II−101 エアレーションによるガス吸収機構に関する2,3の理論的考察

京都大学工学部 (正員) 高松武一郎 (正員) ○平岡正勝 (学生員) 梅本紘二郎

1.緒言 衛生工学が対象とする操作の中で、泡沫を利用した吸収操作が重要な一分野を占めている。例えば、下水の曝気操作、あるいは、工業廃有毒ガスの処理操作にその例を見ることができる。ガス吸収機構の解析的研究は、古くから化学工学の分野で、活発に行なわれており、一般産業への応用もめざましいものがあるが、今般、我々は、特に衛生工学に深い関係を持つと思われる曝気などに見られる泡沫によるガス吸収というものについて若干の理論的考察を行なったので報告する。一般に、ガス吸収操作の移動量解析には、Lewisらによって提出された境膜モデルが、装置設計的に簡単で解りやすいため広く使用されているが、この境膜モデルの特徴は、気液間の物質移動係数が、場所的に一定であり、時間的に変化しない、いわゆる定常モデルであるということである。したがって、今対象としている泡沫による気液接触のような、接触時間の比較的短かい操作の場合、境膜モデルは現象論的に成立しなくなり、物質移動係数を時間の関数と考えた非定常モデルを適用する必要がある。ところで、一般に、泡沫は運動しているため、その移動方向の頂点A(Fig1参照)における泡沫界面は、常に年令0の液(すなわち新しい液)に接しているが、ある液流下時間経過した後の点Bにおいては、液が、流下している間に物質の移動を受け、年令は0ではなく、ある大きさを持っているはずである。このように考えると、泡沫界面のある局所を取れば、その点の液年令は、時間的には変化しないが、場所的には、局所局所において異なった年令の液に接していることになる。そこで我々は、まず、静止している泡沫についてガス側に定常モデル液側に非定常モデルを適用して年令τの液への移動速度を求め、次に移動泡沫界面の液年令分布を仮定して泡沫による平均ガス移動速度というものを求めて、泡沫を利用したガス吸収操作を考える上で、どのような考え方をすれば良いかということに対する一つの進め方を提示する。

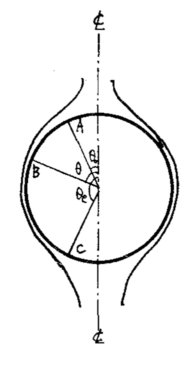

Fig 1

2.静止泡沫よりのガス吸収

仮定(i).ガス側に定常モデルを適用し、ガス側境膜係数k_Gは、一定とする。さらに、ガス本体濃度P_{G0}も一定とする。

(ii).液側に非定常モデルを適用する。

(iii)気液界面において平衡関係が成立するものとする。

泡沫に対する拡散方程式

$$\frac{\partial c}{\partial t}=D_L\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial c}{\partial r}\right) \qquad (1)$$

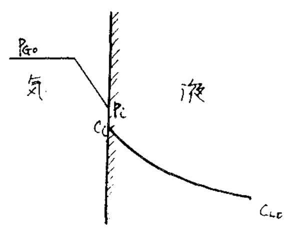

Fig 2.

初期条件　$t=0$　$C=C_{L0}$

境界条件I, $r=\infty$　$C=C_{L0}$　　境界条件II.　$N_i=-D_L\left.\frac{\partial c}{\partial r}\right|_{r=R}=k_G(p_{G0}-p_i)$　　(2)

境膜平衡関係　$p_i=mC_i+b$, さらに $p_{G0}=mC_{G0}+b$ なる C_{G0} を導入して式 を解き、移動速度を求めると次のようになる。

$$\frac{N_i}{D_L(C_{G0}-C_{L0})/R}=\frac{a}{a+1}\left[1+a\exp\left\{\left(\frac{a+1}{R}\right)^2D_Lt\right\}\mathrm{erfc}\left\{\frac{a+1}{R}\sqrt{D_Lt}\right\}\right],\quad 但; a=\frac{mk_GR}{D_L}\quad(3)$$

$$N_L=K_{OL}(C_{G0}-C_{L0})=k_L(C_i-C_{L0})\quad(4)$$

$$K_{OL}=\frac{D_L}{R}\frac{a}{a+1}\left[1+a\exp\left\{\left(\frac{a+1}{R}\right)^2D_Lt\right\}\mathrm{erfc}\left\{\frac{a+1}{R}\sqrt{D_Lt}\right\}\right]\quad(5)\qquad k_L=\frac{D_L}{R}\frac{1+a\exp\left\{\left(\frac{a+1}{R}\right)^2D_Lt\right\}\mathrm{erfc}\left\{\frac{a+1}{R}\sqrt{D_Lt}\right\}}{1-\exp\left\{\left(\frac{a+1}{R}\right)^2D_Lt\right\}\mathrm{erfc}\left\{\frac{a+1}{R}\sqrt{D_Lt}\right\}}\quad(6)$$

一例として、酸素一水系の k_L を計算するとFig3のようになる。

3. 移動泡沫より液への移動量に関する一考察

年令τでの液への移動速度 N_τ は式(3)において $t\to\tau$ とすれば求まる。そこで泡沫面液年令分布をいくつか仮定して移動泡沫によるガス吸収の平均移動速度を求めてみる。

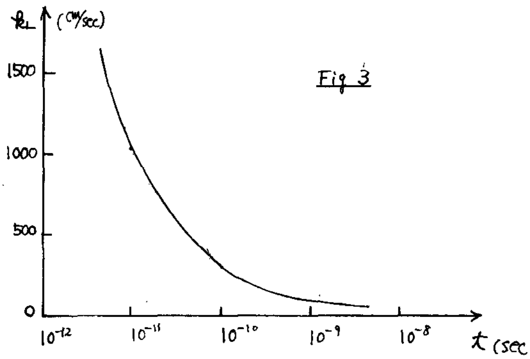

Fig 3

(i) 先ず、点Aにおける液年令を0とし、その液が、泡沫界面に沿って移動して流下時間τを経た点Bにおける年令はτに等しいものとする。

$$\tau=\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{R\,d\theta}{U}=\frac{R}{\alpha V}\int_{\theta_0}^{\theta}\frac{d\theta}{\sin\theta}=\frac{R}{\alpha V}\log\left|\frac{\tan\theta_0/2}{\tan\theta/2}\right|\quad(7)$$

流下時間τの液が、$d\tau$時間流下する間に液への移動量dNは、　$dN=N_\tau\,dA(\tau)$

泡沫全面にわたる移動量　$$N=\int N_\tau\,dA(\tau)=\frac{\alpha V}{R}2\pi R^2\int_0^{t_e}N_\tau\frac{\tan^2\theta_0/2}{\tan^2\theta_0/2+\exp\left[\frac{2\alpha V}{R}\tau\right]}d\tau\quad(8)$$

(ii) (i)では、気液接触面の面積増減を全然考慮していないが、実際の場合、Aにおける単位面積の液面は、時間t後に拡大されているはずであるから何らかの液の出入りが、起ったはずである。この現象をDanckwertsらによって提出された表面更新説と結びつけて、泡沫面の液年令分布$\phi(t,\tau)$を求める。この場合の方程式は、　$\frac{\partial\phi}{\partial t}+\frac{\partial\phi}{\partial\tau}+\left(s+\frac{1}{S}\frac{dS}{dt}\right)\phi=0$　(9)

B.C I　$\int_0^t\phi\,d\tau=1$,　B.C II.　$t>0$, $\tau=0$ で $\phi=s+\frac{1}{S}\frac{dS}{dt}$　(10)

$\frac{1}{S}\frac{dS}{dt}$ の形が複雑なため上式を解析的に解くことはできない。見かけの更新率 $s+\frac{1}{S}\frac{dS}{dt}$ を持つ定常モデルで近似すると、　$\phi(\tau)=\left(s+\frac{1}{S}\frac{dS}{dt}\right)\exp\left[-\left(s+\frac{1}{S}\frac{dS}{dt}\right)\tau\right]$, (11) この$\phi$を用いれば、平均移動量は　$\frac{1}{t_e}\int_0^{t_e}dt\int_0^\infty N_\tau\phi\,d\tau$　として求めることができる。

その他詳細な議論,考察は発表の際にゆずる。

K_{OL}, k_L; 総括, 液側移動係数

記号　R: 泡沫半径.　D_L: 液相拡散係数

C_{L0}: 液本体濃度　p_{G0}: ガス本体分圧.

t: time,　τ: 年令.

t_e: 気液接触時間　α: Const.

V: 泡沫上昇速度　s: 更新率

S: 泡沫局所面積