

II-14

回転円板法による有機物酸化・硝化の生物膜モデル

鹿児島工業高専 正 員 西留 清
正 員 森山 克美
学生員 〇川崎 慎一郎

1. はじめに 実際の下水中にはアンモニア性窒素(以下、 NH_4-N と記す)の他に多種の有機物が含まれているため硝化のみが起るのは稀であり、有機物酸化と硝化が同一の回転円板付着生物膜内で進行する。従来の研究には回転円板法(以下、本法と称す)による有機物酸化と硝化の相関を実験的に示したものはあるが、理論的検討を加えて定量化したものは筆者らの知る限りではない。本研究では既往の研究成果を踏まえ、有機物酸化・硝化過程の生物膜モデルを提示し、そのモデルによる数値実験から回転円板法による有機物酸化速度と硝化速度を求め、この数値実験値と既存の実測データから得られる有機物酸化速度と硝化速度の照合により回転円板付着生物膜内の生物濃度分布、および基質濃度分布に検討を加える。

2. 有機物酸化・硝化過程の生物膜モデル 生物膜内の生物化学的反応が酸素律速の場合、生物膜への酸素供給速度は生物膜内の他栄養性細菌と硝化菌の存在割合とは独立に決まると考えられている²⁾。したがって、有機物酸化・硝化過程では、酸素浸透深さ(L_0)と硝化による最大アンモニアフラックス($F_{N, \max}$)あるいは最大有機物酸化フラックス($F_{C, \max}$)が得られている場合には、生物膜内での酸素消費速度が式-(1)として得られる。³⁾

$$R_0 = a_n R_{N, \max} = a_n R_N + a_c R_C = a_c R_{C, \max} \quad \text{----- (1)}$$

但し、 R_0 : 生物酸素要求速度 ($g/m^2 \cdot \text{時}$) R_N : 硝化反応速度 ($g/m^2 \cdot \text{時}$) a_n : NH_4-N の生物化学的酸素要求量 (gO_2/gNH_4-N) R_C : 有機物酸化反応速度 ($g/m^2 \cdot \text{時}$) a_c : 有機物の生物化学的酸素要求量 (gO_2/g 有機物)。式-(1)を無次元化すると式-(2), (3)を得る。

$$\frac{R_N}{R_{N, \max}} = 1 - \frac{a_c}{a_n} \frac{R_C}{R_{N, \max}} \quad \text{----- (2)}$$

$$\frac{R_C}{R_{C, \max}} = 1 - \frac{a_n}{a_c} \frac{R_N}{R_{C, \max}} \quad \text{----- (3)}$$

アンモニア性窒素の除去速度(R_A)は、他栄養性細菌の細胞合成に利用される速度($k_c R_C$)と硝化速度(R_N)および硝化菌の細胞合成に利用される速度($k_n R_N$)である。ここで $k_n R_N$ は R_N に比べ無視しうるほど小さいので式-(4)を得る。 $R_A = R_N + k_c R_C$ ----- (4) 但し、 k_c : 定数 (-)

2.1 有機物酸化・硝化が酸素律速となる場合の生物膜モデル 増殖速度の大きい他栄養性細菌と増殖速度の小さい硝化菌が生物膜内に共存する場合、(1)他栄養性細菌濃度は生物膜表面で最大であり、深さ方向に漸次減少し有機物濃度が零となる深さまで存在する。(2)硝化菌濃度は生物膜全体に存在するかその濃度は生物膜表面では零で深さ方向に漸次増加し、他栄養性細菌が存在しなくなる深さで最大となる。以上の2つの条件を満足する生物膜モデルとしてモデル1、モデル2が考えられる。モデル1(図-1)は硝化菌濃度が生物膜の深さ方向に変化し、硝化反応速度がMonod型関数で近似できると仮定したものである。図-1中の Z_1 (定数)は NH_4-N 濃度あるいは有機物濃度に影響され、 NH_4-N 濃度が低く有機物濃度が高いほど大きくなると考えられる。モデル2は硝化菌濃度が生物膜の深さ方向に変化し、硝化反応速度がロジスティック曲線で近似できると仮定したものである。

モデル3はモデル1、モデル2とは異なり、他栄養性細菌濃度および硝化菌濃度は生物膜の深さ方向に関係なく一定で、液本体ある

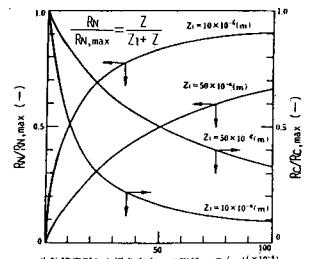


図-1 生物膜モデル(モデル1)

表-1 渡辺等¹⁾の実験データの解析結果

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
投入スターチ濃度 (mg/l)	51.1	111.4	227.3	341.0	489.0
流出スターチ濃度 (mg/l)	6.1	14.0	32.6	86.3	146.0
スターチフラックス (mg/l)	0.23	0.50	0.99	1.30	1.75
流入水 NH_4-N 濃度 (mg/l)	45	45	45	45	45
流出水 NH_4-N 濃度 (mg/l)	2.4	3.6	4.6	8.2	19.4
NH_4-N フラックス (mg/l)	0.22	0.21	0.20	0.19	0.13
$Fe=0.06Fs$ ($g/m^2 \cdot \text{hr}$)	0.01	0.03	0.06	0.08	0.11
硝化フラックス $FeFa-Fr$ ($g/m^2 \cdot \text{hr}$)	0.21	0.18	0.14	0.11	0.02
流出水DO濃度 (mg/l)	6.8	6.3	5.4	3.2	2.4

水量負荷 (Q/Aw): $5.1 \text{ l}/m^2 \cdot \text{時}$

いは生物膜表面の有機物濃度と $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に影響されると仮定したものである。

2.2 硝化が酸素律速となる場合の有機物酸化・硝化過程の生物膜モデル モデル4は硝化のみが酸素律速になる場合で、他栄養性細菌濃度は生物膜表面から有機物濃度が零となる深さまで最大で存在し、硝化菌は有機物濃度が零となる深さから酸素浸入深さまで最大で存在すると仮定したものである。

3. 数値実験とその考察 表-1は渡辺とChalermrajが有機物としてスターチを用いたデータを解析した結果である²⁾。式-(1)の α_n はWezemakとCanonによると硝化が硝酸型の場合には $4.33 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4\text{-N}$ であり、 α_c は渡辺等²⁾によると $0.55 \text{ gO}_2/\text{gスターチ}$ と報告している。渡辺等は細胞合成に利用される $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックス(F_N)を実験の結果 $F_N = 0.06 F_A$ としている。 F_A は F_E と F_N の和であるので式-(5)を得る。

$$F_N = F_A - F_E \text{ ----- (5)}$$

表-2は生物膜モデル1, 2に用いた数値実験の条件である。生物膜内基質濃度分布は初期条件を与えて円板を空中、水中繰返し無限に回転させれば定常となり、液本体基質濃度が定常状態での平均基質フラックス(F_{av})が得られる。 F_{av} は20回転以後はほぼ一定と考えて支障ないため、以下の数値実験による各基質の F_{av} は20回転目を用いた。図-2はモデル1の数値実験により求めたRun5の空中部と水中部での生物膜内のスターチ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、DO濃度分布である。同図は液本体の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が 24 mg/l についてのものでありスターチと $\text{NH}_4\text{-N}$ は生物膜最深部まで浸入し、酸素は生物膜表面近傍で零となり、スターチ(有機物)酸化・硝化反応は酸素律速となっていることがわかる。式-(5)中の F_E は渡辺等の実験では $F_E = \alpha_n F_A$ で表わされ、 $\alpha_n = 0.06$ であった。 α_n をモデル4の数値実験により求めると $\alpha_n = 0.08$ となり実験値とほぼ一致する。図-3-(a)-(b)にモデル1, 2, 3, 4の数値実験結果と既存データを対比して示す。モデル1では F_N は良く一致しているが F_A については計算値が若干高い。モデル2ではRun1, 4の F_N が一致するだけであり、モデル1ほど計算値と実験値は一致しない。モデル3は R_N と R_E の比により計算値は実験値の F_N もしくは F_A のどちらかと良く一致するが F_N , F_A が同時に一致することはない。したがって生物濃度は生物膜の深さ方向に一定(モデル3)ではなく、モデル1, 2のように生物膜の深さ方向に変化していると推察される。モデル4は生物膜内の有機物濃度が零となる深さまで生物膜は他栄養性細菌のみが存在すると仮定したために、計算値 F_N は実験値より非常に高い。このことから、付着生物膜は他栄養性細菌層と硝化菌層の完全な二層からなるのではなく、有機物濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の比により他栄養性細菌と硝化菌の混在した生物膜と考えられる。

表-2 数値実験の条件

生物膜厚	900 μm
付着水膜厚	50 μm
拡散層厚	60 μm
生物膜内最大スターチ酸化速度	$40,000 \text{ g/m}^3 \cdot \text{hr}$
内部回転速度	8.5rpm
硝化菌の分子拡散係数	$2.1 \text{ cm}^2/\text{day}$
$\text{NH}_4\text{-N}$ の分子拡散係数	$1.8 \text{ cm}^2/\text{day}$
スターチの分子拡散係数	$0.6 \text{ cm}^2/\text{day}$
α_c	$0.05 \text{ gO}_2/\text{gスターチ}$
α_n	$4.33 \text{ gO}_2/\text{gNH}_4\text{-N}$
k	0.06

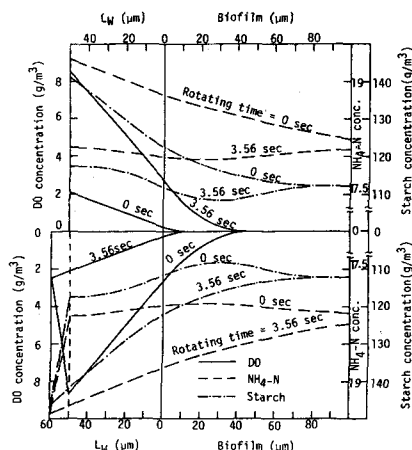


図-2 数値実験による基質濃度分布 (モデル1, Run5)

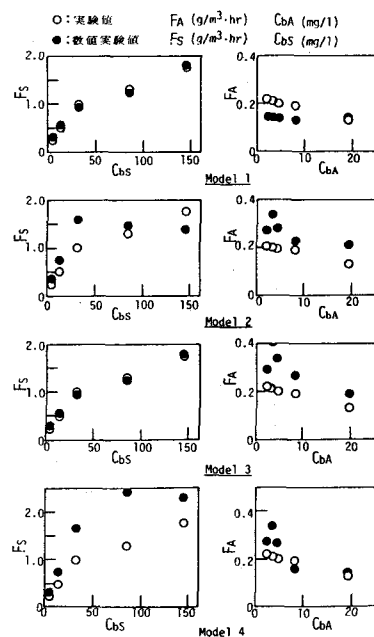


図-3 数値実験結果と既存データの比較

参考文献

- 1) 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 (1978)
- 2) 渡辺義公, Thanantaseth, C.: 回転円板法における有機物酸化および硝化過程の解析, 下水道協会誌, Vol.19, No.221, pp.52~62 (1982)
- 3) 西留清, 森山克美: 回転円板法による有機物酸化・硝化過程の生物膜モデル, 鹿児島工業高等専門学校 研究報告, 第18号, PP. 73~81 (1984)
- 4) Wezemak, C.T. and Cannon, J.J.: Oxygen Nitrogen Relationships in Autotrophic Nitrification, Applied Microbiology, Vol.15, No.5, pp.1211~1215