

平成25年度  
農業用水小水力発電  
実証試験調査委託業務



報告書

平成26年3月

神奈川県県西地域県政総合センター

八千代エンジニアリング株式会社

## 報告書 目次

第1章 業務概要	1
1.1 業務概要	1
1.2 業務内容	3
1.3 文命用水水力発電所の概要	4
1.3.1 基本概要	4
1.3.2 計画諸元と年間発電量	7
1.3.3 発電効果	8
1.3.4 発電における留意事項	8
第2章 モニタリング調査	9
2.1 モニタリング調査の目的と条件	9
2.2 モニタリング調査の項目と仕様	11
2.3 モニタリングデータの分析と考察	15
2.3.1 使用水量と発電量	15
2.3.2 ゴミ等の障害物	20
2.3.3 周囲への影響	23
2.3.4 発電障害因子	26
2.3.5 利水者への影響	31
2.4 運転実績の評価と対策	32
2.4.1 運転状況	32
2.4.2 設備点検・消耗品の状況	34
2.4.3 トラブル発生の原因と対策	42
2.4.4 設備改良	45
2.4.5 売電実績と経済性の評価	49
2.5 運転実績に基づく事業化に向けた検討課題の抽出	51
2.5.1 技術的な課題の抽出	51
2.5.2 経済的な課題の抽出	52
2.5.3 管理運用上の課題の抽出	53

第3章 事業モデルの構築（総合検討） .....	54
3.1 文命用水水力発電所の事業評価 .....	54
3.1.1 技術的な評価.....	54
3.1.2 経済的な評価.....	54
3.1.3 管理運用上の評価 .....	54
3.2 文命用水小水力発電所の今後の課題.....	55
3.2.1 技術的な課題.....	55
3.2.2 経済的な課題.....	55
3.2.3 管理運用上の課題 .....	55
3.3 事業化に向けた課題の対策検討 .....	55
3.3.1 技術的な課題の改善と対策案 .....	56
3.3.2 経済的な課題の改善と対策案 .....	57
3.3.3 管理運営上の課題の改善と対策案.....	62
3.4 農業用水を活用した持続可能な事業化モデルの構築（文命用水小水力発電所を事例として） .....	65
3.4.1 設備の仕様と特記事項.....	65
3.4.2 事業推進体制のケース・スタディ .....	66
3.4.3 資金調達の場合・スタディ .....	69
3.4.4 管理運用体制のケース・スタディ .....	70

## 第1章 業務概要

### 1.1 業務概要

#### (1) 業務の目的

神奈川県では、太陽光を中心に再生可能エネルギー等の導入を進め、電力供給量の拡大を図る「創エネ」、電力のピークカットを図る「省エネ」、電力のピークシフトを図る「蓄エネ」の取組を総合的に進め、それらを組み合わせて効率的なエネルギー需給を地域において実現する「かながわスマートエネルギー構想」を推進している。

この「創エネ」の取組みの一つとして、平成24年度に、学識経験者及び関係団体で構成する「かながわ農業用水小水力発電技術研究会」を発足し、この研究会の意見を踏まえて検討を進め、足柄平野の農地800ヘクタールを潤す「文命用水」に、低落差の開水路でも発電可能な小水力発電設備を設置し、平成25年3月から発電を開始した。

本業務では、文命用水に設置した小水力発電のモニタリング調査を実施するとともに農業用水を活用した小水力発電の持続可能な事業モデルを構築し、もって「かながわスマートエネルギー構想」を推進することを目的とする。

#### (2) 業務概要

本業務の概要は以下のとおりである。

- ・業務名：平成25年度農業用水小水力発電実証試験調査委託業務
- ・委託者：神奈川県県西地域県政総合センター農政部足柄上ほ場整備課
- ・受託者：八千代エンジニアリング株式会社
- ・履行期間：平成25年6月13日～平成26年3月31日（292日間）

#### (3) 業務実施箇所

本業務の対象となる発電計画位置を図-1.1に示す。



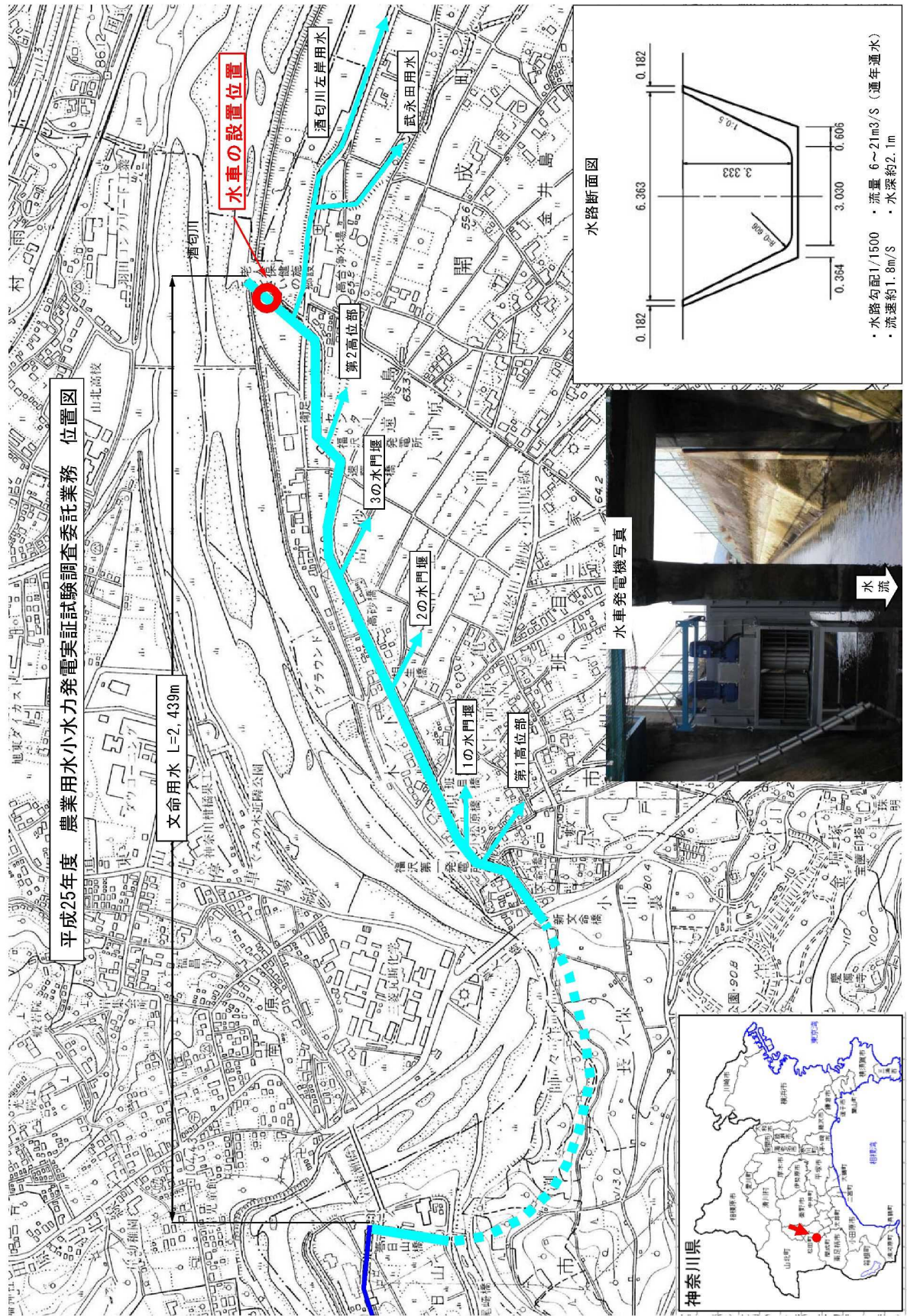


図-1.1 発電計画位置図

## 1.2 業務内容

### (1) 計画準備

本業務の目的・趣旨を理解したうえで、仕様書に示す業務内容を確認し、業務計画書を作成する。業務計画書は業務着手時に発注者が指定する調査職員（以下「調査職員」という。）と内容を確認し了承を得なければならない。

### (2) モニタリング調査

#### ア) モニタリング調査の目的

神奈川県が所有する文命用水小水力発電の運転状況と発電実績の相関について調査し、農業用水を活用した小水力発電の技術的有効性や経済性を検証することを目的とする。

#### イ) モニタリング調査の条件

- ・ 9ヶ月程度で小水力発電の発電性能等を確認できる計画であること。
- ・ モニタリング調査の実施にあたっては、小水力発電研究会の意見を参考にしながら作業を進めること。

#### ウ) モニタリング調査の項目

- ・ 使用水量と発電量の確認
- ・ ゴミ等障害物調査
- ・ 発電障害因子分析
- ・ 周囲への影響調査
- ・ 利水者への影響調査
- ・ その他、農業用水を活用した小水力発電の事業化に向けて確認すべき項目

#### エ) モニタリング調査の仕様

モニタリング調査に関する業務仕様の提案にあたっては、上記の調査項目についての現地調査の仕様、必要な常時監視の仕様、監視システムの仕様等について説明すること。

### (3) 事業モデルの構築

モニタリング調査で得られたデータをもとに事業化に向けた技術的・経済的課題の抽出と解決方法を整理し、農業用水を活用した小水力発電の持続可能な技術モデルと管理運営体制等について取りまとめ、事業モデルを構築する。

### 1.3 文命用水水力発電所の概要

#### 1.3.1 基本概要

##### (1) 流量

文命用水流末部の流量は、神奈川県企業庁が観測している流量データを参考に整理した。

表-1.2 文命用水流末部の流況(表中単位:m<sup>3</sup>/s)

	最大放流量	35日流量	65日流量	豊水量 95日	平水量 185日	低水量 275日	渴水量 355日	最小流量	年平均流量
平成14年	15.370	10.960	9.670	9.290	8.360	7.120	3.980	2.600	8.102
平成15年	14.960	12.750	11.900	11.350	9.140	6.630	1.560	0.000	8.919
平成16年	15.070	11.590	10.540	9.640	7.870	6.710	0.770	0.140	7.681
平成17年	12.380	10.320	10.090	9.940	6.340	3.320	1.560	0.000	6.519
平成18年	14.180	10.990	10.620	10.050	8.310	6.770	3.930	0.000	8.251
平成19年	14.260	11.330	9.800	9.000	7.440	6.500	3.200	0.000	7.673
平成20年	15.420	12.000	9.660	8.490	7.540	6.870	2.470	1.810	7.733
平成21年	15.630	13.480	11.960	10.360	7.460	6.110	2.510	0.000	8.280
平成22年	15.040	12.850	11.380	7.950	6.910	3.970	0.000	0.000	6.506
平成23年	12.730	8.300	7.480	7.100	5.740	4.420	0.440	0.000	5.701
平均	14.701	11.808	10.624	9.563	7.708	6.000	2.000	0.506	7.740

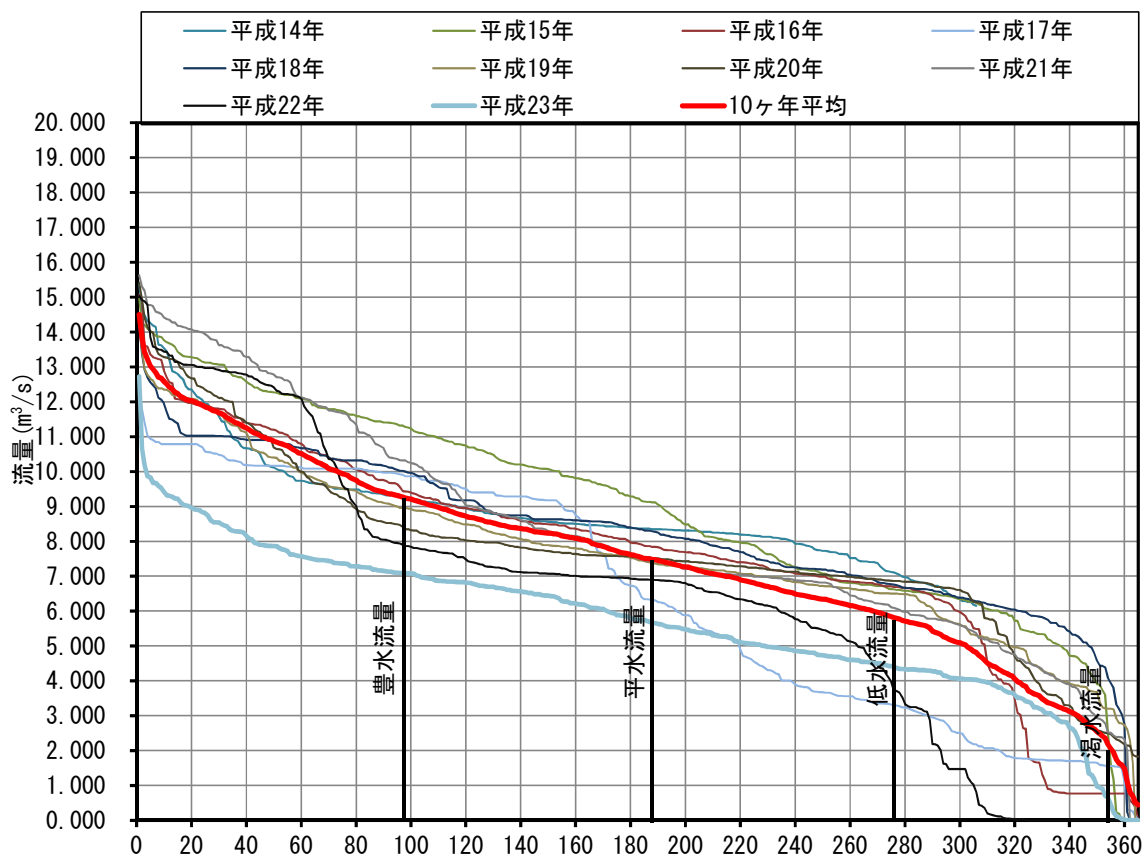


図-1.3 流況図

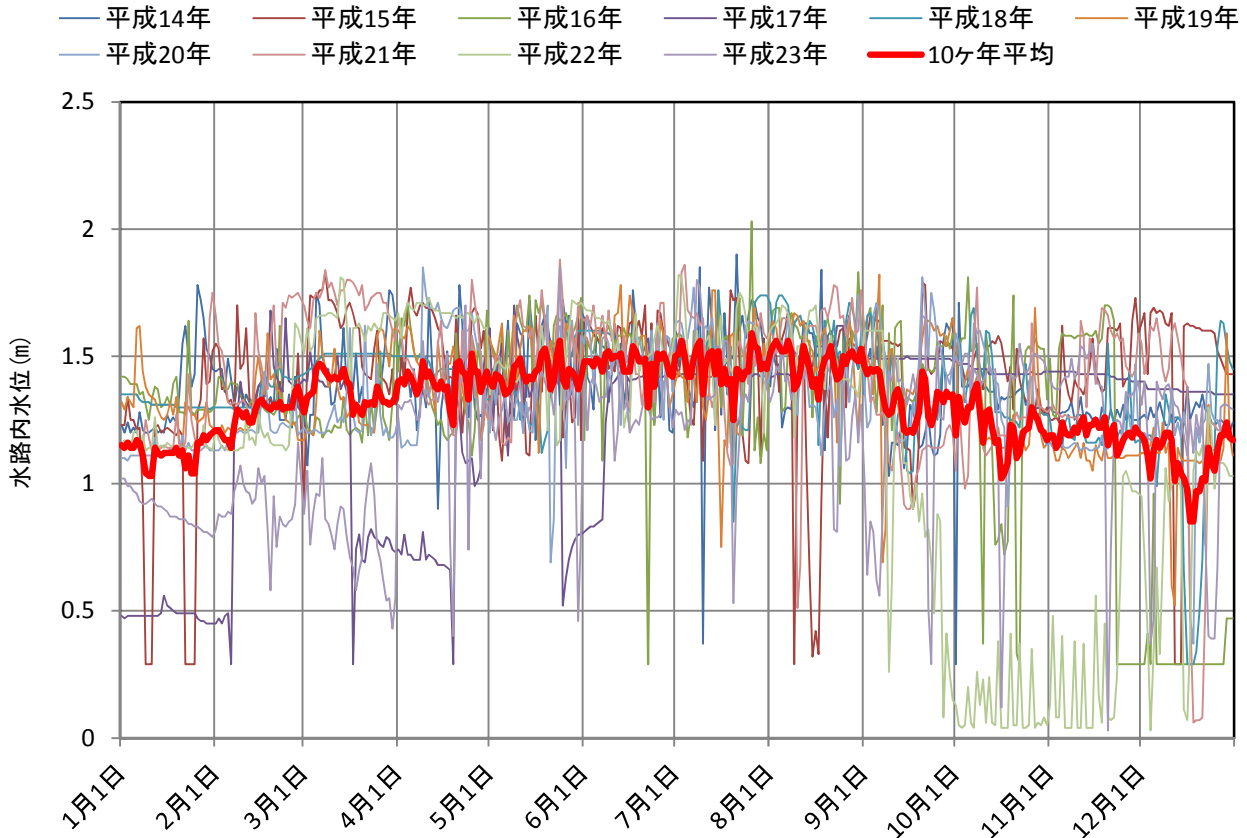
※1 35日流量、65日流量：ダム式の水力発電などでしばしば用いられる流況。

豊水量～渴水量は年間の流況を降べき順に並び代えた時の各目安となる大きさ。

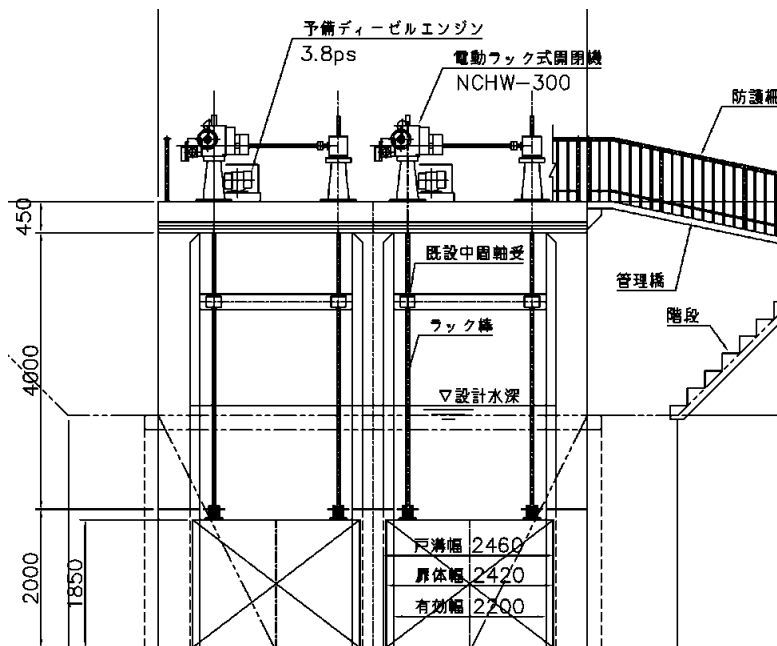


## (2) 落差(水路水深)

農業用水における小水力発電においては、落差とは水深及び水車設置計画位置の上流側水路の余裕高を意味する。文命用水は年間の変動は大きいものの、これまで流末部ゲートを超える様な水位になることは少ない。



図一.14 流末部の水深の時系列整理(出典:神奈川県企業庁)



図一.15 流末部の構造物の高さ関係(図中単位:mm)



(3) 発電計画図

文命用水水力発電所 水車設備配置計画図

神奈川県 文命用水 流末部  
神奈川県南足柄市班目地先

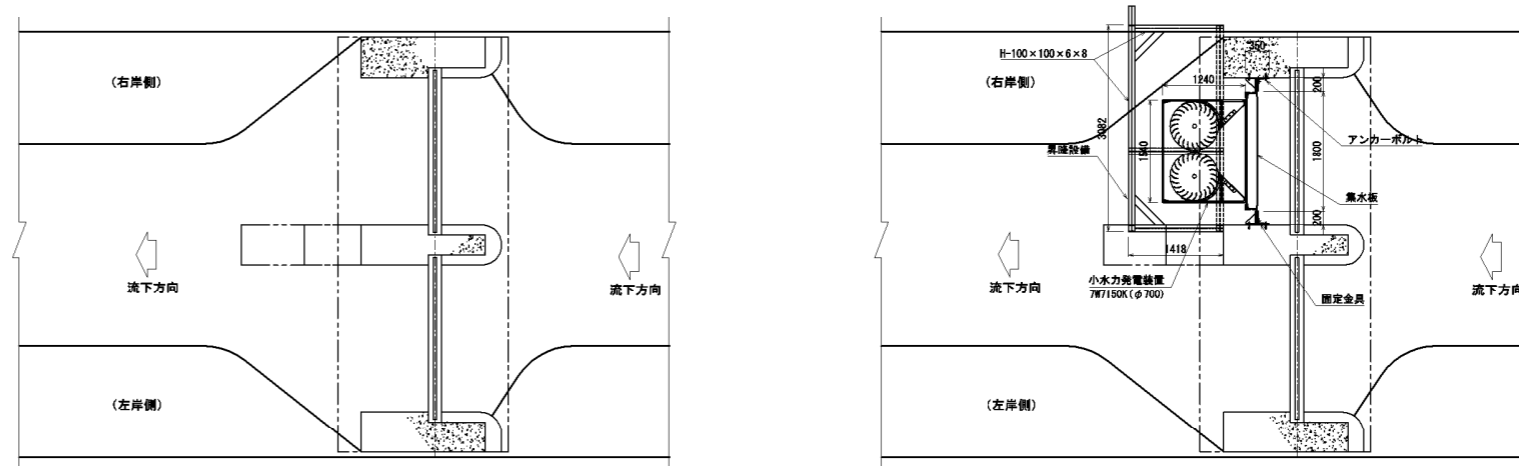


図-1 平面配置図 (左: 現状、右: 水車発電設備設置後)

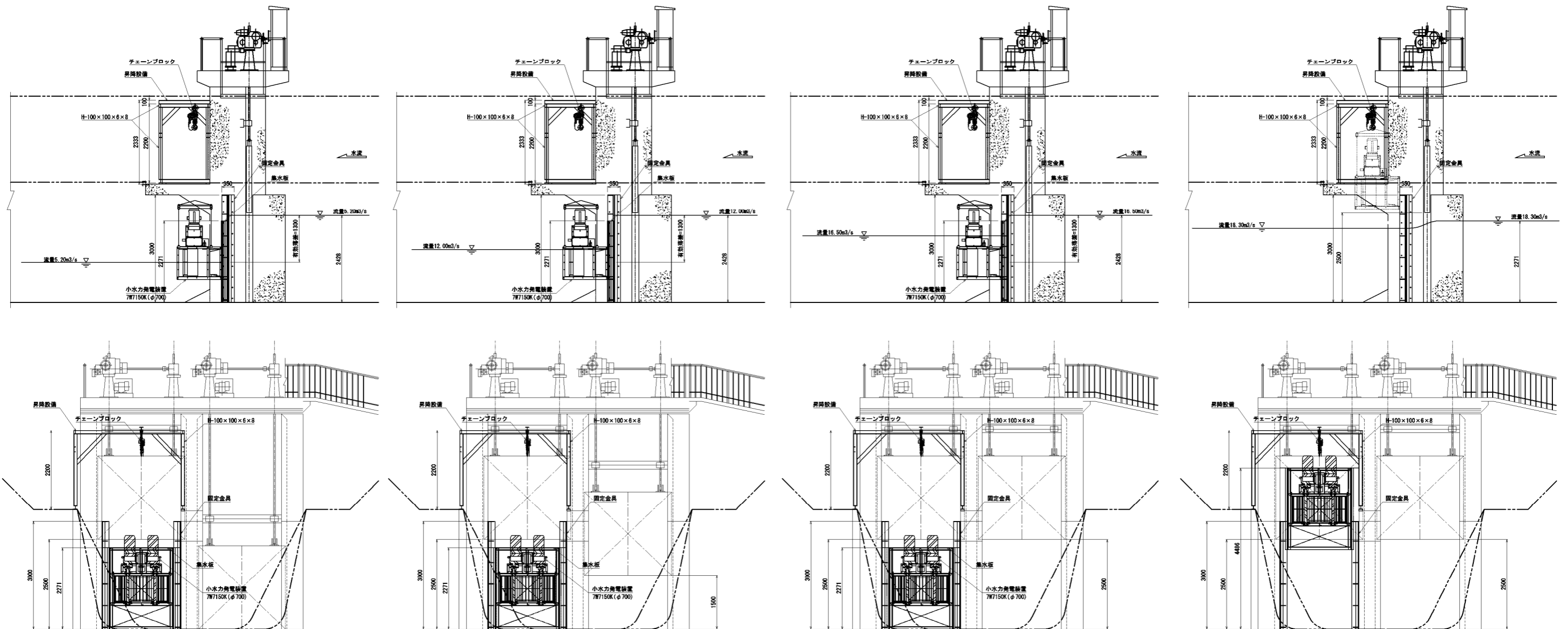


図-2 渇水時 (流量: 0~5.2m<sup>3</sup>/s)  
右岸側の制水ゲートは開度2.50mで調整する  
左岸側の制水ゲートは全閉で調整する

図-3 灌漑期 (流量: 5.2~12.0m<sup>3</sup>/s)  
右岸側の制水ゲートは開度2.50mで調整する  
左岸側の制水ゲートは開度1.50mで調整する

図-4 非灌漑期 (流量: 12.0~16.5m<sup>3</sup>/s)  
右岸側の制水ゲートは開度2.50mで調整する  
左岸側の制水ゲートは開度2.50mで調整する

図-5 非常時 (流量: 16.5~18.3m<sup>3</sup>/s)  
右岸側の制水ゲートは開度2.50mで調整する  
左岸側の制水ゲートは開度2.50mで調整する  
水車発電設備をチェーンブロックで吊り上げる

### 1.3.2 計画諸元と年間発電量

文命用水流末部の計画諸元は以下のとおりである。

使用水量：(最大) 1.3m<sup>3</sup>/s

(常時) 0.0m<sup>3</sup>/s

有効落差：(最大) 1.3m

(常時) 0.0m

理論出力：(最大) 16kW

(常時) 0kW

発 電 力：(最大) 10kW

(常時) 0kW

また年間発電量は、直近 10 ヶ年の流況及び水位より、繰り返し計算を行い、以下の様になった。

発電量は、月最大 5,200kWh であるが、最大発電となる月は少ない。

理由としては以下の点が挙げられる。

- ①文命用水路内の流量が少ない時期が多い。
- ②増水対策のために設置した下駄から先取り放流となるため、発電流量が減る。

表-1.6 年間発電量(表中単位:kWh)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均	合計
2002年	4,318	4,393	5,004	4,807	1,919	1,795	3,694	1,132	3,258	4,949	4,210	4,569	3,671	44,048
2003年	3,156	4,704	5,170	5,040	1,571	1,765	3,312	1,352	2,968	5,097	4,928	4,603	3,639	43,666
2004年	4,958	4,581	3,961	4,328	2,822	1,747	2,536	2,906	4,285	3,613	3,499	0	3,270	39,236
2005年	0	3,503	2,706	582	407	592	2,522	1,133	3,792	5,208	5,040	5,208	2,558	30,693
2006年	4,943	4,467	5,208	4,942	1,477	2,358	3,468	2,403	2,776	4,663	3,171	2,798	3,556	42,674
2007年	4,536	3,674	4,542	4,769	1,175	596	3,123	1,922	4,011	3,698	2,019	2,185	3,021	36,250
2008年	2,189	3,210	3,799	4,418	923	3,482	2,841	1,525	4,086	4,044	2,668	3,220	3,034	36,405
2009年	2,969	4,607	5,208	4,779	732	1,294	2,636	1,567	1,384	3,608	4,729	3,664	3,098	37,177
2010年	2,582	2,716	5,208	5,040	3,084	2,768	3,417	844	304	0	197	1,152	2,276	27,312
2011年	460	615	243	2,337	2,455	1,778	1,967	570	2,026	3,394	2,503	740	1,591	19,088

年平均発電量：約 35,000kWh

### 1.3.3 発電効果

想定年間発電量 35,000kWh の発電効果は以下の様に示すことができる。

#### ①節電効果

一般家庭世帯の年間使用電力量 (3,700kWh<sup>1</sup>) に換算すると約 10 世帯分に相当する。

#### ②CO<sub>2</sub>削減効果

CO<sub>2</sub> 排出削減量は、火力代替の CO<sub>2</sub> 排出量原単位を 858.6g-CO<sub>2</sub>/kWh<sup>2</sup> (石炭火力と石油火力の平均値)、水力の CO<sub>2</sub> 排出量原単位を 11.3g-CO<sub>2</sub>/kWh とすると、約 30t-CO<sub>2</sub>/年 の削減量となる。

$$\begin{aligned}\text{CO}_2 \text{削減効果} &= (858.6 - 11.3) \times 35,000 \div 1,000^2 \\ &= 29.7 \text{ (t-CO}_2\text{/年)}\end{aligned}$$

### 1.3.4 発電における留意事項

文命用水水力発電所は 16m<sup>3</sup>/s の放流の中から使用水量 1.3m<sup>3</sup>/s で稼働させる発電所であり、流量の制御や灌漑用水取水による急激な水位低下など変動が激しい環境下にある。このため発電の運営においてはこれらを早くに察知して発電における最適な状態を確保することが求められる。

また今後同様な発電が普及することを想定すると、住宅地に近いところで発電が行われるため周辺環境への影響も発電を行いながら監視していく必要がある。

これらから、長期モニタリングにおいては、発電の状態管理と共に、発電量に影響するモニタリングと、周辺環境や関係利水者へ影響するモニタリングといった 2 面から確認する必要がある。また文命用水小水力発電所のような垂直二軸クロスフロー水車はまだ稼働実績が少ないことから安定した運転が実施できるかという設備的な点からモニタリングを実施する必要がある。

---

<sup>1</sup>電気事業連合会 Web サイトより近年最大で 304.7kW/月であるので、1 年間では 304.7kW×12 ヶ月 = 3,656kW/年となる。

<sup>2</sup>「ハイδροバレー計画ガイドブック (新エネルギー財団、H17.3)」p.2-2 より

## 第2章 モニタリング調査

### 2.1 モニタリング調査の目的と条件

小水力発電に対するモニタリングについては、法令等による義務はなく、通常点検の一部として位置づけられている（※中規模以上の水力については環境アセスメントの適用の可能性があり、次ページを参照）。

今後農業用水路を活用した小水力発電が普及することが見込まれる中で、「これまでよりも簡素化された発電所であり建屋等が無い」「山間部から住宅地へ配置場所が移動する」といった設置条件が従来と異なるため、設置場所の環境配慮は不可欠である。

また新規で発電取水を行うものではなく、既存の他目的の水路に従属するため確実な発電実績を確保する事が出来るか、という実証確認を行う必要もある。

以上より、文命用水小水力発電所における実証試験のモニタリングにおいては、以下の点において確認を行うものとする。なおモニタリングの実施においては、安定して稼働する期間が1ヶ月以上継続している状態を通常モニタリングとし、エラーや故障状態にある場合（発電阻害）は通常モニタリングではなく点検・メンテナンス・課題の整理を行うものとした。

#### (1)水車・発電機の健全な運転確認(通常運転時 1回/月)

- ①外部点検、制御盤の内部点検、設備アラートの確認
- ②実発電効率の算定、使用水量の算定

#### (2)上流側流況の確認(通常運転時 1回/月)

上流側の水路状況及び灌漑取水の状況から発電への影響を考察

#### (3)流下する雑木・ゴミ管理(通常運転時 1回/月)

水車へ流下するゴミの量を計測し、発電の減電量を確認（ゴミの量により実施回数は異なる）

#### (4)騒音・振動の影響確認(通常運転時 1回/月)

水車・発電機の設置位置から10mピッチで影響の確認を実測し、水車・発電機の設置の影響を定量的に把握

#### (5)発電阻害(トラブル時 随時)

設備トラブル、水利運用トラブルなど通常発電運営を継続できない状況が発生した際の原因究明と対策防止を検討

## ■参考 水力発電と環境アセスメント

水力開発に際しては、ダム・発電所等の工作物の構築、減水区間の出現等により、地域の自然環境・社会環境に影響を与えることから、環境の保全に十分に配慮した計画立案が求められる。

揚水発電所等の大規模水力の建設においては、環境への影響も広範囲かつ多岐にわたることが多く、他方、今後の開発の主体となる中小水力では、影響を及ぼす範囲及び土地の改変も少ないことから環境への影響も限定的なものであると考えられており、国・都道府県等の規制レベルも開発規模の大小を踏まえ、定められている。

これらのことから、現地情報を把握するための調査は、大規模水力では数年間に亘る現地調査を主体とする大々的な環境調査が行われる一方、小規模水力では既存文献資料を主体とし、必要に応じ補完的なヒアリングや現地調査が行われることとなる。<sup>3</sup>

環境影響評価法及び電気事業法に基づき、水力発電所の設置又は変更の事業のうち、第一種事業（出力 3 万 kW 以上の事業）は、必ず環境影響評価を行う必要があると規定され、第二種事業（出力 2.25 万 kW 以上 3 万 kW 未満の事業）は、電気事業法に定める「簡易な方法による環境影響評価」を実施し、法の対象事業とするかどうかを判定（スクリーニング手続き）するものと規定されている。

なお、神奈川県においては環境影響評価条例において、水力発電所に対しては以下のように定められている。

番号	事業の種類	要件			
		内容	規模、実施される地域等		
			甲地域	乙地域	その他の地域
7	電気工作物の建設	(1) 電気事業法第 2 条第 1 項第 16 号に規定する電気工作物（以下「電気工作物」という。）のうち、発電（水力、火力、地熱又は原子力を原動力とするものに限る。）のために設置する電気工作物であつて同項第 1 号に規定する一般電気事業（以下「一般電気事業」という。）又は同項第 3 号に規定する卸電気事業（以下「卸電気事業」という。）の用に供するもの（以下「一般電気事業等の用に供する発電電気工作物」という。）の新設	全事業 （2013 年 4 月より水力発電は 1,000kW 以上を対象へ変更）	全事業 （2013 年 4 月より水力発電は 1,000kW 以上を対象へ変更）	水力を原動力とする発電であつて出力 2 万キロワット未満の事業、火力を原動力とする発電であつて出力 10 万キロワット未満の事業及び地熱を原動力とする発電であつて出力 7 千キロワット未満の事業を除く事業

（神奈川県環境影響評価条例施行規則 第 1 条別表 一部加筆）

<sup>3</sup>水力発電環境保全対策ガイドブック p. 11



## 2.2 モニタリング調査の項目と仕様

モニタリング調査の項目及び仕様については、前項 2.1 における区分別に以下のように検討を行った。

### (1)水車・発電機の健全な運転確認

#### ①外部点検、制御盤の内部点検、設備アラートの確認

外部点検及び制御盤の内部点検においては、現地調査において定点観測（通常写真撮影、異常時には異常箇所の確認）を実施した。

設備のアラートについては、制御盤及びパワーコンディショナのエラー信号の確認、常時遠方監視システムから送られてくるアラート情報の確認、状態確認を実施した。

#### ②実発電効率の算定、使用水量の算定

実発電効率の算定は、実際に発電している出力と、ほぼ同時刻における水路内水位（落差）及び呑み込み流量（使用水量）において得られる理論出力から、下式によって実発電効率を算定した。

$$\eta = \frac{\text{実発電出力(kW)}}{\text{理論出力(kW)}}$$

理論出力 (kW) = 9.8 × 使用水量 (m<sup>3</sup>/s) × 落差 (m)

また発電使用水量は、農業用水路等における水車設備で流量計測は困難であるため、水路内水位から水車呑み口（オリフィス孔）におけるオリフィスの計算で算定した。なお、水路内を流れる上流側の流量は、東京電力福沢第二発電所の発電使用水量がそのまま当該地点に到達するものとした（実際には武江田用水と酒匂川左岸用水が取水しているが、これらの取水状況が明らかではないため流況データには反映していない）。

### (2)上流側流況の確認

前項②の結果から、水位の状況から発電量との関係を整理する。また現状施設における課題点を整理する。

### (3)流下する雑木・ゴミ管理

水路上流側、水車、集水板越流部、水路下流側のそれぞれの状況を確認し発電に影響する障害物の状況を確認する。定点観測（通常写真撮影）を実施し、障害物確認時には撤去作業を実施する。また、障害物が確認された場合は撤去作業前後での出力の変化を確認する。

### (4)騒音・振動の影響確認

水車・発電機の設置位置から 10m ピッチで騒音と振動を計測する。振動は水路を中心として横断方向を x 方向、縦断方向を y 方向、鉛直方向を z 方向とした。周辺地域へ影響する状況を把握し運転状況が与える影響を定量的に確認する。なお、計測には普通騒音計、普通振動計を用いた（計測にはそれぞれのレンジにおいて最も小さい計測レンジを使用した）。

<騒音計の仕様>

メーカー	リオン (NL-20)
適合規格	計量法・普通騒音計、JIS C 1509-1 : 2005 クラス 2、IEC 61672-1 : 2002 Class2
対応する旧規格	JIS C 1502 : 1990、IEC 60651 : 1979 Type2、IEC 60804 : 2000 Type2
測定機能 (主演算)	騒音レベル Lp、等価騒音レベル Leq、単発騒音暴露レベル LE 騒音レベルの最大値 Lmax、最小値 Lmin、時間率騒音レベル LN (任意に選択された 5 値)
測定時間	10 秒、1、5、10、15、30 分、1、8、24 時間および手動 (最長 200 時間)
周波数重み特性	A 特性、C 特性、FLAT 特性
リニアリティレンジ	100dB
レベルレンジ切替器	10dB ステップ 6 段階 (オプションのフィルター使用時は 7 段階)
測定周波数範囲	20~8000Hz
実効値検出回路	デジタル演算方式、時間重み特性 : Fast、Slow
校正	内蔵発振器 (1kHz の正弦波) による電氣的校正
直前データ除去機能	一時停止ボタンにより直前 5 秒前のデータ除去が可能
デジタル演算	サンプリング周期 30.3 $\mu$ s (Leq、Lmax、Lmin、LE)、100ms (LN)
データストア機能	内蔵メモリーに記録
マニュアル	最大 100 データ組まで記録
時計/タイマー機能	測定開始終了時刻やインターバルオート 2 の設定が可能
マイクロホン/プリアンプ	UC-52/NH-21
LED 表示画面	バックライト付き (128×64 ドット+121 アイコン)、数値とバーグラフで測定値表示、各演算値の一括表示、L-T グラフ表示、操作のためのメニュー画面
出力端子	交流/直流出力端子 (キー操作で選択)
I/O 端子	コンピューターによる測定制御とデータ出力、プリンター-DPU-414 へのデータ出力
電池寿命	LR6 : 約 32 時間 R6P : 約 14 時間
	バックライト連続点灯時の電池寿命は約 1/2 になる 補助演算 ON 時は電池寿命が 20%短くなる オプションフィルター動作時は電池寿命が 15%短くなる
使用温湿度範囲	-10~+50°C、10~90%RH
大きさ・重さ	約 260×76×33mm、約 400g (電池込み)

< 振動計の仕様 >

メーカー	リオン (VM-52)
適用規格	計量法 JIS C 1510-1995
測定機能	振動レベル (Lv)、振動加速度レベル (Lva)、時間率レベル (Lx)、パワー平均 (Leq)、最大値 (Lmax)
測定レベル範囲	振動・振動加速度レベル 30~120dB
周波数範囲	計量法・振動・振動加速度レベル 1~80Hz, JIS・振動・振動加速度レベル 1~80Hz
周波数補正回路	計量法または JIS 規格による鉛直振動特性と JIS 規格による水平振動特性
	平たん特性：JIS 規格による平たん特性
実効値回路	真の実効値検出回路、動特性 0.63s
レベルレンジ切替器	20dB より 50dB 幅、10dB ステップ、6 段
自己雑音	振動・振動加速度レベル 24dB 以下
出力校正	内蔵発振器 (31.5Hz 正弦波) による電氣的校正
演算	時間率レベル
	L5、L10、L50、L90、L95 を累積度数分布より 3 方向同時に演算
	パワー平均
	指定時間内で振動または振動加速度レベルの 2 乗平均を 3 方向同時に演算
	演算時間
	10・500 秒、1・5・10・15 分、1・8・24 時間およびマニュアル (最長 99 時間 59 分 59 秒)   ただし、時間率レベルの演算時間は最長 1 時間
	サンプリング周期
10ms (パワー平均、最大値) 100ms (時間率レベル) (ただし、演算時間 500 秒の場合は 5 秒)	
表示	バックライト付き液晶表示
	数値表示 4 けた表示, 表示周期 1 秒, 分解能 0.1dB X、Y、Z 手動切替
	バーグラフ表示 目盛範囲 50dB, 表示周期 0.1 秒, 分解能 10dB X、Y、Z 同時表示
	警告 Over・Under 表示
	電池電圧 残量を 4 段階表示
振動ピックアップ	型式 PV-83B (3 方向型) (特許 第 2581901 号)
	構造 せん断形圧電式加速度ピックアップ
	寸法・質量 $\phi 67 \times 40.7$ mm・約 350g
	その他 防水性 保護等級 2 防滴 II 形 (JIS C 0920)
使用温湿度範囲	-10~+50°C、90%RH 以下
寸法・重さ	約 20 (幅) $\times$ 7 (高) $\times$ 18 (奥) cm・約 1kg (電池を含む)



図-2.1 騒音・振動の計測位置図

### (5)発電阻害

前項(1)～(4)のモニタリングは設備トラブル、運用トラブルが発生せず、連続1ヶ月以上安定して稼働している場合に実施することに対して、発電阻害はトラブル発生時に対応するモニタリングである。設備トラブル、運用トラブルが発生した際には速やかに現地にて状況確認と応急処置、ならびに再発防止のための対策工を実施する。

発電阻害には、トラブル改善と設備改良に分けられる。

トラブル改善は発生したトラブルの処置と再発防止を目的とする。設備改良はトラブル改善のための改良の他、維持管理を効率的・効果的に実施するために行うものも含まれる。

## 2.3 モニタリングデータの分析と考察

### 2.3.1 使用水量と発電量

#### (1)時系列データの整理

使用水量と発電量の集計結果を次ページに示す。また時系列変化を以下に示す。

使用水量は最大使用水量を超した日は確認されなかった（ただし水路内水位が上昇していることがあるため、瞬時的には最大使用水量を越した時間もあるが、日平均流量として集計すると最大使用水量以下である）。なお文命用水の水路内流量は2日ほど0であったが、その他は発電に十分な流量を有していた。

下図によれば、発電が安定する2013年10月下旬以降は使用水量と出力の増減傾向が同じであること読み取ることができ、水量に一定の比例関係を有していることが判る（出力の変動が大きいのは制水門におけるゲート操作による影響と推測される）。一方で10月以前は使用水量と出力の関係にバラツキが生じており、発電が安定していないことが判る。

なお水力発電の場合、発電使用水量を出力から算定するP-Q方式が多いが、農業用水の小水力発電においては堰上げ効果<sup>4</sup>やもぐりオリフィス効果<sup>5</sup>により、出力から使用水量を算定することは難しい。このため水路内水位から使用水量を算定している。

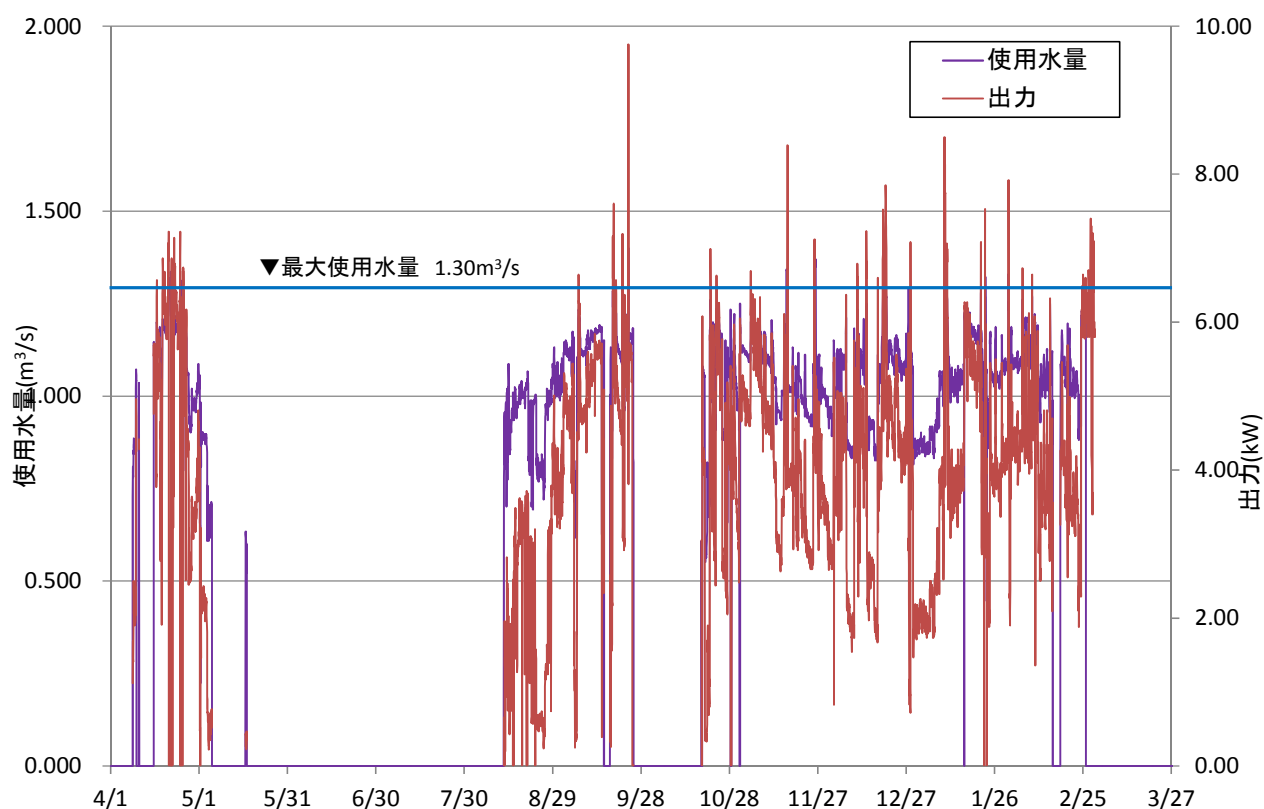


図-2.2 使用水量と発電量の時系列データ

<sup>4</sup> 堰上げ効果：水車を設置することにより、水の流下作用が低下して水面が上昇する現象。

<sup>5</sup> もぐりオリフィス効果：水車よりも下流側の水面が高く、水車の吐き出した水が十分に吐くことができず、下流側の水面の影響を受ける現象。



表-2.1 使用水量実績表(赤字部分はデータ未取得)

(単位:m<sup>3</sup>/s)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1日	0.00	0.92	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	1.13	0.95	0.87	1.09	1.20
2日	0.00	0.89	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	1.12	1.00	0.86	1.09	1.10
3日	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	1.11	0.00	1.10	1.04	0.86	1.08	1.08
4日	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	1.17	1.05	0.90	1.13	1.10
5日	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	1.18	1.09	0.87	1.13	1.09
6日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	1.16	1.04	0.93	1.14	1.09
7日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	1.15	0.86	1.01	1.13	1.03
8日	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	1.12	0.85	1.05	1.16	1.02
9日	0.92	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	1.12	1.00	1.27	1.12	0.91
10日	1.03	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15	0.00	1.10	1.10	1.08	1.02	0.95
11日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	1.11	1.06	1.03	1.05	1.07
12日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.87	1.17	0.00	1.03	1.08	1.04	1.05	1.16
13日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.18	0.00	0.96	1.05	1.04	1.06	1.16
14日	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	1.11	0.00	0.96	0.91	1.05	1.05	0.00
15日	1.13	0.00	0.00	0.00	0.96	1.04	0.00	1.08	0.92	1.06	0.00	0.53
16日	1.11	0.60	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	1.19	0.86	1.20	0.00	0.00
17日	1.14	0.58	0.00	0.00	0.99	0.85	0.00	1.02	0.96	1.19	1.10	1.08
18日	1.11	0.00	0.00	0.00	1.01	1.08	0.60	1.03	1.08	1.18	1.08	1.13
19日	1.18	0.00	0.00	0.00	1.00	1.16	0.90	1.00	1.18	1.16	1.05	1.19
20日	1.19	0.00	0.00	0.00	0.97	1.12	0.68	1.01	1.17	1.17	1.05	1.19
21日	1.22	0.00	0.00	0.00	0.88	1.09	0.96	1.01	1.13	1.11	1.03	1.16
22日	1.12	0.00	0.00	0.00	0.87	1.08	1.05	0.99	1.10	1.05	1.03	1.04
23日	1.18	0.00	0.00	0.00	0.90	1.15	1.08	0.95	1.14	0.96	0.97	1.05
24日	1.19	0.00	0.00	0.00	0.80	1.16	1.15	0.94	1.10	1.02	1.12	1.17
25日	1.19	0.00	0.00	0.00	0.80	1.11	1.04	1.04	1.07	1.05	1.23	1.16
26日	1.11	0.00	0.00	0.00	0.87	0.00	0.91	1.19	1.08	1.08	1.23	0.05
27日	1.00	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.99	1.02	1.09	1.04	1.23	0.00
28日	0.95	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	1.04	1.02	0.93	1.08	1.16	0.00
29日	0.98	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	1.10	1.00	0.92	1.08		0.00
30日	1.03	0.00	0.00	0.00	1.03	0.00	1.01	0.97	0.86	1.11		0.00
31日		0.00		0.00	1.02		1.05		0.87	1.03		0.00
合計	20.60	5.19	0.00	0.00	18.90	26.27	13.56	31.87	31.54	32.43	28.58	24.71
最大	1.22	0.92	0.00	0.00	1.08	1.18	1.15	1.19	1.18	1.27	1.23	1.20
最小	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.85	0.86	0.00	0.00
平均	0.69	0.17	0.00	0.00	0.61	0.88	0.44	1.06	1.02	1.05	1.02	0.80

表-2.2 文命用水内の流下流量(赤字部分はデータ未取得)

(単位:m<sup>3</sup>/s)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1日	6.82	6.32	7.87	8.19	8.33	7.59	8.19	7.21	6.38	5.44	6.66	10.39
2日	7.10	6.54	7.87	8.33	8.08	7.59	7.95	7.15	6.65	5.38	6.65	10.80
3日	7.26	6.71	7.87	8.33	8.74	7.48	7.69	7.10	6.38	5.38	6.66	8.17
4日	7.32	7.04	7.87	9.42	7.65	7.54	8.19	7.32	5.88	5.60	6.88	7.43
5日	7.48	7.32	7.81	11.59	7.89	7.04	8.41	7.15	5.82	5.38	6.60	7.32
6日	8.31	7.10	7.95	11.65	7.62	5.77	7.48	7.15	6.05	5.49	6.65	6.93
7日	0.00	6.71	7.95	9.95	7.54	5.49	6.99	7.37	5.99	5.88	6.77	6.38
8日	4.40	5.98	7.81	6.43	7.26	5.55	6.99	7.37	5.99	6.16	6.88	7.32
9日	7.54	6.49	7.81	7.37	7.21	5.60	7.70	7.32	5.82	7.59	6.71	6.71
10日	7.32	7.20	7.92	7.81	7.26	5.60	7.65	7.21	7.23	6.43	6.27	7.09
11日	7.10	9.02	8.06	7.76	7.59	5.55	7.43	7.21	6.21	5.94	6.27	7.04
12日	7.04	6.32	8.06	7.87	7.48	5.60	7.32	6.88	5.99	5.99	6.27	6.38
13日	6.99	6.82	7.70	9.15	6.71	5.66	6.99	6.60	6.46	5.99	6.27	5.61
14日	6.88	7.21	7.95	11.26	7.04	7.21	8.41	6.60	6.16	5.99	6.76	1.21
15日	6.88	6.60	7.92	11.11	7.54	5.00	11.08	7.04	6.27	6.04	7.26	6.43
16日	6.93	7.42	7.70	9.68	7.81	0.00	4.95	7.86	5.94	6.49	7.04	4.72
17日	6.77	9.43	7.81	6.98	7.81	3.24	7.62	9.15	6.43	6.43	6.54	6.05
18日	7.86	9.43	7.81	8.41	7.92	6.98	5.82	8.55	5.77	6.38	6.38	6.98
19日	8.47	9.29	7.95	8.82	7.87	6.05	6.77	7.54	6.10	6.32	6.32	7.26
20日	7.97	9.57	7.92	9.57	8.33	5.88	7.51	6.99	6.10	6.32	6.16	6.43
21日	6.71	7.95	7.92	9.29	7.95	5.99	7.26	6.82	5.82	6.65	6.10	6.82
22日	7.37	9.57	8.14	8.47	8.19	6.43	6.64	6.60	5.71	4.29	6.10	6.16
23日	7.59	9.15	8.06	7.97	8.33	6.82	6.65	6.54	5.88	4.40	6.32	6.38
24日	7.56	7.73	7.87	7.70	8.33	7.48	7.26	6.54	5.71	6.77	6.27	7.10
25日	6.87	8.41	7.78	7.65	8.28	8.71	10.11	6.79	5.66	6.60	6.16	7.10
26日	6.88	8.47	7.84	8.47	7.81	10.69	10.90	8.69	5.71	6.71	6.16	0.00
27日	6.49	8.06	7.84	8.41	7.81	8.14	7.89	7.26	6.05	6.54	6.60	0.00
28日	6.10	8.00	8.19	8.06	7.70	7.95	6.99	6.77	5.94	6.66	9.21	0.00
29日	5.99	8.19	8.19	8.61	7.76	7.95	6.43	6.60	5.44	6.60		0.00
30日	6.27	7.95	8.19	8.61	7.59	8.00	6.21	6.49	5.38	7.04		0.00
31日		7.89		8.88	7.59		7.70		5.44	6.60		0.00
合計	204.27	239.89	237.63	271.80	241.02	194.58	235.18	215.87	186.36	189.48	184.92	170.21
最大	8.47	9.57	8.19	11.65	8.74	10.69	11.08	9.15	7.23	7.59	9.21	10.80
最小	0.00	5.98	7.70	6.43	6.71	0.00	4.95	6.49	5.38	4.29	6.10	0.00
平均	6.81	7.74	7.92	8.77	7.77	6.49	7.59	7.20	6.01	6.11	6.60	5.49

表-2.3 文命用水水力発電所の発電量(データロガー集計値、赤字部分はデータ未取得)

(単位:kWh)

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
1日	0.00	48.84	0.24	0.24	0.00	102.17	0.00	122.11	69.25	48.68	105.73	141.12
2日	0.00	53.74	0.24	0.24	0.00	118.57	0.00	117.77	85.98	47.09	105.21	110.69
3日	0.00	42.56	0.24	0.24	0.00	113.78	0.00	114.56	94.38	46.03	101.97	103.26
4日	0.00	10.85	0.24	0.24	0.00	114.62	0.00	139.92	99.18	56.02	115.24	106.02
5日	0.00	6.91	0.24	0.24	0.00	49.78	0.00	139.50	107.51	49.23	115.23	102.88
6日	0.00	0.24	0.24	0.24	0.00	91.39	0.00	132.77	96.90	63.16	116.41	105.11
7日	0.00	0.24	0.24	0.24	0.00	125.37	0.00	129.87	50.44	81.71	116.08	108.24
8日	20.25	0.24	0.24	0.24	0.00	113.94	0.00	119.39	45.73	95.23	118.83	87.37
9日	55.44	0.24	0.24	0.24	0.03	119.74	0.00	118.88	87.09	160.67	114.95	42.16
10日	8.70	0.24	0.24	0.24	0.00	124.53	0.00	112.43	112.30	104.87	83.52	40.82
11日	0.00	0.24	0.24	0.24	0.00	128.43	0.00	116.35	98.96	87.55	92.01	99.88
12日	0.00	0.24	0.24	0.24	10.48	132.11	0.00	92.74	102.29	90.69	90.86	125.86
13日	0.00	0.24	0.50	0.24	39.42	134.61	0.00	72.17	97.47	91.65	93.98	109.85
14日	0.00	0.24	0.14	0.24	28.24	118.09	0.00	72.29	59.56	94.16	73.96	0.08
15日	54.47	0.24	0.00	0.24	46.78	44.14	0.00	106.30	64.33	110.84	0.00	4.62
16日	123.90	2.48	0.00	0.24	67.71	0.24	0.00	104.85	48.80	142.28	0.00	0.00
17日	130.41	2.30	0.00	0.24	73.83	22.34	0.00	94.43	75.22	138.12	73.23	65.04
18日	121.19	0.24	0.00	0.24	76.40	109.33	26.03	96.74	104.61	133.37	100.91	47.83
19日	150.68	0.24	0.00	0.24	75.69	131.86	69.17	89.01	138.97	128.79	92.52	40.20
20日	112.83	0.24	0.00	0.24	60.25	116.46	22.21	90.08	135.43	129.50	91.87	85.10
21日	33.96	0.24	0.10	0.24	46.00	108.37	85.06	87.71	119.52	113.69	85.00	126.60
22日	111.47	0.24	0.24	0.24	42.81	107.14	98.03	81.73	108.44	91.36	85.35	91.70
23日	147.09	0.24	0.24	0.24	24.46	128.69	106.81	70.83	121.83	74.65	71.88	81.40
24日	108.37	0.24	0.24	0.24	14.54	132.72	130.20	67.60	110.58	88.25	113.60	133.10
25日	76.56	0.24	0.24	0.24	13.78	10.76	103.10	92.00	101.45	93.12	148.48	128.80
26日	125.22	0.24	9.58	0.11	21.86	0.00	67.48	109.10	103.22	102.46	147.10	130.50
27日	86.03	0.24	0.34	0.00	48.78	0.00	89.99	90.69	104.74	91.66	147.30	157.50
28日	72.76	0.24	0.24	0.00	76.71	0.00	73.38	91.47	70.89	102.06	129.40	139.50
29日	79.42	0.24	0.24	0.00	101.80	0.00	111.26	84.19	61.89	101.38		133.30
30日	95.39	0.24	0.24	0.00	86.67	0.00	85.24	75.38	47.76	112.93		0.00
31日		0.24		0.00	85.70		79.93		48.35	89.11		0.00
合計	1714.14	173.44	15.22	6.11	1041.94	2499.18	1147.89	3032.86	2773.07	2960.31	2730.62	2648.53
最大	150.68	53.74	9.58	0.24	101.80	134.61	130.20	139.92	138.97	160.67	148.48	157.50
最小	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.60	45.73	46.03	0.00	0.00
平均	57.14	5.59	0.51	0.20	33.61	83.31	37.03	101.10	89.45	95.49	97.52	85.44

## (2)発電効率と起因性

発電効率は、実際の出力を理論出力で除することで算出することができる（発電効率 100%とは水の持つエネルギーがすべて発電に変わることを意味する。下図の 1:1 斜線である）。

ただし、それぞれのデータは個別に収集・集計しているため、実際の出力と理論出力をそれぞれ算定した時間には 0～10 分未満の誤差を含んでいる（データを 10 分おきに集計しているため 10 分未満の誤差は許容している）。

発電を集計した 10 分データをすべてプロットして発電効率を下図より算出した。近似曲線は、プロットデータを最もよく反映している（相関性が高い）グラフとして線形一次式を選択した。線形の傾きは発電効率と読み替えることができるため、全体的な発電効率としては 37%とすることが妥当である。垂直二軸クロスフロー水車等の投げ込み式水車の発電効率は 30～40%程度と言われているが、効率を実証・データ化した情報は少なく、今後農業用水路における小水力発電の検討の際には重要なバックデータと成る。なお、本実証試験の計画時においては 40%を適用している。

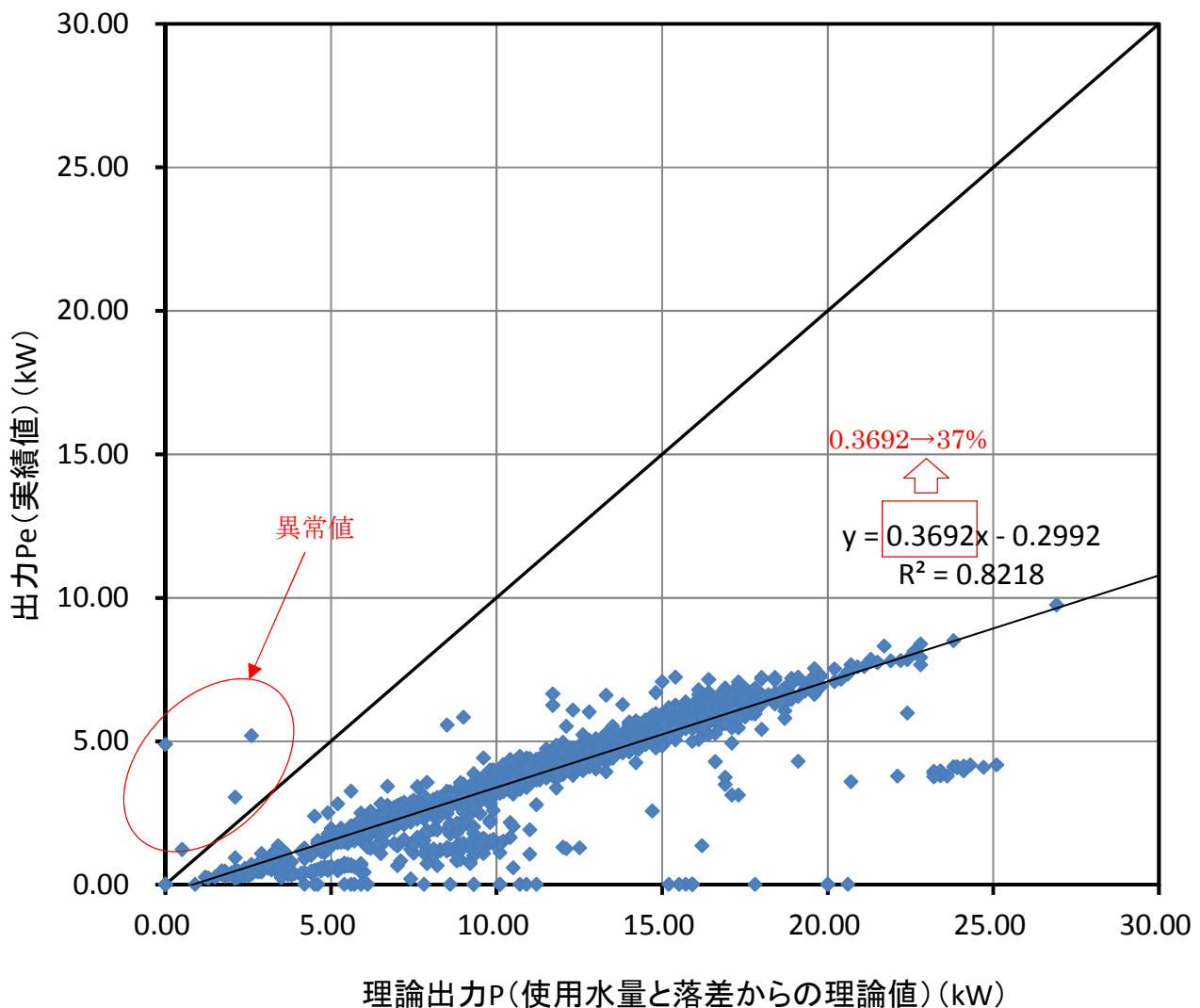


図-2.3 実測出力と理論出力の関係図

出力と理論出力の間にはほぼ線形的な相関関係があることが前出の関係図で明らかになった。

出力は重力加速度に流量と落差を乗じた計算で求められる。次に、発電効率と流量及び落差の関係をそれぞれ同様にプロットグラフで分析した。それぞれのグラフにはプロットデータを最もよく反映している近似曲線（二次曲線）を選択し明記した。

いずれのデータにもバラツキはあるものの、発電効率と使用水量及び落差には相関関係が見られる。近似曲線のカーブをみれば、落差が上昇すると発電効率は上がりやすい性質を持っていることが判る。一方で使用水量は増量すれば発電効率は上がるが、最大使用水量の35%（下図より  $0.45\text{m}^3/\text{s} \div 1.3\text{m}^3/\text{s}$ ）程度まで流量が低下すると発電はほぼしなくなる。このため水路内水位を高い位置で維持することが効率的・効果的な発電に寄与すると考えられる。

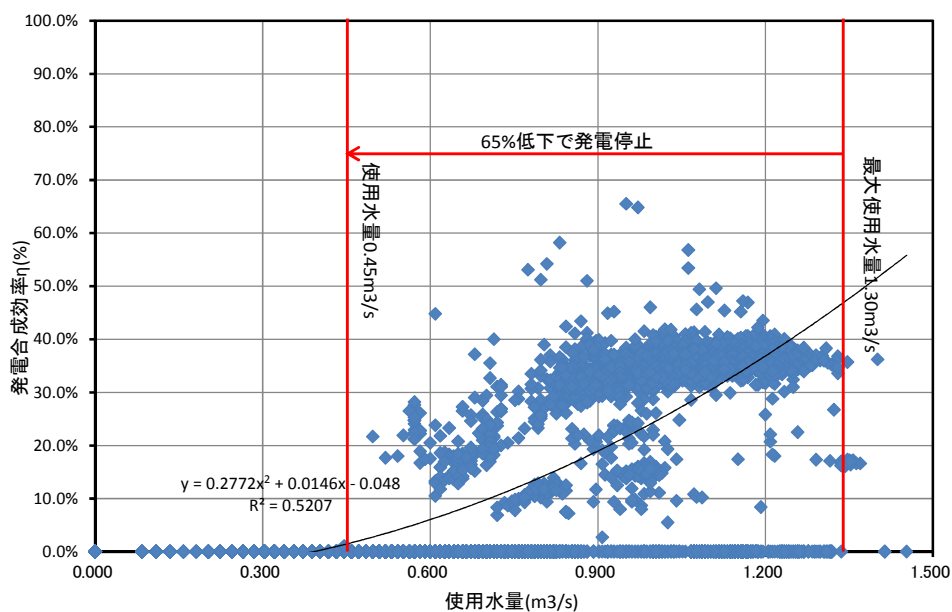


図-2.4 発電効率と使用水量の関係図

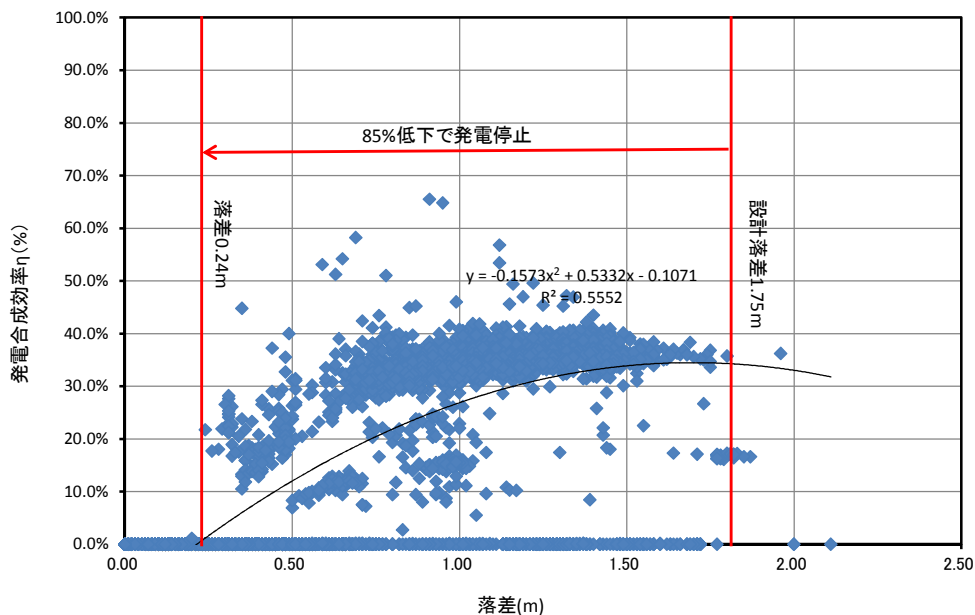


図-2.5 発電効率と落差の関係図



### 2.3.2 ゴミ等の障害物

文命用水路においては、上流の福沢第二発電所の除塵機においてゴミ等を除去されている。モニタリングにおいては以下の定点観測を実施しているが、期間中にゴミ等の浮遊物を確認することはなかった。



図-2.6 ゴミ等の障害物の浮遊状況(モニタリング時定点観測)



## ■ゴミによる発電阻害の事例

文命用水小水力発電所においてはゴミ等の障害物は確認されなかったが、オープン水路で長い距離を有する農業用水路においては、ゴミ等の浮遊物があるのが一般的である。

文命用水小水力発電所と同様に他の水力発電所においては、多量のゴミが流れ込んでおり発電の阻害となっている。その一例を以下に示す。

A発電所においては、流況や気候によりゴミの量は増減するが、水車の上流側にはスクリーンを設置しておりゴミを定期的に除去している。このゴミ除去によりスクリーンより下流側の水位が、ゴミ撤去前に比べ5%程度上昇し、それに伴い発電出力は10～15%程度上昇する。

このようにゴミが多い農業用水路においてはスクリーンの設置とゴミ除去の作業が必要である。さらに取り除いたゴミは産業廃棄物として処分する必要があるため、その費用も維持管理において見込む必要がある。

### < A発電所の事例 >



スクリーン付着状況



除去作業状況



ゴミの撤去状況



集積・計量状態

### 2.3.3 周囲への影響

#### (1)騒音

騒音は以下に示すように発電状況に合わせて計測を実施した。

出力が変わっても騒音レベルはほぼかわらず、距離にのみ反比例（距離減衰）していることが判る。このため騒音においては、元々水の乱れる地点に水力発電設備を設置しているため出力との相関関係が見られないと推測される。

文命用水小水力発電所の場合、水車より上流側は水面が穏やかであり騒音レベルは小さいが、下流側は水の乱れにより大きな騒音レベルとなっている。

表-2.4 騒音計測結果(表中単位:dB)

距離 (m)	① 3.9kW	② 5.8kW	③ 4.9kW	④ 0.0kW
0	75.5	74.8	76.9	75.3
10	60.7	61.2	61.2	60.6
20	56.3	55.4	55.7	55.1
30	52.0	51.6	52.0	51.8
40	49.3	48.5	51.1	49.9
50	48.2	48.2	49.4	48.1
-10	69.5	69.5	69.8	69.5
-20	67.2	67.2	67.0	67.0
-30	61.1	61.3	60.6	60.9

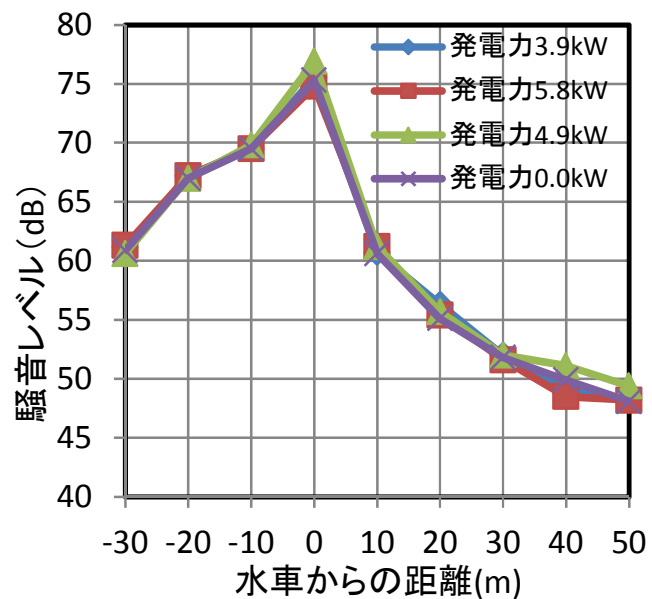


表-2.5 騒音レベルとその目安

レベル	レベルの目安
120dB	・飛行機のエンジンの近く
110dB	・自動車の警笛 (前方 2m)
100dB	・電車が通るときのガード下
90dB	・騒々しい工場の中
80dB	・電車・地下鉄の車内
70dB	・騒々しい街頭
60dB	・普通の会話
50dB	・クーラー (室外機・始動時)
40dB	・市内の深夜
30dB	・ささやき声
20dB	・木の葉のふれあう音

## (2)振動

振動は設備水車・発電機等の回転体、制御盤等から発生するわずかなノイズなど、設備設置により発生することが予想される。観測場所は文命用水路の管理道路及び制御盤設置位置におけるコンクリート構造物の部分とした。以下に観測した結果を示す。

y 方向は水路縦断方向であるが、当該方向には振動は計測されない。一方で水車付近においては x 方向と z 方向にわずかな観測値を得ることと成った。観測範囲からすると z 方向に対する影響が最も大きいと思われるが、いずれの振動レベルにおいても人感じるほどの大きさではなく近隣環境に影響が出るとは考えにくい。なお、-30m 地点は計測地点の地盤がやや弱いため観測されたと推測する。

表-2.6 振動計測結果(表中単位:dB、左から x 方向、y 方向、z 方向)

距離 (m)	①	②	③	④	①	②	③	④	①	②	③	④
	3.9kW	5.8kW	4.9kW	0.0kW	3.9kW	5.8kW	4.9kW	0.0kW	3.9kW	5.8kW	4.9kW	0.0kW
0	26.8	25.8	25.8	-	-	-	-	-	35.2	32.5	32.1	-
10	26.8	25.9	25.9	-	-	-	-	-	30.6	31.4	29.4	-
20	27.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-10	-	-	-	-	-	-	-	-	30.2	27.6	28.8	-
-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.1	-	-
-30	-	-	-	-	-	-	-	-	29.2	28.5	28.8	-

表-2.7 振動レベルとその目安

レベル	レベルの目安
110dB 以上	・山崩れ、地割れ、断層などが発生
110dB	・多くの人は座っていることができない
100dB	・壁に割れ目が入り、墓石や石垣などが破損
90dB	
80dB	・歩行者も振動を体感
70dB	・戸や障子がガタガタと鳴り、電灯などの吊下げ物がかなり揺れる
60dB	・戸や障子がわずかに動くのがわかる
50dB	・静止している人にはわかる
50dB 以下	・人は揺れを感じない





図一2.7 騒音・振動の計測状況(左上:0m、右上:30m、左下:-10m、右下:-30m)



### 2.3.4 発電阻害因子

本実証試験中のモニタリングにおいて、発電阻害となる設備トラブルと運用トラブルは以下のような内容で発生した。詳細については「2.4.3 トラブル発生の原因と対策」において整理している。

発生したトラブルは処置することが当然であるが、今後 20 年間運用していく中で同じトラブルが再発する可能性があるか否か、そしてそれはどれほど運営に影響するか、というリスクとして捕らえる必要がある。

また、その他として初期不良がある。農業用水における小水力発電においては設備コストを安く抑えるため、既存設備を組み合わせるパッケージ化していることが多く、文命用水水力発電所も同様である。これらの場合、現地においてそれぞれの接続は各種設定を実施するが、その不良や設定ミスが初期不良として挙げられる。文命用水小水力発電所においても初期のトラブルは設定ミスによる人為的なものが多く、設備トラブルや運用トラブルと異なる状況もある。重要なことは何を持って正常な発電を実施しているかを判断する事ができるかである。

表-2.8 設備トラブルの内容と対応一覧表

設備トラブル	内容	対応・再発
発電機	越流水が発電機と電力ケーブル保護管との隙間から侵入し内部にサビの発生、地絡現象発生	発電機の取り替え、保護管接続部のパッキン及び取り付け方法の改善、【再発の可能性は低い】
電力ケーブル	同上	同上（人為的ミス）
通信ケーブル	制御盤で正しくデータが表示されてない	接続不良（設定ミス）【再発の可能性は低い】
回転センサー	水車の回転数を計測する回転センサーが故障・破断（通信ケーブルに接触し回転体により切断）	回転センサーの取り替え、周辺ケーブルの設置変更【再発の可能性は低い】

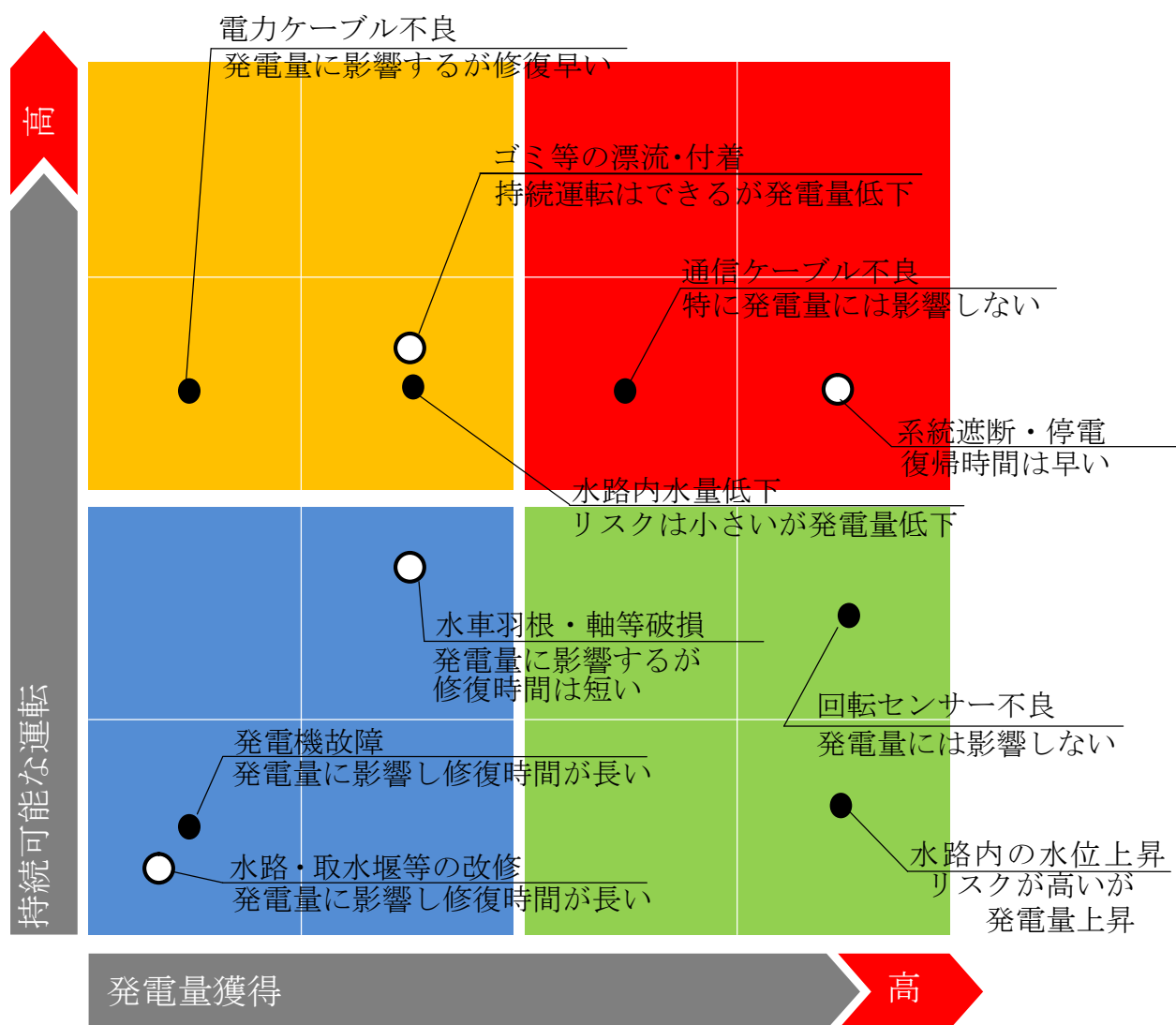
表-2.9 運用トラブルの内容と対応一覧表

運用トラブル	内容	対応・再発
水路内水位上昇	豪雨、水門操作、単発的な流量変動による一時的な上昇	水門管理人との連絡体制の強化、ゲートの自動化の検討（人為的ミス）、監視システムの導入【ゲートの自動化までは再発の可能性アリ】
水路内流量急低下	東京電力の発電所停止、大雪など	自然的事象及び従属元の変動【今後も再発アリ】

水力発電におけるリスクの考え方は様々であるが、基本的には「事業の収益が低下する／採算性が悪化する」ことである。これには持続可能な運転によって発電停止のリスクを回避し、発電量を少しでも多くするということが必要不可欠である。

種々のトラブルは、持続可能な運転と発電量獲得の間に、そのリスクの大きさによって配列される。基本的な概念図を以下に示す。トラブルそのものは当然回避すべき事象ではあるが、分類するならば以下のとおりであり、青いエリアほど深刻な状態であり最も回避すべき事象である。他方、赤いエリアはトラブルの中でも比較的軽度であり事業に影響しにくい範囲である。

次ページ以降の発電状況と対比すると、小水力発電は24時間稼働し続けるため、発電機故障のような持続可能な運転に支障をきたすトラブルは、安定的な発電運営に大きな影響を及ぼすことは明らかである。



【凡例】

- …本実証試験中に発生したトラブル
- …本実証試験中には発生していないが、農業用小水力発電で考えられるトラブル

図-2.8 小水力発電のトラブルとリスクのポートフォリオ



日	4月			5月			6月			7月			8月			9月		
	非かんがい期	かんがい期		かんがい期		かんがい期		かんがい期		かんがい期		かんがい期		かんがい期		かんがい期		
	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)
1	2.39	13.86	-	1.83	6.25	48.84	1.58	5.33	0.24	1.24	4.11	-	1.45	4.89	-	2.27	7.80	102.17
2	2.60	15.67	-	1.92	6.55	53.74	1.50	5.04	0.24	1.33	4.45	-	1.43	4.81	-	2.38	8.18	118.57
3	2.50	14.80	-	1.83	6.22	42.56	1.62	5.50	0.24	1.45	4.99	-	1.48	4.99	-	2.34	8.06	113.78
4	2.41	13.97	-	1.53	5.18	10.85	1.59	5.39	0.24	1.55	5.25	-	1.39	4.65	-	2.36	8.11	114.62
5	2.39	13.88	-	1.41	4.72	6.91	1.70	5.77	0.24	1.78	6.06	-	1.39	4.67	-	1.84	6.25	49.78
6	2.35	13.50	-	1.22	4.05	0.24	1.64	5.56	0.24	1.59	5.37	-	1.35	4.54	-	2.14	7.35	91.39
7	0.05	0.04	-	1.28	4.27	0.24	1.60	5.42	0.24	1.46	4.91	-	1.54	5.21	-	2.42	8.35	125.37
8	0.83	0.44	20.25	1.22	4.05	0.24	1.72	5.84	0.24	1.31	4.38	-	1.60	5.40	-	2.35	8.08	113.94
9	2.01	10.60	55.44	1.53	5.15	0.24	1.72	5.85	0.24	1.68	5.71	-	1.51	5.10	0.03	2.39	8.22	119.74
10	2.23	12.48	8.70	1.49	5.02	0.24	1.65	5.59	0.24	1.77	6.03	-	1.50	5.06	*	2.41	8.32	124.53
11	2.29	13.00	-	1.38	4.63	0.24	1.46	4.90	0.24	1.77	6.04	-	1.51	5.10	*	2.44	8.41	128.43
12	2.43	14.14	-	1.51	5.08	0.24	1.26	4.18	0.24	1.78	6.06	-	1.60	5.40	10.48	2.46	8.48	132.11
13	2.41	14.02	-	1.55	5.24	0.24	1.19	3.95	0.50	1.73	5.86	-	1.99	6.82	39.42	2.48	8.55	134.61
14	2.35	13.49	-	1.55	5.24	0.24	1.40	4.69	0.14	1.54	5.21	-	2.00	6.84	28.24	2.35	8.10	118.09
15	2.34	13.43	54.47	1.51	5.08	0.24	1.39	4.66	-	1.53	5.15	-	2.04	6.99	46.78	* 1.05	3.45	44.14
16	2.34	13.43	123.90	1.53	5.17	2.48	1.35	4.53	-	1.41	4.73	-	2.10	7.19	67.71	* 0.07	1.74	0.24
17	2.39	13.86	130.41	1.65	5.60	0.24	1.55	5.24	-	1.36	4.54	-	2.11	7.22	73.83	* 0.87	2.81	22.34
18	2.34	13.39	121.19	1.57	5.31	0.24	1.54	5.20	-	1.50	5.05	-	2.14	7.34	76.40	2.30	7.90	109.33
19	2.49	14.71	150.68	1.46	4.90	0.24	1.36	4.54	-	1.54	5.20	-	2.13	7.31	75.69	2.45	8.44	131.86
20	2.58	15.44	112.83	1.32	4.42	0.24	1.19	3.93	-	1.58	5.35	-	2.08	7.12	60.25	2.36	8.13	116.46
21	2.71	16.56	33.96	1.57	5.31	0.24	1.26	4.19	-	1.57	5.32	-	1.91	6.51	46.00	2.30	7.90	108.37
22	2.41	13.98	111.47	1.69	5.73	0.24	1.42	4.76	-	1.53	5.16	-	1.89	6.43	42.81	2.29	7.87	107.14
23	2.49	14.71	147.09	1.66	5.63	0.24	1.43	4.80	-	1.41	4.73	-	1.93	6.59	24.46	2.43	8.38	128.69
24	2.56	15.29	108.37	1.53	5.16	0.24	1.38	4.61	-	1.23	4.09	-	1.76	5.99	14.54	2.44	8.42	132.72
25	2.52	14.96	76.56	1.65	5.60	0.24	1.35	4.53	-	1.45	4.88	-	1.76	5.98	13.78	2.21	7.58	10.76
26	2.34	13.44	125.22	1.66	5.61	0.24	1.63	5.51	-	1.65	5.59	-	1.89	6.44	21.86	1.97	6.73	-
27	2.13	11.57	86.03	1.66	5.61	0.24	1.69	5.72	-	1.63	5.51	-	2.09	7.18	48.78	1.39	4.66	-
28	2.02	10.70	72.76	1.54	5.20	0.24	1.25	4.15	-	1.40	4.69	-	2.14	7.34	76.71	1.33	4.47	-
29	2.08	11.14	79.42	1.46	4.91	0.24	1.24	4.12	-	1.46	4.91	-	2.27	7.80	101.80	1.33	4.45	-
30	2.18	11.99	95.39	1.55	5.23	0.24	1.23	4.09	-	1.49	5.01	-	2.18	7.48	86.67	1.38	4.61	-
31				1.60	5.41	0.24				1.49	5.03		2.17	7.44	85.70			
運転状況	<p>降水量が平年の約10%で酒匂川の流量が少なかったことに加え、田植の時期で農業用水の分水水量が多かったことにより、文命用水の放水路に十分な発電使用水量が無かった。</p> <p>8月9日に発電機を再設置し、発電を再開した。併せて、耐水性と稼働率を向上させるため、防水カバーと水位調整板を追加設置した。(*8月10・11日の発電量は丁寧に記録できていないが、発電はしている。)</p> <p>8月9日に発電機を再設置し、発電を再開した。併せて、耐水性と稼働率を向上させるため、防水カバーと水位調整板を追加設置した。(*8月10・11日の発電量は丁寧に記録できていないが、発電はしている。)</p> <p>8月10日に酒匂川から取水する水門を3日間閉鎖した。(9月15日から17日まで) 9月25日にパワコンが地絡を検出し送電を遮断した。対策のため発電機を取り外した。(10月17日まで)</p>																	

日	10月			11月			12月			1月			2月			3月			
	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期	非かんがい期		
	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	平均水位 (m)	平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	電力量 (kWh)	
1	1.37	5.08	-	2.37	13.69	122.11	2.02	10.68	69.25	1.88	9.47	48.68	2.30	13.09	104.70	2.52	14.94	140.30	
2	1.36	4.95	-	2.35	13.52	117.77	2.13	11.61	85.98	1.87	9.32	47.09	2.31	13.11	104.70	2.31	13.19	107.60	
3	1.32	4.65	-	2.32	13.27	114.56	2.19	12.12	94.38	1.86	9.29	46.03	2.28	12.91	101.80	2.28	12.87	101.50	
4	1.37	5.04	-	2.47	14.53	139.92	2.23	12.43	99.18	1.94	9.95	56.02	2.38	13.72	116.60	2.32	13.21	105.40	
5	1.38	5.12	-	2.48	14.57	139.50	2.29	12.99	107.51	1.89	9.53	49.23	2.37	13.67	114.10	2.30	13.07	101.10	
6	1.29	4.42	-	2.44	14.25	132.77	2.21	12.30	96.90	1.99	10.40	63.16	2.39	13.86	115.90	2.30	13.03	103.00	
7	1.23	3.89	-	2.42	14.12	129.87	1.87	9.37	50.44	2.14	11.69	81.71	2.38	13.76	116.10	2.19	12.15	102.90	
8	1.22	3.81	-	2.36	13.54	119.39	1.84	9.10	45.73	2.23	12.44	95.23	2.44	14.30	119.50	*	2.16	83.10	
9	1.29	4.42	-	2.35	13.51	118.88	2.14	11.64	87.09	2.70	16.48	160.67	2.37	13.62	108.90	*	1.72	38.00	
10	1.32	4.68	-	2.31	13.14	112.43	2.31	13.16	112.30	2.29	12.94	104.87	2.15	11.81	79.10	2.15	11.81	79.10	
11	1.28	4.30	-	2.33	13.36	116.35	2.23	12.48	98.96	2.18	12.00	87.55	2.21	12.31	87.70	2.26	12.75	98.00	
12	1.27	4.18	-	2.05	12.08	92.74	2.28	12.86	102.29	2.20	12.20	90.69	2.21	12.29	87.30	2.44	14.28	120.70	
13	1.23	3.86	-	2.05	10.93	72.17	2.22	12.41	97.47	2.20	12.16	91.65	2.23	12.47	90.10	2.21	12.25	101.40	
14	1.33	4.71	-	2.06	10.96	72.29	1.95	10.05	59.56	2.22	12.38	94.16	*	2.17	11.97	69.30	*	0.30	0.10
15	1.56	6.66	-	2.28	12.86	106.30	1.98	10.27	64.33	2.23	12.50	110.84	*	2.03	10.76	-	*	1.30	4.47
16	0.76	3.80	-	2.55	15.25	104.85	1.86	9.27	48.80	2.54	15.09	142.28	*	1.94	9.99	-	*	0.84	0.48
17	1.25	4.08	-	2.16	11.87	94.43	2.04	10.87	75.22	2.51	14.85	138.12	*	2.15	11.79	69.90	*	1.81	8.87
18	1.24	3.91	26.03	2.18	12.01	96.74	2.28	12.86	104.61	2.48	14.61	126.80	2.28	12.93	95.50	2.28	12.93	95.50	
19	1.97	10.22	69.17	2.13	11.62	89.01	2.50	14.77	138.97	2.48	14.35	123.70	2.22	12.36	91.10	2.22	12.41	87.80	
20	1.58	6.86	22.21	2.15	11.77	90.08	2.48	14.64	135.43	2.45	14.36	124.40	2.22	12.41	87.80	2.22	12.41	87.80	
21	2.07	11.05	85.06	2.14	11.68	87.71	2.38	13.76	119.52	2.35	13.48	108.90	2.17	11.98	81.30	2.17	11.98	81.30	
22	2.23	12.44	98.03	2.10	11.35	81.73	2.31	13.17	108.44	2.22	12.40	86.30	2.17	11.96	81.90	2.20	12.18	81.90	
23	2.28	12.85	106.81	2.03	10.75	70.83	2.40	13.88	121.83	2.06	11.01	71.70	2.08	11.13	68.20	2.22	12.41	92.00	
24	2.42	14.11	130.20	2.00	10.49	67.60	2.32	13.27	110.58	2.16	11.88	85.60	2.37	13.69	112.50	2.47	14.48	127.20	
25	2.20	12.21	103.10	2.22	12.40	92.00	2.26	12.75	101.45	2.21	12.30	89.20	2.61	15.71	142.50	2.44	14.25	124.20	
26	1.95	10.02	67.48	2.54	15.12	109.10	2.28	12.88	103.22	2.28	12.86	98.70	2.60	15.65	147.10				
27	2.10	11.35	89.99	2.17	11.91	90.69	2.30	13.09	104.74	2.20	12.24	87.40	2.60	15.65	146.80				
28	2.16	11.87	73.38	2.17	11.92	91.47	2.00	10.50	70.89	2.28	12.85	98.10	2.45	14.33	129.50				
29	2.32	13.25	111.26	2.12	11.48	84.19	1.98	10.34	61.89	2.28	12.88	97.80							
30	2.15	11.73	85.24	2.06	11.01	75.38	1.87	9.37	47.76	2.35	13.47	105.20							
31	2.14	11.70	79.93	-	-2.70	-	1.88	9.45	48.35	2.18	12.02	85.90							
運転状況	端子ボックスに防水対策を施して、10月18日に発電機を再設置し、発電を再開した。			10月下旬から11月上旬にかけて上流側へのバックウォータースタターの影響が確認された。			バックウォータースタターの影響を抑えるため、11月19日から水車上流側の水位を低く設定し運転した。			東京電力が所有する水力発電所の保守点検により、用水の流量変動が大きかった。(1月8日から1月24日まで)			*大雪に伴う停電の影響で4日間運転を停止した。(2月14日から17日まで)			*東京電力が水路内に堆積した砂の排出作業を行ったため断続的に運転を停止した。(3月8日から3月20日まで)			

## ■参考 自然的事象に伴う従属元の変動事例

文命用水はこれまで断水がほとんどなく安定した取水・放流を行ってきた。文命用水小水力発電所の計画においてもこの状況を鑑みて選定したものであるが、以下のように自然的事象により従属元が取水をできないために発電計画に影響することもある。

2010年9月8日に本州に上陸した台風第9号は、山北町や静岡県小山町を中心に記録的な豪雨をもたらした。酒匂川支流の須川や野沢川では、土砂崩落等が頻発し、大量の土砂が酒匂川に流入した。約3ヶ月を経過して酒匂川の濁水はかなり改善しましたが、2011年3月時点でも降雨時には、濁度が急激に上昇する状況が続いている。

この濁水化により水路内堆砂により断面が閉塞し、用水不足が発生する可能性がある。

文命用水の上流の東京電力内山発電所水路には沈砂池が2箇所設置されており、下流の発電所（内山、福沢第一、福沢第二）の水車内への土砂流入を防いでいる。しかし、2010年12月16日の断水時に調査したところ、福沢第一発電所水槽や文命隧道に大量の砂が堆積していた。これは、スコリアが多孔質鉱滓状で見かけの比重が小さい火山砕屑物であるため、一部が沈砂池を通過し下流まで流され堆積したと考えられます。

このため、これ以降、文命用水ではしばしば取水を停止し土砂の取り除くなどを実施しているため、水路内水位が低下し発電へ影響していることが度々発生している。



参考図 文命用水における堆砂状況(左:福沢第一発電所、右:文命隧道)

### 2.3.5 利水者への影響

文命用水小水力発電所は灌漑・発電用水路における完全従属発電所である。流況に合わせて適宜ゲート操作を行い放流量と水位を調整している。文命用水小水力発電所においては、p. 59 のように複数のゲートを操作してそれぞれの使用水量、水位を調整しており非常に複雑になっている。

農業用水に対して従属する小水力発電においては、取水量、流下流量、水位のほぼすべては灌漑側の運用にゆだねられる。このためいつも発電側の好都合な条件下で発電出来ることはなく、また発電側の好都合な条件によって、既存の利水者へ影響を及ぼすこともある。

文命用水小水力発電所においては灌漑利水者と東京電力福沢第二発電所に対しての影響が懸念され、それらはすべて下記のとおり水路内水位によるところである。なお文命用水小水力発電所においては、福沢第二発電所がコントロールポイントになっているため、同発電よりも上流側の利水者へ直接的に影響を及ぼすことは考えにくい。

このような影響については垂直二軸クロスフロー水車の特徴であり、堰き止め効果を利用するためバックウォーターとの関連性が大きい。文命用水小水力発電所の場合、事前に東京電力福沢第二発電所と灌漑ゲートを確認して計画水位を設定しているが、それでも時々刻々と変化する水量に水位は機敏に反応し上流側に影響をきたす。このため垂直二軸クロスフロー水車のような堰上げ効果がある水車に対しては、上流側に分水ゲート等がない水路区間など場所を限定しなければならぬ。

表-2.10 利水者への影響と今後の課題

	灌漑利水者	東京電力福沢第二発電所
文命水力発電所による影響	水位が従前よりも上昇しているためゲート開度に注意する必要がある。 ゲート操作の際には文命水力発電所の制水門との調整・作業順序を確認する必要がある。	水位が上昇しすぎる際には、福沢第二発電所の放水水位が上昇し、フランシス水車のため発電量に影響する。
今後の課題	文命用水小水力発電所の制水門の調整により水位変動による適切なゲート操作が望まれる。	同左。

## 2.4 運転実績の評価と対策

### 2.4.1 運転状況

文命用水小水力発電所は2013年3月3日に現場設置が完了し、同月19日より東京電力へ売電を開始した。売電の記録は制御盤の中に設置したデータロガー（事業者側）と検針メーター（電力会社側）があり、実績は検針メーターで算定される。データロガーは補助的な役目であるが、いつでもどれぐらいの発電をしていたのか、という時系列データを収集・集計することができるメリットがある。

データロガーと検針メーターの値には差異が見られるが集計日、積算日数が異なる他に以下の点が起因する。

- ①通信ケーブルの異常時にデータロガーへの蓄積ができていないが、実績売電を実施している。
- ②地絡等により実績売電は停止しているが、データロガーは瞬時出力を積算している。

表-2.11(1) 運転実績(表中単位:kWh、2013年:データロガー)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
月合計	0	0	340	1,714	173	15	6	1,042	2,499	1,148	3,033	2,773	12,744
日最大	0	0	126	151	54	10	0	102	135	130	140	139	
日最少	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	46	
日平均	0	0	11	57	6	1	0	34	83	37	101	89	

表-2.11(2) 運転実績(表中単位:kWh、2013年:検針メーター)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
月合計	0	0	0	3,654	733	0	7	588	2,792	548	3,046	2,453	13,821

表-2.11(3) 運転実績(表中単位:kWh、2014年:データロガー)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
月合計	2,960	2,732	2,649	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,691
日最大	161	148	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
日最少	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
日平均	95	98	85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表-2.11(4) 運転実績(表中単位:kWh、2014年:検針メーター)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
月合計	2,915												2,915

※1 データロガーは毎月1日から月末日で集計しているが、検針は月によって異なるためデータ上一致しない。

※2 データロガーのデータは2014年3月29日までのデータを集計している。

文命用水小水力発電所の計画上の年間発電量は、「1.3.5 計画諸元と年間発電量」より 35,000kWh である。実績発電量は前ページの通りであり、これを計画とどれほど違いが発生したかを下図に示す。

2013年4月は計画値を大きく上回ったが設備トラブルにより5月より低迷し、8月下旬に復旧したが10月に再びトラブルが発生したことで計画値を下回っている。11月以降は安定的に発電ができており、概ね各月計画値を前後する程度の実績発電量を得られている。2013年12月の発電量が少ないのは、水路内水位の管理を試験的に低下したためであり、トラブル等の影響ではない。

発電量は、4月に大きな計画を確認した後、地絡検出により停止状況が続いた。また10月も同様である。一方安定的に発電を実施した月については計画値と同等か、計画以上の発電量を得ることができている月もある。

流量の増減などはあるものの、「2.3.1 使用水量と発電量」で示したように発電効率が37%程度であり計画時に想定した発電効率40%に近いため、トラブルがなければ発電量はほぼ計画どおりに推移すると推測される。

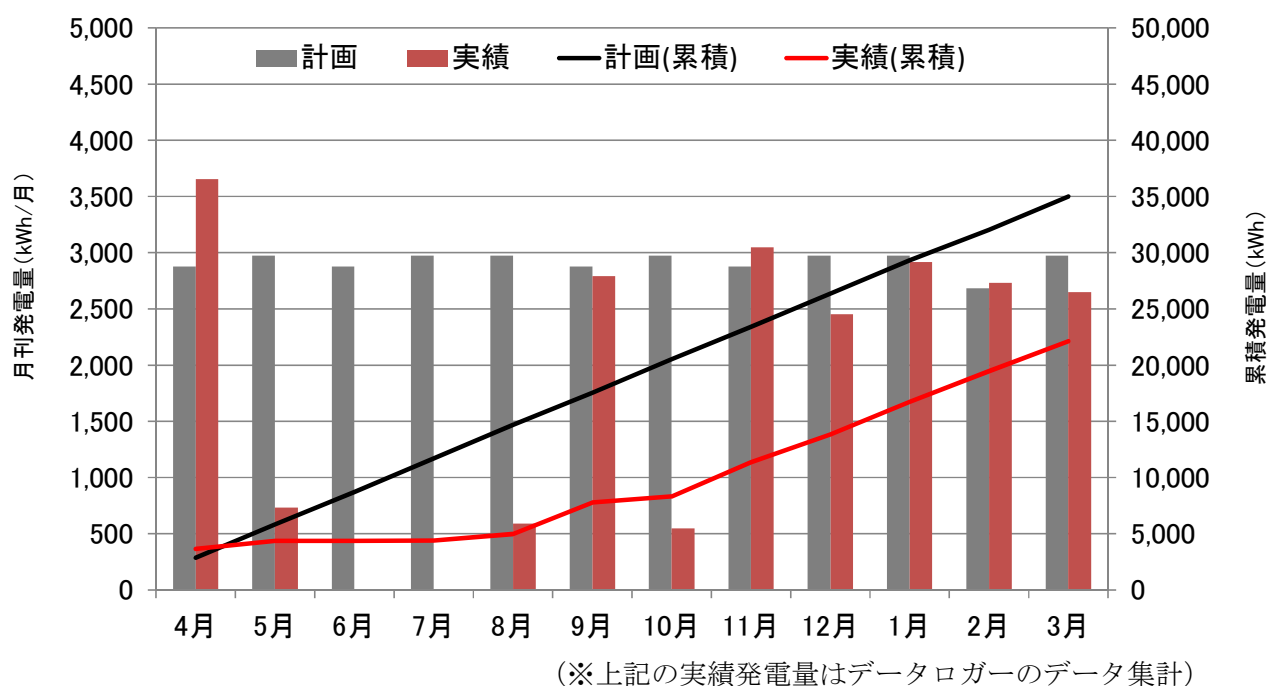


図-2.9 月別・累積発電量

## 2.4.2 設備点検・消耗品の状況

### (1)設備点検・消耗品の概要

水車発電設備の点検は、電気事業法に基づく監視体制と相まって検討する必要がある。文命用水小水力発電所は、「随時巡回方式」で計画しており、常時はデータ、アラートによる遠方監視とWebカメラによる設備外形の確認を行っている（※Webカメラは本事業で整備したものではない）。通常の管理としては以下のような点検作業があり、本モニタリングにおいては巡視と定期点検に主眼をおく。

表-2.12 点検作業と内容

点検名称	実施者	科目	細目
通常管理	ユーザー	・ 常時監視	モニタリングシステムによる設備稼働状態の把握、アラートによる設備確認
設備外形の維持管理	ユーザー	・ 通常点検	2回/月程度 点検項目：流木、枯葉等の障害物、漏水、堆積、その他
		・ 随時点検	出水、地震時等の異常気象時の直後
通常巡視点検 (月1回程度)	ユーザー	・ 水車及び発電機	○音響・回転・過熱・異臭・給油状況 ○発電機の回転状況（異音、発熱、電圧、電流、発電量の状態）
		・ 制御装置、保護装置および主回路盤	○裏面配線の塵埃汚損・損傷・過熱・緩み・断線の有無 ○計器・表示札・表示灯の異常 ○操作・切換スイッチの異常
定期点検 (年1回程度)	メーカー又はメンテナンス会社	・ 水車および発電機	○各部の汚損・緩み・損傷・動力伝達装置、通風部の異常有無
		・ 制御装置、保護装置および主回路盤	○各部の損傷・過熱・緩み・断線・接続脱落・端子配線符号脱落の有無
		・ 測定、試験	○発電機・主回路盤、制御装置、保護装置および主回路盤の絶縁抵抗測定 ○運転・停止シーケンス試験 ○保護継電器試験 ○計器較正
細密点検 (5年に1回程度)	メーカー又はメンテナンス会社		定期点検5年に1回程度のオーバーホール

■：モニタリングで実施項目

※一般的な水車・発電機の項目であり本事業においては部分的に異なる。



## (2)通常巡視点検

通常巡視点検は、モニタリング調査時に毎回実施した。点検には定点として設備状況の写真を整理し、特に問題が無いことを確認した。消耗品は水車軸に対するグリースでありメーカー推奨では3ヶ月に1回の取り替えであるが、運転実績では6ヶ月であってもグリースケース内に残量を確認しており6ヶ月仕様でも問題ない（仕様は製品によって決められている）。



設備全景・越流部のゴミ等の付着確認



制御設備の表示確認



制御設備内の結露・ほこり等の確認



水密部の確認

図-2.10 通常巡視点検における設備状態確認状況

### (3)定期点検

定期点検は稼働から1年が経過した2014年3月18日に実施した。点検は水車メーカーに依頼し、外部点検、摩耗状況、消耗品の交換等を中心に実施した。事前に水車メーカーからは点検項目表を提示され、同資料を基本として点検作業を行った。点検結果は次ページに示すとおりであり、文命用水小水力発電所は健全な状態を維持している。

消耗品については、当初はグリス交換のみを想定していたが、水車の回転数が上がりにくい状態が続いているため、ブッシュ（軸受け消耗品）の交換も実施した。

ブッシュはかなり摩耗・変形しており、水車軸が水圧により押されて損耗・変形したと考えられる。

2013年11月頃では、水車の回転数が50回転で4.2～4.4kWぐらいだった発電が、ブッシュを取り替えてからは、同じ50回転程度で5.3～5.5kW程度まで向上した。これはブッシュが摩耗・変形したことにより水車軸とブッシュの間に隙間が生じ、水車軸の回転力が调速機・発電機へ上手く伝わらなくなったためと考えられる。

この定期点検の結果から、消耗品としてはグリスとブッシュとして今後半年に1回程度取り替えることが望ましいと思われる。

ブッシュの摩耗に対しては推定値に近い状況ではあるものの、無負荷運転が続くと水車の回転速度が上昇しブッシュの摩耗速度を速めるものと推測される。ブッシュの摩耗は、維持管理費にも影響するため、今後水車メーカーによる備品の改良が期待される場所である。

垂直二軸クロスフロー水車の軸受けは水中にあるため、流砂の影響を受けやすく、ブッシュ交換時には泥土に近い細砂が確認された。水車軸にはブッシュと軸の間に細砂が入ることによってブッシュの摩耗と共に水車軸にわずかな傷が確認された。現時点においてこの傷は全く問題ない程度であるが、今後経年稼働により進行性があるかを確認する必要がある。

■水車メーカーの定期点検報告書(機械整備編)

○12ヶ月点検記録(機械整備編)

実施日：平成26年3月19日

実施者：シーベルインターナショナル(株) 高橋 敏朗

実施内容：下記表のとおり

項目	確認項目	結果		備考	
		(良)	否		
水車	躯体	外観の状況	(良)	否	塗装剥げている部分の再塗装
		各所ボルトの緩み	(良)	否	増し締め後のマーキング
	軸、羽根	錆の状況	(良)	否	きれん後に防錆塗装
		歪みの有・無	(良)	否	目視による
		摩耗度の状況	(良)	否	ノギスによる計測
		回転の状況	(良)	否	羽根を個々に回して重さをチェック
		溶接の状況	(良)	否	打診及び目視によるチェック
	軸受	損耗度の状況	(良)	否	ブッシュ交換
		グリスの状況	(良)	否	グリス給油器交換及び補充
	発電機	モーター	塗装の状態	(良)	否
各所ボルトの緩み			(良)	否	増し締め後のマーキング
防水の状態			(良)	否	端子ボックス内の浸水チェック
絶縁の状況			(良)	否	メガーによる計測
ギヤ		回転状況	(良)	否	グリス補充
昇降機	チェーンの状態	(良)	否	目視によるチェック	
	滑車の状況	(良)	否	グリス補充	
集水板	外観の状況	(良)	否	塗装剥げ部分の再塗装、清掃	
	各所ボルトの緩み	(良)	否	増し締め後のマーキング	
	溶接の状況	(良)	否	打診及び目視によるチェック	
作業台	外観の状況	(良)	否	塗装剥げ部分の再塗装、清掃	
	各所ボルトの緩み	(良)	否	増し締め後のマーキング	
	溶接の状況	(良)	否	打診及び目視によるチェック	
負荷	水ヒーターの状況	(良)	否	目視によるチェック	
	固定状態	(良)	否	目視によるチェック	
	結線の状況	(良)	否	メガーによる計測	

上記記録表の通り良好で問題はないと思われます。

ブッシュの摩耗については、添付写真にしめすように1号(右側)の最大摩耗量は1.95mm(10-8.05=1.95)、2号(左側)の最大摩耗量は3.09mm(10-6.91=3.09)であった。

また、メーカーの推定摩耗量計算式から摩耗量を推定した場合1.45mmとなる。このことから、1号(右側)はメーカー推定摩耗量に近く、2号(左側)は大きく差がでた理由としては、無負荷運転が右側より多く発生したためと推定できる。

今回の文命水路におけるブッシュの交換時期は以上の結果より、半年ごとの交換で問題ないと判断します。

## ■ブッシュの推定摩耗量

ブッシュの推定摩耗量は、オイルレスベアリングメーカーの技術資料を参考に以下のように算定した。

$$\text{推定摩耗量(mm)}: W = K \times P \times V \times T$$

比摩耗量 K : mm/(N/mm<sup>2</sup>·m/s·Hr) {mm/(kgf/cm<sup>2</sup>·m/min·Hr)}

設計面圧 P : N/mm<sup>2</sup> {kgf/cm<sup>2</sup>}

すべり速度 V : m/s {m/min}

摩擦時間 T : Hr

潤滑条件による比摩耗量の目安

潤滑条件	mm/(N/mm <sup>2</sup> ·m/s·Hr)	mm/(kgf/cm <sup>2</sup> ·m/min·Hr)
無潤滑	3×10 <sup>-3</sup> ~6×10 <sup>-4</sup>	1~5×10 <sup>-8</sup>
定期潤滑	3×10 <sup>-4</sup> ~6×10 <sup>-5</sup>	1~5×10 <sup>-7</sup>
油潤滑	3×10 <sup>-5</sup> ~6×10 <sup>-6</sup>	1~5×10 <sup>-8</sup>

※メーカー技術資料より(オイルレス工業株)

ここで K = 0.003 とする。(油潤滑の最大摩耗量の3×10<sup>-3</sup>を採用)

面圧を計算するにあたり掛かる力Fは、下図よりランナ(幅107mm)24枚に作用するものとする。

$F = 1.302 \times 0.70 \times (0.107 \times 24) = 2.274 \text{ t}$  の荷重をうけることから

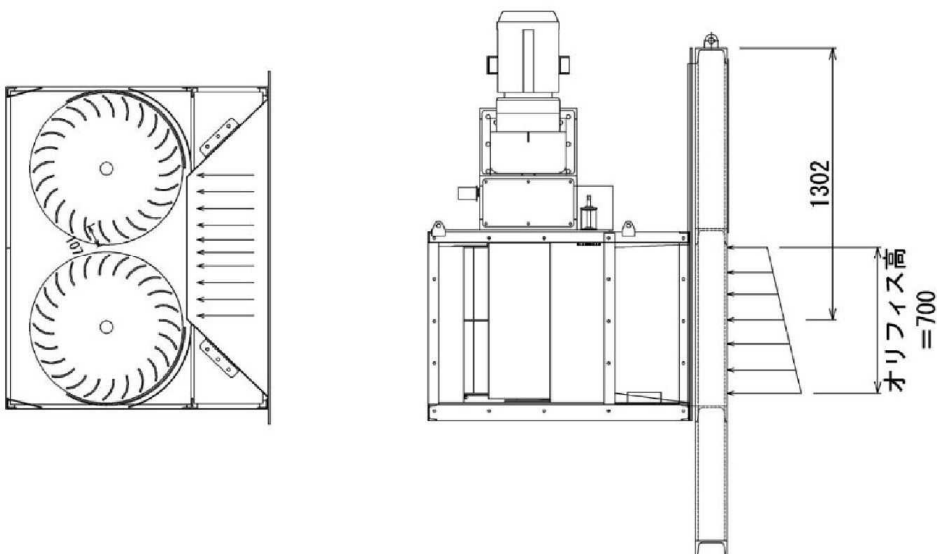
$$P = F / \phi d \cdot L \\ = 2.274 \times 9.8 / (60 \times 40) = 0.009 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$V = \pi \cdot \phi d \cdot n / 10^3 = \pi \times 60 \times 66 / 10^3 = 12.44 \text{ [m/s]}$$

$$T = 4320 \text{ Hr (半年間の時間換算)}$$

$$W = K \times P \times V \times T \\ = 0.003 \times 0.009 \times 12.44 \times 4320 = 1.45 \text{ [mm]}$$

ここで  $\phi d$  : ブッシュ内径 [mm]  
L : 高さ [mm]  
n : 水車回転数 [rpm]



■水車メーカーの定期点検報告書(電気整備編)

○12ヶ月点検記録(電気整備編)

実施日：平成26年3月19日

実施者：シーベルインターナショナル(株) 中村 久

実施内容：下記表のとおり

項目	確認項目	結果		備考
盤 全 般	据付及び扉の開閉状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
	結線の確認	(良)	否	目視、触診によるチェック
	各ボルトの緩み	(良)	否	増し締め後のマーキング
	外観の状況	(良)	否	塗装剥げ部分の再塗装、清掃
	雨水の侵入や結露の状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
盤 外 側	外観の状況	(良)	否	塗装剥げ部分の再塗装、清掃
	表示窓の状況	(良)	否	清掃
	配線の状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
	配管の状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
盤 内 側	計器類の異常の有・無	(良)	否	清掃
	絶縁物の破損・変形の有・無	(良)	否	目視、触診によるチェック
	端子部の変色の有・無	(良)	否	目視、触診によるチェック
	端子接続部の締め付け状態	(良)	否	増し締め後のマーキング
	盤内部の塵埃	(良)	否	清掃
	盤内部の結露の有・無	(良)	否	清掃
	母線の変色、変形、発錆の状況	(良)	否	目視、触診によるチェック
主回路の絶縁抵抗測定	(良)	否	5MΩ以上	
制 御 回 路	制御開閉器、補助継電器類の状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
	盤間接続端子の照合	(良)	否	目視、触診によるチェック
	端子台の破損、汚損の状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
	配線の損傷、断線、結束の状態	(良)	否	目視、触診によるチェック
パワコン	表示灯の異常の有・無	(良)	否	目視、触診によるチェック

上記記録表の通り良好であるが、パワーコンディショナ(PCS)とその架台について、気がついた事を報告致します。

パワーコンディショナ(PCS)内に小さい蚊の死骸が多くみられた、同時に土埃が入り込んでおりましたが、換気のルートフィルターは破れ又は穴などは無く、正常に機能していました。

虫の浸入については、扉のパッキンを含め対策を考えたいと思います。

発電量のタッチパネルの表示について、表示数値の信憑性は発電電圧・電流から計算して相当だと判断しました。

制御盤内部の点検から、熱の発生による変色変形は見られず、各機器は正常に機能していると思います、端子部分はネジの緩みも無く増し締めの必要はないほどでした。

主回路の絶縁抵抗確認では、製造時の値と同じ結果となりました。





軸受け撤去状態

泥土に近い細砂が付着していた。



軸受けからブッシュを取り除いた状態

同心円状のブッシュは水車軸により大きく変状していた。



水車軸の状態

水車軸は細砂の影響により細かい傷が確認された(現時点においては問題ない)。



### グリスの交換

既存の缶形状から、内部の残量が見える形状へ変更した。  
(水車メーカーの推奨取り替え時期よりも長持ちすることが確認されたため)



### 発電機軸の錆取り作業状態

軸の回転体に部分的錆が見られたため錆取り作業と錆止め塗装を実施した。



### 水車羽根の状態

水車の羽根及び溶接部には付着物や変形、摩耗、破損などは生じておらず、健全な状態であった。



## 2.4.3 トラブル発生の原因と対策

### (1)発生トラブルの概要

当該モニタリングの期間においては種々のトラブルが発生した。それぞれの事象に対しては適宜対応を実施したが、このトラブルが原因で「2.4.1 運転状況」で整理したとおり、発電量に大きく影響した。

以下にトラブルの概要を示すと共にそれによる状況を次項で示す。

表－2.13 実証試験で発生したトラブルの原因と対策

日付	発生したトラブル	原因	対策
平成 25 年 3 月下旬 から 4 月下旬	水車回転数、発電機出力などの運転状況データに通信エラーが発生し、データが制御盤メモリに蓄積されていなかった。	ケーブル内への水の侵入、集水板を越流した水が流れ落ちる際に生じる通信ケーブルの振動により、通信エラーが発生したと推定される【施工不良】。	通信ケーブルの取り出し口を増速機の上流側から越流水がかからない下流側に移設した。
6 月 25 日	水車発電機は可動していたが、パワーコンディショナが送電を遮断していた。 パワーコンディショナの運転状況を確認したところ、「地絡検出」のエラーが出ていた。	2 台の発電機は、水が浸入し内部に発生した錆の影響により絶縁が徐々に失われ、4 月下旬頃から断続的に地絡が発生する状態になったと推定される。 4 月 6 日夜の大雨洪水警報発令時に発電機内部に水が浸入したことが考えられる。 横浜地方気象台が 4 月 8 日に発表した気象情報によると、50 ミリ前後の 1 時間降水量を観測し、4 月 6 日 6 時から 4 月 7 日 13 時までの 31 時間積算降雨量は、100mm から 150mm と解析されている。発電機内部に侵入した水は、この豪雨によるものか、水位が上昇し集水板を越流した水によるものかは不明である【運用トラブル・設備トラブル】。	発電機は屋外設置仕様であるが、滝の様に水をかぶると内部に水が浸入し電気的なトラブルが発生することが明らかになった。 対策として、発電機本体を鉄板製の防水カバーで覆った。 8 月 9 日に、新しく調達した発電機を再設置し、発電を再開した。
9 月 25 日	パワーコンディショナが 1 号発電機（下流に向かって右側）の地絡を検出し、送電を遮断した。 9 月 26 日に 1 号発電機を取り外したところ、内部に水がたまっていた。	振動により発電機端子ボックスのネジが緩み、電力ケーブルをつたって雨水が侵入し、地絡が発生したと推定される【設備トラブル】。	対策として、端子ボックスのネジのゆるみ止め対策と、防水パッキンを強化した。 10 月 18 日に、新しく調達した 1 号発電機を再設置し、発電を再開した。
10 月 18 日	水車回転数のデータが採れず、計測不能になる。 増速機内部を確認したところ、回転計のケーブルが断裂していた。	農業用水は、流量・水位が大きく変動する特徴を有しており、上流側の水位が変動する際、水車発電機が大きく振動することがある。 水位に伴う水車発電機の大きな振動によって、回転計のケーブルが断裂したものと推定される【施工不良】。	対策として、回転計の型式、取付け位置、取付け方法を再設計した。 10 月 31 日に、新設計の回転計を取付け、水車回転数の計測を再開した。

## (2)トラブルの原因

農業用水路に小水力発電設備を設置すると水位上昇などにより、従前よりも水位管理が求められる。文命用水路においても2013年4月以降に7回の水位上昇が確認され、うち2回（4月、9月）で発電設備のトラブルを招く原因と成った。

農業用水路においては上流から流れてくる水を、①水車に呑み込ませる、②無効放流として速やかに下流へ流す、という2種に分けて対応しなければならず、従属発電において最も難しい部分である。特に、文命用水小水力発電所の垂直二軸クロスフロー水車のように、水車や発電機の上部を越流させる構造においては発電機や调速機は耐水性に優れていなければならず、また配線・配管においても防水加工や排水加工が必要である。設備や製品の信頼性を確認した上で水処理対策を検討する必要がある、本実証試験中においては発電機の耐水性機能が明暗を分けたと思われる（メーカーより越流することが可能な製品として説明を受け導入決定したが、製品自体の耐水性機能は想像以上に低く、納品された製品そのままでは越流には耐えられないことが判った）。

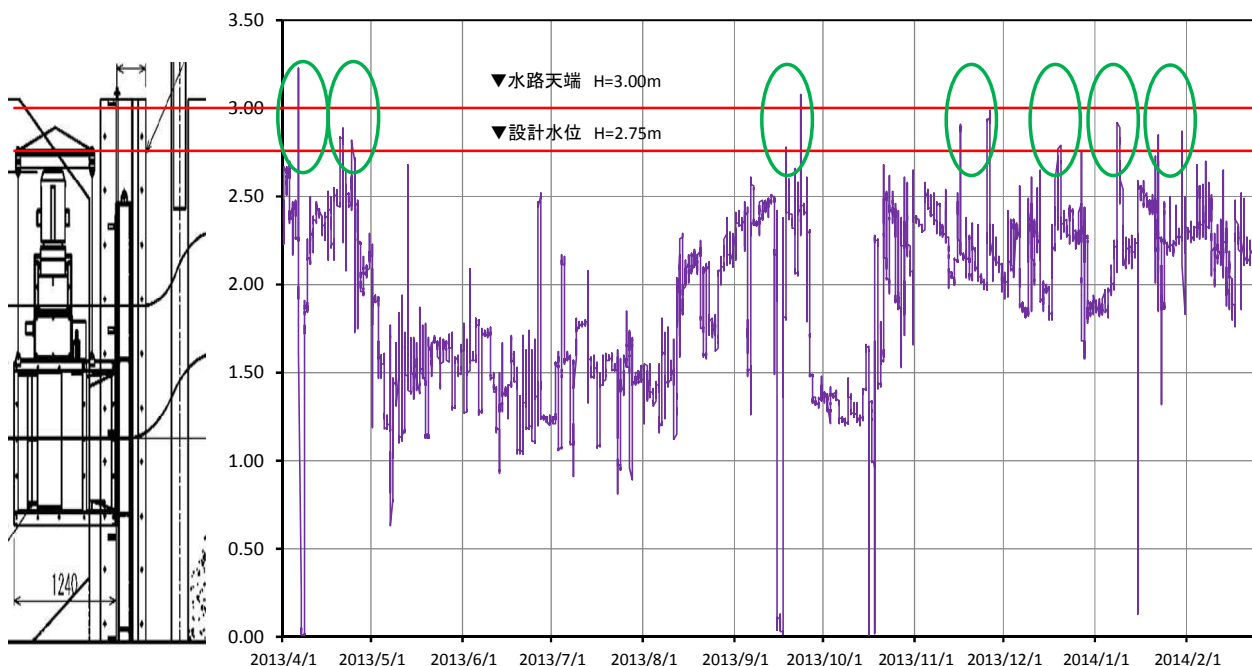


図-2.11 水車越流状況



図-2.12 施工不良の配管差込部

### (3)トラブルによる影響

運用トラブルにより水路内水位が上昇し越流した水が、発電機に当たり発電機の内部に水が浸入した。発電機は屋外で稼働できる「屋外式」であったが「耐水式」ではないため、雨程度の水には対応出来るものの、越流した水が当たると内部にサビを発生させる事態と成った。



図-2.13 2013/4/9の水位上昇により発生した発電機内部のサビ状況

同様に、2013年9月25日に発生した地絡は、水位上昇により越流した水が発電機に当たり、発電機と制御盤をつなぐ配線・配管接続部から水が浸入した。接続部分を開けると内部に水が溜まっている状態であり、絶縁抵抗はほぼ機能していない状態であった。

いずれにおいても越流による水被りの影響であり、メーカーから当初説明を受けた際には「多少の越流水であれば問題ない」という状態は、実態としては回避しなければならない状況にある。今後の発電計画等においても、同様の検討を行う際には越流対策設備（後述「2.4.4 設備改良」で説明）を設けるか、越流しない設計計画をたてなければならない（ただし、流量変動が激しい農業用水の従属発電においては、越流しない状況を確立することは流量が安定しているなどの限られた地点のみに適用されると推測する）。



図-2.14 2013/9/25の水位上昇により発生した発電機内部への入水状況



## 2.4.4 設備改良

### (1)越流対策

前述のとおり、農業用水に付属して発電を実施する場合は流量変動により急激な水位上昇や突発的な波浪が発生する事が、本実証試験によって明らかとなった。メーカーからの製品説明では越流に耐える構造として認識していたが、実証試験においてそのまま稼働することはさらなる設備トラブルの要因となると判断し、流量変動が起こる文命用水小水力発電所においては発電機カバーを取り付けることが不可欠と判断した。

発電機カバーは集水板から越流する水が発電機に当たらないように、発電機の三方を覆う囲いである（下流側のみ開口）。上流側からの越流水をカバーで両脇へ分散させ、発電機を保護する効果がある。

発電機カバーの取り付けにより、既存のオイル注入口の配置を一部変更したものの設置後は越流しても発電機に水が当たることはなくなったため、一定の効果を発揮していると評価することができる。

また発電機の配置を縦置き型から横置き型へ変更した（一時的な試行として）。発電機を横置きにすることにより、流水が直接発電機にあたることを回避することができ、かつ発電機の放熱を促すことができる（発電機カバーを取り付けることで、熱がこもりやすくなる）。一方で、回転体である発電機と増速機が横置きになるため、機械自体に振動が発生し、近づくとも音も大きくなっており、縦置きと横置きにおいてはそれぞれ一長一短の効果があることが確認された。

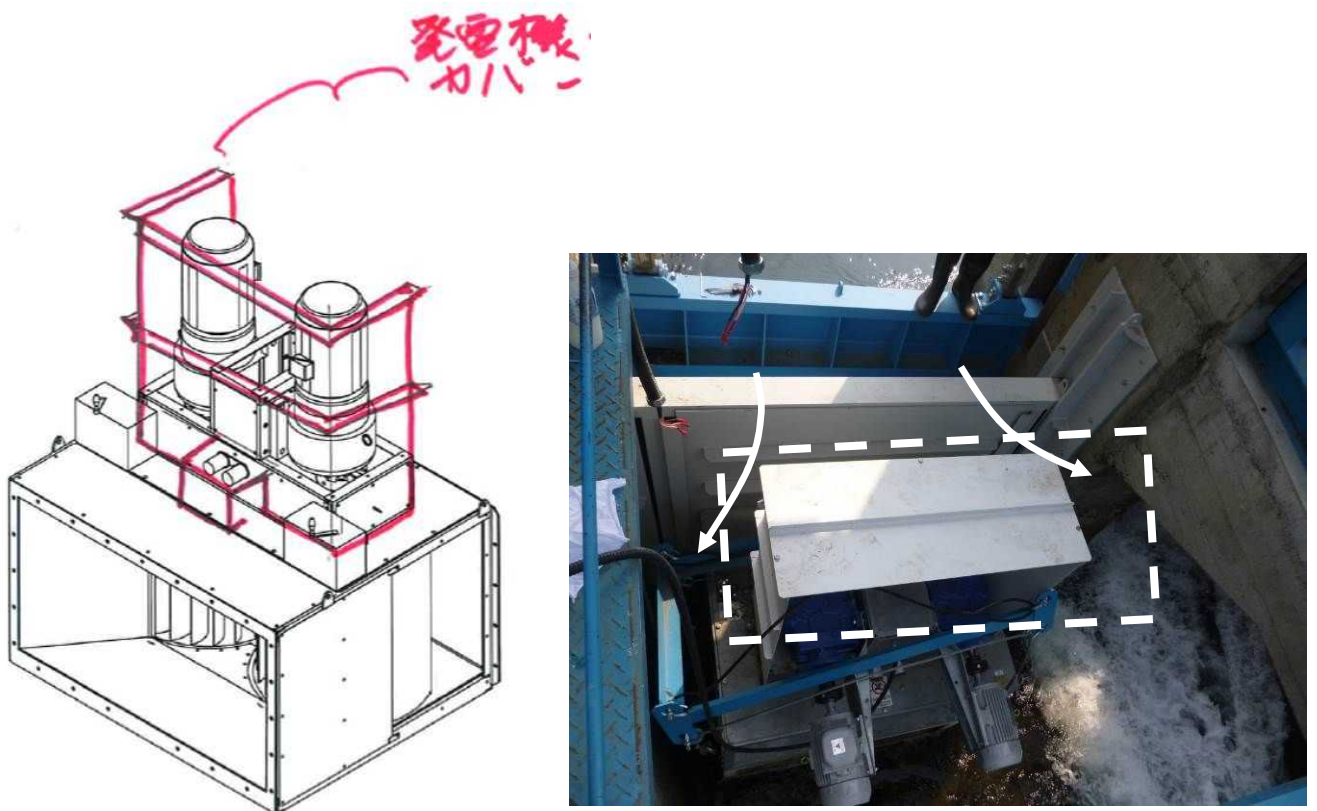


図-2.15 発電機カバーの概要と取り付け状況図

## (2) 灌漑取水による減水対応

当初よりかんがい期と非かんがい期とで発電使用水量に大きな差があることは想定した設計を実施した（治水優先）。かんがい期では予想どおり水量低下が大きいことから、少しでも発電量を増加させる工夫が必要であると認識し、水車下に設けたもぐりオリフィス構造（ゲタ部分）を一時的に閉塞するカバーを計画した（このもぐりオリフィス構造は水路内を流れる流量と発電使用水量が極端に異なる文命用水小水力発電所の特有設備であり、一般的な農業用水路においては必要性がない場合が多いと推測する）。

水車点検用のチェンブロックで着脱が可能のため、簡易に取り外しが出来る構造とした。

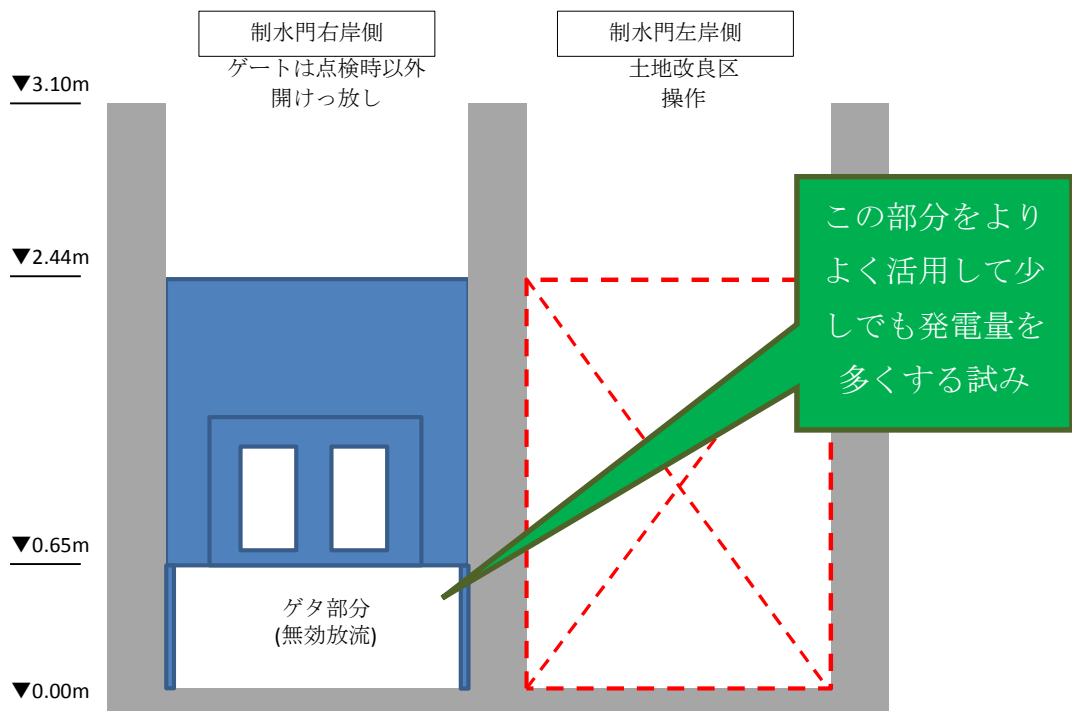


図-2.16 文命用水小水力発電所のもぐりオリフィス構造の概念図

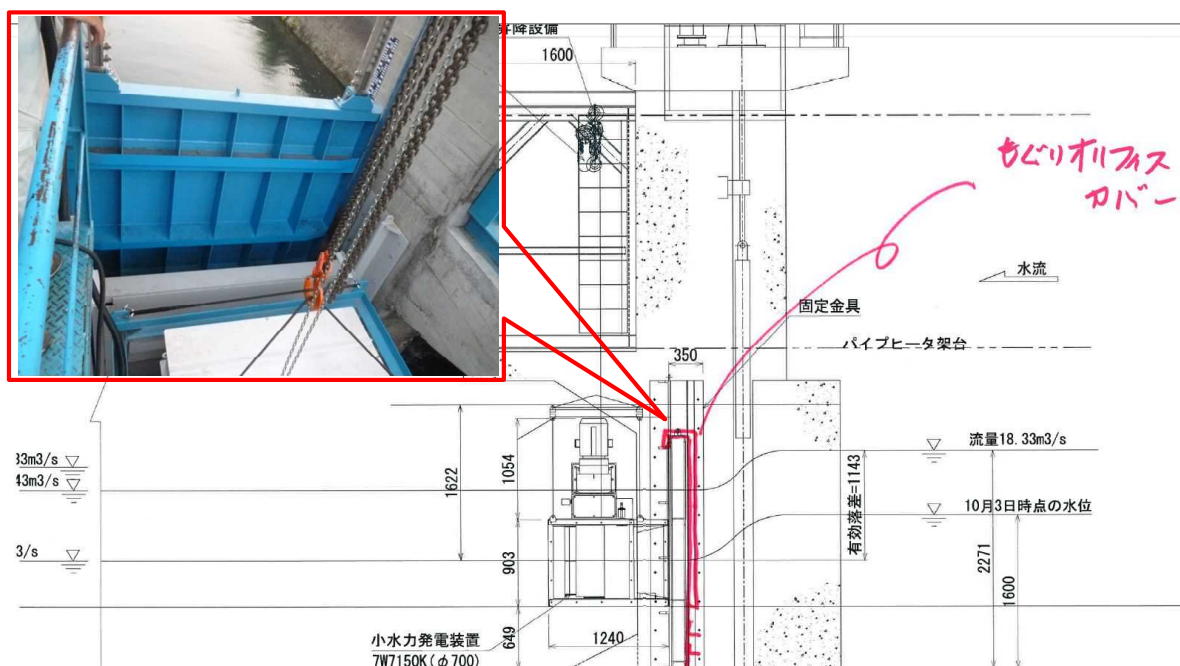


図-2.17 もぐりオリフィスカバーの設置状況図

### (3)遠方監視システム

効果的な維持管理を実施して、管理コストを低減させるために、遠方監視システムによるモニタリングが効果的である。パワーコンディショナの制御信号を分岐して、制御盤内に引き込んでデータ集積装置に信号を追加することにより制御信号も観測データとして集積されるため、エラーが確認される際にはデータ上から感知することが出来、巡回を大きく減らすことができる。

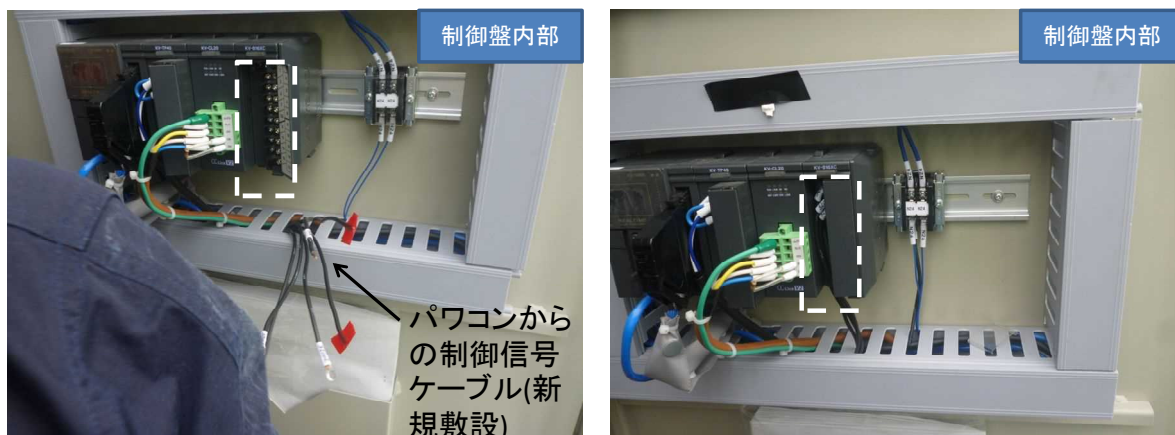


図-2.18 遠方監視システムの設置事例

アナログ入力端子については、水車回転数、電圧 (V)、送電力 (kW) 程度でよい。また DI 端子においては稼働状況を ON/OFF で知らせることで遠方地においても監視することは十分可能である。データはインターネットからアクセスすることができ、アラートをメールで受領することもできる。



図-2.19 ケータイ電話におけるアラート受信の例

## ■遠方監視システムのシステム仕様(オムロンソフトウェアホームページより)

### 製品特徴・概要



**TW900F**

FOMAはNTTドコモ社のパケット通信です。

**多彩な遠隔モニタリングが可能!**  
1台でアナログ・パルス・イベント最大16点の遠隔モニタ

- 残量、水量、濃度、流量等、多彩な遠隔モニタが可能。
- 電流/電圧/信号1コ加え、パルス積算にも対応。
- 簡単設置でフクラク。

**携帯・PCで簡単アクセス**  
データを携帯・WEB画面から一目で確認!

- 汎用のインターネットブラウザで閲覧できるので、専用のソフトも不要。即日運用開始できます。
- 傾向監視が容易。残量や、故障予測なども可能。

### 充実のポイント

多彩な遠隔モニタリングが可能!

異常の程度がわかる。



異常の箇所がわかる。



PCでグラフ表示、端末設定ができる。

コールセンターに相談できる。



### 主な仕様一覧

項目		仕様	備考
		<b>TW900F</b>	
アナログ入力	点数	8点	
	計測範囲	4~20mA 0~5V	電流入力、電圧入力の切替はアナログ入力種別切替スイッチによる
	測定精度	±1.0% FS(周囲温度23±5℃)	
汎用入力	点数	8点	外部端子台(オプション)により接続可能
	イベント	無電圧接点トランジスタ入力 ON電圧:1.4V以下/接点の場合10Ω以下	通報設定:ON時/OFF時/ON・OFF時のうち一つ選択可
	パルス	(0Ω時 流出電流約5mA) OFF時電流:0.1mA 以下	最小パルス幅10msec以上
遠隔制御出力	点数	4点	外部端子台(オプション)により接続可能
	最大負荷電圧	DC30V 以下	
	最大負荷電流	許容電流 1点:MAX100mA 以下 4点トータル:MAX200mA 以下	
	ON時残留電圧	1.0V 以下	
	OFF時漏れ電流	0.1mA 以下	
停電監視		瞬停検知:100ms±20ms 以上 停電検知:1s 以上	本体のAC入力停止で判定
通報	定期通報	1回/1日	
	テスト通報	テストスイッチ押下時に通報	
	停電通報	停電時に1回通報	内部電池で駆動
通知先設定		複数設定可	M2Mデータセンタで設定
通信	通信網	NTTドコモFOMA網	FOMAモジュール・アンテナ内蔵、外部アンテナ(オプション)接続可
	プロトコル	UDP/IPに基づく最適化プロトコル	
電源電圧		AC100~200V±10% 10VA	
使用温度範囲		-10~+60℃	
使用湿度範囲		25~85% RH	
保存温度範囲		本体:-20~+70℃	
		電池:-20~+35℃(1年以内)	
保存湿度範囲		25~85% RH	
外形		W201×D59×H228(mm)	
重量		900g以下	本体のみ
取付け		マグネットまたはネジ取付け	



## 2.4.5 売電実績と経済性の評価

### (1)売電収益

2013年以降の電力量は下表のとおりであるが、長期停止や運転トラブルがなく安定的に稼働したのは9月である。

このため、9月の実績を1年間適用したとすると、収益は以下の様になる。

<売電収益>

$$2,499\text{kWh} \times 34.00 \text{ 円/kWh} \times 12 \text{ ヶ月} = 1,019,600 \text{ 円/年}$$

■文命用水水力発電所 データロガー集計

(表中単位:kWh)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
月合計	0	0	340	1,714	173	15	6	1,042	2,499	1,148	3,033	2,773	12,744
日最大	0	0	126	151	54	10	0	102	135	130	140	139	
日最少	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	68	46	
日平均	0	0	11	57	6	1	0	34	83	37	101	89	

■文命用水水力発電所 東京電力株式会社 売電検針集計

(表中単位:kWh)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
月合計	0	0	0	3,654	733	0	7	588	2,792	548	3,046	2,453	13,821

※データロガーは毎月1日から月末日で集計しているが、検討は月によって異なるためデータ上一致しない。

### (2)建設費及び改造工事費

文命用水小水力発電所は、平成24年度に設備調達・建設を行い、平成25年度の本業務におけるモニタリング中に改良工事を実施した。これらの費用が初期建設費として計上する。

<平成24年度>

水車発電設備調達及び建設工事 10,000,000 円

<平成25年度>

発電機カバー・もぐりオリフィスカバー改良工事 280,000 円

遠方監視システム調達・設置工事 480,000 円

---

計 10,760,000 円

### (3)維持管理費

維持管理費は、消耗品取り替え、監視設備維持費、主任技術者委託料が必要である。

文命用水小水力発電所は制御設備にパワーコンディショナを適用しているが、パワーコンディショナの耐久性は10年程度と言われているため、20年間の事業継続（再生可能エネルギー固定価格買取制度適用のため事業継続を20年間で計画）により1度設備交換が必要である。これらを積み上げると以下の様になる。

<平成25年度>

水車グリース (2,000円/6ヶ月×2回)	4,000円
ブッシュ交換 (40,000円/6ヶ月×1回)	40,000円
観測設備利用料 (手数料5,000円+8,000円/月×4ヶ月)	37,000円
電気主任技術者委託料 (23,730円/月×12ヶ月)	284,760円
<hr/>	
(小計)	365,760円

<平成26年度以降>

水車グリース (2,000円/6ヶ月×2回)	4,000円
ブッシュ交換 (40,000円/6ヶ月×2回)	80,000円
観測設備利用料 (8,000円/月×12ヶ月)	96,000円
電気主任技術者委託料 (23,730円/月×12ヶ月)	284,760円
<hr/>	
(小計)	464,760円

<11年目>

パワーコンディショナの交換工事 (見込み)	300,000円
-----------------------	----------

### (4)事業採算性

以上より、事業継続を20年間とすると、以下のようになる。

$$\begin{aligned} B/C &= \frac{\text{売電収益}}{\text{建設費} + \text{維持管理費}} \\ &= \frac{1,019,600 \text{円/年} \times 20 \text{年}}{10,760,000 \text{円} + 365,760 \text{円/年} \times 1 \text{年} + 464,760 \text{円/年} \times 19 \text{年} + 300,000 \text{円}} = 1.007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B-C &= \text{売電収益} - (\text{建設費} + \text{維持管理費}) \\ &= 1,019,600 \text{円/年} \times 20 \text{年} - (10,760,000 \text{円} + 365,760 \text{円/年} \times 1 \text{年} + 464,760 \text{円/年} \times 19 \text{年} + 300,000 \text{円}) \\ &= 135,800 \text{円/20年} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{黒字転換年} &= (\text{建設費} + \text{パワーコンディショナ交換工事}) \div (\text{売電収益 (単年度)} - \text{維持管理費 (単年度)}) \\ &= (10,760,000 \text{円} + 300,000 \text{円}) \div (1,019,600 \text{円/年} - 464,760 \text{円/年}) \\ &= 19.9 \text{年} \end{aligned}$$

## 2.5 運転実績に基づく事業化に向けた検討課題の抽出

### 2.5.1 技術的な課題の抽出

#### (1) 発電機・電力/通信ケーブルの耐水性強化

発電機は既製品を用いており前述のとおり「屋外用」ではあるが「耐水性」ではない。雨などには耐えられるが、農業用水における小水力発電で最も考えられる越流作用において、跳水を想定しなければならない。

このため発電機は「耐水性」構造が望ましく、落差箇所（文命用水小水力発電所では集水板）よりも離れた構造が望ましい。

電力/通信ケーブルにおいても水が入ることを想定して排水機能の高い保護管などが必要である。

#### (2) パワーコンディショナの耐久性

パワーコンディショナは、太陽光発電をベースに試験・製造されている。太陽光発電と小水力発電の違いは、種々あるが出力の時間変動が大きい。前述のとおり、小水力発電は24時間で見れば安定していると言えるが、短時間/瞬時で見ると変動を繰り返しており出力変動もある。

一方で太陽光発電は、24時間変動はあるものの、日照が続けば安定しているため、出力変動が少ない。

これより小水力発電にパワーコンディショナを適用するに当たり、継続運転による耐久性については今後課題となる。

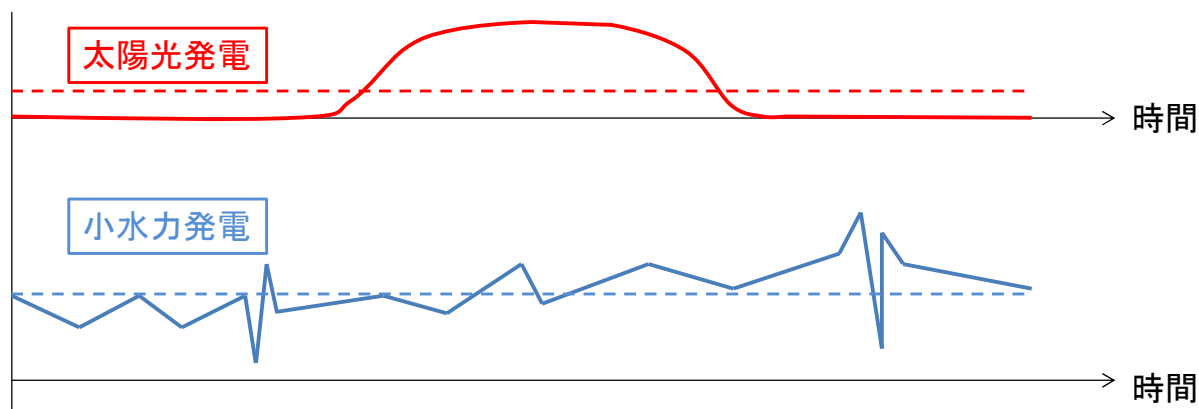


図-2.20 24時間の電力変動のイメージ

## 2.5.2 経済的な課題の抽出

前出のとおり、文命用水小水力発電所においては以下の維持管理費が必要であり、その中でも電気主任技術者の委託費用は全体のウェイトの中で大きく占めている。

垂直二軸クロスフロー水車は1つの水車ケーシングに水車2機、発電機2機を有した構造であるため、電気主任技術者の委託費用が通常の2倍となっている。水車設備としては1機であり系統接続も1系統であるため、仮に1機分としてカウントすると、文命用水小水力発電所の経済性は以下のように向上する。

### <平成25年度>

水車グリース (2,000円/6ヶ月×2回)	4,000円
ブッシュ交換 (40,000円/6ヶ月×1回)	40,000円
観測設備利用料 (手数料5,000円+8,000円/月×4ヶ月)	37,000円
電気主任技術者委託料 (23,730円/月÷2×12ヶ月)	142,380円
(小計)	223,380円

### <平成26年度以降>

水車グリース (2,000円/6ヶ月×2回)	4,000円
ブッシュ交換 (40,000円/6ヶ月×2回)	80,000円
観測設備利用料 (8,000円/月×12ヶ月)	96,000円
電気主任技術者委託料 (23,730円/月÷2×12ヶ月)	142,380円
(小計)	322,380円

$$B/C = \frac{\text{売電収益}}{\text{建設費} + \text{維持管理費}}$$

$$= \frac{1,019,600 \text{円/年} \times 20 \text{年}}{10,760,000 \text{円} + 223,380 \text{円/年} \times 1 \text{年} + 322,380 \text{円/年} \times 19 \text{年} + 300,000 \text{円}} = 1.271$$

$$B-C = \text{売電収益} - (\text{建設費} + \text{維持管理費})$$

$$= 1,019,600 \text{円/年} \times 20 \text{年} - (10,760,000 \text{円} + 223,380 \text{円/年} \times 1 \text{年} + 322,380 \text{円/年} \times 19 \text{年} + 300,000 \text{円})$$

$$= 2,983,400 \text{円/20年}$$

$$\text{黒字転換年} = (\text{建設費} + \text{パワーコンディショナ交換工事}) \div (\text{売電収益 (単年度)} - \text{維持管理費 (単年度)})$$

$$= (10,760,000 \text{円} + 300,000 \text{円}) \div (1,019,600 \text{円/年} - 322,380 \text{円/年})$$

$$= 15.8 \text{年}$$

### 2.5.3 管理運用上の課題の抽出

これまでの考察及び検討内容を踏まえて、管理運用上の課題として「水位の安定化」を挙げる。前述までのように、水位の変動が発電量のみならず周辺利水者、発電量、強いては設備そのものの耐用性をも変化させる。

このため水路内の水位を一定に保つことができる設備は管理運用上不可欠である。

一般的な水力発電所にはガイドベーンという水車の呑み口を絞り込んで、流量を調整し水位を一定に保つ構造がある。農業用水路の流量が少ない場合はガイドベーンのような設備を設けることが理想的である。

また一般的な農業用水路においては転倒堰（機械式）や振り子式ゲートが見受けられる。これらは水位を感知してその角度を調節することで水位を安定化させる機能を有している。

文命用水小水力発電所のように水路内の水のごく一部だけを用いる場合は制水ゲートの自動化により水を強制排水させ水位を安定させる仕組みが不可欠である。

ただし、小水力発電のためだけに水位安定化の自動化を行うことはコストが大きすぎて本末転倒な結果を生み出す。既存の農業用水路の運用のための自動化の際に小水力発電を合わせて検討するなど、場所に応じた対応が必要である（文命用水小水力発電所においても今後制水門の自動化を検討しているが、これは発電目的ではなく既存の灌漑用水の安定取水を目的にしたものである）。



## 第3章 事業モデルの構築(総合検討)

### 3.1 文命用水水力発電所の事業評価

#### 3.1.1 技術的な評価

文命用水小水力発電所は2013年3月に運転を開始して以来、トラブルによる原因究明・設備改良を数度行い、現在安定的に発電を行っている。水力発電においては、流況に対して相応の使用水量があり、しかるべき落差に対して水車を選定することが原則である。しかしながら文命用水小水力発電所は最大16m<sup>3</sup>/sの放流量に対して、最大使用水量1.3m<sup>3</sup>/sという規模が全く異なる設備を設置して稼働している。

このような事例は国内においても極めて珍しい事例であり、運転トラブルにおいても他の後進の発電所に対しても有用性のあるものである。

また設備改良によって、他の発電所でも転用できる付加設備などもあり、模範的な小水力発電所となっている。

#### 3.1.2 経済的な評価

前述のように、文命用水小水力発電所は黒字転換に19.9年を要する。

実証試験事業は全量売電としており再生可能エネルギー固定価格買取制度を適用して20年間を34.00円/kWhで売電することと成っている。再生可能エネルギー固定価格買取制度の設定条件としてはIRRが7%、設備単価は100万円/kWである。

これに対し、文命用水小水力発電所はこれまでの実績から算定すると、IRRは0.03%、設備単価は110万円/kWである。

IRRが低いのは前述の様に主任技術者委託費用が大きくかさんでいるためであるが、設備単価が110万円/kWというのは小規模の水力発電設備の中では非常に良い。なお、IRRが7%を到達するには、年間売電収益が1,450千円/年(電力量にして42,700kWh/年)程度必要であり、現実的ではない。公共事業のように建設費を一括して税金で賄う場合には金利がないため、IRRが0.03%でも事業結果は良いと判断されるが、仮に民間事業者が借入金で実施すると金利以下となり採算は合わない結果となる。

※IRRとは、ある投資案件を実行するか否かを判断するための指標で、現在価値をゼロにする割引率である。たとえば、借入金の金利が4%であれば、IRRは4%以上なければ事業は成立しない。
--

#### 3.1.3 管理運用上の評価

文命用水水力発電所は前述までのとおり、複雑な水運用の中で運転しており、従属発電においてもまれに見る調整機関の多い発電所である。発電所が継続的に運転されるためにはゲートの自動化というハード面の整備のみならず、神奈川県、水利組合、東京電力松田制御所が一体となった情報交換や連携が不可欠である。その意味では発電事業者や利水者で造る会合等において情報提供や協議が発電所の運営にも良い影響がある。

## 3.2 文命用水小水力発電所の今後の課題

### 3.2.1 技術的な課題

文命用水水力発電の技術的課題としては、本業務を通じて改良・改善した項目を除いて、以下の点が挙げられる。

#### ①水車の摩耗・疲労

水車は11月より安定した発電を続けており、発電量も想定に近い状況が続いている。このような運転状況において水車の摩耗、疲労を定量的に確認し、文命用水における特性を把握する必要がある。

#### ②パワーコンディショナの耐久性

パワーコンディショナは前述の様に太陽光発電とは異なり振動の激しい運転状況を記録しているため、一般的に10年程度と言われている設備寿命に対してどれほど違いがあるかを定量的に把握する必要がある。

### 3.2.2 経済的な課題

文命用水小水力発電所はすでに建設が完了しているため、経済的な課題としては維持管理費が収益しかない。

維持管理費は前述のとおり、消耗品、通信設備費、主任技術者委託費を見込んでおり、これらの費用を縮減するにはそれほどの余地がない。

このため経済的な課題としては収益を守ること、また少しでも多く発電することに尽きる。

単純平均すると、安定している場合は毎時4kWhを確保出来れば当初の目標は達成する。

水位の変動などでアラートが発生すると遮断/再接続を実施するため発電量は低下する。

このため継続して安定した出力を確保する事が必要である。

### 3.2.3 管理運用上の課題

前述のとおり、神奈川県、水利組合、東京電力松田制御所の連携・協力体制があって現在の文命用水小水力発電所は成り立っている。

発電所は再生可能エネルギー固定価格買取制度の認証を受けていることから、少なくとも20年は稼働する。その間に管理者や各協力機関の担当者も変更になるため、継続的な人事交流や密な連絡体制を構築し続けることが必要である。

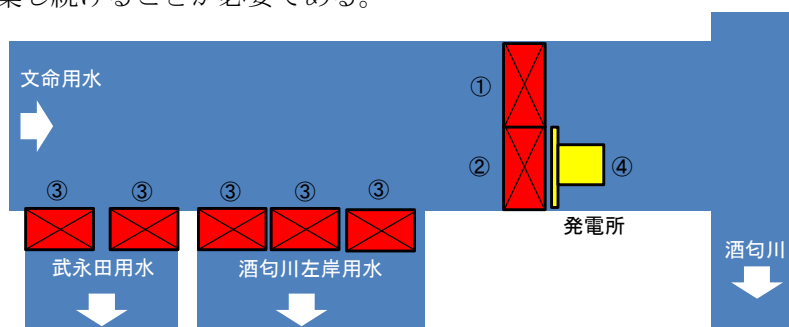


図-3.1 文命用水小水力発電所と各利水設備配置概要図

### 3.3 事業化に向けた課題の対策検討

#### 3.3.1 技術的な課題の改善と対策案

##### (1) 発電機・電力/通信ケーブルの耐水性強化

前述の様に「耐水性」の設備の開発が前提であるが、今後の普及に際しては、以下のような工夫が必要であり、水車メーカー等と協議して確認する必要がある。再生可能エネルギー固定価格買取制度を活用した小水力発電の普及は近々進展すると予想される中で、「耐水性」設備が急激に販売されるとは想定されず、「屋外式」設備を今後も活用することがスタンダードになると思われる。その中では下記のような「屋外式」を見越した設備が必要であり、また設備調達においては標準モデルとして組み込むことが望ましいと思われる。

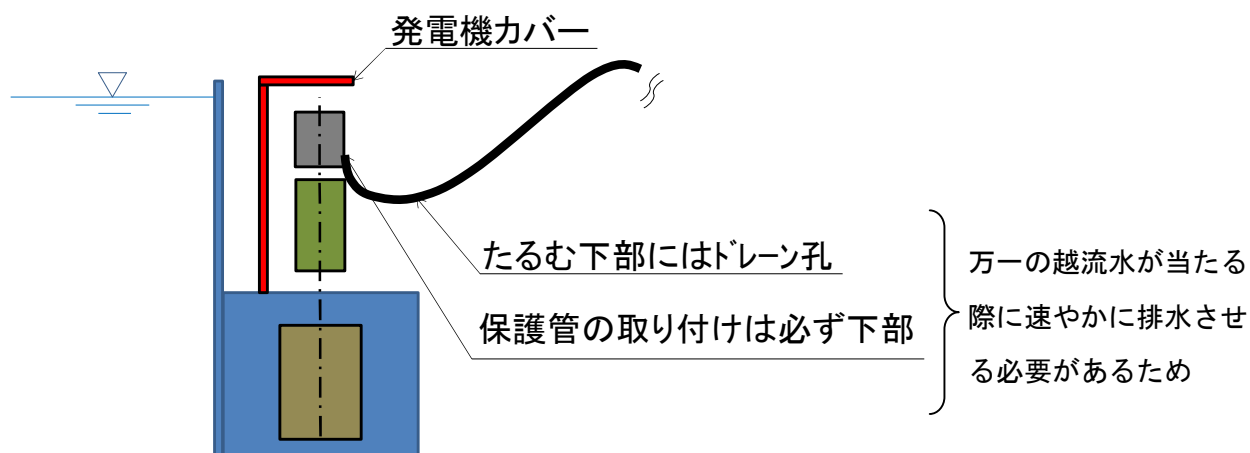


図-3.2 水車・発電設備の「屋外式」を想定した設備概念図

##### (2) パワーコンディショナの耐久性

パワーコンディショナを水力発電で用いる際には、平成26年3月時点においてパワーコンディショナのメーカーからの保証がない（理由：太陽光発電用に製造されたため目的外使用と位置づけられている）。このため水車メーカーが独自のテスターで試験を行い、電力会社に試験結果を提出し系統連系を実施している。文命用水小水力発電所においても水車工場において、電力会社からのテスト項目を満足するために2週間独自テストを実施して安定性を検証した。

ここに、大事な点は試験項目においては特に規程項目や認証項目がないことである。

前述のパワーコンディショナの耐久性においても繰り返し試験項目を追加し、最も信頼される設備を導入する必要がある。

パワーコンディショナ自体は製品メーカー各社が改良・改造を実施しているためより良い条件において試験することが事業者における課題解決となる。

パワーコンディショナメーカーが上記のテストを実施した小水力発電適用認証製品を販売することが可能となれば、これらの課題は解決される。

### 3.3.2 経済的な課題の改善と対策案

#### (1)初期導入費

小水力発電は他の再生可能エネルギーと比べて、フルオーダーメイドのため出力当たりの初期建設費が高いことが特徴であるが、農業用水路を活用する場合には適用する水車は汎用品や規格品を組み合わせて構築するケースが主流であることから、価格は若干安くなる。

文命用水小水力発電所のように単一施設の場合は1機発注扱いと成るが、複数の発電所を同時に計画する場合は、出力を調整し同一規格をロット発注することで設備コストを下げることも考えられる。

たとえば、小水力発電による総合特区認定を受けた栃木県の「栃木発再生可能エネルギービジネスモデル創造特区」においては以下のように10kWの設備（文命用水小水力発電所と同じ規模）を100機置くことで、設備は1機3,000千円（文命用水小水力発電所のおよそ1/3）と試算されており、初期導入費を低減させることができる。

#### 2. 指定申請区域における地域活性化に関する目標及び達成のために取り組むべき政策課題

##### (1) 総合特区により実現を図る目標

本県の未活用となっている再生可能エネルギー（豊富な農業用水と水路落差）及び企業・人材・資金等の地域資源を最大限活用した先駆的なビジネスモデルを構築し、官民一体となり小水力発電を推進することで地域活性化を目指す。

##### (2) 評価指標及び数値目標

評価指標(1)：農業用水を活用した小水力発電事業による発電総出力等

数値目標(1)：出力合計1,000kW、発電量700万kWh/年、CO<sub>2</sub>排出削減量2,688t/年（H26年～）

評価指標(2)：小水力発電施設の製造、設置やメンテナンスに関わる県内企業の売上増加額

数値目標(2)：製造、設置300百万円（H26年）、メンテナンス17百万円（H26年～）

（出典：栃木県 地域活性化総合特区の指定申請について）

#### (2)維持管理費

一方、文命用水小水力発電所においても課題となった主任技術者の委託費については電気事業法に起因する。電気事業法においては次ページのように電気工作物の区分を設けており、使用水量が1.0m<sup>3</sup>/sを超えると事業用電気工作物扱いとなる。農業用水路においては非かんがい期のような取水量が少ない時期は別として、かんがい期の最大取水時に1.0m<sup>3</sup>/sを超えることは多々あり、出力が小さいにもかかわらず事業用工作物扱いとなるような、文命用水小水力発電所と同類事例が出ると思われる。「1.3.4 流水の制御」において記載したとおり、農業用水路における小水力発電の使用水量は灌漑流量に大きく依存するため避けられない課題である。

このため主任技術者を選任し設備の委託を実施する必要があるため、事業採算性は低下することが予想される。

次ページの区分表において「ダムを伴うものを除き かつ最大発電力20kW未満 かつ最大使用水量1m<sup>3</sup>/s以上」という新しい区分が必要であると思われる。

表-3.1 工作物区分による申請手続きの一覧

電気 工作物 の分類	発電力条件等	保安 規程	主任技術者 選任		工事 計画 届出
			電気	ダム	
事業用	ダムを伴う または最大発電力 200kW 以上 または最大使用水量 1m <sup>3</sup> /s 以上	要	要	要	要
	ダムを伴うものを除き または最大発電力 20kW~200kW 未満 または最大使用水量 1m <sup>3</sup> /s 未満	要	要	不要	不要
	上水道施設、下水道施設、工業用水道施設の 落差を利用する水力発電設備 かつ敷地外にダムや水路が存在しないもの	要	要	不要	不要
一般用	ダムを伴うものを除き かつ最大発電力 20kW 未満 かつ最大使用水量 1m <sup>3</sup> /s 未満	不要	不要	不要	不要
一般用 (提案)	ダムを伴うものを除き かつ最大発電力 20kW 未満 かつ最大使用水量 1m <sup>3</sup> /s 以上	不要	不要	要	要

←現在  
無い区分

### (3)事業スキームと資金調達

平成 26 年 3 月現在、太陽光発電とりわけメガソーラー発電事業が先駆的に普及する中で、小水力発電は設計・建設段階のものが多い。農業用水路における小水力発電は適地調査を実施している段階であり今後普及が見込まれている。

数百 kW 程度の小水力発電や風力発電、メガソーラー発電事業は、次頁に示す様な事業スキームと資金調達方法が確立しつつある。農業用水路における小水力発電は融資や出資という観点からは事業規模が小さく、一方で自己資金で開発を行うには費用が大きいと感ずることも考えられる。

前述の様に文命用水小水力発電所においては IRR が 7%に届かなかったが、事業実施においてはどの程度の事業採算性で実施を決定するか、今後判断が分かれるところである。



表-3.2 事業スキームと資金調達方法の一般的な事例

類型	事業主体		事業概要・特徴	資金調達方法			
				融資	出資	自己資金	その他
大手資本型	国内	電気事業者、 商社	大規模な発電事業を展開。 電気事業者が展開している事例だけでなく、 商社や、建設コンサルタント等が展開する事例もある。自治体と協定を結ぶケースもある。	○ 主に CF	○	○	
		電気事業者以外 大手企業		○ 主に PF	○	○	
	海外	IPP 事業者					
地域資本型	地元企業		中小規模の発電事業を展開。地域活性化や地域資源の活用を目的としているケースが多い。その他、オンサイト型発電ビジネス等もある。	○	○	○	
	ベンチャー企業等						
自治体主導型	自治体		市民債や寄付等を用いて、市民参加型の発電設備を設置。		○	○	○
NPO 主導型	NPO/その他		主に市民ファンドを活用し、風力・太陽光等発電を実施。	○	○	○	○

CF：コーポレートファイナンス  
PF：プロジェクトファイナンス

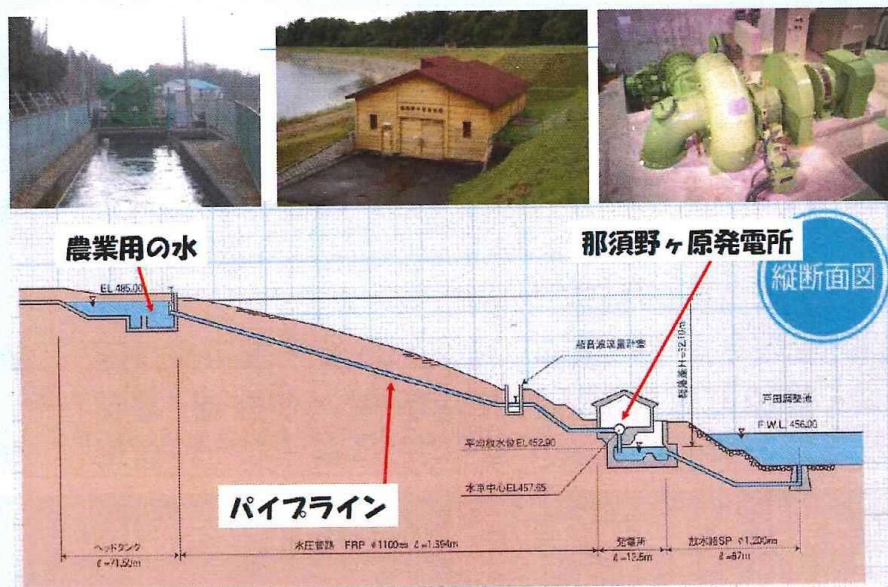
表-3.3 小水力発電の事例

類型	事業主体	サイト規模	主な資金調達方法				事業事例数	具体的事例
			融資	出資	自己資金	その他		
大手資本	国内電力会社や商社等における水力発電事業	小～中	○		○		十数件程度	<b>【丸紅株式会社】</b> 昭和電工から三峰川電力（長野県伊那市 32,700kw）の譲渡を受け、電力小売を開始。RPS法による売電目的で新規小水力発電設備を設置。長野県蓼科にて開発中の小水力発電所は、2011年5月運転開始予定。
								<b>【東京発電株式会社】</b> 全国で十数カ所に及ぶとされている放置された発電所を復活させる。東京発電は華川以外にも数地点で復活を計画。低コストの発電設備を使用。
自治体	地方公共団体が経営する公営電気事業	小～中	○ (DBJ等)		○		280件	<b>【公営電気事業】</b> 水力発電によって発電した電気を、電力会社等に売電（卸供給）することにより事業経営を行っている。RPS対象設備を含む。
		小		○ (公募債等)	○		十数件	<b>【都留市】</b> 市役所を供給先とする下掛け水車方式による小水力発電を市民参加型で実施。
NPO	NPOが主体となって実施する小水力発電	小	○	○		○	数件程度	<b>【環境エネルギー政策研究所】</b> 環境エネルギー政策研究所（ISEP）の活動の実践主体であるエナジーグリーン株式会社が市民出資による資金調達を協力する協働事業者となつて、2009年度の環境省市民共同開発事業に採択された。一般の市民より出資を募り、富山県小早月川に、小水力発電設備を導入するもの。市民出資募集を2010年9月8日より開始。
								<b>【NPO 東北地域エネルギー開発機構】</b> 上記の都留市の取組をサポートしたNPO フィールド21を前身とし、水資源を活用した発電の普及を目指そうと山形県最上総合支庁の2008年度最上エコポリス産業創造支援事業の採択を受けた。今後は市内の土内川への設置を予定。

#### (4)農業用水を活用する場合に参考になる事例(全量売電ではない)

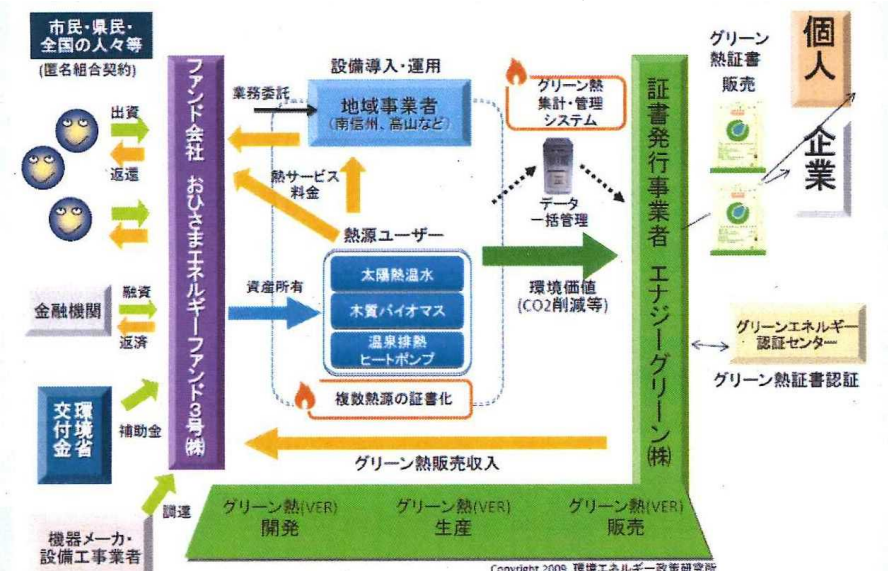
##### ①栃木県那須野ヶ原土地改良区連合

- ・農業用水路に潜在している未利用エネルギーを活用して水力発電を行い、土地改良施設の電源を確保。
- ・発電による収益から、発電設備の保守管理（流下して来る塵芥への対応等）費用を賄うとともに、土地改良区の組合員の費用負担を軽減。
- ・国営事業等による大規模施設では、水の管理が行き届いている。



##### ②市民ファンド(おひさまエネルギーファンド3号(株))

- ・おひさまエネルギーファンド3号(株)による市民レベルの出資に加え、金融機関からの融資等による資金調達。
- ・グリーン熱証書の一貫発行（オンサイト熱供給によるグリーン熱の清算、グリーン熱証書の認証取得、販売まで）を行うビジネスモデルの確立とそのための基盤整備を行う。
- ・利用はペレットボイラー、チップボイラーなど熱の自家消費が主。



### 3.3.3 管理運営上の課題の改善と対策案

事業の運営、計画においてはヒト、モノ、カネの3要素が必ず検討軸にあるのに加え、発電においてはリスクという4つめの要素を加えた状態で検討する必要がある。それぞれの視点における課題点について整理する。

#### (1)人的(ヒト)資源の課題

人的資源の課題とその対応策について以下に示す。

<p><b>【全般】</b> ＜人材不足＞プロジェクトの「担い手」たる信用力のある人材が地域には不足している。また、人材を育成可能な伝道師的人材も不足している。</p>	⇒	<p>○地域に事業化のための協議会を設置し、併せて地域におけるプロジェクトの担い手たるコーディネーターを発掘し育成する。加えて、そのためにコーディネーターを育成可能なコーチ人材を組織化し運営する。 ※平成26年度に「かながわ農業用水小水力発電技術研究会」を格上げし、「<b>神奈川県農業用水小水力等発電推進協議会（仮称）</b>」を設立</p>
<p><b>【全般】</b> ＜人材不足＞プロジェクト・ファイナンスを成立させるために必要な人材が、事業者及び金融機関等の双方に不足している。地域の金融機関は、再生可能エネルギーに関して未だ理解が不十分。</p>	⇒	<p>○事業者側の人材には財務会計等を含む経営能力を、金融機関側の人材には再生可能エネルギーに関する知見を身につけるためのプログラムの実施。 ○経験のある発電事業者がアドバイザーとして関与することで理解を促進する。（これだけで融資可能性を高めることは難しいが、案件発掘の可能性が高まる。）</p>
<p><b>【企画調整・設計段階】</b> ＜人材不足＞再生可能エネルギーの中にあっても、電源としての安定性及び水利運用管理の観点から、特にプロフェッショナルな人材を必要とする水力発電プロジェクトの開発に人材が不足している。</p>	⇒	<p>●文命用水小水力発電所の技術研究会を通じて事業の実施ステップや検討課題などを研究会からインターネットを通じて発信している。 ○平成26年度に「<b>神奈川県農業用水小水力等発電推進協議会（仮称）</b>」を設立し、プロジェクト開発を神奈川県全体で取り組む計画を予定している。</p>

●：実績のある対応策、○：検討段階の対応策

## (2)技術(モノ)・資源の課題

技術・資源の課題とその対応策を以下に示す。

<p><b>【企画調整・設計段階】</b> ＜開発地点発掘＞総延長 49,000km に及ぶ農業用水路の活用、稼働していない中小水力発電の発掘や、導入ポテンシャルの大きな水系に関する情報が不足している（各地に散在している）。</p>	⇒	<p>●河川や砂防における調査は、これまでの「中小水力地点開発調査（新エネルギー財団）」等の記録を再活用することができる。 ●農業用水路においては、平成 25 年に農林水産省より 1,000 箇所地点調査を実施しており、この調査結果を活用して有望地点を抽出することができる。</p>
<p><b>【設備計画】</b> ＜設備開発＞低コストを実現しなければ普及にも繋がらないため、農業用水路を活用する設備は既製品を多く使うが、いずれも「小水力発電専用品」ではない。このため適用には改良や試験が多く必要である。</p>	⇒	<p>○耐水性機能を有する発電機、小水力発電適用可能なパワーコンディショナ等の製品課題は明らかとなったが、開発には至っていない。 ●既製品を使う際の対応方法については文命用水小水力発電所において検討・実施済みであり、他の発電所にも適用できる。</p>

●：実績のある対応策、○：検討段階の対応策

## (3)資金的(カネ)な課題

資金的課題とその対応策を以下に示す。

<p><b>【建設段階】</b> ＜不確実性リスク＞固定価格買取制度が導入され補助金が廃止されると、設備投資費用を支援するシードマネーが不足し、事業開始が遅延する。</p>	⇒	<p>○初期投資に係る資金調達が円滑に行われるよう、信用補完の手段として、①債務を公的に保証する（例：米国エネルギー省による債務保証）や②調達金利に対する利子補給によりリスクマネーを呼び込む等を検討する。（グリーンファイナンス推進機構などが挙げられる。）</p>
<p><b>【維持管理段階】</b> ＜人件費等の不足＞小水力発電における維持管理費は最低限の積み上げが必要であり、事業採算性に大きく影響する（本報告書において整理したとおりである）。</p>	⇒	<p>○土地改良区などと連携して二重管理を防ぎコスト削減に努める管理体制を構築することが必要不可欠である。 ○規制緩和により電気主任技術者の適用要件を緩和して簡易な設備管理を計画する（表-3.1 のとおり）。</p>

●：実績のある対応策、○：検討段階の対応策



#### (4) 情動的(リスク)な課題

情動的課題とその対応策を以下に示す。

<p>【企画調整・設計段階】 ＜関係者との調整＞地域の関係者と合意を形成する。都市部の大手資本が画一的な対応をとってしまうと、地域の関係者との間に無用の軋轢が生じる場合がある。</p>	<p>⇒</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● 地元企業の一員としての立場から、地域振興のためとの説明を行い、周辺住民や漁業関係者の理解を得る。(例：ウィンドパワーいばらき)</li><li>● 周辺地域への影響を綿密に調査。土地改良区や地元住民との連携・協力関係を構築。</li></ul>
<p>【企画調整・設計段階】 ＜開発情報の不足・リテラシーの格差＞再生可能エネルギーの開発に必要な情報がそもそも存在しない、あるいは散在し公表されていない。また、地域において事業者と住民との間に再生可能エネルギーリテラシーに格差が存在し、地域住民の積極的な同意が得られない。</p>	<p>⇒</p> <ul style="list-style-type: none"><li>○ 再生可能エネルギーの開発・事業化可能地域、開発可能量及び事業計画に関する情報を住民、事業者等が入手可能な環境を整備する。</li><li>○ 地域の特性を活かすべく、各地域、県下に複数の情報拠点を設ける。支援制度も含めたファイナンス及び技術情報をワンストップで提供する窓口とする。</li><li>○ 水利権等、再生可能エネルギー資源の権利を有する主体を事業主体として巻き込む。</li></ul>
<p>【企画調整・設計段階】 ＜地域間格差＞再生可能エネルギーの需給のアンバランス（供給地には十分な需要が存在しない）。また、地域と都市部の経済格差の問題。</p>	<p>⇒</p> <ul style="list-style-type: none"><li>● 再生可能エネルギー供給主体となる地域間で連携により電力供給の安定化を図りつつ、“地産都消”の需給のマッチングを図る(例：東京都による“生グリーン電力”を核とした取組)。</li></ul>

●：実績のある対応策、○：検討段階の対応策

### 3.4 農業用水を活用した持続可能な事業化モデルの構築(文命用水小水力発電所を事例として)

#### 3.4.1 設備の仕様と特記事項

##### (1)文命用水小水力発電所の基本仕様

###### ■発電計画（発電規模）

最大使用水量：1.3m<sup>3</sup>/s、有効落差：1.3m、出力 10kW

###### ■設備

垂直二軸クロスフロー水車・同期発電機（屋外仕様）・パワーコンディショナ  
集水板、水車基礎架台、点検用門工及びチェーンブロッカー式

##### (2)他地点での留意事項

今後、同様の水車発電設備の調達における留意事項として、上記の設備規模を参考の上、以下の留意事項を確認して検討することが望ましい。

###### ■発電計画（発電規模）

最大使用水量を 1.0m<sup>3</sup>/s 未満、出力を 20kW 未満とすること

→平成 26 年 3 月時点においては電気事業法における主任技術者の配置が義務づけられており、事業採算性において大きく不利になることが予想されるため。

→農業用水路は長く続くある一部分を用いるため、水車の下流側（発電後の放水）においては下流の断面から決まる水位により水車地点までバックウォーターが発生することで、もぐり越流効果になる可能性がある。この場合、水車放水位が上昇し期待通りの放水が満足できないことがあるため、有効落差が減り、かつ発電使用水量も低下する。このため計画時の水理計算には前後の水運用を含めて検討する必要がある。

###### ■設備

発電機は屋外仕様ではなく耐水仕様とすること。

→越流することが想定される発電計画地点においてはできるだけ耐水仕様が望ましい。

発電機に溢水用のカバーを設けること。

→当初から設置するべきである。

管理用の遠方監視装置を当初から設置すること。

→維持管理の手間の削減。

→ただしデータ取得間隔は 60 分程度（文命用水小水力発電所は 10 分）とし通信費を下げる。

### 3.4.2 事業推進体制のケース・スタディ

農業用幹線水路（上流部・中流部）において、最大流量が 1.0m<sup>3</sup>/s、落差 1.5m の落差工を活用して小水力発電を検討する場合、以下のように黒字転換するものの、IRR は 1.38%であり民間事業者等には向いておらず、助成金や地域貢献を目的とした事業として市町村や土地改良区が主体となって事業化することが望ましい。

最大使用水量 : 0.9m<sup>3</sup>/s (←1.0m<sup>3</sup>/s 未満にする)  
 有効落差 : 1.2m (←落差の 80%程度にしておく)  
 水車発電機効率 : 37% (←文命用水小水力発電所実績)

発電規模 : P = 9.8 × Q × H × η  
 = 9.8 × 0.9 × 1.2 × 0.37 = 3.9 (kW)  
 年間発電量 W = P × 24 (時間) × 330 (日) \*1 × 50% \*2  
 = 3.9 × 24 × 330 × 50% = 15,400 (kWh/年)

\*1 : 水門操作や水路清掃等で年間 10%程度発電不能日を想定  
 \*2 : 上流部・中流部で取水時と非取水時の差があるため年間発電平均を最大出力の 50%程度と想定

	費用	備考
水車・発電設備費 (5kW 相当)	7,000 千円	メーカーより
維持管理費	120 千円/年	p. 54 より主任技術者委託費を除いた金額
年間売電費 (34.0 円/kWh)	523 千円/年	15,400kWh × 34.0 円/kWh

$$B/C = \frac{\text{売電収益}}{\text{建設費} + \text{維持管理費}}$$

$$= \frac{523,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年}}{7,000,000 \text{ 円} + 120,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年}} = 1.113$$

$$B-C = \text{売電収益} - (\text{建設費} + \text{維持管理費})$$

$$= 523,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年} - (7,000,000 \text{ 円} + 120,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年})$$

$$= 1,060,000 \text{ 円/20 年}$$

$$\text{黒字転換年} = (\text{建設費}) \div (\text{売電収益 (単年度)} - \text{維持管理費 (単年度)})$$

$$= (7,000,000 \text{ 円}) \div (523,000 \text{ 円/年} - 120,000 \text{ 円/年})$$

$$= 17.4 \text{ 年}$$

一方、農業用幹線水路（下流部）において、最大流量が 0.5m<sup>3</sup>/s、落差 2.0m の落差工を活用して小水力発電を検討する場合、以下のように黒字転換し、IRR は 3.8%であり民間事業者等にも事業化が期待される。このように、農業用水路の特徴を的確に把握して年間発電量を最大に取得できる計画が実施されれば、少ない流況でも良い結果を得ることができる。

最大使用水量 : 0.5m<sup>3</sup>/s (←1.0m<sup>3</sup>/s 未満にする)  
 有効落差 : 1.6m (←落差の 80%程度にしておく)  
 水車発電機効率 : 37% (←文命用水小水力発電所実績)

発電規模 : P = 9.8 × Q × H × η  
 = 9.8 × 0.5 × 1.6 × 0.37 = 2.9 (kW)  
 年間発電量 W = P × 24 (時間) × 330 (日) \*<sup>1</sup> × 80% \*<sup>2</sup>  
 = 2.9 × 24 × 330 × 80% = 18,400 (kWh/年)

※1 : 水門操作や水路清掃等で年間 10%程度発電不能日を想定

※2 : 下流部で流況が年間を通じて安定しているため年間発電平均を最大出力の 80%程度と想定

	費用	備考
水車・発電設備費(5kW相当)	7,000千円	メーカーより
維持管理費	120千円/年	p.54より主任技術者委託費を除いた金額
年間売電費(34.0円/kWh)	626千円/年	18,400kWh × 34.0円/kWh

$$B/C = \frac{\text{売電収益}}{\text{建設費} + \text{維持管理費}}$$

$$= \frac{626,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年}}{7,000,000 \text{ 円} + 120,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年}} = 1.446$$

$$B-C = \text{売電収益} - (\text{建設費} + \text{維持管理費})$$

$$= 626,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年} - (7,000,000 \text{ 円} + 120,000 \text{ 円/年} \times 20 \text{ 年})$$

$$= 3,120,000 \text{ 円/20 年}$$

$$\text{黒字転換年} = (\text{建設費}) \div (\text{売電収益 (単年度)} - \text{維持管理費 (単年度)})$$

$$= (7,000,000 \text{ 円}) \div (626,000 \text{ 円/年} - 120,000 \text{ 円/年})$$

$$= 13.8 \text{ 年}$$

## ■再生可能エネルギー固定価格買取制度について

再生可能エネルギー固定価格買取制度は普及を目的として売電単価を設定された制度である。平成26年3月時点においては小水力発電の申請件数は少なく、文命用水小水力発電所のように運転を開始した発電所はさらに件数が少ない。

このような状況において小水力発電の売電単価は、平成24年度の制度施行後から来26年度まで単価は据え置きとされることとなった。このため本報告書における記載においても平成25年度単価をそのまま記載している。

今後普及が進むにつれて、小水力発電も太陽光発電と同様に売電単価が下がり出すと思われるため、実施段階においては売電単価を再確認するとともに、売電単価がどこまで下がったら事業を中止するかという損益分岐点を算定しておくことが有効である。

### < B発電所の事例 >

B発電所は現在計画がある発電所であるが実際に施工されるのは4～5年後の見通しであり、運転開始はさらに1年後となる。このため現時点において事業採算性が確保される損益分岐点を算出しており、売電単価が下落することを見越してプランニングを立てている。

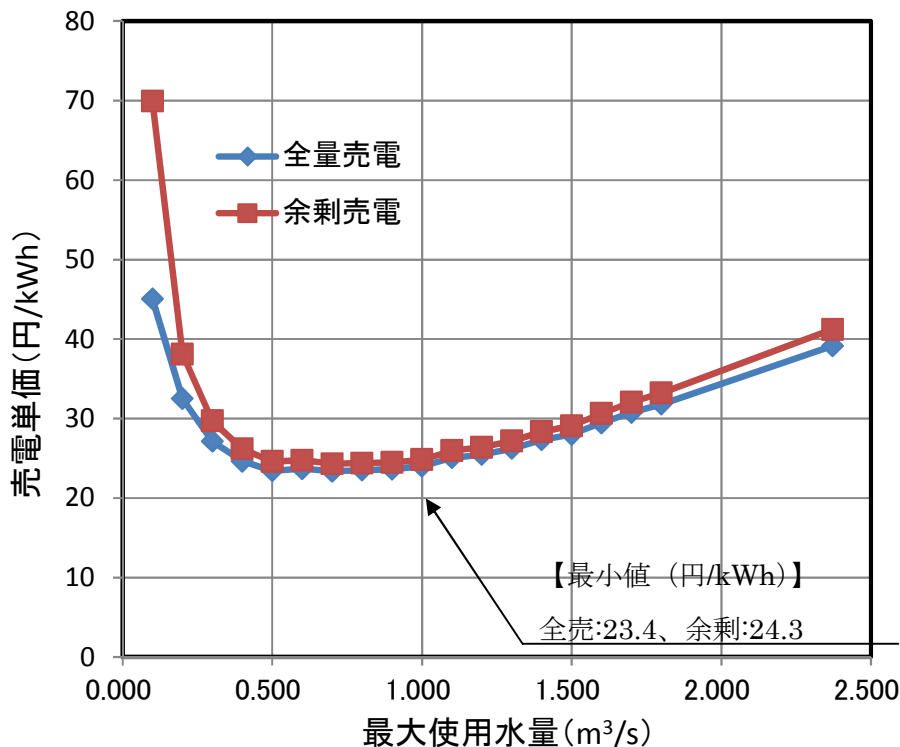


図-3.2 損益分岐点の事例



### 3.4.3 資金調達の場合・スタディ

資金調達は、事業採算性（B/C、B-CではなくIRR）で判断する事ができる。IRRが7%近く確保する事が出来る計画においては、融資・投資などによる計画を立てることができる。

しかし文命用水小水力発電所のようにIRRが低い場合（低くてもB/C、B-Cは確保される）は自己資金、組合積立、エネルギーファンド等により資金調達を計画する必要がある。事業主体が自治体や土地改良区の場合は、農林水産省が所管となる助成事業の適用を受けることができる。下表は平成26年度においても事業化される見込みのある助成金である。しかしながら助成事業の適用を受ける場合は全量売電ができるか、等の制約条件を事前に確認しておく必要がある。

表-3.4 農林水産省所管の助成事業一覧(平成26年3月時点)

事業名	概要	対象	補助率
農山漁村地域整備交付金のうち地域用水環境整備事業	土地改良施設又は農林水産省の助成対象の農業施設や公的施設に電力を供給する発電施設を整備（新設・更新ともに可能）	県、市町、土地改良区等	1/2 ほか
農山漁村地域整備交付金のうち集落基盤整備事業	農林水産省の助成又は融資の対象となっている施設に電力を供給する発電施設を整備	県、市町等	1/2
かんがい排水事業等の土地改良事業	農業水利施設の整備と一体的に、土地改良施設に電力を供給する発電施設を整備	国、県等	1/2 ほか
農山漁村活性化プロジェクト支援交付金のうち自然・資源活用施設	農林水産業に係る共同利用施設に電力を供給する発電設備を整備	県、市町、土地改良区等	1/2 ほか
小水力等再生可能エネルギー導入推進事業のうち小水力等農村地域資源利活用促進事業	小水力発電の導入に係る概略設計や基本設計等の調査を行う	県、市町、地方公共団体の一部事務組合、土地改良区等	定額 基本設計： 1/2
小水力等再生可能エネルギー導入推進事業のうち小水力等農業水利施設利活用実証事業	低コスト小水力発電設備の実証を行う	地域協議会、農村振興局長が定める公募要領により応募した者の中から選定された団体	定額

### 3.4.4 管理運用体制のケース・スタディ

今後農業用水路を活用した小水力発電を本格的に導入する構想が神奈川県のみならず、全国規模で広がりを見せると想定されている。農業用小水力発電設備は従来の水力発電設備と異なり設備が単純で規格化されているため、維持管理も従前と比べて容易になっている。

このため広域における同種又は同規格の発電所の施設台帳を作成し、類似設備の一元管理などを実施してコストだけでなく、個別情報の共有化によって効果的な管理を計画することができる。

また普及にあたり、ゴミの問題も必ずつきまとう課題であり、維持管理を簡易的に行うことは費用だけでなく事業の継続性においても重要である。農業用水を活用した小水力発電を先進的に実施している栃木県那須野ヶ原においては低コストで簡易的な除塵スクリーンを配置している。今後小水力発電の普及にはこのようなアイデアの情報共有も必要である。



図-3.3 栃木県那須野ヶ原における除塵スクリーンの事例



(以上)