

# 飯田地域における水資源調査とマイクロ水力発電の実証実験

## Filed test of aquatic resources investigation and the micro hydroelectric power in the lida area

逸見 次郎<sup>1</sup>  
Jiro ITSUMI

矢崎 隆司<sup>2</sup>  
Takasi YASAKI

市瀬 智章<sup>3</sup>  
Tomoaki ICHINOSE

小川 博<sup>4</sup>  
Hiroshi OGAWA

### Abstract

The city office of City Iida investigated the number of locally designated rivers and calculated the load and abundance within the river range of 2,000m<sup>2</sup>. Based on these data, we explained about principle, electric usage, operation and maintenance of micro hydroelectric power to people at each area and asked them to allow the use as a place for experiment. As a result, we could set the equipment at Noike campsite because residents of the Chiyo area accepted our suggestion. For the setting cost of these experiments, we asked Global warming measures section and Industrial section in Iida city to consider the use of subsidy. Due to perform local production for local consumption of renewable energy, we requested local firm to conduct the system design, manufacture and installation work. Under the consultant system we carried out our experiments. At present, these projects are advanced smoothly with corporation of inhabitants.

キーワード：準用河川調査、マイクロ水力発電、コンサルタント体制、実証実験

**Keyword:** Investigation of locally designated river, Micro hydroelectric power, Consultant system, Filed test

### 1. まえがき

マイクロ水力発電は設備利用率が高く安定に発電できる反面、許認可手続きに長期間を要する。<sup>1)</sup> また、設置する際、主体的に取り組む組織の立ち上げに困難を要し、流量や落差、河川によって構造が異なることで発電機器の開発が進んでいない<sup>2)</sup>。さらに、河川調査は終えているが設置費用が高くて撤退するなど<sup>3) 4)</sup>、マイクロ水力発電を普及させるにはいくつかのハードルを越えなければならない。本実証実験はこれらの課題解決を目指して、マイクロ水力発電機器の設計・製作、システムの設置、メンテナンス、維持管理を地域で完結できる地産地消エネルギーの開発を目的としている。飯田地域の水資源を調査するために一・二級河川については、天竜川上流事務所より<sup>5)</sup>、河川名、平均長さ、平均流量、落差などのデータを得た。飯田市の管轄である準用河川については、市の河川管理課が保管している河川図を基に<sup>6)</sup> 流量や流速、落差、河川構造、周辺 2,000m<sup>2</sup> 圏内の消費施設などの調査を行なった。調査結果より発電機器の設置工法や発電出力などをまとめ、各地区に出向いて説明会を行ない、実証実験の場所の提供を依頼した。手を上げたのが千代地区の愛隣森林

組合で管理する野池キャンプ場であった。発電機器の設計や製作に関しては、LED 防犯灯の開発などで<sup>7)</sup> 環境産業に積極的に取り組む飯田精密機械工業会、設置については、建築士会飯伊支部に所属する各業者と協議を重ねるなかで十分対応できることが分かった。設置費用は、地球温暖化対策課および工業課が実証実験に該当する補助金の申請を行なった。市、企業、地区住民を含めたコンサルタント体制のもとで、野池キャンプ場にシステムを設置して実証実験を行なった。設置後は地区住民で維持管理に対応できる管理ノートを作成した。

### 2. 飯田市の水資源

飯田地域には図 1 に示すように中央アルプスを水源とする松川や野底川および南アルプスを水源とする富田沢川、イタチ川などが急峻な地形を駆け下りて天竜川に注いでいる。県が管轄する一・二級河川の推定理論出力は表 1 の平均流量と平均落差の積に、重力加速度と河川本数をかけて約 2,000[kW]、年間総発電量は理論出力と稼働時間 (8,760) の積から約 1,728[万 kWh]と一般家庭約 5,000 世帯の消費電力量となる。

### 3. 水資源の調査結果

#### 3・1 準用河川の特徴

飯田地域を 11 に区別して、2011 年 6 月～12 月にかけて、図 2 に示す測定方法で準用河川を調査した。図 3 は一地区の測定例で、平均 8～13 本の河川が流れており、これらの特徴をまとめると表 2 となる。(a) 河川の長さは、1～2km 未満が全体の 9 割、最長は 3.6 km

\* 1 (公財) 南信州・飯田産業センターコーディネーター

(飯田市上郷別府 3 3 3 8-8) e-mail: itsumi@isilip.com

\* 2 (有) 矢崎製作所代表 飯田精密機械工業会会長

\* 3 飯田市産業経済部工業課係長

\* 4 飯田市地球温暖化対策課・地域エネルギー担当専門主任

(原稿受付：2014 年 2 月 4 日)

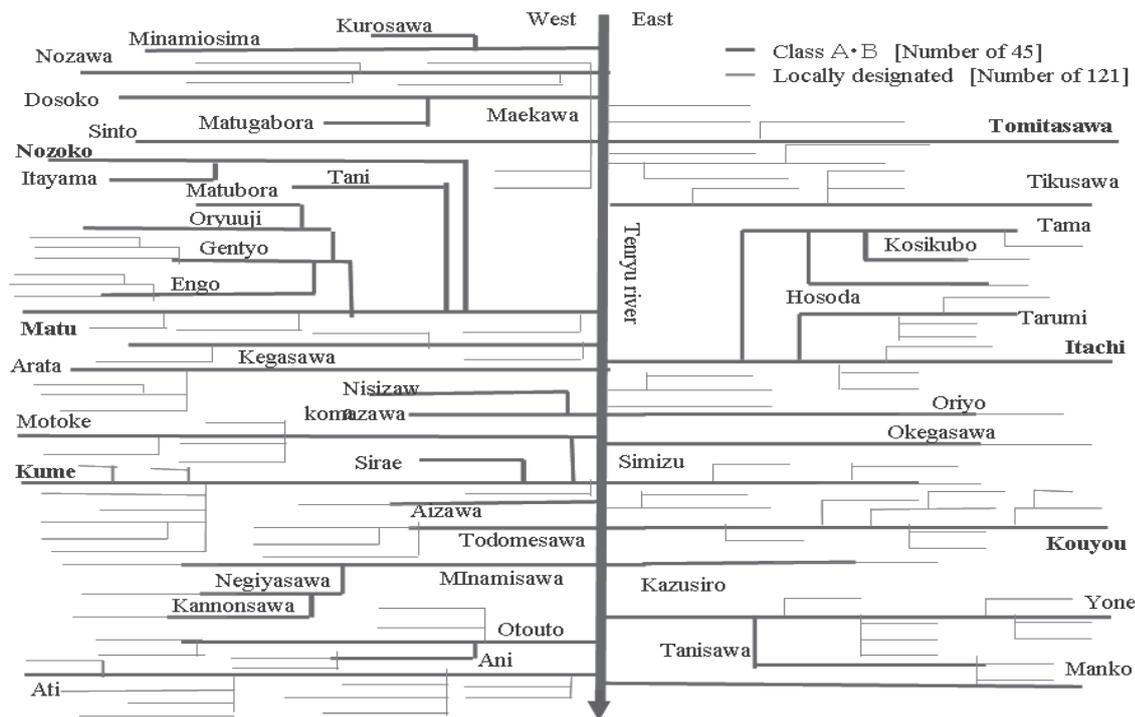


Fig. 1 River of the Iida area

Table 1 Specification of class A・B river

|         | Number | Average of length [km] | Average of flow rate [m³/s] | Average of head [m] | Generation output [kW] | Quantity of generation × 10⁴ [kWh] |
|---------|--------|------------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|------------------------------------|
| Class A | 7      | 30                     | 3                           | 7                   | 1441                   | 1245                               |
| Class B | 19     | 20                     | 1                           | 3                   | 560                    | 483                                |

1. Measurement, left, right, center of the river depth of the water with measurement stick.
2. Measure waterway width and high obstacle. Investigate structure of the wall.
3. Measure movement time, decide tangent of the waterway, and carry away a table tennis ball.
4. Measure incline ( $\theta$ ) of investigation spot
5. Measure a number and height of the structure of the bottom, dam and the step. Addition, investigate the structure.
6. Investigate a property of water.
7. Check a number of consumption facilities and houses within range of investigation spot 2,000 m². Addition, check a number and kind of outdoor lamp.
8. When possible, investigate upper, middle and lower stream of river.

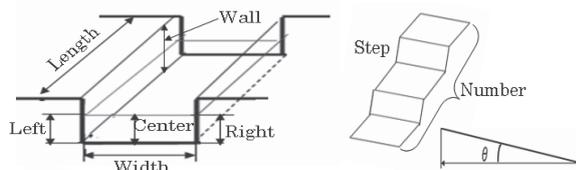


Fig. 2 Method for measurement

である。(b) 堰の高さでは 10 cm から 1m 未満 28 本、1 m ~ 3m 48 本、3m 以上は 13 本、最高は 9m ある。堰の数

は平均で 5 個、最高は 15 個。(c) 水路幅では、1m 以下 43 本、3m 未満 66 本である。(d) 川底の構造では砂と石 42 本、コンクリート 39 本、草木で覆われているなど様々である。変り種は鋼鉄製の U 字溝が 5 ヶ所で見られた。

(e) 水路壁では、石とコンクリートの混合やコンクリートがほとんどで、竹林や山林も 20 ヶ所で見られた。(f) 水の性質では、清流が 15 本と意外に少なく、生活排水などの混合水が多く、下流では濁りや泡、ヘドロなども数十ヶ所で見られた。



| Number | River name, Length [km] | Head [m] | Speed [m/s] | Flow rate [m³/s] | Output [W] |
|--------|-------------------------|----------|-------------|------------------|------------|
| 1      | Iwaisawa 2              | 3        | 0.579       | 0.097            | 2860       |
| 2      | Irinosawa 1.4           | 1        | 0.368       | 0.041            | 402        |
| 3      | Hsodasawa 1.05          | 1.2      | 1.03        | 0.054            | 635        |
| 4      | Sinoarai pper) 1.5      | 1        | 0.391       | 0.129            | 1264       |
| #      | Sinoarai (down) 1.5     | 0.08     | 1.25        | 0.073            | 57         |
| 5      | Takisawa 3.6            | 0.03     | 0.685       | 0.08             | 24         |
| 6      | Araisawa 0.8            | 0.6      | 0.625       | 0.681            | 4763       |
| 7      | Oigawa (upper) 3.6      | 0.133    | 1.613       | 0.258            | 336        |
| #      | Oigawa (down) 3.6       | 0.184    | 1.9         | 1.9              | 3426       |
| 8      | Komotokesawa 3.1        | 0.02     | 0.614       | 0.111            | 22         |

Fig. 3 Example of the measurement data

### 3・2 2,000m²圏内の施設

調査地点から約 2,000m² 圏内の消費施設を表 3 に示す。(a) 外灯は蛍光灯 52、LED 42 本と均衡している。飯田市では CO₂ 削減と省エネを図る目的で、市内の外

灯を順次LEDに交換する施策として製造と取り付けを地元企業に依頼し、2013年10月時点で約6割の交換を終えている。(b) 公共施設では、山間部や農村地域は農業生活改善センター(9ヶ所)、集会所(10ヶ所)、消防団詰所(6ヶ所)などが多く、住宅地域では公民館(12ヶ所)、小・中学校(6校)、幼稚園(4ヶ所)などがある。(c) 他の施設では、家屋約88戸、市営住宅棟(2ヶ所)、郵便局(3ヶ所)やレストラン、電気柵、養魚所などである。表4に示す各パラメータを用いて準用河川にマイクロ水力発電を設置したと仮定すれば、2章の推定式より年間総発電量は約73[万kWh]と一般家庭約207世帯の消費電力量となる。

Table 2 Characteristic of locally designated river

(a) Length of river

|           |                         |
|-----------|-------------------------|
| 0.5~0.9km | 61 Number               |
| 1~1.9km   | 40 Number               |
| 2km above | 11 Number Maximum 3.6km |

(b) Height of head

|          |                      |
|----------|----------------------|
| 0.1~1m   | 28 Number            |
| 1~3m     | 48 Number            |
| 3m above | 13 Number Maximum 9m |

(c) Waterway of width

|          |                     |
|----------|---------------------|
| 0.2~1m   | 43 Number           |
| 1~3m     | 66 Number           |
| 3m above | 3 Number Maximum 7m |

(d) Structure of riverbed

|                |           |
|----------------|-----------|
| Sand and Stone | 42 Number |
| Stone          | 11 Number |
| Steel          | 5 Number  |
| Concrete       | 39 Number |
| Stone pavement | 15 Number |

(e) Structure of waterway wall

|                  |           |
|------------------|-----------|
| Piling stone     | 39 Number |
| Embankment       | 4 Number  |
| Trees and Plants | 17 Number |
| Steel sheet      | 5 Number  |
| Bamboo and Tree  | 10 Number |
| Concrete         | 37 Number |

(f) Water of property

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Natural                       | 15 Number |
| Agriculture drainage          | 41 Number |
| Life drainage                 | 14 Number |
| Agriculture and Life drainage | 42 Number |

Table 3 Demand load within the range of 2,000m<sup>2</sup>

(a) Kind of the outdoor lamp

|                  |          |
|------------------|----------|
| Fluorescent lamp | 52 Light |
| LED              | 42 Light |
| Mercury lamp     | 6 Light  |

(b) Public accommodation

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| Public hall                       | 12 Point       |
| Meeting place                     | 10 Point       |
| Agriculture improvement center    | 9 Point        |
| Firefighting team crew room       | 6 Point        |
| Shrine and Temple                 | 8 Point        |
| Elementary and Junior high school | 6 School       |
| Kindergarten and Nursery school   | 4 Point        |
| Disaster prevention radio         | 7 Tower        |
| Water supply facilities           | 4 Facilities   |
| Park                              | 4 Point        |
| Other facilities                  | 216 Facilities |

(c) Other facilities

|   |   |
|---|---|
| Farmhouses 46<br>General house 42<br>300 m <sup>2</sup> range house 37                                    | Companies 2 places<br>JA store 3 places<br>Funeral 2 places   |
| Municipal house 2 places<br>Post office 3 places<br>Market, Forrest center<br>Nursing facilities 2 places | Orchards 45 places<br>Mushroom forest 3 places<br>Plastic greenhouses 5 places<br>Electric fence 2 places<br>Fish breeding 2 places |
| Restaurant<br>Lodging 3 places<br>Hot spring 2 places<br>Mall 2 places                                    | Warehouses 3 places<br>Material 2 places<br>Garbage 3 places  |

Table 4 Specification of locally designated river

|                          | Number | Average of length [km] | Average of flow rate [m <sup>3</sup> /s] | Average of head [m] | Generation output [kW] | Quantity of generation × 10 <sup>6</sup> [kWh] |
|--------------------------|--------|------------------------|--|---------------------|------------------------|--|
| Locally designated river | 121    | 2.4                    | 0.025                                    | 2.8                 | 83                     | 72   |

4. コンサルタント体制と各種工事

野池キャンプ場に設置してマイクロ水力発電の実証実験を行なうコンサルタント体制を図4に示す。ハード面は工業課・産業センターが担当し、発電機器の設計、製作を飯田精密機械工業会、設置工事を長野建築士会飯伊支部に発注した。ソフト面は地球温暖化対策課が担当し、市の河川管理課に許認可の申請、千代地区の住民との合意形成(主体、運営、管理)を行なった。地元企業、建築業者、飯田市および千代地区の住民が産業センターにおいて、月に1~2回のペースで発電機器の設計・製作、設置工法や工程などについて協議を重ねてきた。

図5は実証実験場所の見取り図で、バーベキューハウスや池などの施設がある。池は園児や小学生を対象に水遊びや魚のつかみ取りに利用されている。実証実験ではコ

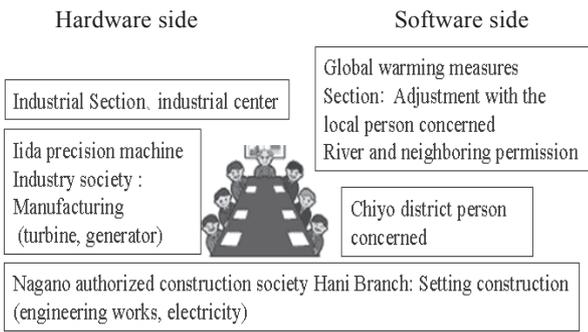


Fig. 4 Consultant system

ストを抑えることも課題で、ここでは倉畑沢川から池まで引かれている既設パイプを利用した (図 6 (a))。漏水箇所は防水テープで保護し壊れた所は交換した (b)。図 7 は取水口の外観図で<sup>8)</sup>、河川の流れと逆方向に仕切り板を取り付けて吸い込み速度を遅くし (約 1/5)、枯葉や砂の吸い込みを防ぐと同時に空気の混入も抑制される。

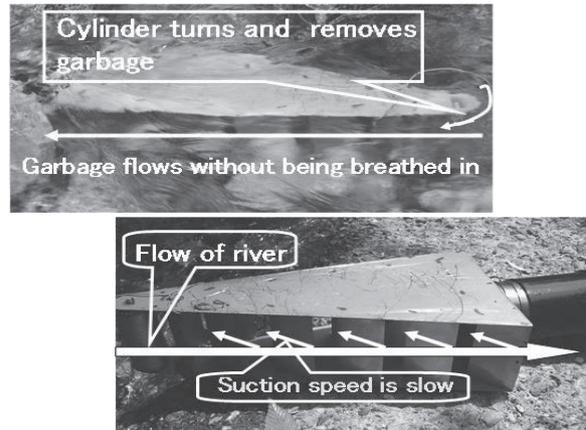


Fig. 7 Intake of appearance

m、幅 100mm とした。水車の全体積  $0.003[m^3]$ 、水受け体積  $0.0023[m^3]$  より、毎分回転数  $n_1 = 328[rpm]$ 、トルク  $T = 4.3[N \cdot m]$ 。また、ノズル通過後の流速  $V_2 = 4.85[m/s]$ 、回転数  $n_2 = 534[rpm]$ 、周波数  $f = 36.6[Hz]$  となる<sup>9)</sup>。

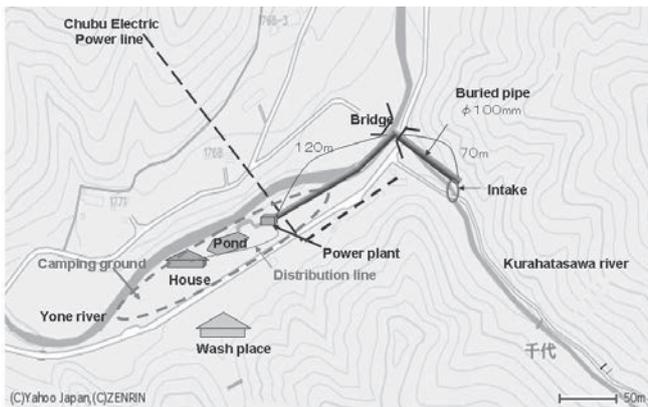


Fig. 5 Power station sketch

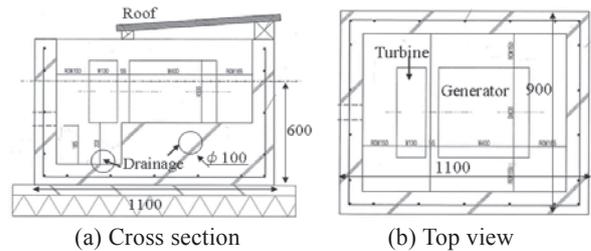


Fig. 8 System setting stand [mm]



Fig. 6 Existing facilities

発電所は図 8 に示すように地面を 0.6m 掘ってシステム設置台を設け、パイプを 0.7m かさ上げして (図 9) 約 1.2m の落差を得ている。発電所からバーベキューハウスまでの配線は、公園内の木に発泡スチロールを取り付けて保護し、電線を巻きつけて支えた (図 10)。

5. 発電器機

設置点の流量  $Q = 0.012[m^3/s]$  (100l のバケツに流水が満たされる時間を測定)、流速  $V_1 = 0.65[m/s]$  (電磁流速計、ケネック製 V10) に適する水車の直径 200m

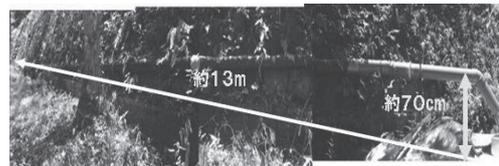
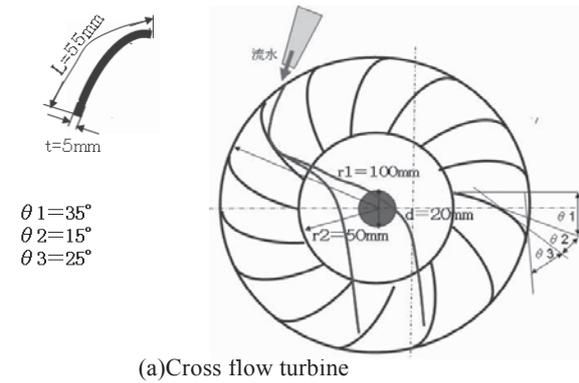


Fig. 9 Pipe put up



Fig. 10 Supply of electric power using a tree

水車は図 1 1 (a) に示すクロスフロー形で、ガイド弁によって調整された流水が羽根に衝突した後、水車内部を通して再び羽根に作用して駆動力を得ている<sup>10)</sup>。本実験ではガイド弁の代わりに、羽根角度を少しずつ変化させて流水が羽根に効果的作用するように、先端を角形に絞った図 1 2 に示すノズルを試作し、羽根に強く衝突させることで駆動力を得る構造とした<sup>11) 12)</sup>。水車の外観および仕様を同図 (b) (c) に示す。また、軸受には防水性の優れたトリプルシール付きを用いた。



(a) Cross flow turbine



(b) Appearance

Stainless steel  
Feathers: 14  
Diameter: 200mm  
Width: 100mm  
Axis: 20mm

(c) Specification

Fig. 11 Turbine

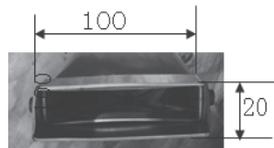
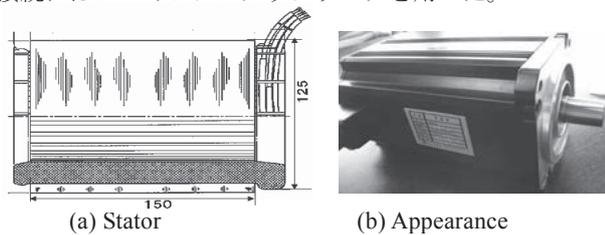


Fig. 12 Nozzle structure [mm]

発電機には汎用の同期電動機を用いて、固定子巻線の線を約 1/3 に細くして多く巻き（巻線抵抗は 9 倍）、低速回転でも電圧が発生しやすい構造に改良した（図 1 3 (a) 1 3) ~ 1 4)。外観と仕様を (b) (c) に、回転子には永久磁石（ネオジム）を取り付けた (d)。水車と発電機の接続にはフレキシブルカップリングを用いた。

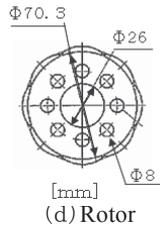


(a) Stator

(b) Appearance

Voltage 200~00[V]  
Current 6[A]  
Capacity 2.2[kW]  
Pole number 8  
Rotation 300~1200[rpm]

(c) Specification



(d) Rotor

Fig. 13 Generator (Synchronous motor)

6. 出力特性

発電機に負荷をデルター接続した回路図を図 1 4 に示す。負荷電流に対する各出力を測定するとともに出力波

形の観測を行なった。表 5 および図 1 5 にデータとグラフを示す。測定時の流量が 21[l/s] と設置時に比べて多いことから、総合効率を 60[%] すれば理論出力は 148[W]、発電出力 110[W] における発電効率は 74[%] となる。また、無負荷時の電圧と回転数は 191[V]、520[rpm] である。図 1 6 に抵抗負荷時の実験状況と白熱電球の点灯状態を示す。図 1 7 の波形例から電圧・電流波形には良好な正弦波が得られている。

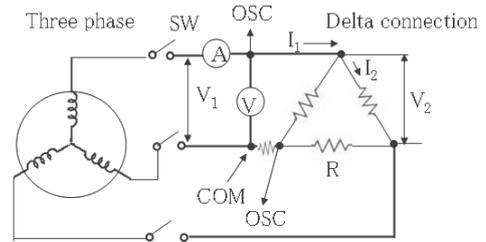


Fig. 14 Experiment connection diagram

Table 5 Generation data

| I1 [A] | I2 [A] | V2 [V] | f [Hz] | n [rpm] | Po [W] | η [%] |
|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|
| 0.75   | 0.43   | 85①    | 12     | 194     | 110    | 74    |
| 0.55   | 0.32   | 113②   | 18     | 298     | 108    | 73    |
| 0.25   | 0.15   | 151③   | 24     | 412     | 85     | 44    |
|        |        | 191④   | 32     | 520     |        |       |

①Resistance ②Light 40W ③Light 20W ④No load

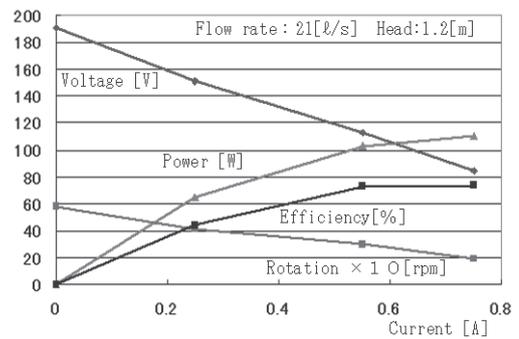


Fig. 15 Output characteristics



(a) Resistance load

(b) Lighting state

Fig. 16 Measurement state

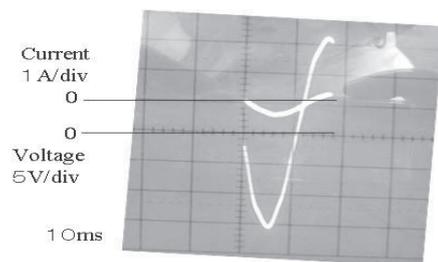


Fig. 17 Example of waveform (Incandescent light 40W)

## 7. 発電所の管理

表6は管理状況の一部を見たもので8月4日に点灯式を行った。8月23日の大雨で、取水口から枯葉や小石が混入してノズルを詰まらせて水圧が上り、パイプが外れて水が噴出す。9月15日の台風で、取水口が埋まると共にパイプも曲げられる。10月16日の台風では、配電盤や表示器に木が直撃して破壊される。11月に入って落葉が増えたことで、月に3~4回取水口の除去作業を行った。また、冬期には取水口やパイプ内部が凍る現象も生じた。表7に管理ノートを示す。連続運転は23日間66.3[kWh]、設置からの総発電量は374[kWh] (8ヶ月)に達している。

Table 6 Management situation

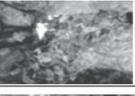
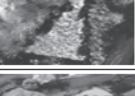
| Month Day | Phenomenon   | Work  | Photograph  |
|-----------|--|---|---|
| 2013 8.4  | lighting ceremony  | Preparations for switch and power line                |    |
| 8.23      | Intake is clogged up with a dead leaf and a pebble and a pipe comes off    | Dead leaf removal and pipe repair                     |   |
| 9.15      | Intake is buried because of a typhoon, and a pipe is bent                  | Intake repair pipe exchange                           |  |
| 10.15     | Measures against meeting, visit  | Preparations for meeting and visit                    |  |
| 10.16     | Tree falls down by a typhoon and hits a switchboard directly and is broken | Switchboard repair, measuring instrument installation |  |
| 10.27     | Observe from Minowa-City   | Cleaning of the intake circumference                  |  |
| 11.4      | Intake is clogged up with a dead leaf                                      | Cleaning of the intake circumference                  |  |
| 11.10     | Intake is clogged up with a dead leaf                                      | Cleaning of the intake circumference                  |  |

Table 7 Management notebook

| Check                   | Head                       | Contents  |
|-------------------------|----------------------------|---|
| Once a week             | Intake, Pipe, Nozzle mouth | Removal of dead leaf and pebble, Record of quantity generation and voltage, Leak of water check |
| Once a month            | Turbine, Generator         | Slope, Crack, Slack off, Run short of oil, Smell, Temperature, Vibration, Unusual noise         |
| 1~2months               | Electric system            | Breaker, Lamp, Power line, Dirt of indicator  |
| Approximately six month | River conditions           | Quantity and speed measurement, Change of river, Washout  |

## 8. まとめ

飯田地域には一・二級と準用河川を合わせると166本が流れており、そのポテンシャルエネルギーは約1,800[万kWh]となる。準用河川は2[km]未満が多く、

平均10個の堰があり、2,000m<sup>2</sup>圏内には公共施設や家屋、外灯など様々な消費施設のあることが分かった。実証実験を地元企業、飯田市、地域住民とのコンサルタント体制の下で行うことができた。既設設備を活用することでコスト低減が図られることを示した。マイクロ水力発電は誰もが簡単に設置できる反面、発電所の管理を地域住民が積極的に取り組むことにより、安定に運転できることを示した。機器の設計や製作、設置やメンテナンスを地元企業が担うことによって、地産地消エネルギーを地域で開発できることを示した。1~2年後の運転状況については今後学会等で報告していく予定である。

## 謝辞

本実証実験は、飯田市産業経済部工業課「ものづくり製品開発事業補助金」および飯田市地球温暖化対策課「エネルギーリーディング事業補助金」、飯田精密機械工会・活動資金のご支援で実地されたもので、関係者各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 国土交通省、水管理・国土保全局「小水力発電設備のための手引」2013.8
- 小水力利用推進協議会「小水力エネルギー読本」オーム社 pp60-93, 2007.10
- 農家が考える「自然エネルギー」別冊現代農業 pp10-45, 2012.11
- 特集「いまこそ農村力発電」現代農業 pp18-39, 2011.7
- 天竜川上流、三峰川総合開発工事事務所「飯伊地域における河川データ」
- 飯田市役所河川管理課「飯田地域の一级河川・準用河川水系図」2011.3
- NESUC-IIDA「企業ガイドブック」pp10, 18, 2013.4
- 栗田秀賢「取水装置」特開2013-100687号公報20B, 5, 23
- 小林久、後藤真宏、岡村鉄兵「開放水路用低落差上掛け水車発電システムの開発」pp2-8, 2012.4
- 榎田、川崎、安田「クロスフロー水車の開水路流れへの適用に関する実験」No.59 pp216-226 2005.9
- 小峰龍男「よくわかる最新流体工学の基本」三松堂 pp25-63, 2006.4
- 清水幸丸「マイクロ水力発電ハンドブック」パワー社 pp20-102, 2001.3
- 機械技術者の自己啓発支援講座(第10回)「工業力学入門」pp10-20, 2012.4
- 飯高成男、沢間照一「電気機器」オーム社 pp25-71, 2007.5
- 逸見次郎「小水力発電」パワー社 2007.10
- 逸見、他「飯田市における小水力発電の取り組み」太陽・風力エネルギー学会発表論文No.93, 2011.10
- 逸見、他「マイクロ水力発電の実証実験(II)」太陽・風力エネルギー学会発表論文No.51, 2013.11