

シンポジウム「小規模水供給システム研究の進展」

小規模水供給施設の実態
と微生物的安全確保

京都大学大学院工学研究科
伊藤 禎彦

東京大学HASEKO-KUMA HALL
2023年2月22日

講演構成

- ＊地元管理されている小規模水供給施設の実態と課題
- ＊小規模水供給システムにおける限定的な情報に基づく飲料水の安全確保法
- ＊多様な水道システムの構築へ向けて

地元管理されている小規模水道の実態と課題

地元管理されている水供給システム訪問市町村

2017年～2022年

- ・ 北海道 富良野市
- ・ 青森県 五戸町、新郷村
- ・ 福島県 西郷村
- ・ 長野県 松本市
- ・ 静岡県 静岡市
- ・ 愛知県 設楽町
- ・ 滋賀県 長浜市
- ・ 京都府 福知山市
- ・ 奈良県 十津川村
- ・ 広島県 広島市、安芸太田町
- ・ 高知県 いの町、本山町、大豊町

調査内容

1. 管理体制

- ・ 水道施設の設置主体、設置経緯、および補助金の出処
- ・ 管理組織の構成
- ・ 管理組織のルール、管理上守られている長年の習慣、慣習等
- ・ 行政による設備管理に必要な教育の有無、使用教材
- ・ 施設・設備の権利関係等の情報
- ・ 施設管理が可能な図面の存否
- ・ 保健所による管理との関係

2. 運営面

- ・ 運営主体である住民の持ち回り体制
- ・ 維持管理費の負担額、水道料金の設定方法
- ・ 管理記録の存否を含む管理実態
- ・ 水質管理体制
水道水質基準遵守からみた水質管理の困難性

3. 将来見通しとその課題

- ・ 行政の立場からみた将来見通し・課題
- ・ 地元管理組織の立場からみた将来見通し・課題
利用者としての満足度やニーズ・要望
- ・ 行政としての支援方法と支援制度
今後、必要と考える制度／しくみ
- ・ 技術面でのニーズ・課題
浄水処理装置、水質基準の緩和措置、など

報 告 書

伊藤禎彦, 堀さやか: 住民との連携による水供給システムの維持管理手法とそれらの知見共有方策に関する検討、平成30年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究(H29-健危-一般-004)総括研究報告書, pp.82-89, 2019.3

伊藤禎彦, 堀さやか: 地元管理されている小規模水道の実態と課題、平成31年度(令和元年度)厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究(H29-健危-一般-004)分担研究報告書, pp.108-141, 2020.3

伊藤禎彦, 曾潔, 武藤陽平: 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保法、令和2年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究(20LA1005)分担研究報告書, pp.3-1-3-15, 2021.3.

伊藤禎彦, 曾潔: 小規模水供給施設の管理実態と課題、令和3年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究(20LA1005)分担研究報告書, pp.3-1-3-13, 2022.3.

伊藤禎彦: 小規模水供給施設の実態と現実的な水質管理、令和4年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究(20LA1005)分担研究報告書, 2023.3. (準備中)

***住民による管理が困難または限界に達している事例**

A県 B村
C県 D市
E県 F市

***持続可能な水供給システムを目指し精力的に取り組まれている事例**

静岡県 静岡市

***水供給形態が持続可能な形で成立している好例**

北海道 富良野市
愛知県 設楽町

***社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功した事例**

高知県 いの町、大豊町

したら 愛知県設楽町 未普及地域の事例

おきこま うらだに
未普及地域：沖駒地区：42戸72人、裏谷地区：8戸23人、
その他散在

上水道接続のための基礎調査実施
→ 事業費12億円。3,000万円/戸相当。

各戸井戸を新設する方針を選択
「設楽町飲料水安定確保対策事業補助金交付要綱」策定(H21)

補助金上限278万円＝上限300万円－上水道加入負担金22万円(口径13mm)

更新も補助対象：10年以上経過したポンプ設備など
機械の不具合が生じた場合

ランニングコストの補助は行わず
注入塩素、水質検査にかかる経費は住民負担
← 実施されていない



沖駒地区において個別設置された深井戸



周辺の様子

水供給形態が持続可能な形で成立している好例

条 件

- ①住民は上水道接続が現実的でないことを理解し、個別井戸の新設を受け入れている。
- ②水源地や浄水処理装置の維持管理といった住民自ら行うべき作業がなく、水利用の継続性に懸念要素がない。
- ③町は、個別井戸の新設を補助するとともに将来の修繕等にも対応するとしており、住民は安心できている。

課題：消毒の取り扱い

社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功した事例

高知県 中山間振興・交通部 鳥獣対策課において

「高知県版生活用水モデル開発事業」ヒアリング

（中山間地域対策課が推進したが、令和4年度から鳥獣対策課に担当課変更）

直面していた課題

- ①取水装置（スクリーン）やろ過施設の多くは、県外メーカーによるものだが、高額である。
- ②少数世帯対象の製品がない。
- ③操作方法が高齢者には難しかったり、清掃時の作業に危険が伴う恐れ。
- ④県外にお金が出流してしまう。

平成26年度、委託業務を実施（プロポーサル方式）

委託内容は、取水施設とろ過施設の製作

大豊町: 津家地区^{つけ}

配水戸数7戸、給水人口15人

事業費 3,310千円

県補助 2/3(整備当時の割合, 上限3,000万円)

町補助 1/3

住民負担 各戸10.8万円($\times 7$ 戸=75.6万円)

水道料金 1,000円/月の定額

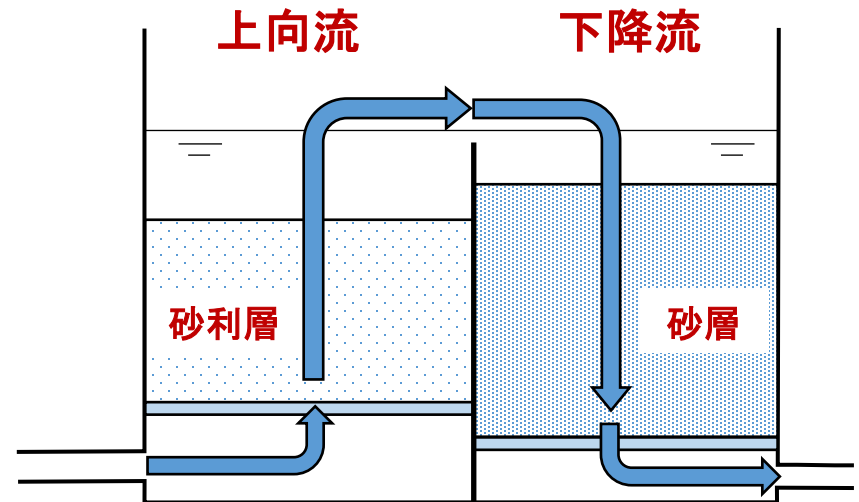
但し、使用水量30 m³/月未満なら無料

砂利層

砂層



新規開発された簡易緩速ろ過装置



極小規模:

浄水能 3 ~ 6 m³/日 (ろ速4~8 m/日に対応)

逆流洗浄 実施



人が手を入れ、表層砂をかき混ぜる操作



簡易緩速ろ過装置本体



逆流洗浄管

電源
不要

塩素注
入設備

配水池



浄水処理装置



塩素注入のための小屋新設

塩素貯留槽への塩素の補充は設置業者が行っている。

考察・コメント

(1) 新技術の創出と県の役割について

「高知県版生活用水モデル開発事業」のもと、プロポーザル方式によって県内企業に対して施設・装置の製作を委託。県は、中山間地域におけるニーズを把握し、開発されるべき技術を具体的に提示。

これによって、企業としては、求められた施設・装置を開発すれば、少なくとも県内各所に納品できビジネスが展開できるという見通しを得ることができ、新規開発に着手することができた。実際、県による本事業がなければ、新規開発されることはなかった。

このように、高知県が推進した事業は、社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功している。高知県が果たした役割はきわめて大きい。

本装置は、極小規模、メンテナンスが容易、低コストといった、各地の小規模集落のニーズ(下記文献参照)に対応できる新技術。広く普及していくのが望ましい。

考察・コメント

(2) 水供給システムの整備と塩素消毒について

浄水処理装置の新設を含む水供給システムの整備は、高知県と町役場の補助事業であるにもかかわらず、塩素消毒が要件とされていない。

水道部局や衛生部局が担当していないことから、塩素消毒の強制が回避されているとみることができる。

(3) “最終消毒装置”としての極小規模浄水処理装置の性能について

引き続き塩素消毒を行う予定がないことから、たとえば前出の2槽式緩速ろ過装置は“最終消毒装置”とみなすこともできる。

欧州では、最終プロセスが緩速ろ過であることがしばしばある。そして、オランダでは、緩速ろ過処理は最終消毒処理プロセスであるとみなされている。このため緩速ろ過処理による微生物の除去・不活化能が丹念に調査研究されている。

新規に開発された2槽式緩速ろ過装置も、懸濁物質の除去だけではなく最終消毒装置としての役割も有することから、その微生物に対する除去性能を定量的に表示できることが望ましい。

小規模水供給システムにおける限定的な 情報に基づく飲料水の安全確保法

住民の認識と発言

- ・ 清浄な水を使用できていると考えている。感染症の流行などが起きるわけではなく、問題はない。
- ・ 都会に出た子供夫婦が帰省した際、しばらく滞在していると、同行した孫がおなかをこわすことがある。



“おなかをこわす本体”とは何か？

砂防
堰堤



取水点

ふこうりなかぐみさんすいかい
静岡市 富厚里中組山水会



取水桝

ごんげんざわ
権現沢水道組合
インタビュー



微生物的安全確保に向けたアプローチ方法

原水既存データ



原水追加調査



原水中濃度
推定値／
実測値

用量一反応
モデル

必要除去・
不活化能算
定

感度分析と
不確実性分
析

浄水処理プ
ロセス選定

一般細菌定量のみ、大腸菌不検出

既存
文献
情報

既存
文献
情報

網羅的検出、
病原種特定
など

既存
文献
情報

大腸菌、嫌気
性芽胞菌測定

追加
網羅的
検出、病
原種特
定など

一般細菌定量、大腸菌検出

大腸菌、嫌気性芽胞菌測定

Campylobacter,
病原性*E. coli*
実測

Norovirus,
Rotavirus等
実測

Cryptosporidium
Giardia
実測

日和見
菌等
濃度

日和見
菌等
濃度

日和見
菌等
濃度

病原微
生物
濃度

細菌

ウイルス

原虫

Campylobacter,
病原性*E. coli*

Norovirus,
Rotavirus等

Cryptosporidium
Giardia

設定値

推定値

実測値

+

日和見菌等濃度推定値

- ・ 感染能を有する割合設定
- ・ 代表的日和見菌のモデル
(最大感染確率モデルや低確率モデル
使用も考えられる)

- ・ 感染能を有する割合設定
- ・ 各微生物に対するモデル適用

選定プロセスに及ぼす影響の考察

トロッコ保津峡駅 (嵯峨野観光鉄道、京都市西京区)

北側施設 (n=33)



南側施設 (n=30)



京都帝釈天
(京都府南丹市)
(n=28)



大吉寺
(滋賀県長浜市) (n=6)



一般細菌数に基づく必要除去・不活化能の試算例

	北側施設	南側施設	京都帝釈天
日和見菌等推定濃度 (cells/mL)	6.86E+02	1.44E+02	5.02E+02
必要除去・不活化log数	4.8	4.1	4.7

・測定した一般細菌数をもとに、病原細菌による感染確率 10^{-4} /人/年以下を満たすのに必要な除去・不活化log数を算定。

・仮定：一般細菌/全細菌=0.075%、一般細菌/全生菌=0.18%、病原性生菌／全病原性細菌=50.6%。また、全細菌の約3%は病原性細菌（真砂らの結果による）。

算定式：**病原性生菌数 = 一般細菌数 ÷ 0.075% × 3% × 50.6%**

・病原性生菌はすべて日和見菌等であるとみなす。用量-反応モデルには、日和見菌のうち指数モデルの γ が最小である*Staphylococcus aureus*のモデル($\gamma = 7.64E-08$)を適用。

大腸菌測定値に基づく必要除去・不活化能の試算例

病原微生物	条件／パラメータ	トロッコ北側施設log数	トロッコ南側施設log数	京都帝釈天log数
病原大腸菌 <i>E. coli</i> O157:H7	大腸菌×0.08; $\gamma=0.0093$	4.8 (5.36E-03)	4.9 (7.52E-03)	4.9 (7.20E-03)
カンピロバクター	大腸菌×0.66; $\gamma=0.686$	7.6 (4.42E-02)	7.7 (6.20E-02)	7.7 (5.94E-02)
ロタウイルス	大腸菌×5.00E-06; $\gamma=0.59$	2.4 (3.35E-07)	2.5 (4.70E-07)	2.5 (4.50E-07)
クリプトスポリジウム	大腸菌×1.00E-06; $\gamma=0.2$	1.2 (6.70E-08)	1.4 (9.40E-08)	1.3 (9.00E-08)

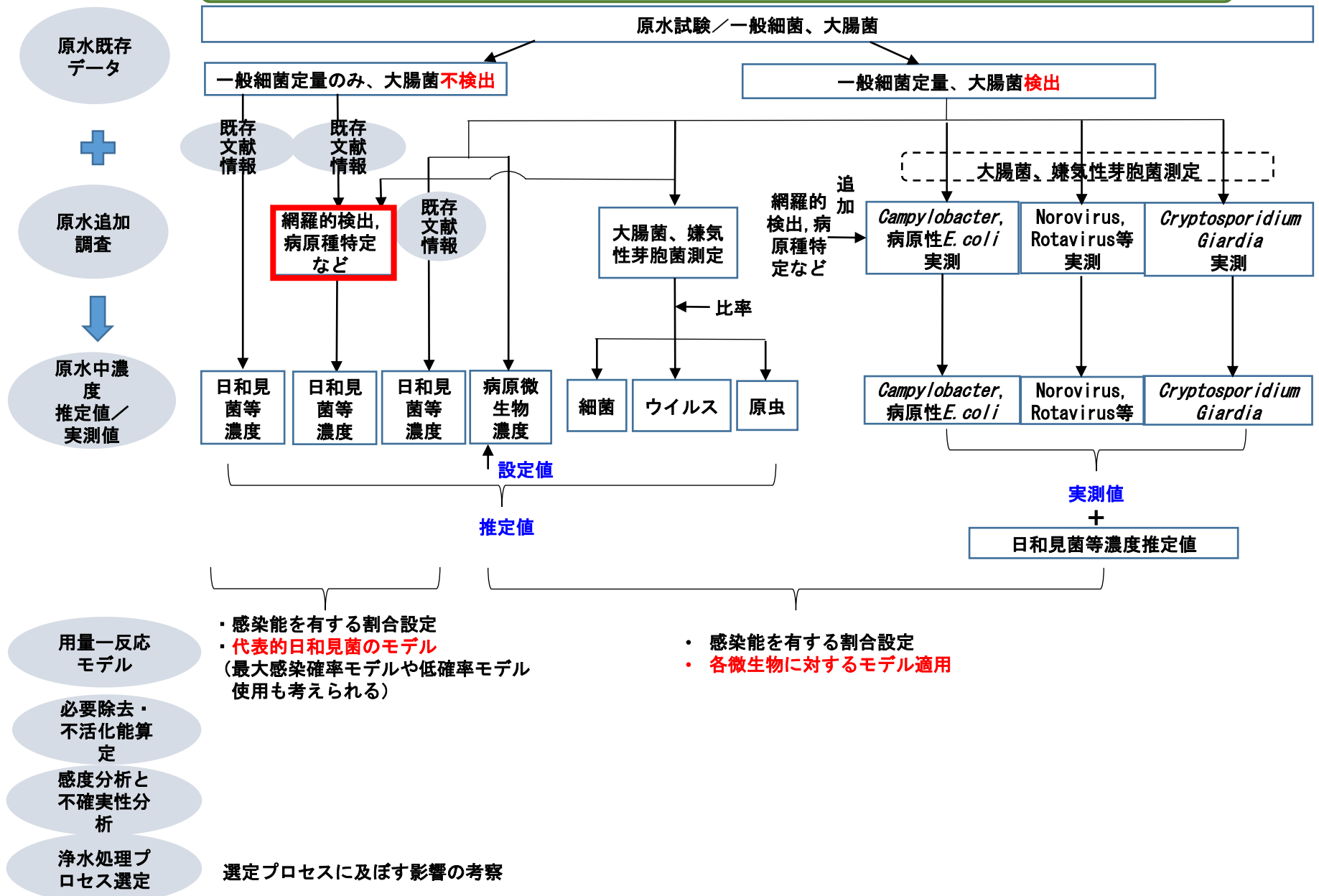
- ・大腸菌測定値に対して比率を乗じ各種病原微生物濃度を設定(表中カッコ内の数値, cells/mL)。感染確率 10^{-4} /人/年以下を満たすのに必要な除去・不活化log数を算定。
- ・WHO定量的微生物リスク評価ガイドブック(p.188)に記載されている大腸菌／*E. coli* O157:H7、大腸菌／ロタウイルス、大腸菌／クリプトスポリジウム、大腸菌／カンピロバクターの比率はそれぞれ**1:0.08**、**1:5.00E-06**、**1: 1.00E-06**、**1:0.66**。
- ・用量－反応モデル:*E. coli* O157:H7は $\gamma=0.0093$ (WHO定量的微生物リスク評価ガイドブック,p.223)、ロタウイルスは $\gamma=0.59$ (WHO,2017)を使用。

不確実性分析の例(トロッコ保津峡駅北側施設対象)

項	目	必要除去・不活化 log数
<u>ベースケース</u> 一般細菌数: 41.3CFU/mL; 一般細菌／全細菌の割合=0.075%; 病原性細菌／全細菌の割合=3%; 病原性生菌／病原性細菌の割合=50.6%; 日和見菌等／病原性生菌の割合=100%; 感染能を有する割合=100%; 非加熱飲料水消費量=327 mL; <i>Staphylococcus aureus</i> 用量-反応モデル適用 $\gamma = 7.64E-08$		4.8
一般細菌／全細菌の割合	0.001%	6.7
	10%	2.7
病原性細菌／全細菌の割合	0.01%	2.3
	10%	5.3
病原性生菌／病原性細菌の割合	10%	4.1
	80%	5.0
日和見菌等／病原性生菌の割合	0.1%	1.8
感染能を有する割合	10%	3.8
非加熱飲料水消費量	1 L	5.3
用量-反応モデル	<i>Legionella</i> : $\gamma = 5.99E-02$	10.7

* 赤字: 必要除去・不活化 log数の差が1を超える項目

微生物的安全確保に向けたアプローチ方法



多様な水道システムの構築へ向けて

格差拡大の傾向

大・中・小規模上水道、簡易水道、飲料水供給施設・・・

→ 多様な水道システム、水道社会形成の必要性

基盤強化、それ以前の持続可能性を高めるため・・・

多くの創意工夫、アイデア、提案

- ・ **支える技術の創出**（高知県などに好例あり）
- ・ **社会実装を妨げない制度、しくみ、運用**

例

- ・ 上水道、簡易水道、飲料水供給施設以下を区分する5000人、100人は変更しなくてよい？
- ・ 運搬給水は水道事業ではないとは、水道事業体に苦勞を強いるだけ。水道事業の中で扱えるように。
- ・ 使用場所設置型浄水装置(Point of Use; POU),建物入口設置型浄水装置(Point of Entry; POE)までを水道システムと考えようとの提案あり。