

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

宮崎大学工学部 正員 増田純雄

1はじめに 回転円板法による汚水処理は同法の特長を生かしつつ普及してゐる。特に、硝化作用は流動方式にくらべて容易かつ効率良く進行する。水中のみで微生物反応が行われる生物膜反応の浄化機構についてはいくつか報告されているが、これらを回転円板法に直接適用することはできない。その主な理由として、①本法では生物膜が空中に存在する時には生物膜への大気からの酸素の輸送と生物膜内の微生物反応が行われ、液本体（接触槽内水）と生物膜との間に水質成分の移動はない、②生物膜が水中に存在する時には生物膜内反応および液本体と生物膜の間の水質交換が行われ、硝化反応においては $\text{NH}_3\text{-N}$ は液本体から生物膜へ、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は生物膜から液本体へと移動し、 DO は液本体濃度と生物膜内の濃度分布により移動方向が決る、③生物膜内の各水質成分の变化は非定常であり定常状態を設定して単純化できない、等が挙げられる。本文では回転円板法における硝化過程での生物膜内の各水質成分の濃度変化および液本体と生物膜との水質交換についての基礎的考察を行う。

2生物膜内反応と水質交換過程の基本式 液本体の $\text{NH}_3\text{-N}$ と DO の濃度変化は図-1 のようなパターンを描く。▲印は先に報告した四段直列型装置（第四段は嫌気性脱窒槽）での実測値、○と●印は本講演会で西留が発表する実験装置での測定値である。前者は $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度が低く、かつ生物膜が薄い場合であり、生物膜内の DO 濃度は高く常に生物膜から液本体へと移動した。後者では $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度が高く反応で消費される DO が多いうえに生物膜も厚いため、硝化が活発な段階（○印では第三段、●印では第二段）までは DO は液本体から生物膜へ移動し硝化反応の停止後は生物膜から液本体へと移動した。今、接触時間 $t=0$ において水中から空中へ出た図-2 のような円板表面の微小部分内部の水質成分の推移を考える。この微小部分が円板の回転速度 R (r.p.s.) によって τ 秒（ $\tau R=0.5$ ）後に再び水中に入るまでの生物膜内の水質分布の推移は一般に図-3 のようになる。ただし、簡単のために $t=0$ では生物膜内の水質分布は一様とし、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は S_0 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と DO 濃度は 0 とし、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の蓄積はないものとする。この水質成分の推移は式-(1) のような一次元の非定常拡散方程式に反応項が付加された基本式で表示される。

$$D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} + \frac{\partial C_i}{\partial t} - R_i(C_i) = 0 \quad \text{----- (1)}$$

ここで C_i = 着目する水質成分 i の濃度 (mg/l)、 D_i = 生物膜内での水質成分 i の拡散係数 (cm^2/sec)、 z = 生物膜表面からの深さ (cm)、 R_i = 水質成分 i の反応による生成 or 消費速度 ($\text{mg/l}\cdot\text{sec}$) で Monod の式 (式-(2)) で表示する。生物膜表面の付着水膜の厚さを無視すると、空中では生物膜表面 ($z=$

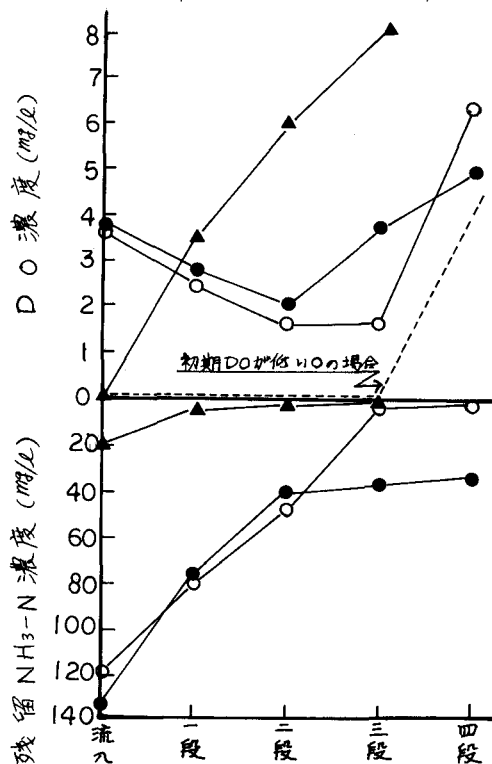
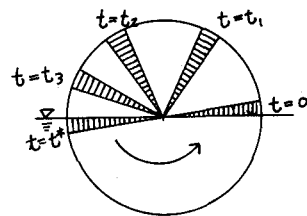
図-1 液本体の $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 DO 濃度変化

図-2 円板表面微小面積

0) のDO濃度は常に飽和濃度 $C_s = K_H P$ (K_H はHenry定数, P は空中の酸素分圧) に等しい。

$$R_i = \frac{K_i X_i C_i}{K_{si} + C_i} \quad (2)$$

ここで, K_i = 基質最大利用速度 ($\text{mg/l} \cdot \text{sec}$)
 K_{si} = 飽和定数 (mg/l)

X_i = 微生物濃度 (mg/l)
 C_i = 微生物濃度 (mg/l)
 D_i = 拡散係数 (cm^2/day)
 K_i = 基質最大利用速度 ($\text{mg/l} \cdot \text{sec}$)
 K_{si} = 飽和定数 (mg/l)
 Z_0 = 生物膜厚
 Z_a = 嫌気性層厚

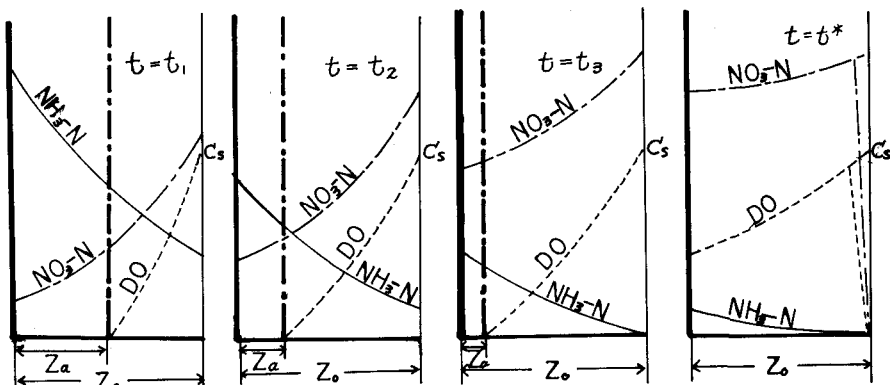


図-3 生物膜内水質成分濃度の推移 (Z_0 = 生物膜厚) (Z_a = 嫌気性層厚)

Table-1 Values of D_i, K_i, K_{si}

Limiting substrate	Culture	Temp.	K_i (day ⁻¹)	K_{si} (mg/l)
NH ₃ -N	Nitrosomonas	20°C	2.0	0.5
NO ₂ -N	Nitrobacter	20°C	4.0	0.3
O ₂	Nitrobacter	20°C	1.4	0.3
Biofilm Culture	Species	D_w (cm ² /day)	D_i (cm ² /day)	
Nitrosomonas-Nitrobacter	NH ₄ ⁺	1.5	1.3	
	NO ₂ ⁻	1.4	1.2	
	NO ₃ ⁻	1.4	1.4	
	O ₂	2.6	2.2	

液本体と生物膜の水質交換過程は生物膜表面に厚さ δ の静止水膜を仮定し式(3)のように表わす。

$$\frac{d\bar{C}_i}{dt} = \sum_{j=1}^K F_{ji} \Delta A / V = \frac{A}{NV} \sum_{j=1}^K F_{ji} \quad (3)$$

$$F_{ji} = D_i \frac{dC_i}{\delta} = D_i \frac{(C_{oi} - \bar{C}_i)}{\delta} \quad (4)$$

ここで, $\bar{C}_i$ = 液本体の水質成分 i の濃度 (mg/l), V = 液本体の体積 (l), F_{ji} = 静止水膜を通過する水質成分 i の Flux ($\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$), ΔA = 微小部分の表面積 (cm^2), A = 円板総表面積 (cm^2), N = 円板分割数, $\Delta C_i / \delta$ = 静止水膜内の水質成分 i の濃度勾配 (mg/cm), プラスの時は生物膜から液本体へ, マイナスの時は逆方向の移動を意味する, C_{oi} = 水質成分 i の生物膜表面の濃度 (mg/l), K = 水質交換に関与する微小部分の数, $t \geq 2\delta^2/D$ とは, $K = N$ 。

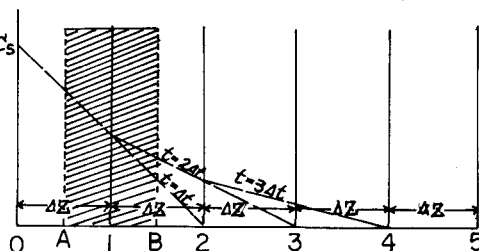


図-4 Schmidt Plot (DOの場合)

3基本式の解法 式(1)を直接解くことは不可能なので差分法でSchmidt plotにより解く方法を考える。³⁾ 図-4のように生物膜を厚さ ΔZ の微小区間に分割し斜線部分の物質収支を考えると, 式(1)は式(5)のようになる。

$$\frac{D_i(C_s - C_1)}{\Delta Z} - \frac{D_i(C_1 - C_2)}{\Delta Z} = \frac{\Delta Z}{\Delta t} (C'_1 - C_1) + R_i \Delta Z \quad (5)$$

$\Delta t = \Delta Z^2 / 2D_i$ とおくと, $C'_1 = 1/2 (C_s + C_2 - 2R_i \Delta t)$, ここで, C'_1 は Δt 秒後の plane 1 の濃度 (mg/l)
 一般に, $t = n \Delta t$ における plane j の濃度 $C_i(j, n)$ は $t = (n-1) \Delta t$ における濃度から,

$$C_i(j, n) = 1/2 \{ C_i(j-1, n-1) + C_i(j+1, n-1) - 2R_i \{ C_i(j, n-1) \} \Delta t \} \quad (6)$$

$$\text{ただし最界部では, } C_i(j, n) = C_i(j-1, n-1) - 2R_i \Delta t \quad (7)$$

式(6), (7)を繰返し計算すると生物膜内の各水質成分の濃度分布の推移が求められる。

4おわりに 本文では回転円板法による硝化過程を空中と水中に分けて考察し, それぞれについての基本式を提示し, 生物膜内反応過程の基本式をSchmidt Plotにより解く方法について述べた。基本式中の各定数値の検討, 静止水膜 δ の評価ならびに基本式の数値解については一部講演時に発表する予定である。

参考文献

- 1) 2) Williamson & McCarty; A model of substrate utilization by bacterial films, JWPCF, vol 48 No 1, 1976, Verification study of the biofilm model for bacterial substrate utilization, Annual Conference of the WPCF, Oct. 2, 1973, 3) Welty et al; Fundamentals of momentum, heat and mass transfer, Wiley, 1969