

環境省  
平成 26 年度環境技術実証事業  
中小水力発電技術分野

実証試験結果報告書  
《詳細版》

平成 27 年 3 月

実証機関 : 一般社団法人 小水力開発支援協会  
実証申請者 : 株式会社篠田製作所  
製品名・型番 : 上掛け水車 (直径 : 3m00)  
実証試験実施場所 : 白鳥ふるさと食品加工伝承施設  
実証番号 : 120-1301



地球温暖化対策技術分野  
中小水力発電技術  
実証番号 No.120-1301

第三者機関が実証した性能を  
web上で公開しています  
<http://www.env.go.jp/policy/etv/>

【中小水力発電分野】

株式会社篠田製作所 上掛け水車（直径：3m00）

# も く じ

## 全体概要

|                       |   |
|-----------------------|---|
| [ 1 ] 実証対象技術の概要 ..... | 1 |
| [ 2 ] 実証試験の概要 .....   | 1 |
| [ 3 ] 実証試験結果 .....    | 2 |
| [ 4 ] 参考情報 .....      | 2 |

## 本編

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1 実証試験の概要と目的 .....             | 1  |
| 2 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌 .....  | 2  |
| 2 - 1 実施体制 .....               | 2  |
| 2 - 2 実証試験参加者の責任分掌 .....       | 2  |
| 3 実証対象技術（機器等）の概要 .....         | 3  |
| 3 - 1 水車の概要 .....              | 3  |
| 3 - 2 電気回路の概要 .....            | 5  |
| 3 - 3 実証範囲と測定点 .....           | 6  |
| 3 - 4 測定に使用する機器 .....          | 9  |
| 3 - 5 測定値の加工方法 .....           | 10 |
| 4 実証すべき内容 .....                | 11 |
| 4 - 1 メーカーが公表している性能 .....      | 11 |
| 4 - 2 本実証試験で実証する内容と範囲 .....    | 12 |
| 4 - 2 - 1 実証する内容 .....         | 12 |
| 4 - 2 - 2 試験を行う流量の範囲 .....     | 12 |
| 4 - 3 有効落差の定義 .....            | 12 |
| 5 準拠する試験方法と実際の試験方法 .....       | 13 |
| 5 - 1 準拠する試験方法 .....           | 13 |
| 5 - 2 本実証試験方法と JEC 規格の異同 ..... | 13 |
| 5 - 2 - 1 一般事項 .....           | 13 |
| 5 - 2 - 2 試験条件 .....           | 13 |
| 5 - 2 - 3 試験の実施範囲 .....        | 14 |
| 5 - 2 - 4 試験結果の計算及び判定 .....    | 14 |
| 5 - 2 - 5 測定方法 .....           | 15 |
| 5 - 2 - 6 試験成績書 .....          | 16 |
| 6 実証試験場所の概要 .....              | 17 |
| 7 データとして使用する前年度調査結果 .....      | 17 |
| 8 実証試験の実施方法 .....              | 18 |
| 8 - 1 流量・水位測定 .....            | 18 |
| 8 - 1 - 1 流量・水位に関する測定項目 .....  | 18 |

|            |                          |    |
|------------|--------------------------|----|
| 8 - 1 - 2  | 水路状態の確認と測定器の設置           | 18 |
| 8 - 1 - 3  | 水路断面の測定                  | 19 |
| 8 - 1 - 4  | 水深センサとロガーの起動とオフセット測定     | 20 |
| 8 - 1 - 5  | 水車下流水深の測定                | 20 |
| 8 - 1 - 6  | 水車上流水位測定点への水深センサ設置       | 21 |
| 8 - 1 - 7  | 流量の測定点の状態                | 21 |
| 8 - 1 - 8  | 流量の測定方法                  | 22 |
| 8 - 2      | 電気測定                     | 23 |
| 8 - 2 - 1  | 電気に関する測定項目               | 23 |
| 8 - 2 - 2  | 測定器の接続と記録                | 24 |
| 8 - 3      | 騒音測定                     | 25 |
| 8 - 3 - 1  | 騒音に関する測定項目               | 25 |
| 8 - 3 - 2  | 測定の実施                    | 27 |
| 8 - 4      | その他の測定項目                 | 27 |
| 9          | 実証試験で得られたデータ             | 28 |
| 9 - 1      | 測定値と分析に使用するデータのまとめ       | 28 |
| 9 - 2      | 流量の算出                    | 29 |
| 9 - 2 - 1  | 水路断面形状の測定結果              | 29 |
| 9 - 2 - 2  | 水深と流路断面積の関係式の作成          | 30 |
| 9 - 2 - 3  | 水深と流速                    | 31 |
| 9 - 2 - 4  | 流量の算出                    | 32 |
| 9 - 3      | 有効落差の算出                  | 33 |
| 9 - 3 - 1  | 水車上流水路の断面と流速             | 33 |
| 9 - 3 - 2  | 有効落差の算出                  | 34 |
| 9 - 4      | 発電出力と総合効率の算出             | 35 |
| 9 - 5      | 実証試験実施中の出力電圧と電力          | 36 |
| 9 - 6      | 騒音測定結果                   | 37 |
| 9 - 7      | 気象条件等                    | 39 |
| 10         | 実証試験の結果と考察               | 40 |
| 10 - 1     | 発電出力と効率に関する評価と考察         | 40 |
| 10 - 1 - 1 | 性能一般に関する考察               | 40 |
| 10 - 1 - 2 | 流量 - 出力曲線におけるメーカー公表値との比較 | 41 |
| 10 - 1 - 3 | 流量 - 効率曲線におけるメーカー公表値との比較 | 42 |
| 10 - 2     | 騒音に関する評価                 | 42 |
| 10 - 3     | 総合評価                     | 42 |
| 11         | 用語集                      | 43 |
| 12         | 参考情報                     | 44 |

# もくじ

---

【中小水力発電分野】

株式会社篠田製作所 上掛け水車（直径：3m00）

【中小水力発電分野】

株式会社篠田製作所 上掛け水車（直径：3m00）

## 【 全 体 概 要 】

## [ 1 ] 実証対象技術の概要

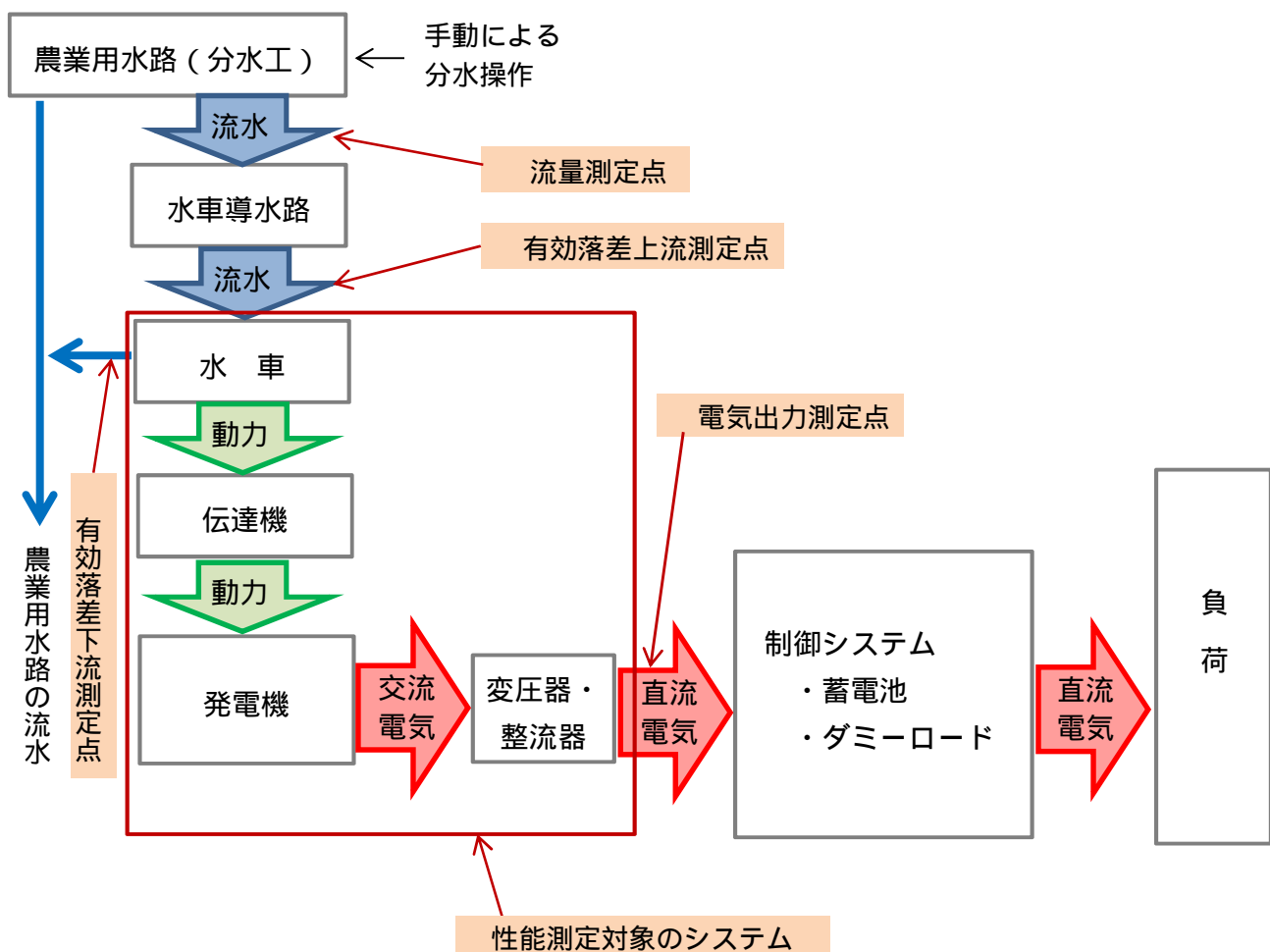
開放型水車は数 kW 程度の小規模発電の場合、小型でも効率が低下しにくいこと、流量変動による効率変化も少ないこと、ごみに強いこと、修理が容易なことなどの利点を持っている。

上掛け水車は開放型水車の中でも落差が大きく、中山間地の小規模用水路に適した形式である。本実証試験対象機器は、このような特徴を持つ上掛け水車で永久磁石型発電機を駆動し、整流器・蓄電池を使った電圧制御と組み合わせることで、比較的安価に制御系を含めた独立電源システムとして組み上げたものである。

主要諸元は、水車直径 3000mm、幅 900mm、バケット数 30 である。

## [ 2 ] 実証試験の概要

下図 で流量を、また ・ で有効落差を測定し、水車に伝達された動力を算出した。一方 で電圧・電流を測定し、性能測定対象システムから得られる電力を算出した。そして、流量と出力電力の関係および流量と効率の関係を図示し、メーカーが公表している性能との比較考察を行った。



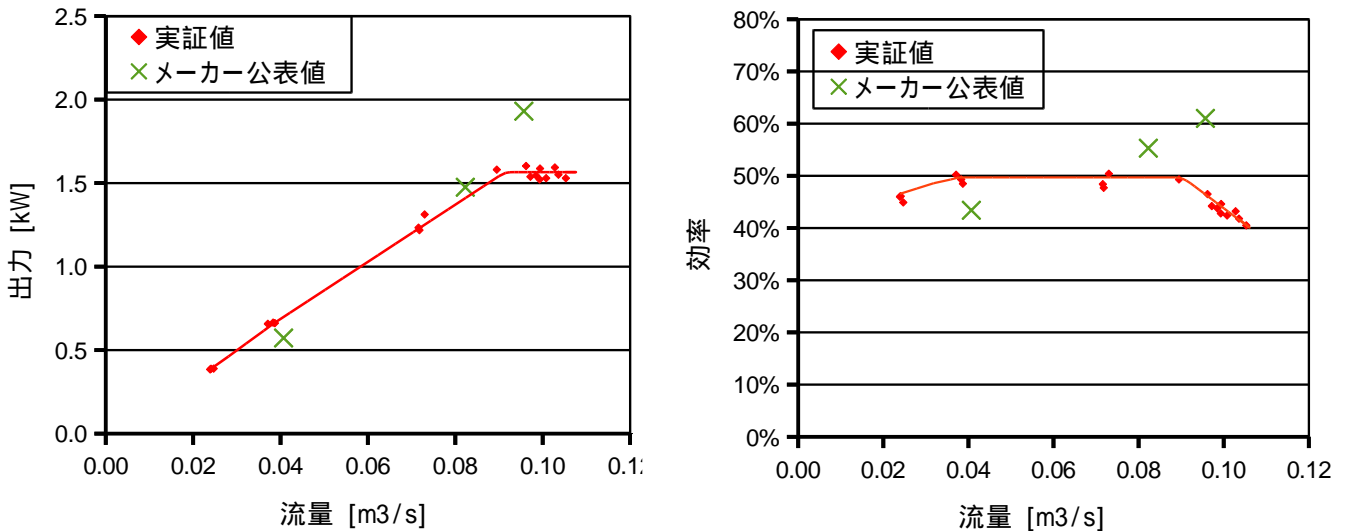
# 全体概要

【中小水力発電分野】  
株式会社篠田製作所 上掛け水車（直径：3m00）



## [ 3 ] 実証試験結果

2014年10月9日に行った実証試験結果として、流量 - 出力曲線と、流量 - 効率曲線を下図に示す。流量 0.04m<sup>3</sup>/s ~ 0.09m<sup>3</sup>/s の区間で効率が 48 ~ 50%程度あり、ほぼ直線的に出力が増加している。最大出力は約 1.6kW であった。メーカーは流量 0.0957m<sup>3</sup>/s のときに出力 1.92kW を得たとしているが、その後負荷条件に関して大きな設計変更があり測定時の回転数等が異なったため相違が生じたと考えられる。本実証試験で証する性能は現在の設置条件におけるものであることに注意されたい。



## [ 4 ] 参考情報

製品データ（申請された内容であり、環境省及び実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません）

| 項目                          | 実証申請者または開発者 記入欄                                                                                                          |                                                                                                               |              |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 製品名・型番                      | 上掛け水車（直径：3m000） Overshot Water Wheel                                                                                     |                                                                                                               |              |
| 製造（販売）企業名                   | 株式会社篠田製作所（SHINODA Co., Ltd）                                                                                              |                                                                                                               |              |
| 連絡先                         | TEL / FAX                                                                                                                | TEL 058-266-8433 FAX 058-266-4126                                                                             |              |
|                             | ウェブサイトアドレス                                                                                                               | <a href="http://www.shinoda-eng.co.jp/company/index.html">http://www.shinoda-eng.co.jp/company/index.html</a> |              |
|                             | E-mail                                                                                                                   | mizuno@shinoda-eng.co.jp                                                                                      |              |
| 設置条件                        | 緊急及び増水時対策として、水路本線ではなくバイパス水路に設置する。                                                                                        |                                                                                                               |              |
| メンテナンスの必要性・コスト<br>耐候性・製品寿命等 | 必要性<br>24時間連続稼動するため、軸受け・増速機等の維持管理が必要です。<br>3年程度で交換する消耗品のコスト<br>増速機 5万円、軸受け（2箇所）15万円、チェーンカップリング（2箇所）6万円 但し、適時のグリス注入が必要です。 |                                                                                                               |              |
| 施工性                         | 現場組立作業が少ないため、現場据付作業が容易である。                                                                                               |                                                                                                               |              |
| コスト概算                       | イニシャルコスト                                                                                                                 |                                                                                                               |              |
|                             | 機 器                                                                                                                      | 数 量                                                                                                           |              |
|                             | 水車制作・据付工                                                                                                                 | 1 式                                                                                                           | 5,500,000 円  |
|                             | 基礎工事、導水路工事                                                                                                               | 1 式                                                                                                           | 5,000,000 円  |
|                             | 電気制御盤工                                                                                                                   | 1 式                                                                                                           | 1,000,000 円  |
|                             | 合 計                                                                                                                      |                                                                                                               | 11,500,000 円 |



# 全体概要

【中小水力発電分野】

株式会社篠田製作所 上掛け水車（直径：3m00）

【中小水力発電分野】

株式会社篠田製作所 上掛け水車（直径：3m00）

【 本 編 】

## 1 実証試験の概要と目的

小水力発電の立地条件（使用する水の分類）は、河川からの取水、農業用水等開放水路からの取水、管路を流れる水圧がかかった水の利用、その他に大別することができる。

農業用水を利用する発電のうち、支線や小規模幹線の低落差を利用する場合には、開放型水車（上掛け、下掛け、らせん等）が用いられることも多い。ごみの影響を受けにくく除塵装置に費用を要しないことや、低落差としては比較的高効率が得やすいことなどによる。また上掛け水車は流量が変化しても効率が下がりにくい利点がある。

毎秒数十リットルの水を流し数メートルの地形落差が得られる農業用水路は、中山間地を中心に多数存在しており、製品を標準化し量産することで価格を低下させ維持管理を容易にする可能性がある。

## 2 実証試験参加組織と実証試験参加者の責任分掌

### 2 - 1 実施体制

実証試験の実施体制を図 2-1 に示す。実証試験の実施体制は、下図にすとおりの。

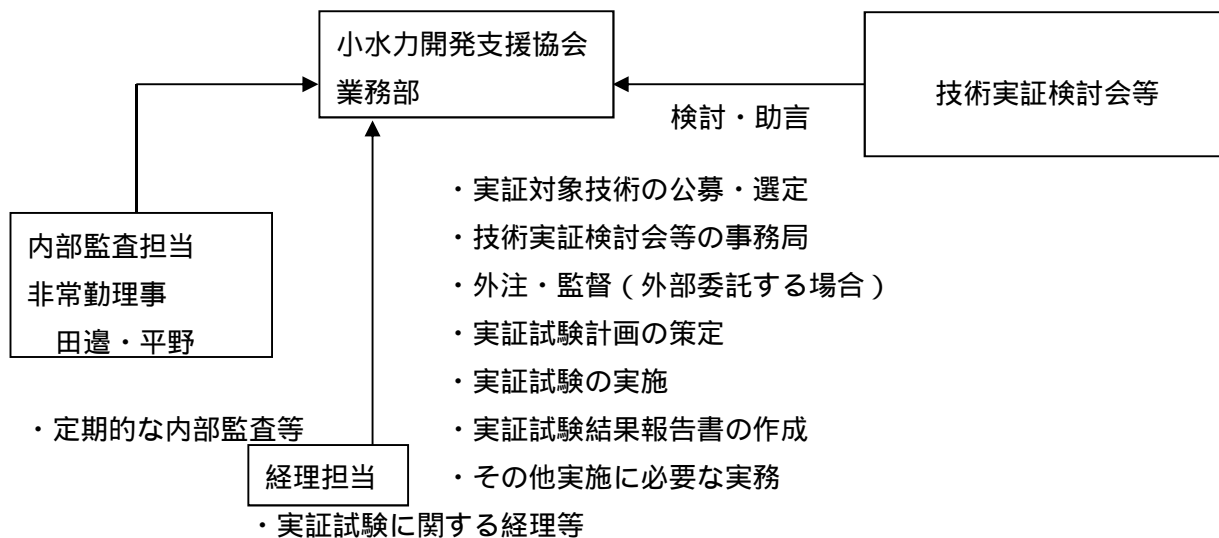


図 2-1 実施体制

### 2 - 2 実証試験参加者の責任分掌

実証試験参加者の責任分掌を表 2-1 に示す。

表 2-1 実証試験参加者の責任分掌

| 区分    | 実証試験参加機関      | 責任分掌                                                                     | 責任者名         |
|-------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 実証機関  | (一社)小水力開発支援協会 | 実証試験の運営管理                                                                | 中島 大<br>松尾壽裕 |
|       |               | 実証試験対象技術の公募・審査                                                           |              |
|       |               | 技術実証検討会の設置・運営                                                            |              |
|       |               | 実証試験計画の策定                                                                | 中島 大         |
|       |               | 実証試験の実施                                                                  |              |
|       |               | 実証試験結果報告書の作成                                                             | 沖 武宏<br>松尾壽裕 |
|       |               | データの品質管理                                                                 |              |
|       |               | 実証試験の監査                                                                  |              |
|       | ロガーデータの確認     |                                                                          |              |
| 実証申請者 | 株式会社篠田製作所     | 実証機関への必要な情報提供と協力<br>実証対象製品の準備と関連資料の提供<br>既存の性能データの提供<br>実証試験報告書の作成における協力 | 水野 勇         |

### 3 実証対象技術（機器等）の概要

#### 3 - 1 水車の概要

水車の概要は表 3-1 のとおりである。水車の設置状況については、縦断面図を図 3-1 に、水車全体の様子を写真 3-1 に示す。また、農業用水分水工から水車からの放水までの水路を写真 3-2～3-4 に示す。

表 3-1 実証対象技術の概要

|      |                            |
|------|----------------------------|
| 製造者  | 株式会社篠田製作所                  |
| 名称   | 上掛け水車（直径：3m00）             |
| 主な仕様 | 直径 3000mm、幅 900mm、バケット数 30 |

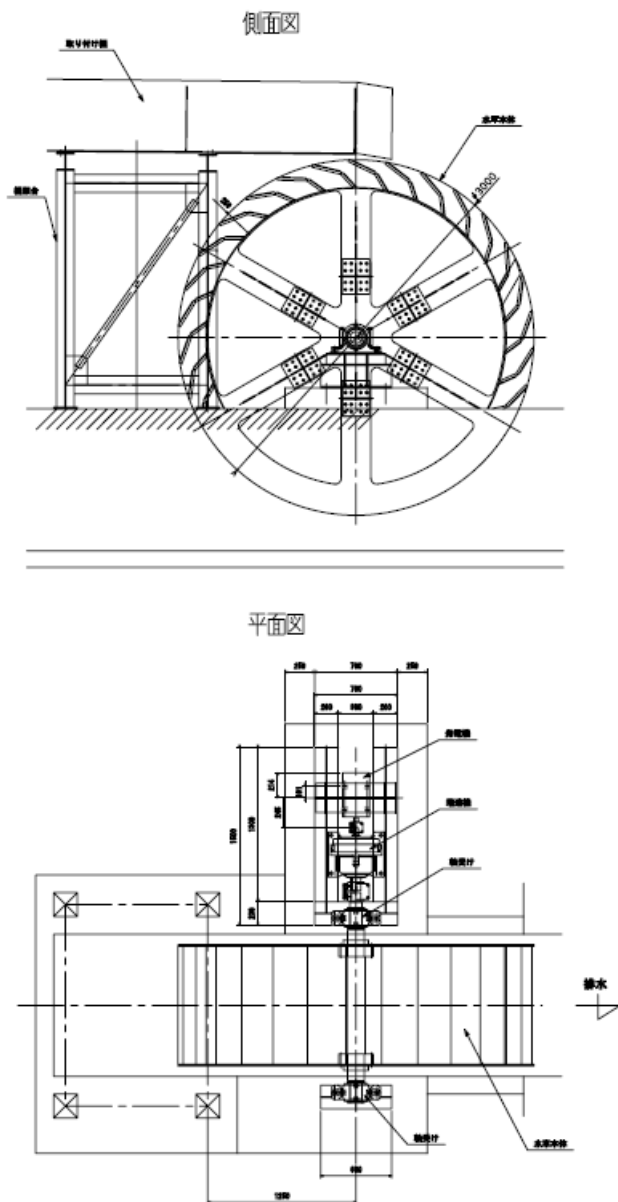


図 3-1 水車側面図および平面図



写真 3-1 水車の設置状況



写真 3-2 分水工から水車まで



写真 3-3 水車導水路と水車



写真 3-4 水車からの放水

### 3 - 2 電気回路の概要

電気回路（制御システム）のブロック図を図 3-2 に示す。

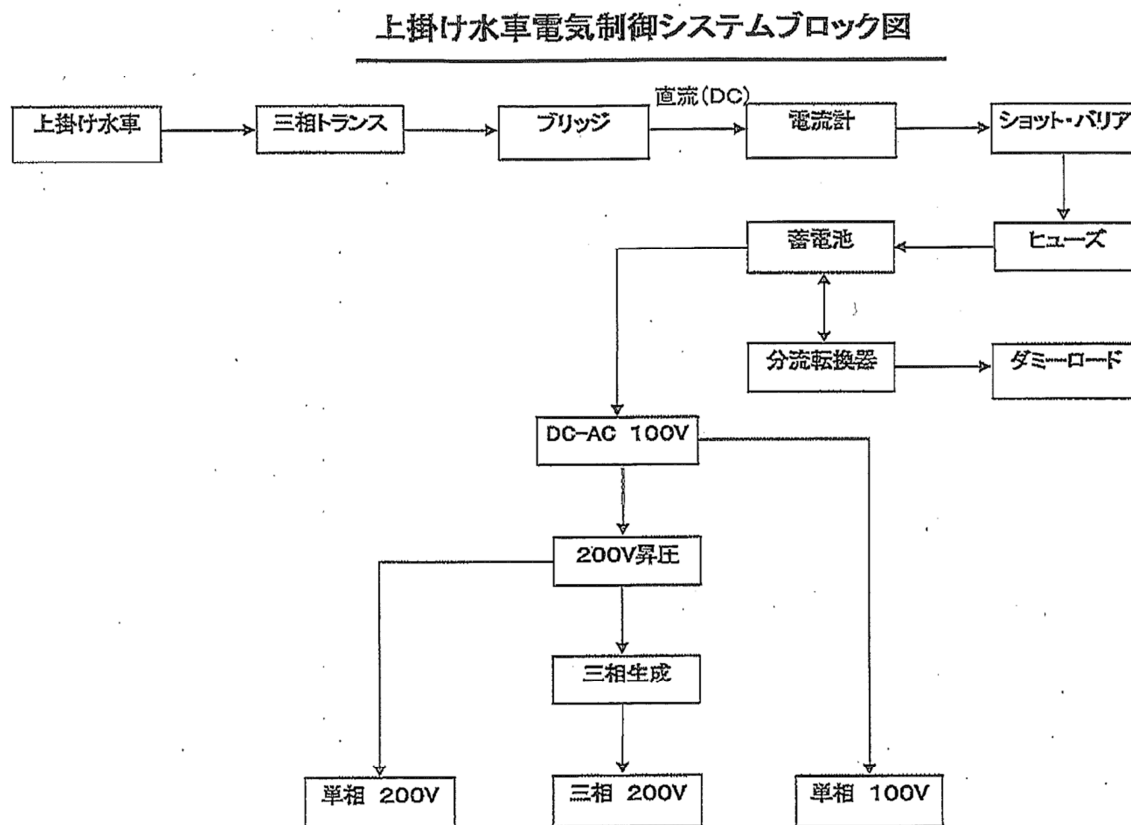


図 3-2 電気回路ブロック図

### 3 - 3 実証範囲と測定点

全体システムと、本実証試験において実証範囲とする性能測定対象システムの関係を図 3-3 に示す。また、同図 流量測定点の測定位置を写真 3-5 に、有効落差上流測定点・有効落差下流測定点の測定位置を図 3-4・写真 3-6・3-7 に示す。電気出力測定点については直流電圧と直流電流に分けて測定しており、それぞれの測定点を図 3-5 に示す。

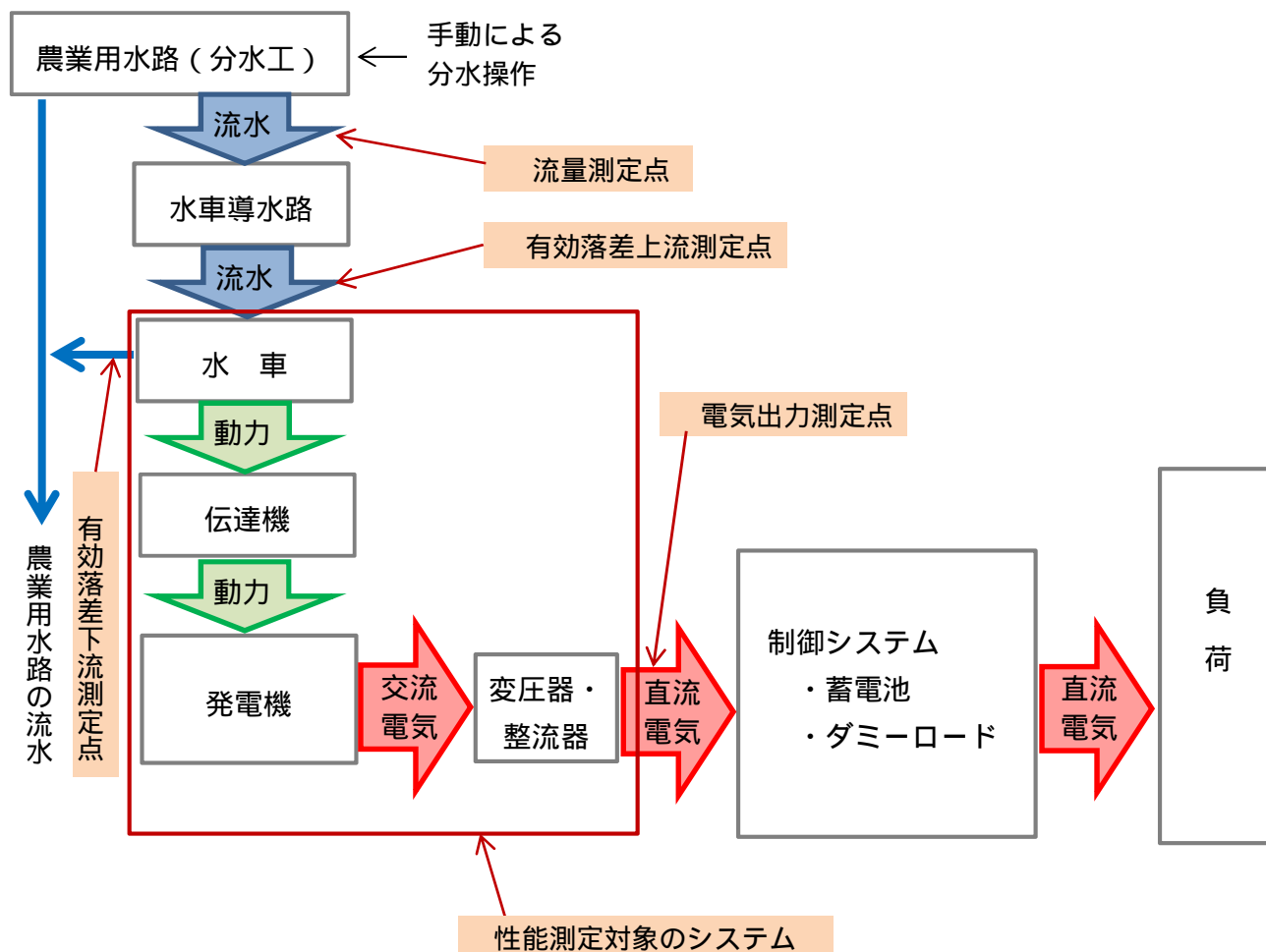


図 3-3 全体システムと性能測定対象システム





写真 3-5 流量測定点の様子

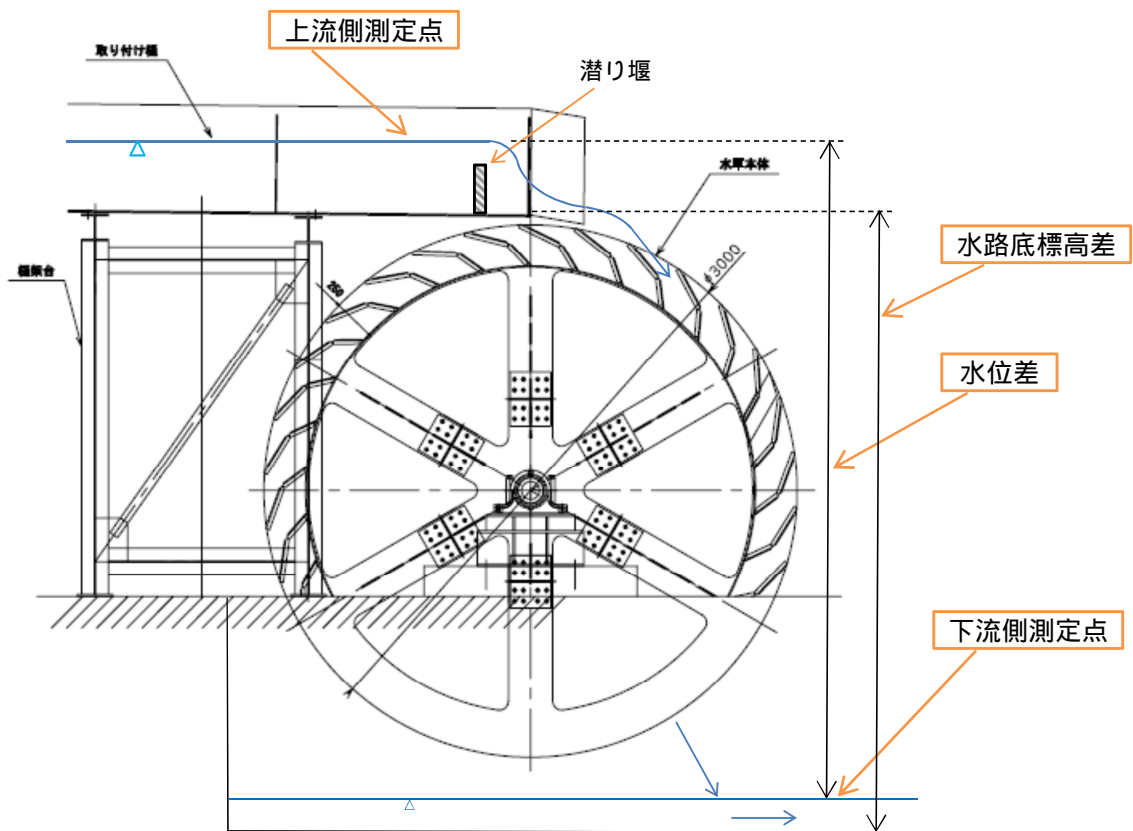


図 3-4 有効落差を測定するための上流側と下流側の測定点



写真 3-6 有効落差上流測定点



写真 3-7 有効落差下流測定点

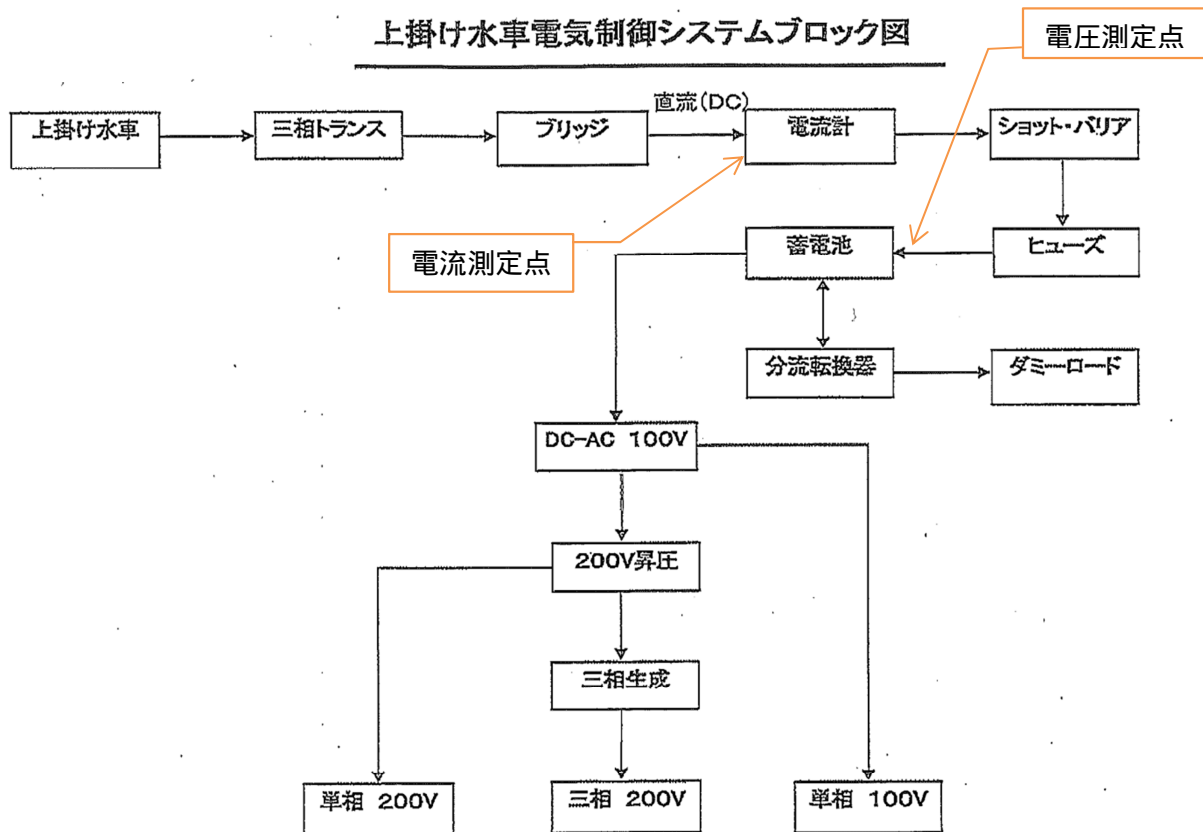


図 3-5 電気出力測定点（電圧と電流に分けて測定）

## 3 - 4 測定に使用する機器

測定項目、測定点と測定器の対応を表 3-2 に、主な測定器の使用を表 3-3 に示す。

表 3-2 測定項目・測定点と使用する機器

| 測定項目      | 測定点                                  | 測定器                  |
|-----------|--------------------------------------|----------------------|
| 流量        | 図 3-3 「 流量測定点」、写真 3-5                | プロペラ式流速計             |
| 上流側測定点水深  | 図 3-3 「 有効落差上流測定点」<br>図 3-4 「上流側測定点」 | 水圧式水深計               |
| 上流側測定点水路幅 | 同上                                   | コンベックス               |
| 下流側測定点水深  | 図 3-3 「 有効落差下流測定点」<br>図 3-4 「下流側測定点」 | 測量用スタッフ              |
| 出力電圧      | 図 3-3 「 電気出力測定点」<br>図 3-5 「電圧測定点」    | デジタルマルチメータ           |
| 出力電流      | 図 3-3 「 電気出力測定点」<br>図 3-5 「電流測定点」    | シャント抵抗<br>デジタルマルチメータ |
| 騒音        | 水車周辺（「8-3 騒音測定」で後述する）                | 普通騒音計                |

表 3-3 主な測定器の仕様

| 測定器                          | メーカー名         | 形式                           | 測定範囲                 | 測定精度                                     |
|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------|------------------------------------------|
| プロペラ式流速計                     | (株)ケネック       | センサ：VR3T-2-20N<br>ロガー：VR-301 | 3～200cm/s            | ±3cm/s                                   |
| 水圧式水深計                       | (株)センシズ       | センサ：HM-910-02-20<br>ロガー：LM-1 | 0～2m                 | 直線性±0.2%FS<br>零点の温度特性<br>±0.015%FS/      |
| 電圧測定用デジタルマルチメータ              | 三和電気計器<br>(株) | PC720M                       | 0～99.99V             | ±0.08% rdg ± 2dgt                        |
| 電流測定用デジタルマルチメータ <sup>1</sup> | 同上            | 同上                           | ±60.00mV<br>±600.0mV | ±0.12% rdg ± 2 dgt<br>±0.06% rdg ± 2 dgt |
| 普通騒音計<br>(A 特性)              | 日置電機(株)       | FT3432                       | 20～8kHz<br>30～130dB  | JIS C1509-1:2005<br>クラス 2                |

1 シャント抵抗両端電圧を測定したものである。

### 3 - 5 測定値の加工方法

ロガー（パソコンソフトによる記録を含む）による記録値のサンプリングと処理方法を表 3-4 に、分析に使用するデータを測定値から算出する方法を表 3-5 に示す。

なお、記録値の平均化に当たっては、例えば 14:00:01～14:00:20 にサンプリングした 20 点データの平均値を、14:00:00～14:00:20 の 20 秒間平均値として扱う。

表 3-4 ロガー等による記録値のサンプリングと処理方法

| 測定器             | サンプリングと処理の方法                                                |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|
| プロペラ式流速計        | 流速計自身の平均化機能を使い、20 秒間平均値を直読、記録する。                            |
| 水圧式水深計          | 内蔵ロガーに 2 秒間サンプリングで連続記録し、流速データと同時刻の 20 秒間（データ 10 点）平均値を算出する。 |
| 電圧測定用デジタルマルチメータ | パソコンに 1 秒間サンプリングで連続記録する（平均化方法については後述の表 3-5 参照）。             |
| 電流測定用デジタルマルチメータ | 同上                                                          |
| 普通騒音計<br>（A 特性） | 騒音計自身の平均化機能を使い、1 分間平均値を直読、記録する。                             |

表 3-5 測定値から算出するデータ

| 分析に使用するデータ | 算 出 方 法                                                                                                              |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 流量         | 流量の測定値（20 秒間平均流量）をそのまま使用する。                                                                                          |
| 有効落差       | 上流側測定点の水深と水路幅から水路断面積を算出する。<br>水路断面積と 流量から平均流速を算出し速度水頭に換算する。<br>水車上流・下流の水位差に速度水頭を加算して 有効落差を算出する<br>（「4-3 有効落差の定義」参照）。 |
| 理論出力       | 流量 × 有効落差 × 9.8（地表での重力加速度）で算出する                                                                                      |
| 出力電力       | 出力電圧と出力電流の瞬時測定値を乗じて瞬時電力とし、それを流量測定と同時刻の 20 秒間で平均して各時刻の出力電力を算出する                                                       |
| 総合効率       | ÷ で算出する。                                                                                                             |
| 騒音         | 普通騒音計の 1 分間平均値を用いる。                                                                                                  |

## 4 実証すべき内容

### 4 - 1 メーカーが公表している性能

メーカーが公表している性能資料は図 4-1 流量 - 出力曲線と、図 4-2 の流量 - 効率曲線である。流量および出力の測定点は前章図 3-3 に示した測定点と実質的に一致している。ただし有効落差に対する考え方に相違がある（4-3 に後述）ので、分析する際に注意が必要である。

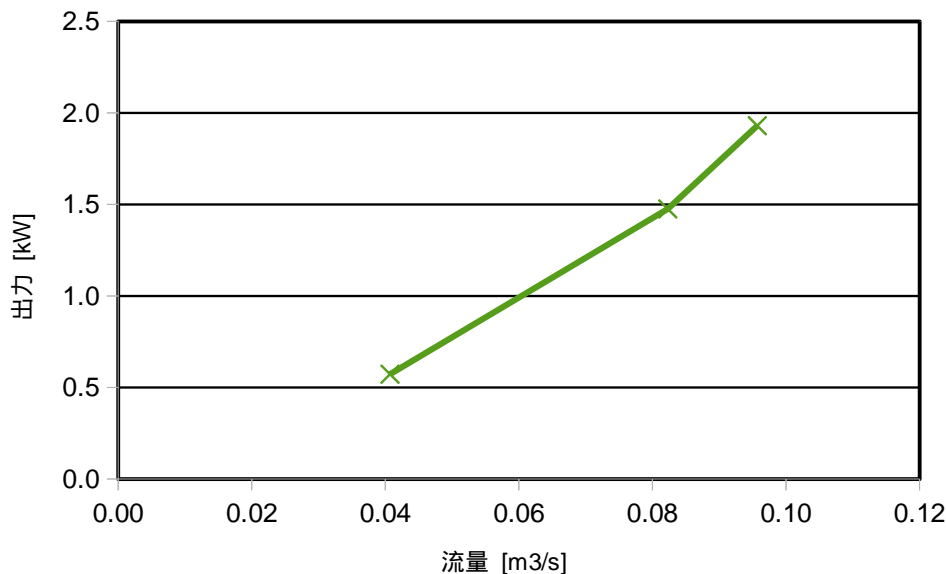


図 4-1 メーカーが公表している流量 - 出力曲線

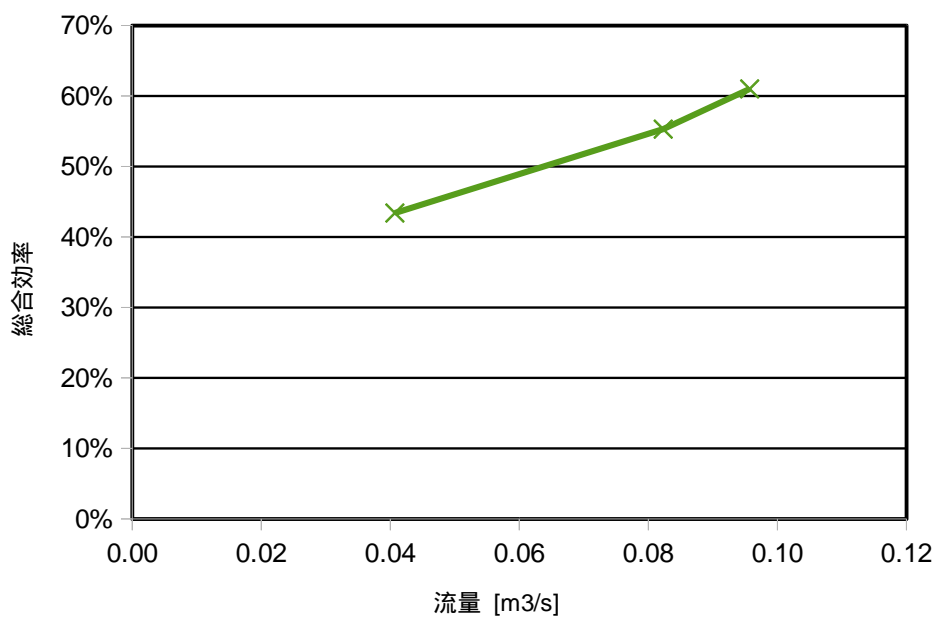


図 4-2 メーカーが公表している流量 - 効率曲線



## 4 - 2 本実証試験で実証する内容と範囲

### 4 - 2 - 1 実証する内容

水車発電機の性能は、落差・流量に応じた効率で評価されるのが一般的である。しかし上掛け水車を特定の（直径が固定された）製品として評価する場合、高効率で使用できる総落差（取水・放水の標高差）が固定されており、設置場所の地理的条件から生じる余剰落差は出力の増加にはあまり結びつかず総合効率の低下として評価されることが避けられない。

また設計上の観点からは、定められた候補地点の地形と使用可能流量の範囲で得られる出力の方が効率よりも重要な意味を持つケースが少なくないと予想される。

そこで本実証事業では流量 - 出力曲線と流量 - 効率曲線の両方を実証対象とする。

### 4 - 2 - 2 試験を行う流量の範囲

実証試験を行う流量の範囲は、メーカー公表値の流量範囲より広く取ることとする。すなわち、メーカー試験より少ない流量から多い流量までをカバーすることとする。

## 4 - 3 有効落差の定義

上掛け水車に関しては有効落差の定義が明確でない。

本実証試験では、水車直上の水路における水位に速度水頭を加算した水位を入口水位とし、また放流直下の水路における最大流量時の水位を出口水位とした。そして両者の水位差を有効落差と定義した。したがって、水車直上の水路に設けられた潜り堰状の堰板から水車に流入する部分での損失や、水車を離れた水が水車直下の水路に落ちるまでの無効な落差等も水車自体の損失の一部と見なしたことになる。

一般的には総落差から損失水頭を減じた値を有効落差と定義するが多いが、本実証試験では上記の方法で有効落差を直接算出している。

同一の流量で同一出力が得られても、有効落差の定義が異なれば効率の算出値が異なることに注意されたい。

## 5 準拠する試験方法と実際の試験方法

### 5 - 1 準拠する試験方法

本実証試験では、電気学会電気規格調査会標準規格『水車およびポンプ水車の効率試験方法』（JEC-4002-1992、以下「JEC規格」とよぶ）を基準とする。

ただし同基準は水車出力 100kW 以上を対象にしているのに対して本実証試験対象は 2kW 程度以下の水車出力であることや、現場の状況や使用可能な測定器により JEC 規格どおりの測定が困難な部分もある。

JEC 規格でも 100kW 未満の水車については「この規格の準用を推奨する」とされているので、実態に応じて準用、あるいは独自の測定方法を採用した。具体的な異同について次節に示す。

### 5 - 2 本実証試験方法と JEC 規格の異同

#### 5 - 2 - 1 一般事項

JEC 規格では営業運転開始前に試験を行うこととしているが、本実証試験では実用運転開始後約 3 年が経過しており、バケットからの漏水等性能の劣化も見る事ができる。しかし、メーカーが申請した機器であるので、上記事実を明記した上で本実証試験対象として支障のない機器として取扱うこととする。

その他の一般事項においても本実証試験の実情と一致しない部分があるが、実証内容に影響するものとして特記すべきものはない。

#### 5 - 2 - 2 試験条件

##### (1) 水車回転数

JEC 規格の試験条件では水車回転数に関する規定がある。しかし本実証試験対象機器は永久磁石式発電機を使用しており、かつ出力電圧を変動させる制御を行っているため、発電時の回転数は不安定である。そこで JEC 規格に準拠せず、水車回転数は測定対象外とした。

##### (2) 水車の出口水位

JEC 規格では反動水車と衝動水車について水車出口水位に関する規定があるが、上掛け水車については規定がない。そもそも上掛け水車の入口・出口水位についての定義は明確に定められていない。そこで本実証試験では、技術実証検討会に諮った上で入口・出口水位に相当する内容を独自に定義して評価に使用することとした。

##### (3) 安定状態

JEC 規格では水車その他の機器が充分安定した状態で測定するよう定められている。しかし農業用水の流れには乱れがあり、また(1)に記載したとおり負荷側に起因する不安定さもあることから、本実証試験では顕著な不安定が生じない限り支障がないものとして試験を実施した。

## （４）その他

上記以外の点では JEC 規格に準拠して試験を実施した。

## 5 - 2 - 3 試験の実施範囲

### （１）効率試験点の選定

JEC 規格では「効率を保証するすべての範囲が確認できること」と「効率試験点は原則として 5 点以上とし、効率曲線を描くのに十分なものと」することを求めている。

しかし「4-1 メーカーが公表している性能」に示したとおり、メーカーは流量 3 点のデータしか公表していない。

そこで本実証試験では、メーカーが示した最大流量より大きい流量と、最小流量より小さい流量を測定し、かつメーカーが示した流量点付近の状況が推計できる測定点で測定実施すればよいこととした。

### （２）測定回数

JEC 規格では、流速計法により測定する場合には 5 分間以上の連続測定を 2 回以上繰り返すこととなっている。

しかし現場の農業用水路には落ち葉・藻などのごみが流れており、長時間連続測定は困難であった。また、水路の流量自体も長時間安定しているものではなかった。

そこで、効率（出力）を評価する試験点に対して 20 秒間の流量測定を 3 回ずつ行うこととした。ただし、最大流量に関してはそれを 10 回行った。

### （３）その他の規定

本項に関する JEC 規格のその他の規定は、本実証試験に直接関係していない。

## 5 - 2 - 4 試験結果の計算及び判定

### （１）効率の算出

効率の算出式は JEC 規格のものを使用した。ただし測定精度が低いことから、水の密度は  $1000[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、重力加速度は  $9.8[\text{m}/\text{s}^2]$  で一定とした。また有効落差については定義が不明確なので 5-2-2(2)に記載したとおりの扱いとした。

### （２）効率データのばらつき

JEC 規格では「効率曲線から 1.5%以上離れた効率測定値は不適格と判定」と定めているが、実証試験で得られたデータの多くはそれ以上のばらつきをもっていた。測定条件だけでなく、水路の流量や運転状態の変動に起因するものと推測される。

そこで、とくに大きく離れたデータ以外は有効値として採用することとした。

### （３）効率曲線の作成方法



(2)に記載したとおり測定方法の誤差よりも運転状態の変動によるデータのばらつきが大きいと見られることから、効率曲線（および出力曲線）については測定データ全体を包絡する幅を持った曲線として描くこととした。

#### (4) 効率の判定方法

メーカー公表データと本実証試験とで有効落差の定義がことなるため、両者の効率データを直接比較することはできない。

直接の比較については流量 - 出力曲線で行うこととし、効率に関しては考察を加えた上で、数値としては本実証試験の定義に従って公表することとした。

#### (5) 測定誤差

「試験がこの規格によって注意深く行われる場合の」測定誤差に関する規定があるが、流量・落差に関してはこの規格通りに測定できなかったことや、測定誤差より運転状態のばらつきの方が大きいとみられたことから、本実証試験では測定誤差に関する分析評価は行わないこととした。

### 5 - 2 - 5 測定方法

#### (1) 測定一般

測定一般に関する試験方法は JEC 規格に準拠した。ただし、効率測定の回数に関する考え方は 5-2-3 に記したとおり JEC 規格と異なっている。

#### (2) 出力測定（電力測定）

電気測定（直流電圧・直流電流）については、もっとも誤差の大きい測定値でも  $\pm 0.3\%$  以下であり、JEC 規格の条件（JIS0.5 級以内）を満たしている。

一方 JEC 規格では「ケーブルなどの損失」「増速機など連結装置の損失」などといった項目が出力測定の対象となっているが、本実証試験ではシステム全体（3-3 参照）を実証することとしており、出力としては直流出力電力のみを測定対象とした。

それ以外は JEC 規格に準拠している。

#### (3) 有効落差

有効落差を測定するために使用した機材は、水圧測定装置・水位測定装置とも JEC 規格を外れたものを使用しており、測定精度も JEC 規格より低い。現場の状況や本事業の制約上 JEC 規格に準拠した方法を採用できなかったからである。ただし測定中の運転状態のばらつきが大きいいため有効落差の測定精度よりもデータのばらつきが大きいため、実証の目的上の支障は生じなかった。

#### (4) 回転速度

回転速度は本実証試験の測定対象項目とはしなかった。ただし、メーカー公表値と実証値の相違を

分析する際に回転数を参照した。

## （５）流量

流量測定を行った水路は JEC 規格が定める寸法条件を満たしていない。ただし JEC 規格の定め（流速 0.4m/s 以上、幅 0.8m 以上、水深 0.8m 以上）はもともと出力 100kW 以上の水車を想定したものであり、本実証試験はその範囲外にあることは本節冒頭に記したとおりである。

また、JEC 規格に定めのある整流板は設置せず、測定点配置等も異なっていた。

以上のことから、流量に関して JEC 規格が求める測定精度を本実証試験は満たしていないが、(3)にも記したとおり実証の目的に支障をきたすことはなかった。

## 5 - 2 - 6 試験成績書

JEC 規格に言う「試験成績書」は本実証試験における本報告書に相当するものである。これに関しては技術実証検討会に諮った上で本実証試験独自の書式で作成した。

## 6 実証試験場所の概要

白鳥ふるさと食品加工伝承施設（岐阜県郡上市白鳥町石徹白 23-5-1）に設置された機器を用いて実証試験を行った。

使用した水は、上記施設前を通る農業用水路から分土工で取水し、発電後に同じ水路に放水されている。

## 7 データとして使用する前年度調査結果

本実証試験対象設備については、2013年度の本事業において先行する試験を、2014年2月19日および3月9・10日にも行ったところである。その際の測定データのうち、水路底標高差（水車導水路底と放水路底の標高差、図3-4参照、2014年2月19日測量）および最大出力時の回転数（2014年3月10日測定）について、本報告書でも使用する。

## 8 実証試験の実施方法

### 8 - 1 流量・水位測定

#### 8 - 1 - 1 流量・水位に関する測定項目

流量に関しては、水車水路の上流側に流速計を設置し、水路を 3 分割した上で 1 点法により流速を測定し、流量を算出した。

したがって測定項目は、水路の形状（測定期間中不変）、水深（各測定時間に 1 データ）、流速（各測定時間に 3 データ）である。流速計で測定する流速は、20 秒間平均値（流速計の設定により内部演算で算出される値）とした。

一方水位に関しては、上流・下流の水深データと、上流・下流水路の水路底標高差データが必要になる。

上流水深データについては、流量と同時刻の値が必要になることから、水深センサで測定した値を時刻合わせをした水位ロガーにより記録した。サンプリング周期はいずれも 2 秒間とし、14:00:02～14:00:20 の 10 点データの平均値を 14:00:00～14:00:20 の平均値とする、といった処理で 20 秒平均値を算出した。

下流水深データは最大流量時に測定することとしたので、流速測定開始直前にスタッフを用いた目視で測定した。

水路底標高差データに関しては、「7 データとして使用する前年度調査結果」に記したとおり 2014 年 2 月 19 日の測量データを用いることとし、この測定日には測量しなかった。

#### 8 - 1 - 2 水路状態の確認と測定器の設置

水路から水車に導水する分土工を操作し、水車に導かれる流量ができる限り多くなるようにした。また、分土工から水車までの水路と水車直下の水路を点検し、流水に支障がないことを確認した（写真 8-1・8-2）。



2014年10月9日 12:52 撮影

写真 8-1 分水工の状態



2014年10月9日 12:52 撮影

写真 8-2 水車水路の状態

### 8 - 1 - 3 水路断面の測定

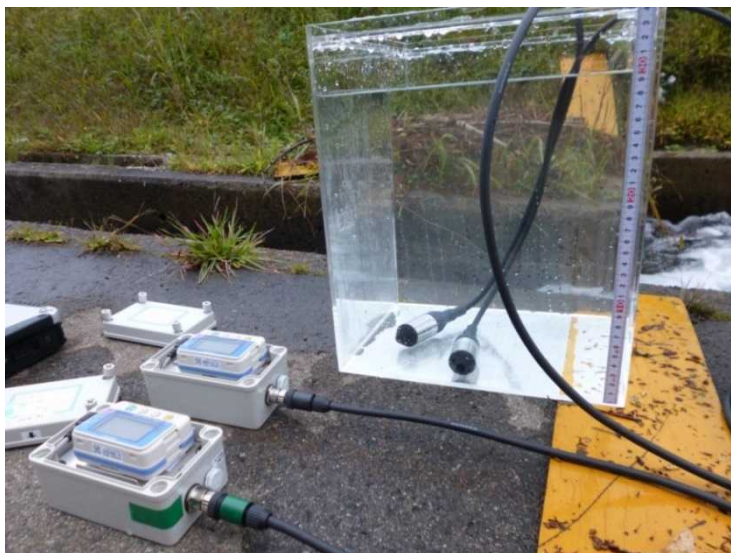
流量測定地点にて、水路断面を測定した。



8 - 1 - 4 水深センサとロガーの起動とオフセット測定

水深センサとロガーを接続し、ロガーの時刻を電機計測用パソコンに合わせた。

ロガーの記録を開始した上で、水深センサを静置した水槽に沈め、水槽の水位を測定した（ロガーに記録された水位計の水位との差を算出してオフセット値とするため）。設置状態を写真 8-3 に示す。



2014年10月9日 16:08 撮影

写真 8-3 水深センサのオフセット測定状態

8 - 1 - 5 水車下流水深の測定

水車下流の放水路において、スタッフを用いた目視により水深を測定した（写真 8-4）。



写真 8-4 水車下流水深の測定

## 8 - 1 - 6 水車上流水位測定点への水深センサ設置

8-1-4 で水槽に沈めた水深センサのデータがロガーに適切に記録されたことを確認した後、水深センサを移動し、水車水路に設置した。設置状態を写真 8-5 に示す。



2014年10月9日 14:07 撮影

写真 8-5 水車上流水位測定点に設置した水深センサ

## 8 - 1 - 7 流量の測定点の状態

流量を測定した導水路の状況を写真 8-6 に示す。



2014年10月9日 14:58 撮影

写真 8-6 流量測定地点の状況

## 8 - 1 - 8 流量の測定方法

まず流量をできるだけ多くした状態で、水深を測定し、また 20 秒間の平均流速を 10 回測定した。

次に、流量を減少させて水深を測定し、20 秒間の平均流量を 3 回測定した。そしてこれを 3 回繰り返した。

各データの測定時刻は、あらかじめテスターデータを記録するパソコン（後述）の時計、水車水路の水位ロガー（同）の時計と時刻合わせした時計の読みを記録した。



## 8 - 2 電気測定

### 8 - 2 - 1 電気に関する測定項目

必用なのは直流電力データであり、直流電圧・電流の測定値から電力を算出することとした。

電流に関しては、制御装置に設置されていたシャント抵抗（200mV / 200A）をそのまま用いて、その両端電圧を測定、記録し、電流に換算した。電圧は蓄電池の端子電圧を測定、記録した。サンプリング周期はいずれも 1 秒間とし、14:00:01～14:00:20 の 20 点データの平均値を 14:00:00～14:00:20 の平均値とする、といった処理で 20 秒平均値を算出した。

上掛け水車電気制御システムブロック図

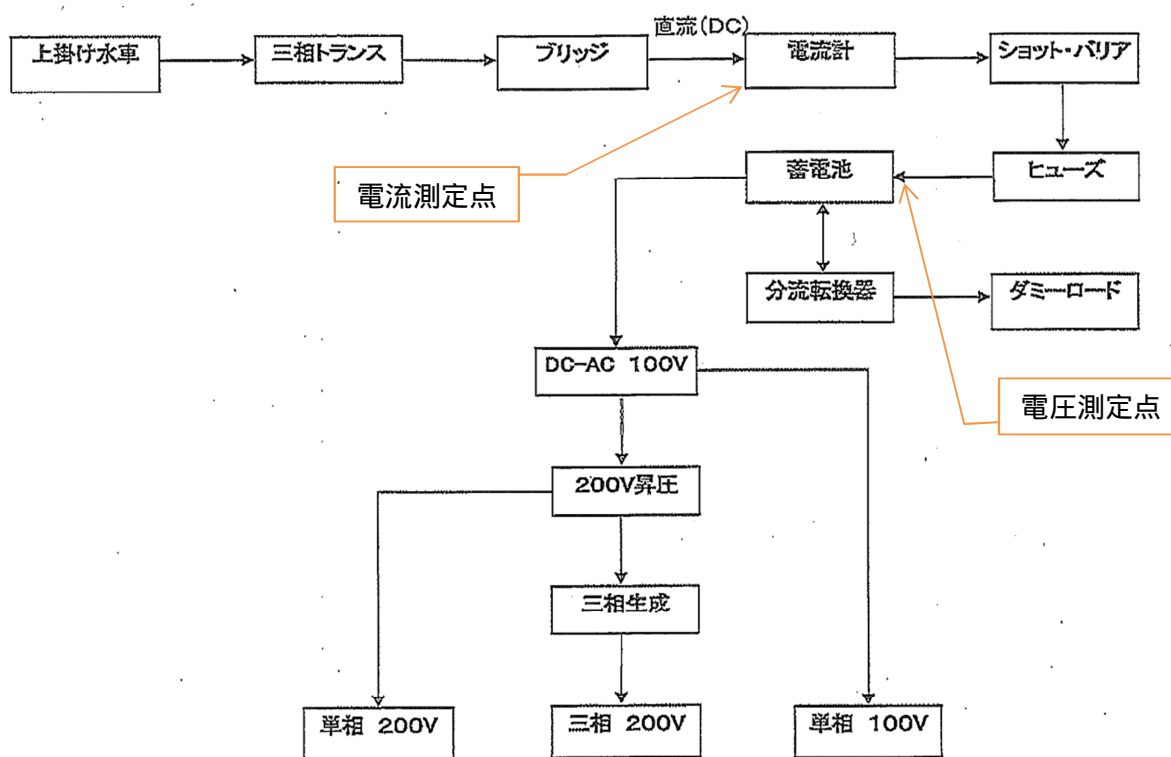


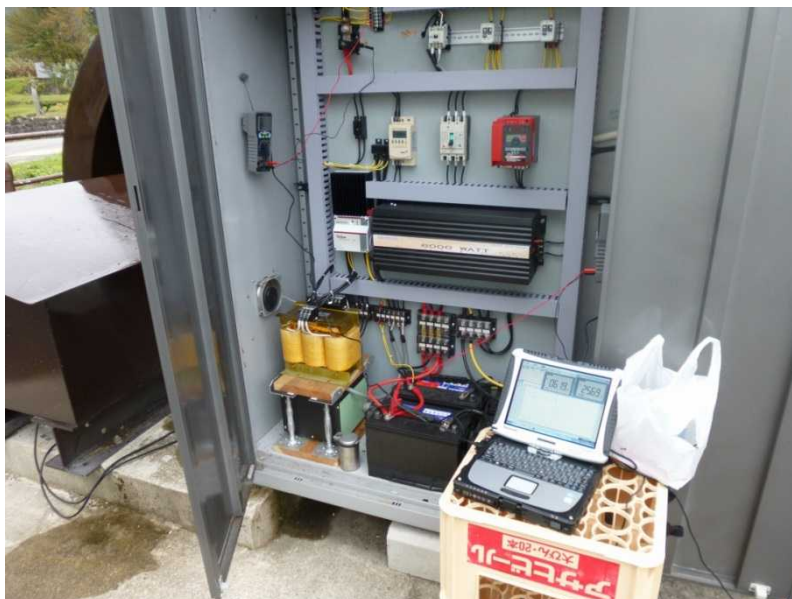
図 8-1 電流、電圧の測定点

## 8 - 2 - 2 測定器の接続と記録

流量・水位測定に関する測定器類の設置と前後して、電気に関する測定機器類の接続を行った。

まず制御盤にテスト等の測定器を接続し、テストは USB ケーブルでパソコンにも接続した。パソコンの時刻は他の測定に使用した時計やロガーとあらかじめ合わせておいた。

その後パソコン上の記録ソフトを起動し、正常に作動していることを確認した。接続状態を写真 8-7 に示す。



2014年10月9日 13:55 撮影

写真 8-7 テスタ、パソコン等の接続状態

## 8 - 3 騒音測定

### 8 - 3 - 1 騒音に関する測定項目

普通騒音計を用いて、水車から 4 方向（ただし加温ハウスに遮られる方向がありそれを避けたため、5 方向となった）に 3m、5m、10m の距離を置いて可聴域の騒音を測定した。また、直近の民家付近（道路との境界付近）の騒音も測定した。

距離測定の起点については、最も音がうるさく感じられた発電機ボックス（増速機も入っている）を起点とした。ただし道路方向は水車の安全柵からの距離とした（発電機ボックスと水車をはさんで反対方向になるため）。

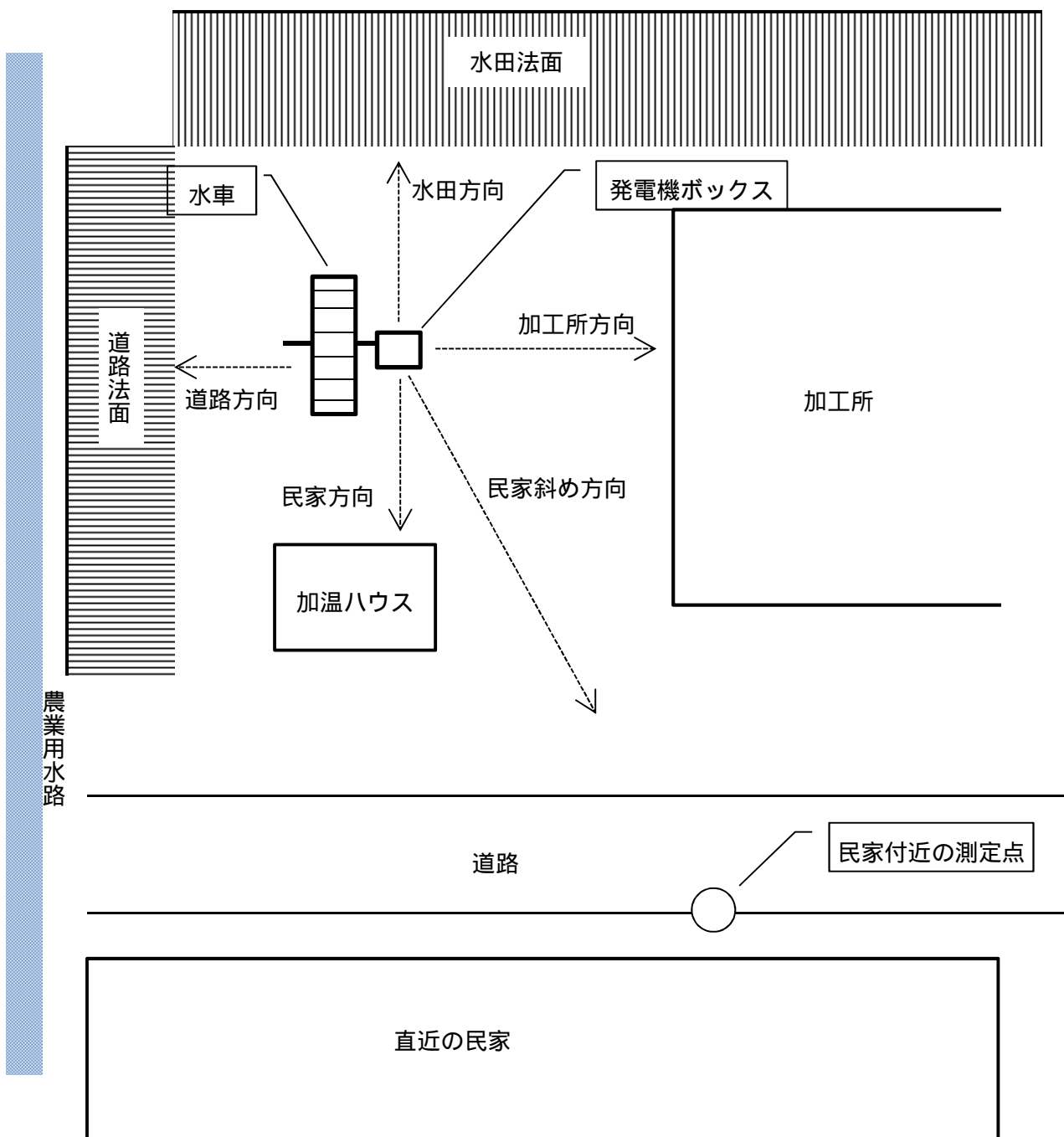


図 6-2 水車周辺の状況と騒音の測定方向

## 8 - 3 - 2 測定の実施

騒音測定は、最大流量時と最小流量時（水を完全に止め水車を停止させることはできなかった）の2回測定した。ただし最小流量時の測定は測定点を減らして行った。

実施状況を写真 8-8 に示す。



2014年10月9日 15:05 撮影

写真 8-8 騒音測定の様子

## 8 - 4 その他の測定項目

その他、気温・水温をデジタル温度計を用いて適時に測定し、記録した。

## 9 実証試験で得られたデータ

### 9 - 1 測定値と分析に使用するデータのまとめ

表 9-1 測定値と分析に使用するデータのまとめ

| 測定項目            | 記録内容                      | 測定値                                        | 分析に使用するデータ |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------------------|------------|
| 気温              | 温度計の目視測定値                 | 17.7 (13:53)                               | 17.7       |
| 水温              | 温度計の目視測定値                 | 14:32、14:40、14:46 の 3 回測定し、いずれも 13.0       | 13.0       |
| 水位計オフセット測定用水槽水位 | 水槽に取り付けたメジャーの目視測定値        | 324mm                                      | -          |
| 水位計による水槽水位      | 水槽の水位口ガー記録値               | 312mm<br>(13:20~13:25の間一定)                 | -          |
| 水位計オフセット値       |                           | との差                                        | 12mm       |
| 水路断面形状          | コンベックスで採寸                 |                                            | 9-2-1 に記載  |
| 水深と流速           | コンベックスおよび流速計の測定値          | 14:18~14:52 の間に 20 秒間の測定を 19 回実施。          | 9-2-3 に記載  |
| 流量              |                           | ・ から算出                                     | 9-2-4 に記載  |
| 水車上流水路の水深       | 水車上流水路の水深口ガー記録値           | の測定と同一時刻の 20 秒間データ 19 セットを使用する             | 9-3-1 に記載  |
| 水車上流水路の速度水頭     |                           | ・ から算出。水路幅は 900mm                          | 同上         |
| 水車下流水路の水深       | 測量用スタッフを使った目視測定値          | 100mm (13:50)                              | 100mm      |
| 水車上下流標高差        | 昨年度の測量結果を用いる <sup>1</sup> | 3.384m (2014 年 2 月 19 日測量時から現場の状況に変化なし)    | 3.384m     |
| 有効落差            |                           | ~ から算出                                     | 9-3-2 に記載  |
| 出力電圧            | パソコンソフトで記録したバッテリー電圧       | の測定と同一時刻の 20 秒間データ 19 セットを使用する             | 9-4-1 に記載  |
| 出力電流            | シャント抵抗両端電圧                | の測定と同一時刻の 20 秒間データ 19 セットを使用する             | 同上         |
| 出力電力            |                           | ・ から算出                                     | 同上         |
| 総合効率            |                           | ・ ・ から算出                                   | 同上         |
| 騒音              | 騒音計で測定した 1 分間平均値          | 14:16~14:30、15:00~15:10 の間に測定点を変えて計 17 回測定 | 9-6 に記載    |

1 「5 データとして使用する前年度調査結果」に記載したとおり。

## 9 - 2 流量の算出

### 9 - 2 - 1 水路断面形状の測定結果

水路断面の測定結果を図 9-1 に示す。ただし、水路底付近の直線部分と曲線部分の境界は曖昧であり、測定精度は高くない。この結果は図 2 に示した JIS 規格の寸法とほぼ一致しているので、本実証試験では JIS 規格（図 9-2）に従って水深と流路断面の関係式を定めることとする。

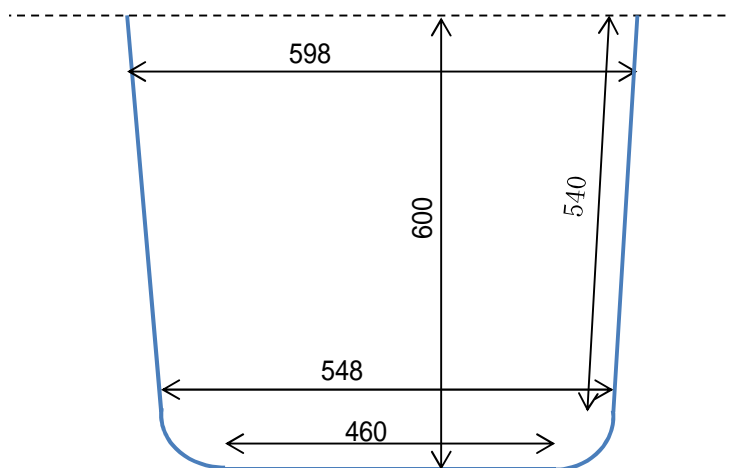
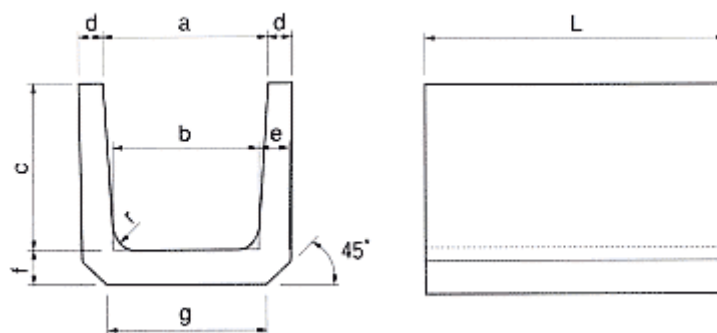


図 9-1 水路断面の測定結果（数量の単位は mm）



| a   | b   | c   | d  | e  | f  | g   | r  |
|-----|-----|-----|----|----|----|-----|----|
| 600 | 540 | 600 | 70 | 80 | 80 | 600 | 70 |

図 9-2 U字溝の JIS 規格（数量の単位は mm）

9 - 2 - 2 水深と流路断面積の関係式の作成

流速測定では図 9-2 "a" 部分を図 9-3 のように 3 分割し左岸側・中央・右岸側の流速を測定したので、それぞれの流路面積は以下のように求められる。

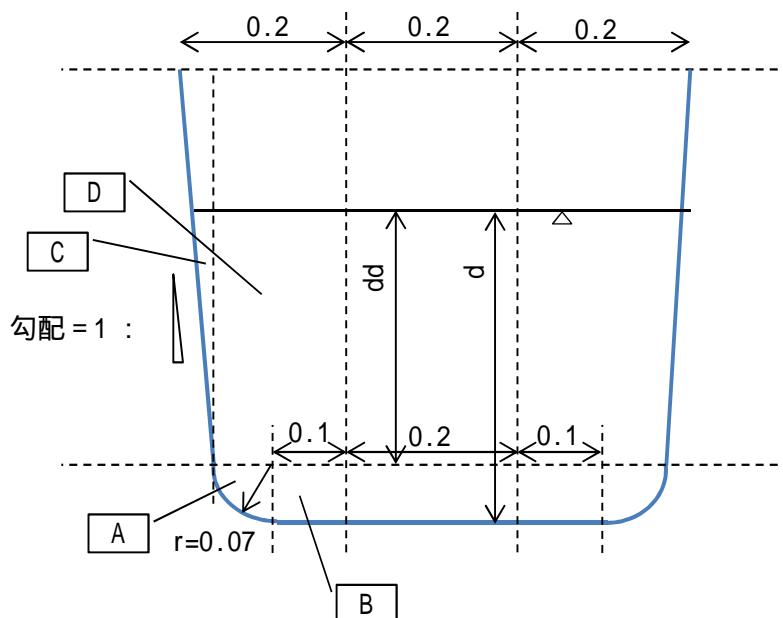


図 9-3 水路断面の分割（数量の単位は m）

中央

水深が  $d$  のとき、流路断面積は次式で算出される。

$$\text{中央部の流路断面積} = 0.2 \times d$$

左岸側および右岸側

水深が  $d$  のとき、 $dd = d - 0.07$ （ただし  $d > 0.07$ ）として、左岸側および右岸側の流路断面積は次式で算出される。

$$\begin{aligned} &\text{左岸側（右岸側）の流路断面積} = A + B + C + D \\ &\cdot A \text{（1/4 円部）} \quad \times 0.07^2 \div 4 \quad 0.003848 \text{ [m}^2\text{]} \text{（一定）} \\ &\cdot B \text{（底部長方形）} = 0.1 \times 0.07 = 0.007 \text{ [m}^2\text{]} \text{（一定）} \\ &\cdot C \text{（側部三角形）} = 0.05 \times dd^2 \div 2 \text{ [m}^2\text{]} \\ &\cdot D \text{（中心部長方形）} = 0.17 \times dd \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned}$$



9 - 2 - 3 水深と流速

分水工を操作して、4通りの流量区分で1点法による流量測定を行った。

水深の測定は各流量区分ごとに1回ずつ、流速（20秒間平均値）は最大流量区分で10回、それ以外の3区分で3回ずつ測定した。

各流量区分ごとに、9-2-2の算出式を用いて算出した流路断面積を表9-2に、流速の測定値を表9-3に示す。

表9-2 流路断面積の算出

| 流量区分 | 流量測定時刻              | 水深 [m] | 流路断面積 [m <sup>2</sup> ] |        |        |
|------|---------------------|--------|-------------------------|--------|--------|
|      |                     |        | 左岸側                     | 中央     | 右岸側    |
| 1    | 14:18:00 ~ 14:30:10 | 0.245  | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 |
| 2    | 14:36:20 ~ 14:39:00 | 0.207  | 0.0346                  | 0.0414 | 0.0346 |
| 3    | 14:43:20 ~ 14:45:50 | 0.170  | 0.0281                  | 0.0340 | 0.0281 |
| 4    | 14:49:30 ~ 14:51:50 | 0.146  | 0.0239                  | 0.0292 | 0.0239 |

表9-3 流速の測定値

| 流量区分       | 時刻         | 流速（20秒間平均） [m/s] |       |       |
|------------|------------|------------------|-------|-------|
|            |            | 左岸側              | 中央    | 右岸側   |
| 1          | ~ 14:18:20 | 0.782            | 0.770 | 0.470 |
|            | ~ 14:19:50 | 0.813            | 0.757 | 0.641 |
|            | ~ 14:21:20 | 0.799            | 0.776 | 0.607 |
|            | ~ 14:23:00 | 0.829            | 0.752 | 0.682 |
|            | ~ 14:24:10 | 0.791            | 0.778 | 0.690 |
|            | ~ 14:25:50 | 0.779            | 0.759 | 0.704 |
|            | ~ 14:27:00 | 0.845            | 0.776 | 0.720 |
|            | ~ 14:28:00 | 0.838            | 0.778 | 0.677 |
|            | ~ 14:29:10 | 0.872            | 0.805 | 0.719 |
| ~ 14:30:10 | 0.853      | 0.824            | 0.676 |       |
| 2          | ~ 14:36:40 | 0.705            | 0.654 | 0.623 |
|            | ~ 14:37:50 | 0.703            | 0.674 | 0.559 |
|            | ~ 14:39:00 | 0.699            | 0.656 | 0.591 |
| 3          | ~ 14:43:40 | 0.459            | 0.395 | 0.385 |
|            | ~ 14:44:40 | 0.468            | 0.404 | 0.419 |
|            | ~ 14:45:50 | 0.487            | 0.365 | 0.434 |
| 4          | ~ 14:49:50 | 0.302            | 0.311 | 0.324 |
|            | ~ 14:50:50 | 0.313            | 0.315 | 0.300 |
|            | ~ 14:51:50 | 0.320            | 0.329 | 0.313 |

9 - 2 - 4 流量の算出

表 9-2 と表 9-3 から算出した導水路の流量を表 9-4 に示す。平均流量の「合計」（右端列の値）が算出した流量である。

表 9-4 導水路流量の算出

| 時刻         | 平均流速 [m/s] |       |       | 流路断面積 [m <sup>2</sup> ] |        |        | 平均流量 [m <sup>3</sup> /s] |        |        |        |
|------------|------------|-------|-------|-------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|--------|
|            | 左岸側        | 中央    | 右岸側   | 左岸側                     | 中央     | 右岸側    | 左岸側                      | 中央     | 右岸側    | 合計     |
| 流量区分 1     |            |       |       |                         |        |        |                          |        |        |        |
| ~ 14:18:20 | 0.782      | 0.770 | 0.470 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0323                   | 0.0377 | 0.0194 | 0.0895 |
| ~ 14:19:50 | 0.813      | 0.757 | 0.641 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0336                   | 0.0371 | 0.0265 | 0.0972 |
| ~ 14:21:20 | 0.799      | 0.776 | 0.607 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0330                   | 0.0380 | 0.0251 | 0.0962 |
| ~ 14:23:00 | 0.829      | 0.752 | 0.682 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0343                   | 0.0368 | 0.0282 | 0.0993 |
| ~ 14:24:10 | 0.791      | 0.778 | 0.690 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0327                   | 0.0381 | 0.0285 | 0.0994 |
| ~ 14:25:50 | 0.779      | 0.759 | 0.704 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0322                   | 0.0372 | 0.0291 | 0.0985 |
| ~ 14:27:00 | 0.845      | 0.776 | 0.720 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0350                   | 0.0380 | 0.0298 | 0.1028 |
| ~ 14:28:00 | 0.838      | 0.778 | 0.677 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0347                   | 0.0381 | 0.0280 | 0.1008 |
| ~ 14:29:10 | 0.872      | 0.805 | 0.719 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0361                   | 0.0394 | 0.0297 | 0.1053 |
| ~ 14:30:10 | 0.853      | 0.824 | 0.676 | 0.0414                  | 0.0490 | 0.0414 | 0.0353                   | 0.0404 | 0.0280 | 0.1036 |
| 流量区分 2     |            |       |       |                         |        |        |                          |        |        |        |
| ~ 14:36:40 | 0.705      | 0.654 | 0.623 | 0.0346                  | 0.0414 | 0.0346 | 0.0244                   | 0.0271 | 0.0216 | 0.0730 |
| ~ 14:37:50 | 0.703      | 0.674 | 0.559 | 0.0346                  | 0.0414 | 0.0346 | 0.0243                   | 0.0279 | 0.0193 | 0.0716 |
| ~ 14:39:00 | 0.699      | 0.656 | 0.591 | 0.0346                  | 0.0414 | 0.0346 | 0.0242                   | 0.0272 | 0.0205 | 0.0718 |
| 流量区分 3     |            |       |       |                         |        |        |                          |        |        |        |
| ~ 14:43:40 | 0.459      | 0.395 | 0.385 | 0.0281                  | 0.0340 | 0.0281 | 0.0129                   | 0.0134 | 0.0108 | 0.0371 |
| ~ 14:44:40 | 0.468      | 0.404 | 0.419 | 0.0281                  | 0.0340 | 0.0281 | 0.0132                   | 0.0137 | 0.0118 | 0.0387 |
| ~ 14:45:50 | 0.487      | 0.365 | 0.434 | 0.0281                  | 0.0340 | 0.0281 | 0.0137                   | 0.0124 | 0.0122 | 0.0383 |
| 流量区分 4     |            |       |       |                         |        |        |                          |        |        |        |
| ~ 14:49:50 | 0.302      | 0.311 | 0.324 | 0.0239                  | 0.0292 | 0.0239 | 0.0072                   | 0.0091 | 0.0077 | 0.0241 |
| ~ 14:50:50 | 0.313      | 0.315 | 0.300 | 0.0239                  | 0.0292 | 0.0239 | 0.0075                   | 0.0092 | 0.0072 | 0.0239 |
| ~ 14:51:50 | 0.320      | 0.329 | 0.313 | 0.0239                  | 0.0292 | 0.0239 | 0.0077                   | 0.0096 | 0.0075 | 0.0247 |

### 9 - 3 有効落差の算出

#### 9 - 3 - 1 水車上流水路の断面と流速

表 9-5 では、表 9-4 に示した流量（20 秒間平均値）を とし、それと同時刻の水車上流水路の水深測定値（ロガーに記録された値）の平均値を としている。また、水路幅が 900mm であることから次の式で 断面積、 流速、 速度水頭を算出た。

$$\text{断面積} = \text{流量} \div \text{流速} \times 0.9[\text{m}]$$

$$\text{流速} = \text{流量} \div \text{断面積}$$

$$\text{速度水頭} = (1/2) \times \text{流速}^2 \div 9.8 \quad (9.8 \text{ は地表の重力加速度})$$

表 9-5 水車上流水路の速度水頭の算出

| 流量<br>区分 | 時刻         | 流量<br>[m³/s] | 水深 [m] | 断面積<br>[m²] | 流速<br>[m/s] | 速度水頭<br>[m] |
|----------|------------|--------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| 1        | ~ 14:18:20 | 0.0895       | 0.371  | 0.334       | 0.268       | 0.004       |
|          | ~ 14:19:50 | 0.0972       | 0.371  | 0.334       | 0.291       | 0.004       |
|          | ~ 14:21:20 | 0.0962       | 0.371  | 0.334       | 0.288       | 0.004       |
|          | ~ 14:23:00 | 0.0993       | 0.371  | 0.334       | 0.297       | 0.005       |
|          | ~ 14:24:10 | 0.0994       | 0.371  | 0.334       | 0.298       | 0.005       |
|          | ~ 14:25:50 | 0.0985       | 0.372  | 0.335       | 0.294       | 0.004       |
|          | ~ 14:27:00 | 0.1028       | 0.373  | 0.336       | 0.306       | 0.005       |
|          | ~ 14:28:00 | 0.1008       | 0.371  | 0.334       | 0.302       | 0.005       |
|          | ~ 14:29:10 | 0.1053       | 0.371  | 0.334       | 0.315       | 0.005       |
|          | ~ 14:30:10 | 0.1036       | 0.371  | 0.334       | 0.311       | 0.005       |
| 2        | ~ 14:36:40 | 0.0730       | 0.353  | 0.318       | 0.230       | 0.003       |
|          | ~ 14:37:50 | 0.0716       | 0.350  | 0.315       | 0.227       | 0.003       |
|          | ~ 14:39:00 | 0.0718       | 0.347  | 0.313       | 0.230       | 0.003       |
| 3        | ~ 14:43:40 | 0.0371       | 0.310  | 0.279       | 0.133       | 0.001       |
|          | ~ 14:44:40 | 0.0387       | 0.309  | 0.278       | 0.139       | 0.001       |
|          | ~ 14:45:50 | 0.0383       | 0.310  | 0.279       | 0.137       | 0.001       |
| 4        | ~ 14:49:50 | 0.0241       | 0.289  | 0.260       | 0.093       | 0.000       |
|          | ~ 14:50:50 | 0.0239       | 0.288  | 0.260       | 0.092       | 0.000       |
|          | ~ 14:51:50 | 0.0247       | 0.289  | 0.260       | 0.095       | 0.000       |

9 - 3 - 2 有効落差の算出

水車上流水路の水深（表 9-5 ）、水車下流水路の水深（表 9-1 ）、水車上下流水路底の標高差（表 9-1 ）、水車上流水路の速度水頭（表 9-5 ）から、以下の式で有効落差を算出し、結果を表 9-6 にまとめた。なお、 と の値はすべての時刻に共通で、 = 0.1[m]、 = 3.384[m]である。

$$\text{有効落差} = \text{ } + \text{ } - \text{ } + \text{ }$$

表 9-6 有効落差の算出

| 流量区分 | 時刻         | 水車上流水路の水深 [m] | 水車上流水路の速度水頭 [m] | 有効落差 [m] |
|------|------------|---------------|-----------------|----------|
| 1    | ~ 14:18:20 | 0.371         | 0.004           | 3.659    |
|      | ~ 14:19:50 | 0.371         | 0.004           | 3.659    |
|      | ~ 14:21:20 | 0.371         | 0.004           | 3.660    |
|      | ~ 14:23:00 | 0.371         | 0.005           | 3.660    |
|      | ~ 14:24:10 | 0.371         | 0.005           | 3.660    |
|      | ~ 14:25:50 | 0.372         | 0.004           | 3.660    |
|      | ~ 14:27:00 | 0.373         | 0.005           | 3.662    |
|      | ~ 14:28:00 | 0.371         | 0.005           | 3.660    |
|      | ~ 14:29:10 | 0.371         | 0.005           | 3.660    |
|      | ~ 14:30:10 | 0.371         | 0.005           | 3.660    |
| 2    | ~ 14:36:40 | 0.353         | 0.003           | 3.640    |
|      | ~ 14:37:50 | 0.350         | 0.003           | 3.637    |
|      | ~ 14:39:00 | 0.347         | 0.003           | 3.634    |
| 3    | ~ 14:43:40 | 0.310         | 0.001           | 3.595    |
|      | ~ 14:44:40 | 0.309         | 0.001           | 3.594    |
|      | ~ 14:45:50 | 0.310         | 0.001           | 3.595    |
| 4    | ~ 14:49:50 | 0.289         | 0.000           | 3.573    |
|      | ~ 14:50:50 | 0.288         | 0.000           | 3.573    |
|      | ~ 14:51:50 | 0.289         | 0.000           | 3.573    |

### 9 - 4 発電出力と総合効率の算出

表 9-8 では、表 9-6 で算出した有効落差を に、表 9-4 で算出した流量を に、 と から下式で算出される理論出力を に示した。また、電圧と電流の測定記録値から流量測定と同時刻のデータ（20 点）を抽出し、下式により算出した発電出力を に示した。総合効率は と から下式で算出した値である。

$$\text{理論出力} = \text{流量} \times \text{有効落差} \times 9.8$$

$$\text{発電出力} = \text{電圧} \times \text{電流} \quad (\text{20 秒間の各サンプリングデータから算出した瞬時出力を平均した})$$

$$\text{総合効率} = \frac{\text{発電出力}}{\text{理論出力}} \times 100$$

表 9-8 総合効率の算出

| 流量<br>区分 | 時刻         | 有効落差<br>[m] | 流量<br>[m/s] | 理論出力<br>[kW] | 発電出力<br>[kW] | 総合効率  |
|----------|------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------|
| 1        | ~ 14:18:20 | 3.655       | 0.0895      | 3.207        | 1.580        | 49.3% |
|          | ~ 14:19:50 | 3.655       | 0.0972      | 3.483        | 1.538        | 44.2% |
|          | ~ 14:21:20 | 3.655       | 0.0962      | 3.445        | 1.602        | 46.5% |
|          | ~ 14:23:00 | 3.655       | 0.0993      | 3.559        | 1.522        | 42.8% |
|          | ~ 14:24:10 | 3.655       | 0.0994      | 3.560        | 1.587        | 44.6% |
|          | ~ 14:25:50 | 3.656       | 0.0985      | 3.530        | 1.545        | 43.8% |
|          | ~ 14:27:00 | 3.657       | 0.1028      | 3.683        | 1.593        | 43.2% |
|          | ~ 14:28:00 | 3.655       | 0.1008      | 3.610        | 1.529        | 42.4% |
|          | ~ 14:29:10 | 3.655       | 0.1053      | 3.770        | 1.529        | 40.5% |
|          | ~ 14:30:10 | 3.655       | 0.1036      | 3.711        | 1.550        | 41.8% |
| 2        | ~ 14:36:40 | 3.637       | 0.0730      | 2.603        | 1.312        | 50.4% |
|          | ~ 14:37:50 | 3.634       | 0.0716      | 2.549        | 1.233        | 48.4% |
|          | ~ 14:39:00 | 3.631       | 0.0718      | 2.555        | 1.218        | 47.7% |
| 3        | ~ 14:43:40 | 3.594       | 0.0371      | 1.308        | 0.657        | 50.2% |
|          | ~ 14:44:40 | 3.593       | 0.0387      | 1.361        | 0.661        | 48.5% |
|          | ~ 14:45:50 | 3.594       | 0.0383      | 1.348        | 0.664        | 49.3% |
| 4        | ~ 14:49:50 | 3.573       | 0.0241      | 0.842        | 0.388        | 46.1% |
|          | ~ 14:50:50 | 3.572       | 0.0239      | 0.835        | 0.384        | 46.0% |
|          | ~ 14:51:50 | 3.573       | 0.0247      | 0.866        | 0.389        | 44.9% |

### 9 - 5 実証試験実施中の出力電圧と電力

実証試験実施中の出力電圧と出力電力（電圧×電流で算出した瞬時値）を図 9-4 に示す。出力電圧の周期的な変動は、ダミーロード放電による負荷制御によるものである。

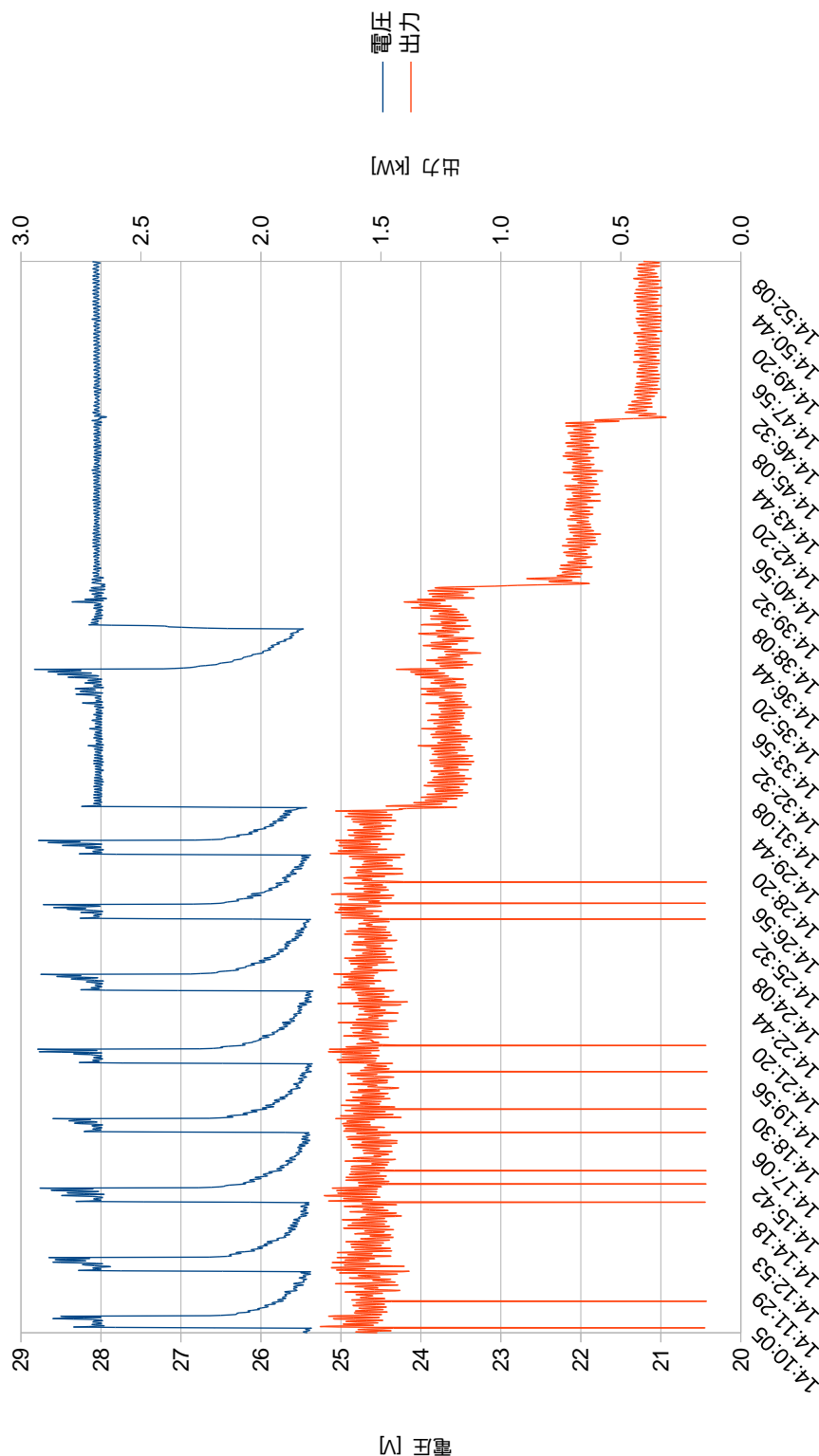


図 9-4 試験実施中の出力電圧・電力の推移



## 9 - 6 騒音測定結果

各地点の測定値を表 9-9 に示す。方向については図 9-5 を参照。距離は「8-3 騒音測定」に記したとおり発電機ボックスまたは水車柵から測定している。比較のため、騒音に関する環境基準（環境省告示、平成 24 年 3 月 30 日環告 54）を表 9-10 に示した。

5m 地点（道路方向は 3m 地点）で稼働中と停止時の騒音を比較すると、7~10dB 稼働中の方が程度大きくなっており、明らかに水車の影響があるといえる。ただし、17m 離れた地点では停止中の他の地点と同レベルまで騒音が減じている。

また、道路方向 3m 地点で水車停止中の騒音が他の地点より大きい、水路が道路沿いを通っていることが影響していると推測される。

表 9-9 騒音の測定値

騒音の単位：dB

| 方向・地点                          | 3m 地点 | 5m 地点 | 10m 地点 | その他の地点                 |
|--------------------------------|-------|-------|--------|------------------------|
| <b>【水車稼働中（最大出力で試験をしている時間）】</b> |       |       |        |                        |
| 民家方向                           | 75.5  | 71.6  | 62.3   |                        |
| 民家 + 40° 方向                    |       | 71.1  | 64.8   | 60.1<br>(民家直近、距離約 17m) |
| 加工所方向                          | 71.5  | 68.3  |        |                        |
| 水田方向                           | 69.1  | 65.8  |        |                        |
| 道路方向                           | 70.6  |       |        |                        |
| <b>【水車停止中】</b>                 |       |       |        |                        |
| 民家方向                           |       | 62.0  |        |                        |
| 民家 + 40° 方向                    |       | 61.5  |        |                        |
| 加工所方向                          |       | 58.7  |        |                        |
| 水田方向                           |       | 59.1  |        |                        |
| 道路方向                           | 64.4  |       |        |                        |

測定高は約 1.2m、測定時間は 1 分間。

網掛け部分は障害物等により測定が困難、その他の空欄部分は測定を省略した。

表 9-10 騒音に関する環境基準

| 地域の類型  | 基準値       |           |
|--------|-----------|-----------|
|        | 昼間        | 夜間        |
| AA     | 50 デシベル以下 | 40 デシベル以下 |
| A 及び B | 55 デシベル以下 | 45 デシベル以下 |
| C      | 60 デシベル以下 | 50 デシベル以下 |

地域の類型

- ・ AA: 特に静穏を要する地域
- ・ B: 主として住居の用に供される地域
- ・ A: 専ら住居の用に供される地域
- ・ C: 相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域

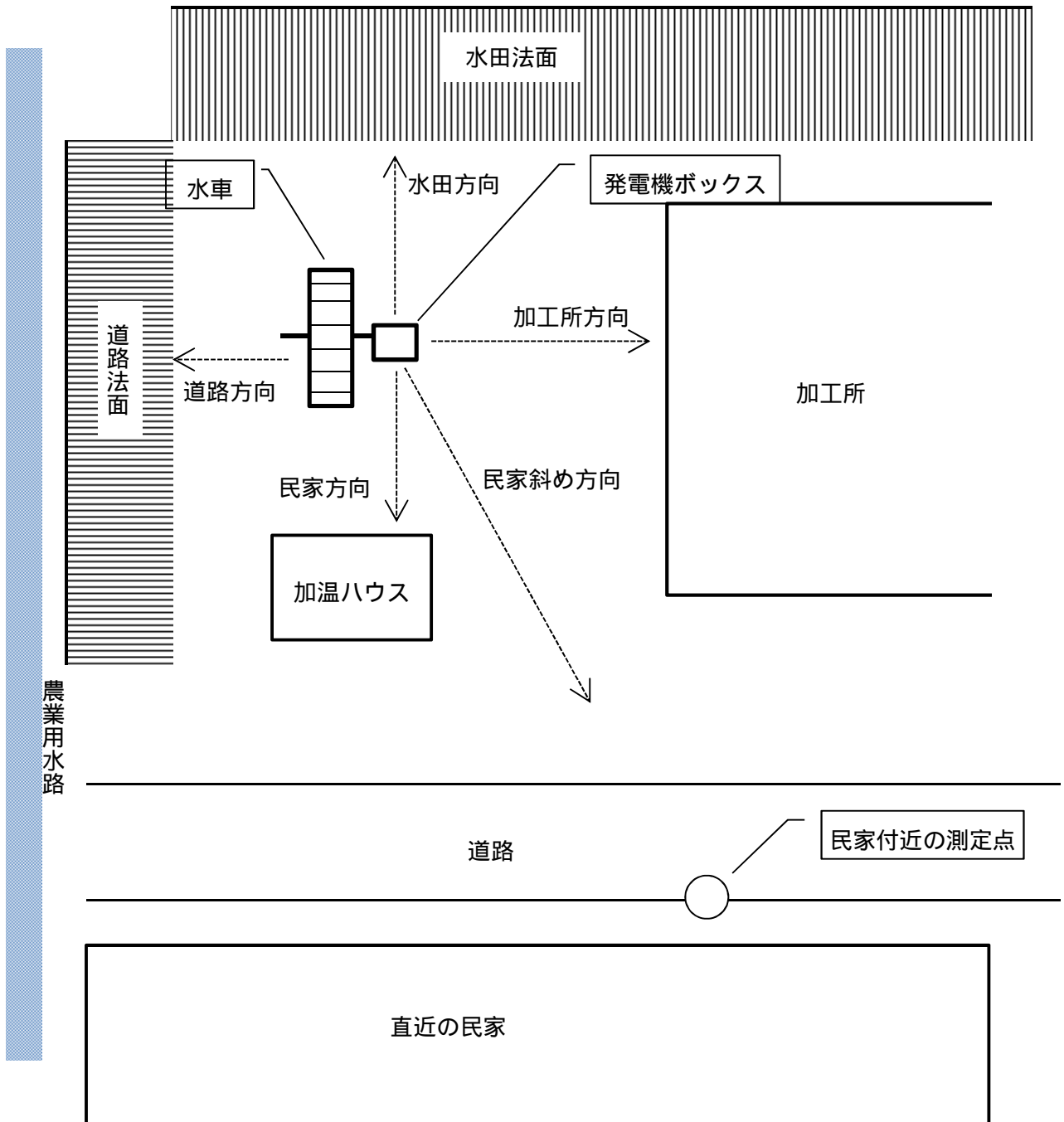


図 9-5 水車周辺の状況と騒音の測定方向

## 9 - 7 気象条件等

測定日の天候は晴れ、気温・水温は表 9-1 に記したとおりであった。

## 1 0 実証試験の結果と考察

### 1 0 - 1 発電出力と効率に関する評価と考察

#### 1 0 - 1 - 1 性能一般に関する考察

実証試験結果の流量 - 出力曲線を図 10-1 に、流量 - 効率曲線を図 10-2 に示す。

本設備のように永久磁石式発電機を出力電圧一定（蓄電池動作電圧範囲内）条件で制御した場合、回転数が概ね一定（出力電圧にほぼ比例）になる。そして上掛け水車が効率的に動作する流量の上限は、回転数によって規定される（回転が速いほど流量上限が大きくなる）。図 10-1 で 0.09 m<sup>3</sup>/s より大流量で出力が伸びなくなっているのは、この上限制約によるものと推測される。

一方小流量においては、流量（出力）との相関が小さい様々な損失により効率が低下する。図 10-1 においては 0.04 ~ 0.09 m<sup>3</sup>/s の範囲で直線的に（同じ発電効率で）推移しているの、高効率での運転領域はこの範囲であることが実証された。なお、小流量側での効率低下は比較的緩やかであり、0.024 m<sup>3</sup>/s 以上の流量があれば総合効率は大きくは低下しない（45%程度以上）。

上掛け水車は定格効率に近い効率で運転できる流量範囲が比較的広いという特徴があり、この実証結果にもそれが現れている。

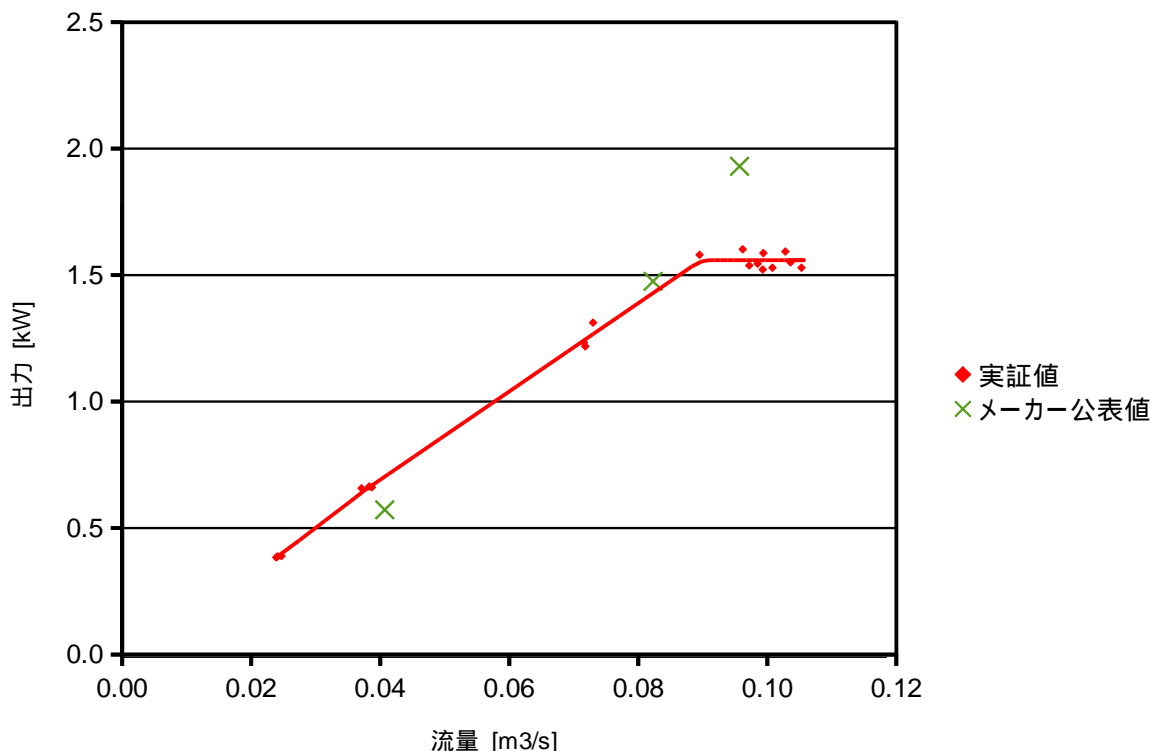


図 10-1 実証した流量 - 出力曲線とメーカー公表値

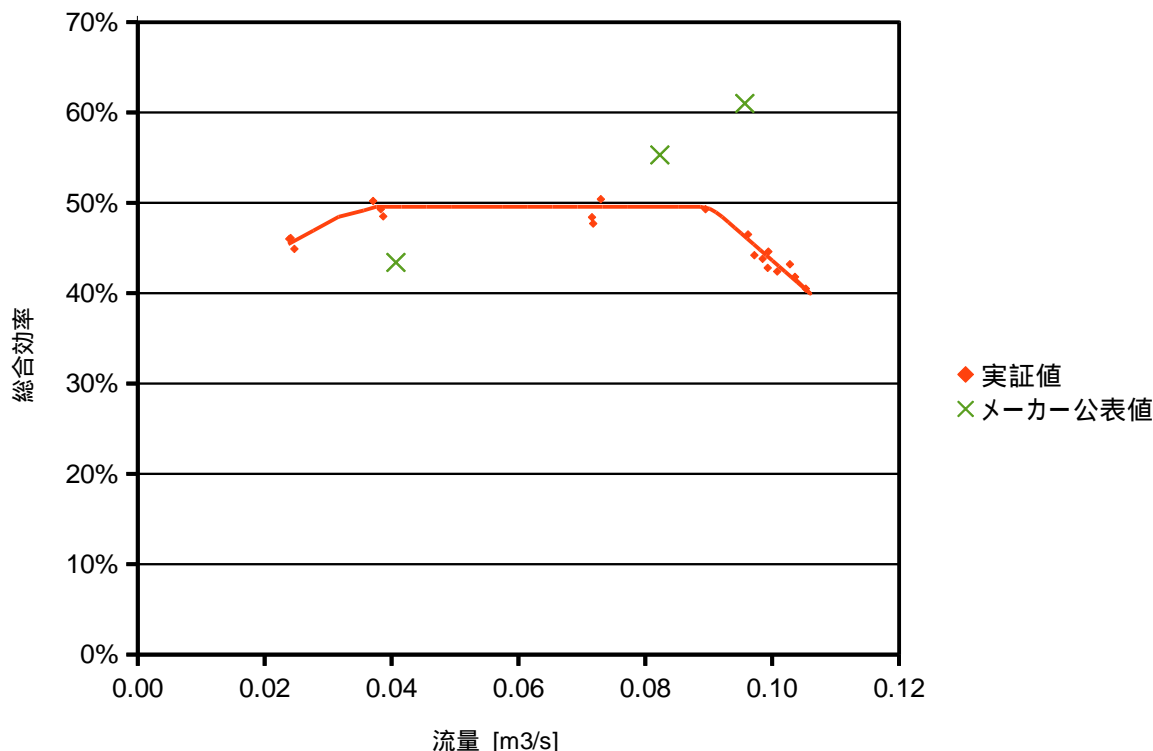


図 10-2 実証した流量 - 効率曲線とメーカー公表値

### 10 - 1 - 2 流量 - 出力曲線におけるメーカー公表値との比較

図 10 - 1 においてメーカーが公表している性能データは大流量・中流量・小流量の3点であるが、このうち中流量については実証結果と一致している。

一方大流量においてはメーカー公表値が実証試験結果より大きくなっている。メーカーの測定記録を見ると、本実証試験結果（11.2rpm 前後）よりも回転数が大きく（13.5rpm 前後）なっており、高効率運転領域が大流量（高出力）側にシフトしていたと推測される。また、メーカーが試験したときから約3年が経過しており、木製バケットその他部品が劣化したことも考えられる。条件が異なるため定量的評価はできないが、メーカー公表値が本実証試験結果と矛盾しているとは言えない。

また小流量におけるメーカー公表値は本実証試験結果より小さな値となっているが、これも上記と同様高効率運転領域が大流量側にシフトしていたということで説明可能である。

以上のことから、メーカー公表値と本実証試験結果に相違があるものの、試験条件の相違から定性的に説明できる範囲である。

### 10 - 1 - 3 流量 - 効率曲線におけるメーカー公表値との比較

図 10-2 では、大流量・中流量の 2 点において本実証試験結果よりも効率が大きくなっており、一方小流量においては小さくなっている。

メーカーの試験記録を読むと有効落差を 3.305m の固定値としており、これは本実証試験における有効落差 3.573~3.662m と異なっている。「4-3 有効落差の定義」に記したとおり上掛け水車の有効落差については明確な定義がなく、メーカーが定めた有効落差も不合理な値ではない。

有効落差の定義が異なれば効率の算出値に差が生じるのは当然であり、前項に記したとおり流量 - 出力曲線の相違が定性的に説明可能であることから、流量 - 効率曲線の相違も同様と判断する。

### 10 - 2 騒音に関する評価

5m 地点ではあきらかに騒音の影響があり、一方 17m 地点ではほぼ影響がなくなっていた。また、水路の近くでは水車停止時でも水路からの騒音が認められた。

水車建設予定地の近くに民家・公共施設・商店等騒音の影響を受ける施設がある場合には、あらかじめ騒音に対する検討が必要といえる。

本実証試験ではある程度距離を取れば水車設置前の水路の騒音と大差ないレベルまで低下することが確認できたが、どの程度の離隔距離を確保すれば環境基準を下回るかを定量的に示したものではない。また、検討の際には、水路の水音と水車の騒音には質の違いがあることにも注意が必要である。

なお、近年低周波騒音が問題として取り上げられる場面が増えてきており、本製品の設置にあたっては低周波騒音についても注意が必要である（測定は実施しなかった）。

### 10 - 3 総合評価

上掛け水車の利点としては、数メートルの低落差において比較的安価である程度の効率が確保できること、ごみの影響を受けにくい（除塵機を必用としない）こと、保守や運転管理が比較的容易なことなどが挙げられる。従って中山間地の小規模農業用水での小規模発電では有力な選択肢となる。

本実証試験対象機器もそのような立地条件において農産加工施設の電源として利用されていたものであり、設置後 3 年経過した実証試験時点においても支障なく運転が行われていた。

## 1 1 用語集

本実証試験報告書における用語の定義を表 11-1 に示す。

表 11-1 用語の定義

| 用語                    | 定義                                                                                                |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 実証                    | 環境技術の開発者でも利用者でもない第三者機関が、環境技術の環境保全効果等を試験等に基づき客観的なデータとして示すこと。一定の判断基準を設けて、この基準に対する適合性を判定する「認証」とは異なる。 |
| 実証対象技術                | 実証試験の対象となる技術は中小水力発電技術とする。                                                                         |
| 実証対象製品                | 実証対象技術を製品として具現化したもののうち、実証試験で実際に適用するもの。                                                            |
| 実証項目                  | 実証対象技術の性能を測るための項目として、発電出力、総落差、水位、流速など。                                                            |
| 参考項目                  | 実証対象技術の性能を測るうえで、参考となる項目。                                                                          |
| 実証運営機関                | 環境技術実証事業に設置される各技術分野の事業の取りまとめを行う機関。                                                                |
| 実証機関                  | 実証対象技術の企業等からの公募、実証対象とする技術の審査、実証試験計画の策定、技術の実証（実証試験の実施等）、実証試験結果報告書の作成を行う機関。                         |
| 試験実施機関                | 実証機関からの外注により、実証試験を実施する機関を指す。                                                                      |
| 技術実証検討会               | 実証機関により設置される検討会。技術の実証にかかる審査等について実証機関に助言を行う。                                                       |
| 実証申請者                 | 技術の実証を受けることを希望する者及びその後実証対象技術として選定され実証を受けた者。（具体的にはメーカー）                                            |
| 技術開発企業                | 実証対象技術の開発者。                                                                                       |
| 有効落差（m）               | 全水頭から指定点における水頭を差し引いて求める。<br>使用状態において水車の運転に利用される全水頭で、水車の高圧側指定点と低圧側指定点との全水頭の差。                      |
| 流量（m <sup>3</sup> /s） | 断面平均流速と断面積の積に補正係数を乗じて求める。<br>ある断面を通る単位時間当たりの水の体積。                                                 |



## 1 2 参考情報

このページに示された情報は、技術広報のために実証申請者が自らの責任において申請した内容であり、環境省、および実証機関は、内容に関して一切の責任を負いません。

### 製品データ

| 項目                              |                | 実証申請者または開発者 記入欄                                                                                                         |              |             |
|---------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------|
| 製品名・型番                          |                | 上掛け水車（直径：3m000） Overshot Water Wheel                                                                                    |              |             |
| 製造（販売）企業名                       |                | 株式会社篠田製作所（SHINODA Co.,Ltd）                                                                                              |              |             |
| 連絡先                             | TEL / FAX      | TEL 058-266-8433 FAX 058-266-4126                                                                                       |              |             |
|                                 | ウェブサイト<br>アドレス | <a href="http://www.shinoda-eng.co.jp/company/index.html">http://www.shinoda-eng.co.jp/company/index.html</a>           |              |             |
|                                 | E-mail         | mizuno@shinoda-eng.co.jp                                                                                                |              |             |
| 設置条件                            |                | 緊急及び増水時対策として、水路本線ではなくバイパス水路に設置する。                                                                                       |              |             |
| メンテナンスの<br>必要性・コスト<br>耐候性・製品寿命等 |                | 必要性<br>24時間連続稼動するため、軸受け・増速機等の維持管理が必要です。<br>3年程度で交換する消耗品のコスト<br>増速機5万円、軸受け（2箇所）15万円、チェーンカップリング（2箇所）6万円 但し、適時のグリス注入が必要です。 |              |             |
| 施工性                             |                | 現場組立作業が少ないため、現場据付作業が容易である。                                                                                              |              |             |
| コスト概算                           |                | イニシャルコスト                                                                                                                |              |             |
|                                 |                | 機 器                                                                                                                     | 数 量          |             |
|                                 |                | 水車制作・据付工                                                                                                                | 1 式          | 5,500,000 円 |
|                                 |                | 基礎工事、導水路工事                                                                                                              | 1 式          | 5,000,000 円 |
|                                 |                | 電気制御盤工                                                                                                                  | 1 式          | 1,000,000 円 |
|                                 |                | 合 計                                                                                                                     | 11,500,000 円 |             |