

2-2-6 低負荷施設における水質改善への取り組み

西部第二下水道事務所 新河岸水再生センター 田中英樹
葛西孝司
増田七彩
(現 施設管理部 環境管理課)
國友雄介
(現 施設管理部 環境管理課)

1. 調査目的

新河岸水再生センター（以下、当センター）では、水質改善と省エネルギーの両立のため反応タンクの再構築により段階的高度処理(疑似嫌気好気活性汚泥法)を導入している。これまでに北系反応タンクの整備を終え、令和3年度から南系反応タンクに着手している。しかしながら、当センターでは流入水の BOD が比較的低位のため、窒素とリンの除去率が他のセンターに比べて低い。また、流入水に硝酸性窒素がしばしば検出され、リンの除去には厳しい状況である。このため、放流水の窒素とリン濃度の低減を目的に、DO 設定値の変更・MLSS 濃度の上昇・反応槽への負荷量の増大などを試み効果を検証した。

本報は、低負荷施設での水質改善への取り組み状況についてまとめたものである。

2. 水処理の状況

当センターの平面図を図1に、施設概要を表1にまとめた。

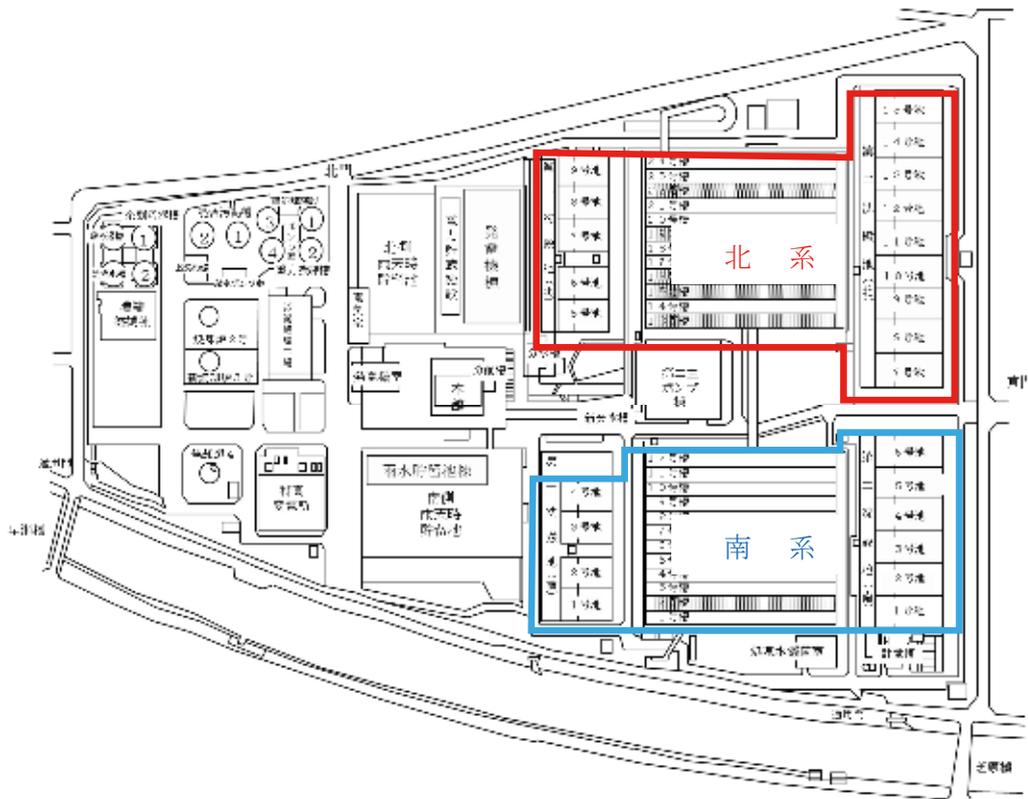


図1 新河岸水再生センター平面図

表 1 施設概要

処理能力		670,000 m ³ /日		
	容積	水面積	北系 (疑似AO法)	南系 (標準活性汚泥法)
最初沈殿池	5,690m ³	1,700m ²	5池	4池
反応タンク	8,430m ³		12槽	12槽
最終沈殿池	5,640m ³	1,660m ²	9池	6池

当センターでは、最初沈殿池（5,690m³/1池）、反応タンク（8,430m³/1池）、最終沈殿池（5,640m³/1池）の数が表1に示すように北系と南系で異なり、アンバランスな施設となっている。また、反応タンク容積は北系と南系で同じであるが処理能力は45:55となっている。

下水の排除方式は合流式下水道で、同じ処理区内にある浮間水再生センターから受泥し、当センター内で発生する汚泥とともに脱水・焼却処理を施している。

当センターの水質について説明するため、比較として区部のセンターの令和元年度の反応タンク流入水のBODおよびSSを図2に示す。なお、生汚泥投入を実施している有明水再生センターのデータは図2では省略した。

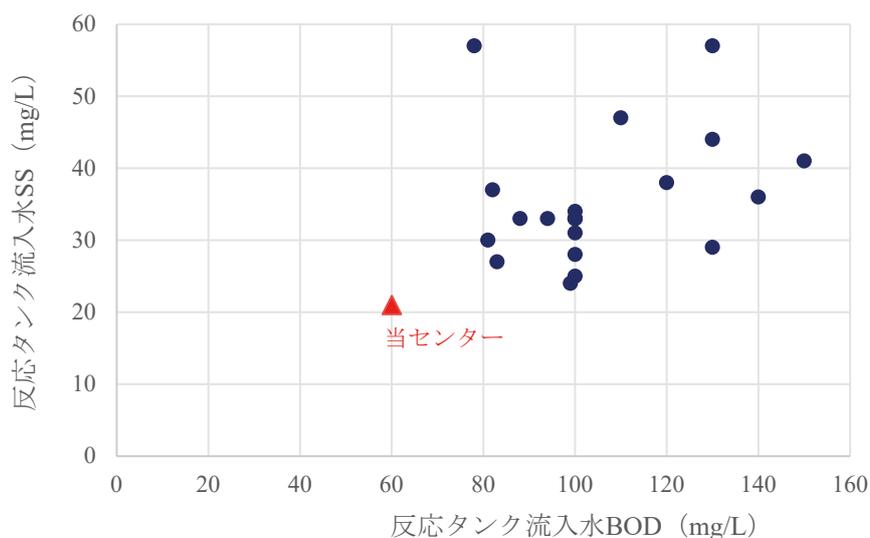


図 2 反応タンク流入水 BOD と SS の比較（有明を除く区部：R1 年度）

図2から当センターの反応タンク流入のBODとSSが他のセンターに比べて著しく低いことがわかる。このため、BODの除去や硝化は安定しているが窒素およびりんは比較的低い。また、流入下水から硝酸性窒素・亜硝酸性窒素がしばしば検出されており、りんの除去には厳しい状況である。

さらに、反応タンク流入水のSS濃度が低いことが影響して活性汚泥の沈降性が悪くSVIが高い傾向がある。

3. 水質改善の取り組み

3.1 風量の調整

反応タンク好気部分での脱窒を促進させるために、まず、DO 設定値を段階的に下げる試みを行った。北系には好気タンクの間中部にアンモニア計が設置されており、これにより流入側のアンモニア濃度の変動をある程度確認することができる。10 時採取の日常試験では、反応タンク出口の NH₄-N は 0.2mg/L 程度であるが、DO 設定値が 0.9mg/L の時には、図 3 に示す通り、アンモニア濃度の上昇に対して風量の増加が追従せず、負荷の高い時間帯に反応タンク出口の NH₄-N が 7mg/L 程度残留していた。逆に、低負荷時にはアンモニアがゼロとなり風量が過剰であった。一方、DO 設定値を 2.0mg/L としたときにはアンモニア指示値に対して風量が追従することが確認された（図 4）。しかし、NH₄-N 濃度に比べて風量が多めとなり過剰な送風となることがわかった。すなわち DO 設定値の調整だけでは好気タンクでの脱窒促進は難しいと判断された。

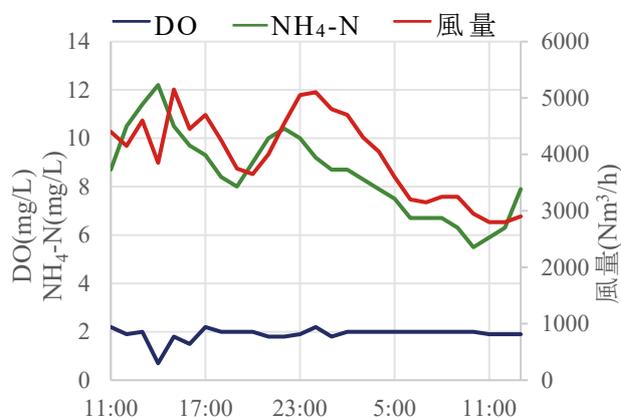
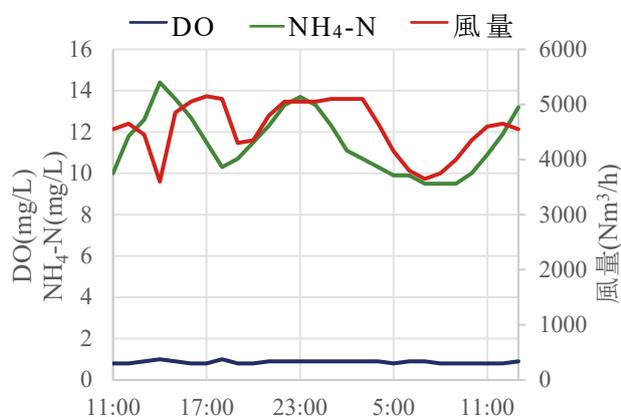


図 3 DO 設定値 0.9mg/L の場合の風量変動 図 4 DO 設定値 2.0mg/L の場合の風量変動

3.2 MLSS の調整

次に、MLSS を高くすることで混合液の脱窒速度を高めて窒素除去率の向上を目指した。ただし、当センターでは SVI が比較的高めで推移しており、令和 2 年度の実績（年平均値）で南系：237mL/g、北系：194mL/g で高い MLSS での運転もままならない状況である。このため MLSS をできる限り高める方法として、返送汚泥濃度をできる限り高くキープするように余剰汚泥量を調整することとした。最終沈殿池で活性汚泥の圧密濃度には限界があり、これが返送汚泥濃度の上限值となる。この濃度を下記の方法で実測した。

SV シリンダーに反応タンク出口から採取した活性汚泥混合液を入れ、静置時間に対する SV の変動（沈降曲線）を確認した（図 5）。この沈降曲線からシリンダー下部に沈殿した汚泥層の平均濃度を式 1 から求める。

$$\text{沈殿汚泥の平均 SS 濃度} = \text{MLSS 濃度} \times 100 / \text{SV 値} \quad (\text{式 1})$$

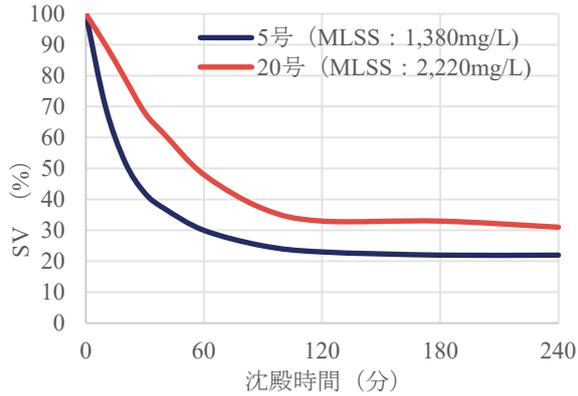


図 5 活性汚泥の沈降曲線

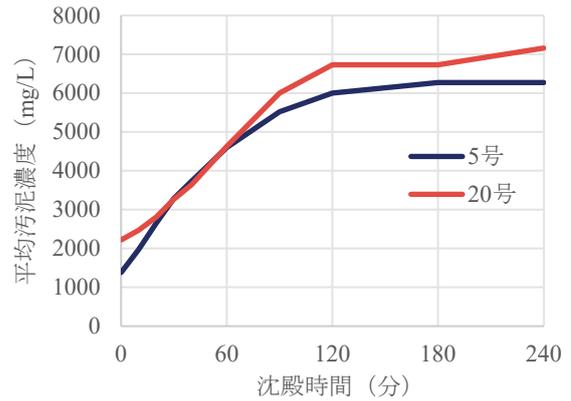


図 6 活性汚泥の濃縮曲線

図 5 より約 2 時間経過で活性汚泥の沈降が終了してそれ以上汚泥が圧密しないことがわかる。この時の汚泥濃度が返送汚泥濃度の上限値と考えられる (図 6)。活性汚泥の性状により圧密時の汚泥濃度は変動すると考えられることから、日常試験で測定した SV をそのまま静置しておき約 3 時間後に再び SV 値を読み取り、式 1 により返送汚泥上限値を求めた。汚泥濃度計の誤差などを考慮しつつ、この結果が返送汚泥濃度計の値より高い場合は余剰汚泥引抜量を減らし、低い場合は余剰汚泥引抜量を増やす対応を行うことでできる限り高い MLSS をキープするように努めた。

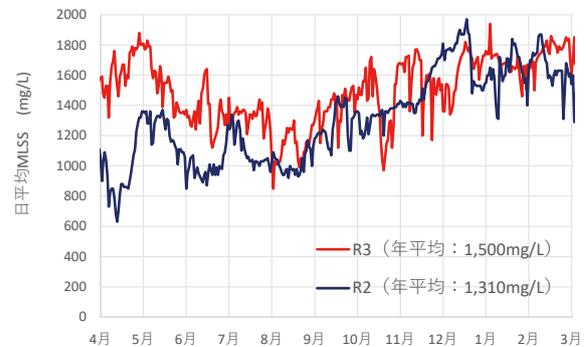


図 7 日平均 MLSS の推移 (北系)

3 年度と 2 年度の MLSS 濃度の推移を図 7 に示す。この図から 3 年度は 2 年度に比べて MLSS で約 200mg/L ほど上昇させることができた。

3.3 反応タンクへの負荷量増大

つづいて、余剰汚泥の発生量を増やすことで水質改善を目指した。当センターの活性汚泥にはりんが 2.5% 程度、窒素が 9% 程度含まれており、余剰汚泥発生量を増やすことでりんおよび窒素の除去率の向上が期待できる。このため、反応タンクの一部を休止して、余剰汚泥発生量を増大させることを試みた。

余剰汚泥発生量は、流入水の SS および溶解性 BOD などから計算できる。『下水道施設計画・設計指針と解説』に記述されている余剰汚泥発生量の計算式を式 2 に示す。

$$\text{余剰汚泥発生量 (kg/日)} = \frac{\text{流入水量 (m}^3\text{/日)} \times \{ a \times \text{溶解性 BOD (mg/L)} + b \times \text{SS (mg/L)} \} - c \times \text{MLSS (mg/L)} \times \text{好気タンク容積 (m}^3\text{)}}{\quad} \quad \text{(式 2)}$$

- ここで、
- a : 溶解性 BOD の汚泥転換率 : 0.4~0.6 (gMLSS/gS-BOD)
 - b : SS に対する汚泥転換率 : 0.9~1 (gMLSS/gSS)
 - c : 汚泥の自己分解による減少係数 : 0.03~0.05 (1/日)

式 2 では、汚泥の発生源を流入水の溶解性 BOD および SS で、汚泥の減少量を自己分解する割合で表現している。反応タンクを一部休止させることで運用中の好気タンク容積が減り、第三項の値が小さくなるため、余剰汚泥発生量が増加することが予想される。

6月中旬から反応タンクを順次停止させ、北系12槽中5槽(13・15・16・19・22号槽)、南系12槽中1槽(2号槽)の停止を6月から12月に実施した。

反応タンクの停止に際して急激な汚泥処理への負担や返流水によるりん負荷の増大などが懸念される。北系と南系はともに個々の反応タンクから流出した混合液が導水渠内で合流して最終沈殿池に流入することから、停止する反応タンク内の活性汚泥は流入水で置換して最終沈殿池で回収し余剰汚泥として少しずつ系外に排出した。停止操作は下記の手順で行った。

- ① 停止する前日の夕方に返送汚泥投入扉の開度を30%程度閉めて事前にMLSSを下げしておく。
- ② 当日朝、返送汚泥投入扉全閉とする。
- ③ 反応タンク出口に設置されているMLSS計の濃度を確認し700mg/L程度以下まで低下したら流入扉を全閉とする。(DO制御運転を継続しているところの間に風量が最低量にまで低下する。)
- ④ そのまま一週間程度最低風量でエアレーションすることで槽内のアンモニアは硝酸に変わり、槽内の下水は窒素・りん濃度が少し高めの処理水となる。
- ⑤ アンモニアがすべて硝酸に変わったことを確認したら風量制御弁を全閉とする。(硝酸が残留していれば硫化水素発生心配はない。)
- ⑥ 運転再開時には流入扉、返送汚泥を開とし、DO制御を開始すると水の入れ替わりとともに立ち上がりとなる。

停止状況を図8に、反応タンクを半分近く止めた北系の月別運転状況を表2に示す。



図8 反応タンク一部停止の状況

表 2 月別運転状況（北系）

← 反応タンク一部停止 →

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
処理水量 (m ³ /日)	305,050	294,890	312,490	361,400	371,980	376,630	350,590	293,570	334,570	296,130	296,010	290,740
H R T (時)	8.0	8.2	7.1	4.5	4.9	4.2	4.0	4.8	4.8	8.2	8.2	8.2
処理水1m ³ 当たりの風量 (m ³ /m ³)	2.6	2.9	2.9	2.1	2.3	2.2	2.2	2.7	2.8	2.6	2.5	2.8
BOD容量負荷 (kg/m ³ ・日)	0.23	0.23	0.23	0.35	0.40	0.31	0.40	0.33	0.31	0.24	0.22	0.22
BOD-SS負荷 (kg/kg・日)	0.13	0.11	0.14	0.24	0.26	0.23	0.25	0.24	0.21	0.13	0.13	0.12
返送汚泥率 (%)	31.4	33.8	32.5	29.9	26.5	25.1	25.2	30.3	26.2	31.7	32.8	33.1
平均MLSS (mg/L)	1,740	2,050	1,690	1,450	1,560	1,350	1,590	1,370	1,480	1,810	1,750	1,930
S R T (日)	22.0	13.2	12.7	6.9	10.2	6.7	7.2	8.2	8.0	11.9	12.6	15.1
水温 (℃)	20.6	23.7	24.6	24.4	26.1	24.9	24.1	21.7	19.2	18.9	19.0	19.9
余剰汚泥濃度 (mg/L)	5,390	6,310	4,650	5,200	4,660	5,810	6,500	6,150	5,850	5,980	5,590	5,420

北系では硝化の状況を確認しながら最大で12槽中5槽停止したが、南系は北系よりも設備が古く返送汚泥投入扉を全閉にできる槽が少ないことから1槽のみの停止となった。停止により北系のHRTは4~5時間に短縮され、BOD容積負荷およびBOD-SS負荷も高めの運転となった。

当センターは合流式下水道で降雨の影響によって汚泥発生量が大きく変動する。反応タンク停止前後の余剰汚泥発生量の差を確認するため、最初沈殿池の引抜汚泥量(生汚泥量)と余剰汚泥量の関係について通常運転と停止した時で比較する。降雨時には生汚泥量が増大するが、それ以外の日には、生汚泥量と余剰汚泥量にはある程度の相関がみられると想定される。そこで、両者の相関を図9に示す。

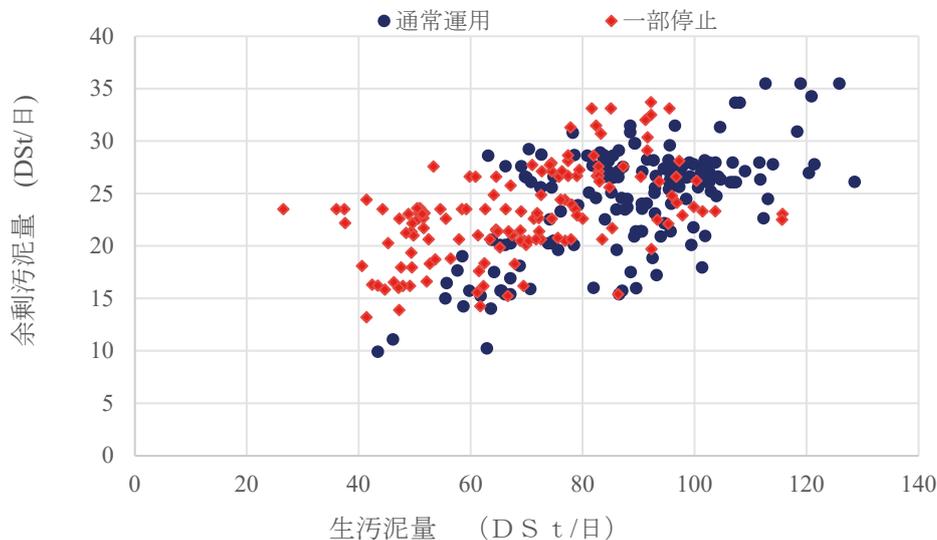


図 9 生汚泥量と余剰汚泥量の関係

図 9 は、生汚泥量と余剰汚泥量について一日の総量でプロットしたものである。生汚泥の多い日は余剰汚泥量も多くなる傾向がみられる。この結果を一部停止期間中と通常運用期間中の平均値で整理したのが表 3 である。すべての反応タ

表 3 汚泥発生量の比較

	生汚泥量 (t/日)	余剰汚泥量 (t/日)	余剰/生
一部停止	72	23	0.34
通常運用	88	25	0.28

ンクを使用した通常運用の時に比べて、一部停止した時の方が生汚泥に対する余剰汚泥発生量の割合は大きくなっている。

りんを系外に出す方法は余剰汚泥の引抜きのみであるため、余剰汚泥発生量が増大すれば、りん除去量も増大すると考えられる。また、窒素についても同様の理由から除去量の増大が見込まれる。余剰汚泥量に活性汚泥の窒素・りん含有率を乗じて窒素・りんの除去量を求めた図。休止を開始した6月の前後で窒素・りんともに除去量に明確な減少は認められなかった（図10）。これは一部停止期間中に比較的降雨の影響が大きく流入水の薄まりが影響していると考えられる。生汚泥量に対する余剰汚泥発生量の割合は一部停止により上昇しているが、表3で示したように余剰汚泥発生量では通常運用期に比べてむしろ減少しているためりん除去の改善が見られなかったと考えられる。

また、流入水に硝酸性窒素がしばしば検出されており、反応タンクに流入するまでに有機酸が脱窒作用によって消費されてりん蓄積性細菌の活性が阻害され、活性汚泥のりん含有率が上昇しなかったことも要因と考えられる。

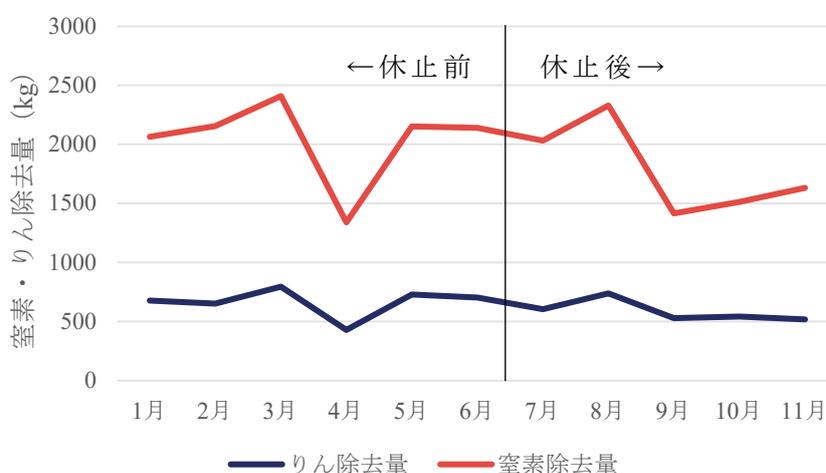


図10 余剰汚泥によるりん・窒素除去量の推移（月平均）

反応タンクの一部停止で処理の効率化により送風機電力の削減が期待されたが、こちらの効果も僅差であった（図11）。

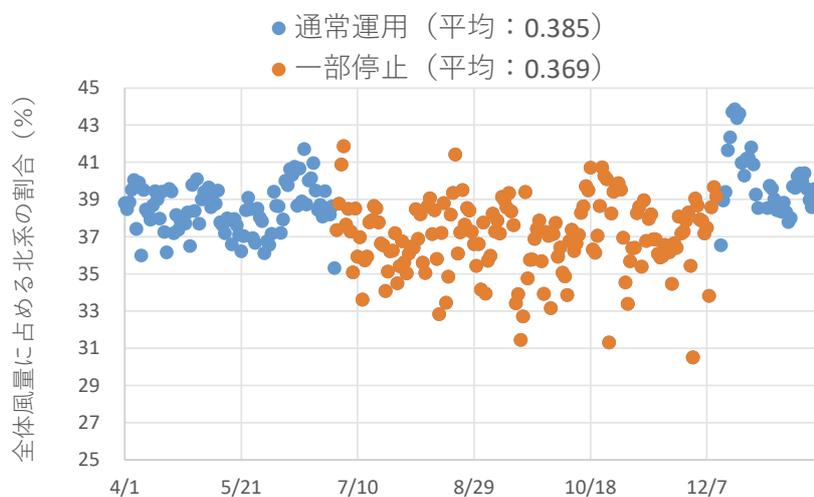


図11 全体風量に対する北系風量の割合の推移

降雨によって送風量は大幅に減少することから単純な風量の比較では削減効果の評価が難しい。図 8 で示したように北系に比べて南系は停止池が 1 槽のみであること、両系列ともにほぼ同じ下水を処理しており、北系と南系の水量割合は通年おおむね変わらないことからセンター全体の風量に対する北系の風量の割合を比較することで一部停止による風量削減効果を確認する。一部停止した期間では北系送風量の割合が平均で数%程度下がっている。なお、北系の風量の割合が特に小さい日は比較的雨量の多い日である。反応タンク 1 槽当たりの最低風量が決まっており、運用中の反応タンクの数が少ないほど降雨時の系内の風量は少なくなるため、風量削減効果が大きくなる傾向がみられた。

4. 制限ばっ気による脱窒促進

DO 設定値の低下や反応タンクの一部を停止することで水質改善と省エネルギーの両立を目指したが、効果が小さかったので反応タンクすべての運用としたうえで、次に、ライザーバルブの開度調節により好気タンク内に脱窒ゾーンを形成させ脱窒促進運転を試みた。当センターは一部の反応タンクを除いてメンブレン散気筒が設置されており、ライザーバルブを全閉とした運転でも目詰まりの心配がないことから、ライザーバルブ開度を全開と全閉で使い分けることで脱窒ゾーンを形成した。北系反応タンク 19~24 号は A~E の 5 回路を隔壁で分けられていることから、C 回路のライザーバルブ 3 か所のうち上流側 2 か所を全閉にして脱窒ゾーンとし、疑似的な AOO 運転を行った。その他の反応タンクについては反応タンク内の硝化状況を確認しながら、1 槽当たり数か所のライザーバルブを全閉として脱窒ゾーンを設けた。放流水の全窒素濃度の推移を図 12 に示す。

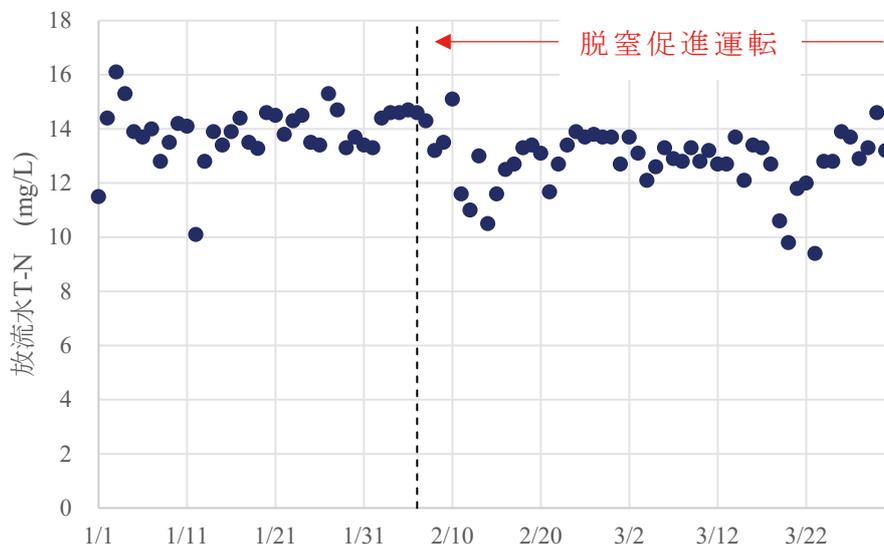


図 12 放流水全窒素濃度の推移

好気タンクに脱窒ゾーンを設けることでおよそ 0.5mg/L 以上全窒素濃度の低下がみられる。反応タンク内の調査で、降雨の影響がない日は若干好気タンク内での脱窒が確認されたが、降雨の影響で流入水の BOD が少しでも低下すると好気タンク内ではほとんど脱窒していなかった。

5. 今後の予定

好気タンク内に脱窒ゾーンを設けることで放流水の全窒素濃度の低下が確認されたことから、脱窒ゾーンの適正な位置等について調査を進めて処理水窒素濃度の低減を図る。また、現状の流入水質ではりん除去が安定せず大幅な水質改善が望めないことから反応タンクへの生污泥投入を試行し効果を検証する予定である。

6. まとめ

反応タンク流入水の BOD および SS 濃度が低い施設において水質改善を図るため、DO 設定値の低下、MLSS の上昇、反応タンクの一部休止、ライザーバルブの開度調節による好気タンク内の脱窒促進などの措置を行ったが、放流水質の大きな改善は認められなかった。

低濃度の流入水を処理する施設では運転条件の変更だけでは大幅な水質改善は期待できないと判断され、生污泥投入など有機物を追加するなどの措置が必要と考えられる。