

日本下水道事業団 竹島 正 石山栄一
日立プラント建設株式会社 〇宮林哲司 江森弘祥

1. はじめに

生物学的BOD・窒素・りんを同時処理法である嫌気—無酸素—好気法では、硝化細菌を系内に保持するためにSRTを長めに維持する必要がある。一方、りんは汚泥に吸収され余剰汚泥として排出されることにより下水から除去されるため、余剰汚泥の引き抜き量を多くしSRTを短めに維持するのが良いとされており、汚泥の発生量を多くすること又は余剰汚泥中のりん含有率を高くすることがりん除去性能を向上させることになる。本報では、好気槽に硝化細菌を包括固定した担体を添加し、窒素処理に関してSRT 管理を必要としない嫌気—無酸素—好気法と従来法との並列運転を行い、SRT、BOD-SS負荷の影響を比較検討した結果を報告する。

2. 実験方法

図1に実験装置フロー、表1に運転条件を示す。実験は容量及び槽数が等しい2つの装置を用いて行った。まず、A系列とD系列との並列運転を行い、担体を添加した嫌気—無酸素—好気法と従来法との比較を行った。A系列は第1槽を嫌気槽(0.14m³)、第2、3、4槽を無酸素槽(0.14m³×3槽)、第5槽を好気槽(0.16m³)とし、好気槽には包括固定化硝化細菌を好気槽容量の17%添加した。D系列は第1槽を嫌気槽(0.14m³)、第2、3槽を無酸素槽(0.14m³×2槽)、第4、5槽を好気槽(0.14+0.16m³)とした。A系列は、滞留時間を全体7.7時間、嫌気槽1.5時間、無酸素槽4.5時間、好気槽1.7時間、MLSS濃度を2000 mg/Lに設定した。D系列は滞留時間を全体14.8時間、嫌気槽2.9時間、無酸素槽5.7時間、好気槽6.2時間、MLSS濃度を2000 mg/Lに設定した。硝化液循環率、返送汚泥率は両系列ともにそれぞれ250%、50%とした。また、SRTの設定は、包括固定化硝化細菌を添加したA系列は浮遊汚泥での硝化細菌の保持が困難な10日程度、従来法であるD系列は40日および20日の2段階とし、SRTが硝化及びりん除去に及ぼす影響を検討した。次に、A、D系列をそれぞれB、C系列に切り替えた。B系列は、A系列の第2槽を半分の0.07m³にし、これを嫌気槽とし、第3、4槽を無酸素槽、第5槽を好気槽とした。C系列は、D系列の第2槽を嫌気槽、第3、4槽を無酸素槽とし、第5槽に担体を槽容量の17%添加した。B、C系列は、無酸素槽滞留時間及び好気槽滞留時間をそれぞれ同一の4.4、2.5時間とし、嫌気槽滞留時間をそれぞれ1.0、2.1時間とした。硝化液循環率、返送汚泥率は両系列ともにそれぞれ250%、30%とした。また、SRTは両系列とも10日程度とした。

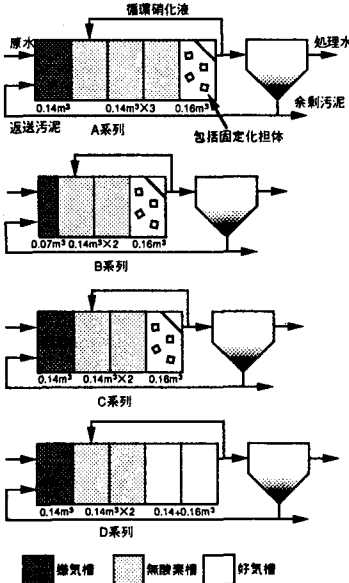


図1 実験装置フロー

表1 実験装置運転条件				
系列	A	B	C	D
処理水量 (m ³ /日)	2.25	1.54	1.54	1.17
硝化液循環率 (%)	250	250	250	250
返送汚泥率 (%)	50	30	30	50
滞留時間 (h)	全体	7.7	7.9	9.0
	嫌気槽	1.5	1.0	2.1
	無酸素槽	4.5	4.4	4.4
	好気槽	1.7	2.5	6.2
ベレット充填率 (%)	17.0	17.0	17.0	0.0

3. 実験結果

3. 1 処理結果

表2に処理結果を示す。好気槽に担体を添加したA系列では、RUN1、2の処理水平均 T-N 濃度はそれぞれ 5.0、6.0 mg/L であり、硝化はほぼ完全に行われていた。また処理水平均 T-P 濃度はそれぞれ 0.5、0.6 mg/L であり、りんについても良好な処理ができた。一方、従来の嫌気—無酸素—好気法であるD系列では、水温が19.1℃と比較的高くSRTが38.5日と長かったRUN5ではほぼ完全に硝化が進行し、処理水 T-N 濃度は 6.7 mg/L となったが、水温が13.1℃と低くSRTが20.5日であったRUN6は処理水に $\text{NH}_4\text{-N}$ が残存し、処理水 T-N 濃度は10 mg/L 以上となった。また、りんの処理では処理水 T-P 濃度がRUN5、6でそれぞれ 1.4、1.5 mg/L であり、A系列に比べ良好な処理を行うことができなかった。嫌気槽滞留時間の検討を行ったB、C系列のRUN3、4では、両系列ともほぼ完全に硝化することができた。また、RUN3、4の処理水 T-P 濃度はそれぞれ0.4、0.2mg/lであり、良好な処理ができた。RUN4はRUN3より若干りん処理性能が良かったが、これは、RUN4はRUN3より嫌気槽滞留時間が長く、嫌気槽でのりん放出量が多かったためと考えられる。

系列	A				B		C		D					
RUN	1		2		3		4		5		6			
項目	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水	原水	処理水		
水温 (℃)		19.4		14.0		26.5		26.3		19.1		13.1		
BOD (mg/l)	53.0	3.6	72.0	4.3	179.0	3.7	179.0	3.5	53.0	3.5	72.0	6.8		
T-N (mg/l)	20.8	5.0	22.3	6.0	39.7	5.8	39.7	6.4	20.8	6.7	22.3	12.0		
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/l)	15.2	0.3	17.8	0.4	21.0	0.5	21.0	0.2	15.2	0.6	17.8	4.7		
T-P (mg/l)	1.9	0.5	2.2	0.6	4.5	0.4	4.5	0.2	1.9	1.4	2.2	1.5		
SRT (日)	—	10.6	—	10.1	—	8.4	—	10.7	—	38.5	—	20.5		
BOD-SS比 (kg/kg/日)	—	0.0898	—	0.1074	—	0.4362	—	0.1860	—	0.0499	—	0.0656		

3. 2 SRTの影響

硝化細菌を系内に保持するためには、A-SRTを（1）式の関係が満足できるように保つ必要がある。

$$\text{A-SRT} > 1 / \mu_m \quad (1)$$

$$\text{A-SRT} = \text{SRT} \cdot \theta_N / \theta_T \quad (2)$$

ここで、A-SRT：好氣的汚泥滞留時間 (h)

μ_m ：硝化細菌の最大比増殖速度
(1/日)

SRT：汚泥滞留時間 (日)

θ_N ：硝化槽滞留時間 (h)

θ_T ：全体滞留時間 (h)

また、堺らにより完全硝化に必要なA-SRTと水温の関係について次式が示されている¹⁾。

$$\text{A-SRT} = 29.7 \exp(-0.102 \cdot T) \quad (3)$$

一方、りん除去量と余剰汚泥量の関係は次式で示される。

$$\Delta P = P_s \cdot Q_s \quad (4)$$

ここで、 ΔP ：りん除去量 (kg-P/日)

P_s ：余剰汚泥中りん濃度 (kg-P/kg)

Q_s ：余剰汚泥量 (kg/日)

また、SRTと余剰汚泥量の関係は次式で示される。

$$\text{SRT} = X \cdot V \cdot 10^3 / Q_s \quad (5)$$

ここで、SRT：汚泥滞留時間 (日)

X ：MLSS濃度 (mg/l)

V ：反応槽容量 (m^3)

したがって、

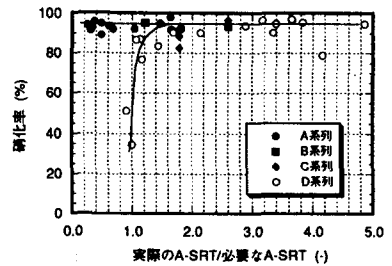


図2 硝化に必要なA-SRTに対する実際のA-SRTの比と硝化率の関係

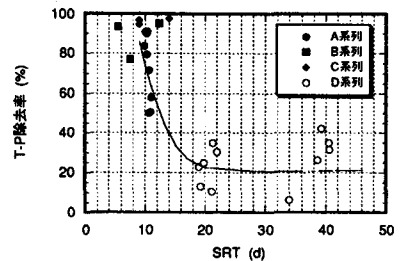


図3 SRTとT-P除去率の関係

$$\Delta P = P_s \cdot X \cdot V \cdot 10^3 / \text{SRT} \quad (6)$$

図2に硝化に必要なA-SRTに対する実際のA-SRTの割合と硝化率の関係を示す。従来法のD系列では、A-SRTの比が1前後で硝化率が急激に低下した。これは、実験時の水温で硝化細菌を系内に保持することが困難になったからと考えられる。

図3にSRTとT-P除去率の関係を示す。SRTを40、20日としたD系列ではT-P除去率は10～40%と低い値であったが、SRTを10日程度としたA、B、C系列では50～95%のT-P除去率が得られた。

図4にA、D系列の余剰汚泥による引き抜きりん量の比較を示す。(6)式で示されるようにSRTが短いほどりん除去量 ΔP が多くなっている。包括固定化硝化細菌を添加した嫌気—無酸素—好気法では、りん除去のみを考慮しSRTを短く設定することが可能になり、完全硝化と効率的りん除去を同時に行えることが確認できた。

3. 3 NO₃-Nの影響

図5に脱窒速度と返送汚泥中のNO₃-N濃度の関係を示す。脱窒速度が大きくなると返送汚泥中のNO₃-N濃度が低くなる傾向が認められた。担体を添加したA、B、C系列はD系列より脱窒速度が大きいことが認められたが、これはA、B、C系列はD系列よりBOD・SS負荷が高いためと考えられる²⁾。返送汚泥により嫌気槽に持ち込まれるNO₃-Nはりんの放出を阻害するが、担体を添加することにより従来法よりBOD・SS負荷を高くとれるため脱窒速度が大きく、したがって返送汚泥により嫌気槽に持ち込まれるNO₃-N負荷が減少し嫌気槽でのりん放出時間を十分取ることができるためりん除去性能が向上すると考えられる。

4. おわりに

包括固定化硝化細菌を好気槽に添加した嫌気—無酸素—好気法では、硝化細菌は担体内に高濃度に保持されているため、りん除去のみを考慮したSRTの設定が可能である。また、従来法よりBOD・SS負荷が高いため脱窒速度が大きく、返送汚泥により嫌気槽に持ち込まれるNO₃-N負荷が減少するため、嫌気槽でのりん放出が順調に進行する。また、汚泥発生量が多く、余剰汚泥中りん含有率は従来法と同等以上であるためりん除去性能が向上すると考えられる。以上のことから包括固定化硝化細菌を嫌気—無酸素—好気法の好気槽に添加した硝化促進型循環変法はBOD・窒素・りんの同時処理を従来法より効率的に行えることが確認できた。

〈参考文献〉

- 1) 堺他：硝化の促進と嫌気好気併用をコンセプトとした水処理施設の設計：月間下水道、13、7 (1990)
- 2) 中村他：硝化促進型循環変法における脱窒速度の検討：第30回下水道研究発表会講演集、PP530-532 (1993)

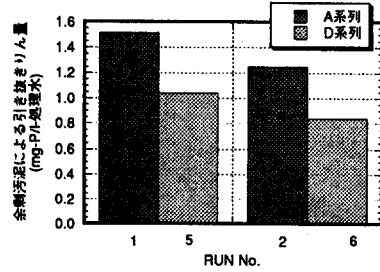


図 4 A、D系列の余剰汚泥による引き抜きりん量の比較

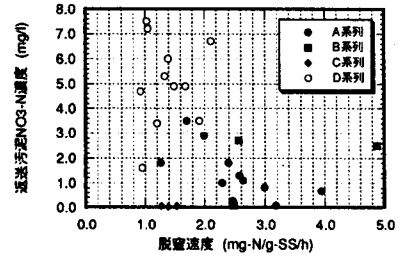


図5 脱窒速度と返送汚泥NO₃-N濃度の関係