

## 2-2-5 ライザーバルブの開度調節による処理水窒素濃度の低減

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 宮崎 麻衣  
(現 流域下水道本部施設管理課) 杉浦 雅也  
(現 北多摩二号水再生センター) 葛西 孝司  
(現 東京都下水道サービス株式会社) 太田 裕誌  
(現 東京都下水道サービス株式会社) 多田 琴音

### 1. はじめに

新河岸水再生センター（以下、「当センター」という。）では、流入水質や反応タンクの形状などにより窒素除去率が低い傾向となっている。今回、反応タンクにおけるライザーバルブの開度調節により、好気タンク内での脱窒を促進させ、処理水の窒素濃度を低減したので、その取組みについて報告する。

### 2. 施設の概要

当センターは合流式下水道で、汚泥処理施設が併設されている。流入水には硝酸等を含む事業場排水が混入していて、最初沈殿池を通過するころにはほとんどが脱窒している。ただ、これにより反応タンク流入水の有機酸等が失われ、りん及び窒素の除去率が低めである。当センターの水処理施設の配置を図1に示す。

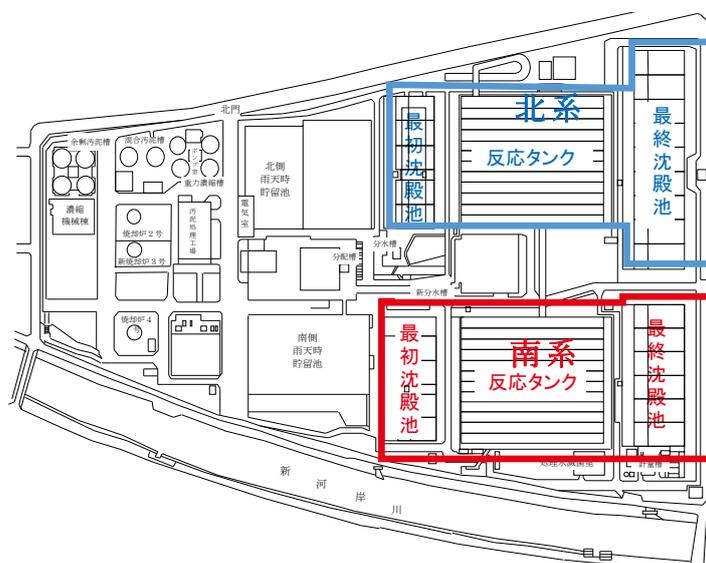


図1 水処理施設の平面図

当センターの水処理施設は北系と南系に分かれ、反応タンクの数と同じであるが、最初沈殿池、最終沈殿池の数が異なり、アンバランスな状況となっている。

令和5年度の運転実績を表1に、反応タンクの形状を表2にまとめた。

表 1 令和 5 年度の運転実績（年度平均）

運転実績		(mg/L)		
		水質項目	反応タンク流入水	放流水
H R T (時)	9.0	BOD	73	6
処理水1m <sup>3</sup> 当たりの風量 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	3.9	COD	49	7
BOD容量負荷 (kg/m <sup>3</sup> ・日)	0.19	SS	26	2
BOD・SS負荷 (kg/kg・日)	0.13	T-N	25.8	11.1
返送汚泥率 (%)	34.4	NH <sub>4</sub> -N	17.4	1.7
平均 MLSS (mg/L)	1,500	T-P	2.8	0.8
S R T (日)	9.7	PO <sub>4</sub> -P	1.8	0.7

表 2 反応タンクの形状

長さ		140m	
幅		8.6m	
有効水深		7.0m	
有効容量		8,430m <sup>3</sup>	
散気設備：メンブレンパイプ式			
散気水深	南系（1～7号、11号）	未更新	3.85m
	南系（8～10、12号）	更新済み	5.6m
	北系（13～24号）	更新済み	5.6m

処理方式は、更新工事が完了した 8～24 号（11 号を除く）は、粗大気泡でかくはんする疑似嫌気好気活性汚泥法で、工事未完了の 1～7 号と 11 号は標準活性汚泥法で制限ばっ気とした疑似嫌気好気活性汚泥法である。

更新工事後は、有効水深 7.0m に対し、散気水深 5.6m で、散気設備（図の破線部）以深が 1.4m である（図 2）。このため、散気設備の下部に形成される脱窒可能ゾーン<sup>1)</sup>が一般的な深槽式反応タンク（有効水深 10m）に比べて小さくなっている。深槽式の場合、好気タンク全体における脱窒可能ゾーンの割合は約 22% だが、散気水深 5.6m の当センターでは 10%程度である。

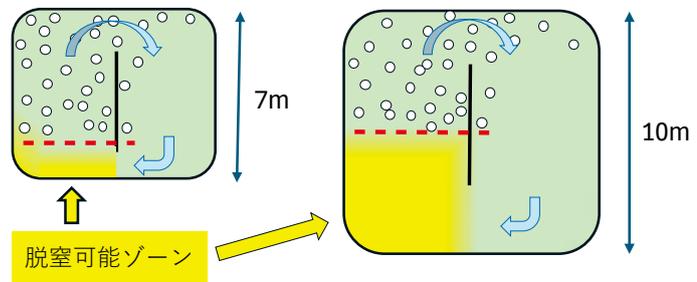


図 2 反応タンク断面の比較

### 3. ライザーバルブの開度調節

#### 3.1 全てのライザーバルブを全開とした場合<sup>2)</sup>（令和 3 年 4 月から令和 4 年 1 月まで）

処理水窒素濃度の低減のため、最初に風量の調節による脱窒を試みた。好気タンクの全てのライザーバルブを全開とし、NH<sub>4</sub>-N が 1mg/L 程度となるように DO 設定値を調節した。図 3 に反応タンクを流入から流出の方向に見た模式図及び各回路の窒素濃度の一例を示す。NH<sub>4</sub>-N の低下に伴い、ほぼ同量の NO<sub>3</sub>-N が生成され、ほとんど脱窒していなかった。前述したとおり散気設備の下部の脱窒可能ゾーンが小さいためと考えられる。

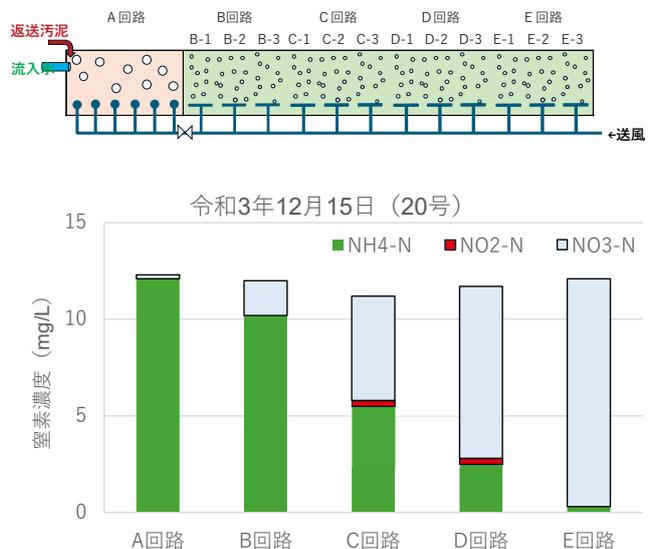


図 3 ライザーバルブ全開時の状況（一例）

### 3.2 ライザーバルブの一部を閉める場合<sup>3)</sup> (令和4年1月から令和5年4月まで)

次に、図4のとおりライザーバルブの一部を閉め、閉めたバルブ付近に脱窒可能ゾーンを形成することで、窒素除去率の向上を図った。バルブを閉める位置は好気タンクの上流側で、生成したNO<sub>3</sub>-Nが速やかに脱窒するようにエアレーションを間引いた。

結果は、A回路からD回路にかけて、窒素濃度の低下が確認された。これは、硝化によってNH<sub>4</sub>-NからNO<sub>3</sub>-Nができ、脱窒可能ゾーンで速やかに脱窒されたためと考えられる。しかし、脱窒量より硝化量が上回っていたためB回路から徐々にNO<sub>3</sub>-Nが上昇していた。処理水の窒素濃度は少し低下したものの、脱窒可能ゾーンが分散され、その領域も小さかったためか、効果は限定的であった。そこで、最適な位置を確認するためライザーバルブを閉める位置を少しずつ変えてみたが、処理水窒素濃度に大きな変化は見られなかった。



図4 ライザーバルブの一部を間引いた時

### 3.3 ライザーバルブを連続して閉める場合 (令和5年4月から)

脱窒の効果を更に高めるため、反応タンク中央付近のライザーバルブ3本を連続して閉め、調査を行った(図5)。

ライザーバルブを連続して閉める方法により、まとまった空間を脱窒可能ゾーンとすることで、その結果、A回路からC回路にかけての窒素濃度の低下が3.2よりも向上した。NH<sub>4</sub>-Nの減少に対してNO<sub>3</sub>-Nの増加がほとんど見られず、硝化量と脱窒量が概ね同量となった。以上のことから、適切な場所において脱窒可能ゾーンを大きく形成できれば、より効果的に窒素が除去されることが分かった。



図5 ライザーバルブを連続して閉鎖した時

### 3.4 好気タンクに隔壁がある場合の事例

これまで見てきた反応タンクは、嫌気タンクと好気タンクを仕切る隔壁が1枚の構造だった。これに対して、反応タンク19号から24号には各回路を仕切る隔壁が設置されており、5区画に分かれている。これまでの結果を踏まえ、回路ごとに隔壁がある反応タンクについて、比較的窒素除去率が高い嫌気好気無酸素好気(AOAO)法での処理を試みた。

当初、C回路での脱窒を試みたが、B回路出口のNO<sub>3</sub>-N濃度が2mg/L程度以下と低く、NH<sub>4</sub>-Nが高かったため、脱窒量は少なめであった。このことから、D回路での脱窒に切り替

えた。この場合、C回路でのNO<sub>3</sub>-Nが逆に高くなりすぎ、C回路出口までにBODを多く消費したため、BとC回路でライザーバルブを1か所ずつ全閉としてB、C回路の好気処理を少し抑えることとした（図6）。

結果は、3.3同様、前半のA回路からC回路にかけては速く脱窒したが、後半は失速し、ほぼ一定となった。これは、後半にかけてBODが低下し、脱窒に必要な有機物がなかったためだと考えられる。それでも、反応タンク出口での窒素濃度は、隔壁がないタンクに比べて少し低めであった。

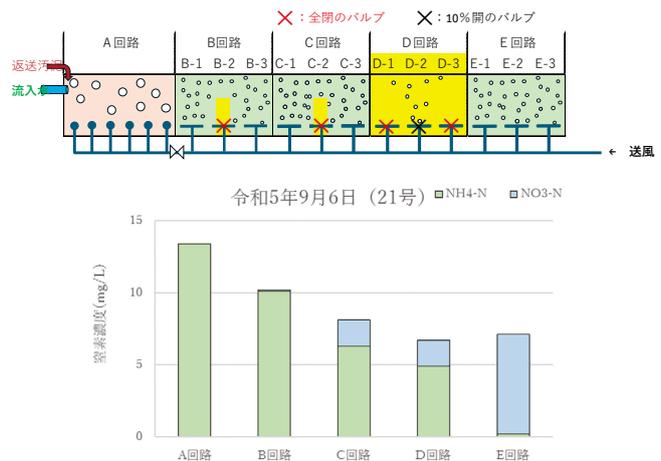


図6 隔壁が設置されている場合（AOA0法）

#### 4. 脱窒可能ゾーンの最適位置の検討

##### 4.1 ライザーバルブを4本連続で閉めた場合

南系の更新前の反応タンクでは、流入部から流出部までにライザーバルブが28か所設置されている。脱窒可能ゾーンの最適な位置と本数を検討するため、隔壁がなく、個々のライザーバルブ付近で採水可能な、更新前の反応タンク5号について窒素の詳細な挙動を調べた（図7）。流入側寄りのライザーバルブ番号2から4までと番号6を全閉とし、疑似嫌気ゾーンとした。また、中盤の番号15から18までの4本を連続して閉め、脱窒可能ゾーンとした。

その結果、疑似嫌気タンクを出て以降、脱窒が進行し、ライザーバルブ番号18の辺りで速度が頭打ちとなった。また、NO<sub>3</sub>-Nはライザーバルブ番号11以降でほぼ一定の状態が続き、19番以降で増えていた。

以上を踏まえ、反応タンク内の硝化・脱窒ゾーンのイメージを図8に示す。前半は、BODが比較的高く、硝酸があれば脱窒する（脱窒可能ゾーン）。一方、後半は、BODが少なく、硝化は進みやすいが、バルブを閉めてもほとんど脱窒しない（硝化ゾーン）。このため、脱窒可能ゾーンと硝化ゾーンの境界部分が好気タンク内での脱窒の限界点と考えられる。この動きは各地点での脱窒速度の変化と同様の状況である。ライザーバルブを閉めた範囲は、上流と

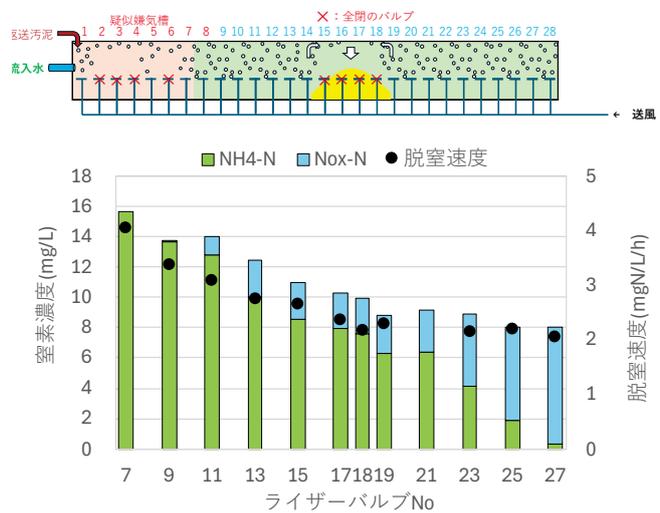


図7 ライザーバルブ番号15-18を閉めた場合

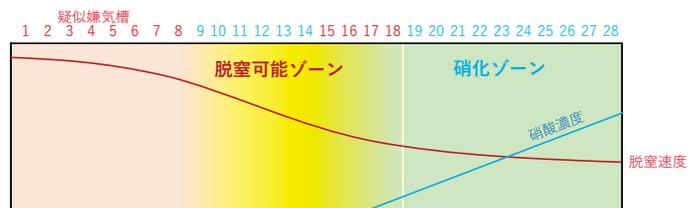


図8 反応タンク内の硝化・脱窒のイメージ

下流双方からエアリフト循環により混合されるため、脱窒が進行しやすいと考えられる。従って、効果的に脱窒を進めるには、境界付近のライザーバルブを連続して閉めることが有効と考えられる。

#### 4.2 ライザーバルブを7本連続で閉めた場合

令和6年9月に南系反応タンク8号及び9号の更新工事が完了し、運用を再開した。南系反応タンク1つ当たりの負荷が低下したため、硝化に余裕が生じた。そこで、脱窒の範囲及び限界点を詳しく調べるため、反応タンク5号のライザーバルブを7本連続で閉めた(図9)。

その結果、ライザーバルブ番号13から17までは脱窒を確認できたが、番号18以降は窒素濃度があまり変化していなかった。ライザーバルブ5本分まで(好気タンク全体の1/4程度の本数)で脱窒に必要なBODが分解されてしまい、閉めるライザーバルブの数をこれ以上増やしても効果がないと言える。確認後は、硝化を安定化させるため、ライザーバルブ番号18以降は全開とし、硝化ゾーンを拡張させた。

なお、更新前の反応タンクの中には、エアレーションによるかくはん強度が下がる雨天の最低風量(2,000Nm<sup>3</sup>/h)時に底部にわずかに汚泥が堆積している状況が確認されたが、風量の増加とともに解消された。一方、更新後の反応タンクでは、全てのタンクで最低風量(1,000Nm<sup>3</sup>/h)時にも汚泥の堆積はなかった。これは散気設備より下層の深さの差によるものと考えられる。更新前の反応タンクの散気設備以深が3.15mであるのに対して、更新後であると1.4mである。底部に近い位置でのエアレーションによって生じる水流が底部の混合液を巻き込み、汚泥の堆積を防止していると考えられる。すなわち、本法は標準タンク(浅槽)への適用が可能であるが、深槽式反応タンクでは汚泥の堆積が懸念される。深槽式反応タンクでは、風量等の調節によって散気設備下部において脱窒が可能であるため、使い分けが可能である。

以上のことから、好気タンクの中盤から少し上流で、好気タンク全体の1/4程度のライザーバルブを閉めることで、効果的に脱窒と硝化とを促進する運転が期待できる。即ち、有効水深が浅い反応タンクにおいて、適切な位置のライザーバルブを連続して閉めることで、窒素除去率の向上に加えて、脱窒の効果による風量の削減が期待できる。

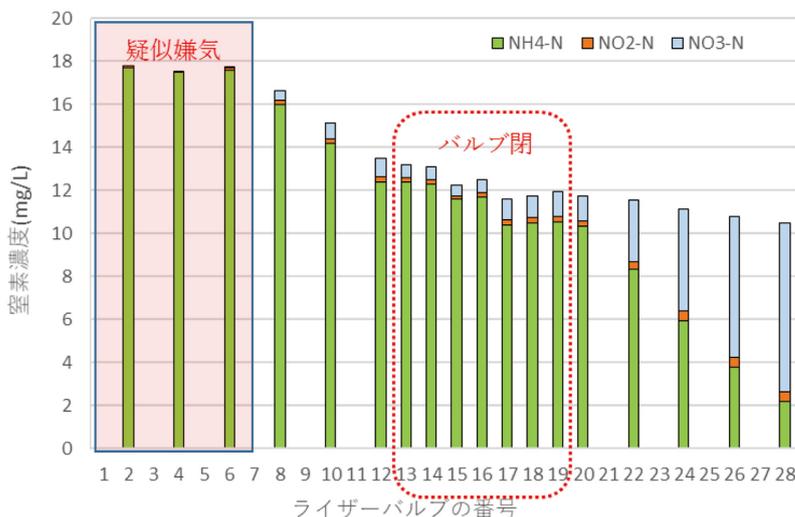


図9 ライザーバルブ番号13から19を閉めた場合の反応タンク内窒素処理状況(令和6年11月25日)

## 5. 窒素除去の経過

本取組期間中の窒素除去率を図 11 に示す。値の振れ幅は 30%ほどあるが、徐々に除去率が改善される傾向が見られた。また、参考として累積窒素負荷量及び累積りん負荷量の年度別の傾向について、図 12 と図 13 に示す。放流水の窒素及びりん負荷量が年々減少していることから、本取組が窒素除去に寄与しながら、りん除去に悪影響を与えていないことが読み取れ、期間全体を通じ、水質改善が図られていることが分かった。



図 11 ライザーバルブ開度調節実施期間中の窒素除去率

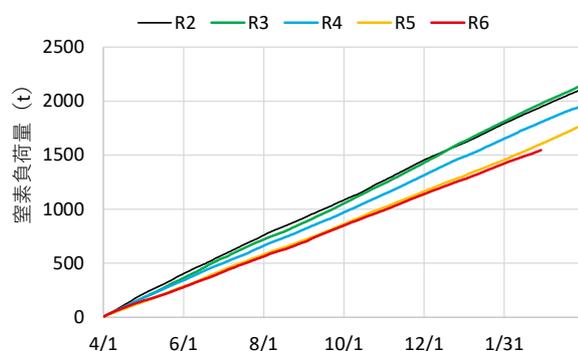


図 12 窒素負荷量の年度間比較

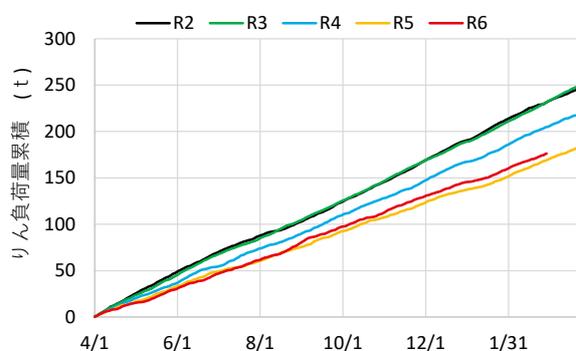


図 13 りん負荷量の年度間比較

窒素の負荷量は、令和 2 年度に比べて、令和 4 年度で 7%、令和 5 年度以降で 16%低下しており、水質改善が進んできたことを確認できた。

## 6. まとめ

ライザーバルブの開度調節により、以下の知見が得られた。

当センターの反応タンクにおいて、中盤のライザーバルブを連続して閉めることで脱窒が促進され、窒素除去率を改善することができた。また、ライザーバルブを連続して閉める本数は、好気タンク全体の 1/4 程度が最適であることが分かった。

## 参考文献

- 1) 葛西孝司、曾根啓一、鈴木重浩、高橋宏幸、黒住光浩、坂根良平「好気タンク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」下水道協会誌 Vol.52 No.635
- 2) 増田ほか 「2-2-6 低負荷施設における水質改善への取り組み」 東京都下水道局技術調査年報 2021
- 3) 杉浦ほか 「2-2-5 低負荷施設における水質改善への取組（その 2）」 東京都下水道局技術調査年報 2022