

315

排煙脱硝脱硫排水に含まれる高濃度窒素の除去

(日立造船) ○木田建次 巖尾孝雄

1. 目的 排煙脱硝技術は、NH₃を用いる接触還元法が着実な進歩を遂げている。しかしながら、廃ガス中に含まれるリークアンモニアならびにNO₂は、湿式脱硫プロセスで液側に容易に吸収され系外に排出される。このため排煙脱硝湿式脱硫排水には、高濃度のNH₃-N, NO₂-Nが含まれることになり、これらの窒素を除去するプロセスが必要となる。NH₃-N, NO₂-Nが含まれることより、二次公害の恐れのない生物学的硝化-脱窒反応により除去することを目的に、浸水浮床方式にて検討し、生物学的硝化-脱窒反応に関する種々のパラメーターを決定することから以下に報告する。

2. 方法 排煙脱硝湿式脱硫排水(以下排脱排水とする)の組成を、NH₄-N=330 ppm, NO₂-N=60 ppm, 無機炭素(以下ICとする)=ND, 酸消費量(pH=5)=800 ppm, BOD=ND, Ca²⁺=1700 ppm, Mg²⁺=960 ppm, Fe²⁺=0.02 ppm, SO₄²⁻=2600 ppm, Cl⁻=4600 ppm, PO₄-P=NDと想定し、実験に使用した。実験装置は図-1に示すフローシートの通りで、硝化、脱窒槽共に浸水浮床方式とした。特に硝化槽は循環曝気型とした。実験はラゴスターール、パイロットスターールにて実施した。ラゴスターールでは比表面積=230 m²/m³, パイロットスターールでは100 m²/m³のプラスチック網目状充填材を使用し、処理水量は、各々 ~15 l/日, ~5 m³/日とした。まずし尿処理場曝気槽返送汚泥を硝化槽, 脱窒槽, 再曝気槽に添加し、低負荷にて実験を開始した。想定した排脱排水には、微生物の栄養源と考えられるPO₄³⁻-P, Fe²⁺, ICが不足していることより所要濃度となるように別にこれらを添加した。また硝化槽槽内 pH=7.5~7.7 にコントロールした。

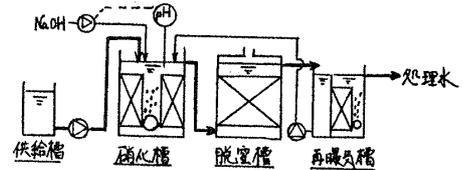


図-1 生物学的硝化脱窒フローシート

3. 結果

3-1. 生物学的硝化脱窒反応速度 硝化脱窒反応における窒素の物質収率をとり定常状態とすると、反応速度は(1)式となる。

$$v = \frac{dS}{dt} = \frac{F}{A} (S_0 - S) \quad (1)$$

S_0 : 入口窒素濃度
 S : 出口窒素濃度
 $A = a \cdot V$ a : 比表面積 V : 充填部容積, F : 処理水量

各実験データを(1)式に代入し、反応速度 v を求めた。

図-2は硝化反応について Michaelis-Menten 式で整理したものである。硝化反応については、図-2より $V_m = 4.76 \text{ g N/m}^2 \text{ day}$, $K_s = 0.81 \text{ g N/m}^3$, 脱窒反応については、

硝化反応と同様に算出し、 $V_m = 8.55 \text{ g N/m}^2 \text{ day}$, $K_s = 1.27 \text{ g N/m}^3$ なる結果を得た。

3-2. 硝化反応における通気量の検討 浸水浮床方式では、水と生物膜との接触効率が重要な因子と考えられている。そこで充填部(外筒)水流速は通気部(内筒)ガス流速に依存すると考え硝化反応について通気量を検討したところ実験式(2)を得た。

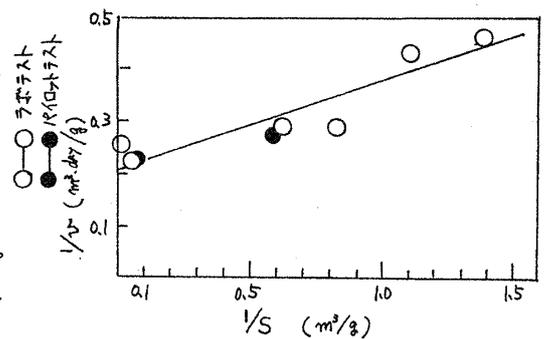


図-2 生物学的硝化反応速度

シンポジウム(環境と微生物)

$$V = 1.09 (G/R)^{0.83} \quad (2) \quad G: \text{線速度 (cm/sec)} \quad R: \text{通気面積/底面積} \quad V: (g-N/m^2 \cdot day)$$

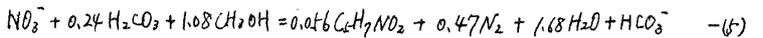
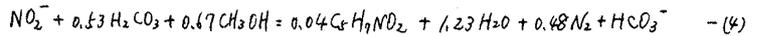
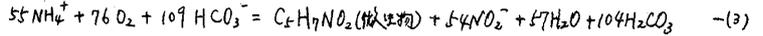
3-3. 生物学的硝化反応における基質炭素(IC), アルカリの消費 硝化・脱窒循環方式による IC, アルカリ消費を算出するために各工程における水質・水量を表-1 に示した。なお生物

表-1 各工程における水質・水量

	攪拌槽水	硝化槽入口	硝化槽出口	脱窒槽→硝化槽	脱窒槽出口
IC	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
アルカリ	z ₁	z ₂	z ₃	z ₄	z ₅
NH ₄ -N	l ₁	l ₂ = l ₁ / (1+r)	l ₃ = 0	l ₃	l ₃
NO ₂ -N	m ₁ = 0	m ₂ = 0	m ₃ = l ₁ / (1+r)	m ₄ = 0	m ₄
NO ₃ -N	n ₁	n ₂ = n ₁ / (1+r)	n ₃ = n ₁ / (1+r)	n ₄ = 0	n ₄
F	q	(1+r)q	(1+r)q	rq	q

学的硝化・脱窒反応は一般に報告されている反応式(3)~

(5)式を用いた。また硝化反応により NH₄-N はすべて



NO₂-N に酸化され、余剰汚泥は硝化・脱窒槽共に生成されなかった。

また硝化反応における IC の物質収支をとると(6)式となる。また

$$V_2 \frac{dC_3}{dt} = C_1 Q + C_4 R Q - C_3 (1+r) Q - V_2 \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{消}} + V_2 \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{再}} + V_2 \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{自}} \quad (6)$$

$$\left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{消}} = 1.7 \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{再}} : \text{硝化反応による IC 消費} \quad (7) \quad \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{再}} = 1.62 f_1 \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{自}} : \text{呼吸に付随する IC 量} \quad (8)$$

$$\left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{自}} = Y_{IC} \cdot \mu \cdot X_2 = Y_{IC} \cdot Y_L \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{消}} : \text{自己酸化による IC 量} \quad (9) \quad Y_L : \text{硝化菌の } \mu \text{ に対する } Y_{IC} \text{ 係数}$$

$$V_2 : \text{硝化槽充填容量}, X_2 : \text{硝化菌}, \mu : \text{自己分解係数}, f_1 : \text{IC 再生比}, Y_{IC} : \text{単体菌体中の炭素量}$$

硝化槽における TSS の物質収支をとって定常状態とすると、

$$(10) \text{式となる。} \left(\frac{dC_3}{dt} \right)_{\text{消}} = \frac{(1+r)Q}{V_2} (l_2 - l_3) \quad (10)$$

(10)式を(7)~(9)式に代入し求めた式を更に(6)式に代入する。

次に脱窒反応における IC の物質収支をとると(11)式となる。そして脱窒槽における NO_x-N の

$$V_2 \frac{dC_4}{dt} = C_3 (1+r) Q - C_4 (1+r) Q + V_2 \left(\frac{dC_4}{dt} \right)_{\text{脱}} - V_2 \left(\frac{dC_4}{dt} \right)_{\text{再}} + V_2 \left(\frac{dC_4}{dt} \right)_{\text{自}} \quad (11) \quad V_2 : \text{脱窒槽充填容量}$$

物質収支をとって定常状態とすると(11)式の各項は(12),(13)式となる。ただし f₁, f₂ (IC 生成比)は、

$$V_2 \left(\frac{dC_4}{dt} \right)_{\text{脱}} - V_2 \left(\frac{dC_4}{dt} \right)_{\text{再}} = (1+r) Q f_2 \{ 0.403 (m_3 - m_4) + 0.651 (n_3 - n_4) \} \quad (12) \quad V_2 \left(\frac{dC_4}{dt} \right)_{\text{自}} = \frac{60}{113} (1+r) Q f_1 \{ 0.323 (m_3 - m_4) + 0.452 (n_3 - n_4) \} \quad (13)$$

独立硝化脱窒方式にて f₁ = 0.8, f₂ = 0.7 なる結果を得た。また l₂ = l₁ / (1+r), m₃ = l₁ / (1+r), n₃ = n₁ / (1+r), l₃ = m₄ = n₄ = 0 とし、(10),(11)式にて定常状態とし C₃ について整理すると(14)式となる。

$$C_3 = C_1 + (0.42 \frac{r}{1+r} - 0.342) l_1 + 0.648 n_1 \frac{r}{1+r} \quad (14) \quad (14) \text{式に } C_1 = 0, l_1 = 330 \text{ ppm}, n_1 = 50 \text{ ppm} \text{ を代入}$$

し、循環比 r に対する C₃ を求め図-3 に示した。図-3 に示すように実線は(14)式より算出した理論線と実験値とよく一致した。アルカリの消費についても同様に物質収支をとって循環比とアルカリ消費を求めたところ理論線と実験値はよく一致を示した。

3-4. 脱窒反応における X/T-1 消費量 McCarty の提案する(15)式より算出した X/T

$$C_m = 1.53 \cdot (\text{NO}_2\text{-N}) + 2.47 \cdot (\text{NO}_3\text{-N}) + 0.87 \cdot \text{DO} \quad (15) \quad \text{DO: 溶解酸素濃度}$$

1-1 量を理論添加量 (C_m) とし、理論添加比 (= 添加量 / C_m とする) と脱窒率の関係を検討したところ、理論添加比 ≥ 1.06 で 100% の脱窒率を達成できることが判った。

3-5. 硝化脱窒反応による PO₄-P 消費量 (16)式より PO₄-P 消費量を算出した。(16)式に l₁ = 330 ppm, l = 50 ppm, 反応式(3)~(5)より求めた Y_e = 0.15, Y_m = 0.32, Y_n = 0.45, また汚泥分析値より求めた Y_p = 5.5 を代入し、算出すると AP = 32 ppm となり実験値とよく一致した。

$$AP = \frac{1}{Y_p} (l_1 Y_e + l Y_m + n_1 Y_n) \quad (16) \quad Y_p : \text{菌体の対 P 収率}, Y_m : \text{硝化菌の対 NO}_2\text{-N 収率}, Y_n : \text{脱窒菌の対 NO}_3\text{-N 収率}$$

なお本研究は、電源開発株式会社との共同研究の一部である。

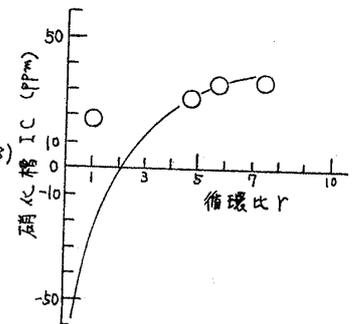


図-3 循環方式での硝化槽 IC