

○京都大学 工学部 学生会員 阿部好孝
 京都大学 工学部 正会員 平岡正勝
 京都大学 工学部 正会員 津村和志

1. 序 論

今日、下水処理場において活性汚泥法は最も一般的なものになっている。しかしこの活性汚泥法を1つのプロセスと考えた場合、これの適切な設計方法というものはまだはっきり確立されていない。というのは、このプロセスには物理化学的因子の他に、活性汚泥という生物学的因子が介入しているからである。特に生物学的因子については未知の部分が多く、従って活性汚泥法による下水処理プロセスは複雑な動きを示している。

そこで本研究では、種々のプロセス方程式の整理、設計において必要な諸データの整理、計算方法の確立を目的とし、下水処理プロセスを設計する場合の手順の標準化を考えた。特に窒素は受け入れ河川に影響を与えることから窒素の生物学的処理——硝化・脱窒を考慮に入れたモデルについて考えた。プロセスの概略図を図1に示す。設計は曝気槽に限定し、次のことを仮定して行なった。

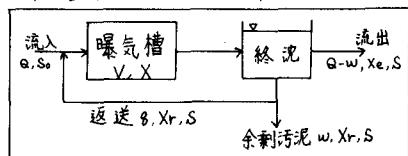


図1 プロセスの概略図

(1) 曝気槽は完全混合で、浮遊性基質の流入はないものとする。

(2) 基質に関するすべての生物化学的酸化は曝気槽で行なわれる。

2. 設計の手順

考えている系の設計を行なう為には、系内に起こっている現象の数学的定式化を行なう必要があり、これを図2のような要領で行なう。まず各反応（例えば硝化・脱窒）について化学量論式を作成する。次に各反応の速度式をたて、これと化学量論式を組合せて各状態量（例えば NH_4^+-N ）ごとの速度方程式を作る。さらに速度方程式と流動状態を表現する保存方程式をまとめてプロセス方程式を作成する。そしてこれに初期条件、環境条件を代入してプロセス方程式を解き、その計算結果を検討する。

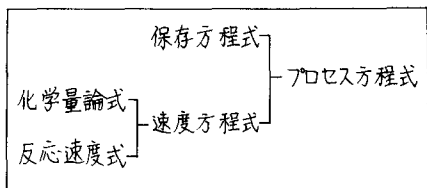


図2 プロセス方程式の組み立て方

式を作成する。そしてこれに初期条件、環境条件を代入してプロセス方程式を解き、その計算結果を検討する。

上記のことを具体的に説明していく。まず流入下水組成を $C_{10}H_{14}O_3N$ 、汚泥組成を $C_5H_7O_2N$ と仮定して、基質酸素呼吸、基質硝酸呼吸、硝化、好気状態での汚泥の自己分解、嫌気状態での汚泥の自己分解の化学量論式を作成した。次に各反応の速度式は、有機物濃度やDO濃度などの複合影響を Monod型の式で表わした。例えばBOD菌の増殖速度式なら、

$$r_{\text{BOD}} = \left(\frac{\mu_m S}{K_s + S} \right) \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X - b_1 \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X \quad \cdots (1)$$

というように表わした。ここに μ_m は最大BOD除去速度、 S は処理水 BOD_5 濃度、 K_s は飽和基質濃度、 DO はDO濃度、 K_{O_2} は溶存酸素飽和定数、 X はMLSS濃度、 b_1 は自己分解定数である。

一方、曝気槽内での物質収支は一般的に式(2)のようになる。

$$(\text{蓄積量}) = (\text{流入量}) - (\text{流出量}) + (\text{反応による生成量}) \quad \cdots (2)$$

定常状態では蓄積量の変化はゼロである。これにあてはめて考えた状態量は、 BOD_5 、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 、 NO_3^--N 、汚泥量、*Nitrosomonas*、*Nitrobacter* の7項目である。例えば NH_4^+-N に関しては、

$$O = (\text{流入}-\text{流出}) - (\text{Nitrosomonasの増殖による消費}) - (\text{基質酸素呼吸による消費}) \\ + (\text{基質硝酸呼吸による生成}) + (\text{内部酸素呼吸による生成}) + (\text{内部硝酸呼吸による生成}) \quad \text{-----(3)}$$

となる。これに速度方程式を組み合わせると、それぞれについてのプロセス方程式が完成する。(表1参照)

表1 プロセス方程式

$\text{CALC1} = \left(\frac{\mu_m S}{K_s + S} \right) \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X$	$\text{CALC2} = \left(\frac{\mu_m' S}{K_s' + S} \right) \left(\frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}} \right) \left(1 - \frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X$
$\text{CALC3} = \left(\frac{\mu_{NS} S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \right) \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X_{NS}$	$\text{CALC4} = \left(\frac{\mu_{NB} S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}} \right) \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X_{NB}$

- BOD₅収支 $O = \{QS_0 + \beta S - (Q + \beta)S\} / V - (\text{CALC1}) / Y - (\text{CALC2}) / Y' \quad \text{-----(1)}$
- NH₄⁺-N収支 $O = \{QS_{0NH_4} + \beta S_{NH_4} - (Q + \beta)S_{NH_4}\} / V - (\text{CALC3}) / Y_{NS} - R_1(\text{CALC1}) \\ + R_2(\text{CALC2}) + R_3 b_1 \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X + R_3 b_2 \left(\frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}} \right) \left(1 - \frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X \quad \text{-----(2)}$
- NO₂⁻-N収支 $O = \{QS_{0NO_2} + \beta S_{NO_2} - (Q + \beta)S_{NO_2}\} / V + (\text{CALC3}) / Y_{NS} - (\text{CALC4}) / Y_{NB} \quad \text{-----(3)}$
- NO₃⁻-N収支 $O = \{QS_{0NO_3} + \beta S_{NO_3} - (Q + \beta)S_{NO_3}\} / V + (\text{CALC4}) / Y_{NB} - R_4(\text{CALC2}) \\ - R_5 b_2 \left(\frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}} \right) \left(1 - \frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X \quad \text{-----(4)}$
- 汚泥収支 $O = \{QX_0 + \beta X_r - (Q + \beta)X\} / V + (\text{CALC1}) + (\text{CALC2}) \\ - b_1 \left(\frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X - b_2 \left(\frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}} \right) \left(1 - \frac{DO}{K_{O_2} + DO} \right) X \quad \text{-----(5)}$
- Nitrosomonas収支 $O = \{QX_{NS0} + \beta X_{NSr} - (Q + \beta)X_{NS}\} / V + (\text{CALC3}) - b_{NS}X_{NS} \quad \text{-----(6)}$
- Nitrobacter収支 $O = \{QX_{NB0} + \beta X_{NB r} - (Q + \beta)X_{NB}\} / V + (\text{CALC4}) - b_{NB}X_{NB} \quad \text{-----(7)}$

なお記号は、Qが流入下水量、βが返送量、S₀が流入下水BOD₅濃度、S_{0NH₄}が流入下水NH₄⁺-N濃度、YやY'が収率というように一般的に使われているものを用いている。

パラメータ値はStenstromやSherrardらが用いた一般的な値を用い、計算は京大計算機センターの科学計算用ライブラリーにあるフレント法を利用した。

3. 計算の結果

このようにして得られた結果を検討する。例えば汚泥齢を5日と固定し、硝化・脱窒に対するDOの効果を図る。流入量5000 m³/day、曝気槽容量1250 m³、返送率0.2、流入条件として、BOD₅ 250 mg/l、NH₄⁺-N 20 mg/l、NO₃⁻-N 10 mg/lと与えて計算した結果を図3に示す。これによると、DOが低い所では脱窒が活発に起こり、DOが大きくなるに従って脱窒量は減っていく。逆にDOがある程度大きくなると硝化が起こり始める。と同時にNitrosomonas、Nitrobacterの増殖が活発になり、NH₄⁺-NがNO₃⁻-Nに変換されていく。またDOが低い所でのNH₄⁺-Nは脱窒に伴う発生のため、微増している。

4. 結論

以上のことから、脱窒までを考慮に入れた下水処理プロセスの設計法を確立するという所期の目的は一応達成できたと思われる。

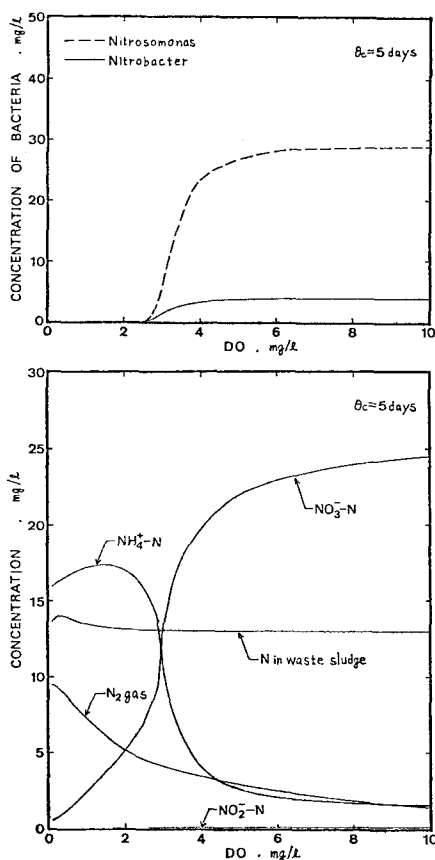


図3 窒素の形態分布及び微生物の増殖状況