

九州大学工学部 正会員 栗谷陽一
九州大学工学部 学生員 〇谷 武

1. まえがき

Robbins¹⁾およびLevich²⁾は再曝気係数に表面張力が影響するを考えた式を提案している。

$$K_L = \text{const.} \cdot \sigma^{-\frac{1}{2}} \cdot \rho^{\frac{1}{2}} \cdot \omega^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

前者は表面の更新を考えているが、後者は表面の更新を考えず次元解析をもとにした、異なった考えから再曝気係数を求めているが、結論の関数型は一致している。

本報告では、水に界面活性剤を入れて表面張力を変化(低下)させて、再曝気係数を測定し、その結果から再曝気係数におよぼす表面張力の影響を検討した。

2. 実験装置と実験方法

本実験において、使用した水および界面活性剤はそれぞれ純水およびナトリウムラウリル硫酸(スルス)であり、SDS濃度を变化させて表面張力と再曝気係数を測定した。

① 表面張力の測定

小型の水槽に造波用振動子を設け、スピーカでその振動を振動させて表面張力波を生起させ、その波長を測定して次式から表面張力の大きさを求めた。

$$\sigma = \left(\frac{2\pi L \omega^2}{g} - 1 \right) g \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2 \quad (2)$$

波長の測定は水面を底部から線光源で照らし、水面の波形を上部に設けたカメラガラスに写し、それを写真撮影した。(図-1参照)

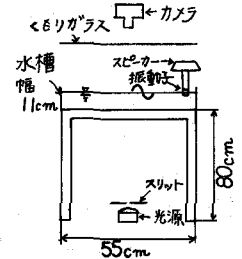


図-1

② 再曝気係数の測定

ポリバケツの水槽に攪拌用の4枚バネ4組を底部に設置し、それを回転させて曝気を行った。脱酸素には真空ポンプを使用し、溶存酸素計は隔膜ガルバニ電極方式のものを使用した。(図-2参照)

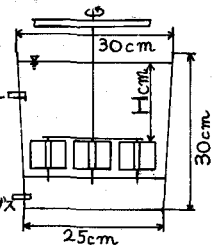


図-2

3. 実験結果

SDSによる表面張力の大きさの変化を図-3に示す。表面張力はSDS 1.0×10⁻⁴モル濃度付近まで急激に低下し、その後濃度を高めても表面張力は約40 dyne/cmに落ち着いてきた。

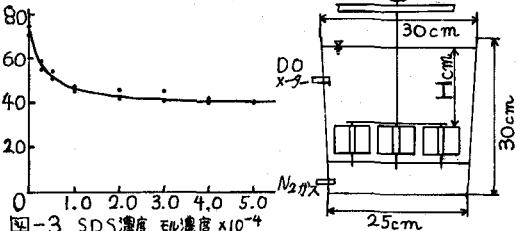


図-3

図-4は液膜係数とSDS濃度の関係を示す。液膜係数は低濃度領域では急激に低下し、1.0×10⁻⁴モル濃度付近で最小値を示し、濃度の増加と共にその後徐々に増加して行った。

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

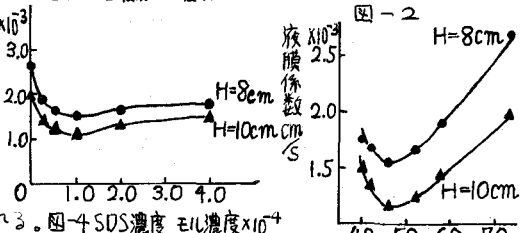


図-4

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

図-5は図-3と図-4から液膜係数と表面張力の関係を求めたものである。

液膜係数は45 dyne/cm付近までは低下し、表面張力がそれ以下になると増加している。これから、液膜係数が単なる表面張力の大きさだけでは定められないことが知られる。

図-5

表面張力 dyne/cm

液膜係数 x 10^3

SDS濃度 mol/L x 10^-4

図-5

表面張力 dyne/cm

液膜係数 x 10^3

SDS濃度 mol/L x 10^-4

された界面活性剤膜が酸素の分ち拡散を阻害したためと考えられるが、それでは高濃度領域において逆に液膜係数が増加していることを説明することが出来ない。そこで、我々は表面の伸縮の結果、表面において界面活性剤の濃度差が生じ、それに伴って表面張力差が生じることから、表面において最小渦の乱れエネルギーの一部が表面張力差によって消費されるものと考えた。まず、表面近傍の流体内部における活性剤の拡散方程式および表面における活性剤の保存式を次式とする。(Yは表面から水深方向に設定する。)乱れを周期運動として、

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\alpha Y \frac{\partial C}{\partial Y} + D \frac{\partial^2 C}{\partial Y^2} \quad (3) \quad \frac{dS}{dt} = -\alpha S + D \frac{dS}{dY} \bigg|_{Y=0} \quad (4)$$

$$\text{ここで、} \alpha = A e^{i\omega t}, C = \bar{C} + \Delta C e^{i\omega t}, S = \bar{S} + \Delta S e^{i\omega t}, O = \bar{O} + \Delta O e^{i\omega t}$$

および $\Delta O = \frac{dO}{dS} \Delta S$, $\Delta S = \frac{dS}{dC} \Delta C$ とおき、(3)、(4)式を解いて表面張力差 ΔO を求めると(5)式を得る。

$$\Delta O = - \frac{\sqrt{\frac{\omega \omega_0}{2}} - (\omega + \sqrt{\frac{\omega \omega_0}{2}}) i}{\omega (\omega + \sqrt{\omega \omega_0} + \omega_0)} \cdot \bar{S} \cdot \frac{dO}{dC} \cdot A \quad \text{ただし、} \omega_0 = \frac{D}{\left(\frac{dS}{dC}\right)^2} \quad (5)$$

表面の変形時間よりも界面活性剤のrelaxation time が小さいと、表面伸縮に伴って十分早く界面活性剤が流体内部から表面に補給されるとして、 $\omega \ll \omega_0 = \frac{D}{\left(\frac{dS}{dC}\right)^2}$ とおき、 $|\alpha| \approx |A|$ より(5)式は

$$|\Delta O| \approx \frac{\left(\frac{dS}{dC}\right) \left(-\frac{dO}{dS}\right) \bar{S}}{\sqrt{\omega D}} |A| \quad (6)$$

となる。さらに、Cibbsの吸着式を用いて、

$$\bar{S} = - \frac{\bar{C}}{RT} \frac{dO}{dC}$$

(6)式を変形すると(8)式を得る。

$$|\Delta O| \approx \frac{1}{RT \sqrt{\omega D}} \left(\frac{dO}{dC}\right)^2 \bar{C} |A|$$

ここで、図-3の実験値から $\frac{dO}{dC}$ を求め、 $\left(\frac{dO}{dC}\right)^2 \bar{C}$ と $\bar{C}$ の関係を図-6に示す。

λ を乱れの最小スケール、 u をそれに対応する乱れ速度また u_s を表面における乱れ速度として、(8)式を用いて表面での力のつり合いから、表面Tのエネルギー消散率 ε を求める。

$$\tau \approx \mu \frac{u - u_s}{\lambda} = \frac{|\Delta O|}{\lambda} = \frac{K(\bar{C})}{\lambda} |A| = \frac{K(\bar{C})}{\lambda} \left(\frac{u_s}{\lambda}\right) \quad \therefore u_s = \frac{u}{1 + \frac{K(\bar{C})}{\mu \lambda}} \quad (9)$$

$$\text{ただし、} K(\bar{C}) = \frac{1}{RT \sqrt{\omega D}} \left(\frac{dO}{dC}\right)^2 \bar{C}$$

$$\varepsilon \approx \frac{u_s^3}{\lambda} = \frac{u^3}{\lambda} \left(1 + \frac{K(\bar{C})}{\mu \lambda}\right)^{-3} \approx \varepsilon_0 \left(1 + \frac{K(\bar{C})}{\mu \lambda}\right)^{-3} \quad (10)$$

したがって、(10)式より液膜係数 K_L は

$$K_L = \text{Const.} \cdot D^{\frac{1}{2}} \nu^{\frac{1}{4}} \varepsilon^{\frac{1}{3}} = \text{Const.} \cdot D^{\frac{1}{2}} \nu^{\frac{1}{4}} \varepsilon_0^{\frac{1}{3}} \left(1 + \frac{K(\bar{C})}{\mu \lambda}\right)^{-\frac{1}{3}} = K_{L0} \left(1 + \frac{K(\bar{C})}{\mu \lambda}\right)^{-\frac{1}{3}} \quad (11)$$

となるので、図-4を定性的に説明することが出来る。結局、再曝気係数は単なる表面張力の大きさに影響されず、界面活性物質が存在する場合、表面の伸縮によってつくられる表面張力差の影響を顕著に受けると考えられる。Clean waterの場合、表面が伸縮して表面張力は一定なので再曝気係数は表面張力の影響を受けないことになる。

今後、種々の界面活性剤を用いて、まず活性剤のrelaxation time を測定し、この値と乱れの最小渦の寿命時間との関係が再曝気係数によらず影響について検討を進めたい。

σ : 表面張力, λ : 波長, T : 絶対温度, R : 気体定数, α : 表面の伸び速度, D : 拡散係数, ρ : 流体密度, μ : 粘性係数, ν : 動粘性係数, ω : 周波数, K_L : 液膜係数, K_{L0} : Clean waterの液膜係数

C : 表面近傍の活性剤濃度, $\bar{C}$: 内部平衡濃度, ΔC : 表面近傍の濃度変化, S : 表面の面濃度

$\bar{S}$: 表面の平衡面濃度, ΔS : 表面の面濃度変化, $\bar{\sigma}$: 平衡表面張力, ε_0 : 乱れのエネルギー消散率

5. 参考文献

Dobbins, W.E.: ASCE, P53-78, SA3, 1964 ② Levich, V.G.: Physicochemical Hydrodynamics, Prentice Hall, P689-692, 1962

③ イアレーションに及ぼす廃水特性の影響 土木学会第28回年次学術講演会講演集第2部 II-212

④ 日本化学会編 実験化学講座 7 界面化学 P35-36 ⑤ Lamont and Scott, AIChE, J, P513-P519 (1966)