

宮崎大学工学部 正 石黒政儀 正 渡辺義公
宮崎大学工学部 学 西留清 学 〇衛藤一朗

1. はじめに 好気性回転円板法は浸漬率約50%の微生物付着円板を回転させて大気中から酸素を取り込みつつ水中の有機物やアンモニア等を酸化する生物学的汚水処理法である。本法において生物膜への酸素の供給能は処理効率を左右する重要な因子のひとつである。本文では酸素供給機構を実験と非定常拡散モデルによるシミュレーションによって検討する。

2. 実験 図-1に示す回転数可変(3~12rpm)の2装置で実験を行った。実験装置1は、容量 $V=2.9\text{L}$ 、円板直径27cm、円板枚数4枚(円板浸漬面積 $A_w=2290\text{cm}^2$)で、実験装置2は $V=2.9\text{L}$ 、円板径17cm、円板枚数4枚($A_w=1080\text{cm}^2$)である。浸漬率はともに50%である。円板は厚さ1mmのブリキ板であり、生物膜の代用として厚さ300 μ の3紙をブリキ板表面に貼り付けた。ここではこの3紙の部分に付着水膜と称する。原水として水道水を使用し、窒素ガスで槽内を20~30分間曝気しDO濃度 mg/L 以下とした後円板を始動させた。DO濃度はDOメーターで測定し、DO濃度の時間変化をレコーダーに記録した。2装置とも回転数は3、6、9、12rpmで実験を行った。飽和DO濃度を C_s 時間 t におけるDO濃度を C_t とし、図-2に無次元DO濃度 C_t/C_s と接触時間 t の関係を示した。回転数が大きいかほどDO濃度の増加速度は大きい。実験データを通常用いられている水中への酸素の溶解速度を示す式(1)により整理する。

$$dC_t/dt = K_L A_w (C_s - C_t) / V \quad (1)$$

ここで K_L : 酸素輸送係数(cm/s)。式(1)を積分すれば式(2)を得る。

$$\ln[(C_s - C_0)/(C_s - C_t)] = K_L A_w t / V = K_L t \quad (2)$$

ここで C_0 : $t=0$ におけるDO濃度。図-2に示された曲線と式(2)による $\ln[(C_s - C_0)/(C_s - C_t)]$ と接触時間(min)の関係に書き換えた図-3は、原点を通る直線となり回転数が大きいかほど傾きは大きい。直線の傾きは式(2)における $K_L A_w$ の値であり、 A_w 、 V は既知であるから、 K_L からただちに K_L が求められる。各実験条件における K_L の値を表-1に示した。以上のように、酸素輸送機構は式(1)によって一応表示可能である。

3. シミュレーション 酸素輸送係数 K_L をより詳細に検討するために、図-4に示すような、液本体、拡散層、付着水膜からなる非定常拡散モデルを検討する。液本体ではDO濃度は一様であり、拡散層、付着水膜では酸素分子は分子拡散により輸送されるとする。なお付着水膜は3紙の厚さにより規定され水中と空中ではほぼ等しくなるとする。分子拡散による酸素輸送過程はFickの第2法則から式(3)で表わされる。

$$\partial^2 C_t / \partial x^2 = D \partial^2 C_t / \partial x^2 \quad (3)$$

ここで D : 酸素分子の拡散係数(cm^2/s)。今、式(3)のSchmidt Plot法

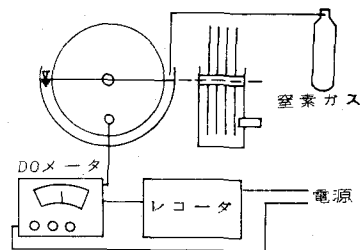


図-1 実験装置

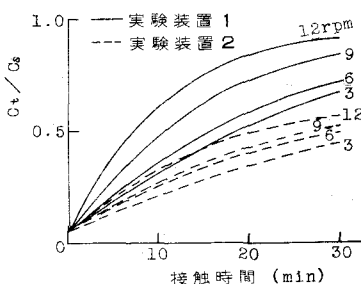


図-2 C_t/C_s と接触時間の関係

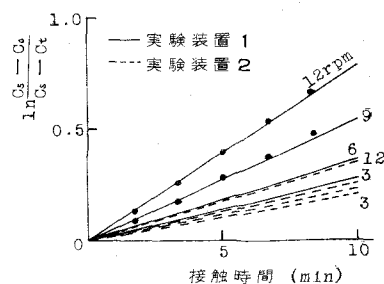


図-3 $\ln[(C_s - C_0)/(C_s - C_t)]$ と接触時間の関係

表-1 回転数と K_L 値

回転数 rpm	周辺速度 m/min	K_L l/min	K_L mm/s	D/K_L μ
装置1				
12	10.17	0.078	0.017	150
9	7.63	0.054	0.011	220
6	5.08	0.037	0.008	320
3	2.64	0.028	0.006	423
装置2				
12	6.40	0.036	0.017	147
9	4.80	0.026	0.012	208
6	3.20	0.023	0.011	227
3	1.60	0.021	0.010	250

による解法を考える。図-4に示したように拡散層と付着水膜を微小区間 Δz に分割し物質収支を考える。第 i 層の Δt 時間のDO濃度変化は式(3)を差分表示して式(4)となる。

$$\frac{D[C_{(i-1)} - C_{(i)}]}{\Delta z} - \frac{D[C_{(i)} - C_{(i+1)}]}{\Delta z} = \frac{\Delta z}{\Delta t} [C'_{(i)} - C_{(i)}] \quad (4)$$

ここで $C_{(i)}$: 時間 t における第 i 層のDO濃度、 $C'_{(i)}$: 時間 $t+\Delta t$ における第 i 層のDO濃度、 $\Delta t = 14\pi^2/2D$ とおくと式(4)は式(5)となる。

$$C'_{(i)} = [C_{(i-1)} + C_{(i+1)}] / 2 \quad (5)$$

$t = n\Delta t$ (n は整数) とおくと、第 i 層の時間 t におけるDO濃度 $C_{(n,i)}$ は式(6)で表わされる。

$$C_{(n,i)} = [C_{(n-1,i-1)} + C_{(n-1,i+1)}] / 2 \quad (6)$$

時間 t における液本体と拡散層の界面でのフラックス N_n は式(7)となる。

$$N_n = -D[C_{(n,1)} - C_{(n,2)}] / \Delta z \quad (7)$$

Δt 時間に付着水膜から液本体へ輸送される酸素量 F_n は式(8)で表わされる。

$$F_n = A_w N_n \Delta t = A_w D \Delta t [C_{(n,2)} - C_{(n,1)}] / \Delta z \quad (8)$$

すなわち液本体のDO濃度は Δt 時間に $F_n / (V \text{ cm}^3/\text{l})$ 増加する。以上のモデルに従って実験条件に合せ電子計算機により数値計算を行った。計算条件の内拡散層厚 δ のみが未知であるため種々の δ について計算し実験値と最も良く適合する δ を求めた。 Δz は 10 cm 、 Δt は 0.02 s 、 D は $2.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ とし、円板の回転運動を回転周期の半周期の静止の後瞬時に半回転するものとする。12rpmの実験値と計算値を図-5に示した。実験値と最も良く適合する拡散層厚 δ と周辺速度の関係を示したのが図-6で、6~12rpmでは両者がほぼ直線関係にある。このことは δ が主に周辺速度により決まることを示している。また、3~2rpmでは空中滞留時間が10~2.5sであるが、計算の結果付着水膜は空中で十分飽和されることがわかった。水中部での分子拡散区間内のそれぞれの時間におけるDO濃度分布の一部を図-7と図-8に示した。

4. 考察 分子拡散区間内のDO濃度分布は12rpmでは1分後から直線的になるが、6rpmでは30分後においても分布は曲線である。このことは回転数が小さいときには K_L から直接 δ を評価できないことを意味する。H. Bintanjaらのデータからも同様のことが推定できる。また、拡散層内のDO分布が直線的であっても付着水膜表面のDO濃度は水中で常時 C_s とはならないので、 K_L より推定した δ は実際のものより厚くなる。たとえば12rpm実験値より求めた K_L からの δ は 150μ となりシミュレーションで求めた約 100μ より大きくなっている。3rpmでは実験値と計算値の適合度が劣るがこれはSchmidt Plot法の精度(Δz の大きさ)よりも円板の回転を瞬時に半回転するとして計算したためと思われる。

5. おわりに Schmidt Plot法による回転円板法の酸素輸送機構のシミュレーション数値計算と実験はよく適合した。今後、もっと周辺速度の大きい場合についても検証が必要であると思われる。また反応を考慮した酸素輸送機構についても現在検討中である。

参考文献 1) 渡辺, 石黒, 増田: 回転円板法の浄化モデルに関する基礎的考察, 第13回衛生工学討論会講演集, pp104~106 2) H. Bintanja, M. V. D. Erve and C. Boelhouwer: Oxygen transfer in a rotating disc treatment plant, Water Research, Vol. 4, Dec. 1970, pp 1147~1153

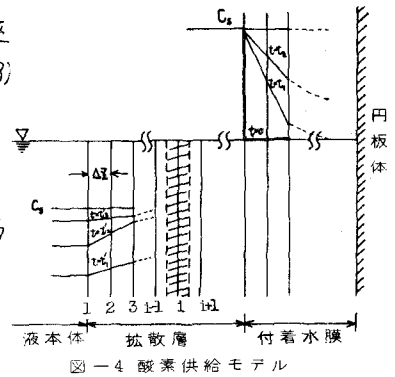


図-4 酸素供給モデル

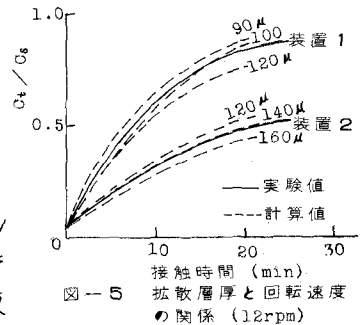


図-5 接触時間とDO濃度
拡散層厚と回転速度
の関係 (12rpm)

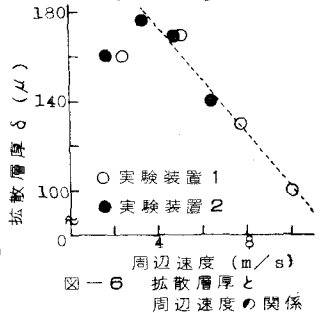


図-6 拡散層厚と
周辺速度の関係

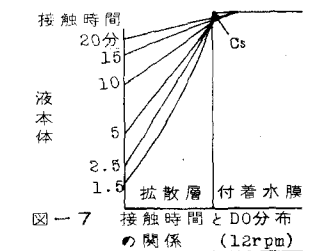


図-7 接触時間とDO分布
の関係 (12rpm)

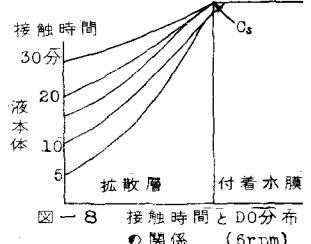


図-8 接触時間とDO分布
の関係 (6rpm)