

## 2.2.3 下水道研究部

### 下水道新技術の開発方向性及び導入促進に関する調査

Research on a development direction of sewerage technologies and a promotion of the technology introduction

(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 南山 瑞彦

下水道エネルギー・機能復旧研究官 高村 和典

下水道研究部 下水道研究室

室長 岡安 祐司

主任研究官 川島 弘靖

研究官 濱田 知幸

交流研究員 田中 裕大

#### [研究目的及び経緯]

国土交通省では、人口減少等に伴う厳しい経営環境、執行体制の脆弱化、施設の老朽化等の課題の進行や、海外水ビジネス市場の拡大等の社会情勢の変化を踏まえ、下水道の中長期的な方向性及び未来像を示すものとして、平成26年7月に新下水道ビジョンを策定するとともに、新下水道ビジョンの実現加速のために選択と集中により5年程度で実施すべき施策について、平成29年8月に新下水道ビジョン加速戦略を取りまとめた。下水道の事業主体は厳しい財政状況や人員不足等の課題を抱えており、この加速戦略の示す目指すべき目標を実現するには、新技術の積極的な導入や技術開発により、コスト縮減や業務効率化を図っていく必要がある。

本調査は、前述の目標達成に有用な技術や事業主体の技術的課題等を調査し、下水道技術ビジョン・ロードマップの見直し等の検討に活用するものである。今年度は、ロードマップ重点課題を整理したほか、小規模の地方公共団体を対象に技術ニーズや、新技術導入上の課題等について調査するとともに、下水道事業に関連する技術の開発状況について、文献情報等を基に整理した。また、小規模下水処理場の中で最も処理場数の多いオキシデーションディッチ法の処理場の電力消費量について調査した。

### 下水道管路を対象とした総合マネジメントに関する研究

Research on establishment of management cycle of sewer pipes

(研究期間 平成30年度～令和2年度)

下水道研究部 下水道研究室

室長 岡安 祐司

主任研究官 川島 弘靖

交流研究員 原口 翼

#### [研究目的及び経緯]

日本の下水道管路総延長は約48万kmと膨大であり、管路の老朽化等に起因する道路陥没も年間約3,000件発生している。今後、老朽管の割合は加速度的に増大する見込みであり、これに伴い、道路陥没等の重大事故の発生リスクが高まることが危惧される。また、事業主体である地方公共団体の下水道職員や予算も限られる中、点検調査の一層の効率化と蓄積された維持管理情報の活用による管路管理に係るコストの最適化により、適切な管路マネジメントサイクルを構築する必要がある。

地方公共団体における適切な管路マネジメントサイクルの構築を支援するため、国総研では、管きよ条件等に応じた最適な点検調査技術の選定手法や、維持管理情報を活用した計画・設計・施工・維持管理の最適化手法を提案することを目的として本研究を開始したところである。今年度は、点検調査の優先順位及び点検調査頻度の効率的な設定方法について検討するとともに、管きよ条件毎に改築修繕工法の費用比較を行い、改築修繕工法の選定方法について検討した。

## 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

Research on improvement of added value of sewerage system

下水道研究部 下水道研究室

(研究期間 平成 30 年度～令和 4 年度)

室 長 岡安 祐司  
主任研究官 川島 弘靖  
研 究 官 濱田 知幸  
研 究 官 中村 裕美

### [研究目的及び経緯]

人口減少及び高齢化社会を迎えるなど社会情勢が大きく変化する中、日々の生活や社会活動を支える下水道システム、サービスのあり方についても、時代の要請に応じた新たな取組みが必要となっている。国土交通省は、平成 29 年に「新下水道ビジョン加速戦略」をとりまとめ、住民の生活利便性向上に関する重点施策の一つとして、高齢化社会等への対応としての下水道への紙オムツ受入れ可能性の検討を位置付けた。また、「下水道への紙オムツ受入に向けた検討ロードマップ」を策定し、制度面及び技術面での検討を進めているところである。

国総研では、紙オムツの汚物を分離して下水道へ受入れた場合の下水道への追加的な負荷等の影響を検討するため、現状の流入水質の把握、追加的負荷となる物質の負荷量試算を実施するとともに、紙オムツを破砕した排水の水質分析及び固形物の性状分析、紙オムツ破砕物の掃流状況を調査した。

## 下水道管路における効率的なストックマネジメント実施に関する調査

Research on efficient stock management of sewer pipes

下水道研究部 下水道研究室

(研究期間 令和元年度～令和 3 年度)

室 長 岡安 祐司  
主任研究官 川島 弘靖  
交流研究員 原口 翼

### [研究目的及び経緯]

日本の下水道管路総延長は、平成 30 年度末、約 48 万 km であるが、そのうち標準耐用年数 50 年を超える老朽管は約 1.9 万 km 存在している。老朽管は今後急激に増加することが見込まれており、老朽管の劣化特性を把握した上で、管路施設の適切な維持管理を行うことが重要である。

下水道管路に用いられる主たる管材はコンクリート管、陶管、塩ビ管であり、過年度の研究でこれら管材の劣化特性を明らかにしてきた。一方、昭和 40 年代のオイルショック時に一時的に使用されていた硬質瀝青管については、劣化特性等不明な点が多く、維持管理方法が確立されていない。硬質瀝青管の劣化特性を明らかにするため、過年度は、硬質瀝青管の布設実態や耐久性等に関する調査を実施し、今年度は、長期浸漬試験を実施した。

また、平成 30 年度末の下水道管路の管理延長等や平成 30 年度内に発生した下水道起因の道路陥没について、地方公共団体へのアンケート調査結果を基に整理した。

## 効率的な浸水対策のためのストック活用に関する調査

Reasearch on utilize of existing sewage facilities for urban inundation countermeasures

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

下水道研究部 下水道研究室

室長 岡安 祐司

主任研究官 松浦 達郎

交流研究員 富田 麻理子

### [研究目的及び経緯]

局地的大雨等による、下水道施設の能力を超えた降雨に対する浸水被害への早急な対応のためには、都市内の既存施設をストックとして最大限に活用し、効率的に浸水対策を進めていくことが重要である。

令和元年度は、前年度までに検討した下水管路内の水位情報を用いた雨水排水施設運用手法について、前年度までに検討した排水区とは面積等の条件が異なる2つのポンプ排水区を対象に試行を行い、本手法の有効性について整理した。その結果、本手法によって雨水排水ポンプ施設の運転を現状から変更した場合、2つのポンプ排水区において、現状よりも浸水面積が1%～4%程度削減できることを確認した。

# 下水道における災害発生時の迅速な初動体制構築に関する調査

## Research on construction of the quick first action system at the time of the earthquake in the wastewater system

(研究期間 平成 29 年度～令和元年度)

下水道研究部 下水道研究室  
Water Quality Control Department  
Wastewater System Division

室 長  
Head  
研 究 官  
Researcher  
交流研究員  
Guest Research Engineer

岡安 祐司  
OKAYASU Yuji  
平出 亮輔  
HIRAIDE Ryosuke  
山路 昂央  
YAMAJI Takahiro

In recent years, some sewer system facilities were damaged by devastating earthquakes. It is necessary to rapidly build system at early stage when it is estimated that the facilities are damaged by earthquake because the facilities are important infrastructure. In this study, the organization to damage ratio of earthquakes in recent years, the introduction to time line for the field of sewer and the improvement to immediate damage estimating system of sewer for rapidly build system at early stage when it is estimated that the facilities are damaged.

### [研究目的及び経緯]

近年大規模地震が頻発しており、南海トラフ地震等の広域的な被害が予想される巨大地震の発生も危惧されている。重要なライフラインである下水道の被災は市民生活や都市活動等に大きく影響を及ぼし、かつ、地震災害は洪水等と異なり発生時期や場所の予測ができない自然災害である。このため、被害の拡大及び二次被害を抑制するためにも、発災後の速やかな初動体制構築と的確な行政判断、情報発信が極めて重要となる。現在、下水道 BCP マニュアル等に基づき、各自治体等で下水道 BCP 策定及び計画に沿った準備等が進んでいるものの、防災組織上の下水道部局の位置づけや職員規模等は都市ごとに異なるため、計画の実効性を高めるには都市の実情に合わせて計画をカスタマイズしていくことが重要である。また、発災直後の情報空白期の短縮及び効果的活用を図り、適正な情報を確実に住民に発信していくことも必要である。

本調査では、下水道施設における地震災害発生時の迅速な初動体制構築及び効果的な住民対応に向けた情報発信のあり方、情報空白期への対応手法に関する検討を行った。

### [研究内容]

#### 1. 地震災害発生時の迅速な初動体制構築及び効果的な住民対応に向けた情報発信のあり方

下水道施設が地震により被災した場合、管路であれば汚水の流出、マンホールの浮き上がり、路面の沈下等の交通障害や衛生問題が発生する恐れがある(写真-1)。このため、下水道施設の復旧を進めるには道路、上水道、衛生、河川を管理する部局や避難所、住民等の数多くの関係者との連携が必要不可欠である。タイムラインは「いつ」「誰が」「何をするのか」を一覧表に整理したものであり、横断的な組織調整に優れた手法であ

るため、地方自治体等の下水道 BCP の運用、更新をサポートする手段として有効である。本検討では、下水道 BCP へのタイムライン的手法の導入に関する考え方を取りまとめることを目的に、モデル都市を選定し、実際にタイムライン案を作成し、作成したタイムライン案を基に下水道 BCP と異なる被災ケースを想定し、次に広域的な被災により被災地へアクセスできない等の支援の実施や受援が難しい状況(以下、難支援状況)を想定した場合のタイムライン案を作成し、タイムライン作成時の課題を整理した上で、考え案を作成した。



写真-1 下水道施設被災時の例

#### 2. 情報空白期への対応手法に関する検討

大規模な地震が発生した際、基本的にすべての下水道管路施設の点検を行うため、発災後には多くの人員が必要になる。しかし発災直後は、人命救助が最優先であり、さらに住民対応や職員自身の被災等により、下水道管路施設の点検に必要な人員が確保できず、被災情報の把握が難しい状況が続く可能性がある。このため、発災直後に支援機関へ被災現場の情報が届かない「情報空白期」が発生する。本検討では、地方自治体等が情報空白期の活用により支援時のすみやかな行動や支援内容の充実等を後押しするための検討として、次の3項目を行った。1つ目は、被災規模の想定の基礎的な情報整理を目的に、近年発生した大規模地震の

震度と下水道管路の被災率の関係について整理した。2つ目は、過去に開発した下水道地震被害即時推定システム（以下、本システム）の試験的な運用時に操作性の課題等を把握したため、利用者の利便性向上を目的に本システムの改良及び利用者マニュアルの作成を行った。3つ目は、情報空白期に活用が可能な施設事例の紹介である。

【研究成果】

(1) 地震災害発生時の迅速な初動体制構築及び効果的な住民対応に向けた情報発信のあり方

モデル都市の選定は、職員数が多い大都市と少ない中小都市の2都市とし、大都市は地震対策に積極的な神奈川県横浜市を、中小都市は熊本地震で被災経験がある熊本県益城町を選定した。モデル都市へのヒアリング後、タイムライン案を作成し、下水道BCPと異なる被災ケースの想定をそれぞれ3ケース行った（図-1）。結果としては、一部で必要作業員数が職員数を上回る作業が生じ、被災時にボトルネックとなる可能性があるものの、対応の目標時間より作業が早く完了する作業もある。このため、タイムライン案を作成することで事前にボトルネック箇所が把握でき、前後の作業の調整や他都市の支援準備等の備えが可能であることを確認した。その他、多数の情報量による利便性の欠如（特に大都市）、人員不足による対応の遅延（特に中小都市、難支援状況）を把握し、その結果を踏まえて考え方案を作成した。なお、作成した考え方案は、利用想定者である地方自治体（3団体）へヒアリング調査を実施し、さらに実用性、活用しやすさの向上の更新を行い、取りまとめた。

項目	「下水道BCP」	ケース1	ケース2	ケース3
被害管理延長	22km	12km	-	22km
汚水溢水被害	2か所	2か所	-	2か所
緊急輸送路の交通障害	2か所	1か所	-	2か所
他都市支援	必要	必要	必要	必要
業務の遅延	-	-	-	あり
優先業務	対応の目標時間	1日あたりの必要作業員数(上段) 所要時間(下段)		
緊急点検	~24時間	2人 16時間	2人 16時間	2人 16時間
緊急調査	~2日	4人 1日	4人 1日	4人 1日
汚水溢水の解消	~3日	3人 12時間	3人 8時間	3人 12時間
緊急輸送路の交通障害対策	~3日	3人 8時間	3人 4時間	3人 8時間
一次調査	~10日	28人 7日	28人 7日	28人 7日
支援隊拠点準備	~2日	1人 1日	1人 1日	1人 1日
支援隊案内	~10日	6人 7日	6人 7日	6人 7日
二次調査・査定資料作成	~3月	8人 80日	4人 80日	8人 80日

図-1 必要作業員数と作業時間（益城町）

(2) 情報空白期への対応手法に関する検討

① 近年発生した地震の震度と下水道管路の被災率の整理

対象は、平成28年の熊本地震以降、平成30年度までに発生した震度6弱以上の地震とする。市町村ごとに最大震度と下水道管路被災率（被災した管路延長の割合）の関係を整理した結果を図-2に示す。震度6強では、被災率0%の市町村数は全体の40%であるが、震度6弱で80%であった。比較的高い震度においても被災がほとんどない場合が多く、震度6強においても80%の市町村が被災率5%未満となっている。なお、震度6弱の平均被災率は0.519%であり、1%未満であった。今

回の結果から、震度6弱以下の地震では被災が発生する可能性が低く、支援必要の可能性も低くなる。なお、今回集計した7つの地震の中で最大震度6弱の地震1件において、10m程度の下水道管路で被災があったものの（被災率としては0%）、被災はすべて震度7の地震に関連したものである。このため、最大震度6弱以下とそれより大きな地震において、支援必要の可能性の状況が大きく異なる可能性がある。しかし、震度は観測点における揺れの強さの程度を数値化した計測震度から換算されるものであるため、市町村内の全てのエリアが同様ではなく、震源までの距離、地質等の諸条件により震度は変化する。平成30年北海道胆振東部地震の札幌市のように震源から遠い一部のエリアで高い震度が発生する可能性があるため注意が必要である。

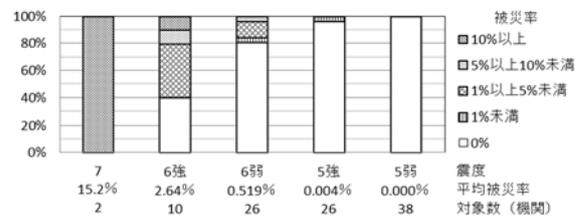


図-2 震度別の下水道管路被災率の割合

② 利用者の利便性向上のための下水道地震被害即時推定システムの改良及び利用者マニュアルの作成

本システムの操作性の課題の他、利用想定者である地方自治体へのヒアリングを実施し、次の4項目について検討した。1つ目は、本システムを構成する「計算シート」「地震情報取得プログラム」「マッピングシステム」の3要素の連動性がないため、操作の一元化を目的にメニュー画面の設定及び利用者マニュアルを作成した。2つ目は、専門的な図面ソフトウェアの導入が難しい場合のため、汎用ソフトの「Microsoft Excel」で簡易図面を作成した。3つ目は、起動時等で時間を要するため、計算シートを軽量化した。4つ目は、大都市間において関東等のブロック割で連携するため、ブロック単位のシートを追加した。

③ 情報空白期に活用が可能な施設事例

東日本高速道路㈱は、防災拠点施設として「守谷サービスエリア」の整備を進めており、これまでに商業施設エリアの防災拠点本部としての活用、給油所、自家発電装置、井戸、防災倉庫、ヘリポート、緊急開口部（一般道との接続用）等を整備している。基本的には人命救助の72時間を基準として、自衛隊、消防、警察、医療機関（DMAT）、携帯電話会社等と協力して訓練、会議を行っている。このため、災害時には最新の被災情報が集約する施設であり、事前準備も含め、下水道関係者の有効利用が可能な施設である。

【成果の活用】

本調査結果は、支援機関における体制構築等の準備への支援、地震対策マニュアル、BCPマニュアル等の基礎情報として活用する予定である。

# 下水流入物質の挙動把握に関する研究

## Research on behaviors of substances flowing into sewerage systems

(研究期間 平成30年度～令和元年度)

下水道研究部 下水道研究室  
Water Quality Control Department  
Wastewater System Division

室 長 岡安 祐司  
Head OKAYASU Yuji  
主任研究官 川島 弘靖  
Senior Researcher KAWASHIMA Hiroyasu  
研 究 官 中村 裕美  
Researcher NAKAMURA Yumi  
研 究 官 濱田 知幸  
Researcher HAMADA Tomoyuki

It's considered that microplastics from Chemical fibers in the washing wastewater and from road surface wastewater are flowing into sewerage facilities .but, there are few surveys on microplastics flowing into sewerage facilities. Especially, no research has been conducted on microplastics contained in rainwater drainage. Microplastics number density in stormwater drainage were investigated as microplastics may be discharged from stormwater drainage facilities into public waters.

### [研究目的及び経緯]

プラスチックは我々の生活に浸透し、利便性と恩恵をもたらしている。一方、世界全体で年約800万トンのプラスチックごみが海洋に流出しているという試算や、2050年には海洋中のプラスチックごみの重量が魚の重量を超えるという試算もある<sup>1)</sup>。こうした地球規模での資源・廃棄物制約への対応は、SDGs(持続可能な開発のための2030アジェンダ)でも求められている<sup>2)</sup>。

下水道施設においても、洗濯排水中の化学繊維や路面排水等に由来するプラスチックが流入していることが予想されるが、これらの挙動についての調査事例は少なく、特に雨水排水中の実態については殆ど調査が行われていない。雨水排水中に含まれるプラスチック片は、そのまま雨水ポンプ場等から公共用水域へ放出される可能性がある。そこで、雨天時における雨水ポンプ場流入水のプラスチック片の数、種類、大きさについて調査した。

### [研究内容]

雨水排水中に含まれる0.3mm以上のプラスチック片の数、種類、大きさを把握するため、2019年1月31日(日合計降水量15.0mm、1時間最大降水量4.5mm)に人口約14万人程度の都市にある分流式下水道の雨水ポンプ場(排水面積105.4ha、主に住居や田畑利用)の流入水を調査した。

#### (1) 採水方法

調査時の降水量と採水時刻、雨水ポンプ稼働時

刻の関係を図1に示す。採水のタイミングは、前回降雨時の2018年12月23日(日合計降水量0.5mm、1時間最大降水量0.5mm)に流入したと考えられる溜水を1回(採水1)、調査日の降り始め時に1回(採水2)、降水量ピーク頃の3回(採水3、4、5)の計5回(1回180L、計900L)とした。採水タイミングごとに採水量全量をろ過し残った物質を試料1~5とした。採水所要時間は10~20分程度/回だった。雨水ポンプ場流入渠に設置された幅10cm×高さ50cm

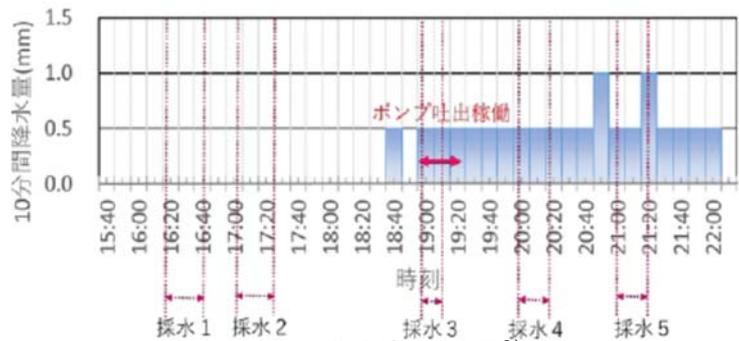


図1 採水時の降水量<sup>3)</sup>

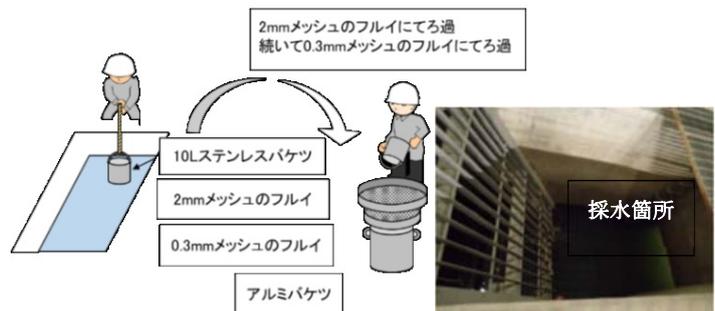


図2 試料採取方法

程度が目幅のスクリーン前（図2）で採水した。具体的な採水手順は以下の通り。

- ①10 L ステンレスバケツを水中に投入し表層水を採水しロープで引き上げる
- ②ステンレスバケツ中の水全量を2.0 mm メッシュ、0.3 mm メッシュのフルイでろ過する。
- ③各フルイ上の残渣を1 L アルミ容器に水道水で流し入れる。作業を繰り返し、180 L 採水分の残渣から試料1つを作成する。

## （2）分析手順

分析手順を以下に示す。

- ①物質を0.1 mm メッシュ上のフルイに移し、30% 過酸化水素水および硫酸鉄（II）を加え、80℃程度まで温度上昇させて酸化処理をする。
- ②酸化処理後の試料について5.3M ヨウ化ナトリウム水溶液（密度1.6 g/cm<sup>3</sup>）を用いて比重分離する（攪拌後1日静置）。
- ③比重分離後、上澄り試料および沈降試料の中でプラスチックである可能性がある物質をピンセットで拾い出す。
- ④画像解析ソフト（ImageJ Ver. 1.51）により粒子の長軸径、短軸径を調べる。
- ⑤FT-IR（フューラー・オプティクス株式会社 ALPHA）とIR 高分子データベースを用いて、プラスチック種類を同定する。

## 【研究成果】

検出されたプラスチックの一例を写真に示す。粒子状のもの、破片のようなもの、繊維のようなものなど様々な形状のプラスチック片が確認された。プラスチック片の個数を採水量で割り算出した数密度を図3に示す。各試料のプラスチック片の数密度が最も高かったのは試料1で0.111 個/L、最も低かったのは試料2で0.028 個/Lだった。ポンプ場流入初期の試料3よりも試料4の数密度が高く、本調査においては降雨初期のファーストフラッシュの数密度は高くなかった。

プラスチック片の種類については、試料全てにポリエチレン（PE）とポリプロピレン（PP）が検出され、各試料中のプラスチック個数の7割以上と最も多く存在した。

全プラスチック片61個の大きさについて、長軸径が7.0 mm以上のプラスチック片は2個あり、ポリエチレン1個（長軸径8.8mm、短軸径3.0mm）とポリビニルアルコール（PVA）1個（長軸径7.8mm、短軸径3.5mm）であった。それ以外の59個のプラスチック片は、長軸径が4.0 mm以下、短軸径が2.0 mm以下だった。

多量数あったポリエチレンとポリプロピレンの大きさについて、ポリエチレンは長軸径と短軸径共に1.0 mm以内の球状に近いものが多かった。一方、ポリプロ

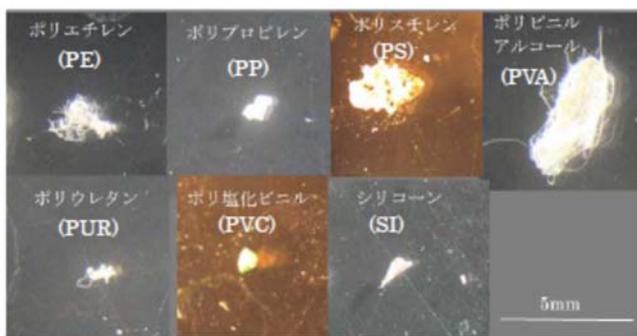


写真 試料中のプラスチック片

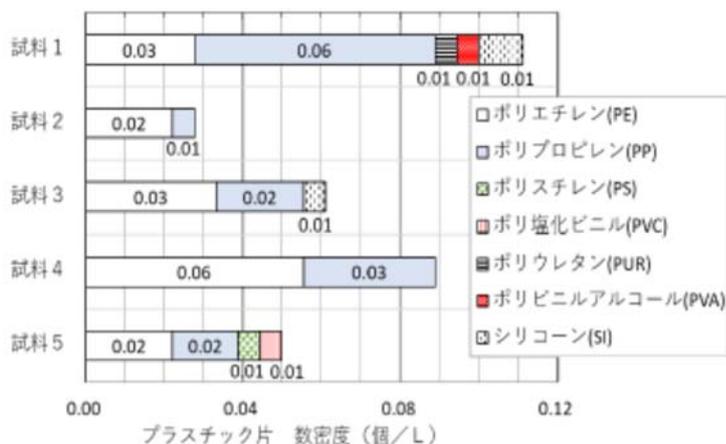


図3 試料中のプラスチック片数

ピレンは、長軸径が0.5mmから3.5mmまで幅広く大きさが違うものがあることが確認された。

本調査で得た雨水排水中のプラスチック数密度は（28～111 個/m<sup>3</sup>）は河川水中のプラスチック数密度（0.0064～2.5 個/m<sup>3</sup>）<sup>4)</sup>と比較して3オーダー程度高くなり、河川水よりも高かった。

一方で、雨水ポンプ場や合流式下水道の雨水吐きでは、沈砂池やスクリーンなどで一定のプラスチック片を回収・除去されているものと推察される。設備の種類や仕様によりプラスチック片の回収・除去率が異なることが予想されるため、公共用水域へのプラスチックの放出量に推定に当たっては、施設内での回収・除去率に関する実態把握が課題となる。

## 【成果の活用】

本調査結果は、下水道管理者がプラスチックの挙動を推定するための基礎資料として活用する予定である。

## 【参考文献】

- 1) 環境省：令和元年度 環境・循環型社会・生物多様性白書、2019
- 2) 国連：The 2030 Agenda for Sustainable Development、2015
- 3) 気象庁HP
- 4) 工藤ら、日本国内における河川水中マイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討、土木学会論文集 B1(水工学)Vol. 73

# 液状化等により被災した管路に関する情報収集及び傾向分析

## Trend analysis of sewer pipe damaged by liquefaction

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

下水道研究部 下水道研究室  
Water Quality Control Department  
Wastewater System Division

室 長  
Head  
研 究 官  
Researcher  
交流研究員  
Guest Research Engineer

岡安 祐司  
OKAYASU Yuji  
平出 亮輔  
HIRAIDE Ryosuke  
山路 昂央  
YAMAJI Takahiro

Many sewer facilities were damaged in the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake. The sewer pipeline earthquake database was updated by collecting and analyzing damage information from the Hokkaido Eastern Iburi Earthquake.

### 【研究目的及び経緯】

下水道施設は公衆衛生の向上に寄与する重要インフラの一つであるが、過去の大地震により大きな被害を受けてきた。このため、下水道分野では地震による被災を防災及び減災するための基準書として、下水道施設の耐震対策指針と解説(以下：耐震指針)が作成された。1981年に耐震指針の初版が発刊された以降も阪神・淡路大震災、新潟県中越地震、東日本大震災等の教訓を踏まえて更新しつつ、耐震化手法が示されてきた。しかし、下水道管路施設(重要な幹線等)の耐震化は平成 29 年度末で 50%程度であり、今後も耐震化を推進していくためには多くの時間と費用を必要とするため、効率的な耐震化整備が重要となる。このため、国土技術政策総合研究所下水道研究室では地方公共団体の耐震化促進を支援することを目的に、下水道管路施設の基本諸元及び被災情報等をまとめた下水道管路地震被害データベース(以下：DB)を運用公開している。

本研究では平成 30 年に発生した北海道胆振東部地震等において多くの下水道管路施設が被災したため、本 DB の更新を目的に情報収集及び整理を実施し、さらにそのデータを用いて傾向分析を行った。

### 【研究内容】

収集データは、北海道胆振東部地震及び大阪北部地震で被災した下水道管路施設を対象として、災害査定等の情報を各地方公共団体に依頼して収集した。次に収集データを踏まえて管種や施工方法等の管路施設情報や地形条件や計測震度等の地震関連情報を用いて整理を行い、傾向分析を行った。また、耐震化施工の詳細については各地方公共団体にヒアリング調査を行い、仕様書の記載や現場確認の有無を確認した。

北海道胆振東部地震及び大阪北部地震で下水道管路施設が被災した 6 地方公共団体、762 スパン(北海道胆振東部地震：761 スパン、大阪北部地震：1 ス

パン)の被災情報の整理を行い、DB の更新を行った。図 1 は北海道胆振東部地震(以下：本地震)における 5 地方公共団体の布設年度別被災延長と被災率(被災延長/布設総延長)を示したものである。下水道管路の被災状況は総延長 8,515km に対し被災延長は 20km であり、その被災率は 0.2%であるものの、平成 10 年から平成 16 年の埋戻し土の液状化対策工法(表 1 参照)が示される前に布設された下水道管路の被災率は 1.9%で被災が集中している。これに対して、埋戻し土の液状化対策工法(以下：液状化対策工法)が示された平成 16 年以降に布設された下水道管路の被災率は低下している。なお、液状化対策工法の内容とは、①埋め戻し部の締固め度を 90%以上により過剰間隙水圧を小さくする、②砕石等による埋め戻しにより過剰間隙水圧を消散させる、③地下水位以深を固化改良土で埋め戻して非液状化層とする、の 3 つである。一方で、ヒアリングや現地調査等により、液状化対策工法が適切に行われた地方公共団体のうち平成 16 年以降に布設された下水道管路の被災率は 0.3%であった。このことから、被災率が低く抑えられているのは、液状化対策工法が普及している効果で

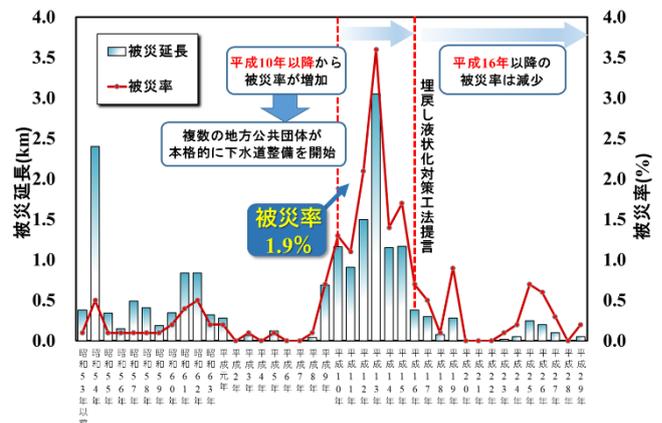


図 1 布設年度別被災延長

あり、有効に機能しているものと推測される。

本地震の施工方法別被災延長は、推進工法の区間より開削工法の区間における被災が顕著で、全被災延長に対する開削工法区間の割合は約95%であり、土被りが1.0～3.0mで施工された箇所において被害が

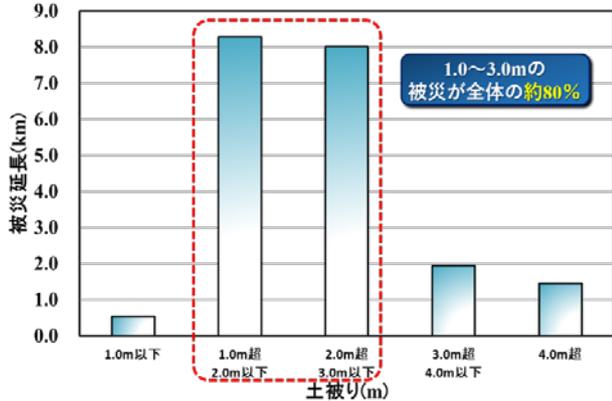


図2 土被り別被災延長

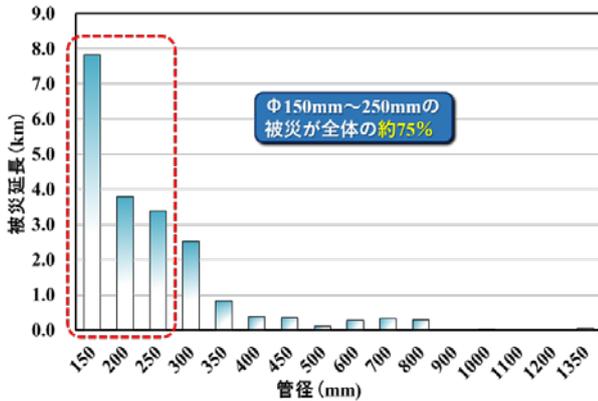


図3 管径別被災延長

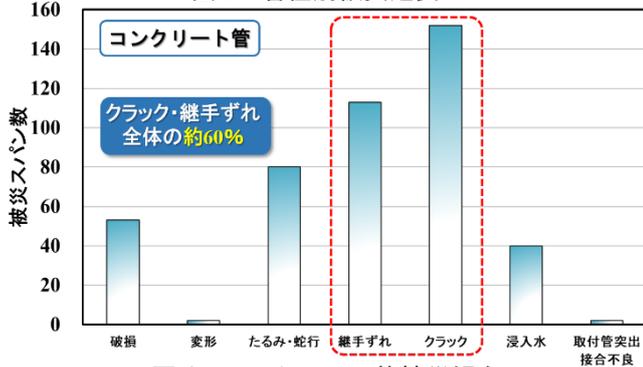


図4 コンクリート管被災傾向

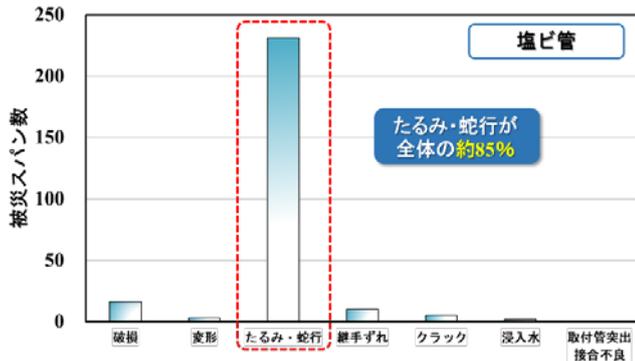


図5 塩ビ管被災傾向

集中している傾向であった(図2)。開削工法は土被りが浅く、埋戻し土の液状化等により地盤変状の影響を受けやすいことが考えられるが、本地震における大きな特徴として、これまでの地震であまり見られなかった推進工法用硬質塩化ビニル管において被災がみられた。なお、本地震における管径別の被災延長(図3)では小口径管に被災が集中しており、φ150～250mmが全体の75%であった。ただし、本地震における被災情報整理では布設工法別、土被り別、管径別等において、被災しなかった下水道管路も含めた布設総延長の把握が困難であったため、被災率の算出までには至っておらず、今後の課題の一つである。

次に本地震における管種別の被災要因はコンクリート管(図4)でクラックや継手ズレ等、その割合は全体の約60%に及んでいる。この原因としては、開削部・立坑部の埋戻し土(山砂)の締固め不足に起因した地盤変状と推察される。また塩ビ管の被災要因については、たるみ・蛇行であり、その割合は全体の約85%であった(図5)。

表1に本地震における震度別の被災率、阪神・淡路大震災以降に発生した最大震度7の地震(プレート型地震東日本大震災と震度階級設定が異なる阪神・淡路大震災は除く)における震度別の被災率、最大震度6強及び6弱を計測した地震における震度別の被災率をそれぞれ示す。本地震における被災率は震度が大きいほど増大する傾向にあり、その被災率は震度7で20.1%、震度6強で7.8%、震度6弱で0.1%であり、最大震度7を記録した地震の被災率と最大震度6強及び6弱を計測した地震の被災率においても同様の傾向がみられる。以上のことにより、震度6弱以下の地域では下水道管路施設が大きく被災する可能性は低いと考えられるが、本研究において下水道管路の被災率は地盤状況等を考慮していないため、更なる傾向分析が必要である。

表1 最大震度別における各震度別の被災率

震度	被災率(%)		
	北海道 胆振東部地震	最大震度7の 地震	最大震度6強及び 6弱の地震
7	20.1	6.4	
6強	7.8	2.6	2.0
6弱	0.1	0.5	0.2
5強	0.2	0.2	0.0

※1 阪神・淡路大震災以降の地震を対象としている。

※2 阪神・淡路大震災及び東日本大震災は除く。

#### [成果の活用]

本調査結果を用いて改良した下水道管路地震被害データベースの運用公開することで、地方公共団体の耐震化促進を支援する。

# 処理水の衛生学的リスク制御技術および再生水の性能評価に関する 調査

Study on microbiological risk control technology for treated water and performance evaluation in water reuse.

(研究期間 平成 28 年度～令和元年度)

下水道研究部 下水処理研究室  
Water Quality Control Department  
Wastewater and Sludge Management Division

室 長 田 嶋 淳  
Head TAJIMA Atsushi  
研 究 官 松 橋 学  
Researcher MATSUHASHI Manabu  
研 究 官 山 本 明 広  
Researcher YAMAMOTO Akihiro

It is discussed to change total coliform to E.coli as an index of environmental standard. Therefore, it is necessary to determine the regulation value of E. coli as the technical standard of the effluent water from the sewer and establish the technology evaluation method necessary to achieve that regulation value. From this, We investigated that microbial in the water from wastewater treatment plant necessary to establish the technology evaluation method and performance evaluation method using water reuse.

## 〔研究目的及び経緯〕

生活環境の保全に関する環境基準の項目である大腸菌群数について大腸菌数への変更が議論されていることを受け、下水道からの放流水の水質の技術上の基準の指標についても現行の大腸菌群数から大腸菌数への変更について検討する必要がある。また、再生水利用に関する国際標準の開発が進められており、国際標準化された灌漑利用や都市利用を想定した満たすべき条件や維持管理等に求められる条件について、我が国の現行技術の適用性の検討が必要である。

以上を踏まえて本調査では、下水処理場における生物処理・消毒での大腸菌、大腸菌群及びウイルス等の除去能力について把握すると共に、新たな再生水の国際標準原案に関し、国内の再生水事業へ再生水施設における適用性を確認した。

## 〔研究内容〕

### 1. 下水処理場における大腸菌数に関する調査

下水処理場における大腸菌数の現状を確認するため、通年の調査を2つの下水処理場で実施するとともに、二次処理水において大腸菌数が比較的多い5つの下水処理場で実態調査を行った。下水処理場での採水箇所は、「流入水」、「二次処理水」、「放流水」及び、消毒槽の前にろ過槽がある処理場については、「消毒槽への流入水」について、採水箇所間の滞留時間を考慮して採水を行った。また、大腸菌の測定は、平板法、メンブレンフィルター法、格子付きメンブレンフィルター法で、クロモアガーECC培地を用いた培養法により実施するとともに、コリラート培地を用いて最確数法でも測定を行った。加えて5つの処理場では、

測定結果や下水処理場の運転管理状況に関しアンケート調査により大腸菌数の除去率向上方策を整理した。

### 2. 下水処理水の衛生学的リスクを考慮した新たな指標に関する調査

下水処理水の衛生学的リスクを考慮した新たな指標を検討するため、評価の指標になりうる微生物として、2つの下水処理場において、嫌気性芽胞菌、ノロウイルス、宿主を大腸菌 K-12 とする大腸菌ファージの測定を通年で実施した。さらにノロウイルスは増殖可能性を判断できない PCR 法による測定であることから、培養可能な指標による除去効果の検討のため、5つの下水処理場でノロウイルス G2 と F 特異性ファージ G2 の測定を行った。

### 3. 水の再利用に関する国際標準の国内への適応性に関する調査

水の再利用に関する国際標準 (ISO) は、日本が水分野で初めて幹事国として主導的に作成しており、2014 年から国内審議会を設立して検討を進めてきた。2018 年からイスラエルを議長国、日本が幹事国として ISO 専門委員会 TC282 を立ち上げ、再生水の灌漑利用、都市利用、リスクと性能評価、工業利用などの小委員会及びワーキンググループで原案が議論され、各国の投票により ISO 化が進んでいる。

下水道の再生水利用用途として関連する記載がされているもののうち、「リスクと性能評価」については、過年度の研究課題で検討していることから、本調査では、灌漑利用及び都市利用について、既存のマニュアルや設計指針の記載内容と ISO の比較を行うとと

もに再生水事業者へのヒアリング等を行い、国内事業に関する国際標準への適用性を検討した。

【研究成果】

1. 下水処理場における大腸菌数に関する調査結果

まず2つの下水処理場の通年の大腸菌数調査を示す。1年間のうち流入水温が低い時期を冬季、高い時期を夏季の2つに分け季節変動を確認した。図-1に平板法を用いてデソキシコール酸塩培地による大腸菌群数及び、特定酵素培地の大腸菌数を示す。両処理場の大腸菌群数、大腸菌数の冬季、夏季の大きな差は見られず通年で良好に処理されていることを確認した。

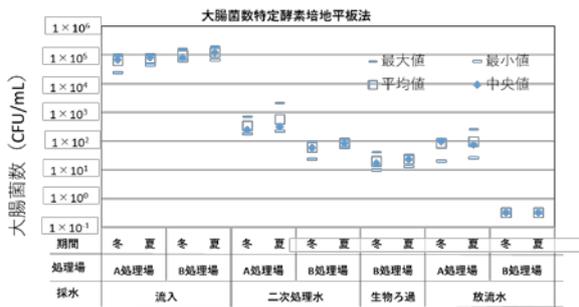


図-1 下水処理における大腸菌数の消長（夏季・冬季）

次に、図-2に大腸菌群数に占める大腸菌数の割合を示した。流入では平均で50~60%、二次処理水以降では平均で20~40%程度、冬季と夏季を比較すると夏季の方が低い結果となった。下水処理工程が進むにつれて、大腸菌群数に占める大腸菌数の割合が低下することから大腸菌群に比べ大腸菌の方が下水処理の過程で除去されやすいことを確認した。

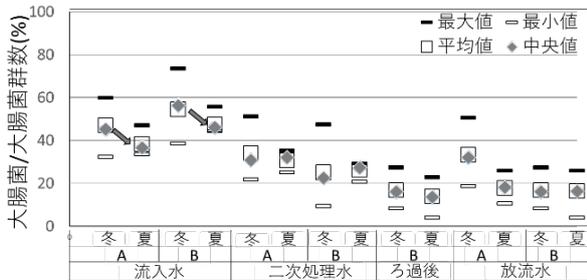


図-2 下水処理における大腸菌群数中の大腸菌数の割合

また、全国の下水処理場の中で大腸菌数が比較的高い5つの下水処理場を対象に、運転状況等の実態調査を実施し、既存施設を活用した大腸菌数の低減方法について検討した。運転状況データを基に塩素濃度と滞留時間からCT値を算出し、除去率との関係を確認した結果、CT値が高くなれば除去率は高くなる傾向にあるが、硝化抑制運転でアンモニアが残留や固形塩素のうち有効塩素濃度が低い場合に除去率が小さい傾向があった。このことから、大腸菌数の更なる低減が求められる場合、多くの処理場では、次亜塩素酸ナトリウム液を現在より多く投入することや、有効塩素濃度が高い固形塩素を活用するなど塩素濃度を増加させることで対応可能である。しかし、放流先の河川流量が少

ない場合や財政上の理由によりこれらの対応が困難な下水処理場があることをアンケート調査で確認した。今後、上記に示した課題の解決が必要であることを確認した。

2. 下水処理水の衛生学的リスクを考慮したあらたな指標に関する調査

嫌気芽胞菌、ノロウイルス、大腸菌ファージの測定を実施した結果、嫌気性芽胞菌は、塩素消毒耐性があるため、塩素消毒で除去が見られず、ノロウイルスの流入水濃度は季節変動があり冬季に高い値を示した。大腸菌ファージの全体の除去傾向はノロウイルスと同様の傾向であった。一方、ろ過槽での除去効果がほとんど確認されないことやUVによる除去率が大きくなるなどノロウイルスとの差異もあった。

ノロウイルスは増殖能力の可否を判断できないことから、培養が可能な大腸ファージをモデルウイルスとして下水処理の評価への活用を検討した。5つの処理場において、ノロウイルスと同じウイルス構造を持つF-特異性の大腸菌ファージG2とノロウイルスG2を比較した結果、大腸菌ファージG2が1.1倍から3.4倍の除去効果があることを確認した。

3. 水の再利用に関する国際標準の国内への適応性に関する調査結果

都市利用（ISO20760-1・2）及び灌漑利用（ISO1675-1~4）について、既存のマニュアルや設計指針の記載内容とISOの比較をした結果を図-3に示す。記載項目のうちおおむね半分以上の項目について、再生水マニュアル及び設計指針、下水道維持管理指針や農業集落排水処理のかんがい利用に関する手引き等の基準で網羅されていることを確認した。（図-3）。また、都市利用においては、再生事業者のヒアリングの結果、国際標準の項目に対し、事業者の規則等には網羅されていない項目はあったが実施されており、非適合（新規に対策が必要な項目）となる項目はないことを確認した。灌漑利用については、再生水事業者が考慮モニタリングや分配システムに関する項目への対応が必要になる可能性があることを確認した。

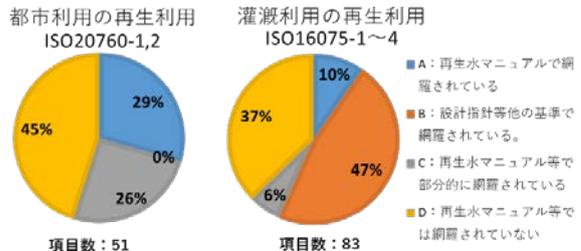


図-3 既存のマニュアル等の記載内容とISOの比較

【成果の活用】

本調査結果は、放流水の水質の技術上の基準や下水処理水の再利用水質基準等 マニュアル、設計指針等の改定に資する基礎資料として活用する予定である。

# 下水道における温暖化ガス排出量削減に関する調査

Research on the reduction of the amount of greenhouse gas emission in wastewater treatment systems.

(研究期間 平成 29 年度～令和元年度)

下水道研究部 下水処理研究室

Water Quality Control Department

Wastewater and Sludge Management Division

室 長

Head

研 究 官

Researcher

研 究 官

Researcher

田 嶋 淳

TAJIMA Atsushi

粟 田 貴 宣

AWATA Takanori

松 橋 学

MATSUHASHI Manabu

The greenhouse gas emission should be reduced for the global warming abatement. About 26% reduction of greenhouse gas emission is one of the goal in Japan to contribute the stop global warming. About 20% reduction of the greenhouse gas emission from the wastewater treatment system which include the carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) derived from energy consumption. Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O), which has 298 times greater greenhouse effect than that of CO<sub>2</sub>, is known to be emitted from biological wastewater treatment processes. However, the mechanism of the N<sub>2</sub>O emission and factors are still unclear. In the present research, the field surveys and investigation using lab-scale reactor were conducted to understand the emission amount and emission factors.

## [研究目的及び経緯]

地球温暖化対策計画において、温室効果ガスの排出量を 2030 年に 26% 減 (2013 年度比) とすることが目標とされている。下水道から排出される温室効果ガス排出量については 20% 削減が目標とされており、エネルギー由来の二酸化炭素削減技術や、水処理及び汚泥処理から発生するメタンや一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) などの温室効果ガス排出抑制技術が必要である。また、地球温暖化対策推進法において、我が国における温室効果ガスの総排出量を算定し、公表することが定められている。特に一酸化二窒素排出量の実態を把握することは抑制技術開発のみならず、排出量算定のためにも重要である。

温室効果ガスの中でも N<sub>2</sub>O の温室効果は二酸化炭素の 298 倍と言われており、水処理プロセスでも特に硝化プロセスにおいて排出が確認されている。一方で発生メカニズムについては関与する微生物や温度などの環境因子が複数存在しているために依然として不明な点が多く、排出抑制対策は明確に提示されていない。本研究課題では比較的 N<sub>2</sub>O 発生量が高いと言われる標準活性汚泥法 (標準法) および段階的の高度処理を採用する処理場における現地調査およびラボスケールの水処理実験装置を用いた試験によって実態把握や排出因子の抽出を行った。

## [研究内容]

### 1. 段階的の高度処理および標準法からの N<sub>2</sub>O 発生量調査

本研究課題では、標準法および既設の標準法施設を活用し運転方法の工夫によって窒素除去等の水質向上を図る段階的の高度処理運転を実施している処理場を対

象として現地調査を実施した。具体的には、疑似硝化脱窒法を実施している A、B および C 処理場、疑似 AOA 法を実施している D 処理場、標準法を実施している E 処理場、疑似 A0 法を実施している F 処理場で行った。調査箇所は流入水から処理水までの各反応槽とした。調査は 24 時間調査とし、同採取地点において 24 時間コンポジット (4 時間に 1 回) でガス採取および採水を実施 (計 7 回) し、7 回の平均値を各調査時の値とした。

これまで N<sub>2</sub>O 発生量調査を 30 箇所以上の処理場で実施してきたが、年間 1 回の調査であり、調査時期は秋季から冬季であることから、年間変動に関する知見はほとんど無い。そこで、E 処理場および F 処理場においては異なる季節に年間 4 回調査を実施し、N<sub>2</sub>O 発生量の年間変動の有無について確認を行った。

### 2. 生下水を用いたラボスケール水処理実験装置による異なる曝気運転下での N<sub>2</sub>O 排出

標準法における N<sub>2</sub>O 発生抑制運転手法の検討を目的に、ラボスケール水処理実験装置を異なる曝気条件で運転し、曝気風量と N<sub>2</sub>O 発生量の関係を調査した。水処理実験装置は 6 槽の反応槽 (受水槽部分 6.5L、12.5L×6 槽、計 81.25L) と最終沈殿池 (13.2L) から構成され、生下水を連続供給することで水処理工程を模擬した。曝気はリアクター内 12 箇所で行い、過曝気条件では 3.0L/min、低曝気条件では 1.0L/min で運転した。流入量は 100mL/min で行き、HRT は 8 時間とした。

## [研究成果]

### 1. 段階的の高度処理および標準法からの N<sub>2</sub>O 発生量調査

表-1 に各処理場における N<sub>2</sub>O 排出係数（処理水量あたりの N<sub>2</sub>O 排出量）を示す。A～D 処理場では窒素除去を目的とした運転をしており、標準法や疑似 A0 法を実施している処理場よりも低い N<sub>2</sub>O 排出係数であった。A～D 処理場サンプリング時と同時期の E 処理場の N<sub>2</sub>O 排出係数は 124mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> であり、現行の標準法における N<sub>2</sub>O 排出係数 142 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> よりも低い値であった。一方で、F 処理場では 53.8 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> であり、現行の A0 法の N<sub>2</sub>O 排出係数 29.2 mg-N<sub>2</sub>O/m<sup>3</sup> よりも高い値であった。

表-1 各処理場における N<sub>2</sub>O 排出係数

処理場	運転方式	N <sub>2</sub> O排出係数 mg-N <sub>2</sub> O/m <sup>3</sup>
A処理場	疑似硝化脱窒法	4.1
B処理場		3
C処理場		2.9
D処理場	疑似AOAO法	23
E処理場(春)	標準法	50.2
E処理場(夏)		109.5
E処理場(秋)		124.2
E処理場(冬)		22.2
F処理場(春)	疑似A0法	101.3
F処理場(夏)		11977.8
F処理場(秋)		53.8
F処理場(冬)		38.1

表-1 に示すように、標準法および疑似 A0 法を実施する処理場の N<sub>2</sub>O 排出係数を四季ごとに測定した結果、標準法においては冬季と比較して夏季、秋季の N<sub>2</sub>O 排出係数が高く、疑似 A0 法は夏季に非常に高い N<sub>2</sub>O 排出係数となった。これらの結果から、N<sub>2</sub>O 排出は年間を通して変動する可能性があることが確認された。E および F 処理場サンプリング時の最終沈殿池における溶存有機物濃度は 10mg/L 以下であることから、年間を通して安定した有機物除去が行われていることが確認できた。一方で、E 処理場では硝化プロセスが冬季以外でわずかに観察され、一部亜硝酸の蓄積が観察された。F 処理場では秋季及び夏季において硝化プロセスの進行が確認され、秋季は完全硝化、夏季は亜硝酸まで硝化が進行する部分消化であった。サンプリング時において高い N<sub>2</sub>O 排出が確認された際に亜硝酸の蓄積が確認されており、N<sub>2</sub>O 発生要因として亜硝酸の蓄積は大きく寄与していると考えられる結果であった。

## 2. 生水を用いたラボスケール水処理実験装置による異なる曝気運転下での N<sub>2</sub>O 排出

図-1 に各槽における各態窒素濃度、図-2 に各槽における N<sub>2</sub>O 濃度を示す。槽内の溶存酸素濃度は、過曝気運転時は 2～3mg/L、低曝気運転時は 0～1.5mg/L であった。実験を通して溶存有機物除去率は 80% を超えており、安定した水処理ができていたと考えられる。また、過曝気運転時は硝化プロセスが進行していたが、低曝気運転時は部分硝化となっていた。過曝気運転時と比較して低曝気運転時において反応槽前半において

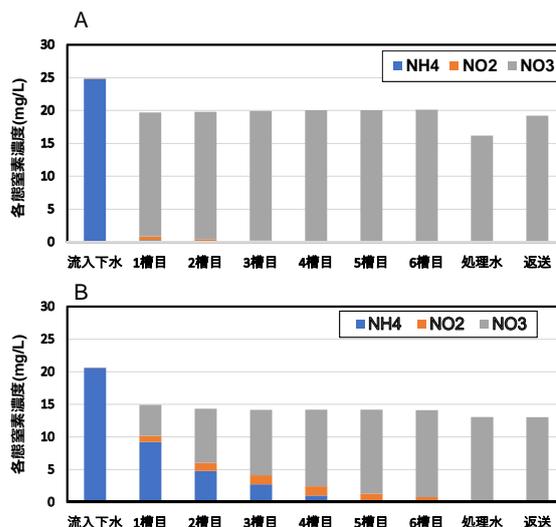


図-1 各槽における各態窒素濃度 (A: 過曝気条件、B: 低曝気条件)

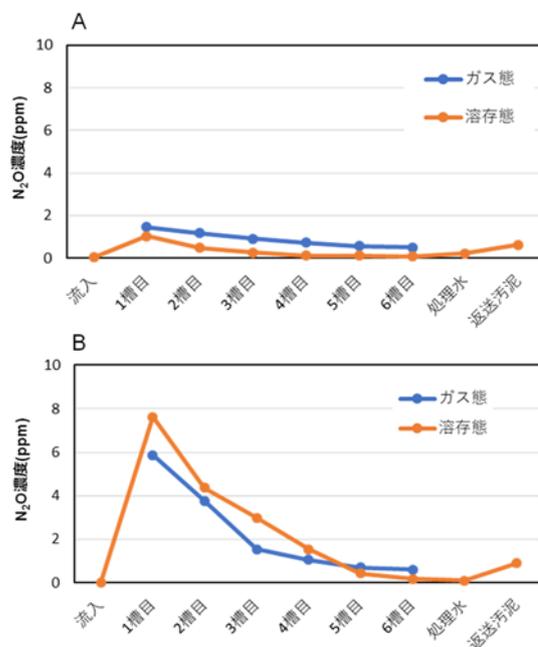


図-2 各槽における N<sub>2</sub>O 濃度 (A: 過曝気条件、B: 低曝気条件)

N<sub>2</sub>O が高くなっていることが観察された。これは低曝気運転時の溶存酸素濃度が前半部分において 0.5 以下となっていたことから、硝化プロセスに必要な酸素供給が不十分であったためと考えられる。以上より、酸素供給不足は N<sub>2</sub>O 排出因子の一つと考えられ、N<sub>2</sub>O 排出抑制運転のための重要な操作因子であることが確認できた。

### [成果の活用]

本研究課題で得られた知見は、標準法や疑似 A0 法の温室効果ガス排出係数の改定に用いることができる。また、得られた成果をもとに下水処理場の運転管理手法への反映等として活用できる。

# 下水道資源の活用を考慮した水環境マネジメントの推進 に関する調査

Research on the promotion of water environment management considering utilization of sewage resources

(研究期間 平成29年度～令和元年度)

下水道研究部 下水処理研究室  
Water Quality Control Department  
Wastewater and Sludge Management Division

室長 田嶋 淳  
Head TAJIMA Atsushi  
研究官 藤井 都弥子  
Researcher FUJII Tsuyako

The sewage works consume a lot of power, and its reduction is required. Also, efforts are being made to create energy using sewage sludge, such as creation of solid fuels and power generation of digestive gas.

In order to consider the introduction of energy saving and energy creation measures, it is necessary to have a method that can examine the power consumption and energy balance of the entire sewage treatment plant by introducing such measures.

In this study, the concept of calculating the power consumption and energy balance of the entire sewage treatment plant was organized, and the scenarios for introducing energy saving and energy creation measures were compared and organized.

## [研究目的及び経緯]

下水処理場における電力削減が求められている中、水処理・汚泥処理工程における電力消費量を算出する考え方をこれまでに整理してきた。

本調査では、処理にかかる電力消費量だけでなく、消化ガス発電や固形燃料化などエネルギー創出も考慮した下水処理場全体のエネルギー収支等を算出できるよう、算出の考え方を整理するとともに、算出結果と実処理場の値との比較を行った。また、省エネ・創エネ施策を導入するシナリオを設定し、整理した関係式を用いて各シナリオのエネルギー収支等を比較整理した。

## [研究内容]

### 1. エネルギー消費量および創出量の一体的な算出

算出フローを図-1に示す。まず、下水道統計から流入水質及び放流水質を設定するとともに、水処理方式や汚泥処分方法等を組み合わせた試算ケースを設定した。次に、設定した水質や各処理方法の標準的な除去率等から処理工程全体における物質収支を整理し、それに基づいて処理に必要な設備容量、機器の仕様や台数等を設定した。

水処理・汚泥処理設備の電力消費量は設定した機器の仕様や運転時間等からの積み上げにより算出した。流量規模を変えて行った試算結果から、各条件における電力消費量を算出する関係式(以下、「算出式」)を整理した。その他設備の電力消費量やコスト、固形燃料熱量については既存の関数を用いて算出した。

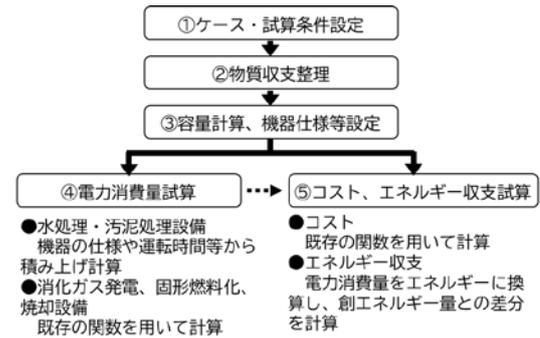


図-1 算出フロー

## 2. 試算値と実態との比較

1. で整理した、電力消費量やコスト等を算出する算出式を用いた試算値とアンケート調査により得た実際の値(以下、「実値」)との比較整理を行った。なお、標準活性汚泥法については、図1の②において硝化促進運転、硝化抑制運転を考慮して算出式を見直し、実値との比較を行った。

## 3. 算出式を用いた施策導入効果の比較

実際の下水処理場を参考にモデル処理場(A: 10,000m<sup>3</sup>/日・高流入負荷・硝化抑制運転、B: 50,000m<sup>3</sup>/日・高流入負荷・硝化抑制運転、C: 100,000m<sup>3</sup>/日・低流入負荷・硝化促進運転)を設定し、省エネルギーまたは創エネルギー施策等を導入した場合の維持管理費や電力消費量、エネルギー創出量を2.の算出式を用いて試算し、各処理場及び各処理場が立地すると仮定する流域(仮想流域)における施策導入の効果を比較整理した。試算にあたっては、各処理場に省エネ・創エ

ネ施策を実施するケース、各処理場を高度処理化した上で省エネ・創エネ施策を導入するケース、3 箇所の下水処理場のうち 2 箇所または 3 箇所すべての処理場を統合し、省エネ・創エネ施策を実施するケース、最も大きな処理場に下水汚泥を集約するとともに、省エネ・創エネ施策を実施するケースの合計 7 シナリオを設定した。

**〔研究成果〕**

**(1) エネルギー消費量および創出量の一体的な算出**

汚泥処分方法として消化ガス発電（汚泥場外搬出、汚泥焼却）、固形燃料化（乾燥、炭化）の各ケースを設定した。消化ガス発電（汚泥場外搬出）ではエネルギー消費量に対する創出量の比率が約 40～50%だった一方、消化ガス発電（汚泥焼却）では消化ガスの一部を焼却設備の燃料として使用するとしたことから全体の発電量が小さくなるとともに焼却設備の電力消費量が増えるため、創出量の比率が 15%程度にとどまる結果となった。また、固形燃料化（乾燥）は、固形燃料が持つ熱量が炭化による固形燃料より高いこと、乾燥設備の電力消費量が炭化設備より低いことなどから、創出量の比率は約 40～50%と高い値となった。

このように、処理場全体のエネルギー収支等を把握できるようになった。

**(2) 試算値と実態との比較**

水処理・汚泥処理設備の電力消費量については、水処理方式の違いに関わらず試算値より実値のほうが 20～30%ほど大きい傾向が見られた。また、標準活性汚泥法について硝化促進/抑制運転を考慮して算出式を見直した結果、実値に対する試算値の比率で見た場合の値のばらつきは、硝化促進/抑制運転を考慮しなかった場合の試算より小さくなる結果となった。

創エネルギー技術については、消化ガス発電量の試算値と実値がほぼ一致した一方で、固形燃料化技術については試算値と実値に差が見られる処理場があった。

設定した機器構成や運転条件、汚泥性状等に起因すると思われる試算値と実値の差は見られたものの、電力消費量や消化ガス発電量については、用いた算出式でおおよその値が把握できると考えられる。

**(3) 算出式を用いた施策導入効果の比較**

試算結果の一例として、高度処理化や消化ガス発電、固形燃料化の導入を実施した場合のエネルギー収支の結果を図-2～図-4 に示す。消化ガス発電は、処理場 A と B を統合するケースが他のケースより電力消費量が小さく、エネルギー収支が良い結果となった。一方、固形燃料化（乾燥・炭化）は、3 処理場を統合するケースが最もエネルギー収支が良い結果となった。

今回の試算では、処理場統合後の流入負荷等は大きな処理場の条件にあわせて設定しており、3 処理場を統合するケースでは低流入負荷・硝化促進運転条件と

なる。このとき、消化ガス発電の場合では硝化促進運転による電力消費量増加と低流入負荷による消化ガス発生量低下の影響が、統合による効果よりも大きく現れ、エネルギー収支でみると処理場 A と B を統合するケースが最も良い結果となった。固形燃料化の場合は、固形燃料化施設の電力消費量が統合によって減少するため、硝化促進運転による電力消費量増加の影響が相対的に小さくなる。そのため、エネルギー収支で見ると 3 処理場を統合するケースが最も良い結果となった。

このように、各施策による効果の違い等をあらかじめ把握することが可能となった。

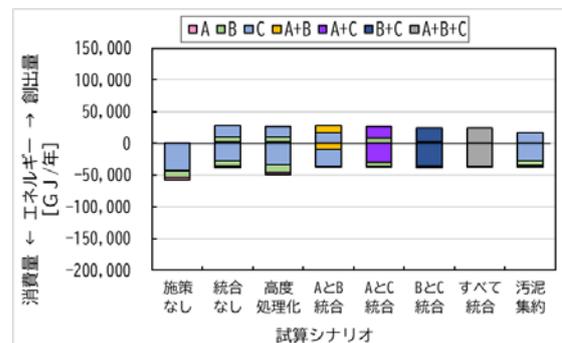


図-2 エネルギー収支（消化ガス発電導入の場合）

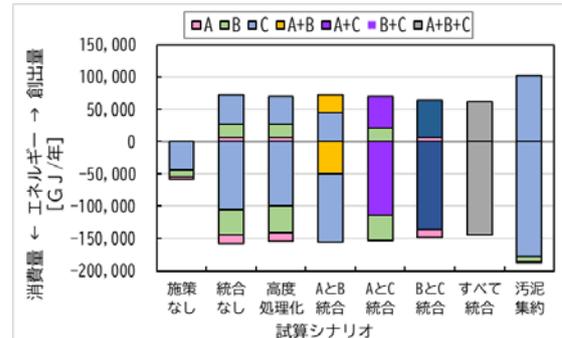


図-3 エネルギー収支  
（固形燃料化（乾燥）導入の場合）

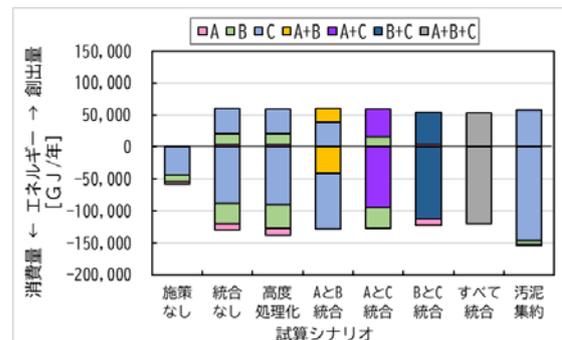


図-4 エネルギー収支  
（固形燃料化（炭化）導入の場合）

**〔成果の活用〕**

本調査で整理した施策導入による効果を算出する考え方を技術資料としてとりまとめることにより、下水道管理者が省エネ・創エネ施策の導入を検討する際の活用が期待される。

# 下水道資源としてのレアメタル回収に関する研究

## Research on recovery of rare metals as sewage resources

(研究期間 平成30年度～令和元年度)

下水道研究部 下水処理研究室  
Water Quality Control Department  
Wastewater and Sludge Management Division

室長 田嶋 淳  
Head TAJIMA Atsushi  
研究官 栗田 貴宣  
Researcher AWATA Takanori  
研究員 長崎 真  
Research Engineer NAGASAKI Shin

In recent years, utilization of resources and energy in sewage has been demanded. Overseas research has revealed that sewage sludge contains metal resources such as rare metals, but there are few cases in Japan where the content of rare metals and the like in sewage sludge was investigated. Therefore, in this survey, we measured the minor metal contents of the sewage sludge samples collected from waste water treatment plants (WWTPs) in various places by ICP-MS, and considered retrievability.

As a result of the metal content measurement, the median value of Ti, Mn, Cu, and Ba was 1000 mg/kg·DS or more, and the content tended to be higher than other elements. Although most industrial wastewaters have been found to be free of rare metals, a small number of industrial wastewaters contain large amounts of rare metals.

As a result of investigating the recovery, it was confirmed that most elements had low values.

### [研究目的及び経緯]

平成29年度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、重点項目として下水道の活用による付加価値向上が定められており、資源・エネルギー利用の促進が求められている。

下水汚泥にはレアメタル等の金属資源が含まれていることが海外の調査によって明らかにされており、我が国の下水汚泥中にもレアメタル等が含まれている可能性はあるが含有量を調査した事例は少ない。

本研究では、日本国内の下水処理場から排出される下水汚泥中のレアメタル等含有量を把握し、回収可能性を検討することを目的として、全国各地の下水処理場から下水汚泥試料（脱水汚泥、焼却灰、炭化汚泥）を採取し、レアメタル等の含有量を測定した。

### [研究内容]

#### 1. 下水汚泥に含まれるレアメタル等含有量の把握

調査対象下水処理場は33都道府県より、レアメタル等の流入要因として工場や温泉からの排水に着目し42箇所の下水処理場を選定した。

測定対象元素は、経済産業省でレアメタルとして指定されている46元素（Pmを除く）に、貴金属である金（Au）と銀（Ag）、ベースメタルである銅（Cu）を加えた合計49元素とした（図-1）。

焼却灰、炭化汚泥については試料0.5g程度に硝酸10ml、塩酸3ml及びフッ化水素酸3mlを加えて、12時間放置後、マイクロウェーブ試料分解装置により分解を行った。分解後、フッ化水素酸を加熱除去し、硝酸（1+100）を加え100mlに定容し、メンブレンフイ

ルターによりろ過したものを試料溶液とした。試料溶液について、内標準法によりICP-MSで金属含有量[mg/kg·DS]を測定した。定量下限値は0.02[mg/kg·DS]とした。

脱水汚泥については焼却灰、炭化汚泥と金属含有量の比較を可能にするために105-110℃で2時間乾燥後、電気炉を用いて600±25℃で1時間強熱灰化後、焼却灰、炭化汚泥と同様の手順により金属含有量の測定を行った。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	H		レアメタル		貴金属		ベースメタル										He	
2	Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	La系	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Ac系															
			La系	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			Ac系	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

図-1 測定対象元素

#### 2. 回収可能性の検討

一般に金属の製造は鉱山から鉱石を採取し、その鉱石から不純物を取り除くための精錬の工程を経る必要がある。焼却灰からレアメタルを製造する際の精錬にかかるコストが鉱石の場合と等しいと仮定し、文献<sup>1)</sup>を参考に鉱山から採取される鉱石に含まれる元素濃度（以下、粗鉱品位という）と下水汚泥に含まれる金属含有量を比較することにより回収可能性を検討した。

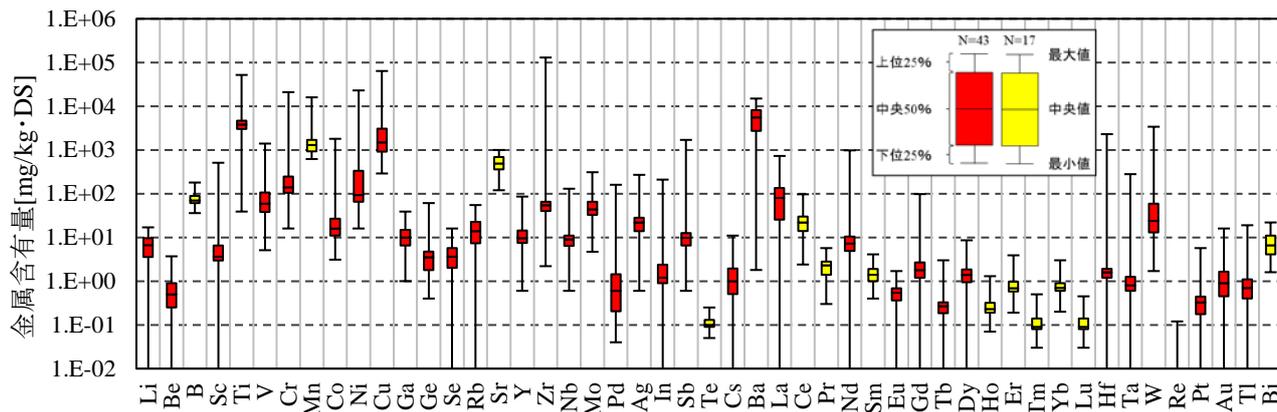


図-2 金属含有量測定結果

〔研究成果〕

(1) 下水汚泥に含まれるレアメタル等含有量の把握

下水汚泥中の金属含有量測定結果を図-2 に箱ひげ図で示す。平成 30 年度に採取した試料 (N=17) の金属含有量より試算した潜在的価値が低いと思われる元素については、令和元年度に採取した試料 (N=26) では測定対象元素から除外した。そのため、平成 30 年度に採取した試料 (N=17) のみ測定した元素は黄色、全試料 (N=43) で測定した元素は赤色の箱で示した。

49 元素中 30 元素についてはすべての試料から検出され、その他の元素についてもレニウム (Re) を除き概ね 90% の試料から検出された。よって我が国の下水汚泥中にもレアメタル等の金属資源が含有されていることが確認された。また、チタン (Ti)、マンガン (Mn)、銅 (Cu)、バリウム (Ba) については中央値が 1000 mg/kg・DS を超えておりレアメタルの中でも多く含有されていることが確認された。

レアメタル等の流入要因として、工業排水がレアメタル等の含有量へ与える影響を検討するために、主に生活排水が流入する下水処理場を A 群、主に工業排水が流入する下水処理場を B 群とし、この 2 群について t 検定 (有意水準 5%) を行った結果を表-1 に示す。

表-1 t 検定の結果

A 群>B 群	Se, Rb, Cs, Ba, Bi
B 群>A 群	なし
有意差無し	その他 44 元素

検定を行った結果、測定対象元素 49 元素の内、44 元素が「有意差無し」であり、加えて工業排水に多く含有していると判定される元素も存在しなかった。工業排水の流入割合がレアメタル等の含有量へ与える影響は少ないと考えられる結果となった一方で、含有量の中央値と最大値の比が 100 倍以上となった、下水処理場毎ばらつきが大きい元素については、12 元素中 9 元素で主に工業排水が流入する下水処理場の試料が最大値となった。すなわち、多くの工業排水にはレアメタル等が含有されているとは言い難いが、中には突出してレアメタル等が含有する工業排水が存在すること

が確認された。

(2) 回収可能性の検討

文献から得られた 22 元素の粗鉱品位のデータについて、元素毎に下水汚泥に含まれる金属含有量と粗鉱品位を比較した結果を表-2 に示す。22 元素のうち、13 元素は金属含有量が粗鉱品位を上回る試料数が 0 であった。その他の元素についても試料数が 1~5 の範囲で多数を占めており、回収可能性は低いことが確認された。一方で、パラジウム (Pd)、銀 (Ag)、金 (Au) については、粗鉱品位を上回る試料数が 10 を超えていた。これらの元素は、他の元素より粗鉱品位が低く、下水汚泥中の含有量自体が低くとも、粗鉱品位を上回ることができたと考えられる。

表-2 下水汚泥中の金属含有量と粗鉱品位との比較

元素名	粗鉱品位を上回った試料数/全試料数	粗鉱品位 (mg/kg)
Li	0/43	1400
Be	0/43	800
Ti	0/43	310000
V	0/43	1400
Cr	0/43	230000
Mn	0/17	250000
Co	0/43	2300
Ni	2/43	10200
Cu	5/43	8400
Ge	0/43	240
Se	0/43	2000
Zr	1/43	3700
Mo	0/43	1000
Pd	11/43	1.1
Ag	33/43	13
In	3/43	10
Sb	0/43	9900
Ta	1/43	170
W	0/43	12000
Re	0/43	100
Pt	3/43	1.4
Au	17/43	1.1

〔成果の活用〕

本調査結果は、新たな下水道資源の利活用方法の一つとして地方公共団体の下水道事業者にも活用される。

〔参考文献〕

- 1) (独)物質・材料研究機構、材料環境情報データ No. 18 「概説 資源端重量」、2009 年 3 月

## 下水道革新的技術実証事業

Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project

(研究期間 平成 23 年度～)

下水道研究部 下水処理研究室

室長 田嶋 淳  
研究官 藤井 都弥子  
研究官 山本 明広  
研究官 粟田 貴宣  
交流研究員 佐藤 拓哉

主任研究官 岩渕 光生  
研究官 石川 剛士  
研究官 松橋 学  
研究員 長寄 真

下水道研究部 下水道研究室

室長 岡安 祐司  
主任研究官 川島 弘靖  
研究官 濱田 知幸  
交流研究員 富田 麻里子  
交流研究員 原口 翼

主任研究官 松浦 達郎  
研究官 平出 亮輔  
研究官 中村 裕美  
交流研究員 田中 裕大  
交流研究員 山路 昴央

### [研究目的及び経緯]

国土交通省では、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低炭素・循環型社会の構築やライフサイクルコスト縮減、浸水対策、老朽化対策等を実現し、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、平成 23 年度より下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)を実施している。

本事業における研究は、大幅なコストの縮減と消費エネルギーの削減、再生可能エネルギーの創出等を実現する革新的技術を対象に、実規模レベルでの施設を整備して実証研究を行い、その結果を評価して導入ガイドラインを作成することを目的としている。

平成 30 年度採択技術において、ICT 活用型管路マネジメント技術 2 件、ICT 活用型下水道施設管理技術、高濃度消化・省エネ型バイオガス精製による効率的エネルギー利活用技術、小規模下水処理場を対象とした高濃度メタン発酵技術及び他の熱源よりも低コストに融雪できる下水熱利用技術 2 件については、コスト縮減、エネルギー消費及び温室効果ガス排出量削減等の効果をとりとまとめ、導入ガイドラインを策定した。令和元年度採択技術において、ICT を活用した省スペース・省エネ型高度処理技術、クラウドや AI 技術を活用した効率的なマンホールポンプ管理技術及び AI データ解析による効率的な管内異常検知技術 2 件については、実規模実証施設を設置し、研究結果をとりとまとめた。省エネ・創エネを組み合わせた事業採算性の高い汚泥炭化システムについては、技術性能や事業性の予備調査結果をとりとまとめた。いずれにおいても有識者委員会の評価を受けた。令和 2 年度は、過疎地域の人口減少時や災害時に移設可能な水処理技術、中小規模処理場同士の広域化に資する低コスト汚泥減量化技術及びクラウドや AI 技術を活用した効率的なマンホールポンプ管理技術について実規模実証を行うとともに、効率的な管渠劣化状況の自動判別システムやスクリーニング調査技術及び雨天時浸入水による流量変動に対応可能な水処理技術について FS 調査を行う予定である。

実証研究成果を踏まえ作成した導入ガイドラインについては、国総研資料として刊行し、革新的技術を全国に普及展開するとともに、本邦企業による水ビジネスの海外展開を支援する。

## 生物電気化学的な窒素固定促進技術開発のための基礎的研究

Technical development for the bio-electrochemical promotion of nitrogen fixation.

(研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度)

下水道研究部 下水処理研究室

研究員 粟田 貴宣

### [研究目的及び経緯]

ハーバー・ボッシュ法によって莫大なエネルギーをかけて生成されているアンモニアは、日本ではそのほとんどを肥料として消費している。近年の水素需要の増加により、水素の貯蔵や運搬技術についても開発が進んでおり、その中でアンモニアが水素キャリアとして注目されている。効率的なアンモニア生成技術の確立が期待される中で、本研究課題では生物学的な窒素固定技術によるアンモニア生成に着目した。生物学的な窒素固定技術によるアンモニア生成は活性増加が必須である。本研究課題では、生物学的な窒素固定技術を利用した新たなアンモニア生成システムの開発のために必要な知見を得ることを目的とした。本年度は、水田土壌から窒素固定菌群の集積培養物を用いてヒューミン存在下で窒素固定活性が増加することについて確認し、さらにヒューミンが電子伝達物質として働くことを確認した。