

II-408

各種生物学的窒素除去プロセスの設計に関する研究

山口大工 正員 ○中西 弘

京大工 正員 石川宗孝

神戸製鋼 石崎晃司 前田道路 春木 毅

宇部高専 深川勝之 村上定瞭

1. はじめに

単一曝気槽を用いた有機物および窒素の同時除去は、有機物の酸化と硝化・脱窒反応が同時に進行するために理論的説明が難しい。そのため単一曝気槽による窒素除去方式の運転・管理方法は経験に頼っているのが現状である。しかし、単一曝気槽による窒素除去方式は装置が簡単な上に経済的であるので、各種のプロセスが研究開発されている。ところが、これらのプロセスを総括的に評価するための解析手法が確立されていない。そこで本研究では、単一曝気槽による窒素除去方式の中で押し出し型の混合特性を持つものについて流入方法および曝気方法から、(1) 連続流入・連続曝気、(2) 連続流入・間欠曝気、(3) 間欠流入・連続曝気および(4) 間欠流入・間欠曝気の4形式に分類した。これらの4形式についてプロセス設計を試み、運転方法と処理特性等について比較検討した。

表1 槽列モデルの各槽内の物質収支式

1槽	$(V/n)(dC_1/dt) = Q(C_0 + (1+r)C_n + hC_2 - (1+h+1+r)C_1) + R_1$
i槽	$(V/n)(dC_i/dt) = Q((1+h+1+r)C_{i-1} + hC_{i+1} - (1-2h+1+r)C_i) + R_i$
n槽	$(V/n)(dC_n/dt) = Q((1+h+1+r)(C_{n-1} - C_n)) + R_n$

C: 物質濃度、V: 槽容積、Q: 原水流量、I: 循環流量比、
r: 返送汚泥比、h: 逆混合比、R: 物質の反応速度式

表2 各物質の反応速度式

BOD除去 (1)	$\frac{1}{X} \frac{dS}{dt} = -\frac{U_s S}{K_s + S} - \frac{DO}{K_o + DO} - a \frac{dC_2}{dt}$
NH ₃ 除去 (2)	$\frac{1}{X} \frac{dC_1}{dt} = -\frac{U_1 C_1}{K_1 + C_1} - \frac{DO}{K_o + DO} - \frac{A}{K_A + A}$
NO ₃ 生成 (3)	$\frac{1}{X} \frac{dC_2}{dt} = \frac{U_1 C_1}{K_1 + C_1} - \frac{DO}{K_o + DO} - \frac{A}{K_A + A} - \frac{U_2 C_2}{K_2 + C_2} - \frac{S}{K_s + S}$
N ₂ 生成 (4)	$\frac{1}{X} \frac{dC_3}{dt} = \frac{U_2 C_2}{K_2 + C_2} - \frac{S}{K_s + S}$
汚泥増殖 (5)	$\frac{dX}{dt} = a \frac{dS}{dt} + b \frac{dC_1}{dt} + c \frac{dC_2}{dt} - dX$
DOの収支 (6)	$\frac{dDO}{dt} = -a' \frac{dS}{dt} - b' \frac{dC_1}{dt} - d' X + k_L a (DO_s - DO)$
アルカリ度 (7)	$\frac{dA}{dt} = -c \frac{dC_1}{dt} + f \frac{dC_2}{dt}$

表3 各パラメーターの値

記号	値	記号	値
U _s (1/hr)	0.2	b	0.17
U _o (1/hr)	0.03	c	—
U ₂ (1/hr)	0.02	d (1/hr)	0.002
K _s (mg/L)	100	a'	0.34
K ₁ (mg/L)	0.5	b'	4.57
K ₂ (mg/L)	0.1	d' (1/hr)	0.0004
K _o (mg/L)	0.5	DO _s (mg/L)	8.0
K _A (mg/L)	100	e	7.14
α	1.90	f	3.57
a	0.70		3.57

2. 計算方法

反応槽内の流体の混合特性を槽列モデルで表現し、これを数式化したものを表1に示す。代謝に伴う各物質の反応速度式を表2に示し、各パラメーターの値を表3に示す。これらの混合特性式と代謝反応式を組合せて、プロセス方程式を作成した。プロセス方程式は、非線型連立方程式となるが、その解法としてRunge-Kutta法を用いた。

3. 結果

図1は、4形式について滞留時間と除去率の関係を調べたものである。連続流入・連続曝気の場合にはBODはほぼ完全に除去されるが、K_j-NやT-Nは滞留時間が長くなるほど除去率が低下している。間欠流入・連続曝気についても同様である。ところが連続流入・間欠曝気の場合、3つの項目とも滞留時間

が長くなるほど、逆に除去率が向上している。間欠流入・間欠曝気についても同様なことが言える。これらの結果より、押し出し流れ型では運転条件によって処理特性が全く異なることが分かる。

次に4形式のプロセスを比較するために、BOD 除去率 95%以上、T-N 除去率 90%以上の基準を満足するプロセスを検討した。この結果、連続流入・間欠曝気方式を用いて $KLa = 10 \text{ h}^{-1}$ 、滞留時間 8 h で運転するものと、間欠流入・間欠曝気方式用いて $KLa = 10 \text{ h}^{-1}$ 、滞留時間 8 h で運転するものが上記基準を満足することが分かった。後者の場合には曝気槽の前に調整槽を必要とするので、大規模下水に適用するのは不利である。したがって、連続流入・間欠曝気方式が有機物および窒素の同時除去に最も有利である。

そこで連続流入・間欠曝気について、原水量 $10,000 \text{ m}^3$ /日、原水の水質は BOD 200 mg/L 、窒素 30 mg/L と仮定して、上記基準を満たすプロセスの設計を行なうと、次のようになる。

槽容積 3333 m^3 ; BOD 容積負荷 $0.6 \text{ kg-BOD/m}^3 / \text{day}$
 窒素容積負荷 $0.09 \text{ kg-N/m}^3 / \text{day}$
 BOD 汚泥負荷 $0.2 \text{ kg-BOD/kg-MLSS/day}$
 窒素汚泥負荷 $0.03 \text{ kg-N/kg-MLSS/day}$
 曝気方式 20 分曝気、40分停止; $KLa = 10 \text{ hr}^{-1}$

4. 連続流入・間欠曝気方式の検討

連続流入・間欠曝気方式の特徴は、好気と嫌気の条件が繰り返し出現することである。この様子は図2で示される。実測値は室内実験プラントから得た DO濃度の経時変化であり、計算値はプロセスシュミレーションの結果である。実験値と計算値を比較すると、非常によく合致している。さらに他の項目についても実験値と計算値には整合性が認められ、プロセスの特徴を十分に表現したプロセスシュミレーションが可能であることがわかった。

5. まとめ

最後に本研究をまとめると、単一曝気槽における窒素除去について押し出し流れ型の混合特性を持つ各プロセスについてプロセス設計を行い、各プロセスの処理特性を把握することができた。また、各プロセスを比較し間欠曝気方式が下水中の有機物と窒素の同時除去に対して有効であることがわかった。さらに、連続流入・間欠曝気について実験値と計算値を比較した結果、プロセスの特徴を十分に表現したプロセスシュミレーションが可能であることがわかった。

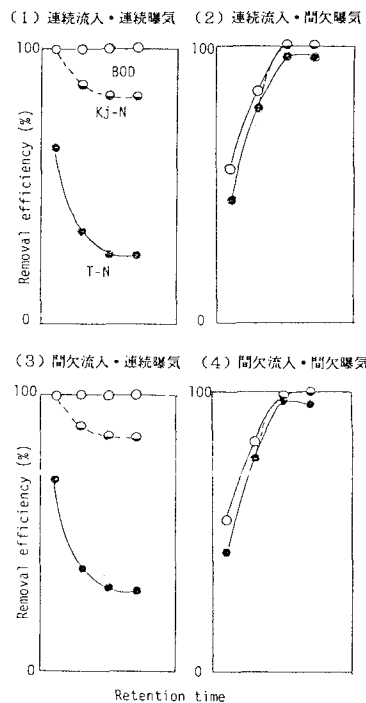


図1 滞留時間と除去率の関係

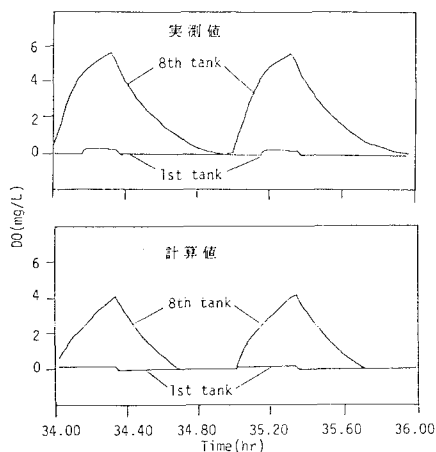


図2 連続流入・間欠曝気方式のDO濃度の経時変化