

# 地域自律型の次世代型・水インフラ マネジメントシステムへの転換

## Conversion to a Regional-Autonomous System as Next-Generation Water Infrastructure Management

牛島 健<sup>1)</sup>、石井 旭<sup>2)</sup>、長谷川 祥樹<sup>3)</sup>、福井 淳一<sup>4)</sup>、松村 博文<sup>5)</sup>

Ken Ushijima<sup>1)</sup>, Akira Ishii<sup>2)</sup>, Yoshiki Hasegawa<sup>3)</sup>, Junichi Fukui<sup>4)</sup>, Hirofumi Matsumura<sup>5)</sup>

地方独立行政法人北海道立総合研究機構  
建築研究本部  
北方建築総合研究所

Northern Regional Building Research Institute

Building Research Department

Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization

---

<sup>1)</sup> 地域研究部地域システムグループ主査 <sup>2)</sup> 道総研法人本部（当時：地域研究部地域システムグループ主査） <sup>3)</sup> 地域研究部地域システムグループ研究職員 <sup>4)</sup> 地域研究部地域システムグループ研究主幹 <sup>5)</sup> 地域研究部部長

<sup>1)</sup> Chief of Regional System Group <sup>2)</sup> Chief of Regional System Group (former affiliation) <sup>3)</sup> Researcher of Regional System Group

<sup>4)</sup> Senior Research Manager of Regional System Group <sup>5)</sup> Director of Regional Research Division

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)  
「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」

「研究開発課題：地域自律型の次世代型・水インフラマネジメントシステムへの転換」  
成果報告書

平成 31 年 3 月 31 日

研究開発小項目	(5)-(C)-a アセットマネジメントに関わる技術の地域への実装支援	
通し番号	62	
研究開発期間	平成 28 年 9 月 1 日～平成 31 年 3 月 31 日	
研究責任者	氏名	牛島 健
	所属機関	地独) 北海道立総合研究機構
	部署	北方建築総合研究所地域研究部
	役職	主査

## 目次

1	研究開発成果の全体概要 .....	3
2	研究開発体制 .....	4
2.1	実施体制図 .....	4
2.2	実施体制の詳細 .....	4
3	研究開発の成果と達成状況.....	4
3.1	達成目標 .....	4
3.2	研究開発成果.....	5
3.3	達成状況 .....	27
3.4	今後の取り組みと展望 .....	28
4	成果発表等 .....	29
4.1	知的財産権 .....	29
4.2	研究発表・講演 .....	29
4.3	その他の公表（プレス発表，技術広報資料（パンフレット，ビデオ等）） ..	32

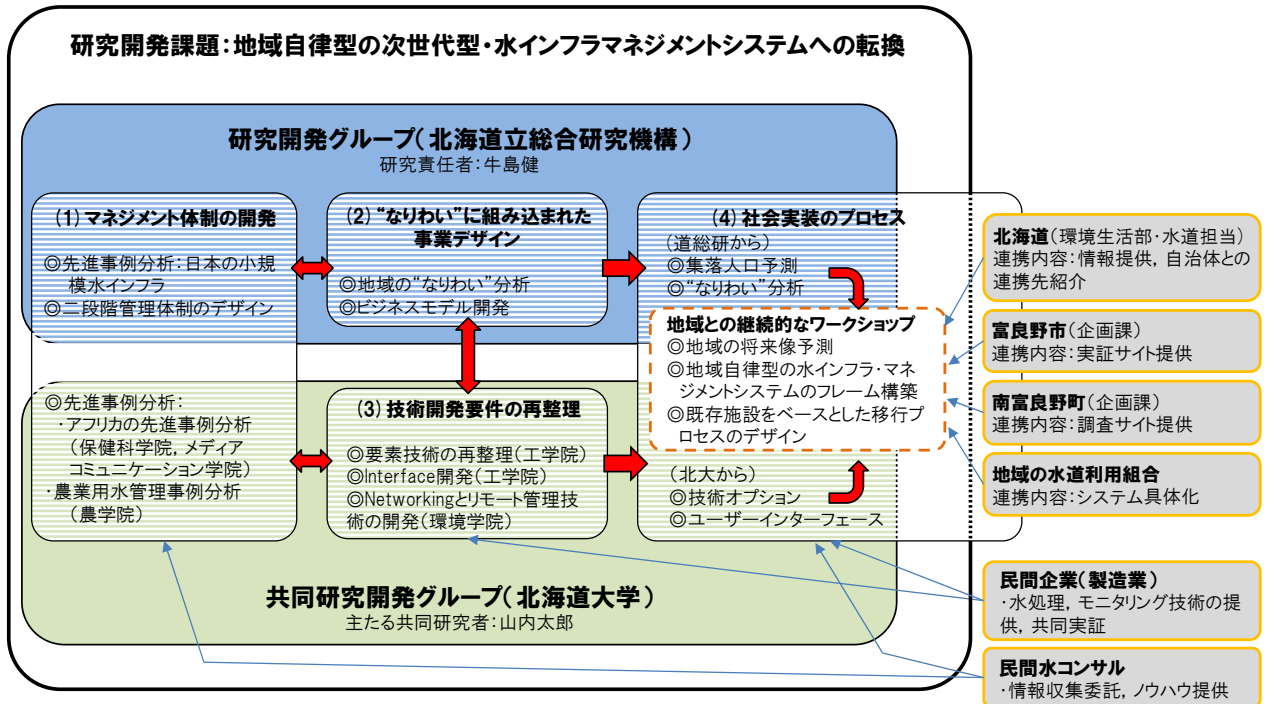
# 1 研究開発成果の全体概要

本課題では、人口減少が続き、大幅な経済成長も期待できない状況の中、非常に厳しい経営状況に置かれている、いわゆる過疎地域の小さな水道（ここでは、簡易水道以下の水道および用水供給施設を指し、個人用井戸は含まない）を主な対象として、新技術の地域実装に取り組んだ。このような過疎地域の水道は、シーズとニーズの議論の前に、現在の状況を根本的に解決するためのしくみづくりがまず必要と考えられたため、本課題では実際の解決策（しくみ）を作り出すプロセスを通じて、ニーズの明確化、シーズとのマッチング、そして実際にマッチングできた SIP 技術の実証を行った。なお、解決策の基本的な枠組みとしては、地方公共団体や水道事業者が単独で抱え込む従来の形ではなく、地域住民の力を活かした「地域自律型」の運営を核に、行政、地元企業、地元高校、専門家集団など、地域内外のプレイヤーが「地域ぐるみの水道管理支援体制」をつくる形式を提案した。実態調査は北海道全域を対象とし、実証は富良野市において行った。主な成果は以下のとおりである。

- 既存の地域自律型水道に対する実態調査からは、良質な水源、農家の持つ多様なスキル(簡単な工事・工作が可能)、地域内で容易に重機が融通できる状況、自己責任の意識に基づく不都合（例えば突発的な断水）の許容、などの地域リソースを活かして、低コスト運営を実現していることが分かった。このことから、既存の地域自律型水道の運営方式はそのまま活かし、足りない部分を、技術導入と地域内外のプレイヤーによる支援によって解決する体制の構築が必要と考えられた。
- 地域自律型水道を核とする際の課題は、水質に関わるリスク管理体制とアセット情報の整備であると考えられた（ニーズの明確化）。
- リスク管理については、地域自律型においてはユーザーもリスク管理を分担するという前提で、オンサイト処理を想定した新たなリスク評価の枠組み構築と、オンサイトでの水質モニタリング技術、広域的な水源地保全、が必要と考えられた（ニーズの明確化）。
- 本課題では、技術的な解決策(シーズ)として、膜処理装置と安価なモニタリング装置を組み合わせることを考え、その際の基礎的なリスク評価を行うとともに、現地での装置実証を行った。
- 広域的な水源地管理については、地元高校の教育プログラムと連携して、持続的に調査が行われる体制づくりに取り組んだ。北海道大学等の専門家が、高校生にトレーニングプログラムを提供し、高校生は行政や地元の水道利用組合の協力を得て水質分析を行い、年に1度、報告会を開いて結果を地域に還元することができた。
- アセット情報整備については、既存の地域自律型水道の多くで、水道管路網図や更新記録等が紙媒体もしくは関係者の“記憶”に頼っており、時間経過とともに情報が失われている実態が明らかとなった。そこで、農研機構 SIP の開発した、操作の容易な GIS ソフトの地域実装に取り組んだ (SIP シーズのマッチング)。最初のデータベース構築 (情報入力) は、地元の水道利用組合の協力の下で地元高校生が行い、完成したデータセットは地元の水道利用組合および市役所に引き継がれた。
- 普及・展開のために、本課題の取り組み内容と成果を冊子としてとりまとめた。

## 2 研究開発体制

### 2.1 実施体制図



### 2.2 実施体制の詳細

	研究開発機関名	参画期間
研究開発グループ	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構	H28.9～H31.3
共同研究グループ(1)	国立大学法人 北海道大学	H28.9～H31.3

## 3 研究開発の成果と達成状況

### 3.1 達成目標

- (1) 「地域主体」と「専門家集団」による二段階管理システムがデザインされる。その中で、「地域主体」と「専門家集団」のそれぞれに求められる体制や機能が整理される。また、「地域主体」については、ビジネス的な経営経験を持たない地域リーダーでも「地域自律型」のマネジメントが可能となるよう、チーム作りの手法を含めて、「リーダーの資質」に左右され難い水インフラマネジメント技術が提案される。
- (2) 具体的な地域をケーススタディとして、“なりわい”に組み込まれた「地域自律型」インフラマネジメント技術のフレームが、2つ以上のモデルケースにおいて提案される。また、モデルケースの提案に至るまでに、地域ステイクホルダーとの継続的な議論が行われ、そのプロセスも「地域自律型インフラマネジメントへの転換」に係るデータとして整理される。
- (3) 「地域自律型」のインフラマネジメントへの転換を前提とした技術要件が整理され、地域の

特性に応じて必要となる技術適用または技術開発が明らかになる。また、インターフェース等の必要な要素技術について、少なくとも現地実証に使えるレベルまでの技術開発行われる。

- (4) 地域もしくは行政が、地域自律型インフラ維持管理への転換を行う際の方法がまとめられた冊子が作られる。

## 3.2 研究開発成果

本課題では、人口減少が続き、大幅な経済成長も期待できない状況の中、非常に厳しい経営状況に置かれている、いわゆる過疎地域の小さな水道（ここでは、簡易水道以下の水道および用水供給施設を指し、個人用井戸は含まない）を主な対象として、新技術の地域実装に取り組んだ。このような過疎地域の水道は、シーズとニーズの議論の前に、現在の状況を根本的に解決するためのしくみづくりがまず必要と考えられたため、本課題では実際の解決策（しくみ）を作り出すプロセスを通じて、ニーズの明確化、シーズとのマッチング、そして実際にマッチングできたSIP技術の実証を行った。解決策の基本的な枠組みとしては、地方公共団体や水道事業者が単独で抱え込む従来の形ではなく、地域住民の力を活かした「地域自律型」の運営を核に、行政、地元企業、地元高校、専門家集団など、地域内外のプレイヤーが「地域ぐるみの水道管理支援体制」をつくる形式を提案した。実態調査は北海道全域を対象とし、実証は富良野市において行った。

本項では、以下に示すように研究開発開始当初に提案した(1)～(4)の枠組みに沿って成果を整理した後、(5)として本課題が対象とするような人口減少の著しい過疎地域の水インフラに対する新技術実装の考え方について考察する。また、最後に(1)～(5)に含まれないその他の成果について述べる。

- (1) マネジメント体制の開発
- (2) “なりわい”に組み込まれた事業デザイン
- (3) 技術開発要件の再整理
- (4) 社会実装のプロセス
- (5) 過疎地域の水インフラへの新技術導入
- (6) その他の成果

### (1) マネジメント体制の開発

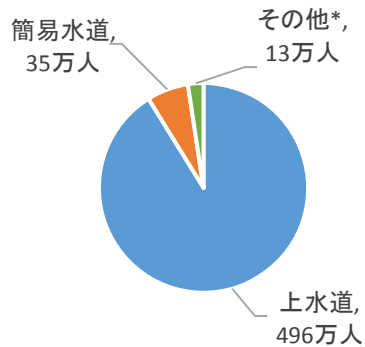
#### ① 過疎地域の水インフラに関する背景

現在の水道の状況を、北海道を例に見ると、人口の91.2%にあたる人々は、北海道内に計93ある上水道から水を得ている<sup>1)</sup>(図1)。残りの8.8%は、簡易水道以下の小さな水道から水を得ているが、その事業数は、簡易水道が239<sup>1)</sup>、専用水道が522<sup>1)</sup>、それ以外の水道が推定400前後<sup>2)</sup>、飲用井戸が推定34,453<sup>3)</sup>と非常に多い。また、給水区域面積で見ると、上水道の8,764 km<sup>2</sup>に対し、簡易水道だけで7,414 km<sup>2</sup>と上水道に匹敵する面積となっている<sup>4)</sup>。簡易水道より小さい水道の給水区域面積は明らかになっていないが、仮に、可住地面積の残りの地域がこれらの小さな水道によってカバーされていると仮定すると、その面積は7,107 km<sup>2</sup>で上水道、簡易水道に匹敵すると推定される<sup>5)</sup>(図2)。こうした数字から、簡易水道以下の小さな水道は、給水人口こそ8.8%に過ぎないとはいえ、農村地域を含む広大な低人口

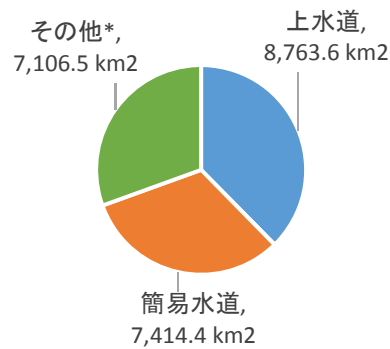
密度地域を支える重要なインフラであるということがわかる。

これらの小さな水道は、広大な面積に散らばる少数の家に水を配るため、もともと一人当たりの管路長は長く、上水道に比べると経営効率は悪くなりやすい。そのため、全国的には経営統合や上水道への吸収統合が進められている。しかしながら、簡易水道を運営する市町村の担当者からは「立地や地域特性等により、経営統合だけでは解決にならないケースもある」という声も聞かれる<sup>2)</sup>。こうしたケースにも対処していくには、経営統合を補完するもう一つの選択肢として、小さな水道が小さなままでも存続させられるようなモデルを用意することが必要と思われる。

小さな水道のモデルを考える上では、維持管理運営の主体が一つの焦点となる。既存の小さな水道のうち、簡易水道については、基本的に地方公共団体が維持管理運営を行っているが、それ以外のものは、多くが、地域住民の組織する水道利用組合等によって維持管理運営が行われている（図3）。本課題ではこのように住民組織等によって運営されている水道（個人管理の井戸を除く）を地域自律型水道と呼んでいる。



\*総人口から上水道、簡易水道を引いた値を使用



\*可住地面積から上水道、簡易水道を引いた値を使用

図1 水道種別の給水人口（北海道）<sup>1)</sup>

図2 水道種別の給水区域面積（北海道）<sup>4)5)</sup>

より算出

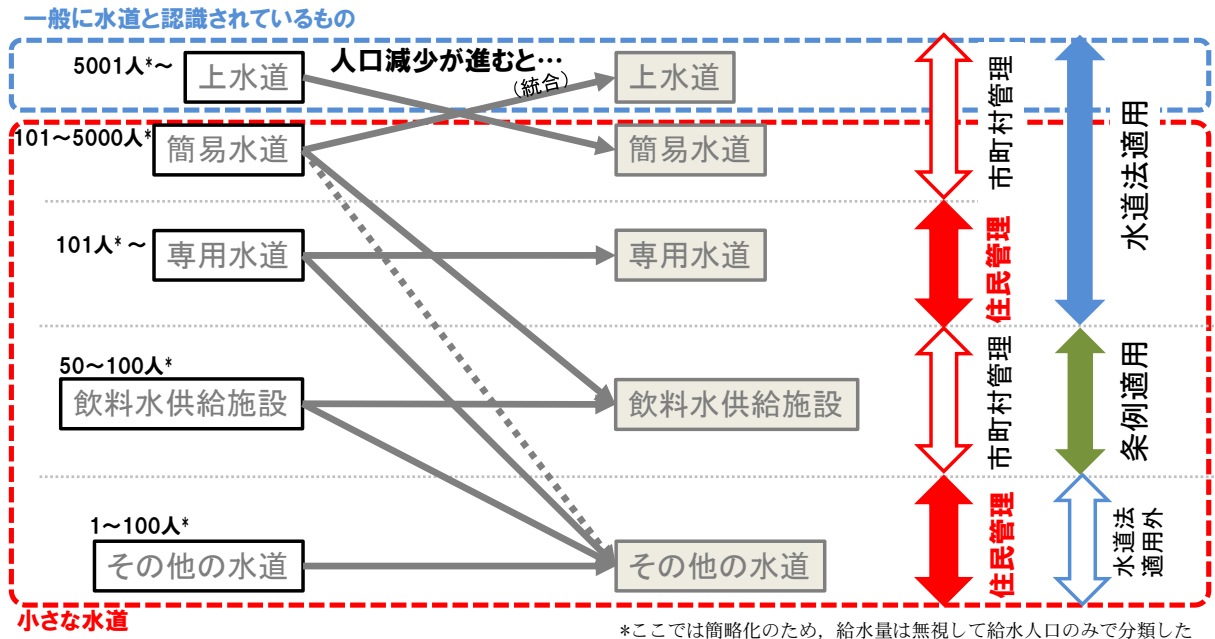


図3 人口減少に伴う水道の種類、維持管理主体、適用法の変化

人口減少の時代においては、地方の行政は人員、財政の両面で削減が続いており、もともと運営効率の良くない低人口密度地域の水道を支えることが、もはや困難になってきている自治体もある<sup>2)</sup>。こうしたことを考えれば、今後も小さな水道を小さなまま存続させる形態として、地域自律型には大きな可能性があると思われる。

地域自律型水道には、専用水道の一部（独自水源を持ち、かつ企業管理ではないもの）、簡易水道および市町村所有の飲料水供給施設の一部（水道利用組合に維持管理を委託しているケース）も含まれるものの、大半は、水道法も条例も適用を受けない、いわゆる「その他の水道」である。よって、大半の地域自律型水道は、その運営実績等を行政に報告する義務が無いため、地方自治体でも、その実態はほとんど把握できていない場合が多い。それゆえ、地域自律型水道のモデルを検討するには、まず、その実態に関する情報を集める所からスタートする必要がある。

## ②北海道内の地域自律型水道の実態調査

地域自律型水道は、これまで行政に頼らずに自分たちの力で維持管理運営を行ってきたという意味で、これからの低人口密度地域向け水道の一つのモデルになると考えられる。しかし、その施設の詳細や運営実態に関する情報がほとんどない。そこで、本課題では北海道内に数百あると考えられる地域自律型水道の中から、協力を得られた39事例（北海道を4つのブロックに分けると、道北10例、道東13例、道央7例、道南9例）について、その施設や維持管理運営の実態に関する聞き取り調査を行った<sup>6)</sup>。

### a) 設置の経緯

世代交代が進み、設置経緯の詳細が不明となっている例が多かった。確認できた範囲では、100%自己資金で設置したものが7例、何らかの公的な助成と組み合わせて設置されたものが15例あった。後者のケースの自己負担割合は、0～50%（不明も多い）と様々であった。

### b) 水源と処理方式

水源と処理方式は表1のとおりであった。図4に示すような筒状のコンクリートピットを埋めて人工的に伏流水を作り出すタイプの簡単な砂ろ過方式や、無処理のケースが多く見られた。また、全事例39事例のうちポンプを使用しない自然流下方式が24例確認された。塩素注入は、20例では実施していたが、19例では実施していなかった。またそのうち3例は、過去には塩素注入を行っていたものの、機械故障などを契機に止めてしまっていた。

表1 水源と処理方式

水源	事例数	処理方式	事例数
表流水 (伏流水含む)	15例	砂ろ過	11例
		急速ろ過	2例
		無処理	2例
湧水	13例	無処理	7例
		砂ろ過	6例
地下水	11例	無処理	11例



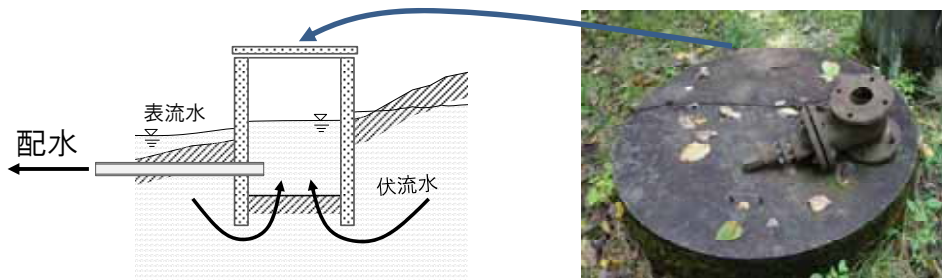


図4 人口伏流水施設の例

#### c) 料金システムと徴収方法

メーターを使い料金を徴収しているケースは12例で、定額制（無料を含む）が23例、実費精算方式（実際にかかった費用を毎年戸数割で徴収）が3例であった。定額制のケースでは、「無料」というケースを除いても、その料金は1世帯当たり年間で1,000～40,000円とかなりの幅が見られた。

#### d) 施設管理の内容

施設の維持管理を業者に委託しているケースが7例あったが、それ以外は住民によって組織された水道利用組合の組合員が維持管理し、水質検査などの専門技能が必要な内容のみを個別に外部委託していた。施設修繕等の工事については、すべて業者に委託している例、すべて組合員だけで実施している例の他に、専門技能が必要な現場監督のみを水道工事業者から派遣してもらい、作業は組合員たちが実施している例もみられた。また、組合から業者への委託ではあるものの、委託先の業者自身も組合員であるという例も見られた。水質検査が法制度上義務づけられている専用水道および市町村の飲料水供給施設は、いずれも定期的に水質検査を行っていたが、それ以外のものについては、7例が定期的に水質検査を行っていたものの、23例は調査実施時点で少なくとも1年以上水質検査を実施していなかった。

#### e) 収支状況

決算書を提供してもらうことができた11事例について、収支状況を調べた。年間総支出額（繰越金を含まない）は、約7万円～約500万円とかなり幅があり、支出の内訳もケースによって様々であった。繰越金も0～570万円/年とかなり幅があった。予算規模（総収入額）に対する繰越金の割合を見ると、最も大きいケースで9割に達していた。このケースは、ほとんど日常の維持管理費がかかっておらず、故障対応や施設更新に備えて一定の額を繰り越しているものと想像された。

運営効率を捉える意味で、決算書と給水量の情報が入手できた8つの事例において、 $1\text{m}^3$ あたりの給水原価を算出し、北海道全体および全国における簡易水道の $1\text{m}^3$ あたり給水原価<sup>7)</sup>と比較した（表2）。ただし、8つの事例はいずれも負債はなく減価償却費も計上していないため、比較のため簡易水道も、通常の給水原価から資本費を除いた給水原価とした。その結果、本研究で算出できた地域自律型水道の事例は、いずれも北海道全体および全国の簡易水道よりも安い給水原価で運営できていることがわかった。なお、これら8つの事例は、いずれも塩素注入を行い、水質検査も定期的実施しており、本課題で調べた39事例の中でも、どちらかと言えば管理レベルの高い事例といえる。

表2 給水原価（資本費除く）の評価

水道種別 (給水戸数, 日常の維持管理者, 水源, 浄水方式)		1m <sup>3</sup> あたり給水原価 (円)
事例a	法適用外(20戸, 業者委託, 表流水, 無処理)	47.8
事例b	法適用外(9戸, 業者委託, 表流水, 砂ろ過)	9.4
事例c	法適用外(27戸, 業者委託, 表流水, 砂ろ過)	5.9
事例d	法適用外(13戸, 業者委託, 表流水, 砂ろ過)	10.6
事例e	飲料水供給施設(16戸, 組合, 伏流水, 急速ろ過)	76.8
事例f	専用水道(17戸+商業施設, 業者委託, 地下水, 無処理)	40.9
事例g	専用水道(124戸, 組合, 表流水, 砂ろ過)	27.3
事例h	専用水道(81戸, 業者委託, 表流水, 砂ろ過)	93.9
北海道	簡易水道(法適用) <sup>2)</sup>	126.6 (324.8)*
北海道	簡易水道(法非適用) <sup>2)</sup>	168.8 (290.4)*
全国	簡易水道(法適用) <sup>2)</sup>	135.0 (268.9)*
全国	簡易水道(法非適用) <sup>2)</sup>	139.2 (314.9)*

\*括弧内は資本費も含めた通常の給水原価

#### f) 地域自律型水道の長所と課題

現状の地域自律型水道の実態調査からは、設置経緯、施設、料金などの面で様々なバリエーションがあることが分かった。また一方で、全てではないが多くのケースに共通する特徴として、以下のことがわかった。

- 水道利用組合が自ら手を動かして管理することで大幅にコストを抑えていること
  - 水道施設自体が、自前での管理に適したシンプルなくみが多く採用されていること
  - 利用者と維持管理主体が一致していることで、自己責任の意識のもとに一時的な断水などの一定の不都合が許容されていること
  - それにより、予防保全ではなく事後対応が可能となるため、点検費用や事前更新の必要性が無いこと
  - 水道利用組合の作業が農村の互助のスキームと調和しており、担い手側が当面はその作業を受容できていること
  - 水道の維持管理に必要な作業スキルや道具立てが、組合の関係者内で賄えること
- こうした特徴は、地域自律型水道の大きな長所と言える。
- 一方、実態調査からは、地域自律型水道の課題も浮き彫りとなった。具体的には、
- 水源水質の良さに頼ったシンプルな仕組みであるがゆえに、突発的な水質悪化に対してバリアが無いこと
  - 水源そのものだけでなく、その上流の広域にわたる水源地もアセットと見なして保全することが重要であり（一般に、荒廃してからでは修復が困難）、そのためには近隣水道や土地所有者などと連携した水源地保全策が重要であるが、現状ではそうした体制づくりがほとんどできていないこと
  - 管路網図や施設更新情報などのアセット情報の管理が、関係者の記憶に頼る部分が多く、世代交代によって徐々に失われていっていること
- などであった。地域自律型水道の長所を活かしつつ、上記の課題を解決できるようなくみと技術が求められている。

### ③農業系水インフラ（営農飲雑用水）に関する調査

#### a) 背景と目的

農業水利施設と生活用水供給施設の中間領域もしくは重複領域をカバーする営農飲雑用

水施設は、農村地域の水インフラを考える上で、一つの重要な存在であるが、供用開始後は住民たちの管理に切り替えられる場合が多く、結果として、他の地域自律型水道との実質上の区別がつかなくなり、その実態はよくわかっていない（上記②の調査においても、営農飲雑用水供給施設として整備されたものは含まれている）。本調査では、北海道における営農飲雑用水施設の整備過程と運営実態の把握を行い、老朽化度合いや更新の必要性、管理体制や経済状況を整理した。

## b) 方法

### ○営農飲雑用水施設の整備過程の把握

北海道農政部がまとめた畑地帯総合整備事業データベース（2017年更新）と営農飲雑用水施設台帳（2016年更新）、北海道農業土木協会発行の「土地改良の記録」、各市町村史等を用いて、営農飲雑用水施設の現在の管理主体、整備事業名、整備完了年などの整備過程を調査した。また、2015年農業センサスや日本水道協会発行の「水道統計」を用いて、整備が行われた地域の特長について分析した。

### ○地域自律型水道の運営実態の分析

道総研によって実施された北海道内の地域自律型水道の実態調査（2016年集計）と、北海道農政部がまとめた営農飲雑用水施設台帳を使用し、運営組織や運営状況を把握した。また、北海道内水道事業の経営比較分析表（2013～2015年）を使用し、水道事業体の経済状況についても調査した。

## c) 結果と考察

### ○営農飲雑用水の整備過程

北海道内で営農飲雑用水施設の整備が行われた市町村は、127市町村ある（図5）。給水開始のピークは1970年代後半から1980年代にかけてであった。北海道内の水道事業体（上水道と簡易水道、199団体）の給水開始ピークである1950年代後半から1960年代に比べ、20年ほど遅れている。法定耐用年数である40年に達する施設が今後増加し、都市部の水道事業体が直面している老朽化等の問題が、営農飲雑用水施設でも顕在化していくと考えられる。

営農飲雑用水施設は水道事業と異なり、一般に農業予算により土地改良事業の一環として整備されるが、整備後は原則として土地改良区ではなく、水道事業体（市町村）や地元の水道利用組合に移管される。一貫した主体のもとで整備と管理が行われなかったため、営農飲雑用水施設の実態は不明確な場合が多い。

営農飲雑用水施設の整備が行われた市町村は畜産地帯で多く、行われなかった市町村は稲作地帯であった（図6）。整備のなかった市町村で稲作の割合が大きい理由として、入植時期や集落形態の他に、一般に稲作地帯では地下水が豊富で、井戸の普及が容易であったことなどが考えられる。



図 5 営農飲雑用水施設整備を実施した市町村（網掛け部分）

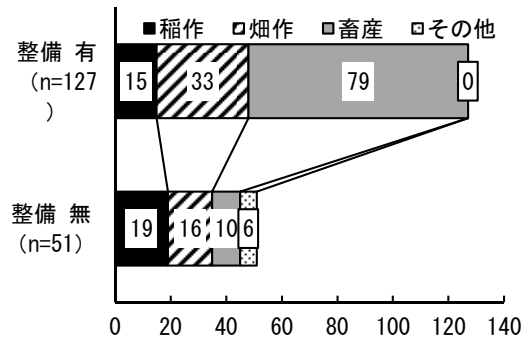


図 6 市町村の割合別にみた営農飲雑用水施設の有無と農業形態

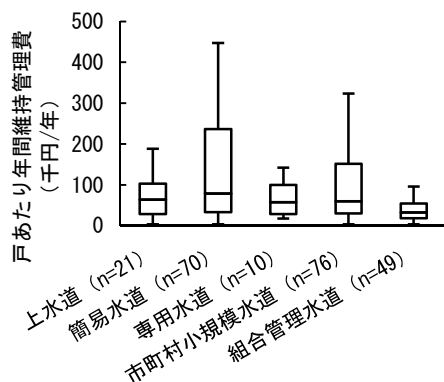


図 7 営農飲雑用水の管理主体別の戸あたり年間維持管理費 ( ) 内は施設数

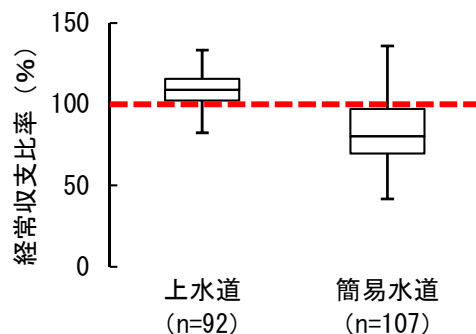


図 8 市町村営水道事業体の経常収支比率 (2013~2015 年平均値)

### ○運営実態

水道の管理主体別にみた営農飲雑用水施設の年間維持管理費を図 7 に示す。水道利用組合は他の経営主体に比べ、戸あたり年間維持管理費がきわめて小さい傾向が見られた。一般に、組合水道が存在する地域は管路長あたりの人口が少ないため、同条件であれば一人あたりの維持管理コストは他よりも高くなるはずであるが、水道利用組合の水道は水道法が適用されないこともあり、水質管理費や修繕費、人件費といった維持管理コストの単価が極めて安く済んでいるため、このような傾向が見られたと考えられる。裏を返すと、仮に組合管理を市町村管理に移管すると、条例による水質の規制を受け、維持管理費が増大するため、戸あたり年間維持管理費は増加する可能性が高いことがわかる。

図 8 に、北海道の市町村営水道事業体の経常収支比率（イニシャルコストを含まない）を示す。経常収支比率が 100% を下回ると赤字であり、簡易水道の多くは赤字運営であることがわかる。このことから、組合管理から簡易水道に移管・統合をすると、受益者負担費用の増加など、経営的に苦しくなることが想定できる。

### ④海外事例の調査

本課題では、インドネシアの都市スラム、ザンビアの都市スラム、およびセネガルの農村地域を対象に、主に住民が関与するインフラ運営および維持管理に関する調査を行い、日本

の過疎地域における水インフラ運営維持管理との共通点や、援用可能な取り組みなどを調べた。その結果、インドネシア都市スラムにおけるコミュニティの自律的なゴミ収集運営体制（図 9）、セネガル農村地域におけるコミュニティ自律型水インフラ（井戸）（図 10）の維持管理運営の成功例と課題、ザンビアにおいても水管理に自治的に取り組もうとしている例など、本課題で対象とする地域自律型水道と共通点を有し、維持管理体制を設計する上での細かいノウハウ等を援用可能な事例が確認された。また、ブルキナファソにおいて井戸管理組合立ち上げに携わってきた JICA 専門家に対する聞き取り調査も行い、ブルキナファソで数多く実施された井戸プロジェクトにおけるコミュニティ、ドナー、村落オーソリティー（伝統的村長等）、学校・保健センターなどの関わり方、成功失敗要因についても整理を行った。これらの結果は、マネジメント体制のデザインを検討する際の参考とするとともに、成果の国際展開を検討する際の基礎情報としても使用した。



図 9 地域住民に雇用されているゴミ収集人に対する聞き取り調査



図 10 コミュニティによる管理が行われている井戸施設の例

## ⑤新たなマネジメント体制のデザイン

### a) 概要

①～⑤の調査結果を踏まえ、本課題では、北海道富良野圏域をモデルに、地域自律型水道とその支援体制を「地域ぐるみの水道管理支援体制」という形で提案した。提案を作成するにあたっては、地域自律型水道についての実態調査および長所と課題の分析を踏まえて図 11 に示すような方針に基づいて、まず、大まかな枠組みを作成した。この枠組みでは、地域の主体が自律的に管理を行っている部分はそのまま生かし、地域だけでは実施が難しい、広域連携体制構築やリスク管理体制の整備およびアセット情報の整備を、市町村をはじめ各レベルの行政、地元の高校、地域の技術者、外部の専門家などが様々な形で支援する体制を取っている。

こうした数世帯規模の地域自律型水道向けの技術・ノウハウは、大手企業にはほとんど無く、地元の水道工事業業者や電気工事業業者だけが持っているため、こうした地元業者にきちんとお金と物と情報が流れる仕組みをつくり、技術とノウハウを地域で継承してもらうことを目指した。ただし、地域の水道利用組合等も大きな費用を支払うことはできないため、貨幣で支払える対価は極力地元業者に回し、それ以外の部分は、例えば高校への教育のフィールド提供や、専門家へのデータ提供等、金銭以外の対価による協力関係を構築することを考え

た。この枠組みに沿って、特に、金銭以外の対価に関わる高校生や専門家との関係を中心とした領域について、実証の結果もフィードバックしながら、「地域ぐるみの水道管理支援体制」を作り込み、最終的に、図 12 に示すような体制を提案した。

- 支援体制づくりの方向性**
- 地域自律型の長所はこれまでどおり活かす
  - 地域のリソース(住民の技能, 所有する機械, 学校の存在等)を最大限活用して, 地域自律型の管理を支援する
  - 費用を支払って委託せざるを得ない部分は, 地元の業者に委託し地域の水道のノウハウを持つ地元業者を存続させる
  - 財政・人材の面で苦しい市町村行政でも無理なくできる支援の形を用意する
  - 地域のデータベース利用権など非貨幣価値の提供と引き換えに 費用をかけずに外部の専門家の支援を得られる関係を組み込む

図 11 地域ぐるみの水道管理支援体制を作る上での方針

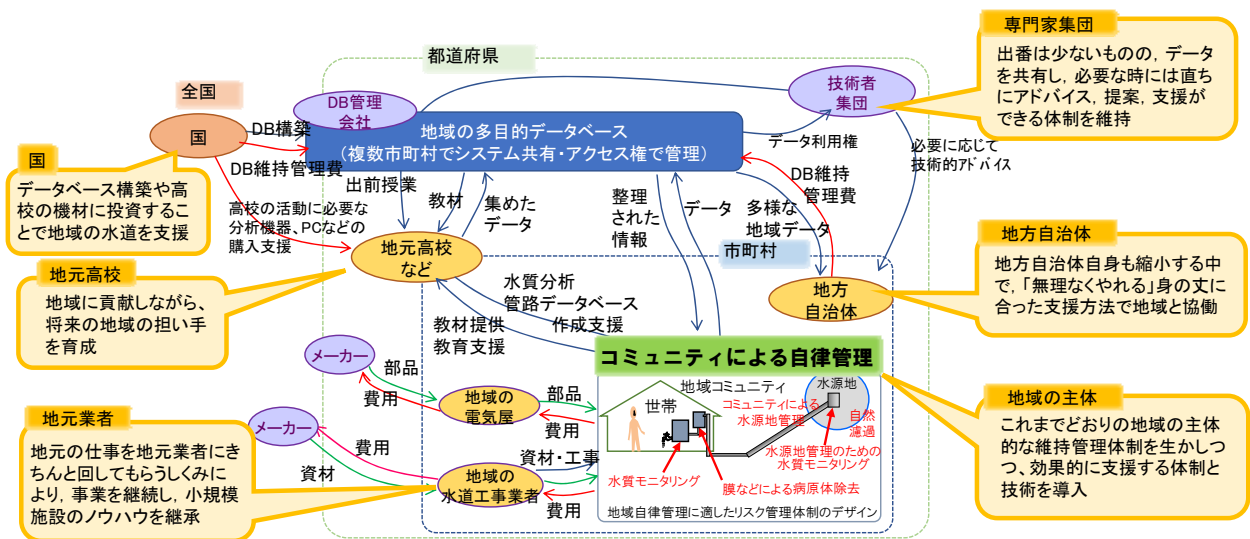


図 12 地域ぐるみの水道管理支援体制のコンセプト

b) 共通の課題認識と基本的な対策方針

これまでの調査から、既存の地域自律型水道の長所は①良質な水源を持つことで浄水コストが抑えられていること、②修繕を含めて運営の多くの部分を自分たちでできることである一方、課題としては③リスクマネジメントが不十分であること、④アセット情報の管理が不十分であることなどがわかっている。

①と③については、水源の異変をとらえるための連続モニタリングと、広域で連携した総合的な水源地管理が必要となる。そこで「地域ぐるみの水道管理支援体制」のコンセプトでは、センシング技術の開発による安価な水質モニタリング装置の導入、膜処理など、塩素に代わる技術を主たるバリアとした病原リスク管理、総合的な水源地管理のための幅広い分野の専門家による支援を提案している。また、総合的な水源地管理のための補助的な情報として、地元高校生が水質分析を定期的に行うことも提案している。

②については、単に運営コストが抑えられるというだけでなく、貨幣の外部流出を最小限にし、地域内循環を高める方向にも働くと考えられた。この部分は、今後の地域経営を考える上でも重要な点であり、「地域ぐるみの水道管理支援体制」のコンセプトにおいても、これまでどおりコミュニティによる自律管理を基本とし、水質モニタリングや膜処理にかかる消耗品およびメンテナンスも地域の業者を生かす形で提案している。

④については、たとえばアセット管理の基本となる管路網図と台帳をこれから作ろうとすると、業者に委託した場合は大きな費用がかかる一方で、その後の維持管理も容易ではない。この部分には、操作が容易で汎用性の高いデータ管理ソフトウェアを用いて、地元の高校生が教育の一環として管路網図をGIS化することを提案している。GIS化された管路網情報は、その後、水道組合に移管され、更新作業は水道管理組合によって行われることを想定している。

以上の一連のしくみでは、これまで以上に多くの地域のデータが作成される。これらのデータは、市町村のデータベースに蓄積される形を提案している。これにより、市町村は地域自律型水道の状況の把握が可能となり、支援の具体的な対応が可能になる。また、データベースを単独市町村で水道のためだけに用意することは、コスト的にも維持管理の手間の面でも見合わないと考えられるため、このデータベースは水道以外の多目的の地域データベースとし、また、サーバの維持管理は複数の市町村が共同で委託する形を想定する。

#### c) リスクマネジメントの考え方

地域自律型水道の事例調査から、多くの小規模自律型水道において水質検査は行われておらず、また、予算規模の大きい水道組合では、水質検査費用は大きな負担となっていることが分かっている。水質検査を行っていない水道組合はいずれも水道法適用外であるため、制度上の違反にはならないものの、リスク管理上は望ましい状況とは言えない。

これらの水道は水質の良い水源を持っているケースが多いため、必ずしも水道法に定められた方法と頻度で検査をしなくても、コストをかけずにリスク管理を行える可能性がある。地域自律型を前提としたあらたなリスク管理体制を検討するには、地域の実態を踏まえた上で HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point:主に食品製造の現場で衛生管理を実現するための工程管理手法。WHOの水質管理も HACCP と同じ考え方に基づく) の考え方に基づいた地域自律型水道向けリスク管理体制の検討を行う必要がある。また、従来は残留塩素が存在することで、水の安全性が担保されているという考え方であり、これも HACCP の CCP (クリティカルコントロールポイント) の思想に適合するものであるが、一方で、装置トラブル等を契機に塩素を使わなくなってしまう事例が多い地域自律型水道においては、残留塩素以外のバリアも検討する必要があることが考えられた。そこで本課題では、いくつかありえる代替手段の1つとして、膜処理および水質モニタリングに着目し、現地実証を行った(知財化予定案件のため詳細は不記載)。

#### d) アセット情報整備の考え方

現状の地域自律型水道のアセット情報管理は、水道利用組合関係者の経験と記憶に頼る部分が多いため、世代交代によって情報が失われていくことが避けられない。また、広域にわたる水源地保全策を検討するために、関係者と情報共有をすることも難しい。こうした状況を解決するには、何らかの形で情報をデータベース化 (GIS化) することが望ましい。ただ

し、地域自律型水道の維持管理上必要なアセット情報の精度と信頼性がどこまで必要か、という点は検討の余地がある。行政の管理する上水道が求めるような精度と信頼性を求めるならば、当然業者委託が必要であり、コストもかかる。しかし、そもそも現時点で利用可能なデータソースは、水道利用組合関係者の記憶であり、例えば、管路の埋設位置は「家の前の大きな木と道路の間」といった形で説明される。こうした情報に基づいた GIS 化の作業においては、座標データの精度追求よりも、関係者の記憶の情報を丁寧に聞き取りながら地図を起し、必要に応じて補足情報をテキストで残していくような作業が求められる。

本課題では、この作業を地元高校が担う形を考えた。その理由の 1 つは、金銭的なコストをかけずに、ある程度の品質の作業が期待できるプレイヤーとして期待したということであるが、もう一つの理由は、「記憶情報からの GIS 化作業」のイメージを考えたとき、時間をコストと捉える一般的な委託業務として行うよりも、高校の教育プログラムと組み合わせることで、十分な時間をかけて実施する形式の方が、結果として利用価値の高いデータが得られると考えたためである。

GIS 化作業のためのツールとしては、農研機構 SIP チームが開発した GIS ソフトを援用することとした。平成 28 年度に農研機構 GIS システムの強みを分析した結果、入力容易さと、データベースの柔軟さ、構築データの汎用性（他フォーマットへの変換）の 3 点が抽出され、高校生による地域自律型水道の管路網図作成作業におけるニーズとのマッチングが可能と考えたためである。

#### e) 法制度上の課題とその対応

農業用水管理者との意見交換、および地域自律型水道の事例調査から、人口減少下での柔軟な地域水インフラの活用を考える上でボトルネックとなるのは、一つは、アセットの建設目的と建設時の費用負担にかかわるアロケーションであると考えられた。一般に、水インフラの建設には大きな費用がかかることから、多くは国または道、市町村の農業系の助成を受けて建設をしている。その際に、あらかじめ、営農飲雑用水として整備した場合には、市町村に移管するにせよ、水道組合に移管するにせよ、生活用水に問題なく使用できるが、当初目的に飲料水が含まれていない農業用水であった場合には、後から生活用水に使用するためには、自己負担額ではなく総事業費に対してのアロケーションを支払う必要があり、小規模な水道組合にとっては現実的には支払いの難しい額になってしまうと考えられる。

また、近年は営農飲雑用水の整備はほとんど行われなくなったため、現在営農飲雑用水として使用できている施設も、更新費用を助成によってまかなうことは難しくなっている。こうした状況に対し、水道組合が積立金等の備えをできることが理想ではあるが、人口減少が進む中で現実的には積み立ても大きな額は難しい。生活系に比べて相対的に大きな金額が動く産業系のインフラを、アロケーションの額を抑えながら生活系にも共同利用させる法制度上の整理が今後求められると考えられた。

#### (2) “なりわい” に組み込まれた事業デザイン

北海道内事例調査および土地改良区調査の結果から、小規模自律水道の多くが何らかの形で農業系の助成を受けて建設・改修をおこなっていることがわかった。そして、助成を受けるに当たり、自己負担の一部を市町村が肩代わりする例や、利用世帯で手分けして負担する



例などが見られたが、これまでに確認できた中では、設立時も改修時のいずれも、複数年にわたって建設費を返済した事例は確認されず、単年度で精算を終えていると考えられた。

このこともあり、地域自律型水道の経営を年度単位で見たときには、多くの簡易水道が陥っているような構造的な赤字状況にはなく、大規模修繕が発生しない限りは少なくない繰越金をプールできているものと思われる。水道料金を普段無料とし、修繕費を都度払いで経営できている水道利用組合が存在するのも、イニシャルコストの負債が無く、かつ、ポンプや浄水施設等の固定費が発生する施設がない場合と考えられる。

こうした状況を踏まえると、施設の老朽化が進む中での事業デザインを考える上で、積立金を蓄えてきた水道利用組合と、蓄えてこなかった水道利用組合の2つのモデルを少なくとも検討する必要があると考えられた。前者については、まず自己資金による更新を前提に、(1)で示したようなリスクマネジメントを組み込んだ更新を提案することができる。一方で、後者に対しては適切な負担の範囲で更新費用を貸し付けるなどの制度がまず必要と思われる。また、自己資金にせよ貸し付けにせよ、地域に別の利用可能な農業系水インフラが存在する場合は、アロケーションの適用範囲を限定するなど共同利用のハードルを下げて、インフラの効率的な利用につなげることも重要となる。

また将来を考えると、現在は積立金を蓄えられているケースについても、今後も同様の運営ができるとは限らない。積立金を蓄えることの合意がとれない原因として指摘されたのは、農家と非農家の水道に対する投資感覚の違い、高齢単身者など将来に対する投資を求めにくい立場の人の存在、などがある。特に、人口減少の段階においては、将来への投資となる積立金を集めることは一般に困難が予想されることから、地域自律型水道の経営の方針として、極力、小さくてコストのかからないアセットへと転換し、最小限の積立金もしくは都度精算で対応できる体制に変えていくことが最も根本的な解決策と言える。

### (3) 技術開発要件の再整理

#### ① 求められる新技術（ニーズ）の検討

ここまでの検討で、「地域ぐるみの水道管理支援体制」において、新たな地域自律型水インフラ維持管理には、安価な装置での水質連続モニタリング技術が求められていることを指摘した。現状でも、浄水場などで連続モニタリングシステムはすでに導入されているが、それらは一つ一つが高価であり、また、主に光学系の測定方式に限られることから、定期的なキャリブレーションと測定部の清掃が必要である。さらに、水質管理上、もっとも突発的な汚染リスクが高い病原体の存在は、現在のところ、採水して培養（水道水質検査の公定法では24時間かかる）をしなければデータが得られない。

本課題では以上のニーズに対応するシーズ技術を組み合わせ、システムの試作と現地実証を行った（知財化予定案件のため詳細は不記載）。

#### ② リスク管理体制デザインのための技術的検討

##### a) 地域自律型を前提とした新しいリスク管理体制の枠組み

どのような水道であれ、供給する水の安全性は確実に担保しなければならない。ただし、「サービス提供者」＝「サービス利用者」である地域自律型水道においては、水供給側だけ

で安全性を 100%担保する必要は無く、供給側と使用者側の双方で安全性の担保を分担することが可能である。

例えば、北海道の地域自律型水道（水道法適用外のもの）には、塩素を入れない代わりに、利用者は当然のこととして口に入る水は何らかの形で加熱処理をしているというケースが見られる。この場合、利用者が納得している状況で、原水の状況が定期的に確認されていれば、安全性の担保をうまく分担している 1 つのあり方と言える。この発想の延長線上には、例えば、先の加熱処理の代わりに家庭用の膜処理浄水器を入れて各家庭が飲用水の安全性を自分で担保することも考えられる。そこには、新技術導入の余地が大いにあるはずである。

なお、利用者がリスク管理を分担する場合、すなわちオンサイトでのリスクコントロールを想定すると、リスク評価の枠組みも大きく変わる可能性がある。たとえば、先述のモデルであれば、第一に想定される健康リスクは、水源で何らかの突発的汚染が発生すること、続いてバリアである膜に損傷があり病原体が膜を通過してしまうこと、さらには、膜処理に伴う処理水貯留タンクにおいて病原体を含む様々な微生物が増殖し、飲用水に病原体が含まれてしまうことである。このとき、上記の各ポイントのどこでどの程度リスクを抑えられるかを計算し、最終的な飲水のリスクを十分なレベルまで下げられるようなしくみをつくる必要がある。

#### b) リスク評価の基礎検討

本課題では、リスク評価の基礎検討として「貯留プロセスに伴うレジオネラの再増殖」のリスクを算出し、タンク内の消毒と膜の交換頻度によってリスクをどの程度下げられるかの検討を行った。ここでは、地域自律型のインフラマネジメントが適用される各戸導入型の「小規模水処理設備」を想定し、その利用における健康リスク評価を行った。「小規模水処理設備」が導入された家では、雨水や沢水を原水とし、各戸で精密膜処理を施してタンクに貯留した水を生活用水として用いることを想定した。リスク評価の対象病原体として *Legionella pneumophila* を採用し、膜の破損により原水に含まれていた *L. pneumophila* がタンク内に侵入することを想定して、遊離塩素によるタンク貯留水の消毒の有無が消費者の感染リスクに与える影響を評価した。

##### i) 曝露シナリオ

小規模水処理設備を構成する精密ろ過膜の破損が生じ、原水中の *L. pneumophila* が貯留タンクへ混入する場合を想定した。原水中の *L. pneumophila* 濃度の幾何平均  $\mu$  及び幾何分散  $\sigma$  はそれぞれ 2.148 及び 0.258 とした<sup>8)</sup>。遊離塩素濃度は一次式に従って減衰すると仮定し<sup>9,10)</sup>、2 日または 3 日おきにタンク水中の遊離塩素濃度が自動注入装置により 0.5-2.5 ppm に調整されるとした。タンク貯留水はシャワー水として使用され、発生したエアロゾルを吸引することで感染が成立すると仮定した（図 13）。*L. pneumophila* がタンク水中で増殖しない場合と、*Acanthamoeba* と共存し増殖する場合をそれぞれ仮定した。比較対照系として遊離塩素消毒を行わない場合も考慮した。

##### ii) 曝露モデルとリスク計算

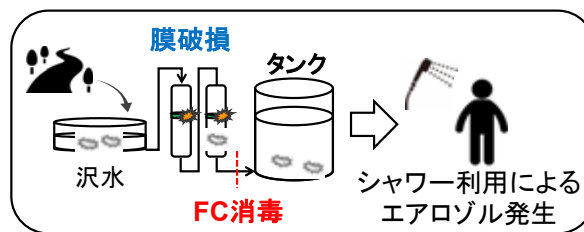
エアロゾル中 *L. pneumophila* の 1 日あたりの用量は、

$$Dose = \frac{1}{R} C_{legionella} B \cdot t \sum_{d=1}^n C_{aerosol,d} V_{aerosol,d} DE_d$$

とした。ここで  $C_{legionella}$  は *L. pneumophila* 濃度、 $C_{aerosol,d}$  は大気中の直径  $d$  のエアロゾル濃度 ( $1 < d [\mu m] < 10$ )、 $V_{aerosol,d}$  は直径  $d$  のエアロゾル体積、 $DE_d$  は直径  $d$  のエアロゾルの肺胞への体積効率、 $t$  は曝露時間 [min] である<sup>11)</sup>。1 日における感染リスクは

$$P_{inf,daily} = 1 - e^{-r \cdot Dose}$$

と表される。ここで、 $r$  は *L. pneumophila* が肺胞へ到達し感染する確率である<sup>5)</sup>。免疫の獲得により一度感染を経験した人には再感染しないとし、mc2d package (R ver 3.5.0) を用いて 10 万回モンテカルロ計算を行い、感染リスクを算出した。



対象: *Legionella pneumophila*  
原水: 沢水

図 13 曝露シナリオ

### iii) 結果と考察

*L. pneumophila* がタンク水中で増殖しないと仮定した場合、遊離塩素消毒なしであれば、シャワーの利用による累積感染確率は 49 日後にアメリカ環境保護庁 USEPA が推奨する年間許容感染確率 ( $10^{-4}$  感染/人) を超過した (図 14, 表 3)。遊離塩素消毒を行う場合、3 日おきに遊離塩素濃度を 2.0 ppm に調整することで年間許容感染確率 ( $10^{-4}$  感染/人) を超過するまでの日数は 94 日まで延長された (図 14, 表 3)。2 日おきに遊離塩素濃度を 2.0 ppm に調整した場合には、許容感染確率を超過するまでに 1 年以上要した。以上から、*L. pneumophila* の増殖を考慮しない場合、感染リスクを年間許容感染確率以下に維持するためには、遊離塩素消毒を行わない場合は月に一度程度、遊離塩素消毒を行う場合は 2～3 ヶ月に一度、膜の破損に関する点検を行う必要があると言える。

*L. pneumophila* がタンク水中で増殖すると仮定した場合、シャワーの利用による累積感染確率は 13 日後に  $10^{-4}$  (感染/人) を超過した (図 14, 表 3)。遊離塩素消毒を行う場合、3 日おきに遊離塩素濃度を 2.5 ppm に調整することで年間許容感染確率 ( $10^{-4}$  感染/人) を超過するまでの日数は 113 日まで延長された (図 14, 表 3)。2 日おきに遊離塩素濃度を 2.5 ppm に調整した場合には、許容感染確率を超過するまでに約 1 年を要した。以上から、*L. pneumophila* の増殖を考慮する場合、感染リスクを年間許容感染確率以下に維持するためには、遊離塩素消毒を行わない場合は週に一度程度、遊離塩素消毒を行う場合は数週間から

数カ月一度、膜の破損に関する点検を行う必要があると考えられた。

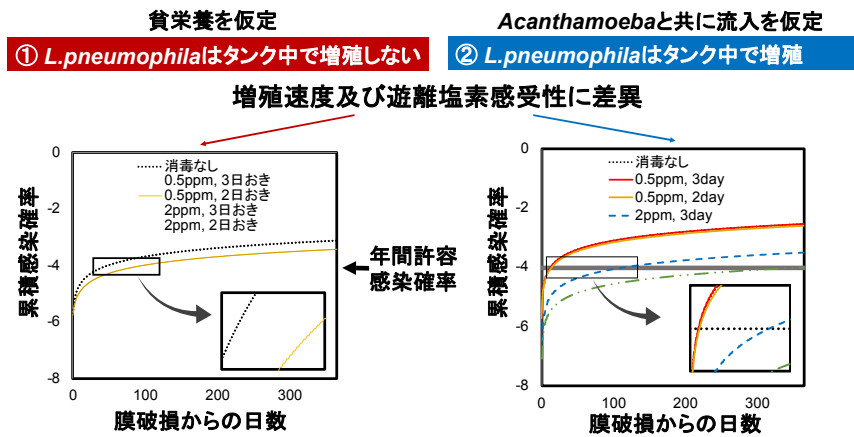


図 14 累積感染確率の推定結果

表 3 許容感染確率 (10<sup>-4</sup> 感染/人) を超過するまでの日数

① <i>L.pneumophila</i> はタンク中で増殖しない		② <i>L.pneumophila</i> はタンク中で増殖	
消毒条件	超過日	消毒条件	超過日
消毒なし	49	消毒なし	13
0.5 ppm, 3day	81	0.5 ppm, 3day	12
0.5 ppm, 2day	94	0.5 ppm, 2day	14
2.0 ppm, 3day	94	2.5 ppm, 3day	113
2.0 ppm, 2day	>365	2.5 ppm, 2day	360

iv) まとめ

沢水等を水源とする各戸導入型小規模水処理設備を導入した場合、貯水タンク内での *L. pneumophila* の増殖を仮定すると、貯水タンクの塩素消毒なしでは2週間以内に許容感染確率 (10<sup>-4</sup> 感染/人) を超過すること、2, 3日おきに貯水タンク内の遊離塩素濃度を0.5ppmに増加させても許容感染リスクを超過するまでの期間にはほとんど変化がないこと、2.5ppm程度の比較的高濃度の遊離塩素で処理をした上で、膜の破損がないことを定期的に検査することで許容感染確立以下に抑えることができることなどがわかった。

c)今後の課題

上記のアイディアは、現状の水道法および条例の下では基本的に認められないものであり、まずは安全性を確実に担保できるよう、リスク評価と実験室実験等の結果を引き続き積み上げていく必要がある。

(4) 社会実装のプロセス

①地域のプレイヤーを含めた体制づくりの実証

a) 実施内容

北海道富良野高校の科学部と連携し、「地域ぐるみの水道管理支援体制」のうち、地元高

校によるアセット情報整備支援と水質モニタリング支援の部分について実証を行った。

アセット情報整備支援としては、管路網図の GIS 化（記憶からの描き起こし、または紙地図からの入力）を、2017～2018 年度で合計 7 箇所を対象に実施した。紙の地図がある場合でも、実際の埋設箇所とのずれが大きい部分など、地元で聞かなければ分からないことが多いため、高校生たちは、全てのケースで水道組合幹部に聞き取りを行いながら入力を行った（図 15）。



図 15 管路網図づくりのための現地調査の様子

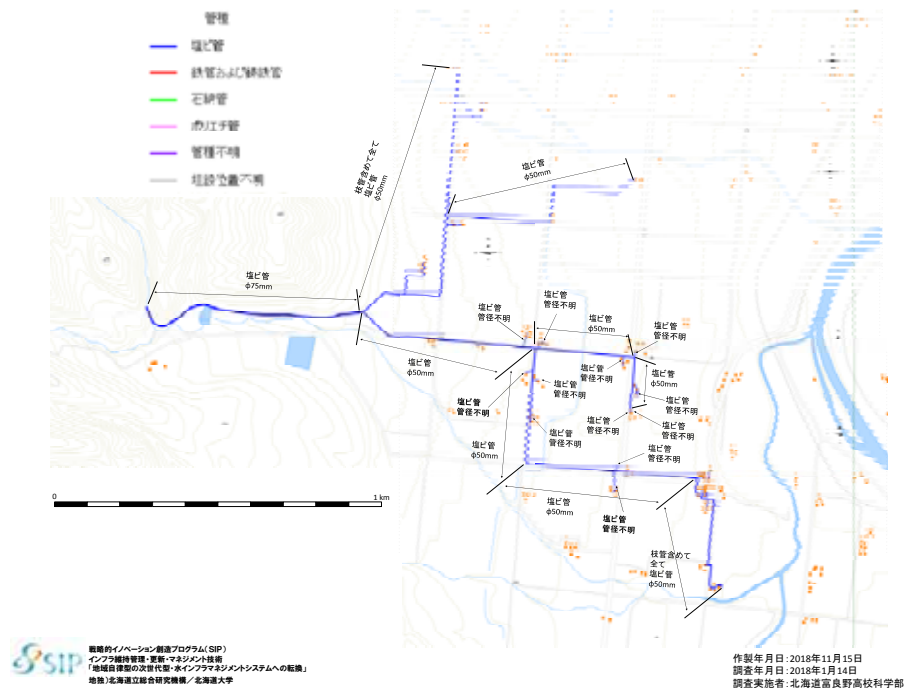


図 16 高校生の作った管路網図の例



図 17 北海道大学で実施した水質分析に関するトレーニング



図 18 富良野高校での水質分析の実践



図 19 地域自律型管理水道管理者向けの報告会（左上：高校生による成果報告，右上：専門家による講演，左下および右下：作成したデータの贈呈）

入力には、SIP 研究開発テーマ「基幹的農業水利施設の戦略的なアセットマネジメント技術の開発（課題番号：60）」において開発された「農業用水利施設管理支援システム」の GIS ソフトを応用した。高校生たちは、1 時間程度のトレーニングを GIS ソフト開発者から受けた後に、実際の現場で調査を行った。現場ではタブレット端末による入力と写真撮影を、高校に戻ってからは PC 上での清書入力をそれぞれ行った。最終的に図 16 に示すようなデ

デジタル管路網図がそれぞれの対象水道について完成した。なおこのデータは、Google Earthでも簡単に閲覧できるため、地域の中でのデータ共有を行う際にも扱いやすいことが分かった。

水質モニタリング支援としては、試行として2017年夏に、1つの地域自律型水道を対象に原水、処理水、周辺環境水などを採取し、水質を分析した。この試行においては、窒素、リンなど、比較的分析が容易で、かつ、周辺水環境と水道水質の関係を考察する際の基礎情報となる水質項目を設定した。しかし、高校生たちにとっては、周辺水環境との関係の解釈が難しかったせいか、あまり興味を持ってなかった様子で、考察も十分に深めることができなかった。そこで、2018年には分析項目の見直しを行い、高校生にとってわかりやすくかつ知的好奇心を満たす水質項目として、大腸菌数(および大腸菌群数)とおいしい水の基準(「おいしい水研究会」の示した項目を一部変更)について分析を行うこととした。現地調査に入る前の6月には、高校生が北海道大学工学部を訪問し、分析のトレーニングを受けた(図17)。そして、8~9月には合計6か所の地域自律型水道を回り、水質分析を行った(図18)。

一連の取り組みについて、2017年11月および2018年11月に高校生による報告会を開催し、地域自律型水道管理者の方々にも聴講いただいた(図19)。

#### b) 実証によって得られた知見

以上の実証を通じて生み出された地域自律型水道に関するデータは、実際の維持管理に役立つものとなっただけでなく、富良野市上下水道課や関与した専門家たちにとっても利用価値のあるものとなった。

また、地域ぐるみの水道管理支援体制づくりという面において、地元高校と連携するということは、単に一定品質の仕事を期待できる地域のプレイヤーを確保したというだけでなく、それ以上の意義があることがわかった。まず、高校という組織の持続性の高さから、地域の水道管理支援の担い手として持続的な関わりを期待できる点があげられる。もちろん、個々に見ていけば、生徒の卒業や担当教員の異動など、時間経過に伴う不確実性はどうしても避けられないが、例えば今回のように、ある程度一貫した活動が引き継がれていく部活動という単位で連携していくことで、不確実性を抑えることができると考えられた。

また、高校生による現地調査に対して水道利用組合関係者は極めて協力的であったという点も重要である。地方農村部においては、地元高校生は地域の将来の担い手として、地域から非常に大きな期待が寄せられている存在であり、そのことが背景にあると考えられる。

さらに、今現在、地域の担い手として活動している人物の多くがこの高校の卒業生であり、そのネットワークとつながることができた意味も大きかった。たとえば本研究の実証体制を構築する際にも、卒業生のネットワークを頼ることで体制づくりをスムーズに進めることができた。地域に新たな仕組みを作る上では、こうしたネットワークとの連携は欠かせない。さらに言えば、地方において拠点となる高校には、周辺市町村(富良野高校の例では美瑛町、上富良野町、中富良野町、南富良野町など)からも生徒が通うため、こうした卒業生のネットワークは自ずと周辺市町村を包含したものとなっている。地域自律型水道の課題の一つである広域連携による支援を実現する上でも、卒業生のネットワークは重要になるものと思われる。

新技術実装の検証という面では、今回、農研機構SIPにおいて開発されたGISソフトを

「地域ぐるみの水道管理支援体制」に組み込んだが、この技術を選定した決め手は、①タブレット端末を用いた誰にでも直感的にわかりやすい入力インターフェースと②入力のしやすさに特化した戦略ゆえにデータベース化した後は他のシステムでも管理できるようフォーマットへのデータ変換が容易にできる点の2点であった。実際に現場で使用した結果としては、高校生がこのGISソフトを問題なく使いこなしていただけてだけでなく、水道利用組合の方々も自ら操作して説明をはじめめる場面(図15)がしばしばあったことから、①の特徴は期待通りであったと言える。なお、操作上の細かな使いにくさ、わかりにくさについては、高校生からひとつひとつ指摘してもらい、ソフトウェアにフィードバックした。

一方、2年間の実証を通じて課題と考えられた点は、高校生のモチベーション維持であった。「地元の役に立つ」というだけでは高校生のモチベーションの維持が難しい面があった。これに対し、例えば、2年目に水質分析項目の見直しを行った際には、モチベーション維持も踏まえて、「おいしい水」というテーマ性を持たせることや、あえてやや敷居の高い「大腸菌数カウント」を実施してもらうこと、そのために大学の実験室まで遠征して分析のトレーニングを行うなど、彼らの知的好奇心を満たす方向での工夫を行った。

#### c) 地域自律型水道とそれを核とした地域ぐるみの水道管理支援体制づくりに必要な要素

一連の調査および体制づくりを含む実証の過程から、「地域自律型水道」およびそれを核とした「地域ぐるみの水道管理支援体制」によって水道を維持管理していくには、いくつかの条件があることが分かってきた。これまでの調査・実証で確認できた範囲では、まず、地域自律管理を実現するために

- 浄水処理が容易もしくは不要なぐらいの良質な水源が、できればポンプ無しで利用可能な立地にあること
- 簡単な土木工事ができる程度のスキルを持つ農家およびそのための重機がコミュニティの中で容易に融通できること

が重要であると考えられた。そしてさらに、支援体制づくりを行うためには、

- 簡単なトレーニングによって一定レベルの技能を習得でき、かつ、低コストもしくは金銭以外の対価によって水質分析や管路データ作りを持続的にできるプレイヤーを圏域程度の範囲内で見つけること
- 外部から見ても利用価値のあるデータを収集・提供できるようにすること
- 体制づくりの核となる既存のネットワークを地元または周辺地域の中で見つけて連携すること(図20)

なども重要と考えられる。

既存の地域自律型水道に対する支援体制づくり、および、新たな地域自律型水道管理体制づくりを行う際には、まず、これらの点が地域でどの程度利用可能かを確認する必要がある。



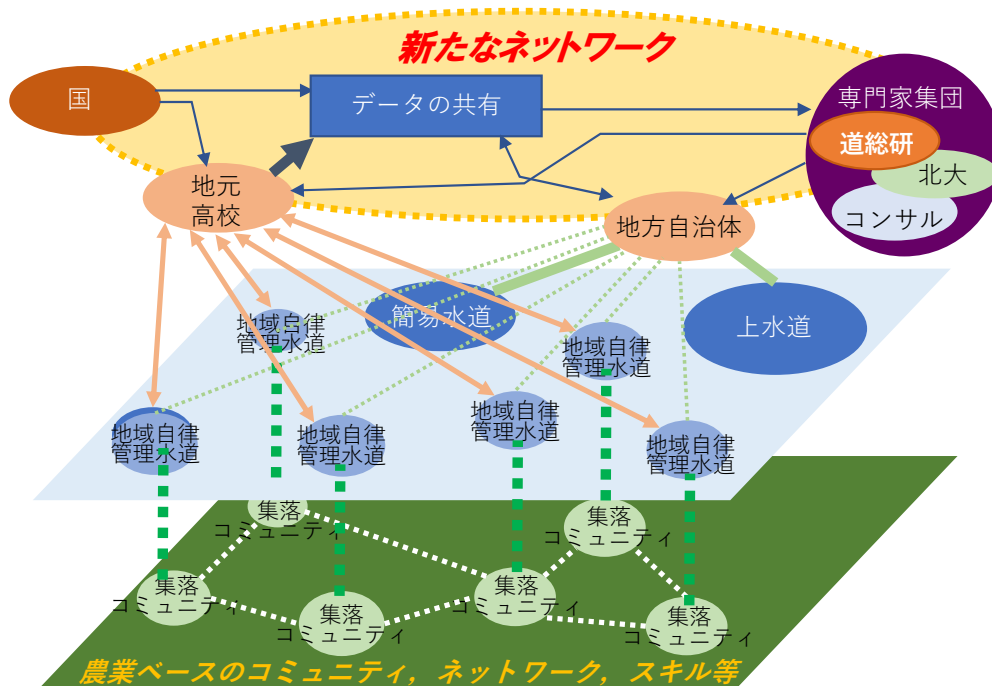


図 20 既存のネットワークやリソースを上手に活かした支援体制づくり

#### (5) 過疎地域の水インフラへの新技術導入

本課題では、人口減少が続き、非常に厳しい経営状況に置かれる地方部の小さな水道は、シーズとニーズの議論と並行して、現在の状況を根本的に解決するためのしくみづくりがまず必要と考えられたため、本課題では実際の解決策(しくみ)を作り出すプロセスを通じて、ニーズの明確化、シーズとのマッチング、そして実際にマッチングできた SIP 技術(農研機構 GIS)の実証を行った。

本課題で取り組んだ地域の状況のように、ニーズが顕在化しておらず、問題の所在すら明確化されていない状況においては、新技術導入は問題の整理と解決方策の検討(過疎地域の水インフラの場合は多くの場合、仕組みづくりが重要と思われる)と、そこに当てはまりそうなシーズの検討の双方を行き来しながら、マッチングを図っていくことが避けられないと考えられた。しかし、このプロセスでは同時に、ニーズに合わせた技術開発のアイデアも生み出される。その意味では、技術開発や新技術のブラッシュアップにとっては非常に効果的なプロセスと考えることもできる。

ただし、この一連の検討を行うには、地域とのファシリテートと技術シーズの選択、および新技術のアイデア出しが並行して行われるため、ファシリテーターと技術者が同時に関与することが必須と思われる。ニーズ発掘のプロセスは、仕様が決まらない状況で提案を求められることも多いため、一般に技術者はこのプロセスに関与することを嫌うケースも多く、実際の検討現場では、技術者抜きでこのプロセスが行われることも多い。技術者がストレスなく、このプロセスに関与できるような枠組みを考えることも今後の課題と言える。

#### ②地域自律型水道向けモニタリングシステムの実証

システムの試作と現地実証を行った(知財化予定案件のため詳細は不記載)。

## (6) その他の成果

### ①研究会開催（主催）

「農村水インフラの実態と将来を考える研究会」

日時： 2018年4月19日（木）14:00～16:30

会場： 慶應義塾大学 日吉キャンパス 来往舎 大会議室

共催： 慶應義塾大学, 農研機構

### ②一般向けセミナー（共催）

第6回 北大・地球研合同セミナー「グローバルとローカルの視座から地域の人々の生活と健康を考える」

日時： 2018年6月30日（土）14:00～18:00

開場： 北海道大学大学院保健科学研究所

主催： 北海道大学, 総合地球環境学研究所

共催： 道総研 SIP チーム

### ③シンポジウム開催（主催）

「これからの農村水インフラ維持管理—新たなしくみと技術—」

日時： 2018年10月2日（火）13:00～18:00

会場： 慶應義塾大学 日吉キャンパス 来往舎シンポジウムスペース

主催： 北海道立総合研究機構, 北海道大学

共催： 土木学会, 慶應義塾大学, 農研機構, 総合地球環境学研究所

後援： 農業農村工学会, 農村計画学会, 北海道

### ④合同勉強会（共催）

高知大学・地球研サニプロ合同勉強会「フューチャーデザインと人々との協創」

日時： 2018年10月26日9:00～

開場： 高知大学農林海洋科学部

主催： 高知大学, 総合地球環境学研究所

共催： 道総研 SIP チーム

### ⑤シンポジウム（主催）

S I P北海道地域実装研究グループ・インフラメンテナンス国民会議北海道フォーラム共同企画・S I P北海道地域実装研究グループ・シンポジウム「S I P地域実装による地方のインフラ・アセットマネジメントを考える」

日時：2019年3月4日（月）13:00～17:00

開場：星野リゾートOMO 7旭川（旧旭川グランドホテル）

主催：北海道大学公共政策大学院, 大学院工学研究院

インフラメンテナンス国民会議北海道フォーラム

北海道立総合研究機構

## ⑥報告展示イベント開催(主催)

「どうする？地方の水道～富良野高校×道総研×北大の取り組み」

日時： 2019年3月24日(日) 12:00～15:00

会場： フラノマルシェ2・TAMARIBA(富良野市)

主催： 北海道立総合研究機構, 北海道大学, 北海道富良野高校

共催： 総合地球環境学研究所

後援： 富良野市

協力： 配水用ポリエチレンパイプシステム協会

- 参考文献：1) 北海道環境生活部環境局環境政策課：(2016)平成28年度北海道の水道
- 2) 牛島健：(2018)地域自律型の次世代・水インフラマネジメントシステムへの転換，第6回 石狩川流域圏上下水道システム研究会報告会資料
- 3) 北海道：(2011)北海道水道ビジョン
- 4) 国土数値情報より算出(給水区域データは2010年)
- 5) 総務省統計局：(2010)統計で見る都道府県の姿2010
- 6) 牛島健，石井旭，福井淳一，松村博文：(2018)実態調査に基づいた人口減少地域における地域自律型水インフラマネジメントの可能性，土木学会論文集G(環境)74(7)，Ⅲ\_143-Ⅲ-152.
- 7) 総務省：(2018)簡易水道事業年鑑，第40集.
- 8) Declerck et al. Water Research. 41, Issue 14, 3159-3167, 2007.
- 9) Powell et al. Water Research. 34, Issue 1, 117-126, 2000
- 10) Cervero-Arago et al. PLoS ONE, 10, Issue 8, 2015
- 11) Hamilton et al. Water Research. 119, 288-303, 2017

### 3.3 達成状況

(1) 「地域主体」と「専門家集団」による二段階管理システムがデザインされる。その中で、「地域主体」と「専門家集団」のそれぞれに求められる体制や機能が整理される。また、「地域主体」については、ビジネス的な経営経験を持たない地域リーダーでも「地域自律型」のマネジメントが可能となるよう、チーム作りの手法を含めて、「リーダーの資質」に左右され難い水インフラマネジメント技術が提案される。

→「地域主体」「専門家集団」に「地元高校生」なども加えた多層的な管理システムがデザインされ、それぞれに求められる体制や機能が整理された。実態調査により、ビジネス経験を持たない水道利用組合長でも地域自律型水道は運営できていることから、そもそも地域自律型水道の運営形式は「リーダーの資質」に左右され難いと考えられ、むしろ、地域自律管理を支える「地域ぐるみの水道管理支援体制」を作る際に、地元高校を核にするなど、プレイヤーの「資質」に左右され難い体制づくりを目指し、結果として「地域ぐるみの水道管理支援体制」を提案することができた。 →目標達成

(2) 具体的な地域をケーススタディとして、“なりわい”に組み込まれた「地域自律型」インフラマネジメント技術のフレームが、2つ以上のモデルケースにおいて提案される。また、モデルケースの提案に至るまでに、地域ステイクホルダーとの継続的な議論が行われ、そのプロセスも「地域自律型インフラマネジメントへの転換」に係るデータとして整理される。

→富良野市内において、(1)高校生の活動を軸とした水質モニタリングとアセット情報整備と(2)膜モジュールと安価なセンサを用いた連続モニタリング技術の2つについて、「地域自律型」インフラマネジメント技術として提案し、地域ステイクホルダーとの議論を重ねながら実証を行った。それらのプロセスも整理し、冊子（研究成果資料）としてまとめた。 →目標達成

(3) 「地域自律型」のインフラマネジメントへの転換を前提とした技術要件が整理され、地域の特性に応じて必要となる技術適用または技術開発が明らかになる。また、インターフェース等の必要な要素技術について、少なくとも現地実証に使えるレベルまでの技術開発行われる。

→「地域自律型」のインフラマネジメントへの転換を前提とした技術要件について、北海道内の事例調査および富良野市での実証の結果を踏まえて整理し、地域の特性に応じた技術適用、技術開発の進め方に対する提案を行った。本課題で地域実装を行った農研機構のGISソフトについて、現地実証のフィードバックを踏まえて入力インターフェースの改良を行い、改良部分はプログラム登録を行った（申請中） →目標達成

(4) 地域もしくは行政が、地域自律型インフラ維持管理への転換を行う際の方法がまとめられた冊子が作られる。

→本課題の成果に基づき、地域自律型インフラ維持管理への転換に向けた基礎情報と方策をまとめた冊子（研究成果資料）を作製した。 →目標達成

### 3.4 今後の取り組みと展望

#### (1) 道総研が有する機能を活用した展開

北海道立総合研究機構（道総研）は、もともと新技術を北海道内に普及・展開する使命と機能を持っている。本課題の成果も、今後、道総研の持つ機能を活かして普及・展開していく。また、道総研の建築研究本部が平成 29 年度から毎年開催している「道総研まちづくり塾」プログラム（毎年、4カ所程度の市町村から2名程度の職員を受け入れ、3日間程度かけてまちづくりに関するレクチャーとワークを行うプログラム）にも、今後組み込まれる予定である。この他、道総研の中の独自研究課題としても、本課題の後継にあたる課題が設定予定である。

また、もともとつながりのある北海道庁の担当部局とも引き続き連携し、成果の普及・展開に勤める予定である。

#### (2) SIP 研究によってつくられた成果やネットワークを活用した展開

一連の調査、体制のデザイン、実証において連携させていただいた富良野高校とは、連携を継続予定である。合わせて、富良野高校による地域向け報告会も継続予定である。これにより、今回の取り組みの定着化を図ることを目指す。

また、SIP 北海道チーム（北大主幹）の活動を引き継いだインフラメンテナンス国民会議・北海道フォーラムの中の「その他構造物グループ」において、上下水道の検討を開始しており、ここでの議論も継続を予定している。

本課題で検討した一連の新技術導入のフレームを、総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「サニテーション価値連鎖ー地域のヒトによりそうサニテーションのデザイナー（2016～2020 年度）」において、国内および海外のサニテーションの事例と比較し、別のサイトに適用する研究が現在進行しており、今後も継続する予定である。

## 4 成果発表等

### 4.1 知的財産権

番号	知財権の名称	出願番号及び出願日	出願人	出願国
1	(1件3月末目途に申請準備中)			

### 4.2 研究発表・講演

番号	発表者・発表タイトル, 発表先等	発表年月日	発表機関	種別
1	Yamauchi T, Ushijima K, Sintawardani N, Funamizu N: Future Sanitation Based on the Insight and Participation of Children: A Collaboration between Schoolchildren in Indonesia and Japan, The 1st International Symposium on Green Technology for Value Chain 2016, Indonesia Convention Exhibition, BSD,	2016.10.3-5	北海道大学	学会発表
2	Mayu Ikemi, Sanitation and income improvement by local community as sustainable participatory development, International Symposium on Green Technology for Value Chains 2016, Indonesia Convention Exhibition, Bumi Serpong Damai City, Indonesia	2016.10.4	北海道大学	学会発表
3	Takako Nabeshima: "Decision Making of Green Policy in African State and Rural Community", in Green VC 2016 Indonesia.	2016.10.4	北海道大学	学会発表
4	池見真由, アフリカの開発協力を北海道の発展につなげる, 開発こうほう, 2016年12月号, 10-11	2016.12.1	北海道大学	論文発表
5	池見真由, アフリカ国際協力を通じた地域社会開発ー北海道を事例に, 社会文化学会第19回全国大会, 日本福祉大学, 東海(愛知県)	2016.12.11	北海道大学	学会発表
6	牛島健, 現場の実情 ~北海道・集落の上水道の事例~, 臨床環境技術勉強会	2017.01.24	北海道立総合研究機構	招待講演

7	牛島健, 「地域自律型の次世代型・水インフラマネジメントシステムへの転換」, 第12回産官学CIMGISセミナー	2017.02.27	北海道立総合研究機構	招待講演
8	牛島健, 地域自律型の次世代型・水インフラシステム, 日本学会会議主催公開シンポジウム「ワークショップ まちおこしの現場から明日を考えるー若手・中堅研究者の提言-	2017.05.13	北海道立総合研究機構	招待講演
9	池見真由, アフリカの水インフラマネジメントと農村開発, 北海道大学大学院経済学研究院地域経済経営ネットワーク研究センター2017年度第3回研究会報告	2017.07.19	北海道大学	学会発表
10	USHIJIMA Ken, Design of water infrastructure for the future, Lessons and learned from depopulating area in Hokkaido, Japan, 14th International Water Association (IWA) Specialist Conference on Watershed and River Basin Management	2017. 10.10	北海道立総合研究機構	学会発表
11	USHIJIMA Ken, Community-based water management system in Japan, Kick - Off Meeting : Sanitation and Value Chains, A Collaboration Research between LPTB - LIPI and RIHN Japan	2017.10.22	北海道立総合研究機構	招待講演
12	Takako NABESHIMA, "Political Participation by African Peasants as Development Actors of Integrated Water Resource management", Sanitation Value Chain, Vol.1, 2017, pp.47-58.	2017.11.27	北海道大学	論文発表
13	牛島健, 地域における価値のつながりをシステムとしてデザインする, 環境工学思想研究会	2018.02.08	北海道立総合研究機構	招待講演
14	牛島健, 地域自律型の次世代型・水インフラマネジメントシステムへの転換, 石狩川流域圏新WG 報告会	2018.02.21	北海道立総合研究機構	招待講演
15	Funamizu N, Yamauchi T, <u>Ushijima K</u> : Water and Sanitation System For A Shrinking Society, World Social Science Forum 2018, Fukuoka, Japan.	2018.09.28	北海道立総合研究機構	学会発表

16	門屋俊介, 西村修, 佐野大輔, 各戸導入型小規模水処理設備の利用における Legionella pneumophila 感染リスク評価, 日本水道協会・平成 30 年度全国会議 (第 93 回総会・水道研究発表会), 福岡サンパレスホテル&ホール (福岡県福岡市)	2018.10.24-26	東北大学(北海道大学チーム)	学会発表
17	Ushijima K, Ishii A, Fukui J, Matsumura H, Value flow analysis approach for local water management system, The 3rd International Symposium on Green Technology for Value Chain 2018, Indonesia Convention Exhibition, BSD.	2018.11.02	北海道立総合研究機構	学会発表
18	関本幸一, 井上京, 牛島健(2018) 北海道の農村部における水道インフラの整備過程とその運営 - 営農飲雑用水施設を中心として -, 農業農村工学会北海道支部 研究発表会, 札幌.	2018.11.6	北海道大学, 北海道立総合研究機構	学会発表
19	牛島健, 石井旭, 福井淳一, 松村博文(2018) : 実態調査に基づいた人口減少地域における地域自律型水インフラマネジメントの可能性, 土木学会論文集 G (環境) 74(7), III_143-III-152.	2018.12	北海道立総合研究機構	論文発表
20	門屋俊祐, 西村修, 三浦尚之, 秋葉道宏, 佐野大輔, 定量的微生物リスク評価手法による小規模水処理設備における膜破損モニタリング最適頻度の決定, 第 55 回環境工学研究フォーラム, 京都大学吉田キャンパス (京都府京都市)	2018. 12. 17-19	東北大学(北海道大学チーム)	学会発表
21	長谷川祥樹, 牛島健, 遠藤千利, 石井旭(2019) 地域自律管理型水道における地元の力を活用した健康リスク管理体制の実証的研究, 第 53 回日本水環境学会年会, 山梨.	2019. 3. 7-9	北海道立総合研究機構	学会発表
22	牛島健, 長谷川祥樹, 遠藤千利, 石井旭(2019) 地元高校生による地域自律管理型水道のアセット情報整備に関する実証的研究, 第 53 回日本水環境学会年会, 2019. 3. 9, 山梨.	2019. 3. 7-9	北海道立総合研究機構	学会発表



### 4.3 その他の公表（プレス発表，技術広報資料（パンフレット，ビデオ等））

番号	発表者，発表タイトル等	発表年月日	メディア等への掲載状況
1	「座談会 SIP インフラ技術の実用化・地域実装の加速に向けて」	2017. 10	土木学会誌，Vol. 102 No. 10，2017.
2	牛島健，「連載・明日を支える道総研建築研究本部 2018(6)地域自律型の水インフラ」	2018. 08. 10	北海道建設新聞，平成 30 年 8 月 10 日
3	「住民を水道維持管理の担い手に・道総研など新たな運営手法模索 地元高校生も協力し研究」	2018. 08. 21	北海道建設新聞，平成 30 年 8 月 21 日
4	「多分野の叡智を結集・農村水インフラの持続に取り組む」	2018. 10. 15	日本水道新聞，平成 30 年 10 月 15 日
5	牛島健，「地域が自ら支える水インフラ維持管理：地方自治体と地域の新たな役割分担のかたちとそのための技術」	2018. 12	SIP インフラ新技術地域実装活動報告書～地域のインフラ維持管理の今後に向けて～，土木学会，pp. 91-95，2019.
6	研究成果資料「地域自律管理型水道を活用したこれからの地方水道」	2019. 3	技術広報用冊子

以上