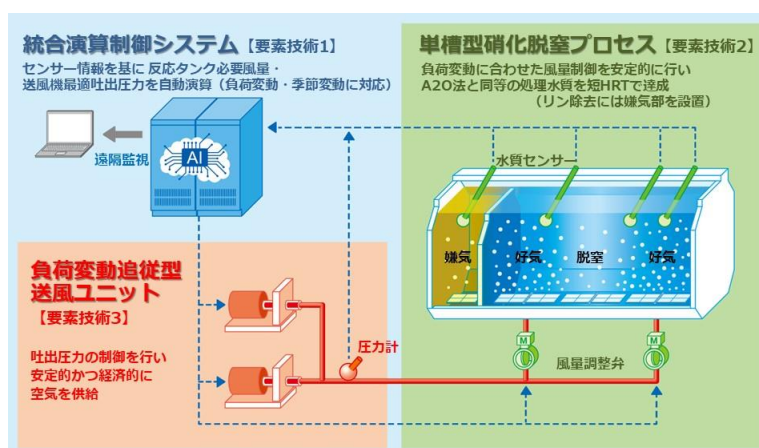


## 令和4年度自主研究成果資料

## 1 自主研究の概要

平成31年度B-DASH事業のうち、ICT活用スマートオペレーションによる省スペース・省エネルギー高度処理技術として採用された本技術の概要は、図資1-1に示す通りである。

本技術は、ICT・AIを活用し従来の高度処理法（A2O法等）と比べて、短い水理学的滞留時間（HRT）で高度処理並みの水質を確保するとともに、省エネ性と維持管理性の向上を図るものである。本技術は、既設の反応槽に「水質センサー」を設置し、水質センサーにより得られた情報を基に統合演算制御システムにて反応槽の必要風量や送風機最適吐出圧力を演算し、送風ユニットの制御を行う。この制御により、安定した処理水質が得られ、また、経済的に送風ユニットを稼働することができる。



図資1-1 本技術のイメージ

自主研究は、町田市成瀬クリーンセンター1系水処理施設を対象とし、令和3年4月から令和5年1月にかけて行った連続運転の結果をもとに、表資1-1に記載した検証項目について評価した。本検証項目は、実証研究後の課題であった「単槽型硝化脱窒プロセスの処理能力および処理性能の限界値の見極め」、「建設コスト、維持管理コストのさらなる削減（代表槽制御の検討等）」に対する検証として実施した。

表資1-1 自主研究概要

研究名称	単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術実証研究
実施期間	令和3年4月1日～令和5年1月5日
実施者	メタウォーター・日本下水道事業団・町田市 共同研究体
実施場所	成瀬クリーンセンター（東京都町田市）
研究概要	ICT・AIを活用した単槽型硝化脱窒プロセスの改良
検証項目	HRTの短縮 他

## 2 自主研究方法の概要と結果の概要

### 2.1 自主研究方法の概要

表資 2-1 に本実証研究の評価項目、目標値ならびに実証方法を示す。

表資 2-1 評価項目と自主研究方法

実証項目	目標値または効果	研究方法等
処理能力・処理水質の評価	<b>【処理能力】</b> 反応タンク HRT9.8 hr 以下 <b>【処理水質】</b> A2O 法※と同等以上	対象設備において、設定 HRT 以下で、目標水質を満足できることを確認。

※本研究ではりん除去を考慮して嫌気ゾーンを設けるため A2O 法と比較する

研究期間中、対象系列である 1 系反応タンク流入水および 1 系最終沈殿池流出水を測定し、処理水質が A2O 法と同等以上（BOD：15mg/L 以下、T-N：20mg/L 以下、T-P：3mg/L 以下、窒素除去率は 60~70%）であることを確認した。

また、上記の処理水質が得られるときの反応タンク HRT を確認し、一般的な A2O 法 HRT 設計値（16~20hr<sup>※1</sup>）との比較を行い、削減率を評価した。

※1 下水道施設計画・設計指針と解説 2009 年度版、公益社団法人日本下水道協会

## 2.2 自主研究結果の概要

下記課題を残しつつも自主研究の結果、いずれの目標値に関しても達成できた。

表資 2-2 自主研究結果まとめ

評価項目	評価指標	内容・目標値	(参考)実証研究時	自主研究時
処理能力	HRT	反応タンクHRT 9.8 hr以下	全調査日の平均HRTは、 9.8hr (6.0~10.6) (削減率: 約39%)	全調査日の平均HRTは、 8.8hr (6.2~9.7) であり、 実証研究時に対して更なる 削減を達成 (削減率: 約45%)
処理水質	終沈流出 水の水質	採水調査日における 日平均濃度が、 T-BOD $\leq$ 15mg/L T-N $\leq$ 20mg/L T-P $\leq$ 3mg/L であること  窒素除去率はA2O法同等 (60~70%)	全調査日で目標水質達成 T-BOD: 平均5.1 (2.8~7.8) T-N: 平均10.6 (6.6~13.7) T-P: 平均1.3 (0.4~2.1)  窒素除去率: 平均68.1% (降雨日を除く)	全調査日で目標水質達成 T-BOD: 平均6.1 (4.0~7.4) T-N: 平均11.7 (9.2~14.5) T-P: 平均1.3 (0.9~2.1)  窒素除去率: 平均66.5% (降雨日を除く)

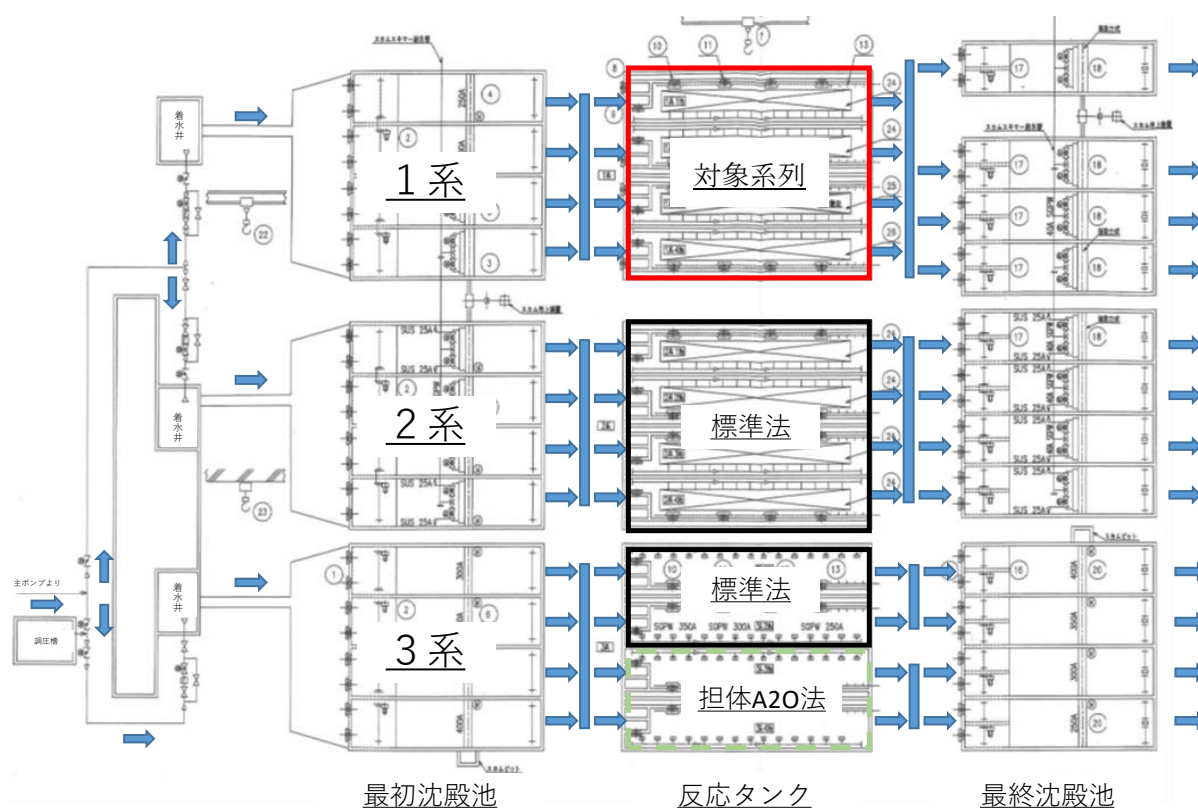
### <今後の課題>

- 兼用領域（硝化と脱窒が同時進行する領域）の設定方法の確立（一般化）
- 単槽型硝化脱窒プロセスの処理能力および処理性能の限界値の見極め
- 建設コスト、維持管理コストのさらなる削減（複数池一括制御の検討 等）

### 3 自主研究の方法

#### 3.1 処理フロー

図資 3-1 に成瀬クリーンセンター水処理フローを示す。成瀬クリーンセンターでは、主ポンプにより揚水された汚水は、流入調整弁を経て各系列の着水井へ送水されたのち、自然流下で最初沈殿池へ流入する。なお、各系列への汚水流入量の調整は分配比率固定制御で運用されており、通常運用時は概ね均等に分配（1系：2系：3系＝34%：34%：32%）するよう設定されている。また、各系列への流入量は、着水井手前に設置された流量計によって、揚水量として常時計測され運転管理に用いられている。なお、既設反応タンク流入量は個別に計測する仕様となっていないため、実証研究から引き続いて、対象系列（1系、全4池）の反応タンク流入水路へ設置した流量計を用いて、反応タンク流入流量を計測した。

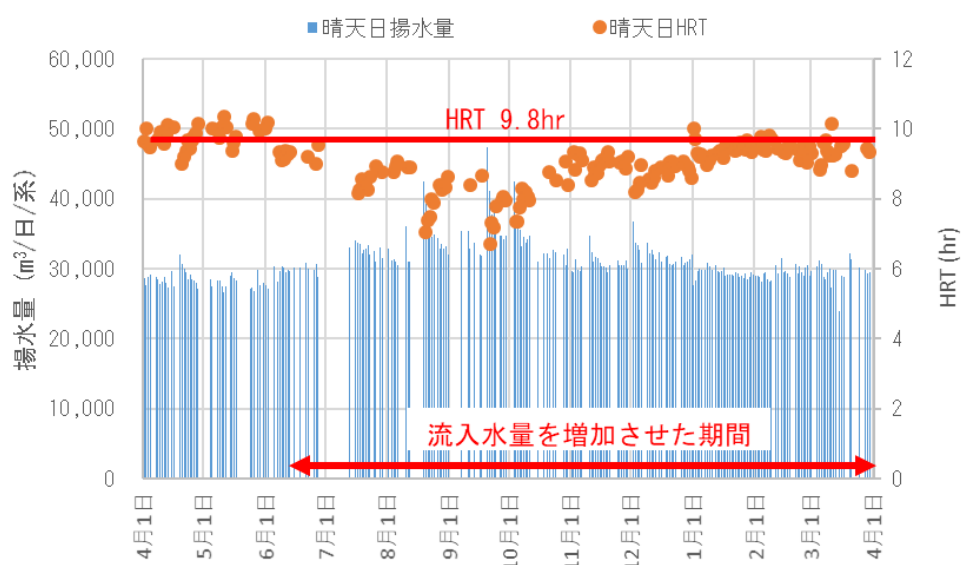


図資 3-1 成瀬クリーンセンターの水処理フロー

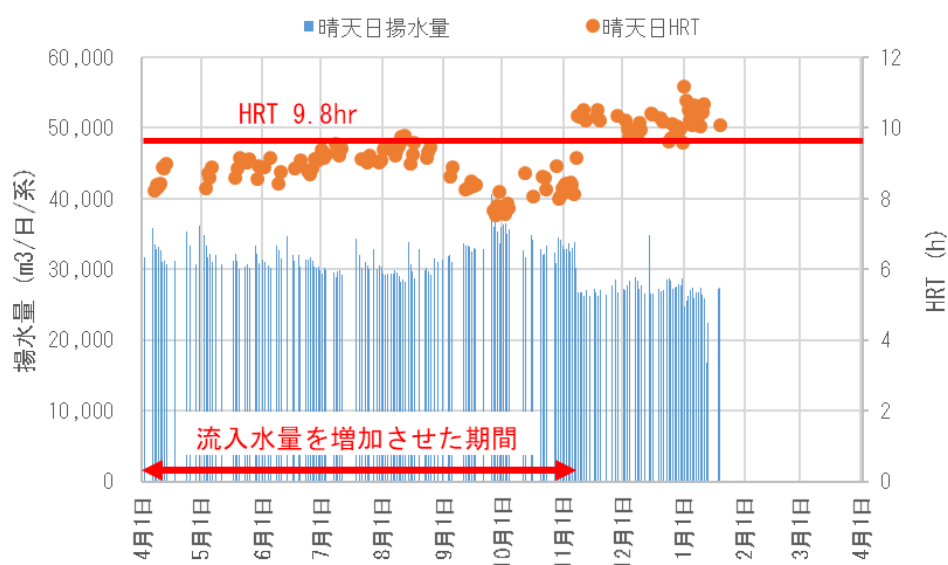
### 3.2 対象系列反応タンクの運転方法

#### 1) 水量

令和3年6月8日～令和4年11月8日の間、対象系列への分配比率を増加させ、流入水量を通常運用時よりも増加させた運転を行った。成瀬クリーンセンターへの汚水流入量の変動に合わせた成り行き運転を基本とする。図資3-2、3-3に、令和3年度および令和4年度の成瀬クリーンセンターの対象系列（1系）の揚水量の経日変化を示す。



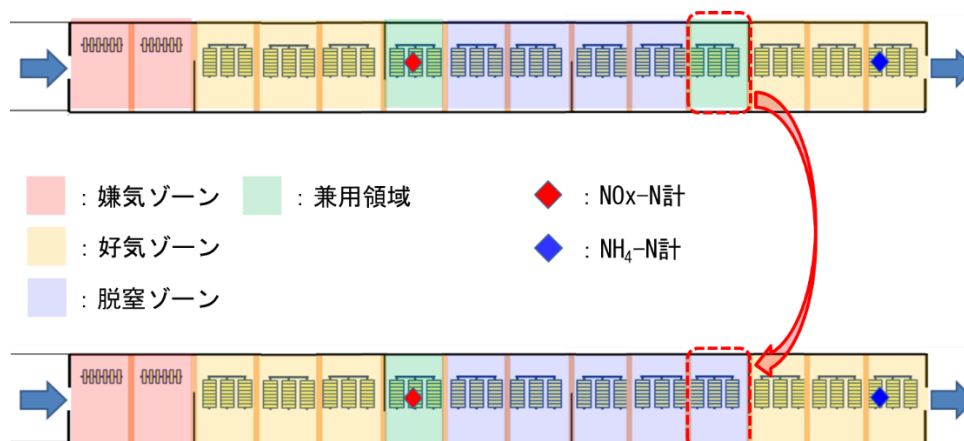
図資 3-2 晴天日対象系列揚水量の経日変化（令和3年度実績）



図資 3-3 晴天日対象系列揚水量の経日変化（令和4年度実績）

## 2) ゾーン設定

令和3年3月4日～令和4年11月28日の間、自主研究のため、後半好気ゾーンの一部区画（硝化と脱窒の両方が進行すると考えられる兼用領域部分）の風量調節弁の開度を全閉または寸開とし、**図資3-4**のとおり脱窒ゾーンを拡張して運転を行った。



図資3-4 自主研究期間中の反応タンクのゾーン設定変更

## 3) 制御目標値

単槽型硝化脱窒プロセスにおいて、硝化と脱窒を効率よく進行させるためには各ゾーンに対する適切な空気供給が重要となる。制御用水質計器は、前半好気ゾーン下流部に  $\text{NO}_x\text{-N}$  計を、後半好気ゾーン下流部に  $\text{NH}_4\text{-N}$  計を設置し、それぞれの位置における  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度と  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を所定の値に維持することで安定的な窒素除去が可能となる。

**表資3-1** に制御目標値と設定の考え方を示す。 $\text{NO}_x\text{-N}$  目標値は、脱窒ゾーンで期待される脱窒能力を最大限に活かすために、十分な量の  $\text{NO}_x\text{-N}$  を安定的に生成することを目的として設定する。一方、 $\text{NH}_4\text{-N}$  目標値は反応タンク出口で硝化を完了しつつ、過剰な空気供給を防止することを目的として設定する。実証研究時から継続して、 $\text{NO}_x\text{-N}$  目標値を  $4.0 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$  目標値を  $2 \text{ mg/L}$  として運転を実施した。

表資3-1 制御目標値と設定の考え方

	目標値	設定の考え方	備考
$\text{NO}_x\text{-N}$ (mg/L)	4.0	脱窒ゾーンにおける脱窒可能な $\text{NO}_x\text{-N}$ を安定的に供給するため	脱窒可能な $\text{NO}_x\text{-N}$ 濃度 ※1 を考慮して設定する
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	2	反応タンク末端において硝化の完了を維持するため	水質計の計測精度を考慮して $1 \text{ mg/L}$ 以上の値を設定する

※1) 平成29年度実績データ等から算出した想定脱窒可能濃度は約  $4.0 \text{ mg/L}$

### 3.3 分析計画

表資3-2、表資3-3と図資3-5に、定期水質分析の分析計画と試料毎の分析測定項目および採水場所を示す。

表資3-2 分析計画（処理水質評価）

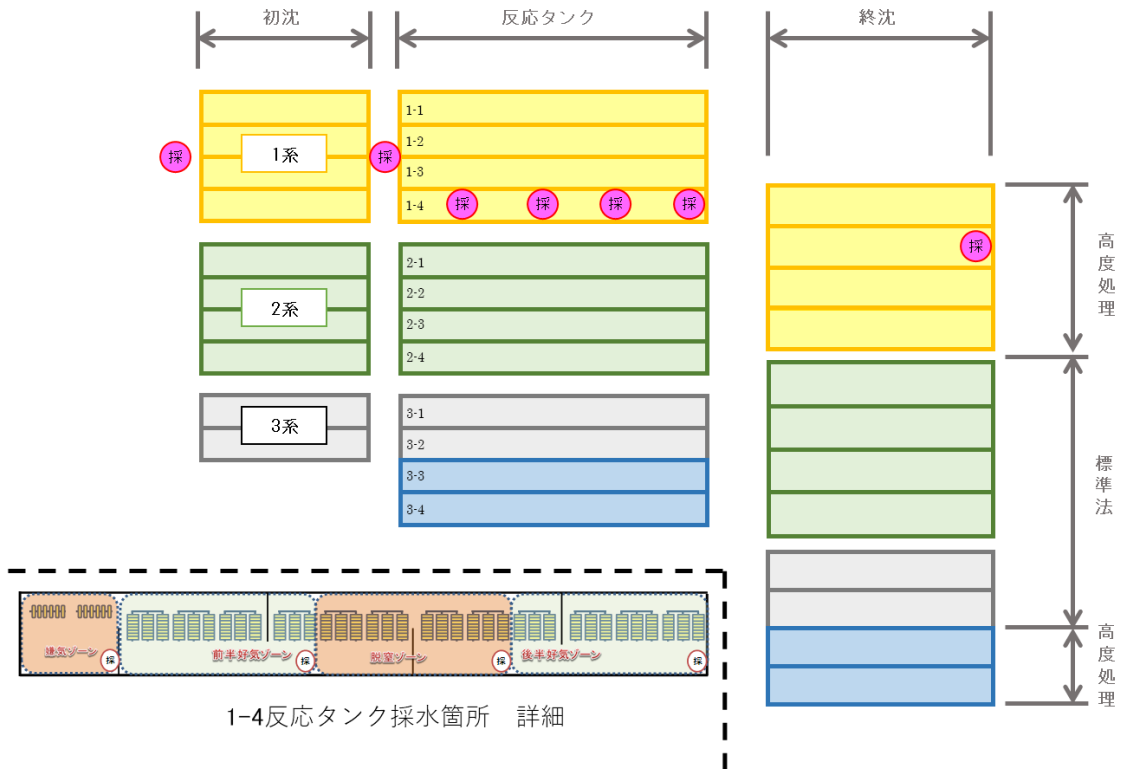
採取場所		採水方法	分析項目	バッチ試験項目
初沈流入部		手汲み	※1	
初沈出口		オートサンプラー	※2	
反応 タンク	嫌気部出口	手汲み		※5
	前半好気ゾーン出口	手汲み		※5
	脱窒ゾーン出口	手汲み		※5
	後半好気ゾーン出口	オートサンプラー/ 手汲み	※3	※6
終沈出口		オートサンプラー	※2	
余剰汚泥		手汲み	※4	
返送汚泥		手汲み	※4	

※1～※6の分析項目詳細は、表資3-3に対応

表資3-3 試料毎の分析項目

採取場所	※1	※2	※3	※4	※5	※6
気温	○					
水温	○	○	○		○	○
pH	○	○	○			
ORP		○			○	○
DO		○			○	○
T-BOD		○				
S-BOD		○	○			
ATU-BOD		○				
SS		○				
MLSS			○	○	○	○
T-N		○				
S-T-N		○	○			
NH <sub>4</sub> -N		○	○			
NO <sub>3</sub> -N		○	○			
NO <sub>2</sub> -N		○	○			
T-P		○				
PO <sub>4</sub> -P			○			
M-アルカリ度			○			
汚泥中N				○		
汚泥中P				○		





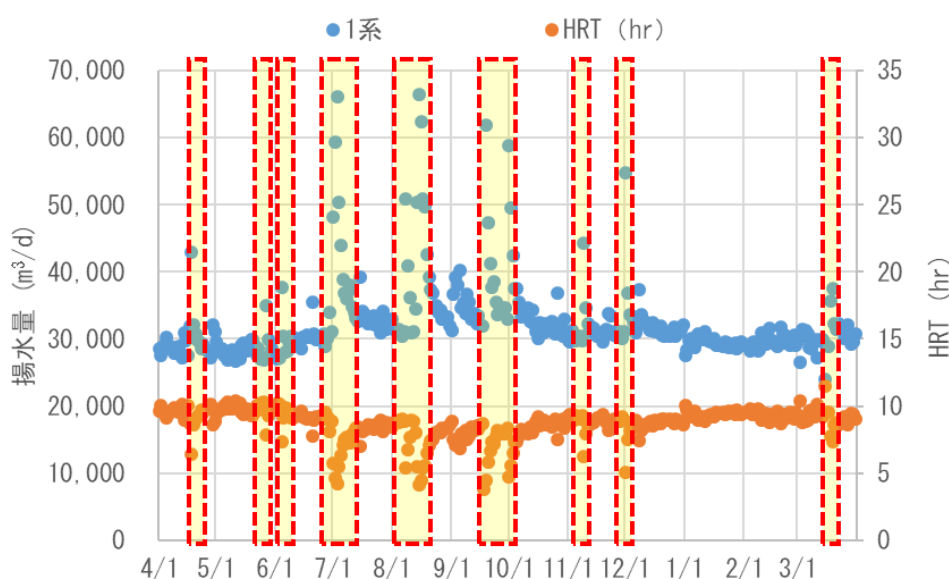
図資 3-5 採水場所（丸囲い「採」印の位置で採水）

なお、反応タンク内の汚泥採取時は、オートサンプラーの採取ボトルにろ布を取り付け、採取後速やかにかろ過操作を行い、試料の変性を防止した。また、反応タンク以外での試料採取には、冷蔵機能付きオートサンプラーを使用した。

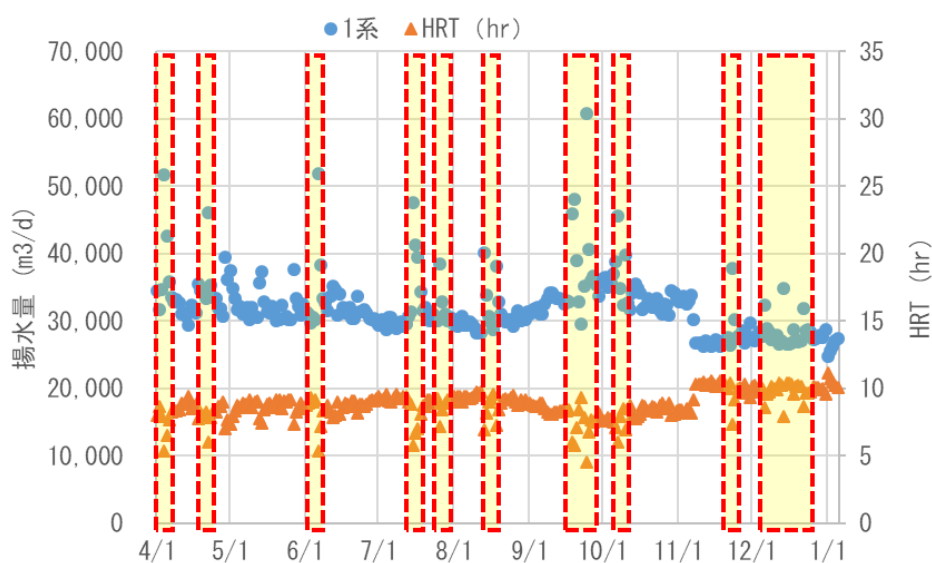
## 4 自主研究結果

### 4.1 対象設備の運転状況

図資 4-1、4-2 に自主研究期間中（令和3年4月1日～令和5年1月5日）の対象系列（1系）流入汚水量の日間変動と HRT を示す。降雨の影響が大きかったと推定される期間（図中の塗潰し期間）を除くと、令和3年度の流入汚水量は平均 30,392 m<sup>3</sup>/日、HRT は平均 9.1hr（水量増加期間は流入汚水量は平均 31,490 m<sup>3</sup>/日、HRT は平均 8.9 hr）、令和4年度の流入汚水量は平均 30,805 m<sup>3</sup>/日、HRT は平均 9.1hr（水量増加期間は流入汚水量は平均 31,868 m<sup>3</sup>/日、HRT は平均 8.8 hr）であった。

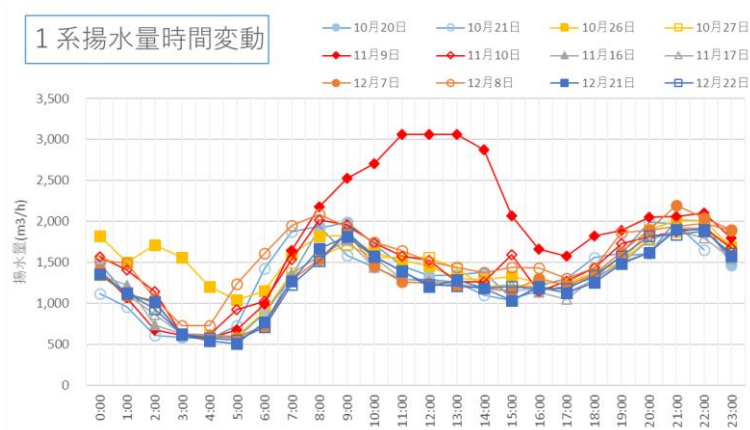


図資 4-1 対象系列の流入汚水量の日間変動（令和3年度）

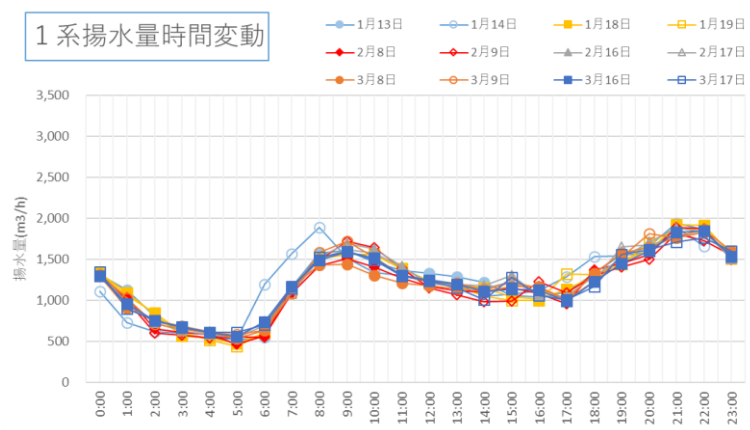


図資 4-2 対象系列の流入汚水量の日間変動（令和4年度）

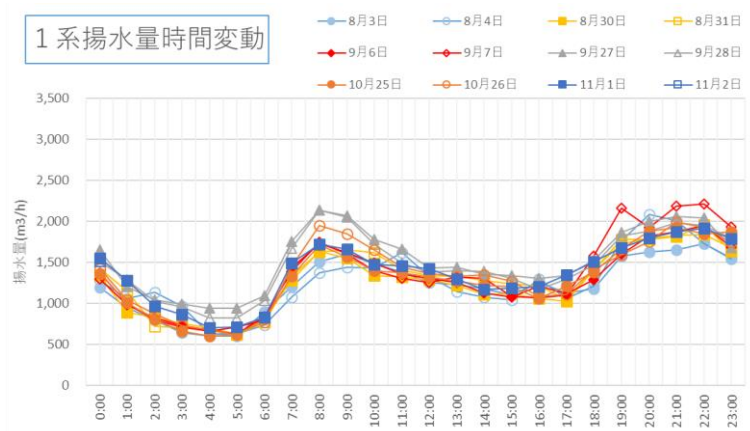
また、**図資 4-3**～**図資 4-5** に採水を実施した各調査日における流入汚水量の時間変動をそれぞれ示す。前述した降雨影響の大きかったと推定される期間を除くと、流入汚水量の変動傾向は同じであり、早朝 4 時～5 時に最も低くなり、ピークは朝 8 時～10 時と夜 21 時～23 時に 2 回あった。



図資 4-3 対象系列の流入汚水量の時間変動（令和3年10月～12月）



図資 4-4 対象系列の流入汚水量の時間変動（令和4年1月～3月）



図資 4-5 対象系列の流入汚水量の時間変動（令和4年8月～11月）

## 4.2 処理水質・処理能力の評価

表資4-1に採水調査日（令和3年10月20日～令和4年11月2日）における対象系列（1系）の運転状況と各採取地点の平均水質を示す。なお、試料は2hr間隔で24hr分を採取し、時間毎の分析または水量比例のコンポジット操作を行ったのちに各分析に供した。

成瀬クリーンセンターは分流式であるが、降雨日に流入水量が増加する傾向があり、降雨の影響により処理水量が増加する傾向が認められた。採水調査日におけるHRTは平均8.8hrであった。

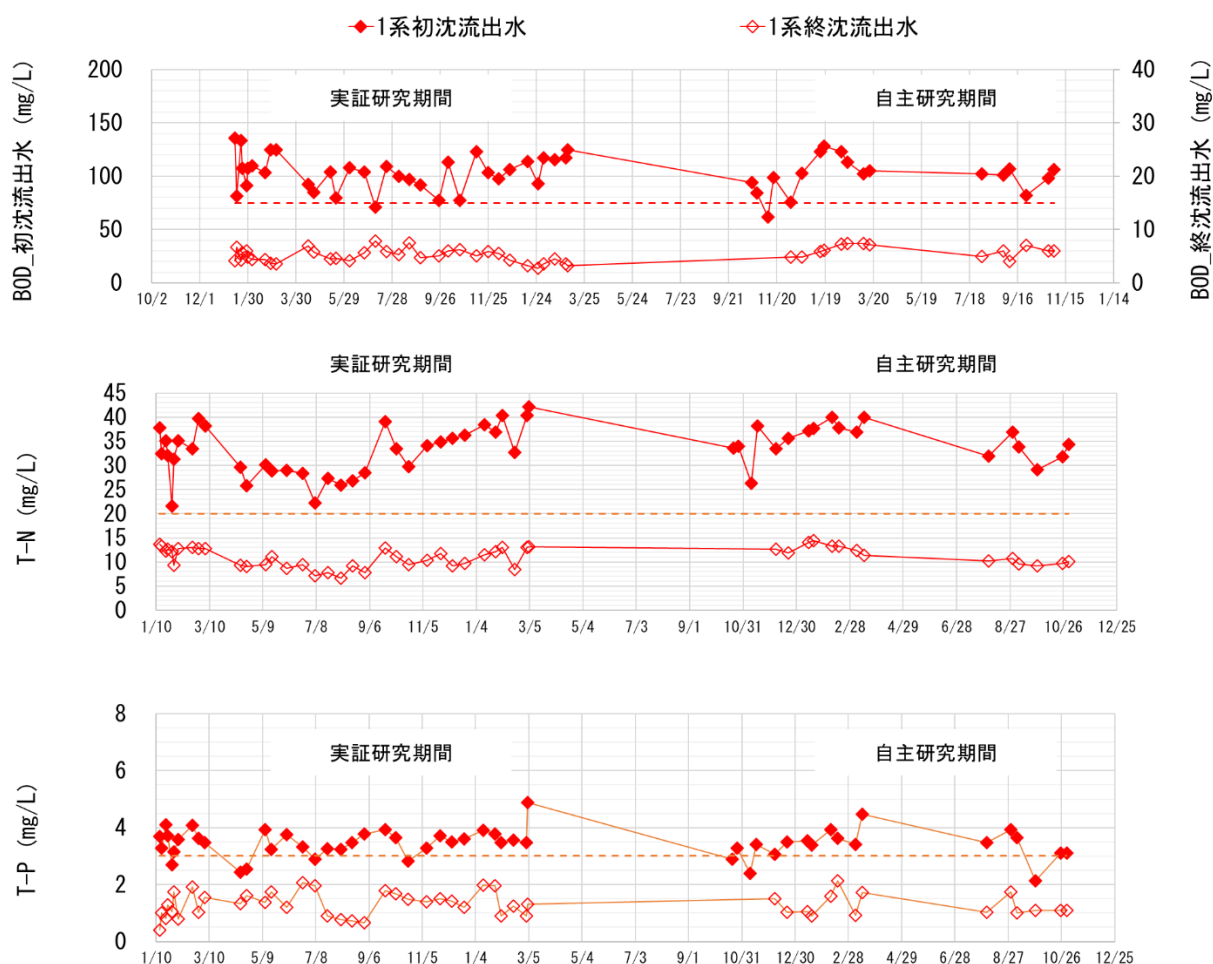
表資4-1 対象系列の水処理設備の運転状況および平均水質

調査日	天候	初沈 出口 水温 (°C)	処理水量 (m³/池/日)	送風量 (Nm³/池/日)	HRT (hr)	MLSS (mg/L)	TBOD (mg/L)		SS (mg/L)		T-N (mg/L)		T-P (mg/L)		pH (-)		T-N 除去率
							初沈 出口	終沈 出口	初沈 出口	終沈 出口	初沈 出口	終沈 出口	初沈 出口	終沈 出口	初沈 出口	終沈 出口	
令和3年10月20日～10月21日	晴	25.3	7,981	31,629	8.6	1,430	94.1	-	26.7	-	33.6	-	2.9	-	7.49	6.58	-
10月26日～10月27日	雨/晴	23.8	8,103	27,706	8.5	1,430	84.5	-	33.6	-	34.0	-	3.3	-	7.60	6.65	-
11月09日～11月10日	曇/雨	23.9	11,163	28,977	6.2	1,370	62.0	-	37.6	-	26.3	-	2.4	-	7.58	6.65	-
11月16日～11月17日	曇	24.3	7,587	30,859	9.1	1,720	98.9	-	35.0	-	38.2	-	3.4	-	7.51	6.55	-
12月07日～12月08日	曇/雨	22.1	8,860	31,314	7.8	1,560	75.7	4.8	42.0	1.3	33.5	12.7	3.1	1.5	7.67	6.57	62.1%
12月21日～12月22日	晴	20.9	7,567	32,671	9.1	1,630	103.0	4.8	42.4	<1	35.6	11.9	3.5	1.0	7.67	6.52	66.6%
令和4年01月13日～01月14日	晴	19.3	7,472	34,007	9.2	1,550	123.0	5.9	41.0	<1	37.1	14.1	3.6	1.0	7.60	6.49	62.0%
01月18日～01月19日	晴	19.3	7,298	33,405	9.5	1,600	128.0	6.1	46.0	<1	37.7	14.5	3.4	0.9	7.52	6.53	61.5%
02月08日～02月09日	晴	19.1	7,110	34,547	9.7	1,780	123.0	7.3	43.1	1.6	39.9	13.3	3.9	1.6	7.60	6.51	66.7%
02月16日～02月17日	晴	17.8	7,390	36,785	9.3	1,660	113.0	7.4	43.9	2.2	37.8	13.3	3.6	2.1	7.65	6.52	64.8%
03月08日～03月09日	雨/曇	20.3	7,254	33,648	9.5	1,780	102.0	7.4	46.3	2.1	36.9	12.4	3.4	0.9	7.68	6.65	66.4%
03月16日～03月17日	曇/晴	21.3	7,255	33,324	9.5	1,520	105.0	7.2	47.8	2.0	40.0	11.4	4.5	1.7	7.41	6.69	71.5%
08月03日～08月04日	曇/雨	29.0	7,413	34,512	9.3	1,480	102.0	5.0	31.0	1.0	31.9	10.2	3.5	1.0	7.25	6.42	68.0%
08月30日～08月31日	曇/雨	28.5	7,634	32,929	9.0	1,610	101.0	6.0	48.0	1.0	36.9	10.7	3.9	1.8	7.38	6.47	71.0%
09月06日～09月07日	晴/雨	28.7	7,716	33,386	8.9	1,500	107.0	4.0	47.0	<1	33.9	9.6	3.6	1.0	7.39	6.39	71.7%
09月27日～09月28日	晴/曇	26.5	9,036	30,240	7.6	1,340	82.0	7.0	41.0	2.0	29.1	9.2	2.1	1.1	7.47	6.56	68.4%
10月25日～10月26日	曇/雨	24.9	8,011	33,484	8.6	1,710	98.0	6.0	32.0	2.0	31.8	9.7	3.1	1.1	7.38	6.39	69.5%
11月01日～11月02日	曇/雨	24.5	8,256	33,547	8.4	1,650	106.0	6.0	36.0	2.0	34.4	10.1	3.1	1.1	7.58	6.59	70.6%
最小		17.8	7,110	27,706	6.2	1,340	62.0	4.0	26.7	1.0	26.3	9.2	2.1	0.9	7.25	6.39	61.5%
最大		29.0	11,163	36,785	9.7	1,780	128.0	7.4	48.0	2.2	40.0	14.5	4.5	2.1	7.68	6.69	71.7%
平均		23.3	7,950	32,609	8.8	1,570	100.5	6.1	40.0	1.7	34.9	11.7	3.4	1.3	7.52	6.54	67.2%

図資 4-6 に対象系列である 1 系最初沈殿池流出水および 1 系最終沈殿池流出水の BOD、T-N、T-P の測定結果を示す。参考に実証研究期間の測定結果も示した。全 18 回の採水調査を行った結果、いずれの調査日においても各水質目標値を満足することを確認した。

窒素除去率は、降雨日を除くと 61.5%~71.5%で推移しており、平均除去率は 66.5%と算出され、A2O 法の除去率 60~70%と同等の除去率であることを確認した。また、BOD、T-N、T-P の全ての水質項目において、実証研究期間と同程度の水質を保つことができた。

以上から、自主研究期間中において、HRT を短くした影響や脱窒ゾーンを拡張した影響による処理水質の悪化は確認されなかった。



図資 4-6 最初沈殿池流出水および最終沈殿池流出水の測定結果  
(上 : BOD、中 : T-N、下 : T-P)

### 4.3 まとめ

表資 4-2 に評価項目の成果の概要を再掲する。

下記課題を残しつつも実証実験の結果、いずれの目標値に関しても達成できた。

#### <今後の課題>

- 兼用領域（硝化と脱窒が同時進行する領域）の設定方法の確立（一般化）
- 単槽型硝化脱窒プロセスの処理能力および処理性能の限界値の見極め
- 建設コスト、維持管理コストのさらなる削減（複数池一括制御の検討 等）

表資 4-2 成果の概要（再掲）

評価項目	評価指標	内容・目標値	(参考)実証研究時	自主研究時
処理能力	HRT	反応タンクHRT 9.8 hr以下	全調査日の平均HRTは、 9.8hr (6.0~10.6) (削減率:約39%)	全調査日の平均HRTは、 8.8hr (6.2~9.7) であり、 実証研究時に対して更なる 削減を達成 (削減率:約45%)
処理水質	終沈流出 水の水質	採水調査日における 日平均濃度が、 T-BOD $\leq$ 15mg/L T-N $\leq$ 20mg/L T-P $\leq$ 3mg/L であること  窒素除去率はA2O法同等 (60~70%)	全調査日で目標水質達成 T-BOD: 平均5.1 (2.8~7.8) T-N: 平均10.6 (6.6~13.7) T-P: 平均1.3 (0.4~2.1)  窒素除去率: 平均68.1% (降雨日を除く)	全調査日で目標水質達成 T-BOD: 平均6.1 (4.0~7.4) T-N: 平均11.7 (9.2~14.5) T-P: 平均1.3 (0.9~2.1)  窒素除去率: 平均66.5% (降雨日を除く)

## 5 問い合わせ先

本資料に対する問い合わせは、以下にお願いします。

<連絡先>

メタウォーター株式会社	営業本部営業企画部 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 1-25 TEL 03-6853-7340 FAX 03-6853-8714 URL <a href="http://www.metawater.co.jp">http://www.metawater.co.jp</a>
日本下水道事業団	技術開発室 〒113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27 TEL 03-6361-7849 FAX 03-5805-1828 URL <a href="http://www.jswa.go.jp">http://www.jswa.go.jp</a>
町田市	下水道部水再生センター 〒194-0045 東京都町田市南成瀬八丁目 1 番地 1 TEL 042-720-1825 URL <a href="http://www.city.machida.tokyo.jp/shisei/shiyakusyo/clean/kankyo02.html">http://www.city.machida.tokyo.jp/shisei/shiyakusyo/clean/kankyo02.html</a>