

第1回 リスナー参加型 天下一学問会

高校レベル

解答解説

化学

作問者：いーんちょ

問題数：大問1問

記述式

解答時間：40分

化学・解答解説

出題背景

有機化合物の爆薬であるトリニトロトルエン（TNT）を主題に、爆発による体積膨張の度合い、および放出するエネルギーの計算を通じて総合的な化学的知識を問うた。

解説

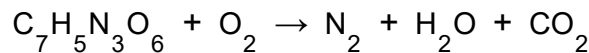
問1. (5点) 227 g/mol

分子量は分子式と原子量から以下の計算で求められる。

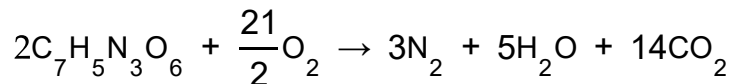
$$7 \times 12.0 \text{ g/mol} + 5 \times 1.0 \text{ g/mol} + 3 \times 14.0 \text{ g/mol} + 6 \times 16.0 \text{ g/mol} = 227 \text{ g/mol}$$

問2. (15点) $4\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6 + 21\text{O}_2 \rightarrow 6\text{N}_2 + 10\text{H}_2\text{O} + 28\text{CO}_2$

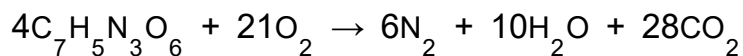
TNTの完全燃焼から、窒素と水蒸気、二酸化炭素を生じるため、まず登場する全分子を記述する。



そこから窒素、炭素、水素の数を中心に揃えてから左辺の酸素分子の数を形式的に合わせる。

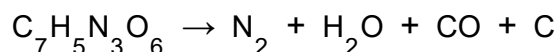


化学量論係数はすべて整数であることから、左右を2倍することで以下の通り求められる。

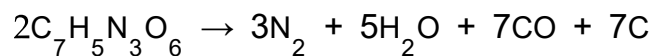


問3. (15点) $2\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6 \rightarrow 3\text{N}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 7\text{CO} + 7\text{C}$

TNTが不完全燃焼するとき、酸素と反応する十分な時間がないことから化学反応式に酸素分子は登場しない。したがって、登場する全分子を記述すると、



問2と同様の方法を採用が、ここでは窒素、水素、酸素原子に注目して数を揃え、最後に炭素原子数を合わせることで以下のように書くことができる。



問4. (15点) $1.8 \times 10^3 \text{ L}$

爆発による分解が生じるとき、問3で求めた化学反応式より1 molのTNTから合計15 mol/2=7.5 molの気体が発生する。また発生する気体はすべて理想気体として取り扱うので、体積は状態方程式から以下のように計算できる。

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{7.5 \text{ mol} \times 0.082 \text{ atm L K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 3000 \text{ K}}{1 \text{ atm}} = 1.8 \times 10^3 \text{ L}$$

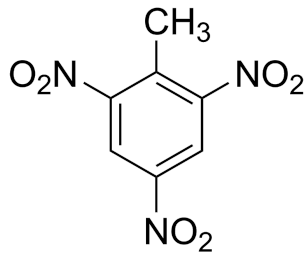
問5. (10点) 1.3×10^4 倍

常温常圧下における固体TNT 1 molの体積 V_s は

$$V_s = \frac{227 \text{ g/mol} \times 1 \text{ mol}}{1.65 \text{ g cm}^{-3}} = 1.38 \times 10^2 \text{ cm}^3 = 0.138 \text{ L}$$

となるので、爆発による分解で生じた気体の体積との倍率は以下のように求められる。

$$\frac{1.8 \times 10^3 \text{ L}}{0.138 \text{ L}} = 1.3 \times 10^4$$



問6. (15点)

ベンゼン環の一つの水素がメチル基に置換した構造がトルエンである。メチル基の炭素原子を基準として、両隣がオルト位、メチル基と反対側に位置する場所がパラ位、残りをメタ位という。またニトロ基は $-\text{NO}_2$ で表され、トルエンのメタ位以外の水素と置換してTNTとなる。

問7. (10点) 無極性有機溶媒 理由：TNTは無極性分子であるため。

水は極性を持つ溶媒であるため、無極性分子であるTNTは溶けにくい。類似した性質をもつ溶媒と溶質同士が互いに溶けやすいと覚えておく。

問8. (15点) 20.9 kt

Tはテラであり 10^{12} を意味する。したがってこの核実験で放出されたエネルギーはTNT換算で

$$\frac{87.5 \times 10^{12} \text{ J}}{4.18 \times 10^9 \text{ J/t}} = 20.9 \times 10^3 \text{ t} = 20.9 \text{ kt}$$

となる。