

## 2-1-5 芝浦水再生センター東系における

### 窒素除去率向上に関する取り組み

中部下水道事務所 芝浦水再生センター 横田 智之  
 (現 施設管理部環境管理課)  
 小林 政行、中川 遼太郎、小山 祐樹  
 高橋 由香里、関根 健司  
 (現 施設管理部環境管理課)

#### 1. はじめに

芝浦水再生センター（以下、当センター）は、人口の集中する都心部を処理区に抱えており、区部の水再生センターの中でも窒素流入負荷が高い。コロナ禍による外出自粛等により流入負荷は、一時的に低減したが、コロナ禍の終焉とともに以前の流入負荷へと戻りつつある（図1）。今後、処理区内の都市開発に伴う人口増加により、さらに流入負荷が高まることも想定される。

こうした状況の中、2023年度の冬、当センター東系において放流水最大全窒素濃度が28 mg/Lまで上昇した。そこで、窒素除去率の向上を目的として、新たに反応槽流入水を好気槽の中間回路からステップ流入させることを試みた。ステップ流入活用による窒素除去効果と、活用時の最適送風設定値について検証した結果を報告する。

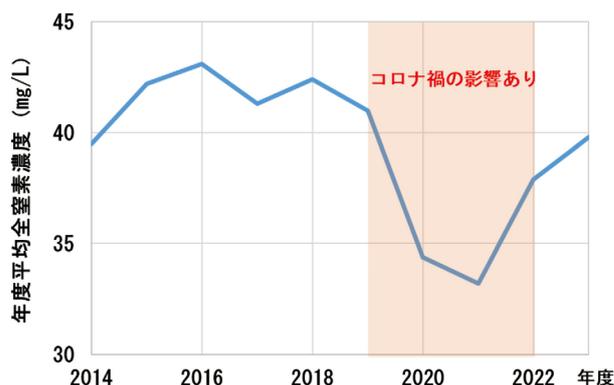


図1 東系反応槽流入水全窒素濃度推移

#### 2. 調査概要

東系反応槽の平面図を図2に示す。処理方式は、好気槽の前半部をNO<sub>3</sub>計、後半部をNH<sub>4</sub>計で風量制御する「擬似嫌気・同時硝化脱窒法」<sup>1)</sup>となっている。この制御により、処理において必要最低限の送風量で運転でき、また、図3に示すように好気部の散気装置下部に

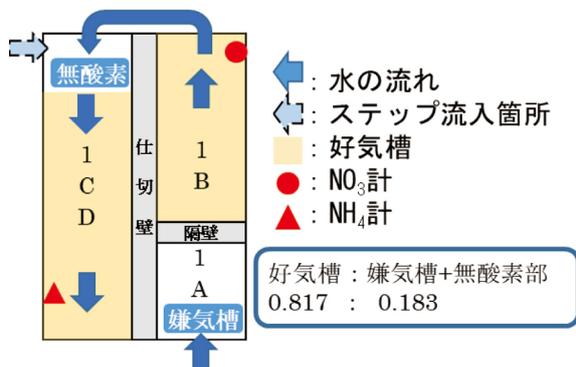


図2 反応槽平面図

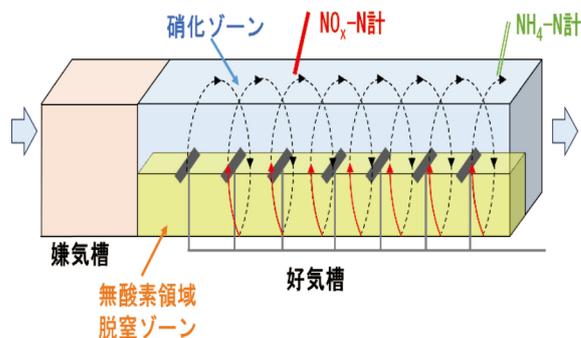


図3 嫌気・同時硝化脱窒法の概要図

無酸素領域を形成することで、好気槽内で脱窒を進めることができる。このことから窒素処理において無酸素槽を必要としない。

本調査は、C 回路のステップ流入扉を利用して行った。ステップ流入の効果を高めるため、ステップ流入させる C 回路流入部の散気装置を 2 箇所分微曝気とし、無酸素領域の形成を促した。

### 3. ステップ流入実施による窒素除去効果

ステップ流入による窒素除去効果を確認するため、低水温期（水温 21℃程度）に、調査槽については、流入水量に対してステップ流入水量を 3 割程度（ステップ流入比 30%）、対象槽については、ステップ流入無しで運用し、処理水質を比較した。

調査期間中の運転条件（晴天日平均値）を表 1 に、反応槽末端における三態窒素濃度合計値の経時変化を図 4 にそれぞれ示す。調査の結果、ステップ流入実施による窒素除去効果は平均で 3.9 mg/L であった。また、ステップ流入実施により送風量の減少が確認でき、特に AB 回路での送風量減少が顕著だった。

表 1 窒素除去効果確認期間中の運転条件  
（水温 21℃程度）

	ステップ 流入有り	ステップ 流入無し
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	25, 200	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	47, 700	73, 700
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	145, 700	156, 300
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5. 78	6. 20
MLSS (mg/L)	1, 610	1, 620
送風設定値 (mg/L)	同条件	
AB回路 NO <sub>3</sub> / CD回路 NH <sub>4</sub>	6. 0 / 2. 5	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

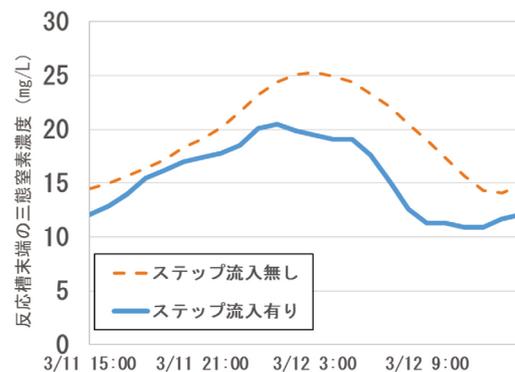


図 4 窒素除去効果確認期間中の窒素濃度比較（水温 21℃程度）

高水温期（水温 27℃程度）についても同様に、ステップ流入による窒素除去効果を比較した。調査期間中の運転条件（晴天日平均値）を表 2 に、反応槽末端における三態窒素濃度合計値の経時変化を図 5 にそれぞれ示す。調査の結果、ステップ流入実施による窒素除去効果は平均で 3. 4 mg/L であった。また、ステップ流入実施による送風量の減少も同様に

表 2 窒素除去効果確認期間中の運転条件  
（水温 27℃程度）

	ステップ 流入有り	ステップ 流入無し
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	25, 400	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	52, 800	62, 800
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	140, 500	148, 400
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5. 54	5. 85
MLSS (mg/L)	1, 440	1, 450
送風設定値 (mg/L)	同条件	
AB回路 NO <sub>3</sub> / CD回路 NH <sub>4</sub>	6. 0/2. 0	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

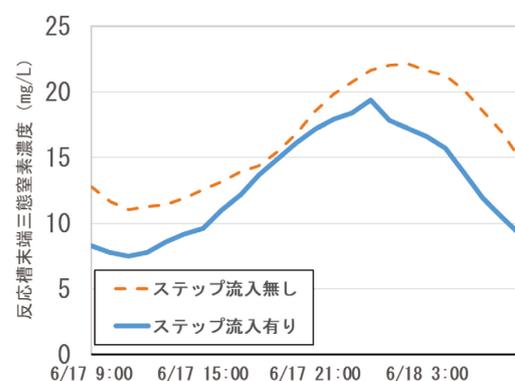


図 5 窒素除去効果確認期間中の窒素濃度比較（水温 27℃程度）

確認できた。

次に、ステップ流入実施による窒素除去効果を詳細に把握するため、ステップ流入部前後を含む流れ方向での脱窒量を算出した（図 6）。ステップ流入比、返送汚泥量、流入水量を基に、流入水、B 回路末端、C 回路流入部付近、D 回路末端で到達時間を考慮して採水し、水質を比較した（表 3）。区間毎の脱窒量は、各地点の三態窒素濃度と処理水量から窒素負荷量（kg/h）を算出し、前後の窒素負荷量の差で算出した（なお、汚泥への窒素の取り込み量も含まれるが同等とみなす）。

ステップ流入部での脱窒量は、ステップ流入比 30%で 5.3 kg/h、ステップ流入無しで 4.4 kg/h であり、ステップ流入実施による差は濃度にして 0.4 mg/L 程度であった。ステップ流入によって無酸素部脱窒の促進が確認できたものの、前述した窒素除去効果 3~4 mg/L 程の差は確認できなかった。このことから、擬似嫌気・同時硝化脱窒法におけるステップ流入実施による窒素除去効果は、ステップ流入部での脱窒の促進と、AB 回路の MLSS 濃度・滞留時間増加による内生脱窒の促進の 2 つが合わさったものであることが示唆された。また、表 3 に示す三態窒素濃度を比較すると、ステップ流入比 30%では B 回路末端での NO<sub>3</sub>-N 濃度（以下、NO<sub>3</sub>濃度という。）は変わらないものの、NH<sub>4</sub>-N 濃度（以下、NH<sub>4</sub>濃度という。）が大幅に低くなっている。ステップ流入が加わった C 回路流入部では NH<sub>4</sub>濃度の差は 1.0 mg/L 程度となっている。このことから、実施で確認された AB 回路送風量の削減（表 1）は、ステップ流入による AB 回路処理水量低下によるものであり、その分 CD 回路での風量増加が少ないのは、AB 回路の MLSS 増加により低風量下で同時硝化脱窒が効率的に起き、ステップ流入後も NH<sub>4</sub>濃度がステップ流入無しと同程度になるまで窒素処理が進んでいたためである。

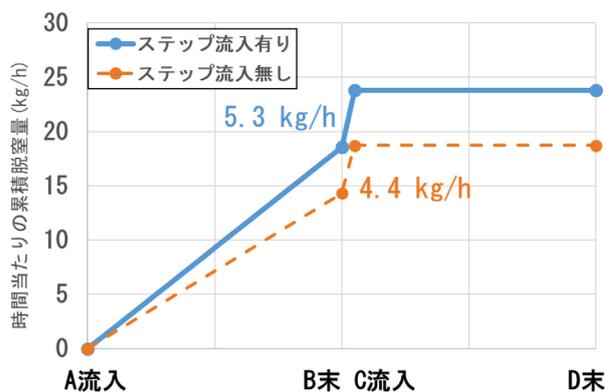


図 6 流れ方向での脱窒量推移の比較

表 3 流れ方向での三態窒素濃度の比較

ステップ流入	有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し
	流入水		B回路末端		C回路流入		D回路末端	
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	28.8	4.2	10.1	7.9	6.7	1.5	0.7	
NO <sub>2</sub> -N (mg/L)	0	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4	0.2	
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	0	5.4	5	3	6.5	9.3	12.6	
三態窒素濃度 (mg/L)	28.8	9.9	15.5	11.2	13.5	11.2	13.5	

#### 4. 最適運転条件調査

##### 4.1 最適ステップ比

ステップ流入が窒素除去に効果的であることが分かったため、2024年10月11日~16日の期間でステップ流入比30%と20%について比較調査を行った。結果を図7、表4にそれぞれ示す。窒素除去効果はステップ流入比30%の方が良好であり、ステップ流入比20%との差は平均で1.0 mg/Lであった。送風量を比較すると、ステップ流入比30%の方がAB回路送風量由来の送風量は多かった。ただし、窒素除去量1.0 mg/Lは全体量に対して、平均11%の削減となるのに対し、送風量の増加3,000 m<sup>3</sup>N/日は全体量に対して、平均2%の増加にすぎない。よって、送風量増加は極微量であるといえるため、ステップ流入比30%が最適であると結論付けた。

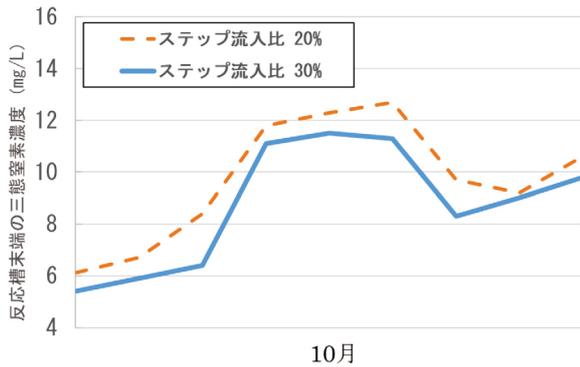


図7 ステップ流入比調査時での三態窒素濃度比較

表4 ステップ流入比調査時の運転条件 (晴天日平均値)

	ステップ流入比30%	ステップ流入比20%
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	27,800	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	50,800	46,800
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	127,700	124,600
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	4.58	4.47
MLSS (mg/L)	1,660	1,710
送風設定値 (mg/L)	同条件	
AB回路 NO <sub>3</sub> / CD回路 NH <sub>4</sub>	6.0 / 2.0	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

#### 4.2 前半回路の最適送風設定値

実施設での流れ方向の脱窒量推移から、ステップ流入による内生脱窒の脱窒量促進が示唆された(図6)。特にAB回路での内生脱窒による寄与が大きいと考えられたため、2024年7月24日～8月6日の期間、ステップ流入比30%におけるAB回路の送風量設定値(NO<sub>3</sub> 3.0 mg/L, 6.0 mg/L, 9.0 mg/L)について調査を行った。結果を図8、表4に示す。

設定値6.0 mg/Lが他設定値と比較して常に三態窒素濃度が低く、調査期間中の送風量日平均値も少ないことから、AB回路の風量設定値はNO<sub>3</sub> 6.0 mg/Lが最適であった。また、設定値6.0 mg/Lに対する設定値3.0, 9.0 mg/Lの三態窒素濃度差は同程度であり、平均して1.2 mg/Lであった。

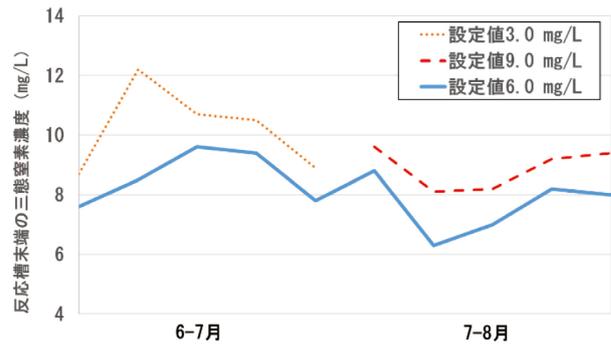


図8 AB回路送風設定値調査時での三態窒素濃度比較

表4 AB回路送風設定値調査時の運転条件 (晴天日平均値)  
(左:NO<sub>3</sub> 3.0, 6.0、右:NO<sub>3</sub> 6.0, 9.0)

	NO <sub>3</sub> 設定値 3.0 mg/L	NO <sub>3</sub> 設定値 6.0 mg/L		NO <sub>3</sub> 設定値 6.0 mg/L	NO <sub>3</sub> 設定値 9.0 mg/L
処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	33,500		処理水量※ (m <sup>3</sup> /日)	30,600	
AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	48,500	73,600	AB回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	69,800	80,000
CD回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	132,400	99,500	CD回路送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	89,800	90,600
送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	180,900	173,100	送風量 (m <sup>3</sup> N/日)	159,700	170,700
送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5.40	5.16	送風倍率 (m <sup>3</sup> N/m <sup>3</sup> )	5.22	5.57
MLSS (mg/L)	1,470	1,520	MLSS (mg/L)	1,630	1,580
CD回路 NH <sub>4</sub>	2.0		CD回路 NH <sub>4</sub> -H	2.0	

※流量計が各回路に設置されていないため参考値

#### 4. まとめ

擬似嫌気・同時硝化脱窒法である東系において、ステップ流入による窒素除去効果の検証を行った。

ステップ流入実施により、送風量を低減させながら窒素を平均 3~4 mg/L 除去できた。その効果は、ステップ流入箇所の無酸素部に加え、AB 回路の内生脱窒にまで及ぶことが示唆された。

ステップ流入比は大きい程窒素除去効果が上がるものの、20%以上では窒素除去効果に伴う送風量の増加が確認できた。しかし、窒素除去量と比較すると送風量増加の割合は極微量であるため、ステップ流入比 0-30%の範囲では、ステップ流入比 30%が最適だと結論付けた。AB 回路設定値については、前後半送風量バランスの良かった送風量設定値  $\text{NO}_3$  6.0 mg/L が最適であった。

#### ・参考文献

1) 葛西孝司ら、2015、好気槽内の脱窒を利用した新たな高度処理技術（同時硝化脱窒処理）の開発、日本下水道協会誌、Vol.52、NO.635、p114-122