

動力学モデルによるオキシデーションディッチのシミュレーション

佐賀大学工学部 学○中西新二 学 松尾保成

同 上 正 荒木宏之 正 古賀憲一 正 井前勝人

九州大学工学部 正 楠田哲也 正 栗谷陽一

1. まえがき 近年、小規模下水処理への関心が高まりつつあるが、一方では水質汚濁防止の観点から小規模下水処理に対しても高度処理レベルの処理水質が必要であろう。以上の様な観点から下水処理に伴う硝化脱窒現象に関しては様々な実験的・理論的研究が進められている。その中でもOD法は、小規模下水処理法の代表的な処理方式として注目されている。OD法で硝化脱窒を行う場合の主なシステムとして、好気域・嫌気域を利用する方法と間欠曝気方式がある。ところが小規模下水道として、好気・嫌気ゾーンを利用する方法ではDOコントロールが困難になるなどの問題があると思われる。筆者らは、間欠曝気方式のOD法による窒素除去について検討を行ってきた。間欠曝気方式による小規模下水処理システムとしてのODの運転管理法を確立する為には、流入負荷特性、好気時間・嫌気時間の硝化脱窒への影響及び各種物質の挙動を把握し、そのメカニズムの解明及び処理水質予測法の確立を行わねばならない。以上のことから、本研究では動力学モデルを用いたシミュレーションを行い、好気嫌気時間が硝化脱窒に及ぼす影響を調べ若干の知見を得たので報告する。

2. 動力学モデル シミュレーションに使用した動力学モデルを表-1に示す。 BOD_5 、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N の基質除去速度式はMonod式を用いた。 NO_3^--N は一般的に下水及び処理水にはほとんど存在しない為無視した。また流入水中には、固形物はないものと仮定している。計算には、ルンゲ・フッター・ギル法を用いた。

3. 計算結果 間欠曝気による硝化脱窒への好気嫌気時間の影響を調べるために、サイクルタイム(好気時間+嫌気時間)

表-1 動力学モデル

表-2 パラメーター値

反応速度式	
• BOD_5 除去速度	$\text{DBOD} = -\frac{V_s \cdot S}{K_s + S} \cdot \frac{\text{DO}}{K_o + \text{DO}} \cdot X$
• NH_4^+-N 除去速度	$\text{DNH}_4 = -\frac{V_{N1} \cdot \text{NI}}{K_{N1} + \text{NI}} \cdot \frac{\text{DO}}{K_{oN} + \text{DO}} \cdot \frac{A}{K_A + A} \cdot X$
• NO_3^--N 除去速度	$\text{DNO}_3 = -\frac{V_{N3} \cdot \text{N3}}{K_{N3} + \text{N3}} \cdot \frac{S}{K_{SN} + S} \cdot \left(1 - \frac{\text{DO}}{K_o + \text{DO}}\right) \cdot X$
物質収支式	
• BOD_5 収支	$\frac{dS}{dt} = [Q \cdot S_o + Q_r \cdot S - (Q + Q_r) \cdot S] / V + \text{DBOD} + a \cdot \text{DNO}_3$
• NH_4^+-N 収支	$\frac{d\text{NI}}{dt} = [Q \cdot \text{NI}_o + Q_r \cdot \text{NI} - (Q + Q_r) \cdot \text{NI}] / V + \text{DNH}_4$
• NO_3^--N 収支	$\frac{d\text{N3}}{dt} = [Q \cdot \text{N3}_o + Q_r \cdot \text{N3} - (Q + Q_r) \cdot \text{N3}] / V + \text{DNO}_3 - \text{DNH}_4$
• アルカリ度収支	$\frac{dA}{dt} = [Q \cdot A_o + Q_r \cdot A - (Q + Q_r) \cdot A] / V + b_1 \cdot \text{DNH}_4 - b_3 \cdot \text{DNO}_3$
• DO収支	$\frac{d\text{DO}}{dt} = [Q \cdot \text{DO}_o + Q_r \cdot \text{DO}_r - (Q + Q_r) \cdot \text{DO}] / V + C_1 \cdot \text{DBOD} + C_2 \cdot \text{DNH}_4 - K_D \cdot \frac{\text{DO}}{K_o + \text{DO}} \cdot X + K_{La} (\text{DO}_s - \text{DO})$
• 汚泥収支	$\frac{dX}{dt} = [Q \cdot X_o + Q_r \cdot X_f - (Q + Q_r) \cdot X] / V - Y \cdot \text{DBOD} - Y_1 \cdot \text{DNH}_4 - Y_3 \cdot \text{DNO}_3 - K_d \cdot \frac{\text{DO}}{K_o + \text{DO}} \cdot X$

記号	名称	値
V_s	最大 BOD_5 比除去速度	0.5 day^{-1}
K_s	BOD_5 飽和定数	100 mg/l
K_o	溶存酸素飽和定数	0.5 mg/l
V_{N1}	最大 NH_4^+-N 比除去速度	0.072 day^{-1}
K_{N1}	NH_4^+-N 飽和定数	0.5 mg/l
K_{oN}	硝化反応におけるDOの飽和定数	1.3 mg/l
K_A	硝化反応におけるアルカリ度の飽和定数	100 mg/l
V_{N3}	最大 NO_3^--N 比除去速度	0.17 day^{-1}
K_{N3}	NO_3^--N 飽和定数	0.1 mg/l
K_{SN}	脱窒反応における BOD_5 の飽和定数	100 mg/l
a	脱窒増殖に対する BOD_5 の割合	2.5
b_1	硝化反応において消費されるアルカリ度の割合	7.14
b_3	脱窒反応において生成されるアルカリ度の割合	3.57
c_1	BOD_5 除去にともなうDO消費の割合	0.5
c_2	NH_4^+-N 除去にともなうDO消費の割合	4.57
K_{D1}	汚泥の自己分解にともなうDO消費係数	0.02 day^{-1}
K_{La}	総溶存酸素移動係数	3~4 hr^{-1}
DO_s	飽和DO濃度	8.8 mg/l
Y	BOD_5 濃度の収率係数	0.5
Y_1	硝化係の収率係数	0.17
Y_3	脱窒係の収率係数	0.45
K_d	汚泥の自己分解係数	0.055 day^{-1}

S : BOD_5 濃度 (mg/l) NI : NH_4^+-N 濃度N3 : NO_3^--N 濃度 (mg/l) A : アルカリ度濃度 (mg/l)DO : 溶存酸素濃度 (mg/l) DO_r : 送水の溶存酸素濃度 (mg/l)Q : 流入水量 (mg/l) Q_r : 送水量 (mg/l)X : MLSS 濃度 (mg/l) V : ODの容量 (18m³)

添字0は各基質の流入水濃度を表す

時間を固定し(45分)、配分比(好気/嫌気時間の比)を種々変化させてシミュレーションを行った。シミュレーションに用いたパラメーターを表-2に示す。一部は(12, 140)。後述の様に実験値と合致する様に修正している。計算に用いた流入条件は、 $BOD_5=150(\text{mg/l})$, $NH_4^+-N=20(\text{mg/l})$, $NO_3^--N=0(\text{mg/l})$, アルカリ度 $=100(\text{mg/l})$ で、負荷変動は考慮していない。シミュレーション結果を図-1~3に示す。いずれの図も処理水がほぼ定常となった場合の結果である。初期濃度はすべて0として行った図-1は他に比べて好気時間が短い場合の例であり、図-3は逆に好気時間が長い場合の例である。図-1から好気時間の不足(DOレベルが低い)により硝化が進んでおらず、 NH_4^+-N は約12(mg/l)となり蓄積が認められる。それに伴いアルカリ度も高くなっている。図-3に於いては、図-1とは逆に好気時間が長い為に硝化は進んでいるが、それに伴いアルカリ度は低下している。同時に嫌気時間が不足するため脱窒反応が進行せず、 NO_3^--N の蓄積が認められる。その為アルカリの回収が小さく前述した硝化についてはアルカリの律速により硝化が抑制されると考えられる。このことは図-2に示す NH_4^+-N レベルとの比較からも容易に推察される。以上のことから、硝化脱窒を最適に行うには配分比の最適値が存在することが分かる。最大除去率となる配分比での結果を図-2に示す。本例の場合T-N除去率は63%であり若干低い。サイクルタイムを固定してT-N除去率を向上させる為には、まず硝化を進行させる必要があることが分かる。その為には配分比を変えずにDOレベル(KLa)を上げる必要がある。具体的手段としては、ブラスの回転数を上げることに相当するが、それに伴い汚泥の性状(例えばSVIなど)が変化することも知られている。この点については不明な点も多いので今後の課題である。更に図-2に於いて硝化が促進されたとしても、脱窒除去率はそれ程期待できない。何故なら有機炭素源が不足するからであり、BOD負荷を上げた計算により脱窒率が向上することは予め確認している。図-4aに示す本学の流入水質を入力条件とし、サイクルタイム45分での処理水質の予測を試みた。その結果を図-4aに示す。前述の様にパラメーターは、通常用いられるパラメーターを若干修正している。シミュレーション結果は、実験値をよく説明していることが分かる。

4. あとがき 本研究では動力学モデルを用いたシミュレーションを行うことによって、好気/嫌気時間が硝化脱窒に及ぼす影響を調べ、用いた動力学モデルは実験値をほぼ表現できていることが分った。しかしながら、より正確な水質予測を行う為にはDO変化に伴う各種物質の除去特性、水温の影響、流入負荷特性を考慮したモデルの確立を行う必要がある。本研究は、科学研究費(奨励研究A)及び日本生命財団の補助を受けて行ったものである。

参考文献 1) 窒素除去技術集大成 (財)CMCセンター 2) Sherrard J.H Jurnal WPCF vol 49, 1977.9
3) Yerachmie| Argaman Water Res. vol.18 No.12. 1984

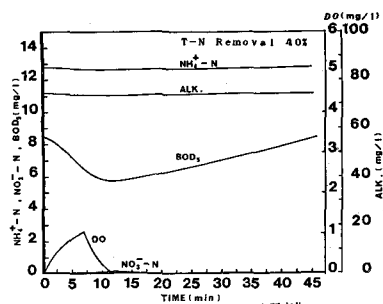


図-1 シミュレーションによる水質変化

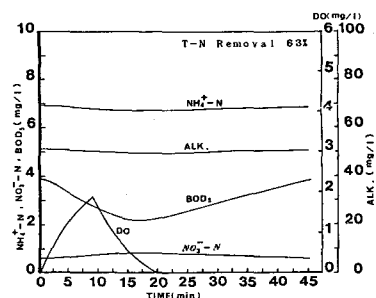


図-2 シミュレーションによる水質変化

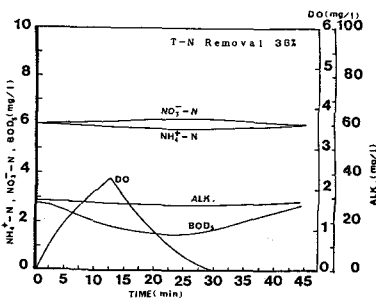


図-3 シミュレーションによる水質変化

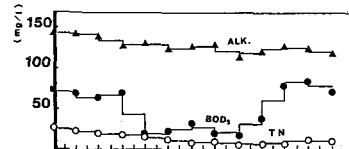


図-4. b 流入水質変化

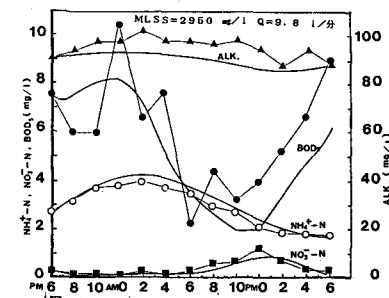


図-4. a 実験及びシミュレーションによる水質変化