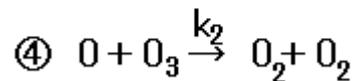
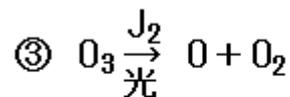
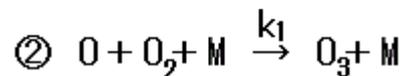
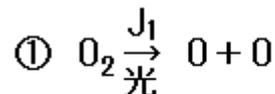


2013年度センター試験 工業数理基礎

第2問

オゾン層の形成と破壊のメカニズム、そしてオゾン層破壊の重要性について考える。

問1 オゾン層の形成過程は①～④に示すように O （酸素原子）、 O_2 （酸素分子）、 O_3 （オゾン分子）、 M （自身は化学変化しないが、化学反応全体を促進する働きをする分子）の化学反応で構成されている。 $[A]$ は A の濃度を表し、 k_1, k_2, J_1, J_2 を定数とする。



①～④の各反応の速度は定数と反応物質の濃度の積で計算できる。 O_3 に注目すると、 O_3 は②の反応により $k_1[O][O_2][M]$ の速度で生成し、③および④の反応により $(J_2[O_3] + k_2[O][O_3])$ の速度で消失される。

ここで、時間に対して O_3 濃度が変化しないと仮定すると、生成速度と消失速度が等しいから、式(1)が成り立つ。

$$k_1[O][O_2][M] = J_2[O_3] + k_2[O][O_3] \quad (1)$$

また、 O の生成、消失速度を O_3 と同様に考え、 O 濃度は変化しないと仮定すると、式(2)が得られる。

$$2J_1[O_2] + J_2[O_3] = k_1[O][O_2][M] + k_2[O][O_3] \quad (2)$$

(1)と(2)の各辺の差を取ると

$$\begin{aligned} k_1[O][O_2][M] - 2J_1[O_2] - J_2[O_3] \\ = J_2[O_3] + k_2[O][O_3] - k_1[O][O_2][M] - k_2[O][O_3] \\ \Rightarrow k_1[O][O_2][M] = J_1[O_2] + J_2[O_3] \quad (3) \end{aligned}$$

が得られる。

ここで $J_1[O_2]$ は $J_2[O_3]$ より非常に小さいことを使い $J_1[O_2]$ を無視する

と

$$k_1[O][O_2][M] = J_2[O_3] \Rightarrow [O] = \frac{J_2[O_3]}{k_1[O_2][M]} \quad (4)$$

となる。

一方、(1) と (2) の各辺の和を取ると

$$\begin{aligned} k_1[O][O_2][M] + 2J_1[O_2] + J_2[O_3] \\ = J_2[O_3] + k_2[O][O_3] + k_1[O][O_2][M] + k_2[O][O_3] \\ \Rightarrow J_1[O_2] = k_2[O][O_3] \quad (5) \end{aligned}$$

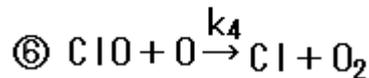
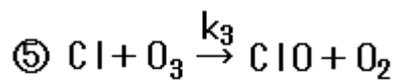
(4) を (5) に代入すると

$$\begin{aligned} J_1[O_2] &= k_2 \times \frac{J_2[O_3]}{k_1[O_2][M]} \times [O_3] \\ \Rightarrow \frac{[O_3]^2}{[O_2]^2} &= \frac{k_1 J_1[M]}{k_2 J_2} \\ \Rightarrow \frac{[O_3]}{[O_2]} &= \sqrt{\frac{k_1 J_1[M]}{k_2 J_2}} \end{aligned}$$

問 1 の解答

ア	イ	ウ
0	4	8

問 2 我々が大気中に放出したフロンがオゾン層を破壊している。放出されたフロンから塩素原子が (Cl) が分離し、以下の二つの反応によってオゾンは破壊される。



⑤、⑥の反応式の反応の速度はそれぞれ $k_3[\text{Cl}][\text{O}_3]$, $k_4[\text{ClO}][\text{O}]$ となる。いま

$$\begin{aligned} k_3 &= 1 \times 10^{-11} \text{cm}^3 / (\text{個} \cdot \text{s}) & k_4 &= 4 \times 10^{-11} \text{cm}^3 / (\text{個} \cdot \text{s}) \\ [\text{O}_3] &= 3 \times 10^{12} \text{個/cm}^3 & [\text{O}] &= 2 \times 10^7 \text{個/cm}^3 \\ [\text{ClO}] &= [\text{Cl}] = 1 \times 10^2 \text{個/cm}^3 \end{aligned}$$

とする。このときの2つの化学反応の速度を求める。

$$\begin{aligned} \text{⑤ の反応の速度} : k_3[\text{Cl}][\text{O}_3] &= (1 \times 10^{-11}) \times (1 \times 10^2) \times (3 \times 10^{12}) \\ &= 3 \times 10^3 \text{ 個}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{⑥ の反応の速度} : k_4[\text{ClO}][\text{O}] &= (4 \times 10^{-11}) \times (1 \times 10^2) \times (2 \times 10^7) \\ &= 8 \times 10^{-2} \text{ 個}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s}) \end{aligned}$$

このことから ⑥ の反応速度は ⑤ に比べて非常に小さいことが分かる。

反応直後のごく短い時間で $[\text{Cl}] = 0 \text{ 個}/\text{cm}^3$, $[\text{ClO}] = 2 \times 10^2 \text{ 個}/\text{cm}^3$ となる。つまり ⑥ の反応速度は2倍の $16 \times 10^{-2} = 1.6 \times 10^{-1} \text{ 個}/(\text{cm}^3 \cdot \text{s})$ となる。この値からオゾンが $10^3 \text{ 個}/\text{cm}^3$ 消失するまでの時間を求めると

$$\frac{10^3}{1.6 \times 10^{-1}} = 6.25 \times 10^3 \approx 6 \times 10^3 \text{ 秒}$$

となる。

問2の解答

エ	オ	カ	キ	ク
8	-	2	2	2

問3 紫外線を吸収するオゾン層にあるオゾン分子は不均一である。これを均一にするとその厚み l は、わずか数ミリである。

オゾン層の光の吸収に関して、次の式 (7) が成り立つ。

$$U = \frac{I}{I_0} = 10^{-\varepsilon l} \quad (7)$$

ここで U は光の透過率、 I_0 は入射光強度、 I は透過光強度、 ε は定数、 l はオゾン層の厚みを表す。

ここで U の l による微分 $\frac{dU}{dl}$ を $\log_e 10 = 2.3$ として求めると、式 (8) となる。

$$\frac{dU}{dl} = \log_e 10 \times -\varepsilon 10^{-\varepsilon l} = -2.3 \varepsilon \times 10^{-\varepsilon l} \quad (8)$$

この式から、 U の変化量 ΔU と l の変化量 Δl の関係を式 (9) のように書き直す。

$$\Delta U = -2.3 \varepsilon \times 10^{-\varepsilon l} \Delta l \quad (9)$$

以上より

$$\begin{aligned}\frac{\Delta U}{U} &= \frac{-2.3 \varepsilon \times 10^{-\varepsilon l} \Delta l}{10^{-\varepsilon l}} \\ &= -2.3 \varepsilon \Delta l \\ &= -2.3 \varepsilon l \frac{\Delta l}{l}\end{aligned}\quad (10)$$

式 (10) は、紫外線の透過量の増加の割合は、 l の減少の割合に $2.3 \varepsilon l$ を乗じたものであることを表している。

l の値を $3 \times 10^{-3} m$ とし、定数 ε を $1300 m^{-1}$ の場合、 l の減少の割合が 1 % とすると、 U の増加の割合は

$$2.3 \times 1300 m^{-1} \times (3 \times 10^{-3}) m \times 1\% = 8.97\% \cong 9\%$$

となり、わずかなオゾンの減少で紫外線の透過量がかなり増大することがわかる。

問 3 の解答

ケ	コ
4	9