

〔研究報告編〕

し尿処理における生物学的脱窒素機能の検討

Studies on the biological denitrification activity in
night soil treatment

泉川 泰三* 古賀 博昭* 中嶋 要*

Taizou Izumikawa, Hiroaki Koga, Kaname Nakazima,

竹内 敏* 森田 昭*

Satoshi Takeuchi and Akira Morita

1. はじめに

現在、し尿処理における窒素の除去方法については、生物学的脱窒素法を応用した低希釈二段活性汚泥法が研究開発され、この技術を採用した施設が増加している。

この処理方式の施設の設計、とくに脱窒槽（構造基準では攪拌槽という。以下攪拌槽と示す。）の設計を行う際には、脱窒素速度恒数が設計基準値として用いられている。この脱窒素恒数には多くの報告があり¹⁾⁴⁾、その数値は基質の違い、試験条件等により多様であり、設計の基準として適用するには、さらに検討することが望ましいと考えられる。

同様に筆者らが行った回分試験⁵⁾における脱窒素速度恒数についても、メタノール、エタノール、酢酸、消化脱離液、し尿について種々の数値が得られ、とくに混合基質であるし尿については2段階（前・後期に区別）の恒数が得られている。

このため、本研究では、回分試験で得られた種々の脱窒素速度恒数の妥当性を検討するため、実際に上述の脱窒素速度恒数⁵⁾をもとに、数条件の容量を設定し、連続運転を行い、窒素除去が十分行われるかを観察・検討した。その前段の報告として2条件の容量設定に伴う結果を以下に示す。

2. 実験方法

(1) 槽容量の設定

一般に、攪拌槽の容量は脱窒素速度恒数等を用いて次のようにあらわされる。

$$\text{槽容量(m}^3\text{)} = \text{し尿中の T-N 量(kg/日)} \div \{ \text{脱窒素速度恒数 (1/日)} \times \text{槽内 MLSS 濃度 (kg/m}^3\text{)} \} \dots\dots\dots \text{①}$$

筆者らが行ったし尿の脱窒素速度恒数は、20°Cにおいて前期が 20.5×10^{-2} (1/日) 及び後期が 31.9×10^{-3} (1/日) であり、し尿中の T-N 濃度を 4500 mg/l、槽内 MLSS 濃度を 6000 mg/l として、攪拌槽の容量を算出すると、それぞれ 23Q 及び 3.7Q [Q はし尿供給量 (m³/日)] となる。

本研究では、この容量範囲内にある2段階の 10.4Q (Run 1) 及び 6.7Q (Run 2) の容量を設定し、連続運転を行った。

(2) 供試し尿

し尿処理場に搬入された収集し尿を、6メッシュのふるいで濾過した除渣し尿を供試し尿とした。実験に供し

表 1 供試し尿の性状

項 目	試料数	平均値	範 囲
pH	23	7.45	6.88~7.96
BOD (mg/l)	22	8250	3490~15800
COD _{Mn} (mg/l)	22	4120	2360~12400
TOC (mg/l)	23	6990	2460~17700
T-N (mg/l)	22	3590	2130~4510
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	23	2730	1010~3720
M-アルカリ度 (mg/l)	23	9880	4980~20000
SS (mg/l)	20	3430	830~7450
Cl ⁻ (mg/l)	22	3260	2290~4380

*日本環境衛生センター衛生工学部
Department of Sanitary Engineering, Japan
Environmental Sanitation Center

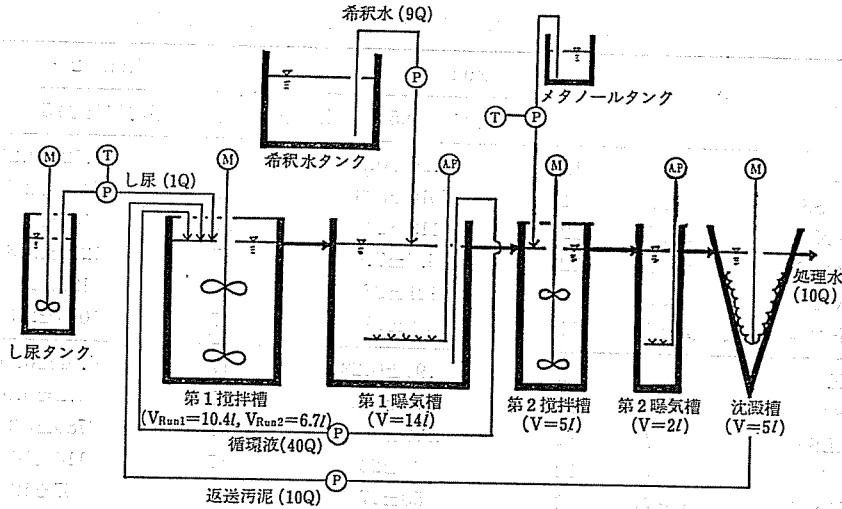


図 1 実験装置フローシート

表 2 各 Run における設計条件

項 目		Run 1	Run 2	項 目		Run 1	Run 2
除 渣	し 尿 量 (l/日)	1	1	第 1 曝 気 槽	希 積 水 量 (l/日)	9	9
循 環	液 量 (l/日)	40	40		流 入 水 量 (l/日)	60	60
返 送	汚 泥 量 (l/日)	10	10		容 量 (l)	14	14
メタノール	注 入 量 (g/日)	7.5	7.5		曝 気 時 間 (h)	34*(5.6)	34*(5.6)
BOD	流 入 負 荷 量 (g/日)	12	12		MLSS 濃 度 (mg/l)	6000	6000
T-N	流 入 負 荷 量 (g/日)	4.5	4.5		T-N・MLSS 負 荷 (g/g・日)	0.054	0.054
第 1 攪 拌 槽	流 入 水 量 (l/日)	51	51		DO 濃 度 (mg/l)	3	3
	容 量 (l)	10.4	6.7		液 温 (°C)	20	20
	攪 拌 時 間 (h)	25*(4.9)	16*(3.1)		硝 化 率 (%)	100	100
	MLSS 濃 度 (mg/l)	6000	6000		第 1 段 工 程 NO _x -N 除 去 率 (%)	66.7	66.7
	NO _x -N・MLSS 負 荷 (g/g・日)	0.048	0.075	第 2 攪 拌 槽 容 量 (l)	5	5	
	BOD・NO _x 比 (-)	3	3	攪 拌 時 間 (h)	2	2	
	液 温 (°C)	20	20	第 2 曝 気 槽 容 量 (l)	2	2	
NO _x -N 除 去 率 (%)	100	100	曝 気 時 間 (h)	0.8	0.8		
				全 工 程 BOD 除 去 率 (%)	97.5	97.5	
				" T-N 除 去 率 (%)	97.8	97.8	

注) * 印の攪拌及び曝気時間は(し尿+希釈水量)に対する数値であり、()内は(し尿+希釈水+循環液+返送汚泥量)に対する数値である

たし尿の試料数は23である。その性状は表1に示すとおりであり、平均値では pH 7.45, BOD 8250 mg/l, CODMn 4120 mg/l, TOC 6990 mg/l, T-N 3590 mg/l, NH₄⁺-N 2730 mg/l, M-アルカリ度 9880 mg/l, Cl⁻ 3260 mg/l である。

(3) 実験装置等

実験装置のフローシートは、図1に示すとおりであ

り、槽の構成は低希釈二段活性汚泥法に準じた。

各槽は第1攪拌槽及び第1曝気槽にはポリ容器を、また、第2攪拌槽・第2曝気槽・沈殿槽はアクリル製の容器を用いた。槽容量は、第1攪拌槽について Run 1が10.4l, Run 2が6.7lとし、第1曝気槽・第2攪拌槽・第2曝気槽・沈殿槽は Run 1及び Run 2とも同容量であり、それぞれ14.0l, 5.0l, 2l, 5.0l である。

表 3 攪拌槽容量の相違による各槽及び処理水の水質試験結果

項 目	Run 1		Run 2		
	試料数	平均値及び95%信頼区間	試料数	平均値及び95%信頼区間	
第 一 攪 拌 槽	pH	12	8.26±0.20	17	8.12±0.21
	MLSS (mg/l)	11	5010±883	17	5440±496
	T-N (mg/l)	12	113±24	17	146±23
	NO _x -N (mg/l)	12	6.6±7.6	17	12.0±9.8
	TOC (mg/l)	12	121±26	17	122±21
	M-アルカリ度 (mg/l)	11	639±91	17	1030±273
第 一 曝 気 槽	pH	12	6.94±0.23	17	6.61±0.40
	DO (mg/l)	12	3.4±1.2	17	4.2±0.9
	MLSS (mg/l)	11	4510±830	17	4780±443
	T-N (mg/l)	12	83±23	17	114±16
	NO _x -N (mg/l)	12	50±17	17	67±12
	NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	12	27±15	17	39±13
	TOC (mg/l)	12	57±16	17	67±8
	M-アルカリ度 (mg/l)	11	171±62	17	174±91
処 理 水	pH	12	7.30±0.16	15	6.66±0.46
	BOD (mg/l)	12	19±9	17	12±3
	COD (mg/l)	12	92±13	17	88±10
	T-N (mg/l)	12	26±13	17	103±21
	NO _x -N (mg/l)	12	11±9	17	48±18
	NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	12	5.4±5.2	17	25.0±12.9
	TOC (mg/l)	12	67±13	17	66±8
	Cl ⁻ (mg/l)	12	443±50	17	462±26

(4) 設計条件等

各 Run における設計条件は表 2 に示すとおりであり、Run 1 と Run 2 とで異なる点は、第 1 攪拌槽の容量及び容量変化に伴う攪拌時間、NO_x-N・MLSS 負荷である。

実運転における処理条件は表 4 に示すとおりであり、Run 2 において除渣し尿量、返送汚泥量及びメタノール注入量が設計値を上回っている。これは、し尿量については曝気槽への T-N 負荷量の調整のためであり、返送汚泥量については沈殿槽での汚泥の浮上流出を防止するためである。また、メタノール注入量については、第 2 攪拌槽での NO_x-N 除去を十分行い、汚泥返送による第 1 攪拌槽への NO_x-N 負荷を防ぐ目的で設計値より多く注入したためである。

3. 実験結果及び考察

(1) 水質試験結果

各 Run における水質試験結果は表 3 のとおりである。なお、Run 1 と Run 2 との諸項目の平均値につ

いては、t 検定を行った数値を示した。

1) 第 1 攪拌槽液について

① pH は、Run 1 が 8.26±0.20、Run 2 が 8.12±0.21 であり、両者に有意差は認められなかった。

② T-N は、Run 1 が 113±24 mg/l、Run 2 が 146±23 mg/l であり、5% の危険率で有意差が認められた。

③ NO_x-N、TOC、M-アルカリ度は、それぞれ Run 1 が 6.6±7.6 mg/l、121±26 mg/l、639±91 mg/l、及び Run 2 が 12.0±9.8 mg/l、122±21 mg/l、1030±273 mg/l であり、各項目とも Run 1 と Run 2 とで有意差は認められなかった。

④ 第 1 攪拌槽液の pH、NO_x-N、TOC、M-アルカリ度はいずれも Run 1 と Run 2 とで有意差は認められず、T-N についてののみ有意差が認められたがこれは、し尿からの窒素負荷量の相違によるものと考えられる。

2) 第 1 曝気槽について

① pH は、Run 1 が 6.94±0.23、Run 2 が 6.61±0.40 であり、有意差は認められなかった。

表 4 攪拌槽容量の相違による各槽及び全工程の処理条件と処理効果

項 目	区 分	Run 1		Run 2	
		試料数	平均及び95%信頼区間	試料数	平均及び95%信頼区間
除 渣 し 尿 量 (l/日)		12	1.0±0.3	17	1.5±0.2
循 環 液 量 (l/日)		12	40±0	17	40±0
返 送 汚 泥 量 (l/日)		12	10±0	17	20±0
メ タ ノ ール 注 入 量 (g/日)		11	6.6±2.2	17	11.3±2.0
第 一 攪 拌 槽	流 入 水 量 (l/日)	12	51.0±0.3	17	61.5±0.2
	容 積 量 (l)	—	10.4±0.0	—	6.7±0.0
	攪 拌 時 間 (h)	12	4.9±0.0	17	2.6±0.0
	pH	12	8.26±0.20	17	8.12±0.21
	M-ア ル カ リ 度 (mg/l)	11	639±91	16	1030±273
	MLSS 濃 度 (mg/l)	12	5010±883	17	5440±496
	NO _x -N・MLSS 負 荷 (g/g・日)	12	0.052±0.023	17	0.110±0.030
	NO _x -N 容 積 負 荷 (g/l・日)	12	0.223±0.064	17	0.520±0.140
	T-N 除 去 率 (%)	11	19.9±18.5	15	29.9±9.8
	NO _x -N 除 去 率 (%)	12	89.4±9.9	17	84.7±10.1
	TOC 除 去 率 (%)	11	43.1±19.8	15	51.0±12.6
第 一 曝 氣 槽	希 積 水 量 (l/日)	12	8.7±1.3	17	10.6±0.6
	流 入 水 量 (l/日)	12	59.8±1.4	17	72.1±0.6
	容 積 量 (l)	—	14±0.0	—	14±0.0
	曝 氣 時 間 (h)	12	5.6±0.1	17	4.7±0.0 ₂
	pH	12	6.94±0.23	17	6.61±0.40
	M-ア ル カ リ 度 (mg/l)	11	171±62	16	174±91
	MLSS 濃 度 (mg/l)	11	4510±320	17	4780±443
	NH ₄ ⁺ -N・MLSS 負 荷 (g/g・日)	11	0.069±0.027	17	0.097±0.022
	NH ₄ ⁺ -N 容 積 負 荷 (g/l・日)	12	0.281±0.100	17	0.438±0.060
	T-N 除 去 率 (%)	10	18.4±9.9	12	12.2±5.2
全 工 程	NH ₄ ⁺ -N 転 換 率 (%)	12	65.9±13.3	17	55.8±11.0
	TOC 除 去 率 (%)	11	29.0±18.3	16	32.4±8.9
	BOD 除 去 率 (%)	12	97.6±0.9	17	98.8±0.4
	COD 除 去 率 (%)	12	64.7±12.9	17	80.4±5.3
	TOC 除 去 率 (%)	12	88.8±4.6	17	91.2±3.4
T-N 除 去 率 (%)	12	93.1±2.1	17	81.5±5.7	
NH ₄ ⁺ -N 除 去 率 (%)	12	98.0±1.6	17	91.8±4.9	

② T-N は、Run 1 が 83±23 mg/l, Run 2 が 114±16 mg/l であり、5%の危険率で両者に有意差が認められた。

③ NO_x-N, NH₄⁺-N, M-アルカリ度は、それぞれ Run 1 が 50±17 mg/l, 27±15 mg/l, 171±62 mg/l, 及び Run 2 が 67±12 mg/l, 39±13 mg/l, 174±91 mg/l であり、各項目とも Run 1 と Run 2 とで有意差は認められなかった。

④ 第1曝気槽液の pH, NO_x-N, NH₄⁺-N, M-アルカリ度は、Run 1 と Run 2 とで有意差は認められず、

T-N についてのみ 5%の危険率で有意差が認められたが、これは第1攪拌槽と同様にし尿からの窒素負荷の相違によるものと考えられる。

3) 処理水 (沈殿槽越流水) について

処理水は、pH, T-N, NO_x-N, NH₄⁺-N, TOC の各項目について 5%の危険率で有意差が認められた。また、各 Run の平均希釈倍率を算出すると、Run 1 が 7.4倍、Run 2 が 7.1倍である。

(2) 処理機能について

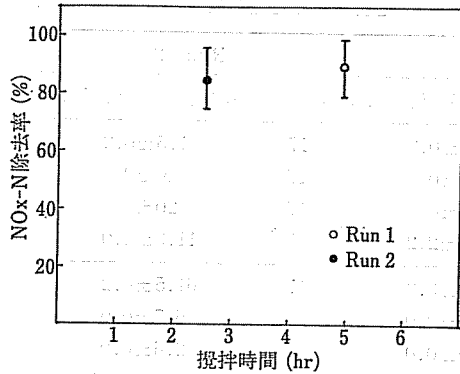


図2 攪拌時間と NO_x-N 除去率

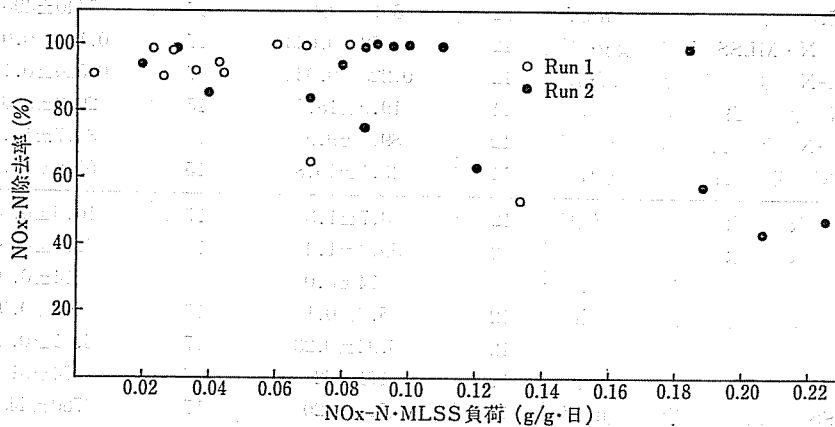


図3 攪拌槽における NO_x-N·MLSS 負荷と NO_x-N 除去率

各 Run の処理条件と処理効果は表4のとおりであり、第1攪拌槽での攪拌時間及び NO_x-N·MLSS 負荷と NO_x-N 除去率の関係を図2及び図3に示す。

1) 第1攪拌槽について

① Run 1における NO_x-N·MLSS 負荷は $0.052 \pm 0.023 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ 、Run 2では $0.110 \pm 0.030 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ であり、T-N、NO_x-N 及び TOC 除去率は、それぞれ Run 1が $19.9 \pm 18.5\%$ 、 $89.4 \pm 9.9\%$ 及び $43.1 \pm 19.8\%$ 、Run 2が $29.9 \pm 9.8\%$ 、 $84.7 \pm 10.1\%$ 及び $51.0 \pm 12.6\%$ であり、各項目とも Run 1と Run 2とで有意差は認められなかった。

② 図2に攪拌時間と NO_x-N 除去率の関係を示したが、Run 1と Run 2とでは攪拌時間の相違に対する NO_x-N 除去率の有意な差は認められなかった。

③ NO_x-N·MLSS 負荷については、 $0.12 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ 以内であれば、各 Run とも90%以上の NO_x-N 除去率が得られている。

2) 第1曝気槽について

① NH₄⁺-N 負荷は、Run 1が $0.069 \pm 0.027 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ 、

Run 2が $0.097 \pm 0.022 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ であり、いずれも高い値であったが、両者に有意差は認められなかった。

② T-N、NH₄⁺-N 及び TOC の各除去率は、それぞれ Run 1が $18.4 \pm 9.9\%$ 、 $65.9 \pm 13.3\%$ 及び $29.0 \pm 18.3\%$ 、Run 2では $12.2 \pm 5.2\%$ 、 $55.8 \pm 11.0\%$ 及び $32.4 \pm 8.9\%$ であり、各項目とも有意差は認められなかった。

(3) 考察

以上のように脱窒素速度恒数の妥当性を検討するために行った本研究において、全般的に、NO_x-N·MLSS 負荷が設計値より高い値で運転が行われたが(表2,表4参

照)、窒素除去率は Run 1、Run 2ともほぼ85%程度で、両者に有意差は認められなかった。さらに、NO_x-N·MLSS 負荷(脱窒素速度恒数)が設計条件付近(Run 1: $0.048 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ 、Run 2: $0.075 \text{ g/g} \cdot \text{日}$)で、運転が行われた場合には、両 Run とも90%以上の窒素除去率を得ている。このような状況から判断して、上記二者の恒数は妥当性のあるものと判断される。一方、処理機能の安定性の面から、さらに検討することも必要と考えられる。

また、Run 2では第1攪拌槽の容量が6.7QとRun 1の10.4Qに対して小さいにもかかわらず、窒素の除去は同等に行われたことから判断すると、Run 2で設計に用いた恒数は、なお余裕のある数値と考えられる。今後さらに大きな数値を用い、容量を設定して、窒素除去が十分行い得るかを検討することが必要と考えられ、今後の課題としたい。

4. まとめ

回分試験で得られた脱窒素速度恒数をもとに設計し

た、容量の異なる攪拌槽を用いて、し尿の低希釈二段活性汚泥法処理を行った結果、窒素除去に関して次のような知見を得た。

(1) 第1攪拌槽の容量が10.4Q (Run 1) の場合、攪拌時間は4.9時間 (全流入汚水量に対して)、 $\text{NO}_x\text{-N} \cdot \text{MLSS}$ 負荷は $0.052 \pm 0.023 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ であり、この条件における $\text{NO}_x\text{-N}$ 除去率は $89.4 \pm 9.9\%$ であった。また、容量が6.7Q (Run 2) の場合、攪拌時間は2.6時間、 $\text{NO}_x\text{-N} \cdot \text{MLSS}$ 負荷は $0.110 \pm 0.030 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ であり、この条件における $\text{NO}_x\text{-N}$ 除去率は $84.7 \pm 10.1\%$ であった。これらの条件においては、 $\text{NO}_x\text{-N}$ 除去率に有意な差は認められなかった。

(2) 第1攪拌槽における $\text{NO}_x\text{-N} \cdot \text{MLSS}$ 負荷と $\text{NO}_x\text{-N}$ 除去率の関係については、Run 1 及び Run 2 を総合して、 $\text{NO}_x\text{-N} \cdot \text{MLSS}$ 負荷が $0.12 \text{ g/g} \cdot \text{日}$ 以内であれば $\text{NO}_x\text{-N}$ 除去率はおよそ90%以上得られることが認められた。

3) 第1曝気槽における $\text{NH}_4^+\text{-N}$ の転換率 (硝化率) については、Run 1 が $65.9 \pm 13.3\%$ 、Run 2 が $55.8 \pm 11.0\%$ であり、いずれもやや低い値であるが、両者に有意な差は認められなかった。

参考文献

- 1) 田中和博：循環式硝化脱窒プロセスのモデル解析，下水道協会誌，18(209)，1981。
- 2) 桜井敏郎：活性汚泥による脱窒素，用水と廃水，20(1)，1978。

- 3) 森 忠洋他：硝化・脱窒 (I)，下水道協会誌，12(134)，1975。
- 4) 藤本政男：し尿よりの生物学的脱窒素法による窒素除去の検討，水処理技術，17(9)，1976。
- 5) 日本環境衛生センター：し尿処理施設による汚濁負荷の削減に関する研究 (II)，日環セ所報，No. 8：47～55，1981。

Summary

The size of the denitrification tank in a biological denitrification process for night soil treatment was designed using the denitrification velocity coefficients.

However, the coefficients are variable depending on the conditions of operation.

The effect of denitrification tank volume differences as ($V_1: 10.4 \text{ L}$, $V_2: 6.7 \text{ L}$) designed by batch test coefficients on denitrification activity were investigated.

The results were as follows:

1) Regardless of the volume differences, the discharge rate of $\text{NO}_x\text{-N}$ appeared to be comparable.

2) The $\text{NO}_x\text{-N}$ discharge rates at each denitrification tank were more than 90% when the condition of $\text{NO}_x\text{-N} \cdot \text{MLSS}$ load was below 0.12 g/g/day .

3) The denitrification rates of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ at each denitrification tank appeared to be comparable, regardless of the difference in the denitrification tank volume.