

ISSN 1346-7328

国総研資料 第1194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. 1194

March 2022

B-DASH プロジェクト No.37

小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵
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.37

Guideline for introducing low cost and energy saving type of high concentration anaerobic digestion technology for small scale
sewage treatment plants

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.37

小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵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.37

Guideline for introducing low cost and energy saving type of high concentration anaerobic digestion technology for small scale sewage treatment plants

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「小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵技術」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 :メタン発酵, 小規模下水処理場, 低コスト, 省エネルギー

Synopsis

This Guideline for introducing low cost and energy saving type of high concentration anaerobic digestion technology for small scale sewage treatment plants, 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 : anaerobic digestion, small scale sewage treatment plant, low cost, energy saving

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工普及率）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改善につながっている。その一方で、水処理に伴って発生する汚泥処理は、消化、脱水、乾燥、焼却といった処理が必要であり、下水道の普及に伴い、汚泥処理のコストも増加している。

小規模下水処理場においては、汚水処理原価が高く、使用料による経費回収率が低い場合が多い。さらに、汚泥の処理を場外搬出に依存している場合が多く、汚泥処分費の高騰や処分委託先の確保が困難であるという課題を有している。今後、下水道ストックの維持管理や改築更新に係る費用の増大、人口減少による使用料収入の減少などが予想されることを踏まえ、汚泥処理に係るコスト削減も考慮した下水道経営の健全化が希求されている。

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。

本ガイドラインで示す「小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵技術」は、既存の脱水機を高濃度濃縮機としても活用し、消化槽に投入する汚泥を高濃度に濃縮して消化槽容量を縮減するとともに、嫌気性消化導入を推進することで、バイオガスの利活用を経済的に行えるシステムを構築する技術である。実証研究により、小規模下水処理場における本技術の導入は経済的に有利であり、維持管理におけるエネルギー消費や温室効果ガス排出量の削減に一定の効果があると評価されている。

本ガイドラインは、国土技術政策総合研究所委託研究（小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵技術実証研究 受託者：大原鉄工所・西原環境・NJS・長岡技術科学大学・北海道大学・長岡市共同研究体 実施機関：平成30年～令和元年度）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、大変なご尽力を頂いた下水道革新的技術実証事業評価委員会の委員各位、及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

国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部長 南山 瑞彦

目 次

第1章 総 則	1
第1節 目 的	1
§1 目的	1
第2節 適用範囲	3
§2 適用範囲	3
第3節 ガイドラインの構成	4
§3 ガイドラインの構成	4
§4 用語の定義	6
第2章 技術の概要と評価	7
第1節 技術の目的と概要	7
§5 技術の目的	7
§6 本技術の概要	8
§7 高濃度濃縮技術の概要	9
§8 高濃度消化技術の概要	10
§9 設備のコンパクト化・ユニット化の概要	11
§10 バイオガス発電技術の概要	12
第2節 技術の適用条件	13
§11 適用条件と推奨条件	13
§12 脱水機2段活用の適用条件	16
§13 導入シナリオ	18
第3節 実証研究に基づく評価の概要	21
§14 技術の評価項目	21
§15 技術の評価結果	25
第3章 導入検討	32
第1節 導入検討手法	32
§16 導入検討の手順	32
§17 基礎調査	33
§18 導入効果の検討	35
§19 導入判断	43
第2節 導入効果の検討例	44
§20 試算条件	44

§ 21 導入効果の検討結果	45
第4章 計画・設計	50
第1節 導入計画	50
§ 22 導入計画手順	50
§ 23 基本条件の設定	51
§ 24 施設計画の検討	53
§ 25 導入効果の検証	56
第2節 設備設計	57
§ 26 設備フロー	57
§ 27 高濃度消化設備の設計	58
§ 28 バイオガス発電設備の設計	60
§ 29 既存設備の活用検討	61
第5章 維持管理	65
第1節 運転管理	65
§ 30 運転操作方法	65
§ 31 運転管理項目	68
第2節 保守管理	69
§ 32 保守点検	69
第3節 緊急時等の対応	72
§ 33 緊急時等の対応	72
資料編	
1 実証研究結果	76
2 ケーススタディ	142
3 問い合わせ先	156

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資源回収、大幅な省エネルギーとエネルギー回収効果やコスト削減を実現するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）で採択された「小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵技術（実証研究期間 平成31年3月～令和2年3月）」（以下、本技術とする）について、実証研究の成果を踏まえて、技術の機能等を明示し、技術の普及展開を図るために策定したものである。

【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資源回収、大幅な省エネルギー・エネルギー回収やコスト削減を実現し、あわせて、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。

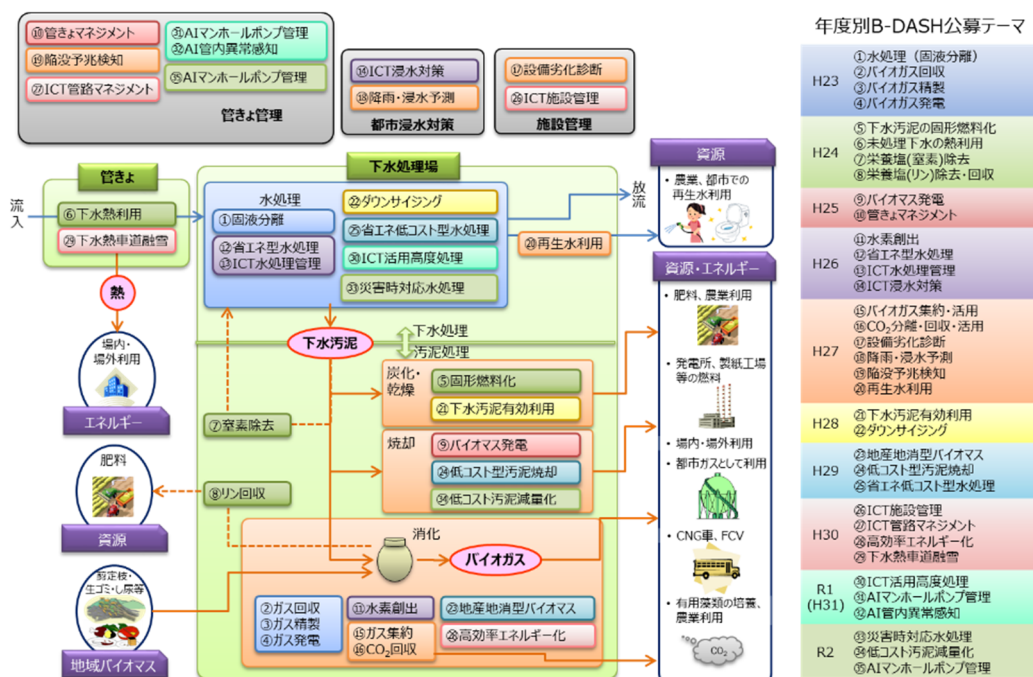


図1-1 下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の概要（全体）

実証研究のとりまとめに当たっては、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> 令和2年6月15日時点）の評価を受けている。

本技術は、下水道事業における大幅な省エネルギー・エネルギー回収効果やコスト縮減等を実現する革新的技術として採択されたもので、本ガイドラインは、評価委員会で評価された本技術の実証研究（平成30年度から令和元年度にかけての2年間）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、技術の概要と評価、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とりまとめている。

なお、本ガイドラインは、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 適用範囲

§2 適用範囲

本ガイドラインは、本技術のシステム全体または一部についての、下水道事業を対象とした効果の算定や導入検討、運用・維持管理に適用する。

【解 説】

本ガイドラインは、本技術のシステム全体または一部の導入を促進する事を目的として、本技術の導入効果の算定や導入検討、運用・維持管理の参考となるようにとりまとめたものである。

本技術のシステム全体を同時または段階的に導入する場合、もしくは、一部の要素技術のみを導入する場合のどちらにも本ガイドラインは適用される。

また、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、導入効果、導入検討、システムの運用・維持管理および資料編から構成される。

【解説】

本ガイドラインは、図 1-2 に示す構成から成る。

各章の内容は、以下のとおりとする。

(1) 第1章 総則

目的、適用範囲、ガイドラインの構成、用語の定義について記述する。

(2) 第2章 技術の概要と評価

技術の目的と概要、本技術のシステムを構成する要素技術の概要、本技術の適用条件および実証研究に基づく評価を示す。

(3) 第3章 導入検討

実証研究成果に基づき、本技術の導入を検討するための手順を示し、導入効果の検討例を示す。

(4) 第4章 計画・設計

本技術を導入する際の手順を示し、設備設計の方法について示す。

(5) 第5章 維持管理

本技術を導入した場合における、適切な運用方法や実施すべき維持管理について示す。

その他、資料編として、実証研究結果、ケーススタディおよび問い合わせ先等に関する資料を示す。

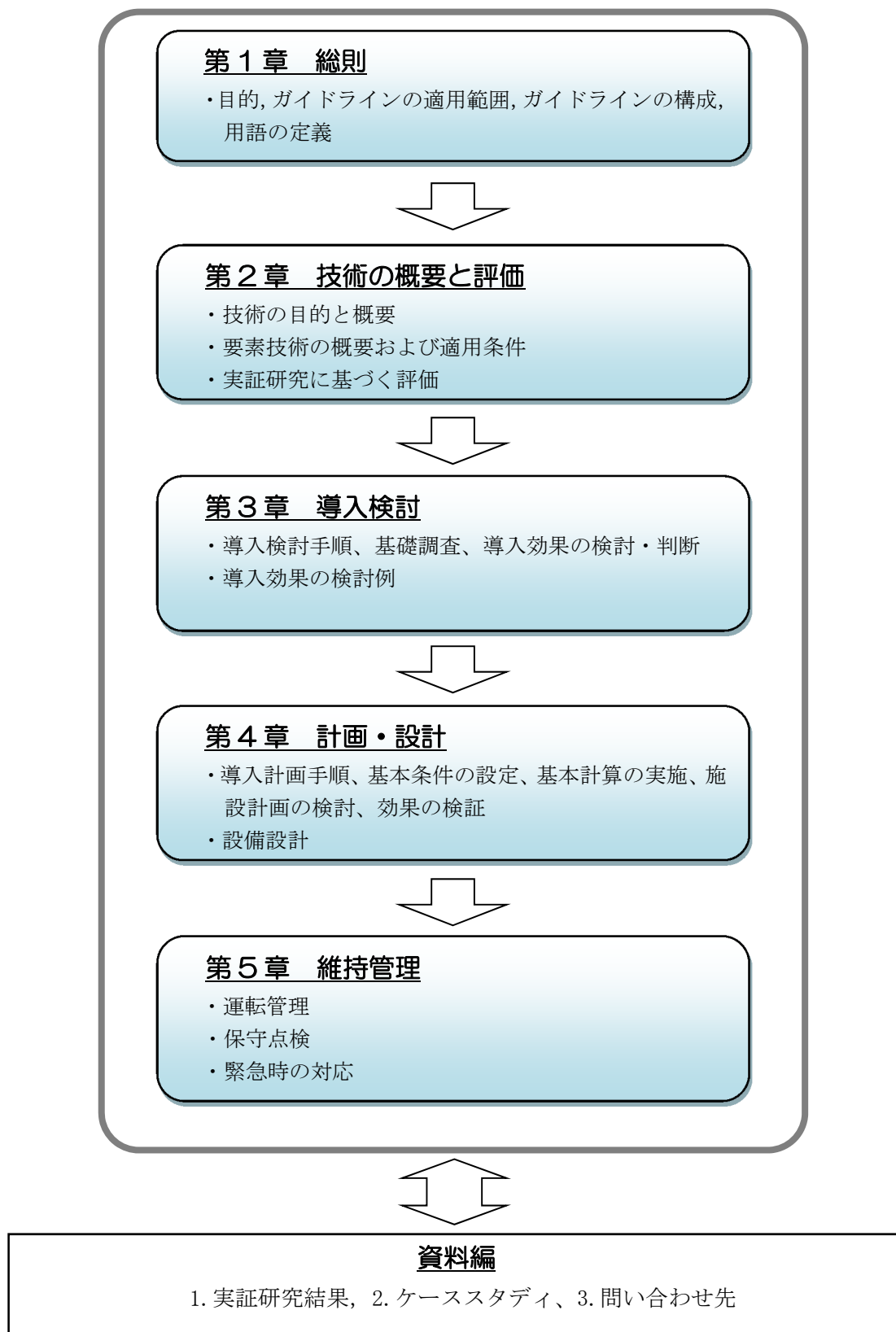


図 1-2 本ガイドラインの構成

用語の定義

§4 用語の定義

本ガイドラインで扱う用語は、以下に示すとおり定義する。なお、下水道施設の基本的な用語については、「下水道施設計画・設計指針と解説 2019年版¹⁾（以下、計画設計指針）」、「下水道用語集 2000年版²⁾」、「下水汚泥広域利活用マニュアル³⁾」に準拠する。

(1) 高濃度濃縮機

既存脱水機を濃縮機として活用し、消化槽投入汚泥として高濃度の濃縮汚泥（約 10%）を製造する設備のこと。本技術を構成する設備の一つ。

(2) 高濃度消化設備

コンパクトに設計され、ガスホルダと一体的に設置される消化槽のこと。高濃度の濃縮汚泥（約 10%）を受入れ、嫌気性消化を行うことが可能である。本技術を構成する設備の一つ。

(3) バイオガス発電設備

発生した消化ガス（バイオガス）に合わせて出力を自動調整し発電する設備のこと。本技術を構成する設備の一つ。

(4) 既存脱水機

処理場に設置してある脱水機のこと。脱水機としての活用に加え、濃縮機としても用いることで2段活用する。本技術を構成する設備の一つ。

第2章 技術の概要と評価

第1節 技術の目的と概要

§5 技術の目的

本技術は、既存脱水機を高濃度濃縮機として2段活用し、消化槽投入汚泥の高濃度化による消化槽容量の縮減（設備コストの縮減）を図ることで、小規模処理場における嫌気性消化導入を推進し、バイオガス利活用を経済的に行えるシステムを構築することを目的とする。

【解説】

下水道事業の経営改善においては、下水道管理費に占める汚泥処分費は多くを占めているため、コスト縮減を図るとともに、再生可能エネルギーの利用を促進する必要がある。特に、処理規模が10,000m³/日以下の小規模な処理場においてはコスト縮減および下水由来の再生可能エネルギーであるバイオガス利活用システムの導入がいずれも進んでいない。これは、バイオガスを発生させるメタン発酵システムにはスケールメリットが働くため、逆に小規模における導入コストが割高となるということが最大の理由であると考えられている。

しかし、下水汚泥はエネルギーポテンシャルを有しており、さらなる資源の有効利用は、循環型社会や低炭素化社会の構築に向け、大きな役割を果たすことが期待されるものと考えている。

本技術は、消化槽投入汚泥の高濃度化を行い消化槽容量の縮減を図ることで設備コストを縮減することで小規模処理場における嫌気性消化導入を推進し、バイオガス利活用を経済的に行えるシステムを構築するものである。

なお、本ガイドラインでは、既存の脱水機を高濃度濃縮機としても利用することを「2段活用」と称す。

§6 本技術の概要

本技術は、小規模処理場に対する高濃度消化を低コストで導入する技術であり、以下の技術により構成される。

- (1) 高濃度濃縮技術
- (2) 高濃度消化技術
- (3) 設備のコンパクト化・ユニット化
- (4) バイオガス発電

【解 説】

これまで小規模下水処理場においてメタン発酵システムの導入が進まなかった最大の理由は、スケールデメリットによる導入コストが割高であることである。

そこで、本技術は、以下の設備の導入を図り、建設費だけでなく維持管理費用についても大幅に縮減するものである。

- 高濃度消化槽の適用(投入消化汚泥濃度 10%程度)と攪拌性の良い横型発酵槽導入
- メタンガス発生量・質変動へ対応可能で低コストなマイクロガスエンジン発電機の導入
- 脱硫装置やガスホルダ設備のユニット化
- 既存施設や設備の有効利用(汚泥脱水機の濃縮・脱水の2段活用等)



図 2-1 本技術の概要

§7 高濃度濃縮技術の概要

既存脱水機を濃縮機として2段活用する。具体的には、運転時間を定め、既存脱水機の運転条件を切り替えて、脱水・濃縮の交互運転を行うものである。

【解説】

従来、濃縮機と脱水機は別であり、各工程に対して機械を設置する必要があった。本技術では、運転条件（運転時間・処理量（投入汚泥量、ろ過速度）・薬注率・汚泥の搬送速度（差速、ベルト走行速度）等）の設定により、「高濃度濃縮運転」および「脱水運転」の切替えを行い、脱水機を濃縮機として利用する。

濃縮汚泥濃度は、従来の機械濃縮の固形物濃度 4%（TS の重量%）程度に対し、10%程度の濃度とする。

なお、適用する脱水機の機種については特に制限を設けていない。フィールド処理場では、既設脱水機であったベルトプレス脱水機（平成 10 年設置）で高濃度濃縮運転の検証を行った結果、目標とする濃度よりも若干高い濃度での運転となった。このように、対象脱水機の製造時期等により、運転調整の幅や機能に違いがある場合も想定されるため、事前に既存脱水機で高濃度濃縮運転への適用性を確認することが望ましい。

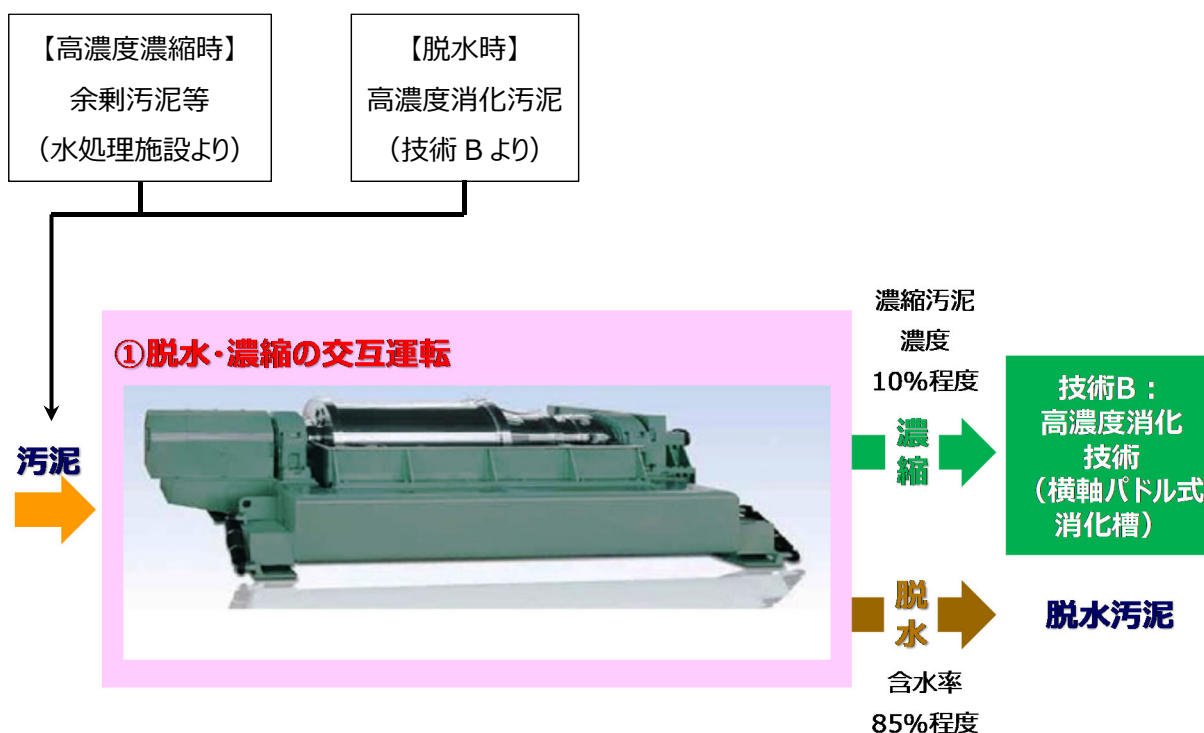


図 2-2 高濃度濃縮技術の概要

§8 高濃度消化技術の概要

投入汚泥が従来と比較して高濃度となるため、攪拌効率の高い横軸パドル式の攪拌機を備えた横型消化槽を採用する。

【解説】

従来、固形物濃度4%程度の濃縮汚泥を消化槽に投入しているが、本技術では高濃度濃縮を行った固形物濃度10%程度の高濃度濃縮汚泥を投入するものとし、施設のコンパクト化を図る。

高濃度汚泥を投入するため、攪拌効率の高い横軸パドル式の攪拌機を備えた横型消化槽を利用する。なお、攪拌効率の高い攪拌機とは国土交通省の補助金採択要件（「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について」（国水下事第38号 平成29年9月15日））における一般的な中温消化の性能指標である「消費電力量280kWh/t-VS分解以下」と同程度の性能を高濃度で達成できる機器（日最大汚水量25,000 m³/日規模、もしくは50,000 m³/日規模）を指す。

横型高濃度消化槽の特徴は以下のとおりである。

- (1) 槽本体はRC構造の長方形である。
- (2) 高濃度汚泥の攪拌に対応するため、横軸パドル式の攪拌機を装備している。
- (3) 構造が非常にシンプルである。

なお、消化槽内は硫化水素による腐食環境下を想定しており、気相部には防食塗装、攪拌パドルはSUS製としている。



図 2-3 高濃度消化技術の概要

§9 設備のコンパクト化・ユニット化の概要

主要機器である消化槽、ガスホルダ、ガスクリーニング装置、消化槽加温装置、発電設備をユニット化することで、装置のコンパクト化、工期短縮、低コスト化を図る。

【解説】

消化槽のコンパクト化、ガスホルダ等の付帯設備のユニット化により、導入コストの削減と維持管理性の向上を図る。

ガスホルダ、発電機および周辺機器の配管を含め、ユニットとしてコンテナ内に設置することでコンテナ内で完結するシステムとする。

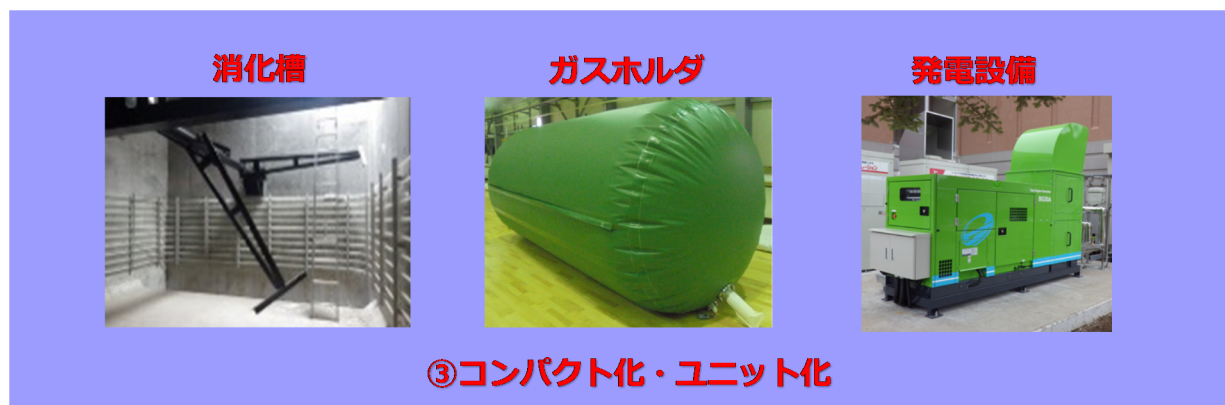


図 2-4 設備のコンパクト化・ユニット化



図 2-5 実証試験の完成図

§ 10 バイオガス発電技術の概要

発生ガス量に応じた出力制御運転を行い、施設全体の消費電力低減を図る。

【解説】

小規模処理施設では、ガス発生量の変動や質変動が大きく、スケールメリットにより導入コストが割高となっている。そこで、発生ガスを貯蔵するガスホルダの消化ガス貯蔵量に自動追従した発電制御運転を確立させ、導入及び維持管理コストの低減を行う。

本実証フィールドでは、市場で流通しており下水処理場での稼働実績があるバイオガス発電機のうち、最小出力である定格出力 25kW のバイオガス発電機を採用している。また発電した電力は、本実証フィールドに系統連携し、施設の使用電力を賄っている。しかし、この 25kW 出力の発電機でも、本実証フィールドにおけるバイオガス発生量に対しては定格出力が大きいため、本実証ではガスホルダの消化ガス貯蔵量および施設の使用電力に合わせた運転を行う。施設の消費電力をバイオガス発電量が上回った場合は、場外に電気が流れていかないように発電機を停止するか、余剰電力を売電することを考慮する。

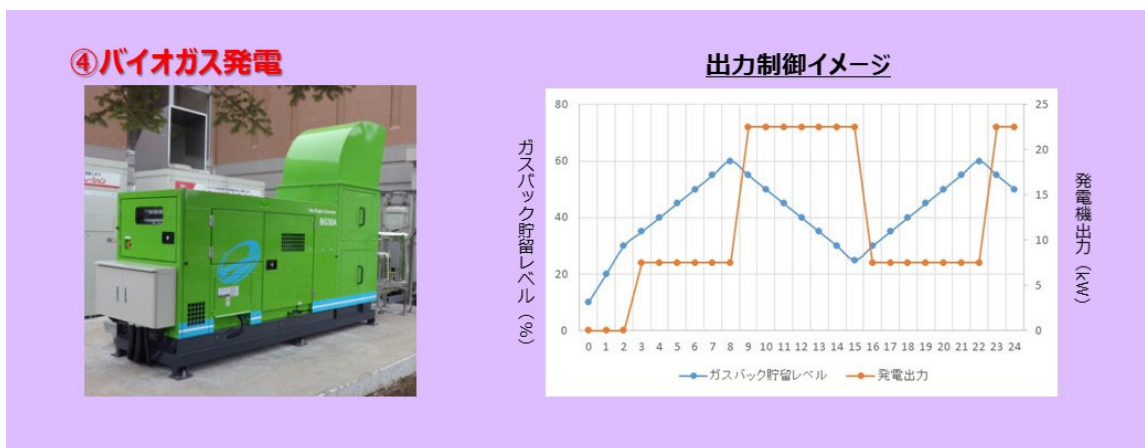


図 2-6 バイオガス発電の概要

第2節 技術の適用条件

§ 11 適用条件と推奨条件

本技術は、小規模処理場のオキシデーションディッチ法から発生する余剰汚泥および標準活性汚泥法から発生する生汚泥・余剰汚泥の脱水処理工程を持つ下水処理場に適用される。本技術の導入効果は、汚泥性状や処理場の条件等によって異なるため、「適用条件」を満たすことを基本とし、その中でも導入効果の高くなることが予想される「推奨条件」を併せて示す。

【解説】

(1) 適用条件

適用条件は以下のとおりである。

1) 水質、汚泥性状などの条件

標準活性汚泥法およびオキシデーションディッチ法で、設計指針に示された条件の範囲で運転している処理場であること。

2) 設備規模に関する条件

- ・脱水機の運転時間に余裕があり、濃縮・脱水運転の切替え運用が可能であること。
(詳細条件については § 12 参照のこと)
- ・消化設備、発電設備の設置スペースを未利用用地内等に確保できること。

(2) 推奨条件

更に本技術を導入した場合、特に導入効果が高くなると予想される推奨条件を以下に示す。

1) 水質、汚泥性状等の条件

- ・他の処理場の汚泥集約処理の意向があること

スケールメリットが働くため、小規模処理場では集約を行うほうが経済的に有利となる。ただし、導入を行う処理場の返流水の水処理への影響がない範囲で集約すること。

- ・汚泥の消化率が高く消化ガス発生率が高いこと

嫌気性消化を導入した際に、有機物の分解効率である消化率が高ければ高いほど、最終処分汚泥量が少なくなり、汚泥処分費の低減につながる。また、消化ガス発生率が高ければ高いほど、発電利用できる消化ガス量が多くなるため、消化ガス発電による便益が高くなり、経済性の確保につながる。なお、当該処理場に既設の消化槽が無い場合は、回分試験等で消化率について確認しておくことが望ましい。

2) 設備規模に関する条件

- ・日平均汚水量 10,000m³/日までの処理場であること
 ユニット施設の適用規模は消化槽容量 500m³ (5m×5m×20m) であり最大ユニット数の関係より 10,000m³/日以下の処理場への適用が望ましい。
- ・ユニット施設の規模は適用範囲内の大規模 (7,000~10,000m³程度) であること
 建設費はスケールメリットが働くためなるべく大規模とすることが望ましい。

3) その他条件

- ・貯留槽を保有していること
 高濃度濃縮汚泥の消化後の汚泥 (高濃度濃縮消化汚泥) を貯留可能な槽を保有していること。現在利用していない水槽や重力濃縮槽等を貯留槽として用いることができる。
- ・汚泥処分費単価が高いこと
 汚泥処分量を削減することで便益の確保を図るため、汚泥処分費単価が高ければ高いほど、処分費の削減効果が高くなる。
- ・汚泥処分に対して課題を有していること
 汚泥処分に対し、経済性等の課題を有していること。当該自治体の脱炭素等への取組方針に嫌気性消化の導入が位置づけられていること。

表 2-1 汚泥処分費単価と規模別処理場数

(1/2:標準活性汚泥法)

項目		日平均流入汚水量 (m ³ /日)						合計
		1,000未満	1,000 ~ 2,000未満	2,000 ~ 5,000未満	5,000 ~ 7,000未満	7,000 ~ 10,000未満	10,000以上	
脱水汚泥 処分単価 (円/t)	0 ~ 10,000未満	1	5	5	9	4	60	84
	10,000 ~ 16,000未満	2	2	17	6	0	10	37
	16,000 ~ 20,000未満	2	1	13	3	7	18	44
	20,000 ~ 30,000未満	3	4	10	4	5	21	47
	30,000以上	4	4	11	10	4	28	61
計		12	16	56	32	20	137	273

(2/2:OD)

項目		日平均流入汚水量 (m ³ /日)						合計
		1,000未満	1,000 ~ 2,000未満	2,000 ~ 5,000未満	5,000 ~ 7,000未満	7,000 ~ 10,000未満	10,000以上	
脱水汚泥 処分単価 (円/t)	0 ~ 10,000未満	57	14	12	0	2	1	86
	10,000 ~ 16,000未満	61	24	24	2	0	0	111
	16,000 ~ 20,000未満	62	19	16	3	0	0	100
	20,000 ~ 30,000未満	90	30	19	0	1	1	141
	30,000以上	149	25	16	3	1	0	194
計		419	112	87	8	4	2	632

本事業の消化率 (40%)、消化ガス発生量 (0.3Nm³/kg-投入 VS) とした場合、B/C>1.0 となる処理場は表 2-1 における黄色ハッチングの合計より標準活性汚泥法と OD 法で合わせて 99 箇所とな

る。他処理場からの脱水汚泥集約が可能な場合は $B/C > 1.0$ となる範囲がさらに広がり、表 2-1 におけるオレンジハッチングも加えて合計で 194 箇所と予想される。

§ 12 脱水機 2 段活用の適用条件

既存脱水機を濃縮・脱水の2工程に用いるため、運転時間に余裕がある必要がある。1週間あたりの濃縮・脱水工程に対する最大運転時間が下水処理場における既存脱水機の最大運転時間を超えないことが条件となる。

【解説】

脱水機 2 段活用の適用条件の考え方を以下に示す。

(1) 発生汚泥量の確認

処理場からの発生汚泥と消化汚泥の発生量割合を算出する。処理場からの発生汚泥はオキシデーションディッチ法の場合、余剰汚泥のみであり、標準法の場合、生汚泥と余剰汚泥の合計量となる。また、本法では高濃度濃縮を行うため消化汚泥の濃度も高く、これを直接脱水機で処理することは困難である。そのため、脱水の前段で消化汚泥の希釈・洗浄を行うが、その結果、発生汚泥量は以下ようになる。

濃縮対象汚泥量＝生汚泥^{※1}＋余剰汚泥脱水対象汚泥量の消化汚泥に対する割合×10倍^{※2}÷2倍
(洗浄濃縮倍率^{※3})

※1：生汚泥は発生する場合

※2：希釈倍率。数値は実証施設での運転設定より引用。

※3：洗浄時の洗浄水の倍率。数値は実証施設での運転設定より引用。

(2) 既存脱水機の最大運転時間と処理量の検討

既存脱水機の運用方法を検討し、1週間あたり最大何時間運用可能か決定する。

現状の稼働時間ではなく、処理場の維持管理体制等に合わせて最大時間を考慮する。

本技術における脱水機の2段活用を行った場合の脱水機運転時間の例を表 2-2 に示す。高濃度濃縮と消化汚泥脱水での総運転時間は、本技術適用前の1.5倍となる。

表 2-2 既存脱水機の処理量の設定例

区分	運転内容	運転時間(h)					
		月	火	水	木	金	合計
導入前	余剰汚泥脱水	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	21.0
導入後	高濃度濃縮	7.0	—	7.0	—	7.0	21.0
	消化汚泥脱水	—	6.2	—	5.0	—	11.2

システム導入前の脱水機運転時間＝21.0時間/週

システム導入後の脱水機運転時間＝21.0時間/週＋11.2時間/週＝32.2時間/週

→システム導入により、脱水機の総運転時間は32.1時間/週÷21.0時間/週＝1.5倍となる。

例) 処理場の維持管理時間：8時間/日・平日 とすると

既存脱水機の立上げ・停止時間を1時間程度と想定して以下のとおりとなる。

既存脱水機運転可能時間＝7時間×5日間＝35時間/週

(3) 既存脱水機適用可能性の検討

(1) より、1週間あたりの濃縮運転時間と脱水運転時間を算出する。

濃縮運転時間＋脱水運転時間<(2)で求めた最大時間(1週間あたり)

であれば、運転時間上の適用は可能となる。

濃縮運転時間(時/週)＝濃縮対象汚泥量(m³/週)÷濃縮処理量(m³/時)

脱水運転時間(時/週)＝脱水対象汚泥量(m³/週)÷脱水処理量(m³/時)

濃縮運転時間＋脱水運転時間<既存脱水機運転可能時間

§13 導入シナリオ

本技術を導入するシナリオ例を以下に示す。

- (1) 既存消化設備の更新のタイミングにおいて、従来技術の消化設備の代替として本技術を導入する場合
- (2) 消化設備の無い処理場に対して、消化設備の新設のタイミングにおいて、従来消化技術の代替として本技術を導入する場合

【解説】

以下に本技術を導入するシナリオ例と期待できる導入効果を解説する。(計算条件詳細および結果は、第3章第2節導入効果の検討例(P.44～P.47参照))

導入シナリオの検討を行うタイミングとしては、実際の設備更新よりも前の段階の汚泥処理構想や広域化・共同化計画を立案する段階が望ましい。

(1) 既存消化設備の更新のタイミングにおいて、従来技術の消化設備の代替として本技術を導入する場合

中小規模処理場において既存消化設備がある場合には、消化設備更新時に本技術を導入するシナリオを表2-3に示す。本技術を導入した場合、通常の消化設備に対してコンパクト化できるため、工期の短縮および建設費の削減が図られ、総費用の低減が期待できる。

表 2-3 導入シナリオ（1）

項目	内容	
概要		
	<p>既存消化槽を更新するタイミングに従来脱水機を2段階活用することで濃縮機更新コストを削減、高濃度消化設備を導入することで設備のコンパクト化が図られ、コスト低減を図る。</p>	
導入設備	高濃度消化槽、洗浄槽、脱硫装置、ガスホルダ、ガス発電設備	
導入 メリット	建設費	従来の消化槽及びガスホルダに対しコンパクト化・ユニット化がなされるため、コスト削減が可能。
	維持管理費	従来の消化槽及びガスホルダに対しユニット化がなされるため点検等の動線が少なく、また既存脱水機を濃縮にも用いることで機器点数が減り点検・修繕及び人件費のコスト削減が可能。更にガス発電機と比較して自動制御を行い、効率的な発電を行うため、コスト削減が可能。
	汚泥処分費	従来消化と同程度の消化率となるため、汚泥処分費は従来と変わらない。
	有効利用	効率的なガス発電を行うことで、発電量を従来より多く得られる。

（2）消化設備の無い処理場に対して、消化設備の新設のタイミングにおいて、従来消化技術の代替として本技術を導入する場合

ほとんどの小規模処理場においては嫌気性消化設備が導入されていないため、消化工程を導入することで、汚泥量の削減が図られ、汚泥処分費の削減につながることを期待される。

また、発生した消化ガス利用により電力費の削減にもつながると考えられる。

嫌気性消化工程を有していない処理場に対し、本技術を新規に導入する場合のシナリオ例を表2-4に示す。

表 2-4 導入シナリオ (2)

項目	内容								
概要	<p>消化槽を新設するタイミングに従来脱水機を 2 段活用することで濃縮機更新コストを削減、高濃度消化設備を導入することで汚泥処分費の削減が図られ、コスト低減を図る。</p>								
導入設備	高濃度消化槽、洗浄槽、脱硫装置、ガスホルダ、ガス発電設備								
導入メリット	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="295 954 454 1048">建設費</td> <td data-bbox="454 954 1418 1048">濃縮設備の更新を行わず、脱水機の 2 段活用を行うため、その分の建設費削減が図られるが、新規に消化設備を導入するため、建設費は従来よりも高価となる。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="295 1048 454 1142">維持管理費</td> <td data-bbox="454 1048 1418 1142">消化導入による汚泥量削減効果により、汚泥処分費の低減が図られる。また、ガス発電による電力費の削減が図られ、コスト削減が可能。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="295 1142 454 1198">汚泥処分費</td> <td data-bbox="454 1142 1418 1198">消化導入による汚泥量削減効果によりコスト削減が可能。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="295 1198 454 1247">有効利用</td> <td data-bbox="454 1198 1418 1247">消化導入によるガス発電が可能。</td> </tr> </table>	建設費	濃縮設備の更新を行わず、脱水機の 2 段活用を行うため、その分の建設費削減が図られるが、新規に消化設備を導入するため、建設費は従来よりも高価となる。	維持管理費	消化導入による汚泥量削減効果により、汚泥処分費の低減が図られる。また、ガス発電による電力費の削減が図られ、コスト削減が可能。	汚泥処分費	消化導入による汚泥量削減効果によりコスト削減が可能。	有効利用	消化導入によるガス発電が可能。
建設費	濃縮設備の更新を行わず、脱水機の 2 段活用を行うため、その分の建設費削減が図られるが、新規に消化設備を導入するため、建設費は従来よりも高価となる。								
維持管理費	消化導入による汚泥量削減効果により、汚泥処分費の低減が図られる。また、ガス発電による電力費の削減が図られ、コスト削減が可能。								
汚泥処分費	消化導入による汚泥量削減効果によりコスト削減が可能。								
有効利用	消化導入によるガス発電が可能。								

第3節 実証研究に基づく評価の概要

§ 14 技術の評価項目

実証研究に基づく本技術の評価項目を以下に示す。

- (1) 設備性能（脱水機、高濃度消化）
- (2) 用地面積
- (3) 総費用（年価換算値）
- (4) 維持管理でのエネルギー消費量
- (5) 維持管理での温室効果ガス排出量

【解説】

本技術の導入検討においては、技術の性能指標を定量的に比較し、性能の優れた技術を選択できるように、評価項目、評価方法、評価結果を設定、提示する必要がある。本ガイドラインでは、本技術を評価した項目として、(1) 設備性能、(2) 用地面積、(3) 費用、(4) 維持管理でのエネルギー消費量、(5) 維持管理での温室効果ガス排出量について評価を行った。(評価結果は § 15 評価結果および資料編 1. 実証研究結果を参照)

用地面積、費用、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量については、表 2-5 に示す評価対象処理場条件として、従来設備との比較として試算した。

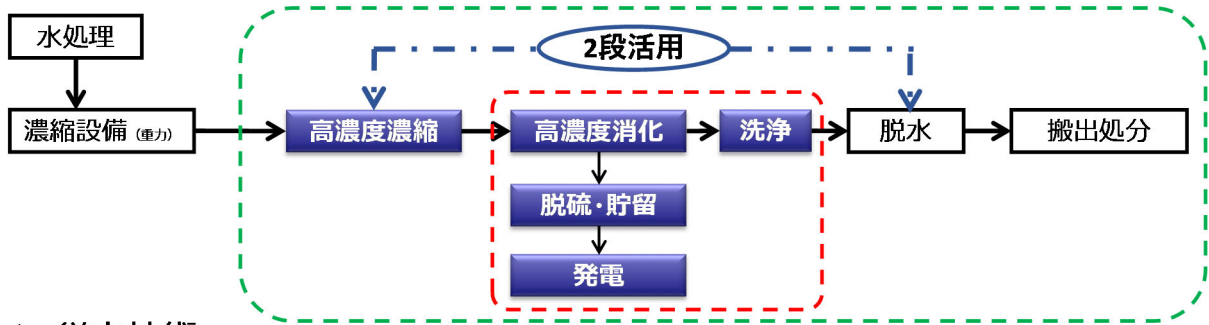
従来技術との比較については、シナリオ案 (1) の従来消化槽を導入する場合と比較する。シナリオ案 (2) の消化設備のない場合との比較については資料編参照のこと。

表 2-5 評価対象処理場条件

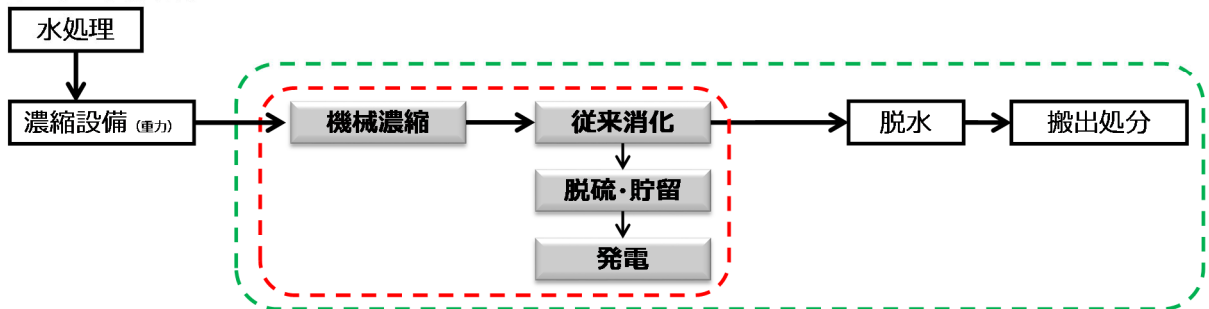
対象汚泥	余剰汚泥（発生汚泥全量対象）
水処理方式	オキシデーションディッチ法
処理水量	現有処理能力：4,500m ³ /日 現状流入水量：2,000m ³ /日
汚泥処理方式	重力濃縮→脱水（ベルトプレス）→搬出処分（民間）

従来設備との比較範囲を図 2-7 および図 2-8 示す。

◆ 本技術



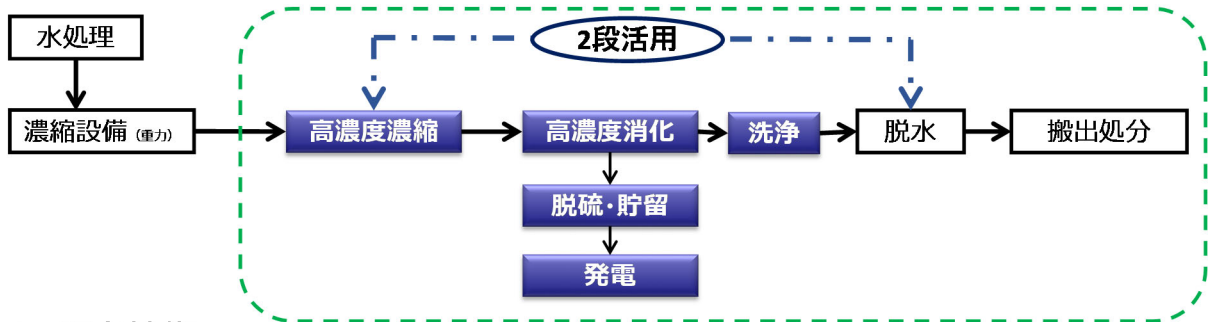
◆ 従来技術



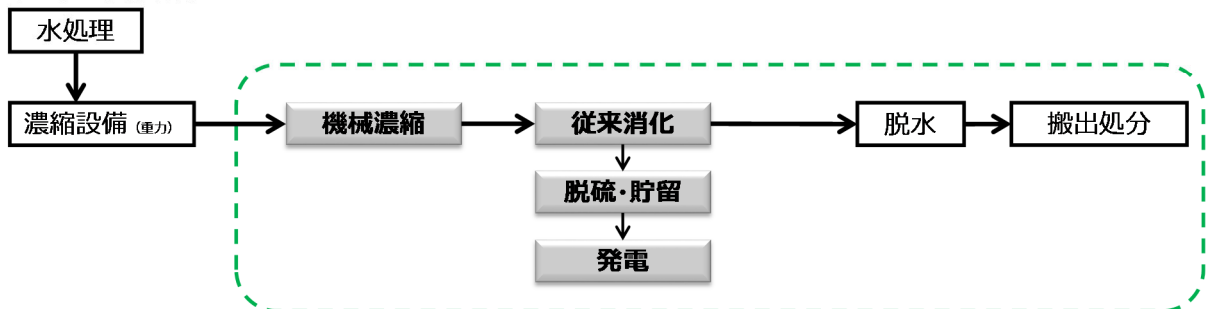
建設費試算範囲 (Red dashed box) 維持管理費試算範囲 (Green dashed box)

図 2-7 費用比較範囲

◆ 本技術



◆ 従来技術



エネルギー消費量・温室効果ガス排出量比較範囲 (Green dashed box)

図 2-8 維持管理のエネルギー消費量及び温室効果ガス排出量比較範囲

(1) 設備性能

本技術の設備性能について、以下の項目を評価した。下記項目は本技術の維持管理費を算定する上で、必要な項目である。

1) 脱水汚泥含水率

本技術の脱水設備において得られる脱水汚泥含水率を評価する。

2) 消化率

本技術の高濃度消化設備において得られる消化率を評価する。

3) 消化ガス発生率

本技術の高濃度消化設備において得られる投入汚泥あたりの消化ガス発生量を評価する。

(2) 用地面積

本技術は、従来技術と比較して設備をユニット化し、コンパクト化することが可能である。従来技術の場合の必要用地面積と本技術の場合の必要用地面積を定量的に比較する。用地面積の比較範囲は、図 2-7 における建設費の比較範囲と同様とする。

(3) 総費用（年価換算値）

建設費（解体・廃棄費は含まない）、維持管理費を試算し、総費用（年価換算値）を建設費年価と維持管理費（年あたり）の合計として従来技術と比較・評価する。

費用比較の範囲は図 2-7 に示すとおりであるが、費用比較の項目を表 2-6 に示す。

表 2-6 費用比較の項目

項目	本技術	従来技術
建設費内訳	<ul style="list-style-type: none"> ● 土木、建築 ● 機器費 ● 電気機器費 ● 工事費（機械、電気） 	同左
維持管理費内訳	<ul style="list-style-type: none"> ● 電力費 ● 燃料費 ● 凝集剤費 ● 汚泥処分費 ● 人件費 ● 発電による電力削減便益 	同左

維持管理費算定の際の費用単価設定を表 2-7 に示す。

表 2-7 維持管理費算定時の費用単価設定

種類	項目	単位	単価
ユーティリティ	電力費	円/kWh	15
	灯油	円/L	70
	上水	円/m ³	200
	高分子凝集剤	円/kg	1,000
	ポリ鉄	円/kg	40
汚泥処分	汚泥処分費	円/t	23,000

(4) 維持管理でのエネルギー消費量

本技術を導入した際の維持管理時におけるエネルギー消費量について、従来技術と比較を行う。エネルギー消費量の比較範囲は図 2-8 に示すとおりである。

(5) 維持管理での温室効果ガス排出量

本技術を導入した際の維持管理時における温室効果ガス排出量について、従来技術と比較を行う。温室効果ガス排出量の比較範囲は、エネルギー消費量と同様、図 2-8 に示すとおりである。

なお、本研究では、処理場の施設消費電力に追従した消化ガス発電の運転に対する検証は行わない。

§ 15 技術の評価結果

本技術の実証研究における以下の項目の評価項目を示す。

- (1) 設備性能
- (2) 用地面積
- (3) 総費用（年価換算値）
- (4) 維持管理でのエネルギー消費量
- (5) 維持管理での温室効果ガス排出量

【解説】

(1) 設備性能

本技術の設備性能として、評価結果の一覧を表 2-8 に示し、評価項目に対する解説を加える。

表 2-8 本技術の設備性能の評価結果

評価項目	評価指標	単位	数値	
濃縮運転の安定性	汚泥濃度	%	10±1	
	SS回収率	%	95以上	
脱水運転の安定性	含水率	%	85以下	
	SS回収率	遠心脱水機	%	95以上
		ベルトプレス脱水機	%	90以上
消化効率	消化率	%	32.3	
	ガス発生率	Nm ³ /投入VS-kg	0.22	

1) 脱水汚泥含水率

季節を通じて、85.0%かそれ以下の数値となっている。(試験の詳細は、資料編 を参照)

2) 消化率

投入汚泥濃度 10%、消化日数 30 日、消化温度 37℃での連続運転を行い、安定的な消化を確認するため、馴致期間として 30 日間を 3 回転（約 100 日）運転を行い、その後の結果をまとめた。

消化率は以下の式により算出した。

$$\text{※消化率 (\%)} = \left(1 - \frac{FS_1 \cdot VS_2}{VS_1 \cdot FS_2}\right) \times 100$$

ここに

FS₁：投入汚泥の無機分 (%)

VS₁：投入汚泥の有機分 (%)

FS₂：消化汚泥の無機分 (%)

VS₂：消化汚泥の有機分 (%)

出典：「下水道施設計画・設計指針と解説、日本下水道協会」

●消化槽の立上方法および留意点

立上の方法および留意点は以下のとおりである。

- 他下水処理場で発生した消化汚泥を種汚泥として使用した。
- 種汚泥移送の簡易化及び立ち上げ時において汚泥性状・消化効率等に問題が発生した場合のハンドリングを容易とするため、使用する種汚泥量は消化槽容量の半分程度の 50 m³とした。
- 消化槽への負荷は低負荷から徐々に負荷を上げた。本実証試験では種汚泥分析結果より HRT100 日から開始。75 日、50 日、40 日、35 日、30 日と負荷を上げることとした。
- 種汚泥が規定温度である 37℃に上昇後、汚泥投入を開始した。
- 消化状態を把握するため、表 2-9 に示す分析（立ち上げ後の測定項目と同様）を実施した。特に重要な管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸（VFA）であり、基準値を逸脱した場合は負荷を抑えて調整した。

表 2-9 高濃度消化分析項目

	項目	基準値	頻度
消化槽	温度 [°C]	37～40	1 回/日
	水位 [m]	3.7～4.3	1 回/日
汚泥	pH [—]	6.4～7.2	1 回/日
	TS [%]	10 以下	1 回/日
	VTS [%]	—	1 回/週
	TOC [g/kg]	—	1 回/週
	有機酸 [mg-Ace/L]	1000 以下	1 回/週
	T-N [mg/L]	—	1 回/週
	T-P [mg/L]	—	1 回/週
	NH ₄ -N [mg/L]	400 以下 (遊離アンモニア換算)	1 回/週
	BOD [%]	—	1 回/週
	アルカリ度 [%]	—	1 回/週
消化ガス	ガス発生量 [N m ³ /h]	—	1 回/日
	メタン濃度 [%]	55～65	1 回/日
	二酸化炭素濃度 [%]	35～45	1 回/日
	硫化水素 [ppm]	10 以下	1 回/日

※有機酸、NH₄-N、BOD、アルカリ度は消化汚泥のみ実施

消化阻害因子としての有機酸およびアンモニアについては、文献より阻害の基準値を設定し、いずれも以下の基準値よりも低いことを確認した。

- ・有機酸の阻害基準値：1,000mg-Ace/L
- ・遊離アンモニアの阻害基準値：400mg/L

なお、遊離アンモニア濃度は下記の式より算出した。

$$\text{NH}_3 \text{ 算出式: } \text{遊離アンモニア濃度 (NH}_3\text{mg/L)} = 17/14 \times \text{全アンモニア N 濃度 (mg/L)} \times 10^{\text{pH} / (e^{(6344 / (273 + \text{水温}))} + 10^{\text{pH}}))}$$

出典：Anthonisen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam, and E.G. Stinath (1976) Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid (アンモニアと亜硝酸による硝化の阻害), *Journal of Water Pollution Control Federation*, 48 (5), 835-852.

(2) 用地面積

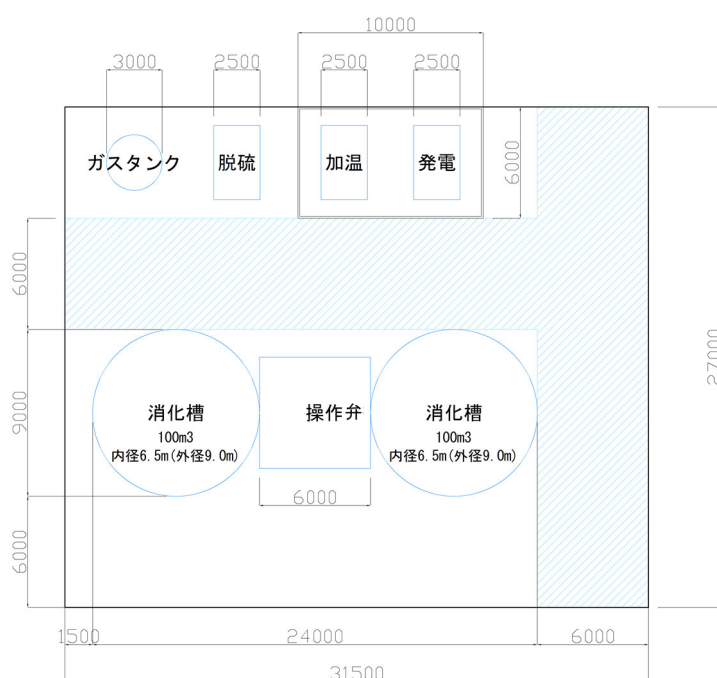
用地面積の比較は、「実証施設」に対して同程度の従来施設を設置した場合の必要敷地面積を比較し、コンパクト化・ユニット化に伴う必要敷地面積の削減効果を評価した。

従来技術については、実証試験を行っている処理場の敷地に対し配置をした場合の必要面積を算出した。

図 2-9 に示すように、従来技術の約 69.5%の面積で設置が可能となる。(規模の異なる場合の用地面積比較については、資料編 参照)

<従来技術>

850.5m² (31.5m × 27m)



<本技術>

591.3m² (36.5m×16.2m)

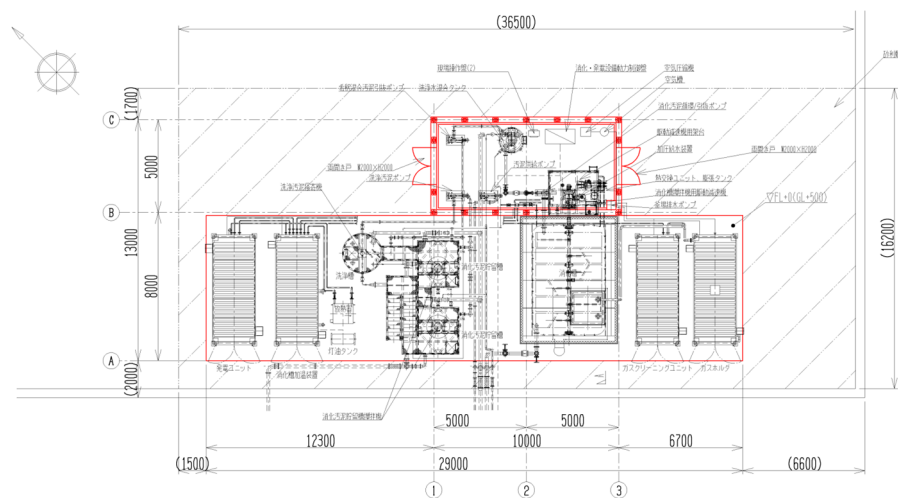


図 2-9 用地面積の比較

(3) 総費用 (年価換算値)

1) 建設費

表 2-5 の処理場に本技術を導入した際の建設費の算出結果を表 2-10 に示す。なお、本研究では費用の算出を簡便化するため、費用関数を作成し、それを用いている。費用関数については第3章第1節 § 18 を参照のこと。従来技術については従来技術の費用関数 (国土交通省水管理・国土保全局下水道部「下水汚泥広域利活用検討マニュアル」2019年3月) より算出を行った。

結果として、従来技術と比較し約 54%の建設費となり、46%の費用削減となった。

表 2-10 建設費の比較

単位：百万円/年

施設	算出方法	
	従来技術	革新的技術
濃縮設備	16.2	-
消化設備	22.0	19.5
発電設備	2.3	2.3
合計	40.4	21.8
縮減分		18.6

2) 維持管理費

表 2-5 の処理場に本技術を導入した際の維持管理費の算出結果を に示す。

建設費と同様、新技術については第3章第1節 § 18 より設定した費用関数により算出し、従来技術については建設費と同様にマニュアル費用関数より算出を行った。

単位：百万円/年

施設	項目	算出対象	
		従来技術	革新的技術
濃縮設備		-	-
消化設備		12.2	13.8
発電設備		7.5	0.9
濃縮・脱水設備		39.2	16.6
その他	污泥処分費	34.4	30.4
	発電による便益	-5.3	-2.3
合計		88.0	59.4
縮減分			28.6

3) 総費用（年価換算値）

維持管理費を含む総費用（年価換算値）の比較結果を表 2-11 に示す。建設費と同様に費用関数を作成して処理場規模に当てはめている。（新技術における詳細計算等は、資料編 参照）

結果として、日平均処理水量 10,000m³/日程度の処理場における総費用（年価換算値）として、従来技術から約 44%の削減となった。なお、最小規模として設定している日平均処理水量 2,000m³/日程度の処理場であっても 25%以上の削減が見込まれており、従来技術よりも経済的に有利である。

表 2-11 総費用（年価換算値）の比較

単位：百万円/年

施設	項目	算出対象	
		従来技術	革新的技術
濃縮設備	建設費	31.6	-
消化設備	建設費	34.5	26.0
	維持管理費	12.2	13.8
発電設備	建設費	4.0	2.5
	維持管理費	7.5	0.9
土木建築	建設費	18.0	10.3
濃縮・脱水設備	維持管理費	39.2	16.6
その他	污泥処分費	34.4	30.4
	発電による便益	-5.3	-2.3
合計	建設費	88.1	38.8
	維持管理費・他	88.0	59.4
	合計	176.1	98.2
縮減分	建設費		49.3
	維持管理費		28.6
	合計		77.9

※試算対象処理場規模：日平均処理水量 10,000m³/日（12,500m³/日規模）

(4) 維持管理でのエネルギー消費量

本技術導入によるエネルギー消費量の変化は、表 2-12 および図 2-10 に示すとおり、発電によ

る削減を含めると従来技術と比較して約1.9%の削減となる。

表 2-12 エネルギー消費量削減効果

項目		単位	従来技術	革新的技術
消費電力	重力濃縮設備	千kWh/年	0.77	0.77
	機械濃縮設備	千kWh/年	17.59	21.2
	消化設備	千kWh/年	9.87	7.89
	脱水設備	千kWh/年	3.81	3.51
	合計	千kWh/年	32.04	33.37
	削減量	千kWh/年	-	-1.33
発電量		千kWh/年	32.04	35.30
電力収支		千kWh/年	0.00	1.93
削減量		千kWh/年	-	1.93

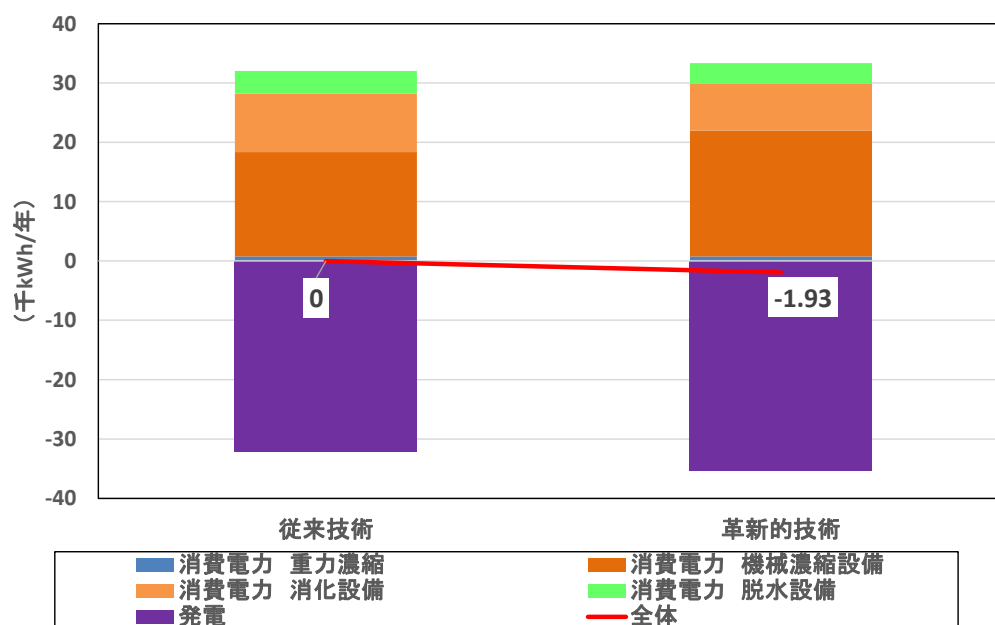


図 2-10 エネルギー消費量の比較

(5) 維持管理での温室効果ガス排出量

本技術導入時の温室効果ガス排出量を従来技術と比較した結果を表 2-13 および図 2-11 に示す。燃料使用量、脱水污泥埋立処分量の減少および発電による削減効果により、従来技術と比較して約 14.3t-CO₂/年の削減となった。

表 2-13 温室効果ガス排出量の比較

項目	従来技術		革新的技術	
	算定量	CO2排出量	算定量	CO2排出量
①電力使用	37,170.0 kWh/年	20,629.4 kg-CO ₂ /年	45,526.7 kWh/年	25,267.3 kg-CO ₂ /年
②燃料使用 (灯油)	17,264.5 L/年	42,988.6 kg-CO ₂ /年	5,986.0 L/年	14,905.1 kg-CO ₂ /年
③高分子凝集剤使用	1,092.0 kg/年	7,098.0 kg-CO ₂ /年	1,092.0 kg/年	7,098.0 kg-CO ₂ /年
④脱水污泥埋立処分	53.8 tDS/年	179,009.7 kg-CO ₂ /年	51.9 tDS/年	172,698.84 kg-CO ₂ /年
⑤発電による電力削減量	-70,810.0 kWh/年	-39,299.6 kg-CO ₂ /年	-42,924.0 kWh/年	-23,822.8 kg-CO ₂ /年
合計	—	210,426.1 kg-CO ₂ /年	—	196,146.5 kg-CO ₂ /年
現状からの削減量	—		14,279.6 kg-CO ₂ /年	
	—		14.3 t-CO ₂ /年	
削減量の貨幣換算	—		0.04 百万円/年	

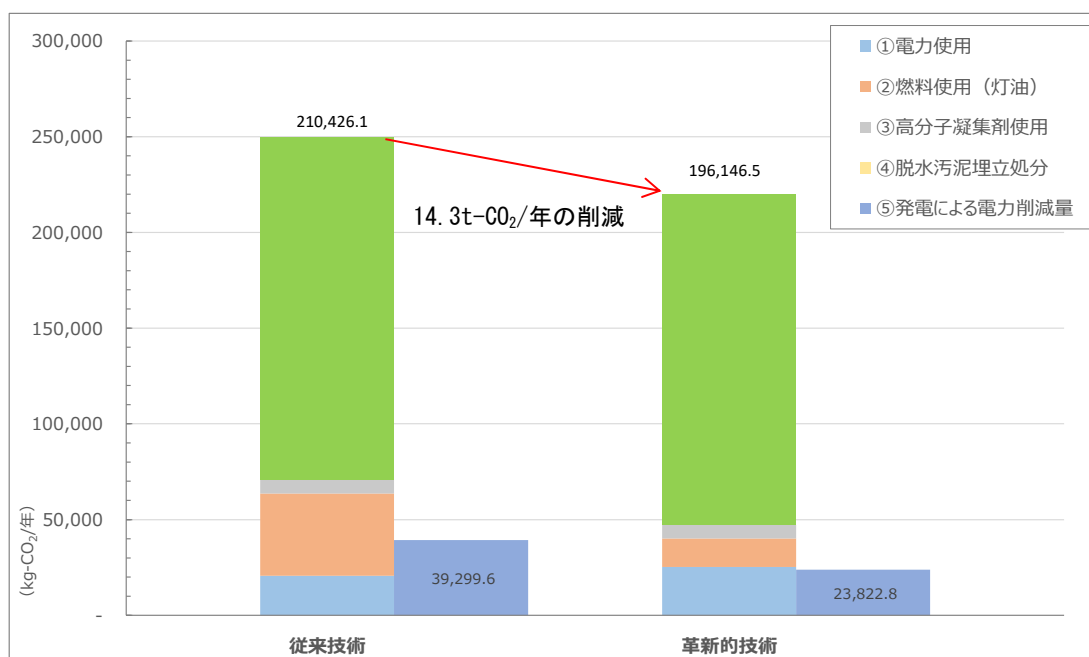


図 2-11 温室効果ガス排出量の比較

第3章 導入検討

第1節 導入検討手法

§ 16 導入検討の手順

本技術の導入検討は、以下の手順で実施する。

- (1) 基礎調査
- (2) 導入効果の検討
- (3) 導入判断

【解説】

本技術の導入検討は図 3-1 に示すように基礎調査、導入効果の検討及び導入判断の手順で行う。

(1) 基礎調査

対象施設の下水道計画の調査を行い、計画されている設備更新、新設および補修の計画を整理する。この調査において、現状の課題を抽出し、本技術を導入する意義、目的を明らかにする。

(2) 導入効果の検討

本技術を導入する場合の有効性について定量的な効果を検討する。ここでは、本技術の総費用（年価換算値）及びエネルギー消費量、温室効果ガス排出量の算定を行い、従来の消化槽更新や消化槽新設の場合と比較して、その効果を定量的に評価する。

(3) 導入判断

導入効果の検討において導入効果が見込まれると判断された場合には、本技術の導入に係る意思決定を行い、第4章 計画・設計に移行する。

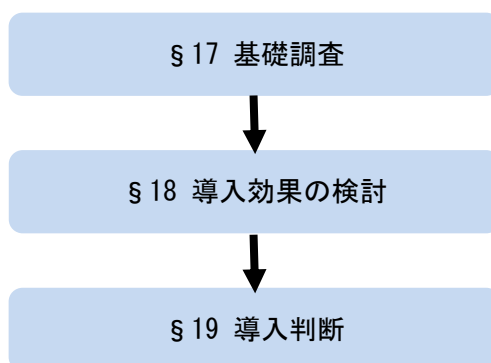


図 3-1 導入検討手順

§ 17 基礎調査

基礎調査では以下の事項について情報を整理し、内容を把握する。

- (1) 関連計画
- (2) 下水処理場の維持管理状況
- (3) 設備更新予定の情報
- (4) 関連法令

【解説】

(1) 関連計画

下水道事業における関連計画を整理する。

本技術は、下水汚泥の資源利用技術であるため、下水汚泥に関する広域計画や有効利用計画については適合させる、あるいは変更を考慮する必要がある。

- ①下水道全体計画
- ②事業計画
- ③流域別下水道整備総合計画
- ④下水処理施設の耐震計画
- ⑤下水処理場の統廃合、広域化計画
- ⑥下水道施設のストックマネジメント計画
- ⑦汚泥有効利用計画（構想）

(2) 下水処理場の維持管理状況

下水処理場における設備および運転管理情報の整理を行う。

- ①下水道及び下水処理場の特性（処理規模、水処理方式等）
- ②既存の施設の整備状況
- ③流入水量、水質およびその変動
- ④下水処理場から発生する濃縮処理の対象となる汚泥の種類、量及び性状
- ⑤施設の運転管理状況
- ⑥本技術の設置場所の確認

(3) 設備更新予定の情報

下水処理場の設備更新予定について、主にストックマネジメント計画を参考に把握する。

従来は濃縮機更新時期に濃縮機の更新が必要となるが、本技術では脱水機の2段活用を行う

ため、濃縮機更新の際に本技術を導入することで脱水機を濃縮機代替として利用できるため、濃縮機の設置の必要がなくなり、高い経済的効果を得られる。

(4) 関連法令

本技術を導入する場合は、下水道法ならびに各種の政令、省令および条例等に定める法令上の規制に留意しなければならない。

また、本技術にて導入したガス発電設備において発電した電力を外部買電する場合、電力事業法等の法令に従う必要がある。

§ 18 導入効果の検討

導入効果の検討では、§ 17 で調査した内容を踏まえて適切な導入シナリオを設定し、§ 14 で設定した評価項目について試算する。

- (1) 総費用（年価換算値）の算定
- (2) エネルギー消費量の算定
- (3) 温室効果ガス排出量の算定
- (4) 回分試験からの消化率・ガス発生率の試算方法

【解説】

§ 17 で調査した内容を踏まえ、下水処理場における設備更新計画および将来計画、及び現況の処理状況から導入シナリオを設定する。導入シナリオは、§ 13 において設定したシナリオ等を参考とすること。

下記項目についての試算を行う。

なお、算出例は § 21 導入効果の検討結果に記載する。

(1) 総費用（年価換算値）の算定

本技術の導入コストは①建設費、②維持管理費、③汚泥処分費および④発電による電力費の削減により構成される。

1) オキシデーションディッチ法

① 建設費

本技術の建設費は表 3-1 に示す算定式により算出する。また、表 3-2 に建設費算定式に含まれている項目を整理した。

なお、本設備の 1 系列は消化槽容量 500m³ を最大としているため、処理規模が大きくなった場合は系列数を増やすことで対応する。

表 3-1 建設費算定式

(y : 建設費 (百万円)、x : 水処理規模 (m³/日))

項目		算定式
機械・電気 工事費	高濃度消化設備	$y = 9.4214x^{0.363}$
	汚泥洗浄・貯留設備	$y = 0.5702x^{0.5851}$
	消化ガス発電設備	$y = 27.678x^{0.0439}$
土木・建築工事費		$y = 31.761x^{0.233}$

なお、建設費については、各設備の償却期間による建設費年価換算を行う。建設費の年あたりの費用は、『下水汚泥広域利活用マニュアル』（国土交通省水管理・国土保全局下水道部、平成31年3月）の計算例に基づき、以下の式により算出する。

$$\text{建設費年価（百万円/年）} = \text{建設費（百万円）} \times i \times \left\{ \frac{(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right\}$$

ここに、i: 利子率（2.3%とする）、n: 耐用年数

表 3-2 建設費に含まれている項目

種別	項目	内容
機器	高濃度濃縮設備	既存脱水機を用いるため含まない
	高濃度消化設備	ガスホルダー一体型消化ユニット、加温ユニット、ガスクリーニングユニット、放熱器、汚泥ポンプ
	汚泥洗浄及び貯留設備	洗浄水混合タンク、洗浄槽汚泥掻き寄せ機、洗浄汚泥ポンプ、消化汚泥貯留槽攪拌機、汚泥供給ポンプ、排水ポンプ
	ガス発電設備	消化ガス発電ユニット、既設改造費
工事	機械設備工事	上記機器の機械基礎・据付、配管工事
	電気設備工事	上記機器の動力制御盤及び動力制御盤からの二次側配線工事
	土木建築工事	上記機器の基礎、電気室の建屋設置工事
	既設改造	既設脱水機の2段活用に伴う配管等の工事

②維持管理費

表 3-3 に維持管理費の算定式を示す。

表 3-3 維持管理費算定式

(y: 維持管理費 (百万円/年)、x: 日平均処理水量 (m³/日))

項目	算定式
高濃度消化設備	$y = 0.8477x^{0.3031}$
高濃度濃縮・脱水設備	$y = 0.2443x^{0.4579}$
消化ガス発電設備	$y = 0.5627x^{0.0491}$
全体・維持管理費 (計)	$y = 1.0328x^{0.3702}$

③汚泥処分費

汚泥処分費の試算を行うための算定式を表 3-4 に示す。汚泥処分費単価により汚泥処分費が異なる。

表 3-4 汚泥処分費算定式

(y : 汚泥処分費 (百万円/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
汚泥処分費	$y = (0.1902x + 0.161) \times \text{汚泥処分費単価(円/t)} / 1000000$

※表記算定式は、本実証試験結果である消化率 32.3%を用いた結果である。

仮に、消化率が変更となる場合は以下の式を適用する。

$$(\text{汚泥処分費}) y = (-0.0022x \cdot x_1 + 0.26x + 0.161) \times \text{汚泥処分費単価(円/t)} / 1000000$$

ここに、 x_1 : 消化率(%)

④発電による電力費削減

消化ガス発電による電力費削減についての算定式を表 3-5 に示す。電力単価により電力費の削減費が異なる。

表 3-5 発電による電力費削減

(y : 電力削減費 (百万円/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
電力削減費	$y = (0.0151x + 0.015) \times \text{電力量単価(円/kWh)} / 1000$

※表記算定式は、本実証試験結果である投入 VS あたり消化ガス発生量 0.22Nm³/kg-VS を用いた結果である。

仮に、VS あたり消化ガス発生量が変更となる場合は以下の式を適用する。

$$(\text{電力削減費}) y = (0.067x \cdot x_2 + 0.000021x + 0.015) \times \text{電力費単価(円/kWh)} / 1000$$

ここに、 x_2 : VS あたり消化ガス発生量 (Nm³/kg-VS)

2) 標準活性汚泥法

① 建設費

本技術の建設費は表 3-6 に示す算定式により算出する。

なお、本設備の 1 系列は消化槽容量 500m³ を最大としているため、処理規模が大きくなった場合は系列数を増やすことで対応する。

表 3-6 建設費算定式（標準法）

(y : 建設費 (百万円)、x : 水処理規模 (m³/日))

項 目		算定式
機械・電気 工事費	高濃度消化設備	$y = 20.351x^{0.3005}$
	汚泥洗浄・貯留設備	$y = 0.5702x^{0.5851}$
	消化ガス発電設備	$y = 2.0843x^{0.3786}$
土木・建築工事費		$y = 31.761x^{0.233}$

建設費に関する建設費年価換算方法および建設費算定式に含まれる項目はオキシデーショナルイッチ法と同様である。

②維持管理費

表 3-7 に維持管理費の算定式を示す。

表 3-7 維持管理費算定式（標準法）

(y : 維持管理費 (百万円/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

項 目	算定式
高濃度消化設備	$y = 1.4175x^{0.2492}$
高濃度濃縮・脱水設備	$y = 0.3066x^{0.4228}$
消化ガス発電設備	$y = 0.0364x^{0.04142}$
全体・維持管理費 (計)	$y = 1.3853x^{0.3365}$

③汚泥処分費

汚泥処分費の試算を行うための算定式を表 3-8 に示す。汚泥処分費単価により汚泥処分費が異なる。なお、標準法に関しては本技術適用時にも従来技術と同程度の消化率となるため、消化率による汚泥処分費の変更は考慮しない。

表 3-8 汚泥処分費算定式（標準法）

(y : 汚泥処分費 (百万円/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
汚泥処分費	$y = (0.0817x - 2.8985) \times \text{汚泥処分費単価}[\text{円}/\text{t}]/1000000$

④発電による電力費削減

消化ガス発電による電力費削減についての算定式を表 3-9 に示す。電力単価により電力費の削減費が異なる。なお、標準法に関しては本技術適用時にも従来技術と同程度の投入 VS あたりの消

化ガス発生量となるため、投入 VS あたりの消化ガス発生量による汚泥処分費の変更は考慮しない。

表 3-9 発電による電力費削減（標準法）

(y : 電力削減費 (百万円/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
電力削減費	$y = (0.0224x + 0.6189) \times \text{電力量単価}[\text{円/kWh}]/1000$

(2) エネルギー消費量の算定

1) オキシデーションディッチ法

本技術におけるエネルギー消費量は、①電力、②燃料使用の合計値により算定する。表 3-10 に算定式を示す。

表 3-10 エネルギー消費量の算定

(y : エネルギー消費量 (GJ/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
① 電力	$y = 0.0521x + 0.9124$
② 燃料	$y = 1.197x^{0.6469}$ ※発電廃熱利用を加味

※発電機運転時間のみ廃熱回収率 46.0%回収熱量（今回調査における実証機の排熱回収効率より設定）を想定。発電機運転時間以外に灯油ボイラを焚くことを想定し算出。

2) 標準活性汚泥法

本技術におけるエネルギー消費量は、①電力、②燃料使用の合計値により算定する。表 3-11 に算定式を示す。

表 3-11 エネルギー消費量の算定（標準法）

(y : エネルギー消費量 (GJ/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
② 電力	$y = 0.0589x - 0.1327$
② 燃料	$y = 1005x^{0.6422}$ ※発電廃熱利用を加味

※発電機運転時間のみ廃熱回収率 46.0%回収熱量を想定。発電機運転時間以外に灯油ボイラを焚くことを想定し算出。

(3) 温室効果ガス排出量の算定**1) オキシデーションディッチ法**

温室効果ガス排出量は、①エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量、②薬品・上水利用に伴う温室効果ガス排出量、③処理に伴う温室効果ガス排出量、④有効利用による削減の項目ごとに算定を行う。ただし、③処理に伴う温室効果ガス排出量については、外部委託を行う脱水ケーキについて埋立処分した場合の排出量を算定する。

表 3-12 温室効果ガス排出量の算定

(y : 温室効果ガス排出量 (t-CO₂/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
①エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量	$y = 0.0121x + 4.9529$
②薬品・上水利用に伴う温室効果ガス排出量	$y = 0.0059x - 0.0162$
③処理に伴う温室効果ガス排出量	$y = 0.0949x + 0.0662$
④有効利用による削減	$y = 0.0084x - 0.0206$

2) 標準活性汚泥法

温室効果ガス排出量は、オキシデーションディッチ法と同様に計算する。

表 3-13 温室効果ガス排出量の算定 (標準法)

(y : 温室効果ガス排出量 (t-CO₂/年)、x : 日平均処理水量 (m³/日))

費目	算定式
①エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量	$y = 0.0115x + 3.1559$
②薬品・上水利用に伴う温室効果ガス排出量	$y = 0.0034x + 0.0044$
③処理に伴う温室効果ガス排出量	$y = 0.0408x - 1.45$
④有効利用による削減	$y = 0.0124x + 0.3044$

(4) 回分試験結果からの消化率・ガス発生率の試算方法 (計算例)

消化率及びガス発生率については、ラボスケールで回分試験を行うことで推定が可能である。

以下に回分試験結果から実際の消化率及びガス発生率に対する推定方法を示す。

実際の運転では連続試験と同様の条件となるが、連続試験では、投入汚泥の流出が生じるため、消化槽を完全混合槽と想定すると以下の式が成り立つ。

$$E(\Theta) = \exp(-\Theta)$$

ここに $E(\Theta)$: 投入汚泥の滞留時間分布

Θ : 平均滞留時間で正規化した無次元時間

消化槽の汚泥の滞留時間を 30 日とすると $\Theta = t/30$

30 日後には、1 日目に投入した汚泥のうち 63% が流出し、残存汚泥は 37% となる。

ここで、回分試験より求めた単位汚泥量あたりのガス発生速度を連続試験時に残存している汚泥量に当てはめて、回分試験の場合と連続試験の場合のガス発生速度を推定する。

推定結果を図 3-2 に示す。

回分試験と比較して、連続試験の場合は汚泥の流出によりガス発生速度が下がり、30 日間では 1.28 倍の差がつくと試算される。

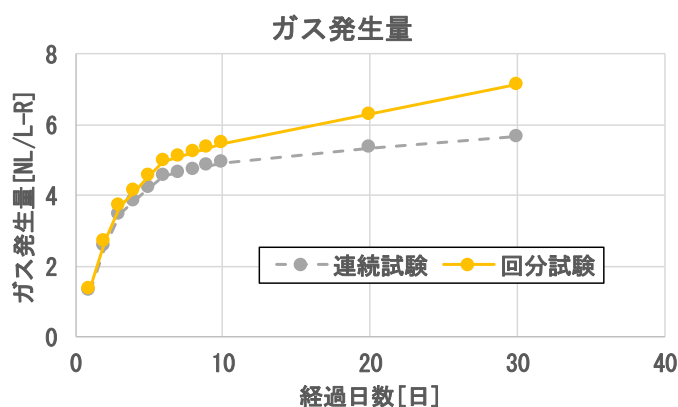


図 3-2 回分試験と連続試験におけるガス発生量の違い (計算値)

表 3-14 回分試験と連続試験における消化率及びガス発生量の比率（文献値等）

基質	消化率[%]			ガス発生量[Nm ³ /kg-vs]			備考	文献
	回分	連続	比率	回分	連続	比率		
脱水汚泥（OD法）	—	—	—	0.117	0.100	1.17	TS14.8%、VS80%（TSは10%に希釈）	1)
生ごみ+新聞紙	—	—	—	0.594	0.544	1.09	生ごみ80%、TS12.5%に調整	2)
スイカ	—	—	—	0.434	0.302	1.44	VS94.5%	3)
混合汚泥（標準法）	70.0	60.5	1.16	—	—	—	TS5.0%	4)
今回試験（OD法）	40.0	32.3	1.24	0.30	0.22	1.36	TS10%	
平均	—	—	1.20	—	—	1.27		

※引用文献

- 1) 日高平、佐野修司、西村文武、藤原雅人「オキシデーションディッチ法からの脱水汚泥を対象とした簡易運転型嫌気性消化の適用可能性」、土木学会論文集、Vol. 72, No. 7, 2016
- 2) 大隅省二郎、坪田潤、津野洋「生ごみおよび紙の高温メタン発酵残差に対する超高温可溶化処理の定量的評価」、廃棄物資源循環学会論文集、Vol. 23, No. 5, 2012
- 3) 松田直子、門木秀幸「有機性廃棄物の再資源化に関する研究」、鳥取県衛生環境研究所報、No. 45, 2005
- 4) 内田勉、日高平、浅井圭介、岡本誠一郎、新井小百合「低炭素型水処理・バイオマス利用技術の開発に関する研究」、土木研究所研究成果報告書・プロジェクト研究、2012

表 3-14 に示す文献値及び今回試験の平均値と計算値がほぼ等しいことから、文献値及び今回試験の平均値を補正值とし、回分試験結果から実機稼働時の消化率及び消化ガス発生率を求めるには以下の式を用いる。

●消化率

$$\text{回分試験値}[\%] / \text{補正值} (1.20) = \text{実機稼働時の推定消化率}[\%]$$

●消化ガス発生率

$$\text{回分試験値}[\text{Nm}^3/\text{kg-VS}] / \text{補正值} (1.27) = \text{実機稼働時の推定消化ガス発生率}[\text{Nm}^3/\text{kg-VS}]$$

§ 19 導入判断

本技術の導入判断は、§ 18 により算定した結果等を踏まえ、総合的に判断する。

【解説】

§ 18 の算定を行い、導入シナリオに従って導入効果があると認められた場合は、本技術の導入に関する意思決定を行い、本技術の計画・設計に移る。

また、導入効果が無いと判断された場合、原因分析を行いその要因を明らかにする。本技術の導入効果を低くする原因としては、表 3-15 に示す項目が挙げられる。また、算定結果を改善させる対応策も合わせて示す。

表 3-15 本技術の導入効果が低く見積もられる原因と対応策

検討結果	原因	対応策
消化ガス発生量が少ない (表 3-5)	投入汚泥の基質に難分解性有機物が多い	OD 法あるいは標準法の水処理の SRT が長すぎると消化率および消化ガス発生量が少なくなるため、可能な限り SRT を短く運転する等、処理場全体の運転も含めて検討する。
電力削減分が少ない (表 3-5)	処理場における電力消費のタイミングが間欠的である。	実際の運転を想定してより詳細に条件を設定し検討を行う。
脱水汚泥削減量が少ない (表 3-8)	投入汚泥の基質に難分解性有機物が多い	OD 法あるいは標準法の水処理の SRT が長すぎると消化率が小さくなり、減量効果が出にくいいため、可能な限り SRT を短く運転する等、処理場全体の運転も含めて検討する。

第2節 導入効果の検討例

§ 20 試算条件

導入検討手法を用い、以下の条件で導入効果の検討を行った。

- (1) 導入シナリオ：既存消化槽を更新する場合および消化槽を新設する場合
- (2) 日平均処理水量：2,000m³/日、5,000m³/日、7,000m³/日、10,000m³/日

【解説】

導入効果の試算条件を以下に示す。

(1) 導入シナリオ

導入シナリオとしては、§ 13において想定した2つのシナリオに対して検討を行う。

シナリオ①として既存消化槽を有している処理場に対し、消化槽の更新を検討するタイミングで本技術の導入を検討する場合を想定する。シナリオ②として消化槽を新設する場合の導入検討を想定する。

また、シナリオ①、②共通として機械濃縮機の更新を行う場合と行わない場合に分けて検討する。

(2) 日平均処理水量

日平均処理水量を以下の4つのパターンにより分類し、水処理方式はオキシデーショondiッチ法とする。このうち、2,000m³/日 5,000m³/日 7,000m³/日の3種類および標準活性汚泥法については資料編に示す。ここでは、10,000m³/日規模について算定を行う。

日平均処理水量：	2,000m ³ /日	5,000m ³ /日	7,000m ³ /日	10,000m ³ /日
水処理規模	：	2,500m ³ /日	6,250m ³ /日	8,750m ³ /日 12,500m ³ /日

(3) 試算方法

試算方法として、従来方法に対しては、「バイオソリッド利活用基本計画策定マニュアル」（平成16年3月 国土交通省都市・地域整備局下水道部、(社)日本下水道協会）により算出を行う。算定の詳細は資料編に示す。

また、革新的技術については積み上げ計算とする。算定の詳細は資料編に示す。

§ 21 導入効果の検討結果

§ 20 における条件に対する検討結果の算定例を示す。従来消化槽の導入と比較した場合のコスト削減効果、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量の削減効果について検討結果を示す。

【解説】

(1) 費用削減効果

表 3-16 および表 3-17 に試算条件を示す。

表 3-16 試算条件（汚泥量等）

項目		単位	従来技術	革新的技術	備考
概略フロー図		-			<p>■ ... 建設費対象 □ ... 維持管理費対象</p>
流入水量	日最大処理水量	m ³ /日	12,500	12,500	≒ 10,000 × 1.25
	日平均処理水量	m ³ /日	10,000	10,000	実績
SS	流入水質	mg/L	149	149	容量計算書
	放流水質	mg/L	9	9	容量計算書
汚泥量	汚泥発生率	%	75.0%	75.0%	容量計算書
	発生汚泥量	kg-DS/日	0.11	0.11	
	初沈汚泥固形物量/余剰汚泥固形物量		2.0	2.0	
	発生固形物量	t-DS/日	1.375	1.375	日最大における発生量
	1%換算汚泥量 (日最大)	m ³ /日	138	138	日最大における汚泥量
	1%換算汚泥量 (日平均)	m ³ /日	117	117	日平均における汚泥量
	濃縮汚泥濃度	%	2.2	2.2	
	消化汚泥量	t-DS/日	0.825	1.020	投入汚泥VTS80% 消化率50% (従来技術) 消化率32.3% (新技術)
	脱水汚泥量	t/日	5	6	含水率82% (日最大における発生量)
	脱水汚泥量	t/年	1,422	1,758	含水率82% 日平均/日最大比0.85
消化ガス	消化ガス発生量	Nm ³ /年	170,638	75,081	日平均/日最大比0.85、 VTS80% 500Nm ³ /t-VTS (従来技術)、 220Nm ³ /t-VTS (革新技術)
	消化ガス利用量	Nm ³ /年	162,106	71,327	消化ガス発生量 × 0.95 (利用率) ※排熱で加温
	消化ガス発電電力量	千kWh/年	278.82	122.68	21.5MJ/Nm ³ 発電効率32% 自己消費電力 10%
	消化ガス発電機必要容量	kW	37	16	
	消化ガス発電機設置容量	kW	50	25	25kW × 2台 (従来技術)、1台 (革新技術)

※従来消化率 50%については、小規模処理場を対象とした従来技術における消化率の数値が無い
ため、本技術適用範囲外の大規模処理場等の既存技術の実績から設定された数字を便宜的に引用
したものを。

表 3-17 試算条件（費用算定範囲・維持管理費単価）

項目		単位	従来技術	革新的技術	備考	
積算範囲	建設費	土木・建築	-	(濃縮設備)	消化設備(高濃度)	
			-	消化設備	-	
		機械	-	(濃縮設備)	濃縮設備(2段)	
			-	消化設備	消化設備(高濃度)	
		電気	-	発電設備	発電設備	
			-	消化設備	消化設備(高濃度)	
	維持管理費	-	濃縮設備	濃縮設備		
		-	脱水設備	脱水設備		
		-	消化設備	消化設備		
		-	発電設備	発電設備		
		-	搬出処	処分		
ユーティリティ	電力	円/kW	15	15	国土交通省提示	
	灯油	円/L	70	70		
	上水	円/m ³	200	200	国土交通省提示	
	凝集剤	円/kg	1,000	1,000	国土交通省提示	
	汚泥処分費	円/t-wet	23,000	23,000	国総研H29調査 (運搬費及び処分費・全国平均値)	

これに対し費用関数を用いて、日平均処理水量 10,000m³/日 (12,500m³/日規模) の処理場に本技術を導入した場合の費用削減効果を表 3-18 及び図 3-3 に示す。

シナリオ(2)の消化が無い処理場に対して濃縮機の更新が無いときに本技術を導入した場合は費用削減は難しい結果となったが、シナリオ(1)・従来消化有の場合及びシナリオ(2)・消化なしの場合でも濃縮機の更新時期に本技術を導入した場合に対しては、本技術導入時にエネルギー消費量削減効果が得られる。

なお、脱水機の更新に関しては本技術適用時も従来時も変わらないため考慮しない。

表 3-18 本技術導入時の費用削減効果

項目			従来技術				本技術	
			シナリオ(1)・従来消化あり		シナリオ(2)・消化なし			
濃縮機の更新			更新あり	更新なし	更新あり	更新なし	-	
建設費	機械・電気設備	機械濃縮設備	百万円	523.7	-	523.7	-	-
		高濃度消化設備	百万円	572.1	572.1	-	-	289.3
		汚泥洗浄・貯留設備	百万円	-	-	-	-	142.3
		ガス発電設備	百万円	65.7	65.7	-	-	41.9
	土木・建築設備	百万円	501.3	501.3	158.8	-	286.1	
	計	百万円	1,662.8	1,139.1	682.5	-	759.6	
建設費年価	機械・電気設備	千円/年	70,049	38,465	31,584	-	28,556	
	土木・建築設備	千円/年	17,999	17,999	5,702	-	10,272	
	計	千円/年	88,048.0	56,464.0	37,286.0	-	38,828.0	
	維持管理費	千円/年	58,905	58,905	27,081	27,081	31,248	
	汚泥処分費	千円/年	34,420	34,420	63,466	63,466	30,426	
	発電による便益	千円/年	-5,311	-5,311	-	-	-2,260	
	年間収支	千円/年	176,061	144,477	127,833	90,547	98,242	
	費用削減量	千円/年	▲ 77,819	▲ 46,235	▲ 29,591	7,695		

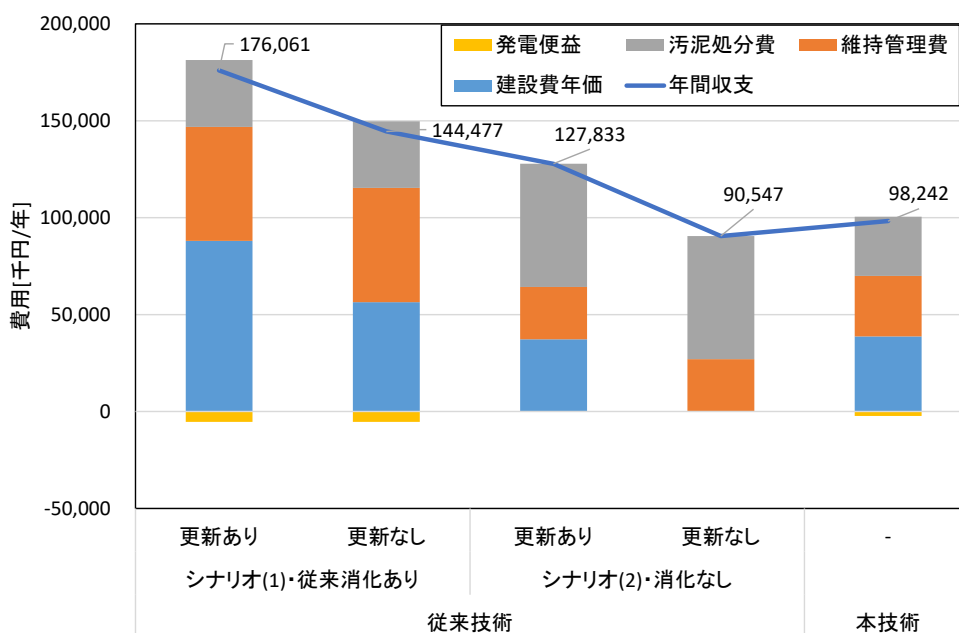


図 3-3 本技術導入の費用削減効果 (年間費用)

(2) エネルギー消費量削減効果

エネルギー消費量については、§ 18 で示した関数によりエネルギー消費量を算定する。

シナリオ(2)については消化を行わず脱水ケーキを外部搬出しているが、外部搬出後の汚泥処分(運搬を含む)に係るエネルギーについては考慮しておらず、見かけ上、本技術に比べて処理場内での消費エネルギー量が少ない結果となる。したがって、シナリオ(2)における汚泥の外部搬出後の処理等にかかるエネルギー消費について考慮した場合には、本技術導入時の方がエネルギー面で有利となる可能性があることに留意が必要である。

シナリオ(1)・従来消化有の場合に対しては本技術を導入した場合にエネルギー消費量削減効果が得られる。

なお、濃縮機の更新の有無は維持管理時には関係しないため、ここでは濃縮機更新の有無のパターン分けは行わない。

表 3-19 本技術導入時のエネルギー消費量削減効果

項目	従来技術		本技術		
	シナリオ(1) 従来消化あり	シナリオ(2) 消化なし			
エネルギー消費量	電力	MJ/年	668,232	32,799	504,564
	燃料	MJ/年	1,639,609	-	582,325
	計	MJ/年	2,307,841	32,799	1,086,889
創エネルギー量	電力	MJ/年	-1,274,711	-	-543,654
	計	MJ/年	-1,274,711	0	-543,654
総計	MJ/年	1,033,130	32,799	543,235	

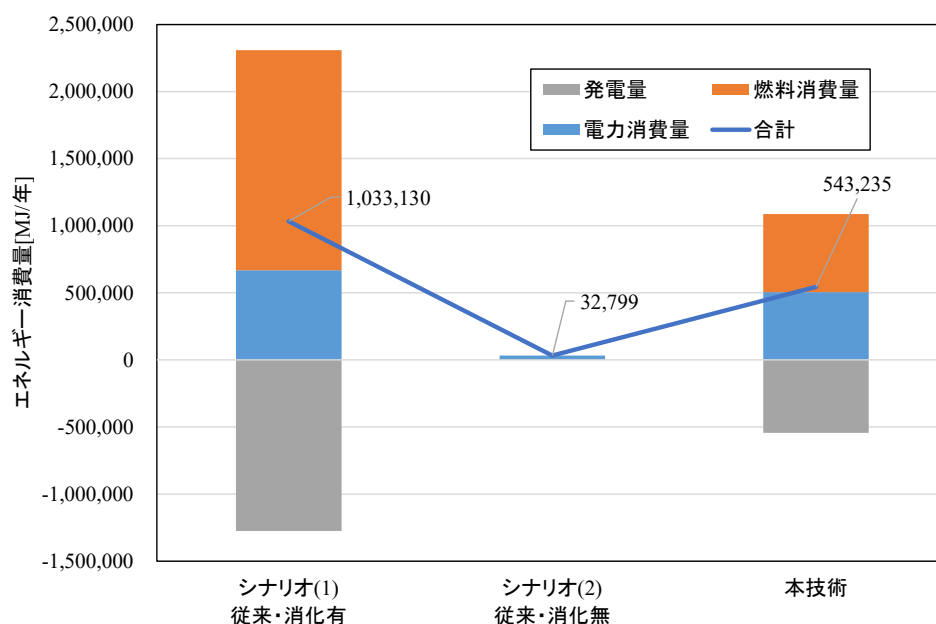


図 3-4 本技術導入時のエネルギー消費量削減効果

(3) 温室効果ガス排出量の削減効果

温室効果ガス排出量については、§ 18 で示した関数により温室効果ガス量を算定する。

シナリオ (1)・従来消化有およびシナリオ (2)・消化なしの場合に対して、いずれも本技術を導入した場合に温室効果ガス排出量の削減効果が得られる。

なお、濃縮機の更新の有無は維持管理時には関係しないため、ここでは濃縮機更新の有無のパターン分けは行わない。

表 3-20 本技術導入時の温室効果ガス排出量の削減効果

項目	従来技術		本技術	備考			
	シナリオ(1) 従来消化あり	シナリオ(2) 消化なし					
①エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量	電力	t-CO ₂ /年	103	5	78	0.555	kg-CO ₂ /kWh
	燃料	t-CO ₂ /年	111	-	40	2.49	kg-CO ₂ /L
	計	t-CO ₂ /年	214	5	118		
②薬品・上水利用に伴う温室効果ガス排出量	高分子凝集剤	t-CO ₂ /年	35	59	35	6.5	kg-CO ₂ /kg
	無機凝集剤	t-CO ₂ /年	24	0	24	0.32	kg-CO ₂ /kg
	計	t-CO ₂ /年	59	59	59		
③処理に伴う温室効果ガス排出量	污泥埋立処分	t-CO ₂ /年	895	1,377	863	133	kg-CH ₄ /tDS
	計	t-CO ₂ /年	895	1,377	863	3,325.0	kg-CO ₂ /tDS
④有効利用による削減	発電	t-CO ₂ /年	-197	0	-84	0.555	kg-CO ₂ /kWh
	計	t-CO ₂ /年	-197	0	-84		
総計	t-CO ₂ /年	971	1,441	956			

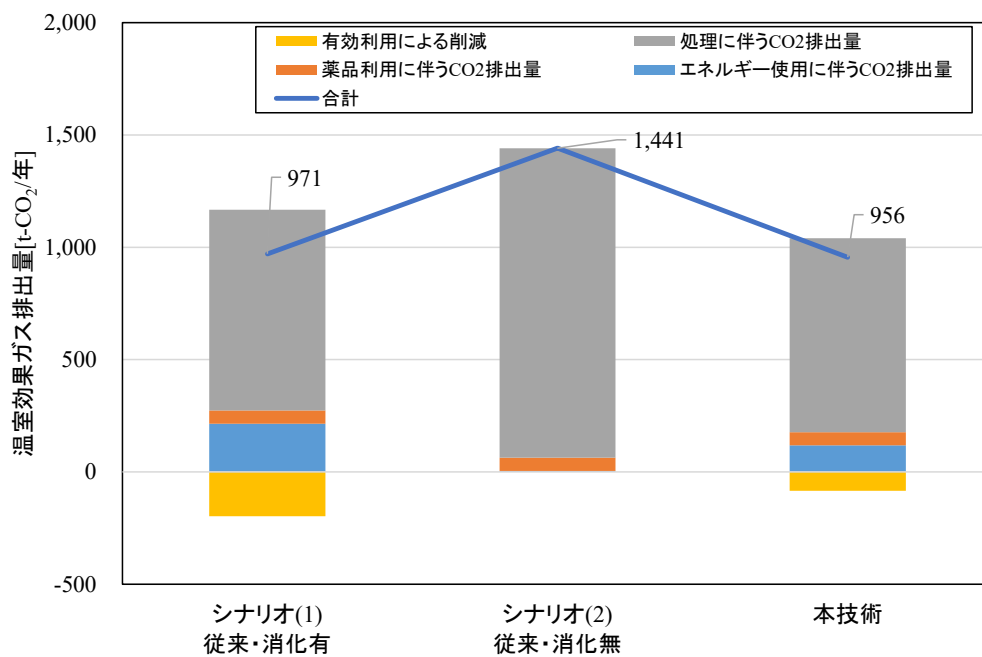


図 3-5 本技術導入時の温室効果ガス排出量の削減効果

第4章 計画・設計

第1節 導入計画

§ 22 導入計画手順

本技術の導入を計画する際の手順は、以下のとおりである。

- (1) 基本条件の設定
- (2) 施設計画の検討
- (3) 導入効果の検証

【解説】

第3章 導入検討において導入効果があると判断された場合、図 4-1 の計画手順で導入計画を実施する。

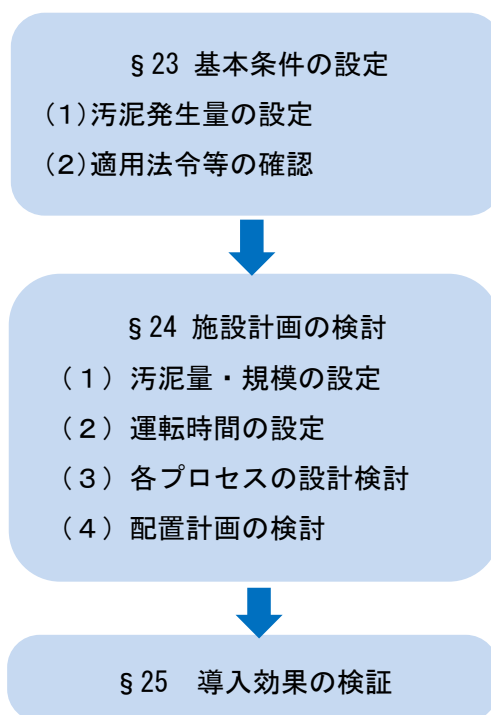


図 4-1 導入計画手順

§ 23 基本条件の設定

以下の項目に従い、基本条件を設定する。

- (1) 汚泥発生量の設定
- (2) 関連法令の確認

【解説】

(1) 汚泥発生量の設定

本技術により処理を行う汚泥量については、基本的に水処理より発生する汚泥全量とするが、施設規模等により汚泥の一部を処理する場合があるため、汚泥量および性状について把握し、設定を行う必要がある。

(2) 関連法令の確認

本技術の設置の設計、建設について以下の主な法令に則らなければならない。

①水質汚濁防止法

本技術は、嫌気性消化を中心とする技術であるため、従来処理として嫌気性消化工程を有していない処理場においては、返流水負荷の増加が見込まれる。

一般的にはほぼ問題無いと考えられるが、水処理の予測としてシミュレーション計算等を行った結果より、放流水質の悪化が見込まれる場合、水質汚濁防止法の遵守が可能となるよう水処理方法を検討する必要がある場合もある。

②電気事業法

本技術には、消化ガス発電を含むため、発電事業者として電気事業法に従った手続きを行う必要がある。

③消防法

本技術は発電機と灯油ボイラー、消化ガスボイラーを含むため、消防法に従った手続きを行う必要がある。

④建築基準法

本技術を用いた施設を導入するにあたって増設した建築物に関しては建築基準法に従った手続きを行う必要がある。

⑤ガス事業法

本技術の施設は消化ガスを製造、使用するため、ガス事業法に従った手続きを行う必要がある。

なお、掲載した関連法令はあくまで参考として例示したものであり、申請者の責任において法令を所管する行政機関に照会する等、遵守すべき法令及び関係手続きについては必ず確認すること。

§ 24 施設計画の検討

本技術の施設計画にあたり、以下の項目について検討を行う。

- (1) 汚泥量・規模の設定
- (2) 運転時間の設定
- (3) 各プロセスの設計検討
- (4) 配置計画の検討

【解説】

(1) 汚泥量・規模の設定

濃縮機については、既存脱水機を活用するため、基本的には嫌気性消化槽へ投入する汚泥量から規模を設定する。

消化槽規模は以下の式により設定する。

$$V[\text{m}^3] = \text{日平均発生汚泥量}[\text{m}^3/\text{日}] \times \text{固形物濃度}[\%] / \text{消化槽投入固形物濃度} 10[\%] \\ \times \text{消化日数} 30[\text{日}]$$

ここに、 V ：消化槽容量 $[\text{m}^3]$

日平均発生汚泥量：水処理より発生する汚泥量 $[\text{m}^3/\text{日}]$

固形物濃度：水処理より発生する汚泥の固形物濃度 $[\%]$

消化日数については30日を目安とする。

(2) 運転時間の設定

既存脱水機の2段活用に伴う運転時間については、§12の適用条件に従い脱水機稼働時間および濃縮機としての稼働時間を確認し、維持管理上問題ないことを確認する。

(3) 各プロセスの設計検討

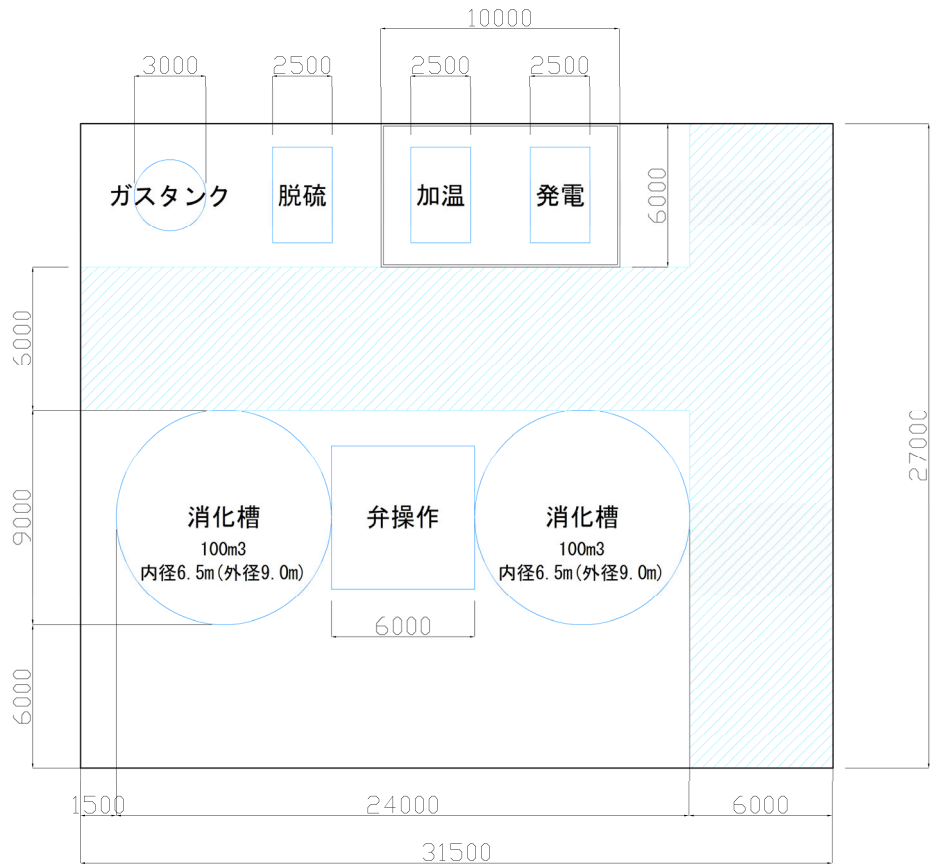
基礎調査結果と汚泥量・規模の設定に基づき、各プロセスの設備容量を計算し、設計を行う。設備設計は第2節を参照する。

(4) 配置計画の検討

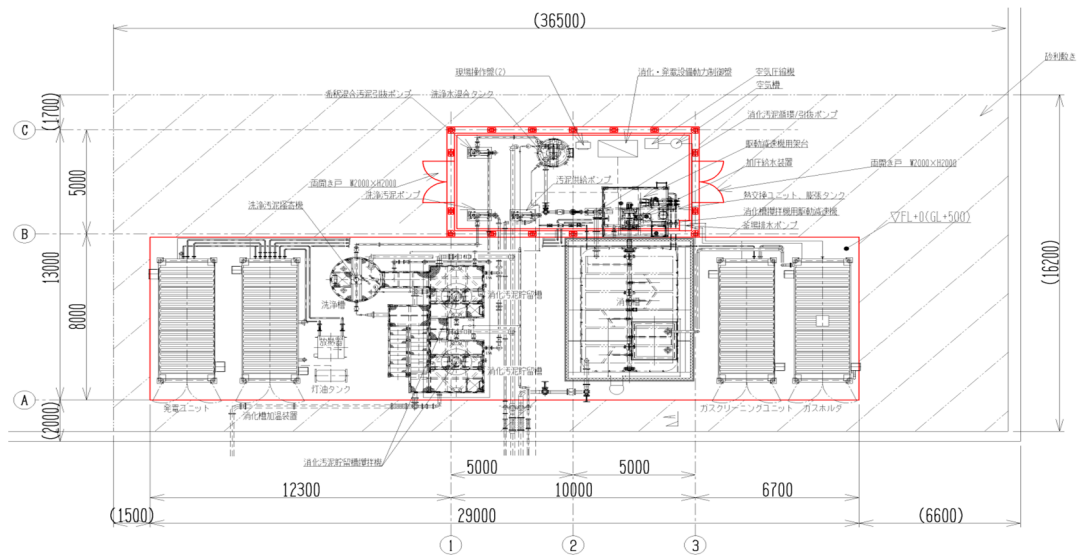
本技術では、嫌気性消化槽とガスホルダ等をコンパクト化しているため、従来方式による消化槽等の配置スペースよりは少ない面積で設置を行うことが可能である。

実証研究では、日最大処理水量4,500 $\text{m}^3/\text{日}$ 、流入水量実績2,000 $\text{m}^3/\text{日}$ の場合で必要面積が590 m^2 と従来の配置と比較して約3割削減が可能であった。

第1節 導入計画



従来技術 : 850.5m² (31.5m×27m)



本技術 : 591.3m² (36.5m×16.2m)

図 4-2 配置の検討例 (実証規模)

配置は処理場の空きスペースに配置するものとし、既存脱水機の2段活用を行うため、脱水

機棟近くに配置を行うことが望ましい。なお、各設備の具体的な配置については第2節を参照のこと。

また、他の規模に対しても同様の面積削減が得られる。なお、他の規模に（日平均流入水量10,000m³/日）対する具体的な配置検討例は資料編を参照のこと。

§ 25 導入効果の検証

施設計画の検討に基づいて導入効果について再検討を行い、§ 18 で試算した導入効果が得られるか検証する。

【解説】

§ 21 ではモデル設計に基づいた費用関数等を用いて導入効果を簡易的に試算している。ここでは、個別の下水処理場に合わせて検討した結果に基づいて総費用（年価換算値）、エネルギー消費量、温室効果ガス排出量等を評価し、導入効果を検証する。

第2節 設備設計

§ 26 設備フロー

設計を行う設備フローは、高濃度濃縮、高濃度消化、洗浄、脱水である。

【解説】

設計を行う設備フローを図 4-3 に示す。高濃度消化を行った結果、粘性が高くなるため脱水前に洗浄を行うことで脱水性の向上を図る。そのため、洗浄工程はオキシデーシオンディッチ法および標準活性汚泥法いずれの場合でも必須となる。

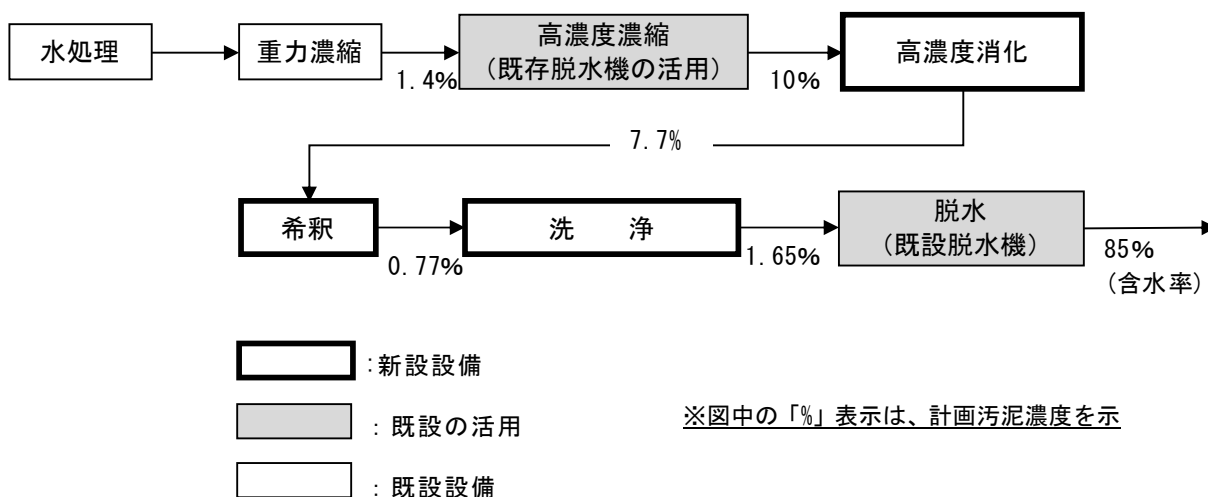


図 4-3 設計を行う設備フロー

§ 27 高濃度消化設備の設計

導入計画において設定した汚泥量等に基づき、以下について設計を行う。

- (1) 基本条件（投入汚泥濃度、汚泥量）
- (2) 高濃度消化設備

【解説】

高濃度消化設備は既存脱水機の高濃度濃縮機としての活用により高濃度に濃縮された汚泥を投入し、有機物を分解し消化ガスを発生させる設備である。本設備は主に、高濃度濃縮汚泥貯留槽、消化槽、バイオガスホルダ、消化槽加温設備、バイオガス脱硫設備により構成される。なお、各設備管の一般的な機器・配管の設計は設計指針に基づき実施する。

(1) 基本条件

消化槽設備の設計に先立ち、基本条件を設定する。主なインプット条件は以下のとおりである。

- ①消化槽投入汚泥量
- ②消化槽投入汚泥濃度
- ③周辺気象条件（気温）

周辺気象条件は消化槽加温設備設計の際の必要熱量予測に必要となる。

なお、本技術導入の際に、回分試験等を行った上で導入を検討する場合は、§ 18（4）に示すとおり、回分試験結果と実機適用時では消化率・消化ガス発生量原単位が異なる点に留意が必要である。

(2) 高濃度消化設備

本設備は消化槽、消化槽攪拌装置、消化槽加温装置からなる設備を指し、汚泥の性状に合わせてシステムを構築する必要がある。消化槽の寸法は流体解析から、槽の奥行と幅の比（L/D）が表 4-1 のように 2.0～4.0 の範囲に収まるようにする。消化槽寸法に合わせて消化槽攪拌装置を標準化することで、設計や工事工数の削減が図る。消化槽加温装置は周辺気象条件に合わせて検討する必要がある。

表 4-1 高濃度消化槽の基本仕様

横D (m)	水深D (m)	長さL (m)	水槽容量 V0(m ³)	釜場 V1(m ³)	面取部 (C500mm) V2(m ³)	計算容量 V=V0+V1-V2 (m ³)	呼称容量 (m ³)	L/D	バドル枚数						バドル 総数	
									共通	中間1	中間2	中間3	中間4	中間5		
4	4	8	128	3.2	4	127.2	125	2	1	3	4					8
4	4	9.8	156.8	3.2	4.9	155.1	150	2.45	1	3	3	3				10
4	4	13.4	214.4	3.2	6.7	210.9	200	3.35	1	3	3	3	4			14
5	5	10.7	267.5	4	5.35	266.15	250	2.14	1	3	4	3				11
5	5	12.5	312.5	4	6.25	310.25	300	2.5	1	4	4	4				13
5	5	14.3	357.5	4	7.15	354.35	350	2.86	1	3	3	4	4			15
5	5	17	425	4	8.5	420.5	400	3.4	1	4	4	3	3	3		18
5	5	18.8	470	4	9.4	464.6	450	3.76	1	4	4	4	4	3		20

§ 28 バイオガス発電設備の設計

バイオガス発電設備は以下の設備で構成される。なお、発電量は消化ガス貯蔵量に追従する形とする。

- (1) バイオガス前処理設備
- (2) バイオガス発電設備

【解説】

(1) バイオガス前処理設備

バイオガス前処理設備では、消化槽から発生したガスの貯留、特定成分（シロキサンおよび硫化水素、水分）を除去するための設備である。ガス成分の基準値の例（大原鉄工所製消化ガス発電機の場合）を表 4-2 に示す。発生するガス性状が前処理設備で基準値を満たすように機器の検討を行う必要がある。構成機器をユニット化することにより、工事工数の削減を図る。

表 4-2 ガス成分の基準値の例

項目	基準値
メタン濃度 [%]	55～65
硫化水素 [ppm]	10 以下
シロキサン [ppm]	0.02 以下

※発電機の種類によっては基準値が異なる。

(2) バイオガス発電設備

発電設備は発電機及び周辺機器から構成されている。その中でも大部分を占める発電機の大まかな設計の流れは以下のとおりである。

- 1 ガス発生量の試算
- 2 発電最大出力の算出
- 3 発電機の機種選定及び台数の決定
- 4 売電、熱回収などの要否の確認

発電機の発電量は発生するガス量、ガス濃度に大きく依存するため、ガス発生量の試算は非常に重要である。また機械の特性上、運転停止を繰り返すよりも出力制御の方が機械的負荷が少ないため、発電機は最小限の台数にした方が効率的である。また、発電機が少ないことにより導入時の初期負担を少なくできるという利点もある。仮に売電を行う場合は発電設備の方かに系統連系装置の設置が必要になる。

§ 29 既存設備の活用検討

既存脱水機の濃縮及び脱水の2段活用に対する活用検討を行う。

【解説】

本法では、既存脱水機を濃縮機としても活用する。そのため、濃縮運転と脱水運転を簡易に切り替えられるように、既存脱水機の制御プログラムを改造することが望ましい。その他、留意点を以下に示す。

(1) 処理量

既存脱水機の処理量は、濃縮運転、脱水運転ともに、既存脱水機の標準処理量とすることを基本とするが、既存脱水機の形式によっては、濃縮運転時に処理量を増やすことができる。

本法による既存脱水機の濃縮運転での処理量設定（濃縮）は、下表を標準とする。なお、脱水運転での処理量の設定は、従来と同様の考え方とする。

表 4-3 既存脱水機の処理量設定

脱水機機種	処理量設定	備考
遠心脱水機（標準型）	標準処理量	
遠心脱水機（高効率型）	標準処理量×1.5以下	低動力型も含む
ベルトプレス脱水機	標準処理量	
スクリープレス脱水機	標準処理量	

(2) 薬注率

薬注率の設定は、下表に準じる。実証研究結果より、全量余剰汚泥を消化した場合は難脱水性汚泥となるため、無機凝集剤を併用した二液調質を基本とする。

標準法汚泥を対象とした場合は、本システムにより得られる消化汚泥の VTS 等により、下表より低い薬注率で必要とする脱水性能（脱水汚泥含水率）が得られる場合もあると考えられるが、新規導入の場合、下表を標準として設備容量を計画する。

表 4-4 薬注率の設定（オキシデーシオンディッチ法汚泥の消化の場合）

凝集剤	薬注率	備考
高分子凝集剤	1.2%/TS	
無機凝集剤	35%/TS	ポリ硫酸第二鉄（有効濃度 11%）

表 4-5 薬注率の設定（標準法汚泥の消化の場合）

凝集剤	薬注率	備考
高分子凝集剤	1.7%/TS	
無機凝集剤	なし	

（3）薬注設備

薬注設備は既存脱水機で採用されていた設備を転用する。ただし、消化対象汚泥が全量余剰汚泥の場合は、本法導入対象の下水処理場が目標とする脱水汚泥含水率を得るために、無機凝集剤を併用する等の処置が必要になる。そのため、前項（（2）薬注率）に示した薬注率を参考に、従来と同様の無機凝集剤注入設備（貯留タンク＋注入ポンプ）を計画する。

（4）高濃度濃縮汚泥の移送

高濃度濃縮汚泥（濃度 10%程度）はゲル状になるため、ベルトコンベヤでは移送が難しい。そのため、高濃度濃縮汚泥の移送には、圧送ポンプかスクリーコンベヤを用いる。

（5）脱水汚泥の移送

脱水汚泥は従来の消化脱水汚泥と同様の性状を示すため、移送設備も従来と同様の設備で対応できる。そのため、配置や取り合いに問題がなければ、脱水汚泥の搬送設備は既存の設備を転用できる。

（6）消化汚泥の希釈・洗浄

高濃縮汚泥を消化すると、高濃度の消化汚泥が生成されるが、汚泥の粘性が高く、これをそのまま既存の脱水機で脱水処理することが難しい。そのため、本システムでは、脱水の前に消化汚泥を希釈・洗浄するシステムを組み合わせることを基本とする。

①希釈・洗浄システムの構成

本システムは、消化汚泥を処理水等で希釈するための希釈槽と、希釈後の汚泥を再濃縮し汚泥中の脱水阻害因子を分離する洗浄槽から構成される。希釈槽は既存設備に転用可能な設備が少ないと考えられるため、新設が基本となる。一方、洗浄槽は、従来の重力濃縮槽と同様の設備になるため、処理場内に転用可能な重力濃縮槽があれば、それを活用する。洗浄槽からの分離液は水処理へ返送する。図 4-4 に希釈・洗浄システムフローを示す。

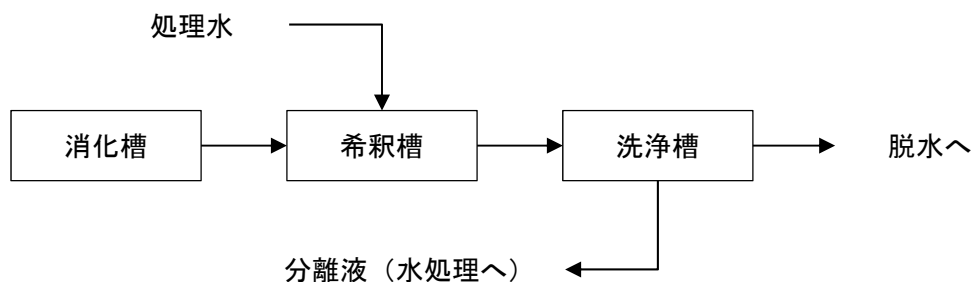


図 4-4 希釈・洗浄システムフロー

②希釈槽の形式

希釈槽は、攪拌機付きの樹脂製円筒タンクを基本とする。攪拌機はパドル式またはプロペラ式の攪拌機を標準とし、攪拌機の電動機出力は表 4-6 を参考とする。なお、仮に処理場内に、転用可能な槽（消化汚泥と希釈水を攪拌混合するための攪拌機が付属している槽）があれば、それを活用する。

表 4-6 希釈槽攪拌機の電動機出力

希釈槽容量 (m ³)	攪拌機電動機出力 (kW)
1	0.75
2	1.5
3	2.2
5	3.7

③希釈槽容量

希釈倍率を 10 倍とし、1 回あたりの消化汚泥引抜量から必要容量を設定する。

$$\text{希釈槽有効容量} = 1 \text{ 回あたりの消化汚泥引抜量} \times \text{希釈倍率 (10 倍)}$$

④洗浄槽の形式

洗浄槽は、従来の重力濃縮槽と同様の構造（円形、中央駆動式掻き寄せ機付属）とする。処理場内に転用可能な重力濃縮槽があれば、それを活用する。

⑤洗浄槽容量

洗浄槽は、従来の重力濃縮槽と同様の設計諸元を用いて設計する。

表 4-7 洗淨槽の設計諸元

項 目	諸 元
固形物負荷	60～90kg/m ² ・日
有効水深	3～4m

⑥運転方法

希釈槽と洗淨槽への負荷をなるべく均等にするため、消化汚泥の引き抜き～希釈～洗淨槽投入は、所定の消化汚泥引抜量を数～数十回のサイクルに分けて移送するように計画する。

第5章 維持管理

第1節 運転管理

§ 30 運転操作方法

本技術は、既存脱水機の2段活用部分に関しては運転を調整する必要があるが、それ以外は自動制御により運転が行われる。各設備に対する運転操作方を説明する。

- (1) 高濃度濃縮設備と脱水設備
- (2) 高濃度消化設備
- (3) バイオガス発電設備

【解説】

本技術の運転操作方法について以下に示す。

(1) 高濃度濃縮設備と脱水設備

既存脱水機を高濃度濃縮機として活用するため、交互運転となるが作業内容については脱水機運転を行う場合と変更する必要は無い。

オキシデーショondiッチ法における運転時間の例を表 5-1 に示す。この事例では脱水機運転時間が週 10.5 時間、3 日/週以内の場合となる。

表 5-1 オキシデーショondiッチ法における高濃度濃縮と脱水の運転時間の例

運転方法	AM PM	土	日	月	火	水	木	金	備考
		休止	休止	濃縮	脱水	濃縮	濃縮 脱水	濃縮	
濃縮運転時間		0	0	7	0	7	3.5	7	週運転時間：24.5h
脱水運転時間		0	0	0	7	0	3.5	0	週運転時間：10.5h

なお、高濃度濃縮および脱水機の発停のみ手動で行い、その他の運転管理項目についても上述のとおり少ないため、基本的には無人化運転が可能である。

本法では既存脱水機を高濃度濃縮機、脱水機として2段活用するが、濃縮運転と脱水運転では運転設定(処理量、薬注率等)が異なるため、運転管理においてはどちらの運転を選択するかに応じて、運転開始前に所定の設定に切り替えておく。

(2) 高濃度消化設備

消化槽の維持管理は液位、汚泥の投入量および引抜量、攪拌頻度、攪拌時間、温度などを自動制御することで工数を軽減できる。また、メタン濃度を自動で連続して計測することで、消化状態の確認を簡便化できる。

(3) バイオガス発電設備

小規模処理施設では、ガス発生量の変動や質変動が大きく、スケールデメリットにより導入コストが割高となっている。そこで、ガス発生量の変動には自動出力制御を用い、質変動には自動燃料弁制御を用いて、導入及び維持管理コストの低減を行う。

自動出力制御について、空燃比制御の場合を図 5-1 に、ガス熱量に応じた制御を図 5-2 に示す。

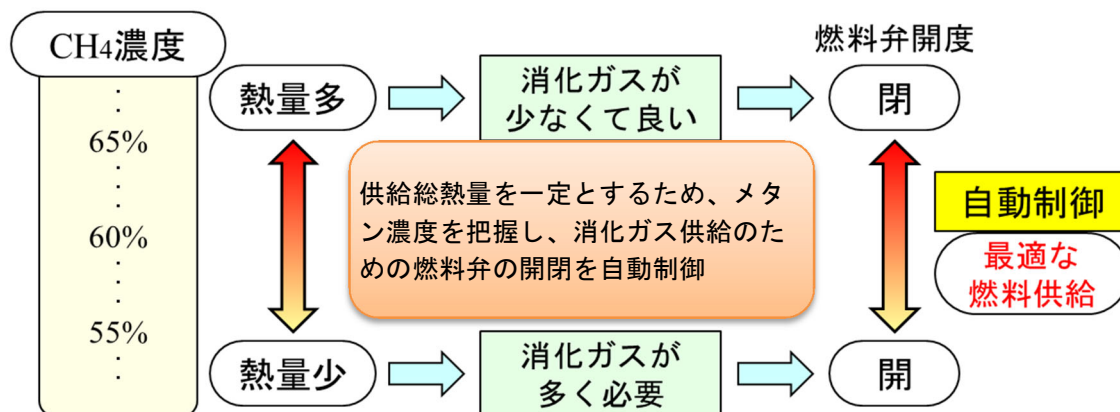


図 5-1 空燃比制御によるメタン濃度変動への自動追従

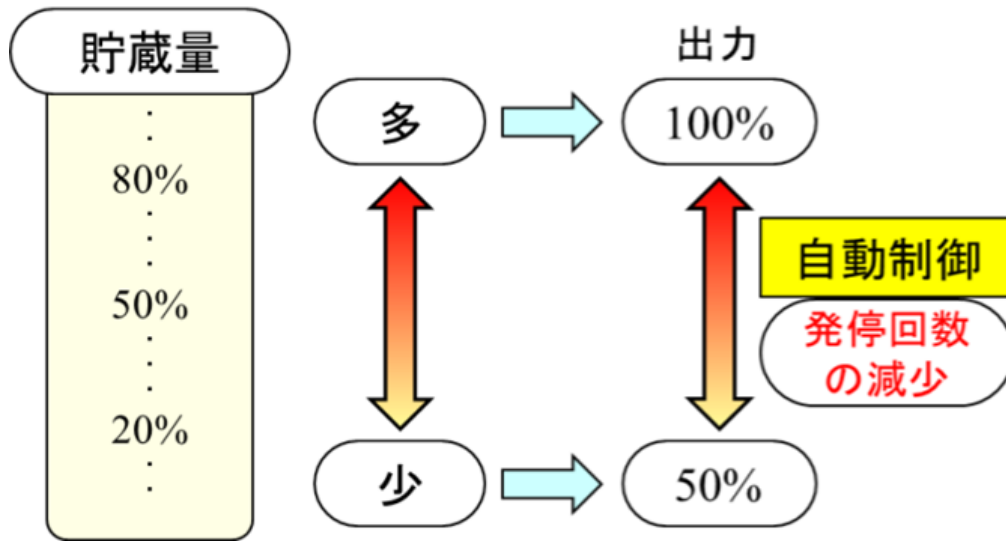


図 5-2 貯蔵ガス量に応じた自動出力制御

§ 31 運転管理項目

本技術の運転管理では、消化設備および高濃度濃縮および脱水設備に対して測定、分析を行い、適正な運転が行われていることを確認する。

【解説】

運転管理項目を表 5-2 に示す。基本的に消化槽およびバイオガス発電設備は自動制御されているため、異常時にはアラーム警報を鳴らし、アラーム警報時に確認を行うようにする。

表 5-2 運転管理項目

項目	頻度	内容
汚泥性状分析	1 回/週	日本下水道事業団の標準仕様書に準じた汚泥性状の分析を行う（生汚泥、余剰汚泥、混合汚泥、消化汚泥、希釈洗浄汚泥）。 消化状態の確認のために、§ 15 の項目の分析を行う。

なお、本技術の導入前に嫌気性消化プロセスを採用していない場合、本技術導入後は脱水対象汚泥が消化汚泥になる。脱水機の運転管理は従来と同様であるが、脱水対象汚泥が異なることで薬注率（薬注量）等の設定値を導入前から変更しなくてはならない場合もある。その場合は、消化汚泥に対して目標とする脱水汚泥含水率や固形物回収率が得られるように、設定値を調整する。

第2節 保守管理

§ 32 保守点検

本技術を長期間適用し、設備の健全性を保つために、以下の点検整備を実施する。

- (1) 日常点検
- (2) 定期点検

【解 説】

日常点検及び定期点検は、設備の健全性を保つため、機器ごとに決まった頻度で必要な項目に対し停止あるいは運転中に点検を行うものである。

表 5-3～表 5-6 に主要な機器に対する点検リストを示す。

表 5-3 点検リスト（ガスホルダー一体型消化槽）

点検項目		頻度	備考
機器	項目		
消化槽攪拌機	グラウンドパッキン部の漏水がないか	毎日	
	外観の目視検査で異常ないか	毎日	
	電流値を記録する	毎日	14.3A以下であることを確認すること
	異常音または音の急激な変化がないか	毎日	
	表面温度が異常に高くないか 周囲温度+60℃以内であるか。	毎日	
	サイトグラスより消化槽の内部を目視確認し異常がないか	毎日	発泡、異物等の有無を確認する
	掘付ボルトに緩みがないか	毎週	
	駆動減速機の油量が範囲内におさまっているか	毎週	
	給油		給油リストによる。
汚泥引抜ポンプ	異常音・振動がないか	毎日	
	外観の目視検査で異常ないか	毎日	
ガスバック室	水封弁水位記録（太い側、下面から何cmか）	毎日	
	水封弁水位記録（細い側）	毎日	
エアコンプレッサー	水抜きを行う	毎日	
	異常音・振動の有無はないか	毎日	
	圧力表示値の記録	毎日	
	吸引ろ過器フィルターの清掃	1ヶ月毎	
エアポンプ	供給エア量メータの記録	毎週	
	フィルターの点検清掃	3ヶ月毎	
温水循環ポンプ (ポンプ後を記録すること)	圧力表示記録	毎日	
	異常音・振動はないか	毎日	
熱交換ユニット (吐出側を記録すること)	温度表示記録	毎日	
	圧力表示記録	毎日	
加圧給水ユニット	異常音・振動はないか	毎日	
	圧力表示記録	毎日	
メタン発酵	TS測定	毎日	
	pH測定	毎日	

表 5-4 点検リスト（ガスクリーニングユニット）

点検項目			備考
機器	項目	頻度	
除湿機 クーラー	温度表示値記録（クーラーの前面パネルの値を記録すること）	毎日	
	フィルターの目詰まり確認・清掃をおこなう。	毎月	
	冷却部の水位がパイプより上にあるか	毎日	冷却部の結露の位置から判断する
脱硫装置	外観の目視検査で異常ないか	毎日	
シロキサン除去装置	外観の目視検査で異常ないか	毎日	
ガスブースター	異常音・振動の有無	毎日	ガスパックレベルによる間欠運転
	吐出圧の記録	毎日	ガスパックレベルによる間欠運転
	Vベルト目視、張力の点検	3ヶ月毎	
ガス分析計	酸素(O ₂)濃度の記録	毎日	盤にデータが取り込まれていることを確認
	硫化水素(H ₂ S)濃度の記録	毎日	盤にデータが取り込まれていることを確認
	メタン(CH ₄)濃度の記録	毎日	盤にデータが取り込まれていることを確認
	サンプリング管に水が溜まってないか	毎日	

表 5-5 点検リスト（消化槽加温装置）

点検項目			備考
機器	項目	頻度	
灯油ボイラー	運転動作(機能保全のため)を行う	3ヶ月毎	
	周囲に可燃物がないことを確認する	使用前	
	排気筒の損傷、詰りがないことを確認する	使用前	
	油タンク、送油経路において油にじみがないことを確認する	使用前	
灯油タンク	残量確認	使用前	
	防油堤の状況	使用前	内部に雨水があれば水抜きを行う
消化ガスボイラー	周囲に可燃物がないことを確認する	毎日	
	排気筒の損傷、詰りがないことを確認する	毎日	
灯油ボイラー温水循環ポンプ	圧力表示値の記録	毎日	
	異常音・振動はないか	毎日	
	流量の記録	毎週	
消化ガスボイラー温水循環ポンプ	圧力表示値の記録	毎日	
	異常音・振動はないか	毎日	
	流量の記録	毎週	
ガス発電機温水循環ポンプ	圧力表示値の記録	毎日	
	異常音・振動はないか	毎日	
	流量の記録	毎週	
放熱器	異常音・振動はないか	動作時	
	配管を目視確認し異常がないか	毎週	
	ファンの状態を目視確認し、異常がないか	毎週	
加圧給水ユニット	異常音・振動はないか	毎日	
	圧力表示値の記録	毎日	

表 5-6 点検リスト（バイオガス発電設備）

点検整備項目		点検実施要領		
点検箇所	項目			
発電機本体	運転中の異音及び振動	異音や通常時と異なる振動が無いことを確認する。		
	出力の確認	出力（50kW）、電圧（400V）であることを確認する。		
原 動 機	本体	排気の状態	異常な煙を排出していないか目視確認する。	
	潤滑装置	油量	月1回、発電機を停止しレベルゲージにて油面位置を確認する。	
			エンジンオイル予備タンク油量を確認し、少ない場合は発電機を停止し補給する。	
		油漏れ	発電機内外に油漏れが発生していないことを確認する。	
	燃料装置	配管の亀裂	目視確認。亀裂を発見した場合、直ちに発電機を停止する。	
	冷却装置	水量	リザーブタンク内の液量が規定の範囲内にあることを確認し、少ない場合は補給する。	
		ファン・ベルトの回転状態	通常時と異なる異音や振れがないことを確認する。	
		水漏れ	水漏れが無いことを確認する。	
		ホースの亀裂及び損傷	目視確認。	
	エンジンマウンティング	亀裂	目視確認。	
エクゾースト・パイプ及びマフラー	取り付けの緩み及び損傷	目視確認。		

※日常点検項目

第3節 緊急時等の対応

§ 33 緊急時等の対応

緊急時・異常時として考えられる項目に対し、以下に示す対応を行いつつ、原因を取り除く工夫も行う。

- (1) 入口条件が大きく変動した場合
- (2) 脱水機故障時

【解説】

(1) 入口条件が大きく変動した場合

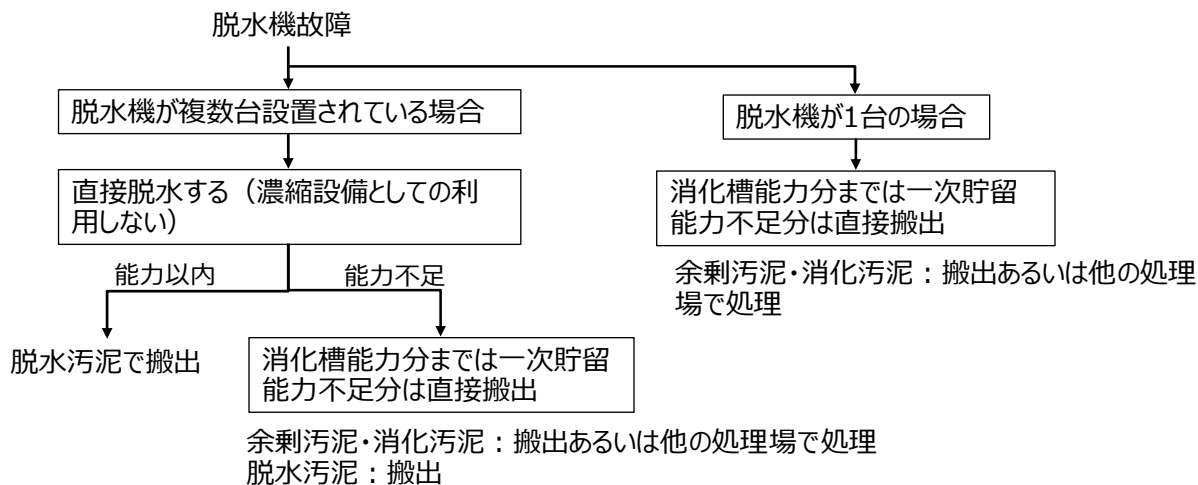
既存脱水機の2段階活用による濃縮性が安定しない場合は、機械条件を変更し目標値（10%程度）に近づける運用を行う必要がある。高濃度側へ偏った場合は、高濃度消化槽への影響（発酵阻害）を考慮し、特に注意する必要がある。

表 5-7 入口条件が大きく変動した場合の対処方法

異常内容	対処方法
異常流入 (水量) など	(2段階活用脱水機：高濃度濃縮) ・機械条件の変更に加え、運転時間の延長および処理量の増加で対応する。 (高濃度消化) ・前段の濃縮工程で対処可能なためリスクは無い。
異常流入 (性状) など	(2段階活用脱水機：高濃度濃縮) ・流入の性状が不安定となり、濃縮性が目標値（10%程度）を達成できない場合は、機械条件（実証機の場合は、差速、葉注率、遠心効果等）を手動にて変更し、目標値に近づけるよう運転管理を行う必要がある。高濃度側に偏った場合は、次回運転にて高濃度消化技術（横軸パドル式消化槽）への投入負荷を考慮した運転条件を設定する。 (高濃度消化) ・性状が濃く負荷が高い場合は処理水等で希釈できる機能を有している。
異常流入 (異物) など	(2段階活用脱水機) ・異常の程度によるが、機械の故障に繋がるような大きな異常（振動など）を検知した場合、機械を停止させ、維持管理者による手作業や清掃にて事象を解消する必要がある。 (高濃度消化) ・前段の濃縮工程で対処可能なためリスクは無い。 ・長期間使用し、沈砂等が堆積した場合は浚渫する。

(2) 脱水機故障時

基本的には本技術を導入している処理場の既存の考え方に従うが、図 5-3 に対応案を示す。



※直接脱水：濃縮処理を行わず、発生汚泥をそのまま消化槽へ投入し消化汚泥を脱水する。

図 5-3 脱水機故障時の対応案

表 5-8 に示すとおり脱水機 2 台運転を行っている処理場において、脱水機が 1 台運転できない状況になった場合、他の 1 台の運転時間を延長することで対応する。

なお、ここで想定している運転時間は、本技術適用前の計画運転時間として日最大汚泥量に対し 8 時間/日である。

表 5-8 脱水機 2 台運転時の 1 台故障時対応

項目		イメージ図	
システム導入前	通常時		
	故障・修繕時		停止機の処理量分を他の脱水機でカバー
システム導入後	通常時		脱水機の総運転時間は導入前の 1.5 倍
	故障・修繕時		停止機の処理量分を他の脱水機でカバー

システム導入前の脱水機の計画運転時間が 8 時間/日よりも短い場合や、脱水機の設置台数が多い場合は更に余裕が生まれる。また、日最大汚水量を基準とした処脱水機理能力に対し、日常的には日平均汚水量で処理することになるため、これも余裕分としてカウントされる。

なお、既設で脱水機が 1 台しか設置されていない場合や、上記の対応では脱水機の必要運転時間が不足する (24 時間/日を超える) 場合は、緊急対応として、直接搬出する等の方策が考えられる。

参考文献

- 1) 下水道施設計画・設計指針と解説-2009 年版- (公社) 日本下水道協会
- 2) 下水道用語集 2000 年版 (社) 日本下水道協会
- 3) 下水汚泥広域利活用マニュアル 2019 年 国土交通省水管理・国土保全局 下水道部
- 4) Anthonisen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam, and E.G. Srinath (1976) Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid (アンモニアと亜硝酸による硝化の阻害) *Journal of Water Pollution Control Federation*, 48 (5), 835-852.

資料編

1	実証研究結果	76
1.1	実証研究概要	76
1.1.1	実証設備	78
1.1.2	実証工程	79
1.2	実証目標と成果	80
1.3	実証結果	83
1.3.1	脱水機を用いた高濃度濃縮技術	84
1.3.2	脱水運転時の最適化条件	93
1.3.3	高濃度消化技術	107
1.3.4	設備コンパクト化・ユニット化	129
1.3.5	バイオガス発電技術	136
2	ケーススタディ	142
2.1	費用関数設定条件	142
2.1.1	対象処理場条件	142
2.1.2	試算条件	142
2.2	費用関数設定	143
2.2.1	OD法	143
2.2.2	標準活性汚泥法	148
2.3	ケーススタディ事例	153
3	問い合わせ先	156

1 実証研究結果

1.1 実証研究概要

(1) 研究名称

小規模下水処理場を対象とした低コスト・省エネルギー型高濃度メタン発酵技術

(2) 実施者

(株) 大原鉄工所・西原環境 (株)・(株) N J S・長岡技術科学大学・北海道大学・長岡市共同研究体

(3) 実証期間

平成 30 年度委託研究：平成 30 年 8 月 28 日～平成 31 年 3 月 29 日

令和元年度委託研究：令和元年 8 月 10 日～令和 2 年 3 月 31 日

自主研究：令和 2 年 4 月 1 日～令和 2 年 7 月 31 日

※本資料には、自主研究期間のデータも合わせて記載する。

なお、本編における各数値には自主研究期間のデータは含まれない。

(4) 実証場所

表 資 1-1 に実証場所である新潟県長岡市中之島浄化センターの施設概要を示す。

中之島浄化センターは平成 9 年 4 月の供用開始から 22 年を経過しており、電気・機械設備の老朽化がみられる。

また、最終生成物である脱水ケーキは、搬出後民間企業にて焼却処分されているが、その民間委託費は 16,000 円/wet-t と高額であり、下水道事業の経営改善のため、施設維持管理費の縮減が求められている。

今回の実証試験では重力濃縮槽から発生する重力濃縮汚泥全量を対象とし、既設汚泥処理棟の北東にあるスペースに実証設備を建設した。

表 資 1-1 中之島浄化センターの施設概要

項目	内容
処理場名	長岡市 中之島浄化センター
供用開始	平成 9 年度
現有水処理能力	4,500m ³ / 日 (日最大)
流入水量実績	2,520m ³ / 日 (日最大)
水処理方式	OD 法
汚泥処理方式	重力濃縮→機械脱水 (ベルトプレス) →外部搬出処分

図 資 1-1 に中之島浄化センターの処理フローを示す。

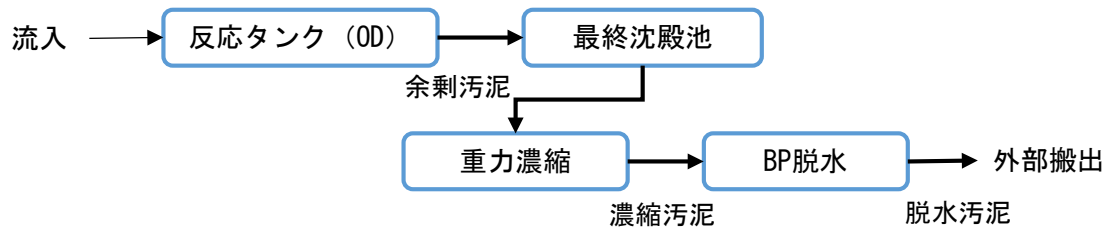


図 資 1-1 中之島浄化センター 処理フロー

図 資 1-2 に中之島浄化センターの場内配置図を示す。

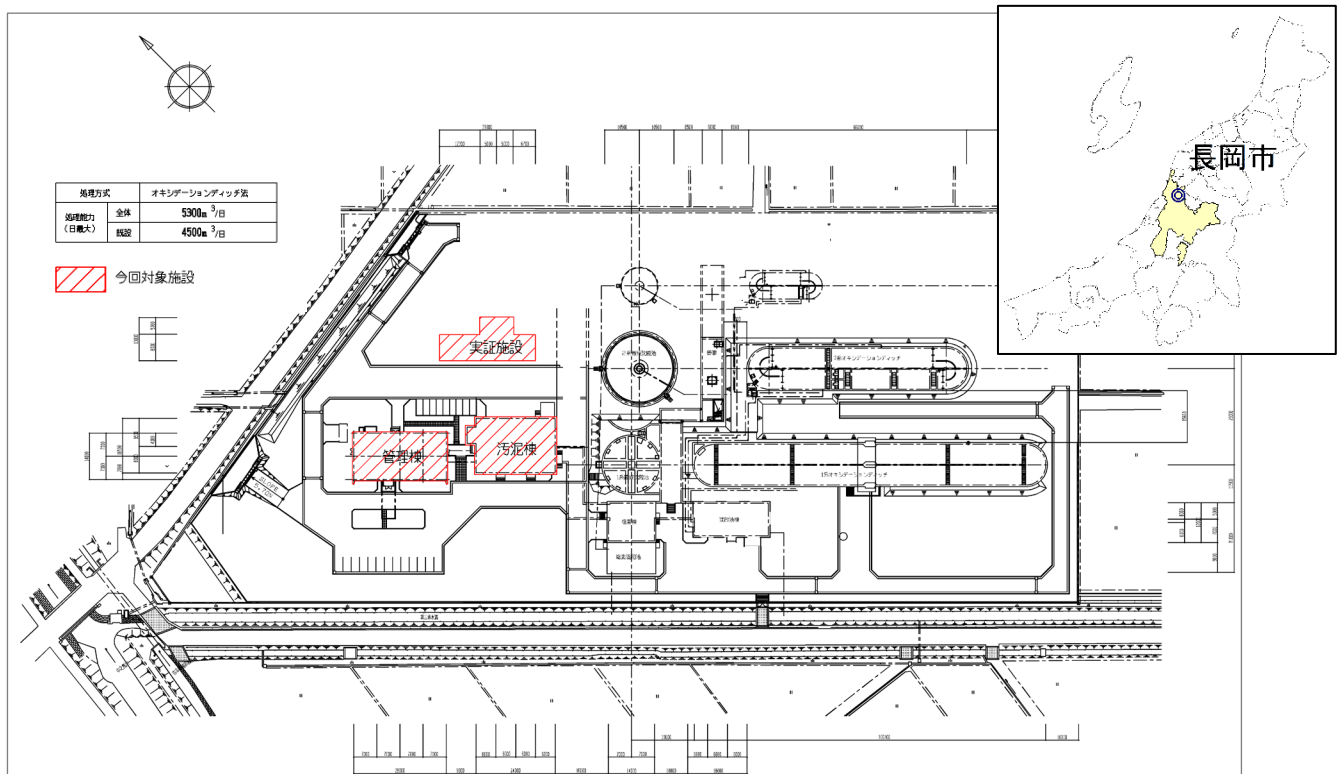


図 資 1-2 中之島浄化センター 場内配置図

1.1.1 実証設備

図 資 1-3 に実証フローと要素技術の概要、表 資 1-2 および表 資 1-3 に実証設備の設計諸元を示す。

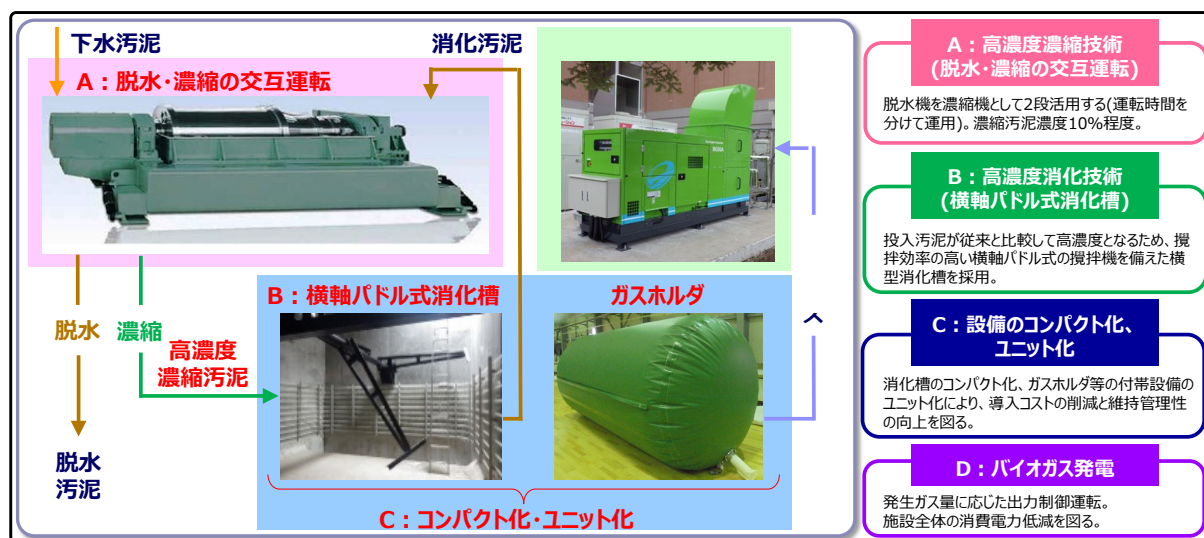


図 資 1-3 実証設備フロー

表 資 1-2 高濃度消化槽設計諸元

項目	設計諸元
消化槽型式	横型消化槽
攪拌方式	横軸パドル式
投入汚泥濃度	TS10%程度 (含水率 90%程度)
消化槽サイズ	L: 4m × W: 6m × H: 4m
滞留日数 (HRT)	30 日
消化温度	37°C
消化率	40%以上 (目標値)
バイオガス発生量	0.3N m ³ /投入 VS-kg (目標値)

表 資 1-3 バイオガス発電機設計諸元

項目	設計諸元
型式	ガスエンジン式
定格出力	25kW
出力調整幅	50~100%
電圧	3φ、200V
周波数	50Hz

1.1.2 実証工程

表 資 1-4 に実証工程を示す。

表 資 1-4 実証工程（上段：平成 30 年度、下段：令和元年度）

工事内容	年度 月	平成30年度									
		9	10	11	12	1	2	3			
1.申請・届出関係		-----									
2.土木・建築関係											
土木工事				=====	=====	=====					
防食塗装工事					=====	=====	=====				
建築工事								=====		-----	
3.設備関係											
1)濃縮・脱水設備											
機器製作		=====	=====								
現場施工				=====	=====	=====	=====				
2)消化・発電設備											
機器製作		=====	=====	=====	=====						
現場施工								=====	=====	-----	
4.試運転・データ採取										----->	
5.成果報告等											
				▽第1回検討会				▽現地説明会			
								第2回検討会▽		評価委員会▽	

研究内容	年度 月	R1年度												R2年度(自主研究)				
		4月	5月	6月	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	
1.高濃度濃縮技術																		
安定運転の検証		-----																
維持管理性の検証		-----																
評価期間(外注分析する期間)								夏	秋					冬				春
2.高濃度消化技術																		
消化効率検証		-----																
評価期間(外注分析する期間)								夏	秋					冬				春
補正値の妥当性の検討(連続試験)		-----																
3.設備コンパクト化・ユニット化																		
評価・検証		-----																
必要に応じて		-----																
4.バイオガス発電																		
発電量検証								=====	=====	=====	=====	=====						
必要に応じて		-----																
全体の効果		-----																
必要に応じて		-----																
成果報告等								第1回検討会▽						▽第2回検討会	▽第3回検討会			
									現地説明会▽						評価委員会▽			

————— 計画 ————— 実施

1.2 実証目標と成果

実証研究の成果は、本システムを構成する4つの技術とその評価項目・目標値およびシステム全体の効果に分類し整理を行った。本実証研究における成果概要を表資1-5に示す。

表資1-5 実証研究の成果概要

技術		評価項目	評価指標	目標値	令和元年度 実証試験状況	令和元年度 実証成果
A	脱水機を用いた高濃度濃縮技術	濃縮運転の安定性	汚泥濃度	(日平均) 濃縮汚泥濃度 10 % (±1%)	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。 ※運転条件(遠心効果、差速、薬品注入率)を可変させ、濃縮汚泥濃度、SS回収率の傾向を確認した。	【実証施設遠心脱水機実証成果】 ・遠心効果の低下に伴い濃縮汚泥濃度が低下する傾向であった。 ・最適値 夏期、秋期：600 G 冬期：800 G ・高濃度濃縮時の薬品添加率の最適値は夏期 0.87%/TS、秋期 0.60%/TS、冬期 0.80%/TS であり脱水時の30~70%程度で運転可能であった。 ・差速の増加に伴い濃縮汚泥濃度が低下する傾向であった。 ・最適値 夏期、秋期：10.0min ⁻¹ 冬期：9.0min ⁻¹ ・傾向確認試験の結果を基に連続運転を実施し安定性の確認を行った結果、いずれの期間においても目標値を満足することができた。
			(日平均) SS回収率 95 %以上	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。	分離液は常に良好で目標値のSS回収率95 %以上が得られた。	(日平均) SS回収率95 %以上
		脱水運転の安定性	含水率	(日平均) 含水率 85 %以下	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。 ※運転条件(差速、薬品注入率)を可変させ、濃縮汚泥濃度、SS回収率の傾向を確認した。	【実証施設遠心脱水機実証成果】 ・脱水時の高分子凝集剤の薬品添加率の最適値は夏期 2.30 % / TS、秋期 2.20 % / TS、冬期 1.20% / TSであった。冬期は含水率の低下が困難となり、凝集剤の変更を行ってポリ鉄併用とした。ポリ鉄の最適添加量は3,400 ppm(体積比)であった。 ・差速の低下に伴い脱水汚泥含水率が低下する傾向であった。

資料編

技術		評価項目	評価指標	目標値	令和元年度 実証試験状況	令和元年度 実証成果
A	脱水機を用いた高濃度濃縮技術	脱水運転の安定性	含水率	(日平均) 含水率 85 %以下	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。 ※運転条件(差速、薬品注入率)を可変させ、濃縮汚泥濃度、SS回収率の傾向を確認した。	・最適値 夏期: 1.8 min ⁻¹ 秋期: 2.5 min ⁻¹ 冬期: 3.2 min ⁻¹ ・傾向確認試験の結果を基に連続運転を実施し安定性の確認を行った結果、いずれの期間においても目標値を満足することができた。
			SS回収率	(日平均) SS回収率 95%以上 (遠心脱水機)	実証施設の遠心脱水機で夏期、秋期、冬期の実証試験を実施。	・分離液は常に良好で目標値のSS回収率95%以上が得られた。
		維持管理性	維持管理時間・人工	維持管理時間・人工、点検項目数が従来技術未滿	実証施設での検討を実施	・脱水機の故障時対応方法についてまとめた。 ・維持管理時間や人工等については比較対象と同程度になることを確認した。
B	高濃度消化技術	消化効率	消化率	消化率 40 %以上	令和元年7月に消化槽立ち上げ完了その後、HRT30日にて試験継続し、夏季、秋季、冬季のデータを採取	目標値達成 実規模実証施設の消化率は32.3%だが、本編§18(4)に示す連続試験であることを加味しての補正をかけることで目標値40%を達成した。
			バイオガス発生量	バイオガス発生量 0.3 Nm ³ /投入 VS-kg	令和元年7月に消化槽立ち上げ完了その後、HRT30日にて試験継続し、夏季、秋季、冬季のデータを採取	目標値達成 実規模実証施設のバイオガス発生量は0.22 Nm ³ / 投入 VS-kgだが、本編§18(4)に示す連続試験であることを加味しての補正をすることで目標値0.30 Nm ³ / 投入 VS-kgを達成した。

資料編

技術		評価項目	評価指標	目標値	令和元年度 実証試験状況	令和元年度 実証成果
C	設備コンパクト化・ユニット化	維持管理性	維持管理動線・維持管理時間	維持管理動線・維持管理時間、点検箇所数が従来技術未満	今回実証規模について算出、評価を報告する。	目標達成 従来技術規模と比較し、年間 10 km（約 2 時間）の維持管理動線の削減。 点検箇所数の減少。
		必要敷地面積	必要敷地面積	必要敷地面積削減率 30 %	今回実証規模について算出、評価を報告する。	今回実証規模における必要敷地面積削減率 30 % 従来技術必要敷地面積 850.5 m ² 革新的技術必要敷地面積 591.3 m ²
		費用	建設費	従来技術と比較し 40 %削減	今回の実証規模について報告を行う	今回実証規模における建設費 削減率 46 % 従来技術 建設費 40.4 百万円 / 年 革新的技術 建設費 21.8 百万円 / 年
D	バイオガス発電	発電電力	発電電力量	ガス発生量に追従した発電制御運転の確立	11月8日から系統連系を開始した。 1月13日から発電機の稼働時間を自動制御した運転を開始した。	目標達成 運転可能条件時に発電機が自動で運転・停止を繰り返すことを確認した。
全体の効果 (FS等)		費用	建設費および維持管理費	従来技術と比較し、建設費+維持管理費の合計で 40%削減	日最大処理水量 12,500 (m ³ / 日) にて評価を行う。(本実証研究のテーマ応募時に国より試算条件として提示させた施設規模)	建設費+維持管理費 : 削減率 40 % 従来技術 : 165.8 百万円 / 年 革新的技術 : 98.1 百万円 / 年
		省エネ	年間消費電力量		日最大処理水量 12,500 (m ³ / 日) にて評価を行う。(本実証研究のテーマ応募時に国より試算条件として提示させた施設規模)	電力量 : 削減率 22 % 従来技術 : 電力量 185.62 千 kwh / 年 革新的技術 : 電力量 144.69 千 kwh / 年
		省 CO ₂	年間発生 CO ₂		日最大処理水量 12,500 (m ³ / 日) にて評価を行う。(本実証研究のテーマ応募時に国より試算条件として提示させた施設規模)	温室効果ガス排出量 : 削減率 4.4 % 従来技術 : CO ₂ 944 t-CO ₂ / 年 革新的技術 : CO ₂ 902 t-CO ₂ / 年

1.3 実証結果

本項で示す A, B および D 技術に関する最適運転条件および質的・量的変動に対する処理の安定性について、概要を表 資 1-6 に示す。

表 資 1-6 最適運転条件と安定性

項目	最適運転条件	安定性
A : 脱水機を用いた高濃度濃縮	<ul style="list-style-type: none"> ・遠心効果 : 600 ~ 800 G ・差速 : 9.0 ~ 10.0 min⁻¹ ・薬注率 : 0.6 ~ 0.87 %/TS 	<ul style="list-style-type: none"> ・濃縮汚泥濃度 : 8.9 ~ 10.9 % (平均 : 9.72 %)
A : 脱水機を用いた消化汚泥脱水 (全量余剰)	<ul style="list-style-type: none"> ・遠心効果 : 2,000 G ・差速 : 3.2 min⁻¹ ・薬注率 : <ul style="list-style-type: none"> ○高分子のみ (一液) 高分子 2.2 ~ 2.3 %/TS ○無機併用 (二液) 高分子 1.2 %/TS 無機 3,400 ppm (流量比) 	<ul style="list-style-type: none"> ・脱水汚泥含水率 : 84.5 ~ 85.0 % (平均 : 84.8 %)
B : 高濃度消化	<ul style="list-style-type: none"> ・投入汚泥の pH : 6.4 ~ 7.2 ・有機酸 : 1000 mg-Ace./L 以下 ・遊離アンモニア : 400 mg/L 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・ガス発生量 : 0.17~0.26Nm³ / kg-投入 VS (平均 0.22 Nm³ / kg-投入 VS) ・消化率 : 22 ~ 39 % (平均 32.3 %) ・pH : 7.5 ~ 8.2 (平均 7.8) ・遊離アンモニア : 61 ~ 370 mg / L (平均 198 mg/ L) ・有機酸 : 14 ~ 97 mg-Ace./L (平均 48 mg-Ace./L) ・脱硫後メタン濃度 : 54 ~ 61 % (平均 58 %)
D : バイオガス発電	<ul style="list-style-type: none"> ・脱硫後メタン濃度 : 55 ~ 65 % ・脱硫後二酸化炭素濃度 : 35 ~ 45 % ・脱硫後硫化水素 : 10 ppm 以下 ・発電電力 : 20 kW にて自動制御運転 	<ul style="list-style-type: none"> ・発電電力量 : 540 ~ 648 kWh / 週 (平均 582 kWh / 週)

1.3.1 脱水機を用いた高濃度濃縮技術

a) 設計諸元

既設脱水機を高濃度濃縮と脱水で2段活用する場合の設計諸元は以下のとおりである。

表 資 1-7 既設脱水機を2段活用する場合の設計諸元

運転方法	汚泥濃度（含水率）
高濃度濃縮時	TS10%程度（含水率 90%程度）
脱水時	TS15%以上（含水率 85%以下）

b) 高濃度濃縮運転における最適化条件

高濃度濃縮運転は通常の脱水運転から濃縮汚泥濃度が低く（脱水汚泥含水率が高く）なるように各操作因子の調整を行う。

各操作因子と濃縮汚泥濃度の傾向は汚泥性状や使用している凝集剤等の影響により変化するため、状況に合わせた調整を行う。

1) 調査概要

① 調査項目

本研究では2段活用脱水機として遠心脱水機を採用し新設している。この脱水機を用いて高濃度濃縮運転を行い検証した。検証内容は、以下の3項目について確認を行った。

なお、以降の実証結果の「春季」は、実証研究終了後に自主研究として実施した研究の結果である。

- i) 汚泥性状変動の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- ii) 遠心効果や薬注率、差速の運転条件の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- iii) 連続運転時の安定性（夏期、秋期、冬期、春期）

② 分析項目

分析項目を表 資 1-8 に示す。

表 資 1-8 調査分析項目

		検体名	分析項目	備考
汚泥性状 変動調査	夏期、秋期、 冬期、春期	余剰汚泥	TS、SS、VS、pH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
運転条件 傾向調査	夏期、秋期、 冬期、春期	余剰汚泥	TS	現地分析
		高濃度濃縮汚泥	TS	
		分離液	目視による確認	
安定性 確認調査	夏期、秋期、 冬期、春期	余剰汚泥 詳細分析	TS、SS、VS、pH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
		余剰汚泥	TS、SS、VTS	
		濃縮汚泥	TS	
		分離液	SS	

2) 調査結果

① 汚泥性状

夏期、秋期、冬期の調査時の余剰汚泥の分析結果を表 資 1-9 に示す。

表 資 1-9 余剰汚泥分析結果

	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
						%/TS	%/TS	
夏期調査 (9月)	1.49	1.38	84.8	280	0.433	3.0	10.1	39.7
	1.49	1.39	84.7					
	1.51	1.41	84.8					
	1.49	1.39	84.9					
秋期調査 (11月)	1.45	1.36	87.1	170	0.456	4.1	18.4	46.9
	1.48	1.34	87.3					
	1.47	1.36	87.2					
	1.47	1.35	87.4					
冬期調査 (1月)	1.48	1.39	87.5					
	1.28	1.25	87.2	190	0.455	4.2	22.7	47.7
	1.31	1.24	87.2					
	1.34	1.11	87.3					
春期調査 (5月)	1.32	1.17	87.9					
	1.30	1.23	87.8					
	1.29	1.14	88.1	170	0.500	3.1	14.5	47.6
	1.29	1.14	87.9					
	1.31	1.13	88.1					
	1.30	1.16	88.1					
	1.33	1.11	88.0					

※春期調査は自主研究期間データ

夏期と比較して秋期冬期は TS や SS の値が若干低下し、VS の値が高くなる傾向がみられた。

② 運転条件傾向調査

i) 遠心効果

夏期 ～ 春期に実施した遠心効果の傾向調査結果を図 資 1-4 ～図 資 1-7 に示す。

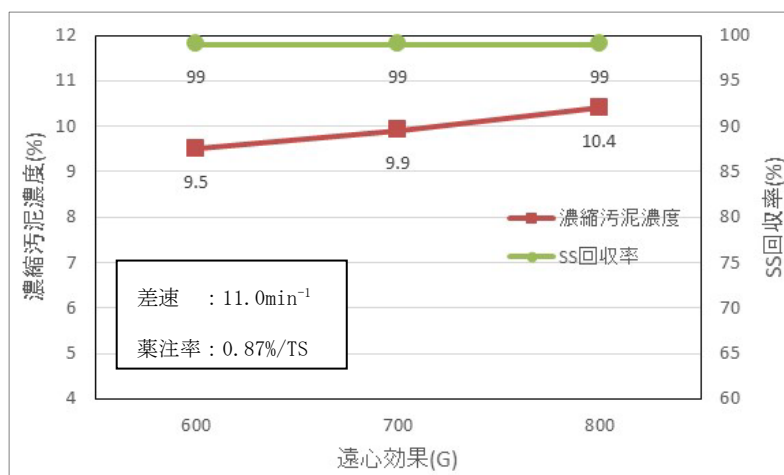


図 資 1-4 夏期調査時遠心効果傾向

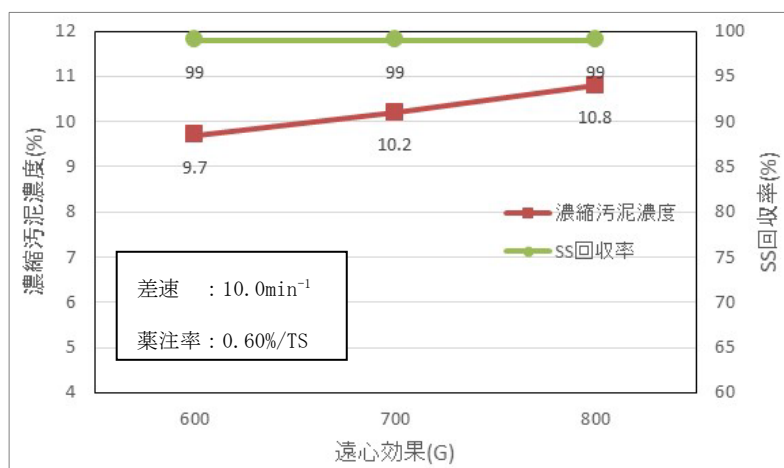


図 資 1-5 秋期調査時遠心効果傾向

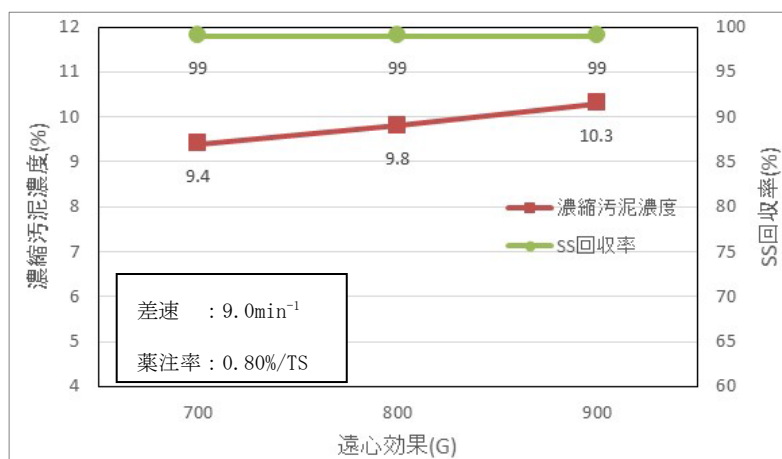


図 資 1-6 冬期調査時遠心効果傾向

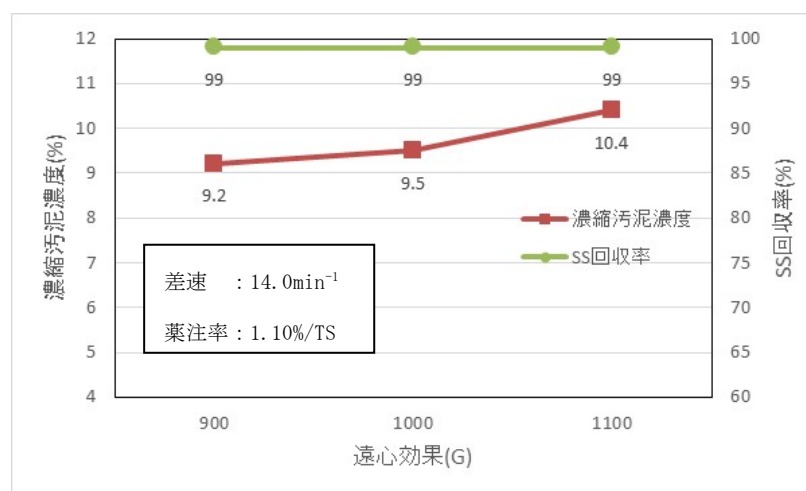


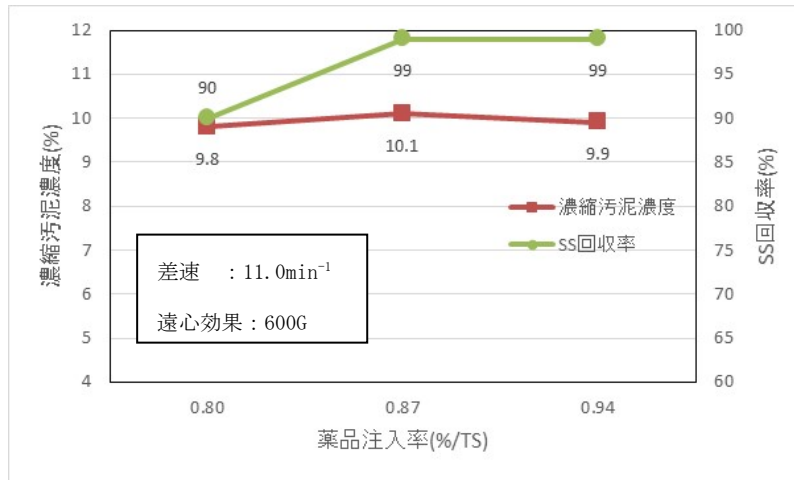
図 資 1-7 春期調査時遠心効果傾向

※春期調査は自主研究期間データ

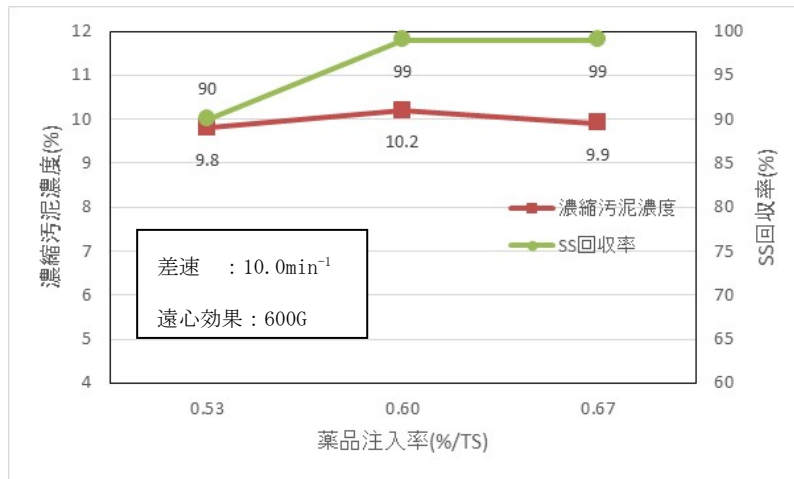
いずれの調査時においても遠心効果の上昇とともに濃縮汚泥濃度が高くなる傾向を示した。最適な遠心効果は夏期調査と秋期調査時で 600 G、冬期調査時で 800 G、春期調査で 1100G と判断した。

ii) 薬品注入率

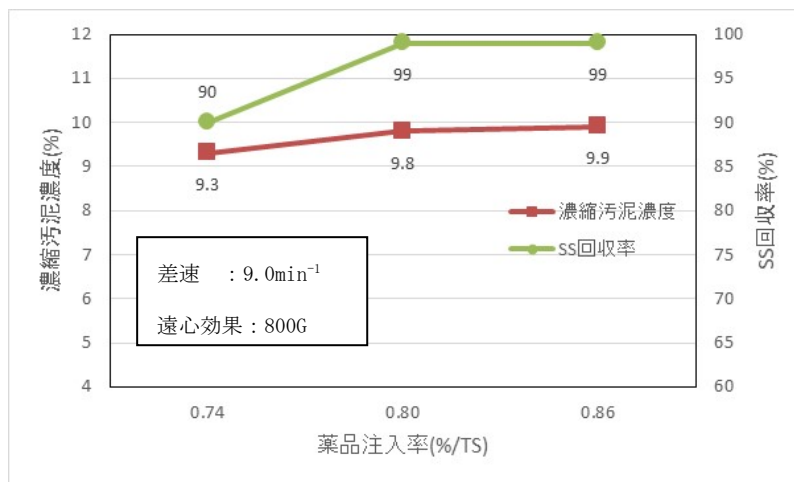
夏期～春期に実施した高分子凝集剤の薬品注入率の傾向調査結果を図 資 1-8 ～図 資 1-11 に示す。



圖資 1-8 夏期調査時藥品注入率傾向



圖資 1-9 秋期調査時藥品注入率傾向



圖資 1-10 冬期調査時藥品注入率傾向

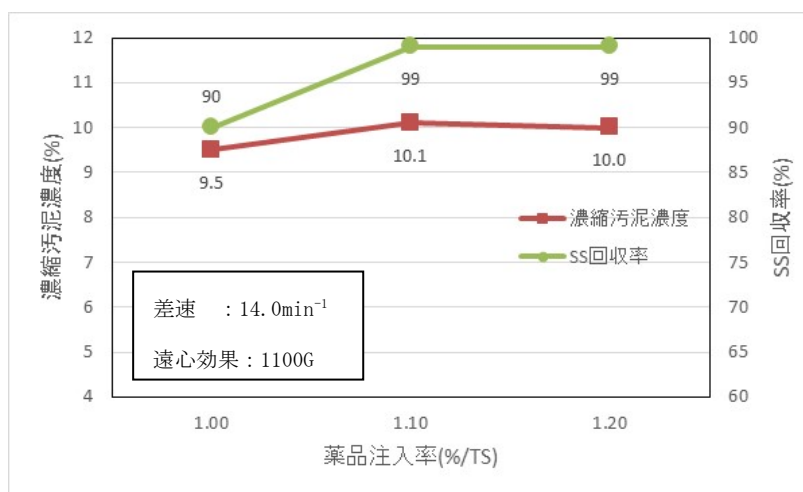


図 資 1-11 春期調査時薬品注入率傾向

※春期調査は自主研究期間データ

夏期～春期の期間、高濃度濃縮運転での高分子凝集剤の薬品注入率は0.60 ～ 1.10 % / TS程度であった。冬期および春期は消化汚泥の脱水状況により高分子凝集剤を変更したが高濃度濃縮運転における薬品注入率に関して差異は見られなかった。

iii) 差速

夏期～春期に実施した差速の傾向調査結果を図 資 1-12～図 資 1-15 に示す。

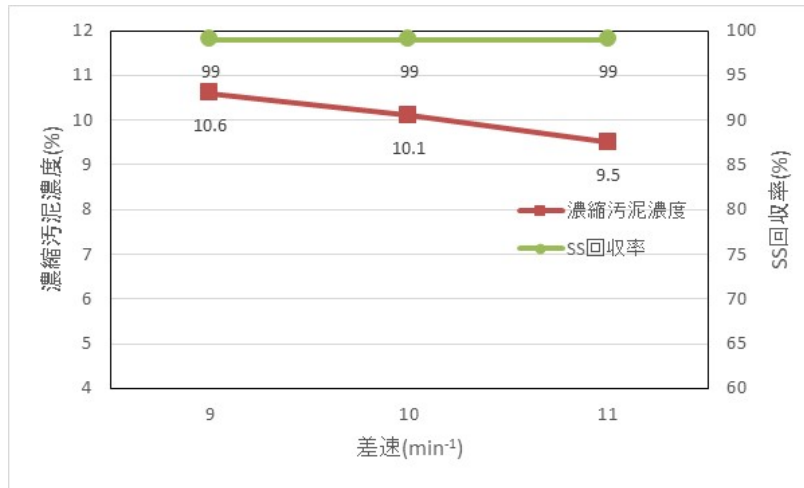


図 資 1-12 夏期調査時差速傾向

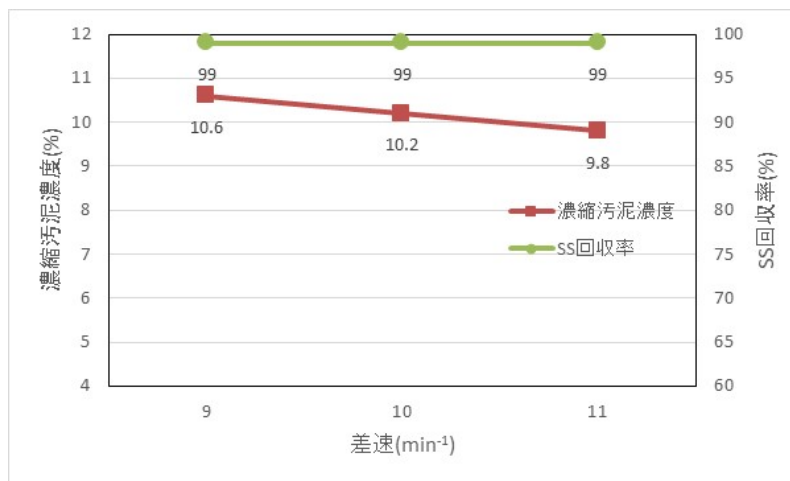


図 資 1-13 秋期調査時差速傾向

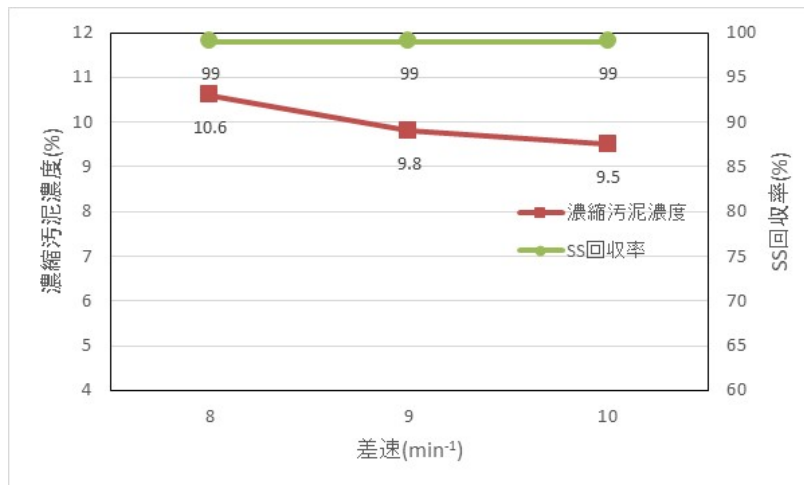


図 資 1-14 冬期調査時差速傾向

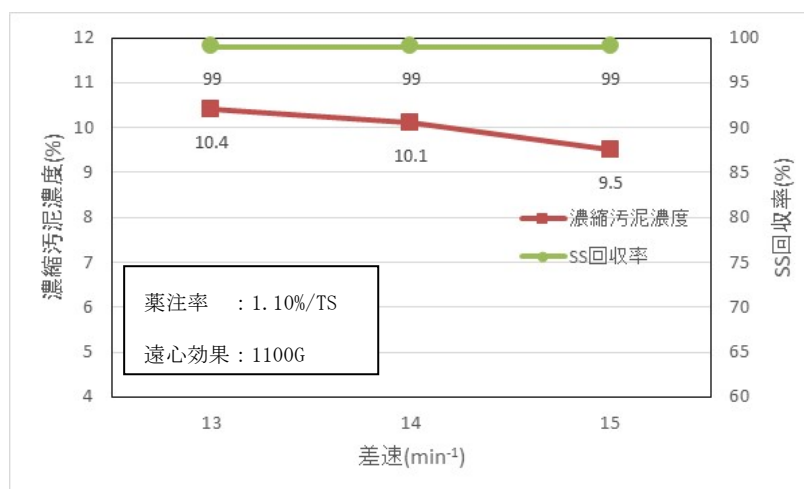


図 資 1-15 春期調査時差速傾向

※春期調査は自主研究期間データ

いずれの調査時においても差速の低下とともに濃縮汚泥濃度が高くなる傾向を示した。濃縮汚泥濃度が 10.0%に最も近い最適な差速は夏期調査と秋期調査時で 10.0 min⁻¹、冬期調査時で 9.0 min⁻¹、春期調査時で 14.0 min⁻¹判断した。

iv) 運転条件まとめ

各調査時の最適運転条件を表 資 1-10 に示す。

表 資 1-10 調査時最適運転条件

	遠心効果	薬品注入率	差速
	G	%/TS	min ⁻¹
夏期	600	0.87	10.0
秋期	600	0.60	10.0
冬期	800	0.80	9.0
春期	1100	1.07	14.0

以上の傾向調査結果をもとに運転条件を決定し、連続運転時の安定性の確認を行った。

③ 連続運転時の安定性調査

傾向調査結果をもとに運転条件を決定し連続運転を行った。連続運転結果を図 資 1-16 ～図 資 1-19 に示す。

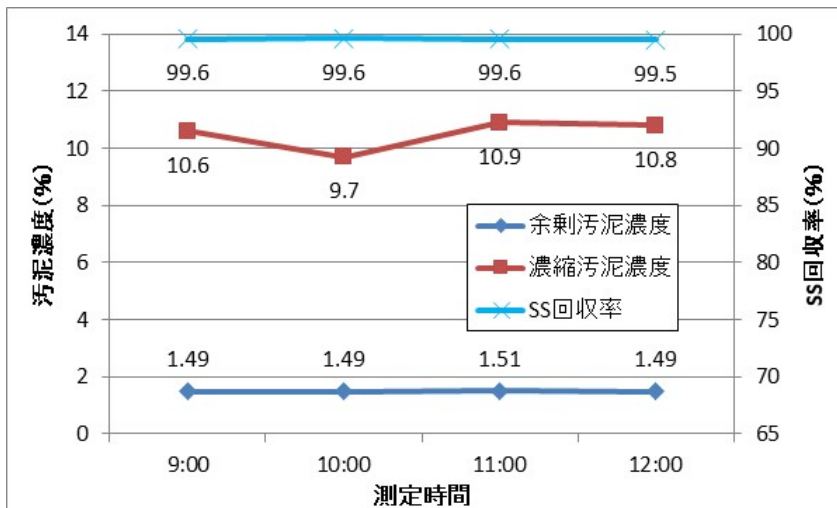


図 資 1-16 夏期連続運転結果

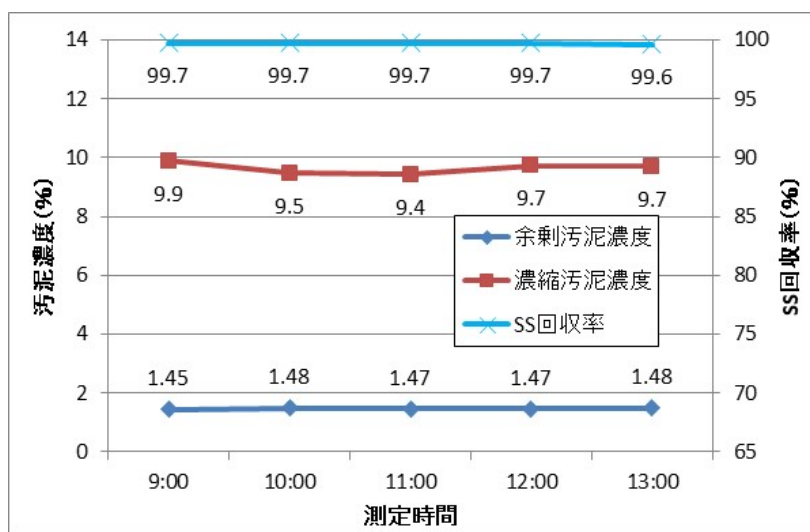


図 資 1-17 秋期連続運転結果

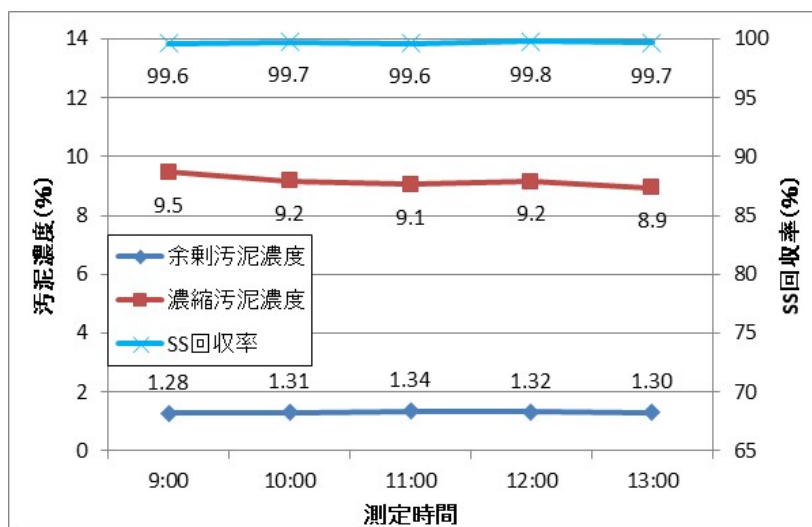


図 資 1-18 冬期連続運転結果

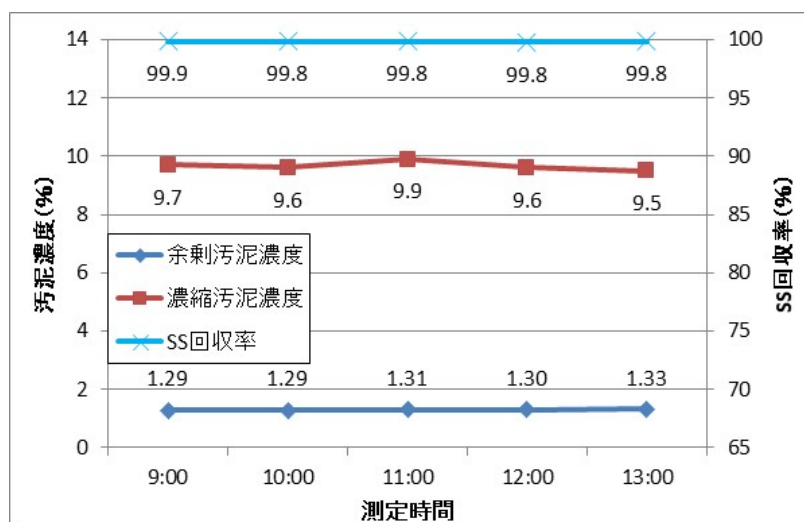


図 資 1-19 春期連続運転結果

※春期調査は自主研究期間データ

冬期調査時の最後のポイントにおいて濃縮汚泥濃度 8.9 %と若干目標値を下回る値となったが、差速を変更することで十分に調整可能なものである。

それ以外の値についてはいずれも目標値が得られており、かつ安定した運転が可能なが確認された。

1.3.2 脱水運転時の最適化条件

脱水運転は脱水汚泥含水率が低くなるように各操作因子の調整を行う。

各操作因子と脱水汚泥含水率の傾向は汚泥性状や使用している凝集剤等の影響により変化するため、状況に合わせた調整を行う。

実証施設の汚泥洗浄槽の調査結果と遠心脱水機の脱水運転調査結果について以下に示す。

a) 汚泥洗浄槽調査

1) 調査項目

本実証設備では以前実施した予備調査等の結果から汚泥脱水時の薬注率低下や高濃度消化汚泥の取り扱い性の向上を目的に汚泥洗浄槽を採用した。この汚泥洗浄槽の検証内容を以下に示す。

- ① 汚泥洗浄による汚泥性状変化の確認
- ② 返流水負荷の確認
- ③ 脱水時の薬注率の傾向（ビーカー試験により確認）

2) 分析項目および頻度

分析項目および想定する検体数を表 資 1-11 に示す。

表 資 1-11 汚泥洗浄槽分析項目および検体数

	検体名	検体数	分析項目	備考
汚泥洗浄 調査	消化汚泥	3	TS、VS、アニオン度、M-アルカリ度、粘度、T-N、T-P	各調査時に確認
	希釈消化汚泥	3	TS、VS、アニオン度、M-アルカリ度、粘度、T-N、T-P	
	洗浄汚泥	3	TS、VS、アニオン度、M-アルカリ度、粘度、T-N、T-P	
	洗浄排水	3	BOD、COD、SS、T-P、T-N	

3) 調査結果

① 汚泥洗浄による汚泥性状変化

各調査時の消化汚泥（洗浄前消化汚泥）、処理水で希釈した希釈消化汚泥、洗浄槽から引き抜いた洗浄汚泥（洗浄後消化汚泥）の性状を表 資 1-12 ～表 資 1-15 に示す。

表 資 1-12 夏期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.95	7.51	83.2	測定不能	0.499	20.8	45.3	33.5
希釈消化汚泥	0.62	0.56	78.9					
洗浄後消化汚泥	1.70	1.57	82.3	650	0.507	27.6	46.6	33.2

表 資 1-13 秋期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.01	6.93	83.8	測定不能	0.618	13.3	34.1	37.8
希釈消化汚泥	0.64	0.53	67.4	720	0.565	1.3	35.9	32.8
洗浄後消化汚泥	1.48	1.43	82.8	780	0.541	18.1	35.3	36.0

表 資 1-14 冬期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.10	6.88	83.6	測定不能	0.673	14.8	24.1	37.3
希釈消化汚泥	0.69	0.58	67.0	700	0.571	15.5	42.2	37.8
洗浄後消化汚泥	1.40	1.32	82.2	820	0.530	20.8	28.8	36.2

表 資 1-15 春期消化汚泥性状

試料名	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
	%	%	%/TS	CaCO ₃ mg/L	m·eq/g·TS	%/TS	%/TS	%/TS
洗浄前消化汚泥	7.10	6.88	83.6	測定不能	0.673	14.8	24.1	37.3
希釈消化汚泥	0.69	0.58	67.0	700	0.571	15.5	42.2	37.8
洗浄後消化汚泥	1.40	1.32	82.2	820	0.530	20.8	28.8	36.2

洗浄前消化汚泥と希釈消化汚泥のSSの濃度からみると希釈倍率は13倍程度となっていた。TS、SS以外の項目ではあまり各汚泥に差異は見られなかったが、希釈消化汚泥と洗浄後消化汚泥の値を比較するとアニオン度が若干低下する傾向がみられた。

② 返流水負荷の確認

消化汚泥の洗浄排水（洗浄分離液）の性状を表 資 1-16 に示す。

表 資 1-16 洗浄排水性状

	TS	SS	VTS	T-N	T-P	BOD	CODMn
	mg/l	mg/l	%/TS	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
夏期調査時	1100	460	75.3	200	37	64	340
秋期調査時	1000	350	76.2	210	38	150	340
冬期調査時	1100	600	75.6	200	38	150	430
春期調査時	990	300	73.8	220	38	170	360

消化汚泥洗浄排水中の各濃度は T-N 200 mg / L 程度、T-P 38 mg / L 程度、BOD 64～170 mg / L、CODMn 340 ～ 430 mg / L であった。

消化汚泥の洗浄排水量は消化汚泥の引き抜き量が 2.1 m³ / 日程度であり、希釈倍率を 13 倍とすると希釈汚泥量が 27.3 m³ / 日となる。ここから洗浄後消化汚泥を沈殿分離後 8 m³ / 日程度引き抜いているため 1 日当たりの洗浄排水は 19.3 m³ / 日（≒ 20 m³ / 日）となる。令和元年度の実績から流入汚水量を見ると 2,000 ～ 2,300 m³ / 日であるため水量負荷は 1 %未満であり、水処理に与える影響は小さいものと判断された。

③ 脱水時の薬品注入率の傾向

希釈する水量により洗浄消化汚泥の脱水時の薬品注入率がどのように変化するかビーカー試験を実施した。

消化汚泥単独では濃度が高すぎ凝集フロックが観察できないこと、かつ濃度を同等にすることにより最適薬注率の判断がしやすいことから、洗浄前の消化汚泥と洗浄後消化汚泥をサンプリングし、以下のように調整した汚泥を対象に最適薬品注入率の検討試験を行った。試験結果を表 資 1-17 に示す。

- a. 洗浄前の消化汚泥を既設洗浄後消化汚泥の TS 濃度と同等になるように蒸留水を用いて希釈した検体
- b. 洗浄前の消化汚泥を 10 倍に希釈して固液分離し、上澄みを除去して既設洗浄後消化汚泥の TS 濃度と同等になるように調整した検体
- c. 既設の洗浄後消化汚泥
- d. 洗浄前の消化汚泥を 20 倍に希釈して固液分離し、上澄みを除去して既設洗浄後消化汚泥の TS 濃度と同等になるように調整した検体

表 資 1-17 洗浄水量別ビーカー試験結果

試料名		TS	最適薬品 注入率	薬品減量率
		%	%/TS	%
消化汚泥	a.希釈のみ	1.41	3.8	0
	b.10倍希釈後濃縮分離	1.40	2.3	39.5
	c.既設洗浄汚泥 (13倍希釈後濃縮分離相当)	1.40	1.9	50.0
	d.20倍希釈後濃縮分離	1.39	1.7	55.3

消化汚泥を希釈だけした検体 a の最適薬品注入率は 3.8 % / TS であった。これは一般的な消化汚泥の値と比較してかなり高い値であった。10 倍希釈後調整の検体 b の最適薬品注入率は 2.3 % / TS で薬品減量率は約 40 % であった。既設の洗浄汚泥であることを検体 c の最適薬品注入率 1.9 % / TS で薬品減量率は 50 % で、20 倍希釈の検体 d の最適薬品注入率は 1.7 % / TS、薬品減量率 55.3 % であった。

今回の結果から汚泥性状分析結果ではあまり変化が確認できなかったが、汚泥量の 10 倍から 20 倍程度の水量で汚泥を洗浄することにより、脱水時の薬品使用量は 40 ~ 50 % 程度削減できる可能性が確認された。

b) 脱水機運転調査

1) 調査項目

本実証設備の遠心脱水機は高濃度消化汚泥の洗浄汚泥を対象に脱水を行うため、処理量や薬注率、差速等の傾向確認を行い、最適な脱水運転条件の検討を行う。その結果をもとに連続運転時の安定性の調査を行い、季節変動についても確認した。検証は、以下の 3 項目について実施した。

- ① 汚泥性状変動の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- ② 薬注率、差速の運転条件の傾向（夏期、秋期、冬期、春期）
- ③ 連続運転時の安定性（夏期、秋期、冬期、春期）

2) 分析項目

分析項目を表 資 1-18 に示す。

表 資 1-18 脱水機運転調査分析項目

		検体名	分析項目	備考
汚泥性状 変動調査	夏期、秋期、 冬期、春期	洗浄消化汚泥	TS、SS、VS、PH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
運転条件 傾向調査	夏期、秋期、 冬期、春期	洗浄消化汚泥	TS	現地分析
		脱水汚泥	TS	
		分離液	目視による確認	
安定性 確認調査	夏期、秋期、 冬期、春期	洗浄消化汚泥 詳細分析	TS、SS、VS、PH、M-アルカリ度、アニオン度、 粗蛋白質、繊維状物、T-P、T-N	外部に 分析依頼
		洗浄消化汚泥	TS、SS、VS	
		脱水汚泥	TS	
		分離液	SS	

3) 調査結果

① 汚泥性状

各調査時の洗浄後消化汚泥の分析結果を表 資 1-19 に示す。

表 資 1-19 洗浄後消化汚泥の分析結果

	TS	SS	VTS	アルカリ度	アニオン度	繊維状物		粗タンパク質
						100メッシュ	200メッシュ	
						%/TS	%/TS	
夏期調査 (9月)	1.70	1.57	82.3	650	0.507	27.6	46.6	33.2
	1.66		80.8					
	1.66		81.0					
	1.64		81.0					
秋期調査 (11月)	1.48	1.43	82.8	780	0.541	18.1	35.3	36.0
	1.55		83.0					
	1.49		82.5					
	1.48		82.1					
	1.43		82.9					
冬期調査 (1月)	1.40	1.32	82.2	820	0.530	20.8	44.2	35.6
	1.39		82.3					
	1.41		82.4					
	1.32		82.4					
	1.40		82.4					
春期調査 (5月)	1.57	1.49	83.4	1100	0.771	14.4	28.8	36.2
	1.53		83.2					
	1.51		83.1					
	1.56		83.2					
	1.53		83.5					

※春期調査は自主研究期間データ

夏期と比較すると他の時期の汚泥はTS、SSの値が低くなり、VS、アルカリ度、アニオン度の値が高くなる傾向がみられた。夏期に比べて他の時期の汚泥は難脱水性を示す傾向であった。

c) 運転条件傾向調査

1) 薬品注入率

a. 高分子凝集剤注入率

夏期～春期に実施した高分子凝集剤の薬品注入率の傾向調査結果を図 資 1-20 ～図 資 1-23 に示す。

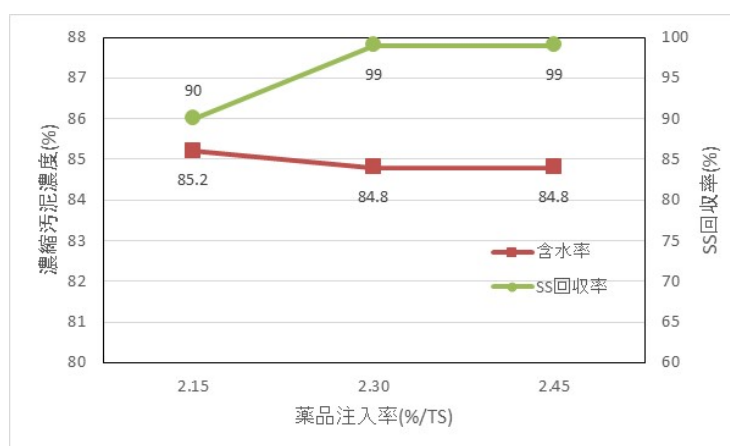


図 資 1-20 夏期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

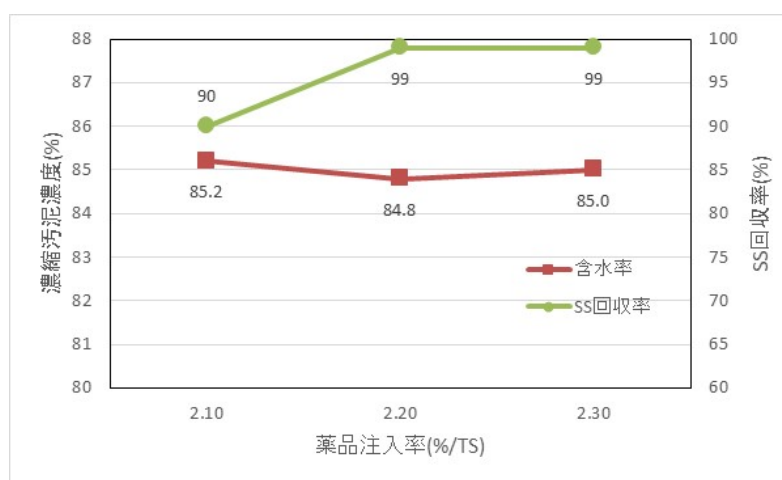


図 資 1-21 秋期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

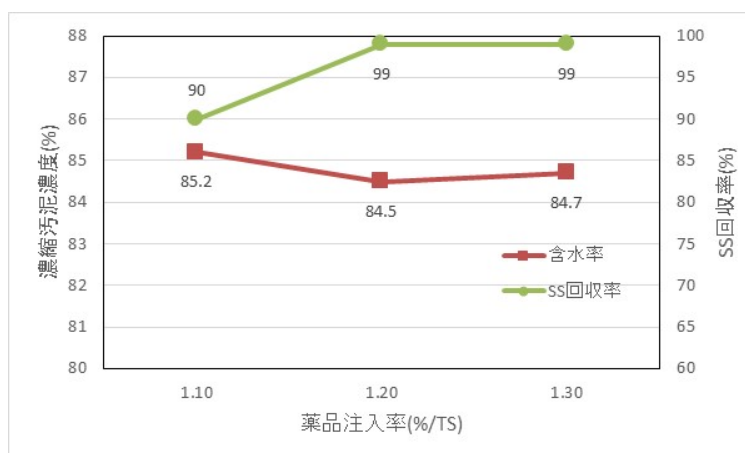


図 資 1-22 冬期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

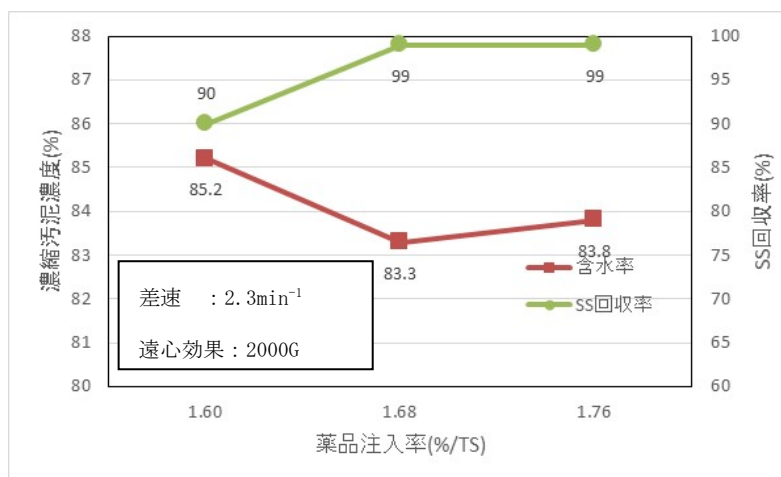


図 資 1-23 春期調査時高分子凝集剤薬品注入率傾向

※春期調査は自主研究期間データ

夏期、秋期の脱水運転での高分子凝集剤の薬品注入率は 2.20 ～ 2.30 % / TS 程度であった。薬品注入率としては高い値であったが良好な分離液が得られ安定した運転が可能であった。

12 月中旬から洗浄後消化汚泥と使用していた高分子凝集剤の適合が悪くなり、脱水汚泥含水率 85 %以下を満足することが困難な状況となった。そのため改めて凝集剤の選定試験を実施した結果、無機凝集剤であるポリ鉄を併用した 2 液調質の方が高分子凝集剤の使用量が削減でき、かつ脱水汚泥含水率の低下が見込めたため、12 月下旬から仮設でポリ鉄の注入設備を設けて 2 液調質での脱水状態を確認した。冬期と春期の薬品注入率の傾向は 2 液調質によるもので、薬品注入率は 1.20～1.70 %と低下し、安定した運転が可能であった。

b.無機凝集剤（ポリ鉄）添加量

冬期と春期に実施した無機凝集剤の添加量の傾向調査結果を図 資 1-24 および図 資 1-25 に示

す。

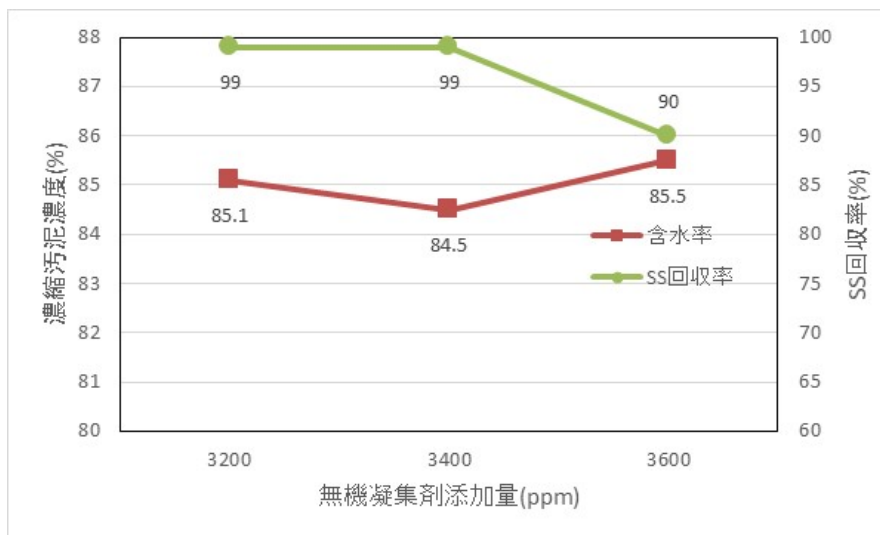


図 資 1-24 冬期調査時無機凝集剤薬品注入率傾向

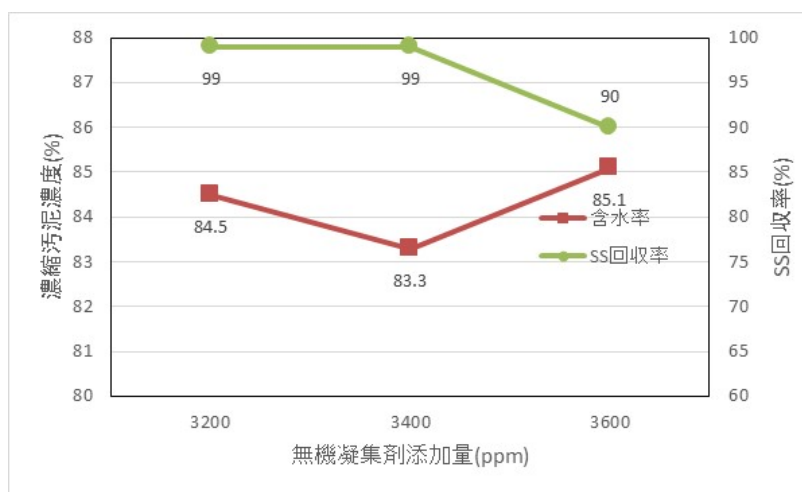


図 資 1-25 春期調査時無機凝集剤薬品注入率傾向

※春期調査は自主研究期間データ

無機凝集剤添加量は体積比の値である。添加量 3,400 ppm (汚泥 1 m³ に対して 3.4 L) までは添加量の増加とともに脱水汚泥含水率が低下する傾向であったが、3,600 ppm まで添加すると高分子凝集剤とのバランスが崩れ、脱水汚泥含水率の上昇、分離液の悪化がみられた。冬期と春期における最適な無機凝集剤の添加量は 3,400 ppm と判断した。

2) 差速

夏期～春期に実施した差速の傾向調査結果を図 資 1-26～図 資 1-29 に示す。

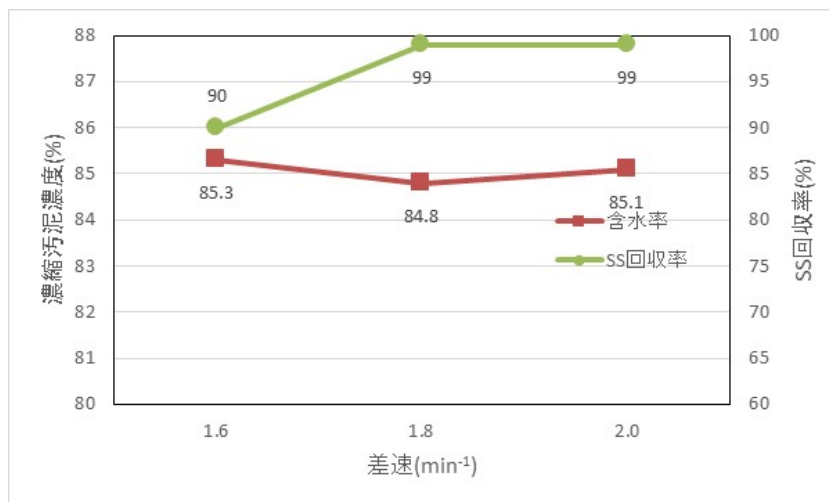


図 資 1-26 夏期調査時差速傾向

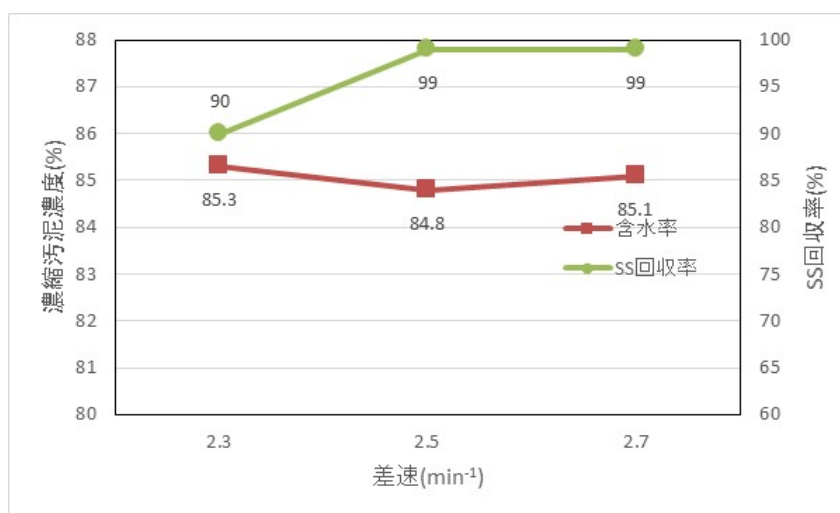


図 資 1-27 秋期調査時差速傾向

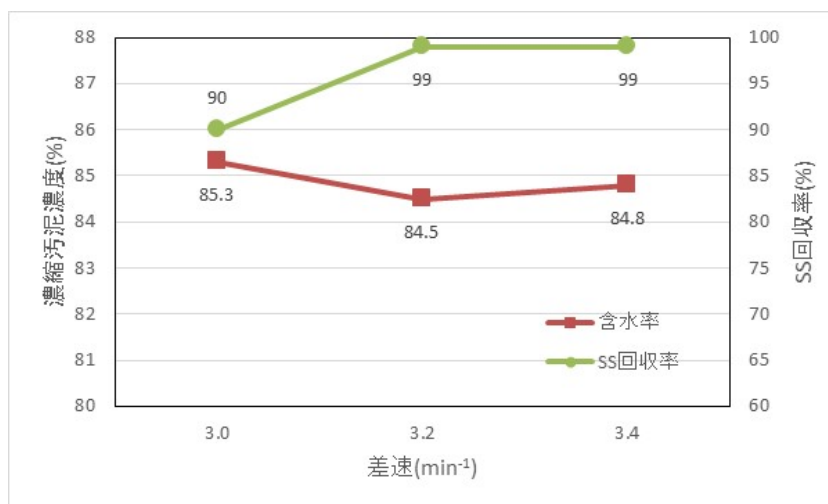


図 資 1-28 冬期調査時差速傾向

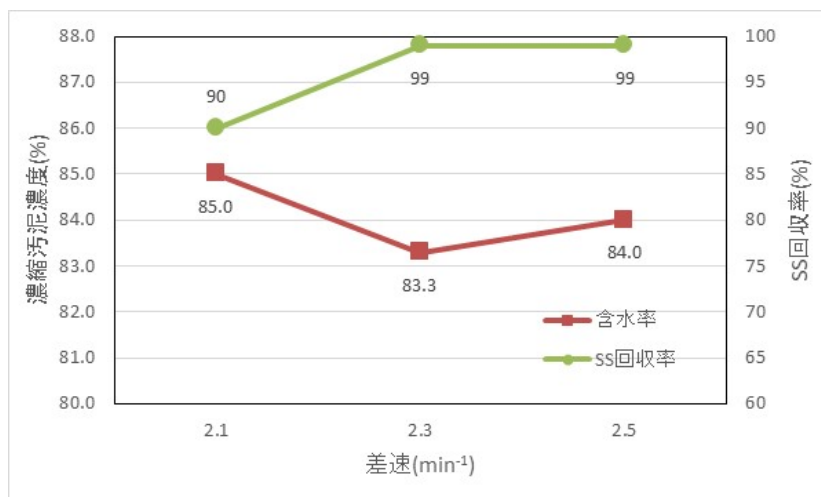


図 資 1-29 春期調査時差速傾向

※春期調査は自主研究期間データ

いずれの調査時においても差速の低下とともに脱水污泥含水率が低下する傾向を示し、低すぎると分離液の悪化、含水率の上昇する結果であった。最適な差速は夏期調査時で 1.8 min^{-1} 、秋期調査時で 2.5 min^{-1} 、冬期調査時で 3.2 min^{-1} 、春期調査時で 2.3 min^{-1} 判断した。

d) 運転条件まとめ

各調査時の最適運転条件を表 資 1-20 に示す。

表 資 1-20 調査時最適運転条件

	遠心効果	高分子凝集剤 注入率	無機凝集剤 注入量	差速
	G	%/TS	ppm	min ⁻¹
夏期	2000	2.30	0	1.8
秋期	2000	2.20	0	2.5
冬期	2000	1.20	3400	3.2
春期	2000	1.70	3400	2.3

※春期調査は自主研究期間データ

以上の傾向調査結果をもとに運転条件を決定し、連続運転時の安定性の確認を行った。

e) 連続運転時の安定性調査

傾向調査結果をもとに運転条件を決定し連続運転を行った。連続運転結果を図 資 1-30 ～図 資 1-33 に示す。

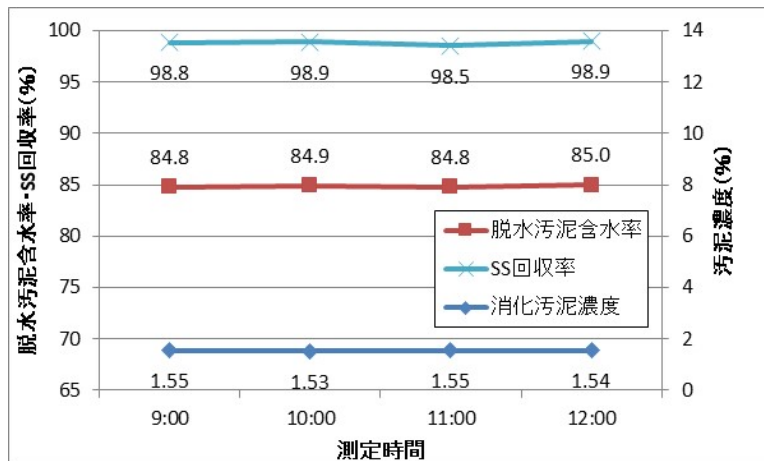


図 資 1-30 夏期調査時連続運転結果

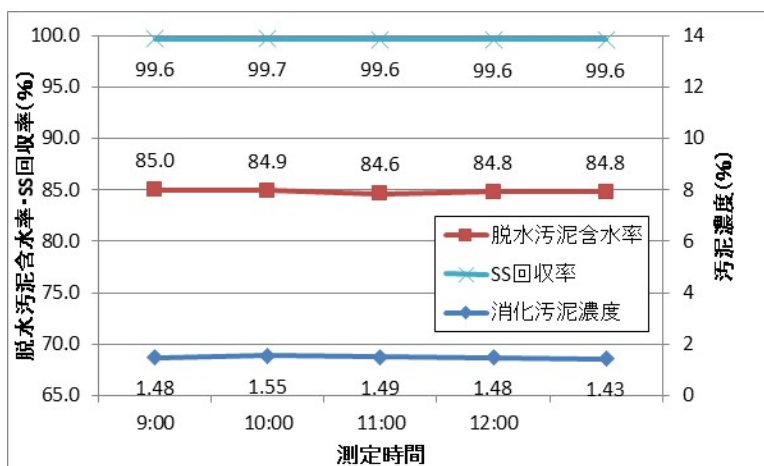


図 資 1-31 秋期調査時連続運転結果

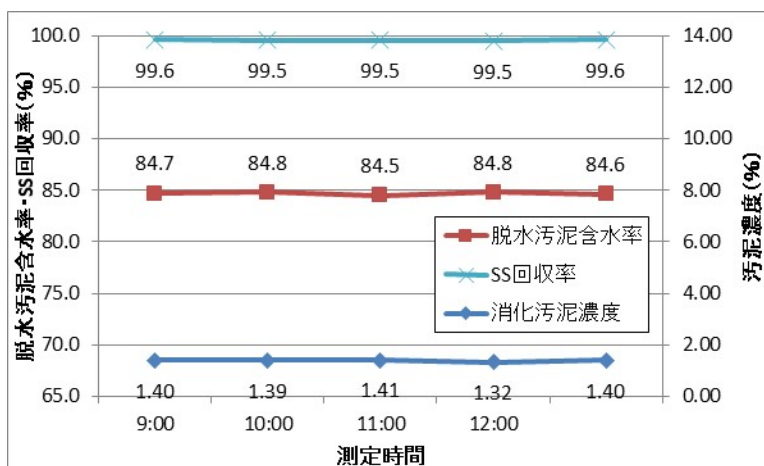


図 資 1-32 冬期調査時連続運転結果

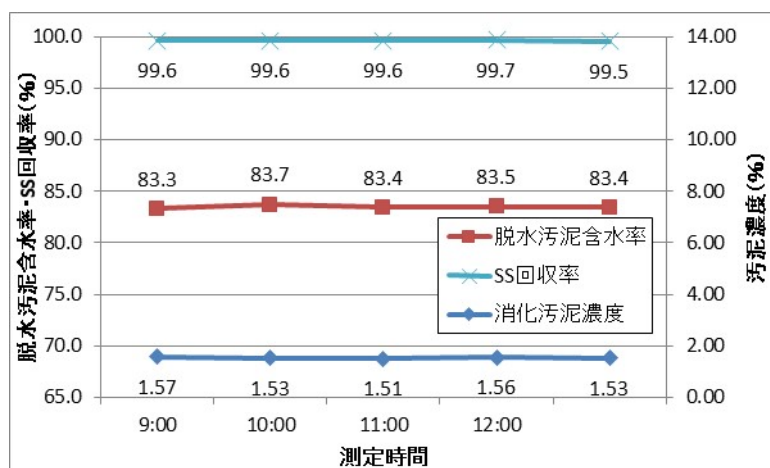


図 資 1-33 春期調査時連続運転結果

※春期調査は自主研究期間データ

いずれの調査機関においても目標値が得られており、かつ安定した運転が可能なが確認された。

1.3.3 高濃度消化技術

a) 最適化条件

消化状態を把握するため、表資 1-21 に示す分析を実施した。基準値を外れた場合は原因の調査を行う。また発酵阻害に係る管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸であり、基準値を一定期間超えた場合は負荷を抑えて調整するものとした。なお、消化における適切な状態とは各基準値を満たしている状態だと考え、基準をみたすことを最適化条件とした。

表資 1-21 高濃度消化測定項目

項目		基準値	頻度
消化槽	温度 (°C)	37~40	1回/日
	水位 (m)	3.7~4.3	1回/日
汚泥	pH (—)	6.4~7.2	3回/週
	TS (%)	10 以下	3回/週
	VS (%)	—	1回/週
	TOC (g/kg)	—	1回/週
	有機酸 (VFA) (mg-Ace./L)	1000 以下	1回/週
	T-N (mg/L)	—	1回/週
	T-P (mg/L)	—	1回/週
	NH ₄ ⁺ -N (mg/L)	400 以下 (遊離アンモニア換算)	1回/週
	BOD (%)	—	1回/週
	アルカリ度 (%)	—	1回/週
バイオガス	ガス発生量 (Nm ³ /h)	—	1回/日
	メタン濃度 (%)	55~65	1回/日
	二酸化炭素濃度 (%)	35~45	1回/日
	硫化水素 (ppm)	10 以下	1回/日

※BOD、アルカリ度は消化汚泥のみ実施

b) 処理の安定性

高濃度消化技術における安定性の評価では、消化槽立ち上げ時の安定性および定常運転時 (HRT30日3回転以降) かつ前述の最適化条件下において、メタン発酵反応が安定的に進行することを確認する。なお、処理の安定性確認については、実証施設とパイロットプラントにおける試験結果をそれぞれ整理する。

1) OD 法(実規模実証施設)

① 立ち上げ計画

消化槽の立ち上げは他下水処理場で発生した消化汚泥を種汚泥として使用した。また、種汚泥移送の簡易化および立ち上げ時において汚泥性状・消化効率等に問題が発生した場合のハンドリングを容易とするため、使用する種汚泥量は消化槽容量の半分程度とした。

種汚泥分析結果から、低負荷での立ち上げ期間を設けるものとし、約3カ月間HRT100日、75日、50日、40日、35日と徐々に負荷を増加させ、最終的に定常運転であるHRT30日とした。平成28年に行っていた自主研究を基に、表資1-22の条件で試験を実施した。本実証試験における立ち上げ手順を以下に示す。

表資 1-22 実規模実証施設の消化条件

項目	条件
消化槽形式	横型消化槽
攪拌方式	横型パドル式
消化槽サイズ	96m ³ (L:6m×W:4m×H:4m)
使用種汚泥	下水消化汚泥 (標準活性汚泥法)
使用基質	下水消化汚泥 (OD 法)
投入汚泥濃度	10%程度 (含水率90%程度)
消化日数 (HRT)	30 日
消化方式	湿式
消化温度	37~40℃

表資 1-23 実規模実証施設の消化槽立ち上げ計画

	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
種汚泥投入	■							
加温		■						
汚泥投入		■						
HRT (日)		100	75	50	40	35	30	
消化効率確認								■

i) 種汚泥性状の確認

立ち上げに使用した種汚泥は、近郊の下水処理場で採取した消化汚泥を使用した。平成 28 年度 B-DASH 予備調査における高濃度消化試験で使用した種汚泥と、本実証試験で使用した種汚泥の性状を表 資 1-24 に示す。

表 資 1-24 B-DASH 予備調査と本実証試験における種汚泥性状の比較

分析項目	予備調査	本実証試験
TS (%)	3.74	1.6
VS (%)	2.53	1.0

予備調査では HRT40 日から立ち上げを開始し安定的に設計 HRT まで到達することができている。今回の実証試験では、使用する種汚泥の VS 濃度が予備調査時と比べ約 2.5 倍の濃度差があったが、本実証試験と予備調査時と投入 VS 負荷を合わせる目的から、HRT を予備調査時の 2.5 倍である 100 日として、立ち上げを開始した。

ii) 消化槽加温状況

定常運転では消化槽加温用の熱源は発電機の排熱回収により得られた温水を利用するが、立ち上げ期間中は発電機の燃料となるバイオガスの発生が無い場合バックアップ用の灯油ボイラーを使用した。

2019 年 2 月 22 日に加温を開始し消化槽温度の上昇を確認できており、同年 3 月 3 日に目標温度 37 °C に達した。3 月 3 日以降は消化槽温度が安定しており、37°C を確保している。加温開始後の消化槽温度を図 資 1-34 に示す。

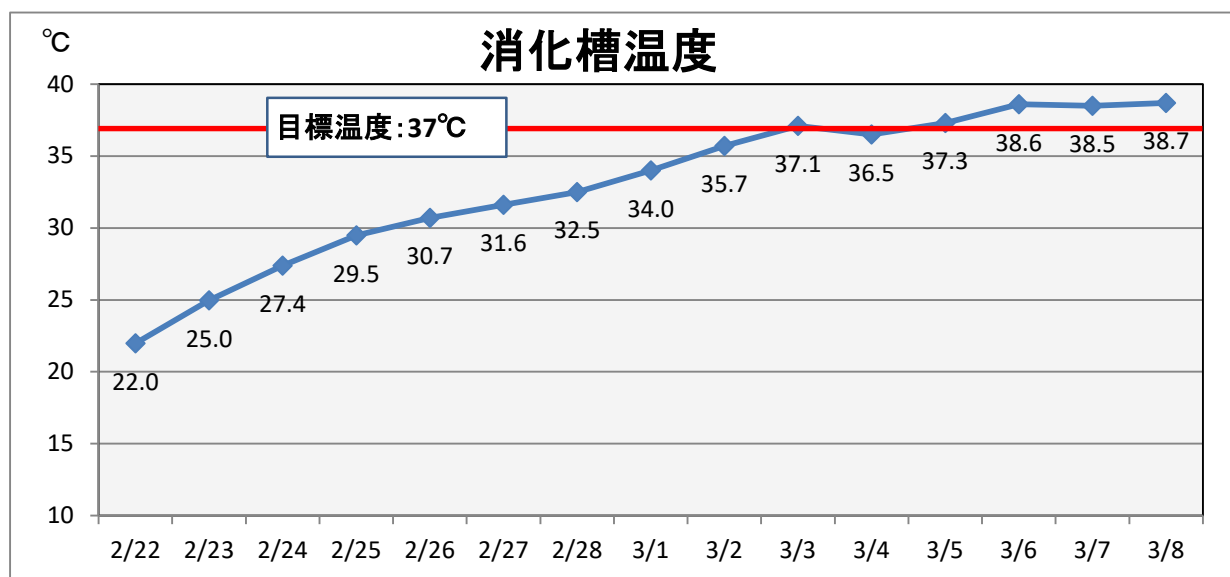


図 資 1-34 消化槽の温度推移

iii) 立ち上げの留意点

立ち上げの留意点は以下のとおりである。

- 他下水処理場で発生した消化汚泥を種汚泥として使用した。
- 種汚泥移送の簡易化および立ち上げ時において汚泥性状・消化効率等に問題が発生した場合のハンドリングを容易とするため、使用する種汚泥量は消化槽容量の半分程度の 50 m³とした。
- 消化槽への負荷は低負荷から徐々に負荷を上げることとする。本実証試験では種汚泥分析結果より HRT100 日から開始。75 日、50 日、40 日、35 日、30 日と負荷を上げることとした。
- 種汚泥が規定温度である 37 °C に上昇後、汚泥投入を開始した。
- 消化状態を把握するため、表 資 1-25 に示す分析を実施した。特に重要な管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸であり、基準値を一定期間超えた場合は負荷を抑えて調整するものとした。

表 資 1-25 高濃度消化分析項目

項目		基準値	頻度
消化槽	温度 (°C)	37~40	1回 / 日
	水位 (m)	2.7~3.1	1回 / 日
汚泥	pH (—)	6.4~7.2	3回 / 週
	TS (%)	10 以下	3回 / 週
	VS (%)	—	1回 / 週
	TOC (g / kg)	—	1回 / 週
	有機酸 (mg-Ace. / L)	1000 以下	1回 / 週
	T-N (mg / L)	—	1回 / 週
	T-P (mg / L)	—	1回 / 週
	NH ₄ ⁺ -N (mg / L)	400 以下 (遊離アンモニア換算)	1回 / 週
	BOD (%)	—	1回 / 週
	アルカリ度 (%)	—	1回 / 週
バイオガス	ガス発生量 (Nm ³ / h)	—	1回 / 日
	メタン濃度 (%)	55~65	1回 / 日
	二酸化炭素濃度 (%)	35~45	1回 / 日
	硫化水素 (ppm)	10 以下	1回 / 日

※有機酸、T-P、アルカリ度は消化汚泥のみ実施

② 定常運転時の安定性（実規模実証施設）

本試験は表 資 1-22 のとおりに実施した。HRT30 日で消化槽内が 3 回転後に完全に消化槽内が対象基質に入れ替わったと判断し、それ以降のデータで評価した。

i) pH

図 資 1-35 に投入汚泥および消化汚泥の pH について示す。HRT30 日 3 回転以降において、投入汚泥の pH は一時的なばらつきはあるものの、概ね 6.3~7.0 の範囲で推移した（平均 6.7）。一方、消化汚泥は概ね平均値の 7.9 前後で安定して推移した。344 日が一時的に高くなっているが、測定器の校正が不十分だったためと考えられる。

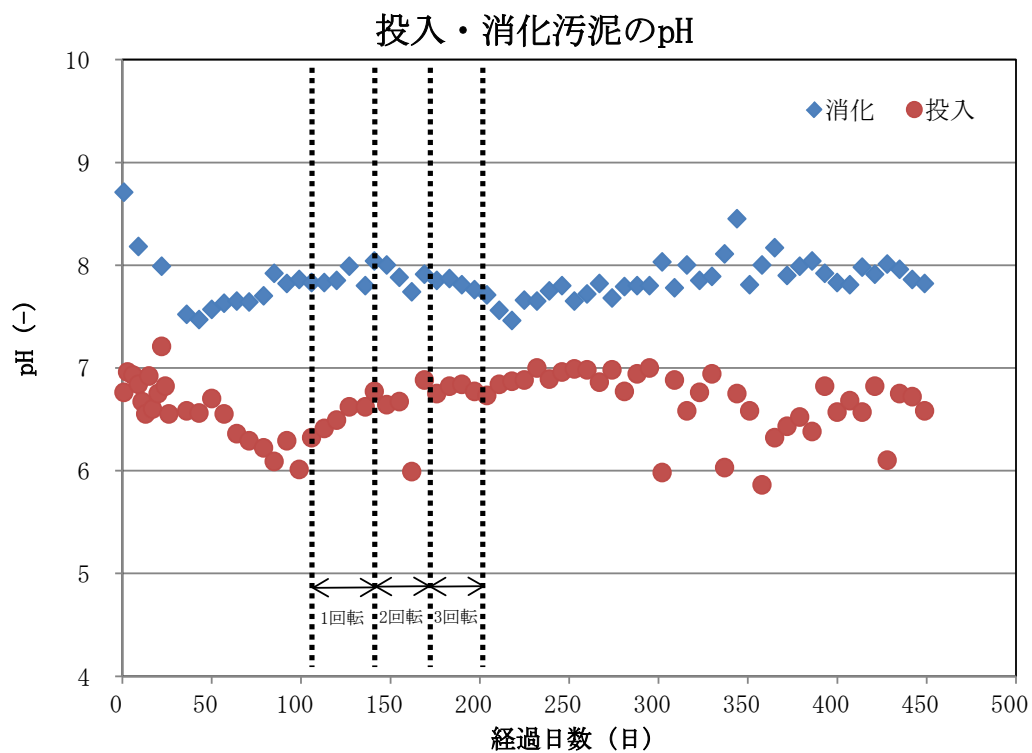


図 資 1-35 実規模実証施設の投入・消化汚泥の pH

ii) アンモニア

図 資 1-36 に消化液のアンモニア性窒素濃度（以下、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ）および遊離アンモニア（以下 $\text{NH}_3\text{-N}$ ）濃度を示す。アンモニアによるメタン発酵の阻害について、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度により評価した報告は少ないが、 $\text{NH}_3\text{-N}$ は $\text{NH}_4^+\text{-N}$ と比べて極めて毒性が高いため、本試験では $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度を管理目標として設定した。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は Anthonisen らの計算式を用いて $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度、消化温度（=T）、pH から算出した。

$$\text{NH}_3 - \text{N}(\text{mg} / \text{L}) = \frac{\text{NH}_4^+ - \text{N}(\text{mg} / \text{L})}{\exp\left(\frac{6344}{273 + T}\right) + 10^{\text{pH}}}$$

出典：Anthonisen, A.C., R.C. Loehr, T.B.S. Prakasam, and E.G. Srinath (1976) Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid (アンモニアと亜硝酸による硝化の阻害), *Journal of Water Pollution Control Federation*, 48 (5), 835-852.

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は HRT30 日に達するまで上昇し続け、HRT30 日以降は 2,240 ~ 3590 mg-N / L（平均 3080 mg-N / L）で推移した。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は上式の通り pH に大きく依存するが、先述の通り消化汚泥の pH に大きな変動はなかった。そのため、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度の影響因子の 1 つである $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度に連動するように増減したと考察する。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度については、経過日数 344 日は pH の影響により管理目標値以上を示したが、それ以外は管理目標値以下である 400 mg-N/L を下回る 61~370 mg-N / L の間で変動し、HRT30 日 3 回転以降の平均は 198 mg-N / L であった。

HRT30 日に達するまで $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が上昇している理由として、槽内の投入汚泥濃度の増加が影響していると推察する。

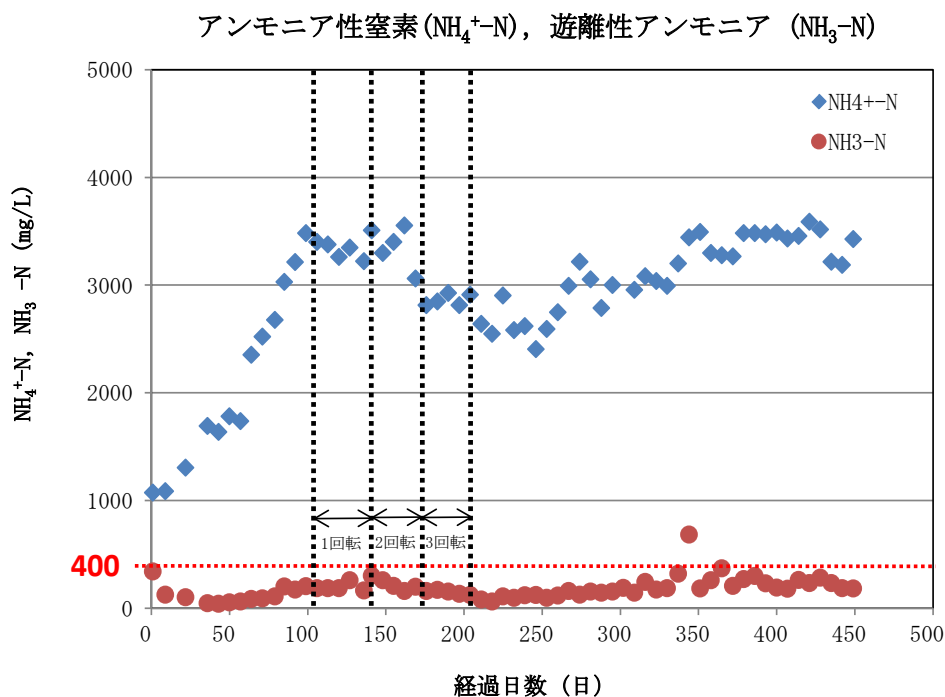


図 資 1-36 実証施設の消化汚泥の NH_4^+-N 濃度および NH_3-N 濃度

iii) 有機酸

本試験では有機酸とは酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸、*iso*-酪酸、*n*-吉草酸、*iso*-吉草酸の6種を指す。本報告では各有機酸をそれぞれ酢酸に換算し、合算した値を示す。

図 資 1-37 に示すように全ての試験実施期間において有機酸濃度の基準値である 1,000 mg-Ace./Lを下回った。HRT30日3回転以降は14 ~ 97 mg-Ace./L (平均 48 mg-Ace./L)で推移した。

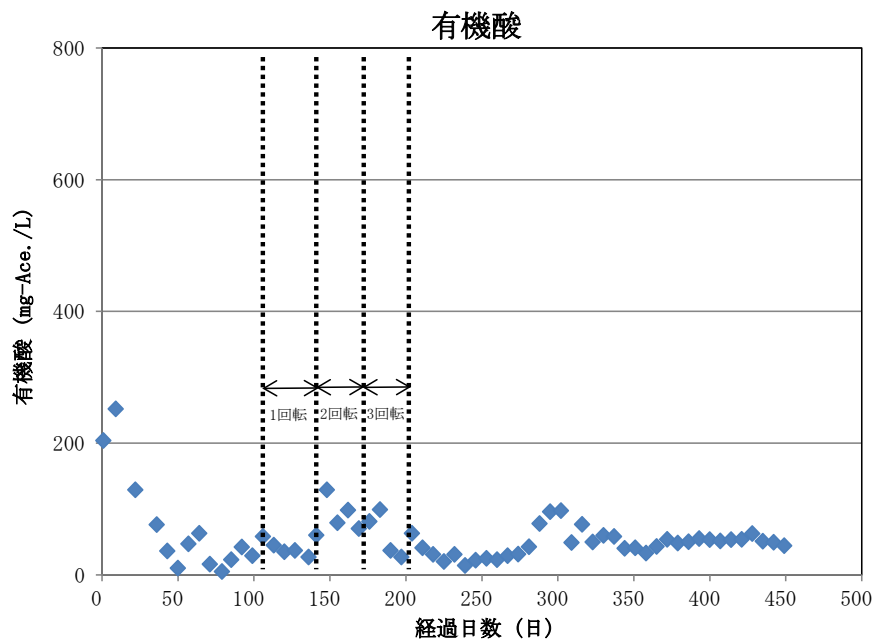


図 資 1-37 実証施設の消化汚泥の有機酸

上記の pH、NH₃-N 濃度、VFA 濃度の結果から一時的な阻害が起こっていた可能性があるものの、試験実施期間中は問題なくメタン発酵反応が安定的に進行したと判断した。

iv) 投入有機物当たりのガス発生量

投入 VS 当たりのガス発生量を図 資 1-38 に示す。本研究の消化効率の評価として、投入 VS 当たりのガス発生量の目標を 0.3 Nm³ / kg-投入 VS と定めたが、HRT30 日 3 回転以降は 0.17~0.26 Nm³ / kg-投入 VS (平均 0.22 Nm³ / kg-投入 VS) と目標に達成しなかった。

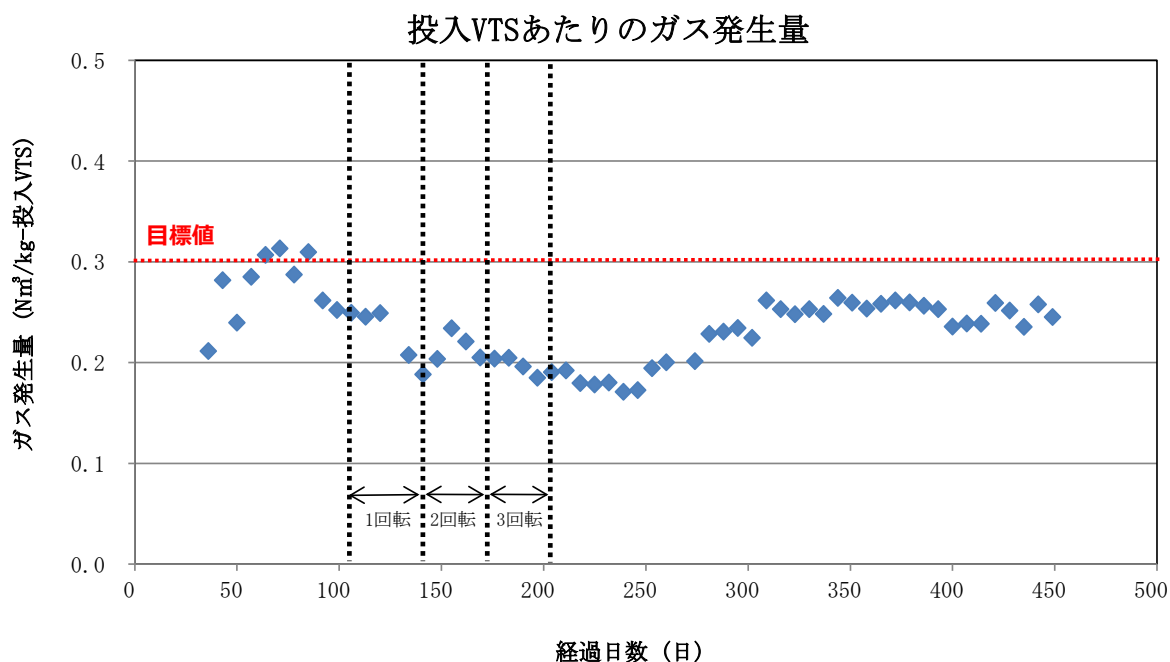


図 資 1-38 実証施設の投入 VS あたりのガス発生量

v) 消化率

消化率は以下の式により算出した。

$$\text{※消化率 (\%)} = \left(1 - \frac{FS_1 \cdot VS_2}{VS_1 \cdot FS_2}\right) \times 100$$

ここに FS_1 : 投入汚泥の無機分 (%) , VS_1 : 投入汚泥の有機分 (%)
 FS_2 : 消化汚泥の無機分 (%) , VS_2 : 消化汚泥の有機分 (%)

出典 : 「下水道施設計画・設計指針と解説、日本下水道協会」

消化率を図 資 1-39 に示す。ガス発生量同様に消化効率の評価として、消化率の目標を 40 % と定めたが、HRT30 日 3 回転以降は 22 ~ 39 % (平均 32.3 %) と目標に達成しなかった。

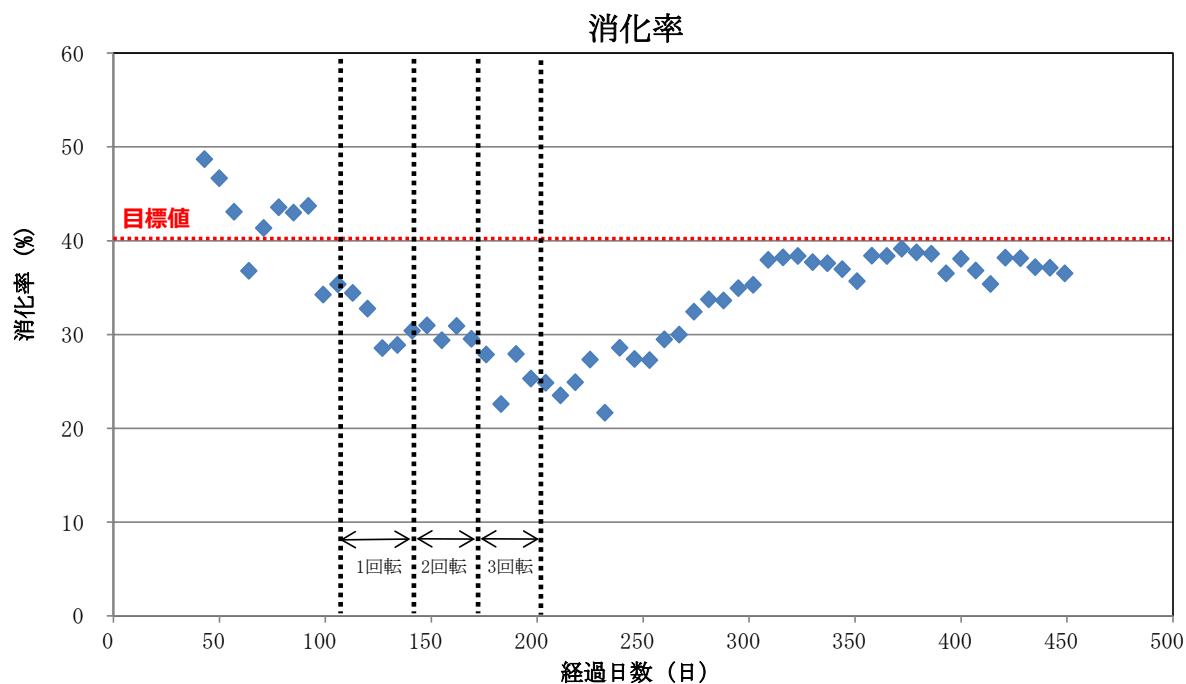


図 資 1-39 実証施設の消化率

vi) メタンガス濃度

消化槽から得られたバイオガス中のメタン濃度を図 資 1-40 に示す。全ての試験実施期間においてメタンガス濃度は比較的安定しており、HRT30 日 3 回転以降は 54～61 % (平均 58 %) であった。この結果は後段に控えるバイオガス発電機の要求バイオガス濃度の 55～65 % を満たしている。実際に得られたバイオガスにて後述するバイオガス発電の試験を実施した。

経過日数 246 日から 302 日まで徐々にメタン濃度が低下し、309 日に上昇した理由として、今回の試験条件において測定機器の校正が不十分であったためである。

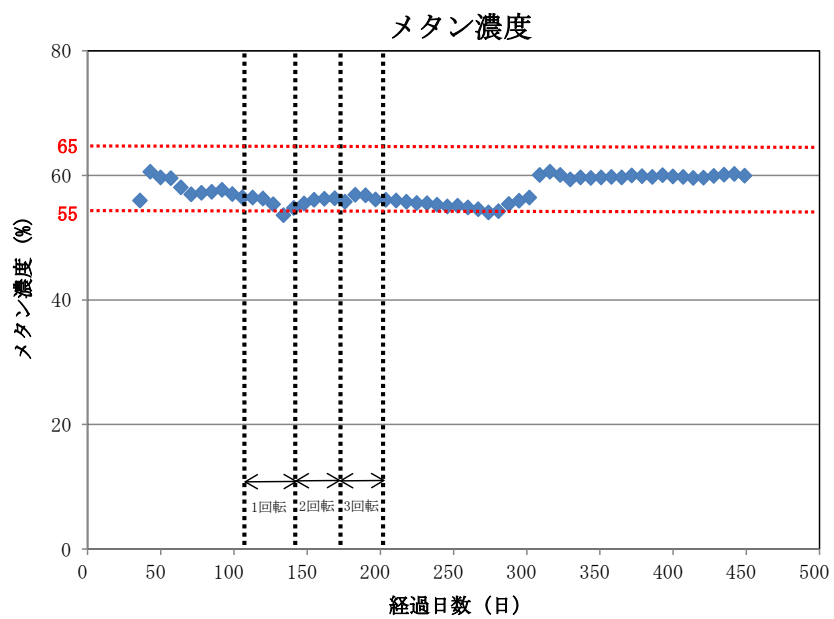


図 資 1-40 実証施設のメタン濃度

③ 維持管理方針

維持管理は「1) OD法(実規模実証施設)」で示した分析を行うことに加え、定められた項目に沿って維持管理を実施する。実規模実証施設の維持管理項目は表 資 1-26 に示すとおりである。

表 資 1-26 高濃度消化維持管理項目、実施頻度および管理値(その1)

点検項目				
点検箇所	機器	項目	頻度	
ガスホルダー 1体型消化槽	消化槽攪拌機	グラウンドパッキン部の漏水がないか	A	
		外観の目視検査で異常ないか	A	
		盤内部のインバータより電流値を記録する	A	
		駆動減速機に異常音または音の急激な変化がないか	A	
		駆動減速機の表面温度が周囲温度+60℃以内であるか	A	
		サイトグラスより消化槽の内部を目視確認し異常がないか	A	
		据付ボルトに緩みがないか	毎週	
		駆動減速機の油量が範囲内におさまっているか	毎週	
		給油	給油リストによる	
	汚泥引抜ポンプ		異常音・振動がないか	動作時
			外観の目視検査で異常ないか	A
	ガスバック室		水封弁水位記録(太い側、下面から何cmか)	A
			水封弁水位記録(細い側)	A
	エアコンプレッサー		水抜きを行う	A
			異常音・振動の有無はないか	動作時
			圧力表示値の記録	A
			吸引ろ過器フィルターの清掃	1ヶ月毎
	エアポンプ		供給エア量メータの記録	A
	温水循環ポンプ (ポンプ後を記録すること)		圧力表示記録	A
			異常音・振動はないか	A
熱交換ユニット (吐出側を記録すること)		温度表示記録	A	
		圧力表示記録	A	
加圧給水ユニット		異常音・振動はないか	動作時	
		圧力表示記録	A	
		タンク内水量を確認する	毎週	
メタン発酵		TSS測定	毎週	
		pH測定	毎週	
消化槽加温装置	灯油ボイラー	周囲に可燃物がないことを確認する	A	
		排気筒の損傷、詰りがないことを確認する	A	
		油タンク、送油経路において油にじみがないことを確認する	A	
	灯油タンク		残量確認	A
			防油堤の状況	A
	消化ガスボイラー		周囲に可燃物がないことを確認する	A
			排気筒の損傷、詰りがないことを確認する	A
	灯油ボイラー 温水循環ポンプ		圧力表示値の記録	A
			異常音・振動はないか	A
			流量の記録	A
	消化ガスボイラー 温水循環ポンプ		圧力表示値の記録	A
			異常音・振動はないか	A
			流量の記録	A
	ガス発電機 温水循環ポンプ		圧力表示値の記録	A
			異常音・振動はないか	A
			流量の記録	A
	放熱器		異常音・振動はないか	動作時
			配管を目視確認し異常がないか	毎週
			ファンの状態を目視確認し、異常がないか	毎週
	加圧給水ユニット		異常音・振動はないか	動作時
圧力表示記録			A	
タンク内水量を確認する			毎週	

A:月曜、水曜、金曜実施

表 資 1-27 高濃度消化維持管理項目、実施頻度および管理値（その2）

点検項目			
	機器	項目	実施頻度
ガスクリーニング ユニット	除湿機 クーラー	温度表示値記録（クーラーの前面パネルの値を記録すること）	A
		フィルターが目詰まり確認・清掃をおこなう	1ヶ月毎
	脱硫装置	冷却部の水位がパイプより上にあるか	A
		外観の目視検査で異常ないか	A
	シロキサン除去装置	外観の目視検査で異常ないか	A
	ガスブースター	異常音・振動の有無	A
		吐出圧の記録	A
	ガス分析計	Vベルト目視、張力の確認	3ヶ月毎
酸素(O ₂)濃度の記録		A	
硫化水素(H ₂ S)濃度の記録		A	
メタン(CH ₄)濃度の記録		A	
		サンプリング管に水が溜まってないか	A

A:月曜、水曜、金曜実施

2) 標準活性汚泥法(パイロットプラント)

実証施設が設置される中之島浄化センターの水処理方式はOD法を採用しており、本実証施設で受け入れる汚泥についてもOD法から発生した汚泥を対象に実証研究を実施している。汚泥性状・性質が一般的に異なる標準活性汚泥法からの汚泥を対象にしたパイロット試験により標準法汚泥での処理の安定性を確認する事で、今後の本システムを普及展開促進へ資するものとする。

① 立ち上げ計画

標準活性汚泥法の汚泥を用いた消化試験を計画・実施した。平成28年に行った自主研究と比較するために、表資1-28の条件で試験を実施した。なお自主研究に倣い、投入汚泥は標準活性汚泥法で処理している近隣下水処理場の脱水汚泥をTS10%になるように希釈した汚泥を使用した。

表 資 1-28 パイロットプラントの装置概要

項目	条件
消化槽形式	横型消化槽
攪拌方式	横型パドル式
消化槽サイズ	1m ³ (L:1.6m×W:0.8m×H:0.9m (水深0.8m))
使用種汚泥	下水消化汚泥 (標準活性汚泥法)
使用基質	下水脱水汚泥 (標準活性汚泥法)
投入汚泥濃度	10%程度 (含水率90%程度)
消化日数 (HRT)	30日
消化方式	湿式
消化温度	37 ~ 40℃

実規模実証施設の立ち上げ方にならない、低負荷での立ち上げ期間を設けるものとし、表資1-29の

ように約3カ月間HRT100日、75日、50日、40日、35日と徐々に負荷を増加させ、最終的に定常運転であるHRT30日とした。

表資 1-29 パイロットプラントの消化槽立ち上げ計画

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
種汚泥投入													
濃縮汚泥投入				■									
HRT(日)				100	75	50	40	35	30				
分析				■									
評価項目の計測									■		■		

i) 種汚泥性状の確認

立ち上げに使用した種汚泥は実規模実証施設と同じ近郊の下水処理場で発生した消化汚泥を使用した。表 資 1-30 に示すとおり、実規模実証試験立ち上げ時の種汚泥性状と極めて近い値だったため、HRT100 日から開始した。

表 資 1-30 予備調査と実証試験、本パイロットプラント試験における種汚泥性状の比較

分析項目	予備調査	実証試験	本パイロットプラント試験
TS (%)	3.74	1.6	1.8
VS (%)	2.53	1.0	1.2

ii) 立ち上げの留意点

立ち上げの留意点は以下のとおりである。

- 実規模実証施設と同じ下水処理場で発生した消化汚泥を種汚泥として使用した。
- 使用する種汚泥量が非常に少量だったため、消化槽容量の全量を搬送・投入した。
- 消化槽への負荷は低負荷から徐々に負荷を上げることとする。本実証試験では種汚泥分析結果より HRT100 日から開始。75 日、50 日、40 日、35 日、30 日と負荷を上げることとした。
- 種汚泥が規定温度である 37 °C に上昇後、汚泥投入を開始した。
- 実規模実証施設と同様に消化状態を把握するため、表 資 1-25 に示す分析を実施した。特に重要な管理指標は pH、遊離アンモニア、有機酸であり、基準値を一定期間超えた場合は負荷を抑えて調整するものとした。ただし、水位は 0.70 ～ 0.78 m を基準値とする。

② 定常運転時の安定性 (パイロットプラント)

本試験は表 資 1-29 のスケジュールで実施した。HRT30 日で消化槽内が 3 回転後に完全に消化槽内が対象基質に入れ替わったと判断し、それ以降のデータで評価した。

i) pH

図 資 1-41 に示すように HRT30 日 3 回転以降の消化汚泥 pH は 7.6 ~ 8.1 (平均は 7.9) で推移し、試験の実施期間通して非常に安定した。投入汚泥は基質や希釈倍率の変動により、pH が 4.7 ~ 6.1 の間で変動したが、HRT30 日 3 回転以降は比較的安定し、試験実施には影響がないと判断した。HRT30 日 3 回転以降の平均は 5.1 であった。

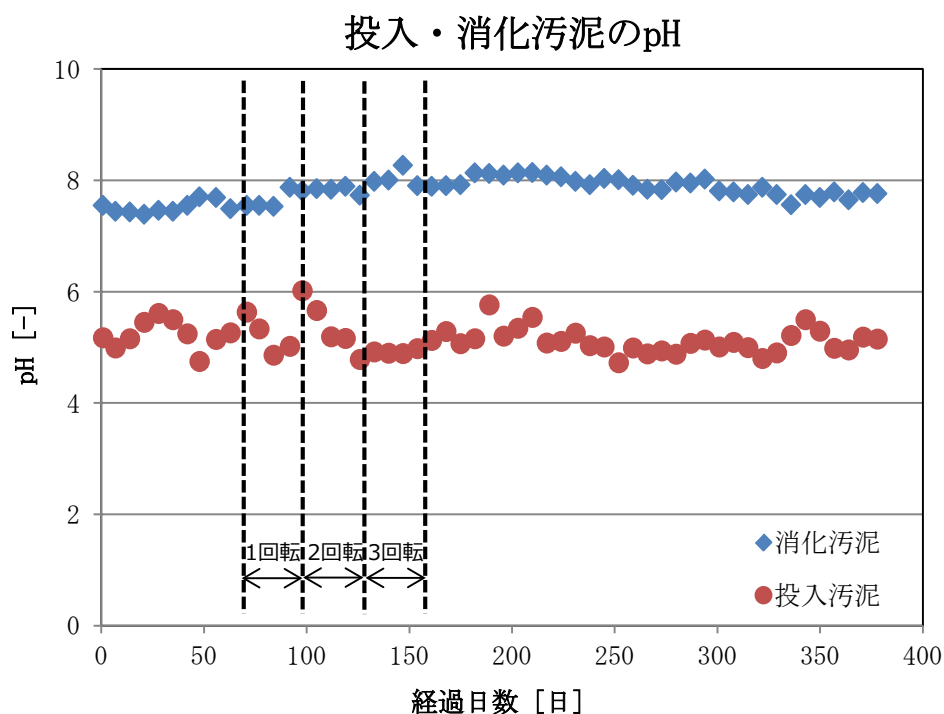


図 資 1-41 パイロットプラントの投入・消化汚泥の pH

ii) アンモニア

図 資 1-42 に消化液の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ および $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度を示す。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度は HRT30 日 2 回転目に達するまで上昇し続け、HRT30 日以降は 2,920 ~ 4,520 mg-N / L で推移した。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は上式のとおり $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度と pH、消化温度に影響を受け、特に pH に大きく依存する。しかし、先述の通り消化汚泥の pH に大きな変動はなかったため、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度の影響因子の 1 つのである $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度に連動するように増減したと考察する。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は経過日数 210 日、217 日にそれぞれ 400、408 mg-N/L になったが、それ以外の日は基準値である 400 mg-N / L を下回る 111 ~ 387 mg-N/L (平均 244 mg-N / L) で変動した。

HRT30 日 2 回転目に達するまで $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度が上昇している理由として、槽内の投入汚泥濃度の増加が影響していると考える。

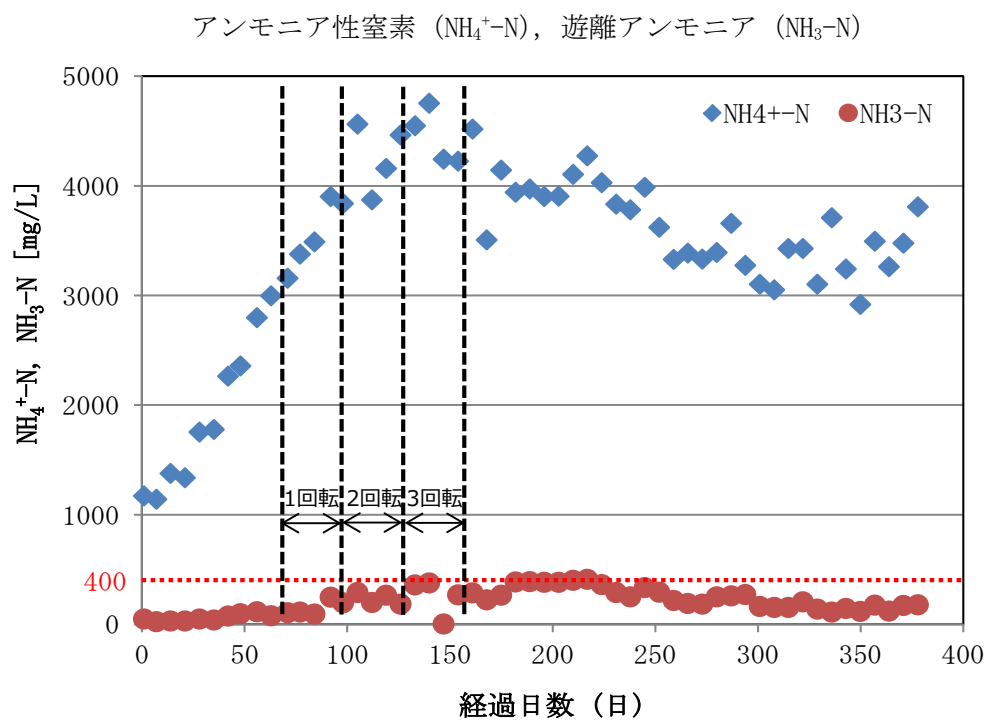
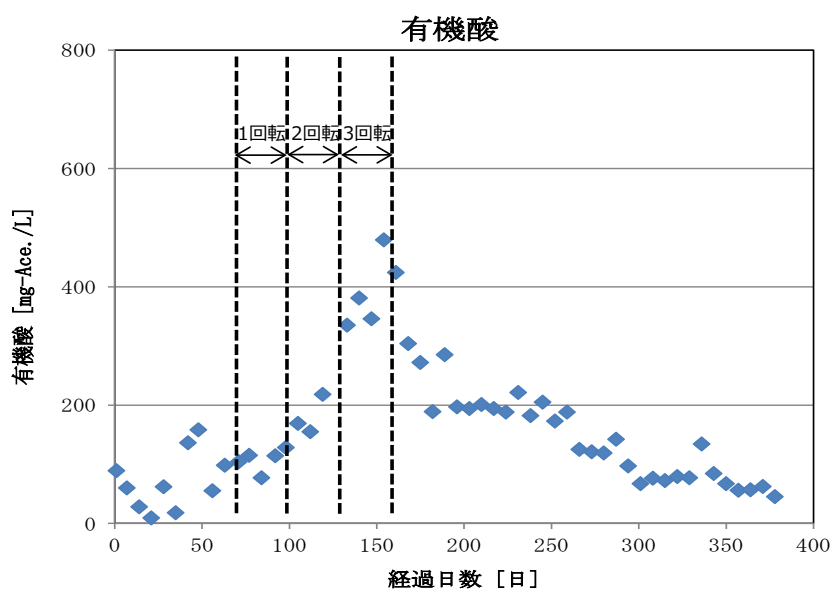


図 資 1-42 パイロットプラントの消化汚泥の $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 濃度および $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度

iii) 有機物 (VFA)

本試験では有機酸とは酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸、*iso*-酪酸、*n*-吉草酸、*iso*-吉草酸の6種を指す。本報告では各有機酸をそれぞれ酢酸に換算し、合算した値を示す。

図資 1-43 に示すように全ての試験実施期間において有機酸濃度の基準値である 1,000 mg-Ace./L を下回った。経過日数 154 日では 479 mg-Ace./L まで上昇したが、直後に有機酸濃度が減少したため、槽内の蓄積はないと判断して試験を続行した。なお、HRT30 日 3 回転以降の平均は 153 mg-Ace./L であった。



図資 1-43 パイロットプラントの消化汚泥の有機酸

上記の結果から一時的なアンモニア阻害は生じたが蓄積はなく、それ以外の試験期間は基準値内で推移しており、メタン発酵反応が問題なく安定的に進行したと判断した。

iv) 投入有機物あたりのガス発生量

投入 VS あたりのガス発生量を図資 1-44 に示す。自主研究の HRT30 日 3 回転以降が $0.28 \sim 0.28 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$ (平均 $0.28 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$) に対し、パイロットプラント試験の $0.40 \sim 0.67 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$ (平均 $0.50 \text{ Nm}^3 / \text{kg-投入 VS}$) であった。

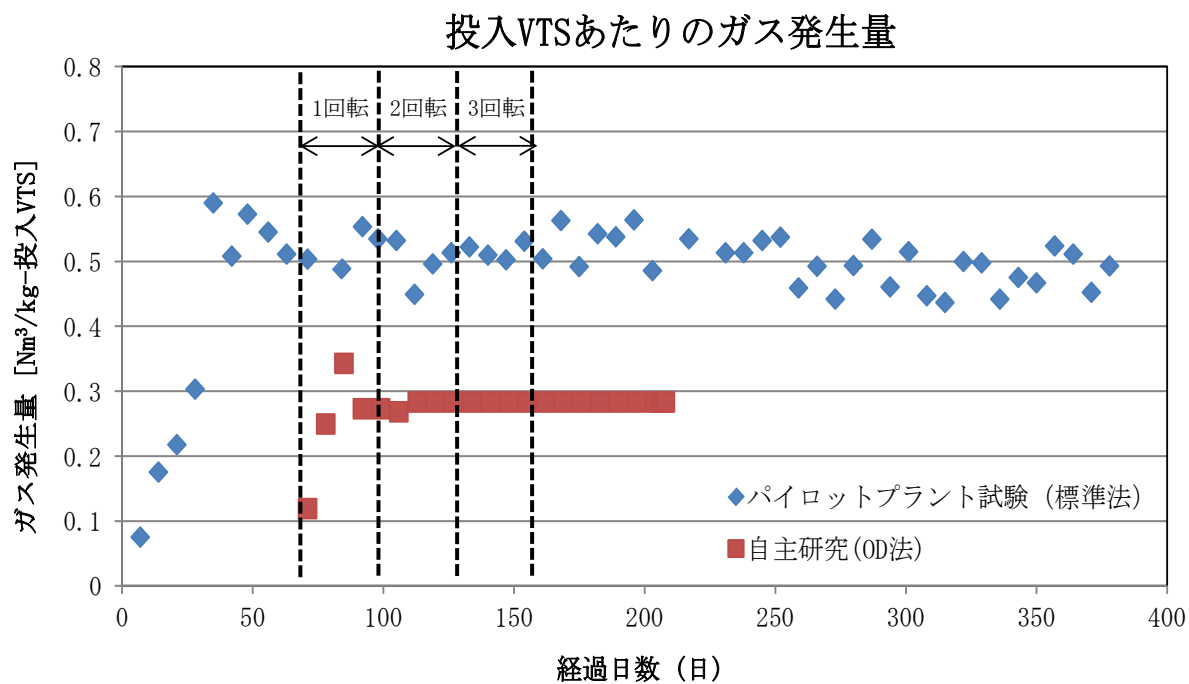


図 資 1-44 パイロットプラントの投入 VS あたりのガス発生量

v) 消化率

消化率を図 資 1-45 に示す。自主研究の HRT30 日 3 回転以降が 50 % (平均 50 %) であったがパイロットプラント試験の 55 ~ 71 % (平均 63 %) であった。

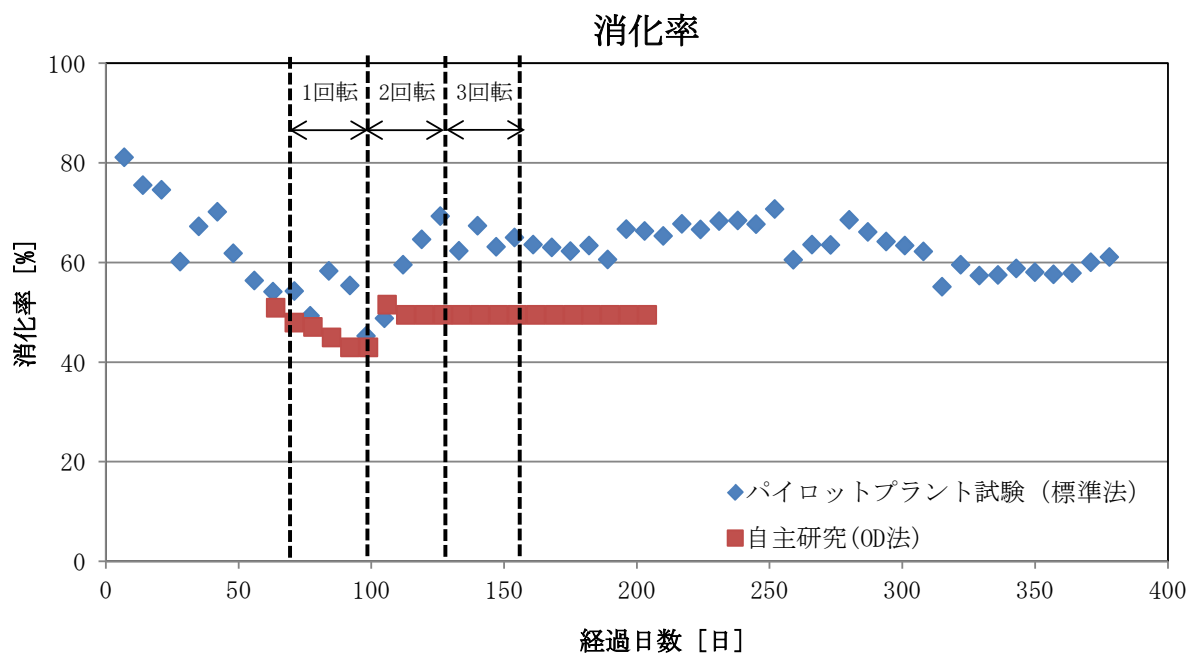


図 資 1-45 パイロットプラントの消化率

vi) メタンガス濃度

図 資 1-46 に示すとおり、自主研究の HRT30 日 3 回転以降が 65 ~ 66 % (平均 65 %) であったが、パイロットプラント試験の 58 ~ 67 % (平均 61 %) とメタンガス濃度に関しては大きな差異は見られなかった。また、表 資 1-38 に示すバイオガス発電の基準値を満たす結果であった。

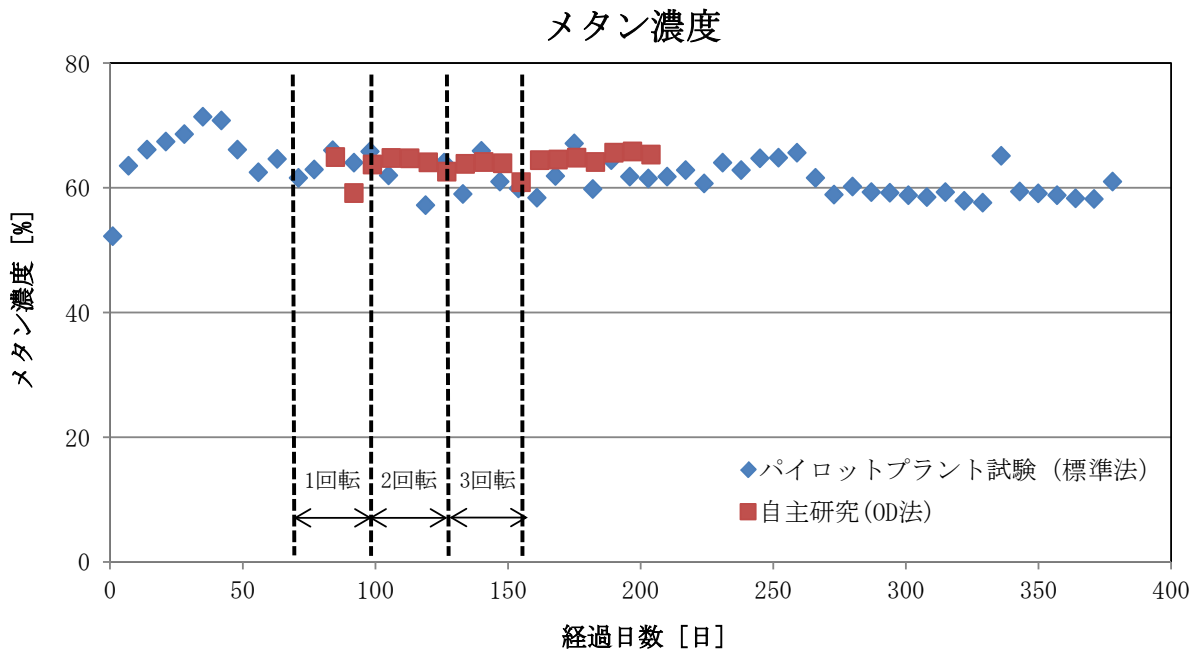


図 資 1-46 パイロットプラントのメタン濃度

3) SRT と消化率・バイオガス発生量の関係

① 消化率

実証試験より消化率の平均は 32.3 % であるが、図 資 1-47 に示す SRT と消化率の関係および回分試験（パイロット試験）と連続試験（実証試験）の関係により、本技術を OD 法処理場（SRT 最頻値 30 日の場合）に適用したときに想定される消化率は 40% 程度となる。このように、実証目標である消化率 40% は、回分試験のような理想的な状態及び SRT の最頻値 30 日の場合を想定しているものである。

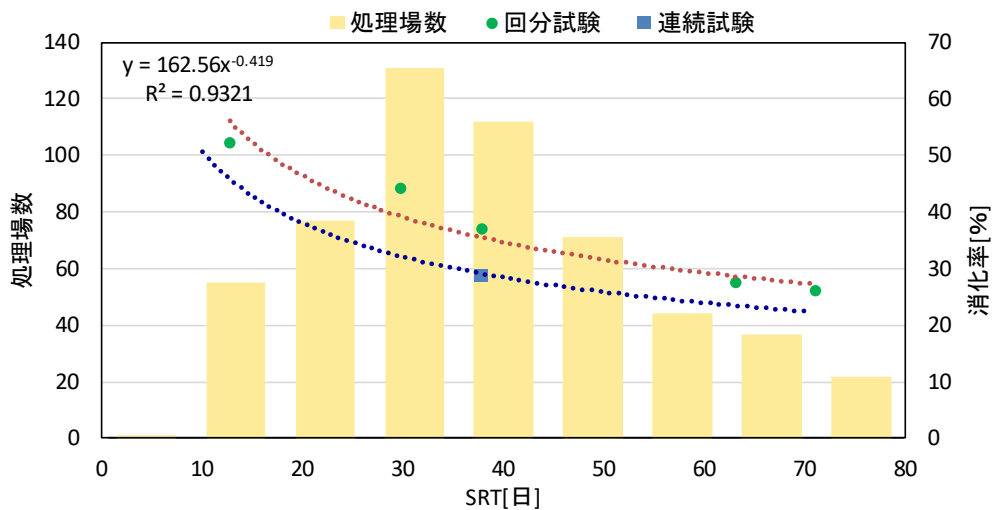


図 資 1-47 SRT と消化率の関係

② バイオガス発生量

実証試験よりバイオガス発生量の平均は $0.22 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ -投入 VS であるが、図 資 1-48 に示す SRT とバイオガス発生量の関係およびバッチ試験（ラボ試験）と連続試験（実証試験）の関係により、本技術を OD 法処理場（SRT 最頻値 30 日の場合）に適用したときに想定されるバイオガス発生量は $0.3 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ -投入 VS となる。このように、実証目標であるバイオガス発生量 $0.3 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ -投入 VS は、回分試験のような理想的な状態及び SRT の最頻値 30 日の場合を想定しているものである。

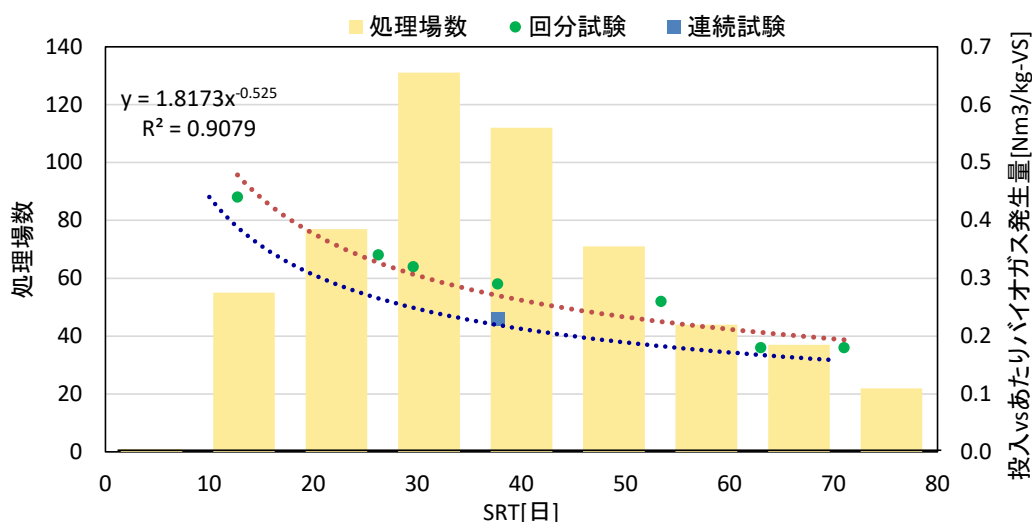


図 資 1-48 SRT とバイオガス発生量の関係

1.3.4 設備コンパクト化・ユニット化

a) 評価方法

評価は、従来技術との比較を行うため、実証施設と同規模（日最大処理水量 約 $2,500 \text{ m}^3 / \text{日}$ ）の従来技術における施設配置計画を行い、「必要敷地面積」「維持管理動線・維持管理時間」「点検箇所数」の観点から評価を行う。評価項目および評価方法を表 資 1-31 示す。

表 資 1-31 評価項目と評価方法

評価項目	評価方法
必要敷地面積	「実証施設」および「従来技術」を対象に、施設面積を集計し、コンパクト化・ユニット化に伴う、必要敷地面積の削減効果を評価する。
維持管理動線 ・維持管理時間	「実証施設」および「従来技術」を対象に、場内の維持管理動線を算定し、集約化に係る移動距離の削減効果（距離・時間）を評価する。
点検箇所数	「実証施設」および「従来技術」を対象に、施設の点検箇所数を集計し、コンパクト化・ユニット化に伴う、点検箇所数の削減効果を評価する。

b) 必要敷地面積

必要敷地面積の評価は、「実証施設」および「従来技術」を対象に施設面積を集計し、コンパクト化・ユニット化に伴う、必要敷地面積の削減効果を確認する。

なお、従来技術の敷地面積は、実証施設と同規模（日最大処理水量 約 2,500 m³ / 日）の場合における施設配置計画を行い評価する。本実証施設の施設配置図を図 資 1-49 に、従来技術の施設配置図を図 資 1-50 に示す。

各必要敷地面積は表 資 1-32 に示すとおりであり、面積の削減効果は約 260 m²、約 30 %となった。

表 資 1-32 縮減効果

項目	面積	概略寸法
本実証施設	591.3 m ²	36.5 m × 16.2 m
従来技術	850.5 m ²	31.5 m × 27.0 m
縮小分	259.2 m ² (30.5 %)	—

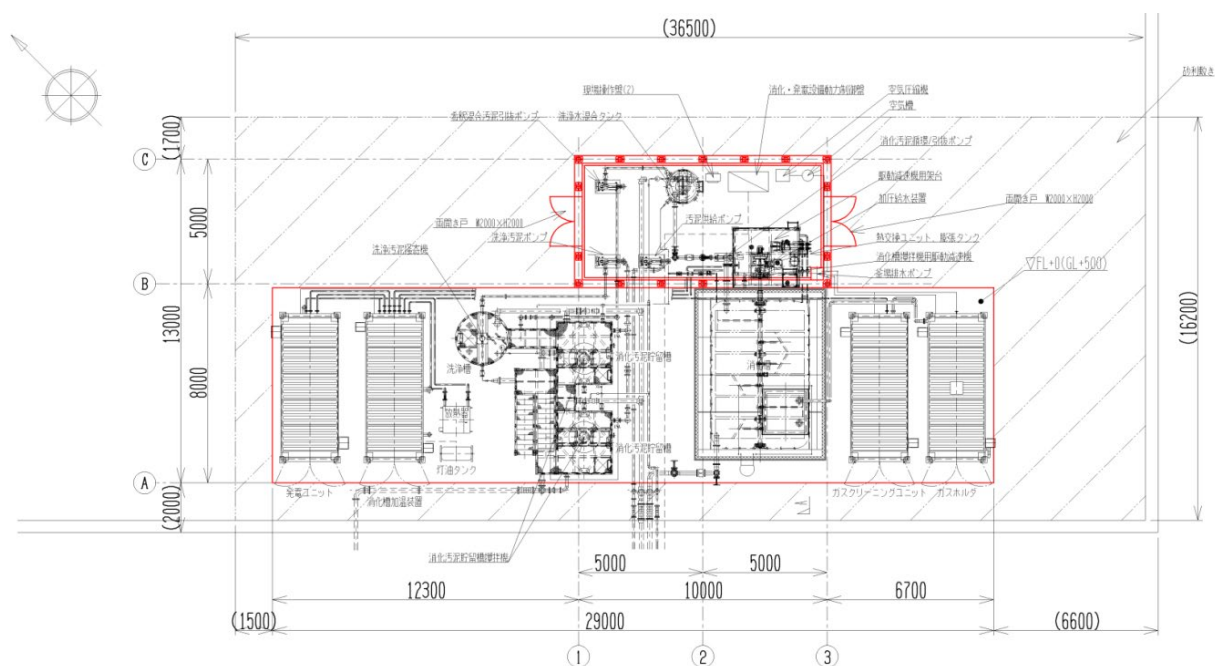


図 資 1-49 実証施設の施設配置計画

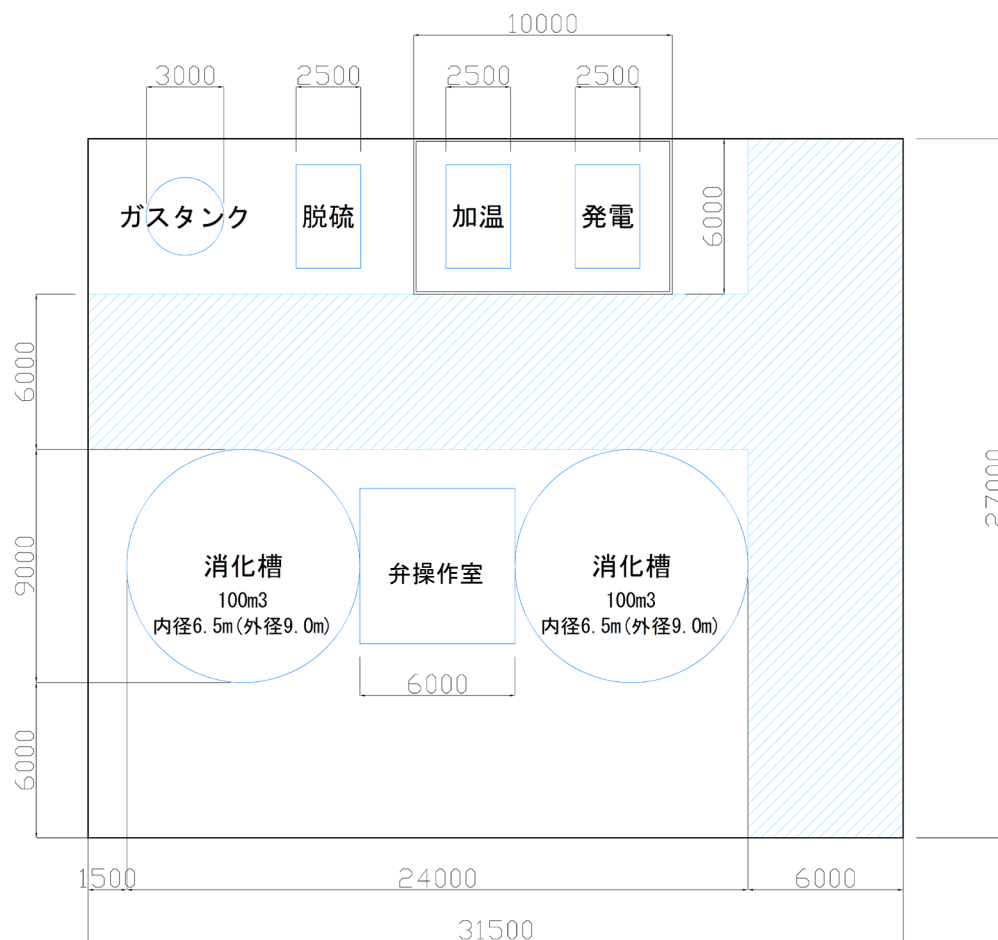


図 資 1-50 従来技術の配置計画

c) 維持管理動線・維持管理時間

維持管理動線・維持管理時間の評価は、「実証施設」および「従来技術」を対象に、場内の維持管理動線を設定し、集約化に係る移動距離の削減効果（距離・時間）を評価する。

なお、従来技術の維持管理動線は、前述の必要敷地面積評価と同様に実証施設と同規模施設の配置計画を元に評価する。

また、維持管理動線の設定にあたり、「点検箇所」は、「下水道施設維持管理積算要領-終末処理場・ポンプ場施設編-」に示される、汚泥消化タンク設備の各機器を対象とした。「点検頻度」は、積算要領に示される各機器と頻度にて設定を行い、「日常点検」・「1週間点検」・「1ヶ月点検」・「6ヶ月点検」・「1年点検」のそれぞれで移動距離を算出し、年間あたりの削減効果を算出する方針とした。

本実証施設および従来技術における維持管理動線図を図 資 1-51 に示す。

各維持管理動線の総距離は表 資 1-33 に示すとおりであり、削減効果は約 10 km、約 10 %となった。この維持管理動線の移動距離と、歩行速度（80 m / min）から年間の短縮時間を試算すると

約 2 時間程度の短縮効果が見られた。

(延長 9,972.6 m ÷ 歩行速度 80 m/min = 2.08 hour)

表 資 1-33 維持管理動線

単位：m

点検頻度	従来技術		革新技術		年間総距離 差分
	単距離	年間総距離	単距離	年間総距離	
日常点検	215.3	78,584.5	203.1	74,131.5	4,453.0
1週間点検	283.1	14,721.2	181.8	9,453.6	5,267.6
1ヶ月点検	302.7	3,632.4	292.9	3,514.8	117.6
6か月点検	228.6	457.2	185.3	370.6	86.6
1年点検	604.7	604.7	556.9	556.9	47.8
合計	1,634.4	98,000.0	1,420.0	88,027.4	9,972.6

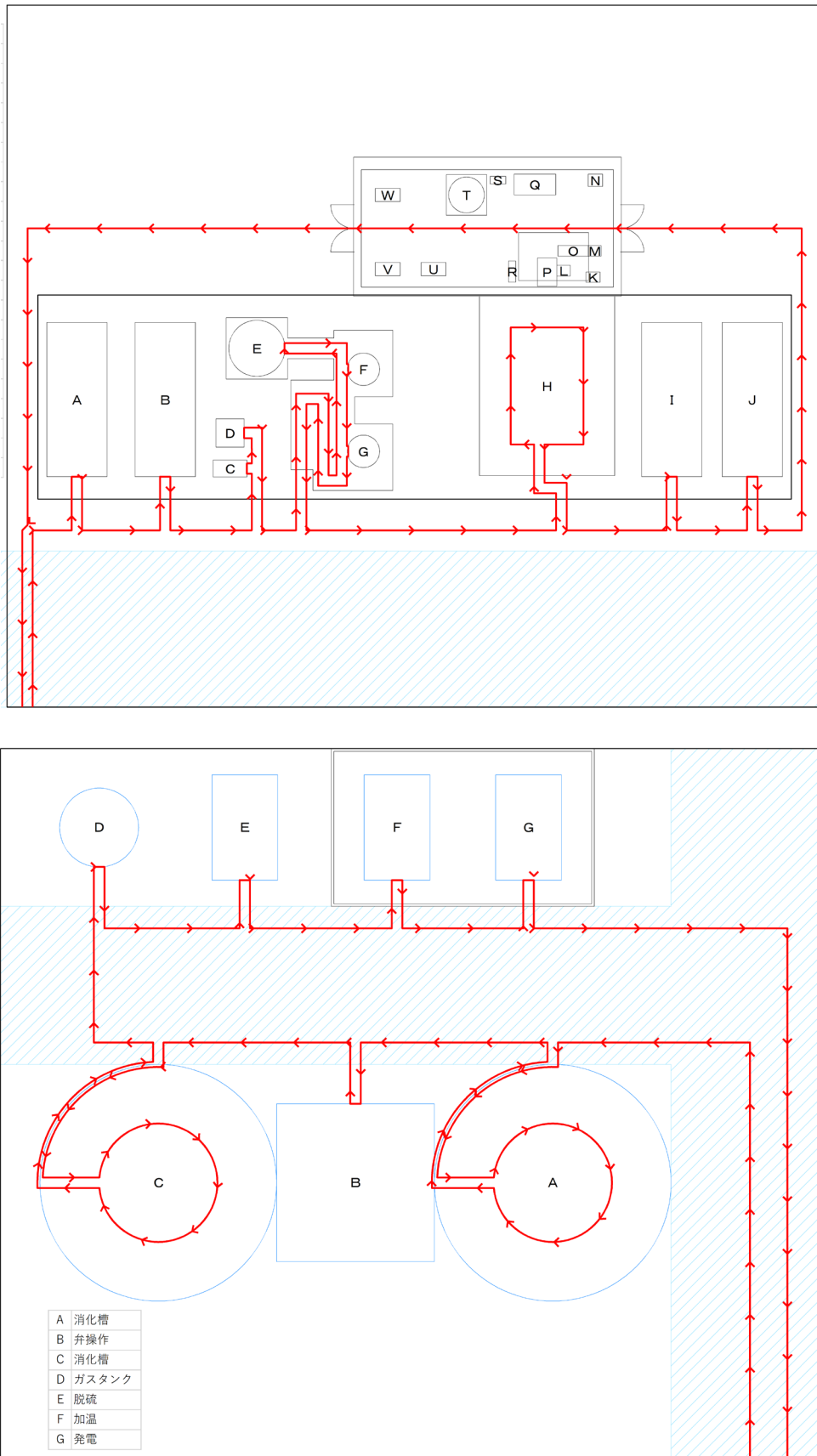


図 資 1-51 維持管理導線図 (上図：実証施設 / 下図：従来技術)

d) 点検箇所数

点検箇所数の評価は、「実証施設」および「従来技術」を対象に、施設の点検箇所数を集計し、コンパクト化・ユニット化に伴う、点検箇所数の削減効果を評価する。

なお、施設の点検箇所数は、前述の維持管理動線と同様に「下水道施設維持管理積算要領-終末処理場・ポンプ場施設編-」に示される、点検項目にて元に評価する。

点検箇所数の比較表 資を表 資 1-34、表 資 1-35 に整理する。ユニット化によって、別箇所にて点検調査を行っていた箇所が統合され、従来技術未満となる。ただし、点検項目内容は、従来技術と同程度となる事に留意する。

表 資 1-34 点検箇所数の比較 (その1)

設備名	機器名	分類	日常点検	定期点検							
				従来	新技術	1週間		1ヶ月			
				従来	新技術	従来	新技術	従来	新技術		
ガスホルダー 一体型消化槽	消化タンク	加温	1.安全弁,圧力の確認	○	○	1.ガス圧,スチーム圧の確認		○	○		
		無加温									
	汚泥ポンプ	電動機直結形	1.異音,漏度,圧力,弁開度,水漏れ,振動の確認	○	○			1.Vベルトの張り調整	○	○	
		Vベルト掛	2.グランドリキーン・メカニカルシールの確認	○	○			2.グランドリキーン・メカニカルシールの調整	○	○	
		回転数制御									
	自動弁	電動式	1.開度の確認	○	○			1.作動確認	○	○	
		空気作動式	2.漏れ確認	○	○			2.グランドリキーン・メカニカルシールの確認	○	○	
	覆拌機	ガスかくはん	1.異音,漏度,振動,圧力の確認	○	○	1.電流値,圧力の確認	○	○	1.Vベルトの張り調整	○	○
		機械かくはん	2.ガス漏れの確認	○	○						
	脱脂装置	乾式	1.注水の確認	○	○						
		湿式	2.ガス漏れの確認	○	○						
ガス貯留タンク	有水式	1.貯留量及びガス圧の確認	○	○			1.ガイドローラの注油	○	○		
	乾式	2.ガス漏れの確認	○	○							
余剰ガス燃焼装置	伊外燃焼形	1.燃焼の確認	○	○			1.作動確認	○	○		
	伊内燃焼形						2.ガス補給	○	○		
重油貯蔵施設 (小出構)	サービスタンク	1.貯留量の確認	○	○			1.工所抜きパイプの点検	○	○		
	(小出構)	2.漏れの確認	○	○							
(11)汚泥 消化 タンク 設備	ガス,蒸気配管	配管,弁類	1.ドレンの確認 2.ガス漏れ,蒸気漏れの確認	○	○						
	ボイラ	温水ボイラ	1.低水位遮断し,断装置の作動確認 2.自動給水加減器の作動確認 3.軟水タンクの水位確認 4.ボイラ水のpH,軟水のpH及び硬度確認 5.清浄剤,脱酸剤の投入及びボイラ水の処理 6.各系統のバルブの作動確認 7.排煙温度計,炎検出装置の確認 8.バーナ操作リンク機構の作動確認 9.各機器の油層,ベルトの張り,異音,振動及び作動確認 10.燃焼状態,ばい塵発生状況確認 11.ボイラの水位と圧力の確認 12.スチームラインのブロー及び各部の漏れ,損傷の確認 13.各機器の電流,圧力 14.スチームヘッダの蒸気圧力及び蒸気漏れの確認 15.ガスブースターファンの異音,温度,振動,ガス漏れの確認 16.水面測定装置の機能点検 17.圧力筒の作動確認 18.風道の吹出口と吸込口の異物付着状況の確認	○	○			別表の定期自主点検表に準ずる 1.ボイラ (ボイラ及び圧力容器安全規則第32条準拠) 2.第1種圧力容器 (ボイラ及び圧力容器安全規則第67条準拠)	○	○	
		消化槽加温用ボイラ(伊内燃焼形)	1.温度,圧力,給水量,異音,振動,ベルト,燃焼状態の確認	○	○					○	○
	軟水装置		1.水位,温度の確認	○	○						
	雨水ポンプ	渦巻ポンプ	1.異音,漏度,圧力,弁開度,水漏れ,振動の確認	○	○			1.油量確認及びガス補給	○	○	
		タービンポンプ	2.グランドリキーン・メカニカルシールの確認	○	○			2.グランドリキーン・メカニカルシールの調整	○	○	
	その他	メタン発酵									

表 資 1-35 点検箇所数の比較 (その2)

設備名	機器名	分類	日常点検	定期点検							
				従来	新技術	6ヶ月		1年			
(11) 汚泥消化タンク設備	消化タンク	加温	1.安全弁、圧力の確認	○	○						<div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">ガスホルダー一体型消化槽</div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-bottom: 5px;">ガスクリーニングユニット</div> <div style="border: 1px solid green; padding: 5px;">消化槽加温装置ユニット</div>
		無加温									
	汚泥ポンプ	電動機油結晶	1.異音、温度、圧力、弁開度、水漏れ、振動の確認	○	○						
		Vベルト駆動	2.グランドロック・メカニカルシールの確認	○	○						
	自動弁	回転数制御		○	○						
		電動式	1.開度の確認	○	○						
	攪拌機	空気作動式	2.漏れ確認	○	○						
		ガスがくはん	1.異音、温度、圧力、弁開度、水漏れ、振動の確認	○	○						
	脱酸装置	機械がくはん	2.ガス漏れの確認	○	○						
		乾式	1.注水の確認	○	○						
	ガス貯留タンク	連続式	2.ガス漏れの確認	○	○						
湿式			○	○							
家畜ガス燃焼装置	筒式	1.貯留量及びガス圧の確認	○	○							
	湿式	2.ガス漏れの確認	○	○							
重油貯蔵施設 (小出機)	貯外燃焼形	1.燃焼状況の確認	○	○							
	貯内燃焼形		○	○							
重油貯蔵施設 (小出機)	サービスタンク	1.貯留量の確認	○	○							
	配管、弁類	2.漏れの確認	○	○							
ボイラ	温水ボイラ	配管、弁類	1.注水の確認	○	○						
		2.ガス漏れ、蒸気漏れの確認	○	○							
		1.低水位燃焼しや断装置の作動確認	○	○							
		2.自動給水加減器の作動確認	○	○							
		3.軟水タンクの水位確認	○	○							
		4.ボイラ水のpH、軟水のpH及び硬度確認	○	○							
		5.清田剤、脱酸剤の投入及びボイラ水の処理	○	○							
		6.各系統のバルブの作動確認	○	○							
		7.排煙濃度計、火災検出装置の確認	○	○							
		8.バーナ操作パン機構の作動確認	○	○							
		9.各機器の油量、ベルトの張り、異音、振動及び作動確認	○	○							
10.燃焼状態、ばい煙発生状況確認	○	○									
11.ボイラの水位と圧力の確認	○	○									
12.スチームラインのフロー及び各部の漏れ、損傷の確認	○	○									
13.各機器の電流、圧力	○	○									
14.スチームヘッドの蒸気圧力及び蒸気漏れの確認	○	○									
15.ガスブースターファン、異音、温度、振動、ガス漏れの確認	○	○									
16.水面測定装置の機能点検	○	○									
17.圧力降の作動確認	○	○									
18.風道の吹出口と吸込口の異物付着状況の確認	○	○									
消化槽加温用ボイラ(炉間埋管式)	1.温度、圧力、給水量、異音、振動、ベルト、燃焼状態の確認	○	○								
軟水装置	1.水位、温度の確認	○	○								
用水ポンプ	渦巻ポンプ	1.異音、温度、圧力、弁開度、水漏れ、振動の確認	○	○							
	タービンポンプ	2.グランドロック・メカニカルシールの確認	○	○							
その他	タンク洗浄										

e) 工期短縮

施設のコンタクト化・ユニット化に伴う工期短縮効果を試算した結果を表 資 1-36 に示す。概略検討結果には、約 180 日程度の短縮が見込まれた。

表 資 1-36 工期短縮の試算結果

項目	1年目												2年目												3年目												
	4月	5月	6月	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	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
従来技術	土木工事	汚泥消化槽2槽 12.5ヵ月												ガスタンク・脱硫棟基礎2.0ヵ月																							
	建設工事	消化棟6.0ヵ月						弁操作室4.0ヵ月																													
	機械設備工事	設計期間						制作期間						据付・試運転						総合試運転																	
	電気設備工事	設計期間						制作期間						据付・試運転						総合試運転																	
革新技術	土木工事	消化槽5ヵ月			機械・建築基礎板2.0ヵ月																																
	建設工事	消化棟4.0ヵ月																																			
	機械設備	設計・製作4.0ヵ月						据付3.0ヵ月						総合試運転2.0ヵ月																							
	電気設備	設計・製作4.0ヵ月						据付3.0ヵ月						総合試運転2.0ヵ月																							
従来	789	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	28	31										
新技術	609	30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	30	31	28	31											
短縮日数	180	日																																			

1.3.5 バイオガス発電技術

a) 最適化条件

各種測定、およびバイオガス発生量に応じた出力制御を自動で行う。測定項目は「1.3.3 高濃度消化技術」で示したとおりである。

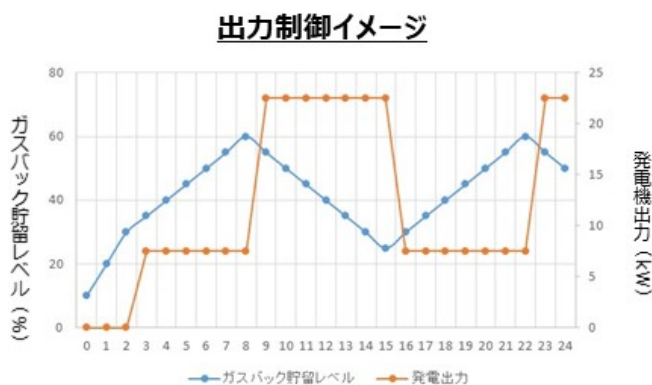


図 資 1-52 出力制御イメージ

発電機の最適運転条件 25 kW に対し、図 資 1-52 に示すように 50 ~ 100 % (12.5 ~ 25 kW) の範囲で出力制御を行い、極力発電機が停止しないような運転方法をとるのが一般的である。ただし実証施設からのガス発生量が少なく、低出力運転としてもガスの消費量が勝るため間欠運転とせざるを得ない。

また定格出力の 25 kW 運転では施設受電電力を超えてしまうタイミングがあるため、逆潮流を避けるため安全を考慮し発電機出力を 20 kW 固定とした。

b) 処理の安定性

バイオガス発電技術における安定性の評価では、最適条件において自動運転制御の安定性を確認した。

1) 立ち上げ計画

発電機の立ち上げは表 資 1-37 の工程で実施した。据え付けから系統連系開始まで時間がかかった理由は、電力会社との協議が長引いたことによる。

表 資 1-37 バイオガス発電技術の工程

	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
据え付け施工	■													
系統連系										■	■	■	■	■
運転状況										調整 ■	調整 ■	調整 ■	自動運転 ■	自動運転 ■
分析										■	■	■	■	■
評価項目の計測										■			■	

発生したバイオガスが発電に適しているかは表 資 1-38 の基準値にて確認した。

なお、発電機は平成 30 年度に製造を行い、工場検査では問題なく運転できることを確認した。

表 資 1-38 バイオガス発電 基準値

項目	基準値
メタン濃度 (%)	55～65
硫化水素 (ppm)	10 以下
シロキサン (ppm)	0.02 以下

※硫化水素、シロキサンは脱硫、シロキサン除去後の値

発電機の立ち上げにおける主な確認項目を表 資 1-39 に示す。

表 資 1-39 バイオガス発電機確認項目

項目	判定
発電電力	10～25kW の範囲で制御可能か
排熱回収	排熱回収により温水取り出しが可能か
系統連系	発電電力が系統へ接続できるか

2) 連続運転時の安定性

本試験は表 資 1-37 のとおりに実施した。結果は完全に連続運転が開始した 2020 年 1 月 24 日以降のデータを報告する。なお、実規模実証施設のある処理場の消費電力量が少ないため、発電機は 1 日約 45 分 / 回 × 5 ～ 7 回の間欠運転にて運用した。

① バイオガス性状

発電機で使用しているバイオガスの性状分析を表 資 1-40 に示す。これは実規模実証施設の消化槽から発生したバイオガスから不純物（硫化水素、シロキサン、水分）を除外したガスを使用した。

表 資中に発電機でのバイオガス使用条件範囲を併記したが、季節ごとの分析においては全ての分析項目において条件を満たしていることを確認した。

表 資 1-40 実証施設のバイオガス性状

採取日	メタン	二酸化炭素	硫化水素	オクタメチルシクロテトラシロキサン (D4)	デカメチルシクロペンタシロキサン (D5)
	% (V/V)	% (V/V)	ppm (V/V)	ppm (V/V)	ppm (V/V)
発電機使用条件範囲	55～65%	-	10 以下	0.02 以下	0.02 以下
2019/9/24	57	36	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満
2019/11/25	59	36	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満
2020/2/7	60	38	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満
2020/5/12	60	38	1.0 未満	0.0009 未満	0.0007 未満

※5 月調査は自主研究期間データ

② 発電電力量および運転時間

図 資 1-53 に週合計の発電電力量および運転時間を示す。2020 年 1 月 13 日～1 月 26 日までは

動作確認等の試運転期間であり、2月3日～2月16日と3月16日～3月22日の期間は、発電機の不具合で運転できない時間があったため、発電電力量および運転時間共に減少した。その期間以外の発電電力量は540～648 kWh / 週（平均582 kWh / 週）、運転時間は32.5～33.2 h / 週（平均32.8 h / 週）と安定した運転であった。

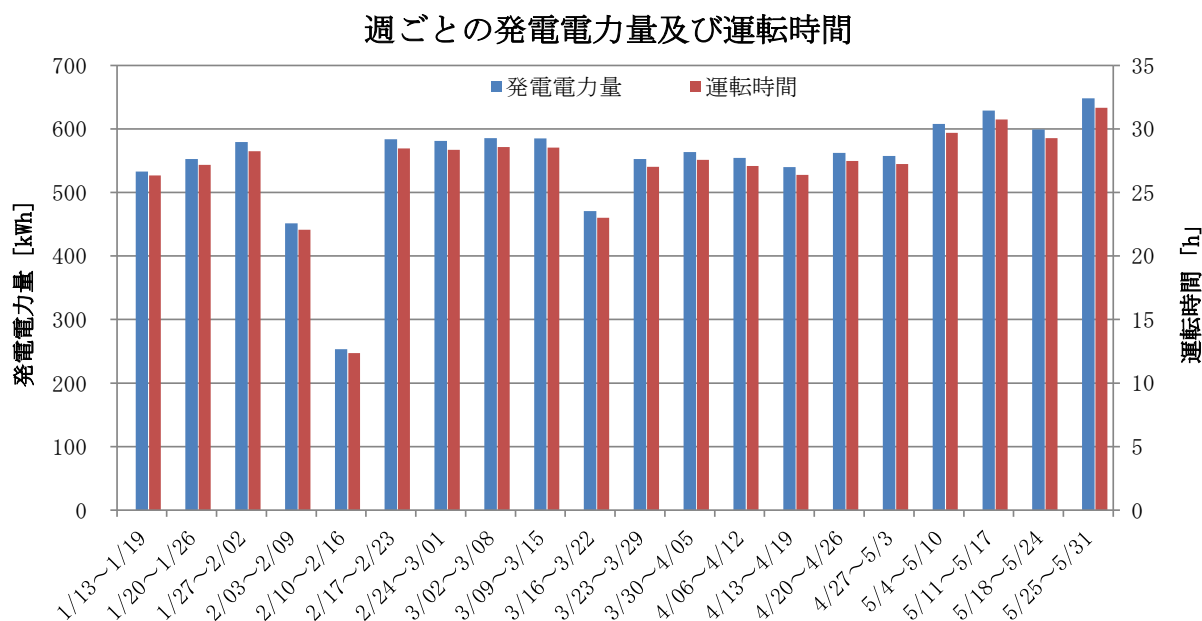


図 資 1-53 週合計の発電電力量および運転時間発電効率

※4月以降は自主研究期間データ

③ 発電効率

発電機の発電効率は下式から算出した。なお、メタンガス低位発熱量は 35.79 MJ/Nm³ とする。

$$\text{発電効率 (\%)} = \frac{\text{発電電力量(kWh)} \times 3.6 \text{ (MJ/kWh)}}{\text{ガス使用量 (Nm}^3\text{/h)} \times \text{メタン濃度 (\%)} \times \text{メタンガス低位発熱量 (MJ/Nm}^3\text{)}} \times 100$$

図 資 1-54 に週平均の発電効率を示す。先述のとおり 2月3日～2月16日の発電電力量および運転時間は少ないが、発電効率に関しては問題ないことを確認した。一方で、1月13日～1月26日と3月16日～3月22日の期間は計算から除外した。その結果、連続運転期間内の発電効率は32.5～33.2%（平均32.8%）であった。

発電電力量および運転時間、発電効率から発電機の運転の安定性を確認した。

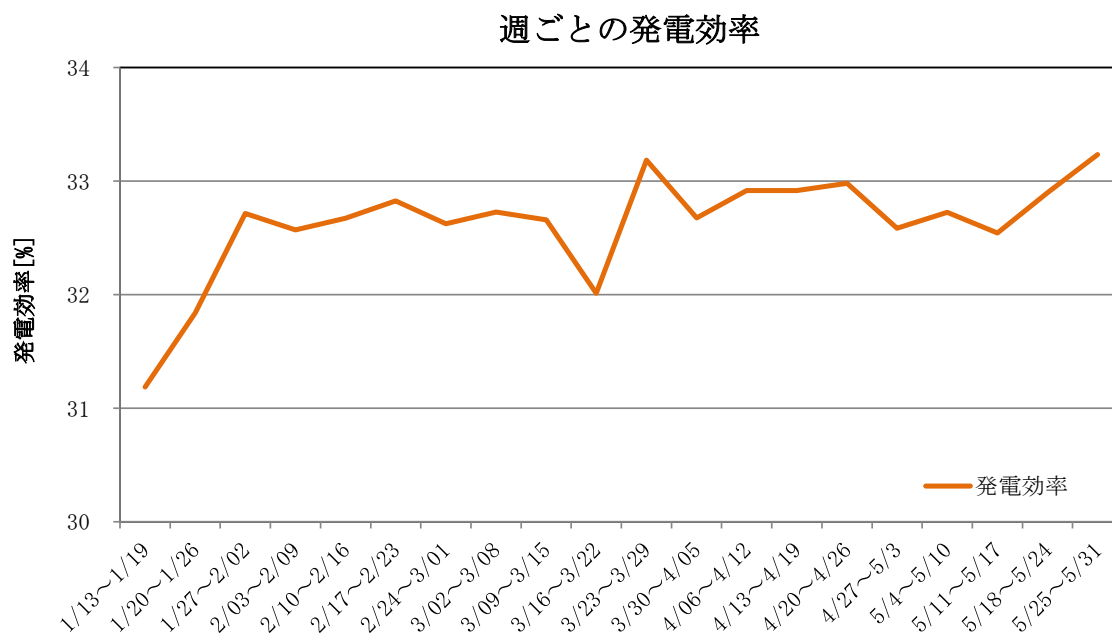


図 資 1-54 週平均の発電効率

※4 月以降は自主研究期間データ

④ ガスパックレベルおよび発電電力の経時変化

図 資 1-55 に 2020 年 2 月 26 日のガスパックレベルおよび発電電力の推移を示す。

発電機の運転許可条件は消費電力の関係から処理場内送風機の運転時間内であること、ガスパックレベルが規定値以上であることの 2 つが揃っていないと認められない。グラフ中の送風機の運転時間内でガスパックレベルが低下している時間帯は発電機が貯留しているバイオガスを消費している状態を示す。また、発電機電力のグラフが急激に立ち上がり、急降下するまでの時間が発電機の稼働時間である。このことから、ガスパックレベルに応じて発電機が自動で運転停止ができること、始動性に問題ないことを確認した。

一方、7:30、14:30、18:30 は送風機の運転時間外であるが、ガスパックレベルが低下している理由はバイオガスボイラを使用しているためである。発電機からの排熱およびバイオガスボイラの加熱された温水は消化槽の加温に使用した。発電機およびバイオガスボイラが停止中の消化槽の加温は灯油ボイラを使用した。

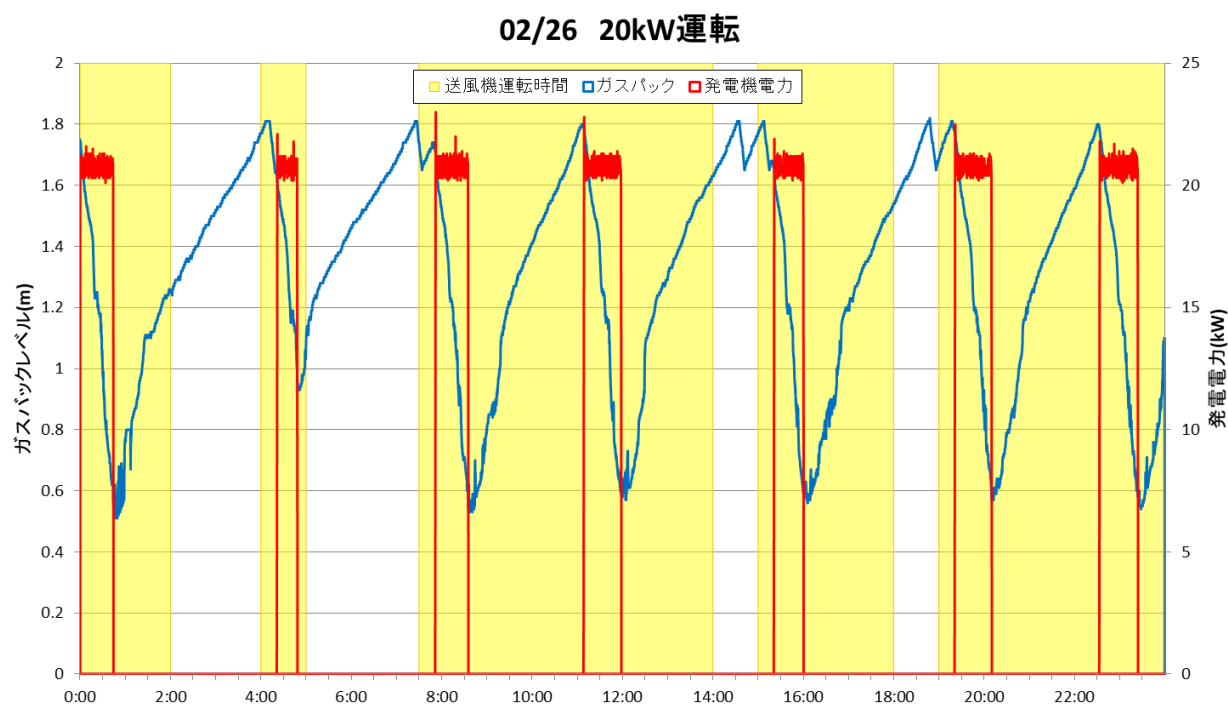


図 資 1-55 ガスパックレベルおよび発電電力の推移 (2020/2/26)

2 ケーススタディ

2.1 費用関数設定条件

費用関数を算出するにあたり、条件を以下のとおりとした。

2.1.1 対象処理場条件

対象水処理毎に処理場の条件を表 資 2-1 に示す。

表 資 2-1 対象処理場条件

水処理方式		オキシデーション ディッチ法	標準活性汚泥法
従来汚泥処理方式		重力濃縮→脱水	重力濃縮→脱水 又は重力濃縮→消化→脱水
流入水量 [m ³ /日]	規模	2,250～12,500	2,250～12,500
	日平均	2,000～10,000	2,000～10,000
流入 SS 濃度 [mg/L]		149	149
放流 SS 濃度 [mg/L]		9	9

2.1.2 試算条件

a) 建設費

本技術は、既設脱水機を機械濃縮機として二段活用を行うため、脱水機および機械濃縮機の建設費は含まない。機器と工事内容を表 資 2-2 に示す。

表 資 2-2 建設費に含まれている内容

種別	項目	内容
機器	高濃度濃縮設備	既存脱水機を用いるため含まない
	高濃度消化設備	ガスホルダー一体型消化ユニット、加温ユニット、ガスクリーニングユニット、放熱器、汚泥ポンプ
	汚泥洗浄および貯留設備	洗浄水混合タンク、洗浄槽汚泥掻き寄せ機、洗浄汚泥ポンプ、消化汚泥貯留槽攪拌機、汚泥供給ポンプ、排水ポンプ
	ガス発電設備	バイオガス発電ユニット、既設改造費
工事	機械設備工事	上記機器の機械基礎・据付、配管工事
	電気設備工事	上記機器の動力制御盤および動力制御盤からの二次側配線工事
	土木建築工事	上記機器の基礎、電気室の建屋設置工事
	既設改造	既設脱水機の二段活用に伴う配管等の工事

資料編

b) 維持管理費

維持管理費としては、ユーティリティ（電力、燃料、上水、薬品）に関する費用および修繕費、人件費を検討する。表 資 2-3 に維持管理費の試算条件を示す。

表 資 2-3 維持管理費の試算条件

項目		内容
濃縮	高分子凝集剤注入率	0.8%TS-機械濃縮投入汚泥
	濃縮汚泥固形物濃度	10%
脱水	高分子凝集剤注入率	1.2%TS-脱水機投入汚泥
	脱水ケーキ含水率	85%
その他	電力使用量	実証試験より算出
	燃料使用料	バイオガス発電廃熱を加温に利用
	稼働条件	消化設備：365日・24時間運転 濃縮・脱水：平日5日運転
	修繕費	機器費の3%を計上
	人件費	濃縮・脱水で1.0人工、消化・ガス発電で0.8人工

2.2 費用関数設定

2.2.1 OD法

a) 建設費

建設費の費用関数は、前項で定めたとおりの建設費の範囲に対して整理を行った。試算結果を表 資 2-4 および図 資 2-1～図 資 2-4 に示す。

表 資 2-4 建設費の試算結果

処理規模	日平均汚水量	単位：円			
		2,000	5,000	7,000	10,000
高濃度消化設備	ガスホルダー一体型消化ユニット	81,500,000	115,500,000	135,400,000	162,200,000
	加温ユニット	21,800,000	23,200,000	24,300,000	25,700,000
	ガスクリーニングユニット	15,100,000	22,300,000	25,500,000	28,000,000
	放熱器	1,100,000	1,100,000	1,100,000	1,100,000
	汚泥ポンプ	1,000,000	1,000,000	1,600,000	1,600,000
	機械設備工事	22,640,000	30,320,000	34,740,000	40,140,000
	電気設備工事	19,850,000	26,580,000	30,460,000	35,190,000
	土木建築工事	65,250,000	166,800,000	173,700,000	208,500,000
	計	228,240,000	386,800,000	426,800,000	502,430,000
汚泥洗浄及び貯留設備	洗浄水混合タンク	2,700,000	4,200,000	5,100,000	6,000,000
	洗浄槽汚泥掻き寄せ機	13,950,000	22,050,000	26,100,000	37,350,000
	洗浄汚泥ポンプ	1,650,000	2,850,000	3,855,000	7,050,000
	消化汚泥貯留槽攪拌機	18,300,000	26,400,000	35,250,000	39,750,000
	汚泥供給ポンプ	1,200,000	2,850,000	3,855,000	7,050,000
	排水ポンプ	1,050,000	1,050,000	1,950,000	1,950,000
	機械設備工事	13,200,000	20,250,000	27,600,000	35,850,000
	電気設備工事	5,400,000	8,100,000	11,100,000	14,400,000
	土木建築工事	21,450,000	54,800,000	57,100,000	68,500,000
計	78,900,000	142,550,000	171,910,000	217,900,000	
ガス発電設備	消化ガス発電ユニット	27,800,000	27,800,000	27,800,000	30,900,000
	機械設備工事	3,990,000	3,990,000	3,990,000	4,440,000
	電気設備工事	3,450,000	3,450,000	3,450,000	3,840,000
	土木建築工事	7,200,000	18,400,000	19,200,000	23,000,000
	既設改造	4,500,000	4,500,000	4,500,000	4,500,000
計	46,940,000	58,140,000	58,940,000	66,680,000	
総計	354,080,000	587,490,000	657,650,000	787,010,000	

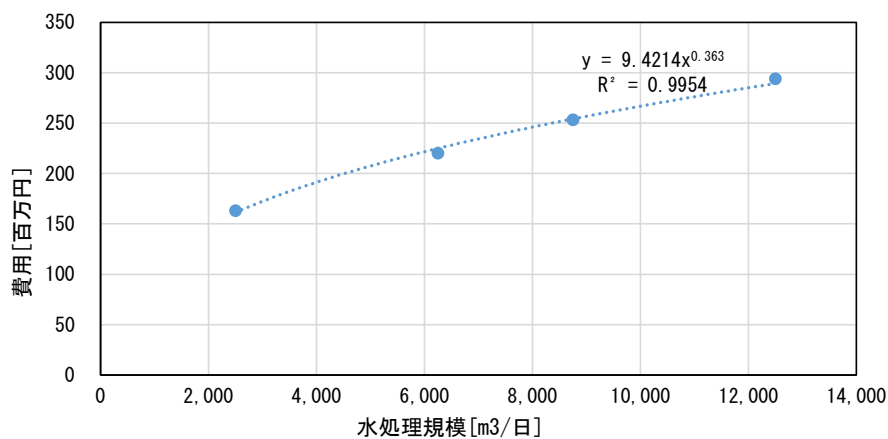


図 資 2-1 高濃度消化設備・建設費費用関数

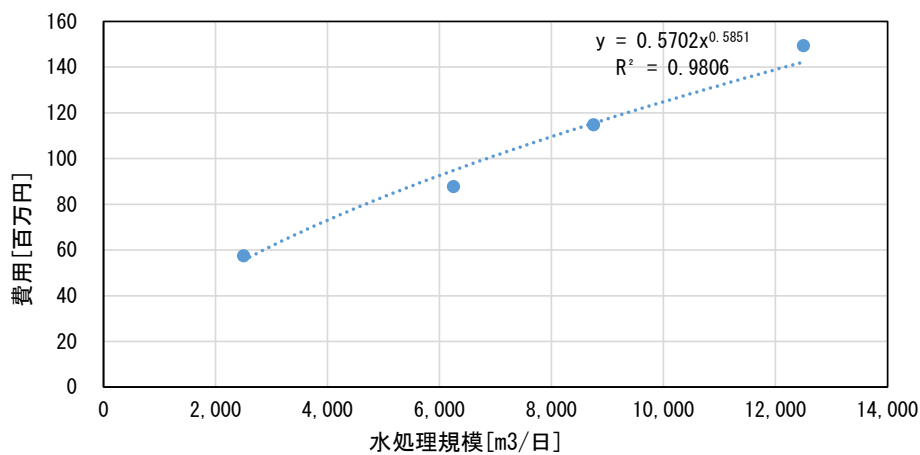


図 資 2-2 汚泥洗浄および貯留設備・建設費費用関数

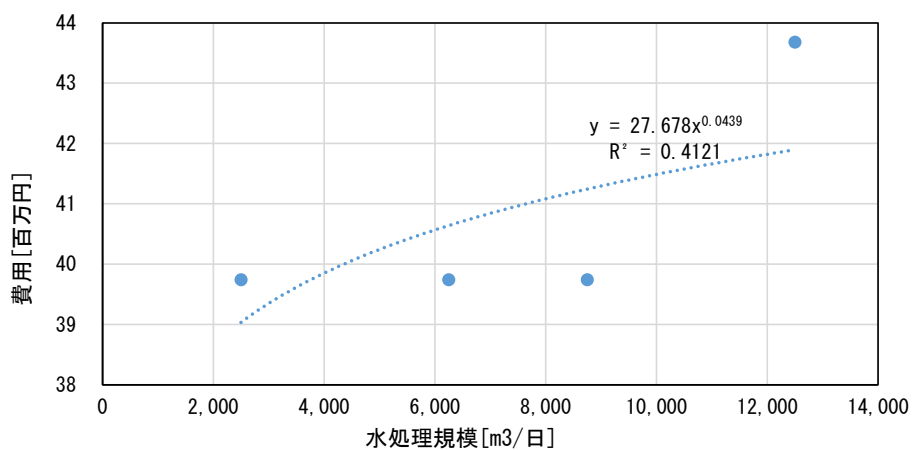


図 資 2-3 ガス発電設備・建設費費用関数

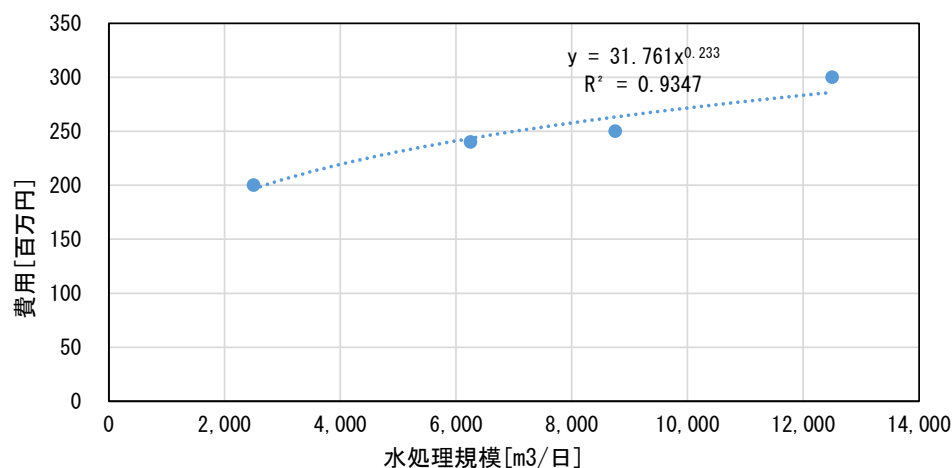


図 資 2-4 土木建築・建設費費用関数

b) 維持管理費

維持管理費の費用関数は、2.1.2項で定めたとおりの維持管理費の項目に対して整理を行った。試算結果を表 資 2-5 および図 資 2-5～図 資 2-8 に示す。

表 資 2-5 維持管理費の試算結果

項目		日平均汚水量 [m³/日]			
		2,000	5,000	7,000	10,000
高濃度消 化	電力費	0.4872	1.1270	1.5419	2.1549
	燃料費	0.4241	0.6924	0.8253	1.3720
	補修費	3.6150	4.8930	5.6370	6.5580
	人件費	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
	電気設備維持管理費	0.1118	0.1542	0.1728	0.1945
	小計	8.638	10.867	12.177	14.279
高濃度濃 縮・脱水	電力費	0.370	0.924	1.294	1.848
	凝集剤費	1.371	3.410	4.782	6.846
	補修費	1.166	1.782	2.283	2.975
	人件費	5.000	5.000	5.000	5.000
	電気設備維持管理費	0.223	0.391	0.480	0.594
	小計	8.129	11.507	13.838	17.263
ガス発電	補修費	0.834	0.834	0.834	0.927
	小計	0.834	0.834	0.834	0.927
総計		17.601	23.208	26.849	32.470

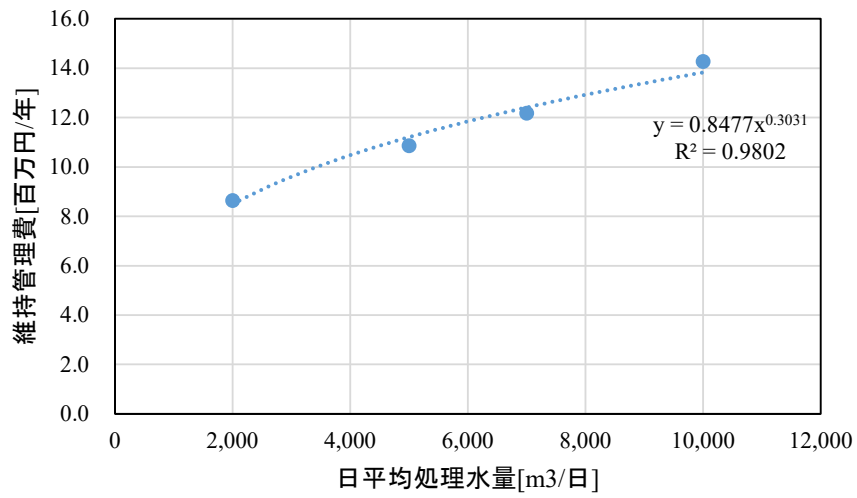


図 資 2-5 高濃度消化設備・維持管理費費用関数

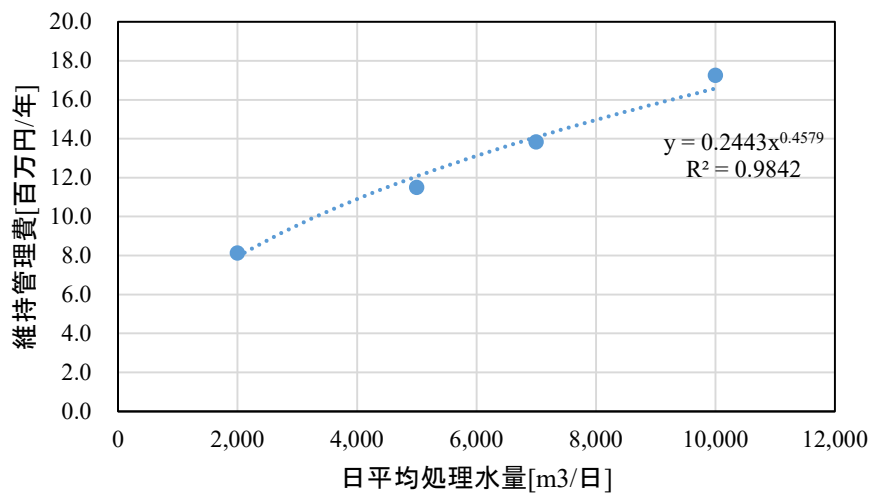


図 資 2-6 高濃度濃縮・脱水設備・維持管理費費用関数

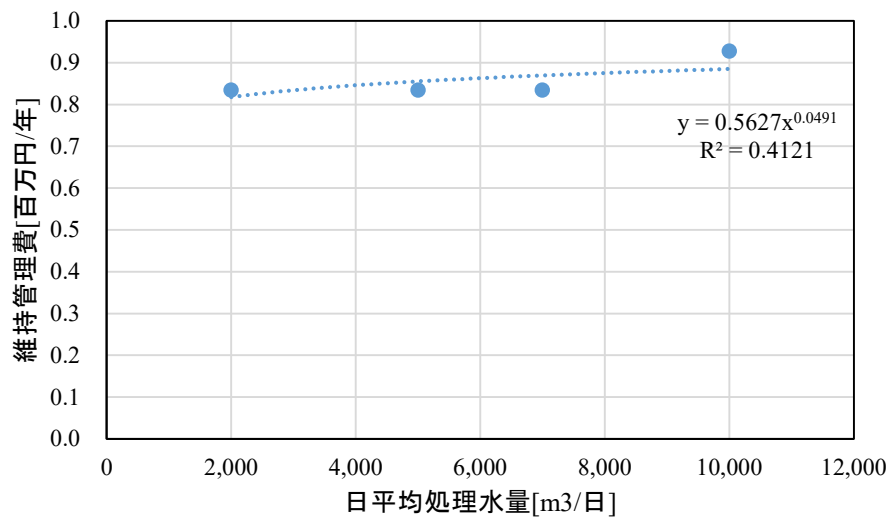


図 資 2-7 バイオガス発電設備・維持管理費費用関数

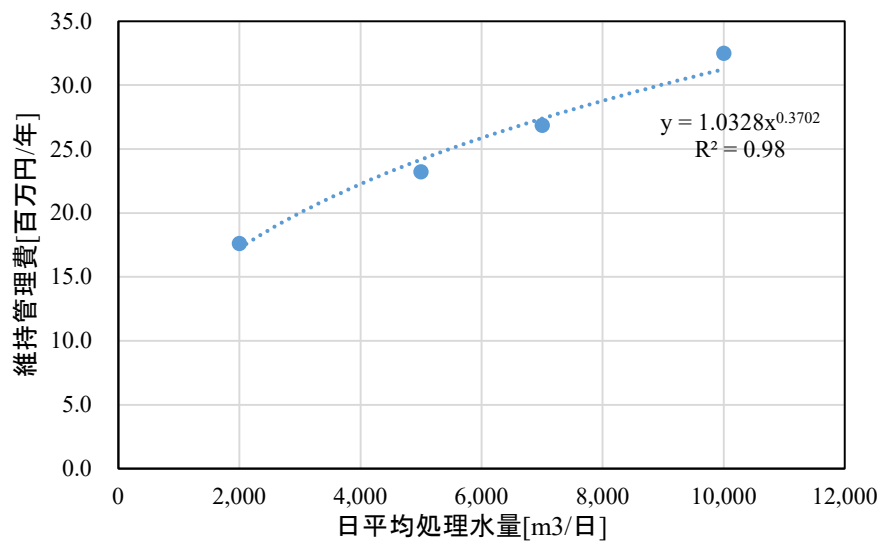


図 資 2-8 施設全体・維持管理費費用関数



2.2.2 標準活性汚泥法

c) 建設費

標準活性汚泥法に本技術を導入する場合の建設費の費用関数は、前項で定めたとおりの建設費の範囲に対して整理を行った。試算結果を表 資 2-4 および図 資 2-1～図 資 2-4 に示す。

表 資 2-6 建設費の試算結果

単位：円

処理規模	日平均汚水量 (m ³ /日)	2,000	5,000	7,000	10,000
高濃度消化設備	ガスホルダー一体型消化ユニット	111,000,000	144,000,000	162,200,000	201,000,000
	加温ユニット	25,500,000	26,750,000	28,000,000	32,500,000
	ガスクリーニングユニット	24,300,000	26,800,000	29,300,000	31,800,000
	放熱器	1,100,000	2,200,000	2,200,000	3,300,000
	汚泥ポンプ	1,000,000	1,600,000	1,600,000	2,500,000
	機械設備工事	29,920,000	36,980,000	41,010,000	49,790,000
	電気設備工事	26,230,000	32,420,000	35,950,000	43,650,000
	土木建築工事	65,250,000	166,800,000	173,700,000	208,500,000
計		284,300,000	437,550,000	473,960,000	573,040,000
汚泥洗浄及び貯留設備	洗浄水混合タンク	2,700,000	4,200,000	5,100,000	6,000,000
	洗浄槽汚泥掻き寄せ機	13,950,000	22,050,000	26,100,000	37,350,000
	洗浄汚泥ポンプ	1,650,000	2,850,000	3,855,000	7,050,000
	消化汚泥貯留槽攪拌機	18,300,000	26,400,000	35,250,000	39,750,000
	汚泥供給ポンプ	1,200,000	2,850,000	3,855,000	7,050,000
	排水ポンプ	1,050,000	1,050,000	1,950,000	1,950,000
	機械設備工事	13,200,000	20,250,000	27,600,000	35,850,000
	電気設備工事	5,400,000	8,100,000	11,100,000	14,400,000
土木建築工事	21,450,000	54,800,000	57,100,000	68,500,000	
計		78,900,000	142,550,000	171,910,000	217,900,000
ガス発電設備	消化ガス発電ユニット	27,800,000	44,480,000	44,480,000	55,600,000
	機械設備工事	3,990,000	6,384,000	6,384,000	7,980,000
	電気設備工事	3,450,000	5,520,000	5,520,000	6,900,000
	土木建築工事	7,200,000	18,400,000	19,200,000	23,000,000
	既設改造	4,500,000	4,500,000	4,500,000	4,500,000
計		46,940,000	79,284,000	80,084,000	97,980,000
総計		410,140,000	659,384,000	725,954,000	888,920,000

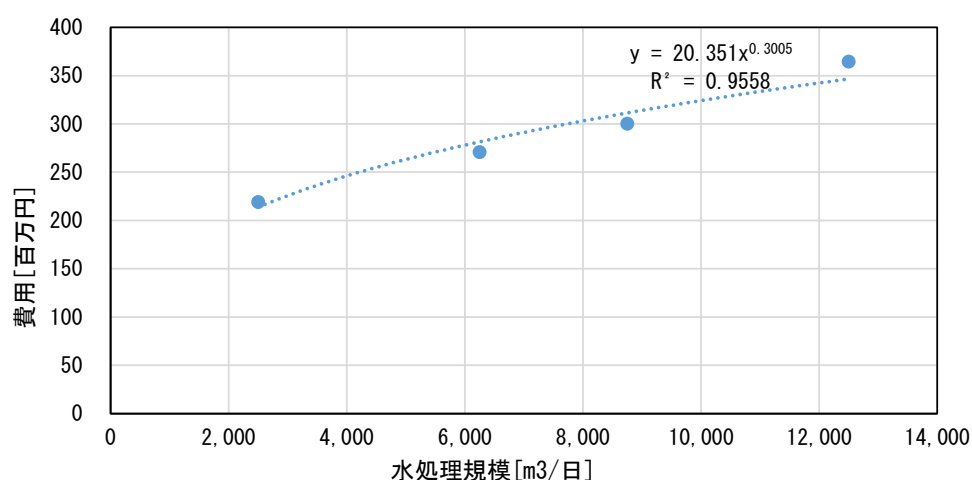


図 資 2-9 高濃度消化設備・建設費費用関数

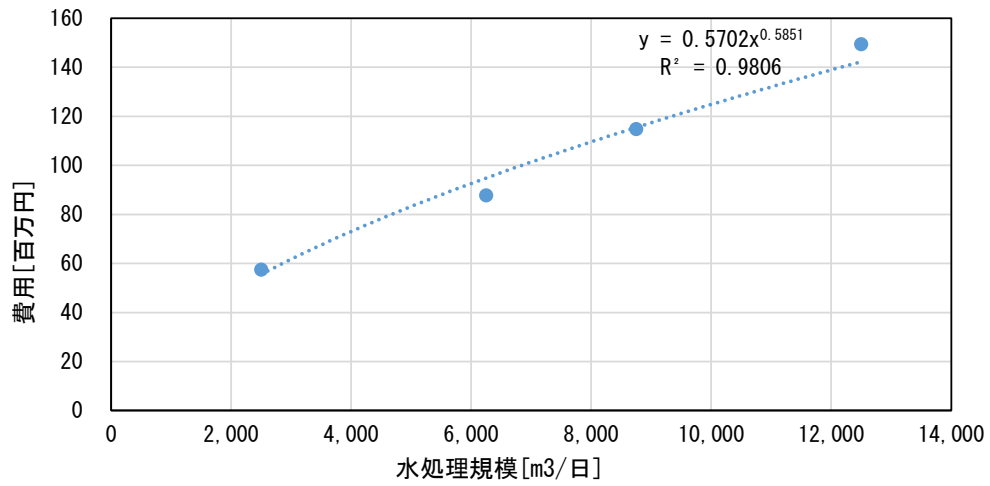


図 資 2-10 汚泥洗浄および貯留設備・建設費費用関数

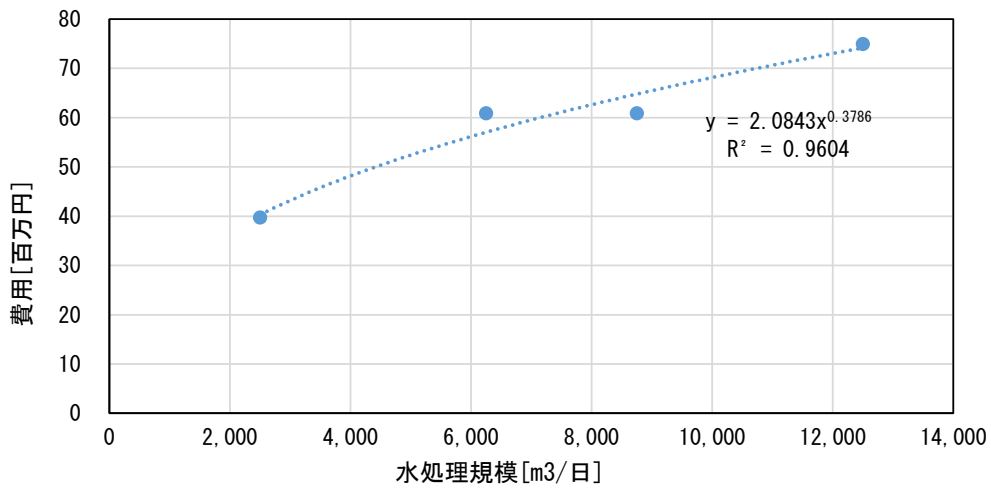


図 資 2-11 ガス発電設備・建設費費用関数

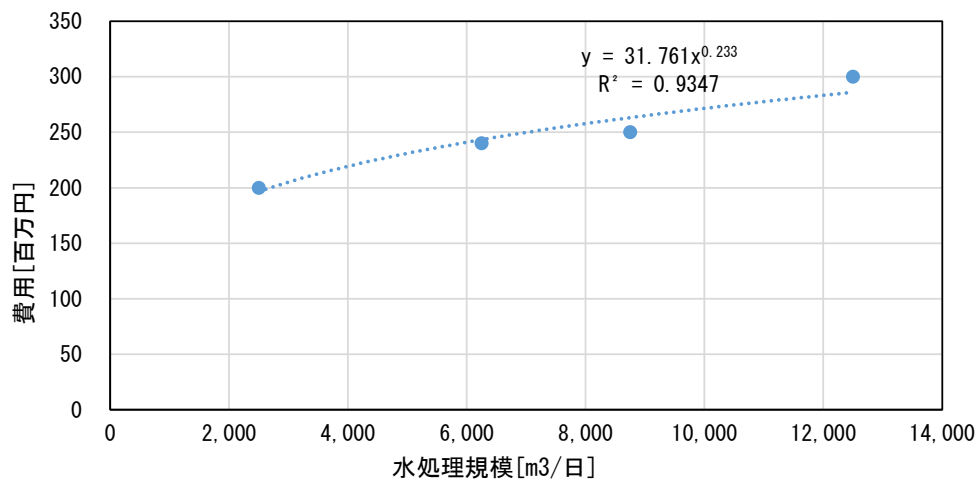


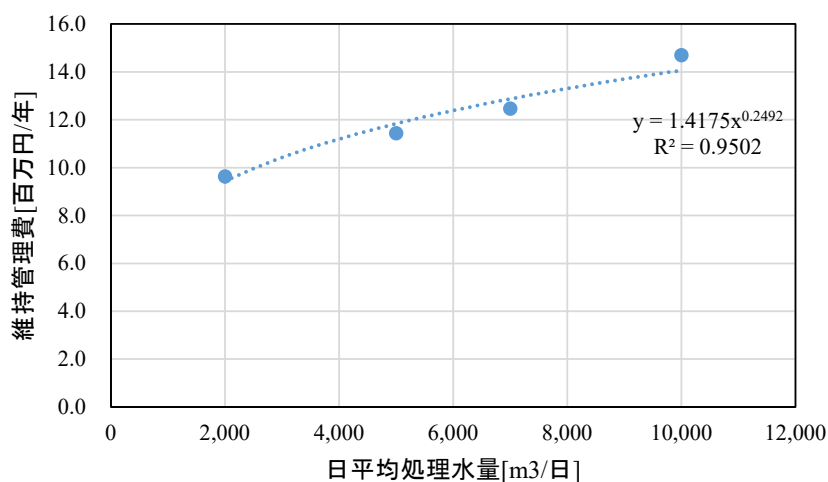
図 資 2-12 土木建築・建設費費用関数

d) 維持管理費

標準活性汚泥法に本技術を導入した場合の維持管理費の費用関数は、2.1.2項で定めたとおりの維持管理費の項目に対して整理を行った。試算結果を表資2-5および図資2-5～図資2-8に示す。

表資2-7 維持管理費の試算結果

項目		日平均汚水量 [m ³ /日]			
		2,000	5,000	7,000	10,000
高濃度消化	電力費	0.3581	0.8189	1.1102	1.5384
	燃料費	0.2708	0.4190	0.4855	0.8380
	補修費	4.8870	6.0405	6.6990	8.1330
	人件費	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
	電気設備維持管理費	0.1118	0.1542	0.1728	0.1945
	小計	9.628	11.433	12.468	14.704
高濃度濃縮・脱水	電力費	0.370	0.924	1.294	1.848
	凝集剤費	1.049	2.624	3.673	5.248
	補修費	1.166	1.782	2.283	2.975
	人件費	5.000	5.000	5.000	5.000
	電気設備維持管理費	0.223	0.391	0.480	0.594
	小計	7.808	10.721	12.730	15.665
ガス発電	補修費	0.834	1.334	1.334	1.668
	小計	0.834	1.334	1.334	1.668
総計		18.269	23.488	26.532	32.037



図資2-13 高濃度消化設備・維持管理費費用関数

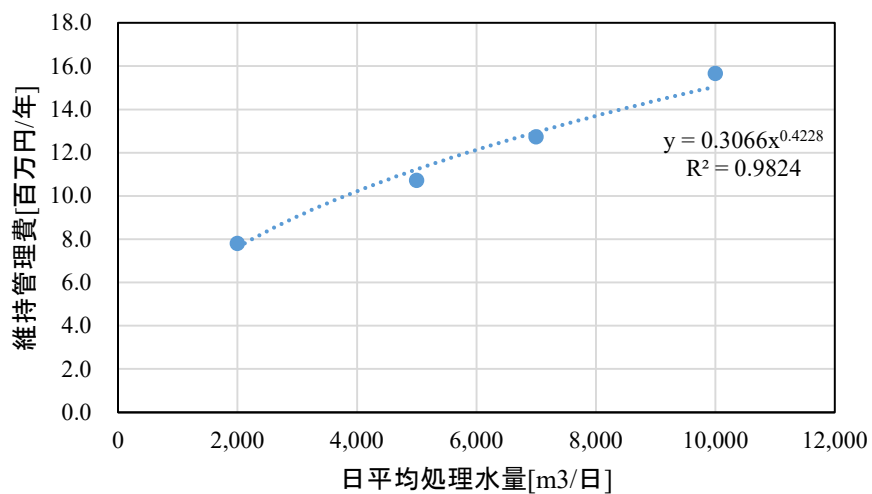


図 資 2-14 高濃度濃縮・脱水設備・維持管理費費用関数

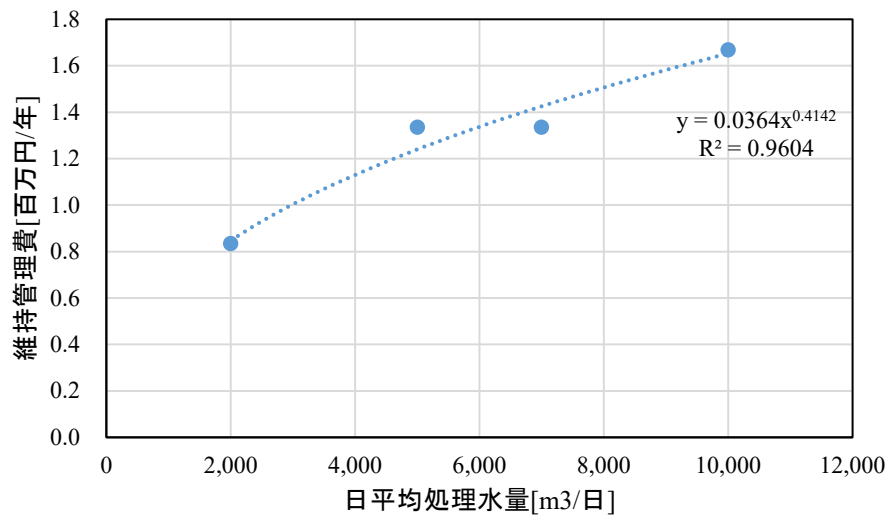


図 資 2-15 バイオガス発電設備・維持管理費費用関数

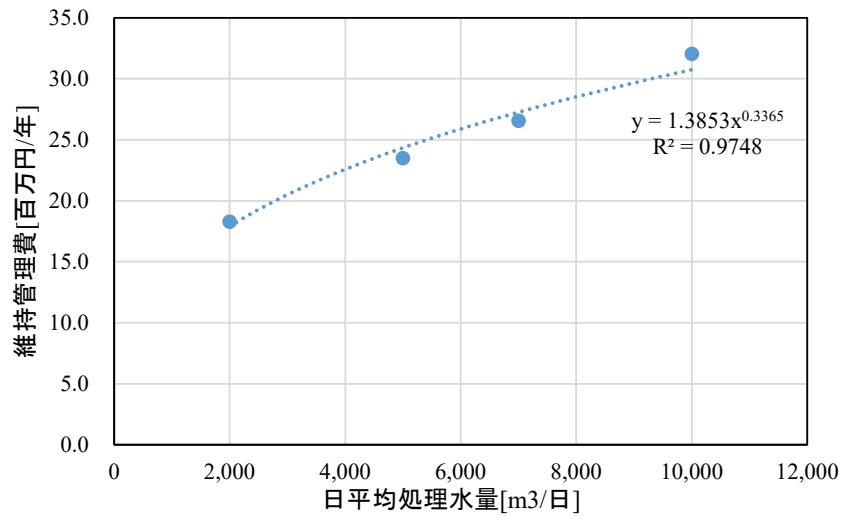


図 資 2-16 施設全体・維持管理費費用関数

2.3 ケーススタディ事例

本編においては、日平均処理水量 10,000m³/日について経済性、エネルギー消費量および温室効果ガス排出量の算出を行ったが、ここでは残りの 2,000m³/日、5,000m³/日、7,000m³/日の場合および標準活性汚泥法の試算結果を示す。

(1) 年間費用

1) OD 法

項目			値			
日平均処理水量		m ³ /日	2,000	5,000	7,000	
処理規模		m ³ /日	2,500	6,250	8,750	
建設費	機械・電気設備	高濃度消化設備	百万円	161.3	224.9	254.1
		汚泥洗浄・貯留設備	百万円	55.5	94.8	115.5
		ガス発電設備	百万円	39.0	40.6	41.2
	土木・建築設備		百万円	196.6	243.4	263.3
	計		百万円	452.4	603.7	674.1
建設費年価	機械・電気設備		千円/年	5,883.4	8,286.9	9,448.4
	土木・建築設備		千円/年	4,521.8	5,598.2	6,055.9
	計		千円/年	10,405.2	13,885.1	15,504.3
維持管理費		千円/年	17,277	24,467	27,801	
汚泥処分費		千円/年	8,731	21,911	30,642	
発電による便益		千円/年	-445	-1,110	-1,554	
年間収支		千円/年	35,968	45,268	72,393	

2) 標準活性汚泥法

項目			値				
日平均処理水量		m ³ /日	2,000	5,000	7,000	10,000	
処理規模		m ³ /日	2,500	6,250	8,750	12,500	
建設費	機械・電気設備	高濃度消化設備	百万円	213.6	281.4	311.3	346.5
		汚泥洗浄・貯留設備	百万円	55.5	94.8	115.5	142.3
		ガス発電設備	百万円	40.3	57.0	64.8	74.1
	土木・建築設備		百万円	196.6	243.4	263.3	286.1
	計		百万円	506.0	676.6	754.9	849.0
建設費年価	機械・電気設備		千円/年	7,116.2	9,963.6	11,306.8	12,946.7
	土木・建築設備		千円/年	4,521.8	5,598.2	6,055.9	6,580.3
	計		千円/年	11,638.0	15,561.8	17,362.7	19,527.0
維持管理費		千円/年	17,879	24,336	27,253	30,729	
汚泥処分費		千円/年	3,694	9,318	13,096	18,721	
発電による便益		千円/年	-682	-1,682	-2,355	-3,364	
年間収支		千円/年	32,529	31,972	55,357	65,613	

(2) エネルギー消費量

1) OD法

項目			日平均処理水量[m ³ /日]		
			2,000	5,000	7,000
エネルギー消費量	電力	MJ/年	105,121	261,421	365,621
	燃料	MJ/年	209,516	390,496	490,807
	計	MJ/年	314,637	651,917	856,428
創エネルギー量	電力	MJ/年	-108,774	-271,854	-380,574
	計	MJ/年	-108,774	-271,854	-380,574
総計		MJ/年	205,863	380,063	475,854

2) 標準活性汚泥法

項目			日平均処理水量[m ³ /日]			
			2,000	5,000	7,000	10,000
エネルギー消費量	電力	MJ/年	117,667	294,367	412,167	588,867
	燃料	MJ/年	132,461	238,586	296,134	372,363
	計	MJ/年	250,128	532,953	708,301	961,230
創エネルギー量	電力	MJ/年	-163,508	-405,428	-566,708	-808,628
	計	MJ/年	-163,508	-405,428	-566,708	-808,628
総計		MJ/年	86,620	127,525	141,593	152,602

資料編

(3) 温室効果ガス排出量

1) OD法

項目			日平均処理水量[m ³ /日]			備考
			2,000	5,000	7,000	
①エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量	電力	t-CO ₂ /年	16,206	40,302	56,367	0.555 kg-CO ₂ /kWh
	燃料	t-CO ₂ /年	14	26	33	2.49 kg-CO ₂ /L
	計	t-CO ₂ /年	16,220	40,328	56,400	
②薬品・上水利用に伴う温室効果ガス排出量	高分子凝集剤	t-CO ₂ /年	7	17	24	6.5 kg-CO ₂ /kg
	無機凝集剤	t-CO ₂ /年	5	12	17	0.32 kg-CO ₂ /kg
	計	t-CO ₂ /年	12	29	41	
③処理に伴う温室効果ガス排出量	汚泥埋立処分	t-CO ₂ /年	190	474	664	133 kg-CH ₄ /tDS
	計	t-CO ₂ /年	190	474	664	3,325.0 kg-CO ₂ /tDS
④有効利用による削減	発電	t-CO ₂ /年	-17	-42	-59	0.555 kg-CO ₂ /kWh
	計	t-CO ₂ /年	-17	-42	-59	
総計		t-CO ₂ /年	16,405	40,789	57,046	

2) 標準活性汚泥法

項目			日平均処理水量[m ³ /日]				備考
			2,000	5,000	7,000	10,000	
①エネルギー使用に伴う温室効果ガス排出量	電力	t-CO ₂ /年	18,140	45,382	63,542	90,784	0.555 kg-CO ₂ /kWh
	燃料	t-CO ₂ /年	9	16	20	25	2.49 kg-CO ₂ /L
	計	t-CO ₂ /年	18,149	45,398	63,562	90,809	
②薬品・上水利用に伴う温室効果ガス排出量	高分子凝集剤	t-CO ₂ /年	7	17	24	34	6.5 kg-CO ₂ /kg
	計	t-CO ₂ /年	7	17	24	34	
③処理に伴う温室効果ガス排出量	汚泥埋立処分	t-CO ₂ /年	81	203	284	405	133 kg-CH ₄ /tDS
	計	t-CO ₂ /年	81	203	284	405	3,325.0 kg-CO ₂ /tDS
④有効利用による削減	発電	t-CO ₂ /年	-25	-62	-87	-124	0.555 kg-CO ₂ /kWh
	計	t-CO ₂ /年	-25	-62	-87	-124	
総計		t-CO ₂ /年	18,212	45,556	63,783	91,124	

3. 問い合わせ先

本技術ガイドラインに関する問い合わせは、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 http://www.nilim.go.jp/
----------------------	--

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。

<実証研究者 連絡先>

株式会社大原鉄工所	技術・製造本部 第1技術部 技術開発課 〒940-8605 新潟県長岡市城岡2丁目8番1号 TEL 0258-24-2352 FAX 0258-24-8201 URL https://www.oharacorp.co.jp/
株式会社西原環境	技術本部 〒108-0022 東京都港区海岸3丁目20番20号 TEL 03-3455-3606 FAX 03-3455-3616 URL https://www.nishihara.co.jp/
株式会社NJS	開発本部 〒105-0023 東京都港区芝浦1丁目1番1号14階 TEL 03-6324-4357 FAX 03-6324-4358 URL https://www.njs.co.jp/
長岡技術科学大学	工学研究院 技術科学イノベーション系 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1 TEL 0258-47-9623 FAX 0258-47-9623 URL https://www.nagaokaut.ac.jp/
北海道大学	北海道大学大学院工学研究院 環境工学部門 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 TEL 011-706-6277 FAX 011-706-6277 URL https://www.hokudai.ac.jp/
長岡市	土木部 下水道課 〒940-0062 新潟県長岡市大手通2丁目2番地6 3階 TEL 0258-39-2235 FAX 0258-39-2266 URL https://www.city.nagaoka.niigata.jp/

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 1194 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