

既存水路を活用した低落差箇所における小水力発電の事業可能性検討

中央復建コンサルタンツ株式会社 ○南 勇銘
中央復建コンサルタンツ株式会社 田保 雅章
中央復建コンサルタンツ株式会社 八川 圭司

論文要旨

国内の小水力発電は、山間部の標高差が大きい地点への導入が主流であるが、低落差の地点においても導入することで地域の再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限活用できる。そのため、低落差であるが降水量が多く年間を通じて一定の流量がある小規模水路を対象に、小水力発電の導入可能性の検討として、流況に応じた水車選定及び水車効率の検証、有効落差を最大化するための設備配置の検討を行った。

キーワード：脱炭素社会、地球温暖化対策、再生可能エネルギー、小水力発電

まえがき

脱炭素社会の実現において、化石燃料の燃焼を伴わない再生可能エネルギーの活用は有効であり、積極的な導入が求められている。再生可能エネルギーの中でも小水力発電は河川や用水路等の水の流れにより水車を回して電気エネルギーを得るもので、急流が多く雨量も多い日本には適したエネルギー源である。小水力発電について厳密な定義はないものの、一般に出力 10,000kW~30,000kW 以下を中小水力発電と呼ぶことが多く、また「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法」の対象では、出力 1,000kW 以下の比較的小規模な発電設備を総称して小水力発電と呼んでいる。

最近の小水力発電の技術的な動向について、大和(2014)¹⁾によると 1999 年から約 10 年間に亘って実施された国内の未利用落差発電包蔵水力調査では、図-1 に示すように落差 20m 以下の低落差の未開発地点が全体の件数の約半分を占めていることから、今後の国内小水力は、落差 20m 以下の低落差水車を中心に開発されていくことが想定されている。一方で、石丸(2013)²⁾によると小水力発電の課題として「大型水力発電の縮小版ではなく専用の機器や技術」が必要で、「落差と流量がある場所に限られ、場所ごとに経済性が大きく異なる」ことが挙げられており、低落差箇所への小水力発電導入においては対象地点に適した水車の選定と落差の最大化が課題となる。

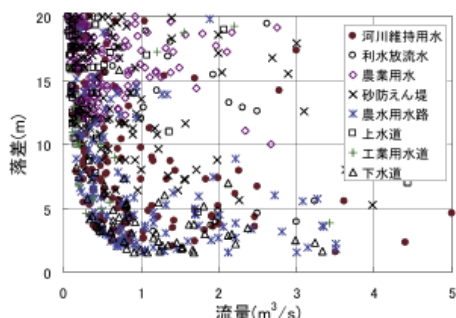


図-1 未利用落差発電包蔵水力調査の結果(大和(2014))¹⁾

そこで筆者らは、既存水路の低落差箇所を想定した小水力発電の事業可能性を検討した。具体的には、対象地点に適した水車の選定と有効落差の最大化を目的として、流況に応じた水車の選定と有効落差を最大化するための設備配置の検討を行ったものである。

1. 検討対象箇所

検討対象地域は、和歌山県内那智勝浦町の色川地区であり、年平均気温は 17℃、年平均降水量は 3,000mm 程度の高湿多雨地域である。周辺は、立地条件を生かした有機農業や林業が営まれている里山環境となっている。

小水力発電の検討は、図-2 に示す和歌山県那智勝浦町色川地区を流れる太田川水系太田川に沿って水平導水される水路を対象とした。検討対象箇所は平坦地で低落差となっており、高湿多雨地域を流れることから流量が年間を通じて安定している。検討対象箇所の諸元は、表-1 に示すとおりである。

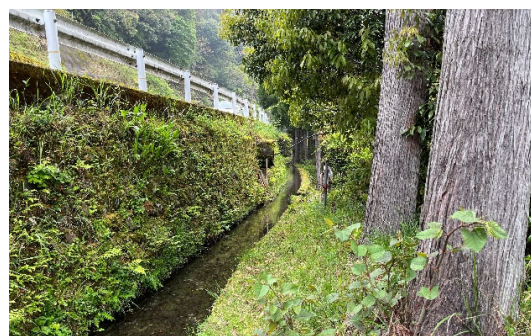


図-2 太田川に沿って水平導水される水路

表-1 検討対象箇所の諸元

項目	数値	単位
最大使用水量	0.25	m ³ /s
総落差	10.9	m
有効落差	10.49	m

2. 検討方法

太田川に沿って水平導水される水路への小水力発電所の導入における水車の選定と設備配置の検討の方法は、以下に示すとおりである。

(1) 水車の選定

対象地点に適した水車の選定を行うため、経済産業省資料³⁾に示されている水車形式選定図を用いて、設置箇所の有効落差及び発電に使用できる水の量(以下、「使用水量」という。)に適した水車を選定した。水車選定図は図-3に示すとおりであり、検討対象箇所の有効落差と使用水量を考慮すると、クロスフロー水車、インライン式チューブラ水車、ポンプ逆転水車の導入が考えられる。

低落差箇所での検討においては、発電容量が大きい設備の導入が難しいことや、一般的な中小水力発電に比べて最大使用流量に対する使用流量の比率である使用流量比が小さくなることを考慮する必要がある。そのため、本検討においては形式選定図に基づいて抽出した水車の候補に対して、水車最高効率と相対効率を基に選定を行った。なお、水車最高効率とは水車へのエネルギーの入力に対する出力の比の最大値のことであり、相対効率とは水車最高効率に対する実際の水車効率である。

(2) 設備配置の検討

設備配置の検討は、有効落差の最大化に考慮して適切に配置することとした。有効落差の最大化については、取水点から水車における標高差だけでなく、水車からの吐き出し口において負圧を作り出すための設備配置を検討した。

なお、検討に際しては図-4に示すような発電所の設置を想定した。水路の取水は既存の堰から行い、対象水路の流量(0.25m³/s)を利用し、水路と河川の放流落差により発電する設定とし、水路の水量の全量を利用できる場合を想定した。この場合における最大使用水量と有効落差等の発電所の諸元は表-2に示すとおりである。

表-2 設置を想定する発電所の諸元

項目	数 値	単 位
最大使用水量	0.25	m ³ /s
総落差	10.9	m
有効落差	10.49	m
既設水路延長	545	m
水圧管路延長	235	m
水圧管路内径	600	mm

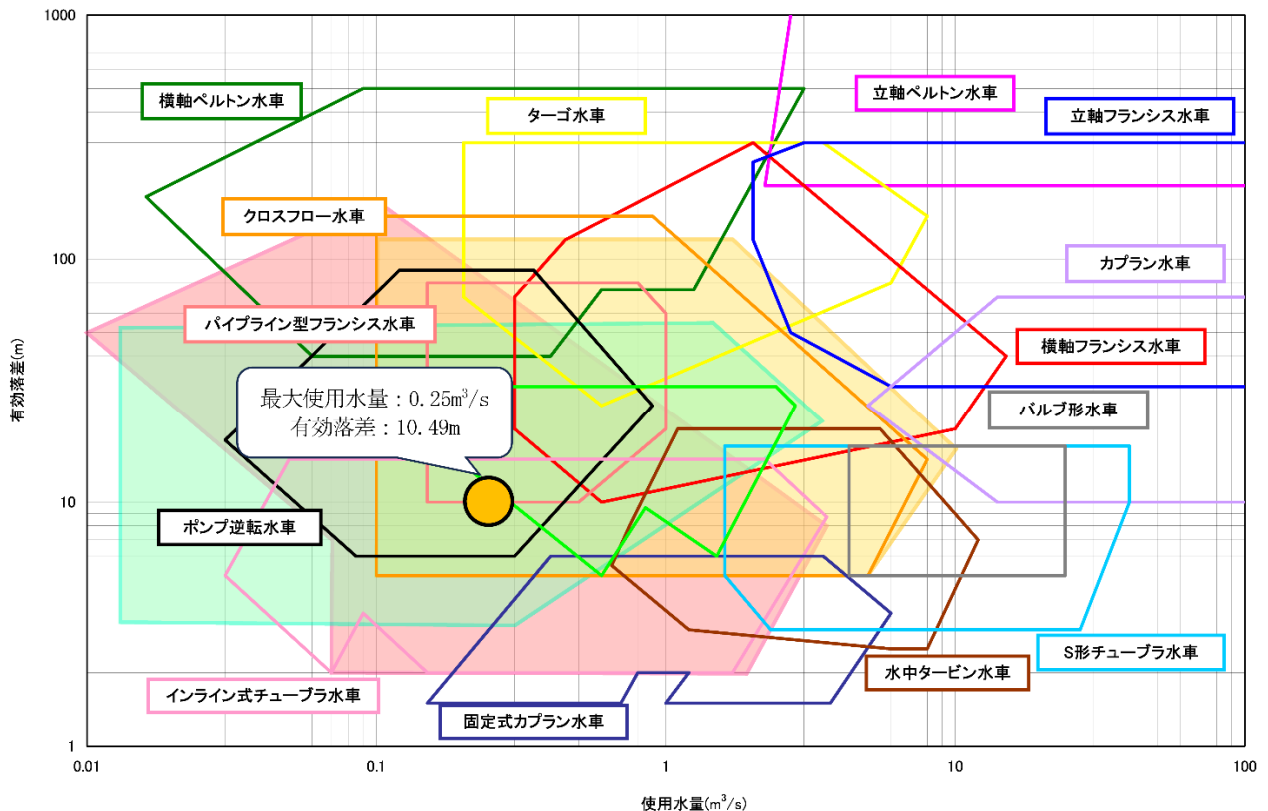


図-3 水車形式選定図³⁾

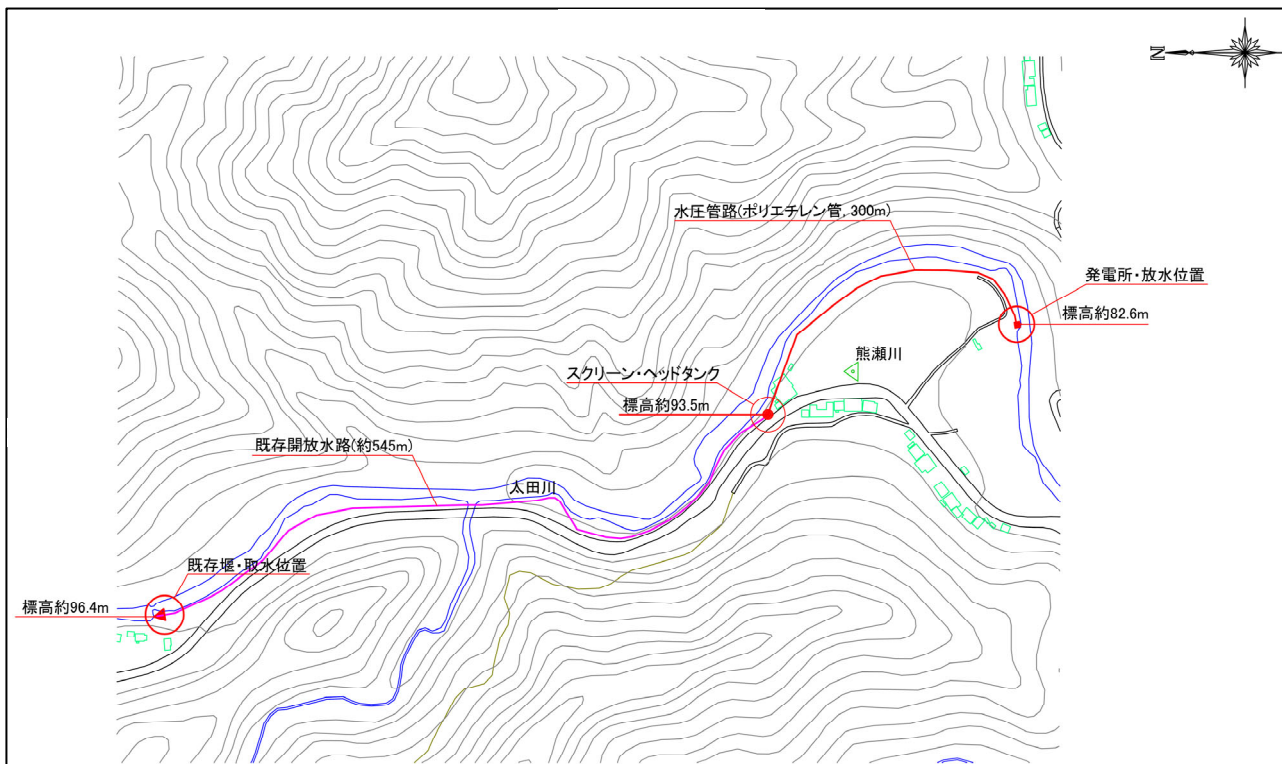


図-4 設置を想定する発電所の概略図

3. 検討結果

(1) 水車の選定

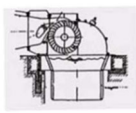
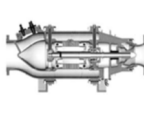
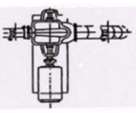
水車の選定に際して、表-3 に示すようにクロスフロー水車、インライン式チューブラ水車、ポンプ逆転水車の比較を行った。検討対象地点の落差及び流量を考慮すると全ての水車が適用可能であるが、インライン式チューブラ水車は構造が複雑で、検討対象箇所における事業規模に合致しないことから検討対象外とした。

続いてクロスフロー水車、ポンプ逆転水車について、水車最高効率及び相対効率の検討を行った。水車最高効率については、導入可能な設備の規模を考慮し、発電容量が小さい場合を想定したときに最高効率がより大きい水車を選定することとした。また、相対効率については、使用流量が小さくなることを考慮し、使用流量比が小さい場合を想定した時に、より相対効率を維持できる水車を選定することとした。

水車最高効率は図-5~6 に示すとおりであり、小規模な水車として 20kW クラスの水車を想定した場合の効率曲線を赤線で示している。図-5 よりクロスフロー水車では最大効率が 80%程度となっているが、ポンプ逆転水車では最大効率が 70%未満となりグラフの範囲外となっている。

また、相対効率は図-7~8 に示すとおりである。クロスフロー水車の相対効率は使用流量比が 50%で 0.9 程度となっているが、ポンプ逆転水車の相対効率は使用流量比が 50%で最大 0.6 程度となっており、使用流量比が低い場合の相対効率は、クロスフロー水車の方がポンプ逆転水車より高くなっている。以上より、低落差箇所では小規模施設かつ使用流量比が低くなることを考慮して、水車はクロスフロー水車が適当であると考えた。

表-3 水車候補の比較結果

	クロスフロー水車	インライン式チューブラ水車	ポンプ逆転水車
概略図			
適用範囲	出力：10~1,000kW程度 落差：5~200m程度 流量：0.1~8m³/s	出力：1~200kW程度 落差：2.0~150.0m 流量：0.01~3.0m³/s	出力：1~200kW程度 落差：6~80m程度 流量：0.02~1m³/s

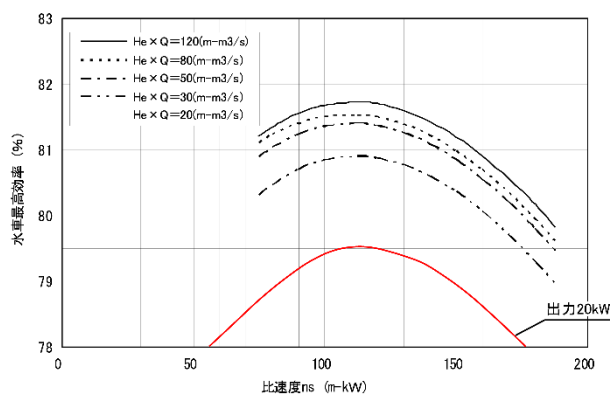


図-5 一般的なクロスフロー水車の水車最高効率³⁾

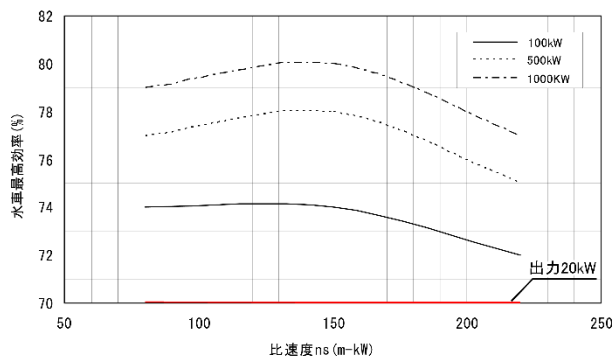


図-6 一般的なポンプ逆転水車の水車最高効率³⁾

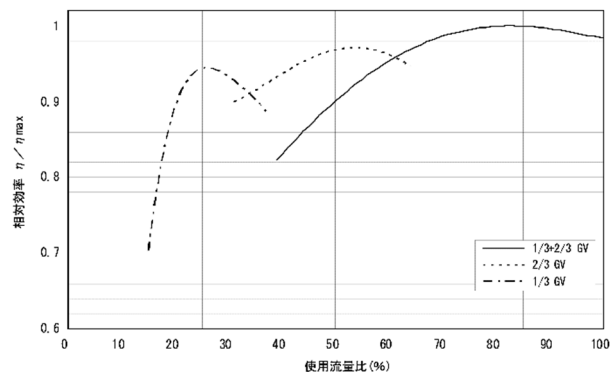


図-7 一般的なクロスフロー水車の相対効率³⁾

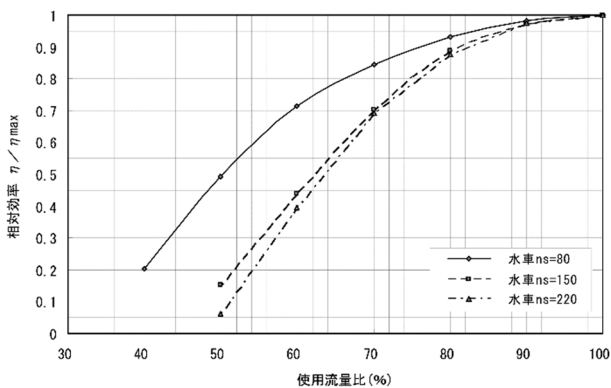


図-8 一般的なポンプ逆転水車の相対効率³⁾

(2) 設備配置の検討

有効落差を最大化するための設備配置の検討結果は、図-9に示すとおりであり、水車発電機器と解放水路の配置図を示している。ヘッドタンクから流下してきた水は水車発電機器でエネルギーを取り出した後、解放水路から太田川に放水される仕組みになっている。有効落差を最大化するためには、水車発電機器からの水の吐き出し口における負圧を作り出す必要があるため、水車発電機器から解放水路水面までの間を管(スカート)で接続することとした。これにより、水車発電機器から解放水路における大気圧と水圧の圧力差が生じ、有効落差をより大きくすることができる。

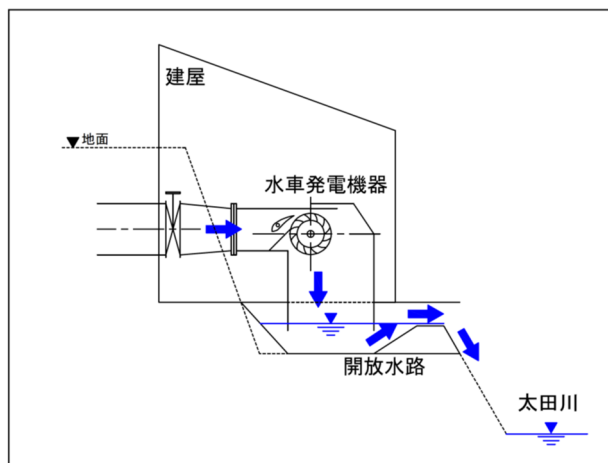


図-9 水車発電機器と解放水路

4. 考察

水車選定の妥当性の検証のため、水車効率の検証を行った。具体的には、検討対象地点の有効落差、使用最大水量を用いて水車効率曲線を作成した。なお、検討対象箇所を考慮して比速度 ns の限界値は179.3、水車の定格回転速度 n は $600[\text{min}^{-1}]$ 、最大無拘束速度は $1200\sim 1800[\text{min}^{-1}]$ と設定した。

水車の効率曲線は、式(1)~(2)を用いて算出した。水車出力 P_t は式(1)のとおりで、検討対象地点の使用水量 $Q[\text{m}^3/\text{s}]$ 、有効落差 $He[\text{m}]$ 、重力加速度 $9.81[\text{m}/\text{s}^2]$ 、一般的なクロスフロー水車の最大効率80[%]を踏まえて、20.6[kW]となっている。

$$\begin{aligned}
 P_t &= Q \times He \times 9.81 \times 0.8 \\
 &= 0.25 \times 10.49 \times 9.81 \times 0.8 \\
 &= 20.6 \quad (1)
 \end{aligned}$$

比速度 ns は式(2)に示すとおりで、水車出力 P_t 、定格回転速度 n を用いて、144.2となっている。これは比速度の限界値179.3を下回っていることが確認された。

$$\begin{aligned}
 ns &= n \times \frac{P_t^{\frac{1}{2}}}{He^{\frac{5}{4}}} \\
 &= 600 \times \frac{20.6^{\frac{1}{2}}}{10.49^{\frac{5}{4}}} \\
 &= 144.2 \quad (2)
 \end{aligned}$$

上記を踏まえた調査地点の流況を考慮したクロスフロー水車の効率曲線は、図-10に示すとおりである。使用流量が小さいときに極端に水車効率が下がる場合は、他水車の検討が考えられるが、使用流量が $0.05[\text{m}^3/\text{s}]$ でも水車効率が大きく低下しないことから、クロスフロー水車の検討対象地点への導入は妥当であると考えられる。

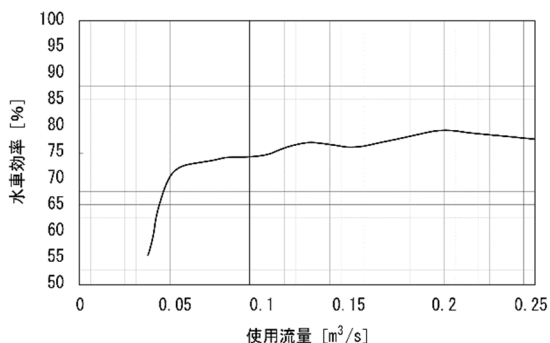


図-10 検討対象地点におけるクロスフロー水車の効率曲線

なお、太田川へのクロスフロー水車を用いた発電設備を導入した場合の年間発電量を試算した。年間発電量の試算においては、選定水車を考慮して、発電機は表-4に示す永久磁石式同期発電機、設備利用率60%、稼働率95%と仮定して算出した。結果は表-5に示すとおりであり、92,374kWhとなっている。この発電量は、近畿地方における1世帯当たりの年間電気使用量4,044kWh⁴⁾を考えると、23世帯分に相当する。

表-4 想定する永久磁石式同期発電機の仕様

項目	数 値	単 位
定格回転速度	600	rpm
極数	12	-
周波数	60	Hz
最大効率(使用流量比100%)	90.0	%

表-5 年間発電量の試算結果

項目	数 値	単 位
水車発電機出力	18.5	kW
設備利用率	60	%
稼働率	95	%
年間発電量	92,374	kWh

5. まとめ

本検討により、低落差箇所における小水力発電の導入について新たに以下の知見が得られた。

- (1) 水車の選定において、水車最高効率と相対効率を基に検討を行うこととし、太田川に沿って水平導水される水路においては、クロスフロー水車の導入が適切と考えられる。
- (2) 設備配置の検討において、有効落差の最大化には大気圧と水圧の圧力差を生じさせるため水車発電機器から解放水路水面までの間を管(スカート)で接続することが適切と考えられる。

あ と が き

今回は、低落差箇所における小水力発電の検討として、落差を最大化し流量を確保するため、流況に応じた水車の選定と有効落差を最大化するための設備配置を検討した。

事業実施に際しては、設備検討結果を踏まえて建築関係工事費、土木関係工事費、電気関係工事費、その他工事費を算定したうえで、事業収支の検討が必要となる。

謝 辞

本稿の作成にあたり、(有)イー・セレクトの岡山様、日高様にはご指導・ご協力を賜りましたことを、紙面を借りて御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 大和昌一：国内の小水力発電の動向，スマートプロセス学会誌 第3巻 第2号，スマートプロセス学会，H26.3，pp.123～129。
- 2) 石丸美奈：日本の小水力発電の現状と課題～コミュニティー主体のファイナンスが課題に～，共済総研レポート，一般社団法人 JA 共済総合研究所，H25.12，pp.22～26
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁，パシフィックコンサルタンツ株式会社：中小水力発電計画導入の手引き，H26.2，pp.資料編 4-1～4-46。
- 4) 環境省：令和3年度家庭部門のCO₂排出実態調査資料編(確報値)，R5.3，39p。