

厚生労働行政推進調査事業（厚生労働科学特別研究事業）  
令和4年度総括研究報告書

水道システムにおけるカーボンニュートラル実現に向けた緩和策と  
気候変動影響に対する適応策の推進のための研究

研究代表者 小坂浩司 国立保健医療科学院生活環境研究部

研究要旨

水道分野における気候変動の緩和と適応を推進するための施策に有用な知見を蓄積することを目的に、①気候変動の緩和策、適応策に関する最新の知見・情報、事例の整理、②CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化、③水災害による断水の予防策および対応策に関する検討、④気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術に関する調査、を行った。

①では、水道分野等における気候変動への緩和策、適応策について、国内外の研究、報告書、学会発表、ウェブサイト、聞き取り等を基に整理した。各情報の内容は、整理表により取りまとめた。緩和策については39の整理表に、水災害への対応については4つの整理表に、気候変動に対する影響評価手法や対策技術については34の整理表にまとめた。これら77の整理表にまとめた文献・情報は、水道事業者が、今後の取り組みを考える上で役立つ内容が多いと考えられた。

②では、7水道事業者の7浄水場について、データや情報を入手し、現状の電力使用量の把握やCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計を行った。CO<sub>2</sub>削減の対策として、「管理強化、運用見直し」、「設備改善、設備付加」（ポンプのインバータ化等）、「プロセスの変更、高効率機器の導入」、「再生可能エネルギーの導入」（太陽光発電、小水力発電）を採り上げた。検討結果を踏まえ、他の事業者が自らのCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを推計するための手順について、情報収集から削減ポテンシャルの推計方法までを整理し、その手順を示した。

③では、水災害に起因して断水を経験した事業者を対象に、文献調査および現地調査を実施した。その結果、水災害に起因した断水への予防策としては、バックアップ機能の強化等による施設被害発生時の影響を最小化する対策の有効性が示唆された。また、都道府県や日本水道協会の支部長都市等が中心となり小規模事業者を含めた合同研修の実施等による地域的な災害対応力の強化の必要性が考えられた。事業者の連携により、これら施策へ取り組むとともに、国や都道府県においてはこれらを支援していくことが望まれる。特に国には、関連する補助制度の拡充、見直し等による財政的な支援が求められる。

④では、水道事業者が気候変動への適応に関する計画等を策定するために、様々な分野で取り組まれている影響評価や対策事例について取りまとめた。気候変動影響評価や適応策の評価に用いる気候シナリオは、気候シナリオデータセット2022に掲載されているデータセットを中心に、各データセットの特徴を踏まえて選択することが重要であると考えられた。特に水道事業への適用を考える上ではデータセットの中でダウンスケーリング（DS）が重要であり、実際に使用する際にはDS手法ごとに概要を整理し、各DSの特徴を理解し、予測すべき気象要素に適したDSデータを使用する必要があることを指摘した。水道事業者で影響評価を行う場合は、まず水量に関する評価を進め、その結果に基づき影響する水質項目を決定し、水質に関する評価を専門家とともに行うことが重要であると考えられた。また検知・予測技術では衛星データを活用した技術が発展しており、これらの技術を適用するためには対象地域での検証が必要であるが、将来的にこれらの技術を活用できる可能性が考えられた。

研究分担者		
秋葉 道宏	国立保健医療科学院特任研究官	
浅田 安廣	国立保健医療科学院主任研究官	
酒井 宏治	東京都立大学准教授	
下ヶ橋雅樹	叡啓大学教授	
真砂 佳史	国立環境研究所室長	
三浦 尚之	国立保健医療科学院主任研究官	

## A. 研究目的

地球温暖化が一因と考えられる異常気象が世界各地で報告され、我が国でも人々の生活や社会経済活動に大きな影響を及ぼしている。この対策として 2050 年までにカーボンニュートラルを目指すことが政府によって宣言され、2030 年に温室効果ガスを 2013 年度比で 46%削減することを目指すことが表明された。また、気候変動による影響を防止・軽減するため、2018 年に気候変動適応法と気候変動適応計画が策定された。

水道事業は、人々の生活に必要な重要インフラで国内総電力消費量の約 0.8%を占めている。近年では、豪雨・巨大台風等の気象災害で毎年のように水道施設も被害を受け、気候変動適応計画の分野別施策に水道インフラが明記されている。すなわち水道分野では気候変動に関し温室効果ガスの排出を抑制する緩和とその影響に備える適応の両面からの対策が求められている。

本研究では水道分野で気候変動の緩和と適応を推進するための施策に有用な知見を蓄積することを目的に、以下の 4 点を検討した。

- ①気候変動の緩和策、適応策に関する最新の知見・情報、事例の整理
- ②CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化
- ③水災害による断水の予防策および対応策に関する検討
- ④気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術に関する調査

## B. 研究方法

### 1. 気候変動の緩和策、適応策に関する最新の知見・情報、事例の整理

水道分野等における気候変動への緩和策、適応策について、国内外の研究、報告書、学会発表、ウェブサイト、聞き取り等を基に整理表に取りま

とめた。

## 2. CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化

水道事業を対象とした CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの概算は示されているが<sup>1)</sup>、推計にあたり仮定も多い。モデル水道事業体を選定し、CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの精緻な推計を行った。

### 2. 1 事業体における CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化

A 市、B 企業局、C 市の 3 事業体を対象とした。A 市は系統が比較的明解な A1 系統を、B 企業局は B1 浄水場の B2 系統及び B3 系統を、C 市は全系統を対象とした。対象とした解析年度は 2020 年度である。

各事業体に以下の資料の提供を依頼して入手した。資料が得られない場合、得られたデータを基に推計を行うことで解析した。

- ・水位高低図
- ・ポンプ諸元、性能曲線
- ・水量(取水・送水・配水)、水位、圧力(受水・吐出)、ポンプ運転状況(吐出量、運転時間、電力使用量)の特別データ

まず、事業年報などを基に、対象事業体のポンプ設備の概要を整理し、続いて、現状の事業内容を踏まえ、有効と考えられる対策を抽出した。削減ポテンシャルは、以下の項目について検討した。

- ①ポンプ設備の更新
- ②電動機の更新
- ③太陽光発電による創エネルギー
- ④小水力発電による創エネルギー

### 2. 2 水道事業における CO<sub>2</sub>排出量削減ポテンシャルの推計

国内の 2 事業体 (D、E) から、それぞれに属する 2 浄水場 (D1、E1) についての導水および送水に関して、1 時間あたりの導水・送水量、ポンプの電力消費量と運転台数、各池の水位、ならびに設備に関する高低図や管路延長、ポンプ緒言等の関連情報を入手した。

D1 浄水場の解析には 2021 年度、2022 年 7、8、12 月、2023 年 1 月のデータを使用した。E1 浄水

場の解析には2022年8月および2023年2月のデータを使用した。

CO<sub>2</sub>排出量削減は、以下の項目について検討した。太陽光発電に関しては、D事業体のD1、D2、D3浄水場、およびE事業体のE1、E2、E3浄水場に関して、その敷地内建屋の屋上にPVを設置することを考え、それぞれの浄水場の設備をGoogle Earthにて確認し、屋上面積を算出した。

- ・ポンプ運転台数制御
- ・ポンプ送水速度制御
- ・調整池水位制御
- ・太陽光発電導入

## 2. 3 水道システムにおけるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計と推計手順の提案

F事業体のF1浄水場（地下水を水源）、F2～F4送水所（用水供給事業から受水、F3は一部、F1への連絡送水）の送配水システムを対象に、データや情報を入手し、解析を行った。対象解析年度は2020年度とした。

CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計を行う、対策オプションとして、以下を採り上げた。

- ①管理強化、運用見直し
  - ・受水圧力を活用した配水
  - ・ポンプ運転台数の見直し
- ②設備改善、設備付加
  - ・ポンプのインバータ化
- ③プロセスの変更、高効率機器の導入
  - ・自己水源の廃止、F1直接受水とF1第2配水池
- ④再生可能エネルギーの導入
  - ・太陽光発電の導入
  - ・小水力発電の導入

また、F事業体での解析を踏まえて、CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの精緻な推計手順を作成し、提案した。

## 2. 4 大阪市水道局におけるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計

既報告でのCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの評価項目のうち、各事業体が自律的にCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルを検討するという目的に鑑み、相対評価が大きい「インバータの導入」、「受水圧力の活用」について削減ポテンシャル検討することとした。これら項目について検討でき、次の機能を満足するような推計ツールを作成した。

- ・水位高低に対し、ポンプがどの程度の圧力で圧送しているかが視覚的にわかる（現状運用において実際の高低差に対し、無駄な運転となっていないか）
- ・流量制御方法について、弁制御を実施している箇所がわかる（弁制御をおこなっている箇所の洗い出し）
- ・流量の程度がわかる（エネルギー算出に必要となる）
- ・各設備の仕様、特に流量制御弁の形式がわかる（損失の算出に必要）

作成した推計ツールを用いて、大阪市水道局の庭窪浄水場2系をベースに、1次配水場である巽配水場、2次配水場である長居配水場へと流れる系統を選定し、評価した。また、別系統の評価としては、比較対象として、取水ポンプにインバータ制御を導入している庭窪浄水場1系を選定し、評価した。

## 3. 水災害による断水の予防策および対応策に関する検討

同一流域に属する水道事業体の連携による、水災害起因の断水被害の予防・抑制について、近年水災害に起因して断水を経験した事業体を対象に文献調査と、聞き取り調査を中心とした現地調査を行った。

調査対象とする地方、流域、事業体を段階を経て抽出した。まず、激甚災害に指定される豪雨・台風の発生状況等から、東北地方および九州地方を調査対象地方として選定した。続いて、内閣府が公開する災害情報を基に、調査対象災害を抽出した。発生した断水の要因および影響を整理し、その結果を基に調査対象流域を選定した。

選定された流域内で、調査対象災害により断水を経験した事業体を抽出した。これら事業体に関して、断水要因と影響に関するデータ、区域内人口および世帯数、給水人口および給水戸数等の事業体の規模に関するデータ、各災害において対象事業体で記録された降水量を調査した。以上の調査に基づき得られた情報を基に、調査対象事業体の選定を行った。

現地調査では主に聞き取り調査、施設の視察を行った。聞き取り調査に先立ち、ヒアリングリストを

作成し、調査対象事業体に事前に送付し、その回答に基づき聞き取り調査を実施した。

#### 4. 気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術に関する調査

水道事業体が気候変動への適応に関する計画等を考える上で有用な影響評価や対策事例について収集し、取りまとめた。

水道事業への気候変動の影響を考える上で、気候変動影響評価報告書を参考に、「高濁度」、「浸水」、「濁水」、「塩水化」、「水質悪化」、「その他」の6つに分類し、文献調査を行った。

ここでは、下記の内容について整理を行った。

「影響評価手法の整理」

- ・気候モデル
  - ・ダウンスケーリング手法
- 「事例収集」
- ・気候変動影響評価事例
  - ・検知、予測技術の適用事例

#### C. 結果およびD. 考察

##### 1. 気候変動の緩和策、適応策に関する最新の知見・情報、事例の整理

国内外の緩和策に関連する情報については、39の整理表に取りまとめた。このうち、国内19事業体の緩和策に関する事例の内容は、エネルギー消費や削減の状況、削減に関する計画、再生可能エネルギーの導入状況等についてであった。省エネルギーに関しては、ポンプ等設備の更新以外に、管路整備によるエネルギー効率化、位置エネルギーを利用した施設更新事例もあった。再生可能エネルギーの導入事例は、(小)水力発電や太陽光発電が多いが、風力発電を導入している事例もあった。

適応策のうち、水災害への対応に関連した文献は4つの整理表にとりまとめた。水道、下水道を対象としたものがそれぞれ2つであった。下水道分野の内容は、下水道管内水位の情報提供とリアルタイムハザードマップシステムについて、水道分野の内容は、緊急時連絡管の整備、浸水時想定被害の推定と評価に関するものであった。

気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術についての文献は、34の整理表に取りまとめた。内容は、将来予測、影響評価、および検知技

術(リモートセンシング等)が中心で、将来予測については長期的な研究とゲリラ豪雨の短期予測に関する内容の両方があった。これらの手法や技術は、今後、国内の水道での活用可能性があるものも多いと考えられた。

これら77の整理表にまとめた文献・情報は、国内の水道事業体に関するものは他事業体に対して、国外あるいは水道以外の情報については国内の水道事業体に対して、今後の取り組みを考える上で役立つ内容が多いと考えられた。

#### 2. CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化

##### 2.1 事業体におけるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化

###### (1) A市

A市については以下のように整理された。

- ・A1系統の使用電力量：19,442,015 kWh
- ・同系統のCO<sub>2</sub>排出量：72474.54 t-CO<sub>2</sub>
- ・対策：太陽光発電(全体として、概ね効率的に運転されていたため)

太陽光設置可能面積は、Google mapによって距離を測定し、面積を算出した結果、2662.82 m<sup>2</sup>であった。これらの値をもとに、発電ポテンシャルを算出すると、288,220 kWhとなり、A1系統の1%強を代替できる可能性が示された。

###### (2) B企業局

B企業局については以下のように整理された。

- ・B1系(B1-1系、B1-2系)とB2系の送水ポンプの使用電力量：15,157,070 kWh
- ・同系統のCO<sub>2</sub>排出量：66842.68 t-CO<sub>2</sub>
- ・対策：電動機更新(B2系)、太陽光発電

B2系について、電動機更新によるCO<sub>2</sub>削減ポテンシャルは、ポンプ3台合計で116 t-CO<sub>2</sub>を削減する結果となった(トップランナー使用に変更。ただし、一般的な効率向上の比較表の範囲外であったため、最大kWの場合の値を採用)。

B1浄水場における太陽光設置可能面積について、Google mapによって距離を測定し、面積を算出した結果、908.284 m<sup>2</sup>であった。これらの値をもとに、発電ポテンシャルを算出すると、87,490 kWhとなり、対象系統の0.5%程度を代替できる可能性が示された。

###### (3) C市

C市については以下のように整理された。

- ・ C1 浄水場の消費電力量：480,232 kWh  
C2 浄水場の消費電力量：990,134 kWh  
C3 浄水場の消費電力量：632,113 kWh
- ・ CO<sub>2</sub> 排出量：5679.78 t-CO<sub>2</sub>
- ・ 対策：インバータへの更新（C2 系統の 3 号ポンプ）、ポンプ・電動機の更新、太陽光発電、小水力発電

対象ポンプについて、インバータ導入を行う計算を行い、年間の削減量を算出すると、145,374 kWh まで減少する計算となり、率でおよそ 12%、電力量では 18,021 kWh、炭素量では 67.04 t-CO<sub>2</sub> 削減されることとなった。

太陽光発電について、3 浄水場における設置可能面積を Google map によって距離を測定し、面積を算出した結果、C1 浄水場は、223.14 m<sup>2</sup>、C2 浄水場は、996.90 m<sup>2</sup>、C3 浄水場は、240.90 m<sup>2</sup>であった。発電ポテンシャルは、C1 浄水場は、20,787 kWh、C2 浄水場は、92,869 kWh、C3 浄水場は、22,442 kWh と推計され、対象系統の 10%程度を代替できる可能性が示された。これを炭素量に換算すると、それぞれ 77.32 t-CO<sub>2</sub>、345.47 t-CO<sub>2</sub>、83.49 t-CO<sub>2</sub> となり、合計で 506.29 t-CO<sub>2</sub> の削減ができることが分かった。

小水力発電の可能性について算出したところ、C2 浄水場では 428,431 kWh、C3 浄水場では 199,130 kWh であった（C1 浄水場は、流量が少なく適切な水車がなかったため除外）。炭素量に換算すると、C2 浄水場で 1593.76 t-CO<sub>2</sub>、C3 浄水場で 740.76 t-CO<sub>2</sub>、合計で 2334.53 t-CO<sub>2</sub> の削減となった。

調査を行って気づいた点について整理した。

- ①ポンプを複数台運転する際のポンプ 1 台ごとの送水量について、どの事業体においても原データを得られなかった。対処方法として、A 市では合成曲線と比較することで、B 企業局、C 市では 1 台ごとの配水量を推定することで算出したが、この算出及び推定手法について共通化して示しておく必要があると考えられる。特に可変速と固定速ポンプが混在するような場合の検討が必要と思われる。
- ②調査対象事業体では、既に効率よく運転されているところが多く、1 か所のみインバータの導入可能性が示唆されたが、大きな削減量ではなかった。それに対して、トップランナーモーターへの交換、太陽光発電は、ポテンシャル量と

しては少ないものの、一定の数値を計上した。さらに、小水力発電はポテンシャル量が最も大きく、導入実現にあたっての課題を整理した上で推奨される方策と考えられた。

## 2.2 水道事業における CO<sub>2</sub> 排出量削減ポテンシャルの推計

### (1) ポンプ運転台数の検討

D1 浄水場の導水系統では、同時に 3 台を運転することはなかった。流量の増加とともに消費電力量がおおむね比例関係で増加していたが、これは同設備がインバータを導入しているため、流量低下に伴う電力量低下が軽減できているためと考えられた。また 1 時間内に運転した台数によって消費電力が異なっていた。

電力利用効率は、流量が概ね 400 m<sup>3</sup>/h 以下では、プロットは少ないが流量が低下するとともに低下する様子が見られた。一方 400~895 m<sup>3</sup>/h の範囲では、1 時間内に運転したポンプの台数により効率が異なる様子が認められた。

ポンプ運転台数管理による CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算出するため、電力消費と総導水量から、総導水量が 600~895 m<sup>3</sup>/h の範囲では、導水をすべて 1 台のポンプで実施したとすると、その電力消費量は 989 千 kWh となり、227 千 kWh の電力量削減となった。また、導水量が 896~1,200 m<sup>3</sup>/h の範囲では、導水をすべて 1 台のポンプで実施したとすると、その電力消費量は 358 千 kWh となり、58 千 kWh の電力量削減となった。この電力消費量に CO<sub>2</sub> 排出係数 0.000435 t-CO<sub>2</sub>/kWh<sup>2)</sup> を乗じると、その合計は 124 t-CO<sub>2</sub>/年となった。

以上より、複数台のポンプを運転している際には、①運転台数と電力利用効率（単位電力消費量）の関係を明らかとし、もし運転台数による電力利用効率に差がみられるようであれば、②その送水範囲で最も少ない台数で運用した際の電力消費削減量を算出し、③その削減量に発電にともなう CO<sub>2</sub> 排出係数を乗じて CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算出する、という手順が提案できた。

### (2) ポンプ送水速度制御の検討

D1 浄水場の送水系統について、送水先（調整池）の分配データがなかったため正確な計算はできず、参考値であるが、2021 年度に 700 m<sup>3</sup>/h 以上の送水が 600~700 m<sup>3</sup>/h の送水時の平均電力消費

量 (0.092 kWh/m<sup>3</sup>) でなされたと仮定した場合、電力消費量は、実績 620 千 kWh に対して、578 千 kWh となり、42 千 kWh の削減と算出された。CO<sub>2</sub> 排出係数を用いて計算すると、18 t-CO<sub>2</sub> の削減となった。

E1 浄水場の導水系統は、内径 1,800 mm の導水管により着水井に導水している。送水量は弁の on/off により制御している。取水流量と取水量あたりの電量消費量 (単位電力消費量) から、一部の外れ値を除く流量 (取水ポンプ吐出量) 5.4 千 m<sup>3</sup>/h 以上の範囲では、流量増加に伴う単位電力消費量の増加傾向がみられた。入手できたデータの制約から、これが D1 浄水場の導水系統に見られたポンプ台数に起因するものか、D1 浄水場の送水系統に見られた流量変化によるものか、あるいは別の要因によるものかは判断できないが、参考までに最も単位電力消費量が低かった 0.228 kWh/m<sup>3</sup> ですべての導水が行われたものと仮定した場合の電力削減量を算出すると、206,453 kWh/(2 ヶ月) となった。CO<sub>2</sub> 排出削減量を計算すると、89.8 t-CO<sub>2</sub>/(2 ヶ月)=538.8 t-CO<sub>2</sub>/年の削減となる。

以上より、①流量 (流速) と単位電力消費量の関係を明らかとし、もし流量増加にともなう単位電力消費量の増加がみられる場合には、②流速低減による電力消費削減量を算出し、③その削減量に発電に伴う CO<sub>2</sub> 排出係数を乗じて CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算出する、という手順を示すことができた。

### (3) 調整池水位制御の検討

調整池の水位は、送水ポンプに背圧として影響する。この背圧すなわち圧力水頭をできるだけ小さくするためには、調整池の水位を可能な範囲で最低に保つことが考えられる。そのときのエネルギー削減ポテンシャルとなる位置エネルギーを計算した。

E1 浄水場の 2022 年 8 月 (3~31 日)、および 2023 年 2 月の、背圧削減に伴う省エネルギー量推算値を、各系統のポンプ効率および電動機効率にて除し、電力削減量を計算したところ、夏季 (8 月) は 1.84 kWh/h、冬季 (2 月) は 2.02 kWh/h の電力量削減となった。この平均をとって 1 年分を見積もると、(1.84+2.02)/2×24×365=16.9 千 kWh となり、CO<sub>2</sub> 排出係数<sup>2)</sup>を乗じると 7.4 t-CO<sub>2</sub> の削減効果と推算される。

以上より、①調整池などのポンプに背圧を与える池の水位変動を図示し、その差が大きい場合には、②最低水位で送液した場合の損失水頭を算出し、さらに③実際の運転時の電力消費量との差 (削減電力量) を算出して、④その削減量に発電に伴う CO<sub>2</sub> 排出係数を乗じて CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算出する、という手順が提案できた。

### (5) 太陽光発電導入の検討

各浄水場の建物屋根面積を計算し、この面積に設置容量 0.0833 kW/m<sup>2</sup>、および各都道府県の年間予想発電量を乗じて、D1~3 および E1~3 浄水場の年間発電量を算出したところ、D1~3 浄水場で 800 千 kWh/年、E1~3 浄水場で 1,430 千 kWh/年となった。

これらの値から CO<sub>2</sub> 排出係数で算出される年間 CO<sub>2</sub> 排出削減量は、D1~3 浄水場で 350 t-CO<sub>2</sub>、E1~3 浄水場で 620 t-CO<sub>2</sub> となった。

## 2. 3 水道システムにおける CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計と推計手順の提案

### 2. 3. 1 電力使用量とエネルギー効率の把握と CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計

まず、現状の電力使用量とエネルギー効率の把握を試みた。

#### (1) 電力使用量の把握

水道施設における 2018 年度の電力使用量は 491 万 kWh であった。F1 での電力使用量が全体の 50% を占め、F1 の場外にある井戸の取水のための動力が全体の 10% を占めていた。F4、F3、F2 の占める割合はそれぞれ 13%、15%、12% であった。

#### (2) エネルギー効率の把握

F1~F4 の各ポンプについて、日報等の運転管理情報から、電力使用量の把握を行った。配水日報毎時記録から、ポンプ全体効率の算定 (電力量に対する仕事量の割合) を行った。

配水ポンプでは同じ仕様のポンプでは、全体効率に大きな差はないことが確認できた。現在の運転状況では、同じ稼働状況でポンプの性能が低下しているポンプはなく、ポンプ全体効率を改善す

るために、整備、交換等の必要はないと考えられた。

F4 では、ポンプのインバータ化、他の送水所では、可能であれば、夜間は受水水圧の活用や他系統接続によるポンプ停止（高い効率の送水所の優先運転）を検討することが対策として考えられた。

また、F1 の配水ポンプについてポンプ特性曲線上に実際の運転点をプロットしたところ、ポンプは性能通りの能力を発揮していることが確認された。ポンプ吐出し量が 8~12 m<sup>3</sup>/min の運転区間では、ポンプの運転台数が 2 台以上となっており、並列運転のために全体効率が低下している可能性が考えられた。

続いて、電力使用量の削減ポテンシャルの推計を行った。

（1）管理強化、運用見直しによる CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャル

#### ①受水圧力を活用した配水

F4 において、夜間は受水圧で直接配水し、配水ポンプを停止して、電力使用量を削減することを検討した。その結果、夜間の電力使用量の 74,334 kWh/年の内、32,332 kWh/年が削減可能と推定された。なお、インバータ導入により電力使用量が削減されている場合は、29,584 kWh/年が削減可能となる。

#### ②ポンプの運転台数の見直し

配水ポンプを単独運転とした場合の電力使用量を推計し、運転台数の見直しによる電力使用量の削減効果を算定した。その結果、49,315 kWh の電力使用量の削減が期待された。

（2）設備改善、設備付加による CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャル

#### ①ポンプのインバータ化

固定速制御となっている F4 の配水ポンプについて、可変速制御（インバータ制御）を導入することによる、電力量の削減効果を時間毎に算定した。その結果、年間で 223,061 kWh/年の削減が可能となった。

（3）プロセスの変更、高効率機器の導入による CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャル

#### ①自己水源の廃止、F1 直接受水と F1 第 2 配水池の位置エネルギー活用

自己水源の廃止による取水ポンプの電力使用量および F1 直接受水による F1 への送水ポンプの電力使用量を削減した場合について検討した。その結果、自己水源廃止により 851,482 kWh/年、F3 から F1 への送水停止により 207,344 kWh/年、ポンプ更新により 162,665 kWh/年の電力使用量の削減となり、合計 1,221,491 kWh/年の削減が推計された。

（4）再生可能エネルギーの導入による CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャル

#### ①太陽光発電

太陽光発電電力量について、Google map より、設置可能面積を 870 m<sup>2</sup> として、JIS C8907<sup>3)</sup> に基づいて推計したところ、81,235 kWh/年と算出された。

#### ②小水力発電

F2 について、小水力発電電力量を推計したところ、71 千 kWh と算定された。

予測される年間発電量を基に、発電原価を算出し、電力会社から購入している買電単価と比較することにより、発電計画の経済性をおおよそ判断した。この結果、発電原価は買電単価よりも高いと考えられ、経済性としては難しいと考えられた。

電力使用量削減ポテンシャルを基に、CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算定した。CO<sub>2</sub> 削減量は、対策オプションが「受水圧力を活用した配水」の場合は 14.3 t-CO<sub>2</sub>/年（インバータ導入後では 9.1 t-CO<sub>2</sub>/年）、「ポンプ運転台数の見直し」の場合は 21.7 t-CO<sub>2</sub>/年、「ポンプのインバータ化」の場合は 98.4 t-CO<sub>2</sub>/年、「自己水源の廃止、F1 直接受水と F1 第 2 配水池の位置エネルギー活用」の場合は 538.7 t-CO<sub>2</sub>/年、「太陽光発電の導入」の場合は 35.8 t-CO<sub>2</sub>/年、「小水力発電の導入」の場合は 31.5 t-CO<sub>2</sub>/年と推計された。

## 2. 3. 2 事業者における CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャル推計の手順の提案

これまでの検討結果を踏まえ、他の事業者が自らの CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを推計するための手順について、情報収集から削減ポテンシャルの推計方法までを整理した。以下に手順を示す。

### (1) 検討に必要なデータの収集

CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計に必要と考えられる情報を収集する。

### (2) 現状把握（実績整理）と対策検討に向けた分析

#### 1) 収集データ（実績）の整理による現状把握

##### ①施設・設備諸元の整理

設置されている配水池等の施設に加え、ポンプや電動機等の設備諸元を、系統ごとに整理する。

##### ②水位高低図の作成

水位高低図を作成する。

##### ③系統別・工程別・設備別電力使用状況の整理

系統別・工程別・設備別の電力使用量を整理し、見える化する。施設別の電力使用量と配水量・送水量から、配水量・送水量当たりの電力使用量を整理する。

##### ④再生可能エネルギーによる発電量の整理

既に再生可能エネルギーによる発電を実施している事業者の実績データを整理する。

#### 2) 収集データを基にした分析と対策の抽出

##### ①工程別・設備別の電力量原単位の評価

- ・電力量原単位の整理
- ・実際の運用状況を踏まえた電力量原単位に関する考察の実施

##### ②ポンプ運転効率の評価

先に整理したポンプについて、日報等の運転管理情報から電力使用量を把握し、ポンプ運転効率を試算する。

##### ③ポンプ運転性能の評価

### (3) 対策の検討

#### 1) 管理強化・運用見直し

##### ①受水圧力を活用した配水

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

##### ②ポンプ運転台数の見直し

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

#### 2) 設備改善、設備付加

##### ①ポンプのインバータ化

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

##### 3) プロセスの変更、高効率機器の導入

##### ①ポンプ設備の更新

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

##### ②水道システムの変更

###### a. 施設統廃合による消費電力の削減

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

###### b. 配水ブロック見直しによる消費電力の削減

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

#### 4) 再生可能エネルギーの導入

##### ①太陽光発電の導入

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化

##### ②小水力発電の導入

検討余地の把握と削減ポテンシャルの定量化、経済性の検討

### (4) CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計

前段で整理した各対策における削減電力使用量を用いて、当該事業者における CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算定する。電力使用量の削減ポテンシャルに、当該事業者が契約している電気事業者別排出係数を掛け合わせて算出する。

## 2. 4 大阪市水道局における CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計

推定ツールを用いて評価したところ、庭窪浄水場 2 系の場合、取水ポンプの流量制御に弁制御が用いられ、電力にして 125 kWh、年間 110 万 kWh が当該弁制御により消費していた。揚水ポンプの流量制御に一部弁制御が用いられ、電力にして 43 kWh、年間約 35 万 kWh が当該弁制御により消費していた（削減ポテンシャルには計上したが、現設備構成においては、削減が困難）。巽配水場の流入弁では、電力にして 94 kWh、年間約 82 万 kWh が当該弁制御により消費している（ただし、圧力が低く、回収には課題が多い）。長居配水場の受水点において、弁による電力消費の試算が 204 kWh、実際に水力発電による発電量が平均 171 kWh となっており、発電効率を考慮すれば概ね妥当な算出結果となった。したがって、庭窪浄水場 2 系



～長居配水場においては、年間消費電力約 3618 万 kWh に対し、削減ポテンシャルが 227 万 kWh 存在することがわかった。庭窪浄水場 1 系では、削減ポテンシャルは 0 kWh であることがわかった。

今回の検討範囲においては、庭窪浄水場 1・2 系～巽配水場～長居配水場の水輸送に係る電力削減ポテンシャルは、3693 万 kWh に対し、227 万 kWh、CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルは、基礎排出係数で 678 t-CO<sub>2</sub>、調整後排出係数で 705 t-CO<sub>2</sub>となった。

### 3. 水災害による断水の予防策および対応策に関する検討

調査対象地方における断水要因の傾向等を解析し、東北地方では阿武隈川流域を、九州地方では、筑後川流域を、調査対象流域として選定した。続いて、各対象流域の調査候補事業体の断水要因、断水規模等から、阿武隈川流域では宮城県丸森町、福島県二本松市、田村市を選定し、このほか、二流域で世帯数が最大である福島県郡山市にも調査対象に加えた。筑後川流域では、大分県日田市、玖珠町、九重町、福岡県東峰村を調査対象事業体とした。さらに、令和 4 年台風第 15 号で大規模な断水が発生した静岡県静岡市も対象とした。

各調査対象事業体に現地調査を行い、その結果を整理した。水災害に起因した断水への対策として、以下の(1)～(8)が挙げられた。

#### (1) 地域的な人材育成・事例共有

既存の手引き等については、特に小規模事業体においては確認作業まで手が回っていない可能性が示唆された。また、度重なる人事異動により、過去の災害事例が継承しきれていない傾向が見受けられた。このため、水災害への対策として、既存制度の確認や被災事例の共有を目的とした合同研修の開催を提案する。

合同研修では、都道府県や日水協の支部長都市等が中心となり開催することとし、講義内容は相互応援や施設復旧の補助金などの制度が考えられる。また、災害時の断水経緯やそれに対する対応策、災害対応時の好事例や課題点などの共有は、積極的に図るべきものである。

#### (2) 施設被災時の影響最小化策の推進

水道施設の風水害の対策は主に「施設の被害発生を抑制する対策」（以下、「被害抑制策」とする）と、バックアップ機能の強化等による「施設

被害発生時の影響を最小化する対策」（以下、「影響最小化策」という）に大別される。

被害抑制策は想定内の災害には非常に有効であるが、どこまで安全側に考えた対策を施すべきかを示すのは非常に困難であり、またこれら被害想定をした場合でも、激甚化・頻発化する気象災害が想定を上回る可能性がある。一方、影響最小化策として、耐震性能を有する管材料を用いた連絡管整備は、水災害時の断水回避または解消に極めて有効であり、また施設更新や補修時の活用など、災害発生時以外での副次的な効果も期待できる。このため、安全側に余裕幅を持たせた被害抑制策を施す事例は多いものの、同様の対策はハザードマップ等で示される被害を回避する程度の対応に留め、浄水場等の基幹施設の被害発生を想定した被害最小化策を推進すべきと考える。さらに、これら連絡管整備事業への補助金制度の導入などによる支援も期待される。

#### (3) 水道施設と流域での気候変動適応策

我が国の上水道・水道用水供給事業の水源は 74.6%が地表水<sup>4)</sup>であり、河川沿いに施設を有する水道事業者等も少なくない。流域内の関係者が協働で治水を行う流域治水について、水道事業者として求める治水目標を訴えるなど、積極的な関与も重要だと考える。重要な水道施設の上流域においては、気候変動影響下においても有効な森林管理や流木・土石流対策が期待される。

#### (4) 応急復旧に係る資機材の共同管理

静岡市の宮島橋水管橋の応急復旧では、資材の取り寄せに時間を要したとされており、その対策として応急復旧に係る資機材について、事業者間で共同購入・管理する連携体制の構築を提案する。「資材の共同整備」は、厚生労働省で推進される広域連携の形態の一つにも「資材の共同整備」が挙げられている。

今後は、多数あるとされる資材の共同整備事例を調査し、実施に至るまでの諸課題や、それら課題の解決策等の精査も必要と考えられた。

#### (5) 応急給水に係る資機材の共同管理

仮設水槽や大型給水車は給水活動において有効であったとの事例があった。しかし、これらの所有は、特に中小規模事業体が十分な量を所有・管理することは財政面上の問題等から困難で、事

業体間での協同購入・管理といった連携体制の構築が望ましいと考えられた。

また、気象災害発災時に人材不足に陥る例も確認され、給水活動の応援要請のみならず、応援事業体の指揮委任等の早期判断、それに向けた平常時におけるシミュレーションの実施なども、被災事業体職員の負担軽減には重要である。

#### (6) 広報・報道対応への事前対策

大規模災害時には、市民からの問合せや報道対応について、想定外の対応を強いられる状況が見受けられた。しかし、このような対応を経験する機会は限られており、合同研修の場などで経験談やそこから抽出された課題等の共有を図るとともに、事前のシミュレーション等を実施することも、多岐に渡る応急対応時の職員の負担軽減のためには重要であると考えられた。

#### (7) 自衛隊への応援要請

応急給水にあたっては自衛隊による応援事例も見受けられ、被害状況を勘案し、自衛隊への応援を要請することは災害対応時における重要な選択肢の一つと言える。ただし、自衛隊の災害派遣は、都道府県知事の要請に基づき、防衛大臣などがやむを得ない事態と認める場合に派遣することを原則としている点を、認識しておく必要がある。

#### (8) 災害復旧に係る補助金制度の見直しや申請事例の共有

現行の災害復旧に係る補助金の交付制度では、事業体は「補助金を受給しての原形復旧」、または「補助金を受給せずに行う改良復旧」を選択する必要がある。昨今の気象災害を踏まえると、原型復旧ではなく、改良復旧を推奨すべきであり、現行の補助制度については対象事業の拡大や、改良復旧に係る補助制度の創設が急務であると考えられた。

なお、「激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律」（以下、「激甚法」という）では、再発の可能性がある場合は改良復旧を財政援助の対象として認めている。令和6年4月に予定されている水道行政の移管に際しては、上記に示す激甚法の対象施設に水道を加えるとの話も挙がっており、今後の動向に注視する必要がある。

また、災害復旧の申請時には何から手を付けるべきか分からずに苦労したといった意見も、ヒア

リング時に散見された。(1)で示した合同研修の場などでも、実際に補助申請を経験した事業体からの生の声を通して、地域で申請時の留意点や課題等の情報共有を図ることも望ましいと考える。

これまで挙げた諸課題の主な対応者等について考える。事業体は、個々においても影響最小化策を進めるとともに、合同研修や資機材の共同整備等、事業体間の連携を強める施策を検討し、地域的に災害対応力を強化していくことが望ましい。これら連携体制の強化は、例えば研修の実施等において主要となる規模の大きい事業体は、事業体内で十分な研修体制を構築できていると考えられることから、広域連携の推進を担う都道府県等の介入も望ましい。

また、国は、災害復旧等における事業体への支援強化が望まれている。激甚化・頻発化する気象災害へ対応していくには、改良復旧が推進されるべきであり、これらを支援していく体制が求められる。

## 4. 気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術に関する調査

### 4. 1 気候変動影響評価に向けた手法の整理

#### (1) 気候モデル

日本域を対象とした気候シナリオは、これまで様々なプロジェクトで開発が進められてきた。文部科学省と気象庁はこれらのデータや知見を取りまとめ、2022年12月に気候予測データセット2022を取りまとめた<sup>5)</sup>。このデータセットは2025年ごろ取りまとめられる予定の気候変動影響評価報告書やそれに続く気候変動適応計画で活用されることが期待されている。気候変動影響評価や適応策の評価にあたっては、気候シナリオデータセット2022解説書などを参考に、各データセットの特徴を踏まえ、適切なデータセットを選択することが重要である。

データセットの説明で使用している主な指標は下のとおりである。

#### 「世代」

IPCCの評価報告書作成にあわせ、世界各国が開発している全球気候モデル(GCM)の予測結果を相互比較するプロジェクトが実施されてきた。例えば、第5次評価報告書で使用された第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)、第6次評価報告書で

使用された第6期結合モデル相互比較計画(CMIP6)があり、気候シナリオの「世代」を表している。「ダウンスケーリング」

GCMの出力は空間解像度が100kmスケールと非常に粗く、日本の地域レベルの気候変動影響を評価するためには、GCMの出力を精細化することが必要である。これをダウンスケーリング(DS)という。

「バイアス補正」

現在(例えば2000年前後)の予測結果であっても、GCMの出力と観測値との間にはずれが存在する。そのずれを補正することをバイアス補正という。

「SSP/RCP」

CMIP5では、温暖化ガス濃度や土地利用のシナリオとして、放射強制力を指標とした代表的濃度経路(RCP)を用いて定義している。CMIP6では、RCPに加えて社会経済シナリオとして共通社会経済経路(SSP)が作成され、SSPとRCPの組み合わせで気候シナリオを定義している(SSP1-26のように記述する)。

(2) ダウンスケーリング(DS)手法

DS手法は力学的DSと統計学的DSに分けられる。現在、様々な気候予測DSデータが前述の気候予測データセット2022として公開され、例えばCMIP6の統計学的DSデータは「日本域CMIP6データ」から入手できる。水道システムの気候変動影響には様々な側面があるが、例えば水源水量の長期的な推移や平均的な水質変化を検討する場合には、短期的かつ局所的な極端事象にはあまり依存せず、統計学的DSで対応できると考えられる。一方、集中豪雨による急激な原水の高濁化や水道施設損壊の可能性を予測するには、極端事象の予測も念頭におく力学的DSの活用も視野に入れるべきである。

#### 4. 2 気候変動影響評価ならびに検知、予測技術の整理

(1) 気候変動影響評価事例

国内での気候変動による影響評価は、水道に関わる部分として、主として災害に関わる水量的な影響評価が中心であった。規模としては日本全体あるいは地域レベルと様々であった。

水質に関する影響評価は、日本国内での取り組みが限定的で、確認されている主な事例は、水環境中の藻類発生の将来予測や、藻類の発生等に寄与する水質の変化であった。一方、海外においては様々な水質に関する影響評価予測が取り組まれている。気候変動による影響評価を行う上では、まず水量的な視点での影響評価を行うことが望ましいと言える。

(2) 検知、予測技術の適用事例

検知技術として、技術の発達に基づき現場での調査が円滑に進められるような技術が開発されている。一方で、特定のエリアだけでなく、網羅的なデータの活用という点で、近年では衛星データを用いた検知・予測技術の開発が進みつつある。

日本国内では、災害の観点から豪雨や洪水に関する予測技術について研究が進んでおり、渇水の場合、数日から数ヶ月後の渇水状況の予測データを水道事業体に提供し、水源の生態系維持も考慮した取水方法の検討を行っている海外の事例もある。水質に関しては、海外では衛星データを活用した事例が多くある。このうち、クロロフィルa濃度に関する解析は、国内でも行われている。水質項目についても衛星データを活用し、現状把握、短期予測を行うことが将来的には可能であると考えられる。

#### E. 結論

##### 1. 気候変動の緩和策、適応策に関する最新の知見・情報、事例の整理

水道分野等における気候変動への緩和策、適応策について、文献・情報を整理した。

緩和策については、国内外の水道事業体の事例(省エネルギー、再生可能エネルギーの導入等)、エネルギー政策等に関する文献・情報を39の整理表にまとめた。水災害への対応に関する文献(水道、下水道)を4つの整理表に、気候変動に対する水質、災害、水道等を対象とした将来予測、影響評価、および検知技術に関する文献を34の整理表にまとめた。これら77の整理表にまとめた文献・情報は、水道事業体が、今後の取り組みを考える上で役立つ内容が多いと考えられた。

##### 2. CO<sub>2</sub>削減ポテンシャルの推計の精緻化

## 2. 1 事業体における CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計の精緻化

ポテンシャル量を整理したところ、受水団体における小水力発電が最も大きく、トップランナーモーターへの交換、太陽光発電がそれに続いた。対象事業体ではポンプ運転自体は既に効率的に運用されているところが多かった。また、大きなポテンシャル量を持つ小水力発電について導入の課題を整理する必要があると考えられた。

## 2. 2 水道事業における CO<sub>2</sub> 排出量削減ポテンシャルの推計

D、E 事業体の 2 浄水場を対象として、①複数台ポンプ運転下で、もしポンプ運転台数による差が認められた場合に最も少ない台数で運用した際の電力消費削減量、②流量増加に伴う単位電力消費量の増加が認められた場合に流速低減による電力消費削減量、③ポンプに背圧を与える池の水位変動の差が認められた場合に最低水位で送液した場合の損失水頭を算出し、さらに実際の運転時の電力消費量との差（削減電力量）を算出した。それらを基に CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを算出し、また、浄水施設の建物屋根に太陽光発電を導入する際の発電量の推定方法を示した。

## 2. 3 水道システムにおける CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計と推計手順の提案

モデル事業体を対象に、電力使用量の把握や削減ポテンシャルの推計に必要なデータや情報を入手し、解析を行った。CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計を行う対策オプションは、①管理強化、運用見直しとして、①-1 受水圧力を活用した配水、①-2 ポンプ運転台数の見直しを、②設備改善、設備付加として、②-1 ポンプのインバータ化を、③プロセスの変更、高効率機器の導入として、③-1 自己水源の廃止、用水供給事業から浄水場への直接受水と配水池の位置エネルギー活用を、④再生可能エネルギーの導入として、④-1 太陽光発電、④-2 小水力発電の導入を採り上げた。

その結果、CO<sub>2</sub> 削減量は、対策オプションが①-1 の場合は 14.3 t-CO<sub>2</sub>/年（インバータ導入後では 9.1 t-CO<sub>2</sub>/年）、①-2 の場合は 21.7 t-CO<sub>2</sub>/年、②-1 の場合は 98.4 t-CO<sub>2</sub>/年、③-1 の場合は 538.7

t-CO<sub>2</sub>/年、④-1 の場合は 35.8 t-CO<sub>2</sub>/年、④-2 の場合は 31.5 t-CO<sub>2</sub>/年と推計された。

また、検討結果を踏まえ、他の事業体が自らの CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルを推計するための手順について、情報収集から削減ポテンシャルの推計方法を整理し、その手順を示した。

## 2. 4 大阪市水道局における CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルの推計

浄配水場の水輸送における電力削減ポテンシャル推計ツールを作成した。当該推計ツールを用いて評価した結果、庭窪浄水場 2 系取水ポンプ、揚水ポンプ、異配水場流入弁で電力削減ポテンシャルが存在した。全体として、3693 万 kWh の使用電力に対し、電力削減ポテンシャルが 227 万 kWh、CO<sub>2</sub> 削減ポテンシャルは、基礎排出係数で 678 t-CO<sub>2</sub>、調整後排出係数で 705 t-CO<sub>2</sub> 存在することがわかった。

## 3. 水災害による断水の予防策および対応策に関する検討

気象災害が想定を上回り、施設被害を引き起こす事例が散見されたことから、水災害への対策としては、被害抑制策よりも影響最小化策の方が優位であることが示唆された。既存制度の把握や、災害事例の継承に関する事業体間での合同研修、資機材の共同整備等を通して、地域的な災害対応力の向上が望ましいと思われた。被災した施設の復旧に際しては、既存の補助制度の見直しや新規補助制度の創設等により、改良復旧を推進できるような体制作りが求められる。

## 4. 気候変動に対する影響評価手法ならびに対策技術に関する調査

気候変動影響評価や適応策の評価に用いる気候シナリオは、気候シナリオデータセット 2022 に掲載されているデータセットを中心に選択することが重要である。気候予測データの DS が進められており、我が国では、水道システムへの気候変動影響評価に活用しうる地域スケールのデータが比較的容易に入手できるが、実際に使用する際には各 DS の特徴を理解し、予測すべき気象要素に適した DS データを使用する必要がある。水道事業体で影響評価を行う場合は、まず水量に関

する評価を進め、その結果に基づき影響する水質項目を決定し、水質に関する評価を専門家と共に行うことが重要であると考えられた。近年では衛星データを活用した検知・短期予測技術が発展しており、将来的にこれらの技術を活用できる可能性が考えられた。

#### E. 謝辞

資料、データ、関連情報の提供、聞取り、現地視察にあたり、調査対象事業体から多大なるご協力をいただいた。報告書の作成にあたり、株式会社日水コン、水道技術経営パートナーズ株式会社にご協力をいただいた。ここに記して深く謝意を表する。

#### F. 健康危険情報

該当なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

該当なし

##### 2. 学会発表

- 1) 村山俊平, 三浦尚之, 小坂浩司, 増田貴則. 阿武隈川流域における水災害に起因した断水被害の調査及び対策の検討. 第 57 回日本水環境学会年会講演集, p108, 2023.
- 2) 村山俊平, 三浦尚之, 小坂浩司, 増田貴則, 倉田正志, 葉山雄一. 令和 4 年台風第 15 号による静岡市清水区の断水被害調査と対策の検討. 令和 5 年度土木学会全国大会第 78 回年次学術講演会, 2023 (投稿受理).

##### 3. 研修会

- 1) セミナー「豪雨・台風による災害への対応」, 受講生: 28 名, 国立保健医療科学院 (和光市), 2022 年 10 月 11 日.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)

##### 1. 特許取得

該当なし

##### 2. 実用新案登録

該当なし

#### 3. その他

該当なし

#### I. 参考文献

- 1) 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課, 株式会社日水コン. 脱炭素水道システム構築へ向けた調査等一式報告書. 2020.
- 2) 環境省, 経済産業省. 電気事業者別排出係数 (特定排出者の温室効果ガス排出量算定用) -R3 年度実績- R5.1.24. <https://www.env.go.jp/content/000049975.pdf>
- 3) 日本産業規格. 太陽光発電システムの発電電力量推定方法 (JIS C8907). 2005.
- 4) 公益社団法人日本水道協会. 水道統計「令和 2 年度」(施設・業務編), 2022.
- 5) 文部科学省, 気象庁. 気候予測データセット 2022, 2022. <https://diasjp.net/ds2022/>

