

砂防堰堤を活用した小水力発電事業への 民間事業者としての取り組み

市 森 友 明・阿 曾 克 司・升 方 祐 輔

公共施設の有効活用と民間資金の活用を協同行う本事業は、「エネルギーの地産池消」「砂防堰堤周辺の環境向上」「県有施設の有効活用」という3つの方針を掲げ、民間の発電事業者を公募した事業で、今後20年間にわたる運営・管理を実施していくものである。このような取り組みは、石川県内では初めての取り組みであり、その形態は全国的にも事例の少ない先進的な事業である。

本稿では、民間事業者にとって太陽光発電事業に比して参入障壁が高いとされている小水力発電事業の様々なリスクを紹介し、石川県が管理する平沢川砂防堰堤を利用した小水力発電事業で、民間事業者として取り組む場合のリスクとその対応等について事業公募から設計・施工・運転管理を通じてのこれまでの取り組みを紹介する。

キーワード：再生可能エネルギー、事業リスク、小水力発電、砂防堰堤、民間資金活用

1. はじめに

平沢川砂防堰堤（写真—1参照）は、金沢市を流れる二級河川犀川水系の支川内川に合流する平沢川上流0.2kmに位置し、流域面積約10.8km²を有する砂防堰堤である。都市河川犀川への流出土砂防止を主目的とし、満砂するまでの期間、貯水ダムとして犀川の河川維持用水の一部を補給することを副次的な目的として、昭和57年に石川県により建設されたものである。本事業は、石川県が管理する当該堰堤の有効活用を図る目的で小水力発電事業者の民間公募がなされ、当社は、公募選定後、発電事業に関する基本協定を締結、各種許認可を経て、平成26年5月からの工事着

工を行い、平成27年5月から運転開始を行っている。本稿では、民間事業者が取り組む小水力発電事業に関して、計画から運転開始までの取り組みについて紹介する。

2. 事業計画の概要と発電計画

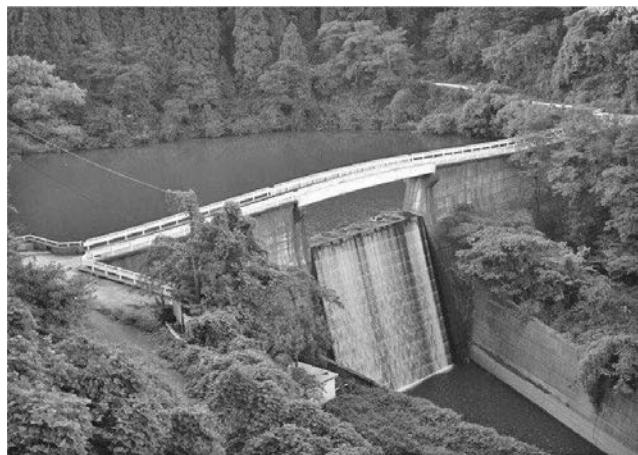
(1) 事業計画の概要

本事業の発電計画は、既設砂防堰堤の落差を利用して発電を行うもので、取水方法は平沢川砂防堰堤流域に注ぎ込む流量を利用した新規水利権取得による流れ込み式発電計画である。

また、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（FIT制度）を利用した20年間の事業運営を想定しており、事業継続に関しては、20年経過時点での協議事項となっている。公共施設である砂防堰堤の活用と民間資金活用による小水力発電事業は、石川県内では初めての取り組みであり、その形態は全国的にも先進的な事例である。

本発電所の取水設備は、本堤右岸側の貯水側に新規に設ける。そこから堤体削孔により設置した導水管（φ800mm）を堤体前面に沿ってほぼ垂直に落とした後、延長約73mの埋設区間を経て、垂直壁袖部右岸端部を通過後に発電所を配置する。

発電所内には、水車発電機を1台設置し、最大出力198kWの発電を行った後、放水路を経て砂防堰堤副



写真—1 平沢川砂防堰堤

表—1 発電所諸元

水力発電方式	発電形式：ダム式
	発電方式：流れ込み式
出力	認可最大出力：198 kW
	想定年間発生電力量：970 MWh
水量	最大使用水量：1.5 m ³ /s
落差	有効落差：17.2 m
設備	水車：S型チューブラー水車 発電機：横軸三相誘導発電機 水圧管路：φ 800



図—1 完成イメージ図

表—2 事業経緯

H25 年 10 月	公募による予定事業者として選定
H26 年 01 月	石川県との基本協定締結
H26 年 02 月	電力系統検討正式回答（北陸電力）
H26 年 03 月	砂防法：砂防指定地内行為許可申請 河川法：水利使用許可申請
H26 年 03 月	設備認定通知（経済産業省）
H26 年 04 月	電気事業法：工事計画届出
H26 年 05 月	工事着工
H27 年 05 月	運転開始

堤から 30 m 下流の右岸に放流する。表—1 に発電所諸元、図—1 に完成イメージを示す。

また、公募選定後の事業経緯を表—2 に整理して示す。

3. 民間事業者としての小水力発電事業参入のリスクと対応

一般的に小水力発電事業は太陽光発電事業に比して様々なリスクがあり、民間事業者にとっては参入障壁が高いとされている。発電設備（土木設備・電気設備・機械設備）の設計計画・施工・維持管理には、複合的に各専門分野における技術力が必要となり、事業実施

表—3 発電設備の導入状況¹⁾ (H26.3)

再生可能エネルギー発電設備の種類	固定価格買取制度導入前	固定価格買取制度導入後	
	平成 24 年 6 月末までの累積導入量	平成 24 年度の導入量 (7 月～3 月末)	平成 25 年度の導入量
太陽光(住宅)	約 470 万kW	96. 9 万kW	130. 7 万kW
太陽光(非住宅)	約 90 万kW	70. 4 万kW	573. 5 万kW
風力	約 260 万kW	6. 3 万kW	4. 7 万kW
中小水力	約 960 万kW	0. 2 万kW	0. 4 万kW
バイオマス	約 230 万kW	3. 0 万kW	9. 2 万kW
地熱	約 50 万kW	0. 1 万kW	0 万kW
合計	約 2,060 万kW	176. 9 万kW	718. 5 万kW
		895. 4 万kW	

には資金調達力、地元調整力、関係機関との協議ノウハウが必要となる。このため、平成 26 年 3 月末時点の再生可能エネルギー発電設備の導入量は、表—3 のようになっており他のエネルギー種別に比して導入量が少ない状況となっている。

また、導入が進まない理由として、小水力発電特有の阻害要因が挙げられる。その阻害要因を表—4 に整理する。

表—4 小水力発電導入の阻害要因

阻害項目	内容
情報面	有望地点に関する情報が少ない。地点情報・流量情報の取得が困難
資金面	事業主体自らの資金調達が必要(FS 調査・事業計画に多額の費用)
手続き面	水利使用許可の手続きが不可欠。
地域面	地元関係者(漁業組合、土地権利者)への説明・同意が必要。
技術面	機械・電気・土木・環境等の広範な技術分野に関する知見。
人材面	専門コンサルタントの支援が必要だが、人材不足。

小水力発電事業への参入を望む民間事業者にとって、有望地点に関する情報が少なく、河川流量などの基礎情報の取得が困難な点が挙げられる。これらの有望地点を事業者自らが調査する FS 調査や事業計画を行うだけでも、多額の費用を投資する必要がある、阻害項目として資金面が挙げられる。

また、小水力発電の事業化にむけては、機械・電気・土木・環境等の広範な技術分野に関する複合的な知見が必要となり、それに対応する人材が不足している点も導入を阻害している要因である。

これらの阻害要因をクリアした有望地点において、民間事業者が小水力発電事業の計画段階および実施段階に様々なリスクを克服する必要がある。平沢川小水力発電事業においても公募選定前には、表—5 に示すような事業実施上のリスクが想定された。これらを個別に解決しながら、発電計画を立案し、最終的には、事業性評価を適切に行った上で事業参入を判断する必要がある。

表―5 当該事業の想定リスク

	リスク項目	リスク想定規模
計画段階	用地取得リスク	中
	立地リスク	小
	水利利用リスク	小
	系統連系リスク	小
	環境・住民対策リスク	中
	許認可リスク	中
	設計・仕様リスク	小
	設備・機器調達リスク	中
実施段階	事業性評価	大
	設備機能リスク	中
	関係者倒産リスク	小
	不可抗力リスク	小
	コスト上昇リスク	大
	設備撤去リスク	大

(1) 発電計画における想定リスクへの対応

表―5で整理した想定リスクの内、本稿では水利使用リスク・許認可リスクおよび事業性評価についての留意点とその対応を記載する。

(a) 水利使用リスク・許認可リスク

小水力発電を行う際には、水利使用の申請が欠かせない。新たに発電を行う場合の水利使用に関する法的手続き・各種申請手続きが煩雑となるケースがあるため、売電単価を確定させる設備認定取得を遅滞なく行うよう事業工程では留意する必要がある。

小水力発電所の工事着工に至るまでには、各関係機関への申請諸手続きが必要となる。特に、新規水利権が必要になる小水力発電においては、河川法第23号に基づく「流水の占用」の申請手続きを踏む必要がある。この申請に関しては、利害関係者の同意手続きに時間を要するケースがあり、同様に留意が必要である。公募時点では、河川減水区間の発生や維持流量の放流等の可能性があり、用地取得、事業性に係るリスクとして選定前に認識されていた。

発電所の位置は、有効落差・年間発電電力量や経済性で評価し、石川県所有の砂防区域用地内となる砂防堰堤直下に発電施設を設置する発電所計画案を選定した。このため、河川減水区間がなくなり、新規水利使用による影響（治水、他の河川占用者、漁業権、史跡・名勝など）がないことが確認でき、諸手続については事業工程へ進捗に影響がなく遂行できた。

(b) 事業性評価

事業者として発電所を長期にわたり運営する決断をするためには、事業性の適切な評価が重要である。具体的には、売電収益と初期投資や維持管理のランニン

グコストとのバランスに留意することが必要であり、これを具現化する発電計画にこそ事業者にとって最も重要なノウハウが詰め込まれる。売電収益では、平沢川の流況曲線から、規模振りと呼ばれる収益シミュレーションにより、適切な使用水量を設定し、水車選定の諸元を規定する。水車選定においては、調達リスクを考慮し、流量変動に対応可能な水車でかつ発電効率のよい形式を経済性に留意し検討を行う必要がある。支出面でのコスト把握では、発電計画を実現する施設の適切な設計とそれに対応した建設費の適切な把握、保守的すぎない維持管理計画の策定とメンテナンス費用の想定などが重要で、不可抗力リスクを考慮したコンティンジェンシーコストの積み上げも事業性に影響する。ここでは、事業性評価に影響する主な部分を記載する。

本発電事業の事業性評価に関しては、NPV（正味現在価値）、IRR（内部収益率）を指標として判断した。

$$NPV = \left\{ \frac{1\text{年目の収益額}}{(1+r)} + \frac{2\text{年目の収益額}}{(1+r)^2} + \dots + \frac{n\text{年目の収益額}}{(1+r)^n} \right\} - \text{初期投資額}$$

NPV>0：そのプロジェクトに投資すべきである

$$NPV = \text{初期投資額} + \frac{1\text{年目の収益額}}{(1+IRR)} + \frac{2\text{年目の収益額}}{(1+IRR)^2} + \dots + \frac{n\text{年目の収益額}}{(1+IRR)^n} = 0$$

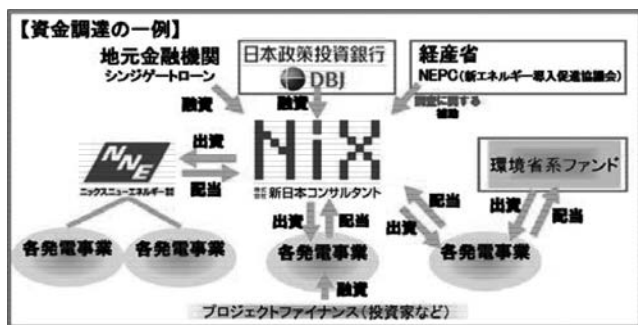
IRR>割引率：そのプロジェクトに投資すべきである

民間事業者がFIT制度を利用して発電事業を行う場合、建設コストに絡む補助事業の適用はできないため、資金調達は、自己資金もしくはファイナンスによる調達が必要である。事業採算性では、資金調達（借入れ先・金利・調達期間）方法等の借入条件を定めることに加えて、運転開始後（売電開始）の支出に相当する維持管理費（機器メンテナンス・人件費・保険料・各種占用料）の想定が重要である。

運転開始後の収益性に関しては、売電収入に係る法人税・固定資産税等の各種納税、融資金利の返済を考慮した上で剰余金の累計が借入金残高を上回ることによって投資回収年が評価できる。

本発電事業の運営期間の損益計算においては、収益は年間発生電力（約970MWh）による売電収入（約3,300万円／年）を想定している。本事業の採算性に関しては、kW当り建設単価160万円/kWを採算性の目安として定め、初期投資額C310百万円（建設費・調査設計費・系統連系負担金）に対して維持管理（8百万円／年）に係る支出項目を想定して長期間における事業性評価を行い、IRR（内部収益率）3％程度と評価し、事業参入への最終判断を行った。

また、事業化の際に多額の資金を投入する発電事業



図一 資金調達の一例

においては、金融機関等からの融資や出資、自己資金等による初期投資費用の資金調達の手当てが重要である。図一 2 に資金調達の一例を示す。

長期間にわたる発電事業において、多額の融資・出資をうける際には、各発電計画の妥当性と、安定した収益構造、運営企業としての信頼性が重要な審査基準となる。また、融資先からの金利は、事業採算性へも影響するため、事業性評価をシミュレーションするうえでのレート設定は重要な要素である。

(2) 発電計画

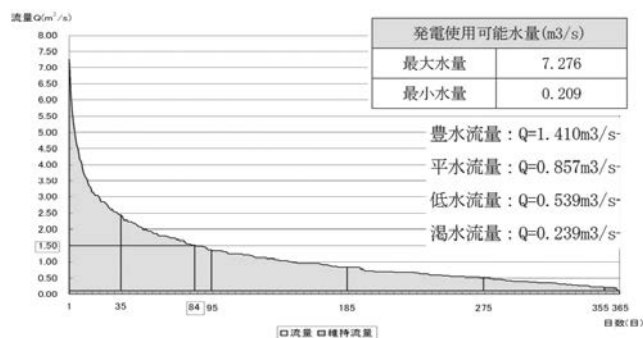
(a) 発電規模の設定

本計画では、砂防区域内に導水管路を含む発電施設を全てコンパクトに配置することで損失水頭の低減（効率性アップ）と、既設砂防堰堤の改変を最小限に留めた（コスト縮減）計画とした。最大使用水量の設定にあたっては、河川流況を鑑みた適用管径と収支に影響する FIT 制度の適用区分（200 kW 未満）、発生電力量等を考慮し、198 kW と設定した（表一 6）。

表一 6 最大使用水量と最大出力

Q:最大使用水量(m ³ /s)	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
D:管 径(mm)	φ 800	φ 800	φ 800	φ 800	φ 800
V:管内流速(m/s)・①	2.59	2.79	2.99	3.18	3.38
V0:許容流速(m/s)・②	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
判定(①≦②)	○	○	○	×	×
最大出力 P=9.8*Q*17.2≐78.5%	172kW	185kW	198kW		
採用ケース			○		
Qmin:最低使用水量 (最大使用水量×30%)	0.39	0.42	0.45	0.48	0.51
年間発生電力量(kWh)	945MWh	955MWh	970MWh	-	-
設備利用率	62%	59%	56%	-	-

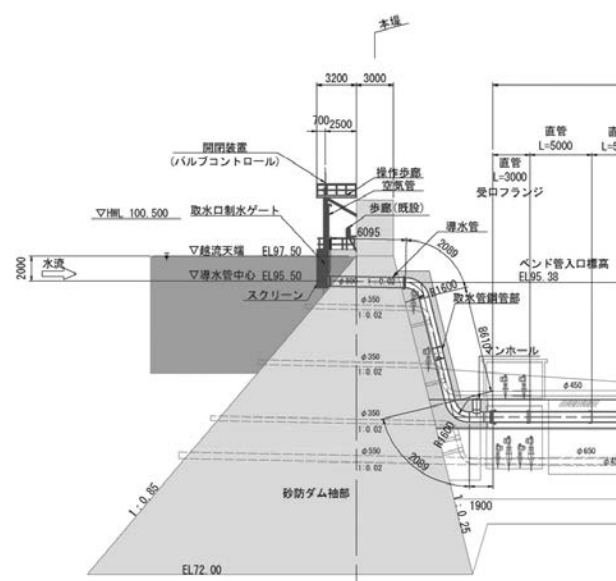
また、売電収入に直結する想定発電量を推定する際の河川流況は、実流量データに基づき設定することが望ましい。本発電計画では、石川県観測の平沢川砂防堰堤の実流量データ（2008～2012年）を基に流況整理（図一 3）を行ったことで、精度の高い発電量が推定でき、設備利用率は 56 % 程度の規模とした。



図一 3 平沢川流況曲線図（5ヶ年平均）

(b) 施設計画

平沢川砂防堰堤のこれまでの堆積状況を勘案しても発電事業期間における湖面湛水の取水が可能である施設であると判断した。本発電所の取水方法は、砂防堰堤の越流天端（EL = 97.50 m）より、2 m 下がり（空気混入防止）に取水管（鉄管φ 800 mm）を設置（EL = 95.50 m）し、流れ込み式により取水を行う（図一 4）。取水口部分は堤体削孔による取水管挿入を行い、取水口から下流の導水管は、堰堤前面に沿わせた後、発電所までの区間を地中埋設による配管でつなぎ、垂直壁下流の護岸工部分で放流する計画である。



図一 4 平沢川砂防堰堤取水構造

水車の選定は、比較的大きな流量変動に対応可能で、ランナーベーンの可変により軽負荷でも高い効率を有する S 型チューブラ水車を採用した（表一 7、写真一 2）。設置の水車姿図を図一 5 に示す。

(3) 建設工事

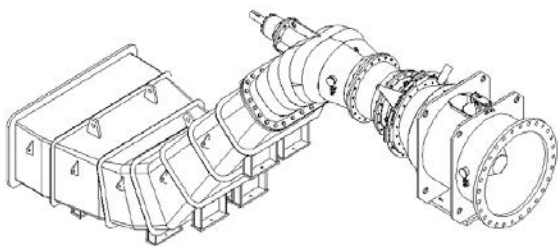
平沢川小水力発電所の発電用の新規取水口は、ダム堤体を削孔し取水管を設置する計画である。砂防堰堤

表—7 水車概要

水 車 本 体	
形式	横軸 S 型チューブラ水車
定 格 事 項	
有効落差	最大 17.17 m
使用水量	最大使用水量 1.5 m ³ /s
定格出力	208 kW 程度
回転速度	900 min ⁻¹
回転方向	発電機から見て反時計方向
性能・要求事項	
材質	ケーシング SS400 t = 6 ランナペーン SCS6 軸 SUS420J2
流量調整機構	ガイドペーンもしくはランナペーンにより 流量調節
過速度耐力	最大無拘束速度において 2 分間
最大速度変動率	最大無拘束速度相当



写真—2 水車内部の可変翼



図—5 S型チューブラ水車

水通天端まで常時湛水しているダム貯水位を低下させ、流水に対して安全な施工を実施する必要があった。幸いにも既設砂防堰堤には、緊急的に河川維持用水を放流する放流バルブ（口径 350 mm）が異なる高さで 2 基設置されており、これを利用して水位低下を図った。また、ダム水位低下を図る放流にあたっては、平沢川砂防ダム施設操作規則に従い実施する必要があり、既設放流管の排水能力約 0.5 m³/s を有効に活用しながら 1 日約 2.0 m 以上の水位低下を行わないよう実施した（図—6）。

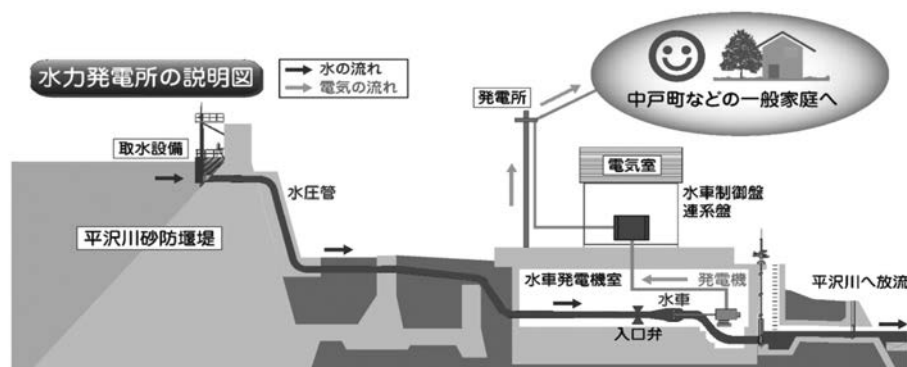
工事工程においては、水力発電にとって好ましい安定した 10 月以降の流況ではダム貯水位低下・維持が図れず取水工工事が困難な状況が想定されたことから、渇水期（8～9 月）を工程のクリティカルとし、実工事では、日々の天候と降水量をみながら「砂防堰堤削孔工」「取水架台設置工」「取水ゲート据付工」「スクリーン設置工」の工事を実施する必要があった。

写真—3 は、ダム水位低下を図った後、堤体をコアボーリングとワイヤーソーで削孔した開口部に堤体下流側から取水管（鋼管 φ 800 mm）を挿入する様子。写真—4 は、ダム水位低下を図り、取水口ゲート・スクリーン据付完了の様子。

水力発電所の機関となる水車発電設備は、水車発電



写真—3 取水管挿入状況



図—6 平沢川小水力発電所 概要説明図



写真-4 取水口ゲート据付完了

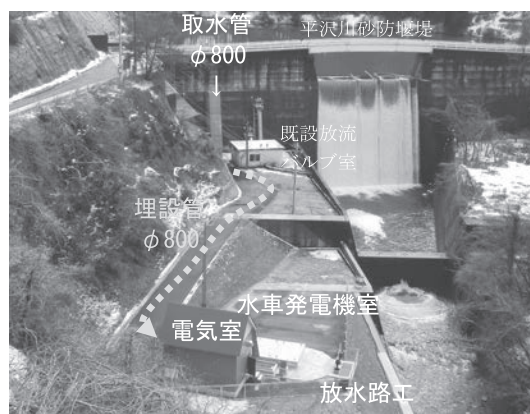


写真-7 平沢川小水力発電所 全景

機室の土木工事完了を引き継ぐ工程で着手し、10月上旬から入口弁・水車・ドラフトチューブの据付を行った(写真-5)。

水車発電機室への水車据付後(写真-6)は、操作盤を含む計装機器と配電線等の電気・機械設備工事の本格着手となり、平成27年2月には有水試験の準備が整い、発電所としての各種試験調整を開始した。試験調整は、運転開始後の正常稼動に重点をおき、初動トラブルを克服しながら、平成27年5月に「平沢川小水力発電所」としての本格運転を開始した(写真-7)。



写真-5 水車据付状況



写真-6 水車発電機据付完了

(4) 運転管理

水車発電機の電気・機械制御は、発電所内の動力制御盤・計測監視盤により水位観測、流量・圧力等の観測を行うが、これらの操作・監視はWeb監視システムによる24時間運転管理を行っている(図-7)。

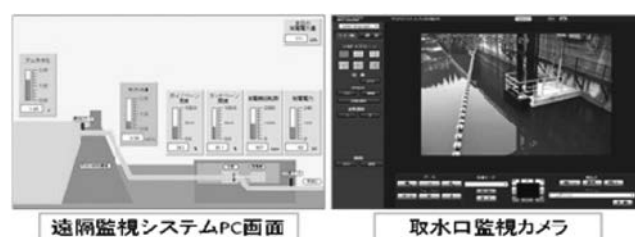


図-7 遠隔監視システム

本遠隔監視システムは、運転状況の確認や設備の不具合を早期に発見し、迅速な施設の保全が可能である(写真-8)。また、運転管理日報を自動作成し、事務作業の低減を図る遠隔監視を行うことで、長期の運転管理・維持管理の面で、大きなメリットが期待される。

(5) 今後の課題

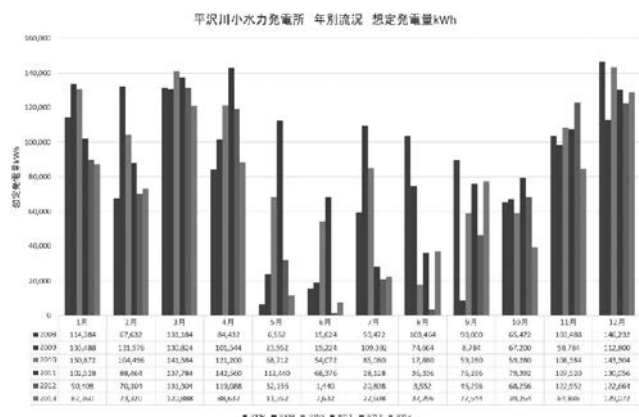
本施設は平成26年5月から約1年間の施工・試験



写真-8 発電出力パネル

調整を経て平成 27 年 5 月からの運転開始を行っている。今後、運転開始後の施設の維持管理が事業運営上、大変重要であると考えている。小水力発電所は、適切な維持管理を行うことで、20 年以上にわたる運転が十分に可能である。このため、21 年目以降の FIT 制度終了後の運用を見据え、計画当初に想定していた維持管理費（法令点検・除塵作業に係る人件費および水車補修修繕費、事務費、保安電気量、保険料、土地流水占用料）の中で、維持管理の効率化を図った維持管理費削減への取り組みを実践していきたい。

また、各年の事業収入（売電収入）は、毎年の河川流況に左右される。運転開始前の直近 6 ヶ年（2008～2013 年）の実測月別流況から想定した月別発電量（図一 8）をみても、渇水期 5 月～9 月の想定発電量は、毎年の変動が予測されるが、10 月～4 月の発電量は、毎年安定した流況が見込める。20 年間の長期の事業運営を行っていくうえで、これらの過去の流況からなる想定発電量を参考にしながら、各年のトータル発電量を監視し、毎年および累積年のキャッシュフローにより事業性を評価していく必要がある。



図一 8 過年度流況からの月別想定発電量

運転開始後の発電事業の事業収支に加えて、小水力発電を通じた地域貢献が不可欠で、地域に根ざした事業運営と小水力発電普及に向けた PR に積極的に取り組む考えである（写真一 9）。

4. おわりに

小水力発電は、自然と森の恵みである水の力を活か



写真一 9 事業者による砂防堰堤周辺の除草作業

すクリーンなエネルギーであり、これからの再生可能エネルギー利用の柱として普及促進を図っていく必要がある。小水力発電の普及促進には、公共施設の有効活用と民間資金の活用を協同で図り、小水力発電そのものの導入を図っていく必要があるが、その前提として民間事業としての採算性確保が大切である。弊社は本発電事業で培ったノウハウのさらなる展開を視野に、この再生可能エネルギー分野の裾野拡大に寄与していきたいと考えている。

J C M A

《参考文献》

- 1) 経済産業省：再エネ設備導入状況（2014.6.17）

【筆者紹介】

市森 友明（いちもり ともあき）
㈱新日本コンサルタント
代表取締役社長



阿曾 克司（あそ かつし）
㈱新日本コンサルタント
専務取締役



升方 祐輔（ますかた ゆうすけ）
㈱新日本コンサルタント
設計計画本部 水環境部 流域保全グループ
課長

