

第 16 章 小水力発電プランニング実習

山村地域の公共施設にマイクロ水力発電システム、
街中の急流水路に開放型下掛水車発電システムを
導入する

演習の狙い：発電電力量をソフト利用ブラックボックスで
推計するのではなく、自然エネルギーから
段階を踏んで推測し、基本的な仕組みを演習
で習得する。
タイプの全く異なる 2 ケースを習得する。

演習の方法：数人一組で設計プランニングにあたる。
ワークシートの空欄を埋める形で進める。
講師によるオリエンテーション 1 時間
(マイクロ水力発電導入の基礎など)
講師はナビゲータ役。

その 1. 山麓の公営保養施設へのマイクロ水力発電導入

I. 与件の提示（前日配布）

1. 水力発電の出力規模の区分

水力発電はその出力の規模によって概ね次のように区分されている。

プラント区分	出力区分
大水力発電	100,000kW 以上
中水力発電	10,000kW～100,000kW
小水力発電	1,000kW～10,000kW
ミニ水力発電	100kW～1,000kW
マイクロ水力発電	100kW 以下

小水力発電は数十 kW から数千 kW 程度の比較的小規模の水力発電の総称であり、一般的には 2,000kW 以下の発電設備を小水力発電と称することが多い。最近では 1,000kW 以下のミニ水力や 100kW 以下のマイクロ水力にも関心が集まっており、多くの事例も紹介されている。

出力規模の大小には関係なく水力発電は原理的には共通なので、この演習では身近にサイトを発見でき、かつ市民レベルで取り組めるマイクロ水力発電を取り上げる。

2. 演習テーマ

水力発電の導入に伴う様々な規制の問題は、カリキュラム「小水力発電概論」で紹介されるので、この演習ではもっぱら計数的なプランニングについて習得する。

テーマとしては、ごく一般的な山麓の自然流水を利用するケースと、街中の水路で低落差を利用した開放型下掛水車による発電システムを取り上げる。

なお、下掛水車の場合は公表された実例をそのまま利用し編集してある。

II. 演習用参照資料の配布（前日配布）

1. 再生可能エネルギー用語解説資料
2. 一般的プロジェクトエンジニアリングの全工程図
3. 小水力発電事例集 2009-2010
4. マイクロ水力発電システムの製品事例集
5. 小水力発電Q & Aからの抜粋
6. 福島県再生可能エネルギー推進ビジョンから抜粋
7. 再生可能エネルギー固定価格買上制度

III. 事業プランニングの手順の解説と工程表作成

立案から事業性評価までの『前工程』

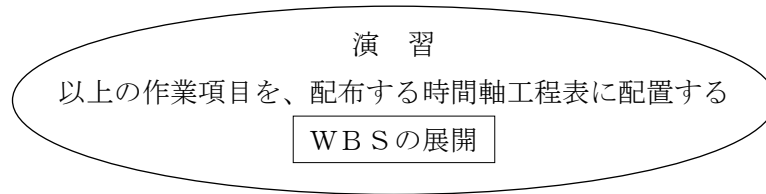
1. 導入から保守までの全フロー
2. 立案から企画設計～事業性評価

- (1) 予備的検討、目標の確認
- (2) 現地調査と確認

【今回省略、コメントのみ】

- (3) 企画設計（WBS 展開の順序）
 - ① マイクロ水力発電の立地環境
 - ② マイクロ水力発電システム導入のイメージ
 - ③ 水車の選定
 - ④ 発電容量の選定
 - ⑤ 発電電力の利用
 - ⑥ 発電量の計算と導入前後のエネルギー収支
 - ⑦ 系統連系、固定価格買取りに関する電力会社との協議
 - ⑧ 概略単線結線図の作成
- (4) 事業性検証
 - ① 概算事業費の想定
 - ② 経済性試算と評価
 - ③ 経済性向上のためのエンジニアリング検討

(5) 環境効果の検証



IV. プロジェクトエンジニアリングの手順の解説と工程表作成

基本設計から竣工検査までの『後工程』

1. 基本設計、実施設計の段階

(企画設計段階で基本設計まで済ませる場合もあれば、基本設計と実施設計を同時に行う場合もある)

(1) 入札～発注先選定まで (WBS 展開の順序)

- ・ 入札先の選定
- ・ 入札仕様書の作成、入札
- ・ プロポーザル協議 (金額と仕様書との最終調整)
- ・ 発注先の決定

(2) 発注先による基本設計、実施設計

- ・ 機器の設計と施工法
- ・ 土木基礎の設計と施工法
- ・ 周辺機器の設計と施工法
- ・ 蓄電池の設計と施工法
- ・ 全体制御システムの設計と施工法
- ・ プロジェクト全体を俯瞰した単線結線図

(3) 基本設計書、実施計画書の点検、確認

2. 施工監理～竣工検査の段階

(1) 工事計画書

(2) 検査実施計画書

(3) 所管官庁等への届け出

(4) 電力会社との契約締結

3. 維持管理の段階

(1) 日常点検実施計画書

(2) 定期点検実施計画書

演習

以上の作業項目を、配布する時間軸工程表に配置する

WBSの展開

V. 事業プランの作成実習

この作成例は、ワークシート方式で、随所が空欄になっており、実習の中で空欄を埋めていく。

以下では、空欄にする部分を赤で示してある。

1. 導入から保守までの全フロー

配布する「プロジェクトプランニングから建設までの全工程図」から、本テーマに係わる領域をマーキングで示すことにより、フロー図作成に代える。

演習参加者がどのような業種に所属しているかにより、関心の置き方が変わるが、ここでは全工程の前半に絞ることで条件を統一する。

2. 立案から企画設計まで

(1) 予備的検討、目標の確認

標高 1200m の高原にひろがる別荘地帯に A 市が保有し古くから営業している公営保養施設がある。開業したのが 20 年ほど前で、当時は未開の地であったために立地条件はベストのものが利用できたことから繁盛を続け、現在では収容人員 250 人、民間旅館並みのにぎわいを見せている。

昨今のレジャーブームでこの保養施設の消費電力量は上昇を続け、年間電力消費量は 860,000kWh を超え、契約電力 250kW はしばしばリミットを逸脱する危険に晒されていた。

保養施設の時間帯別電力需給の現状（年間平均）

	朝夕(6時間)	日中(6時間)	夜間(5時間)	深夜(7時間)	合計
電力消費量(kWh)	290,000	106,000	422,000	42,000	860,000
平均電力負荷(kW)	132	48	231	16	98
瞬間最大負荷(kW)	165	53	289	16	—
契約電力(kW)	250	250	250	250	—
不足電力(kW)			39		

瞬間最大電力負荷は夕食後の娯楽時間である夜間5時間の時間帯で289kWに達し、契約電力を39kW前後オーバーすることがわかっており、実務的には部分負荷を人為的に調整してブレーカーダウンを免れていた。これが現実であった。

前提として固定価格買取制度を利用するので、小水力発電電力量は全量を別系

続で売電し、小水力発電を導入して不足電力を削減するという従来の方式は採用しないわけである。そこで小水力発電量は別扱いにして、既存の施設用電力需給のバランスは改めて計算しなければならない。

こうした中、A市は、保養施設が立地するA市の市有地（4ha）内を流れる溪流に目を付け、溪流を利用したマイクロ小水力発電の導入の検討に入った。固定価格全量買上制度が登場する前年のことである。

この溪流を利用した自家発電で増加する電力需要を賄うことができれば、契約電力の増加を抑えることができ、エネルギーコストの節減とともに、環境効果もPRできると考えたのである。

契約電力を増やした場合の「限界電力利用コスト」は、増分契約電力の利用率が一般的には低くなることからみて、基本料金を加えた電力利用コストはかなり高くなる傾向があるので、小水力発電の経済的メリットは確保できるだろうとの読みが生まれていた。

後に述べるように、この施設では夜間に不足電力が表面化し、その大きさは39kWになるということであった。

この不足電力を予備率50%（仮）の基本料金追加措置でカバーした場合、増加分の電力コスト、すなわち「限界電力利用コスト」はどうなるであろうか。

限界電力利用コストの計算

契約電力を上回る消費の予想：最大電力増加	= 39kW
	: 年間消費量 = 10%増の 86,000kWh（仮）
契約電力増加分	: $39\text{kW} \times (1 + \text{予備率 } 100\%) = 78\text{kW}$
業務用基本料金	: 1,585 円 /kW・月
従量電力量料金	: 13.6 円 /kWh
力率調整割引	: 0.85
年間増分コスト	= _____

限界電力利用コスト = _____

年間2,431千円の増分コストが発生するので、小水力発電を導入するのであれば、自家用電力として運用し、余剰電力は売電することによって年間2,431千円以上の利益を確保して施設のコスト増を回避することになる。

しかし今は全量固定価格買取り制度が適用される。全量買取制度適用のもとでは上記の2,431千円の増分コストはそのまま発生し、そのかわり小水力発電電力の売電事業で2,431千円以上の収益を目指し、上回れば施設全体のエネルギーコスト削減効果生まれ、下回れば削減効果は部分的なものに止まることになる。

ところで、再生可能エネルギー全量買上制度では、200kW未満のマイクロ水力発電の売電単価は20年間、34円/kWhとされ、この価格算定の前提となったIRR（内部投資利益率）は7%とされている。

IRRの問題はいったん別に置き、200kW導入のケースで発電コストを試算すると次のようになる。但し設備利用率を60%とする。

年間発電量 _____

年間減価償却費 _____

年間運転維持費 _____

発電コスト _____

売電の利益 _____

以上の試算から、年間発電量が、2,431千円 ÷ 10.2円/kWh ≒ 238,000kWh程度、設備利用率60%で45kW前後の導入ができれば、施設のエネルギーコストは削減できることになる計算である。

$$238,000\text{kWh} \div 60\% \div 8,760\text{時間} = 45.2\text{kW}$$

こうした予備検討を経て、施設側では45kW以上のマイクロ水力発電に向けた企画設計に動き出したのである。

(2) 現地調査と確認

【今回省略、コメントのみ】

(3) 企画設計

① マイクロ水力発電の立地環境

施設の横を流れる溪流の100m上流は小さな滝になっていて、そこから溪流は傾斜12～3度の斜面を駆け下るようにして流れている。水量はさほど多くはないが流況調査によれば年間平均で0.4 m³/s程度はあるものと推定された。

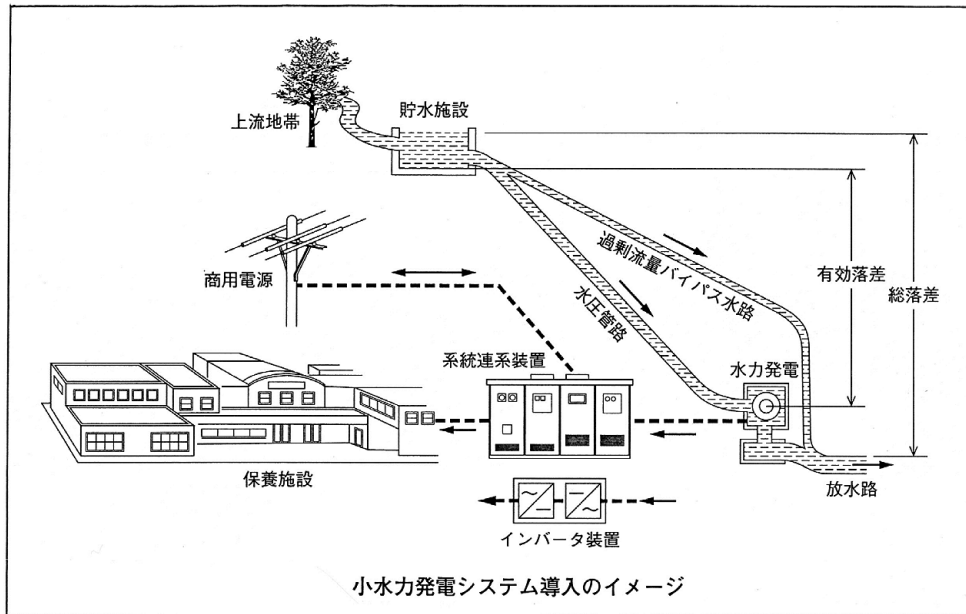
流況調査の結果

流量 (m ³ /s)	平均流量 (m ³ /s)	推定発生日数	%	累積平均流量
0.0～0.1	0.05	30日	8.2	m ³ /s
0.1～0.3	0.20	90日	24.7	
0.3～0.5	0.40	150日	41.1	
0.5～0.8	0.65	65日	17.8	
0.8～1.0	0.90	20日	5.5	
1.0～1.2	1.10	10日	2.7	
1.2～		0日		
計		365日	100.0	

また、施設の下流20mほどの所に発電設備を設けるとすると、上流100mの取

水地点との落差は平均傾斜 12 度として、 $120\text{m} \times \sin 12^\circ = 120 \times 0.208 = 25\text{m}$ ほどになる。溪流はやや蛇行しているので流速はかなり減速されていて、発電所設置予定地点での水力エネルギーは流量と落差から求められる理論エネルギーの数分の一になるため、取水地点に貯水槽を設け、120mの直線配管で一気に落差 25m を利用することにした。

② マイクロ水力発電システム導入のイメージ



出典：『新エネ省エネの経済的導入法』2010年オーム社

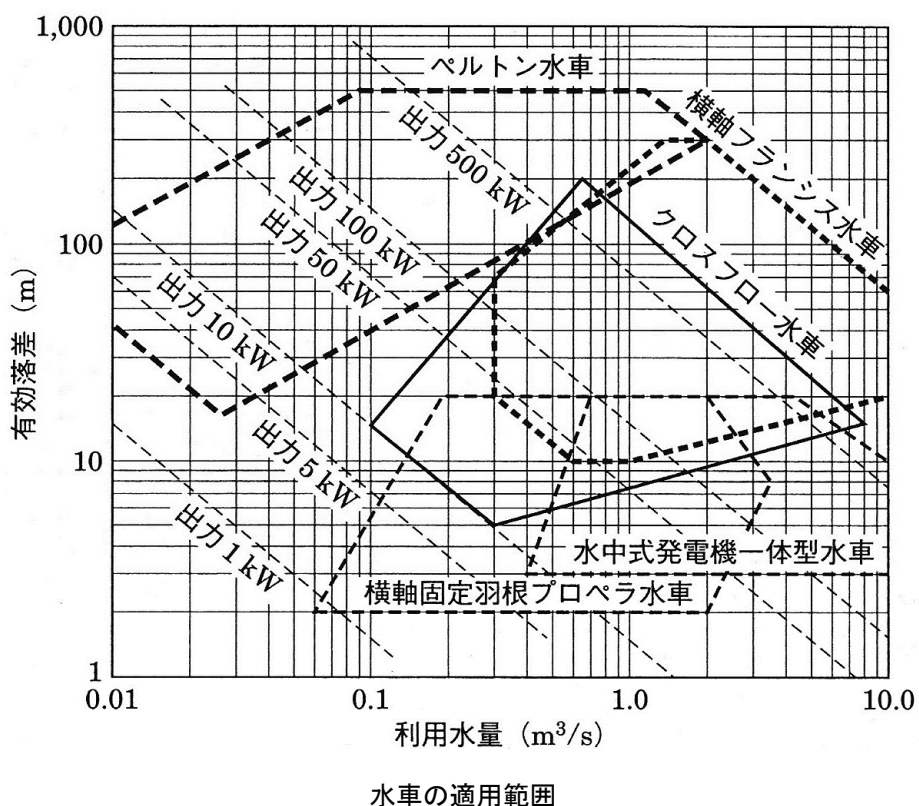
③ 水車の選定

水車のメーカーであるシンフォニアテクノロジー社（旧神鋼電機）によれば、水力発電に用いられる水車には大きく分けて 5 種類があり、それぞれに次のような特徴があるとされている。

水力発電に用いられる水車の特徴

水車	特徴	有効落差 m	使用水量 m^3/s	効率%
フランス水車	広範囲の落差に対応。使用水量が少ない段階では効率変化が大きい	10~300	0.2~6	84~94
プロペラ水車	低落差向き。比較的 low 落差で高流量にむく	2~18	0.05~6	80~90
ペルトン水車	比較的高落差で低流量に向く。流量が変化しても効率は安定	40~300	0.05~2	85~91
クロスフロー水車	中落差向き。流量の変動によらず常に高効率	2~60	0.05~4	~83
開放周流形水車	極低落差向き。開水路で用いられ、意匠性が高い。上掛け方式と下掛け方式がある。	3 m 以下	0.1~10	上掛けで 50~75 下掛けで 30~50

この比較例を参考にして、次の『水車の適用範囲』図を見ながら、このサイトではどのような水車が適しているかを議論する。



選定上提示された論点

論点 1	
論点 2	
論点 3	
論点 4	

A市ではサイトの条件を考慮し比較検討の結果、クロスフロー水車を選定した。一般にはこのような「水車の適用範囲図」が用意されていて、有効落差と流況データから適切な水車が選べるようになっている。

④発電容量の選定

発電容量（出力）設定にあたっては、水資源量から求める方法と、運用面から求める方法があるがここでは前者でまず求める。

水力発電の出力は次の式で計算される。

$$\text{最大出力 (kW)} = \text{最大使用水量 (m}^3/\text{s)} \times \text{有効落差 (m)} \times \text{重力加速度 (9.8)} \\ \times \text{システム効率}$$

最大使用水量にばらつきがあるので、容量設計対象とする最大使用水量を発生頻度 65 日 / 年の 0.65 m³/s とし、地形上の落差 25m から有効落差を 20m、水車効率を 83%、発電機効率を 0.98 とすると、

設計上の最大出力は $0.65 \times 9.8 \times 20 \times 0.83 \times 0.98 = 103.6\text{kW}$ となる。

また設計対象の水量を年間平均の 0.413 m³/s とし、それを超える水量はバイパスさせるとすれば、

設計上の最大出力は $0.413 \times 9.8 \times 20 \times 0.83 \times 0.98 = 65.8 \text{ kW}$ となる。

⑤ 発電電力の利用

水車に直結してある発電機は三相同期発電機である。回転数 1200rpm で 50Hz の交流電力を出力するが、水量が変動し回転数が変わると電力の周波数が変動するため商用電力との系統連系運用はできない。

そこでプランでは、発電機と系統連系盤の間に業務用パワーコンディショナを置き、周波数が乱れる発電電力をいったん直流に変換したのち再度正弦波の安定した交流電力として利用するようにする。

⑥ 発電量の計算と導入前後のエネルギー収支

小水力発電導入によるエネルギー収支は、水量の豊水期、渇水期、通常期、さらには電力需要のピーク期、ボトム期、通常期にわけて、9 通りの収支を算定し、それぞれを総合して検討する必要がある。ただし実習時間の関係からここでは年間平均値のみで検討をすすめる。

保養施設の時間帯別電力需給（年間平均）

	朝夕(6時間)	日中(6時間)	夜間(5時間)	深夜(7時間)	合計
電力消費量(kWh)	290,000	106,000	422,000	42,000	860,000
平均電力負荷(kW)	132	48	231	16	—
瞬間最大負荷(kW)	165	53	289	20	—
現状契約電力(kW)	250	250	250	250	—
不足電力(kW)			39		
追加契約電力(kW) (予備率100%として)			78		
改訂年間契約電力	328kW	328kW	328kW	328kW	

計算例＝朝夕平均電力負荷：290,000 ÷ (6時間 × 365日) = 132kW
 最大負荷：平均負荷 × 125% = 165kW

出力 100kW の場合の水力発電量と売電量

【水車稼働率の計算】

平均流量 (m ³ /s)	推定発生日数	発電出力 (kW)	発生頻度%	平均出力 (kW)
0.05	30 日	7.7		
0.20	90 日	30.8		
0.40	150 日	61.5		
0.65	65 日	100.0		
0.90	20 日	100.0		
1.10	10 日	100.0		
	0 日			
	365 日			
			設備利用率 ≒ _____%	

【発電量の計算】

	朝夕(6時間)	日中(6時間)	夜間(5時間)	深夜(7時間)	合計
水力発電量					
定格発電量	219,000	219,000	182,500	255,500	876,000
設備利用率	0.6	0.6	0.6	0.6	
有効発電量	131,400	131,400	109,500	153,300	525,600
売電量	131,400	131,400	109,500	153,300	525,600

- ⑦ 系統連系、固定価格買取りに関する電力会社との協議

参照資料のモデル契約様式を題材に議論する

- ⑧ 概略単線結線図の作成

単線結線図を示し議論する

(4) 事業性の検証

- ① 概算事業費の想定

水力発電導入の事業費は、水力発電装置のほか水路建設などの構築物建設費用が多額になるケースがでて事業費にも大きなばらつきが生じている。しかしこのケースでは、自然の傾斜地を生かして上流の貯水池、導管を敷設するので、特別大きなインフラ関係のコストがかかるとは考えにくい。貯水池や導管の敷設費用はおおよそ 10,000 千円程度であろう。

マイクロ水力発電装置については装置が既製品であって、出力が 100kW 前後であれば kW あたり 30 万円前後、それに電力安定供給のためのインバータシステム、系統連系盤が加わったとしても全体で kW あたり 50 万円前後と推測される。

因みに、2012. 4. 25 の調達価格等算定委員会の資料では 200kW の小水力発電の

総事業費は平均して大凡 100 万円 /kW と算定されている。

100kW の場合の概算事業費推計

項 目	推計基礎	概算事業費 (千円)
水力発電装置本体	100kW@30 万円	30,000
流量調整貯水槽	100m ³ コンクリート工事	3,000
導管敷設(地上)	120m Å50 工事費共	7,000
電力関連設備一式	AC-DC-AC、配電盤など 新たな連系工事費を含む	10,000
その他諸経費雑工事		3,000
合 計		53,000

②経済性試算と評価

以上の諸元をもとにこの施設の新しい電力エネルギーコストを計算した。

新しい電力エネルギーコスト

項 目	計 算 基 礎	金 額(千円)
事 業 費		
総 事 業 費		53,000
公的補助金	見込まないで計算	
事業主負担額		53,000
導入前費用		
契約基本料金	328kW×@1,560×12×0.85	5,219
電力量料金	862,000kWh @13.6 円/kWh	11,723
計		16,942
導入後費用		
契約基本料金	328kW×@1,560×12×0.85	5,219
購入電力料金	862,000kWh @13.6 円/kWh	11,723
売電料金	525,600kWh @34 円/kWh	-) 17,870
減価償却費	53,000 千円÷15 年	3,533
修繕維持費	100,000 円/月	1,200
借入金金利	53,000 千円×2%	1,060
諸 経 費	施設の一般管理費の範囲内	—
計		4,865
導入前後差額		12,077
ランニングコスト差額		15,610
資金回収期間	: 53,000 千円÷15,610 千円=3.4 年	

水力発電導入前後で、商用電力への支払い費用には差はない。水力発電電力は既存の施設内配電線網とは切り離してあるからである。

一方、水力発電関係は売電金額年間 17,870 千円に対してコストは減価償却費、金利を加えても年間 5,793 千円に止まり、投下資金回収期間は 3.4 年という短期間になった。

③経済性向上に向けたエンジニアリング

テ ー マ	課 題 と 対 策
1. 水車の選定	水車は流量と落差とから適用可能な水車が選定できるようになっているが、このサイトの条件から複数の候補がある。
2. 発電容量の選定	流況からみて年間平均の発電容量を100kWとしたが、季節別時間帯別流況の詳細調査によっては発電容量の更なる増加も期待できよう。
3. 流量制御による購入電力量削減	貯水施設の規模拡大には費用がかかるが、流量を制御する方式を取り入れることにより水力発電設備の設備利用率を高められ、売電電力量の増加が可能になる。

(5) 環境効果の検証

プランから期待される環境効果をCO₂排出削減量と原油換算削減量によって試算した。電力のCO₂排出係数は平成18年3月発表の環境省「改正地球温暖化対策推進に関する法律施行令」に基づく0.555 kg/kWhを採用した。その他エネルギーの排出係数を含め詳細は用語解説参照。また、CO₂1t（年ベース）削減に要する初期投資額をも試算した。

環境効果

エネルギー消費量		CO ₂ 削減効果		原油換算削減効果	
		排出原単位	CO ₂ 排出量	消費原単位	原油消費量
電 力	kWh/年				
水力発電量	525,600	0.555kg/kWh	291.7t	0.254L/kWh	133.5kL
差引削減量	525,600	0.555kg/kWh	291.7t	0.254L/kWh	133.5kL

CO ₂ 削減量	初期投資額	CO ₂ 1t 削減に要する投資額
291.7t/年	53,000 千円	182 千円/t

その2. 水車型小水力市民発電所の導入

この例は、山梨県都留市の実例である。プランニング演習ではなく、プランニングの経緯、その実績を辿っていくことによって成功の要因を考えてみよう。

1. プランの概要、導入の背景、注目点

山梨県東部に位置する都留市は戦国時代から続く城下町である。山あいを流れる桂川やその支流が広がる地域にあり、市の中心部には、江戸時代城の堀の用水と農業用水を兼ねて開削された「家中川」が現在も豊かな水量を湛え、街中でも急な流れをみせている。このことから水エネルギーを活用した地域づくりを進めようとする市民活動が活発に行われ、平成14年に市が確定した「都留市地域新エネルギービジョン」で小水力発電に取り組む方針が決まった。

平成16年市制五十周年を機に、市役所庁舎前を流れる家中川に直径6mの開放型木製下掛け水車を用いた小水力発電所を導入することになった。水の町都留市のシンボルとして、そして自然エネルギー利用に対する視覚的な効果や環境教育への貢献を考慮し、市民参加型の発電所とすることも決定、ミニ市場公募債「つるのおんがえし債」を発行して地域が支える小水力発電導入事業となった。名称は「元気くん1号」、市役所庁舎前の駐輪場と隣接の小学校校庭との落差2mを巧みに利用し、駐輪場の敷地内に最大出力20kWの超低落差水力発電が実現した。運転開始は平成18年4月である。

以下は都留市から提供を受けたデータにもとづく実例の紹介である。

なお「つるのおんがえし債」は市民参加型のミニ公募債であり、発売直前（平成17年12月）の利付国債の利率0.8%に0.1%を上乗せして発行し、目標とした17,000千円分を完売し、これにより総事業費の39%を賄った。地域住民の環境への関心の深さを物語るものと言えよう。

次の図は稼働中のプラントの写真である。



2. プランのシステム構成

(1) 水力資源

庁舎前を流れる家中川にバイパス水路を設け、最大水量 $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 、常時 $0.77 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量を確保し、有効落差 2m を利用して直径 6 m の開放型木製下掛け水車による最大 20kW、常時 8.8kW の出力を実現した。



市内を流れる「家中川」

(2) 水車発電機設備

開放型下掛け水車で、メーカーはドイツ・ハイドロワット社、仕様での水車の定格出力は 23kW である。水車は 6 m の直径内に幅 2m のブレード 36 枚が組み込まれていて回転速度は毎分 4.3 回転、これを増速機で毎分 1,200 回転にしてベルトで発電機を回している。

発電機は永久磁石式三相同期発電機で、機器の出力は22kWであるがシステム上の出力は最大20kWである。同期発電機なので発電される交流の電気の周波数は水流の持つエネルギー量により、言い換えれば水車の回転数により変動する。水量により回転数は変動するので発電電力の周波数は安定しないため、そのままでは系統の電力(当地区は50Hz)と連系して利用することはできない。

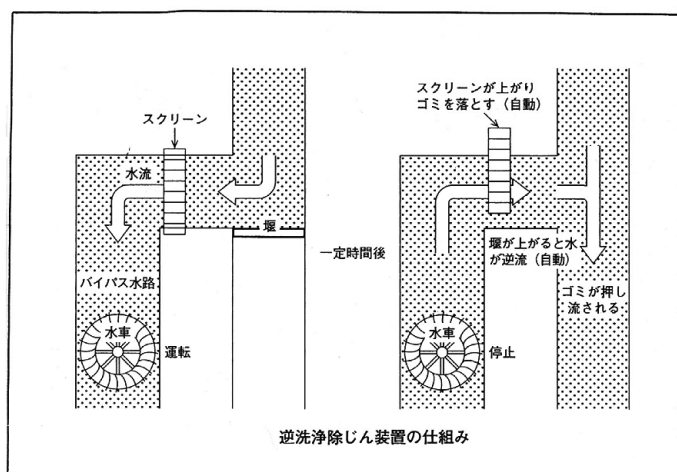
そこで業務用のパワーコンディショナ*を採用、周波数が乱れる交流の発電電力を交直変換器で直流に変換しインバータで乱れない正弦波の交流に変換する方式を採用して、安定した系統連系運用を行っている。

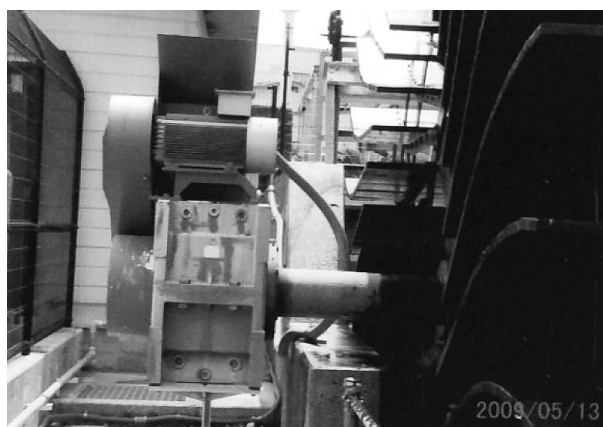
(3) 送配電

市庁舎の電力は東京電力から6600Vの業務用高圧で受電したのち庁舎側のトランスで200Vに落して利用しているが、水力発電機からの電力は200Vのまま庁舎内の配電盤に連系されている。逆潮ありの系統連系であるので、休日や夜間で水力発電電力が余った場合には電力会社に買電ができるが、近年IT関連の事務データ処理量が増え、庁舎内のサーバーでの電力消費が休みなく発生しているため、休日や夜間でも売電できる可能性は非常に小さくなってきている。

(4) 土木設備

NEDOの補助金を得るには「新規性」が必要になったことから、市では水車の稼働効率向上システムとして、逆洗浄式除じん装置を開発した。川に流れ込んでいるゴミがブレードにからまり稼働効率が低下するのを防ぐため、下図のような仕組みを設けて途中のスクリーンで溜めたゴミを一定時間ごとに逆流で洗浄する方式を採用している。この仕組みが新規性として認められ、総事業費の約35%の補助金が付いた。





3. 導入後のエネルギー収支

水力発電によって得られる電力 (kW) は、概算であれば二つの簡単な式で求められる。

[落差を利用した水力発電]

発電出力 (kW) = 流量 (m³/sec) × 有効落差 (m) × 重力加速度 (m/sec:9.8) × 効率 (%)
 水車の効率は 70% 前後, 増速ギア効率や発電機効率を含めると 60% 前後になる。

[落差のない流水を利用した水力発電]

発電出力 (kW) = 流量 (m³/sec) × [流速 (m/sec)]² × 0.5 × 効率 (%)

市内を流れる家中川の流速は 1 ~ 2 m/s と早い, この水車の水路はバイパス水路になっているために、落差を利用した発電のケースで発電出力が計算されている。

風力発電の風速の場合と同じように、流量もやや不規則に変動するので、年間の水力発電量を推計するには「流量の階級別発生頻度分布」(筆者の造語)ともいべき数値を用意する必要がある。流量と累積発生に数がそれである。

市ではこれらのデータを設定した上で、次のように年間発電量を推計した。

最大出力 (kW) = 最大水量 2.0 m³/sec × 最大有効落差 2.0m × 9.8m/sec × 最終効率 0.6
 ≒ 23.5kW

年間発電可能量の推計

常 数	累積日数	流 量 m ³ /s	落 差 m	水車効率	機 械 効 率 ※	発電機効率	発電可能量 kWh
9.8×24	153 日	1.43	1.95	0.75	0.9212	0.89	
	31 日	1.28	1.93	0.75	0.9212	0.87	
	31 日	1.14	1.92	0.75	0.9212	0.86	
	90 日	1.05	1.91	0.75	0.9212	0.84	
	30 日	0.93	1.90	0.75	0.9212	0.82	
	30 日	0.89	1.90	0.75	0.9212	0.80	
計	365 日						

※ギア効率 0.94 × ベルト効率 0.98

発電可能量は年間 120,308kWh と計算されたが、ブレードの洗浄などのメンテナンスによる稼働率の低下を 10% とすると、実際の年間発電期待量は 108,277kWh になる。

$$120,308\text{kWh} \times 90\% = 108,277\text{kWh/年}$$

(90% : 設備利用率)

しかし、これまでの実績では平成 19 年度で 60,877kWh にとどまっており、設備利用率は 50% ほどになっている。市役所の年間電力使用量は 365,000kWh 前後である。したがって平成 19 年度での水力発電によるカバー率は 14.3% を示したが、平成 20 年度では前半でカバー率は 18.7% にまで上昇しており、システム利用の習熟度の向上とともに稼働率、設備利用率は上向いている。

4. 経済性試算と評価

(1) 事業費実績

小水力発電システムの建設事業費は規模による割安・割高傾向を示すが一般的には kW 当たり 55 ～ 65 万円程度とみられている。しかしこの例では、公共敷地内の本格的な水路工事や、バイパス水路による逆洗式除じんシステムなどの設備工事費が必要になり通常よりも建設費は高くなっているようである。

また我が国では類例の少ない大型の開放型木製水車ということもあり、一般的な水力発電プラントにくらべると価格は高価であったものと思われる。

市が NEDO に補助金を申請したときの事業費明細と財源を以下に示す。

建設事業費内訳 (千円)

事業費科目	補助対象事業費		対象外事業費	事業費合計	備 考
	新技術部分	一般部分			
水路工事費	2,897	4,816		7,713	
機械設備費	11,419	14,055		25,474	発電機、除じん機、水車
総 係 費	3,072	4,072	313	7,457	
設計監理費	632	838		1,470	
その他工事費			1,260	1,260	
計	18,020	23,781	1,573	43,374	
財 源					
NEDO 補助金	8,694	6,742		15,166	
市民公募債				17,000	
一般財源				11,208	
計				43,374	

(2) 事業資金の調達

都留市ではこの事業を推進するための財源として市民参加型ミニ公募債を発行した。名付けて「つるのおんがえし債」という。

ミニ公募債とは、地方自治体が一般住民向けに発行する地方債のことで、自治体の

資金調達手段の多様化、住民の行政への参加意識を高める効果が期待され、市民にとっては安全有利な資産運用の方法として注目を持たれている金融商品の一つである。

事業プランニングではファイナンスの問題が更に重要になることから、このような実例をここで検証することにしたい。

「つるのおんがえし債」発行概要

目 的	地球環境に対する都留市市民の感謝の念を込めて、自然エネルギーによる環境負荷の軽減に資するため。
種 類	市民参加型ミニ公募債
購入対象者	20歳以上で都留市に住居のある方
購入限度額	1人あたり10万円以上50万円まで(10万円単位)
発行価格	額面100円につき100円
利 率	販売直前の5年利付国債の利率に0.1%上乗せる。 平成17年12月の5年利付国債は0.8%、したがって税込0.9%に。
利 払 い 日	毎年7月31日と1月31日の年2回、指定口座に振り込む
満 期 日	平成23年1月31日、5年満期一括償還
発行総額	17,000千円
発 行 日	平成18年1月31日
資金の用途	家中川小水力市民発電所建設費用(平成17年度執行分)
取扱金融機関	㈱山梨中央銀行 都留支店 壬生支店
応 募 期 間	平成17年10月24日～5日間
応 募 方 法	官製はがき、一人一通、申し込み多数の場合は抽選
公開抽選会	平成17年11月16日 市役所大会議室にて

公募の結果であるが、応募人数161人、応募金額68,200千円、金額倍率4倍、抽選の結果40人が当選し、17,000千円の調達は無事完了したという。

(3) 経済性評価

市では発電コストは公表していないので、一般的な試算を試みる。

[計算の条件]

- ・ 固定価格買取制度適用前の諸条件を適用
- ・ 減価償却費計算上、NEDOの補助金は圧縮記帳で減額する
- ・ 金利は一般財源に対して0.9%
- ・ 固定資産税は市営のためゼロ
- ・ グリーン電力証書価値(期待値)5円/kWh

発電コストの推計

年間発電期待量＝発電可能量 120,308kWh×期待稼働率 90%＝108,277kWh		
項目	計算基礎	発電コスト (円/kWh)
減価償却費	(43,374-15,166)÷20年÷108,277	
修繕費	機械設備費×2.5%÷108,277	
直接経費	年間 200,000÷108,277	
金利	11,208×0.9%÷108,277	
公租公課	市営につき免除	
人件費	市の職員が対応	
計		
環境価値	グリーン電力証書価値 期待値 5円/kWh	
再計		

補助金部分を会計処理上圧縮記帳することにより、不透明な要素はあるものの発電コストは 16.3 円と計算された。ただしすべてが固定費であるために発電コストは稼働率と逆比例する。期待稼働率 90%で 16.3 円 /kWh であっても現状の稼働率 50%では $16.3 \times 90/50 = 29.3$ 円 /kWh に急増する。

しかし、目下普及しているグリーン電力証書価値がこの水力発電量にも認証されると、発電量すべてが自家消費であるとするれば最大 5 円程度を期待値とすると、90%の稼働率のもとでは発電コストは 11 円で現状の業務用電力量料金とほぼ同じ水準になり、デマンド効果により基本料金が削減できるとすればそれが小水力発電導入メリットになる。

今後の課題としては、運用技術の習熟度向上により、高い稼働率をいかにして持続させるかであろう。

また、全量買取制度での買取単価適用は、この設備が既存設備であることから困難であるが、仮に今後新規投資によって実現するプラントである場合は、買取単価 34 円 /kWh が 20 年間適用され、事業収益は次のようになると見込まれる。

事業収支の推計

年間発電期待量＝発電可能量 120,308kWh×期待設備利用率 90%＝108,277kWh		
項目	計算基礎	金額/年 千円
売電収入	108,277kWh @34	
事業経費		
減価償却費	43,374÷20年	
修繕費	機械設備費 25,474×2.5%	
直接経費	年間 200,000	
金利	投資額×2%×50% (平均化)	
公租公課	投資額×評価額率 1/2×1.4%	
人件費	市の職員が対応	—
計		
事業収益		

この小水力発電システムは、ゴミの逆洗浄システムなどに総事業費 43,374 千円のほぼ半分が使われていて、kW あたりの総事業費は、最大出力ベースで、

$$43,374 \text{ 千円} \div 20\text{kW} = 217 \text{ 万円}$$

実稼働能力ベースで、

$$43,374 \text{ 千円} \div 8.8\text{kW} = 493 \text{ 万円}$$

と高価であることから、34 円 /kWh という高値での買取価格が適用されたとしても事業収益は見込み難いものと推測される。

[演習の最後に再確認]

次の工程表により、演習のプロセスをフォローし確認する

(工程表はコピーを配布)