

# 19 循環・ステップ流入式嫌気好気法による 生物学的窒素・りんの除去（その3）

横浜市 猪瀬 和雄  
○蓮野 智久

## I、はじめに

横浜市では「循環・ステップ流入式嫌気好気法」を用いて生物学的な窒素、りんの同時除去実験を平成元年度より行っている。前報では、反応槽の6つのブロックのうち嫌気槽 1、2ブロック、無酸素槽 5ブロック、または、嫌気槽 1ブロック、無酸素槽 4、5ブロックとした処理フローで安定した窒素、りんの除去が行えたことを報告した。平成3年度は、この2つの処理フローを中心に運転を行い、流入水量や硝化液の循環量、ステップ流入比率の窒素、りん除去に対する影響について調査を行い、効率的な窒素、りん除去についての知見が得られたので報告する。

## II、実験の条件

図-1に実験池の処理フローを示す。反応槽は容積 485 4m<sup>3</sup>であり、嫌気槽、第1好気槽、無酸素槽、第2好気槽の順に配置されている。反応槽の6分割されたブロックを表-1のように使い、流入水量を増やしたり、反応槽出口から無酸素槽への硝化液の循環を止めることによる窒素、りんの除去性の違いを調べた。今回も前年度までと同じように返送率は50%とし、送風量は6ブロックでDO制御を行った。試料は2時間毎に採水し、コンポジットしたものについて分析を行った。

また、反応槽での1日を通しての窒素、りんの挙動調査を4回行った。

## III、結果及び考察

### 1) 窒素とりんの処理概要

窒素、りんの処理結果を表-2-1、表-2-2に示す。7/31までは、嫌気槽 1、2ブロック、無酸素槽 5ブロック、循環率 100%で運転を行い、8/1以降は循環を無くして運転を行った。また、流入水の窒素濃度の高くなる冬季には脱窒量を多くするために無酸素槽の大きい処理フロー（嫌気槽1ブロック、無酸素槽4、5ブロック）で処理を行った。高度処理の流入水量は約 10,000m<sup>3</sup>/日で処理を行っていたが、5/24から幹線の新たな取り込みにもない流入水量が増加し約 13,000 m<sup>3</sup>/日になった。表2-2を見ると、流入水量が増えても処理水の全窒素濃度は高くなっておらず、6.4mg/lと良好な処理が行えた。これは図-2に示したように、BOD-SS負荷が高くなると脱窒速度

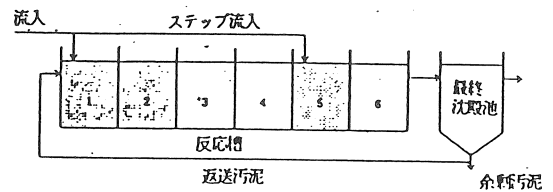


図-1 実験池の処理フロー

表-1 高度処理実験処理条件

実験期間	4/1~7/31 *1	8/1~1/28 *2	1/29~3/8	3/9~3/31
嫌気槽	1、2ブロック	1、2ブロック	1ブロック	1、2ブロック
無酸素槽	5ブロック	5ブロック	4、5ブロック	5ブロック
循環	57% (6.5m <sup>3</sup> /M)	なし	なし	なし

ステップ比は5:1。ただし、実験により変化させている。  
\*1 5/24~6/26は流入水量を増やして処理実験を行った。  
\*2 9/5~12は循環を2ブロックに 6.5m<sup>3</sup>/Mで行っている。

表-2-1 高度処理 運転結果

	4/1~7/31	5/24~6/26	8/1~1/28	1/29~3/8	3/9~3/31	4/1~3/31
処理水量 (m <sup>3</sup> )	10830	12850	10960	9320	10030	10860
水温 (°C)	22.0	23.2	21.4	16.7	17.2	20.9
MLSS (mg/l)	2150	2280	2160	2530	2350	2220
SRT (day)	18.4	17.7	20.9	29.0	20.0	21.3
SV (%)	85	86	60	76	68	71
SVI (cm <sup>3</sup> /g)	400	380	280	300	290	320
T-N負荷 (kg/kg)	0.023	0.029	0.025	0.024	0.029	0.025
BOD-SS負荷 (kg/kg)	0.11	0.15	0.086	0.10	0.12	0.10
* 滞留時間 (h)						
嫌気槽	4.1 (2.6)	3.4 (2.2)	4.1 (2.5)	2.1 (1.4)	4.4 (2.8)	3.8 (2.4)
無酸素槽	1.7 (0.69)	1.4 (0.57)	1.8 (1.2)	4.3 (2.9)	1.8 (1.2)	2.0 (1.2)
好気槽	6.5 (3.7)	5.5 (3.1)	6.6 (4.1)	6.6 (4.3)	7.0 (4.5)	6.5 (4.0)

\* 滞留時間 ( )内は返送汚泥量、循環量を含む。

表-2-2 高度処理 処理結果

	4/1~7/31	5/24~6/26	8/1~1/28	1/29~3/8	3/9~3/31	4/1~3/31
COD (mg/l)	8.5 (46)	8.9 (48)	8.1 (46)	9.8 (60)	8.8 (55)	9.0 (48)
BOD (mg/l)	4.7 (100)	9.7 (120)	3.4 (83)	4.8 (130)	5.0 (130)	4.7 (100)
T-P (mg/l)	0.40 (3.6)	0.49 (3.2)	0.62 (2.5)	0.56 (3.4)	0.52 (4.3)	0.56 (3.2)
NO <sub>x</sub> -P (mg/l)	0.21	0.10	0.48	0.21	0.16	0.36
T-N (mg/l)	7.4 (22)	6.4 (24)	7.9 (24)	9.2 (32)	9.3 (32)	8.0 (25)
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	5.8	3.8	6.2	6.3	7.4	6.0
NO <sub>2</sub> -N (mg/l)	0.09	0.14	0.08	0.20	0.14	0.11
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	0.29 (16)	2.1 (18)	0.49 (16)	2.2 (19)	0.83 (21)	1.0 (17)
T-P 除去率 (%)	88.2	84.5	72.4	89.0	87.2	81.0
T-N 除去率 (%)	65.4	72.9	66.2	72.3	69.7	67.9

( )内は最初沈殿池流出水の値である。

が大きくなる傾向があり、流入水量が増えても窒素除去量も増えたためと考えられる。しかし、硝化速度については図-3に示すようにBOD-SS負荷が高くなっても大きくなりたいため、処理水中にアンモニア性窒素が2.1mg/l 残存するようになった。また、流入水量の多い午前中は最終沈殿池で汚泥界面の上昇も見られるようになったので6/26以降は流入水量が約10,000m<sup>3</sup>/日になるよう調整を行った。負荷を高くすることにより、脱窒速度は大きくなり、効率的に脱窒できるが、硝化速度は変わらないため窒素を完全に硝化させることは困難であると言えよう。高負荷条件で硝化速度を大きくすることが可能であれば、効率的な窒素除去ができ、処理装置をコンパクトにすることができよう。

8/1以降は反応槽出口から無酸素槽への硝化液の循環を止めて実験を行った。これは、第1好気槽が在るため、循環を行わなくとも無酸素槽へNO<sub>x</sub>-Nを供給できること、無酸素槽出口でNO<sub>x</sub>-Nが常に残っている状況では硝化液を循環しなくとも処理水中の全窒素濃度は同じであろうと考えられるからである。結果は、表-2-2に示すように循環を行わなくとも窒素の除去には関係がなかった。無酸素槽の前に第1好気槽を置くことにより、循環ポンプのコストを不要とする事が可能であろう。

## 2) 処理機能調査

反応槽機能調査時の運転条件を表-3に示す。調査はステップ流入比率、嫌気槽、無酸素槽の容量を変えて行い、それらの窒素、りん除去に対する影響を調べた。

### ①窒素の除去

窒素は反応槽に入ると返送汚泥により希釈され、一部汚泥へ吸着され、その後、硝化、脱窒される。表-4に最初沈殿池流出水と返送汚泥の窒素濃度から求めた嫌気槽での窒素濃度計算値と実際の窒素濃度を示す。実測値の方が全て小さい値になっており、流入窒素の23%~29%が汚泥に取り込まれたと考えられる。

図-4に好気ブロックでの硝化率、及び滞留時間を示す。滞留時間はRUN3で第1好気槽の滞留時間が少し短くなっているが、それほど大きな差は見られなかった。硝化は後段へのステップ比率の大きいRUNで進み易い傾向があり、RUN1で水温が少し高い事もあり良く進んでいた。それに対し、後段へのステップ流入を無くしたRUN4では他のRUNと比べ硝化が進んでいなかった。脱窒については、表-5に示した無酸素ブロックでの脱窒量、及び脱窒率を見ると、無酸素槽へのステップ流入比率の大きいRUNで脱窒が進み易いという事はなかった。無酸素槽へのステップ流入比よりも有機物の

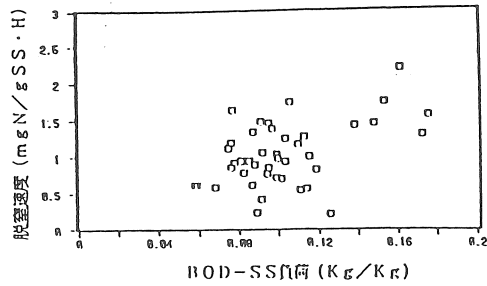


図-2 BOD-SS負荷と脱窒速度

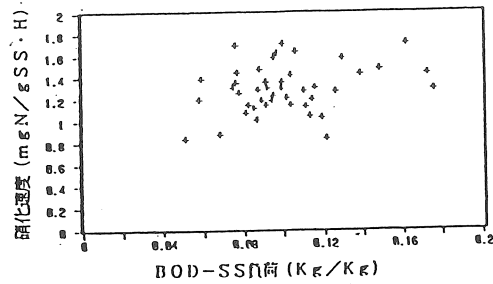


図-3 BOD-SS負荷と硝化速度

表-3 反応槽機能調査の運転条件

	RUN 1	RUN 2	RUN 3	RUN 4
調査日時	12/9-10	1/21-22	2/4-5	2/25-26
嫌気槽	1.27 m <sup>3</sup>	1.27 m <sup>3</sup>	17 m <sup>3</sup>	17 m <sup>3</sup>
無酸素槽	57 m <sup>3</sup>	57 m <sup>3</sup>	4.57 m <sup>3</sup>	4.57 m <sup>3</sup>
ステップ流入比	3:1	14:1	14:1	1:0
流入水量 (m <sup>3</sup> /日)	9830	8970	9440	9160
返送率 (%)	50	50	50	50
M.L.S.S (mg/l)	2200	2600	2600	2400
水温 (°C)	20.0	16.8	15.9	16.6
BOD-SS負荷 *1)	0.083	0.063	0.058	0.070
IN-SS負荷 *2)	21.1	19.9	20.2	23.1

\*1) Kg/Kg・日 \*2) g/Kg・日

表-4 窒素の汚泥への取り込み状況

	嫌気槽 [N値 (mg/l)]	予測 [N値 (mg/l)]	差 (mg/l, X)
RUN 1	11.5	16.3	4.8 29%
RUN 2	16.4	21.4	5.0 23%
RUN 3	13.9	19.4	5.5 28%
RUN 4	15.3	20.6	5.3 26%

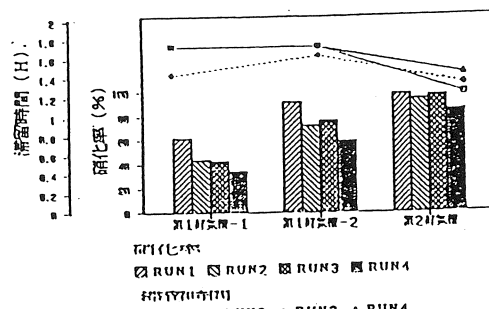


図-4 好気ブロックでの硝化の状況

酸化の状態、MLSS等が無酸素槽での脱窒に影響を与えているのだろう。

表-6に流入窒素量、流出窒素量、除去窒素量の内訳を示す。流入した窒素の60%~70%が除去されており、除去された窒素の40%弱が余剰汚泥として排出されていた。嫌気槽、無酸素槽、最終沈殿池で脱窒が起こっていたが、最終沈殿池での脱窒量が意外に多く、全窒素除去量の10%~20%となっていた。その他の項目については収支の差から計算したものであるが、反応槽内汚泥量の変化、好気槽で硝化と同時に進行する脱窒によると考えられる。

### ②りんの除去

図-5に各ブロックでのりんの吐き出し、再吸収の状況を示す。プラスは吐き出し、マイナスは再吸収である。RUN1、2は嫌気槽に2つのブロックを用いているが、吐き出しがみられたのは1ブロック目だけであり、2ブロック目は機能していなかった。また、RUN2はりんの吐き出し量、再吸収量とも多かったが、除去率が特に良いわけではなかった。昨年の結果から、嫌気槽に2つのブロックを用いる処理フローは安定してりん除去が行えると考えていたが、今回の調査のように返送汚泥中にNO<sub>x</sub>-Nが少ないときは嫌気槽の2ブロック目は無駄になっていたようである。

また、最終沈殿池でりんの吐き出しが起こっているが、処理水への影響はRUN2以外ではほとんど無く、いちばん大きかったRUN2で処理水のりん濃度が6ブロックと比べ0.33mg/l上昇した。NO<sub>x</sub>-Nを減らせるという事から、最終沈殿池には汚泥を少し貯め気味で運転した方が良いと考えられるが、あまり貯めるとりんの除去に影響があるだろう。

### IV、おわりに

「循環・ステップ流入式嫌気好気法」の窒素、りんの除去効果について検討を行った。その結果

- ①流入負荷を上げる事で窒素除去の律速となっている脱窒速度を大きくする事ができ、効率的な除去が可能であった。しかし、負荷が増えても硝化速度は大きくならないため、処理水中にNH<sub>4</sub>-Nが未硝化のまま残るといった問題点もあった。
- ②嫌気槽、第1好気槽、無酸素槽、第2好気槽の順で反応槽の配置をする事により、循環ポンプなしで窒素の除去が行えた。
- ③窒素の挙動調査から、除去窒素量の約40%が余剰汚泥によって除去される事、無酸素槽へのステップ流入比率を変えても無酸素槽での脱窒にはあまり影響がない事が分かった。

### IV、参考文献

- 1) 微生物を利用した窒素及びリン除去プロセスの評価に関する第3次報告書

日本下水道事業団技術開発部

- 2) ステップ流入による生物学的リン窒素同時除去の処理効率の改善について

下水道協会誌 Vol. 23, No. 266, P. 16~26 (1986)

栗林宗人 等

表-5 無酸素槽での脱窒

RUN	反応槽ブロック	滞留時間	脱窒量	脱窒率
1	5ブロック	1.2日	1.3mg/l	19.8%
2	5ブロック	1.4日	3.0mg/l	36.6%
3	4ブロック	1.5日	3.1mg/l	44.3%
4	4ブロック	1.5日	3.7mg/l	46.8%

$$\text{脱窒率} = \frac{\text{流出 NO}_x\text{-N 量}}{\text{流入 NO}_x\text{-N 量}}$$

表-6 窒素除去の内訳

		単位 Kg/日			
		RUN1	RUN2	RUN3	RUN4
流入		255 (100) %	265 (100) %	268 (100) %	274 (100) %
流出		90 (35.3) %	105 (39.6) %	78 (29.1) %	86 (31.4) %
窒素除去	余剰汚泥	64 (38.3)	60 (37.5)	72 (37.9)	72 (38.3)
	無酸素槽	19 (11.5)	42 (26.2)	78 (41.1)	67 (35.6)
	嫌気槽	14 (8.5)	12 (7.5)	0 (0)	4 (2.1)
	終沈	20 (12.1)	31 (19.4)	28 (14.7)	25 (13.3)
	その他	48 (29.1)	15 (9.4)	12 (6.3)	20 (10.7)
小計		165 (100) (64.7) %	160 (100) (60.4) %	190 (100) (70.9) %	188 (100) (68.6) %

( )内は窒素除去率、( )内は流入窒素量に対する割合 %である。

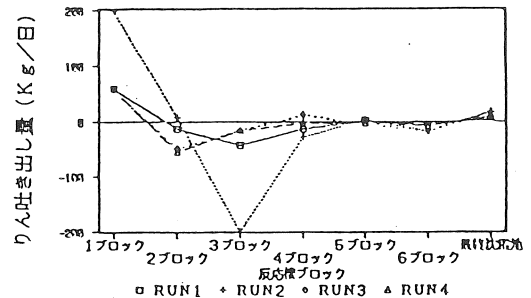


図-5 りんの吐き出し状況