

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）

「科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム」

研究開発プロジェクト

「イノベーション政策に資する公共財としての

水資源保全とエネルギー利用に関する研究」

## 研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成 24 年 10 月～平成 27 年 9 月

研究代表者 天野 良彦  
(信州大学 工学部 教授)

## 目次

1. 研究開発目標 .....	3
2. 研究開発の実施内容.....	4
2-1. 実施項目 .....	4
2-2. 実施内容 .....	7
3. 研究開発成果 .....	33
3-1. 成果の概要 .....	33
3-2. 各成果の詳細.....	34
3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等 .....	36
3-4. 成果の発展の可能性.....	37
4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動.....	38
4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等 .....	38
4-2. アウトリーチ活動.....	39
4-3. 新聞報道・投稿、受賞等.....	40
5. 論文、特許等 .....	41
5-1. 論文発表 .....	41
5-2. 学会発表 .....	42
5-3. 特許出願 .....	43
6. 研究開発実施体制 .....	44
6-1. 体制 .....	44
6-2. 研究開発実施者 .....	エラー! ブックマークが定義されていません。
6-3. 研究開発の協力者・関与者.....	エラー! ブックマークが定義されていません。

## 1. 研究開発目標

自然エネルギーを持続可能なエネルギーとして、自然に負荷をかけずに活用することは、人類の喫緊の課題である。そのためには、利用可能な資源の新技术による発掘、活用技術の開発が必要であるとともに、自然資源の保護と活用を両立可能にする社会的・法的制度の設計と、活用方法についての社会的合意形成の手法を構築することも不可欠の条件である。本プロジェクトにおいては、水資源を対象として、長野県をフィールドとして、小水力発電および地下水利用ヒートポンプの可能性と実装化について、以下のように研究目標をたてて研究を実施する。

- 1)地域の水資源のトータルな保全と持続可能な利活用を可能にするための条件と課題を研究対象とするフィールドに即して明らかにする。
- 2)水利用の考え方と基本ルールについて、地域内における社会的合意を形成する。
- 3)小水力発電の導入に当たって、社会面での課題や障害がどこにあるかを実地調査によって明らかにする。
- 4)地下水利用技術を新規に導入する際に、どのような社会的ルールが必要かを明らかにする。  
また、河川系を基本にした広域的な地域を単一の水コミュニティとして捉え、自治体間の利害のずれを超えて、広域に共通の目標とルールを導入することを検討する。
- 5)自然エネルギーを地域の公共スペースの維持電源として位置づけると共に、緊急時の電源として機能するための条件を明らかにし、防災計画における導入モデルを作り上げる。
- 6)トータルな水資源の保全と生態系に負荷を与えない水資源の利活用を進めるために、一般的に必要な「水利マネジメント」の条件を明らかにするとともに、政策提言と計画実装を行う。

本プロジェクトが当面の目標とするのは、中山間地域を多く抱えた地域における水資源の保全活用についての社会的モデルの構築と水資源利用技術の実装化である。しかしながら、本プロジェクトの成果を基礎にして、日本における水資源の保全＝活用へと一般化を試みると共に、水以外の自然資源の保全とエネルギー活用についての提言も試みたいと思う。

## 2. 研究開発の実施内容

### 2-1. 実施項目

#### 実施項目 1：地表水の水資源の利活用に関する「自然科学的」調査

##### 1) 小水力発電の設置場所に関する調査（水車の導入地点の選定）

研究フィールドにしている栄村において、目標としている 500W の発電を達成するために十分な流量と落差が確保できる設置場所を調査した。また、周囲に発電した電力を供給し利用できそうな公共施設が存在する地点を調査した。これらの結果から小水力発電所の導入地点を選定した。

##### 2) 水車発電システムの設置と出力の調査

水車設置場所における水路において流量と水位を調査した。発電目標を達成するために設定した流量と落差に適した水車を選定した。出力特性の調査を行い、発電した電力が栄村の管理する公衆トイレや街路灯の照明、非常時の蓄電池に十分に供給されるか調査した。

##### 3) 設置後の課題の調査と解決（除塵・騒音）

水車設置後の課題を調査した結果、ゴミによる取水障害問題と周囲住民から水車稼働時の騒音問題が提起された。落ち葉などのゴミと水流の分離に優れた特殊な除塵スクリーンを用いることにより除塵効果の調査を行った。また、水車を防音小屋で囲うことや防音シートを巻いた排水管の使用あるいは一部排水管を埋設することにより、騒音の低減化に関する調査を行った。

##### 4) 電力の利活用に関する調査と効用

小水力発電により街路灯や公衆トイレの照明、移動式蓄電池に供給された電力の利活用に関して、その効用に関する調査を行った。また、小赤沢地区役員会の関係者や周囲住民に対して、取水障害問題と騒音問題についての聞き取り調査を行った。

#### 実施項目 2：地下水の水資源の利活用に関する「自然科学的」調査

##### 1) 地下水の基礎調査

モデル地域である長野県松本平安曇野地域の地下水流動機構を明らかにするため、まず地下水の流動と賦存量を左右する要因となる地形、地質、気象、地下水位、湧出量、地下水質、河川流量、地下水揚水量、水田からの涵養試験などについて基礎調査を行い、ついで数値シミュレーションを実施して、地下水系における上下流市町村の関係性を把握した。

##### 2) 地下熱利用が地下環境に与える影響調査

信州大学工学部キャンパスにある 10 本の観測井戸を用いて、熱利用された地下水が水温や水質などの地下環境に与える影響を調査した。また、地下温度変化が地下水の水質、地中の微生物に与える影響については CREST 研究の代表者を招いて公開勉強会を開き、情報交換を行った。

##### 3) 地下熱資源の賦存量と利活用に関する関連調査

信大工学部キャンパスで実施された地下熱利用空調に伴う地下蓄熱状況を調べ、地下熱導入適地を評価した。さらに、松本盆地や諏訪地域の地下熱資源の賦存量を計算するとともに、委員会や NPO 法人をとうして利活用に関する検討をおこなった。また、地下水熱源ヒートポンプシステムを活用した施設園芸実証試験を実施し、その費用対効果分析や啓蒙普及活動の成果を本プロジェクトに反映させた。

### 実施項目 3：コミュニティにおける水資源保全・エネルギー利活用の促進に関する調査

#### 1) 小水力発電機導入における合意形成に関するアクション・リサーチ

長野県栄村小赤沢地区への小水力発電導入の社会的合意を得るためにアクション・リサーチを行った。具体的には、区長会において地区の役員を対象とした説明会を行い、その後、各区長が地域の住民を対象とした総会で同意を得るというプロセスを踏んでいることなどである。合意形成上のメリットがあるだけでなく、話し合いのプロセスの中で、地域での水利権に対する考え方など、さまざまな情報も収集できた点も有益である。

#### 2) 地表水のエネルギー活用における先進的な取り組みの事例調査

小水力発電機を地域のエネルギー源として導入に成功した山梨県都留市、岐阜県石徹白、岩手県照井土地改良区でヒアリング調査を行った。これらの成功例に共通することは、設置費用の獲得と、歴史的背景、住民を参画させるための仕組み作りであった。

#### 3) 地域住民による水資源管理の先進的試みの事例調査

国内において先進的な水保全施策を行っている地域(熊本県、富山県、岩手県矢巾町など)についてヒアリング調査を行った。水保全の取り組みを効果的に行うために、サイレントマジョリティを積極的に参画させる方法などについて確認した。

#### 4) 水資源保全・エネルギー活用に関する市民・行政意識調査

(A) 先進的な水保全条例を制定している安曇野市民、(B) 長野県在住の 20 歳～69 歳の長野県民、(C) 長野県在住の有権者を対象に、水資源に対する意識調査を行った。その結果、半数以上のものが条例の存在や水資源現象の事実について認識していないこと、また、これらの知識の有無が保全基金への寄付金額の高低に影響を与えていることなどが明らかになった。

### 実施項目 4：水資源の利活用に関する社会制度・法制度に関する調査

#### 1) 小水力発電技術導入に伴う法的な課題の検証

実施項目 3-1) のアクション・リサーチに伴い、小水力発電導入に伴う法的課題についての検証を行った結果、水利権以外森林法や農地法との調整が必要となることが明らかとなった。河川法に基づく既存の許可水利権を用いた小水力発電技術の導入は相当程度簡易化されたが、既存の慣行水利権活用のための枠組みや、森林法、農地法上の枠組みは、必ずしも小水力発電技術導入に対応したものとはなっておらず、また、関連する規律が複数の法律に散らばって存在していることも技術導入においては、支障となる可能性があることを確認した。

#### 2) 長野県内における水保全に関する条例の調査

長野県内における環境保全、および水資源管理に関する条例について、規制レベルの分析を行った。条例における規制の強度の濃淡が地下水の水域と一致しておらず、地下水保全の観点からは不十分な事態になっていることが明らかとなった。

#### 3) 長野県内の自治体の水資源管理の取り組み実態調査

長野県下 77 自治体の水関連業務を担う部署の担当者へ、水資源の問題に対する取り組みの実態、および、関連部署間や近接する地域との連携の実態について調査を行った。その結果、自治体内部や国・県との連携体制に比べて、周辺自治体との連携が取られていないこと、行政と市民の協働関係も十分に確立されていないことなどが明らかになった。

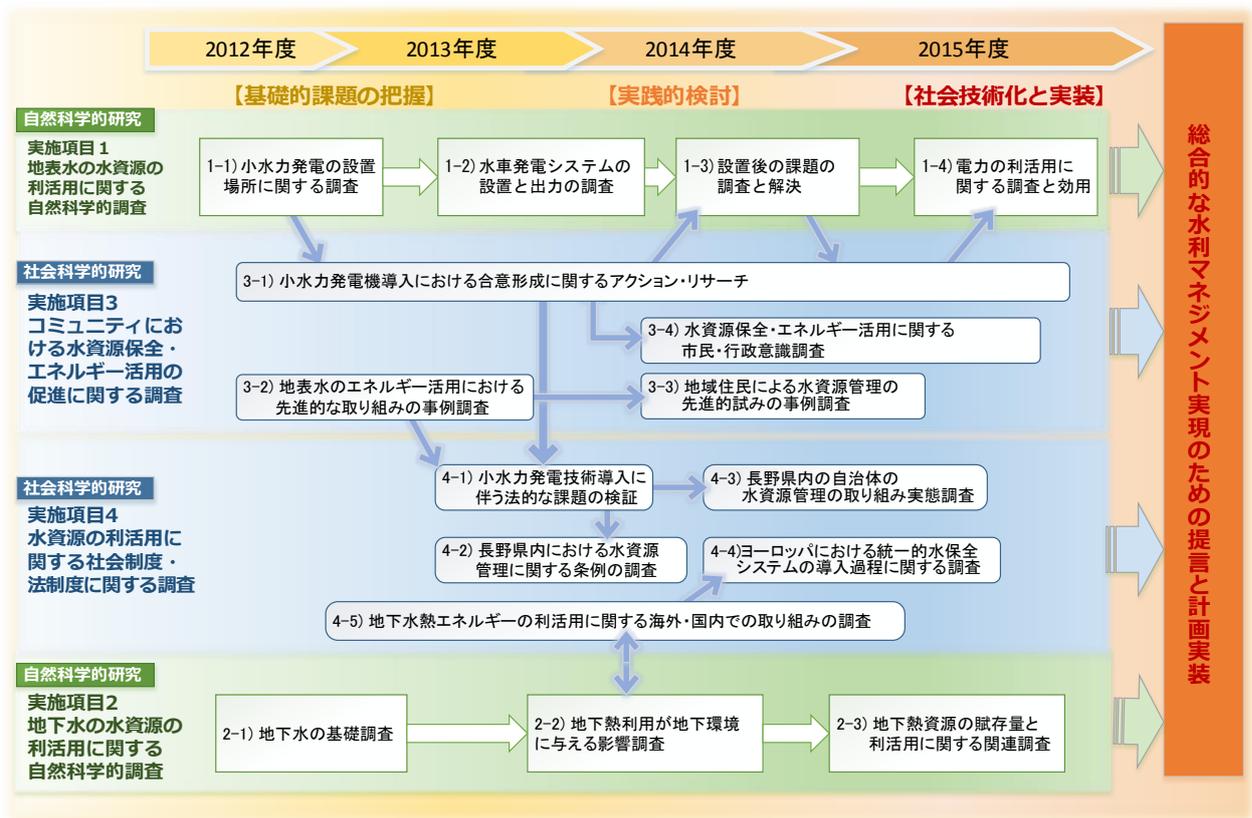
#### 4) ヨーロッパにおける統一的水保全システムの導入過程に関する調査

水資源の保全のためには、自治体の境界を超えて、広域的に水管理を進める必要がある。EU では加盟国内で広域的かつ統一的水保全システムを推進しなければならないという課題を抱えており、EU の水管理法制に関する文献調査を行った。

#### 5) 地下水の熱エネルギー利用についての海外・国内での取り組み

地下水の熱エネルギー利用についてはスウェーデンの国際空港やドイツの国会議事堂などの大規模事例から中小規模事例まで、諸外国では幅広く地下熱ヒートポンプシステムが普及

しており、2010年時点で米国では100万件、中国で40万件の施工事例が報告されている。しかし、日本では普及が進まず、1000件弱に止まっている。日本で普及率が低迷している主要因には、①ランニングコストよりイニシャルコストを重視する社会性、②未成熟な業界(要素技術には長けていても、総合力が必要な事業に参入しにくい企業の体質)、③教育体制の不備による専門家養成の欠如、④本技術に対する低い社会的認知度、⑤需要から供給に至るネットワークの欠落、などがあげられる。



研究課題の連携図

## 2-2. 実施内容

### 2-2-1. 地表水の水資源の利活用に関する「自然科学的」調査

#### 1) 小水力発電の設置場所に関する調査（水車の導入地点の選定）

研究フィールドに設定している栄村において、机上調査として、水量、電力利用施設の有無、発電所の有無を調査した。さらに、現地踏査を行い、集落が近く、非常時の電源、平時のコミュニティの電源(集会所)として活用できる場所を絞り込んだ。その結果として、青倉地区、大巻(月岡)地区、秋山地区の3つの集落を候補地とした。調査内容としては、流量や落差の確認のほか、水源の確認や水の管理方法等について地域住民にヒアリングを行った。

結果として、発電水車の導入地点として小赤沢地区を選定した。選定の理由は次のとおり。

- ① 発電に利用するための十分な流量と落差が確保できる。
- ② 周囲に発電した電力を供給し、利用できそうな公共施設が複数存在する。
- ③ 地区に協力を要請し、合意を得るための窓口が明確である。

本水路は、本来的には消雪用水として利用されており、豪雪地域として知られる同地域では、冬季になると上流で雪が用水路に投げ込まれる。これにより流水の量が著しく減少し、発電に支障をきたすことが予想される。また、凍結や雪崩等により水車に不具合を生じるリスクも予想される。しかしながら、本箇所を導入できると、冬季に豪雪により集落が孤立した場合でも、非常用電源が確保できるようになるため、防災計画に貢献できるようになり、その意義は大きいと判断した。また、今回水車の導入場所として選定した小赤沢地区には、公衆トイレ(苗場の清管)、小赤沢公民館、栄村高齢者いきがいセンター、栄村役場秋山支所(秋山郷総合センター とねんぼ)などの施設があり、これらの施設への電力利用が見込める。小赤沢地区水路の現地踏査の様子を図1に示す。



図1 左：対岸からみた水路、中：現地調査の様子、右：水源の確認

#### 2) 水車発電システムの設置と出力の調査

##### a. 水車設置場所の流量・水位観測

設置場所は、小赤沢川左岸に流入する消雪溝排水地点であり、消雪目的で使用された後の水を発電に利用する。本個所に水車を設置するにあたり、栄村小赤沢地点において、設置箇所沿いの水路1カ所にて水位計を設置し、継続的に水位・流量観測を行った。その結果を図2に示す。目標とする発電量は500W程度である。流量を $0.03\sim 0.05\text{m}^3/\text{s}$ 、落差を10mとすると、3~5kW程度になる。水車効率や管路摩擦などの諸損失を考慮しても500W程度の発電は可能になる。図2から、十分な発電量が見込める流量が確保できることがわかる。

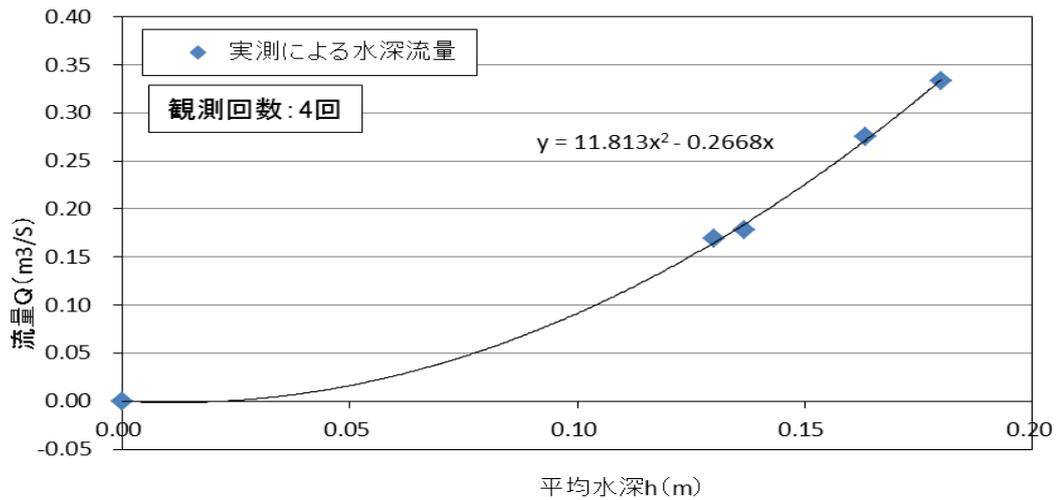


図2 小赤沢水路の水位(H)－流量(Q)曲線

b. 水車の設計・導入、電力の使用

設定した流量と落差に適した水車として、クロスフロー水車を選定した。小赤沢地区に設置した小水力発電システムの概要図を図3に示す。地区の湧水が小赤沢に流れ落ちる急峻な傾斜地を利用して発電している。落差は約11mである。河川より取水した水が1m×1m×2mの水槽に貯えられ、水槽下部の送水管(直径150mm)からクロスフロー水車発電機に導かれる。水車は傾斜地に作られた架台上に設置されている(図4)。ランナ直径250mm、幅100mm、ブレード枚数20枚である。40極の永久磁石式同期発電機を用いている。パワーコンディショナでAC100Vに変換された電力は栄村が管理する公衆トイレ(苗場の清管)と街路灯に供給される。トイレに供給された電力は照明と便座の暖房に使用される。また、非常用電源として最大1kWhの移動式蓄電池(公衆トイレ内に常備、冬期間は小赤沢公民館に常備予定)に貯えられる。街路灯とトイレの写真をそれぞれ図5と図6に示す。小赤沢地区は豪雪地帯であり、冬期には雪により水路や水槽が埋没する。そのため、後述の除塵スクリーンの清掃には防雪屋根が必要である(図7)。

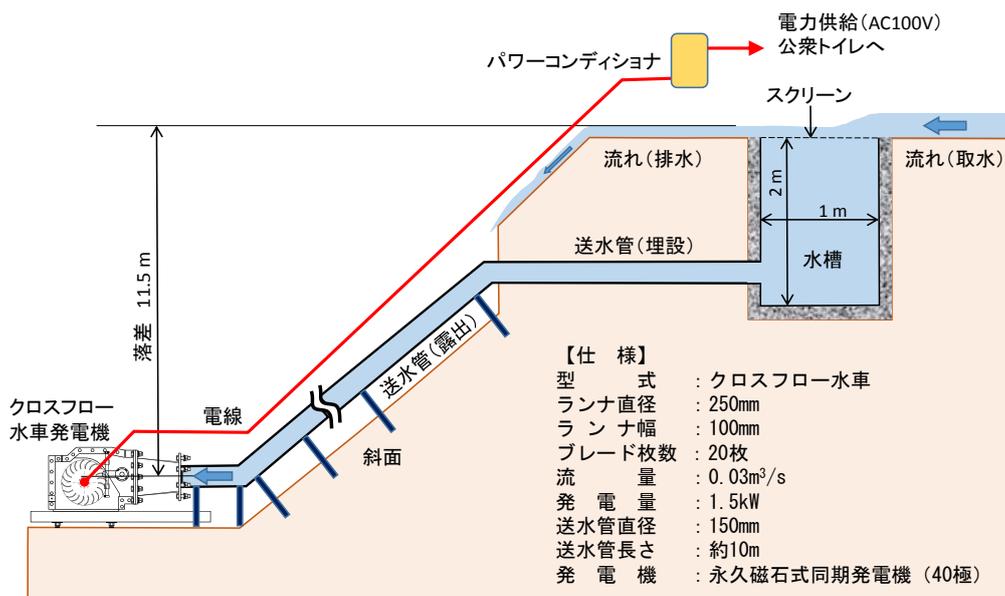


図3 小水力発電システムの概要



図4 クロスフロー水車



図5 街路灯



図6 公衆トイレ



図7 防雪屋根

### c. 水車の出力特性

負荷抵抗器を用いて求めた水車の出力特性を図8に示す。除塵用のスクリーン小を図3の水槽下部の送水管入口に、スクリーン大を河川から取水口に流れに垂直に設置してある(図9)。スクリーンなしの場合、最大で1.9kWの出力が得られるのに対して、スクリーンを設置するとスクリーンによる流動抵抗が増加するため約1.5kW程度の出力になる。なお、本出力特性は発電機からの特性を示したもので、パワーコンディショナでAC100Vに変換された出力ではない。パワーコンディショナの効率を60%に見積もると使用可能な最大電力は約900W程度である。流量の変動や最大電力付近での電力使用は「電源が落ち」が予想されるので、600~700W程度での使用が適切である。

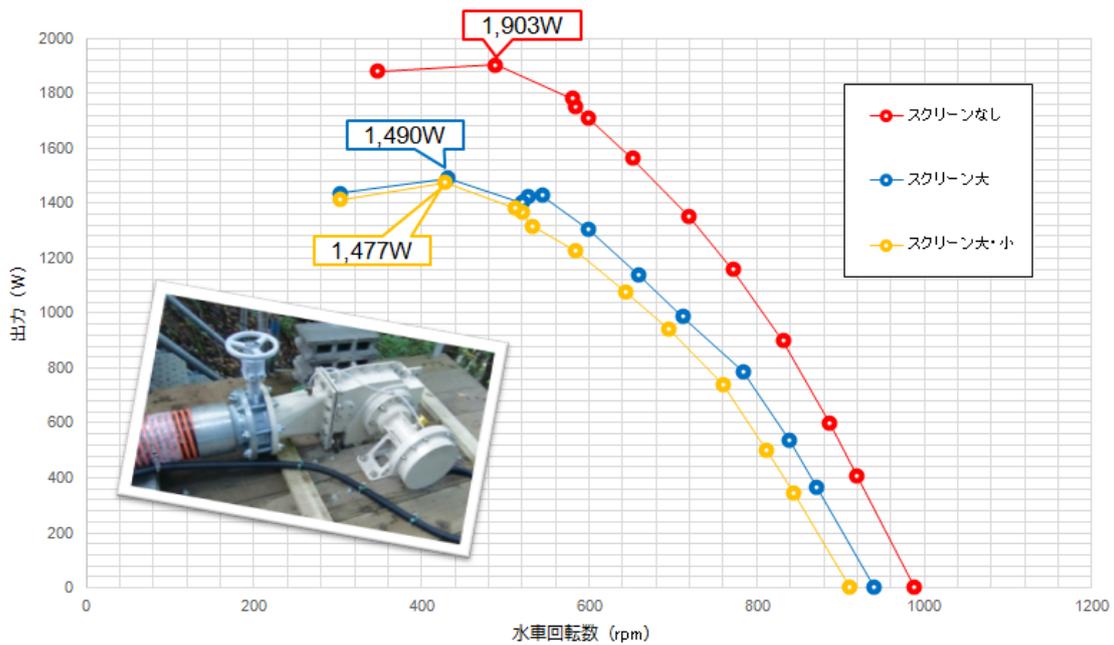


図 8 出力特性



図 9 水槽下部の送水管入口と取水口のスクリーン

### 3) 設置後の課題の調査と解決 (除塵・騒音)

二つの重要な課題が生じた。一つはゴミによる取水障害である。除塵問題が解決した後、水車が定常的に稼働し始めると騒音問題が生じた。ここでは、除塵と騒音問題の解決について述べる。

#### a. 除塵問題

秋の広葉樹の落葉時期のみならず、2m以上の積雪下においても、図9に示したスクリーンに張り付いた広葉樹や藻のため取水が不可能になり水車の稼働は停止した(図10、11)。スクリーンの除塵作業(図12)を行っても最悪の場合には30分程度で水車の稼働が停止した。そこで、水槽上部に図13に示すように、取水した流れに平行になるようスクリーンを設置した(図3参照)。排水(スクリーン上を流れる余剰水)でゴミが流れ去るような構造にしてある。除塵効果を高めるために、除塵装置の改良を行った(図14)。改良点は、流れ方向に流路を狭めることによりゴミが流れやすくしたことに加え、スクリーン裏側にスロープを設けることにより水槽への水流の流れ込みを容易にした。これらのスクリーンは日本エンジニア株式会社の

好意により設置された。落ち葉などのゴミと水流の分離に優れた特殊な除塵スクリーンを用いることで取水障害問題が大幅に改善された。夕立後などの河川流量が急激な増加すると、デッキブラシによるスクリーン上の除塵作業は必要とされるが、河川流量が安定している場合には3日程度除塵は行わなくても水車は稼働している。この新たな除塵装置の設置により、除塵に係るメンテナンスが飛躍的に改善され、発電システムの安定した運転を行うことが可能となった。



図 10 秋の除塵スクリーン



図 11 冬季の  
除塵スクリーン



図 12 冬季の除塵作業



図 13 除塵装置



図 14 除塵装置 (改良版)

#### b. 騒音問題

除塵問題が解決して水車が稼働すると、周囲住民から騒音問題が提起された。そこで、防音シートを貼った厚さ 30mm の合版で水車を囲い防音対策を行った。水車稼働時に、防音小屋のフタの有無による騒音測定を行った結果を表 1 に示す。騒音測定には精密騒音計を用いた。表 1 の①～④は図 15、16 の測定場所①～④に対応している。これらの結果、水車架台上部では約 13dB(A)程度の騒音減少の効果は見られた。しかしながら、架台下部④では減音されなかった。

そこで、水車架台下部の騒音の低減に対する対策として、排水口には塩ビ管を接続し、管には防音シートを巻き、出来る限り音の振動を吸収するようにした。また、排水管を一部埋設処理することによって、管の振動を吸収させた (図 17)。排水管を約 10 メートル延長し、沢の下流に向けて排水させた。また、管の一部は埋設したが、露出している箇所については、防音シートを巻いて騒音対策を施した (図 18)。この結果、水車架台下部の騒音問題は解決した。

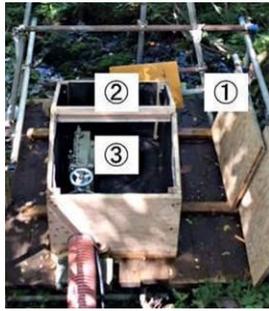


図 15 防音小屋



図 16 架台下部



図 17 対策後の架台下部

表 1 騒音測定結果

測定場所	単位：dB(A) 水車 運転なし	水車運転時	
		フタ なし	フタ あり
①	81.2	81.2	78.3
②	76.6	87.9	74.1
③	76.9	88.2	74.7
④	—	86.0	86.0

2014.7.14 測定値

水車小屋による防音効果

- ① 2.9dB減少
- ② 13.8dB減少
- ③ 13.5dB減少
- ④ 変化なし



図 18 対策後の配水管

周囲住民から提起された騒音問題について詳細に触れよう。騒音問題は水車設置位置から小赤沢を挟んで約 100m 離れた住宅から提起された。住宅地で音圧レベルを測定すると、水車稼働の有無にかかわらず、約 60dB(A)であつた。しかし、水車稼働時には、機械音を可聴した。この機械音が住民から提起された騒音であつた。そこで、機械音を特定するために、スペクトル解析を行った。その結果を図 19 に示す。水車の負荷（発電量 0、100、340、500W）を変化させて、水車回転数とスペクトルを求めた。スペクトル分布からわかるように、それぞれの負荷において、一秒間あたりの水車回転数とブレード枚数の積の値に対応して機械音の卓越周波数が現れている。地域住民は小赤沢の流れに起因した音は古くから慣れ親しんでいると思われる。しかしながら同じ音圧レベルにもかかわらず、水車稼働に起因した機械音を可聴するこ

とにより不快感を感じている。今後、水車の設置にあたっては、周囲住民が日頃から接している音響環境に関する理解を深めるとともに水車稼働に起因する騒音の性質を把握することが重要であろう。

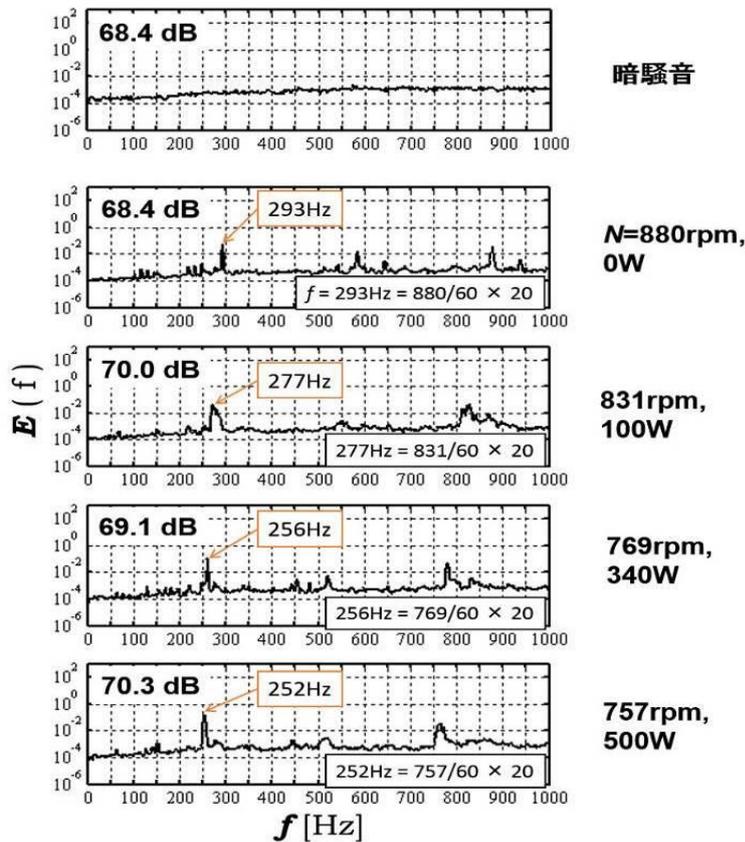


図 19 スペクトル解析結果

#### 4) 電力の利活用に関する調査と効用

##### a. 除塵と騒音問題

ゴミと水流の分離に優れた特殊なスクリーンを用いることにより除塵に係るメンテナンスが飛躍的に改善され、発電システムの安定した運転が可能になった。また、小赤沢地区役員会の関係者や騒音問題を提起した周囲住民と騒音に関する聞き取り調査した結果、十分に改善されているとの回答を得た。今回の騒音問題の提起では、同じ音圧レベルの環境下において、水車稼働に起因した機械音を可聴することにより不快感を感じている。今後、水車の設置にあたっては、周囲住民が日頃から接している音響環境に関する理解を深めるとともに水車の稼働に起因する騒音の性質を把握することが重要であろう。

##### b. 街路灯

街路灯は地元の秋山小学校児童（平成 26 年度は 4 名、平成 27 年度は 3 名）の希望により実現した。設置場所は三叉路であり、小赤沢地区の住民もかねてから要望していた。小赤沢地区での水車説明会において街路灯を提案した。地区では直ちに電柱を設置した。この電柱に配線して、水車発電した電力を供給している。地区の要望と合致しており、設置後は明るくなり大変喜ばれている。このように、地域にとけ込み、地域に根ざした電力の利活用が小水力発電技術の向上や普及に貢献することはむろん、地域の活性化につながる。

c. 公衆トイレ

当初、公衆トイレの便座の暖房（3機、計 165W）と照明（8個、計 320W）に電力を供給していた。後に、照明 8個を LED 照明（計 62.8W）に交換した。これにより公衆トイレでの電力使用が大幅に低減した。省エネに関する環境教育効果はむろん、さらに有効な電力使用を目指すことにより地域の活性化に貢献することが可能になった。

d. 移動式蓄電池

容量 1kWh の移動式蓄電池が公衆トイレ内に常備されている。冬期間はトイレが閉鎖されるため、小赤沢公民館に常備する予定である。災害による停電時の照明や携帯電話の充電などに使用可能である。豪雪により集落が孤立した場合でも非常用電源として利用できる。

e. 経済性と普及、技術向上

流量と落差の積で水流の持つエネルギーは決まるが、小水力発電に適した河川を特定することは容易ではない。当初の目標の 500W 程度の発電を目指して、地区の湧水が小赤沢に流れ落ちる急峻な傾斜地に水車を設置した。水車の架台や階段などの土木工事に費用がかかった。小水力発電の普及には水車や建設コストをいかに安くするかが課題である。一般的に言えることであるが、発電規模が小さいほど経済性は良くない。建設単価を抑制することはむろんだが、一方、流量と落差のいろいろな組合せに対して、適応する水車、発電機、パワーコンディショナのそれぞれの性能を高め、三者の最適な組合せに関する技術向上が望まれる。

## 2-2-2.地下水の水資源の利活用に関する「自然科学的」調査

### 1) 地下水の基礎調査

地下水の保全や利用で共有する地下水盆が複数の自治体にまたがっている安曇野市において、地形、地質、気象、地下水位、湧出量、地下水質、河川流量、地下水揚水量、水田からの涵養試験などについて調査を行った。地下水を水源とする水道施設（図20参照）は、安曇野市（図中赤枠）に34施設あり、全体の半分以上を占めている。次いで、池田町・松本市が6施設、松川村が4施設、大町市・塩尻市が1施設となっていた。

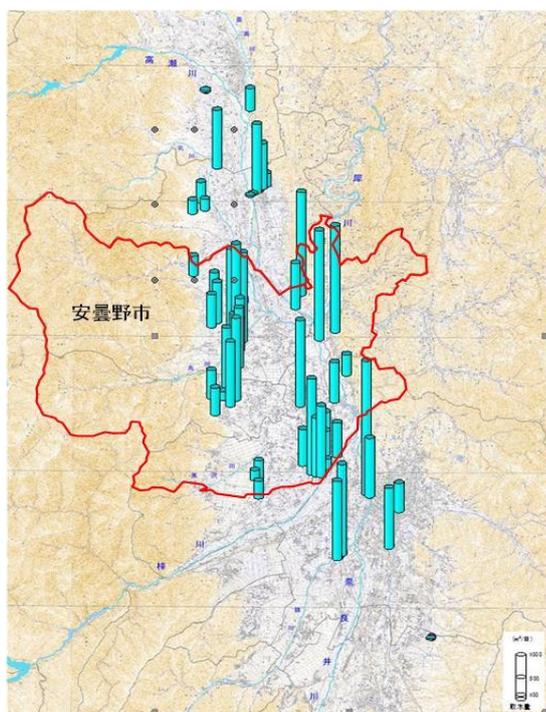


図 20 松本平の水道施設における日平均取水量

図 21 は、数値シミュレーションにより求めた松本盆地における地下水と河川水の流動経路を重ね合わせたもので、地下水及び地表水は、いずれも市町村界を超えて盆地でもっとも標高の低い犀川・烏川・高瀬川の 3 川の合流部に向かって流下することがわかる。

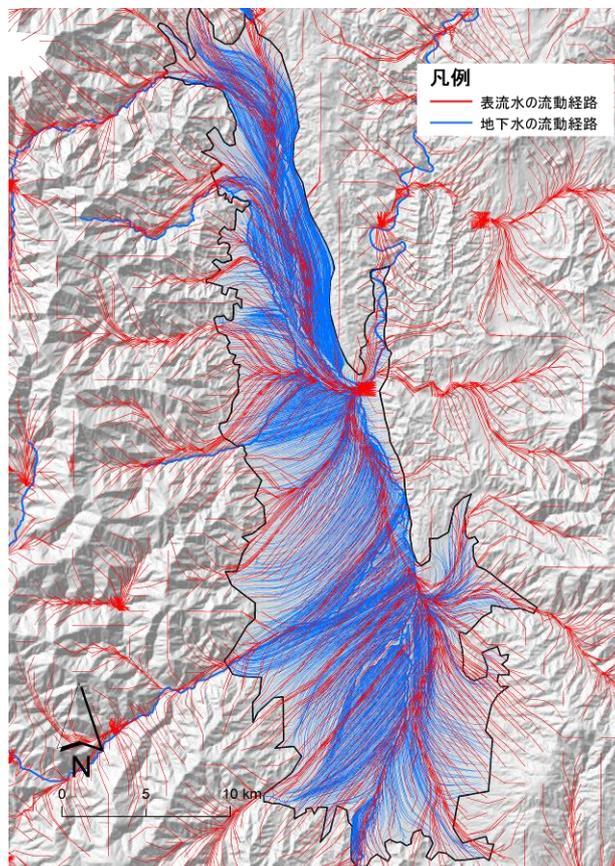


図 21 松本平における漂流水及び地下水の流動経路

## 2) 地下熱利用が地下環境に与える影響調査

- a. 浅い地盤中に存在する定温の熱エネルギーを利用する技術である「地下熱利用」は、一般的に「地中熱利用」と呼称されることが多い。しかしながら、地下水の熱をそのまま利用するものや、地中で土壌や間隙水等と熱交換するものなど、その熱源としての利用形態はさまざまである。ちなみに、地中で熱交換するタイプ（クローズド型）を「地中熱」利用、地下水を揚水し地上で熱交換するタイプ（オープン型）を「地下熱」利用と定義することとする。ここでは、まず平成 24 年度および平成 25 年度に NEDO の実証事業として実施された信州大学工学部キャンパス内の実証試験データより、帯水層中の温度変化状況を整理する。
- b. 地下熱利用時の帯水層蓄熱状況

新規に開発された地下水制御型 HP システムでは、信州大学工学部講義棟の近傍に設置した複数の井戸を熱源または地下水流動制御用に用いている。図 22 に地下水制御型 ATES システムのための調査孔、観測孔の位置図を示す。なお、これらの井戸システムを利用して、2 シーズンの実証試験が実施されている。

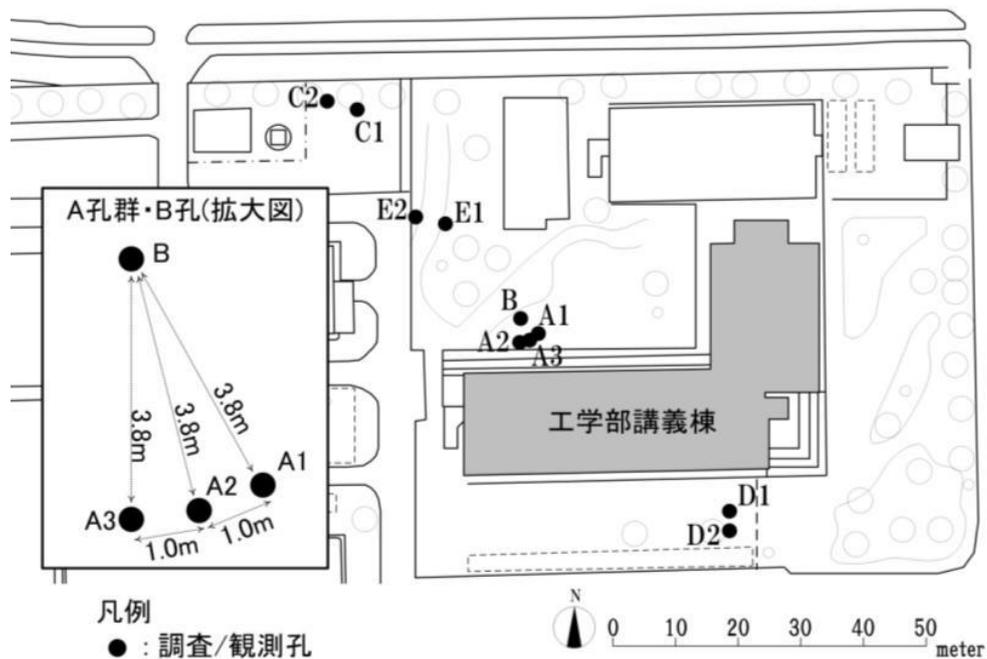


図 22 地下水制御型 HP システムのための調査孔、観測孔の位置図

平成24年度および平成25年度業務において、信州大学工学部キャンパスにおいて実施した地下熱利用実証試験データを取りまとめ、帯水層蓄熱状況を時系列で整理したものが図23である。この図から、以下の結果が確認できる。

- ・シーズン1の夏季実証運転期間中にC2孔より注入した温水が貯留されている。
- ・シーズン2の夏季実証運転期間中にC1孔より注入した温水が貯留されている。
- ・シーズン2の冬季実証運転期間中にC2孔より注入した冷水が貯留されている。
- ・E2孔では、シーズン1およびシーズン2にC1孔より第一帯水層に貯留した冷水および温水が確認できた。

以上の調査結果より、帯水層に貯留した温水および冷水は、少なくとも1年程度は残存することが明らかとなった。

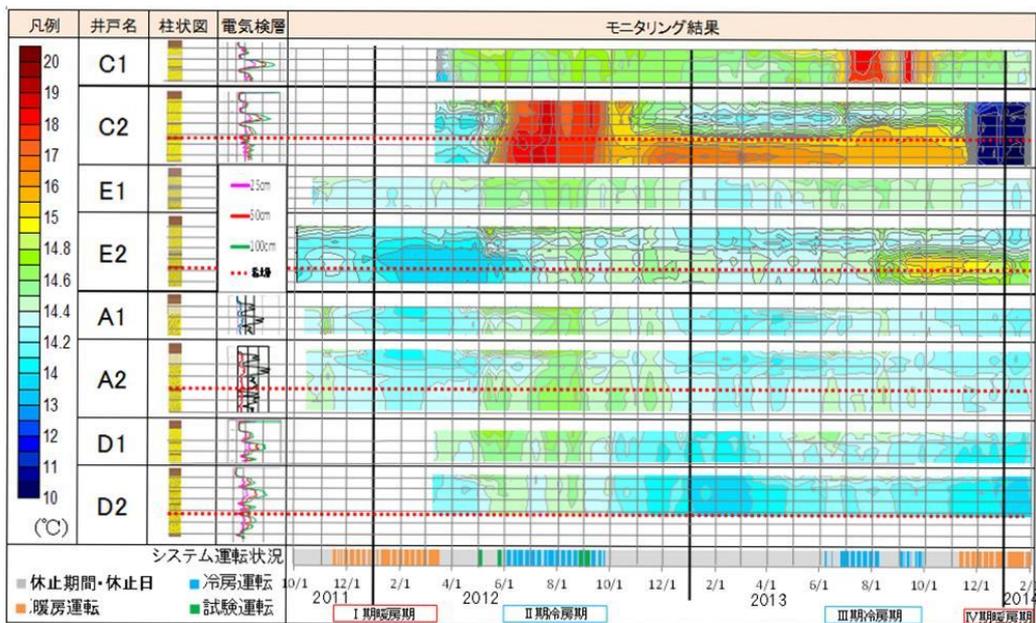


図23 信州大学工学部キャンパスでの地下熱利用に伴う地中の温度変化

c. 地下熱利用時における地下環境変化について

地下水の水質では、地下水中に溶存する鉄やマンガンが高いほど地下熱利用システムに支障が発生する可能性があるほか、使用地下水の還元時に地盤および還元井の目詰まりが生じやすいという問題が存在する。ちなみに、還元井の目詰まりの原因には、①還元水中の懸濁物質、②還元井や帯水層での微生物の増殖、③帯水層内の化学反応、④還元井の酸化・腐食、⑤還元井中に混入する空気、⑥土粒子の配列変化などがあり、これらを踏まえた地下水水質の評価が必要となる。

一方、利用地下水の還元時に、地下環境が変化する可能性に懸念が示されることが多いため、信州大学工学部キャンパスで実施した地下熱利用実証試験にともない水質がどのように変化したかを、調査した。その結果、地下熱利用の前後で有意な水質の変化は認められなかった。一方、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業のもとで実施されている「地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発」の研究リーダーである埼玉大学の小松教授と公開勉強会を開催し、地中熱利用が地下水を含む地下環境に与える影響を、物質動態、地盤変位、微生物生態系、地質・地下水質の観点から検討したが、脅威となる環境影響については確認されていない。

3) 地下熱資源の賦存量と利活用に関する関連調査

a. 地中熱利用ポテンシャルマップの作成

松本盆地における地中熱導入適地（クローズド型）について考察し、次の手順で地中熱ポテンシャル（熱交換量）を求める。

【STEP1】対象地域のスクリーニング

地中熱利用のためには、その場所に熱需要が存在することが大前提となる。そこで、検討対象範囲を、平成25年度の検討成果を踏まえて、広域地下水流動シミュレーションの検討範囲とする。

【STEP2】水文地質情報の収集・整理

標準地域メッシュ区分に基づき、対象となる地域を約250m四方でメッシュ分割し、GISを用いてメッシュ毎の地質情報、地下水位情報を整理する。水文地質情報のメッシュ化に用いた情報

は、平成24年度検討ならびに平成25年度検討において収集・整理したものを用いる。

【STEP3】帯水層情報およびパラメータの整理

地中熱利用システムの導入効果が高いのは、地中の熱伝導が大きく、さらに地下水流動による熱の移流効果が期待できる箇所である。そこで熱伝導現象の関連情報に加え、移流現象に関係する情報も整理対象として、地下水位、難透水基盤上面高、飽和帯・不飽和帯厚、平均熱伝導率、平均透水係数、ダルシー流速、見かけの熱伝導率等のメッシュ情報を作成する。

【STEP4】数値解析による地中熱交換量の推算

地中熱ヒートポンプの設計・性能予測ツールとしてシステムの計画・設計に広く利用されているGroundClubを用いてシミュレーションを行う。

【STEP5】地中熱ポテンシャルマップの作成

STEP4までの結果より、熱伝導および移流効果を見込んだ地中熱ポテンシャルが面情報として得られる。これにより、地中熱利用システムの導入適地を評価する。

b. 地中熱利用ポテンシャルマップとその評価

地中熱利用システム運用シミュレーションを実施して、松本盆地における地中熱導入適地を地中熱ポテンシャルマップとして整理した。各メッシュで整理した見かけの熱伝導率と体積熱容量から冷房時と暖房時でそれぞれ熱交換量を評価したものが図24（冷房時）、図25（暖房時）である。なお、シミュレーション結果は、熱交換井戸単位長さあたりの交換熱量としてワット（W）で示している。

図24と図25は、モデル地域とした長野県の冷暖房需要を反映して、暖房時の熱交換量分布（図25）は飽和帯且つ地下水流速の早い箇所ほどポテンシャルが大きいものの、冷房時の熱交換量分布（図25）は反対に、不飽和帯厚さの大きい箇所ほどポテンシャルが大きくなっている。

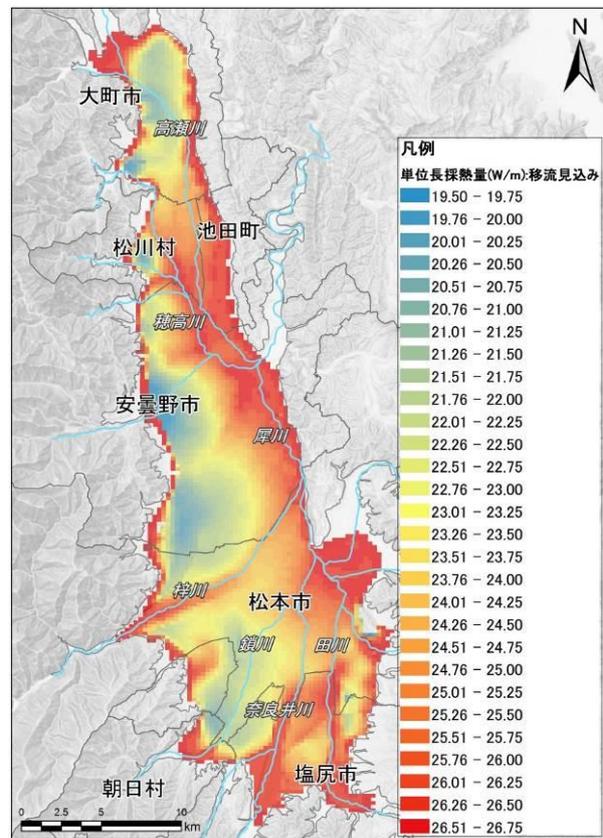
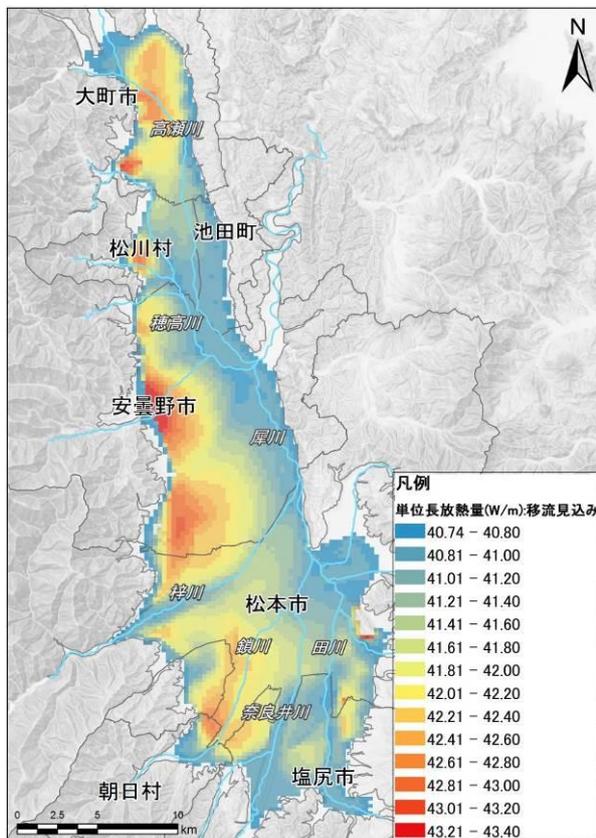


図 24 地中熱ポテンシャル：冷房期間

図 25 地中熱ポテンシャル：暖房期間

地下熱資源の賦存量は、地下水の総貯水量と採熱温度により計算ができる。松本盆地の地下水総貯水量は約180億 $m^3$ と見積もられており、このうち100億 $m^3$ の地下水が冷暖房の熱源として利用され、10℃分の熱エネルギーが採熱できたと仮定すると、その平均出力は日本に立地している最大規模の原子力発電装置約10基分に相当する。温泉地帯のように、地下水の水温が温泉熱によって温められている場合は、採熱可能温度が増えるため、非地熱地帯よりもさらに有利である。また、すでに利用に供されている温泉水自体も給湯や暖房の熱源としてさらなる有効利用することができる。諏訪盆地では日量約1万 $m^3$ の温泉水が汲み上げられているが、高温の源泉は水道水で入湯に適した温度に調整され、利用後の温泉水は採熱可能であるにもかかわらず捨てられている。そこで、温泉水から60℃分の熱利用が可能として、1年分の採熱量を計算すると917TJとなった。この時の平均出力は有効落差71m、水量54 $m^3$ の中規模水力発電所の出力に匹敵する29.1MWに相当する。

## 2-2-3. 実施項目 3：コミュニティにおける水資源保全・エネルギー利活用の促進に関する調査

### 1) 小水力発電機導入における合意形成に関するアクション・リサーチ

長野県栄村小赤沢地区への小水力発電導入にあたり、図26のようにアクション・リサーチを行った。上述の小水力発電を導入した。特徴的な点としては、社会的合意を得るために、区長会において地区の役員を対象とした説明会を行い、その後、各区長が地域の住民を対象とした総会で同意を得るというプロセスを踏んでいることなどが挙げられるだろう。法的には水利権者と土地所有者の同意を得ることで、小水力発電の設置は可能であるが、コミュニティ電源としての利用を想定していることなどから、このようなプロセスを経ている。その結果として、設置後に住民間で大きなトラブルが発生することもなく、受け入れられたといえる。また、合意形成上のメリットがあるだけでなく、話し合いのプロセスの中で、地域での水利権に対する考え方など、さまざまな情報も収集できた点もこういったプロセスを経ることのメリットである。

また、社会実装という点においては、水利権の問題だけでなく、発電機の置かれる場所の違いによって関連する法律や許認可の手続き省庁が異なることなども明確になった。国土交通省が管轄する河川法では、2013年12月に小水力発電への水利権の利用について、許可制から登録制へと簡素化された。しかし、実際に小水力発電を設置する場合には、場所によって農林水産省や林野庁などが所管する法令にも抵触する可能性が指摘された。2-2-4(1)において詳述する。

発電機の設置後には、周囲の住民から騒音問題が提起されたこともあった。そのため、この問題が解決するまで、小水力発電システムの運転を停止した。騒音規制法は、規定の特定施設から出る騒音を規制する法律であり、本小水力発電システムは、騒音規制法は適用外である。しかし、問題は音量だけではなく、これまでは聞こえていなかった音域の音が聞こえ、騒音として認識されたようである。地域住民から提起された問題を抱えたままプロジェクトを進めることはできないため、対策を施し、問題の解決を図った。社会実装には法律の整備だけではなく、住民との関係作りも重要なことを示す一例といえる。

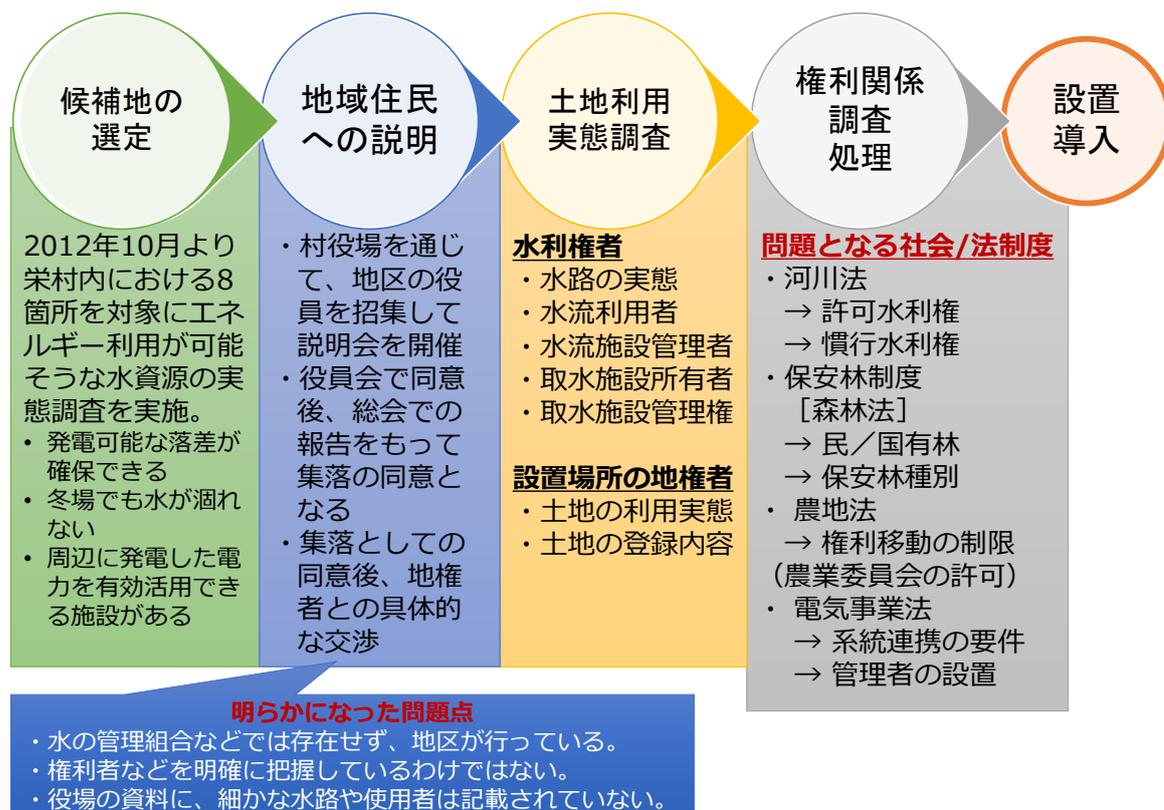


図 26 アクション・リサーチの流れ

## 2) 地表水のエネルギー活用における先進的な取り組みの事例調査

小水力発電の小赤沢地区への導入にあたり、国内における小水力発電導入の成功例の視察を行った。特に小水力発電を要として持続可能な地域形成に役立っている例は、自然エネルギー普及の鍵となるであろう。以上のことを踏まえ、以下の3事例について報告する。

### 【事例 1：石徹白地区での試み】

小水力発電を地域で運営している事例として「小水力発電を核とした持続可能な地域社会」モデルとされる岐阜県郡上市白鳥町石徹白地区を訪問し、NPO法人地域再生機構およびNPO法人やすらぎの里いとしろへのヒアリング調査を行った。地区のシンボルにもなっている上掛け水車(図27)は出力2.2kWで、平成20年度採択JST-RISTEX「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発プロジェクトによって設置されたものである。同水車が発電した電力は、すぐ側の農産加工所で利用されている。また、同じ農業用水路の上流には、出力800Wのらせん水車(図28)が導入されており、電力については道路を挟んだ建物に引き込まれ、NPO法人「やすらぎの里いとしろ」の事務局で照明等に利用されている。

集落ではエネルギー自給率100%以上を目指しており、地区では新たに68kWと103kWの小水力発電施設を建設中であった。50年あまりの間に人口が4分の1以下まで減少してしまった小さな集落が、その生き残りをかけ、合計140kWの小水力発電の建設に向けて、100世帯全戸の合意を得て組織づくりを行った。

特筆すべきは、国の資金を活用するために、農業用水の維持管理を主目的とする専門農協(石徹白農業用水農業協同組合)を新設したことである。また、獲得を目指した資金にあわせた組織づくりを行っており、そのために全戸を説得して回った合意形成のノウハウは、追従する各地域でも大いに参考になるとだろう。

また、この地区では、小水力発電の設置を契機に、住民たちがまちづくり活動へ積極的に関わるようになった。上述の農産加工所で加工された農産物を利用したカフェを主婦たちが中心に開き、それが一つの観光資源となり多くの観光客を誘致することに繋がっていた。



図 27 上掛け水車と農産加工所



図 28 農業用水を利用した螺旋水車

#### 【事例 2：都留市での試み】

「小水力発電のまち」として知られる山梨県都留市を訪問し、ヒアリング調査を実施した。都留市では「エコバラタウンつる構想」を掲げ、地域資源を守り、育て、次世代に継承するとともに、積極的に活用して、健康的で環境の持続性を大切にする市民のライフスタイルを確立する中で、環境をテーマとする地域産業の振興につなげる「エコロジカル・バランスタウン」の実現を目指している。平成16年4月、都留市制50周年を記念して、水のまち都留市のシンボルとして、市内を流れる準用河川で市が管理している家中川に、市役所を供給先とする下掛け水車方式による小水力発電所「元気くん1号」を設置した(図29)。設置にあたっては、市民参加型とするため市民債(つるのおんがえし債)を考案し、事業費の約40%にあたる1,700万円を市民から集めた。このようなプロセスを導入したことによって資金面の補填のみならず、水を公共財として管理する市民の意識を高めることができたという。これらの発電所で発電された電気は、常時は市役所の電力として利用し、夜間や休日には電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法(RPS法)によって売電されている。現在では、上掛け水車の「元気くん2号」、らせん水車の「元気くん3号」が同流域に追加設置され、3基体制で年間およそ15万kWhを発電し、約50%の電力自給率を確保している。



図 29 左から「元気くん1号、2号、3号」

発電に利用している家中川の上流は一級河川の桂川で、富士五湖の一つである山中湖を水源として岩盤上を流れ、都留市を通過する。この豊富な水と地形が作り出す高度差から、古くから水力発電の適地として複数の発電所が存在し水の文化が育まれた。大正時代からの大資本による大規模な発電所開発によって、桂川流域では大きな恩恵を受けた。昭和に入り、いくつかの発電所（夏狩・三の丸）は大手電力会社（東京電力）と合併し、その後廃止となり取り壊されたという歴史を持つ。



図 30 今も現役で残っている水道橋

今も市内には古いレンガ造りの水道橋などが残されており、橋の上を大量の水が流れている（図 30）。このような背景を持つ地域であったため、市からの新たな小水力発電事業案に対し、市民からの反対はそれほど多くなく、地域での合意形成にそれほど労力を必要としなかったという。市民の中には、地域を流れる水資源の発電利用について、歴史的・文化的価値を見出す者も多く存在した。このことが、人的ネットワークの充実化をはかることができ、技術的なサポートを得ることが出来たことも、小水力事業が成功した理由の一つである。

#### 【事例 3：岩手県照井土地改良区での試み】

土地改良区が主導して小水力発電の導入を行った、岩手県照井土地改良区を訪ね、ヒアリングを行った。照井土地改良区では、2010年に建設した50kWに加えて、2015年7月31日には13.5kWの2つ目の小水力発電施設を竣工させており、全国的に見ても事業化に積極的な水利組合といえる。歴史的には、大正8年には照井堰の落差を利用した水力発電が建設・稼働されていた事に加え、木製下掛け水車が50基以上あり、精米や製粉などを行っていた。このような歴史的経緯を顧みて、小水力発電の導入を検討した。

特徴的な点としては、小水力発電機の維持管理の方法にある。土地改良区が主導して小水力発電の導入を行ったため、維持管理は主に職員が行っている。もともと水路の管理のために見回りなども行っているため、定期的な除塵作業もそれほどの負担無く実施できる。さらに、遠隔管理システムを導入することで、発電量などの状況を職員の携帯で確認することも可能となっている。

また、土地改良区が主導して導入したことには、その他の利点もある。発電所の運転は揚水機場の運転と同じであること、水利権協議や各種申請についても、日常業務の経験を活かすことができる。

### 3)地域住民による水資源管理の先進的試みの事例調査

地表水のエネルギーの利活用に加え、行政が主導し住民の水資源保全意識を高めた事例についてヒアリング調査を行った。いわゆる水資源問題にそれほど関心が無い“サイレントマジョリティ”を巻き込んだ岩手県矢巾町の事例を紹介する。

岩手県矢巾町上下水道課へのヒアリング調査を行った。平成25年3月に厚生労働省から公表された「新水道ビジョン」では、地域住民と水道事業者の双方向のコミュニケーションの重要性が指摘されてはいるが、多くの市民はサイレントマジョリティであり、住民を参画させることは困難である。矢巾町水道課で、従来の広報が①難しいことを詳細に②関心のないことを膨大な量で③「知らせたいこと」を都合よく伝えるという「押しつけコミュニケーション」であるために住民参加が出来なかったと考え、住民参加のための新しい試みを行っている。その一つが「重層的な住民参加」である。多数層の意見に耳を傾ければ少数派の声が反映されず、少数派の意見に耳を傾ければ多数層の声が取り込めないため、階層的に意見を取り込み集約す

る仕組みを取っている。相手が見える双方向コミュニケーションとして、「水道サポーター」と「アウトリーチ」、相手が見えないコミュニケーションとして「アンケート調査」「パブリックコメント」である。例えば、「水道サポーター」制度では、有償のサポーターを対象に定期的にワークショップを行っている。そこでは、1. 自由なディスカッションによる個人の考えの発散、2. 施設の見学、3. 利き水による気付き、4. 集団でのディスカッション、5. ファシリテーション・グラフィックによる理論の体系化、リスクコミュニケーションを行っている。これらのプロセスを経ることによって、積極的な住民参加が行われている。これらを踏まえ、広報の方法も変えることで「納得解」を促している。

また、プラヌンクスツェレを実施している。プラヌンクスツェレは、無作為抽出で選ばれた市民が限られた期間、有償で仕事として行う市民棟議会である。矢巾町では 町民を対象に 500 名を無作為にはがきで公募し、先着 50 名の参加者に金銭的報酬を与え、ワークショップを行っている。これを何度か繰り返すことによって、考えを広めていくことを目論んでいる。

多くの地域で環境問題や水資源の問題に対して意識の高いアクティブマイノリティは存在している。しかし、アクティブマイノリティだけでは、環境保全に対する動きは拡がりを見せることは少ない。これまでの行政の環境問題に対する取り組みは、アクティブマイノリティに対する効果は認められるが、大多数のサイレントマジョリティに対しては、効果を持っていなかった。矢巾町で行われている取り組みは、サイレントマジョリティに対する積極的な働きかけを試みることで、町全体としての環境意識を高めており、自然エネルギーの普及に際しても今後取り入れていくべき手法と言えるだろう。

#### 4) 水資源保全・エネルギー活用に関する市民・行政意識調査

水資源保全やエネルギーの利活用にあたっては、先に指摘したとおり、そもそも住民や行政職員たちが環境問題や水資源の問題に対してどのような意識を持っているのかが重要となる。そこで、(A)先進的な水保全条例を制定している安曇野市民、(B)長野県在住の 20 歳～69 歳の長野県民、(C)長野県下 77 自治体の水関連業務に従事する行政職員を対象に、水資源に対する意識調査を行った。

##### a. 意識調査(A) 安曇野市民の水資源に対する意識

【調査の概要】安曇野市民の水資源に対する意識を明らかにするため、安曇野市民 2,000 名を対象とした市民意識調査を行った。2013 年 12 月時点の住民基本台帳をもとに、それぞれ 85 行政区の人数を基準に比例割当の層化ランダム抽出を行い、郵送で調査票を送付した。有効回収数は 1,225 票で回収率は 61.25%であった。

【調査の結果：条例に対する知識】安曇野市では、地下水の保全涵養を目的とし、2013 年 4 月に『安曇野市地下水の保全・涵養(かんよう)及び適正利用に関する条例』を施行している。この条例では、全国に先駆けて、市内における地下水の新規採取について届け出制、協議制とする取水ルールについての独自の規定が盛り込まれている。この条例について知っていたかを尋ねたところ、約 50%の住民が知らないという状況であった。特に若年層で知らない者が多かった。地下水の保全・涵養のためには、次世代を担う若い世代の協力が必要不可欠であり、これらの世代に向けた周知の工夫をしていく必要があるだろう。

【調査の結果：環境基金への寄付金額】安曇野市の地下水は、毎年約 600 万 m<sup>3</sup>ずつ地下水が減っており、20 年前に比べると 1.25 億 m<sup>3</sup>減少している(安曇野市地下水保全対策研究委員会、2012)。その事実についての知識を尋ねたところ、市民全体では 4 割近い人が知らないという結果であった。また、図 31 は、「水資源や地下水保全するために寄付金を募った場合あなたは年間どれくらいまでなら協力をしますか？」という質問に対する回答である。1,000 円未満という人が大半だが、地下水減少の知識の有無別では、知識のある人の寄付金額は、知識のない人の 2 倍近い値になっている。

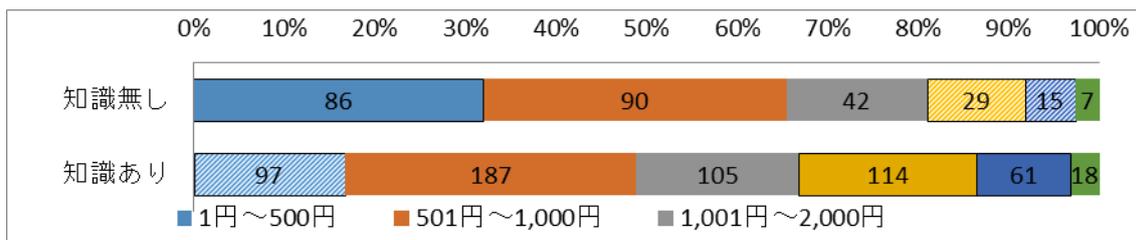


図 31 地下水減少知識の有無による保全寄付金額

【調査の結果：地下水制御空調システム導入賛同の要因】地下水制御空調システムは優れた技術ではあるが、調査の結果 60%以上の方がまったく知らないと答えていた。またこのシステムの導入の賛否に対する心理的要因を探るため、導入の賛否を従属変数に、重回帰分析を行った結果が図 32 である。「科学技術への制御不信」が最も強い影響力を持っており、これが強い人ほどシステム導入に否定的である。また、コミュニティ意識（石盛・岡本・加藤、2013）に関する意識の高さや、環境配慮行動意思を持つものほど導入に肯定的である。普及のためには、科学技術による環境影響を制御できていることを示すこと、コミュニティ活動の一環として、普及を行う事が重要である。

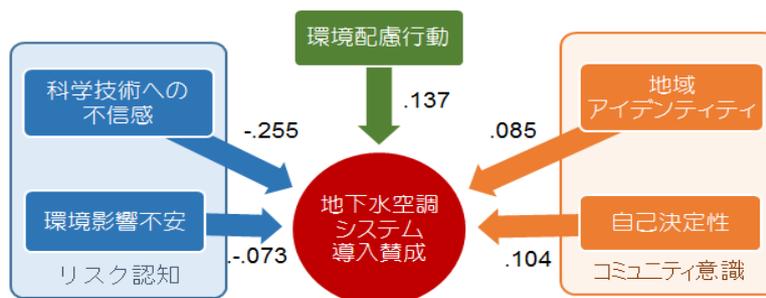


図 32 重回帰分析の結果

b. 意識調査(B)長野県在住の市民意識調査

【調査の概要】2015年9月にWeb調査会社に協力者として登録している20歳から69歳の長野県民750名を対象にWebアンケート調査を行った。平均年齢は47.70歳(SD=14.4)であった。

【調査の結果：環境問題に対する危機意識】様々な環境問題に対する深刻度の認知について「1.全く深刻ではない」から「4.非常に深刻である」の4件法で尋ねたところ、図 33 のとおり、水資源に関する問題は最も低く認知されていた。また、日本全体での問題の深刻度と近隣地域での深刻度を尋ねたところ、いずれの環境問題も、近隣地域では問題があまり起きていないと認知している。

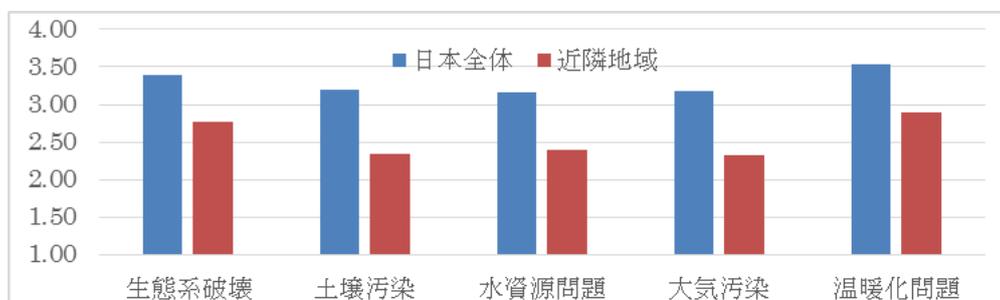


図 33 環境問題の深刻度認知

【調査の結果：水資源保全のための働きかけ】個人あるいは地域の活動として水資源を保全に取り組んでいきたいかを「1.全く行いたくない」から「5.非常に行いたい」の5件法で尋ねたところ平均3.16(個人的取り組み)、3.33(共同での取り組み)という値であった。さらに、取り組みに対する積極性を従属変数に、どのような要因が積極性を高めるのかを検討したところ表2の通りであった。いずれの取り組みに対しても、コミュニティ意識の連帯積極性が最も強い影響を与えている。つまり、近隣住民と協力しながら地域の問題を解決することが大事だと考える人ほど、水資源の問題に対して積極的に取り組もうという態度を持っている。また、環境態度「義務・責任」は環境問題の悪化は個人の行動に責任があると捉える傾向のことで、この傾向が高いほど取り組みに積極的である。さらに身近な地域の地下水が減少していると認識しているものほど積極的である。

表2 水資源保全の取り組みの積極性の重回帰分析の結果

		個人的取り組み (M=3.16)	共同での取り組み (M=3.33)
環境態度	義務・責任	.131 **	.129 **
	無責任	.021	.041
	行政管理	-.007	.083 *
	知識	-.036	-.043
コミュニティ意識	連帯積極	.319 **	.282 **
	自己決定	.075 †	-.011
	愛着	.001	.100 **
	他者依頼	-.026	-.098 *
水資源問題 深刻度認知	世界	.079	-.077 †
	日本	.062	.200 **
	長野	-.078	-.062
	地域	.124 *	.070
地下水減少認知	地下水減少(日本)	.032	-.029
	地下水減少(地域)	.149 **	.109 **
リスク認知	技術不安	.047	.070 *
	影響不安	-.004	.079 *
公正感	行政に対する公正感	.076 *	.120 **
adjR2		.309	.409

c. 意識調査(C)長野県下77自治体の水関連業務に従事する行政職員

【調査の概要】2014年1月末に県下77自治体の職員を対象に郵送調査を行った。調査対象者は水資源に関連する業務を行っている5つの部署(環境政策系部署、商工系部署、農林系部署、上下水道系部署、建築土木系部署)に所属する職員5名を対象(1,925名)とした。ただし、市町村の人口規模によっては各部署に5名の職員が在籍していない場合もあり、その場合は部署内の全員に回答を求めた。

【調査の結果：水循環基本法知識】2014年3月に「水循環基本法」が衆議院本会議で全会一致により可決され、法案が成立したが、これについての知識について尋ねたところ、業務経験別(図34)で見ると、環境保全系の者は、成立についてだけでなく、内容についても知っている者が一定数いるものの、30%以上の職員が知らない状況である。また、業務上、水に携わっているその他の部署については、過半数が成立すら知らないという状況であり、今後、水循環基本法の周知を徹底する必要があるといえるだろう。

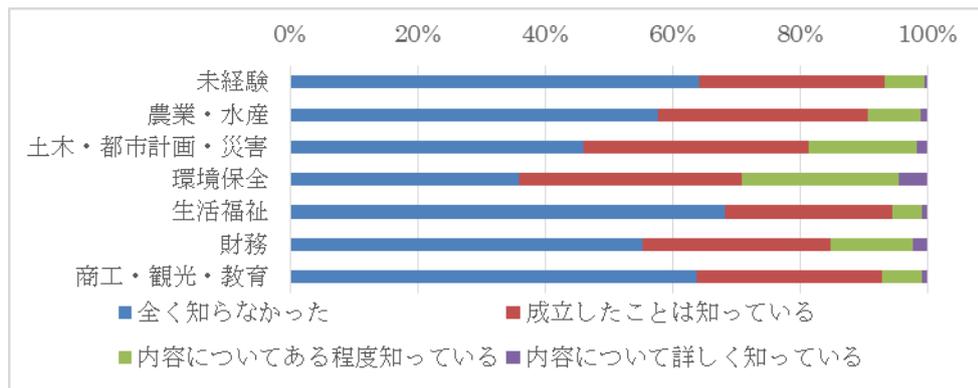


図 34 業務経験別の水循環基本法の知識

【調査の結果：水資源のマネジメント】水資源を適切に保全していくとしたら、誰がそれを担っていくのがよいと思うかについて複数回答で尋ねた。これを長野県の市民を対象とした調査と比較すると図 35 のようになる。市民が、地方自治体や広域連携による水資源マネジメントが望ましいと考えているのに対し、行政職員は地域の住民や国が先導する形でマネジメントすべきだと考えている。水循環基本法でも水域による広域連合による管理が望ましいことが謳われているが、行政職員にその意識が低いことは問題点として指摘できるだろう。さらに地域の中の水資源を考える際には、国として有効な政策を作っていくことと、地域で保全を進めていく人たちの間をつないでいく、地方自治体としての役割が重要だろうと思われる。周辺自治体との連携については、県の役割も重要になってくるとと思われる。

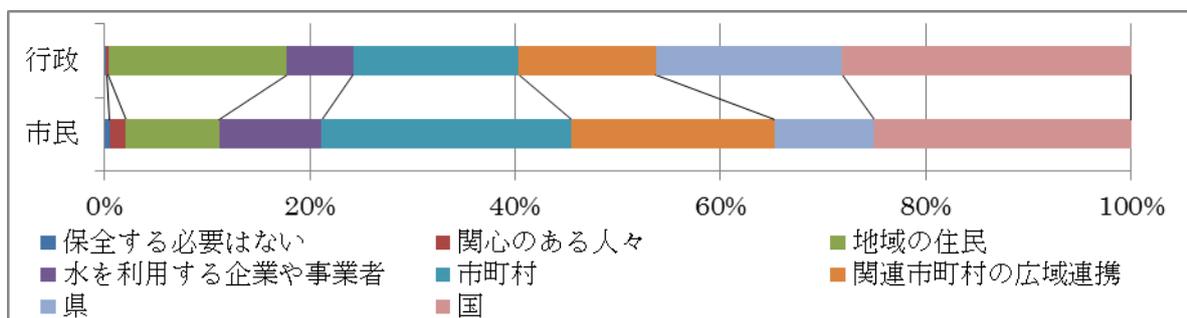


図 35 水資源のマネジメントを担うべき組織

以上の調査結果から、水資源の保全行動や自然エネルギーの利活用に対する積極性は、環境問題に対する意識や知識（身近な地域の環境の現状を知ること）に加え、コミュニティ意識の下位概念である「連帯積極性」によって高まることが確認された。いわば、水資源の保全や自然エネルギーの利活用の問題を自分のコミュニティの問題としての意識を高めることが重要だといえる。

そのためには、従来の行政が行っていた「広報をする」、「パブコメを募る」といった手法を用いるだけでは、十分とはいえないだろう。例えば、Arnstein (1969) の住民参加の段階モデルでは、住民参加として、非参加の段階である「1 操作」「2 治療」、形式的参画の段階である「3 情報提供」「4 相談」「5 宥和」、市民権力の段階である「6 パートナーシップ」「7 権限委譲」「8 市民による管理」が提示されている。広報活動やパブコメといった手法は、3、4 段階の活動であり、住民参加のレベルという点ではそれほど高いものとはいえない。社会的合意形成のためにはコミュニティ意識を高め、住民参加を促進させること（行政側からすれば、パブリック・インボルブメント）が重要である。

また、このようなコミュニティ意識の高まりは、科学技術に対する不信感に対しても影響力

を持つ。コミュニティ意識の高い人たち（例えば、各種環境 NPO や市民団体のメンバー）は地域の問題を自分達の問題として捉えるため、自分達で積極的に情報にもアクセスを行うが、そもそもコミュニティの問題に対して関心の薄い層の人達は、漠然とした科学技術に対する不安を持ちやすい上に、そこに科学者や国などがいくら技術の確からしさを訴えても、その情報へのアクセスをすることはなく、技術不信のリスク認知を低下させるのは難しい。

このように、コミュニティ意識を高めることは、コミュニティにおける様々な問題の解決のための社会的合意形成の要になっている。例えば、都留市では市民ファンドや矢巾町での有償のサポーター、プランニングスツェレによる市民参画などは、市民の側からすれば、金銭的なメリットのために参加している者が多い。自分にとっての金銭的メリットを契機とした参加ではあるが、それを機に環境に対する意識や、地域の問題を自分達の力で解決しようという意識も同時に高まっている。このようなコミュニティ意識の高まりは、地域の資源問題、環境問題を解決する上での社会的合意に結びつくといえ、今後、多くの自治体で取り入れるべき手法だといえるだろう。

## 2-2-4. 水資源のエネルギー活用のための社会的前提条件に関する調査

### 1) 小水力発電技術導入に伴う法的な課題の検証

2-2-3 において記載したアクション・リサーチを実施する中で、法的課題が明確になった。プロジェクトの計画は、小赤沢地区の生活用水や消雪排水のための既存用水路を利用して小水力発電技術を導入するものとなっていたため（平成 25 年 10 月 18 日、竣工）、小水力発電技術導入に先立って、用水路の水利用に関わる権利関係（水利権）の調査を行った。水利権は、一定の利用目的のために河川等の水源から「取水」し、これを利用し、残余を排水する権利であり、「取水」が前提となる。小赤沢地区においては、河川からの取水ではないが、自然湧水からの「取水」が行われていることを確認することができた。

また、この取水は、①生活用水及び消雪排水の目的のもとで長期的に継続されていること（水利用の継続性）、②自然湧水を活用するために人工的に制御された水路を通じて公然と水の管理が行われており（水利用の社会的承認）、慣行水利権の 2 つの成立要件である、水利用の継続性と水利用の社会的承認を確認することができた。（流水を制御するための人工的施設については、図 36 を参照。）水源地においては、湧水が外部に露出する前にこれを取り込むための容器を設置し、容器から黒色のパイプで直接各戸に水を引いている（図 36 で水路の中を通されているパイプ）。飲料水等清潔な水を要するときにはこの水を用いている。



図 36 流水制御施設

続いて、既存の水利権を小水力発電のために用いる際の手続的な要件について資料調査を通じて確認した。水利権は、一定の目的のために成立しているため（小赤沢地区の対象水利の場合には、生活用水、消雪排水目的）、既存水利権を当初の目的とは異なる発電技術導入のために用いるためには、改めて流水管理者の許可を得る必要がある。河川法上の許可水利権を利用して小水力発電技術を導入する場合には、平成 25 年の河川法改正により既存水利権を利用した小水力発電導入は登録で足りるものとされ（法 23 条、23 条の 2）、手続は大幅に簡易化されたが、本件のように、慣行水利権を用いて発電技術を導入するときには、既存水利権の水利権者、取水施設の管理者、用水路の管理者の同意を得る必要があることを確認した。

小水力技術導入に際しては、水利権以外にも、森林法や農地法との調整が必要となることが

明らかとなった。即ち、小水力発電は有効落差を求めて山間部に設置されることが多く、保安林や農地内に水車を設置する場合も少なくない。農地法は、農地につき使用貸借権又は賃借権を設定するためには農業委員会の許可を受けなければならないとし、森林法は、保安林について立竹を伐採し、立木を損傷し、家畜を放牧し、下草、落葉、落枝を採取し、又は土石若しくは樹根の採掘、開墾その他土地の形質を変更する行為を行うときにも都道府県知事の許可を要するものとしている（森林法 34 条 2 項）。プロジェクトでは、小赤沢の保安林内に水車を設置したため、森林法との調整が必要となった。長野県の「保安林内作業許可審査基準」によると、本件水車の設置工事は、立木を伐採、損傷するものではないにしても、①下草、落ち葉又は落枝の採取、②開墾その他の土地の形質を変更する行為、に該当するものであったため、長野県知事の許可を得て水車を設置した。河川法に基づく既存の許可水利権を用いた小水力発電技術の導入は相当程度簡易化されたが、既存の慣行水利権活用のための枠組みや、森林法、農地法上の枠組みは、必ずしも小水力発電技術導入に対応したものとはなっておらず、また、関連する規律が複数の法律に散らばって存在していることも技術導入においては、支障となる可能性があることを確認した。小水力発電技術導入の促進のためには、森林法や農地法についても、河川法と平仄を併せて小水力発電導入のための緩和規定を設ける等の方法があることを確認した。

## 2)長野県内における水保全に関する条例の調査

検討すべき法的課題は、水資源の利活用に関することだけではない。水資源を利活用するには、そもそも水資源が涵養され保全されていることが前提である。水資源を利活用するうえでの法的課題が解決され、水資源のエネルギー利用が広まることは、水資源が濫用される可能性もある。水資源の中でも地下水については、それを管理する法律が存在せず、条例による規制が取られていることから、長野県内における地下水の管理に関する条例について調査を行った。

### ・条例の現状と問題点

長野県内の 19 市を対象に、環境省 HP「地下水採取規制に関する条例等（長野県）」（平成 25 年 3 月 31 日現在）を参考に、地下水採取規制に関する条例等を収集し、目的、定義、地下水採取規制に関わる条文を抽出し、整理・分析を加えた。

#### 【条例の体裁について】

条例の体裁につき、①水資源・地下水保全に特化した「水資源・地下水保全条例型」（3 市）、②水資源に限らず広く水環境を対象とした「水環境保全型」（1 市）、③さらに広く環境を対象とした「環境保全型」（6 市）、④自然環境の保護を目的とした「自然環境保護型」（2 市）、⑤公害の防止を目的とした「公害防止型」（3 市）とに分類することができる。なお、⑥地下水採取規制に関する条例を有しない市（4 市）も見られた。条例の体裁のレベルでは、①水資源・地下水保全型の条例を有する自治体が、この問題に強い関心を有していると評することができる。

#### 【条例の内容について】

まず、地下水採取規制のパターンとして、事前規制（許可制、届出制）、事後規制（改善命令）、担保手段（罰則）という観点から、分類を行った。一般に、規制についての担保手段として罰則を用意している場合には、実効性確保という観点から強い規制であるということが出来る。また、事前規制としては、一般的に禁止しておいて個別的に禁止を解除する許可の方が、情報収集を目的に情報提供義務を課す届出よりも強い規制である。さらに、事前規制と事後規制の関係では、事前規制の方が強い規制である。ただし、事前規制である届出と事後規制である命令では、具体的な作為・不作為義務を課す命令の方が強い規制である。以上の規制の強度についての一般的な指標から、規制の強度順に、①許可制+命令+罰則（4 市）、②許可制+罰則（1 市）、③届出制+命令+罰則（2 市）、④届出制+罰則（1 市）、⑤許可制+命令（1 市）、⑥届

出制（2市）、⑦具体的な規制なし（8市）、という形で整理した。

なお、内容面での特徴として、安曇野市においては地下水の保全・涵養について規定していることを指摘しておきたい。

**【問題点】**

以上の分析の結果、長野県内の19市の条例だけを取ってみても、自治体により規制の有無、体裁、強度がまちまちであるということが明らかとなった。地下水の流域管理という観点からしても、本プロジェクトでフィールドの一つと設定した安曇野市では、比較的規制の強度が強く、地下水の保全・涵養についても条例中に盛り込むなど、地下水の保全に積極的に取り組んでいる一方で、同じ流域に属する松本市では単に届出制を設けるにとどまっており、大町市では具体的な規制がないなど、およそ統一的な流域管理が行われていない実態が明らかとなった。地下水の流域管理という観点からすると、単純に基礎的自治体である市町村を単位とした管理に委ねるのではなく、流域に対応した広域連携が必要であるということが出来る。その実現のために、広域的自治体である都道府県による指導、広域連携を支援するための法制度の構築が求められるところである。

**3)長野県内の自治体の水保全の取り組み実態調査**

広域連携の重要性は既述の通りだが、それは法制度についてだけではない。具体的な取り組みについての連携が重要となる。そこで、長野県内の77自治体の水資源に関連する業務を行っている部署に対して、水保全に対する取り組みや連携についての実態調査を行った。

**【調査方法】**2014年1月末に、77自治体の水資源に関連する業務を行っている5つの部署（環境政策系部署、商工系部署、農林系部署、上下水道系部署、建築土木系部署）の代表者（計385部署）を対象に、郵送調査を行った。回収数は220票（回収率57.14%）、自治体としては70自治体から回答を得た。

**【調査の結果：問題認識】**

① 水資源問題は、数ある環境問題の中でも、取り組むべき課題として認識されている或いは問題が顕在化している（図37）。また、水資源問題の内容によって、問題に対する取り組み度合いが異なる（図38）。地表水、地下水ともに、汚染問題に関しては、取り組みが既になされている自治体が比較的多い一方で、過剰利用対策に向けた取り組みを行なっている自治体は、まだまだ多くない。水源の保全に関しては、昨今の水源地買収問題の影響からか、これから実施をしようと検討している自治体の割合が大きい。

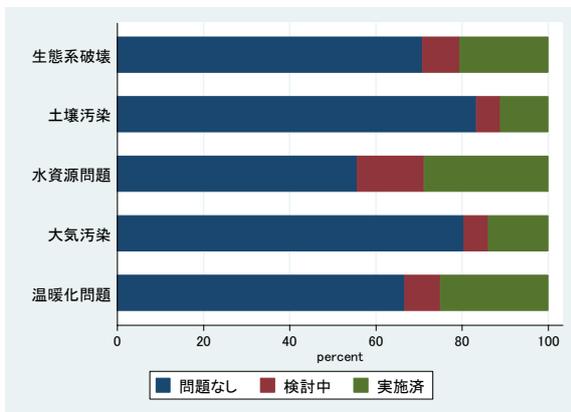


図 37 環境問題に対する取り組み

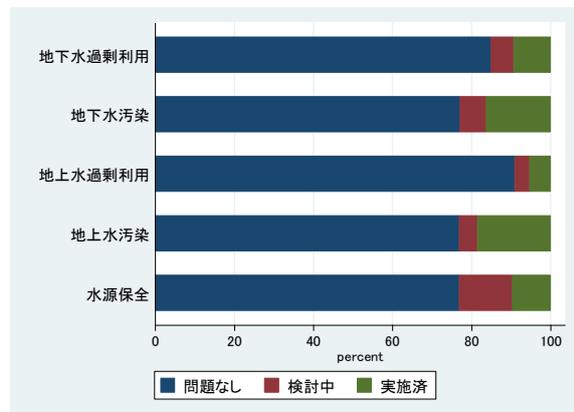


図 38 水資源問題に対する取り組み

② 問題としての認識度合いは、自治体間でも大きく異なる（図39）。汚染、過剰利用、水源保全すべてにおいて、犀川や千曲川上流域に属する自治体の取り組み割合が比較的高い。千

曲川下流域や諏訪湖圏では、汚染や水源保全に対する問題認識は高い。

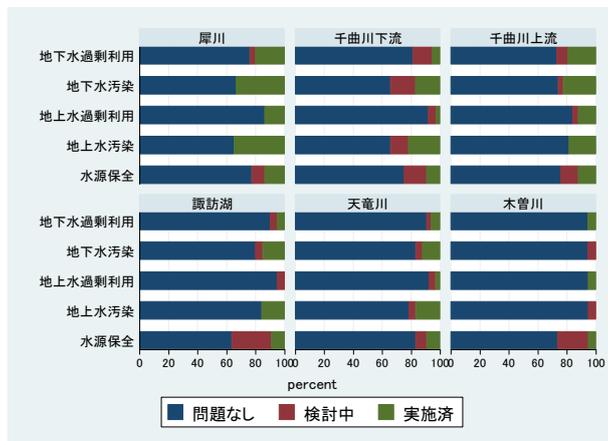


図 39 流域別にみた水資源問題に対する取り組み

【調査の結果：連携体制】

③ 部署や他組織との連携に関しても、十分に取られている自治体と取られていない自治体が存在する。水資源問題の種類によっても、連携の度合いは異なる。連携が取られている場合でも、自治体内部や国・県との連携体制に比べて、周辺自治体との連携はそれほど取られていない。行政と市民の協働関係もほとんど確立されていないようにみえる。その中で、犀川、千曲川上流域では、周辺自治体や市民との連携率が比較的高い（図 40）。

④ 生活や産業関連部署（≒保全・活用面）では、組織内外との連携が比較的に取られているが、治水・防災関連部署においてはそれほど周囲との関係が取られていない（図 41）。

⑤ 上述の問題認識度の高さと連携率の高さについては、相関（0.5 前後）を見る限り、必ずしも結びつくものでもない。

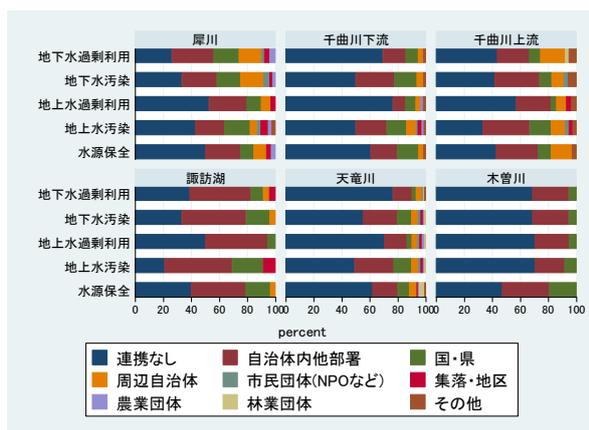


図 40 流域別にみた連携体制の実態

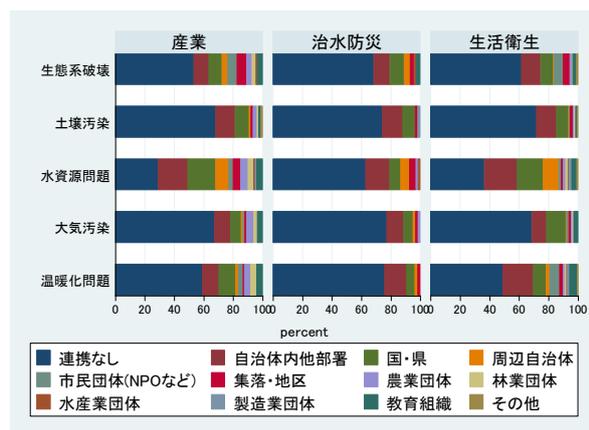


図 41 部署別にみた連携体制の実態

4)ヨーロッパにおける統一的な水保全システムの推進

水資源の保全のためには、自治体の境界を超えて、広域的に水管理を進める必要がある。広域的水管理の在り方について検討するため、加盟国内で広域的かつ統一的に水保全システムを推進しなければならないという課題を抱える EU の水管理法制に関する文献調査を行った。

EUでは、この目的を到達するために、欧州議会 (Parliament) 及び欧州連合理事会 (Council) が、2000年10月23日に、「水政策の分野における共同体行為の枠組みを設定する指令」

(2000/60/EC) を採択している。水枠組み指令の内容は多岐にわたるが、その基本的な要求は、加盟国に対して、流水を流域単位で管理することを求めるとともに、流域ごとに統合的な水管理計画を策定させ、その実行を求めるといふものであることを確認することができた。我が国も、国内レベルにおいてではあるが、自治体の境界を超えて、広域的に水管理を進めなければならないという同様の課題を有すると評価することができるため、EUの水管理法制の進め方に関する調査は有益である。

水枠組み指令では、加盟国に水管理計画を策定させるにあたって、その内容に盛り込むべき内容を列挙した上で、具体的な定めは各加盟国に委ねるという方法を採用しており、水保全制度の広域にわたる統一的な促進の要請と個々の加盟国 (地域) の実情の顧慮の要請とのバランスに配慮した方策として、有益な資料となる。また、水管理計画に盛り込むべき具体的項目として、地表水については、①全ての地表水の状態悪化を回避するための措置、②地表水の良好な状態を実現するために、全ての地表水を保護、強化、回復すべき措置、③地表水の良好な生態学的ポテンシャルと化学的な状態を実現するために、全ての人為的に重要な加工の加えられた地表水を保護し、強化する措置、④有害物質から生じる汚染を着実に減少させ、危険物質の排出を停止するために必要な措置を盛り込むことが要求されていることを確認することができた。さらに、地下水については、①地下水に汚染物質が混入することを妨げ、全ての地下水の悪化を防止するために必要な措置、②良好な地下水の状態を実現するために、全ての地下水を保護、強化、回復するとともに、地下水の収支のバランスを維持する措置、③地下水汚染を着実に減少させるために、人間の活動の影響から生じる汚染物質の集中における顕著で持続的な上昇傾向を逆転させるために必要な措置を盛り込む必要があるとしていることを確認することができた。

プロジェクトでは、水管理システムの構築にあたって、市町村の地域的な特性をどのように顧慮するかという点を問題意識の1つとして有してきたが、この地域の特性の顧慮は、水管理システムを広域的なものとする要請に対して障害となる可能性がある。この可能性に関する認識は、ドイツにおける水枠組み指令の国内法化遅延の事例から得られた。ドイツは、水枠組み指令の国内法化の期限 (2003年12月22日) に遅延しており、実際に、欧州委員会は、ドイツの水枠組み指令国内法化義務の違反の確認を求める訴えを提起し、欧州司法裁判所も、ドイツには指令の国内法化遅延の事実があることを認めた (2005年12月15日、*Rechtsache C-67/05 Kommission vs. Deutschland*)。遅延の背景には、当初、基本法上、連邦は、水管理の枠組みを規定する権限のみを有し、枠組の具体化と補充は各ラントの水法によるとしており、各ラントに大きな権限が残されていたという事情があることが指摘されている。これに対して、ドイツは、中央に権限を集中することで、広域的な水管理法制推進を円滑に行うという対応を採った。即ち、ドイツは、2006年の連邦制改革を通じて、基本法上の権限分担を見直し、水管理に関して連邦が競合的立法権限を有することを明記し、この改正基本法に基づいて、2009年、水管理法の全面的改正を行った。このドイツの水管理法は、地下水を所有権の対象とすることができないこと (水管理法4条2項)、地下水域利用についても原則として許可又は特許を要すること (水管理法8条)、水の性質を悪化させる恐れのない場合に限り、地下水への物質の混入及び流入に許可を与えることができること (水管理法48条1項)、地下水涵養を内容に含む管理目標を掲げていること (水管理法47条)、地下水利用のための掘削段階においても届出を要すること (水管理法49条) 等を明記しており、我が国で特に整備の遅れている地下水管理法制を検討する際にも有益な材料となることを確認することができた。

## 5) 地下水の熱エネルギー利用についての海外・国内での取り組み

諸外国における地下水の熱エネルギー利用については前述のとおりであるが、最近の動向としては個別の建築物に導入するケースをさらに発展させ、広域に熱エネルギー供給ネットワークを張り巡らして大規模に利用する事例が増え始めている。この新技術は、欧米で DHC (District Heating and Cooling) と呼ばれ、米国タルサでは連邦からの助成金を得て、商業施設・工場・戸建て住宅などに 60 万 KWh/年の熱エネルギーを供給する事業が始まっている。また、オランダのアムステルダムでも国際空港近くに 2.5km<sup>2</sup> の国際ビジネス拠点が建設され、76MW の冷暖房出力をもつ地下熱利用システムが建設されている。

DHC の熱源には、地下熱のみならず、工場廃熱、ゴミ消却廃熱、太陽熱、発電廃熱、バイオマスなどが組み込まれ、未来都市が建設されつつあるが、まだ日本ではこのような動きは見られない。ただ、国内においては施設園芸の冷暖房源として地下熱を利用する技術が脚光を浴び始めており、農林水産省の助成事業として農研センターが実施している「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業（うち産学の英知を結集した革新的な技術体系の確立）」においても「施設園芸栽培作物の低コスト・高品質・周年安定供給技術の確立」（代表者：信州大学）が採択され、H26 年度冬期暖房試験において対灯油比較で 90% の消費エネルギー削減を実証している。今後、地下水の熱利用は、民生部門のみならず農業部門でも、大きく進展する兆しが見られる。

### 3. 研究開発成果

#### 3-1. 成果の概要

当提案では、最先端の成果として挙げられる小水力発電および地下水利用ヒートポンプを実用化した場合に、水利権という問題が障壁となり普及が難しいという問題に対して、自然資源の保護と活用を両立可能にする社会的・法的制度の設計と、活用方法についての社会的合意形成の手法を目的として実施し将来の利用に向けた政策形成のための基礎的な知見を提供することを成果と位置付けた。以下にその項目を列挙する。

- 1) 小水力発電機導入に関するアクション・リサーチを実施し、設置に伴い生じる課題（物理的問題・法的課題・社会的合意形成）を明らかにし、解決した。
- 2) エネルギー源の代替性確保としての小水力発電の重要性を提言し、栄村の総合防災計画に採用された。
- 3) 地下熱資源の賦存量と利活用に関する調査を実施、ポテンシャルマップを作成した。
- 4) 地下熱利用が地下環境に与える影響を明らかにした。
- 5) 市民意識調査を実施し、水資源保全、自然エネルギー活用促進のための心理的要因を明らかにした。
- 6) 長野県内の自治体調査（条例・連携の実態）を実施し、流域による広域マネジメント推進に向けた現状と課題を明らかにした
- 7) 広域的な水資源マネジメントに関して、長野県の関連部署と課題を共有し、今後の連携について合意した。

### 3-2. 各成果の詳細

**1) 小水力発電機導入に関するアクション・リサーチを実施し、設置に伴い生じる課題（物理的問題・法的課題・社会的合意形成）を明らかにし、解決した。**

栄村でのアクション・リサーチを通じて、ナノ小水力発電の導入法とその付加価値について明らかにした。特に、住民との合意形成を通じて、系統電力につながずに、住民自身の手で独自に電力を利用する意義（通常時は防犯対策用の電灯や観光用のトイレとして、災害時は非常用電源として）を見いだした。

また、ナノ水力発電を設置申請する際の法的（水利権、土地利用権、保安林の解除など複数の法律が複雑に絡み合っている）な問題点と、設置時の問題点（住民との合意に加え、除塵対策や騒音問題）があることを明らかにした。

**2) エネルギー源の代替性確保としての小水力発電の重要性を提言し、栄村の総合防災計画に採用された**

地域のコミュニティ電源として小水力発電の災害時の利用があることを栄村に提言し、栄村地域防災計画（平成 26 年 3 月）において、『エネルギー源の代替性確保』の一つに小水力発電の利用促進が挙げられ、防災拠点への導入など防災関連施策との連携を検討するという形で取り入れられた。

**3) 地下熱資源の賦存量と利活用に関する調査を実施、ポテンシャルマップを作成した。**

今回の地下水のエネルギー利用に対する住民の意識調査から、地下水は見えないことから地下熱の積極利用に対して不安要素が払拭できずに導入が阻害されていることが、住民や行政の担当者の意識調査から明らかになった。そこで、科学的なエビデンスの重要性を認識し、安曇野地域における地下熱のポテンシャルマップを作成した。

**4) 地下熱利用が地下環境に与える影響を明らかにした。**

平成 24～25 年度の NEDO 事業で工学部に設置した地下水制御型 HP システムにおける帯水層蓄熱状況の調査を通じた地下熱利用時における地下環境変化などを調査し、環境影響についてのデータを得ており、導入密度が低い現状での環境影響はほとんどないことを明らかにした。さらに、JST CREST で『地圏熱エネルギー利用を考慮した地下水管理手法の開発』の開発において、研究代表を務める埼玉大学理工学研究科の小松登志子教授とも連携し、勉強会を開催して地下水制御型 HP システムを実用化する際に必要な事項について、自然科学的なエビデンスについて議論した。

**5) 市民意識調査を実施し、水資源保全、自然エネルギー活用促進のための心理的要因を明らかにした。**

環境保全のための基金に対する寄付金額は、地下水減少の事実や条例の存在の有無によって大きく差が出ることが確認され、住民が正しい知識の認知をすることが重要であることを明らかにした。また、水資源の保全行動・自然エネルギーの活用に対する積極性は、環境問題に対する意識だけでなく、コミュニティ意識、身近な地域の環境の現状を知ることによって高まることを確認した。コミュニティ意識を高めることは、コミュニティにおける様々な問題の解決のための社会的合意に不可欠な要素である。多くの成功事例にあるように、市民に対する金銭的報酬やメリットが契機であれ、市民参画することが、地域の問題を自分達の力で解決しようという意識も同時に高める。このようなコミュニティ意識の高まりは、地域の資源問題、環境問題を解決する上での社会的合意に結びつくといえ、今後、多くの自治体で取り入れるべき手

法と考えられる。

**6) 長野県内の自治体調査（条例・連携の実態）を実施し、流域による広域マネジメント推進に向けた現状と課題を明らかにした。**

水循環基本法が本年施行され、広域での水マネジメントの必要性が謳われた。本研究では、長野県における自治体間での意識や条例の温度差についてアンケート調査結果から明らかにし、広域連携に向けた課題を掘り起こした。水資源の流域管理を展開していくためには、行政だけでなく市民レベルのマンパワーも重要となるが、現状では行政と市民の間の協働関係はそれほど活発に結ばれていないため、公民協働体制の精力的な構築が必要となる。また、欧米の先駆例にみられるように、流域マネジメントには流域全体を包括的に管理する組織の構築が求められる。その前提条件として、法的整備だけでなく、水資源を横断的に管轄する省庁の設立などにより、利用手続きや利害調整・合意形成・情報共有・教育や発信といった多様なステークホルダー間の調整を円滑に行なえるようにサポートする全国共通のプラットフォームづくりが、上位組織である国の主導の下にまずは推進されるべきである。このような共通のプラットフォームが整備された上で、各流域の管理組織が、流域ごとの水資源の特徴に合わせたカスタマイズ（たとえば水資源の豊富すぎるエリアでは治水や創エネに重点をおいた施策、渇水エリアでは保全・省エネを重視した施策といった微調整）を独自ルールの下に行なう、といった2重構造型の政策枠組みが求められる。

**7) 広域的水資源マネジメントに関して、長野県の関連部署と課題を共有し、今後の連携促進について合意した。**

これまでの科学的エビデンスを用いて広域連携の旗振り役となる長野県の担当部署に伝え、今後の広域連携に向けた取り組みの参考資料とするよう提言した。水の総合的なマネジメントの推進を妨げる一因となっている縦割り行政の現状について、地方の行政レベルの問題点を把握し、今後のマネジメントに対する提言を行った。また、流域管理を担う側、資源の利用側双方の認識共有やネットワーク構築が必要であり、それらを推し進めるうえで必要不可欠となる地域人材の育成手段に関して議論し、大学は教育研究機関として協力することを提案した。

以上のように、本課題におけるステークホルダーは多様であり、国レベルから住民に至るまでの様々な階層が関わる問題である。ゆえに、政策の社会実装においてはそれぞれの立場で課題に関与する必要があると考えられる。多様な課題に対処するためには能動的に関与できる人材育成が必要であり、そのようなカリキュラムなどについては、行政と大学が一緒に課題解決に当たることが望まれる。

### 3-3. 学術的成果、人材育成やネットワーク拡大への貢献等

#### 3-3-1. 信州小水力ネットワークの構築

本会議は信州大学、長野県 77 市町村のうち栄村など 10 市町村、JA 長野開発機構、長野経済研究所などで構成されている。また、長野県や銀行もオブザーバで参加している。会議の目的は「小水力発電の普及と啓発」であり、参加市町村や長野県における小水力発電に関する取組みの紹介や小水力発電導入にあたっての技術的・法的課題の検討や地域住民との合意形成、JST-RISTEX 事業に関する紹介と協力要請、国・県などの公的資金に関する情報の交換などの多岐の事項について協議を行った。研究期間中に会議を 5 回開催した。

また、第 5 回全国小水力発電サミット in 長野が平成 26 年 11 月 20 日、21 日に長野市で開催された。サミットでは、植田和弘京都大学大学院教授による基調講演「自然エネルギーが拓く、地域の未来」、女性パネリスト 5 名によるパネルディスカッション「地域の視点から見た自然エネルギーへの期待を語り合う」、小水力発電導入等についての「事例報告」が行われた。また、「小水力発電の事業計画づくりとその進め方」、「資金調達課題と可能性」、「市町村の役割と共同連携の大切さ」、「農業用水の活用」、「未来をひらく最新技術と技術革新」、「地域が元気になる小水力発電事業とは」のテーマで 6 分科会が開催された。

#### 3-3-2. 地下水ネットワーク、農水省ネットワークの構築

地下熱エネルギー利活用技術の社会実装を促進させるため、藤縄は NPO 法人地下水・地下熱資源強化活用研究会を立ち上げ、シンポジウム、技術講習会などを開催してきた。

国土交通省・富山県・富山市・高岡市・北日本新聞・北日本放送などが後援した第 1 回地下水・地下熱資源強化活用シンポジウムは「地下熱利用でエコ社会の実現を」テーマに、平成 26 年 8 月 21 日に富山市で開催され、全国から 243 名の参加があり、地下熱利用技術の社会実装に大きな成果があった。

一方、農林水産省・環境省中部地方環境事務所・岐阜県・岐阜市・大垣市などが後援した第 2 回地下水・地下熱資源強化活用シンポジウムは、平成 27 年 8 月 20 日に岐阜市で開催され、「地下水の熱利用がひらく近未来農業」をテーマに、NHK 解説主幹の合瀬宏毅の基調講演、事例紹介、パネルディスカッションが行われた。全国から 222 名の参加があり、民生部門のみならず産業部門でも地下熱利用技術が大きな貢献をできること全国に発信した。

本 RISTEX 事業分担者の藤縄は NEDO の次世代ヒートポンプシステム研究開発委託事業での「地下水制御型高効率ヒートポンプシステムの開発」に次いで、H26 年度より農水省の大型プロジェクト「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業「施設園芸栽培作物の低コスト・高品質・周年安定供給技術の確立」を実施してきており、図 42 に示すように H26 年度の冬期暖房試験で、安曇野で実施している地下水熱源ヒートポンプシステム（図の本実験）は灯油を用いる慣行栽培を比較して、エネルギー消費量を大幅に削減できることを実証した。本実証試験は極めて注目度が高く、H27 年度 9 月時点で全国各地から 28 団体の安曇野の実証施設の視察があり、地下熱利用の社会実装に大きく役立っている。

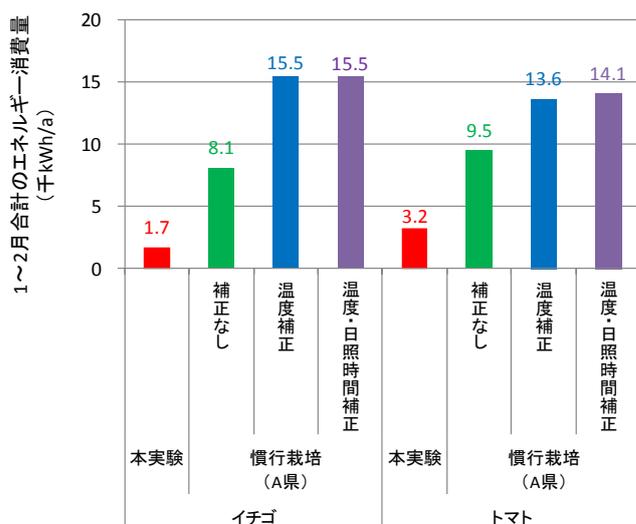


図 42 農水省の地下熱利用実証実験と従来の慣行栽培における消費エネルギー比較

### 3-4. 成果の発展の可能性

水を再生可能な資源として有効に活用するためには、大河流域での広域の総合的なマネジメントが必要である。国の水循環基本計画では、この重要性は謳われているものの、具体的な政策には触れられていない。今回の調査研究により、現状では同じ流域に存在する近隣の自治体の連携はあまり有効にとられていないことが明らかとなった。また、国、県、地方自治体の各階層における縦割り行政の弊害も、広域連携の足かせになることも浮き彫りとなった。これらに対処する政策については、現段階では作り上げられていない。県の関連部署との協議は始めたばかりであり、今後お互いの持つデータのやり取りから、総合的に課題を取り扱う部署の新設や、人材育成について議論していくことにより、広域連携への展開の道は拓かれるべきと考えている。

また、信州大学における今後の成果の発展の可能性として、文部科学省 平成 25 年度大学改革推進等補助金（大学改革推進事業）地（知）の拠点整備事業『信州を未来へつなぐ、人材育成と課題解決拠点「信州アカデミア」』（以下、COC）や平成 25 年度 JST 革新的イノベーション創出プログラム（COI STREAM）『世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点』（以下、COI）などとの連携が挙げられる。COC 事業では、本事業にも参加している天野良彦が事業担当者として、林靖人が専任教員として参画しており、本事業では、信州の複雑化する地域課題を解決するため、“地域の経験知”と“大学等の知”の融合を図る『信州アカデミア』事業を通じて、地域との対話を通じて将来のあるべき姿と課題を設定した上で、課題解決に寄与する知を学習カリキュラムとして研究開発し、「地域戦略プロフェッショナル」を育成する社会貢献（人材育成）事業を実施するものである。当事業で通じた、再生可能エネルギーの普及についても、上記で記したように重要な地域課題として挙げられるため、今後の事業展開に応じて連携を図ることにより、文理融合型の再生可能エネルギー普及に向けた研究教育の実施が期待される。また、COI 事業においては、『多様な水源から必要な水を造り、それを循環して、世界中の人々に必要な水を提供する』ことを目標としており、実用化を想定すると、様々な水利権の問題に対処する必要がある。当事業では、信州大学、理系・人文社会学系の学部・大学院や事務部局を始めとして、全学を上げて本拠点に協力・支援するとしており、研究の進捗状況に応じて、当事業で培った成果を生かした協力が期待されている。

#### 4. 関与者との協働、成果の発信・アウトリーチ活動

##### 4-1. 研究開発の一環として実施した会合・ワークショップ等

名 称	年月日	場 所	参加人数	概 要
第 10 回 信州小水力会議	2012/11/08	工学部地域共同研究センター会議室	約 20 名	研究プロジェクトに対する採択報告と協力要請
第 11 回 信州小水力会議	2013/02/05	工学部物質工学科 北棟 111 番	約 30 名	本プロジェクトの概要について説明を行い、会員メンバーに協力を要請した。
第 12 回 信州小水力会議	2013/05/29	信州大学 工学部	約 30 名	参加自治体・団体等： 長野県内の 9 市町村、企業 5 社、長野県
地下水・地下熱資源強化 活用研究会 設立総会	2013/09/04	メトロポリタン長野	約 30 名	研究会の設立総会を実施。
第 13 回 信州小水力会議	2013/10/01	信州大学 工学部	約 30 名	参加自治体・団体等： 長野県内の 10 市町村、企業 5 社、長野県
安曇野市×信州大学人文学部 連携協定 講演会	2014/02/13	安曇野市穂高交流 学習センターみらい	約 50 名	講演テーマ：地下水利用空調で エコ生活（藤縄）
第 14 回 信州小水力会議	2014/08/29	信州大学 工学部	約 30 名	長野県下より 6 自治体および企業 3 社が参加し、第 14 回目の信州小水力会議を開催。アドバイザーの奈良氏の講演のほか、池田名誉教授が研究プロジェクトについて、説明を行った。
社会科学研究グループ ワークショップ「データ でみる長野県の地下水」	2014/09/19	信州大学 人文学部	約 10 名	社会科学研究グループおよびマネジメントグループのメンバーを対象とし、外部講師を招いて勉強会を開催した。勉強会では、安曇野市の地下水の現状（地形等の水盆や現在行われている行政手続き等）をはじめ県内の地下水について改めて理解を深め、情報を共有することにより、水資源の保全や地下水のエネルギー活用へのルールづくりの方向性を検討することを目的として開催した。

安曇野市 除幕式・特別講演会	2014/11/25	安曇野市堀金 および、信州安曇 野ほりで一ゆ〜四 季の里	80名	安曇野市堀金の圃場に地下水制 御ヒートポンプを導入したビニ ールハウスが新設され、竣工式 が行われた。また、これに併せ て、研究プロジェクトが共催し、 特別講演会を開催した。
県関連機関との意見交換 会	2015/09/14	長野県庁	11名	長野県副知事および関連部署 6 名と情報交換を行った。

## 4-2. アウトリーチ活動

### 4-2-1. 主催したイベント

名 称	年月日	場 所	参加人数	概 要
キックオフイベント 信州型「水」マネジメン トモデルの検討 ～公共財としての水資源 保全と水利用イノベーシ ョンを目指して～	2013/03/04	ホテル モンターニュ松本	約 100 名	本研究プロジェクトを広く周知 するためにシンポジウムを開催 した。
RISTEX 研究プロジェク ト公開シンポジウム	2013/11/22	ビレッジ安曇野	約 50 名	2名の講師を招いて公開型のシ ンポジウムを開催した。研究フ ィールドとして連携している栄 村や安曇野市をはじめ、県内か ら 7つの市町村から水行政や環 境対策の担当者等が出席した。
講演会「都留市における 小水力発電の取り組み」	2015/01/06	信州大学 工学部	約 100 名	信州大学の学生および一般を対 象に、アドバイザーの奈良氏の 講演会を開催し、小水力発電の まち「都留市」の先駆的な取り 組みについて、説明が行われた。
シンポジウム 「信州から考えるこれか らの水マネジメント」	2015/07/29	信州大学工学部 国際科学 イノベーション センター	約 50 名	「水資源保全とエネルギー活用 を目指して」というテーマで、 基調講演・プログラム報告・パ ネルディスカッションを行っ た。

#### 4-2-2. 書籍、DVD など発行物

なし

#### 4-2-3. ウェブサイト構築

- (1) 信州大学 RISTEX 研究プロジェクト「信州型水マネジメントモデルの研究」  
URL : <http://www.shinshu-u.ac.jp/research/project/ristex/> (2013/07)
- (2) NPO 法人地下水・地下熱資源強化活用研究会 (理事長 : 藤縄克之)  
URL : <http://www.agrea.or.jp/> (2014/5)

#### 4-2-4. 招聘講演

- (1) 藤縄克之「地下水・温泉熱利用と地中温度について」、CREST研究課題シンポジウム地下水温度環境の変化と地下水保全「未来の子供達へ」、アルカディア市ヶ谷 私学会館 (2013/08/28)
- (2) 藤縄克之「地下水制御型高効率ヒートポンプ空調システムの研究開発」、NEDO省エネルギー技術フォーラム2013、東京ビッグサイト (2013/10/31)
- (3) 藤縄克之「地下水・熱利用における最新の研究動向」、地下水・地下熱資源強化活用研究会 (AGREA) / NPO 法人地中熱利用促進協会「熱応答試験 (TRT) ・解析講習会」、ホテルメトロポリタン長野 (2013/11/14)

#### 4-2-5. その他

- (1) 藤縄克之「地下水熱源ヒートポンプシステムの実力—未利用エネの次の本命：地下水を有効利用」、日経エコロジー、October・2015
- (2) 林靖人『平成 25 年度放送公開講座「信州「知の森」が拓くエネルギーの近未来～エコ生活のヒントあります～」』、SBC 信越放送「エネルギーの地産地消社会へ～地域で見つめる水エネルギー～」2014/01/26 15:00 放送
- (3) シンポジウム報告書「信州から考えるこれからの水マネジメント」—水資源の保全とエネルギー活用を目指して—(2015/9)

#### 4-3. 新聞報道・投稿、受賞等

##### 4-3-1. 新聞報道等

- (1) 信濃毎日新聞(2012/10/23)「信大が水資源研究グループ」～利用・保全ルール作りなどテーマ～
- (2) 信濃毎日新聞(2012/11/09)「栄村で水利権研究へ」～信大 小水力発電設備設け検証～
- (3) 信濃毎日新聞(2013/03/05)「地下水 保全と利用考えよう」～信大がシンポ～
- (4) 日本経済新聞(2013/09/04)「地下水・地下熱で研究会」信大工学部 空調普及へ企業連携
- (5) 信濃毎日新聞(2013/10/19) 湧き水活用 トイレや非常用電力に「信大グループ 秋山郷で小水力発電」
- (6) 新建新聞(2013/10/25)「秋山郷で小水力発電稼働」
- (7) 北信濃新聞(2013/10/26) 栄村秋山で小水力発電施設が竣工「鉛筆削りで発電を確認」
- (8) 朝日新聞 [長野県版] (2014/07/22) 信大改革への挑戦 [教育 2014] 下「タコ足」束ねる組織 地域貢献「文・理系連携後押し」

#### 4-3-2. 受賞

- (1) 池田敏彦、日本機械学会流体工学部門『部門賞』、2012/11/17
- (2) 濱野太宏・藤縄克之、「地盤環境が熱応答試験結果に与える影響に関する実験的研究」『土木学会中部支部優秀研究発表賞』、2013/05/13
- (3) 中山宏之・藤縄克之、「sWaterによるエルダー問題の解析」『日本地下水学会若手優秀講演賞』、2014/04/24
- (4) 上原健人・藤縄克之、「地下水流動場における熱応答試験時の熱移動解析」『日本地下水学会若手優秀講演賞』、2014/04/24
- (5) 上原健人・藤縄克之、「ケルビンの線源関数の高精度漸近解とパウエルの共役傾斜法を用いた熱応答試験関連パラメータの逆解析法とその適用、地下水学会誌、Vol.55・No.3・pp.253-268 (2013/8)」『日本地下水学会研究奨励賞』、2015/05/23

#### 4-3-3. その他

- (1) 信州大学 HP トピックス掲載『ST・RISTEX 採択 文理融合型研究プロジェクト「イノベーション政策に資する公共財としての水資源保全とエネルギー利用に関する研究」キックオフ!』 (<http://www.shinshu-u.ac.jp/topics/2012/10/post-494.html>) (2012/10/22)
- (2) 広報誌「信大NOW」第78号 (2012)『イノベーション政策に資する公共財としての水資源保全とエネルギー利用に関する研究～JST・RISTEX採択文理融合型研究プロジェクトキックオフ～』 p.14、国立大学法人 信州大学
- (3) 広報誌「信大NOW」第80号 (2013)『シンポジウム開催「信州型水マネジメントモデルの検討」～公共財としての水資源の保全と水利用イノベーションを目指して～[JST-RISTEX「科学技術イノベーション政策のための科学 研究開発プログラム」採択事業]』、pp.03～04、国立大学法人 信州大学
- (4) 広報誌「信大NOW」第84号 (2013)『栄村秋山郷で小水力発電システム稼働開始 水資源の保全・活用に新たな一歩 [信州大学 RISTEX 研究プロジェクト]』 pp.05～06、国立大学法人 信州大学
- (5) DVD『信州大学 信州型水マネジメントモデルの検討』(2013)、あづみ野テレビ
- (6) 信州大学 HP トピックス掲載「水資源の保全・利用する社会実装研究スタート! 一栄村・秋山郷で小水力発電竣工セレモニー開催」(<http://www.shinshu-u.ac.jp/topics/2013/10/post-609.html>) (2014/01/26)
- (7) 信州大学 2014 環境報告書 pp.5-10 [特集] 信州大学 RISTEX 研究プロジェクトレポート「信州型水マネジメントモデルを探る」(2014/09)

## 5. 論文、特許等

### 5-1. 論文発表

#### 5-1-1. 査読付き ( 3 件)

- (1) 富樫聡・藤縄克之 (2013) 「2 孔式塩水トレーサ試験と 3 次元数値モデルの逆解析による帯水層定数の同定」土木学会論文集 C』 Vol.69、3 号、pp.297-311
- (2) 上原健人・藤縄克之 (2013) 「ケルビンの線源関数の高精度漸近解とパウエルの共役傾斜法を用いた熱応答試験関連パラメータの逆解析法とその適用」『地下水学会誌』 Vol.55、3 号、

pp.253-268

- (3) 濱野太宏・富樫聡・上原健人・藤縄克之 (2014) 「水理地質環境が熱応答試験のパラメータ同定に与える影響に関する実験的研究」『土木学会論文集 C』 Vol.70、1号、pp.54-66

#### 5-1-2. 査読なし ( 2 件)

- (1) 栗田晶・岡本卓也 (2014) 「既存用水路を利用した小水力発電技術導入の慣行水利権との関係における問題点 —長野県下水内群栄村堺小赤沢地区における消雪溝排水用水路への水車設置を中心として—」『信州大学法学論集』 23号、pp.317-332
- (2) 岡本卓也・池田敏彦・天野良彦 (2015) 「小水力発電で地域のエネルギー源を活用する」『産官学連携ジャーナル』 11(9)、pp.12-15

## 5-2. 学会発表

### 5-2-1. 招待講演 (国内会議 1 件、国際会議 0 件)

- (1) 藤縄克之 「農業分野における地下水熱利用の現状と将来展望」 農業施設学会シンポジウム 再生可能エネルギーの農業分野利用、宮城県栗原市エポカ 21、(2013/03/09)

### 5-2-2. 口頭発表 (国内会議 10 件、国際会議 1 件)

- (1) 石原貴之・富樫聡・藤縄克之 「地下水制御型ヒートポンプシステムの冷房運転結果と帯水層への蓄熱状況について—地下熱利用技術の高度化に関する一連の研究(その5)—」、日本地下水学会 2012 年秋季講演会講演要旨、pp.28-33、(2012/09/27)
- (2) 藤縄克之・濱野太宏 「地盤環境が TRT 解析結果に与える影響に関する実験的研究」 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会第 10 回研究発表会、東京大学駒場リサーチキャンパス、(2013/03/06)
- (3) 藤縄克之・石原貴之・矢澤英之 「信州大学キャンパスにおける NEDO 次世代 HP システム実証試験結果について」 地下熱利用とヒートポンプシステム研究会第 10 回研究発表会、東京大学駒場リサーチキャンパス、(2013/03/06)
- (4) 濱野太宏・藤縄克之 「地盤環境が熱応答試験結果に与える影響に関する実験的研究」 土木学会中部支部研究発表会講演集、愛知工業大学、(2013/03/08)
- (5) 中山宏之・藤縄克之・矢澤英之 「地下水位観測と有限要素解析比較による信州大学工学部キャンパス周辺域の地下水流動検討」 土木学会中部支部研究発表会講演集、愛知工業大学、(2013/3/8)
- (6) 林靖人 「イノベーション政策に資する公共財としての水資源保全とエネルギー利用について」 産学連携学会第 11 回大会オーガナイズドセッション『RISTEX』プロジェクトに見る産学連携の展開の『ヒント』、いわて県民情報交流センターアイーナ、(2013/06/21)
- (7) 石原貴之・奥平圭祐・藤縄克之 「地下水型 HP システムによる大規模・小規模冷房実証試験結果について」 日本地下水学会 2013 年秋季講演会講演会、秋田県民会館ジョイナス、(2013/10/11)
- (8) 中山宏之・藤縄克之 「sWater によるエルダー問題の解析」 日本地下水学会 2013 年秋季講演会講演会、秋田県民会館ジョイナス、(2013/10/11)
- (9) 上原健人・富樫聡・藤縄克之 「地下水流動場における熱応答試験時の熱移動解析」 日本地下水学会 2013 年秋季講演会講演会、秋田県民会館ジョイナス、(2013/10/11)

- (10) 増山憲一郎「文理融合型研究プロジェクトにおける産学官連携」産学連携学会第12回大会産学官連携プロジェクト2、下諏訪文化センター、(2014/06/25)
- (11) Tomigashi.A., & K. Fujinawa ”Improvement of operational scenario for an enhanced aquifer thermal energy storage (E-ATES) system based on numerical simulations.” Grand Renewable Energy 2014 O-Ge-8-1 27 July – 1 August 2014 Tokyo.

### 5-2-3. ポスター発表 (国内会議 2 件、国際会議 1 件)

- (1) 赤崎寿樹・林靖人「文理融合プロジェクトの創出～公共財としての水資源保全とエネルギー利用について～」産学連携学会第11回大会、いわて県民情報交流センターアイーナ、(2013/06/21～22)
- (2) 岡本卓也「水利権認知の違いによる地下水保全に対する意識」日本グループ・ダイナミックス第61回大会、東洋大学、(2014/09/07)
- (3) Okamoto. T. ”Awareness of water rights and of the need for groundwater protection.” The 14th European Congress of Psychology. Milan (2015/07/10)

### 5-3. 特許出願

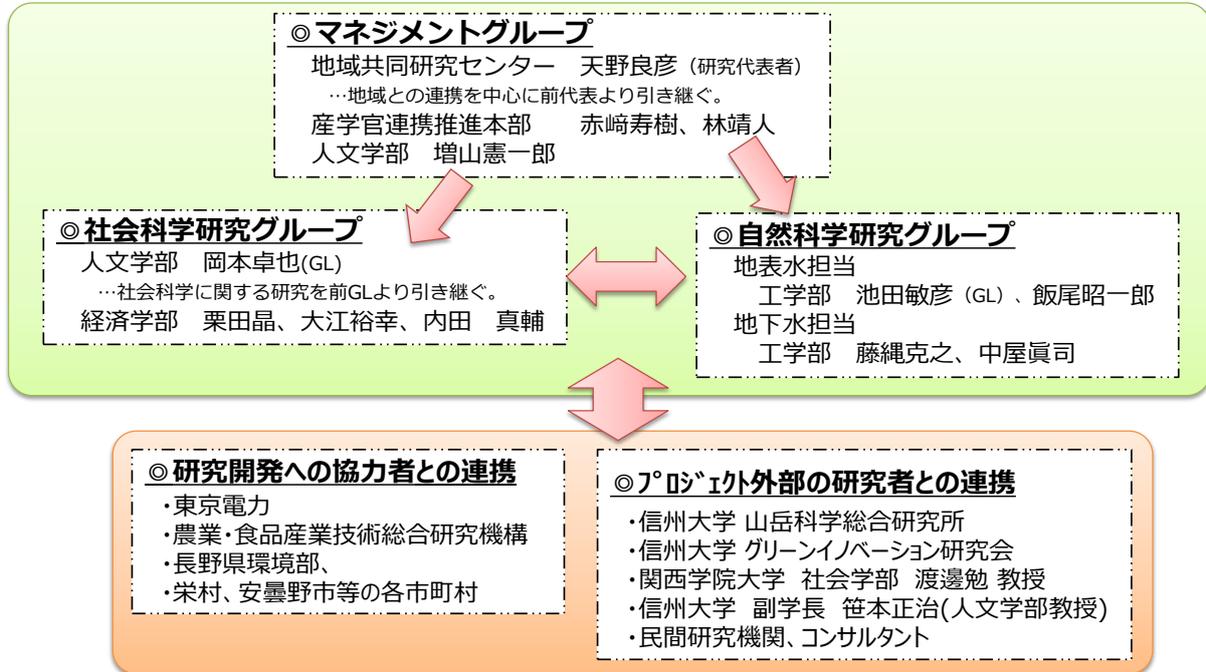
#### 5-3-1. 国内出願 ( 2 件)

- (1) 熱応答試験および揚水試験の解析方法および解析プログラム (貴学管理番号：N11139) 特許番号：第5334221号、国立大学法人信州大学、2012/05/11、特願2012-10966
- (2) 地中熱利用空調システム(貴学管理番号：N13029)、国立大学法人信州大学、2013/08/20、特願2011-045237

#### 5-3-2. 海外出願 ( 0 件)

## 6. 研究開発実施体制

### 6-1. 体制



〈研究開発実施体制〉