

京都大学工学部 学生員 上野正雄
正会員 宗宮 功
正会員 河村清史

1. はじめに 著者らは、第31回年次講演会において活性汚泥の硝化作用について、モデル化を行ない実験とアナログコンピューターを用いたシミュレーションにより、そのモデルで硝化プロセスをある程度説明できることを示した。今回は、前回不十分であった有機炭素源の硝化に対する影響をC/N比に注目して検討したので結果を報告する。

2. 実験

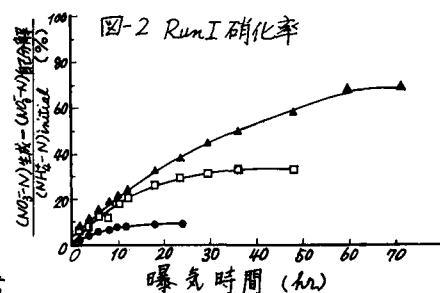
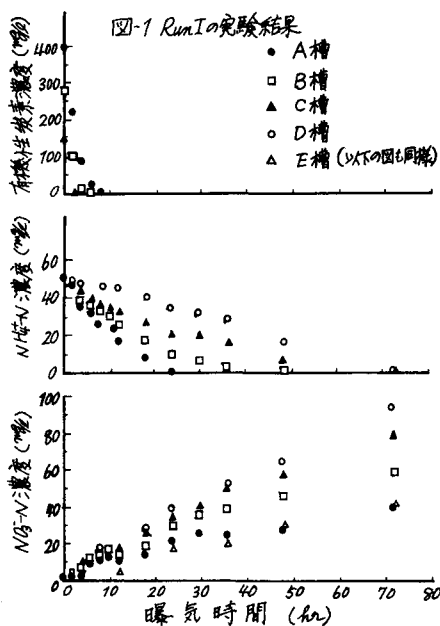
(1) 目的 $\text{NH}_4\text{-N}$ については硝化菌の基質であると同時に他栄養性細菌の細胞合成のためのN源となることから両細菌の間で競合が起こっていると考えられる。そこで他栄養性細菌の細胞合成は、基質である有機性炭素の濃度とその代謝容易度によって規定されるという意味からC/N比及び有機性炭素代謝速度をパラメータとして硝化プロセスを検討した。

(2) 方法 Run I, IIともに20℃の恒温室における20Lの反応槽を5ヶ用いた回分式実験で、表-1に示すようにC/N比を変化させた組成の人工下水を各槽に投入して行なった。活性汚泥としては、大津市終末下水処理場の返送汚泥をグルコースを中心とした人工下水で馴致したものを用いた。アルカリ度、pH、DOについては、それらが硝化を抑制しないように配慮した。

(3) 結果と考察 分析結果を図-1, 3に示す。A槽(以下①と記す)～C槽は、初期有機性炭素濃度の硝化への影響をみるために、④は汚泥のもつ硝化能力を知るために、そして⑤は汚泥の自己分解を知るために設けた。A～C槽では、 $\text{NH}_4\text{-N}$ は初期の速い減少とその後のやや遅い減少との2段階で減少している。初期の速い減少は他栄養性細菌の細胞合成の影響である。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成量は、初期の間は差が少ないが、後になるとはっきりした違いがでていすなわちC/N比が大きくなると、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の減少速度は大きくなるが、一方 $\text{NO}_3\text{-N}$ の生成速度は逆に小さくなっている。自己分解(固形性基質の代謝を含む)が各槽同じであると仮定すると、投入 $\text{NH}_4\text{-N}$ の硝化率は図-2, 4のようになる。Run I, IIを通して最終硝化率は9～66(%)程度となっており、どの槽においても $\text{NH}_4\text{-N}$ はすべて硝化と他栄養性細菌の細胞合成により除去されている。汚泥へ移行した $\text{NH}_4\text{-N}$ 量とグルコース減少量を用い、さらに汚泥の化学組成を $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ とすると、有機性炭素の汚泥転換率0.5655を得る。Run I, IIの結果にみられるC/N比が同様である槽の最終硝化率の違いは、硝化菌濃度の違いによるものと考えられる。硝化菌濃度の違いについては、Run I, II④の硝化速度から推定しなければならない。

表-1 実験条件(初期濃度 mg/L)

槽	Run I				Run II			
	グルコース	$\text{NH}_4\text{-N}$	MLSS	C/N	グルコース	$\text{NH}_4\text{-N}$	MLSS	C/N
A	1000	52.0	2090	7.7	360	19.3	2005	7.5
B	700	53.7	2155	6.2	240	18.9	1880	5.1
C	400	51.4	2170	3.1	120	18.6	2018	2.6
D	0	53.7	2225	0	0	20.2	1970	0
E	0	2.9	2065		0	0.2	1968	



④では $\text{NH}_4\text{-N}$ は 0 次反応的に減少しており、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の生成速度はほぼ $\{(\text{NH}_4\text{-N 減少速度}) + (\text{⑤の } \text{NO}_2\text{-N 生成速度})\}$ となっている。Run I, II ④の $\text{NH}_4\text{-N}$ 減少速度はそれぞれ 0.75 (mg/L・h), 2.6 であり 3.5 倍の違いがある。これと Run I, II ④の $\text{NH}_4\text{-N}$, MLSS 初期濃度の比から $\text{NH}_4\text{-N}$ 除去完了時間の比を計算すると Run I/Run II で 9.2 となり実験結果である 9.3 とよく一致している。

3. シミュレーション

(1) 硝化モデル 前回提出した基礎式に有機性炭素に関する式を加えて次のように修正した。

$$\begin{aligned} \frac{dL_1}{dt} &= -f_0 \left(\frac{M_0}{L_1 + X_1} \right) S_1 - f_0 \left(\frac{E_1}{L_1 + X_1} \right) S_1 + f_0 k_A S_3 \\ \frac{dS_1}{dt} &= M_0 \left(\frac{L_1}{L_1 + X_1} \right) S_1 \\ \frac{dS_2}{dt} &= M_0 \left(\frac{L_2}{L_2 + X_2} \right) S_2 \\ \frac{dS_3}{dt} &= \frac{E_2}{E_1} k_A \left(\frac{L_1}{L_1 + X_1} \right) S_1 - k_A S_3 \\ \frac{dL_2}{dt} &= f_0 \left(\frac{M_0}{L_2 + X_2} \right) (1 - E_2) S_2 \\ \frac{dL_3}{dt} &= -k \left(\frac{L_1}{L_1 + X_1} \right) S_1 + b k_A S_3 \end{aligned}$$

ここに L_1 ; $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (mg/L), L_2 ; $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度, L_3 ; $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度, C_i 有機性炭素濃度, S_i ; Nitrosomonas 濃度, S_2 ; Nitrobacter 濃度, S_3 ; 他栄養細菌濃度, f_0 ; 活性汚泥の窒素含有率 0.124, b ; 活性汚泥の炭素含有率 0.53, E_1 ; 減少 $\text{NH}_4\text{-N}$ の Nitrosomonas 転換率 6.2×10^3 , E_2 ; 減少 $\text{NO}_2\text{-N}$ の Nitrobacter 転換率 2.5×10^3 , E_3 ; 除去有機性炭素の汚泥転換率, M_0 ; Nitrosomonas の最大増殖速度定数 0.023 (1/h), M_0 ; Nitrobacter の最大増殖速度定数 0.037 (1/h), X_1 ; $\text{NH}_4\text{-N}$ に関する飽和定数 10 (mg/L), X_2 ; $\text{NO}_2\text{-N}$ に関する飽和定数 1 (mg/L), X_3 ; 有機性炭素に関する飽和定数 15 (mg/L), k ; 基質除去速度定数 (1/h), k_A ; 自己分解速度定数 (1/h)

(2) Run I, II のシミュレーション (1) の基礎式をもとにして、実験結果より求めた $k (= 0.0393 \text{ 1/h})$, k_A (Run I, II で $2.25 \times 10^3 \text{ (1/h)}$, 2.06×10^3) を用いアナログコンピュータでシミュレーションを行なった。まず④の実験結果と適合するように (S_1, S_2) を決めると、Run I では (1.2, 0.4), Run II では (10, 3) となった。 S_3 に対してごく少量の硝化菌が存在すれば硝化が起こることかわかる。また Run I, II の硝化菌濃度の比は前述した $\text{NH}_4\text{-N}$ 減少速度の比とは一致していない。次にその (S_1, S_2) を用いて ④～⑥のシミュレーションを行なうと、初期の L_1 減少速度が大きすぎて実験結果と適合しなかった。それは、 S_3 の細胞合成による $\text{NH}_4\text{-N}$ の摂取速度は C の除去速度に比例すると仮定して基礎式をつつたからであり、実際には C 除去と S_3 の細胞合成の間に時間遅れがあることを示している。これについては今後検討する必要があるが、ここでは便宜的に基礎式の基質除去速度定数を一定割合減じたもの (αk) を用いてシミュレーションを行なった。 α を $1/3$ 程度にすると図-3 の如くかなり実験結果と適合するようである。しかし Run I の L_2 はそれでも適合しない。図-5 は Run II ④について、 α を変えてシミュレーションした結果であるが C の除去速度 (S_3 の代謝速度) も硝化に影響を与えることを示している。

4. おわりに 活性汚泥による硝化について、有機性炭素源の影響を調べるためにプロセスのモデル化を行ない実験とアナログコンピュータにより検討した。それにより S/N 比と硝化菌濃度等が硝化の重要な因子であること、及び提出したモデルでプロセスの概要を定性的に把握できることがわかった。今後、モデルの精度を上げるとともに連続したプロセスへの適用性とモデルの限界についての検討が必要である。

図-3 Run II の実験とシミュレーション結果

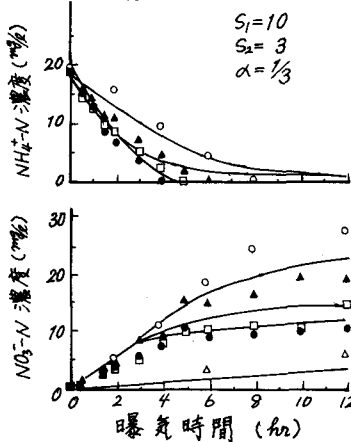


図-4 Run II 硝化率

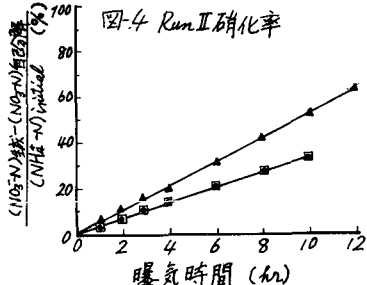


図-5 Run II ④のシミュレーション

