

京都大学工学部

正員 宗宮 功

正員 河村 清史

学生員 〇上 野 正雄

1. まえがき

生物学的硝化は、*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*で代表される硝化菌によって行なわれるが、活性汚泥プロセスにおける硝化作用については十分把握されていない。本研究は活性汚泥プロセスにおける硝化反応について基礎実験を行ない、硝化過程をモデル化し、アナログコンピュータでシミュレーションすることにより硝化の可能性を検討したものである。以下、無機窒素の挙動に関する成果を報告する。

2. 活性汚泥による硝化実験

1) 実験目的

(1) 基本的反応定数の検討 (基礎実験)

3. で述べるモデル式の係数を決定し、モデル式の妥当性を検討するため合成下水を用いて硝化の基礎実験を行なった。

(2) 活性汚泥法による都市下水の硝化実験 (都市下水の硝化実験)

基礎実験の成果が実際の都市下水に対しても有効であるかを検討するため、大津市終末下水処理場流入水を用いて硝化実験を行なった。

2) 実験方法 (実験装置・培養条件)

基礎実験に関しては、反応槽として15Lの槽を4ヶ用い、20℃の恒温室内で回分式で行なった。活性汚泥は大津市終末下水処理場の運送汚泥を水洗し、さらに1日間空曝した後再び水洗したものを用いた。また、アルカリ度、pH、DOが硝化の制限因子とならないように配慮した。各槽の基質条件とMLSSを表-1に示す。

都市下水の硝化実験に関しては、反応槽として15Lの槽を用い20℃の恒温室内で回分式で行なった。基質としては生下水をJIS規格のフィルターで分画したものをを用いた。投入基質とMLSSを表-2に示す。

3) 実験結果と検討

(1) 基礎実験

各槽における無機窒素の挙動について、分析結果を図-1～図-3に示す。D槽(以下①と表わす)は汚泥の自己分解を、②③は硝化菌の増殖がMonod型に従うと仮定して亜硝酸性窒素($\text{NO}_2\text{-N}$)、アンモニア性窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)に関する飽和定数 X_2 、 X_1 と硝化菌濃度を、④は有機物の存在下での硝化作用を検討するために設けたものである。図-1から、自己分解により放出された $\text{NH}_4\text{-N}$ は0.19%/日の速度で $\text{NO}_2\text{-N}$ まで硝化されることわかる。飽和定数については表-3、表-4に示すような値が報告されているが、実験条件や測定法の違いもあり、必ずしも一致していない。③の結果から X_1 を求めると $X_1=10.7(\%)$ となり表-3の値と大きな差はなかった。また同時に Nitrosomonas 濃度は73(%)と求められた。⑤の結果からは、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の生成速度は $\text{NO}_2\text{-N}$ の減少速度と⑥の結果から得られた $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化速度との和になっていることが確認されたが、データ不足のため X_2 は決定できなかった。図-1から④に投入した $\text{NH}_4\text{-N}$ のほとんど全部が $\text{NO}_2\text{-N}$ まで硝化されていることわかる。有機物共存の影響については後で検討する。

表-1 基礎実験投入基質-MLSS(%)

槽	グルコース	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NH}_4\text{-N}$	MLSS
A	300	0	13	1150
B	0	50	0	1150
C	0	0	40	1150
D	0	0	0	1150

表-2 都市下水の硝化実験投入基質-MLSS(%)

槽	基 質	MLSS
1	0~20μ分画基質	485
2	0~53μ分画基質	535
3	水道水	405

表-3 $\text{NH}_4\text{-N}$ に関する飽和定数 X_1

X_1 (%)	報 告 者
10 (30%)	Lees, Hofman (1953)
3.5 (25%)	Ulken (1963)
1 (20%)	Painter & (1968)

表-4 $\text{NO}_2\text{-N}$ に関する飽和定数 X_2

X_2 (%)	報 告 者
8.4 (32%)	Landelout, van Tichelen (1960)
6 (30%)	Lees, Simpson (1953)
5 (28%)	Gould & Lees (1960)

(2) 都市下水の硝化実験

分析結果の例を図-4に示す。汚泥の自己分解によって放出された $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化速度は、 0.05 mg/L となっている。基礎実験で得られた値との差は、汚泥の違いによるものと考えられる。 $\text{NH}_4\text{-N}$ は溶解性であることから、オ1、オ2兩種槽での $\text{NH}_4\text{-N}$ の挙動は同一であり、基質投入時に存在した $\text{NH}_4\text{-N}$ と汚泥の自己分解に起因する $\text{NH}_4\text{-N}$ との $\text{NO}_3\text{-N}$ 化は、ほぼ完全に行なわれている。

3. 硝化反応のモデル化と実験成果のシミュレーション

1) 硝化反応のモデル化

硝化反応モデルを数学的に表現した基礎式は次の通りである。

$$\frac{dL_1}{dt} = -f_0 \left(\frac{M_{01}}{E_1} \right) \left(\frac{L_1}{L_1 + X_1} \right) S_1 + f_0 k_a$$

$$\frac{dL_2}{dt} = f_0 \left(\frac{M_{02}}{E_2} \right) (1 - E_1) \left(\frac{L_1}{L_1 + X_1} \right) S_1 - f_0 \left(\frac{M_{02}}{E_2} \right) \left(\frac{L_2}{L_2 + X_2} \right) S_2$$

$$\frac{dL_3}{dt} = f_0 \left(\frac{M_{02}}{E_2} \right) (1 - E_2) \left(\frac{L_2}{L_2 + X_2} \right) S_2$$

ここで L_1 : $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (mg/L), L_2 : $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度 (mg/L), L_3 : $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度 (mg/L)
 f_0 : 活性汚泥中の窒素含有率 0.124 , k_a : 他家栄養菌の自己分解速度 (mg/L)
 M_{01} : Nitrosomonas の最大増殖速度定数 0.023 (1/d) , M_{02} : Nitrobacter の最大増殖速度定数 0.037 (1/d) , S_1 : Nitrosomonas 濃度 (mg/L), S_2 : Nitrobacter 濃度 (mg/L), E_1 : 減少した $\text{NH}_4\text{-N}$ の汚泥転換率 6.2×10^{-3} , E_2 : 減少した $\text{NO}_2\text{-N}$ の汚泥転換率 2.5×10^{-3}
 X_1 : $\text{NH}_4\text{-N}$ に関する飽和定数 (mg/L), X_2 : $\text{NO}_2\text{-N}$ に関する飽和定数 (mg/L)
 今回の実験で決定できない係数は、既往の報告にみられる値を採用した。

2) 基礎実験のシミュレーション

1) の基礎式をもとにしてアナログコンピュータを用いて基礎実験に関するシミュレーションを行なった。硝化菌濃度の測定は困難なので、初期値を仮定して無機窒素の挙動から推定しなければならない。2) の結果から $f_0 k_a = 0.189$, $X_1 = 10$, $S_1 = 10$ とし、 X_2 については文献的に $X_2 = 1$, S_2 については S_1 からエネルギー産生量の比を考慮し $S_2 = 3$ とし、②に関するシミュレーションを行なうと、うまく実験結果と適合した。同一条件で③のシミュレーションを行なうと、初期の $\text{NO}_2\text{-N}$ の減少速度が実験結果の約6倍となり適合しなかった。処理場流入水としては異常に高濃度の $\text{NO}_2\text{-N}$ の投入により、基礎式に含まれていない硝化抑制因子が働いたことも考えられる。上記の条件 ($X_1 = 10$, $S_1 = 10$, $X_2 = 1$, $S_2 = 3$) で④に関するシミュレーションを行なうと、うまく適合した。④のシミュレーションにおいて、有機物の存在の影響はみられなかったが、これは汚泥がグルコースに馴致されていたことも関係していると考えられる。以上のシミュレーションにより硝化プロセスが基礎式によってある程度うまく説明できることが明らかになった。

3) 都市下水の硝化実験のシミュレーション

2) の結果を考慮して $X_1 = 10$, $X_2 = 1$, また2) より $f_0 k_a = 0.05$ とし、他の諸係数は2) と同一にして、硝化菌濃度のみを変えることによりシミュレーションを行なった結果 $S_1 = 8$, $S_2 = 2$ のときうまく適合することがわかった。実験に用いた下水は有機性基質濃度が低く、有機物硝化反応の影響がはつきりしていないので、さらに有機性基質濃度が高い場合の検討が必要である。

4. おとこき

本研究において、活性汚泥による硝化をモデル化しアナログコンピュータでシミュレーションを行なった結果、基礎式で無機窒素の挙動をある程度合理的に表わることがわかった。今後、有機性窒素の挙動および流動さらには Rising Sludge との関連を考慮し、モデルによるシミュレーションのレベルを高め、実験によって活性汚泥プロセスにおいて硝化を行なうための操作条件の検討を進める予定である。

図-1 基礎実験①②

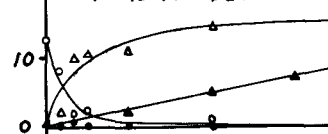


図-2 基礎実験③

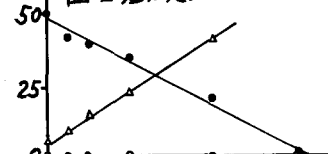


図-3 基礎実験④

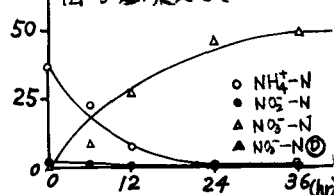


図-4 都市下水の硝化実験
0~20分間隔

