ kg m}^{-3})=300 \times 10^3\text{ kg} = 300 \times 10^6\text{ g}$$

温度変化量は

$$30\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 5\text{ }^{\circ}\text{C} = 5\text{ K}$$

したがって必要な熱エネルギー量は

$$(300 \times 10^6\text{ g})(1.00\text{ cal g}^{-1}\text{ K}^{-1})(5\text{ K}) = 1500 \times 10^6\text{ cal} = 1.5 \times 10^6\text{ kcal}$$

$$(1.5 \times 10^6\text{ kcal})(4.18\text{ J cal}^{-1}) = \underline{6.3 \times 10^6\text{ kJ}}$$

問 3 メタンの完全燃焼によって, このプールの水温を $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ から $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ま
で上昇させる場合に, 必要となるメタンの質量を求めよ. 単位には kg
を用いよ.

1 mol のメタンが完全燃焼する際に 891 kJ の熱が生じる.

$6.27 \times 10^6 \text{ kJ}$ の熱を得るために必要なメタンの物質量を求める.

$$(6.27 \times 10^6 \text{ kJ}) / (891 \text{ kJ mol}^{-1}) = 7.04 \times 10^3 \text{ mol}$$

この物質量のメタンがもつ質量は, $\text{CH}_4 = 16.0$ より

$$(7.04 \times 10^3 \text{ mol})(16.0 \text{ g mol}^{-1}) = 113 \times 10^3 \text{ g} = \underline{1.1 \times 10^2 \text{ kg}}$$

問 4 上記の燃焼反応によって生じる二酸化炭素 CO_2 の物質量および質量を求めよ. 質量の単位には kg を用いよ.

問 1 より 1 mol のメタンから 1 mol の二酸化炭素が生じる.

$7.04 \times 10^3 \text{ mol}$ のメタンからは $\underline{7.04 \times 10^3 \text{ mol}}$ の二酸化炭素が生じる.

この質量を求める. $\text{CO}_2 = 44.0$ より

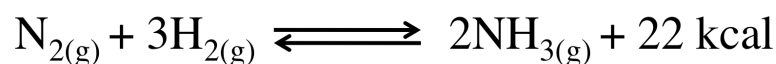
$$(7.04 \times 10^3 \text{ mol})(44.0 \text{ g mol}^{-1}) = 310 \times 10^3 \text{ g} = \underline{3.1 \times 10^2 \text{ kg}}$$

問 5 上記質量の二酸化炭素 CO_2 が, 1013 hPa , $30 \text{ }^\circ\text{C}$ において占める体積を求めよ. 単位には m^3 を用いよ.

理想気体の状態方程式より

$$(7.04 \times 10^3 \text{ mol})(8.31 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1})(303 \text{ K}) / (101.3 \times 10^3 \text{ Pa}) \\ = 175 \text{ m}^3 = \underline{1.8 \times 10^2 \text{ m}^3}$$

[2] 現在の大学 1 年生が大学を卒業するまでの間に, 地球上の人口は 70 億人を超える見込みである. 世界の食糧生産は今後も化学肥料への依存度を高めて行かざらう. 化学肥料の生産において, 空気中の窒素を原料とするアンモニア合成は, 重要な工程である. 以下の平衡反応は, その際に用いられているものである. なお, (g) は気体状態であることを示す.



問 1 この平衡反応に関して, 平衡をアンモニア生成側に移動させる効果をもつ操作を以下からすべて選び, 答案用紙の記号を○で囲め.

(a) 加熱する (b) 冷却する (c) 圧力を高くする

(d) 圧力を下げる (e) 触媒を加える (f) アンモニアを取り除く

問 2 この反応を用いて 17.0 kg のアンモニアを得た場合に, 消費された窒素の物質量, 質量, および 1013 hPa , $25 \text{ }^\circ\text{C}$ における体積を求めよ. 質量の単位には kg を, 体積の単位には m^3 を用いよ.

17.0 kg のアンモニアの物質量は, $\text{NH}_3 = 17.0$ より,

$$(17.0 \times 10^3 \text{ g}) / (17.0 \text{ g mol}^{-1}) = 1.00 \times 10^3 \text{ mol}$$

アンモニア 2 mol の生成に窒素 1 mol が必要なので,

$1.00 \times 10^3 \text{ mol}$ のアンモニアを合成した際にはこの $1/2$ の $0.500 \times 10^3 \text{ mol} = \underline{5.0 \times 10^2 \text{ mol}}$ の N_2 が消費されたことになる。
この質量は、 $\text{N}_2 = 28.0$ より、

$$(28.0 \text{ g mol}^{-1})(5.0 \times 10^2 \text{ mol}) = 140 \times 10^2 \text{ g} = \underline{14.0 \text{ kg}}$$

理想気体の状態方程式により、体積は

$$(5.00 \times 10^2 \text{ mol})(8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1})(298 \text{ K}) / (101.3 \times 10^3 \text{ Pa}) = \underline{12.2 \text{ m}^3}$$

問3 この方法で得られたアンモニアと、二酸化炭素 CO_2 を原料として用いて、尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ を生産する場合を考える。この化学反応式を記せ。なお、尿素とともに生成される物質は水である。



問4 この方法を用いて 17 kg のアンモニアから得られる尿素有質量を求めよ。単位には kg を用いよ。

2 mol のアンモニアから 1 mol の尿素が得られる。

17.0 kg のアンモニアは $1.00 \times 10^3 \text{ mol}$ であり、ここから得られる尿素は $0.500 \times 10^3 \text{ mol}$ となる。

この質量を求める。 $(\text{NH}_2)_2\text{CO} = 60.0$ であるから、

$$(0.500 \times 10^3 \text{ mol})(60.0 \text{ g mol}^{-1}) = 30.0 \times 10^3 \text{ g} = \underline{30 \text{ kg}}$$

[3] 平衡状態にある以下の化学反応に対して(a)から(e)までの操作を行った場合、平衡はどのように移動するか。それぞれの操作に関して、 NO_2 生成側に移動する場合は \leftarrow 、 N_2O_4 生成側に移動する場合は \rightarrow 、移動しない場合は \times を解答用紙の記入欄に記せ。



(a) 加熱する (b) 冷却する (c) 反応容器の体積を広げる

(d) 反応容器の体積を縮める (e) 触媒を加える

(a) \leftarrow (b) \rightarrow (c) \leftarrow (d) \rightarrow (e) \times

[4] 以下の語句に関して簡潔に説明せよ。

(1) 電気陰性度

化学結合中の共有電子に対する原子の相対的引力

(2) ヘンリーの法則

一定温度下での液体に対する気体の溶解度は、液体と接している気体の圧力に比例する。

[5] ボーナスポイント追加問題<うでだめし>

以下の問いに解答した場合は、点数を加算する。前期試験の合計点が100点を超える場合には、超えた点数を後期の試験点数に加算する。ただし通年での加算上限は、前期試験と後期試験との合計が200点となるまでとする。

- (1) 放射性同位元素において壊変定数を k 、初期存在量を C_0 、時間 t における存在量を C 、自然対数の底を e とするとき、 $C = C_0 e^{-kt}$ が成り立つことを示せ。(5点)

$$-\frac{dC}{dt} = kC$$

$t=0$ において $C=C_0$ 、 $t=t$ において $C=C$ の条件で積分する。

$$\int_{C_0}^C \frac{dC}{C} = -k \int_0^t dt$$

$$\log_e C - \log_e C_0 = -kt$$

$$\log_e \frac{C}{C_0} = -kt$$

$$\frac{C}{C_0} = e^{-kt}$$

$$C = C_0 e^{-kt}$$

- (2) n 半減期後において $C = C_0(1/2)^n$ となることを示せ。(5点)

$C=(1/2)C_0$ となる t が $t_{1/2}$ である。 $t_{1/2}$ は半減期である。

上問の結論から、

$$C/C_0 = e^{-kt_{1/2}}$$

$$\therefore C/C_0 = (1/2)C_0/C_0 = 1/2 = e^{-kt_{1/2}}$$

n 半減期後においては $t=nt_{1/2}$ なので、

$$C = C_0 e^{-knt_{1/2}}$$

ここで $e^{-kt_{1/2}}=1/2$ だから

$$C = C_0(1/2)^n$$