

回転円板法の浄化機構に関する研究 - 反応項の評価 -

鹿児島高専 正 西留 清

鹿児島高専 学 島田公史 東浩一郎

1. はじめに 前報¹⁾において付着生物膜内の生物反応を0次反応としてコンピューターシミュレーションにより半水没型回転円板法における生物膜内基質濃度分布を定量化し、シミュレーションにより得た平均 $\text{NH}_4\text{-N}$ Flux と実験値および定常動力学式による計算値と比較検討した結果、渡辺・石黒⁴⁾の固定生物膜動力学式が半水没型回転円板法に適用できることを明らかにした。本報では、生物反応項を Monod 型とした場合の生物膜内基質濃度分布および平均 $\text{NH}_4\text{-N}$ Flux が0次反応型に比較してどの程度異なるかをシミュレーションにより求めた。更に、硝化反応速度の温度依存性をシミュレーションにより得た平均 $\text{NH}_4\text{-N}$ Flux の温度依存性と定常動力学式による計算値から比較検討した。

2. 生物反応次数の検討 半水没型回転円板法のシミュレーションモデルは空中部では気相、付着水膜および生物膜からなる。モデルにおいて生物膜内での硝化反応を硝化菌による $\text{NH}_4\text{-N}$ の酸化におよぼす $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (C_N) および DO 濃度 (C_D) の影響が双方に関与する場合、Monod 式の積で近似できると仮定すれば式-(1)が成立する。

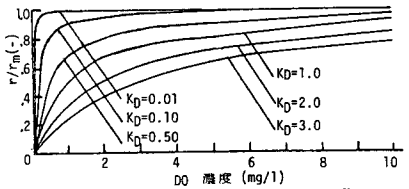
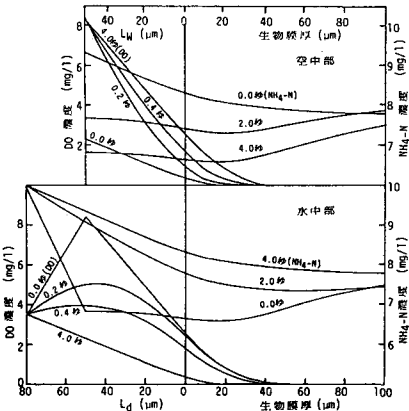
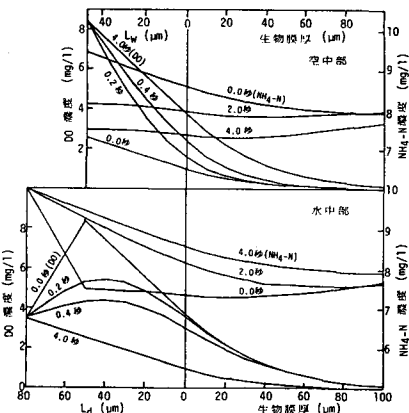
$$R_n = X \cdot r_m \cdot \frac{C_N}{K_N + C_N} \cdot \frac{C_D}{K_D + C_D} \quad \text{----- (1)}$$

X : 硝化菌濃度 (mg/l) r_m : 最大硝化速度係数 (1/hr)

硝化反応が0次の場合式-(1)の K_N ($\text{NH}_4\text{-N}$ に関する飽和恒数) および K_D (硝化菌の DO に関する飽和恒数) は0となる。森山⁵⁾らには0次反応であり、硝化反応は C_D に依存しており、 K_D は2.0 mg/l であると報告している。したがって、 $K_N \ll K_D$ と考えられるので硝化反応が酸素律速の場合、式-(1)は式-(2)となる。

$$R_n = X \cdot r_m \cdot C_D / (K_D + C_D) \quad \text{----- (2)}$$

図 1 は無次元硝化速度係数 (r/r_m) と DO 濃度の関係である。 K_D が大きくなるほど硝化速度係数 (r) が小さくなる。図-2 からは K_D がそれぞれ0.0 1(0次反応)と2.0の場合のシミュレーションによる基質濃度分布である。両条件とも液本体 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 ($C_{N,b}$) は10 mg/l、液本体 DO 濃度 ($C_{D,b}$) が3.5 mg/l についての結果であり、硝化反応は酸素律速となっている。 K_D が2.0の場合、酸素浸透深さは K_D が0.0 1の場合に比べて大きい。図-4 は平均 $\text{NH}_4\text{-N}$ Flux (F_A , ○印) と K_D との関係等である。硝化反応は $\text{NH}_4\text{-N}$ の4.33(α_n)倍の質量の溶存酸素が消費されるとしてシミュレーションしたので気相から生物膜表面への平均酸素 Flux (F_{Oa} , ●印) および液本体から生物膜表面への平均酸素 Flux (F_{Ow} , △印) α_m で除した結果も図-4 に示した。 F_{Oa} と F_{Ow} の和を α_m で除した値 (■印) は F_A と一致しており本シミュレーションモデル化が適切であったと言える。したがって、半水没型回転円板硝化では生物膜内で酸化された $\text{NH}_4\text{-N}$ と等量の酸素が生物膜内へ移動するので式-(3)が成立する。

図-1 無次元硝化速度係数と DO 濃度図-2 シミュレーションによる基質濃度分布 (円板回転速度7.5rpm, 水温23.5℃, $K_D=0.0$ 1mg/l)図-3 シミュレーションによる基質濃度分布 (円板回転速度7.5rpm, 水温23.5℃, $K_D=2.0$ 1mg/l)

$$F_A = (F_{Oa} + F_{Ow}) / Q_n \quad \text{----- (3)}$$

図-4から $F_{Ow} / (F_{Ow} + F_{Oa})$ と k_D との関係を図-5に示した。図-2, 3から判るように0次反応ほど生物膜表面に近いところでは生物反応がおり、水中部生物膜表面 D_0 濃度は小さくなるため F_{Ow} は大きい。しかし k_D は大きく変化しても酸素律速状態では F_{Ow} / F_{Oa} は10%程度であり、本シミュレーションの回転速度(7.5rpm)以下の場合、式-(3)は $F_A \approx F_{Oa} / Q_n$ であると考えられる。図-6は微小生物膜が水中に入った瞬間から空中に出る瞬間までの NH_4-N Flux(F_A')と酸素Flux(F_{Ow}')の変化を示したものである。図中の○印は F_A であり、●印は F_{Ow} である。 C_{Db} は実測値より3.5mg/lとしたため、微小生物膜が水中に入った瞬間は液本体へも酸素が供給され、 F_{Ow}' はマイナスとなるが F_{Ow} は0.08g/m²hrとなった。円板槽流入水が C_{Db} に影響しない場合、 F_{Ow} は0に近い値と考えられる。

3. 生物反応速度の検討 定常固定生物膜動力学式⁴⁾では生物膜表面の基質Flux(F)は基質が生物膜内へ完全浸透する場合式-(4)となる。 $F = \sqrt{2DR C_s^*}$ ----- (4)
D: 基質の分子拡散係数(m²/hr), R: 生物膜内基質酸化速度,
 C_s^* : 基質律速から酸素律速に移る生物膜表面基質濃度(mg/l)

前述したように、半水没型回転円板硝化では $F_A = Q_n F_{Oa}$ に等し

いとすれば水温 $t^\circ C$ の時の NH_4-N Flux($F_{A,t}$)は式-

$$(5) \text{となる。} F_{A,t} = \sqrt{2D_{O,t}(Q_n R_{n,t}) C_{S_{O,t}} / Q_n} \quad \text{--- (5)}$$

$D_{O,t}$: 水温 $t^\circ C$ の時の溶存酸素の分子拡散係数(m²/hr)

$R_{n,t}$: 水温 $t^\circ C$ の時の生物膜表面溶存酸素濃度(mg/l)

ゆえに、20 $^\circ C$ における NH_4-N ($F_{A,20}$)と $F_{A,t}$ との比をとると式-(6)となる。

$$F_{A,t} / F_{A,20} = \sqrt{(D_{O,t} / D_{O,20})(R_{n,t} / R_{n,20})(C_{S_{O,t}} / C_{S_{O,20}})} \quad \text{-- (6)}$$

D_0 の温度依存性は式-(7), C_{S_0} の温度依存性は C_{S_0} が C_s^* に比例すると仮定すると式-(8), F_A の温度依存性は実測データより式-(9)となる。

$$D_{O,t} / D_{O,20} = (1.03)^{t-20} \quad \text{----- (7)}$$

$$C_{S_{O,t}} / C_{S_{O,20}} = (0.98)^{t-20} \quad \text{----- (8)}$$

$$F_{A,t} / F_{A,20} = \theta_F^{t-20} = (1.04)^{t-20} \quad \text{----- (9)}$$

θ_F : F_A の温度係数。式-(7)~(9)を式-(6)に代入すると、 $R_{n,t}$ の温度依存性は式-(9)となる。

$$R_{n,t} / R_{n,20} = \theta_R^{t-20} = (1.07)^{t-20} \quad \text{---- (10)}$$

したがって、 F_A の温度係数(θ_F)と θ_R は式-(11)となる。

$$\theta_F = 1.005 + 0.475 \theta_R \quad \text{----- (11)}$$

図-7は水温20 $^\circ C$ における $R_{n,20}$ を一定とした場合のシミュレーションによる F_A の温度依存性(23.5~10 $^\circ C$)で

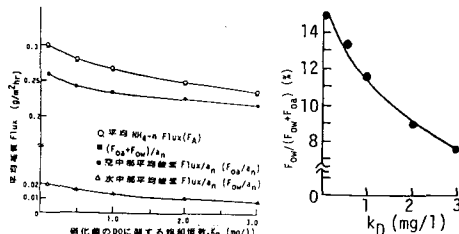


図-4 F_A と k_D の関係

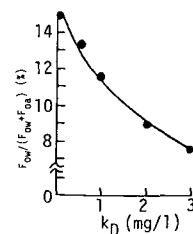


図-5 $F_{Ow} / (F_{Ow} + F_{Oa})$ と k_D

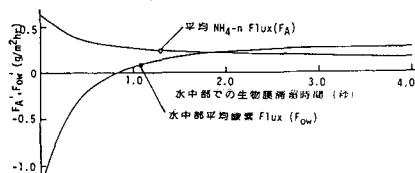


図-6 F_A' および F_{Ow}' と生物膜の水中滞留時間

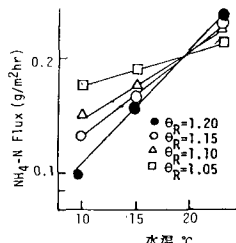


図-7 F_A と水温の関係

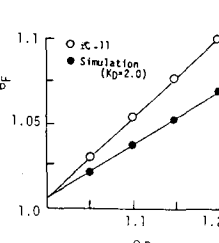


図-8 θ_F と θ_R の関係

ある。図-7からそれぞれの θ_R から θ_F を求め θ_F と θ_R の関係を図-8に示した。 θ_R が1.04の場合、シミュレーションでは θ_R が1.10となった。本シミュレーションでは生物膜内硝化菌濃度(X)は水温に関係なく一定として計算したため硝化反応速度係数(r)の温度係数(θ_r)は θ_R に等しい。渡辺・石黒らはXがMLSSとして500mg/l程度では θ_r は1.15として報告している。生物膜内硝化菌濃度の温度依存性を考慮すると本シミュレーションでも θ_r は1.15に近い値が得られると考えられる。

参考文献

- 1) 西留, 渡辺, 石黒: 回転円板法の浄化機構のシミュレーション, 第18回衛生工学研究討論会講演論文集PP. 122~127, 1 (1982)
- 2) Y. Watanabe, H. E. Bravo and K. Nishidome: Simulation of Nitrification and Its Dynamics in a Rotating Biological Contactor, Water Science and Technology, Vol. 14, pp. 100~120
- 3) Y. Watanabe, K. Nishidome, C. Thanantaseth and M. Ishiguro: Kinetics and Simulation of Nitrification in a Rotating Biological Contactor, Proceedings of the First International Conference on Fixed-Film Biological Processes, pp. 151~165
- 4) 渡辺義公, 石黒政俊, 西留清: 回転円板法の浄化機構に関する研究(1) 下水道協会誌, Vol. 15, No. 172, pp. 24~34, 9(1978)
- 5) 森山, 栗谷, 棚田: BOD除去-硝化混合プロセスに関する基礎的研究, 第18回衛生工学研究討論会講演論文集PP. 22~27, 1 (1980)
- 6) 渡辺, 西留, 石黒: 回転円板法による硝化機構のシミュレーション, 下水道協会誌, Vol. 19, No. 233, PP. 30~39, 12 (1982)