

② 水車発電機仕様

表 9.1.1 仕様

流水条件	160m <sup>3</sup> /h×4m
水車	S型(最大 25kW 対応)
発電機 (出力)	直流出力発電機 (500W)
寸法 (mm)	1420 <sup>L</sup> ×600 <sup>W</sup> ×1000 <sup>H</sup>
接続口径(mm)	φ 300

③ システム構成

バッテリーから供給された励磁電流により磁化されたロータが水力エネルギーを受けて回転することにより発生した直流電力はバッテリーに蓄えられインバータにより交流 100V に変換、負荷に供給される。このように流量変化に伴う周波数の変動に左右されず、また、系統と連系せず安価に発電できるシステムは山間部、離島等に有効である。

a. 発電設備の構成

[水車：発電機]

[発電機盤]

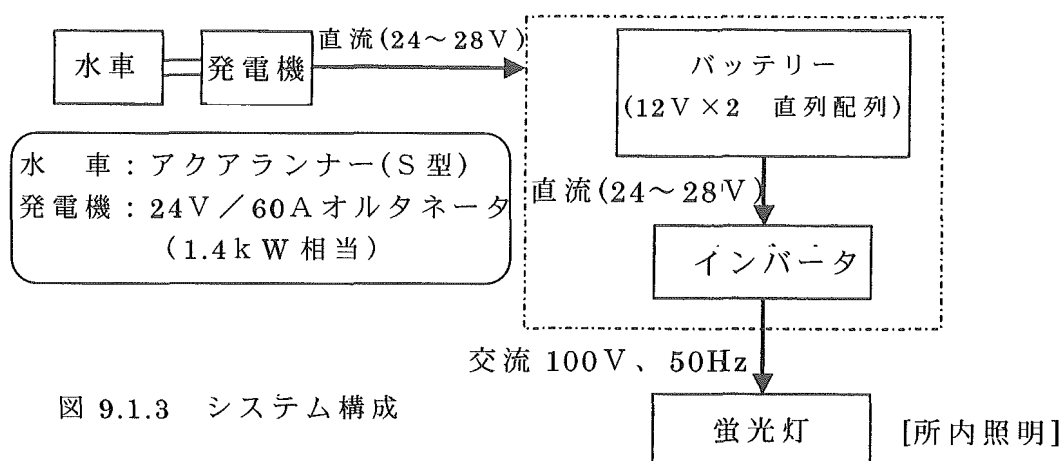


図 9.1.3 システム構成

b. 運転フロー

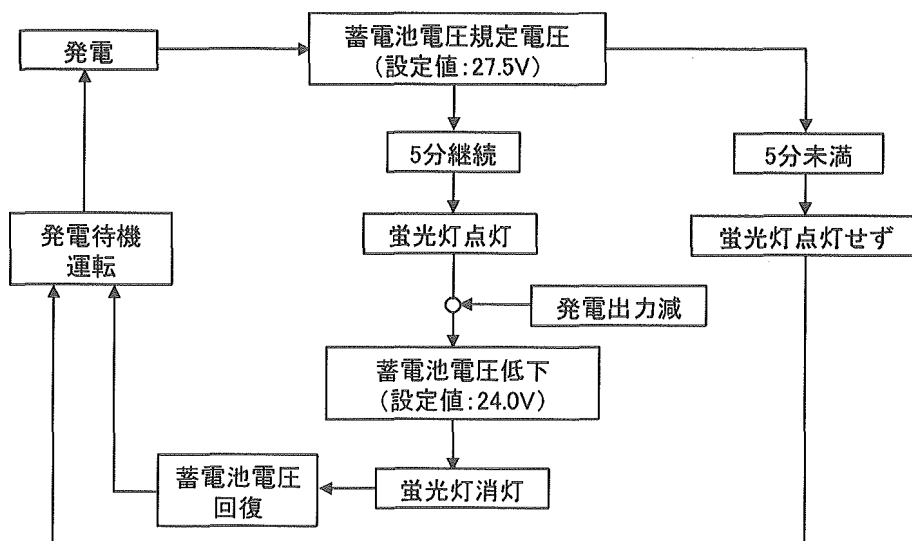


図 9.1.4 運転フロー

## 2) 水車発電機の構造

フィールド試験に用いる水車発電機は下図のように発電機、ガイドベーン、ランナ（羽根車）等から構成され、発電機はベルトを介して水車外部に設置される。

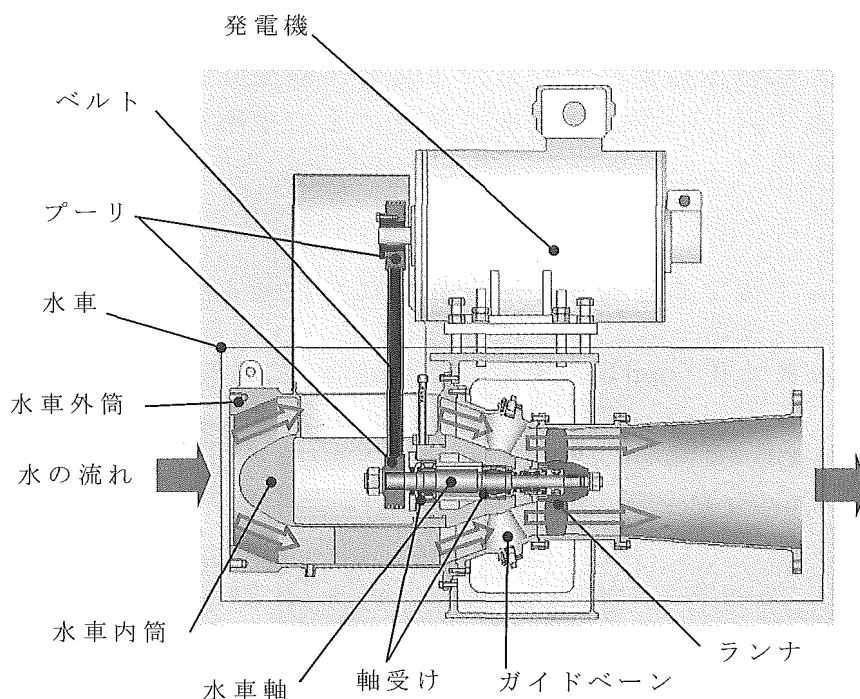


図 9.1.5 構造図

## 3) 測定項目

### ① 水車発電機

水車発電機については記録計を設置し、10 秒間隔で下記項目を自動計測、記録している。

表 9.1.2 発電機測定項目

チャンネル	測定項目	チャンネル	測定項目
ch1	発電機電圧	ch5	バッテリー電流
ch2	発電機電流	ch6	流量
ch3	周波数	ch9	水車入口圧力
ch4	発電電力	ch10	水車出口圧力

### ② 水質

水車の入口と出口の水を採水、手分析により下記項目を分析している。

表 9.1.3 水質分析項目

測定項目	測定方法	測定項目	測定方法	測定項目	測定方法
水温	棒状水銀温度計	pH	ガラス電極法	色度	透過光測定法
濁度	積分球式光電光度法	残留塩素	DPD 法		

#### 4) 試験結果

##### ①水車発電機の運転状況

平成16年2月18日(水曜日)と2月22日(日曜日)の運転データを次頁に添付する。各測定項目のスケールを各チャンネル毎、立軸に示した。

発電機設計流量は44 l/s (160 m<sup>3</sup>/h) であるが、30 l/s (105 m<sup>3</sup>/h) より発電電流が立ち上がり発電を開始している。小流量の時間帯が長くまた流量変動も激しく流況には恵まれないが、発電機が流量によく追従している様子がわかる。

##### ②水質

水車発電機の上・下流で水を採水、手分析した。各測定項目共、水車前後の水質にほとんど変化はなかった。

なお測定限界は色度 1.0 (mg/l)、濁度 0.1 (mg/l) である。

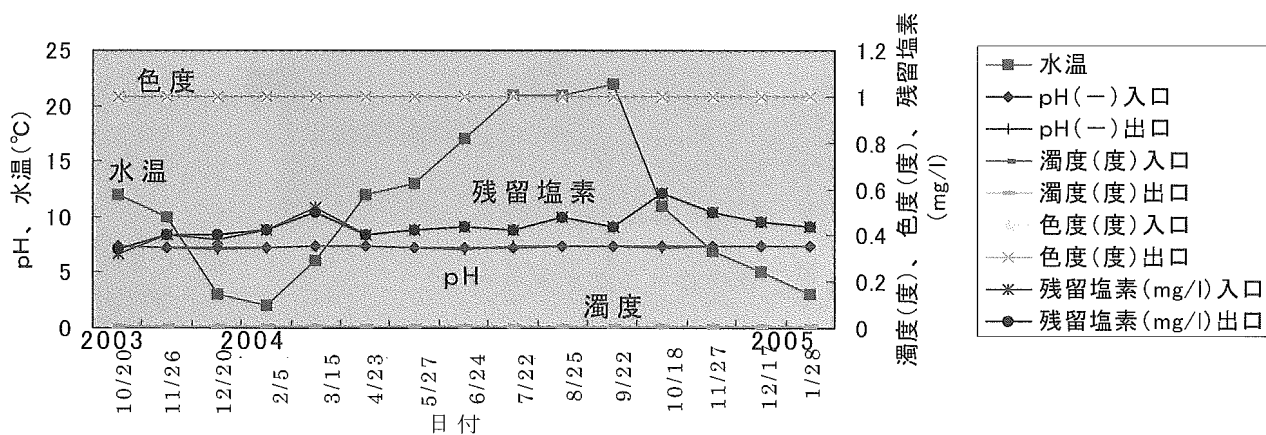


図 9.1.6 水質データ

##### ③騒音・振動

騒音・振動を下図に示す位置で測定した。騒音は発電機から 1m 離れた位置で A レベルにて測定、振動の計測周波数は OVER ALL レンジにて測定した。

なお、水車停止時の暗騒音は 42dB であった。

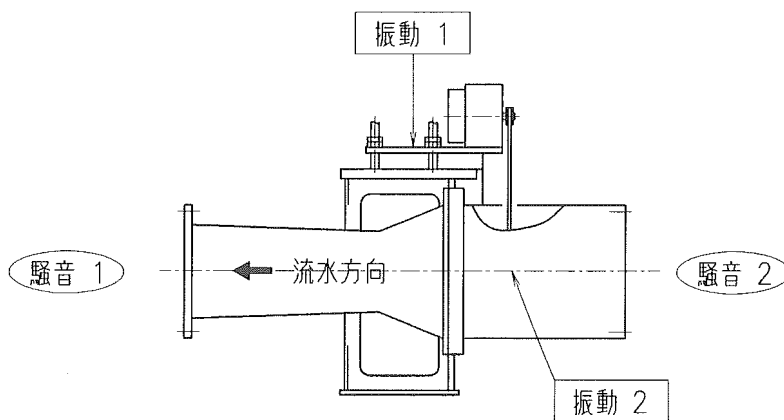
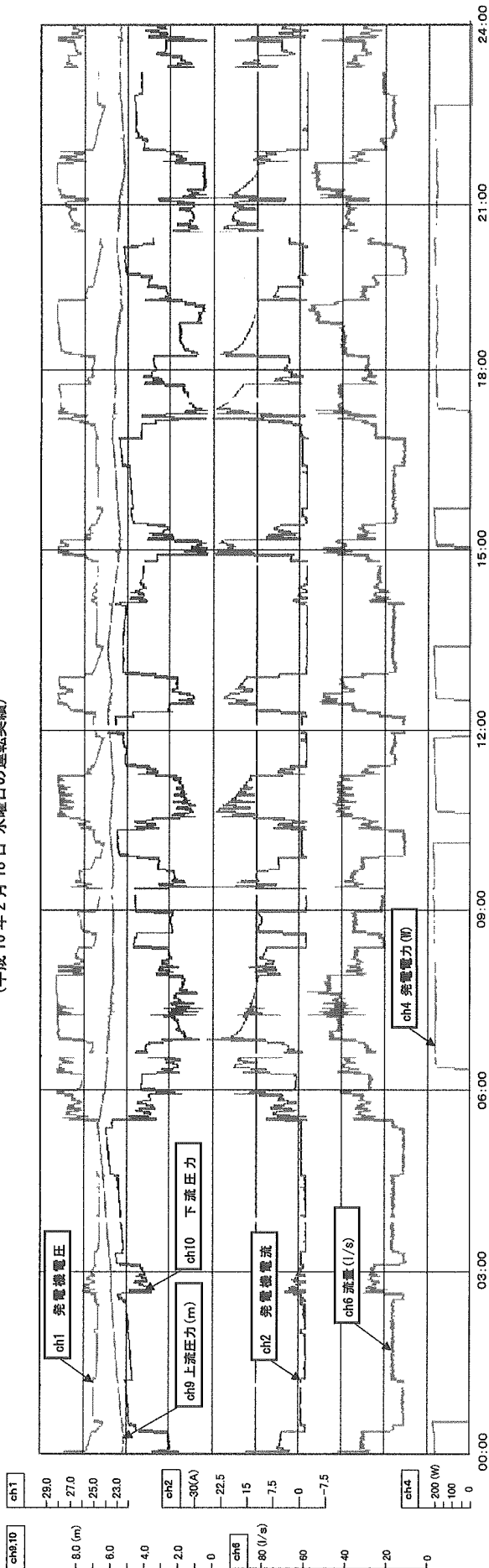


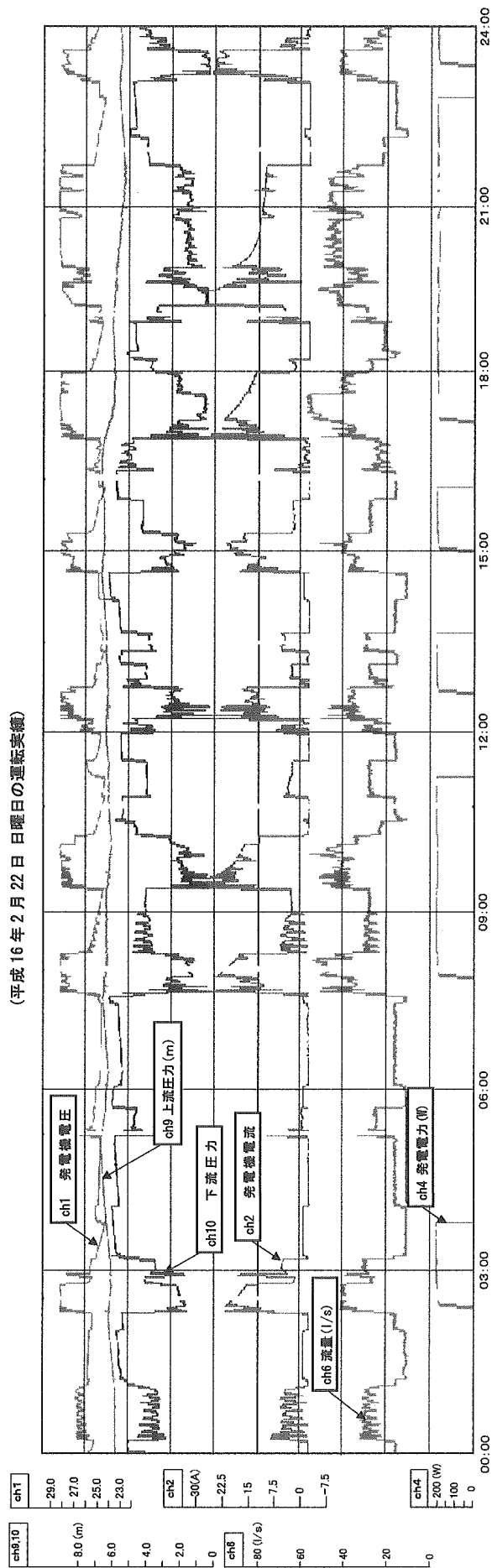
表 9.1.4 騒音・振動値

流量 (l/s)	発電機回転数 (rpm)	水車回転数 (rpm)	騒音 (dB)		振動 ( $\mu$ m)	
			①	②	①	②
18.2	572	191	58.3	55.6	0.2	0.3
20.2	774	258	57.2	54.8	0.3	0.4
23.1	1073	358	57.8	57.0	0.7	0.7
29.3	1196	399	64.8	64.6	0.4	0.3
31.4	1221	407	66.5	64.1	1.1	0.9
35.1	1319	440	67.7	64.5	0.5	0.4
47.6	3784	1261	70.6	—	1.1	0.5
49.1	3944	1315	71.8	—	1.2	0.5

図 9.1.7 運転データ  
(平成 16 年 2 月 18 日 水曜日の運転実績)



(平成 16 年 2 月 22 日 日曜日の運転実績)



※1 発電電力は一定負荷(蛍光灯40W×4本)であり、発電機出力とは異なります。  
また、発電停止中で0V付近の電圧が規定値以上の場合は電力を供給します。

チャンネル	名称	単位	名称	単位
ch1	発電機電圧	(V)	ch9	上流圧力
ch2	発電機電流	(A)	ch10	下流圧力
ch4	発電電力	(W)		

④稼働後、半年及び1年経過時に水車内部の分解点検を行った。いずれも正常な状態であり、摩耗等は見られない。

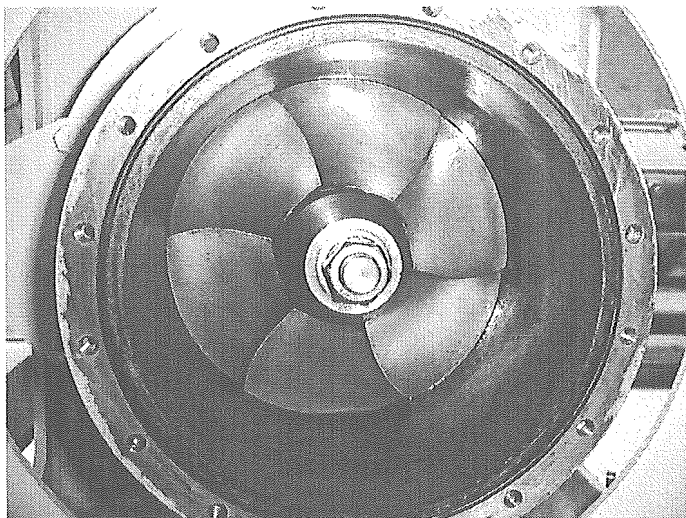


写真 9.1.3 水車内部 (1)

ランナとディスチャージリングとの間隙は正常に保たれている。

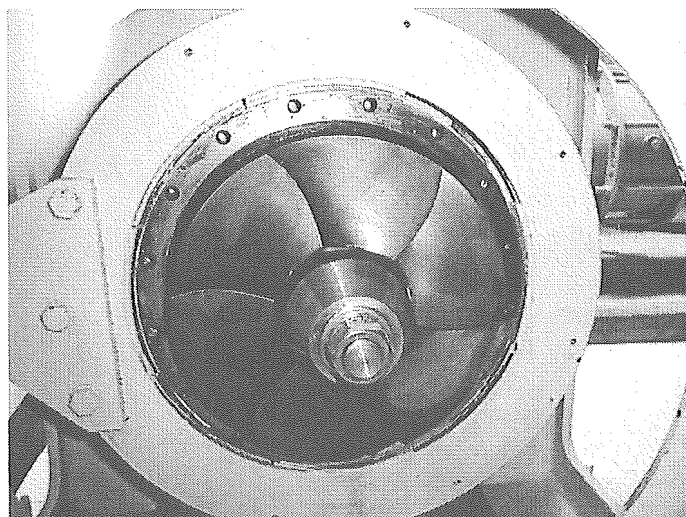


写真 9.1.4 水車内部 (2)

ランナ異常無し

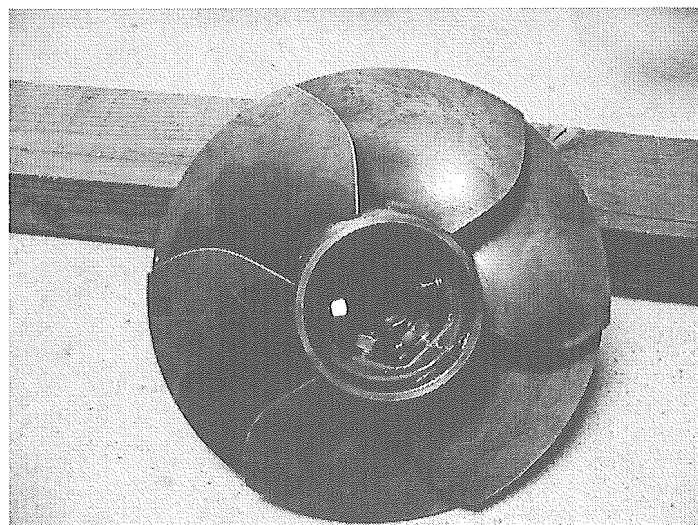


写真 9.1.5 ランナ

ランナ異常無し

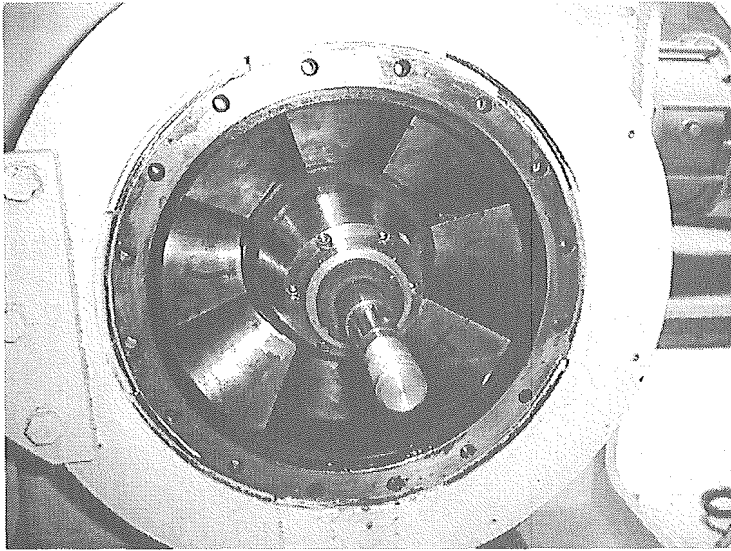


写真 9.1.6 水車内部 (3)

ガイドベーン異常無し

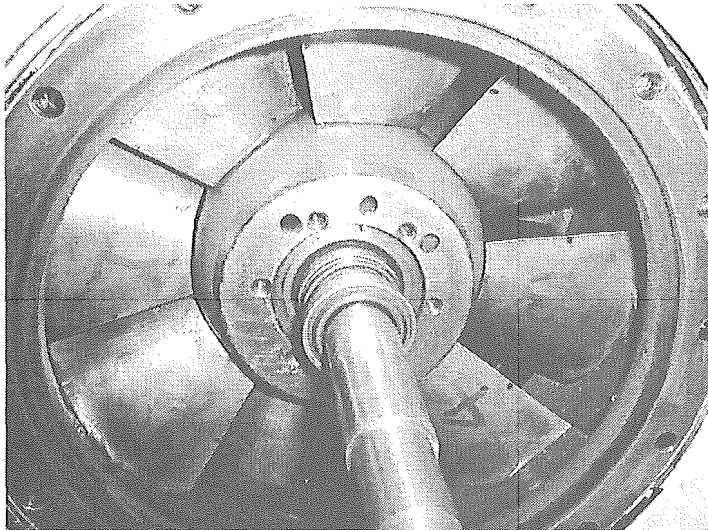


写真 9.1.7 水車内部 (4)

メカニカルシール異常無し

## 5) 結果のまとめ

### ①発電状況

稼動開始から1年4ヶ月、内部点検を行った2日間とベルト張り調整、発電機点検時を除き連続運転を行い順調に所内照明に電力を供給している。また、配水の水運用にも何ら支障を及ぼさなかった。総発電電力等は平成17年1月28日時点で732.5 kWhであり、CO<sub>2</sub>削減量は535kgとなる。

### ②水質

水車上下流での水温、pH、濁度、色度、残留塩素を計測した。水車前後の水質の変化はほとんどなく、水車が水質に影響を与えていないことが確認できた。

### ③騒音・振動

発電機回転数と騒音・振動値の変化を計測した。発電機回転数572～3944(rpm)に対し

騒音値 54～72dB (暗騒音 42dB)

振動値 0.2～1.2 μm

であり静かな運転であった。

### ④内部点検

稼動後半年と1年経過時に内部分解点検を行い異常のないことを確認した。

なお、1年4ヶ月の稼動中に交換した部品はなく、ベルトの張り調整を初期に2回行ったのみである。

以上



### 9.1.3 埼玉県企業局庄和浄水場での水車発電機フィールド試験

(株式会社クボタの持込研究)

埼玉県企業局庄和浄水場内に設置したインライン型発電水車（クボタ製）について、最終年度までに得られた、設計、施工、系統連系、各種届出、現地運転前試験、実運転の結果等を報告する。

#### 1) 研究目的

高度化した科学技術は、人々の生活を限りなく便利にしてきた。しかし、一方では地球温暖化という 21 世紀の深刻な問題を提起しており、近年、二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）など温室効果ガスの抑制や省エネルギー化に世界先進各国が積極的に取り組んでいる。エネルギー密度が大きい水からエネルギーを取り出す小水力発電は、技術面で最も実用的であること等により再度、注目されている。

水道事業も水資源と多くのエネルギーを必要とする事業だが、上記の地球温暖化問題への関心の高まりや省エネ法の改正に伴い、水道施設においても、導水や送水、配水系統での未利用エネルギーの回収と再利用が注目を集めている。

ただ、小水力発電システムの水道管路への導入は下記等により、採用が難しい場合が多かった。

- |              |                      |
|--------------|----------------------|
| ① 建設費等の経済性   | : 従来技術では設備が過大        |
| ② 既設管路への設置方法 | : 設置スペース、配管の改造や取り回し等 |
| ③ 落差等の水力諸元   | : 比較的、多様             |

このようなことから、コンパクトでシンプルな構造で管路途中に容易に設置できるインライン型発電水車の開発を行った。既存の設備に対応しやすく、様々な規模の水道事業において活用可能なポテンシャルを有しており、全国の各事業体にも注目され始めている。

今回、この新技術を全国の水道事業におけるエネルギー消費削減対策として実用化・普及し、水道界のさらなる発展に寄与するため、下記の調査研究を行うことにした。

- ① 実際の水道施設においてフィールド試験を行い、技術的な検証と実用化への評価を実施する。
- ② 水車設置の諸手続も含めた初期費用と発電による経済効果の評価を行う。
- ③ 水道施設の未利用エネルギー回収のための水力発電計画・設計マニュアルを作成する。

#### 2) 調査研究フィールドの選定

埼玉県水道用水供給事業は、国内でも最大規模の浄水施設及び施設計画を有しており、規模も多種多様な 75 もの受水団体へ送水しているので調査研究フィールドに選定した。その中でも水車設置による経済効果が大きい庄和浄水場にフィールド試験機を設置することとした。

### 3) フィールド試験設備

#### (1) 設置場所

フィールド試験にあたって、「埼玉県北葛飾郡庄和町新宿新田 100 番地 庄和浄水場内送水調整池」(写真 9.1.8)の一部を一時的に借用して、水車発電設備(届出發電所名称:埼玉県企業局庄和浄水場内クボタ水力発電所)を設置した。

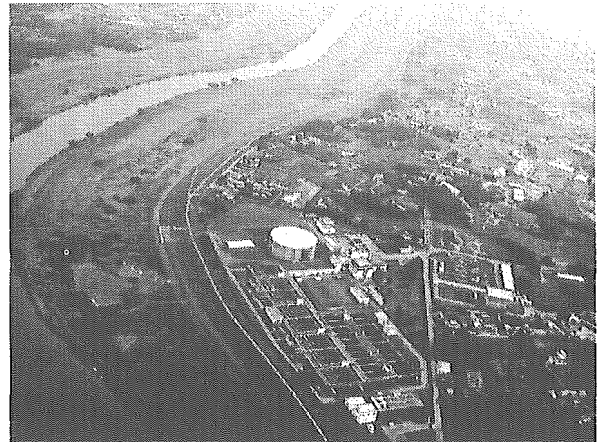


写真 9.1.8 埼玉県庄和浄水場の全景

インライン型発電水車は、図 9.1.8 に示す様に、配水管(送水本管)から分岐した PC タンク(送水調整池)への循環ラインの途中に設置した。

本 PC タンクは貯水量 3 万  $m^3$ 、写真 9.1.8 の中央の白い円筒形のタンクである。震災等による停電時に供給する 2 日分程度の飲料水を貯留している重要なライフライン施設であり、その水質維持のために、RC 浄水池との間で常時、水を循環させている。その流入側に 20mAq 程度の残圧があり、減圧弁を設けている。そこでこの重要なライフライン施設にさらに未利用エネルギー回収という付加価値をつけるために、減圧弁と並列に水車を設置して発電しながら、減圧弁ラインは通水のバックアップ(バイパスライン)とするシステムを採用した。

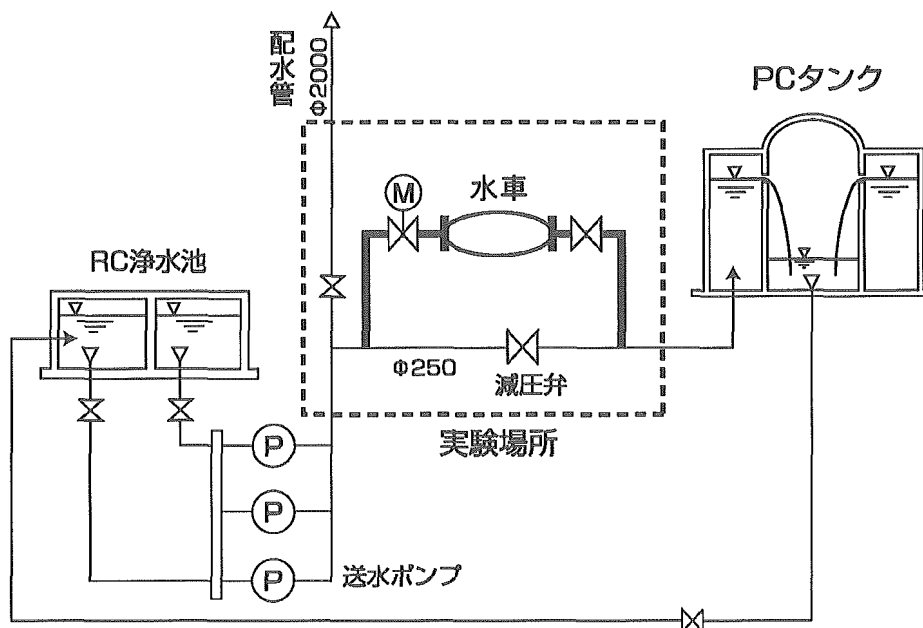


図 9.1.8 系統図

概略据付図を図 9.1.9 に、設置場所写真を写真 9.1.9 に示す。

既存設備は、 $\phi 2000$  の送水本管から分岐した  $\phi 250$  の管路途中に減圧弁が設置されている。この減圧弁と並列に  $\phi 250$  の管を増設し、その管路途中に水車を設置した。

図 9.1.9 に示す太矢印が送水本管から水車を通して PC タンクへ流入する水の流れである。このように、既存の減圧弁ラインを水車発電機システムのバイパスラインとして使用しているため、フィールド試験終了後は元の減圧弁ラインの状態に戻すことができる。

系統との接続場所は、場内 1 系急沈殿池設備配電盤内の予備遮断機である。

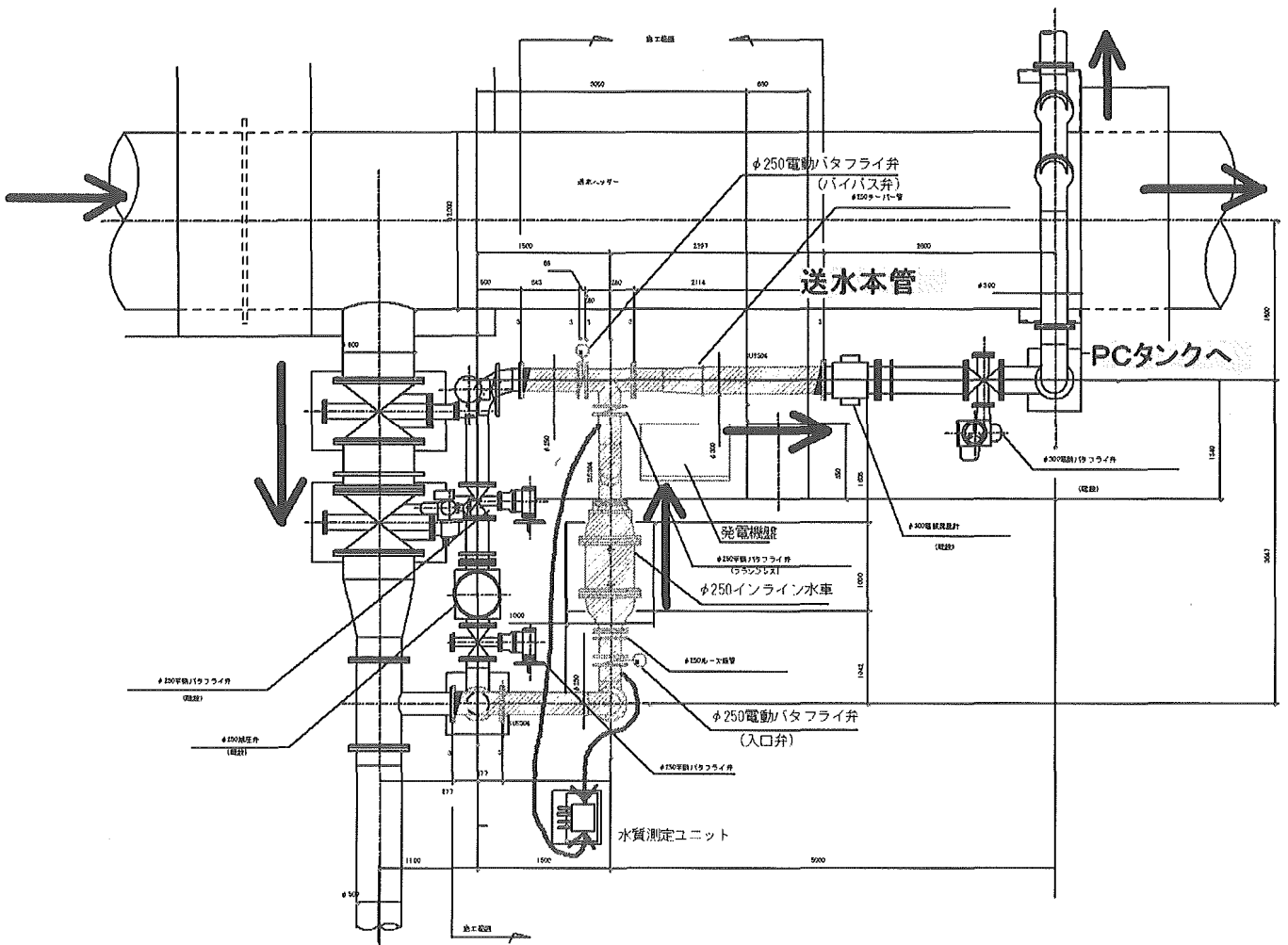


図 9.1.9 概略据付図

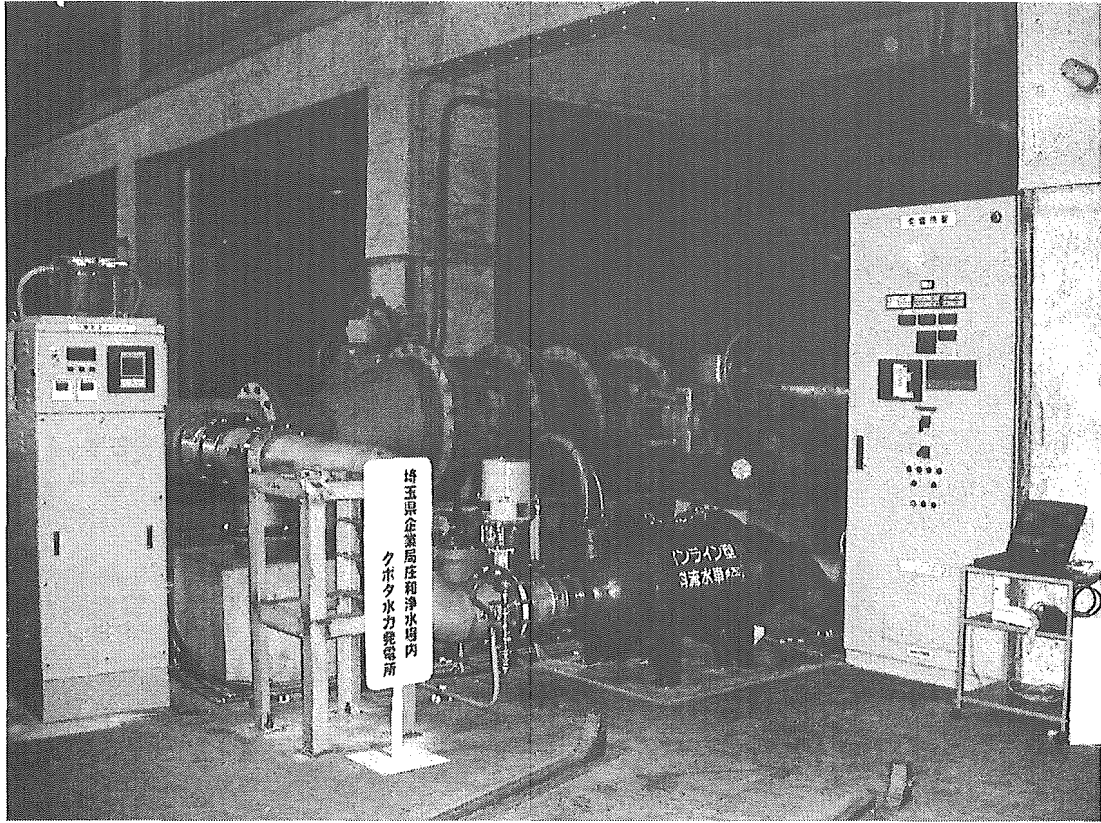


写真 9.1.9 現地写真

## (2) 設備構成

設備構成は下記の通りである。

### ① インライン型発電水車

仕様：13m<sup>3</sup>/min×20m×1010min<sup>-1</sup>×35kW（誘導発電機 6P×容量 45kW）

呼径：φ250mm

全長：1440mm

重量：1250kg

### ② 発電機盤

③ 入口弁・バイパス弁（電動直流バタフライ弁）、手動バタフライ弁（維持管理用）

### ④ 水質測定ユニット

#### 4) インライン型発電水車

##### (1) 全体構造

フィールド試験で用いる水車は図 9.1.10 のように、発電機、ガイドベーン、羽根車（ランナ）から構成される。水道施設の既設の配管設備に容易に設置できるように下記の特長を有している。

- ①口径は  $\phi 300\sim 600\text{mm}$  程度。
- ②斜流羽根車の採用により、水道施設に多い 30m 程度の高落差にも対応できる。
- ③渦巻室はなく、ガイドベーンのみで未利用エネルギー（残圧）を旋回流に変換して羽根車に導くので、胴径が小さくコンパクト。更に、出入口の軸線が一致しており、既設管路途中への据付が容易。
- ④軸封部と軸受部の間にドレン室を設ける水道施設用の特殊な構造とした。

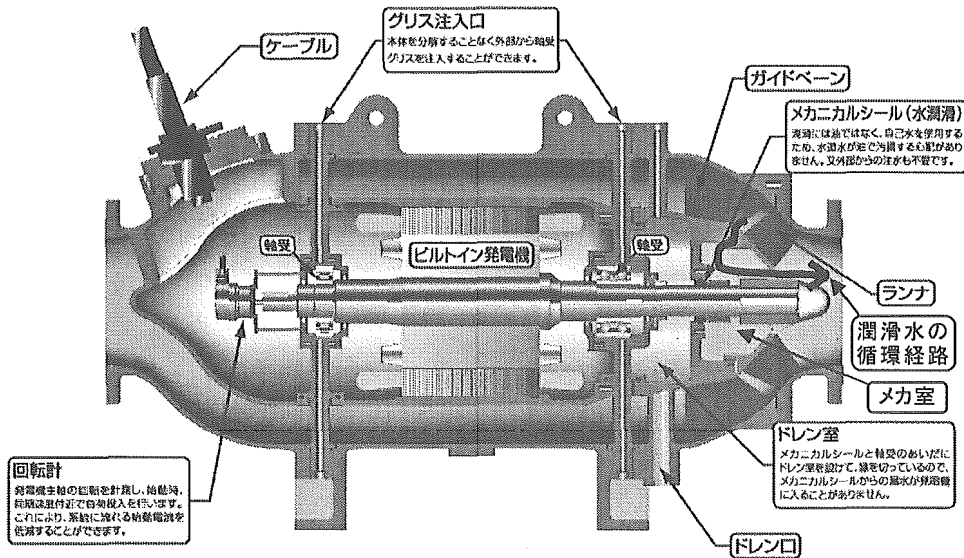


図 9.1.10 概略構造図

##### (2) 軸封部

軸封部はオイルを使用しない自己水潤滑方式のメカニカルシールを使用しているが、そのメカニズムは下記の通りである。

- ①羽根ボスに開いた複数個の孔から、水車の導水初期時に水がメカ室内へ進入。
- ②水車運転後は、羽根出入口の差圧により、図 9.1.10 の矢印の経路にてその水が循環し、メカニカルシールの潤滑と冷却を行う。

##### (3) ドレン室構造

下記構造により、軸受部は導水系統から切り離されているので、軸受部のグリスが導水系統に混入する可能性は低い。また、発電機室への水の侵入の可能性も低い。

- ①軸封部と軸受部の間にドレン室を設けた構造になっている。
- ②本構造の採用により、軸受部からドレン室にグリスが漏れた場合でもドレン口から外部へ排出されるので、軸封部を通して導水系統へグリスが漏れる可能性は低い。本構造は陸上ポンプと同等の構造であるといえる。
- ③グリスの注入口は水車本体の外側（導水系統の外部）に開口されており、水車を分解せずにグリスを注入できる。

④ 仮に、軸封部からドレン室に水が侵入してもドレン口から外部へ排出される。そこで本フィールド試験ではドレン口を常時開のまま写真 9.1.10 のようにオイルパンで受け、水漏れの有無を確認している。

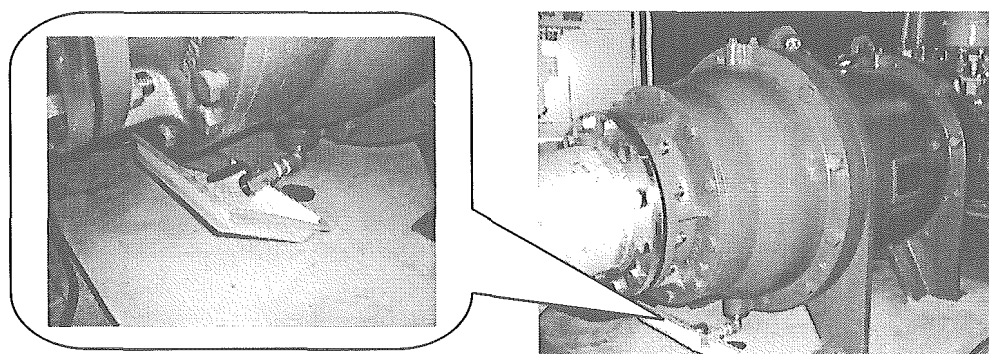


写真 9.1.10 ドレン口

#### (4) 塗装、材質

水車に用いている材質、塗装は下記である。

- ① 水との接触部は基本的にステンレス鋼、青銅を使用している。
- ② 鋳物（FC）部分は、水道用液状エポキシ樹脂系塗料で塗装。

#### (5) 羽根車とガイドベーン

上述のように斜流水車を採用しており、羽根車は写真 9.1.11 のような 8 枚羽根である。比較的高落差での設計のため、羽根車への負荷が大きい。また、ガイドベーンも同様の理由、さらに渦巻室がないため、負荷が大きくなる。そこで適切な流れ場を与えて羽根車形状を設計する新設計手法（逆解法）を用いた。

本設計手法では、幾つかの負荷パラメータ（ハブとシュラウド、各 4 ケ）により、

- ① ガイドベーン出口での適切な旋回速度分布
- ② ガイドベーンや羽根車内で、局所的に急激な増減速のない滑らかな相対速度変化
- ③ 羽根車出口で旋回速度はほぼ 0

等を確実にコントロールできる。よって、遠心型から軸流型近くまでの広範囲にわたる仕様の設計が可能である。さらに剥離や渦の発生を抑制して、エネルギーを有効に回収できるので、発電効率が高く、また騒音を小さくすることができる。

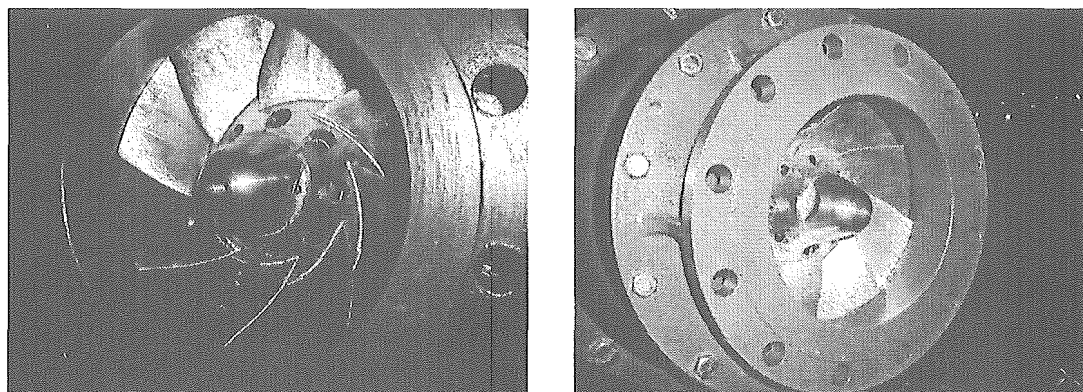


写真 9.1.11 羽根車（ランナ）

5) 水車発電設備の設置の手続き

フィールド試験用の水車を設置するにあたり、図 9.1.11 のフローのような一般的な水車発電設備設置計画に基づき、各種の届出と手続きを行った。

着手段階の手続き、届出等に約 2 ヶ月を要するが、計画から試運転までは約 4 ヶ月で完了することができた。

なお上述のように小水力発電はその採算性や経済効果が重要なポイントとなり、設置の諸手続きもその中でかなり大きなウェイトを占める。また普及のためには弾力的運用も望まれる。そこで、今後の水力発電計画・設計マニュアルの作成の中で、これらを弾力化した上で、ある程度、標準化していく必要があるだろう。

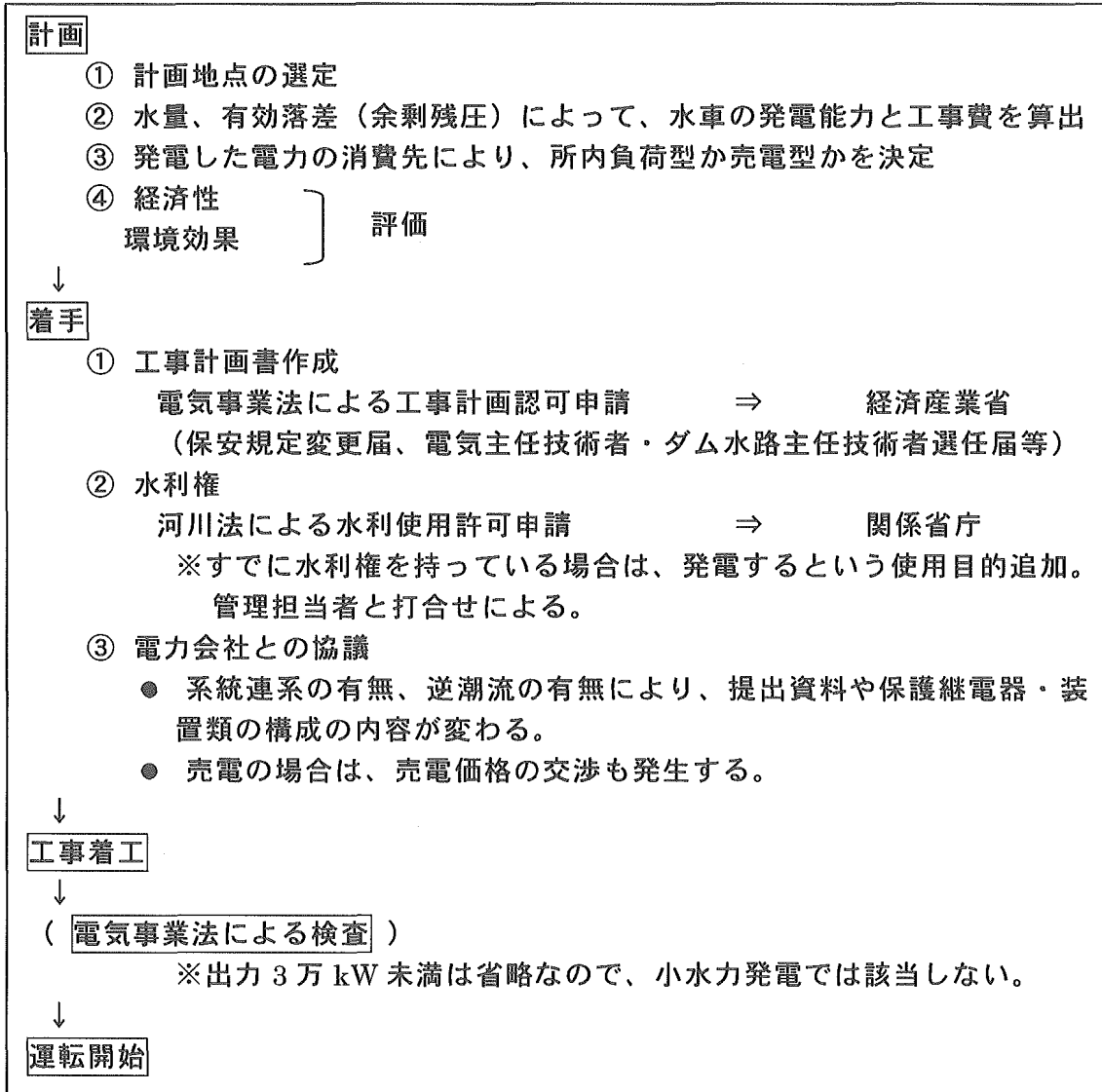


図 9.1.11 小水力発電の計画フロー

6) 現地運転前試験と試運転

現地運転前試験と試運転を表 9.1.5 のように行い、既設備に影響を与えないことを十分確認し、運用上の利便性を向上させる改造も行った上で、平成 15 年 2 月 21 日 16:00 よりフィールド試験運転を開始した。

表 9.1.5 現地運転前試験・試運転

	試験項目	日付	備考	評価
運転前試験	発電機の相回転方向確認	2002 12/25		良
	ケーブル絶縁/耐圧試験		関東電気保安協会に委託	良
	接地抵抗測定		"	良
	保護継電器単体テスト		"	良
試運転	発電機単独運転	2003 1/8		良
	発電機連動運転		起動停止時に流量変化がやや大きい	良
	発生電力確認			規定値
	保護装置テスト			良
	系統への影響確認試験			良
調整	力率・電流低減テスト	2003 2/4	コンデンサー（25kVR）を入れると、発電機連系時の電流が 106A から 74A に低下	—
	流量調整テスト		入口弁、バイパス弁の動作をタイマー調整して起動時の流量変動を小さくした。 停止時は若干変動が大。	—



7) フィールド試験の記録

発電監視モニターを発電機盤横に設置し、下記測定項目の数値を随時目視でモニターすると共に、自動でデータを保存している。

なお、マンホールポンプ等で多数の納入実績があるポンプ監視制御装置を基に、この監視モニターを製作した。

(1) 計測項目

水車発電機

① 発電電圧	② 発電電流	③ 発電周波数
④ 発電電力	⑤ 力率	⑥ 発電機回転数
⑦ 流量	⑧ 入口圧力	⑨ 出口圧力

(2) 水質 (水車の上流と下流の水質を、交互に自動計測)

① 水温	② pH	③ 濁度
④ 残留塩素		

(3) パソコンのモニター画面

写真 9.1.12 のように表示される。

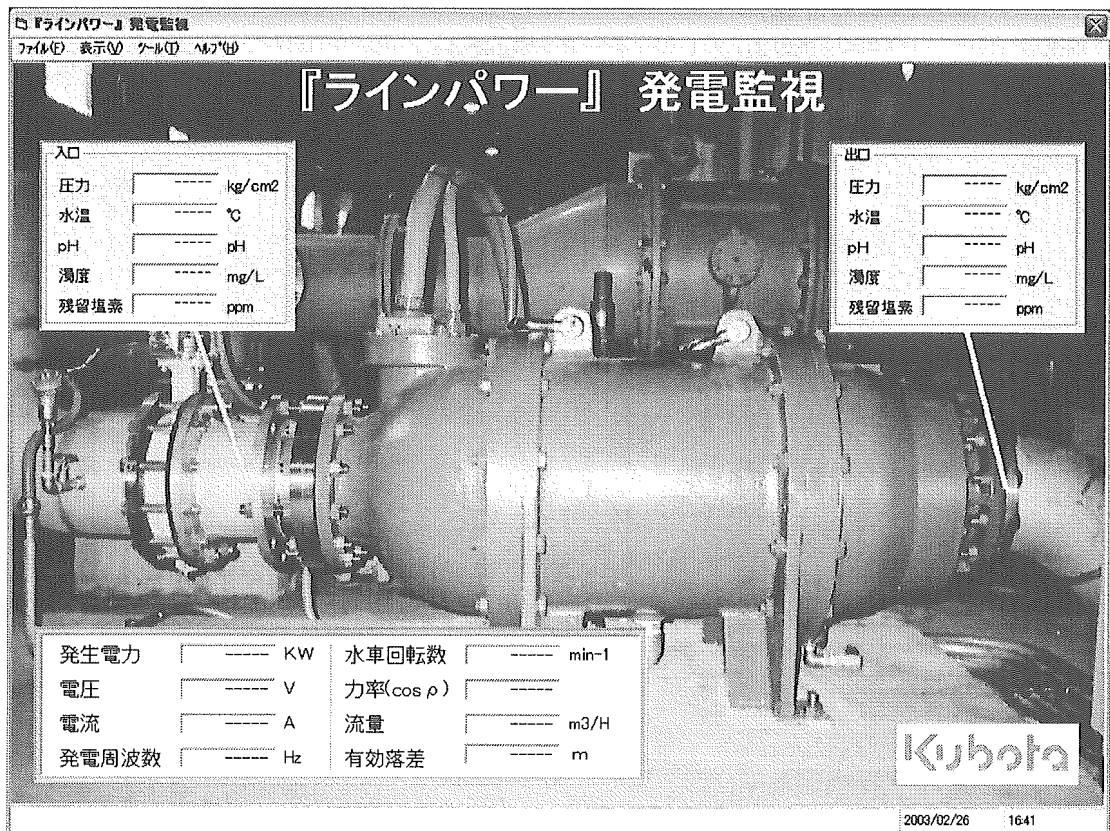


写真 9.1.12 モニター画面

## 8) 水質測定

### (1) 水質測定ユニットとそのフロー

水車は浄水場で多数の運転実績のあるポンプと、構造・動作のよく似たターボ機械であるが、その水質への影響をモニターすることにした。そこで、浄水場内の既設の水質測定装置とは別に、水車の上流側と下流側の水質を測定した。そのためのセントラル科学（株）製の水質測定ユニットの外観は写真 9.1.13、その構造、各測定器の配置とサンプル水の流れを図 9.1.12 に示す。

本ユニットにより下記のフローのように水質測定を行っている。

- ① サンプル水は水車の上流側と下流側の 2 箇所から取り出され、測定ユニット上部にある各々の脱泡槽（サンプル水槽）へ流入
- ② 上流側脱泡槽、下流側脱泡槽のそれぞれから交互（上流 10 分、下流 40 分の設定）にサンプル水を計器に送る
- ③ 残留塩素濃度測定（pH 補償機能付）
- ④ pH 測定
- ⑤ 濁度測定
- ⑥ 測定が終了したサンプル水を排水

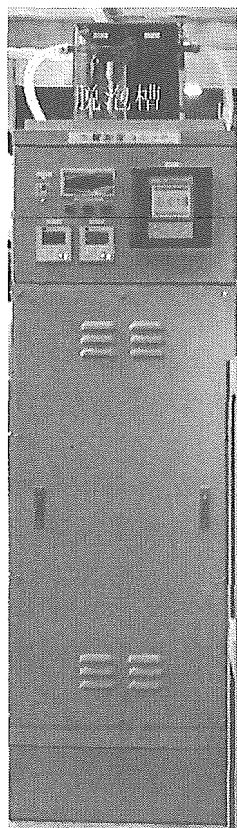


写真 9.1.13 水質測定ユニット外観

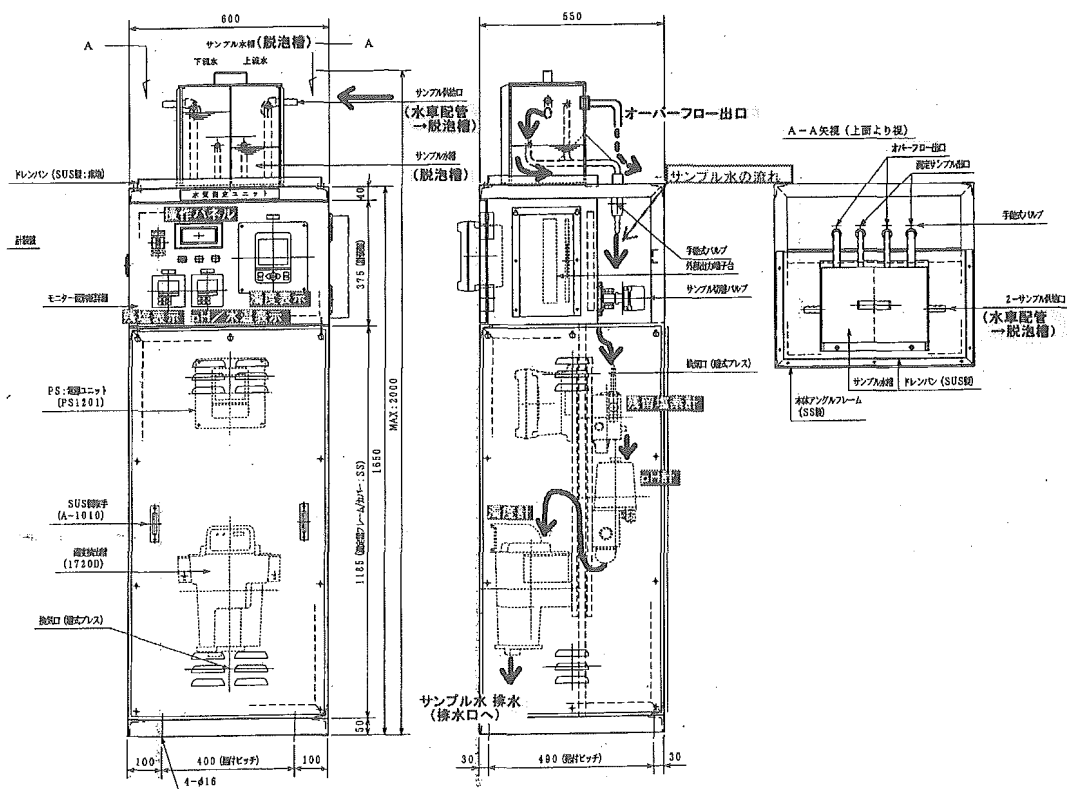


図 9.1.12 水質測定ユニットの構造

## (2)測定器仕様

表 9.1.6 測定器仕様

測定項目	型式	測定方法	測定範囲	分解能
濁度	1720D	散乱光法（水中散乱光方式）*1	0.001~100mg/L	0.001mg/L
残留塩素	CCM253	ポーラログラフ法（隔膜クーロメトリー法）*2	0.01~5.00mg/L	0.001mg/L
pH	CPM253	ガラス電極法	0.00~14.00pH	0.01pH
水温	-	白金測温抵抗体（Pt100Ω）	-15.0~130.0℃	0.1℃

### \* 1 散乱光法（水中散乱光方式）

サンプル水は、脱泡トラップを通過し気泡除去されて測定室に入る。光源（可視光）から発射された光は、レンズによって集光され水中の濁度成分によって散乱する。その散乱光は、水中にあるフォトセル（受光部）によって検出され濁度が求まる。（散乱光量は、濁度に比例）

### \* 2 ポーラログラフ法（隔膜クーロメトリー法）

サンプルは、流量調整機能付（最低流量 500mL/min）流通ホルダ内を通過する。流通ホルダ内に取り付けた隔膜クーロメトリー式センサは、カソード（電極）とアノード（対向電極）で構成され、電極部には、電解液が充填されている。

電極部と電解液は塩素を選択的に透過させる隔膜によってサンプル水から遮断されているので、測定を阻害する汚染物質のセンサへの進入を防ぐことができる。

電極間には、一定の印加電圧が与えられ塩素が隔膜を透過するとセンサ内に拡散電流が発生して、遊離残留塩素濃度が求まる。（拡散電流は、塩素濃度に比例）

本方式は下記の特長を有しており、使用実績も多い方法である。

- ① 維持管理が容易
- ② 測定精度も、かなり良い

## (3)水質異常警報

測定項目個別に警報値（異常数値）を設定しているが、発電機盤への異常信号は一括で出力している。

発電機盤が水質異常信号を受け取ると、水車を停止しバイパスライン（既存の減圧弁ライン）に切り替える保護回路が働き、水車ラインへの水の流入を遮断する。

## 9) 2年間のフィールド試験実績

平成 15 年 2 月 22 日から平成 17 年 2 月 28 日までの 2 年間の長期に渡るフィールド試験により、下記が確認された。

### (1)水車運転状況

- ①水車の直前では若干の流量変動・圧力変動があるが、水車はそれに追従した発電を行い、未利用エネルギーを回収している。（図 9.1.13 参照）
- ②発電された電気は、既存設備に影響を与えることなく、場内の負荷へ送られている。

### (2)水質

昨年度までの試験結果より、水質に関しては水車上流の濁度はほぼ 0 だが、水車の通過後も濁度や残留塩素濃度等の水質の変化はほとんどない。（図 9.1.14 参照）これによ

り、水車が水質に与える影響はほとんどないことが確認できた。

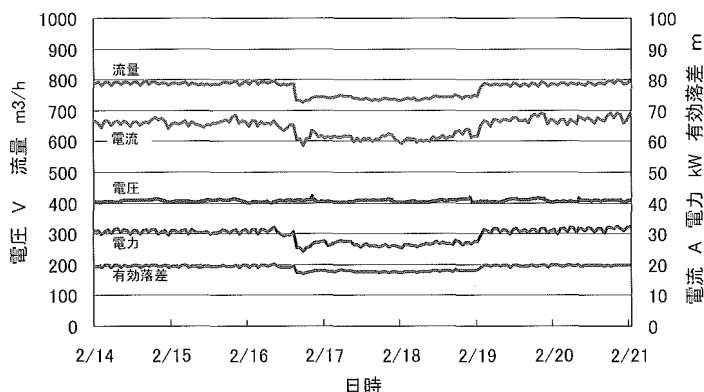


図 9.1.13 運転時データ（水車運転状況）

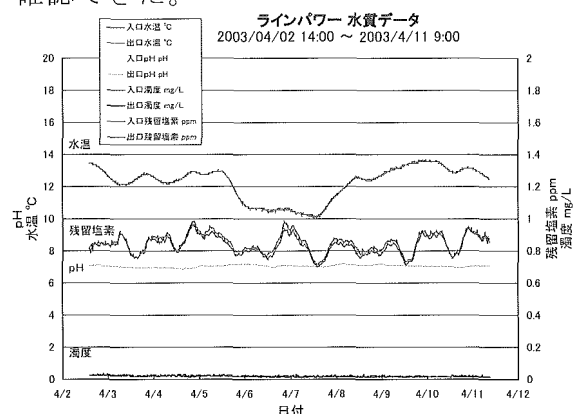


図 9.1.14 運転時データ（水質）

### (3) 経済・環境効果（発生電力量）

監視モニターで記録したフィールド試験データを使って、これまでのフィールド試験期間中の発生電力量の集計を行い、その経済・環境効果を検証している。結果を表 9.1.7 に示す。

①累計約 **53.5 万 kWh** の発電をこの約 2 年で行った。

②本発電による **CO<sub>2</sub> 削減効果は約 391 トン**であった。

なお CO<sub>2</sub> 削減量の算出は下式によった。

$$\text{CO}_2 \text{ 削減量(kg)} = \text{発生電力量(kWh)} \times \text{係数}(0.731)$$

係数：電力中央研究所報告等による火力発電と水力発電の CO<sub>2</sub> 排出量の差

③発電水車の停止日数は、平均 1.7 日/月となり、浄水場の送水ポンプ切替等の月度点検以外は、ほぼ稼働した。

④本発電は、庄和浄水場の環境会計にも折り込まれている（表 9.1.8 参照）。