

## § 2. 導入可能性の検討

### 1. 導入目的の明確化

何故、小水力発電を導入するのか、発電した電気をどうするのかという基本理念を、まず最初に形成することが重要です。再生可能エネルギー固定価格買取制度の施行までは自家消費・余剰売電が一般的でしたが、同制度施行後は売電単価が高くなったため、全量売電が一般的になっています。

#### 1-1 全量売電

売電事業は、地域の電力会社の配電線に発電機を連系させ、発生電力量を電力会社に買い取ってもらう仕組みです。再生可能エネルギー固定価格買取制度により売電単価が高くなったことから、事業計画が立てやすくなりました。

採算性を重視する場合や電力の利用用途がない場合には、全量売電を最優先することが得策と言えます。

#### 1-2 自家消費・余剰売電

##### ▶ 電気料金の低減

発電した電力を自家消費することで電力会社からの買電を抑え、電気料金を低減することを目的とします。余剰電力は電力会社に売電することができます。

高圧受電の場合、契約電力は最大デマンド（最大需要電力）によって決まります。すなわち、下記の様にその月の最大需要電力と前11か月の最大需要電力のうち、いずれか大きい値が契約電力になり基本料金が決まります。小水力発電により全体的な消費量に寄与することができれば、電力量料金だけでなく、基本料金も安くなる仕組みです。

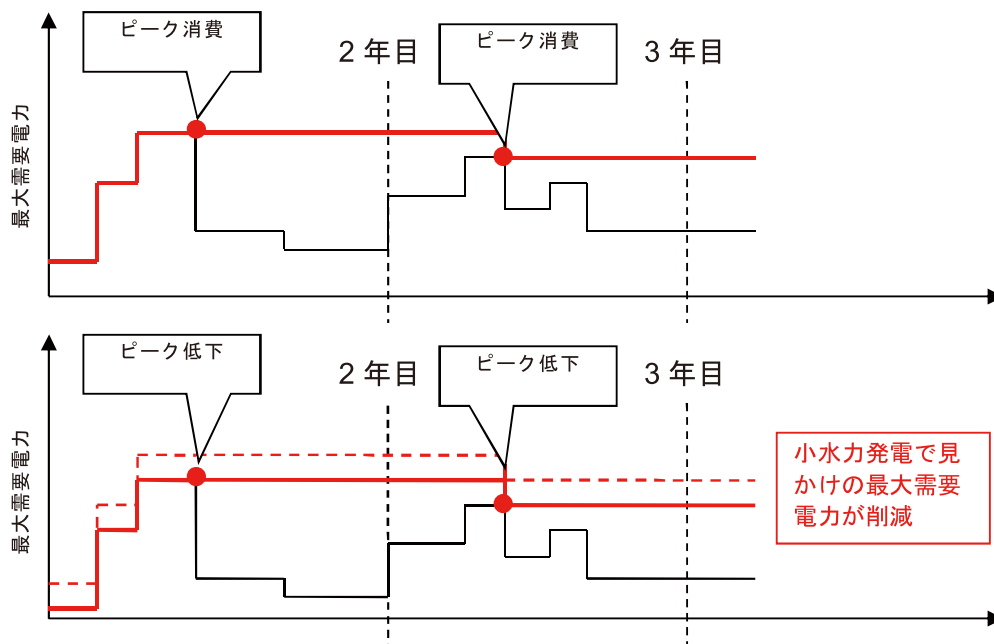


図-2.1.1 小水力発電の自家消費による契約電力削減の模式図

## § 2. 導入可能性の検討

### ➤ 地域活性化事業（まちづくり）

化石燃料は火力発電などの電気事業だけでなく、多くのエネルギー源として使用されています。車のガソリンもその一つですが、最近では電気自動車が全国的に普及し始めており、今後の移動媒体の原動力はガソリンから電気になることを示唆しているとも考えられます。

小水力発電をはじめとする再生可能エネルギーをこれらの動力源の一つとして用いる取り組みも始まっています。地方公共団体のEV（電気自動車）化や駅前自転車の電氣化、農業用電力への再生可能エネルギーの利用などが該当します。小水力発電事業としての売電による事業採算性だけでなく、再生可能エネルギーを用いたクリーン電力による新規設備の導入や、またそれらをコアとする地域活性化事業が始まっています。

たとえば、smart-move は、電動アシスト自転車やEVへの電気供給源として小水力発電を用います。直接的な送電も可能ですが、「グリーン電力証明によるエコ発電」とした電気供給も可能です。群馬県前橋市では小河川に小水力発電設備を設置してEVへ充電するスポットを設立しています。



（事例）コンビニエンスストアでのEV充電（左）、小水力発電で充電（右）

図-2.1.2 小水力発電の電力を活用した smart-move への適用例



### ちょっと一言！ 電気の価値

小水力発電の導入の目的は、「電気の価値をどのようにして見出すか」とも言い換えられます。

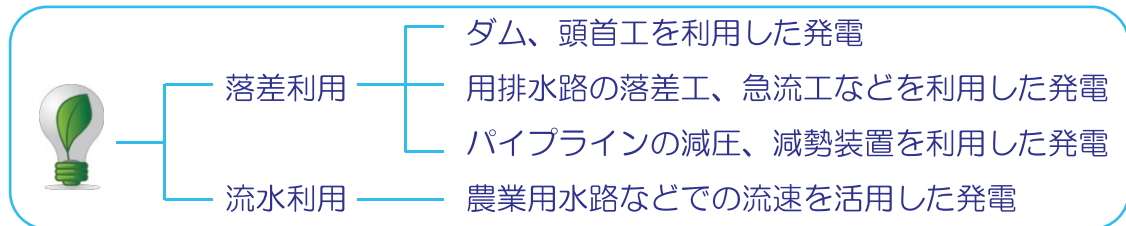
電気の価値は、全量売電では「売電による収益」になりますが、電気を自家消費する場合は現在購入している「電気料金の低下」と言えます。

## § 2. 導入可能性の検討

### 2. 発電候補地の選定

小水力発電において、「場所選び」は極めて重要な作業です。場所の選択によって、発電規模、工事コスト、経済性などの事業のすべてが決まります。安定した発電規模が確保しやすく、工事や維持管理のためのアクセスが容易で、規制ができるだけ少ない場所が最適です。

「新しい小水力の事例」(P5)で紹介したように、新しい小水力発電としては、砂防施設や農業用水路、上下水道などを活用することが考えられます。



■ダム、頭首工を利用した発電

■用排水路の落差工、急流工などを利用した発電



■パイプラインの減圧、減勢装置を利用した発電

■農業用水路などでの流速を活用した発電



図-2.2.1 発電候補地における概要図

表-2.2.1 発電候補地の区別選定の目安

区分	選定の目安の例
発電能力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 落差が十分確保できる</li> <li>・ 流量が年間通して安定している</li> </ul>
水質・環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 使用する水の水質が良好である（ごみ、落葉、流木、土砂の流入が少ない）</li> <li>・ 取水によって下流側への影響が生じないこと</li> </ul>
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工がしやすい（十分な敷地や工事用道路など）</li> <li>・ 近傍(200~300m 以内)に電力会社の電柱があること</li> <li>・ 既存の施設や水利の使用等、関係者の了解が得られる</li> </ul>
法令・規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 河川法、砂防法、自然公園法等の有無</li> </ul>

## § 2. 導入可能性の検討

### 3. 予備調査

#### 3-1 発電の基本

発電規模は、瞬時（1 秒間）に発生するエネルギーである発電力（kW）とそれらが時系列的に積算された発電電力量（kWh）で表すことができます。

水力発電の場合、発電力は以下のように表されます。

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

ただし、P：発電力（kW）

Q：使用水量（m<sup>3</sup>/s）

H<sub>e</sub>：有効落差（m）

η：発電合成効率（%）

よって、水力発電では使用水量と落差が発電計画を大きく左右します。

使用水量は、流入量や取水量などの流量から決めていくので、予備調査においては検討する前段階として、対象地点の流量と落差をおおよそ把握しておくことが重要です。

一方、発電電力量とは瞬間に発生する発電力を時間で総和にしたものと言います。使用水量のデータは、1日の平均値であることがほとんどであるため、発電力に24時間に乗じたものが1日当たりの発電電力量となり、これを1年分積み上げたものが年間発電電力量（kWh/年）となります。

$$W = \sum_{n=1 \text{ 日}}^{365 \text{ 日}} P \times 24$$

ただし、W：年間発電電力量（kWh/年）

#### 3-2 流量の把握

小水力発電を計画する際の流量データは、通常10か年分用意します。

##### ➤ ダム・農業用水・上下水道施設で計画する場合

これらの場合は、流入量（又は取水量）をすでに計測していることがほとんどです。このためこれら施設で発電を計画する場合は、実測データを入手することで、適正な発電計画を作成することができます。

なお、慣行水利権などで流入量（又は取水量）を計測していない場合は、少なくとも1年間流量調査をする必要があります。

##### ➤ 河川水の利用または砂防施設で計画する場合

この場合は流量データがない事がほとんどであり、計画する河川における流量を把握する必要があります。流量の把握は、実測調査を少なくとも1年間実施します。実測データから相関を取ることで、既存の観測所（測水所）の流量データが活用できる場合があります。

$$\text{取水地点流量} = \text{観測所流量データ} \times \text{流域面積比}$$

##### ➤ 流量資料の整理

流量資料を入手したら、表—2.3.1に示すような流況表として整理します。

## § 2. 導入可能性の検討

表-2.3.1 流況表

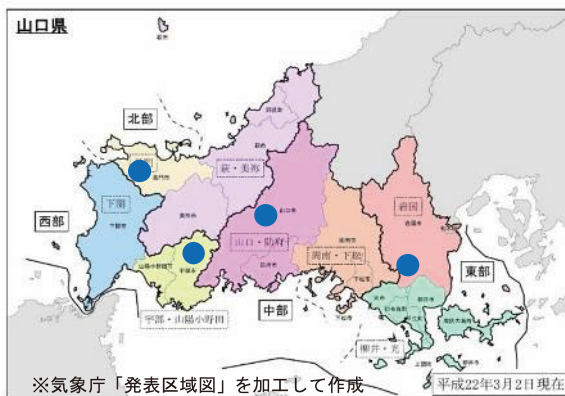
年	流量	最大流量	35日流量	豊水量 (95日)	平水量 (185日)	低水量 (275日)	渇水量 (355日)	最低流量	年平均流量
10年分整理します									
平均									

<参考>

山口県が観測している流況データの一例を以下に示しています。

図-2.3.1中の●は観測位置を示しています。各観測所の過去10か年データを整理し、流域面積100km<sup>2</sup>当たり(これを比流量といいます)に変換したものが表-2.3.2になります。

計画する地点に流量データが無い場合に参考としてください。ただし、このデータが必ずしも適用できるとは限りませんので、どのデータを使うかは検討地点の位置や気象状況に応じて判断してください。



たとえば、岩国市で流域面積20km<sup>2</sup>の地点で計画する場合は、表-2.3.2を用いて、

$$\text{最大流量} : 104.993 \div 100 \times 20 = 20.999 \text{ m}^3/\text{s}$$

と計算します。35日流量なども同様です。

河川環境を配慮して0.2m<sup>3</sup>/s/100km<sup>2</sup>程度を河川維持用水として控除するとより良いでしょう。

図-2.3.1 山口県の地域区分図

表-2.3.2 山口県比流量(m<sup>3</sup>/s/100km<sup>2</sup>)集計結果

	最大流量	35日流量	豊水量 95日	平水量 185日	低水量 275日	渇水量 355日	最低流量	年平均流量
東部地区	104.993	9.653	4.693	2.933	1.747	1.113	1.073	5.381
中部地区	81.985	11.896	5.806	2.776	1.522	0.776	0.672	6.091
北部地区	119.527	9.113	3.787	2.307	1.760	1.333	1.113	5.183
西部地区	134.721	7.395	3.384	2.128	1.477	0.756	0.523	4.423



**さらに深掘り！ 流量を実測する**

実測調査は、発電水力流量調査の手引き「(社)電力土木技術協会 H13.3」に基づいて、まず1年間実施しましょう。流量観測データと既存の観測所の公表値との相関を取ることで、発電計画地点の10か年分の流況として把握することができます(流量観測は継続することに意味があります)。

## § 2. 導入可能性の検討

### 3-3 落差の把握

落差も流量と同様に、発電候補地と形式によって異なります。落差は、取水位置から発電位置までの総落差と、摩擦・屈折・断面変化等の損失水頭を考慮した有効落差があります。予備調査では先ず総落差を把握します。「3-1 発電の基本」では、有効落差を示していますが、以下は総落差について検討します。

#### ➤ ダム、農業用水路、上下水道施設または砂防施設で計画する場合

これらの場合は、既存構造物を利用することが基本となる発電方式ですので、既存構造物の図面を整理して高さ関係を見出すことで対応できます。構造物が古く図面がない場合や地震などで地形が変化している場合などは測量して、情報を補足しておくといいでしょう。



#### ポイント！ 既存構造物から落差推定

ダムや砂防施設などは構造物の高さをそのまま使えるわけではありません。以下を参考にしてください。

ダム、砂防施設：貯水位又は堆砂位から減勢工又は副堤天端の落差

農業用水路、下水道施設：落差工の落差

上水道施設、工業用水道施設：取水位置から放水位置までの落差

#### ➤ 河川水を利用して計画する場合

この場合は情報が少ないことが予想されますので、1/25,000 地形図によるルート計画と現地調査で確認した方が良いでしょう。現地調査では、以下のような測距機などを使って総落差を想定しておくといいでしょう。また取水位置と発電位置が離れている場合などは補足情報として測量（水準測量又は基準点測量及び路線縦断測量）を実施すると精度が向上します。



図-2.3.2 1/25,000 地形図によるルート計画例

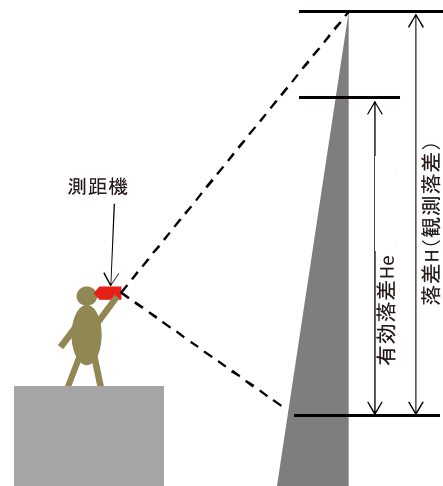


図-2.3.3 水力発電実施の際の総落差観測の事例



#### さらに深掘り！ 地形図を見よう

地形図は本屋で購入出来ますが、インターネットでは国土地理院が「地理院地図」で公開しています。

<http://maps.gsi.go.jp/>

## § 2. 導入可能性の検討

### 4. 発電計画

#### 4-1 使用水量の検討

使用水量の検討は、発電を河川、ダム、砂防施設、農業用施設、上下水道施設のどこで実施するかで検討方法が異なります。以下に箇所毎に別けて示しますが、いずれにも共通する内容として、以下の事項が挙げられます。使用水量には最大使用水量と常時使用水量の2種類があります。ここで検討するのは最大使用水量です。最大使用水量は発電の規模や事業の採算性を決定する上で重要な数値になります。なお、常時使用水量は河川法において過去10か年の平均濁水流量（ダム式の場合は最低流量）と定められています。



#### ポイント！ 最大使用水量と発電規模

最大使用水量を大きくすると、

- ① 発電規模（発電力）が大きくなる。
- ② 発電できない日数が増える。
- ③ コストが高くなる。

となり発電量は必ずしも多くなるわけではありません。このため、規模は複数パターンで検討する必要があります。



#### さらに深掘り！ 最大使用水量と水車の関係

水車（詳しくは4-3を参照）は種々ありますが共通して、ある程度流量が少なくなると水車が稼働しないという特性があります。一例を以下に示します。

- ① フランス式水車：最大使用水量の30%まで
- ② クロスフロー水車：最大使用水量の40%まで
- ③ プロペラ水車：最大使用水量の60%まで

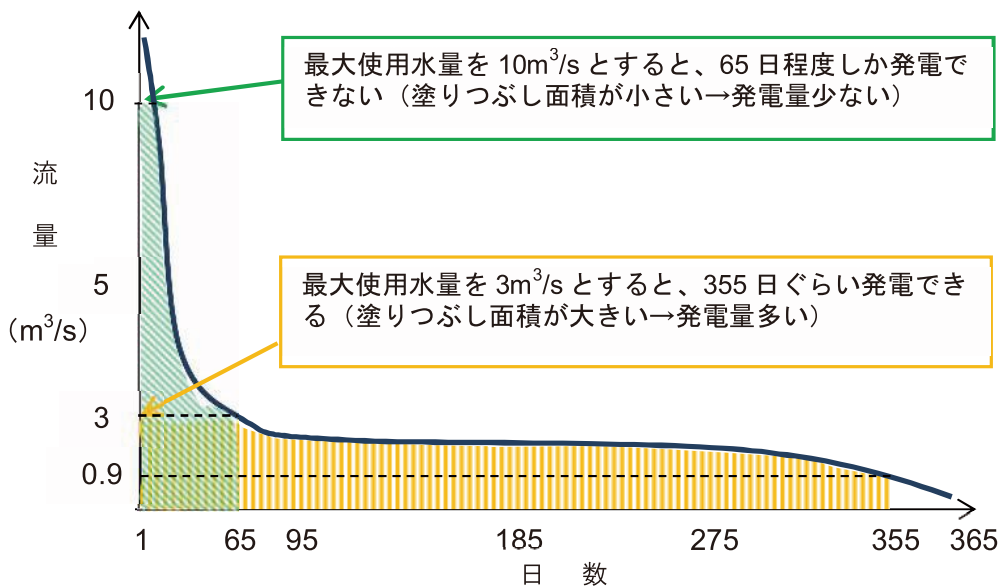


図-2.4.1 流況図と最大使用水量の考え方

#### ➤ 河川、ダム、砂防施設

これらで計画する場合は、使用水量は自然の流況に大きく左右されます。流れ込み式の場合、 hidrovalley計画ガイドブック（新エネルギー財団、平成17年）では流量設備利用率が45～60%となるような流量を最大使用水量に設定すると記載されています。一般的に、豊水量は流量設備利用率60%程度に相当するため、最大使用水量を豊水量で検討することを基本とし、平水量及び低水量の3パターンで比較検討するとよいでしょう。

## § 2. 導入可能性の検討

### ➤ 農業用水路、上下水道施設、工業用水道施設

これらの施設で計画する場合は、人為的に取水・使用された流況に準じて発電を実施します。また、これらの流水はすでに使用目的が決まっていることから発電の都合がよいように水を調整する事ができません。

このため発電計画においては、流れている水を全量用いて発電することが基本となります。もちろん施設によっては流水の一部を分水し発電することができる場合もありますが、この場合は分水するコントロールが難しく制御に対する新たな課題も発生します。

よって、可能性検討の段階においては最大使用水量を最大流量で検討するとよいでしょう。

### 4-2 落差の検討

3-1 で発電の基本式を示しましたが、発電計算で用いる落差は、有効落差です。有効落差は以下のように算出します。

$$\text{有効落差} = \text{総落差} - \text{損失水頭} \quad (\text{m})$$

では、有効落差はどのように検討するのか、以下に順を追って記載します。

### ➤ 総落差

総落差は、3-3 で整理した落差を指します。

前述のとおり、構造物を対象とする場合は過去の図面等で確認すると共に、1/25,000 地形図で確認する場合は少し余裕をもった高さを設定しておくとい良いでしょう。

### ➤ 損失水頭

損失水頭とは、水が流れることによって発生するエネルギーロスを高さに置き換えて示したもので、単位はメートル (m) です。水が水路や水圧管路、構造物の中を流れる際の抵抗力と言い替えることができます。

損失水頭には、摩擦損失水頭、流入損失水頭、曲がり損失水頭、急縮・急拡損失水頭などがあります。水力発電計画においてはこれらをすべて拾い上げて算出し、その総和を損失水頭とします。

導入可能性の検討段階では「中小水力発電ガイドブック」を参考にすると良いでしょう。

水路式の損失落差（「中小水力発電ガイドブック」より）

導水路の損失落差：導水路延長  $L_1 \times 1/1,000$  (m)

流入口、流出口等の合計損失：0.05 (m)

水圧管路の合計損失：水圧管路長  $L_2 \times 1/200$  (m)

放水路の損失落差：放水路延長  $L_3 \times 1/1,000$  (m)

その他の落差：0.5 +  $\alpha$  (m)  $\alpha$  は 0.1m 以内

また、前述の各損失水頭から全体の損失水頭を求める場合、実際に色々な発電所の計算事例を見ると、全体の損失水頭のうち、摩擦損失水頭と曲がり損失水頭がほとんどを占めます。よって、概算で検討する際にはこれら2種類の検討だけでも十分な効果があります。



## § 2. 導入可能性の検討

< 参 考 >

摩擦損失水頭の計算式は以下のとおりです。

$$h_L = \frac{124.5 \cdot n^2}{D^{4/3}} \cdot L \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ここで、 $h_L$  : 摩擦損失水頭 (m)  
 $n$  : 摩擦損失係数 (鉄管 : 0.012 とします)  
 $L$  : 管路延長 (m)  
 $v$  : 流速 (m/s)  
 $D$  : 管路直径 (m)

曲がり損失の計算式は以下のとおりです。

$$h_b = (0.131 + 0.1632(D/\rho)^{7/2}) \cdot \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.5} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

ここで、 $h_b$  : 曲がり損失水頭 (m)  
 $v$  : 流速 (m/s)  
 $D$  : 管路直径 (m)  
 $\rho$  : 曲り半径 (m)  
 $\theta$  : 曲がり角度 (°) → 図面、地形図から推定します

損失水頭は以下の早見表で算定することができます。

表-2.4.1 損失早見表(管路延長 L 又は曲がり箇所数 n を乗じてください)

最大使用 水量(m³/s)	管径 (mm)	摩擦損失水頭		曲がり損失水頭			
		$h_L(m)$	$h_b(m)90^\circ$	$h_b(m)60^\circ$	$h_b(m)45^\circ$	$h_b(m)30^\circ$	
0.10	300	0.00912 × L	0.01743 × n	0.01423 × n	0.01232 × n	0.01006 × n	
0.20	400	0.00787 × L	0.02205 × n	0.01801 × n	0.01560 × n	0.01273 × n	
0.30	400	0.01771 × L	0.04962 × n	0.04052 × n	0.03509 × n	0.02865 × n	
0.40	500	0.00989 × L	0.03613 × n	0.02950 × n	0.02555 × n	0.02086 × n	
0.50	600	0.00566 × L	0.02723 × n	0.02223 × n	0.01925 × n	0.01572 × n	
1.00	800	0.00488 × L	0.03446 × n	0.02814 × n	0.02437 × n	0.01990 × n	
1.50	1,000	0.00334 × L	0.03176 × n	0.02593 × n	0.02246 × n	0.01834 × n	
2.00	1,100	0.00357 × L	0.03856 × n	0.03149 × n	0.02727 × n	0.02226 × n	

たとえば、最大使用水量 0.3m³/s の計画で管路長 200m、90° 曲がり 5 箇所、30° 曲がり 2 箇所の場合、  
 損失水頭 = 0.01771 × 200 + 0.04962 × 5 + 0.02865 × 2 = 3.85 (m) となります。



さらに深掘り！ 損失水頭の計算

水力発電における損失水頭について、さらに詳しく調べたい方には、以下の参考文献をおすすめします。

- ・「発電水力演習」千秋 信一 著
- ・「水理公式集 平成 11 年版」土木学会 著

## § 2. 導入可能性の検討

### 4-3 水車・発電機の選定

#### ➤ 水車の選定

最大使用水量と有効落差が決まったら、水車と発電機の選定を行います。

水車は大きく分けると、反動水車、衝動水車、オープン水車に別けられます。

反動水車とは発電後も圧力状態を保つことができる構造であり、上水道などのパイプラインに設置したり、サイフォン原理で発電する場合が典型的な事例です。一方、衝動水車は水を水車に噴射して発電することから、発電後に放流水を大気解放する仕組みです。オープン水車とは近年開発されつつあるオープン水路に設置して低落差で発電する仕組みであり、下掛け水車や上掛け水車もこれに該当します。他の書籍などでは投げ込み式水車とも呼ばれています。

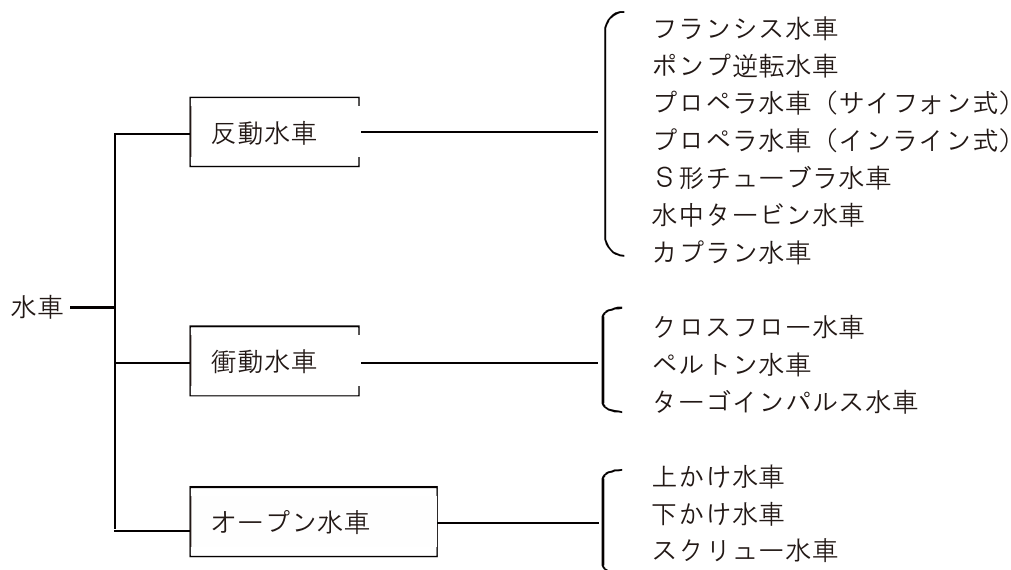
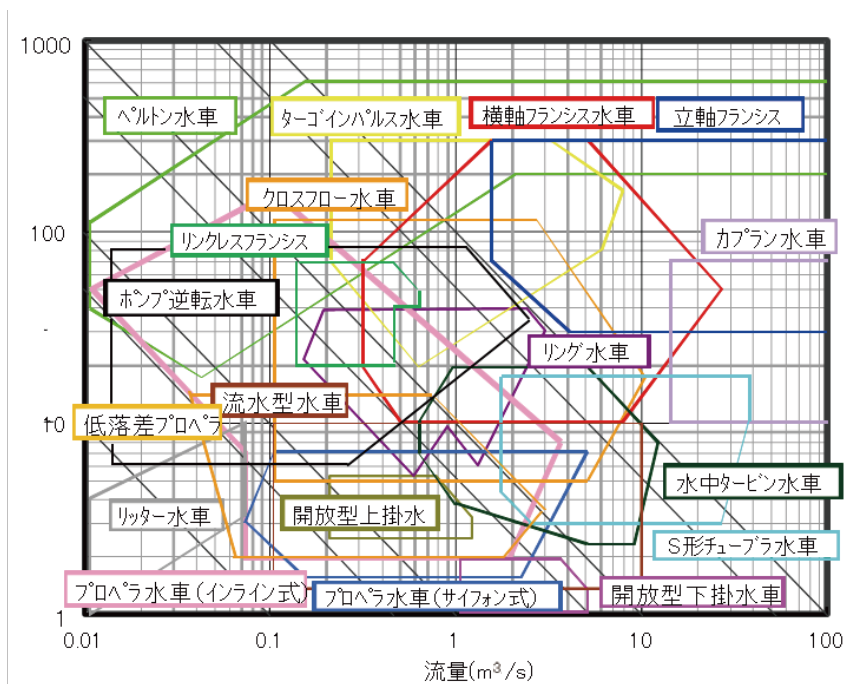


図-2.4.2 水車の分類と代表的な水車形式

水車の分類・形式の想定ができれば、水車選定図より水車の形式を選定します。






(出典：ハイドロバレー計画ガイドブックを現況に応じて加筆・修正)

図-2.4.3 水車選定図の例

## § 2. 導入可能性の検討

表-2.4.2 代表的な水車の説明

項目	プロペラ水車	ポンプ逆転水車	フランシス水車
概略図			
構造概要	円筒プロペラ水車の一種である。水車軸に発電機を直結（流水路内）したタイプと、水車上に発電機を搭載し、水車回転部と発電機をベルトで直結したタイプがある。	標準横軸ポンプを逆転させて使用する。ランナ固定用ネジを標準ポンプに対し逆に切る必要がある。	流水がランナの周辺から流入し、ランナ内において軸方向に向きを変えて流出する構造である。
変流量への対応	流量の変動が多い場合は複数台を配置して対応する。	大きな流量変動には対応できない。	大きな流量変動に対応できる。
変落差への対応	大きな変動では効率が低下する。	大きな変動には対応できない。	大きな変動では効率が低下する。
小水力への実績	上水道、工業用水やパイプラインでの実績が多い	上水道、工業用水やパイプラインでの実績が多い	河川、ダム、砂防施設での実績が多い

### ▶ 発電機

発電機の種類は、以下のように分けられますが、ほとんどは同期発電機か、誘導発電機のことになります。

同期発電機と誘導発電機の違いは、発電機自体の制御・調整に商用電力を使うか、使わないかという点で、同期発電機は商用電力に依存せず、誘導発電機は依存します。経済性は、誘導発電機の方が安く、メンテナンスもやりやすいと言われています。誘導発電機で発電計画を行う際には、周辺地域へ発電の影響が出る可能性がありますので、かならず電力会社へ事前に相談することをお勧めします。

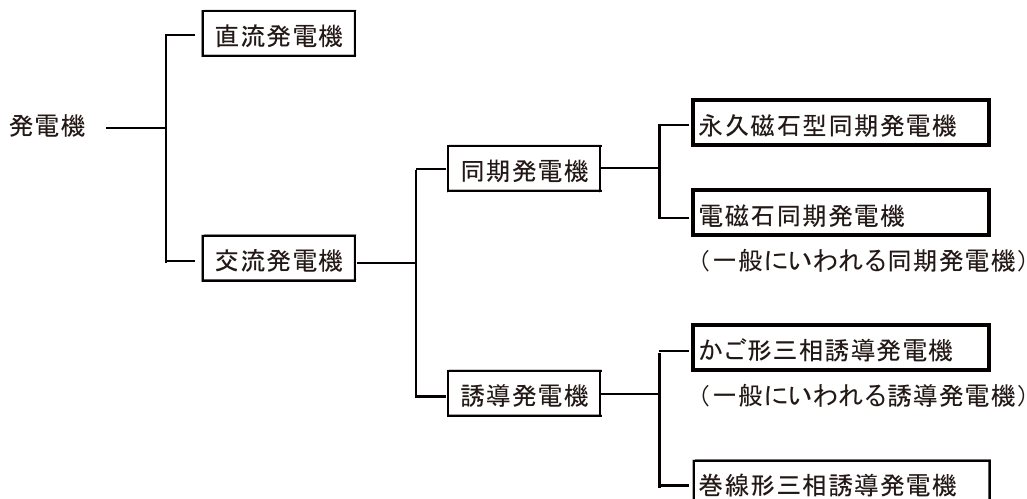


図-2.4.4 発電機の種類と代表的な発電機形式

## § 2. 導入可能性の検討

表-2.4.3 発電機の形式別特徴の整理

項目	永久磁石型同期発電機	同期発電機	誘導発電機
構造	永久磁石型回転子で構造が簡単である。	界磁巻線及び交流励磁機（又はスリップリング）を持ち複雑である。	かご形回転子で構造が簡単でメンテナンスしやすい。
保守・点検	パワーコンディショナー盤の保守点検が必要である。	励磁装置などの保守点検が必要である。	構造が簡単で励磁装置もなく保守が容易である。
容量	大容量機は製作困難	大容量機でも問題ない	大容量機は製作困難
並列時の同期合わせ	必要である。パワーコンディショナー盤により無突入の同期あわせができる。	必要である。自動電圧調整器（AVR）が標準装備である。	必要なし 強制的に並列を行う。
並列時の突入電流	なし	同期並列であり、過度電流は小さく、系統の電圧降下などの問題は生じない。	強制並列を行うので、過度電流が流れる。並列時の系統電圧降下等の検討を要する。
単独運転（非常用利用）	可能	可能	不可
効率	よい。誘導発電機に比べ1~2%程度良い。	同左	多少悪い
コスト	高い	誘導型より高い	安価

### 4-4 発電力・年間発電電力量の算出

#### ➤ 理論出力

理論出力とは、水の持つエネルギーであり、水車や発電機に依存しないエネルギーを示します。水利使用許可を申請する際には、理論出力を記載する必要があります。理論出力は、4-1と4-2の算定結果を用いて試算することができます。

表-2.4.4 理論出力の算定式

理論出力	最大理論出力	常時理論出力
$Pe = 9.8 \times Q \times He$ ただし Pe:理論出力 Q:使用水量 He:有効落差	$P_{max} = 9.8 \times Q_{max} \times H_{max}$ ただし $P_{max}$ :最大理論出力 $Q_{max}$ :最大使用水量 $H_{max}$ :有効落差 (最大使用水量時)	$Pe_f = 9.8 \times Q_f \times He_f$ ただし $Pe_f$ :常時理論出力 $Q_f$ :常時使用水量 $He_f$ :有効落差 (常時使用水量時)

#### ➤ 発電力

発電力とは、理論出力に水車効率・発電機効率を乗じた、実際に電気として得られる出力を示します。水車効率 $\eta_G$ 及び発電機効率 $\eta_P$ はそれぞれ求めることが可能ですが、本書では、良く用いられるであろう、フランシス水車、クロスフロー水車、ポンプ逆転水車、プロペラ水車についてそれぞれ以下に示します。(いずれも最大発電力が100kW程度を想定した場合の数値になります。)

$$P = Pe \times \eta$$

ただし、P : 発電力 (kW)

Pe : 理論出力 (kW)

$\eta$  : 発電合成効率 ( $\eta = \eta_G \times \eta_P$ )

## § 2. 導入可能性の検討

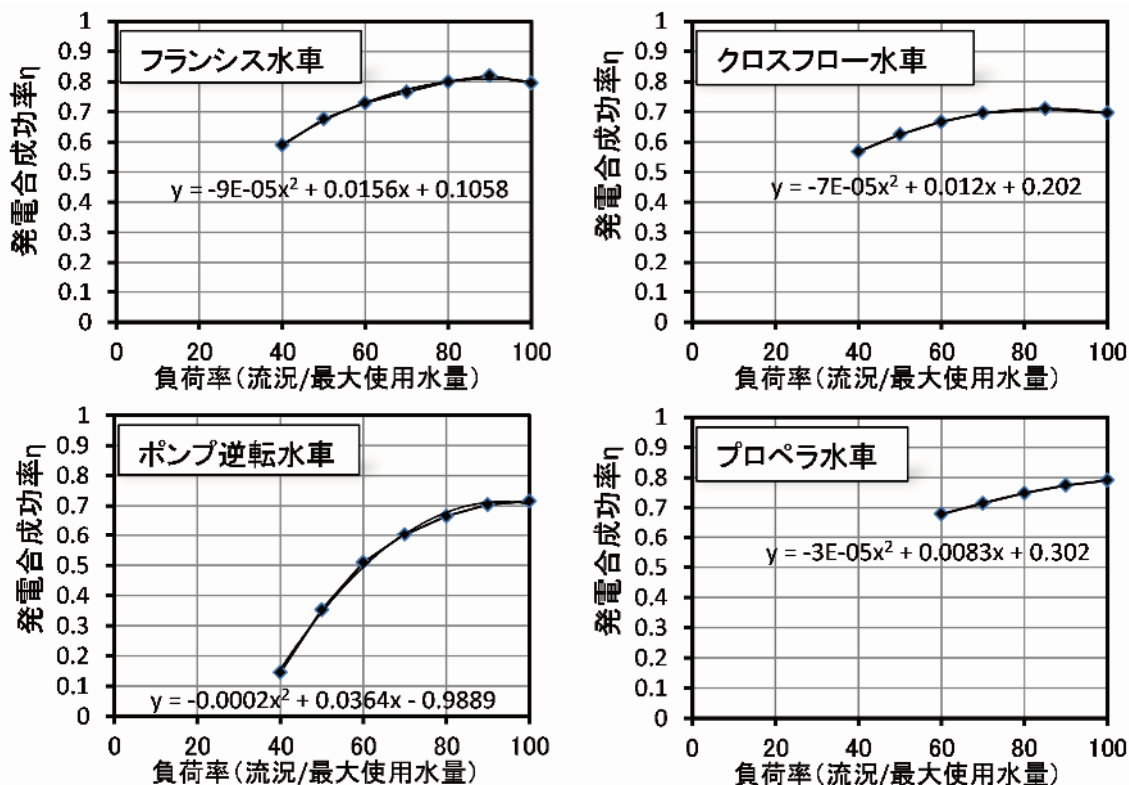


図-2.4.5 主な水車の合成効率曲線

### ▶ 発電電力量

年間発電電力量は、表-2.3.1の流況表と図-2.4.5の合成効率曲線を用いて算出することができます。以下、山口県北部で流域面積 20km<sup>2</sup>、有効落差 40m でフランシス水車適用の試算です。

表-2.4.5 年間発電電力量の試算例

流況表は、表-2.3.2の山口県北部を流域面積比換算して求めてみました。  
最大使用水量は、豊水量に設定し計算しています。

	最大流量	35日流量	豊水量 95日	平水量 185日	低水量 275日	渇水量 355日	最低流量	年平均流量
10年平均	23.91	1.82	0.76	0.46	0.35	0.27	0.22	1.04

①最大使用水量： 0.76 (m<sup>3</sup>/s)      有効落差： 40 (m)

②日順	③日数 (日)	④使用水量 (m <sup>3</sup> /s)	⑤負荷率 (%)	⑥合成効率 (%)	⑦発電力 (kW)	⑧平均発電力 (kW)	⑨発電電力量 (kWh)
(最大頭切日数)	94	0.76	100	80	237	237	534,672
	95	1	0.76	100	237	237	5,688
	185	90	0.46	61	130	184	397,440
	275	90	0.35	46	84	107	231,120
	355	80	0.27	35	0	42	80,640
	365	10	0.22	29	0	0	0
計							1,249,560

②の上の段との差      流況表より      水量÷最大水量      図-2.4.5より      ⑦=9.8×④×有効落差×⑥      ⑦の上の段との平均      ⑨=⑧×24×③

## § 2. 導入可能性の検討



### さらに深掘り！ 年間発電電力量の計算

前ページの計算方法はあくまでも概算法です。もっと精度を上げるためには日計算を10年間分行い年平均を算出します。

次表は、日計算の一例です。

■水車形式：ポンプ逆転水車      最大使用水量 0.338 m<sup>3</sup>/s      下限水量 0.135 m<sup>3</sup>/s

日付	流量	使用水量	損失水頭(m)										総落差(m)	有効落差(m)	水車効率	発電量(kWh)	月間発電量(kWh)	
			摩擦		曲がり													計
			上水専用	共同管	90°(D0.9)	130°(D0.9)	140°(D0.9)	90°(D0.9)	120°(D0.9)	130°(D0.9)	140°(D0.9)							
2003/1/1	0.235	0.235	0.229	0.995	0.061	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	1.30	20.00	18.70	0.540	558	19,853	
2003/1/2	0.235	0.235	0.229	0.995	0.061	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	1.30	20.00	18.70	0.540	558		
2003/1/3	0.263	0.263	0.287	1.218	0.076	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.60	20.00	18.40	0.591	673		
2003/1/4	0.236	0.236	0.231	1.002	0.061	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	1.30	20.00	18.70	0.543	564	発電不可	
2003/1/5	0.246	0.246	0.251	1.080	0.066	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.41	20.00	18.59	0.563	606	日数	
2003/1/6	0.253	0.253	0.266	1.135	0.070	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.49	20.00	18.51	0.576	634	0	
2003/1/7	0.267	0.267	0.296	1.251	0.078	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.64	20.00	18.36	0.596	687		
2003/1/8	0.247	0.247	0.253	1.087	0.067	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.42	20.00	18.58	0.565	610		
2003/1/9	0.265	0.265	0.292	1.234	0.077	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.62	20.00	18.38	0.594	680		
2003/1/10	0.242	0.242	0.243	1.048	0.064	0.001	0.001	0.003	0.001	0.005	0.002	1.37	20.00	18.63	0.556	590		
2003/1/11	0.239	0.239	0.237	1.025	0.063	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	1.34	20.00	18.66	0.549	576		
2003/1/12	0.238	0.238	0.235	1.017	0.062	0.001	0.001	0.002	0.001	0.004	0.001	1.32	20.00	18.68	0.547	572		
2003/1/13	0.253	0.253	0.266	1.135	0.070	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.49	20.00	18.51	0.576	634		
2003/1/14	0.250	0.250	0.259	1.111	0.069	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.45	20.00	18.55	0.571	623		
2003/1/15	0.267	0.267	0.296	1.251	0.078	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.64	20.00	18.36	0.596	687		
2003/1/16	0.253	0.253	0.266	1.135	0.070	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.49	20.00	18.51	0.576	634		
2003/1/17	0.240	0.240	0.239	1.033	0.063	0.001	0.001	0.003	0.001	0.005	0.002	1.35	20.00	18.65	0.551	580		
2003/1/18	0.251	0.251	0.262	1.119	0.069	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.46	20.00	18.54	0.573	627		
2003/1/19	0.252	0.252	0.264	1.127	0.070	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.48	20.00	18.52	0.574	630		
2003/1/20	0.250	0.250	0.259	1.111	0.069	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.45	20.00	18.55	0.571	623		
2003/1/21	0.259	0.259	0.278	1.184	0.074	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.55	20.00	18.45	0.585	657		
2003/1/22	0.262	0.262	0.285	1.209	0.075	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.58	20.00	18.42	0.590	670		
2003/1/23	0.284	0.284	0.335	1.400	0.088	0.002	0.002	0.003	0.002	0.006	0.002	1.84	20.00	18.16	0.611	741		
2003/1/24	0.277	0.277	0.318	1.338	0.084	0.002	0.002	0.003	0.002	0.006	0.002	1.76	20.00	18.24	0.606	720		
2003/1/25	0.261	0.261	0.283	1.201	0.075	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.57	20.00	18.43	0.588	665		
2003/1/26	0.264	0.264	0.289	1.226	0.076	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.61	20.00	18.39	0.592	676		
2003/1/27	0.268	0.268	0.298	1.260	0.079	0.002	0.002	0.003	0.002	0.006	0.002	1.65	20.00	18.35	0.597	691		
2003/1/28	0.270	0.270	0.303	1.277	0.080	0.002	0.002	0.003	0.002	0.006	0.002	1.68	20.00	18.32	0.599	697		
2003/1/29	0.267	0.267	0.296	1.251	0.078	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.64	20.00	18.36	0.596	687		
2003/1/30	0.251	0.251	0.262	1.119	0.069	0.001	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	1.46	20.00	18.54	0.573	627		
2003/1/31	0.264	0.264	0.289	1.226	0.076	0.001	0.002	0.003	0.002	0.005	0.002	1.61	20.00	18.39	0.592	676		

### ➤ 設備利用率

設備利用率とは、簡単に言えば「最大能力で年間稼働するのにに対し、実際にどのくらい稼働するか」を示す指標です。発電力と年間発電電力量から算出することができます。

$$\text{設備利用率} = \frac{\text{年間発電電力量 (kWh)}}{\text{最大発電力 (kW)} \times 365 (\text{日}) \times 24 (\text{時間})}$$

設備利用率に決まりはありませんが、概ね以下のような参考値がありますので、算定結果が一般値とどれくらい乖離があるかを確認することができます。表-2.4.5で試算した内容を適用すると、以下の様になります。

$$\begin{aligned} \text{設備利用率} &= \frac{1,249,560 \text{ (kWh)}}{237 \text{ (kW)} \times 365 \text{ (日)} \times 24 \text{ (時間)}} \\ &= 60.2 \text{ (\%)} \end{aligned}$$



### ポイント！ 設備利用率

設備利用率は発電計算の妥当性を検証する上で重要な指標になります。設備利用率が高ければ効率のよい発電を実施しているというふうに読み替えることができます。

設備利用率は一般的に以下のような目安があり、検討結果が当てはまるか、また一般よりも良い結果であるかを判断することができます。

河川、ダム、砂防施設：45～60%程度

農業施設、上下水道施設、工業用水道施設：50～80%程度

## § 2. 導入可能性の検討

### 4-5 概算工事費の算出

概算工事費とは、本来基本設計を実施して計算するものですが、水力発電の計画においては設計する前に、妥当な規模か否かを検討しておく必要があります。

概算工事費は下表を基本に算定します。小水力発電の計画地点や形式に応じて積み上げ算定の要・不要がありますが、○は概ね計上が必要な項目であり、△は条件によって検討が必要な項目です。

表-2.4.6 概算工事費の基本と計上一覧

	積算項目	ダム	砂防	河川	上水道	下水道	パイプ
					工業用水	農業用水	ライン
1)	土地補償費	—	○	○	—	—	—
2)	建物関係	○	○	—	△	△	○
3)	土木関係						
	①水路						
	a.取水ダム	—	—	○	—	—	—
	b.取水口	—	○	○	—	—	—
	c.沈砂池	—	○	○	—	—	—
	d.排砂路	—	○	○	—	—	—
	e.導水路	—	○	○	—	—	—
	f.水槽	—	○	○	—	—	—
	g.余水路	—	△	○	—	—	—
	h.水圧管路	○	○	○	○	△	○
	i.放水路	○	○	○	—	△	—
	j.放水口	△	△	△	—	△	—
	k.代替放流設備	—	—	—	△	—	—
	l.雑費工事費	○	○	○	○	○	○
	②貯水池 または調整池						
	m.ダム	—	—	—	—	—	—
	n.雑工事	—	—	—	—	—	—
	③機械装置						
	o.基礎	○	○	○	○	○	○
	p.諸装置	○	○	○	○	○	○
4)	電気関係						
	q.水車	○	○	○	○	○	○
	r.発電機	○	○	○	○	○	○
	s.その他機器	○	○	○	○	○	○
5)	仮設備	○	○	○	○	○	○
6)	総係費	○	○	○	○	○	○
7)	(小計)						
8)	建設中利子	—	—	—	—	—	—
9)	分担関連費	—	—	—	—	—	—
10)	送配電設備	○	○	○	○	○	○
11)	系統連系委託	○	○	○	○	○	○
12)	(計)						

概算工事費の算定は、水力発電計画工事費積算の手引き（資源エネルギー庁、平成 25 年）に準じて計算します。計算にはそれぞれの条件により計算式を選択する必要がありますので、ここで示すことができませんが、発電計画に応じて計上してください。



いざ問合せ！ 水力発電計画工事費積算の手引き

水力発電計画工事費積算の手引きは経済産業省のホームページに掲載されています

[http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy\\_011.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/hydroelectric/download/pdf/ctelhy_011.pdf)

## § 2. 導入可能性の検討

### 4-6 維持管理費の算出

水力発電の維持管理費は、発電所の条件によって大きく変わります。

前出の「ハイドロバレー計画ガイドブック」でも維持管理費について記載されていますが、同計算手法では、人件費や設備のメンテナンス費用などが低めに算出されることがあります。

たとえば上水道施設で計画する場合などは、水の中に混入物も少なく維持管理が容易である傾向にあります。

一方、砂防施設を活用する場合は取水に土砂等の混入物が入りやすく維持管理が煩雑になっている事例もあります。

このような様々な状況を考慮すると、計画時点においては条件が厳しい状態を想定して維持管理費を算出することが重要です。

本書のケーススタディーでは、各技術資料からそれぞれにおける厳しい数値を採用して維持管理費を算出することとしました。

表一2.4.7 維持管理費の考え方の例

経済項目		参考資料		本書のケーススタディ (概略採算性の検討)
		① 「管理用発電設備設置計画の手引き (案)」 財団法人 国土開発技術センター	② 「ハイドロバレー計画ガイド ブック」 財団法人 新エネルギー財団	
直接費	人件費	電気主任技術者 18,500円/日 月2回点検×12ヶ月 技術経費 20% 諸経費 70%	建設費×0.17%	①参考 電気主任技術者 18,500円/日 月2回点検×12ヶ月 技術経費 20% 諸経費 70% (ダム水路主任技術者は許可選任として見込まない。)
	修繕費①定期	公営電気事業経営者会議の標準修繕費 1,000kW以下=最大出力×1,182×2.7	建設費×0.310%(初年度) 年増加率 建設費×0.019% 20年間の平均	①参考 公営電気事業経営者会議の標準修繕費 1,000kW以下=最大出力×1,182×2.7
	修繕費②オーバーホール			設備の法定耐用年数22年に対して、20年でオーバーホールを行うものとして、水車発電機費用÷20年と想定する。
	修繕費③スクリーン			月2回ゴミ排出 (日常点検でおこなうものとする。)
	修繕費④制御盤,変圧装置等			10年間で交換と仮定 (制御盤+変圧装置機器費/10年×50%)
	支払利息	100%国庫負担となるため、見込まない。	記載なし	公営企業債として1.2%計上
	国有資産等所在市町村交付金 (固定資産税)	見込まない	見込まない	見込まない
	水利使用料	水利使用量=[常時理論出力kW×1,446円 + (最大理論出力kW-常時理論出力kW) ×319円]	記載なし	①参考 水利使用量=[常時理論出力kW× 1,446円+ (最大理論出力kW-常時理論出力kW) ×319円]
	国庫負担金償還金	事業区分河川、特定かんがい、水道等のコストアロケ率については今回は見込まない	記載なし	事業区分河川、特定かんがい、水道等のコストアロケ率については今回は見込まない
その他経費	(総事業費)×0.003	建設費×0.31%	②参考 建設費×0.31%	
間接費	一般管理費	記載なし	(固定資産税+人件費+修繕費+その他経費)×12%	②参考 (固定資産税+人件費+修繕費+その他経費)×12%
合計				



## § 2. 導入可能性の検討

### 5. 採算性の検討・評価

#### 5-1 採算性の検討

##### ➤ 採算性検討の基本

小水力発電に限らず発電の採算性は、投資コストを回収することができるか、という点に尽きます。すなわち経済的に妥当か否かということになります。

採算性の指標には、これまで建設単価と呼ばれる電気を生産するコスト(円/kW、円/kWh)で評価をしてきました。しかしこれには一目で事業の妥当性を判断することができませんでした。そこで本書では、単純に指標を明示するため、採算性指標(B/C)及び総収支指標(B-C)で定義することとしました。

##### ➤ 採算性指標(B/C)

全量売電にせよ、余剰売電にせよ、再生可能エネルギー固定価格買取制度により一律20年間、同一条件下で事業が行われることを前提に、建設費、維持管理費、収益の3要素を組み合わせた評価とします。

20年間の事業採算性指標(B/C)を以下に示します。同式では、20年間の総コストと総収入が均衡する場合1となり、収益が大きい場合は1以上、収益が低い場合は1未満、毎年の維持管理費が収益を上回る場合はマイナス評価となり、数値において事業実施がどのような状態になるかを数値で示します。

$$\text{採算性} = \frac{(\text{年収益 (売電 or 電気料金低減} + \text{余剰売電)} - \text{一年維持管理費}) \times 20 \text{ 年}}{\text{工事費}}$$

##### ➤ 総収支指標(B-C)

同様に、建設費、維持管理費、収益の3要素を組み合わせた評価として、20年後の総収支を示す評価として総収支指標(B-C)があります。B/Cは客観的な数値であるため、設備規模が違っていてもB/Cが同じ数値になることはあり得ますが、B-Cは絶対数値であるため、各発電所の規模に応じた数値が表示されます。

$$\text{総収支} = (\text{年収益} - \text{一年維持管理費}) \times 20 \text{ 年} - \text{工事費} \quad (\text{円}/20 \text{ 年})$$

たとえば、以下の2つの発電計画では、どちらの事業を評価するでしょうか。

ア：建設費：6億円、維持管理費：20,000千円/年、収益：60,000千円/年

イ：建設費：30,000千円、維持管理費：3,000千円/年、収益：6,000千円/年

これらを採算性指標及び総収支指標で試算すると、

ア：B/C=1.333、B-C=200,000千円/20年

イ：B/C=2.000、B-C=30,000千円/20年

となり、B/Cでは事業イが良いものの、B-Cでは事業アがよい、という評価になります。

よって、B/C、B-C双方の計算を行うことで、事業の採算性を把握することができます。

## § 2. 導入可能性の検討

### ➤ 損益分岐点

再生可能エネルギー固定価格買取制度は再生可能エネルギーの普及を目的にした法律であり、買取価格は当該エネルギーの導入促進に応じて毎年改定されます。すなわち普及が進むにつれて、電力開発に応じた費用を算定し買取価格が徐々に低下することになります。水力発電の場合は他の再生可能エネルギーに比べて導入時間がかかるため、高い価格をしばらく維持すると思われませんが、いずれは買取価格は低下すると予想されます。

計画時点において採算性がよい事業であっても、その後の買取価格の変動で採算性は低下する可能性があります。このため損益分岐として、B/Cが1（B-Cが±ゼロ）になる売電単価を計算することで、計画時点の売電単価からどれほど余裕があるかを判断することができます。

### 5-2 その他の評価

#### ➤ 環境への貢献の評価

環境への貢献評価については、小水力発電により他の発電方式に比べどれだけCO<sub>2</sub>を削減できたかで表します。

環境省では毎年電気事業者毎の実排出係数を公表しています。山口県は中国電力管内であるため、0.000697t-CO<sub>2</sub>/kWhという排出原単位があります。

水力発電の場合、0.000011t-CO<sub>2</sub>/kWhという排出原単位がありますので、この差が環境貢献度となります。

たとえばP.19で試算した年間発電電力量1,249,560kWhの場合、以下の削減効果になります。

$$1,249,560 \times (0.000697 - 0.000011) = 857.20 \text{t-CO}_2/\text{年}$$



#### いざ問合せ！ 環境省 実排出係数

電力事業者の実排出係数は、毎年12月頃に前年の集計結果を環境省が公表しています。ご興味のある方は下記のURLをご覧ください。

<http://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc/denki>

## § 2. 導入可能性の検討

### ➤ その他の評価（地域振興等）

小水力発電をはじめとする再生可能エネルギーを地域振興や環境教育の資源の一つとして用いる取り組みもいくつかあります。地方公共団体のEV化や駅前自転車の電気化、農業用電力への再生可能エネルギーの利用、環境教育、観光資源などが該当します。以下に他県の実際の取り組みについて幾つか紹介します。

#### 環境教育（長野県長野市：大岡朝刈小水力発電所）



（出典：大岡朝刈小水力発電所パンフレット）

#### 観光資源（山梨県都留市：元気くん1号・2号・3号）



（第1回小水力サミット in 都留 現地見学会）

### 5-3 課題点の整理

導入可能性の評価においては、当然のことながら課題点の整理も実施しなければなりません。

発電箇所において課題はそれぞれ異なります。以下に代表的な課題を整理していますので、参考にしてください。

表—2.5.1 発電地点による主な課題点の例

発電地点	課題
河川、砂防施設	土砂の混入対策、低水時の取水方法など
ダム	ダムの運用、ダムコンの改造など
上水道、工業用水道、パイプライン	発電用バイパスの必要性、流量調整の方法、発電機の停止・開始時の操作方法、事故・故障時の安定給水対策
農業用水路、下水道	堰上げ効果による水路余裕高の減少、最大放流時の水車の待避方法など

＜参考＞ 山口県企業局の電気事業を紹介します。

▶ 電力会社と受給契約を行っている発電所

発電所名	方式	最大電力 (kW)	年間電力量 (MWh)	使用水量 (m <sup>3</sup> /s)	有効落差 (m)	運転開始年	制御所
菅野発電所	ダム式	14,500	31,629	21.00	81.60	昭和40年	東部発電事務所
水越発電所	ダム式	1,300	3,666	12.00	13.69	昭和40年	
徳山発電所	ダム水路式	6,500	32,183	6.00	131.61	昭和40年	
本郷川発電所	水路式	260	1,119	0.40	85.30	昭和58年	
生見川発電所	ダム式	1,800	7,903	3.50	64.50	昭和59年	
小瀬川発電所	ダム式	630	3,115	3.00	29.27	平成元年	
末武川発電所	ダム式	1,600	5,115	3.60	57.20	平成4年	
佐波川発電所	ダム水路式	3,500	9,402	8.00	55.14	昭和31年	西部利水事務所
木屋川発電所	ダム式	1,850	5,352	7.00	32.00	昭和30年	
新阿武川発電所	ダム式	19,500	69,310	30.00	76.75	昭和50年	
合計		51,440	168,794				

▶ 再生可能エネルギー固定価格買取制度を活用した発電所

発電所名	方式	最大電力 (kW)	年間電力量 (MWh)	運転開始年
相原発電所	ダム式	82	328	平成26年
宇部丸山発電所	ダム式	130	571	平成28年

詳しくは「§5 山口県企業局の取組」を参照してください。

