

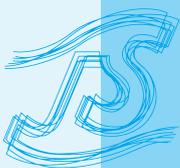
ISSN 2187- 347X

技術開発室技術資料

24-001

技術開発年次報告書

(令和5年度)



日本下水道事業団 技術開発室

序 文

日本下水道事業団（JS）では、2022（令和 4）年 3 月に策定した『JS 技術開発・活用基本計画 2022』（計画期間：2022～2026 年度）に定める 2 つの基本方針に対して設定した具体的に取り組む 5 つの開発課題ごとに、JS が固有財源を用いて行う「基礎・固有調査研究」、民間企業などと共同で行う「共同研究」、国などからの委託を受けて行う「受託調査研究」の 3 つの実施スキームで新たな技術の開発に取り組んできました。

上記の『JS 技術開発・活用基本計画 2022』は、2022 年 3 月に策定された「第 6 次中期経営計画」（計画期間：2022～2026 年度）を踏まえ、少子高齢化・人口減少の進行、脱炭素社会の実現に向けた国家目標の達成、財政状況の逼迫や執行体制の脆弱化など、下水道事業を取り巻く環境の変化に対して、新技術の開発および活用を通じて、下水道事業の変革・発展を牽引していくため、従来の基本計画における技術開発に係る取組みに加えて、新技術導入や基準化など、開発技術の活用に係る取組みも含めた、JS における技術開発・活用に係る基本的な方針や具体的な実施内容を定めたものです。また、2024（令和 6）年 10 月には技術開発実験センターに隣接した真岡市水処理センター他の維持管理業務の受託を契機に技術開発実験センターの活用、研究開発活動の拠点化を推進するために本計画の改定を行いました。

『JS 技術開発・活用基本計画 2022』の 2 年目である 2023 年度は、開発課題ごとに調査研究を次のとおり実施しました。

- 「I-1 2030 年目標に向けた脱炭素化技術の開発」
基礎・固有調査研究 11 件、共同研究 4 件、受託調査研究 1 件
- 「I-2 カーボンニュートラル型下水処理システムの開発」
基礎・固有調査研究 1 件
- 「II-1 下水処理の更なる低コスト化技術の開発」
基礎・固有調査研究 6 件、共同研究 4 件
- 「II-2 下水道資源利活用技術の開発」
基礎・固有調査研究 5 件、共同研究 1 件、受託調査研究 1 件
- 「II-3 下水処理場における ICT・AI 活用技術の開発」
基礎・固有調査研究 3 件、共同研究 3 件、受託調査研究 1 件

この「技術開発年次報告書」は、JS における技術開発の 1 年間の活動の集大成として作成しています。ご一読いただき、皆様の業務においてご活用頂ければ幸いです。また、課題を解決する新しい技術を紹介する JS のホームページ「ニーズに応える新技術」（<https://www.jswa.go.jp/new-technology/>）、毎月お届けしていますメールマガジン「JS 技術開発情報メール」も、ぜひ併せてご覧ください。所期の成果が得られるよう、職員一丸となって調査研究に取り組んでいます。JS 技術開発への皆様のご理解・ご協力を引き続きお願い申し上げます。

2025 年 1 月

技術開発室長 三宅晴男

目 次

第 1 章 試験研究調査活動

1. 試験研究調査	
1. 1 令和 5 年度試験研究調査一覧	1
1. 2 令和 5 年度開発課題別の調査研究成果	
I-1 2030 年目標に向けた脱炭素化技術の開発	7
I-2 カーボンニュートラル型下水処理システムの開発	89
II-1 下水処理の更なる低コスト化技術の開発	99
II-2 下水道資源利活用技術の開発	139
II-3 下水処理場における ICT・AI 活用技術の開発	175
2. 共同研究	
2. 1 令和 5 年度共同研究実施状況	205
2. 2 令和 5 年度完了共同研究の概要	208

第 2 章 技術評価委員会活動

1. 技術評価委員会	215
2. 令和 5 年度活動状況	216
3. 技術評価の推移	218

第 3 章 試験研究調査の成果

1. 令和 5 年度研究発表等	225
2. 令和 5 年度雑誌掲載論文等	228
3. 表彰	229
4. 知的財産権	234
5. 新技術の選定・導入	237
5. 1 令和 5 年度末現在選定技術一覧	238

付

1. JS 技術開発・活用基本計画 2022（概要版）	243
2. 技術開発実験センターの概要	251

第 1 章 試験研究調査活動

1. 試験研究調査

1. 1 令和5年度試験研究調査一覧

研究費目	試験研究テーマ	研究担当者	頁
試験研究費	I-1 2030年目標に向けた脱炭素化技術の開発	村岡正季 福井智大 他7名	7
	I-2 カーボンニュートラル型下水処理システムの開発	村岡正季 山本明広 他2名	89
	II-1 下水処理の更なる低コスト化技術の開発	小柴卓也 山森隼人 他4名	99
	II-2 下水道資源利活用技術の開発	熊越瑛 島田正夫 他2名	139
	II-3 下水処理場におけるICT・AI活用技術の開発	山本明広 村岡正季 他5名	175
受託調査研究費 (国受託)	省エネ型深槽曝気技術実証研究 (B-DASH)	糸川浩紀 山本明広 山森隼人	I-1に 掲載
	ICTの活用による下水道施設広域監視制御システム実証研究 (B-DASH)	井上剛 村岡正季 他2名	II-3に 掲載
	縦型密閉発酵槽による下水汚泥の肥料化、エネルギー化技術実証研究 (B-DASH)	新川祐二 熊越瑛 他2名	II-2に 掲載
受託調査研究費 (地方受託)	藤沢市辻堂浄化センター濃縮一体化脱水法に関する性能試験業務	新川祐二 小柴卓也	非掲載
	他1件	—	非掲載

1. 2 令和5年度開発課題別の調査研究成果

I - 1 2030 年目標に向けた脱炭素化技術の開発

I-1 2030年目標に向けた脱炭素化技術の開発

村岡正季、福井智大、山本明広、山森隼人、熊越瑛、
島田正夫、茂木志生乃、糸川浩紀、新川祐二

1. 開発課題の概要

本開発課題では、「地球温暖化対策計画」(2021年10月22日閣議決定)における2030年度の温室効果ガス(GHG)排出量削減の中期目標達成に向けて、速やかに導入できる脱炭素化技術*の開発や既存技術の改善・改良等を実施する。

1.1 背景および目的

我が国は2050年カーボンニュートラル実現に向けて、2030年度のGHG排出量を2013年度比で46%削減(以下、「2030年目標」と表記)、更に50%削減の高みに向けて挑戦を続けることを表明した。これを受けて下水道分野においても、省エネ・創エネ対策の推進、下水汚泥焼却の高度化等により、2013年度比で208万t-CO₂を削減することとした¹⁾。また、2022年3月にとりまとめられた「下水道政策研究委員会 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書」²⁾では、2030年目標の達成に向けて、「脱炭素化に資する新技術を総動員して計画的に取り組んでいくこと」を求めている。この中では、JSをはじめとする公的機関が強化すべき脱炭素化に向けた取り組みとして、「2030年までに実装可能な技術開発」や、「下水道管理者の取組に対する案件形成から施設整備までの支援」等が盛り込まれている。

そこで本開発課題では、2030年目標の達成に向けた脱炭素化技術の導入加速を目的に、速やかに実装可能な新技術の開発、既存の脱炭素化技術の改良・改善、導入された新技術の事後評価調査、案件形成支援に活用する技術の調査を実施する。

1.2 開発項目

本開発課題では、以下の4つの開発項目について技術開発を行う。

(1) 水処理省エネ化技術

下水処理場におけるGHG排出量の中でも水処理に係る消費電力の寄与が大きいことから、水処理の更なる省エネ化が必要であるが、小規模処理場を中心に現状の技術ラインナップは十分とは言えない。そこで、水処理の更なる省エネ化を可能とする「水処理省エネ化技術」について、「JS技術開発・活用基本計画2022」(以下、「本計画」と略記)の期間内(2022~2026年度)の実用化を目標に、新たな技術に関する調査研究および開発を行う。特に、小規模処理場に適用できる水処理省エネ化技術等の実用化に向けて、開発動向調査や実態調査を行うとともに、公募型共同研究を新たに実施する。

* 「JS技術開発・活用基本計画2022」では、「脱炭素化技術」を「省エネルギー化や創エネルギー、その他のGHG排出量削減策、再生可能エネルギー利用など、下水処理の脱炭素化に資する技術」と定義している。

① 開発動向調査・実態調査

2022年度からの2か年で国内外の文献調査やオキシデーショondiッチ（OD）法の実態調査を実施し、水処理省エネ化技術の開発の方向性を見定めるとともに、2024年度に水処理省エネ化技術の公募型共同研究を開始する際の基礎資料とする。

② 小規模省エネ化技術の開発・実証

2021年度に開始した共同研究「回転繊維ユニット RBC を用いた下水処理技術の開発」により、OD法の省エネ化・処理能力増強を可能とする新技術の実証・確立を進める。また、2024年度には水処理省エネ化技術を対象とした新たな公募型共同研究を開始する。

③ アナモックス併用高度処理の基礎実験

アナモックス反応を下水の高度処理に活用する可能性を検証するために、過年度から引き続きラボスケールの基礎実験を行うとともに、JS技術開発実験センターにおいて実下水を用いたベンチプラント実験を行う。

④ 省エネ型深槽曝気技術の実規模実証(B-DASH)

2022年度に採択されたB-DASHプロジェクト「省エネ型深槽曝気技術に関する実証事業」を実施する。

⑤ 水処理省エネ化技術の体系化等

①～④の成果を統合し、技術ラインナップの体系化や導入検討マニュアルの作成を図る。

(2) バイオガス活用技術

GHG排出量削減に向け、嫌気性消化により得られるバイオガスの活用が重要な役割を担うと考えられるが、現状では下水汚泥のバイオガスとしての利用割合は16%程度³⁾にとどまっている。そこで、効率的なバイオガスの創出や未利用バイオガスの活用、小規模施設向けのバイオガス活用を可能とする「バイオガス活用技術」について、本計画期間内の実用化と実施への導入を目標に、新たな技術の調査研究を行う。更に、新たな公募型共同研究による開発・実用化を進めるとともに、開発動向調査や基礎実験の実施によりバイオガス活用に関する基礎的知見の蓄積を図る。

① 開発動向調査・実態調査

2023～2025年度において継続的に、下水道におけるバイオガス活用技術に関する文献調査や実態調査を実施する。併せて、効率的なバイオガス創出に関する実態調査や下水道分野以外のバイオガス活用状況の調査等を実施する。

② バイオガス創出に係る基礎実験

JS技術開発実験センターにおいて、高温消化、高濃度消化等の基礎実験を実施する。また、嫌気性消化施設の導入検討に資する基礎実験を実施する。

③ バイオガス創出・活用技術の開発・実証

2023年度より、新規の公募型共同研究「脱炭素社会実現に向けたバイオガス活用技術および嫌気性消化技術の開発」を開始し、消化効率の向上、バイオガスのポテンシャル活用、低コスト化に資する新技術の開発を行う。

④ バイオガス創出・活用技術の体系化

①～③を踏まえて、技術ラインナップの体系化や導入検討マニュアルの作成を図る。

(3) 事後評価調査・技術評価(脱炭素化技術)

GHG排出量を削減するためには脱炭素化技術の実施設への導入促進が必要である。そこで、実施設への導入実績を有する脱炭素化技術を対象に、性能や機能等に関する事後評価調査を実施する。調査の結果に基づき基準化(JS内部基準への反映)することで更なる普及促進を図る。

① JS新技術の事後評価調査・技術評価(脱炭素化技術)

以下の4技術を対象に、導入実績を有する新技術の事後評価調査を行う。また、鋼板製消化タンクに係る事後評価調査の一環として、嫌気性消化技術全般に係る運転管理について実態調査を実施する。

- ・OD法における二点DO制御システム
- ・次世代型焼却炉システム*
- ・鋼板製消化タンク†
- ・アンモニア計を利用した曝気風量制御技術

(4) 脱炭素化推進方策

地方公共団体による脱炭素化事業に対してJSが案件形成の技術的な支援(案件形成支援)を効果的に行うためには、対象となる下水処理場に導入可能な技術の抽出と、その効果に対する定量的な評価等を的確に実施するための基本的な知見が必要である。そこで、JSが脱炭素化事業の案件形成支援を行うための知見の蓄積を目的に、脱炭素化に資する技術の実態調査や体系的整理を行うとともに、案件形成支援を効率的に実施していくための各技術の導入効果の推定手法を構築する。また、これらの知見を活用し、地方公共団体に対する案件形成支援を実施する。

* JSの選定新技術8技術を示す。

過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)、多層燃焼流動炉、過給式流動燃焼システム、高効率二段燃焼汚泥焼却炉、気泡式高効率二段焼却炉、階段炉による電力創造システム、多段最適燃焼制御付気泡流動炉、二段燃焼式旋回流動炉

† JSの選定新技術5技術を示す。

下部コーン型鋼板製消化タンク、高濃度対応型ろ過濃縮・中温消化システム、4分割ピット式鋼板製消化タンク、噴射ノズル式鋼板製消化タンク、パッケージ型鋼板製消化タンク

① 脱炭素化性能指標の実態等に関する調査

下水処理場で使用されている機器・装置の現状の技術水準を把握するため、エネルギー削減量や GHG 排出削減量等の脱炭素化性能に関する実態調査を実施する。

② 脱炭素化技術の体系化

下水道分野の脱炭素化を推進するため、脱炭素化に資する技術を洗い出し、体系的に整理するとともに、各技術の導入効果を推定して簡易に評価する手法を確立する。

③ 脱炭素案件形成支援業務

①・②を活用した JS の業務メニューの拡充を目標に、下水道分野のカーボンニュートラル実現を目指す地方公共団体を対象に、国土交通省の委託業務を通じて案件形成支援を実施する。

1.3 本年度の実施内容

本年度は、1.2 節に記載の開発項目のうち、以下の 4 項目を実施した。

(1) 水処理省エネ化技術

① 開発動向調査・実態調査

- ・水処理省エネ化技術の開発動向調査 (2.1 節)
- ・オキシデーションディッチ法の運転実態調査 (2.2 節)

② 小規模省エネ化技術の開発・実証 (2.3 節)

③ アナモックス併用高度処理の基礎実験 (2.4 節)

④ 省エネ型深槽曝気技術の実規模実証 (B-DASH) (2.5 節)

(2) バイオガス活用技術

① 開発動向調査・実態調査 (3.1 節)

② バイオガス創出に係る基礎実験 (3.2 節)

③ バイオガス創出・活用技術の開発・実証 (3.3 節)

(3) 事後評価調査・技術評価(脱炭素化技術)

① JS 新技術の事後評価調査・技術評価 (脱炭素化技術)

- ・次世代型焼却炉システム (4.1 節)
- ・嫌気性消化技術の運転管理に関する実態調査 (4.2 節)

(4) 脱炭素化推進方策

② 脱炭素化技術の体系化 (5.1 節)

2. 水処理省エネ化技術

2.1 水処理省エネ化技術の開発動向調査

(1) 検討の概要

下水処理場における GHG 排出量の中でも水処理に係る消費電力の寄与が大きいことから、水処理の省エネ化を可能とする「水処理省エネ化技術」に関する研究・開発が世界的に活発化している。新たな水処理省エネ化技術の開発に当たっては、このような開発動向や有望技術を把握しておくことが重要である。

そこで本検討では、国内外における水処理省エネ化技術の最新の開発動向を把握するための調査を行う。具体的には、2023年度の単年度の実施内容として、①国内外の総説論文を対象とした文献調査、②国外の民間企業等を対象としたホームページ調査、③国内の民間企業を対象としたヒアリング調査、の3点を実施した。

(2) 検討方法

① 文献調査

研究段階のものを含めた技術の開発動向を把握するために、国内外の総説論文を対象とした文献調査を実施した。以下の2段階で水処理省エネ化技術に該当する文献を検索・抽出し、記載のある技術を分類した上で適用対象、特徴、省エネ性能等の情報を整理した。

1) 文献の検索・一次抽出

文献情報データベース(JDreamⅢ)の検索サービスを使用し、過去5年間(2018~2022年)に公表された国内外の総説論文を対象にキーワード検索を行い、水処理省エネ化技術に関連する文献を抽出した(一次抽出)。検索では以下のキーワードを組み合わせて使用したが、幅広い技術を把握する見地から、省エネだけでなく創エネに関するキーワードも含めて実施した。

- ・ 下水 : sewage、sewerage
- ・ 水処理 : wastewater treatment
- ・ 省エネ : energy saving、energy demand、energy neutrality、energy efficiency、energy reduction
- ・ 創エネ : energy self-sufficiency、energy sustainability、

2) 文献の二次抽出・整理

一次抽出した文献について、多様な種類の技術を含めつつ文献の重複を避ける見地から、タイトル、要約、キーワード等に基づき文献数の絞込を行った(二次抽出)。次いで、各論文に掲載されている技術を抽出して分類した上で、技術毎の適用対象、特徴、省エネ性能等の基本的な情報を整理した。

② ホームページ調査

国外で既に実装段階にある技術を把握することを目的に、民間企業等のホームページを対象とした調査を実施した。WEFTEC*や海外の上下水道分野における主要な民間企業等†を対象に、ホームページに掲載されている記事等から水処理省エネ化技術に該当するものを抽出し、①の文献調査で設けた技術区分に基づき分類した上で、適用対象、技術概要、導入事例等の情報を整理した。

③ ヒアリング調査

国内における水処理省エネ化技術の開発動向を把握するために、国内の民間企業を対象にアンケート方式でのヒアリング調査を行った。国内の民間企業が保有または開発中の水処理省エネ化技術のうち、下水道分野を対象としたものおよび下水道分野への展開の可能性があるものについて、技術の概要・実績・課題等に関する情報を収集するとともに、水処理省エネ化技術の開発に係る今後の方向性・展望など開発方針に関する情報の収集も試みた。

(3) 検討結果

① 文献調査

キーワード検索により得られた文献332件から水処理の省エネ化に関連する総説論文148件を一次抽出し、このうち、水処理省エネ化技術全般に関するもの15件、特定の技術に関するもの15件の合計30件の文献を二次抽出した。これら30件の文献より、水処理省エネ化技術に該当する技術（創エネに関するものを含む）31点を抽出し、(a)運転制御に関する技術（省エネ）、(b)単体機器・装置（省エネ）、(c)水処理方式・プロセス（省エネ）、(d)水処理方式・プロセス（創エネ）、(e)その他、の5区分（以下、「技術区分」と表記）に分類して整理した（表2-1）。

我が国でも比較的知られている技術が多数含まれているものの、省エネもしくは創エネを可能とする水処理方式・プロセスに関する研究開発が活発に行われていることが解る。

* WEFTEC : Water Environment Federation Technical Conference and Exhibition。米国水環境連盟（WEF）が主催し毎年開催する、下水道技術を中心とした研究発表会・展示会。

† 調査対象は、経済産業省が公開している「水ビジネス海外展開施策の10年の振り返りと今後の展開の方向性に関する調査」⁴⁾において世界の主要企業における水ビジネス売上高に掲載されている企業を対象とした。その他、世界の水メジャー企業も対象とした。

表2-1 文献調査より収集した水処理省エネ化技術

技術区分	技術区分(詳細)	技術名/プロセス名(呼称)	概要
(a) 運転制御に関する技術(省エネ)	ポンプの運転最適化	ファジィ論理に基づくポンプ流量制御	ファジィ論理に基づき、効率、変動、経年劣化、故障の有無を考慮し、流量制御を行う
		多次元制御の導入	圧力、流量、モーター速度を多次元に制御しポンプシステムの省エネ性能を高める
	曝気の最適化	アンモニア計による曝気制御(ABAC)	アンモニア濃度に準じて曝気量を制御する
		アンモニア計+硝酸計による曝気制御技術(AvN制御)	アンモニアと硝酸の濃度に応じて曝気量を制御する
		高度な曝気制御技術(バイオプロセスインテリジェント最適化システム(BIOS)制御)	温度、アンモニア、硝酸、流入量のオンライン計測値に基づいてシミュレーション計算を行う包括的なフィードフォワード最適化
		先進的なDO制御システム	APC(適応制御、事前予測制御、エキスパート制御等)、ハイブリッド制御システム
その他運転条件の最適化	A/Oプロセスの汚泥返送流量制御	最終沈殿池の汚泥層高さを調整し汚泥層高さを制御変数とした汚泥返送制御と制御装置	
(b) 単体機器・装置(省エネ)	ポンプ、電動機	ポンプ、プロワ更新	ポンプやプロワ等の機械設備を更新
	散気装置	ナノバブル	気泡を特殊工程で処理し気体をナノサイズ化し、直径50nm以下の気泡を生成する技術
(c) 水処理方式・プロセス(省エネ)	生物学的処理(有機物除去)	好気性グラニュール法(AGS)	反応槽容積を縮小可能であるとともに、少ないエネルギー消費で有機物と栄養塩を同時除去できる
		スポンジ状担体を充填した新規の散水ろ床(DHS)	バイオマス保持のための担体としてポリウレタンスポンジを用いる散水の床法の一つで、UASB下水処理の低コスト後処理可能
		生物膜と活性汚泥の統合プロセス(IFAS)	反応タンク内で生物膜法を併用する活性汚泥法で、栄養塩除去を強化できる
	生物学的処理(栄養塩除去)	嫌気性アンモニア酸化(アナモックス)	第一段階でアンモニアの半量を亜硝酸に変換し、第二段階で生成された亜硝酸により残りのアンモニアを窒素ガスに酸化するプロセス
		PN/A(部分亜硝酸化/アナモックス)およびPD/A(部分脱窒/アナモックス)プロセス	亜硝酸型の硝化もしくは亜硝酸型の脱窒をアナモックスと組み合わせるプロセス。従来の硝化・脱窒プロセスと比較して、排水からの持続的な窒素除去のための代替技術、有望かつ費用対効果の高い技術
		SHARONとアナモックスのカップリングプロセス	高アンモニア性窒素を含む消化汚泥分離液の処理が可能な技術
		アナモックス生物電気化学システム(ABC: Anammox Bioelectrochemical systems)	ABCのバイオフィームにおける好気性アンモニア酸化細菌と嫌気性アンモニア酸化細菌のバランスを維持し、亜硝酸酸化細菌を阻害することで高い窒素除去効率が得られる
	生物学的処理(嫌気性処理)	向上流式嫌気性汚泥床法(UASB)	複合物質を加水分解、酸生成、メタン生成によりメタンガスに変換する嫌気性リアクター
		嫌気性膜分離活性汚泥法(AnMBR)	従来の嫌気性消化技術より、リアクターの容積を削減することが可能な技術
		嫌気性膜分離活性汚泥法(AnMBR)+PDMS膜	非多孔質のポリジメチルシロキサン(PDMS)を用い、嫌気性処理後の排水から溶存態メタン回収を行う技術
	生物学的処理(その他)	混合栄養型微細藻類	有機物・窒素・リンを利用して増殖し水中のこれら物質の濃度を下げる効果がある
膜分離活性汚泥法(MBR)		バイオリアクターと膜分離からなる高効率排水処理技術	
その他の処理プロセス	化学促進一次処理(CEPT)	凝集沈殿により最初沈殿池の除去を効率化するプロセス	
(d) 水処理方式・プロセス(創エネ)	前処理における有機物等回収	ABプロセス(HRASとアナモックスの統合プロセス)	A-stageにおいて生物学的酸化の前にCODを回収し、B-stageにて栄養塩を除去する(A-stage: HRAS、B-stage: アナモックスプロセス)
		ABプロセス(AnMBRと栄養塩回収の統合プロセス)	A-stageはAnMBRによりCOD除去、バイオガスを生成させ、B-stageでは窒素・リンを回収する(A-stage: AnMBR、B-stage: 栄養塩回収)
		バイオ吸着/高負荷活性汚泥(HRAS)プロセス	有機化合物をバイオガスとしてエネルギーに転換する技術
	水処理における有機物等回収	微生物燃料電池(MFC: Microbial Fuel Cells)	溶解性有機物の化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する技術
		生物電気化学システム(BES)	メタンやバイオ水素の形でバイオエネルギーを生成するシステム
		微生物燃料電池(MFC)+フォトバイオリアクター(PBR)	太陽/人工エネルギーと栄養塩を利用して光合成微生物を培養(PBR)し、MFCと組み合わせることで、温室効果ガス削減およびCOD除去高効率を得られる
		微細藻類MFC	藻類が電子受容体として機能し、生成されたCO ₂ を利用し増殖するシステム
その他創エネプロセス	好気・無酸素亜硝酸分解酸化(CANDO)プロセス	NH ₃ をN ₂ Oに変換しガスを捕獲し、CH ₄ 焼却の共酸化剤として使用または金属酸化物接触上でN ₂ Oを分解することでガスからエネルギーを回収	
(e) その他	-	FO(正浸透)膜とそのハイブリッド型	希釈ドロー溶液から純水を回収すると同時にドロー溶液を再生する

② ホームページ調査

国外の民間企業等のホームページにて、水処理省エネ化技術に該当する内容の記事等を検索し、26 技術を抽出した。これらを、上の①と同じ技術区分に基づき整理した結果を表 2-2 に示す。

省エネを掲げる水処理方式・プロセスが比較的多く抽出された一方、①の文献調査では多数が見られた創エネ技術は見出されず、現時点では、水処理での創エネ技術については研究・開発の途上であるものと考えられた。

表 2-2 ホームページ調査で収集した水処理省エネ化技術

技術区分	技術区分 (詳細)	技術名/プロセス名	概要
(a) 運転制御に関する 技術 (省エネ)	曝気の最適化	Greenbass™	活性汚泥の曝気調整プロセス
(b) 単体機器・装置 (省エネ)	ブロワ、散気装置	Esmil Fiber Tube Air Diffusers	必要な酸素を可能な限り低いエネルギー消費で曝気タンクに供給する技術
		Sanitaire Ceramic disc diffusers/Sanitaire Silver Series II membrane disc diffusers/Sanitaire Silver Series II LP membrane disc diffusers	高度なメンブレン穿孔技術による高効率散気装置
		Sanitaire Bioloop oxidation ditch	柔軟なプロセスによる散気によって、既存の OD 法よりエネルギー削減できる技術
	その他機器・装置	PX U Series	最先端のエネルギー回収技術を用い超高压逆浸透での消費エネルギー削減を行う技術
		Ultrafor™	中空糸限外ろ過膜による廃水処理プロセス
(c) 水処理方式・ プロセス (省エネ)	生物学的処理 (有機物除去)	BeFlow™AGS	連続流入式の好気性グラニユール法 (AGS)
		Closed Loop Reactor (CLR) Process	拡張曝気完全混合活性汚泥プロセス
		MBBR SYSTEM WITH BIOFILM	高効率担体式生物処理装置
		Meteor™ MBBR	流動担体を用いた生物学的プロセス
		BIOSTYR Duo BAF+MBBR	生物学的曝気フィルターと MBBR を組み合わせて溶解性・浮遊性汚濁物質を処理する技術
	生物学的処理 (栄養塩除去)	DEMON Anammox Treatment for High Strength Ammonia Streams	アナモックス細菌を利用し、従来法より低エネルギーで高強度アンモニウム還元を行う技術
		ANITA Mox Deammonification	MBBR または IFAS をベースとしたアンモニアおよび窒素除去プロセス
		Cleargreen™	高濃度アンモニア排水の処理技術
	生物学的処理 (その他)	Aerobic MBR System	好気性生物分解プロセスと膜分離プロセスを組み合わせた膜分離活性汚泥法
		TITAN MBR™	合理化されたメンブレン洗浄プロセスを通じた操作、メンテナンスが簡単になった MBR
		KSMBR	曝気・無曝気併設施戻反応槽と精密ろ過膜により、有機物の利用効率を最大化する高度な排水処理技術
		Sanitaire ICEAS advanced SBR	最初沈殿池・最終沈殿池や返送汚泥ポンプが不要な活性汚泥処理法
	その他の処理 プロセス	AyraVal™	窒素処理技術を用い、液体硫酸アンモニウム肥料の生産を可能とする技術
		DAF Unit	COD と BOD を削減し、油脂、リン酸塩を含む懸濁物質を処理する技術
		Suspended Air® Flotation	溶存空気を使用しない浮上分離法
		Dissolved Air Flotation (DAF) for TSS removal and Thickening	加圧された水に空気を溶解させることで、懸濁物質、油脂、非水溶性有機物等を除去する技術
		Greendaf™	急速溶解空気を用いた浮上分離技術、リン酸塩除去可能
		Spiraflo Clarifier	懸濁物除去のため設計された固液分離装置
		GEM System	懸濁物質、油脂、未誘拐物質を除去する一次廃水処理システム
Compakblue™		浸漬ディスクを用いたろ過により、低エネルギー消費での懸濁物の除去ができる技術	

③ ヒアリング調査

国内の下水道関連企業 40 社に調査票を送付したところ 21 社より回答が得られ、下水道分野 29 技術、他分野（下水道以外の廃水処理）4 技術の計 33 技術について情報を得た。下水道分野および他分野の各々について、これら水処理省エネ化技術の保有・開発数を前掲の①・②と同一の技術区分に基づき分類したものを図 2-1 に示す。

下水道分野では、単体機器・装置（省エネ）が 11 件、運転制御に関する技術（省エネ）が 10 件、水処理方式・プロセス（省エネ）が 8 件と、省エネに係る技術区分がいずれも多い一方で、水処理方式・プロセス（創エネ）は 3 件と明らかに少なかった。一方、他分野では、全体数が少ないものの、省エネもしくは創エネに係る水処理方式・プロセスが各々 5、3 件と比較的多く見られた。

下水道分野について、②のホームページ調査で得られた国外民間企業の保有技術と比較すると、国内企業では運転制御に関する技術（省エネ）および単体機器・装置（省エネ）に分類される技術が多い点が特徴的であった。

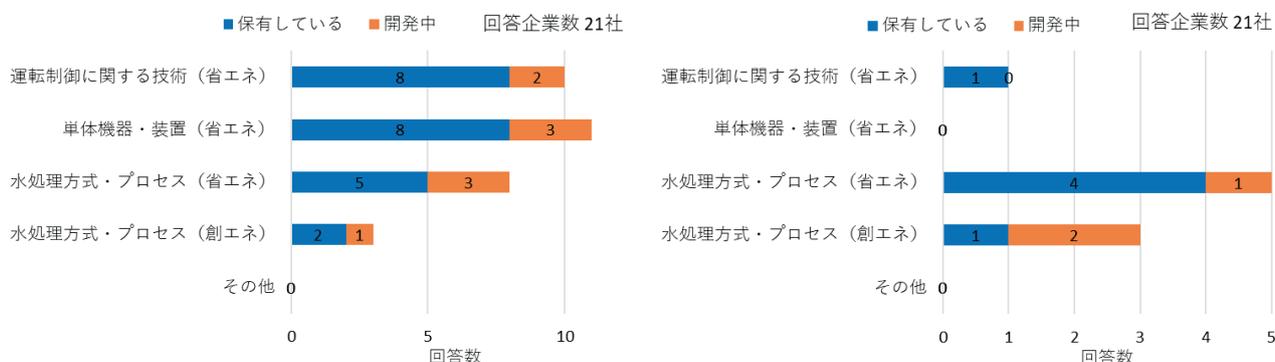


図 2-1 国内民間企業における水処理省エネ化技術の保有・開発状況
(左図：下水道分野、右図：他分野)

今後の 5～10 年間で各企業が注力する（予定または構想がある）水処理省エネ化技術について、優先順位 3 位までの回答結果を技術区分毎に整理したものを図 2-2 に示す。

上述の保有・開発中の技術と同様に、省エネに関する 3 つの技術区分のいずれも回答数が多かったが、優先順位 1 位の回答数が最多を示したのは運転制御に関する技術（省エネ）であり、プロセスの運転方法の最適化等による省エネ化のアプローチを今後も見据える国内企業が比較的多いことが伺えた。また、AI を用いた運転制御技術に注力するとの回答が複数社あり、熟練技術者の減少や高度処理化等の下水処理場の課題に合わせて、下水道施設の管理や下水処理を効率化・高度化する技術の開発も今後進展するものと考えられた。一方、水処理方式・プロセス（創エネ）についても、優先順位 1 位の回答数のみを見ると 2 番目に多く、省エネだけでなく創エネ技術についても、今後の開発対象として注目されていると考えられた。

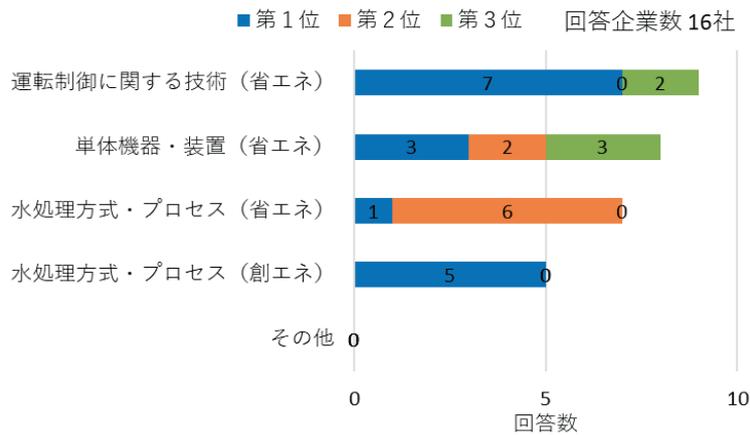


図2-2 国内民間企業による「今後の5~10年で開発に注力する技術」の技術区分別回答数の内訳

(4) まとめ

水処理省エネ化技術について、3通りの調査(文献調査、ホームページ調査、ヒアリング調査)を実施し、国内外における開発動向を把握した。

研究段階の技術が対象に含まれる文献調査では、国内外において省エネ・創エネのいずれに関しても多様な技術の研究・開発が進められていることが示された。一方、国外の民間企業等を対象としたホームページ調査からは、実装段階にある技術としては創エネよりも省エネ技術が中心であることが明確となった。国内の民間企業を対象としたヒアリング調査では、現行で保有または開発中の技術については国外と同様に省エネ技術が主体であるものの、今後の開発に注力する技術として創エネ技術についても注目されている点が示された。

本検討の結果は、次年度に予定している水処理省エネ化技術を対象とした公募型共同研究において公募条件の設定等に際して活用する予定である。

2.2 オキシデーションディッチ法の運転実態調査

(1) 検討の概要

オキシデーションディッチ (OD) 法は、小規模の下水処理場を中心に広く導入されており、処理場数ベースで国内全体の半数近くを占めている。このため、下水道分野での GHG 排出量削減を進める上では、OD 法施設の省エネ化方策を検討することも重要である。

OD 法では、消費電力量原単位が標準活性汚泥法を始めとした他の処理方式より高い傾向にあり⁵⁾、省エネ化の余地が大きいと考えられる一方、他の処理方式と比べて適用可能な省エネ化技術が少ない⁶⁾のが現状である。OD 法の反応タンク (OD 槽) では、エアレーション装置の回転数や ON/OFF 等の運転サイクルを任意に設定できるため運転条件の融通幅が広く、これが消費電力量に直接的な影響を与える。OD 法施設の省エネ化方策を検討する上では、OD 法の運転方法や処理状況等の「現状」を把握することが必要不可欠と言えるが、OD 法の運転実態を全国的に調査した事例は近年では存在しない。

上記の観点から、本検討では、OD 法施設の運転方法・条件や処理状況等の現状を把握し、OD 法の省エネ化に資する新たな技術開発の注力点や開発目標の検討に活用することを目的として、全国の OD 法施設を対象とした実態調査を実施する。

昨年度は、地方公共団体からアンケート方式にて情報・データを収集し、OD 法の運転に係る全体的な現況を整理した上で、消費電力量に対する影響因子について解析を行った⁷⁾。加えて、現状の課題や新技術への要望に関する回答結果についても整理を行った。

本年度は、上記の収集データを用いて、消費電力量への影響因子について更に詳細な解析を行った。加えて、各処理場における月毎の収集データの年間変動の解析や、全処理場を消費電力量原単位の区分 (高・中・低) に分類する解析を実施した。

(2) 検討方法

2022 年度に OD 法の下水処理場から収集したデータ (回答数: 計 672 処理場) を使用し、OD 法の消費電力量への影響因子 (施設の諸元、運転状況、処理状況等) について重回帰分析を用いて解析を行った。

加えて、2022 年度の収集データのうち、月毎のデータを収集した流入水量、流入・放流水質、消費電力量について、年間の変動状況を解析した。更に、消費電力量原単位 (流入水量当り) の区分 (高・中・低) に基づき処理場を分類した上で、幾つかの影響因子を切り口として区分毎の特徴付けを行うことを試みた。

(3) 調査結果

① 消費電力量への影響因子の解析

重回帰分析における解析対象因子 (説明変数) として、消費電力量へ影響を与えると想定される項目および消費電力量原単位との単相関係数が比較的高い項目 (データ非掲載) から、表 2-3 に示す 20 項目を選定した。

表2-3 解析対象(説明変数)とした消費電力量への影響因子

因子分類	因子
OD 池の規模に関連する因子	稼働している池の槽容量(m ³)
	1 池当りの日最大処理水量(m ³ /d)
	1 池当りの容量(m ³)
攪拌装置に関連する因子	曝気装置型式 ^{※1}
	好気+無酸素時間(h/d)
流入水量に関連する因子	流入水量(m ³ /month)
	流入率(%) ^{※2}
	HRT(h)
流入・放流水質に関連する因子	流入 BOD 濃度(mg/L)
	流入 T-N 濃度(mg/L)
	流入 BOD 負荷量(kg/month)
	流入 T-N 負荷量(kg/month)
	稼働 OD 槽容量当りの流入 BOD 負荷量(kg/m ³)
	稼働 OD 槽容量当りの流入 T-N 負荷量(kg/m ³)
	BOD 除去量(mg/month)
	T-N 除去量(kg/month)
	稼働 OD 槽容量当りの BOD 除去量(kg/m ³)
	稼働 OD 槽容量当りの T-N 除去量(kg/m ³)
	流入負荷量当りの酸素要求負荷量(kg/m ³)
	除去負荷量当りの酸素要求負荷量(kg/m ³)

※1 ダミー関数を使用。詳細は非公表。

※2 年間平均流入水量を既設処理能力(日最大汚水量)で除して算出。

同表に示した解析対象因子の全てに対して回答が得られた 55 処理場を対象に、消費電力量原単位を目的変数、解析対象因子の様々な組み合わせを説明変数とした重回帰分析を行ったところ、多重共線性^{*}が発生する説明変数の組み合わせを除いた 36 通りの回帰式を得た。これら全ての回帰式において有意 F[†]は 0.05 未満であり、各回帰式が統計学的に意味を持つことが示された。しかし、補正 R²[‡]は全ての回帰式において一般的な目安である 0.5 を下回り、消費電力量原単位に対して十分な説明力を持つ回帰式を見出すことはできなかった。

ここで、補正 R² が比較的高かった 6 通りの回帰式を抽出し、各回帰式における説明変数毎の t 値[§]を示したものが表 2-4 である。t 値は重回帰式において各説明変数が目的変数に対して持つ影響度を表す指標とされるが、同表に示した 6 通りの回帰式の中では、OD 槽の規模に関する因子(1 池当りの日最大処理水量、1 池当りの槽容量)および曝気装置に関する因子(曝気装置の種類、1 日当りの好気+無酸素時間)について t 値が絶対値で概ね 2 を超えており、目的変数である消費電力量原単位に対する影響度合いが比較的大きい因子であると考えられた。一方、昨年度に実施した単回帰分析において消費電力量原単位に対して関連性が比較的強いと考えられた汚水流入率については、6 通り全ての回帰式において説明変数に含まれたものの、

* 説明変数間に強い相関(相関係数 0.9 以上)を持つ組み合わせが存在する状態を指し、多重共線性が発生している因子同士を分析することは不適当とされている。

† 回帰式の有意性を示す指標であり、値が小さいほど、得られた回帰式が偶然の可能性が低いことを意味する。一般に値が 0.05 未満であれば有意な回帰式であると判断される。

‡ 回帰式の当てはまりの良さを示す指標で、決定係数(R²)に対してデータ数の影響を補正したものに相当する。値は 0~1 の範囲をとり、1 に近いほど回帰式としての精度が高いことを意味する。一般に補正 R² ≥ 0.5 が目安とされている。

§ 各説明変数の目的変数に対する影響度を表す指標である。絶対値が大きいくほど影響度が大きいと解され、一般に絶対値が 2 以上で「影響がある」と見なす。

いずれも t 値は絶対値で 2 に至っておらず、影響度合いとしては上述の 4 因子より小さいという結果となった。

表2-4 補正 R²に基づき抽出した重回帰式の説明変数および t 値

因子分類	説明変数	補正R ²					
		式①	式②	式③	式④	式⑤	式⑥
OD池の規模に関する因子	1池当りの日最大処理水量	0.226	0.222	0.218	0.217	0.216	0.210
	1池当りの容量	-2.363	-2.349	-2.287	-2.224	-2.323	-2.241
攪拌装置に関連する因子	曝気装置型式	1.9863	2.0103	2.0875	2.0889	2.0113	2.0818
	好気+無酸素時間	2.3155	2.2978	2.3389	2.3396	2.1882	2.1919
流入水量に関連する因子	流入率	-0.172	-0.345	-1.249	-1.071	-0.139	-1.022
	HRT	0.8331	0.8841	0.2781	0.1523	0.7216	0.1096
流入・放流水質に関連する因子	流入BOD濃度	0.8219			0.721		
	流入T-N濃度					0.1748	0.3406
	稼働OD槽容量当りの流入BOD負荷量		0.6489	0.7671			

※着色は t 値の絶対値 ≥ 2 を示す。

② 年間変動の解析

月毎のデータを収集した項目（流入水量、流入・放流水質、消費電力量；各々2020～2021年度の2ヶ年度分）が全て揃っている43処理場を対象に、各項目の年間変動状況の解析を行った。このうち、流入水量、流入BODの濃度および負荷量、流入T-Nの濃度および負荷量、消費電力量および消費電力量原単位について、月毎の変動比の全処理場分の統計量を図2-3～図2-9に示す。ここで、変動比は年間平均値に対する各月の値の比率で、各図は、処理場毎に2ヶ年度分の変動比の平均値を算出した上で、43処理場の平均値、最大・最小値、75・25%値（パーセンタイル）を示したものである。

流入水量（図2-3）では変動比が夏季に高く冬季に低い傾向が明確である一方、流入水質（BOD、T-N濃度；各々図2-4、図2-6）については冬季の方が変動比が高い傾向が見られ、一般に理解されている流入水量・水質の年間変動の傾向が確認された。流入水量と水質を掛け合わせた流入負荷量（図2-5、図2-7）を見ると、BODについては流入水量と同様の傾向が見られ流入水質よりも水量の変動の影響を強く受けているものと思われるが、T-Nについては流入水質の変動傾向がBODよりも明確なこともあり、流入負荷量では明確な年間変動パターンが見られなかった。

消費電力量（図2-8）については、変動比が夏季に増加し冬季に減少するという流入水量に類似した傾向が見られ、流入水量の影響を比較的強く受けているものと推察された。実際、消費電力量を流入水量で割戻した原単位（図2-9）では、夏季に変動比が低い傾向が見られるものの、これを除くと明確な年間変動パターンは見られなくなっている。

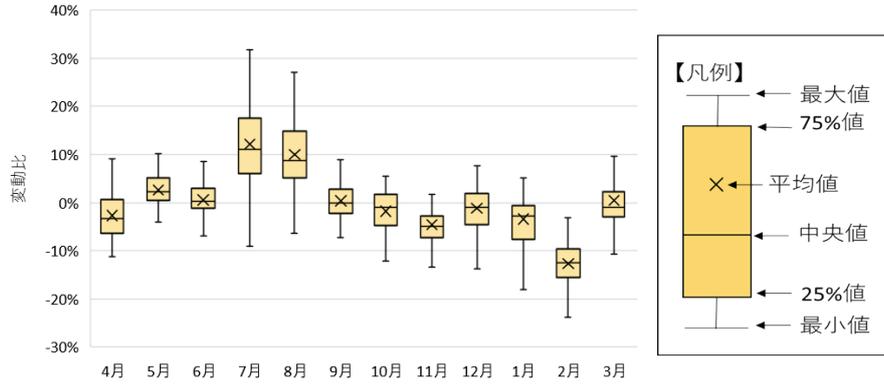


図2-3 月毎の変動比の処理場間分布(流入水量)

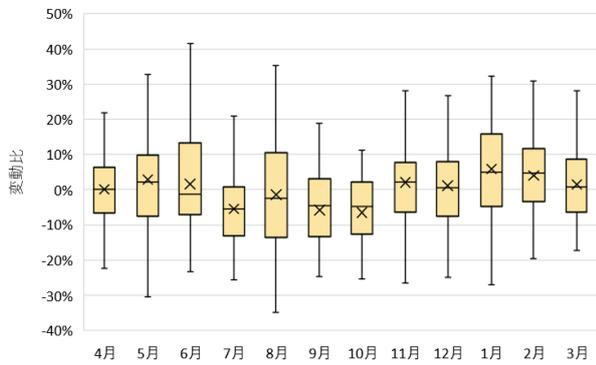


図2-4 月毎の変動比の処理場間分布(流入BOD濃度)

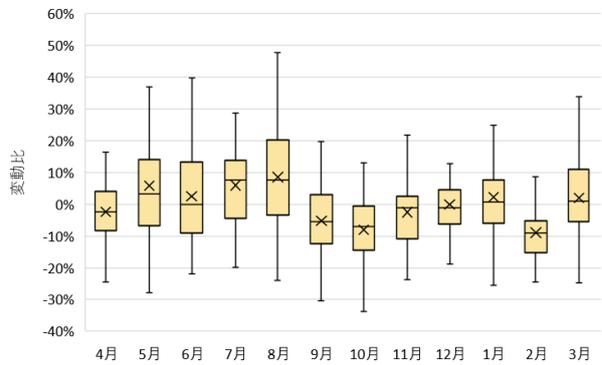


図2-5 月毎の変動比の処理場間分布(流入BOD負荷量)

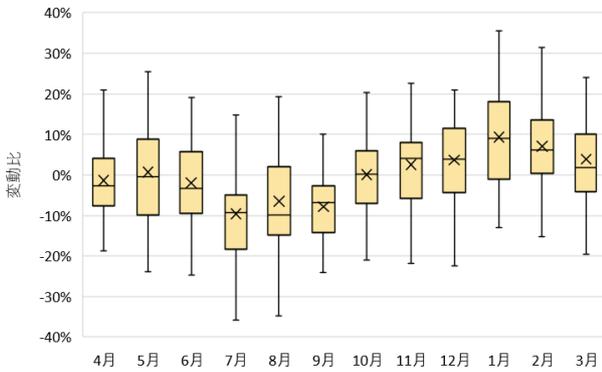


図2-6 月毎の変動比の処理場間分布(流入T-N濃度)

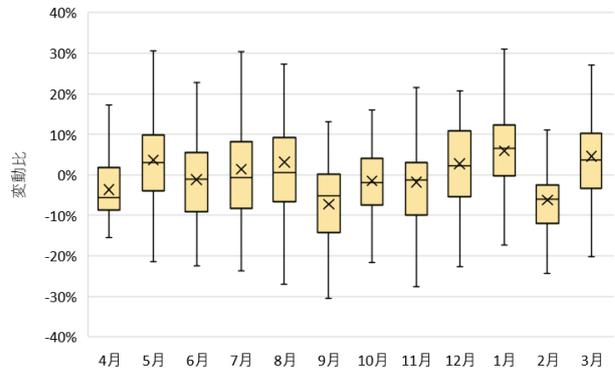


図2-7 月毎の変動比の処理場間分布(流入T-N負荷量)

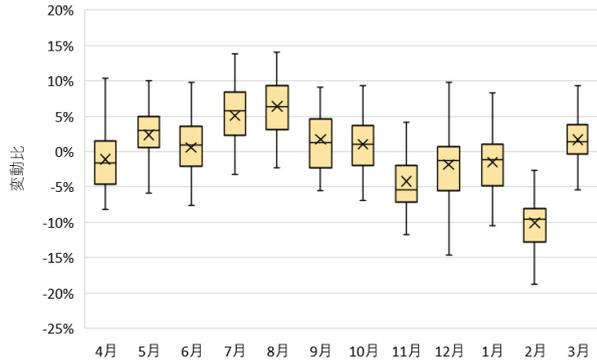


図2-8 月毎の変動比の処理場間分布
(消費電力量)

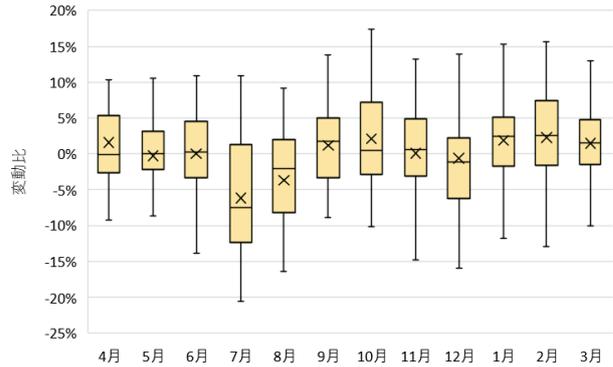


図2-9 月毎の変動比の処理場間分布
(消費電力量原単位)

③ 消費電力量原単位に基づく処理場のグループ化

流入水量および水処理施設の消費電力量について回答が得られた 233 処理場を対象に、消費電力量原単位が高い (0.6kWh/m³ 超)、中程度 (0.4 超~0.6 kWh/m³ 以下)、低い (0.4 kWh/m³ 以下) という 3 グループへと分類し、各グループについて施設規模、流入率、曝気装置運転時間、流入水質に係る因子の分布を確認することで、グループ毎の特徴付けを行うことを試みた。

233 処理場をグループ分けしたところ、消費電力量原単位が高、中、低の各グループについて処理場数が各々 84、84、65 となった。まず、水処理施設の規模を反映する因子として、1 池当りの日最大処理水量および OD 槽容量について、グループ毎の統計量 (前掲の②と同様に平均値、最大・最小値、75・25%値；以下同様) を示したものを図 2-10、図 2-11 に示す。消費電力量原単位が低のグループでは全体的に施設規模が大きい傾向にあることが明らかであり、例えば同原単位が低、高のグループについて OD 槽 1 池当り容量の平均値を比較すると、各々 1,690、1,130m³ と違いは明白である。流入率 (図 2-12) についても同様の傾向が見られ、消費電力原単位が低のグループでは平均値が 75% と高い一方で、高のグループでは 43% と明らかに低かった。曝気装置の運転時間 (好気+無酸素時間) および流入 BOD 濃度については (図 2-13、図 2-14)、上述の各因子よりはグループ間の相違が小さくなっていた。

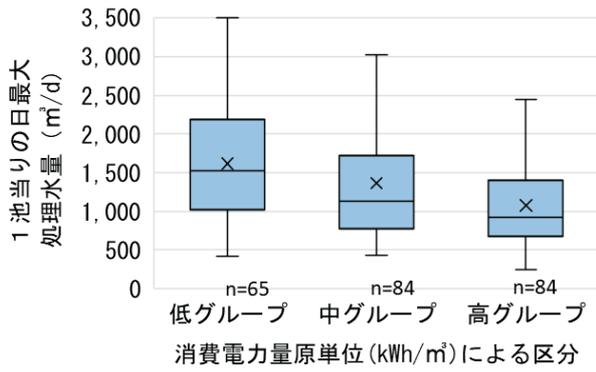


図2-10 グループ毎の1池当り日最大処理水量の分布
(凡例は図2-3参照;以降同様)

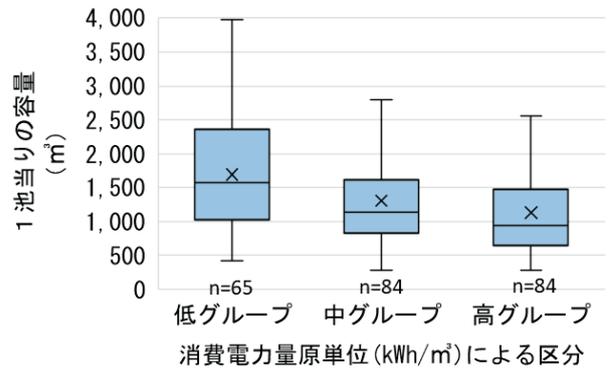


図2-11 グループ毎の1池当りOD槽容量の分布

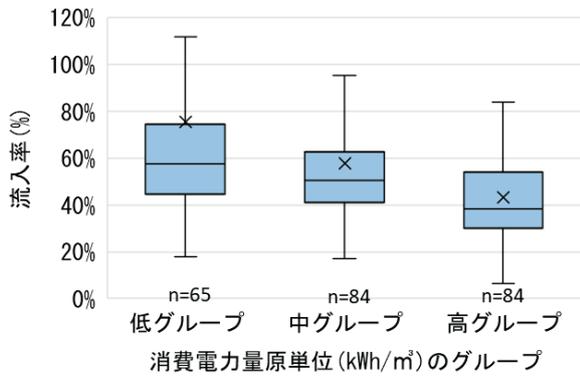


図2-12 グループ毎の流入率の分布

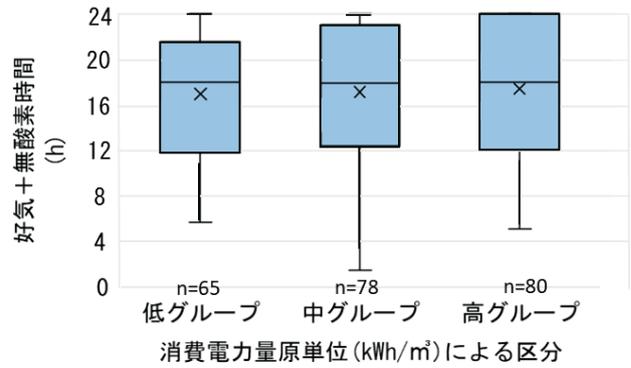


図2-13 グループ毎の好気+無酸素時間の分布

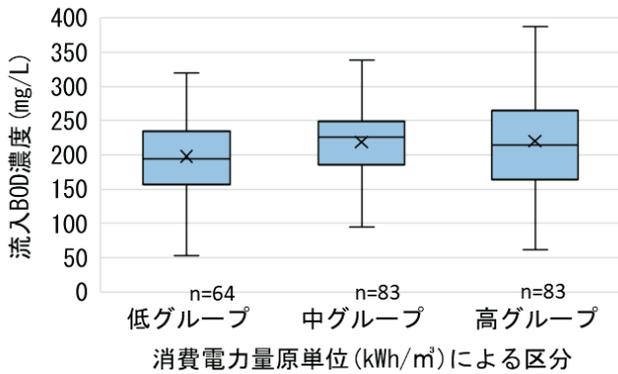


図2-14 グループ毎の流入BOD濃度の分布

(4) まとめ

昨年度に OD 法の下水处理場から収集したデータを用いて、消費電力量への影響因子等について更に詳細な解析を進めた。

- 消費電力量に対する複数因子の影響度合いを定量化すべく、55 処理場を対象に、消費電力量原単位を目的変数とし、説明変数の組み合わせを様々に変えた重回帰分析を試みたものの、決定係数（補正 R^2 ）が十分に高い回帰式を見出すには至らなかった。この範囲で、補正 R^2 が比較的高い 6 通りの回帰式について説明変数毎の t 値を確認したところ、OD 法の規模や曝気装置に係る因子の影響度合いが比較的大きいことが示唆された。
- 43 処理場を対象に流入水量・水質（BOD、T-N）の年間変動状況を解析した結果、流入水量の変動比は夏季が高く、流入水質の変動比は冬季の方が高いといった一般に知られる傾向が再確認された。一方、流入負荷量については、BOD で流入水量に類似した年間変動パターンが見られた一方、T-N では必ずしも明確なパターンが見られず、水質項目によって流入負荷量の年間変動状況が異なる可能性が見出された。消費電力量については流入水量と類似した年間変動パターンを示し、これを流入水量で割戻した原単位では明確なパターンが見られなくなった。
- 233 処理場を対象に、消費電力量原単位が高・中・低の 3 グループに分類したところ、同原単位が低のグループでは水処理施設の規模が大きい、流入率が高いという傾向が見られた一方、曝気装置の運転時間および流入 BOD 濃度については明確な傾向が見られず、前述の重回帰分析に係る考察とは必ずしも一致しない結果となった。

本実施項目は本年度で完了とし、今後は収集したデータの整理・解析結果を新たな「水処理省エネ化技術」の開発等において活用する予定である。

2.3 小規模省エネ化技術の開発・実証

(1) 検討の概要

1.2節で述べたとおり、現状では、オキシデーションディッチ（OD）法に代表される小規模下水処理場を対象とした水処理省エネ化技術が少なく、ラインナップの充実を図る必要がある。本検討では、2030年目標の達成に向けて、特に小規模下水処理場向けの水処理省エネ化技術を中心に、民間企業との共同研究等により早期の実用化に向けた開発・実証を行う。

昨年度は、東芝インフラシステムズ(株)との共同研究(2021年8月～2024年3月)において、OD法の省エネ化や処理能力増強を可能とする「回転繊維ユニット RBC を用いた下水処理技術」(以下、「RBC-OD法」と表記)について、実規模での実証実験を開始し、処理水量を従前と変えずに省エネ化を図る「省エネ性能試験」を完了するとともに、引き続きOD槽当りの処理能力増強を図る「負荷増強試験」へと移行した。

本年度は、上述の実証実験について、通年での負荷増強試験を継続するとともに、本技術における有機物負荷の低減機構を明確にするための実験的検討を実施し、共同研究を完了した。

(2) 検討方法

「RBC-OD法」は、低動力で有機物等の負荷低減が可能な回転繊維ユニット RBC(以下、「RBC装置」と表記)をOD法の前処理に使用することで、反応タンク(OD槽)へ流入する有機物等の負荷量を低動力で低減し、反応タンクにおける消費電力量の削減や処理能力増強を図る技術である^{8),9)}(図2-15)。本RBC装置は、網目状の繊維体を用いる回転生物接触法(Rotating Biological Contactor ; RBC)の処理装置で、繊維体に形成される生物膜の剥離を促進し肥大化を防ぐための弱い散気のみで有機物等を低減する。繊維体は、塩化ビニリデン系の特殊繊維を空隙率95～98%の立体網目状に加工したもので、微生物を高濃度に保持することが可能である。

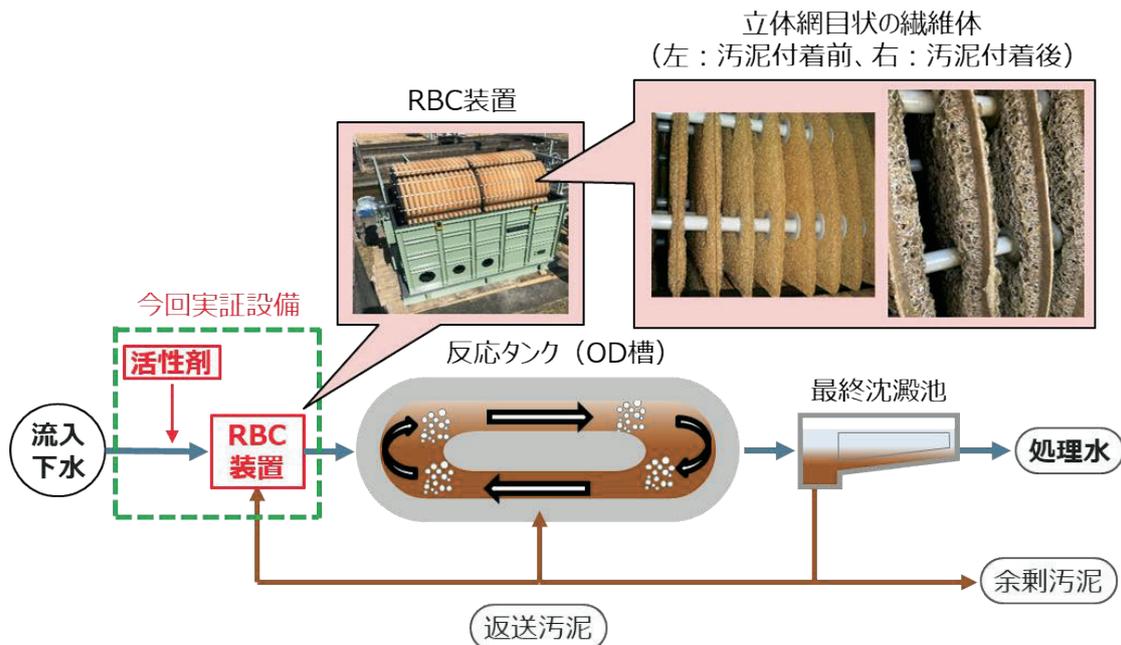


図2-15 回転繊維ユニット RBC を用いた下水処理技術の概要

「RBC-OD法」では、OD槽の前段にRBC装置を設置した上で、OD法の最終沈殿池からの返送汚泥の一部を同装置へ分配する。更に、RBC装置内の生物膜やOD槽内の活性汚泥におけるバチルス属細菌の存在量を増加させるため、カルシウムやマグネシウム等のミネラルを主成分とする活性剤を同装置の流入水に添加する。バチルス属細菌は土壌細菌の一種であり、その存在量を増加させることで有機物の処理性能を安定化させる等の効果が期待できる^{10),11)}。

本共同研究では、OD法の下処理場の実証設備を構築し実規模での実証実験を実施した。処理能力1,160m³/dを有する系列(1系:580m³/d×2池)のOD槽の前段にRBC装置を設置して実証系列とし、隣接する2系(処理能力1,230m³/d×1池)を対照系列として、RBC-OD法による省エネ性能を確認する「省エネ性能試験」および処理能力増強効果を確認する「負荷増強試験」を実施してきた(図2-16)。実証系列では、最終沈殿池からの返送汚泥の一部(流量としての分配比13%程度)をRBC装置へ供給するとともに、前述の活性剤を同装置に連続的に添加した。OD槽では、両系列の曝気装置(横軸型)についてタイマーで曝気時間を制御するON/OFFの間欠運転を行った。後述するとおり、実証実験期間中には曝気時間の変更を行ったが、RBC装置の設置前後でその他の運転方法の変更はない。

2022年4月より本実証設備の運転を開始し、RBC装置の基本性能の確認、設備や運転条件の各種調整を実施した後、同年7月~2023年1月の期間、実証系列のOD槽を従前から引続き2池使用した状態での省エネ性能を確認する「省エネ性能試験」を行った(結果については令和4年度年次報告書に掲載)。その後、2023年1月に実証系列においてOD槽1池の運転を停止し、OD槽容積当たりの流入水量を倍増させる「負荷増強試験」を同年12月末までの通年で実施した。加えて、本試験の期間中に、RBC装置における有機物負荷の低減機構を把握するためのOUR試験を2回行った。

負荷増強試験の期間中、週1回の頻度で各所(流入下水、RBC装置出口水、各系列処理水(最終沈殿池流出水)、各系列返送汚泥;図2-16参照)の水質測定を実施した(全て9:30~10:00のスポット採水)。ここで、RBC装置出口水は同装置に供給した返送汚泥を含むため、採取直後に10分間静置した上澄水を試料として水質測定に供した。また、RBC装置入口水の水質については、流入下水と返送汚泥の水質から算出した。

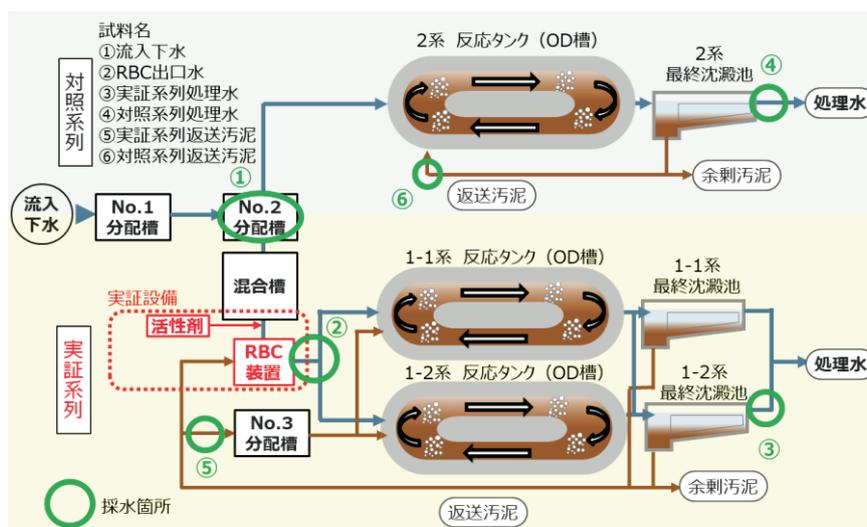


図2-16 実証設備のフローおよび水質測定箇所

① 負荷増強試験

実証系列と対照系列への流入水量分配を変えずに、実証系列において OD 槽 1 池の運転を停止することで同系列の OD 槽容積当りの流入水量を倍増させた条件にて、対照系列との間で処理水質や消費電力量等の比較を行った。試験期間は、2023 年 1 月 10 日～12 月 28 日の約 12 ヶ月間で、同期間中の両系列の運転条件の実績は表 2-5 に示すとおりである。実証系列では OD 槽の稼働池数を半分にしたため、OD 槽の HRT が平均 16.5hr と対照系列 (33.7hr) の 49% へと短縮された。また、実証系列では、流入水質の実績に応じて曝気装置の稼働時間を適宜調整する運転を行った結果、同系列の曝気時間 (平均 17.8hr/d) は対照系列 (平均 10.8hr/d) に比べて大幅に長くなった。

表 2-5 負荷増強試験時の運転条件実績
(2023.1.10~2023.12.28 の期間平均値)

項目	単位	実証系列	対照系列
流入下水			
流量	m ³ /d	1,140	880
BOD濃度	mg/L	272	
RBC装置			
汚泥返送量(A)	m ³ /d	143	—
RBC汚泥分配比 (A)/(B)	%	12.6	—
HRT	min	12.2	—
反応タンク (OD槽)			
HRT	hr	16.5	33.7
MLSS濃度	mg/L	2,850	3,000
SRT	d	17.1	31.8
曝気時間 (1/10~)	hr/d	17.8	10.8
曝気装置		横軸型	横軸型
最終沈殿池			
仕様		φ 8.6m × 2池	φ 14m × 1池
水面積負荷	m/d	9.8	5.7
汚泥返送量(B)	m ³ /d	1,102	1,181
汚泥返送比	%	97	134

② RBC 装置における有機物負荷低減機構の検討

本技術では RBC 装置に返送汚泥を投入していることから、流入水中の有機物の一部は返送汚泥に吸着された状態で OD 槽に流出していると考えられる。実証実験では、RBC 装置の前後での水質の変化から同装置における BOD 等の負荷低減効果を推定したが、上述の通り、そこには返送汚泥への吸着分が含まれると考えられるため、推定結果は見かけの低減効果となっている可能性が高い。そこで、同装置における真の有機物負荷の低減効果を明らかにするために、酸素利用速度 (OUR ; Oxygen Uptake Rate) 試験を利用して返送汚泥に吸着された有機物量を推定することを試みた。OUR 試験では、試験中に消費された酸素量から、生物学的に利用された有機物量を推定できる¹²⁾が、これを返送汚泥に対して実施すれば、返送汚泥自体の内呼吸による酸素消費量 (並行して実施する空曝気後の返送汚泥に対する OUR 試験結果から推定) を差引くことで、そこに吸着された有機物量を推定することができる^{11),13)}。

本検討では、これを RBC 装置前後の返送汚泥（流入汚泥、流出汚泥）に対して実施し、両汚泥の吸着有機物量を比較することで、RBC 装置において新たに吸着され OD 槽へと流出する有機物量を推定した。加えて、同装置の流入・流出水および返送汚泥自体の COD_{Cr} 濃度を測定し、同装置における有機物（COD_{Cr}）の収支を推定した。これらの試験を、2023 年 7 月、2024 年 2 月にそれぞれ 1 回実施した。

(3) 検討結果

① 負荷増強試験¹¹⁾

試験期間（2023 年 1 月 10 日～12 月 28 日）において、実証系列では OD 槽容積当りの流入水量を倍増させた結果、OD 槽の HRT は平均 16.5hr となり、対照系列（平均 33.7hr）と比較して 2.0 倍の水量負荷での運転となった。また、実証系列について設計上の 1 池当り処理能力（流入下水量 580m³/d、設計流入 BOD 濃度 230mg/L に基づく流入 BOD 負荷量として 133kg/d）に対する試験期間中の流入負荷量の倍率を計算すると（図 2-17）、流入下水量で平均 2.0 倍（範囲 1.7～2.5 倍；以下同様）、流入 BOD 負荷量で平均 1.7 倍（1.1～3.2 倍）であり、負荷増強試験における流入負荷量として概ね想定通りの運転が行われたと言える。一方、RBC 装置を経た OD 槽流入水（RBC 出口水）について同様に流入 BOD 負荷量の設計能力に対する倍率を計算すると平均 0.8 倍（0.4～1.1 倍）であり、実証系列では RBC 装置により OD 槽への流入 BOD 負荷量が処理能力相当以下にまで低減されていたことが解る*。なお、本試験に際して、実証系列では OD 槽の MLSS 濃度を上げる操作は行っておらず、両系列の MLSS 濃度の実績は、実証系列で平均 2,850mg/L、対照系列で平均 3,000mg/L と、顕著な相違は生じていない。

RBC 装置における負荷低減効果を確認するために、同装置の入口水・出口水にて測定した形態別の BOD 濃度の期間平均値を図 2-18 に示す。同装置入口水および出口水の T-BOD 濃度は各々平均で 244、80mg/L であり、T-BOD の見かけの低減率は 67%であった。また、P-BOD（浮遊性 BOD；T-BOD と溶解性 BOD（S-BOD）の差として算出）および S-BOD の見かけの低減率は各々 85%、24%と、P-BOD の低減率が高かった。これは、RBC 装置内において浮遊性有機物が繊維体へ捕捉されることによる除去が卓越していることを示唆する結果であるが、前述の通り、浮遊性および溶解性有機物の一部は同装置内で返送汚泥に吸着した状態で OD 槽へ流出していると考えられることから、後掲の②にて同装置内での有機物低減機構について詳細な検討を行う。

* ここに示した OD 槽流入水質は RBC 出口水の上澄水の測定結果に基づくものであり（(2)および(3)②参照）、RBC 装置内で返送汚泥に吸着され OD 槽へと流入した負荷量が含まれていない点に注意が必要である。

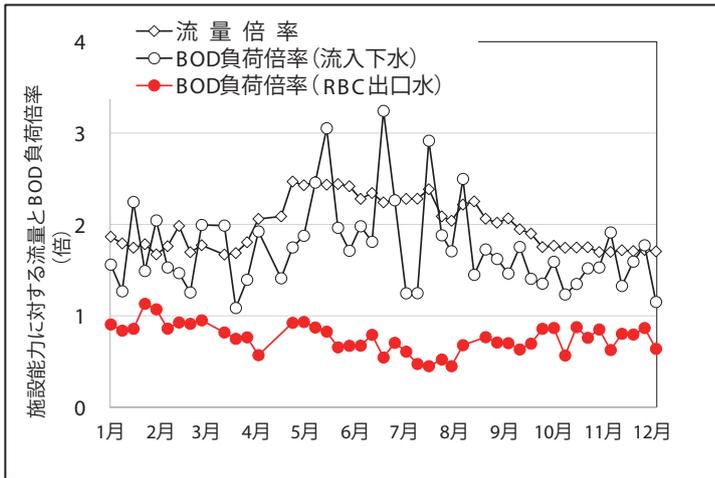


図2-17 既設能力に対する流入下水量の倍率(流量倍率)および設計能力に対する流入BOD負荷量の倍率(BOD負荷倍率)の推移

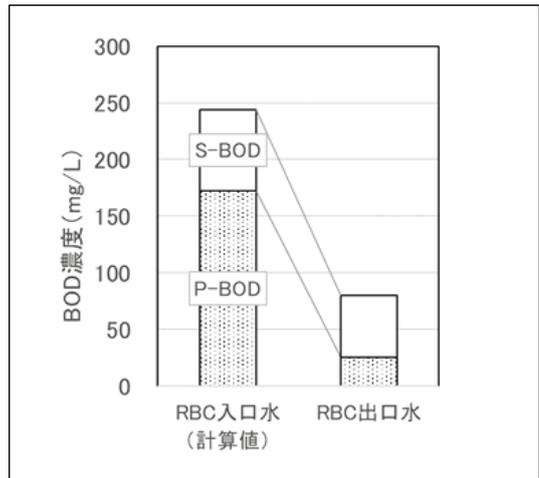


図2-18 RBC装置の入口水および出口水の形態別BOD濃度(負荷増強試験期間平均値)

同期間における実証系列・対照系列の処理水質(最終沈殿池流出水質)の平均値を図2-19に示す。実証系列のBOD、SS、T-N濃度が各々平均で3.1、1.4、2.5mg/Lであったのに対して、対照系列では1.5、1.2、1.8mg/Lであった。BODとT-Nについて実証系列の方がやや高くなったが、OD法の処理水質として十分に低濃度であり、設計処理能力に対して2倍の流入水量を処理する条件においても処理水質の顕著な悪化が生じないことが確認できた。ここで、実証系列では、処理水質の実績に応じて曝気装置の稼働時間(曝気時間)を適宜調整する運転を行った結果、前述の通り1日当りの曝気時間は平均17.8hr/dと対照系列(平均10.8hr/d)と比較して大幅に長くなったが、処理水に低濃度(1~4mg/L程度)のNH₄-Nが残存することがあり、OD槽への流入負荷量等の変動に対して曝気時間の調整が追いつき切れない期間が生じていたと推察される。これに伴う実証系列でのS-BODやN-BODの上昇が、両系列間で処理水のBOD濃度に差が生じた要因として想定される。また、処理水のT-N濃度に差が生じた要因は上述のNH₄-Nに起因するものであり、NO₃-Nについてはいずれの系列においても殆ど残存していなかった。

本試験期間における実証系列および対照系列の消費電力量から処理水量当りの消費電力量原単位を算出し、月別の平均値として表示したものを図2-20に示す。なお、ここでの消費電力量の計上対象設備は、実証系列についてはRBC装置およびOD槽の曝気装置、対照系列についてはOD槽の曝気装置である。月別の消費電力量原単位は、実証系列で平均0.20kWh/m³(範囲0.16~0.23kWh/m³;以下同様)、対照系列で平均0.30kWh/m³(0.24~0.34kWh/m³)であり、対照系列に対する実証系列の削減率は平均33.7%(29.4~37.0%)と計算された。これは、昨年度に実施した省エネ性能試験における削減率(平均15.3%^{14),15})と比べて2.2倍であり、OD槽1池の稼働を停止したことによる省エネ効果が大きい結果となった。RBC装置の導入によりOD槽への流入水量を増加させる場合、RBC装置自体の消費電力量に加えて、曝気装置の稼働時間が長くなることによるOD槽1池当りの消費電力量の増加が生じるが、OD槽の稼働池数の減少にまで至れば、大きな省エネ効果が期待できることが解る。なお、本試験期間における実証系列の消費電力量のうち、RBC装置が占める割合は14%程度である。

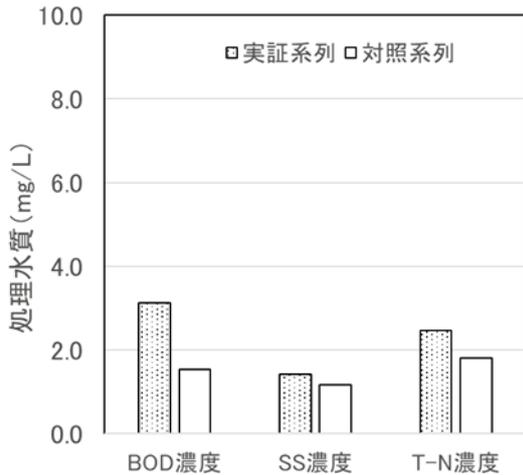


図2-19 実証系列と対照系列の処理水質(負荷増強試験期間平均値)

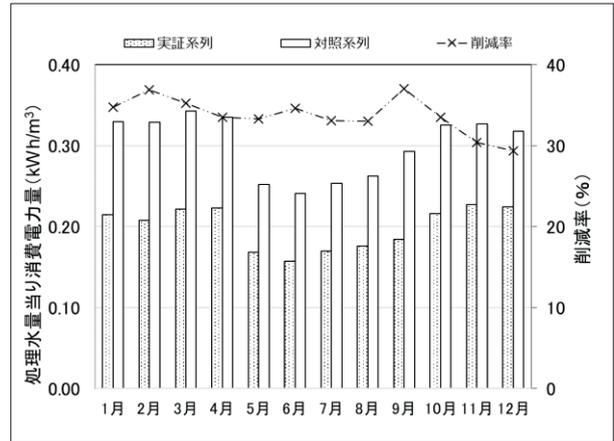


図2-20 実証系列と対照系列における処理水量当り消費電力量原単位および実証系列での削減率(月間平均値)の推移

② RBC 装置における有機物負荷低減機構の検討^{11),13)}

2023年7月および2024年2月に実施したOUR試験の結果から、RBC装置前後の返送汚泥(流入汚泥、流出汚泥)に吸着されたCOD量を推定すると、7月の試験で各々0.04、0.20gCOD/gVSS、2月の試験で各々0.06、0.21gCOD/gVSSと、流出汚泥において顕著に増加しており、RBC装置内で返送汚泥に吸着された有機物が、実際に同汚泥と共にOD槽へ流出していることが示された。なお、7月の試験ではRBC上の生物膜汚泥へのCOD吸着量を併せて推定したが、0.44gCOD/gVSSと流出汚泥よりも更に高く、生物膜において有機物が吸着された状態で低減が進行していることを示す証左が得られた。

ここで、7月の試験について、併せて測定した流入下水、RBC出口水、返送汚泥のCOD_{Cr}濃度から、RBC装置前後でのCODの挙動(収支)を推定した結果を図2-21に示す。流入下水およびRBC出口水(上澄水)のCOD量は各々925、208kg/dで、見かけの低減率は78%である。これに対して、前述の返送汚泥に対するRBC装置内での追加のCOD吸着量は180kg/dとなり、これは流入下水のCOD量の20%に相当する。本数値に基づけば、同装置における見かけのCOD低減率78%に対して、20ポイント分程度は返送汚泥に吸着された状態でOD槽へと流出していた(すなわち実際には低減されていない)と見なせる。一方、RBC装置の流入・流出COD量の収支(差引き)に基づき同装置内でのCOD分解量を推定すると607kg/d(流入下水のCOD量に対して66%)となり、RBC装置において相当量の有機物が実際に低減されていることも示された。

2月の試験においても(データ非掲載)、RBC装置内で返送汚泥に追加で吸着されたCOD量は、流入下水のCODに対して20%と7月の試験結果と同等であった。一方、RBC装置内でのCOD分解量は流入下水のCODに対して42%と推定された。これは7月の試験結果(66%)と比較して明らかに小さく、RBC装置における有機物の分解量が低水温の条件では低下することを示唆している。

以上の試験結果から、実証設備で得られたRBC装置における見かけのT-BOD低減率に対して、返送汚泥に吸着して流出する有機物量の影響が無視できない点は明らかである。同装置に

における T-BOD の低減効果を評価する上では、見かけの低減率に対して 20 ポイント分程度を差し引いて取り扱うことが妥当と考えられる。

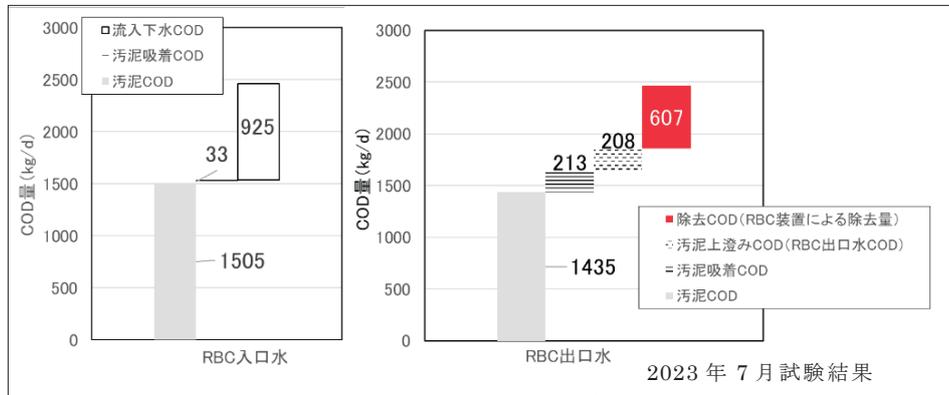


図2-21 RBC 装置前後での COD 收支の推定結果(2023年7月実施分)

(4) まとめ

回転繊維ユニット RBC を用いた下水処理技術 (RBC-OD 法) の実規模実証実験について、2023年1月からの約12ヶ月間の負荷増強試験、RBC装置における有機物負荷低減機構の検討により以下の結果が得られた。

- 既設処理能力に対して2倍の流入水量を処理する条件において、処理水の BOD、SS、T-N 濃度が各々平均で 3.1、1.4、2.5mg/L であり、処理水質は OD 法として十分に低濃度であった。
- 消費電力量原単位は実証・対照系列で各々平均 0.20、0.30Wh/m³ となり、実証系列では対照系列に比べて平均 33.7%削減できた。
- RBC 装置の負荷低減効果について、T-BOD の見かけの低減率は 67%であったが、見かけの低減率に対して 20 ポイント分程度を差し引いて取り扱うことが妥当と考えられた。

本実証実験は 2023 年 12 月に完了し、RBC-OD 法による消費電力削減および処理能力増強の効果を確認することができた。2024 年 3 月には共同研究を完了し、今後は本技術の新技术選定に向けて検討を行っていく。

2.4 アナモックス併用高度処理の基礎実験

(1) 検討の概要

本検討では、アナモックス反応を利用して省エネ化等を図る新たな窒素除去プロセスについて、実現可能性を検証するための基礎実験を行う。アナモックス反応を利用した排水処理プロセス（アナモックスプロセス）は、下水処理分野では、窒素濃度および水温が高い嫌気性消化汚泥の脱水分離液を対象とした返流水処理技術として実用化され¹⁶⁾、国内でも実施が稼働している。一方、これよりも窒素濃度および水温が大幅に低い下水の高度処理への同反応の活用についても活発に研究・開発が行われており^{17)・19)}、本検討もこのような試みの一環として位置付けられる。

具体的には、循環式硝化脱窒法（MLE*）の反応タンクに微好気槽による一槽式アナモックス処理を組み込むことで付加的な窒素除去機能を付与する処理フロー（図2-22；以下「MLE＋アナモックス法」と略記）を想定し、2019年度以降、ラボ実験等の基礎的な実験を継続的に実施している^{20)・23)}。本処理フローにより、従来の窒素除去法と比較して、曝気風量および硝化液循環量の低減による省エネ化・低コスト化に加えて、窒素除去性能の向上、余剰汚泥発生量の削減といった効果が期待できる。

昨年度は、ラボ実験において、微好気槽で使用する担体サイズが窒素除去速度に与える影響を確認するとともに、アナモックス細菌を保持した担体（アナモックス担体）を用いたMLE＋アナモックス法の連続処理に対して、活性汚泥が共存することが窒素除去に顕著な悪影響を与えないことを示す結果を得た²³⁾。

本年度は、MLE＋アナモックス法において活性汚泥が存在する条件での連続処理について新たなラボ実験を実施するとともに、アナモックス担体の新たな大量培養方法に係る検討を行った。更に、ベンチ規模のMLE＋アナモックス法の実験プラントの立上げ運転を行った。



図2-22 MLE＋アナモックス法の処理フロー

(2) 検討方法

① 活性汚泥共存下でのMLE＋アナモックス法の連続処理実験

昨年度から引き続き、MLE＋アナモックス法について、アナモックス担体と活性汚泥法を併用するIFAS処理[†]の条件にて微好気槽での一槽式アナモックス処理の性能等を確認するラボスケールの連続処理実験を行った。図2-23に示す通り、3つの直列の反応槽（無酸素槽、微好気槽、硝化槽；有効容量は各1.5L）と沈殿池から成るラボ実験装置を使用し、酢酸およびNH₄-

* Modified Ludzack-Ettinger。

† Integrated fixed-film activated sludge。生物膜法と活性汚泥法を併用する排水処理法の総称。

Nを含む合成廃水を原水として118日間（アナモックス担体投入後の期間として44日間）の連続処理を行った。

JS技術開発実験センターで運転を行っている標準活性汚泥法のパイロットプラント（詳細はII-3の2.2節を参照）の返送汚泥を種汚泥として投入し、まずはアナモックス担体を添加せず、活性汚泥単独処理として運転を開始した。当初は反応槽の総HRTを10hrとし、35日目から原水量を引上げてHRTを8hrへと短縮した。75日目に微好気槽へアナモックス担体を添加率5%（v/v）で投入し担体と活性汚泥の併用処理を開始した後、90、106日目に担体を追加投入して添加率を各々10%、20%へと上げた。使用した担体はPVA製スポンジ担体（アイオン製、10mm角）で、群馬県内の下水処理場の返送汚泥から集積培養したアナモックス汚泥（*Candidatus Kuenenia*が優占）および無機合成廃水を用いた別途の培養（原水窒素濃度：100～188mg/L、HRT：7～8hr）によりアナモックス汚泥を付着・増殖させたものである。

ラボ実験装置では、上記の実験期間を通して、汚泥返送比を1.0で固定し、反応槽のMLSS濃度を概ね1,500～2,000mg/Lとして運転するとともに、硝化槽から無酸素槽へ硝化液循環（循環比1.0～1.4）を行った。実験原水（合成廃水）は、都市下水を模擬してアンモニア性窒素（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）濃度を40mg/L程度とし、28日目から0.1%（w/v）の酢酸添加を開始しC/N比を1.0～1.7（105日目以前）、2.3～2.5（106日目以降）の範囲に調整した。

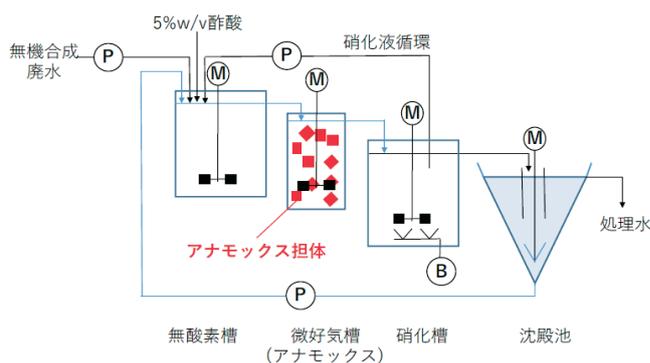


図2-23 MLE+アナモックス法のラボ実験装置のフローおよび外観

② アナモックス汚泥の新たな大量培養方法の検討

MLE+アナモックス法に限らずアナモックスプロセスでは一般に、増殖速度が極めて小さいアナモックス細菌を含む汚泥（アナモックス汚泥）を種汚泥として如何に大量に準備できるかが、当初の実装段階における課題となる。アナモックス汚泥の培養には $\text{NH}_4\text{-N}$ と亜硝酸性窒素（ $\text{NO}_2\text{-N}$ ）の両者を含む合成基質を使用するのが通例であるが、下水処理場内で発生する、窒素成分として $\text{NH}_4\text{-N}$ のみを含む排水を使用した培養が可能になれば、種汚泥の供給に係るコストを大幅に低減可能と考えられる。そこで、汚泥処理返流水等の高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む排水を使用して $\text{NO}_2\text{-N}$ を添加せずにアナモックス汚泥を大量培養する新規の手法の可能性について、基礎的な実験を開始した。

反応槽容量が180Lの一槽式アナモックス法の実験装置を使用し、窒素成分として $\text{NH}_4\text{-N}$ のみを含む無機合成排水を連続的に供給して $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に対する窒素除去速度の変化を追跡した。当初は $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を400mg/Lに調整した原水にて培養を開始したが、窒素除去速度の急

激な低下が見られたことから 19 日目に原水の NH₄-N 濃度を 100mg/L へと引下げ、以降、139 日目まで本原水による培養を継続した後、NH₄-N 濃度を 1,000mg/L へと引上げて 157 日目まで培養を行った。

③ MLE+アナモックス法のベンチプラントの立上げ

過年度に JS 技術開発実験センター内に設置したベンチ規模の MLE+アナモックス法の実験プラント（反応槽の総有効容量 440L×2 系列；図 2-24）について、実下水（初沈越流水）を原水として立上げ運転を行った。種汚泥として①のラボ実験と同様に標準活性汚泥法のパイロットプラントの返送汚泥を投入した後に原水の供給を開始した。当初はアナモックス担体を投入せずに循環式硝化脱窒法として運転を開始し、原水量や返送汚泥量等の調整を行った後、事前にアナモックス汚泥を付着させた担体を投入して MLE+アナモックス法としての運転へと移行した（本年度は立上げ操作のみであるため、検討結果は掲載しない）。

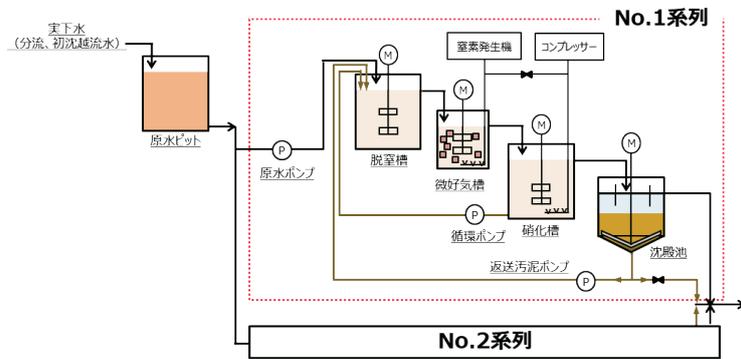


図 2-24 MLE+アナモックス法のベンチプラントのフロー

(3) 検討結果

① 活性汚泥共存下での MLE+アナモックス法の連続処理実験

運転開始 75 日目以降の期間について、微好気槽の T-N 除去寄与率（反応槽全体の T-N 除去量に対する微好気槽での除去量の割合）の推移をアナモックス担体の添加率と併せて図 2-25 に示した。微好気槽の T-N 除去寄与率は、当初のアナモックス担体の添加率 5% の期間では最大でも 3% と小さかった。その後、添加率を 10%、20% へと順次引き上げることで同寄与率は上昇したが、概ね 2.0~5.9%（極端に高かった 1 点を除く）に留まり、アナモックス担体の添加により微好気槽の T-N 除去寄与率が明確に上昇するには至らなかった。

昨年度に実施した同様のラボ実験では、アナモックス担体を添加率 5% で添加した際の T-N 除去寄与率が 16~57%²⁴⁾ と今回の実験よりも明らかに高い値が得られている。同実験では反応槽の水温が 23~25℃ の範囲であったが、今回の実験では水温が室温変化の影響を受けて 10~20℃（平均 15℃）と低く、これにより T-N 除去寄与率が低い範囲に留まったものと推察される。水温の低下によりアナモックス担体の T-N 除去性能が低下する傾向は、これまでに JS が実施した実験でも確認されている²⁰⁾。

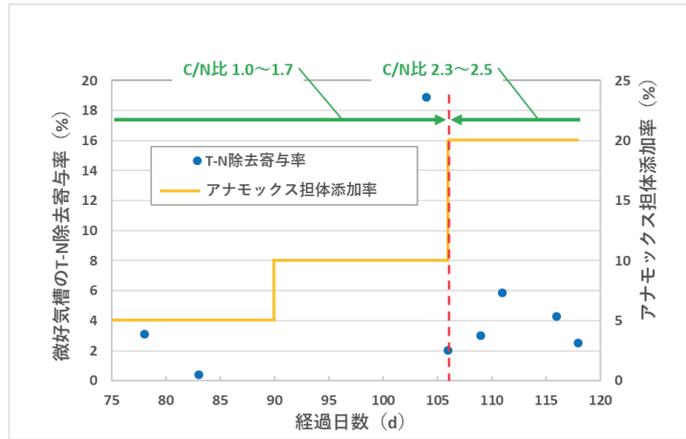


図2-25 微生物槽の T-N 除去寄与率とアナモックス担体添加率の推移

② アナモックス汚泥の新たな大量培養方法の検討

前述の通り、原水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度について、装置の運転開始から 18 日目まで（期間①）は 400mg/L（実測結果で 400~530mg/L；以下同様）、19~139 日目（期間②）は 100mg/L（80~230mg/L）、140~157 日目（期間③）は 1,000mg/L（1,100~1,970mg/L；2 点の計測値（130、630mg/L）を除く）と 3 段階に変化させて一槽式アナモックス法の実験装置を運転した。これらの期間を通した原水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と処理水 T-N 濃度の推移を図 2-26 に、両濃度から算出した槽容積当り T-N 除去速度の推移を図 2-27 に示す。

T-N 除去速度を見ると、期間②の後半から上昇が見られ、続いて期間③で原水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を 1,000mg/L まで引き上げると、変動幅が大きいものの T-N 除去速度が 0.078~0.158kgN/(m³・d)まで増加した。これより、アナモックス汚泥の大量培養方法として、T-N 除去速度を確認しながら培養期間に応じて $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を切り替えることができれば、実用的な処理速度を持つ汚泥を培養できる可能性を見出した。

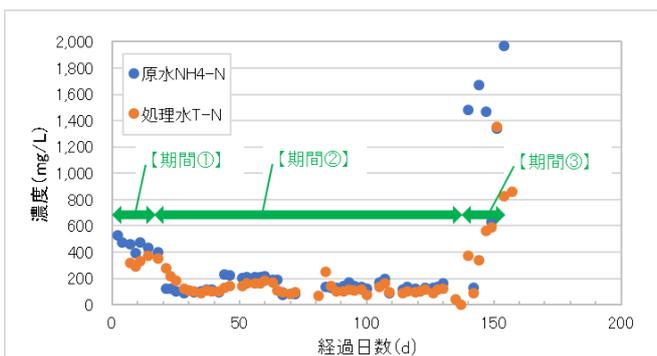


図2-26 原水 $\text{NH}_4\text{-N}$ および処理水 T-N 濃度の推移

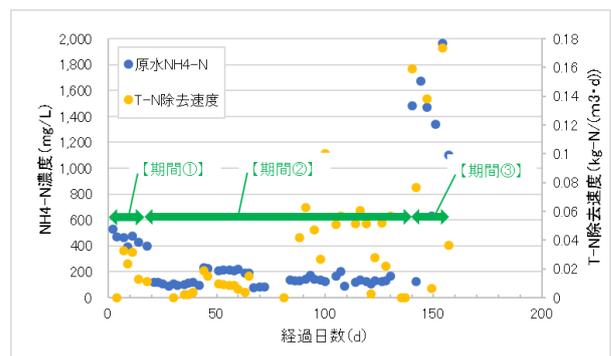
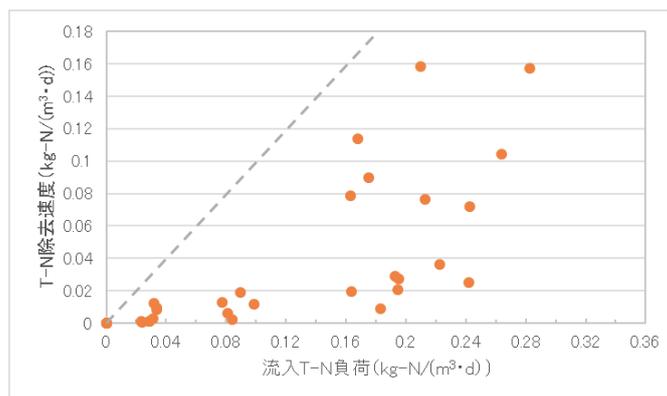


図2-27 T-N 除去速度の推移

3 期間の全データを流入 T-N 負荷と T-N 除去速度の関係として整理したものを図 2-28 に示す。流入 T-N 負荷が 0.16kgN/(m³・d)を超えると T-N 除去速度が大きく上昇する傾向が確認された。



※破線は、流入 T-N 負荷と T-N 除去速度が 1:1 の関係となる位置を示している。

図2-28 T-N 負荷と T-N 除去速度の関係

本実験の結果は、窒素成分として高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ を含む排水を用いて、 $\text{NO}_2\text{-N}$ を添加すること無しにアナモックス汚泥を大量培養できる可能性を示すものと言えるが、T-N 除去速度の安定化に向けた反応槽やその運転条件の改善、有機物や浮遊物質が共存する廃水への適用性等、培養方法として確立するためには更なる検討が必要である。

(4) まとめ

循環式硝化脱窒法に一槽式アナモックス処理を組込む MLE+アナモックス法について、ラボスケールでの連続処理実験、アナモックス汚泥の新規培養方法の検討、ベンチ規模の実験プラントの立上げを実施した。

- 活性汚泥共存下での MLE+アナモックス法の連続処理実験において、アナモックス担体の添加率を順次引き上げることで微好気槽の T-N 除去寄与率が上昇したが、同寄与率は最大でも 5.9%に留まり、昨年度の実験を下回る結果となった。これに対しては、水温が 10~20℃ と低かったことが理由として挙げられた。
- 下水処理場内で得られる分離液等を使用してアナモックス汚泥の大量培養を行う可能性について、窒素成分として $\text{NH}_4\text{-N}$ のみを含む合成排水を用いたラボ実験により検討したところ、培養期間に応じて排水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を低濃度から高濃度に切り替えることができれば、実用的な処理速度を持つ汚泥を培養できる可能性を見出した。
- ベンチ規模の MLE+アナモックス法の実験プラントについて、実下水（初沈越流水）を用いた立上げ運転を開始した。

今後もラボ実験を継続し、活性汚泥共存下での微好気槽の窒素除去速度を向上させる処理条件の検討や、アナモックス汚泥の大量培養方法の検討を進める。更に、MLE+アナモックス法のベンチプラントを用いた連続処理実験を本格的に開始し、実下水を用いた現実的な条件での処理性能等を確認する予定である。

2.5 省エネ型深槽曝気技術の実規模実証

(1) 検討の概要

「省エネ型深槽曝気技術」は、深槽式反応タンク*において、メンブレンパネル式散気装置を底部に設置する「深槽全面エアレーション」を行うことで酸素移動効率を従来よりも大幅に高め、曝気風量を低減して送風機動力を削減(省エネ化)するとともに、建設費・維持管理費の縮減、日常点検等の労力軽減や維持管理性の向上を可能とする技術である。本検討は、下水処理場において本技術の実規模実証実験を行うことで性能等を確認し技術的な確立を図るもので、国土交通省が実施する B-DASH プロジェクトの実規模実証「省エネ型深槽曝気技術に関する実証事業」として 2022 年度に採択され、前澤工業(株)、JS、埼玉県の 3 者からなる共同研究体により、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究(実証研究)として実施している。なお、B-DASH プロジェクトとしての実証研究は 2022~2024 年度の 3 ヶ年度で実施し、以後は共同研究体による自主研究として研究を継続する計画である。

昨年度は、実証設備の製作および実証場所(実証フィールド)への設置を行った。

本年度は、実証設備の構築を完了した上で実証実験を開始し、本技術による消費電力量の削減効果や処理性能に係るデータの取得を進めた。加えて、本技術における反応タンク内の DO 濃度分布や酸素移動効率の測定、深槽曝気に伴う活性汚泥混合液中の溶存窒素(N_2)ガス濃度の測定方法の検討、反応タンクにおける一酸化二窒素(N_2O)排出量の調査等の各種調査を実施した。

(2) 検討方法

① 省エネ型深槽曝気技術

本技術は、高水深での曝気を可能とする高圧対応型送風機(容積式スクリュブロー)を用いることで、深槽式反応タンクの底部全面に散気装置を設置し深槽曝気(深槽全面エアレーション)を行うものである。これにより、これまで深槽式反応タンクで採用されてきた旋回流式エアレーション(散気水深:5m程度)よりも酸素移動効率が大幅に向上することで曝気風量が削減され、送風機動力を削減できる。加えて、散気装置の設置数削減等により建設費・維持管理費が縮減されるとともに、散気装置が底部に設置されることにより、設備更新や点検に係る作業の労力軽減や安全性の向上が期待できる。

本技術のように深い水深で曝気を行うと、高水圧下で活性汚泥混合液中に N_2 ガスが過飽和に溶解し、これが最終沈殿池において再気泡化して汚泥に付着し汚泥の浮上等を引き起こすことが知られている²⁵⁾。本技術では、反応タンク末端で脱気操作を行い最終沈殿地の手前で N_2 ガスを揮散させることで、これを防止する。

* 本技術に係る B-DASH 実証研究では、水深 6m 以上の反応タンクを深槽式としている。

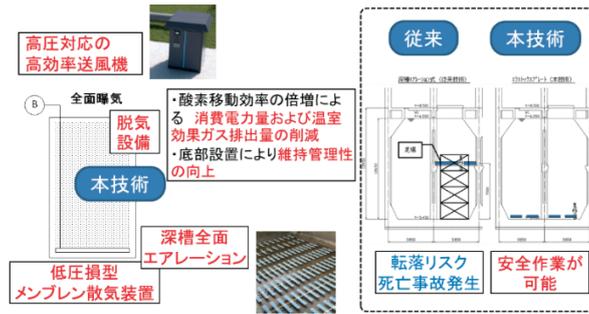


図2-29 省エネ型深槽曝気技術の概要

② 実証研究方法

a) 実証フィールドおよび実証施設

本実証研究では、埼玉県が管理する新河岸川水循環センターを実証フィールドとして実規模での実証実験を行う（表2-6）。本処理場は、排除方式が分流式で、現有処理能力は697,900m³/d（全体5系列）である。実証実験では、凝集剤添加循環式硝化脱窒法の5系（5-1～5-4系、処理能力140,000m³/d）の反応タンクおよび最終沈殿池のうち、5-2系（反応タンク2池、最終沈殿池4池）を改造して深槽全面エアレーションを行う実証系とし、同一の構造・処理方法で従来の旋回流式エアレーション（散気水深5m）を行う5-1系（池数は5-2系と同じ）を対照系（各々処理能力35,000m³/(d・2池)）としている（図2-30）。両系の反応タンクの水深は12mで第1～8槽の8区画から構成されるが、実証系では第8槽を流れ方向に2分割（8-1、8-2槽）し、下流側の8-2槽を旋回流式の曝気により脱気操作を行う脱気槽としている（8-1槽は深槽全面エアレーション）。最終沈殿池は2階層式である。

表2-6 実証フィールドおよび実証施設の概要

項目		内容	
処理場名		荒川右岸流域下水道 新河岸川水循環センター	
現有処理能力		697,900m ³ /d(処理人口:1,553,176人)	
排除方式		分流式	
実証施設	水処理方式	凝集剤添加循環式硝化脱窒法	
	対照系 (5-1系)	反応タンク(2池)	処理能力:35,000m ³ /d HRT:15hr 水深:12m、散気水深:5m エアレーション方式:旋回流式 エアレーション
		最終沈殿池(4池)	2階層式 水面積負荷:18.6m ³ /(m ² ・d)
	実証系 (5-2系)	反応タンク(2池)	処理能力:35,000m ³ /d HRT:15hr 水深:12m、散気水深:11.5m エアレーション方式:深槽全面 エアレーション
最終沈殿池(4池)		2階層式 水面積負荷:18.6m ³ /(m ² ・d)	

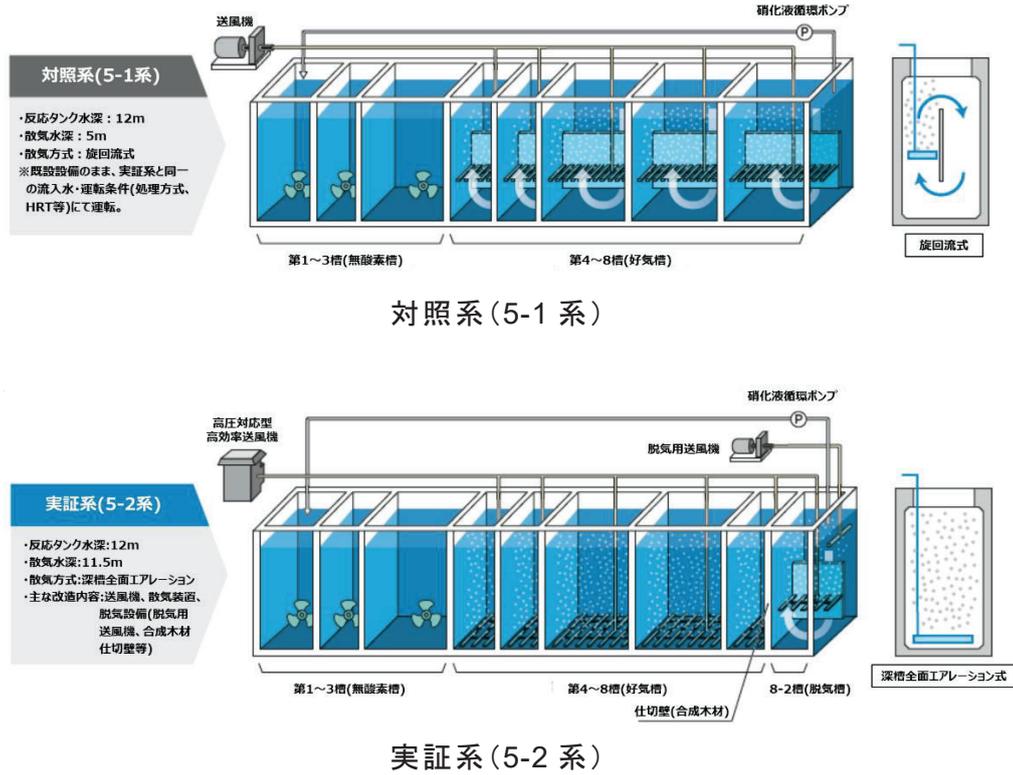


図2-30 実証施設の反応タンクフロー

b) 評価項目

本技術の導入効果や水処理性能への影響を評価するための項目(評価項目)として、「消費電力量および温室効果ガス排出量の削減効果」、「コストの削減効果」、「実証技術の性能」の3点を設定し、実証実験およびモデル設計等による評価を行う(表2-7)。

表2-7 評価項目および評価指標

評価項目	評価指標および目標値		実証方法
消費電力量および温室効果ガス排出量の削減効果	消費電力量原単位	10%以上削減	・実証実験(対照系との比較) ・モデル設計
	温室効果ガス排出量	10%以上削減	
コストの削減効果	建設費	10%以上削減	・モデル設計
	維持管理費	10%以上削減	
	総費用(年価換算値)	10%以上削減	
実証技術の性能	処理水質(BOD,SS,T-N,T-P等)	対照系と同等	・実証実験(水質分析)
	最終沈殿池における汚泥沈降性	対照系と同等	・実証実験(沈降試験、汚泥界面計による界面計測)

実証実験の過程では、上記の実証項目以外にも、反応タンクにおける温室効果ガス(N₂O)排出量の把握を目的とした溶存態およびガス態 N₂O の測定、反応タンク内の生物処理への影響把握を目的とした DO 濃度分布の測定、本技術における散気装置の性能確認のための酸素移

動効率の測定、脱気操作による脱気効果を検証するための深槽曝気による過飽和 N₂ ガス量の測定方法の検討等も行う。

c) 実証実験

実証実験では、実証系(5-2系)と対照系(5-1系)を並行して運転する。各系の運転条件は、曝気方式以外は同一となるよう設定する(表2-8)。流入水量は、施設能力相当量を概ね24hr均等に流入させるが、これは本実証実験を行う以前から当該系列において実施されてきた方法である。曝気風量の操作は、実証系、対照系とも反応タンク第7槽に設置されたDO計の計測値を管理指標とし、実証系ではDO一定制御、対照系では手動操作として運転を行う。ただし、実証系においても、運転開始から当面の間は暫定的な対応として手動操作で曝気風量を調整し、DO濃度の管理値が明確になった段階でDO一定制御に切り替える。

表2-8 実証実験における両系列の運転条件

項目	対照系(5-1系)	実証系(5-2系)
流入水量	35,000m ³ /d ※水処理能力と同等	
水処理方式	循環式硝化脱窒法 第1~3槽:無酸素槽、第4~8槽:好気槽 ※実証系の第8槽は2分割(第8-1槽、第8-2槽)し、 第8-2槽で脱気操作を行う。	
MLSS	2,200mg/L程度	
汚泥返送率	50%	
内部循環率	80%	
曝気風量の制御方法	手動操作	DO一定制御 但し、初期運転では手動操作

(3) 検討結果

2023年5月22日より実証系の処理を開始し、各種運転調整等を実施した後、同年9月16日から両系の比較を行う本格的な実証実験へと移行した。以降に示す結果は、同年9月~2024年1月までの実証実験結果である。

① 運転状況

流入水量は両系とも約33,500m³/d(期間平均;以下同様)であった。実証系の曝気風量の制御は、運転開始以降の暫定的な対応として手動操作で行った(2024年2月にDO一定制御運転に切り替え)。対照系の曝気風量は、従前から引続きDO濃度の管理値の幅を1.4~1.7mg/Lとする手動操作にて調整した。本期間のDO濃度(反応タンク第7槽)は、両系とも平均1.4mg/Lであった。

② 曝気風量および消費電力量

時間当たり曝気風量の推移(図2-31)を見ると、期間を通して実証系の曝気風量が少なく、平均値では実証系で4,032m³/hr、対照系で6,532m³/hrと、実証系の曝気風量は対照系に比べて約38%削減された。



図2-31 実証系と対照系の曝気風量の推移

月毎の流入水量と消費電力量から算出した消費電力量原単位は、全ての月で実証系が対照系を下回った(図2-32)。各月の消費電力量原単位を平均すると、実証系で0.102kWh/m³、対照系で0.116kWh/m³となり、実証系における削減率は約12%であった²⁷⁾。なお、ここで示した消費電力量は曝気に係るもののみを計上したものである。具体的には、実証系の消費電力量は、実証設備に設置した電力計を用いて、曝気用および脱気用送風機の消費電力量をそれぞれ計測し、これらを合算した。一方、対照系については、送風機が処理場全体で共有されており個別の電力量が計測できないため、処理場全体の送風機の消費電力量から対照系の送風量割合で按分することにより算出した。

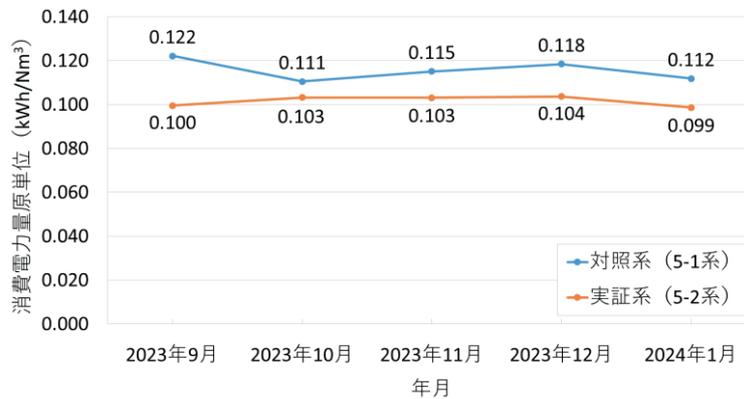


図2-32 実証系と対照系における消費電力量原単位(月間平均値)の推移

③ 処理水質

本期間を通して、反応タンク流入水(両系共通)および各系の処理水(最終沈殿池流出水)を対象に週2回の定期水質分析、年4回の通日水質調査(1時間毎に採水し、2時間分を混合した計12検体)を行った。表2-9に定期水質分析における両系の処理水質の実績を示す。BODおよびSS濃度は実証系と対照系で同程度であったが、T-NおよびT-P濃度は実証系の方が対照系に比べて高い傾向が見られた。T-Nについては、両系ともに硝化は概ね完全に進行しており、処理水濃度の差はNO₃-Nに起因するものである。後述する通り、実証系では好気槽のDO濃度が水深方向で概ね一様であるのに対して、対照系では底部等でDO濃度が低い領域が

生じており、対照系では好気槽において同時硝化脱窒が進行している可能性がある。この点が処理水の NO₃-N 濃度の違いの要因として想定されるが、これについては今後の実証過程で詳細な調査を行っていく。T-P については、現時点で原因が不明であるが、T-N と同様に今後の実証実験において調査を行う。

表2-9 実証系および対照系における処理水質(2023.9.16~2024.1.31)

項目	実証系			対照系		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小
BOD	2.5	4.0	1.0	2.0	3.0	1.2
SS	2.9	5.2	1.2	2.5	4.2	1.2
T-N	10.3	11.8	9.2	9.1	11.3	7.4
T-P	0.6	1.0	0.2	0.4	0.7	0.1

分析回数:25回

④ 最終沈殿池における汚泥沈降性

実証系において、汚泥界面計による最終沈殿池の汚泥界面高さの連続測定²⁶⁾の他、SSV (stirred sludge volume) *の測定²⁶⁾を土日祝日を除く毎日(概ね10時頃)行った。SSVについては、1Lメスシリンダーに針金状の攪拌棒を備えた攪拌装置を設置し、1rpmで回転させた状態で30min後の界面高さを測定し、SSV₃₀を算出した。

実証系の最終沈殿池の流入部・中間部・末端部に設置された汚泥界面計により汚泥界面高さを計測したところ、末端部において一時的に上昇することがあったものの、期間を通して概ね40cm以下の低い状態で推移した。また、実証系、対照系の第8-2槽の活性汚泥を用いたSSV₃₀の測定値は、期間平均でともに21%と同等であった。加えて、実証系の第7槽(脱気操作前)の活性汚泥を用いてSSV₃₀を測定したところ、測定の途中で浮上が見られたことから、第8-2槽における脱気操作が窒素の再気泡化による汚泥浮上の防止に効果があることが確認された²⁷⁾。

⑤ その他検証項目

上記以外に本年度に実施した調査項目の結果の概要を以下に記す。

- 各系列の好気槽において水深方向でのDO濃度分布を測定したところ、実証系では水深に拘らずDO濃度が概ね一様であった一方、対照系では水深5mより深い箇所でDO濃度が0.3mg/L以下となる領域が生じていた。
- 各系列の好気槽における酸素移動効率をオフガス法により測定したところ、実証系では43.4%で対照系よりも9.2ポイント高かった²⁸⁾。
- 活性汚泥混合液中に過飽和に溶存したN₂ガス濃度を推定するための新たな測定方法を見出した²⁹⁾。

* 活性汚泥の沈降性の指標であるSVの変法で、SVにおいて課題となるメスシリンダー壁面の摩擦抵抗の影響(いわゆる壁面効果)を軽減することを目的に、攪拌装置を使って汚泥を緩やかに攪拌しながらSVを測定する方法。

(4) まとめ

省エネ型深槽曝気技術について、2023年5月から実証施設の運転を開始し、同年9月に実証実験期間へと移行した。2024年1月までの実証実験において得られた主要な成果は以下の通りである。

- 実証系の曝気風量は、対照系と比較して平均38%削減された。実証系における消費電力量原単位の削減率は平均12%となり、実証の目標(10%以上)を上回る削減効果が得られている。
- 実証系の処理水質は、BODとSSについては対照系と同程度であったが、T-NとT-Pについては対照系よりやや濃度が高い傾向が見られた。
- 実証系では、反応タンク末端区画での脱気操作を経た活性汚泥のSSV₃₀が対照系と同程度まで減少しており、最終沈殿池の汚泥界面高さも概ね低い状態で推移したことから、深槽曝気に伴う汚泥浮上のリスクに対して当該脱気操作が有効であることが確認された。
- 各系列の好気槽内での水深方向のDO濃度分布は、実証系では水深に拘らず概ね一様であった一方、対照系では水深5m以深でDO濃度が低い領域が生じていた。
- 実証系の酸素移動効率は43.4%で、対照系より9.2ポイント高かった。
- 活性汚泥混合液中の過飽和分の溶存N₂ガス濃度を推定する新たな測定方法を見出した。

次年度も実証実験を継続し、消費電力量および温室効果ガス排出量の削減効果、処理水質、最終沈殿池における汚泥沈降性に係る実証を行う他、モデル設計によりコストの縮減効果についても明確にする。また、実測に加えて数値シミュレーションを併用した酸素移動効率に関する性能確認、反応タンクにおけるN₂O排出量の調査、本年度に確立した溶存N₂ガス量の測定方法を活用した脱気操作の効果検証・条件最適化等の検討を進める。

3. バイオガス活用技術

3.1 開発動向調査・実態調査

(1) 検討の概要

2030年目標の達成に向けて、下水道事業においては嫌気性消化により得られるバイオガスの活用の促進が期待されている。この目標を達成するためには、嫌気性消化施設の導入促進を図るとともに、バイオガスの発生量を増加させる等の消化を促進する技術や、バイオガスを有効利用することが可能な技術についても導入促進を図る必要がある。これまで、JSでも消化の効率化に向けた技術開発等を実施してきたが、更なる導入促進のためには、2030年度までに実装可能と思われる技術のラインナップや効果等を整理することが有効であると考えられる。

本検討では、2023～2025年度において、バイオガス活用技術に関する文献調査や実態調査を実施する。2023年度は、嫌気性消化に関する消化促進技術とバイオガス活用技術の導入促進を図るために既存技術を中心とした開発動向調査を実施した。

(2) 検討方法

本調査では、バイオガスの発生量を増加させる等の消化を促進する技術（以下、「消化促進技術」と表記）と、発生したバイオガスを有効利用する技術（以下、「バイオガス活用技術」と表記）について、国内で発表された下水道分野を中心とした学術誌、業界誌、インターネット掲載記事等の公開情報をもとに、目安として直近10年以内に実用化された技術や2030年度までに実装可能と考えられる技術を中心に情報を収集し、技術の概要、対象バイオマス、処理性能等を整理した。また、下水道以外の分野として、畜産、し尿・浄化槽、農業集落排水、生ごみ・食品系バイオマス等における消化促進技術やバイオガス活用技術の開発動向も併せて調査した。なお、本調査では、嫌気性消化施設に地域バイオマスを受け入れることでバイオガス発生量を増加する事例は、消化促進技術として含めていない。

(3) 検討結果

本調査で整理した消化促進技術およびバイオガス活用技術について、以下に示す。

① 消化促進技術の開発動向

本調査で得られた技術の概要、対象バイオマス、公開情報に掲載されている処理性能等を表3-1に示す。主に下水汚泥を対象とした消化促進技術が実用化されていた。現時点での導入実績はいずれも多くはないが、脱炭素化に向けてバイオガスの発生量を増加させる等の効率化を図るために、今後はこれらの技術の導入が進むものと考えられる。

表3-1 消化促進技術の概要・処理性能等

技術名	技術概要	対象バイオマス	処理性能等	参考文献
熱処理	汚泥等のバイオマス中に含まれる水分を加圧・加熱し、可溶化することでバイオマスの分解を促進する。	下水汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・汚泥減量率：1/2～2/3 ・ガス発生倍率：1.1～1.3倍 ・装置に必要な熱量で消化槽の温度維持が可能 	30)
		食品加工排水（馬鈴薯でんぷん）	<ul style="list-style-type: none"> ・可溶化率：60～70%（繊維質を除く） 	31)
		下水汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・汚泥減量率：1/5 	32)
機械破碎	高速回転ディスク等にバイオマスを供し、物理的に破碎してバイオマスの分解を促進する。	下水汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・可溶化率 20～30% ・ガス発生倍率：1.15倍 	33)
マイクロ波処理	マイクロ波（周波数帯域：0.3～300GHz）をバイオマスに照射することで、バイオマス中の水分子を振動・加熱させ、バイオマスの分解を促進する。	下水汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・マイクロ波照射：汚泥温度が80℃まで上昇 ・ガス発生倍率が1.6～1.8倍（上記温度条件にて実施） 	34)
オゾン処理	オゾンおよびオゾンと水が反応して生じるヒドロキシラジカルは強力な酸化作用を有しており、バイオマスに供することで細胞壁を破壊して分解を促進する。	下水汚泥	<ul style="list-style-type: none"> ・オゾン消費率：80% ・ガス発生倍率：1.2倍 	35)

② バイオガス活用技術の開発動向

本調査で得られた結果のうち、既に実用化された技術や、実規模による実証が行われた等2030年までの実用化が期待される技術について、分類、技術名、対象バイオマス、技術概要、処理性能等を整理し、表3-2に示す。下水汚泥等を中心にガス発電利用が最も普及していた³⁶⁾。ガス濃縮技術は都市ガスへの供給等を目的として導入されており、下水処理場の近くに都市ガス供給網があるといった地域条件に適応している必要がある。また、水素製造についても供給先の確保、液体燃料化は化学工場が隣接している等の地域条件に適応している必要がある。CCS(Carbon dioxide Capture and Storage)・CCU(Carbon dioxide Capture and Utilization)・CCUS(Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage)はごみ分野等を中心に技術開発が進められており、下水道分野において技術導入可能かどうかは今後の検討が必要である。メタネーション技術のうち、バイオメタネーションは下水道分野でも下水道応用研究等が進められており、メタネーション後のバイオガスの活用方法等と併せて検討を進めることで、今後の実用化が期待される。

表3-2 バイオガス活用技術の概要・処理性能等

分類	技術名	対象 バイオマス	技術概要	処理 性能等	参考 文献
メタネーション	バイオメタネーション	下水汚泥等	CO ₂ と水素から微生物を利用してメタンを生成する。CO ₂ を含むバイオガスに水素を供給して反応させることで、バイオガス中のメタンを高濃度化する。消化タンク内でメタネーションを行う In-situ 型、消化タンク外に反応設備を設けてメタネーションを行う Ex-situ 型があり、それぞれ実証実験が行われている。高濃度化したガスは熱量調整や付臭等を行ったうえで、都市ガスへ供給すること等が期待できる。	・メタン濃度：60%から85%に上昇 (In-situ 型) ・変換効率：55~60%	37)
	化学的メタネーション	ごみ等	CO ₂ と水素から化学反応（サバティエ反応等）を利用してメタンを生成する。排ガス発生の多い火力発電所やごみ焼却場等から回収した CO ₂ を対象に実証実験が行われている。	・変換効率：55~60%	38)
ガス濃縮技術	水洗浄	下水汚泥、バイオマス等	高圧下で水とバイオガスを接触させ、気体の溶解度の違いを利用してCO ₂ 等を水中に溶解させ、ガス中のメタン濃度を高濃度化する。精製したガスは、熱量調整や付臭等を行ったうえで、都市ガスへ供給すること等が期待できる。	・メタン濃度：97%に精製	39)
	PSA 法 (Pressure Swing Adsorption 法)		吸着剤を用いて高圧下で CO ₂ 等を吸着除去し、ガス中のメタン濃度を高濃度化する。水洗浄等と同様に、精製したガスを都市ガスへ供給すること等が期待できる。	・メタン濃度：90~98%に精製	40) 41)
	膜分離		気体の種類による膜の透過速度を利用して、ガス中のメタン濃度を高濃度化する。水洗浄等と同様に、精製したガスを都市ガスへ供給すること等が期待できる。	・メタン濃度：96%以上	42) 43)
水素製造	水素製造装置	下水汚泥等	バイオガス中の不純物を除去し、メタン濃度を高め、水蒸気改質・水性ガスシフト反応等により水素を生成する技術であり、製品化されている。生成した水素は、水素ステーション等で供給することができる。	・水素製造能力：5Nm ³ /hr (最小規模)	44)

表3-2 バイオガス活用技術の概要・処理性能等(続)

分類	技術名	対象 バイオマス	技術概要	処理 性能等	参考 文献
液体燃料 化	メタノール 製造	下水汚泥	バイオガスを原料として、メタノール製造装置を用いてメタノールを製造する。下水処理場に隣接する化学工場等にガスを供給してメタノールを製造すること等が期待される。	-	45)
CCS・ CCU・CCUS	CO ₂ 回収装置	ごみ等	バイオガスや焼却排ガス等に含まれるCO ₂ を活用する技術である。アミン等を用いた化学吸着法と、膜分離によるCO ₂ 回収方法があり、回収されたCO ₂ は農業利用やセメント固定化等に利用される。近年では、排ガス発生量の多い清掃工場等で導入が進んでおり、小型のCO ₂ 回収装置も製品化されている。	・CO ₂ 回収量： 300kg/日 (最小規模)	46) 47) 48)
ガス発電	ガスエンジン	下水汚泥等	ガスを燃焼させ得られたエネルギーを往復運動に変換して発電機を回転させて発電する。発電出力が25～1200kW程度のもので製品化されている。	・発電効率 30～35% ・総合効率 70～80%	49)
	ガスタービン	下水汚泥等	ガスを燃焼させ得られたエネルギーを回転運動に変換して発電機を回転させて発電する。発電出力が20～100kW程度のマイクロガスタービンが製品化されているほか、大規模なものは火力発電所等でも使用されている。	・発電効率 25～30% ・総合効率 70～80%	49)
	燃料電池	下水汚泥等	消化ガスに含まれるメタンから水素を生成し、更に酸素と化学反応させることで、電力と熱を発生させ発電する。SOFC(固体酸化物燃料電池)は、バイオガス対応の機種も製品化されている。	・発電効率 50～63% (SOFC)	50) 51)

(4) まとめ

本検討では、2030年度の温室効果ガス排出量の削減目標の達成に向けて、嫌気性消化に関する消化促進技術とバイオガス活用技術の導入促進を図るために、目安として直近10年以内の実用化された技術や2030年度までに実装可能と考えられる技術を中心に、開発動向調査を実施した。

消化促進技術について、現時点での導入実績はいずれも多くは無いが、脱炭素化に向けてバイオガスの発生量を増加させる等の効率化を図るために、今後の導入促進が予想される。バイオガス活用技術については、ガス発電が最も普及しており、2030年目標に向けて更に普及が進むと考えられる。一方で、その他の技術については、バイオメタネーションのように研究開発が進められているものもあり、地域条件等と合致すれば今後の導入促進が見込まれると考えられる。

今後は、効率的なバイオガス創出に関する実態調査を実施する。

3.2 バイオガス創出に係る基礎実験

(1) 検討の概要

GHG 排出量削減に向け、嫌気性消化による汚泥の減量化やそれにより得られるバイオガスの活用が重要な役割を担うと考えられる。下水道分野において活用される嫌気性消化は、消化温度 36℃程度、重力濃縮や機械濃縮設備により濃縮された汚泥を 20d 程度の日数で消化する「中温消化」が現在主流である。消化温度 55℃付近で運転される「高温消化」は処理がやや不安定と言われているが、15d 程度の消化日数で中温消化と同等の消化率を得られるものとして知られている⁵²⁾。また、一般的な投入汚泥濃度よりも高濃度化した汚泥を消化タンクに供給する「高濃度消化」では、一般的な消化（汚泥濃度 3~4%程度）と同等の消化日数を確保するために必要なタンク容量を減少させられる等、大都市のように敷地に余裕のない下水処理場への嫌気性消化の導入に有利になると考えられる。しかしながら、高温消化や高濃度消化のガス発生量や消化汚泥の成分等を中温消化と具体的に比較した知見は少ない状況にある。

このような背景から、本検討では高温消化、高濃度消化等の基礎実験を行うとともに、嫌気性消化施設の導入検討に資する基礎実験等を実施する。昨年度は、JS 技術開発実験センターにおいて、高温消化および中温消化のラボスケールでの 46d の連続消化実験を行い、消化日数 20d および 10d における消化特性の違いについて検証を行った。本年度は、中温消化と高温消化の連続消化実験を昨年度とは異なる消化日数の条件で実施した。

(2) 検討方法

昨年度に引き続き、中温消化と高温消化における消化特性の違いを把握することを目的に、異なる消化温度と消化日数における連続汚泥投入による消化実験を行った。実験には容量 5.0 L の反応槽を 2 槽有する実験装置を 2 基用いた。当該装置は汚泥投入および引抜のためのポンプと反応槽を所定の温度に保つための機能を有している。

実験条件を表 3-3 に示す。昨年度の実験では、消化温度（36℃、52℃）と消化日数（20d、10d）の組み合わせの 4 パターンで 42d の連続実験を行ったところ、中温消化の 10d ではメタン発酵阻害が生じ、高温消化 10d でも 20d の消化と比較して投入 VS 当たりのガス発生量の 20~30% の低下や有機酸の増加等、僅かにメタン発酵阻害が発生した可能性が見受けられた⁵³⁾。そのため本年度は、中温消化および高温消化に消化日数を長めに設定し、まずは消化日数を 25d に設定し消化の状況を確認（RUN1）し、その後消化日数を 15d に短縮（RUN2）して継続運転することとした。系列 No.1 を消化温度 36℃（中温消化）に、系列 No.2 を 52℃（高温消化）に設定した。各系列とも 2 槽で同時に試験を行いその結果の平均値で評価した。

中温消化の実験系では、種汚泥として A 処理場（消化温度 36℃、消化日数 49d）から採取した消化汚泥を用い、高温消化の実験系では、種汚泥として B 処理場（消化温度 52℃、消化日数 27d）から採取した消化汚泥を用いた。また投入汚泥は、いずれの実験系も A 浄化センターから採取した混合濃縮汚泥（実験期間中に 4 回採取し 4℃で冷蔵保存したもの）を用いた。

中温消化系列および高温消化系列の全槽において、消化日数 25d で約 2 週間馴致した後に 1 か月程度運転を継続した。その後、全槽の消化日数が 15d となるように投入汚泥量を変更した状態で 10d 程度馴致した後に、更に 1 か月程度運転を継続し、消化温度および消化日数の違いによる消化特性の違いの把握を試みた。実験の都合上、汚泥の投入および引き抜きは平日のみ

実施し、1週間平均で所定の消化日数となるよう、平日の汚泥投入量および引き抜き量を設定した。また発生ガス量の測定は、連続式ガス流量計を用いて実施した。

各実験条件における消化特性を確認するため、投入汚泥および引き抜き消化汚泥の pH、TS、VS、アルカリ度、COD_{Cr}、T-N、T-P、ならびに消化ガス発生量を測定した。



図3-1 連続消化実験装置の外観

表3-3 実験条件

	系列 No.	消化温度 (°C)	消化日数 (d)	
			RUN1	RUN2
中温消化系列	1-1	36	25	15
	1-2			
高温消化系列	2-1	52		
	2-2			

(3) 検討結果

実験結果を以下に示す。すべての実験条件で消化ガスが発生しており、嫌気性消化の運転が可能であることを確認した。しかしながら、RUN1（消化日数 25d）の中温消化を除いた系列では、後述するように何らかの消化阻害（酸敗現象等）が発生していた可能性がある。このため、実施への導入を検討する場合には、以下の実験結果に加えて消化の安定性についても留意する必要がある。

① 投入有機物負荷量

実験期間を通し、投入汚泥の TS は平均 5.2%、VS は平均 90%TS であった。投入有機物量は RUN1（消化日数 25d）では平均 1.9g-VS/ (L・d)（最大 2.6g-VS/ (L・d)）、RUN2（消化日数 15d）では平均 3.1g-VS/ (L・d)（最大 4.3g-VS/ (L・d)）であった。

② ガス発生特性

各 RUN における各槽 No.からの 1日当たりの消化ガス発生量の推移を図3-2に示す。各 RUN とも定期的に消化ガス発生量が減少しているのは、検討方法で示した通り、週末は濃縮汚泥の投入および引き抜きを行っていないためである。投入 VS 量当りのガス発生量は、RUN1 においては中温消化系列では平均 580L/kg-VS、高温消化系列では平均 560L/kg-VS で、RUN 2 においては中温消化系列では平均 413L/kg-VS、高温消化系列では平均 460L/kg-VS であっ

た。ただし RUN2 において、高温消化系列では 1 日あたりの消化ガス発生量が著しく低下する事象が複数回認められ、何らかの原因でメタン発酵阻害が生じていたと考えられる。特に RUN2 における高温消化系列 2-2 では 5 日間消化ガスの発生が確認されず、極めて著しいメタン発酵阻害が生じていたと考えられるため、以降のデータ整理からは除外した。

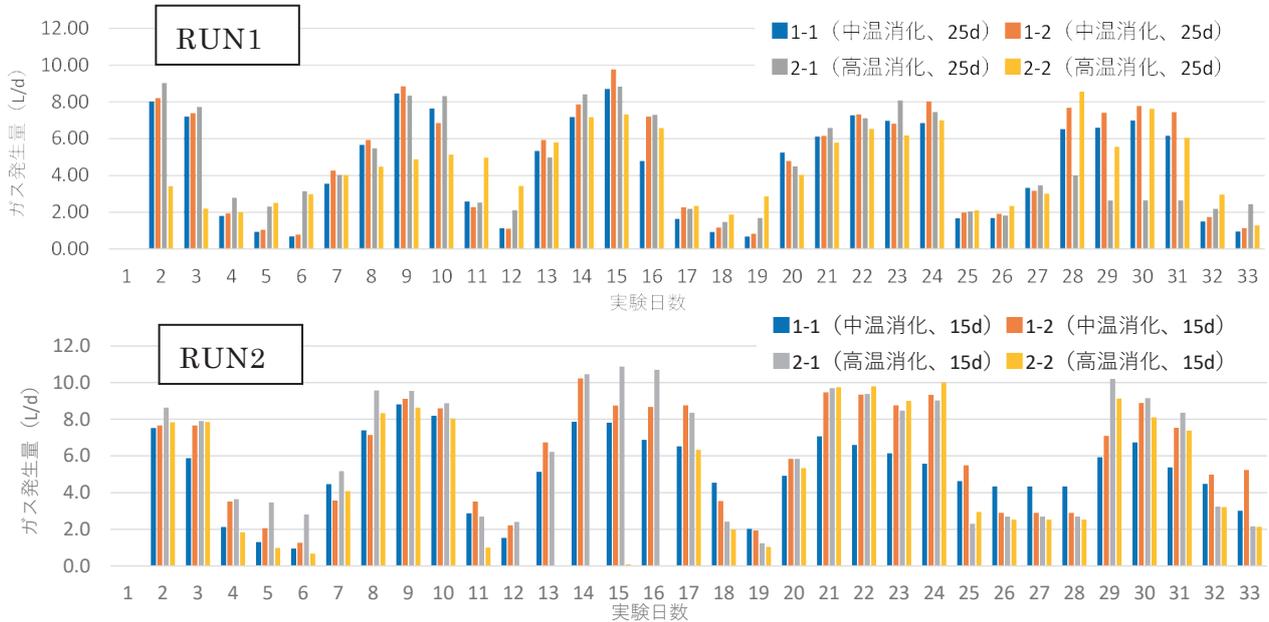


図3-2 各 RUN における 1 日当り消化ガス発生量の推移(上:RUN1、下:RUN2)

各 RUN の高温消化系列および中温消化系列の各運転期間における、投入汚泥量の累積値に対する消化ガス発生量の累積値の比（ガス発生倍率）と、投入 VS 量の累積値に対する消化ガス発生量の累積値の比（投入 VS 当りガス発生量）を図 3-3、図 3-4 に示す。

RUN1 における高温消化系列のガス発生倍率、投入 VS 量当りガス発生量はそれぞれ 26.0 倍、560L/kg-VS と中温消化系列とほぼ同程度であった。消化日数が 25d 程度と長い場合は、ガス発生倍率や投入 VS 当りガス発生量への消化温度による影響は小さいと考えられる。RUN2 においては、高温消化系列のガス発生倍率および投入 VS 量当りガス発生量はそれぞれ 21.4 倍、460L/kg-VS であり、中温消化系列の 19.2 倍、413L/kg-VS と比べて高い値となった。高温消化は消化日数が短い運転が可能とされているが、高温消化における消化日数 15d では、同消化日数が 25d の場合および中温消化で消化日数が 25d の場合と比較してガス発生倍率や投入 VS 当りガス発生量が低く、消化ガスの有効利用においては不利になる可能性がある。下水処理場に嫌気性消化施設を導入する場合は、これらの結果に加えて高温消化の方が必要となる加温エネルギーが増加すること等も踏まえ、高温消化および中温消化の適用について検討する必要がある。

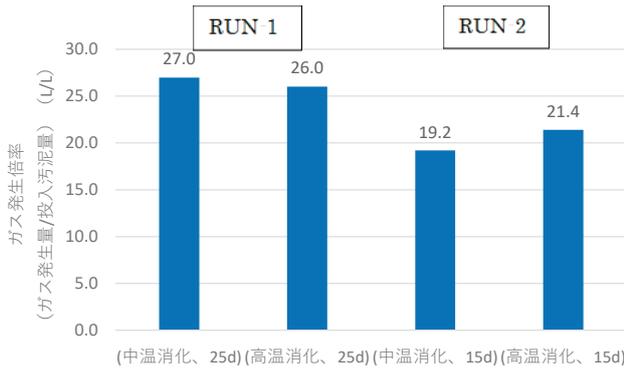


図3-3 ガス発生倍率

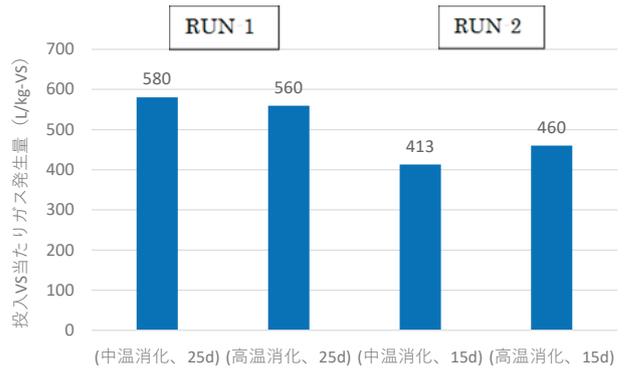


図3-4 投入 VS 当りガス発生量

③ 固形物・有機物の分解特性

各 RUN における消化温度別の TS、SS、VS および COD_{Cr} の分解率を図3-5～図3-8に示す。分解率の算出に用いる各項目の濃度として、投入汚泥は実験期間中に4回採取した濃縮汚泥の各分析結果の平均値、引き抜き汚泥は各 RUN1 および 2 の各実験期間における中間時点および終了時点で採取した各分析結果の平均値を用いた。

今回の試験結果では、消化日数が長く投入有機物負荷量が小さくなると分解率は高くなる傾向にあった。また、中温消化系列に比べ高温消化系列における SS 分解率は3～10ポイント高い結果となったが、これは中温よりも高温消化の方が消化工程の前段である加水分解反応において SS がより多く分解されやすかったためと考えられる。

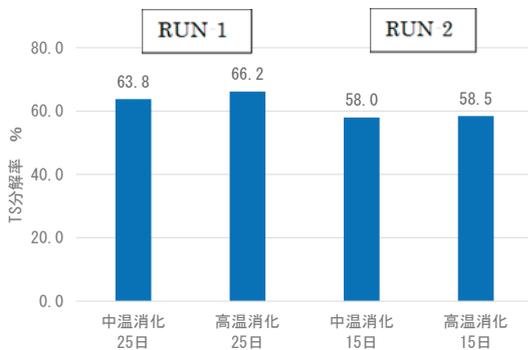


図3-5 TS 分解率

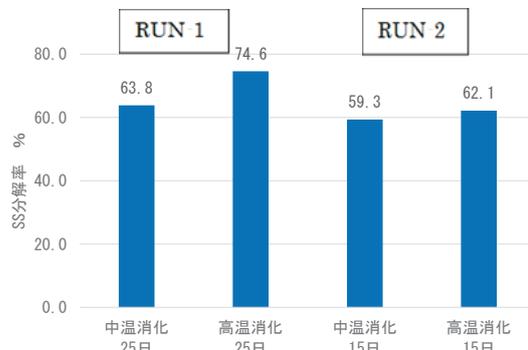


図3-6 SS 分解率

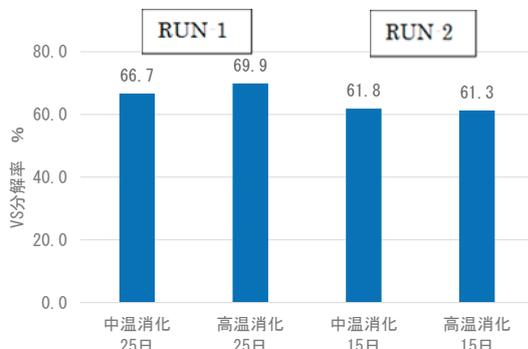


図3-7 VS 分解率

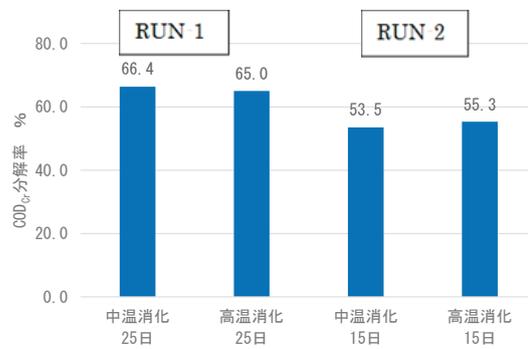


図3-8 COD_{Cr} 分解率

④ 消化汚泥の性状等

引抜き消化汚泥の性状について、投入汚泥の性状等と併せて図3-9～図3-11に示す。測定項目毎の結果および考察は、以下の通りである。汚泥の採取時期や採取回数等は③と同様であり、測定結果の平均値で示した。

i) 有機酸*

各消化条件における引抜き消化汚泥の有機酸濃度は 92.3～1145mg/L と大きく異なっていた。一般的に安定した消化が行われている場合の有機酸濃度は 100～200mg/L 以下であることから、消化ガスの発生停止にまでは至らなかったものの RUN1 の中温消化を除いた系列ではメタン発酵阻害（酸敗現象等）が発生していた可能性がある。特に RUN1 の高温消化では有機酸濃度が著しく高いが、これは前述のように SS 分解率が高いことから、多くの有機酸が生成されて蓄積したと考えられる。

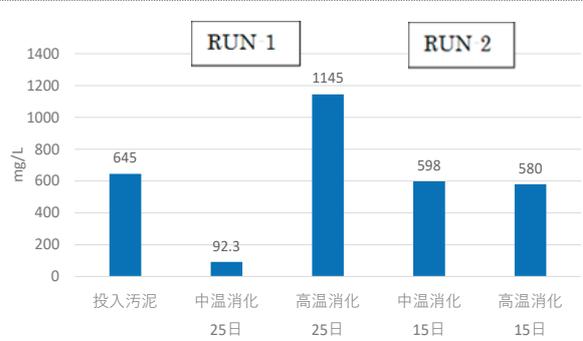


図3-9 投入汚泥および各引抜き消化汚泥の性状(有機酸)

ii) Mg、溶解性 Mg

全 Mg と溶解性 Mg を測定し、その差分を固形性 Mg として示した。RUN1 と RUN2 では分析試料採水時期の違いにより濃度の絶対値には差があるが、投入汚泥中の溶解性 Mg は全 Mg の 65%程度を占めているのに対し、引抜き消化汚泥では 10～15%程度まで減少していた。引抜き消化汚泥中のマグネシウムは硫黄やリンと反応してリン酸マグネシウムアンモニウム (MAP) 等の固形物を生成したと考えられる。

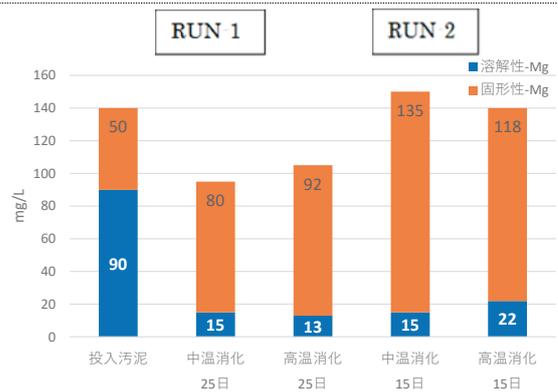


図3-10 投入汚泥および各引抜き消化汚泥の性状(Mg)

iii) 消化ガス中のメタン濃度

メタン濃度はいずれの条件においても 60%程度であった。今回の調査では、消化温度や消化日数の違いによる消化ガス中のメタン濃度に大きな差は見られなかった。

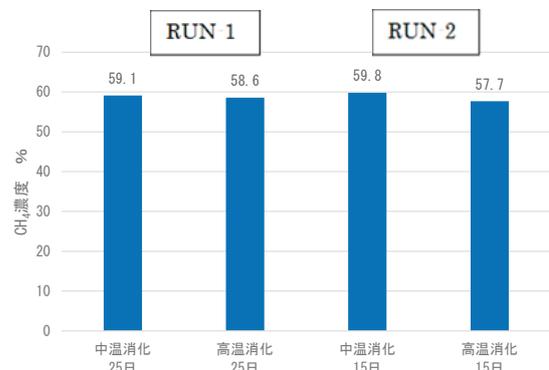


図3-11 消化ガス中のメタン濃度

* 有機酸は「下水試験方法」⁵⁴⁾に示された揮発性有機酸（低級脂肪酸 C1～C6）の試験方法で測定を行っており、測定された低級有機酸の総量を酢酸当量として示した。

(4) まとめ

バイオガス活用技術の一つとして注目されている嫌気性消化に対し、JS技術開発実験センターにおいて、高温消化および中温消化の処理特性を確認する目的で連続消化実験を行っている。本年度は消化日数が25dと15dの条件においてそれぞれ約1か月間にわたり実験データを取得し、消化特性の違いを確認した。主な試験結果は以下の通りである。

- 全ての実験条件で嫌気性消化が可能であることを確認したが、高温消化の系列で消化日数25dおよび15dのいずれの実験期間中においても、ガス発生量が一時的に低下した。いずれも数日程度で回復したが中温消化と比べて処理が不安定になる傾向が確認された。
- 消化日数25dの場合における中温消化と高温消化のガス発生特性を比較すると、ガス発生倍率や投入VS量当たりガス発生量は同程度であった。
- 高温消化における消化日数15dでは、同消化日数が25dの場合および中温消化で消化日数が25dの場合と比較してガス発生倍率や投入VS当りガス発生量が低く、消化ガスの有効利用においては不利になる可能性がある。

今後は、高温消化と中温消化について更なる知見を得るために、消化温度を実験途中で変更する実験や高濃度消化および処理場運転管理手法と嫌気性消化特性の関係に係る情報収集等を行う予定である。

3.3 バイオガス創出・活用技術の開発・実証

下水処理場において嫌気性消化の導入を推し進めるには、運転方法の改善や技術の改良等により消化効率を向上させてバイオガス発生量の増加を図るとともに、バイオガスの持つポテンシャルを最大限に引き出すために未利用バイオガスの活用やバイオガスの効率的な活用を可能とする技術が必要である。また、建設コストや維持管理コストの縮減を図る必要もある。

本検討では、民間企業との共同研究等により新たな嫌気性消化技術を開発・実用化するための実証試験等を実施する。2022年度から2023年度にかけて、「脱炭素社会実現に向けたバイオガス利活用技術および嫌気性消化技術の開発」として、(a)消化効率（投入 VS 当たりガス発生量等）の向上によりバイオガス発生量の増加に寄与する嫌気性消化技術、(b)発生したバイオガスの持つポテンシャルを最大限に引き出すことに寄与する利活用技術、(c)低コスト化に寄与する嫌気性消化技術、のいずれかまたは2つ以上に該当する技術を開発する新たな共同研究の公募を行った。2022年度は1技術に係る共同研究者を選定し、共同研究を開始した。2023年度は新たに2技術に係る共同研究者を選定し共同研究に着手した。

2022年度選定技術

○集中加温型高速中温消化システムとステンレス合板製消化タンクによる低コスト嫌気性消化技術

(共同研究者：メタウォーター㈱)

2023年度選定技術

○中小規模向けユニット式下水汚泥消化システム

(共同研究者：日立プラントサービス㈱)

○予熱加温保持消化技術とボルト接合型パネルタンクによる低コスト嫌気性消化システム

(共同研究者：㈱神鋼環境ソリューション)

3.3.1 集中加温型高速中温消化システムとステンレス合板製消化タンクによる低コスト嫌気性消化技術

(1) 検討の概要

一般的な中温嫌気性消化システムに対し、余剰汚泥を集中的に加温することで消化効率を向上する集中加温型高速中温消化システム（以下、「集中加温システム」と略記）と、ステンレス合板で製作することで工期の短縮等が可能なステンレス合板製消化タンクの組み合わせにより、従来の嫌気性消化技術よりもLCC縮減が可能な技術の開発を行う。本年度の検討の状況および結果を報告する。

(2) 検討方法

① 技術の概要

本技術は、集中加温システムとステンレス合板製消化タンクの2つの要素技術を組み合わせたものである(図3-12)。

集中加温システムにより、消化槽に投入する汚泥のうち中温消化に必要な熱量を集中的に付与(以下、「集中加温」と表記)した濃縮余剰汚泥を消化タンクへ投入する。これにより、余剰汚泥中の微生物を不活性化させて汚泥の分解・ガス化を促進することで、消化日数を短縮しても安定した運転が可能となる。また、消化日数の短縮により、新設時の消化タンクの容量の縮小を図る。

ステンレス合板製消化タンクは、ステンレスを貼り合わせた特殊合板を消化タンク材質に用いる。これにより、底部以外の防食塗装が不要となり、かつ従来のRC製消化タンクと比べて工期短縮を図る。また、高効率攪拌機を採用しており、攪拌の低動力化およびタンク内での堆積砂対策が可能となる。これらの技術を組み合わせることで、従来の消化技術と比べてLCCの縮減を図る。

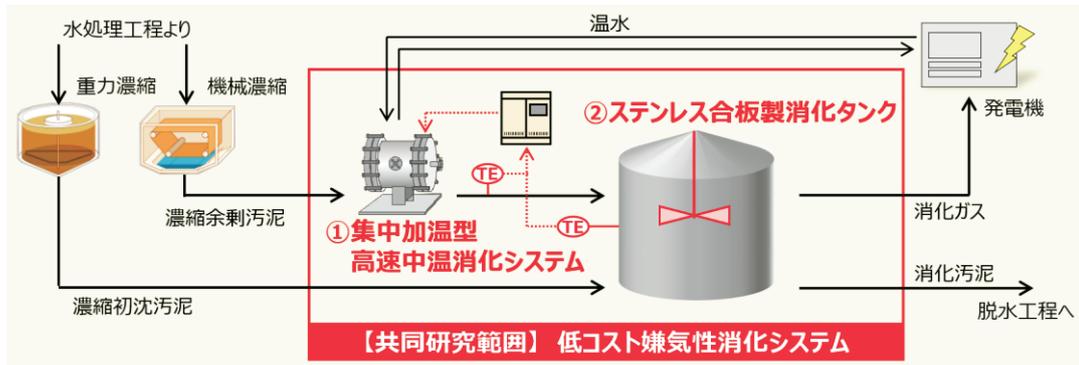


図3-12 「集中加温システムとステンレス合板製消化タンクによる低コスト嫌気性消化技術」のシステムフロー

② 実験概要

本研究では、下水処理場に50m³の消化槽を1槽(以下「1系」と略記)、容量4m³の消化槽(以下「2系」、「3系」と略記)を設置し、実証試験を実施している。また、異なる汚泥性状への適用性を把握するために、複数の下水処理場の汚泥を対象に、回分実験を行う予定である。

実証設備の概略フローを図3-13に示す。1系はステンレス合板で製作しており、本系列の実験および部材片を用いた実験結果から、ステンレス合板製消化タンクの耐久性を評価する予定である。また、高効率攪拌機による堆積砂対策効果も検証する予定である。本系列では、集中加温システムの効果を把握するために、集中加温した濃縮余剰汚泥を投入して消化日数10dで運転している。2系は集中加温した濃縮余剰汚泥を投入しており、集中加温システムによる消化日数短縮の効果を把握するために過負荷耐性試験を実施している。なお、本報告書では2系の実験条件および実験結果は非掲載とする。3系は1系および2系と比較するために、一般的な中温消化条件として消化日数20dで運転しており、集中加温システムは用いていない。また、各系列の消化温度は36℃とする。

表3-4に消化性能や安定性を評価するための項目や指標およびその一般値を示す。1系から3系までの運転結果および参考情報である一般値を比較することで、集中加温システムの評価を行う。

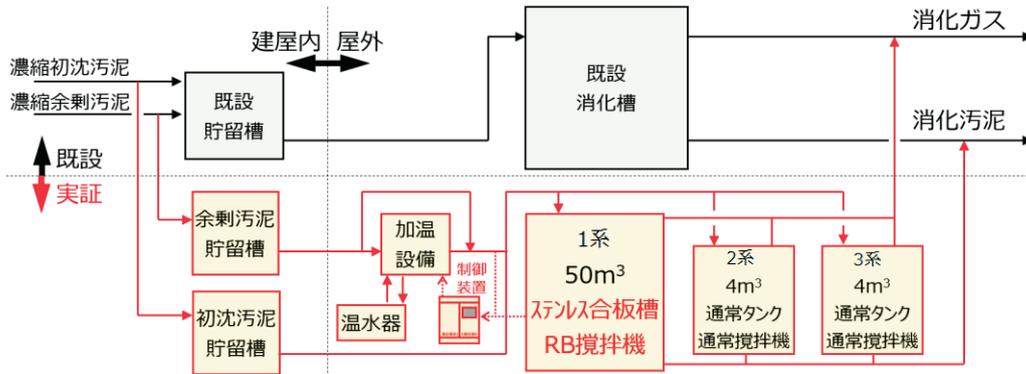


図3-13 実証設備の概略フロー

表3-4 評価項目およびその一般値

評価項目	評価指標	単位	一般値※
消化性能	消化ガス発生倍率	Nm ³ /tVS-投入	400~600
	VS分解率	%	40~60
安定性	pH	-	6.4~
	VFA	mg-酢酸/L	~2,000
	Mアルカリ度	mg-CaCO ₃ /L	1,500~5,000
	メタン濃度	%	60%程度

※文献^{55),56)}をもとに設定

2023年11月中旬から各系列の立上げを開始して、1系は2023年12月下旬より消化日数10dで運転を実施している。また、3系は2023年11月下旬より消化日数20dの運転を実施している。供給汚泥濃度および供給TS比の推移を図3-14に示す。供給TS比(初沈/余剰)は、一般的な標準活性汚泥法の下水処理場の場合は1.0程度であると想定し、実証設備を設置した下水処理場の濃縮初沈汚泥および濃縮余剰汚泥のTS濃度が3%程度であったことから、各汚泥の投入量の割合を1:1と設定した。実験開始後から2024年1月末までの供給TS比は0.8~1.5程度と概ね想定に近い値で推移したが、2024年2月以降は同処理場の機械濃縮設備に不具合が生じて濃縮余剰汚泥のTS濃度が1%台に低下したため、供給TS比として初沈汚泥の割合が高い状況での運転となった。なお、1月初旬から下旬までは実証設備のトラブルに伴う修繕を行い、汚泥の投入を停止したため、同期間中の図中のプロットは表示していない(以降の図についても同様)。

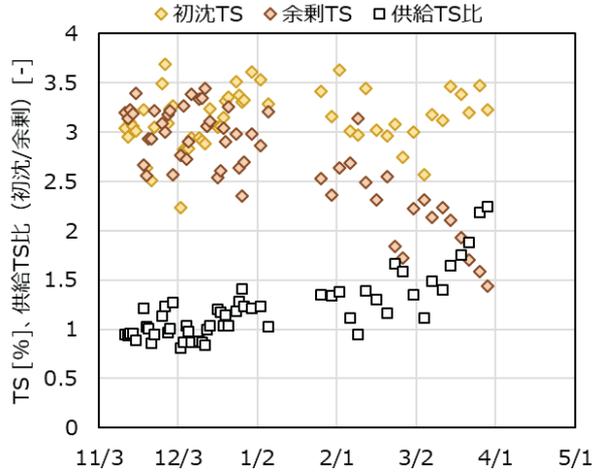


図3-14 供給汚泥濃度および供給 TS 比(初沈/余剰)

(3) 検討結果

本項では、2024年3月までに得られた1系および3系の冬季の運転結果を踏まえ、集中加温システムを導入した場合の消化性能や安定性への影響について報告する。

① 消化性能

各系列の消化ガス発生量および投入VS当たりの消化ガス発生倍率の推移を図3-15および図3-16にそれぞれ示す。なお、消化ガス発生量については、系列間で設備規模が異なることを鑑み、消化槽容量1m³当たりの消化ガス発生量として示している。

1系においては、投入負荷の上昇(消化日数の短縮)に伴い、槽容量当たり消化ガス発生量も上昇した。1系では消化日数10dの運転を行った期間における消化ガス発生倍率は平均512Nm³/tVS-投入であり、消化日数20dと比べて2倍の投入負荷となった場合においても、一般的なガス生成能力が得られた。

3系の消化ガス発生倍率は平均589Nm³/tVS-投入であり、1系を上回る値であった。2月後半以降に、特に初沈汚泥比率が高い期間があったことを考慮しても、一般値以上の高い消化ガス発生倍率が続いており、引き続き理由の検証を行う予定である。

VS分解率を表3-5に示す。VS分解率は、VSの流入量と流出量の差を分解量とし、期間中の平均分解量を平均流入量で除することで算出している。1系のVS分解率は平均56%であり、3系に一般値の範疇で、ほぼ同等の値であった。両系列で設備停止後にVS分解率が向上したのは、初沈汚泥比率の高い期間を含んでおり、当該期間中に供給された汚泥の分解性が高かったためと考えられる。

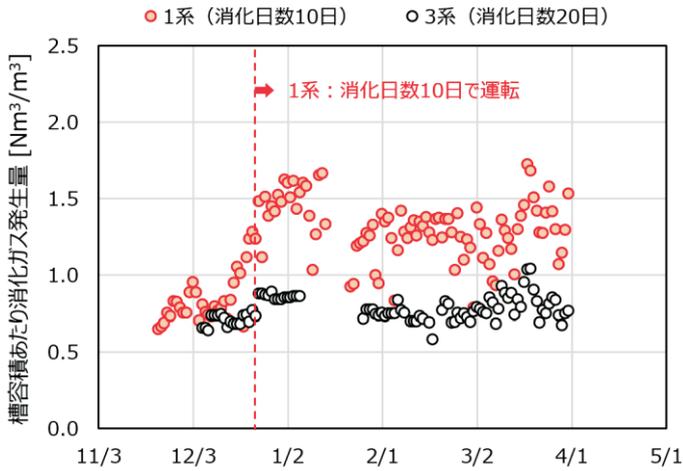


図3-15 消化槽容積当たり消化ガス発生量

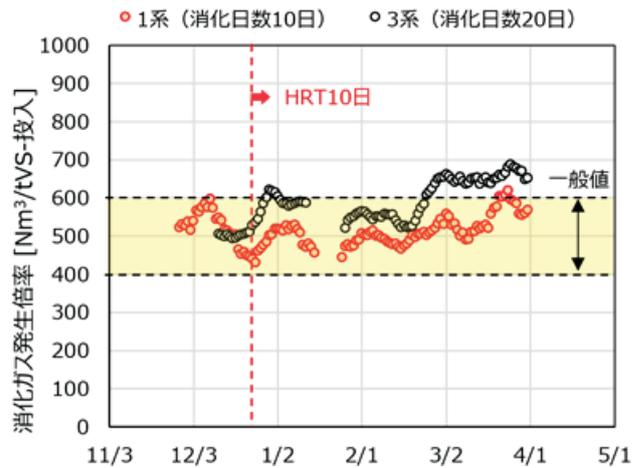


図3-16 投入 VS 当たり消化ガス発生倍率

表3-5 VS 分解率

単位:%	設備停止前	復旧後	全期間
	12/22 ~ 1/14	1/23 ~ 3/31	12/22 ~ 3/31
1系	50.4	58.6	56.0
3系	48.0	58.2	55.8

② 安定性

各系列の pH および VFA 濃度を図 3-17 に、アルカリ度および消化ガス中のメタン濃度を図 3-18 に示す。1系と 3系では、何れの項目も同程度の値で安定していた。消化日数を 10d とした 1系においても、VFA の蓄積や pH・アルカリ度の低下といった兆候は見られなかった。また、前述の消化性能についても一般的な値であったことから、集中加温システムを導入することで、消化日数を 10d としても安定的に消化が進行していたと考えられる。なお、2月以降は 1系と 3系ではアルカリ度が低下傾向にあったが、これは下水処理場の濃縮機の不具合に伴い濃縮余剰汚泥濃度が低下し、アルカリ度の生成に寄与する余剰汚泥固形物の投入量が減少したためと考えられる。今後は、集中加温システムの効果を把握するために、ラボスケールでの実験も行う予定である。

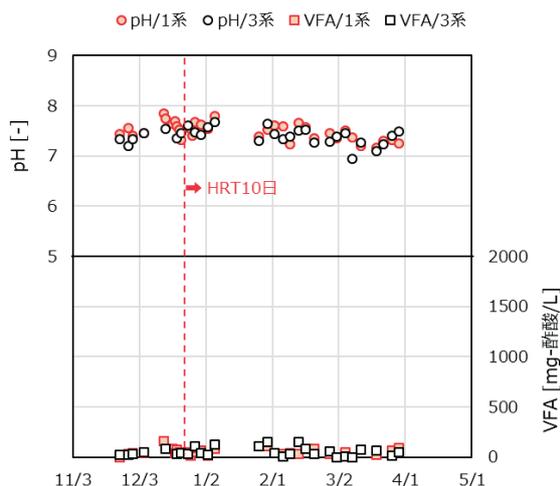


図3-17 各系列のpHおよびVFA

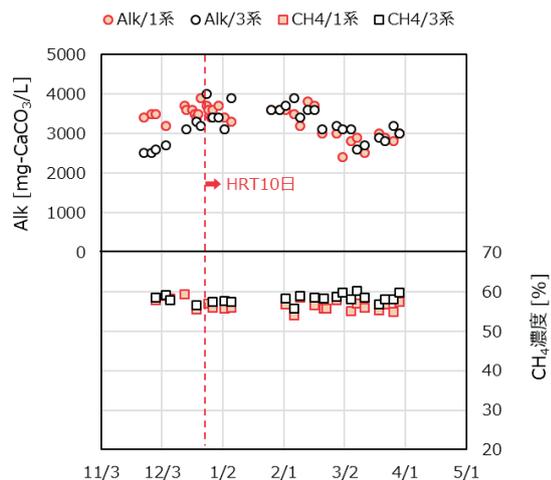


図3-18 各系列のアルカリ度およびメタン濃度

(4) まとめ

集中加温システムに関して、冬季の3ヶ月間において、消化日数10dにおいても安定消化が継続し、概ね良好な消化性能（消化ガス発生倍率の平均値 512Nm³/tVS-投入、VS分解率の平均値 56%）で運転可能であることが確認された。

今後の予定として、次年度も実証試験を継続してデータ取得を行うとともに、ステンレス合板製消化タンクの耐久性や堆積砂対策効果の検証を行う。また、集中加温システムの効果を把握するために、ラボスケールで実験を行う。これらの結果に基づき、両技術のコスト削減効果の評価、導入検討・設計手法の確立に向けた検討を行う予定である。

3.3.2 中小規模向けユニット式下水汚泥消化システム

(1) 検討の概要

本研究では、中小規模の下水処理場向けに特化したユニット式下水汚泥消化システムにより、従来と比べてLCC縮減が可能な嫌気性消化技術を開発する。

(2) 検討方法

① 技術の概要

本技術は、汚泥前処理ユニット、ガスホルダー一体型組立式消化槽、補機・制御ユニットの3つの要素技術から構成される（図3-19）。各要素技術を組み合わせることにより、システム全体として従来の嫌気性消化施設と比べてLCC縮減を図っている。各要素技術の概要を以下に示す。

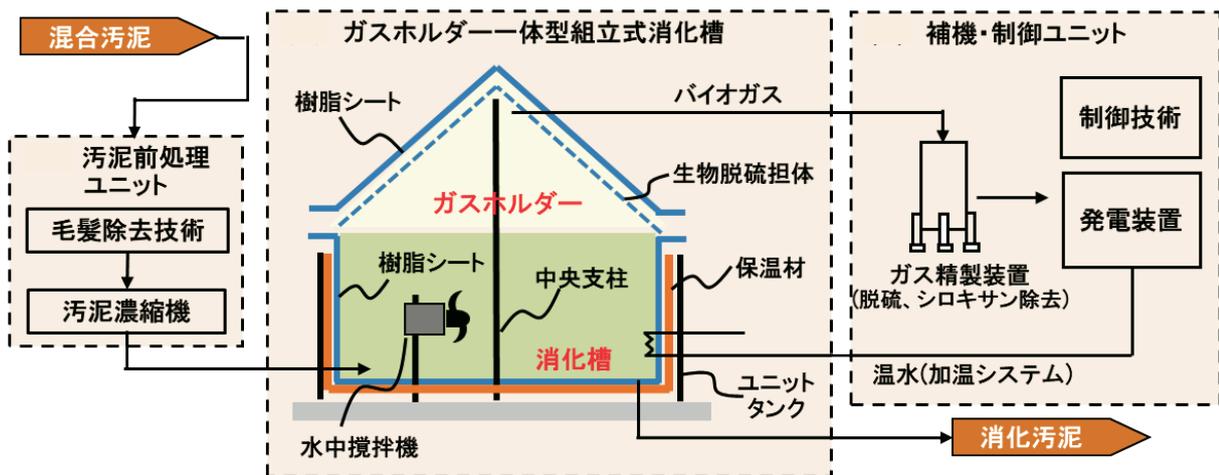


図3-19 「中小規模向けユニット式下水汚泥消化システム」のシステムフロー

- 汚泥前処理ユニット：投入汚泥に含まれる毛髪を容易に除去することが可能な毛髪除去技術と、投入汚泥を高濃度濃縮する汚泥濃縮機より構成される。毛髪除去技術により消化槽で使用する水中攪拌機への毛髪等の絡み付きを防止し、維持管理性の向上を図る。また、投入汚泥を高濃度に濃縮することで消化タンクの容量を縮減し、建設コストの削減を図る。
- ガスホルダー一体型組立式消化槽：消化槽と樹脂シート性のガスホルダーが一体となった構造である。樹脂シートは耐食性を備えており、これを消化槽内壁部にも設けることで、防食塗装を不要とする。また、本技術ではガス攪拌やインペラ型攪拌機等と比べて導入・設置が容易な水中攪拌機を採用している。消化槽は鋼板製でボルト接合する組立式であり、溶接や複雑な作業が不要であるため、短工期で施工が可能であり建設コストの削減を図る。また、ガスホルダー部には生物脱硫担体を設置して、簡易脱硫を行うことにより、後段の脱硫装置（ガス精製装置）の小型化や脱硫剤使用量の低減を図る。
- 補機・制御ユニット：発電装置、加温システム、攪拌に関する制御技術等より構成される。消化ガス発電によるエネルギー回収を図るとともに、発電排熱は消化槽の加温に利用する。

② 検討方法

本研究の実証項目を表3-6に示す。実下水処理場の実証設備を設置して通年に亘る実証試験を行い、得られたデータおよび数値解析結果から毛髪除去性能、濃縮性能、消化特性等を確認する。2023年度は実験計画の立案および実証設備の設計検討を行った。

表3-6 実証項目

実証項目	内容
1. 消化基本性能	消化性能（消化率、ガス発生量等）を確認する。
2. 硫化水素除去 （ガスホルダーでの生物脱硫）	硫化水素の除去効果を確認する。
3. 堆積砂対策	攪拌機運転による堆積砂抑制効果を確認する。
4. 毛髪除去技術	毛髪除去効果および維持管理性を確認する。
5. 汚泥濃縮機	汚泥濃縮機の安定運転等を確認する。
6. 組立式消化槽の工期短縮効果・耐久性	消化槽の工期の短縮性、樹脂シートの耐久性を確認する。
7. 本技術の消費電力	交付金要件*を満足することを確認する。
8. 本技術のコスト	従来技術に対するLCC削減効果を確認する。

*交付金要件として、国土交通省通達「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（2017年9月15日 国水下水第38号）」⁵⁷⁾が定めるエネルギー効率の性能指標値を満足することを確認する。

(3) 今後の予定

次年度より実証設備（消化タンク容量176m³）の運転を開始し、前述の評価項目等について実証する予定である。

3.3.3 予熱加温保持消化技術とボルト接合型パネルタンクによる低コスト嫌気性消化システム

(1) 検討の概要

本研究では、余剰汚泥を予め加温し消化効率を向上する予熱加温保持技術とボルト接合型パネルタンクを組み合わせた消化システムを用いた実規模での実証試験を行い、従来と比べてLCC縮減が可能な嫌気性消化技術を開発する。

(2) 検討方法

① 技術の特徴

本技術は、予熱加温保持技術とパネルタンクの2つの要素技術を組み合わせたものである(図3-20)。予熱加温保持技術により消化日数を短縮して消化タンク容量を縮減し、ボルト接合型のパネルタンクにより工期短縮を図ることで、システム全体として従来の嫌気性消化施設と比べてLCCを縮減する。各要素技術の概要を以下に示す。

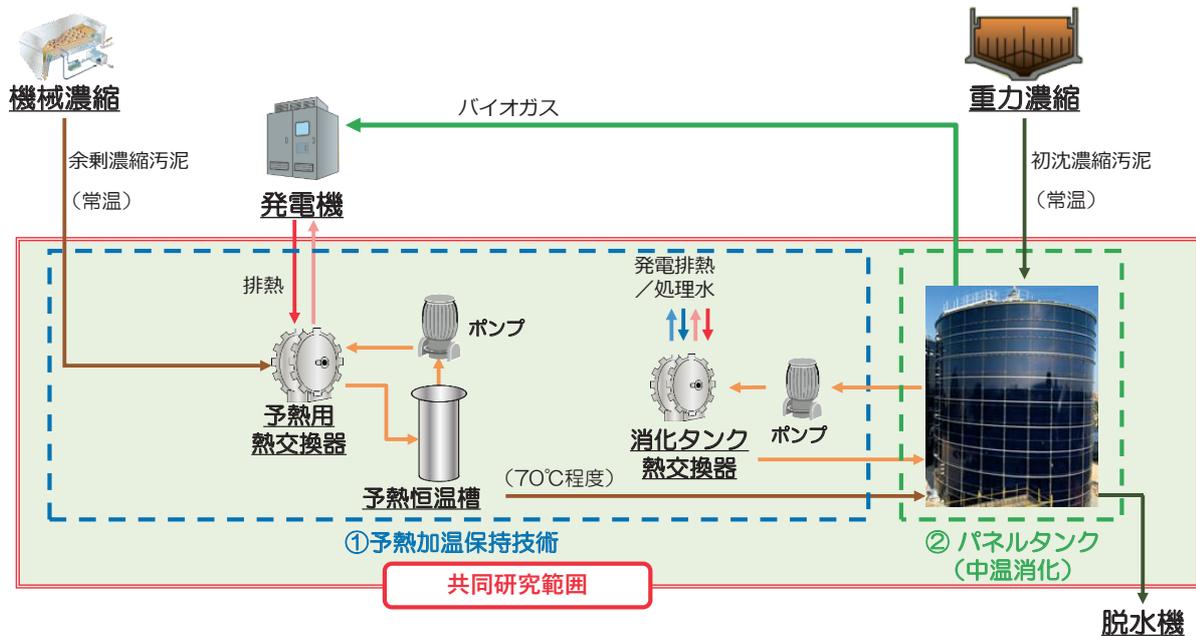


図3-20 「予熱加温保持消化技術とボルト接合型パネルタンクによる低コスト嫌気性消化システム」のシステムフロー

- 予熱加温保持：余剰濃縮汚泥を所定の温度にて一定時間加温することで変質させ、分解を促進する。負荷変動に対しても一定の予熱加温効果を得るため、予熱恒温槽にて加温状態を保持し、設定温度および保持時間を確保する。
- パネルタンク：パネル同士をボルトで接合し、更にジャッキアップ工法を採用することにより、従来の鋼板製タンクで必要であった溶接工事や仮設足場を不要とする。これにより、大幅に建設工期を短縮できる。パネルには、鋼材とガラスを結合（ガラスライニング処理）させたガラスライニングパネルを採用する。本パネルは耐食性が高く防食塗装を不要とする。

② 検討方法

本研究の実証項目を表3-7に示す。下水処理場内に実証設備を設置して通年に亘る実証試験を行い、予熱加温保持技術の消化日数短縮効果および嫌気性消化の安定性を確認すると共に、パネルタンクによる建設費縮減効果等を検討する。2023年度は実験計画の立案および実証設備（消化槽容量：100m³）の設計検討を行った。

表3-7 実証項目

対象技術	実証内容
予熱加温保持	<ul style="list-style-type: none"> ・ 消化日数短縮運転をした際に、以下の項目について、従来消化と同等の性能を有することを確認する。 消化性能、負荷変動への安定性、水処理への影響、脱水性、消化槽温度制御 ・ 最適な予熱加温保持条件を決定する。 ・ 異なる水処理方法の汚泥に対する適用性を確認する。
パネルタンク	<ul style="list-style-type: none"> ・ 耐久性、建設工期を確認する。
技術全体	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予熱加温保持技術およびパネルタンクの技術単体および組み合わせシステムにおいて、導入コストを算出する。 ・ 交付金要件を満足することを確認する

(3) 今後の予定

次年度より実証設備の運転を開始し、前述の評価項目等について実証する予定である。

4. 事後評価調査・技術評価(脱炭素化技術)

4.1 事後評価調査(次世代型焼却炉システム)

(1) 検討の概要

下水道全体の2030年目標のうち約4割を占める約78万t-CO₂は、N₂O排出抑制型の焼却炉への更新や高温焼却率を100%(2019年度時点で73%)とする等の「焼却の高度化」で削減することとしている。そのため、地球温暖化対策計画の目標達成に向けては、焼却の高度化は極めて重要かつ喫緊の課題となっている。本検討は、焼却の高度化によるGHG排出量削減を推進するため、JSが技術選定した次世代型焼却炉システム*について、事後評価調査として実稼働施設の実態調査を実施するものである。

本検討は全体で2か年度の調査となっており、次世代型焼却炉システム8技術のうち昨年度は4技術を対象に、本年度は残りの4技術を対象とした。

- 昨年度： 多層燃焼流動炉、過給式流動燃焼システム、
高効率二段燃焼汚泥焼却炉、階段炉による電力創造システム
- 本年度： 過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)、
気泡式高効率二段焼却炉、多段最適燃焼制御付気泡流動炉、
二段燃焼式旋回流動炉

(2) 検討方法

本年度は、表4-1に示す昨年度未実施技術のうち、稼働実績のある2技術(過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)、気泡式高効率二段焼却炉)を対象として実態調査を実施した。前者は、流動床式焼却炉の燃焼空気ラインに過給機を組み込み、焼却排ガスの熱エネルギーを利用してこれを駆動することで、消費電力量の多い流動ブロワの機能を代替する技術であり、新設や機能増設に対応可能な焼却炉の補機部分の技術である。後者は、気泡式流動焼却炉への燃焼用空気を一次空気、二次空気の2箇所に分けて供給し、改良した空気分散板の採用や2次空気の吹き込み位置・方法を最適化することで、炉内に局部高温域を形成し、温室効果ガスであるN₂O発生量の低減や、補助燃料および電力使用量を削減する技術である。両技術の概要を図4-1、図4-2に示した。

本検討では、各技術を導入した下水処理場に対するヒアリング調査を行い、焼却炉の運転条件、処理量、燃料使用量、電力使用量、エネルギー収支、排ガス性状(N₂O、窒素酸化物、重金属等)等の運転状況を確認した。これらを各技術の現行の技術資料(JS内部資料)に記載の性能および「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」(国水事第38号平成29年9月15日)(以下「国交省通知」と表記)における性能指標と比較して、各技術の性能発揮状況を確認した。

* JSの新技术導入制度において選定された以下の8技術を指す。

多層燃焼流動炉、過給式流動燃焼システム、高効率二段燃焼汚泥焼却炉、
階段炉による電力創造システム、過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)、
気泡式高効率二段焼却炉、多段最適燃焼制御付気泡流動炉、二段燃焼式旋回流動炉

表4-1 次世代型焼却炉システム4技術の実績

技術名称	技術選定時の選定区分	選定年月日	開発メーカー	2022年12月時点の実績件数 (建設中を含む件数)※
過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)	I類	2022年3月2日	メタウォーター(株)、(株)クボタ	1件(2件)
気泡式高効率二段焼却炉	II類	2014年6月10日	(株)神鋼環境ソリューション	1件(1件)
多段最適燃焼制御付気泡流動炉	I類	2019年2月13日	三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)	0件
二段燃焼式巡回流動炉	I類	2019年2月13日	水ingエンジニアリング(株)	0件

※実績件数は導入した処理場数を示す(1処理場に複数の実績がある場合でも1件と表記)。

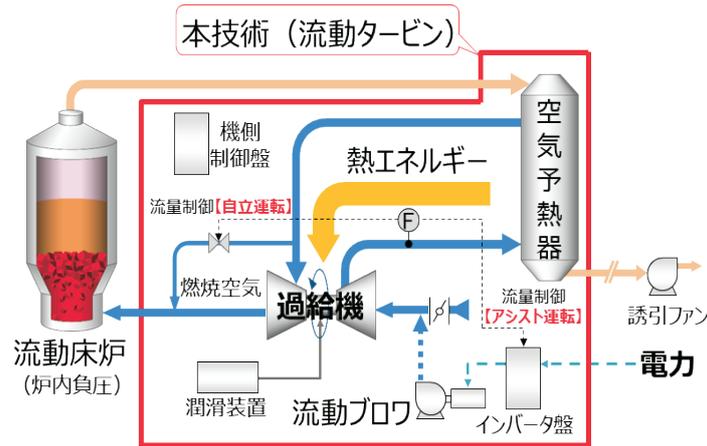


図4-1 過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)の技術概要

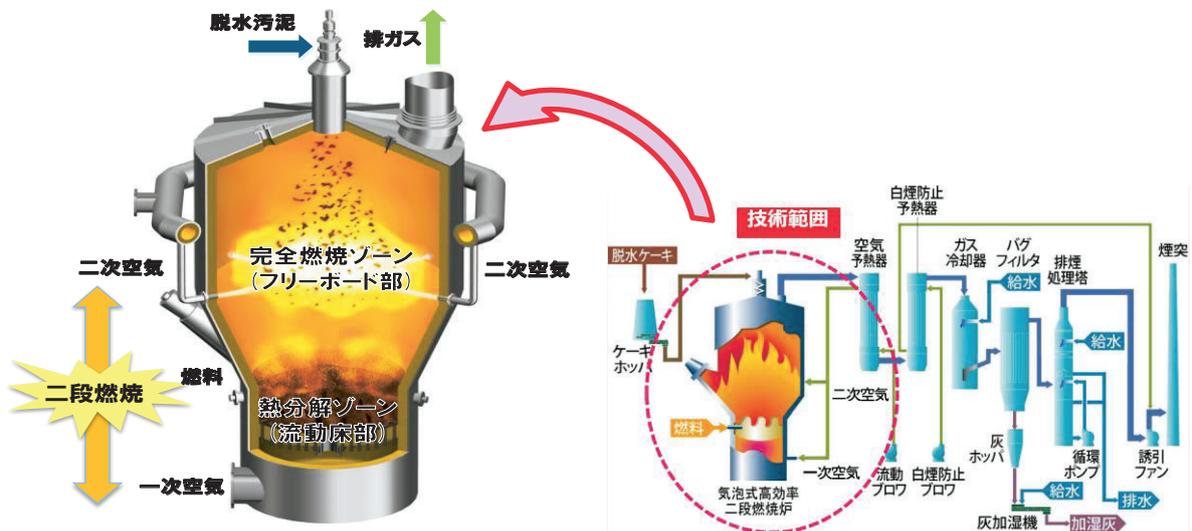


図4-2 気泡式高効率二段焼却炉の技術概要

(3) 検討結果

各技術を導入した下水処理場に対するヒアリング調査の結果、いずれも N₂O 排出量を直接の指標とした運転管理は行われていなかったが、稼働施設の運転状況は概ね良好であった。調査対象施設の昨年度の運転状況(平均値)について、各技術の技術資料に記載の性能および国交省通知における性能指標と比較した結果を表4-2に示した。

表4-2 次世代型焼却炉システム運転状況 (技術資料の性能値との比較)

技術名称等		調査対象施設数(基)	調査対象施設の規模(t/日)	燃料使用量(GJ/t-wet)	電力使用量(kWh/t-wet)	N ₂ O排出量(kg-N ₂ O/t-wet)
過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)	技術資料に記載の性能値	—	—	焼却炉本体の性能による	36.8~132	焼却炉本体の性能による
	調査結果	1	60	0.385 ^{※2}	79.8	0.170
				国交省通知の従来技術比65%削減 ^{※2}		
気泡式高効率二段焼却炉	技術資料に記載の性能値	—	—	0.748~0.869	80.1	0.200~0.300
	調査結果	2 ^{※3}	各150	0.249	56.2	0.610
				国交省通知の従来技術比66%削減		
国交省通知に記載の性能値 ^{※1}		—	—	消費電力相当量が従来技術の20%以上削減		0.645

※1 「国水小事第38号 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」(平成29年9月15日)における性能指標。

※2 多層燃焼流動炉と流動タービンを組み合わせたシステムを採用しているため、燃料使用量は多層燃焼流動炉の運転データを使用。

※3 同一処理場に2基設置されているため表中のデータは2基の平均値。

① 過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)

本技術は、焼却炉本体に付加することで焼却システム全体の省電力化を図るものであるため、燃料使用量や N₂O 排出量は焼却炉本体が有する性能となる。今回は多層燃焼流動炉と流動タービンを組み合わせたシステムを調査したため、燃料使用量および国交省通知の消費電力相当量は、本施設における多層燃焼流動炉の運転データを使用した。

電力使用量は技術資料に記載の性能値の範囲内であり、新技術としての性能が発揮されていた。また、国交省通知の消費電力相当量は、従来技術と比較して約 65%の削減効果が得られており、性能指標を満足していた。N₂O 排出量は焼却炉本体の性能に依存するが、ここでは国交省通知の性能指標(0.645kg/t-wet)を十分に満足しており、多層燃焼流動炉の技術資料に記載の性能(0.234kg-N₂O/t-wet)も発揮していた。

② 気泡式高効率二段焼却炉

技術資料に記載の性能値と比べて燃料使用量や電力使用量は満足しており、新技術としての性能を発揮していた。また、国交省通知の消費電力相当量は、従来技術と比べて約 66%の削減効果が確認でき、性能指標を満足していた。一方で、N₂O 排出量については、国交省通知の性能指標(0.645kg/t-wet)は満足していたが、技術資料の性能値(0.2kg/t-wet)より多く排出されていた。ヒアリングの結果、初沈汚泥の一部投入に対応した運転調整を行っていたこと、昨今の燃料費高騰等を受けて低燃費運転を行っていたことが理由と考えられた。

(4) まとめ

本年度は、JS 新技術に選定されている次世代型焼却炉システムのうち、過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)、気泡式高効率二段焼却炉の事後評価調査を実施した。実稼働施設は、前者では多層燃焼流動炉との併用で良好な性能発揮状況であった。後者では、低燃費運転の実施等のため技術資料に記載の性能値を満足していない項目もあったが、国交省通知の性能値は満足しており、概ね良好な運転状況であった。

次世代型焼却炉システムの事後評価調査は、当初の計画のとおり 2 か年度の調査を終了する。

4.2 嫌気性消化技術の運転管理に関する実態調査

(1) 検討の概要

脱炭素社会の実現に向けて、下水道分野では嫌気性消化により得られるバイオガスの活用の推進が期待されている。今後、我が国の下水処理場では嫌気性消化施設の新設・増設が増えると予想されるが、これまでに導入された嫌気性消化施設について、運転管理における課題や不具合発生事例、これらへの対応状況等に関する情報は極めて少ない。

そこで本検討では、嫌気性消化タンクの事後評価調査の一環で、今後の嫌気性消化施設の設計および運転管理に反映すべき基礎情報を得ることを目的に、既存技術であるコンクリート製消化タンクを有する下水処理場を対象に運転状況や不具合等に関する実態調査を2か年度かけて実施した。2022年度は運転状況や不具合等の傾向を把握するために、嫌気性消化施設を有する全ての下水処理場を対象としたアンケート調査を実施した⁵⁸⁾。本年度はより詳細な確認、および原因考察を整理するために、処理場等を抽出してヒアリングを実施した。本稿では、ヒアリング結果を踏まえた嫌気性消化施設におけるトラブルの発生原因に関する考察や、施設設計に対して維持管理の視点で要望の多い事項について報告する。

(2) 検討方法

本調査は、コンクリート製消化タンクを有する下水処理場や汚泥資源化センターの維持管理者を対象に、インタビュー方式でヒアリングを実施した。調査対象として、2022年度に実施したアンケート結果をもとに下水処理場や汚泥資源化センターを10箇所選定した。また、ヒアリングでは、嫌気性消化施設の運転管理状況や問題点等、維持管理者の視点から見た嫌気性消化施設の設計に対する要望等について調査を行った。

(3) 検討結果

ヒアリング結果のうち、①嫌気性消化施設における主要なトラブル（異常発泡、MAPによる配管閉塞、酸敗）と運転管理状況を踏まえたトラブルの発生原因に関する考察、②施設設計に関する事項、を整理した。

① 嫌気性消化施設における主要なトラブルと発生原因

・ 異常発泡

異常発泡とは、嫌気性消化槽内の液面で発生している消化ガスの泡が何らかの原因で発生量が多くなり、消化槽頂部付近にまで泡が達して消化ガス配管に流入したり、攪拌装置の軸封部から流出したりすることにより運転に支障を来す現象である。今回ヒアリング対象とした処理場等における異常発泡の有無について、消化槽形状や攪拌装置形式と併せて表4-3に整理した。なお、設備更新時に攪拌装置形式を変更している場合は、更新前後の情報を記載した。

今回の調査において、円筒形消化槽については表4-3の青枠部に示したように、水処理工程で放線菌によるスカム発生があった時期に消化槽で異常発泡が生じたJ浄化センターを除いて、攪拌装置の形式によらず異常発泡は確認されなかった。亀甲形と卵形の消化槽については、赤枠部に示したようにインペラ型攪拌装置を有する処理場等で発泡トラブルが生じている事例が多く、それ以外の攪拌装置を採用している場合は発泡トラブルの事例は少なかった。また、

A 浄化センターではガス攪拌から機械攪拌（ドラフトチューブ低速型）に変更しており、変更後において亀甲形の消化槽では異常発泡が発生しているが、円筒型では生じていなかった。以上のことから、消化タンクの形状と攪拌装置形式の組み合わせによっては異常発泡が発生しやすくなる可能性があると考えられる。

消化槽の平均液位から上部の空間の占める容積や高さの比率について、本調査で得られたデータをもとに整理した例を表4-4に示す。円筒形消化槽の場合、上部空間が占める容積や高さの割合が最も大きく、異常発泡が生じた際にも泡が消化ガス配管に流入したり攪拌装置の軸封部から流出したりする影響が生じにくいと考えられる。一方で、卵形や亀甲型の消化槽形状では上部空間の容積や高さの割合が小さいため、異常発泡が生じた際には影響を受けやすいと考えられる。

表4-3 異常発泡の有無(消化槽形状、攪拌装置形式別)

処理場名	消化槽形状	消化槽容量	攪拌装置形式		発泡トラブル		備考
			変更前	変更後(現状)	無し	有り	
A浄化センター	円筒形	2,244m ³ ×1槽 2,017m ³ ×1槽	ガス攪拌	機械攪拌(ドラフトチューブ低速型)	○		円筒形の場合は攪拌装置の形式によらず、全て発泡トラブルなし
B浄化センター	円筒形	6,000m ³ ×1槽		インペラ型	○		
C浄化センター	円筒形	1,300m ³ ×2槽		槽外ポンプ型	○		
D浄化センター	円筒形	3,468m ³ ×2槽 3,166m ³ ×1槽	ガス攪拌	インペラ型	○		
A浄化センター	亀甲形	1,997m ³ ×1槽	ガス攪拌	機械攪拌(ドラフトチューブ低速型)	○(変更前)	○(変更後)	亀甲・卵形の場合でインペラ式は、発泡トラブルが多い
C浄化センター	卵形	2,700m ³ ×1槽		機械攪拌(ドラフトチューブ型)	○		
D浄化センター	亀甲形	2,443m ³ ×1槽	ガス攪拌	インペラ型	○(変更前)	○(変更後)	
E浄化センター	亀甲形	3,000m ³ ×2槽 2,500m ³ ×1槽	ガス攪拌	インペラ型	○(変更前)	○(変更後)	
F資源化センター	卵形	1,600m ³ ×2槽	機械攪拌(ドラフトチューブ型)	インペラ型	○(変更前)	○(変更後)	
G資源化センター	卵形	6,400m ³ ×9槽		機械攪拌(ドラフトチューブ型)	○		
H浄化センター	亀甲形	2,000m ³ ×3槽	機械攪拌(ドラフトチューブ型)	インペラ型	○(変更前)	○(変更後)	
I浄化センター	亀甲形	1,160m ³ ×1槽		機械攪拌(ドラフトチューブ型)	○		
		1,160m ³ ×1槽		インペラ型		○	
J浄化センター	円筒形	3,970m ³ ×2槽	ガス攪拌	槽外ポンプ型		○*	水処理工程における放線菌発生に伴い消化槽で異常発泡が生じたと考えられる

表4-4 消化槽上部空間の比率(例)

消化槽形状	処理場名	①消化槽容積(m ³)	②上部空間容積(m ³)	②/①(%)	③上部空間高さ(m)	④全高(m)	③/④(%)
円筒形	D浄化センター	3,166	278	8.8%	2.5	15.3	16.3%
卵形	G資源化センター	6,400	27	0.4%	1	31.7	3.2%
亀甲形	I浄化センター	1,160	9	0.8%	0.7	18.2	3.8%

・ MAPによる配管閉塞

消化汚泥の引抜き配管等でMAP（リン酸マグネシウムアンモニウム）が析出し、配管閉塞等の支障を来す現象が知られている。消化槽引抜き配管におけるMAPによる配管閉塞の有無について、消化汚泥の引抜き方法と併せて整理した結果を表4-5に示す。

消化槽の底部配管からポンプや自然流下で直接引抜く方法（以下、「直引き」と表記）を行っている処理場等においては、消化汚泥引抜き配管でMAPによるトラブルは発生していなかった。一方で、消化槽上部のテレスコプ弁から越流させて引抜く方法（以下、「テレスコ弁引抜き」と表記）を行っている多くの処理場等ではMAPによるトラブルが発生していた。

一般的に、MAPは消化汚泥中の二酸化炭素が脱離してpHが上昇しやすい場所で発生する。また、消化槽内部の圧力は、ガスホルダーの内圧を確保するために大気圧より高い状態となっており、消化汚泥にはCO₂が過飽和状態で溶解している。このため、テレスコ弁引抜きの場合は、消化汚泥が大気開放されることで二酸化炭素が抜け、pHが上昇するためMAPが析出しやすくなると考えられる。なお、C浄化センターはテレスコ弁引抜きを実施しているがMAPによるトラブルは発生していなかった。これは、汚泥濃縮工程でポリ硫酸第二鉄を使用しており、MAP生成の要因成分であるリン酸イオンが鉄イオンと結合して不溶化することで、MAP析出を抑制したためと考えられる。

表4-5 MAPによる配管閉塞の有無(汚泥引抜き方法別)

処理場名	消化槽容量	消化汚泥引抜き方法	MAPによる配管閉塞	
			無し	有り
B浄化センター	6,000m ³ ×1槽	直引き	○	
D浄化センター	3,468m ³ ×2槽 3,166m ³ ×1槽 2,443m ³ ×1槽	直引き	○	
G資源化センター	6,400m ³ ×9槽	直引き	○	
I浄化センター	1,160m ³ ×2槽	直引き	○	
J浄化センター	3,970m ³ ×2槽	直引き	○	
A浄化センター	1,997m ³ ×1槽 2,244m ³ ×1槽 2,017m ³ ×1槽	テレスコ弁		○
C浄化センター	2,700m ³ ×1槽 1,300m ³ ×2槽	テレスコ弁	○	
E浄化センター	3,000m ³ ×2槽 2,500m ³ ×1槽	テレスコ弁・直引き併用		○
F資源化センター	1,600m ³ ×2槽	テレスコ弁		○
H浄化センター	2,000m ³ ×3槽	テレスコ弁		○

・ 酸敗

メタン生成古細菌の活動に支障を与える有害物が消化槽に投入されたり、投入有機物負荷が過剰となってメタン生成古細菌の活動が著しく低下した場合は、有機酸の分解が進まずに蓄積されて消化槽内の pH が下がるとともに、消化ガス発生量の低下を招くことがある。今回の調査においては、4箇所（C・D・H・J浄化センター）で投入有機物負荷が増加した際に消化ガス発生量の低下や消化槽内の pH の低下が確認されており、酸敗が生じていたと考えられる。また、C浄化センターからは、投入有機物負荷が過剰となった場合は、CH₄濃度、アルカリ度、pH の順に変化が生じていると回答が得られた。嫌気性消化施設の維持管理においてこれら項目を監視することは、酸敗現象の兆候を把握するための有効な手段となり得ると考えられる。

② 施設設計に関する事項

・ 消化槽形状と攪拌装置の組み合わせ

表4-3に示したように、消化槽形状と攪拌装置形式の組み合わせによっては異常発泡が生じやすい可能性がある。特に亀甲形や卵形消化槽において、攪拌装置形式をインペラ型に更新した後に異常発泡が生じるようになったという意見も複数確認されており、消化槽形状との組み合わせに注意する必要があると考えられる。

・ 設備の予備・修理対応

攪拌装置、汚泥引抜ポンプ、循環ポンプ等が故障した際には、機器の交換や修理等の対応に長期間かかる場合が多い。故障した際に施設の運転に支障を来す補器類は、予備機を設けることによって故障時の対応に要する期間を短縮したいという意見や、故障時における機器の納期短縮の観点から、機器の構成部品は汎用部品を用いたいという意見があった。また、複数の消化槽がある場合には、攪拌装置の交換部品を共通化して常備したいとの意見もあり、設計時に注意する必要があると考えられる。

・ 汚泥の引抜き方法

表4-5に示したように、テレスコピ引抜きを使用している処理場等においては、引抜き管においてMAPによる配管閉塞が生じやすい可能性がある。消化槽の汚泥引抜き配管は、ライニング加工されている铸铁管またはポリエチレン管のような内面が滑らかな配管を設けたいとの意見があった。施工上の都合でSUS管が使用された事例もあったが内面が滑らかではないためMAPが析出しやすくなっており、現合管としてSUS管を使用する場合でも内面ライニング加工されたものが望ましいと考えられる。

・ 付帯設備の構造

スカムボックスの使用を試みた際に、スカム排出管経由で消化ガスが流出した事例が報告されている。このため、スカム排出管は水封構造として消化ガスが流出しないようにすることが望ましいと考えられる。また、異常発泡の発生に備えて、発泡時に液位を正確に把握できる発泡検知器や水位計を備えて欲しいとの意見があり、設計時に注意する必要があると考えられる。

(4) まとめ

本調査では、嫌気性消化施設の運転管理状況を把握し設計等に反映すべき情報を得ることを目的に、嫌気性消化技術の運転管理に関する実態調査を実施した。本年度は、複数の処理場等にヒアリングを行った結果、消化槽形状と攪拌装置形式の組み合わせによっては異常発泡が生じやすい可能性があり、卵形消化槽や亀甲型消化槽は、円筒形消化槽と比較して上部空間が少なく異常発泡の影響を受けやすい可能性があることが分かった。また、テレスコ弁引抜きをしている処理場等では、引抜き配管で MAP による配管閉塞が生じやすい可能性が高く、引抜き管には内面が滑らかな配管材料を使用したいという意見等があった。

今後は、本調査で得られた知見を踏まえ、嫌気性消化施設の設計等に反映する予定である。

5. 脱炭素化推進方策

5.1 脱炭素化技術の体系化

(1) 検討の概要

本検討は、下水道分野の脱炭素化に向けた案件形成支援を JS の新たな業務メニューに加えることを想定し、対象とする下水処理場の条件に応じて脱炭素化技術の導入効果を簡易的に推定・評価する手法を確立するものである。全体で2か年度の調査研究を予定しており、昨年度は脱炭素化技術を体系的に整理し、これを基に下水処理場の規模や処理方式に応じて適用可能な技術を導入した場合の GHG 排出削減量を算出するツール（以下、「導入効果算出ツール」と表記*）の開発を行った。本年度は、昨年度に開発した導入効果算出ツールの妥当性を確認した。

(2) 検討方法

JS が過年度に実施した業務（以下、「支援業務」と表記）で推定した下水処理場からの GHG 排出量を基準に、導入を想定する脱炭素化技術等、支援業務と同一条件により導入効果算出ツールを用いて試算した推定値と比較することで、導入効果算出ツールの妥当性を確認した。具体的には、導入効果算出ツールによる推定値が、表5-1に示す13処理場のすべてにおいて以下の条件を満足するように、導入効果算出ツールにおける脱炭素化技術の GHG 排出量削減率を設定した。

- 検討対象処理場において、現在の GHG 排出量の推定値について、支援業務の推定値に比べて導入効果算出ツールの試算結果が概ね±5%以内であること。
- 対象年度における支援業務の GHG 排出量の推定値に対して、支援業務と同じ技術の導入を想定した場合の導入効果算出ツールの試算結果が概ね±10%以内であること。

* 下水処理場の規模や処理方式に応じて適用可能な技術を絞り込むとともに、これらの技術を導入した場合の GHG 削減量を算出するツール。導入効果算出ツールは、JS が地方公共団体の受託業務を進める際に、事前に基礎的な検討を行うためのものであり、内部資料として取り扱うことを予定している。

表5-1 導入効果算出ツールの妥当性確認に利用した支援業務の対象処理場

No.	処理場	日平均処理水量 (m ³ /日) [※]	水処理方式 [※]	汚泥消化 設備有無 [※]	汚泥焼却 設備有無 [※]	発電設備 有無 [※]
1	A処理場	26,000	標準活性汚泥法	○	×	消化ガス発電
2	B処理場	105,000	標準活性汚泥法	○	○	×
3	C処理場	222,000	標準活性汚泥法、 急速濾過法	×	○	太陽光発電
4	D処理場	163,000	標準活性汚泥法、 嫌気無酸素好気法	○	○	消化ガス発電
5	E処理場	4,000	標準活性汚泥法	×	×	×
6	F処理場	38,000	標準活性汚泥法	○	×	×
7	G処理場	50,000	標準活性汚泥法	○	×	消化ガス発電
8	H処理場	111,000	標準活性汚泥法	○	×	消化ガス発電
9	I処理場	33,000	標準活性汚泥法	○	×	×
10	J処理場	15,000	標準活性汚泥法	○	×	×
11	K処理場	37,000	標準活性汚泥法、 砂ろ過+オゾン処	×	×	×
12	L処理場	11,000	標準活性汚泥法	×	×	×
13	M処理場	17,000	標準活性汚泥法	○	×	消化ガス発電 太陽光発電 小水力発電

※下水道統計(令和2年度版)より

(3) 検討結果

表5-1に示す13処理場の支援業務の結果を基に、導入効果算出ツールの妥当性を確認した。結果は表5-2に示すとおり、現在のGHG排出量の推定値については96~106%に、支援業務のGHG排出量の推定値に対する導入効果算出ツールの結果が87~111%となった。なお、ここでの結果は、導入効果算出ツールに以下の改良を加えた結果である。

<主な改良点>

- 系列または池毎に異なる処理法や運転方法を選定できるようにした。
- 昨年度に整理できなかった一部の脱炭素化技術のGHG排出量削減率を新たに設定した。また、メーカーヒアリング等のサンプル数を増加し削減率の精度を向上させた。

以上より、導入効果算出ツールは下水処理場のGHG排出量の削減目標の設定やGHG排出抑制対策の選定のためのツールとして有効に使用できるものと考えられた。更に、導入効果算出ツールは、図5-1に示すように、「下水道における地球温暖化対策マニュアル」(平成28年3月)に基づく地球温暖化対策推進計画の策定に活用できるものと考えられる。

表5-2 導入効果算出ツールの妥当性の確認結果

No.	処理場名	排出量の比較 (t-CO ₂ /年)	算出ツール結果		検討支援業務結果	
			①	②	①/②	①/②
1	A処理場	排出量(対策前)	2,081.8	2,000.8	104%	
		排出量(対策後)	2,039.2	1,989.0	103%	
2	B処理場	排出量(対策前)	6,690.8	6,596.0	101%	
		排出量(対策後)	5,177.6	4,670.5	111%	
3	C処理場	排出量(対策前)	20,284.4	20,051.6	101%	
		排出量(対策後)	15,980.2	15,046.6	106%	
4	D処理場	排出量(対策前)	14,363.9	13,896.5	103%	
		排出量(対策後)	10,948.0	10,989.5	100%	
5	E処理場	排出量(対策前)	645.0	652.5	99%	
		排出量(対策後)	530.8	592.0	90%	
6	F処理場	排出量(対策前)	2,780.4	2,740.1	101%	
		排出量(対策後)	2,227.1	2,164.3	103%	
7	G処理場	排出量(対策前)	3,872.2	3,863.0	100%	
		排出量(対策後)	2,834.6	3,086.3	92%	
8	H処理場	排出量(対策前)	4,687.8	4,875.0	96%	
		排出量(対策後)	3,562.2	4,021.5	89%	
9	I処理場	排出量(対策前)	5,009.8	4,930.5	102%	
		排出量(対策後)	3,880.1	4,310.0	90%	
10	J処理場	排出量(対策前)	1,714.9	1,716.0	100%	
		排出量(対策後)	1,272.8	1,363.1	93%	
11	K処理場	排出量(対策前)	2,998.3	2,915.0	103%	
		排出量(対策後)	2,130.7	2,302.5	93%	
12	L処理場	排出量(対策前)	1,063.4	1,058.9	100%	
		排出量(対策後)	847.5	970.3	87%	
13	M処理場	排出量(対策前)	1,445.7	1,366.8	106%	
		排出量(対策後)	1,167.9	1,085.3	108%	
集計 (最小~最大)		排出量(対策前)			96%~106%	
		排出量(対策後)			87%~111%	

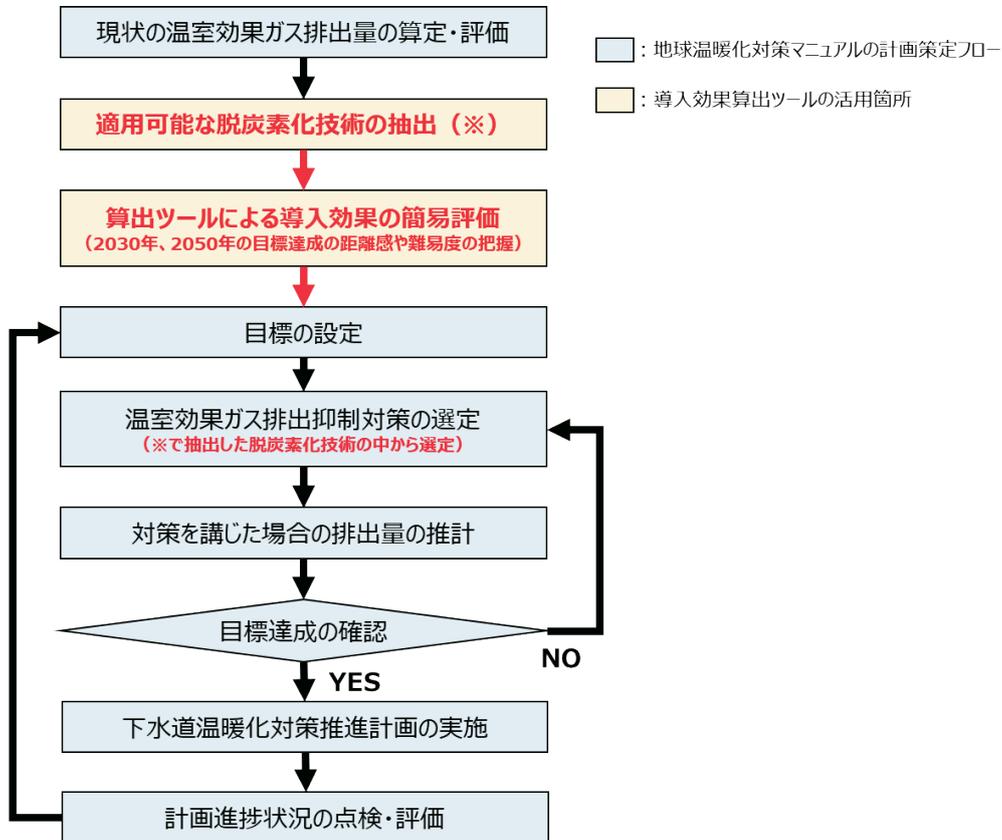


図5-1 導入効果算出ツールを活用した計画策定フロー(案)

(4) まとめ

JS が過年度に実施した支援業務の結果を活用し、導入効果算出ツールの妥当性を確認した。その結果、検討対象処理場 13 箇所における導入効果算出ツールの推定値が、現在の GHG 排出量では支援業務の結果の 96～106%に、支援業務と同じ技術を導入した場合の GHG 排出量は 87～111%に収めることができた。したがって、導入効果算出ツールの妥当性が確認でき、下水処理場の GHG 排出量の削減目標の設定や GHG 排出抑制対策の選定のためのツールとして有効に使用できるものと考えられた。また、導入効果算出ツールを活用することで、下水処理場の目標の設定や GHG 排出抑制対策の選定の一助になることが期待される。

本検討は、当初の計画のとおり 2 か年度の調査を終了する。

6. 検討結果の総括

6.1 本年度の成果

(1) 水処理省エネ化技術

① 開発動向調査・実態調査

➤ 水処理省エネ化技術の開発動向調査

国内外における水処理省エネ化技術の最新の開発動向を把握するために調査を行った。具体的には、①国内外の総説論文を対象とした文献調査、②国外の民間企業等を対象としたホームページ調査、③国内の民間企業を対象としたヒアリング調査、の3点を実施し、以下のことが確認できた。

- 研究段階の技術が対象に含まれる文献調査では、国内外において省エネ・創エネのいずれに関しても多様な技術の研究・開発が進められていることが示された。
- 国外の民間企業等を対象としたホームページ調査からは、実装段階にある技術としては創エネよりも省エネ技術が中心であることが明確となった。
- 国内の民間企業を対象としたヒアリング調査では、現行で保有または開発中の技術については国外と同様に省エネ技術が主体であるものの、今後の開発に注力する技術として創エネ技術についても注目されている点が示された。

➤ オキシデーションディッチ法の運転実態調査

OD法施設の運転方法・条件や処理状況等の現状を把握し、OD法の省エネ化に資する新たな技術開発の注力点や開発目標の検討に活用することを目的として、昨年度に実施した全国のOD法施設を対象とした実態調査にて収集したデータを用いて、消費電力量への影響因子について詳細な解析を実施し、以下のことが確認できた。

- 消費電力量に対する複数因子の影響度合いを定量化すべく、重回帰分析を試みたものの、決定係数(補正 R²)が十分に高い回帰式を見出すには至らなかった。この範囲で、補正 R²が比較的高い6通りの回帰式について説明変数毎のt値を確認したところ、OD法の規模や曝気装置に係る因子の影響度合いが比較的高いことが示唆された。
- 43処理場を対象に流入水量・水質(BOD、T-N)の年間変動状況を解析した結果、流入水量の変動比は夏季が高く、流入水質の変動比は冬季の方が高いといった一般に知られる傾向が再確認された。一方、流入負荷量については、BODで流入水量に類似した年間変動パターンが見られた一方、T-Nでは必ずしも明確なパターンが見られず、水質項目によって流入負荷量の年間変動状況が異なる可能性が見出された。消費電力量については流入水量と類似した年間変動パターンを示し、これを流入水量で割戻した原単位では明確なパターンが見られなくなった。
- 233処理場を対象に、消費電力量原単位が高・中・低の3グループに分類したところ、同原単位が低のグループでは水処理施設の規模が大きい、流入率が高いという傾向が見られた一方、曝気装置の運転時間および流入BOD濃度については明確な傾向が見られず、前述の重回帰分析に係る考察とは必ずしも一致しない結果となった。

② 小規模省エネ化技術の開発・実証

回転繊維ユニット RBC を用いた下水処理技術の実規模実証実験について、2023年1月からの約12ヶ月間の負荷増強試験、RBC装置における有機物負荷低減機構の検討により以下の結果が得られた。本共同研究は、2024年3月をもって完了した。

- 既設処理能力に対して2倍の流入水量を処理する条件において、処理水のBOD、SS、T-N濃度が各々平均で3.1、1.4、2.5mg/Lであり、処理水質はOD法として十分に低濃度であった。
- 消費電力量原単位は実証・対照象系列で各々平均0.20、0.30Wh/m³となり、実証系列では対照系列に比べて平均33.7%削減できた。
- RBC装置の負荷低減効果について、T-BODの見かけの低減率は67%であったが、見かけの低減率に対して20ポイント分程度を差し引いて取り扱うことが妥当と考えられた。

③ アナモックス併用高度処理の基礎実験

MLE+アナモックス法に関するラボスケールでの連続処理実験とベンチ規模の実験プラントの立上げ、アナモックス汚泥の新規培養方法の検討を行った。

- 連続処理実験では、アナモックス担体の添加率の順次引き上げにより微好気槽のT-N除去寄与率は上昇したが、その上昇幅は僅かで、昨年度の実験結果を下回った。理由として、水温が低かった(10~20℃(平均15℃))ことが推察された。下水処理場内で得られる分離液等を使用したアナモックス汚泥の大量培養の可能性について、窒素成分としてNH₄-Nのみを含む合成排水を用いた検討では、培養期間に応じてNH₄-N濃度を低濃度から高濃度に切り替えることで実用的な処理速度を持つ汚泥を培養できる可能性を見出した。
- ベンチ規模のMLE+アナモックス法の実験プラントについて、実下水(初沈越流水)を用いた立上げ運転を開始した。

④ 省エネ型深槽曝気技術の実規模実証(B-DASH)

実証設備を用いた実証実験を開始し、本技術による消費電力量の削減効果や処理性能を確認するとともに、本技術の酸素移動効率の測定や深槽曝気に伴う活性汚泥混合液中の溶存窒素(N₂)ガス濃度の測定方法等について検討を行った。

- 実証系の曝気風量および消費電力量原単位について、対照系と比較してそれぞれ平均38%、平均12%の削減効果が確認された。
- 実証系の処理水質は、BODとSSは対照系と同程度であったが、T-NとT-Pは対照系よりやや高い傾向が見られた。実証系の最終沈殿池における汚泥界面高さは、概ね低い状態で推移しており、脱気操作による汚泥浮上の防止効果が確認された。
- 各系列の好気槽内での水深方向のDO濃度分布は、実証系では水深に拘らず概ね一様であった一方、対照系では水深5m以深でDO濃度が低い領域が生じていた。
- 実証系の酸素移動効率は43.4%で、対照系より9.2ポイント高かった。
- 活性汚泥混合液中の過飽和分の溶存N₂ガス濃度を推定する新たな測定方法を見出した。

(2) バイオガス活用技術

① 開発動向調査

嫌気性消化に関する消化促進技術とバイオガス活用技術の導入促進を図るために、直近 10 年以内に公表された情報をもとに、開発動向調査を実施した。消化促進技術については、現時点ではいずれの技術も導入実績は多くは無いが、脱炭素化に向けてバイオガスの発生量を増加させる等の効率化を図るために、今後の導入促進が予想される。バイオガス活用技術については、ガス発電が最も普及しており、2030 年の脱炭素化に向けて更に普及が進むと考えられる。また、バイオガス活用技術については、バイオメタネーションのように研究開発が進められているものもあり、地域条件等と合致すれば今後の導入促進が見込まれると考えられる。

② バイオガス創出に係る基礎実験

JS 技術開発実験センターにおいて、高温消化および中温消化のラボスケールでの連続消化実験を行い、消化日数を 25d と 15d とした 2 ケースで各 1.5 か月程度運転して消化特性の違いを確認した。

- 各実験条件で嫌気性消化が可能であることを確認したが、高温消化の系列で消化日数 25d および 15d のいずれの実験においても、不安定になる傾向が確認された。
- 消化日数 25d の場合における中温消化と高温消化のガス発生特性を比較すると、ガス発生倍率や投入 VS 量当たりガス発生量は同程度であった。
- 高温消化における消化日数 15d では、同消化日数が 25d の場合および中温消化で消化日数が 25d の場合と比較してガス発生倍率や投入 VS 当りガス発生量が低く、消化ガスの有効利用においては不利になる可能性がある。

③ バイオガス創出・活用技術の開発・実証

「脱炭素社会実現に向けたバイオガス利活用技術および嫌気性消化技術の開発」として、(a)消化効率（投入 VS 当たりガス発生量等）の向上によりバイオガス発生量の増加に寄与する嫌気性消化技術、(b)発生したバイオガスの持つポテンシャルを最大限に引き出すことに寄与する利活用技術、(c)低コスト化に寄与する嫌気性消化技術、のいずれかまたは 2 つ以上に該当する技術を開発する新たな共同研究の公募を継続した。2022 年度に選定した 1 技術について共同研究を継続するとともに、以下の 2 技術に係る共同研究者を新たに選定した。

- 集中加温システムとステンレス合板製消化タンクを用いた低コスト消化技術の開発
(共同研究者：メタウォーター株式会社 2022 年度共同研究者選定)

集中加温システムに関して、冬季の 3 ヶ月間において、消化日数 10 日においても安定消化が継続し、概ね良好な消化性能（消化ガス発生倍率の平均値 512Nm³/tVS-投入、VS 分解率の平均値 56%）で運転可能であることが確認された。

- 中小規模向けユニット式下水汚泥消化システム
(共同研究者：日立プラントサービス株式会社 2023 年度共同研究者選定)

中小規模向け下水処理場に特化したユニット式下水汚泥消化システムを用いた実規模での実証試験を行い、従来と比べて LCC 縮減が可能な嫌気性消化技術を開発する。

- 予熱加温保持消化技術とボルト接合型パネルタンクによる低コスト嫌気性消化システム
(共同研究者：株式会社神鋼環境ソリューション 2023年度共同研究者選定)

余剰汚泥を集中的に加温し消化効率を向上する予熱加温保持技術とボルト接合型パネルタンクを組み合わせた消化システムを用いた実規模での実証試験を行い、従来と比べて LCC 縮減が可能な嫌気性消化技術を開発する。

(3) 事後評価調査等

① JS 新技術の事後評価調査・技術評価(脱炭素化技術)

- 次世代型焼却炉システム

調査対象技術について、各技術を導入した下水処理場にヒアリング調査を実施し、焼却炉の運転条件、処理量、燃料使用量、電力使用量、エネルギー収支、排ガス性状(N₂O、窒素酸化物、重金属等)等の運転状況を確認するとともに、従来技術や技術選定時の技術資料との比較検討を行った。

- 過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)：電力使用量は技術資料に記載の性能値の範囲内であり、新技術としての性能が発揮されていた。N₂O排出量は焼却炉本体の性能に依存するが、調査対象処理場では多層燃焼流動炉に本技術が適用されており、従来技術の性能指標(0.645kg/t-wet)および多層燃焼流動炉の技術資料に記載の性能(0.234kg-N₂O/t-wet)を十分に満足していた。
- 気泡式高効率二段焼却炉：技術資料に記載の性能値と比べて燃料使用量や電力使用量は満足しており、新技術としての性能を発揮していた。一方で、N₂O排出量については、維持管理上の運転調整や低燃費運転の実施のため技術資料の性能値(0.2kg/t-wet)より多く排出されていたものの、従来技術の性能指標(0.645kg/t-wet)は満足していた。

- 嫌気性消化技術の運転管理に関する実態調査

嫌気性消化タンクの事後評価調査の一環で、既存技術であるコンクリート製消化タンクにおける嫌気性消化の運転管理に関する実態調査を実施した。コンクリート製消化タンクを保有している下水処理場や汚泥資源化センターの維持管理者を対象に、インタビュー方式でヒアリングを実施し、嫌気性消化施設の運転管理状況や問題点等について調査を行った。

- 異常発泡：消化タンクの形状と攪拌装置形式の組み合わせによっては、異常発泡が生じやすくなる可能性がある。また、異常発泡の発生時は、円筒形消化槽の場合は上部空間が占める容積や高さの割合が最も大きいため、消化ガス配管への泡の流入等の影響は生じにくい、卵形消化槽は影響を受けやすいと考えられた。
- MAPによる配管閉塞：消化槽の底部配管からポンプや自然流下で直接引抜く方法を行っている処理場等においては、消化汚泥引抜き配管でMAPによるトラブルは発生していなかった。一方で、消化槽上部のテレスコープ弁から越流させて引抜く方法を行っている処理場等ではMAPによるトラブルが発生しやすい傾向があった。
- 酸敗：調査対象10箇所のうち4箇所で酸敗が生じていたと考えられ、中には投入有機物量が過剰となった場合にCH₄濃度、アルカリ度、pHの順に変化が生じた処理場があった。嫌

気性消化施設の維持管理においてこれら項目を監視することは、酸敗現象の兆候を把握するための有効な手段となり得ると考えられた。

(4) 脱炭素化推進方策

① 脱炭素化技術の体系化

昨年度に開発した GHG 排出削減量を簡易に算出するツールについて、本年度は JS が過年度に実施した支援業務の結果を活用して、その妥当性を確認した。過年度業務の 13 処理場を対象に以下の結果が得られたことから、本ツールは下水処理場の GHG 排出量の削減目標の設定や GHG 排出抑制対策の選定のためのツールとして有効に使用できるものと考えられた。

- 検討対象処理場において、現在の GHG 排出量の推定値について、支援業務の推定値に比べて導入効果算出ツールの試算結果は 96～106%の範囲で算出された。
- 対象年度における支援業務の GHG 排出量の推定値に対して、支援業務と同じ技術の導入を想定した場合の導入効果算出ツールの試算結果は 87～111%の範囲で算出された。

6.2 今後の予定

1.2 節に記載の開発項目について、次年度の実施予定は以下のとおりである。

(1) 水処理省エネ化技術

- 小規模省エネ化技術の開発・実証：小規模下水処理場等を対象とした新たな水処理省エネ化技術を実証・開発する新規の共同研究の公募を開始する。
- アナモックス併用高度処理の基礎実験：引き続きラボ実験により、活性汚泥共存下で微好気槽の窒素除去速度を向上させる処理条件の検討や、アナモックス汚泥の大量培養方法の検討を進める。加えて、ベンチ規模の実験プラントを用いた連続処理実験により、処理性能等を確認する。
- 省エネ型深槽曝気技術の実規模実証 (B-DASH)：実証実験による消費電力量、温室効果ガス排出量の削減効果や処理性能の確認や酸素移動効率等を継続して検討する他、モデル設計によるコストの縮減効果、過飽和 N_2 ガス量の測定方法を使った脱気操作の効果についての検討を行う。

(2) バイオガス活用技術

- 開発動向調査・実態調査：効率的なバイオガス創出に関する実態調査等について検討を行う。
- バイオガス創出に係る基礎実験：高温消化と中温消化について更なる知見を得るために、消化温度を実験途中で変更する実験等を行う予定である。
- バイオガス創出・活用技術の開発・実証：共同研究を進め、バイオガス創出・活用技術の開発を行う。

(3) 事後評価調査等

- 汚泥の消化特性（消化ガス発生量、消化率等）は消化設備そのものの運転条件より水処理施設を含めた処理場全体の運転管理手法に大きく関係することから、その要因を明らかにするため全国の嫌気性消化処理場を対象に実態調査を行う。

(4) 脱炭素化推進方策

- 脱炭素化技術の体系化：当初の計画のとおり2か年度の調査を終了する。今後は導入効果算出ツールや本検討で得られた知見を元に、地方公共団体に対する案件形成支援を推進する。

謝辞

2.1節に掲載したヒアリング調査にご協力いただいた民間企業の関係者各位に感謝の意を表します。

2.4節に掲載した基礎実験において担体の提供およびラボ実験にご協力いただいた東洋大学の角野教授を始め関係者各位に感謝の意を表します。

2.5節に掲載した検討は、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として、前澤工業(株)・日本下水道事業団・埼玉県共同研究体により実施されたことを明記するとともに、関係者各位に感謝の意を表します。

3.2節に掲載した基礎実験の汚泥を提供頂いた地方公共団体の関係者各位に感謝の意を表します。

4.1節および4.2節に掲載したヒアリングにご協力いただいた地方公共団体の関係者各位に感謝の意を表します。

最後に、本報で紹介した全ての共同研究の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画，環境省,2021.
- 2) 国土交通省・国土保全局下水道部，公益社団法人日本下水道協会：下水道政策研究委員会脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書～脱炭素社会を牽引するグリーンイノベーション下水道～，国土交通省水管理・国土保全局下水道部，公益財団法人日本下水道協会,令和4年3月.
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001476160.pdf>、(参照 2023.3)
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水道汚泥エネルギー化技術ガイドライン-平成29年度版-，国土交通省水管理・国土保全局下水道部，平成30年1月.
<https://www.mlit.go.jp/common/001217263.pdf>、(参照 2023.2)
- 4) 経済産業省：水ビジネス海外展開施策の10年の振り返りと今後の展開の方向性に関する調査，経済産業省,2020.
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/waterbiz/kenkyukai/kaigai_infra/210401_business.pdf、(参照 2023.2)
- 5) 日本下水道新技術機構：活性汚泥法等の省エネルギー化技術に関する技術資料，日本下水道新技術機構，2014.
- 6) 橋本敏一，渡邊航介，高村和典：省エネ技術導入による下水処理場の電力消費量削減効果の検討，第56回下水道研究発表会講演集，pp.635-637，2019.
- 7) 福井智大，山本明広，茂木志生乃，糸川浩紀：省エネの見地から見たオキシデーションデイチ法の運転実態，第60回下水道研究発表会講演集，pp.874-876，2023.
- 8) 柿沼建至，大月伸浩，小原卓巳，胡錦陽，伊藤司，山本瞬：回転繊維ユニットRBCによる下水処理法の開発～実施設での処理性能評価～，第57回下水道研究発表会講演集，pp.61-63，2020.
- 9) 柿沼建至，大月伸浩，小原卓巳，胡錦陽，伊藤司，山本瞬：回転繊維ユニットRBCの異なる原水に対する処理性能評価，第58回下水道研究発表会講演集，pp.1-3，2021.
- 10) 村上弘毅，土井幸夫，青木満，入江鎌三：好気性し尿処理槽における *Bacillus* spp. の優占化とそれらの生化学的性質，水環境学会誌第18巻第2号，pp.97-108，1995.

- 11) 柿沼建至, 胡錦陽, 茂庭忍, 小原卓巳, 大月伸浩, 福井智大, 糸川浩紀: 回転繊維ユニット RBC-OD 法による処理能力増強効果の長期実証, 第 61 回下水道研究発表会講演集, pp.859-861, 2024.
- 12) 日本下水道事業団技術開発部: 活性汚泥モデルの実務利用の技術評価に関する報告書, 技術開発部技術資料 05-004, 2006.
- 13) 胡錦陽, 茂庭忍, 柿沼建至, 小原卓巳, 大月伸浩, 福井智大, 糸川浩紀: 酸素利用速度に基づく回転繊維ユニット RBC の有機物除去機構, 第 58 回日本水環境学会年会講演集, pp.307, 2024.
- 14) 福井智大, 茂木志生乃, 糸川浩紀, 柿沼建至, 胡錦陽, 茂庭忍, 小原卓巳, 大月伸浩: 回転繊維ユニット RBC-OD 法の直列処理における除去性能及び省エネ効果, 第 57 回日本水環境学会年会講演集, p.183, 2023.
- 15) 柿沼建至, 胡錦陽, 茂庭忍, 小原卓巳, 大月伸浩, 福井智大, 糸川浩紀: 回転繊維ユニット RBC-OD 法の省エネ及び能力増強性能, 第 60 回下水道研究発表会講演集, pp.904-906, 2023.
- 16) 日本下水道事業団技術開発部: アナモックス反応を利用した窒素除去技術の評価に関する報告書, 技術開発部技術資料 10-003, 2010.
- 17) Wang,Z., Zheng,M., Duan,H., Yuan,Z., Hu,S.: A 20-year journey of partial nitrification and anammox (PN/A): from sidestream toward mainstream, *Environmental Science & Technology*, Vol.56, pp.7522-7531, 2022.
- 18) Zhang,L., Jiang,L., Zhang,J., Li,J., Peng,Y.: Enhancing nitrogen removal through directly integrating anammox into mainstream wastewater treatment: Advantageous, issues and future study, *Bioresouce Technology*, Vol.362, 127827, 2022.
- 19) Wang,L., Gu,W., Liu,Y., Liang,P., Zhang,X., Huang,X.: Challenges, solutions and prospects of mainstream anammox-based process for municipal wastewater treatment, *Science of the Total Environment*, Vol.820, 153351, 2022.
- 20) 大森史士, 中島維, 石田将希, 角野立夫, 相川えりか, 橋本敏一: アナモックス反応を利用した下水処理プロセスの開発, 第 57 回下水道研究発表会講演集, pp.49-51, 2020.
- 21) 相川えりか, 糸川浩紀, 谷賢太郎, 伊藤悠稀, 岩本京太, 角野立夫: アナモックス反応を組込んだ新たな下水処理プロセスの窒素除去性能検証, 第 58 回下水道研究発表会講演集, pp.716-718, 2021.
- 22) 相川えりか, 糸川浩紀, 角野立夫: アナモックス反応を組込んだ新たな下水処理プロセスの処理特性, 第 59 回下水道研究発表会講演集, pp.676-678, 2022.
- 23) 茂木志生乃, 山本明広, 糸川浩紀, 五月女瞬, 角野立夫, 清水和哉: アナモックス反応を組込んだ下水処理プロセスの処理条件の検討, 第 60 回下水道研究発表会講演集, pp.1039-1041, 2023.
- 24) 村岡正季, 福井智大, 茂木志生乃, 山本明広, 山森隼人, 熊越瑛, 島田正夫, 岡村五朗, 井上剛, 糸川浩紀, 新川祐二: I-1 2030 年目標に向けた脱炭素化技術の開発, 技術開発年次報告書(令和4年度), pp.2-78, 日本下水道事業団, 2024.
- 25) 藤井秀夫: 深層曝気法による下水処理の新しい展開, *環境技術*, Vol.15, No.11, pp.836-841, 1986.
- 26) Water Environment Federation: *Standard Methods*, pp.2-89-2-90, 2004.

- 27) 中町和雄, 綿引綾一郎, 円谷輝美, 山本明広, 糸川浩紀, 中島浩, 吉野徳幸, 千島俊吾, 小澤光二郎, 安藤芳浩, 山田裕史: 省エネ型深槽曝気技術の電力削減効果等の実証, 第 61 回下水道研究発表会講演集, pp.823-825, 2024.
- 28) 笥尚輝, 綿引綾一郎, 円谷輝美, 石川岳学, 山本明広, 糸川浩紀, 中島浩, 吉野徳幸, 山田裕史: 省エネ型深槽曝気技術における反応タンク酸素移動効率の検証, 第 61 回下水道研究発表会講演集, pp.829-831, 2024.
- 29) ガンバトゾルザヤ, 張亮, 山本明広, 糸川浩紀, 中島浩, 吉野徳幸, 山田裕史: 省エネ型深槽曝気技術における反応タンクの溶存酸素濃度の測定方法, 第 61 回下水道研究発表会講演集, pp.826-828, 2024.
- 30) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 高効率消化システムによる地産地消エネルギー活用技術導入ガイドライン(案), 国総研資料第 1092 号, 2022.
- 31) 川尻聡: コンパクトメタン発酵システムの開発, 竹中技術研究報告, No.73, pp.44-53, 2017.
- 32) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 温室効果ガスを抑制した水熱処理と担体式高温消化による固形燃料化技術導入ガイドライン(案), 国総研資料第 870 号, 2015.
- 33) 国土交通省国土技術政策総合研究所: バイオガス中の CO₂ 分離・回収と微細藻類培養への利用技術導入ガイドライン(案), 国総研資料第 1003 号, 2017.
- 34) 宮後愛美, 青山和樹, 田中孝二郎, 田中努: 低分解性脱水汚泥に適したマイクロ波連続射式メタン発酵前処理装置の運転報告, 第 30 回廃棄物資源循環学会研究発表会, pp.263-264, 2019.
- 35) 日本下水道新技術機構: オゾン可溶化反応装置(高濃度オゾンおよび特殊攪拌翼による濃縮余剰汚泥を対象とした可溶化反応装置), 令和 3 年度建設技術審査証明事業(下水道技術)技術概要書, 2021.
- 36) 国土交通省: 下水道が有するポテンシャルと現状の取り組みについて, 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会第 1 回資料, 国土交通省, 2021.
- 37) 大阪ガス: メタネーションに関する下水処理場でのフィールド試験の開始について~国土交通省の令和 4 年度下水道応用研究に採択~, 大阪ガス, 2023.
https://www.osakagas.co.jp/company/press/pr2022/1305412_49634.html
- 38) 経済産業省: 2030 年合成メタン導入に向けた挑戦第 6 回メタネーション推進官民協議会, 資料 4, 2022.
- 39) 坂部敬祐: 「こうべバイオガス」への取り組み, 第 34 回兵庫自治研修会, 2012.
https://www.jichiro.gr.jp/jichiken_kako/report/rep_hyogo34/13/1309_jre/index.htm
- 40) 吸着技術工業株式会社: メタン精製装置(バイオガス精製装置), 吸着技術工業株式会社, 2024.
<https://www.kyuchaku.co.jp/products1.html>
- 41) 大陽日酸: PSA 式バイオガス精製装置, 大陽日酸, 2024.
<https://www.tn-sanso.co.jp/gasequip/products/detail.html?pdid=164>
- 42) ポリプラ・エボニック株式会社: バイオガス膜, ポリプラ・エボニック株式会社, 2024.
<https://www.pp-evonik.com/product/detail/60>
- 43) UBE 株式会社: 二酸化炭素分離膜モジュール, UBE 株式会社, 2024.
<https://www.ube.com/contents/jp/chemical/separation/gas-separation-membrane.html>
- 44) 大阪ガス: オンサイト型コンパクト水素製造装置「HYSERVE」, 大阪ガス, 2023.
https://www.daigasgroup.com/rd/topic/1310016_53539.html

- 45) 新潟県：三菱ガス化学株式会社と脱炭素社会の実現に向けた未利用消化ガス売却に関する基本協定の締結式を行いました，新潟県，2023.
<https://www.niigata-nippo.co.jp/articles/-/229488>
- 46) 三菱重工株式会社：広島市のバイオマス発電所向け，商用初の小型 CO₂回収装置が稼働開始，三菱重工，2022.
<https://www.mhi.com/jp/news/22063001.html>
- 47) 三菱重工株式会社：回収後 CO₂ の液化共同実証試験を開始，三菱重工，2023.
<https://www.mhi.com/jp/news/231016.html>
- 48) 佐賀市：二酸化炭素分離回収事業について，佐賀市，2022.
<https://www.city.saga.lg.jp/main/44494.html>
- 49) 国土交通省：下水汚泥エネルギー化技術ガイドラインー平成29年度版ー，2017.
- 50) 日立造船：SOFC（固体酸化物形燃料電池），日立造船，2023.
<https://www.hitachizosen.co.jp/business/field/electrolytic-hydrogen/sofc.html>
- 51) ミウラ：発電効率63%の高効率燃料電池システム「FC-6M」の販売開始について，ミウラ，2023.
<https://www.miuraz.co.jp/news/newsrelease/2024/1528.php>
- 52) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 後編 ー2012年版ー，p.344.
- 53) 日本下水道事業団：技術開発年次報告書（令和4年度），pp.26-34，2023.
- 54) 日本下水道協会：下水試験方法 ー2012年版ー，日本下水道協会，2012.
- 55) 日本下水道協会：下水道維持管理指針 実務編 ー2014年版ー，日本下水道協会，2014.
- 56) 野池達也：メタン発酵，技報堂出版，2009.
- 57) 国土交通省：国水事第38号 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，国土交通省，2017.
- 58) 日本下水道事業団：技術開発年次報告書（令和4年度），pp.53-58，2023.

I-2 カーボンニュートラル型下水処理 システムの開発

I-2 カーボンニュートラル型下水処理システムの開発

村岡正季、山本明広、新川祐二、糸川浩紀

1. 開発課題の概要

本開発課題では、2050年度までの下水道分野の温室効果ガス（GHG）排出量の実質ゼロを実現するため、2040年度までの実用化を目標に、従来の下水処理システムに替わる革新的な「カーボンニュートラル型下水処理システム*」を開発する。

1.1 背景および目的

我が国では、2020年10月に「2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指す」ことを宣言した。この長期目標の達成に向けて、下水道分野においても中長期的な視点で取り組む必要があるが、カーボンニュートラル（GHG排出量の実質ゼロ）を実現するためには、現在の技術水準を上回る革新的な下水処理システムへの転換が必要である。2022年3月にとりまとめられた「下水道政策研究委員会 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書」¹⁾においても、従来の下水処理方式のみにとらわれず、抜本的なGHG排出量削減を進めていくことを求めている。

そこで本開発課題では、2050年カーボンニュートラルを見据え、革新的な下水処理システムの2040年度までの実用化に向けて、現在の技術を上回る水準での処理に係るエネルギー使用量の極小化や処理工程でのGHG排出量の極小化、下水が有するエネルギーポテンシャル利用の最大化の実現を目標に、従来の下水処理システムに替わる「カーボンニュートラル型下水処理システム」の開発を目指す。なお、本開発課題は中長期的に取り組む必要があることから、「JS技術開発・活用基本計画2022」の計画期間においては、カーボンニュートラル型下水処理システムのコンセプトおよび次期計画期間における研究・開発方針を提示することを目標とし、次期計画期間以降、早期に要素技術等の基礎実験に着手することを想定している。

1.2 開発項目

本開発課題では、以下の開発項目を設定して技術開発を行う。

(1) カーボンニュートラル型下水処理システム

下水道分野の2050年カーボンニュートラルの達成に向けては、現行の下水処理技術の改良・改善に加えて、これらに替わる革新的な下水処理システムの開発と導入が必要である。そこで

* 「JS技術開発・活用基本計画2022」では、「カーボンニュートラル型下水処理システム」を以下のように定義している：「下水が有するエネルギーポテンシャルを最大限に利用する下水中の有機物回収/濃縮技術と創エネルギー技術の組み合わせや、これに従来の活性汚泥法に替わる超省エネルギー型の水処理技術（嫌気性水処理技術、新規膜処理技術等）をさらに組み合わせる等、水処理・汚泥処理の全体最適化により、カーボンニュートラルを達成する新たな下水処理システム」。

本開発項目では、「カーボンニュートラル型下水処理システム」の要素となり得る技術の開発動向調査等を実施すると共に、新たな下水処理システムの構築に向けた調査に着手する。

① 国内外の開発動向調査

文献やホームページ等による国内・海外の技術調査および「カーボンニュートラル型下水処理システム」の要素となり得る技術の抽出を行う。

② 新たな下水処理システム構築に向けた調査

①で得られた技術情報に基づき、カーボンニュートラル型下水処理システムの確立に向けて、要素技術の目標性能の設定、要素技術の組み合わせによる導入効果を検討する。

③ 成果集約・FSなどの検討

上記の成果をとりまとめ、カーボンニュートラル型下水処理システムのコンセプトおよび次期基本計画での実施事項を検討する。

1.3 本年度の実施内容

本年度は、前節に記載の開発項目・実施項目のうち、以下について実施した。

(1) カーボンニュートラル型下水処理システム

① 国内外の開発動向調査 (2.1 節)

2. カーボンニュートラル型下水処理システム

2.1 国内外の開発動向調査

(1) 検討の概要

下水道分野の2050年カーボンニュートラルの実現に向けては、現行の下水処理技術の改良・改善に加えて、これらに替わる革新的な技術の開発と導入も必要である。そこで本検討では、カーボンニュートラル型下水処理システムの開発における第一ステップとして、文献による国内・海外の技術調査とシーズ技術の抽出、下水道分野における中長期的な脱炭素の取組に関する学識経験者等へのヒアリング調査、本システムの全体フローの検討を実施する。

本検討は全体で2か年の調査研究を実施し、前年度は国内外の文献調査を行い、本年度はヒアリング調査とカーボンニュートラル型下水処理システムの全体フローを検討した。

(2) 検討方法

① ヒアリング調査

下水道分野の脱炭素政策や脱炭素化技術に関わりの深い学識経験者6名と、脱炭素の取組を先進的に実施している地方公共団体4都市を対象に、個別にインタビュー方式のヒアリング調査を実施した。

学識経験者に対しては、下水道分野における中長期的な脱炭素の取組に関する知見や考え方を伺った。特に、好気性・浮遊型生物処理を基本とする現行の処理方法から、これらとは抜本的に異なる技術への転換の可能性や必要性、技術の転換が可能または必要な場合に有望な技術分野と技術開発の考え方等を中心にヒアリングを行った。地方公共団体の担当者に対しては、同様の項目を、下水処理場を運営する立場で回答いただいた。

② カーボンニュートラル型下水処理システムの全体フローの検討

前年度の文献調査結果と、本年度に実施したヒアリング調査結果を踏まえて、下水道のポテンシャルを最大限活用できるカーボンニュートラル型下水処理システムの全体フローの検討およびその要素技術となり得る技術の整理を行った。

(3) 検討結果

① ヒアリング調査

ヒアリング調査で得られた意見やコメントについて、表2-1に示すとおりカーボンニュートラル型下水処理システムの基本的な考え方、2050年カーボンニュートラルに向けた下水道のあり方、カーボンニュートラルの推進方策に分類して整理した。下水処理システムの基本的な考え方としては、従来の活性汚泥法をベースにしたシステムではなく、まったく新しい発想が不可欠であること、広域化による脱炭素効果や炭素の固定化も評価すべきであること等が挙げられた。下水道のあり方としては、カーボンニュートラルを下水道だけで考えるのではなく他分野や地域産業と連携して目指すべき等が挙げられた。推進方策では、効率の良い機器構成の採用や、発注側でもリスクを受容することが必要等の意見が挙げられた。

表2-1 学識経験者・地方公共団体担当者の主な意見・コメント

<p>●:学識経験者の意見・コメント ○:地方公共団体の意見・コメント</p> <p>【カーボンニュートラル型下水処理システムの基本的な考え方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ●下水が持つエネルギーは化学エネルギー(有機物)と熱エネルギー(下水熱)のみ。カーボンニュートラルに向けてはこれらの最大活用が不可欠。 ●下水処理においては、従来の活性汚泥法をベースにするのではなく、まったく新しい発想にしないと2050年カーボンニュートラルは困難。 ●下水処理場の広域化による脱炭素効果も評価すべき。 ●汚泥の炭化・乾燥や肥料化による炭素の固定も評価すべき。 ●アンモニアを(肥料として)回収することのメリットは、①ハーバーボッシュ法によるエネルギー使用量の低減、②処理場におけるN₂O発生量の削減という2つの効果の評価すべき。 <p>【2050年カーボンニュートラルに向けた下水道のあり方】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○カーボンニュートラルを下水道で完結させる必要はない。ALL○○市でカーボンニュートラルを目指すべきで、グリーン電力調達や排出量取引を活用することも重要。 ●大規模な都市では処理場単体で役割を果たせる(処理場がバウンダリーとなる)が、中小都市では下水道だけでは成立しない(地域がバウンダリーとなる)可能性。 ○下水道分野のカーボンニュートラルのためには、環境(廃棄物)分野や地域産業との連携の必要性は感じている。 ●“脱炭素貧乏”になってはいけない。カーボンニュートラルは今や錬金術になり得るため、下水処理場に集まってきた資源をいかに収入に結びつけるかを考えることが重要。 ●地域資源の活用が重要。地域バイオマスの受入による「メタン生成工場」や、地域で発生するCO₂を受け入れて固定化する「脱炭素化施設」とする発想もあり得る。 ●静脈だけでなく動脈産業と連携して下水道の価値を高めるべき。 ●プラネタリー・バウンダリーの考え方で警鐘が鳴らされている窒素・リン循環について、下水道の立ち位置と役割を認識すべき。 <p>【カーボンニュートラルの推進方策】</p> <ul style="list-style-type: none"> ○市側でのリスクの受容が必要。民間にリスクを押し付けると、その分が費用増として市へ返ってくる。市が一部のリスクを受け入れることで、電力削減などを民間が考えるようになる。 ○これまでは段階的整備を基本として容量の異なる主ポンプや送風機を採用してきたが、下水道が概成した今後は、特定の機器に運転を集中させることなく効率の良い運転が行えるような機器構成(設計)とすべき。 ○カーボンニュートラルのみならず今後の下水道分野の課題解決は市職員だけでは困難であり、民間活用が重要。しかし、地方の一般市は見向きもされないと考えられるので、民間事業者が当市を選んでくれるような環境や条件づくりが重要。 ○下水道事業におけるカーボンニュートラルに向けてはN₂O(窒素循環)が大きな課題になると考えている。一方で、カーボンニュートラルについて定量的な議論ができておらず、課題感が職員によって異なるのも現状。
--

② カーボンニュートラル型下水処理システムの全体フローの検討

国内外の文献調査と学識経験者・地方公共団体へのヒアリング調査の結果を基に、下水道のポテンシャルを最大限活用できるカーボンニュートラル型下水処理システムの全体フローの一例を図2-1の通り整理した。これは、流入下水中に含まれる有機物を分離・回収して嫌気性消化や固形燃料化によりエネルギーとして最大限活用するとともに、返流水から窒素・リンを回収または除去し、有機物回収後の水処理には可能な限りエネルギーを使用しないという考え方である。加えて、下水・放流水の下水熱利用、近隣で発生するバイオマスや排出される二酸化炭素の受入れの可能性も考慮した。ただし、焼却や水処理の過程で発生するN₂Oの削減技術は含めていない。

図2-1に例示した要素技術は、前年度および本年度に調査した技術を列挙したものであるが、脱炭素の効果や2050年に向けた実用化の可能性は考慮していないため、今後はこれらの技術のスケールアップや組合せの可能性を検討し、処理フローの実現可能性とカーボンニュートラル実現に向けた効果等の評価する必要がある。

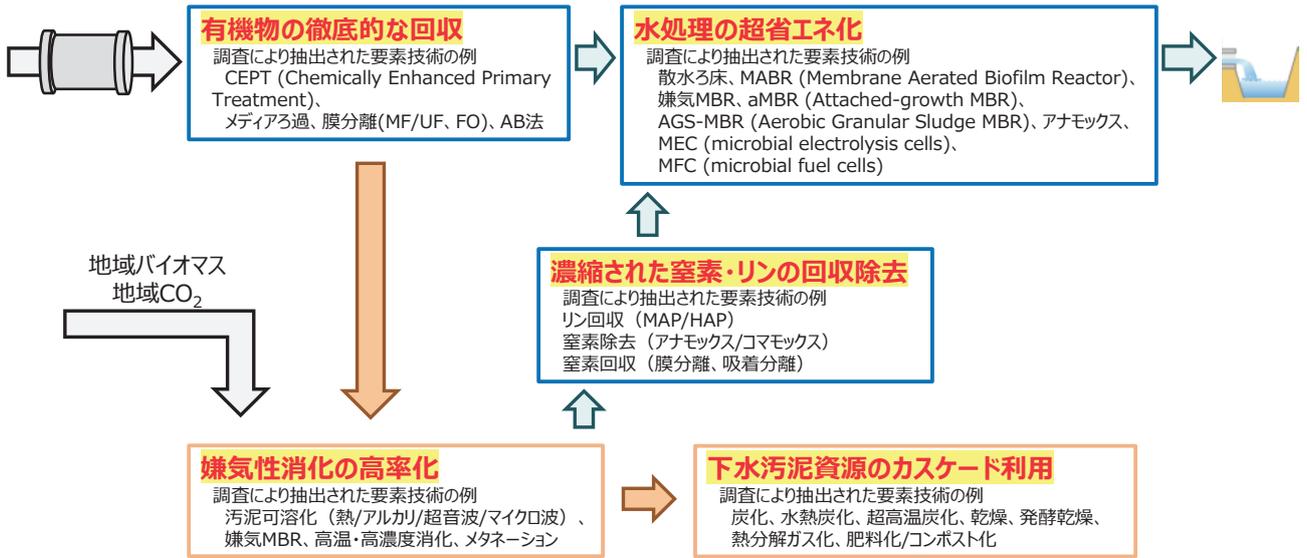


図2-1 カーボンニュートラル型下水処理システムのフローと要素技術の例

なお、ヒアリング調査で示されたように、地域でカーボンニュートラルを目指すべき、環境（廃棄物）分野や地域産業との連携が必要、といった意見に対し、図2-2に示すように下水処理場の規模、施設、運転等の条件を考慮して、下水道による地域や他分野への貢献等、バウンダリーを広げてカーボンニュートラルに取り組むことも重要と考えられた。

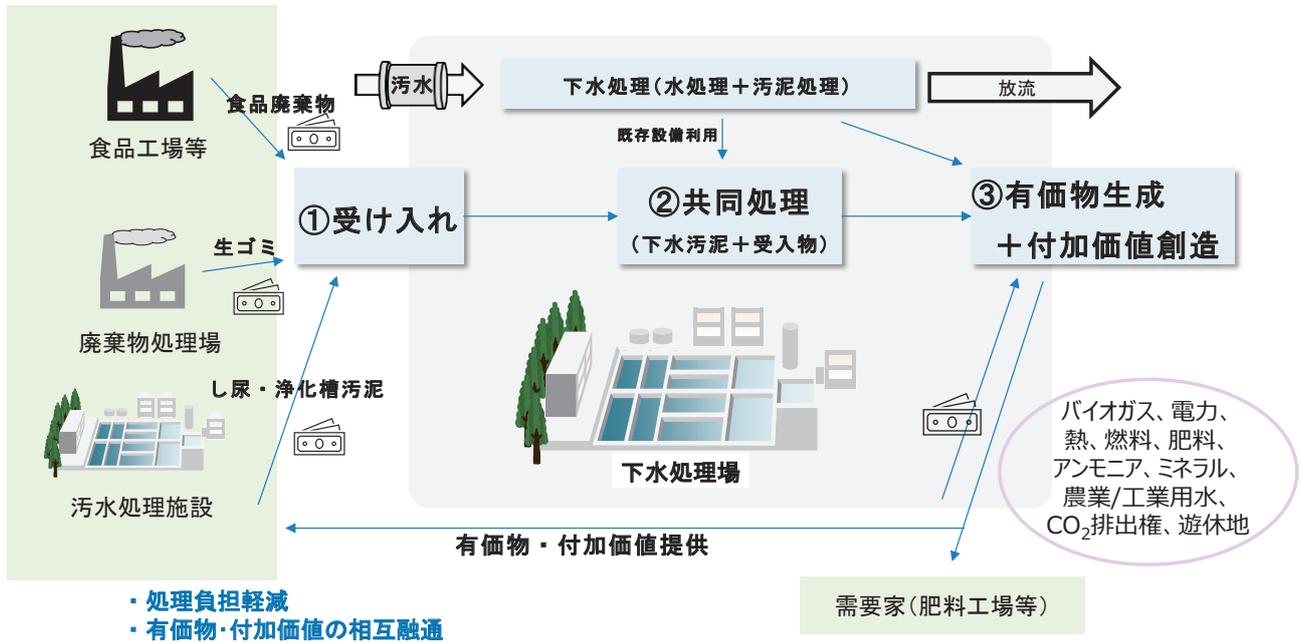


図2-2 地域に貢献する下水道のイメージ

3. 検討結果の総括

3.1 本年度の成果

本年度は、学識経験者・地方公共団体へのヒアリング調査を実施し、カーボンニュートラル型下水処理システムの基本的な考え方等の意見・コメントを整理した。次いで、下水道のポテンシャルを最大限活用できると考えられるカーボンニュートラル型下水処理システムの全体フローの一例を検討し、前年度に実施した国内外の文献調査の結果を基に、これを構成する要素技術の例を整理した。ただし、ヒアリング調査では、地域でカーボンニュートラルを目指すべき、環境（廃棄物）分野や地域産業との連携が必要、といった意見もあり、下水道による地域や他分野への貢献等、バウンダリーを広げてカーボンニュートラルに取り組むことも重要と考えられた。

3.2 今後の予定

1.2節で示したカーボンニュートラル型下水処理システムのコンセプトの検討に向けて、今後は各要素技術の目標性能設定や組み合わせによる導入効果を検討する。また、競争的研究資金を活用して先行的に開発を進めていくことも予定している。

謝辞

ヒアリング調査に御協力いただきました学識経験者及び地方公共団体担当者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部，公益社団法人 日本下水道協会：下水道政策研究委員会 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書 ～脱炭素社会を牽引するグリーンイノベーション下水道～，国土交通省水管理・国土保全局下水道部，公益社団法人 日本下水道協会，2022.

Ⅱ-1 下水処理の更なる低コスト化技術の開発

Ⅱ-1 下水処理の更なる低コスト化技術の開発

小柴卓也、山森隼人、山本明広、村岡正季、糸川浩紀、新川祐二

1. 開発課題の概要

本開発課題では、地方公共団体における持続的な下水道事業経営に貢献するため、社会インフラとして下水道施設が有すべき機能の維持・向上に資する技術の開発・活用を推進する。

1.1 背景および目的

我が国における下水道施設の普及は1970年代から2000年代にかけて急速に進み、2005年以前に供用開始した下水処理場の割合は9割にもものぼる。そのため、現在では標準耐用年数を超える大量の施設・設備のストックを抱える下水処理場が多く、再構築の需要が高まっている。加えて、今後、広域化・共同化の過程で施設の統廃合を実施するケースが増加することが想定される。しかしながら、人口減少に伴う下水道使用料の減少等により施設の再構築や統合時の増設等に必要な費用を確保することが厳しい状況にある地方公共団体が多い。

地方公共団体において持続的な下水道事業の経営を行うためには、下水道施設の再構築等の際して、下水処理に係るコスト（建設費および維持管理費）を従来よりも削減できる低コスト化技術の開発・実用化を更に進める必要がある。

本開発課題では、水処理・汚泥処理における低コスト化に資する新たな技術を開発・実用化すると共に、過去に開発された低コスト化技術についても導入施設における事後評価調査を行い技術の改良・改善等を図る。

1.2 開発項目

本開発課題では、以下の4つの開発項目について技術開発を行う。

(1) 水処理能力増強技術

従来、流入水量の増加や高度処理化に伴う水処理能力の低下に対しては、施設増設が第一の選択肢にあった。しかしながら、水処理施設の増設はコストが大きく、更には人口減少等に伴い将来的に流入水量が減少する場合には増設分の能力が不要になってしまう可能性がある。そこで、既設を有効活用してライフサイクルコスト（LCC）を抑えながら処理能力を増強することが可能な「水処理能力増強技術*」について、新たな技術の開発・実用化を行う。

前・基本計画（2017～2021年度）からの共同研究を継続すると共に、新たに実施する開発動向調査を踏まえて公募型共同研究を実施する。更に、開発・実用化された水処理能力増強技術を速やかに実施へ導入できるように、技術を体系的に整理した上で導入検討マニュアルの策

* 水処理能力増強技術とは、流入水量の増加や高度処理化等に伴い、既存の水処理施設（最初沈殿池、反応タンク、最終沈殿池）の容量では処理能力（処理可能水量）が不足する場合に、当該容量での処理可能水量を増加させることが可能な技術を指す。

定を行う。一方、既に実施設へ導入された水処理能力増強技術についても処理性能等を確認し技術の改良・改善を図るための事後評価調査等を実施する。

① 水処理能力増強技術の海外動向調査

国外で実用化されている水処理能力増強技術について、ホームページや文献等で調査を行い、処理性能や導入効果等の情報を集約する。

② 水処理能力増強技術の開発・実証

水処理能力増強技術の実証実験を行い、実用化を図る。前・基本計画期間に開始した共同研究2件を進めると共に、2023年度には新規の共同研究を公募し反応タンクおよび最終沈殿池を対象とした新たな水処理能力増強技術の開発を行う。

③ 事後評価調査(導入フォローアップ)

水処理能力増強技術に類する新技術等について、導入第一例となる下水処理場や、その他導入後の課題対応を要する下水処理場等を対象に、フォローアップのための事後評価調査を行う。

④ 水処理能力増強方策の検討手法の確立

複数の水処理能力増強方策(水処理能力増強技術の導入に限らない)から最適な方策を選定できる手法や導入効果の評価手法を検討すると共に、マニュアル化を図る。

(2) 水処理改築低コスト化技術

設備更新や耐震補強の工事等に伴う水処理施設の一時的な処理能力不足に対して、仮設の水処理技術が有用であるが、現状では仮設水量が千 m³/d を超える規模を対象とした技術が十分ではない。そこで、水処理施設の改築時等に低コストで仮設処理を行うことが可能な技術の開発を行う。

MBBR(Moving Bed Biofilm Reactor: 移動床式生物膜法)を用いる新たな仮設水処理技術を実証し実用化を図る。加えて、既に JS 新技術 I 類に選定されている仮設水処理装置について、供用時に事後評価調査を行い、基準類への反映に向けて稼働状況や性能等を整理する。

① 仮設水処理技術の開発・実証

MBBR を用いる新たな仮設水処理技術について 2022 年度からの共同研究にて開発を行う。

② 事後評価調査(仮設水処理ユニット)

2017 年 3 月に JS 新技術 I 類に選定された「単槽式 MBR と高速凝集沈殿法による仮設水処理ユニット」について、設備更新工事に際してこれを使用する下水処理場において処理性能等を確認するための事後評価調査を行う。

(3) 汚泥処理低コスト化技術

汚泥処理においては、低動力化・低含水率化等による低コスト化が求められると共に、近年、高 VS 化が進む下水汚泥性状の変化や、消化汚泥等の難脱水汚泥に対して、安定した脱水性能が求められている。そこで、汚泥処理の低コスト化に資する汚泥濃縮・脱水技術の開発を行う。

実施内容として、汚泥濃縮・脱水技術について、公募型共同研究を行う。また、開発・実用化された技術を速やかに実装できるように、技術を体系的に整理した上で導入検討マニュアルの策定を行う。

① 低コスト型汚泥濃縮機・汚泥脱水機の開発・実証

2022 年度から新規の共同研究を公募し、汚泥濃縮機および汚泥脱水機の処理性能向上や LCC の縮減を図ることが可能な技術を開発する。

② 低コスト型汚泥濃縮・脱水技術の体系化

JS が開発に関与した汚泥濃縮機および汚泥脱水機に係る新技術等の体系化を図ると共に、低コスト化技術を集約化し、導入機種を検討するためのマニュアル化を行う。

(4) 事後評価調査(低コスト化技術)

地方公共団体において、持続的な下水道事業の経営を行うための 1 つの方策として下水処理の低コスト化技術の導入が想定されるが、導入実績を有する新技術(選定技術)について、更に導入を進めるために、基準類への反映に向けた事後評価調査を行う。

① JS 新技術の事後評価調査(低コスト化技術)

以下の 5 技術を対象に、導入施設における事後評価調査を実施する。

- ・ 圧入式スクリープレス脱水機 (IV 型) による濃縮一体化脱水法
- ・ 破碎・脱水機構付垂直スクリー式除塵機
- ・ 多重板型スクリープレス脱水機 - II 型
- ・ 全速全水位型横軸水中ポンプ
- ・ 下水汚泥由来繊維利活用システム

1.3 本年度の実施内容

本年度は、1.2 節に記載の開発項目のうち、以下の 3 項目を実施した。

(1) 水処理能力増強技術

- ② 水処理能力増強技術の開発・実証 (2.1 節)
- ④ 水処理能力増強方策の検討手法の確立 (2.2 節)

(2) 水処理改築低コスト化技術

- ① 仮設水処理技術の開発・実証 (3.1 節)

(3) 汚泥処理低コスト化技術

- ① 低コスト型汚泥濃縮機・汚泥脱水機の開発・実証 (4.1 節)

(4) 事後評価調査(低コスト化技術)

- ① JS 新技術の事後評価調査 (低コスト化技術)
 - ・ 圧入式スクリープレス脱水機 (IV型) による濃縮一体化脱水法 (5.1 節)

2. 水処能力増強技術

2.1 水処理能力増強技術の開発・実証

(1) 検討の概要

現在、我が国では担体投入活性汚泥法や膜分離活性汚泥法（MBR）といった水処理能力増強技術が実用化されているものの、コスト高等の理由から必ずしも導入実績は多くない。より多様な条件において低コストで処理能力の増強を図るためには、技術のラインアップを充実させるための技術開発を継続して実施する必要がある。

本検討では、民間企業等との共同研究により新たな水処理能力増強技術の開発・実用化のための実証実験等を実施する。前・基本計画（2017～2021年度）に開始した共同研究を継続すると共に、2023年度に新たな共同研究を公募し更に新規の水処理能力増強技術の開発を行う。

昨年度は、前・基本計画期間から継続している4技術に係る共同研究を実施し、2件について完了した。

本年度は、以下の2技術に係る共同研究を継続すると共に、「新たな水処理能力増強技術の開発」と題した共同研究の公募を開始し、1件を選定した（研究開始は2024年度）。

- ① 能力増強型水処理システム（JS、荏原実業㈱；2018年度～）
- ② 最終沈殿池の処理能力向上技術（メタウォーター㈱・日本下水道事業団・松本市共同研究体；2018年度～）

① 能力増強型水処理システム

標準活性汚泥法の既設反応タンクに固定床担体を付加することで処理能力を1.5倍程度に増強可能な「能力増強型水処理システム」の実用化を目指し、JS技術開発実験センター内にパイロットプラントを設置して2019年7月から長期の実証実験を行っている。

② 最終沈殿池の処理能力向上技術

最終沈殿池の流出部にろ過機能を付加することで、最終沈殿池の処理性能を量的もしくは質的に向上させることが可能な「最終沈殿池の処理能力向上技術」を確立することを目的に、実規模の実証実験を行っている。本検討は、2017、2018年度のB-DASHプロジェクト（実規模実証）において松本市両島浄化センターを実証フィールドとして処理性能等を実証した後、2019年度以降は、前記の共同研究体による自主研究として、継続して処理水質の長期安定性の確認や課題解決策の検討等を行っているものである。

(2) 検討方法

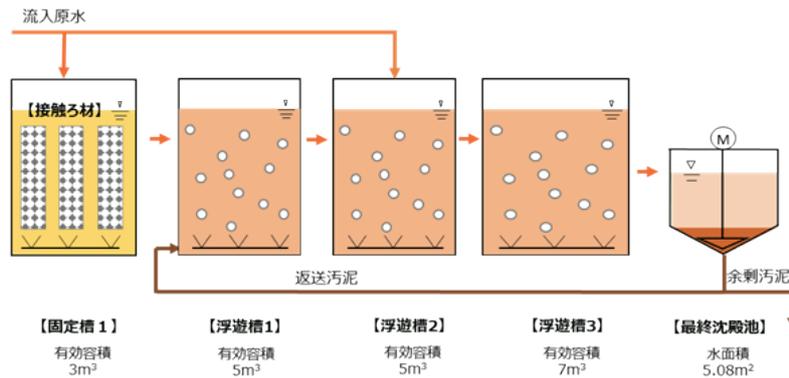
① 能力増強型水処理システム¹⁾⁻³⁾

本技術は、標準活性汚泥法の反応タンクの上流端区画に接触ろ材を設置して固定床型反応槽とし、生物膜法と活性汚泥法の直列の併用処理とすることで、反応タンクの処理能力増強を可能とする新たな水処理システムである。4区画に分割された標準活性汚泥法の一般的な反応タンク構造を想定した場合、上流端の1区画に接触ろ材を投入して「固定槽」とし、残りの3区画を活性汚泥法による「浮遊槽」とした上で、流入水（最初沈殿池越流水）を固定槽と浮遊槽

第2槽目に所定の水量比でステップ流入させる。最終沈殿池からの返送汚泥を浮遊槽第1槽目に流入させることで、固定槽は活性汚泥が存在しない固定床の反応槽となる。本技術では硝化促進運転を前提とし、浮遊槽第2槽目は、曝気を抑制することで脱窒によりアルカリ度を回復させる無酸素槽とする。

上記の処理フローを有するパイロットプラント(図2-1)をJS技術開発実験センター内に設置し、標準活性汚泥法に対して1.5倍の水量負荷の条件にて目標処理水質(BOD:10mg/L以下、SS:10mg/L以下)を達成することを目指し、各種条件での処理性能等を確認してきた。本プラントの処理能力は90m³/dであるが、本水量において、反応タンクHRTが5.3hrと標準活性汚泥法の一般的なHRT(8hr)に対して1.5倍の水量負荷となる。

昨年度の検討では、流入水量90m³/d(HRT:5.3hr)で時間あたりの流量変動(50~130m³/d;ピーク比1.4倍)を与える運転を行ったところ、中水温期(2022年10月~11月)に至った時点で、N-BODの発現により処理水のBOD濃度が目標値を超過することが確認された。そのため本年度は、昨年度までの運転データに基づき硝化を促進するための運転条件を再検討し、(a)原水の分配比率の見直し(固定槽:浮遊槽第2槽目の分配比率を従前の75:25から55:45へ変更)、(b)原水へのアルカリ添加の追加(原水のアルカリ度/NH₄-N比が7を下回る時間帯にNaHCO₃を添加し同比を7程度まで引き上げ)、という二つの措置を加えた上で、改めて通年での実証運転を7月に開始した。



※浮遊槽2では、曝気を抑制した無酸素槽とし硝化反応で消費されたアルカリ度を回復させる。

図2-1 能力増強型水処理システムのパイロットプラントの処理フロー

② 最終沈殿池の処理能力向上技術⁴⁾

本技術は、最終沈殿池の流出部にろ過設備を設置し、沈殿分離し切れなかった浮遊物質を捕捉・除去することで、最終沈殿池の処理性能を向上させるものである。ろ過処理を継続すると必然的にろ層内に固形物が蓄積するため、これを定期的に洗浄し最終沈殿池より上流へ排出する洗浄設備を併せて設置する(図2-2)。なお、本技術の実証実験では、従来の最終沈殿池と同等の処理水質を得ながら従来に対して処理水量の増加を可能とすることを「量的向上」、従来と同等の処理水量において急速ろ過水相当の処理水質を可能とすることを「質的向上」と称している。

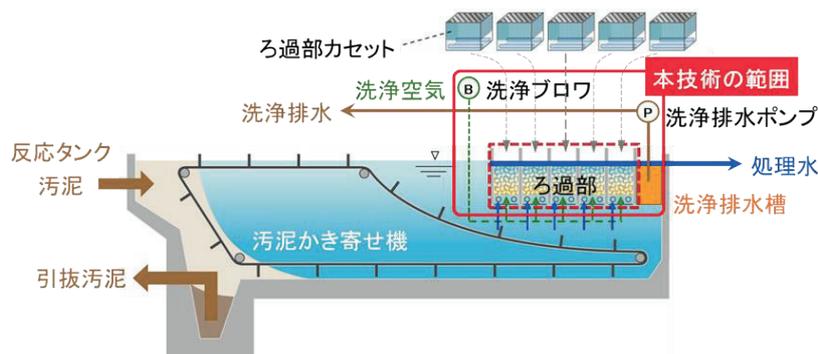


図2-2 最終沈殿池の処理能力向上技術の概略図

2017年度のB-DASH実証研究において、両島浄化センターの水処理系列1系（処理能力10,950m³/d）の最終沈殿池3池（1池あたり3,650m³/d）に本技術を設置して実証設備（実証系）とし、以降、隣接する2系の最終沈殿池1池を対照系として長期間の実証実験を行ってきた。

2017、2018年度のB-DASH実証研究では、対照系の流入水量に対して、実証系1池の流入水量を2倍程度にした条件で運転した結果、四季を通して実証系の処理水質は対照系と同等であり量的向上の効果が確認された。加えて、実証系と対照系の流入水量が同程度の条件において運転した結果、実証系では対照系よりも良好な処理水質（急速ろ過並み）が得られ質的向上の効果が確認された⁴⁾。

一方、2019年度からの自主研究では、引続き実証設備の運転を継続し、以下の事項を検討してきた。

- 2倍水量での長期運転データの蓄積
- 量的向上と質的向上の両者を図る運転の長期（通年）実証
- 運用に際して見出された設備的課題の解決策の検討および改良効果の検証
- 本技術の適用条件の明確化の検討（処理可能水量の推定方法の検討）

本年度は、ろ過部カセットの底部スクリーンの閉塞対策として、昨年度までの小型装置等を用いた検討に基づき、実証施設3池のうち1池のスクリーンの仕様を変更し、その後の効果検証を行った。具体的には、ろ過部カセット上部および下部の両スクリーンについて、従前のパンチングスクリーン（開口φ4mm、開口率10%）からメッシュスクリーン（開口5.4mm、開口率55%）へ変更する改造工事を11～12月に実施し、12月末から通水を再開した。加えて、冬季の高負荷条件のデータを蓄積すべく、1～3月の期間、実証施設1池の処理水量を意図的に引き上げる高負荷運転を行った。

(3) 検討結果

① 能力増強型水処理システム

前述の措置を施した上で2023年7月から実証運転を開始した。2024年3月までの実績では、流入水量90m³/d（反応タンクHRT：5.3hr）、流入水量の時間変動ピーク比1.4の条件に

において、処理水の BOD 濃度が 10mg/L 以下、NH₄-N 濃度が概ね 1mg/L 以下と、低水温期を含めて硝化を促進し N-BOD の発現を抑えた処理が可能との見通しが得られた³⁾。

② 最終沈殿池の処理能力向上技術

ろ過部カセットのスクリーンを交換した後の3ヶ月間の実績では、ろ抗(ろ過部の通水抵抗)等の指標にスクリーンの閉塞を示す傾向は現れておらず、メッシュスクリーンによる運転を継続して長期的な状況を確認する意義があると判断された。冬季の高負荷運転については、実施としての運転上の制約から必ずしも目標とする水量まで引き上げることができなかったものの、処理水量増加時の処理性能等についてデータを蓄積することができた。

(4) まとめ

共同研究において2つの水処理能力増強技術に係る実証実験を行った結果、以下の成果が得られた。

① 能力増強型水処理システム

N-BOD の発現による処理水 BOD 濃度の目標値超過について、運転条件を再検討し、必要な措置を加えた上で通年での実証運転を7月に開始した。2024年3月時点において、低水温期を含めて N-BOD の発現を抑えた処理が可能であるとの見通しが得られている。

② 最終沈殿池の処理能力向上技術

ろ過部カセットの底部スクリーンの閉塞対策としてスクリーンの仕様変更を行い、通水を再開した。以降の3ヶ月間の実績では、スクリーンが閉塞する傾向は現れていないことから、長期的に状況確認を継続することとした。また、冬期(1~3月)の期間、高負荷運転を行い、処理性能等に関するデータを蓄積した。

2.2 水処理能力増強方策の検討手法の確立

(1) 検討の概要

計画設計や実施設計、もしくはその前段の検討の場面で水処理施設の能力増強を検討する際には、既存の水処理施設に対して、複数技術の組み合わせを含めた最適な方策を見出す必要がある。個別の水処理能力増強技術については、導入検討手法や設計手法が各々の技術資料等において提示されているが、多数の技術の候補の中から所与の条件に対して最適なもの（組み合わせを含む）を選定するための方法論は整備されていない。

本検討は、既存の水処理施設に対して、新技術（水処理能力増強技術）の導入を含めた最適な水処理能力増強方策*を選定する汎用的な手法を見出し、マニュアル等の形で取り纏めることを目的に、前・基本計画期間（平成29年度～令和3年度）から継続して実施するものである。その過程で、個別の水処理能力増強技術の導入効果（処理能力増強効果、コスト縮減効果等）を適切に評価し可視化するための手法についても検討する。

過年度は、水処理能力増強方策の選定手法について、基本的な検討項目および手順を盛り込んだ汎用的な検討フローを作成した。

本年度は、多様な処理条件における水処理能力増強技術の導入効果（処理能力増強効果、コスト縮減効果）を定量化し可視化する新たな手法を検討し、処理能力増強効果について、具体的水処理能力増強技術を対象とした試行を行った。

(2) 検討方法

水処理能力増強技術の主要な導入効果である処理能力増強効果については、個別の技術において、実証実験の実績等に基づき「従来技術に対して〇倍」といった一律の数値にて提示されるのが通例である。一方、水処理能力増強技術を含めた各種水処理技術の処理能力は、流入水質、水温、目標処理水質等の処理条件に応じて変わり得るものであり、個別の水処理能力増強技術の処理能力増強効果についても、これら処理条件に応じて変化するはずである。水処理能力増強技術の導入検討を行う上では、各種処理条件の変化に応じた処理能力やその増強効果の変化を的確に推定し可視化する手法が極めて有用である。

そこで本検討では、上記のような手法を確立するために、具体的水処理能力増強技術について、処理条件を意図的に多段階で変化させて処理能力を推定し、同一条件の従来技術に対する処理能力増強効果を算定することで、処理条件の変化に対して処理能力やその増強効果が増加する傾向を明確化することを試みた。具体的検討方針は以下の通りである。

- JSの新技术I類に選定されている反応タンクの処理能力増強技術として「担体投入活性汚泥法（リンポープロセス）」の2種類（処理水量増加対応型および高度処理対応型；以下、各々「増強技術①」、「増強技術②」と略記）を対象とし、対応する従来技術として各々標準活性汚泥法（以下、「標準法」と略記）、循環式硝化脱窒法（以下、「循環法」と略記）を設定した（表2-1）。

* ここで言う「水処理能力増強方策」は、新技術（水処理能力増強技術）の導入だけでなく運転方法の変更等により、既存の水処理施設の処理能力を増強し、系列・池の増設を回避または最小化するための方策を指す。更に本検討では、最適な水処理能力増強方策を見出すための一連の検討を「水処理能力増強方策の検討手法」と称している。

- ・ 増強技術①、②の各々について、変化させる処理条件を表2-1の通り設定した。
- ・ 処理能力の推定範囲を反応タンクに限定し*、処理能力の指標として、所与の反応タンク容量における処理可能な水量負荷である反応タンクの所要 HRT を使用した。
- ・ 処理能力増強効果として、各増強技術に対する従来技術の所要 HRT の比率（以下、「処理能力増強倍率」と表記）を使用した。
- ・ 反応タンクの処理能力（所要 HRT）の推定には、現状で容易に利用可能な方法として、各技術の容量計算手法を使用した。具体的には、増強技術①・②については JS の新技術 I 類選定に付随する技術資料（非公表）、従来技術については「下水道施設計画・設計指針と解説（以下、「設計指針」と略記）」⁵⁾に掲載されている容量計算手法に準拠した。

表2-1 検討対象の技術と変化させる条件

増強技術	従来技術	変化させる条件
リンポープロセス 処理水量増加対応型 (増強技術①)	標準活性汚泥法	流入水温
		MLSS濃度※
		担体投入率
リンポープロセス 高度処理対応型 (増強技術②)	循環式硝化脱窒法	流入水温
		流入水BOD濃度
		流入水T-N濃度

※ 増強技術①のMLSS濃度は活性汚泥分と投入担体への付着汚泥で決まるため、変化させる条件としては、活性汚泥のMLSS(浮遊MLSS)を変化させることにした。

表2-1に示した「変化させる条件」については、「令和2年度版下水道統計」⁶⁾に基づく各条件の平均的な実績を参考に、各々5段階の設定値を設けた(表2-2、表2-3)。これら以外で容量計算に必要な流入水質および処理水質については固定条件とし、「設計指針」掲載の設計計算例等を参考に表2-4の通り設定した。

表2-2 増強技術①および標準法における変化させる条件の設定値

変化させる処理条件			
流入水温	MLSS濃度※		リンポー担体投入率
	標準法	リンポー	
℃	mg/L	mg/L	%
11	1,600	800	15
13	1,700	850	16
15	1,800	900	17
17	1,900	950	18
19	2,000	1,000	19

※MLSS濃度については両技術の組合せとして5段階を設定。

* 検討の簡素化のために対象を反応タンクに限定したが、最終沈殿池を含めた処理能力について同様の検討を行うことも可能である。

表2-3 増強技術②および循環法における変化させる条件の設定値

変化させる処理条件		
流入水温	流入水BOD	流入水T-N
℃	mg/L	mg/L
15	110	30
16	150	34
17	190	38
18	230	42
19	270	46

表2-4 変化させる条件以外の固定条件

増強技術	従来技術	固定条件
リンポープロセス 処理水量増加対応型 (増強技術①)	標準活性汚泥法	流入水BOD=180mg/L
		流入水SS=160mg/L
		処理水BOD=6.5mg/L
リンポープロセス 高度処理対応型 (増強技術②)	循環式硝化脱窒法	MLSS=2,000mg/L
		処理水Kj-N=1mg/L
		処理水NOx-N=11mg/L

(3) 検討結果

増強技術①（リンポープロセス 処理能力増加対応型）と従来技術（標準法）を比較した例として、流入水温が11℃の条件にて、MLSS濃度（増強技術①については浮遊MLSS濃度）と担体添加率（増強技術①のみ）を変化させた際に、両者における反応タンクの所要HRTおよび処理能力増強倍率が変化する様子を図2-3に示す。両技術共にMLSS濃度が増加するほど所要HRTが短縮されているが、本検討で設定した変化の刻み幅（増強技術①、従来技術について各々50、100mg/Lピッチ*）においては、従来技術の方が所要HRTの短縮の程度が大きくなり、処理能力増強倍率を算出するとMLSS濃度が高いほど同倍率が減少する結果となっている。一方、増強技術①における担体添加率を増加させると同技術に限定して所要HRTが短縮されるため、担体添加率が高いほど処理能力増強倍率が大きくなる。

上と同様に、増強技術②（リンポープロセス 高度処理対応型）と従来技術（循環法）を比較した例として、流入水のBOD濃度が150mg/Lの条件にて、流入水のT-N濃度および水温を変化させたケースの結果を図2-4に示す。流入水のT-N濃度が高いほど両技術の所要HRTが増加するが、増強技術②の方が増加の程度が大きいため、処理能力増強倍率は流入水T-N濃度が高いほど減少する結果となっている。この大きな要因は、増強技術②における好気タンクの所要HRTが流入窒素負荷量に応じて変化するのに対して、従来技術では好気タンクの所要HRTがASRTに基づき算定され流入窒素負荷量に依存しない点にある。一方、流入水温については、水温が高いほど両技術の所要HRTが減少するが、その程度は増強技術②の方が大きく、水温が高いほど処理能力増強倍率が増加している。これは、両技術における好気タンクの所要HRT算定式における水温の影響度合いが異なる点に加えて、従来技術では無酸素タンク

* 本検討では増強技術のMLSS濃度を従来技術の半分としたことから、両技術でMLSS濃度の変化幅ではなく変化率を同一としている。

の所要 HRT が水温に依存しない計算となる点によるものである。これら流入 T-N 濃度および水温の影響は、各技術の容量計算方法（所要 HRT の算定式）の影響を受けた結果と言えるが、このように、処理能力の推定に際して容量計算を使用する場合には、各技術の容量計算方法に依存する検討結果となり得る点を十分に理解した上で結果を解釈する必要がある。

上述の図 2-3、図 2-4 は、複数の処理条件を機械的に変化させた際に処理能力増強効果に現れる影響を可視化した例であるが、コスト削減効果についても同様の検討を行い、両者を組み合わせた情報を提示することも可能である。また、このような検討は、特定の下水処理場に対して処理能力増強技術の導入検討を実施する際に有用であるのみならず、個々の処理能力増強技術の一般的な導入効果を示す上でも有効である。なお、両図に示した結果は、特定の条件における計算結果であり、当該増強技術の汎用的な導入効果を確定的に示したものではない点に注意されたい。

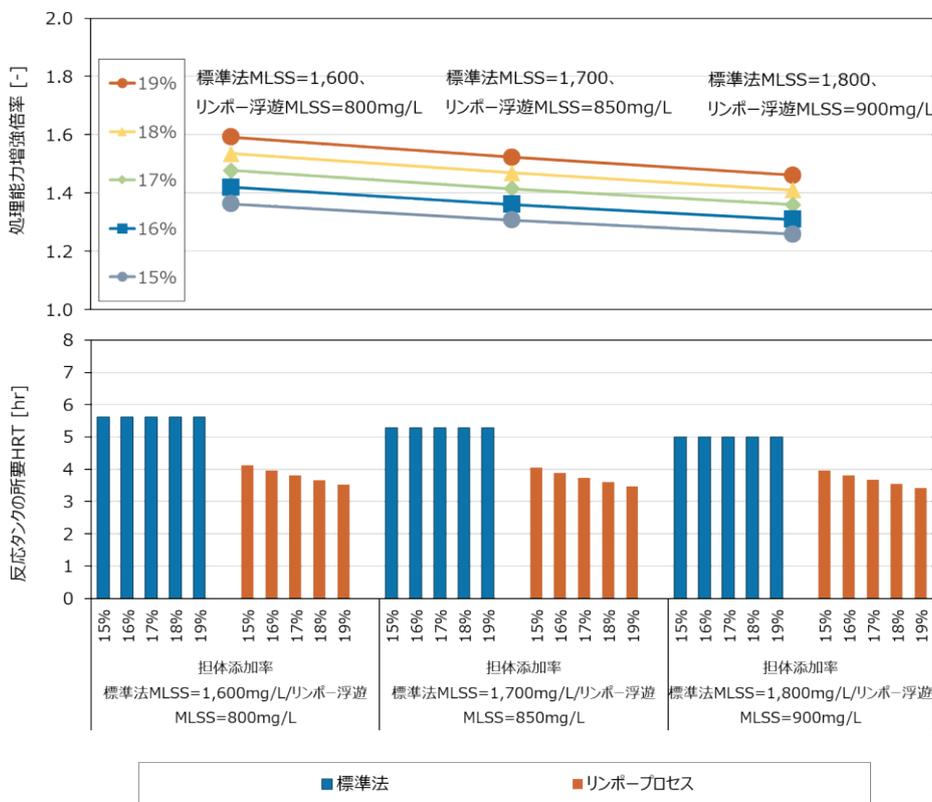


図 2-3 増強技術①および従来技術の処理条件 (MLSS 濃度、増強技術における担体添加率) を変化させた際の所要 HRT および処理能力増強倍率の変化 (流入水温 = 11°C のケース; データ量を限定する目的から MLSS 濃度については 3 段階分しか表示していない)

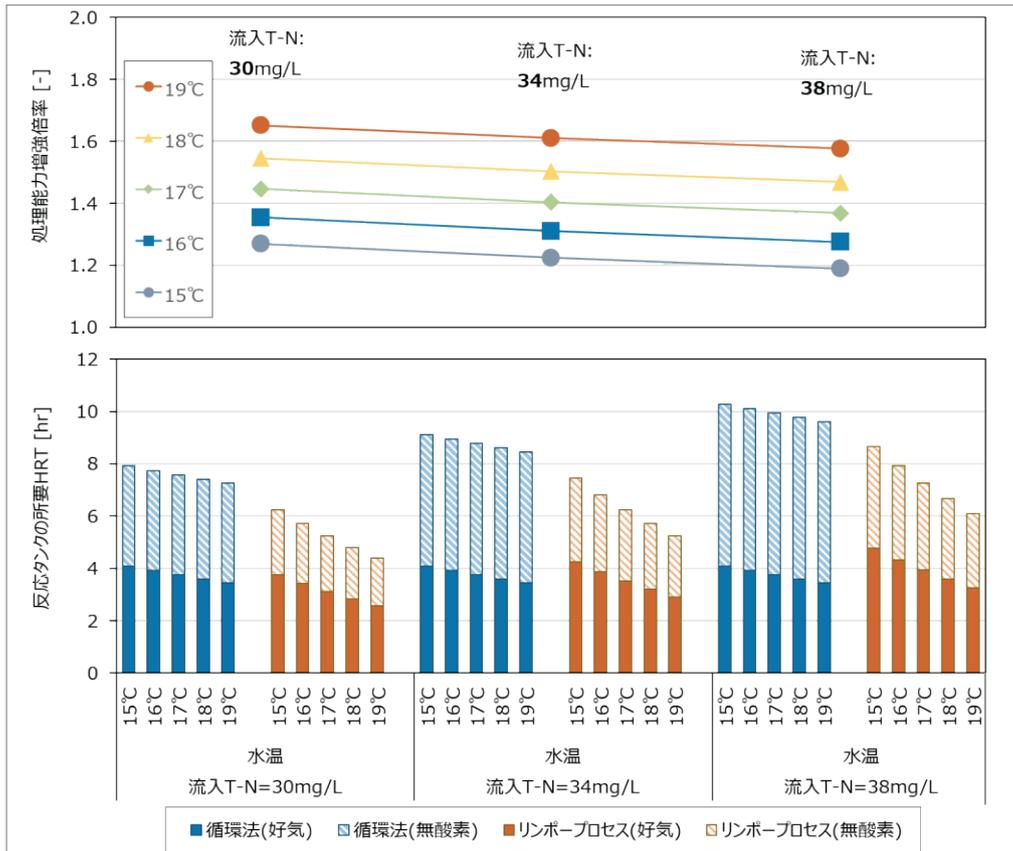


図2-4 増強技術②および従来技術の処理条件(流入水 T-N 濃度、水温)を変化させた際の所要 HRT および処理能力増強倍率の変化 (流入水 BOD 濃度 = 150mg/L のケース; データ量を限定する目的から 流入水 T-N 濃度については 3 段階分しか表示していない)

(4) まとめ

水処理能力増強技術について、多様な処理条件における導入効果(処理能力増強効果、コスト削減効果)を定量化し可視化する新たな手法を見出した。

今後、このような手法を含めて水処理能力増強方策の検討手法のマニュアル化を図っていくと共に、水処理能力増強技術の新規開発においても、技術の効果を的確に提示する手法として取り込んでいく予定である。

3. 水処理改築低コスト化技術

3.1 仮設水処理技術の開発・実証

(1) 検討の概要

近年、全国の下水道施設で再構築需要が高まっている。水処理施設の改築・更新工事では、一部の系列・池を一時的に停止することになるが、それに伴い処理能力が不足する場合には、仮設の水処理設備による処理能力の補完が有力な選択肢となる。JSでは、プレハブ式オキシデーションディッチ(POD)等の小規模処理場の改築・更新時に活用できる「単槽式MBRと高速凝集沈殿法による仮設水処理ユニット」を新技術I類に選定しているが、メーカーによるユニットの在庫数確保等の観点から、技術の適用条件の中で仮設水量を1,200m³/d程度以下に限定しており、標準活性汚泥法等の更に規模が大きい下水処理場に適用可能な仮設水処理技術の確立が待たれるところである。

このような背景から、本検討では、数千m³/d規模の仮設水処理技術の確立を目指し、実証実験を中心とした技術開発を行う。具体的には、民間企業との共同研究(2022年4月～2023年9月)により、処理能力が1,000m³/(d・基)の可搬式の仮設水処理技術について、実規模の実証実験を行う。

昨年度は、実規模の実験設備を用いて、反応タンクにおける基本的な処理特性やDO制御値の影響を確認すると共に、後段の固液分離工程における凝集剤の添加方法の改善を図った。その後、本技術の長期的な処理性能等を確認するための通年での実証運転(長期実証運転)を2022年9月から開始した⁷⁾。

本年度は、上述の長期実証運転を2023年9月まで継続し実証実験を完了した⁸⁾。加えて、本技術の処理水が本設の水処理施設の処理水と混合されることによるN-BODの発現リスク⁸⁾や、本技術で発生する余剰汚泥が本設の汚泥処理における濃縮性や脱水性に与える影響を確認するための補足実験を行った。

(2) 検討方法

① 対象技術

本検討で実証する技術は、パッケージ型MBBR(Moving Bed Biofilm Reactor; 移動床式生物膜法)装置の後段に凝集・ろ過ユニットを組み合わせた可搬式の仮設水処理装置である(図3-1)。最初沈殿池流出水を目幅2mmのスクリーンに通した後、MBBRによる生物学的処理および凝集・ろ過による固液分離を行い、有機物(BOD)および浮遊物質(SS)を除去する。

MBBRは、反応タンク内に流動担体を投入し、担体表面に形成される生物膜により生物学的除去を行う処理法で、生物膜法の一つである。パッケージ型MBBR装置は、本処理法の生物反応タンク部分をパッケージ化したもので、鋼板製反応タンク(23m³×2槽直列)、散気装置、送風機等で構成されており、反応タンク内に高密度ポリエチレン製の流動担体(AnoxKaldnes社K5担体; 直径25mm、厚み3~4mm)を45%の嵩容積比で投入する。本装置の設計水量は1,000m³/dであるが、これに対応する反応タンクHRTは約1.1hrと、極めてコンパクトな装置容量にて有機物除去を行う。

凝集・ろ過ユニットは、パッケージ型MBBR装置の流出水に対して固液分離(SS除去)を行うもので、凝集混和槽、高分子凝集剤溶解設備、固液分離ろ過装置(目幅40μmのドラムフ

フィルター) から構成される。凝集混和槽にてカチオン系高分子凝集剤により SS 等を凝集させた後、ドラムフィルターにてろ過を行う。ドラムフィルターでは、目詰まりによる圧力損失の上昇(装置内水位の上昇)が検知されると自動で逆流洗浄(逆洗)が行われる。洗浄排水は本設の汚泥処理施設に排出するが、本技術ではこれが一般的な水処理法における余剰汚泥に相当する。

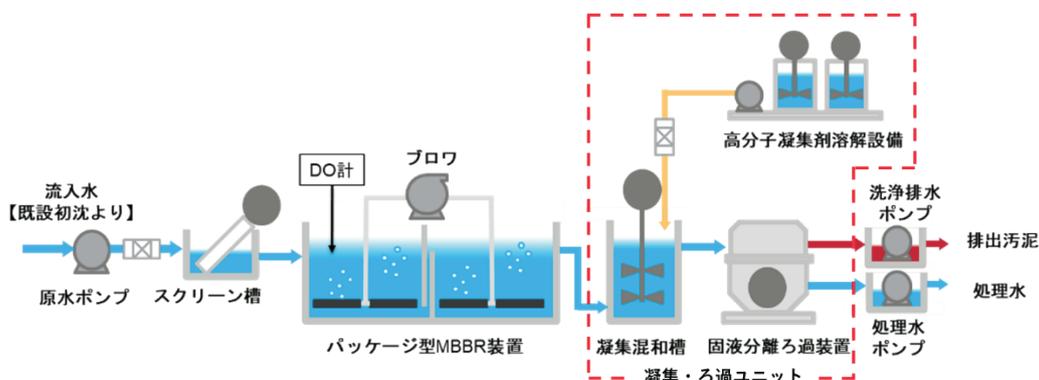


図3-1 パッケージ型 MBBR 装置を用いた仮設水処理技術の処理フロー

② 長期実証運転

茨城県内の下水処理場(分流式)に設置した実規模の実験設備を用いて、本設の最初沈殿池流出水を原水とした実証実験を実施した。本実験設備の設計水量は $1,000\text{m}^3/\text{d}$ で、機器の構成は図3-1に示したものと同等である。反応タンクは直列の2区画に分割されており、第1槽に設置された DO 計の計測値に基づき曝気風量の自動制御(DO一定制御)を行う。実証実験では、本技術を標準活性汚泥法施設の仮設処理に適用することを想定し、目標処理水質として、BOD について下水道法施行令において同処理方法が適合する計画放流水質区分の上限値(15mg/L)以下、SS 濃度については 20mg/L 以下とした。

本実験設備において、2022年9月から2023年9月の約1年間に亘る期間、本技術の通年での処理性能等を確認する長期実証運転を実施した。本期間における同設備の運転条件を表3-1に示す。設備の設計水量である $1,000\text{m}^3/\text{d}$ での運転を基本としたが、原水量を $750\text{m}^3/\text{d}$ へと低下させる期間(Run2、3)および DO 制御値を $1.5\sim 3.0\text{mg/L}$ の範囲で変化させる期間(Run1~5)を盛り込むことで、複数の異なる運転条件下での処理性能を確認した。

本期間を通して、流入原水(最初沈殿池流出水)および処理水(ドラムフィルター流出水)のコンポジット試料(2hr ピッチ×24hr)を週1~2回の頻度で採取し、BOD、溶解性 BOD(S-BOD)、SS 等の水質を測定した。加えて、パッケージ型 MBBR 装置の反応タンク第1槽および第2槽の流出水(以下、各々を「第1槽流出水」、「第2槽流出水」と表記)のスポット採水試料を同日に採取し、同様の水質測定を行った。

表3-1 長期実証運転における運転条件(2022年9月~2023年9月)

Run No.	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
期間	2022/9/28~ 10/18	2022/10/19~ 11/1	2022/11/2~ 11/22	2022/11/23~ 12/1	2022/12/2~ 2023/9/14
処理水量(m ³ /d)	1,000	750	750	1,000	1,000
反応タンク HRT(h)	1.1	1.5	1.5	1.1	1.1
DO 設定値(mg/L)	1.5	1.0	2.5	2.0	3.0
凝集剤注入率 (mg/L)	4.3				
各 Run における 反応タンク水温(°C) (実績)	23.0~26.2	24.0~24.8	23.3~23.9	22.8~23.0	18.8~31.0

③ 本設処理水との混合による N-BOD 発現リスクの確認

本技術では、反応タンクの HRT が 1.1hr と短いことから、反応タンク内で硝化が進行せず、処理水には流入原水と同程度の濃度で NH₄-N が残存する ((3) ①参照)。このため、処理水の SS には硝化細菌が殆ど存在しないと考えられ、実際に本技術の処理水に対して BOD を測定しても N-BOD は発現しない。一方、本技術を仮設処理に適用する場合、並行して運転される本設の水処理系列で硝化促進運転が行われていると、本技術の処理水と本設系列の処理水とが混合されることで NH₄-N と硝化細菌の両者が存在する状態となり、N-BOD が発現して BOD が上昇する懸念がある。

そこで、本技術の処理水（以下、「MBBR 処理水」と表記）と、実証実験フィールドとは別の下水処理場で硝化促進運転が行われている水処理系列の処理水（以下、「本設処理水」と表記）を使用し、両者が混合された状態での N-BOD の発現状況を調べるテーブルテストを実施した。ここで、N-BOD の発現には試料中の NH₄-N 量および硝化細菌量の両者が影響すると考えられることから、MBBR 処理水と本設処理水の混合比率に加えて、本設処理水の SS 濃度を意図的に変化させた複数の条件（混合比×5 水準（各処理水単独の 2 水準を含む）、SS 濃度×3 水準；表 3-2）で BOD (T-BOD) および C-BOD を測定し、N-BOD の発現状況を確認した。本設処理水の SS 濃度については、採取した処理水を 5C ろ紙でろ過して SS を除去した上で、同一系列の活性汚泥を所定量添加することで調整した。加えて、N-BOD が高くなる場合の対応策として、一部の条件に対して次亜塩素酸ナトリウム（以下、「次亜」と略記）を添加した状態での測定を別途実施し（表 3-2）、塩素処理による N-BOD の低減効果を確認した。

表3-2 N-BODの発現条件および抑制効果の実験条件

項目	N-BOD 発現条件の 確認実験	塩素消毒による N-BOD 抑制効果の 確認実験
使用する処理水	MBBR 処理水、本設処理水	
混合比 (MBBR 処理水:本設処理水) ※()内の数値は MBBR 処理水 の混合比率	1:0 (1.0) 1:1 (0.5) 1:3 (0.25) 1:5 (0.17) 0:1 (0.0)	1:1 (0.5) 1:3 (0.25) 1:5 (0.17)
本設処理水の SS 濃度 (調整後)	3、5、10mg/L	3、10mg/L
次亜塩素酸ナトリウム(次亜) 添加濃度	—	0.5、1.0、1.5、3mg/L

④ 本設汚泥との混合による濃縮性・脱水性への影響確認

本技術では、パッケージ型 MBBR 装置では余剰汚泥を引抜かず、後段の固液分離ろ過装置において分離された汚泥が洗浄排水として排出され、これが余剰汚泥となる（以下、これを「MBBR 汚泥」と略記）。ここで、本汚泥は、(a)汚泥の主要な由来が生物膜である、(b)固液分離の原理が重力沈降ではない、(c)凝集工程において高分子凝集剤が添加される、といった点から、一般的な活性汚泥法で発生する余剰汚泥とは性状が異なると考えられる。本技術を実際に仮設処理に適用する場合には、MBBR 汚泥を本設の汚泥処理工程に送泥して処理することを想定しているため、MBBR 汚泥が混入することが本設の汚泥処理工程に与える影響についても確認しておく必要がある。そこで、MBBR 汚泥と実証実験フィールドの下水処理場で発生する汚泥を使用し、両者が混合することによる濃縮性および脱水性への影響を確認する実験を実施した。

濃縮性については、実験設備で発生した MBBR 汚泥と、同下水処理場の生汚泥または余剰汚泥を 3 通りの比率（MBBR 汚泥の体積ベースの混合比率として 0.2、0.33、0.5）で混合したもの、および各汚泥単独を各々供試汚泥として、重力沈降試験（SV 試験；5 分間隔の界面高さ測定を 50 分経過時点まで）を実施した。

脱水性については、実験設備で発生した MBBR 汚泥と、同下水処理場の汚泥（生汚泥と余剰汚泥を混合したもの）を 3 通りの比率（MBBR 汚泥の体積ベースの混合比率として 0.17、0.25、0.5）で混合したもの、および各汚泥単独を各々供試汚泥として、遠心沈降ろ過試験*および CST 試験¹⁰⁾を実施した。ここで、各汚泥の混合比率は、実際に本技術を適用した場合に想定される比率に基づき設定したものである。遠心沈降ろ過試験では、同下水処理場の脱水汚泥含水率（76%程度）と概ね同等となる遠心ろ過の操作時間（今回は 3 分で設定）を固定とし、各供試汚泥に対して高分子凝集剤の添加率を変えて試験を実施した。本試験の遠心ろ過操作は、濃縮・脱水を兼ねた操作であるため、前操作として濃縮は行っていない。CST 試験では、高分子凝集剤の添加率を変えて複数回の測定（それぞれ 3～5 回）を行い、各々の平均値を測定値とした。

* 本法は、卓上遠心機を用いた遠心ろ過操作により汚泥の脱水性を評価するものである⁹⁾。本検討では、供試汚泥に対して、実際の遠心脱水機と同等の汚泥含水率となる操作時間（遠心ろ過の時間）を事前に確認した上で、凝集剤添加率等の初期条件を変えて当該操作時間での遠心ろ過を行い、含水率を測定した。

(3) 検討結果

① 長期実証運転

長期実証運転の期間のうち、反応タンク HRT を 1.1hr で運転した RUN1、RUN4、RUN5 における（抽出した RUN の総日数：316 日）各所の水質の平均値および最大値・最小値を表 3-3 に示した。処理水の T-BOD 濃度は、平均値では 10mg/L であったものの、6~21mg/L の範囲で変動し目標処理水質である 15mg/L を超えることがあった。流入原水と処理水の T-BOD 濃度の関係（図 3-2）を見ると、処理水の T-BOD 濃度が 15mg/L を超過したのは原水の T-BOD 濃度が 150mg/L 以上と高い場合に限定されており、本結果から、本技術単独で処理水の T-BOD を 15mg/L 以下とするためには、流入水（最初沈殿池流出水）の T-BOD 濃度が 150mg/L 程度以下であることが条件になると判断した。なお、本期間における反応タンクの水温の実績は、1 日平均水温の最低値で 18.8℃、月間平均水温の最低値で 19.5℃である。

処理水の SS 濃度については、平均 3mg/L（範囲 1~6mg/L；以下同様）で安定しており、目標処理水質である 20mg/L に対して十分に低濃度に維持された。処理過程での SS 濃度の変化を見ると（表 3-3）、流入原水よりも MBBR の反応タンク内（第 1 槽・第 2 槽流出水）の方が高くなっているが、これに対しては、担体上の生物膜において増殖した微生物が剥離したものが大きく寄与していると考えられ、同タンク内での有機物の除去に伴う汚泥発生分と見なすことができる。第 2 槽流出水の SS 濃度は平均 78mg/L（47~100mg/L）であるが、凝集・ろ過ユニットを経た処理水の SS 濃度は上述の通り平均 3mg/L まで低減されており、凝集・ろ過による固液分離が良好に機能したことを示している。なお、第 2 槽流出水の T-BOD 濃度は平均 61mg/L で、T-BOD の目標処理水質を達成するためには凝集・ろ過ユニットにおける SS の低減が必須である点は明らかである。一方、同ユニットでは S-BOD も平均で 12mg/L から 9mg/L へと低減されており、これも T-BOD の目標処理水質の達成に寄与している。

NH₄-N については、流入原水と処理水の平均濃度がいずれも 28mg/L で、本実証運転期間を通して硝化の進行は認められなかった。

表 3-3 長期実証運転における各所の水質
(HRT1.1hr で運転した RUN1,4,5 の平均値および範囲)

	流入原水			第 1 槽流出水			第 2 槽流出水			処理水		
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小
T-BOD	145	220	97	86	140	42	61	125	35	10	21	6
S-BOD	84	130	48	28	42	16	12	24	6	9	17	4
SS	58	92	39	86	110	55	78	100	47	3	6	1
NH ₄ -N	28	40	22	27	38	21	27	36	21	28	39	21

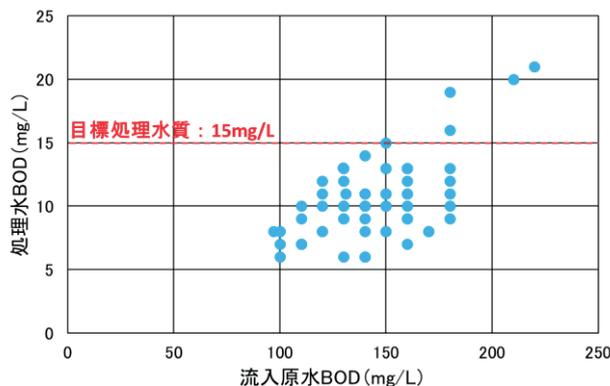


図3-2 流入原水のBODと処理水のBODの関係

② 本設処理水との混合によるN-BOD発現リスクの確認

本技術の処理水（MBBR 処理水）に対して、硝化促進運転を行っている下水処理場の二次処理水（本設処理水）を様々な混合比およびSS濃度で混合してT-BODおよびC-BODを測定し、N-BODの発現状況を調べた結果を図3-3、図3-4に示す。まず、MBBR 処理水および本設処理水を各々単独で測定した結果を見ると、MBBR 処理水（両図における混合比率=1に相当）ではN-BODの発現が全く見られない一方、本設処理水（同・混合比率=0に相当）では3~6mg/LのN-BODが測定された。これは、実験で使用した本設処理水に低濃度のNH₄-Nが残存していたためであり、実験条件として意図したものではない。これに対して、両処理水を混合した供試水では、本設処理水単独の場合と比較して明確にN-BOD濃度が増加しており、MBBR 処理水の混合比率が高い（NH₄-Nの初期濃度が高い）ほど、また本設処理水のSS濃度が高い（硝化細菌を含むSSの初期濃度が高い）ほど、N-BOD濃度が高くなる傾向が明らかである。T-BOD濃度を見ると（図3-4）、本設処理水のSS濃度が5、10mg/Lのケースでは、MBBR 処理水の混合比率が0.17以上の全供試水において15mg/Lを超過している。同混合比率は、MBBR 処理水と本設処理水が1：5の水量比で混合された状態（例えば、6池の水処理施設において1池分を仮設処理で代替するケース）に相当し、本データは、本技術の使用形態として十分に現実的な条件において、N-BODの発現により（塩素消毒前の）処理水のT-BOD濃度が15mg/Lを超過し得ることを示している。一方、本設処理水のSS濃度が3mg/Lと低い場合には、T-BODの上昇の程度は低いものの、MBBR 処理水の混合比率が0.25（MBBR 処理水と本設処理水の水量比が1：3）以上の条件で15mg/Lを超過している。

これらの結果を受け、両処理水の混合比率および本設処理水のSS濃度を変えた複数の供試水に対して、4段階の添加率で次亜を添加してT-BODおよびC-BODを測定することで、塩素処理によるN-BODの低減効果を確認した実験結果を図3-5、図3-6に示す。次亜を添加しない状態では、本設処理水のSS濃度が3mg/Lのケースで11~13mg/L、同SS濃度が10mg/Lのケースで15~26mg/LとN-BODが顕著に発現し、前者においてはMBBR 処理水の混合比率が0.5の条件、後者においては同混合比率が0.17~0.5の全ての条件においてT-BOD濃度が15mg/Lを超過した。これに対して、次亜を添加するとN-BOD濃度が明らかに抑制された。その効果は添加率の増加に応じて高くなったが、添加率が1mg/Lの条件にて、全ての供試水においてN-BODが6mg/L以下、T-BODが11mg/L以下となった。国内の下水処理場の消毒工程における次亜添加率の実績は、平均値2.4mg/L、中央値1.3mg/L（いずれも「令和3年度版下

水道統計」¹¹⁾より算出) であり、本仮設水処理装置の使用により N-BOD 発現に伴う T-BOD の上昇が生じ得る場合であっても、塩素消毒における一般的な添加率の範囲で N-BOD の十分な低減が可能であると考えられた。

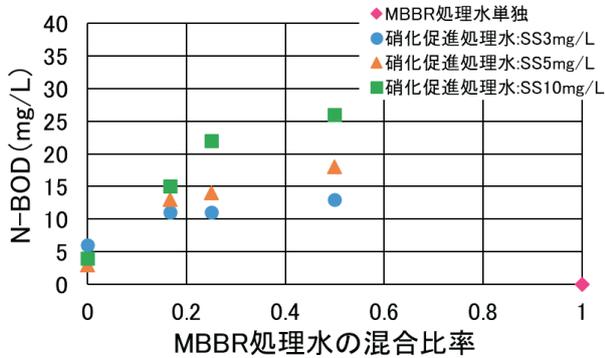


図3-3 MBBR 処理水の混合比率および本設処理水の SS 濃度に応じた N-BOD の変化

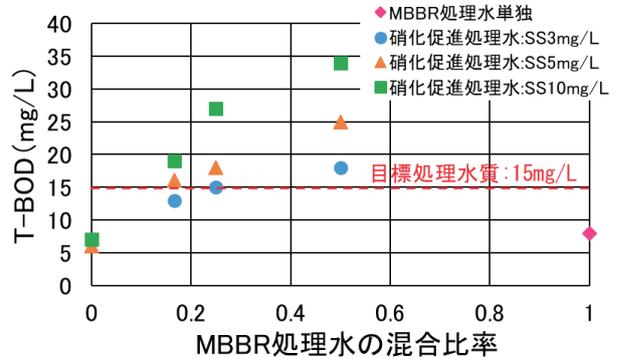


図3-4 MBBR 処理水の混合比率および本設処理水の SS 濃度に応じた T-BOD の変化

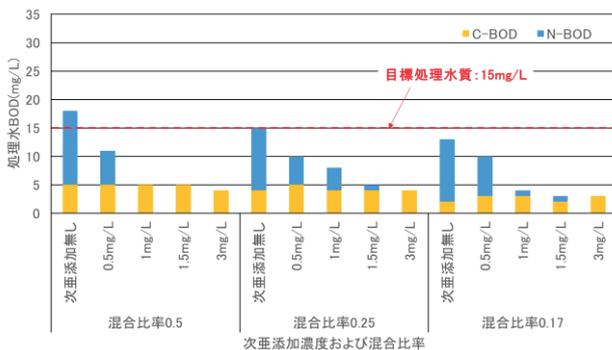


図3-5 次亜添加による N-BOD 低減効果 (本設処理水 SS 濃度 3mg/L)

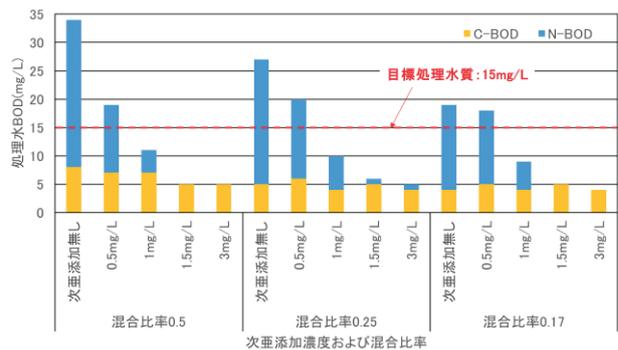


図3-6 次亜添加による N-BOD 低減効果 (本設処理水 SS 濃度 10mg/L)

③ 本設汚泥との混合による濃縮性および脱水性への影響確認

MBBR 汚泥と本設水処理施設の発生汚泥 (生汚泥、余剰汚泥) を各種比率で混合して重力沈降試験を実施した際の SV 値の推移を図 3-7、図 3-8 に示す。MBBR 汚泥単独での試験では、SV 値は試験開始直後より速やかに沈降し、5 分経過時点で 23%、50 分経過時点で 20% と良好な沈降・濃縮性を示した。一方、本設の生汚泥および余剰汚泥単独での試験では、50 分経過時点でも SV 値は各々 95%、99% で、僅かに沈降するのみであった。これらを混合した汚泥では、MBBR 汚泥の混合比率が高くなるほど SV 値が減少し、その傾向は余剰汚泥との混合の方が顕著であった。本試験の範囲では、MBBR 汚泥の沈降・濃縮性は良好であり、これが本設汚泥と混合しても汚泥濃縮工程に対して悪影響をもたらすリスクは小さいと言える。

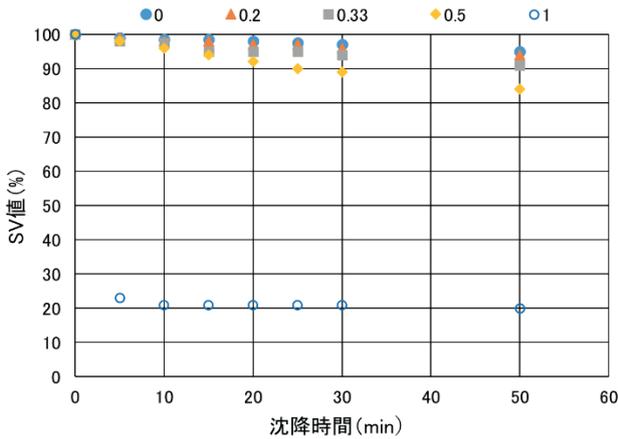


図3-7 MBBR汚泥と本設汚泥を各種比率で混合した重力沈降試験結果
(本設汚泥:生汚泥)
(凡例の数値は MBBR 汚泥の混合比率)

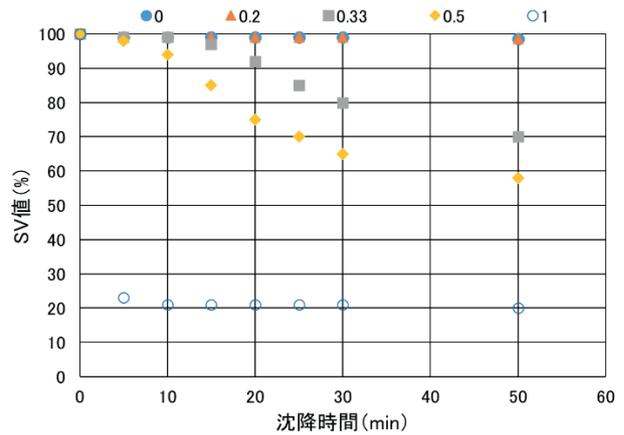


図3-8 MBBR汚泥と本設汚泥を各種比率で混合した重力沈降試験結果
(本設汚泥:余剰汚泥)
(凡例の数値は MBBR 汚泥の混合比率)

MBBR 汚泥と本設汚泥を各種比率で混合した供試汚泥に対する遠心沈降ろ過試験の結果を図3-9に、CST試験の結果を図3-10に示す。各々、各供試汚泥に対して高分子凝集剤の添加率を5段階に変化させた際の含水率(遠心沈降ろ過試験)およびCST値を示している。遠心沈降ろ過試験では、MBBR 汚泥単独(両図における混合比率=1)での含水率が最も低く、本設汚泥単独(同・混合比率=0)よりも含水率が5ポイント程度低かった。両汚泥を混合した場合には、含水率は両汚泥単独での試験結果の範囲内となった。MBBR 汚泥の割合が高いほど含水率が減少しており、本試験結果からは同汚泥の混合による脱水性への悪影響は認められない。一方、CST試験では、遠心沈降ろ過試験のような明確な傾向は見られないものの、本設汚泥単独での試験結果と比較して、MBBR 汚泥単独および両汚泥の混合汚泥では、概ねCST値が小さくなっており、やはり MBBR 汚泥の混合による脱水性への悪影響を示唆するものではない。以上の試験結果より、MBBR 汚泥が本設汚泥に混合された場合であっても、汚泥脱水性へ悪影響を与える可能性は小さいと考えられる。

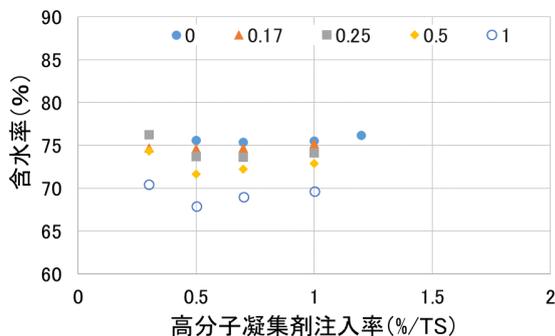


図3-9 MBBR汚泥と本設汚泥を各種比率で混合した遠心沈降ろ過試験結果
(凡例の数値は MBBR 汚泥の混合比率)

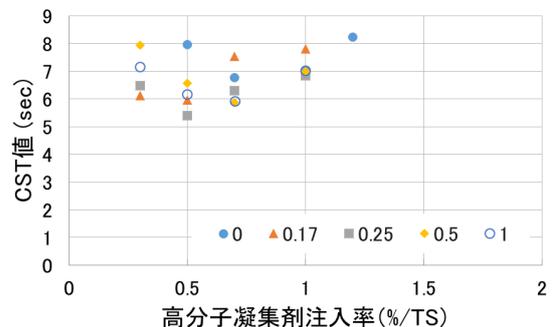


図3-10 MBBR汚泥と本設汚泥を各種比率で混合したCST試験結果
(凡例の数値は MBBR 汚泥の混合比率)

(4) まとめ

パッケージ型 MBBR 装置に凝集・ろ過ユニットを組み合わせた 1,000m³/d 規模の仮設水処理技術について、民間企業との共同研究により、長期実証運転（通年での実証）を中心とした実規模での実証実験（2022年4月～2023年9月）を行い、2023年9月に共同研究を完了した。主要な成果は以下の通りである。

- 長期実証運転により、本技術では、反応タンクの HRT が 1.1hr という高負荷の条件において、処理水の BOD 濃度を 15mg/L 以下とすることが可能であることを実証した。ただし、流入原水の BOD 濃度が 150mg/L 程度を超えると処理水の BOD 濃度が 15mg/L を超過することがあったことから、本装置単独で同処理水質を達成する場合には、流入水（最初沈殿池流出水）の BOD 濃度に 150mg/L 程度の上限を設ける必要があると考えられた。
- 本技術の処理水が硝化促進運転を行う本設の処理水と混合された場合、前者が NH₄-N の、後者が硝化細菌の供給源となることで N-BOD が顕著に発現し、両処理水の混合比率や本設処理水の SS 濃度によっては混合後の T-BOD 濃度が容易に 15mg/L を超過し得ることをテーブルテストにより明らかにした。ただし、通常の塩素消毒と同程度の添加率で塩素処理を行うことで、N-BOD を十分に抑制できることも確認した。
- 本技術で発生する余剰汚泥（MBBR 汚泥）が本設の汚泥（生汚泥、余剰汚泥）と混合した際の汚泥濃縮性に与える影響を重力沈降試験により確認したところ、MBBR 汚泥自体の沈降・濃縮性は本設の汚泥よりも良好であり、両者が混合しても汚泥濃縮工程に対して悪影響を与える可能性は小さいと推定された。また、同様に MBBR 汚泥の混合が汚泥脱水性に与える影響を 2通りの試験（遠心沈降ろ過試験、CST 試験）により確認したところ、汚泥脱水性へ悪影響を与える可能性は小さいと考えられた。

4. 汚泥処理低コスト化技術

4.1 低コスト型汚泥濃縮機・汚泥脱水機の開発・実証

(1) 検討の概要

持続的な下水道事業経営の実現のため、汚泥処理の低コスト化技術が求められている。近年では流入水質の経年変化や、脱炭素社会実現に向けた取り組みとして嫌気性消化技術の導入が促進される等、汚泥の難脱水化が進んでおり、汚泥処理の低コスト化に加えて汚泥処理性能の向上も求められている。

このような背景から、JSでは汚泥処理の要である濃縮技術と脱水技術を対象として、汚泥処理の低コスト化技術の開発を行うこととし、2022年度から「汚泥処理の低コスト化に向けた汚泥濃縮技術及び汚泥脱水技術の開発」を課題として共同研究の公募を行った。

共同研究では、民間企業等と汚泥濃縮機および脱水機のLCCの縮減や処理性能向上を図ることが可能な技術を開発・実用化するための実証実験等を実施する。公募により1技術に係る共同研究者を選定し、2022年12月より共同研究を開始した。2023年度は、引き続き以下の1技術に係る共同研究を実施中である。ここでは、当該技術と研究の概要を紹介する。

○汚泥処理の低コスト化に向けた汚泥濃縮技術および汚泥脱水技術の開発ーダウンサイジング対応同軸差動式スクリープレス脱水機の開発ー

(共同研究者：水ingエンジニアリング(株)、水ing(株))

高効率凝集装置と同軸差動式スクリープレス脱水機を組み合わせたダウンサイジング対応同軸差動式スクリープレス脱水機(以下、「本技術」と略記)によって、従来技術である圧入式スクリープレス脱水機Ⅲ型(以下、「SPⅢ型」と略記)に対し、LCCの縮減や汚泥処理能力の増強が可能な汚泥脱水技術の開発を行う。

(2) 検討方法

① 技術の特徴

難脱水化が進んでいる汚泥の脱水処理において低コスト化を図るためには、処理能力の増強、高分子凝集剤や動力の削減が求められる。さらに、脱水機の適切な運転には熟練技術者による専門的な知識が必要である。本技術は、高効率凝集装置と同軸差動式スクリープレス脱水機の組み合わせにより、SPⅢ型に対し処理能力を増強(混合汚泥：1.5倍以上、消化汚泥：2倍以上を目標)することでLCCを縮減すると共に、人工知能(AI)を活用した技術者への運転手法ガイダンスの提示、更には自動運転により、汚泥脱水の最適化を実現することを目指している。本技術は、図4-1のシステムフローに示すように、凝集部、濃縮部、脱水部、運転支援システムで構成されている。凝集部で投入汚泥を高効率凝集装置で超高速攪拌し凝集反応を促進させることで凝集汚泥とし、汚泥処理量の増加運転を可能とする。凝集汚泥は濃縮部に過濃縮が行われ、減容化の後に脱水部へ非圧入で投入される。濃縮部のろ過面は、楕円板レーキと固定スクリーンで構成され、楕円板レーキが汚泥の濃縮促進・移送・スクリーンの目詰まり防止の役割を果たしている。脱水部はパンチングを有する円筒スクリーン内部に前段と後段で回転数が可変である2つのスクリー軸を直列に配置することで、2つのスクリー軸の差速で汚泥を圧搾する「同軸差動式」のスクリープレス脱水機を採用している。SPⅢ型に設置

されている背圧板は無く、操作因子はスクリー軸回転数のみとシンプルであることから、AIへの適用性が高い。運転支援システムは、脱水ケーキの含水率やSS回収率を予測する機械学習(ニューラルネットワーク)モデルを搭載している。過去の運転データをAIに学習させることで、目標性能を達成できる運転設定値の推定が可能であり、これを制御盤に組込むことで、汚泥処理の安定運転や運転コスト低減を支援する3つの運転モード(可能な限り含水率を縮減する含水率優先モード、目標含水率を維持するための薬注率を最小とする薬注率抑制モード、脱水ケーキ量と薬品コストの合計を最小とするコスト削減モード)を利用可能とし、用途によって使い分けることを想定している。

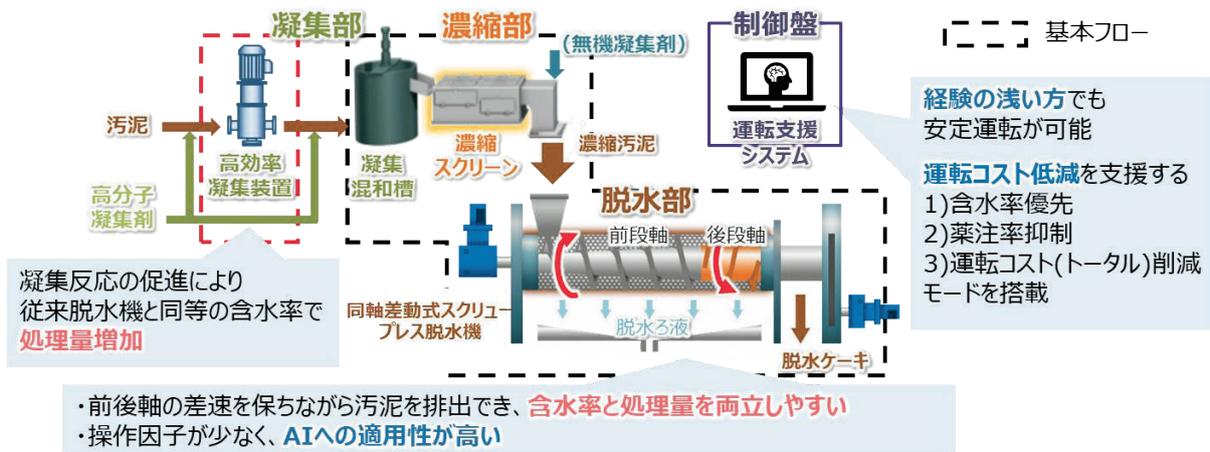


図4-1 本技術のシステムフロー

② 開発目標

本技術の達成すべき研究開発目標を以下に示す。

- 目標①：高効率凝集装置なしでSPⅢ型と同等以上の脱水性能
- 目標②：高効率凝集装置の付加により、SPⅢ型と比較して処理量1.5～2倍以上の脱水性能
- 目標③：AIによる実測値と同程度の含水率予測精度および運転支援システムの実用性確認

③ 実験フィールドの概要

試験設備(脱水機スクリー径φ300mm、φ600mm)を下水処理場内に設置し実証運転を行った。実証運転は2022年12月に開始し、2024年9月までを予定している。実験フィールドの概要を以下に、試験設備の概略フローを図4-2に示す。なお、実験フィールドの汚泥は消化汚泥のため、混合汚泥は、重力濃縮汚泥と余剰汚泥貯留汚泥を水処理での発生固形物量比に合せた2:1で混合して実証運転を行う。

- ・水処理方法：標準活性汚泥法
- ・処理水量：約32,000m³/d
- ・汚泥処理方法：濃縮-消化-脱水

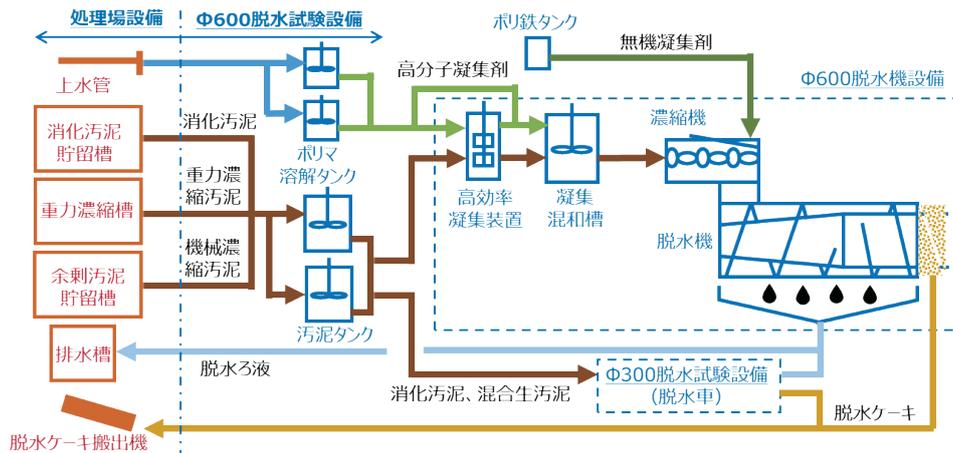


図4-2 試験設備概略フロー

表4-1 脱水性能目標値(混合汚泥)

型式	同軸差動式スクリープレス脱水機 (高効率凝集装置なし)						同軸差動式スクリープレス脱水機 (高効率凝集装置付き)								
	標準活性汚泥法・高度処理法 混合汚泥														
脱水対象汚泥性状	水処理方式														
	汚泥の種類														
	汚泥性	強熱減量 (VTS)	(%)	89~86		86~83		83~80		89~86		86~83		83~80	
		供給汚泥濃度 (TS)	重力式	(%)	1.0		1.0		1.5		1.0		1.0		1.5
機液濃縮	繊維状物 (100メッシュ)	機械式	(%)	3.5程度		3.5程度		3.5程度		3.5程度		3.5程度		3.5程度	
		脱水汚泥含水率	(%)	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20
機液濃縮	1 脱水汚泥含水率		(%)	76	75	74	73	73	71	76	75	74	73	73	71
	処理量 (kg-DS/h・Φ300)			34	44	37	47	41	50	51~68	66~88	56~74	71~94	62~82	75~100
	固形物 (SS) 回収率		(%)	95以上		95以上		95以上		95以上		95以上		95以上	
	薬注率 (対TS:ポリマー)		(%)	1.4以下		1.3以下		1.2以下		1.4以下		1.3以下		1.2以下	
機液濃縮	2 脱水汚泥含水率		(%)	72	71	70	69	69	67	72	71	70	69	69	67
	処理量 (kg-DS/h・Φ300)			34	44	37	47	41	50	51~68	66~88	56~74	71~94	62~82	75~100
	固形物 (SS) 回収率		(%)	95以上		95以上		95以上		95以上		95以上		95以上	
	薬注率	(対TS:ポリマー)	(%)	1.4以下		1.3以下		1.2以下		1.4以下		1.3以下		1.2以下	
(対TS:無機)		(%)	22以下		20以下		18以下		22以下		20以下		18以下		
第1期試験						A						B			
第2期試験					C						D				

※脱水性能の目標値は、JS機械設備標準仕様書のSPⅢ型の性能値を参考にして設定。

- ・高効率凝集装置なし：処理量、SS回収率、薬注率をSPⅢ型と同等以上とする。
- ・高効率凝集装置付き：処理量をSPⅢ型の混合汚泥の場合は1.5倍以上、消化汚泥の場合は2倍以上とする。

④ 実施内容

本研究の開発目標達成のため、下記について実証運転を実施する。

- 対象汚泥は消化汚泥、混合汚泥とし、季節変動等の汚泥性状の変化に対して安定して目標性能値の達成が出来ることを通年での長期実証運転で確認する。混合汚泥の性能目標値を表4-1に示す。
- スケールアップ効果*を確認するため、処理能力の異なる2台の脱水機(スクリー径φ300mmおよびφ600mm)を用いて脱水性能の違いを確認する。

*スケールアップ効果：スクリープレス脱水機では同等の汚泥性状、同等の含水率の時、処理量がスクリー径の比率の2.2乗になるというデータがあり、このような効果をスケールアップ効果と呼ぶ。

- 高効率凝集装置の有無、および薬注方式の1液（高分子凝集剤のみ）又は2液（高分子凝集剤＋無機凝集剤：ポリ鉄）の条件で実証運転を行い、各条件の性能値を確認する。
- AIを組み込んだ運転支援システムの検証では、実証運転中のデータで機械学習モデルを構築し、構築したモデルを用いて脱水機スクリーン径φ300mmの運転設備での脱水運転を行いモデルの精度を確認する。加えて、運転支援システムに搭載した各種運転モードでの適用性について確認を行う。

2023年度は、SS回収率の更なる向上を目指して濃縮部の改良（スクリーン目幅や濃縮ろ過面積の変更）を行い、7月から通年での長期実証運転とAIを組み込んだ運転支援システムの検証を開始した。

(3) 検討結果

本技術について、2023年度は通年での長期実証運転の予定のうち第1期試験（実施期間：7月下旬～10月前半）と第2期試験（実施期間：10月後半～1月）の実証運転を行った。ここでは一例として混合汚泥での結果の一部を示す。

図4-3～4-6に目標値に対する本技術の汚泥処理量と脱水汚泥含水率の関係を示す。なお、各目標値として、高効率凝集装置を用いない場合はSPⅢ型の性能値と同等、高効率凝集装置を用いる場合はSPⅢ型の性能値（＝高効率凝集装置なしの目標値）の1.5倍の処理量（図中の紫破線）の達成とした。図4-3に第1期試験（1液調質）、図4-4に第2期試験（1液調質）、図4-5に第1期試験（2液調質）、図4-6に第2期試験（2液調質）の結果をそれぞれ示す。なお、脱水試験に供した汚泥の性状は、第1期試験では表4-1のAおよびBに示す列、第2期試験ではCおよびDに示す列に該当した。各図のプロットは、いずれも各試験において汚泥処理量を変更した際に得られた汚泥含水率（いずれも表4-1に示す薬注率、SS回収率を満たしているもの）の平均値である。試験より得られたプロットから処理量と含水率の関係を示す近似直線を作成し、目標含水率におけるSPⅢ型の処理量に対する増加割合を推定することで、脱水性能を安定して達成しているか否かを確認した。

① 混合汚泥1液調質での脱水性能試験結果

高効率凝集装置なしの場合、本技術の目標処理量における含水率は第1期では72.8%、第2期では71.7%となり、表4-1に示す目標含水率から各々0.2ポイント低減、3.3ポイント低減でき、脱水性能が目標値を達成し、目標①のSPⅢ型と同等以上の性能であることが確認できた。

高効率凝集装置追加の場合、高効率凝集装置なしとの性能比較を行ったところ、含水率が第1期試験 72.8%、第2期試験 71.7%の時、高効率凝集装置の付加により処理量がそれぞれ SPⅢ型の 1.77 倍および 1.54 倍となり、目標②を超える値を確認できた。

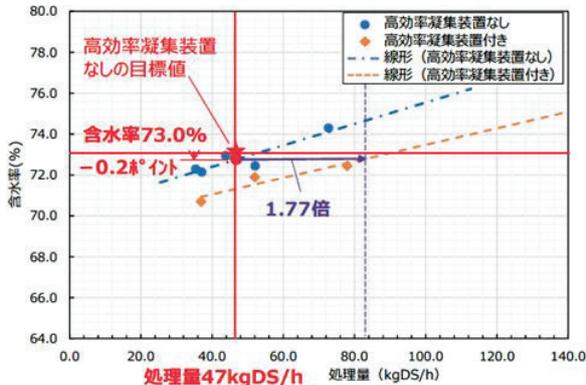


図4-3 汚泥処理量と脱水汚泥含水率の関係(第1期試験 1液調質)

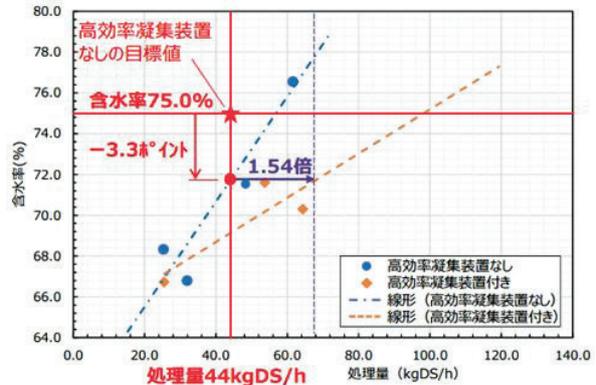


図4-4 汚泥処理量と脱水汚泥含水率の関係(第2期試験 1液調質)

② 混合汚泥2液調質での脱水性能試験結果

高効率凝集装置なしの場合、目標処理量における含水率は、第1期試験では 68.5%、第2期試験では 67.5%となり、表4-1に示す目標含水率から各々0.5ポイントおよび3.5ポイント低減し、1液の場合と同様に、目標①の SPⅢ型と同等以上の性能であることが確認できた。

高効率凝集装置追加の場合、高効率凝集装置なしとの性能比較を行い、含水率が第1期試験 68.5%、第2期試験 67.5%の時、高効率凝集装置の付加により処理量がそれぞれ SPⅢ型の 1.48 倍および 2.02 倍となり、1液調質と同様、概ね目標②にあたる処理量の増加が確認できた。

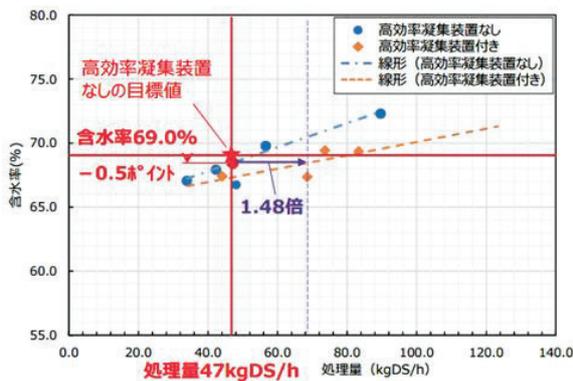


図4-5 汚泥処理量と脱水汚泥含水率の関係(第1期試験 2液調質)

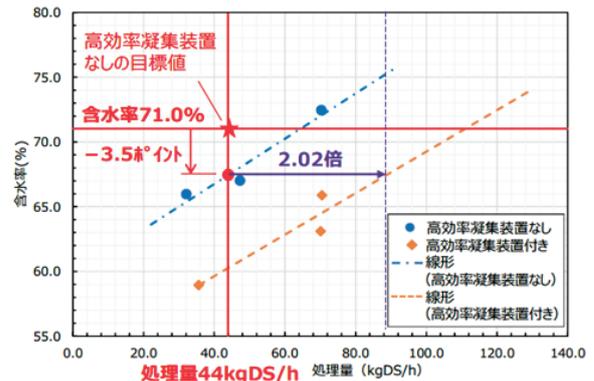


図4-6 汚泥処理量と脱水汚泥含水率の関係(第2期試験 2液調質)

(4) まとめ

混合汚泥での実証運転より、第1期・第2期試験の範囲において以下の結果が得られた。

- 高効率凝集装置なしの場合、1液調質では目標含水率から0.2～3.3ポイント低減、2液調質では目標含水率から0.5～3.5ポイント低減し、性能目標値を達成したことで、1液・2液調質ともに目標①の達成を確認できた。
- 高効率凝集装置を付加した場合、高効率凝集装置なしの場合に対して1液調質では目標②を達成し、2液調質では概ね目標②に近い処理量の増加が確認できた。

今後は、引き続き各目標についての確認を行うことで通年での目標達成の確認を行い、汚泥性状の変動に対して薬注率や投入固形物量等の運転条件を見極め、安定した脱水運転と、運転支援システムに搭載した各種運転モードでの適用性についての確認を行い本技術の確立を目指す予定である。

5. 事後評価調査(低コスト化技術)

5.1 事後評価調査(圧入式スクリープレス脱水機(Ⅳ型)による濃縮一体化脱水法)

(1) 検討の概要

本検討は、汚泥処理の低コスト化技術として JS の新技術Ⅰ類に選定されている「圧入式スクリープレス脱水機(Ⅳ型)による濃縮一体化脱水法」(以下、「SPIV型」と略記)について、導入後の運転状況や課題等を調査するものである。以下の項目の調査・検討を目的として 2023 年度に実施した。

- 導入検討時に想定した設備能力の発揮状況
- 発生した不具合及びその改善点

(2) 検討方法

① 対象技術

SPIV型は 2017 年 9 月～2019 年 5 月にかけて JS と 榊石垣 の 2 者による共同研究で開発された技術であり、2019 年 6 月に JS の新技術導入制度により新技術Ⅰ類に選定された。図 5-1 に SPIV型のフローを示す。一般的な脱水フローでは、最初沈殿池から引き抜かれた生汚泥および最終沈殿池から引き抜かれた余剰汚泥はそれぞれ重力濃縮や機械濃縮にて濃縮された後に汚泥脱水機に供給される。SPIV型と類似した脱水フローを持つ圧入式スクリープレス脱水機(Ⅲ型)(以下、「SPIⅢ型」と略記)においては、重力濃縮や機械濃縮にてあらかじめ 1.0～3.5% 程度に濃縮された混合汚泥を脱水対象としており、濃縮された混合汚泥に対し凝集剤を添加しフロックを形成させたくて脱水機が持つ濃縮部にて濃縮、その後脱水機本体にてろ過・圧搾・排出の工程を経て汚泥が脱水される。一方、SPIV型の処理工程は SPIⅢ型と同様であるが、脱水機の持つ濃縮部のろ過面積を増大させたことで、水処理系から引き抜かれた未濃縮汚泥(汚泥濃度 0.6～1.0%程度)をそのまま直接脱水機に投入可能な汚泥処理法である。

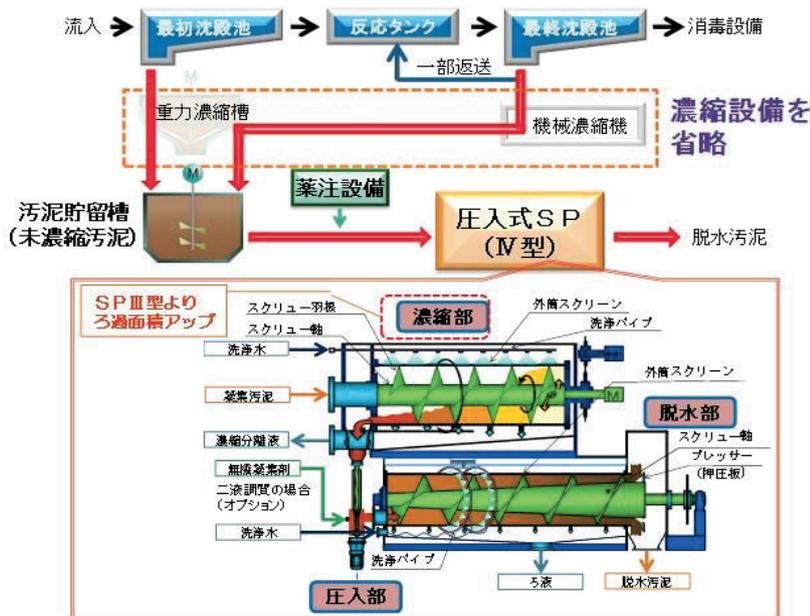


図5-1 圧入式スクリープレス脱水機(Ⅳ型)による濃縮一体化脱水法のフロー

② 調査方法

本調査はアンケート調査とヒアリングにより実施され、アンケート調査では、各処理場の維持管理担当者から運転管理データを入手し運転状況を確認した。また、維持管理担当者に対しヒアリングを行い、これまでに発生した不具合事例や、実際の運転を通して蓄積された経験に基づく設備の改善要望等を確認し、技術改善の必要性についても併せて検討を行った。2023年3月時点で、SPIV型を導入後1年以上経過している下水処理場は3か所である(以下、各々を「処理場A/B/C」と表記)。各処理場の概要は表5-1に示すとおりであり、いずれの施設も、SPIV型導入前の脱水機として「ベストシステム」を用いていた。ベストシステムは、造粒調質ユニットとベルトプレス脱水機とを組み合わせた脱水法であり、脱水の前処理として汚泥に無機凝集剤と高分子凝集剤を添加して造粒調質し、後段の脱水機本体での固液分離性とろ過速度の向上を図ることにより、SPIV型と同様、重力濃縮槽や機械濃縮を不要とする脱水法である。このため、本調査では一般的な脱水フローからSPIV型を導入した場合の効果や影響評価は行えなかった。

表5-1 調査施設概要

処理場名	処理場A	処理場B	処理場C
処理方式	標準活性炭汚泥法	凝集剤添加活性炭汚泥法	標準活性炭汚泥法
処理規模	日平均汚水量	5,700m ³ /日	8,600m ³ /日
	日最大汚水量	7,200m ³ /日	13,800m ³ /日
本技術の供用開始年月	2016年12月	2019年4月	2020年2月
脱水ケーキ処分方法	場外搬出(肥料化)	場外搬出(セメント原料化)	場外搬出(セメント原料化、肥料化、メタン発酵化)
導入前	汚泥処理	汚泥貯留槽(生汚泥+余剰汚泥)→造粒調質→ベルトプレス脱水機	汚泥貯留槽(生汚泥+余剰汚泥)→造粒調質→ベルトプレス脱水機
	脱水機仕様	ベストシステム ろ布幅1.0m × 2.45kW	ベストシステム ろ布幅1.5m × 3.5kW
	概略フロー		
導入後	汚泥処理	汚泥貯留槽(生汚泥+余剰汚泥)→SPIV型脱水機	汚泥貯留槽(生汚泥+余剰汚泥)→SPIV型脱水機
	脱水機仕様	スクリーン径φ500 150kg-DS/h × 11.5kW (内、本体4.5kW)	スクリーン径φ700 167kg-DS/h × 14.1kW (内、本体6.7kW)
	概略フロー		

(3) 検討結果

① 設備能力の発揮状況

日常運転時における脱水状況の整理として、性能基準*に対する汚泥処理量（単位：%）と性能基準に対する脱水ケーキの含水率（単位：%）（2022～2024年度の運転実績の平均値）を図5-2に、性能基準に対する運転状況について表5-2に示す。図5-2において、X軸は処理量が性能基準を満たしているか否かを示している。（運転実績－性能基準）÷（性能基準）×100で計算され、「±0%」を境界に「+」表示だと性能基準以上で運転されており、「-」表示だと性能基準未満で運転されていることを示す。

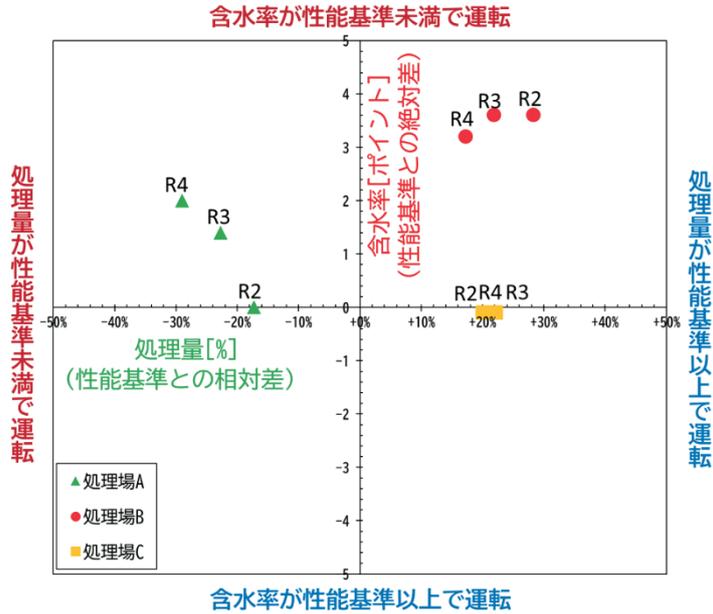


図5-2 処理量に対する脱水ケーキ含水率(年間平均)

例えば、+20%の場合は性能基準に対し20%増しの処理量で運転されていたことを示す。Y軸は含水率が性能基準を満たしているか否かを示している。（運転実績－性能基準）で計算され、「±0ポイント」を境界に「-」表示だと性能基準よりも低い含水率で運転されており、「+」表示だと性能基準よりも高い含水率で運転されていることを示す。例えば、性能基準値が80%に対して-2ポイントの場合は、含水率が78%で運転されていることを示している。

処理場C以外は含水率が性能基準よりも高い含水率で運転されていたが、これは脱水ケーキの受入先（産業廃棄物処分場）の受入条件に合わせた含水率となるよう運転をしているためである。処理場AとBについては性能基準値よりも高い含水率で運転していたことで余裕のあ

表5-2 性能基準に対する日常運転時の運転状況

	処理場A	処理場B	処理場C
①投入汚泥の汚泥濃度TS	1.15% > 0.6~1.0% 若干高い	1.01% = 1.0% 同等	0.91% = 0.9% 同等
②投入汚泥の強熱減量VTS	81.9% < 86~83% 低い	87.0% > 86~83% 高い	87.5% = 88% 同等
③投入汚泥の繊維状物(100メッシュ)	4.0% < 10% 低い	22.1% > 10% 高い	22.1% > 20% 同等
④薬品注入率 無機凝集剤(ポリ鉄)	-	8.31% < 15%以下 低い	14.8% < 20%以下 低い
⑤薬品注入率 高分子凝集剤	0.63% < 1.5%以下 低い	0.85% < 1.5%以下 低い	0.68% < 1.5%以下 低い

※表中の左の数値は運転実績値、右の数値は性能基準値を示す。

* 特記仕様書で定められる SPIV型の最低保証処理値としている処理量や含水率のこと

る運転ができていたことに加えて、処理場 B については、脱水性を示す繊維状物（100 メッシュ）の値が性能基準より高いため、薬品注入率を抑えた運転ができていた。また、処理場 C については、性能基準と同等の条件で運転されていたが、薬品注入率を抑えた運転ができていた。

② 不具合及び改善要望

ヒアリング調査で得られた主な不具合として、処理場 B ではラインミキサーの攪拌翼へのし渣絡み発生が挙げられた。ラインミキサー前段に細断機が設けられている処理場 C ではし渣絡みのトラブルは生じていなかったことから、導入検討時には汚泥中のし渣量や、過去のし渣絡みによる不具合発生の有無について調査し、必要に応じて細断機の設置を検討すべきである。

主な改善要望としては、脱水機本体の点検の困難さが挙げられた。SPIV型の脱水機本体には、臭気の漏洩防止を意図してステンレス鋼板製の外筒が設けられているが、重量が大きく外筒を外しての日常点検が困難であるといった意見が聞かれた。臭気防止とメンテナンス性を両立させるべく、点検口の位置や大きさの工夫を検討していく必要がある。

(4) まとめ

SPIV型が導入された実機の運転状況を調査・検討した結果、以下を確認した。

- 処理場 A と B は、脱水ケーキの受入れ条件に合わせた運転が行われており、必ずしも含水率等の性能基準を満たした運転が行われていたわけではなかった。一方、余裕のある運転ができていたため、薬品注入率を抑えた運転が行われていた。
- 処理場 B のように過去にし渣絡みでトラブルが生じている場合、処理場 C のように細断機を設けることでし渣絡みによるトラブルを抑制できる場合がある。
- 脱水機本体の外筒カバーは高重量のため、維持管理性が悪いという意見があり、点検口の位置や大きさの工夫を検討し、日常の維持管理に考慮した改善を行っていく必要がある。

6. 検討結果の総括

6.1 本年度の成果

(1) 水処理能力増強技術

① 水処理能力増強技術の開発・実証

前・基本計画期間に開始した以下の2つの水処理能力増強技術について、民間企業等との共同研究による実証実験を進めた。加えて、「新たな水処理能力増強技術の開発」と題した共同研究の公募を開始し、1件を選定した。

- 能力増強型水処理システム:N-BODの発現による処理水BOD濃度の目標値超過について、運転条件を再検討し、必要な措置を加えた上で通年での実証運転を7月に開始した。
- 最終沈殿池の処理能力向上技術:ろ過部カセットの底部スクリーンの閉塞対策としてスクリーンの仕様変更を行い、通水を再開した。3ヵ月間の実績では、スクリーンが閉塞する傾向は現れていないことから、長期的に状況確認することとした。また、冬期(1~3月)の期間、高負荷運転を行い、処理性能等に関するデータを蓄積した。

② 水処理能力増強方策の検討手法の確立

水処理能力増強技術について、多様な処理条件における導入効果(処理能力増強効果、コスト縮減効果)を定量化し可視化する新たな手法を見出した。

(2) 水処理改築低コスト化技術

① 仮設水処理技術の開発・実証

パッケージ型MBBR装置に凝集・ろ過ユニットを組み合わせた仮設水処理技術について、通年での長期実証運転を含めた共同研究を完了した。主要な成果を以下に示す。

- 長期実証運転により、反応タンクのHRTが1.1hrという高負荷の条件において、処理水のBOD濃度を15mg/L以下とすることが可能であることを実証した。ただし、流入原水のBOD濃度が150mg/L程度を超えると処理水のBOD濃度が15mg/Lを超過することがあったことから、本装置単独で同処理水質を達成する場合には、流入水(最初沈殿池流出水)のBOD濃度に150mg/L程度の上限を設ける必要があると考えられた。
- 本技術の処理水が硝化促進運転を行う本設の処理水と混合された場合、前者が $\text{NH}_4\text{-N}$ の、後者が硝化細菌の供給源となることでN-BODが顕著に発現し、両処理水の混合比率や本設処理水のSS濃度によっては混合後のT-BOD濃度が容易に15mg/Lを超過し得ることをテールテストにより明らかにした。ただし、通常の塩素消毒と同程度の添加率で塩素処理を行うことで、N-BODを十分に抑制できることも確認した。
- 本技術で発生する余剰汚泥(MBBR汚泥)が本設の汚泥(生汚泥、余剰汚泥)と混合した際の汚泥濃縮性に与える影響を重力沈降試験により確認したところ、MBBR汚泥自体の沈降・濃縮性は本設の汚泥よりも良好であり、両者が混合しても汚泥濃縮工程に対して悪影響を与える可能性は小さいと推定された。また、同様にMBBR汚泥の混合が汚泥脱水性に与える

影響を2通りの試験(遠心沈降ろ過試験、CST試験)により確認したところ、汚泥脱水性へ悪影響を与える可能性は小さいと考えられた。

(3) 汚泥処理低コスト化技術

① 低コスト型汚泥濃縮機・脱水機の開発・実証

高効率凝集装置と同軸差動式スクリュープレス脱水機を組み合わせた汚泥脱水技術について、民間企業との共同研究により、7月から通年での長期実証運転を開始した。現時点までの主要な成果を以下に示す。

- 高効率凝集装置なしの場合、1液・2液調質ともに目標含水率より低減でき、性能目標値の達成を確認できた。
- 高効率凝集装置を付加した場合、高効率凝集装置なしの場合に対して、1液調質では性能目標値を達成し、2液調質では概ね性能目標値に近い処理量の増加が確認できた。

(4) 事後評価調査(低コスト化技術)

① 圧入式スクリュープレス脱水機(Ⅳ型)による濃縮一体化脱水法

「圧入式スクリュープレス脱水機(Ⅳ型)による濃縮一体化脱水法」について、導入後の運転状況や課題等に係る調査を実施した。主要な成果を以下に示す。

- 脱水ケーキの受入れ条件に合わせた運転を行っている処理場の場合、必ずしも含水率等の性能基準を満たした運転が行われているわけではなかったが、余裕のある運転ができていたため、薬品注入率を抑えた運転が行われていた。
- 過去にし渣絡みでトラブルが生じていた場合、細断機を設けることでし渣絡みによるトラブルを抑制できる場合がある。
- 脱水機本体の外筒カバーは高重量のため、維持管理性が悪いという意見があり、点検口の位置や大きさの工夫を検討し、維持管理に考慮した改善を行っていく必要がある。

6.2 今後の予定

1.2節に記載の開発項目について、次年度の実施予定は以下のとおりである。

(1) 水処理能力増強技術

- 水処理能力増強技術の開発・実証：2技術に関する共同研究を継続すると共に、2023年度に公募を開始した反応タンクおよび最終沈殿池を対象とした新たな水処理能力増強技術の共同研究に着手する。
- 事後評価調査（導入フォローアップ）：ステップ流入式多段硝化脱窒法に膜分離活性汚泥法（MBR）を組み合わせた「超高度処理型 MBR」について、本邦初の導入施設におけるフォローアップ調査を開始する。

(2) 水処理改築低コスト化技術

- 事後評価調査（仮設水処理ユニット）：「単槽式 MBR と高速凝集沈殿法による仮設水処理ユニット」について、適用箇所における事後評価調査を開始する。

(3) 汚泥処理低コスト化技術

- 低コスト型汚泥濃縮機・汚泥脱水機の開発・実証：1技術に関する共同研究を継続すると共に、2023年度末に新たに採択した1技術に関して共同研究に着手する。

(4) 事後評価調査(低コスト化技術)

- 「破碎・脱水機構付垂直スクリー式除塵機」の事後評価調査を実施する。

謝辞

2.2節に掲載の「最終沈殿池の処理能力向上技術」の実証実験では、国土交通省国土技術政策総合研究所から借り受けた実証設備を使用したことを明記すると共に、同研究所の関係者各位、共同研究体の関係者各位に感謝の意を表します。

3.1節および4.1節に掲載した実証運転の実施場所である下水処理場の関係者各位、5.1節に掲載された事後評価調査にご協力頂いた地方公共団体の関係者各位に感謝の意を表します。最後に、本報で紹介した全ての共同研究の関係者各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 南大介，中谷輝，高村啓太，荒川清美，糸川浩紀：能力増強型水処理システムの流入負荷変動に対する処理水質の安定性向上，第58回下水道研究発表会講演集，pp.791-793，2021.
- 2) 高村啓太，南大介，荒川清美，山森隼人，糸川浩紀：能力増強型水処理システムにおける最適な運転条件の確立，第59回下水道研究発表会講演集，pp.787-789，2022.
- 3) 中谷輝，南大介，荒川清美，山森隼人，糸川浩紀：能力増強型水処理システムにおける低水温期の硝化の安定化，第61回下水道研究発表会講演集，pp.742-744，2024.
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所：最終沈殿池の処理能力向上技術導入ガイドライン（案），国総研資料第1089号，2019.
- 5) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説－2019年版－，日本下水道協会，2019.
- 6) 日本下水道協会：令和2年度版下水道統計，第77号，日本下水道協会，2022.
- 7) 安中祐子，松岡秀美，濱田眞輔，小関進介，山森隼人，村岡正季，糸川浩紀：パッケージ型MBBR装置を用いた仮設排水処理システムの処理性能，第60回下水道研究発表会講演集，pp.997-999，2023.
- 8) 安中祐子，松岡秀美，濱田眞輔，小関進介，山森隼人，村岡正季，糸川浩紀：パッケージ型MBBR装置を用いた仮設排水処理システムの長期実証時処理性能，第61回下水道研究発表会講演集，pp.856-858，2024.
- 9) 星範晴，菅原良行，安中良太郎：高効率型遠心脱水機の性能予測，第33回下水道研究発表会講演集，pp.829-831，1996.
- 10) 日本下水道協会：下水試験方法 上巻－2012年版－，pp.728-729，2012.
- 11) 日本下水道協会：令和3年度版下水道統計，第78号，日本下水道協会，2023.

Ⅱ-2 下水道資源利活用技術の開発

Ⅱ-2 下水道資源利活用技術の開発

熊越瑛、島田正夫、小柴卓也、新川祐二

1. 開発課題の概要

本開発課題では、下水中に含まれる有機物、窒素、リン等の「下水道資源」をエネルギーや肥料として利活用することにより循環型社会の実現に資することを目指して、下水や下水汚泥のエネルギー利用および農業利用に着目した「下水道資源利活用技術」の開発を行う。

1.1 背景および目的

2015年5月の下水道法改正により、下水汚泥の燃料または肥料としての再生利用が努力義務化されたことから、下水汚泥のエネルギー利用や農業利用について、下水処理場の広域化・共同化や改築に合わせた積極的な取組が求められている。

下水汚泥はその固形成分の約8割以上が有機分であり、乾燥や炭化等の固形燃料化処理により燃料として活用できる。下水汚泥由来の固形燃料は、火力発電所やセメント工場等において石炭の代替として利用することができる。また、下水や下水汚泥に含まれるアンモニアは燃焼させてもCO₂を排出しないことから、近年はカーボンニュートラルに資する燃料として注目されている。更に、下水汚泥には窒素やリンが豊富に含まれており、肥料原料の殆どを輸入に頼っている我が国においては、肥料化・リン回収等による下水汚泥の農業利用の社会的ニーズが急速に高まっている。「食料安全保障強化政策大綱」(2022年12月27日食料安定供給・農林水産業基盤強化本部決定)においては、2030年までに堆肥・下水汚泥資源の利用量を倍増し、肥料の使用量(リンベース)に占める国内資源の利用割合を40%まで拡大することが示された¹⁾。また、下水中にも窒素・アンモニア、リン、有機物、その他微量元素等が含まれており、循環型社会実現のためにこれら資源の回収および有効利用が求められているが、全国の下水処理場が有する下水道資源の賦存量や下水処理場内の各処理工程における下水道資源の動態等の調査を実施した事例は乏しい状況にある。

そこで本開発課題では、バイオガス利活用技術を除く*下水や下水汚泥のエネルギー利用および農業利用に着目した下水道資源利活用技術の普及拡大を目的に、技術開発動向や利用実態の調査、基礎実験を行うと共に、実規模実証により速やかに社会実装可能な新技術の開発を実施する。

*「JS技術開発・活用基本計画2022」において、バイオガス利活用技術については開発課題「I-1 2030年目標に向けた脱炭素化技術の開発」の開発項目として扱われている。

1.2 開発項目

本開発課題では、下水道資源利活用技術の開発を行う。下水汚泥の肥料利用の社会的ニーズが急速に高まったことを踏まえ、昨年度末に開発項目を以下の2つに分けて実施することとした*。

(1) 下水汚泥資源エネルギー利活用技術

下水汚泥中の有機物のうち、バイオガス発電や固形燃料化等、エネルギー利用された割合を示す下水汚泥エネルギー化率は、第5次社会資本整備重点計画における2025年度までの目標値である30%に対し、2022年度時点で26%であり、バイオガス利用を除くと約9%に留まっている²⁾。下水汚泥資源のエネルギー利用をこれまで以上に普及拡大してゆくためには、バイオガス利用と併せてエネルギー利用に資する技術のラインアップを更に充実させることが重要である。下水汚泥資源のエネルギー利活用技術(以下、「エネルギー利活用技術」と略記)の更なる普及を図るために、国内外のバイオマス利用状況や関連技術等を調査すると共に、公募型共同研究による新たな技術の開発を実施する。また、エネルギー利活用に資する下水道資源の量や回収技術等の知見は必ずしも多くはない状況にあるため、下水処理場に流入するアンモニア等のエネルギー資源の賦存量や、回収・利用技術の開発動向の調査を実施する。これらを踏まえてエネルギー利活用技術を体系化し、下水道資源の更なる利用促進を図る。

① バイオマス利活用に関する調査((2)①と一部共通)

2022年度からの5か年で、国内外の下水汚泥の利用状況や下水道分野以外のバイオマスのエネルギー利用状況等に関して、文献調査や実態調査を実施する。

② 下水道資源の有効利用に係る基礎調査((2)②と一部共通)

下水処理場に流入するアンモニア等の下水道資源の有効利用に向けて、2022年度、2023年度において文献調査により基礎情報を収集すると共に、下水の処理過程における下水道資源の賦存量調査を実施する。

③ 下水汚泥資源エネルギー利活用技術の開発

①の調査結果を踏まえて、2023年度以降に、エネルギー利活用技術を対象とした公募型共同研究を実施する。

④ 下水汚泥資源利活用技術の体系化(エネルギー利活用技術)

①～③の成果を踏まえて、技術ラインナップの体系化や導入検討マニュアルの作成を図る。

(2) 下水汚泥資源農業利活用技術

社会情勢の変化に伴い下水汚泥の肥料としての利用拡大が求められているが、我が国の下水処理場で発生した全汚泥量に対して緑農地利用されたものの割合は10%程度²⁾にとどまってい

* 2022年3月に策定した「JS技術開発・活用基本計画2022」の当初版では本開発課題に対して一つの開発項目「下水汚泥資源利活用技術」を設定していたが、本文記載の経緯から、2023年3月に同計画を改定し開発項目を2件に分割したものである。

る。そのため、下水汚泥の肥料化やリン回収技術等を含む下水汚泥資源の農業利活用技術（以下、「農業利活用技術」と略記）について、更なる普及拡大を図る必要がある。そのためには、その他のバイオマスの利活用状況や利活用技術等を踏まえ、技術のラインナップを更に充実させる必要がある。また、下水汚泥の肥料利用については、実際に肥料を製造し成分の測定等を行うことにより、基礎的な知見を増やす必要がある。

以上の背景から、本開発項目では、国内外のバイオマスの農業利活用に関する状況や技術等を調査し、公募型共同研究等を新たに実施する。また、下水道資源のうち農業利用に資するものの量や回収技術等については基礎的な知見が乏しい状況にあるため、下水処理場に流入する窒素、リン、カリウム、その他微量元素等の資源の賦存量を把握すると共に、これらの回収・利用技術等の調査を実施する。下水汚泥肥料については、技術開発実験センターで肥料を製造すると共に施肥効果等の調査を行う。これらの調査結果を踏まえて技術の体系化を図る事により、農業利活用技術の更なる普及促進を図る。

① バイオマス利活用に関する調査((1)①と一部共通)

2022年度からの5か年で、国内外の下水汚泥の利用状況や下水道分野以外の農業利用状況等に関して、文献調査や実態調査を実施する。

② 下水道資源の有効利用に係る基礎調査((1)②と一部共通)

下水処理場に流入する窒素、リン、カリウム、その他微量元素等の下水道資源の有効利用に向けて、2022年度、2023度において文献調査により基礎情報を収集すると共に、下水の処理過程における下水道資源の賦存量調査を実施する。

③ 下水汚泥資源農業利活用技術の開発

①の調査結果を踏まえて、2023年度以降に農業利活用技術を対象とした公募型共同研究を実施する。また、「B-DASH プロジェクトにおける実規模実証」等の競争的研究資金を活用した研究を実施する。

④ 下水汚泥肥料の製造および施肥効果等に係る基礎調査

JS技術開発実験センターにおいて、下水汚泥肥料を製造し、肥料成分の測定や施肥効果の検証を行う。また、地方公共団体の要請に応じて、下水汚泥肥料化施設の導入検討に資する基礎実験を実施する。

⑤ 下水汚泥資源利活用技術の体系化(農業利活用技術)

①～④を踏まえて、技術ラインナップの体系化や導入検討マニュアルの作成を図る。

1.3 本年度の実施内容

本年度は、1.2節に記載の開発項目のうち、以下の2項目を実施した。なお、各開発項目で共通する実施内容は、節を纏めて掲載する。

(1) 下水汚泥資源エネルギー利活用技術

- ① バイオマス利活用に関する調査 (2.1 節)
- ② 下水道資源の有効利用に係る基礎調査 (3.1 節に掲載)
- ③ 下水汚泥資源エネルギー利活用技術の開発 (2.2 節)

(2) 下水汚泥資源農業利活用技術

- ① バイオマス利活用に関する調査 (2.1 節に掲載)
- ② 下水道資源の有効利用に係る基礎調査 (3.1 節)
- ③ 下水汚泥資源農業利活用技術の開発 (3.2 節)
- ④ 下水汚泥肥料の製造および施肥効果等に係る基礎調査 (3.3 節)

2. 下水汚泥資源エネルギー利活用技術

2.1 バイオマス利活用に関する調査

(1) 検討の概要

下水汚泥をバイオマスとしてエネルギーや農業に活用するためには、下水汚泥を含むバイオマスの現行の利用状況や用途等に応じた利活用技術を把握することが重要であり、利活用技術の開発においてはこれらの調査を踏まえて方向性を見極める必要がある。そこで本検討では、2022年度からの2か年で、下水道（類似施設を含む）から発生する汚泥を中心として、国内外における利活用の状況や関連技術等の調査を実施する。

本検討は全体で2か年の調査研究を実施し、前年度は下水汚泥以外の各種バイオマスについても対象として、(a) 日本国内におけるバイオマス資源の発生量および有効利用状況、(b) 下水道事業において新たに導入可能性が高いと思われる有効利用技術および有効利用事例等について調査を実施した。本年度は、海外における下水汚泥の処理状況や利活用状況等を把握するための文献調査を行った。

(2) 検討方法

本検討は、文献調査により海外における下水汚泥の処理状況や有効利用状況等を把握するものである。調査対象は、多様な地域の特性や技術等を広く収集する目的から、アメリカ合衆国（米国）、カナダ、EU、イギリス、韓国の5つとした。これら5つの国・地域の動向について、海外の公的機関、企業等のホームページや出版物等から情報を収集し、以下の項目に沿って整理を行った。

- 1) 下水汚泥の処理に関する法令・政策
- 2) 下水道普及率・排水処理量
- 3) 下水汚泥発生量・再利用/処分方法と割合

(3) 検討結果

① 米国

1) 下水汚泥の処理に関する法令・政策

米国は Clean Water Act (CWA ; 水質浄化法) で水質汚染を統制しており、CWA セクション 405 (d) で Environmental Protection Agency (EPA ; 米国環境保護庁) に対して以下の役割を求めている³⁾。

- ・ 下水汚泥の利用または処分において、化学物質や微生物汚染物質による有害な影響から公衆衛生と環境を保護するための数値上限と管理要領を確立すること。
- ・ 下水汚泥の規制を2年ごとに見直し、追加の汚染物質を特定すると共に、それらの汚染物質が人間の健康または環境に有害である場合は規制を設けること。

下水汚泥に対する基準 EPA40 CFR Part 503 (下水汚泥の利用または処分の基準) は、緑地利用、焼却、埋立を行う下水汚泥を対象にしており、ここには汚染物質の制限、病原体および誘引物質の削減に関する要件、管理要領、モニタリング、記録保持、報告等が含まれる。

2) 下水道普及率・排水処理量

2016年時点で米国には15,014箇所の下水処理場があり、130,500千m³/dの排水を処理している⁴⁾。また、16,000箇所以上の下水処理場で全人口の81%以上の排水を処理し、残りの約20%はセプティックタンク等のオンサイト排水処理システムを利用しているという報告もある⁵⁾。

3) 下水汚泥発生量・再利用/処分方法と割合

前述の15,014箇所の下水処理場から、12,560千t-DS/yrの下水汚泥が発生している。2007年時点で米国の下水汚泥発生量の約50%は緑地利用され、この他は埋立が22%、農業利用が17%、焼却は1%未満となっている。

一方で、EPAは2019年・2021年・2022年それぞれの下水汚泥発生量(推定値)と2018年の処理単価を表2-1のように公表している⁶⁾。

表2-1 米国における下水汚泥発生、再利用率と処理単価

項目	2019汚泥量	2021汚泥量	2022汚泥量	2018処理単価
(単位)	(百万t-DS/yr)			US\$/t-WS
汚泥発生量	4.75	4.5	3.76	—
緑地利用	1	0.855	0.946	62
農業利用	1.4	1.125	1.17	62
建設資材利用	0.765	0.63	0.6	95.3
埋立	1	1.89	1	58.25
その他	0.498	0.45	0.4	—

② カナダ

1) 下水汚泥の処理に関する法令・政策

カナダ全土に統一的に適用される下水汚泥の処理に関する法令等は見当たらず、州や地域単位で規定されている。ただし、下水汚泥由来の農業用肥料等の加工・販売や輸入される下水汚泥については、カナダ全土に適用される肥料法等で規制されている。また、2012年にThe Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME; カナダ環境担当相協議会)が下水汚泥の有益な利用と適切な管理を奨励しており、以下の4点を原則としている⁷⁾。

- ・有用性や資源価値の考慮
- ・環境や健康への潜在的リスクを最小化する戦略
- ・GHG排出を最小化する戦略
- ・連邦、州、地域、市町村の基準、要件、またはガイドラインの遵守

2) 下水道普及率・排水処理量

カナダでは全人口の約 75%は下水道が普及しており、残りの約 25%はセプティックタンク等のオンサイト型の排水処理システムを利用している⁷⁾。また、Environment and Climate Change Canada (ECCC) のホームページによると、2018年の処理水量は 5,690,000 千 m³/yr であり、地方公共団体の下水道システムを利用する人口割合は約 87%となっている。

3) 下水汚泥発生量・再利用/処分方法と割合

2000年時点で 389 千 t-DS/yr の下水汚泥が発生しており、43%が緑地利用、47%が建設資材利用、4%が埋立、残りは土地再生 (Land Reclamation) 等となっている⁸⁾。

また、下水汚泥の処理と再利用について、以下のように分類されているが⁷⁾、定義や割合等の詳細な記載は見当たらない。

- ・処理と再利用：焼却・埋立、緑地利用
- ・エネルギー/資源の回収：埋立後の発生ガス利用、焼却炉の熱回収、灰の回収/利用、熱と電力、バイオガス、リン回収

③ EU

1) 下水汚泥の処理に関する法令・政策

EU の下水汚泥に関する事項は、二つの EU 指令 (Urban Waste Water Treatment Directive (UWWTD ; 都市排水処理指令)、Sewage Sludge Directive (SSD ; 下水汚泥指令)) で規定すると共に、Circular Economy Action Plan (CEAP ; 循環経済アクションプラン) で下水汚泥の有効利用を求めている。

UWWTD では、下水処理場から発生する下水汚泥は、原則として再利用されなければならないとしている。また、廃棄による環境への悪影響を最小限に抑えなければならず、1998 年末までに海洋投棄や地表水への廃棄は段階的に廃止された⁹⁾。

SSD は、EU における下水汚泥の農業利用を規制する重要な規定となっており、主な目的は下水汚泥の安全な農業利用を奨励し、有害な影響を防ぐことによって人間の健康と環境を保護することである。そのため、土壌中の重金属濃度を制限すること、未処理の下水汚泥の農地での利用を禁止すること (EU 加盟国ごとに例外あり) 等が規定されている。また、下水汚泥の利用に当たっては土壌、地表水、地下水に悪影響を与えないことが規定され、pH6 未満の土壌で利用する場合は、土壌の重金属が増加する可能性や作物が吸収する可能性を考慮し、必要に応じて SSD の規制基準に上乘せすることとされている。⁹⁾

CEAP では、下水汚泥の農業利用における経済的・環境的利点を強調しており、リンを含む下水汚泥を重要な資源として位置づけている。

2) 下水道普及率・排水処理量

EU が公開している統計情報データベース (Eurostat) の 2020 年データ (ブルガリアとドイツは 2019 年データを使用) によると、EU 域内の下水道人口普及率は平均 85%で、デンマーク・ドイツ・フランス・マルタ・オランダ・オーストリア・フィンランド・スウェーデンでは

100%であった。また、EU 全域の合計処理水量は 35,442,000 千 m³/yr (平均 97,101 千 m³/d) であった。

3) 下水汚泥発生量・再利用/処分方法と割合

Eurostat の 2020 年データによると、EU 域内で発生した下水汚泥は 10,400 千 t-DS/yr であった。EU 指令にて下水汚泥の農業利用を強く推進していることから、表 2-2 に示すとおり農業利用の割合が高いものの、各国にて独自の政策を推進している。

表 2-2 EU における下水汚泥の再利用方法と利用量 (Eurostat; 2010~2021 年)

(単位: 千DS-t)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Sludge Production	9,401.56	6,515.21	8,070.8	6,267.35	6,681.83	6,628.48	7,142.65	6,629.47	6,230.66	4,301.67	4,208.68	2,372.62
Sludge Disposal	8,793.16	6,356.50	7,758.65	6,113.27	6,646.80	6,061.25	7,090.08	6,336.93	6,349.38	4,305.01	4,290.22	2,433.61
Agricultural Use	4017.82	2517.14	3344.37	2284.94	2480.99	2392.82	2525.67	2322.33	2134.6	1126.59	1112.03	661.58
Compost and Others	924.15	889.12	1028.64	838.8	1017.21	796.08	1024.58	996.45	745.91	688.54	1049.01	481.72
Landfill	926.11	519.29	507.21	445.96	468.73	404.42	625.19	448.55	535.6	262.51	389.51	253.9
Dumping to Sea	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Incineration	2252.01	2029.29	2386.27	2159.09	2149.6	2054.92	2341.43	2012.45	2275.58	1712.31	1045.3	434.12
Others	629.83	442.92	487.97	438.52	616.39	472.13	692.25	627.52	657.8	601.25	694.66	614.16

※スペインが 2018 年以降、ドイツが 2019 年以降、フランスが 2020 年以降のデータを公表していない。また、2010 年、2012 年には EU 離脱前のイギリスのデータも掲載されている。

④ イギリス

1) 下水汚泥の処理に関する法令・政策

イギリスでは 2023 年 8 月に下水汚泥等の処理、保管、使用に関するこれまでの規制制度が見直された¹⁰⁾。

2) 下水道普及率・排水処理量

イギリス全土の実態を示すデータが入手できなかったため、イングランドの実績を確認した¹¹⁾。イングランドでは全ての生活排水が集合または個別の処理システムに接続されている。人口 2,000 人以上の都市 1,442 箇所に 1,443 の下水処理施設があり、合計 78,002,354 人分の汚水を処理している。そのうち 914 施設は 2 次処理を行い、529 施設は 3 次処理まで行っている。

3) 下水汚泥発生量・再利用/処分方法と割合

2) と同様にイギリス全土の実態を示すデータが入手できなかったため、ここではイングランドとスコットランドの実績を確認した^{11),12)}。イングランドにおける 2020 年の下水汚泥発生量は 808 千 t-DS/yr であった。このうち、94%が土壌や農業で再利用されており、残りの 6%は建設資材等となっている。スコットランドにおける下水汚泥の発生量は 136 千 t-DS/yr であった。利用方法は 2005 年には緑地利用 (Land Reclamation) と焼却に大きく二分される状況であったが、緑地利用は下水汚泥に含まれる病原体や有害物質の処理に力点が置かれることとな

り、2006～2007年より緑地利用に代わって農業利用（Agriculture（Enhanced Treated*））が大きくシェアを伸ばした。2017年には焼却と農業利用がそれぞれ36%、41%となっている。

⑤ 韓国

1) 下水汚泥の処理に関する法令・政策

韓国では下水汚泥は廃棄物として取り扱われ、「生活廃棄物焼却施設における下水汚泥の混合焼却指針」（2007年4月、環境部）および「廃棄物管理法施行規則」（環境部令 第1048号、2023年8月11日施行）では、下水汚泥（有機性汚泥）の処理に関して以下のような記述がある。

- ・建設資材（焼却）あるいはセメント原料として利用、またはこれと同等の処理方法で固形化する。
- ・含水率85%以下に脱水・乾燥してから、管理型の施設にて埋立する。
- ・処理量10,000m³/d以上の公共下水処理施設からの有機性汚泥は埋立してはいけない。
- ・埋立ガスを回収再利用する施設がある場合、含水率75%以下に処理してから埋立できる。

2) 下水道普及率・排水処理量

韓国の公共下水道の処理水量は2013年時点で7,187,000千m³/yrであり、処理区域内の人口普及率は92.1%である¹³⁾。

3) 下水汚泥発生量・再利用/処分方法と割合

下水道普及率の増加に伴い汚泥の発生量も増加しており、2010年と比較して2013年には約15%増加している（2010年：3,080千t-WS/yr、2013年：3,531千t-WS/yr）。また、下水汚泥の再利用率は、2005年の4.8%から2010年に28.4%、2013年には51.4%と急激に増加している。¹³⁾

韓国では下水汚泥の再利用法として図2-1の処理の分類が公開されているが¹⁴⁾、固化、炭化、乾燥、燃料化等が全て「その他」に分類され、その内訳は確認できなかった。

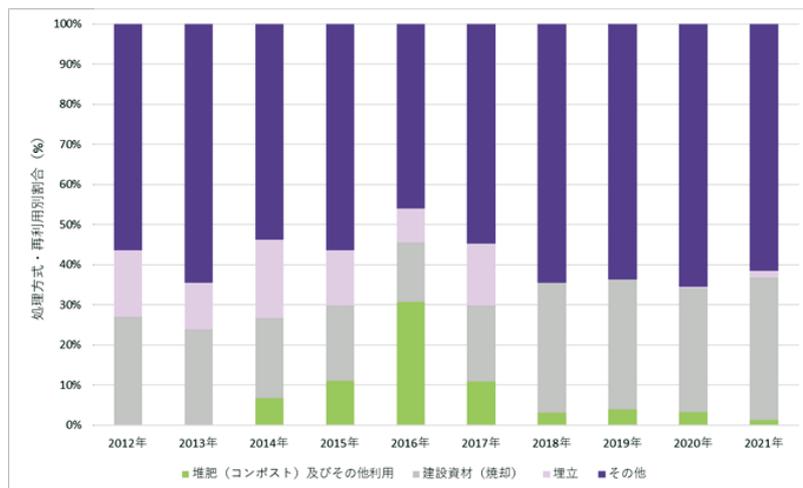


図2-1 韓国における下水汚泥発生量と処理方法の推移

* 嫌気性消化汚泥の消化液または脱水汚泥の農業利用を従来型処理（Conventionally Treated）、乾燥や石灰混合等の処理を行った下水汚泥の農業利用を高度処理（Enhanced Treated）と定義付けしている。

(4) まとめ

本検討では、米国、カナダ、EU、イギリス、韓国の5つの国・地域を対象に、文献調査により下水汚泥の処理状況や有効利用状況等を調査した。米国では12,560千t-DS/yrの汚泥発生量のうち、67%が緑地や農業で利用されていた。カナダ全土の汚泥発生量は389千t-DS/yrであり、43%が緑地利用、47%が建設資材利用であった。EU域内の下水汚泥発生量は10,400千t-DS/yrであった。イギリス全土の統計データは見当たらなかったが、イングランドでは発生汚泥量の大部分が土壌や農業で利用され、スコットランドでは、近年は農業利用のシェアが増加していた。韓国では3,531千t-WS/yrの汚泥発生量に対し、再利用率は10年弱で急激に増加していた。

2.2 下水汚泥資源エネルギー利活用技術の開発

(1) 検討の概要

下水汚泥は量・質共に安定したバイオマス資源であり、これをエネルギーとして利活用することで循環型社会の実現に貢献すると共に、下水汚泥エネルギー化率の向上により温室効果ガス排出量の削減にも寄与する。また、第6次エネルギー基本計画では、「バイオマス発電は、災害時のレジリエンスの向上、地域産業の活性化を通じた経済・雇用への波及効果が大きい等、地域分散型、地産地消型のエネルギー源として多様な価値を有するエネルギー源である」とされており、下水汚泥もその一つとして位置付けられている。

このような背景から、本検討では、下水汚泥資源のエネルギー利活用の普及拡大を目的として、新たなエネルギー利活用技術の開発を行う。その一環として、本年度は下水汚泥資源のエネルギー利活用の普及拡大に資する技術を対象に共同研究「循環型社会の実現に向けた下水汚泥資源の利活用技術の開発」の公募を行い、以下の1技術に係る共同研究者を選定して実証試験を開始した。本稿では、共同研究の概要を紹介する。

- 共同研究課題と名称：循環型社会の実現に向けた下水汚泥資源の利活用技術の開発
－水熱炭化を用いたカーボンニュートラルの達成に向けた実証－
- 共同研究者：㈱神鋼環境ソリューション
- 共同研究期間：2023年10月～2024年12月
- 実証技術：水熱炭化を用いた下水汚泥の燃料化技術

(2) 検討方法

① 技術の概要

水熱炭化（Hydrothermal carbonization）は、図2-2に示すように、脱水汚泥を加圧・加熱することにより脱水汚泥中の有機物を可溶化・炭化させ、スラリー状に改質された汚泥を圧搾（固液分離）することで炭化汚泥を生成させる処理法である。脱水汚泥を加圧・加熱する反応器の条件は0.9MPa、170℃程度であり、効率的に可溶化・炭化するために炭化促進剤を添加する。圧搾後の分離液は有機物の可溶化により溶解性有機物を多く含むため、既設の嫌気性消化槽に返送することでバイオガスの増量が期待できる。

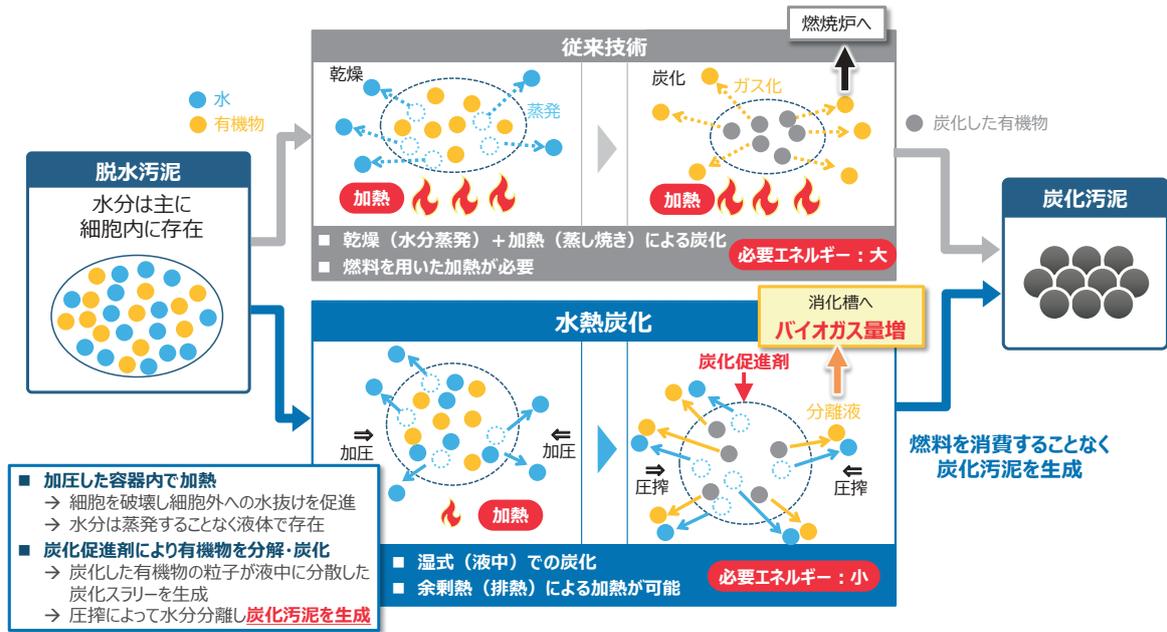


図2-2 水熱炭化のメカニズム

本共同研究の実証技術である「水熱炭化を用いた下水汚泥の燃料化技術」(以下、「水熱炭化技術」と略記)は、前述の水熱炭化の原理を用いて、燃料や肥料として利用可能な炭化物を製造する技術である。水熱炭化技術は図2-3に示すとおり、水熱炭化を行う反応器と固液分離機(無薬注のフィルタープレス)のほか、生成した炭化汚泥を貯留すると共に含水率の調整を行う養生設備を設ける。また、消化汚泥の脱水時に難分解性有機物が脱水ろ液に含まれる可能性があることから、必要に応じて分離液処理設備を設ける。

水熱炭化技術は、水分を蒸発させることなく炭化物を得ることができる。そのため、乾燥や熱分解に多くのエネルギーを要する従来の炭化技術に対し、反応器や養生設備の加温には消化ガス発電機の廃熱等の僅かな投入エネルギーで処理が可能である。また、含水率が30~40%程度の炭化汚泥を養生することで、燃料や肥料として利用する際の受け入れ条件に応じた含水率に調整することができる。養生工程では湿潤状態で炭化汚泥を貯留するため、炭化物の蓄熱に伴う火災や粉塵爆発等のリスクを低減することも期待できる。

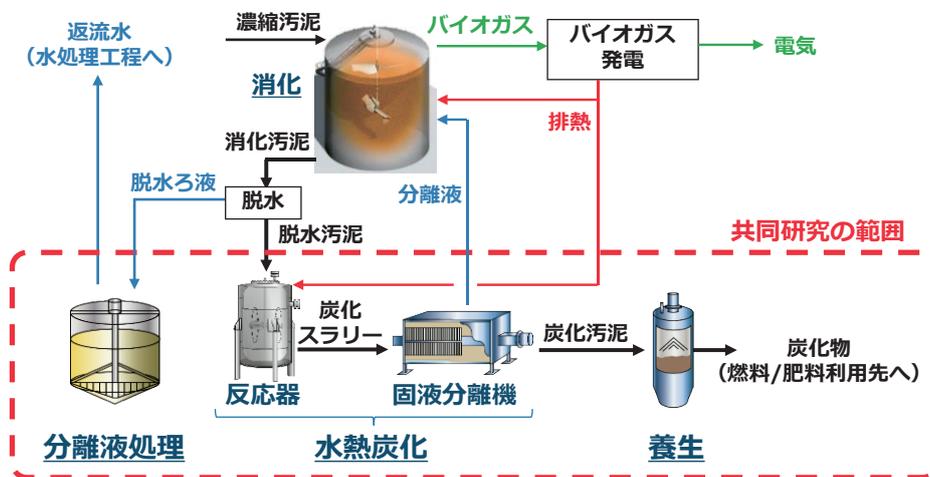


図2-3 水熱炭化技術のフロー

② 研究内容

本共同研究では、実際の下水処理場内に実証プラント（脱水汚泥処理量：5t/d）を設置し、長期的に安定かつ安全に処理が可能であることを確認する。本実証プラントを設置した下水処理場の諸元は以下のとおりで、実証試験は2023年11月に開始した。

- ・水処理方法：標準活性汚泥法
- ・処理水量：現有処理能力 50,750m³/d
- ・汚泥処理方法：分離濃縮→消化→脱水→場外処分

本共同研究では、実証試験の結果に基づき以下の5項目を実現目標としている。これらの目標の達成に向けて、反応器の反応条件（温度、圧力、反応時間等）、固液分離機の圧搾条件、養生条件等の最適化による水熱炭化技術の性能の確認の他、24時間連続運転によるエネルギー収支の検討や分離液の返送による消化ガス発生量への影響検討等を行っている。

●脱炭素効果

処理場外での炭化物利用による削減効果を含めた条件において、消化との組み合わせで下水処理場のカーボンニュートラルを実現できること。

●省エネ・創エネ性

投入エネルギーより生成炭化物のエネルギーが大きいことで、汚泥処理のエネルギー自立が可能なこと。

●経済性

従来の炭化技術と比較して経済性に優れていること。

●炭化物性状

需要者のニーズに応じて炭化物の性状調整が容易であり、燃料や肥料として利用可能であること。

●既設処理施設への影響

本技術を導入する下水処理場の水処理・汚泥処理に顕著な悪影響を与えないこと。

(3) 検討結果

2023年11月に実証試験を開始し、各種運転条件による影響や長期の運転データを蓄積しているところである。

(4) まとめ

本検討では、エネルギー利活用技術を対象に共同研究の公募を行い、選定した水熱炭化技術について2023年11月に実証試験を開始した。

3. 下水汚泥資源農業利活用技術

3.1 下水道資源の有効利用に係る基礎調査

(1) 検討の概要

本調査は、下水道資源をエネルギーや農業へ利用することを念頭に、下水処理場内に存在する資源の回収および利活用検討の基礎情報を得ることを目的としている。

昨年度は、下水道資源の回収・利用技術の開発動向調査ならびに実用化された技術の事例および課題調査として文献調査を実施した。また、処理場の規模や処理プロセスが異なる3処理場を対象として、下水中に含まれる有用資源（窒素（全窒素およびアンモニア）、リン、カリウム、その他微量成分）の処理過程における動態調査を実施した。

本年度は、昨年度と異なる2カ所の処理場を対象に、動態調査と併せて補足的に24時間試験、水道水分析調査、MBR処理水の水質調査を行った。

① 有用資源の動態調査

流入から放流までの水処理過程、汚泥処理過程における有用資源の動態を把握するために水質分析調査を行う（D浄化センター、E浄化センター）。

② 24時間試験

動態調査は基本的にスポット採取により実施しているが、より詳細な動態（流入水時間変動等）を確認するための調査を行う（D浄化センター）。

③ 水道水分析調査

下水中の有用資源のうち水道水に起因する割合を推測するために各処理場に流入する水道水の水質分析調査を行う（D浄化センター、E浄化センター）。

④ 膜分離活性汚泥法(MBR)処理水の水質調査

MBRは各種汚濁物質が高度に除去されており、有用資源回収の原水として利用可能性が高いと考えられるため、その性状を把握するために水質分析調査を行う（E浄化センター）。

(2) 検討方法

表3-1に、今回調査の対象としたD浄化センターおよびE浄化センターの概要を示した。

表3-1 調査対象処理場の概要

処理場名	処理水量（日平均）	水処理方式	汚泥処理方式
D 浄化センター	32,400m ³ /d	標準活性汚泥法 （硝化抑制運転）	濃縮＋消化＋脱水＋ 場外搬出
E 浄化センター	62,500m ³ /d	標準活性汚泥法 A2O 法 膜分離活性汚泥法	濃縮＋場外圧送（広域 汚泥処理場）

① 有用資源の動態調査

分析試料の採取はD浄化センターでは2023年11月14～15日に実施した。図3-1に示すとおり、流入水、初沈越流水、放流水、初沈汚泥、余剰汚泥、消化槽投入汚泥、脱水機投入汚泥、脱水ろ液、脱水汚泥をそれぞれスポット採取して分析した。E浄化センターは2023年11月9日に実施した。なおE浄化センターでは現地の都合で汚泥試料の採取ができなかったため、水処理工程からスポット採取できた試料のみ分析を行った。分析は有用成分としてT-N、NH₄-N、P、Kを対象とし、参考としてTS、COD_{Cr}、Mg等の項目についても分析を行った。

② 24時間試験

有用資源動態調査用の採水に併せて、D浄化センターでは流入水、初沈越流水、放流水について自動採水機を用いて24時間採水(2時間間隔)を行った。分析はT-N、NH₄-N、T-P、K、COD_{Cr}、Mgについて行った。

③ 水道水分析調査

有用資源動態調査用の採水に併せて、D浄化センターの水道水およびE浄化センター近隣施設において水道水の採取を行い、T-N、T-P、K、Mg等の分析を行った。

④ MBR処理水の水質調査

E浄化センターでは一部の水処理系列で膜分離活性汚泥法による処理が行われており、標準活性汚泥法とA2O法の混合処理水(以降、「通常処理水」と表記)と併せてMBRの処理水について採取分析を行った。

(3) 検討結果

① 有用資源の動態調査

各浄化センターの概略処理フローと各処理工程における分析試験結果を図3-1、図3-2に示した。各工程における有機性汚濁物質の分解状況および移行状況の参考としてCOD_{Cr}も掲載した。

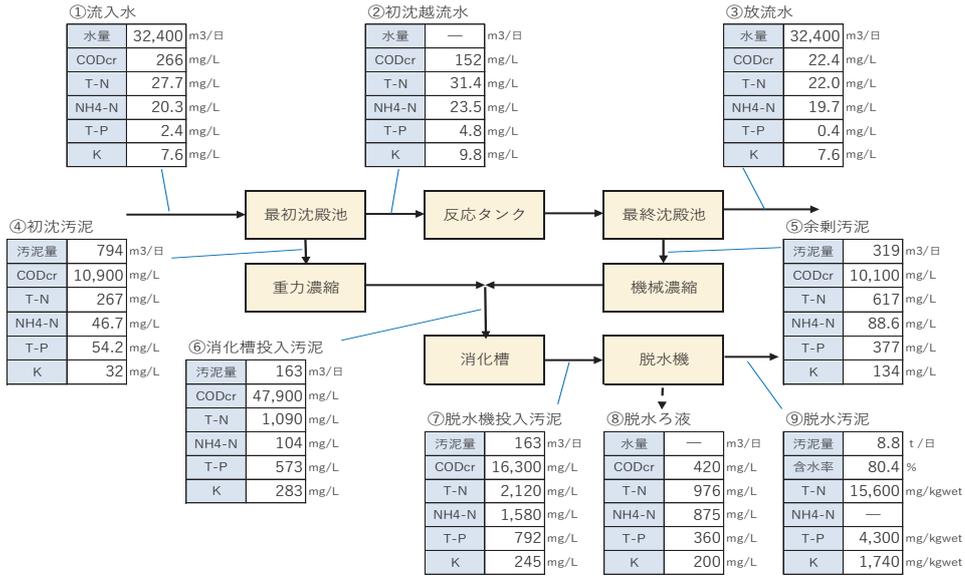


図3-1 D 浄化センターの概略処理フローと水質等分析結果

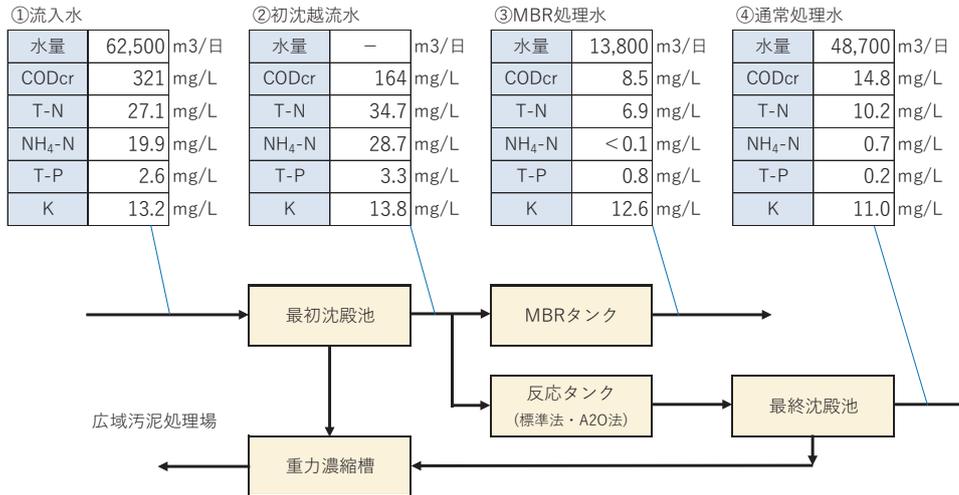


図3-2 E 浄化センターの概略処理フローと水質等分析結果

水質分析は基本的にスポット採取試料を対象に実施したが、D 浄化センターにおける流入水、初沈越流水、放流水については 24 時間試験を行ったためその平均値を示した。D および E 浄化センターにおける流入水質はそれぞれ T-N は 27.1、27.7mg/L、同 NH₄-N は 19.9、20.3mg/L、同 T-P は 2.4、2.6mg/L で概ね同等の濃度であったが、K については 7.6mg/L および 13.2mg/L とやや開きがみられた。

また、分析結果をもとに D 浄化センターについて、流入水中の T-N、T-P および K の賦存量を 100%とした場合の処理過程における存在量を以下に示した。

・T-N

流入水の T-N 量に対し、放流水として 79%が流出し、15%が脱水汚泥として排出されていた。放流水としての流出量が多いのは反応タンクで硝化抑制運転が行われていたためである。

・T-P

流入水の T-P 量に対し、放流水としての流出が 17%と低い。硝化抑制運転により議事嫌気好気条件下に置いて活性汚泥中にリンが過剰摂取されたことや、重力濃縮および機械濃縮工程で金属塩（ポリ鉄）の添加が行われていたことから、汚泥に取り込まれ脱水汚泥として排出されるリンの量が多いためである。

・K

流入水の K 量に対し、脱水汚泥として排出されるのは 6%程度で、大部分は放流水として流出していた。

処理場における流入水各成分の存在形態（溶解性と浮遊性）について、図 3-3 に D 浄化センター、図 3-4 に E 浄化センターの結果を示した。流入水成分のうち、比較的浮遊性成分が多いのは COD_{Cr} の約 65%、T-P の約 40~50%で、その他の成分は 80~90%以上が溶解性で存在していた。特に K は大部分（98%）が溶解性であった。

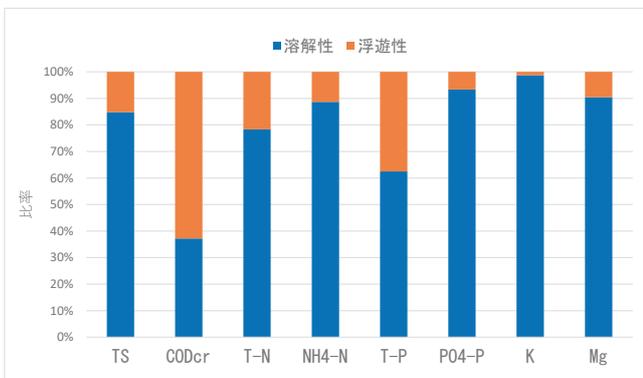


図 3-3 流入水各成分の存在形態 (D 浄化センター)

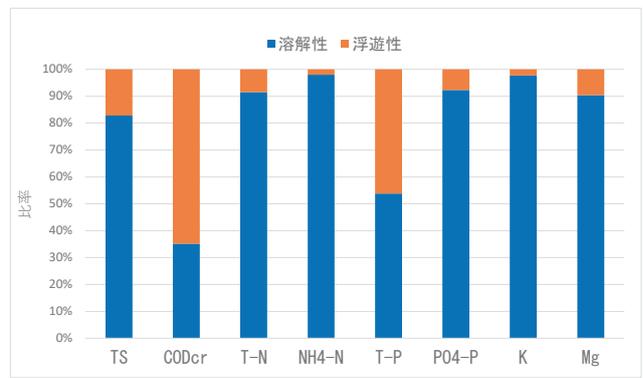


図 3-4 流入水各成分の存在形態 (E 浄化センター)

以上のように、D、E 浄化センターの各処理工程における有用資源の動態は、昨年度の調査結果と概ね同様であった。

② 24 時間試験

図 3-5 ~ 図 3-10 に、D 浄化センターにおける主な項目についての 24 時間試験の結果を示した。

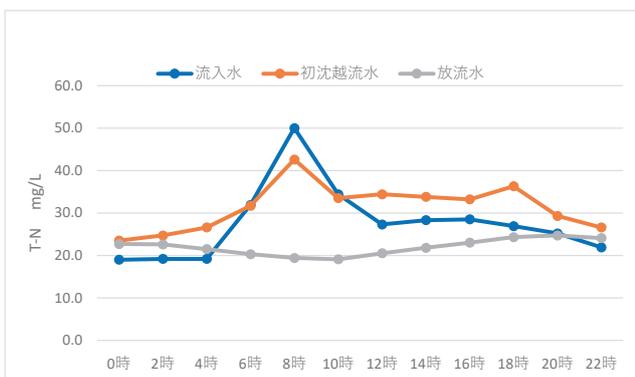


図 3-5 T-N の 24 時間変動

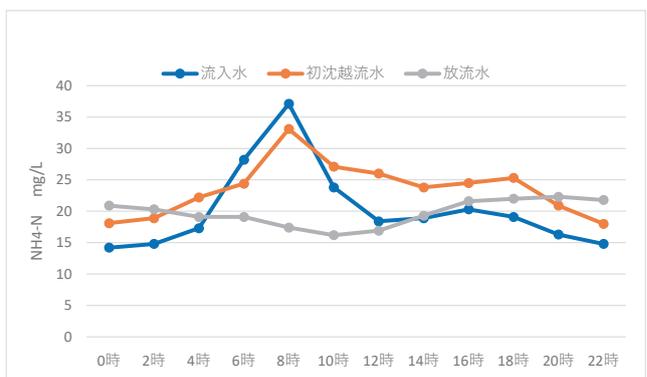


図 3-6 NH₄-N の 24 時間変動

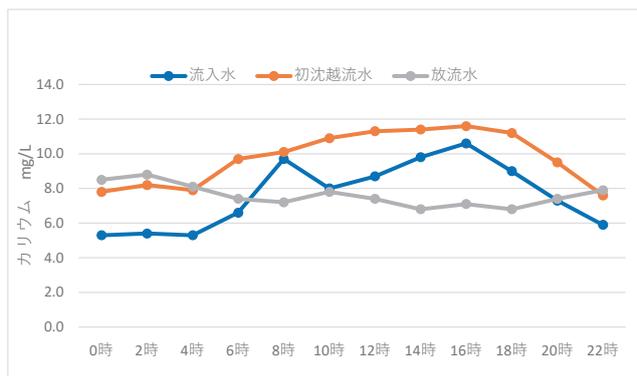


図3-7 Kの24時間変動

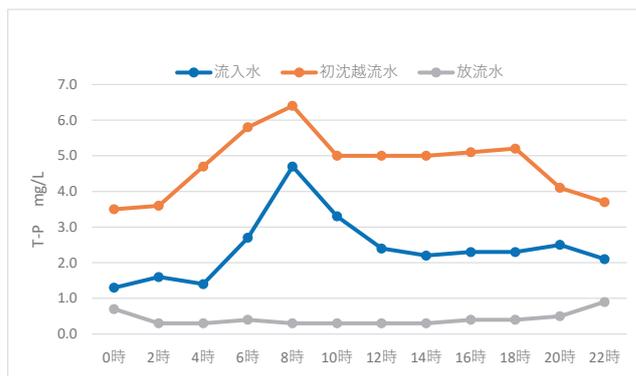


図3-8 T-Pの24時間変動

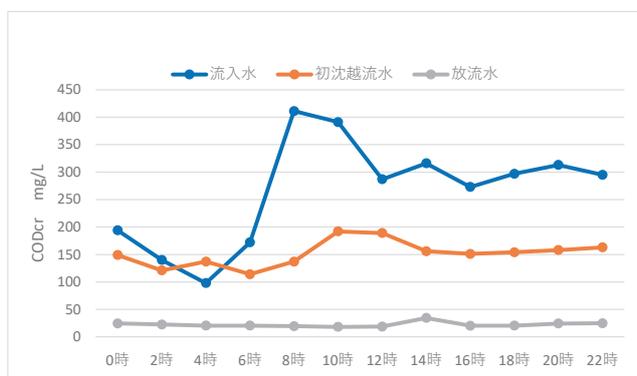


図3-9 COD_{Cr}の24時間変動

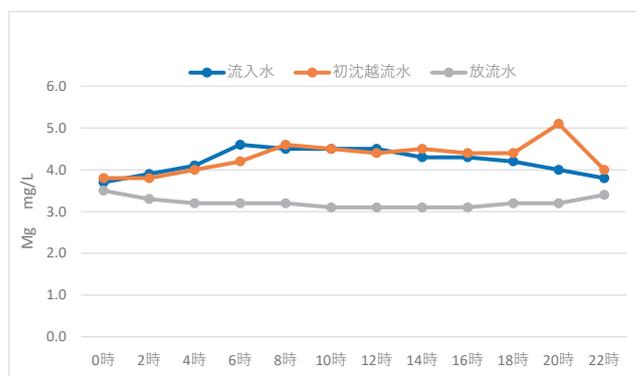


図3-10 Mgの24時間変動

T-N、NH₄-N、T-P、COD_{Cr}においては流入水質の時間変動が大きく（8時頃にピーク）、生活排水の流入に起因する部分の大きいと考えられる。一方で、MgやKにおいては深夜・明方でも時間変動が比較的小さく生活排水の流入パターンの変動に沿った動きをしていないため、食事や排泄物等の生活活動に由来する影響が相対的に小さく、水道水や地下水（不明水）の含有濃度の影響が大きいと考えられる。T-P、COD_{Cr}は流入水質に比べ放流水質は低濃度で安定していた（除去率として約80～90%）。T-N、NH₄-N、T-Pにおける初沈越流水の濃度は流入水のそれより高く、汚泥処理工程等からの返流水負荷が比較的大きいことを意味している。

③ 水道水分析調査

各処理場の流入水と水道水の水質比較の結果を表3-2および表3-3に示した。T-N、T-Pにおいては水道水の水質は処理場流入水の1、4%程度と小さいことから、流入水の窒素、リンは生活排水に起因する部分の大きいと考えられる。Kにおいては処理場によって差がみられたが9、18%、Mgにおいては64、46%が水道水起源と推測された。

表3-2 流入水と水道水の水質比較
(D 浄化センター)

測定項目	単位	①流入水	⑥水道水	水道/流入 %
TS	mg/L	224	102	46
COD _{Cr}	mg/L	266	<1.0	0
T-N	mg/L	27.7	0.3	1
T-P	mg/L	2.4	<0.1	<4
K	mg/L	7.6	0.7	9
Mg	mg/L	4.2	2.7	64

表3-3 流入水と水道水の水質比較
(E 浄化センター)

測定項目	単位	①流入水	⑥水道水	水道/流入 %
TS	mg/L	320	94	29
COD _{Cr}	mg/L	321	1.0	0
T-N	mg/L	27.1	1.1	4
T-P	mg/L	2.6	<0.1	<4
K	mg/L	13.2	2.4	18
Mg	mg/L	5.2	2.4	46

④ MBR 処理水の水質調査

表3-4に、E 浄化センターにおける MBR による処理水と通常処理水の水質を比較して示した。MBR 処理水の TS、COD_{Cr}、T-N は通常処理水に比べ 2~4 割低く、極めて清澄な処理水が得られていた。

K、Mg は、流入水の 85~95%は処理水として流出しているが、水質的にはほぼ同濃度であった。

膜分離活性汚泥法のような硝化促進運転を行う処理法においては、概ね完全硝化に至るため、アンモニアの回収を検討する場合に適さないと考えられる。しかし膜透過により SS および病原菌が減じられていること、処理水 K 以外に N (NO₃) や P 成分も含まれていること等から、MBR 処理水自体を液肥として有効利用できる可能性は高いと考えられる。

表3-4 MBR 処理水と通常処理水の水質比較

測定項目	単位	処理場 流入水	MBR 処理水	通常 処理水	MBR/通常 比率%
SS	mg/L	133	-	<1	
TS	mg/L	320	215	250	86
COD _{Cr}	mg/L	321	8.5	14.8	57
T-N	mg/L	27.1	6.9	10.2	68
NH ₄ -N	mg/L	19.9	<0.1	0.7	14
NO ₃ -N	mg/L	<0.1	6.0	8.1	74
T-P	mg/L	2.6	0.8	0.2	400
PO ₄ -P	mg/L	1.3	0.7	0.1	700
K	mg/L	13.2	12.6	11.0	115
Mg	mg/L	5.2	4.4	3.7	119

(4) まとめ

下水中には窒素、リン、カリウム等の下水道資源が含まれているが、昨年度の3か所の処理場に引き続いて、本年度は膜分離活性汚泥法を含む別の2箇所の処理場を対象に、処理工程における動態調査、24時間の水質変動調査、資源の発生源を推測するための水道水の水質調査、MBR 処理水の水質調査等を実施した。

有用資源の動態調査では、昨年度の調査と概ね同様の結果が得られた。24時間試験の結果からは、T-N、NH₄-N、T-P、COD_{Cr}は生活活動に起因する部分が多いのに対し、MgやKは水道水や地下水(不明水)の含有量による影響が相対的に大きいと考えられた。

3.2 下水汚泥資源農業利活用技術の開発

下水汚泥には窒素やリン、有機物といった資源が含まれており、これを農業利活用することにより、循環型社会の実現に貢献することができる。一方で、下水汚泥資源の農業利活用を普及するためには、技術の低コスト化や製造者および需要者のニーズを踏まえた生成物の高品質化等を図るための技術開発が必要である。

このような背景を受けて、本検討では、下水道資源の新たな農業利活用技術を開発・実用化するために実証試験等を実施する。その一環として、本年度は「循環型社会の実現に向けた下水汚泥資源の利活用技術の開発」と題して、共同研究の公募を行った。また、国土交通省が実施する下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）の実規模実証「縦型密閉発酵槽による下水汚泥の肥料化技術に関する実証事業」に着手した。本稿では、公募の概要と B-DASH プロジェクトの研究実施状況について紹介する。

3.2.1 循環型社会の実現に向けた下水汚泥資源の利活用技術の開発

(1) 検討の概要

本検討では、「下水汚泥資源の農業利活用の普及拡大に資する技術」として、(a) 低コスト化に資する農業利活用技術、(b) 技術の効率向上、または生成物の高品質化に資する農業利活用技術、のいずれかまたは両方に該当する技術を開発する新たな共同研究の公募を開始した。

(2) 今後の予定

来年度まで公募を実施し、共同研究者を選定次第、実証試験等を実施する予定である。

3.2.2 縦型密閉発酵槽による下水汚泥の肥料化技術に関する実証事業

(1) 検討の概要

中小規模の下水処理場における下水汚泥の有効利用を促進することを目的に、縦型密閉発酵槽による下水汚泥の肥料化・燃料化技術の実証を行う。本検討は B-DASH「縦型密閉発酵槽による下水汚泥の肥料化技術に関する実証事業」として本年度に新規採択され、㈱クボタ、UBE三菱セメント㈱、中部エコテック㈱、JS、島根県の5者からなる共同研究体により、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究（実証研究）として実施する。本年度は研究計画を作成し、実証設備の製作および実証場所（実証フィールド）への設置を開始した。なお、B-DASH プロジェクトとしての実規模実証は 2023～2025 年度の3ヶ年度で実施し、以後は共同研究体による自主研究として研究を継続する予定である。

(2) 検討方法

① 実証技術の概要

本実証技術の概要を図3-1-1に示す。本技術は、畜糞堆肥化で多数実績のある「縦型密閉発酵技術」を下水汚泥の肥料化技術として適用したものである。縦型密閉発酵槽に下水汚泥と副原料（外部バイオマス）を適切な配合で投入することで槽内の発酵乾燥処理を促進し、汚泥

の処理期間の短縮化を図るものである。発酵乾燥汚泥は、地域、季節や社会情勢によるニーズに柔軟に対応可能とすべく、肥料やセメント工場のエネルギー源としての利用が期待される。また断熱性が高く設置面積もコンパクトな縦型発酵槽内で発酵を行うため、熱効率が高く乾燥用の外部熱源を不要とするほか、発酵制御システムにより発酵槽の状態に応じた汚泥投入量の調整や送気量の制御等を行い、安定処理と省人化を可能とするものである。

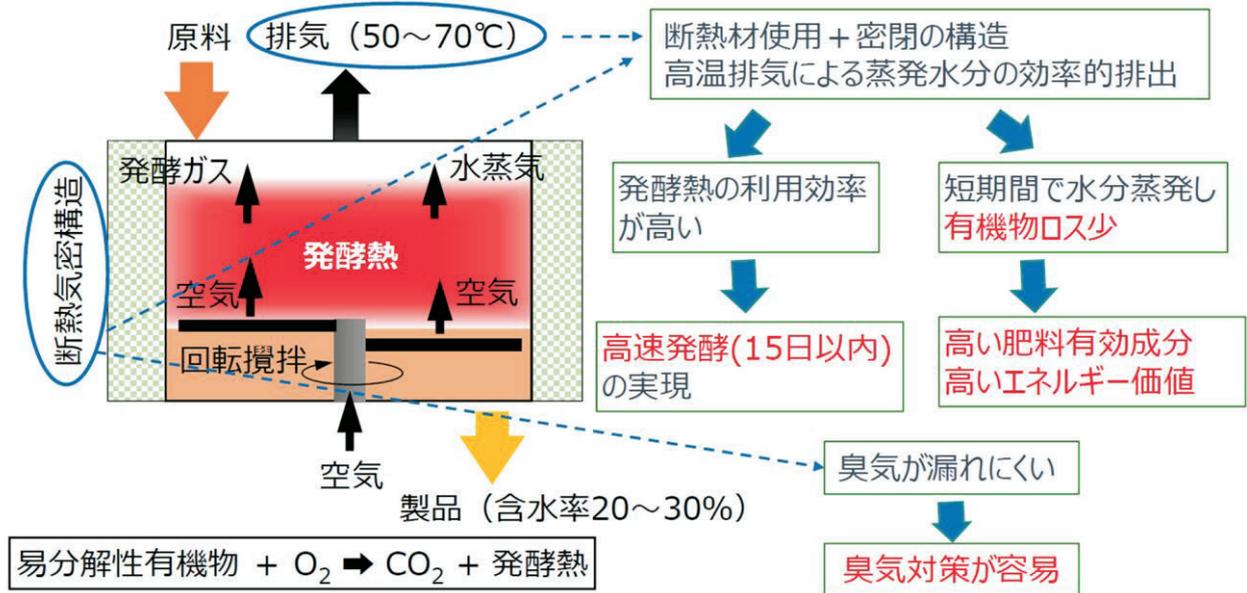


図3-11 縦型密閉発酵槽の原理

② 実証設備の概要

本実証研究で使用する設備のフローを図3-12に示す。縦型密閉式の発酵槽に脱水汚泥と副原料を投入し、機械的攪拌と送気ブロワからの強制通気を行うことで汚泥を発酵乾燥した後、槽外へ引抜く。発酵制御システムにより投入汚泥量や発酵乾燥汚泥の排出量、送気量等を自動制御することで、設備の運転の効率化を図る。本実証設備は、密閉構造の槽を用いて発酵熱を乾燥に利用し、かつ副原料が持つ熱量を活用して発酵乾燥処理を促進し、効率的に汚泥を処理することで処理期間を短縮し、一般的な堆積型のコンポスト方式と比べて設備の省スペース化を図っている。また密閉構造のため臭気が漏れにくく、発酵槽の排気は除塵塔、アンモニア吸収塔、酸化洗浄塔、活性炭塔からなる脱臭設備で処理される。本実証研究では、90m³の発酵槽1基を使用し、5t/dの脱水汚泥を処理する予定である。

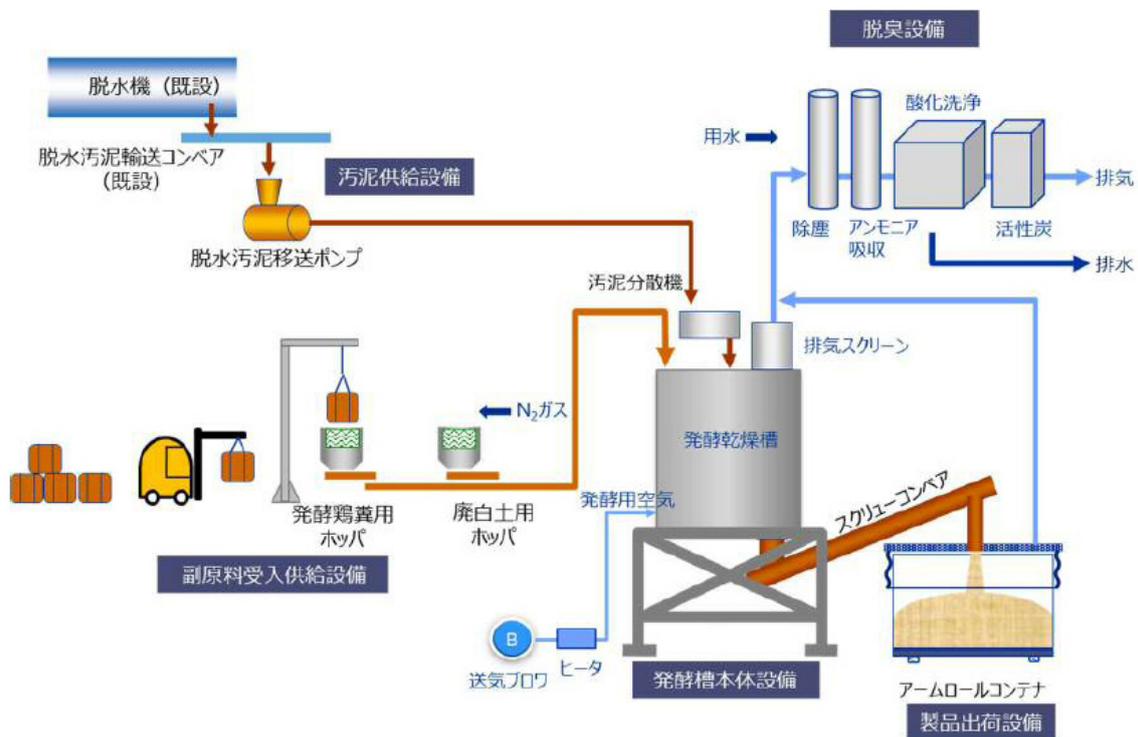


図3-12 縦型密閉発酵槽を用いた実証設備のフロー図

③ 実証フィールド

本実証研究では、島根県が管理する宍道湖流域下水道宍道湖西部浄化センターを実証フィールドとして実規模での実証試験を行う。本処理場は分流式で標準活性汚泥法による運転を行っており、現有処理能力は 36,000m³/d である。汚泥処理は濃縮汚泥を嫌気性消化して脱水し、場外搬出して外部委託にて再資源化している。2021 年度実績で、脱水汚泥発生量は 13.3wet-t/d である。

④ 評価項目

本実証研究では、縦型密閉発酵槽の性能、製品の品質、導入効果等を評価するために、実証すべき4点の要素に対して9点の評価項目を設け、各々評価指標等および研究内容を設定して、実証試験およびモデル設計等による評価を行う(表3-5)。

表3-5 評価項目等

要素	評価項目	評価指標等	研究内容
縦型密閉発酵槽	①発酵槽性能値	製品含水率	製品含水率が20~30%で安定していることを確認
		発酵日数	15日以内の高速発酵を確認
		処理能力	15日以上連続運転データで5t/dを確認
	②環境影響	脱臭性能	アンモニア他、悪臭防止法の規制基準内であることを確認、脱臭装置出口と敷地境界で計測、2回/年の計測
品質安定化・省人化	③発酵制御システム	送気量制御	発酵状況に応じて自動で送気量を制御できるように、実証運転により制御プログラムおよび制御パラメータを最適化
		投入量・排出量管理	発酵槽重量変化値をモニタリングし、原料投入量、副原料配合量、製品排出量の調整を行い、安定運転方法のマニュアルを作成
	④副原料	配合方法	実証運転により、副原料の配合量を最適化(最小化)すると共に、効率的な副原料の投入方法(タイミング、分割投入等)を確認
受取先安定確保	⑤肥料利用	肥料適性	汚泥肥料、菌体リン酸肥料としての適性を確認(成分分析、植害試験、栽培試験)
	⑥肥料流通	流通方策	県農政部局や地元農家へのヒアリングによる課題検討、化学肥料との混合の検討
	⑦セメント工場利用	影響有無 GHG削減	キルンの運転への影響の確認、セメントクリンカー品質の確認 乾燥汚泥発熱量を分析し、石炭削減量のケーススタディを実施
全体の効果(FS等)	⑧費用	LCC	モデルケースを設定し、従来技術のコンプオスト化と対比試算
	⑨省CO ₂	温室効果ガス排出量	モデルケースを設定し、従来技術のコンプオスト化と対比試算

(3) 今後の予定

2024年度より実証設備の連続運転を開始し、前述の評価項目等について実証する予定である。

3.3 下水汚泥肥料の製造および施肥効果等に係る基礎調査

(1) 検討の概要

下水汚泥肥料の利用の促進を図るためには、多様な成分・性状の下水汚泥を対象に肥料が製造可能であることを明確にし、その肥料成分等の施肥効果に関する基礎的知見を増やすと共にこれを周知することが重要である。このため、本調査では2022年度からの4年間において、様々な下水汚泥を用いて実際に下水汚泥肥料を製造する肥料化試験を行うと共に、肥料成分の測定や栽培試験による施肥効果の検証、下水汚泥肥料の有効利用促進に資する事項について検討を行う。

昨年度は、下水汚泥肥料の肥効成分をその他肥料等と比較する調査、消化汚泥の液肥利用や消化脱水汚泥の直接施肥を想定した衛生学的安全性に関する調査を実施した。

本年度は、JSが所有するコンポスト化試験装置を用いた試験的なコンポストの製造方法確認および下水汚泥コンポストの施肥効果に係る基礎的な情報収集を目的に、以下の項目について実施した。

① 混合汚泥を用いた肥料製造試験

JSで所有するコンポスト化試験装置を用いて、混合汚泥（未消化汚泥）の脱水汚泥を対象とし、過年度に消化汚泥やOD法汚泥を対象として実施した試験¹⁵⁾と同様の方式で肥料製造が可能であることの確認を行った。図3-13に、本年度の汚泥肥料試験のスケジュールを示した。

R5年	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
準備	■							
① 肥料製造（一次発酵）		■						
① 肥料製造（二次発酵・熟成）				■				
② 性状分析試験（植害試験含）					■			
③ リン溶出特性試験					■			
④ 木質灰混合肥料生育試験						■		

図3-13 汚泥肥料試験のスケジュール

② 試験製造肥料の基本性状確認試験

①の試験において製造した汚泥肥料に対し、肥料法に基づく肥料登録が可能な性状であるか否かを確認するため肥料等試験法¹⁶⁾で規定する肥効成分等含有量試験、有害物含有量試験および植害試験を実施した。また、市販の家畜堆肥等既存の各種肥料との性状比較のための試験も実施した。

③ 試験製造肥料のリン成分溶出特性の確認

近年、下水処理場の水処理工程や汚泥処理工程で臭気対策や凝集促進等を目的に無機系凝集剤（ポリ鉄やPAC等）が広く使われている。これら凝集剤に含まれる鉄・アルミ分は下水中のリンと反応して不溶性のリン酸塩となるため、このような汚泥を肥料原料として利用してもリンの肥効は期待できない可能性がある。今回汚泥の提供を受けた下水処理場では水処理工程や

汚泥処理工程でポリ鉄を使用していることから、製造汚泥肥料のリン溶出試験を他の肥料と比較して実施した。

④ 木質燃焼灰の混合汚泥肥料への利用可能性試験

既報¹⁷⁾でも触れたように、他の家畜ふん堆肥等に比べ汚泥肥料中には肥料3要素のうちカリウムの含有率が低いことが課題となっている。また、草木灰にはカリウムが豊富に含まれていることは古くから知られていたことから、我が国で導入が進められているバイオマス発電所から発生する木質燃焼灰をカリウムの補給源として利用する可能性について検討した。

(2) 検討方法

各試験については以下の方法にて実施した。なお、②③④に関する汚泥性状等に係る各分析は肥料等試験法¹⁶⁾で規定する方法によった。

① 混合汚泥を用いた肥料製造試験

試験対象汚泥は、A市の協力を得てA下水処理場から発生する混合脱水汚泥とした。当処理場は生活排水を主体とする分流式（一部合流）の処理場である。

1) A下水処理場の概要(2022年度実績)

- ・流入下水量 24,400m³/d（日平均）
- ・水処理方式 生物学的硝化脱窒法＋ポリ鉄添加による高度処理
- ・汚泥処理方式 濃縮（ポリ鉄添加造粒濃縮）＋脱水（ベルトプレス、スクリーンプレス）
＋場外搬出
- ・脱水汚泥発生量 23.7t/d（含水率 77～82%）

2) 試験方法

肥料製造試験は過年度と同様、JS技術開発実験センター（栃木県真岡市内）内の肥料化試験室で実施した。表3-6に、今回実施した肥料化の試験条件および一次発酵、二次発酵の試験方法を示した。種汚泥は過年度に同実験センターで製造した下水汚泥発酵肥料を用いた。TS 71.6%（含水率 28.4%）、VS 66.1%、見かけ密度 0.91 の完熟に近い熟成肥料である。装置の発酵槽有効容量は 250L であるが、製造した汚泥肥料基本性状に対する種汚泥性状の影響を極力少なくするために、スタート時の種汚泥量は装置の安定運転が可能な範囲で最小である約 100L（80～90kg）とした。

表3-6 肥料化の試験条件および試験方法

試験装置	肥料化試験装置(スターエンジニアリング社製 BC-50JS) ・発酵槽有効容量 250L ・横軸攪拌装置+加温ヒーター付 ・処理能力 25~50kg/日
一次発酵	・種汚泥量 100L (80~90kg) ・試験汚泥投入量: 当初6~8kg/回から開始、発酵槽内部の状況を確認しながら段階的に増やし、概ね1~2箇月間で300kg投入 ・攪拌・加温は低強度~中強度を基本に毎日(タイマーによる間欠)運転とするが、最終汚泥投入日後約1週間目までを一次発酵期間として同様に攪拌・加温運転する
二次発酵(熟成)	・発酵槽の攪拌および加温は低強度で2~3日毎に1時間程度の運転とする ・微生物活性を維持するため含水率が30~40%程度を確保するよう適宜水散水による加湿を行う
種汚泥	2022年度JS発酵試験製造肥料を用いる ・TS 71.6% (含水率: 28.4%) ・VS 66.1% ・見かけ密度 0.91 ・臭気レベル 280 ・酸素消費速度 2 mg/kg/min
試験汚泥	A下水処理場混合脱水汚泥 ・TS 17.7% (含水率: 82.3%) ・VS 88.6% ・見かけ密度 0.88 ・臭気レベル 718~>952 ・酸素消費速度 9~17 mg/kg/min

発酵槽への汚泥投入は、試験開始当初は6~8kg/回(複数日に1回程度)とし、発酵槽内部の状況を確認しながら徐々に投入量を増加し最終的には14~15kg/回(投入頻度は1~2日に1回程度)で行った。発酵槽は電気ヒーターで任意に発酵温度を設定できるが、生物発酵熱による発酵を優先すべくヒーターによる加温は最小となるように設定した。一次発酵期間の累積投入量は303.4kgであった。最終の試験汚泥を投入したのち約1週間は一次発酵期間として攪拌、加温を継続した。

その後二次発酵(熟成)に入り、発酵槽の攪拌は低強度で2~3日毎に1~2時間行った。二次発酵期間と汚泥肥料の熟成度合いを確認するため1か月毎に腐熟状況(製品の臭気レベル、酸素消費速度、アンモニア濃度等)を確認しながら、二次発酵(熟成)を3か月にわたって行った。

② 試験製造肥料の基本性状確認試験

肥料の品質の確保等に関する法律(以下、「肥料法」と略記)に基づき肥料登録する場合に必要な肥効成分含有量試験、有害成分含有量試験、植害試験を中心に、既存の各種肥料との比較を目的に①で製造した汚泥肥料の基本性状試験を実施した。

③ 試験製造肥料のリン成分溶出特性の確認

①で製造した汚泥肥料と他の各種肥料とのリン溶出特性を比較した。リンの溶出特性の確認項目として、全リン酸、水溶性リン酸、可溶性リン酸、ク溶性リン酸をそれぞれ分析した。

④ 木質燃焼灰の混合汚泥肥料への利用可能性試験

試験製造した汚泥肥料(1次発酵肥料)に対し、バイオマス発電所から提供を受けた木質燃焼灰を重量比で8:2の割合で混合し、約1か月間の二次発酵を経て木質燃焼灰混合肥料を製造した。この混合肥料と①で製造した汚泥肥料の肥効特性を比較するため性状分析およびコマツナを用いた栽培試験を実施した。

(3) 検討結果

① 混合汚泥を用いた肥料製造試験

表3-7に、一次発酵期間、二次発酵期間(1か月、2か月、3か月)の各段階における汚泥肥料の性状、熟成度、汚泥からの揮散するガスの性状を、種汚泥と試験投入汚泥の性状と合わ

せて示した。熟成度の評価指標は過年度調査結果をもとに VS、臭気レベル、酸素消費速度、アンモニア濃度とした。また、図3-14～図3-17に VS、酸素消費速度、臭気レベルおよびアンモニア濃度の推移を示した。

投入汚泥に比べ一次発酵、二次発酵と進むにつれ汚泥性状は安定化するため各指標とも減少する傾向にある。アンモニアは投入汚泥（混合脱水汚泥）ではほとんど検出されないが、一次発酵で汚泥中のタンパク質の分解が進むため発酵槽内のアンモニア濃度は極めて高くなる。しかし二次発酵において汚泥の熟成が進むにつれ他の指標と同様に徐々に低下している。

表3-7 肥料化過程における汚泥肥料性状の推移

	TS	含水率	VS	臭気レベル	酸素消費速度	NH3	見掛密度
	%	%	%TS	—	mg/kg/min	ppm	kg/L
種汚泥	71.6	28.4	66.1	280	2	10	0.91
投入汚泥	17.7	82.3	88.6	952	17	0	0.88
一次発酵期間	79.1	20.9	79.2	425	5	148	—
二次発酵期間(1か月)	72.3	27.7	69.9	203	1	41	0.83
二次発酵期間(2か月)	73.3	26.7	68.5	200	0.5	15	0.90
二次発酵期間(3か月)	79.8	20.2	68.4	139	0	7	0.93

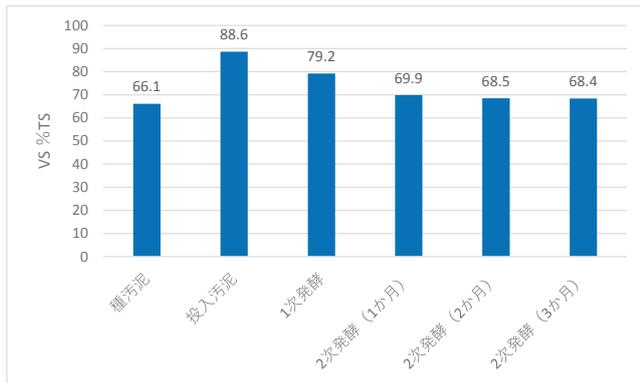


図3-14 VSの推移

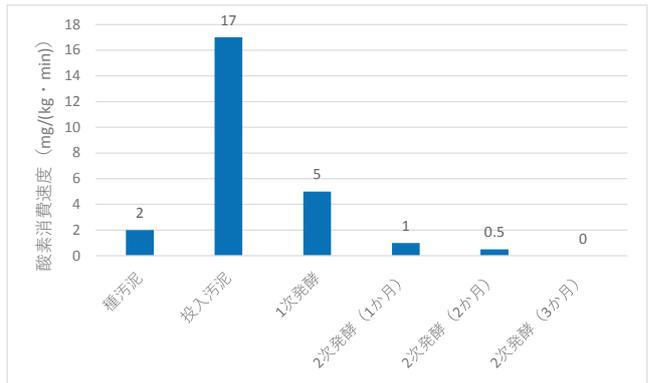


図3-15 酸素消費速度の推移

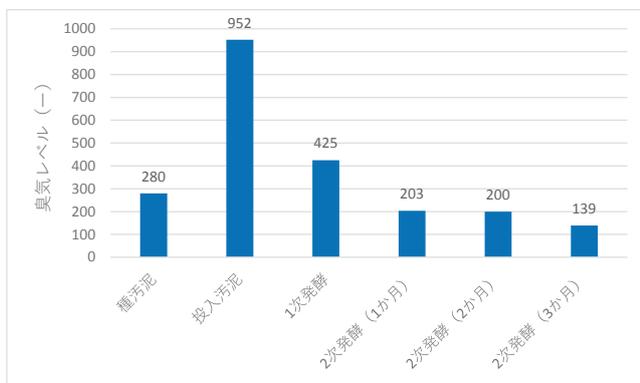


図3-16 臭気レベルの推移

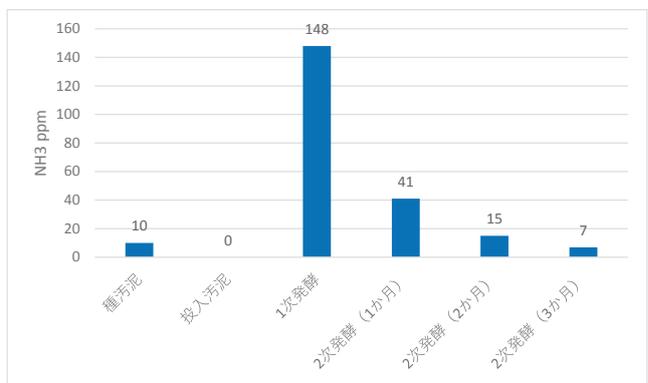


図3-17 アンモニア濃度の推移

今回の試験結果より、一次発酵に要する期間は約2か月とやや時間を要したが、混合汚泥を対象とする肥料製造においても過年度実施したOD法汚泥や消化脱水汚泥の場合と同様の汚泥投入・運転方法で試験製造可能であることが確認された。また、二次発酵期間を長くするほど汚泥肥料の臭気レベルや酸素消費速度は低下し熟成度は向上することが示されたが、これらのデータを見る限り実用上は二次発酵の期間は1~2か月で十分と考えられた。

② 試験製造肥料の基本性状確認試験

表3-8に製造肥料の肥効成分含有量および有害物含有量試験の結果を、一般値(過年度にJSで調査分析した汚泥肥料の平均的な値)および肥料法基準値と比較して示した。肥効成分含有量等は既存汚泥肥料とほぼ同程度であり、有害物含有量についても基準値を大幅に下回っていた。また、コマツナを供試作物として標準の4倍の施用量で生育試験を行った植害試験の結果でも、生育に何ら問題は認められなかった(図3-18)。以上のことから、混合汚泥を対象にした場合も肥料登録する上で何ら問題のない製品が製造されたことが確認された。

表3-8 肥効成分および有害物含有量試験の結果

肥効成分含有量等	項目	単位	測定結果	参考(一般値)
	水分	%	33.5	<40
	窒素全量	%	3.8	3~5
	リン酸全量	%	6.2	3~5
	カリウム全量	%	0.39	<0.5
	有機炭素	%	20.2	15~35
窒素炭素比	—	5.3	4~8	
有害物含有量	項目	単位	測定結果	肥料法基準値
	ヒ素	mg/kgDs	6	50
	カドミウム	mg/kgDs	0.9	5
	水銀	mg/kgDs	0.41	2
	ニッケル	mg/kgDs	35	300
	クロム	mg/kgDs	52	500
鉛	mg/kgDs	19	100	

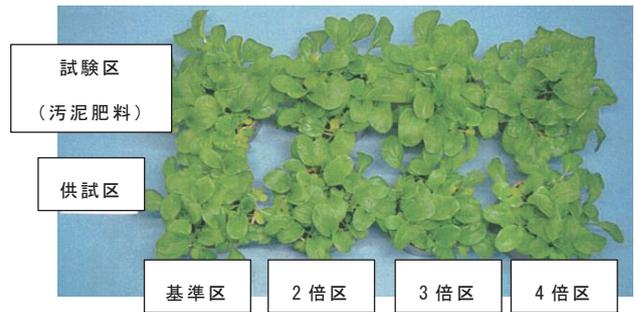


図3-18 植害試験結果

③ 試験製造肥料のリン成分溶出特性の確認

①において製造した二次発酵1か経過後の汚泥肥料と、各種肥料のリン溶出特性試験の比較結果を図3-19および図3-20に示した。水溶性リン酸は清水に対する溶出、可溶性リン酸はクエン酸アンモニウム2%溶液に対する溶出である。今回試験製造したF処理場の汚泥には鉄分が5%と高濃度で含まれていたが、全リン酸の95.2%が可溶性リン酸であった。この値は化成肥料並みに高い値であり、下水処理工程や汚泥処理工程で添加するポリ鉄によるリンの肥効性への影響は小さいと考えられた。

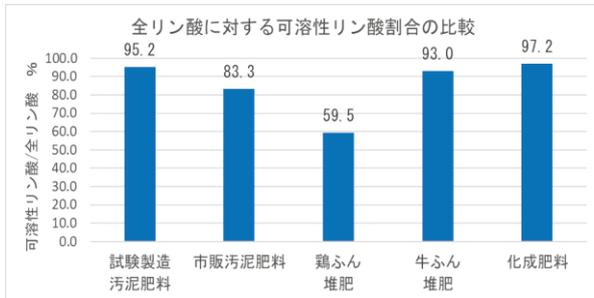


図3-19 可溶性リン酸の溶出特性比較

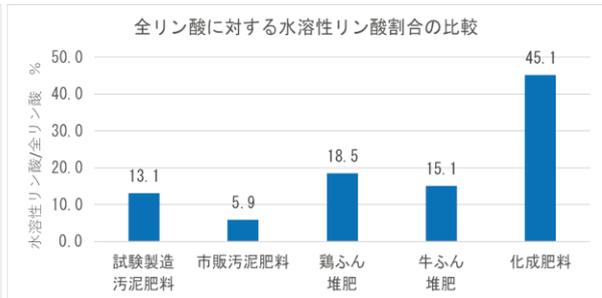


図3-20 水溶性リン酸の溶出特性比較

④ 木質燃焼灰の混合汚泥肥料への利用可能性試験

表3-9に、木質燃焼灰混合汚泥肥料の性状を、灰を添加していない今回の試験製造肥料(無添加汚泥肥料)と対比して示した。木質燃焼灰は強アルカリ性を示す物質であり、発酵途中の汚泥への添加により、二次発酵でのアンモニアの揮散量の増加や成分希釈が生じた結果、窒素全量が無添加の場合に比べ約3割(2.89%→2.12%)低下した。一方カリウム全量は0.37%→1.81%と牛ふん堆肥並み(R5年度JSが実施した市販牛ふん堆肥の分析値では1.27%)に増加していた。

表3-9 木質燃焼灰混合汚泥肥料等の性状比

	単位	木質燃焼灰	※燃焼灰混合汚泥肥料	無添加汚泥肥料
pH	—	12.5	8.3	8.1
窒素全量	%	<0.05	2.12	2.89
リン酸全量	%	1.93	5.60	5.88
カリウム全量	%	5.98	1.81	0.37

今回試験製造した汚泥肥料と木質燃焼灰混合汚泥肥料を用いた野菜(コマツナ)の生育試験を実施した。図3-21に試験結果を示した。SPAD値(葉緑素濃度)については両肥料に大差は見られなかったが、地上部重量において木質燃焼灰混合肥料で栽培したコマツナが15%程度小さくなる結果となった。汚泥肥料中の窒素全量の低下による影響と推測される。

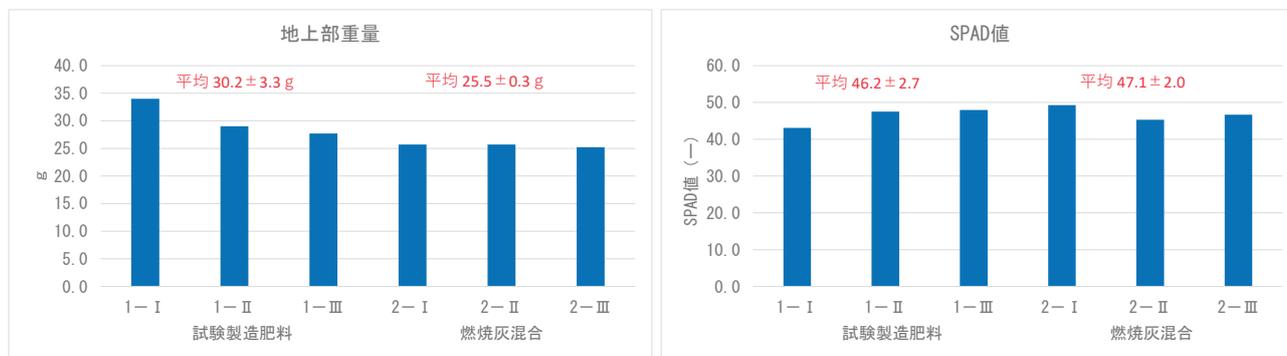


図3-21 作物(コマツナ)栽培試験の結果

木質燃焼灰を混合して肥料化する場合、pHの上昇によるアンモニア分の揮散等により全窒素濃度が低下するため、なるべく肥料化工程の後段で添加混合することが望まれるが、燃焼灰を塩化カリウム等の化学肥料原料の代替品として利用することは十分可能と考えられた。

(4) まとめ

下水汚泥肥料に関する基礎的知見を得ることを目的に、肥料製造試験や成分分析試験等を実施した。混合汚泥(未消化汚泥)を対象に肥料製造試験を行った結果、過年度実施した消化脱水汚泥やOD法汚泥と概ね同様の手法で製造が可能であることを確認した。2次発酵(熟成)は1~2か月間で十分であると考えられた。また、試験製造した汚泥肥料の基本性状試験および植害試験を行った結果、肥料法に基づく肥料登録条件を十分に満足することを確認した。

今回試験製造した汚泥中には鉄分が5%と高濃度で含まれていたが、全リン酸の95.2%が可溶性リン酸であった。この値は化成肥料並みに高い値であり、下水処理工程や汚泥処理工程で添加するポリ鉄によるリンの肥効性への影響は小さいと考えられた。

下水汚泥に重量比で20%添加して製造した木質燃焼灰混合汚泥肥料について基本性状試験、作物栽培試験を実施した結果、全窒素濃度の低下はあるものの塩化カリウム等化学肥料の代替として木質燃焼灰の利用が可能であると考えられた。

4. 検討結果の総括

4.1 本年度の成果

(1) 下水汚泥資源エネルギー利活用技術

① バイオマス利活用に関する調査

バイオマスとしての有効利用を促進するための調査の一環として、米国、カナダ、EU、イギリス、韓国の5つの国・地域を対象に、下水汚泥の処理状況や有効利用状況等を調査した。情報開示の年次やタイミング、公開情報の濃淡等に差があり、同国内であっても州や地域で大きく政策が異なるところもあったが、下水汚泥の利用に関する動向や取組の概要を把握できた。

② 下水道資源の有効利用に係る基礎調査((2)②に掲載)

③ 下水汚泥資源エネルギー利活用技術の開発

下水汚泥資源のエネルギー利活用の普及拡大を目的として、共同研究の公募を行い、以下の1技術に係る共同研究者を選定して実証試験を開始した。

➤ 水熱炭化を用いたカーボンニュートラルの達成に向けた実証

(共同研究者：㈱神鋼環境ソリューション、共同研究期間：2023年10月～2024年12月)

本技術は脱水汚泥を湿式(液中)で炭化させ、炭化スラリーを固液分離して炭化物を製造する。24時間連続運転によるエネルギー収支の評価の他、固液分離機の分離液の返送による消化ガス増加の効果や消化ガス発電機の廃熱による安定運転等の運転データを蓄積しているところである。

(2) 下水汚泥資源農業利活用技術

① バイオマス利活用に関する調査((1)①に掲載)

② 下水道資源の有効利用に係る基礎調査

下水処理場内に賦存する資源の回収および利活用検討の基礎情報を得ることを目的として、昨年度に引き続き、2箇所の処理場の各処理工程に含まれる下水中の有用資源の動態調査等を実施した。有用資源の動態調査では、昨年度の調査と概ね同様の結果が得られた。24時間試験の結果からは、T-N、NH₄-N、T-P、COD_{Cr}は生活活動に起因する部分が多いのに対し、MgやKは水道水や地下水(不明水)の含有量の影響が相対的に大きいと考えられた。

③ 下水汚泥資源農業利活用技術の開発

「下水汚泥資源の農業利活用の普及拡大に資する技術」として、新たな共同研究の公募を開始した。また、国土交通省が実施するB-DASHプロジェクトの実規模実証「縦型密閉発酵槽による下水汚泥の肥料化技術に関する実証事業」に着手した。縦型密閉発酵槽を用いて下水汚泥の肥料化・燃料化技術の実証することを目的に、実証設備の製作を進めている。

④ 下水汚泥肥料の製造および施肥効果等に係る基礎調査

植物の育成に資する下水汚泥肥料の成分の特徴を把握することを目的に、下水汚泥肥料およびその他肥料等を対象に成分分析を実施した。混合汚泥(未消化汚泥)を対象に肥料製造試験を行った結果、肥料法に基づく肥料登録条件を十分に満足することを確認した。また、試験製

造した汚泥肥料に含まれる全リン酸に対する可溶性リン酸の割合は化成肥料と同等であり、下水処理工程や汚泥処理工程で添加するポリ鉄が及ぼすリンの肥効性への影響は小さいと考えられた。下水汚泥に木質燃焼灰を混合して製造した汚泥肥料の成分分析や作物栽培試験を実施した結果、全窒素濃度の低下はあるものの塩化カリウム等化学肥料の代替として木質燃焼焼却灰を利用することが可能であると考えられた。

4.2 今後の予定

1.2節に記載の開発項目について、次年度の実施予定は以下のとおりである。

(1) 下水汚泥資源エネルギー利活用技術

- 下水道資源の有効利用に係る基礎調査：アンモニア等の下水道資源の有効利用に向けた情報収集等を実施する。
- 下水汚泥資源エネルギー利活用技術の開発：公募型共同研究の募集を継続すると共に、共同研究者として選定した1技術の研究を実施する。

(2) 下水汚泥資源農業利活用技術

- 下水汚泥資源農業利活用技術の開発：公募型共同研究の募集を継続すると共に、B-DASHプロジェクトの実証研究を行う。
- 下水汚泥肥料の製造および施肥効果等に係る基礎調査：技術開発実験センターにおいて下水汚泥肥料を製造し、消化汚泥を対象とした低コスト肥料製造に関する検討や、下水汚泥肥料の肥効率の調査等を行う。

謝辞

3.1節に掲載した下水道資源の有効利用に係る基礎調査にご協力いただいた下水処理場の関係者各位に感謝の意を表します。

3.2.2節に掲載した検討は、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として、構成した共同研究体により実施されたものであることを明記すると共に、各機関の関係者各位に感謝の意を表します。

3.3節に掲載した下水汚泥肥料の製造および施肥効果等に係る基礎調査で試験試料の採取等に多大なご協力をいただいた下水処理場の関係職員各位およびバイオマス発電会社の関係者各位に感謝の意を表します。

最後に、本報で紹介した共同研究の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 農林水産省：食糧安全保障強化政策大綱，農林水産省，2022.
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/attach/pdf/anteikyokyukiban-4.pdf>
- 2) 国土交通省国土保全局下水道部：脱炭素化／資源・エネルギー利用，国土交通省・国土保全局下水道部，2021.
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000124.html
- 3) United States Environmental Protection Agency：Biosolids Laws and Regulations, 2020.
- 4) ScienceDirect：Municipal wastewater sludge as a sustainable bioresource in the United States, 2017.
- 5) ASCE：Report Card for American’s Infrastructure, 2021.
<https://infrastructurereportcard.org/>
- 6) United States Environmental Protection Agency：Basic Information about Biosolids, 2021.
https://19january2021snapshot.epa.gov/biosolids/basic-information-about-biosolids_.html
- 7) CCME：CANADA-WIDE APPROACH FOR THE MANAGEMENT WASTEWATER BIOSOLIDS, 2012.
- 8) CH2MHill Canada：Biosolids Generation, Treatment, Use and Disposal in Canada. Opportunities for Energy Recovery and Greenhouse Gas Reduction Report. Prepared for Environment Canada, 2000.
- 9) European Environment Agency：Sewage Sludge and the circular economy, 2021.
- 10) GOV.UK：Environment Agency strategy for safe and sustainable sludge use, 2020.
- 11) GOV.UK：Wastewater treatment in England：data for 2020, 2022
- 12) The Scottish Government：The impacts on human health and environment arising from the spreading of sewage sludge to land (CR/2016/23), 2021.
- 13) 환경부：国家下水道総合計画，2019.
- 14) 환경부：下水汚泥処理・リサイクル技術，2019.

- 15) 日本下水道事業団：技術開発年次報告書（令和3年度），p.6，2021.
- 16) 農林水産消費安全技術センター：肥料等試験法，農林水産消費安全技術センター，2023.
- 17) 日本下水道事業団：技術開発年次報告書（令和4年度），pp.136-144，2022.

Ⅱ-3 下水処理場における ICT・AI 活用技術の開発

Ⅱ-3 下水処理場における ICT・AI 活用技術の開発

山本明広、村岡正季、小柴卓也、福井智大、茂木志生乃、新川祐二、糸川浩紀

1. 開発課題の概要

本開発課題では、下水処理場における水処理・汚泥処理の運転管理の効率化・高度化や設備の保全管理の効率化等に資する ICT・AI*活用技術について、新技術の開発・実用化や、速やかな普及展開に向けた取り組みを行う。

1.1 背景および目的

全国の下水処理場では、施設・設備の老朽化が進んでおり、下水道サービスを提供しながらこれらの点検・調査、修繕・改築を計画的かつ効率的に進める必要がある。また、下水処理場の運転管理に対しては、公共用水域の水質保全といった基本的役割に加えて、放流水質と消費エネルギーのバランスを考慮した運転や、地域によっては栄養塩類（窒素、リン）の能動的運転管理が求められる等、更なる高度化が求められるようになっている。

しかし、人口減少社会の到来により、使用料収入の減少による経営環境の悪化、施設管理や運転管理に携わる熟練技術者の減少等、下水道の持続的かつ安定的な事業運営が将来的に困難になることが懸念されている。「人」、「モノ」、「カネ」の限られたリソースを有効活用するためにも、下水道施設の管理や下水処理を効率化・高度化する技術の開発が必要である。

近年、このような課題への解決策として、ICT や AI といったデジタル技術が注目され、国内外で活発な研究・技術開発が行われている。JS においても、持続的な下水道の事業運営に向けた課題へのソリューションとして、デジタル技術を活用する「ICT・AI 活用技術」の開発を継続して行ってきた¹⁾。

本開発課題では、下水処理場の運転管理の効率化・高度化に資する新たな ICT・AI 活用技術の開発・実用化を進めると共に、過去に開発されたものを含めた下水処理場における AI 活用技術について、技術評価や活用マニュアルの作成等、速やかな普及展開に向けた取り組みを行う。

1.2 開発項目

本開発課題では、以下の3つの開発項目について技術開発を行う。

(1) AI による水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術

下水処理場の運転管理では、栄養塩類の能動的運転管理に代表されるように放流水質に対する要求水準が多様化している一方で、水処理・汚泥処理での更なる省エネ化等、より一層の効率化・高度化が求められるようになっている。しかし、そこで重要な役割を担う熟練技術者は減少しており、運転管理に係るノウハウ等の技術継承すら困難となることが懸念されている。

* ICT：情報通信技術（Information and Communication Technology）、AI：人工知能（Artificial Intelligence）。

近年、水処理の運転管理を中心に AI を活用する技術の開発が活発化しており、熟練技術者による運転を学習した AI による運転ガイダンスや自動制御等が、前述の課題への一つの解決策になると期待されている。

そこで本開発項目では、水処理・汚泥処理の運転ガイダンス、自動制御、性能予測等、下水処理場の運転管理支援を行う AI 活用技術について、計画期間内の新技術の開発・実用化を目標に調査研究および開発を行う。共同研究等による新たな技術の開発に加えて、研究成果の体系的整理や技術評価を行う。

① AI 活用手法の開発動向調査

国内外の文献調査や民間企業を対象としたヒアリング調査等により、下水道分野への適用が期待できる AI を活用した技術・手法について、開発動向を把握する。

② 能動的運転管理の実態調査

栄養塩類の能動的運転管理を実施・試行中の下水処理場を対象に、同運転管理の実施状況・方法、課題等の実態を調査する。

③ AI を活用した水処理・汚泥処理の支援・制御技術の開発

AI を活用した水処理・汚泥処理の運転管理支援や水処理の性能等の予測を行う技術の開発について、公募型等での共同研究を実施する。また、過年度から実施している民間企業との共同研究により AI 活用技術の早期の実用化を図る。

④ パイロットプラントを用いた AI 水処理自動制御実験

パイロット規模の活性汚泥法の実験プラントにおいて AI による自動制御運転を試行し、AI を用いた水処理の自動制御の実現可能性を検証すると共に、実用化に向けた課題等を見出す。

⑤ AI 活用技術の体系化と技術評価

得られた研究成果を基に、AI 活用技術を体系的に整理すると共に、普及促進に向けた技術評価を行う。

(2) ICT・AI による設備劣化予測・異常診断技術

下水処理場の機械・電気設備は、標準耐用年数を超えても継続使用される場合が多く、老朽化による設備の不具合や故障の発生リスクが増大している。これらのリスクを低減しながら下水処理機能を維持するため、予防保全型の維持管理を行う必要があるが、施設・設備の点検に係る労力やコストが大きいことが課題として挙げられる。このため、これまでに ICT や AI を活用した設備劣化予測・異常診断技術の開発が進んでいるが、技術情報等の整理が行われていない状況である。

そこで本開発項目では、ICT・AI を活用した設備劣化予測・異常診断技術について、活用方法のマニュアル化や技術性能確認のためのデータライブラリの構築を目標に、開発動向調査、設備劣化データの集約・ライブラリ化を行う。

① 設備の劣化予測・異常診断技術の開発動向調査

国内外の文献調査や設備メーカーへのヒアリング等により、ICT・AIによる設備の劣化予測・異常診断技術の開発動向や知見を蓄積する。

② 設備劣化データの集約・ライブラリ化

技術性能を確認するための設備のモニタリングデータ等を収集し、技術の性能評価方法等の共通化に向けてライブラリ化を図る。

③ ICT・AIを活用した設備の劣化予測・異常診断技術の活用方法のマニュアル化

前述の調査等により収集した知見や情報を体系的に整理し、維持管理における活用方法のマニュアル化を行う。

(3) ICTによる広域監視・制御システム

下水道施設の効率的な管理手法として、管理拠点を設置して複数の下水処理場・ポンプ場を集中管理する広域監視が注目されている。しかし、施設毎に管理システムが異なるため、技術的に集約化が困難である等、解決すべき課題がある。そこで本開発項目では、複数の処理場・ポンプ場の広域管理を可能とするICTによる新たな広域監視・制御システムについて、国土交通省が実施するB-DASHプロジェクトの実規模実証を通して、システムの信頼性や建設・維持管理コストの縮減効果等について検証する。

① ICTの活用による下水道施設広域監視制御システムの開発

B-DASHプロジェクトでの実規模実証等により広域監視・制御システムの技術的確立を図り、ガイドライン化等を行う。

1.3 本年度の実施内容

本年度は、1.2節に記載の開発項目のうち、以下の2項目を実施した。

(1) AIによる水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術

③ AIを活用した水処理・汚泥処理の支援・制御技術の開発(2.1節)

④ パイロットプラントを用いたAI水処理自動制御実験(2.2節)

(3) ICTによる広域監視・制御システム

① ICTの活用による下水道施設広域監視制御システムの開発(3.1節)

2. AIによる水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術

2.1 AIを活用した水処理・汚泥処理の支援・制御技術の開発

(1) 検討の概要

本検討では、民間企業との共同研究等により、水処理・汚泥処理の運転の安定化や高度化（処理水質の高度化、能動的運転管理への対応等）、省エネ化等を可能とする、AIを活用した水処理・汚泥処理の運転支援および自動制御技術の開発を行う。

過年度は、前・基本計画（2017～2021年度）より継続している水処理関連の2技術（以下の①、②）について、共同研究等による実証実験等を進めた。

本年度は、引き続き上述の2技術の共同研究を進め、内1件の共同研究を完了した。加えて、新たに「下水処理場の運転管理におけるAI活用技術の開発」と題した共同研究の公募を開始し、1件の新規共同研究（以下の③）に着手した。

① 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術

新たな高度処理プロセス（単槽型硝化脱窒プロセス）に対してICTおよびAIを活用した自動制御（曝気風量および送風機吐出圧力の制御）を組み合わせた高度処理技術について、実規模の実証実験を行っている。本検討は、メタウォーター(株)、JS、町田市の3者で共同研究体を構成し、2019・2020年度のB-DASHプロジェクト（実規模実証）において町田市成瀬クリーンセンターを実証フィールドとして処理性能等を実証後、2021年度より上記の共同研究体による自主研究として、継続して長期間の実証実験を行っているものである。

② AIによる水処理運転操作のガイダンス技術

水処理の運転操作の推奨値をAIがガイダンスする海外発の運転管理支援技術について、国内の下水処理場への展開を目的とした実証等を行うものである。本検討は、JS、三菱商事(株)、日本工営(株)による共同研究として、国内の実下水処理場をフィールドに2022年4月より研究を開始し、2023年6月に完了した。

③ AI処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術

既存のアンモニア制御技術「アンモニア計による送気量フィードフォワード制御技術」（2020年2月にJS新技術I類に選定；以下、「NH₄-FF+FB制御技術」と表記）に対して、AIによる処理水質予測（以下、「処理水質予測AI」と表記）を組み合わせることで、より積極的な曝気風量の削減を可能とする「AI処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術」の開発を行う。本検討は、JS、日新電機(株)による共同研究として、実下水処理場をフィールドに2024年1月より開始した。なお、本検討については、本年度は実証実験を開始してデータ取得を進めている状態であることから、本稿では開発技術および実証実験方法のみを掲載する。

(2) 検討方法

① 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術

本技術は、ICTおよびAIを活用した自動制御と独自の高度処理プロセスを組み合わせることで、従来の高度処理法（A2O法）と比較して、同等の処理水質を達成しながら、反応タンク

HRTの短縮(処理能力増強)、消費電力量の削減(省エネ化)、維持管理負担の軽減を図る新たな高度処理技術である。「統合演算制御システム」、「単槽型硝化脱窒プロセス」、「負荷変動追従型送風ユニット」という3つの要素技術から構成され(図2-1)、統合演算制御システムによる曝気風量の自動制御を前提とした単槽型硝化脱窒プロセスに対して、負荷変動追従型送風ユニットによる送風機吐出圧力の自動制御により更なる省エネ化を図る(技術の詳細については本技術の「導入ガイドライン(案)」²⁾を参照)。このうち、曝気風量の自動制御に際して統合演算制御システムが行う(a)目標風量の演算、(b)制御パラメータの自動チューニング、という2つの機能において、それぞれ統計的機械学習、最適化理論(進化計算法)という2つのAI手法が使用されている。

本検討では、2019年度のB-DASHプロジェクトにおいて町田市成瀬クリーンセンターの1系列4池へ同技術を導入して実証施設とした上で、以降、同施設において実規模の実証研究を行っている。2019・2020年度のB-DASH実証研究の成果に基づき前述の「導入ガイドライン(案)」が公表されているが、2021年度以降も共同研究体による自主研究として、長期的な技術性能を確認すると共に、更なるコスト削減、窒素除去率の向上、反応タンクにおける本技術固有の処理メカニズムの解明等を図るための実証実験を継続している。

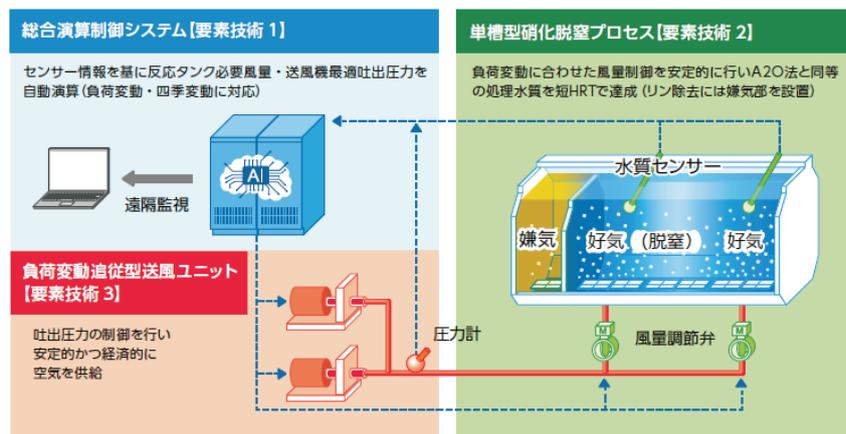


図2-1 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術の概略

本年度は、過年度から引き続き、導入コスト削減方策の一環として複数池の一括制御方法の検証を進めると共に、反応タンクにおける N_2O 排出量の調査、本技術の処理メカニズム解明のための反応タンク内の水質変化の調査等を行った。

② AIによる水処理運転操作のガイダンス技術

本技術は、下水処理場の運転データや水質分析等のデータを収集し、これらを入力データとしてAIが処理水質等の変化を予測して運転操作量(制御の設定値)の推奨値を出力することで運転管理のガイダンスを行う技術である(図2-2)。本技術は海外で開発されたもので、北米や欧州では既に導入実績がある。

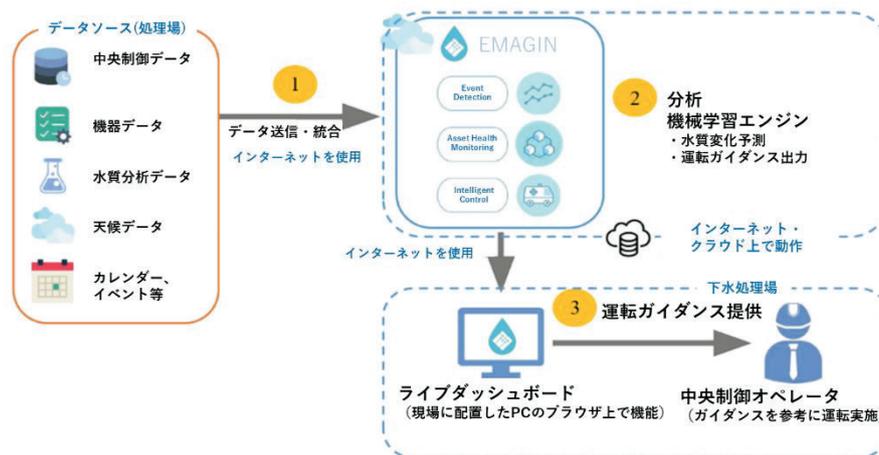


図2-2 AIによる運転操作ガイダンス技術の動作イメージ

本技術で使用する AI 手法は、機械学習の一種である「階層型強化学習」である。これは、AI が出力する運転操作の推奨値が、目標とする運転管理に対して適切であった場合に報酬を与え、逆の場合にペナルティを与える反復的な学習プロセスを介して AI の出力が最適化される機械学習アルゴリズムである。加えて本技術では、ガイダンスを行う下水処理場と同じ水処理プロセスを持つ下水処理場をコンピュータ上に再現するデジタルツインを使用しており、そこでの処理水質の変化の予測や運転操作量の推奨値の出力に AI が活用されている。AI が出力する推奨値を参考に水処理施設の運転が行われることで、運転操作の最適化や運転員の労力軽減、水処理の運転管理の高度化、省エネ・低コスト化といった効果が期待できる。

本検討では、ガイダンスを行う運転操作量として曝気風量を選定し、実下水処理場 1 箇所を対象に、曝気風量の推奨値を出力する AI モデルを構築する。次いで、同モデルが出力する曝気風量の推奨値（以降、特記が無い限り「AI 推奨値」と表記）に基づいて実際に曝気操作を行う実証実験を行い、本技術の導入効果や国内下水処理場への適用可能性を確認する。

過年度は、実験フィールドである下水処理場の施設情報や運転管理の実績データを用いて、コンピュータ上にデジタルツインを構築した。次いで、実証実験の事前検討として、AI 推奨値と運転実績を比較して AI 推奨値の妥当性を検証するデスクトップシミュレーションを行うと共に、中央監視システムからリアルタイムでデータを取得するためのデータ読み込みシステムの開発を行った。

本年度は、実際に本技術を同処理場の実装して AI 推奨値に基づく曝気操作を行う実証実験を実施し、本技術の運用による処理水質等への影響や曝気風量の削減効果を確認した。また、実際に現場で操作を担った運転員を対象に本技術の操作性や課題等に関するヒアリングを行った上で、本技術を下水処理場に適用する際の課題や留意点を整理した。

a) 対象施設

本検討で使用した実験フィールドは、現有処理能力が 66,000m³/d の中規模の下水処理場である。排除方式は分流式、水処理方法は標準活性汚泥法で、汚泥処理は、濃縮（生汚泥：重力濃縮、余剰汚泥：ベルト濃縮）→脱水→焼却で行われている。水処理施設は 3 系列（4 池/系列）から構成されており、このうち本検討では 1 系（現有処理能力：22,000m³/d）の 4 池（1 池は休止中）を対象に実証実験を行った。

b) 実証実験方法

昨年度に実施したデスクトップシミュレーションにより、本技術により実施設での実証実験に足る曝気風量の出力が可能との結果が得られた³⁾ことから、本年度は1系3池(1-1~1-3池)を対象に、2023/5/15~6/22の39日間、AI推奨値に基づく曝気操作を行い、本技術による処理水質等への影響および曝気風量の削減効果を確認した。実際の操作では、同処理場の中央監視室に設置したPCモニターに表示される各池の曝気風量の推奨値(1時間毎に更新)を運転員が2時間毎に確認し、この値を送風機の設定値として入力した。なお、本処理場の通常の曝気操作では、過去の運転実績等に基づいて曜日別に作成された曝気風量のスケジュール(時間毎の目標値)に従って、運転員が手動で各池の曝気風量を設定している。その他、実際に現場で操作を担った運転員を対象に本技術の操作性や課題等に関するヒアリングを行った。

③ AI 処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術

本技術は、既にJS新技術I類に選定されているNH₄-FF+FB制御技術(図2-3)に対して、処理水質予測AIを組み合わせることで、同制御技術における目標NH₄-N濃度を従来よりも引き上げる際のリスクを軽減し、更なる曝気風量の削減を図るものである(図2-4)。処理水質予測AIは、図2-5に示すとおり、監視制御装置に集約される計測データを用いて処理水のCOD(COD_{Mn})濃度の予測を行うもので、目標NH₄-N濃度の引上げに伴う処理水の有機物濃度の上昇リスクを事前に検知する役割を担う。そのためのAI手法として、長短期記憶(LSTM: Long Short-Term Memory)を用いており、10分毎の計測データから6時間程度先の処理水COD濃度を予測する。加えて、同制御技術の導入コストを削減することを目的に、本技術を導入した反応タンク(代表池)で計測されるNH₄-N濃度から、他の反応タンク(参照池)を制御する複数池一括制御の検討も行う(図2-4)。

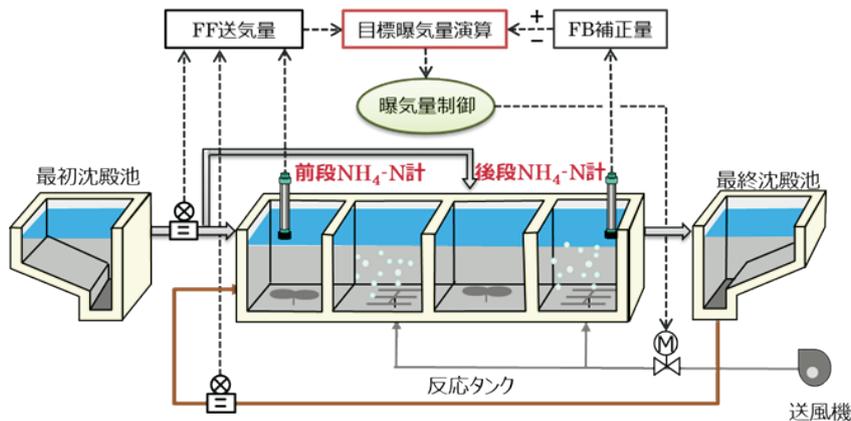


図2-3 NH₄-FF+FB 制御技術の制御フロー

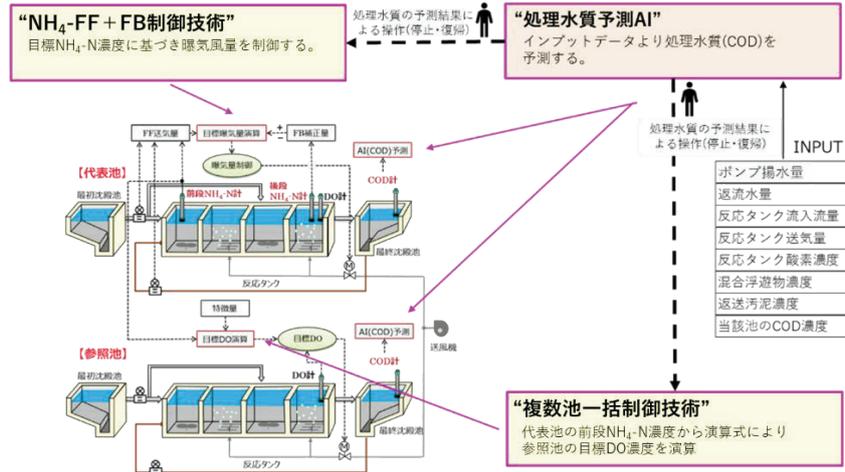


図2-4 AI 処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術の概要

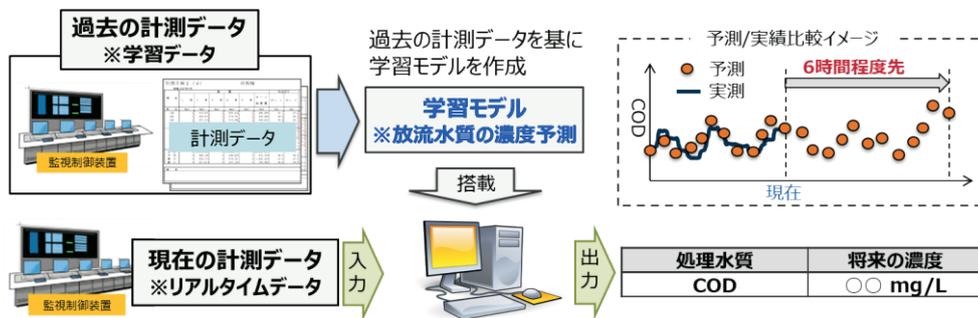


図2-5 処理水質予測 AI における予測のイメージ

本検討では、実下水処理場の反応タンク（処理能力 2,800m³/(d・池)）を使用して実証実験を行う。反応タンク 1 池に本技術を実装し、目標 NH₄-N 濃度を変更した複数パターンで NH₄-FF+FB 制御の運転を行い、処理水質への影響や曝気風量の削減による省エネ効果、処理水質予測 AI の予測精度や目標 NH₄-N 濃度の引上げに伴うリスク軽減の効果等を確認する。複数池一括制御に関する検討では、本技術を実装した池に加えて隣接する池を使用して実際に 2 池の一括制御運転を行い、実用性や導入コストの更なる削減効果について検討する。

(3) 検討結果

① 単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術

- 複数池一括制御方法の検討：本技術に係るコスト削減に向けた検討として、複数池の水処理施設において、1 池のみに水質センサーを設置して曝気風量制御を行う「代表池」とし、他池については代表池の風量演算結果に補正を加えて制御を行う「展開池」とすることで導入コストの削減を図る「複数池一括制御」について、2021 年度から継続している検討⁴⁾を進めた。本年度は、代表池と展開池の流入水量に意図的に差をつけた状態で複数池一括制御の運転を実施し、展開池に対する曝気風量の補正方法が有効に機能することを確認した。
- N₂O 排出量の調査：本技術の反応タンクにおける N₂O 排出量を把握するために、昨年度から引き続き実証施設において N₂O 排出量の調査を実施した。本年度は、四季を通して計 4

回の調査を行い、 N_2O 排出係数として全調査回の平均値で $8.9mgN_2O/m^3$ とのデータを得たほか、前半・後半の各好気ゾーンからの N_2O 放出量が多い等、各回に共通した傾向を見出した⁵⁾。

- 処理メカニズムの追加検証：実証研究において明らかとなった本技術に特有の反応タンク内の条件形成や、その中での硝化・脱窒の進行状態について、本技術における窒素除去のメカニズムを正確に把握し設計諸元等に的確に反映させるための各種調査を 2021 年度から継続して実施した。本年度は、反応タンク内の無機性窒素や DO のプロファイルデータを更に蓄積した上で、各ゾーンにおける硝化・脱窒による窒素成分の変化を定量化した結果、嫌気ゾーンや脱窒ゾーンだけでなく前半好気ゾーンにおいても同時硝化脱窒が顕著に進行しており、これが反応タンク全体の窒素除去量に寄与している点を明確にした⁶⁾。

② AI による水処理運転操作のガイダンス技術

a) AI 推奨値に基づく曝気操作の実証実験

対象系列において AI 推奨値に基づく曝気操作を行った 39 日間の曝気風量と DO 濃度の推移について、それに先立つ 14 日間と併せて図 2-6 に示す（3 池のうち代表例として 1-1 池のデータを掲載；グラフ中の各プロットは 1h ピッチの瞬時値）。AI 推奨値の出力条件として、あらかじめ対象系列の運転実績から DO 濃度の範囲設定（ $0.1\sim 0.7mg/L$ ）を行っているが、DO 濃度が設定範囲の下限値である $0.1mg/L$ を下回る箇所が複数見られたものの、概ね設定範囲内で運転された。処理状況については、本期間を通して処理水質の悪化は確認されなかった。他の 2 池についても、同様に DO 濃度が概ね設定範囲内で制御された。

1-1 池における AI 推奨値に基づく曝気操作期間中の曝気風量は平均 $587Nm^3/h$ 、送風倍率は平均 3.31 あった。一方、従来の曝気操作が行われていた 5/1～5/14 の期間の曝気風量は平均 $608Nm^3/h$ 、送風倍率は平均 3.33 で、本技術の運用による曝気風量の削減率は送風倍率ベースで約 0.6%とわずかであった。他の池については、送風倍率が 1-2 池で約 2.2%の増加、1-3 池で約 18.6%の増加と、むしろ本技術の運用期間に曝気風量が増加した。

以上の結果より、本実証実験において、本技術が実運用の条件にて支障なく機能することは検証できたものの、曝気風量の明確な削減効果は確認できなかったものと結論付けた。

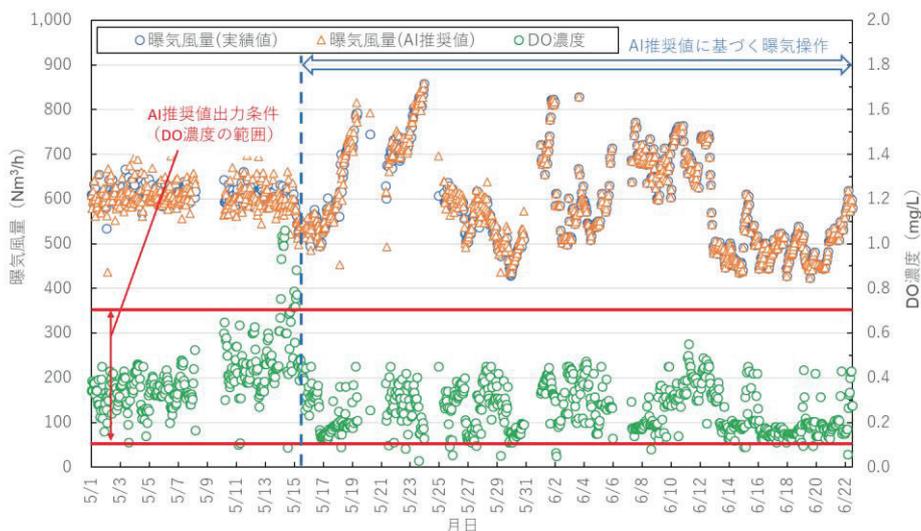


図 2-6 AI 推奨値に基づく曝気操作による曝気風量と DO 濃度の推移(1-1 池の例)

b) 運転員へのヒアリングおよび課題・留意点の整理

実証実験において運転操作を担当した運転員6名(運転の総括担当1名含む)を対象に、本技術の操作性等に関するヒアリングを行った結果、本技術の適用に関して問題となる事項は確認されなかった。操作方法に関しては、PCモニターに表示される推奨値の読み取りから設定値入力までの操作に支障はなく、肯定的な意見が得られた。

一方、本研究を実施する中で、AIモデルの構築から実施への実装や運用の各段階において、表2-1に示す課題や留意点が見出された。これらは、国土交通省が設置した「AIによる下水処理場運転操作デジタルトランスフォーメーション(DX)検討会」においてまとめられた提言の内容(ベンダーロックインの解消や信頼性の確保)に合致するものであり、本技術に限らずAIを活用した運転操作の支援技術における共通の事項と言える。

表2-1 本技術導入における課題・留意点

項目	課題・留意点
過去の運転実績データの不足	機械学習に必要な運転実績データの種類・量が不足する場合、AIモデルの完成までに多くの検討を要する。
計測・運転データの取得方法の検討	中央監視システム内の計測・運転データの取得が、システム上、現実的に不可能もしくは極めて困難な場合、別途データを取得する方法を検討(データ読み込みシステムの開発)する必要がある。
本技術の誤動作発生時の対応	本技術はガイダンス技術であり、既存の制御機器とは独立して実装されるため、誤動作の発生時に処理場の運転に即座に支障を与えることはない。しかし、AI推奨値の出力が出来なくなるため、これに対応するマニュアルの整備や既存の制御技術をバックアップとして維持しておく必要がある。
流入水量の大幅な増加等、異常発生時の対応	平常時と異なる流入水量の大幅な増加や流入水質の悪化等が確認され、AIによるガイダンスが困難と考えられる場合は、即時の対応として、本技術による運転を停止し、従来の運転方法に戻す必要がある。そのため、異常時の対応マニュアル等をあらかじめ整備しておく必要がある。

(4) まとめ

① 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術

本技術のコスト削減に向けた検討として複数池一括制御に係る実証を進め、これまでに検討してきた曝気風量の補正方法が有効に機能する見通しを得た。加えて、反応タンクにおけるN₂O排出量や処理メカニズムに関するデータ取得を進めた。

2024年度は、上記の3点について更なるデータ・知見の蓄積を図るほか、本技術における曝気風量制御方法の適用対象拡大に向けた検討を開始する予定である。

② AIによる水処理運転操作のガイダンス技術

実証実験では、処理水質の悪化は確認されず、概ねDO濃度の設定範囲内で運転が行われ、実運用の条件にて支障なく機能することは検証できたものの、曝気風量の明確な削減効果は確認できなかった。運転員へのヒアリングでは、操作面で問題となる事項は確認されず、操作方法に関しても肯定的な意見であった。一方で、本技術の導入に関しては、AIモデルの構築や計測・運転データの取得について、導入に向けた多くの検討が必要であったこと、本技術の故障や異常流入等のリスク対策として対応マニュアルの整備等が必要であること等の課題・留意点

が確認された。

本検討では、本技術の実装から AI 推奨値に基づく運転操作に至る一連の過程を実施設において実施したほか、運転員へのヒアリング等に基づき本技術を国内下水処理場へ適用する際の課題や留意点を抽出した。これらの検討をもって、本共同研究は 2024 年 6 月に完了した。

③ AI 処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術

2024 年 1 月から実証実験を開始し、目標 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を変更した運転実績データや AI による処理水 COD 濃度の予測データ等の取得を進めた。2024 年度も実証実験を継続し、得られたデータを基に水処理制御への実用可能性や省エネ効果について検討する。

2.2 パイロットプラントを用いた AI 水処理自動制御実験

(1) 検討の概要

下水処理（水処理）の運転管理における AI の活用方法として、ガイダンスや状態診断・異常検知だけでなく、より運転操作に対する影響度が大きい自動制御についても検討されるようになってきている。しかし国内では、AI の出力自体を直接的に自動制御に用いる試みは殆ど行われていない。そこで本検討では、パイロット規模の活性汚泥法の実験プラントを用いて、AI による曝気風量の自動制御（AI 自動制御）の運転を試行し、AI 自動制御の性能や特有の挙動等について実験的に確認する。具体的には、2019・2020 年度の B-DASH プロジェクト（FS 調査）において性能を検証した AI（ランダムフォレスト；後述）を用いた運転操作因子の予測・ガイダンス技術を活用し、本 AI が出力する予測値（AI 出力値）に基づく曝気風量の自動制御運転を行う。これにより、AI 自動制御の適用可能性を検証すると共に、実用化に向けた課題等を見出すことを目的とする。なお、本検討は、前・基本計画期間（2020 年度）から継続して実施しているものであり、2024 年度まで実施予定である。

過年度の検討では、ランダムフォレストを用いた AI 自動制御が現実的に機能することを確認する^{8),9)}と共に、AI の学習に供する教師データ量の違いが AI 自動制御の性能に与える影響度合いや、入力データの各項目が AI 出力値に与える寄与度を可視化することの有用性について検討した¹⁰⁾。

本年度は、教師データ量の違いが AI 自動制御の性能に与える影響について更に検討を進めた他、教師データに含まれない未学習条件における AI 自動制御の性能を確認した。

(2) 検討方法

① AI 技術および実験プラント

本検討で使用する AI 技術は、2019・2020 年度の B-DASH プロジェクト（FS 調査）「AI を活用した下水処理運転管理支援技術に関する調査事業」において性能等を確認した水処理のガイダンス技術「水処理制御支援技術」である。本 AI 技術は、過去の運転データを教師データとして生成した AI モデルにより、リアルタイムの計測データ（入力値）に基づいて運転条件設定値（例：曝気風量、余剰汚泥引抜量）の予測値（ガイダンス値）を出力するものである。AI 手法として「ランダムフォレスト」（以下、「RF」と略記）を使用しているが、これは、複数の決定木と呼ばれるツリー状のデータ分割構造を自動生成し、各々の決定木による出力を統合（平均化等）して出力値とする手法で、機械学習の一種である。本検討では、RF のパラメータとして、決定木本数を 100 本、決定木の階層数を 10 階層としている。

本検討では、同 AI 技術が出力する予測値を直接的に操作量とする自動制御運転を試行することで、AI 自動制御の適用可能性を検証している。具体的には、パイロット規模の実験プラントにおいて、曝気風量を予測する AI モデルを構築した上で、これを用いた曝気風量の自動制御運転を行う、という過程を様々な条件で実施している。

実験プラントは、実下水（分流式、初沈越流水）を原水とするパイロット規模の活性汚泥法のプラント（処理能力 50m³/d）である。処理方式は標準活性汚泥法とし、等容量の 4 区画に分割された反応タンクの第 1 区画を嫌気条件とする嫌気－好気運転で運用した。

本実験プラントにおいて計器により自動計測される10項目(流入水量、総曝気風量、第4区画のDO濃度およびMLSS濃度、返送汚泥の流量および濃度、引抜汚泥の流量および濃度、積算引抜汚泥量、電力使用量)のデータを入力値とし、5分後の曝気風量を出力するAIモデルを生成した。以降に示すモデル生成において使用した教師データは、いずれも同プラントをDO一定制御で運転した期間のものである。すなわち、本検討で実施したAI自動制御は、DO一定制御における曝気風量を模倣する動作を行うもの、ということになる。なお、AI自動制御の運転では、5分間隔で取得した10項目の入力データから上記のAIモデルにより5分後の曝気風量を出力し、当該時点から5分間の曝気風量を同出力値で固定するという制御を行った。

② 教師データ量の違いがAI自動制御の性能に与える影響

教師データの量(データ項目数、1項目当りのデータ数等)の違いがAI自動制御の性能等に与える影響を把握することは、実運用におけるモデルの学習条件や更新頻度を検討する上で重要である。昨年度の検討では、取得期間(1項目当りのデータ数)が極端に異なる教師データ(133日間と14日間のデータ量)により生成したAIモデルによる自動制御運転の結果を比較したところ、教師データ量の多さが制御性能の向上に必ずしも繋がらないとの結論を得た⁹⁾。しかし、本結果は2021年10月および2022年10月と、実施時期が大きく異なる実験結果を比較したものであり、同等の条件での比較とは言えない懸念があった。

そこで本年度は、教師データ量として引き続き取得期間に着目し、2通りの異なる期間長の教師データを用いたAI自動制御運転を、流入水質や水温等の条件が同等と考えられる連続した期間に実施することで、教師データ量の違いによる影響をより明確化することを意図した検討を行った。具体的には、先ず、実験プラントをDO一定制御で運転した14日間分(2023/10/16~10/29)と、これを含む95日間分(2023/7/1~10/29の121日間のうち別途の実験を行った期間等を除外)のデータ量を持つ2種類の教師データ(図2-7)を使用して各々でAIモデルを生成した。次いで、各AIモデルによる曝気風量の自動制御運転を6~7日間ずつ、連続した期間(2023/11/7~11/14、2023/11/15~11/21)に実施した(表2-2)。以降、14日間分の教師データを使用した一連の実験を「実験A」、95日間分の教師データを使用した同様の実験を「実験B」と記載する。

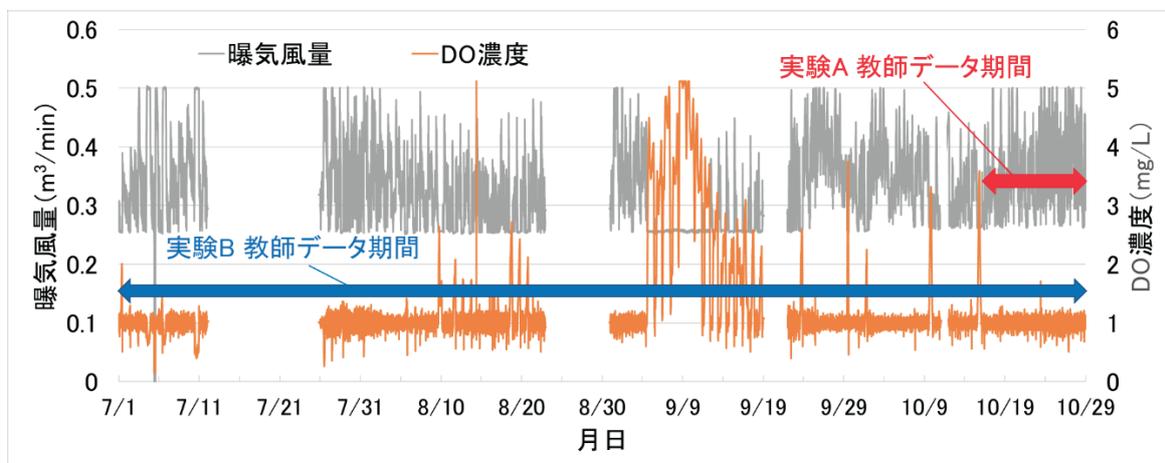


図2-7 教師データとした期間の運転データ(曝気風量、DO濃度)

表2-2 実験条件
(教師データ量の違いが AI 自動制御の性能に与える影響の確認)

項目		条件	
教師データ	流入水量	2023/7/1~7/11:0.035m ³ /min(50.4m ³ /d)、時間変動なし 2023/7/12~10/29:0.020~0.035m ³ /min(41.1m ³ /d)、時間変動あり	
	曝気運転	DO 一定制御(目標 DO 濃度:1.0mg/L)	
	データ項目数	10 項目	
	データ取得間隔	5min	
	RF パラメータ	決定木本数	100 本
		階層数	10 階層
	データ期間	実験 A 2023/10/16~10/29(14 日間) 実験 B 2023/7/1~10/29(95 日間) ※次に示す期間は除く。 未学習条件での AI 自動制御実験:7/12-7/18(7 日間)、7/19-7/25(7 日間)、8/23-8/30(8 日間)、9/19-9/21(3 日間)、停電作業日:10/11(1 日間)の計 26 日間	
AI 自動制御 運転	流入水量	0.020~0.035m ³ /min(41.1m ³ /d)	
	実験期間	実験 A	2023/11/7~11/14(7 日間)
		実験 B	2023/11/15~11/21(6 日間)

③ 未学習条件が AI 自動制御の性能に与える影響

実際の下水处理場において長期間に亘って AI 自動制御運転を行う場合、教師データに含まれない運転条件(未学習条件)となることが考えられる。このような未学習条件においても適正に制御を機能させるために、AI モデルの定期的な更新や特定の条件を想定した別途の AI モデルの使用等が想定されるが、教師データから外れた条件において AI 自動制御がどのような動作となるのか、何処まで機能するのか等を把握しておくことは、AI 自動制御の実際の運用方法を検討する上で重要と考えられる。そこで、実験プラントにおいて未学習条件を意図的に設定して AI 自動制御運転を行い、これが AI 自動制御の性能等に与える影響を確認する実験を行った。

まず、流入水量を一定(50.4m³/d=0.035m³/minにて時間変動なし)として DO 一定制御の運転を行った 14 日分(2023/6/28~7/11)の計測データを教師データとして AI モデルを生成した。これに対して、未学習条件として上記よりも水量が減少する時間変動パターン(日量 42.0m³/d に対して 0.020~0.035m³/min の範囲; 図 2-8 参照)を設定し、この条件にて 7/12 12:00~7/18 12:00 の 6 日間、AI 自動制御運転を行った(表 2-3)。

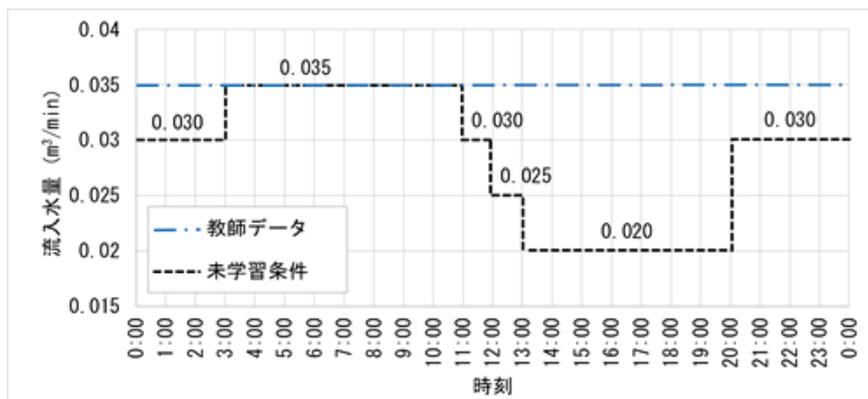


図2-8 流入水量の時間変動パターン

表2-3 実験条件

(未学習条件がAI自動制御の性能に与える影響の確認)

項目		条件
教師データ	流入水量	0.035m³/min(50.4m³/d)、 時間変動なし
	曝気運転	DO一定制御(目標DO濃度:1.0mg/L)
	データ項目数	10項目
	データ取得間隔	5min
	データ期間	2023/6/28~7/11(14日間)
	RFパラメータ	決定木本数: 100本 階層数: 10階層
AI自動制御運転	流入水量	0.020~0.035m³/min(42.0m³/d)、 時間変動あり
	実験期間	2023/7/12 12:00~2023/7/18 12:00 (6日間)

(3) 検討結果

① 教師データ量の違いがAI自動制御の性能に与える影響

実験AおよびBのAI自動制御運転における曝気風量およびDO濃度(5分間隔の計測値)の推移を図2-9、図2-10に示す。前述のとおり、各実験で使用したAIモデルは、実験Aが14日間分、実験Bが95日間分の教師データで生成したものである。両実験とも、DO濃度が大きく変動する期間が見られるが、それを除くとDO一定制御(教師データ)の目標DO濃度である1.0mg/L付近となる曝気風量制御が行われた。各実験期間中のDO濃度(5分間隔の計測値;以降も同様)の平均値と標準偏差を見ると、実験Aで 1.14 ± 0.45 mg/L(平均値±標準偏差;以降も同様)、実験Bで 1.22 ± 0.44 mg/Lと、平均値にわずかに差があるものの標準偏差は同等であった。実験プラントを用いた短期間の実験ではあるが、14日間分の教師データで生成したAIモデルでも、現実的な曝気風量の自動制御が可能であることが改めて確認できた。

両実験ともDO濃度が目標値の1.0mg/Lに対して大きく上昇または低下した期間が複数確認された。これらの期間の曝気風量には、送風機が運転可能な範囲(0.25~0.5m³/min)の上限または下限値にまでは至っていないものの、それに近い概ね一定の値で推移するという現象が見られた(この現象については後述の②の中で考察する)。本現象は、教師データとしたDO一定

制御による運転において曝気風量が運転可能な範囲の上下限值となり制御範囲外となった時の状況（曝気風量が概ね一定値を維持）に類似していることから、今回生成した各 AI モデルが出力する曝気風量には実質的な上下限が存在するものと考えられた。そこで、これらを各 AI モデルによる制御範囲外の状態と見なし、これらが生じている期間を除外して DO 濃度の平均値と標準偏差を算出すると、実験 A で $1.19 \pm 0.36 \text{mg/L}$ 、実験 B で $1.15 \pm 0.36 \text{mg/L}$ となり、平均値の差は更に縮小し標準偏差は同値となった。すなわち両実験における DO 濃度に顕著な差は見られず、本実験において設定した 14 日間分および 95 日間分という教師データ量の違いの範囲において AI 自動制御の性能に顕著な影響は生じないという、過年度の実験結果を追認する結果となった。

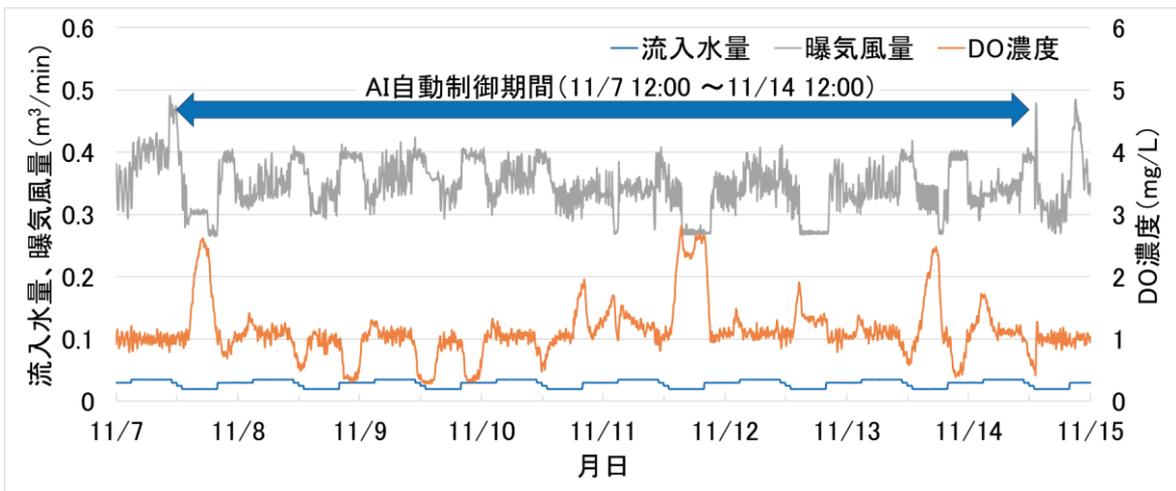


図2-9 AIによる曝気風量の自動制御運転の結果(実験 A)

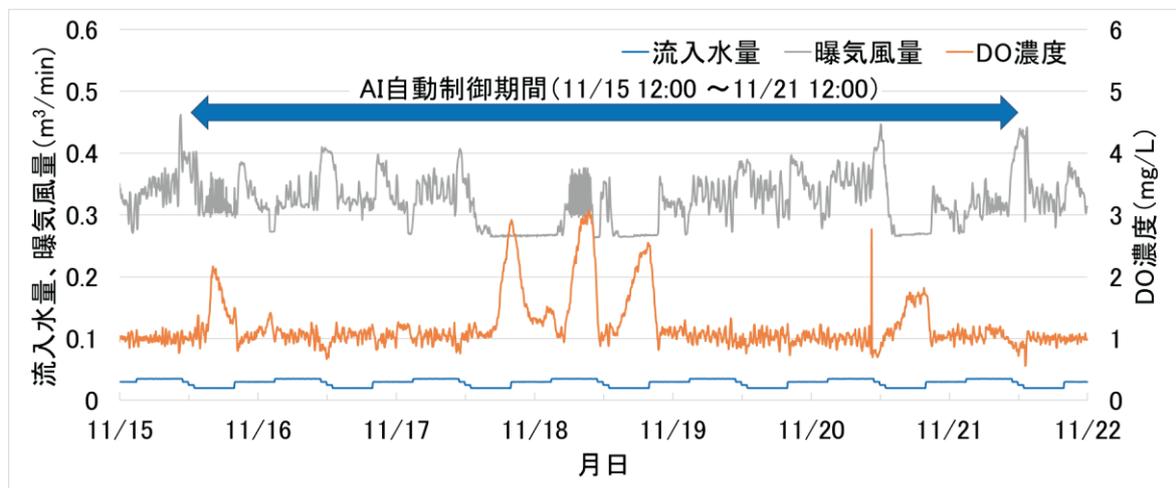


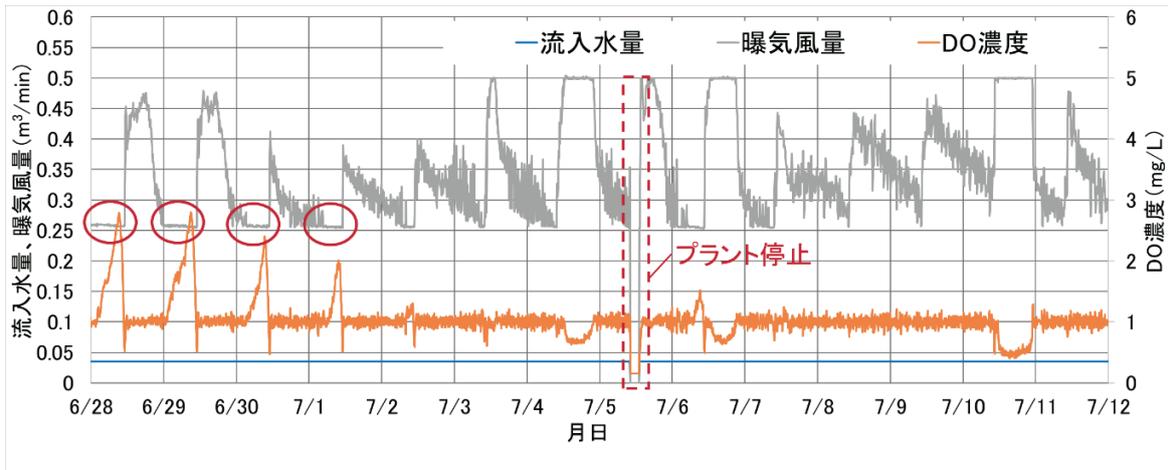
図2-10 AIによる曝気風量の自動制御運転の結果(実験 B)

② 未学習条件が AI 自動制御の性能に与える影響¹¹⁾

まず、本実験で教師データとして使用した DO 一定制御での運転における流入水量、曝気風量、DO 濃度の推移を図 2-11 に示す。本データでは、曝気風量の運転可能範囲の上下限に達して制御範囲外となった期間が見られ、これを除外した期間の DO 濃度は $0.99 \pm 0.10 \text{mg/L}$ と概ね目標値 (1.0mg/L) 付近に維持された。なお、7/5 に流入水量および曝気風量が一時的に

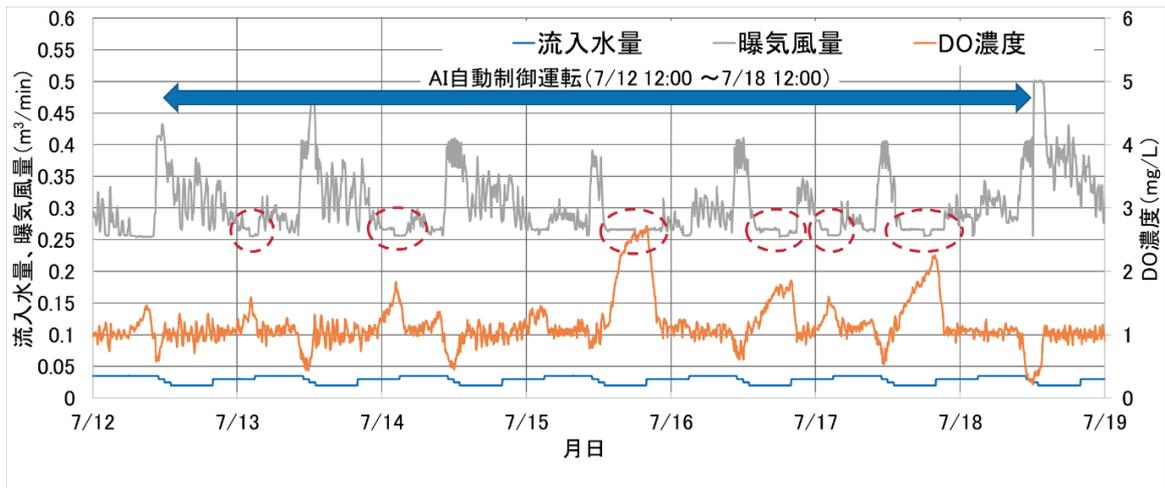
ゼロ（10:05～13:00；同図の点線四角囲み）になっているが、これは装置の修繕のためにプラントを停止したことによる。AIモデルの生成は、この期間も含むデータで行っている。

これに対して、未学習条件でAI自動制御運転を行った結果（図2-12）、DO濃度は $1.15 \pm 0.36\text{mg/L}$ となった。ただし、本AI自動制御運転においても、前述の①と同様にAIモデルの実質的な制御範囲外と見なせる期間が複数確認されたため、①と同様にこれらを除外した期間を対象にDO濃度の平均値と標準偏差を算出すると $1.00 \pm 0.17\text{mg/L}$ となり、平均値・標準偏差ともに教師データとの間に顕著な差は見られなかった。すなわち、本実験で設定した未学習条件においては、AI自動制御の性能に与える程の明確な影響はなかったという結果であった。



※図中の実線赤囲みは、送風機の制御範囲外となっていると考えられる代表的な箇所

図2-11 教師データとした期間の運転データ(流入流量、曝気風量、DO濃度)



※図中の点線赤囲みは、教師データには見られなかった挙動の代表的な箇所

図2-12 未学習条件におけるAI自動制御運転の結果

本検討で生成したAIモデルは、教師データとしたDO一定制御を模倣した制御動作を行うはずである。すなわち、教師データには曝気風量の運転可能範囲の上下限に達して制御範囲外となった期間が含まれるため、本AIモデルにおいても類似の運転状況下では同一の上下限值

が出力されると想定されるが、前述のとおり、本実験において実施した AI 自動制御運転では曝気風量が同上下限值までには至らず、それに近い一定の値で推移するという現象が見られた。

これは、昨年度までの実験でも確認された現象である。この原因を明らかにするため、DO 濃度が 1.0mg/L を大きく超えた期間から任意で抽出した 1 回分の出力について、100 本の決定木が各々出力した曝気風量の度数分布を図 2-13 に示した。ここでの本 AI モデルの最終的な出力は $0.267\text{m}^3/\text{min}$ であるが、決定木単位で見ると、教師データにおける下限値である $0.255\text{m}^3/\text{min}$ を出力した決定木は 3 本に留まり、半数を超える 53 本が $0.265\sim 0.270\text{m}^3/\text{min}$ の範囲で曝気風量を出力していた。これらの全決定木の出力の平均値が本 AI モデルによる出力となるため、教師データにおける曝気風量の範囲（上下限值の範囲）よりもわずかに狭い範囲が同 AI モデルによる出力の実質的な範囲になったものと考えられた。これは、多数の決定木による出力の代表値を最終的な出力とする RF に固有の現象と考えられる。

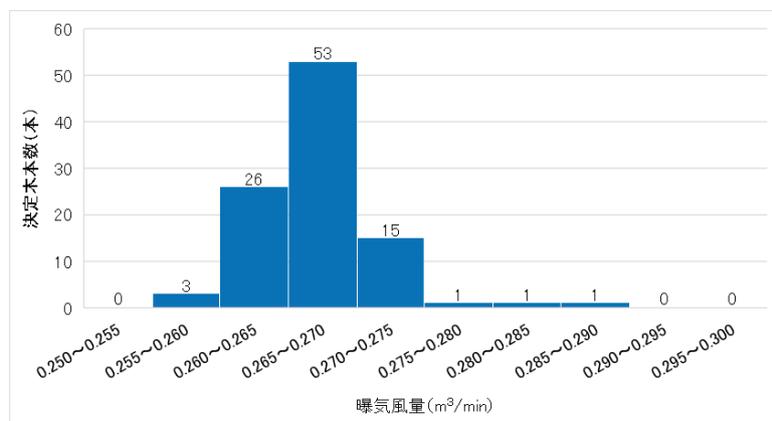


図2-13 各決定木が出力した曝気風量の度数分布(2023/7/14 1:00 の出力を抽出)

今回実施した未学習条件での AI 自動制御運転では、未学習による AI 自動制御の性能への影響は見られなかったが、曝気風量の推移に関して教師データには見られない挙動が確認された(図 2-12 の点線赤囲み部分)。図 2-11、図 2-12 で、DO 濃度が大きく上昇した箇所においては、教師データでは曝気風量が送風機の運転下限値 ($0.25\text{m}^3/\text{min}$) まで下がり制御範囲外となっている(図 2-11 の実線赤囲み部分)。一方、AI 自動制御運転では、本来であれば前述のとおり曝気風量の出力の実質的な下限である $0.267\text{m}^3/\text{min}$ 付近で一定となるはずであるが、その後に $0.256\text{m}^3/\text{min}$ 付近まで更に下がる挙動が複数回確認された。この挙動は、これまでに実施した他の実験では見られず、本実験で初めて確認された。

曝気風量が一定となった後に更に下がる挙動は、曝気風量と他のデータ項目の時系列変化を確認した結果、余剰汚泥引抜きが関係していることが確認された(図 2-14 ; 余剰汚泥引抜きに係るデータとして引抜汚泥濃度を表示)。余剰汚泥は 1 日に 3 回 (2:00、10:00、18:00 で各 10 分間) 引き抜いていたが、AI モデルが出力した曝気風量は余剰汚泥引抜きが開始された次の出力で下がっていた。実際に曝気風量が下がった 7/14 の 2:00 時点の決定木単位での出力値を見ると、100 本中 6 本で曝気風量が $0\text{m}^3/\text{min}$ になっており、これが曝気風量を更に下げた原因であると考えられた。この曝気風量 $0\text{m}^3/\text{min}$ の出力は、教師データに含まれた 7/5 のプラント停止時のデータ(曝気風量： $0\text{m}^3/\text{min}$) が AI モデルの出力値に影響していると考えられた。プラント停止は 7/5 の 10:00 に開始しており、意図したものではないが余剰汚泥引抜きと時刻が合致していた。このプラント停止時のデータ(曝気風量： $0\text{m}^3/\text{min}$) と余剰汚泥引抜き

データが、AIモデルの生成において関連付けられたことで、生じた挙動であると考えられた。なお、18:00時点ではDO濃度が大きく上昇している状態ではなかったため、曝気風量が一定となる挙動は見られていないが、余剰汚泥引抜き開始後のAIモデルの出力値の下げ幅が大きくなっていることが確認された(17:55と18:00の曝気風量差 $-0.008\text{m}^3/\text{min}$ に対し、18:00と18:05の差は $-0.035\text{m}^3/\text{min}$ であった)。この挙動は、教師データにわずかに含まれる特異データ(今回は装置の修繕によるプラント停止データ)が、AI自動制御の特徴的な挙動として顕在化したものと考えられた。なお、教師データにプラント停止データが含まれなかった場合は、曝気風量がゼロになるデータが含まれないため、AIモデルが出力する曝気風量は前述の実質的な下限値になると考えられる。

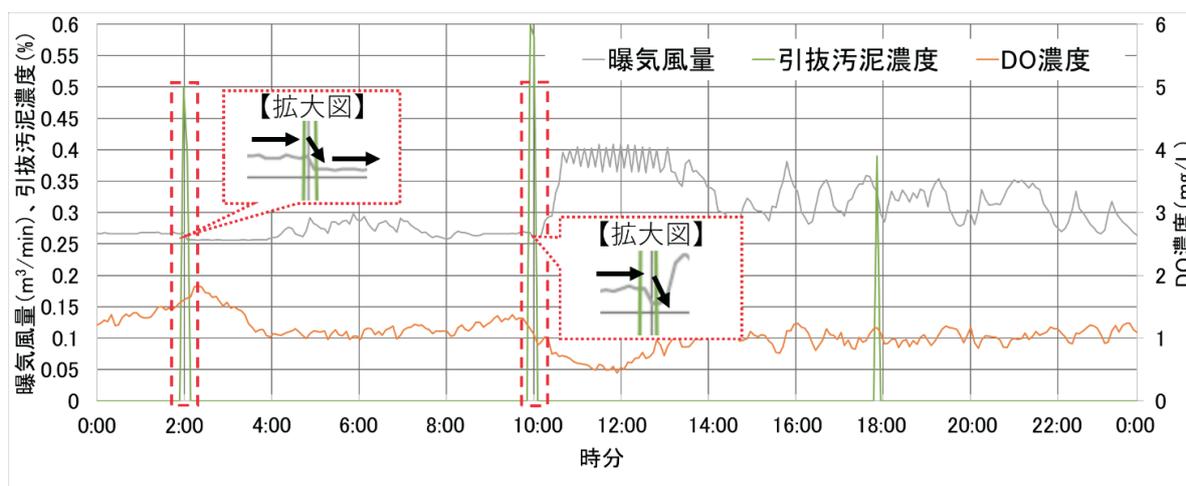


図2-14 曝気風量と引抜汚泥濃度の推移(2023/7/14の24hrデータ)

(4) まとめ

過年度から引き続きパイロット規模の実験プラントを用いてAIモデル(RF)による曝気風量の自動制御に関する実験を行い、AIモデルを生成する教師データ量の違いがAI自動制御の性能に与える影響、AIモデルが未学習の条件におけるAI自動制御の性能について検討した。主たる成果は以下のとおりである。

- 14日間分または95日間分の教師データで生成した2つのAIモデルによる自動制御において、教師データ量の違いがAI自動制御の精度等の性能に明確な影響は確認されなかった。実験プラントを用いた短期間の実験ではあるが、14日間分の教師データで生成したAIモデルでも、現実的な曝気風量の自動制御が可能であることが改めて確認できた。
- AIの学習条件(流入水量一定、時間変動なし)に対して、水量を減少させる時間変動パターンを与えた未学習条件でAI自動制御運転を行ったが、本条件に起因すると考えられるAI自動制御の性能に対する明確な影響は見られなかった。
- 本検討で生成したAIモデルの出力には、実質的な上下限が存在すると考えられた。これはAIモデルの出力が各決定木の平均であるため、曝気風量の運転可能範囲の上下限と同一となる出力がされにくく、当該範囲よりも狭い範囲で実質的な上下限が生じたと考えられた。これは、多数の決定木による出力の代表値を最終的な出力とするRFに固有の現象と考えられた。

- AI 自動制御運転において、DO 濃度が 1.0mg/L を大きく超えた箇所で曝気風量が 0.267m³/min 付近で固定された後、更に下がる挙動が確認された。この挙動は、教師データにわずかに含まれた装置の修繕によるプラント停止データが、AI 自動制御の特徴的な挙動として顕在化したものと考えられた。教師データにプラント停止データが含まれなかった場合は、曝気風量がゼロになるデータが含まれないため、AI モデルが出力する曝気風量は前述の実質的な下限値になると考えられた。

次年度も、引き続き実験プラントを使用した実験を行う。本年度とは異なる未学習条件で AI 自動制御運転を行い、AI 自動制御に与える影響について検討等を行う。加えて、教師データとする項目の組合せを変えた AI モデルによる自動制御運転を行い、項目の組合せと AI 自動制御の性能の関係についての検討を行う。

3. ICTによる広域監視・制御システム

3.1 ICTの活用による下水道施設広域監視制御システムの開発

(1) 検討の概要

本検討では、「ICTの活用による下水道施設広域監視制御システム」(以下、「広域監視制御システム」と略記)の実規模実証実験を行い、異なる製造者により設置された施設の監視・制御・帳票作成を行う設備または装置の通信の信頼性・安定性、建設費・改修費および維持管理費の削減効果等を実証するものである。本システムは複数の下水道施設を広域的に監視制御する技術であるため、広域化・共同化の一手法として普及展開することを目標に進めている。

本検討は2021年度に国土交通省の下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)として採択され、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託を受けて日本下水道事業団・東芝インフラシステムズ・日立製作所・三菱電機・明電舎・メタウォーター・倉敷市共同研究体が実施している。岡山県倉敷市の下水道施設を実証フィールドとし、水島下水処理場および倉敷市役所を広域管理拠点に、下水処理場4施設を含む全27施設を監視対象に選定して検討を行っている。実証期間は2021年度から2024年度の4年間を予定している。

これまでの検討では、工場における模擬的な通信試験の実施により操作性や応答性が良好であることを確認しており、これを踏まえて現地での実証を開始した。

本年度は現地での実証運転を継続し、通信の信頼性や安定性等について確認を行った。

(2) 検討方法

① 技術の概要

本システムは、異なる製造者の監視制御設備における相互の通信を容易にするものであり、図3-1に示す「共通プロトコル方式」、「リモートデスクトップ(RDP)方式」の一方を用いる、または両方式を組み合わせることによって複数の下水道施設の監視制御を実現する。

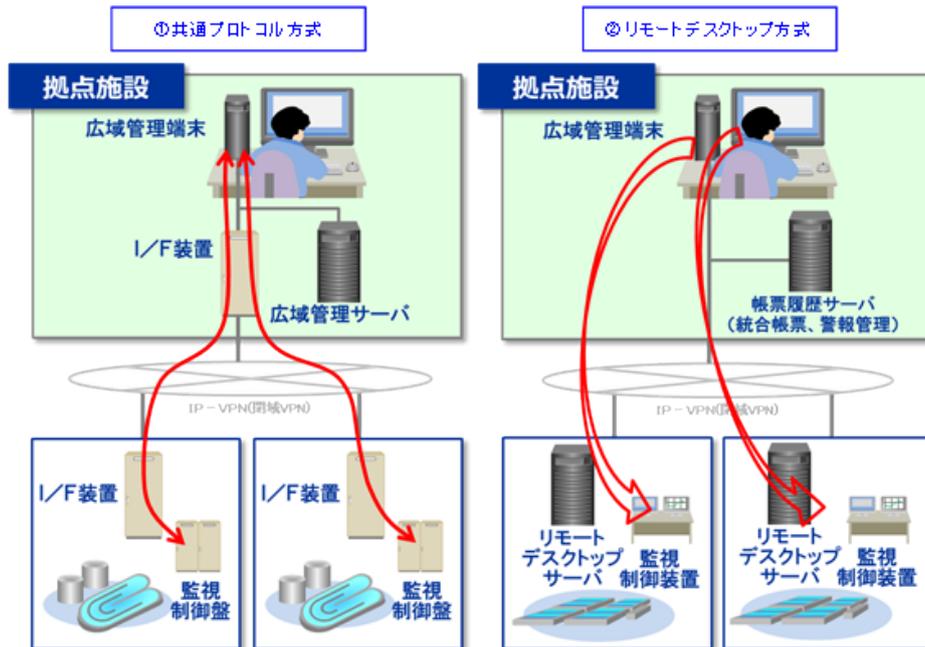


図3-1 共通プロトコル方式およびRDP方式の概要

a) 共通プロトコル方式

製造者間の共通のプロトコル（ネットワーク上でデータを通信する際に用いられる手順や言語、ルール）を定めることで、異なる製造者により設置された監視制御盤または監視制御装置間の通信を行う技術であり、その特徴は以下のとおりである。

- ・異なる製造者による監視制御盤または監視制御装置と、広域管理拠点側の監視制御装置とが共通プロトコルを用いて信号の授受を行うことで、施設ごとの監視制御および対象施設の帳票データの統合が可能。
- ・異なる製造者による監視制御盤または監視制御装置において、相互に信号を授受する伝送装置（I/F装置）とデータ変換装置の機能をI/F装置に集約し、これを標準化することで汎用化を実現。

b) RDP方式

Microsoft Windowsのリモートデスクトップ機能を活用して、監視制御装置が設置されている下水道施設の監視等を行う技術であり、その特徴は以下のとおりである。

- ・Microsoft Windowsのリモートデスクトップ機能を活用することにより既存のシステム改修範囲と新規システム構築規模を最小化できるため、共通プロトコル方式に比べて安価で施設ごとの監視、制御、帳票印刷が可能。
- ・共通プロトコルを付加することにより、コスト面のメリットを大きく損なうことなく広域管理拠点で警報発報、帳票データの統合を行うことも可能。

② 実証方法

本技術における通信の信頼性、安定性を確認するため、2箇所の広域管理拠点から27箇所の下水道施設を監視し、共通プロトコル方式では異なる製造者の監視制御設備におけるデータ通信の確認と上位下位間での警報伝達の確実性等を、RDP方式ではクライアントとサーバの表示の同一性と操作・設定の確実性等を実証した。本検討で使用する広域ネットワークは、帯域容量100Mbpsの広域イーサネット（帯域を確保された専用回線）とした。実証項目と実証方法を表3-1に示す。

表3-1 実証項目と実証方法

実証項目	実証方法
異なる製造者間でのデータ通信の評価	異なる製造者のサーバとクライアントを接続し、表示、操作できることを確認する。また、通信時のデータ更新周期が問題無いことを確認する。
上位下位間の通信の信頼性評価	上位下位間で表示が同一であること、上位から下位への確実な制御、下位から上位への確実な警報伝達を確認すると共に、データ欠損が無いことを確認する。
応答速度の評価	広域監視に支障のない応答速度を確保するため、以下の目標値を満足することを確認する。 共通プロトコル方式 表示応答:2秒程度 操作応答:6秒程度 RDP方式 表示応答:1秒程度 操作応答:3秒程度

(3) 検討結果

広域監視制御システムを、実際の下水道施設に設置したシステムを用いて実証し、表3-2、表3-3のとおり、共通プロトコル方式、RDP方式共に、実際の運転管理において広域管理拠点から問題無く監視・制御の操作ができることを確認した。

表3-2 共通プロトコル方式の実証結果

実証項目		実証結果
異なる製造者間でのデータ通信の評価	上り通信の確認	デジタル信号(DI)、アナログ信号(AI)、パルス信号(PI)の伝送ができることを確認した。
	下り通信の確認	デジタル信号(DO)、アナログ信号(AO)の伝送ができることを確認した。
上位下位間の通信の信頼性評価	上り通信の確認	受信したDI、AI、PIを監視画面、故障画面に表示し、下位システムと表示が同一であることを確認した。
	下り通信の確認	監視操作画面からの機器・設定操作(DO、AO)が、子局に反映されることを確認した。
	確実な警報伝達の確認	下位システムの故障(DI)を検知して、警報を発報することを確認した。
	データ欠損無しの確認	通信正常時は、帳票、トレンドデータ、メッセージにデータ欠損がないことを確認した。
応答速度の評価	目標値 表示応答:2秒程度 操作応答:6秒程度	表示、操作において目標値を満足することを確認した。

表3-3 RDP方式の実証結果

実証項目		実証結果
異なる製造者間でのデータ通信の評価		異なる製造者が準備したサーバとクライアント同士を接続し、サーバの画面機能がクライアントで表示・操作できることを確認した。
上位下位間の通信の信頼性評価	表示の同一性の確認	クライアントの表示が、接続先の監視制御システムの画面の表示と同一であることを確認した。
	制御の確認	クライアントからの操作・設定が、接続先の監視制御システムに正しく反映されることを確認した。
応答速度の評価	目標値 表示応答:1秒程度 操作応答:3秒程度	表示、操作において目標値を満足することを確認した。

(4) まとめ

本年度は、広域監視制御システムの通信の信頼性と安定性を、実際の下水道施設に設置したシステムを用いて実証した。その結果、本システムは、共通プロトコル方式、RDP方式共に、広域管理拠点から各下水道施設の監視・制御を問題無く実施できることを確認した。

これまでは100Mbpsの広域イーサネットを使用したのが、今後は帯域容量を縮小した実証、IP-VPN回線を使用した実証を行い、通信に影響が無いことを確認する予定としている。また、広域化の想定パターンを整理し、パターンごとのモデルケースにおけるコスト試算を行うことも予定している。

4. 検討結果の総括

4.1 本年度の成果

(1) AIによる水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術

① AIを活用した水処理・汚泥処理の支援・制御技術の開発

過年度から継続している2件および今年度に開始した1件のAI活用技術に関する共同研究等を進めた。

「単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術」について、更なるコスト縮減を目的とした複数池一括制御方法に関して、曝気風量の補正方法が有効に機能する見通しを得た。また、反応タンクにおける N_2O 排出量や処理メカニズムに関するデータ取得を進めた。

「AIによる水処理運転操作のガイダンス技術」について、実処理場において本技術のガイダンスに基づき曝気風量を操作する実証実験を行った。ガイダンスに基づく運転操作に関しては、支障なく機能することが検証できたが、省エネや低コスト化に繋がる曝気風量の削減効果は確認できなかった。また、本技術の導入における課題、留意点について、実操作を行った運転員へのヒアリング等を行い整理した。JS、三菱商事㈱、日本工営㈱による共同研究は、2024年6月に完了した。

「AI処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術」について、2024年1月から実証実験を開始し、目標 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度を変更した運転実績データやAIによる処理水COD濃度の予測データ等の取得を進めた。

② パイロットプラントを用いたAI水処理自動制御実験

教師データ量が異なる(14日間分および95日間分)AIモデルによるAI自動制御運転を行った結果、両モデルとも同等の制御性能であり、教師データ量の違いがAI自動制御の精度等の性能に明確な影響は確認されなかった。教師データに含まれない未学習条件(流入水量が減少する時間変動パターン)を与えてAI自動制御運転を行った結果、本実験で設定した未学習条件においては、AI自動制御の性能に与える程の明確な影響は確認されなかった。

AI自動制御運転で確認された挙動について、教師データとした各データ項目の関連等を解析し、その原因を明らかにした。

(2) ICTによる広域監視・制御システム

① ICTの活用による下水道施設広域監視制御システムの開発

実施設に設置した共通プロトコル方式・RDP方式のシステムを用いて、通信の信頼性、安定性を確認した。いずれの方式とも、広域管理拠点から各下水道施設の監視・制御を問題なく実施できることを確認した。

4.2 今後の予定

1.2節に記載の開発項目について、次年度の実施予定は以下のとおりである。

(1) AIによる水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術

- AIを活用した水処理の支援・制御技術の開発：2技術の実証実験を引き続き行い、更なるデータ・知見の蓄積を図るほか、技術に応じて処理性能の向上や省エネ効果等についての検討を行う。
- パイロットプラントを用いたAI水処理自動制御実験：引き続き実験プラントを使用し、本年度とは異なる未学習条件におけるAI自動制御に与える影響、教師データとするデータ項目の組合せの違いによる制御性能の変化についての検討等を行う。

(2) ICT・AIによる設備劣化予測・異常診断技術

- 国内外の文献調査や設備メーカーへのヒアリング等により、ICT・AIによる下水処理場内の設備の劣化予測・異常診断技術の最新の開発動向等を調査する。

(3) ICTによる広域監視・制御システムの開発

- これまで使用してきた広域ネットワーク（帯域容量100Mbpsの広域イーサネット）より、帯域容量を縮小したIP-VPN回線での通信について確認する。また、広域化のモデルケースによるコストの試算を行う。

謝辞

2.1 節の①に掲載した検討は、国土交通省国土技術政策総合研究所から借り受けた実証設備を使用したことを明記すると共に、同研究所の関係者各位、共同研究体の関係者各位に感謝の意を表します。

2.1 節の①、②に掲載した検討において、実証実験を行うフィールドや各種データ提供をいただいた地方公共団体の関係者各位に感謝の意を表します。

2.2 節に掲載した検討は、安川オートメーション・ドライブ株式会社のご協力により実施した研究であることを明記すると共に、感謝の意を表します。

3.1 節に掲載した検討は、国土交通省国土技術政策総合研究所の委託研究として、共同研究体により実施されたものであることを明記すると共に、関係者各位に感謝の意を表します。

最後に、本章で紹介した全ての共同研究の関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本下水道事業団：技術開発年次報告書（令和3年度），pp.10,12-13,25，2021.
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術導入ガイドライン(案)，国総研資料第 1190 号，2022.
- 3) 濱田大輔，菊池有：AI 技術を用いた下水処理場の運転管理支援の検証，第 60 回下水道研究発表会講演集，pp.925-927，2023.
- 4) 中大輔，高橋宏幸，糸川浩紀，松井穰：単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術における複数池一括制御の検討，第 34 回環境システム計測制御学会研究発表会，pp.30-34，2022.
- 5) 草野吏，堀野太郎，中村高士，鈴木重浩，糸川浩紀，松井穰：ICT・AI を活用した単槽型硝化脱窒プロセスにおける N₂O 生成特性，第 61 回下水道研究発表会講演集，pp.766-768，2024.
- 6) 堀野太郎，中村高士，鈴木重浩，糸川浩紀，松井穰：ICT・AI を活用した単槽型硝化脱窒プロセスにおける窒素除去率向上の可能性，第 61 回下水道研究発表会講演集，pp.763-765，2024.
- 7) AI による下水処理場運転操作デジタルトランスフォーメーション（DX）検討会：下水処理場運転操作への AI 導入に向けた環境整備に関するあり方について 提言，2023.
<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewage/content/001734454.pdf>
- 8) 日本下水道事業団：技術開発年次報告書（令和3年度），pp.10，2022.
- 9) 山本明広，糸川浩紀，平林和也，藤原翔：AI による曝気風量自動制御の水量変動等に対する制御特性，第 59 回下水道研究発表会講演集，pp.808-810，2022.
- 10) 山本明広，糸川浩紀，平林和也，藤原翔：AI による曝気風量制御における教師データに対する出力特性，第 60 回下水道研究発表会講演集，pp.892-894，2023.
- 11) 山本明広，糸川浩紀，平林和也，藤原翔：AI による曝気風量自動制御に特徴的な挙動の解析，第 61 回下水道研究発表会講演集，pp.391-393，2024.

2 共同研究

2. 共同研究

2. 1 令和5年度共同研究実施状況

整理No. ^{※1}	研究名称	研究期間	研究目的	研究担当者	共同研究者
(提) 242	最終沈殿池の処理能力向上技術の開発	2016～2024	B-DASHプロジェクト「最終沈殿池の処理能力向上技術実証事業」について、最終沈殿池にろ過部を設置し、処理能力を向上することで、系列を増設することなく、低コストで、量的または質的に処理能力を向上できる技術であることを実証する。	糸川浩紀 山森隼人	メタウォーター株式会社
(提) 281	能力増強型水処理システムの開発	2018～2024	①処理場の統廃合・広域化等による既存施設を活用した処理能力増強ニーズに対応するため、固定式生物処理法と浮遊式生物処理法をハイブリッドすることで、標準活性汚泥法に比べ 1.5 倍程度の流入水量を処理できるシステムを開発する。②代替施設を構築することなく、反応タンク等の改築更新工事が可能な仮設水処理システムを開発する。	糸川浩紀 山森隼人 茂木志生乃	荏原実業株式会社
(提) 285	AI搭載型次世代水処理最適化システムの実証に関する共同研究	2018～2024	B-DASH プロジェクト「単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術実証事業」について、ICT・AI を活用した①流入負荷変動、季節変動に対応した空気量制御による単槽型反応タンクにおける A2O 法同等処理水質の短 HRT での達成、②空気量制御と連動した送風機吐出圧力制御による消費電力の削減効果を実証する。	糸川浩紀 茂木志生乃 福井智大	メタウォーター株式会社
(公) 299	ICTを活用した広域監視・制御システムの技術開発	2020～2024	B-DASH プロジェクト「ICT の活用による下水道施設広域監視制御システム実証事業」について、製造業者が異なる複数の監視制御設備を大規模な改修を行わずに接続・通信を可能とする要素技術①共通プロトコル方式、②リモートデスクトップ方式で構成される広域監視制御システムの実規模施設を設置し、「通信の信頼性・安定性」、「建設費・維持管理費の削減」を実証する。	井上剛 村岡正季 若尾正光 小川剛	株式会社日立製作所
					三菱電機株式会社
					株式会社明電舎
					メタウォーター株式会社
					東芝インフラシステムズ株式会社
(特) 300	AIを活用した自動制御技術の実用化に向けた検証	2020～2023	水処理施設における AI を活用した自動制御技術の適用可能性、及び今後の実用化に向けた課題等を明らかにすることを目的に、パイロット規模の実験プラントを用いた実験を行う。	糸川浩紀 山本明広 茂木志生乃	安川オートメーション・ドライブ株式会社

※1 (公)：公募型共同研究，(提)：提案型共同研究，(簡)：簡易提案型共同研究，(特)：特定共同研究

整理No. ^{※1}	研究名称	研究期間	研究目的	研究担当者	共同研究者
(提)301	AIによる運転管理支援技術の適用性の検証	2021～2023	海外で導入実績のあるAI技術を用いた上下水処理場の運転監視・制御補助技術について、国内の下水処理場への適用可能性や導入効果の検証を行う。	糸川浩紀 山本明広 福井智大 関谷惇 宮部由彩	三菱商事株式会社 日本工営株式会社
(提)304	回転繊維ユニットRBCを用いた下水処理技術の開発	2021～2023	反応タンクの前処理技術として水処理能力増強および省エネルギー化を図る回転繊維ユニット RBC について、実規模での実証実験により、技術を確認し実用化を図ることを目的とする。	糸川浩紀 福井智大 茂木志生乃	東芝インフラシステムズ株式会社
(提)306	省エネ型深槽曝気技術の開発	2021～2026	B-DASH プロジェクト「省エネ型深槽曝気技術に関する実証事業」について、深槽式反応タンクにおける省エネ型深槽曝気技術の消費電力量および温室効果ガス排出量の削減効果や、LCCの縮減効果を実証する。	糸川浩紀 山本明広 山森隼人	前澤工業株式会社
(提)310	パッケージ型担体処理装置を用いた仮設排水処理システムの実用化	2022～2023	反応タンクや最終沈殿池の補修、改築時等に適用可能な仮設排水処理システムとして、流入水量 1,000 m ³ /(日・基)を処理し、BOD15mg/L以下の処理水質を得ることが可能な技術の実証を行う。	糸川浩紀 山森隼人 村岡正季	株式会社西原環境
(公)311	ダウンサイジング対応同軸差動式スクリープレス脱水機の開発	2022～2024	高効率凝集装置と同軸差動式スクリープレス脱水機の組合せにより、脱水機処理能力の大幅な増強を図り、従来脱水機(圧入式スクリープレス脱水機Ⅲ型)に対しLCCを低減する污泥脱水技術の開発を行う。また、拡張機能として、AIを用いた自動運転モードについても開発・検証を行い、運転操作性の向上について評価する	新川祐二 小柴卓也	水ingエンジニアリング株式会社 水ing株式会社
(提)312	発酵熱を利用した下水污泥の効率的なコンポスト化技術の開発	2022～2028	B-DASH プロジェクト「縦型密閉発酵槽による下水污泥の肥料化技術に関する実証事業」について、縦型密閉発酵技術を下水污泥に適用し、副原料配合の最適化を含めた高速発酵乾燥技術を実証する。	新川祐二 村岡正季 島田正夫 熊越瑛	株式会社クボタ UBE三菱セメント株式会社 中部エコテック株式会社
(公)313	集中加温型高速中温消化システムとステンレス合板製消化タンクによる低コスト嫌気性消化技術の開発	2023～2024	余剰污泥を集中的に加温し消化効率を向上することによる、消化日数の短縮やステンレス合板で製作した消化タンクの耐食・耐久性等および高効率攪拌装置の攪拌性能について確認する。	新川祐二 島田正夫 熊越瑛	メタウォーター株式会社

※1 (公)：公募型共同研究，(提)：提案型共同研究，(簡)：簡易提案型共同研究，(特)：特定共同研究

整理No. ^{※1}	研究名称	研究期間	研究目的	研究担当者	共同研究者
(公) 315	中小規模向けユニット式下水汚泥消化システム	2023～ 2025	中小規模の下水処理場に特化したユニット式下水汚泥消化システムを用いた実規模での実証試験を通じて本技術を確立する。	新川祐二 島田正夫 熊越 瑛	株式会社日立プラントサービス
(公) 316	水熱炭化を用いたカーボンニュートラルの達成に向けた実証	2023～ 2024	循環型社会及び下水道分野のカーボンニュートラルの実現に向けて、温室効果ガス削減、消費エネルギー削減、創出エネルギー増大及び低コスト化が可能な水熱炭化技術を開発する。	新川祐二 村岡正季 小柴卓也	株式会社神鋼環境ソリューション
(公) 317	予熱加温保持消化技術とボルト接合型パネルタンクによる低コスト嫌気性消化システムの開発	2023～ 2025	余剰汚泥を予め加温する予熱加温保持技術による消化日数の短縮と、ボルト接合型パネルタンクの採用による現地工期の短縮、ならびにこれらを組み合わせたシステムの技術開発を行い、嫌気性消化技術の導入コストの縮減効果について確認する。	新川祐二 島田正夫 熊越 瑛	株式会社神鋼環境ソリューション
(公) 318	AI処理水質予測を活用した省エネ型曝気風量制御技術	2023～ 2024	処理水質を予測する AI を既存のNH ₄ -N 制御に組込むことで、処理水質を管理基準値内に収めつつ、更なる省エネ効果を発現する曝気風量制御技術を開発する。	糸川浩紀 山本明広 福井智大	日新電機株式会社

継続… 11件
新規… 6件

➤ 計 17 件(うち非掲載 1 件)

※1 (公)：公募型共同研究，(提)：提案型共同研究，(簡)：簡易提案型共同研究，(特)：特定共同研究

2. 2 令和5年度完了共同研究の概要

令和5年度は、5件の共同研究が完了した。

整理 No.※1	研究名称	研究期間	共同研究者	頁
(特) 300	AIを活用した自動制御技術の実用化 に向けた検証	2020～2023	安川オートメーション・ドライブ株式会社	非掲載
(提) 301	AIによる運転管理支援技術の適用性の 検証	2021～2023	三菱商事株式会社 日本工営株式会社	209
(提) 304	回転繊維ユニットRBCを用いた下水処 理技術の開発	2021～2023	東芝インフラシステムズ株式会社	210
(提) 310	パッケージ型担体処理装置を用いた仮 設排水処理システムの実用化	2022～2023	株式会社西原環境	211
その他1件				

※1 (公)：公募型共同研究，(提)：提案型共同研究，(簡)：簡易提案型共同研究，(特)：特定共同研究

301	三菱商事株式会社 日本工営株式会社	AIによる運転管理支援技術の適用性の検証	糸川 浩紀 山本 明広 福井 智大 他2名
-----	----------------------	----------------------	-----------------------------

1) 共同研究の目的

下水処理場の運転管理において重要な役割を担う熟練技術者の減少により、運転管理ノウハウが失われる等の課題がある。本研究では、その解決策となり得る AI を活用した海外発の運転管理支援（ガイダンス）技術について、国内の下水処理場へ導入する場合の導入効果や課題・留意点等を明らかにすることを目的に、実下水処理場をフィールドとした実証実験等を行った。

2) 共同研究の概要

本技術は、下水処理場の運転データ（各種計測データ、水質データ等）を用いて、AI が処理水質等の変化を予測し、運転操作量（制御の設定値）の推奨値を出力する運転操作ガイダンス技術である（図-1）。AI 手法として「階層型強化学習」を使用すると共に、コンピュータ上に下水処理場を再現する「デジタルツイン」の機能を有する。本研究では、水処理の曝気風量制御を対象に、国内の下水処理場（現有処理能力：22,000m³/d（4池；1池休止））において実証実験を実施した。具体的には、本技術を試験的に実装した上で AI が出力する推奨値（AI 推奨値）に基づき曝気風量の運転操作を行い、水処理に対する影響や曝気風量の削減効果を確認した。加えて、運転員に対して本技術に基づく運転操作に関するヒアリングを行った上で、本技術を国内の下水処理場へ導入する際の課題や留意点等を整理した。

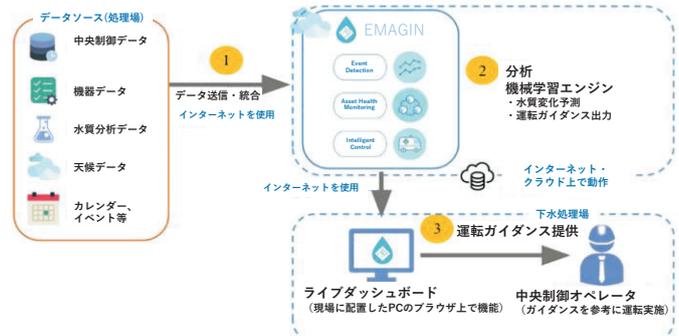


図-1 AIによる運転操作ガイダンス技術の動作イメージ

本技術は、下水処理場の運転データ（各種計測データ、水質データ等）を用いて、AI が処理水質等の変化を予測し、運転操作量（制御の設定値）の推奨値を出力する運転操作ガイダンス技術である（図-1）。AI 手法として「階層型強化学習」を使用すると共に、コンピュータ上に下水処理場を再現する「デジタルツイン」の機能を有する。本研究では、水処理の曝気風量制御を対象に、国内の下水処理場（現有処理能力：22,000m³/d（4池；1池休止））において実証実験を実施した。具体的には、本技術を試験的に実装した上で AI が出力する推奨値（AI 推奨値）に基づき曝気風量の運転操作を行い、水処理に対する影響や曝気風量の削減効果を確認した。加えて、運転員に対して本技術に基づく運転操作に関するヒアリングを行った上で、本技術を国内の下水処理場へ導入する際の課題や留意点等を整理した。

3) 共同研究の成果

- 実証実験（2023/5/15～6/22）において、処理水質の悪化は確認されず、DO濃度は、概ね従来の運転実績に基づき予め設定した範囲（0.1～0.7mg/L）内で運転された（図-2）。対象施設の運用条件において本技術は支障なく機能したが、曝気風量の明確な削減効果は確認できなかった。

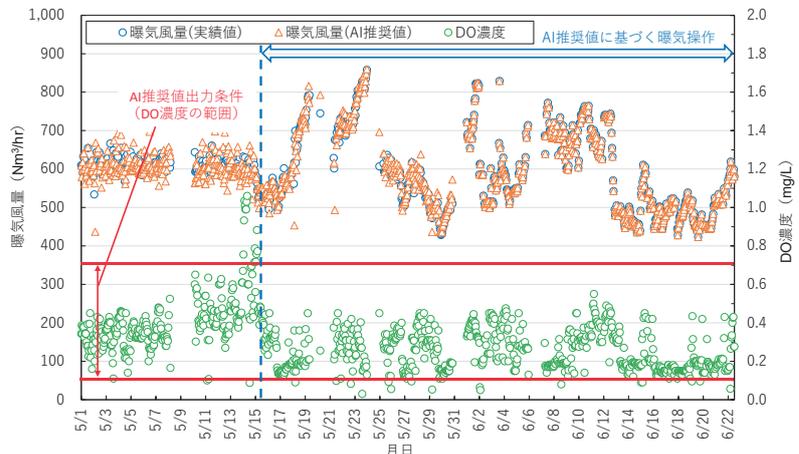


図-2 AI 推奨値に基づく曝気風量と DO 濃度の推移(1-1池)

- 運転員へのヒアリングでは、操作面（AI 推奨値の確認から操作設定まで）での問題は認められず、本技術の適用に関して肯定的な意見が得られた。
- 本技術を実装する過程で、AI の学習に必要な運転データの種類・量の不足により AI モデルの構築に関して多くの検討を要したことや、AI に入力するリアルタイムデータの取得方法の検討が必要であったが、これは同様の技術を国内の下水処理場へ展開する際の汎用的な課題と考えられた。

4) 関連資料・報文等

- 濱田，菊池：第 60 回下水道研究発表会講演集，pp.925-927，2023.

304	東芝インフラ システムズ株式会社	回転繊維ユニット RBC を用いた下水処理技術 の開発	糸川 浩紀 福井 智大
-----	---------------------	--------------------------------	----------------

1) 共同研究の目的

オキシデーションディッチ (OD) 法を対象とする省エネ化技術のラインナップが少ない点を受け、本研究では、低動力で有機物等の負荷低減が可能な回転繊維ユニット RBC (以下「RBC 装置」) を OD 法の前処理に用いることで反応タンク (OD 槽) における消費電力量削減や処理能力増強を可能とする下水処理技術について、実規模での実証実験等を実施し技術の確立・実用化を図ることを目的とした。

2) 共同研究の概要

OD 法の下水処理場において、処理能力 1,160m³/d を有する系列 (1 系 : 580m³/d × 2 池) の OD 槽の前段に RBC 装置を設置して実証系列とし、隣接する 2 系 (処理能力 1,230m³/d × 1 池) を対照系列として実証実験を実施した (図-1)。先ず、両系列の OD 槽容量と処理水量が同等の条件で消費電力量の削減を図る「省エネ性能試験」を約 6 ヶ月間実施し、続いて実証系列の OD 槽 1 池の運転を停止することで対照系列に対して OD 槽容積当たりの流入水量を倍増させる「負荷増強試験」を通年で実施した。後者の過程では、RBC 装置における有機物の挙動を把握するために OUR 試験を実施し、同装置から返送汚泥に吸着された状態で流出する有機物量等の推定を試みた。

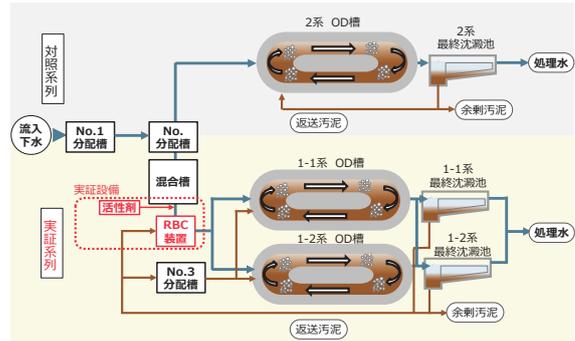


図-1 実証設備のフロー

3) 共同研究の成果

- 省エネ性能試験における実証・対照各系列の消費電力量原単位は各々平均 0.26、0.31kWh/m³ となり、実証系列では対照系列に比べて平均 15.3%削減できた。本期間の実証系列の処理水質は BOD、T-N 濃度が各々平均 2.3、1.7mg/L で、対照系列と同等であった。
- 負荷増強試験における消費電力量原単位は実証・対照系列で各々平均 0.20、0.30Wh/m³ となり、対照系列に対する実証系列の削減率は平均 33.7%と、OD 槽 1 池の稼働を停止したことで省エネ性能試験よりも大きな省エネ効果が得られた。実証系列では OD 槽の流入水量が処理能力に対して平均 2.0 倍となったが、処理水の BOD、T-N 濃度は各々平均 3.1、2.5mg/L と、処理水質の悪化は見られなかった。
- OUR 試験により RBC 装置前後の COD の挙動を推定した結果、流入下水中の有機物の 20%程度が、本装置に流入する返送汚泥に吸着された状態で OD 槽へ流出していることを明らかにした。

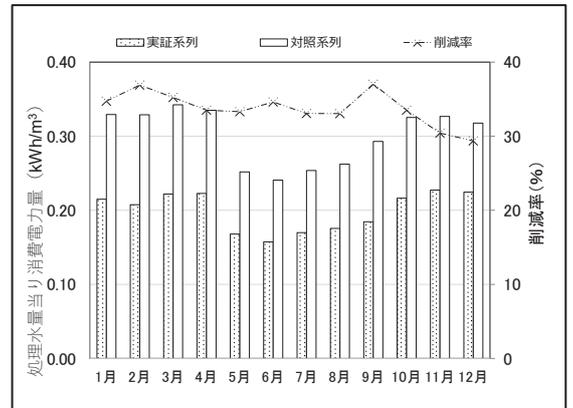


図-2 実証系列と対照系列における処理水量当り消費電力量原単位および実証系列での削減率(月間平均値)の推移(負荷増強試験期間)

4) 関連資料・報文等

- 福井ら：第 57 回日本水環境学会年会講演集, p.183, 2023.
- 柿沼ら：第 60 回下水道研究発表会講演集, pp.904-906, 2023.
- 胡ら：第 58 回日本水環境学会年会講演集, p.307, 2024.
- 柿沼ら：第 61 回下水道研究発表会講演集, pp.859-861, 2024.

310	株式会社西原環境	パッケージ型担体処理装置を用いた 仮設排水処理システムの実用化	糸川 浩紀 山森 隼人 村岡 正季
-----	----------	------------------------------------	-------------------------

1) 共同研究の目的

下水道施設の老朽化が進むにつれて、反応タンクや最終沈殿池の改築・更新工事が増加しており、これらの工事期間中の一時的な水処理能力低下への対応策として、迅速な設置・運用が可能な仮設の水処理技術が求められている。本研究では、標準活性汚泥法等の改築・更新時に使用できる 1,000m³/d 規模の可搬式の仮設水処理技術を確立することを目的に、実規模での実証実験を行った。

2) 共同研究の概要

本技術は、パッケージ型 MBBR (Moving bed biofilm reactor; 移動床式生物膜法) 装置の後段に凝集・ろ過ユニットを組み合わせた可搬式の仮設水処理装置である (図-1)。

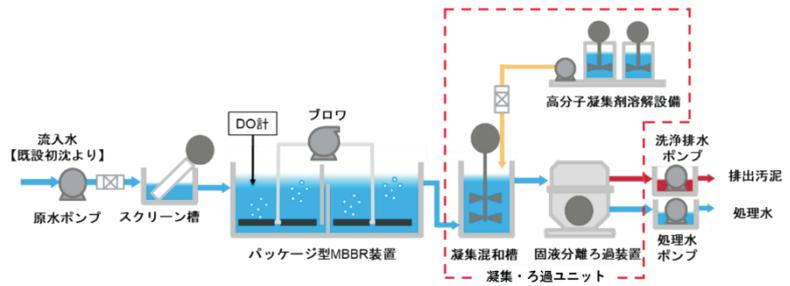


図-1 仮設水処理技術の処理フロー

最初沈殿池流出水を原水とし、パッケージ型 MBBR 装置において流動担体の表面に形成される生物膜により有機物(BOD)を除去した後、凝集・ろ過ユニットにおいて固液分離を行う。凝集・ろ過ユニットで分離された SS は、逆洗時の洗浄排水 (一般的な水処理の余剰汚泥に相当) として排出され、既設の汚泥処理施設で処理される。

本研究では、処理能力 1,000m³/d の実規模の実験設備を下水処理場内に設置し、処理能力相当の流入水量に対して BOD : 15mg/L 以下、SS : 20mg/L 以下の処理水質を得ることを目標に、通年での長期実証運転 (水温 18.8~31.0℃) による性能確認を行った。加えて、本技術の実運用を想定し、硝化促進運転を行う既設水処理系列の処理水に対して本技術の処理水が混合した際の N・BOD の発現状況や抑制策、本技術の余剰汚泥が既存汚泥処理 (濃縮性、脱水性) に与える影響について、各々テーブルテスト等により確認した。

3) 共同研究の成果

- 反応タンク HRT が 1.1hr と著しく高負荷の条件において、流入水の BOD 濃度が概ね 150mg/L 以下であれば、年間を通して目標処理水質を満足する処理が可能であることを実証した (図-2)。
- 本技術の処理水には流入水と同程度の濃度で NH₄-N が残存し、これが既設処理水と混合することで混合比率や既設処理水の SS 濃度に応じて顕著に N-BOD が発現する恐れがあるものの、一般的な条件での塩素消毒により抑制可能であることを示した。
- 本技術で発生する余剰汚泥を既設の汚泥処理工程へ投入しても、汚泥の濃縮性や脱水性に対して悪影響を与える可能性は小さいことを示す結果を得た。

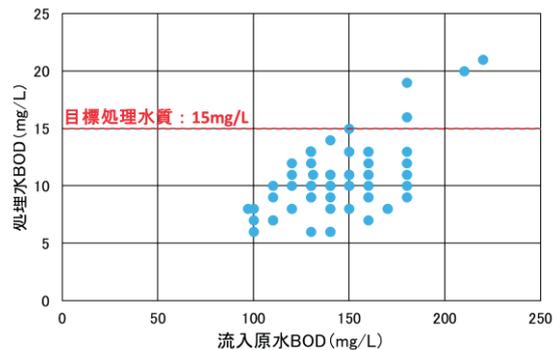


図-2 長期実証運転における原水と処理水の BOD 濃度の関係

4) 関連資料・報文等

- 安中, 松岡, 濱田, 小関, 山森, 村岡, 糸川: パッケージ型 MBBR 装置を用いた仮設排水処理システムの処理性能, 第 60 回下水道研究発表会講演集, pp. 997-999, 2023.
- 安中, 松岡, 濱田, 小関, 山森, 村岡, 糸川: パッケージ型 MBBR 装置を用いた仮設排水処理システムの長期実証時処理性能, 第 61 回下水道研究発表会講演集, pp. 856-858, 2024.

第2章 技術評価委員会活動

1. 技術評価委員会

日本下水道事業団技術評価委員会は、新技術実用化の適正な評価を行い、下水道技術の研究、調査及び試験に関する重要事項を審議するために設置された理事長の諮問機関で、学識経験者、国及び地方公共団体の下水道部局の長から構成されている。

さらに、必要に応じて専門の事項を調査するための専門委員会を設けている（令和5年度は設置なし）。

技 術 評 価 委 員 会

令和6年3月18日現在

	氏 名	所 属 職 名
会 長	古米 弘明	中央大学研究開発機構教授
委 員	長岡 裕	東京都市大学建築都市デザイン学部都市工学科教授
〃	池 道彦	大阪大学大学院工学研究科環境エネルギー工学専攻教授
〃	高岡 昌輝	京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻教授
〃	松原 誠	国土交通省水管理・国土保全局下水道部長
〃	三宮 武	国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部長
〃	佐々木 健	東京都下水道局長
〃	寺川 孝	大阪市建設局長
〃	伊田 恒弘	埼玉県下水道局長
〃	中島 義成	公益社団法人日本下水道協会常務理事

2. 令和5年度活動状況

令和5年度は、技術評価委員会を2回開催した。

[第88回 技術評価委員会]

- (1) 開催日 令和5年10月6日(金)
- (2) 場所 日本下水道事業団本社8階 大会議室 及び WEB会議
- (3) 議題
- ① 前回議事概要の確認
 - ② 令和4年度試験研究実施状況および令和5年度試験研究計画について(審議)
 - ③ 開発課題別試験研究の実施状況について(報告)
 - ④ 新技術の導入状況について(報告)
- (4) 出席者 会長 古米 弘明
委員 長岡 裕、池 道彦、西 修(代理出席)、三宮 武、
中島 義成
- (5) 議事内容
- (1) 前回議事概要の確認
令和5年3月10日に開催された第87回技術評価委員会の議事概要について説明し、承認された。
 - (2) 令和4年度試験研究実施状況および令和5年度試験研究計画について(審議)
JSが実施する試験研究について、令和4年度の実施状況および令和5年度の試験研究計画の概要を説明し、審議を経て承認された。
 - (3) 開発課題別試験研究の実施状況について(報告)
令和5年度の各開発課題・開発項目の実施状況および個別テーマ1件の実施状況を報告し、質疑が行われた。
 - (4) 新技術の導入状況について(報告)
JS新技術導入制度で選定した新技術の導入状況および令和5年度に新たに選定された新技術について報告し、質疑が行われた。

[第89回 技術評価委員会]

- (1) 開催日 令和6年3月18日(月)
- (2) 場所 日本下水道事業団本社8階 大会議室 及び WEB会議
- (3) 議題 ① 前回議事概要の確認
② 令和6年度公募型共同研究の課題設定方針について(審議)
③ JS技術開発・活用基本計画2022の改定方針について(報告)
④ 令和5年度試験研究の実施状況について(報告)
- (4) 出席者 会長 古米 弘明
委員 長岡 裕、池 道彦、高岡 昌輝、西 修(代理出席)、
小川 文章(代理出席)、寺川 孝、伊田 恒弘、中島 義成
- (5) 議事内容 (1) 前回議事概要の確認
令和5年10月6日に開催された第88回技術評価委員会の議事概要について説明し、承認された。
- (2) 令和6年度公募型共同研究の課題設定方針について(審議)
令和6年度に予定している公募型共同研究の課題設定方針について説明し、審議を経て承認された。
- (3) JS技術開発・活用基本計画2022の改定方針について(報告)
令和6年度に予定しているJS技術開発・活用基本計画2022の改定方針を報告し、質疑が行われた。
- (4) 令和5年度試験研究の実施状況について(報告)
令和5年度の試験研究の実施概況および個別テーマ2件の実施状況を報告し、質疑が行われた。

3. 技術評価の推移

技術評価は、JSが開発した新技術について、JSにおける試験研究の成果などに基づき、その技術の特徴や性能、設計や維持管理における留意点などの事項について、体系的に公正かつ客観的な評価を行うものである。

技術評価委員会では、昭和49年度以来、これまでに33件の諮問を行い、44件の答申を行ってきた。

技術評価の答申内容は、JSの内外に公表されており、JS内部の設計基準類への反映などにより、JSにおける当該技術の迅速かつ円滑な実施への導入や普及促進に寄与するだけでなく、公益社団法人日本下水道協会発行の「下水道施設計画・設計指針と解説」などにも反映され、わが国の下水道事業の発展に多大な貢献をしている。

(1)	膜分離活性汚泥法（令和3年11月諮問）	
	膜分離活性汚泥法の技術評価に関する第3次報告書 －MBRの省エネ化と流量変動対応－	令和4年3月
(2)	アンモニア計を利用した送風量制御技術（平成31年3月諮問）	
	アンモニア計を利用した曝気風量制御技術の評価に関する報告書	令和2年4月
(3)	下水汚泥由来繊維利活用システム（平成27年10月諮問）	
	下水汚泥由来繊維利活用システムの技術評価に関する報告書	平成28年12月
(4)	シートライニング工法（光硬化型）による防食技術（平成26年10月諮問）	
	シートライニング工法（光硬化型）による防食技術の技術評価に関する報告書	平成27年7月
(5)	膜分離活性汚泥法（平成24年3月諮問）	
	膜分離活性汚泥法の技術評価に関する第2次報告書 －MBRの適用拡大へ向けて－	平成25年4月
(6)	エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセス（平成22年11月諮問）	
	エネルギー回収を目的とした嫌気性消化プロセスの評価に関する報告書	平成24年4月
(7)	アナモックス反応を利用した窒素除去技術（平成21年3月諮問）	
	アナモックス反応を利用した窒素除去技術の評価に関する報告書	平成22年3月
(8)	オゾン処理技術（平成20年3月諮問）	
	オゾン処理技術の技術評価に関する報告書	平成21年4月
(9)	下水汚泥固形燃料化システム（平成19年3月諮問）	
	下水汚泥固形燃料化システムの技術評価に関する報告書	平成20年4月
(10)	耐硫酸モルタル防食技術（平成17年12月諮問）	
	耐硫酸モルタル防食技術の技術評価に関する報告書	平成20年4月
(11)	活性汚泥モデルの実務利用（平成16年10月諮問）	
	活性汚泥モデルの実務利用の技術評価に関する報告書	平成18年1月

(12)	汚泥減量化技術(平成15年9月諮問)	
	汚泥減量化の技術評価に関する報告書	平成17年4月
(13)	下水汚泥の炭化システム及び生成される炭化製品の諸物性(平成14年10月諮問)	
	下水汚泥の炭化システム及び生成される炭化製品の諸物性の技術評価に関する報告書	平成15年11月
(14)	膜分離活性汚泥法(平成14年10月諮問)	
	膜分離活性汚泥法の技術評価に関する報告書	平成15年11月
(15)	ステップ流入式多段硝化脱窒法(平成12年11月諮問)	
	ステップ流入式多段硝化脱窒法の技術評価に関する報告書	平成14年5月
(16)	下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術(平成11年3月諮問)	
	下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書 ー硫酸によるコンクリート腐食の機構と総合的対策の方針ー	平成13年3月
(17)	研究開発評価(平成11年11月諮問)	
	研究開発評価制度に関する報告書	平成12年3月
(18)	オキシデーションディッチ法(平成10年9月諮問)	
	オキシデーションディッチ法の評価に関する第3次報告書 ーOD法の運転管理手法及び高度処理化ー	平成12年3月
(19)	最近の消毒技術(平成6年9月諮問)	
	最近の消毒技術の評価に関する報告書	平成9年3月
(20)	包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法「ペガサス」(平成4年10月諮問)	
	包括固定化担体を用いた硝化促進型循環変法「ペガサス」の評価に関する報告書	平成5年4月
(21)	効率的な汚泥濃縮法(平成2年8月諮問)	
	③効率的な下水汚泥濃縮法の評価に関する第3次報告書 ー浮上濃縮法についてー	平成6年4月
	②効率的な下水汚泥濃縮法の評価に関する第2次報告書 ー遠心濃縮法についてー	平成4年4月
	①効率的な下水汚泥濃縮法の評価に関する第1次報告書 ー造粒濃縮法についてー	平成3年4月
(22)	下水汚泥の溶融システム(昭和62年6月諮問)	
	下水汚泥の溶融システムの評価に関する第1次報告書	平成元年3月
(23)	自然焼却システム(昭和60年8月諮問)	
	自然焼却システムの評価に関する報告書	昭和62年10月

(24)	回分式活性汚泥法 (昭和60年8月諮問)	
	②回分式活性汚泥法の評価に関する第2次報告書	昭和63年5月
	①回分式活性汚泥法の評価に関する第1次報告書	昭和61年11月
(25)	微生物を利用した窒素及びリン除去プロセス (昭和59年11月諮問)	
	③微生物を利用した窒素及びリン除去プロセスの評価に関する第3次報告書 －単段式及び二段式活性汚泥循環変法による窒素除去－	平成2年4月
	②微生物を利用した窒素及びリン除去プロセスの評価に関する第2次報告書 －嫌気-好気活性汚泥法によるリン除去－	昭和63年5月
	①微生物を利用した窒素及びリン除去プロセスの評価に関する第1次報告書 －活性汚泥循環変法による窒素除去－	昭和61年11月
(26)	オキシデーションディッチ法 (昭和57年12月諮問)	
	②オキシデーションディッチ法の評価に関する第2次報告書	昭和60年9月
	①オキシデーションディッチ法の評価に関する第1次報告書	昭和58年12月
(27)	汚泥コンポスト化設備 (昭和56年6月諮問)	
	資源利用のための汚泥コンポスト化設備の評価に関する報告書	昭和60年9月
(28)	回転生物接触法 (昭和52年8月諮問)	
	②回転生物接触法の評価に関する第2次報告書	昭和57年12月
	①回転生物接触法の評価に関する第1次報告書 －家庭下水を主とする一般下水への回転生物接触法の適用について－	昭和53年11月
(29)	汚泥蒸発乾燥設備 (昭和52年8月諮問)	
	汚泥蒸発乾燥設備の評価に関する報告書	昭和54年8月
(30)	回転炉床焼却設備 (昭和52年8月諮問)	
	回転炉床焼却設備の評価に関する報告書	昭和55年11月
(31)	既存焼却設備 (昭和50年7月諮問)	
	既存焼却設備の評価に関する報告書	昭和55年6月
(32)	酸素活性汚泥法 (昭和49年7月諮問)	
	③酸素活性汚泥法の評価に関する第3次報告書 －カバー付酸素活性汚泥法の適用について－	昭和56年6月
	②酸素活性汚泥法の評価に関する第2次報告書 －家庭下水を主とする一般下水へのカバー付酸素活性汚泥法の適用について－	昭和53年11月
	①酸素活性汚泥法に関する第1次報告書	昭和50年10月

(33)	下水処理場の自動制御 (昭和49年7月諮問)	
	③下水処理場の自動制御の評価に関する第3次報告書	昭和58年8月
	②下水処理場の自動制御の評価に関する第2次報告書 ー汚泥処理システムへの自動制御の導入についてー	昭和55年6月
	①下水処理場の自動制御方式に関する第1次報告書	昭和50年10月

第3章 試験研究調査の成果

1. 令和5年度研究発表等

論文名	著者名	会議名等	主催者等	頁	開催年月
ICT/IoT/AI Projects in R&D Department, JS	○Hiroki Itokawa	Technical Seminar between Korea Environment Corporation and Japan Sewage Works Agency	Tokyo, May 15 Japan Sewage Works Agency	—	2023.5
Loop MBR: Cost-, Energy- and Space-Saving Cyclical Step Feed MBR Process with Uniquely High Denitrification Rate	(○Larry Morris) (Soichiro Yatsugi) Hiroki Itokawa	PWEA Annual Technical Conference & Exhibition (PennTec 2023)	Hershey, June 18-21 Pennsylvania Environment Association (PWEA)	—	2023.6
オゾン水による膜洗浄技術を適用した省エネ型MBRの長期実証	(○林佳史) (佐藤祐樹) (今村英二) (古賀大道) (西川勝) (吉泉啓輔) (中口幸太) 茂木志生乃 山本明広 糸川浩紀	第32回 日本オゾン協会 年次研究講演会 講演集	日本オゾン協会	53~56	2023.6
Loop MBR: Cost-, Energy- and Space-Saving Cyclical Step Feed MBR Process with Uniquely High Denitrification Rate	(○Larry Morris) (Soichiro Yatsugi) Hiroki Itokawa	2023 GAWP Annual Conference & Expo	Savannah, July 16-19 Georgia Association of Water Professionals (GAWP)	—	2023.7
下水道が有する資源ポテンシャルに関する考察	○熊越瑛 松井宏樹 福岡泰之 島田正夫 新川祐二 弓削田克美 森岡泰裕	京都大学 環境衛生工学研究会 第45回シンポジウム 講演論文集	京都大学 環境衛生工学 研究会	48~50	2023.7
下水道分野のカーボンニュートラル実現に向けた案件形成支援	○村岡正季 新川祐二 (石田健) (藤岡勝之)	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	499~501	2023.8
省エネの見地から見たオキシデーションディッチ法の運転実態	○福井智大 山本明広 茂木志生乃 糸川浩紀	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	874~876	2023.8

注) (著者名)は JS 以外
○は発表者

論文名	著者名	会議名等	主催者等	頁	開催年月
AIによる曝気風量制御における教師データに対する出力特性	○山本明広 糸川浩紀 (平林和也) (藤原翔)	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	892~894	2023.8
回転繊維ユニットRBC-OD法の省エネ及び能力増強性能	(○柿沼建至) (胡錦陽) (茂庭忍) (小原卓巳) (大月伸浩) 福井智大 糸川浩紀	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	904~906	2023.8
OD法実施設での二点DO制御システムのフォローアップ調査	○山森隼人 糸川浩紀 (畑田康助) (中町和雄)	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	955~957	2023.8
ICT・AIを活用した単槽型硝化脱窒プロセスにおけるN ₂ O排出量	(○堀野太郎) (草野吏) (武田茂樹) (中村高士) (鈴木重浩) 糸川浩紀 (松井穰)	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	985~987	2023.8
パッケージ型MBBR装置を用いた仮設排水処理システムの処理性能	(○安中祐子) (松岡秀美) (濱田真輔) (小関進介) 山森隼人 村岡正季 糸川浩紀	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	997~999	2023.8
アナモックス反応を組込んだ新たな下水処理プロセスの処理条件の検討	○茂木志生乃 山本明広 糸川浩紀 (五月女瞬) (角野立夫) (清水和哉)	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	1039~ 1041	2023.8
嫌気性消化施設の運転管理に関するアンケート調査	○小柴卓也 熊越瑛 島田正夫 新川祐二	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	1075~ 1077	2023.8
高効率消化システムの運転状況についての報告 (自主研究4年目)	(○栗原元) (前田良一) (白鳥祐介) 熊越瑛 (平川博紹)	第60回下水道研究 発表会講演集	日本下水道協会	1084~ 1086	2023.8
「下水道MBR」の現状と今後の方向性	糸川浩紀	第22回 上下水道膜セミナー	膜分離技術振興協会	—	2023.10

注) (著者名)は JS 以外
○は発表者

論文名	著者名	会議名等	主催者等	頁	開催年月
Progress in Digital Technology for Municipal Wastewater Treatment in Japan	Hiroki Itokawa	2023 K-eco International Water Forum	Seoul, Nov.1 Korea Environment Corporation (K-eco)	147~159	2023.11
Loop MBR: Cyclical Step Feed MBR Process with Uniquely High Denitrification Rate	(○Brian Codianne) (Larry Morris) (Soichiro Yatsugi) Hiroki Itokawa	SWMOA 2023 Annual Conference	Irvine, Nov.7-8 Southwest Membrane Operator Association (SWMOA)	—	2023.11
回転繊維ユニットRBC-OD法の処理性能及び能力増強効果	(○柿沼建至) (胡錦陽) (茂庭忍) (小原卓巳) (大月伸浩) 福井智大 糸川浩紀	第30回衛生工学シンポジウム	北海道大学	—	2023.11
アナモックス反応を組み込んだ下水処理プロセス	(○五月女瞬) (角野立夫) (清水和哉) 茂木志生乃 糸川浩紀	日本水処理生物学会第59回大会	日本水処理生物学会	—	2023.11
酸素利用速度に基づく回転繊維ユニットRBCの有機物除去機構	(○胡錦陽) (茂庭忍) (柿沼建至) (小原卓巳) (大月伸浩) 福井智大 糸川浩紀	第58回日本水環境学会年会講演集	日本水環境学会	307	2024.3

注) (著者名)はJS以外
○は発表者

2. 令和5年度雑誌掲載論文等

論文等題名	著者名	書籍名	発行所	巻号 頁	発行 年月
脱水汚泥の難脱水化の実態と低含水率型脱水機の性能状況調査	村岡正季	環境浄化技術	日本工業出版	Vol.22 No.3 6~12	2023.5
脱水乾燥システム	(高尾大) 島田正夫	産業機械	日本産業機械 工業会	No.876 7~13	2023.10
省電力送風装置(流動タービン)を用いた下水汚泥焼却設備	(山口泰志) 村岡正季 (小関泰志) (坂田晃治)	産業機械	日本産業機械 工業会	No.876 27~32	2023.10

注) (著者名) は JS 以外

3. 表彰

受賞年度	受賞名称	表彰機関	受賞対象
昭和56年度	全建賞	全日本建設技術協会	活性汚泥循環変法
昭和57年度	全建賞	全日本建設技術協会	回分式OD法
昭和62年度	全建賞	全日本建設技術協会	プレハブOD法
平成2年度	全建賞	全日本建設技術協会	汚泥溶融システム
	全建賞	全日本建設技術協会	圧縮焼成技術
平成3年度	推奨賞	科学技術庁	微生物による下水処理(ビデオ) (活性汚泥法)
平成4年度	技術賞	日本水環境学会	「包括固定担体を用いた硝化促進型 循環変法(ペガサス)」 日本下水道事業団 日立プラント建設株式会社
平成5年度	注目発明賞	科学技術庁	汚水の硝化処理装置(ペガサス)
	環境賞 (環境庁長官賞優秀賞)	環境調査センター (株)日刊工業新聞社	包括固定化硝化最近による排水の 窒素除去技術の開発(ペガサス)
平成9年度	技術賞	日本水環境学会	「炭化による下水汚泥の有効利用 技術(炭化システム)」 日本下水道事業団 大同特殊鋼株式会社 株式会社TYK研究所
平成10年度	優秀論文賞	環境システム計測 制御学会	降雨レーダー情報を活用した雨水 排水施設の効率的な運転操作に関する 基礎調査
平成13年度	化学工業会 技術賞	化学工学会	造粒濃縮法(BESTシステム)
平成17年度	技術賞	日本水環境学会	「逆受身ラテックス凝集法を用いた 亜硝酸酸化細菌の迅速定量技術」 日本下水道事業団 株式会社ヤクルト中央研究所

注) () はJS以外の受賞者

受賞年度	受賞名称	表彰機関	受賞対象
平成17年度	第42回 下水道研究発表会 優秀発表賞	日本下水道協会	「様々な流入負荷変動に対する活性汚泥モデルの応答」 糸川浩紀
平成19年度	第44回 下水道研究発表会 最優秀発表賞	日本下水道協会	「モンテカルロ法による各種活性汚泥法の水質変動要因の解析」 糸川浩紀
平成20年度	奨励賞論文	日本下水道協会	「中空糸気液接触方式を用いた消化ガスからの二酸化炭素除去技術」 (澤原大道) 島田正夫 山本博英 猪木博雅
	第45回 下水道研究発表会 優秀発表賞	日本下水道協会	「耐硫酸モルタル防食工法の確立に向けて(Ⅱ)」 持田雅司
平成21年度	推進賞	日本オゾン協会	継続的なオゾン処理技術の導入促進の先導等
	論文奨励賞	日本オゾン協会	「下水処理水中のノロウイルスへのオゾン消毒効果」 岩崎 旬
平成22年度	奨励賞論文	日本下水道協会	「汚泥の熱可溶化技術を組み込んだ高効率嫌気性消化法の実用化に関する調査研究」 (中沢俊明) 水田健太郎 猪木博雅 島田正夫
平成23年度	科学進歩賞	日本化学会	「肥料利用を目指したリン酸イオン吸着材料の開発」 (辻 秀之) (堀内昭子) 辻 幸志
	下水道協会誌 優秀論文 (有功賞)	日本下水道協会	「包括固定化担体を用いた亜硝酸型硝化アナモックスプロセスによる汚泥脱水ろ液中の窒素処理」 (井坂和一) (能登一彦) (生田 創) 糸川浩紀 村上孝雄

注) () は JS 以外の受賞者

受賞年度	受賞名称	表彰機関	受賞対象
平成24年度	奨励賞	化学工学会	「包括固定化微生物担体を用いたリン除去における基礎検討」 (下田圭祐) (藏本克昭) (鈴木将史) (角野立夫) 辻 幸志 川口幸男 橋本敏一
	第49回 下水道研究発表会 優秀発表賞	日本下水道協会	「南蒲生浄化センターの応急復旧段階における水処理方式の処理性能」 橋本敏一
平成27年度	第52回 下水道研究発表会 優秀発表賞	日本下水道協会	「濃縮工程を省略した新しい処理システムの設計手法」 碓井次郎
	第8回 国土交通大臣賞 (循環のみち下水道賞) グランプリ	国土交通省	「産官学が連携した効率的な下水処理技術の開発」 前澤工業株式会社 高知大学 高知県 香南市 日本下水道事業団
	技術賞	日本水環境学会	「オキシデーションディッチ法における二点DO制御システム」 (藤原 拓) (陳 小強) 橋本敏一 (中町和雄)
平成29年度	奨励賞	環境システム計測 制御学会	「担体法と高速砂ろ過を用いた既存水処理施設の処理能力増強技術の開発」 (福沢正伸) (土井知之) (宍田健一) (斉藤 功) (青木 順) (馬場 圭) 橋本敏一
	奨励賞	環境システム計測 制御学会	「遠隔監視システムへの適用を目的とした制御性能改善技術の信頼性向上」 (難波 諒) (平岡由紀夫) 橋本敏一 糸川浩紀 (井上英男) (矢野洋一郎)

注) () は JS 以外の受賞者

受賞年度	受賞名称	表彰機関	受賞対象
平成30年度	論文賞	環境システム計測 制御学会	「遠隔監視システムへの適用を目的 とした制御性能改善技術の信頼性向 上」 (難波 諒) (平岡由紀夫) 橋本敏一 糸川浩紀 (井上英男) (矢野洋一郎)
	第44回優秀環境 装置表彰 経済産業省 技術環境局長賞	日本産業機械工業会	「無曝気循環式水処理装置」 高知市上下水道局 国立大学法人高知大学 日本下水道事業団 メタウォーター株式会社
	第44回優秀環境 装置表彰 日本産業機械 工業会会長賞	日本産業機械工業会	「圧入式スクリュープレスによる 濃縮一体化脱水システム」 日本下水道事業団 株式会社石垣
	第55回 下水道研究発表会 最優秀賞 (英語口頭発表 部門)	日本下水道協会	「Excess Sludge Reduction by Multi-stage Fixed Bed Biofilm Process- Full-scale Demonstration」 糸川浩紀
令和元年度	Frontiers of Environmental Science & Engineering(FESE)'s Best Paper of 2018	Frontiers of Environmental Science & Engineering	「Energy reduction of a submerged membrane bioreactor using a polytetrafluoroethylene (PTFE) hollow-fiber membrane」 (Taro Miyoshi) (Thanh Phong Nguyen) (Terumi Tsumuraya) (Hiromu Tanaka) (Toru Morita) Hiroyuki Itokawa Toshikazu Hashimoto
	下水道協会誌 奨励論文 (実務部門)	日本下水道協会	「セラミック平膜を用いた浸漬型 MBRシステムの省エネ化と合流 式下水道への対応に関する研究」 (打林真梨絵) (豊岡和宏) (新井喜明) (佐野 勇) 山下喬子 橋本敏一
	「STI for SDGs」 アワード 優秀賞	国立研究開発法人 科学技術振興機構	「汚水処理の持続性向上に向けた高 知家(こうちけ)の挑戦～産官学に よる新技術開発と全国への展開～」 高知大学 香南市 高知県 前澤工業株式会社 日本下水道事業団

注) () は JS 以外の受賞者

受賞年度	受賞名称	表彰機関	受賞対象
令和2年度	下水道協会誌 優秀論文 (実務部門)	日本下水道協会	「最初沈殿池汚泥から回収した繊維状物の脱水助材としての利用が嫌気性消化を伴う下水汚泥処理に及ぼす影響」 (朽岡英司) (山下 学) 碓井次郎 三宅晴男 (寺田昭彦) (細見正明)
令和3年度	第47回優秀環境 装置表彰 経済産業大臣賞	日本産業機械工業会	「二点 DO 制御を用いた省エネ型 OD 装置」 前澤工業株式会社 国立大学法人高知大学 日本下水道事業団
	奨励賞	環境システム計測 制御学会	「単槽型硝化脱窒プロセスにおける ICT・AI を活用した風量制御の性能及び特性」 (中 大輔) (高橋宏幸) 糸川浩紀 (松井 穰) (藤井都弥子)
令和4年度	第48回優秀環境 装置表彰 日本産業機械工業会 会長賞	日本産業機械工業会	「新型汚泥焼却設備 (O d y S S E A (オデッセア))」 J F Eエンジニアリング株式会社 日本下水道事業団 川崎市上下水道局
令和5年度	第49回優秀環境 装置表彰 経済産業大臣賞	日本産業機械工業会	「脱水乾燥システム」 月島アクアソリューション株式会社 日本下水道事業団
	第49回優秀環境 装置表彰 日本産業機械工業会 会長賞	日本産業機械工業会	「省電力送風装置(流動タービン)を用いた下水汚泥焼却設備」 愛知県 日本下水道事業団 メタウォーター株式会社 株式会社クボタ

注) () は JS 以外の受賞者

4. 知的財産権

(令和6年3月31日現在)

種別	発明の名称	発明者	特許権者	出願日	出願番号	登録日	特許番号
特許	有機性廃棄物の処理方法	本部 森 孝志 三宅晴男	JFEエンジニアリング(株) 三菱化工機(株) 日立造船(株)	H16.2.26	2004-051441	H21.11.27	4412538
特許	感作ラテックス及び免疫学的測定法	本部 橋本敏一 三品文雄	(株)ヤクルト本社	H16.2.27	2004-053371	H21.2.6	4256802
特許	有機物含有汚泥の炭化処理方法	本部 森 孝志 山本博英	大同特殊鋼(株)	H16.4.8	2004-113883	H21.9.11	4373263
特許	有機物含有汚泥の炭化炉	本部 森 孝志 山本博英	大同特殊鋼(株)	H16.9.22	2004-275548	H21.8.28	4364761
特許	有機性廃棄物の嫌気性消化方法	本部 島田正夫 猪木博雅	JFEエンジニアリング(株) 三菱化工機(株)	H16.12.6	2004-352115	H22.10.1	4596897
特許	排水の生物処理プロセスシミュレーション方法及びプログラム	本部 村上孝雄 橋本敏一 糸川浩紀	JFEエンジニアリング(株)	H17.2.17	2005-041426	H22.3.19	4478210
特許	分水方法および分水装置	本部 村上孝雄	—	H18.7.4	2006-184575	H21.8.7	4354468
特許	汚泥の炭化処理設備	本部 山本博英 弓削田克美 猪木博雅 嘉戸重仁	大同特殊鋼(株)	H19.3.28	2007-085938	H23.6.10	4756556
特許	炭化製品の発熱抑制処理方法及び発熱抑制処理装置	本部 山本博英 弓削田克美 猪木博雅 嘉戸重仁	大同特殊鋼(株)	H19.3.28	2007-085937	H25.1.18	5179082
特許	耐酸性コンクリートの製造方法	本部 稲毛克俊 須賀雄一 森田美也	日本ヒューム(株) (株)安藤・間組	H19.4.6	2007-100716	H24.8.31	5071844
特許	耐酸性複合体及び補修工法	本部 稲毛克俊 須賀雄一 森田美也	電気化学工業(株)	H19.11.27	2007-305731	H25.10.4	5376794
特許	熱可溶化乾燥を組み合わせた嫌気性処理方法	本部 島田正夫 猪木博雅 水田健太郎	三菱化工機(株)	H21.2.4	2009-023378	H23.12.16	4886798
特許	有機性汚泥の嫌気性消化処理方法	本部 島田正夫 猪木博雅 水田健太郎	三菱化工機(株)	H21.2.4	2009-023377	H24.6.1	5007311
特許	下水処理場の運転支援装置及び運転支援方法	本部 中沢 均 川口幸男	(株)ウォーターエージェンシー	H22.12.27	2010-289267	H27.7.10	5775296
特許	プロセス監視診断装置	本部 佐野勝実 橋本敏一 佐々木稔	(株)東芝	H22.12.28	2010-293048	H27.8.14	5793299
特許	プロセス状態監視装置	本部 佐野勝実 橋本敏一 佐々木稔	(株)東芝	H22.12.28	2010-291645	H27.10.2	5813317

注) 発明者の所属は当時のもの。

種別	発明の名称	発明者	特許権者	出願日	出願番号	登録日	特許番号
特許	排水処理装置及びその運転方法	本部 中沢 均 川口幸男	国立大学法人高知大学 前澤工業(株)	H23.1.11	2011-003089	H27.4.10	5725869
特許	排水処理装置	本部 中沢 均 橋本敏一 川口幸男 辻 幸志	(株)東芝	H23.6.1	2011-123611	H27.10.2	5813377
特許	排水処理装置	技術戦略部 橋本敏一 戸田技術開発分室 川口幸男	国立大学法人高知大学 前澤工業(株)	H23.11.15	2011-249470	H28.1.8	5863409
特許	有機性排水処理装置	技術戦略部 橋本敏一 三宅十四日 戸田技術開発分室 川口幸男	(株)東芝	H25.3.14	2013-051395	H29.2.17	6091943
特許	プロセス監視診断装置	技術戦略部 佐野勝実 濱田知幸	(株)東芝	H25.3.14	2013-051930	H29.9.29	6214889
特許	リン回収装置	技術戦略部 橋本敏一 若山正憲	(株)東芝	H25.7.23	2013-153096	H29.5.12	6139315
特許	廃水処理装置	技術戦略部 橋本敏一 国際室 辻 幸志	学校法人東洋大学	H25.12.17	2013-259904	H29.11.24	6245744
特許	膜分離活性汚泥処理装置及び膜分離活性汚泥処理方法	技術戦略部 橋本敏一 糸川浩紀	(株)日立製作所 (株)日立プラントサービス	H26.6.19	2014-126563	H29.11.17	6243804
特許	汚泥脱水処理方法および汚泥脱水処理システム	技術戦略部 山本博英 碓井次郎 岩崎 旬 島田正夫 三宅十四日	(株)石垣	H26.11.25	2014-237580	H30.3.23	6309883
特許	省エネルギー型汚泥処理システム	技術戦略部 山本博英 岩崎 旬 碓井次郎 三宅十四日 東海総合事務所 宮内千里	メタウォーター(株)	H27.3.16	2015-052048	H31.2.22	6482913
特許	繊維状物測定装置及びその測定方法	技術戦略部 山本博英 碓井次郎 岩崎 旬 島田正夫 三宅十四日	(株)石垣	H27.3.31	2015-070931	H30.8.24	6389137
特許	汚泥処理システム及び汚泥処理方法	技術戦略部 山本博英 碓井次郎 岩崎 旬 島田正夫 三宅十四日	(株)石垣	H27.3.31	2015-070930	H30.3.2	6298792

注) 発明者の所属は当時のもの。

種別	発明の名称	発明者	特許権者	出願日	出願番号	登録日	特許番号
特許	繊維状物回収装置	技術戦略部 山本博英 碓井次郎 岩崎 旬 島田正夫 三宅十四日	(株)石垣	H27.3.31	2015-070929	H30.3.23	6309912
特許	汚泥脱水装置及び汚泥脱水方法	技術戦略部 山本博英 碓井次郎 岩崎 旬 島田正夫 三宅十四日	(株)石垣	H27.3.31	2015-070928	H30.3.2	6298791
特許	固液分離システムおよび傾斜板	技術戦略部 橋本敏一 笹部 薫	積水アクアシステム(株) (公財)愛知水と緑の公社	H27.9.25	2015-188827	H29.7.28	6182190
特許	汚泥消化槽	技術戦略部 細川 恒 碓井次郎 島田正夫 池上 梓	月島JFEアクアソリューションズ(株)	H29.1.13	2017-004210	H29.12.15	6259535
特許	逆電気透析を利用して水素を発生させる方法及び装置	技術戦略部 細川 恒 碓井次郎	国立大学法人山口大学 (株)正興電機製作所 (株)アストム	H28.11.21	2016-225692	H30.8.10	6382915
特許	散水ろ床の洗浄方法	—	メタウォーター(株) 高知市 国立大学法人高知大学	H30.3.30	2018-068183	R1.6.28	6545857
特許	汚泥濾過装置	技術戦略部 細川 恒 碓井次郎 金澤純太郎	住友重機械エンバイロメント(株)	H29.3.23	2017-058220	R2.11.30	6802099
特許	固液分離システムおよび固液分離方法	技術戦略部 橋本敏一 清水克祐	積水アクアシステム(株) (公財)愛知水と緑の公社	H31.2.4	2019-018232	R4.12.2	7187340

注) 発明者の所属は当時のもの。

5. 新技術の選定・導入

JS では、地方公共団体の多様なニーズに応える新技術を積極的に下水道事業へ活用する観点から、優れた新技術を受託建設事業に円滑に導入することを目的として、平成 23 年度から新技術導入制度を運用している。なお、本制度で選定した新技術は、JS の受託建設事業における適用性を有していることを確認したものであり、JS 受託建設事業以外の場合における性能等を評価したものではない。

本制度では、JS が単独または共同研究により開発した技術を「新技術Ⅰ類」、公的な機関により開発・評価され、JS が技術確認を行った技術を「新技術Ⅱ類」、民間企業が独自に開発し、JS が技術確認を行った技術を「新技術Ⅲ類」に区分して選定している。なお、技術選定の有効期間は、選定日（変更選定を受けた場合は変更選定日）から 5 年間であり、技術選定を受けた者の申請により 1 回に限り延長が可能である（最大 10 年）。

令和 5 年度末までに、新技術Ⅰ類 40 技術（うち 7 技術は有効期間満了）、新技術Ⅱ類 5 技術（うち 2 技術は有効期間満了）、新技術Ⅲ類 2 技術の計 47 技術が選定されている。

また、JS 受託建設事業における導入決定件数は、令和 5 年度末現在、23 技術、142 件となっている。

5. 1 令和5年度末現在選定技術一覧 (有効期間満了のものを除く)

類型	選定日	技術名	技術選定を受けた者
I 類	H24.5.7	アナモックス反応を利用した窒素除去技術*	(株)タクマ、メタウォーター(株)
	H25.3.26	熱改質高効率嫌気性消化システム*	三菱化工機(株)
	H26.7.30	OD法における二点DO制御システム	国立大学法人高知大学、 前澤工業(株)
	H26.10.6	担体投入活性汚泥法(リンポープロセス)	(株)西原環境
	H27.6.26	圧入式スクリーンプレス脱水機(IV型)による濃縮一体化脱水法	(株)石垣
	H27.11.4	後注入2液型ベルトプレス脱水機	メタウォーター(株)
	H28.5.31	階段炉による電力創造システム	(株)タクマ
	H28.9.8	下部コーン型鋼板製消化タンク	月島機械(株)
	H29.2.15	下水汚泥由来繊維利活用システム	(株)石垣
	H29.3.23	最終沈殿池用傾斜板沈殿分離装置	積水アクアシステム(株)
	H29.3.23	単槽式MBRと高速凝集沈殿法による仮設水処理ユニット	(株)日立プラントサービス
	H29.5.31	破碎・脱水機構付垂直スクリーン式除塵機	住友重機械エンバイロメント(株)
	H29.6.21 H31.2.12変更	全速全水位型横軸水中ポンプ	(株)石垣
	H30.1.24	多重板型スクリーンプレス脱水機-II型	アムコン(株)
	H30.1.24	高濃度対応型ろ過濃縮・中温消化システム	月島機械(株)
	H31.2.13	多段最適燃焼制御付気泡流動炉	三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)
	H31.2.13	二段燃焼式巡回流動炉	水ingエンジニアリング(株)
	R1.9.4	セラミック平膜を用いた省エネルギー型MBRシステム	(株)明電舎
	R2.1.9	難脱水対応強化型スクリーンプレス脱水機	(株)神鋼環境ソリューション、 (株)北凌
	R2.2.19	アンモニア計による送気量フィードフォワード制御技術	日新電機(株)
R2.2.19	アンモニア計と制御盤から構成される風量調節弁制御装置	(株)神鋼環境ソリューション	
R2.2.19	ダウンサイジング型ベルトプレス脱水機	月島機械(株)	

類型	選定日	技術名	技術選定を受けた者
I 類	R3.3.2	電熱スクリュ式炭化炉を用いた汚泥燃料化技術	(株)神鋼環境ソリューション
	R3.3.2	細径 PVDF 中空糸膜を用いた省エネルギー型 MBR システム	三菱ケミカルアクア・ソリューションズ(株)、 水 ing エンジニアリング(株)、 三菱化工機(株)
	R3.5.26	4分割ピット式鋼板製消化タンク	(株)石垣
	R3.9.15	回転加圧脱水機Ⅳ型	巴工業(株)
	R3.9.15	汚泥性状変動対応型蒸気乾燥システム	水 ing エンジニアリング(株)
	R4.3.2	過給機を用いた流動床炉向け省電力送風装置(流動タービン)	メタウォーター(株)、(株)クボタ
	R4.3.2	噴射ノズル式鋼板製消化タンク	JFE エンジニアリング(株)、 (株)フソウ
	R4.3.2	ディスク式特殊長毛ろ布ろ過装置	メタウォーター(株)、前澤工業(株)
	R4.3.2	初沈代替高速ろ過システム	メタウォーター(株)
	R5.6.8	オゾン水による膜洗浄を用いた省エネルギー型 MBR システム	三菱電機(株)
	R5.6.8	多槽循環式 MBR システム	(株)クボタ
II 類	H24.5.7	多層燃焼流動炉*	メタウォーター(株)
	H26.6.10	気泡式高効率二段焼却炉	(株)神鋼環境ソリューション
	H26.6.10 H28.9 変更	パッケージ型鋼板製消化タンク	(株)神鋼環境ソリューション
III 類	H24.5.7	高効率二段燃焼汚泥焼却炉*	(株)神鋼環境ソリューション
	H25.3.26 H28.9 変更	高速砂ろ過システム(高速上向流移床型砂ろ過)	(株)タクマ

※継続導入技術：有効期間が満了後も引き続き導入の必要性が認められるが、標準化されていない技術

【参考】過去に選定された技術一覧（技術選定有効期間満了）

類型	技術名	技術選定を受けた者
Ⅰ類	高速吸着剤を利用したリン除去・回収技術	旭化成ケミカルズ(株)
	循環型多層燃焼炉	メタウォーター(株)
	担体充填型高速メタン発酵システム	メタウォーター(株)
	圧入式スクリーブプレス脱水機(Ⅲ型)	(株)石垣
	ゴムメンブレン式超微細気泡散気装置	JFE エンジニアリング(株)、三菱化工機(株)、(株)西原環境
	難脱水性汚泥対応型ベルトプレス脱水機	住友重機械エンバイロメント(株)
	回転加圧脱水機Ⅲ型	巴工業(株)
Ⅱ類	過給式流動燃焼システム	月島機械(株)、三機工業(株)
	担体利用高度処理システム（バイオチューブ）	JFE エンジニアリング(株)

- ・技術選定を受けた者の名称は選定当時のものです。
- ・「過去に選定された技術」とは、技術選定された日から一定期間が経過し有効期間が満了した技術です。
- ・新技術（継続導入技術）「アナモックス反応を利用した窒素除去技術」については(株)日立製作所が有効期間満了のため、同社のみ「過去に選定された技術」の扱いとなっております。

付 1 JS 技術開発・活用基本計画 2022（概要版）

JS技術開発・活用基本計画2022

～ 脱炭素社会の実現に向けて下水道技術のイノベーションを牽引 ～

－ 概要版 －

2022年 3月
2024年10月改定



構成(目次)

1. 計画策定の目的等
 1. 計画策定の目的
 2. 計画期間
2. 技術開発・活用基本方針
3. 技術開発
 1. 開発課題
 2. 実施スキーム
 3. 試験研究施設
4. 技術活用
 1. 開発技術の導入
 2. 開発技術の基準化
 3. その他技術の活用
5. 計画のフォローアップ

1. 計画策定の目的等

■ 計画策定の目的

- 「**JS技術開発・活用基本計画2022**」(以下、「本計画」という。)は、第6次中期経営計画(以下、「6次中計」という。)に示すJSの3つの役割(下水道ソリューションパートナー、下水道イノベーター、および下水道プラットフォーマー)を着実に果たしていくため、**6次中計期間中に取り組む技術開発および開発成果の活用に関する基本方針**、ならびに、**具体的な実施内容を定める**ことを目的とする。
- 本計画では、6次中計の事業推進計画のうち、主に以下の事項に係る実施内容を定めている。

- 2 下水道イノベーターとして下水道事業の変革を積極的に推進
 - ③ 脱炭素社会実現への貢献
 - ④ 新技術の開発・活用
- 3 下水道プラットフォーマーとして共通の基盤づくりにより社会全体の発展に貢献
 - ② 技術基準の策定

- 本計画は、2017(平成29)年度～2021(令和3)年度の5ヶ年度を計画期間とする「**JS技術開発基本計画(4次計画)**」および「**基礎・固有調査研究の中期計画**」を統合した後継の計画の位置付けである。

■ 計画期間

- 6次中計との整合を図り、**2022(令和4)年度から2026(令和8)年度の5ヶ年度**とする。

2. 技術開発・活用基本方針

■ 概ね20～30年先をイメージした中長期的な基本方針

- 人口減少や脱炭素化、デジタルトランスフォーメーション(DX)など、今後想定される様々な**社会変化に対して、常に時代の先を読み、下水道技術の発展を先導**するとともに、受託事業の実施を通じて、これらの社会変化に対応する**新技術の社会実装を推進し、社会全体の発展に貢献**する。

■ 計画期間内(2022～26年度)の基本方針

- 6次中計の事業推進計画に則り、新技術の開発・活用に取り組むことにより、**受託事業の推進に貢献**するとともに、**下水道事業の変革を牽引し、社会全体の発展に貢献**する。

I. 脱炭素化実現に向けた技術の開発・活用の推進

- 2030年までの温室効果ガス排出量46%削減の実現に貢献するため、**下水処理の脱炭素化に資する技術**について、更なる省エネルギー化や創エネルギーの効率向上など、**計画期間中に実用化可能な既存技術の改良・改善(技術開発)**を加速するとともに、**全ての受託事業において着実な導入**を図る。
- 2050年カーボンニュートラル実現に貢献するため、**2040年までの実施への導入着手を目標として、カーボンニュートラルを達成する新たな下水処理システムの開発に着手し、下水道技術のイノベーションを先導**する。

II. 政策やニーズを踏まえた技術の開発・活用の推進

- **人口減少下における持続的な下水道事業経営に貢献**するため、社会インフラとして下水道施設が有すべき**機能の維持・向上や下水道事業の生産性向上・高度化に資する技術の開発・活用**を推進する。
- 下水汚泥の**再利用の促進や地域における資源循環利用の構築**などに貢献するため、下水汚泥の肥料利用や下水汚泥中の窒素(アンモニア)やリンの回収・利用など、**下水道資源利活用技術の開発・活用**を推進する。

3.1 開発課題

- 脱炭素化や持続可能な社会実現に向けた国における最近の動向、地方公共団体の下水道事業における課題や技術開発に対するニーズに関するアンケート調査結果、ならびに、6次中計の事業推進計画に定めるJSにおける今後の事業の取組みなどを踏まえ、2つの技術開発・活用基本方針に対して、本計画期間中に具体的に取り組む**開発課題5課題および各開発課題の開発項目などを設定**する。

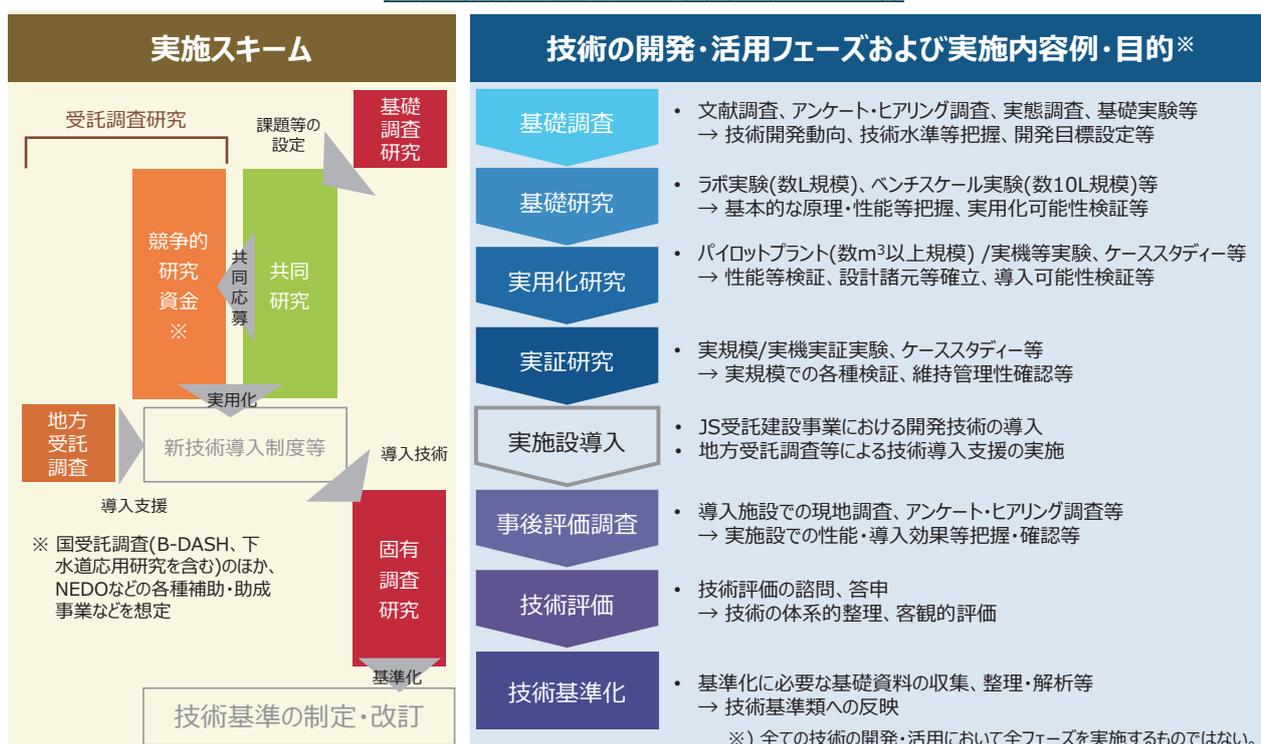
開発課題および開発項目

技術開発・活用基本方針		開発課題	開発項目
I. 脱炭素化実現に向けた技術の開発・活用の推進	2030年温室効果ガス排出量削減目標の実現への貢献	I-1 2030年目標に向けた脱炭素化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水処理省エネ技術 ・ バイオガス活用技術 ・ 事後評価調査(脱炭素化技術) ・ 脱炭素化推進方策
	2050年カーボンニュートラル実現への貢献	I-2 カーボンニュートラル型下水処理システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ カーボンニュートラル型下水処理システム
II. 政策やニーズを踏まえた技術の開発・活用の推進	人口減少下における持続的な下水道事業経営への貢献	II-1 下水処理の更なる低コスト化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水処理能力増強技術 ・ 水処理改築低コスト化技術 ・ 下水処理低コスト化技術 ・ 事後評価調査(低コスト化技術)
		II-2 下水道資源利活用技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 下水汚泥資源エネルギー利活用技術 ・ 下水汚泥資源農業利活用技術
		II-3 下水処理場におけるICT・AI活用技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ AIによる水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術 ・ ICT・AIによる設備劣化予測・異常診断技術 ・ ICTによる広域監視・制御システム

3.2 実施スキーム

- 技術の開発・活用のフェーズに応じて、「**基礎・固有調査研究**」(JS固有財源)、「**共同研究**」および「**受託調査研究**」(競争的研究資金を含む)の3つのスキームにより実施する(下図)。

技術の開発・活用フェーズと実施スキームの関係



3.2 実施スキーム

実施スキーム	区分	説明
基礎・固有調査研究	基礎調査研究	技術開発動向や技術水準の把握などを目的とした調査、開発目標や開発条件の設定などに必要な実態調査や基礎実験などについて、JS自らが行うもの。
	固有調査研究	開発成果の体系化、導入技術の事後評価調査や技術評価、技術基準化に向けた基礎資料の収集、整理・解析などを目的としてJS自らが行うもの。 ※事後評価調査、技術評価の実施予定は参考資料(P.20～21)参照
共同研究	公募型共同研究	JSが課題を設定し、共同研究者を公募して行うもの。今後の新規共同研究は公募型を基本とする。
	提案型共同研究	民間企業等から提案を受けた課題について行うもの。今後、原則として競争的研究資金への共同応募を目的とする課題提案、簡易提案型およびフィールド提供型に限るものとする。
	簡易提案型共同研究	短期間(6ヶ月以内)での機器・装置の性能などの確認を目的とするもの。
	フィールド提供型共同研究【新設】	JS技術開発実験センターの実験フィールドの提供のみを目的とするもの(JSは研究実施に関与しない)。
	特定共同研究	JSが相手方に共同研究を申し込むなど、上記に該当しないもの。 ※ 大学や民間企業などの基礎研究の実施、公益法人や業界を代表する協会などの共同研究が想定される。
受託調査研究	国等受託調査研究	国における課題の技術的解決などを目的として国土交通省より受託するもののほか、競争的研究資金(B-DASH、下水道応用研究、各種研究補助・助成事業など)の受入れにより行うもの。
	地方受託調査研究	地方公共団体の抱える個別の技術的課題の解決を目的として、地方公共団体からの受託を受けて行うもの(実施設計業務等の一部を分担して実施するもの(受託連携)を含む)。

3.3 試験研究施設

■ 試験研究施設(技術開発実験センター)の概要

- 分流式下水道の実下水を用いたパイロットプラント規模の実証実験のための常設実験ヤードを確保するとともに、民間企業などの共同研究をさらに推進することなどを目的として、2001(平成13)年6月に開所。
- 技術開発実験センターでは、隣接する真岡市水処理センターより送水した分流式下水道の実下水を用いて、比較的規模の大きいパイロットプラント実験を行えるほか、実規模の反応タンクを模擬した多目的実験用水槽を用いて、各種機器の性能試験などを行うことが可能。
- 「基礎・固有調査研究の中期計画」(計画期間：2017～2021年度)に基づき、2020(令和2)年度に新たに実験棟を建設し、活性汚泥処理実験プラント等、JSが独自に行う調査研究のための実験設備・装置を整備。

開所年月	2001(平成13)年6月
所在地	栃木県真岡市八木岡1309番2
敷地面積	約13,000m ²
主要施設	<ul style="list-style-type: none"> ・研究棟(RC造、地上2階) ・実験棟(S造、平屋建) ・中央実験ヤード(230m²×9区画) ・多目的実験用水槽(W6m×L12m×D6m×1槽)
実験原水	隣接する真岡市水処理センターより分流汚水を取水 <ul style="list-style-type: none"> ・流入下水：740m³/日 ・初沈後水：540m³/日
共同研究利用実績	累計67者利用(2022年3月現在)



3.3 試験研究施設

■ 中長期的な施設活用の基本方針

JS技術開発実験センターを脱炭素化技術の開発拠点、災害支援の資機材備蓄拠点及び技術開発部門の活動拠点としての活用を図るものとする。併せて隣接する真岡市水処理センター他1施設を活用することにより、研究開発のさらなる促進を図る。

■ 計画期間内(2022～26年度)の施設活用の基本方針

□ 脱炭素化技術の開発拠点化

脱炭素化技術の開発を促進、先導するため、技術開発実験センターおよび真岡市水処理センター等を活用した開発プロジェクトを提案、誘致することにより脱炭素化技術のショーケース化を目指す。

□ 災害支援資機材の備蓄による拠点化^[財源：災害時維持修繕準備金]

地方公共団体が有する下水道施設が被災した場合の調査や応急復旧に必要な可搬式水処理施設や排水ポンプを整備し、技術開発実験センター内に備蓄することにより、災害支援の拠点とする。

□ 活動拠点化の推進と多様な開発ニーズへの対応

- ▶ 新たに真岡分室を設置し職員（常駐）を配置。今後も、JS全体での働き方改革の進展などを踏まえつつ、技術開発部門の活動拠点化を進める。
- ▶ 真岡市水処理センター（標準法）、二宮水処理センター（OD法）を活用した共同研究の公募等を行うことで、パイロット試験から実規模実証までの幅広い開発ニーズに応える。
- ▶ 実験施設(実験フィールド、多目的実験用水槽)の活用を促進するため、研究インフラの提供のみを行う「フィールド提供型共同研究」を新たに創設する。(令和4年度実施済み)

4. 技術活用

■ 新技術導入制度について

- JSでは、受託事業における新技術の円滑な導入を促進するため、開発者の申請に基づき、JSが積極的に導入を図る新技術を選定(技術選定)する「新技術導入制度」を2011(平成23)年度より実施している。
- 本制度における新技術とは、JSにおいて基準化されていない下水道技術であって、下表に示すものをいう。

新技術導入制度における新技術の分類

分類	説明 ^{※1}	対象技術 ^{※2}	
		処理プロセス	機器・装置
新技術Ⅰ類	共同研究等によりJSが開発に関与した技術のうち、技術選定を行った技術	○	○
新技術Ⅱ類	公的な機関により開発・評価され、JSが技術確認、技術選定を行った技術	○	×
新技術Ⅲ類	民間により開発され、JSが技術確認、技術選定を行った技術	○	×

※1：技術確認とは、JSが実施への適用性について確認を行うこと、技術選定とは、JSが受託事業への適用性を確認し、新技術として選定することをいう。

※2：処理プロセスとは、国土交通省下水道事業課長通知「下水道施設の改築について」(平成28年4月1日国水下水争発第109号)別表中の中分類以上の施設等に係る技術、機器・装置とは、同別表の小分類に係る技術をいう。

- 本制度に基づき、2024年3月末までに**47技術が選定**(うち10技術は有効期間[※]終了)され、うち**23技術が143件の受託事業での導入が決定**している。

※ 技術選定の有効期間は選定通知の日から5年であり、1回に限り延長が可能である(最大10年)。

4. 技術活用

■ 開発技術の導入

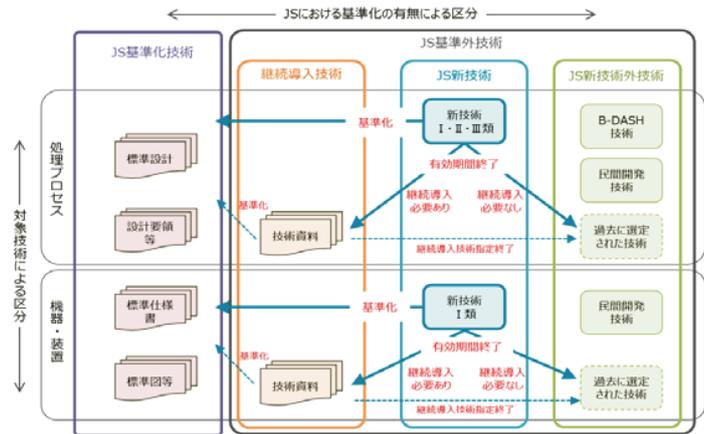
- JS新技術導入制度に基づく**新技術の選定を積極的に実施**する。【6次中計公表KPI】計画期間中15技術選定
- 全ての受託案件で新技術やJSが関与したB-DASHにより開発された技術(以下、「新技術等」)の導入検討を実施するほか、積極的な情報発信などを行うことにより、**新技術等の受託事業における導入件数拡大**を図る。
【6次中計公表KPI】計画期間中60件導入決定、新技術導入率100%(2026年度末)
- 複数の導入実績を有する新技術等の**事後評価調査の実施**など、**導入技術のフォローアップの強化**を図る。
- 有効期間終了後も継続して受託事業での導入が必要な新技術(標準化済みを除く)を「**継続導入技術**」に指定し、新技術と同等に取り扱うことにより、**有効期間終了後も引き続き導入・活用**を図る(下図)。【新設】

■ 開発技術の基準化

- 複数の実施設で導入・供用された新技術について、**事後評価調査結果などに基づき、迅速に基準化**を図ることにより、**新技術の導入を加速**する。
【6次中計公表KPI】11新技術の基準化

■ その他技術の活用

- 脱炭素化や低コスト化、下水道施設の機能維持・向上、下水道事業の生産性向上・高度化などに資する、**民間企業等が独自にまたは公的機関と共同で開発した技術**についても、JSが開発に関与した新技術等と同様に**受託事業における積極的な活用**する。



有効期間終了後の新技術の取扱い

Japan Sewage Works Agency

10

5. 計画のフォローアップ

- 本計画の実効性を確保し、技術開発・活用を円滑かつ確実に実施するため、6次中計で定める**KPIの定期的なフォローアップ**、ならびに、JS全体の事業の実施状況や社会情勢の変化、技術開発・活用の進捗状況などを踏まえ、**必要に応じて計画の中間見直し**を行うものとする。
- 上記に加えて、本計画に定める**技術開発(開発課題)の実施状況**については、**技術評価委員会**において、研究開発評価の一環として毎年度実施する、前年度の試験研究実施状況および当該年度の試験研究実施計画の報告を通じて、**フォローアップを継続的**に行う。なお、本計画の計画期間の**最終年度(2026年度)**には、技術評価委員会において、**技術開発の実施状況に係る完了評価**を実施し、その結果を**次期計画に反映**するものとする。

付2 技術開発実験センターの概要

技術開発実験センターの概要

技術開発実験センターは、分流式下水道の実下水を用いたパイロットプラント規模の実証実験のための常設実験ヤードを確保するとともに、民間企業などとの共同研究をさらに推進することなどを目的として、2001年6月に開所した。

技術開発実験センターでは、隣接する真岡市水処理センターより送水した分流式下水道の実下水を用いて、比較的規模の大きいパイロットプラント実験を行えるほか、実規模の反応タンクを模擬した多目的実験用水槽を用いて、各種機器の性能試験などを行うことが可能である。令和5年度末までの共同研究による利用件数は67者となっている。

技術開発実験センター施設概要

所在地	栃木県真岡市八木岡 1309 番 2
敷地面積	約 13,000 m ²
開所年月	2001 年 6 月
主要施設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究棟（鉄筋コンクリート造、2 階建） ・ 実験棟（鉄骨造、平屋建） ・ 中央実験ヤード（230 m²×9 区画） ・ 多目的実験用水槽（鋼製、幅 6 m×有効水深 6 m×長さ 12 m×1 槽）
実験原水	隣接する真岡市水処理センターより分流汚水を取水 <ul style="list-style-type: none"> ・ 流入下水：740 m³/日（中央実験ヤード1区画あたり最大 80 m³/日） ・ 最初沈殿池流出水：540 m³/日（同上 60 m³/日）

施設平面図および中央実験ヤード使用実績（2023 年度）

施設平面図	中央実験ヤード	
	区画	利用者
	1	荏原実業(株) 2019 年 1 月～2024 年 12 月
	2	—
	3	—
	4	—
	5	—
	6	—
	7	—
	8	—
	9	—
		多目的実験用水槽 メタウォーター(株) 2023 年 7 月～2023 年 9 月

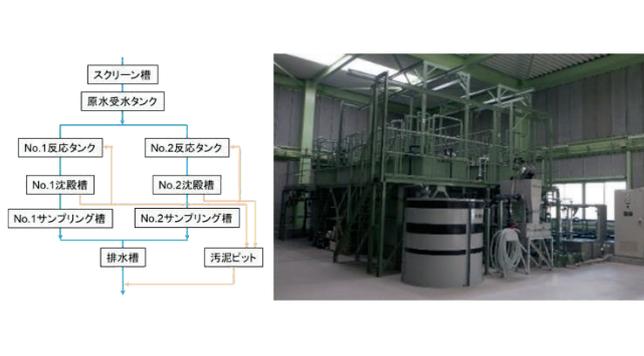
また、JSでは技術開発における基本的な方針や方向性、具体的に取り組むべき技術分野や開発課題を設定した基本計画(付1参照)に基づき、JS自らの財源を確保して安定的かつ継続的な調査研究(基礎・固有調査研究)を実施している。基礎・固有調査研究の実施に必要な施設は、施設整備拡充準備金を原資として技術開発実験センター敷地内に整備しており、2020年度に実験棟や活性汚泥処理実験プラント等の実験設備を整備し、これら実験設備を使った調査研究を行っている。

実験棟



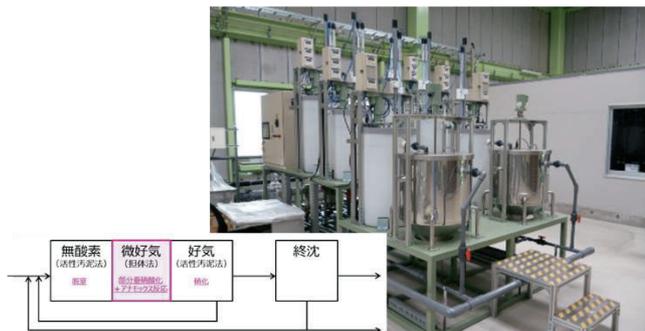
構造	鉄骨造平屋建
階高	約7m
床面積	390m ²
収容実験設備	<ul style="list-style-type: none"> 活性汚泥処理実験プラント(R2.12月完成) アナモックス実験装置(R3.3月完成) コンポスト実験装置(R3.3月完成)

活性汚泥処理実験プラント



構造	鋼板製
水処理方式	標準活性汚泥法
処理能力	日最大50m ³ /日×2系列
調査研究テーマ	AIによる水処理・汚泥処理運転・制御・予測技術

アナモックス実験装置



構造	PE製
水処理方式	循環式硝化脱窒法と一槽式アナモックス(微好気槽)のハイブリッド処理
処理能力	設計水量100L/h×2系列
調査研究テーマ	水処理省エネ化技術

コンポスト実験装置



構造	回転攪拌パドル式
処理対象	下水汚泥、バイオマス等
処理能力	日最大50kg/日×2台
調査研究テーマ	下水汚泥資源農業利活用技術

Copyright 2025 by Japan Sewage Works Agency

All rights reserved. No parts of this report may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without written permission of Japan Sewage Works Agency.

この報告書に関する全ての権利は、日本下水道事業団にあります。本報告書の全部又は一部の転載、複製には、日本下水道事業団の文書による許可が必要です。

ISSN 2187-347X

技術開発室技術資料 24-001

技術開発年次報告書（令和5年度）

令和7年1月

編集・発行 日本下水道事業団 技術開発室
〒113-0034 東京都文京区湯島2丁目31番27号
湯島台ビル
電話 (03)6892-2021

印刷 株式会社 報光社
〒691-0001 島根県出雲市平田町993
電話 (0853)63-3939

