

1 目的

当センターには送風機が3台整備されており、流入負荷や反応タンクの溶存酸素濃度(DO)の状況等から必要風量を判断し1台又は2台による運転を実施しているが、このうち容量の大きいNo.3号機(76 m³/min)は令和2年11月以降、頻繁に不具合が生じ令和6年2月からは運転不可となっている。当面はNo.1、No.2号機の小容量機(55 m³/min)の運用となるが、この2台の運転では夏季などの高負荷時に風量不足となり処理水質が影響を受ける可能性がある。

本調査研究では、過去の送風機運転方法等を整理して風量不足時の状況を想定した上で、施設の使用方法を検討することにより風量不足時でも処理への影響が少ない運転方法を調査することを目的とする。

2 富士北麓浄化センターの現状

2-1) 水処理設備の概要

水処理設備の概要として、図1に一般的な標準活性汚泥法のフローシート、表1、図2に富士北麓浄化センター水処理設備概要を示す。図1で示す「酸素供給」のための設備が本調査研究で取り上げる送風機となる。当センターの特徴として、自然の勾配を利用した建設計画のため流入下水を揚水するための污水ポンプが不要であること、反応タンクの散気装置が設置年度により異なることが挙げられる。

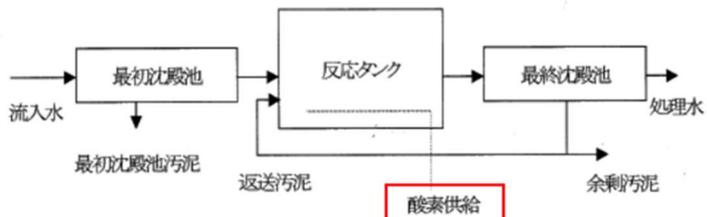
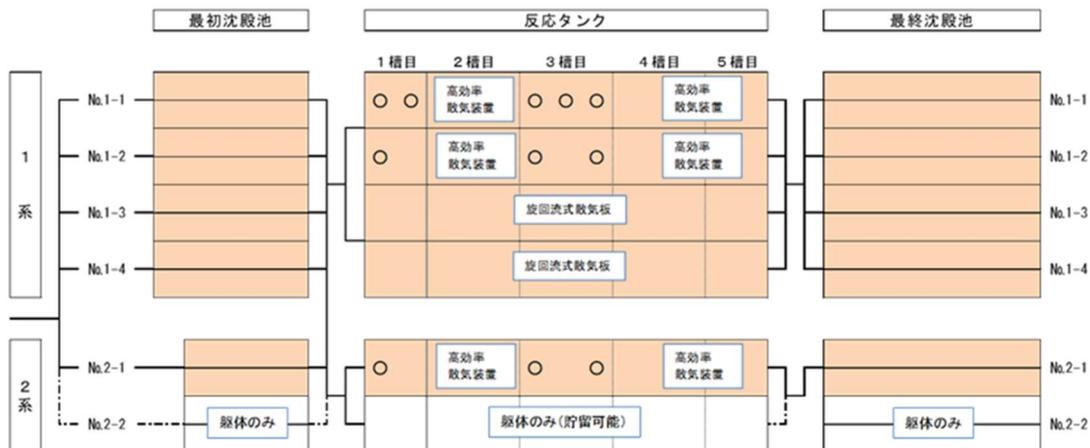


図1 一般的な標準活性汚泥法のフローシート

表1 富士北麓浄化センター水処理設備概要

設備名	構造及び能力
曝気沈砂池	・幅5.3m×長10m×深3.6m 2池（躯体のみ1池） ※污水ポンプなし
最初沈殿池	・幅7.3m×長28.5m×深3.3m×2水路（容量1,373m ³ /池）2池 ・幅7.3m×長23.5m×深3.3m×2水路（容量1,132m ³ /池）0.5池
反応タンク	・幅7.6m×長81.5m×深4.8m（有効2,812m ³ /池）5池 No.1-1反応タンク散気装置 水中攪拌機、全面式散気装置 No.1-2反応タンク散気装置 双曲面形攪拌・曝気機、全面式散気装置 No.1-3反応タンク散気装置 旋回流式散気板（固定式） No.1-4反応タンク散気装置 旋回流式散気板（固定式） No.2-1反応タンク散気装置 双曲面形攪拌・曝気機、全面式散気装置
最終沈殿池	・幅7.3m×長46.4m×深3m×2水路（容量2,032m ³ /池）2.5池
塩素混和池	・幅2.5m×96m×3m 720m ³ （容量720m ³ /池）1池



※着色は使用可能池

※○印は水中攪拌機

図2 富士北麓浄化センター水処理設備概要

2-2) 送風機の概要

送風機の概要として、表2に富士北麓浄化センター送風機設備概要を示す。送風機3台の内、1台又は2台による運転を実施しているが、このうち容量の大きいNo.3送風機に不具合が生じ、運転不可となっている。

表2 富士北麓浄化センター送風機設備概要

設備名	構造及び能力
送風機設備	<ul style="list-style-type: none"> 送風機（増速単段ターボブロワ） φ250/φ200×55m³/min×58.8kPa×90kW 2台（No.1、No.2） φ300/φ250×76m³/min×56.8kPa×110kW 1台（No.3）

2-3) 運転状況

当センターにおける運転状況として、表3に下水処理状況の推移、図3に流入下水量と反応タンク曝気風量の推移を示す。流入下水量は令和2年度に大きく減少したが新型コロナウイルス感染症の影響による行動制限等によるものであり、徐々に増加し令和6年度に関しては新型コロナウイルス感染症の5類感染症への移行、外国人旅行者の増加等により、年平均で過去最高を更新している。また、反応タンク曝気風量、脱水ケーキ発生量、取引電力量についても流入下水量と同様の傾向を示している。

表3 富士北麓浄化センター下水処理状況の推移

年度	流入下水量 m ³ /日	反応タンク 曝気風量 m ³ /日	曝気倍率 倍	脱水ケーキ 発生量 t/年	取引電力量 kWh
H27	21,449	68,841	3.0	4,095.7	197,914
H28	21,504	59,402	2.6	3,980.9	205,036
H29	22,510	61,345	2.6	3,970.4	212,939
H30	23,019	66,119	2.7	4,236.1	212,736
R1	22,965	69,856	2.9	4,252.1	212,828
R2	20,929	60,536	2.8	3,378.8	194,638
R3	21,315	74,300	3.3	3,448.9	204,594
R4	22,312	77,238	3.3	3,623.6	206,932
R5	22,916	77,861	3.2	3,929.1	216,368
R6	24,155	77,007	3.1	4,228.5	211,804

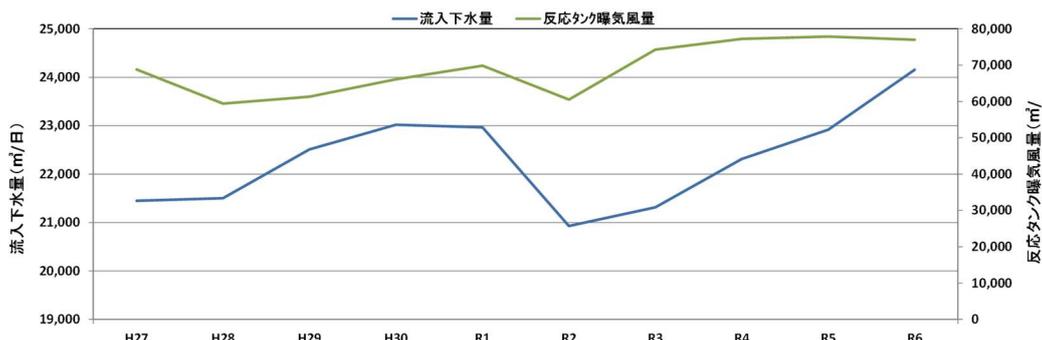


図3 流入下水量と曝気風量の推移(H27～R6)

運転データの検証として、図4に流入下水量の年間変動を示す。例年の状況として、流入下水量は8月及び1月～2月に増加傾向を示すが、8月は観光シーズンのピークによる増加、1月～2月は凍結防止水の流入によるものと推測される。なお、反応タンク曝気風量、脱水ケーキ発生量、取引電力量に関しては、流入下水量と同様に8月は上昇傾向となるが、一方で1月～2月は低下傾向となる。また、令和6年度の状況として、流入下水量、脱水ケーキ発生量は年間を通し過年度よりも増加傾向がみられる。

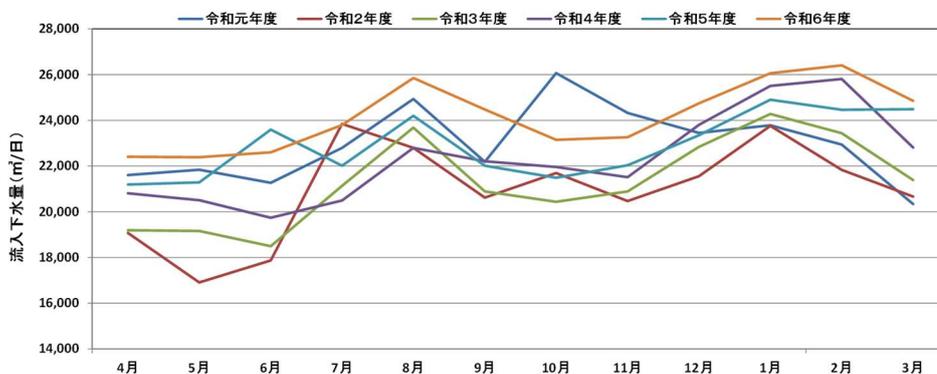


図4 流入下水量の年間変動(R1～R6)

その他、送風機の運転状況として、図5に送風機運転時間を示す。運転時間の合計として、令和2年度は減少となったが、その後は徐々に増加傾向を示している。また、以前は能力の大きいNo.3送風機を主機として運転していたが、不具合の発生により令和2年度以降は運転時間が減少し、令和6年度は完全に運転不可となっている。

2-4) 現状の課題

1) 汚濁負荷の季節変動への対応

汚濁負荷の季節変動として、図6に令和6年度における流入下水量、曝気倍率、MLDOの推移を示す。8月は日中の負荷が高い時間帯に送風機の能力上限で運転しても一時的に曝気風量が不足している場合があるため曝気倍率が低くなっている。7月、9月も同傾向である。MLDOは概ね目標値どおり運転に必要な曝気風量が確保できている。また、高負荷時の例として8月における送風機の運転状況(送風機吸込風量の日間変動)を図7に示す。

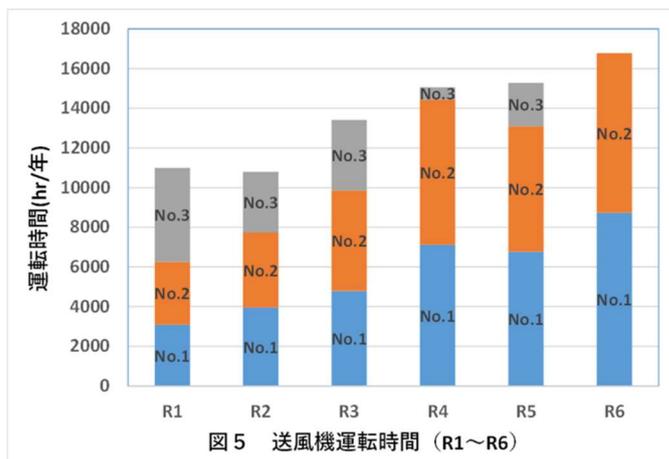


図6 流入下水量、曝気倍率、MLDOの推移(R6)

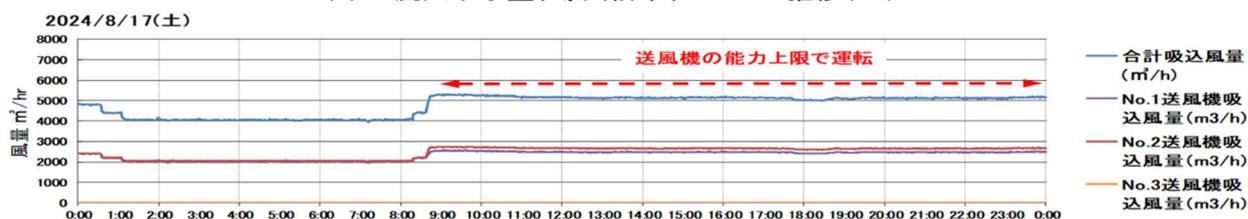


図7 送風機の運転状況(送風機吸込風量の日間変動)

2) 設備の老朽化

送風機に関する故障発生状況として、部品の経年劣化による故障が多くなっている。汎用の消耗部品に関しては交換により対処が可能であるが、汎用の消耗部品以外の特に電動機に関する部品は既にメーカーのメンテナンスが終了しているため対処が困難になっている。

3 風量不足時における運転方法等の検討

3-1) 施設の使用

1) 使用池の追加

風量不足時においては、最初沈殿池の使用池数を追加することで、反応タンクへの流入負荷を低減し、風量の不足を緩和することが可能と考えられる。また、反応タンクの使用池数を追加することで、滞留時間を長く確保することが可能であるが必要風量は増加する可能性があるため、これについては状況に応じて判断する必要がある。

2) 使用池の変更

反応タンクの散気方式は以下のとおりである。

- ・ 反応タンク No. 1-1, 1-2, 2-1 水中攪拌機+高効率散気装置
- ・ 反応タンク No. 1-3, 1-4 旋回流式散気装置

反応タンク No. 1-1, 1-2, 2-1 の3池は他の2池よりも散気効率が高い設備が設置されているため、この3池を優先的に使用することで、風量の不足を緩和することが可能と考えられる。

3-2) 運転方法について

1) 反応タンク以外の曝気停止

風量不足時の運転方法として、反応タンクへの曝気風量を増やすため、曝気沈砂池や水路曝気に使用している空気を停止することが考えられる。これらは水路等における沈砂、しさ、汚泥等の堆積防止のために送風されるものであり、一時的な停止であれば処理への影響は小さく問題ないものと判断される。図8に空気配管概念図を示す。

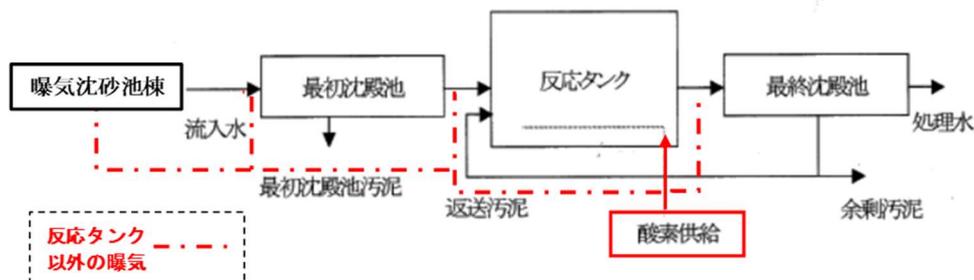


図8 空気配管概念図

以下に運転方法の手順書（抜粋）を示す。

手順書 1 反応タンク以外の曝気停止

① 終沈水路曝気を停止

反応タンクNo.1-1 空気配管ピット内の終沈水路曝気バルブ【写真1、2】
通常8回転開→全閉にする



写真1 反応タンクNo.1-1空気配管ピット

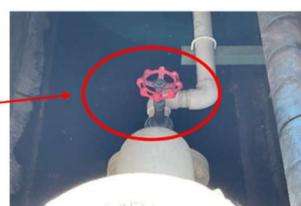


写真2 終沈水路曝気バルブ

② 曝気沈砂池棟（曝気沈砂池及び細目除塵機）及び初沈流入水路の曝気を停止

曝気沈砂池棟元バルブ（初沈管廊）
【写真3】 通常全開→全閉



写真3 曝気沈砂池棟元バルブ（初沈管廊）

③ 初沈流出水路曝気を停止

初沈流出水路曝気バルブ
（反応タンク管廊）【写真4】



写真4 初沈流出水路曝気バルブ（反応タンク管廊）

通常全開→全閉

2) 流入負荷のピークカット

流入負荷量が増加し、No.1 及びNo.2 送風機の2台運転では目標D0を確保出来ない状況になった際にピークカットを行い、流入水の一部を反応タンク未使用池に貯留することが有効と考えられる。流入負荷量が減少してきたら貯留した下水を反応タンクへ投入する。

令和6年度における反応タンク流入水量の経時変化を図9に示す。時間帯としては10:00～24:00は水量が多く、深夜から早朝にかけて減少する。特に夏季においては高負荷となり、一時的には曝気風量が不足している場合もあり、今後も更に増加傾向が継続する可能性が高く、ピークカットが有効と考えられる。

以下に運転方法の手順書（抜粋）を示す。

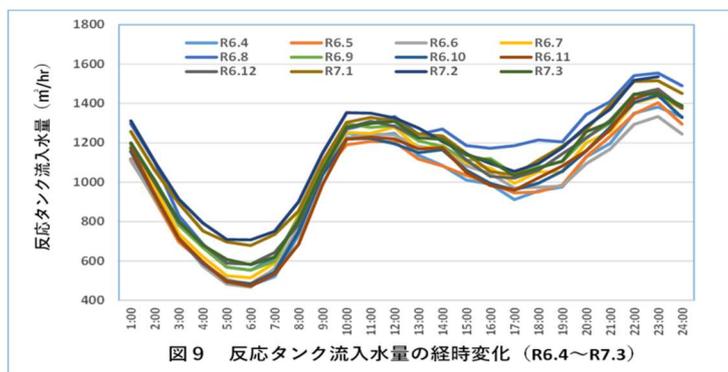


図9 反応タンク流入水量の経時変化 (R6.4～R7.3)

手順書 2 流入負荷のピークカット

- ①未使用の反応タンクを確認する。
- ②貯留前の水位を測定する。
- ③貯留する池の全量投入可動堰を全開とする。【写真5】
- ④貯留する池の初沈流出流量計バルブ（反応タンク管廊）を開ける。

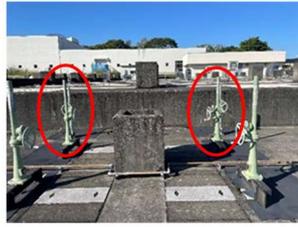


写真5 全量投入可動堰



写真6 初沈流出流量計バルブ

【写真6】

（様子を見ながら初沈流出流量の2割程度になるように開度調整する。）

- ⑤適時、反応タンク水位を確認する。
- ⑥曝気風量を下げても目標D0が確保できる状況になったらピークカットを止める。
- ⑦貯留後の水位を測定する。
- ⑧貯留した流入水は、速やかに排水する。

（曝気風量やD0値を確認しながら排水量を調整する。）

3-3) 運転計画

- ・反応タンクは高効率散気装置が設置されているNo. 1-1、No. 1-2、No. 2-1を高負荷の7月～9月は優先的に使用することとする。
- ・No. 1送風機は電動機に関する劣化が認められ、特に始動動作に不安があるため、可能な範囲で連続運転を行うこととし、運転台数の調整が必要な場合はNo. 2送風機を停止することとする。
- ・流入負荷量が増加し、No.1及びNo.2送風機の2台運転では目標D0を確保出来ない状況になった場合は以下の操作を実施することとする。
 - ・施設の使用について
 - 1) 使用池の追加
 - 2) 使用池の変更
 - ・運転方法について
 - 1) 反応タンク以外の曝気停止
 - 2) 流入負荷のピークカット

4 対応事例の整理

令和6年11月に発生したNo.1送風機の不具合により、約1日、送風機1台での水処理運転を実施したので状況について整理する。

1) 曝気風量について

送風機1台による運転時の状況として、送風機吸込風量及び反応タンク曝気風量を図10、表4に示す。水処理運転変更時の反応タンク曝気風量（反応タンク以外の曝気停止）は、通常運転時との比較から173 m³/hr、約7.3%の増加効果が認められた。

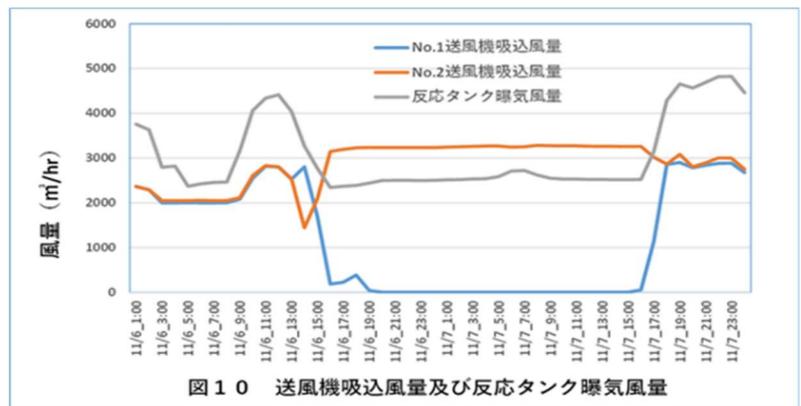


図10 送風機吸込風量及び反応タンク曝気風量

表4 送風機吸込風量及び反応タンク曝気風量(R6.11.6~11.7)

日時	No.1送風機吸込風量	No.2送風機吸込風量	反応タンク曝気風量	日時	No.1送風機吸込風量	No.2送風機吸込風量	反応タンク曝気風量	日時	No.1送風機吸込風量	No.2送風機吸込風量	反応タンク曝気風量	日時	No.1送風機吸込風量	No.2送風機吸込風量	反応タンク曝気風量
11/6_1:00	2,365	2,363	3,755	11/6_13:00	2,526	2,538	4,042	11/7_1:00	0	3,246	2,514	11/7_13:00	0	3,260	2,520
11/6_2:00	2,292	2,291	3,633	11/6_14:00	2,805	1,443	3,268	11/7_2:00	0	3,251	2,519	11/7_14:00	0	3,259	2,517
11/6_3:00	1,998	2,049	2,797	11/6_15:00	1,698	2,089	2,771	11/7_3:00	0	3,262	2,532	11/7_15:00	0	3,257	2,516
11/6_4:00	1,999	2,050	2,820	11/6_16:00	184	3,148	2,342	11/7_4:00	0	3,270	2,536	11/7_16:00	53	3,259	2,521
11/6_5:00	2,001	2,050	2,368	11/6_17:00	223	3,193	2,370	11/7_5:00	0	3,269	2,584	11/7_17:00	1,142	3,017	3,152
11/6_6:00	1,999	2,051	2,426	11/6_18:00	385	3,228	2,389	11/7_6:00	0	3,246	2,711	11/7_18:00	2,856	2,864	4,288
11/6_7:00	1,999	2,049	2,456	11/6_19:00	39	3,236	2,438	11/7_7:00	0	3,252	2,722	11/7_19:00	2,901	3,079	4,657
11/6_8:00	2,001	2,050	2,464	11/6_20:00	0	3,235	2,497	11/7_8:00	0	3,282	2,621	11/7_20:00	2,784	2,803	4,565
11/6_9:00	2,081	2,112	3,159	11/6_21:00	0	3,235	2,502	11/7_9:00	0	3,276	2,551	11/7_21:00	2,839	2,893	4,692
11/6_10:00	2,550	2,607	4,063	11/6_22:00	0	3,235	2,504	11/7_10:00	0	3,271	2,530	11/7_22:00	2,883	3,001	4,818
11/6_11:00	2,819	2,831	4,338	11/6_23:00	0	3,232	2,498	11/7_11:00	0	3,272	2,530	11/7_23:00	2,886	2,999	4,823
11/6_12:00	2,801	2,805	4,413	11/6_24:00	0	3,234	2,501	11/7_12:00	0	3,264	2,520	11/7_24:00	2,674	2,750	4,461
曝気風量①(通常運転時) 11/6_16:00~18:00平均									2,367 (m ³ /hr)			曝気風量②-曝気風量①→			
曝気風量②(反応タンク以外の曝気停止) 11/6_19:00~11/7_16:00平均									2,540 (m ³ /hr)			173 (m ³ /hr)			
												7.3%			

2) 処理水質について

送風機1台による運転時の処理水質として、日常試験及び中試験項目測定結果を表5、窒素含有量及びりん含有量測定結果を表6に示す。日常試験及び中試験項目、りん含有量は通常運転時(送風機2台運転時)と変化がなかったが、窒素については曝気不足によるアンモニア性窒素の上昇が認められた。曝気不足が長時間継続した場合、処理水の色や臭いが強くなる可能性がある。また、窒素以外の項目についても影響を受ける可能性がある。なお、夏季の高負荷時に同様の運転を行う場合、上記の影響が令和6年11月よりも大きくなるものと考えられる。

表5 日常試験及び中試験項目測定結果

検体	pH	SS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	大腸菌群数 (個/cm ³)	透視度 (cm)	備考
11/6(水)19:00放流水	6.97	2.4	7.7	3.5	0	>100	
11/6(水)21:00放流水	7.03	1.8	8.0	2.5	0	>100	
11/6(水)23:00放流水	7.06	1.6	7.9	2.4	0	>100	
11/7(木)1:00放流水	7.19	2.0	7.8	2.9	0	>100	
11/7(木)3:00放流水	7.18	1.5	7.8	3.2	0	>100	
11/7(木)5:00放流水	7.25	1.4	7.9	3.3	0	>100	
11/7(木)7:00放流水	7.28	1.5	7.7	3.3	0	>100	
11/7(木)9:00放流水	6.99	1.4	6.8	1.7	0	>100	(精密試験)
11/7(木)11:00放流水	---	---	---	---	---	>100	
11/7(木)13:00放流水	---	---	---	---	---	>100	
11/7(木)15:00放流水	---	---	---	---	---	>100	
11/8(金)9:00放流水	6.76	1.5	6.7	---	---	>100	(日常試験)
11/9(土)9:00放流水	---	---	---	---	---	>100	
11/10(日)9:00放流水	---	---	---	---	---	>100	
11/11(月)9:00放流水	6.82	2.6	7.0	---	---	>100	(日常試験)
法定基準	5.8~8.6	40以下	-	15以下	1000以下	-	

表6 窒素含有量及びりん含有量測定結果(精密試験結果)

検体	窒素含有量 (mg/L)	アモニア性窒素 (mg/L)	亜硝酸性窒素 (mg/L)	硝酸性窒素 (mg/L)	有機性窒素 (mg/L)	燐含有量 (mg/L)	燐酸付態燐 (mg/L)	備考
10/17(木)放流水	7.61	0.85	0.06	6.04	0.66	0.84	0.75	(通常時)
11/7(木)放流水	10.5	6.10	0.13	3.61	0.70	1.02	0.87	送風機故障後
法定基準	120	-	-	-	-	16	-	

5 まとめ

- ・過去の送風機の運転方法やそれに応じた水処理状況を整理し、処理効率が高い反応タンクを優先的に使用すること、また、送風機毎の経年劣化等を考慮し、始動動作に不安があるNo.1送風機は点検等に伴う運転停止を最小限に調整した上で可能な範囲、連続運転を行うこととした運転計画を策定した。
- ・送風量が不足した場合の処理への影響が少ない運転方法として、反応タンク以外の曝気停止、流入負荷のピークカット等を検討、整理した。また、手順書を作成することで迅速な対応を可能とした。
- ・送風機2台の内1台が故障した場合の対処として令和6年11月に発生したNo.1送風機の不具合による対処事例を参考とできるような検証、整理を行った。

以上

○専門用語解説（五十音順・アルファベット順）

用 語	解 説
きんきそうち 散気装置	反応タンク内に効率よく空気を溶かし込むために設置される気泡発生装置。散気方式の違いにより酸素溶解効率に差がある。
だいちようきんぐんすう 大腸菌群数	大腸菌群数（Total Coliform） 大腸菌及び大腸菌と性質が似ている細菌の数のことをいい、水中の大腸菌群数は、し尿汚染の指標として使われている。
ちっそがんゆうりょう 窒素含有量	T-N (Total Nitrogen) 水中に含まれる無機性窒素及び有機性窒素の総量。下水に含まれる窒素の多くはアンモニアの形で存在するため、そのまま放流すると、富栄養化を促進する一因となる。
とうしど 透視度	透視度（Transparency） 試料の澄明の程度を示す水質指標。水の中に含まれる浮遊物質やコロイド性物質などによる濁りの程度により透視度が低下する。
ぼっきばいりつ 曝気倍率	反応タンクに流入する水量に対して、送り込まれる空気量の倍率をいう。曝気倍率は汚濁濃度により左右され、濃度が高いほど大きくなる。また、酸素溶解効率が高い散気装置を利用すると小さくなる。
ほんのう 反応タンク	下水中の有機物（よごれ）を微生物によって分解する下水処理における主要な池。
りゆうにゆうふか 流入負荷	浄化（清流）センターに流入する汚濁の総量を示す。
りんがんゆうりょう 磷含有量	T-P (Total Phosphorus) 水中に含まれる無機及び有機りん化合物中のりんの総量。そのまま放流すると、富栄養化を促進する一因となる。
ようぞんさんねうど 溶存酸素濃度	溶存酸素濃度：DO（Dissolved Oxygen） 水中に溶け込んでいる酸素を濃度で示したもの。