

ISSN 1346-7328

国総研資料 第1190号

令和4年3月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1190

March 2022

## 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)

下水道研究部下水処理研究室

B-DASH Project No.38

Guideline for introducing advanced treatment technology by controlling single tank

nitrification denitrification process with ICT and AI

Wastewater and Sludge Management Division

Water Quality Control Department

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

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)

下水道研究部 下水処理研究室

B-DASH Project No.38

Guideline for introducing demonstration of advanced treatment technology by controlling single tank nitrification denitrification process with ICT and AI

Wastewater and Sludge Management Division

Water Quality Control Department

概要

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー・創エネルギー効果の増大に寄与するため、下水道革新的技術の一つである「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」について、下水道事業者が導入検討する際に参考にできる資料として策定したものである。

キーワード : ICT, AI, 風量制御, 高度処理

Synopsis

This Guideline for introducing advanced treatment technology by controlling single tank nitrification denitrification process with ICT and AI, which is one of innovative sewage technologies, is designed to promote significant cost reduction as well as energy saving and generation, and to serve as a reference for sewage works administrators.

Key Words : ICT(Information and Communication Technology), AI(Artificial intelligence), Air flow rate control, Advanced wastewater treatment

## 執筆担当者一覧

国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室	室長	田嶋 淳
国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室	主任研究官	岩渕 光生
国土技術政策総合研究所下水道研究部下水処理研究室	研究官	藤井 都弥子

## はじめに

我が国の下水道は、国民生活に不可欠な社会資本として、80.1%（令和2年度末下水道処理人口普及率）まで普及が進んできており、水洗トイレが普及するとともに川や海の水質の改善につながっている。その一方で、窒素やリンの除去を目的とした高度処理については、標準活性汚泥法と比較してより大きな処理設備を必要とすること、処理に伴う電力消費量が増加することなどから、令和元年度末の時点で56.3%の普及率にとどまっている。

我が国の下水処理場は施設の老朽化や人口減少に伴う施設稼働率の低下が課題となっており、効率的な施設更新の必要性が高まっている。また、下水道事業は、下水や汚泥の処理に伴い温室効果ガスが排出されるため、地方公共団体の事業の中でも大きな温室効果ガス排出源となっていることから、今後、地球温暖化防止に向けた取り組みを進める上で、その削減も急務となっている。こうした様々な課題を開発するため、必要な処理水質を確保しつつもエネルギー消費の抑制や効率的な施設更新につながる新たな技術の開発が求められている。

国土交通省下水道部では、優れた革新的技術の実証、普及により下水道事業におけるコスト縮減や再生可能エネルギー等の創出を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、「下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト※）」を平成23年度から開始し、国土技術政策総合研究所下水道研究部が実証研究の実施機関となっている。さらに、新技術導入に慎重な自治体にも実証技術の導入検討を簡便に実施できるようにガイドライン化を実施している。

本ガイドライン「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）」で示す技術は、ICT、AIを活用して負荷変動にあわせた最適な反応タンク送風量をリアルタイムで演算し、送風機の吐出圧力を制御することによって従来の高度処理法よりエネルギー消費を抑えるとともに、短い滞留時間で従来の高度処理法と同程度の水質を確保する技術である。また、あわせて季節などによって変化する負荷に応じて演算パラメータを自動でチューニングすることによって、運転管理担当者の負担を軽減することをねらっている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（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 受託者：メタウォーター・日本下水道事業団・町田市共同研究体 実施期間：令和元年度～令和2年度）において実施した成果を踏まえ、下水道事業者が革新的技術の導入を検討する際に参考にできる資料として策定したものであり、これらの優れた技術が全国そして海外にも普及されることを強く願うものである。

技術選定から実証研究施設の設置、実運転による実証を踏まえたガイドラインの策定までを2年間という短期間でまとめるにあたり、大変なご尽力をいただいた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、およびガイドラインに対する意見聴取にご協力いただいた下水道事業者の各位をはじめ、実証研究に精力的に取り組まれた研究体各位等全ての関係者に深く感謝申し上げます。

※B-DASH プロジェクト：Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

## 目 次

### 第 1 章 総 則

#### 第 1 節 目 的

§ 1 目 的	1
---------	---

#### 第 2 節 ガイドラインの適用範囲

§ 2 ガイドラインの適用範囲	3
-----------------	---

#### 第 3 節 ガイドラインの構成

§ 3 ガイドラインの構成	4
---------------	---

#### 第 4 節 用語の定義

§ 4 用語の定義	6
-----------	---

### 第 2 章 技術の概要と評価

#### 第 1 節 技術の概要

§ 5 技術の目的	9
-----------	---

§ 6 技術の構成と機能	10
--------------	----

§ 7 技術の特徴	16
-----------	----

§ 8 技術の適用条件	21
-------------	----

§ 9 導入シナリオ	25
------------	----

#### 第 2 節 実証研究に基づく評価の概要

§ 10 技術の評価項目	28
--------------	----

§ 11 技術の評価結果	30
--------------	----

### 第 3 章 導入検討

#### 第 1 節 導入検討手法

§ 12 導入検討手順	40
-------------	----

§ 13 基礎調査	41
-----------	----

§ 14 導入効果の検討	42
--------------	----

§ 15 導入判断	48
-----------	----

第2節 導入効果の検討例	49
--------------	----

## 第4章 計画・設計

### 第1節 導入計画

§ 16 計画の手順	60
§ 17 基本事項の把握	61
§ 18 設計基本計算	62
§ 19 設計水量、設計水質、設計水温	64
§ 20 最初沈殿池	65
§ 21 汚泥返送比	66
§ 22 MLSS 濃度	67
§ 23 必要 ASRT	68
§ 24 BOD-SS 負荷	69
§ 25 嫌気ゾーン容量	70
§ 26 総好気ゾーン容量	71
§ 27 反応タンク容量	72
§ 28 脱窒ゾーン容量の設定	73
§ 29 脱窒ゾーン位置の設定	74
§ 30 兼用領域の設定	75
§ 31 脱窒ゾーンと兼用領域の脱窒速度を算出	76
§ 32 兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量を算出	77
§ 33 兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量が必要脱窒量を上回っているか確認	79
§ 34 りん除去量の算出	81
§ 35 必要風量の算出	83
§ 36 最終沈殿池	89
§ 37 設備計画の検討	90
§ 38 導入効果の検証	91

### 第2節 設備設計

§ 39 本技術の設備設計の考え方	92
§ 40 設備設計	93
§ 41 留意事項	98

## 第5章 維持管理

### 第1節 システム全体としての管理

§ 42 システム全体としての管理の要点 .....	100
----------------------------	-----

### 第2節 運転管理

§ 43 運転管理（単槽型硝化脱窒プロセス） .....	102
§ 44 運転管理（負荷変動追従型送風ユニット） .....	105
§ 45 環境対策 .....	106
§ 46 水質管理 .....	107

### 第3節 保守点検

§ 47 保守点検 .....	108
-----------------	-----

### 第4節 異常時の対応と対策

§ 48 異常時の対応と対策 .....	110
----------------------	-----

参考文献 .....	112
------------	-----

## 資料編

1. 実証研究結果 .....	115
2. ケーススタディ .....	155
3. 送風電力の削減 .....	167
4. 問い合わせ先 .....	171

# 第1章 総 則

## 第1節 目 的

### §1 目 的

本ガイドラインは、下水道事業における大幅なコスト縮減や省エネルギー化に寄与するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の革新的技術の1つである「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」（以下、「本技術」という）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の概要、導入検討、計画・設計および維持管理等に関する技術的事項について明らかにし、もって導入の促進に資することを目的とする。

### 【解 説】

下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）は、新技術の研究開発および実用化を加速することにより、下水道事業における大幅な省エネルギー・創エネルギー効果やコスト縮減を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、国土交通省が実施しているものである。

B-DASH プロジェクト全体の概要は、図 1-1 に示すとおりである。各実証事業においては、国土技術政策総合研究所からの委託研究として、実証研究を実施している。

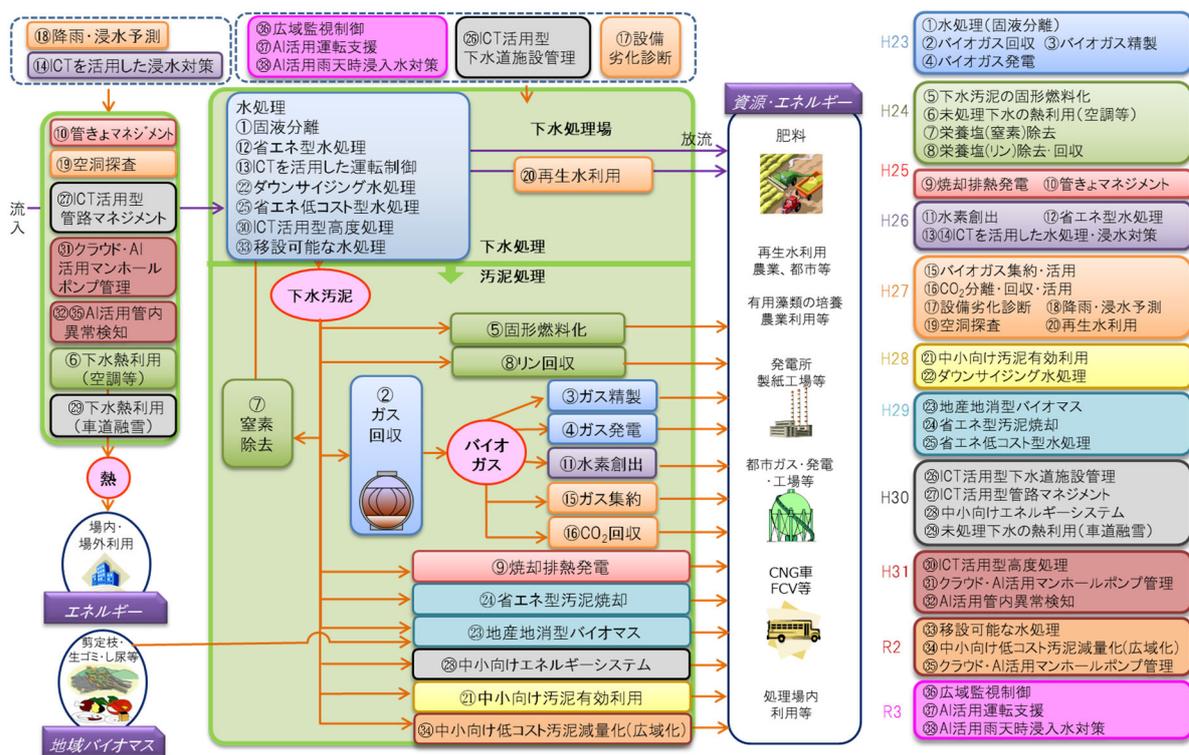


図 1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

本技術は、ICT・AIを活用して従来の高度処理より大幅にコスト、エネルギーの削減を図る革新的技術であり、実証研究のとりまとめにあたっては、専門的知識を有する有識者および実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取したうえで、学識経験者で構成される「下水道革新的技術実証事業評価委員会」（以下、評価委員会とする。詳細は <http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>）の評価を受け、十分な成果が得られたと評価された。本ガイドラインは、下水道事業における大幅な省エネルギー化やコスト削減を実現するため、評価委員会で評価された本技術の実証研究の成果を踏まえ、本技術の導入の促進に資することを目的として、国土技術政策総合研究所において策定するものである。このため、本ガイドラインでは、地方公共団体等の下水道事業者が本技術の導入を検討する際に参考にできるように、技術の機能等を明示し、技術の普及展開を図るための事項についてとりまとめている。

なお、本ガイドラインについても、実証研究の成果と同様に、専門的知識を有する有識者および実務に精通した地方公共団体の下水道事業者より意見を聴取のうえ、評価委員会の評価を受け、了承されたものである。

## 第2節 ガイドラインの適用範囲

### §2 ガイドラインの適用範囲

本ガイドラインは、下水道施設を対象とした本技術の導入検討、計画・設計および維持管理に適用する。

#### 【解説】

本ガイドラインは、主として既存の下水道施設・設備の更新に際して、本技術の導入を促進することを目的として、本技術の導入検討、計画・設計、維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。ただし、本技術は、下水道施設の新・増設に際しても適用可能であり、新・増設における本ガイドラインの適用を妨げるものではない。

本ガイドラインは、地方公共団体等の下水道事業者および関連する民間企業等に利用されることを想定して策定している。

## 第3節 ガイドラインの構成

### §3 ガイドラインの構成

本ガイドラインは、総則、技術の概要と評価、導入検討、計画・設計、維持管理および資料編から構成される。

#### 【解説】

本ガイドラインの構成を図1-2に、各章の概要を以下に示す。

#### (1) 第1章 総則

目的、ガイドラインの適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について示す。

#### (2) 第2章 技術の概要と評価

本技術の目的、概要、特徴、適用条件について、一般的な高度処理法である嫌気無酸素好気法との違いを踏まえて整理した上で、既設への導入時のシナリオとして3ケースを記載している。第2節では、実証研究で得られた成果に基づく本技術の評価結果を掲載している。

#### (3) 第3章 導入検討

本技術の導入を検討する際に必要な手順、手法を示すとともに、第2節では、導入効果の検討例を記載している。

#### (4) 第4章 計画・設計

導入検討の結果として、本技術の導入効果が期待できると判断された場合に、導入に向けてより具体的に実施設計を進めるための検討手順、調査方法、施設設計の考え方および容量計算手法等について記載している。

#### (5) 第5章 維持管理

本技術を導入した場合において、下水道管理者等が実施すべき維持管理の具体的方法について記載している。

資料編では、本技術の実証研究結果、ケーススタディ結果、問い合わせ先等に関する資料を記載している。

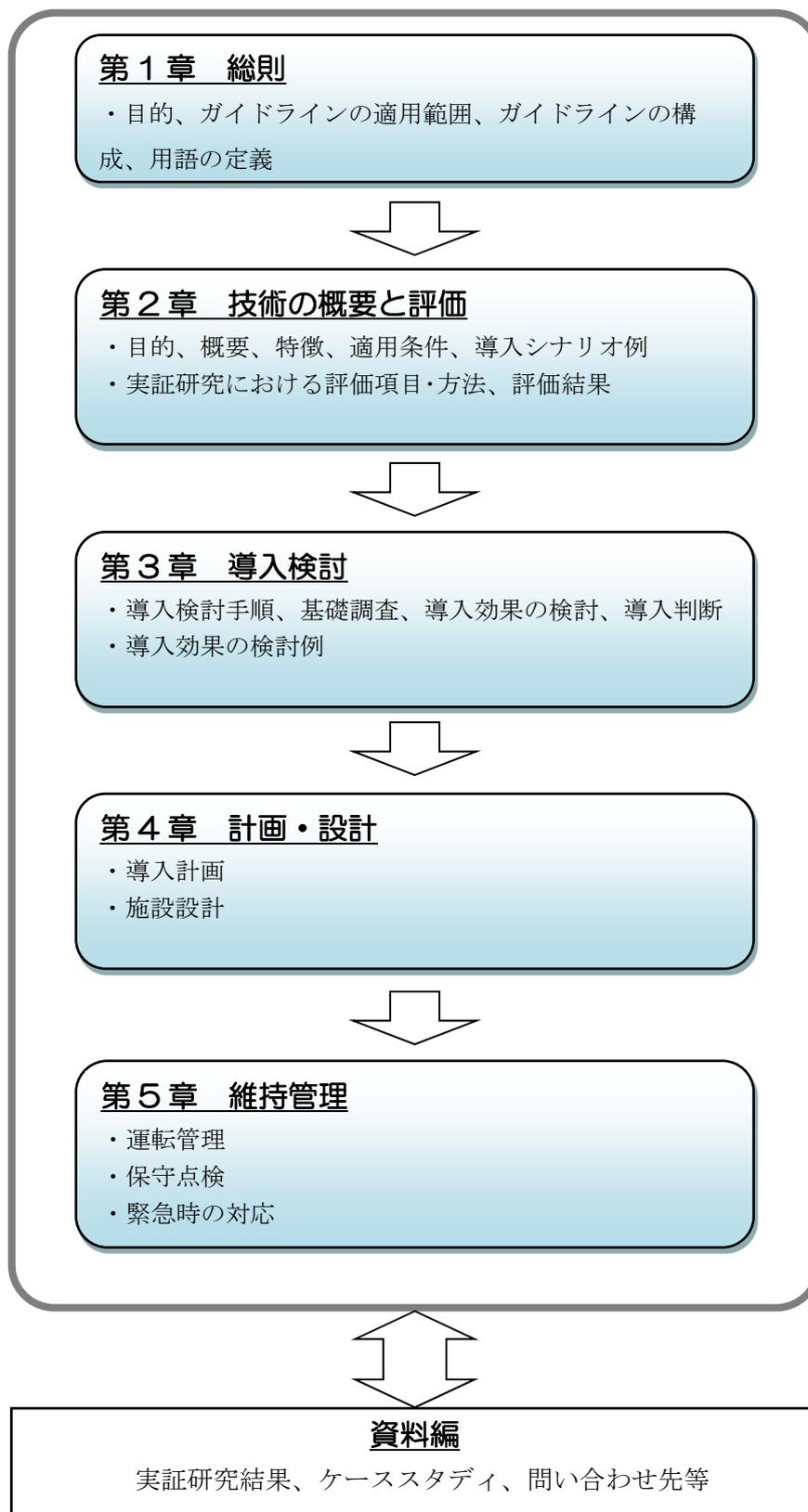


図 1-2 本ガイドラインの構成

## 第4節 用語の定義

### §4 用語の定義

本ガイドラインの中で取り扱う用語は以下のとおり定義する。なお、下水道施設の基本的な用語に関しては「下水道施設計画・設計指針と解説 2019年版」(社団法人日本下水道協会)<sup>1)</sup>、「下水道用語集 2000年版」(社団法人日本下水道協会)<sup>2)</sup>に準拠する。

#### (1) ICT

情報通信技術 (Information and Communication Technology) の略称。情報処理および情報通信、情報伝達技術に関連する諸分野における技術・産業・設備・サービス等の総称。

#### (2) AI

人工知能 (Artificial Intelligence) の略称。ディープラーニングを始めとした機械学習等の手法により、言語の理解や推論、問題解決等、人間の思考プロセスと同じように動作するプログラムや情報処理・技術の総称。

#### (3) 水質センサー

水中に浸漬させる等し、対象水中の水質を連続的に計測する計測器のこと。本技術では、NO<sub>x</sub>-N 計および NH<sub>4</sub>-N 計を使用する。

#### (4) 統合演算制御システム

本技術の要素技術の一つであり、AI を搭載し、ICT により監視制御システムと通信することで、負荷変動に応じた反応タンクの必要風量や送風機の吐出圧力の演算を行う。

#### (5) 単槽型硝化脱窒プロセス

本技術の要素技術の一つであり、統合演算制御システムで演算された必要風量で風量制御することにより、循環ポンプや攪拌機を用いずに、従来の高度処理法 (A2O 法) よりも短い HRT で同等の処理水質を達成する。

#### (6) 負荷変動追従型送風ユニット

本技術の要素技術の一つであり、統合演算制御システムで演算された最適吐出圧力で送風機を運転することで、反応タンクの流入負荷変動に対して最適かつ効率的に必要な空気を供給する。

#### (7) 嫌気ゾーン

本技術において、A2O 法と同様に、嫌気条件下におけるりん放出を目的として反応タンク上流端に設ける。

(8) 前半好気ゾーン

嫌気ゾーンの後段に設け、BOD 酸化、硝化、りん再摂取を担う。また、後段の脱窒ゾーンで脱窒するための  $\text{NO}_x\text{-N}$  を生成する。

(9) 脱窒ゾーン

散気装置のライザー弁開度を絞り、制限曝気領域を形成して脱窒ゾーンとする。本技術においては、前半好気ゾーンにて生成した  $\text{NO}_x\text{-N}$  の脱窒を担う。

(10) 兼用領域

脱窒ゾーンと隣接する好気ゾーン（脱窒ゾーンと好気ゾーンの間に阻流壁や隔壁が存在する場合には、形成されない）に形成される、DO 濃度が  $0.5 \text{ mg/L}$  以下の領域を指す。本領域内では、硝化と脱窒の両反応が進行する。

(11) 後半好気ゾーン

脱窒ゾーンの後段に設け、反応タンク末端での完全硝化、BOD 酸化、りん再摂取を担う。

(12)  $\text{NO}_x\text{-N}$  計

水中の亜硝酸性窒素 ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ) と硝酸性窒素 ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) の濃度を計測し、合算値を  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度として出力する計測器のこと。本技術においては、前半好気ゾーン下流部の  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度の目標値を、脱窒ゾーンにて脱窒させるための  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度と設定し、前半好気ゾーンの風量を制御する。

(13)  $\text{NH}_4\text{-N}$  計

水中のアンモニア性窒素 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) の濃度を計測する計測器のこと。本技術において、後半好気ゾーン下流部 ( $\text{NH}_4\text{-N}$  計測値が  $1 \text{ mg/L}$  以上となる位置) に設置し、 $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度の目標値を設定し、後半好気ゾーンの末端にて完全硝化が達成されるように風量を制御する。

(14) 制御量

制御したい量のこと。本技術における風量制御の制御量は、反応タンクの前半好気ゾーン下流部の  $\text{NO}_x\text{-N}$  計と後半好気ゾーン下流部の  $\text{NH}_4\text{-N}$  計の計測値である。

(15) 操作量

制御量を目標値に追従させるために、制御対象を操作する量あるいは制御対象に入力する量のこと。本技術における風量制御の操作量は、反応タンクの前半風量と後半風量である。

(16) 演算パラメータ

統合演算制御システムの反応タンクの風量制御における制御量、操作量、流入水量等の

過去データから、現在設定すべき操作量（風量設定値）を演算する際に用いるパラメータのこと。

**(17) 制御性能**

目標値の付近に制御量を維持する性能。本技術の風量制御においては、反応タンクの前半好気ゾーンの  $\text{NO}_x\text{-N}$  計と後半好気ゾーンの  $\text{NH}_4\text{-N}$  計の計測値を目標値の付近に維持する性能。

**(18) 演算パラメータ自動チューニング**

統合演算制御システムにおいて、風量制御の制御性能が損なわれた際に、それを自動検知し、演算パラメータの再計算と更新を行う機能。

**(19) PID 制御**

制御工学におけるフィードバック制御の一種であり、**P: Proportional**（比例）、**I: Integral**（積分）、**D: Differential**（微分）の3つを組み合わせる技術。本技術の風量制御において、統合演算制御システムにて反応タンクの前半風量と後半風量の設定値を演算し、風量調節弁にて風量計の計測値を制御量、風量調節弁開度を操作量として **PID** 制御を行う。

**(20) 圧力一定制御**

送風機設備において一般的に実施される制御形態の一種。圧力計を送風本管等に設置し、圧力目標値を設定し、圧力計測値を制御量、送風機吸込風量等を操作量として **PID** 制御を行う。

**(21) 圧力可変制御**

負荷変動追従型送風ユニットにおいて用いる制御形態。統合演算制御システムにて演算される風量設定値から、最適吐出圧力を演算し、圧力 **PID** 制御の圧力設定値に使用する。

## 第2章 技術の概要と評価

### 第1節 技術の概要

#### §5 技術の目的

本技術「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」は、従来の高度処理法（本ガイドラインでは嫌気無酸素好気法（以下、A2O 法）を比較対象とする）よりも短い HRT および少ない運転電力量で A2O 法と同等の処理水質を達成するとともに、維持管理業務負担の軽減を実現することを目的とする。

#### 【解説】

##### （1）本技術の背景

我が国では人口減少に伴う処理水量の減少により下水道使用料金の大幅な減収や施設稼働率低下が見込まれている。そのため、水量減少に応じた施設規模の縮小や複数処理区の統廃合等、今後、地域の汚水処理システムの最適化を一層進めることが必要となると想定される。また、地球環境問題への対応や循環型社会への貢献から下水道施設における省エネルギー対策等が求められている等、安全で持続的な下水道事業としていくための新たな投資需要が増大している。

更に、閉鎖性水域の水質改善を実現するためには高度処理を導入する必要があるが、建設費・維持管理費共に標準活性汚泥法に比べて高コストであり導入が進み難い現状があるため、従来法と比べて低コストな高度処理技術が求められている。

##### （2）本技術の目的

本技術は、標準法からの高度処理化や既設高度処理施設の改築、統廃合に伴う能力増強の際、従来の高度処理法よりも短い HRT および少ない運転電力量で A2O 法と同等の処理水質を達成するとともに、維持管理業務負担の軽減を実現することを目的としている。

## §6 技術の構成と機能

本技術は、ICT・AI を活用した風量制御により、短い HRT（A2O 法比 20%以上削減）で A2O 法と同等の処理水質を達成する高度処理技術である。

また、A2O 法で必要な攪拌機と循環ポンプを不要とし、かつ反応タンクの必要風量に応じて送風機吐出圧力を制御することで、大幅な電力削減（A2O 法比 20%以上削減）および維持管理業務負担の軽減を実現する。

### （1）本技術の構成

本技術は以下の3点の要素技術より構成される。なお、要素技術1と2のみを導入し、高度処理水質と部分的な水処理電力削減を実現することも可能である。

- 1) 要素技術1：統合演算制御システム
- 2) 要素技術2：単槽型硝化脱窒プロセス
- 3) 要素技術3：負荷変動追従型送風ユニット

### （2）本技術の機能

- 1) 要素技術1：統合演算制御システム
  - ・風量演算機能、圧力演算機能、演算パラメータ自動チューニング機能
- 2) 要素技術2：単槽型硝化脱窒プロセス
  - ・従来の高度処理法に比べて短い HRT で同等の処理水質を達成する機能
- 3) 要素技術3：負荷変動追従型送風ユニット
  - ・必要風量に応じた最適吐出圧力を圧力設定値に用いる圧力可変制御機能

## 【解説】

### （1）本技術の構成

本技術の概念図を図 2-1 に示す。本技術は以下の3つの要素技術により構成される。なお、要素技術1と2のみを導入し、高度処理水質と部分的な水処理電力削減を実現することも可能である。

#### 1) 要素技術1：『統合演算制御システム』

本技術の導入機場のシステム系統図の一例を図 2-2 に示す。統合演算制御システムは、配電盤内に実装され、監視制御システムと通信し (ICT)、また2つの AI 技術を搭載している。統計的機械学習 (AI 技術) を用い、反応タンクの水質センサー (NO<sub>x</sub>-N 計および NH<sub>4</sub>-N 計) および水処理・送風機設備より得られる情報から、水質センサー計測値を目標値付近に維持するための必要風量と送風機の最適吐出圧力をリアルタイムに演算し、コントローラへ出力する。また、最適化理論 (AI 技術) を用い、季節変動等により生じる演算パラメータのズレを自動的に修正する。統合演算制御システムは、反応タンク風量と送風機吐出圧力を自動制御し、また演算パラメータの調整を自動化することで、維持管理業務負担を軽減する。

## 2) 要素技術2：『単槽型硝化脱窒プロセス』

単槽型硝化脱窒プロセスの構成と処理原理を図2-3に示す。本プロセスでは、反応タンクを嫌気ゾーン、前半好気ゾーン、脱窒ゾーン、後半好気ゾーンの4つのゾーンに設定し、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、前半好気ゾーンと後半好気ゾーンの風量をそれぞれ風量制御できるように、送風系統が二条化（風量計と風量調節弁を2セット設置）されている必要がある。なお、従来の高度処理と異なり、循環ポンプや攪拌機の設置は不要である。また、嫌気ゾーンとその後段には隔壁を設ける。なお、本ガイドラインではりん除去を考慮し、嫌気ゾーンを設けることを想定した設計の考え方をしている。

## 3) 要素技術3：『負荷変動追従型送風ユニット』

反応タンクの流入負荷変動に対して最適かつ効率的に必要な風量を供給する送風ユニットであり、統合演算制御システムにより演算された最適吐出圧力を圧力設定値に使用して運転する。圧力一定制御の機能を有していれば、既設の送風機設備を用いることも可能である。

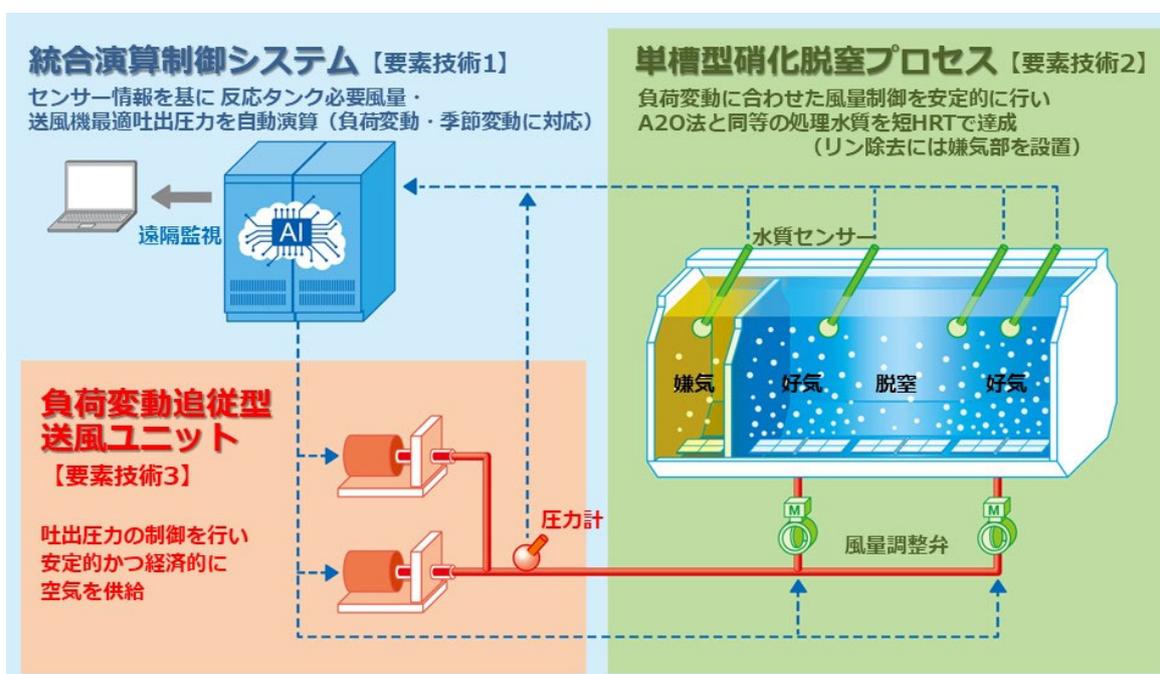


図2-1 本技術の概念図

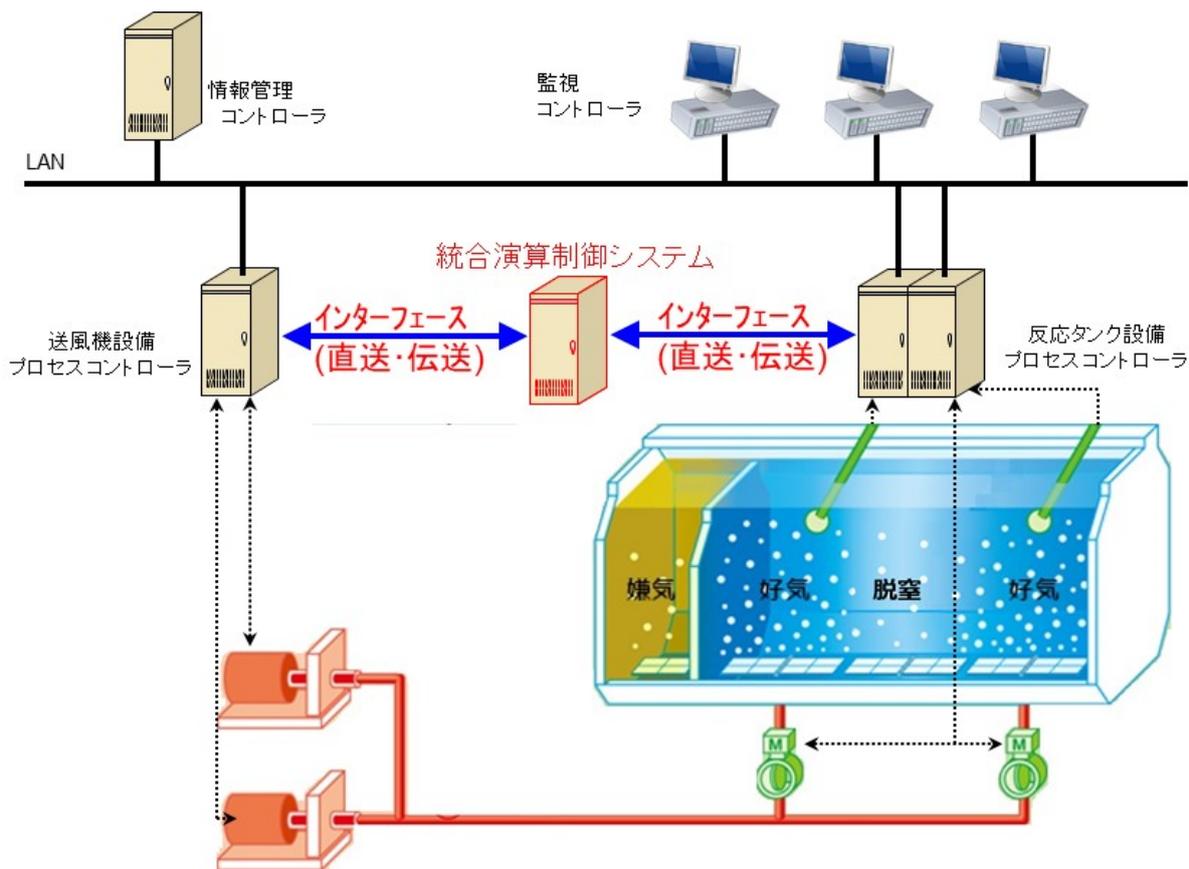


図 2-2 本技術の導入機場のシステム系統図の一例

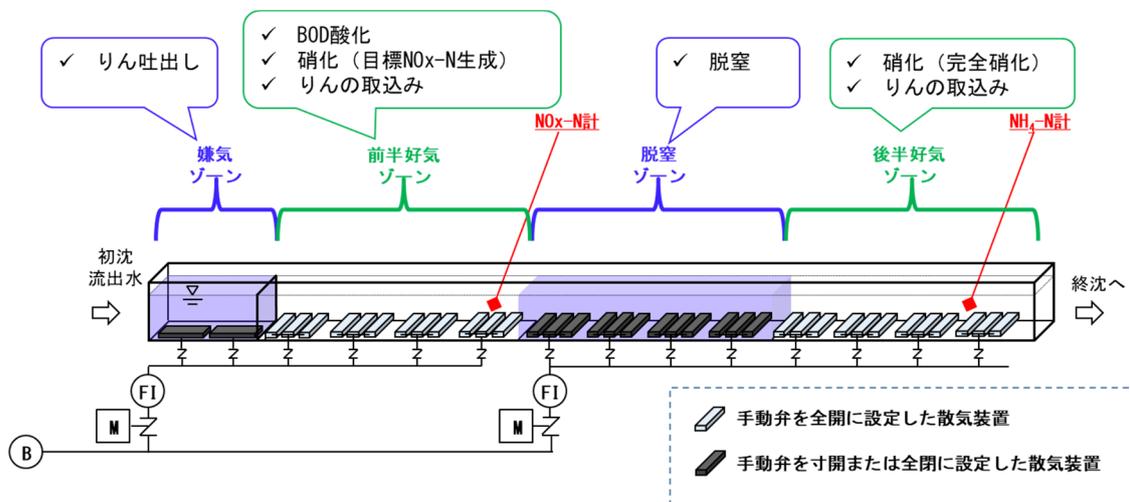


図 2-3 単槽型硝化脱窒プロセスの構成と処理原理

(2) 本技術の機能

1) 統合演算制御システム

本システムは、反応タンク設備と送風機設備の運転を統合的に管理し、反応タンクの必要風量を過不足無く、送風機のエネルギーロスの少ない最適な吐出圧力で供給するための演算制御システムである。本システムの概略フローシートを図 2-4 に示す。本システムは ICT で監視制御システムと通信し、反応タンク流入水量、水温、MLSS 濃度、返送汚泥量等の従来より分単位の頻度で取得しているデータと、NO<sub>x</sub>-N 計、NH<sub>4</sub>-N 計等の新設の水質センサーの計測値を取り込む。そして、搭載された統計的機械学習 (AI 技術) により反応タンクの必要風量 (センサー計測値を目標値に一致させるために現在設定すべき風量) を 20 秒毎に演算し、風量調節弁の風量 PID 制御へ出力する (風量演算機能)。また、必要風量演算結果から送風機の最適吐出圧力を演算し、送風機の圧力一定制御へ出力する (圧力演算機能)。季節変動等により風量演算に用いる演算パラメータにズレが生じて制御追従性が悪化した場合には、搭載された最適化理論 (AI 技術) により、演算パラメータの最適解を計算し、自動調整する (演算パラメータ自動チューニング機能)。

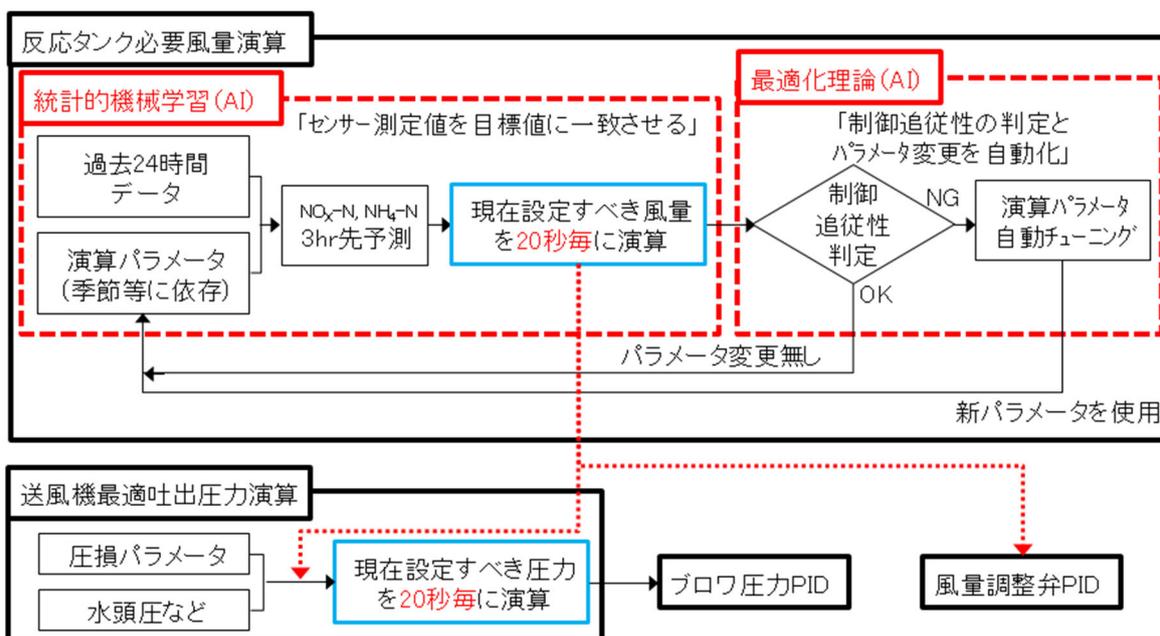


図 2-4 統合演算制御システムの演算フロー

2) 単槽型硝化脱窒プロセス

本技術の概略フローシートを図 2-5 に示す。A2O 法では、好気タンクと無酸素タンクをそれぞれ独立して設け、さらに同タンク的设计時において一定の余裕を見込むことが一般的である。一方、本技術では、図 2-3 に示す隔壁を有しない単槽型反応タンクにおいて、前半好気ゾーン下流部に NO<sub>x</sub>-N 計を設置し、NO<sub>x</sub>-N 計の計測値が目標値 (兼用領域および脱窒ゾーンで脱窒させ

る  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度) に追従するよう風量制御を行う。その後、生成した  $\text{NO}_x\text{-N}$  を兼用領域と脱窒ゾーンで脱窒させることで窒素を除去する。また、後半好気ゾーン下流部付近 ( $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度が  $1\text{mg/L}$  以上の位置) に  $\text{NH}_4\text{-N}$  計を設置し、 $\text{NH}_4\text{-N}$  計の値が目標値 (反応タンク末端にて完全硝化を達成する、 $\text{NH}_4\text{-N}$  計の位置における  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度) に追従するよう風量制御を行い、反応タンク末端で完全硝化させる。 $\text{NO}_x\text{-N}$  計、 $\text{NH}_4\text{-N}$  計の計測値が目標値に追従するよう風量制御を行うことによって、流入負荷変動に関わらず設計水質を達成するために必要な硝化量を確保し、生成した  $\text{NO}_x\text{-N}$  を脱窒するための兼用領域および脱窒ゾーンを形成することで、A2O 法に比べて短い HRT での処理を実現する。加えて、流入負荷増減が発生するようなときも、散気装置への空気供給用手動弁の開度調整といった簡便な方法で脱窒ゾーンのサイズ・位置を調整することで対応でき、設備の改造を最小限に抑えることができる。

この脱窒ゾーンの形成は、前述した空気供給弁の手動調整等に加え、反応タンク前半および後半の風量を統合演算制御システムにより演算された必要風量で運転し、水質センサーの計測値 ( $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度と  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度) を目標値に維持することで実現している。

また、りん除去については A2O 法と同様に、嫌気ゾーンにおけるりん放出および好気ゾーンでのりん再摂取により余剰汚泥としてりんを除去する。

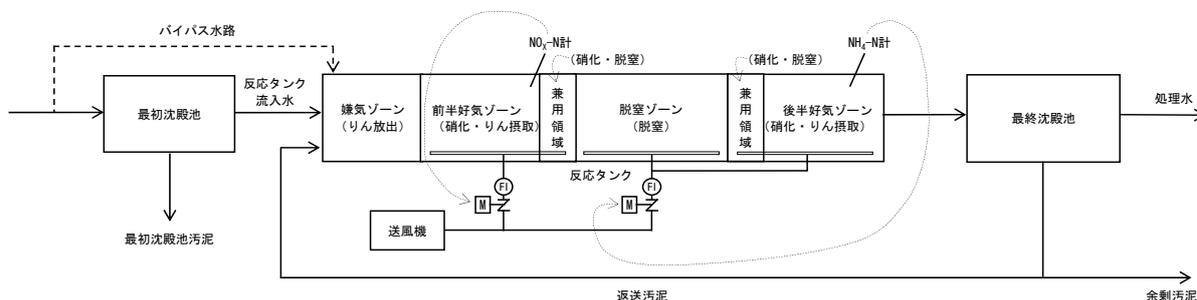


図 2-5 単槽型硝化脱窒プロセスの概略フローシート

### 3) 負荷変動追従型送風ユニット

負荷変動追従型送風ユニットの概略フローを図 2-6 に示す。送風機の圧力設定値に、統合演算制御システムによりリアルタイムに演算される最適吐出圧力を設定し、圧力可変制御を行う機能を有する。結果として、圧力低減による送風電力およびそれに伴う温室効果ガスの削減を実現する。

圧力一定制御と圧力可変制御のイメージを図 2-7 に示す。従来の圧力一定制御においては、反応タンクで必要とされる最大風量を供給するために必要な吐出圧力をあらかじめ計算し、圧力設定値としていた。流入する汚水量や汚濁物質濃度の時間変動により、反応タンクの必要風量も時間変動し、送風配管内の圧力損失も同様に時間変動する。結果として、従来の圧力設定値一定の場合、必要風量の少ない時間帯には、送風配管内の圧力損失が少なく、低い吐出圧力で必要風量の供給が可能であるにも関わらず、高い吐出圧力で制御している分のエネルギーロスが生じる。

一方、圧力可変制御においては、必要風量に応じて圧力設定値をリアルタイムに演算し、圧力設定値とすることで、必要風量が多い時間帯には吐出圧力が高く、必要風量が少ない時間帯には吐出圧力が低くなる。結果として、必要風量に応じて最適吐出圧力を設定することでエネルギーロスを削減し、圧力一定制御に比べて送風電力が削減される。

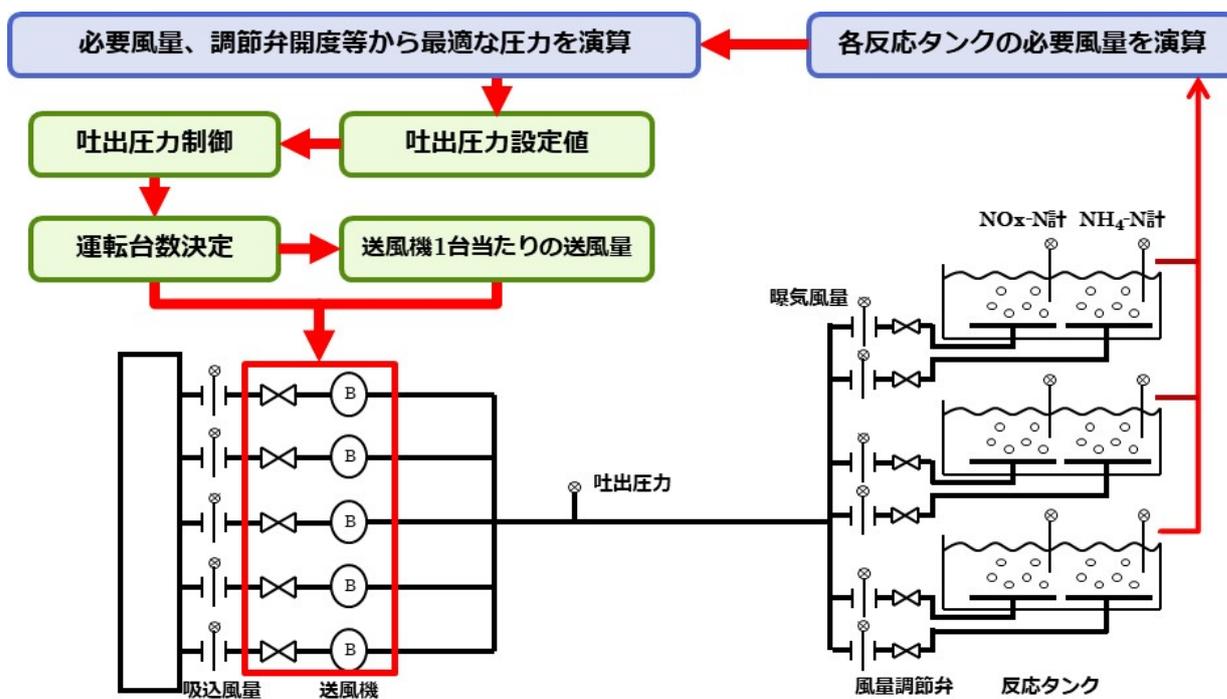


図 2-6 負荷変動追従型送風ユニットの概略フロー

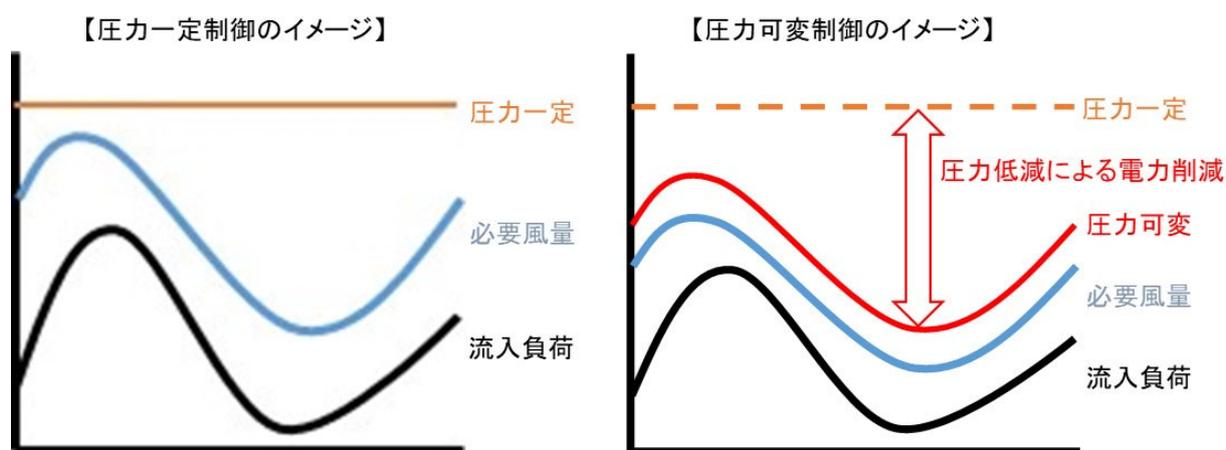


図 2-7 圧力一定制御と圧力可変制御のイメージ

### §7 技術の特徴

本技術は下記（１）～（３）の機能的特徴と（４）～（６）の効果を有する。

- （１）流入汚水量等の時間変動に対応する必要風量の演算に AI 技術を使用している
- （２）季節変動等による制御性能の悪化に対応するため、AI 技術を用いて演算パラメータを自動調整している
- （３）反応タンクの必要風量の時間変動に対応し、送風機の最適吐出圧力を演算する
- （４）短 HRT で A20 法と同等の処理水質を得る
- （５）運転電力と温室効果ガスを削減する
- （６）維持管理業務負担を軽減する

### 【解説】

#### （１）流入汚水量等の時間変動に対応する必要風量の演算に AI 技術を使用している。

本技術の必要風量の演算は、制御量（ $\text{NO}_x\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）を予め設定した目標値に追従させる目的がある。この必要風量の演算に用いている統計的機械学習は、搭載された物理モデル（一次遅れモデル）をもとに制御量の将来予測とその結果を踏まえた、現在出力すべき必要風量を適宜、演算することができる。具体的には、将来予測結果から、現在設定している風量のままでは制御量を目標値近傍に維持できないと判断した場合、前もって必要な風量増減を演算に反映する仕組みとなっている。この統計的機械学習は、従来の PID 制御のように目標値と現在値の偏差に応じた操作を行うだけでなく、将来予測を反映して操作する。この振る舞いが、人間の思考プロセスや振る舞いに似ている特徴を有することから、AI 技術の一種に分類されている。

$\text{NO}_x\text{-N}$  計および  $\text{NH}_4\text{-N}$  計の計測値は、時定数（ある所定の風量を供給した時に反応が飽和するまでの時間）が 2～3 時間と非常に長く、制御性能を確保するには、将来の挙動や変化傾向も考慮しながら、その時々における最適な風量を演算結果として出力する必要がある。この長時間の時定数を踏まえ、本技術の統計的機械学習においては 3 時間先までの将来予測を行い、20 秒毎に風量演算結果を出力できる仕様となっている。

本技術の予測制御の概念図を図 2-8 に示す。図の横軸は時間（ $t$ ：現在時刻）、縦軸は操作量（ $u$ ：風量）および制御量（ $y$ ： $\text{NO}_x\text{-N}$  または  $\text{NH}_4\text{-N}$ ）の値である。操作量（風量）と制御量（ $\text{NO}_x\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ ）および流入水量等の各種外乱の関係は図 2-8 内  $y_R$  のステップ応答曲線で表現され（一次遅れ）、その関係性を物理的なモデル（計算式）として表現したものが図 2-9 の制御則である。この物理モデルと演算パラメータ（操作量と各外乱量のゲイン  $K$ 、時定数  $T$ 、むだ時間  $L$ ）に基づき、過去 24 時間に取得した制御量、操作量、外乱量の実績データを用いて、一次遅れのステップ応答曲線を描き合成計算することで、3hr 先（図 2-8 内「予測区間」）までの制御量予測と参照軌道（制御量が目標値に到達するまでの軌道）の算出を行っている。そして、制御量予測値と参照軌道との偏差を最小化するための操作量（反応タンク風量）を 30 分先（図 2-8 内「制

御区間」)まで算出したうえで、直前に設定すべき操作量を20秒毎に風量演算結果として出力している。

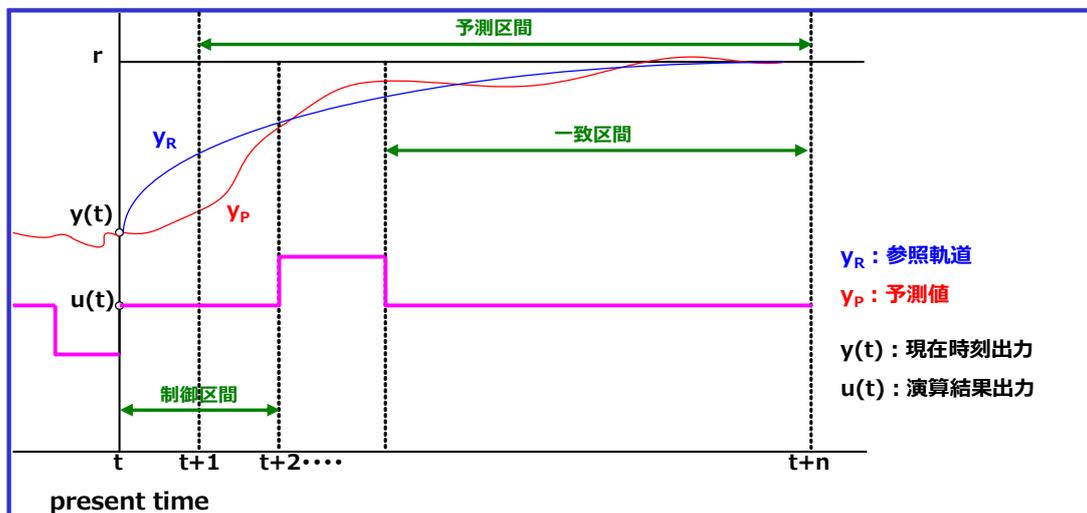


図 2-8 本技術の予測制御の概念図

■制御則 (モデル)

$$fa = \left[ \begin{matrix} (NH_4s - NH_4p) \\ NO_x-N \\ \text{又は} \\ NH_4-N \\ \text{の偏差} \end{matrix} - \left\{ \left( \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) fi + \left( \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) t + \left( \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) m + \left( \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right) fr \cdot \right\} \right] \cdot \left( \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts} \right)$$

風量
流入水量
水温
MLSS濃度
返送汚泥量
NO<sub>x</sub>-N  
又は  
NH<sub>4</sub>-N

■モデル式

$$G(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{1+Ts}$$

K: 制御量 (NO<sub>x</sub>-N または NH<sub>4</sub>-N) と風量や流入水量等の単位量あたりの感度 (変化量)  
 T: 操作量 (風量) や外乱 (流入水量等) が変化した時に、制御量の反応が飽和するまでの時間  
 L: 操作量 (風量) や外乱 (流入水量等) が変化した時に、制御量が反応し始めるまでの時間

図 2-9 本技術の統計的機械学習の物理モデル

(2) 季節変動等による制御性能の悪化に対応するため、AI 技術を用いて演算パラメータを自動調整している

季節変動等による反応タンクの状態の変化により、あらかじめ設定された風量演算のパラメータでは制御性能が悪化し、演算パラメータの調整が必要になる場合がある。従来は技術者が実施した演算パラメータの調整作業を、本技術では統合演算制御システムに搭載の演算パラメータ自動チューニング機能で代替する。本機能には、最適化理論 (AI 技術) の一種である進化計算法を用いている。進化計算法は、与えられた評価尺度 (以下、評価関数) に基づき、その候補となる解 (以下、候補解集団) を反復的に進化させ、評価関数が最大化 (または最小化) するまで、候補解集団を更新し続け、最終的にはその計算結果が収束するまで継続させるものである。本技術では、風量制御実施時の NO<sub>x</sub>-N および NH<sub>4</sub>-N の計測値と目標値の乖離 (実際には偏差平方和) に注目し、その乖離が最も小さくなる候補解を自動的に探索させるアルゴリズムを実装している。

演算パラメータ自動チューニング機能では、制御性能の低下を自動的に検出し、進化計算法により演算パラメータの最適解を自動探索し、パラメータ変更を実施する。本機能により、季節変動等による反応タンクの状態変化に自動対応し、年間を通じて安定的な制御性能を実現することが可能である。

**(3) 反応タンクの必要風量の時間変動に対応し、送風機の最適吐出圧力を演算する**

統合演算制御システムにて、刻一刻と時間変動する反応タンクの必要風量（20 秒周期で出力される値）に対応して、送風機の最適吐出圧力を演算（風量演算と同周期の 20 秒毎）し、送風機の圧力制御へ出力する。

(4) 短 HRT で A2O 法と同等の処理水質を得る

単槽型硝化脱窒プロセスでは、反応タンクは嫌気ゾーン、前半好気ゾーン、脱窒ゾーン、後半好気ゾーンの4つに分かれている。さらに、図2-10に示すように好気ゾーンと脱窒ゾーンの境界において強い循環流が形成され、その結果、脱窒ゾーンと隣接する好気ゾーンにDOが0.5mg/L以下の領域が形成される。この領域内では硝化と脱窒の両方が進行することから兼用領域と呼称する。本技術では従来の高度処理と異なり、兼用領域において脱窒が進行するため脱窒ゾーンでの必要脱窒量が減少し、脱窒ゾーンの容積を低減出来る。

本技術におけるASRTは、兼用領域を含めた好気ゾーン（前半好気ゾーンと後半好気ゾーン）における固形物滞留時間のことであり、必要ASRTの計算は、兼用領域を含めた好気ゾーンにて行う。本技術では、反応タンクの前半好気ゾーン下流部に設置するNO<sub>x</sub>-N計と後半好気ゾーン下流部に設置するNH<sub>4</sub>-N計を用いて、反応タンクの流入負荷変動に対応した風量制御を行う。この制御により、本技術は流入負荷変動に対して風量を増減することで、必要な硝化レベルを常に維持することが出来るため、負荷変動を考慮した余裕を見込む必要がない。そのため、A2O法に比べて少ない滞留時間で硝化が可能となる。

兼用領域の詳細および好気ゾーンと脱窒ゾーンの容量計算例は、§23、26、30～33に記載している。

また、本技術のアルカリ度の消費について、前半好気ゾーンでは、硝化によりアルカリ度が消費されるが前半好気ゾーン内で完全硝化には至らず、アルカリ度不足にはならないことを基本とする。脱窒ゾーンでは脱窒によりアルカリ度が生成するため、脱窒ゾーンの後段の後半好気ゾーンにおいてもアルカリ度の低下による硝化不良は発生しないと考えられる。しかし、流入水中のアルカリ度が低い場合には水酸化ナトリウム等によってアルカリ度を補給する。

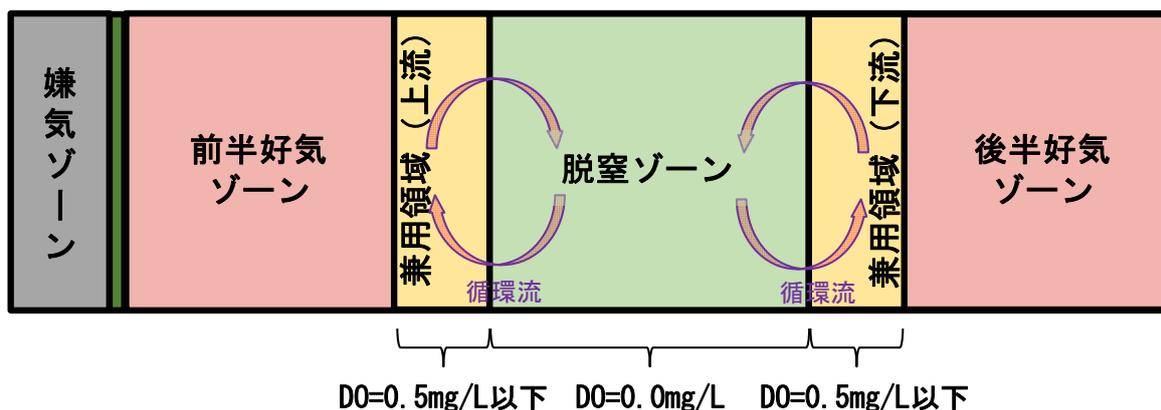


図 2-10 兼用領域の概念図

#### (5) 運転電力と温室効果ガスを削減する

本技術は以下の3つの方法により、運転電力とそれに伴う温室効果ガスを削減する。

##### 1) 動力機器の削減

本技術では、A2O法で必要であった攪拌機や循環ポンプが不要であるため、動力機器が削減され、運転電力が削減される。

##### 2) 送風機の吐出圧力低減による送風電力の削減

本技術の圧力可変制御により、従来の圧力一定制御で生じていた過大な吐出圧力設定によるエネルギーロスが解消され、風量1Nm<sup>3</sup>当たりの送風電力が削減される。

##### 3) 風量の削減による送風電力の削減

本技術では、NH<sub>4</sub>-N計を用いた風量制御で反応タンクの完全硝化を行うため、DO計を用いる場合に比べ、風量が削減され、送風電力が削減される。NH<sub>4</sub>-N計を用いることで、流入汚水量の時間変動に対応して、完全硝化に過不足の無い必要風量を演算することができる。一方、DO計を用いて固定DO目標値で完全硝化を常時達成する場合は、流入汚水量の時間変動に対応しきれず、供給風量が過剰となる。

#### (6) 維持管理業務負担を軽減する

本技術は以下の2つの方法により、維持管理業務負担を軽減する。

##### 1) 動力機器の削減

攪拌機や循環ポンプといった動力機器が不要であり、A2O法等に比べて維持管理業務の負担が軽減される。

##### 2) 必要風量の自動演算と演算パラメータの自動調整

本技術では、統合演算制御システムにより、水質センサーの計測値を目標値付近に維持するための必要風量が演算され、風量制御が自動的に行われるため、風量設定値の決定等が不要となる。また、季節変動等による風量演算に用いるパラメータのズレに対するパラメータ調整についても、演算パラメータ自動チューニング機能で自動的に行うため、追加の維持管理業務は不要である。

## §8 技術の適用条件

### (1) 適用条件

本技術は有機物(BOD)の他に、窒素ならびにりん除去を目的とする水処理法であり、都市下水を主対象とする下水処理場において、原則として既設水処理施設の高度処理化（既設が有機物処理を行う標準活性汚泥法等の場合）または更新（既設が高度処理法の場合）において適用する。

対象設備は、反応タンク設備、送風機設備、監視制御設備等である。

その他の適用条件は以下の通りである。

- ① 最低水温 : 15℃以上（月間平均水温の年間最低値として）
- ② 既設処理方法 :
  - ・高度処理化の場合 : 標準活性汚泥法、長時間エアレーション法等
  - ・高度処理施設の更新の場合 : A2O 法、凝集剤添加循環式硝化脱窒法等
- ③放流水質の要求水準 : A2O 法と同等（BOD $\leq$ 15mg/L、T-N $\leq$ 20mg/L、TP $\leq$ 3mg/L）
- ④反応タンク構造 :
  - ・混合特性 : 完全混合槽ではないこと（L/W 比=概ね 10 以上 ; OD 槽は除く）
  - ・水深 : 4~6m 以内
- ⑤反応タンク電気設備 :
- ⑥送風機設備 :
  - ・圧力制御が可能であること
- ⑦送風系統の二条化 :
  - ・送風系統の二条化が可能なこと

### (2) 適用に際して留意する事項

- ①導入後の日最大汚水量に対して最終沈殿池の水面積負荷が 15~25m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・d)であること
- ②送風電力削減効果は、送風機の機種・性能等により変動する

### (3) 推奨される下水処理場

- ①標準法から高度処理化を行う処理場
- ②既設高度処理の更新を希望する処理場
- ③広域化・共同化が必要となる処理場

**【解説】****(1) 適用条件**

本技術は有機物(BOD)の他に、窒素ならびにりん除去を目的とする A2O 法代替の水処理法である。本技術は実証研究の結果、計画放流水質が BOD で 10mg/L を超え 15mg/L 以下、窒素が 20mg/L 以下、りんが 3mg/L 以下の区分に適合することが確認されている (§ 11 技術の評価結果 参照)。

**① 最低水温：15℃以上（月間平均水温の年間最低値として）**

反応タンク内水温の低下に伴って必要 ASRT が長くなり、脱窒速度も低下するため、流入水の温度が 15℃を下回る地域への適用は、十分な検討が必要である。

**② 既設処理方法**

高度処理化の場合は、標準活性汚泥法、長時間エアレーション法等への適用が可能である。高度処理施設の更新の場合は、A2O 法、凝集剤添加循環式硝化脱窒法等への適用が可能である。

**③ 放流水質の要求水準**

本技術は、生物学的に窒素・りんを除去するものであり、A2O 法と同等の処理水質を得られることから、A2O 法と同様の放流水質を設定出来る (BOD $\leq$ 15mg/L、T-N $\leq$ 20mg/L、T-P $\leq$ 3mg/L)。

**④ 反応タンク構造**

本技術は、完全混合ではない (L/W 比=概ね 10 以上 ; OD 槽は除く) 水深が 4~6m 以内の反応タンクにて適用が可能である。また、阻流壁が存在していても本技術の適用に問題にはならないが、阻流壁の位置により兼用領域が小さくなる場合や、§ 41 に記載したパターン 3 のように兼用領域が発生しない場合は、脱窒量が減少することから、滞留時間を調整する等の検討が必要になる。

**⑤ 反応タンク電気設備**

本技術においては、反応タンクへの必要風量を演算・制御することが必要である。そのため、風量調節弁による風量制御が可能であることが求められる。

**⑥ 送風機設備**

本技術において送風電力削減効果（およびそれに伴う温室効果ガス削減効果）を得るには、送風機の最適吐出圧力を演算・制御することが必要である。そのため、送風機の吐出圧力を制御することが可能であることが求められる。

## (2) 適用に際して留意する事項

### ① 最終沈殿池の水面積負荷

本技術においては、従来高度処理と同様に、反応タンク内 MLSS 濃度を 2,000mg/L 以上に高く設定することが推奨されるため、最終沈殿池に関しては、固液分離性能を確保するためにも水面積負荷が 15~25m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・d)であることが求められる。

### ② 送風電力削減効果

本技術を導入することで、送風機を最適吐出圧力で制御し送風電力（およびそれに伴う温室効果ガス）を削減することが可能である。この送風電力削減効果は、送風機の機種・性能と従前の圧力一定制御および本技術導入後の圧力可変制御における吐出圧力設定値により変動することに留意する必要がある。

## (3) 推奨される下水処理場

本技術は、以下に示すような下水処理場への適用が特に推奨される。

### ① 標準法から高度処理化を行う処理場

本技術は、従来高度処理法である A2O 法の HRT16~20 時間に比して、HRT10~11 時間程度への低減が可能であり、A2O 法に比べて、処理能力の増強、建設費の抑制が可能である。また、A2O 法のような大掛かりな水処理施設の増設を不要とし、既存の躯体をそのまま適用することが出来る。さらに、ICT・AI 活用の統合制御の導入により、運転管理上の負担が少なく、管理も容易であり、A2O 法と同等の放流水質が得られる。このことから、今後高度処理の導入が必要となっている地方公共団体にとっては、非常に有効な技術である。なお、全体計画に高度処理が位置づけられているものの、導入が未完了の処理場数は約 170 箇所と推定される。

### ② 既設高度処理の更新を希望する処理場

既に高度処理が導入されている下水処理場において、老朽化施設の改築更新が計画されている場合、本技術の導入は建設費の縮減に有効である。本技術の導入により、運転管理上の負担が少なく、経済的かつ効率的に高度処理性能を発揮することが出来る。また、改築に伴って処理能力を増強し、安定した処理水質を確保することが出来る。

### ③ 広域化・共同化が必要となる処理場

各地方公共団体においては、将来的な人口減少は都市政策上、大きな課題であり、下水道事業においても決して例外ではない。減少傾向にある人口を考慮しながら改築計画を立案することが必要となり、処理場の統廃合は広域化・共同化の視点からも有効な手段の一つと考えられる。

本技術は、A2O 法等の従来高度処理法に比べ、処理能力を向上したうえで、同等以上の水質を実現することができるシステムである。このため、高度処理が義務付けられた処理場同士の統合を検討する場合、施設の増設を不要に、または最小限に留めることができる。

§9 導入シナリオ

本技術の導入が有効と考えられるシナリオ例を以下に示す。

- (1) 標準法からの高度処理化
- (2) 既設高度処理施設の改築 (A2O 法)
- (3) 統廃合に伴う能力増強

【解説】

(1) 標準法からの高度処理化

標準法から A2O 法へ改築する場合、A2O 法は本法に比べて処理能力が低いため反応タンクの増設が必要である。一方、本法も反応タンクの増設が必要であるが、A2O 法程の増設は不要である。そのため、A2O 法への改築に比べて建設費、維持管理費の低減が可能である。

なお、本導入シナリオにおける試算では、最初沈殿池と最終沈殿池の水面積負荷は、表 2-1 に記載した値になるため、実際に導入する際にも同程度の値になると想定される。

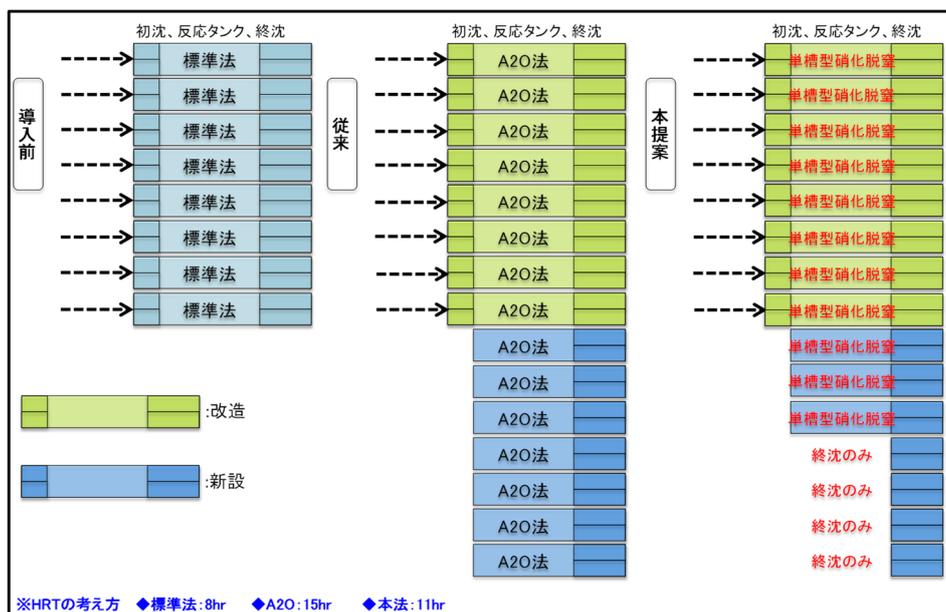


図 2-11 標準法からの高度処理化におけるレイアウト例

表 2-1 最初沈殿池と最終沈殿池の水面積負荷

		標準活性汚泥法	本技術
最初沈殿池	m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> · d)	50	50
最終沈殿池		20	15

(2) 既設高度処理施設の改築 (A2O 法)

A2O 法の高度処理施設を改築する場合、そのまま A2O 法へ改築する場合は、反応タンク池数は変わらないが、本法は A2O 法に比べて処理能力が高いため、反応タンク池数を削減することが可能となる。そのため、A2O 法への改築に比べて建設費、維持管理費の低減が可能である。

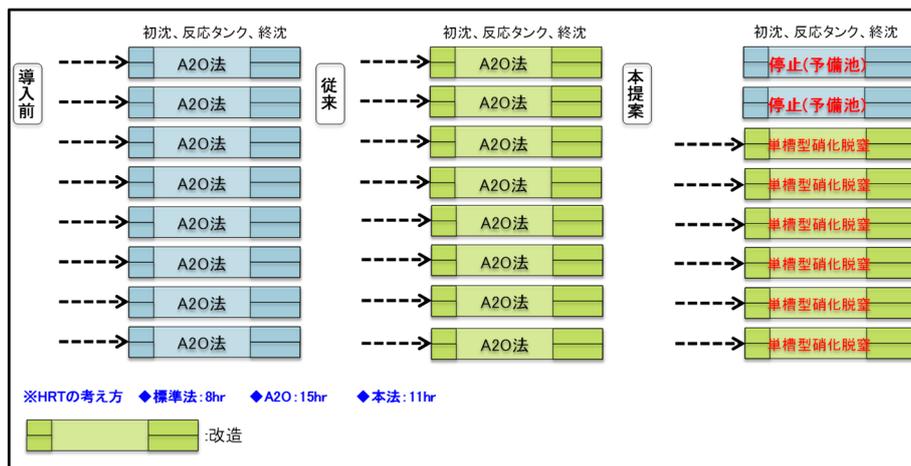


図 2-12 既設高度処理の改築におけるレイアウト例

(3) 統廃合に伴う能力増強

A2O法の高度処理施設を統廃合する場合、A2O法では単純に統合した場合の処理水量に見合う処理系列（最初沈殿池～最終沈殿池）を増設する必要がある。しかし、本法ではA2O法に比べて処理能力が大きいため、増設する系列数を低減することが出来るため、A2O法への改築に比べて建設費、維持管理費の低減が可能である。

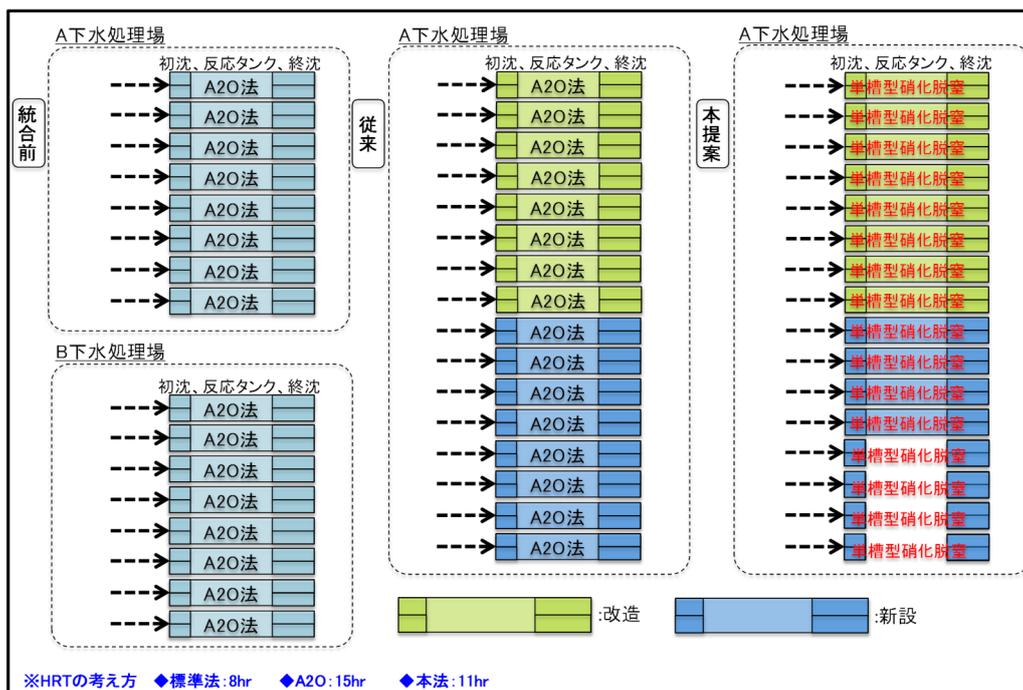


図 2-13 統廃合に伴う能力増強におけるレイアウト例

## 第2節 実証研究に基づく評価の概要

### §10 技術の評価項目

本技術の実証研究における評価項目および目標を以下に示す。

(1) 処理水質および処理の安定性

T-BOD $\leq$ 15mg/L、T-N $\leq$ 20mg/L、T-P $\leq$ 3mg/L、(窒素除去率 60~70%)

(2) 処理能力(処理水量)

A2O 法比で HRT2 割以上削減 (HRT16hr $\times$ 0.8  $\Rightarrow$  12.8hr 以下)

(3) 送風電力

圧力一定制御と比較して送風電力削減率 10%以上

(4) 水処理電力

A2O 法比で 2 割以上削減

(5) NO<sub>x</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 制御性能

制御可能期間中の計測値の 95%以上が目標値 $\pm$ 0.5mg/L の範囲に収まること

(6) 維持管理項目

A2O 法比で項目数削減

(7) 建設費

A2O 法比で 2 割以上削減

(8) 維持管理費

維持管理費を試算し、A2O 法よりも低減することを確認

### 【解説】

実証研究は実証系列への流入汚水量を意図的に調整せず、成り行き条件として実施した。調査期間内の代表的な水量変動傾向を図 2-14 に示す。

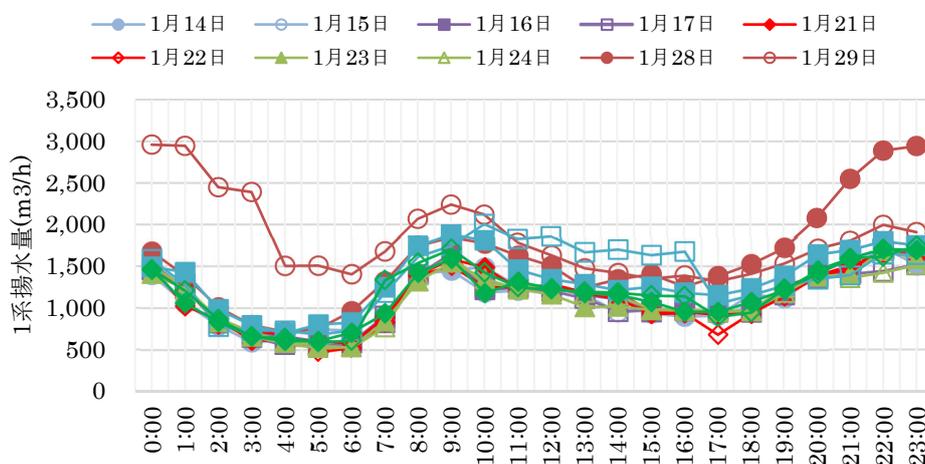


図 2-14 実証研究における水量変動の例

(1) 処理水質および処理の安定性

処理水の BOD、T-N、T-P は評価期間中に 2 回/月の頻度で、日平均値となるよう試料を採取して測定し評価した。

(2) 処理能力(処理水量)

実証系列の処理水量を計測し、反応タンク HRT を確認した。

(3) 送風電力

圧力一定制御（設定値 68.6kPa）と圧力可変制御の切替えを 1～2 週間毎に実施し、当該期間中の風量 1Nm<sup>3</sup>当たりの送風電力量 kWh の比から送風電力削減率を算出した。なお、圧力一定制御における圧力設定値 68.6kPa は、下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年版の「§ 6. 7. 26 送気圧」を基に算出された送風機的设计圧力を用いた。

(4) 水処理電力

送風電力評価結果 (kWh/Nm<sup>3</sup>) と A2O 法想定機器電力を基に机上計算した。

(5) NO<sub>x</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 制御性能

反応タンク 1-1～1-4 の 4 池について、前半 NO<sub>x</sub>-N 計と後半 NH<sub>4</sub>-N 計の計測値と制御目標値を用いて制御性能評価を実施した。制御性能評価に際して、「評価対象期間中の制御可能期間における水質センサー計測値点数（計測頻度:5 分毎）のうち、制御目標値±0.5mg/L 以内の点数の割合(%)」を「適合率」と定義し、定量評価した。

(6) 維持管理項目

A2O 法設備と実証設備の維持管理項目を整理し比較した。

(7) 建設費

本技術、A2O 法の各モデル設計における建設費を比較した。対象範囲は反応タンク設備と送風機設備ならびに電気設備一式とした。

(8) 維持管理費

維持管理費は、人件費、薬品費、電力費、保守費を算出し、A2O 法よりも低減可能かどうかを確認した。対象範囲は（7）項と同一とした。

### § 11 技術の評価結果

本技術の評価結果は以下に示す。

#### (1) 処理水質および処理の安定性

全調査日の平均水質として、

T-BOD : 5.0mg/L (最小 2.8~最大 7.8)、

T-N : 10.8mg/L (最小 6.6~最大 13.7)、

T-P : 1.3mg/L (最小 0.4~最大 2.1)

(窒素除去率 68.1% 降雨日を除く)

#### (2) 処理能力(処理水量)

A2O 法比で HRT が削減率 38.8%を示した。

#### (3) 送風電力

圧力一定制御と比較して送風電力削減率 16.2%を示した。

#### (4) 水処理電力

A2O 法比で電力削減率 29.2%を示した。

#### (5) NO<sub>x</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 制御性能

制御可能期間中の計測値の 95%以上が目標値±0.5mg/L の範囲に収まった。

#### (6) 維持管理項目

A2O 法比で項目数が最低 2 つ削減可能であることが示された。

#### (7) 建設費

A2O 法比で 2 割以上削減であることが示された。

#### (8) 維持管理費

A2O 法比で 2 割以上削減であることが示された。

#### (1) 処理水質および処理の安定性

図2-15に実証系列である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。また参考比較のために、標準活性汚泥法で運用した2系、担体投入型ステップA2O法で運用した3系(3-3、3-4の2池)についても、最終沈殿池流出水の水質を併記した。全34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 60.8%~74.5%で推移しており、平均除去率は 68.1%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 は、実証系の方が 2 系(標準法)や 3 系(高度処理法)よりも良好な水質を保てた。T-N は 2 系よりも良質であり、3 系とは当初差があったが、2020 年 4 月以降はほぼ同じか若干高い程度で推移した。T-P は 2 系と同程度の水質を保てた。

また、流入水温は平均 22.3℃(18.0~29.4℃)であり、15℃以上であった。

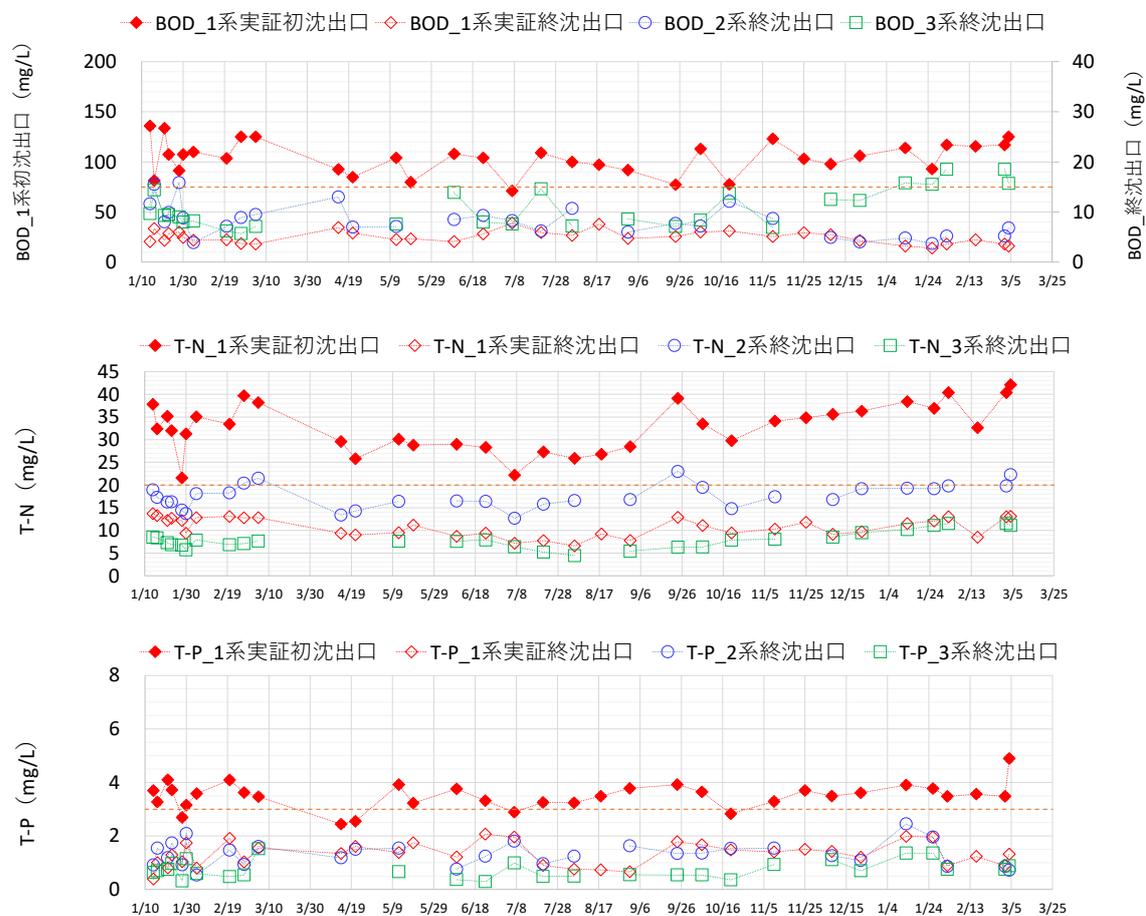


図2-15 最初沈殿池流出水および最終沈殿池流出水の測定結果  
(上：BOD、中：T-N、下：T-P)

(2) 処理能力(処理水量)

図2-16に実証実験期間中(2020年1月13日以降)の成瀬クリーンセンター実証系列(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、流入汚水量は概ね27,281m<sup>3</sup>/日、HRTは10.1hrであり、成瀬クリーンセンターのHRTは平成30年度実績と同等以下であった。

また、表2-2に実証系列(1系)の運転状況と各採取地点の平均水質を示す。全調査日の平均HRTは、9.8hr(6.0hr~10.6hr)であった。

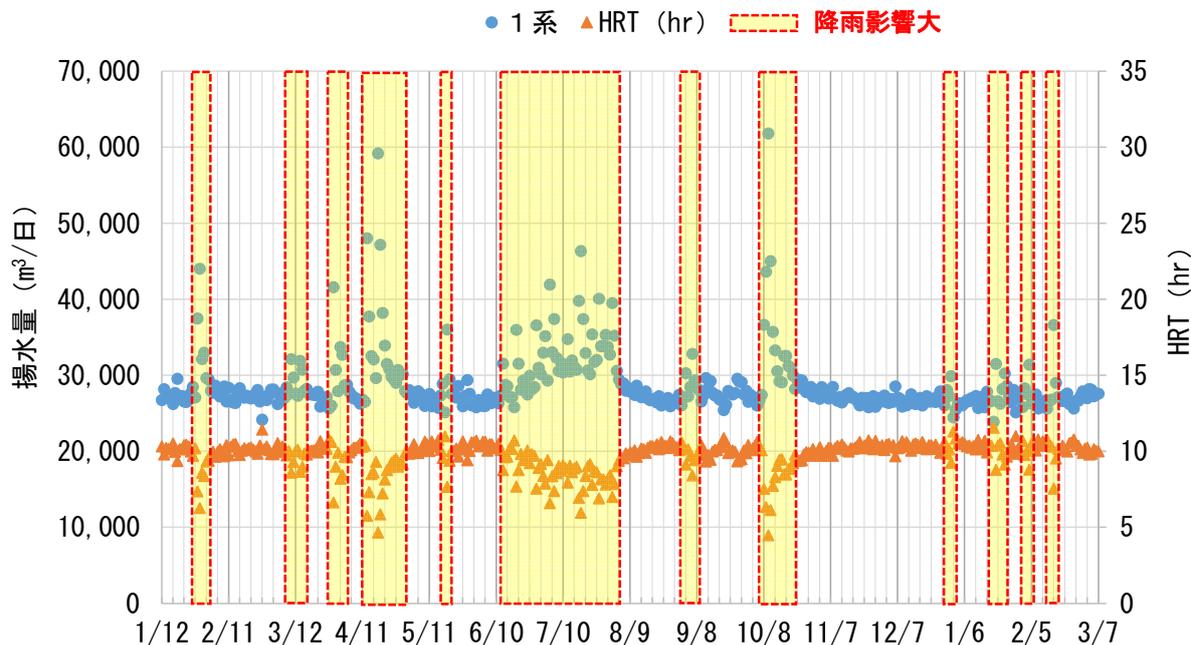


図 2-16 処理場流入汚水量の日間変動と HRT

表 2-2 1 系水処理設備の運転状況および平均水質

分析方法	調査日	天候	水温 (°C)	処理水量 (m³/池/日)	送风量 (Nm³/池/日)	HRT (hr)	MLSS (mg/L)	TBOD (mg/L)			SS (mg/L)			T-N (mg/L)			T-P (mg/L)			pH (mg/L)			T-N 除去率	
								初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口		
時毎	1月14日 ~ 1月15日	晴	19.8	6,861	28,397	10.1	2,100	257.7	135.8	4.1	234.4	51.8	1.2	43.0	37.8	13.7	4.73	3.70	0.39	7.59	7.46	6.48	63.7%	
コン	1月16日 ~ 1月17日	雨/晴	19.5	6,758	27,405	10.2	2,100	218.0	81.4	6.7	208.0	36.2	1.5	42.1	32.4	13.3	4.50	3.27	1.00	7.82	7.65	6.54	59.0%	
時毎	1月21日 ~ 1月22日	曇	19.8	6,790	28,080	10.2	2,000	224.7	133.6	4.3	210.3	63.5	1.2	37.2	35.2	12.2	4.52	4.09	0.81	7.74	7.46	6.51	65.3%	
コン	1月23日 ~ 1月24日	雨	20.0	6,717	28,554	10.3	2,050	198.2	107.3	5.7	204.0	46.9	1.1	34.1	32.0	12.7	4.53	3.72	1.29	7.81	7.60	6.46	60.3%	
時毎	1月28日 ~ 1月29日	雨	18.0	11,553	29,995	6.0	1,810	122.2	91.3	6.0	141.2	52.2	2.8	26.0	21.6	12.2	3.17	2.69	1.04	7.74	7.62	6.41	43.6%	
コン	1月30日 ~ 1月31日	晴	18.8	7,760	28,768	8.9	2,130	164.2	107.5	4.9	323.0	49.0	1.8	34.2	31.3	9.4	3.75	3.15	1.74	7.68	7.58	6.51	70.0%	
時毎	2月4日 ~ 2月5日	晴	19.2	7,003	30,900	9.9	1,930	194.3	109.9	4.4	203.8	56.9	1.1	42.0	35.1	12.8	4.73	3.58	0.79	7.67	7.38	6.35	63.4%	
コン	2月20日 ~ 2月21日	曇	20.0	6,737	30,265	10.2	1,980	232.3	103.6	4.4	300.6	50.9	1.1	39.6	33.4	13.1	5.01	4.09	1.91	7.65	7.45	6.43	60.8%	
コン	2月27日 ~ 2月28日	晴	20.2	6,819	34,763	10.1	2,010	206.9	125.0	3.7	275.0	71.0	2.4	43.4	39.7	12.8	4.12	3.62	1.03	7.71	7.42	6.43	67.8%	
コン	3月5日 ~ 3月6日	曇	20.3	6,852	29,234	10.1	2,100	196.0	125.0	3.6	215.0	45.6	1.3	43.8	38.2	12.8	4.14	3.47	1.54	7.78	7.52	6.44	66.4%	
コン	4月14日 ~ 4月15日	晴	18.5	8,196	21,988	8.4	2,010	132.0	92.6	6.9	162.0	55.6	2.3	33.3	29.6	9.4	2.99	2.44	1.34	7.67	7.65	6.40	68.3%	
コン	4月21日 ~ 4月22日	雨/晴	20.0	8,215	24,793	8.4	1,760	128.0	84.7	5.8	165.0	56.0	3.8	29.1	25.8	9.0	3.18	2.55	1.61	7.57	7.53	6.42	65.0%	
コン	5月12日 ~ 5月13日	晴	24.0	6,578	25,188	10.5	1,730	208.0	104.0	4.5	218.0	48.9	1.3	34.8	30.1	9.5	5.42	3.92	1.38	7.61	7.40	6.47	68.4%	
時毎	5月19日 ~ 5月20日	晴/雨	22.5	7,540	20,373	9.2	1,730	189.9	79.7	4.7	193.7	49.9	1.3	27.1	28.8	11.1	4.42	3.23	1.75	7.62	7.56	6.31	61.3%	
コン	6月9日 ~ 6月10日	曇/晴	25.5	6,682	26,946	10.3	1,930	198.0	108.0	4.1	242.0	53.5	1.0	32.7	29.0	8.7	4.64	3.76	1.21	7.50	7.31	6.48	70.0%	
コン	6月23日 ~ 6月24日	雨/曇	25.5	7,015	26,302	9.8	2,080	168.0	104.0	5.6	209.0	52.0	1.6	33.5	28.3	9.4	4.01	3.32	2.07	7.49	7.42	6.47	66.7%	
コン	7月7日 ~ 7月8日	雨/曇	25.5	7,822	25,614	8.8	1,860	145.0	71.0	7.8	206.0	55.3	1.9	27.1	22.2	7.2	3.69	2.89	1.96	7.47	7.51	6.56	67.7%	
コン	7月21日 ~ 7月22日	雨/曇	25.7	7,601	27,280	9.1	1,890	185.0	109.0	5.9	177.0	51.3	1.2	32.2	27.3	7.8	3.99	3.25	0.90	7.42	7.40	6.54	71.6%	
コン	8月5日 ~ 8月6日	晴	26.5	7,194	29,066	9.6	1,960	193.0	100.0	5.3	182.0	41.6	1.1	30.5	25.9	6.6	4.06	3.24	0.76	7.40	7.32	6.51	74.5%	
時毎	8月18日 ~ 8月19日	曇/晴	28.7	6,643	27,841	10.4	1,770	218.9	97.2	7.6	212.9	49.5	1.4	30.1	26.8	9.2	4.43	3.48	0.73	7.40	7.30	6.52	65.6%	
コン	9月1日 ~ 9月2日	曇/雨	29.4	6,492	26,620	10.6	1,570	193.0	91.9	4.7	210.0	40.0	1.1	30.5	28.5	7.8	4.56	3.78	0.66	7.40	7.37	6.48	72.7%	
コン	9月24日 ~ 9月25日	雨	28.0	6,831	25,546	10.1	1,530	171.0	77.3	5.1	213.0	38.5	1.0	45.1	39.1	12.9	4.39	3.92	1.78	7.39	7.38	6.41	67.0%	
コン	10月6日 ~ 10月7日	曇/晴	27.1	6,627	26,793	10.4	1,520	191.0	113.0	6.0	215.0	41.5	1.6	37.9	33.5	11.1	4.68	3.65	1.67	7.50	7.44	6.50	66.9%	
コン	10月20日 ~ 10月21日	曇/晴	24.4	7,649	25,804	9.0	1,770	172.0	77.5	6.2	202.0	35.7	1.0	35.4	29.8	9.5	3.84	2.83	1.48	7.50	7.59	6.55	68.3%	
コン	11月10日 ~ 11月11日	晴	24.1	6,779	25,454	10.2	1,630	213.0	123.0	5.1	262.0	27.6	2.3	41.7	34.1	10.3	4.45	3.29	1.40	7.52	7.59	6.48	69.8%	
時毎	11月25日 ~ 11月26日	雨/曇	24.0	6,704	24,450	10.3	1,630	245.9	103.2	5.9	215.7	37.9	2.1	40.8	34.8	11.8	2.53	3.70	1.50	7.66	7.58	6.52	66.1%	
コン	12月8日 ~ 12月9日	晴	21.9	6,520	27,147	10.6	1,830	210.0	97.7	5.5	235.0	31.0	1.0	40.7	35.6	9.2	4.33	3.49	1.42	7.63	7.39	6.48	74.3%	
コン	12月22日 ~ 12月23日	晴	21.1	6,621	27,171	10.4	1,880	235.0	106.0	4.3	344.0	36.0	1.0	41.3	36.3	9.7	4.47	3.61	1.20	7.95	7.52	6.58	73.2%	
コン	1月13日 ~ 1月14日	晴	20.4	6,764	27,317	10.2	1,910	186.0	114.0	3.2	229.0	43.0	1.0	45.7	38.4	11.5	4.61	3.90	1.98	7.95	7.46	6.48	70.1%	
コン	1月26日 ~ 1月27日	晴/雨	19.5	6,670	26,178	10.3	1,800	174.0	92.9	2.8	211.0	34.0	1.0	46.2	36.9	12.1	4.79	3.77	1.96	7.71	7.63	6.53	67.2%	
コン	2月2日 ~ 2月3日	晴	18.8	6,790	26,225	10.2	1,670	224.0	117.0	3.6	412.0	34.7	1.0	43.6	40.4	13.0	4.85	3.48	0.89	7.79	7.65	6.60	67.8%	
時毎	2月16日 ~ 2月17日	晴	19.3	6,974	26,221	9.9	2,100	193.0	115.5	4.5	188.2	45.7	1.5	36.5	32.6	8.5	4.38	3.56	1.24	7.67	7.70	6.57	73.9%	
コン	3月2日 ~ 3月3日	雨/曇	20.5	6,818	26,343	10.1	1,670	224.0	117.0	3.6	412.0	34.7	1.0	43.6	40.4	13.0	4.85	3.48	0.89	7.58	7.36	6.42	67.8%	
コン	3月4日 ~ 3月5日	晴/雨	20.5	6,835	27,301	10.1	1,930	209.0	125.0	3.2	228.0	47.0	1.0	46.5	42.1	13.1	5.88	4.89	1.32	7.48	7.33	6.45	68.9%	
	最小		18.0	6,492	20,373	6.0	1,520	122.2	71.0	2.8	141.2	27.6	1.0	26.0	21.6	6.6	2.53	2.44	0.39	7.39	7.30	6.31	43.6%	
	最大		29.4	11,553	34,763	10.6	2,130	257.7	135.8	7.8	412.0	71.0	3.8	46.5	42.1	13.7	5.88	4.89	2.07	7.95	7.70	6.60	74.5%	
	平均		22.3	7,130	27,068	9.8	1,868	194.7	104.2	5.0	231.2	46.0	1.5	37.4	32.7	10.8	4.31	3.49	1.31	7.62	7.49	6.48	66.8%	
																								降雨日を除いた平均 68.1%

(3) 送風電力

表 2-3 に全期間の評価結果を、図 2-17 に評価対象データを示す。圧力一定制御に比して、圧力可変制御において風量 1Nm<sup>3</sup> 当たりの送風電力量(送風電力原単位)が 16.2%低減した。なお、本結果は磁気浮上式ターボブロワを使用して得られたものであり、吐出圧力平均値が、圧力一定制御の 68.5kPa から圧力可変制御の 58.7kPa に 9.8kPa 低減されたことに留意する。

表 2-3 送風電力削減効果の評価結果 (2020 年 1 月 13 日~2021 年 3 月 1 日)

	吐出圧力 平均値 [kPa]	風量平均値 [Nm <sup>3</sup> /hr]	送風電力 平均値 [kW]	送風電力原単位 [kWh/Nm <sup>3</sup> ]	評価データ 時間数 [hr]
圧力一定	68.5 (設定 68.6*)	4,661	147	0.0315	4,772
圧力可変	58.7 (▲9.8)	4,667	123	0.0263 (▲16.2%)	4,581

※ 圧力一定制御の圧力設定値に送風機の設計圧力が使用されることを想定

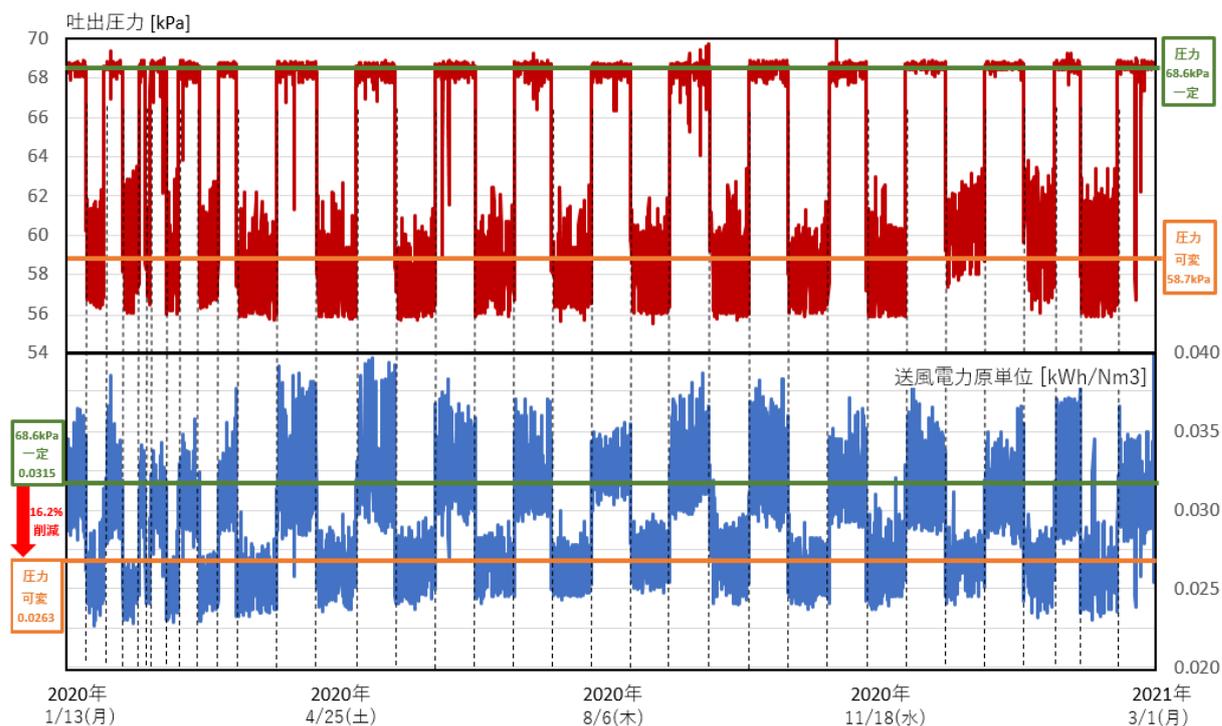


図 2-17 送風電力削減効果の評価対象データ

## (4) 水処理電力

送風電力評価結果 (kWh/Nm<sup>3</sup>) と A2O 法想定機器電力を基に机上計算した。評価範囲における消費電力量は、従来技術で 2,522.6MWh/年、本技術で 1,784.9 MWh/年と試算され、削減率は 29.2%となった。なお、電力使用量原単位は、従来技術で 0.173kWh/m<sup>3</sup>、本技術で 0.122kWh/m<sup>3</sup>と試算された。

表 2-4 評価範囲における消費電力量試算結果の内訳

単位：MWh/年

	送風機	ポンプ	攪拌機	他	合計
従来技術	2,103.1	308.4	110.3	0.9	2,522.6
本技術	1,762.5	0	21.0	1.4	1,784.9

(5) NO<sub>x</sub>-N、NH<sub>4</sub>-N 制御性能

評価対象の全8箇所の評価結果を表2-5に、反応タンク1-1前半を例とした風量制御評価データを図2-18に示す。全8箇所において、適合率98%以上を達成した。なお、計測濃度の評価対象期間における平均値は、全8箇所で、設定値の±0.1mg/L以内だった。

表2-5 風量制御性能の評価結果（令和2年1月13日～令和3年3月1日）

	適合率	計測濃度平均値(mg/L)
1-1 前半	99%	4.0 (設定値 4.0)
1-2 前半	98%	4.0 (設定値 4.0)
1-3 前半	98%	3.9 (設定値 4.0)
1-4 前半	99%	4.0 (設定値 4.0)
1-1 後半	98%	2.1 (設定値 2.0)
1-2 後半	99%	1.9 (設定値 2.0)
1-3 後半	99%	1.9 (設定値 2.0)
1-4 後半	98%	2.0 (設定値 2.0)

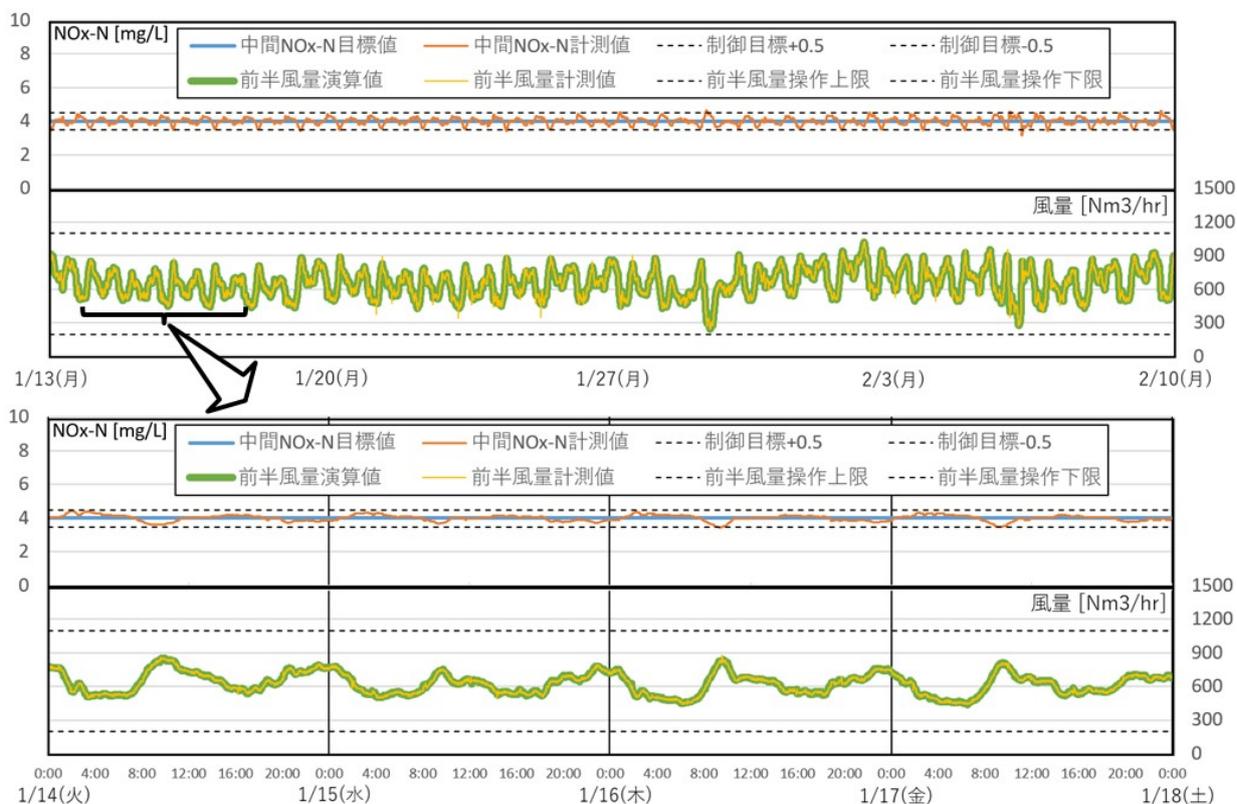


図2-18 反応タンク1-1前半の風量制御評価データ

## (6) 維持管理項目

維持管理性を評価するため、従来技術（A2O 法）と本技術それぞれで求められる維持管理項目を整理し比較を行った。維持管理項目の抽出には、「下水道維持管理指針 実務編 2014 年版（社団法人日本下水道協会）」<sup>3)</sup>を参考にし、管理項目と保守点検項目の二種類に分類したうえで、各項目の要否（必須：必須項目、不要：不要、必須ではない：必要に応じて実施または設置）を判定した。表 2-6 に管理項目の比較表を、表 2-7 に保守点検項目の比較表を示す。

## 1) 管理項目

本技術では、反応タンクへの風量を NH<sub>4</sub>-N 計と NO<sub>x</sub>-N 計を用いて制御することから、DO 制御のように常時 DO を監視する必要が無いが、実証期間中においては一時的に DO 計計測値を参考に運転状況を確認する場面もあったことから、本技術における判定を（必須ではない）とした。循環比については、本技術では循環ポンプを用いないことから判定を不要とした。その他の項目については、全て従来技術と同一の判定とした。

なお、本技術では脱窒ゾーンの形成のために一部の散気装置において制限曝気を行っており、スカム等の堆積が懸念されたが、既設の消泡スプレーによる消泡作用によって堆積が防止できていることを確認した。

表 2-6 管理項目の比較

管理項目	本技術	従来技術（A2O 法）
MLSS 濃度	必須	必須
MLDO 濃度	必須ではない	必須
ORP	必須	必須
pH	必須ではない	必須ではない
SRT	必須ではない	必須ではない
循環比	不要	必須
汚泥返送比	必須	必須
余剰汚泥の引抜き	必須	必須
スカムの堆積防止	必須	必須
生物相	必須ではない	必須ではない

## 2) 保守点検項目

本技術は単一反応タンク内で硝化と脱窒を行うため、硝化液循環ポンプ設備、エアリフト設備、水中攪拌設備が全て不要となるため、判定は（不要）とした。水質計器に関しては、りん除去を考慮した場合、ORP 計または PO<sub>4</sub>-P 計（実証設備には 1-2 系反応タンク嫌気ゾーン出口に 1 台設置した）の設置が必要となる可能性が高いと判断し、【DO 計】、【ORP 計】の項目は（必須ではない）の判定とした。また、従来技術では用いていない NH<sub>4</sub>-N 計と NO<sub>x</sub>-N 計が新たに必要となることから、【NH<sub>4</sub>-N 計と NO<sub>x</sub>-N 計】の項目は本技術が（必須）、従来技術が（不要）と判定した。

表 2-7 保守点検項目の比較

保守点検項目	本技術	従来技術（A20 法）
散気装置	必須	必須
防泡設備	必須	必須
汚泥返送設備	必須	必須
硝化液循環ポンプ設備、 エアリフト設備	不要	必須
水中かくはん設備	不要	必須
メタノール、酢酸および 水酸化ナトリウム注入設備	必須ではない	必須ではない
凝集剤添加設備	必須ではない	必須ではない
水質計器（DO 計）	必須ではない	必須
水質計器（ORP 計）	必須ではない	必須ではない
水質計器（NO <sub>x</sub> -N 計、NH <sub>4</sub> -N 計）	必須	不要

(7) 建設費

本技術、A2O法の各モデル設計における建設費を比較した。

対象範囲は反応タンク設備と送風機設備ならびに電気設備一式とした。

評価範囲における従来技術の建設費が5,960百万円に対して、本技術の建設費は4,656百万円と試算され、削減率は21.9%（年価ベースでは20.6%）となった。

表 2-8 評価範囲における建設費試算結果の内訳

単位：百万円

	土木工事費	建築工事費	機械工事費	電気工事費	合計
従来技術	2597.8	409.2	2432.0	520.7	5,960
本技術	1948.3	306.9	1958.0	442.6	4,656

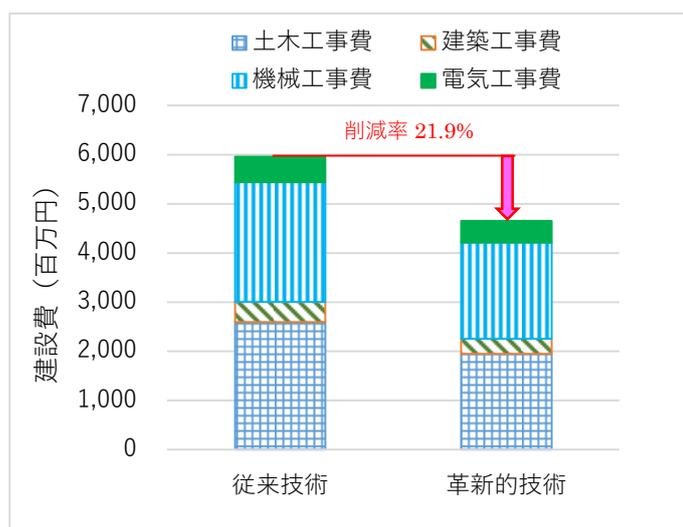


図 2-19 評価範囲における建設費の比較

## (8) 維持管理費

維持管理費は、人件費、薬品費、電力費、保守費を算出した。

対象範囲は(7)項と同一とした。結果を表に整理した。A2O法と比較した削減率は、評価範囲で13.5%であった。

表 2-9 維持管理費内訳

	評価範囲		削減率 (%)
	従来技術	本技術	
人件費	75.6	74.4	1.5
薬品費	0	0	0
電力費	37.8	26.8	29.2
保守費	59.1	48.0	18.8
合計	172.5	149.2	13.5

## 第3章 導入検討

### 第1節 導入検討手法

#### § 12 導入検討手順

本技術の導入の検討にあたっては、対象とする下水処理場の現況および課題等を把握し、導入効果の検討を行い、適切に導入判断する。

#### 【解説】

導入検討にあたっては、図3-1に示す導入検討フローにしたがって、必要な情報を収集し、導入効果の概略試算評価を行い、導入判断を行う。

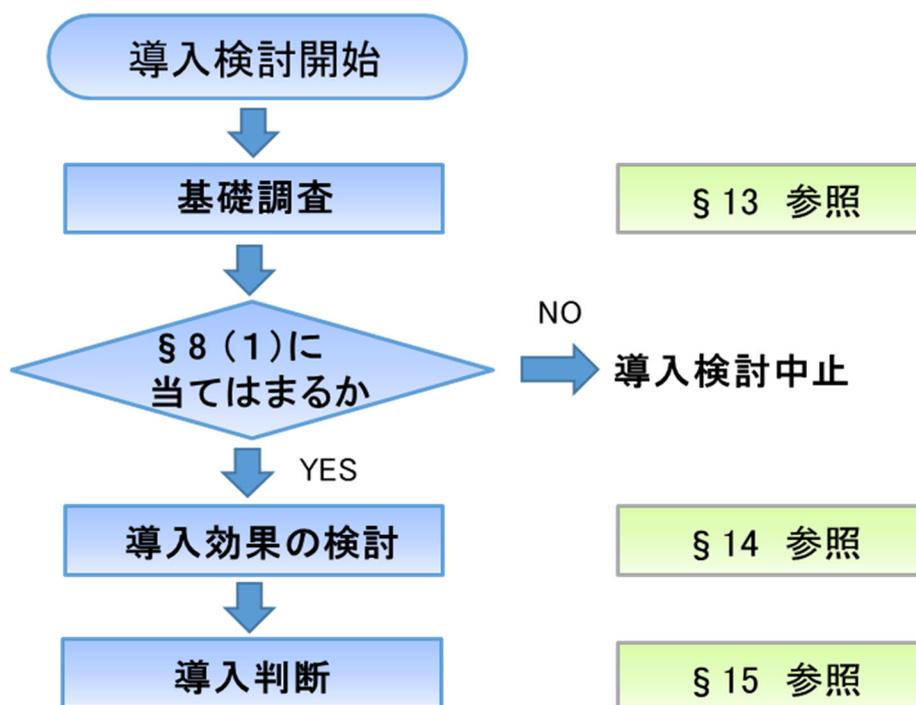


図3-1 導入検討フロー

### § 13 基礎調査

導入検討に必要な、以下の情報を把握する

- (1) 関連する下水道計画（上位計画、基本計画、その他関連計画、高度処理計画）
- (2) 流入汚水量の現状把握と将来予測
- (3) 流入水質および放流水質、水温
- (4) 反応タンクの活性汚泥濃度、返送汚泥比、余剰汚泥量
- (5) 既存施設情報（反応タンク、最終沈殿池、送風機、風量、風量制御方法等）の確認

#### 【解説】

概略の導入検討に必要な情報として、施設情報、流入水質、流入汚水量、更新計画を調査する。なお、本格的な計画・設計のための情報収集は § 17 基本事項の把握に詳述している。

#### (1) 関連する下水道計画（上位計画、基本計画、その他関連計画、高度処理計画）

導入検討対象とする下水処理施設の下水道計画（上位計画、基本計画、その他関連計画、高度処理計画）等の情報を収集する。

#### (2) 流入汚水量の現状把握と将来予測

下水処理場の維持管理年報等により、日最大汚水量を含む年間の水量の傾向変動を確認する。さらに、人口増加あるいは減少に伴う流入汚水量の将来的な増減の予測を確認し、処理場統廃合等の計画がある場合は、それらを考慮した流入汚水量の予測も確認する。

#### (3) 流入水質および放流水質、水温

下水処理場の維持管理年報等から最初沈殿池流入水質（BOD、T-N、T-P）、最初沈殿池流出水質（BOD、T-N、T-P）、放流水質（BOD、T-N、T-P）の年間平均水質、流入下水の低水温時の水温の月平均値を調査する。また、流入水質、処理水質、放流水質の計画値および設計値も確認する。

#### (4) 反応タンクの活性汚泥濃度、返送汚泥比、余剰汚泥量

導入検討対象とする水処理施設の反応タンク汚泥濃度、返送汚泥比、余剰汚泥量を維持管理年俵で確認する。

#### (5) 既存施設情報（反応タンク、最終沈殿池、送風機、風量、風量制御方法等）の確認

導入検討対象とする水処理施設の既存施設情報（反応タンク、最終沈殿池、送風機、風量、風量制御方法等）を収集する。

#### § 14 導入効果の検討

導入効果は、基礎調査によって把握した結果を整理して建設費の概算費用（費用関数）を算出し、これらを総合的に検討する。維持管理費は原単位を用いて検討する。

土木施設から新設する場合には、設置スペースに対する土木施設を含めた設置可否を確認した後、土木施設を含めて、費用を算出する。

#### 【解説】

本解説では、既存施設への改造を前提とした本技術の導入効果の概略検討手法を示す。

詳細な導入効果の検証には、既存施設の状況や流入水質に応じた設計検討が必要である（§ 38 導入効果の検証 参照）。

#### （1）既存施設への設置可否判断

##### 1）既存の標準法施設を高度処理化する場合

はじめに、既存施設に本技術が設置可能かを検討する。本技術は、既設改造（標準法）の場合に追加設置する機器は原則として、水質センサーと風量調節弁のみであるが、反応タンクの形状、送風配管ルート等の確認を行い、設置の可否を確認する。

##### 2）既存の高度処理施設を改築する場合

はじめに、既存施設に本技術が設置可能かを検討する。A2O法では、撤去対象の機器は、既設高度処理の無酸素タンクの攪拌機であり、追加設置する機器は原則として、水質センサーと風量調節弁、散気装置（脱窒ゾーン、好気ゾーンの散気装置）であるが、反応タンクの形状、送風配管ルート等の確認を行い、設置の可否を確認する。

#### （2）導入効果の評価

本技術およびA2O法の建設費や維持管理費の概算値を算出する。A2O法と比べてコスト削減効果が得られる場合には、事業性があるものと評価する。

##### ・検討対象

導入検討においてコスト算出する対象は、改造する水処理施設の系列単位とする。但し、本技術の適用が他の水処理系列のコストに影響を与える場合は、その系列も含めて計算する。

##### ・コストの比較対象範囲

本技術あるいはA2O法の建設費の比較対象範囲を表3-1に示す。

表 3-1 コストの比較対象範囲（既存の標準法施設を高度処理化する場合）

本技術	A2O 法
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土木改造 （りん除去を考慮し、嫌気ゾーンと好気ゾーンを仕切る隔壁の設置等）</li> <li>・ 水質計器の設置</li> <li>・ 送風配管の二条化（反応タンク 1 池あたり）</li> <li>・ 受電等の 1 次側電気</li> <li>・ 中央での運転監視等の改造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土木改造</li> </ul> <p>既存の標準法施設に導入する場合には、躯体の改造が必要</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備設置 （攪拌機、循環ポンプ）</li> <li>・ 受電等の 1 次側電気</li> <li>・ 中央での運転監視等の増設</li> </ul>

既存の高度処理施設を改築する場合には、A2O 法の機械電機設備一式の撤去が発生するが、撤去は本技術を導入する場合と A2O 法を導入する場合の両方において共通なので、表 3-2 中には記載しない。

表 3-2 コストの比較対象範囲（既存の高度処理施設を改築する場合）

本技術	A2O 法
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土木改造 （隔壁の開口率が低い場合は開口率を上げる等）</li> </ul> <p>※本書の試算では計算に含めない。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備設置 NO<sub>x</sub>-N 計、NH<sub>4</sub>-N 計、風量調節弁、散気装置</li> <li>・ 送風配管の二条化（反応タンク 1 池あたり）</li> <li>・ 受電等の 1 次側電気</li> <li>・ 中央での運転監視等の改造</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土木改造</li> </ul> <p>改造は不要</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 設備設置 機械電機設備一式の更新</li> <li>・ 受電等の 1 次側電気</li> </ul>

(3) 本技術の建設費の算出

図 3-2~3-4 に本技術と A2O 法の、施設規模と概算建設費の関係（費用関数）を示す。建設費には、土木工事費、建築工事費、機械工事費、電気工事費が含まれる。

・土木工事、建設工事費

本費用には、標準活性汚泥法や A2O 法の土木施設（最初沈殿池、反応タンク、最終沈殿池）から本技術適用に必要な土木改造費、建設工事費を含む。

また、本試算結果は流入下水の BOD、SS、T-N および T-P の濃度やその比率、既設改造の難易度によって変わる可能性があることに留意する必要がある。

・機械工事費、電気工事費

改築、増設に必要な機械工事費、電気工事費を含む。

1) 既存の標準法施設を高度処理化する場合

建設費の費用関数を図 3-2 に示す。

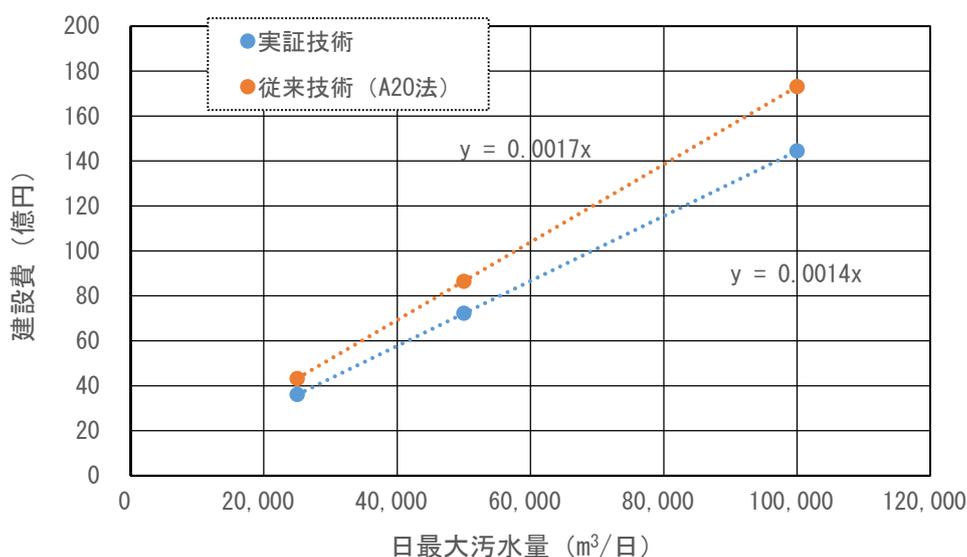


図 3-2 建設費の費用関数（既存の標準法施設を高度処理化する場合）

2) 既存の高度処理施設を改築する場合

建設費の費用関数を図3-3に示す。

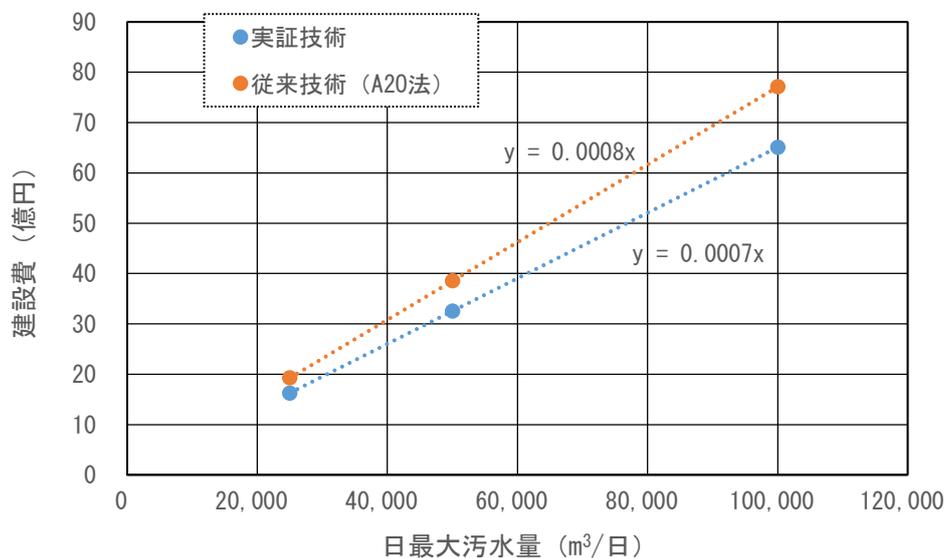


図3-3 建設費の費用関数（既存の高度処理施設を改築する場合）

3) 既存の高度処理施設を統合する場合

建設費の費用関数を図3-4に示す。

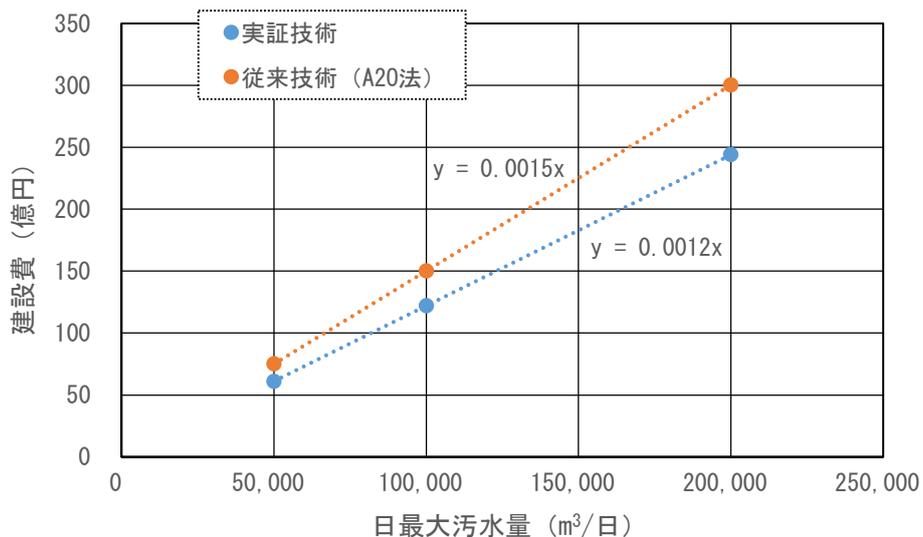


図3-4 建設費の費用関数（既存の高度処理施設を統合する場合）

(4) 本技術の維持管理費の算出

維持管理費として人件費、薬品費、電力費、保守費の算出を行う。

日最大 50,000m<sup>3</sup>/日、日平均 40,000m<sup>3</sup>/日の規模で、流入下水の水質を BOD203mg/L、SS171mg/L、T-N37mg/L、T-P4.6mg/L と仮定して行った試算結果に基づくこれら4項目の原単位を参考に推定する。参考値の適用にあたっては、試算条件より規模が小さい場合や流入下水水質が高濃度となる場合には割高となる可能性があり、導入条件に十分留意する。

1) 人件費

日最大汚水量 50,000m<sup>3</sup>/日における A2O 法および本法の人件費を以下の通り設定し、原単位とする。そして、適用先の処理水量に応じて人件費を計算する。

【A2O 法】

5.4 百万円/年・人×14 人=75.6 百万円/年

※14 人=3 人×4 班+所長、副所長

75.6 百万円/年÷50,000m<sup>3</sup>/日=1.51 千円/m<sup>3</sup>/年

【本法】

74.4 百万円/年 ( § 11 表 2-8 無酸素タンク付帯設備等の削減による保守業務負担の削減分)

74.4 百万円/年÷50,000m<sup>3</sup>/日=1.49 千円/m<sup>3</sup>/年

2) 薬品費

薬品費は不要である。しかし、流入水質等により既存施設において脱窒のためのメタノールの添加設備や凝集剤の添加が必要な場合には、試算する必要がある。

3) 電力費

電力費の原単位を表 3-3 に示す。

表 3-3 電力費

	単位	原単位	備考
電力費	1 式	0.053 [(万円/年)/(m <sup>3</sup> /日)]※ ※日最大汚水量	・電力使用量原単位 0.122 <sup>※1</sup> [kWh/m <sup>3</sup> ] ・電力単価 15[円/kWh]

※1 実証研究による試算結果( § 11 (4) )参照

<算定方法>

0.122[kWh/m<sup>3</sup>] × 15[円/kWh] × 日平均 40,000m<sup>3</sup>/日 × 365 日/年 ⇒ 20 百万円/年。これを日最大水量 50,000m<sup>3</sup>/日で除して算出。

## 4) 保守費

保守費の原単位を表 3-4 に示す。

本技術における保守費は 48 百万円/年（機器費の 2%として算出）となっている。これを日最大水量 50,000m<sup>3</sup>/日で除して算出したものである。

表 3-4 保守費

	単位	原単位	備考
保守費	1 式	0.096 [(万円/年)/(m <sup>3</sup> /日)※] ※日最大汚水量	機器費の 2%

§ 15 導入判断

導入効果の検討結果に加えて、必要に応じて温室効果ガス排出削減等の本技術の特徴、対象施設特有の事項を勘案、改造後の処理能力を確認し、導入の判断を行う。

【解説】

基本的に導入効果の検討（§ 14）の結果に基づいてコスト的に有利であれば「導入」と判断する。これに加えて必要に応じて、本技術の特徴や対象施設特有の事項があれば勘案し、導入の判断を実施する。

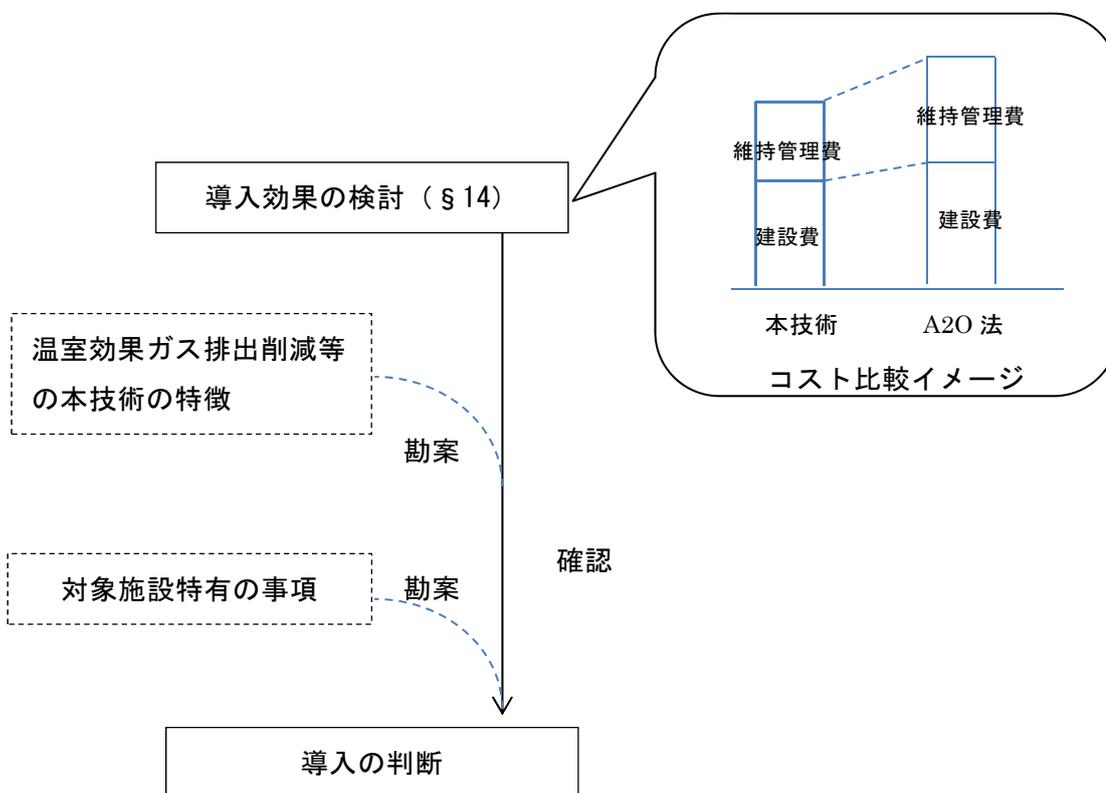


図 3-5 導入判断のフロー

## 第2節 導入効果の検討例

シナリオ毎に試算条件、試算結果（建設費、総費用、エネルギー消費量、温室効果ガス発生量）を示す。

- (1) 標準法からの高度処理化
  - 1) 試算条件
  - 2) レイアウト
  - 3) 建設費
  - 4) 維持管理費
- (2) 既設高度処理施設の改築（A2O法）
  - 1) 試算条件
  - 2) レイアウト
  - 3) 建設費
  - 4) 維持管理費
- (3) 統廃合に伴う能力増強
  - 1) 試算条件
  - 2) レイアウト
  - 3) 建設費
  - 4) 維持管理費

実証研究結果をもとに日最大汚水量 50,000m<sup>3</sup>/日（日平均汚水量 40,000m<sup>3</sup>/日）の場合について、シナリオ毎に本技術および A2O 法に関する導入効果の試算を行った。

(1) 標準法からの高度処理化

1) 試算条件

本技術およびA2O法の試算条件を表3-5に示す。

表3-5 試算条件

No	項目		単位	条件値
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大 処理水量	m <sup>3</sup> /日	50,000 (冬季日最大: 40,000)
		系列数	系列	1
		1系列の 池数	池	本技術 : 11 従来技術 : 15
2	建設費	機械機器費	-	表3-6と表3-7の機器費積み上げ
		電気機器費	-	容量計算に基づく機器費の積み上げ
		工事費	-	容量計算に基づく建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	%	2.3
		耐用年数	年	15 (機械・電気)
				50 (土木)
デフレーター	-	平成29年度値: 107.2		
4	維持管理費	電力単価	円/kWh	15
		機器保守費	%	2 (機械・電気設備工事費に対して)

表3-6 機械機器リスト (共通項目)

最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池
初沈流入堰	反応タンク流入堰	終沈流入堰
汚泥かき寄せ機	返送汚泥投入可動堰	汚泥かき寄せ機
スカム除去装置	送風機/電動機	スカム除去装置
初沈汚泥引抜きポンプ	空気ろ過機	汚泥引抜き装置
初沈汚泥引抜き弁		余剰汚泥ポンプ
		返送汚泥ポンプ
		終沈汚泥引抜き弁

表 3-7 本技術に係る機械機器リスト

本技術	従来技術 (A2O 法)
エアレーション装置	エアレーション装置
風量計 (2 系統分)	嫌気槽用攪拌機
NO <sub>x</sub> -N 計 (制御用)	無酸素槽用攪拌機
NH <sub>4</sub> -N 計 (制御用)	硝化液循環ポンプ
風量演算装置	風量系 (1 系統分)
DO 計、MLSS 計	DO 計、MLSS 計

2) レイアウト

標準法からの高度処理化におけるレイアウトを図 3-6 に示す。

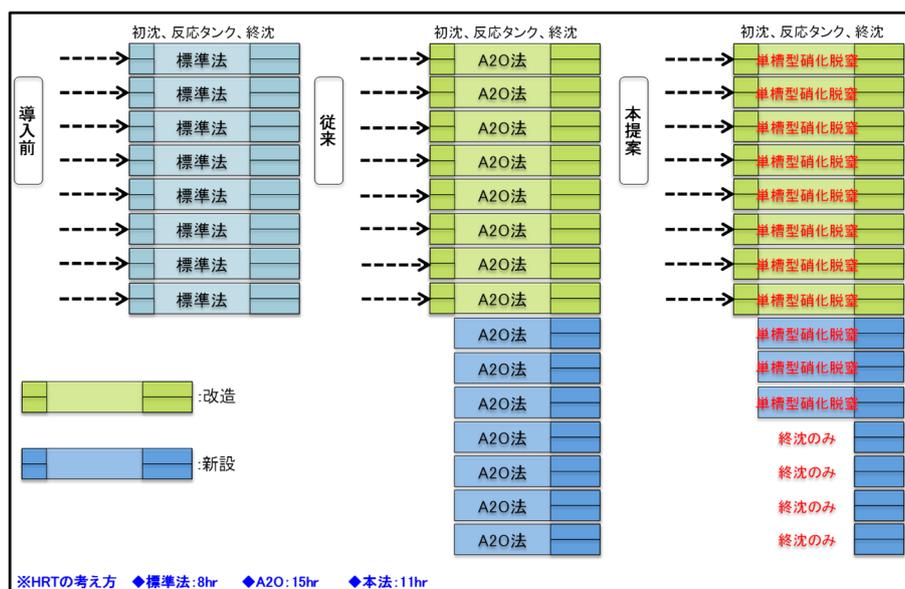


図 3-6 標準法からの高度処理化におけるレイアウト

## 3) 建設費

建設費の試算結果を表 3-8 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 16.5%減(年価で 14.1%減)となった。

表 3-8 建設費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
建設費	億円	72.2	86.6	16.5	—
建設費年価	百万円/年	495.1	576.5	14.1	—

## 4) 維持管理費

維持管理費の試算結果を表 3-9 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 13.1%の削減となった。

なお、今回の試算には含めていないが本技術の要素技術 1 により、風量設定値の検討や採水・水質分析等に必要な労働時間を更に削減出来ると想定される。実証先の成瀬クリーンセンターでのヒアリングでは、要素技術 1 による 20 秒に 1 回の頻度の風量演算により、これまで人為的に行っていた風量設定値の検討時間を年間 80 時間は削減できると想定された(採水・水質分析は含まれていない)。この削減時間を基に、人件費の削減分を計算するにあたり、一般的には設計業務委託等技術者単価が適していると考えたため、本単価における技師 B (40,600 円/人/日) を用いて人件費の削減分を計算すると、年間約 40 万円程の人件費削減が見込めると想定された。

表 3-9 維持管理費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
①人件費	百万円/年	74.4	75.6	1.5	
②電力費	百万円/年	34.9	52.3	33.3	電力単価 15 円/kWh
③薬品費等	百万円/年	0.0	0.0	0.0	
④保守費	百万円/年	109.6	124.0	11.6	機器費の 2%
合計	百万円/年	218.9	251.9	13.1	—

## (2) 既設高度処理施設の改築 (A2O 法)

## 1) 試算条件

本技術および A2O 法の試算条件を表 3-10 に示す。

表 3-10 試算条件

No	項目		単位	条件値
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大 処理水量	m <sup>3</sup> /日	50,000 (冬季日最大 : 40,000)
		系列数	系列	1
		1 系列の 池数	池	本技術 : 6 従来技術 : 8
2	建設費	機械機器費	-	表 3-11 と表 3-12 の機器費積み上げ
		電気機器費	-	容量計算に基づく機器費の積み上げ
		工事費	-	容量計算に基づく建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	%	2.3
		耐用年数	年	15 (機械・電気)
				50 (土木)
デフレーター	-	平成 29 年度値 : 107.2		
4	維持管理費	電力単価	円/kWh	15
		機器保守費	%	2 (機械・電気設備工事費に対して)

表 3-11 機械機器リスト (共通項目)

最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池
初沈流入堰	反応タンク流入堰	終沈流入堰
汚泥かき寄せ機	返送汚泥投入可動堰	汚泥かき寄せ機
スカム除去装置	送風機/電動機	スカム除去装置
初沈汚泥引抜きポンプ	空気ろ過機	汚泥引抜き装置
初沈汚泥引抜き弁		余剰汚泥ポンプ
		返送汚泥ポンプ
		終沈汚泥引抜き弁

表 3-12 本技術に係る機械機器リスト

本技術	従来技術 (A2O 法)
エアレーション装置	エアレーション装置
風量計 (2 系統分)	嫌気槽用攪拌機
NO <sub>x</sub> -N 計 (制御用)	無酸素槽用攪拌機
NH <sub>4</sub> -N 計 (制御用)	硝化液循環ポンプ
風量演算装置	風量系 (1 系統分)
MLSS 計、DO 計	DO 計、MLSS 計

2) レイアウト

既設高度処理施設の改築におけるレイアウトを図 3-7 に示す。

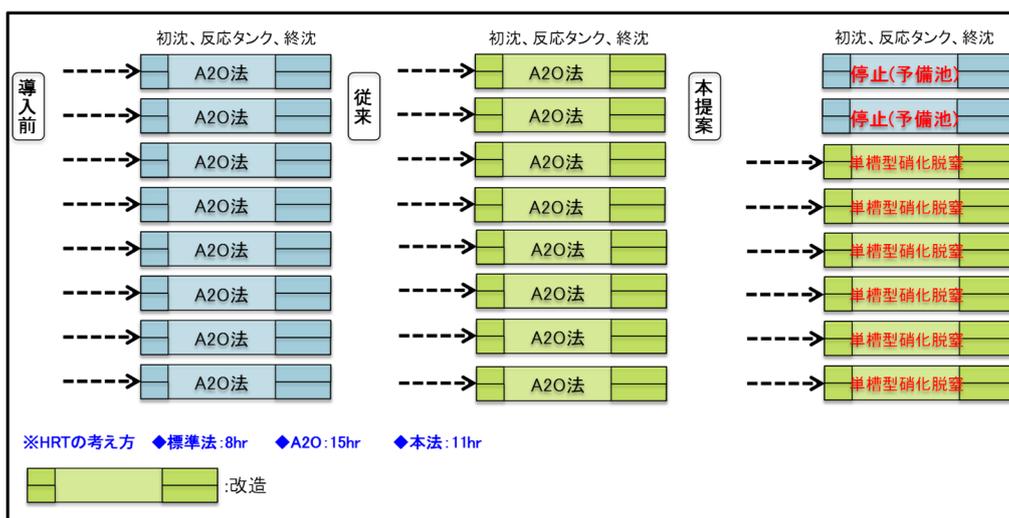


図 3-7 既設高度処理施設の改築におけるレイアウト

## 3) 建設費

建設費の試算結果を表 3-13 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 15.6%減(年価で 15.6%減)となった。

表 3-13 建設費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
建設費	億円	32.5	38.6	15.6	—
建設費年価	百万円/年	258.9	306.8	15.6	—

## 4) 維持管理費

維持管理費の試算結果を表 3-14 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 12.7%の削減となった。

表 3-14 維持管理費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
①人件費	百万円/年	74.4	75.6	1.5	
②電力費	百万円/年	26.8	37.8	29.2	電力単価 15 円/kWh
③薬品費等	百万円/年	0.0	0.0	0.0	
④保守	百万円/年	65.1	77.1	15.6	機器費の 2%
合計	百万円/年	166.3	190.5	12.7	—

(3) 統廃合に伴う能力増強

1) 試算条件

本技術およびA2O法の試算条件を表3-15に示す。

表3-15 試算条件

No	項目		単位	条件値
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大 処理水量	m <sup>3</sup> /日	100,000 (冬季日最大: 80,000)
		系列数	系列	1
		1系列の 池数	池	本技術 : 12 従来技術 : 16
2	建設費	機械機器費	-	表3-16と表3-17の機器費積み上げ
		電気機器費	-	容量計算に基づく機器費の積み上げ
		工事費	-	容量計算に基づく建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	%	2.3
		耐用年数	年	15 (機械・電気)
				50 (土木)
デフレーター	-	平成29年度値: 107.2		
4	維持管理費	電力単価	円/kWh	15
		機器保守費	%	2 (機械・電気設備工事費に対して)

表3-16 機械機器リスト (共通項目)

最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池
初沈流入堰	反応タンク流入堰	終沈流入堰
汚泥かき寄せ機	返送汚泥投入可動堰	汚泥かき寄せ機
スカム除去装置	送風機/電動機	スカム除去装置
初沈汚泥引抜きポンプ	空気ろ過機	汚泥引抜き装置
初沈汚泥引抜き弁		余剰汚泥ポンプ
		返送汚泥ポンプ
		終沈汚泥引抜き弁

表 3-17 本技術に係る機械機器リスト

本技術	従来技術 (A2O 法)
エアレーション装置	エアレーション装置
風量計 (2 系統分)	嫌気槽用攪拌機
NO <sub>x</sub> -N 計 (制御用)	無酸素槽用攪拌機
NH <sub>4</sub> -N 計 (制御用)	硝化液循環ポンプ
風量演算装置	風量系 (1 系統分)
MLSS 計、DO 計	DO 計、MLSS 計

2) レイアウト

統廃合に伴う能力増強におけるレイアウトを図 3-8 に示す。

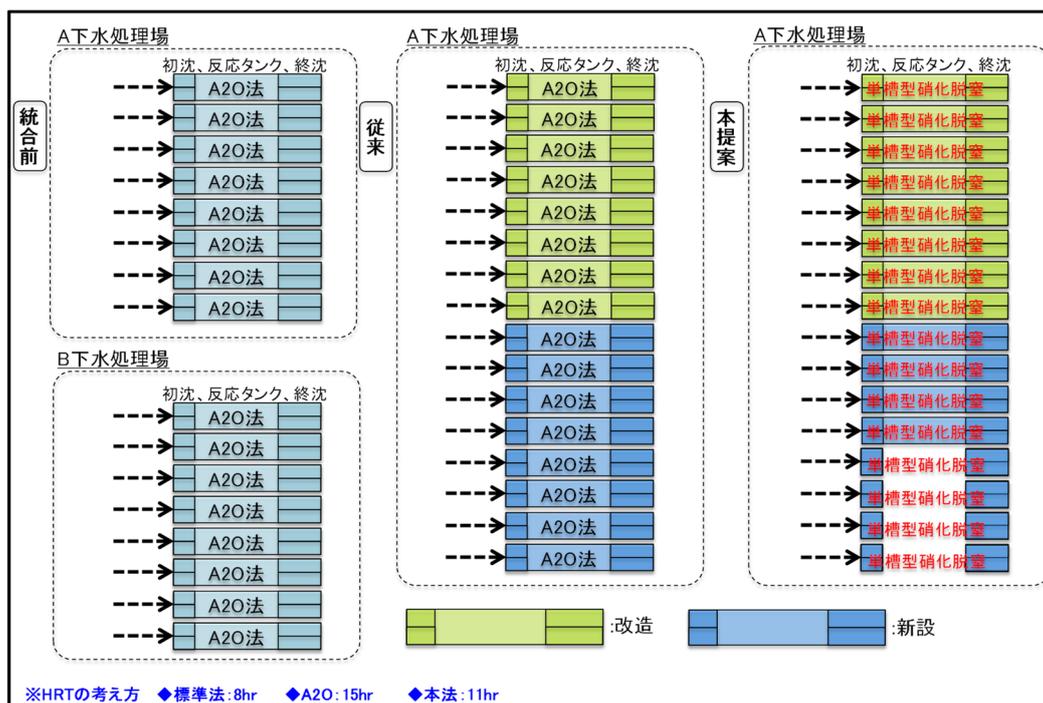


図 3-8 統廃合に伴う能力増強におけるレイアウト

## 3) 建設費

建設費の試算結果を表 3-18 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 18.7%減(年価で 16.6%減)となった。

表 3-18 建設費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
建設費	億円	122.0	150.1	18.7	—
建設費年価	百万円/年	779.4	934.5	16.6	—

## 4) 維持管理費

維持管理費の試算結果を表 3-19 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 12.8%の削減となった。

表 3-19 維持管理費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
①人件費	百万円/年	74.4	75.6	1.5	
②電力費	百万円/年	26.8	37.8	29.2	電力単価 15 円/kWh
③薬品費等	百万円/年	0.0	0.0	0.0	
④保守	百万円/年	160.3	186.5	14.0	機器費の 2%
合計	百万円/年	261.5	299.9	12.8	—

5) 超高効率固液分離技術、最終沈殿池の処理能力向上技術の適用（参考）

本技術の導入にあたっては、導入効果の検討例の(3)で示したように最初沈殿池や最終沈殿池の数が、反応タンクの数よりも多くなってしまいうケースも想定される。

一方、平成23年度にB-DASH実規模実証にて採択された「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム技術実証事業」の超高効率固液分離技術は、最初沈殿池と比べて単位面積あたり5~6倍(ろ過速度:250m/日~500m/日、初沈水面積負荷:33m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・日)とした場合)の下水を処理出来る。そのため、超高効率固液分離を導入することで、最初沈殿池増設数を低減することが可能となる。

また、平成29年度にB-DASH実規模実証にて採択された「最終沈殿池の処理能力向上技術実証事業」の処理能力向上技術は、通常最終沈殿池の最大2倍量の処理能力を有する。そのため、本技術を最終沈殿池に採用することにより、最終沈殿池の増設数を低減することが可能となる。

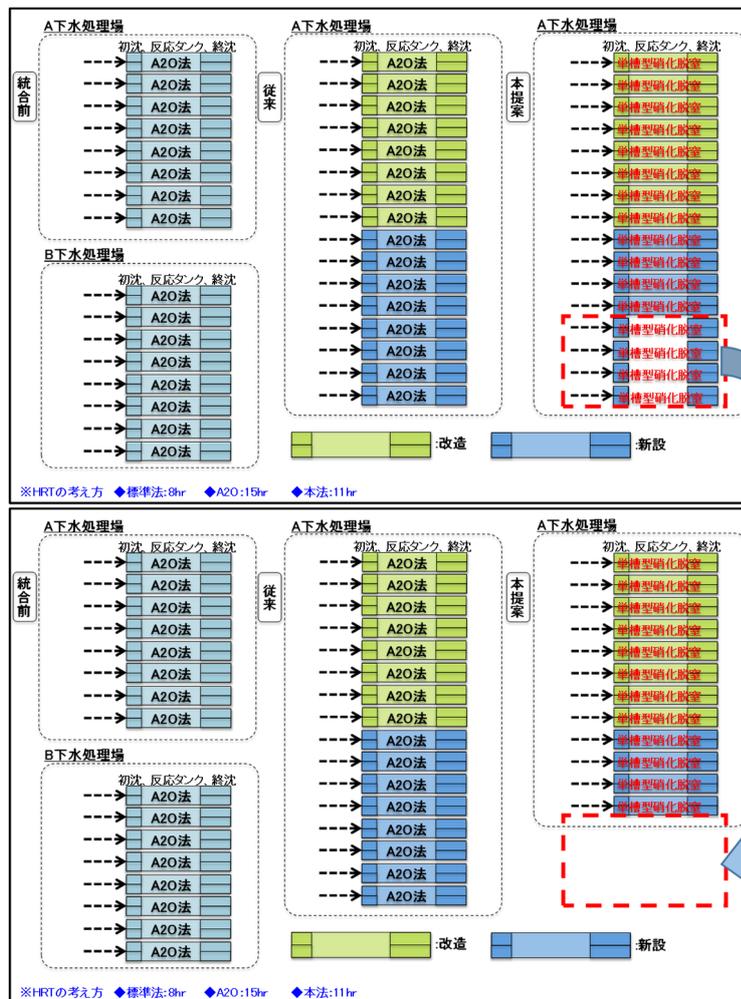


図3-9 超高効率固液分離技術、最終沈殿池処理能力向上技術導入による最初沈殿池数、最終沈殿池数の削減イメージ

## 第4章 計画・設計

### 第1節 導入計画

#### § 16 計画の手順

本技術の導入計画にあたっては、導入対象の下水処理場の現状および課題等を把握した上で、設計計算や設備計画の検討を行い、その結果に基づいた導入効果の検証を行う。

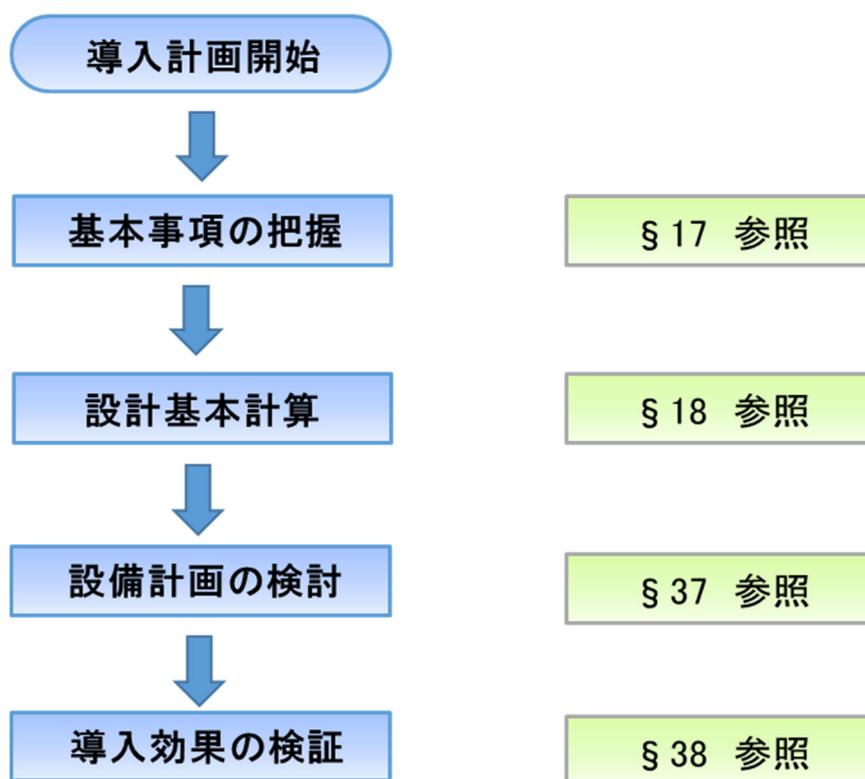


図 4-1 導入手順

#### 【解説】

導入計画にあたっては、対象となる下水処理場の基本事項を検討した後、水処理施設の容量計算を行う。続いて施設計画の検討を実施し、導入効果の検証を行う。

本手順は、既存施設への導入を前提としているが、新規増設の場合もこれに準じて計画する。

なお、容量計算にあたっては設計指針を参考にするとともに、他の実績や既存施設の運転実績等を踏まえるものとする。

**§ 17 基本事項の把握**

本技術の計画、設計に必要な情報を入手し、基本事項を定める。

**(1) 水量（日最大、日平均、日間変動、年間変動）**

現在の季節変動を含む流入汚水量と、各下水道計画に基づく将来予測

**(2) 設計水質、水温**

導入にあたって求められる水質

**(3) 水質基準、規制値**

計画放流水質とその他規制値

**(4) 施設の仕様**

反応タンク、最終沈殿池、送風機等

**【解説】**

本技術導入の計画・設計にあたって必要な情報は以下の通りである。

**(1) 水量（日最大、日平均、日間変動、年間変動）**

設計水量として冬季日最大汚水量を基本とすることから、冬季日最大汚水量を把握する。また、日間変動、年間変動は、本システムの安定運転に必要な情報である。また、流入汚水量や日間変動、年間変動の将来予測は設備の設計や維持管理計画に必要な情報である。

**(2) 設計水質、水温**

設計に必要な水質項目は BOD、SS、T-N、T-P であるが、溶解性 BOD も把握することが望ましい。生物処理は水温の影響を受けるため、年間の水温変化を把握し、最低水温となる月の平均値に注意する。

**(3) 水質基準、規制値**

計画放流水質とその他の下水処理施設に関連する規制事項を確認する。

**(4) 既存施設**

既存水処理施設の寸法、供用開始後の経過年数、水処理設備の経過年数、長寿命化計画、耐震化の有無等を確認し、これらについても従来技術による更新と本技術導入の場合とを比較、考慮する。

**§ 18 設計基本計算**

把握した基本情報をもとに基本設計値を計算する。

**【解 説】**

単槽型硝化脱窒プロセスの設計フローを図 4-2 に示す。設計条件および MLSS 濃度の設定条件から反応タンク、各ゾーンの容量計算を行う。その後、目標窒素除去量を満たすかどうか確認を行い、放流水窒素濃度が条件から外れる場合は BOD-SS 負荷の見直しを行う。りんの除去量については A2O 法と同様に余剰汚泥量と余剰汚泥のりん含有率からりん除去量を求めるが、放流水りん濃度が条件から外れる場合は凝集剤の添加を検討する。

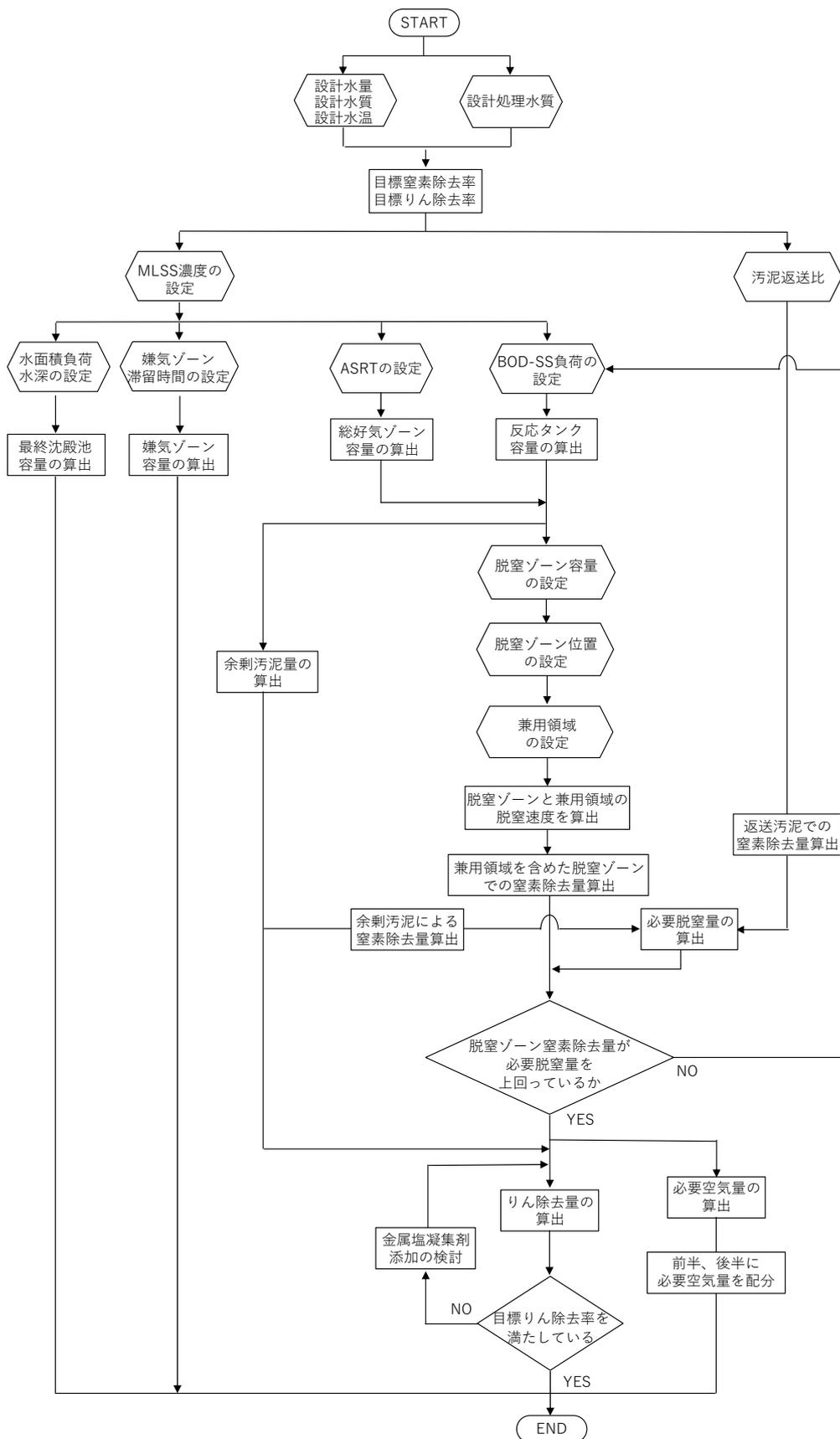


図 4-2 施設容量計算の流れ

**§ 19 設計水量、設計水質、設計水温**

設計水量、設計水温および設計流入水質は、次の各項を考慮して定める。

- (1) 設計水量は、反応タンクについては冬期計画1日最大汚水量を標準とする。最初沈殿池および最終沈殿池については計画1日最大汚水量とする。
- (2) 設計水温は、反応タンク流入水温の月間平均の最低値を標準とする。
- (3) 設計流入水質は、冬期の流入水のBOD、全窒素、SS、溶解性BOD、全りん濃度を設定する。

**【解説】**

本法の容量計算結果は、設計流入水質、設計処理水質および設計水量等の設定により大きく変化することから、その設定に当たっては慎重を期さなければならない。特に、設計流入水質と実態の流入水質にかい離があると設計処理水質を満たせない場合があるので注意する。また、設計流入水質によっては、余剰汚泥の引抜きによる窒素除去と返送汚泥による脱窒で必要窒素除去量の大半を除去することが可能とする容量計算結果となる場合があるので注意する。

**(1) ~ (3) について**

設計水量および設計水質は、設計指針の「第6章 第7節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 137」を参考に決定する。

また、本法において硝化速度および脱窒速度は、水温低下の影響を受ける。このため、設計水温を反応タンク流入水温の月間平均の最低値に定めて設計計算を行う。

## § 20 最初沈殿池

- (1) 水面積負荷は、計画1日最大汚水量に対して  $25\sim 70\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  の範囲内であることを標準とする。
- (2) 有効水深は  $2.5\sim 4.0\text{m}$  を標準とする。
- (3) バイパス水路を設けることが望ましい。
- (4) 最初沈殿池汚泥を反応タンクへ供給できるようにしておくことが望ましい。

## 【解説】

本法の最初沈殿池は、設計指針の「第6章 第7節 I-1-1. 最初沈殿池」を参考に決定する。

## (1) について

基本的には、以下の理由から、水面積負荷は分流式では  $35\sim 70\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 、合流式では  $25\sim 50\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  を標準とするが、脱窒に必要な水素供与体を確保するために  $25\sim 70\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  の範囲内である程度高く設定することが望ましい。

分流式：SS 除去率が高くなると、反応タンク流入水の BOD-SS 比が上昇し、バルキングの原因となったり、活性汚泥の SVI が高くなり、処理水質の悪化を招くおそれもあるので水面積負荷は  $35\sim 70\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$  を標準とする。

合流式：雨天時の処理を考慮して水面積負荷は  $25\sim 50\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  を標準とする。

## (2) について

池が浅すぎると水流や汚泥かき寄せ機等によって底部に堆積した汚泥を巻き上げたり、温度、風等の外気影響を大きく受けて沈殿効果が減少するので、有効水深は  $2.5\sim 4.0\text{m}$  を標準とする。

沈殿時間は、分流式下水道では計画1日最大汚水量に対して1.5時間程度とし、合流式下水道においては3.0時間とすれば雨天時計画汚水量に対して30分以上の沈殿時間を確保することが可能とされている。

## (3)、(4) について

降雨時や通水初期には脱窒に必要な水素供与体（有機物）が少ないことが考えられるので、最初沈殿池をバイパスするための水路および最初沈殿池汚泥を反応タンクに供給する配管の設置を検討する。

また、コストを考慮し、脱窒に必要な水素供与体を確保するためにも、これらの水路や設備の検討は十分行うこと。ただし、スカムなどが反応タンクに流入すると、水中かくはん装置等の故障の原因となるため、スクリーン又は破碎機の設置等を検討する。

§ 21 汚泥返送比

汚泥返送比は、設計水量に対して 50%程度とする。

【解 説】

返送汚泥率は、設計指針の「第 6 章 第 7 節 I - 1 - 2. 標準活性汚泥法等 § 6. 7. 13」を参考に決定する。

通常運転時の汚泥返送比は 50%程度である。汚泥返送比をこれより大きくすると、嫌気ゾーンへの NO<sub>x</sub>-N、DO の持込みにより、嫌気状態に影響を及ぼし、りん除去が阻害されるおそれがある。しかし、汚泥の沈降性が悪化し返送汚泥濃度が低くなった場合でも、必要な MLSS 濃度の維持を可能にするため、設計水量（夏期）に対してポンプ容量は 100%程度の容量とすることが望ましい。

§ 22 MLSS 濃度

MLSS 濃度は 2,000～3,000mg/L を基準とし、最終沈殿池における固液分離が確保される条件において、可能な範囲で高めに定める。

【解 説】

本法の MLSS 濃度は、設計指針の「第 6 章 第 7 節Ⅳ. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 138」と同様に 2,000～3,000mg/L を基準とするが、反応タンク内での硝化速度と脱窒速度を高くするため最終沈殿池の水面積負荷条件や流入水質の窒素濃度による条件などを勘案しつつ、可能な限り高めに定める。

## § 23 必要 ASRT

必要 ASRT は、設計水温の条件下で硝化細菌を系内に保持できる日数以上に定める。

## 【解 説】

必要 ASRT は、設計指針（2019 年度版）の「第 6 章 第 7 節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 140」を参考に設計する。

必要 ASRT は次式で算出する。

$$\theta_{XA} = 20.65 \exp(-0.0639T) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

$\theta_{XA}$  : ASRT(日)

$T$  : 設計水温(°C)

ただし、設計水温は反応タンク流入水温の月間平均値の最低値を標準とする。

## § 24 BOD-SS 負荷

BOD-SS 負荷は嫌気ゾーンを含まない反応タンク容量を対象とする。

## 【解 説】

BOD-SS 負荷は、下式により表される。

なお、求めた BOD-SS 負荷は、脱窒速度の算出に用いる。

$$L_{BOD/X} = \frac{C_{BOD,in} \cdot Q_{in}}{V \cdot X} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、

$L_{BOD/X}$  : BOD-SS 負荷(kgBOD/(kgMLSS・日))

$C_{BOD,in}$  : 反応タンク流入 BOD(mg/L)

$Q_{in}$  : 反応タンク流入水量(m<sup>3</sup>/日)

$V$  : 反応タンク容量(m<sup>3</sup>)

注) 嫌気ゾーン容量は、BOD-SS 負荷計算時の容量に含めないこと

$X$  : MLSS 濃度(mg/L)

**§ 25 嫌気ゾーン容量**

嫌気ゾーン容量は、滞留時間 $\tau_{AN}$ を1～2時間程度確保できるものとする。

**【解 説】**

嫌気ゾーン容量は、設計指針の「第6章 第7節Ⅲ. 嫌気好気活性汚泥法 § 6. 7. 126」を参考に設計する。

また、嫌気ゾーン容量は、BOD-SS 負荷計算時の容量に含めない。

$$V_{AN} = \frac{Q_{in} \times \tau_{AN}}{24} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

$Q_{in}$  : 冬季における計画1日最大流入水量(m<sup>3</sup>/日)

$\tau_{AN}$  : 嫌気ゾーン滞留時間(hr)

§ 26 総好気ゾーン容量

本法の好気ゾーン滞留時間  $\tau_A$  および好気ゾーン容量  $V_A$  をそれぞれ算出する。

【解 説】

総好気ゾーン容量は、設計指針の「第6章 第7節Ⅱ. 循環式硝化脱窒法等 § 6. 7. 85(2)」を参考に設計する。

ASRT( $\theta_{XA}$ )は、式(4)のように示される。

$$\begin{aligned} \theta_{XA} &= V_A \cdot X / (Q_W \cdot X_W + (Q_{in} - Q_W) \cdot C_{SS,G}) \\ &= Q_{in} \cdot \tau_A \cdot X / (Q_W \cdot X_W + (Q_{in} - Q_W) \cdot C_{SS,G}) \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

式(4)を式(5)に代入して好気ゾーン滞留時間 $\tau_A$ (日)は、以下により求められる。

$$\tau_A = \frac{\theta_{XA} \cdot (a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in})}{(1 + c \cdot \theta_{XA}) \cdot X} \dots\dots\dots (5)$$

好気ゾーン容量 $V_A$ ( $m^3$ )の算出は式(6)による。

$$V_A = Q_{in} \times \tau_A = Q_{in} \times \frac{\theta_{XA} \cdot (a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in})}{(1 + c \cdot \theta_{XA}) \cdot X} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、

- $Q_{in}$  : 反応タンク流入水量( $m^3$ /日)
- $X$  : MLSS 濃度(mg/L)
- $C_{S-BOD,in}$  : 反応タンク流入水溶解性 BOD 濃度(mg/L)
- $C_{SS,in}$  : 反応タンク流入水 SS 濃度(mg/L)
- $\tau_A$  : 好気ゾーン滞留時間(日)
- $V_A$  : 好気ゾーン容量( $m^3$ )
- $\theta_{XA}$  : ASRT(日) : 「§ 23 必要 ASRT」参照
- $a$  : S-BOD (溶解性 BOD) に対する汚泥転換率(gMLSS/gS-BOD)
- $b$  : SS に対する汚泥転換率(gMLSS/gSS)
- $c$  : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数(1/日)

<p>§ 27 反応タンク容量</p>
---------------------

<p>本法の反応タンク容量を算出する。</p>
-------------------------

**【解 説】**

反応タンク容量は、設計指針の「第6章 第7節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 141(2)」を参考に設計する。

反応タンク容量  $V_{DN+A}$  (好気ゾーン容量と脱窒ゾーン容量の和) は、BOD-SS 負荷の関数として下式により表される。

$$V_{DN+A} = \frac{C_{BOD,in} \cdot Q_{in}}{L_{BOD/X} \cdot X} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、

$V_{DN+A}$  : 反応タンク容量(m<sup>3</sup>)

$C_{BOD,in}$  : 流入水 BOD 濃度(mg/L)

$Q_{in}$  : 流入水量(m<sup>3</sup>/日)

$L_{BOD/X}$  : BOD-SS 負荷(kgBOD/(kgMLSS・日))

嫌気ゾーン容量は、BOD-SS 負荷計算時の容量に含めない。

$X$  : MLSS 濃度(mg/L)

**§ 28 脱窒ゾーン容量の設定**

本法の脱窒ゾーン容量を算出する。

**【解 説】**

脱窒ゾーン容量は、設計指針の「第6章 第7節IV. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 141(2)」を参考に設計する。

脱窒ゾーン容量は、反応タンク容量から好気ゾーン容量を差し引くことで下式により表される。

$$V_{DN} = V_{DN+A} - V_A \cdots \cdots \cdots (8)$$

ここで、

$V_{DN+A}$  : 反応タンク容量(m<sup>3</sup>)

$V_A$  : 好気ゾーン容量(m<sup>3</sup>)

$V_{DN}$  : 脱窒ゾーン容量(m<sup>3</sup>)

§ 29 脱窒ゾーン位置の設定

本法の脱窒ゾーン位置を設定する。

【解説】

本法における好気ゾーンと脱窒ゾーンの位置関係の概念図を図 4-3 に示す。好気ゾーンは、脱窒ゾーンを挟んで設置し、前半好気ゾーンと後半好気ゾーンの容量が等量とすることを基本とする。

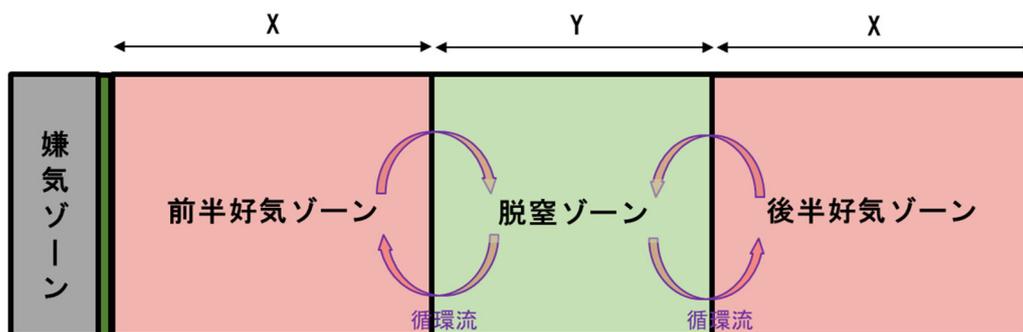


図 4-3 好気ゾーンと脱窒ゾーンの位置関係の概念図

§ 30 兼用領域の設定

本法の兼用領域（硝化と脱窒の両方が進行する領域）を設定する。

【解 説】

実証において、図 4-4 に示すように脱窒ゾーンと好気ゾーンの境界部において強い循環流が形成され、その結果、脱窒ゾーンと隣接する好気ゾーンに低 DO 領域が形成されることを確認した。また、脱窒ゾーンと隣接する好気ゾーンで阻流壁で囲まれる位置まで DO が 0.2~0.5mg/L であったことを確認しており、循環流が形成される近傍の阻流壁までの範囲は、低 DO となり、硝化と脱窒の両方が進行する兼用領域と設定した。

実証においては、脱窒ゾーンと好気ゾーンの境界から阻流壁までの範囲 5m までは循環流が形成され、その範囲に阻流壁がある場合は、阻流壁までの範囲を兼用領域と設定した。また、CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析で阻流壁がない条件で流体解析を行ったところ、循環流と DO 分布の傾向が、阻流壁のある場合と同様の傾向を示すことを確認した。そのため、実証結果をふまえ、兼用領域は阻流壁の有無に関わらず上流側、下流側とも兼用領域と脱窒ゾーンの比率を 1:2 と設定した。

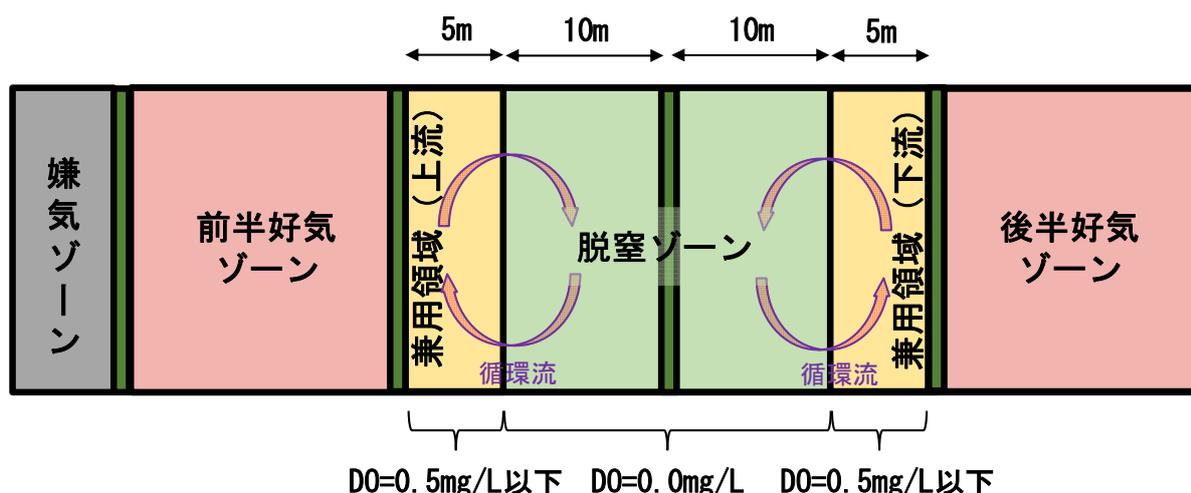


図 4-4 兼用領域の概念図（成瀬クリーンセンター1系）

§ 31 脱窒ゾーンと兼用領域の脱窒速度を算出

本法の脱窒ゾーンと兼用領域の脱窒速度を算出する。

【解 説】

兼用領域においては、DO=0.5mg/Lと仮定し、脱窒速度を以下の補正式(式(9))によって補正する。脱窒速度の補正例を表に示す。脱窒ゾーン内(DO=0mg/Lとみなす)では脱窒速度はDOによる阻害を受けないが、兼用領域では阻害を受けるため、脱窒ゾーンよりも脱窒速度は小さくなる。

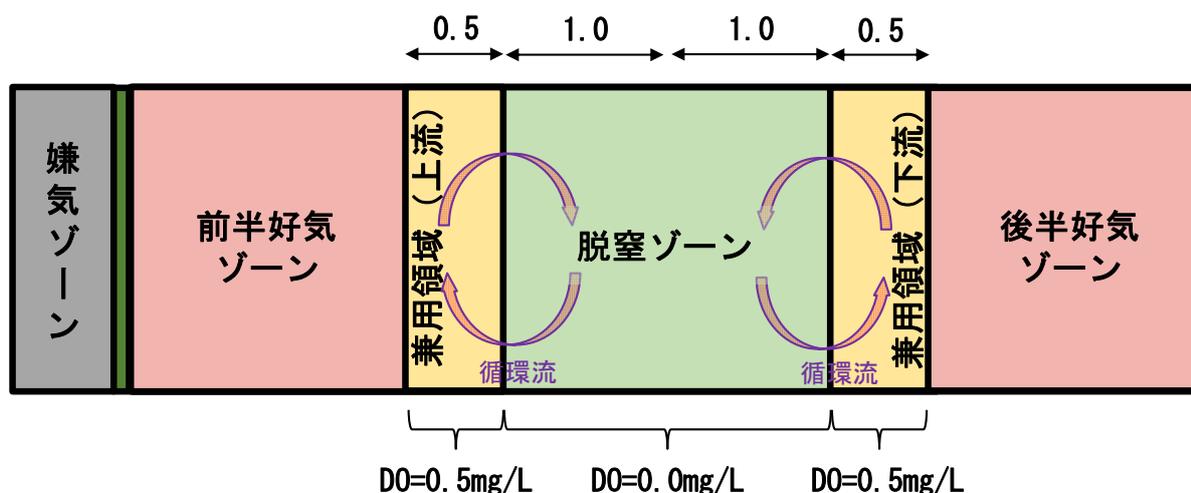


図 4-5 兼用領域の概念図

$$\text{脱窒速度における DO の補正定数} = \frac{KO_2}{DO + KO_2} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

$KO_2$  : 脱窒速度における DO の補正定数<sup>4)</sup> (mg/L) 0.2

$DO$  : DO(mg/L)

表 4-1 兼用領域における脱窒速度の補正例

	DO	脱窒速度補正定数	脱窒速度(補正後)
	mg/L	-	mgN/(gMLSS・hr)
兼用領域(上流)	0.5	0.29	0.26
脱窒ゾーン	0.0	1.00	0.91
兼用領域(下流)	0.5	0.29	0.26

§ 32 兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量を算出

本法の兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量を算出する。

【解 説】

脱窒ゾーンおよび兼用領域における脱窒速度から、脱窒による窒素除去量を算出する。

$$\text{脱窒ゾーンの脱窒量} = \frac{K_{DN} \cdot V_{DN} \text{の実HRT} \cdot X \cdot (Q_{in} + Q_r)}{1,000} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここで、

- $K_{DN}$  : 脱窒ゾーンの脱窒速度定数(mgN/(gMLSS・hr))
- $X$  : MLSS(g)
- $Q_{in}$  : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m<sup>3</sup>/d)
- $Q_r$  : 返送汚泥量(m<sup>3</sup>/d)
- $V_{DN}$  の実HRT : 式(11)により計算

$$V_{DN} \text{の実HRT} = \frac{V_{DN} \times 24}{Q_{in} + Q_r} \quad \dots\dots\dots (11)$$

ここで、

- $V_{DN}$  : 脱窒ゾーン容積(m<sup>3</sup>)
- $Q_{in}$  : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m<sup>3</sup>/d)
- $Q_r$  : 返送汚泥量(m<sup>3</sup>/d)

$$\text{兼用領域の脱窒量} = \frac{K_{DN} \cdot V_{DN-d} \text{の実HRT} \cdot X \cdot (Q_{in} + Q_r)}{1,000} \quad \dots\dots\dots (12)$$

ここで、

- $K_{DN-d}$  : 兼用領域の脱窒速度定数(mgN/(gMLSS・hr))
- $X$  : MLSS(g)
- $Q_{in}$  : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m<sup>3</sup>/d)
- $Q_r$  : 返送汚泥量(m<sup>3</sup>/d)
- $V_{DN-d}$  の実HRT : 式(13)により計算

$$V_{DN-d} \text{の実HRT} = \frac{V_{DN-d} \times 24}{Q_{in} + Q_r} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ここで、

- $V_{DN-d}$  : 兼用領域容積(m<sup>3</sup>)
- $Q_{in}$  : 冬季における計画 1 日最大流入水量(m<sup>3</sup>/d)

$Q_r$  : 返送汚泥量(m<sup>3</sup>/d)

本法における脱窒速度定数の水温補正は、式(14)により算出する。

$$K_{DN} = C_A \times L_{BOD/X} + \gamma \dots\dots\dots (14)$$

ここで、

- $K_{DN}$  : 脱窒速度定数(mgN/(gMLSS・hr))
- $C_A$  : 温度補正係数=0.1008exp(0.1167 × T)
- $L_{BOD/X}$  : BOD-SS 負荷(kgBOD/(kgMLSS・日))
- $\gamma$  : 切片=0.8
- $T$  : 反応タンク流入水温(°C)

式(14)により反応タンク流入水温 (15°C) における脱窒速度定数を算出し、BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係を整理したものを図 4-6 に示す。参考に、設計指針の「第 6 章 第 7 節 II. 循環式硝化脱窒法 § 6. 7. 86」から引用した BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係 ( $y=7.7x+0.6$ ) を示す。本法では、設計指針から引用した式のように BOD-SS 負荷の増加と共に脱窒速度が顕著に増加するわけではなく、ほぼ横ばいである。この理由は、本法では A2O 法と異なり脱窒ゾーンの前段に前半好気ゾーンがあるため、そこである程度の BOD 酸化が行われるためである。本例においては、脱窒速度定数を、図 4-6 中の予測式 ( $y=0.58x+0.8$ ) を基に、設定した BOD-SS 負荷に相当する値を用いる。

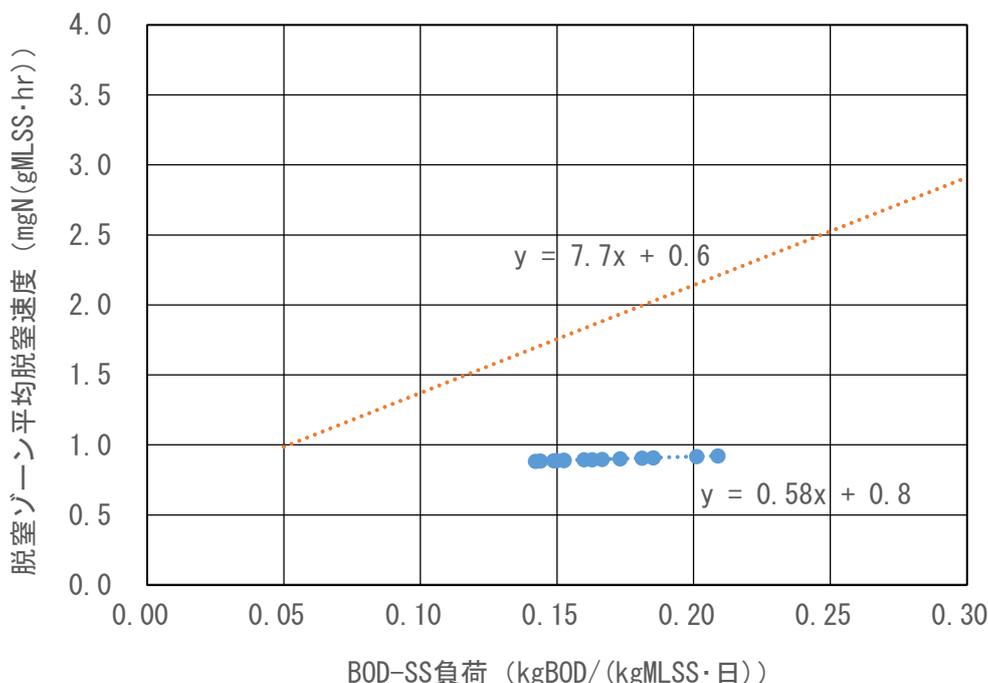


図 4-6 BOD-SS 負荷と脱窒速度の関係の例 (水温 15°C)

§ 33 兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量が必要脱窒量を上回っているか確認

本法の兼用領域も含めた脱窒ゾーンでの窒素除去量が必要脱窒量を上回っているかを確認する。

【解説】

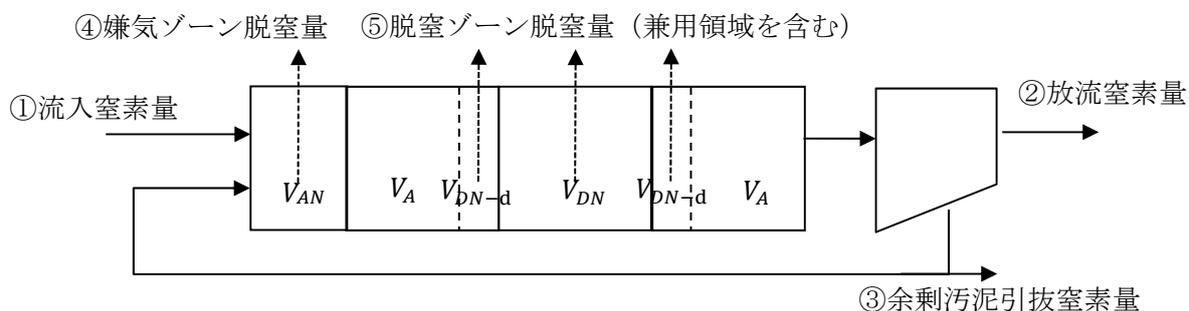
脱窒ゾーン及び兼用領域における脱窒量が、必要脱窒量を上回っているかどうかを確認する。本法における窒素収支は、以下のように表すことができる。

$$L_{TN,in} - L_{TN,W} - L_{NOX,AN} - L_{NOX,DN} = L_{TN,eff} \quad \dots\dots\dots (15)$$

ここで、

- $L_{TN,in}$  : 反応タンク流入窒素量(kgN/日)
- $L_{TN,eff}$  : 放流窒素量(kgN/日)
- $L_{TN,W}$  : 余剰汚泥引抜窒素量(kgN/日)
- $L_{NOX,AN}$  : 嫌気ゾーン脱窒量(kgN/日)
- $L_{NOX,DN}$  : 脱窒ゾーン（兼用領域を含む）脱窒量(kgN/日)

本法における窒素収支は下図のとおりであり、窒素除去は余剰汚泥の引き抜き（③）、嫌気ゾーンにおける脱窒（④）、反応タンクの脱窒ゾーン（兼用領域を含む）における脱窒（⑤）により行われる。



よって、脱窒ゾーン（兼用領域を含む）における必要脱窒量は、以下の式により算出できる。

$$\text{必要脱窒ゾーン脱窒量 (必要 } L_{NOX,DN}) = ① - ② - ③ - ④$$

ただし、

$$① L_{TN,in} = \frac{Q_{in} \cdot C_{TN,in}}{1,000} \quad \dots\dots\dots (16)$$

ここで、

- $Q_{in}$  : 反応タンク流入水量(m<sup>3</sup>/日)
- $C_{TN,in}$  : 反応タンク流入T-N濃度(mg/L)

$$\textcircled{2} L_{TN,eff} = \frac{Q_{in} \cdot C_{TN,eff}}{1,000} \dots\dots\dots (17)$$

ここで、

$C_{TNN,eff}$  : 放流水T-N濃度(mg/L) … 設計処理水質

$$\textcircled{3} L_{TN,W} = \frac{Q_{in} \cdot (a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot X \cdot \tau_A) \cdot N_X}{1,000} \dots\dots\dots (18)$$

ここに、

- $N_X$  : 汚泥窒素含有率(kgN/kgMLSS)
- $Q_{in}$  : 反応タンク流入水量(m<sup>3</sup>/日)
- $X$  : MLSS 濃度(mg/L)
- $C_{S-BOD,in}$  : 反応タンク流入水溶解性 BOD(mg/L)
- $C_{SS,in}$  : 反応タンク流入水 SS 濃度(mg/L)
- $\tau_A$  : 好気ゾーン滞留時間(日)
- $a$  : S-BOD (溶解性 BOD) に対する汚泥転換率(gMLSS/gS-BOD)
- $b$  : SS に対する汚泥転換率(gMLSS/gSS)
- $c$  : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数(1/日)

$$\textcircled{4} \text{ 嫌気ゾーン脱窒量 } L_{NOX,AN} = Rr \cdot Q_{in} \cdot C_{NOX,eff} \dots\dots\dots(19)$$

ここに、

- $Rr$  : 汚泥返送比(-)
- $C_{NOX,eff}$  : 放流水NO<sub>x</sub>-N濃度(mg/L)

返送汚泥中の NO<sub>x</sub>-N 濃度は、最終沈殿池での脱窒量ゼロとみなして放流水中の NO<sub>x</sub>-N 濃度と同一とする。

また、反応タンク流入水中の NO<sub>x</sub>-N は、一般的にゼロとして扱え、この条件では嫌気ゾーンにおける脱窒量は、上記の式により算出することができる。なお、嫌気ゾーンには有機物が十分に存在するため、流入した NO<sub>x</sub>-N はすべて脱窒されるものとして計算する。

§ 34 リン除去量の算出

本法のリン除去量は、余剰汚泥量と汚泥のリン含有率により算出する。

【解 説】

(1) リン除去と SRT の関係

生物学的リン除去法において除去されるリンは、活性汚泥に蓄積されるため、系外には、最終的に余剰汚泥として引き抜かれることになる。すなわち、このことは、活性汚泥中のリン含有率が高く、余剰汚泥量が多いほどプロセスのリン除去率は高くなり、本法における平均的な汚泥中のリン含有率がわかればリン除去量は SRT から推定することができる（設計指針の「第6章 第7節Ⅲ. 嫌気好気活性汚泥法 § 6. 7. 127」から引用）。

(2) 活性汚泥中のリン含有率とリン除去量

生物学的リン除去プロセスにおける余剰汚泥中のリン含有率は、実施設においては、図 4-7（設計指針の「第6章 第7節Ⅳ. 嫌気無酸素好気法 § 6. 7. 144」から引用）、図 4-8（本技術実証結果）に示すように、顕著な傾向を示していない。したがって、リン含有率は、2~4%の範囲で設定することが望ましい。

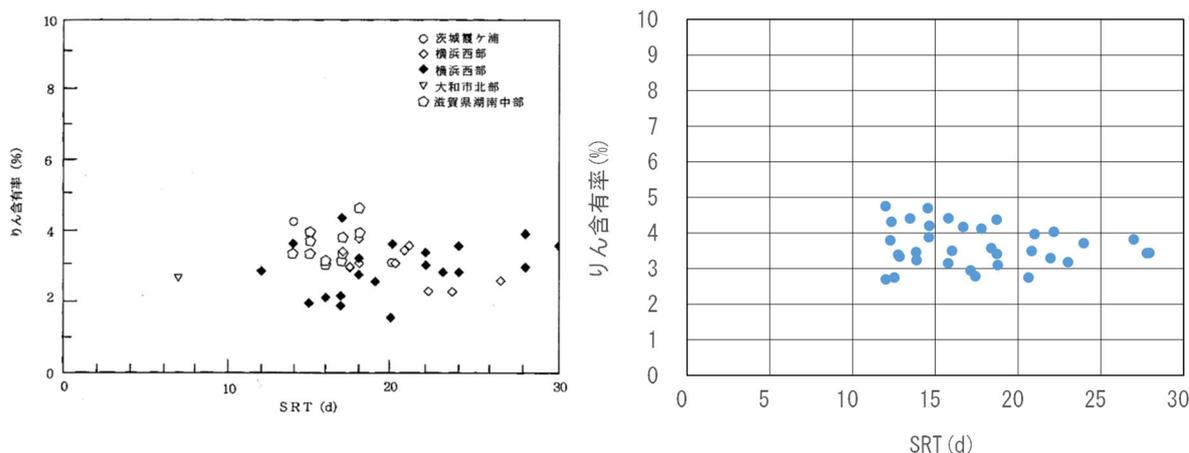


図 4-7 嫌気無酸素好気法における SRT と余剰汚泥中のリン含有率の関係（左図）  
（設計指針（2019 年度版） 図 6. 7. 99 引用）

図 4-8 SRT と余剰汚泥中のリン含有率の関係（実証結果 右図）

生物学的りん除去プロセスで除去される全りん濃度は、汚泥生成量と余剰汚泥のりん含有率で決定される。りん除去に関する計算は、設計指針の「第6章 第7節Ⅲ. 嫌気好気活性汚泥法 §6. 7. 127」から引用した式(20)で求める。

$$\Delta C_{TP} = P_x \cdot (a \cdot C_{s-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot \tau_A \cdot X) \dots\dots\dots (20)$$

ここに、

- $\Delta C_{TP}$  : 除去全りん濃度 (mg/L)
- $P_x$  : りん含有率(gP/gMLSS)
- $C_{s-BOD,in}$  : 反応タンク流入水溶解性 BOD (mg/L)
- $C_{SS,in}$  : 反応タンク流入水 SS 濃度 (mg/L)
- $\tau_A$  : 好気タンク滞留時間 (d)
- $X$  : MLSS 濃度 (mg/L)
- $a$  : S-BOD に対する汚泥転換率(gMLSS/g S-BOD)
- $b$  : SS に対する汚泥転換率(gMLSS / g SS)
- $c$  : 活性汚泥微生物の内生呼吸による減量を表す係数 (1 / d)

処理水の全りん濃度  $C_{TP,eff}$ (mg/L) は設計指針の「第6章 第7節. 嫌気好気活性汚泥法 §6. 7. 127」から引用した式(21)で示される。

$$C_{TP,eff} = C_{TP,in} - \Delta C_{TP} \dots\dots\dots (21)$$

ここに、

- $C_{TP,in}$  : 反応タンク流入水中の全りん濃度 (mg/L)

## § 35 必要風量の算出

必要風量は、流入水質や水量を考慮して求める必要酸素量に基づいて、エアレーション装置の酸素移動効率から適正に求める。

## (1) 必要酸素量の算出

必要酸素量は、有機物 (BOD) の酸化、硝化および活性汚泥微生物の内生呼吸に必要な酸素量に加えて溶存酸素維持のために必要な酸素量も考慮する。

## (2) 必要酸素量の前半・後半への配分

## (3) 必要風量の算出 (前半・後半別)

## 【解 説】

## (1) について

必要酸素量 (OR : Oxygen Requirement) は、次式で与えられる (設計指針の「第 6 章 参考. 1 I.3 (9) 必要酸素量」から引用)。

$$\text{必要酸素量 (OR)} = D_B + D_N + D_E + D_O$$

ここに、

- |       |  |
|-------|--|
| $D_B$ | : 有機物の酸化に必要な酸素量 (kgO <sub>2</sub> /d) . . . . . ①    |
| $D_N$ | : 硝化反応に必要な酸素量 (kgO <sub>2</sub> /d) . . . . . ②      |
| $D_E$ | : 内生呼吸に必要な酸素量 (kgO <sub>2</sub> /d) . . . . . ③      |
| $D_O$ | : 溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量 (kgO <sub>2</sub> /d) . . . . . ④ |

以降に①～④の 4 種の必要酸素量を算出する方法を示す。

① 有機物の酸化に必要な酸素量  $D_B$  (kgO<sub>2</sub>/d)

有機物酸化に必要な酸素量  $D_B$  は BOD 除去量に係数  $A$  を乗じて算出するが、脱窒により消費される BOD 量を減じて計算する。 $D_B$  は式(22)により求められる。

$$D_B = \{ (C_{BOD,in} - C_{BOD,eff}) \cdot Q_{in} \times 10^{-3} - (L_{NOX,AN} + L_{NOX,DN}) \cdot K \} \cdot A \dots\dots\dots (22)$$

ここに、

- $C_{BOD,in}$  : 反応タンク流入水 BOD (mg/L)
- $C_{BOD,eff}$  : 処理水 BOD (mg/L)
- $Q_{in}$  : 反応タンク流入水量 (m<sup>3</sup>/d)
- $L_{NOX,AN}$  : 嫌気ゾーン NO<sub>x</sub>-N 負荷量 (kgN/d)
- $L_{NOX,DN}$  : 脱窒ゾーン (兼用領域含む) 脱窒量 (kgN/d)
- $K$  : 脱窒により消費される BOD 量 (kgBOD/kgN) : 2.0
- $A$  : 除去 BOD 当たりに必要な酸素量 (kgO<sub>2</sub>/kgBOD) : 0.5~0.7

ここで、 $L_{NOX,AN}$  および  $L_{NOX,DN}$  は下式により求めることができる。

$$L_{NOX,AN} = C_{NOx,eff} \cdot Q_r \times 10^{-3} \dots\dots\dots (23)$$

$$L_{NOX,DN} = (C_{TN,in} - C_{TN,eff}) \cdot Q_{in} \times 10^{-3} - L_{NOX,AN} - Q_w \cdot X_w \cdot N_x \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots (24)$$

ここに、

- $Q_r$  : 返送汚泥量 (m<sup>3</sup>/d)
- $Q_{in}$  : 反応タンク流入水量 (m<sup>3</sup>/d)
- $Q_w$  : 余剰汚泥量 (m<sup>3</sup>/d)
- $C_{NOx,eff}$  : 返送汚泥 NO<sub>x</sub>-N 濃度 (mg/L)
- $C_{TN,in}$  : 反応タンク流入水窒素濃度 (mg/L)
- $C_{TN,eff}$  : 放流水窒素濃度 (mg/L)
- $N_x$  : 余剰汚泥中窒素濃度率 (-)
- $X_w$  : 余剰汚泥の平均 SS 濃度 (mg/L)

② 硝化反応に必要な酸素量  $D_N$  (kgO<sub>2</sub>/d)

硝化反応に必要な酸素量  $D_N$ は、硝化される窒素量に係数  $C$ を乗じて算出する。

設計指針では、「硝化される窒素量は、ケルダール窒素の除去量から余剰汚泥に転換した窒素量を差し引いて、式(25)により算出する」としている。

$$D_N = C(\text{kgO}_2/\text{kgN}) \times \text{硝化した K}_j\text{-N 量}(\text{kgN}/\text{d}) \dots\dots\dots (25)$$

ここに、

$C$  : 硝化反応に伴い消費される酸素量 (kgO<sub>2</sub>/kgN) : 4.57

硝化した K<sub>j</sub>-N 量 : (流入水 K<sub>j</sub>-N 量) - (流出水 K<sub>j</sub>-N 量)  
 - (余剰汚泥に転換された K<sub>j</sub>-N 量)

$$\text{流入水 K}_j\text{-N 量} = Q_{in} \cdot C_{KN,in} \times 10^{-3}$$

$$\text{流出水 K}_j\text{-N 量} = Q_{in} \cdot C_{KN,eff} \times 10^{-3}$$

$$\text{余剰汚泥に転換された K}_j\text{-N 量} = Q_{in} \cdot X_X \cdot N_X \times 10^{-3}$$

ここに、

単位余剰汚泥量  $X_X$  :  $a \cdot C_{S-BOD,in} + b \cdot C_{SS,in} - c \cdot \tau_A \cdot X$  (mg/L)

$C_{KN,in}$  : 流入水 K<sub>j</sub>-N 濃度 (mg/L)

$C_{KN,eff}$  : 流出水 K<sub>j</sub>-N 濃度 (mg/L)

$N_X$  : 余剰汚泥窒素含有率 (-)

③ 内生呼吸に必要な酸素量  $D_E$  (kgO<sub>2</sub>/d)

内生呼吸に必要な酸素量  $D_E$ は、反応タンク内の微生物量 (MLVSS 量) に係数  $B$ を乗じて、式(26)により算出する。

内生呼吸の算出にあたっては、好気ゾーンに対して算出する。

$$D_E = B \cdot V_A \cdot MLVSS \dots\dots\dots (26)$$

ここに、

$B$  : 単位 MLVSS 当たりの内生呼吸による酸素消費量  
 (kgO<sub>2</sub>/kgMLVSS/d) : 0.05~0.15

$V_A$  : 好気ゾーン容量 (m<sup>3</sup>)

$MLVSS$  : 活性汚泥有機性微生物 (MLSS 中の強熱減量) (kg/m<sup>3</sup>)

④ 溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量  $D_0$  (kgO<sub>2</sub>/d)

溶存酸素濃度の維持に必要な酸素量  $D_0$ は、溶存酸素濃度に流量を乗じて算出する。DOは反応タンク末端における一般的な値を設定する。本法では硝化がちょうど完了するような風量となり、DOは原理的にA2O法に比べて下がるが、設計上は1.5 mg/Lとする。

$$D_0 = C_{O,A} \cdot (Q_{in} + Q_r) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (27)$$

ここに、

$C_{O,A}$  : 反応タンク末端の溶存酸素濃度(mg/L)

なお、採水調査日におけるDOの日平均値は表4-2の範囲であった。

表4-2 採水調査日におけるDOの日平均値

	成瀬クリーンセンター
DOの日平均値(mg/L)	0.3 ~ 0.8

(2) について

以上の方法で求めた必要酸素量を前半・後半別に割り振る方法を以下に示す。

本法では、§29で述べた通り、好気ゾーンを等分して前半好気ゾーン、後半好気ゾーンとするため、必要酸素量も等分することを基本とし、前半好気ゾーン、後半好気ゾーンに振り分ける。

(3) について

必要風量は必要酸素量を基にして、エアレーション装置の酸素移動効率から前半・後半別に求める。なお、必要風量の合計値が既設送風機設備の供給可能な風量を上回る場合、設計指針の「第6章 第7節 §6.7.23～§6.7.29」を参考に送風機の増設を検討する。

必要風量の算出に用いるエアレーション装置の酸素移動効率は、1気圧で溶存酸素が存在しない清水状態における性能であるため、下水処理における必要酸素量をいったん式(28)により清水状態での酸素供給量(SOTR: Standard Oxygen Transfer Requirement)に換算し、酸素移動効率から必要風量を、式(30)により求める。

$$SOTR = \frac{OR \cdot C_{S1} \cdot \gamma}{1.024^{T_2-T_1} \cdot \alpha(\beta \cdot C_{S2} \cdot \gamma - C_0)} \times \frac{101.3}{P} \quad \dots\dots\dots (28)$$

ここに、

- SOTR :  $T_1^\circ\text{C}$ における清水状態での酸素供給量(kgO<sub>2</sub>/d)
- OR : 反応タンク1池の  $T_2^\circ\text{C}$ における1日当たりの必要酸素量(kgO<sub>2</sub>/d)
- $T_1$  : エアレーション装置性能の前提となる清水温度(°C)
- $T_2$  : 混合液の水温(°C)
- $C_{S1}$  : 清水  $T_1^\circ\text{C}$ での飽和酸素濃度(mg/L)
- $C_{S2}$  : 清水  $T_2^\circ\text{C}$ での飽和酸素濃度(mg/L)
- $C_0$  : 混合液のDO濃度(mg/L)
- $\alpha$  : 総括酸素移動容量係数  $K_{La}$  の補正係数  
(清水での  $K_{La}$  に対する混合液での  $K_{La}$  の比)  
低負荷法では0.93、高負荷法では0.83
- $\beta$  : 飽和酸素濃度の補正係数  
(清水での飽和酸素濃度に対する混合液での飽和酸素濃度の比)  
低負荷法では0.97、高負荷法では0.95
- $\gamma$  : 散気水深による飽和酸素濃度の補正係数
- $P$  : 処理場における大気圧(kPa)

$$\gamma = \frac{1}{2} \times \left( \frac{10.332 + h}{10.332} + 1 \right) \quad \dots\dots\dots (29)$$

- $h$  : 散気水深(m)

$$G_s = \frac{SOTR}{E_A \cdot \rho \cdot O_W} \times 100 \times \frac{273 + T_2}{273} \times \frac{1}{1440} \dots\dots\dots (30)$$

ここに、

- $G_s$  : 必要風量(Nm<sup>3</sup>/min)
- $E_A$  : 酸素移動効率(%)
- $\rho$  : 空気密度(1.293kg 空気/Nm<sup>3</sup>)
- $O_W$  : 空气中酸素含有重量(0.232kgO<sub>2</sub>/kg 空気)

§ 36 最終沈殿池

最終沈殿池は、次の各項を考慮して定める。

- (1) 水面積負荷は、計画1日最大汚水量に対して  $15\sim 25\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  程度に設定することが望ましい。
- (2) 有効水深  $3.5\sim 4\text{m}$  程度とする。
- (3) 池にはスカム除去装置を設ける。
- (4) 返送汚泥ポンプの容量は、設計水量に対して 100%とする。

【解説】

本法の最終沈殿池は、設計指針の「第6章 第7節Ⅱ-1-3. 最終沈殿池」を参考に決定する。

(1)、(2) について

本法は、反応タンクで硝化と脱窒を効率的に行うために標準活性汚泥法に比べて MLSS 濃度を高くした運転を行う必要がある。また、SVI も高いため最終沈殿池において汚泥界面が高くなり、流出しやすい特徴がある。処理水の SS 濃度をできるだけ低く抑えるため、水面積負荷は  $15\sim 25\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$  程度と低く設定することが望ましい。また、固液分離を確実にを行うため、有効水深は  $3.5\sim 4\text{m}$  程度とし、汚泥界面を考慮して余裕を持たせることが望ましい。

(3) について

最終沈殿池で発生した、スカムの流出による水質の悪化等を防止するためにスカム除去装置を設置するものとする。

(4) について

通常運転時の汚泥返送比は 50%程度である。しかし、汚泥の沈降性が悪化し返送汚泥濃度が低くなった場合でも、必要な MLSS 濃度の維持を可能にするため、設計水量（夏期）に対して 100%程度の容量とすることが望ましい。

§ 37 設備計画の検討

① 設備計画の見直し

【解 説】

① 設備計画の見直し

技術導入に伴い既存の水処理施設に関する計算書および設備状況をもとに改造を含む設備計画の見直しを行う。具体的には、標準活性汚泥法からの改築の際に反応タンク数の増設が想定されるが、その際に最終沈殿池の数が適切かどうか等について検討を行う。

**§ 38 導入効果の検証**

施設設計を実施後、導入検討段階に行った概略効果（事業性）に対し、想定通りの導入効果が得られるかどうかの検証を実施する。

**【解説】**

導入検討段階では、本技術と A2O 法を比較し、概略の導入効果を算出した（§ 14 導入効果の検討 参照）。

ここではより精度の高い条件設定による施設計画に基づいて導入効果の再検討を行う。本技術の導入における建設費、維持管理費を算出し、導入検討段階で期待していた効果が得られるか検証する。

## 第2節 設備設計

### § 39 本技術の設備設計の考え方

第1節にて容量等を設定した設備において、設計に必要な各機器を用いて、本技術の導入目的に合わせ、設備の設計を行う。

#### 【解説】

第4章第1節にて容量等を設定した設備において、設計に必要な各機器を用いて、本技術の導入目的に合わせ、設備の設計を行う。設備設計は、本技術を導入する目的（標準法からの高度処理化、既設高度処理施設の改築、統廃合に伴う能力増強）に応じて行う。

§ 40 設備設計

前項に示した設備および機器のうち、設計値を有するものについて説明する。

- ①制御用水質センサー（NO<sub>x</sub>-N計、NH<sub>4</sub>-N計）
- ②風量調節弁、送風系統二条化
- ③散気装置
- ④嫌気ゾーン用隔壁
- ⑤統合演算制御システム
- ⑥負荷変動追従型送風ユニット

【解説】

① 制御用水質センサー（NO<sub>x</sub>-N計、NH<sub>4</sub>-N計）

NO<sub>x</sub>-N計およびNH<sub>4</sub>-N計を連続計測する水質センサーを選定する。計測周期に関しては、5分以内であれば、許容する。NO<sub>x</sub>-N計はUV式のものが一般的であるが、機種は問わない。また、NO<sub>x</sub>-N計によっては、NO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nを分けて計測出来るものも存在するが、NO<sub>x</sub>-Nとして計測が可能であれば、NO<sub>2</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nを個別に計測する必要はない。NH<sub>4</sub>-N計は表4-3、4-4の通り、隔膜式、電極式が存在するが、機種は問わない。

表 4-3 NO<sub>x</sub>-N 計の例

計測方式	210nm UV 吸光度法 (サンプリング式)	UV 吸収計測方式
計測レンジ	0.1~50.0 (mg/L)	0.0~10.0 (mg/L)
計測周期	15 秒	—
設置方法	バイパスパネル(流通)型	水中浸漬型
洗浄方法	検出窓をワイパー洗浄	エア洗浄+超音波洗浄
精度	計測値±3% または 0.5mg/L	—
電源	AC100~240V (±10%)、 50/60Hz	AC100~240V
電源 (ろ過サンプリング装置)	AC115 (AC230V) ±10%、 50/60z	
消耗備品	ワイパー、ワイパーモーター、 シールセット、光源ランプ、 計測ウィンドウ、 フィルターセット、 Oリング、バイパスパネル	—
消耗備品 (ろ過サンプリング装置)	ローラーポンプチューブ、 エアフィルタ、 ポンプカートリッジ・ローラー、 接続チューブ、 フィルターモジュール、 コンプレッサ	
消耗品交換頻度	6ヶ月毎 (ワイパー) 1年毎 (シール、 ワイパーシャフトシール)	—
消耗品交換頻度 (ろ過サンプリング装置)	3ヶ月毎 (ローラーポンプ チューブ、エアフィルタ) 1年毎 (コンプレッサエア フィルタ、接続チューブ、 ポンプカートリッジ・ローラー、 フィルターモジュール) 2年毎 (コンプレッサ)	
校正頻度	—	—

表 4-4 NH<sub>4</sub>-N 計の例①

計測方式	隔膜式ガス選択性電極式 (サンプリング式)	イオン電極式
計測レンジ	0.05~20.0(mg/L)	0.2~20.0(mg/L)
計測周期	5分	連続計測
設置方法	専用スタンド	水中浸漬型
洗浄方法	洗浄液による自動洗浄	エアー洗浄
精度	標準液にて計測値の3%+0.05mg/L	標準液にて計測値の+5%+0.2mg/L
電源	AC100~240V(±10%)、50/60Hz	AC100~240V、50/60Hz
電源 (ろ過サンプリング装置)	AC115(AC230V)±10%、50/60z	
消耗備品	試薬、標準液、洗浄液、電解液、 エアフィルタパッド、 エアーポンプヘッド	電極カートリッジ
消耗備品 (ろ過サンプリング装置)	ローラーポンプチューブ、 エアフィルタ、ポンプカートリッジ・ ローラー、接続チューブ、 フィルターモジュール、コンプレッサ	
消耗品 交換頻度	3ヶ月毎(試薬、標準液、洗浄液、 電解液) 6ヶ月毎(エアフィルタパッド) 12ヶ月毎(エアーポンプヘッド、試薬ポン プ、洗浄ポンプ)	6ヶ月毎
消耗品交換頻度 (ろ過サンプリング装置)	3ヶ月毎(ローラーポンプチューブ、 エアフィルタ) 1年毎(コンプレッサエアフィルタ、 接続チューブ、ポンプカートリッジ・ ローラー、フィルターモジュール) 2年毎(コンプレッサ)	
校正頻度	—	毎月校正(状況により2週間毎)

表 4-5 NH<sub>4</sub>-N 計の例②

計測方式	イオン電極式	イオン電極式
計測レンジ	0.1~30.0(mg/L)	0.00~10.00(mg/L)
計測周期	常時計測	連続計測
設置方法	水中浸漬型	水中浸漬型
洗浄方法	エア-洗浄	超音波洗浄
精度	計測値±5% または±0.2mg/L	標準液にて計測値の3%±digit または0.2mg/L±1digit
電源	AC100~240V±10%、50/60Hz	AC100~240V(±10%)、50/60Hz
電源 (ろ過サンプリング装置)		
消耗備品	アンモニア電極、カリウム電極、参照電極、エア-洗浄用フィルター	アンモニウムイオンチップ、カリウムイオンチップ、比較チップ参照電極、エア-洗浄用フィルター
消耗備品 (ろ過サンプリング装置)		
消耗品 交換頻度	3ヶ月毎(電極) 1年毎(エア-洗浄用フィルター)	6ヶ月毎(イオンチップ、液絡キャップ) 1年毎(比較チップ)
消耗品 交換頻度 (ろ過サンプリング装置)		
校正頻度	毎月校正(状況により2週間毎)	2週間毎(サンプルアジャスト)

## ② 風量調節弁、送風系統二条化

風量調節弁は、電動操作式と電油操作式が存在する。本技術においては、最適な風量を反応タンクへ供給するため調節弁の開閉頻度が高くなる傾向にあるため、耐久性の面から電油操作式が推奨される。

また、本技術は反応タンクへの風量を、前半と後半別々に演算し送風するため、送風系統を二条化する必要がある（図2-4）。

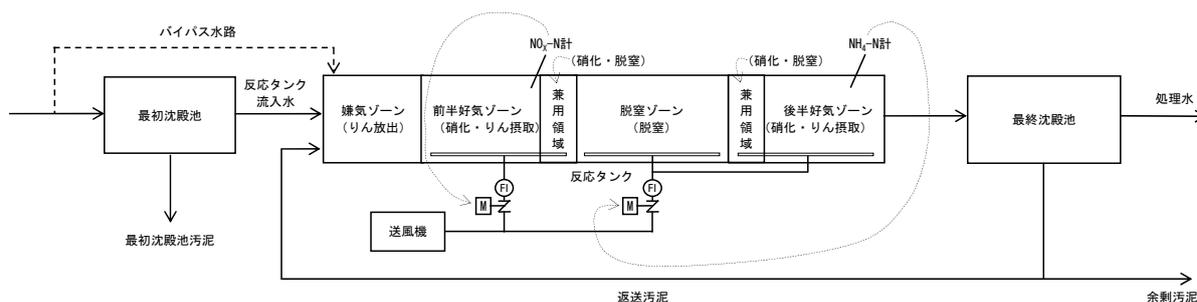


図2-4 単槽型硝化脱窒プロセスの概略フローシート（再掲）

## ③ 散気装置

散気装置は、省エネの観点から微細気泡散気装置が推奨されるが、機種は問わない。

## ④ 嫌気ゾーン用隔壁

本技術では、嫌気ゾーンにおける嫌気性確保の観点から、嫌気ゾーン出口に隔壁を設ける。

## ⑤ 統合演算制御システム

監視制御システムと通信するため、設置場所や配線ルート等を事前に確認する。

## ⑥ 負荷変動追従型送風ユニット

圧力一定制御を実施可能な送風機設備に対し、送風機設備コントローラを経由して統合演算制御システムが通信することで、負荷変動追従型送風ユニットとして機能する。よって、送風機設備の新設・既設は問わない。

§ 41 留意事項

設備設計、設置上の留意事項、ならびに維持管理にもかかる留意事項を説明する。

- ①既設阻流壁の設置パターン別の水質センサーとゾーン位置の設定
- ②防泡設備の設置
- ③送風機の風量および圧力の制御範囲

【解 説】

① 既設阻流壁の設置パターン別の水質センサーとゾーン位置の設定

既設阻流壁の設置パターンによって、水質センサーとゾーン位置を考慮する。阻流壁の設置パターンは大きく分けて図 4-9 のように分類される。阻流壁の位置により兼用領域が小さくなる場合や、パターン 3 のように兼用領域が発生しない場合は、脱窒量が減少することから滞留時間を調整する等の検討が必要になる。

また、NO<sub>x</sub>-N 計は上流側の兼用領域よりも手前に設置する。NH<sub>4</sub>-N 計はセンサーの精度の観点から 1mg/L 以上の濃度を計測出来るよう、反応タンク末端よりもやや上流側に設置することが推奨される。水質センサーの目標値の決め方の概念図を図 4-10 に示す。NO<sub>x</sub>-N 計の目標値は導入後の試運転期間等で、実体に合せて変更していくのが好ましい。

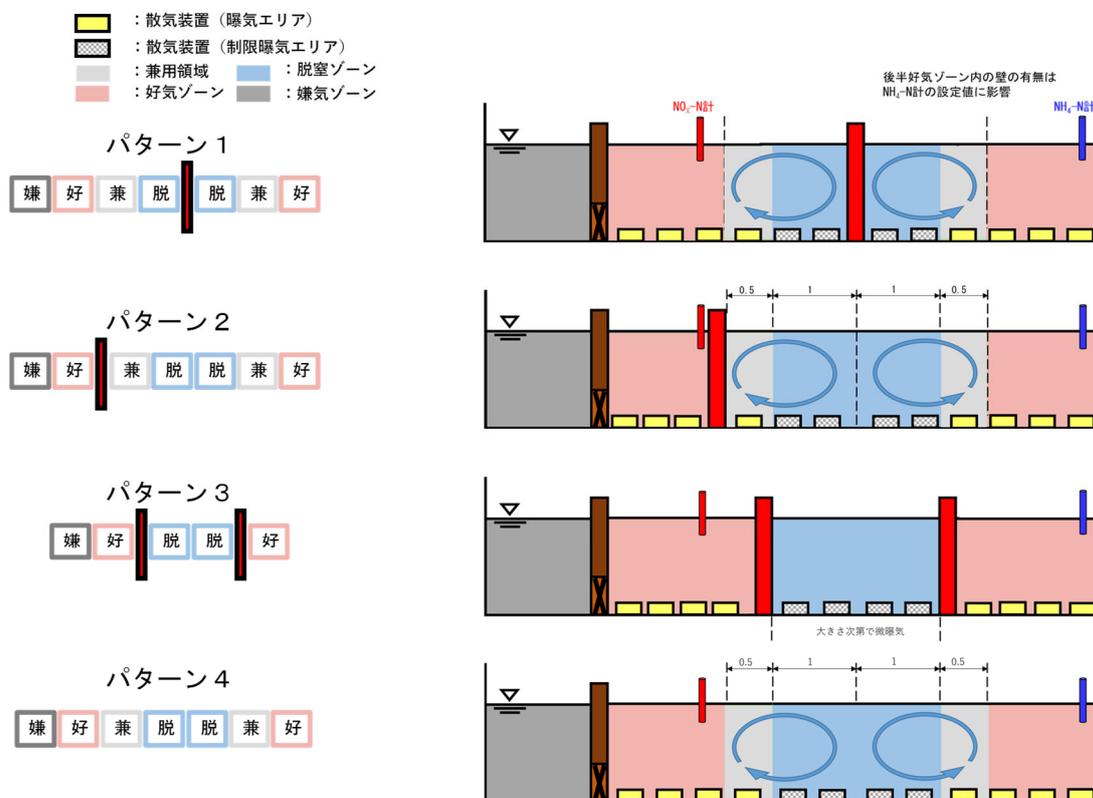


図 4-9 阻流壁と脱窒ゾーンの位置関係による類型

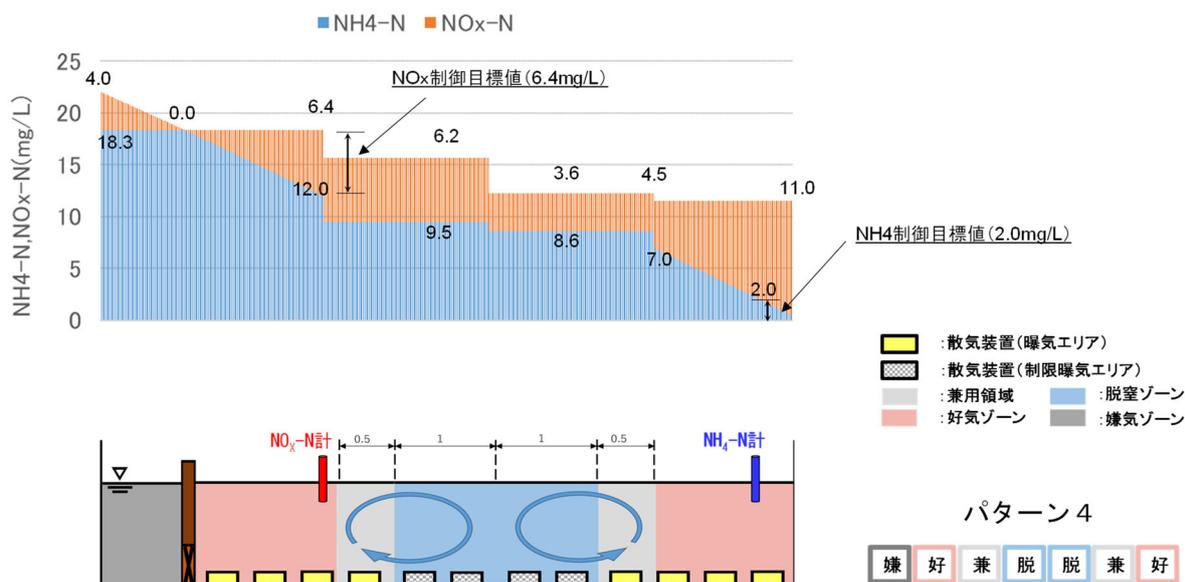


図 4-10 センサー目標値の決め方の概念図

②防泡設備の設置

脱窒ゾーンはスカムが溜まり易いため、防泡設備を設ける。

③送風機設備の風量および圧力の制御範囲

送風機設備の風量および圧力の制御範囲が十分に広いことが、風量制御および圧力可変制御の性能発揮において有利である。

## 第5章 維持管理

### 第1節 システム全体としての管理

#### § 42 システム全体としての管理の要点

本技術は、反応タンク設備と送風機設備を統合的に監視・制御することによって水質の安定化が図られ、従来技術に比べて高い省エネ効果を得ることができる。その前提としては、双方の設備が適切に管理されていることは勿論のこと、各設備が適切に連動して機能しているか否かの視点で管理することが必要である。

#### 【解説】

システム全体として考慮すべき維持管理事項は以下のとおりである。

#### (1) 【通常運用時】 反応タンク設備と送風機設備の連動状態の確認

反応タンク設備と送風機設備の個々の維持管理項目は後述するが、ここでは両設備の連動状態を確認する手法について述べる。

第1章 § 6 で述べたとおり、本技術は反応タンク設備内に設置される水質計器の計測値等を用いて、送風機設備で最適な吐出圧力および必要風量をリアルタイムに演算して風量を制御する。仮に、その過程で1つでも異常が生じれば、処理水質や省エネ効果が低下する可能性がある。例えば処理水質の低下が生じた場合に想定される要因は複数考えられ、それらは往々にして双方の設備にまたがって表出することがある点に注意が必要である。代表的な不具合例を以下に記すが、要因を調査する際には、双方の設備が密接に連動して機能するという点に留意することが重要となる。

不具合例 1) 事象：処理水 T-N 濃度の上昇

要因：NH<sub>4</sub>-N 濃度が目標値に追従しない←正しい風量が確保されない←送風機の異常

不具合例 2)

事象：送風電力量の増加

要因：送風機吐出圧力が不安定←風量が正しく計測されていない←反応タンク設備の風量計の故障

**(2) 【非定常時】設備停止時の対応**

**1) 統合演算制御システム**

本システムを停止する場合は、事前に従前の風量・圧力制御にモード変更する。従前の風量制御モードには、風量一定制御、比率制御、DO 制御等があり、圧力制御は圧力一定制御等がある。

**2) 単槽型硝化脱窒プロセス**

本技術は連続運転が基本である。しかし、何らかの理由により急きょ本システムの運転を停止することとなった場合には、短時間の場合は、活性汚泥の腐敗や解体防止のために、一定の空気の供給を継続することが必要となる。また、停止期間が長期にわたるような場合は、悪臭等の発生防止の観点から、活性汚泥を排出して二次処理水等で置換しておくことが望ましい。

**3) 負荷変動追従型送風ユニット**

本システムを停止する場合は、事前に従前の圧力制御(圧力一定制御等)にモード変更する。その後、従前の送風機設備の停止手順に従い、送風機を停止させる。

## 第2節 運転管理

### § 43 運転管理（単槽型硝化脱窒プロセス）

本技術の処理性能を維持するために、以下に示す項目について実施する必要がある。

- ①適切な ASRT の確保
- ②水質センサーの維持管理
- ③風量制御の制御性能の確認
- ④MLSS（SVI、SV）の管理 ※④以降は他の処理法と共通のため参考
- ⑤ORP の管理（モニタリングしている場合）
- ⑥pH の管理（モニタリングしている場合）
- ⑦防泡設備の確認
- ⑧スカム堆積防止の実施
- ⑨散気装置の確認
- ⑩返送汚泥設備の確認
- ⑪送風機の管理

#### 【解説】

##### ① 適切な ASRT の確保

ASRT( $\theta_{XA}$ )は、硝化細菌の系内保持に関して重要な運転制御因子である。

$$\theta_{XA} = \frac{1}{\mu} \dots\dots\dots (31)$$

ここで、

$\mu$  : 硝化細菌の比増殖速度（水温(T°C)の関数）(1/d)

式(31)を満足し、硝化に必要な  $\theta_{XA}$  と水温 T の関係は式(32)で示される。

$$\theta_{XA} = 20.65 \exp(-0.0639T) \dots\dots\dots (32)$$

ここで、

$\theta_{XA}$  : ASRT(日)

T : 設計水温(°C)

本法では硝化菌を系内保持して運転を行うため、式(32)を満たす ASRT にて運転を行うことが必要となる。なお、本技術では兼用領域も好気領域として見込む。

## ② 水質センサーの維持管理

本技術は水質センサー（NO<sub>x</sub>-N 計、NH<sub>4</sub>-N 計）の計測値により硝化・脱窒に必要な風量を演算するため、水質センサーの維持管理は適正な運転を維持するために重要である。水質センサーの保守については、§ 47 保守点検の通りとする。

## ③ 風量制御の制御性能の確認

水質センサーの計測値が制御目標値の付近で推移しているか、また風量上限に到達していないか、適時確認する。風量上限に到達し、水質センサー計測値が制御目標値から著しく乖離する状態が長時間継続する場合には、設備点検や運転調整等の対応を検討する。なお、風量制御の演算パラメータについては、本技術導入の初期調整において設定される演算パラメータ自動チューニング機能により、適切な値が維持されるため、運転管理は不要である。

## ④ MLSS (SVI、SV) の管理

MLSS 濃度は、2,000～3,000mg/L の範囲を標準とする。

また、硝化速度が大きい夏場は MLSS 濃度を低く、冬季は ASRT を考慮しながら MLSS 濃度を高めに設定して運転することが望ましい。なお、活性汚泥の沈降性が変化するなどして、最終沈殿池から汚泥が流出することを防止するために、SVI や SV を定期的に確認することが重要となる。

## ⑤ ORP の管理（モニタリングしている場合）

嫌気ゾーンでは、雨天時汚水や返送汚泥によって高濃度の DO や NO<sub>x</sub>-N が持ち込まれると、活性汚泥からのりんの放出が生じなくなるので、嫌気状態の確保には注意が必要である。

嫌気ゾーンにおける嫌気状態の程度は ORP を計測することによりある程度判断することができるが、絶対値の基準は各機場によって異なることが予想されるため、各機場ごとに処理状況と ORP 値の関係を把握しておくことが望ましい。

## ⑥ pH の管理（モニタリングしている場合）

一般的に、好気タンクにおいて硝化反応が進むとアルカリ度が消費され、pH が低下する。単槽型硝化脱窒プロセスでは脱窒ゾーンを設けているため、脱窒工程においてアルカリ度の補充が期待できるが、脱窒の進行不良や、反応タンクへ流入するアルカリ度自体が低下するような場合には pH が過度に低下し、硝化の進行が停止する可能性がある。例えば、好気タンク末端の pH が 6.0 以下になるような場合には、水酸化ナトリウムの添加といった対策を検討することが望ましい。

## ⑦ 防泡設備の確認

適切な防泡効果を得るため、防泡設備の破損や散水不良の有無を定期定期に目視で確認する。

⑧ スカム堆積防止の実施

反応タンク内に阻流壁が存在する場合、阻流壁近傍にはスカムが堆積することがあるため、定期的にタンク内の目視確認を行い、スカムの発生が確認された場合はスカムの除去を行う。

⑨ 散気装置の確認

送風管の圧損が正常であること、異常発泡をしていないこと等を適時確認する。

⑩ 返送汚泥設備の確認

適切な返送率に設定されていること、返送汚泥配管に漏れ等がないこと、返送汚泥濃度が正常な範囲になっていることを適時確認する。

⑪ 送風機の管理

送風機の吸込側では、付属品として空気ろ過器を取り付けることによって空気中のほこり、ごみ、油等による羽根車の摩耗および散気装置の目詰り防止を図っている。このろ過器や盤内フィルター  
の交換を定期的に行う。

§ 44 運転管理（負荷変動追従型送風ユニット）

① 吐出圧力の設定値および計測値の確認

① 吐出圧力の設定値および計測値の確認

圧力可変制御において、必要風量の増減により吐出圧力の設定値が増減するため、適時、吐出圧力の設定値の推移や設定値と計測値の差等を確認する。

§ 45 環境対策

本技術を導入した場合、環境対策として以下の項目について留意する。

(1) 脱窒ゾーンにおけるスカムの発生防止

【解説】

(1) 脱窒ゾーンにおけるスカムの発生防止

本技術では、脱窒ゾーンを制限曝気によって形成させることを基本とするが、水面の流動状態によっては、脱窒ゾーン付近にスカムが滞留する懸念がある。そのため、防泡設備を設け、スカム発生の抑制を図ることが重要となる。

§ 46 水質管理

本技術を構成する各施設の処理状況を把握して、運転条件等の調整を行うために必要な水質管理を行う。

【解 説】

本技術における標準的な水質管理内容を表 5-1 に示す。適宜、水質測定結果からりん除去や硝化反応が良好に行われていることを確認することが望ましい。

表 5-1 水質管理内容

	T-N	NO <sub>x</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	T-P	PO <sub>4</sub> -P	汚泥P	ORP	pH	MLSS
流入水	○		○	○				○	
嫌気ゾーン出口					○		○		
前半好気ゾーン出口		○							
脱窒ゾーン出口									
後半好気ゾーン出口		△	△		△	○		○	○
処理水	○	○	○	○	○			○	

○：水質管理を目的として定期的に行う項目

△：適宜試験を行うことが望ましい項目

### 第3節 保守点検

#### § 47 保守点検

本技術における各機器について、その機能を良好・安全に維持するために、定期的に保守点検を行う。

機器の保守点検の内容・頻度の例について表 5-2 に示した。水質センサーについては、例として NO<sub>x</sub>-N 計はサンプリング方式、NH<sub>4</sub>-N 計は浸漬式のを挙げた。日常的な機器点検は、§ 44～ § 47 に示す運転管理と併せて実施する。

表 5-2 点検項目と内容・頻度の例（機器）

機器名称	点検項目	点検頻度		
		日常	定期	頻度
前段NO <sub>x</sub> -N計	指示値・送液流量・外観の確認	○		
	フィルタ清掃		○	1回/月
	ローラーポンプチューブ交換		○	1回/3ヶ月
	エアフィルタ交換		○	1回/3ヶ月
	ワイパー交換		○	1回/6ヶ月
後段NH <sub>4</sub> -N計	指示値・外観の確認	○		
	センサ本体洗浄		○	1回/2週間
	サンプルアジャスト		○	1回/2週間
	アンモニア態窒素の標準液校正		○	1回/6ヶ月 設置・交換時
	イオンチップ交換		○	1回/6ヶ月
	液絡キャップ交換		○	1回/6ヶ月
	比較チップ交換		○	1回/年
	変換器の点検		○	1回/年 設置・交換時
電油式バタフライ弁	外観・振動・音・動作状況の確認		○	1回/年
	全閉時の止水確認		○	1回/年
	指示値確認		○	1回/年
	分解点検		○	1回/5年
	接続部の緩みを確認		○	1回/月
	油圧油交換		○	1回/2ヶ月
	油漏れの点検	○		

## 第4節 異常時の対応と対策

### § 48 異常時の対応と対策

#### ① 処理能力の低下（窒素）

- ・ ASRT の確認
- ・ 水質センサー計測値の確認
- ・ BOD/N 比の確認
- ・ アルカリ度の確認

#### ② 処理能力の低下（りん）

- ・ 嫌気ゾーンに ORP 計を設置している場合、計測値を確認  
⇒必要に応じて初沈バイパス運転や初沈汚泥の投入を行う  
または、PAC 等の無機系凝集剤を反応タンク末端や終沈へ添加
- ・ BOD/P 比を確認  
⇒必要に応じて初沈バイパス運転や初沈汚泥の投入を行う

#### ③ 水処理における異常

- ・ 異常発泡  
⇒散気装置の破損や放線菌の有無を確認

#### ④ 統合演算制御システムの不具合

- ・ 不具合（重故障発生、システムが立ち上がらない等）の際は、従前の風量制御（DO 制御、風量一定制御等）と圧力制御（圧力一定制御等）に変更したうえで、メーカーへ連絡する

### 【解説】

#### ① 処理能力の低下（窒素）

窒素の処理能力が低下した際には、以下の項目を確認する。

- ・ ASRT の確認

設計時に定めた ASRT が確保がされているかどうかを確認する。

- ・ 水質センサー計測値の確認

水質センサー計測値が実態と乖離している場合、反応タンクの硝化脱窒制御が正常に運用されなくなる恐れがある。そのため、水質センサーと手分析値の間に乖離がないかを確認する。

- ・ BOD/N 比の確認

A2O 法等と同様に、BOD/N 比が 3 を下回ると脱窒が不十分になることが想定される。そのため、流入汚水の BOD/N 比を確認する。

- ・アルカリ度の確認

好気タンクにおいて硝化反応が進むとアルカリ度が消費されるが、アルカリ度が低下し過ぎる（pH で 6.0 以下）と硝化反応が阻害される。そのため、好気タンク末端のアルカリ度を確認する。

## ② 処理能力の低下（りん）

- ・嫌気ゾーンに ORP 計を設置している場合、計測値を確認  
⇒必要に応じて初沈バイパス運転や初沈汚泥の投入を行う  
または、PAC 等の無機系凝集剤を反応タンク末端や終沈へ添加
- ・BOD/P 比を確認  
⇒必要に応じて初沈バイパス運転や初沈汚泥の投入を行う

## ③ 水処理における異常

- ・異常発泡  
⇒散気装置の破損や放線菌の有無を確認

## ④ 統合演算制御システムの不具合

不具合（重故障発生、システムが立ち上がらない等）の際は、従前の風量制御（DO 制御、風量一定制御等）と圧力制御（圧力一定制御等）に変更したうえで、メーカーへ連絡する

## 参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説2019年版、公益社団法人日本下水道協会
- 2) 下水道用語集2000年版、社団法人日本下水道協会
- 3) 下水道維持管理指針 実務編2014年版、公益社団法人日本下水道協会
- 4) 味埜 俊（監 訳） 活性汚泥モデル ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3, 環境新聞社（2005）

参考文献

**資 料 編**

## 1. 実証研究結果

## 1 実証研究の概要

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、表資 1-1、図資 1-1 に示す通りである。

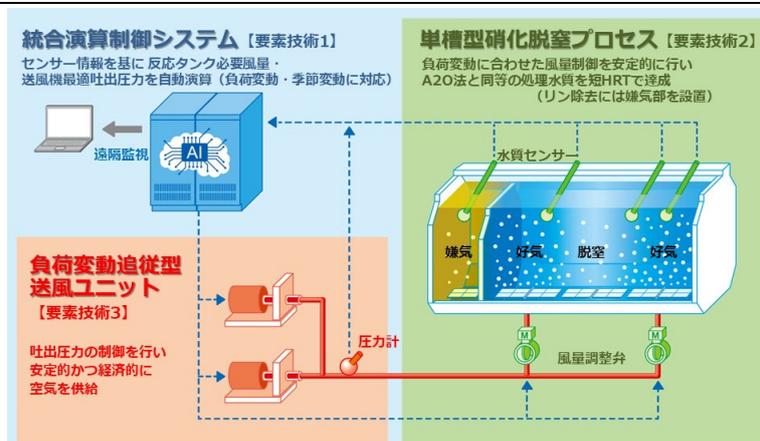
本技術は、ICT・AI を活用し従来の高度処理法（A2O 法等）と比べて、短い水理学的滞留時間（HRT）で高度処理並みの水質を確保するとともに、省エネ性と維持管理性の向上を図るものである。

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。

実証研究は、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 2 年 1 月から令和 3 年 3 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①②③について評価した。本報告書には、自主的に実施した令和 2 年 4 月～7 月の調査結果も併せて示している。

表資 1-1 実証研究概要

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	令和元年度（令和元年 7 月 2 日～令和 2 年 3 月 31 日） 令和 2 年度（令和 2 年 8 月 1 日～令和 3 年 3 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
実証場所	成瀬クリーンセンター（東京都町田市）
実証概要	ICT・AI を活用した単槽型硝化脱窒プロセスの実証
検証項目	① 短 HRT（A2O 法比 20%以上削減）で A2O 法同等処理水質の達成 ② 運転電力の削減（A2O 法比 20%以上削減） ③ 維持管理業務負担の軽減（A2O 法に比して 業務負担を軽減）



図資 1-1 本技術のイメージ

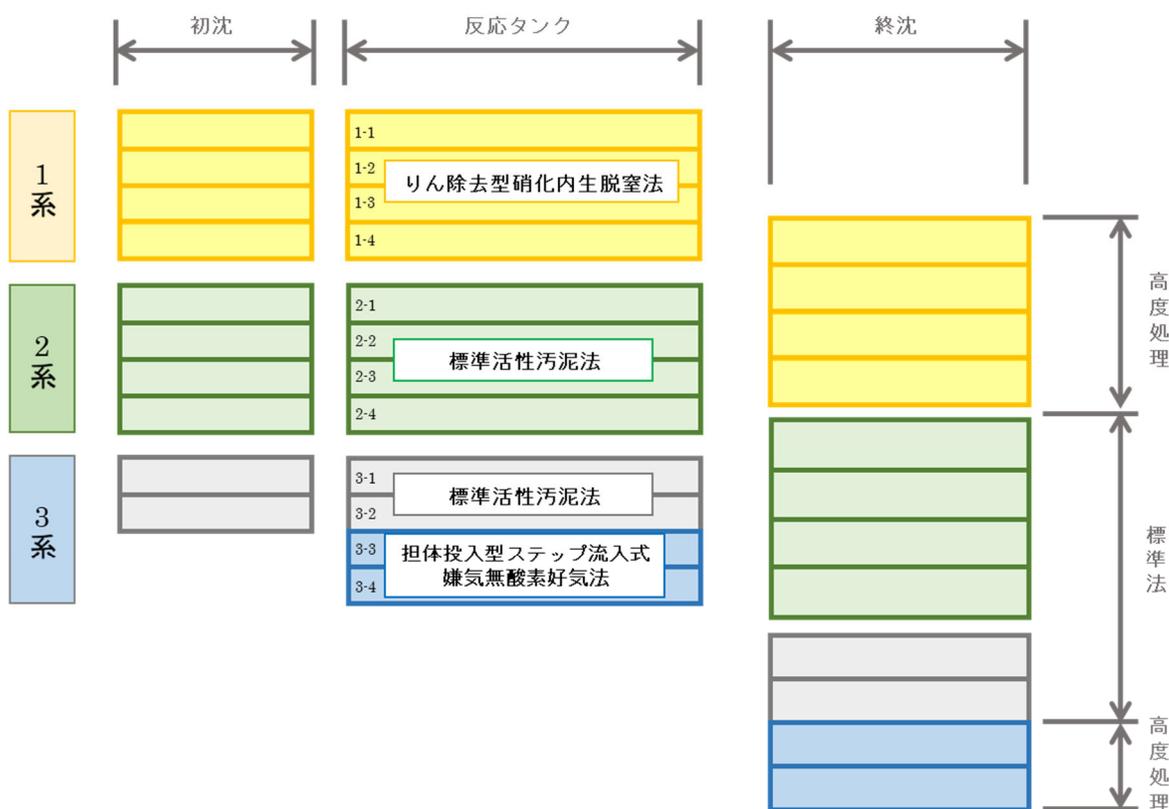
図資 1-2 および表資 1-2 に、成瀬クリーンセンター水処理施設全体図と施設概要を示す。

実証施設を設置する成瀬クリーンセンターは、東京都町田市南部の町田処理区 2,622 ha を処理区域とし、放流先は恩田川（一級河川）、処理人口 251,000 人、現有処理能力 112,700 m<sup>3</sup>/日の下水処理場である。

町田市では、放流先の東京湾の水質改善のため、多摩川・荒川等流域別下水道整備総合計画に則り、単独処理区で下水処理場の高度処理（A2O 法+急速ろ過法、目標水質 T-N=10mg/L、T-P=0.5mg/L）を行うことが求められており、町田市全体計画では、2024 年度に高度処理化 100%の達成を目指している。しかし、2016 年時点の高度処理整備率は 9.8%に留まっており、全体計画の履行にあたり、水処理設備工事費（建設費）の確保と消費電力量の増加に伴う維持管理費の確保が課題となっている。

さらに、町田市では地球温暖化対策推進法に基づく温室効果ガス排出量削減計画として、町田市第 4 次環境配慮行動計画を策定しており、2021 年度までに 2015 年度比で 3%の電力使用量削減を目標としている。2015 年度電力使用量が 12,000 千万 kWh であったことから、2021 年度までに 378 千 kWh（3%強）の年間消費電力量削減が必要であるが、高度処理化に伴う消費電力量の増加は、同計画の履行において大きな課題となる。

これらの課題を解決するため、建設費と消費電力を抑えた高度処理技術の導入が求められている。



図資 1-2 成瀬クリーンセンター水処理施設全体図

表資 1-2 成瀬クリーンセンター水処理施設概要

項目	諸元
現有処理能力	日最大 112,700m <sup>3</sup> /日/全体
処理実績	晴天日日最大：94,380m <sup>3</sup> /日/全体（平成30年度実績） 晴天日日平均：78,528m <sup>3</sup> /日/全体（平成30年度実績）
水処理方式	1系（4池）：りん除去型硝化内生脱窒法 2系、3系の一部（6池）：標準活性汚泥法 3系（2池）：担体投入型ステップ流入式嫌気無酸素好気法
排除方式	分流式
流入水質	SS：210mg/L、BOD：210mg/L、 T-N：39mg/L、T-P：4.6mg/L（平成30年度平均）
放流水質	SS：1.6mg/L、BOD：3.6mg/L、 T-N：11mg/L、T-P：0.79mg/L（平成30年度平均）

1系、2系、3系の水処理施設は、それぞれ異なる処理法で運用されており、本技術の実証は1系反応タンク（計4池）を改造して行った。表資 1-3 に1系水処理施設の現状の仕様を示す。

表資 1-3 成瀬クリーンセンター1系水処理施設の仕様  
（計測機器、各種弁類、ゲート類は除く）

施設/設備	数量	諸元
最初沈殿池	1-1系～1-4系	形式：平行流長方形沈殿池 寸法・数：幅7.1m×長37.6m×有効水深3.5m 4池 能力：水面積負荷 40m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日
反応タンク	1-1系～1-4系	形式：りん除去型硝化内生脱窒法 寸法・数：幅7.1m×長67.5m×有効水深6.0m 4池 容積：2,875m <sup>3</sup> /池 × 4池 = 11,500m <sup>3</sup> /系
／散気装置	1-1系～1-2系	形式：標準型メンブレンパネル式散気装置 寸法・数：幅1200mm×長3600mm 14枚 能力：通気量範囲 0～47Nm <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>
	1-3系～1-4系	形式：低圧損型メンブレンパネル式散気装置 寸法・数：幅210mm×長1105mm 【攪拌用】12枚 【曝気用】288枚 能力：通気量範囲 【曝気用】0～37.3Nm <sup>3</sup> /h/枚 【攪拌用】0～8.58Nm <sup>3</sup> /h/枚
最終沈殿池	1-1系～1-4系	形式：平行流長方形沈殿池 寸法・数：幅8.0m×長49.4m×有効水深3.5m 4池 能力：水面積負荷 25m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ・日
／返送汚泥ポンプ	1系No.2～3	形式：吸込スクリュウ無注水ポンプ 能力：9.3m <sup>3</sup> /min
／余剰汚泥ポンプ	1系No.1～2	形式：吸込スクリュウ無注水ポンプ 能力：1.15m <sup>3</sup> /min

## 2 実証スケジュール

表資 2-1 に実証研究の概略スケジュールを示す。

2019年7月より実証研究に着手し、基本的な研究計画および基本設計計画を立案するとともに、機械機器および電気機器の設計ならびに製作を開始した。

現地工事では、配管工事から開始し、送風機の改造、制御装置の設置、反応タンクの改造、水質センサーの設置、の順に進め、最後に反応タンク活性汚泥の馴用・試運転調整を行い、2020年1月から実証実験に着手した。

表資 2-1 実証研究スケジュール

区分	2019年												2020年												2021年		
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月						
計画	研究計画立案																										
実証施設 設置	設計・製造																										
	現場施工																										
実証試験	試運転																										
	実証運転																										
	データ整理・解析																										
報告書取りまとめ																											
検討会・委員会																											
			▽			▽			▽			▽						▽									
			9/19 検討会			12/6 現地 説明会			1/28 検討会			3/11 評価 委員会						11/9 検討会			12/1 現地 説明会			3/11 評価 委員会			

### 3 実証研究の内容と結果

#### 3.1 実証方法

表資 3-1 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。評価項目は処理水質・処理能力の評価、運転電力削減効果の評価および ICT・AI 活用自動制御の評価の 3 項目に対して設定した。

表資 3-1 評価項目と実証方法

実証項目	目標値または効果	実証方法等
処理水質・処理能力の評価	<b>【処理水質】</b> A2O 法 <sup>※</sup> と同等以上 <b>【処理能力】</b> 反応タンク HRT20%削減 (従来 A2O 法 <sup>※</sup> 比)	実証設備において、設定 HRT 以下で、目標水質を満足できることを確認。
運転電力削減効果の評価	従来高度処理法 (A2O 法 <sup>※</sup> ) に比べ、消費電力を 20%削減。	実証設備の消費電力量を計測し、理論算出した従来高度処理の消費電力と比較。
ICT・AI 活用自動制御の評価	<b>【自動制御の性能】</b> 負荷変動に対応して、水質管理目標値を確保。 <b>【自動制御の効果】</b> 維持管理労力の縮減	<b>【性能確認】</b> 自動制御にて、水質センサー目標値を安定的に確保することを確認。 <b>【効果確認】</b> 軽減可能業務の抽出

※本実証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

#### 1) 処理水質・処理能力

実証期間中、実証系列である 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%) であることを検証した。

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 (1 年目) を行い、削減率を評価した。

なお、参考データとして、既設の標準活性汚泥法の系列 (2 系) と、担体投入型ステップ流入式嫌気無酸素好気法の系列 (3 系) についても最終沈殿池流出水の分析を行い、同一流入下水に対する処理法ごとの処理特性についても確認を行った。

## 2) 運転電力削減効果

実証期間中、実証系列の送風機の吐出圧力制御を圧力一定制御（吐出圧力設定値を送風機設計圧力で固定）と圧力可変制御（吐出圧力設定値を要求風量に応じてリアルタイムに増減させる）の2つの運転モードで運用し、各運転モードにおける風量  $1\text{Nm}^3$  当たりの消費電力量を取得し、圧力可変制御による電力削減効果を算出した。

また、実証系列の流入水量、送風電力量、その他の反応タンク設備電力量のデータを、予め算出しておいた A2O 法における理論消費電力量と比較し、消費電力の削減効果を評価した。

## 3) ICT・AI 活用自動制御

実証期間中の負荷変動に対する管理目標値への制御性能を確認した。具体的には、単槽型硝化脱窒プロセスにおいて、 $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度と  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度が管理目標値に対して所定の範囲内で制御されていることを検証した。

また、自動制御の結果として、A2O 法に比して維持管理項目数が軽減されるか否か、評価した。

## 4) 総費用縮減率

実証結果から得られた処理能力を基に、総費用（年価換算値）を試算した。本技術は反応タンクおよび送風機設備の処理能力向上および消費電力量削減に関する技術であるため、反応タンクおよび送風機設備を新設した場合を比較の対象として評価した。また、B-DASH 実規模実証事業公募時の条件（試算範囲：最初沈殿池＋反応タンク＋最終沈殿池、全て新設）についても同様に試算し結果を整理した。

## 3.2 実証結果のまとめ

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。

## &lt;今後の課題&gt;

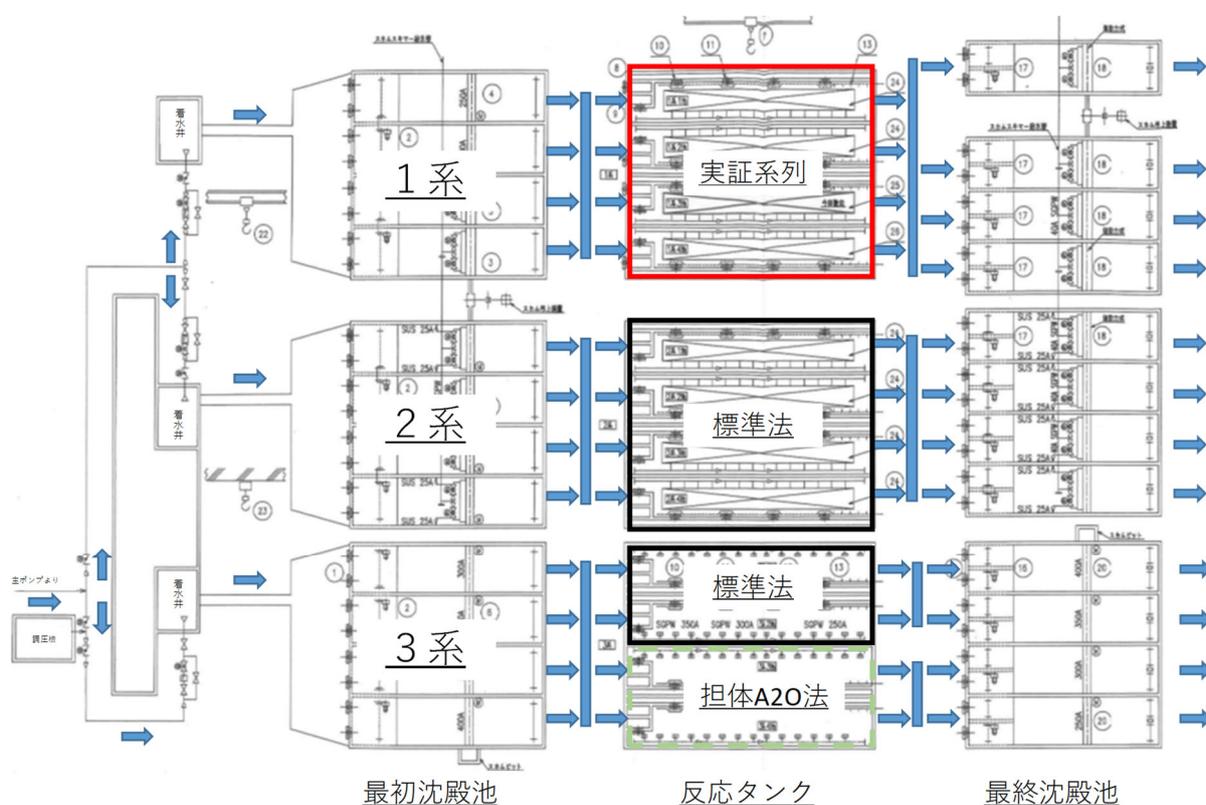
- 兼用領域（硝化と脱窒が同時進行する領域）の設定方法の確立（一般化）
- 単槽型硝化脱窒プロセスの処理能力および処理性能の限界値の見極め
- 建設コスト、維持管理コストのさらなる削減（代表槽制御の検討 等）

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 $\leq$ 15mg/L ・T-N $\leq$ 20mg/L ・T-P $\leq$ 3mg/L を満足すること 窒素除去率はA2O法 <sup>*</sup> 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 $\times$ 0.8 $\Rightarrow$ 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 $\pm$ 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

## 4. 実証設備運転条件

### 4.1 処理フロー

図資 4-1 に成瀬クリーンセンター既設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＝33%：34%：34%）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、本実証研究においては、1系実証系列（全4池）の反応タンクごとに処理特性を把握するために、反応タンク流入水路へ流量計を個別に設置し、反応タンク流入流量を計測した。



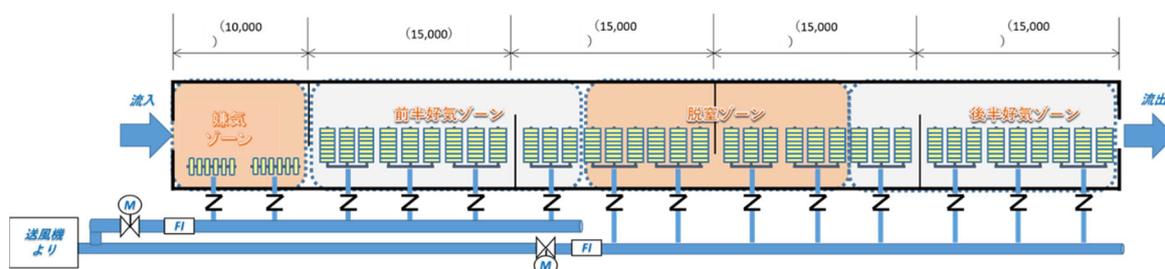
図資 4-1 成瀬クリーンセンターの水処理フロー

## 4.2 実証系列反応タンクの運転方法

### 1) 反応タンク送風系統とゾーン設定

図資 4-2 に実証系列反応タンク 1 池ごとの送風系統概要を示す。送風機から送られる空気は反応タンク各池の手前で 2 系統に分岐され、風量調節弁（油圧式）によって前半と後半の風量が個別に自動調整される。なお、各池前半・後半の要求風量を統合演算制御システムで 20 秒毎に演算・出力し、各風量調節弁の PID 設定値とした。

また、反応タンク内は散気装置付属の風量調節弁（手動）の開度調節によって、流入部側から嫌気ゾーン、前半好気ゾーン、脱窒ゾーン、後半好気ゾーンの 4 つの領域に分けられる。風量調節弁（手動）の開度設定については、嫌気ゾーンおよび脱窒ゾーンでは全閉または寸開を基本とし、前半および後半好気ゾーンは全開を基本とする。

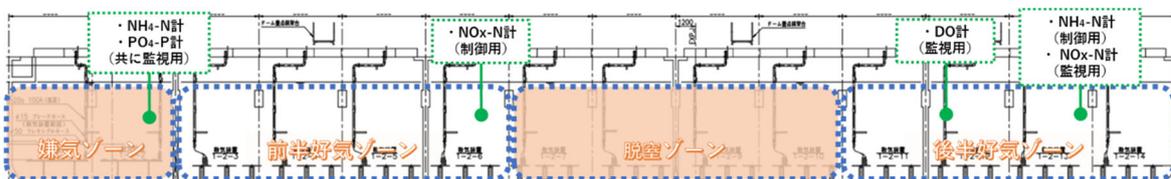


図資 4-2 反応タンク送風系統概要（1 池分を抜粋）

### 2) 水質計の設置位置

各池には制御用水質計（NO<sub>x</sub>-N 計、NH<sub>4</sub>-N 計）と処理状態監視用の水質計（NO<sub>x</sub>-N 計、NH<sub>4</sub>-N 計、DO 計、PO<sub>4</sub>-P 計）を設置した。なお、PO<sub>4</sub>-P 計は代表槽（1・2 系反応タンク）のみに設置した。

図資 4-3 に代表槽（1・2 系反応タンク）の水質計設置位置と各ゾーンの関係を、図資 4-4 に代表槽以外の反応タンクの水質計設置位置と各ゾーンの関係を示す。



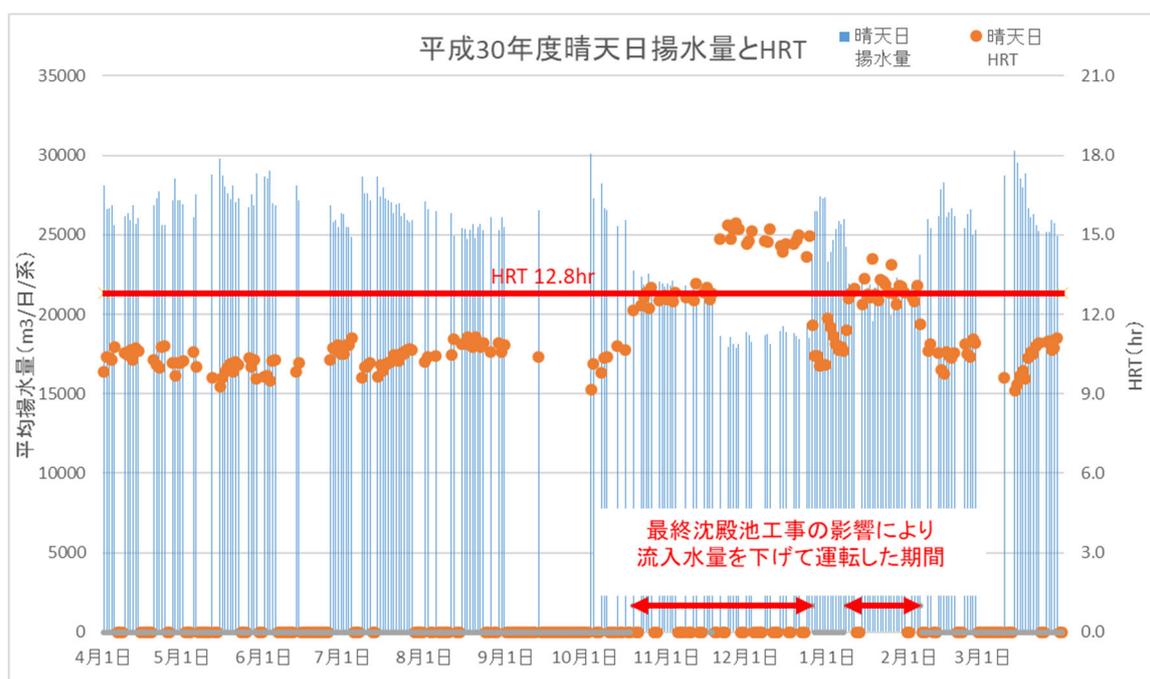
図資 4-3 水質計の設置位置と各ゾーンの位置関係（代表槽 1・2 系反応タンク断面）



図資 4-4 水質計の設置位置と各ゾーンの位置関係 (1-1, 1-3, 1-4 系反応タンク断面)

## 3) 実証水量

実証系列に対する流入水量は、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 4-5 に、平成 30 年度成瀬クリーンセンター 1 系揚水量の経日変化を示す。平成 30 年 10 月下旬から平成 31 年 2 月の間で最終沈殿池の改造工事の影響があり、一時的に水量が少ない時期があったものの、同期間以外の HRT は全て 12.8hr 未満であることから、処理能力の評価は可能であると判断した。



図資 4-5 晴天日 1 系揚水量の経日変化 (平成 30 年度実績)

#### 4) 制御目標値（最適運転条件の検討）

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 4-1 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。

なお、単槽型硝化脱窒プロセスでは有機物が多く存在する前半好気ゾーンにおいても一部脱窒が進むことが考えられるが、空気が過剰に供給される条件下では脱窒量も低下する。そこで、前半好気ゾーンでの脱窒量増加により反応タンク全体での窒素除去量増加を狙って、 $\text{NO}_x\text{-N}$  目標値を 2 通り設定し、最適運転条件を検証した。なお、RUN2 では当初、前半風量が不足気味であったことを確認したため、2020 年 4 月からは、 $\text{NO}_x\text{-N}$  目標値を 4mg/L に設定して運転を継続した。

表資 4-1 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 (RUN1) 4.5 (RUN2)	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 (RUN1, 2 共通)	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 1mg/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 4.0mg/L

## 5) 送風機の運転方法

実証系列の 1 系反応タンク 4 池への送風は、本実証に伴う設備改造で設置した送風機 2 台で実施した（実証系列と他系列 [2 系・3 系の 8 池] の送気ルートを別々に確保し、他系列の送風は既存送風機で実施）。実証系列へ送風する送風機 2 台は、吐出圧力 PID 制御により運転台数および各送風機出力を自動調整した。表資 4-2 に示す通り、吐出圧力 PID 制御において、圧力一定制御と圧力可変制御の 2 つの圧力制御モードからいずれかを選択した。

表資 4-2 吐出圧力 PID 制御の制御方法と圧力制御モード

	制御方法	圧力制御モード
吐出圧力 PID 制御	送風母管に設置の圧力計の計測値を圧力設定値に合わせる為に、送風機運転台数と各送風機の出力（インレットベーン開度・インバータ出力）が自動調整される	圧力一定制御 （圧力設定値が固定、 例. 68.6kPa 一定）
		圧力可変制御 （圧力設定値を反応タンク要求風量からリアルタイムに演算し設定）

## 5. 実証方法

## 5.1 評価項目

## 1) 評価項目と実証方法

表資 5-1 に評価項目および実証方法を示す。

なお、反応タンクへ流入させる汚水量については成り行きとした。

表資 5-1 評価項目と実証方法

実証項目	目標値	実証方法
処理水質・処理能力の評価	処理水質 ●放流水 T-BOD $\leq$ 15mg/L ●放流水 T-N $\leq$ 20mg/L ●放流水 T-P $\leq$ 3mg/L 窒素除去率：A20 法 <sup>※</sup> と同等（60～70%）	実証系列（1系）最終沈殿池流出水の水質を確認
	処理能力 ●A20 法 <sup>※</sup> 比 HRT20%削減 （A20 法を 16hr とすると、実証系列は 12.8hr 以下）	処理水質目標値を達成するときの実証系列の処理水量・反応タンク HRT を確認
	建設費 ●A20 法 <sup>※</sup> 比 20%以上削減	計画日最大汚水量 50,000m <sup>3</sup> /日、技術公募時の流入水質条件で A20 法と本技術のそれぞれで設計し、建設費を比較
電力削減効果の評価	送風電力 ●送風電力原単位 10%以上削減	実証系列送風機において、1週間程度毎に送風機圧力制御を設計圧力 68.6kPa 一定制御と圧力可変制御で切替えてデータ取得し、圧力一定制御と圧力可変制御それぞれの消費電力量と風量実績値から、送風電力原単位（風量 1Nm <sup>3</sup> 当たりの送風電力量 kWh）を算出し比較
	水処理電力 ●A20 法 <sup>※</sup> 比 電力 20%以上削減	実証期間中の実証系列運転電力量を計測し、処理水量から水処理電力原単位（処理水量 1m <sup>3</sup> 当たりの運転電力量）を算出し比較
自動制御の評価	制御性能 ●適合率（制御可能期間全体に対し計測値が目標値 $\pm$ 0.5mg/L に収まった期間の割合）95%以上	水質センサー計測値・目標値および風量計測値の実績データを基に、制御可能期間を設定し適合率を算出
	維持管理項目 ●軽減可能業務 1 個以上	下水道維持管理指針を参考に維持管理項目を整理し、項目数を比較

※本実証ではりん除去を考慮して嫌気ゾーンを設けるため A20 法と比較する

## 2) 処理水質・処理能力の評価のための分析計画

表資 5-2、表資 5-3 と図資 5-1 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。

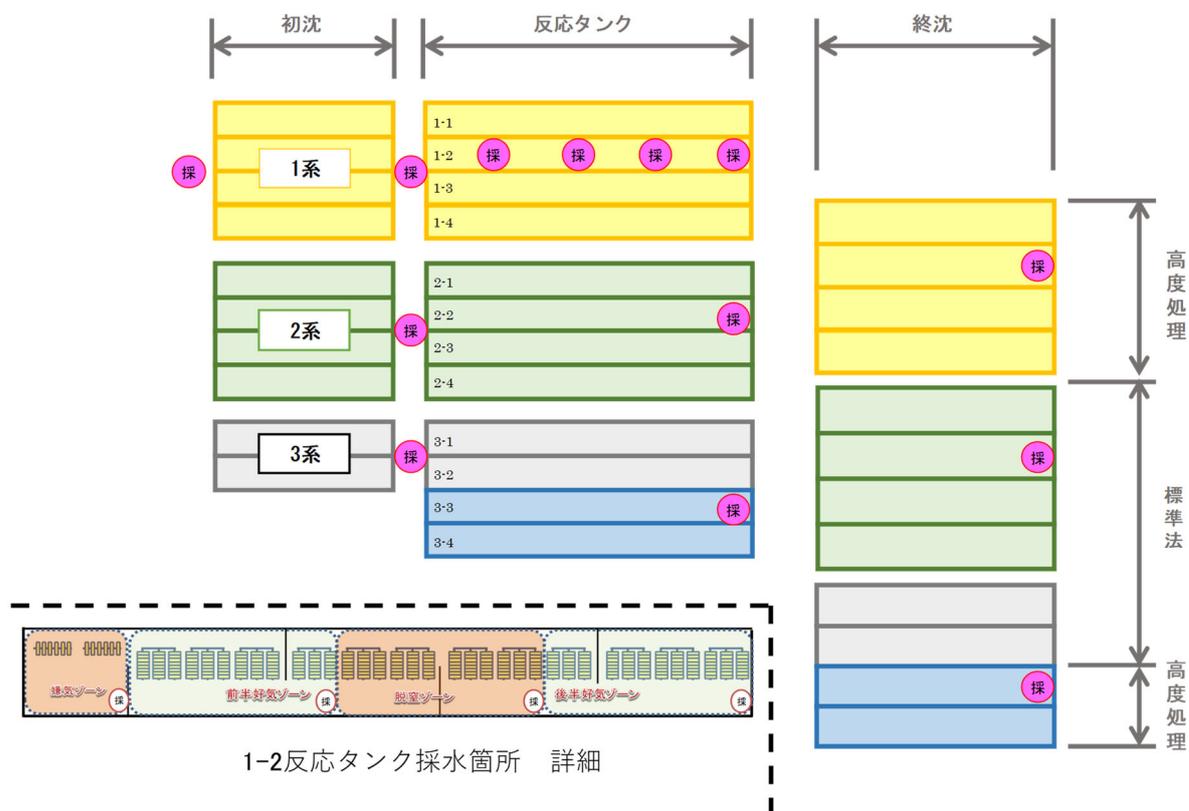
表資 5-2 分析計画（処理水質評価）

採取場所		採水方法	分析項目	バッチ試験項目	時間毎検体数(個/回)	コンボジット検体数(個/回)	時間毎測定頻度(回/週)	コンボジット測定頻度(回/週)	
初沈流入部(共通)		オートサンプラー	※1	-	12	1	1	1	
初沈出口	1系/実証	オートサンプラー	※2	-	12	1	1	1	
	2系/標準	オートサンプラー	※3	-	12	1	1	1	
	3系/高度	オートサンプラー	※3	-	12	1	1	1	
反応タンク	1系/実証 (1-2反応タンク)	嫌気部出口	※4	※10	12	1	1	1	
		前半好気ゾーン出口	※4	※11	12	1	1	1	
		脱窒ゾーン出口	※4	※10	12	1	1	1	
		後半好気ゾーン出口	※5	※11	12	1	1	1	
	2系/標準法 (2-2反応タンク出口)		オートサンプラー	※6	-	12	1	1	1
	3系/高度処理 (3-3反応タンク出口)		オートサンプラー	※6	-	12	1	1	1
終沈出口	1系/実証	オートサンプラー	※7	-	12	1	1	1	
	2系/標準	オートサンプラー	※8	-	12	1	1	1	
	3系/高度	オートサンプラー	※8	-	12	1	1	1	
余剰汚泥	1系/実証	手汲み	※9	-	12	1	1	1	
返送汚泥	1系/実証	手汲み	※9	-	12	1	1	1	

※1～※11 の分析項目詳細は、表資 5-3 に対応

表資 5-3 試料毎の分析項目

	※1	※2	※3	※4	※5	※6	※7	※8	※9	※10	※11
気温	○										
水温	○	○					○				
pH	○	○					○				
ORP		○		○							
DO		○		○							
CODMn	○						○				
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		○	○	○	○	○	○				
Kj-N		○	○				○	○			
T-P	○	○	○				○	○			
PO <sub>4</sub> -P		○	○	○	○	○	○	○			
M-アルカ度				○	○						
汚泥中N									○		
汚泥中P									○		
脱窒速度										○	○
硝化速度											○
MLSS										○	○
汚泥中N										○	○
汚泥中P										○	○
Rr										○	○
ATU-Kr										○	○



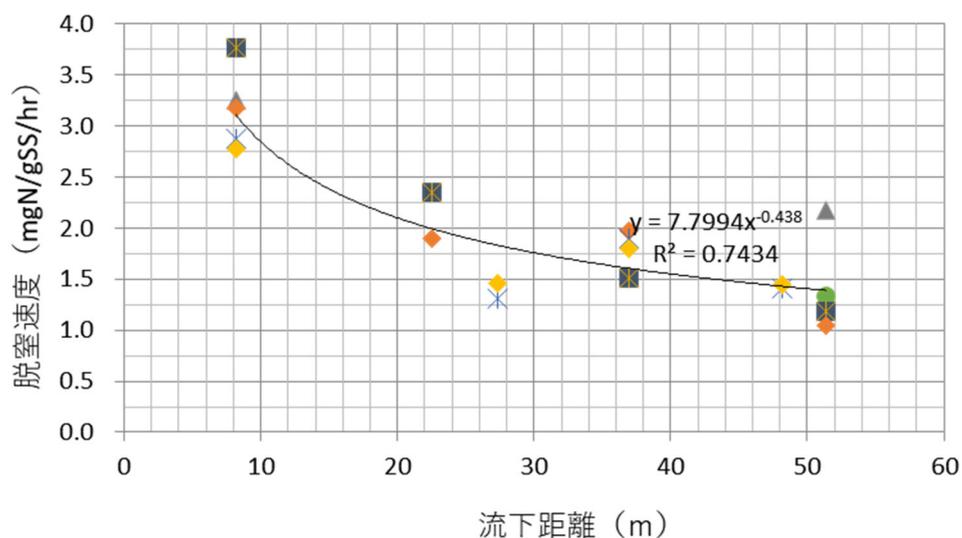
図資 5-1 採水場所（丸囲い「採」印の位置で採水）

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。

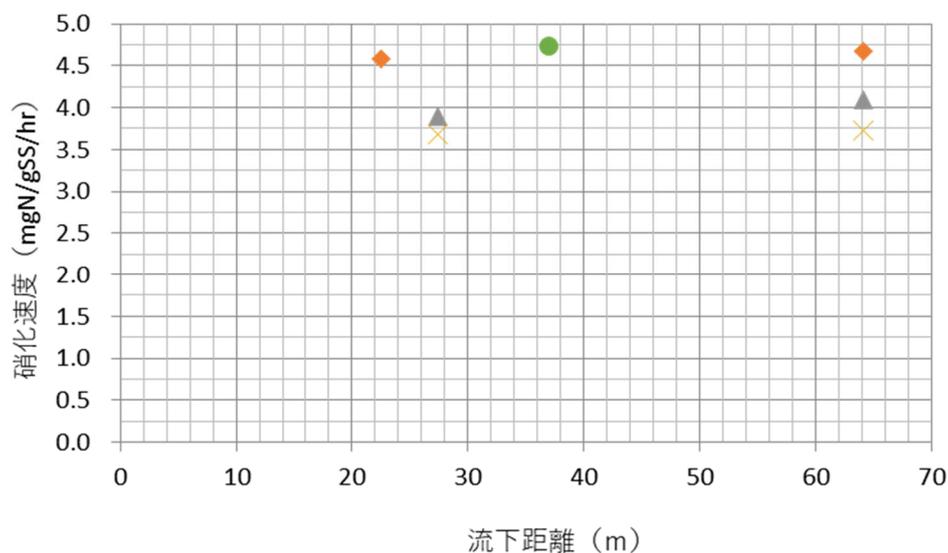
## 5.2 実証設備の確認項目

## 1) 反応タンク内での流下方向における窒素の処理状況と硝化・脱窒能力の関係

好気ゾーン、脱窒ゾーンの設定方法を確立するために、表資 5-2 ならびに表資 5-3 の結果を、図資 5.2 および図資 5.3 のように流下方向別に整理する。



図資 5-2 流下距離と脱窒速度の関係 (イメージ)



図資 5-3 流下距離と硝化速度の関係 (イメージ)

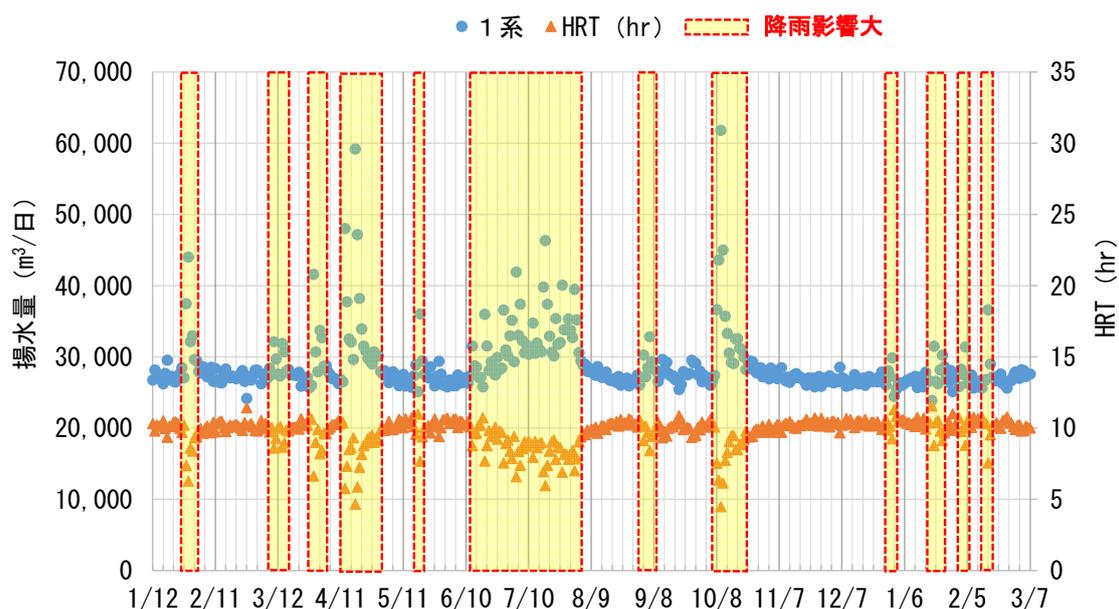
## 2) 既設 標準活性汚泥法 (2系) および担体投入ステップ流入式嫌気無酸素好気法 (3-3、3-4系反応タンク) の処理性能の確認

5.1 項 1) で実施した水質分析の結果から窒素除去性等を確認した。

### 5.3 実証設備の運転状況

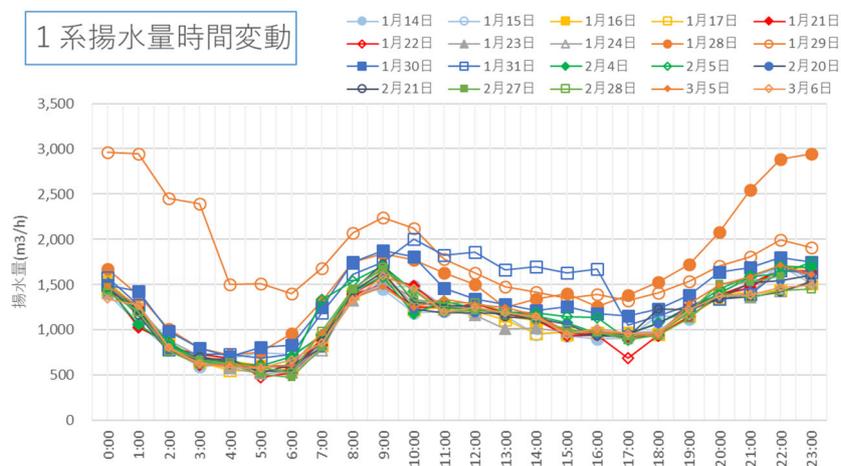
図資 5-4 に実証実験期間中（2020 年 1 月 13 日以降）の成瀬クリーンセンター実証系列（1 系）流入汚水量の日間変動と HRT を示す。

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、流入汚水量は平均 27,281m<sup>3</sup>/日、HRT は 10.1hr であり、成瀬クリーンセンターの HRT は平成 30 年度実績と同等以下であった。また、AHRT の平均値は 5.8hr であり、調査日における ASRT の平均は 10.1 日、MLSS は 1,864mg/L であった。

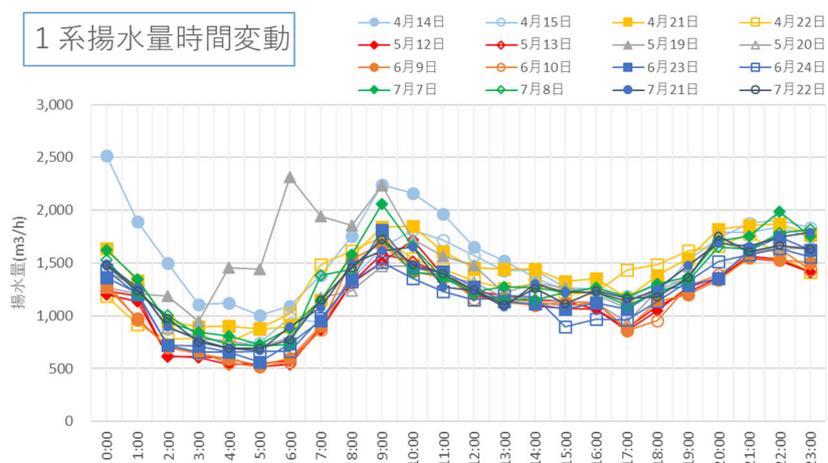


図資 5-4 処理場流入汚水量の日間変動

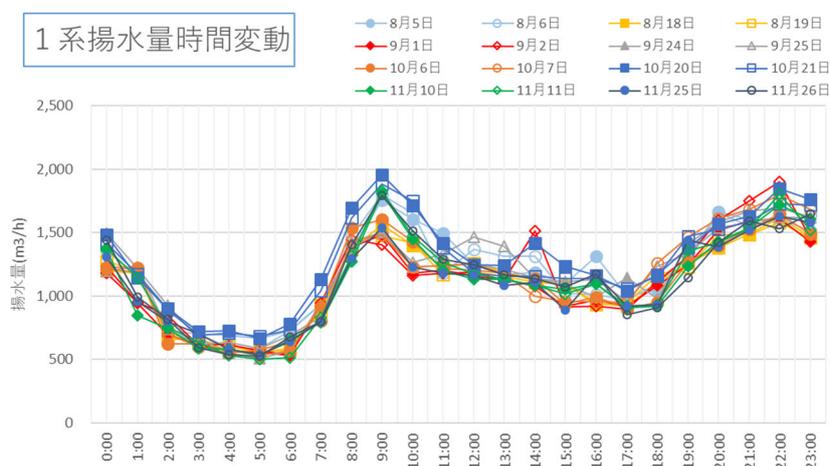
また、図資 5-5～図資 5-8 に採水を実施した各調査日における流入汚水量の時間変動をそれぞれ示す。前述した降雨影響の大きかったと推定される期間を除くと、流入汚水量の変動傾向は同じであり、早朝 4 時～5 時に最も低くなり、ピークは朝 8 時～10 時と夜 21 時～23 時に 2 回あった。



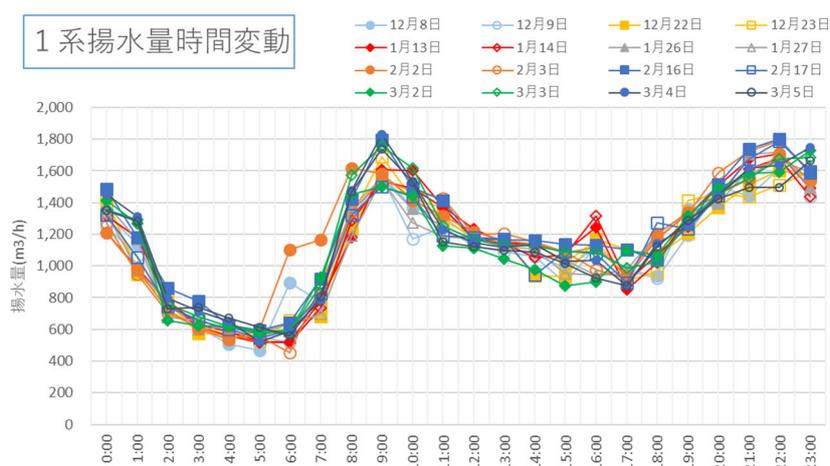
図資 5-5 実証系列の流入汚水量の時間変動（2020 年 1 月～3 月）



図資 5-6 実証系列の流入汚水量の時間変動 (2020年4月～7月)



図資 5-7 実証系列の流入汚水量の時間変動 (2020年8月～11月)



図資 5-8 実証系列の流入汚水量の時間変動 (2020年12月～2021年3月)

## 5.4 処理水質・処理能力の評価

表資 5-4 に実証系列（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。また、2020 年 1 月 21 日～1 月 22 日の初沈流出水については採水器の故障のため、12 検体中 5 検体しか試料採取できなかったため参考値扱いとする。

表資 5-4 1 系水処理設備の運転状況および平均水質

分析 方法	調査日	天候	水温 (°C)	処理水量 (m <sup>3</sup> /池/日)	送風量 (Nm <sup>3</sup> /池/日)	HRT (hr)	MLSS (mg/L)	TBOD (mg/L)			SS (mg/L)			T-N (mg/L)			T-P (mg/L)			pH (mg/L)			T-N 除去率
								初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	初沈 流入	初沈 出口	終沈 出口	
時毎	1月14日～1月15日	晴	19.8	6,861	28,397	10.1	2,100	257.7	135.8	4.1	234.4	51.8	1.2	43.0	37.8	13.7	4.73	3.70	0.39	7.59	7.46	6.48	63.7%
コン	1月16日～1月17日	雨/晴	19.5	6,758	27,405	10.2	2,100	218.0	81.4	6.7	208.0	36.2	1.5	42.1	32.4	13.3	4.50	3.27	1.00	7.82	7.65	6.54	59.0%
時毎	1月21日～1月22日	曇	19.8	6,790	28,080	10.2	2,000	224.7	133.6	4.3	210.3	63.5	1.2	37.2	35.2	12.2	4.52	4.09	0.81	7.74	7.46	6.51	65.3%
コン	1月23日～1月24日	雨	20.0	6,717	28,554	10.3	2,050	198.2	107.3	5.7	204.0	46.9	1.1	34.1	32.0	12.7	4.53	3.72	1.29	7.81	7.60	6.46	60.3%
時毎	1月28日～1月29日	雨	18.0	11,553	29,995	6.0	1,810	122.2	91.3	6.0	141.2	52.2	2.8	26.0	21.6	12.2	3.17	2.69	1.04	7.74	7.62	6.41	43.6%
コン	1月30日～1月31日	晴	18.8	7,760	28,768	8.9	2,130	164.2	107.5	4.9	323.0	49.0	1.8	34.2	31.3	9.4	3.75	3.15	1.74	7.68	7.58	6.51	70.0%
時毎	2月4日～2月5日	晴	19.2	7,003	30,900	9.9	1,930	194.3	109.9	4.4	203.8	56.9	1.1	42.0	35.1	12.8	4.73	3.58	0.79	7.67	7.38	6.35	63.4%
時毎	2月20日～2月21日	曇	20.0	6,737	30,265	10.2	1,980	232.3	103.6	4.4	300.6	50.9	1.1	39.6	33.4	13.1	5.01	4.09	1.91	7.65	7.45	6.43	60.8%
コン	2月27日～2月28日	晴	20.2	6,819	34,763	10.1	2,010	206.9	125.0	3.7	275.0	71.0	2.4	43.4	39.7	12.8	4.12	3.62	1.03	7.71	7.42	6.43	67.8%
コン	3月5日～3月6日	曇	20.3	6,852	29,234	10.1	2,100	196.0	125.0	3.6	215.0	45.6	1.3	43.8	38.2	12.8	4.14	3.47	1.54	7.78	7.52	6.44	66.4%
コン	4月14日～4月15日	晴	18.5	8,196	21,988	8.4	2,010	132.0	92.6	6.9	162.0	55.6	2.3	33.3	29.6	9.4	2.99	2.44	1.34	7.67	7.65	6.40	68.3%
コン	4月21日～4月22日	雨/晴	20.0	8,215	24,793	8.4	1,760	128.0	84.7	5.8	165.0	56.0	3.8	29.1	25.8	9.0	3.18	2.55	1.61	7.57	7.53	6.42	65.0%
コン	5月12日～5月13日	晴	24.0	6,578	25,188	10.5	1,730	208.0	104.0	4.5	218.0	48.9	1.3	34.8	30.1	9.5	5.42	3.92	1.38	7.61	7.40	6.47	68.4%
時毎	5月19日～5月20日	晴/雨	22.5	7,540	20,373	9.2	1,730	189.9	79.7	4.7	193.7	49.9	1.3	27.1	28.8	11.1	4.42	3.23	1.75	7.62	7.56	6.31	61.3%
コン	6月9日～6月10日	曇/晴	25.5	6,682	26,946	10.3	1,930	198.0	108.0	4.1	242.0	53.5	1.0	32.7	29.0	8.7	4.64	3.76	1.21	7.50	7.31	6.48	70.0%
コン	6月23日～6月24日	雨/曇	25.5	7,015	26,302	9.8	2,080	168.0	104.0	5.6	209.0	52.0	1.6	33.5	28.3	9.4	4.01	3.32	2.07	7.49	7.42	6.47	66.7%
コン	7月7日～7月8日	雨/曇	25.5	7,822	25,614	8.8	1,860	145.0	71.0	7.8	206.0	55.3	1.9	27.1	22.2	7.2	3.69	2.89	1.96	7.47	7.51	6.56	67.7%
コン	7月21日～7月22日	雨/曇	25.7	7,601	27,280	9.1	1,890	185.0	109.0	5.9	177.0	51.3	1.2	32.2	27.3	7.8	3.99	3.25	0.90	7.42	7.40	6.54	71.6%
コン	8月5日～8月6日	晴	26.5	7,194	29,066	9.6	1,960	193.0	100.0	5.3	182.0	41.6	1.1	30.5	25.9	6.6	4.06	3.24	0.76	7.40	7.32	6.51	74.5%
時毎	8月18日～8月19日	曇/晴	28.7	6,643	27,841	10.4	1,770	218.9	97.2	7.6	212.9	49.5	1.4	30.1	26.8	9.2	4.43	3.48	0.73	7.40	7.30	6.52	65.6%
コン	9月1日～9月2日	曇/雨	29.4	6,492	26,620	10.6	1,570	193.0	91.9	4.7	210.0	40.0	1.1	30.5	28.5	7.8	4.56	3.78	0.66	7.40	7.37	6.48	72.7%
コン	9月24日～9月25日	雨	28.0	6,831	25,546	10.1	1,530	171.0	77.3	5.1	213.0	38.5	1.0	45.1	39.1	12.9	4.39	3.92	1.78	7.39	7.38	6.41	67.0%
コン	10月6日～10月7日	曇/晴	27.1	6,627	26,793	10.4	1,520	191.0	113.0	6.0	215.0	41.5	1.6	37.9	33.5	11.1	4.68	3.65	1.67	7.50	7.44	6.50	66.9%
コン	10月20日～10月21日	曇/晴	24.4	7,649	25,804	9.0	1,770	172.0	77.5	6.2	202.0	35.7	1.0	35.4	29.8	9.5	3.84	2.83	1.48	7.50	7.59	6.55	68.3%
コン	11月10日～11月11日	晴	24.1	6,779	25,454	10.2	1,630	213.0	123.0	5.1	262.0	27.6	2.3	41.7	34.1	10.3	4.45	3.29	1.40	7.52	7.59	6.48	69.8%
時毎	11月25日～11月26日	雨/曇	24.0	6,704	24,450	10.3	1,630	245.9	103.2	5.9	215.7	37.9	2.1	40.8	34.8	11.8	2.53	3.70	1.50	7.66	7.58	6.52	66.1%
コン	12月8日～12月9日	晴	21.9	6,520	27,147	10.6	1,830	210.0	97.7	5.5	235.0	31.0	1.0	40.7	35.6	9.2	4.33	3.49	1.42	7.63	7.39	6.48	74.3%
コン	12月22日～12月23日	晴	21.1	6,621	27,171	10.4	1,880	235.0	106.0	4.3	344.0	36.0	1.0	41.3	36.3	9.7	4.47	3.61	1.20	7.95	7.52	6.58	73.2%
コン	1月13日～1月14日	晴	20.4	6,764	27,317	10.2	1,910	186.0	114.0	3.2	229.0	43.0	1.0	45.7	38.4	11.5	4.61	3.90	1.98	7.95	7.46	6.48	70.1%
コン	1月26日～1月27日	晴/雨	19.5	6,670	26,178	10.3	1,800	174.0	92.9	2.8	211.0	34.0	1.0	46.2	36.9	12.1	4.79	3.77	1.96	7.71	7.63	6.53	67.2%
コン	2月2日～2月3日	雨/晴	18.8	6,790	26,225	10.2	1,670	224.0	117.0	3.6	412.0	34.7	1.0	43.6	40.4	13.0	4.85	3.48	0.89	7.79	7.65	6.60	67.8%
時毎	2月16日～2月17日	晴	19.3	6,974	26,221	9.9	2,100	193.0	115.5	4.5	188.2	45.7	1.5	36.5	32.6	8.5	4.38	3.56	1.24	7.67	7.70	6.57	73.9%
コン	3月2日～3月3日	雨/曇	20.5	6,818	26,343	10.1	1,670	224.0	117.0	3.6	412.0	34.7	1.0	43.6	40.4	13.0	4.85	3.48	0.89	7.58	7.36	6.42	67.8%
コン	3月4日～3月5日	晴/雨	20.5	6,835	27,301	10.1	1,930	209.0	125.0	3.2	228.0	47.0	1.0	46.5	42.1	13.1	5.88	4.89	1.32	7.48	7.33	6.45	68.9%
	最小		18.0	6,492	20,373	6.0	1,520	122.2	71.0	2.8	141.2	27.6	1.0	26.0	21.6	6.6	2.5	2.4	0.4	7.39	7.30	6.31	43.6%
	最大		29.4	11,553	34,763	10.6	2,130	257.7	135.8	7.8	412.0	71.0	3.8	46.5	42.1	13.7	5.9	4.9	2.1	7.95	7.70	6.60	74.5%
	平均		22.3	7,130	27,068	9.8	1,864	194.7	104.2	5.0	231.2	46.0	1.5	37.4	32.7	10.8	4.3	3.5	1.3	7.62	7.49	6.48	66.9%

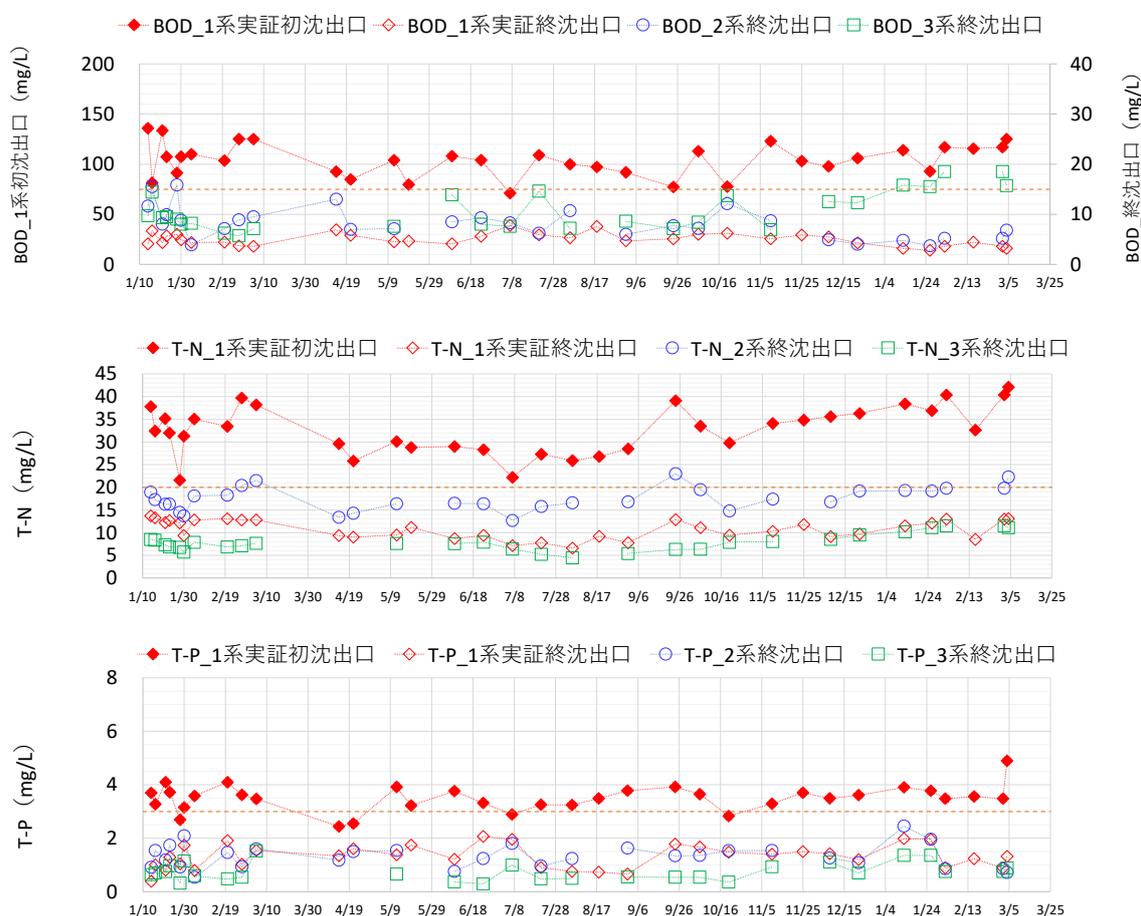
降雨日を除いた平均 68.1%

注) 分析方法の凡例：時毎は 2 時間毎分析、コンはコンポジット操作後の分析、を意味する

図資 5-9 に実証系列である 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。また参考比較のために、標準活性汚泥法で運用した 2 系、担体投入型ステップ A2O 法で運用した 3 系 (3-3、3-4 の 2 池) についても、最終沈殿池流出水の水質を併記した。

全 34 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 60.8%~74.5%で推移しており、平均除去率は 68.1%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 は、実証系の方が 2 系 (標準法) や 3 系 (高度処理法) よりも良好な水質を保てた。T-N は 2 系よりも良質であり、3 系とは当初差があったが、2020 年 4 月以降はほぼ同じか若干高い程度で推移した。T-P は 2 系と同程度の水質を保てた。



図資 5-9 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)

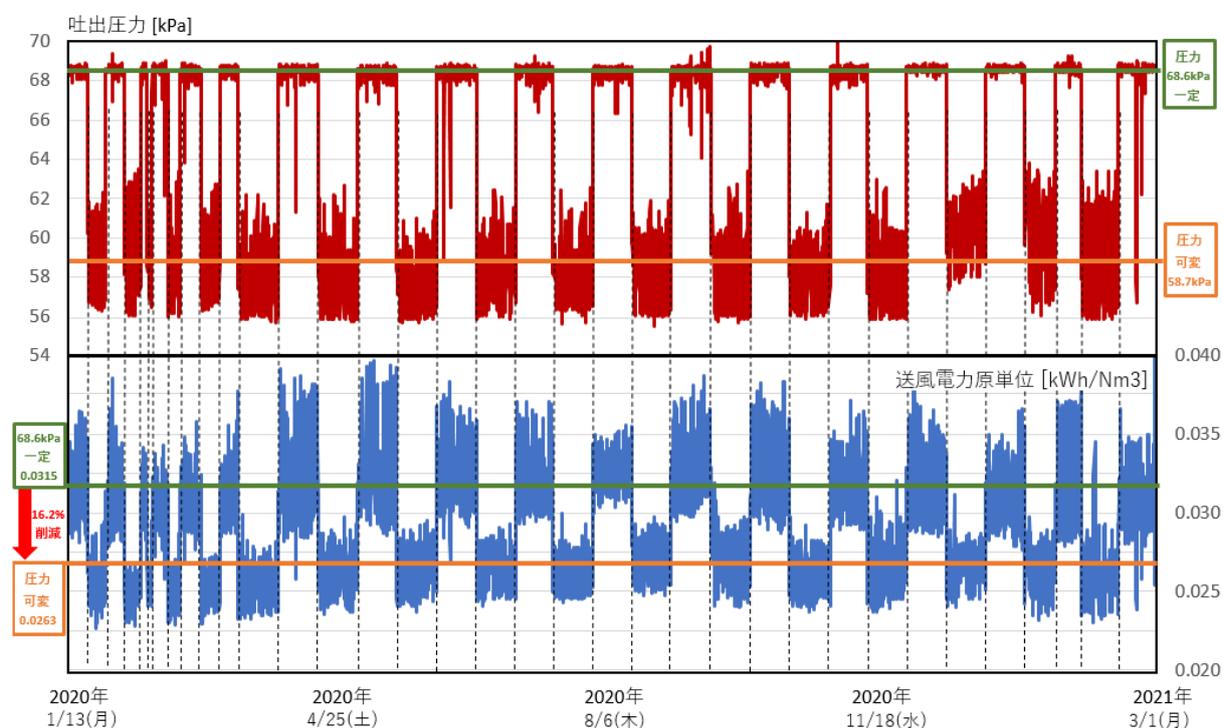
## 5.5 消費電力の削減効果

### 5.5.1 送風機吐出圧力可変制御による送風電力削減効果

2020年1月13日(月)10時～2021年3月1日(月)10時において、1～2週間毎に送風機吐出圧力制御のモード切替え（吐出圧力一定制御と吐出圧力可変制御の切替え）を実施し、当該期間中の送風機吐出圧力、反応タンク風量、送風電力量を評価対象とした（設備点検等による非定常運転時は除外）。表資 5-5 に全期間の評価結果を、図資 5-10 に評価対象データを示す。送風機設計圧力 68.6kPa 一定制御に比して、圧力可変制御において風量 1Nm<sup>3</sup>当たりの送風電力量（送風電力原単位）が 16.2%低減した。従って、送風電力削減率 10%の目標値を達成した。

表資 5-5 送風電力削減効果の評価結果（2020年1月13日～2021年3月1日）

	吐出圧力 [kPa]	風量 [Nm <sup>3</sup> /日]	送風電力量 [kWh/hr]	送風電力原単位 [kWh/Nm <sup>3</sup> ]	評価データ 時間数[hr]
圧力一定	68.5 (設定 68.6)	4,661	147	0.0315	4,772
圧力可変	58.7 (▲9.8)	4,667	123	0.0263 (▲16.2%)	4,581



図資 5-10 送風電力削減効果の評価対象データ（設備点検等による非定常運転時は除外）

### 5.5.2 A2O 法に比した水処理電力削減効果（FS 机上計算）

本技術は、従来技術である A2O 法と異なり、嫌気槽攪拌機、無酸素槽攪拌機および硝化液循環ポンプが不要である。また、送風機の吐出圧力を風量に合わせて変更することで送風機自体の消費電力の削減効果が見込まれる。

そこで、日最大汚水量 50,000m<sup>3</sup>/日、日平均汚水量 40,000m<sup>3</sup>/日規模の反応タンク設備および送風機設備を想定し、A2O 法と本技術のそれぞれで水処理電力量および処理水 1m<sup>3</sup> 当たりの消費電力量（原単位）を試算した。なお、本技術の送風機消費電力量については、4.3.1 項で述べた削減率 16%を適用して試算した。また、評価範囲での試算では従来技術の嫌気槽攪拌機および無酸素槽攪拌機の運転時間を 1 日当たり 8hr として消費電力量を計算した。

表資 5-6 に評価範囲（反応タンク設備、送風機設備）および公募範囲（評価範囲と最初沈殿池設備、最終沈殿池設備を加える）における消費電力量および電力原単位の比較を示す。

#### 1) 評価範囲

従来技術の消費電力量は 2,522.6 千 kWh/年、水処理電力原単位は 0.173kWh/m<sup>3</sup>であったのに対して、本技術では機器点数の減少と送風機の省エネ効果によって消費電力量は 1,784.9 千 kWh/年、水処理電力原単位は 0.122kWh/m<sup>3</sup>と試算され、削減率は 29%であった。

#### 2) 公募範囲

水処理全体を対象とした公募範囲においては、消費電力量は 2,902.6 千 kWh/年、電力原単位は 0.199kWh/m<sup>3</sup>であったのに対して、本技術では消費電力量は 2,164.9 千 kWh/年、水処理電力原単位は 0.148kWh/m<sup>3</sup>と試算され、削減率は 25%となった。

表資 5-6 水処理電力量の比較

			従来技術	本技術	削減率
評価範囲	消費電力量	千 kWh/年	2,522.6	1,784.9	29%
	電力原単位	kWh/m <sup>3</sup>	0.173	0.122	
公募範囲	消費電力量	千 kWh/年	2,902.6	2,164.9	25%
	電力原単位	kWh/m <sup>3</sup>	0.199	0.148	

※消費電力量（千 kWh/年）は日平均汚水量 40,000m<sup>3</sup>/日で除すことで算出

## 5.6 自動制御の性能と効果

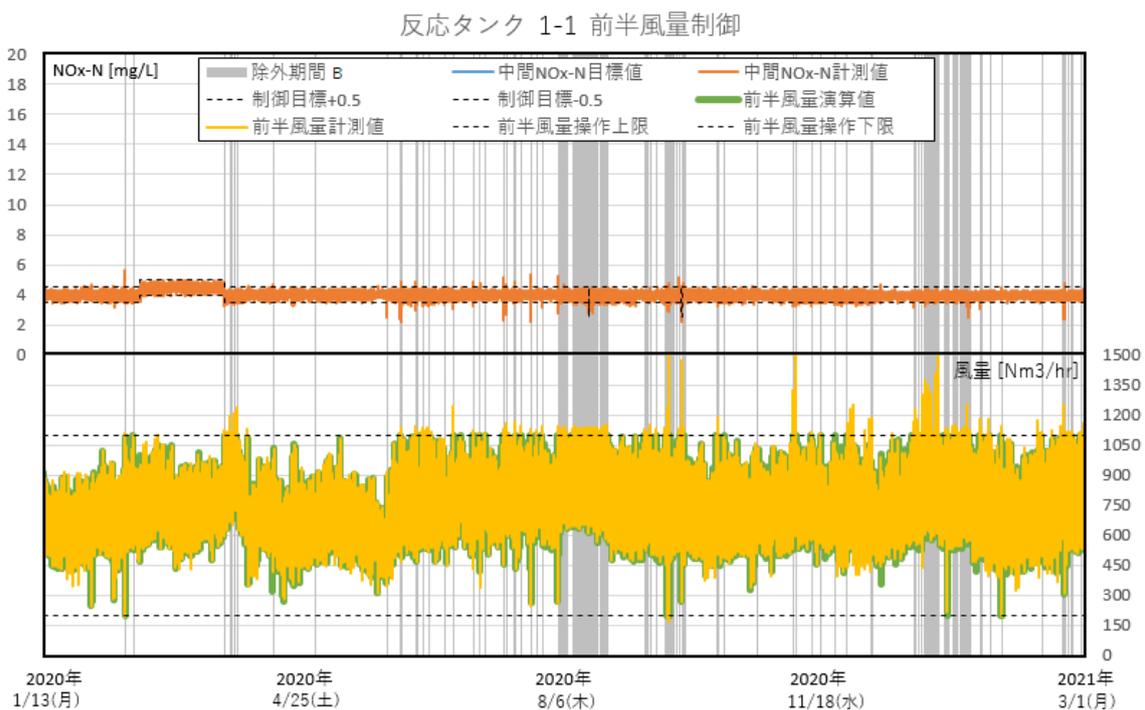
### 5.6.1 風量制御の制御性能

反応タンク 1-1 系前半～1-4 系後半の 8 箇所の風量制御について、2020 年 1 月 13 日(月) 10 時～2021 年 3 月 1 日 (月)10 時の取得データを用いて制御性能評価を実施した。なお、設備点検等による非定常運転期間を評価対象から除いた。また、「操作量（風量）が操作範囲上下限に達してから制御性能が回復するまでの期間」を除外期間 B と定義し、適合率の計算から除外した。表資 5-7 に評価結果を、図資 5-11～5-18 に評価対象データを示す。1-1 系～1-4 系反応タンク前半と後半の 8 箇所全ての風量制御について、適合率 95%以上となり目標値を達成した。また、計測濃度の平均値もほぼ設定値と同じであった。

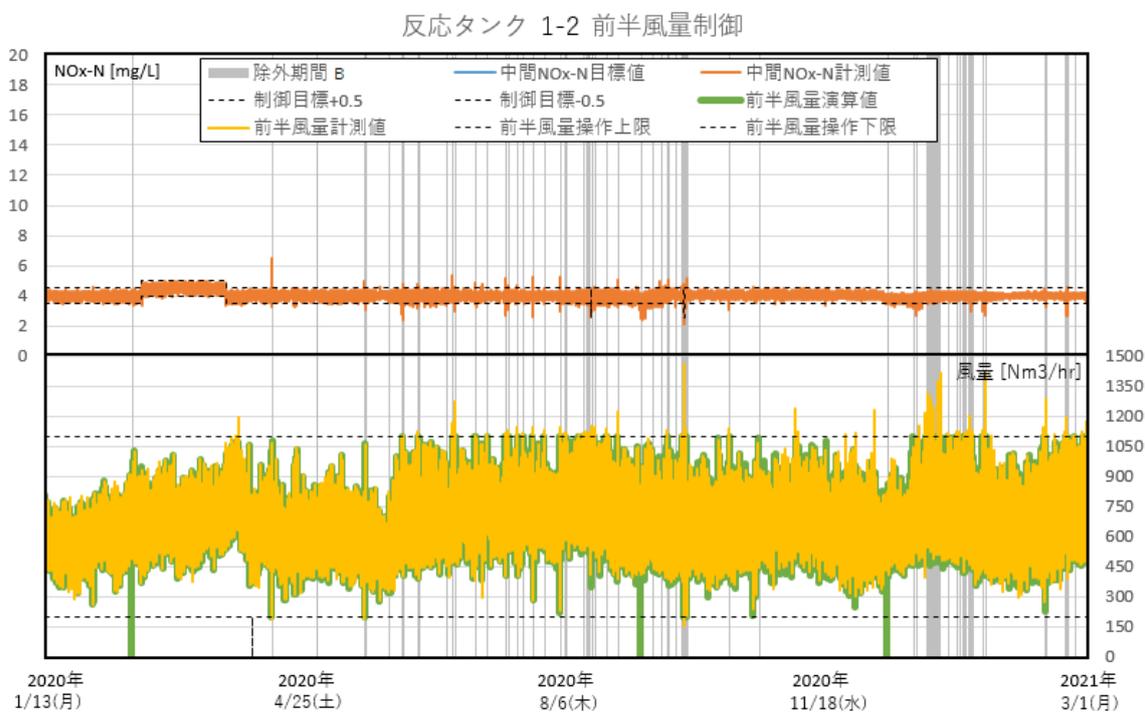
表資 5-7 風量制御性能の評価結果（2020 年 1 月 13 日～2021 年 3 月 1 日）

	除外期間 B	適合率	計測濃度平均値*
1-1 前半	2%	99% (95%以上達成)	4.0mg/L (設定値 4.0mg/L)
1-2 前半	1%	98% (95%以上達成)	4.0mg/L (設定値 4.0mg/L)
1-3 前半	16%	98% (95%以上達成)	3.9mg/L (設定値 4.0mg/L)
1-4 前半	9%	99% (95%以上達成)	4.0mg/L (設定値 4.0mg/L)
<b>前半平均</b>	<b>7%</b>	<b>99% (95%以上達成)</b>	<b>4.0mg/L (設定値 4.0mg/L)</b>
1-1 後半	35%	98% (95%以上達成)	2.1mg/L (設定値 2.0mg/L)
1-2 後半	35%	99% (95%以上達成)	1.9mg/L (設定値 2.0mg/L)
1-3 後半	33%	99% (95%以上達成)	1.9mg/L (設定値 2.0mg/L)
1-4 後半	32%	98% (95%以上達成)	2.0mg/L (設定値 2.0mg/L)
<b>後半平均</b>	<b>34%</b>	<b>98% (95%以上達成)</b>	<b>1.9mg/L (設定値 2.0mg/L)</b>

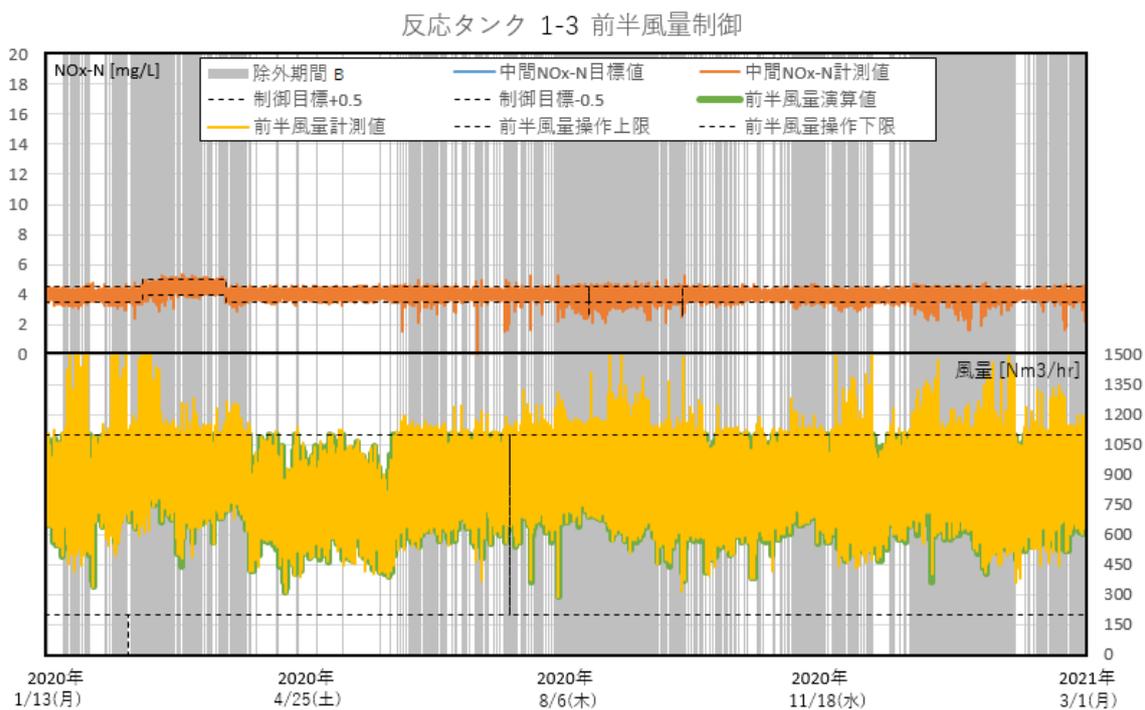
\* 計測濃度平均値は除外期間 B を含めて算出



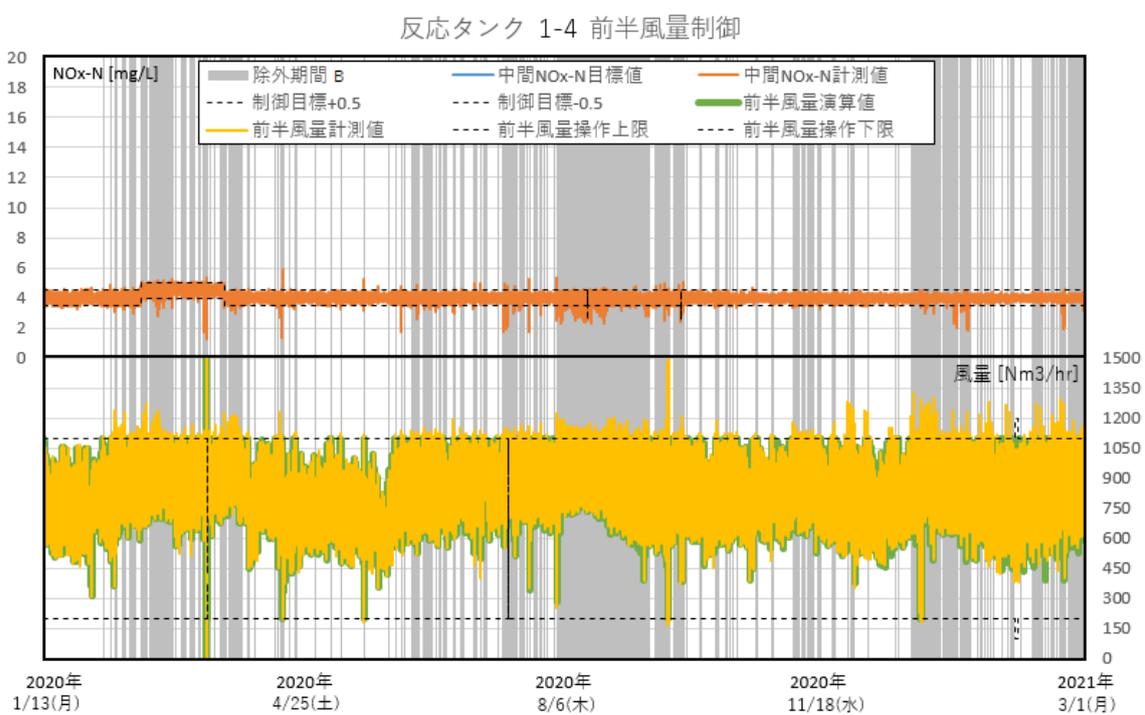
図資 5-11 1-1 系反応タンク前半の風量制御評価対象データ (非正常運転期間を除く)



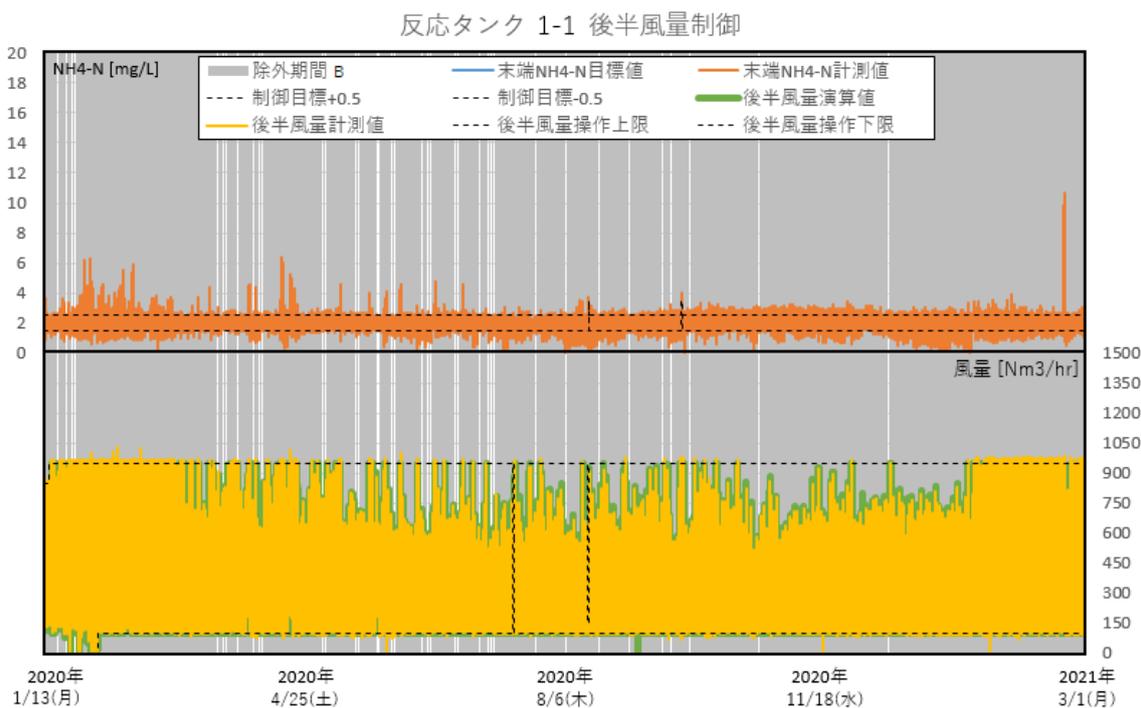
図資 5-12 1-2 系反応タンク前半の風量制御評価対象データ (非正常運転期間を除く)



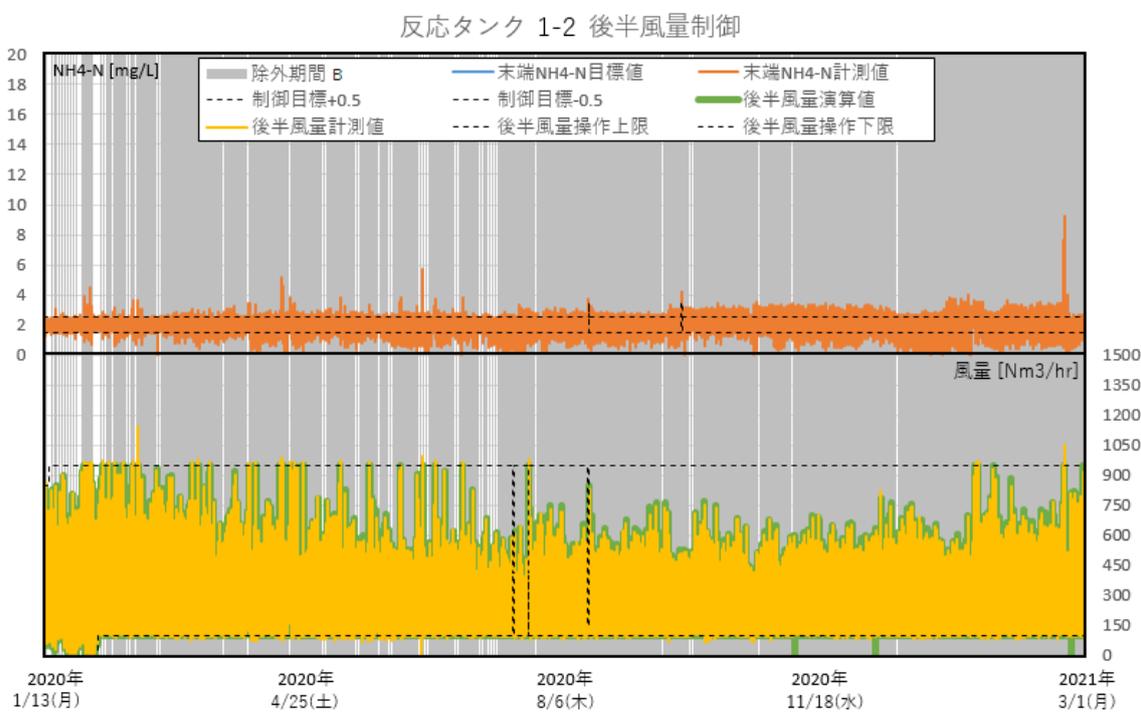
図資 5-13 1-3 系反応タンク前半の風量制御評価対象データ (非定常運転期間を除く)



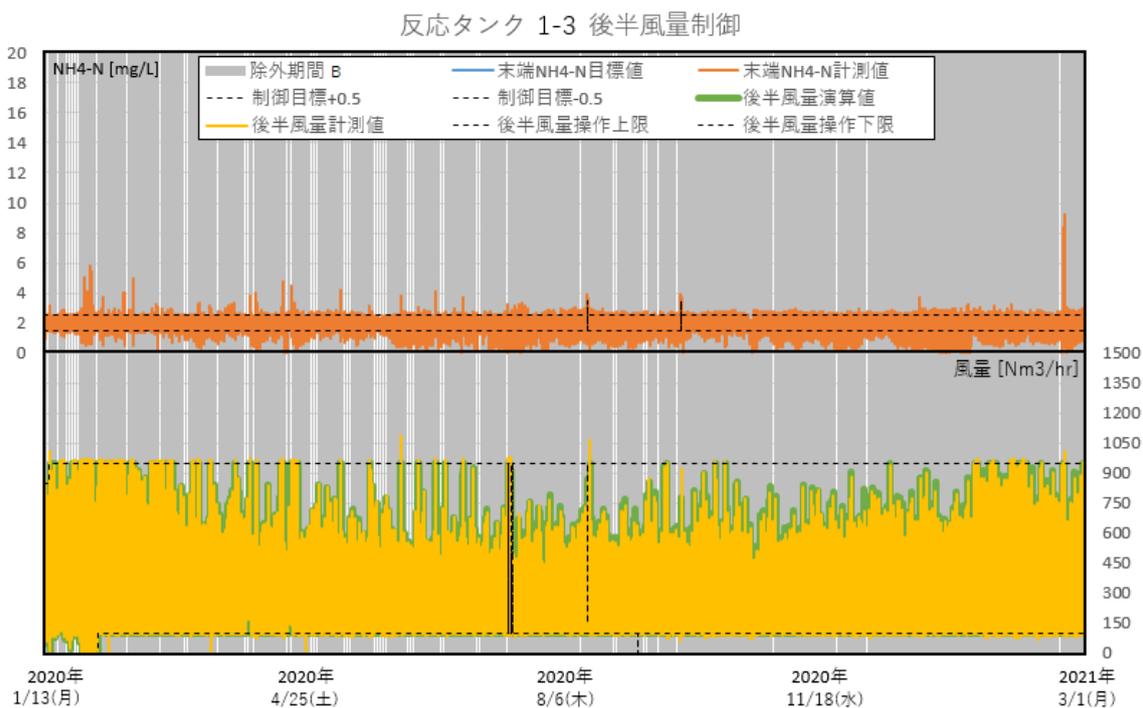
図資 5-14 1-4 系反応タンク前半の風量制御評価対象データ (非定常運転期間を除く)



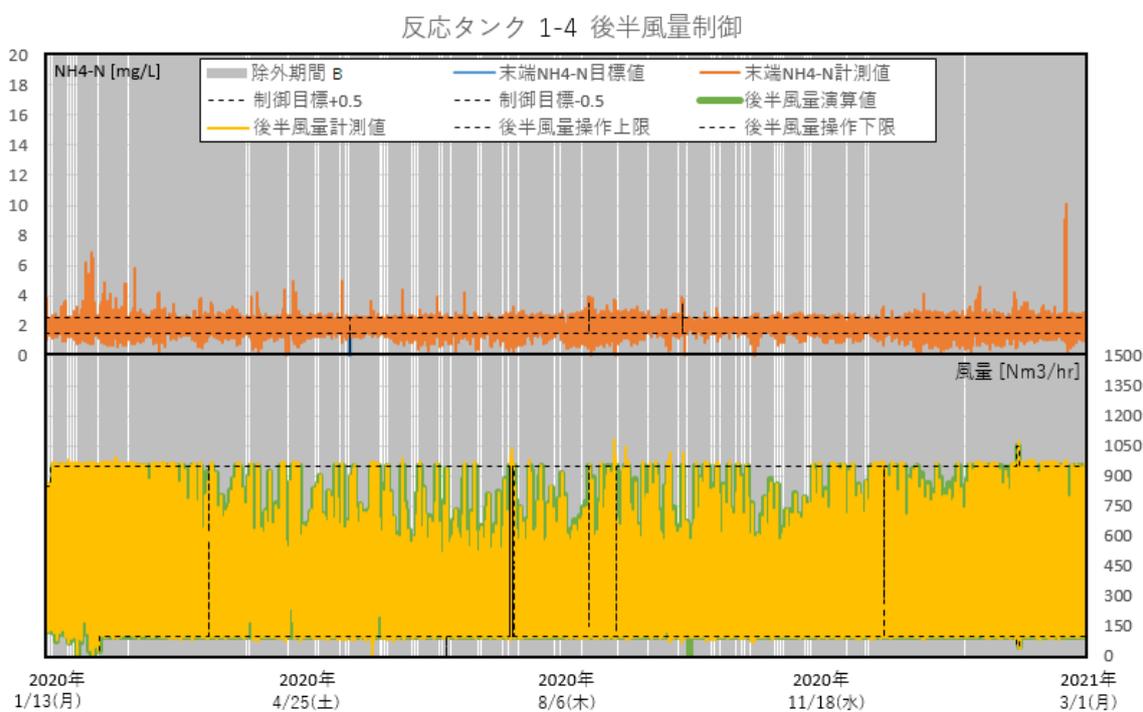
図資 5-15 1-1 系反応タンク後半の風量制御評価対象データ (非正常運転期間を除く)



図資 5-16 1-2 系反応タンク後半の風量制御評価対象データ (非正常運転期間を除く)



図資 5-17 1-3 系反応タンク後半の風量制御評価対象データ (非定常運転期間を除く)



図資 5-18 1-4 系反応タンク後半の風量制御評価対象データ (非定常運転期間を除く)

## 5.7 維持管理性の評価

維持管理性を評価するため、従来技術（A2O 法）と本技術それぞれで求められる維持管理項目を整理し比較を行った。維持管理項目の抽出には、下水道維持管理指針を参考にし、管理項目と保守点検項目の二種類に分類したうえで、各項目の要否（必須：必須項目、不要：不要、必須ではない：必要に応じて実施または設置）を判定した。表資 5-8 に管理項目の比較表を、表資 5-9 に保守点検項目の比較表を示す。

### 1) 管理項目

本技術では、反応タンクへの風量を NH<sub>4</sub>-N 計と NO<sub>x</sub>-N 計を用いて制御することから、DO 制御のように常時 DO を監視する必要が無いが、実証期間中においては一時的に DO 計指示値を参考に運転状況を確認する場面もあったことから、本技術における判定を（必須ではない）とした。循環比については、本技術では循環ポンプを用いないことから判定を不要とした。その他の項目については、全て従来技術と同一の判定とした。

なお、本技術では脱窒ゾーンの形成のために一部の散気装置において制限曝気を行っており、スカム等の堆積が懸念されたが、既設の消泡スプレーによる消泡作用によって堆積が防止できていることを確認した。

表資 5-8 管理項目の比較

管理項目	本技術	従来技術（A2O 法）
MLSS 濃度	必須	必須
MLDO 濃度	必須ではない	必須
ORP	必須	必須
pH	必須ではない	必須ではない
SRT	必須ではない	必須ではない
循環比	不要	必須
汚泥返送比	必須	必須
余剰汚泥の引抜き	必須	必須
スカムの堆積防止	必須	必須
生物相	必須ではない	必須ではない

## 2) 保守点検項目

本技術は単一反応タンク内で硝化と脱窒を行うため、硝化液循環ポンプ設備、エアリフト設備、水中攪拌設備が全て不要となるため、判定は（不要）とした。水質計器に関しては、りん除去を考慮した場合、ORP 計または PO<sub>4</sub>-P 計（実証設備には 1-2 系反応タンク嫌気ゾーン出口に 1 台設置した）の設置が必要となる可能性が高いと判断し、【DO 計、ORP 計】の項目は（必須ではない）の判定とした。また、従来技術では用いていない NH<sub>4</sub>-N 計と NO<sub>x</sub>-N 計が新たに必要となることから、【NH<sub>4</sub>-N 計と NO<sub>x</sub>-N 計】の項目は本技術が（必須）、従来技術が（不要）と判定した。

表資 5-9 保守点検項目の比較

保守点検項目	本技術	従来技術（A20 法）
散気装置	必須	必須
防泡設備	必須	必須
汚泥返送設備	必須	必須
硝化液循環ポンプ設備、 エアリフト設備	不要	必須
水中かくはん設備	不要	必須
メタノール、酢酸および 水酸化ナトリウム注入設備	必須ではない	必須ではない
凝集剤添加設備	必須ではない	必須ではない
水質計器（DO 計）	必須ではない	必須
水質計器（ORP 計）	必須ではない	必須ではない
水質計器（NO <sub>x</sub> -N 計、NH <sub>4</sub> -N 計）	必須	不要

## 3) まとめ

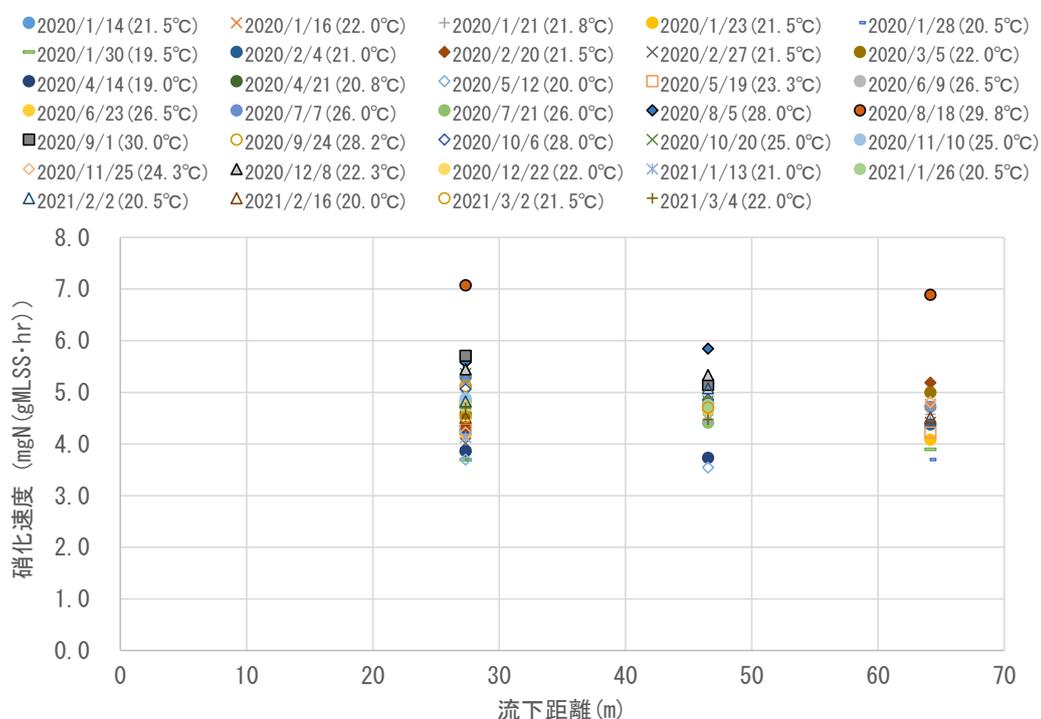
削減可能な項目が、管理項目において 1 つ、保守点検項目については項目によって増減はあるものの、最低でも 1 つの削減が可能と判定され、従来技術に比べ本技術の維持管理性は良好と判断した。

## 5.8 実証設備での確認事項

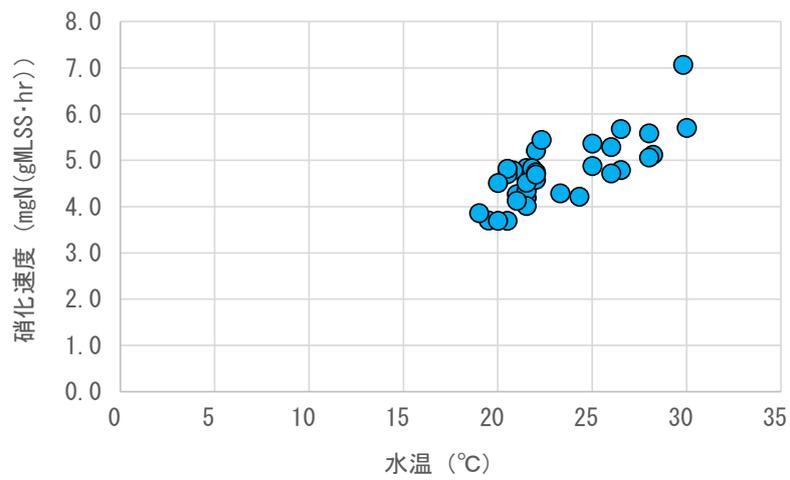
## 5.8.1 反応タンク内 流下方向における硝化能力・脱窒能力の確認

## 1) 硝化能力

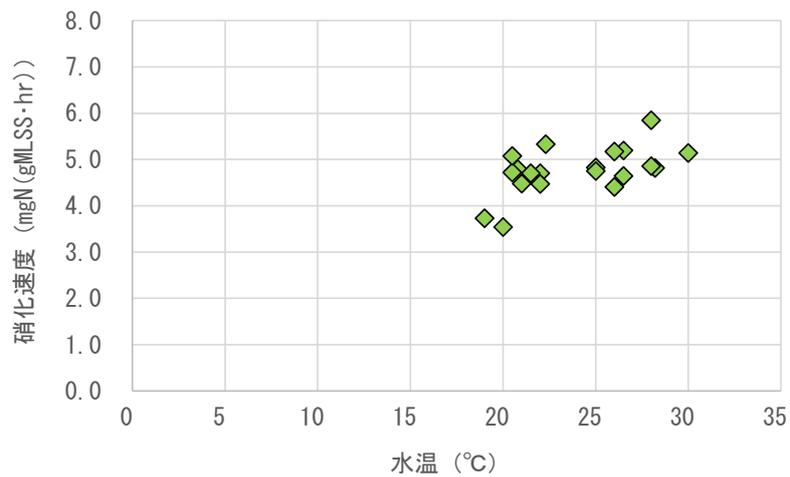
図資 5-19 に反応タンク流下方向の地点から採取した汚泥を用いた硝化速度試験の結果を示す。硝化速度は、反応タンク上流側で 3.7~7.1mgN/gSS/hr (平均 4.8)、中流側で 3.5~5.8mgN/gSS/hr (平均 4.8)、下流側では 3.7~6.9mgN/gSS/hr (平均 4.7) となり、ばらつきが大きかった。また、流下距離とは明瞭な相関はなく、反応タンク内で概ね一定と考えられた。さらに、硝化速度は一般的に水温の影響を受けると考えられ、今回の調査では水温が 19.0℃~30.0℃であり、図資 5-20~図資 5-22 に示すように水温の上昇に伴い硝化速度が増加する傾向を確認した。



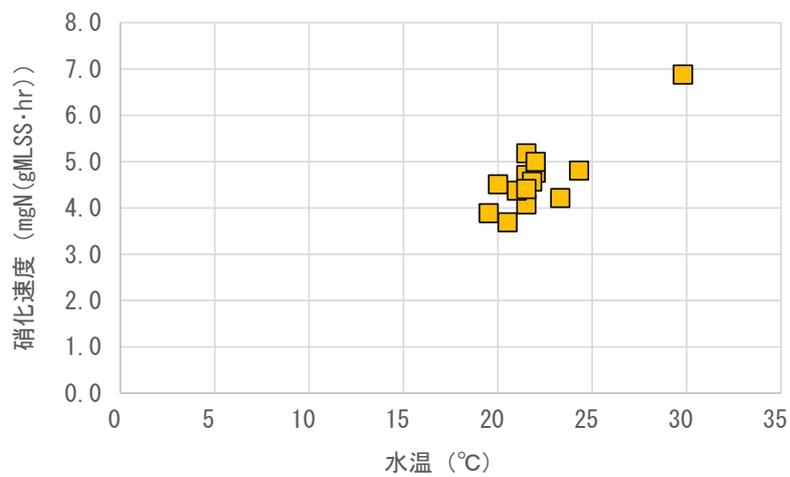
図資 5-19 反応タンク流下方向の硝化速度



図資 5-20 水温と硝化速度の関係（上流側）



図資 5-21 水温と硝化速度の関係（中流側）

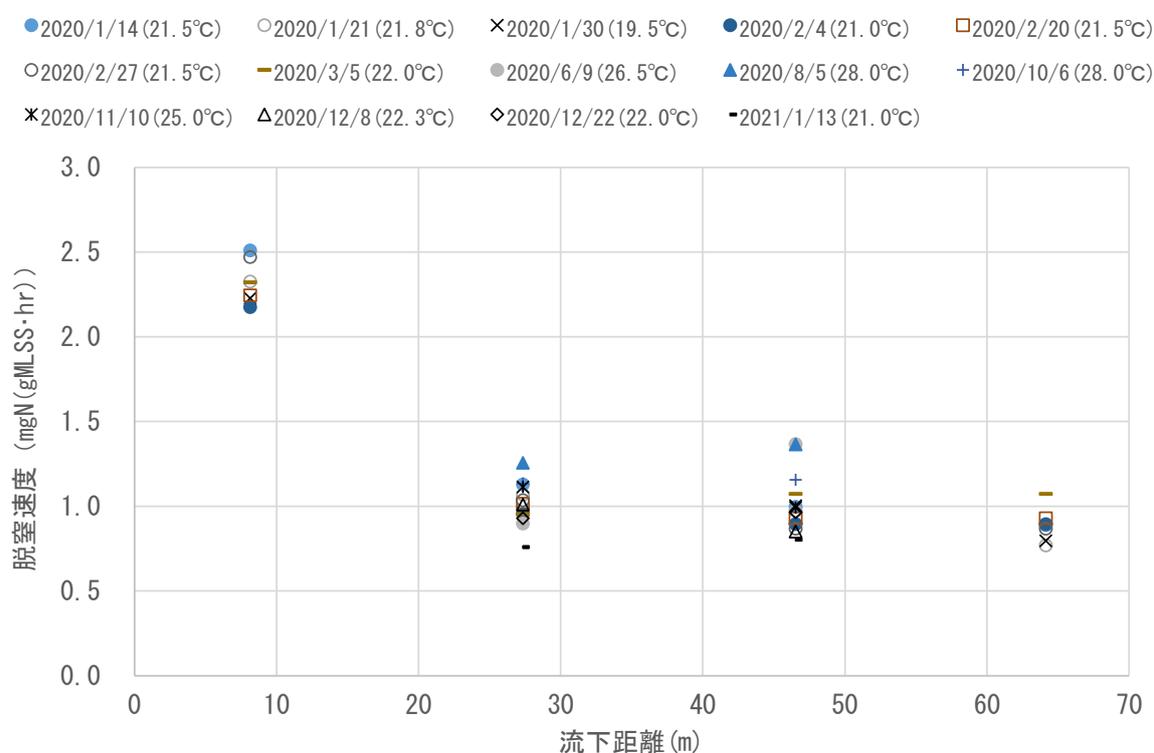


図資 5-22 水温と硝化速度の関係（下流側）

## 2) 脱窒能力

図資 5-23 に反応タンク流下方向の各地点から採取した汚泥を用いた脱窒速度試験の結果（降雨日等のデータを除く）を示す。脱窒速度は反応タンク流入部に近い位置で最も大きく、脱窒ゾーンの入口付近までに急激に低下し、脱窒ゾーン以降は緩やかな低下傾向を示した。

本実証において設定した脱窒ゾーンにおける脱窒能力を、同ゾーンの upstream 端と downstream 端の脱窒速度の平均値と見做した場合、upstream 端の平均値が  $1.03\text{mgN/gSS/hr}$ 、downstream 端の平均値が  $1.04\text{mgN/gSS/hr}$  であることから脱窒ゾーンの脱窒能力は  $1.03\text{mgN/gSS/hr}$  と推定された。平均脱窒速度  $1.03\text{mgN/gSS/hr}$  と、反応タンク内 MLSS 濃度および脱窒ゾーンにおける返送汚泥量を加味した有効滞留時間から想定脱窒量を試算したところ、約  $4\text{mg/L}$  の窒素減少が示唆された。



図資 5-23 反応タンク流下方向の脱窒速度

## 5.8 まとめ

表資 5-10 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。

## &lt;今後の課題&gt;

- 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）

表資 5-10 成果の概要（再掲）

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 $\leq$ 15mg/L ・T-N $\leq$ 20mg/L ・T-P $\leq$ 3mg/L を満足すること 窒素除去率はA2O法 <sup>*</sup> 同等(60~70%)	全調査日において目標水質を達成 T-BOD:平均5.1mg/L(最小2.8mg/L~最大7.8mg/L) T-N :平均10.6mg/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 $\times$ 0.8 $\Rightarrow$ 12.8hr以下)	全調査日の平均HRTは、9.8hr(6.0~10.6)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 $\pm$ 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

## 6.1 試算規模と技術フロー

表資 6-1 に、評価範囲における従来技術および本技術の試算規模と試算範囲を示す。

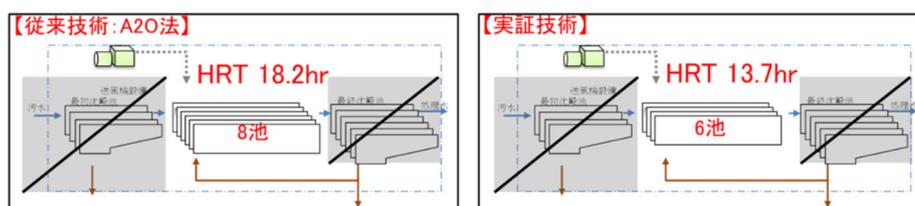
また、図資 6-1 に評価範囲における試算範囲の技術フローを示す。評価範囲では、反応タンク設備および送風機設備を対象として試算を行った。なお、本実証においては嫌気ゾーンを設けてりん除去を行ったことから、従来技術は A2O 法とした。

なお、参考として図資 6-1 に示す公募範囲（最初沈殿池から最終沈殿池までを含む水処理全体）についても試算を行った。

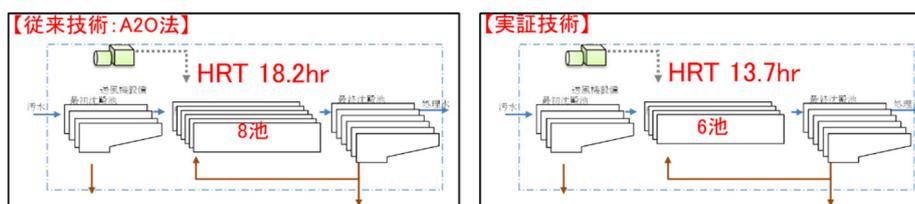
表資 6-1 評価範囲における試算規模と試算条件

	従来技術 (嫌気無酸素好気法)	本技術
導入シナリオ	新設	新設
設計水量	計画 1 日最大流入水量 : 50,000m <sup>3</sup> /日 冬季における計画 1 日最大流入水量 : 40,000m <sup>3</sup> /日	
設計流入水質	BOD : 203mg/L      SS : 171mg/L T-N : 37mg/L      T-P : 4.6mg/L	
月間平均最低水温	15℃	
設計 HRT (夏季)	14.6hr	10.9hr
設計 HRT (冬季)	18.2hr	13.7hr
反応タンク池数	8 池	6 池
送風機運転方法	吐出圧力一定	吐出圧力可変
備考	最初沈殿池および最終沈殿池の仕様は同一	

※冬季における計画 1 日最大流入水量≒計画 1 日平均流入水量



図資 6-1 コスト試算における技術フロー（評価範囲）



図資 6-1 コスト試算における技術フロー（公募範囲）

## 6.2 コストの算定

### 6.2.1 建設費の比較

表資 6-2 に評価範囲を、表資 6-3 に公募範囲における建設費内訳を示す。また、図資 6-2 に評価範囲における従来技術および本技術の建設費総額の比較を、図資 6-3 に公募範囲における建設費総額の比較を示す。

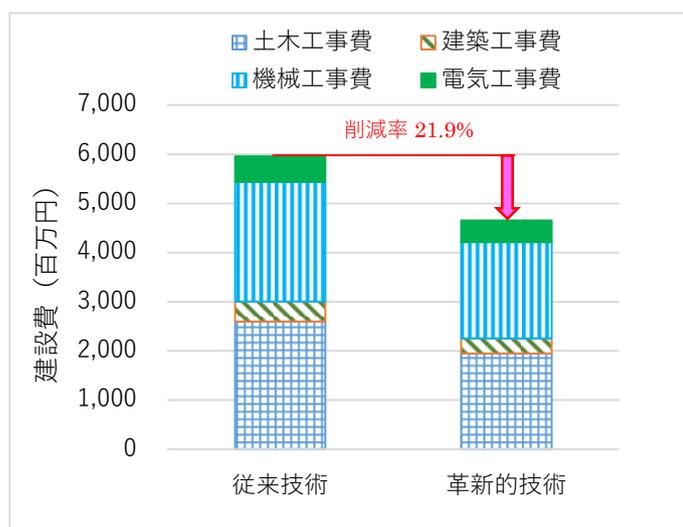
#### 1) 評価範囲

本技術は、従来技術に比べて短い HRT で処理できることから反応タンク池数の削減が可能となる。これにより土木・建築・機械工事費のいずれも縮減する。なお、本来は電気工事費についても縮減の見込みはあるものの、今回の算定では従来技術と同額に設定した。なお、今回は風量演算装置を機械設備に含めて試算した結果、評価範囲における従来技術の建設費が 5,960 百万円に対して、本技術の建設費は 4,656 百万円と試算され、縮減率は 21.9%（年価ベースでは 20.6%）となった。

表資 6-2 評価範囲における建設費試算結果の内訳

単位：百万円

	土木工事費	建築工事費	機械工事費	電気工事費	合計
従来技術	2,597.8	409.2	2,432.0	520.7	5,960
本技術	1,948.3	306.9	1,958.0	442.6	4,656



図資 6-2 評価範囲における建設費の比較

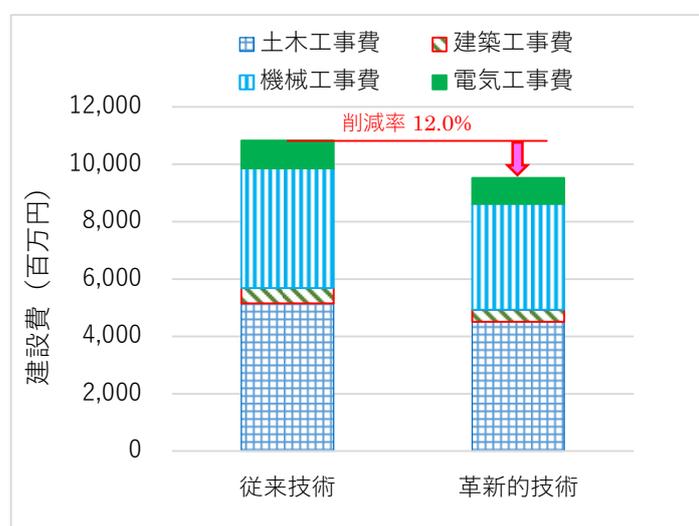
## 2) 公募範囲

公募範囲では水処理施設全体（最初沈殿池から最終沈殿池まで）であることから、評価範囲に比べて縮減率は低下する。従来技術の建設費は 10,830 百万円に対して、本技術の建設費は 9,526 百万円と試算され、縮減率は 12.0%（年価ベースでは 11.5%）となった。

表資 6-3 公募範囲における建設費試算結果の内訳

単位：百万円

	土木工事費	建築工事費	機械工事費	電気工事費	合計
従来技術	5,153.7	535.0	4,165.0	976.5	10,830
本技術	4,504.2	432.7	3,691.0	898.5	9,526



図資 6-3 公募範囲における建設費の比較

## 6.2.2 総費用の比較

表資 6-4 に試算した維持管理費の内訳を示す。また、前項で試算した建設費を年価として算出し、表資 6-4 で示した維持管理費を加えた総費用算出結果について、表資 6-5 に評価範囲の結果を示す。

また、図資 6-4 に総費用試算の比較結果を示す。

表資 6-4 維持管理費内訳

(単位：百万円/年)

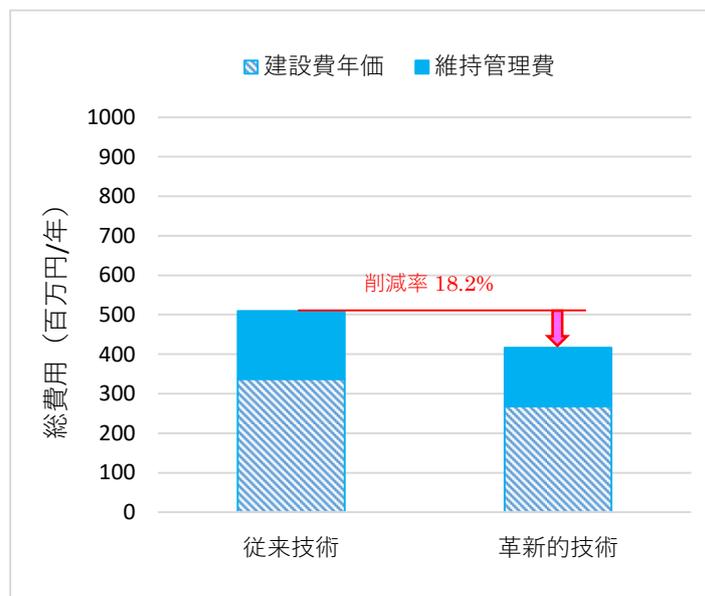
	評価範囲	
	従来技術	本技術
人件費	75.6	74.4
薬品費	0	0
電力費	37.8	26.8
補修費	59.1	48.0
合計	172.5	149.2

表資 6-5 評価範囲における総費用試算結果

評価項目		本技術	従来技術	削減率
建設費	(百万円)	4,655.8	5,959.6	21.9%
建設費年価	(百万円/年)	267.4	336.8	20.6%
維持管理費	(百万円/年)	149.2	172.5	13.5%
総費用	(百万円/年)	416.6	509.3	18.2%

## 1) 評価範囲

図資 6-4 に示す通り、従来技術の総費用は 509 百万円/年と算出された。本技術については反応タンクの池数を削減可能なこと、攪拌機等の動力機器が不要になることから建設費が低減できる。また送風機の消費電力量も削減可能であることから維持管理費も低減し、その結果総費用は 416 百万円/年となり、従来技術と比較して 18.2%の削減と試算された。



図資 6-4 評価範囲における総費用比較

## 2. ケーススタディ

## 2. ケーススタディ

## (1) 標準法からの高度処理化

## 1) 試算条件

本技術および A2O 法の試算条件を表資 2-1 に示す。

表資 2-1 試算条件

No	項目	単位	条件値
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大 処理水量	m <sup>3</sup> /日 50,000 (冬季日最大 : 40,000)
		系列数	系列 1
		1 系列の 池数	池 本技術 : 11 従来技術 : 15
2	建設費	機械機器費	- 表 1-2 と表 1-3 の機器費積み上げ
		電気機器費	- 容量計算に基づく機器費の積み上げ
		工事費	- 容量計算に基づく建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	% 2.3
		耐用年数	年 15 (機械・電気)
			50 (土木)
デフレーター	- 平成 29 年度値 : 107.2		
4	維持管理費	電力単価	円/kWh 15
		機器保守費	% 2 (機械・電気設備工事費に対して)
5	温室効果ガス 排出量	t- CO <sub>2</sub> /MWh	0.489 <sup>※</sup>

※出典 : 東京都環境局 (2019)、『第 3 計画期間に適用する改正事項等説明資料』(2019 年 5 月説明会資料)、2022 年 1 月 7 日アクセス、[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large\\_scale/meeting/h31/31\\_7\\_files/sanki2019.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/meeting/h31/31_7_files/sanki2019.pdf)

表資 2-2 機械機器リスト (共通項目)

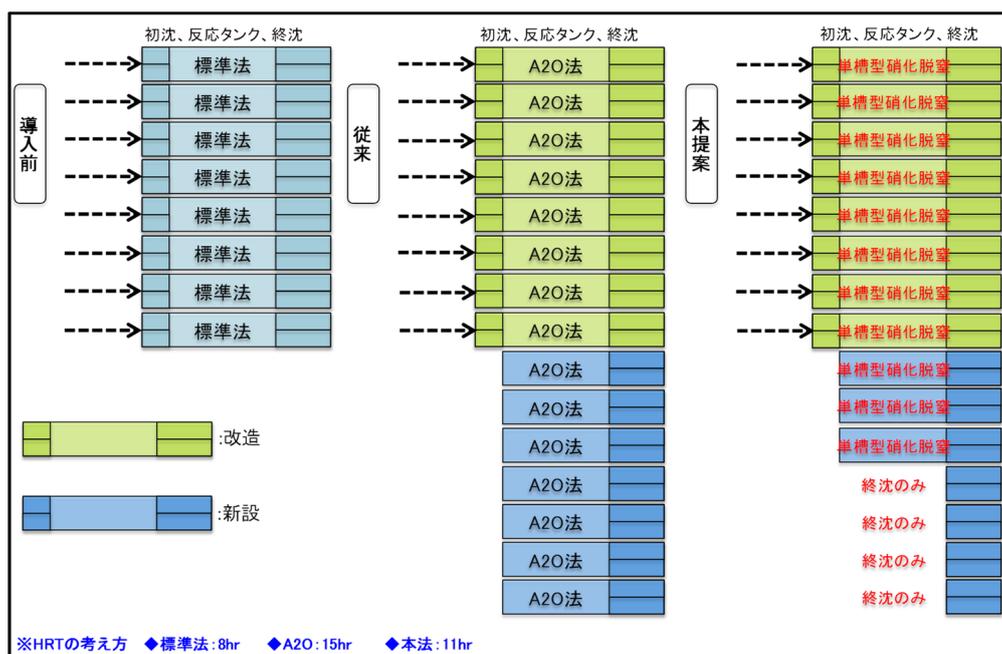
最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池
初沈流入堰	反応タンク流入堰	終沈流入堰
污泥かき寄せ機	返送污泥投入可動堰	污泥かき寄せ機
スカム除去装置	送風機/電動機	スカム除去装置
初沈污泥引抜きポンプ	空気ろ過機	污泥引抜き装置
初沈污泥引抜き弁		余剰污泥ポンプ
		返送污泥ポンプ
		終沈污泥引抜き弁

表資 2-3 本技術に係る機械機器リスト

本技術	従来技術 (A2O 法)
エアレーション装置	エアレーション装置
風量計 (2 系統分)	嫌気槽用攪拌機
NO <sub>x</sub> -N 計 (制御用)	無酸素槽用攪拌機
NH <sub>4</sub> -N 計 (制御用)	硝化液循環ポンプ
風量演算装置	風量系 (1 系統分)
MLSS 計、DO 計	DO 計、MLSS 計

## 2) レイアウト

標準法からの高度処理化におけるレイアウトを図資 2-1 に示す。



図資 2-1 標準法からの高度処理化におけるレイアウト

### 3) 建設費

建設費の試算結果を表資 2-4 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 16.5%減(年価で 14.1%減)となった。

表資 2-4 建設費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
建設費	億円	72.2	86.6	16.5	—
建設費年価	百万円/年	495.1	576.5	14.1	—

### 4) 維持管理費

維持管理費の試算結果を表資 2-5 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 13.1%の削減となった。

なお、今回の試算には含めていないが本技術の要素技術 1 により、風量設定値の検討や採水・水質分析等に必要労働時間を更に削減出来ると想定される。実証先の成瀬クリーンセンターでのヒアリングでは、要素技術 1 による 20 秒に 1 回の頻度の風量演算により、これまで人為的に行っていた風量設定値の検討時間を年間 80 時間は削減できると想定された（採水・水質分析は含まれていない）。この削減時間を基に、人件費の縮減分を計算するにあたり、一般的には設計業務委託等技術者単価が適していると考えたため、設計業務委託等技術者単価（技師 B：40,600 円/人/日）を用いて人件費の縮減分を計算すると、年間約 40 万円程の人件費縮減が見込めると想定された。

表資 2-5 維持管理費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
①人件費	百万円/年	74.4	75.6	1.5	
②電力費	百万円/年	34.9	52.3	33.3	電力単価 15 円/kWh
③薬品費等	百万円/年	0.0	0.0	0.0	
④保守費	百万円/年	109.6	124.0	11.6	機器費の 2%
合計	百万円/年	218.9	251.9	13.1	—

### 5) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量の試算結果を表資 2-6 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 567t-CO<sub>2</sub>/年の削減(33.3%減)となった。

表資 2-6 温室効果ガス排出量

項目	単位	本技術	A20 法	削減率 (%)	備考
温室効果ガス排出量	t-CO <sub>2</sub> /年	1,138	1,705	33.3	—

## (2) 既設高度処理施設の改築 (A2O 法)

## 1) 試算条件

本技術および A2O 法の試算条件を表資 2-7 に示す。

表資 2-7 試算条件

No	項目	単位	条件値
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大 処理水量	m <sup>3</sup> /日 50,000 (冬季日最大 : 40,000)
		系列数	系列 1
		1 系列の 池数	池 本技術 : 6 従来技術 : 8
2	建設費	機械機器費	- 表 1-7 と表 1-8 の機器費積み上げ
		電気機器費	- 容量計算に基づく機器費の積み上げ
		工事費	- 容量計算に基づく建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	% 2.3
		耐用年数	年 15 (機械・電気)
			50 (土木)
デフレーター	- 平成 29 年度値 : 107.2		
4	維持管理費	電力単価	円/kWh 15
		機器保守費	% 2 (機械・電気設備工事費に対して)
5	温室効果ガス 排出量	CO <sub>2</sub> 排出係数 t- CO <sub>2</sub> /MWh	0.489 <sup>※</sup>

※出典 : 東京都環境局 (2019)、『第 3 計画期間に適用する改正事項等説明資料』(2019 年 5 月説明会資料)、2022 年 1 月 7 日アクセス、[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large\\_scale/meeting/h31/31\\_7\\_files/sanki2019.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/meeting/h31/31_7_files/sanki2019.pdf)

表資 2-8 機械機器リスト (共通項目)

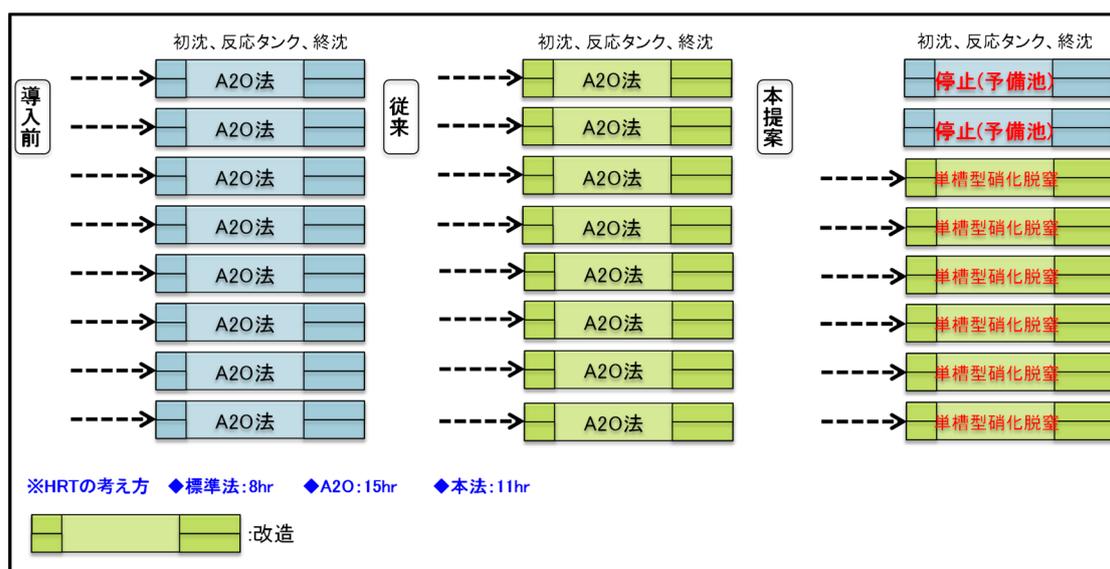
最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池
初沈流入堰	反応タンク流入堰	終沈流入堰
汚泥かき寄せ機	返送汚泥投入可動堰	汚泥かき寄せ機
スカム除去装置	送風機/電動機	スカム除去装置
初沈汚泥引抜きポンプ	空気ろ過機	汚泥引抜き装置
初沈汚泥引抜き弁		余剰汚泥ポンプ
		返送汚泥ポンプ
		終沈汚泥引抜き弁

表資 2-9 本技術に係る機械機器リスト

本技術	従来技術 (A2O 法)
エアレーション装置	エアレーション装置
風量計 (2 系統分)	嫌気槽用攪拌機
NO <sub>x</sub> -N 計 (制御用)	無酸素槽用攪拌機
NH <sub>4</sub> -N 計 (制御用)	硝化液循環ポンプ
風量演算装置	風量系 (1 系統分)
MLSS 計、DO 計	DO 計、MLSS 計

## 2) レイアウト

既設高度処理施設の改築におけるレイアウトを図資 2-2 に示す。



図資 2-2 既設高度処理施設の改築におけるレイアウト

## 3) 建設費

建設費の試算結果を表資 2-10 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 15.6%減(年価で 15.6%減)となった。

表資 2-10 建設費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
建設費	億円	32.5	38.6	15.6	—
建設費年価	百万円/年	258.9	306.8	15.6	—

## 4) 維持管理費

維持管理費の試算結果を表資 2-11 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 12.7%の削減となった。

表資 2-11 維持管理費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
①人件費	百万円/年	74.4	75.6	1.5	
②電力費	百万円/年	26.8	37.8	29.2	電力単価 15 円/kWh
③薬品費等	百万円/年	0.0	0.0	0.0	
④保守	百万円/年	65.1	77.1	15.6	機器費の 2%
合計	百万円/年	166.3	190.5	12.7	—

## 5) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量の試算結果を表資 2-12 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 358t-CO<sub>2</sub>/年の削減(29.2%減)となった。

表資 2-12 温室効果ガス排出量

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
温室効果ガス排出量	t-CO <sub>2</sub> /年	874	1232	29.2	—

## (3) 統廃合に伴う能力増強

## 1) 試算条件

本技術および A2O 法の試算条件を表資 2-13 に示す。

表資 2-13 試算条件

No	項目		単位	条件値
1	施設規模 (反応タンクおよび送風機設備)	日最大 処理水量	m <sup>3</sup> /日	100,000 (冬季日最大: 80,000)
		系列数	系列	1
		1 系列の 池数	池	本技術 : 12 従来技術 : 16
2	建設費	機械機器費	-	表 3-17 と表 3-18 の機器費積み上げ
		電気機器費	-	容量計算に基づく機器費の積み上げ
		工事費	-	容量計算に基づく建設費の積み上げ
3	建設費年価	利子率	%	2.3
		耐用年数	年	15 (機械・電気)
				50 (土木)
デフレーター	-	平成 29 年度値 : 107.2		
4	維持管理費	電力単価	円/kWh	15
		機器保守費	%	2 (機械・電気設備工事費に対して)
5	温室効果ガス排出 量	CO <sub>2</sub> 排出係数	t- CO <sub>2</sub> /MWh	0.489 <sup>*</sup>

※出典 : 東京都環境局 (2019)、『第 3 計画期間に適用する改正事項等説明資料』(2019 年 5 月説明会資料)、2022 年 1 月 7 日アクセス、[https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large\\_scale/meeting/h31/31\\_7\\_files/sanki2019.pdf](https://www.kankyo.metro.tokyo.lg.jp/climate/large_scale/meeting/h31/31_7_files/sanki2019.pdf)

表資 2-14 機械機器リスト (共通項目)

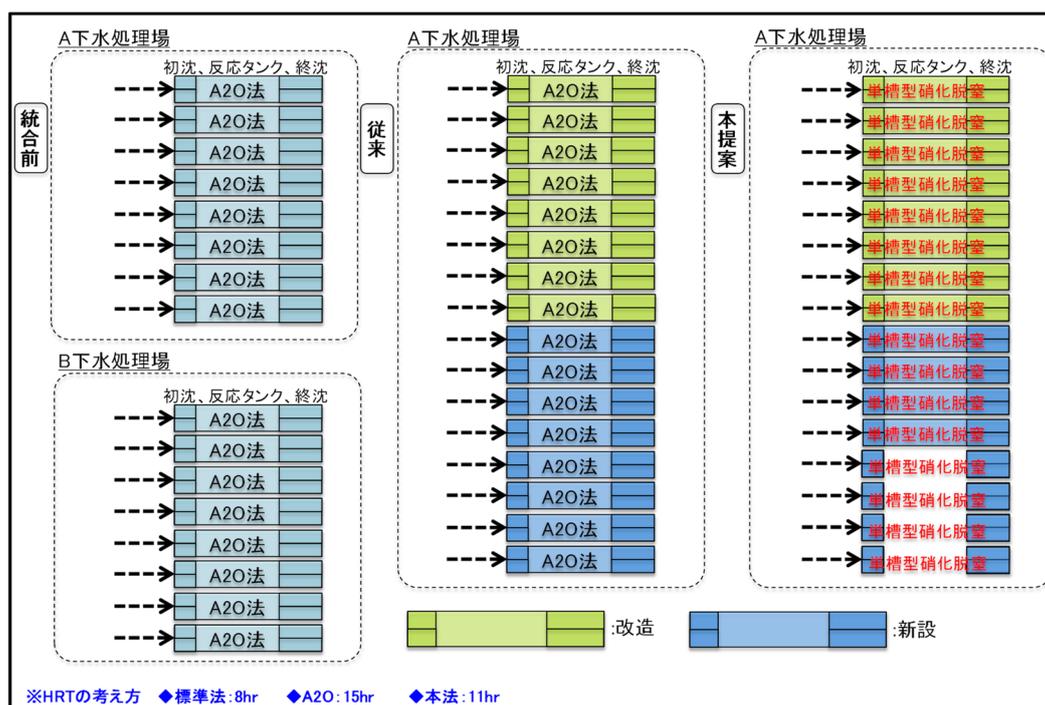
最初沈殿池	反応タンク	最終沈殿池
初沈流入堰	反応タンク流入堰	終沈流入堰
汚泥かき寄せ機	返送汚泥投入可動堰	汚泥かき寄せ機
スカム除去装置	送風機/電動機	スカム除去装置
初沈汚泥引抜きポンプ	空気ろ過機	汚泥引抜き装置
初沈汚泥引抜き弁		余剰汚泥ポンプ
		返送汚泥ポンプ
		終沈汚泥引抜き弁

表資 2-15 本技術に係る機械機器リスト

本技術	従来技術 (A2O 法)
エアレーション装置	エアレーション装置
風量計 (2 系統分)	嫌気槽用攪拌機
NO <sub>x</sub> -N 計 (制御用)	無酸素槽用攪拌機
NH <sub>4</sub> -N 計 (制御用)	硝化液循環ポンプ
風量演算装置	風量系 (1 系統分)
MLSS 計、DO 計	DO 計、MLSS 計

## 2) レイアウト

統廃合に伴う能力増強におけるレイアウトを図資 2-3 に示す。



図資 2-3 統廃合に伴う能力増強におけるレイアウト

### 3) 建設費

建設費の試算結果を表資 2-16 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 18.7%減(年価で 16.6%減)となった。

表資 2-16 建設費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
建設費	億円	122.0	150.1	18.7	—
建設費年価	百万円/年	779.4	934.5	16.6	—

### 4) 維持管理費

維持管理費の試算結果を表資 2-17 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 12.8%の削減となった。

表資 2-17 維持管理費

項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
①人件費	百万円/年	74.4	75.6	1.5	
②電力費	百万円/年	26.8	37.8	29.2	電力単価 15 円/kWh
③薬品費等	百万円/年	0.0	0.0	0.0	
④保守	百万円/年	160.3	186.5	14.0	機器費の 2%
合計	百万円/年	261.5	299.9	12.8	—

### 5) 超高効率固液分離技術、最終沈殿池の処理能力向上技術の適用

本技術の導入にあたっては、導入効果の検討例の(3)で示したように最初沈殿池や最終沈殿池の数が、反応タンクの数よりも多くなってしまうケースも想定される。

一方、平成 23 年度に B-DASH 実規模実証にて採択された「超高効率固液分離技術を用いたエネルギーマネジメントシステム技術実証事業」の超高効率固液分離技術は、最初沈殿池と比べて単位面積あたり 5~6 倍(ろ過速度: 250m/日~500m/日、初沈水面積負荷: 33m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・日)とした場合)の下水を処理出来る。そのため、超高効率固液分離を導入することで、最初沈殿池増設数を低減することが可能となる。

また、平成 29 年度に B-DASH 実規模実証にて採択された「最終沈殿池の処理能力向上技術実証事業」の処理能力向上技術は、通常の最終沈殿池の最大 2 倍量の処理能力を有する。そのため、本技術を最終沈殿池に採用することにより、最終沈殿池の増設数を低減することが可能となる。

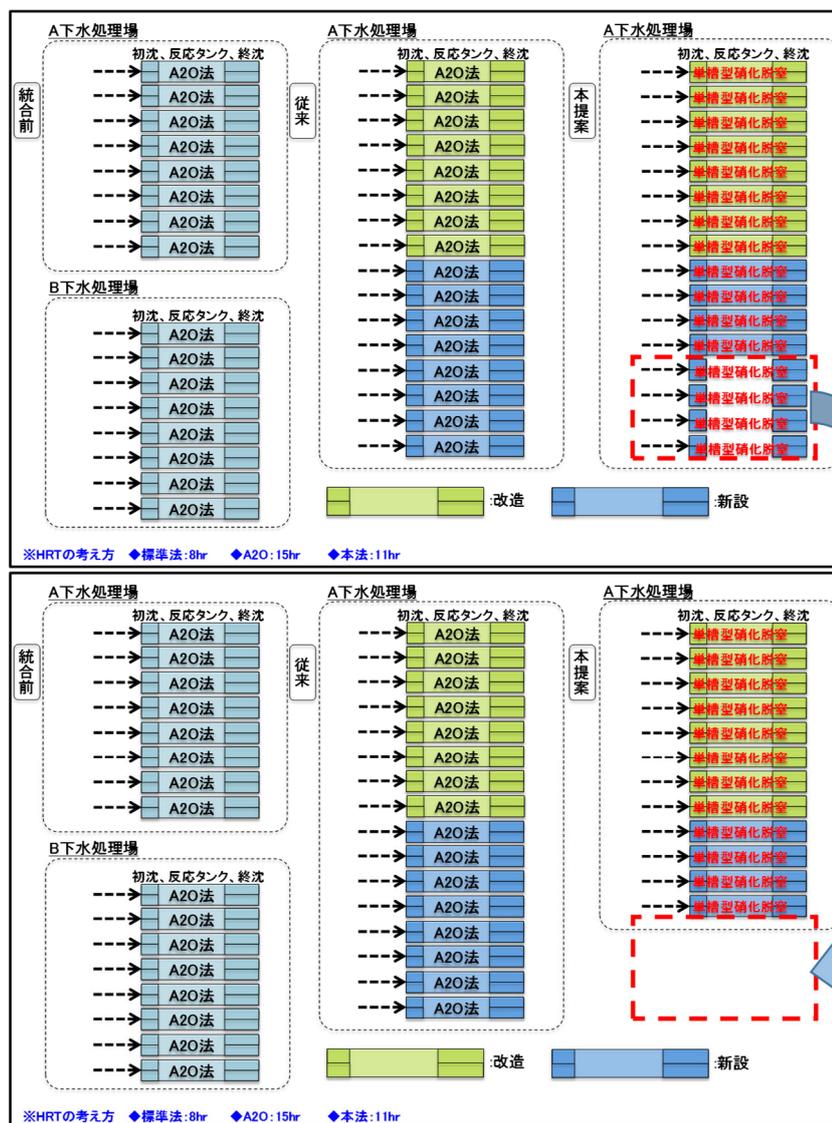


図 2-4 超高効率固液分離技術、最終沈殿池処理能力向上技術導入による  
最初沈殿池数、最終沈殿池数の削減イメージ

### 5) 温室効果ガス排出量

温室効果ガス排出量の試算結果を表資 2-18 に示す。本技術は、A2O 法と比較して 358t-CO<sub>2</sub>/年の削減(29.2%減) となった。

表資 2-18 温室効果ガス排出量

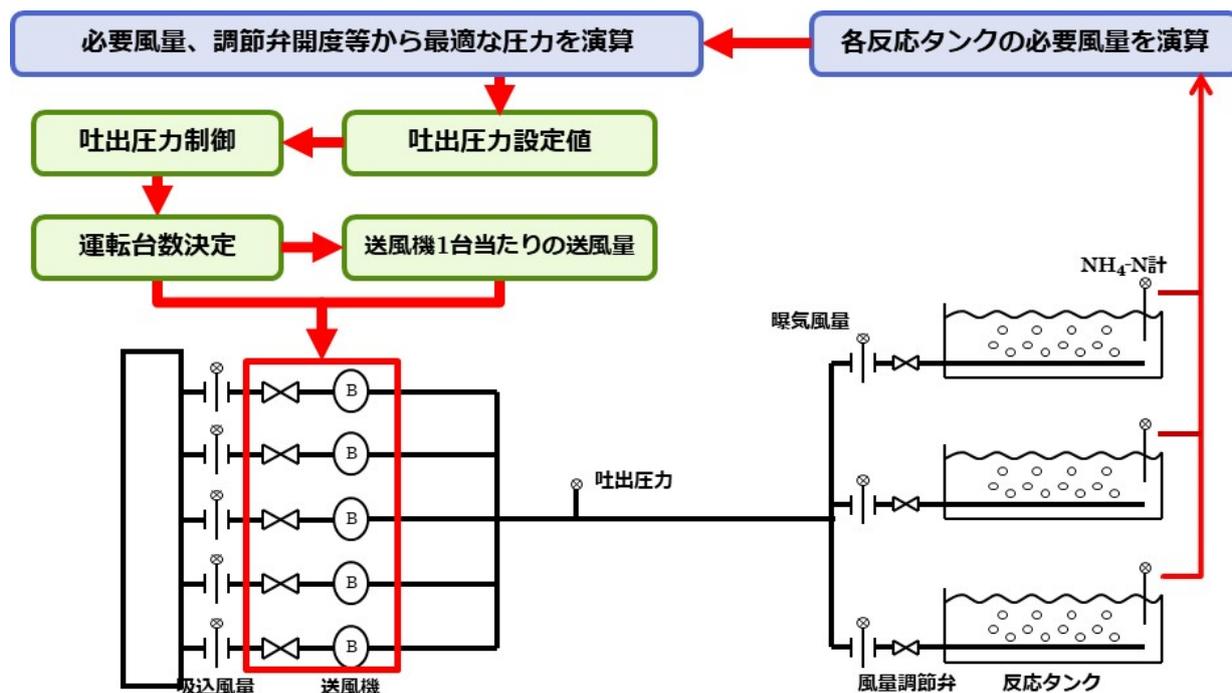
項目	単位	本技術	A2O 法	削減率 (%)	備考
温室効果ガス排出量	t-CO <sub>2</sub> /年	874	1,232	29.2	—

### 3. 送風電力の削減

### 3. 送風電力の削減

#### (1) 送風電力の削減

DO計やNH<sub>4</sub>-N計で風量制御されている標準活性汚泥法の設備に対し、本技術の要素技術2『単槽型硝化脱窒プロセス』を導入することなく、要素技術1『統合演算制御システム』と要素技術3『負荷変動追従型送風ユニット』を導入することで、送風電力（およびそれに伴う温室効果ガス）を削減することが可能である。導入イメージを図資3-1に示す。

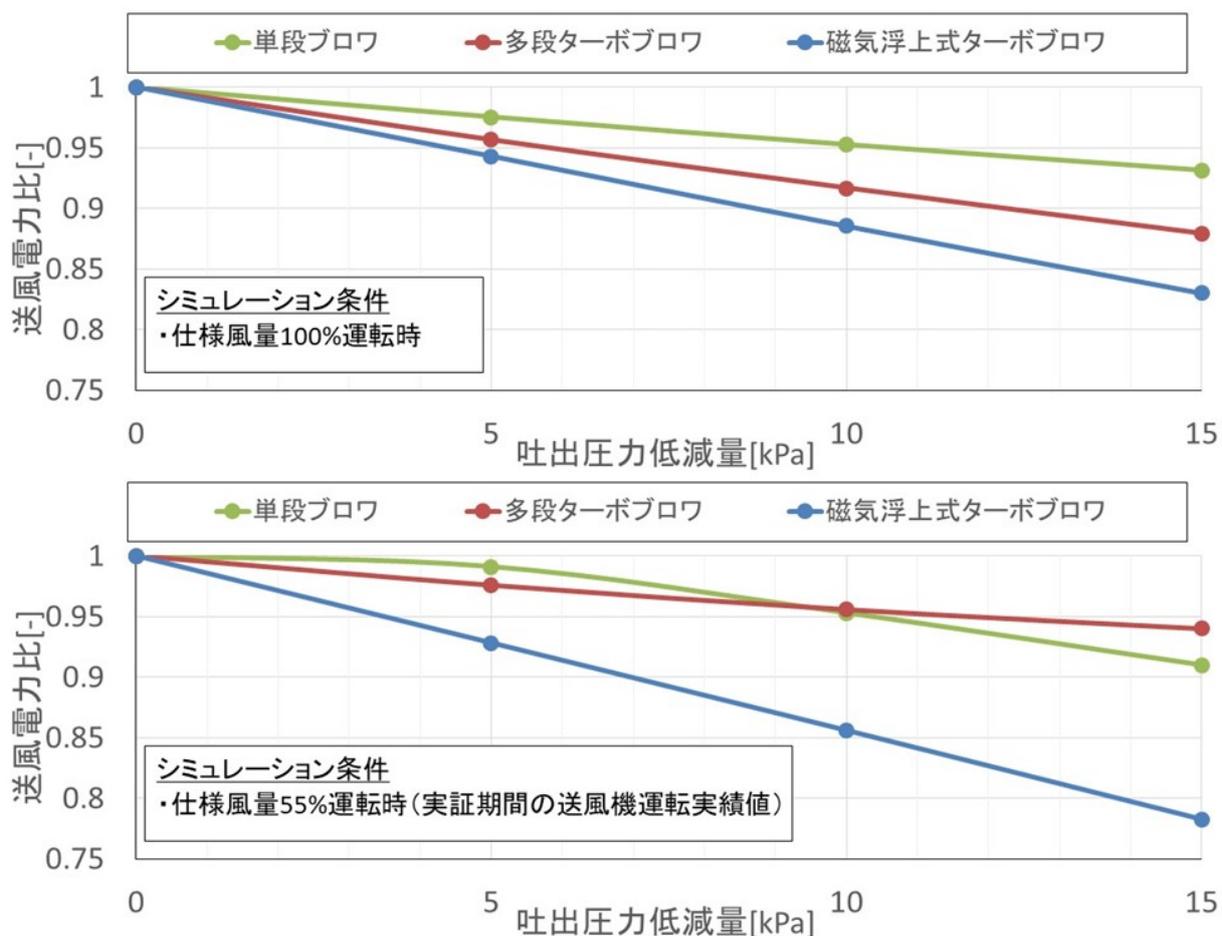


図資3-1 標準活性汚泥法の設備における導入イメージ（風量制御：NH<sub>4</sub>-N制御）

#### (2) 送風電力削減効果の推定

本技術の要素技術1『統合演算制御システム』と要素技術3『負荷変動追従型送風ユニット』を導入することで、送風機を最適吐出圧力で制御することで送風電力（およびそれに伴う温室効果ガス）を削減することが可能である。この送風電力削減効果は、送風機の機種・性能と従前の圧力一定制御および本技術導入後の圧力可変制御における吐出圧力設定値により変動する。

送風機メーカーの保有する送風機の性能曲線の資料と実証期間に取得した送風機運転データを用いて、送風機3機種（単段ブロワ、多段ターボブロワ、磁気浮上式ターボブロワ）について、シミュレーション計算を実施し、吐出圧力低減量（ $\Delta P =$  圧力一定制御における吐出圧力平均値 - 圧力可変制御における吐出圧力平均値）から送風電力削減効果を推定するグラフを作成した（図資3-2）。シミュレーションは送風機を仕様風量100%で送風した場合と、実証期間中の送風実績である仕様風量の55%で送風した場合の2種類で実施した。本シミュレーション結果と実証結果の比較を表資3-1に示す。



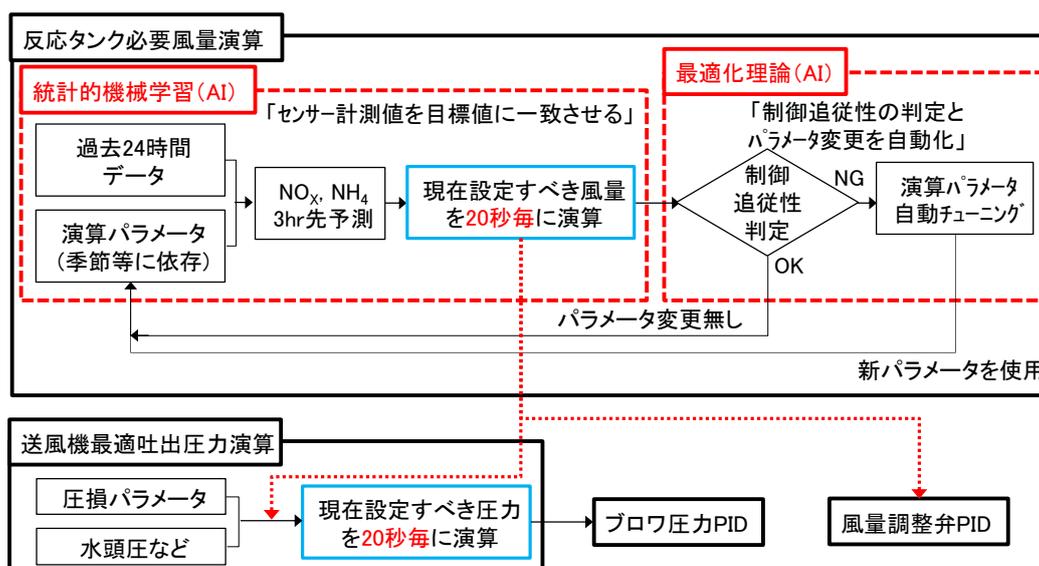
図資 3-2 吐出圧力低減による送風電力削減効果のシミュレーション結果

表資 3-1 送風電力削減効果の実証実績とシミュレーション結果の比較

	運転風量 ／仕様風量	吐出圧力低減量 [kPa]	送風電力比 [-]	送風電力削減効果
実証結果	55%	9, 8	0. 838	16. 2%
シミュレーション	55%	10	0. 856	14. 4%
	100%	10	0. 885	11. 5%

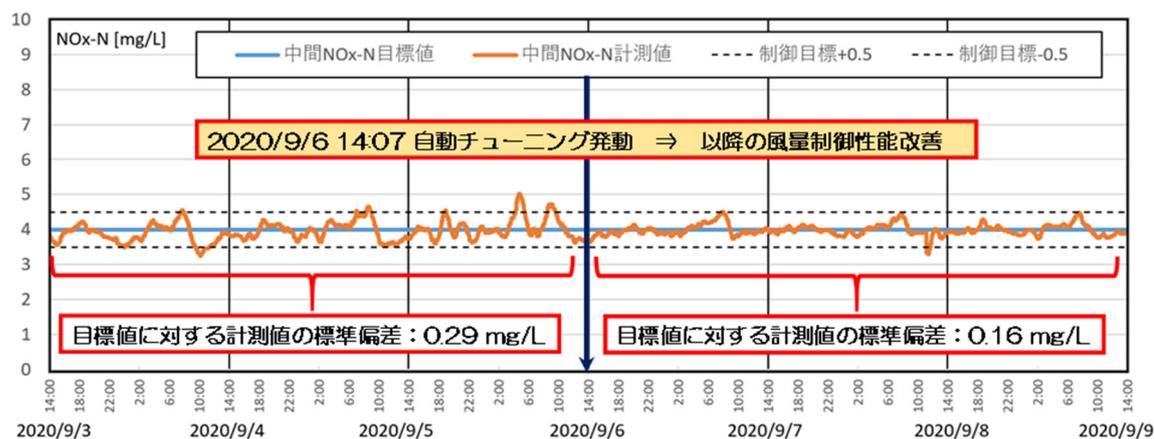
### (3) 演算パラメータ自動チューニング機能による風量制御性能の改善

『統合演算制御システム』は、図資 3-3 に示す通り、ICT・AI 技術を駆使し、反応タンク必要風量および送風機最適吐出圧力を自動演算する。具体的には、統計的機械学習 (AI 技術) を用い、ICT により収集した水質センサー計測値や風量計測値等のプラントデータから、各水質センサーの計測箇所における水質の将来予測演算を経て、現在設定すべき風量 (必要風量) を 20 秒毎に演算する。なお、季節等に依存する演算パラメータの変更は、自動チューニング機能により自動化している。



図資 3-3 統合演算制御システムの演算フロー

演算パラメータの自動チューニング機能の発動により、風量制御性能が改善した実例を図資 3-4 に示す。発動前後3日間のNO<sub>x</sub>-N計測値の目標値に対する標準偏差を算出したところ、発動前の0.29mg/Lから発動後の0.16mg/Lに低減したことから、NO<sub>x</sub>-N計測値の目標値への追従性向上を確認した。なお、後半NH<sub>4</sub>-N制御においても、本機能発動による同様の制御性能改善を確認した。

図資 3-4 自動チューニングによる制御性能改善 (令和2年9月6日1-2前半 NO<sub>x</sub>-N 制御)

## 4. 問い合わせ先

本技術ガイドライン案に対する問い合わせは、以下にお願いします。

国土交通省 国土技術政策総合研究所	国土交通省 国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-3933 FAX 029-864-2817 URL <a href="http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.htm">http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/index.htm</a>
----------------------	--

本書は、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）により国土交通省国土技術政策総合研究所が以下の企業・団体に研究委託を行い、その成果をとりまとめたものです。

## &lt;実証研究者 連絡先&gt;

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="https://www.metawater.co.jp">https://www.metawater.co.jp</a>
日本下水道事業団	技術戦略部技術開発企画課 〒113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27 TEL 03-6361-7849 FAX 03-5805-1828 URL <a href="https://www.jswa.go.jp">https://www.jswa.go.jp</a>
町田市	下水道部水再生センター（成瀬クリーンセンター） 〒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="https://www.city.machida.tokyo.jp/shisei/shiyakusyo/clean/kankyo02.html">https://www.city.machida.tokyo.jp/shisei/shiyakusyo/clean/kankyo02.html</a>

-----

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

N o . 1190                      March 2022

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

-----

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課      TEL 029-864-2675