

公開資料

戦略的創造研究推進事業  
(社会技術研究開発)

研究開発実施終了報告書

SDGsの達成に向けた共創的研究開発プログラム

シナリオ創出フェーズ

「誰一人として水に困らない社会へ：小規模分散型の  
水供給・処理サービスの開発・可能性検証」

研究代表者 西田 継

(山梨大学大学院総合研究部附属国際流域環境  
研究センター センター長)

協働実施者 杉野 栄

(甲州市上下水道課 課長)

## 目次

I. 本研究開発実施報告書サマリー.....	3
II. 本編 .....	4
1. 研究開発プロジェクトの目標 .....	4
1-1. 研究開発プロジェクト全体の目標 .....	4
1-2. プロジェクトの位置づけ .....	4
2. 研究開発の実施内容.....	5
2-1. 実施項目およびその全体像 .....	5
2-2. 実施内容.....	8
3. 研究開発成果 .....	23
3-1. 目標の達成状況.....	23
3-2. 研究開発成果 .....	23
4. 研究開発の実施体制.....	25
4-1. 研究開発実施体制 .....	25
4-2. 研究開発実施者.....	27
4-3. 研究開発の協力者 .....	29
5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など .....	29
5-1. シンポジウム等.....	29
5-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など .....	30
5-3. 論文発表.....	30
5-4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表） .....	30
5-5. 新聞報道・投稿、受賞など .....	31
5-6. 特許出願.....	31
6. その他（任意） .....	31

## I. 本研究開発実施報告書サマリー

### 小型自立式水処理パッケージ

**当初計画の目標：**水素を利用した革新的な上下水処理の開発、人工湿地を用いた下水処理と農業生産の両立を目指す。

**実施内容：**山梨県甲州市内の窒素汚染地下水に対して小型の水素添加上水処理装置を用いた浄化実験を実施し、窒素除去特性や、運転コストに基づく経済性を評価した。また、山梨県峡東浄化センターにベンチスケール規模の水素利用水処理装置および人工湿地を設置し、下水を対象にした処理試験を実施した。さらに、上記の人工湿地の農業活動や環境教育との連携を検討するため、人工湿地に関する論文調査や関係者へのヒアリングを行った。

**主な成果：**水素・オゾン利用装置及び人工湿地の水処理性能、経済性、付加価値を明らかにし、分散地域への普及可能性を評価した。

### オンデマンド水資源診断

**当初計画の目標：**超高解像度水文地理情報を用いた小規模水源の探索、及び、マルチアイソトープと微生物遺伝子診断に基づく水質特性を把握する技術を開発する。それにより、利用可能水量を推定、提示する。

**実施内容：**人工衛星・航空機搭載型センサーにより取得される高解像度の地形・地被情報などを活用し、地域の水資源診断の基盤データを整備、小規模水源適地の探索及び利用可能水量の推定に関する方法を確立した。また、対象地域周辺で採取した表流水試料を用い、同位体や微生物遺伝子マーカーの検出に向けて分析方法等を検討した。さらに、抽出された水源候補地における利用可能水量の推定・提示方法を検討した。

**主な成果：**

小規模水源を高解像度の情報を活用して探索する技術を開発し、日本全域での展開が可能性を示した。

### 連携体制構築

**当初計画の目標：**大学を仲介とした行政・民間・住民の連絡会議を設置、運用する。同時に、集中型と分散型の水サービス導入時の社会コストを評価・比較し、将来の持続的なサービスモデルを地域に提案する。

**実施内容：**産学官連携会議を継続的に開催し、情報の収集と共有の基盤を作った。収集したデータを用いて、現状と将来の社会コスト評価、すなわち、人口予測結果に基づく水需要推計、給水原価の算出、集中型および分散型の水供給システムの費用推計を行った。以上の成果を基に、本課題で提案する水サービスを実装するためのモデル案を検討した。

**主な成果：**産学官のネットワークの基盤を作るとともに、集中型と分散型の水供給システムにかかる社会コストを比較・評価できる分析フォームを開発した。これにより甲州市水道事業における水道供給施設の更新時期及び必要費用を推定した。

## II. 本編

### 1. 研究開発プロジェクトの目標

#### 1-1. 研究開発プロジェクト全体の目標

本課題では、移住・分散型社会やレジリエンスの向上に対応するため、従来の集中型の水インフラの不足を補う小規模で分散型の水サービスを提供する技術とビジネスモデルを総合的に開発する。地域の需要に合わせて資源量や水質をきめ細かく可視化し、小型自立式水処理の性能と社会コストを評価しながら、新たな水管理に向けて住民と産学官が協働する枠組みを提案する。シナリオ創出フェーズにおいては、前述の取り組みを行いつつソリューション創出フェーズに向け、システム導入シナリオの作成等を実施していく。

ここで提案する小規模分散水サービスは、郊外や中山間地の低密度の定住人口、あるいは多地域居住や観光を目的とした非定住の人口を対象として、産学官連携により提供される簡易かつ低コストの水供給・処理・管理を行うシステムである。可能性試験の予定地は山梨県内の中山間地であり、研究期間中に達成する目標は、以下の3つである。

- 1) 水素を利用した水処理システム、人工湿地を活用して農作物生産を両立させた下排水処理の導入による、生活用廃水の処理性能向上と小型かつ自立的な水処理の選択肢の拡大
- 2) 持続的な利水に向けたオンデマンド水資源診断（リモセン・同位体・遺伝子を融合させた情報集約技術）の設計
- 3) 総合水サービスを構築するための行政・民間・住民の連携体制づくりと新たな水サービスの社会コスト評価およびサービスモデルの提案

#### 1-2. プロジェクトの位置づけ

少子超高齢化の社会においては、過疎地域のインフラ維持（全国の簡易水道事業は6000件弱、厚労省2017）ばかりでなく、都市部の老朽インフラの改修費用の確保も一層困難となる。一方で、一極集中やコロナ禍の反動で農山漁村への移住や二拠点居住の願望が増えており（山梨県の移住希望者は毎年3000人規模）、政府や自治体により大都市集中を低減する社会の構築が推進されている（内閣府2019）。日本社会はこのように大きな構造的変化の渦中にあり、交通や住居の見直しが始まっているが、生命活動の基本である水の確保とその処理については検討が遅れている。さらに、増え続ける自然災害に対しては、応急処置的な給水活動だけでなく、復旧期間に利用できる簡易で移設可能な水インフラ技術が求められる。今後は、人口の低密度化・浮動化や自然災害に対応するため、従来の法規制や概念にとらわれない発想（厚労省2013）で分散型の暮らしへの移行を長期的に進める必要がある。

本課題がモデル地域とする山梨県甲州市は、現在、人口減少と人口密度格差の拡大が重要課題となっており、今後さらにそれらが深刻化し、例えばコンパクトシティの概念や方法論を持ってしても、これまでの一極集中型インフラだけでは誰一人取り残さない安全・安心で快適な生活を維持することが難しくなると考えられる。また、同様の課題を抱えている地方都市は多く、全国的に分散型の暮らしへの対応が急務である。本課題が目指すのは、現在の日本で一般的な集中管理されたサービスと、小規模な配置と管理の社会コストが再評価された分散型のサービスが共存する社会、すなわち、誰一人として水に困らない社会である。SDGsにおいては、水と衛生へのアクセスと持続可能な管理（目標6）、都市と人間の居住地（目標11）、気候変動とその影響（目標13）、陸域生態系の保護（目標15）、インフラと技術革新への投資・レジリエントなインフラ整備（目標9）に特に貢献するものである。

## 2. 研究開発の実施内容

### 2-1. 実施項目およびその全体像

#### A. 小型自立式水処理パッケージ（リーダー：遠山）

##### A1. 水素利用上下水処理 【実施者：風間・遠山・亀井（山梨大学）】

下水については、空気と水素ガスを交互に供給し、有機物分解とアンモニア酸化（好気条件）および硝酸除去・脱窒（嫌気条件）を達成する革新的な一槽式下水処理を開発することを最終目標とする。まず、ベンチスケール試作機での検討[第1期 KPI]の後、既存の処理と経済性の比較[第2, 3期 KPI、可能性試験]を行い、実証実験で実用化に向けた技術的知見を整理する[第4期 KPI]。上水処理については、水素供給プロセスを加えることによって、これまで難しかった窒素除去を備えた新しい高度上水処理システム開発する。

##### A2. 人工湿地 【実施者：遠山・森（山梨大学）】

下水処理能力の高いろ材と浄化植物を組み合わせた下水処理槽と、処理水中の栄養塩を利用して野菜などを栽培する農作物生産槽から構成される人工湿地によって、下水処理と農業生産の両立を目指す。まず、下水処理に最適なるろ材と浄化植物（ヨシなど）、農作物（野菜、飼料米や藻類など）を複数選定してラボスケール（10L程度）試作機を作り性能を評価する[第1期 KPI]。ベンチスケール（数百L程度）試作機を作り、浄化性能と農作物生産性を評価する[第2, 3期 KPI、可能性試験]。次に、処理を必要とする現場において実証実験を実施し、実用化に向けた技術的知見を整理する[第4期 KPI]。

《注》上記の水処理技術の開発にあたり、連携体制構築グループと共同で既存技術の設置・維持コストを算出し、第2期に新技術に求められるコスト削減率の目標値（50%を想定）を設定する。

#### B. オンデマンド水資源診断（リーダー：石平）

##### B1. 超高解像度水文地理情報を用いた小規模水源探索 【実施者：馬籠・相馬・石平（山梨大学）】

人工衛星・航空機搭載型センサーに取得される高解像度の地形・地被情報を活用して、地域の水資源診断の基盤データを整備する[第1期 KPI]。次に、現場状況と高解像度水文地理情報を対比しながら、新たな小規模水源を探索する方法を確立する[第2, 3期 KPI、可能性試験]。さらに、現地で閲覧できる情報とその表示方法などに関する課題の抽出を行う[第4期 KPI]。

##### B2. マルチアイソトープ・微生物遺伝子診断に基づく水質特性の把握 【実施者：中村・西田・原本・田中（山梨大学）】

複数の同位体と微生物遺伝子マーカーを用いて、地域の河川水や地下水の水質の評価や起源の解析を行い、適切な水源を決定するために必要となる原水の質的情報を提供する。[第3期 KPI、可能性試験]。

##### B3. 利用可能水量の推定・提示 【実施者：馬籠・相馬・石平・西田（山梨大学）】

上記1)で特定した小規模水源候補地を対象として、より詳細な水文解析を行うことで、水量の季節・年々変動の影響も加味した水源の安定性や、取水が周辺地域・下流に及ぼす影響についても評価する。その結果と2)の水質情報をもとに、水源候補地周辺で確保可

能な水量・水質を明らかにし、利用者が求める水の量と質に応じた水処理方法が選択するための情報を提供する。[第3期 KPI、可能性試験]

**C. 連携体制構築**（リーダー：武藤、協働実施者：杣野）

【実施者：風間・武藤・鈴木・西田・伊藤（山梨大学）、山梨県上下水道関係事業者、石倉・森川・三迫・富永・村田（日水コン）】

**C1. 産学官連携会議**

山梨大学を仲介とした、行政・民間・住民の連絡会議を設置し、半年に1回の頻度で情報・意見交換会を開催する[第1期 KPI]。これを通して、Aで設置した水処理システム、およびBで試作した水資源診断システムの使い勝手等について、ステークホルダーの意見・感想を抽出する。以上の結果をA・Bの研究開発チームにフィードバックし、試作機の改良につなげる。

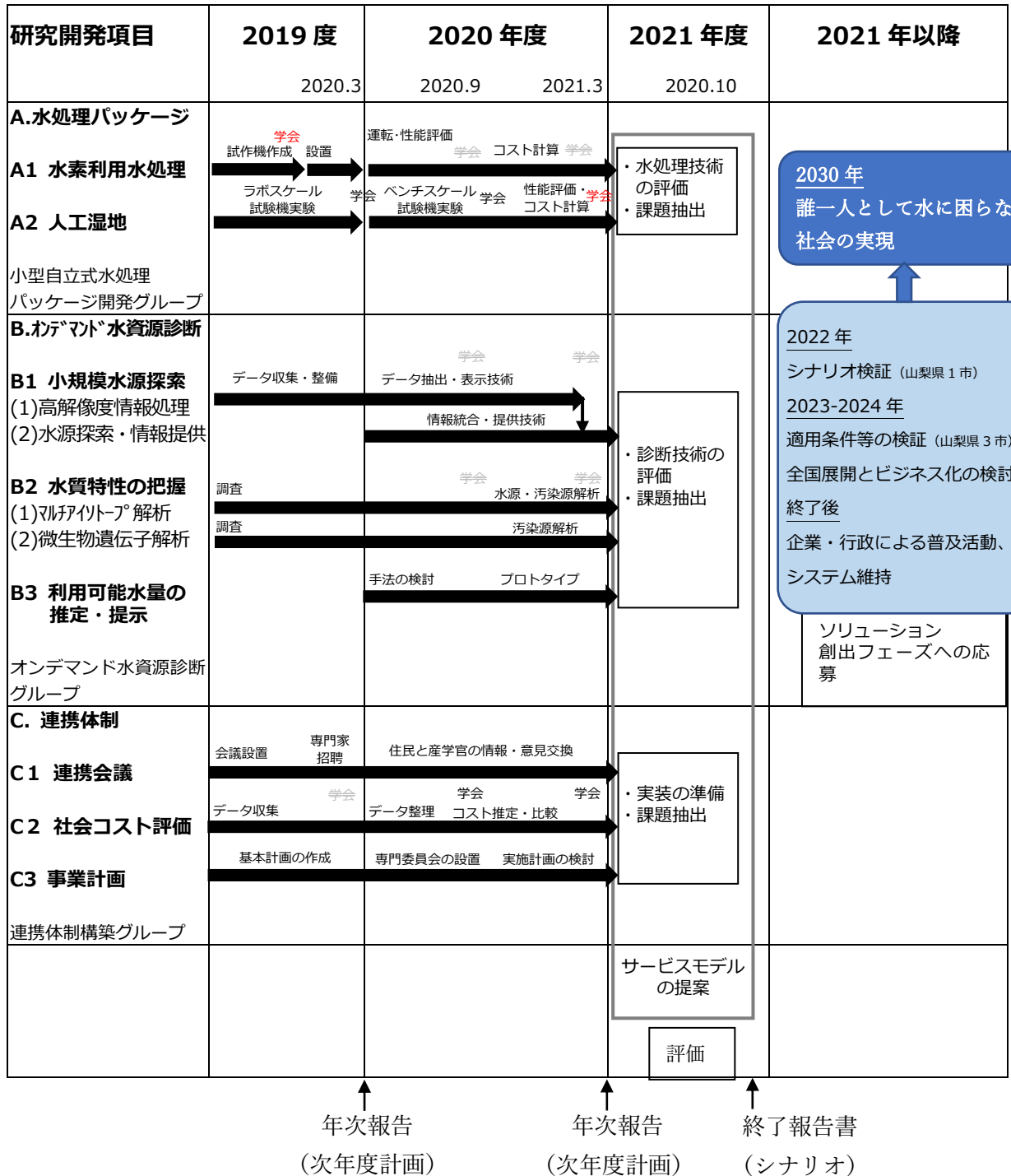
**C2. 社会コスト評価**

既存の簡易水道や小規模水道等の対象人口、施設、設置・維持管理費用、関係事業者等に関するデータを収集[第1期 KPI]・整理し[第2期 KPI]、現状と本課題で提案する新技術を導入した場合の社会的な費用と便益を比較する[第3期 KPI、可能性試験]。

**C3. 事業計画とサービスモデルの提案**

ソリューションフェーズに向け、新しい水サービスが移住・分散型社会で運用される将来を想定した事業基本計画（マスタープラン）を上下水道関係事業者（甲州市水道審議会など）により作成する[第1期 KPI]。同時に、新たな水サービス導入を専門とする委員会を設置し[第2期 KPI]、研究開発実施項目A・B・Cで取得したデータをもとに、具体的な施策と実施計画を立てる[第4期 KPI]。社会コスト評価の結果と住民への聞き取り調査の結果を合わせて、その段階の計画・設計・施工・管理の業務分担や費用負担等のサービス（ビジネス）モデルを地域に提案する[第4期 KPI]。

研究期間中のスケジュール



## 2-2. 実施内容

### A. 小型自立式水処理パッケージ

#### A1 水素利用上下水処理

##### (1) 内容・方法・活動

山梨県甲州市内の窒素汚染地下水に対して小型の水素添加上水処理装置を用いた浄化実験を実施し、窒素除去特性や、運転コストに基づく経済性を評価した。また、山梨県峡東浄化センターにベンチスケール規模の処理装置を設置し、最初沈殿池越流水（以下、下水とする）を対象にした処理試験を実施した。実験条件は、散気管あるいはナノバブル発生器による空気・水素ガス交互供給と、散気管による空気供給のみの条件とし、空気・水素ガス交互供給による処理性への影響や、ナノバブル発生器による処理性向上効果を評価した。さらに、浄化槽への導入を想定した初期コストに基づく経済性を評価した。以上の検討から、水素利用上下水処理を科学的に考察した。

##### (2) 結果

#### 水素利用上水処理

山梨県甲州市内の最大 9 mg-N/L の硝酸態窒素を含む窒素汚染地下水を対象に、2021 年 6 月から 7 月にかけて小型の水素添加上水処理装置（容積 5 L）を用いた浄化実験を実施した。1 日 5 L の給水を想定した運転条件では、処理水中の窒素濃度は優位に減少し、その水質は飲料水基準値を満たした（図 A-1）。運転コストを元に算出した給水価格は 1 L あたり 33 円程度であり、市販の飲料水価格（40～83 円/、市場調査による）と同等か、より安価であることがわかった。以上から、水素添加上水処理装置を用いることで窒素汚染地下水の浄化は可能であり、飲水には適さない水源の浄化技術として有効であることが示唆された。

#### 水素利用下水処理

容積 200 L のベンチスケール規模の空気・水素ガス交互供給浄化槽（以下、水素添加浄化槽とする）を山梨県峡東浄化センターに設置し、2020 年 9 月から 2021 年 10 月にかけて約 1 年間の下水処理実験を実施して実下水処理性能を評価した（図 A-2）。1 日約 30 L の下水処理を想定した条件において、空気（通気量：20 L/min）および水素（通気量 250 mL/min）の供給時間をそれぞれ 12 時間に設定した場合が最適な条件であることがわかった。空気のみを供給する条件と同等の BOD およびアンモニア態窒素の酸化能力を保持しながら、同時に窒素除去能力を増強できた（図 A-3）。特にナノバブル発生器を用いた場合に顕著な窒素除去が確認でき、他の条件と比較して窒素除去能力が約 50%向上しており、ナノバブルによる処理効率向上効果が実証できた。さらに、その処理水質は浄化槽の放流水 BOD 基準値（20 mg/L 以下）と、高度処理型浄化槽処理水の全窒素濃度目安（20 mg/L 以下）を下回った。

また、ベンチスケール実験装置と同等の水素ガス供給設備の導入により、単独浄化槽の高度処理対応が可能になると仮定して初期コストを算出し経済性を評価した（表 4-1）。水素添加浄化槽の導入は、既存単独浄化槽を高度処理型浄化槽に交換する場合に比べ 25-77%の初期コスト低減効果が期待できた。特に、水素ガスポンペを利用するシナリオは、水素ガス



発生装置が不要なため初期コストが最も安価だった。高度処理型浄化槽導入コストとの差額は、約10年間運転に必要な水素ガスポンプの交換費用を補えることがわかった。以上から、水素利用浄化槽の導入により利用者の経済的負担低減による導入促進効果と、既存浄化槽の高度処理の同時達成が期待でき、河川への窒素流入負荷低減に資する可能性が示唆された。

(3) 特記事項

新型コロナウイルス感染症拡大に伴い当初計画通りに研究を進めることができなかったが、関係機関（山梨県県土整備部下水道室、山梨県流域下水道 峡東浄化センター、株式会社メイキョウ）と協力して目標を概ね達成することができた。

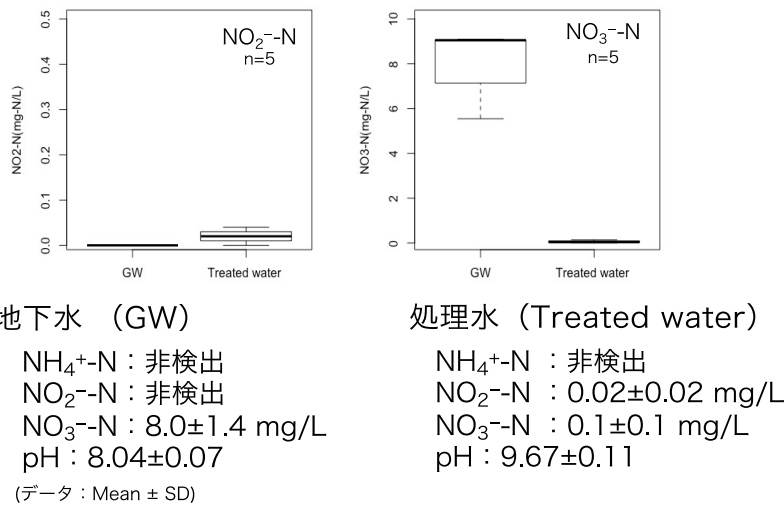
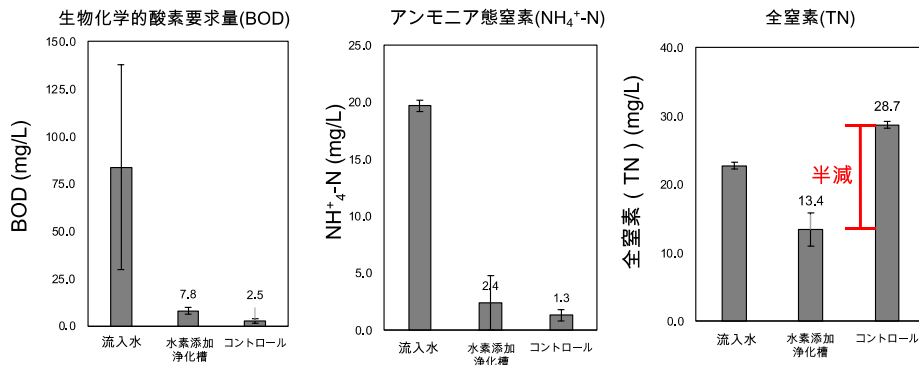


図 A-1 水素添加上水処理装置による硝酸性窒素汚染地下水からの窒素除去



図 A-2 峡東浄化センターに設置したベンチスケール空気・水素ガス交互供給式浄化槽



コントロール：一般的な浄化槽を想定して24時間連続曝気  
水素添加浄化槽：空気供給12時間・水素供給12時間（ナノバブル供給）

図 A-3 水素添加浄化槽による有機物・アンモニア態窒素の酸化処理と脱窒の同時達成

表 4-1 水素添加浄化槽と高度処理対応型浄化槽の導入に要する初期コストの比較

項目	高度処理 対応型浄化槽	水素添加浄化槽 (水素ガスポンペ)	水素添加浄化槽 (水素発生装置使用)
	973 千円	227 千円	727 千円
初期 コスト	内訳 単独浄化槽撤去費：93千円 浄化槽本体価格：680千円 配管工事費等：220千円	内訳 水素ガス供給関連機材：77千円 ガス配管類：6千円 雑排水管工事：144千円	内訳 水素ガス発生装置：500千円 水素ガス供給関連機材：77千円 ガス配管類：6千円 雑排水管工事：144千円

## A2 人工湿地

### (1) 内容・方法・活動

山梨県狭東浄化センター（甲州市）にベンチスケールの人工湿地を設置し、最初沈殿池越流水（以下、下水とする）を対象にした処理試験を実施した。下水と処理水の水質（有機物、窒素、リン、健康関連微生物）を定期的に分析し、それらの除去率を長期にわたってモニタリングした。実証試験の結果から得られた下水処理性能と運転コストを通常の浄化槽、標準活性汚泥法と比較して、人工湿地の下水処理性能を評価した。また、人工湿地内の下水処理機能微生物を解析することによって、人工湿地による下水処理を科学的に考察した。一方、上記の人工湿地の農業活動や環境教育との連携を検討するため、人工湿地に関する論文調査や関係者へのヒアリングを行った。

### (2) 結果

ゼオライトと軽石を基盤材としてヨシを植栽したベンチスケール間欠流入式人工湿地（0.97m×1.4m×0.9m）を山梨県狭東浄化センター（甲州市）に設置して2020年9月から2021年10月にかけて約1年間の下水処理実証試験を実施し、人工湿地の処理性能と経済性を評価した（図 A-4）。人工湿地の運転条件の最適化を試みたところ、浸漬6時間・乾燥2時

間のサイクル（1日3サイクル）で下水を連続処理することにより、人工湿地内が好気→嫌気→好気の順に変化して好気的な微生物反応（有機物の酸化と窒素の硝化）および嫌気的な微生物反応（脱窒）が効率的に起きていることが実証された（図A-5）。さらに、その人工湿地内において窒素除去を担っている微生物が多く存在して活発に機能していることが示唆された。人工湿地の運転条件を最適化することによって、面積当たりの下水処理容量を $3\text{ m}^3/\text{日}\cdot\text{m}^2$ 、面積当たりの有機物および窒素除去速度を従来の人工湿地の2倍（有機物）、15倍（窒素）高めることができた（図A-6、表A-2）。その人工湿地の下水処理性能（有機物除去、全窒素除去および大腸菌・大腸菌群除去）は標準活性汚泥法と同等かやや劣る程度であった。また人工湿地の下水処理性能は浄化槽に比べて高い（特に窒素除去性能）くなった。さらに、人工湿地の処理水中の大腸菌数は排水基準（排水量が $50\text{ m}^3/\text{日}$ の施設の場合、1日平均 $3,000\text{ CFU}/\text{mL}$ ）を下回っていた。下水処理に伴う人工湿地の消費エネルギー原単位は $0.0008\text{ kWh}/\text{m}^3$ と試算され、これは標準活性汚泥法（ $0.2\text{ kWh}/\text{m}^3$ ）の $1/200$ 以下、合併浄化槽（ $0.7\sim 1\text{ kWh}/\text{m}^3$ ）の $1/1000$ 程度であった（図A-7）。この試算から、一般的な下水の集合処理である活性汚泥法や個別処理の合併浄化槽を人工湿地に代替することによってエネルギー消費量、すなわち、ランニングコストと二酸化炭素排出量を大幅に削減することが可能であると評価できた。また、人工湿地の論文調査と人工湿地研究者へのヒアリングによって、人工湿地の水処理以外の付加価値（農業連携、環境教育連携や住民活動創出）を発掘し、特に初等教育と連携した活動が持続的な水処理に貢献することが示唆された（図A-8）。

### (3) 特記事項

新型コロナウイルス感染症拡大に伴い当初計画通りに研究を進めることができなかったが、関係機関（山梨県県土整備部下水道室、山梨県流域下水道 峡東浄化センター、株式会社メイキョウ）と協力して目標を概ね達成することができた。



図 A-4 人工湿地による下水処理の実証試験の様子

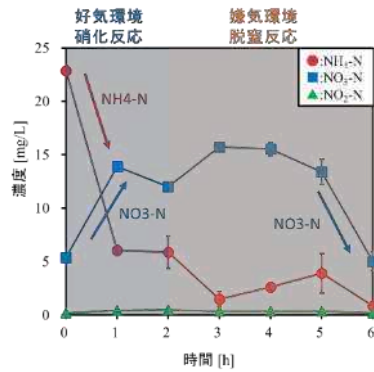


図 A-5 人工湿地内の好気と嫌気の変化に応じた硝化と脱窒反応の連動による効果的な窒素除去

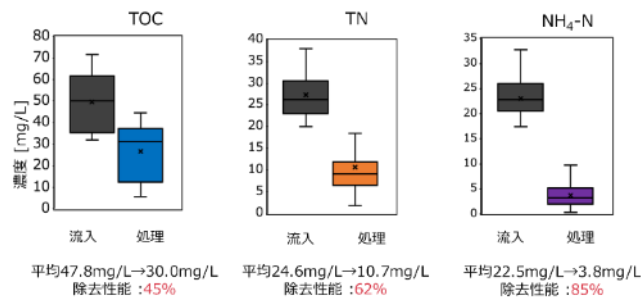


図 A-6 1年間の実証試験における人工湿地の下水からの有機物 (TOC)、全窒素 (T-N) とアンモニア態窒素 (NH<sub>4</sub>-N) の除去性能

表 4-2 今回の実証試験の結果と従来の人工湿地 (文献値) との下水処理性能の比較

	従来の人工湿地	今回の実証試験の結果
BOD-処理速度	16.7g/m <sup>2</sup> /day	30.9 g/m <sup>2</sup> /day
N-処理速度	1.5g/m <sup>2</sup> /day	21.3 g/m <sup>2</sup> /day
滞留時間	3.5 day	0.5 day

(Dandan et al, 2019. Zhang et al, 2014)

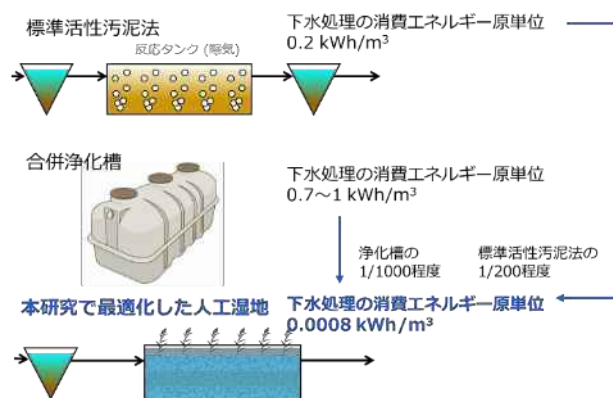


図 A-7 人工湿地と標準活性汚泥法、浄化槽の下水処理に伴う消費エネルギー原単位 (kWh/m<sup>3</sup>) の比較



図 A-8 ヒアリングした福島県の人工湿地の環境教育連携や住民活動創出の先行例

## B. オンデマンド水資源診断

### B1 超高解像度水文地理情報を用いた小規模水源探索

#### (1) 内容・方法・活動

人工衛星・航空機搭載型センサーにより取得される高解像度の地形・地被情報などを活用し、地域の水資源診断の基盤データを整備するとともに、それらを用いて小規模水源適地の探索及び利用可能水量の推定に関する方法を確立した。

まず、対象地域(山梨県甲州市全域)において、地形・地質情報、気象・水文情報、土地被覆・土地利用情報を空間解像度1” (約30m)のメッシュで整備した。具体的には、日本域表面流向マップ(山崎ほか, 2018)から、甲州市全域をカバーする空間解像度約1”の地形情報(標高、落水線、集水面積)を抽出した。また、土地分類基本調査の表層地質データからCosby et al. (1984)の手法により表層土壌の飽和透水係数を算出し、これと上記の地形情報を組み合わせることで、土壌の湿潤化傾向の指標である土壌地形指標の分布情報を整備した。また、気象庁レーダーアメダス解析雨量及び陸面過程モデルによる蒸発散量推定値(Today's Earthより取得)を1”メッシュにリサンプリングすることで高解像度気象データを作成した。さらに、降水量、蒸発散量を流向データと同じ解像度でリサンプリングし、これをもとに各メッシュにおける水資源賦存量を算定した。また、このメッシュ毎の水資源賦存量を流向に沿って上流から下流に向けて積算することで、全メッシュにおける地点上流域の水資源賦存量を算出した。これら地形・地質・気象水文情報に加え、簡易水道や小規模水道等の給水区や取水井戸の位置などの空間情報(GISデータ)の整備も行った。甲州市水道ビジョン及び経営戦略、給水状況地図から給水区地図画像を取得し、GISを用いて地図画像に地理座標を付与(ジオリファレンス)した後、地図画像上で各給水区の水源地の地理座標値を読み取った。また、これをGIS上で落水線と重ね合わせ、水源地を最近傍の落水線上にスナップした。これと先に述べた高解像度水文・地理情報を重ね合わせることで、各水源に対して地形特性や水資源賦存量の属性情報を付与した。最終的に、これら高解像度水文地理情報を統合的に用いて、対象地域の中から小規模水道水源に適した地点の探索方法について検討を行った。

#### (2) 結果

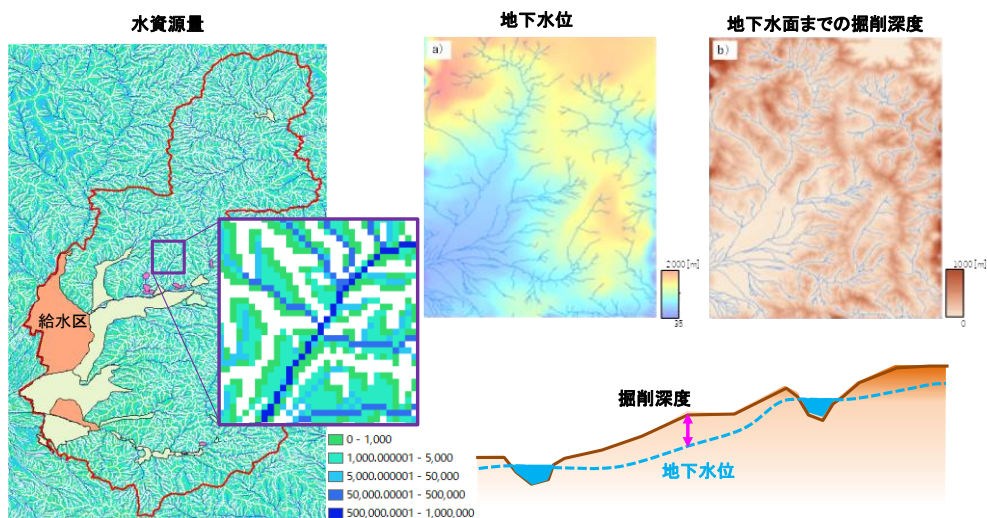
整備した高解像度水文地理情報(集水面積、地形土壌指標、水資源賦存量)の空間分布に既存小規模水道水源の位置を重ねることで、各水源におけるこれら水文地理情報を抽出し、

給水規模(給水人口)との関連性について検討を行った。給水人口と一人当たり集水面積の関係から取水のために給水人口一人当たりどのくらいの集水面積が必要かを読み取った結果、当該地域における小規模水道の水源は、少なくとも給水人口×300~400m<sup>2</sup>/人以上の集水面積を有することが明らかとなった。また、給水人口、水資源賦存量と給水人口の関係からは、全体的に人口規模の増加に伴い、対応する水源の地形指標、水資源賦存量も大きくなる傾向が確認された。水文地理情報と給水規模の関連性を2次元平面状にプロットした場合、そのばらつきは大きいものの全プロットを包含するような上限/下限の曲線を引くことができ、地形指標や水資源賦存量がこの下限~上限の範囲に入るような地点・地域が水源候補地となりうると考えられる。この解析結果から、上記の集水面積、地形土壌指標、水資源賦存量の条件を満足する地点を高解像度水文・地理情報を用いて空間的に検索することで、給水規模(計画給水人口)に対応した水源候補地を抽出できる可能性が示された。

水源適地の探索においては、十分な水量確保ができることに加え、地下水を水源とする場合には井戸掘削深度が小さい(少ない掘削深度で地下水面に到達する)ことも重要な条件の一つとなる。そこで、水文地理情報から浅層地下水井戸の必要掘削深度の推定方法についても検討を行った。具体的には、地下水面が露頭している溪流・小河川地点の標高を空間内挿することで推定した浅層地下水面の空間分布及び、その浅層地下水面標高と地形標高の差分として求められた浅層地下水までの掘削深度の空間分布情報を整備する。この情報を用いることで、十分な水量が確保できる水源候補地の中から、比較的小さい掘削深度で浅層地下水の取水地点を選定することを可能とした。

### (3) 特記事項

本検討により、高解像度水文・地理情報を用いた小規模水道水源の適地選定方法を提案することができた。ここで使用している水文・地理情報は、全国をカバーする気象・水文・地理データセットをもとに整備したものであり、全国各地においても同様の方法が適用可能である。また今後は、気候・地理条件の異なる他地域への展開も期待される。



図一B1 小規模水源探索のための水資源情報

## B2 マルチアイソトープ・微生物遺伝子診断に基づく水質特性の把握

### (1) 内容・方法・活動

対象地域周辺で採取した表流水試料を用い、同位体や微生物遺伝子マーカーの検出に向けて分析方法等を検討した。具体的には、水の涵養標高の指標となる水の水素安定同位体比と硝酸イオン濃度、大腸菌群、大腸菌の濃度を測定した。また、甲州市上下水道課と合同で、市が管理する主要な既存水道水源の調査を実施した。山地水源 11 地点（湧水：5 地点、伏流水 2 地点、表流水 4 地点）ならびに沖積低地（市街地郊外）の深井戸（掘削深度 75～80 m）3 地点を選定し、原水を採取した。水質の安全性の評価のため、窒素汚染源の推定に有効とされる硝酸イオンの窒素安定同位体比値の観測を実施した。微生物マーカーによる汚染源推定法の開発に向けて、これら 14 試料中の大腸菌群と大腸菌を培養法により測定した。さらに、水の安全性を保障する上で、病原微生物汚染を制御することは極めて重要であることから、表流水からの病原細菌の検出法を検討すると共に、水質検査の対象とする微生物の候補を探索した。相川において採取した表流水から DNA を抽出し、細菌由来の 16S rRNA アンプリコン解析に供した。

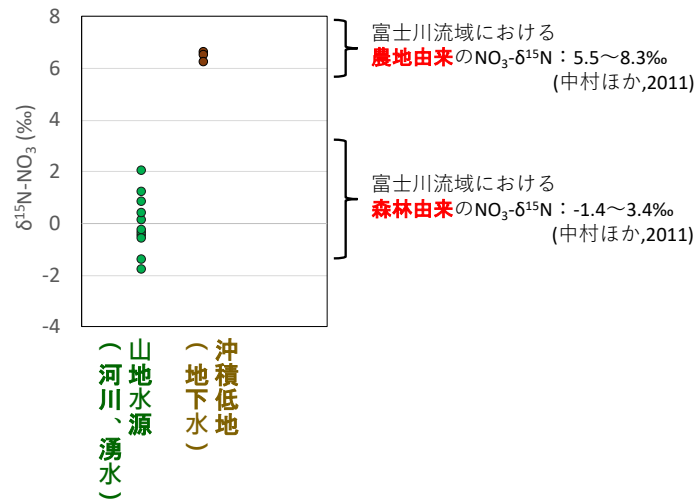
### (2) 結果

水の安定同位体比値は採水標高に応じて低くなる傾向（水の安定同位体に見られる高度効果）を示し、小規模流域であっても水資源の涵養標高の違いの把握が可能であることが確認できた。さらに、硝酸イオンならびに大腸菌群、大腸菌濃度は、水同位体比値の増加にともなって高くなる傾向を示したことから、涵養標高の低い水の流入が窒素や微生物の負荷に寄与していることが把握できた。硝酸イオンの窒素安定同位体比値を測定した結果、水源中に含まれる硝酸イオンの窒素安定同位体比値（ $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ ）は、山地水源と沖積低地の水源で大別された。山地水源のそれは低い値を示し、既往の研究で報告されている森林由来の硝酸態窒素の安定同位体比値の範囲であった。一方、沖積低地の水源に含まれる硝酸イオンの窒素安定同位体比値は高く、既往の研究で報告されている富士川流域における農地由来の値を示し、果樹園（主にブドウやモモ）が分布する沖積低地における地下水は、地表に広く分布する農地からの窒素負荷があることが確認された。また、山地水源と沖積低地の水源中の硝酸イオンの窒素安定同位体比値は明らかに違う値を示していることから、人為由来の窒素（農地施肥）負荷の有無を把握する上で十分に有効であることが明らかとなった。硝酸イオンおよび人畜による水質汚染の指標の一つである塩化物イオンの濃度を整理したところ、飲料水における窒素の基準値が硝酸態窒素及び亜硝酸態窒素で 10mg/L に対して、亜硝酸態窒素は全地点において非検出、硝酸態窒素濃度については 0.1～8.1mg/L と非常に広い変動幅を示した。この硝酸態窒素濃度の分布は山地水源と沖積低地の水源で大別され、山地水源では 0.1～1.1mg/L と非常に低い値であるのに対し、沖積低地の 3 水源では 4.0、4.7、8.1mg/L といずれも飲用水の基準を満たしているが、山地水源の 8～16 倍の濃度であった。塩化物イオンの濃度についても山地水源で低く、沖積低地の水源で高くなる窒素濃度と同様の傾向が得られた。

細菌由来の16S rRNA アンプリコン解析の結果、病原性を示す、あるいはバイオセーフティレベル2以上の種を含む属として、計13属が検出された。これらの中で、特に分布率が高く(0.5%以上)、構成既知種の中で病原性を示すものが多数含まれる属として、*Arcobacter* 属と *Acinetobacter* 属が同定され、これらが水源中の病原細菌汚染として重要なものであることが明らかとなった。水源14試料中の大腸菌群と大腸菌を培養法により測定した結果、沖積低地の3試料からはいずれも検出されなかった (< 1.0 most probable number (MPN) /100mL) が、山地水源では11試料中9試料(82%)から大腸菌群、2試料(18%)から大腸菌が検出された。大腸菌が検出された2種類中の濃度は1.0および3.1 MPN/100mLと低く、汚染レベルは低いものの、糞便汚染を受けている可能性が示唆された。ウイルス汚染指標として測定した体表面吸着大腸菌ファージとF特異大腸菌ファージはいずれの試料からも検出されなかった (< 0.1 plaque-forming unit (PFU) /mL) ことから、糞便汚染レベルは低いことが推察される。このことは、デジタルPCRを用いて、ヒト、反芻動物およびブタに特異的なバクテロイデス遺伝子マーカーを測定したものの、いずれも検出されなかった結果からも支持されるものであった。

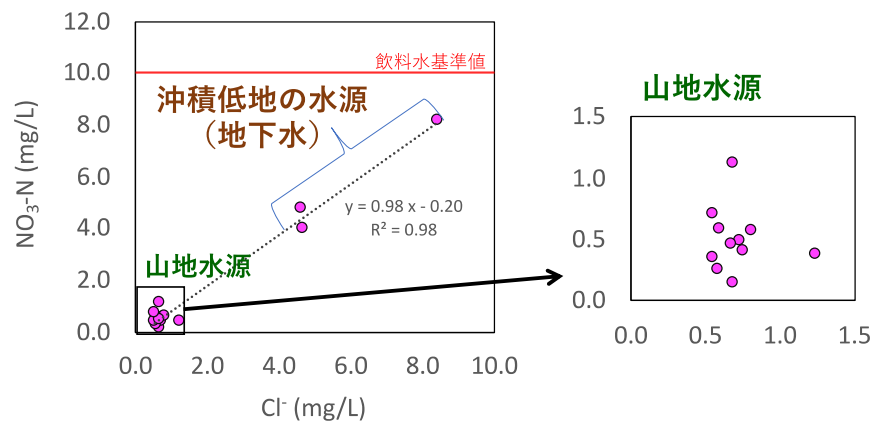
### (3) 特記事項

山間部の表流水の水源と、沖積低地における地下水の水安全性評価の結果、水質が優位な山間部の表流水については、微生物学的な安全性を考慮すると山間部においても地下水の利用を視野に入れる必要性にたどり着いた。該当地域の水安全性マップの精度向上に加え、この研究で得られた水質や微生物の傾向について、他地域についての考察や取水施設のデザインについての検討も必要であることを確認した。



図—B2 水源中の硝酸イオンの窒素安定同位体比値





図—B3 山地水源と沖積低地の水源（地下水）の硝酸態窒素と塩化物イオン濃度

### B3 利用可能水量の推定・提示

#### (1) 内容・方法・活動

実施内容 A1 の小規模水源探索法により抽出される水源候補地における利用可能水量の推定・提示方法について検討を行った。

空間解像度 1”（約 30m）のメッシュ流向データ（落水線網）を用いて、全メッシュにおける地点上流域の水資源賦存量情報を整備・図化した。具体的には、まず、対象地域内の降水量、蒸発散量を流向データと同じ解像度でリサンプリングし、これをもとに各メッシュにおける水資源賦存量を算定した。また、このメッシュ毎の水資源賦存量を流向に沿って上流から下流に向けて積算することで、全メッシュにおける地点上流域の水資源賦存量を算出した。さらに、これを地図情報に重ね合わせることで対象地域内の水資源賦存量分布を可視化した。このように全メッシュにおける上流域の水文気象量（面積雨量、平均蒸発散量、水資源賦存量）をあらかじめ網羅的に計算・整備しておくことにより、解析対象における水量情報の迅速な検索・抽出と面的な表示を可能にした。

#### (2) 結果

空間解像度 1”（約 30m）のメッシュで、水源・水量に関わる空間情報を整備した。また、これら水源・水量に関わる空間情報を Web 上で可視化・配信できるシステムを構築し、関係者の間での情報共有を可能にした（図—B4）。なお、検討結果の妥当性については、給水に必要な集水面積（水源面積）に関する既往研究との比較に基づき検証した。

近代上水道システムを成立させるためには、水源上流に一人当たり 300m<sup>2</sup> 程度の水源面積が必要と言われており（丹保・竹村，2010）、本検討で得られた給水人口一人当たりの集水面積（300～400m<sup>2</sup>/人）はこれとほぼ同程度の値となっている。この水源面積について、全国ならびに対象地域（甲州市）の水資源状況に基づき考察する。令和 2 年度版「日本の水資源の現況」に基づき、全国平均の年降水量を 1720mm/year，年蒸発散量を 609mm/year とすると、水資源賦存量は約 3.0mm/day となる。また、流況（水資源量）の季節変動性の指標である低水

流量と平均流量の比を2.5程度と仮定すると、低水期における水資源賦存量は約1.2mm/dayとなり、この条件のもとで一人当たり水使用量300L/人/dayを確保するために必要な水源面積は、約300m<sup>2</sup>/人となる。一方、本研究で整備した水文データをもとに甲州市小規模水道の水源地域について同様の計算を行うと、年平均の水資源賦存量は約2.19mm/dayとなり、対象地域近傍の流量観測地点(笛吹川石和地点)の河川流量データから得られる流況変動性(低水流量・渇水流量と平均流量の比)を考慮した低水・渇水期水資源賦存量は0.84~1.21mm/dayとなる。一方、対象地域における一人当たり必要水量は、果樹等農作物の洗浄用水の利用が多いことなどの理由により先に示した全国平均的な一人当たり水使用量300L/人/dayよりも若干多く、水道統計等のデータから約350L/人/dayと推定される。これらの条件から甲州市小規模水道の水源地域における一人当たり水使用量を確保するために必要とされる水源面積を算定すると約290~420m<sup>2</sup>/人となり、これは現在利用されている小規模水道水源地点の集水面積の下限值とほぼ等しくなる。この結果は、現在利用されている小規模水源が地域の気象水文条件や水利用特性に対応して適切な箇所に選定されていること、また見方を変えると地域の気象水文特性に即して給水規模に対応した小規模水道水源の適地を抽出できることを意味している。

### (3) 特記事項

各種地理・地図情報を活用した潜在的な水源の抽出・可視化を可能にした。特に、日本全域で入手可能な気象・水文・地理データセットを入力とし、GISソフト等を利用した低計算負荷での解析・図化を実現した点が特徴であり、他地域への展開が容易な汎用性の高い技術である。

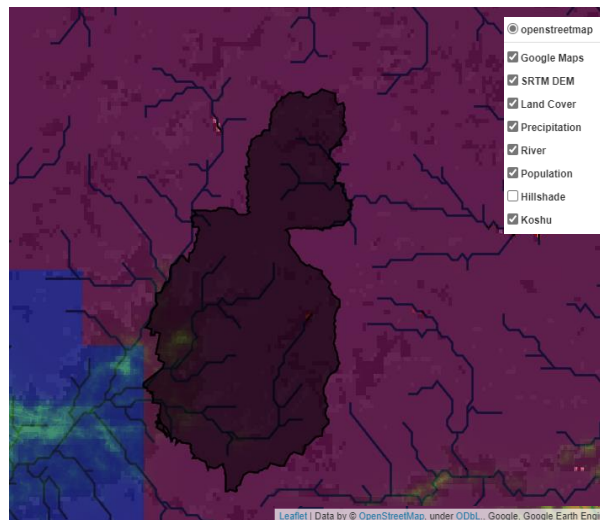


図-B4 水関連情報の可視化・共有

## C. 連携体制構築

### C1 産学官連携会議

#### (1) 内容・方法・活動

産学官連携会議を合計5回開催した。第1回[2019年12月18日：甲府市]、第2回[2020年6月4日：オンライン]、第3回[2020年7月9日：甲州市、現地視察]、第4回[2020年9月30日、甲州市]、第5回[2021年1月13日、甲州市]の計5回である。これらの連絡会議は、山梨大学を中心とした学と行政・民間から構成され、情報・意見交換を行うことが目的の会議である。このような情報・意見交換を通して、水処理システムおよび水資源診断システム、あるいは水全般の問題に係るステークホルダーが有する意見・感想を把握する。以上の結果を各班にもフィードバックし、システムの改良につなげるために連絡会議を開催する。

## (2) 結果

第1回の連絡会議では、本事業の概要と目標を説明するとともに、甲州市の水道事業に係る現状説明と課題を整理した。さらに、課題解決のための事業の進め方も議論した。第2回の連絡会議では、甲州市の水需要と水供給施設、水道事業経営の現状把握に関する報告を山梨大学社会班から行い、その後フリーディスカッションを行った。第3回の連絡会議では、その後の進捗報告とともに、現地視察（下小田原地区）を行った。第4回、第5回も進捗報告を行うとともに、甲州市のデータ提供に係る調整を行った。以上の連絡会議を通じて、山梨大学と甲州市および日水コンをはじめとした民間事業者との連携を深めることができ、また甲州市が保有するデータの収集と整理を行うことができた。

次に、「甲州市水道ビジョン及び経営戦略（2020.3）」と甲州市水道審議会の第1回～5回議事録より、甲州市における水道事業に係る現状と課題を整理した。その結果、甲州市でも他の地方都市と同様、人口減少や節水機器の普及による水需要の低迷、水道施設の老朽化による更新需要の増大などにより、水道事業は厳しい経営状況に直面していることが明らかになった。

これに対し甲州市では、上水道と簡易水道、小規模水道の統合を進めることにより問題解決を図るとされている。統合する理由は、施設等の共有化により費用節約が期待されることにある。小規模水道の維持に関しては、簡易水道と一部の小規模水道が2020年4月に上水道に統合された。しかし、残りの小規模水道は、統合の具体的方法やその間の小規模水道施設の維持方法等については明確な方針が示されていない。このような小規模水道地区あるいは水道未整備地区において、より望ましい統合あるいは新しい小規模水サービスの導入などの維持管理方法を検討することが課題となっていることを明らかにした。

## (3) 特記事項

連絡会議の開催を通じて、山梨大学と甲州市および日水コンをはじめとした民間事業者との連携を深めることができた。また甲州市が保有するデータの収集と整理を行うことができた。さらに、「甲州市水道ビジョン及び経営戦略（2020.3）」等の整理により、甲州市の水道事業の抱える問題の把握と、特に小規模水道地域および水道未整備地域における水道の維持管理に関し大きな課題を抱えていることが明らかになった。

## C2 社会コスト評価

## (1) 内容・方法・活動

C1 で収集されたデータとその他の統計データを用いて、現状と将来の社会コスト評価を行った。ここでは、(i)人口予測結果に基づく水需要推計、(ii)給水原価の算出、(iii)集中型および分散型の水供給システムの費用推計、(iv)住民意識の調査を行った。

まず(i)の水需要推計は、「水道施設設計指針」に記載されている推計フローにしたがって行った。具体的には、①給水区域内人口、②普及率、③生活用1人1日平均使用水量、④その他用水量（工業用水量、営業・業務用水量、分水量等含む）、⑤有収率、⑥負荷率の順に推計し水需要量を求めた。このうち⑤有収率とは、供給量に対する有収水量の割合である。また、⑥負荷率とは、年間の最大使用日給水量（最大給水量）に対する年間の平均給水量の割合である。水道は季節等により水の使用量が変化するため、その中の最大の給水量が賄えるような施設を維持しておく必要がある。そのため、この負荷率が低いと、最大給水が可能な施設を保有していても、通常時はかなり少ない給水しかされていないことになり、効率的ではないといえる。

水需要量の推計にあたり、①の給水区域内人口は、国土数値情報より500mメッシュ将来推計人口データ（H30 国土政策局推計）を基に、甲州市水道ビジョンに記載されている給水範囲をGIS化したものと重ね合わせ、給水区域ごとの人口を2020年～2050年の5年毎に算出した。②は100%と仮定し、③～⑥の算出方法にはさまざまあるものの、ここでは評価期間内の直近5年間（H25～H29）の実績値の平均値により設定した。

(ii)の給水原価とは有収水量1m<sup>3</sup>あたりの給水に係る費用のことであり次式から得られる。

$$z = \frac{x}{w} + y \quad (C1)$$

ただし、z：給水原価[円/m<sup>3</sup>]、x：減価償却費[円/年]、y：可変他の単位費[円/m<sup>3</sup>]、w：有収水量[m<sup>3</sup>/年]である。

減価償却費とは、固定資産（浄水施設や管路）を新たに建設、更新するとき、その費用を一括して会計に計上せず、耐用年数に応じて徐々に配分する手続きである。これにより、資産の減少を現在の価値として正確に把握できる。すなわち、人口が減少しても減価償却が終わらない限り、減価償却費は変動しない。減価償却が終わったとしても、更新を行うのであれば同等程度の減価償却費が新たに発生するため、結局変動しない。そのため、ここでは減価償却費は有収水量に左右されない固定費として扱うことにした。

次に可変他の費用には、支払利息、人件費、修繕費、動力費、薬品費、委託費、受水費などが含まれる。これらの費用は水供給量が減少すればそれに伴い費用が減少する。ただし、その単位費用yは固定であると仮定した。

(iii)の集中型水供給システムの費用推計は、甲州市都市域の現状の集中型水供給システムを広域化することにより小規模水道地域まで拡張し、小規模水道を統合する方法に基づき行った。そのときの新設管路は道路内に設置されるものとし、GISを用いて管路長を推計

した。そして、厚生労働省の「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き（平成23年）」の管路施工単価表の単価に新設管路の距離を乗じて、その費用を求めた。この管路新設費用を減価償却換算し、それを式(C1)の  $x$  に追加することにより給水原価が算定できる。

一方、分散型水供給システムは、経営のみ甲州市水道事業と統合し、その結果給水原価は上水道と同水準まで引き上げられるものとした。費用推計においては、導入時の減価償却費用を固定とするケースと、導入時の給水原価を固定とするケースを想定した。前者は当初の分散型水供給システムの施設整備費用の総額を維持するケースといえる。しかし、人口減少による水需要の減少が生じた場合には給水原価が上昇し、利用者負担の増加する可能性が高くなる。後者は、水需要の減少を見越して、予め施設を縮小して設置するケースである。この場合、給水原価は維持されることから利用者の費用負担は増加しない。

ここまでの分析は、集中型水供給システム、分散型水供給システムを導入した場合に必要な費用を、給水原価に基づき明らかにするものである。しかし、これらは現行の水道システムに基づいた試算であり、例えば水の味やブランドに対する志向が費用の許容に与える影響までは考慮されていない。そのような非貨幣的な価値は地域の居住を決定する要因の一つであり、水システムの総合評価と選択に欠かせない視点であると考えられる。そこで、住民を対象に聞き取り調査を行い、今後の水サービスに対する安全性、安定性、安心性、志向等についての意識の計測の参考とした。

## (2) 結果

まず人口予測結果を示す。甲州市全体では、2015年から2050年の人口減少率は49.0%となった。給水区別では、40%~60%ほど人口の減少することが明らかとなった。なお、人口がゼロになる給水区も存在する。

次に水需要量の推計結果では、甲州市全体の一日平均給水量は約38%減少する結果になった。その結果の施設利用率(=一日平均給水量/計画一日最大給水量)は、上水道および簡易水道でも大きく低下する。そして、2050年にはすべての給水区で施設利用率が50%を下回る結果となった。

給水原価は、2018年には上水道が168円、簡易水道事業が362円であり、それが2050年には、上水道が211円(25.5%上昇)、簡易水道が501円(38.4%上昇)まで上昇する結果になった。全国平均は、2018年で上水道が167円、簡易水道が296.4円となっている。簡易水道は、甲州市は全国平均より高めであり、これは厳しい甲州市の地域特性によるものと考えられる。

続いて、水供給システム導入による費用推計と、給水原価の結果を示す。集中型水供給システムでは、まず新設管路の総延長距離は16,548mになった。これを口径75mmの管路によって整備するとしたら、管路整備費用は5.3億円になる。小規模水道を甲州市水道事業に統合すると想定すれば、この費用は上水道を含むすべての甲州市水道利用者が負担することになる。その結果、給水原価は2018年のとき171円、2050年では219円(28.1%上昇)に

なる。

分散型水供給システムでは、給水原価が上水道と同水準になるまでは許容されるものとし、システム導入時の給水原価を2018年の上水道の給水原価と同じ168円に設定した。その時の減価償却費を算出し、施設耐用年数は20年、さらに減価償却費が変動しないとする、総額7,800万円になった。すなわち、分散型水供給システム導入の施設整備などの費用が7,800万円までであれば、現在の上水道の減価償却費と同程度の負担によって、分散型水供給システムが導入可能であることを意味する。このとき、将来人口が減少し水需要量が減少すると、減価償却費が変動しないとしていることから、2040年の給水原価は205円(22.0%上昇)まで上昇する結果となった。ただし、これは分散型水供給システムを導入した小規模水道地域のみでの給水原価であり、上水道等利用者の給水原価は変化しない。

次に、水需要量の減少を予め想定し、給水原価を一定に保つため、5年ごとに減価償却費を変動させたケースを考える。このとき、分散型水供給システム導入費用は総額で6,500万円まで減少する結果になった。なお、このケースでは当然給水原価は168円のまま変化しない。以上の結果、分散型水供給システムの導入にあたって、施設整備費用に充当できる額は6,500万円～7,800万円ほどであることが明らかになった。

続いて、水サービスに対する安全性、安定性、安心性、志向等の意識の計測については、まずヒアリングの実施と、アンケートの設計、プレ調査を行い、来年度に本格的な調査を実施することにした。得られた結果は、他のA：水処理班、B：水源班とも共有し、住民意向の反映された小規模・分散型水サービス技術の開発にフィードバックさせる予定である。

### (3) 特記事項

ここでは集中型水供給システム、分散型水供給システムの導入に伴う社会コストを推計した。その結果、集中型水供給システムの場合、新設管路等の整備により給水原価は171円、2050年時点では219円に上昇する結果になった。このときの充当可能な施設整備費用は5.29億円である。

分散型水供給システムの場合、減価償却費が導入時点（ここでは2018年と想定）において上水道と同程度の負担と想定すると、導入時点の給水原価は上水道と同じ168円になる。しかし、2040年には水需要量が減少することから、当該水供給システム導入地域の給水原価は205円(22.0%上昇)との結果になる。一方、将来の給水原価を上昇させないように減価償却費を削減するとの想定では、給水原価は将来も168円であるものの、減価償却費の総額は6,500万円まで減少する結果になった。

以上より、分散型水供給システムの導入にあたり、施設整備に充当可能な費用は6,500万円～7,800万円ほどであることが明らかになった。

また、水サービスに対する安全性、安定性、安心性、志向等について、住民へのヒアリング、アンケートの実施等により、住民意識の計測も実施している。

## C3 事業計画とサービスモデルの提案

### (1) 内容・方法・活動

C1、C2 の成果を基に、本課題で提案する水サービスを実装するための事業計画案の作成と、サービスモデルの提案を行う。

## (2) 結果

(i) 甲州市水道事業における水道供給施設の更新時期の特定：上水道と簡易水道が統合された甲州市水道事業に係る各施設の建設年度あるいは認可年度から、今後どの時点で各施設の更新が必要になるのかを推計した。

(ii) 小規模水道の更新方法と時期の検討：小規模水道については、C2 で示した「集中型水供給システム」の導入案、「分散型水供給システム（小規模分散型水処理（LCD）システム）」の導入案の二つの更新方法を提示した。そして、(i)での検討を踏まえ、それぞれの導入費用を比較検討した。なお、この小規模分散型水処理（LCD）システムが本課題で提案している水サービスのことである。

(iii) (i)と(ii)の実施に必要な費用の財源調達方法：(i)と(ii)より、それぞれの事業に必要な費用が明らかになる。その財源調達計画案を作成した。具体的には、事業における収入と支出のバランスが保たれるような料金水準の導出と、その際あまりにも高額な料金となる場合、企業債の発行などによりその緩和が図れるのかを検討し、最善の財源調達方法を検討した。

## (3) 特記事項

(i) 甲州市水道事業における水道供給施設の更新時期の特定を行い、(ii)小規模水道の更新方法と時期の検討を行い、最後に(iii)必要な費用の財源調達方法を検討した。

## 3. 研究開発成果

### 3-1. 目標の達成状況

事業全体としての目的は概ね達成された。具体的な成果は、次の通りである。小型自立式水処理パッケージでは、水素利用装置、オゾン利用装置、及び人工湿地の水処理性能、経済性、付加価値を明らかにし、分散地域への普及可能性を評価した。オンデマンド水資源診断では、小規模水源を高解像度の情報を活用して探索する技術を開発し、日本全域での展開が可能性を示した。連携体制構築では、産学官のネットワークの基盤を作るとともに、集中型と分散型の水供給システムにかかる社会コストを比較・評価できる分析フォームを開発した。

### 3-2. 研究開発成果

#### 小型自立式水処理パッケージ

##### (1) 内容

- ・水素添加浄化槽を開発し、その下水処理性能と経済性を明らかにした。
- ・オゾンガス利用浄化槽を開発し、その下水処理性能と経済性を明らかにした。
- ・間欠流入式人工湿地を最適化し、その下水処理性能、経済性と付加価値を明らかにした。

##### (2) 活用・展開

上記水処理技術は、下水処理性能が長期間安定していること、経済性が高く、初期コスト・

運転コストも少ないことから、都市近郊や地方の中山間地に広く普及可能なものと評価できる。

### (3) その他

今後は、異なる地域、異なる規模での実証試験事例を増やし、実用技術にするための技術的知見を整備する予定である。

## オンデマンド水資源診断の開発

### (1) 内容

高解像度水文地理を活用した小規模水源の探索技術、同位体・微生物遺伝子解析に基づく水源水質特性の把握技術、利用可能水量など水源情報の可視化・共有技術を統合した地域の水資源診断手法を開発した。本技術については、研究開発グループがNPOまたは民間に技術を移転した後、地域の水量・水質特性を反映した適切な水源選択に活用されることを想定している。また、個人や数世帯程度での水源開発(個人宅井戸など)での利用も期待される。本成果する技術的な強みは、小規模水源の候補地を各種空間情報から系統的かつ高解像度で特定するとともに、それら候補地における水量・水質(化学成分、微生物汚染ならびに水の起源を含む)情報を提供できる点である。また、既往研究の結果との対比を通じて、地域の気象水文特性と給水規模に即した小規模水道水源適地の抽出の可能性も確認されている。

### (2) 活用・展開

水源探索技術については、日本全域で入手可能な気象・水文・地理データセットを入力とし、GISソフト等を利用した低計算負荷での解析・図化を可能としていることから、他地域への展開が容易な汎用性の高いものとなっている。また、同位体や微生物などについても、民間での受託分析を利用することで、研究者以外の方でも適用可能な方法である。

### (3) その他

今後は、水文・地理的な特性の異なる地域の小規模水道を対象として解析事例を増やすことで、探索技術の高度化や情報提供・共有方法の改善などを図る予定である。

## 連携体制構築

### (1) 内容

山梨大学を中心とした学と行政・民間の連携会議を設置・運営し、ステークホルダー間の情報・意見交換を行うとともに、本課題で提案する新技術を導入した場合の社会的な費用と便益を比較するための社会コスト評価を実施した。それらを踏まえ、本課題で提案する水サービスを実装するための事業計画書の作成とサービスモデルの提案を行った。

連絡会議は、R1年度に第1回の会議を開催し、そこでは専門家を招聘し、全ての実施者が甲州市を中心とした国内の水道事業の現状と課題について情報収集と検討を深める機会を設けた。R2年度は、第2-3回連携会議、1回の現地視察、第1回ワークショップの主催、外部の関連研究会への参加を行い、本事業では2050年までの超長期分析を目指すことを相互確認した。

社会コスト評価では、集中型水供給システム、分散型水供給システムの導入に伴う社会コ



ストを推計した。その結果、集中型水供給システムの場合、新設管路等の整備により給水原価は2018年時点では171円、2050年には219円に上昇する結果になった。このときの充当可能な施設整備費用は5.29億円である。分散型水供給システムの場合、減価償却費が2018年と想定した導入時点において、上水道と同程度の負担と想定すると、導入時点の給水原価は上水道と同じ168円になる。しかし、2040年には水需要量が減少することから、当該システム導入地域の給水原価は205円（22.0%上昇）との結果になる。一方、将来の給水原価を上昇させないように減価償却費を削減するとの想定では、給水原価は将来も168円であるものの、減価償却費の総額は6,500万円まで減少する結果になった。以上より、分散型水供給システムの導入にあたり、施設整備に充当可能な費用は6,500万円～7,800万円ほどであることが明らかになった。

事業計画案の作成とサービスモデルの提案に関しては、甲州市水道事業における水道供給施設の更新時期の特定を行い、小規模水道の更新方法と時期の検討を行った。最後に、必要な費用の財源調達方法を明らかにすることにより検討した。

## (2) 活用・展開

大学・行政・民間の連携会議の設置と運営体制の構築により、今後実際に導入する水供給システムの設置と供用までの一連の過程をスムーズに進めることが可能になる。特に、行政・民間・住民が納得した水供給システムの導入が可能になると期待できる点は、最大の成果と考えられる。

社会コスト評価によって、集中型水供給システムと分散型水供給システムに対する導入コストが推計され、給水原価に基づく評価結果が明らかになった。この成果は、住民に対しては小規模水道の維持に係る負担と利用料金に係る情報として、行政へは各シナリオにおける財政的負担と社会コストの変化として提示可能になる。

事業計画案の作成とサービスモデルの提案に関しては、ここで構築された社会コスト評価手法をNPOまたは民間企業へ技術移転することにより、社会コスト評価の結果を基に事業計画案を作成し、それを行政から住民に提示する枠組みが構築できる。一方、連絡会議を基にした協議会が設置できれば、行政・住民はその協議会内での議論を経て、双方が納得する水サービスモデルの導入を実現することが可能になる。そのような協議会も民間主導で構築できれば、以上の一連のシナリオが持続可能なものになる。

## (3) その他

水サービス技術のコストに非経済的な指標を加えた地域全体の費用便益を評価する端緒が得られたことは特筆すべき成果である。これにより、地域住民の意向に沿った水供給システムの構築が可能になると期待される。

# 4. 研究開発の実施体制

## 4-1. 研究開発実施体制

### 4-1-1. グループ構成

#### 小型自立式水処理パッケージ開発グループ

リーダー：遠山（山梨大学、教授、下記テーマの統括）

概要：水素利用水処理（風間、遠山、亀井）、人工湿地（遠山、森）

#### オンデマンド水資源診断グループ

リーダー：石平（山梨大学、教授、下記テーマの統括）

概要：小規模水源探索（相馬、馬籠、石平）、マルチアイソトープ解析（石平、中村、西田）、微生物遺伝子解析（原本、田中）、利用可能水量の推定・提示（馬籠、相馬、石平、西田）

#### 連携体制構築グループ

リーダー：武藤（山梨大学、教授、下記テーマの統括）

概要：連携会議（山梨大学：風間、武藤、西田、鈴木、伊藤、甲府市：望月、甲州市：杉野、小澤、野田、日水コン：石倉、森川、三迫、富永、村田）、社会コスト評価（武藤、西田、伊藤）、事業計画（山梨県上下水道関係事業者）、サービスモデル（全ての実施者）

### 4-1-2. 協働実施者

杉野栄（甲州市、上下水道課長）

**期待された主な役割**：将来的には、開発された技術の社会的な担い手の一つとして山梨県内の自治体や民間等の上下水道事業者を想定しており、シナリオ創出フェーズ第2期を目標にできるだけ速やかに協働実施者をそれら事業者へ移行し、本事業の内容を甲州市の事業計画に反映させるとしていた。

**実際に果たした役割と協働による主な成果**：甲州市上下水道課に専門委員会を設置し、大学等の研究機関との連携で将来の水道事業に関する検討を継続することを長期計画（甲州市水道ビジョン及び経営戦略、2020年3月）に記載した。

### 4-1-3. 協働上の課題

本事業は分散型社会に適した水サービスの提案を目指しているが、これまで国内の水サービスは自治体による公的運営の割合が非常に高く、公共性の高い水サービスに関わる行政の運営方針を本事業の期間に合わせて変更することも不可能である。従って、マスタープラン等の期間を超える長期的視点でステークホルダーが協働を継続し、水サービスの供給を柔軟に更新できる体制の構築が、次の段階の重要な課題であることを相互確認できた。

#### 4-1-4. ステークホルダーマップ



#### 4-2. 研究開発実施者

- (1) 小型自立式水処理パッケージ開発 (リーダー氏名：遠山 忠)  
役割：水素利用水処理および人工湿地

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
遠山 忠	トオヤマ タダシ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	教授
森 一博	モリ カズヒロ	山梨大学	大学院総合研究部	教授
風間 ふたば	カザマ フタバ	山梨大学	理事、副学長、地域人材養成センター、男女共同参画推進室	教授
亀井 樹	カメイ タツル	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	助教

(2) オンデマンド水資源診断（リーダー氏名：石平 博）

役割：超高解像度水文地理情報システム、微生物遺伝子解析、マルチアイソトープ解析

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
石平 博	イシダイラ ヒロシ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	教授
相馬 一義	ソウマ カズヨシ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	准教授
馬籠 純	マゴメ ジュン	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	准教授
原本 英司	ハラモト エイジ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	教授
田中 靖浩	タナカ ヤスヒロ	山梨大学	大学院総合研究部	准教授
中村 高志	ナカムラ タカシ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	准教授
西田 継	ニシダ ケイ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	教授

(3) 連携体制構築（リーダー氏名：武藤 慎一）

役割：連携会議および社会コスト評価

氏名	フリガナ	所属機関	所属部署	役職（身分）
風間 ふたば	カザマ フタバ	山梨大学	理事、副学長、地域人材養成センター、男女共同参画推進室	教授
武藤 慎一	ムトウ シンイチ	山梨大学	大学院総合研究部	教授
西田 継	ニシダ ケイ	山梨大学	大学院総合研究部附属国際流域環境研究センター	教授
鈴木 美季	スズキ ミキ	山梨大学	URA・社会連携センター	助教
伊藤 友里	イトウ ユリ	山梨大学	大学院医工農総合教育部	D3
石倉 俊	イシクラ スグル	株式会社日水コン	河川事業部東部河川部技術第二課	
森川 敏成	モリカワ トシナリ	株式会社日水コン	河川事業部東部河川部	部長
三迫 陽介	ミサコ ヨウスケ	株式会社日水コン	水道事業部東京水道部技術第四課	課長
富永 昌伸	トミナガ マサノブ	株式会社日水コン	下水道事業部東部事業マネジメント部技術第一課	主任
村田 道拓	ムラタ ミチヒロ	株式会社日水コン	事業統括本部環境・資源部技術第一課	主任

望月 孔明	モチヅキ コウメイ	甲府市	上下水道局工務部水道管理室	室長
柚野 栄	ソマノ サカエ	甲州市	上下水道課	課長
小澤 美紀	オザワ ミキ	甲州市	上下水道課水道部門	副主査
野田 一寿	ノダ カズトシ	甲州市	上下水道課下水道部門	課長補佐

#### 4-3. 研究開発の協力者

(公開)

氏名	フリガナ	所属	役職(身分)	協力内容
薬袋 文	ミナイ フミ	(株)メイキョー		水素利用水処理
田中 竜介	タナカ リュウスケ	(株)メイキョー		水素利用水処理
清 和成	セイ カズナリ	北里大学医療衛生学部	教授	水素利用水処理、人工湿地
古川 隼士	フルカワ タカシ	北里大学医療衛生学部	助教	水素利用水処理、人工湿地
浅見 真理	アサミ マリ	国立保健医療科学院	上席主任研究官	連携会議、社会コスト、事業計画

#### 5. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

##### 5-1. シンポジウム等

##### 5-1-1. プロジェクトで主催したイベント(シンポジウム・ワークショップなど)

年月日	名称	場所	概要・反響など	参加人数
2020/06/24	小規模水供給研究会 (国立保健医療科学院・主催：浅見真理)	オンライン	本課題は共催として参加。全国から水関係政府機関、自治体、企業、大学・研究所等の専門が集まり、上水道に注目した小規模サービスについての知見の紹介と意見交換を行った。	本課題側から (山梨大学) 13人 (日水コン) 2人 (メイキョー) 2人
2020/08/08	SOLVE ワークショップ (主催：山梨大学)	オンライン	本課題の趣旨の説明とこれまでの進捗報告を行い、本課題以外の参加者からも貴重な意見が寄せられた。	(山梨大学) 23人 (甲州市) 3人 (日水コン) 2人

				(その他) 30人
--	--	--	--	--------------

**5-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など**

**5-2-1. 書籍、フリーペーパー、DVD など論文以外に発行したもの**

なし

**5-2-2. ウェブメディアの開設・運営**

なし

**5-2-3. 学会以外のシンポジウムなどでの招へい講演 など**

なし

**5-3. 論文発表**

**5-3-1. 査読付き (0件)**

なし

**5-3-2. 査読なし (1件)**

(1) 相馬一義, 小林勇太, 武藤慎一, 石平博, 馬籠純, 吉田純司, 山梨県の農地における浸透特性の計測と維持管理が与える影響に関する基礎的検討、第29回地球環境シンポジウム講演集、pp.77-80、2021.

**5-4. 口頭発表 (国際学会発表及び主要な国内学会発表)**

**5-4-1. 招待講演 (国内会議 0件、国際会議 0件)**

なし

**5-4-2. 口頭発表 (国内会議 4件、国際会議 0件)**

- (1) 遠山忠、三輪耀大、森一博、間欠流入式人工湿地を利用した下水処理に関する研究、第12回人工湿地ワークショップ、オンライン (東北工業大学)、2020年9月22日
- (2) 三輪耀大、高山稜太、森一博、遠山忠、間欠流入式人工湿地の下水処理性能とその下水処理に伴うエネルギー消費と温室効果ガス排出、第55回日本水環境学会年会、オンライン (京都大学)、2021年3月12日
- (3) 遠山忠、三輪耀大、西田継、森一博、Tidal flow 人工湿地の下水処理特性 ～下水処理場での実証試験～、第16回人工湿地ワークショップ2021 オンライン、2021年9月20日
- (4) 三輪耀大、森一博、西田継、遠山忠、Tidal-flow 人工湿地の特徴と下水処理性能の評価、日本水処理生物学会第57大会、オンライン (神奈川大会)、2021年10月29日

**5-4-3. ポスター発表 (国内会議 2件、国際会議 0件)**

- (1) 齊藤裕雅, 石平博, 相馬一義, 馬籠純, 西田継、水文・地理特性に基づく小規模水道水源の適地探索方法の検討、水文・水資源学会/日本水文科学会2021年度研究発表会、オンライン開催、2021年9月15日～18日
- (2) 平野英孝, 相馬一義, 宮本崇, 石平博, 馬籠純, 黒田晴, 倉上健、富士川周辺地域にお

ける深層学習を活用した土砂災害危険度現況推定手法の構築とその評価、水文・水資源学会／日本水文科学会 2021 年度研究発表会、オンライン開催、2021 年 9 月 15 日～18 日

#### 5-5. 新聞報道・投稿、受賞など

(1) FM FUJI : Yes! Morning 「SDGs みらいレポート」

前編 : 2021/2/4

<https://www.youtube.com/watch?v=kW-oNEYPtP8>

後編 : 2021/2/11

<https://www.youtube.com/watch?v=giIUJb8Ocv4>

西田研究代表が上記ラジオ番組に出演し、SDGs に関連した世界の水問題の話題の中で、本事業における取り組みを紹介した。

##### 5-5-1. 新聞報道・投稿

##### 5-5-2. 受賞

なし

##### 5-5-3. その他

なし

#### 5-6. 特許出願

##### 5-6-1. 国内出願 (0 件)

なし

##### 5-6-2. 海外出願 (0 件)

なし

#### 6. その他 (任意)

なし