

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

1. はじめに 有機物と $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む汚水を回転円板法で処理すると、円板付着生物膜は他栄養性細菌と硝化菌により構成される。両細菌の活性度が生物膜の深さ方向にどのような分布を持つかについては、その実測が困難で、全く研究例がない。増田等¹⁾は各種細菌の生物膜深さ方向の濃度分布を実測し、他栄養性細菌は深さ方向にはば一様に分布し、硝化菌は深さ方向にその濃度が徐々に増加することを明らかにした。しかし、実測された細菌濃度は潜在的なものであり、実際に膜内でどの程度の活性度を持っているかは不明である。本文では筆者等が先に明らかにした膜内の他栄養性細菌と硝化菌の酸素摂取速度に関する仮定に基づいて生物膜内の他栄養性細菌と硝化菌の活性度の分布を提示する。提示された分布の妥当性をその分布を用いて行なった有機物酸化と硝化速度の計算値と実測された有機物酸化と硝化速度を比較することにより証明する。

2. 生物膜内での他栄養性細菌と硝化菌の酸素摂取速度 生物膜への酸素の供給は膜が空中を回転する時に、生物膜表面に存在する付着水膜を通して行なわれる。付着水膜内の酸素移動は分子拡散により行なわれるが、生物膜への酸素供給が付着水膜内の分子拡散過程に律速される場合、生物膜への酸素供給速度は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る。²⁾したがって、有機物酸化・硝化過程では、生物膜内での生物化学的酸素摂取速度(R_0)が膜の深さ方向に一定(0次)で、酸素浸入深さ、硝化による最大 $\text{NH}_4\text{-N}$ フラックス($F_{N,\max}$)および最大有機物フラックス($F_{C,\max}$)が得られている場合、 R_0 は式(1)で表わされる。

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

ここに、 R_N :硝化速度($\text{g/m}^2 \cdot \text{時}$) a_N : $\text{NH}_4\text{-N}$ の生物化学的酸素要求量($802/\text{gNH}_4\text{N}$)

R_C :有機物酸化速度($\text{g/m}^2 \cdot \text{時}$) a_C :有機物の生物化学的酸素要求量($802/\text{g有機物}$)

$\text{NH}_4\text{-N}$ の除去速度(RA)は、他栄養性細菌の細胞合成に利用される速度($k_C \cdot R_C$)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($k_N \cdot R_N$)の和である。

$k_N \cdot R_N$ は R_N に比べて無視しうるほど小さいので、 RA は式(2)で表わされる。

$$RA = R_N + k_C \cdot R_C \quad \text{----- (2)} \quad \text{ここに } k_C: \text{定数(一)}$$

3. 生物膜内の生物化学的反応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し、生物膜内の生物化学的反応が酸素律速の場合の生物膜モデルを図-1, 2 (モデル1, 2)に示す。モデル1は、(1)生物膜内有機物酸化速度は生物膜表面では最大で深さ方向に漸次減少し、(2)生物膜内硝化速度は生物膜表面では零で深さ方向に漸次増加するとしたものである。したがって、硝化速度が生物膜の深さ方向に漸次増加する直交双曲線(式-3)で表わすと、有機物酸化速度は式(1)、(3)より式(4)となる。

$$\frac{R_N}{R_{N,\max}} = \frac{Z}{Z_1 + Z} \quad \text{----- (3)} \quad \frac{R_C}{R_{C,\max}} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z} \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 Z :生物膜表面から深さ方向への距離(m) Z_1 :定数(m)

Z_1 は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度あるいは有機物濃度に影響され、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 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、(1)生物膜内有機物酸化速度および硝化速度は膜の深さ方向に関係なく一定となり、(2)両速度は液本体有機物濃度、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度あるいはこれらの比により決まるとしたものである。した

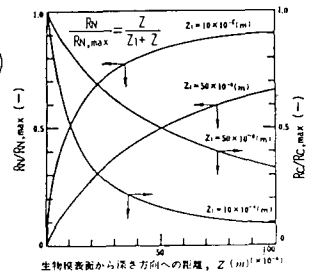


図-1 生物膜モデル(モデル1)

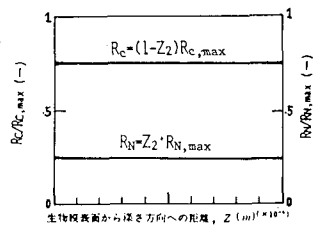


図-2 生物膜モデル(モデル2)

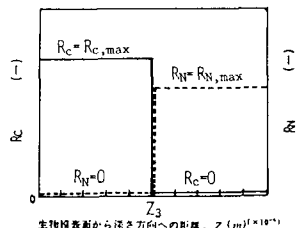


図-3 生物膜モデル(モデル3)

がって、硝化速度を式-(5)で表わすと、式-(1), (5)より有機物酸化速度は式-(6)となる。

$$R_N = Z_2 \cdot R_{N,max} \quad \text{---(5)} \quad R_C = (1 - Z_2) R_{C,max} \quad \text{---(6)}$$

ここに、 Z_2 : 定数 ($0 \leq Z_2 \leq 1$)

4. 硝化が酸素律速となる場合の生物膜モデル 生物膜表層部に他栄養性細菌、次に硝化菌が形成され、有機物酸化は酸素律速とならず硝化のみが酸素律速になる場合の生物膜モデルを図-3(モデル3)に示す。モデル3は、(1)有機物酸化速度は生物膜表面から有機物濃度が零となる深さ(Z_3)まで最大値($R_{C,max}$)をもち、(2)硝化速度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値($R_{N,max}$)をもつとしたものである。

5. 回転円板法による有機物酸化・硝化のシミュレーションとその考察 表-1はモデル1~3に用いられたシミュレーション(以下、数値実験と記す)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、水中繰り返し無限に回転させれば一定分布となり、液本体基質濃度が定常状態での平均基質フラックスが得られる。平均基質フラックスは20回転以後はほぼ一定になったため以下の数値実験による各基質の平均基質フラックス20回転目を用いた。表-2は渡辺とChalermraj²⁾が有機物としてスターチを用いた実験データを解析した結果である。平均基質フラックスの実験値は流入、流出基質濃度と水量負荷の実験データにより計算した。図-4はモデル1の数値実験により求めたRun 5の空中部と水中部での生物膜内スターチ、 NH_4-N 、 DO 濃度の分布である。スターチと NH_4-N 濃度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ることがわかる。図-5にモデル1~3の数値実験値と実験値を対比して示す。モデル1では F_s は数値実験値と実験値は良く一致しており、 F_A は数値実験値が実験値より若干高い。モデル2では式-(5), (6)の Z_2 の仮定により F_s もしくは F_A のどちらかの数値実験値と実験値は良く一致する F_s が良く一致するように Z_2 を仮定したが、 F_A は数値実験値の約1.3~2倍となった。モデル3では F_s は数値実験値が実験値より非常に高く、 F_A もあまり一致しない。

6. おわりに 本文では生物膜内での他栄養性細菌の活性度は膜の深さ方向に徐々に低下し、逆に硝化菌の活性度は徐々に増加するとしたモデルを提示し、その妥当性を実測値と計算値との照合により間接的に証明した。今後は膜内の活性度を実測し、モデルの直接的証明を行いたい。本研究は文部省科学研究費総合A(研究代表者、東京大学松尾友矩教授)の助成により遂行された。

一参考文献一 1)小湊哲郎 増田純雄: 生物膜内の細菌分布に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会, PP.150-151 (1984.2)

2)渡辺美公 Thanatasech. 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.73-81 (1984.10)

表-1 数値実験の条件

生物膜厚	900 μ m
付着水膜厚	50 μ m
拡散係数	60 μ m ² /sec
生物膜内最大スターチ酸化速度	40,000g/m ³ ·hr
内部回転速度	8.5rpm
貯留液の分子拡散係数	2.1cm ² /day
NH_4-N の分子拡散係数	1.8cm ² /day
スターチの分子拡散係数	0.6cm ² /day
Q_C	0.05gO ₂ /gスターチ
Q_N	4.33gO ₂ /g NH_4-N
k_c	0.06

表-2 渡辺等²⁾の実験データの解析結果

	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
流入スターチ濃度 (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
$Fe=0.06F_s$ (g/m ² ·hr)	0.01	0.03	0.06	0.08	0.11
硝化フラックス FeF_A+Fe (g/m ² ·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 l/m²·時

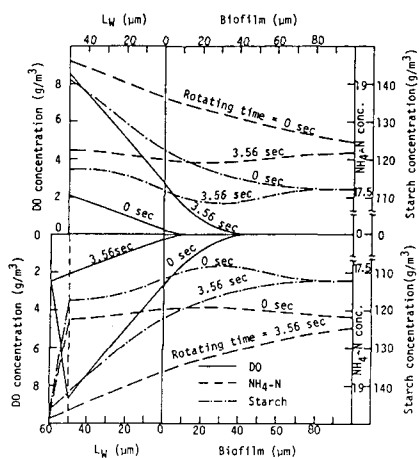


図-4 数値実験による基質濃度分布 (モデル1, Run5)

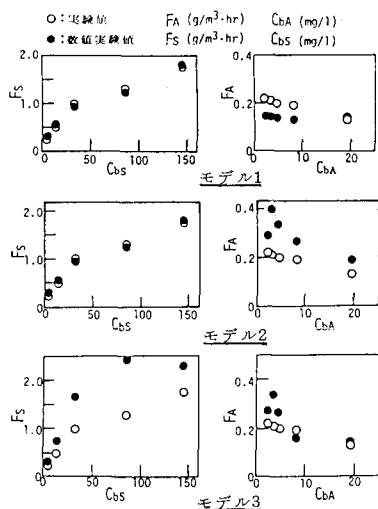


図-5 数値実験結果と既存データの比較