

## 令和6年度自主研究成果資料

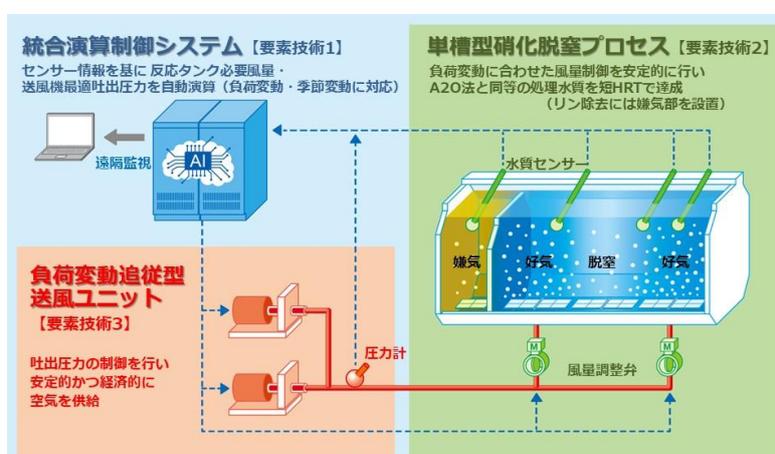
## 目次

<b>1 自主研究の概要</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>2 自主研究方法の概要と結果の概要</b> . . . . .	<b>5</b>
2.1 自主研究方法の概要	5
2.2 自主研究結果の概要	6
<b>3 自主研究の方法</b> . . . . .	<b>7</b>
3.1 処理フロー	7
3.2 NH <sub>4</sub> -N 制御の運転方法	8
3.3 分析計画	10
3.4 水質向上方法の検討方法	12
<b>4 自主研究の成果</b> . . . . .	<b>16</b>
4.1 R6 年度の対象系列の運転状況	16
4.2 NH <sub>4</sub> -N 制御の検証	16
4.3 水質向上方法の検討	18
4.5 参考文献	23
<b>5 問い合わせ先</b> . . . . .	<b>24</b>

## 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・省エネ型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

本技術は、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2年1月から令和3年3月にかけて実証研究を行い、表資1-1に記載した成果を得た。

表資 1-1 実証研究成果<sup>1)</sup>

評価項目	評価指標	内容・目標値	結果
処理水質	放流水質	採水調査日における日平均濃度が、 ・T-BOD ≤ 15mg/L ・T-N ≤ 20mg/L ・T-P ≤ 3mg/L を満足すること 窒素除去率はA2O法※同等(60～70%)	全調査日において目標水質を達成 T-BOD: 平均5.0mg/L (最小2.8mg/L～最大7.8mg/L) T-N : 平均10.8mg/L (最小6.6mg/L～最大13.7mg/L) T-P : 平均1.3mg/L (最小0.4mg/L～最大2.1mg/L) 窒素除去率: 平均68.1% (降雨日を除く)
処理能力	HRT	A2O法比 20%削減 (HRT16hr × 0.8 ⇒ 12.8hr以下)	全調査日の平均HRTは、9.8hr(6.0hr～10.6hr)であり、達成
送風電力	風量1Nm <sup>3</sup> 当たりの送風電力	目標値: 送風電力削減率10%以上 2019年度: 1週間毎に圧力制御切替 2020年度: 2週間毎に圧力制御切替	送風電力削減率が16.2%であり、達成 (圧力一定制御の設計圧力68.6kPaに対し、 圧力可変制御の平均吐出圧力58.7kPa)
水処理電力	処理水1m <sup>3</sup> 当たりの運転電力	目標値: A2O法比 20%削減 実証系列: 常時圧力可変制御を想定 A2O法: 常時圧力一定制御を想定	日最大50,000m <sup>3</sup> /日規模のFS結果より、29%削減(A2O: 0.173kWh/m <sup>3</sup> 、本技術: 0.122kWh/m <sup>3</sup> )と試算され、達成
NO <sub>x</sub> 、NH <sub>4</sub> 制御性能	水質計測値の適合率	制御可能期間中の計測値の95%以上が目標値±0.5mg/Lの範囲に収まること	前半NO <sub>x</sub> : 期間中の平均適合率が 99% であり、達成 後半NH <sub>4</sub> : 期間中の平均適合率が 98% であり、達成
維持管理項目	項目数	維持管理項目数の低減	攪拌機、循環ポンプ等に係る保守点検項目が削減可能であるため、達成
総費用 (年価換算値)	建設費	評価範囲(反応タンクおよび送風機設備)において、A2O法(新設)に比べ20%以上削減(FS条件: 日最大50,000m <sup>3</sup> /日)	評価範囲(反応タンクおよび送風機設備)において、建設費削減率は 20.6% と試算され、達成
	維持管理費	評価範囲(反応タンクおよび送風機設備)において、A2O法より低減	評価範囲においては、人件費・電力費・補修費のいずれも低減することから、達成

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7年1月にかけて行った連続運転の結果をもとに、表資1-2 および図資1-2 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「建設コスト、維持管理コストのさらなる削減」に対する検証（「短HRTの検証」、「複数池一括制御の検証」等）および自主研究における追加検討項目である「N<sub>2</sub>O 排出量の調査」「水処理メカニズムの追加検証」「NH<sub>4</sub>-N 制御の検証」「水質向上方法の検討」として実施した。本成果資料では、令和6年度に得られた成果として、「NH<sub>4</sub>-N 制御の検証」および「水質向上方法の検討」について報告する。

表資1-2 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7年1月31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	短HRTの検証、複数池一括制御の検証、N <sub>2</sub> O 排出量の調査、水処理メカニズムの追加検証、NH <sub>4</sub> -N 制御の検証、水質向上方法の検討 他

図資1-2 自主研究実施項目一覧（★：自主研究資料として報告）

実施項目	目的	R3 年度	R4	R5	R6
短HRTの検証	建設コストのさらなる削減	■	★		
複数池一括制御の検証	建設コスト、維持管理コストのさらなる削減	■		★	
水処理メカニズムの追加検証	本技術の設計方法見直しに反映	■		★	
水質向上方法の検討	更なる窒素除去能力の向上		■		★
N <sub>2</sub> O 排出量の調査	本技術のN <sub>2</sub> O 排出量を把握			■	★
NH <sub>4</sub> -N 制御の検証	本技術の適用拡大				■

## 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 に本資料に記載する自主研究の実施項目、目的ならびに研究方法を示す。

表資 2-1 自主研究方法の概要

実施項目	目的	研究方法等
NH <sub>4</sub> -N 制御の検証	本技術の適用拡大	本技術の一部である NH <sub>4</sub> -N 計を用いた風量制御を標準法に適用し、その際の制御性能を評価
水質向上方法の検討	更なる窒素除去能力の向上（ステップ流入効果の検証）	実施設を模擬した実験装置を用いて、本技術においてステップ流入を行った際の処理水質を評価

NH<sub>4</sub>-N 制御の検証では、本技術の一部である NH<sub>4</sub>-N 計を用いた風量制御を標準活性汚泥法（標準法）に適用し、その際の制御性能を評価した。1 系反応タンクのうち 1-4 池を対象として、約 2 週間の NH<sub>4</sub>-N 制御での連続運転を実施し、その際の制御性能を評価した。

水質向上方法の検討では、実施設を模擬した実験装置を用いて、本技術の単槽型硝化脱窒プロセスにおいてステップ流入を行った場合の処理水質の評価を行った。

## 2.2 自主研究結果の概要

令和6年度の自主研究で得られた成果について表資2-2にまとめた。

表資2-2 自主研究成果まとめ

実施項目	目的	研究成果
NH <sub>4</sub> -N 制御の検証	本技術の適用範囲拡大	約2週間の運転の結果、後段 NH <sub>4</sub> -N 計測値は制御目標値 6 mg/L に対して、平均 5.9±1.3 mg/L であった
水質向上方法の検討	更なる窒素除去能力の向上（ステップ流入効果の検証）	ステップ流入により窒素除去率が向上することが示された

### <今後の課題>

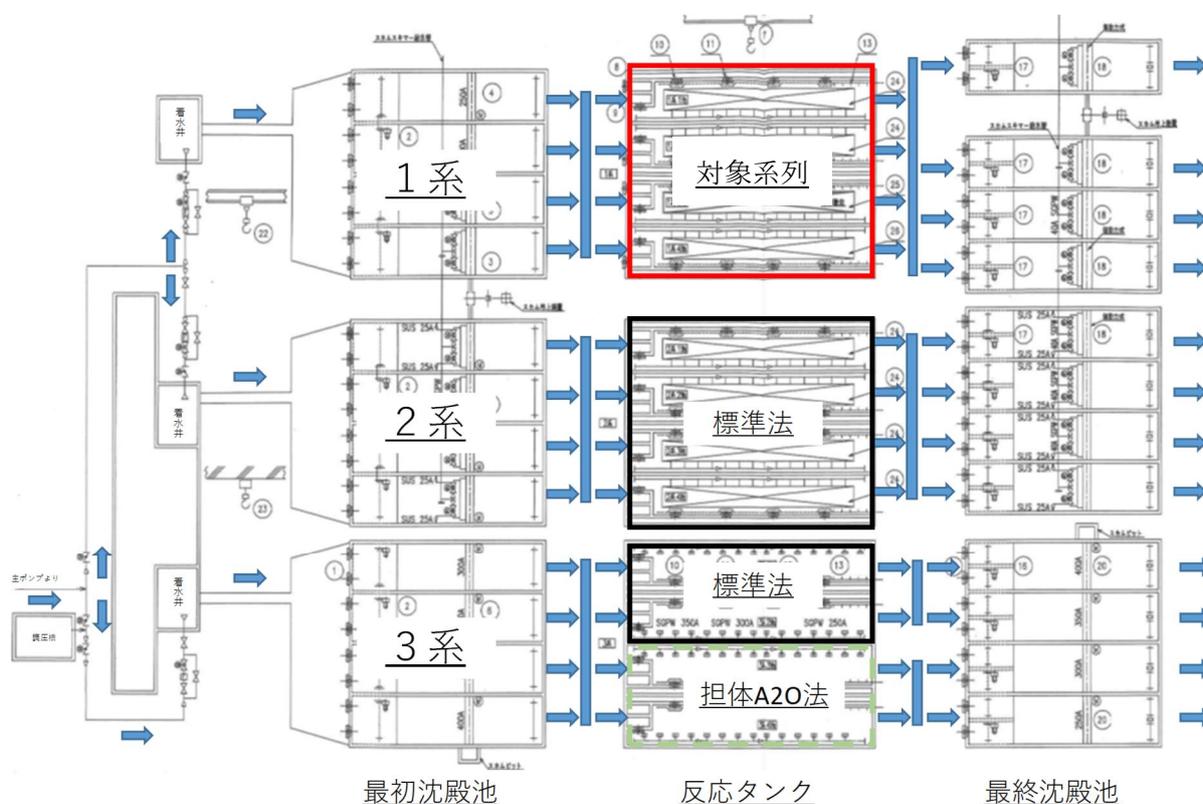
本自主研究の結果を踏まえた、残課題を以下に示す。

- 本技術におけるステップ流入効果の定量的な評価
- 本技術の溶存態も含めた N<sub>2</sub>O 排出量の評価、N<sub>2</sub>O 生成メカニズムの検討
- 前半好気ゾーンにおける脱窒量の算出方法および兼用領域（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）
- 複数池一括制御の長期安定運転、導入手法に関する検討

### 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。自主研究は、本フローのうち1系全4池を対象系列として定めて実施した。対象系列については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 NH<sub>4</sub>-N 制御の運転方法

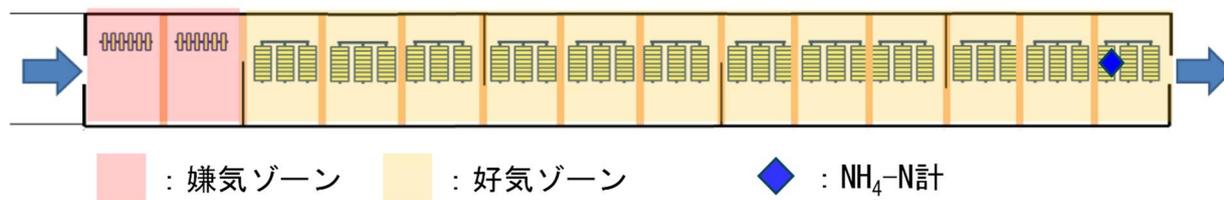
#### 1) ゾーン設定

図資 3-2 に反応タンクのゾーン設定を示す。令和6年11月5日～18日の間、自主研究のため、対象系列のうち1池においてNH<sub>4</sub>-N制御を実施した。同期間のうち、11月5日～10日までは従来の硝化脱窒制御と同じゾーン設定（図資 3-2 (a)）、11月11日～18日までは脱窒ゾーンへの送風配管のライザー弁を開放することで脱窒ゾーンを廃し、標準法の疑似嫌気好気運転のゾーン設定（図資 3-2 (b)）とした。

(a) 単槽型硝化脱窒プロセスにおける風量制御



(b) NH<sub>4</sub>-N 制御



図資 3-2 自主研究期間中の反応タンクのゾーン設定

## 2) 制御方法

単槽型硝化脱窒プロセスにおいては、制御用水質計器は、前半好気ゾーン下流部に NO<sub>x</sub>-N 計を、後半好気ゾーン下流部に NH<sub>4</sub>-N 計を設置し、それぞれの位置における NO<sub>x</sub>-N 濃度と NH<sub>4</sub>-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している。一方で、NH<sub>4</sub>-N 制御では、制御用水質計器のうち後半好気ゾーン下流部に設置した NH<sub>4</sub>-N 計のみを用いて好気ゾーン全体の風量を制御する。従来と同様に後半好気ゾーン下流部における NH<sub>4</sub>-N 計測値を所定の値に維持するよう必要風量を算出し、反応タンク全体の風量を制御した。

## 3) 制御目標値

表資 3-1 に本実験における制御目標値と設定の考え方を示す。NH<sub>4</sub>-N 目標値は原則として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。従来の単槽型硝化脱窒プロセスでは NH<sub>4</sub>-N 目標値を 2.0 mg/L として運転を実施してきたが、NH<sub>4</sub>-N 制御の実施においては、脱窒量減少に伴い、アルカリ度低下による処理水 pH 低下する影響を考慮し、従来の硝化脱窒プロセスと比較して高い NH<sub>4</sub>-N 目標値 6.0 mg/L とした。

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
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	6.0	処理水 pH 低下を考慮したうえで、反応タンク末端において硝化を促進するため	-

### 3.3 分析計画

#### 1) 水質分析

表資 3-2、表資 3-3 と図資 3-3 に、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。採水調査は、令和 6 年 11 月 5 日～18 日にかけて計 3 回実施した。コンポジット採水では、試料は 2 hr 間隔で 24 hr 分を採取し、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。スポット採水は、それぞれコンポジット試料採取完了日の朝 9 時ごろに実施した。

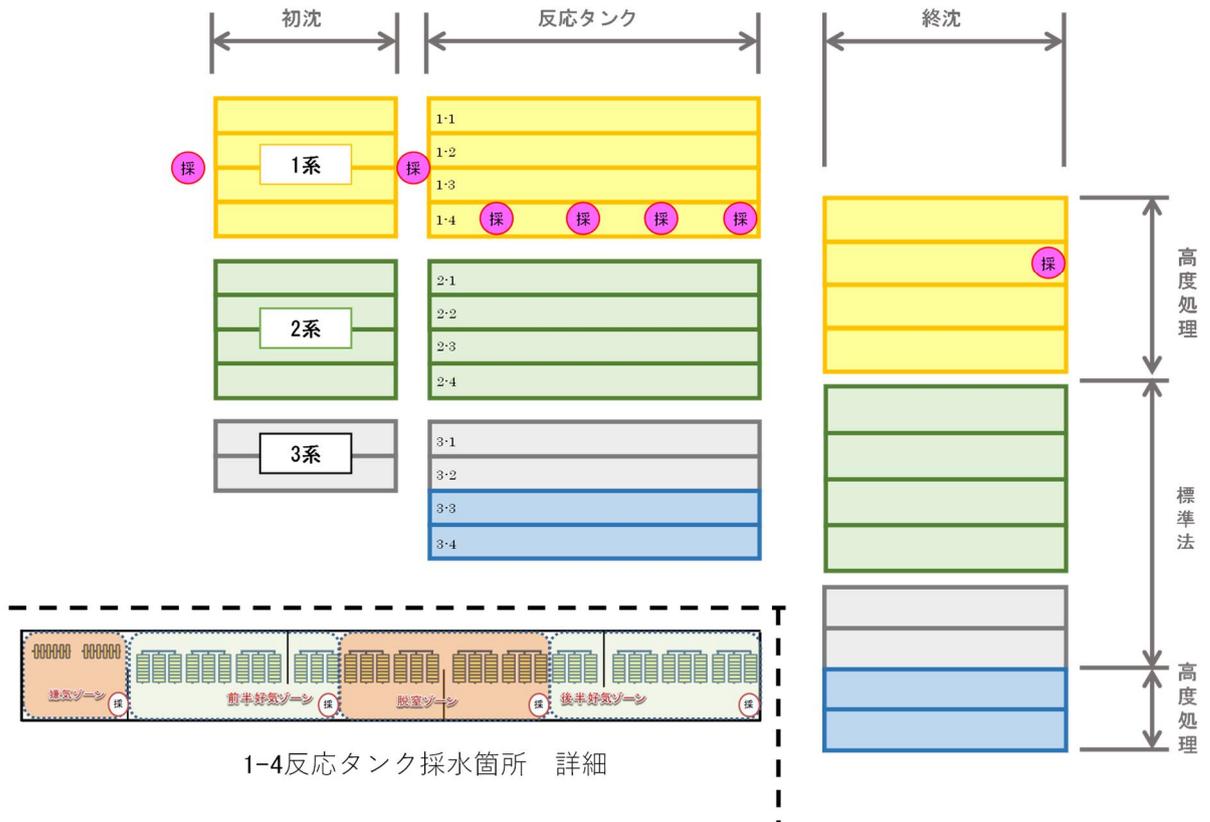
表資 3-2 分析計画（処理水質評価）

採取場所		採水方法	分析項目	回分試験項目
最初沈殿池出口		コンポジット	※1	
反応タンク	後半好気ゾーン出口	コンポジット/ スポット	※2/ ※3	※5
返送汚泥		スポット	※4	

※1～※3 の分析項目詳細は、表資 3-3 に対応

表資 3-3 分析計画（試料毎の分析項目）

分析項目	※1	※2	※3	※4	※5
気温	○				
水温	○		○		
pH	○		○		
ORP	○		○		
DO	○		○		
T-BOD	○				
S-BOD	○	○			
SS	○				
MLSS			○	○	
NH <sub>4</sub> -N		○			
NO <sub>3</sub> -N		○			
NO <sub>2</sub> -N		○			
硝化速度					○



図資 3-3 採水場所（丸囲い「採」印の位置で採水）

なお、試料採取には、冷蔵機能付きオートサンプラーを使用し、試料の変性を防止した。

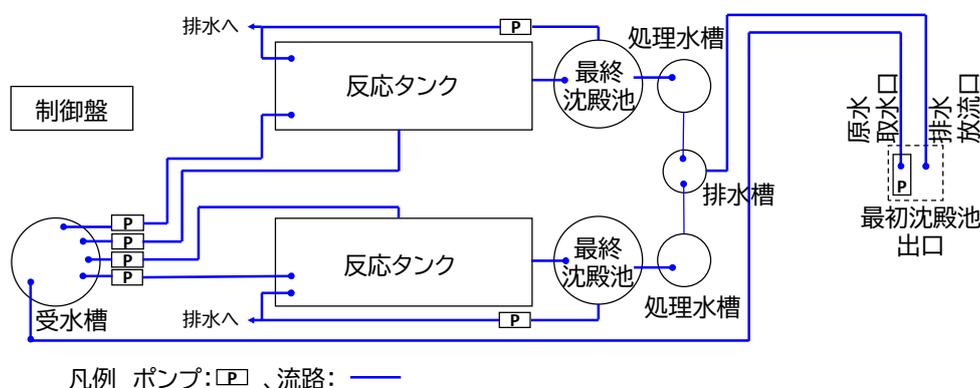
### 3.4 水質向上方法の検討方法

水質向上方法の検討のため、実施設を模擬した実験装置を用いて、本技術の単槽型硝化脱窒プロセスにおいてステップ流入を行った場合の脱窒ゾーンでの脱窒量の向上およびその時の処理水質の評価を行った。

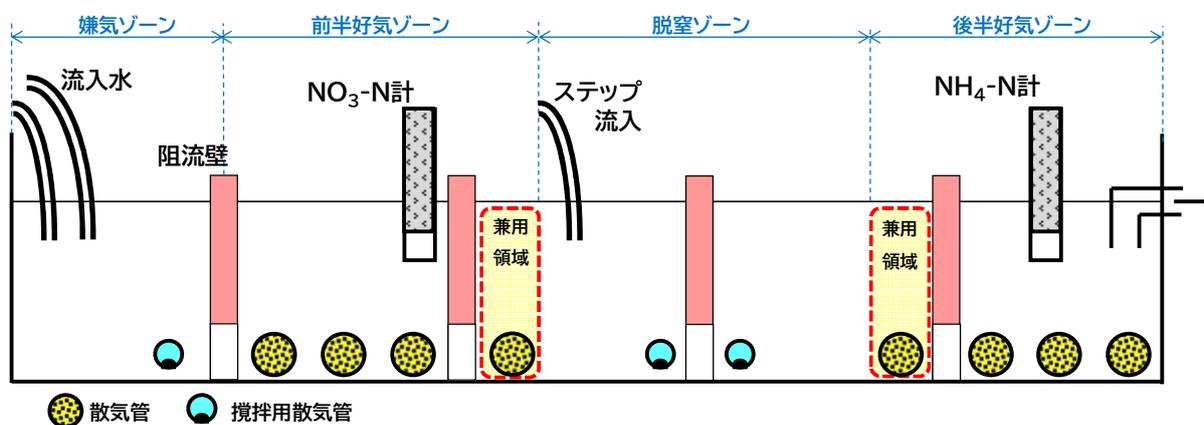
#### 1) 実験装置の概要

図資 3-4~3-6 と表資 3-4 に実験装置の概要を示す。実験装置は2セットの反応タンク、最終沈殿池およびその付帯設備から構成される。実証施設の1系最初沈殿池越流水を、受水槽を経て、ポンプ閉塞防止用フィルタを通して反応タンクへ流入させた。嫌気ゾーン及び脱窒ゾーンには攪拌用に孔径の大きい散気管、前半好気ゾーンおよび後半好気ゾーンには曝気用の散気管を設置した。ステップ流入の評価のため、ステップ流入用のポンプを設置し、受水槽から反応タンクの脱窒ゾーンの上流部へ流入させた。反応タンクを越流した水は円錐型の最終沈殿池において汚泥と処理水に分離され、最終沈殿池越流水は処理水槽を経て排水し、分離汚泥は反応タンクへ返送または余剰汚泥として引抜きを行った。

反応タンク内は、阻流壁の構造や散気装置の配置は実施設に準じ、嫌気ゾーンおよび脱窒ゾーンは多孔管により空気攪拌を行った。また、本実験装置においても実証施設同様に水質センサを用いた風量制御を行い、 $\text{NO}_3\text{-N}$  計を前半好気ゾーン、 $\text{NH}_4\text{-N}$  計を後半好気ゾーンに配置した。



図資 3-4 実験装置の配置概要図



図資 3-5 実験装置の反応タンク処理フロー概要図



図資 3-6 実験装置の外観

表資 3-4 実験装置の基本仕様

項目	実験装置仕様	(参考) 実証設備仕様
反応タンク	幅 0.4 m × 長 2.5 m × 有効水深 0.6 m 有効容積 0.6 m <sup>3</sup> × 2 池	幅 7.1 m × 長 67.5 m × 有効水深 6.0 m 有効容積 2,875 m <sup>3</sup> × 4 池
風量制御	反応タンク前段でタンク中間 NO <sub>3</sub> -N 計 (イオン選択電極式 (ISE 式)) の計測値 を目標設定値に維持  反応タンク後段でタンク末端 NH <sub>4</sub> -N 計 (ISE 式) の計測値を目標設定値に維持	反応タンク前段でタンク中間 NO <sub>x</sub> -N 計 (紫外線吸光度方式 (UV 式)) の計測値 を目標設定値に維持  反応タンク後段でタンク末端 NH <sub>4</sub> -N 計 (隔膜式) の計測値を目標設定値に維持
汚水の流入流量	流量一定	下水処理場への流入汚水量に応じて 一日の中で流量が変動

## 2) 実験装置の運転方法

本実験装置を用いて、令和5年3月28日～4月3日、令和6年1月10日～2月15日、5月15日～7月30日にかけて連続運転を行った。表資3-5に採水日と運転期間を示す。Run1は予備検討として、2系列ともステップ流入は行わずに運転した。その他の期間は、運転調整期間のうち、実験装置2セットのうち1セットにおいて評価期間の初日にステップ流入比が前半：後半＝1：1となるように運転を変更し評価を行った。

表資3-5 実験装置の運転条件

Run	運転調整期間	評価期間	採水調査日
1	令和5年3月28日～4月3日	-	4月3日
2	令和6年1月10日～2月4日	2月5日～15日（11日間）	2月15日
3	令和6年5月15日～6月12日	6月13日～26日（14日間）	6月26日
4	令和6年6月27日～7月17日	7月18日～30日（13日間）	7月30日

## 3) 分析計画

表資3-6、表資3-7に、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。採水調査は、令和6年1月14日～7月30日のうち表資3-5に示す採水調査日において、計3回実施した。採水は、採水調査日の朝8時ごろから流下時間を考慮して実施した。なお、反応タンク内の汚泥採取時は、採取後速やかにろ過操作を行い試料の変性を防止した。

表資3-6 分析計画（処理水質評価）

採取場所		採水方法	分析項目
最初沈殿池出口		スポット	※1
反応 タンク	嫌気ゾーン	スポット	※2
	前半好気ゾーン	スポット	※2
	脱窒ゾーン	スポット	※2
	後半好気ゾーン	スポット	※2
最終沈殿池出口		スポット	※1
返送汚泥		スポット	※3

※1～※3の分析項目詳細は、表資3-7に対応

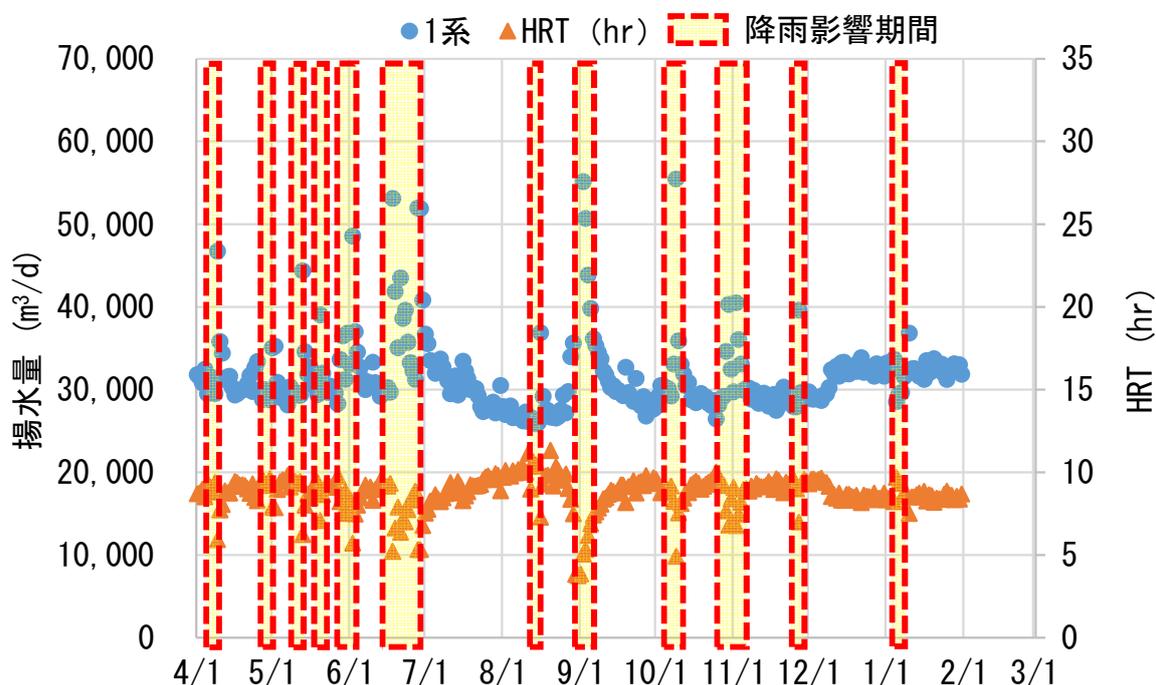
表資 3-7 分析計画（試料毎の分析項目）

分析項目	※1	※2	※3
水温	○	○	
SS	○		
MLSS		○	○
T-BOD	○		
S-BOD	○	○	○
ATU-BOD	○		
T-N	○		
NH <sub>4</sub> -N	○	○	○
NO <sub>3</sub> -N	○	○	○
NO <sub>2</sub> -N	○	○	○
T-P	○		
PO <sub>4</sub> -P	○	○	○
アルカリ度	○	○	

## 4 自主研究の成果

### 4.1 R6年度の対象系列の運転状況

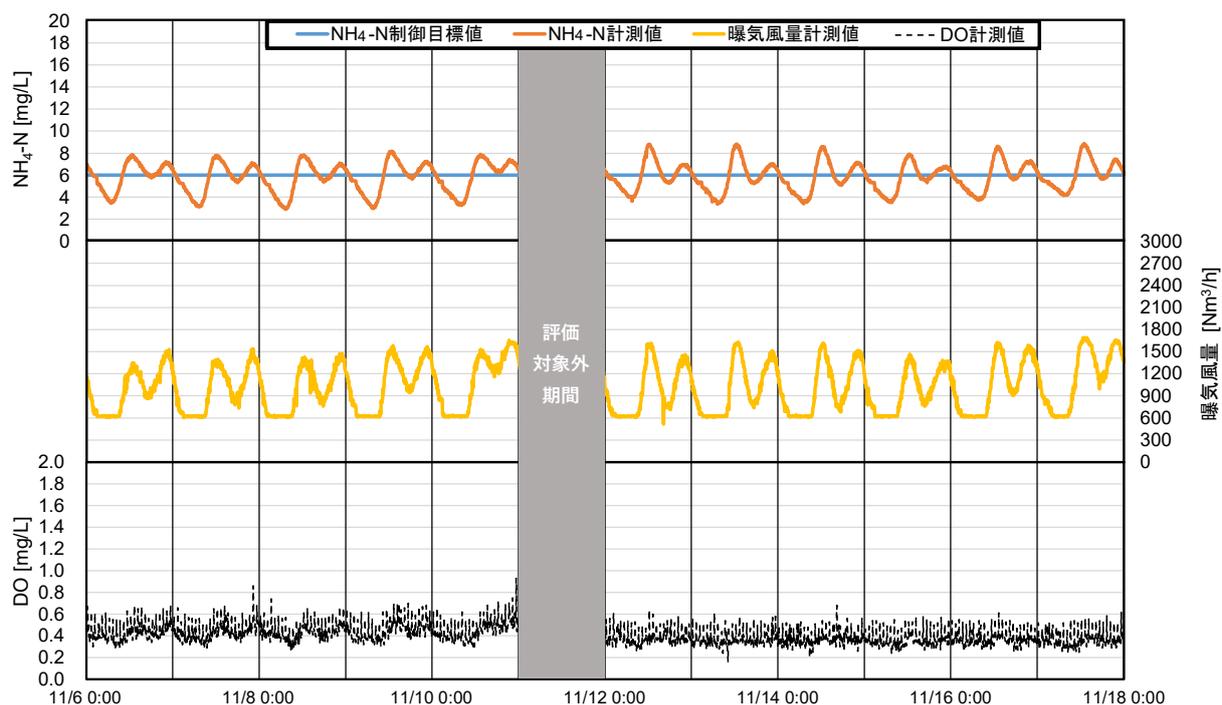
図資 4-1 に令和6年度（令和6年4月1日～令和7年1月31日）の成瀬クリーンセンター水処理系列のうち対象系列の流入汚水量の日間変動と HRT を示す。降雨の影響が大きかったと推定される期間（図中の塗潰し期間）を除くと、令和6年度の流入汚水量は平均 30,991 m<sup>3</sup>/日、HRT は平均 9.0 hr、SRT は 15.5 日であった。また、令和6年度の好気ゾーンにおける HRT (AHRT) は平均 5.1 hr、好氣的な SRT (ASRT) は平均 9.0 日、対象系列の反応タンクにおける MLSS は平均 1870 mg/L であった。



図資 4-1 対象系列の流入汚水量の日間変動（令和6年度）

### 4.2 NH<sub>4</sub>-N 制御の検証

図資 4-2 に、NH<sub>4</sub>-N 制御実施期間（令和6年11月5日～18日）における、同制御を実施した1池の NH<sub>4</sub>-N 計測値、風量、後半好気ゾーンに設置した DO 計の計測値を示す。なお、NH<sub>4</sub>-N 制御の開始およびゾーン変更を行った11月5日、11日を除いた期間を評価期間とした。評価期間における NH<sub>4</sub>-N 計測値は、制御目標である 6mg/L に対して、期間平均 5.9±1.3 mg/L（”±”以降は、標準偏差を示す）であった。その際の風量は1日の中で 516～1694 Nm<sup>3</sup>/hr の間で変動（期間平均 1013 Nm<sup>3</sup>/hr）し、日平均の送気倍率は 3.3±0.2 倍であった。また、後半好気ゾーンにおける DO 濃度は1日の中で 0.16～0.93 mg/L の間で変動し、期間平均の DO 濃度は 0.40±0.08 mg/L であった。評価期間における反応タンクの平均水温は 25.6±0.7℃、平均 SRT は 24.0±1.8 日、平均 ASRT は 17.0±2.7 日であった。



図資 4-2 NH<sub>4</sub>-N 制御実施期間における NH<sub>4</sub>-N 計測値、風量、DO 濃度の日間変動

表資 4-1 NH<sub>4</sub>-N 制御実施期間のうち採水日における流入水質および処理水質と MLSS 濃度 [mg/L]

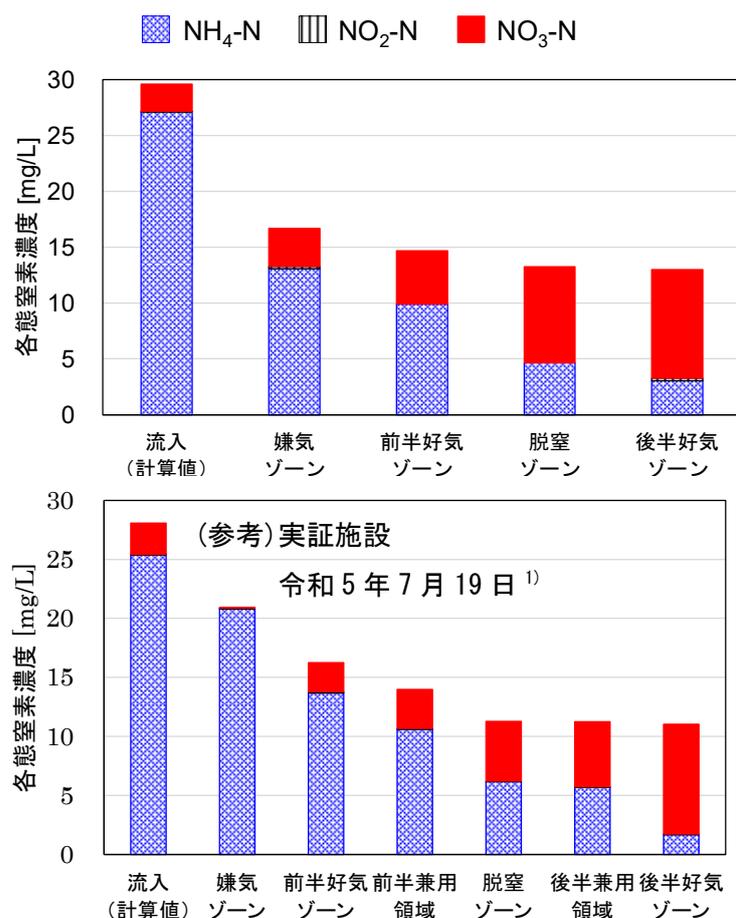
令和6年	最初沈殿池出口				反応タンク出口		
	BOD	S-BOD	T-N	NH <sub>4</sub> -N	S-BOD	NH <sub>4</sub> -N	MLSS
11月6日～7日	93	38	36.6	22.8	3	6.7	1780
11月12日～13日	121	54	35.7	22.4	<1	6.7	1800
11月18日～19日	102	46	38.2	25.6	<1	7.4	1850

表資 4-1 に、NH<sub>4</sub>-N 制御実施期間のうち採水実施日における最初沈殿池出口および反応タンク出口における水質および反応タンク内 MLSS 濃度の測定結果を示す。3 回の採水の結果より、反応タンク出口の NH<sub>4</sub>-N 濃度は 6.7～7.4 mg/L であり、概ね制御目標値（6 mg/L）通りに制御できていることが確認できた。また、反応タンク出口における S-BOD は 3 mg/L または測定下限である 1 mg/L 以下であり、NH<sub>4</sub>-N 制御を実施しても S-BOD が除去できていることが確認できた。反応タンク出口における NO<sub>2</sub>-N 濃度は、3 回の採水の平均は 0.02±0.01 mg/L であった。

以上から、約 2 週間の NH<sub>4</sub>-N 制御の運転検証を行った結果、評価期間における NH<sub>4</sub>-N 計測値は、制御目標である 6 mg/L に対して、期間平均 5.9±1.3 mg/L であり、その際の処理水質として S-BOD が除去できていることが確認できた。

### 4.3 水質向上方法の検討

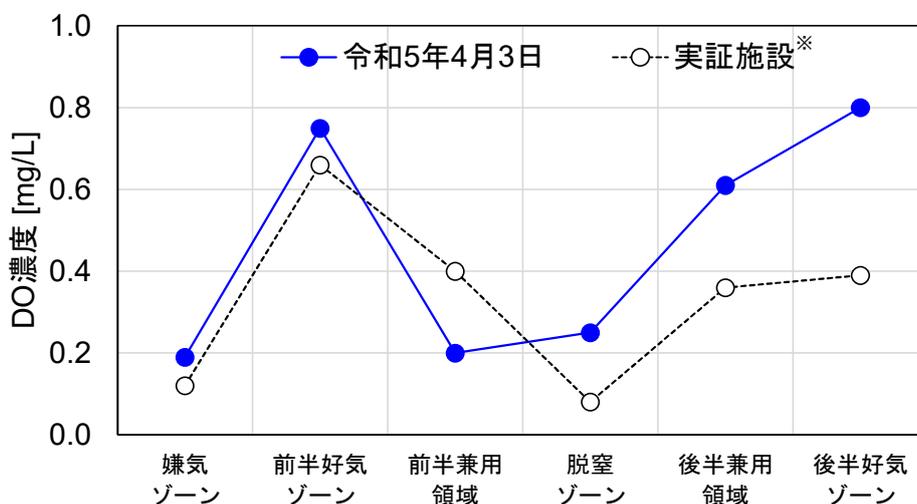
図資 4-3 に予備検討として採水を行った令和5年4月3日の実験装置の1系列における反応タンクの流下方向の各態窒素の測定結果を示す。なお、予備検討では HRT 10h、汚泥返送率 40%で運転を行った。また合わせて、令和5年度自主研究成果資料<sup>1)</sup>にて公表済みの実証施設における令和5年7月19日の流下方向の各態窒素の測定結果を示す。嫌気ゾーンにおいては、最初沈殿池越流水と返送汚泥中の NO<sub>3</sub>-N から算出した流入の NO<sub>3</sub>-N 濃度以上の各態窒素の減少が見られた。これは、本実験装置・実証施設ともに前半好気ゾーンから循環した NO<sub>3</sub>-N の脱窒が進行したものと考えられた。本実験装置では実証施設と比較して NO<sub>3</sub>-N が残留していた。前半好気ゾーンにおいては NH<sub>4</sub>-N の一部が硝化され NO<sub>3</sub>-N 濃度は 4.8 mg/L であり、既報の実証施設における前半好気ゾーンの NO<sub>3</sub>-N 濃度 2.5 mg/L と比較してやや高い値であった。その後、脱窒ゾーンにかけて脱窒が進行し、後半好気ゾーンにおいて NH<sub>4</sub>-N の硝化が進行していた (NH<sub>4</sub>-N 濃度 3.0 mg/L)。本傾向も実証施設における後半好気ゾーンの NH<sub>4</sub>-N 濃度 1.7 mg/L と比較してやや高い値であった。最初沈殿池越流水に対する反応タンクでの総無機態窒素 (NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N の合計、以下 TIN) の除去率は、実証施設では約 61%であったのに対し、本実験装置では約 56%と低かった。



図資 4-3 ゾーン毎の無機態窒素濃度 (採水日：令和5年4月3日)

図資 4-4 に令和5年4月3日のゾーン毎のスポットでの DO 濃度の測定結果、実証施設における令和5年7月19日のゾーン毎のスポットでの DO 濃度の測定結果<sup>1)</sup>を示す。反応タンク内の平均 DO 濃度は、実験装置で約 0.47 mg/L、実証施設で約 0.34 mg/L であり、ゾーン毎での DO の増減傾向は類似していた。

以上から、本検討で用いた実験装置と実証施設では、反応タンク内各ゾーンでの DO の増減傾向が類似し、特に TIN の減少が大きい前半好気ゾーンから脱窒ゾーンにかけての DO 濃度が同等であり、各ゾーンにおいて硝化及び脱窒反応は同様に進行すると考えられた。本予備検討結果を踏まえ、本実験装置を用いてステップ流入を行った場合の脱窒ゾーンでの脱窒量の影響について検討を行った。



図資 4-4 ゾーン毎の DO 濃度（採水日：令和5年4月3日）

※実証施設は令和5年7月19日のデータ<sup>1)</sup>

表資 4-2 に採水調査日（令和6年2月15日、6月26日、7月30日）におけるステップ流入無、ステップ流入有の運転条件における流入水質と処理水質を示す。採水調査を行った3日間において、ステップ流入無では平均 T-N 除去率 57%であったのに対して、ステップ流入有では平均 T-N 除去率約 73%と高かった。S-T-N の除去率についても同様の傾向であった。以上から、単槽型硝化脱窒プロセスにおいて、ステップ流入の効果によって脱窒ゾーンでの脱窒量が増加し、窒素除去効率が向上することが示唆された。

表資 4-2 採水日における流入水質と処理水質

a) ステップ流入無

採水日	BOD			S-BOD			T-N			S-T-N			NH <sub>4</sub> -N+NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N+			T-P			PO <sub>4</sub> -P		
	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %									
令和6年2月15日	89	8	91	32	1	97	48.0	17.8	63	38.1	15.3	60	27.2	11.9	56	4.97	1.48	70	2.98	1.03	65
令和6年6月26日	60	6	90	19	1	95	28.8	13.2	54	24.8	12.3	50	21.6	9.4	57	3.06	0.74	76	1.91	0.63	67
令和6年7月30日	104	18	83	48	2	96	37.4	17.0	55	33.6	15.7	53	29.7	13.2	56	3.88	0.54	86	3.01	0.06	98
平均 (n=3)			88			96			57			55			56			77			77

b) ステップ流入有

採水日	BOD			S-BOD			T-N			S-T-N			NH <sub>4</sub> -N+NO <sub>2</sub> -N+NO <sub>3</sub> -N+			T-P			PO <sub>4</sub> -P		
	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %	反応槽流入 mg/L	終沈 mg/L	除去率 %									
令和6年2月15日	89	10	89	37	1	97	51.1	13.3	74	42.6	12.8	70	29.3	9.6	67	4.75	0.77	84	3.13	0.50	84
令和6年6月26日	64	6	91	18	2	89	31.0	8.5	73	25.7	8.4	67	21.5	5.9	73	3.10	2.16	30	1.94	1.93	1
令和6年7月30日	100	5	95	37	1	97	38.6	10.2	74	33.7	10.1	70	29.4	8.2	72	3.94	1.15	71	3.03	1.02	66
平均値 (n=3)			91			94			73			69			71			62			50

表資 4-3 に採水調査日における実験装置の反応タンクの運転条件を示す。前半風量制御における NO<sub>x</sub>-N 計の制御目標値は 4 mg/L、後半風量制御における NH<sub>4</sub>-N 計の制御目標値は 2 mg/L としたのに対して、ステップ流入無では NO<sub>x</sub>-N 計の計測値日平均は 3.8~4.2 mg/L、NH<sub>4</sub>-N 計の計測値日平均は 1.9 mg/L であった。ステップ流入有では NO<sub>x</sub>-N 計の計測値日平均は 3.3~4.2 mg/L、NH<sub>4</sub>-N 計の計測値日平均は 1.4~1.9 mg/L であった。ステップ流入有の結果のうち、令和6年2月15日、令和6年7月30日の前半風量制御、令和6年7月30日の後半風量制御については、それぞれ風量が設備上限に到達していた。

表資 4-3 採水日における実験装置の運転条件と水質計器計測値

a) ステップ流入無

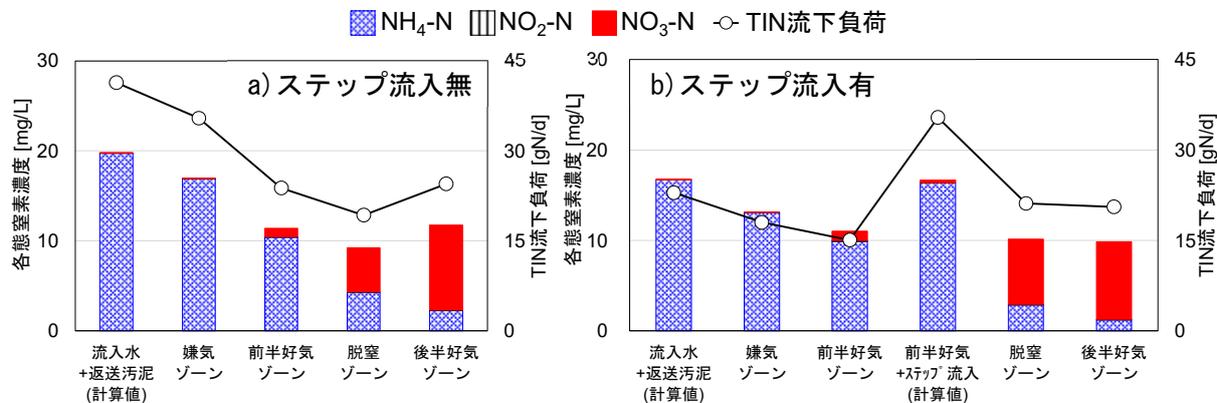
b) ステップ流入有

採水日	反応槽	HRT	ステップ 流入比	汚泥 返送率	反応槽	NO <sub>x</sub> -N計	NH <sub>4</sub> -N計	採水日	反応槽	平均 HRT	ステップ 流入比	汚泥 返送率	反応槽	NO <sub>x</sub> -N計	NH <sub>4</sub> -N計
	水温 ℃				末端 MLSS	計測値 日平均	計測値 日平均		水温 ℃				末端 MLSS	計測値 日平均	計測値 日平均
令和6年2月15日	19.0	10.0	-	45	3000	3.8	1.9	令和6年2月15日	18.7	10.0	5:5	45	2920	3.3	1.9
令和6年6月26日	27.4	10.0	-	40	2630	4.2	1.9	令和6年6月26日	27.6	10.0	5:5	40	2550	4.2	1.4
令和6年7月30日	31.4	10.0	-	40	2150	4.2	1.9	令和6年7月30日	31.7	10.0	5:5	40	2300	3.5	1.9

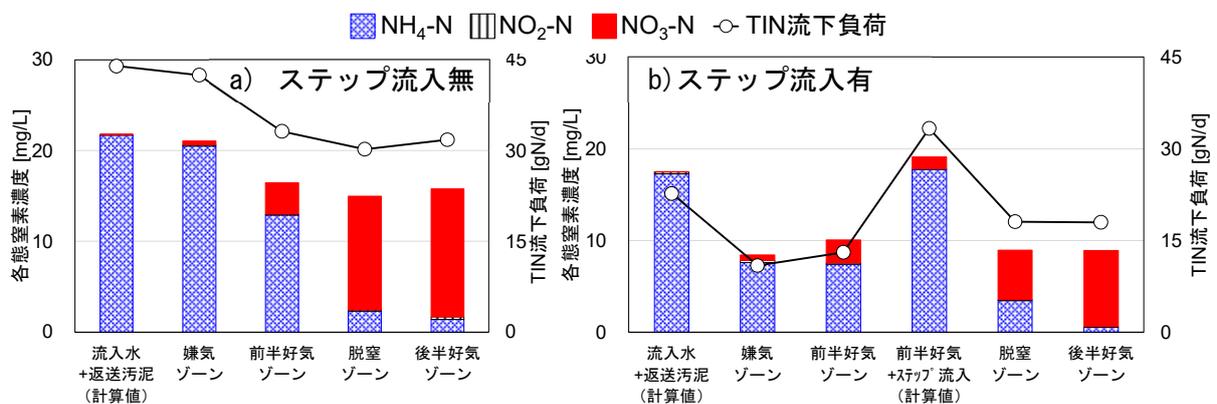
図資4-5、4-6に採水調査日のうち、代表として令和6年2月15日、7月30日における実験装置反応タンクの流下方向に沿った各態窒素の測定結果およびTINの流下負荷を示す。反応タンク流入部の各態窒素は最初沈殿池越流水と返送汚泥中の各態窒素から、ステップ流入部の各態窒素は前半好気ゾーンと最初沈殿池越流水の各態窒素から算出した。

令和6年2月15日、7月30日における反応タンク流入部の各態窒素の流下負荷は、ステップ流入無では41、44 gN/dであったのに対し、ステップ流入有では23、23 gN/dであった。一方で、ステップ流入部での各態窒素の流下負荷は35、33 gN/dであった。令和6年2月15日の後半好気ゾーンのTINは、ステップ流入無で11.7 mg/L、ステップ流入有で9.9 mg/Lであり、ステップ流入有の方が反応タンク末端におけるTINが小さくなった。令和6年7月30日の後半好気ゾーンのTINについても同様の傾向であり、ステップ流入無で15.8 mg/L、ステップ流入有で8.9 mg/Lであった。前半好気ゾーンから後半好気ゾーンにかけての各態窒素の流下負荷の減少量は、ステップ流入無では0、1 gN/dであったのに対し、ステップ流入有では15、13 gN/dと高くなった。また、反応タンク全体での各態窒素の流下負荷の減少量は、ステップ流入無では17、12 gN/dであったのに対し、ステップ流入有では23、25 gN/dと増加した。

以上から、ステップ流入によってTINの流下負荷が分散されたこと、またステップ流入によって前半好気ゾーン以降のTIN濃度が減少し、反応タンク全体でTIN減少量が増加したことが確認できた。



図資4-5 ゾーン毎の無機態窒素濃度（冬季、採水日：令和6年2月15日）



図資4-6 ゾーン毎の無機態窒素濃度（夏季、採水日：令和6年7月30日）

4.4 まとめ

表資 4-4 に評価項目の成果の概要を再掲する。

表資 4-4 自主研究成果まとめ（再掲）

実施項目	目的	研究成果
NH <sub>4</sub> -N 制御の検証	本技術の適用範囲拡大	約 2 週間の運転の結果、後段 NH <sub>4</sub> -N 計測値は制御目標値 6 mg/L に対して、平均 5.9±1.3 mg/L であった
水質向上方法の検討	更なる窒素除去能力の向上（ステップ流入効果の検証）	ステップ流入により窒素除去率が向上することが示された

<今後の課題>

表資 4-5 に記載の自主研究項目について、既報の研究成果を踏まえ、以下の課題解決に向け研究を継続する。

- 本技術におけるステップ流入効果の定量的な評価
- 本技術の溶存態も含めた N<sub>2</sub>O 排出量の評価、N<sub>2</sub>O 生成メカニズムの検討
- 前半好気ゾーンにおける脱窒量の算出方法および兼用領域（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）
- 複数池一括制御の導入手法および長期安定運転に関する検討

表資 4-5 自主研究実施項目一覧（再掲）（★：自主研究資料として報告）

実施項目	目的	R3 年度	R4	R5	R6
短 HRT の検証	建設コストのさらなる削減	—————	★		
複数池一括制御の検証	建設コスト、維持管理コストのさらなる削減	—————		★	
水処理メカニズムの追加検証	本技術の設計方法見直しに反映	—————		★	
水質向上方法の検討	更なる窒素除去能力の向上		—————		★
N <sub>2</sub> O 排出量の調査	本技術の N <sub>2</sub> O 排出量を把握			—————	★
NH <sub>4</sub> -N 制御の検証	本技術の適用拡大				—————

#### 4.5 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所, B-DASH プロジェクト No.38 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導入ガイドライン (案), 2022.
- 2) 令和 5 年度自主研究成果資料, 2024.

## 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 03-6892-2021 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>