

拡散層厚の定量化

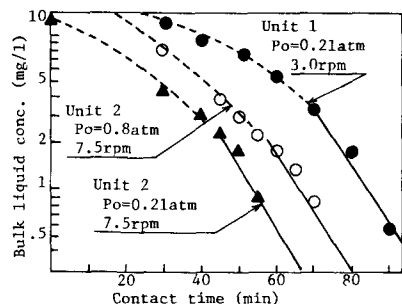
宮崎大学工学部 正員 石黒政儀
 宮崎大学工学部 正員 渡辺義公
 鹿児島高専 正員 ○西留 清

1 はじめに 回転円板法のような固定生物膜利用の水処理では生物膜内の生物化学的反応と生物膜へおよび生物膜内での基質拡散の両方を考慮して浄化機構を解明しなければならない¹⁾。そのための生物膜への移動速度を決定する拡散項は拡散係数が既知の場合、拡散層厚を求めれば定量的に評価できる。しかし、拡散層厚の測定は現状では難しい。一般にパイロットプラントと実装置との拡散層厚は異なり、単純なスケールアップはできない。そこで本文では回転円板実験装置による(1)回分実験、(2)連続流実験、(3)曝気実験および数値計算の3方法により拡散層厚を推定し、任意の円板径、回転円板速度における拡散層厚を定量化する。

2. 拡散層厚の定量化 実験装置は5装置を用い、各実験に用いた回転円板装置の諸特性を表-1に示す。

表-1 実験装置の諸特性

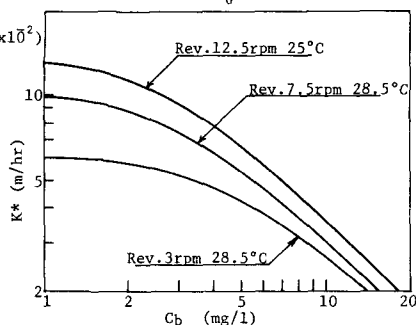
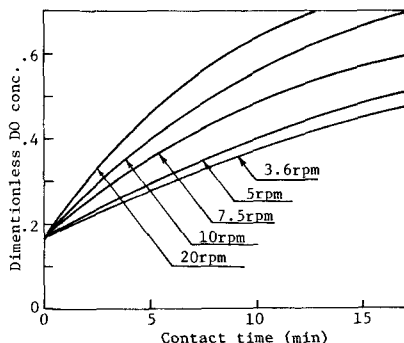
Unit	1	2	3	4	5
Disk diameter(cm)	29.5	30	40	60	80
Disk number	13	15	3	3	3
Disk half area(cm ²)	0.955	1.06	0.377	0.848	1.51
Tank volume(l)	12	20	7.21	14.2	25.9

図-1 回分実験による K_d の推定 (装置1, 2)

2-1 回分実験による推定 図-1は図中の条件で硝化用回転円板装置(装置1, 2)を用いて行なった回分実験の結果である。液本体の $\text{NH}_3\text{-N}$ が約3mg/lとなった時点から硝化速度は拡散層内の拡散過程に律速されていると考えてよいので、 $\bar{C}_b$ の減少速度は $\bar{C}_b \gg \bar{C}_s (\times 10^2)$ (生物膜表面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度)が成立していれば次式が成立する。

$\frac{1}{A_w} \frac{d(V\bar{C}_b)}{dt} = -K_d(\bar{C}_b - \bar{C}_s) \approx -K_d\bar{C}_b$ ここに A_w : 円板浸漬面積, V : 反応槽容量, K_d 反応項, 前式を積分して K_d を求めると $K_d = \frac{V}{A_w} \ln(C_{b0}/C_{bt})/t$ 本式より $\bar{C}_b \gg \bar{C}_s$ で D_d (拡散係数)が等しい場合には酸素分圧 P_o や $\bar{C}_b$ とは無関係に図-1のような直線が得られることが予測されるので直線の勾配を求め K_d を計算すると回転速度3, 7.5rpmでそれぞれ0.06, 0.1m/時となる。拡散律速の場合には拡散層厚 $\delta = D_d/K_d$ となるので水温28.5℃における D_d を $7.7 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{時}$ とすると回転速度3, 7.5rpmで δ はそれぞれ130, 80μとなる。

2-2 連続流実験からの推定 図-2は装置2を用いて行なった連続流実験結果がある。回分実験により液本体 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度が3mg/l程度以下では硝化速度は拡散層内の拡散速度に律速されると推定されたので、連続流実験においても C_b が3mg/l以下では K^* は一定値(K_d)となる。したがって 円板回転速度3, 7.5, 12.5rpmにおける K_d はそれぞれ0.06, 0.1, 0.13m/時となる。水温が25℃と28.5℃では D_d はほとんど同じなので拡散層厚はそれぞれ130, 80, 60μとなる。

図-2 C_b と K^* の関係 (装置2)図-3 C_t/C_s と接触時間の関係 (装置3)

2-3 曝気速度および数値計算による推定 回転円板装置 (装置

3~5)を回転させると図-3のように液本体Dの濃度は上昇する。その上昇濃度は円板回転速度を上げるにつれて大きくなる。このような曝気機構は図-4のような液本体、付着水膜(濡紙の部分)拡散層からなる非定常拡散過程を数値計算することによりシミュレートできる。分子拡散による酸素移動過程はFickの第2法則より拡散方程式 $\partial C/\partial t = D \partial^2 C/\partial z^2$ で表わされる。拡散係数Dが一定であり、かつ境界条件、初期条件が既知であれば拡散方程式を差分化して

Schmidt Plot法により簡単に解くことができる。モデルに従って実験条件に合せ電算機により数値計算を行った。数値計算条件の中で拡散層厚のみが未知であるので種々の拡散層厚について計算し、実験値と最も適合する拡散層厚を求めた。図-5は装置3での実験値と計算値であり、回転速度5rpmで拡散層厚は約60μであるが、回転速度10rpmになると拡散層厚は10μ以下となっている。回転速度が大きくなると空中部の濡紙上に吸着水膜が発生し、空中で飽和された吸着水膜が液本体Dの濃度を高めるために曝気速度も早くなる。この吸着水膜は円板回転速度が大きくなるほどその厚さも大きくなる。²⁾ そのため回転速度が大きくなると濡紙上吸着膜を考慮していない本モデルは適用できなくなる。図-6は濡紙上の飽和水膜が液本体に完全に混合した時の吸着水膜厚と曝気速度の関係である。本法で拡散層厚を推定するには厳密にはモデルに濡紙上吸着水膜を考慮する必要があるが数値計算が複雑になるため本文では省略した。

3. 考察 図-7は前3法により推定した拡散層厚と円板周速度との関係である。第3法で求めた拡散層厚は前述した理由により前2法に比べ低くなっているが、オーダ的には等しく、モデルに濡紙上吸着水膜を考慮すると前2法とほぼ同値が得られるだろう。本研究における実験条件範囲では同一水温における拡散層厚は円板回転速度の $1/2$ 乗に比例することが図-7からわかる。Levichは回転円板上の拡散層厚は円板回転速度の $1/2$ 乗に比例すると報告しており³⁾、本研究の結果もLevichの結論と一致している。ただしWilliamsonらが指摘しているように生物膜が付着している円板上の拡散層厚には最小値(56μ)があるので、 $Ka \propto Rev^{1/2}$ はある円板回転速度以下で成立する。

4 おわりに、本論により求めた拡散層厚と円板回転速度の関係より、拡散層厚は主に円板周速度により決まると考えられるので、回転円板法のスケールアップにおいては円板周速度を一定にすれば等しくなると考えられる。また装置の工夫により拡散層厚を小さくすると液本体基質濃度が低い場合の基質除去速度を上げることができる。

参考文献

- 1) 渡辺石黒 両治・回転円板法の浄化機構(1), 下水道協会誌, Vol. 12, No. 172, 1478-9
- 2) H H J BINTANJA: Oxygen Transfer in a Rotating Disk Treatment Plant, N.W.K., Vol. 9 pp. 147-153, Dec. 1975
- 3) V G Levich: Physicochemical Hydrodynamics, Prentice-Hall Inc., Pt. 51-52, 1962

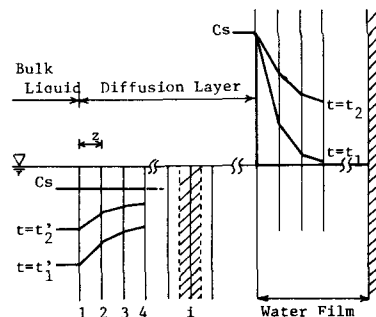


図-4 非定常拡散モデル

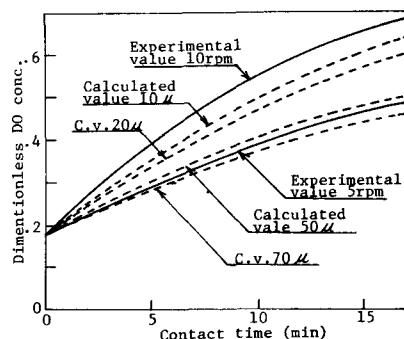


図-5 拡散層厚と円板回転速度の関係

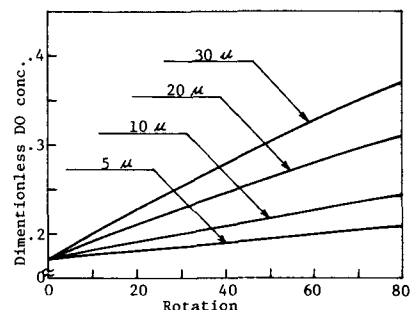


図-6 吸着水膜厚と曝気速度の関係

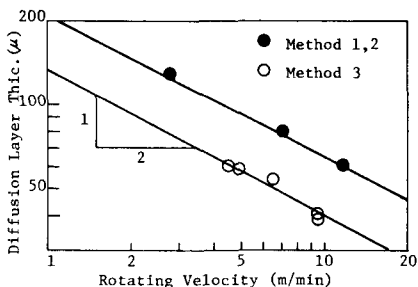


図-7 拡散層厚と円板周速度の関係