

間欠曝気式OD法のモデル化とシミュレーション

佐賀大学理工学部 ○正 荒木宏之 正 古賀憲一

同上 正 井前勝人

九州大学工学部 正 楠田哲也

1. はじめに 著者らは、間欠曝気式オキシデーションディッチ法のモデル化を行ない、本法の有機物除去、窒素除去特性について検討を加えてきた。^{1), 2)} 本報では、種々の条件に対して設計諸元値や運転操作条件の検討を行ない得るシミュレーションモデルの構築を目的とし、既報のモデル¹⁾に修正を加え、実測結果との照合によりモデルの妥当性について検討を加える。

2. モデル式と計算方法 表-1に反応速度式、物質収支式を示す。対象とする水質項目はSS性COD_{Cr}(S_{PCOD})、溶解性COD_{Cr}(S_{COD})、SS性有機態窒素(S_{POGN})、溶解性有機態窒素(S_{OGN})、NH₄⁺-N(S_{NH4})、NO₂⁻-N(S_{NO2})、NO₃⁻-N(S_{NO3})、Mアルカリ度(S_{ALK})、pH、DOである。主な修正点は、①SS性COD、SS性有機態窒素の加水分解、②脱アミノ分解、③アルカリ度の変化と硝化に及ぼすpHの影響、④水温の影響、を考慮したことである。pHは図-1に示したプラント実験での実測アルカリ度とpHの関係から求めた。また、モデル化に当たっては、ディッチ内の流れは完全混合であり、沈澱池での反応は無く、基質除去はMonod型の複合動力学式により表わせる、とした。シミュレーションは4通りの曝気条件(実験I~IV)で行なったプラント実験結果³⁾を対象とした。モデルの適合性を検討するために先づ実験Iの実測結果に合致するようにパラメーター値を決定し、次に、このパラメーター値を用いて、曝気条件(K_{La}、サイクル時間、曝気時間)と水温を外部パラメーターとして与え実験II~IVをシミュレーションした。計算の入力条件として毎日の日平均水質(1日のコンボットサンプル)を与えた。流入水質の欠測がある場合には前後のデータより内挿し

表-1 モデル式

表-2 パラメーター値

基質除去速度	
SS性CODの加水分解	$r_{SCOD} = -K_{SCOD} S_{PCOD} X_{NH}$
SS性有機態窒素の加水分解	$r_{POGN} = -K_{POGN} S_{POGN} X_{NH}$
溶解性有機態窒素の脱アミノ分解	$r_{OGN} = -K_{OGN} S_{OGN} X_{NH}$
・ 貯存態CODの除去	$r_{SCOD} = -\frac{1}{Y_{NH}} \frac{\mu_{NH, max} S_{COD}}{K_{COD} + S_{COD}} \frac{DO}{K_{DO, N} + DO} X_{NH} \theta_{NH} (T-20)$
・ NH ₄ ⁺ -N酸化	$r_{NH4} = -\frac{1}{Y_{NH}} \frac{\mu_{NH, max} S_{NH4}}{K_{NH4} + S_{NH4}} \frac{DO}{K_{DO, N} + DO} X_{NH} F_{NH, NH} \theta_{NH} (T-20)$ ただし、 $F_{NH, NH} = 1$ (pH ≥ 7.0) $= 0.5 \times pH - 2.5$ (7.0 > pH ≥ 5.0)
・ NO ₂ ⁻ -N酸化	$r_{NO2} = -\frac{1}{Y_{NH}} \frac{\mu_{NH, max} S_{NO2}}{K_{NO2} + S_{NO2}} \frac{DO}{K_{DO, N} + DO} X_{NH} F_{NH, NH} \theta_{NH} (T-20)$ ただし、 $F_{NH, NH} = 1$ (pH ≥ 6.7) $= 0.7 \times pH - 3.71$ (6.7 > pH ≥ 5.3)
・ 脱窒	$r_{NO3} = -\frac{1}{\alpha Y_{NH}} \frac{\mu_{NH, max} S_{COD}}{K_{COD} + S_{COD}} \frac{S_{NO3}}{K_{NO3} + S_{NO3}} \frac{K_{DO, N}}{K_{DO, N} + DO} X_{NH} \theta_{NH} (T-20)$
物質収支式	
・ SS性COD	$\frac{dS_{PCOD}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{PCOD, 0} - S_{PCOD}) + r_{SCOD} + \alpha c (b_{NH} X_{NH} + b_{NH} X_{NH} + b_{NH} X_{NH})$
・ SS性有機態窒素	$\frac{dS_{POGN}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{POGN, 0} - S_{POGN}) + r_{POGN} + f_{NH} (b_{NH} X_{NH} + b_{NH} X_{NH} + b_{NH} X_{NH})$
・ 溶解性有機態窒素	$\frac{dS_{OGN}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{OGN, 0} - S_{OGN}) - r_{OGN} + f_{OGN}$
・ COD	$\frac{dS_{COD}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{COD, 0} - S_{COD}) + r_{SCOD} + \alpha c r_{NO2} - r_{SCOD}$
・ NH ₄ ⁺ -N	$\frac{dS_{NH4}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{NH4, 0} - S_{NH4}) + r_{NH4} - r_{NO2}$ $+ f_{NH} (Y_{NH} r_{SCOD} + \alpha c Y_{NH} r_{NO2} + Y_{NH} r_{NH4} + Y_{NH} r_{NO2})$
・ NO ₂ ⁻ -N	$\frac{dS_{NO2}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{NO2, 0} - S_{NO2}) - r_{NH4} + r_{NO2}$
・ NO ₃ ⁻ -N	$\frac{dS_{NO3}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{NO3, 0} - S_{NO3}) - r_{NO2} + r_{NO3}$
・ アルカリ度	$\frac{dS_{ALK}}{dt} = \frac{Q}{V} (S_{ALK, 0} - S_{ALK}) + \alpha r_{NH4} - \alpha r_{NO2} - \alpha r_{NO3}$ $+ \alpha f_{NH} (Y_{NH} r_{SCOD} + \alpha c Y_{NH} r_{NO2} + Y_{NH} r_{NH4} + Y_{NH} r_{NO2})$
・ 貯存態窒素	$\frac{dDO}{dt} = \frac{Q}{V} (DO_0 - DO) + c_{NH} r_{SCOD} + c_{NH} r_{NH4} + c_{NH} r_{NO2} + K_{La} (DO_0 - DO)$
・ 従属栄養性菌	$\frac{dX_{NH}}{dt} = \frac{Q}{V} \{ R X_{NH, 0} - (1+R) X_{NH} \} - Y_{NH} (r_{SCOD} - \alpha c r_{NO2}) - b_{NH} X_{NH}$
・ ニトロソモナス	$\frac{dX_{NS}}{dt} = \frac{Q}{V} \{ R X_{NS, 0} - (1+R) X_{NS} \} - Y_{NS} r_{NH4} - b_{NS} X_{NS}$
・ ニトロバクター	$\frac{dX_{NB}}{dt} = \frac{Q}{V} \{ R X_{NB, 0} - (1+R) X_{NB} \} - Y_{NB} r_{NO2} - b_{NB} X_{NB}$
・ 総アルカリ度とpHの関係	$pH = 3.722 + 1.572 \log(S_{ALK})$

記号	パラメーター	パラメーター値
$\mu_{NH, max}$	従属栄養性菌の最大比増殖速度 (1/day)	3.5
$\mu_{NS, max}$	ニトロソモナスの最大比増殖速度 (1/day)	0.8
$\mu_{NB, max}$	ニトロバクターの最大比増殖速度 (1/day)	1.0
Y_{NH}	従属栄養性菌の増殖収率	0.6
Y_{NS}	ニトロソモナスの増殖収率	0.1
Y_{NB}	ニトロバクターの増殖収率	0.05
b_{NH}	従属栄養性菌の自己分解速度 (1/day)	0.05
b_{NS}	ニトロソモナスの自己分解速度 (1/day)	0.03
b_{NB}	ニトロバクターの自己分解速度 (1/day)	0.02
K_{COD}	COD飽和定数 (mg/L)	150.0
K_{NH4}	NH ₄ ⁺ -N飽和定数 (mg/L)	0.8
K_{NO2}	NO ₂ ⁻ -N飽和定数 (mg/L)	0.3
K_{NO3}	NO ₃ ⁻ -N飽和定数 (mg/L)	3.0
$K_{DO, N}$	従属栄養性菌のDO飽和定数 (mg/L)	0.1
$K_{DO, NS}$	ニトロソモナスのDO飽和定数 (mg/L)	0.5
$K_{DO, NB}$	ニトロバクターのDO飽和定数 (mg/L)	0.5
K_{PCOD}	SS性CODの加水分解速度定数 (L/mg/day)	0.0005
K_{POGN}	SS性有機態窒素の加水分解速度定数 (L/mg/day)	0.0005
K_{OGN}	脱アミノ分解速度定数 (L/mg/day)	0.004
θ_{NH}	従属栄養性菌の温度係数	1.02
θ_{NS}	ニトロソモナスの温度係数	1.10
θ_{NB}	ニトロバクターの温度係数	1.07
θ_{DO}	脱窒における温度係数	1.08
η	無酸素条件下における補正係数	0.5
α	脱アミノ分解・窒素合成に伴うアルカリ度消費量	3.57
αc	脱窒に伴うCOD消費量 (mgCOD/mgN)	2.86
αd	脱窒に伴うアルカリ度の生成量	3.57
αe	NH ₄ ⁺ -N酸化に伴うアルカリ度消費量	7.14
c_{NH}	COD酸化に要する酸素量	0.45
c_{NH4}	NH ₄ ⁺ -N酸化に要する酸素量	3.43
c_{NO2}	NO ₂ ⁻ -N酸化に要する酸素量	1.14
αc	窒素のCOD換算係数 (mgCOD/mgVSS)	1.42
f_{NH}	窒素の窒素含有率 (mgN/mgVSS)	0.1

X_{NH}, X_{NS}, X_{NB} : 従属栄養性菌, ニトロソモナス, ニトロバクターの菌体濃度 (mg/L)
 T: 水温 (°C) Q: 流入下水量 (m³/day) V: ディッチ容量 (m³) R: 汚泥返送比
 K_{La}: 総括酸素移動容量係数 (1/day) DO₀: 飽和貯留酸素濃度 (mg/L)

て求めた。計算は時間間隔を0.5分としてR.K.G法で行ない、計算結果を一日の平均値として求めた。

3. シミュレーション結果 図-2~4に各水質の計算結果と実測値を示す。図中の実線は実験Ⅰの実測結果に合致するように定めた動力学パラメーター値(表-2)を用いて全期間を計算した結果である。計算結果は、曝気時間を長くした実験Ⅱでの NO_3^- -Nの増加、その後曝気時間を短くしたために増加する溶解性CODおよび NH_4^+ -Nの増加(実験Ⅲ)と再び曝気時間を実験Ⅰ程度に戻した実験Ⅳでの処理の回復、および、これらの水質変化に伴って変動するアルカリ度の挙動など、曝気条件の変更に対応して変化する処理水の特徴的な挙動を傾向としては表わしている。ところが、実験Ⅲにおける各水質の計算値と実測値は一致しておらず、COD、 NH_4^+ -Nの計算値は実測結果よりも大きく、溶解性有機態窒素は小さくなっている。

$\mu_{H,\max}$ 、 $\mu_{NS,\max}$ を大きくすると実測値と一致するようになるが、好気時間の減少によって活性が上がるとは考えにくく、また、有機態窒素の計算値が小さいことは説明できない。これらのことから、実験Ⅲでは好気時間を短くしたことに伴い自己分解による難分解性の有機物が増加したことや、この期間の流入SS性有機態窒素が他の期間に比べ高い(難分解性の有機態窒素の増加)ため、計算上SS性有機物の加水分解速度や脱アミノ反応速度を大きく見積もったためと考えられる。そこで、この期間だけSS性のCOD及び有機態窒素の加水分解速度と脱アミノ反応速度を1/2に小さくして計算を行なった。その結果が図中の破線であり、実験Ⅲの期間における各水質の計算値は実測結果と傾向、絶対値ともに良く一致するようになる。都市下水のSS性有機物は多い場合で全有機物の70%近くを占めることがあるため、その加水分解速度や脱アミノ反応速度をより正しく見積もることは、最初沈澱池が省略されることもあるOD法の有機物・窒素除去を考える上で重要と考えられる。また、曝気条件によっては自己分解に伴うCODや窒素の付加が大きくなることも考えられ、この点に関しても今後検討を進める必要がある。これらの問題に関しては未だ不明な点が多く、現象が解明されるに伴いさらにモデルの改良をすべきと考えられるが、提示したモデルにより間欠曝気式OD法の有機物除去、窒素除去が大略再現できることが確かめられた。

<参考文献> 1)荒木ら:衛生工学研究論文集, Vol.22, 1986, 2)Inomae et al.: Wat.Sci.Tech., Vol.19, 1987, 3)松尾ら:土木学会年次学術講演会, 1987

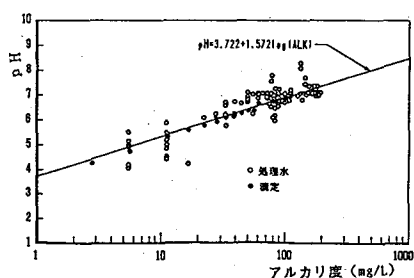


図-1 アルカリ度とpHの関係

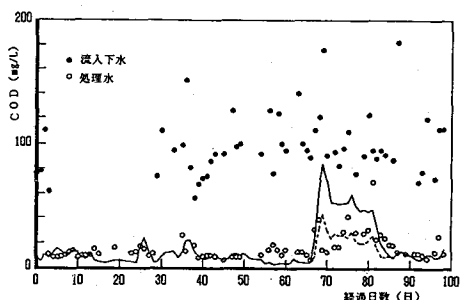


図-2 溶解性CODの経日変化

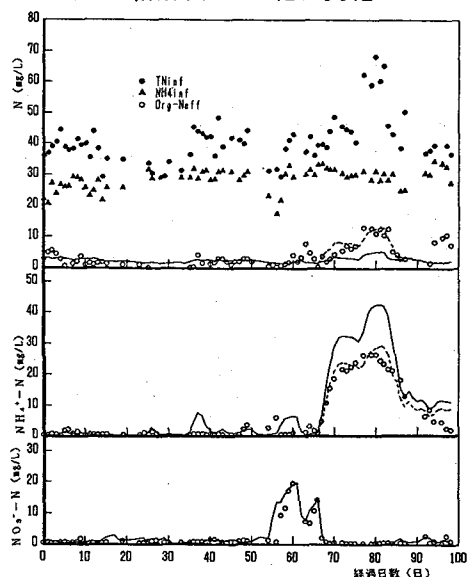


図-3 窒素の経日変化

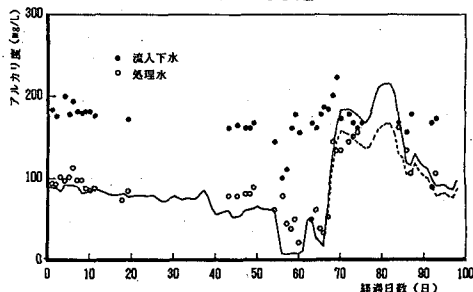


図-4 アルカリ度の経日変化