

長岡技術科学大学 学 〇安藤 裕
正 桃井清至
正 原田 秀樹

1. はじめに 流動層型生物膜反応器を脱窒素プロセスに適用し、実用化のための最適設計、操作方法の体系化を目的として、本反応器の脱窒素処理性能を評価した。本研究では、反応器内の性能を評価する数学的モデルを構築し、本反応器の定常状態基質濃度分布 ($\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$) および非定常状態での反応器流出端の基質濃度変化とベッド高の予測値と実測値とを比較することによって、本モデルの適合性を検討した。

2. 実験装置および方法 図1に実験装置の概要を示す。反応器高さ400 cm、内径3 cmで、装置上部には、担体数を一定にするために生物膜粒子 (バイオパーティクル) が流出しないような機能を備えている。流入の基質は25°C、流入のDOは窒素バッキにより制御した。pHは、リン酸緩衝液により7に設定した。窒素源として NaNO_3 、有機炭素源として CH_3OH を用い ($\text{CH}_3\text{OH}/\text{NO}_3\text{-N}$) 比は3に維持し、さらに無機塩類を添加した。担体は、粒状活性炭 (直径0.329 mm、湿潤密度1.316 g/cm³) を使用した。非定常連続実験は、流入線速度30.84 cm/min、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度46 mg $\text{NO}_3\text{-N}/\text{l}$ で、ベッド高、流出 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, SS について10日間にわたりその経時変化を追った。0, 4, 7, 10日目について反応器の軸方向 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度プロファイル測定した。定常実験は、微生物の増殖とハクリを無視できる期間で実験を行い、その運転条件を表1に示し、反応器の軸方向 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度プロファイル測定した。

3. 実験結果および考察 図2に本反応器のモデル概念図を示し、このモデルに使用した非定常、定常状態のパラメーター値をそれぞれ表2、表3に示した。

3-1. 非定常状態性能評価 非定常状態連続実験におけるベッド高、流入 $\text{NO}_3\text{-N}$, 流出 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, SSの10日間にわたる経時変化を図3に示した。図中の実線は、モデルより求めたベッド高、流出 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ の予測値である。ベッド高については、挙動をよくとらえている。このことにより、生物の増殖量の把握は適切であったと考えられる。流出 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ については、0~4日目までは比較的良好な挙動をとらえているが、5日目以降は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ に関しては予測値が実測値より過小評価になり、 $\text{NO}_2\text{-N}$ に関しては予測値より実測値の方が蓄積している。

図4に、0, 4, 7, 10日目の反応器軸方向 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度プロファイルを示した。図中の実線は、モデルより求めた $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ の予測値である。経時変化と同様に、0日目と4日目のプロファイルは、比較的良好な予測値と実測値が一致しているが、7日目と10日目では、予測値と実測値がずれている。しかし、全N ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$)

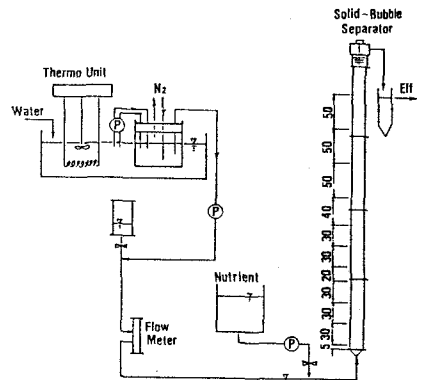


図1. 実験装置概要図

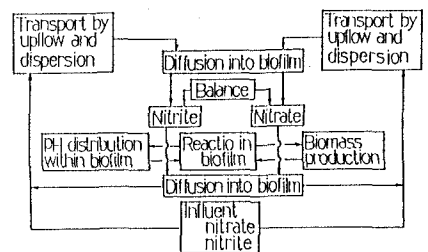


図2. モデル概念図

表1. 定常状態運転条件

RUN	Linear Velocity u (cm/min)	Influent Substrate Concentration S _{NO3-N} (mg-N/l)
1	30.56	18.89
2	30.56	40.77
3	30.56	79.84
4	19.38	42.48
5	42.58	39.38

の除去量は一致している。この予測値と実験値のずれは、モデルに使用した $\text{NO}_2\text{-N}$ に関するパラメーター値の不适当によるものと考えられる。

3-2. 定常状態性能評価 定常状態は、図2のモデル概念図から生物増殖の項を除いたもので、定常実験の反応器軸方向 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度プロファイルを図5に示した。RUN 1~3は、流入線速度一定で流入 $\text{NO}_3\text{-N}$ を変化させ、RUN 2, 4, 5は、流 $\text{NO}_3\text{-N}$ 一定で流入線速度を変化させた。図中の実線は、モデルより求めた $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ の予測値である。図4と同様に、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ のずれはあるが、全Nについては、よく一致している。全Nに対する容積負荷で $2.73 \sim 5.23 \text{ kg-N/m}^3 \cdot \text{day}$ を許容している。

4. おわりに、

以上をまとめると

1). 比較的長いタイムスケールのシミュレーションを行い、反応器プロセスの挙動の傾向を予測するのに成功した。特に、全N ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$) に対して、本モデルは有効であると思われる。

2). 全Nに対する容積負荷で $2.73 \sim 5.23 \text{ kg-N/m}^3 \cdot \text{day}$ を許容した。

参考文献

1). 安藤, 桃井, 原田, 浅野 "流動層型生物膜反応器における脱窒素機構について" 第2回土木学会新潟県研究調査発表会論文集 P34~39 (1984)

表2. 非定常状態使用パラメーター表

$S_b, \text{NO}_3\text{-N}, 0 = 46 (\text{mg NO}_3\text{-N/l})$	Influent $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration
$S_b, \text{NO}_2\text{-N}, 0 = 0 (\text{mg NO}_2\text{-N/l})$	Influent $\text{NO}_2\text{-N}$ concentration
$d_p = 0.2024 (\text{cm})$	Diameter of bioparticle
$L = 126 (\text{cm})$	Initial bed height
$V_p = 30.84 (\text{cm/min})$	Linear velocity
$d_m = 0.0329 (\text{cm})$	Diameter of supporting media
$\rho_m = 1.316 (\text{g/cm}^3)$	Media density
$D_r = 3 (\text{cm})$	Reactor diameter
$\text{pH} = 7$	
$C_{\text{HCO}_3^-} = 494.7 (\text{mg/l})$	Influent HCO_3^- concentration
$C_{\text{CO}_3^{2-}} = 0.229 (\text{mg/l})$	Influent CO_3^{2-} concentration
$D_{S_2} = 9.53 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{sec})$	Diffusion coefficient of nitrate within biofilm
$D_{S_3} = 9.53 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{sec})$	Diffusion coefficient of nitrite within biofilm
$d_1 = 1.045 (-)$	Ratio of diffusivity ($\text{HCO}_3^-/\text{NO}_3^-$)
$d_2 = 0.987 (-)$	Ratio of diffusivity ($\text{CO}_3^{2-}/\text{NO}_3^-$)
$\rho_{bd} = 1.3 (\text{g/cm}^3)$	Dry biofilm density
$\rho_f = 0.99793 (\text{g/cm}^3)$	Liquid density
$\mu_f = 9.065 \times 10^{-3} (\text{g/cm} \cdot \text{sec})$	Liquid viscosity
$K_{S_2} = 4.578 (\text{mg/l})$	Michaelis constant of nitrate
$K_{S_3} = 6.321 (\text{mg/l})$	Michaelis constant of nitrite
$K_{I_1} = 153.1 (\text{mg/l})$	Inhibition constant of nitrate
$K_{I_2} = 45.79 (\text{mg/l})$	Inhibition constant of nitrite
$V_{m_3} = 25.84 (\text{mg NO}_3\text{-N/g-vss} \cdot \text{hr})$	Maximum rate of nitrate consumption
$V_{m_2} = 42.88 (\text{mg NO}_2\text{-N/g-vss} \cdot \text{hr})$	Maximum rate of nitrite consumption
$Y_3 = 0.34 (\text{mg-ss/mg NO}_3\text{-N})$	Growth yield on nitrate
$Y_2 = 0.38 (\text{mg-ss/mg NO}_2\text{-N})$	Growth yield on nitrite
$k_d = 0.021 (\text{day}^{-1})$	Auto-reduction coefficient
$P_0 = 1.72 (\text{mg-ss/l})$	Detached biomass

表3. 定常状態使用パラメーター表

$d_p = 0.3312 (\text{cm})$	Diameter of bioparticle
$d_m = 0.0329 (\text{cm})$	Diameter of supporting media
$\rho_m = 1.316 (\text{g/cm}^3)$	Media density
$D_r = 3 (\text{cm})$	Reactor diameter
$\text{pH} = 7$	
$C_{\text{HCO}_3^-} = 494.7 (\text{mg/l})$	Influent HCO_3^- concentration
$C_{\text{CO}_3^{2-}} = 0.229 (\text{mg/l})$	Influent CO_3^{2-} concentration
$D_{S_2} = 9.53 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{sec})$	Diffusion coefficient of nitrate within biofilm
$D_{S_3} = 9.53 \times 10^{-6} (\text{cm}^2/\text{sec})$	Diffusion coefficient of nitrite within biofilm
$d_1 = 1.045 (-)$	Ratio of diffusivity ($\text{HCO}_3^-/\text{NO}_3^-$)
$d_2 = 0.987 (-)$	Ratio of diffusivity ($\text{CO}_3^{2-}/\text{NO}_3^-$)
$\rho_{bd} = 1.3 (\text{g/cm}^3)$	Dry biofilm density
$\rho_f = 0.99793 (\text{g/cm}^3)$	Liquid density
$\mu_f = 9.065 \times 10^{-3} (\text{g/cm} \cdot \text{sec})$	Liquid viscosity
$K_{S_2} = 4.578 (\text{mg/l})$	Michaelis constant of nitrate
$K_{S_3} = 6.321 (\text{mg/l})$	Michaelis constant of nitrite
$K_{I_1} = 153.1 (\text{mg/l})$	Inhibition constant of nitrate
$K_{I_2} = 45.79 (\text{mg/l})$	Inhibition constant of nitrite
$V_{m_3} = 25.84 (\text{mg NO}_3\text{-N/g-vss} \cdot \text{hr})$	Maximum rate of nitrate consumption
$V_{m_2} = 42.88 (\text{mg NO}_2\text{-N/g-vss} \cdot \text{hr})$	Maximum rate of nitrite consumption

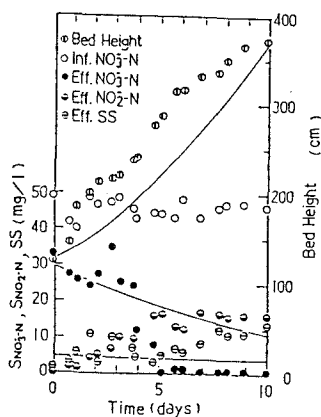


図3. 非定常実験経時変化

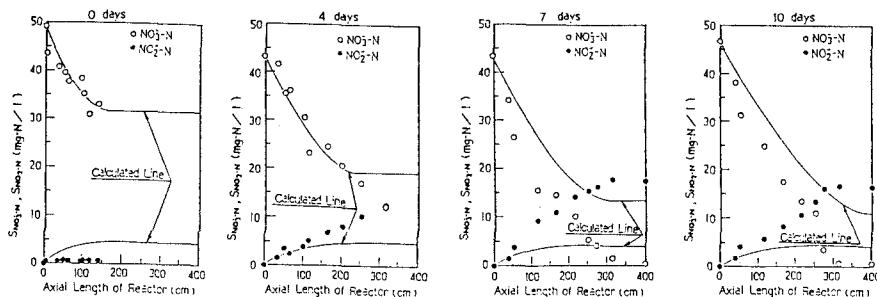


図4. 非定常実験 軸方向濃度プロファイル

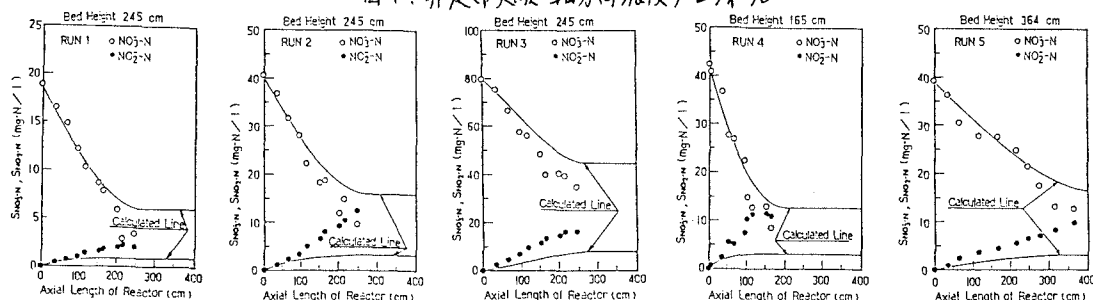


図5. 定常実験 軸方向濃度プロファイル