小水力発電設備設置可能性調査業務委託

報告書

令和　6 年　3 月

平成理研株式会社

目　次

第１章　一般事項 1
１．業務名称 1
２．業務目的 1
３．業務場所 1
４．調査実施日 3
５．調査対象項目 3
第２章　調査結果 4
１．水路形状 4
２．流量調査 6
３．周辺地形 7
第３章　小水力発電設備の基礎 8
１．小水力発電の定義 8
２．小水力発電の種別 8
３．水車の種類 10
第４章　小水力発電設備設置の検討 12
１．水車形式の選定 12
２．当該水路において適応が可能な水車形式選定 13
３．各河川における設置候補地概要 15
４．候補地に対する水車の選定 17
第５章　小水力発電設備の概略設計 18
１．黒沢西川 18
１．１　堰堤①（下流） 18
１．２　堰堤②（上流） 19
２．大戸川 20
２．１　堰堤②（中流） 20
２．２　堰堤③（上流） 21
３．小戸川 22
３．１　堰堤①（下流） 22
３．２　堰堤②（上流） 22
４．概算設計のまとめ 23
５．評価 24
第６章　小水力発電設備の構成及び概算費用 25
１．小水力発電構成機器 25
２．小水力発電設備概算費用 25
第７章　総合検討 27

第１章　一般事項

１．業務名称

小水力発電設備設置可能性調査業務委託

２．業務目的

本市は、令和４（2022）年 10 月に、2050 年までにカーボンニュートラルを目指すゼロカーボンシティである宣言「ゼロカーボンシティさの」を表明した。この宣言を実現するためには、再生可能エネルギーを最大限導入することが必要不可欠である。

再生可能エネルギーのひとつである水力発電は、天候等による影響が少なく、安定的な運用ができる発電方法である。なかでも、小水力発電は河川や既存の水路を活用することにより、周辺の生態系や生活環境への影響を抑えながら、更なる設備導入を行うことが期待できる電源である。

本業務は、本市の小水力発電設備の実現可能性を調査するとともに、将来的な普及に向けたモデル事業の検討を行うことを目的とする。

３．業務場所

調査対象地一覧を表１．３に示し、調査位置図を図１．３．１及び図１．３．２に示す。

表１．３　調査対象地一覧

名　称	地　域	種　類	図　番
秋山川	大橋町～田島町地内	河川	図１．３．１
農業用水路	田島町地内	農業用水	図１．３．１
根場沢	作原町地内	河川	図１．３．２
黒沢西川	飛駒町地内	河川	図１．３．２
子戸川	作原町地内	河川	図１．３．２
大戸川	作原町地内	河川	図１．３．２

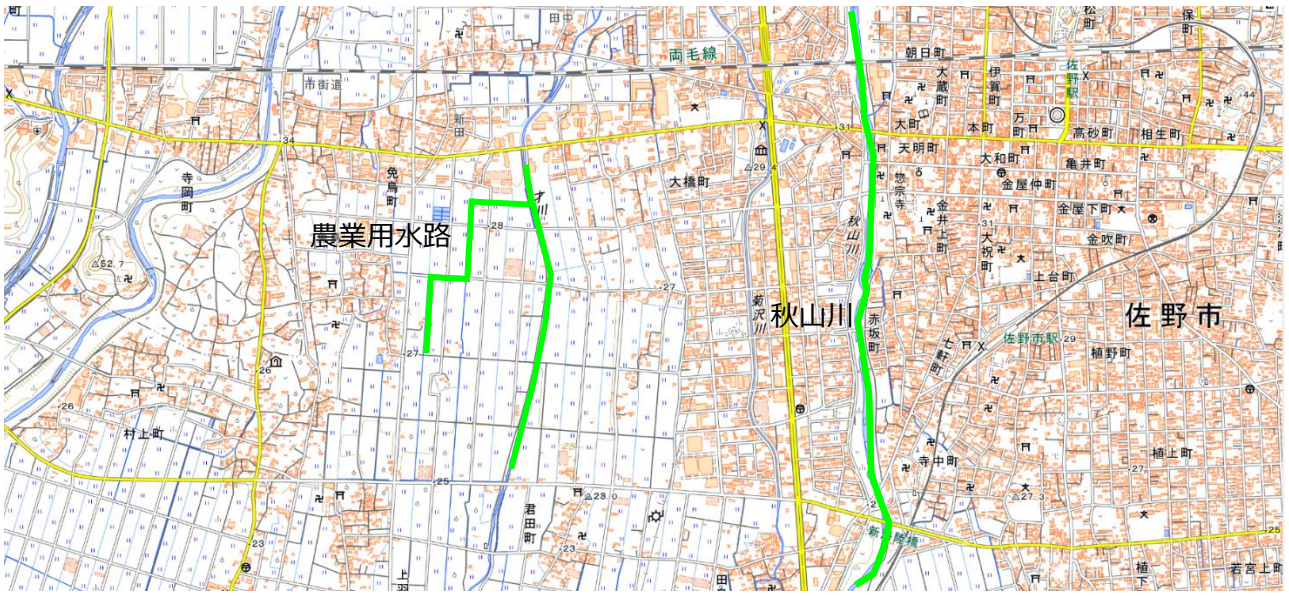


図１．３．１　調査位置図（南部）

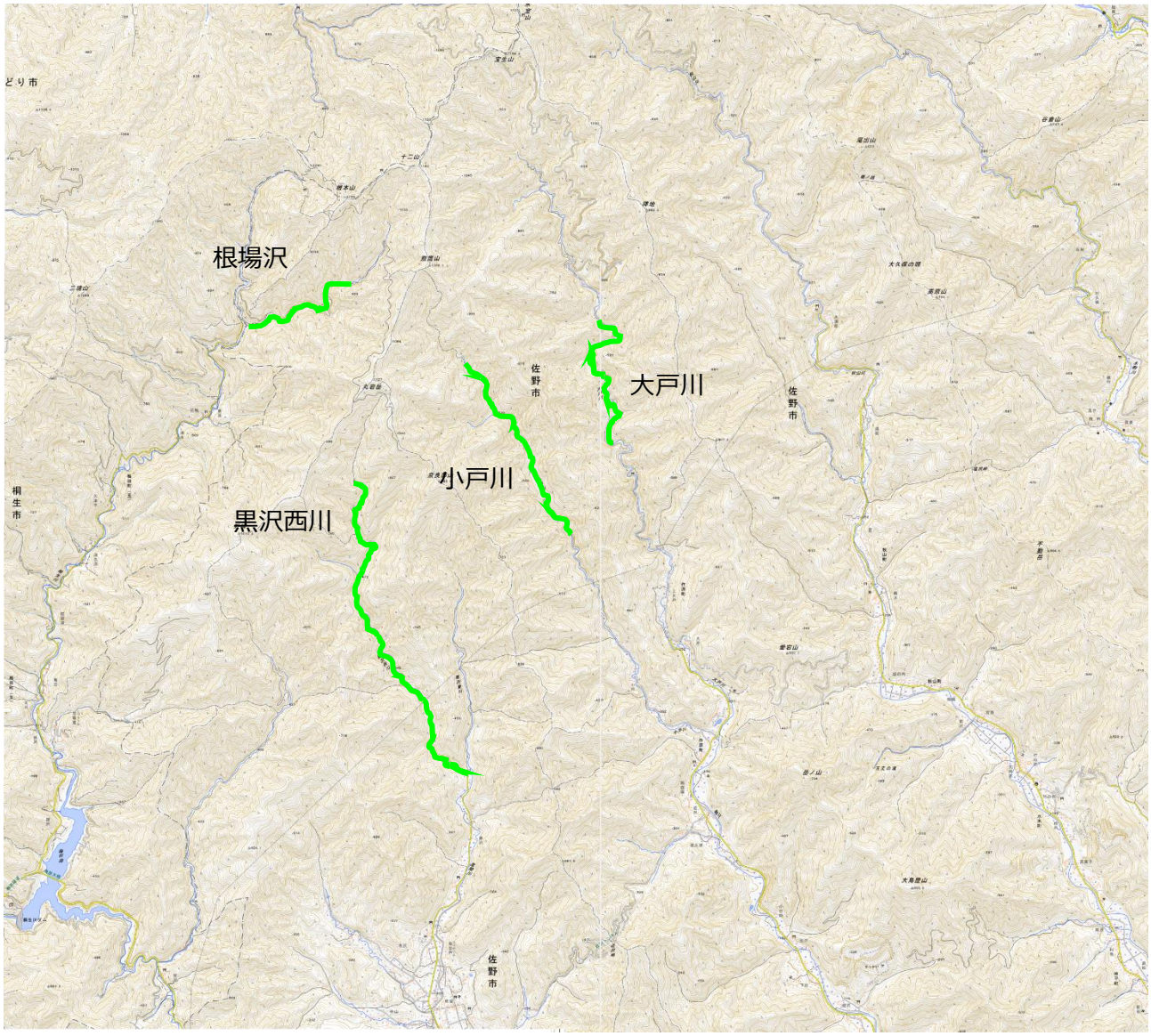


図１．３．２　調査位置図（北部）

４．調査実施日

令和６年１月 10 日、11 日及び３月６日（現地踏査）

５．調査対象項目

小水力発電機導入の可能性を判断するため、現地調査の対象項目は、河川堰堤及び用水路形状、対象地周辺地形とした。調査方法及び調査機器一覧を表１．５．１に示し、流速測定装置仕様を表１．５．２に示す。

表１．５．１　調査方法及び調査機器一覧

調査項目		調査方法	使用機器
堰堤及び用水路形状	落差	コンベックスによる計測	
	形状	コンベックスによる計測	
流量		文献資料及び JIS-K-0102-4	JFE ｱﾚｯｸ製　AEM1-D
周辺地形		現地踏査及び地形図	

表１．５．２　流速測定装置仕様

タイプ	電磁誘導方式
測定方向	1 軸 1 方向
測定レンジ	0～5m/s
分解能	0.002m/s
精度	測定値の±2%±0.005m/s
最小測定水深	3cm
寸法	φ30mm×64mm
ケーブル長	10m（最大延長 50m まで可能）
耐圧性能	30m 水深相当

流速測定装置

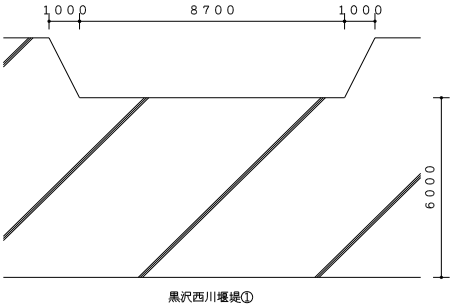
第２章　調査結果

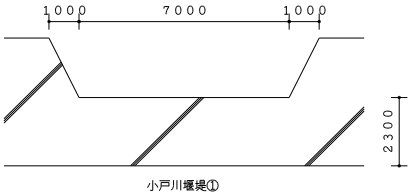
１．水路形状

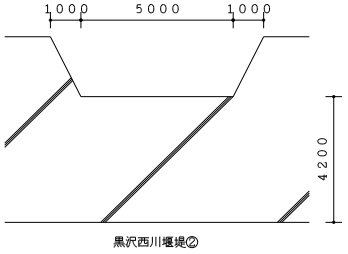
水路主要形状一覧を表２．１に示し、落差工における水路形状図を図２．１①～図２．１④に示す。

表２．１　水路主要形状

候補地	所在地	種類	水路幅 （m）	落差工 （m）	備　　考	判定
秋山川	大橋町 ～田島町	河川	30	―	本区域は平地に位置し勾配が少ない状況であり、また、河川改修工事により有効な落差が存在しない。	×
農業用水路	田島町	用水路	1.0 ～ 5.0	―	本区域は平地に位置し勾配が少ない状況であり、存在する農業用水路は圃場整備等により水量及び落差が少なく、十分なポテンシャルを得られる場所が存在しない。	×
根場沢	作原町	河川	2.5 ～ 4.0	―	本区域は山間地に位置し桐生川に合流する支流であり、ポテンシャルは得られると考えるが、設置工事等に伴う搬入路等の確保が困難と判断する。	×
黒沢西川	飛駒町	河川	5.0 ～ 8.7	3.2 ～ 5.0	本区域は山間地に位置し流下能力を低減させる堰堤が複数設置され、この落差を利用することで、ポテンシャルを得られると判断する。	●
子戸川	作原町	河川	7.0 ～ 7.5	1.3 ～ 3.5	本区域は山間地に位置し流下能力を低減させる堰堤が複数設置され、この落差を利用することで、ポテンシャルを得られると判断する。	●
大戸川	作原町	河川	8.0 ～ 12.0	1.5 ～ 5.3	本区域は山間地に位置し流下能力を低減させる堰堤が複数設置され、この落差を利用することで、ポテンシャルを得られると判断する。	●







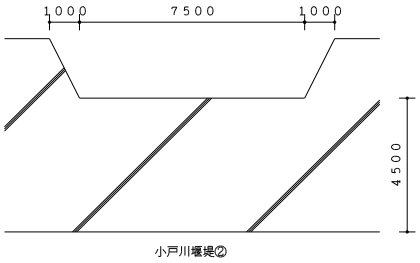
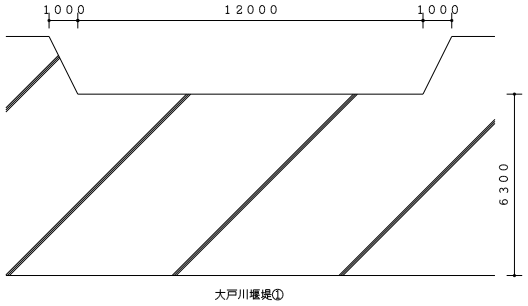
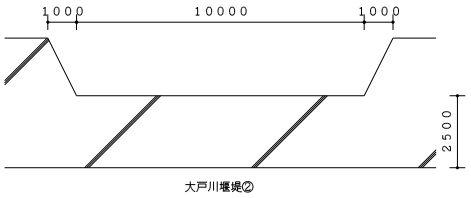


図２．１①　黒沢西川

図２．１②　小戸川





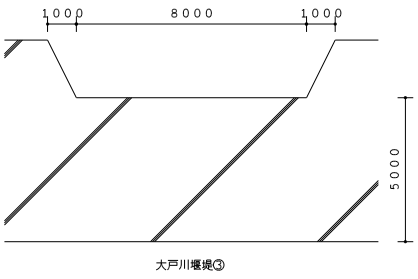


図２．１③　大戸川

２．流量調査

流量調査は、文献調査及び現地にて流速測定装置を用いて行った。なお、現地調査についてポテンシャルが最大になると考えられる最下流の堰堤を代表地点とした。

調査結果は文献資料※の「通常」に近い値を示す結果となった。

流量調査結果一覧を表２．２に示し、流速測定位置を図２．２に示す。

※中小水力発電に係る導入ポテンシャル等分析ツール（環境省）

表２．２　流量調査結果

番号	河川名		条件	文献流量 (m^3/s)	実測			
					川幅 (m)	水位 (m)	平均流速 (m/s)	流量 (m^3/s)
1	黒沢西川	堰堤①	通常	0.08	2.00	0.10~0.17	0.179	0.0504
			豊水期	0.17				
		堰堤②	通常	0.08	—	—	—	—
			豊水期	0.17				
2	大戸川	堰堤①	通常	0.15	2.75	0.12~0.15	0.251	0.0990
			豊水期	0.30				
		堰堤②	通常	0.15	—	—	—	—
			豊水期	0.30				
		堰堤③	通常	0.15	—	—	—	—
			豊水期	0.30				
3	小戸川	堰堤①	通常	0.07	2.58	0.10~0.29	0.118	0.0679
			豊水期	0.15				
		堰堤②	通常	0.07	—	—	—	—
			豊水期	0.15				

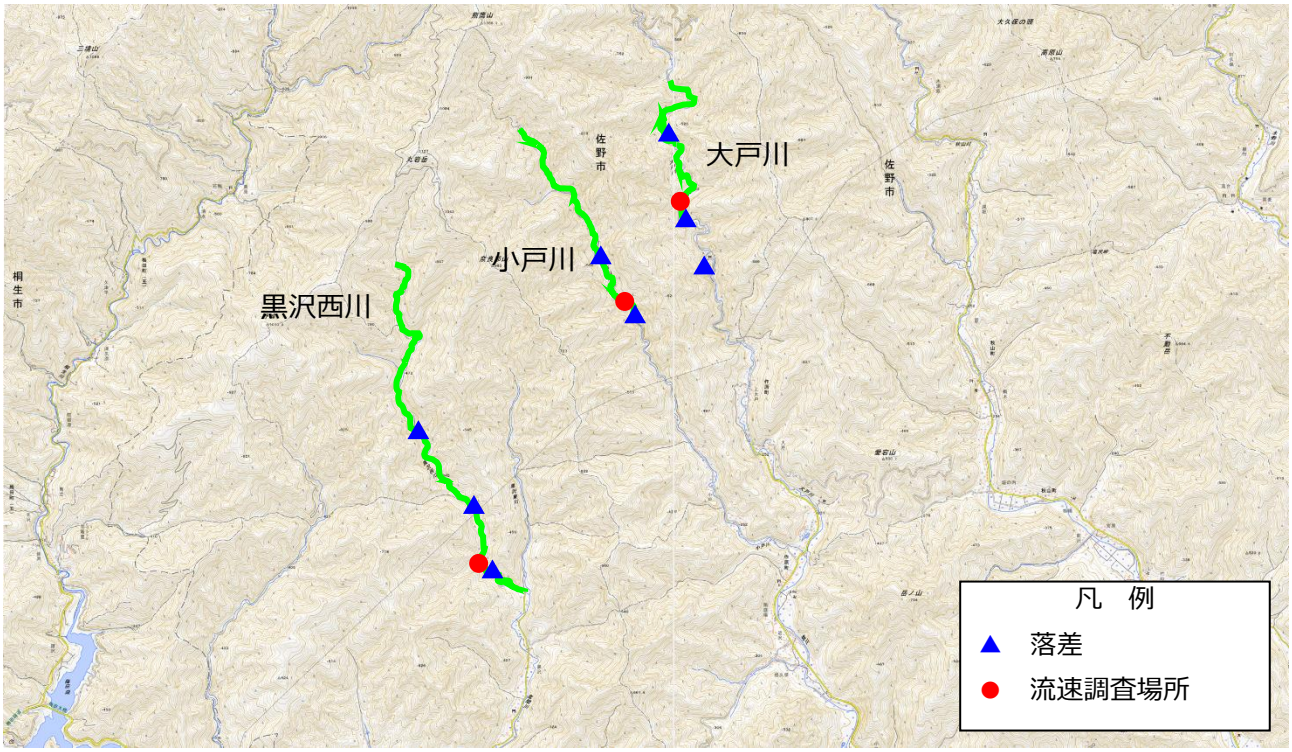


図２．２　流速測定位置図

3．周辺地形

小水力発電機導入可能性候補地周辺における地形及び送電経路を表２．３に示し、地形図を図２．３①～図２．３③に示す。

表２．３　小水力発電機導入可能性候補地周辺地形及び送電経路一覧

河川名		地形	送電距離(m)	送電方法（案）
黒沢西川	堰堤①	山林	約 1,500	電柱設置
	堰堤②	山林	約 3,000	電柱設置
大戸川	堰堤①	山林	約 2,000	電柱設置
	堰堤②	山林	約 2,500	電柱設置
	堰堤③	山林	約 3,000	電柱設置
小戸川	堰堤①	山林	約 2,000	電柱設置
	堰堤②	山林	約 2,500	電柱設置

図２．３①　黒沢西川周辺地形図

図２．３②　大戸川周辺地形図

図２．３③小戸川周辺地形図

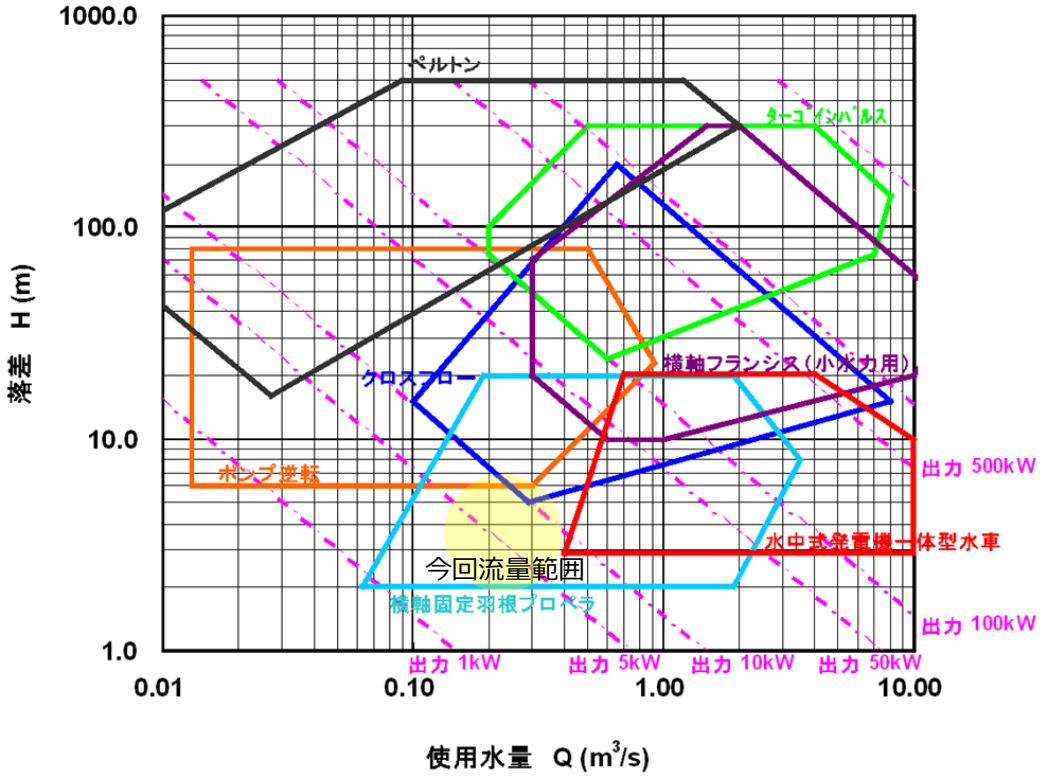
第３章　小水力発電設備の基礎

１．小水力発電の定義

小水力発電とは、一般的に 1000ｋW以下の水力発電を指し、特に 100kW 以下のものをマイクロ水力発電と呼ぶ。

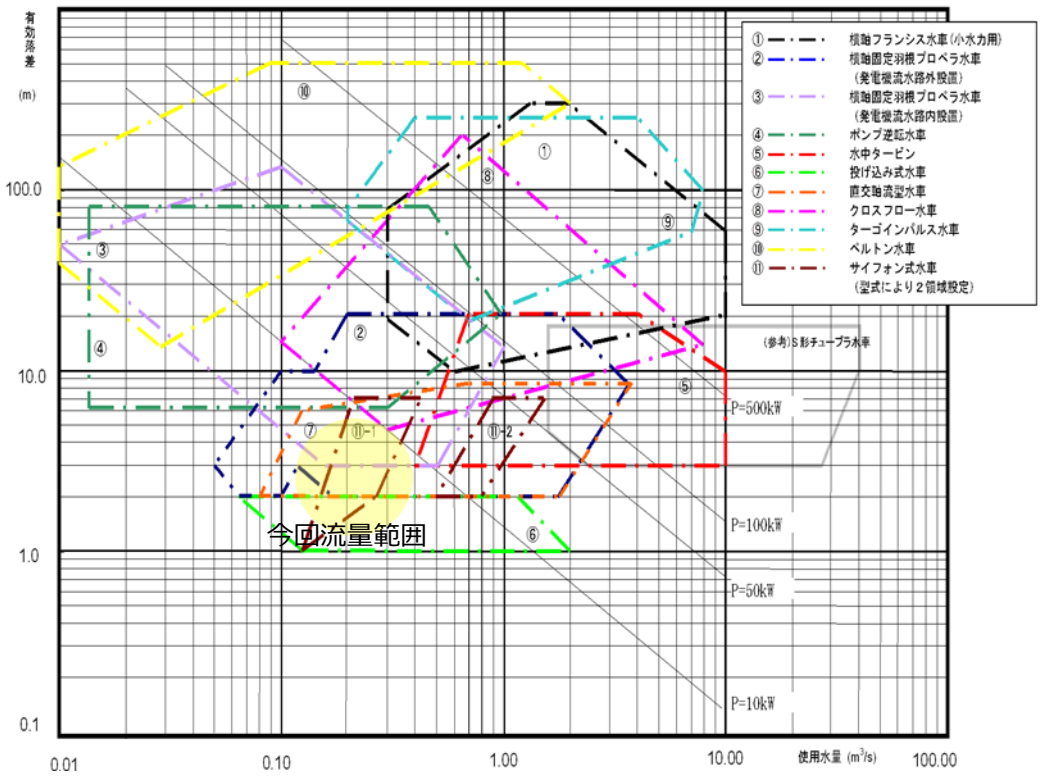
２．小水力発電の種別

水車の選定検討及び、当該水路での適応小水力発電概略設計を行なうに当り、小水力発電の一般的な説明を行う。参考資料として、適応水車選定図を図３．２①～図３．２③に示す。



出典：マイクロ水力発電導入ガイドブック（H15.3）
新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

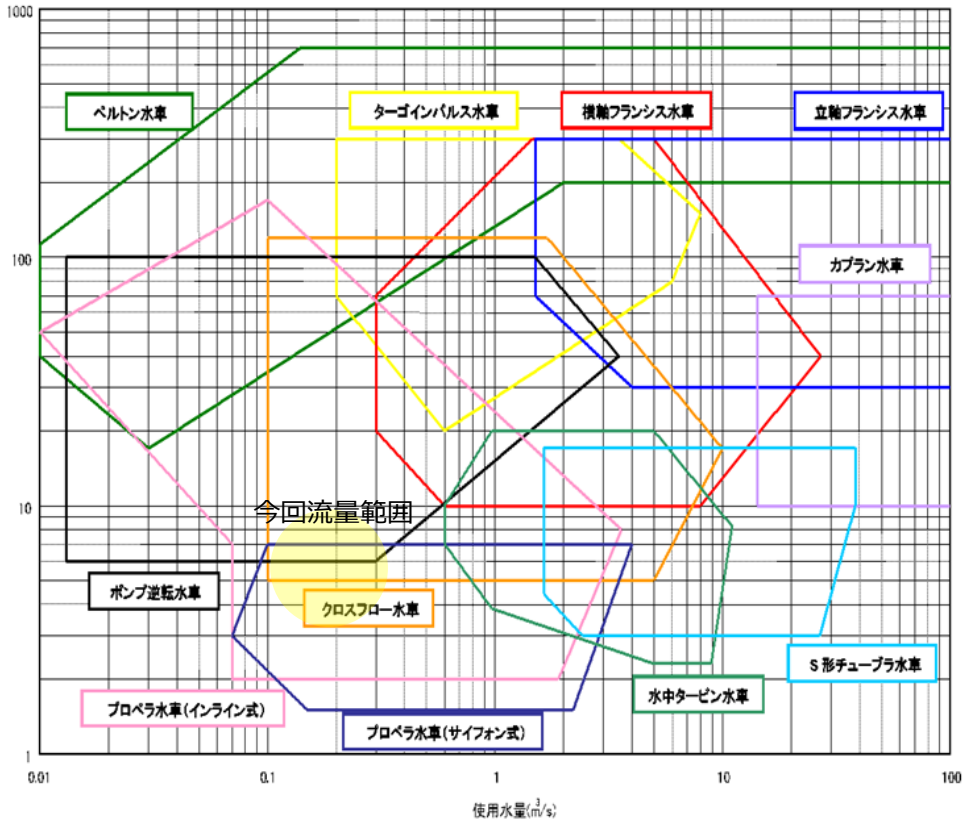
図３．２①　適応水車選定図



出典：未利用落差発電包蔵水力調査　報告書（H21.3）

（財）新エネルギー財団（NEF）

図３．２②　適応水車選定図



出典：ハイドロバレー計画ガイドブック（H17.3）

図３．２③　適応水車選定図

３．水車の種類

３．１　反動水車

水流を一定の圧力断面水管路（円型管又は短型管）に通水し、そこを流れる水圧力により、ランナと呼ばれる水車翼に動的応力（水流による運動エネルギー及び圧力エネルギー）を作用させ、回転軸を回転させて発電を行なう水車。

【適応落差　3～100m】

①フランシス水車

②プロペラ型水車

・カプラン水車

・チューブラ水車

３．２　衝動水車（衝撃水車）

水撃をノズルから噴出させ、その水勢を水車翼に当て、回転させ発電を行なう水車。

【 適応落 10～200m】

①ペルトン水車

②クロスフロー水車

③ターゴインパルス水車

３．３　開放型水車

開放型水車は低落差を対象としているが、一般的には 2m以上が必要とされる。

①下掛水車

斜路などの低落差の水路内に設置し、円形回転水車の下部翼に流水運動エネルギーを作用させ、回転エネルギーに変換し発電を行なう。昔ながらの木製粉ひき水車の応用で、発電効率はあまり期待できないが、観賞用としても設置される。

②胸かけ、上掛水車

下掛水車と同じく、円形回転水車の水溜槽の水の重さによる重力を回転エネルギーに交換し、発電を行なう。一般的には重力水車と呼ばれる。

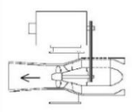
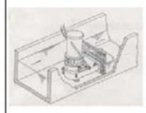
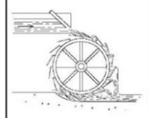
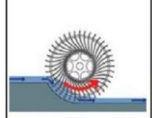
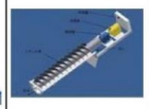
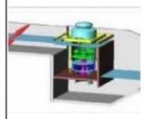
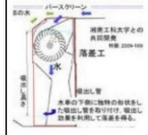
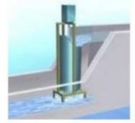
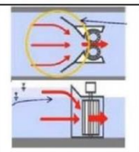
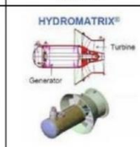
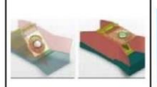
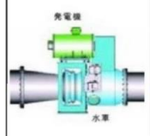
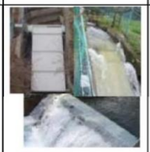
③螺旋水車

上掛水車と同じく、重力水車に属し、斜面に螺旋状の水流路に流水を流し、水の移動する重力により、斜軸を回転させ、発電を行なう。

３．４　低落差対応水車

低落差に対応可能な既住技術及び新規技術の比較対象表を表３．３に示す。

表３．３　低落差に対応可能な既住技術及び新規技術の比較対象表

	既住技術の低落差に対応の可能性が考えられる水車						低落差用水車の新技術　国内編　（一部研究段階含む）					低落差水車の新技術（研究段階・試験段階含む）　海外編		
水車名称	横軸固定羽根プロペラ水車	投込み式発電機一体型水車	プロペラ(サイフォン)水車	上掛け水車	下掛け・胸掛け水車	螺旋水車	立軸カプラン水車（ﾊｲﾄﾞﾛｱｸﾞﾘ）	チロリアンクロスフロー	立軸螺旋水車（ﾊﾟﾜｰｱﾙｷﾒﾃﾞｽ）	カスケード	流水式　（ストリーム） （開放型垂直2軸クロスフロー水車）	水平軸プロペラ水車	水平軸プロペラ水車	水平軸プロペラ水車
他の類似技術名称	ﾁｭｰﾌﾞﾗ水車	立型カプラン水車	直交軸流型水車				投込み式発電機一体型水車	横軸クロスフロー水車				水中タービン	水中タービン	水中タービン
水車形式	反動水車	反動水車	反動水車	重力水車	反動・重力水車	重力水車	反動水車	反動・衝撃水車	重力水車	反動水車	衝撃水車	反動水車	反動水車・衝撃水車（不明）	反動水車
概要図														
実績写真														
概　要	円筒ﾌﾛﾍﾟﾗ水車の一種であり、水車上に発電機を搭載(流水路外)し、水車回転部と発電機とはﾍﾞﾙﾄで直結されているもの。 低落差に適した水車。コストダウンのため流量調整機能が省略されているため、落差、流量とも変化しない地点が最適。	超低落差用水車として開発された立軸ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車の一つで、既設水路内に堰板を設置し、その落差を利用するもの。 水車、発電機が同一の筐体を落差工に据えるだけの簡単なものである。 流量が比較的大きく、安定している場合に有利。	堰の上流側に水車を設置し、ﾄﾞﾗﾌﾄﾁｭｰﾌﾞで堰を越して放流する構造である。起動時は発電機を電動機・水車をポンプとして起動し、サイフォン効果の発生による自然流下にて発電を開始する。 停止時は空気を注入し、サイフォン効果を喪失させる。	流水がﾗﾝﾅ上部から流入し、ﾗﾝﾅが開放されており、水車軸の中心にｷﾞﾔが収納されたもの。 構造が簡単である。水車直径は落差の約90～95%程度、水車幅は流量0.1m3/sにつき0.5m程度である。 回転速度が遅いので、ｷﾞﾔで増速する必要がある。	流水がﾗﾝﾅ下部から流入し、ﾗﾝﾅが開放されており、水車軸の中心にｷﾞﾔが収納されたもの。構造が簡単である。 水車直径は落差の約3～4倍、水車幅は流量1m3/sにつき1m である。 回転速度が遅いので、ｷﾞﾔで増速する必要がある	流水がｽｸﾘｭｰ状のﾗﾝﾅ上部から主軸方向に流入する。 主軸上部にｷﾞﾔが収納されているもの。 構造はやや複雑である。魚が通過できる(上流→下流)水車として知られている。 回転速度が遅いので、ｷﾞﾔで増速する必要がある。	既設水路の落差工部に直接設置して水力発電を行うものである。万一の故障時にも通水可能な水車構造であり、バイパス水路を必要としない発電システムである。特徴として、①新たな水路構造物が不要②機器を直接、設置するため、短期間の施工が可能。	農業用水路（落差工・急流工）向け水車として開発された。水車上部を流水の一部が越流することで、除塵効果を有すると共に、吸出効果を利用して落差工の高低差を有効落差として利用する。	既設水路の落差工部に直接設置を行う。万一の故障時にも通水可能な水車構造であり、バイパス水路を必要としない発電システムである。特徴として、新たな水路構造物が不要、機器を直接水路内に設置するため、短期間の施工が可能。	航空機の翼の原理を応用し、川の流れを受けた翼面の揚力を回転運動に変換することで発電するシステム。 水路中へ直接設置するため、側水路は不要である。	水路に直接設置可能で、集水板により流速を早めて運動エネルギーを作用させることにより回転力を得る水車。 水路に係留又は固定ｶﾞｲﾄﾞを使い水車の昇降式設置をするため大規模な土木工事は伴わない。水路からの撤去・ﾒﾝﾃﾅﾝｽが容易である。	詳細不明	詳細不明	詳細不明
設置選定上の制約条件	系統連系用、配管等大規模向き。ゴミ等問題有。取水量は定量限定。	流量変動は、越流（別途後部にゲートが必要）。ゴミ対応不可。	計画水量以外は取水しない。ゴミ問題有。	流量変動不可。飛散問題有。少量ゴミ可。	流量（水位）変動は不可。少量ゴミは可。	流量変動は越流。少量ゴミは可。	流量変動は、越流（別途後部にゲートが必要）。ゴミ対応不可。	流量変動は、越流。 ゴミ問題あり。	水量変動不可。 少量のゴミ可。	水量（水位）変動可。 ゴミ等の対応不可。	単体40kw程度まで可能。 （並列可　最大500kw程度） 少量ゴミ通過可能。	不明	不明	不明
商用化の是非 （製品の確立） （製造メーカー）	商用化 設計製作(ｶﾀﾛｸﾞ有) 東芝 富士電機㈱他	不明（研究実証段階） 設計製作 不明	明確な設計製作企業無 上記写真は東京発電の実験機 若干内容が異なるが、サイホン形状のﾓﾝﾌﾞﾗﾝｽや横軸固定羽根ﾌﾟﾛﾍﾟﾗ水車も有。	海外製 設計製作 ﾊｲﾄﾞﾛﾜｯﾄ社(ﾄﾞｲﾂ)	海外製・国内製（木製） 設計製作（海外標準化有） 工房たくみ（木製ﾓﾆｭﾒﾝﾄ） ﾊｲﾄﾞﾛﾜｯﾄ社(ﾄﾞｲﾂ)	海外製 設計製作 リーハート社(ﾄﾞｲﾂ) 日本製は研究程度	不明（研究実証段階） 設計製作 中川水力（名称ﾊｲﾄﾞﾛｱｸﾞﾘ）	研究段階 設計製作 東京発電+湘南工科大学	商用化（不明） 設計製作 北陸精機 （名称ﾊﾟﾜｰｱﾙｷﾒﾃﾞｽ）	研究段階 設計製作 農村工学研究所 榎本ﾋﾞｰｴｰ㈱など	商用化（ｼｽﾃﾑ） 設計製作（標準化有） ｼｰﾍﾞﾙｲﾝﾀｰﾅｼｮﾅﾙ㈱ （名称ｽﾓｰﾙﾊｲﾄﾞﾛｽﾄﾘｰﾑ）	商用化（詳細不明） 設計製作 MJ2　Technologies SARL社 （フランス）	商用化（詳細不明） 設計製作 Andritz VA　Tech Hydro 社 （オーストリア）	実績確認出来ず 設計製作（試作程度） TOCARDO BV INTERNATIONAL （EU）
対応落差(m)	3～20m	1～3m 程度	2.0～6m	2～5.5	1～2	1～20	ー	1m以上	1m～5m	ー	0m～10m程度	流水設置型又は水門等設置	5m～10m程度	0m（流水設置型）
対象流量(m^3/s)	0.1～3.0	0.5～2.0	0.10～1.5	0.2～0.6	1～10	0.3～10	ー	ー	0.2～3.0	ー	0.3～8.0	10～30	不明	不明
開水路内の設置	不可（ﾊﾞｲﾊﾟｽ配管方式）	可能	可能 （構造が水路外設置方式）	可能でああるが、洪水時は呑口で流量制御され余剰水による発電は不可	バイパス水路を設けることが基本であるが、水車をゲート同様に上下させる機能を付加することで昇降可能。	バイパス設置が基本である。水路内設置も可能であるが水路機能に障害	可能	可能	可能	可能	可能	可能	可能	可能
水路流量の全量利用	本川を締切り取水口を設けることで可能となるが、流量調節機能が必要となる。	可能	不可	洪水時を考慮すると不可	全幅に水車を配置し、洪水時に上下する機能を付加すれば可能である。	バイパスさせる場合は全量利用可能であるが(流量調節機能が必要)、水路設置の場合は困難である。	可能	不可(スクリーンロス分あり)	不可	ー	可能 （水車ﾊｳｼﾞﾝｸﾞ及び集水板に流量調整機能有）	可能 但し、水路全断面設置の為、流水阻害有	可能 但し、水路全断面設置の為、流水阻害有	不可（タービン面積のみ）
発電流量変動対応 ガイドベーン等有無	不可	不可	不可	導水樋の流下流量が限度×	基本的に不可であるが、流量調節ゲートや水車の上下可動機能があれば可能	ー	不可	不可	不可	ー	可能 （流量調整機能により、かんがい期・非かんがい期対応可）	不明	不明	不可
流量変動に対する出力変	不可	不可	不可	不可	不可	可能	不可	不可	不可	不可	可能	不可	可能	不可
洪水時	本川を流下させる流量調節機能が必要。	越流させる機能で対応可能	機能停止	呑口で制御された余剰水は本川を流下	本川を流下。可動式水車とすれば現況能力を満足する。	バイパス水路を設けない場合は、流水阻害が発生し水路機能を保持できない。	設置構造物自体が流水阻害の可能性あり。	設置構造物自体が流水阻害の可能性あり。	設置構造物自体が流水阻害の可能性あり。	水路機能を侵さない範囲で対応可能	集水板高さを常時水位とすることで洪水時は越流し水路機能を確保	不明	不明	不明
効　率（水車効率）	0.75	ー	0.55	0.1～0.3	0.3～0.4	0.50(想定)	0.63	0.57	不明	0.38	0.4～0.6	不明	不明	不明
実　績	照井堰発電所、鷲沼発電所、東京都下水道局他	実証段階（不明）	那須野ヶ原(PR施設)、嵐山保勝会水力発電所	群馬県嬬恋村発電設備	那須野ヶ原(PR施設)やモニュメント(木製)有	海外EUでは、実用化されているが、国内は試作程度	百村 第一・第二発電所（実証中）	照井急流工発電所(岩手県一関市)実証段階 那須野ヶ原(PR施設)	不明	実証実験中	大分県日田市、秋田県雄物川鳥取県日野川、大阪淀川等、国土交通省・自治体他	EU・中東等数か所	EU数か所（詳細不明）	不明
発電可能量(kw)	5kw～300kw程度	不明	不明	5kw～30kw程度（海外製）	5kw～30kw程度（海外製）	海外5kw～100kw	20kw前後	不明	1kw～10kw（ｶﾀﾛｸﾞ）		0.5kw～30kw（ﾒｰｶｰ標準） 実績～15kw程度	上記写真資料では、100kw～500kwの記載	上記写真資料では、200kw～380kwの記載	不明
経済性(概算kw単価) 設置・土木工事費別途	落差10m以上・規模等の好条件なら、1kw当60万～（配管別）、落差2m以下等規模小場合は1kw当300万～500万円程度	不明（設計見積）	不明（設計見積）	1kw当300～400万円程度（5kw以上の場合）	1kw当200～300万円程度（5kw以上の場合）	不明（設計見積）	1kw当150～250万円程度（推定） オーダー設計・製作	不明	不明（水車+制御価格不明）	不明	1kw300万円,3kw500万円、5kw800万円、10kw1000万円 （制御含全ｼｽﾃﾑ）	不明	不明	不明
発電単価 （概算円/kwh単価）		ー	ー				不明	ー	不明	ー		不明	不明	不明
総括	バイパス水路の導入により全量用いた場合、無水区間が発生する。配管方式のスペース必要 用地必要、水車適用範囲の下限であることから好ましくない。	水路設置型で、常時水位以上への配置を行わなければ洪水時の対応可能である。 実績が確認出来ず、現段階での採用は困難である。	取水側の水深としては2.0m程度が実績であるが実用実績が少ない。	バイパス水路が必要であり、洪水時に対応するため流量調節ゲートが必要となる。 バイパス水路の形成には、用地取得が不可欠であり、好ましくない。	従来構造であれば、バイパス水路が必要で流量も制限されるが、全幅可動式水車構造が可能となれば、全流量による発電が可能となり、洪水時対応も可能である。しかし、コスト増と管理が複雑となる。	水路内の設置は可能であるが、洪水時の水路機能が損なわれるためのバイパス水路が必要性となる。 バイパスした場合、洪水に対応するため流量調節ゲートが必要。無水区間を考慮すると部分的な活用となる。	2005年に、那須野ヶ原で実績があるが、その後の実績がなく、実用段階は不明。	実証実験中であり、不確定要素が多く、現段階での採用は困難である。	2010年に、発表されたが実績が不明、実用段階不明。	実証実験中であり、実用化に向けて開発中。 発電量が1kwにに満たないため縦列配置による対応が必要。	水路機能を損なわないで、水路に直接設置可能なため、土木工事を伴わない、ユニット化されたシンプル構造で安価。国土交通省1級河川など実績有。（ｼｰﾍﾞﾙ社特許）	詳細不明	詳細不明	詳細不明
水路への適用度														

第４章　小水力発電設備設置の検討

１．水車形式の選定

設計条件としての小水量、低落差で考えられる技術を含めて水車形式の候補を勘案すると、11 機種程度の小水力発電設備が挙げられる。但し、対象地における設置条件を当てはめると、開放水路、低落差などの構造的な問題が考えられる。設置可能と判断される機種について、検討を行なった。

水車形式の選定一覧を表４．１に示す。

表４．１　水車形式の選定一覧

条件	装置名	設置条件	設置検討の可否
汎用水車で低落差可能な水車	横軸固定羽根プロペラ式（プロペラインライン）	異物混入（砂）用の除去装置が必要	可
	プロペラ水車（サイフォン式）	異物混入（砂）用の除去装置が必要	可
	上掛け水車（重力式）	導入管の設置が必要	可
開放型水車	下掛け・胸かけ水車（設計オーダー式）	導入用水路が必要	可
	下掛け水車	導入用水路が必要	可
低落差用水車の新技術	螺旋水車（設計オーダー製造品）	導入用水路が必要	可
	立軸カプラン水車（ハイドロアグリ）	構造的に困難	否
	チロリアンクロスフロー水車	実証段階	否
	カスケード水車	実証段階	否
	流水式（垂直２軸クロスフローストリーム水車）	構造的に困難	否
	横軸クロスフロー水車（設計オーダー製造品）	構造的に困難	否

2．当該水路において適応が可能な水車形式選定

当該水路において導入可能と考えられる水車形式写真を pic4.2①～pic4.2⑤に示す。

対応落差：3~20（m）

対象流量：0.1~3.0（m^3/s）

水車効率：75（%）

pic4.2①　横軸固定羽根プロペラ式（プロペラインライン）

対応落差：2~6（m）

対象流量：0.1~1.5（m^3/s）

水車効率：55（%）

pic4.2②　プロペラ水車（サイフォン式）

対応落差：2~5.5（m）

対象流量：0.2~0.6（m^3/s）

水車効率：20~60（%）

pic4.2③　上掛け水車（重力式）

対応落差：1~2（m）

対象流量：1~10（m^3/s）

水車効率：30~40（%）

pic4.2④　下掛け水車

pic4.2⑤　螺旋水車（設計オーダー製造品）

対応落差：1~20（m）

対象流量：0.3~10（m^3/s）

水車効率：50（%）想定

3．各河川における設置候補地概要

3．1　条件

本設計箇所における最適な水車の選定を行なうに当り、候補地の諸元を整理する。

用水路条件を表４．３．１に示す。

表４．３．１　用水路条件

場所		川幅 (m)	落差工幅 (m)	落差高 (m)	水位 (WL+m)	流量 (m^3/s)
黒沢西川	堰堤①(下流)	2.0	8.7	5.0	0.10~0.17	実測 : 0.0504 文献（豊水期）: 0.17
	堰堤②(上流)	—	5.0	3.2	—	文献（豊水期）: 0.17
大戸川	堰堤①(下流)	2.8	12.0	5.3	0.12~0.15	実測 : 0.0990 文献（豊水期）: 0.30
	堰堤②(中流)	—	10.0	1.5	—	文献（豊水期）: 0.30
	堰堤③(上流)	—	8.0	4.0	—	文献（豊水期）: 0.30
小戸川	堰堤①(下流)	2.6	7.0	1.3	0.10~0.29	実測 : 0.0679 文献（豊水期）: 0.15
	堰堤②(上流)	—	7.5	3.5	—	文献（豊水期）: 0.15

3．2　候補地諸元根拠

①川幅　　：水路形状図より

②落差工幅：水路形状図より

③落差高　：断面図より

④水位　　：表「流量一覧」より

⑤流量　　：表「流量一覧」より

3．3　設置候補地特徴及び懸念事項

①黒沢西川

・河川法の許可が必要である。

・林の中、あるいは林に面した場所にあり、既存の電力系統からも距離がある。

・パワーコントロールシステムの設置場所に検討が必要である。

・発電装置の設置工事の際のアクセスに難がある。

・豪雨時の増水や、発電装置のゴミ詰まりや不具合の場合の溢水時にも周辺への被害は少ない。

・騒音被害は無いと思われる。

②大戸川

・河川法の許可が必要である。

・林の中、あるいは林に面した場所にあり、既存の電力系統からも距離がある。

・パワーコントロールシステムの設置場所に検討が必要である。

・発電装置の設置工事の際のアクセスに一部難がある。

・豪雨時の増水や、発電装置のゴミ詰まりや不具合の場合の溢水時にも周辺への被害は少ない。

・騒音被害は無いと思われる。

③子戸川

・河川法の許可が必要である。

・林の中、あるいは林に面した場所にあり、既存の電力系統からも距離がある。

・パワーコントロールシステムの設置場所に検討が必要である。

・発電装置の設置工事の際のアクセスに難がある。

・豪雨時の増水や、発電装置のゴミ詰まりや不具合の場合の溢水時にも周辺への被害は少ない。

・騒音被害は無いと思われる。

４．候補地に対する水車の選定

当該水路において水車の選定を行なう。前項の適応が可能な水車を明記している中より、事項の比較表を検証し選定する。

比較の結果、「横軸固定羽根プロペラ式（プロペラインライン）」及び「上掛け水車（重力式）」が適応として考えられるが、今回の設置場所は河川であり砂の流入が考えられることから、異物の混入により回転に影響を及ぼす「横軸固定羽根プロペラ式（プロペラインライン）」の設置は現実的ではないと考える。また、除砂装置により前記の症状は緩和されると推測するが、除砂装置のメンテナンスや設置することの費用対効果が低いと考えられることから、付帯装置がなく、メンテナンス頻度が比較的少ない「上掛け水車（重力式）」を選定する。

他の水車については、導水路を作るための土木費用が高く、低落差での発電では費用対効果が低く、また、一部の装置は海外から発電装置を輸入するため、導入までに時間がかかることから今回の選定から除外することとした。

水車検討一覧を表４．４に示す。

表４．４　水車検討一覧

名称	横軸固定羽根プロペラ式 （プロペラインライン）	プロペラ水車 （サイフォン式）	上掛け水車 （重力式）	下掛け水車	螺旋水車 （設計オーダー製造品）
主な特徴・用途	どの様な落差においても設置が可能であり、一級河川や農業用水路等に設置される。	標準化された低落差向けの発電装置。一定の水量を供給できる農業用水路等に設置される。	雑芥やスノージャムに強い水車。農業用水等の落差工を利用した発電に適している。	発電効率は悪く、設備として、大規模な割に発電量は少ない。	一般的には、大型としては、商用化されているが、小型では発電効率が悪く、設備範囲も大きい。
目的	目的：発電	目的：発電	目的：発電	目的：CSR	目的：発電
実績	○ 小規模の農業用水路での実績が多い。	△ 規格化された発電機であることから、実績は比較的多い。	△ 水量調整が必要であることから、実績は少ない。	△ 但し、モニュメントとして発電実績少ない	× 海外の大型施設の実績はあるが、国内の場合は少ない。
想定される発電効率	約 75%	約 55%	約 30%	約 40%	約 50% （想定）
設備規模	土木設備一部要 （導入管敷設）	土木設備一部要 （導入管敷設）	土木設備要 （水路改造）	土木設備要 （水路改造）	土木設備要 (導水路構築)
工事期間	2~3 ヶ月	2~3 ヶ月	2~3 ヶ月	3~6 ヶ月	3~6 ヶ月
総合評価	△	△	○	×	×

第５章　小水力発電設備の概略設計

黒沢西川、大戸川及び小戸川での上掛け水車（重力式）の設置検討を行う。なお、設備利用率については、環境省「小水力発電情報サイト」に記載されている設備利用率を使用した。

１．黒沢西川

１．１　堰堤①（下流）

１）条件

①堰 堤 幅　：8.70m

②落差工幅　：1.58m

③落 差 高　：6.00m

④水　　位　：0.10~0.17（FL+m）

⑤設計流量　：0.17 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：5.00m

２）想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P：発電出力（kW）

Q：水車使用流量（m^3/sec）

g：重力加速度（m/sec^2）　（$=9.8m/sec^2$）

h：有効水位差（m）

a：総合発電効率（=0.65）

$P = Q \times g \times h \times a$

$=0.17m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 5.0m \times 0.65$

=5.41kW

※実測値 $0.0504m^3/sec$ 使用の場合は 1.61kW

1．2　堰堤②（上流）

1）条件

①堰 堤 幅　：5.00m

②落差工幅　：1.58m

③落 差 高　：4.20m

④水　　位　：未計測

⑤設計流量　：0.17 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：3.20m

2）想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P：発電出力（kW）

Q：水車使用流量（m^3/sec）

g：重力加速度（m/sec^2）　（$=9.8m/sec^2$）

h：有効水位差（m）

a：総合発電効率（=0.65）

$P = Q \times g \times h \times a$

$= 0.17m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 3.2m \times 0.65$

$= 3.47kW$

2．大戸川

2．1　堰堤①（下流）

1）条件

①堰 堤 幅　：12.0m

②落差工幅　：1.58m

③落 差 高　：6.30m

④水　　位　：0.12~0.15（FL+m）

⑤設計流量　：0.30 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：h＝5.3m

2）想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P：発電出力（kW）

Q：水車使用流量（m^3/sec）

g：重力加速度（m/sec^2）　（$=9.8m/sec^2$）

h：有効水位差（m）　（=0.68m）

a：総合発電効率（=0.35=a1×a2×a3×a4）

$P = Q \times g \times h \times a$

$=0.30m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 5.3m \times 0.65$

$=10.1kW$

※実測値 0.099 m^3/sec 使用の場合は 3.34kW

2．1　堰堤②（中流）

1）条件

①堰 堤 幅　：10.0m

②落差工幅　：1.58m

③落 差 高　：2.50m

④水　　位　：未計測

⑤設計流量　：0.30 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：h＝1.5m

2） 想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P：発電出力（kW）

Q：水車使用流量（m^3/sec）

g：重力加速度（m/sec^2） （$=9.8m/sec^2$）

h：有効水位差（m） （=0.68m）

a：総合発電効率（=0.35=a1×a2×a3×a4）

$P = Q \times g \times h \times a$

$=0.30m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 1.5m \times 0.65$

$=2.87kW$

2．2 堰堤③（上流）

1）条件

①堰 堤 幅 ：8.0m

②落差工幅 ：1.58m

③落 差 高 ：5.00m

④水 位 ：未計測

⑤設計流量 ：0.30 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：h =4.0m

2） 想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P：発電出力（kW）

Q：水車使用流量（m^3/sec）

g：重力加速度（m/sec^2） （$=9.8m/sec^2$）

h：有効水位差（m） （=0.68m）

a：総合発電効率（=0.35=a1×a2×a3×a4）

$P = Q \times g \times h \times a$

$=0.30m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 4.0m \times 0.65$

$=7.64W$

3．小戸川

3．1　堰堤①（下流）

1）条件

①堰 堤 幅　：7.00m

②落差工幅　：1.58m

③落 差 高　：2.30m

④水　　位　：0.10~0.29（FL+m）

⑤設計流量　：0.15 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：1.3m

2）想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P：発電出力（kW）

Q：水車使用流量（m^3/sec）

g：重力加速度（m/sec^2）　（$=9.8m/sec^2$）

h：有効水位差（m）

a：総合発電効率（=0.65）

$P = Q \times g \times h \times a$

$=0.15m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 1.3m \times 0.65$

=1.24kW

※実測値 $0.0679m^3/sec$ 使用の場合は 0.56kW

3．2　堰堤②（上流）

1）条件

①堰 堤 幅　：7.50m

②落差工幅　：1.58m

③落 差 高　：4.50m

④水　　位　：未計測（FL+m）

⑤設計流量　：0.15 ㎥/sec･･･文献資料の豊水期を使用

⑥有効水位差：3.5m

2）想定発電出力

想定出力は下式より算定する。

$P = Q \times g \times h \times a$

P ：発電出力（kW）

Q ：水車使用流量（m^3/sec）

g ：重力加速度（m/sec^2）　（=9.8m/sec^2）

h ：有効水位差（m）

a ：総合発電効率（=0.65）

$P = Q \times g \times h \times a$

$= 0.15m^3/sec \times 9.8m/sec^2 \times 3.5m \times 0.65$

$= 3.34kW$

4．概算設計のまとめ

概算設計値一覧を表５．４に示す。

表５．４　概算設計値一覧

場　　所		落差工幅 (m)	落差高 (m)	取込流量 (m^3/s)	想定出力 (kW)	想定年間発電量 (kWh/年)	発電ユニット (推奨型式)
黒沢西川	堰堤① (下流)	1.58	5.0	0.17 (0.0504)	5.41 (1.61)	33,201.71 (9,872.52)	5kW タイプ (ME074)
	堰堤② (上流)	1.58	3.2	0.17	3.47	21,249.10	3kW タイプ (ME074)
大戸川	堰堤① (下流)	1.58	5.3	0.30 (0.0099)	10.1 (3.34)	62,106.74 (20,480.88)	5kW タイプ (ME074)
	堰堤② (中流)	1.58	1.5	0.30	2.87	17,577.38	500W タイプ
	堰堤③ (上流)	1.58	4.0	0.30	7.64	46,873.01	5kW タイプ (ME074)
小戸川	堰堤① (下流)	1.58	1.3	0.15 (0.0679)	1.24 (0.56)	7,616.86 (3,433.92)	500W タイプ
	堰堤② (上流)	1.58	3.5	0.15	3.34	20,506.94	3kW タイプ (ME074)

※１　想定年間発電量=想定出力×稼働日数 365 日×稼働率 70%

※２　表中の青字括弧内は実測値及び実測値で想定される発電量を示す。

５．評価

前項までの結果を元に各設置候補地導入可能性評価を表５．５に整理する。評価方法は次のとおりとする。

①落差工幅：水車が設置できる余裕幅があるか
②アクセス：水路までのアクセスのしやすさ
③系統への距離：既存の電力系統が近くにあるか
④想定出力：想定出力は高いか
⑤総合評価：上記４項目から総合的に判断する

結果として、すべての場所において既存の電力系統への距離が離れていることに難があり、また、アクセスについても道路拡張等の付帯工事が必要と判断する。また、今回選定した場所において総合評価は「やや難あり」及び「困難」を評価したが、「やや難あり」の場所について以降の「小水力発電設備の構成及び概算費用」を算定する。なお、「困難」と判断した場所については、想定出力が小さすぎる、水路へのアクセスが困難であるなど、小水力発電装置設置のメリットはないと考える。

表５．５　各設置候補地導入可能性評価

場　　所		落差工幅	アクセス	系統への距離	想定出力	総合評価
黒沢西川	堰堤① (下流)	1.58	× (道路拡幅工事要)	△ (約 1.5km)	○	△
	堰堤② (上流)	1.58	× (道路拡幅工事要)	× (約 3.0km)	△	×
大戸川	堰堤① (下流)	1.58	△ (一部道路拡幅工事要)	△ (約 2.0km)	○	△
	堰堤② (中流)	1.58	△ (一部道路拡幅工事要)	× (約 2.5km)	×	×
	堰堤③ (上流)	1.58	△ (一部道路拡幅工事要)	× (約 3.0km)	○	△
小戸川	堰堤① (下流)	1.58	× (道路拡幅工事要)	△ (約 2.0km)	×	×
	堰堤② (上流)	1.58	× (道路拡幅工事要)	× (約 2.5km)	△	×

○：高評価、△：やや難あり、×：困難

第６章　小水力発電設備の構成及び概算費用

小水力発電装置おける概算費用について、機器、工事ともに価格に変動があることから、本業務委託期間での数値である。

１．小水力発電構成機器

概要設計における小水力発電の構成機器一覧を表６．１に示す。

表６．１　小水力発電の構成機器一覧

構成機器	備考
上掛け水車（重力式）	
発電機	永久磁石同期型発電機
発電制御盤	
系統連系盤	（系統に連系する場合）
集水板	堰堤上流部に堰を設け、河川水を集水する
導水ガイド	集水した河川水を発電装置まで導入する管

２．小水力発電設備概算費用

２．１　小水力発電装置費用

小水力発電装置の概算費用を表６．２．１に示す。尚、装置内訳は水車本体、発電機、制御盤とする。

表６．２．１　小水力発電装置の概算費用

場　　所		小水力発電装置型式	定格 (kW)	発電機	価格 (千円)
黒沢西川	堰堤① (下流)	5kW タイプ（ME074）	5kW	5kW×1 台	7,000
大戸川	堰堤① (下流)	5kW タイプ（ME074）	10kW	5kW×2 台	10,500
	堰堤③ (上流)	5kW タイプ（ME074）	5kW	5kW×1 台	7,000

２．２　概算工事費用

機器の据付、電気工事などの概算工事費用を表６．２．２に示す。

概算工事費用の算定に当たり、機器搬入車両、工事車両及び重機が直接搬入可能であることを積算条件とした。

表６．２．２　概算工事費用

工事名称	概算費用（千円）		
	黒沢西川 堰堤①(下流)	大戸川 堰堤①(下流)	大戸川 堰堤③(上流)
仮設工事 （安全対策、その他の仮設物）	1,000,000	1,000,000	1,000,000
機器据付工事 （発電装置、パワコン、その他の機器）	1,500,000	1,500,000	1,500,000
電気工事 （機器の取合及び引込線敷設）	14,000,000	18,000,000	26,000,000
送電工事 （電柱及び電柱敷設）	6,500,000	8,700,000	13,000,000
合計	23,000,000	29,200,000	41,500,000

除外費用

１．水路改修費用（必要な場合）　：別途費用発生

２．系統連系費用（系統連系させる場合）　：別途費用発生

３．道路補修工事（道路拡幅及びアスファルト舗装等）：別途費用発生

４．スクリーン（水路にごみが多い場合は必要）　：別途費用発生

２．３　主なメンテナンス費用概算

メンテナンス概算費用を表６．２．３に示す。

表６．２．３　メンテナンス概算費用

メンテナンス内容	頻　度	単　価	年間費用
グリス交換	４回/年	18,000-	52,000-
ベアリング交換	１回/年	100,000-	100,000-
発電機オーバーホール	１回/５年	200,000-	40,000-
発電制御盤部品交換	１回/７年	300,000-	43,000-
パワコン交換	１回/５年	600,000-	120,000-
塗装補修	１回/５年	100,000-	20,000-

第 7 章　総合検討

対象水路の位置、構造、用途、水量等の条件を加味し、適する小水力発電設備の選定を行った。結果として小水力発電設備として「上掛け水車（重力式）」が適当であるとの結論となった。

「上掛け水車（重力式）」は、実用化が少ない小水力発電設備の中で、自治体等の採用事例も多く、大きな土木工事等を要しないため、設置が短納期、低コストであり、同規模の小水力発電設備との比較でも発電効率が高いため、発電を目的とする設置にも適している。但し、選定した河川は流量が少なく、小水力発電運用面では実用化に向けて、対費用効果の期待は低いと考える。

ここで、候補地として有力であった黒沢西川堰堤①(下流)、大戸川堰堤①(下流)、大戸川堰堤③(上流)について、年間コストの試算を行なう。各ポイントの年間資産コストを表７．１～表７．３に示す。

表７．１　黒沢西川堰堤①(下流)年間試算コスト

年間コスト試算項目		イニシャルコスト	ランニングコスト	買取試算額	償却年数
		7,000,000	—	—	—
工事費		23,000,000	—	—	—
工事費等計		30,000,000	—	—	—
メンテ		—	375,000	—	—
想定年間買取価格	（メンテナンス除く）			1,128,858	**27**
	（メンテナンス含む）			753,858	**40**

※買取価格等は経済産業省の金額である¥34-/kW を参考とした。

表７．２　大戸川堰堤①(下流)年間試算コスト

年間コスト試算項目		イニシャルコスト	ランニングコスト	買取試算額	償却年数
機器費		10,500,000	—	—	—
工事費		29,200,000	—	—	—
工事費等計		39,700,000	—	—	—
メンテ		—	375,000	—	—
想定年間買取価格	（メンテナンス除く）			2,111,638	**19**
	（メンテナンス含む）			1,736,638	**23**

※買取価格等は経済産業省の金額である¥34-/kW を参考とした。

表７．３　大戸川堰堤③(上流)年間試算コスト

年間コスト試算項目		イニシャルコスト	ランニングコスト	買取試算額	償却年数
機器費		7,000,000	—	—	—
工事費		41,500,000	—	—	—
工事費等計		48,500,000	—	—	—
メンテ		—	375,000	—	—
想定年間買取価格	（メンテナンス除く）			1,593,682	**30**
	（メンテナンス含む）			1,218,682	**40**

※買取価格等は経済産業省の金額である¥34-/kW を参考とした。

メーカーにより異なるが一般的に機器対応年数は 20 年と言われている。単独の落差工ごとに小水力発電装置の設置では、減価償却は困難と考えられる。また、本試算結果における流量は文献資料リーポスの豊水期の値を利用し求めており渇水期は加味していないこと、並びにアクセス面で道路拡幅等の工事費用は計上していないことなどを勘案すれば、本試算結果より償却年数は延びる可能性は大きい。

なお、地球温暖化防止としての観点で勘案するならば、小水力発電設備稼働により二酸化炭素削減量※1 は、すべての場所に設置した場合、年間発電量が 142,182（kW/年）であり、53,318（kg-CO_2/年）程度望める。瞬間出力は弱いものの、流水が止まらない限り発電可能であり、今後のスマートグリッド技術※2 の進歩により、水力発電は高品質、高信頼性の電力供給システムの一助になると考える。

※1：二酸化炭素削減量（kg-CO2/年）＝年間発電量（ｋW/年）×排出係数（0.000375ｔ-CO2/ｋＷｈ）×温暖化係数（1）×1000

※2：スマートグリッド技術とは

従来からの集中型電源と送電系統との一体運用に加え、情報通信技術の活用により、太陽光発電等の分散型電源や需要家の情報を統合・活用して、高効率、高品質、高信頼度の電力供給システムの実現を目指し、「太陽光発電技術など分散電源」「蓄電技術」「ＰＨ・ＥＶ」などの研究が行われている。

出典：ＮＥＤＯ再生可能エネルギー技術白書　平成 22 年７月　産業技術総合開発機構ＮＥＤＯ