

有機物添加による嫌気硝化内生脱窒法の効率化について

下水道研究室 ○伊東 裕
鈴木 孝

1. 研究目的

本市では、下水処理場の放流先である公共用水域の水質保全、及び閉鎖性水域の富栄養化防止対策を図るため、都筑下水処理場と港北下水処理場に嫌気硝化内生脱窒法を、また神奈川下水処理場に嫌気無酸素好気法を導入している。しかし、生物学的窒素・リン除去法は標準活性汚泥法と比べ、長い反応タンク滞留時間（HRT）を要するため、今後、高度処理施設の導入を進めて行くには処理施設の増設が考えられる。

そこで、現在行われている嫌気硝化内生脱窒法における窒素除去の効率化を図るため、脱窒槽（無酸素槽）へ有機物（生汚泥）添加を行い、脱窒槽の縮小化について検討を行ったので報告する。また、回分試験よりリン除去特性についても知見が得られたので併せて報告する。

2. 実験方法

本実験の処理フロー、パイロットプラント概要及び運転条件をそれぞれ図-1、表-1及び表-2に示す。

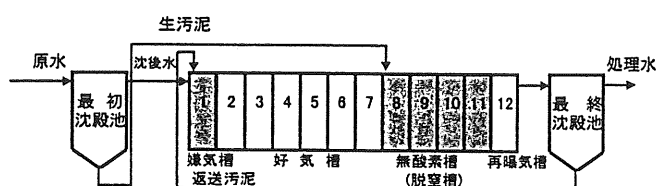


図-1 パイロットプラント処理フロー
(RUN2では第8槽目を好気槽に変更)

表-1 パイロットプラント概要

	形状・寸法	有効容量
最初沈殿池	φ 400 × D1,000	100L × 2系列
反応タンク	L300 × W350 × D1,000 × 12槽	1,050L × 2系列
最終沈殿池	φ 600 × D1,000	220L × 2系列

表-2 運転条件

RUN No. 実験期間		反応タンク滞留時間(hr)					水温 °C	MLSS mg/L	返送率 %	DO mg/L	A-SRT 日	必要A-SRT 日	無酸素槽への 生汚泥添加率
		嫌気	好気	無酸素	再曝気	合計(HRT)							
RUN1 99/1/6~2/1	実験系	0.8	5.0	3.4	0.8	10	15.3	2619	50	2.8	8.2	7.9	4%
	対照系	0.8	5.0	3.4	0.8	10	15.3	2429	50	3.0	10.5	7.9	0%
RUN2-1 2/2~2/10	実験系	0.7	4.6	2.0	0.7	8	14.2	2754	50	3.0	6.9	8.5	4%
	対照系	0.7	4.6	2.0	0.7	8	14.3	2600	50	3.0	7.9	8.4	0%
RUN2-2 2/11~2/25	実験系	0.7	4.6	2.0	0.7	8	14.5	2797	50	3.5	8.3	8.3	0%
	対照系	0.7	4.6	2.0	0.7	8	14.4	2811	50	3.5	11.1	8.4	0%
RUN2-3 2/26~3/5	実験系	0.7	4.6	2.0	0.7	8	15.7	2700	50	3.0	10.9	7.7	2%
	対照系	0.7	4.6	2.0	0.7	8	16.0	2677	50	3.2	12.6	7.6	0%
RUN1の槽割り		1槽	6槽	4槽	1槽	12槽	※1必要A-SRT=20.6exp(-0.0627 × 水温)						
RUN2の槽割り		1槽	7槽	3槽	1槽	12槽	※2生汚泥投入率は原水量に対する値						

実験装置は、初沈（脱窒槽への添加生汚泥生成のため設置）・反応タンク・終沈からなり、実験原水には中部下水処理場A系沈砂池から処理場流入水（合流下水）をプラントまで導水し、嫌気硝化内生脱窒法により流量一定で連続運転を行った。また、実験系（脱窒槽第1槽目に生汚泥を添加する処理フロー）と対照系（生汚泥を添加しない処理フロー）を設けて、処理特性について比較検討を行った。運転条件は、RUN1はHRT=10hrで運転し、実験系には生汚泥を原水比で4%添加した。RUN2はHRT=8hrで運転し、実験系にはRUN1同様に生汚泥を添加した。処理水質は、冬季の運転を想定した水温15°Cの条件下で、T-N=10mg/L、T-P=0.5mg/L以下を目標とした。

3. 実験結果及び考察

(1) 処理結果

表-3にRUN1及びRUN2-1~2-3の処理結果の平均値を、図-2に処理水T-N・T-Pの経日変化を示す。

T-Nについては、RUN1(HRT=10hr)では、実験系、対照系ともに処理目標を達成しており、対照系T-N=6.9mg/Lに対して、実験系T-N=4.6mg/Lと低い濃度を示し、脱窒槽への生汚泥添加の効果が認められた。RUN2-1~2-3(HRT=8hr)については、対照系は、降雨によって水温が低下したにも拘わらず、硝化状況も良好で処理目標もほ

ば達成していた。実験系は、RUN2-1では生汚泥添加による余剰汚泥発生量の増加によって、表-2に示すように必要A-SRT=8.5日に対して、A-SRT=6.9日と硝化に必要なA-SRTを確保できず、処理水NH₄-N濃度=9.1mg/L(表-3)とアンモニア性窒素の残存が見られ、硝化が滞ってしまった。そこで、RUN2-2では生汚泥添加を中断して、硝化回復後に添加率を4%から2%に減らし実験を行った(RUN2-3)が、生汚泥添加の効果は認められなかった。これは初沈の構造上の問題により、生汚泥のBOD濃度が約300mg/Lと薄かったためと考えられる。

表-3 沈後水及び処理水の水質結果

実験系	(mg/l)							
	RUN1		RUN2-1		RUN2-2		RUN2-3	
	沈後水	処理水	沈後水	処理水	沈後水	処理水	沈後水	処理水
T-N	28 (18~32)	4.6 (2.5~8.3)	27 (24~29)	8.8 (4.9~12)	28 (22~33)	9.9 (7.8~12)	28 (22~32)	7.1 (6.2~8.6)
NH ₄ -N		1.2		9.1		4.0		0.3
T-P	3.5 (1.8~4.6)	0.19 (0.09~0.33)	3.5 (2.9~3.8)	0.23 (0.17~0.39)	3.1 (1.9~4.3)	0.15 (0.10~0.26)	3.8 (3.3~4.3)	0.15 (0.11~0.24)
PO ₄ -P		0.06		0.08		0.03		0.05
COD	69 (53~81)	9.6 (8.3~12)	69 (64~72)	9.1 (8.8~9.9)	64 (44~78)	9.0 (7.8~9.9)	82 (76~90)	7.7 (6.5~8.2)
BOD	140 (96~180)	6.8 (3.3~9.3)	120 (110~130)	6.8 (4.6~10)	140 (75~210)	9.5 (6.8~11)	160 (140~190)	4.0 (3.1~4.8)
SS	140 (100~230)	4.5 (1.7~9.2)	120 (92~150)	3.5 (2.0~5.4)	110 (58~190)	4.3 (2.6~6.0)	140 (100~210)	3.6 (1.3~5.4)

T-Pについては、平成9年度の実験では、リン除去が不安定で処理目標を達成できなかったため、平成10年度は、都筑下水処理場での事例を元に生汚泥添加による安定化を目指した。しかし、実験プラントの最初沈殿池のSS除去率が、実施設の最初沈殿池より特に低く、プラントで処理した沈後水は、平成9年度に使用した中部下水処理場の沈後水と比較して有機物濃度が同程度(BODで約130mg/L)であるのに対して、SS濃度が平均120mg/Lと倍の濃度を示した。沈後水のSS濃度が上がったことにより余剰汚泥量が増加し、リンの系外排出量が増えたことに加え、嫌気槽に生汚泥を添加しなくてもリン放出が良好に行えた結果、実験系・対照系共に全RUNにおいて処理目標値0.5mg/l以下を安定して満足できた。

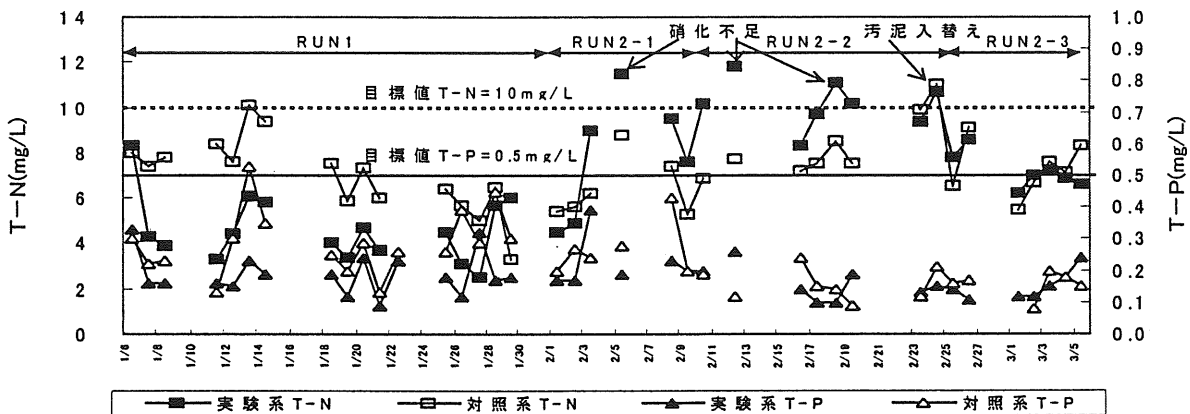


図-2 処理水のT-N・T-Pの経日変化

(2) 窒素除去について

1) 有機物添加による脱窒効率について

一般に、脱窒に影響を与える因子としてはBOD濃度が挙げられる。そこで、有機物の添加が、脱窒速度に対してどの程度影響するか把握するため回分試験を行った。また、昨年度の実験結果より揮発性有機酸が脱窒を促進させる

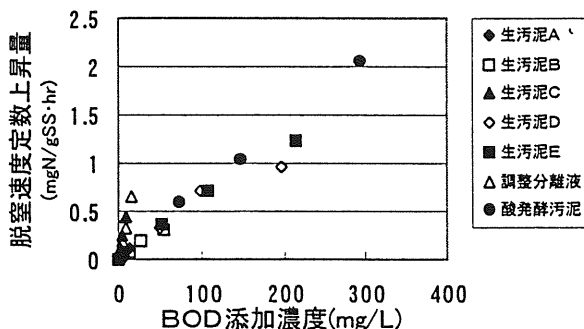


図-3 BOD添加濃度と脱窒速度定数上昇量の関係

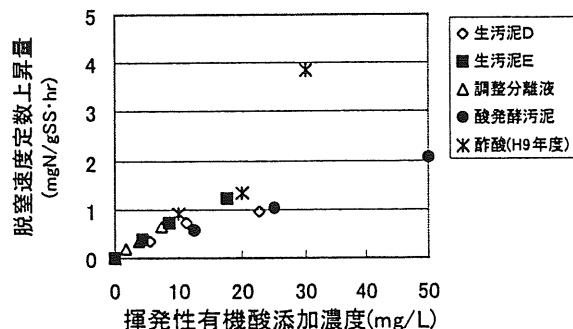


図-4 揮発性有機酸添加濃度と脱窒速度定数上昇量

ことが分かっていることから、揮発性有機酸についても検討を行った。図-3及び図-4に実験結果を示す。添加した有機物は、生污泥 A~E (プラント生污泥)、調整分離液 (中部下水処理場污泥調整槽の越流水)、酸発酵污泥 (プラント生污泥を酸発酵させて揮発性有機酸濃度を高めた污泥) であり、それぞれを原水量に対して 0%, 2.1%, 4.2%, 8.4% 添加した時の BOD 濃度及び揮発性有機酸濃度と、脱窒速度定数の上昇量の関係を表したものである。図中に示すように添加する BOD 濃度及び揮発性有機酸濃度が高いほど脱窒速度定数は高くなる傾向が認められた。

2) 有機物添加による脱窒槽の縮小化について

回分試験結果より、有機物添加による脱窒槽滞留時間の短縮効果について検討を行った。表-4及び図-5に生污泥添加率と脱窒槽短縮時間の関係を示す。表-4は、脱窒槽内 MLSS=2,500mg/L の条件で、BOD=2,630mg/L の生污泥を各添加率で添加した時の、脱窒速度定数の上昇量及び脱窒槽の短縮時間を表しており、表-5 検討条件と表-6 に示す計算式を用いて算出した。表-4に示すように生污泥を原水量比で約 1% 添加することにより、脱窒速度定数は 0.18 mgN/gSS・hr 上昇することが期待できることから、脱窒槽を約 20 分程度短縮することが推定される。

表-4 生污泥添加率と脱窒槽短縮時間の関係

A	B	C	D
生污泥添加率	換算BOD濃度	脱窒速度定数上昇量	脱窒槽短縮時間
原水比量(%)	mgBOD/gSS	mgN/gSS・hr	分
0.0	0.0	0.00	0.00
0.5	5.2	0.09	9.80
1.0	10.4	0.18	18.05
1.5	15.5	0.26	25.09
2.0	20.6	0.35	31.15
2.5	25.7	0.44	36.45
3.0	30.6	0.52	41.10

表-5 検討条件(回分試験より)

E	添加生污泥BOD	2,630 mg/L
F	MLSS	2,500 mg/L
G	脱窒速度比例係数	0.017 mgN/mgBOD・hr
H	基準脱窒速度定数	1 mgN/gSS・hr
I	脱窒槽滞留時間	2 hr

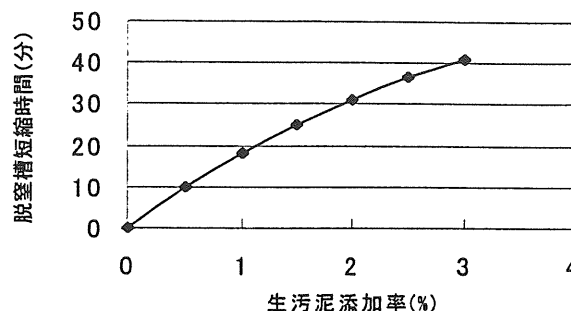


図-5 生污泥添加率と脱窒槽の短縮時間の関係

表-6 脱窒槽短縮時間の算出式

$$B = \frac{E \times A \times 1000}{(100 + A) \times F}$$

$$C = G \times B$$

$$D = \left(1 - \frac{H \times I}{H + C} \right) \times 60$$

(3) リン除去について

リンの放出と摂取については、回分試験を行い、その特性を確認した。

図-6中のデータは、a: 沈後水、b: 沈後水を水道水で 1/2 希釈、c: 沈後水を沈後水ろ液で 1/2 希釈したものであり、返送率 50% を想定して実験をおこなった。a の沈後水に対して、b の沈後水は降雨による流入水の希釈を想定し濃度が半分であり、c の沈後水は溶解性成分については同じであるが SS 濃度は半分である。図-6 からリン放出については、SS 濃度ではなく溶解性成分が影響していることがわかり、降雨の影響を大きく受ける中部下水処理場のような合流式処理場では、降雨時にはリンの放出が悪化することが予想されることや、都筑下水処理場での事例(生污泥を連続添加することによりリン除去が安定した)から、リン放出安定化のためには特に溶解性の有機物添加が有効と思われる。

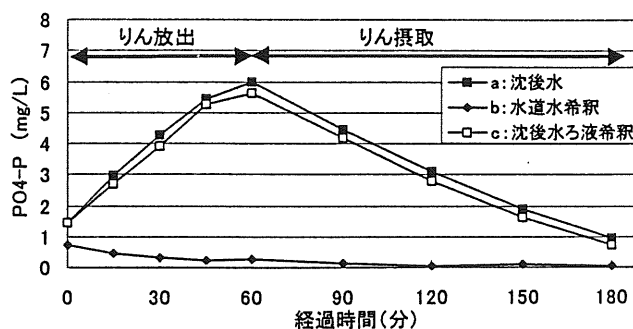


図-6 沈後水希釈による検討

4. まとめ

窒素・リン除去の効率化を検討した結果、有機物(生污泥)を無酸素槽に添加することにより脱窒速度の向上が図れること、及びリン放出安定化のために溶解性の有機物添加が有効であることが確認された。さらに、BOD と揮発性有機酸が脱窒速度向上を検討する上での指標として使用できる可能性が確認できた。本実験で行った生污泥添加は、余剰污泥量を増加させリン除去に有利に働く反面、硝化に必要な A-SRT を短縮させてしまうため、今後は、酸発酵污泥のようなより溶解性成分の高い有機物の検討も必要と考えられる。