

B-4 活性汚泥モデルにおける活性汚泥微生物群の捕食関係に関する一考察

元宇都宮大学 都筑良明

1. はじめに

いわゆる IWA 活性汚泥モデルは、1986 年に IWA の前身である IAWQ および IAWPRC に設置されたタスクグループがその最初の成果である活性汚泥モデル No.1 を発表し、その後の検討の結果、現在では活性汚泥プロセスにおける有機物・窒素・リン除去反応を記述するモデルの世界標準として広く国際的に認知されている¹⁾。

活性汚泥微生物群の中で細菌については従来から生化学的検討も含めて多くの検討が進められている。原生動物等の大型微生物については、細菌との捕食関係も含めて、活性汚泥モデルでは十分な検討が行われていない。原生動物等の構成割合が大きければ余剰汚泥を減少させることができると考えられ、運転条件等によって構成割合を制御することができるのであれば、余剰汚泥の減少に資することができる。

本研究では、活性汚泥モデルのこれまでの研究成果を踏まえながら、活性汚泥中の微生物群の捕食関係について、嫌気好気式活性汚泥法(AO 法または EBPR 法)を検討対象として、実験データおよび既存文献のデータから原生動物群と細菌群に関する基本的モデルを構築し、原生動物等の細菌捕食者の増殖速度と、返送汚泥の濃縮率をパラメータとして半年程度の期間に相当するシミュレーション計算を行った。

2. 方法

2. 1 活性汚泥モデル

嫌気好気式活性汚泥法を対象として、活性汚泥モデル(Fig. 1, Table 1)を作成した²⁾。本モデルでは、活性汚泥微生物を X(MLSS)、B(細菌)、P(原生動物等の細菌捕食者、原生動物で代表させた。以下、原生動物とする)の3種類のパラメータで表現している。

2. 2 活性汚泥微生物の定量的検討方法

本研究では、嫌気好気式活性汚泥法の嫌気槽、好気槽を対象として、実験室規模プロセスの運転パラメータと、細菌、原生動物に関する文献値³⁾等から、活性汚泥プロセス中の細菌および原生動物について定量的に把握することを試みた。

滞留時間を嫌気槽 1 時間、好気槽 2 時間、沈殿地 1 時間とし、流入水の流量 Q_{in} を $36.8 \text{ t} \cdot \text{日}^{-1}$ 、DOC S_m を $107 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、返送汚泥の流量 R を $35.3 \text{ t} \cdot \text{日}^{-1}$ 、嫌気槽末端の MLSS $X_{an,2}$ を $4,000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ とした。DOC は実験結果から嫌気槽末端 $S_{an,2}$ を $10 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 、好気槽末端 S_{ox} を $5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ とした。DOC あたりの MLSS の収率を $1.3 (\text{g} \cdot \text{MLSS} \cdot \text{g} \cdot \text{DOC}^{-1})$ とした。原生動物 1 細胞あたりの平均的重量を $2.01 \times 10^{-6} \text{ mg} \cdot \text{cell}^{-1}$ 、細菌の 1 細胞あたりの平均的重量を $4.8 \times 10^{-10} \text{ mg} \cdot \text{cell}^{-1}$ とした⁴⁾。MLSS あたりの原生動物数と原生動物 1 細胞あたりの平均的重量から、MLSS 中の細菌と原生動物の重量比を $96:4$ とした⁵⁾。原生動物の好気槽における増殖速度 μ は、実験室での細菌と原生動物の 2 者培養のデータ⁶⁾を元にした 2.5 日^{-1} と、実施設のエアレーションタンクにおける原生動物の平均的増殖速度⁷⁾ 0.50 日^{-1} の 2 通りの値を用いた。

シミュレーション計算は、初期条件として嫌気槽末端の MLSS を $4,000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ とし、1 サイクル目と、返送汚泥の濃縮率をパラメータとした約 0.5 年に相当する 1,000 サイクル目の計算を行った。検討した活性汚泥モデルは連続層であるが、簡単のため 1 サイクル 4 時間の回分式を想定して 1,000 サイクル後の嫌気槽、好気槽の MLSS および細菌(B-SS)、原生動物(P-SS)の MLSS を算定した。

3. 結果

1 サイクル目の計算結果を Table 2 に示す。 $\mu = 2.5 \text{ 日}^{-1}$ では、好気槽で原生動物が 23% 増加し、細菌が

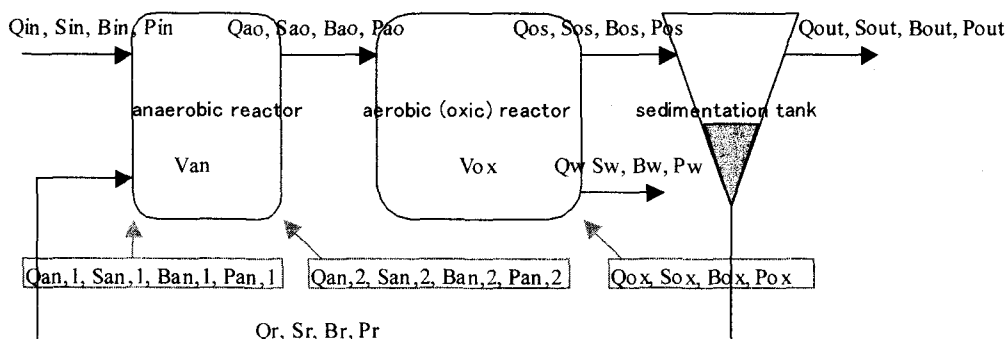


Fig. 1 Flow schematic of a continuous-type laboratory-scale anaerobic-aerobic (oxic) enhanced biological phosphate removal (EBPR) activated sludge process.

2.3%減少している。

返送汚泥の濃縮率 R をパラメータとする、1,000 サイクル目のシミュレーション結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 では R を1.0 から2.07 まで変動させた。 $R=1.0 \sim 1.9$ では好気槽 MLSS(=B-SS+P-SS)が $130 \sim 300 \text{ g m}^{-3}$ 、 $R=2.0$ で 970 g m^{-3} と算定され、 $R=2.05$ で初期条件に近い $4,050 \text{ g m}^{-3}$ となった。このときのB-SSは 40 g m^{-3} 、P-SSは $4,010 \text{ g m}^{-3}$ で、原生動物の重量割合が活性汚泥の99%を占めるという結果となった。このとき、好気槽では、嫌気槽での各重量に対して、P-SSは0.47%増加し、B-SSは73%減少すると算定された。

$\mu=0.50 \text{ day}^{-1}$ では、1 サイクル目の好気槽での原生動物の増殖率は4.3%、細菌の減少率は0.6%となった。1,000 サイクル目のMLSS、B-SS、P-SSを、返送汚泥の濃縮率をパラメータとして Fig 3 に示す。好気槽 MLSSは $R=1.0 \sim 1.954$ で漸増し、 $R=1.954$ で $1,513 \text{ g m}^{-3}$ の極大値となった。このときのB-SSは $1,490 \text{ g m}^{-3}$ 、P-SSは 20 g m^{-3} と算定され、原生動物の重量割合は1.3%となった。このとき、好気槽では、嫌気槽での生物量に対して、P-SSは4.3%増加し、B-SSは0.25%減少すると算定された。 R が1.955以上の範囲では、B-SSが急減し、P-SSが

Table 1 Nomenclatures and Subscriptions.

Letter	Unit	Explanation
B	cells ml^{-1}	Bacterial cell number in 1 ml mixed liquor
P	cells-protzoa ml^{-1}	Predator of bacteria (protzoa and metazoa) population calculated as a certain protzoa in 1 ml mixed liquor
Q	l day^{-1}	Flow rate
R	—	The ratio of MLSS concentration of return sludge and that in oxic reactor
S	g m^{-3}	DOC
V	l	Reactor volume
Y_{ph}	(1)	Yield coefficient of predator population increase and bacterial population decrease
Y_{bs}	cells $\text{ml}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ m}^3$	Yield coefficient of bacterial population increase using substrate as their food and DOC decrease uptaken by predators
Y_{ps}	(2)	Yield coefficient of predator population increase using substrate as their food and DOC decrease uptaken by predators
ΔX_{an}	—	(= $X_{an,2} - X_{an,1}$)
ΔX_{ox}	—	(= $X_{ox} - X_{ao}$)
in	—	Inflow
an,1	—	Just after mixture of inflow and return sludge at the beginning of anaerobic phase
an,2	—	At the end of anaerobic phase
ao	—	Between anaerobic reactor and oxic reactor
ox	—	At the end of oxic phase
os	—	Between oxic reactor and sedimentation tank
w	—	Withdraw sludge
out	—	Outflow of sedimentation tank
r	—	Return sludge

Note: (1) protozoa-cells bacteria-cells⁻¹, (2) protozoa-cells $\text{ml}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ m}^3$.

Table 2 Population of bacteria and predators in EBPR process.

Parameter \ Reactor	an,1	an,2	ox
$\mu=2.5 \text{ day}^{-1}$			
X (MLSS) (g m^{-3})	3,939	4,000	3,909
MLSS of Bacteria (g m^{-3})	3,781	3,845	3,715
B (Bacterial cell numbers)	7.88×10^9	8.01×10^9	7.74×10^9
MLSS of Predators (g m^{-3})	158	158	194
P (Predator cell numbers)	7.86×10^4	7.86×10^4	9.67×10^4
$\mu=0.50 \text{ day}^{-1}$			
X (MLSS) (g m^{-3})	3,939	4,000	3,986
MLSS of Bacteria (g m^{-3})	3,781	3,845	3,821
B (Bacterial cell numbers)	7.88×10^9	8.01×10^9	7.96×10^9
MLSS of Predators (g m^{-3})	158	158	165
P (Predator cell numbers)	7.86×10^4	7.86×10^4	8.20×10^4

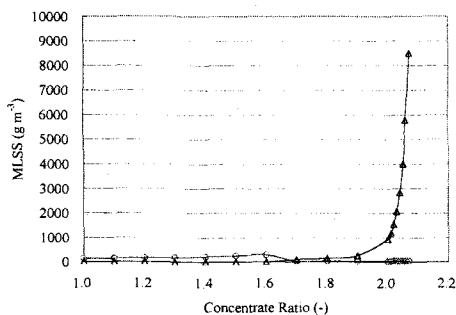


Fig. 2 MLSS and MLSS of bacteria and predators in
oxic phase after a hundred cycles ($\mu = 2.5 \text{ day}^{-1}$).

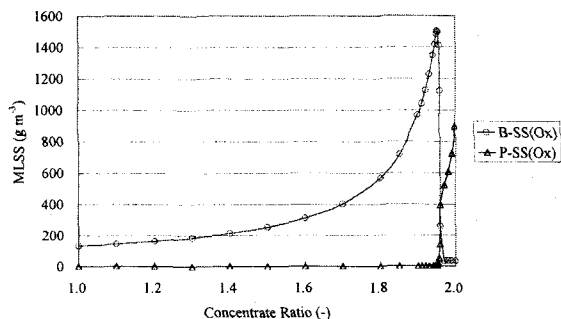


Fig. 3 MLSS and MLSS of bacteria and predators in
oxic phase after a hundred cycles ($\mu = 0.50 \text{ day}^{-1}$).

増加するという結果となった。

4. 考察

原生動物の増殖速度 μ に 2.5 日^{-1} を用いた場合には、好気槽の 2 時間の滞留時間で 23% 増殖すると算定され、 0.50 日^{-1} を用いた場合には同じく 4.3% と増殖すると算定される (Table 2)。好気槽での原生動物の増殖速度について、実験室、実施設の両方で検討する必要があるだろう。

文献値から細菌と原生動物の構成割合の初期条件を MLSS ベースで 96 : 4 とし、1,000 サイクルのシミュレーション計算を行った結果、原生動物の重量割合が増加し、原生動物の増殖速度を 2.5 日^{-1} とした場合には返送汚泥の濃縮率が 2.0 以上で、同じく 0.50 日^{-1} とした場合には濃縮率 1.96 以上で、P-SS が B-SS を上回るという結果が得られた (Fig. 2, 3)。濃縮率が大きくなると原生動物の重量割合が大きくなる傾向があることが示された。

実験室規模プラントおよび実規模施設では、MLSS 中で B-SS が大きな割合を占めていると考えられる。P-SS が B-SS を上回るようなシミュレーション計算結果が得られた原因としては、計算条件の範囲が実際のプロセスとは異なっていることが考えられた。

5. 結論

微生物群の中で従来から生化学的検討が進められている細菌に加えて、捕食者である原生動物等について、嫌気槽、好気槽において定量的に把握するための検討を行った。細菌と原生動物の構成割合の初期条件を文献値を元に MLSS ベースで 96 : 4 と仮定し、返送汚泥の濃縮率をパラメータとして 1,000 サイクルの計算を行った結果、MLSS の初期値に近い濃縮率では、原生動物の増殖速度を 2.5 日^{-1} 、 0.50 日^{-1} とした場合の両方で、1,000 サイクル目における原生動物の構成割合が初期条件よりも増加したため、実験室規模プラントおよび実施設での原生動物の重量割合は仮定した初期条件よりも大きいのではないかと考えられた。また、返送汚泥の濃縮率が大きくなると原生動物の重量割合が大きくなることが示された。

参考文献

- 1) Mino, T., van Loosdrecht, M. C. M., and Heijnen, J. J.: Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process, *Wat. Res.*, **32**(11), 3193-3207 (1998).
- 2) Tsuzuki Y.: Roles of Predators and Bacteria in Anaerobic-Aerobic (Oxic) EBPR Activated Sludge Process Estimated from CFU Study and a Mathematical Model Analysis, *J. Ecotech. Res.*, **10**(2), 55-61 (2004) (in Press).
- 3) 須藤隆一; 廃水処理の生物学、産業用水調査会、(1977).
- 4) 同書、171.
- 5) 同書、302.
- 6) 同書、143-170.
- 7) 同書、282-286.