

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

(株)新日本コンサルタント 水環境部門 新エネルギー開発室

升方祐輔・阿曾克司・一願稔・篠島清隆・川村広樹・藤原朱里

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。本稿では、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に着目し、その対応等についての取り組みを紹介する。

公共施設の有効活用と民間資金の活用を協同で行う本事業は、全国的にも事例の少ない先進的な事業であり、これからの小水力発電の導入促進を図る成功例となるべく、平成27年2月からの運転開始を目指して、工事を実施している。

Key Words : 再生可能エネルギー、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27年2月からの運転開始を目指して、現在、発電所の建設を行っている。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、リスクに着目し、その対応や取り組みについて紹介する。



写真-1 平沢川砂防堰堤

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。

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：198kW |
| | 想定年間発生電力量：970MWh |
| 水量 | 最大使用水量：1.5m ³ /s |
| 落差 | 有効落差：17.2m |
| 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：φ800 |

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

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。

また、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、経済産業省の設備認定通知を受けるためには、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、河川減水区間が無くなり、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。

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

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

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。

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で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3300万円/年）を想定している。本事業の採算性に関しては、維持管理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-2に資金調達スキームの一例を示す。

図-2 資金調達スキーム



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（200kW未満）、発生電

堤から30m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。



図-1 完成イメージ図

また、公募選定後の事業経緯を表-2に整理して示す。

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1月 | 石川県との基本協定締結 |
| H26年2月 | 電力系統検討正式回答（北陸電力） |
| H26年3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3月 | 設備認定通知（経済産業省） |
| H26年4月 | 電気事業法：工事計画届出 |
| H26年5月 | 工事着工 |

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

表-3 1) 発電設備の導入状況（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 | |

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 | 事業者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。 |

に各専門分野における技術力が必要となり、事業実施には資金調達力、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。

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り、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。

表-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) | φ800 | φ800 | φ800 | φ800 | φ800 |
| 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 |
| 年間発電電力量(kWh) | 945MWh | 955MWh | 970MWh | - | - |
| 設備利用率 | 62% | 59% | 56% | - | - |

力量等を考慮し、198kWと設定した。

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-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。

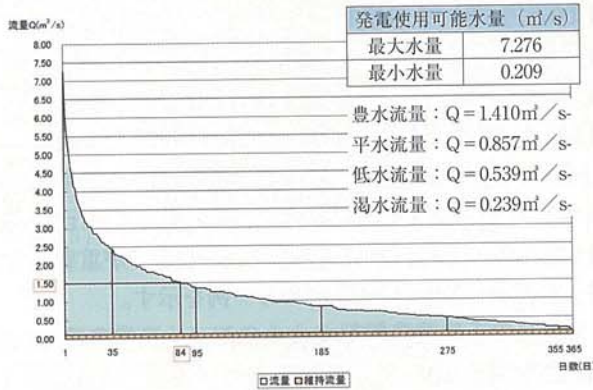


図-3 平沢川流況曲線図(5ヶ年平均)

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

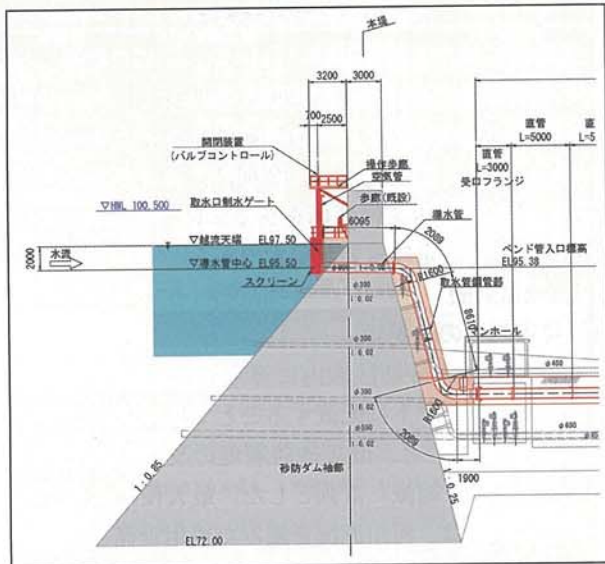


図-4 平沢川砂防堰堤取水構造

堤の越流天端(EL=97.50m)より、2m下がり(空気混入防止)に取水管(鉄管φ800mm)を設置(EL=95.50m)し、流れ込み式により取水を行う。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。

水車の選定は、比較的大きな流量変動に対応可能で、ランナーベーンの変形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。設置予定の水車姿図を図-5に示す。

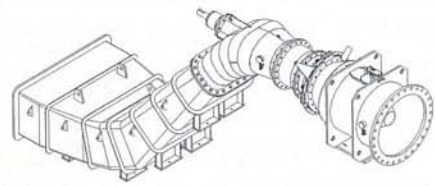


図-5 S型チューブラ水車

実際に設置する実機は、試作水車による効率特性試験を踏まえて製作に入り、平成26年10月頃に現地据付設置の予定である。



写真-2 試作水車(40kW)による特性試験

また、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遠隔監視を行う。

(2) 今後の課題

本施設は平成27年2月の運転開始を目指し工事を実施しているが、当面は安全に工事を進捗させ、無事竣工させることが喫緊の課題である。また、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、維持管理の効率化を図った維持費用削減への取り組みを実践していきたい。

また、長期にわたり事業を実施するには、小水力発

電を通した地域貢献が不可欠で、地域に根ざした事業運営に積極的に取り組む考えである。

4. まとめ

小水力発電は、自然と森の恵みである水の力を活か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。

謝辞：石川県における民間事業者として始めて試みる小水力発電事業の遂行にあたり、石川県砂防課、河川課、県央土木事務所のご指導・ご支援を賜り、同課職員の皆様に、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 経済産業省：再エネ設備導入状況 (2014.6.17)

