

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1306

February 2025

令和4年度下水道関係調査研究年次報告書集

FY2022 Annual Report of Wastewater Management and Water Quality Control

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

令和4年度下水道関係調査研究年次報告書集

国土技術政策総合研究所 上下水道研究部

下水道研究室
下水処理研究室

FY2022 ANNUAL REPORT OF WASTEWATER MANAGEMENT AND WATER QUALITY CONTROL

WASTEWATER SYSTEM DIVISION
WASTEWATER AND SLUDGE MANAGEMENT DIVISION
OF WATER QUALITY CONTROL DEPARTMENT

NATIONAL INSTITUTE FOR LAND AND INFRASTRUCTURE MANAGEMENT,
MINISTRY OF LAND, INFRASTRUCTURE, TRANSPORT AND TOURISM, JAPAN

概要

本報告書集は、令和4年度に国土交通省国土技術政策総合研究所において実施された下水道に関する調査研究の成果を集約して資料としてとりまとめたものである。

キーワード：下水道、下水処理、ストックマネジメント、浸水対策、災害対策、
温室効果ガス、省エネルギー

Synopsis

This Annual Report introduces researches on wastewater management and water quality control carried out in Fiscal year 2022 by National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan.

Key words: wastewater system, wastewater treatment, stock management, stormwater management, disaster management, green house gases (GHG), energy saving

序 文

本報告書集は、令和4年度に国土交通省国土技術政策総合研究所（国総研）が実施した下水道関連の調査研究の成果をとりまとめたものであり、全10編の報告書から構成されています。

これらの調査研究は、下水道研究部の下水道研究室と下水処理研究室が担当し、予算費目としては下水道事業調査費、試験研究費です。調査研究の範囲は、国の重点課題や時代のニーズに応えるため、下水道管路のストックマネジメント、浸水対策、災害対策、温室効果ガス、省エネルギー等多岐にわたっています。これらの研究成果は、下水道施設を管理する地方公共団体や、コンサルタント及びメーカー、維持管理業者等の関係団体、大学等研究に役立つ情報を多く含んでおり、これを公表することで、下水道事業の更なる発展を期待するものです。

また、国総研では、新技術の研究開発及び実用化を加速することにより、下水道事業におけるコスト削減や再生可能エネルギー創出等を実現し、併せて、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援するため、下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）を実施しています。B-DASH プロジェクトの実証技術については、別途、技術導入ガイドラインを作成しております。本報告書付録1にガイドラインも含めて直近に刊行した報告書一覧を示しています。

下水道関係調査研究課題10課題のうち令和4年度に終了したものは、以下の6課題です。

- ① 下水道施設を活用した住民生活の利便性等の付加価値向上に関する調査
(下水道研究室；下水道事業調査費、H30年度～R4年度)
- ② 下水道新技術の開発方向性及び導入促進に関する調査
(下水道研究室、下水処理研究室；下水道事業調査費、R1年度～R4年度)
- ③ 下水道地震被害推定システムの精度及び利便性の向上等に関する調査
(下水道研究室；下水道事業調査費、R2年度～R4年度)
- ④ 下水処理水の衛生学的な安全性を考慮した技術基準及び管理手法に関する調査討
(下水処理研究室；下水道事業調査費、R2年度～R4年度)
- ⑤ 下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査
(下水処理研究室；下水道事業調査費、R2年度～R4年度)
- ⑥ 下水処理場におけるエネルギー最適化に関する調査
(下水処理研究室；下水道事業調査費、R2年度～R4年度)

また、令和4年度から新たに開始した課題は以下の3課題です。

- ① 気候変動等の影響を踏まえた効率的な都市浸水対策推進に関する調査
(下水道研究室；下水道事業調査費、R4年度～R6年度)
- ② 下水道管路の効率的なストックマネジメント実施に関する調査
(下水道研究室；下水道事業調査費、R4年度～R7年度)
- ③ 下水汚泥からの生分解性プラスチック回収可能性に関する研究
(下水処理研究室；試験研究費、R4年度～R5年度)

国総研では行政ニーズに対応するとともに、国民の視点に立った調査研究を更に進めてまいります。これからも引き続きご意見等をいただければ幸いです。

令和7年2月

国土技術政策総合研究所 上下水道研究部長 三宮 武

目 次

頁

I. 下水道事業調査費による調査研究

1. 下水道施設を活用した住民生活の利便性等の付加価値向上に関する調査……………（下水道研究室）…1
(H30 年度～R4 年度)
2. 下水道新技術の開発方向性及び導入促進に関する調査……………（下水道研究室）…5
(R1 年度～R4 年度)
3. 下水道地震被害推定システムの精度及び利便性の向上等に関する調査……………（下水道研究室）…17
(R2 年度～R4 年度)
4. 気候変動等の影響を踏まえた効率的な都市浸水対策推進に関する調査……………（下水道研究室）…23
(R4 年度～R6 年度)
5. 下水道管路の効率的なストックマネジメント実施に関する調査……………（下水道研究室）…31
(R4 年度～R7 年度)
6. 下水処理水の衛生学的な安全性を考慮した技術基準及び管理手法に関する調査（下水処理研究室）…43
(R2 年度～R4 年度)
7. 下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査……………（下水処理研究室）…49
(R2 年度～R4 年度)
8. 下水処理場におけるエネルギー最適化に関する調査……………（下水処理研究室）…53
(R2 年度～R4 年度)

II. その他の予算による調査研究

[下水処理研究室]

1. 下水道を核とした資源循環システムの広域化・共同化に関する研究……………（試験研究費）…61
(R3 年度～R5 年度)
2. 下水汚泥からの生分解性プラスチック回収可能性に関する研究……………（試験研究費）…65
(R4 年度～R5 年度)

付録

- 付録 1 直近の下水道関係刊行報告書一覧……………69
- 付録 2 令和 4 年度 下水道関係調査研究課題表……………71

I. 下水道事業調査費による調査研究

1. 下水道施設を活用した住民生活の利便性等の付加価値向上に関する調査

(研究期間 平成 30 年度～令和 4 年度)

下水道研究室 室 長 吉田 敏章

研 究 官 濱田 知幸

研 究 官 中村 裕美

1. はじめに

新下水道ビジョン加速戦略の重点項目の一つに下水道の活用による付加価値向上を掲げ、高齢化社会等への対応として、下水道への紙オムツ受入れ可能性を検討することとした。そこで、国土交通省では下水道に紙オムツを受け入れた場合に想定される影響ならびに実現のために必要となる検討事項を整理し、その上で下水道への紙オムツ受入実現に向けた検討について、多角的に検討・審議する「下水道への紙オムツ受入実現に向けた検討会（以下、検討会）」を設置している。

紙オムツ受入にあたって、使用済み紙オムツの破碎の有無、下水道への受け入れ方の違いによって、図 1 に示すとおり 3 つの紙オムツ受入タイプを設定している。検討会では、宅内回収する A タイプ等の社会実験などの検討を行っており、それらの成果が令和 5 年 3 月に報告書¹⁾として成果が取りまとめられた。

一方で、破碎した使用済み紙オムツを下水道施設に受け入れる C タイプについては、下水道施設の維持管理への影響が大きいと予想されること、紙オムツ処理装置の開発が進んでいないことから、具体的な検討が進んでいない状況にある。



	Aタイプ（固形物分離タイプ）	Bタイプ（破碎・回収タイプ）	Cタイプ（破碎・受入タイプ）
利用方法	トイレ個室内で使用済紙オムツから汚物を分離させ、紙オムツはゴミとして回収。	トイレ個室内から投入した使用済み紙オムツを破碎装置で破碎し、建物外の分離・回収装置で固形物のみ分離してゴミとして回収。	トイレ個室内の破碎装置で使用済紙オムツを破碎し、そのまま下水道に流す。
想定されるユーザー	一般住宅・介護施設での利用	一般住宅・介護施設、特に集合住宅や規模の大きい介護施設での利用	一般住宅・介護施設での利用
メリット	紙オムツ保管時の悪臭とゴミ出し時の重さが軽減される。	紙オムツの保管・ゴミ出しが不要。	紙オムツの保管・ゴミ出しが不要。
デメリット	軽量化した紙オムツの保管・ゴミ出しが必要。	破碎の他に分離・回収装置の維持管理が必要。	下水道施設や水環境への影響を十分に評価する必要がある。

図 1 紙オムツ受入タイプ¹⁾

そのような状況を踏まえ、国土技術政策総合研究所では、C タイプの紙オムツ処理装置で処理した使用済み紙オムツ（以下、紙オムツ破砕物）を下水道施設に受け入れた際の維持管理上の影響について、机上検討やラボ試験を行い、具体的な課題等を明らかにした。

2. 研究内容

紙オムツを下水道施設に受け入れる際に、下水道施設への維持管理上の影響を明らかにするため、以下の検討を実施した。

（１）紙オムツの基礎的情報の整理

下水道施設の維持管理への影響を把握するため、紙オムツの基礎的な情報として、重量、素材等を整理した。また、紙オムツ破砕物の各素材について、素材の形状、比重、水解性、汚濁負荷等を調べた。更にこれらの素材の沈降性など、下水道施設内の挙動を推定するための室内実験を行った。

（２）下水道管路施設への影響

紙オムツ破砕物を下水道管路施設に受け入れる場合、管きょ内に堆積することで流下阻害が発生し、清掃回数の増加や汚水の溢水というような影響が懸念される。管きょ内における紙オムツ破砕物の挙動を把握し、維持管理上の影響を推定するため、管きょ水理模型を用いて紙オムツ試験体の掃流状況を観測する水理実験を行った。

（３）ポンプ場施設及び下水処理施設への影響

紙オムツ破砕物の素材毎のポンプ場施設及び下水処理施設内の挙動は、個別施設の構造や設備構成・設備種類によって異なる。ポンプ場施設や下水処理施設の維持管理上の影響の検討の一例として、基礎情報整理結果を踏まえ、下水処理施設規模毎に標準的な設備構成・設備種類と、基礎情報整理結果を参考に紙オムツ破砕物の素材毎の挙動を設定した。この紙オムツ破砕物の挙動を踏まえ、ポンプ場施設及び下水処理施設の固形物収支を試算することで、個別設備毎の維持管理項目について影響を検討した。

3. 研究結果

（１）紙オムツの基礎的情報の整理

紙オムツの重量は、パンツタイプは 52 g～107g、テープタイプは 84g～178g、パッド類は 27g～124g であった。素材ごとの重量は、吸収材（綿状パルプ、高吸水性ポリマー（SAP）、吸収紙）が 5 割以上、表面材（ポリオレフィン不織布）が 3 割程度を占め、それ以外に防水材（ポリオレフィンフィルム等）、伸縮材（ポリウレタン等）、止着材（ポリオレフィン等）があった。パンツタイプの素材毎の平均重量比率は、表面材 29.1%、綿状パルプ 42.6%、SAP15.6%、吸収紙 6.9%、防水材 5.0%、伸縮材 0.5%、止着材 0.3%だった。

SAP の比重は 1.6 以上であった。表面材、防水材、伸縮材、止着の比重は 1.0 未満だった。本実験では、表面材などの比重が低くなった。試料に気泡が付着して観測され、正確に計測できなかったものと推測される。化学便覧²⁾においても、ポリエチレンの密度は 0.910～0.965、ポリプロピレンの比重は 0.90～0.92 とあり、これらは水中に浮遊するものと考えられる。



写真1 表面材



写真2 吸水材（綿状パルプ）



写真3 吸水材（吸収紙）

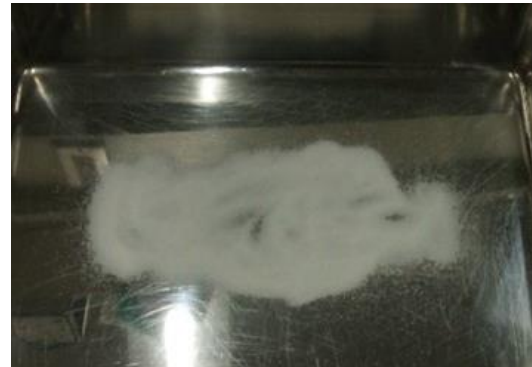


写真4 吸水材（SAP）



写真5 防水材



写真6 伸縮材

（２）下水道管路施設への影響

下水道施設計画・設計指針と解説³⁾では、管きよの流速を計画下水量に対し $0.6\sim 3.0\text{m/s}$ としており、過年度の報告⁴⁾では、設計流速の最低流速である 0.6m/s よりも低い流速で掃流されることが確認された。一方で、末端管きよにおいては、流量・流速が小さい時間帯が長い、この流量が小さい条件では、紙オムツ破砕物の堆積により管きよ内の水深が上昇した。流量が少ない時間帯に紙オムツ破砕物が投入されると、管きよの流路が紙オムツ破砕物で閉塞される。流量が大きくなると掃流されるものと考えられるが、紙オムツ破砕物の堆積量が多くなると、流下阻害が懸念される。また、伏せ越しを想定した水理実験では、紙オムツのうちプラスチック繊維は伏せ越し室に浮かび、SAP 及び綿状パルプは泥溜めに堆積し、殆どが下流に流下しなかった。伏せ越しがある箇所では維持管理負担が大きくなるものと考えられる。

また、令和2年度の報告⁵⁾では、マンホールポンプの詰まりの原因物について、長径 100mm 未満（最小 47mm ）の繊維もあり、紙オムツ破砕物が大きい場合は維持管理への影響が懸念される。

(3) 下水処理施設への影響

紙オムツ処理装置普及率（下水道接続人口に対する紙オムツ処理装置使用人口の比率）6.0～23.3%の条件で、SAP、綿状パルプ及びスクリーンで回収されなかったプラスチック繊維が汚泥に移行するものと仮定し、汚泥量を試算した（表1）。汚泥処理工程は、Case2では濃縮－脱水、Case3では濃縮－消化－脱水とした。なお、SAP及び綿状パルプについて、消化工程における分解試験は実施していないが、BOD₅が0.01g/100g（紙オムツ成分の0.01%）、BOD₂₀が0.01～0.05g/100g（紙オムツ成分の0.01～0.05%）であるため消化工程で分解しないものと仮定した。含水率が変わらない条件で脱水汚泥量を試算したところ、紙オムツ破砕物受入前と比べ1.2～3.3倍となった。Case3では、消化工程で紙オムツ破砕物の有機物が分解せず、汚泥の見た目の減量化効果が低下したため、汚泥量の増加割合がCase2よりも大きくなった。このように、従来の汚泥処理設備での対応が難しくなることが予想され、維持管理に係る負担が大きくなることが分かった。紙オムツ処理装置の使用人数が多くなると、固形物を回収・処理するための設備の負担が大きくなる。

表1 脱水汚泥量の試算結果

	ケース	スクリーン目幅	紙オムツ 受入前	Aa	Ab	Ba	Bb
				紙オムツ23.3% 破砕径 20mm	紙オムツ6.0% 破砕径 20mm	紙オムツ23.3% 破砕径 5mm	紙オムツ6.0% 破砕径 5mm
脱水汚泥量 単位:m ³ /日	Case2 (20,000m ³ /日)	20mm	16.8	36.7	21.9	38.7	22.4
		5mm	16.8	28.1	19.7	33.8	21.2
	Case3 (100,000m ³ /日)	20mm	59.5	182.9	91.3	195.2	94.5
		5mm	59.5	129.4	77.5	165.1	86.7
増加割合 スクリーン20mm・ 基本を1とした 割合	Case2 (20,000m ³ /日)	20mm	1.0	2.2	1.3	2.3	1.3
		5mm	1.0	1.7	1.2	2.0	1.3
	Case3 (100,000m ³ /日)	20mm	1.0	3.1	1.5	3.3	1.6
		5mm	1.0	2.2	1.3	2.8	1.5

4. おわりに

令和元年度から4年度にかけて、紙オムツ破砕物を下水道施設に受け入れた際の維持管理上の影響について、机上検討やラボ試験を行った。本成果は技術資料として公表する予定である。Cタイプの紙オムツ処理装置の開発が進んでいない状況を踏まえ、本技術資料により下水道施設の維持管理への影響に関する問題点を明らかにすることで、下水道施設の維持管理への影響を考慮した紙オムツ素材や紙オムツ処理装置の開発などが期待される。また、紙オムツ破砕物のような夾雑物の流入が見込まれる場合に、下水道管理者が管理する下水道施設の特性を踏まえ、具体的な維持管理上の影響を予測するための参考情報としての活用を想定している。

参考文献

- 1) 紙オムツの下水道への受入検討に関する報告書，国土交通省水管理・国土保全局下水道部，2023.3
- 2) 化学便覧 応用編 改訂 3版、丸善株式会社，pp.780-784
- 3) 下水道施設計画・設計指針と解説 前編 2019年版，公益社団法人日本下水道協会
- 4) 令和3年度下水道関係調査研究年次報告書集，国土技術政策総合研究所，2023.12
- 5) 令和2年度下水道関係調査研究年次報告書集，国土技術政策総合研究所，2022.6

2. 下水道新技術の開発方向性及び導入促進に関する調査

(研究期間：令和元年度～令和4年度)

下水道研究部 下水道研究官 小川 文章

下水道エネルギー・機能復旧研究官 三宅 晴男

下水道研究室 主任研究官 末久 正樹

下水処理研究室 主任研究官 太田 太一

下水道研究室 研究官 鈴木 航平

下水処理研究室 研究員 長 崎 真

1. はじめに

下水道の中長期的な方向性や未来像を示す新下水道ビジョン（平成26年策定）に示された長期ビジョンや中期目標を達成するため、技術開発に関する中長期的な計画として、下水道技術ビジョン¹⁾が平成27年に策定された。

国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）では、下水道技術ビジョンのフォローアップを目的として、「下水道技術開発会議」を平成28年に設置し、技術ニーズの調査・分析、ロードマップの一部改定や重点課題の選定、技術導入に向けた課題の分析などを進めている。また、下水道事業における新技術の導入を促進することを目的として、平成30年10月に下水道技術開発会議エネルギー分科会（以下「エネルギー分科会」という。）を設置した。

令和4年度の下水道技術開発会議では、下水道技術ビジョンのフォローアップの一環として、下水道事業の技術ニーズ及び新技術導入上の課題等に関する調査、ロードマップ重点課題の選定およびロードマップの見直し、新技術の開発・導入促進に向けた検討等を行った。またその結果を「下水道技術開発レポート2022」²⁾として取りまとめた。本稿では、課題解決技術支援ツール（試行版）に対する自治体ヒアリング調査結果と改良方針、下水道関連企業に対する技術開発状況に関するアンケート調査結果、新技術の導入実績やマニュアル・ガイドライン類の活用状況調査結果、エネルギー分科会での検討結果を報告する。

2. 課題解決技術支援ツール（試行版）に対する自治体ヒアリング調査結果と改良方針

技術ニーズとシーズのマッチングに関し、これまでの自治体ヒアリングや下水道技術開発会議では、特に中小規模の団体は職員数や予算が限られ、日常業務に忙殺される中で、①自団体がどのような課題を抱えているのか認識することが難しい、②課題を認識できたとしてもその解決策の探し方を見つけることが難しい等の問題があるのではないかと意見が提出された。

これを受け国総研では、自治体の技術的課題の認識を促すとともに、より容易に課題解決に資する情報に触れることを可能にするため、令和3年度に支援ツールを開発し、約300の自治体から意見を収集した。令和4年度はこれらの意見を参考にツールを改良するとともに、名称を「課題解決技術支援ツール（試行版）」として、6月に国総研HPで一般公開した。さらに改良を図るため、6自治体にツールの試行を依頼し、使用感や改良すべき点についてヒアリングを行った。

2. 1 令和3年度ヒアリング結果と改良点

令和3年度に行った自治体ヒアリングの結果を踏まえ、「複数団体との比較機能（自治体タブ）の追加」や「自治体タブと詳細課題タブの統合」等の改良を行った。

改良事例 複数団体との比較機能（自治体タブ）の追加

図1のように、自治体タブ中の下部に「追加」ボタンを新たに設置し、他団体と自団体との比較ができるように改良した。また、図2のように、表示される比較結果画面には自団体の類似団体平均値や県内平均値が表示される機能を追加した。

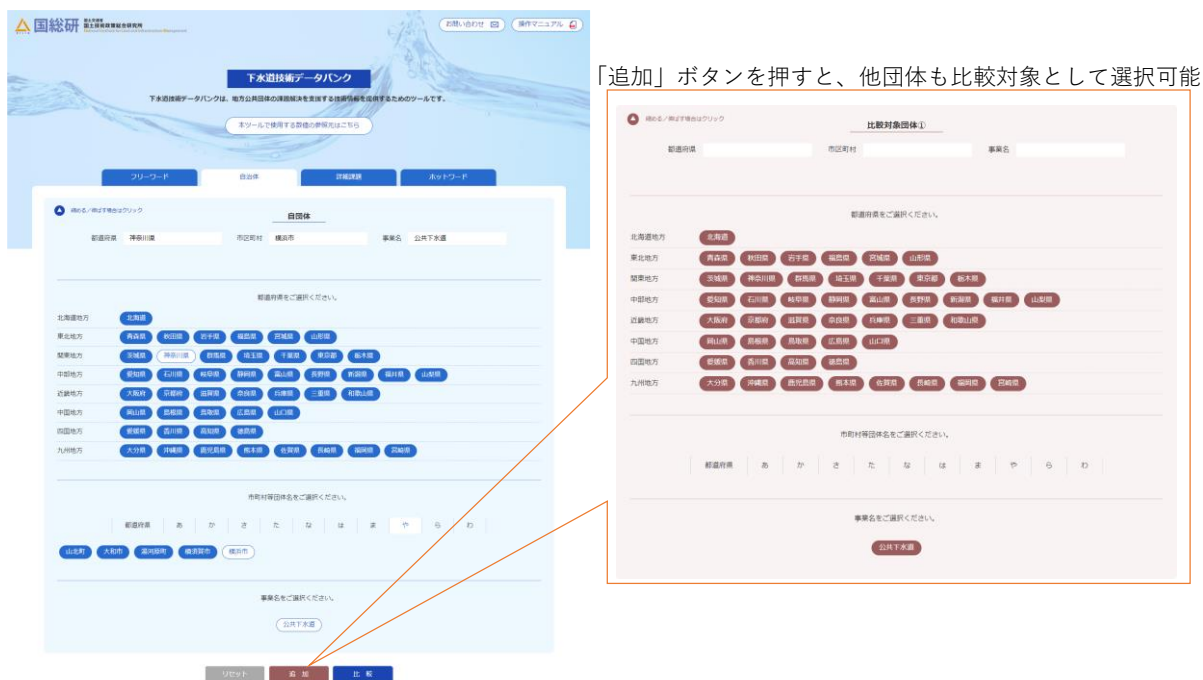


図1 複数団体との比較機能の追加

項 目	カネ		ヒト	モノ			施策の実施状況
	事業運営費		人員	施設の状態			
				管路	ポンプ場	処理場	
比較指標	経費回収率	経費回収率 (維持管理費)	職員1人あたりの 処理区域内人口	供用年数	供用年数	供用年数	ストマテ通信等の点数
自治体の数値	134%	288.5%	3840.3人/人	60年	67年	60年	80.5点
類似団体平均	113.6%	258.2%	4403.8人/人	67年	66年	64年	81.4点
県内平均	92%	178.5%	4118.4人/人	39年	42年	43年	32.2点
比較対象①	118%	297.5%	3625.7人/人	61年	87年	61年	80.5点
比較対象②	109.7%	262.8%	7790.8人/人	43年	33年	－	30.5点
比較対象③	106.1%	222.6%	2264.3人/人	110年	99年	92年	100.5点
比較対象④	101.1%	173.2%	6346人/人	－	107年	82年	100.5点
比較対象⑤	119.2%	261%	2306.9人/人	－	62年	88年	100.5点
現在の状況	100%以上	100%以上	類似団体平均未満	耐用年数(50年)経過	耐用年数(20年)経過	耐用年数(20年)経過	類似団体平均未満
指標参照元	経費状況の見える化ツール (国土交通省) 平成29年度版	経費状況の見える化ツール (国土交通省) 平成29年度版	下水道統計 (日本下水道協会) 平成29年度版	下水道統計 (日本下水道協会) 平成29年度版	下水道統計 (日本下水道協会) 平成29年度版	下水道統計 (日本下水道協会) 平成29年度版	事業マネジメント通信簿 (国土交通省、日本下水道協会) 平成30年度版

図2 団体別比較結果

2. 2 令和4年度ヒアリング結果と改良点

令和4年6月の一般公開の直後に、発行者名やリンクを修正する等の軽微な改良を行った。また、一般公開した後、その使用感や改良点の有無を確認するために、6自治体を選定し、本ツールの試行を依頼した。試行後、各自治体の職員から使用感等についてヒアリングし、更なる改良案を整理した。ヒアリング結果は図3のとおりであり、ツールの利便性に関して評価をいただいた一方、検索機能のさらなる充実等が望まれていることが分かった。

＜支援ツールの評価＞
「フリーワード」機能について
・ 初めて使用する者にとっても分かりやすいと思う(B市)
「自治体」機能について
・ スtockマネジメントの検討を進める中で、ツール内の情報を参考にする機会も増えてくると考えている(A市)
・ カネ・ヒト・モノに分かれて表示されて良いと思う(B市)
・ 同県内の他市町村と比較ができて参考になった(F市)
「詳細課題」機能について
・ 該当するガイドラインが網羅されており、分かりやすいと思う(B市)
「ホットワード」機能について
・ 他の自治体がどんな課題に興味を持っているか、ランキング形式になっていて参考になった(A市、C市)
「その他」機能について
・ 財政計画を見直す際に本ツールを活用し、他市町村の状況を参考にしたい(A市)
＜支援ツールの課題・要望＞
「フリーワード」機能について
・ いくつかのキーワードについて検索結果が表示されなかった「老朽化、耐水化等」(A市、C市)
・ あいまい検索等が出来ればよい(E市)
「自治体」機能について
・ 特定の規模の自治体を逆引き検索できるような機能があると良い(A市、B市、C市、D市)
・ 比較結果の表示画面は「比較対象①、②、③」ではなく、選択した市町村の名前が表示された方が良い(B市、C市、E市)
「詳細課題」機能について
・ 課題解決方法の先行事例に処理場名が表示されているが、所管自治体の名前も表示されると分かりやすい(B市)
・ 該当技術の導入検討や補助事業の活用をどう進めればよいか、事業化するための方法を知りたい(C市)
「その他」機能について
・ 操作マニュアルの他に、具体的な運用例が何例かあると良い(D市)

図3 支援ツールに対するヒアリング結果（評価、課題、要望）

3. 下水道関連企業に対する技術開発状況に関するアンケート調査結果

下水道技術のニーズとシーズのマッチングを促進するためには、これまで実施してきた地方公共団体のニーズ調査だけでなく、下水道関連企業の技術開発に対する考え方についても調査し把握しておく必要があることから、下水道関連企業に対するアンケート調査を実施した。

対象企業は、処理場・ポンプ場系業界団体（下水処理の機械・電気設備に携わる企業で構成された団体）、管路系業界団体（下水道管路施設の管理に携わる企業で構成された団体）、コンサルタント系業界団体（下水道のコンサルタント業務に携わる企業で構成された団体）に所属する企業とし、業界団体を通じて依頼した。32社の企業から回答があり、アンケート結果は図4から図10のとおりであった。例えば、技術開発に必要な情報の入手先は、処理業・ポンプ場系の企業は、「国土交通省、日本下水道事業団、地方公共団体」の順、管路系の企業は、「業界団体、社団・財団法人、下水道関連の企業」の順、コンサルタント系の企業は、「国土交通省、社団・財団法人、業界団体」の順であり、大学・高専・学会からの入手は少なく、海外情報の入手の回答は無かった（図6）。技術開発における他機関との連携先は、処理場・ポンプ場系の企業は、「大学・高専、国内他企業」が多く、管路系の企業は、「国内他企業、地方公共団体」が多く、コンサルタント系の企業は、「大学・高専、国内他企業」が多かった。（図7）。

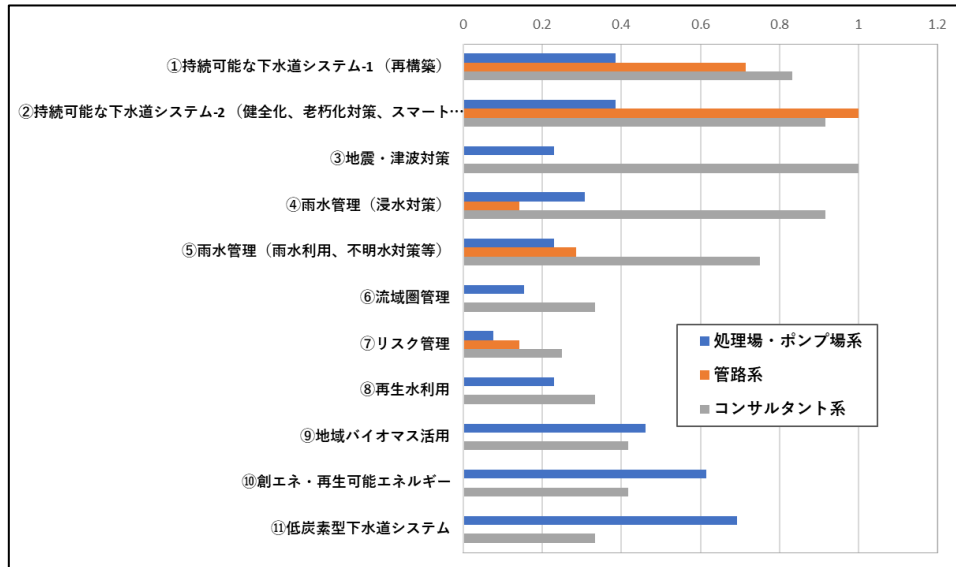


図4 下水道技術ビジョンの11の技術分野のうち企業が得意とする技術分野（技術系別：1社当たりに換算）

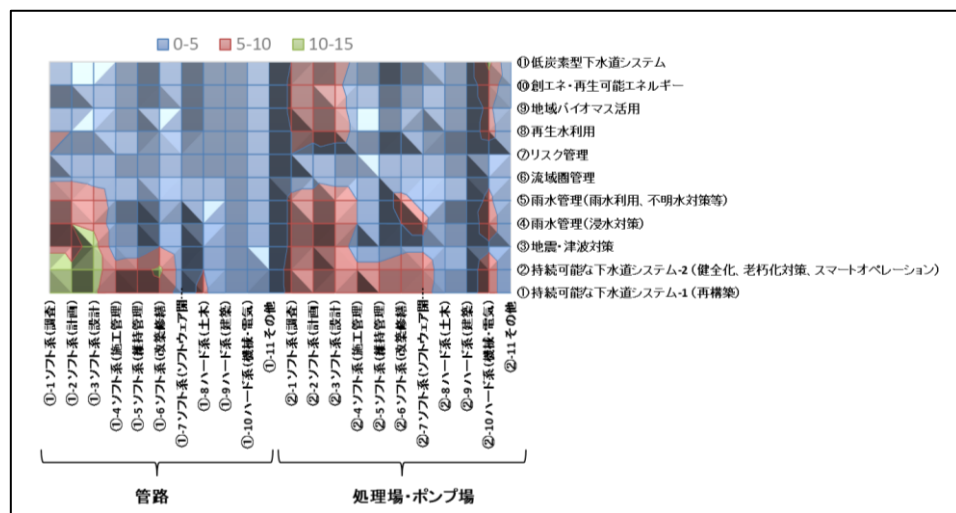


図5 各分野で企業が得意とする領域（32企業の合計値）

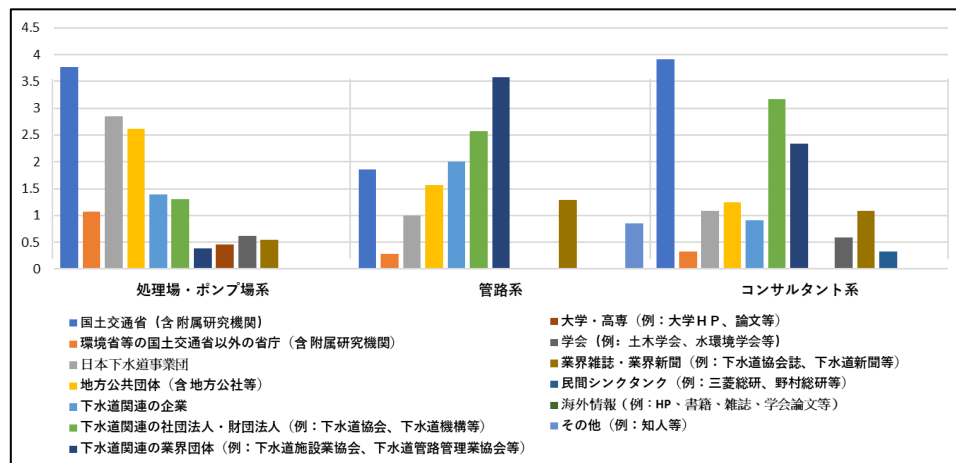


図6 技術開発に必要な情報の入手先（技術系別：1社当たりに換算）

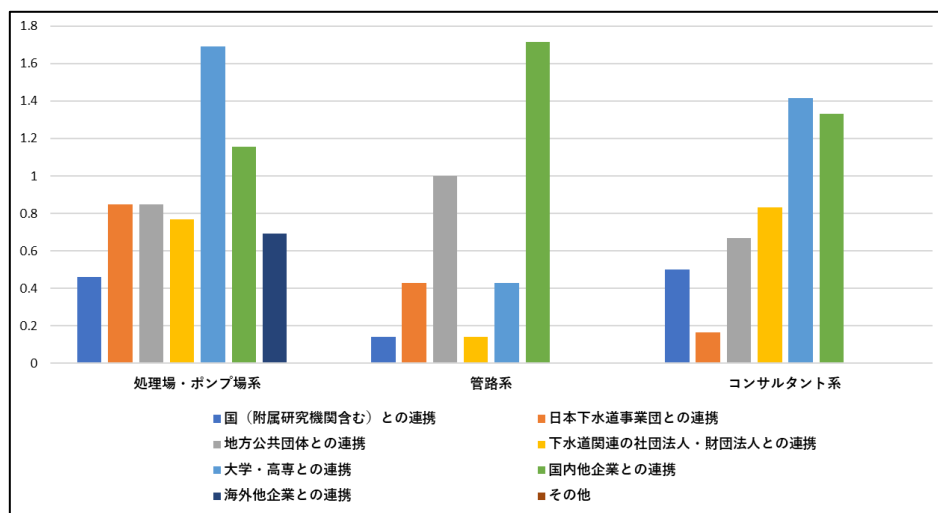


図 7 技術開発における他機関との連携の実績数（技術系別：1社当たりに換算）

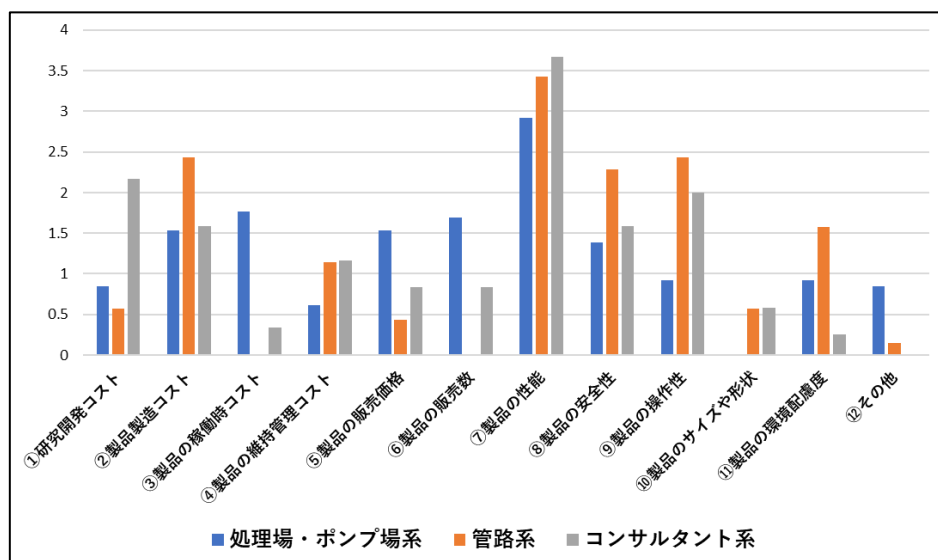


図 8 技術開発を行う場合に重視する事項（技術系別：1社当たりに換算）

<頂いた主なご提案・ご要望>

①費用（回答12社）

- ・基礎研究段階からの支援、複数年度に跨がる支援、用途の自由度の高い支援等
- ・新技術導入自治体への補助金の拡大や上乗せ、コンサルタント企業向けの支援、研究開発企業への税額控除、技術研修費の補助制度等
- ・B-DASHの自主研究期間の支援、NEDOのような助成制度、ファンド創設等

②技術開発（回答9社）

- ・産官学間や異分野との連携促進、早期の普及展開が可能となる技術開発制度
- ・技術開発分野の拡大や技術要求水準の多様化につながる制度
- ・技術開発促進につながる国の支援（自治体施設の貸与、データの公開推進等）

③法令・指針類（回答12社）

- ・新技術導入につながる技術基準値や法令・指針類の整備
- ・新技術導入の制約となっている指針類の記述の見直しや緩和
- ・B-DASH技術の採用の義務化

図 9-1 技術開発や製品導入を一層促進するために必要と思われる事項

- ④採用基準(回答16社)
- ・全国一律の技術評価基準や技術採用基準の設定
 - ・自治体等の技術評価項目情報の公開
 - ・技術採用条件の緩和(民間実績だけで可、1社技術でも可、採用実績無しでも可等)
 - ・新技術採用によるメリットが評価され、耐用年数だけにとられない改築更新制度
 - ・下水道版NETIS制度の導入
 - ・新技術採用につながるインセンティブの付与
- ⑤入札契約(回答9社)
- ・性能発注制度の導入
 - ・入札参加条件の緩和
 - ・B-DASH技術等の新技術が採用されやすい入札契約方式
 - ・新技術採用時に発生するリスクが免除・軽減される契約方式
- ⑥積算・歩掛(回答9社)
- ・新技術や管路包括などの積算歩掛類の整備
 - ・企業見積に基づいた積算方式
- ⑦リスク分担(回答3社)
- ・市場変化に伴うリスクを軽減するための費用負担制度やコンソーシアム制度の導入
 - ・研究費用のインフレスライド制の導入

図 9-2 技術開発や製品導入を一層促進するために必要と思われる事項

<頂いた主なご提案・ご意見>

- ご提案(制度面)
- ・コスト面における国内メーカーの優遇措置
 - ・資源循環や脱炭素分野における関係省庁(経産省、農水省、環境省等)との連携施策や合同実証事業
 - ・ICTやDXの新技術開発促進のための「データ利活用促進ガイドライン」の整備
 - ・新技術導入時に生じるリスクに対し、国がフォローする制度の創設
 - ・自治体が新技術を積極的に採用できる枠組み、開発目標基準と簡易な認定制度
 - ・下水道の調査・診断・改築業務の省力化や遠隔操作技術の開発及び費用支援制度
- ご提案(技術面)
- ・下水の栄養塩管理技術、放流先海域でのC,N,Pの動態把握及び評価技術等の開発
 - ・各種センシング技術の開発及びそれらを用いたビッグデータ活用技術の開発
 - ・小規模水循環システム技術の開発
 - ・AI技術を用いた管路のストックマネジメント計画作成技術の開発
- ご意見
- ・近年、自治体や現場でのPFの活用が進み、AI等によるデータ分析・解析での効率的事業運営の要求が存在する
 - ・新技術開発では、市場動向や環境変化を見つつ、企業利益も念頭に置くことが必要

図 10 下水道事業の新技術開発に対する感想や意見

4. 新技術の導入実績やマニュアル・ガイドライン類の活用状況調査結果

現時点において課題解決技術支援ツール(試行版)に登録している新技術 294 件(表 1)の導入実績調査、下水道関係組織が策定したガイドラインやマニュアル類 375 件(表 2)の認知度・活用状況調査を実施した。

新技術の導入実績調査については、国土交通省の B-DASH 技術(49 件)は、開発元のメーカーに対しヒアリング調査を行った。地方共同法人日本下水道事業団の新技術導入制度で選定された技術(32 件)は、令和 4 年 12 月に事業団に対しヒアリング調査を行った。また、日本下水道新技術機構の審査証明技術(213 件)は、5 年おきに更新される審査技術証明書に記載されている導入実績数をもとに整理した。

ガイドライン・マニュアル類に関する認知度・活用状況調査については、令和 4 年 12 月に政

令指定都市 16 市及び主要上下水道コンサルタント会社 8 者を対象にアンケート調査を行った。調査は、375 件のそれぞれのガイドライン・マニュアルに対し、「利用したことがある」、「知っている」、「知らない」の 3 つから選択してもらう形式とした。

表 1 新技術 294 件の公表機関と技術の分類内訳

公表機関	大分類	件数
国土交通省 (49件)	水処理	10件
	下水汚泥処理・利用	17件
	管路／施設管理技術	14件
	浸水対策	2件
	侵入水対策	2件
	その他	4件
地方共同法人 日本下水道事業団(32件)	水処理	10件
	下水汚泥処理・利用	21件
	浸水対策	1件
公益財団法人 日本下水道新技術機構(213件)	水処理	37件
	下水汚泥処理・利用	13件
	その他	163件

表 2 ガイドライン・マニュアル類の発行機関と技術の分類内訳

発行機関	大分類	件数	発行機関	大分類	件数
国土交通省 (64件)	事業マネジメント	10件	公益財団法人 日本下水道新技術機構(165件)	管渠施設	45件
	未普及地域の解消	2件		管渠施設・海外展開	1件
	浸水対策	9件		維持管理・経営	18件
	BIM/CIM	1件		汚泥処理施設	38件
	費用効果分析	1件		計画	34件
	広域・共同化	3件		計画、水処理施設	1件
	PPP/PFI	5件		水処理施設	27件
	雨天時侵入水対策	1件		水処理施設、震災対策の推進	1件
	能動的環境管理	7件	公益社団法人 日本下水道協会(101件)	行財政	10件
	省エネルギー対策	2件		技術指針類	42件
	合流式下水道の改善	2件		用語集	1件
	下水道の見える化等	2件		設計・概算	13件
	地震対策	2件		日本下水道協会規格(JSWAS)	31件
	資源・エネルギー循環の形成	14件		技術マニュアル・技術資料	4件
地方共同法人 日本下水道事業団(9件)	下水道への紙オムツ受入	1件	公益社団法人 日本下水道管路管理業協会(15件)	技術マニュアル・技術資料	3件
	人材育成	2件		設計・概算	1件
	コンクリート腐食抑制	1件		技術指針類	11件
	活性汚泥モデル	1件	一般社団法人 日本下水道施設管理業協会(1件)	技術マニュアル・技術資料	1件
	下水汚泥固形燃料発生特性	1件		設計・概算	6件
	耐硫酸モルタル防食技術	1件	公益社団法人 全国上下水道コンサルタント協会(14件)	雨水管理	1件
	下水汚泥固形燃料化システム	1件		事業計画	2件
	オゾン処理技術	1件		設計・概算	1件
	アナモックス反応	1件		技術マニュアル・技術資料	1件
	MBR	1件		設計指針類	9件
	シートライニング工法	1件			

4. 1 新技術（294 件）の導入実績調査結果

調査結果を図 1 1 に示す。なお、国土交通省や日本下水道事業団の新技術は比較的近年（過去 10 年以内）に開発された技術であるのに対し、日本下水道新技術機構の新技術には 10 年以上前の技術も含まれることから、公平な比較分析を行うため、日本下水道新技術機構の新技術については、過去 10 年以内に開発された技術に限定して整理した図も併記した。

国土交通省の新技術については、導入実績が 2 件以上ある割合は 57%、11 件以上の多数導入の割合は 8%であり、日本下水道事業団の新技術については、導入実績が 2 件以上ある割合は 44%、11 件以上の多数導入の割合は 3%であった。また、日本下水道新技術機構の新技術については、導入実績が 2 件以上ある割合は全技術と過去 10 年間技術ともに 70 数%と高く、11 件以上の多数導入の割合も全技術で 22%、過去 10 年間技術で 8%あった。

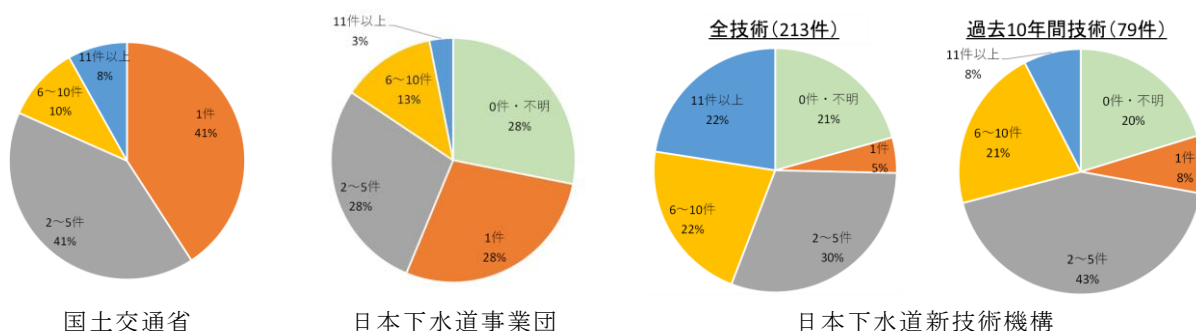


図 1 1 新技術導入実績調査結果

次に、294 件の新技術を下水道技術ビジョンの 11 の技術開発分野別に分類し、傾向を比較するため、令和 3 年度に実施した自治体技術ニーズ調査結果のグラフと並べて示した（図 1 2）。

図 1 2 の上図をみると、新技術の導入数が多い技術開発分野は②、⑪、③、⑩、⑨、①の順であるが、この傾向（形状）は下図の自治体ニーズ調査の傾向（形状）と似ていることから、技術ニーズと技術シーズには一定の相関性があると考えられた。

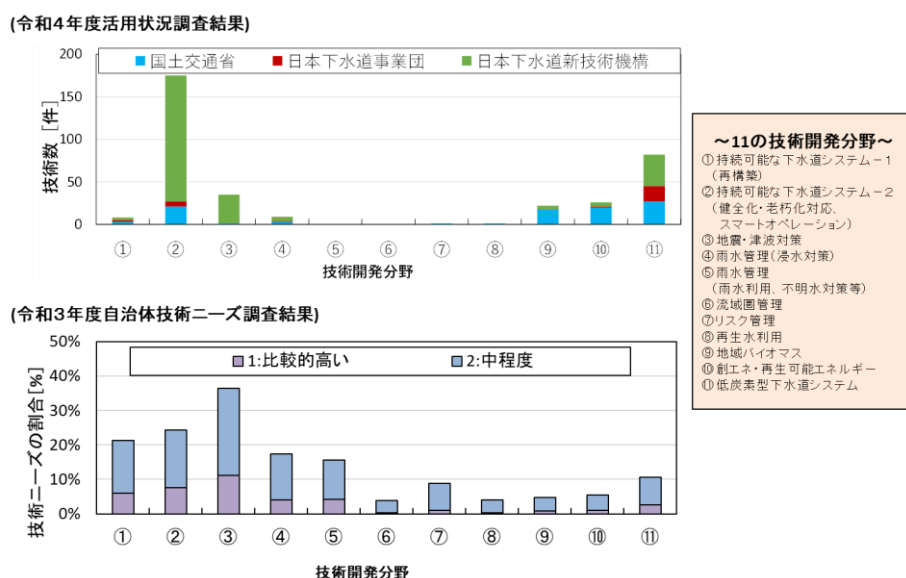


図 1 2 技術開発分野別に分類した新技術と自治体ニーズ

さらに、過去 10 年間の新技術に限定して同様の分類を行い、傾向を比較するため、令和元年度に実施した文献調査結果のグラフと併せて示した（図 1 3）。

図 1 3 の上図は過去 10 年間に限定した新技術の分野別グラフであるが、図 1 2 の上図のグラフと傾向（形状）は大きく変わらないものの、技術開発分野⑨、⑩、⑪の技術数が相対的に増加しており、近年の 3 分野の技術ニーズの高まりが確認できた。さらに、下に並べた文献調査結果のグラフの傾向（形状）と比較すると、技術開発分野⑥、⑦で大きな差がみられた。この理由として、両分野（⑥、⑦）では学会等に投稿される論文の数が多いためと考えられた。

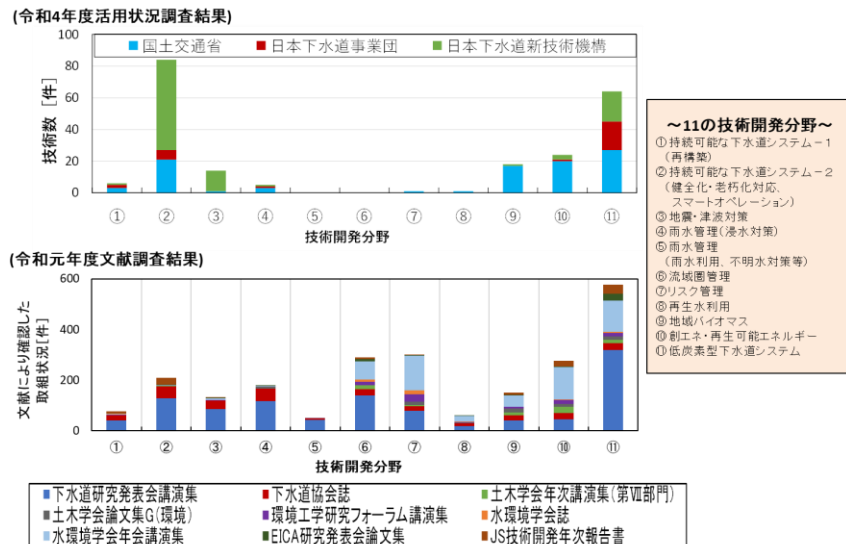


図 1.3 技術開発分野別に分類した新技術（過去 10 年間の開発技術に限定）と文献数

4. 2 ガイドライン・マニュアル類（375 件）の認知度・活用状況調査結果

調査結果を図 1.4 に示す。認知度や利用割合は、コンサルタント会社では概ね高い一方、政令指定都市では発行機関（図では発行元と表記）により差があるため、新技術の一層の普及のためには、地方公共団体の認知度を高めていくことが重要と考えられた。

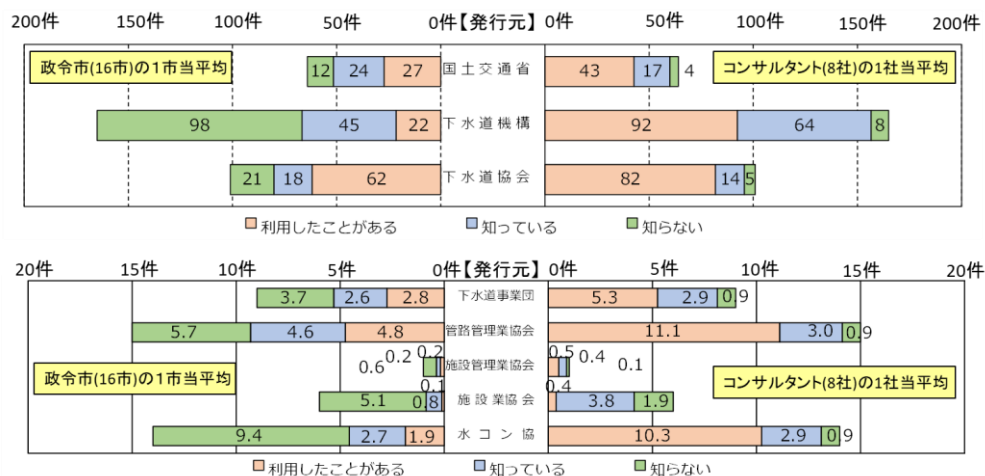


図 1.4 ガイドライン・マニュアル類の認知度・利用数（1 市・1 社当たり平均）

5. エネルギー分科会での検討結果

エネルギー分科会では、令和 3 年度より下水道分野の温室効果ガス排出削減に関し、中期（2030 年）目標に対する効果的な技術の整理と長期（2050 年）目標に対して期待される技術開発等について検討している。令和 4 年度は、①2050 年カーボンニュートラル（以下「CN」という。）に向けたシナリオ再検討、②令和 3 年度にエネルギー分科会で作成した「2050 年 CN の実現に貢献するための下水道技術の技術開発ロードマップ」（以下「分科会ロードマップ」という。）の下水道技術ビジョン・ロードマップへの反映、③下水処理場からの GHG 排出削減目標設定等の検討に向けた簡易ツールの作成、④国総研での取り組みに対する意見照会等を行った。

5. 1 地域特性や社会情勢の変化に応じた 2050 年シナリオ検討

令和 3 年度は、2050 年 CN の実現に貢献するための下水道技術として、どのような対策・技術分野がどの程度削減に貢献できるか、全国一律の条件で検討した。令和 4 年度は全国の処理場を処理規模・処理方式により 6 区分に分類し（表 3）、それぞれの区分毎に、現行の取組の延長線上として想定した「現行トレンドシナリオ」、現行の諸課題の解決や更なる革新的技術の導入実現を想定した「ゲームチェンジシナリオ」の 2 シナリオを設定し、対策メニューを検討、2050 年における CO₂ 排出量を試算した（図 15）。なお、ゲームチェンジシナリオは発生汚泥の全量消化や将来的な技術開発による課題解決を含む等、大胆な仮定を行ったものである。そのため今回試算対象とした技術のみならず、小規模処理場や場外ポンプ場の対策、新たな水処理技術、バイオメタネーション等、幅広く技術開発を進め、CN 達成を目指す必要がある。

試算結果を踏まえ、ロードマップに示された技術開発項目のうち、CN 達成へ向けて速やかに取組むべき項目を表 4 のとおり抽出した。

表 3 想定シナリオ

処理方法	区分	現行トレンドシナリオ	ゲームチェンジシナリオ	
	日平均処理水量 (m ³ /日)			
OD法	1万以下	濃縮⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒コンポスト化	太陽光 発電
標準法	1～10万	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)	
標準法	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	
高度処理	1～10万	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒固形燃料化(乾燥)	
高度処理	10万以上	濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	
スラッジセンター等その他施設		濃縮⇒消化⇒脱水 ⇒場外搬出or焼却(エネルギー自立+N ₂ O排出抑制炉)	濃縮⇒汚泥可溶化⇒消化(バイオマス受入) ⇒脱水⇒焼却(エネルギー自立+超N ₂ O排出抑制炉)	

※各シナリオフローにおける想定技術は試算の都合上設定したものであり、各処理法や規模毎に当該技術のみを推奨するものではない
※上記シナリオに含まない技術（嫌気性 MBR、バイオメタネーション等）についても一部効果試算を実施

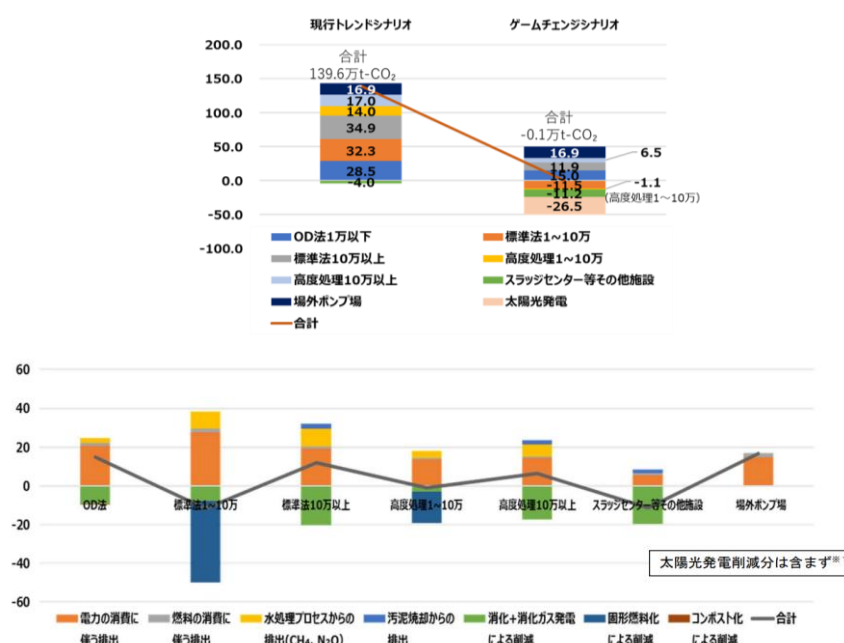


表 4 下水道技術ビジョン・ロードマップ⑨～⑪のうち、速やかに取組むべき技術開発項目

技術開発分野ごとのロードマップ ⑨地域バイオマス 技術目標 1 地域の間伐材等の未利用資源を活用して脱水効率、消化効率、焼却効率を向上させる技術の開発 技術開発項目1-2 様々な状態で発生する、剪定枝、除草刈草、廃棄物等の受け入れ、前処理、メタン発酵技術 技術開発項目1-5 地域で発生したバイオマス・プラスチック等を用いた焼却炉の効率的運転 技術開発項目1-6 高負荷水・バイオマス受入に関する評価手法や受け入れ技術 技術目標 2 下水処理場における多様なバイオマス利用技術を比較するための L C C 評価及び L C A 評価等に関する技術の開発 技術開発項目2-1 各種バイオマスのバイオマス有効利用技術の L C C、L C A 分析・評価に関する技術 技術目標 3 下水中の多様な物質の効率的回収に関する技術の開発 技術開発項目3-1 下水・下水汚泥構成元素の分離・リサイクル技術等の開発 技術目標 4 下水道資源・エネルギーを利用した森林水産物の生産に関する技術の開発 技術開発項目4-2 下水道資源からの熱・電気・CO2等を活用（CO2固定化等含む）したネガティブエミッション技術やトリジェネレーション技術 技術目標 5 高付加価値製品等の製造技術の開発 技術開発項目5-3 汚泥炭化（乾燥、水熱炭化）、発酵等による肥料化技術の効率化 技術開発項目5-4 バイオマスから製造する製品、資材等の無害化、安全性確保に関する技術
技術開発分野ごとのロードマップ ⑩創エネ・再生可能エネルギー 技術目標 1 様々な再生可能エネルギー利用技術を組み合わせた中小規模処理場向けエネルギー自立化技術の開発 技術開発項目2-2 汎用性等新しい嫌気性消化リアクター 技術目標 3 下水道施設と下水資源を活用したエネルギー生産技術の開発 技術開発項目3-4 膜ろ過・嫌気処理による省エネ・創エネ型水処理技術 技術開発項目3-6 汚泥炭化（乾燥、水熱炭化）、熱分解ガス化等による燃料化技術の効率化 技術開発項目3-9 次世代太陽光、風力等技術の下水道施設への適用拡大 技術目標 4 汚泥直接、汚泥由来バイオガスや硫化水素などからメタン、水素、CO₂等の有効利用ガス成分の効率的な分離・濃縮、精製、回収技術の開発 技術開発項目4-2 バイオガスや汚泥や処理水から直接水素を抽出製造する技術 技術開発項目4-3 太陽光発電等を用いて製造したカーボンフリー水素を活用したメタネーション技術 技術目標 5 嫌気性消化に関する各種バイオマス受け入れも視野に入れた運転管理方法や既存システムの改良技術の開発 技術開発項目5-1 嫌気性消化をモニタリングする技術と既存消化槽の活用技術 技術開発項目5-2 高温度濃縮技術、汚泥可溶化、マイクロ波の活用等消化性能を向上させる等による既存消化槽の高効率エネルギー生産・回収型への転換技術 技術開発項目5-3 消化槽ではない既存躯体を用いた消化設備技術 技術目標 6 熱利用による下水処理場でのエネルギー利用効率化技術の開発 技術開発項目6-1 バイオガス発電、汚泥焼却等の廃熱利用の効率化に関する技術
技術開発分野ごとのロードマップ ⑪脱炭素社会に資する下水道システム 技術目標 1 下水道施設の省エネ・創エネとあわせたエネルギー消費最小化とエネルギー自立に向けた技術開発 技術開発項目1-1 下水道施設の省エネ・創エネとあわせたエネルギー消費最小化とエネルギー自立 技術目標 2 水処理・汚泥処理の最適化に資する技術開発 技術開発項目2-1 水処理・汚泥処理の全体最適化による省エネ技術（流入有機物の回収による水処理負荷軽減、担体利用技術、微生物燃料電池等） 技術開発項目2-2 ICT（センサー、CFD等）、AIを活用した省エネ水処理技術（流入水量・水質の変動にあわせた曝気風量の制御や酸素溶解効率の向上等によるエネルギー最適化） 技術開発項目2-3 送風プロセス（送風機、制御システム、散気装置等）の最適化による省エネ技術 技術開発項目2-4 活性汚泥法代替の曝気を行わない省エネ型水処理技術（散水ろ床タイプ、嫌気性処理、湿地処理等） 技術開発項目2-6 汚泥のエネルギー化により、省エネと創エネを同時に行う技術の高度化（低含水化、汚泥移送、燃料化、焼却発電等） 技術開発項目2-7 エネルギーマネジメント 技術開発項目2-8 水循環・環境・物質循環、エネルギー、GHG削減等を勘案した下水道・流域管理・社会システムの全体最適に向けた調査研究等 技術開発項目2-9 化石燃料使用機器の電化やカーボンフリー燃料利活用 技術目標 3 下水道から排出されるCH₄、N₂Oの排出削減に関する技術開発 技術開発項目3-1 水処理におけるN₂O発生機構の解明、微生物群集構造の解析・制御等による排出抑制技術の実用化 技術開発項目3-2 水処理におけるCH₄発生機構の解明、排出抑制技術の開発 技術開発項目3-3 汚泥高温焼却のコスト増加を抑制し、導入を円滑化する技術 技術開発項目3-4 N₂O排出量の少ない、より高度な焼却技術 技術開発項目3-5 省エネ・創エネと同時にN₂O排出抑制を達成する技術 技術目標 4 ベンチマーキング手法を活用し、事業主体のエネルギー効率改善促進 技術開発項目4-1 エネルギー効率に関する適切な技術的指標の開発、ベンチマーキング手法の導入を支援する技術 技術開発項目4-2 省エネ・創エネ・省CO₂性能の合理的な定量化手法・改善技術

5. 2 エネルギー分科会ロードマップの下水道技術ビジョン・ロードマップへの反映

令和3年度のエネルギー分科会において、分科会ロードマップを策定・公表している。令和4年度は、当該内容について下水道技術ビジョン・ロードマップにおける技術開発分野⑨地域バイオマス、⑩創エネ・再生可能エネルギー、⑪脱炭素社会に資する下水道システム、に再整理し、当該ロードマップの改定に併せて内容を反映した。

5. 3 下水処理場からの GHG 排出削減目標設定等の検討に向けた簡易ツールの作成

地球温暖化対策の推進に関する法律の一部改正に伴い、地方公共団体実行計画において、区域における再エネ等 GHG 削減施策の実施目標を策定義務化（指定都市等以外は努力義務化）等が盛り込まれたが、下水道に関する具体的な数値目標を策定している自治体は少数にとどまる。地方公共団体実行計画策定における下水道の目標設定を促すため、検討の足掛かりとなる簡易ツール「下水処理場における温室効果ガス排出削減目標設定支援ツール（案）」を作成した（図16）。ツールは、下水道分野の2030年削減目標に対応した「下水道の削減目標208万t-CO₂編」と、省エネ・創エネ・汚泥焼却の高度化・再エネのうち全処理場に関連する「省エネ」に特化した「下水道の省エネによる削減目標60万t-CO₂編」の2パターン作成し、国総研HP

で公開した。

ツールの主な機能は以下のとおりである。

- ・ 処理方法、処理水量、消費電力量等を入力するのみで自処理場と全国の処理場の平均的な温室効果ガス排出量等と比較
- ・ 処理方法として、水処理方式に寄らず汚泥焼却施設を有する処理場（i.汚泥焼却有）、汚泥焼却施設を有しない処理場（ii.標準法、iii.高度処理、iv.OD 法）の 4 種に分類
- ・ 各種対策メニューから GHG 削減対策を選択し、導入効果を概算（様々な技術を検討できるようフリー記載欄を設定）

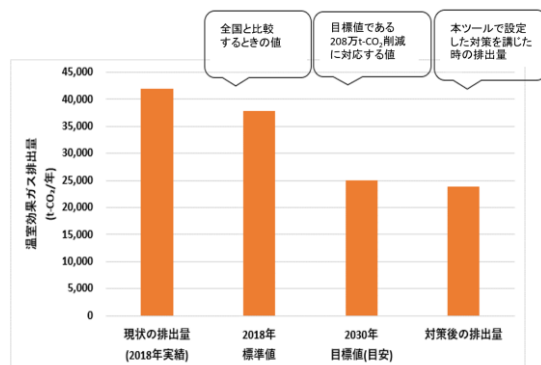


図 1 6 「下水処理場における温室効果ガス排出削減目標設定支援ツール（案）」
（下水道の削減目標 208 万 t-CO₂ 編）によるアウトプット例

5. 4 その他国総研での取り組みに対する意見照会等

下水道分野に限定されない全体最適化に向けた今後の議論、また国総研の調査取組である 1) 廃棄物分野と下水汚泥の一体処理に関する自治体職員の検討の足掛かりとなる手順書の検討、2) 下水道資源の活用による他分野での GHG 削減の貢献評価手法の検討、3) 水処理過程で発生する N₂O の削減に向けた実態調査等について、業務に反映すべく委員に意見を伺った。

6. おわりに

令和 4 年度の調査結果および下水道技術開発会議での議論等を踏まえ、令和 5 年度以降は、下記の取組を主に行う。

- ① 令和 4 年度に整理した課題解決技術支援ツール（試行版）の改良案を踏まえ、改良を行うとともに、一般公開を行い、広報に取り組む。
- ② エネルギー分科会において、脱炭素にかかる技術開発の推進に向け、ロードマップのフォローに向けた情報収集を行うとともに、水処理過程での N₂O 発生メカニズム・制御因子解明等に向けた調査方法の標準化、将来的な全体最適化に向けた検討等を実施していく。
- ③ 現行の技術開発ロードマップの進捗度評価や今後必要な技術等について検討し、エネルギー分科会ロードマップを参考に、ロードマップ全体の見直しの検討を行う。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部，国土技術政策総合研究所下水道研究部：下水道技術ビジョン，2015
- 2) 下水道技術開発レポート 2022：国土技術政策総合研究所資料第 1253 号，2023

3. 下水道地震被害推定システムの精度及び利便性の向上等に関する調査

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

下水道研究室 室 長 吉田 敏章
研 究 官 濱田 知幸

1. はじめに

阪神・淡路大震災以降、頻発する大地震により、下水道施設が被災する事態が相次いでいる。2011年東北地方太平洋沖地震においては、下水道管路 600km 以上、マンホール 15,000 基以上、下水処理場 120 箇所、ポンプ場 112 箇所が被災した¹⁾。ポンプ場及び下水処理場の被災箇所の多くは津波によるものであるが、下水道管路の被害の多くは液状化現象等によるもので、下水処理場の被害が軽微であっても、下水処理場に至る途中で、下水の流れが滞るケースも多く発生した。下水道管路が被災すると、下水道サービスの停止や、道路陥没等の2次災害が発生するなど、地震後の避難や生活再建、災害復旧等に多大な影響を及ぼす恐れがある。そのため、発災時に支援体制を整え影響を最小限に抑えるとともに、限られた予算・人員で効率的に耐震化を進めていく必要がある。

下水道研究室では、発災時に支援体制を整える取組として、下水道地震被害即時推定システム(以下「本システム」という。)を開発している。情報の空白期において支援の目安となる概算の被災延長及び必要調査人数を算定することで、地方公共団体(以下「団体」という。)における体制構築や支援機関の初動体制をサポートすることを目指している。本システムは、下水道管路の管種及び液状化危険度に対応した震度別の被災率(被災延長/布設総延長)を用い、各団体の管種(鉄筋コンクリート管、硬質塩化ビニル管・陶管)別の布設総延長から概算の被災延長を算定し、被災延長から概算の必要調査人数を設定するものである。

また、効率的に耐震化を進めるための取組として、下水道管路の管属性条件別の被災率(被災延長/布設総延長)を整理・分析している。優先的に耐震化を行う下水道管路を抽出することができ、耐震化計画の技術資料としての活用も期待される。また、被災可能性の高い下水道管路の管属性条件を把握することで、地震後に効率的な調査を行うことができる。団体の下水道台帳等に記載された下水道管路の情報を表形式に整理し、被災下水道管路の情報²⁾を用いて下水道管路の管属性条件別の被災率を整理した。これらの結果について分析し、被災可能性の高い下水道管路の管属性条件を検討した。

2. 研究内容

本システムにおける震度を手入力する機能に関して、流域下水道の管路に係る震度の手入力を必要とせず、市町村の震度から自動的に流域下水道の管路の被災延長を推定できるよう改良した。

2011年東北地方太平洋沖地震で被災した3団体、2016年熊本地震で被災した7団体、2018年北海道胆振東部地震で被災した4団体に協力いただき、GIS形式の下水道管路台帳等のデータを収集した。同じ震度でも被災率が異なっており(表1)、下水道管路の管属性により被災する危険性が大きく異なるものと考えられる。下水道管路の被災率について、布設年度、土被り、微地形区分³⁾、管種、管径、施工管理方法等の管属性条件別について整理した。

表 1 下水道管路の布設延長及び被災延長

地震名	震度	布設延長(km)	被災延長(km)	被災率(%)
2011年 東北地方太平洋沖地震 (3団体)	5強	197.2	14.5	7.3
	6弱	255.3	29.0	11.3
	6強	104.4	6.2	6.0
	7	89.0	3.8	4.3
	計	645.9	53.5	8.3
2016年 熊本地震 (8団体)	6弱	212.7	16.8	7.9
	6強	1836.2	38.7	2.1
	7	155.0	22.0	14.2
	計	2203.8	77.5	3.5
2018年 北海道胆振 東部地震 (4団体)	5強	2487.5	3.6	0.1
	6弱	1524.6	0.5	0.04
	6強	101.1	8.1	8.0
	7	19.1	3.2	16.8
	計	4132.3	15.4	0.4
合 計		6982.0	146.4	2.1

【整理項目】

- ① 地震情報： 地震名、各団体の代表計測震度
- ② 基本情報： 管種、管径、土被り、布設年度（液状化対策工法）等
- ③ 地盤条件： 微地形区分³⁾

3. 研究成果

3. 1 布設年度別の被災率

布設年度別の被災延長を整理したところ、耐震指針が改訂⁴⁾された1997年度までに布設された下水道管路の被災率は1.7%、1998年度から埋戻し部における液状化対策工法の緊急提言⁵⁾（以下「緊急提言」という。）の前年度である2003年度までに布設された下水道管路の被災率は4.5%、緊急提言の2004年度以降に布設された下水道管路の被災率は2.2%であった。耐震指針改訂や緊急提言以降に布設された下水道管路の被災率が低いことを見込んでいたが、1997年度の耐震指針改訂以前に布設された下水道管路の被災率が低くなった。そのため、各団体の施工管理方法についてヒアリングしたところ、2004年度より前から緊急提言の施工管理基準と同様に、埋戻し部の締固め度を90%で管理してきた団体があった。この団体を除外して布設年度毎の被災率を整理した(図1)。1997年度までに布設された下水道管路の被災率は5.3%、1998年度から2003年度までに布設された下水道管路の被災率は5.8%、2004年度以降に布設された下水道管路の被災率は3.1%となった。緊急提言以降に布設された下水道管路の被災率が低く、液状化対策工法により被災率が低減したものと考えられる。除外した団体の被災率は低く、下水道管路の属性条件別の被災率の分析を行う上で同団体の影響が大きいと、以後の集計においても同団体を除くこととする。

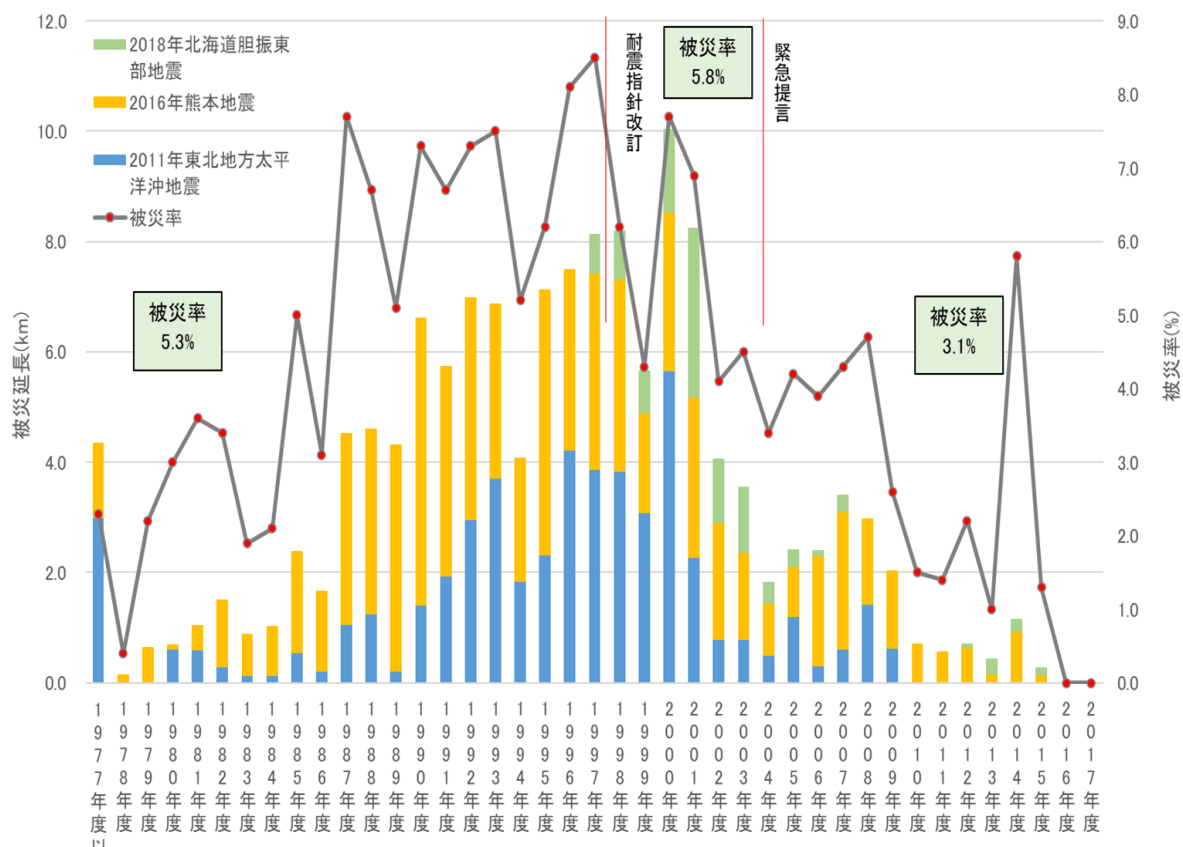


図 1 布設年度別の被災率

3. 2 土被り別の被災率

土被り別の被災率を集計した結果を図 2 に示す。土被りが2.0m超3.0m以下までは、土被りが深いほど被災率は高い傾向があった。土被りが深いほど下水道管路よりも地下水位が高い可能性が大きく、液状化しやすいことが一因として想定される。

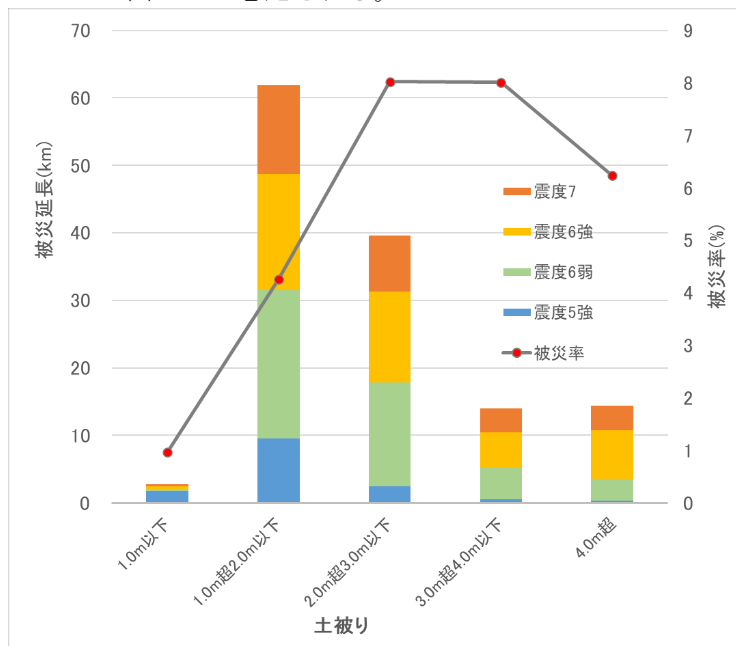


図 2 土被り別の被災率

3. 3 管種・管径別の被災率

コンクリート管、硬質塩化ビニル管（以下「塩ビ管」という。）について集計した結果をそれぞれ図3、図4に示す。管種、管径による顕著な傾向はなかった。

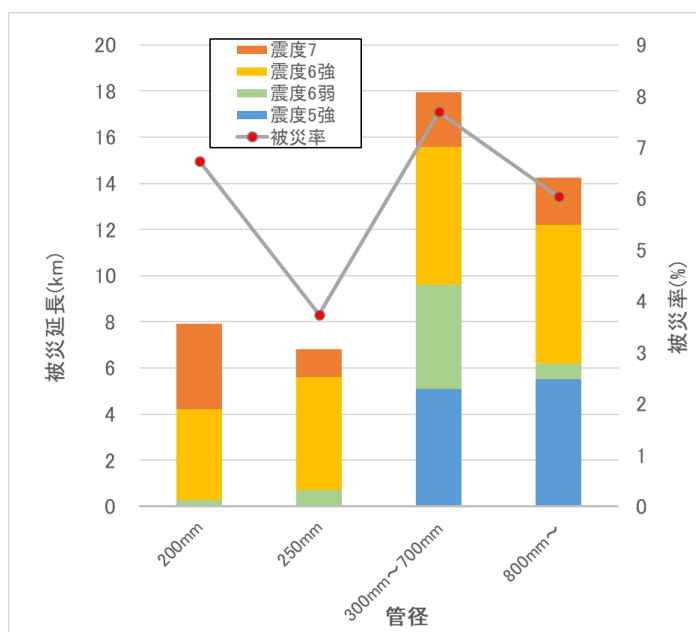


図3 コンクリート管の管径別の被災率

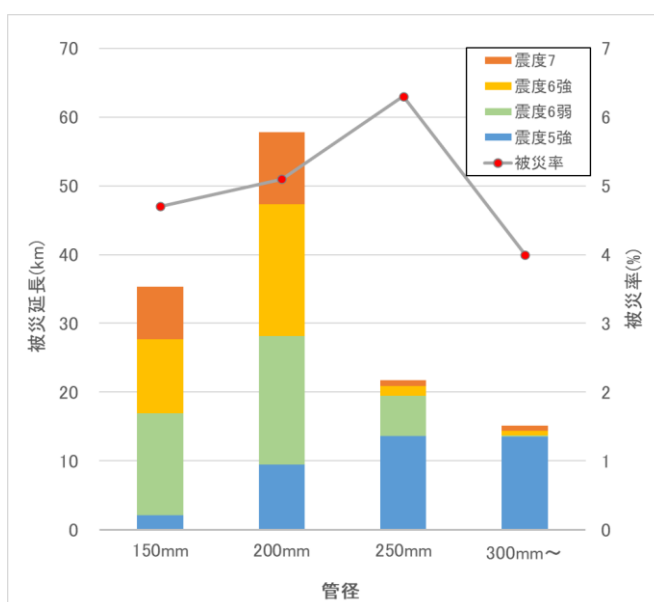


図4 塩ビ管の管径別の被災率

3. 4 微地形区分別の被災率

微地形区分別の被災率を集計した結果を表2に示す。合計の被災率は、「旧河道」の場合に特に高く、「後背湿地」、「干拓地」、「谷底低地」及び「丘陵」の場合でも高かった。一方、地震や震度条件によって被災率の差が大きかった。液状化の発生傾向の強い分類⁶⁾⁷⁾である「旧河道」、「後背湿地」及び「干拓地」の場合に被災率が高い一方で、液状化危険性の発生傾向の弱い「丘陵」及び「谷底低地」の

場合でも被災率が高かった。また、液状化の発生傾向の弱い「ローム台地」、「山地」及び「火山山麓地」場合でも地震や震度条件によって被災率が高い場合があった。液状化危険性の発生傾向の弱い微地形区分について、被災率が高くなる原因の分析が必要となる。

表 2 微地形区分別の被災率

微地形区分	地震	2011年東北地方 太平洋沖地震				2016年熊本地震			2018年北海道 胆振東部地震		合計
	震度	5強	6弱	6強	7	6弱	6強	7	6強	7	
後背湿地	布設延長(km)	8.2	15.3	10.5	4.0	64.7	346.1	22.3	28.8	16.4	516.3
	被災延長(km)	0.4	2.0	2.0	0.1	11.4	13.5	6.8	0.8	2.4	39.4
	被災率(%)	5.3	13.2	19.0	1.5	17.5	3.9	30.6	2.9	14.7	7.6
自然堤防	布設延長(km)		6.5	28.0	1.6	18.7	174.5	0.5			229.8
	被災延長(km)		0.1	2.1	0.0	1.1	6.9	0.0			10.2
	被災率(%)		0.9	7.4	0.0	6.0	3.9	5.7			4.4
ローム台地	布設延長(km)	10.9				53.1	604.8	59.8	16.5	2.8	747.9
	被災延長(km)	0.0				2.3	11.0	7.7	1.8	0.8	23.6
	被災率(%)	0.0				4.3	1.8	12.8	10.8	29.5	3.2
旧河道	布設延長(km)	20.7					2.5				23.1
	被災延長(km)	10.1					0.3				10.4
	被災率(%)	48.7					13.3				44.9
谷底低地	布設延長(km)	20.0	73.5	10.1	13.1		110.7	2.2	44.8		274.3
	被災延長(km)	0.3	13.2	0.4	0.4		1.8	0.3	5.1		21.5
	被災率(%)	1.7	18.0	4.0	3.1		1.6	12.3	11.3		7.8
三角州・海岸低地	布設延長(km)	33.5				4.1	115.0		2.1		154.7
	被災延長(km)	2.9				0.8	0.3		0.4		4.4
	被災率(%)	8.5				19.0	0.3		18.7		2.8
火山山麓地	布設延長(km)					14.7	118.2	67.4	8.9		209.2
	被災延長(km)					0.2	1.0	7.2	0.0		8.5
	被災率(%)					1.2	0.9	10.7	0.0		4.0
火山性丘陵	布設延長(km)	1.2		1.7		0.9	104.7				108.6
	被災延長(km)	0.0		0.0		0.0	0.7				0.7
	被災率(%)	3.3		0.0		0.0	0.6				0.6
火山地	布設延長(km)					1.2	31.6	0.4			33.2
	被災延長(km)					0.0	0.3	0.0			0.3
	被災率(%)					0.0	1.1	0.0			1.0
砂洲・砂礫洲	布設延長(km)	73.1				0.9	8.5				82.4
	被災延長(km)	0.3				0.0	0.0				0.3
	被災率(%)	0.4				0.0	0.0				0.3
山地	布設延長(km)		0.2			1.5	0.9	0.6			3.1
	被災延長(km)		0.0			0.1	0.0	0.0			0.1
	被災率(%)		0.0			9.4	0.0	0.0			4.6
砂礫質台地	布設延長(km)	14.9	43.9	29.3	68.8		140.3				297.2
	被災延長(km)	0.2	3.5	1.6	3.3		0.4				9.0
	被災率(%)	1.5	7.9	5.4	4.8		0.3				3.0
扇状地	布設延長(km)	13.7	68.1	20.8		50.5	27.3	1.8			182.3
	被災延長(km)	0.2	6.3	0.2		0.9	0.1	0.0			7.7
	被災率(%)	1.7	9.2	0.9		1.8	0.3	0.0			4.2
丘陵	布設延長(km)	1.0	47.8	4.0	1.6	0.1	15.6				70.0
	被災延長(km)	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0				4.0
	被災率(%)	0.0	8.3	0.0	1.9	0.0	0.0				5.7
干拓地	布設延長(km)					2.2	35.6				37.8
	被災延長(km)					0.0	2.4				2.4
	被災率(%)					0.0	6.6				6.2
不明	布設延長(km)						0.04				0.04
	被災延長(km)						0				0
	被災率(%)						0				0
合 計	布設延長(km)	197.2	255.3	104.4	89.0	212.7	1836.2	155.0	101.1	19.1	2969.9
	被災延長(km)	14.5	29.0	6.2	3.8	16.8	38.7	22.0	8.1	3.2	142.3
	被災率(%)	7.3	11.3	6.0	4.3	7.9	2.1	14.2	8.0	16.8	4.8

4. おわりに

令和2年度から令和4年度にかけて下水道管路の管属性毎の被災率の整理し、本システムの精度向上を図るための情報を整理した。また、本システムの利便性向上のため、流域下水道の震度情報を自動入力するようにした。本システムの被災時の活用方法について、下水道管路の被災が見込まれる場合は国土交通省水管理・国土保全局下水道事業課に情報提供している。また、地方公共団体が下水道管路の耐震化計画を策定する際の参考とするために下水道管路の管属性条件について取りまとめた技術資料を作成し、管理する下水道管路の被災しやすさの情報を提供する。

謝 辞

下水道管路の属性別の被災率の分析にあたり、関連資料の提供及びヒアリング等に協力いただいた地方公共団体の皆様に心より感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 下水道地震・津波対策技術検討委員会，下水道地震・津波対策技術検討委員会報告書，2012.3
- 2) 国土技術政策総合研究所，下水道管路地震被害データベース
(https://www.nilim.go.jp/lab/cbg/zishin_db.html)
- 3) 若松加寿江・松岡昌志、全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用，地震工学会誌 No.18, pp.35-38、2013
- 4) 公益社団法人日本下水道協会，下水道施設の耐震対策指針と解説－2014年版－，2014.5
- 5) 下水道地震対策技術検討委員会，管路施設の本復旧にあたっての技術的緊急提言，2004.11
- 6) 公益社団法人日本下水道協会，下水道の地震対策マニュアル 2014年版 p207，2014.10
- 7) 国土交通省，地形区分に基づく液状化の発生傾向 (<https://www.mlit.go.jp/toshi/content/001388130.pdf>)

4. 気候変動等の影響を踏まえた

効率的な都市浸水対策推進に関する調査

(研究期間 令和4年度～令和6年度)

下水道研究室 室長 吉田 敏章

主任研究官 松浦 達郎

1. はじめに

近年、下水道施設の能力を超える局地的な大雨等が頻発するとともに、気候変動の影響によってその頻度が高まる可能性が指摘されている。更に都市化の進展等に伴って、都市部での浸水被害リスクが増大していることから、気候変動等の影響を踏まえた適切な計画雨水量を設定し、都市浸水対策を推進する必要がある。

国土交通省では令和3年7月に雨水管理総合計画策定ガイドライン(案)¹⁾(以下「ガイドライン」という。)を改定し、気候変動の影響を踏まえた雨水管理総合計画の策定を推進している。ガイドラインでは、気候変動の影響を踏まえた計画降雨は、当面、現在のハード整備に用いる計画降雨(以下「現在の計画降雨」という。)に、2℃上昇を考慮した降雨量変化倍率(1.10又は1.15)を乗じて算定するものとしている。降雨量変化倍率を乗じる前の現在の計画降雨については、その算出根拠となっている雨量データの収集期間が降雨量変化倍率の算定に用いている気候変動モデルの現在気候の実験期間(1951～2010年)と大きく乖離していないものである必要があることから、現在の計画降雨の妥当性について確認することとなっている。

現在の計画降雨は、2010年までの降雨データを用いた定常水文統計解析により算定することを基本としている。また、2011年以降の降雨データを用いて現在の計画降雨を作成している場合は、2011年以降の降雨データを除くか、2011年以降の降雨データのトレンドを確認し、定常と考えられる期間の降雨データのみを使用して、現在の計画降雨を作成する。したがって、2011年以降の降雨データを用いる場合は、使用する期間における降雨データのトレンドについて確認することが必要である。

令和4年度は、地方公共団体における気候変動の影響を踏まえた計画降雨の検討を支援することを目的として、気象庁が所管する観測地点を対象に、各地点における降雨データのトレンドについて調査し、全国的な降雨量のトレンドの状況について整理を行うとともに、トレンドに影響する要因について分析を行った。

2. 調査方法

2. 1 全国的な降雨データのトレンドに関する調査

本調査では、気象庁所管の降雨観測地点を対象に、各地点における観測開始から1980年～2021年の各年までの年最大10分降雨量及び年最大60分降雨量のトレンドについて、Mann-Kendall検定²⁾(有意水準5%)を行い、各地点におけるトレンドの状況について整理した。なお本調査では、年最大10分降雨量と年最大60分降雨量の両方でトレンドが無かった場合のみ、トレンドがない地点として整理した。

Mann-Kendall 検定は、トレンドが線形か非線形かを問わずに水文時系列データのトレンドを検定するノンパラメトリックな手法である。Mann-Kendall 検定は、ある変量の水文時系列データに対して、それが独立で同一の確率分布に従うという帰無仮説が成立するかどうかを検定するものであり、この仮説が棄却されると、その水文時系列データに変化傾向が有るとみなされる。ここで、本検定の帰無仮説 H_0 と対立仮説 H_1 は以下に示すとおりである。

帰無仮説 H_0 : n 個のデータ $\{X_1, X_2 \dots X_n\}$ が独立で同一の確率分布に従う。

対立仮説 H_1 : n 個のデータ $\{X_1, X_2 \dots X_n\}$ が同一の確率分布に従わない。

また Mann-Kendall 検定では、式 4 で与えられる統計量 Z を以下のように定義する。

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(X_j - X_k) \quad (\text{式 1})$$

$$\text{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (\text{式 2})$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18} \left(n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right) \quad (\text{式 3})$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (\text{式 4})$$

ここに、 e_i はデータ $\{X_1, X_2 \dots X_n\}$ を昇順に並べたとき、同じ値が連続して出現する個数を表し、 n はその組数を表す。ここで、有意水準を α としたとき、標準正規変量 Z が $|Z| > z_{1-\alpha/2}$ のとき仮説 H_0 は棄却される。また、 $S > 0$ のとき、水文時系列データ X_i は上昇傾向であることを示し、 $S < 0$ のときは下降傾向であることを示す。

検定は、観測開始から 1980 年～2021 年の各年において、20 年以上のデータ期間を有する地点を対象とした。そのため、検定対象の地点数は、1980 年時点で 143 地点、2021 年時点で 800 地点となった。これは、アメダスによる 10 分データの配信が 1993 年頃から開始され、20 年経過した 2014 年頃より検定対象となる地点数が増加したためである。

また、検定対象とした地点における降雨データ期間の年数は、2021 年の時点で平均 36 年、最大 92 年、最小 20 年であった。

2. 2 降雨データのトレンドに影響する要因に関する調査

本調査では、2. 1で実施したトレンドの検定結果のうち、観測開始～2021年の検定結果を用いて、トレンドが有る（以下、「非定常」という。）地点と、トレンドが無い（以下、「定常」という。）地点の特性を比較し、トレンドの有無に影響する要因について整理した。

各地点の特性を比較するための指標は、各観測地点が有するデータの中から、観測環境及び降雨量に関係すると考えられるものを選定し用いることとした。（表1）

観測環境に関係する指標は、各地点が位置する地域区分、標高及び都市化率を用いた。なお地域区分は、降雨特性の類似性から分類した15の区分³⁾とした。また都市化率⁴⁾は、降雨観測地点を中心とした半径7kmの円内における人工被覆率（建物用地、道路、鉄道、その他の用地の占める割合）とし、人口被覆率の算出は国土数値情報土地利用3次メッシュデータを用いた。

降雨量に関係する指標は、気温の変化率及び飽和水蒸気量を用いた。なお気温の変化率は、日平均気温の月平均値、日最高気温の月平均値、日最低気温の月平均値（それぞれ「月平均気温」、「月平均最高気温」、「月平均最低気温」という。）について、各地点における気温の観測開始～2021年の観測データを用いて作成した回帰直線の傾きとした。また、飽和水蒸気量は、式5及び式6を用いて月平均気温、月平均最高気温及び月平均最低気温より算出した（それぞれ「月平均飽和水蒸気量」、「月平均最高飽和水蒸気量」、「月平均最低飽和水蒸気量」という。）。

$$a(T) = \frac{217 \times e(T)}{T + 273.15} \quad (\text{式 } 5)$$

$$e(T) = 6.11 \times 10^{7.5T/(T+237.3)} \quad (\text{式 } 6)$$

ここで、 T は降雨観測地点における気温（℃）、 $a(T)$ は T ℃における飽和水蒸気量（g/m³）、 $e(T)$ は T ℃における飽和水蒸気圧（hPa）を示す。

表1 特性を比較するための指標

項目	算出方法	整理内容
観測環境に関する項目	地域区分	降雨特性の類似性から分類した15地域区分 ³⁾ 毎にMann-Kendall検定の結果を抽出 ・定常若しくは非定常となった地点数 ・非定常となった地点の割合
	標高	観測地点の標高値 以下の項目について100m以上と100m超で区分し整理 ・定常若しくは非定常となった地点数 ・非定常となった地点の割合
	都市化率	観測地点を中心とした半径7kmの円内における人工被覆率（建物用地、道路、鉄道、その他の用地の占める割合） 昭和58年度及び平成28年度の国土数値情報土地利用3次メッシュデータを用いて整理
	都市化率の差分	平成28年度と昭和58年度の都市化率の差分 昭和58年度及び平成28年度の国土数値情報土地利用3次メッシュデータを用いて整理
降雨量に関する項目	月平均気温の変化率	観測開始～2021年の月平均気温の観測データを用いて作成した回帰直線の傾き 1～12月の各月について整理
	月平均最高気温の変化率	観測開始～2021年の月平均最高気温の観測データを用いて作成した回帰直線の傾き 1～12月の各月について整理
	月平均最低気温の変化率	観測開始～2021年の月平均最低気温の観測データを用いて作成した回帰直線の傾き 1～12月の各月について整理
	月平均飽和水蒸気量	月平均気温を用いた飽和水蒸気圧より算出 1～12月の各月について整理
	月平均最高飽和水蒸気量	月平均最高気温を用いた飽和水蒸気圧より算出 1～12月の各月について整理
	月平均最低飽和水蒸気量	月平均最低気温を用いた飽和水蒸気圧より算出 1～12月の各月について整理

3. 調査結果

3. 1 全国的な降雨データのトレンドに関する調査

Mann-Kendall 検定による各地点の検定結果を表 2 及び図 1 に示す。これらの結果より、非定常となった地点の割合は、2010 年頃までは概ね 10%前後で推移していることがわかった。また、2011 年以降は増加傾向を示しており、観測開始～2021 年の検定期間で非定常となった地点の割合は約 25%であった。このことから、近年のデータを加えることで非定常を示す地点の割合が大きく増加していることがわかった。これは、近年の降雨データに対して気候変動の影響が既に現れている可能性を示唆していると考えられる。

表 2 非定常となった地点の数と割合

検定期間	観測 地点数	非定常となった地点		検定期間	観測 地点数	非定常となった地点	
		地点数	割合			地点数	割合
観測開始～1980年	143	11	7.7%	観測開始～2001年	155	15	9.7%
観測開始～1981年	143	13	9.1%	観測開始～2002年	155	20	12.9%
観測開始～1982年	144	11	7.6%	観測開始～2003年	155	18	11.6%
観測開始～1983年	145	10	6.9%	観測開始～2004年	155	20	12.9%
観測開始～1984年	145	15	10.3%	観測開始～2005年	155	18	11.6%
観測開始～1985年	147	11	7.5%	観測開始～2006年	155	17	11.0%
観測開始～1986年	149	14	9.4%	観測開始～2007年	155	18	11.6%
観測開始～1987年	150	15	10.0%	観測開始～2008年	155	18	11.6%
観測開始～1988年	150	14	9.3%	観測開始～2009年	155	16	10.3%
観測開始～1989年	153	15	9.8%	観測開始～2010年	155	19	12.3%
観測開始～1990年	153	15	9.8%	観測開始～2011年	155	21	13.5%
観測開始～1991年	153	18	11.8%	観測開始～2012年	155	26	16.8%
観測開始～1992年	153	21	13.7%	観測開始～2013年	155	26	16.8%
観測開始～1993年	155	19	12.3%	観測開始～2014年	552	140	25.4%
観測開始～1994年	155	17	11.0%	観測開始～2015年	649	138	21.3%
観測開始～1995年	155	21	13.5%	観測開始～2016年	687	163	23.7%
観測開始～1996年	155	22	14.2%	観測開始～2017年	720	174	24.2%
観測開始～1997年	155	16	10.3%	観測開始～2018年	743	167	22.5%
観測開始～1998年	155	19	12.3%	観測開始～2019年	763	176	23.1%
観測開始～1999年	155	20	12.9%	観測開始～2020年	800	187	23.4%
観測開始～2000年	155	21	13.5%	観測開始～2021年	800	199	24.9%

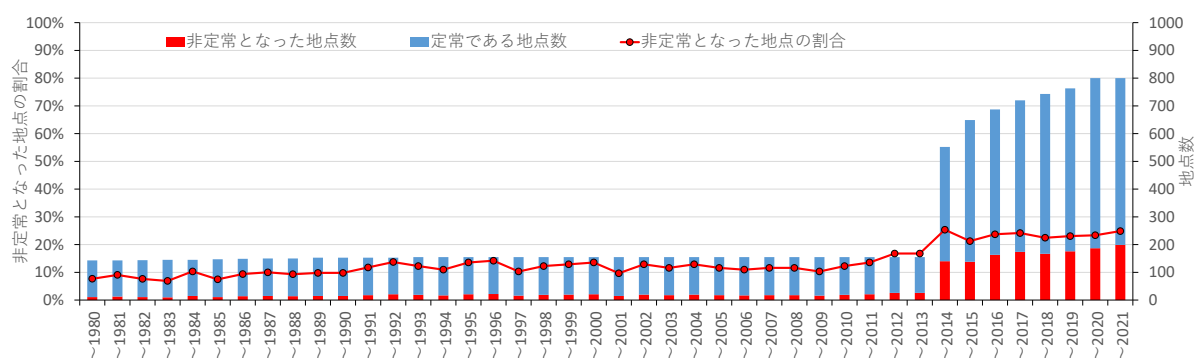


図 1 非定常となった地点の推移

3. 2 降雨データのトレンドに影響する要因に関する調査

2021 年時点で 20 年以上のデータ期間を有する 800 地点のうち、気温の観測が実施されている 629 地点を対象に、表 1 に示した指標について、定常である地点と非定常となった地点の平均値を整理し、比較を行った。なお、比較対象とした 629 地点における気温データ期間の年数は、2021 年の時点で平均 39 年、最大 132 年、最小 20 年であった。

(1) 地域区分

各地点の検定結果を地域区分毎に整理した結果を図 2 に示す。地域区分毎の地点数が異なるため一律に比較することは難しいが、非定常となった地点の割合を比較すると、東北東部、瀬戸内、四国南部、九州北西部及び九州南東部が 20%以上と比較的高いことが分かった。

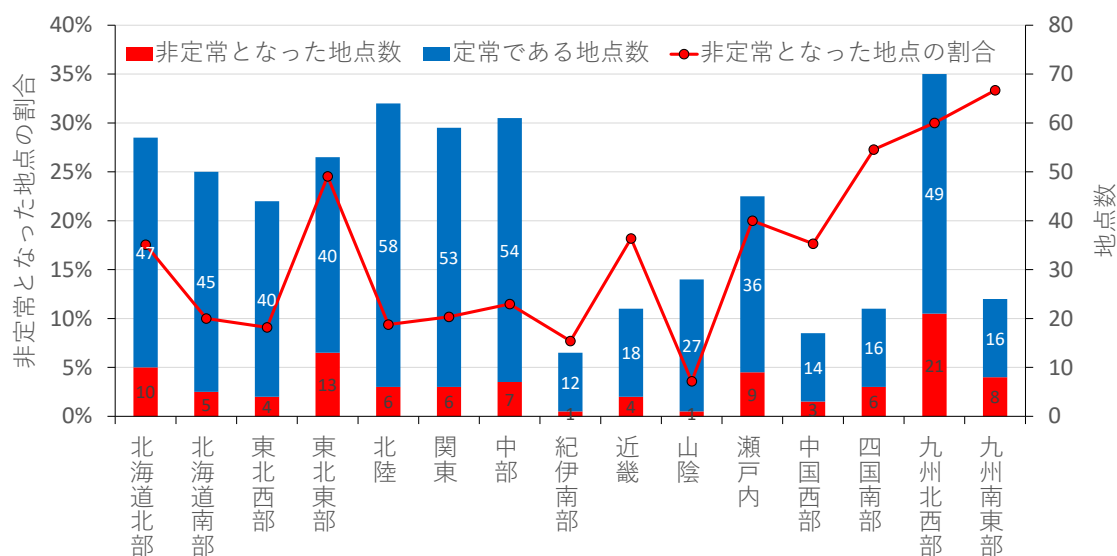
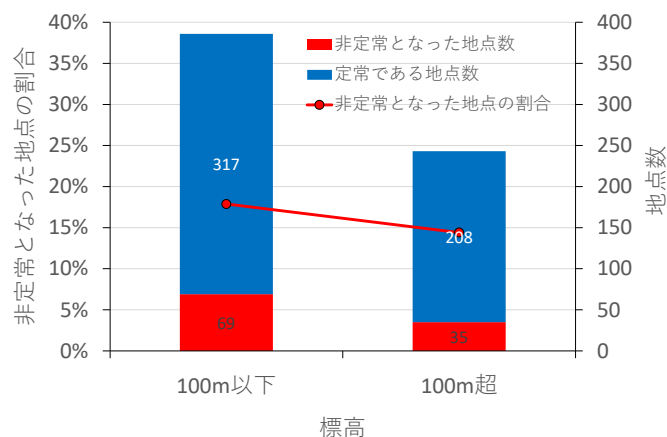


図 2 地域区分毎の比較

(2) 標高

各地点の検定結果を標高毎に整理した結果を図 3 に示す。今回は、標高 100m 以下と 100m 超で区分し整理を行った。標高毎の地点数が異なるため一律に比較することは難しいが、非定常となった地点の割合を比較すると、非定常となった地点の割合は、100m 以下では約 18%、100



超では約 14%と 100m 以下の方がやや高かったが、大きな違いは見られなかった。

図 3 標高毎の比較

(3) 都市化率及び都市化率の差分の比較

都市化率及び都市化率の差分について整理した結果を表3、図4に示す。都市化率及び都市化率の差分は、いずれも非定常となった地点の方が高かったが、定常である地点と非定常となった地点の差は1%程度であり、大きな違いは見られなかった。

表3 都市化率及び都市化率の差分

項目		定常	非定常	定常-非定常
都市化率(%)	S52	7.9%	8.6%	-0.7%
	H28	12.3%	13.6%	-1.3%
都市化率の差分	H28 - S52	4.8%	5.5%	-0.7%

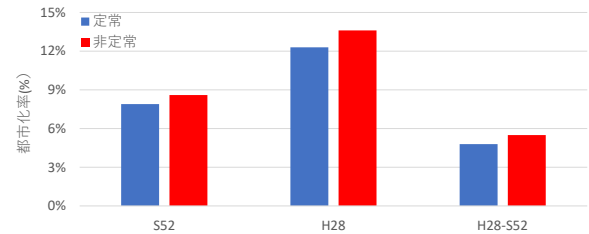


図4 都市化率及び都市化率の差分

(4) 月平均気温等の変化率の比較

月平均気温、月平均最高気温及び月平均最低気温の変化率について整理した結果を表4及び図5-1～図5-3に示す。月平均気温及び月平均最低気温の変化率は、非定常となった地点の方が大きい月が多い傾向が見られた。一方、月平均最高気温の変化率は、非定常となった地点の方が小さい月が多く、月平均気温及び月平均最低気温とは逆の傾向が見られた。しかし、いずれも最大で0.01℃/年にも達しない程度の差であり、大きな違いは見られなかった。

表4 月平均気温等の変化率

項目		定常	非定常	定常-非定常
月平均気温の変化率	1月	0.0210	0.0209	0.0000
	2月	0.0386	0.0377	0.0009
	3月	0.0439	0.0406	0.0033
	4月	0.0176	0.0187	-0.0011
	5月	0.0333	0.0338	-0.0005
	6月	0.0217	0.0227	-0.0011
	7月	0.0297	0.0279	0.0018
	8月	0.0252	0.0259	-0.0007
	9月	0.0325	0.0333	-0.0008
	10月	0.0337	0.0358	-0.0020
	11月	0.0238	0.0230	0.0008
	12月	0.0070	0.0090	-0.0020
月平均最高気温の変化率	1月	0.0284	0.0281	0.0004
	2月	0.0536	0.0512	0.0024
	3月	0.0632	0.0580	0.0052
	4月	0.0337	0.0330	0.0007
	5月	0.0468	0.0459	0.0009
	6月	0.0361	0.0338	0.0023
	7月	0.0423	0.0384	0.0039
	8月	0.0384	0.0372	0.0012
	9月	0.0454	0.0436	0.0018
	10月	0.0369	0.0381	-0.0012
	11月	0.0323	0.0292	0.0031
	12月	0.0081	0.0085	-0.0004
月平均最低気温の変化率	1月	0.0165	0.0167	-0.0002
	2月	0.0281	0.0288	-0.0007
	3月	0.0318	0.0288	0.0030
	4月	0.0082	0.0098	-0.0016
	5月	0.0294	0.0294	-0.0000
	6月	0.0187	0.0213	-0.0026
	7月	0.0295	0.0278	0.0017
	8月	0.0242	0.0248	-0.0006
	9月	0.0301	0.0316	-0.0015
	10月	0.0354	0.0368	-0.0014
	11月	0.0197	0.0195	0.0002
	12月	0.0064	0.0088	-0.0025

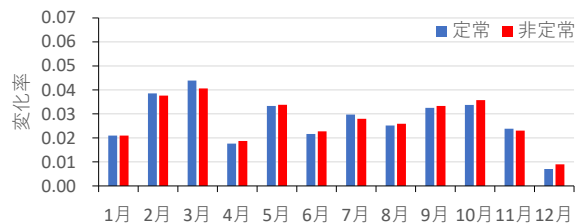


図5-1 月平均気温の変化率

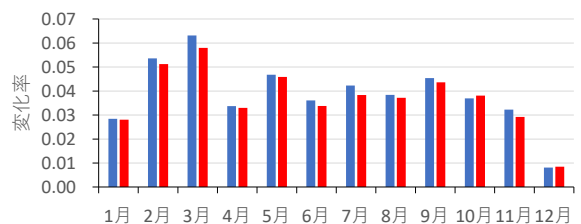


図5-2 月平均最高気温の変化率

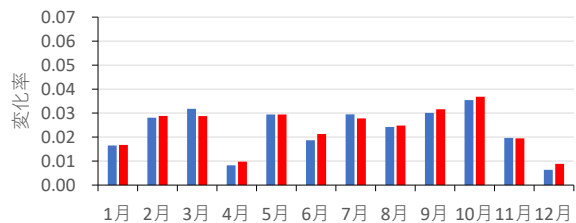


図5-3 月平均最低気温の変化率

表 5 月平均飽和水蒸気量等

項目		定常	非定常	定常-非定常
月平均 飽和水蒸気量 (g/m ³)	1月	5.6	5.9	-0.3
	2月	5.8	6.2	-0.3
	3月	7.2	7.6	-0.4
	4月	10.1	10.5	-0.5
	5月	13.5	14.0	-0.5
	6月	16.9	17.4	-0.5
	7月	21.0	21.7	-0.7
	8月	22.4	23.0	-0.6
	9月	18.1	18.8	-0.6
	10月	13.0	13.5	-0.5
	11月	9.2	9.6	-0.4
	12月	6.6	6.9	-0.3
月平均最高 飽和水蒸気量 (g/m ³)	1月	7.3	7.8	-0.4
	2月	7.8	8.3	-0.5
	3月	9.7	10.3	-0.6
	4月	13.8	14.5	-0.7
	5月	18.3	19.0	-0.7
	6月	21.8	22.5	-0.7
	7月	26.6	27.5	-1.0
	8月	28.7	29.6	-0.9
	9月	23.4	24.3	-0.9
	10月	17.2	18.1	-0.9
	11月	12.3	12.9	-0.7
	12月	8.7	9.2	-0.5
月平均最低 飽和水蒸気量 (g/m ³)	1月	4.3	4.5	-0.1
	2月	4.4	4.6	-0.2
	3月	5.4	5.6	-0.3
	4月	7.4	7.7	-0.3
	5月	10.1	10.4	-0.4
	6月	13.5	14.0	-0.5
	7月	17.3	17.9	-0.6
	8月	18.3	18.7	-0.5
	9月	14.6	15.1	-0.5
	10月	10.0	10.4	-0.3
	11月	7.1	7.3	-0.2
	12月	5.1	5.3	-0.1

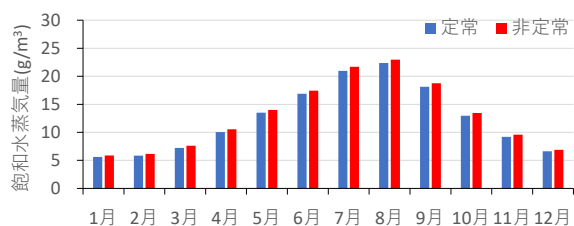


図 6-1 月平均飽和水蒸気量

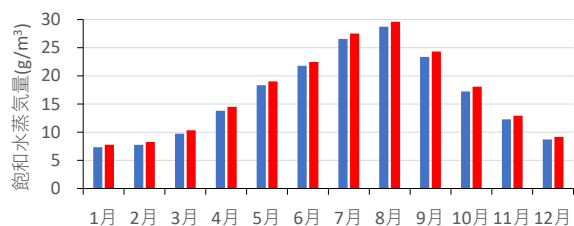


図 6-2 月平均最高飽和水蒸気量

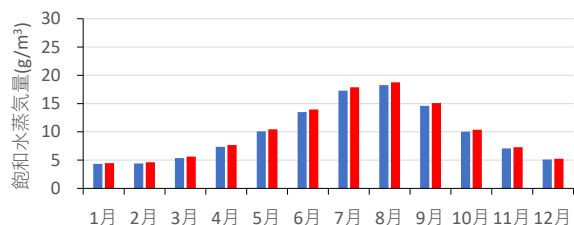


図 6-3 月平均最低飽和水蒸気量

(3) 月平均飽和水蒸気量等の比較

月平均飽和水蒸気量、月平均最高飽和水蒸気量及び月平均最低飽和水蒸気量について整理した結果を表 5 及び図 6-1～図 6-3 に示す。月平均飽和水蒸気量、月平均最高飽和水蒸気量及び月平均最低飽和水蒸気量のいずれもが、全ての月において、非定常となった地点の方が多かった。また、いずれも 7 月において差が最大となった。

5. まとめ

気象庁所管の降雨観測地点を対象に、年最大 10 分及び 60 分降雨量について、Mann-Kendall 検定により観測開始から 1980 年～2021 年の各年までのトレンドの検定を実施し、全国の降雨観測地点における降雨データのトレンドの状況について整理するとともに、降雨データのトレンドに影響する要因について整理を行った。調査から得られた成果をとりまとめると以下のとおりである。

- ① 非定常となった地点の割合は、2010 年頃までは概ね 10%前後で推移しているが、2011 年以降は増加傾向を示し、2010 年時点（約 12%）と比べると、2021 年時点（約 25%）ではほぼ倍増していた。これは、近年の降雨データに対して気候変動の影響が既に現れている可能性を示唆していると考えられる。
- ② 降雨データのトレンドに影響する要因について、観測環境に関する指標と降雨量に関する

指標に区分し整理を行った。その結果、観測環境に関する指標では、15の地域区分のうち東北東部、瀬戸内、四国南部、九州北西部及び九州南東部において、非定常となった地点の割合が比較的高いことがわかった。一方、標高、都市化率及び都市化率の差分では、定常である地点と非定常となった地点に大きな違いは見られなかった。

- ③ 降雨量に関する指標では、月平均気温の変化率及び月平均最低気温の変化率において、非定常となった地点の方が大きい傾向が見られた。また、月平均最高気温の変化率では、非定常となった地点の方が小さい傾向がみられたが、いずれも最大で0.01℃/年にも達しない程度の差であり、大きな差は見られなかった。
- ④ 飽和水蒸気量においては、いずれも非定常となった地点の方が多く、7月において最大となった。

本調査では、計画降雨の設定に用いる降雨データの全国的なトレンドの状況を整理するとともに、都市化率及び気温に関する指標について、定常である地点と非定常となった地点毎に平均値で整理し、それぞれの特性を比較することで、降雨データのトレンドに影響する要因について整理を行った。その結果、非定常となった地点の割合が比較的多い地域があること、非定常となった地点の方が、平均的に飽和水蒸気量が多いことがわかった。

今回整理した降雨データの全国的なトレンドの状況は、地方公共団体がガイドラインに基づき、気候変動の影響を踏まえた計画降雨の検討を実施する際の参考となるように、データベース等に再整理した上で公表する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：雨水管理総合計画策定ガイドライン（案），令和3年11月
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準調査編，第3章第1節-3，平成26年4月（令和5年5月部分改訂）
- 3) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 別紙1，2021年4月改訂
- 4) 気象庁ホームページ：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/himr/himr_1-1-1.html

5. 下水道管路の

効率的なストックマネジメント実施に関する調査

(研究期間 令和4年度～令和7年度)

下水道研究室 室長 吉田 敏章
研究官 鈴木 航平
交流研究員 成瀬 直人

1. はじめに

令和3年度末時点での全国の下水道管路管理延長（本管の延長であり、取付け管の延長は含まない。）は約49万km、そのうち布設後経過年数（以下「経過年数」という。）が標準的な耐用年数である50年を経過した管きょ（以下「老朽管」という。）の延長は約3万kmに達している。更に40年経過延長は約9万km、30年経過延長は約20万kmと、今後老朽管の増加に従い、道路陥没などの発生リスクはますます高まっていくものと予想される（図1）。このような状況の中、下水道の機能を持続的に確保していくためには、管路の点検・調査から修繕・改築に至るプロセスを計画的に実施していくことが重要である。平成29年に国土交通省が策定した「新下水道ビジョン加速戦略」では、重点項目の一つとして「マネジメントサイクルの確立」が掲げられ、維持管理情報のデータベース化を前提に、“維持管理を起点とした”マネジメントサイクルの確立が重要であるとされた¹⁾。更に令和2年には、「維持管理情報等を起点としたマネジメントサイクル確立に向けたガイドライン（管路施設編）」が策定・公表され、下水道管路の維持管理等に関する情報の管理方法やICTを活用した効率的・効果的な点検・調査方法等について取りまとめられたところである²⁾。

本調査は、全国の地方公共団体（以下「団体」という。）における下水道管路の効率的な管理を支援するための研究の一環として、下水道管路に起因する全国の道路陥没の発生傾向と管材規格等の変遷との関係を整理・分析したものである。併せて、下水道管路施設の管理については、点検調査の速度向上や困難箇所での導入等、点検調査機器の技術開発に対するニーズが高いことから、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）に設置した下水道管路模擬施設において、各種点検調査機器の性能確認・比較実験を実施した。

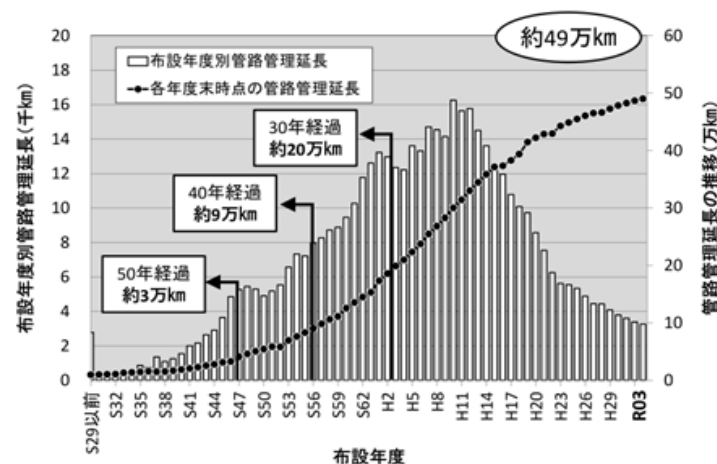


図1 管路管理延長と老朽管延長

2. 下水道管路に起因する道路陥没の発生傾向と関連指針・管材規格の変遷³⁾

本研究室では、団体の効率的な維持管理の一助として、経過年数を説明変数とした「健全率予測式」を作成し公開している。一方で全国の団体で発生した下水道施設に起因する道路陥没（以下「陥没」という。）の件数を布設年度別で整理すると、陥没発生年度（以下「発生年度」という。）が変化しても昭和48年度頃がピークとなっていることから（図2）、経過年数よりも布設年度による影響が強いことが考えられる。この要因の一つとして、鉄筋コンクリート管（以下「HP」という。）において、昭和40年代後半を境に普及した膨張性混和材料（以下「膨張材」という。）の導入により、下水中の硫酸塩に対する抵抗性が大きく変化している可能性がある⁴⁾。

経過年数を説明変数とした健全率予測式は、予測対象が布設年度によらず同じ物性を有することを前提としており、物性の変化による影響などを反映できないため、本研究においては、陥没件数と管材規格などの変遷との関係性をより詳細に調べるため、表1に示す布設期間の区分別の陥没発生傾向と、管材規格及び「下水道施設計画・設計指針と解説」（以下「設計指針」という。）の変遷について調査を行った。

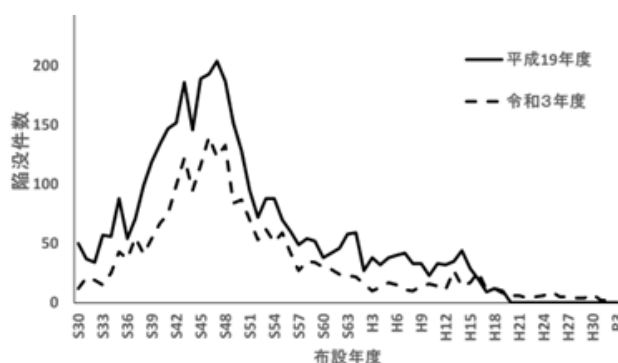


図2 布設年度別陥没件数（全管種）

表1 布設期間の区分

布設期間	読替え
M38～S20	期間A
S21～S30	期間B
S31～S40	期間C
S41～S50	期間D
S51～S60	期間E
S61～H7	期間F
H8～H17	期間G

2. 1 調査方法

発生年度及び表1に示す布設期間別の本管を起因とした陥没件数と管きょ延長（1,000km換算）から、1,000kmあたりの陥没件数（以下「発生割合」という。）をHP、陶管（以下「CP」という。）、塩ビ管（以下「VU」という。）別に算出し、整理した。ここでは、各布設期間の発生割合の平均値が直前の布設期間と比較して50%以上かつ3件/1,000km以上減少している布設期間を、発生割合の減少幅（以下「減少幅」という。）が大きい布設期間として抽出した。

減少幅が大きい布設期間における管材規格及び設計指針（表2）の変遷から、構造や材質の変化が大きい項目を整理した。適用にかかる時間を考慮し、直前の布設期間の中頃から各布設期間の中頃までを陥没傾向に影響を与える項目制定年度として定義した（表3）。

表2 管材規格・設計指針一覧

名称	文中略称
日本下水道協会規格：下水道用鉄筋コンクリート管	JSWAS A-1
日本下水道協会規格：下水道用硬質塩化ビニル管	JSWAS K-1
日本下水道協会規格：下水道用硬質塩化ビニル卵形管	JSWAS K-3
日本下水道協会規格：下水道用陶製卵形管	JSWAS R-1
日本産業規格：遠心力鉄筋コンクリート管	JIS A 5303
日本産業規格：陶管	JIS R 1201
日本産業規格：陶管（異形管）	JIS R 1202
下水道施設計画・設計指針と解説	設計指針

表3 項目制定年度

項目制定年度	影響を受ける布設期間
	期間A
S15～S24	期間B
S25～S34	期間C
S35～S44	期間D
S45～S54	期間E
S55～H2	期間F
H3～H13	期間G

2. 2 調査結果

各発生年度における布設期間別の発生割合の整理結果を管種別に示す。HPの発生割合は、期間A、Bにおいて減少傾向を示し、平成29年度以降は期間Cと同程度となっており、期間C～Gでは横ばいの傾向を示した（図3）。減少幅が大きい布設期間は期間D、Eとなった（表4）。CPの発生割合は、すべての布設期間で横ばいの傾向を示した（図4）。減少幅が大きい布設期間は期間Eとなった（表5）。VUに関しては、期間C以前は管きょ延長が少ないので、期間D以降で整理した。発生割合はすべての布設期間で横ばいの傾向を示した（図5）。減少幅が大きい布設期間は期間Eとなった（表6）。

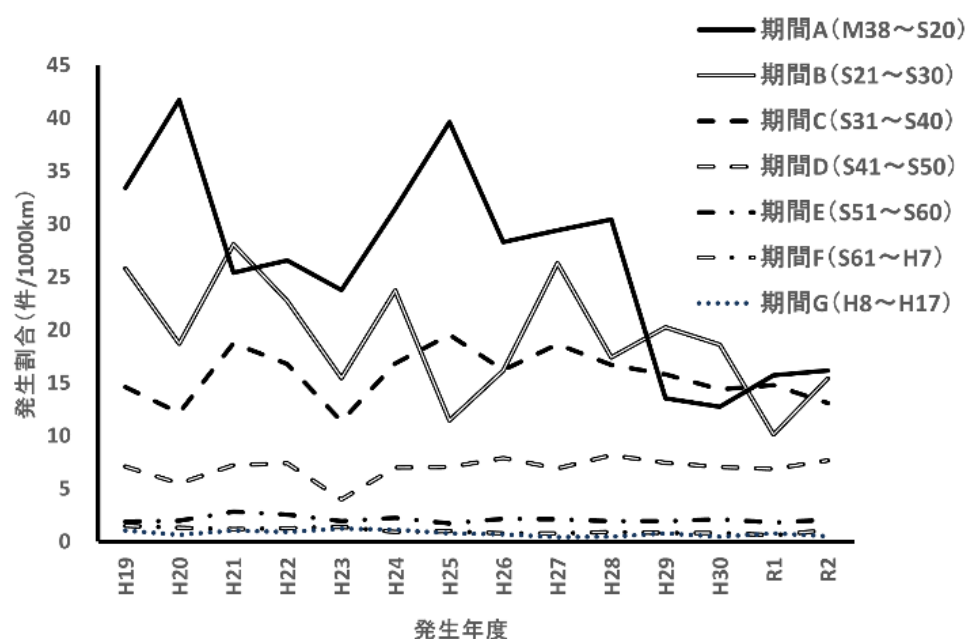


図3 発生年度、布設期間別発生割合（HP）

表4 発生割合（HP）

発生割合 (件/1,000km)		布設期間						
		期間A	期間B	期間C	期間D	期間E	期間F	期間G
発生 年度	H19	33.40	25.81	14.62	7.11	1.89	1.51	1.05
	H20	41.72	18.68	12.14	5.49	1.97	1.32	0.66
	H21	25.41	28.06	18.73	7.21	2.82	1.18	1.06
	H22	26.57	22.76	16.80	7.39	2.54	1.25	0.92
	H23	23.75	15.46	11.36	3.98	1.95	1.42	1.22
	H24	31.43	23.71	16.81	7.03	2.25	0.90	1.15
	H25	39.62	11.46	19.54	7.05	1.73	1.02	0.78
	H26	28.28	16.15	16.18	7.90	2.15	0.77	0.68
	H27	29.42	26.31	18.63	6.92	2.12	0.79	0.42
	H28	30.41	17.38	16.68	8.15	1.93	0.94	0.48
	H29	13.52	20.23	15.81	7.46	1.95	0.85	0.79
	H30	12.73	18.60	14.39	7.07	2.13	0.81	0.47
	R1	15.73	10.10	14.79	6.89	1.82	0.61	0.77
	R2	16.18	15.42	13.09	7.66	2.06	1.10	0.51
	平均値	26.30	19.29	15.68	6.95	2.09	1.03	0.78
	減少幅	—	27%	19%	56%	70%	51%	24%

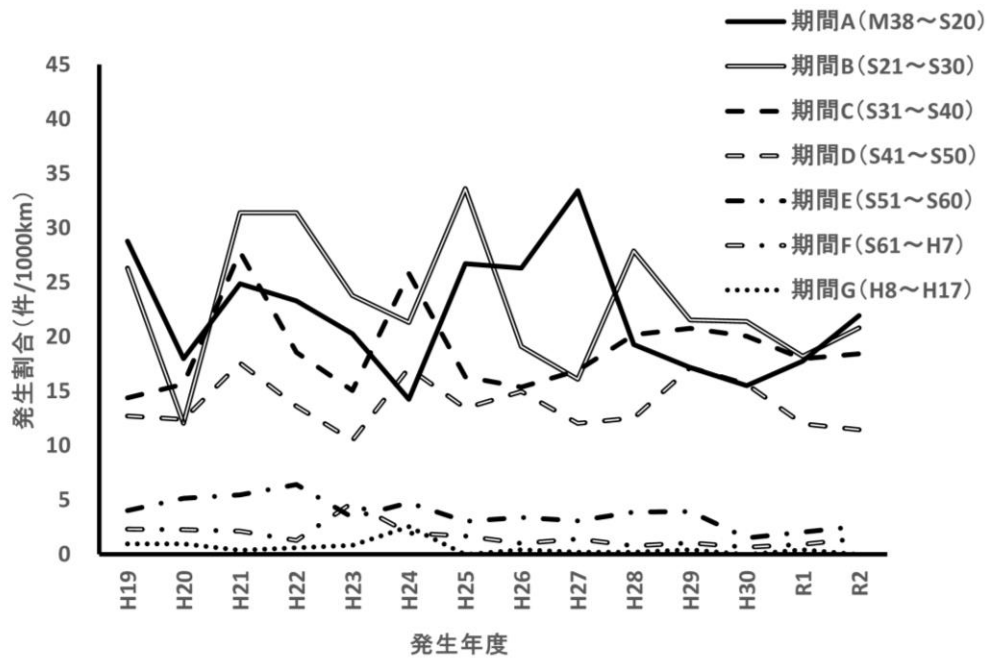


図4 発生年度、布設期間別発生割合 (CP)

表5 発生割合 (CP)

発生割合 (件/1,000km)		布設期間						
		期間A	期間B	期間C	期間D	期間E	期間F	期間G
発生 年度	H19	28.79	26.33	14.40	12.71	4.00	2.31	0.96
	H20	17.97	12.04	15.62	12.41	5.14	2.27	0.97
	H21	24.88	31.40	27.80	17.56	5.48	2.11	0.39
	H22	23.30	31.41	18.57	13.63	6.43	1.28	0.62
	H23	20.27	23.80	15.04	10.45	3.40	4.77	0.85
	H24	14.24	21.32	25.82	17.13	4.76	1.94	2.56
	H25	26.71	33.60	16.33	13.43	3.05	1.67	0.00
	H26	26.33	19.11	15.38	14.96	3.40	1.03	0.42
	H27	33.43	16.09	16.91	12.05	3.06	1.43	0.21
	H28	19.29	27.90	20.19	12.55	3.90	0.80	0.21
	H29	17.19	21.52	20.77	17.18	3.92	1.06	0.42
	H30	15.48	21.41	20.04	15.62	1.53	0.66	0.00
	R1	17.77	18.22	18.00	11.99	2.06	0.93	0.44
	R2	21.92	20.82	18.44	11.44	2.57	1.46	0.00
	平均値	21.97	23.21	18.81	13.79	3.77	1.69	0.57
	減少幅	—	-6%	19%	27%	73%	55%	66%

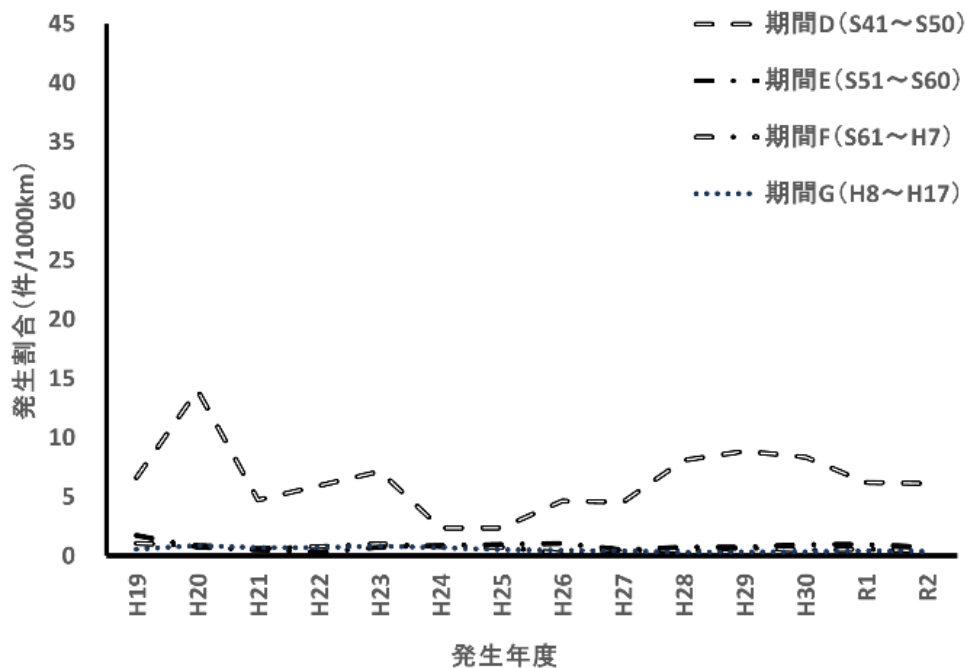


図5 発生年度、布設期間別発生割合 (VU)

表6 発生割合 (VU)

発生割合 (件/1,000km)		布設期間			
		期間D	期間E	期間F	期間G
発生 年 度	H19	6.62	1.76	1.09	0.59
	H20	14.02	0.74	0.90	0.89
	H21	4.72	0.55	0.63	0.73
	H22	5.97	0.31	0.79	0.73
	H23	7.17	0.77	1.02	0.83
	H24	2.37	0.91	0.80	0.69
	H25	2.36	0.99	0.77	0.54
	H26	4.64	1.06	0.24	0.47
	H27	4.55	0.53	0.52	0.42
	H28	8.09	0.76	0.45	0.33
	H29	8.86	0.75	0.69	0.35
	H30	8.35	0.97	0.47	0.35
	R1	6.22	0.97	0.58	0.42
	R2	6.14	0.74	0.43	0.39
	平均値	6.43	0.84	0.67	0.55
	減少幅	—	87%	20%	18%

減少幅が大きい布設期間における管材規格及び設計指針の変遷の整理結果を示す（表7～表9）。

HPの期間Dについては、継ぎ手接合材としてゴム輪が規格化され、期間Eについては、混和材料として膨張材が管材規格に記載された。CPの期間Eについては、継ぎ手接合材にポリウレタン樹脂クッションジョイントが規格化された。VUの期間Eについては、基礎構造に関して、砂基礎が施工標準として管材規格に記載された。

表 7 管材規格及び設計指針の変遷 (HP)

年度	布設期間	管材規格・設計指針	変更点	継ぎ手接合材	支管接合材
S25	期間C	JIS A 5303制定	規格を制定	モルタル(旧A型)	
S31		JIS A 5303改正	外圧強さの判定基準を変更		
S40	期間D	JIS A 5303改正	B型・C型継ぎ手を規格化 (継ぎ手接合材はゴム輪)	モルタル(旧A型)、ゴム輪 (B型・C型)	モルタル
S44		JSWAS A-1制定	規格を制定(対象呼び径は1000～ 2400mm)、混和材料に関して「解説」に記載 対象呼び径を200～3000mmに拡大、 混和材料として膨張材を記載		
S49	期間E	JSWAS A-1改正			
S62	期間F	JSWAS A-1改正	異形管を規格化、旧A型継ぎ手を除外、継ぎ 手接合材としてシーラ材(ゴム輪含む)を規格 化、支管接合材として樹脂モルタルを規格化	シーラ材(ゴム輪含む) (B型・C型・NC型)	モルタル、樹脂モルタル

表 8 管材規格及び設計指針の変遷 (CP)

年度	布設期間	管材規格・設計指針	変更点	継ぎ手接合材	支管接合材
S25	期間C	JIS R 1201制定	規格を制定	モルタル	
		JIS R 1202制定			
S53	期間E	JIS R 1201改正	継ぎ手接合材としてポリウレタン 樹脂クッションジョイントを規格化	モルタル、ポリウレタン 樹脂クッションジョイント	
S60	期間F	JSWAS R-1制定	継ぎ手接合材としてモルタルを除外、 支管接合材として樹脂系接合材を規格化	ポリウレタン樹脂クッション ジョイント	樹脂系接合材

表 9 管材規格及び設計指針の変遷 (VU)

年度	布設期間	管材規格・設計指針	変更点	継ぎ手接合材	支管接合材
S49	期間E	JSWAS K-1制定	基礎構造に関して砂基礎を施工標準として 「参考資料」に記載	ゴム輪、接着剤	接着剤
S59	期間F、G	設計指針改正	VUに関して記載、可とう性管用の基礎構造 に関して記載		
		JSWAS K-3制定	支管接合材として一部条件における樹脂系 接合材を規格化		接着剤、樹脂系接合材
H13		設計指針改正	支管接合材として接着剤を除外		樹脂系接合材

2. 3 まとめ

各発生年度における布設期間別の発生割合を整理した結果、概ね横ばいになる傾向が示された(図3～図5)。経過年数の影響を受ける場合、発生割合は発生年度について増加傾向を示すはずであるため、経過年数による影響が支配的な要因ではないとも考えられる。また減少幅が大きい布設期間と管材規格及び設計指針の変遷との関係を整理した結果、HP、CPにおいては、継ぎ手接合材がモルタルからゴム輪、ポリウレタン樹脂クッションジョイントに移行した年代と、VUにおいては、砂基礎構造が標準化された年代と減少幅が大きい布設期間とが概ね一致していた。このことから、接合材の物性や基礎構造の変遷は、陥没件数の減少に影響を及ぼしていると考えられる。

3. 下水道管路模擬施設を用いた点検調査機器の性能確認・比較実験⁵⁾

下水道管路施設の管理については、点検調査の速度向上や困難箇所での導入等、点検調査機器の技術開発に対するニーズが高い。民間企業による技術開発や団体における新技術の活用を促進するためには、実証データを基に機器性能を明確化することが重要であるが、実際の下水道管路施設を用いた性能試験は、点検調査機器の紛失リスクがあるとともに、同一条件下での性能比較が困難である。そこで、国総研では、下水道管路施設の点検調査機器の性能を明確化するため、下水道管路模擬施設を令和3年度に設置し、令和4年度に実験を開始した。

下水道管路模擬施設は、主に、圧送管（硬質塩化ビニル管、口径150mm及び300mm）、小口径管路及び大口径管路により構成される（図6）。小口径管路は、口径200mmの鉄筋コンクリート管、口径250mmの鉄筋コンクリート管、口径400mm・500mm・600mmの鉄筋コンクリート管それぞれを1号組立人孔で接続した施設の計3つの施設で構成されている。大口径管路は、口径800mmの鉄筋コンクリート管を2号組立人孔及び1500mm×1500mmのボックスカルバートで接続した施設である。小口径管路及び大口径管路は、管さよの管頂部の一部を切り取って作った開口部（以下「開口部」という。）に異常模擬鉄板を設置することで、クラックや腐食等、下水道管路内に発生する様々な異常を再現できるほか、貯水タンクや送風機を使用することで水流や管内風を再現でき、実際の管路状況に近い条件下で点検調査機器の定量的な評価が可能である。



図6 下水道管路模擬施設の俯瞰図

3. 1 実験方法

(1) 小口径管路での実験概要

小口径管路では、口径400mm・500mm・600mmの鉄筋コンクリート管（全長約45m）で、テレビカメラ調査機器を用いた詳細調査の実験を行った。各開口部には、異常模擬鉄板を設置した。本実験に用いたテレビカメラ調査機器は、表10に示すように、走行性能や口径変化箇所での対応方法の違いを把握するため、テレビカメラ調査機器として標準的に採用されているもの（機種1）、最新鋭の機種（機種3）、その中間的な性能を有する機種（機種2）の3機種を選定した。

まず、テレビカメラ調査機器を小口径管路の始点（人孔）から投入し、管内の異常を把握しながら走行可能な地点まで進ませる。走行不可能となった場合はテレビカメラ調査機器を回収し、必要な調整作業を行った上で再走行させ、小口径管路の終点（人孔）まで詳細調査を行った。要した作業時間から日進量等を整理した。

（２）大口径管路での実験概要

大口径管路では、ドローン調査機器4機種（表11）を用いて、詳細調査を必要とする箇所の絞り込みを行うことを目的とした点検調査を想定し、以下の2実験を行った。

a) 長時間飛行実験

ドローン調査機器を大口径管路の始点（人孔）から投入し、直線部を飛行区間として連続飛行実験を行った。直線部の端に達した場合は折り返して実験を継続することとし、1回のバッテリーで連続飛行した時間及び延長を計測した。管内水位の影響で飛行困難と判断された場合はバッテリー残量がある場合も飛行を停止した。管内水位の条件は、口径に対して 0%、12%、18%とした。

b) 管内異常の調査性能確認実験

ドローン調査機器を大口径管路の始点（人孔）から投入し、調査性能の確認実験を行った。各開口部には、異常模擬鉄板を設置した。管内水位の条件は、口径に対して 0%、10%、20%、30%とした。

表 10 テレビカメラ調査機器の概要

	機種 1	機種 2	機種 3
	ステアリング機能	なし	あり
①走行性	リフト機能	なし	高さ変更可能
	タイヤ付替え機能	手作業で 付替え	ワンタッチで 付替え
②操作性	アナログシステム、 ジョイスティック	キーボード、 ジョイスティック	タッチパネル、 ジョイスティック

表 11 ドローン調査機器の概要

	機種 A	機種 B	機種 C	機種 D
サイズ	中	大	小	小
重量	約 2,000g	約 5,000g	約 1,500g	約 200g
連続飛行可能時間	約 5 分	約 30 分	10 分	8 分
タイプ	飛行	水面走行	飛行	飛行
飛行制御	手動制御	手動制御	手動制御	手動制御

3. 2 実験結果

(1) 小口径管路での実験結果

テレビカメラ調査機器ごとに実験実施時に測定した作業時間を基に日進量を算定した。日進量は、調査準備及び後片付けを含むすべての作業時間を対象にしている。標準的な歩掛⁶⁾では、テレビカメラを1日あたり6時間走行させたときの走行距離が側視回数別に示されている。本実験では異常模擬箇所、取付け管部及び継手部にて側視を実施しており、作業時間及び走行距離から6時間あたりに進む距離を求め、日進量とした。

表12に各機種の日進量の比較を示す。本実験では全長約45mの管路に対し21回の側視（約0.47回/m）を実施している。標準的な歩掛の日進量として、側視回数0.5回/m以下に対応する240m/日と比較すると、機種1及び機種2の日進量は7割程度となった。機種3は日進量が222m/日であり、若干であるが標準的な歩掛の日進量240m/日を下回った。これらの原因としては、断面変化部でのテレビカメラ調査機器の調整作業に時間を要したことが考えられる。図7に機種別・作業項目別の作業時間を示す。作業項目は、テレビカメラ調査機器が管路内を走行・直視する「移動」、発見した異常模擬箇所及び取付け管部の詳細を確認する「側視」、断面変化部における調整作業をする「断面変化」に区分した（走行中の継手部の側視は移動に含む）。これより、機種3では、断面変化に要する作業時間を大きく短縮できていることが分かる。機種3は自動でカメラの高さ位置を変えることができるリフト機能を有しており、断面変化部による日進量低下を最小限にとどめることができていることから、日進量の観点から有効な機能であるといえる。また、側視に要した時間については、全体の約4～7割を占めることから、今後テレビカメラ調査機器の日進量の向上を目指すためには、側視の時間短縮が大きな課題になると考えられる。

表 12 テレビカメラ調査機器の日進量

	機種 1	機種 2	機種 3
日進量 (m/日)	162	168	222
標準的な歩掛の日進量 (m/日)	240	240	240
比率	0.68	0.7	0.93

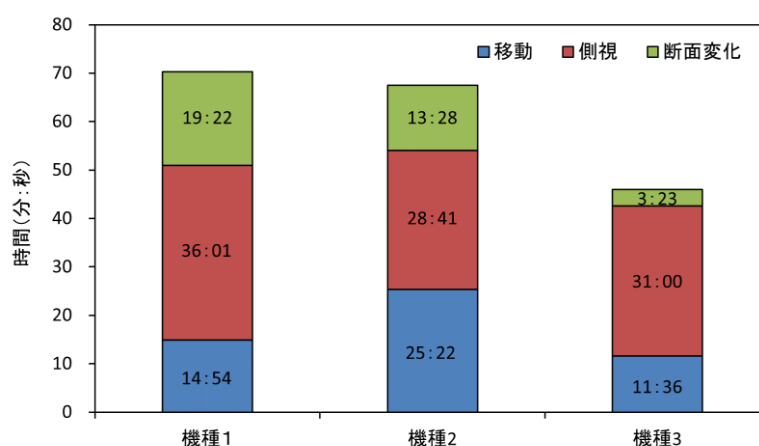


図 7 テレビ調査機器の機種別・作業項目別の作業時間

（２）大口径管路での実験結果

a) 長時間飛行実験

図8は、当該実験におけるドローン調査機器の機種別の総飛行距離及び飛行速度を示したものである。機種A、機種C及び機種D（いずれも飛行タイプドローン）を用いた調査は、18%程度の水位になると飛行速度の低下又は飛行が困難になることが分かった。管内水位を高くすると総飛行距離が短くなる点から、ドローン自身が巻き起こす風の跳ね返りや水しぶきによる操作性への直接的な影響が考えられる。また、実験中に機種A及び機種Cにおいて電波の受信不良による飛行停止が確認されたこともあり、管内水による電波の減衰や反射障害が飛行速度の低下や飛行の困難に寄与しているとも考えられる。ドローンで用いる電波の周波数は、Wi-Fiと同様の2.4GHzであり、高い周波数帯に区分される。電波は周波数が高いほど減衰しやすい特徴があるため、現在の周波数より低い周波数帯の電波を使用する等の対策を行えば、飛行障害を改善できる可能性がある。総飛行距離に着目すると、本体重量が大きいほど総飛行距離が長い傾向があった。本体重量にはバッテリーが含まれているため、搭載しているバッテリー容量の違いが総飛行距離に影響したものとする。

b) 管内異常の調査性能確認実験

表13、図9にドローン調査機器の各機種における模擬異常を確認できた程度を示す。表中の各列の左の記号（◎～×）は現地モニターで模擬異常を確認できた程度を示し、右の記号（◎～×）はドローン撮影画像から後日判読によって模擬異常を確認できた程度を示す。機種Aは、ドローン調査機器の性能上、現地では撮影のみで異常をリアルタイムで確認できないが、後日判読により全ての異常を確認できた。機種B及び機種Dは、現地モニターでは、クラック（ランダム）についてのみ異常模擬鉄板の存在は確認できたが、異常模擬鉄板に再現した異常までは確認できなかった。一方、後日判読では、機種Bは異常を確認できたが、機種Dは異常を確認できなかった。機種Cは、現地モニターで全ての異常を詳細に確認できた。

カメラの画質の点では、機種B及び機種C、機種A、機種Dの順で性能が良い。カメラ制御の点では、機種Cは走行中にカメラの向きを変えることができるが、その他の機種は固定である。基本的には画質の良い順番に沿った結果が出ており、機種Cはカメラが可動であることによってより鮮明に異常を確認しやすくなったと考えられる。

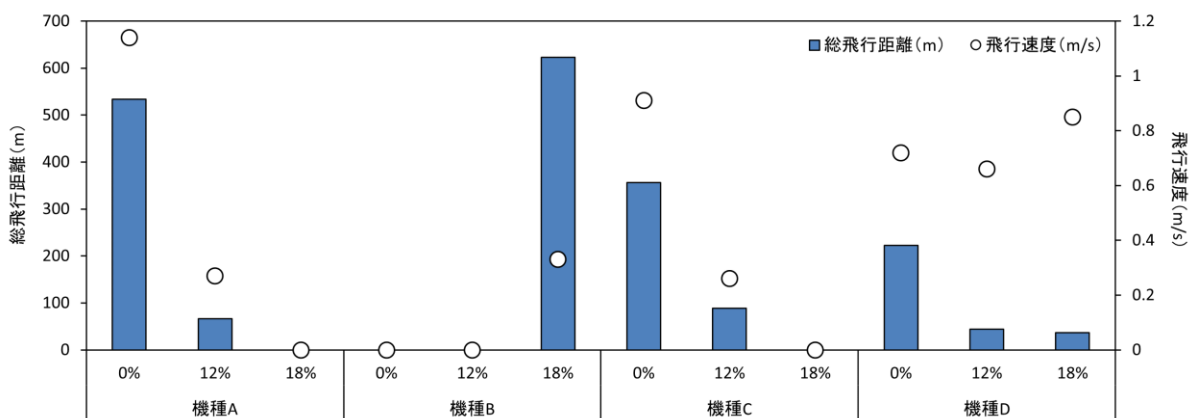


図8 ドローン調査機器の機種別の総飛行距離・飛行速度（※機種Bは、総水面走行距離・水面走行速度）

表 13 ドローン調査機器の機種別の模擬異常確認の程度

機種	水位	クラック (軸方向)	浸入水	クラック (円周方向)	腐食	管の 継手ズレ	クラック (ランダム)
機種A	0%	×/○	×/○	×/○	×/○	×/○	×/○
機種B	20%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/○
	30%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/○
機種C	0%	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎
	10%	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎	◎/◎
機種D	0%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/△
	10%	○/○	○/○	○/○	○/○	○/○	△/△

◎：異常の詳細まで確認 ○：異常を確認 △：模擬鉄板の確認はできたが異常は確認できず ×：異常を確認できず

※機種Aの水位10%, 20%, 30%、機種Cの水位20%, 30%、機種Dの水位20%, 30%は、ホバリングの状況から飛行不可能と判定。

※機種Bの水位0%, 10%は、管内水位が低く走行不可。

※クラック（ランダム）は、実際のクラックを再現した不規則なクラックを指す。

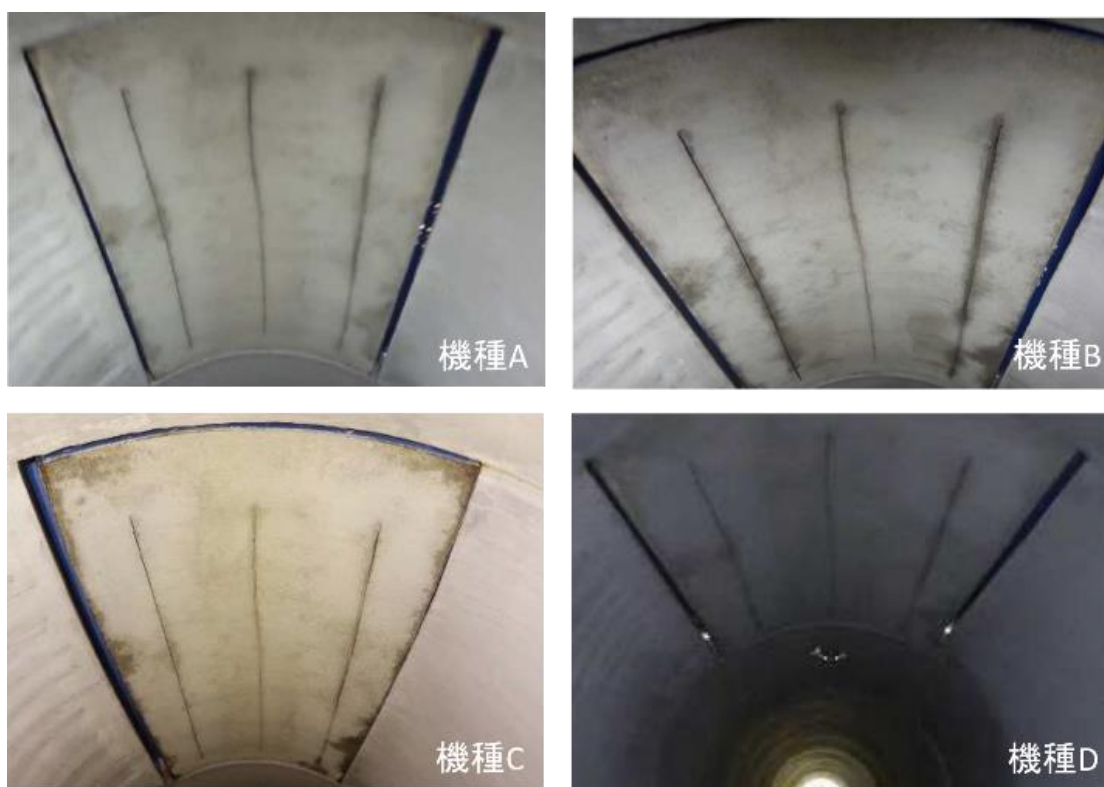


図9 ドローン調査機器の機種別の模擬異常の撮影写真（クラック（軸方向））

3. 3 まとめ

テレビカメラ調査機器及びドローン調査機器について、下水道管路模擬施設を用いた実験を行い、性能を確認した。テレビカメラ調査機器は、日進量に側視が大きく作用していることを定量的に確認できた。テレビカメラ調査機器の日進量の向上を目指すためには、側視の時間短縮が大きな課題になると考えられる。ドローン調査機器は、サイズやタイプ等、機種によって特徴が大きく異なるが、飛行可能な管内水位の制約を除けば殆どの機種で異常の判読が可能であり、今後多くの現場での適用が期待される結果であった。

4. おわりに

本稿では、道路陥没の発生傾向と管材規格等の変遷との関係及び下水道管路模擬施設での各種点検調査機器の性能確認・比較実験について報告した。道路陥没については、経過年数による影響が支配的な要因ではなく、接合材の物性や基礎構造の変遷が、陥没件数の減少に影響を及ぼしている可能性があることが判明した。今後は、本研究で整理した管材規格及び設計指針の変遷を踏まえ、健全率予測式において布設年度による影響を考慮することが課題である。点検調査機器の性能確認・比較実験については、テレビカメラ調査機器やドローン調査機器の実務での適用に関する課題が判明した。今後は、引き続き国総研での下水道管路模擬施設を用いた点検調査機器の性能確認・比較評価を進めるとともに、将来的には、民間企業等も下水道管路模擬施設を利用できるようにし、更なる点検調査機器の技術開発及び新技術の活用を促進する。

参考文献

- 1) 国土交通省：新下水道ビジョン加速戦略，2017
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部，国土技術政策総合研究所下水道研究部：維持管理情報等を起点としたマネジメントサイクル確立に向けたガイドライン（管路施設編），2020
- 3) 成瀬直人，鈴木航平，吉田敏章：下水道管路に起因する道路陥没の発生傾向と関連指針・管材規格の変遷，第60回下水道研究発表会講演集，pp.772～774，2023
- 4) 成瀬直人，茨木誠，岡安祐司：鉄筋コンクリート管きょ健全率予測式に影響を与える因子の調査，第59回下水道研究発表会講演集，pp.43～45，2022
- 5) 鈴木航平，成瀬直人，吉田敏章：下水道管路模擬施設を用いた点検調査機器の確認・比較実験，第60回下水道研究発表会講演集，pp.742～744，2023
- 6) 下水道施設維持管理積算要領―管路施設編―2020年版 公益社団法人日本下水道協会

6. 下水処理水の衛生学的な安全性を考慮した技術基準

及び管理手法に関する調査

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

下水処理研究室 室長 重村 浩之
研究官 松橋 学
研究官 山田 裕史

1. はじめに

公共下水道から公共の水域又は海域に放流される水の水質は、下水道法施行令の「放流水の水質の技術上の基準」、及び水質汚濁防止法の一般排水基準等に基づき、管理されている。それらの指標の一つである大腸菌群数は、昭和13年水道協会が第7回総会において水道協会協定として議決された「放流水の水質基準」において「1ccにつき3000個」¹⁾とされており、現在に至るまで長期に渡り放流水や排水基準として用いられてきた。一方で、平成25年8月の「水質汚濁に係る生活環境の保全に関する環境基準の見直しについて（諮問）」を受け、環境基本法に基づく水質汚濁に係る環境基準のうち、生活環境の保全に関する環境基準のうち、大腸菌群数を新たな衛生微生物指標として大腸菌数へ見直された²⁾。このことから、下水道からの放流水の水質の技術上の基準についても大腸菌群数から大腸菌数への変更について検討を行う必要があり、国土技術政策総合研究所では、下水道における大腸菌数の指標に関する実態の把握や測定方法、基準検討に必要な情報の収集、整理を行った。

本調査では、下水の大腸菌測定方法の室間精度を把握することを目的に、令和2年度及び3年度に実下水試料の大腸菌測定を3つの測定機関で行い、異なる培地を用いた複数の測定方法の室間精度を把握するとともに、令和4年度は得られた測定値を整理し、誤差の発生要因について検討を行った。

表1 調査対象処理場

2. 調査方法

2. 1 調査概要

調査対象を関東地方の2箇所の下水処理場とし、採水試料は、流入水を採取後、滞留時間を考慮して二次処理水、放流水を採取した。試料採取は2021年1月及び2月並びに2022年の2月及び3月の合計4回実施した。調査対象とした下水処理場の諸元を表1に示す。なお、滞留時間は実流入量から算出し、接触時間は塩素混和池におけ

	A 処理場	B 処理場
処理方式	オキシデーションディッチ法	嫌気無酸素好気法
現有能力	17,600 m ³ /日 (晴天日最大)	53,200 m ³ /日 (晴天日最大)
滞留時間	51 時間 24 分	17 時間 15 分
消毒方法	次亜塩素酸ナトリウム	次亜塩素酸ナトリウム
接触時間	25 分	50 分
採水場所	流入水、二次処理水、放流水	
輸送条件	クーラボックスにて5℃以下	

る接触時間を示している。

2. 2 分析機関

本調査では、2021 年は、分析機関 a 社、b 社、c 社、2022 年は、分析機関 c 社、d 社、e 社で分析を実施した。また、測定精度の管理のためそれぞれの年の調査では、大腸菌測定時の操作開始時刻、及び試料測定順序等を統一して実施した。なお流入水については、2021 年は各社で分析を行ったが、2022 年は b 社のみで測定を行った。

2. 3 測定項目

(1) 水質の測定

水質測定は、水温、浮遊物質（SS）を下水試験方法³⁾に準じて測定すると共に、アンモニア態窒素（NH₄-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、リン酸態リン（PO₄-P）について測定を行った。

(2) 大腸菌群数及び大腸菌数の測定

大腸菌群数及び大腸菌数の測定は、2 処理場の流入水、二次処理水、放流水を各 2 回の計 12 試料を対象とした。流入水は、1 分析機関で繰返し測定回数を 3 回とし、二次処理水及び放流水については 3 分析機関で繰返し測定回数を 5 回として測定した。また、測定方法は、特定酵素基質培地（培地 A）～（培地 F）の 6 種類は平板法、最確数法は 1 種類（培地 H）

実施し、大腸菌群数についてデソキシコール酸塩培地による平板法（培地 G）を併せて実施した。培地ごとの培養温度及び培養時間は、表 2 に示すとおり各機関で統一して行った。また、放流水については、大腸菌数が低濃度となり、平板法での精度が不十分となる可能性があるため、平板法に加え、特定酵素培地のメンブレンフィルター法（以下 MF 法）を併せて実施した。加えて、2022 年においては、市販の大腸菌標準試料（バイオボール）を用いて大腸菌数を任意に設定した測定を各測定回に併せて実施し、回収率も確認した。

表 2 培地ごとの培養温度及び培養時間

培地	培地温度 [°C]	培養時間 [時間]
A	36	20
B	36	21
C	37	24
D	36	20
E	36	24
F	36	24
G	35	20
H	35	24

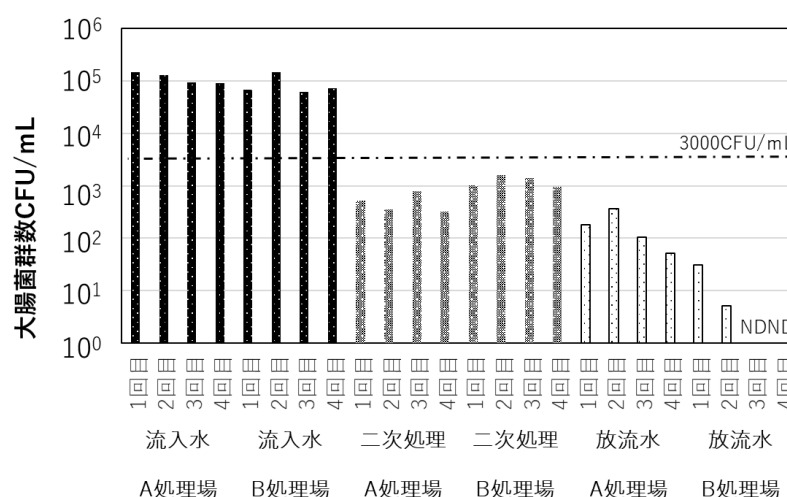


図 1 デソキシコール酸塩培地を用いた平板法による大腸菌群数の測定結果

3. 結果及び考察

3. 1 水質測定の結果

水質項目測定結果として、SS については、流入水で 150mg/L 程度、処理水で 2～4mg/L 程度であった。また、処理水窒素の形態及び濃度を確認し、良好な処理であることを確認した。

3. 2 大腸菌群数及び大腸菌数の測定結果

対象処理場の処理状況実態把握のため、現在の公定法であるデソキシコール酸塩培地平板法（G）の測定結果について一試料当たり 5 回測定した結果の平均値を 図 1 に示す。流入水では $10^4 \sim 10^5$ CFU/mL、二次処理水では $10^2 \sim 10^3$ CFU/mL、放流水では、A 処理場で $10^1 \sim 10^2$ CFU/mL、B 処理場で $10^0 \sim 10^1$ CFU/mL 程度であり、2 カ年の調査では大きな変化はなかった。2 処理場の放流水については、放流水の水質の技術上の基準値である大腸菌群数 3,000 個/mL を大きく下回る結果であることから、対象処理場において良好な処理が行われていることが確認できた。特定酵素基質平板法の 6 種類及び最確数法 1 種類の合計 7 種類の測定結果を用いて、大腸菌群数に占める大腸菌数の割合について、それぞれの測定法ごとに 4 回の平均値（各 1～4 回

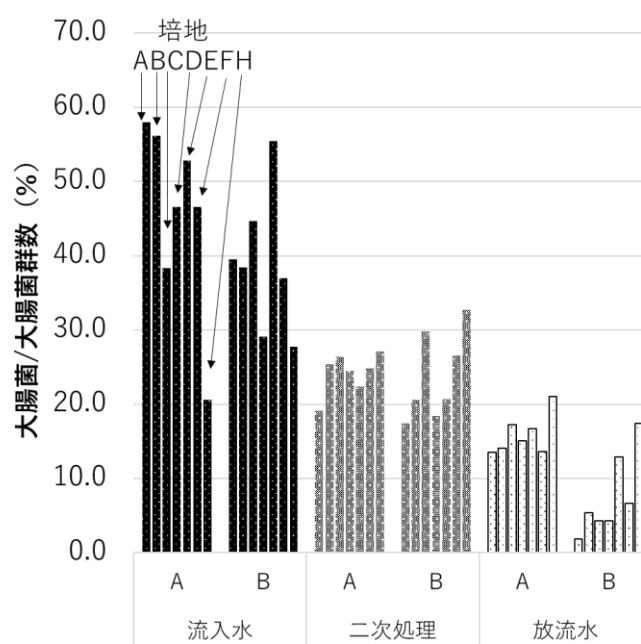


図 2 特定酵素基質培地測定結果(平均)に基づく大腸菌群数に占める大腸菌数の割合
(4 回の採取試料における測定の平均値)

の採取試料の測定結果における割合をそれぞれ算出し、それらを平均したもの）を算出し、グラフ上に示した。特定酵素基質培地 A～F 及び最確数法 H における割合を左から順に並べ、試料の種類ごとに区分して 図 2 に示す。算出では、A 処理場、B 処理場の流入水及び二次処理水は特定酵素基質培地平板法の結果を用い、放流水については、低濃度であることから特定酵素基質培地 MF 法の結果を用いた。その結果、流入水で 21～58%、二次処理水で 17～33%、放流水で 2～21% の範囲であった。下水が処理される過程で大腸菌群数に占める大腸菌数の割合が小さくなっていた。また、過去の調査⁴⁾では、二次処理水では概ね 20～40% の割合との報告がされており、本調査において、やや低い値を示す培地があったものの、同様の結果となった。

3. 3 分析室間精度及び測定誤差要因の検討

まずはじめに、2 カ年の特定酵素培地による大腸菌数測定の調査結果から分析室間精度算出に用いるデータの抽出を行った。データの抽出は、同一試料を 5 回測定した結果より変動係数を算出し、それらが 30% 以内であれば繰り返し精度が確保されているものと判断しデータを抽出した。次に、分析室間の精度の算出は、抽出したデータを用いて、同一試料に対し 1 機関当たり 5 回の測定値の平均値を用いて、3 機関の分析機関の変動係数を算出した。分析室間精度の評価は、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン⁵⁾における目標値を参考に、3 機関の間の変動係数が 35% 以内であれば精度が確保できると判断した。前述の方法により抽出したデータから分析室間精度を算出し、培地 A～F 及び各試料ごとに 2～4 回の測定結果（4 回の測定結果のうち、3 機関ともに繰り返し測定の変動係数が 30% 以内だったもの）の各回の 3 機関室間精度について、平均値、最大値（バー上端）、最小値（バー下端）を 図 3 に示す。特定酵素基質培地 A～D は、抽出したすべての試料で室間

精度が 35%以内に入っていた。一方、
 平均値としては、35%以内となっていたが、特定酵素基質培地 E 及び F の A
 処理場の放流水（2 回目の試料）において 35%を超えるものがあった。E 及び
 F 培地の 1 つの試料のみで 35%を超えた原因について、試料が低濃度であつ
 たことに加え、それぞれの機関の測定
 値の平均値は 2 機関で同値であり、1
 分析機関のみが若干大きな値となつた
 ことにより変動が大きくなっているこ
 とから、値が大きくなった分析機関の
 分析時に何らかの原因があった可能性
 があるものの、本調査では明確な理由は分からなかった。

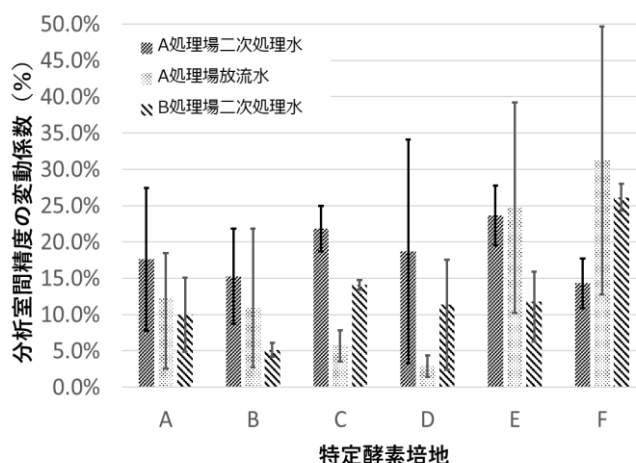


図3 分析室間精度（特定酵素培地による大腸菌数測定値に
 基づく室間の変動係数）

次に、繰り返し精度に与える測定誤差の発生要因の検証のため、比較的安定して測定結果が得ら
 れた 2021 年の特定酵素培地による大腸菌数測定の調査結果を用いて、計数値（コロニーカウント時
 のコロニー数）と変動係数の関係を整理した。その結果一培地の 1 回の試験結果を除きすべての培
 地においても計数値が 20 個以上であれば概ね繰り返し精度 30%以下となることが分かった（図 4）。

また、2022 年の調査結果では、想定した繰り返し精度と回収率が得られないものが多数見受けら
 れたことから、原因を整理した。1 試料に対して 5 回の繰り返し測定精度が 30%以下のものを◎と
 して、それ以外のものについて、計数値が 20 個以下のものを▼、測定回のパイオボールを用いて測

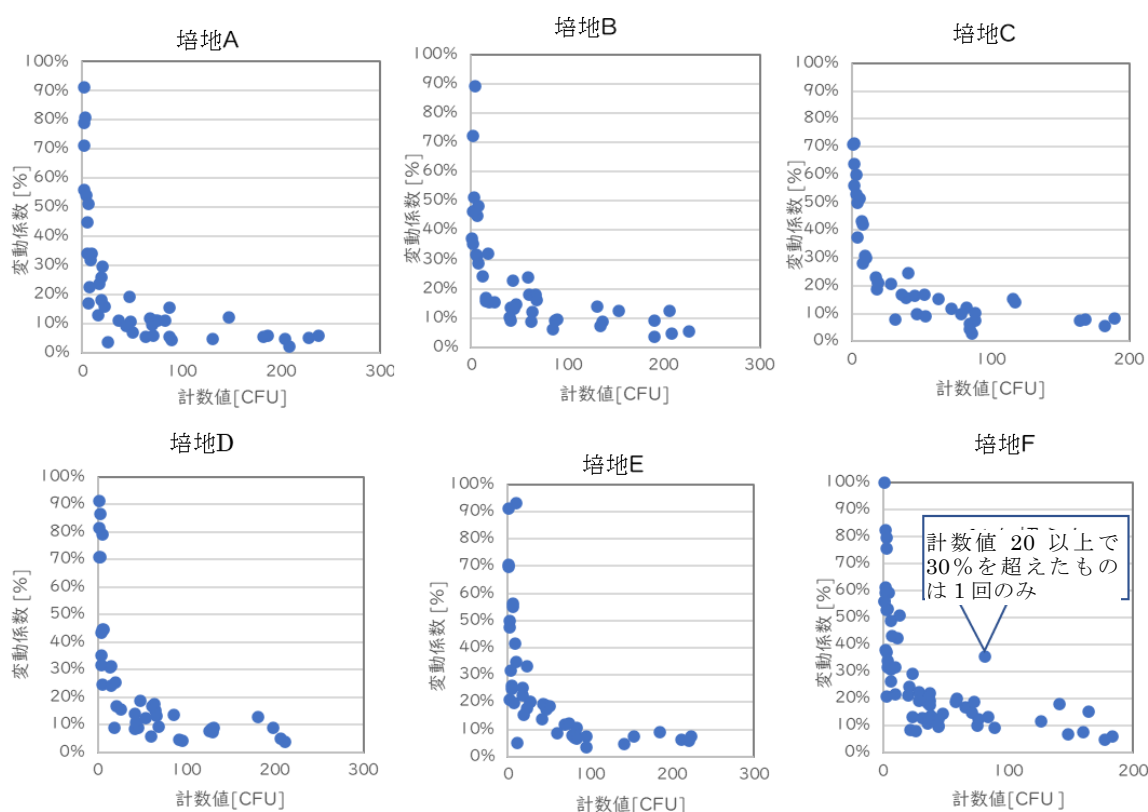


図4 2021 年の特定酵素培地による大腸菌数測定結果に基づく計数値と変動係数

定した回収率が70%以下のものを◆、▼及び◆のものを■としてすべての測定結果を整理した結果、d社、e社に多く◎以外の印が表示された（表3）。原因を調査するため、各社に測定に関するヒアリングを実施した。その結果、測定手順や使用設備に大きな違いはなかったが、測定経験について差異が見られた。c社は2021年と2022年の両年度に測定を実施しており、各種培地を用いた特定酵素基質培地平板法の測定経験が豊富であった一方で、d、e社については、大腸菌群数の測定に関しては十分に経験があるものの、大腸菌測定を実施した経験や、本検討のように一度に同じ試料を大量に測定する経験が殆どなかった。このことから、測定誤差の発生の一因として、習熟度の差が精度低下につながった可能性が考えられた。また、2021年調査では、大腸菌群数と大腸菌数について計数時に適切なコロニー数のシャーレをそれぞれ選定したのに対し、2022年は、大腸菌群数を計数したものと同一シャーレで大腸菌数の計数をしており、放流水以外の試料のうち希釈により20個

表3 特定酵素培地による大腸菌数測定結果に基づく分析室間精度のばらつきの原因の整理

測定 機関	処理場-サンプル	各採水回及び培地																							
		1						2						3						4					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
a	A処理-二次	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A処理-放流	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B処理-二次	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B処理-放流	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
b	A処理-二次	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	A処理-放流	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B処理-二次	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	B処理-放流	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
c	A処理-二次	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	▼	◎	◎	◎	◎	▼	▼	▼	▼	◎	◎	▼
	A処理-放流	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	▼
	B処理-二次	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	B処理-放流	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	■	▼	▼	▼	▼	▼
d	A処理-二次	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	■	■	▼	■	◎	▼	▼	▼	▼	▼	▼
	A処理-放流	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	▼	◎	◎	◎	◎	▼	◎	◎	▼
	B処理-二次	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	B処理-放流	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▼	▼	■	■	▼	■	▼	▼	▼	▼	▼	▼
e	A処理-二次	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▼	■	■	■	▼	■	◎	▼	▼	▼	▼	▼
	A処理-放流	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▼	◎	■	◆	▼	■	◎	▼	◎	▼	◎	▼
	B処理-二次	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▼	■	■	◎	▼	■	▼	■	■	◎	◎	■
	B処理-放流	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	▼	■	■	■	▼	■	▼	■	■	■	■	■

◎：繰り返し精度30%以下

繰り返し精度30%以上のうち計数値20個以下含むを▼、◆回収率が70以下のものを◆、（▼かつ◆）を■

を下回る少ない大腸菌数の場合が多かったことも原因と推察された。これらのことから、大腸菌の測定精度を確保するためには、測定者の習熟度を確保するとともに、適切な希釈により測定を実施する必要があると考えられる。精度が確保されなかった原因について上述した以外の原因の可能性も含めて、精度の確保につながる検討を今後も実施していく予定である。

4. まとめ

令和2年度から令和4年度にかけて下水処理場からの放流水の大腸菌群数及び大腸菌の濃度域を調査すると共に、大腸菌を平板培養法で測定した際の測定精度を検討し、精度低下の原因について整理した。本調査では、2つの下水処理場の二次処理水、放流水について、大腸菌群数及び大腸菌数の実態を把握し、3つの測定機関で大腸菌測定の分析室間精度を把握した。実態として放流水で大腸菌群数に占める大腸菌の割合は、2～21%であった。また、特定酵素基質培地を用いた平板法の測定精度は、繰り返し精度が確保できている条件であれば、分析室間精度についても、概ね室間の変動係数が35%以内になると考えられる。一方、測定者の習熟度や測定時の試料希釈倍率が精度に影響する結果となった。これらのことから、下水の大腸菌測定の際には、希釈倍率等に留意し計数値が20個程度以上となるようにすることが測定精度の確保に有効であると考えらる。

参考文献

- 1) 下水道技術開発委員会：環境基準見直しによる大腸菌数の排水基準設定に伴い発生する課題に関する調査研究報告書、平成29年3月
- 2) 環境省ホームページ：水質汚濁に係る環境基準の見直しについて（お知らせ）、<http://www.env.go.jp/press/110052.html>、令和4年3月23日現在
- 3) 下水試験方法2012年度版上巻、公益社団法人日本下水道協会 p229,p251,
- 4) 原田一郎、藤井都弥子、小越 眞佐司、對馬育夫、：下水処理施設への新たな衛生学的指標導入に関する検討、平成24年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料、No.773、pp59-66、2014
- 5) 厚生労働省、水道水質検査方法の妥当性評価ガイドライン、p5、平成24年9月6日、最終改定平成29年10月18日

7. 下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

下水処理研究室 室 長 重村 浩之
研 究 官 石井 淑大
研 究 官 松橋 学
交流研究員 安倉 直希

1. はじめに

日本は、温室効果ガス（GHG）の排出量を2030年までに2013年度比で46%削減し、2050年までにカーボンニュートラルを達成することを目標に掲げており、下水道事業においてもGHGの排出量を削減することが必要である。下水道事業全体におけるGHG排出量の内訳は、曝気等の処理場の運転にかかる電力消費に由来するものが半分以上を占め、次に污泥焼却により排出される一酸化二窒素（ N_2O ）が約5分の1を、水処理により排出される N_2O が約8%を占めている¹⁾。これらの内、電力消費については再生可能エネルギーの利活用等、污泥焼却については N_2O 排出抑制型の焼却炉の普及等により削減対策が進んでいる一方で、水処理由来の N_2O については有効な対策が取られていない現状である²⁾。

水処理過程における N_2O の生成については、活性污泥中の微生物によるアンモニア性窒素の硝化・脱窒過程の副産物として生成されることが知られているが、その生成量をコントロールする要因については未解明の部分が多く残っている³⁾。また、水処理により発生する N_2O は時間変動や季節変動が大きく、実測にはコストがかかるため、実下水処理場における排出量の実態を把握できていない状況である。

そのため国総研では、水処理により排出される N_2O の実態を把握し、 N_2O の生成要因を明らかにするため、実下水処理場における排出量調査や、パイロットプラントを用いた実験等を実施してきた。本研究課題「下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査（令和2～4年度）」では特に、段階的高度処理による N_2O 排出量の削減可能性と、処理方式による N_2O 排出量への影響に着目し、調査研究を実施してきた。本研究課題の最終年度となる本年度は、令和3年度に引き続き、複数の処理方式で並列して下水処理を行っている実下水処理場における N_2O 排出量の実態調査⁴⁾を実施したので、本稿ではその結果について報告する。なお、本研究の成果については、GHGインベントリの更新や、GHG排出量を低減する下水処理場運転手法の提案等に活用されることを目指している。

2. 研究内容

2. 1 調査の概要

実際の下水処理場における水処理から排出される N_2O については、流入下水の水質や活性污泥中微生物の組成など、様々なパラメータの影響により排出量が大きく変動する。その中でも処理方式による影響を評価するために、同じ流入下水を異なる4種類の処理方式により並列で処理している実下水処理場において、各処理系列からの N_2O 排出量の実態調査を行った。

2. 2 調査方法

令和3年度に7月（夏期）と1月（冬期）の2度調査を実施した下水処理場において、令和4年度は6月2～3日（春期）と10月27～28日（秋期）の2度調査を実施した。本処理場は、同一の流入下水を標準活性汚泥法（標準法、系列①）、嫌気好気活性汚泥法（AO法、系列②）、嫌気無酸素好気法（A2O法、系列③）、ステップ流入式多段硝化脱窒法（ステップ法、系列④）の4種類で並行して処理している。

N₂Oの排出量は時間変動が大きいことが知られているため⁵⁾、各調査日において昼12時から翌日の昼12時まで4時間に1回、計7回サンプルを採取した（12時、16時、20時、24時、翌日4時、8時、12時）。サンプルの採取地点は、最初沈澱池（初沈）、反応槽の4地点（水流方向に4分割）、最終沈澱池（終沈）、返送汚泥の反応槽への流入直前の地点（返送）の計7地点である。この7地点で水サンプルを採取し、返送を除く6地点で気体サンプルを採取した。採取と同時に、気温、気圧、水温、DO濃度、pH、ORPを測定した。

気体サンプルの採取は、自作のガス捕集器を用いて行った⁴⁾。好気槽では、漏斗状のガス捕集器を水面に密着させ、曝気により大気中へ放出される空気を1Lのガスバッグに採取した。初沈および終沈、嫌気槽等の曝気を行わない槽では、気体の発生量が微量のため、ポリ瓶の底を切り取った形状のガス捕集器を水面に密着させて20分間静置し、その間に発生した空気を採取した。得られた気体サンプル中のN₂O濃度を、電子捕獲検出器（ECD）付きガスクロマトグラフ（GC-8A、SHIMADZU）により、キャリアガスをAr+CH₄（5%）、インジェクター、カラム、検出器の温度をそれぞれ250、80、250℃の条件で測定した。得られたN₂O濃度に当該時間の曝気風量を乗じることで、単位時間当たりのN₂O排出量を算出し、さらに当該時間の処理水量で除すことでN₂Oの排出係数（単位処理水量あたりのN₂O排出量）を算出した。

水サンプルは、溶存態N₂O濃度分析用と水質分析用の2種類を採取した。溶存態N₂O濃度分析用のサンプルは、予めMilli-Q水9mLと活性汚泥の不活化剤として20%グルコン酸クロロヘキシジン溶液160μLを封入して密閉した、容積22mLのヘッドスペースバイアル瓶に、注射針で3mL注入して採取し、ひとサンプルにつき3連採取した。採取した水サンプル中のN₂O濃度を、ヘッドスペースオートサンプラー（HS-20、SHIMADZU）に接続したECD付きガスクロマトグラフ（GC2014、SHIMADZU）により、恒温温度および時間を40℃および150分の条件で測定した。水質分析用の水サンプルは、保持粒子径1.0μmのガラスろ紙でろ過した後、DOCと各態窒素等（アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、全溶存窒素）の濃度を分析した。

2. 3 調査結果

令和3年度に実施した調査結果も含め、本調査により算出したN₂Oの排出係数の一覧を表1に示す。なお、表1の数値は、各調査において7回採取した試料の平均値となっている。冬期の系列②および系列③の2回分の調査結果のみが現行値と比較して大きく、それ以外の14回分の調査結果は現行値よりも小さくなった。また、それぞれの系列における春夏秋冬の4回分の調査結果の単純平均値は、すべての系列で現行値よりも小さい値であった。

本下水処理場の調査対象系列における年間のN₂O排出量（CO₂相当量）は、N₂O排出係数の現行値から算出した結果は、1,207t-CO₂（排出割合は、系列①：66%、系列②：22%、系列③：3%、系列④：10%）であった。一方で、本調査において算出したN₂O排出係数を適用した結

果、年間の N_2O 排出量 (CO_2 相当量) は 282 t- CO_2 (排出割合は、系列① : 3 %、系列② : 75 %、系列③ : 9 %、系列④ : 13 %) と、4 分の 1 以下の値となった。特に、標準法で運転している系列①の排出量が大幅に低減した。これは、系列①が硝化促進運転を実施しており硝化がスムーズに進行しているため、 N_2O の排出が抑制されたためと推測される。本結果から、現行の N_2O の排出係数は、個々の下水処理場において検討した場合には N_2O 排出量の実態と乖離している可能性が示された。ただし、本下水処理場への流入下水の BOD や窒素 (全溶存窒素、アンモニア性窒素) の濃度は、いずれもが全国平均と比較して低いため、本調査結果と現行値を単純には比較できないことに留意する必要がある。

系列②～④の N_2O 排出係数の調査結果は、冬期の値が他の調査時期の値と比較して 2 倍以上大きくなっていた。特に系列②では、冬期の N_2O 排出係数は夏期と比較して 20 倍以上の値となっており、 N_2O 排出量が季節により変動していることが改めて示された。本下水処理場のよう硝化促進運転を実施している場合、冬期に水温が低下すると硝化細菌の活性が低下して硝化速度が遅くなり、 N_2O の排出量が増加する可能性が考えられる。本調査における冬期の反応槽の水温測定結果は時間によらず常に 17℃程度であり (春期 : 24℃、夏期 : 25℃、秋期 : 23℃)、水温の低下が冬期の N_2O 排出量の増加に関係していた可能性がある。一方で、全ての系列において夏期が最も N_2O 排出係数が小さく、夏期の高水温とそれに伴う硝化細菌の活性化が影響を与えた可能性が考えられるが、春期および秋期との水温差は 1～2℃であり、その他の要因についても検討する必要がある。夏期の最初沈殿池中の全溶存窒素濃度は他の季節と比較して低かった (夏期の最大値 : 14.5 mg-N/L、その他の調査時期の最大値 : 20.0～21.2 mg-N/L) ため、これが N_2O 排出係数が小さかった要因の一つである可能性がある。

表 1 N_2O 排出係数の算出結果 (mg- $\text{N}_2\text{O}/\text{m}^3$) ⁴⁾

	春季	夏季	秋季	冬季	平均	現行値*
系列①(標準法)	2.8	0.3	0.5	2.7	1.6	142.0
系列②(AO法)	6.8	3.6	8.2	76.6	23.8	29.2
系列③(A2O法)	6.1	3.6	6.3	19.3	8.8	11.7
系列④(ステップ法)	3.4	0.4	3.1	7.5	3.6	11.7

*現行値：環境省、国交省が定める排出係数 ⁶⁾

4 系列の中で最も N_2O の排出係数が高かった系列②について、夏期と冬期の槽ごとの N_2O 排出係数と各態窒素濃度の比較を図 1 に示す。AO 法を採用している系列②において、夏期は好気槽の後段 3 においてアンモニア性窒素濃度が 0.1 mg-N/L 以下になっている一方で、冬期においては 0.4 mg-N/L と残存している。冬期は水温が低く硝化速度が遅いため、好気槽の前段 1 や中段 2 だけでは硝化が完了せず、後段にもアンモニア性窒素が残存していると推定される。また、亜硝酸性窒素が好気槽の中段 2 で検出されている。系列②の冬期は好気槽の中段で N_2O 排出量が大きくなっていることが分かり、亜硝酸態窒素の検出と N_2O 排出に関係がある可能性が改めて示された結果となっている。好気槽内において N_2O が主に排出される地点は夏期と冬期で同様となっており、ともに中段 2 および後段 3 で排出されていることが分かる。これらは主に硝化が進行していると推測される地点と対応しており、硝化の副生成物として N_2O が生成されていると考えられる。アンモニア性窒素の硝化速度は水温が高いほど早くなることから、

水温が高い夏は好気槽の前半部分で硝化が進み、その副生成物として N_2O が生成しているが、水温が低い冬期においては、硝化が進むのが遅く、後段においても硝化が進行し、その副生成物として N_2O が生成していると推測することができる。

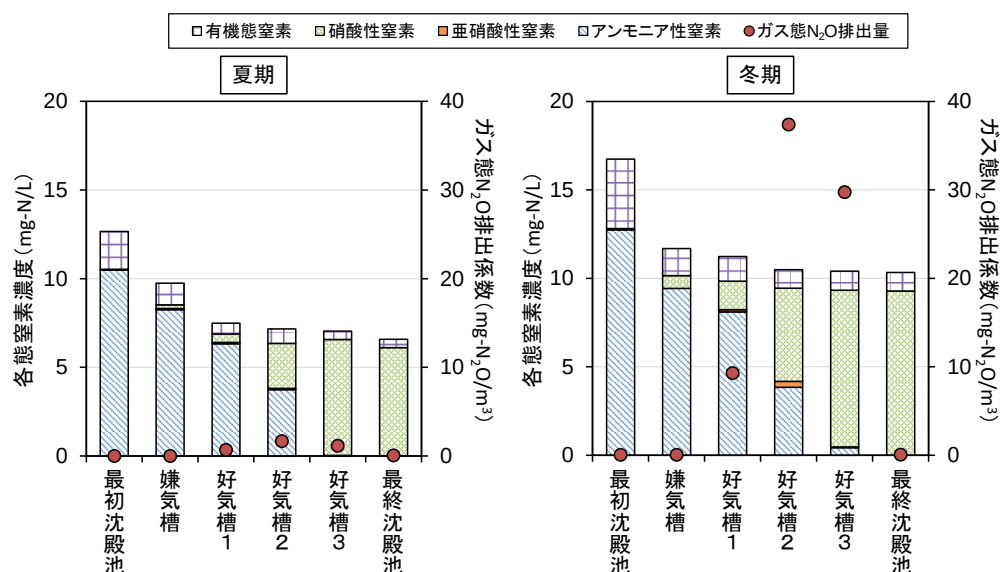


図 1 系列②における夏期と冬期の槽ごとの N_2O 排出係数と各態窒素濃度⁴⁾

3. まとめ

本年度の調査により、4 種類の異なる処理方式における春夏秋冬の N_2O 排出係数を算出することができ、季節変動や各態窒素濃度の変化、水温等との関係を明らかにすることができた。主に令和 2、3 年度に実施した段階的高度処理による N_2O 排出量の削減可能性調査も含め、本研究課題を通じて下水処理に伴う N_2O 排出の実態把握が進んだと考えられる。今後は、実下水処理場における N_2O 排出量の実態をより正確に把握し排出係数をより実態にあったものへ改定するために、実下水処理場における調査を継続していく。また、多くの下水処理場において調査が促進されるよう、 N_2O 排出量の調査方法のマニュアル化を進めていく。

参考文献

- 1) 下水道技術開発会議エネルギー分科会：カーボンニュートラルの実現に貢献するための下水道技術の技術開発等に関するエネルギー分科会報告書，2022 年 3 月
- 2) 増田周平：下水処理プロセスにおける GHG 排出の動向と対策，水環境学会誌，46(4)，120-124，2023
- 3) 寺田昭彦：硝化プロセスにおける亜酸化窒素の放出特性と生成機構，水環境学会誌，38(9)，334-339，2015
- 4) 石井淑大ら：4 種類の下水処理方式における一酸化二窒素排出量の時空間変動，土木学会論文集，79 (25)，2023
- 5) 石井淑大ら：下水処理による一酸化二窒素排出量の実態把握に向けた連続モニタリングの活用可能性，下水道協会誌，733，140-148，2023
- 6) 環境省・国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル～下水道部門における温室効果ガス排出抑制等指針の解説～，2016 年 3 月

8. 下水処理場におけるエネルギー最適化に関する調査

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

下水処理研究室 室長 重村 浩之
研 究 官 中村 憲明
研 究 官 山田 裕史

1. はじめに

持続可能な社会を目指す世界的な潮流において、日本は2050年までに脱炭素社会実現を目標に掲げている。下水道分野でも国土交通省にて脱炭素社会の実現に貢献する下水道の将来像を定め、関係者が取り組むべき総合的な施策とその実施工程表を「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書」としてとりまとめている¹⁾。下水道の有するポテンシャルの最大活用、温室効果ガスの積極的な削減、地域社会との連携といった取り組みを推し進めて2030年の温室効果ガス排出量46%削減、そして2050年のカーボンニュートラル実現を目標とするものである。

脱炭素化を進めるにあたっては、下水処理場における機器の電力消費量の現状を把握することが重要である。過年度には電力消費量が多い中大規模処理場を対象に、電力消費量を算出するための算出式の作成、省エネ機器の導入や創エネ技術の導入による電力消費量削減効果の試算等を行った。今後は機器の仕様を考慮した、より詳細な検討を行う必要があった。

本研究は令和2～4年度において実施された。オキシデーションディッチ法(OD法)、標準活性汚泥法(以下、標準法)、高度処理法について、必要空気量等に応じた機器の仕様等を設定し、電力消費量等を試算した。

また、「脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書」の考え方に沿い、下水道における資源・エネルギー有効利用対策が、社会に与える効果の検討も重要である。そのため、令和4年度においては、下水由来の資源を活用することによる温室効果ガスの削減効果を試算し、地域社会を包含した下水道施設のエネルギー消費量や温室効果ガス排出量の最適化に資する調査も実施した。

2. 各種処理方法における電力消費量

2.1 研究方法

試算では、OD法、標準法、循環式硝化脱窒法(以下、循環法)、嫌気無酸素好気法(以下、A₂O法)の水処理設備(最初沈殿池、反応タンク設備、最終沈殿池)、汚泥処理設備(汚泥濃縮設備、消化設備、汚泥脱水設備)を対象とし、場内ポンプ場、沈砂池設備、消毒設備は対象外とした。また、表1に示す標準法、循環法、A₂O法の日最大流入水量100,000m³/日においては、汚泥焼却設備を設置した場合についても試算を行った。なお、今回は機器の運転による電力消費量を対象としており、重油等のエネルギーについては含めていない。

試算にあたってはまず、処理場規模、流入・放流水質、水処理方式、汚泥処分方法に応じた物質収支を整理し、「下水道施設計画・設計指針と解説」²⁾(以下、設計指針)を参考として、処理に必要な槽容量や反応槽の必要空気量、水理学的滞留時間、汚泥量を算出した。次にこれらの条件に基づく水処理・汚泥処理を行うために必要な機器の仕様(ろ過速度や薬注率、濃縮汚泥や脱水汚泥の汚泥濃度等)、設置台数、稼動時間を設定し、

電力消費量＝電動機容量×台数×負荷率×稼動時間
の式から各機器の電力消費量を算出した。

表 1 流入水量及び機器の設定パターン

	日最大 流入水量 【m ³ /日】	日平均 流入水量 【m ³ /日】	①初沈	②反応槽	③終沈	④汚泥 濃縮	⑤消化	⑥汚泥脱 水	⑦汚泥 場外搬出	⑧焼却	
OD法	1,000	700	—	○	○	—	—	○	○	—	脱水機1種
	10,000	7,000	—	○	○	—	—	○	○	—	
	1,000	700	—	○	○	重力	—	○	○	—	脱水機2種
	10,000	7,000	—	○	○	重力	—	○	○	—	
標準法	10,000	8,000	○	○	○	重力+機械	—	○	○	—	散気装置2種+ 濃縮機2種+ 脱水機2種
	100,000	80,000	○	○	○	重力+機械	—	○	—	○	
	10,000	8,000	○	○	○	重力+機械	○	○	○	—	
	100,000	80,000	○	○	○	重力+機械	○	○	—	○	
循環法	10,000	8,000	○	○	○	重力+機械	—	○	○	—	
	100,000	80,000	○	○	○	重力+機械	—	○	—	○	
	10,000	8,000	○	○	○	重力+機械	○	○	○	—	
	100,000	80,000	○	○	○	重力+機械	○	○	—	○	
A20法	100,000	80,000	○	○	○	重力+機械	—	○	—	○	
	100,000	80,000	○	○	○	重力+機械	○	○	—	○	

各処理方式において、表 2 に示す機器の組み合わせの違いによる電力消費量の違いについて試算を行った。OD 法のような最初沈殿池のない処理法で反応タンクから直接引き抜いた汚泥の脱水を行う場合、多重板型スクリープレスが用いられることがあるため、試算ケースとして「多重板型スクリープレスー汚泥濃縮なし」と「遠心式またはベルトプレスー重力濃縮あり」を設定した。

試算を行った流入水量、機器の設定パターンを表 2 に示す。過年度の調査結果より、OD 法は日最大流入水量の 7 割を日平均流入水量とし、標準法、循環法、A₂O 法については日最大流入水量の 8 割を日平均流入水量とした。水処理設備及び汚泥処理設備における必要空気量や設備容量を計算するためには「日最大流入水量」を用い、電力消費量の計算には「日平均流入水量」を用いた。

2. 2 研究結果

OD 法における汚泥処理設備の電力消

費量算出結果を図 1 に示す。日平均流入水量 700m³/日、7,000m³/日どちらの処理規模においても遠

表 2 比較検討を行った機器

OD法	脱水機	多重板型スクリープレス (汚泥濃縮なし) 遠心式またはベルトプレス (重力濃縮あり)
標準法 循環法 A ₂ O法	散気装置	散気板(旋回流式)または 低圧損型メンブレン式散気装置
	汚泥濃縮機	遠心式またはベルト式
	汚泥脱水機	遠心式またはスクリープレス

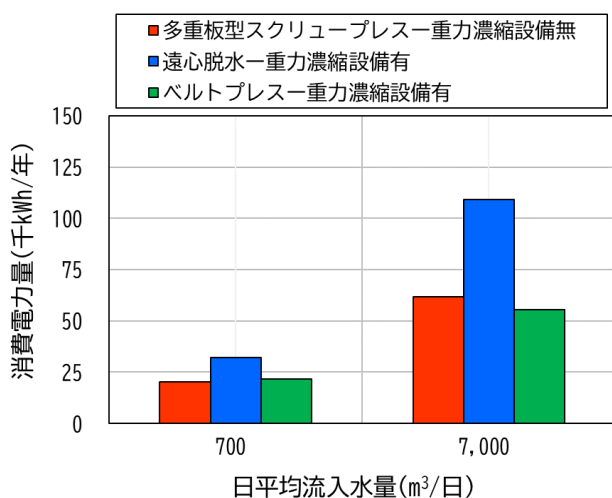


図 1 OD 法における汚泥処理設備の電力消費量

心脱水機を設定したケースが最も電力消費量が大きく、日平均流入水量が 700m³/日では他のケースの約 1.5 倍、日平均流入水量 7,000m³/日では他のケースの 2 倍近い値となった。

次に、汚泥脱水機の設置面積の試算結果を図 2 に示す。日最大流入水量 1,000m³/日において、遠心脱水機・ベルトプレス脱水機に比べて多重板型スクリープレス脱水機に比べて設置面積は 30%程度小さい結果となったが、多重板型スクリープレス脱水機は 1 台あたりの処理能力が小さく、日最大流入水量 10,000m³/日ではスクリー本数、設置台数が増えるため遠心脱水機・ベルトプレス脱水機に比べて設置面積は 2 倍近くとなった。なお、図 2 に示した検討内容では汚泥脱水機のための設置面積で比較しているが、検討の設定において多重板型スクリープレス脱水機は濃縮設備なし、他の脱水機では重力濃縮槽ありと異なっているため、全体での比較としては、濃縮設備の設置面積も考慮した上で、電力消費も踏まえた総合的な考察が必要と考える。

標準法、循環法、A₂O 法における電力消費量については、日最大流入水量 100,000m³/日(日平均流入水量 80,000m³/日)における試算結果について述べる。図 3 に、各処理方式における散気装置別の水処理設備の電力消費量を示す。いずれも、下水汚泥処理施設における汚泥消化ありのケースである。散気板の酸素移動効率を 20%、低圧損型メンブレン式散気装置の酸素移動効率を 30%と設定しており、散気板に比べて低圧損型メンブレン式散気装置を設置した場合は送風機必要空気量が少なくなるため、水処理設備の電力消費量はいずれの処理方式でも低圧損型メンブレン式散気装置を導入した場合は、散気板を導入した場合より 25%程度小さくなった。

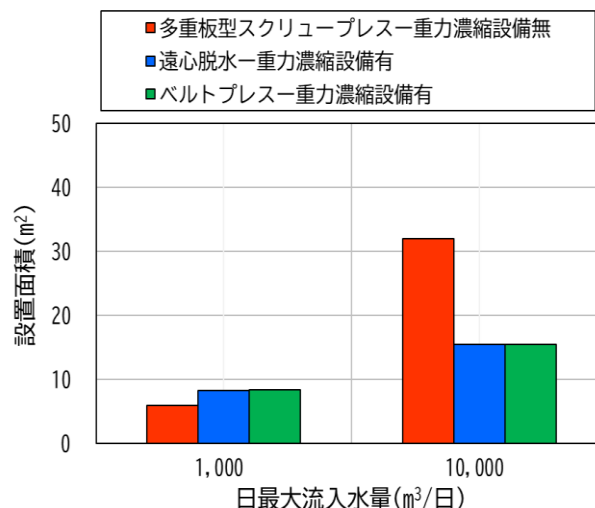


図 2 OD 法における汚泥脱水機の設置面積

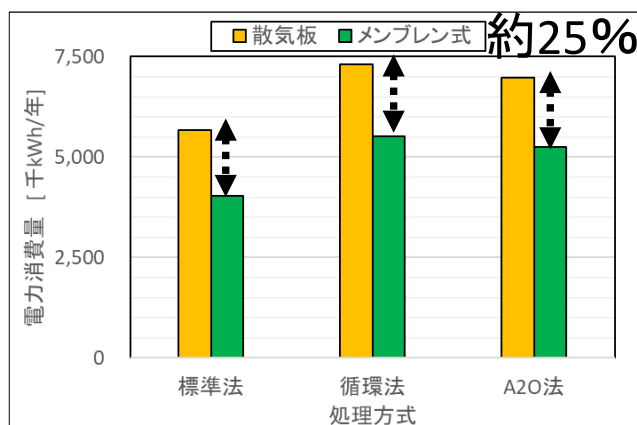


図 3 標準法、循環法、A₂O 法における散気装置別の水処理設備の電力消費量

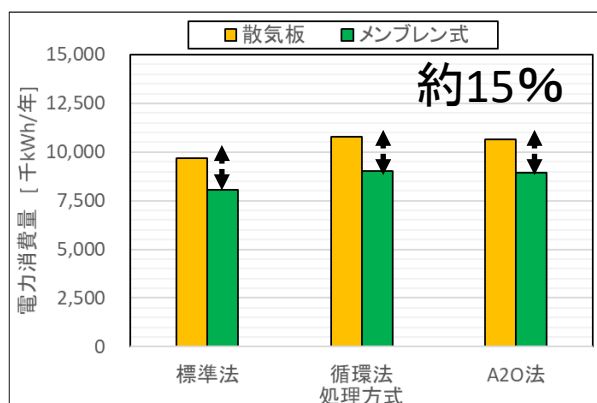


図 4 標準法、循環法、A₂O 法における散気装置別の水処理設備・汚泥処理設備の電力消費量

図4に、各処理方式における水処理設備と汚泥処理設備を合わせた電力消費量を示す。汚泥処理設備は、いずれもベルト式ろ過濃縮とスクリープレス脱水である。汚泥処理を含めた合計値でも、散気版を用いた場合に比べ、低圧損型メンブレン式散気装置を使用した場合は、全体で電力消費量が15%程度低減していた。

図5に、各処理方式における、汚泥消化設備有りと汚泥消化設備無しの電力消費量を比較した、水処理設備と汚泥処理設備を合わせた電力消費量を示す。汚泥処理設備については、遠心濃縮と遠心脱水、遠心濃縮とスク

リープレス脱水の組合せを示している。いずれも、消化設備がある場合は、消化設備がない場合と比べて汚泥処理設備全体の電力消費量が数%低くなっていた。汚泥消化後に汚泥量が減少したことが影響していると考えられる。なお、これら以外のベルト式ろ過濃縮と遠心脱水、ベルト式ろ過濃縮とスクリープレス脱水の組合せにおいても、同様な結果が得られた。

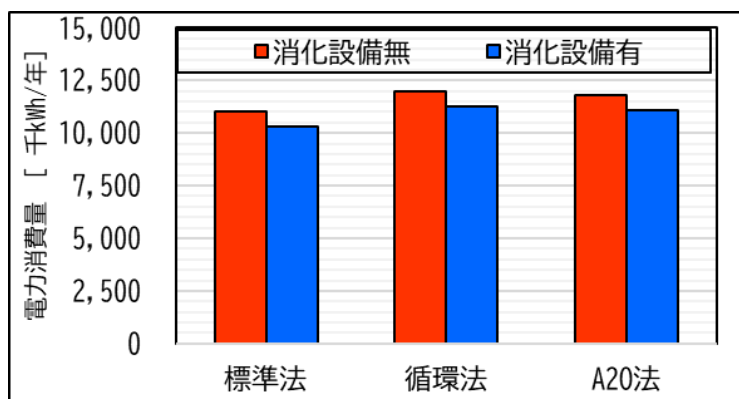
以上、様々な処理規模、水処理方法、汚泥処理装置の組み合わせにおける電力消費量の比較を行った。本結果は前提条件を設定して計算した一例に過ぎないが、特徴は示せたと考える。今後、下水処理場における機器選定においては、本成果も活用しつつ、省エネルギーに資する機器の選定が行われることが期待される。

3. 下水道における脱炭素に係る外部貢献方法に関する調査

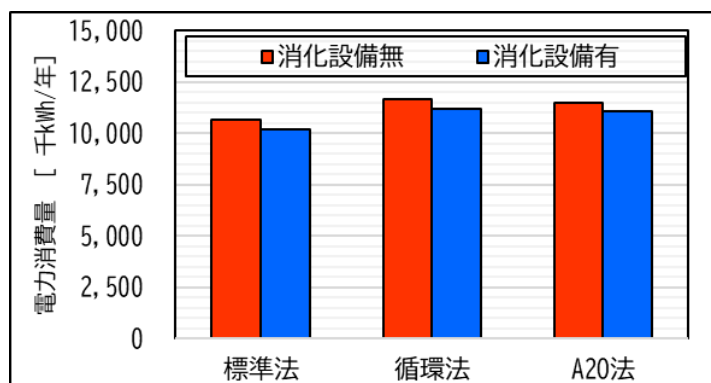
3. 1 研究方法

本研究においては、下水道資源を活用することで、輸入に頼っていた原材料を地産地消したと想定した場合に、温室効果ガスの排出量がどのように変化するかを試算した。

下水には有機物・無機物などの物質の他、下水熱や水そのものなど多様な資源が含まれ、下水処理場はこれらが集積する場である。処理場は都市部近傍に位置することから、加工や利用が可能であるとともに、下水道資源を原料とすることで、輸送や製造にかかる温室効果ガス（GHG）排出量を従来製品より減少させることができる可能性がある。図6にそのイメージを示す。海外からの資



遠心濃縮—遠心脱水



遠心濃縮—スクリープレス脱水

図5 標準法、循環法、A₂O法における、汚泥処理設備別の水処理設備・汚泥処理設備の電力消費量

源の輸送に係る GHG について、国内資源を活用することで削減が可能である。また、例えば、カーボンニュートラルな資源である下水汚泥を燃料利用することで、利用に係る GHG も削減可能と考えられる。本研究においては、下水道資源の活用が下水道分野外の GHG 排出量の削減に貢献すると捉え（GHG 削減効果の外部貢献）、地域全体への影響を試算する。

資源活用に関する製造時点の GHG 排出量は、調査した処理場における電力使用量より算出し³⁾、従来製品については環境省資料⁴⁾より引用し比較した。運搬由来の GHG 排出の試算は、事例毎の実測が困難であったことから類推による試算を行った。原料を輸入する資源については、資源エネルギー庁資料^{5) 6) 7)}の実績より、最大の輸出港から国

内の主要な港湾まで海運した場合の GHG 排出を採用した^{8) 9)}。国内の輸送については自動車による陸送¹⁰⁾のみとし、従来製品は最寄りの港湾より処理場の位置する都道府県の県庁所在地まで、活用製品については平均的な自治体の面積が 200km²である¹¹⁾ことから自治体中心から境界までを 15km とし、自治体の直径にあたる距離 30km を陸送した際の GHG 排出量を算定した。

GHG 排出量の試算について、上記の試算方法を基に下記のように計算した。

従来製品の GHG 排出量 = 海外からの輸送による GHG 排出量 + 製造による GHG 排出量(温室効果ガスインベントリを参照)¹²⁾

下水道資源活用による GHG 排出量¹³⁾ = 30km の輸送による GHG 排出量 + 製造による GHG 排出量(処理場への調査を参照)

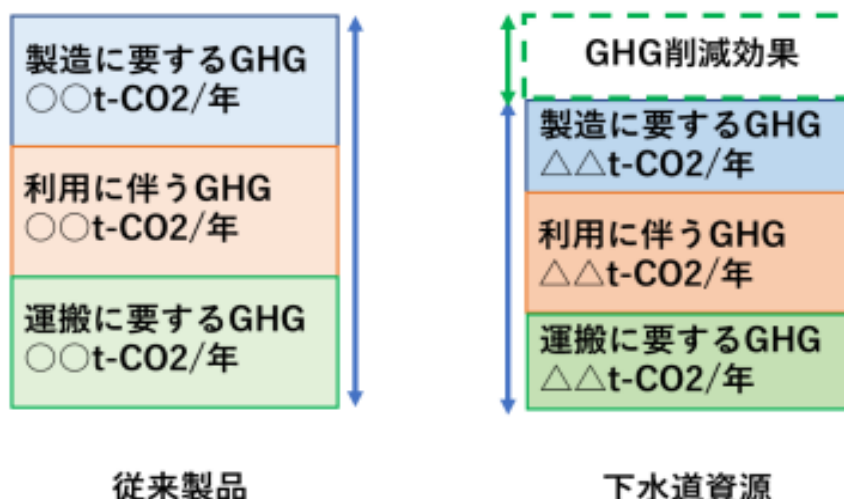


図6 下水道資源活用による GHG 削減効果イメージ

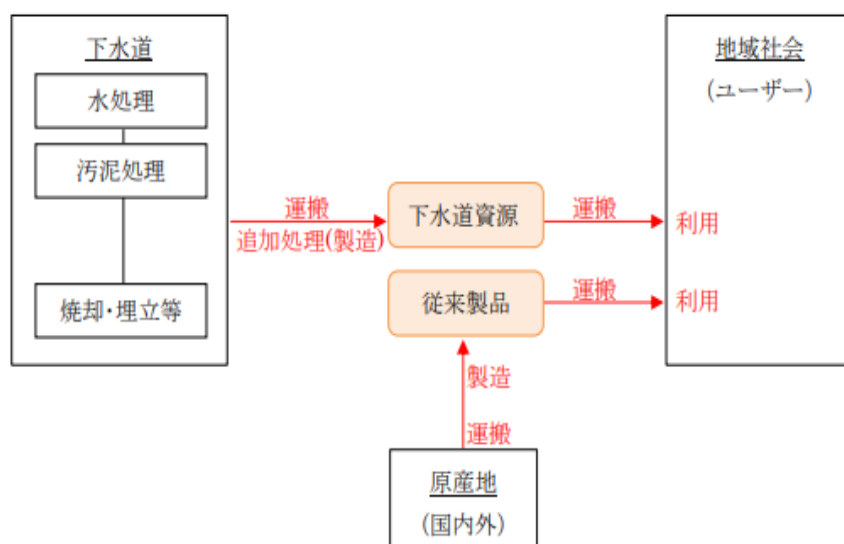


図7 検討対象イメージ

GHG 削減効果 = 従来製品の GHG 排出量 - 下水道資源活用による GHG 排出量 + 従来製品の燃料利用に伴う GHG 排出量（下水汚泥燃料のカロリー相当を削減）¹⁴⁾

図 7 に、検討対象のイメージを示す。国内の下水処理場にアンケート調査を行い、電気使用量から下水道資源を活用した製品（以下、活用製品）の生産量あたり GHG 排出量を試算した。従来製品も GHG 排出原単位を調査し、比較を行った。その際、運搬による GHG 排出を推計し、合算の上比較した。活用製品については下水処理場の規模（スケールメリット）の他、製造設備（加工場）・需要地との関係も重要だと考えられたため、住居地域、工業地域、農業地域のそれぞれに位置する処理場において GHG 削減効果を調査した。

表 3 調査対象の地域分布

地域	処理場数
北海道・東北	6
関東	7
甲信越	5
中部・東海	3
近畿	2
中国・四国	4
九州・沖縄	8

表 4 調査対象の規模分布

規模（現有施設能力）	処理場数
大規模（50,000m ³ /日以上）	20
中規模（10,000 以上 ～50,000m ³ /日未満）	9
小規模（10,000m ³ /日未満）	1

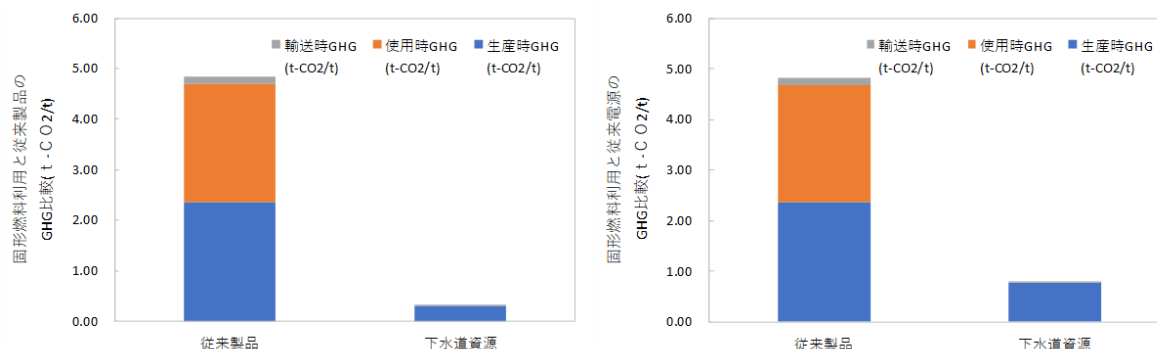
表 5 利用方法の分布

資源利用方法	回答数
消化ガス利用	2
消化ガス発電	3
建設資材利用	3
リン資源利用	4
固形燃料利用	9
肥料利用	11
下水熱利用	1
再生水利用	5
焼却廃熱利用	1

3. 2 研究結果

下水道資源の活用を行っている約 30 処理場を対象にアンケート調査を行った。対象は地方でそれぞれ分散させ、調査結果に極端な偏りが無いよう留意した（表 3 参照。無回答を含む）。処理場の規模については、小規模処理場において、対象となる有効利用事例が少なく、その結果 1 処理場のみの選定となった（表 4 参照）。選定の基準については新聞、専門誌等で紹介された著名な事例を中心に抽出した。下水道資源の利用方法（表 5 参照）については重複回答を含み、集計は延べ数となる。調査内容は立地条件の他、処理水量や水質等の基本的な条件、下水道資源を活用するために要した電気使用量や生産量とした。下水道資源の活用方法については複数処理場でデータを比較できるように選定したが、実用例の少ない活用法においては比較事例を得られない事例もあった。

図 8 に、下水道資源利用における GHG 排出量の従来製品との比較の例として、下水汚泥の固形燃料利用について流量別に 2 事例を示した。2 事例ともに、従来製品と比較して、GHG 排出量が大幅に小さい結果となった。これは、使用時の GHG の違いが最も大きく影響しており、カーボンニュートラルな資源である下水汚泥原料の固形燃料ではゼロであるが、従来製品である石炭では算定されるためであった。また、燃料生産時に係る GHG 排出量について、文献値や処理場アンケートにより、下水汚泥由来固形燃料の方が大幅に小さい結果となったことも大きく影響していた。なお、下水道資源と従来製品との GHG 比較については、固形燃料利用以外の方法においても、条件設定や文献情報等に左右されることが考えられ、今後、精度向上のため、更なる調査や算定方法の検討が必要と考えられる。



(1)日平均流量約 9 万 m³/日

(2)日平均流量約 3 万 m³/日

図 8 下水道資源利用における GHG 排出量の従来製品との比較（下水汚泥の固形燃料利用の場合）

4. まとめ

本研究は令和 2～4 年度において実施された。OD 法、標準法、高度処理法について、必要空気量等に応じた機器の仕様等を設定し、電力消費量等を試算した。また、令和 4 年度においては、下水由来の資源を活用することによる温室効果ガスの削減効果を試算し、地域社会を包含した下水道施設のエネルギー消費量や温室効果ガス排出量の最適化に供する調査も実施した。

下水道施設からの GHG 排出については OD 法、標準法、高度処理法について必要空気量等に応じた機器の仕様や運転時間等を設定し、電力消費量を試算した。OD 法については、遠心脱水機を用いると電力消費量が大きくなる傾向がある一方で、規模が大きくなる場合、多重板型スクリーンプレス脱水機は、他の機器の 2 倍程度の面積が必要となった。ただし、今後、汚泥濃縮も含めた総合的な考察が必要と考える。標準法や高度処理法においては、散気装置の種類により、電力消費量に約 15～25%の差が見られた。また、消化設備がある場合は、消化設備がない場合と比べて汚泥処理設備全体の電力消費量が数%低くなることが得られた。

下水道資源の活用という観点では、活用方法や周辺地域の環境を考慮すれば、GHG 排出量を減少させつつ、外部へ資源を供給できることが示された。カーボンニュートラル実現のためには省エネのみならず、資源供給源として他分野の GHG 排出量の削減に繋がる役割を担う必要がある。更に近年、化学肥料の原料や燃料が高騰や感染症による国際貿易の停滞等、安定的な資源獲得におけるリスクが表面化している。下水道資源は国内の下水処理場に収集する体制が整っており、活用するためのハードルも低く、今後の利活用が期待される資源である。今後の研究活動においては、調査すべき実例数を増やし、試算の精度を向上させる。カーボンニュートラルの実現のため、下水道施設における GHG 排出削減と併せて、地域社会全体の GHG 排出削減を推し進めるためのモデル資料としての考え方を、今後整理していく予定である。

参考文献

- 1) 脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会、国土交通省ウェブサイト
https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000734.html
- 2) 公益社団法人日本下水道協会 下水道施設計画・設計指針と解説 2019 年版

- 3) 環境省 電気事業者別排出係数一覧
- 4) 環境省 算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧 p.6
- 5) 資源エネルギー庁 日本のエネルギー2020 エネルギーの今を知る 10 の質問
- 6) 日本港湾協会 官民の協力により整備が進む豪州の石炭輸出港
- 7) 独立行政法人エネルギー金属鉱物資源機構 鉱物資源マテリアルフロー2018 (P)
- 8) 独立行政法人エネルギー金属鉱物資源機構 豪州東海岸における LGN 輸出増と豪国内ガス安定制度 (ADGSM) の導入
- 9) 国土技術政策総合研究所 物流から生じる CO2 排出量のディスクリージャーに関する手引き p.15
- 10) 経済産業省 貨物自動車のエネルギー消費性能の向上に関するエネルギー消費機器等製造事業者等の判断の基準等
- 11) 総務省 市町村の現状について
- 12) 国土交通省 下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン
- 13) 環境省・国土交通省 下水道における地球温暖化対策マニュアル
- 14) 国立環境研究所 日本国温室効果ガスインベントリ報告書 2022

Ⅱ. その他の予算による調査研究

1. 下水道を核とした資源循環システムの

広域化・共同化に関する研究

(研究期間 令和3年度～令和5年度)

下水処理研究室 室 長 重村 浩之
研 究 官 高濱 俊平
研 究 員 長 崎 真

1. はじめに

パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略に基づき、温室効果ガスの大胆な削減に取り組むため、再生可能エネルギーの普及拡大及びエネルギーシステムの強靱化に資する分散型エネルギーシステムの構築が求められている。

下水道においては、下水処理過程で発生する汚泥の利活用を推進しているところであるが、更なる持続的な資源循環型社会を目指し、地域全体でより一層の省エネ・創エネ及びリン等のマテリアル回収を推進していく必要がある。そのような背景のもと、下水処理と廃棄物処理を連携させ、廃棄物処理施設で焼却処分されている生ごみ等を下水道に受け入れて、地域全体でエネルギー・マテリアルを効率的に回収し、最終処分量も減らす新たな資源循環システムを構築する必要がある。

そのためには、生ごみ等を下水道に受け入れる場合に下水道施設に与える影響に関する技術的な検討や、資源循環システムの経済性、温室効果ガス削減効果（本稿では環境性という）等の評価手法の確立が不可欠である。本研究は、評価手法を確立し、持続可能な資源循環システムの構築促進を目的とする。

令和4年度は、既往文献や下水処理施設への生ごみ等の地域バイオマス受入れ業務に携わった実績があるメーカー等から情報を収集・整理し、経済性や環境性評価の簡易算定式を作成するとともに、さらに実現性が高いものとなるよう令和3年度に類型化した連携パターンを精査した。

2. ヒアリング等に基づく連携パターンの精査

2. 1 連携パターンの精査方法

表1に示すとおり、令和3年度の整理では、生ごみ受入れを実施している先進事例の多くで、目的として「資源の有効利用（循環型社会）」が挙げられている点を踏まえ、資源利用用途を網羅する観点で分類を検討した。また、先進事例では、生活系ごみと事業系ごみを受入れている場合と、事業系ごみのみを受入れている場合があった点を踏まえ、各分類内で場合分けを行った。令和3年度は、受入れる廃棄物による分類、肥料利用方法の分類等の観点から精査を行った。

2. 2 連携パターンの精査結果

連携パターンの精査結果を表2に示す。まず、下水処理施設へ生ごみ受入れ施設を設置した

実績のあるメーカーへヒアリングした結果、生活系ごみを含むかどうかによらず、設置する施設は変わらないことがわかった。このことから、受け入れる廃棄物による分類は行わないこととした。次に、肥料利用の代表的方法である汚泥を乾燥させる場合と発酵させる場合では、処理工程の違いや性状の違い等の相違点があることを踏まえ、「乾燥汚泥肥料」「発酵コンポスト」に分類した。その他、表記の見直しとして、焼却廃熱に限らず、場内における廃熱全般からの回収・利用とわかるようにした。

表 1 令和 3 年度 連携パターン類型化一覧

連携パターン ン	資源利用用途		脱水汚泥	生ごみ	
				事業系	生活系
1	消化ガス 発電	—	廃棄物処理施設へ搬出	受入れ	—
2				受入れ	受入れ
3			汚泥処理、焼却等	受入れ	—
4				受入れ	受入れ
5	消化ガス 発電	固形燃料	資源化	受入れ	—
6				受入れ	受入れ
7		肥料		受入れ	—
8				受入れ	受入れ
9		リン回収	汚泥処理、焼却等	受入れ	—
10				受入れ	受入れ
11		熱利用	焼却	受入れ	—
12				受入れ	受入れ

表 2 令和 4 年度 連携パターン類型化一覧（精査後）

連携パターン	資源利用用途		脱水汚泥
1	消化ガス発電	—	汚泥処理、焼却等
2			廃棄物処理施設へ搬出
3		固形燃料	— (資源化)
4		乾燥汚泥肥料	
5		発酵コンポスト	
6		リン回収	汚泥処理、焼却等
7		場内廃熱利用	焼却

3. 文献調査・アンケート調査に基づく簡易算定式の作成

3. 1 簡易算定式作成に向けた費用関数等の調査方法

簡易算定式を整理するため、既存の指針・ガイドライン等を対象に生ごみを受け入れるために必要となる前処理設備等の主要設備に関する費用関数及び温室効果ガス排出量原単位の整備状況を確認するとともに、「建設費」や「維持管理費」、「汚泥処分費用の変化」等について、各設備の施工実績のあるプラントメーカー5社及び生ごみ受入れ実績のある5自治体へのアン

ケート調査を実施した。

3. 2 費用関数等の調査結果

調査の結果により作成した経済性評価及び環境性評価に関する簡易算定式を、それぞれ表 3、表 4 に示す。ここでは、代表例として連携パターン 1 について紹介する。経済性評価では、下水側に設置する各主要施設については、既存の費用関数を確認できたため、これらの費用関数をアンケートにより得られた実績データと比較し、妥当性の確認を行った。実績データと同等な値であった費用関数は、デフレーター補正値を係数として追加した簡易算定式を作成した。前処理施設の建設費は、実績データから大きく乖離していたため、アンケートより得られた実績データをもとに回帰分析を行い、簡易算定式を作成した。

一方、廃棄物側における収集・運搬および規模縮小によるコスト縮減効果については、従前の収集方法や廃棄物側の施設計画等の現地条件に大きく左右され、コスト増大あるいは縮減の一定の傾向を見い出すことが困難であることが確認された。

環境性評価では、生ごみ受入れに伴う変化する電力収支等から温室効果ガス排出量の簡易算定式を作成した。

表 3 連携パターン 1 に関する経済性評価の簡易算定式

項目	費用関数	単位	デフレーター 補正値 ※ 1 (α)	参考 ※ 2	備考
前処理施設(建設費)	$Y = 56.054Q_w^{.4491}$	百万円	-	-	
前処理施設 (維持管理費)	$Y = 11.96646Q_w^{.0.7} \times b \times 365 \times C \div 10^6 \times \alpha$	百万円/年	1.04	1	b : 人件費
混合槽(機械)	$Y = 8.26 \times Q_v^{.400} \times \alpha$	百万円	1.19	2	
混合槽(電気)	$Y = 0.836 \times Q_v^{.535} \times \alpha$	百万円			
混合槽(土建)	$Y = 2.01 \times Q_v^{.583} \times \alpha$	百万円			
混合槽 (維持管理費)	$Y = 9.45 \times Q_v^{.493} \times C \times \alpha$	百万円/年			C : 電気使用 量単価
混合槽(補修費)	$Y = 0.184 \times Q_v^{.400} \times \alpha$	百万円/年			
消化槽(機械)	$Y = (0.07359 \times Q_v + 18.54433) \times \alpha$	百万円	1.04	1	
消化槽(土建)	$Y = (0.05367 \times Q_v + 20.30994) \times \alpha$	百万円			
消化槽(維持管理)	$Y = (0.05y + 0.0030474Q_v + 0.4839338) \times \alpha$	百万円/年			y : 機械設備 費
ガスタンク	$Y = 10.4 \times Q_v^{.437} \times \alpha$	百万円	1.19	2	
ガスタンク (維持管理費)	$Y = 0.283 \times Q_v^{.302} \times \alpha$	百万円			
脱水機(機械)	$Y = 0.434 \times Q_{s1}^{.373} \times \alpha$	百万円	1.30	3	
脱水機(土木)	$Y = 0.227 \times Q_{s1}^{.444} \times \alpha$	百万円			
脱水機(維持管理)	$Y = 0.039 \times Q_{s1}^{.595} \times \alpha$	百万円/年			
消化ガス発電機 (機器費)	$Y = (0.039538 \times Q_g + 9.073315) \times \alpha$	百万円	1.04	1	
消化ガス発電機	$Y = 0.0988Q_a T \times \alpha$	百万円/年			T : 年間稼働

(維持管理費)					時間
汚泥処分費用	$Y = Q_s \times B$	円	-	-	
売電収入(下水)	$Y = Q_p \times C$	円	-	-	
廃棄物焼却炉運転	$Y = Q_s \times E \times C$	円	-	-	
売電収入(廃棄物)	$Y = Q_p \times C$	円	-	-	

Y：費用、 Q_w ：生ごみ受け入れ量、 Q_v ：容量、 Q_{s1} ：汚泥量(固形物 1%換算)、 Q_g ：消化ガス量、 Q_s ：汚泥処理量、 Q_a ：ガス発電容量、 Q_p ：発電量、B：汚泥処分単価、C：電力単価、E：処理量当たりのエネルギー使用量、

※1 出典：参考文献 1)

※2 出典：参考文献 2) ～4)

表 4 連携パターン 1 に関する環境性評価の簡易算定式

項目	費用関数	単位	備考
前処理施設運転	$G = 2.1186Q_w^{0.7772}$	t-CO ₂ /年	
再エネ生成 (発電・下水)	$G = Q_p \times a$	t-CO ₂ /年	
廃棄物焼却に伴う 燃料使用	$G = Q_e \times a$	t-CO ₂ /年	
再エネ生成 (発電・廃棄物)	$G = Q_p \times a$	t-CO ₂ /年	
埋め立て処分量	$G = Q_s \times a$	t-CO ₂ /年	埋立でない場合不要

G：温室効果ガス排出(削減)量、 Q_w ：生ごみ受け入れ量、 Q_s ：汚泥処理量、 Q_p ：発電量、 Q_e ：エネルギー使用量、a：温室効果ガス排出量原単位（項目によって異なる）

4. まとめと今後の課題

今回、令和 3 年度に類型化した連携パターンを、さらに実現性が高いものとなるよう精査した。また、既往文献やヒアリング等により得られた費用関数や情報から簡易算定式を策定した。整理した簡易算定式は、これらを組み込んだ簡易検討ツールを作成し、経済性評価及び環境性評価の結果を簡易に算出できるようにする予定である。また、先進事例をモデル都市として簡易検討ツールを用いた連携パターンの選定を行い、実際の連携パターンが選定されるかを検証する予定である。

廃棄物側のコスト削減効果について、本調査研究の過程で意見交換を行っている廃棄物の研究機関からも、一律の評価が難しい点として述べられている。一方で、連携検討を進めるにあたって重要な点であることの情報も得られている。

今後、自治体向けの検討手順書としてまとめていく中で、費用関数により評価できない点に関しては、先進事例における事例や留意点として示す等、引き続き、廃棄物担当部局等の意見も伺いながら、研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) 出典資料の発刊年度を基準とした最新年度の値（R4、12月時点最新年度 2021 年値の値で記載）への補正值
- 2) 下水処理場におけるエネルギー自立化の可能性調査研究技術資料，下水道新技術機構，2019
- 3) 下水処理場へのバイオマス（生ごみ等受入れマニュアル）受入れ，下水道新技術機構，2011
- 4) バイオソリッド利活用基本計画（下水汚泥処理総合計画）策定マニュアル，下水道協会，2004

2. 下水汚泥からの生分解性プラスチック回収可能性に関する研究

(研究期間 令和4年度～令和5年度)
下水処理研究室 室長 重村 浩之
研究官 石井 淑大
研究員 長寄 真

1. はじめに

下水道は、水、下水汚泥中の有機物、希少資源であるリン、再生可能エネルギー熱である下水熱など多くの水・資源・エネルギーポテンシャルを有するが、その利用は未だ低水準である。そのため、国土交通省が平成27年12月（令和5年3月一部改定）に策定した「下水道技術ビジョン」では、下水中の多様な物質の効率的回収に関する技術の開発が技術目標として定められている¹⁾。

そこで本調査では枯渇性資源の使用削減、海洋プラスチックごみ汚染の抑制に資すると考えられる生分解性プラスチックの原料であるポリヒドロキシアルカン酸（PHA）に着目した。下水汚泥からのポリヒドロキシアルカン酸回収は実用化されておらず、下水汚泥の新たな価値の創出に向けて検討が必要であると考えられる。本調査では、余剰汚泥のポリヒドロキシアルカン酸生産ポテンシャルを把握するため、日本全国の下水処理場から採取した様々な処理方式の余剰汚泥試料を対象にポリヒドロキシアルカン酸生産実験及び賦存量の試算を行った。

2. 研究方法

2. 1 試料採取

2022年11月から2023年2月において、国内17か所の下水処理場から25種類の余剰汚泥試料を採取した。本調査では、標準活性汚泥法、嫌気無酸素好気法、嫌気好気活性汚泥法などの様々な処理方式の汚泥試料を採取したため、その内訳を表1に示す。

表1 汚泥試料の処理方式の内訳

標準活性汚泥法（標準法）	5
嫌気好気無酸素法（A2O）	5
嫌気好気活性汚泥法（AO）	5
循環式硝化脱窒法（循環式）	2
ステップ流入式多段硝化脱窒法（ステップ）	3
オキシデーションディッチ法（OD）	4
修正 Bardenpho 法（修正）	1

2. 2 PHA 生産能力試験

採取した汚泥試料について、PHA の生産能力を把握するための PHA 生産実験を行った。まず、携帯用 MLSS 測定装置（笠原理化学工業株式会社 SS-10Z）を用いて、純水で希釈することにより MLSS を 2,000 mg/L 程度に調整した。調整汚泥試料 1 L に対し、炭素源として酢酸ナトリウム（以下、「基質」という）7 g を投入した。基質投入時点を実験開始とし、24 時間曝気し、実験終了とした。実験中の溶存

酸素量は 2~3 mg/L 程度であった。水温は 18~20 ℃程度、pH については試料により大きく異なるが実験開始時は 6.5~7.5 程度、実験終了時は 8.0~9.5 程度であった。

2. 3 分析項目・分析方法

汚泥試料内の PHA として、ポリヒドロキシ酪酸 (PHB)、ポリヒドロキシ吉草酸 (PHV) 及びポリヒドロキシヘキサン酸 (PHH) の含有量を測定した。PHA の分析方法是文献²⁾を参考にアルカリ分解を用いた UV 検出器による液体クロマトグラフ (LC/UV) 法とした。

また、実験前後の MLSS については、先述の携帯用装置に加え、下水試験方法に従い測定を行った。

2. 4 PHA の抽出・精製

PHA 生産実験後の 2 種類の試料について、PHA 抽出・精製を試みた。本調査では、有機溶媒による溶媒抽出法を用いた。得られた生成物の物性評価として、純度 (重量法及び HPLC 法)、融点 (示差走査熱量計 (DSC) 法)、分子量 (ゲル浸透クロマトグラフィー (GPC) 法) の測定を行った。

3. 結果・考察

3. 1 PHA 生産能力

生産能力試験 (24 時間曝気) 後の試験前初期含有量も含めた汚泥試料中の PHA 含有量を PHA 生産能力とし、その結果を図 1 に示す。3 物質 (PHB、PHV、PHH) の合計を積み上げ棒グラフで示している。最大値は試料 18 の 340 mg/L であり、最小値は試料 12 の 14 mg/L であった。

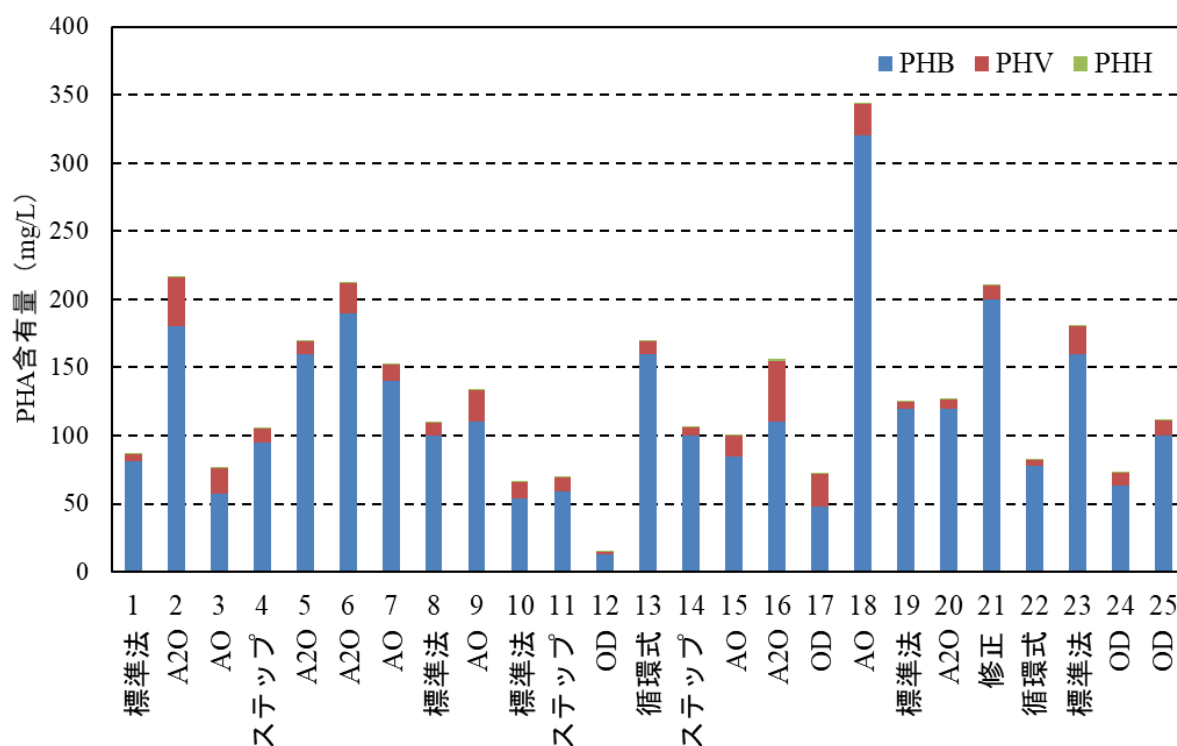


図 1 PHA 含有量分析結果

また、各物質の割合は試料 3、16、17 を除き PHB が 80%以上を占めていることが確認された。PHH については 0~1%であり、ほとんど生産されていないことが確認された。

また、MLSS あたりの PHA 含有率（%（mgPHA/mgMLSS*100））を試算し、処理方式毎に比較した結果を図 2 に示す。処理方式毎の平均値も併せて上部に示す。なお、全試料の平均は 6.50%であった。各処理方式の平均値を比較すると A2O、AO の生産能力が一番高く、次いで循環式、標準法、ステップ法、OD 法の順になった。一方で他の文献^{3),4)}では、A2O より標準法の方が、生産能力が高いと評価しており、本研究とは異なる結果が出ている。本研究では各処理方式の試料数は最大でも 5 にとどまっており傾向を見出すためのデータが十分に揃っていないと言え、引き続きデータを収集していく必要があると考える。

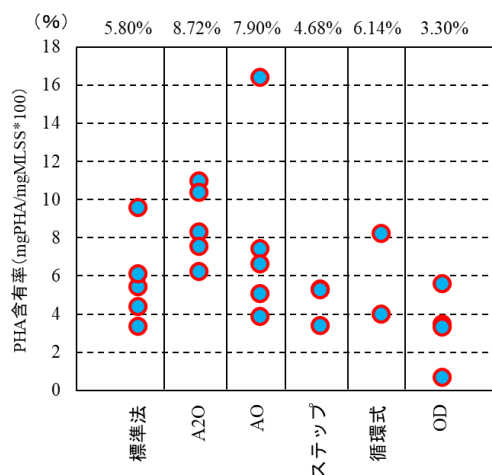


図 2 処理方式毎の PHA 含有量の比較

3. 2 賦存量の試算

PHA 含有率を用いて、国内の下水汚泥の年間発生量あたりに換算した賦存量を簡易的に試算した。試算にあたり、下水道統計（令和 2 年度版、日本下水道協会）のデータを活用した。下水道統計に掲載されている最終沈殿池汚泥（以下、終沈汚泥）（=余剰汚泥）発生量とその含水率から固形物分を算出し、各処理方式の PHA 含有率平均値を乗ずることで各下水処理場の PHA 生産ポテンシャルを試算した。処理方式を複数有する処理場については単純に発生量を按分し、それぞれの処理方式の平均値を乗じた。本調査では、収集していない処理方式を有する処理場及び複数処理場の汚泥を集約処理している汚泥処理施設に関しては、全試料の平均値を用いた。また、終沈汚泥のデータが無く、混合汚泥のデータが有る場合は、統計に掲載されている全ての最初沈殿池汚泥と終沈汚泥の発生量の比から、混合汚泥中の終沈汚泥分の量を推定し、各処理方式の平均値を用いて試算した。上記の条件を踏まえ試算した結果、PHA の賦存量は約 97,000 t と試算された。2019 年度における国内の生分解性プラスチック出荷量は 4,300 t⁹⁾であり、下水道資源としての PHA 生産ポテンシャルは十分に高いと考えられる。

3. 3 PHA 抽出・精製

3. 2 より下水道資源としての PHA 生産ポテンシャルは十分に高いと考えられるが下水汚泥から生産された PHA の質を確認するため、本研究では、PHA 生産実験後の汚泥からの PHA 抽出・精製も試みた。抽出・精製した PHA の純度、分子

表 2 抽出・精製された PHA の物性評価

試料名	純度 (%)	数平均分子量 (Mn)	融点 (°C)
A	38	5.2×10^3	171.5
B	120	3.9×10^3	171.1

量、融点の分析結果を表 2 に示す。なお、試料 A は図 1 で示す試料 19、試料 B は試料 20 に対応する。純度について、PHA をアルカリ熱分解処理を行い、アルカリ溶液中の PHA の重量を精製された PHA の重量で除して算出している。精製された試料 A では 38%と低くなっている

が、精製された PHA の性状がフィルム製の強靱性を持っておりアルカリ熱分解処理では完全に溶解しなかったことから、本来はより高い値であると考えられる。試料 B については 120% と 100%を超えているが、PHA 濃度の測定にあたり、アルカリ熱分解した際の分解生成物から濃度換算係数を用いて間接的に測定しているため、過大に評価した可能性がある。

過去の文献⁶⁾と比較すると、融点については同様の結果が得られているが、数平均分子量が約 10 倍程度小さかった。文献⁶⁾では PHA 含有率が約 50%まで蓄積させた汚泥試料を用いており、本研究では約 6%の試料を使用したため、不純物も含まれていたと考えられ、高品質な PHA を生産するためには PHA 含有率を上げる必要がある。

4. まとめ

本調査により得られた知見を以下に示す。

- ・ PHA 生産能力を処理方式毎の平均値を比較した結果、A2O、AO の生産能力が一番高く、次いで循環式、標準法、ステップ法、OD 法の順となった。一方で、他の文献と異なる結果となり、データ数が最大でも 5 であるためデータの収集が必要である。
- ・ 国内の下水汚泥の年間発生量あたりに換算した賦存量を簡易的に試算した結果、約 97,000 t と試算され、2019 年度における国内の生分解性プラスチック出荷量と比較すると下水道資源としての PHA 生産ポテンシャルは高いと考えられる。
- ・ 下水汚泥から生産された PHA の質を確認するため、汚泥試料からの PHA の抽出・精製を試みた結果、純度や数平均分子量に過去の文献と大きく隔たりがあり、PHA 含有率の違いと考えられ、高品質の PHA 生産には含有率を上げる必要がある。

参考文献

- 1) 下水道技術ビジョン，平成 27 年 12 月（令和 5 年 3 月一部改訂）
- 2) アルカリ分解を用いた活性汚泥一時貯蔵物質 PHA の測定法，坂本 俊彦，第 50 回下水道研究発表会講演集，2013
- 3) 余剰汚泥をバイオ触媒としたポリヒドロキシアルカン酸の生産，池 道彦，井上 大介，日本水処理生物学会誌・第 59 巻，2023
- 4) 実下水処理活性汚泥の生分解性プラスチック生産能力調査、高畠ら，環境工学研究論文集・第 36 巻，1999
- 5) バイオプラスチック概況，日本バイオプラスチック協会，令和 2 年 5 月
- 6) 余剰汚泥に蓄積したポリヒドロキシアルカン酸の高効率回収法の検討，井上ら，第 58 回下水道研究発表会講演集，2021

付 録

付録 1. 直近の下水道関係刊行報告書一覧

令和 3 年度下水道関係調査研究年次報告書集

国土技術政策総合研究所資料 第 1267 号 2023 年 12 月
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

要旨

本報告書集は、令和 3 年度に国土交通省国土技術政策総合研究所において実施された下水道に関する調査研究の成果を集約して資料としてとりまとめたものである。

キーワード：下水道、下水処理、ストックマネジメント、浸水対策、災害対策、温室効果ガス、省エネルギー

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1267.htm>

下水道用硬質瀝青管の実態及び管理に関する研究

国土技術政策総合研究所資料 第 1272 号 2024 年 3 月
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

要旨

1970 年代に主に下水道用取付け管として導入された硬質瀝青管について、本研究では、地方公共団体へのアンケート調査、諸外国の文献調査及び実際に布設されていたサンプルを用いた各種試験等より、その特性及び管理における留意点を整理した。

キーワード：下水道管路、硬質瀝青管、管理、改築

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1272.htm>

下水道技術開発レポート 2023

国土技術政策総合研究所資料 第 1291 号 2024 年 9 月
国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部

要旨

国総研では、平成 28 年 1 月より、下水道技術ビジョンのフォローアップ及び下水道の技術開発促進方策の検討を目的として、下水道技術開発会議を主催している。

本研究資料は、下水道技術開発会議において、令和 5 年度に行った調査研究等の内容について取りまとめたものである。

キーワード：下水道技術ビジョン、下水道技術開発会議

URL : <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1291.htm>

付録2. 令和4年度 下水道関係調査研究課題表

担当研究室	調査研究課題名	期間 (年度)
下水道事業調査費		
下水道研究室	1. 下水道施設を活用した住民生活の利便性等の付加価値向上に関する調査	H30-R4
	2. 下水道新技術の開発方向性及び導入促進に関する調査	R1-R3
	3. 下水道地震被害システムの精度及び利便性の向上等に関する調査	R2-R4
	4. 気候変動等の影響を踏まえた効率的な都市浸水対策推進に関する調査	R4-R6
	5. 下水道管路の効率的なストックマネジメント実施に関する調査	R4-R7
下水処理研究室	6. 下水処理水の衛生学的な安全性を考慮した技術基準及び管理手法に関する調査	R2-R4
	7. 下水道から排出される温室効果ガス対策に関する調査	R2-R4
	8. 下水処理場におけるエネルギー最適化に関する調査	R2-R4
その他の予算による研究		
下水処理研究室	1. 下水道を核とした資源循環システムの広域化・共同化に関する研究	R3-R5
	2. 下水汚泥からの生分解性プラスチック回収可能性に関する研究	R4-R5
委託研究	下水道革新的技術実証事業（B-DASHプロジェクト）	H23-
下水道研究室	1. 分流式下水道の雨天時浸入水量予測及び雨天時運転支援技術に関する実証研究	R3-
下水処理研究室	2. 災害時に応急復旧対応可能な汚水処理技術の実用化に関する実証研究	R2-
	3. 中小規模広域化におけるバイオマスボイラによる低コスト汚泥減量化技術実証研究	R2-
	4. 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	R3-
	5. AIを活用した下水処理場運転操作の先進的支援技術に関する実証研究	R3-
	6. AIを用いた分流式下水の雨天時浸入水対策支援技術に関する実証研究	R3-
	7. 下水処理場の効率的維持管理の基盤となるクラウド3次元GISデータベースの適用可能性に関する研究（FS調査）	R3-
	8. 省エネ型深槽曝気技術に関する実証事業	R4-
	9. 高効率最初沈殿池による下水エネルギー回収技術実証研究	R4-

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
No.1306 February2025

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課
〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 電話 029-864-2675