

金沢大学 建設工学科 正員 松井三郎
 金沢大学 大学院 学生員 今井章雄

1. 結論 本研究は、生物学的脱窒素法に必要な水素供与体として従来使用されたメタノールの代替に都市下水中の有機炭素源 (COD_{cr}, TOC) を用い、かつ生物膜法中で最も効率的な流動床方式を採用することにより、効率的な生物学的脱窒素変法の可能性を追求するものである。以下に実験結果を報告する。

2. 実験装置及び実験方法 実験装置の概要は図-1に示す。フローは5本の同一形式カラムを管水路状態で流れる。生物膜担体としては平均粒径D_p=0.56mmの造粒型軽量骨材(ビルトン; 密度2.32g/cm³)を使用して滞留時間の増大を目指した。流入水としては、金沢市A下水処理場の最初沈殿池越流水を原水とし、NO₃-N源としてNaNO₃を添加したものをを使用した。また、添加NO₃-Nに比して流入原水中のTOC不足が生じた場合には、TOC分を補う為、その性状が比較的都市下水に類似すると考えられるスキムミルクを添加した。表-1に流入原水の水質特性を示す。なお、実験は層膨張率L_f/L₀=1.20で行なった。(図-2)本実験は、主に次の3つの目的より成っている。1)滞留時間に伴うNO₃-N濃度及びNO₂-N濃度の変化を求める。2)流入都市下水中の有機炭素源を表すTOC濃度とNO₃-N濃度の関係を求める。3)NO₃-N濃度が窒素除去率に及ぼす影響を求める。

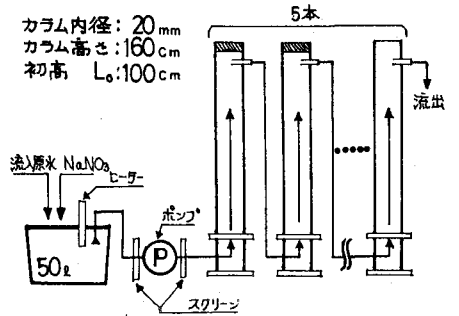


図-1 実験装置の概要

3. 実験結果及び考察 [実験1] 滞留時間に伴うNO₃-N濃度及びNO₂-N濃度変化についての典型例を図-3に示す。この図のように脱窒反応が順調に行なわれている場合には、滞留時間4分程で80%以上のNO₃-Nが除去され、NO₃-N除去に伴い現われるNO₂-N濃度のピークも小さく、NO₂-N濃度も滞留時間10分までにほとんど除去される。一方、脱窒反応が水素供与体不足やNO₃-N濃度過大により律速される場合には、NO₃-N濃度の減少速度は緩やかになると同時にNO₂-N濃度のピークは大きくなり、NO₂-N濃度が0に近くなる為、費せられる滞留時間も長くなる。さらに強く律速されると、NO₂-N濃度はピークを生ぜず、漸増する傾向を示す。従って、NO₂-N濃度のピークも脱窒反応状態を示す1つの指標であることが推察され得る。[実験2] TOC/NO₃-N比をパラメーターとして滞留時間とNO₃-N除去率の関係をプロットしたものが図-4である。図より、TOC/NO₃-N比の増加に伴い各々の滞留時間におけるNO₃-N除去率が增大する傾向が明白に判る。従って、TOC/NO₃-N比が本脱窒素法において重要なパラメーターであることと、TOC濃度と都市下水中の水素供与体量は一意的関係にあることが認められる。また、TOC/NO₃-N比が3.0以上でさえあれば、NO₃-N除去率は滞留時間5分程で80%以上となること判ったが、滞留時間が20分程でTOC源が十分であってもNO₃-Nの最大除去率が90%を越えることはなかった。[実験3] NO₃-N濃度のNO₃-N除去率に及ぼす影響を示したものが図-5である。図よ

表-1 流入原水の水質

T [°C]	PH	DO [mg/l]	COD _{cr} [mg/l]	T-N [mg/l]	NH ₃ -N [mg/l]	NO ₂ -N / NO ₃ -N [mg/l]	有-N [mg/l]	TOC [mg/l]
12	7.2	0.2	71	12.8	8.5	0.1	3.2	13.5
36	7.9	2.9	220	34.1	22.7	0.4	13.7	70.0

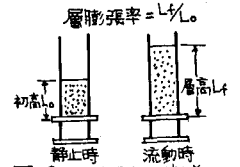


図-2 層膨張率の定義

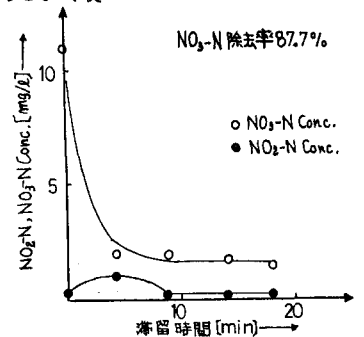


図-3 NO₂-N, NO₃-Nの経時変化(1)

り、都市下水中の有機炭素源を水素供与体として用いる場合、例えば、一定してNO₃-N除去率70%以上を得る為に要求される流入NO₃-N濃度限界は10ppmであることが判る。また、水素供与体量が律速因子とならないと考えられるTOC 30ppm以上の場合には、NO₃-N濃度限界は20ppmに増大するが、20ppm以上になるとNO₃-N除去率は急激な下落傾向を示した。

4. 動力学的脱窒反応モデル 脱窒反応は、次のような2段階過程で進行すると考える。

$$\left[\frac{NO_3-N}{\text{消失速度}} \right] = \left[\frac{\text{吸着反応によるエネルギー要求のため消費される} NO_3-N \text{の消失速度}}{\text{反応1}} \right] + \left[\frac{\text{分解・代謝反応による} NO_3-N \text{消失速度}}{\text{反応2}} \right] \quad (1)$$

(反応1) 脱窒反応において、最初、起こる現象が吸着現象であり、微生物は吸着反応を行なう為にエネルギーを要求する。(除去されたCOD_{Cr}の約7%がこのエネルギー源であると報告されている)¹⁾このエネルギーは、COD_{Cr}の一部がNO₃-NへH⁺を授受する微生物酸化還元反応により得られる。この過程で、H⁺量に相当するNO₃-NがN₂に転化され、得られたエネルギーにより微生物は残りのCOD_{Cr}(約93%)を吸着する。従って、次の関係が示される。

$$\left[\frac{\text{吸着される} COD_{Cr} \text{量}}{\text{に相当するエネルギー量}} \right] \propto \left[\frac{\text{吸着反応により消失する} COD_{Cr} \text{量}}{\text{に相当するエネルギー量}} \right] \propto \left[\frac{\text{吸着反応により消失する} NO_3-N \text{量}}{\text{に相当するエネルギー量}} \right] \quad (2)$$

ここで、AndrewsとBusby²⁾による吸着反応式を用いて吸着されるCOD_{Cr}を表すと、

$$\frac{0.93 \frac{dS}{dt}}{P} = -K_1 S_e X_a \left(f_r - \frac{X_e}{X_a} \right) \frac{1}{P} \quad (3) \quad S_e: \text{残基COD [mg COD/l]}, K_1: \text{吸着速度定数 [1/mg VSS/dp]}, X_a: \text{活性VSS [mg VSS/l]}, f_r: \text{最大吸着貯蔵容量 [-]}$$

X_s: VSSとして貯蔵されたCOD_{Cr} [mg VSS/l], P: 換算係数 [mg COD/mg VSS]

(2)式の関係より、(3)式を用いて吸着反応による脱窒速度を表すと、

$$\left[\frac{d(NO_3-N)}{dt} \right] = \alpha \frac{0.93 \frac{dS}{dt}}{P} = -\alpha K_1 S_e X_a \left(f_r - \frac{X_e}{X_a} \right) \frac{1}{P} \quad (4) \quad \alpha: \text{比例定数 [mg NO}_3\text{-N/mg COD]}$$

ここで、αK₁=k*とおくと、

$$\left[\frac{d(NO_3-N)}{dt} \right] = -k^* S_e X_a \left(f_r - \frac{X_e}{X_a} \right) \frac{1}{P} \quad (4) \quad k^*: \text{吸着脱窒速度定数 [mg NO}_3\text{-N / (mg COD} \cdot \text{mg VSS} \cdot \text{d)}]$$

(反応2) この反応は、微生物の分解代謝に伴う脱窒反応であり、0次反応により表わされる。

$$\left[\frac{d(NO_3-N)}{dt} \right] = -K_2 X_a \quad (5) \quad K_2: \text{分解代謝脱窒速度定数 [mg NO}_3\text{-N/mg VSS} \cdot \text{day]}$$

従って、全体としての脱窒速度は、(4)式+(5)式となる。

$$\frac{d(NO_3-N)}{dt} = -\left\{ k^* S_e X_a \left(f_r - \frac{X_e}{X_a} \right) \frac{1}{P} + K_2 X_a \right\} \quad (6)$$

ここで、微生物現象に着目すると、微生物は、吸着→代謝→吸着→代謝のような周期的な相変化を行なっていると考えられ、その現象は微生物細胞分裂による細胞の新旧世代交代現象に起因すると推察できる。この推論により、微生物を全体として扱えば、主に吸着を行なっているものと、主に代謝を行なっているものに、微生物を量的に分離して考えることができる。そこで、本研究では X_a=X_{a1}+X_{a2} X_{a1}: 主に吸着に關する活性VSS [mg VSS/l] X_{a2}: 主に代謝に關する活性VSS [mg VSS/l]

というモデルを導入した。従って、(6)式は次のようになる。

$$\frac{d(NO_3-N)}{dt} = -\left\{ k^* S_e X_{a1} \left(f_r - \frac{X_e}{X_{a1}} \right) \frac{1}{P} + K_2 X_{a2} \right\} \quad (7)$$

この式とMarais³⁾による好気性処理下のdataを用い、定常状態である本実験下において得られた解析結果を表-2に示す。本モデルは、定常状態では式中の諸変数が定値となり、代謝のみを考慮する従来法と同じ式となるが、非定常状態では、X_{a1}, X_{a2}, X_sが状態変化に対応して変化すると予測されるので、本モデルは非定常状態での意義を持つものと思われる。なお、流動床で保持される微生物量についても、表-2にあるような大きな値を示した。

5. 今後の課題 今後の方向並びに課題として次のものが挙げられる。1) 動力学モデルの非定常状態における実験的検証。2) 2次処理プロセスと本脱窒法を結合させた実用化モデルプラントにおける研究。

なお、本研究は、文部省科学研究(総合A)の補助を受けて行なわれたものである。

〔謝辞〕金沢市下水道部の皆様方の私共に対する厚遇に御礼を申し上げ、さらに本研究にたゆまぬ協力を尽していただいた金田直之君、辰田領正君に深く感謝の意を表し結びと致します。

〔参考文献〕1) Ekama, G.A., and Marais, G.v.R., "Adsorption in the Activated Sludge Process." Water (S.A.), 4, 39 (1978)
2) Ekama, G.A., and Marais, G.v.R., "The Activated Sludge Process Part II - Dynamic Behaviour." Water (S.A.), 3, 17 (1977)
3) Ekama, G.A., and Marais, G.v.R., "Dynamic Behaviour of the Activated Sludge Process." Journal WPCF, Vol 51, No. 3

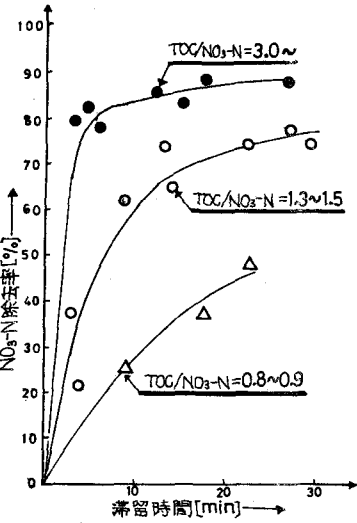


図-4 TOC/NO₃-N比パラメータとするNO₃-N除去率

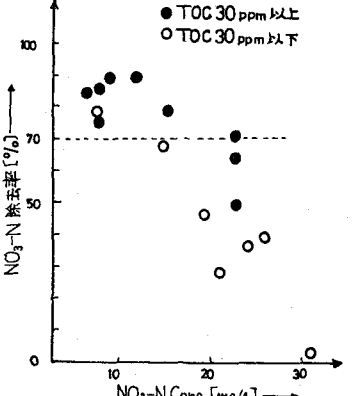


図-5 流入NO₃-N Conc.の除去率に及ぼす影響

表-2 定常状態時解析結果及びVSS

脱窒速度 [mg NO ₃ -N / (mg VSS · h)]	カラムNo.	生物量 [mg VSS/g]
本法	1	6180
	2	8210
従来法	3	5450
	4	4160

X_{a1}: X_{a2} = 1:1.7 (共にカラムNo.1)