



平成21年度「緑の分権改革」推進事業報告書

再生可能エネルギー導入可能性調査（小水力発電）

平成23年3月

長野県

目次

第1章 序

1-1 業務目的	1-1
1-2 業務の概要	1-1
1-2-1 業務項目と実施対象	1-1
1-2-2 業務詳細	1-1
1-2-3 調査業務実施期間	1-2
1-2-4 長野県小水力活用検討会	1-2

第2章 小水力発電の概要

2-1 小水力発電の特徴	2-1
2-1-1 未利用エネルギーの活用	2-1
2-1-2 クリーンなエネルギー	2-2
2-1-3 ローコストによる可能性の拡大	2-2
2-2 水力発電の基本公式	2-3
2-2-1 落差と流量の関係	2-3
2-2-2 総合効率	2-4
2-3 関係法令	2-5
2-3-1 河川法	2-5
2-3-2 電気事業法	2-6
2-3-3 その他	2-6
2-4 動向	2-7
2-4-1 支援体制	2-7
2-4-2 全量買取制度	2-8

第3章 賦存量調査

3-1 調査方法概要.....	3-1
3-1-1 調査方法概要.....	3-1
3-1-2 アンケート内容.....	3-2
3-1-3 配布対象.....	3-2
3-1-4 実施工程.....	3-2
3-2 アンケート集計結果.....	3-3
3-2-1 集計内容.....	3-3
3-2-2 回答の傾向.....	3-3
3-3 賦存量調査結果.....	3-5
3-3-1 アンケート結果から得た実現可能候補地点 一覧.....	3-5
3-3-2 賦存量調査結果まとめ.....	3-13
3-3-3 アンケート結果から得た実現可能候補地点 事例紹介.....	3-15
3-3-4 他賦存量調査との比較.....	3-16
3-4 実現可能地点を見つけるためのステップ.....	3-20

第4章 実証試験

4-1 実証試験の概要.....	4-1
4-1-1 地点選定.....	4-2
4-1-2 実証試験におけるその他指定事項（再掲）.....	4-2
4-2 野沢温泉村地点における実証試験.....	4-3
4-2-1 地点の概要.....	4-3
4-2-2 基本調査，発電方式の検討.....	4-4
4-2-3 試験設備の概要.....	4-7
4-2-4 出力測定試験の結果.....	4-11
4-2-5 運転期間における諸課題他.....	4-14
4-2-6 考察.....	4-16
4-3 栄村地点における実証試験.....	4-19
4-3-1 地点の概要.....	4-19
4-3-2 基本調査，発電方式の検討.....	4-20
4-3-3 試験設備の概要.....	4-25

4-3-4	出力測定試験の結果	4-27
4-3-5	運転期間における諸課題他	4-30
4-3-6	考察	4-32
4-4	木曾町地点における実証試験	4-34
4-4-1	地点の概要	4-34
4-4-2	基本調査，発電方式の検討	4-35
4-4-3	発電方式の概略検討の実施	4-40
4-4-4	発電方式（①，②）の比較	4-43
4-4-5	発電方式②の概略検討	4-45

第5章 小水力発電導入検討時の注意事項

5-1	導入検討の工程	5-1
5-2	【Step 1】初期段階での取組	5-2
5-2-1	小水力発電の候補地点を探す	5-2
5-2-2	導入目的の確立	5-4
5-2-3	役割分担による解決	5-5
5-3	【Step 2】基本調査	5-6
5-3-1	導入可能地点の選定	5-6
5-3-2	基本調査	5-6
5-4	発電した電力の用途	5-8
5-4-1	電力の使い道	5-8
5-4-2	電気事業者との系統連系	5-8
5-5	【Step 2】概略検討	5-10
5-6	【Step 3】事業性評価	5-10

第6章 まとめ

- 発電量は、300[W]程度とする
- 発電された電力は、系統連系協議が不要な方法による利活用とする
- 長野県小水力活用検討会での議論を考慮する

(3) 実証調査（栄村）の実施

地形や流量などの状況から最も効果的と思われる水力発電設備・装置を設置して発電を行い、実際の発電量、発電した電力の利活用、発電を実施する上での課題などを明らかにする。

- 調査地点は、北野天満温泉横の湧水（栄村北野：八角の形をした湧水堂の湧水）とする
- 発電量は、300[W]程度とする
- 発電された電力は、系統連系協議が不要な方法による利活用とする
- 長野県小水力活用検討会での議論を考慮する

(4) 実証調査（木曾町）の実施

地形や流量などの状況から最も効果的と思われる発電方法を検証し、検証結果に基づく設計書を作成する。

- 調査地点は、木曾福島駅の万郡沢（木曾町福島 2044-4 付近）とする
- 費用対効果などを勘案して、最も効果的な発電方法、発電量等を総合的に検討する
- 発電された電力の利活用方法について検討する
- 想定される課題等について検討する
- 長野県小水力活用検討会での議論を考慮する

1-2-3 調査業務実施期間

自：平成 22 年 7 月 30 日 ～ 至：平成 23 年 2 月 28 日

1-2-4 長野県小水力活用検討会

当調査事業に係る検討を行うことを目的として、「長野県小水力活用検討会」を設置した。検討会委員は以下のとおり。

池田 敏彦	信州大学工学部教授
飯尾昭一郎	信州大学工学部助教
丸山 幹夫	長野県小水力利用推進協議会事務局長
伊藤 滋	中部電力株式会社長野支店配電建設課長
原 隆	木曾町財政企画課長
斉藤 務	野沢温泉村建設水道課長

保坂 眞一 栄村総務課長
山本 高明 長野県環境政策課長

長野県小水力活用検討会の開催状況

- 第1回： 平成22年5月25日（火）
・実証調査応募市町村のヒアリング
- 第2回： 平成22年6月14日（月）
・実証調査箇所の選定
- 第3回： 平成22年10月12日（火）
・各調査の実施内容の最終確認
- 第4回： 平成22年12月13日（月）
・1回目の中間報告
- 第5回： 平成23年1月13日（木）
・2回目の中間報告
- 第6回： 平成23年2月14日（月）
・最終報告及び報告書案の審議

第2章 小水力発電の概要

2-1 小水力発電の特徴

水力発電は、日本国内では明治の時代より導入が進んだエネルギーであり、現代でも貴重な国産エネルギーとして位置付けられているが、近年では開発余地が少なくなった大規模水力に代わり、中小規模水力発電に社会の関心は移ってきている。これは、技術の進歩や発想の転換等により小規模でも水力発電設備の実現が見込めるようになってきたからであり、国や自治体、民間企業等でも導入検討が積極的に行われている。

その中でも特に、新エネルギーとして分けられる出力 1,000[kW]以下の水力発電設備を「小水力発電」もしくは「マイクロ水力発電」と呼び、より積極的に導入検討が進められている。本調査における対象も、この小水力発電設備であることから、その特徴や基本概念についてまとめ、理解を深めるものである。

2-1-1 未利用エネルギーの活用

小水力発電における最大の特徴は、従来型水力発電のように発電のために水を整備するのではなく、身近に存在する「水」、既に整備されて存在する「水インフラ」に潜んでいる未利用エネルギーを取り出すべく、後から発電設備を（その地点の水の特徴に合わせて）設置することにある。

その最大の事例が上水道設備を利用した「水道発電」である。上水道インフラの持つ自然流下式の水の流れに着目し、例えば上の浄水場から下の配水池へ送水する配水管に存在する流量調整弁や減圧弁をバイパスする形で水車発電機を設置し、それまで音や熱、振動等に変えていた未利用エネルギーを電気エネルギーに変換する仕組みである。（なお同様な取組は、下水道施設でも行われている。）



川崎市鷺沼発電所

近年では、農業用水や河川（砂防えん堤や治山えん堤、既設ダムの維持放流水）における小水力発電も実現されることとなっているが、その事例はまだ少ない。

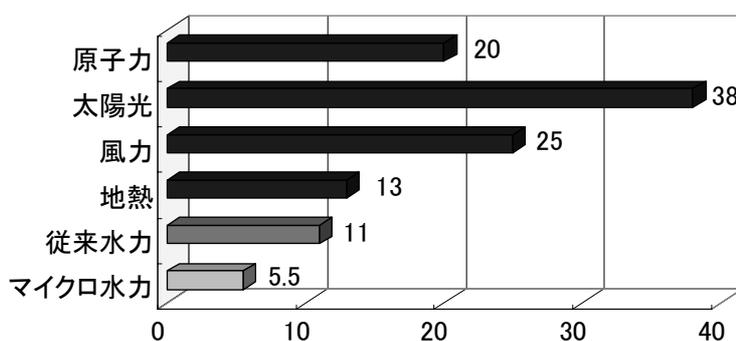
2-1-2 クリーンなエネルギー

環境面で挙げられる特徴の一つに、低 CO₂ 排出のクリーンなエネルギーであることが言える。水力発電は、その製作と撤去過程では CO₂ を排出するが、発電過程では一切 CO₂ を排出しない「環境に優しい」システムである。さらに小水力発電では、製作過程における集水設備を大幅に削減していることから、従来の大規模水力発電システムよりさらに CO₂ 発生を抑えることが可能となる。

以下に、電源別ライフサイクルコスト CO₂ 排出量の比較を挙げる。

※電源別ライフサイクルコスト CO₂ 排出量(LCA)

当該発電設備が、建設から除却までに排出した CO₂ 量を総発電電力量で割ることで 1[kWh]を生み出すのにかかった CO₂ 排出量[g-CO₂]を求めたもの。



出典：
本藤 祐樹,「ライフサイクルCO₂ 排出量による発電技術の評価」, 電力中央研究所報告, 2000 研究報告 Y99009 および改訂版:「日本の発電技術のライフサイクルCO₂ 排出量評価」,2009年に得られたデータを用いた再推計 研究報告 Y09027

電源別ライフサイクルコスト CO₂ 排出量 (LCA)

※マイクロ水力発電の値は、東京発電株式会社による算出値を用いた

低炭素化社会の実現は現代における喫緊の課題であるが、小水力発電設備の導入促進が解決に向けた足がかりとなることが言える。

2-1-3 ローコストによる可能性の拡大

小水力発電は既存の水インフラの利活用が起点であることから、保有する水エネルギー量（発電ポテンシャル）は絶対的に小さく、そのため得られる電力量も大きくはない。この状況下にて小水力発電設備を建設するには、得られる電力量に見合う建設コストに抑える必要があり、あらゆる断面（設計、資機材製造、設置工事、運用、保守等々）にてコストダウンを実施しなければならない。このような取組を不断に重ねることにより、従来設置が不可能とされていた未利用エネルギー包蔵地点においても開発可能となるのである。

すなわち、小水力発電はローコストの設備であり続けることによって更なる進歩や発展が持続するのである。

2-2 水力発電の基本公式

その地点の持つ水エネルギーを水力発電による発生電力に換算するのは、出力規模の大小にかかわらず下記に示す「水力発電の基本公式」による。

水力発電の基本公式：

$$\text{発生電力 [kW]} = 9.8 \times \text{流量 [m}^3\text{/s]} \times \text{有効落差 [m]} \times \text{総合効率}$$

(詳細は、後述「第5章5-2-1 小水力発電の候補地点を探す」参照のこと)

この式から理解できるように、小水力発電設備の発生電力を決める要素は「流量」と「落差」そして「総合効率」の3つだけであるのだが、この3つを特定するためには多くの検討過程が必要となる。

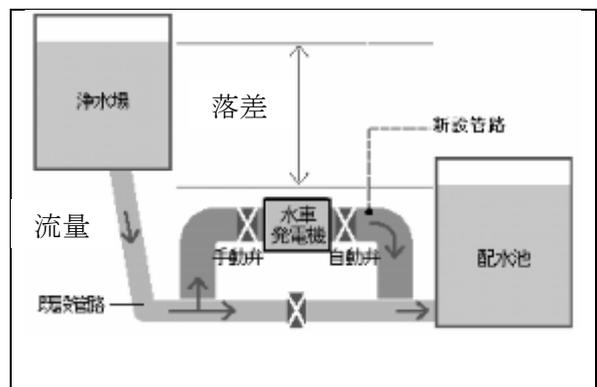
2-2-1 落差と流量の関係

上式のように、「流量」と「落差」によって、その地点の持つ未利用エネルギーの量、すなわち発電ポテンシャルが判明する。

双方は発電ポテンシャルにおいては積算の関係にあるため、流量が小さければ落差が大きくても、流量が大きければ落差が小さくても、数式上算出結果は同等になる。しかしながら、ローコストを実現することで可能性

を拡大している小水力発電においては、この関係は一定ではない。落差の大小に比べ、流量の大小の方が設備コストに大きく反映するため、大流量低落差地点にて小水力発電を実現する際にかかる建設コストと、小流量大落差地点におけるそれとを比較した場合、前者の方がより大きくなってしまふのである。(もちろん、大流量大落差の場合に一番コストがかかるのは言うまでもない。)

現在の技術状況下では、流量と落差、双方が適度な範囲内に納まっていることが小水力発電実現への近道であると言える。



2-2-2 総合効率

3番目の算出要因である総合効率は、小水力発電設備の中心である水車と発電機のエネルギー変換効率の積である。当該地点の発電ポテンシャル（未利用エネルギーの量）が「10」であったと仮定して、総合効率が0.7であれば、水力発電設備として電気エネルギーとして取り出せるのは「7」になるということである。

なお、総合効率は使用する水車と発電機が決定しない限り正確な値は定まらないのだが、一般的に概算値として発電機出力を出す際には、総合効率を0.7程度で計算している事例が多い。これは発電機出力で言えば数十[kW]クラス以上の地点に適用される水車を想定してのものであり、数[kW]クラス以下に用いられる水車の場合だと選定次第では0.2~0.7程度となるので注意が必要である。

水車の適用範囲は、主に流量と落差とにより決定されるものであるが、ここでは便宜上その積である出力によって区分した。

水車の選定要因の一つとして、その調達価格が挙げられる。上述のように出力により水車の効率が異なるのは調達価格への反映（価格上昇）を抑える為である。

2-3 関係法令

2-3-1 河川法

小水力発電設備を実現する際、場合により河川法において許可（水利使用許可）が必要となるものがある。許可が必要となる項目は以下のとおりである。

流水の占用の許可 (法第23条)	いわゆる水利権
土地の占用の許可 (法第24条)	河川区域内で土地を占有する場合
工作物の新築等の許可 (法第26条)	河川区域内の土地において工作物を新築, 改築, 又は除去しようとする場合
土地の掘削等の許可 (法第27条)	河川区域内の土地において土地の掘削, 盛土若しくは切土その他土地の形状を変更する, 又は竹木の栽植若しくは伐採をしようとする場合
河川保全区域における 行為の制限 (法第55条)	河川保全区域内の土地において土地の掘削, 盛土若しくは切土その他土地の形状を変更する, 又は工作物を新築, 改築, 又は除去しようとする場合

第23条「流水の占用の許可」は、「河川法で『河川』に指定されている河川（1級河川及び2級河川）又は準用河川から取水される水」を用いて小水力発電を実現する際に必要である。その具体例としては、「浄水される前の水道原水（上水道・工業用水）」「農業用水」「水力発電所の発電前又は発電後の水」が挙げられる。また、「浄水後の上水道水・工業用水」「下水処理後の水」「湧水」等は許可が不要となるが、許認可の要否に関しては国交省河川事務所へ早めに相談して解決することが必要である。許認可申請前には、河川事務所担当者との事前協議を実施することが非常に大切で、これにより申請業務の進捗がはかどることとなる。

なお、河川法の管理外となる普通河川を対象とする場合においても、管理外である旨を河川事務所担当者と確認しておくことが肝要である。

2-3-2 電気事業法

電気事業法では、以下のことを規定している。

- 事業用電気工作物の範囲（法第38条）
- 事業用電気工作物の維持（法第39条）
- 工事計画の届出（法第48条）
- 保安規程の制定及び届出（法第42条）
- 主任技術者の選任及び届出（法第43条）

また、同法では第38条にて水力発電設備を以下の2種類に分類している。

一般用電気工作物	・電圧600V以下で、出力10kW未満の水力発電設備 (ダムを伴うものは除く) ・複数台の場合は合計が20kW未満のもの
事業用電気工作物	一般用電気工作物以外のもの

上記分類により、当該発電設備が事業用電気工作物に該当する場合、「自主保安」および「工事計画の届出」「保安規程の制定及び届出」「主任技術者の選任及び届出」の義務が課せられる。(なお、現在、この分類の出力値が単体で20kW未満、複数台で40kW未満と緩和される動きがあるため、計画立案・実施の際には確認が必要である。)

第48条「工事計画の届出」は、所定の内容を記載し、工事着手の30日前までに届け出ることを定めており、受理されなければ工事着手不可となる。

第42条「保安規程の制定及び届出」は、工事着手前までの制定、使用前までの届出が定めている。また、第43条「主任技術者の選任及び届出」は、水力発電所における「電気主任技術者」および「ダム水路主任技術者」を工事着手前までに選任し、遅滞なく届け出ることを定めている。

2-3-3 その他

両法以外にも地点によっては、以下に示される法令が適用される可能性もある。

- 自然環境保全法、自然公園法、鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律
- 農地法、農業振興地域の整備に関する法律、森林法、国有林野の管理経営に関する法律、水産資源保護法

- 国土利用計画法，砂防法，地すべり等防止法
- 文化財保護法，土地収用法，国有財産法

(出典：「中小水力発電ガイドブック（新訂5版）」p.268 新エネルギー財団(NEF)編)

その他の関係する法令として「RPS法」があげられる。

RPS法は電気事業者への規制法であるが，発電事業者としての売電単価に影響するものとして注意が必要である。ただし，同法は現在検討が進められている「再生可能エネルギーに関する全量買取」制度の施行により，廃止となる見込である。

2-4 動向

2-4-1 支援体制

小水力発電に対する国の施策として，支援活動を行っている省庁は以下のとおりである。

- 経済産業省 資源エネルギー庁 および各地方経済産業局
- 農林水産省 農村振興局 および各地方農政局
- 環境省 地球環境局地球温暖化対策課

経済産業省資源エネルギー庁では，「地方自治体等における新エネルギー導入促進」や「事業者による新エネルギーの導入促進」，「非営利団体による新エネルギー導入促進」と区分けして，事業費の補助を行うなどを実施している。また現時点では予断を許さない状況だが「再生可能エネルギーに関する全量買取制度」の法制化に取り組んでいる。

農林水産省では，平成 22 年度「農村振興再生可能エネルギー導入支援事業」の内訳として「農業水利施設利用小水力発電導入促進事業」を実施している。これは農業水利施設を活用した小水力発電の導入を促進するため、必要となる研修、調査・設計、低コスト発電実証等を支援する事業（補助率定額，総予算額 511 百万円）である。また，種々の制約はあるが「農山漁村地域整備交付金のうち地域用水環境整備事業」にて水力発電施設の整備等を支援している。なお，これらは補助対象が農業用水に限る形となっている。

2-4-2 全量買取制度

再生可能エネルギーの全量買取制度の法制化に向け、経済産業省では平成 22 年度を通して総合資源エネルギー調査会、新エネルギー部会・電気事業分科会、買取制度小委員会にて議論を行っている。

現時点ではまだ制度設計途中であるが、有望と見なされている傾向としては、小水力やバイオマス、風力、地熱などの新エネルギーに対し、一律固定価格（想定：15 or 20円/kWh）にて、一定期間（想定：15年間）買い取ることとなっている。

全量買取制度に移行した場合、従来建設費に対して設けられていた補助制度（建設補助金）は廃止される見込みであるため、初期投資額の増加などの影響も検討する必要があるが、小水力発電事業の多くは全量買取制度に移行しても経済性を維持できると見られている。ただし、全量買取制度では売電することが大前提であるため、自家消費型での水力発電事業は制度外となる予定であり、この場合の支援策等については不透明な状態である。

第3章 賦存量調査



賦存量とは、埋もれている資源(エネルギー)について理論的に算出する最大量を表す際に用いる言葉である。水力発電においては経済産業省資源エネルギー庁により明治43年以降より継続して全国規模での調査を実施しており、水力発電全般のポテンシャルを示している。この水力発電全般のポテンシャル量を水力発電では「包蔵水力」と表記しており、これは「発電水力調査により明らかとなった我が国が有する水資源のうち、技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量」を意味する。本調査の対象は、“既に整備されている（もしくは存在している）水インフラに埋もれている未利用エネルギー量”であり、意味合いとしては包蔵水力量の考えに近い。そのため本調査における賦存量とは包蔵水力量と同義語であると捉え、調査を行っている。

3-1 調査方法概要

3-1-1 調査方法概要

本賦存量調査が対象としている範囲は、同時に実施している実証試験地点で対象としている水車形式群が適用できる範囲である。これは、出力規模で言えば10～20[kW]クラス以下の発電ポテンシャル地点ということである。そのため、本賦存量調査における調査の実施方法は、従来用いられている「ある一定地域に対する降雨量と河川の流域面積から算出する河川流量および地理的データから求めた高低差を利用して一定ルール of 算出式の下で計算して求める」方式を採用するのではなく、平成20年度に経済産業省資源エネルギー庁が実施した「未利用落差を利用した発電の包蔵水力」（資源エネルギー庁HP「水力のページ，データベース：未利用落差発電包蔵水力調査報告書【H20年度本編】」<http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/dl/houkokusho.pdf>）にて採用されている“個々の水管理者に対して実施したアンケート調査の回答をまとめる”ことで賦存量を求める方式を採用した。

前述のとおり今回の調査対象となるのは従来型水力の包蔵水力量ではなく、既に整備されている（もしくは存在している）水インフラに埋もれている未利用エネルギー量である。既存水インフラに存在する未利用エネルギー、つまり資源エネルギー庁が先の報告書で定義した未利用落差（従来把握されていなかった既設構築物（ダム，水路）における遊休落差や余剰水圧を指す）から生み出される未利用エネルギーであることから、日頃より水管理の主体者である地方自治体および土地改良区に、小水力発電の実現可能地点を問い合わせることで情報を得ることで賦存量をまとめる。

3-1-2 アンケート内容

アンケートは、水管理者に記入の手間・負担を感じさせないように、できる限り選択式で回答できる様式を採用し、以下のように大きく3つの構成とした。

基本アンケート構成

1. 小水力発電に対する認識や興味に関すること
2. 所有する水インフラにおける小水力発電実現可能地点に関すること
3. 発電した電力の利用先に関すること

また管理する水種別により回答する内容が変化することから、「上下水道・工業用水」向けおよび「農業用水・普通河川・その他」向けを作成した。

3-1-3 配布対象

アンケートを配布する先は、調査対象となる“水”種別、すなわち「上水道」「下水道」「工業用水」「普通河川」「農業用水」「その他（湧水、温泉水等）」を管理する団体とした。具体的には長野県下各市町村の新エネルギー担当各課 81 カ所および土地改良区（土地改良法に基づき土地改良事業を施行することを目的として設立された法人）97 カ所、合計 178 カ所である。なお近年、複数の自治体が合併・統合されているような場合でも、庁舎が分かれていて新エネルギー担当課が各々に存在していれば、それぞれに送付した。

3-1-4 実施工程

項目		工程
1	アンケート設問作成・確認	～H22年9月末
2	アンケート配布先選定・決定	～H22年10月末
3	アンケート配布・回収	H22年11月22日～同12月20日
4	アンケート内容集約	～H23年1月
5	分析・とりまとめ	～H23年1月末

以上の工程にて実施した。

3-2 アンケート集計結果

3-2-1 集計内容

アンケートの回収内容は次のとおりである。

配布先	配布数[箇所]	回答数[箇所]	(回収率)
市町村	81	33	(40.7%)
土地改良区	97	51	(52.6%)
合計	178	84	(47.2%)

なお、1つの回答の中には、複数の水種別に対する回答が含まれている場合もあり、水種別毎に回答されたものを、それぞれ独立して一件と数えた時の回答数は次のようになる。

配布先	回答数[件]
市町村 上下水他	94
市町村 農水他	58
土地改良区	53
合計	205

次に、小水力発電実現可能地点として報告のあった地点だが、これらは水種別毎に以下の通り分類できる。

	市町村		土地改良区	
	可能地点数	団体数	可能地点数	団体数
上水道	56	13		
下水道	6	2		
工業用水	0	0		
農業用水	20	9	12	9
普通河川	13	6		
その他	4	3		

3-2-2 回答の傾向

アンケートの回答は、その記述から大きく2種に大別することができる。1つは以前より小水力発電のことを見聞きしており、自発的能動的にかかわらず何らかの興味・関心を持っていて回答に臨んだケースである。これらは、自治体であれば過去の新エネルギービジョンの策定の取り組み、あるいは個別の小水力発電の検討の取り組みがあり、相応の知識を有する状況で

の回答であったと推測される。現に回答欄への記載は少なくとも、関連書類を添付して返送されてきた事例も少なからず存在した。翻つてもう一つのケースは、良い意味でも悪い意味でも小水力発電に興味・関心を持ち合わせずに回答した場合である。この場合、アンケート用紙に記載された「小水力発電実現可能地点」の探し方だけでは的確に対処することが適わず、結果として「回答しない」もしくは「基本事項のみの回答だけで返信する」といった形の回答になったと推察する。これらは、以下に示す2つの項目への回答度合いからも裏付けられる。

Q：小水力発電に対して興味があるか否か

A：

件数	市町村		土地改良区
	上下水道・工業用水	農業用水・湧水・普通河川	農業用水
興味あり	11 (33%)	15 (46%)	18 (35%)
興味なし	22 (66%)	17 (52%)	30 (59%)

Q：小水力発電について、過去および現在を通じて検討したことがあるか否か

A：

件数	市町村		土地改良区
	上下水道・工業用水	農業用水・湧水・普通河川	農業用水
検討あり	13 (39%)	15 (46%)	15 (29%)
検討なし	15 (58%)	17 (52%)	31 (61%)

上2つの回答のうち、“農業用水・湧水・普通河川”の水種別においては自治体・土地改良区とも、「過去に検討したことがない」層と「興味がない」層はほぼ重なっており、“上下水道・工業用水”領域でも回答傾向は同様である。(検討したことがないため回答できないと直接的に回答されたものも存在。)

また、過去に検討したことがあるが、採算性の問題から着手は不可能と捉え、その後は一切手つかずになっている状況であると回答してきた例も散見された。小水力発電設備に関する進歩は目覚ましく、数年前では不可能であった候補地点でも、設備に対する設計方針や導入目的を変更することで事業性を確保して実現に至るケースもある。このことから、このような例に対して何らかの解決手法や工夫策を提示することが小水力発電の実現地点増加につながると考えられる。

3-3 賦存量調査結果

3-3-1 アンケート結果から得た実現可能候補地点 一覧

回答から得た長野県下における小水力発電の実現可能地点について候補を挙げた市町村もしくは土地改良区の所在地を白地図上で表示し、発電可能地点の存在を図示する。

本集計における注意事項

- アンケートに記載された内容を優先とし、読み取れない部分に関してのみ添付資料や追加聞き取りにより補完した。
- 2地点以上の回答がある場合のみ、アンケート用紙による回答が無く添付資料のみの場合でも回答結果に含めた。
- アンケート回答もしくは添付資料により得た「流量」「落差」「周辺情報」より、設置する水車の大まかな区分を推察し、それから想定最大発電ポテンシャルとして発電機出力の最大値を計算により求めた。
推察できない場合は、全て一般的な総合効率 0.6 を採用した。
- 想定最大発電ポテンシャルとは、当該地点の持つ未利用エネルギーから取り出せる最大量として算出した想定値である。この値は当該地点を詳細に調査した結果により変更となる可能性がある。
またアンケートに未回答だった地域内にも未利用エネルギーが潜んでいる可能性は充分にある。

(1) 上水道・下水道・工業用水

【上水道における実現可能候補地点】

報告地域数	13
実現可能地点数	56
総発電ポテンシャル	1,790[kW]

【下水道における実現可能候補地点】

報告地域数	2
実現可能地点数	6
総発電ポテンシャル	14[kW]

【工業用水における実現可能候補地点】

報告地域数	0
実現可能地点数	0
総発電ポテンシャル	0[kW]

各個別の地点情報は以下のとおりである。

表 3-1 上水道における発電実現可能候補地点 一覧

市町村	地点名（上水道）	想定流量 [m ³ /s]	想定 落差 [m]	想定 効率	想定最大 発電ポテン シャル [kW]	備考
軽井沢町	軽井沢大字追分・追分調整池	0.1	1~4	0.5	0.49~1.96	
軽井沢町	小瀬第一三笠減圧弁	0.023	40	0.6	5.41	
軽井沢町	軽井沢町追分 谷地沢接合 21	0.13	20	0.6	15.29	落差は図面より想定
軽井沢町	軽井沢町追分 雨池配水池 22	0.13	61.6	0.6	47.09	落差は図面より想定
軽井沢町	軽井沢町追分 雨池接合 23	0.5	70	0.6	205.80	落差は図面より想定
軽井沢町	軽井沢町追分 接合1 25	0.06	32	0.6	11.29	落差は図面より想定
軽井沢町	軽井沢町追分 沈砂池 26	0.06	11.3	0.6	3.99	落差は図面より想定
軽井沢町	軽井沢町追分 接合2 27	0.06	2.7	0.6	0.95	落差は図面より想定
佐久穂町	佐久穂町八郎 大石排水池 1	0.38	19	0.6	42.45	落差は図面より想定
佐久穂町	佐久穂町千代里 馬越配水池 2	0.37	79.5	0.6	172.96	落差は図面より想定
佐久穂町	佐久穂町千代里 畑八配水池 3	0.36	60.2	0.6	127.43	落差は図面より想定
佐久穂町	佐久穂町畑 下畑配水池 4	1.14	31.1	0.6	208.47	落差は図面より想定
佐久穂町	佐久穂町高野町 700系吹込 5	0.28	20.1	0.6	33.09	落差は図面より想定
佐久市	佐久市勝間 稲荷山配水池 6	0.66	12.6	0.6	48.90	落差は図面より想定
佐久市	佐久市平賀 平賀城配水池 7	0.5	20.5	0.6	60.27	落差は図面より想定
佐久市	佐久市瀬戸 平賀配水池 8	0.22	5	0.6	6.47	落差は図面より想定
佐久市	佐久市内山 牛馬ヶ沢接合1 9	0.03	53	0.6	9.35	落差は図面より想定
佐久市	佐久市内山 牛馬ヶ沢接合2 10	0.03	48	0.6	8.47	落差は図面より想定
佐久市	佐久市内山 黒田配水池 11	0.03	12.6	0.6	2.22	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 東接合1 12	0.04	26	0.6	6.12	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 東接合2 13	0.04	38	0.6	8.94	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 東接合3 14	0.04	7	0.6	1.65	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 東接合4 15	0.04	20	0.6	4.70	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 東接合5 16	0.04	64	0.6	15.05	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 東接合6 17	0.04	34	0.6	8.00	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 志賀高地区配水池 18	0.04	71.8	0.6	16.89	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 志賀減圧弁 19	0.01		0.6	0.00	落差は図面より想定
佐久市	佐久市志賀 志賀低地区配水池 20	0.01	25	0.6	1.47	落差は図面より想定
佐久市	佐久市平尾 平尾配水池 30	0.22	54.2	0.6	70.11	落差は図面より想定
御代田町	御代田町草超 草超配水池 24	0.47	70.4	0.6	194.56	落差は図面より想定
御代田町	御代田町御代田 沈砂池 28	0.06	71	0.6	25.05	落差は図面より想定
御代田町	御代田町御代田 御代田配水池 29	0.37	146.7	0.6	319.16	落差は図面より想定
諏訪市	清水橋	0.069	100	0.6	40.57	
諏訪市	道場	0.008	10	0.6	0.47	
諏訪市	細久保	0.008	10	0.6	0.47	
諏訪市	大笹	0.003	70	0.6	1.23	
諏訪市	夫婦清水	0.018	30	0.6	3.18	
諏訪市	一ノ瀬	0.005	20	0.6	0.59	
諏訪市	有賀	0.004	180	0.6	4.23	
諏訪市	北真志野	0.003	100	0.6	1.76	
諏訪市	南真志野	0.010	100	0.6	5.88	
諏訪市	大熊	0.005	150	0.6	4.41	
駒ヶ根市	切石浄水場送水管	0.058	5	0.6	1.71	
南箕輪村	一級河川大泉川	0.1	4	0.6	2.35	
中川村	中組	0.005			0.00	落差不明
天龍村	平岡簡易水道 減圧弁A				0.00	不明
天龍村	平岡簡易水道 減圧弁B				0.00	不明
天龍村	平岡簡易水道 減圧弁C				0.00	不明
塩尻市	塩尻市大字片丘	0.013	100	0.6	7.64	
大町市	大町市大町大原町	0.081	58.9	0.6	28.05	
小谷村	下寺地区	0.033	30	0.3	2.91	落差は図面より想定
小谷村	黒川地区	0.033	10	0.3	0.97	落差は大まかに想定
小谷村	楯池地区	0.033	10	0.3	0.97	落差は大まかに想定
小谷村	千国地区	0.033	10	0.3	0.97	落差は大まかに想定
小谷村	雨中地区	0.033	10	0.3	0.97	落差は大まかに想定

表 3-2 下水道における発電実現可能候補地点 一覧

市町村	地点名 (下水道)	想定流量 [m ³ /s]	想定 落差 [m]	想定 効率	想定最大 発電ポテ ンシャル [kW]	備考
松本市	宮沢浄化センタ	0.816	2	0.6	9.60	
松本市	両島浄化センタ	0.35	0.8	0.6	1.65	
松本市	四賀浄化センタ	0.003	1	0.6	0.02	
松本市	上高地浄化センタ	0.008	0.5	0.6	0.02	
松本市	波田浄化センタ	0.037	1	0.6	0.22	
大町市	大町浄水センター処理水放流管渠	0.039	12	0.6	2.75	

以上、回答のあった2種の水種別を重ね合わせた賦存量地図は以下のとおりである。

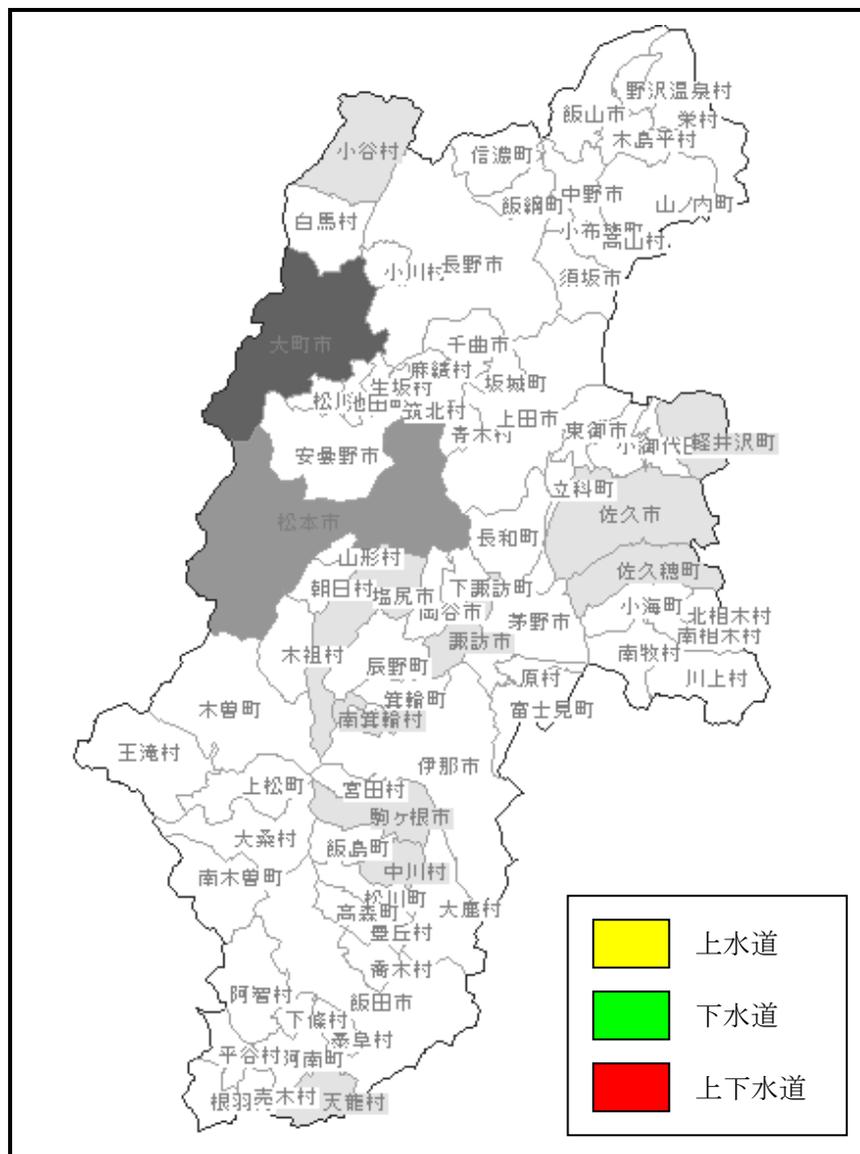


図 3-1 上下水道による賦存量地図

(2) 農業用水・普通河川・その他の水（市町村）

【農業用水における実現可能候補地点】

報告地域数	9
実現可能地点数	20
総発電ポテンシャル	565[kW]

【普通河川における実現可能候補地点】

報告地域数	6
実現可能地点数	13
総発電ポテンシャル	12[kW]

【その他における実現可能候補地点】

報告地域数	3
実現可能地点数	4
総発電ポテンシャル	16[kW]

各個別の地点情報は以下のとおりである。

表 3-3 農業用水における発電実現可能候補地点 一覧

市町村	地点名（農業用水）	想定流量 [m ³ /s]	想定落差 [m]	想定効率	想定最大 発電ポテン シャル [kW]	水利権
下諏訪町	町屋敷工業団地(菽倉用水汐)	0.016	2	0.3	0.09	慣行
下諏訪町	東山田(福沢西汐)	0.003	3	0.3	0.03	慣行
下諏訪町	本郷(荒汐)	0.017	3	0.3	0.15	慣行
下諏訪町	高木(大沢東汐)	0.036	10	0.3	1.06	慣行
駒ヶ根市	駒ヶ根市菅の台	0.137	15	0.6	12.08	許可
天龍村	天龍村西原農業用水	0.016	10	0.6	0.94	慣行
豊丘村		1.1	1	0.6	6.47	許可
南木曾町	木曾郡南木曾町田立栗畑		12			慣行
池田町	池田町大字会染相道寺		5			許可
須坂市	宇原川沿い農業用水路	0.13	0.7	0.5	0.45	許可
須坂市	仙仁・大根子	0.04	10	0.5	1.96	許可
須坂市	北の沢用水路(米子不動里宮)A	0.23	1	0.5	1.13	許可
須坂市	北の沢用水路(米子不動里宮)B1	0.04	0.8	0.5	0.12	許可
須坂市	北の沢用水路(米子不動里宮)B2	0.04	10	0.5	1.96	許可
須坂市	北の沢用水路(米子不動里宮)C	0.08	14	0.5	5.49	許可
須坂市	山崎川・坊主山付近	0.09	4	0.5	1.76	許可
木島平村	内山					許可
木島平村	馬曲					許可
木島平村	糖千					許可

表 3-4 普通河川における発電実現可能候補地点 一覧

市町村	地点名（普通河川）	想定流量 [m ³ /s]	想定落差 [m]	想定効率	想定最大 発電ポテン シャル [kW]
南相木村	南相木村平休場		20		
伊那市	西箕輪	0.03	1.5	0.6	0.26
天龍村	小沢川			0.3	0.00
天龍村	所蛇川			0.3	0.00
天龍村	恵平沢			0.3	0.00
天龍村	虫川			0.3	0.00
天龍村	神内川			0.3	0.00
天龍村	小河内川			0.3	0.00
木曾町	三岳 入川	0.5	1	0.6	2.94
木曾町	日義 野上川	0.5	1	0.6	2.94
木曾町	木曾駒高原 野又川	1	1	0.6	5.88
塩尻市			300		
須坂市					

表 3-5 その他の水における発電実現可能候補地点 一覧

市町村	地点名（その他）	想定流量 [m ³ /s]	想定落差 [m]	想定効率	想定最大 発電ポテンシャル [kW]
軽井沢町	中軽井沢	1.2	1	0.6	7.06
木曾町	木曾駒高原 長野県水産試験場	0.3	1	0.6	1.76
木曾町	開田高原西野	0.3	0.5	0.6	0.88
栄村	北野天満温泉	0.1	12	0.6	7.06

以上、3種の水種別を重ね合わせた賦存量地図は以下のとおりである。

(3) 農業用水（土地改良区）

【農業用水における実現可能候補地点】

報告地域数	9
実現可能地点数	12
総発電ポテンシャル	184[kW]

個別の地点情報は以下のとおりである。

表 3-6 農業用水における発電実現可能候補地点 一覧

市町村	地点名（農業用水）	想定流量 [m ³ /s]	想定落差 [m]	想定効率	想定最大 発電ポテン シャル [kW]	水利権	
佐久市	佐久市臼田	灌漑:6.0 非:3.5	2	0.6	41~70	許可	佐久平土地改良区
駒ヶ根市	下の井幹線 夫婦池導水路	0.1	3	0.6	1.76	許可	駒ヶ根市大田切土地改良区
駒ヶ根市	駒ヶ根市中沢、菅沼西原		10	0.6		慣行	駒ヶ根市東部土地改良区
伊那市	溝口南郷	0.55	20	0.6	64.68	許可	上伊那美和土地改良区
伊那市	雨非持(遂道口~調整池)	0.4	15	0.6	35.28	許可	上伊那美和土地改良区
飯田市	下伊那郡 松川町元大島	5	0.2	0.2	1.96	許可	長野県竜西土地改良区
大町市	市内用水路落差工(越荒沢堰)	1	1.3~1.6	0.6	7.6~9.4	慣行	大町市土地改良区
大町市	市内用水路落差工(野口堰)	0.5				慣行	大町市土地改良区
池田町	池田町大字会染相道寺		5			許可	北安曇郡池田町土地改良区
白馬村	平川 頭首工	2.74	3	0.6	48.33	許可	長野県白馬村土地改良区
長野市	長野市 里島地区	1.2215	4.47	0.6	32.11	許可	善光寺川中島平土地改良区連合

以上、土地改良区における農業用水の賦存量地図は以下のとおりである。

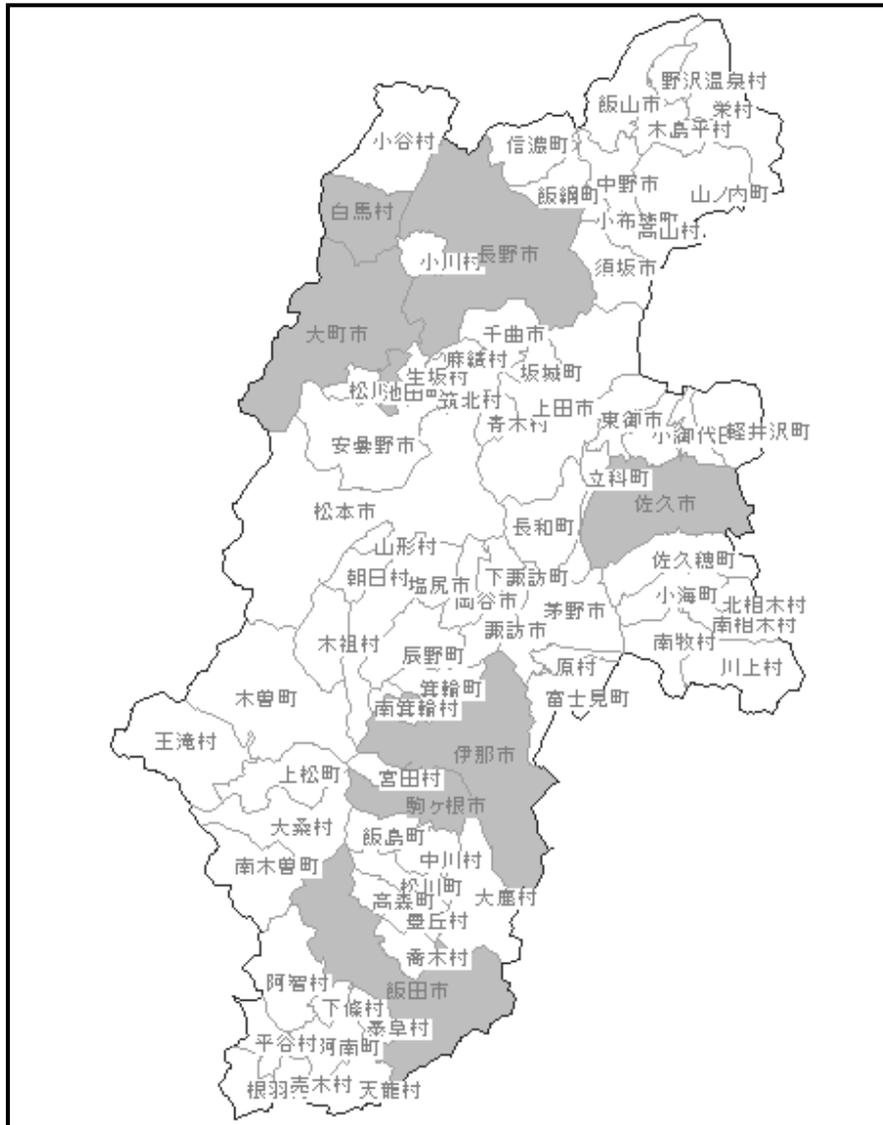


図 3-3 農業用水(土地改良区所管)による賦存量地図

3-3-2 賦存量調査結果まとめ

以上より、本調査における賦存量調査の結果として、小水力発電の実現可能候補地点は以下のとおりとなる。

表 3-7 賦存量調査結果 一覧

	市町村		土地改良区	
	可能地点数	発電ポテンシャル	可能地点数	発電ポテンシャル
上水道	56	1,790[kW]		
下水道	6	14[kW]		
工業用水	0	0[kW]		
農業用水	20	565[kW]	12	184[kW]
普通河川	13	12[kW]		
その他	4	16[kW]		
合計	99	2,397[kW]	12	184[kW]

賦存量は 総合計： $2,397[\text{kW}] + 184[\text{kW}] = 2,581[\text{kW}]$ となった。図 3-4 に水種別によらず可能地点を有する市町村に色分けした賦存量地図を示す。

3-3-3 アンケート結果から得た実現可能候補地点 事例紹介

本賦存量調査におけるアンケートの回答にて、小水力発電の実現が可能として寄せられた地点の一部を紹介する。



佐久市軽井沢 追分調整池
0.1[m³/s], 1[m], 0.5[kW]



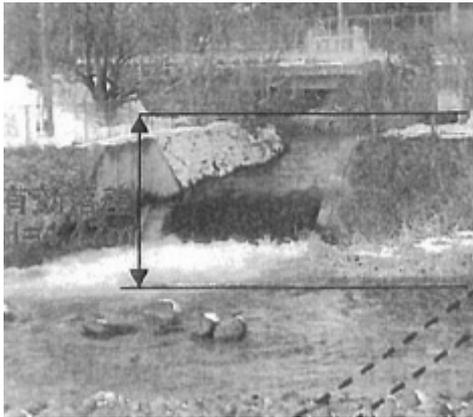
木曾町 三岳入川
0.5[m³/s], 1.0[m], 3[kW]



木曾町 日義 野上川
0.5[m³/s], 1.0[m], 3[kW]



軽井沢町 都市下水路
1.2[m³/s], 1.2[m], 7[kW]



善光寺川中島平地改良区連合
1.2[m³/s], 4.4[m], 32[kW]



長野県竜西土地改良区
5.0[m³/s], 0.2[m], 0.6[kW]

3-3-4 他賦存量調査との比較

今回の賦存量調査と完全に一致する調査事例は存在しないが、類似方針の下で国が実施した調査2種を紹介する。

(1) 経済産業省資源エネルギー庁 未利用落差発電包蔵水力調査

本章の初めに述べたとおり、経済産業省資源エネルギー庁にて平成20年度に未利用落差発電包蔵水力調査が実施されている。この調査では、従来把握されていなかった既設構築物（ダム、水路）における遊休落差や余剰水圧（これらを「未利用落差」と表している）を利用した小水力発電のポテンシャルを水種別毎に把握した「未利用落差を利用した発電の包蔵水力」を日本全国都道府県毎に公にしている。この報告のうち長野県のデータを抜粋したものを次の表3-8および図3-5に示す。

表 3-8 未利用落差を利用した小水力発電の水種別包蔵水力（長野県抜粋）

水種別	合計			未開発			既開発			
	地点数	総出力 [kW]	発電電力量 [MWh]	地点数	総出力 [kW]	発電電力量 [MWh]	地点数	総出力 [kW]	発電電力量 [MWh]	
ダム利用	河川維持用水	19	2,977	16,765	17	1,917	10,917	2	1,060	5,848
	利水放流水	9	21,870	95,572	5	14,890	71,740	4	6,980	23,832
	農業用水	8	606	2,920	8	606	2,920	0	0	0
	砂防えん堤	24	16,999	89,463	20	1,614	7,777	4	15,385	81,686
水路利用	農業用水路	5	269	2,186	5	269	2,186	0	0	0
	上水道	3	129	1,017	2	129	1,017	0	0	0
	工業用水道	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	下水道	2	45	335	2	45	335	0	0	0
合計	70	42,895	208,258	59	19,470	96,892	10	23,425	111,366	

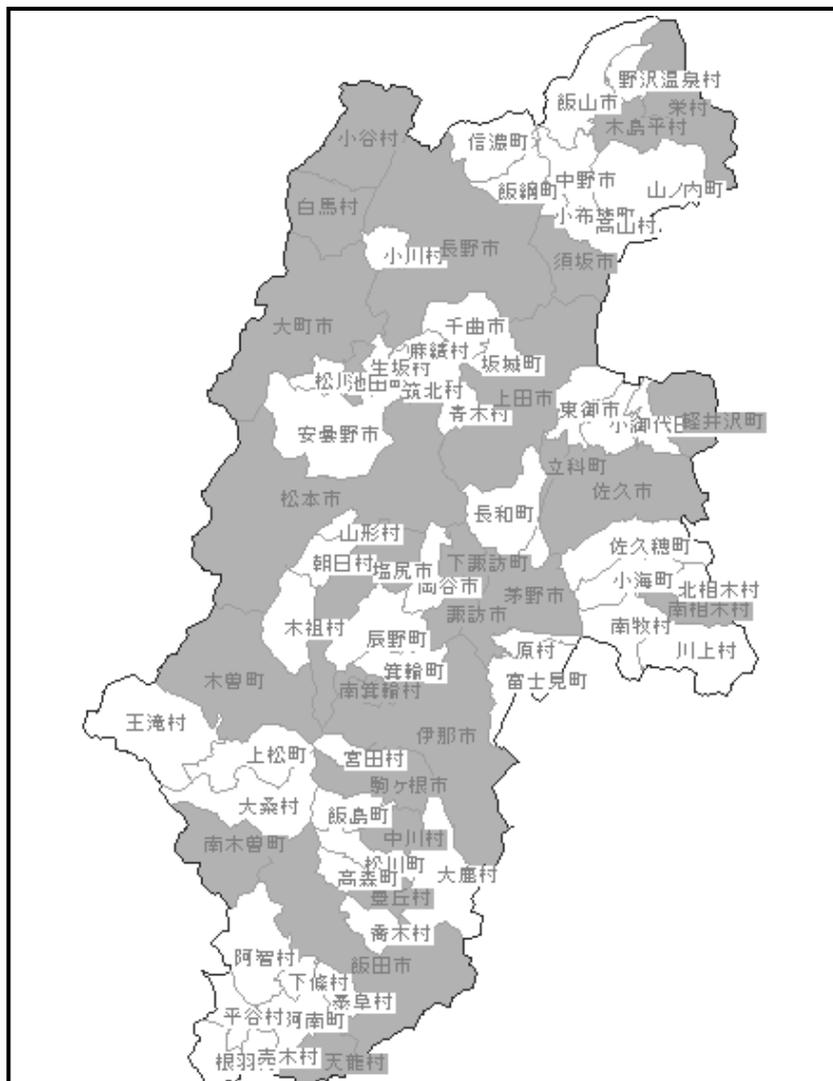


図 3-5 資源エネルギー庁 未利用落差包蔵水力調査結果

本事業におけるアンケート回答では、ダム利用による小水力発電の実現可能地点をあげてきた事例はほとんど無く、上記分類で言えば「水路利用」に区分されるものであるが、いずれにしても本調査の結果とは異なったものとなっている。これは、未利用落差包蔵水力調査では、出力が 10[kW]未満となる地点や、落差が 1.5[m]未満の地点を除外して算出するなど、統計の取り方の違いもあるが、アンケート方式による聞き取り方の違いによるところも大きいと思われる。しかしながら、上記各地点を本調査と同様に地図上に色分けしてみると、分布の度合いは非常に似通っており、賦存量の分布は出力規模によらないといえる。

(2) 環境省 中小水力発電の賦存量および導入ポテンシャル調査

環境省では、平成 21 年度に「平成 21 年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書」(<http://www.env.go.jp/earth/report/h22-02/index.html>)においても、小水力発電（河川部）の賦存量および導入ポテンシャルを公表しており、そのうち都道府県別中小水力発電（河川部）の導入ポテンシャル推計結果の設備容量上位 5 都道府県を次に表す。

表 3-9 都道府県別中小水力発電（河川部）の導入ポテンシャル推計結果

集計単位	仮想発電所地点数	設備容量[万 kW]
全国	20,848	1,525.1
岐阜県	1,586	138.3
北海道	1,711	129.7
新潟県	1,257	121.5
群馬県	1,210	112.3
富山県	745	112.1
長野県	1,648	108.9

(3) 各調査結果との比較

小水力発電に限定した賦存量調査は、近年注目されてきたものであり、現状ではその調査方法すらも定石化されていない。経済産業省資源エネルギー庁による未利用落差発電包蔵水力調査では、全国規模での調査としては突出したものであるが、アンケートの手法については多くを言及しておらず、その手法を採用して更に細かく調査することはできない状況である。環境省の調査も現在、都道府県別の詳細データが公開される形で再整備が進められている最中であり、まだ調査途上にあると言える。

そのような中、本事業の調査結果との関係性から、以下のようなことが考えられる。

- 未利用落差発電包蔵水力にてリストアップされた地点を有する地域と、本調査に小水力発電実現可能地点を有すると報告された地域は、ほぼ重なる。出力規模の大きい水力発電の可能性が高い地域と、小水力発電の可能性が高い地域には相関が見られる。
- 国での二つの調査結果から、長野県下では小水力発電領域における実現可能地点による発電ポテンシャルが高い地域といえる。
- アンケートによる調査は回答者の興味・関心の度合いにより、結果が大きく変わることもあり、今後調査手法が確立されることが望まれる。
- 工業用水の地点に該当地点が無かったことが他の類似調査における結果と共通している。工業用水は、一般的に余剰圧力を残さない水利用を基本とすること、施設単位で導水している場合流量が少なく、工場の稼動に合わせた水の利用のため断続的になる場合があるといったことから、該当地点が見つかりにくいのが実状である。温泉水も同様に個別導水が多く、温泉客の利用により断続的となる。それ故、今後、施設毎に着目するのではなく水源に着目する形での地点発掘・調査により、実現可能地点が出てくるものと予想される。また、施設内の省エネ、環境負荷の低減という観点から施設内の節水等が進めば、既存施設内において余剰圧、余剰水が発生するため、これらの利用という点で可能性が考えられる。
- これまでの一般的な水力発電は導水用管路で水車に導水する方式というイメージがあり、湧水のように湧き出る水をこれまでどおり利用しながら発電に利用する手法に思いが至らないことが多いと思われる。後述する栄村の実証試験のような実現手法があることを情報発信することで、今後、実現可能地点が生まれてくるものと思われる。

上水道以外にも、農業用水や工業用水、湧水等を用いた小水力発電は、近年脚光を浴びつつある状況であり、今後理解や調査が進むことで賦存量（包蔵水力量）が増加することが想定される。そのためにも実現可能地点の探し方についてのガイドブックが必要である。

3-4 実現可能地点を見つけるためのステップ

本調査結果から、既に存在する水インフラ設備に潜む未利用エネルギーの活用には、未利用エネルギーが潜んでいる地点を的確に探し出すためのノウハウが必要であり、それが水管理者全般に広く伝わる必要があることが明確になった。小水力発電の基本概念や特徴、地点探しのコツなどを明確にすることで、実現可能地点を増加させることにつながるのである。今回の調査では工業用水における実現可能地点の回答を得ることが適わなかったが、上記活動により小水力発電に興味を持ち、管理する水を見直すことで未利用エネルギーが潜んでいる地点が浮上してくることが期待される。

(3) 実証試験実施地点

- 木曾町（万郡沢：木曾福島駅付近）
- 野沢温泉村（まくね川：野沢温泉終末処理場内）
- 栄村（北野天満温泉横の湧水）

なお、木曾町については、ポテンシャルが大きく今回の事業規模では実証機の設置が難しいことから、最も効果的な手法を検討する設計検討地点とし、野沢温泉村、栄村の2地点について実証機を設置することとなった。

4-1-2 実証試験におけるその他指定事項（再掲）

(1) 野沢温泉村、および栄村、両地点

- 実試験設備の規模は300W程度とする
- 系統連系協議が不要な設備とする
- 長野県小水力活用検討会での議論を考慮する

(2) 木曾町地点

- 地形や流量などの状況から最も効果的と思われる発電方法を検証し、検証結果に基づく設計書を作成する
- 調査地点は、木曾福島駅側の万郡沢（木曾町福島 2044-4 付近）とする
- 費用対効果などを勘案して、最も効果的な発電方法、発電量等を総合的に検討する
- 発電された電力の利活用方法について検討する
- 想定される課題等について検討する
- 長野県小水力活用検討会での議論を考慮する

4-2 野沢温泉村地点における実証試験

4-2-1 地点の概要

野沢温泉村内の終末処理施設（下水処理施設）構内を流れるまくね川の河川水および落差工の一つを利用して実証試験を実施する。当該小河川は、まくね川と呼ばれるが、都市計画法上の雨水排水管渠に該当し、農地からの排水、雨水などを放流する水路であり水利権は不要である。まくね川の水は、処理場内を通り、準用河川である赤滝川に流入している。まくね川は、ほぼ直線の流路の中に複数の落差工（落差約1m）が存在しており、個々の落差工を利用しての小規模水力発電設備の設置または、上流の落差工から下流の落差工までの落差を配管を敷設して利用することで30m程度の落差を得ることができるため、将来の小水力発電開発の普及の可能性が高い地点でもある。以下に実証試験地点概要を示す。



○実証試験設備設置予定場所概要
設置場所全景を示す。



水車を設置する落差工の状況。



○上流から実証試験予定場所までの状況
下流奥に終末処理施設が確認でき、上流から、処理施設周辺までで、約 30 mほどの落差が得られるとのことである。

4-2-2 基本調査，発電方式の検討

発電計画を立案するため，検討委員会での現地調査結果等を参考に基本調査を実施した。

(1) 選定調書の内容

発電に利用する水の種類	：	小河川
発電に利用できる流量	：	21.5 m ³ /分
落差	：	1.2 m（実測値）
水路幅	：	1.6 m（実測値）
水路の種類	：	開渠
水利権	：	不要
電力の用途	：	処理施設内の維持管理用として使用

なお，これらは目測等を含んでおり，扱いには注意が必要であることから，詳細調査を再度実施する必要がある。

(2) 基本調査における着眼点

発電計画立案において重要となるのは，流量と落差の確認である。この地点は比較的水路延長が長い地点であり，水車設置予定場所下流に分水箇所があることから，上流で分流する場所が無いのか，ゴミの状況，年間を通じた流量の変動の有無などが実証機設置の上で重要な要素となる。そこで以下のポイントに着目し，基本調査を実施した。

- 現地状況の確認 : 現地の状況を確認し、発電諸元に影響を与える要素、設置上の制約事項（運用方法、管理方法、または既設構造物の状況など）の有無を把握する。
- 流量の確認 : 調書に記載された流量と実態に大きな乖離が無いこと、また年間を通じた変動の有無、変動する場合の変動幅、期間などの確認、使用可能な流量の確認（他の目的に利用されているか、利用されている場合はそれらも含め発電に利用可能であるかなど）。
- 落差の確認 : 調書に記載された有効落差の確認（どの点における落差であるかの確認）。実際の設置を想定し、取水箇所から放水箇所の落差を確認する。
- その他 : 構造物の図面の有無、断水の可否など

（3）基本調査の状況

○現地状況の確認

現地調査の状況を以下に示す。



○水車設置予定場所の状況

落差工であるが、下段部は農業用水路の落差工と異なり低盤が平坦であることを目視により確認。水路の天端高さに余裕があり、溢流等の課題は生じないと想定される。

水路幅は内・内で 1.96 m（実測）

下流側（写真左下）に分水箇所を確認。

: 落差工落差は水面間で 0.8 m（実測）



○分水工の状況

農業用水および冬季は処理施設構内の消雪水として利用している。



○水車設置場所下流の状況

分水工への給水のため、角落としが挿入され、下流の水深が確保されている。

:下流水深 約 0.4 m

○流量の確認

まくね川は流量値データ等が存在しないため、河川流速と断面積による簡易式により流量の想定を行った。通常水路の勾配等の影響を受けるため、図面等で勾配を確認する必要があるが、図面も無いことから、目視により平坦で流速の安定した場所を選定し推定した。結果、基本調査時（9月14日時点）で $0.34 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の水量であることが確認できた。このほかに有効な流量データが無いこと、調書データと大きな乖離が無いこと、降雨期等を除き大きな変動が無いとの情報が得られたため、 $0.3 \sim 0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度と推定し、水車使用可能流量を $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ と設定した。

○落差の確認

落差工地点であることから、上段水路水面と下段水路水面の落差を計測した。
上段水面、下段水面落差：1.0 m

以上から、発電使用可能落差を 1.0 mとした。

○取水方法の検討

落差工地点であるため、流量、落差を最大限適用できる水車を選定すると共に、既設構造物の構造が不明のため、極力水路内の構造物が最小限または、垂直荷重以外の荷重がかからないような水車設置、取水を検討することとした。

(4) 基本調査結果の取りまとめ

発電使用可能流量 : 0.3 ~ 0.4 m³/s (0.35 m³/s にて検討)

利用可能落差 : 0.8 m

(上段水位ー下段水位)

取水方法 : 水車型式によるが水路改造がない方式とする

水車設置場所 : 水路内

設置場所ポテンシャル : $9.8 \times 0.35 \times 0.8 \approx 2.4$ kW

4-2-3 試験設備の概要

図 4-1 に実証試験設備全体レイアウトを示す。落差工の落差、全水量を利用する観点から、ダリウス水車を選定した。落差工下段水路に導水壁を立て水車を設置する。

(1) レイアウト概要

- 導水壁上流に水の貯留部を設け、落差工上段水位と同位まで水位を上げ、上段水路と下段水路の落差を利用する。
- 基本調査時に、水路内にゴミが確認されたこと、周囲が農地であり刈草や落葉、枯葉の流下が想定されたことから、落差工上段から導水壁の間に除塵用スクリーンを設置する。
- 水車に導水する開口部にゲートを取り付け、吐出流量および水位調整ができる構造とする。

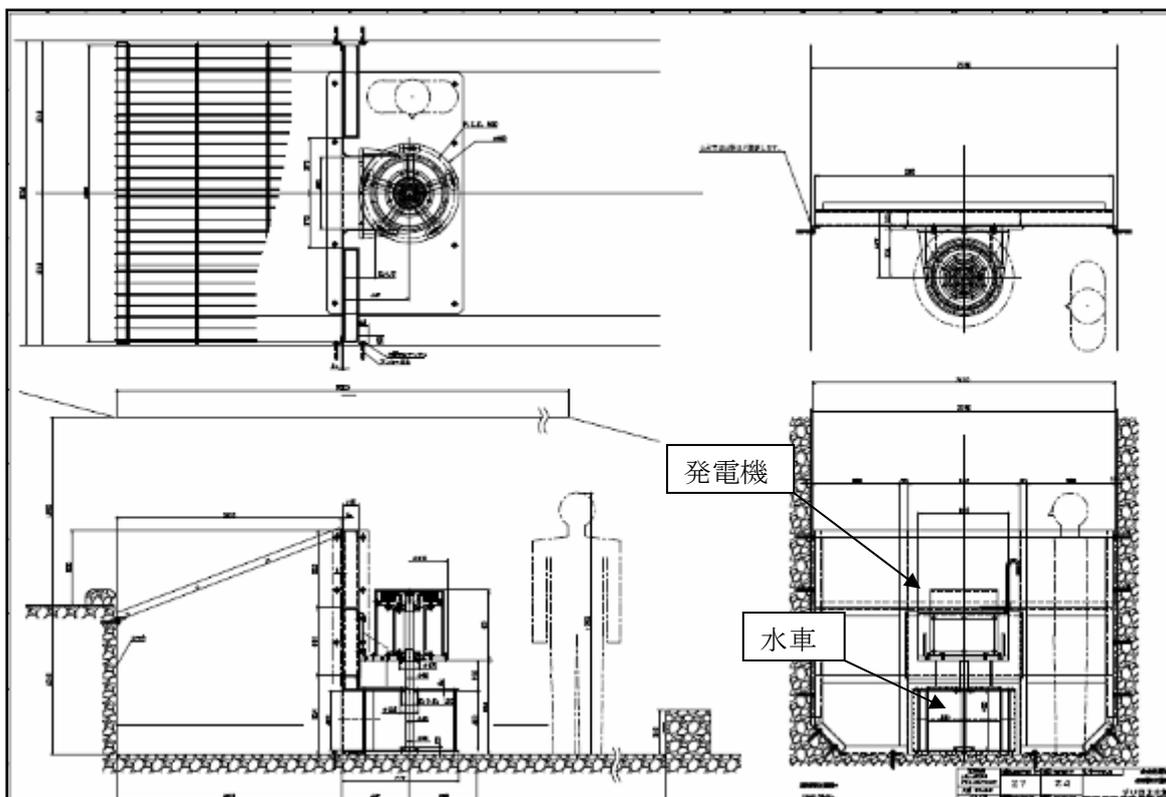


図 4-1 野沢温泉実証設備全体レイアウト

(2) 水車選定について

落差工地点であるため、いくつかの水車型式が選定されるが、設置コスト等を勘案し、開放型貫流水車（滝用水車）、ダリウス水車の2種に絞り比較した結果、立地条件、エネルギーの有効利用の点から、ダリウス水車を選定した。

(水車の比較)

水車選定には立地条件が大きく影響する。水車個体の性能に差異がない場合でも、立地点の条件に合わない場合、得られるエネルギー量に差が生じる。そこで、野沢温泉村地点において2種の水車を適用した場合に得られるエネルギー量を表4-1により比較した。

表 4-1 想定発電量の比較

	開放型貫流水車	ダリウス水車	備 考
使用可能流量 (m ³ /s)	0.11	0.35	地点ポテンシャル 0.3~0.4
有効利用落差 (m)	0.6	0.8	地点ポテンシャル 0.8
想定発電量 (W)	280	600	

*想定発電量は想定値であり、実際値ではない。

(発電量比較の補足)

○使用流量について

開放型貫流水車の使用可能流量は、ランナ（水車本体）の幅によって決定される。野沢温泉村地点において全流量を使用するには、水路の幅（1.96 m）と同じ幅のランナが必要となる。過去の製作実績および製作の可否を製造社に確認したが、0.6 mが最大であり、1 mを超えるランナを製作するには構造設計の見直し、製作機械の変更等が必要となり、現段階では製作できないことを確認した。そこで、使用可能流量は水路幅に比例するものと仮定し、水車ランナ幅 0.6 mで通水できる水量を算定し、0.1 m³/sを得た。これに対し、ダリウス水車は導水部の開口面積と通過流速により使用可能流量が決定され、野沢温泉村地点における流量を全て使用することが可能である。

(開放型貫流水車における使用可能流量の想定)

$$\text{使用可能流量} = \text{ランナ幅} \div \text{水路幅} \times \text{地点流量} = 0.6 \div 1.96 \times 0.35 = 0.107 \text{ m}^3/\text{s}$$

また、仮に水路内に集水設備を設け 0.35 m³/s を利用する場合を想定したが、流速 1.0 m以下で水車に導水する場合、流れの厚みが約 0.58 mとなる。よってランナの直径は最低でも約 1.2 m必要となり、落差工の落差以上となることから、全流量を使用することは現実的でない判断した。

(開放型貫流水車において全流量を使用する場合の最低必要ランナ径)

$$\begin{aligned} D &= \text{流れの厚み} \times 2 = (\text{流量} \div \text{流速} \div \text{水路幅}) \times 2 \\ &= (0.35 \div 1 \div 0.6) \times 2 \\ &\approx 1.2 > \text{使用可能落差} \end{aligned}$$

○有効利用落差について

ダリウス水車は、水車ランナを下流水面以下に水没させ運転するため、有効利用落差（上段水路水位と下段水路水位の差）を全て利用することができる。これに対し、開放型貫流水車は、水没すると運転できないことから下段水面との離隔が必要となる。過去の実績から、水面と水車との離隔は 0.1 m取られている。これに増水時の水位上昇を想定し、水面との離隔を 0.2 m

と仮定すると、有効利用落差は 0.6 m となる。

以上から、ダリウス水車で利用できるポテンシャルを 1 とすると、開放型貫流水車で利用できるポテンシャルは流量、落差が低減するため、0.24 程度となる。

(各水車で利用できるポテンシャル量)

- ① ダリウス水車 : $9.8 \times 0.35 \times 0.8 \div 2.7 \text{ kW}$
- ② 開放型貫流水車 : $9.8 \times 0.11 \times 0.6 \div 0.65 \text{ kW}$

○想定出力について

各水車の効率等を勘案し、利用できるポテンシャル量から出力を想定した。なお、発電機およびインバータの変換効率は同じと仮定し総合で 0.72 を用いた。

- ①ダリウス水車 : 利用可能ポテンシャル×水車効率×発電機・インバータ総合変換効率
 $= 2.7 \times 0.3 \times 0.72 \div 0.6 \text{ kW}$
- ②開放型貫流水車 : 利用可能ポテンシャル×水車効率×発電機・インバータ総合変換効率
 $= 0.65 \times 0.6 \times 0.72 \div 0.28 \text{ kW}$

*各水車の効率は、九州大学および信州大学からの実機適用時の効率としてデータ提供いただいた値を使用。

以上から、水車単体効率は開放型貫流水車が優れているが、立地条件に適合しないため、得られる出力に差が生じていることが確認できる。

(3) 水車設計諸元

定格流量 : 0.35 m³/s

有効落差 : 0.8m

(4) 水車の概要

図 4-2 に今回適用したダリウス水車を示す。

- 本水車は九州大学にて研究中の水車でありフィールド適用第一号となる
- 円周上に翼型の羽根を 5 枚等間隔で配置し、揚力を利用して回転する水車である
- 比較的緩やかな流れにおいても発電が可能である
- 自己起動性が悪く、停止した場合には水位調整を再度行う必要がある
- 回転数が高く発電機の直結運転が比較的容易である
- 導水壁、水車、発電機が一体構造のため設置工期が短い



図 4-2 ダリウス水車外観（下流より）

4-2-4 出力測定試験の結果

実証試験設備の出力測定について実施した。なお、出力測定試験実施前の運転調整において、設計流量と実流量との乖離により、運転に必要な水面が確保できない事象が発生した。そこで、運転可能な水位を保つために、導水壁開口部の開度調整を事前に実施した。表.4-2 に水車導水口開度調整結果を示す。

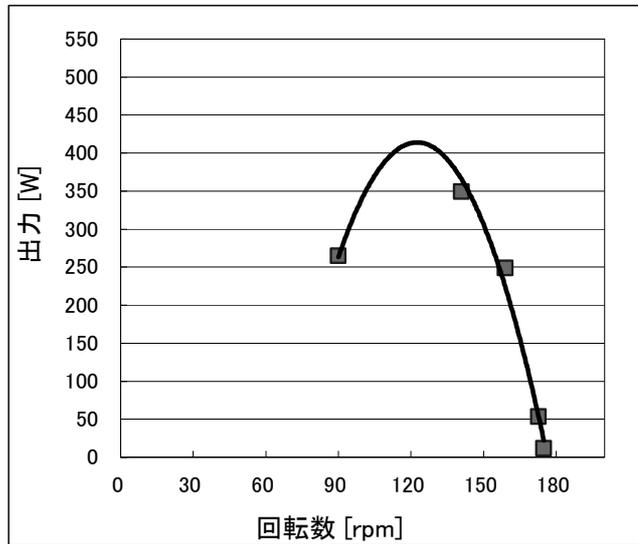
表 4-2 導水壁開口部の開度調整結果（水車設置時）

開口幅 (mm)	開口高 (mm)	導水面積 (mm ²)	設計開口 との比(%)	上流水深 (mm)	下流水深 (mm)	水位差 (mm)	無負荷時 電圧(V)
480	200	96,000	46.5	1360	450	910	120.0
480	220	105,600	51.2	1330	450	880	117.8
480	240	115,200	55.8	1330	450	880	103.5
480	260	124,800	60.5	1110	450	660	96.8

導水壁開口部開度調整方法として、開口幅を変える、開口高さを変える、その両方を変える方法が考えられ、それぞれの方法を試した結果、高さを変える方法が効果的（無負荷における発生電圧にて評価）であると判断し横幅を固定し高さを調整した。後日、この調整方法が妥当であることを九州大学に確認した。調整の結果、水位が安定した、横幅 480mm、開口高さ 220 mm、設計開口比 51.2 %を採用し、出力試験に備えることとした。なお、調整後実施した、電動工具を負荷に用いた負荷試験ではインバータ端（コンセント出力）で 200 W を確認した。

次に、導水壁開口開度の調整機能設置の前後で実施した出力測定試験結果を示す。

(第 1 回測定結果)



【測定条件】

流量 : 0.18 m³/s

落差 : 0.88 m

測定中も流量変動等が確認されたが、流量の調整ができなため前日の設定値を参考とした。

図 4-3 出力測定結果

表 4-3 測定結果

抵抗値 [Ω]	測定電圧 [V]	周波数 [Hz]	出力 [W]	回轉数 [rpm]
2710	100	58	11	175
530	97	58	53	173
100	91	53	248	159
47	74	47	350	141
33	54	30	265	90

【測定手順】

- 発電機出力端子に抵抗を接続し、そのときの電圧、周波数を測定する。
- 測定した電圧と接続した抵抗値から出力を算出する。また、回轉数は発電機の極数と周波数から算出する。

(算出式)

出力 $P = 3 \times \text{電圧}^2 / \text{抵抗}$

回轉数 $N = (120 \times \text{周波数}) / \text{発電機極数}$ (今回適用している発電機は 40 極)

【測定結果】

- 発電機出力端で最大 350 W を観測した。(試験装置上これ以上の出力は確認はできなかった。)
- 測定電圧に注目すると、インバータの動作下限電圧が 75~80 V であることから、変換器の効率も考慮した負荷供給能力は、現状で約 250 W 程度と想定される。

(第2回測定結果)

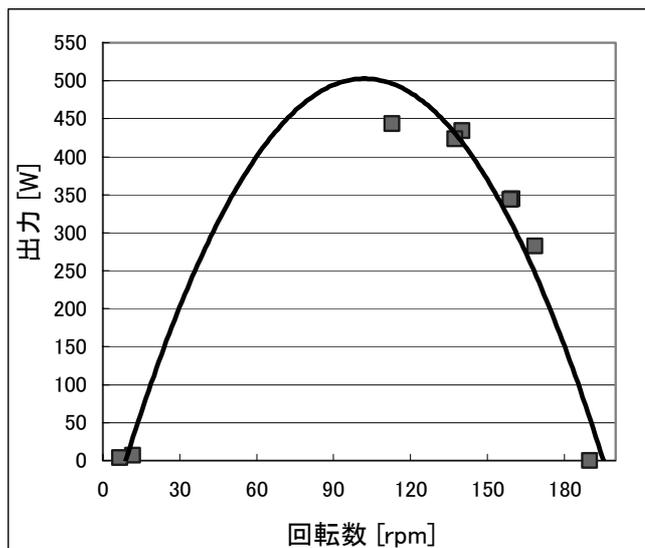


図 4-4 出力測定結果

【測定条件】

流量落差は確認できず。なお、試験前は水面動揺により越流する水位であったが、ゲート開口高さを変更し、電圧から最適位置を割り出し測定を実施した。

表 4-4 測定結果

抵抗値 [Ω]	測定電圧 [V]	周波数 [Hz]	出力 [W]	回転数 [rpm]
	107	63	0	190
94	94	56	282	169
68	88	53	344	160
68	88	53	344	159
39	75	47	434	140
36	71	46	423	137
24	59	38	443	113
15	6	4	7	12
11	4	2	4	7

【測定結果】

- 発電機出力端で最大 443 W を観測した。(試験装置上これ以上の出力は確認はできなかった。) 測定電圧に注目すると、インバータの動作下限電圧が 75~80 V であることから、変換器の効率を考慮した負荷供給能力は、現状で約 300 W 程度と想定される。

参考 【出力測定試験について】

水車発電機は、水車の回転動力を発電機に伝えて発電する。水車はその特性として、先の出力特性結果のグラフにある上に凸の放物線のようにある特定の回転数にて最高の効率を発揮するものである。(これは変速ギアのない自転車を漕ぐ場合、漕ぎ始めは重たいが、回転を速めるにつれて徐々に速度が上がり、特定の回転数を上回ると空回りし始めることから体感できる。)

本出力測定では、接続する抵抗値を変化させることで、一定の水エネルギーから引き出せる出力値を変化させている。

4-2-5 運転期間における諸課題他

(1) 実証試験設備の設置状況について

平成 22 年 12 月 25 日に水車を現地に設置。以下に設置状況を示す



写真①：

水車発電機設置状況



写真②：

水車運転状況

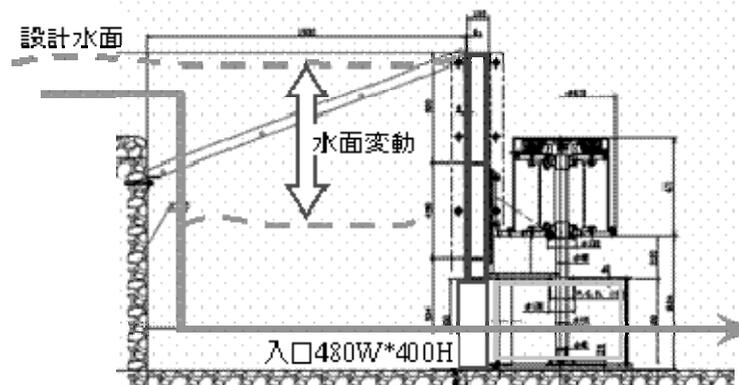
(2) 運転期間中の諸課題

水車設置後運転試験を開始したが、以下の問題が発生した。

- 水車導水口を全開にすると上流の水位が確保できず、運転が継続できない事象が確認された。12月26日の調整により、水車導水口の開口高さを400mmから250mm程度まで狭めることで上流水位が安定し、運転を開始した。しかし、翌朝には上流水位

が低下し水車が停止した。設計水量に対し実流量が少なく、1日の中でも流量の変動があり、夜間、早朝に特に流量が減少していると推定される。

- ▶ 運転中ランナが水没していることが条件となるが、流量の低下により水車頂部が露出し停止することが確認された。九州大学に原因を確認したところ、水車が水没していないと、空気連行渦が発生し、翼面に空気層ができるため、仕事をしないことが判明した。なお、水車は、水面から5cm程度水没させることが望ましいことを確認した。



* 流量の変動により、流入量と流出量のバランスが崩れ設計水深が低下してしまう。

- ▶ 水路へ排雪される時期となり、雪に混じり枯れ枝やビニールごみなどが流れ込むことが多くなった。大概のごみはスクリーン上に溜まり止められるが、時折水車入口部に挟まるごみがあった。ゴミの種類や大きさにあった、スクリーン・ピッチの設定や、更に上流への防塵ネットの設置といった、水車にごみが入らない対策が必要となるが、いずれも水路を阻害しないよう、溜まったごみをこまめに取り除く対応が必要となる。細かなごみが多く水車を通過しても問題ないと判断される場合は、スクリーンのピッチを細かくすると目詰まりにより水路を阻害する要因となるため、スクリーンを設けないという選択も考えられることから、ごみの種類を日ごろから観察することが必要である。また、水車設置をきっかけにした、ごみそのものの減量につながる利水者への啓蒙活動も今後検討の余地があると考え。なお、スクリーンに溜まったごみを取り除く作業に際し、安全に水路に下りる必要から昇降用ステップの設置等の対策も推奨する。(本実証調査地点では設置済み。)

(3) 対策案の実施

○水車導水口のゲート化を実施

試験設備には手動で上げ下げするためのゲートを設けてあったが、水圧により操作ができなことが判明したため、ハンドル式のゲートに交換した。その結果、手動で容易に導水壁開口開度を調整できるようになった。



図 4-5 ゲート設置状況

○下流水位の確保

消雪のため分水工への給水が必要となるが、分水工の下部面から給水しているため、野沢温泉村様のご協力を賜り、分水工に角落としを入れ下流水深を維持することとした。

○連続運転時間

設備設置後の平成 23 年 1 月 4 日より、実証試験設備にて発電時間（総運転積算時間）の計測を実施した。計測結果は以下のとおり。

計測期間（日数）	1 月 4 日 15 時～2 月 18 日 15 時 総日数 45 日間
運転時間（日数）	11 日 + 9.4 時間

ハンドル式ゲートへの交換が 1 月末に実施され数日間完全停止していたことを考慮しても、運転時間は少なく、流量変化に対する適応が課題として浮き彫りになった。

なお、この間における積算電力量は 1kWh であった。これは発電機は負荷として接続している照明設備の消費電力分しか発電しないためであり、最大発電出力の積算とはならないからである。

4-2-6 考察

実証試験設備設置後の調整試験および出力測定試験、その後の運転状況から以下のことが確認された。

- 流量変動に対応した水位調整を行う必要がある。調整を行わない場合、上流部水面を高位に確保することができず運転が継続できないため、ダリウス水車を設置する場合

には水位調整を容易にするためのゲート設備が必要であることが確認された。

ハンドル式ゲートを開閉することで、水車への導水流量を制御することが可能になったが、人の手による調整であるため日々の流量変動への対応は容易ではない。今後、年間を通じて流量の変動状況（水路水位の定点観測でも良い）を確認しつつ、運転データを蓄積していくことが望まれる。

- 本事業で実施した賦存量調査では、農業用水が最もポテンシャルを有する結果となった。農業用水路では、灌漑期と非灌漑期の流量差が大きく、当該期における変動は比較的少ないという特徴がある。これまでの発電計画では、連続運転をすることで発生電力量を確保するという観点から、非灌漑期の流量を基準にした規模設計が行われ、灌漑期流量に対しては、大部分を利用しない、または水車を複数台設置し、運転台数を変え対応するという手法が採用されてきた。

今回の実証試験では、流量変動に対する調整が重要であり、調整頻度が高い地点には不向きとなったが、農業用水路のように期別変動が主の地点では、今回追加したゲートを用い、非灌漑期に1回、灌漑期に1回とそれぞれの時期の流量に対応した開度調整を行うことで、比較的流量変動の大きな地点でも容易に運転継続が可能になると考える。

ダリウス水車は効率は低いものの、構造が簡易なため製作コストが抑えられることから、ゲートによる水位調整方法を採用することで農業用水路における普及の可能性が高いことが今回確認できたといえる。

- 出力測定試験では、2回目の出力測定にて発電機出力端で最大 443 W を観測した（1回目の測定では最大 350 W を測定）。これに対し、インバータにおける変換効率（AC → DC → AC への変換）は 70%程度のため、実際に負荷供給できる能力は 300W 程度と推測される。最大 350 W を記録した1回目の測定は設計流量の約 50%流量で行われており、流量の増加により更に出力の増加が期待できる。2回目の測定時の流量が計測できなかったため推測となるが、水位を保持した状態で流量が定格流量になった場合、出力は流量に比例することから、発電機端で 500W 程度の出力が見込まれる。実際にはこの時、水車の効率も向上するため、更なる上乘せが期待できるものと思われる。
- 本実証調査設備の最大出力時における二酸化炭素削減効果を、排出係数 561[g-CO₂/年]にて算出した場合、年間 1.99[t-CO₂/年]となる。（最大出力 0.443 kW×8,030 h×0.000561 t-CO₂/年）本設備のように数百 W クラスの出力の小水力発電設備では経済性が成り立たない事例が多いのだが、地球温暖化防止策としての評価軸を加味することで検討価値は変わるといえる。

- ▶ まくね川は、ほぼ直線の流路の中に複数の落差工がある。上流の落差工から下流の落差工の間に配管を敷設して利用した場合、約 30mの落差を得られる可能性がある。また、発電した電力を下水処理施設に供給することも可能であり、今後の開発に期待が持てる地点である。今回の調査では、ひとつの落差工を利用し実証調査を行ったが、今回の調査結果を踏まえ、さらなる検討が進むことが期待される。

参考： ダリウス水車の運用について

実証試験を通じて得た、ダリウス水車の運用について、以下にまとめる。

上流と下流の水位差を確保するため、水車通過水量を調整する必要がある。具体的には、水量を一旦絞って上流の水位を上昇させた後、上流の水位を保ちつつ、水量を増加させる。

水車の羽根が水没するよう下流水位を確保する必要がある。水車羽根が露出すると回転が低下し発電電力が下がってしまうため、回転を維持できるよう水車羽根を水没させて運転することが重要となる。九州大学に運転状態の映像を確認してもらったところ、水面の攪拌変動が多いため攪拌状態が出ないよう水没させることでより安定した運転ができるとの助言を得た。

水位調整用としてハンドル式ゲートを設置した後、上流と下流の水位差がある状態でも水車回転が低下する状況が発生することを確認した。水車隔壁から越流するまでゲートの締め込みをしたところ、急速に回転が上昇した。

以上から、ダリウス水車の運転を継続させるには上流下流の水位差確保が重要であることが第一であり、水量の変化に応じて水位調整ゲートにて水量を調整する必要がある。また、水量低下により一旦回転が低下し、回復しない場合においても同様に水位調整ゲートを一旦締め込むことで、再度回転上昇を開始して負荷供給可能電圧を得ることができる。しかし、回転数を上昇させただけでは負荷に供給できるエネルギーが少ないため、回転上昇確認後には、水量を徐々に増やししながら水位バランスする水量に調整することが必須となる。

4-3 栄村地点における実証試験

4-3-1 地点の概要

栄村村内にある北野天満温泉の敷地内に湧き出る湧水を利用し実証試験を実施する。この地点は、北野天満宮、植物園が隣接しており、当温泉も「学問の湯」と命名され、多くの村民が利用していると共に、行楽期には多数の観光客が訪れる場所である。

今回利用する湧水は、北野天満温泉掘削時に湧き出したものであり、湧出部は湧水堂と呼ばれる八角の木造建築物に囲われている。湧出量は毎分6 m³であり通年ほぼ一定の湧出量となっている。当該湧水は、平成22年「信州の名水・秘水」に選定され飲料にも使用されているが、大半は河川に排水されている。以下に現地の概要を示す。



○実証試験箇所の周辺案内

実証試験場所の周辺は公園となっており北野天満宮、菅原道真公を祭った八角堂、植物園が隣接している。



○湧水堂外観

今回の実証試験用水の水源となる湧水堂。周囲は窓で囲われ、中を覗くことができる。



○湧水堂内部

湧出部の状況，湧水は一旦堂内で受けられ，写真中心奥のゲートから外部排水槽を経て排水されている。

4-3-2 基本調査，発電方式の検討

発電計画を立案するため，検討委員会での現地調査結果等を参考に基本調査を実施した。

(1) 選定調書の内容

発電に利用する水の種類	：	湧水
発電に利用できる流量	：	0.13 m ³ /s
落差	：	3 m (実測値)
水利権	：	不要
電力の用途	：	温泉施設への使用

なお，これらは目測等を含んでおり，扱いには注意が必要であることから，詳細調査を実施する必要がある。

(2) 基本調査における着眼点

発電計画立案において重要となるのは，流量と落差の確認である。また，この地点は取水箇所が既設構造物内になっているため，施設管理の方法や制約事項，既設構造物の改造可否なども実証機の設置の上で重要な要素となることから，以下のポイントに着目し，基本調査を実施した。

- 現地状況の確認 : 現地の状況を確認し、発電諸元に影響を与える要素、設置上の制約となりうる制約事項（運用方法、管理方法、または既設構造物に対する制約事項など）の有無を把握する。
- 流量の確認 : 調書に記載された流量と実態に大きな乖離が無いこと、また年間を通じた変動の有無、変動する場合の変動幅、期間などの確認、使用可能な流量の確認（他の目的に利用されているか、利用されている場合はそれらも含め発電に利用可能であるかなど）。
- 落差の確認 : 調書に記載された有効落差の確認（どの点における落差であるかの確認）実際の設置を想定し、取水箇所から放水箇所の落差を確認する。
- その他 : 構造物の図面の有無、断水の可否など。

(3) 基本調査の状況

○現地状況の確認

以下に現地の状況を示す。



○取水箇所と放水箇所の確認

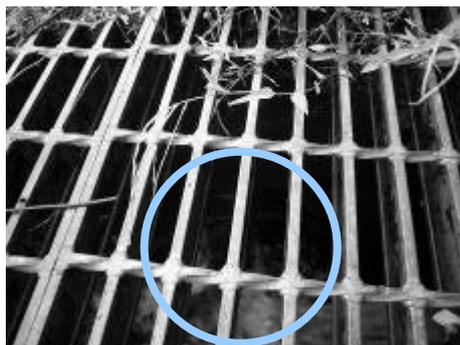
湧水堂と放水箇所の位置関係は写真のとおりであり、この落差が発電時の落差として利用可能と推定される。なお、湧水の吐出圧は開放されているため確認できず。また、該当するデータもないことを確認した。



写真①



写真②



写真③



写真④

○湧水堂排水部の状況

湧水堂脇に排水槽（写真①）があり排水槽底部からの配管（写真③）から河川に向け放流されている。写真②は湧水堂内の排水管を示す。湧水堂内水位と排水槽内水位に差がある。（写真④の黒ずみ：線部が湧水堂内の水位とほぼ同位を示す。）

○流量の確認

現状の湧水量を直接計量することが不可能であること、また、観測データも無いことから流量の把握として、飲料水としての使用量等の確認を行ったが、量の確認には至らなかった。また、湧水堂からの直接排水のほかにもう一つ排水管があることが確認されたが、これも量の確認とどこから排水されているのか調査したがデータが不足しており確認には至らなかった。しかしながら、目視上いずれも水量が少ないことから、選定調書記載値（ $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ ）及び栄村の HP における公称値（ $6 \text{ m}^3/\text{分}$ ）に大差がないため、これらの値を水車選定時の参考値として適用することとした。



○放水箇所の状況

湧水堂からの排水の脇に少量の排水が確認（図.5.3.2 下丸内）されたが流量，ルートは不明。



○他の利用量の確認

飲用水用の施設があり、湧出堂から引水している。このほか北野天満温泉でも利用されている。

○落差の確認（取水方法の検討）

落差は取水箇所と放水箇所の設定により異なる。基本調査では、放水箇所を河床と仮定し、取水が可能な位置を調査した。

案-1) 湧出堂内からの取水

湧出堂内から取水する方式について可能性を調査し、以下の課題があることから実現が難しいことを確認した。

- 湧出堂内から取水する場合、管を湧出堂から引き出す必要がある。しかしながら既設構造物の大規模な改修は認められないことから、管路を引き出す場合、湧出堂の窓から引き出すことが前提となる。
- 湧出堂内に管路を支持するための構造物を設ける必要がある。
- 冬季は雪囲いされているが、管路引き出し部は冬季も開放する必要がある。
- 管路を湧出口に取り付けた場合、吐出圧により外部に導水することができるものと想定されるが、湧出口の断水ができないことから施工ができない。
- サイホンを利用する場合、真空ポンプなどが必要となるが、発電規模（300 W 程度）を上回る電源が必要となることが予想される。

案-2) 排水槽からの取水

排水槽内から取水する方式の可能性を調査し、以下の結果から本案による取水方法を適用することとした。

- 湧出堂内の水位が既設排水槽水位よりも高い位置にあることから、排水槽内の排出管入口にゲートを設け、排水槽内水位を上げることで取水が可能となる。
- 排水槽の上部に取水設備を追加することで対応が可能なことから、湧出堂本体の改修を要しない施工が可能となる。
- 排水槽内に設けるゲートの開度を調整することで水車の使用流量の調整が可能となると共に、万一水車に通水しきれない水量となった場合でも、既設の排水管からの排

水が可能なことから、湧出堂から水が溢れるといったリスクが回避される（現状と変わらない管理が可能）。

取水方式として案-2を採用することから、湧出堂内の水位を取水位に設定した。また、水車設置位置について調査した結果、湧水の吐出圧を利用することができないことが確認できたこと、設置に際し視認性が高い場所との希望を受けたが、河床位置であっても十分な視認性を得られることが確認できたことから、水車設置予定箇所を河床部周辺とした。

以上から、発電に利用する落差は、湧水堂内水位を河床部間の落差とし、利用可能落差の計測を行った。

(4) 基本調査結果の取りまとめ

発電使用可能流量 : 0.1 ~ 0.13 m³/s

利用可能落差 : 2.1 m

(取水位 - 放水位)

取水方法 : 排水槽からの取水

水車設置場所 : 既設排水管排水箇所 (河床部)

設置場所ポテンシャル : $9.8 \times 0.1 \times 2.1 \approx 2.0$ kW

(1) レイアウト概要

- 水車設置位置は、河床最低部から施工性を考慮し、河床最低部より 0.5 m 高い位置とした。
- 排水槽を嵩上げし、嵩上げた部位から水車設置位置方向に木製の樋を伸ばし水車に滝状に導水する。既設排水管入口に手動ゲートを設置する。
- 木樋は水車幅と同じ幅を有する矩形とする。また、木樋の設置勾配は水平とする。

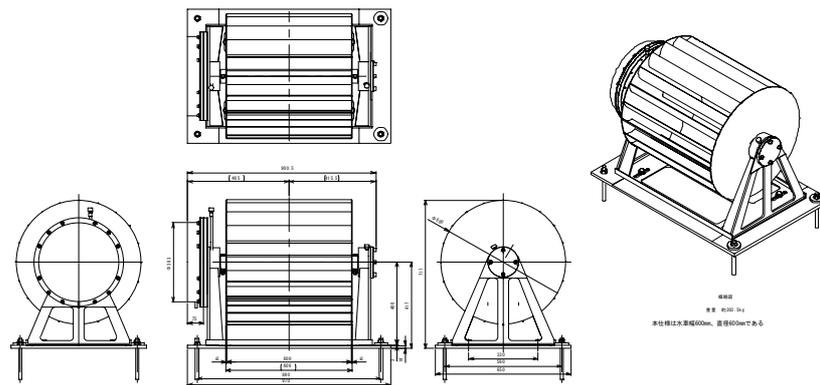


図 4-7 水車構造図

(2) 水車選定について

本地点は、湧水堂からの水を木製の樋によって水車設置位置において滝状の流れを模擬し流水を水車に作用させること、既設河床の大規模な工事が行えないことなどから、開放型貫流水車以外に適した水車が無い。そこで開放型貫流水車を選定した。

(3) 水車設計諸元

定格流量：0.13 m³/s

有効落差：1.25 m（滝落下位置から水車中心まで）

- * 水車設置位置を河床にした場合、利用可能落差が 1.8m となるが、施工性、視認性の面から、ポテンシャル量は低下するが、位置を変更し、河床から 0.5m 上方の位置に設置箇所を変更した。なお、設置位置変更によるポテンシャルの差は以下の通りとなる。

有効落差：1.8 m におけるポテンシャル $= 9.8 \times 0.13 \times 1.8 \approx 2.3$ [kW]

有効落差：1.25 m におけるポテンシャル $= 9.8 \times 0.13 \times 1.25 \approx 1.6$ [kW]

(4) 水車の概要

図 4-8 に今回適用した開放型貫流水車を示す。

- 滝や溪流，落差工といった小規模ポテンシャル地点への適用を目的とした水車である。
- コスト低減の観点から，開放型ランナを適用し，地点に直接設置する方式を採用している。
- 落差の 1/3 程度の小径ランナを流水の落下位置に設置し，流水の運動エネルギーを利用して発電する。小径ランナにより水車の回転数を高め，発電機と直接連結を実現している。これにより増速機による伝達ロスの低減，経済性，耐久性を高めている。

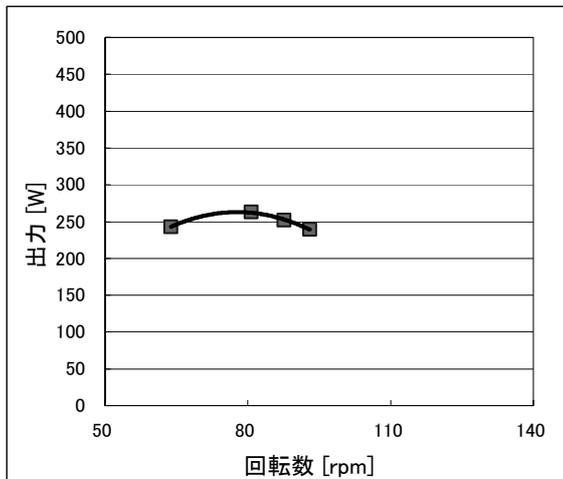


図 4-8 開放型貫流水車概要

4-3-4 出力測定試験の結果

実証試験設備の出力測定試験を実施した。なお，出力測定は発電機端で行い，インバータの効率は含まないものとした。計測に当たり，設置直後，排水槽からの漏水，木樋下部からの漏水が確認されたことから，漏水対策の前後で測定を実施した。以下に第 1 回測定結果および第 2 回測定結果を示す。

(第 1 回測定結果)



○測定条件

測定日 : 平成 22 年 12 月 10 日

流量 : 0.048 m³/s

落差 : 1.25 m

- 排水槽止水ゲートからの漏水により使用水量が低下している。(写真①)
- 木樋からの漏水が水車の運転を妨げる方向に作用している。(写真②)

図 4-9 出力測定結果

表 4-5 測定結果

抵抗値 [Ω]	測定電圧 [V]	周波数 [Hz]	出力 [W]	回転数 [rpm]
125	100	31	240	93
100	92	29	252	88
80	84	27	263	81
47	62	21	243	64



写真①



写真②

【測定結果】

- 発電機出力端で最大 263 W を観測した。
- 2 種類の漏水により、水車発電機本来の性能が発揮できていない状況である。

(第2回測定結果)

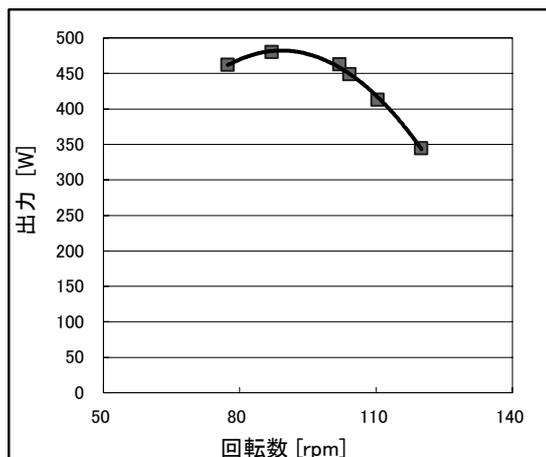


図 4-10 出力測定結果

○測定条件

測定日 : 平成 22 年 12 月 21 日

流量 : 0.081 m³/s

落差 : 1.25 m

* 水車側に通水する水量が増え出力が増加した。

表 4-6 測定結果

抵抗値 [Ω]	測定電圧 [V]	周波数 [Hz]	出力 [W]	回転数 [rpm]
150	131	40	344	120
100	117	37	413	110
80	109	35	449	104
70	104	34	463	102
47	87	29	480	87
33	71	26	462	77



* 漏水部の改修により水車への通水量は増加したが、所定の流量は確保できなかった。これは、飲用水等への利用などによる差異と想定される。また、流水が水車に作用する位置を一定に保つため、滝の落下位置に曲面流路と呼ばれるダクトを付けたが、曲面流路に沿わない流れが発生し流水が水車を飛び越えてしまう事象が発生した。そのため、水車に常時水流が作用するように流路端に板を設置した。

【測定結果】

- 発電機出力端で最大 480 W を観測した。
漏水対策の実施により出力値が向上した。

4-3-5 運転期間における諸課題他

前述したとおり，運転開始直後いくつかの事象が発生した。

漏水による使用流量の減少

流水が水車に作用する位置を保持するため曲面流路を取り付けたが，流量増加後，流水が水車を飛び越え運転停止となった。

これらについては個々に対策を講じ，現在運転に対する支障は発生していない。また，本地点は県内有数の降雪地帯であり，積雪が多く実証設備が雪に埋まってしまったが，運転状態を確認したところ，水車周辺は積雪の影響を受けていなかった。なお，木樋も雪に覆われていたが，流水部は通水を維持しており，積雪が原因となる諸課題は発生していない。以下に積雪中の設備状況を示す。



写真①

写真①：現地積雪状況

写真②：水車の運転状況

写真③：同上

写真④：投光器点灯状況

写真⑤：制御盤表示



写真②



写真③



写真④



写真⑤

なお、参考として栄村役場地点における積雪記録の抜粋を以下に示す。

	降雪[cm]	積雪[cm]
2011/1/1		21
1/2	20	29
1/3	6	33
1/4	0	30
1/5	2	27
1/6	32	56
1/7	50	100
1/8	17	95
1/9		85
1/10	60	140
1/11	50	155
1/12	1	128
1/13	75	185
1/14	19	165
1/15	36	170
1/16	38	185
1/17	30	182
1/18	50	210
1/19	1	185
1/20	14	187
1/21	69	235
1/22	1	205
1/23	60	245
1/24	4	222
1/25	17	217
1/26	0	197
1/27	18	206
1/28	53	247
1/29	35	254
1/30	41	274
1/31	86	320

	降雪[cm]	積雪[cm]
2011/2/1	5	276
2/2	6	263
2/3	0	252
2/4	0	235
2/5	0	221
2/6	0	215
2/7	2	210
2/8	7	210
2/9	2	198
2/10	28	220
2/11	5	207
2/12	3	205
2/13	25	220
2/14	0	205
2/15	30	220
2/16	6	213
2/17	0	200

○連続運転時間

設備設置後の平成 23 年 1 月 4 日より、実証試験設備にて発電時間（総運転積算時間）の計測を実施した。計測結果は以下のとおり。

計測期間（日数）	1 月 4 日 12 時～2 月 18 日 12 時 総日数 45 日間
運転時間（日数）	43 日 + 21.8 時間

ほぼ停止無く運転が継続されたが、計測期間合計して約 1 日（24 時間）の停止が見られる。停止の原因として、1 月の現地確認では木樋の上部が積雪に覆われ、木樋を流れる水により雪洞が形成され、水車に導水されていたが、2 月の確認では木樋の上部を覆っていた雪が無くなり、木樋が現れていた。消雪の過程で木樋上部にあった積雪が水路に落ち、水路が塞がれ、一次的に発電が停止したものと推察される。

なお、この間における積算電力量は 188kWh であった。これは発電機は負荷として接続している照明設備の消費電力分しか発電しないためであり、最大発電出力の積算とはならないからである。

4-3-6 考察

実証試験設備設置後の調整試験および出力測定試験、その後の運転状況から以下のことが確認された。

- 取水方法の工夫により、既設構造物に手を加えないで発電を実現できたことから、今後同様な施設における参考事例として有用な実証設備となったといえる。特に樋を用いることで、これまでは、発電をする上で制約のあった水車の設置場所、落差のとり方に選択肢ができるため、普及性は高いと考える。
また、水車の運転状況が見えるため、環境教育や PR にも適した設置方法であると考ええる。
- 県内有数の豪雪地帯であり積雪による影響が懸念されたが、期間中雪による障害は発生しなかった。水車設置時に樋の設計、支持方法等を的確に行うことで、積雪による構造物への障害は最低限に抑えられるものと推測する。
また、冬季間も安定した水量が確保され、連続運転が可能であったことから、停止時の凍結や樋の中に雪が堆積するといったことも防止できる。以上から積雪の多い地点でも、冬季に発電水量が確保でき連続運転ができる地点では、積雪の影響は受けにくいことが確認できた。

- 出力測定では、発電機端で最大 480W を観測した。
このときの電圧はインバータの動作に十分な電圧を発生していたが、周波数が低い
ため、インバータを介した実際の供給能力は、測定結果から発電機端で 400～430 W 程
度、インバータの消費電力、変換効率を考慮すると、負荷供給能力は、300～350 W
程度と推測される。実負荷確認ではコンセントからの供給で 334 W を確認した。

- 測定試験等の結果から、目標である出力 300 W を確保することができたが、水車に
作用する流水を観察すると、ダクトを沿って落ちる水の一部に剥離があり、水車に作
用していない水があることが確認できた。

- 本実証調査設備の最大出力時における二酸化炭素削減効果を、排出係数 561[g-CO₂/
年]にて算出した場合、年間 2.16[t-CO₂/年]となる。(最大出力 0.480 kW×8,030
h×0.000561 t-CO₂/年) 本設備のように数百 W クラスの出力の小水力発電設備では経
済性が成り立たない事例が多いのだが、地球温暖化防止策としての評価軸を加味する
ことで検討価値は変わるといえる。

- 湧水を利用した小水力発電は、県内外でも事例が少なく先進的な事例の一つとなる。
また、北野天満温泉（北野天満公園）の敷地内に設置されていることから、観光客を
始め、地元の小学生など、たくさんの方が訪れる場所である。水車の運転状況が見え
るという特徴を活かし、今後も、環境教育や観光資源として活用されることを期待す
る。

4-4 木曾町地点における実証試験

4-4-1 地点の概要

実証試験対象となる万郡沢は、地下水路を経て、滝落としの状態の水が流れている地点である。周辺には、木曾福島駅、木曾町庁舎があり町の中心部に位置しているといえる。また、これら施設が近いことから、住民の行き来も多く PR 効果も高い地点であるといえる。以下に当該場所の概要を示す。



○万郡沢の全景

中段に公道が位置するため、飛沫防止の囲いが設けられている。



○万郡沢中段部

中段部に分水路がありその先にゲートが設けられている。



○万郡沢下段部

中段のゲート設置場所の上下流から落水している様子が確認できる。写真手前は河床の状況であり、大きめの石が多く落石と思われる。

4-4-2 基本調査，発電方式の検討

発電計画を立案するため，検討委員会での現地調査結果等を参考に基本調査を実施した。

(1) 選定調書の内容

発電に利用する水の種類	：	小河川
発電に利用できる流量	：	1.0 m ³ /s
落差	：	8.0 m（目測値）
水路幅	：	2.0 m
水路の種類	：	開渠
水利権	：	不要
電力の用途	：	街路灯に利用

なお，これらは目測等を含んでおり，扱いには注意が必要であることから，詳細調査を実施する必要がある。

(2) 基本調査における着眼点

当該地点における実証試験の目的は，可能と考えられる発電方式の検証であり机上検討を主とする。そこで，基本調査では以下の点に着目し，可能性のある発電方式を抽出する。

現地状況の確認	：	現地の状況を確認し，可能と考える発電方式を検討するため 取水可能場所の確認，落差を得るためのルート，発電所設置可能 場所，設置上の課題を確認する。
流量の確認	：	調書に記載された流量と実態に大きな乖離が無いこと，また年間 を通じた変動の有無，変動する場合の変動幅，期間などの確認， 使用可能な流量の確認（他の目的に利用されているか，利用され ている場合はそれらも含め発電に利用可能であるかなど）。
落差の確認	：	想定される発電方式に利用できる落差の確認。
その他	：	水路の状況（ゴミや，落石など運用上の障害となるものの確認）。

(3) 基本調査の状況

○現地状況の確認

平成 22 年 9 月に現地踏査を行った。現地踏査では，発電場所の確認に加え，近傍にどのような施設があるか，現地の状況から障害となるべき事項，確認すべき事項の有無について抽出を行った。以下に現地状況を示す。



○滝落とし部上流の状況

上流が水路兼遊歩道となっている。増水時は通行不能となる。取水設備を設ける場合、遊歩道への影響を考慮する必要がある。



○万郡沢中段部

中段部に分水路の状況、基本調査時は分水路にほぼ全水が流入しており、中段部から下段部への落水はない状態であった。

また、分水の先にゲートがありゲート部から下段に落水している。分水先は農業用水として利用。



○万郡沢下段の状況

落水直近に段差があり、コンクリートで整形されている。



○万郡沢下段河床の状況

人工ゴミは少ないが、大小の石が多く存在しており河川内の水車設置は難しいと考える。

○流量の確認

以下に木曾町担当者より提供された当該地点の状況を示す。



○5月期の現地状況

流路全面に水が流れており、中段部から下流にも越流しているのが確認できる。



○7月期の現地状況

降雨時の状況であるが、下段のコンクリート整形された段が確認できないほど増水している。河川水位も大幅に上昇している。



○現地調査時（9月期）。

河床が確認され、下段部の落水が無い。

調査の結果、流況が大きく変化する地点であることが確認された。また、6月22日から8月20日に掛け断続的に現地で収集された流量データは図4-11のとおりとなった。この結果では最大流量が0.22 m³/s、最低流量が0.04 m³/s、平均流量が0.11 m³/sとなっている。このデータから、調書に示された1 m³/sが確保できる期間は少ないと想定する。発電計画において重要となるのは、年間発生電力量であり、これは運転時間にも大きく影響する。調書に示された1 m³/sの期間がどの程度得られるかを確認するデータがないため、実測データを参考に当該データ収集期間を通じて発電が可能と推定される流量を発電利用可能流量とし、0.05 m³/sとした。

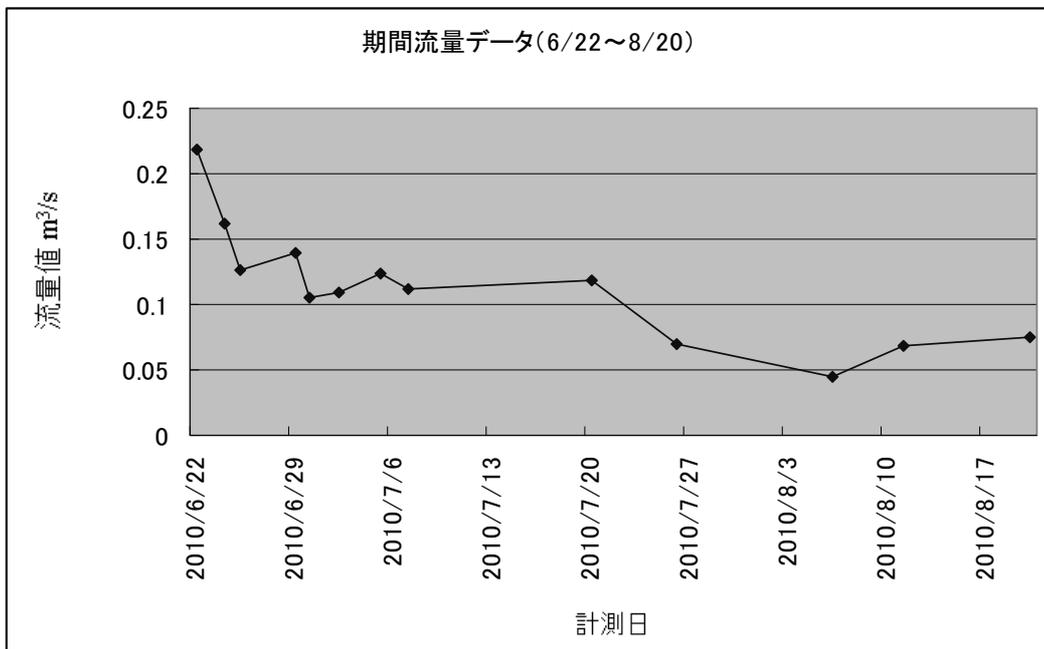


図 4-11 流況データ

○落差の確認

今回の調査により、発電に利用できる落差として、次の2箇所が考えられることが確認できた。以下にその場所を示し、それぞれの落差を確認した。なお、確認した落差は、計画地点の落差を示している。発電に利用する落差（いわゆる有効落差）は水車への導水方法により損失などが発生するため、今回示す落差とは異なる。



○万郡沢の滝落としを全て利用

滝落としの始点から、下段水路河床まで
≒6 m



○中段分土工落水位置

分土工から下段河床まで
≒3 m （実測値）

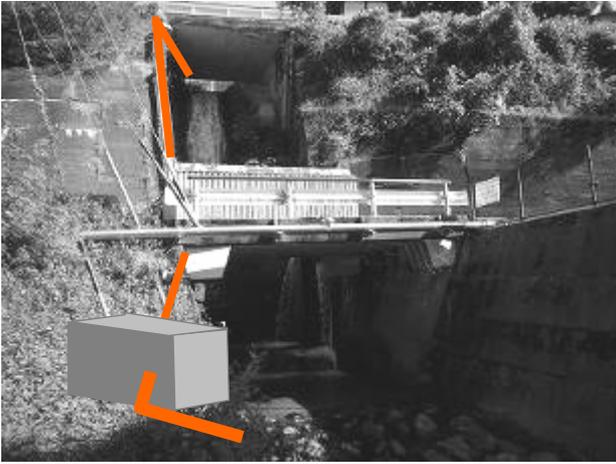
(4) 基本調査のまとめ

- ▶ 流量が大きく変動する地点であり、年間を通じ発電利用可能流量は $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度が上限と推測される。
- ▶ 発電に利用可能な落差は2箇所あり、滝落とし部の始点から河床までの間約6 mと、滝落とし中段部の分土工から河床までの約3 mが利用できる。
- ▶ 河川内の状況は増水等により大きく変化し落石なども多く見受けられた。
- ▶ 分土工からの分水先における水利用があるため、発電計画では $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ を基準に検討する。

4-4-3 発電方式の概略検討の実施

発電方式として、利用する落差によって発電方式①と発電方式②に分けられることが確認できた。そこで、発電方式の選定を行うため概略の比較検討を行う。なお、発電方式①を万郡沢滝落とし始点から河床までの落差を利用する案、発電方式②を中段分木工から河床までの落差を利用する案とする。以下に発電方式①の概要および発電方式②の概要を示す。

【発電方式①の概要】



○全体イメージ

滝落とし上部に取水槽を設け、水路壁伝いに水圧管路を敷設して、下流まで水を導水する。水車設置場所は、落差を極力有効利用するため河川脇の土手とする。

なお増水時の設備保護，一般人が容易に立ち入らないことを目的に，建屋内に設備を設置するものとする。



○取水箇所

滝落とし部上流に簡易な水槽を設け取水槽とする。

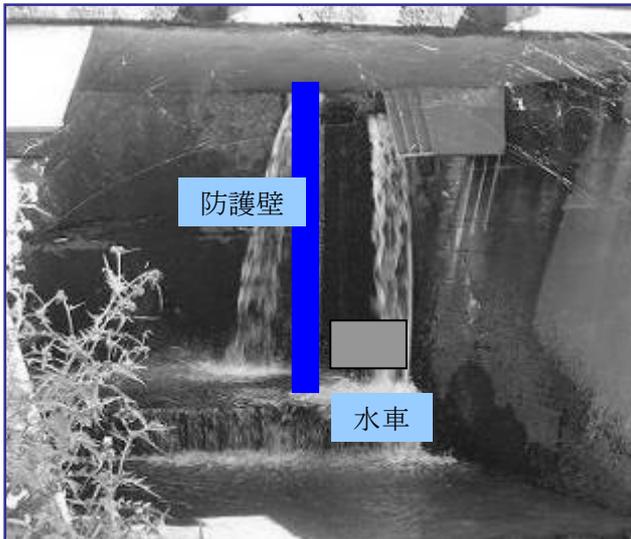
取水槽から水圧管路を分岐する。なお，発電使用水量以上の水は下流に越流可能な構造とする。



○水圧管路敷設ルート

既存の塩ビ管敷設ルート沿いに敷設。

【発電方式②の概要】



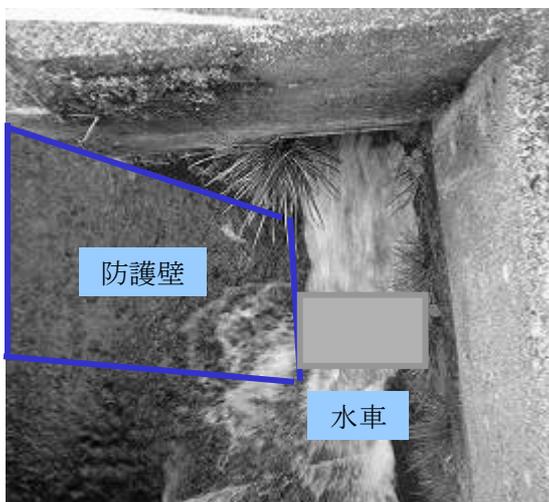
○全体イメージ

分水工の放水部から河床までの落差を利用。
河川からの落石等から設備を保護するため、
分水工構造物壁沿いに防護壁を設ける。
水車は通常時の最大河川水位の影響を受けな
い高さに設置する。



○取水口の状況

分水工放流口を取水口とする。
水車に導水するためのダクトを放流口に取り
付ける。



○取水口上部から見たイメージ

4-4-4 発電方式（①，②）の比較

発電方式①および②の比較結果を表 4-7 に示す。

表 4-7 発電方式①および②の比較

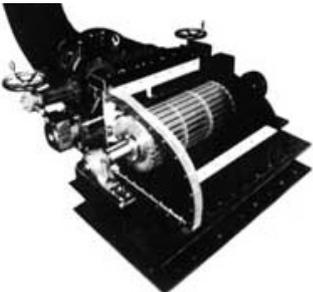
発電方式①		発電方式②	
項目	検討設定値	項目	検討設定値
使用水量	0.06～0.10[m ³ /s]	使用水量	0.02～0.05[m ³ /s]
落差	実落差 6[m] 有効落差 5[m]と仮定	落差	実落差 2.8[m] 有効落差 2.4[m]
水車型式	クロスフロー水車	水車型式	滝用水車
水路 ルート	上部水槽からパイプライン にて下流域水車まで導水	水路 ルート	当該落差工中段にある分水 工部からの放水を活用
発電機 出力	2.0～3.4[kW]	発電機 出力	140～350[W]
発電 電力量	16,000～22,000[kWh]	発電 電力量	1,100～2,800[kWh]
想定 建設費	約60～75百万円	想定 建設費	約4～8百万円
○主要構成設備（発電のための付帯装置） <ul style="list-style-type: none"> ➤ 取水設備（規模，方式は要検討） ➤ 水圧管路（φ300，敷設長約10m） ➤ バルブ（φ150程度） ➤ 建屋（コンクリート構造物，幅5m×長5m×高2.5m） ➤ 放水設備（φ200程度の管路にて放水） 		○主要構成設備（発電のための付帯装置） <ul style="list-style-type: none"> ➤ 取水用ダクト（幅0.3m×長さ2m） ➤ 取水用ゲート（手動仕切り弁） ➤ 水車防護用壁（コンクリート壁，高3m×幅1m） 	
○課題 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 取水設備による上流地下遊歩道へ 		○課題 <ul style="list-style-type: none"> ➤ 河川内設置に対する河川管理上の 	

<p>の影響</p> <p>(上流水位の上昇による影響および施工範囲が広範囲になるまたは可倒堰などの採用検討)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 建屋設置場所の用地取得(河川管理上の設置可否を含む) ➤ 減水時の下流分水量の確保 	<p>設置可否</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 減水時の分水分水量の確保
--	--

【参考： クロスフロー水車 】

小水力発電と共に注目され始めた、流量変化の大きい流れ込み発電所に適した水車。

構造が簡単で運転保守が容易であるとともに、流量変化に対応して広い運転領域を有する。調達価格も比較的安価。ただし、水車設置場所は放流水面より高い位置でなければならない。



(1) 発電方式①および②の比較表

	発電方式①	発電方式②
良い点	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 未利用エネルギーを最大限に引き出す 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 安価に設置 ➤ 河川本線の水流を妨げない ➤ 安定的に通年運転が可能 ➤ 見える水車である
悪い点	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 発電量と建設コストのバランスが取れていない(設備コストが高い) ➤ 増水時の溢水対策が必要 ➤ 川の水が配管に閉じ込められ、見えなくなる 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 発電電力量が少ない

(2) 発電方式①および②の比較結果

- 発電規模として、発電方式①は方式②に比べ 10 倍程の規模が期待できるが、発電を行うための付帯装置が多いこと、設置に当たって多くの土木工事が発生するため、建設コストも 10 倍近く必要となる。方式①のように河川の流水の全量を活用するだけでなく、時には方式②のように分水後の水の利活用も検討することは肝要である。

- 発電方式①は取水設備を設けることによる上流の水位上昇に対する影響評価と、施工範囲、増水時の対応を含めた構造物を設ける必要があることを鑑みると、大幅なコスト増となる可能性がある。
- 河川の特徴から、発電設備には増水時の対策が必須となる。
 発電方式①は上部水槽を増水等に耐えうる構造にする必要がある。一方、発電方式②は吊り上げ装置などで緊急時吊り上げるなどの対策が適用できれば、設置に当たり保護壁の省略が可能である。また、保護壁は分土工の既設構造物の下流側に設けるため、流れに対する障害物になりにくいいため、増水時の水位上昇等の要因になりにくい。

発電方式①は②に対し発電規模が大きくなるが、得られる規模に対する費用も高くなる結果となった。今回要望されている電力の用途として街路灯等が挙げられていることから、負荷に対する適正規模や課題の少なさから、発電方式②を選定する。

木曾町におかれては、当検討結果をもとに、住民間で議論され、実際の設置に向けたさらなる検討が進むことを期待している。

4-4-5 発電方式②の概略検討

(1) 検討結果

使用水量	0.02～0.05 [m ³ /s] 中段分土工にて分水した後の水を利用
落差	2.4 [m] (有効落差) 実落差が 2.8[m]
水車形式	滝用水車 水路端へ設置することで、本川の増水にも対応可能 一年を通じて、安定的に運転可能
導水方法 (水路ルート)	分土工から、本川へ戻る放水を利用 導水路は一切変更せず

(2) 発電計画想定値

発電規模	140～350 [W] (0.14～0.35[kW]) = 9.8 × 0.02 [m ³ /s] × 2.4 [m] × 0.3
発電電力量	1,124～2,810 [kWh] = 0.14 [kW] × 8030 [h] ※8030[h] = 24[h] * 365[day] *(11ヶ月/12ヶ月)

電力の用途	自家消費 水路沿いに防犯街灯を設置し，給電する等
-------	-----------------------------

(3) 費用の想定

工事費	概算工事費（想定額）： 4百万円～8百万円 （設計費含まず）
事業費のうち 年収入額	22千円～56千円 系統電源からの電力購入代削減分を収入と換算 想定減額＝発電電力量×想定買電単価 20[円/kWh]
事業費のうち 年支出額	150千円 修繕費 50千円，修繕積立金 50千円，他 50千円と想定 ただし運営管理人人件費は現人員内対応として未算定

(4) 評価

評価	<p>【経済性】 発電量が少なく，単年度収支は赤字 投資回収は見込めないため補助制度の活用が必須</p> <p>【二酸化炭素削減効果】 0.61～1.57[t-CO₂/年] （排出係数 561[g-CO₂/年]を採用して算出）</p> <p>【環境学習等に対する機会提供頻度】 木曾福島駅の近くにあり，PR度は高い。かつ子供達の目にとまりやすい立地</p> <p>【その他】</p>
注意事項他	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 道路を挟んだ向かいに集合住宅地があり，騒音対策を別途講じる必要有り ➤ 本川の増水対策として，滝用水車の側面に壁を設ける必要有り ➤ 水車設置高は，通常流量時において水面上となるよう設定するため，有効落差は減少する

図 4-12 に設置レイアウトイメージ図を示す。

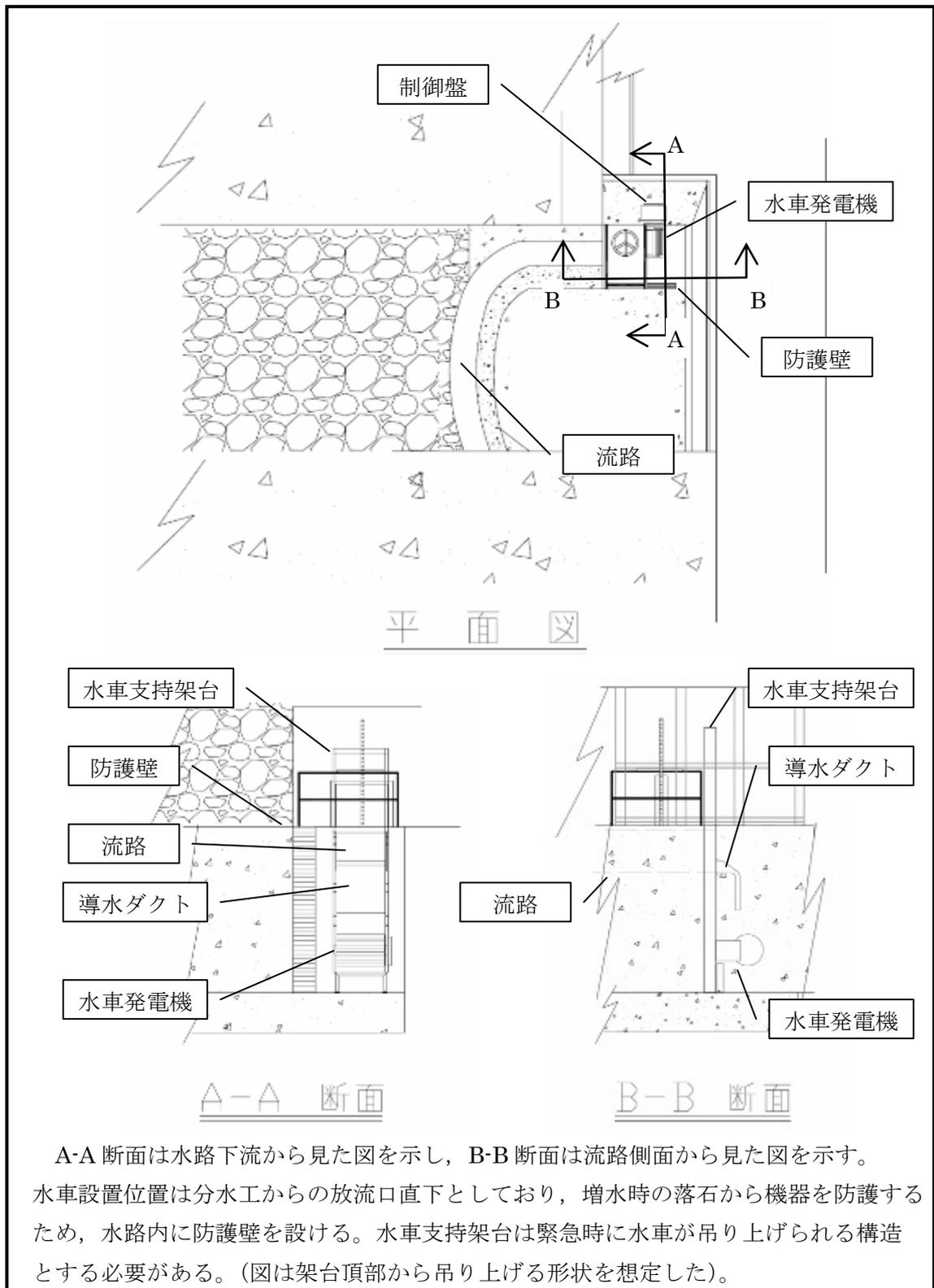


図 4-12 レイアウトイメージ図

第5章 小水力発電導入検討時の注意事項

小水力発電設備を導入する際にポイントとなる項目をまとめた。導入可能地点を探す際の参考として利用できるよう、本文内で既に記述している内容についても再掲してある。

5-1 導入検討の工程

小水力発電を導入する際の標準的なステップを以下に示す。

表 5-1 小水力発電の導入ステップ

Step1	初期の取組	<ul style="list-style-type: none"> 候補地探し 発電ポテンシャルの確認 発電設備導入目的の確立
Step2	基本調査と概略検討	<ul style="list-style-type: none"> 基本調査 概略検討
Step3	事業性評価と事業化の決定	<ul style="list-style-type: none"> 経済性の評価 その他の評価 事業化の可否判断
Step4	許認可 協議と申請	<ul style="list-style-type: none"> 発電所建設に必要な許認可のための協議 許認可申請
Step5	事業計画の策定	<ul style="list-style-type: none"> 事業スケジュールの作成 建設資金の調達 詳細設計 資機材手配 許認可の取得
Step6	発電所の建設	<ul style="list-style-type: none"> 工事発注, 着工 通水試験 竣工検査 (許認可先による完成試験)
	↓ 発電所の完成	
Step7	運転開始と維持管理	<ul style="list-style-type: none"> 運転保守

本章では、上表にある Step 1 から Step 3 までを説明・紹介する。

5-2 【Step 1】 初期段階での取組

小水力発電を導入する際の初期段階での取組は、まず候補地点を探すことであり、次にその候補地点に潜んでいる未利用エネルギーの大きさを確かめることである。

5-2-1 小水力発電の候補地点を探す

小水力発電は、今ある水インフラに潜んでいる「未利用エネルギー」を取り出す仕組みである。そのため、目の前にある水、または所有している水や管理している水、それらの水に潜んでいる未利用のエネルギーの大きさ、すなわち「発電ポテンシャル」を確かめることが候補地点を探す第一歩となる。発電ポテンシャルが「どこに」「どれくらい」あるのかを確かめることで、その候補地点で小水力発電が実現できるか否か、また発電した電気でどのようなことができるのかが分かるようになるのである。

候補地点を探す第一歩となる発電ポテンシャルの算出方法を理解することは、どのような地点が小水力発電の適地となるのかを理解することと同意である。

発電ポテンシャルは、その候補地点を流れる水の「流量[m³/s]」と「落差[m]」で決定する。その計算式は水力発電の発電機出力を算出するものと同一である。

発電機出力

$$P = 9.8 \times Q \times H \times \eta$$

ここで P : 発電できる電力で、単位は[kW]
9.8 : 定数(重力加速度)
Q : 水車を通る流量で、単位は[m³/s]
H : 有効落差(上下流水面の高低差から機器損失等を差し引いた落差)で、単位は[m]
η : 水車と発電機の総合効率で、通常は 0.5~0.7 程度

例えば、流量 1.0[m³/s]・落差 1.5[m]の水が持つ発電のポテンシャルは上記式から $P=9.8 \times 1.0[\text{m}^3/\text{s}] \times 1.5[\text{m}] \times 0.6 = 8.8[\text{kW}]$ となる。参考として、流量と落差から得られる発電機出力を総合効率=0.6 と仮定して試算した一覧を次に示す。

表 5-2 発電ポテンシャル試算結果 一覧

		有効落差 [m]						
		0.5	1	1.5	2	3	4	5
流量 [m ³ /s]	0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.7	2.3	2.9
	0.2	0.5	1.1	1.7	2.3	3.5	4.7	5.8
	0.3	0.8	1.7	2.6	3.5	5.2	7.0	8.8
	0.4	1.1	2.3	3.5	4.7	7.0	9.4	11.7
	0.5	1.4	2.9	4.4	5.8	8.8	11.7	14.7
	0.7	2.0	4.1	6.1	8.2	12.3	16.4	20.5
	1.0	2.9	5.8	8.8	11.7	17.6	23.5	29.4
	1.5	4.4	8.8	13.2	17.6	26.4	35.2	44.1
	2.0	5.8	11.7	17.6	23.5	35.2	47.0	58.8
	3.0	8.8	17.6	26.4	35.2	52.9	70.5	88.2
4.0	11.7	23.5	35.2	47.0	70.5	94.0	117.6	

(総合効率は採用する水車発電機の種別によって変化する。)

(1) 地点毎の流量と落差の判断

水が流れている状況により発電ポテンシャルが潜んでいる箇所は変化するため、水種別毎に示す。

【水を管路で送水している場合】

流量： 当該管路を流れる水の量が該当

落差： 当該管路のバルブの前後の圧力値が該当(圧力差)

管路途中にバルブ等が無い場合、当該管路上流の水槽水面から管路下流の水槽水面の高低差が該当

【用水路や河川の場合】

流量： 当該水路を流れる水の量が該当

落差： 落差工、急流量の場合は上流の水面と下流の水面の高低差が該当

勾配のある水路や河川では、勾配の始点から終点までの高低差が該当

【湧水などの場合】

流量： 湧水量、噴出量が該当

落差： 湧水場所から水路などで低所に流れている場所の高低差が該当

温泉水のように噴出していた場合、噴出圧力が高低差に該当

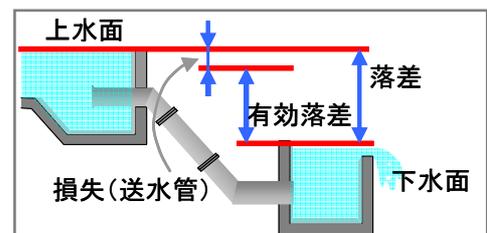
(2) 流量および落差の確認方法

流量データの確認における注意事項は次のとおり。

- 流量資料（測定データ）があれば、それを利用。（長い期間のデータであるほど、信頼性は向上。）
- 資料がない場合は、現地で測定する必要有り。
- 簡易に流量を測定する方法として、うき（落ち葉等浮かぶ物）を流して流速を計り、流路断面と掛け合わせることで、その瞬間の流量を知ることが可能。ただし水深が浅い場合は誤差が大きくなるので、注意が必要。
- 季節あるいは時間によって流量の変動が大きくなるような場合は、水車選定に大きな影響を及ぼすため慎重に調査する必要有り。

また、落差データの確認における注意事項は次のとおり。

- 落差とは、取水口（上流）水面の高さと放水口（下流）水面の高さの「差」を指す。
- 水流が取水口から放水口を出るまでの間に、摩擦や屈曲、断面変化により損失水頭（落差）が発生する。落差から損失落差を引いた物が「有効落差」である。
- 落差は、図面や水準測量などにより測定可能であり、損失落差（水頭）は、計算により算出可能。
- 水道発電のように圧力管路で送水している場合、水車設置位置近傍で測定した水圧値が有効落差である。



5-2-2 導入目的の確立

初期段階の取組におけるもう一つ重要な事項は、小水力発電設備の導入目的の確立（明確化）である。当たり前のことだが小水力発電を導入する際の目的を明確化することで、これ以降のステップで発生する様々な判断・決断を容易にさせることができる。

導入の目的として挙げられることが多いのは、収入増や電気代削減等の利益追求や、環境貢献（地球温暖化防止や低炭素社会への取組）、街おこしや産業の活性化である。また近年では電力利用のニーズ（無電化地域で電気柵を利用する等）から目指す小水力発電の概要を決定する手法にも注目が集まっている。

5-2-3 役割分担による解決

先に記述したとおり小水力発電の導入には多くのステップがあるが、これらの中には技術的な問題から水管理者自らが実施することが困難な作業も存在する。Step 1 から Step 3 まで比較的自ら実施できる作業項目ではあるが、そのうちの一部を専門企業に依頼することで解決・進行が早まることも事実である。しかしながら小水力発電では、今ある水から未利用エネルギーを取り出して発電する基本構造により発電電力量が元々小さく、経済性の確保が困難化することが少なくない。そのため多くを外部に依存することはコスト低減の妨げとなることを深く理解しておく必要がある。

5-3 【Step 2】基本調査

5-3-1 導入可能地点の選定

導入可能地点の選定において、一番重要なことは、次の2点である。

- 適度な「流量」と「落差」が存在すること
(すなわち、適切な発電ポテンシャルを有していること)
- 年間を通じて、流量の変動が少ないこと
(変動無しが一番だが、変動要因が明確であれば工夫により対処は可能)

上記以外にも様々な基本項目を調査し確認することで最終的な地点選定となる。

5-3-2 基本調査

基本調査の際にチェックする項目の一覧を次に記す。手元にある資料を参考にしたり、新たに調査する等して各項目を一つずつ整理するのが、このステップの役割である。

発電ポテンシャル	: 流量と落差を求め、発電ポテンシャルを算出する 年間を通じた流量の変化の有無および変化量を確認
関連法規制	: 河川法への対応が必要か否か確認 他の関連法への対応が必要か否かも同時に確認しておく
立地環境	: 当該地点の周辺環境（生態系、景観、騒音の影響）の確認 発電設備の設置ペースが十分か否か 建設工事時のスペース、工事用重機の利用可否の確認
接道の状況	: 工事や維持管理のためのアクセス道路の確認
既存電力系統	: 既存電力系統（配電線）までの距離と、その電圧の確認
その他	: 水車発電機の設置による上流および下流への影響 当該水路へ流れ込む塵芥の影響 積雪地帯の場合、水路への流雪の有無を確認

基本調査の際に、注意する点として以下の事項も場合により考慮する必要がある。

➤ **流量の変化により、発電電力量も変化すること**

発電機出力の算出式に「流量」値が含まれていることから分かるように、流量が一定でなければ発電機の出力は変化し、当然その時間積算値である発電電力量も変化する。発電電力量は、収支計算の根底となる項目であることから、その変化には十分な注意が必要である。

➤ **建設工事費の助成制度の有無を確認しておくこと**

経済産業省以外にも、農林水産省や環境省、または地方自治体等などが様々な名目で小水力発電の建設に対する助成制度を設けていることから、小水力発電事業を実施しようとする際には助成を受けられるか否かの確認は必須である。

➤ **水路を流れてくる塵芥について確認しておくこと**

塵芥の量が多い場合、水車発電機の上流に除塵設備が必要となり、更にその除塵設備で回収した塵芥処理（産廃処理）費用についても考慮する必要が発生する。

➤ **各種許認可における協議や申請手続きの時期について確認しておくこと**

河川法や電気事業法の概要について把握しておくと同時に、その対処方法や対処時期についても整理しておく必要がある。

河川法の適用範囲外であるか否かも、河川管理者（国や都道府県等）に確認しておくことは重要である。

5-4 発電した電力の用途

5-4-1 電力の使い道

小水力発電設備により発電した電力をどのように使うのかは、大きく2つに分類される。発電した電力を電気事業者に売電するか、もしくは自らの設備内で自家消費するかである。（実際には、両者の中間として自家消費した残りの電力を売電する「自家消費余剰売電」型も存在する。）

	メリット	デメリット
売電型	<ul style="list-style-type: none">現金での収入となり、経済性が高い需給バランスを調整する必要がなく安定した運用が可能	<ul style="list-style-type: none">環境価値とセットで売るため、環境貢献目的には使えない系統連系のための協議および設備投資が必要
自家消費型	<ul style="list-style-type: none">電気事業者から買ってくる電力の節約になる環境価値が丸々残る設備が簡易で済む	<ul style="list-style-type: none">需給バランスの調整が難しく、需要側に合わせた発電量しか発電できない経済性があまり高くない

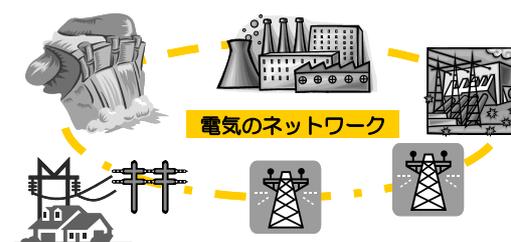
電力の特徴として、“発電している総電力”と“使用している電力”は等しく制御しておかねばならないことがあげられる。これを「需給バランスを調整する」という。

環境価値に関しては、現在法制化が進められている「再生可能エネルギーの全量買取制度」次第では国全体での取引に変わる可能性もあるため、現時点での将来性には不明瞭な部分がある。

検討連系するために必要な装置として、要求電圧へ昇圧するトランスや単独運転検出装置、各種検出リレー、送電線等があり、発電設備の規模や送電の方法等により設置が決められる。

5-4-2 電気事業者との系統連系

電気事業者の送配電ネットワーク（配電線）のことを「系統」といい、系統に発電設備を接続することを「系統連系」という。系統連系する際には電気事業者法で定められた種々の取り決めを履行する義務が発生する。



自家消費型でも系統連系することにより、余剰分を売電することが可能となる。例えば、水力発電設備の発電能力が 100[kW]あったとして、自家消費設備での消費量が 60[kW]しかなければ、残りの 40[kW]を電気事業者へ売電できるのである。この余剰分は系統連系しなければ発生しない（発電されない）エネルギーであり、未利用のまま埋もれてしまうのであるが、系統連系することで、利活用の道が開けるのである。

単独運転検出装置：系統連系する際に、電気事業法で設置が義務づけられている装置。系統事故が発生した時、安全に系統を復旧させるための機能を有する。

系統連系では、主に高圧連系（7,000[V]未満）と低圧連系（600[V]未満）の 2 種類に区分される。

従来、回転機器系発電機にて逆潮流有りの系統連系を行うには、太陽光発電のように逆変換装置を必要とするなど制約が多くコストもかかることから実績事例が少なかったが、近年技術開発が進み、低圧連系による小水力発電も増えてきている。

系統連系するには、既存の送配電線までの送電ルートを自前で確保すること求められる。

5-5 【Step 2】概略検討

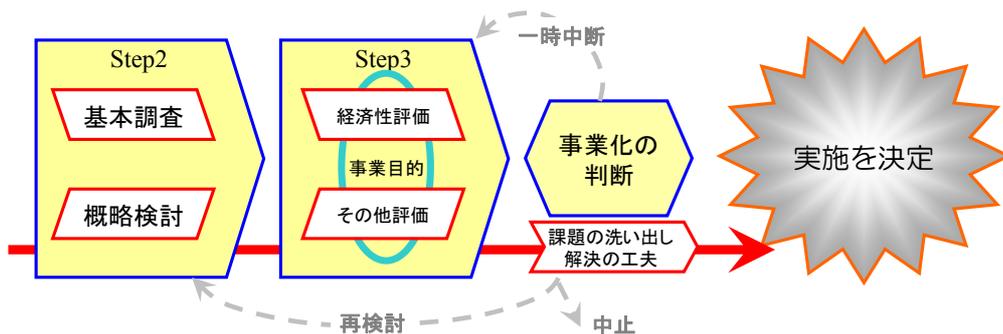
Step 2 の前段である基本調査が済めば、次は概略検討である。概略検討では以下の 5 項目を実施する。

A. 発電使用水量の検討	小水力発電設備の基本事項が判明
B. 取水位と放水位（落差）の検討	
C. 水車発電機の選定	
D. 発電規模および発電電力量の検討	収入と支出の額が数値で明確化
E. 工事数量および事業費の検討	

A～C の 3 項目は一方的なフローで決まるのではなく、3 項目を複合的に検討したうえで決定することとなる。概略検討は次の Step 3 にて実施する事業性評価において使用する収入額（年間想定発電電力量に相関）と支出額（工事数量から求める建設工事費と年間の支出額の目安となる事業費）を求めることとなる重要なプロセスである。

5-6 【Step 3】事業性評価

水力発電事業を当該地点にて実施するか否かを判断する Step である。評価の軸としては、経済性の評価を基盤に設備導入目的に合致しているか否かの評価がある。



通じた流量調査をきちんとしておく必要があること。また、採算性を確保するためにはコスト面での技術革新がまだまだ必要であること、などである。

まだまだ技術的にも開発の余地があり、県だけでは解決できない課題も多く残されている状況だが、こうした小規模な小水力発電の導入の機運を高めるきっかけとして、本調査が県内各地へ一石を投じるものとなることを期待するものである。

長野県環境部環境政策課

電話：026-235-7022

ファクシミリ：026-235-7491

無許可の転載・複製を禁止します

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料「Aランク」のみを用いて作製しており、「紙へリサイクル可」です。