

研究成果報告書

研究開発課題名	農業水利施設を利用したナノ水力発電技術の実用化に向けた開発
研究総括者	株式会社協和コンサルタンツ 課長 左村公
研究開発組合	東プレ株式会社 株式会社リコー
試験研究機関	国立研究開発法人 農業・食料産業技術総合研究機構 農村工学研究部門

1 事業の実施内容**1. 1 事業の背景及び目的**

近年、2050 年のカーボンニュートラルの実現化にむけて、産業界を中心に再生可能エネルギー（特に太陽光発電）の導入が進んでいる。農村地域においても 1000kW 以下の小水力発電は開発に有利な場所での導入が進められてきているが、開発可能な地点は限られており、そのほとんどが開発済みもしくは開発に着手しており、今後の開発可能な地点は限られている。一方で、全国の農村にある開水路の低落差や小口径のパイプラインの圧力などの低出力の水力は、低出力のためそのほとんどが未利用状態である。今後、低炭素で持続可能な社会の実現のためには農村部でも再生可能エネルギーの最大限の生産と利用を図ることが不可欠であり、低出力のエネルギーについても積極的に導入していく必要がある。

しなしながら、低出力の水力、いわゆるナノ水力（定義：発電出力 10kW 未満）を広く利用するには、設置プロセスの簡素化・維持管理コストを十分に考慮した発電装置の開発や、生産した電力の使用用途の明確化、効率的にナノ水力電力を利用するためのシステム開発などの課題が残されている。よって、これらの課題を解決し広く農村地域に導入可能なナノ水力発電技術を開発することを目的とする。

1. 2 事業の内容及び実施方法**（1）管水路式ナノ水力発電装置の開発**

対象は、調整池やため池などに設置している除塵設備を介してパイプラインに取水し、自然流下により各圃場に給水される管路式農業用水となる。研究の対象は $\phi 50$ 、 $\phi 75$ と小口径な末端流出口からの未利用のエネルギーとし、これらを対象とした発電装置の開発はほとんど進んでない。

①管水路式ナノ水力発電装置の開発

パイプラインシステムにおける各給水端末には、調整池やため池との落差が存在し、給水端末バルブには常に圧力が掛かっている。その未利用時等に発生する余剰圧力から効率良く発電するシステムの開発を行う。導入効果として、未利用エネルギーを電気に変換することができる。



図1 管路式農業用水給水栓

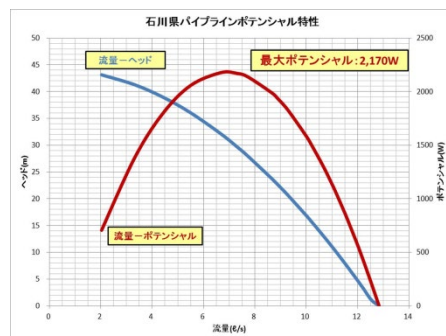


図2 発電ポテンシャル

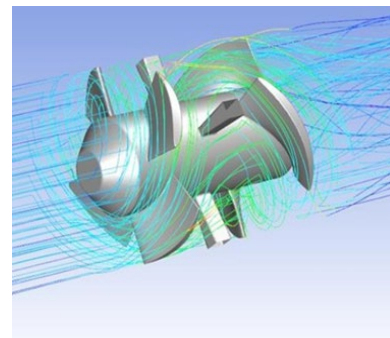


図3 高効率発電タービン案

②マイクログリッドの開発

各給水末端で発電した小さな電力を、複数箇所電氣的に連結できるシステムを開発し、より大きな電力を作る。また一方で、発電後の排水には、まだ発電に必要な余剰圧力が存在する地点が多くあり、1つの給水末端に複数の発電ユニットを連結するシステムの開発を行う。導入効果として、各地域が保有する、余剰（未利用）圧力を利用した発電ポテンシャルを利用することができる。

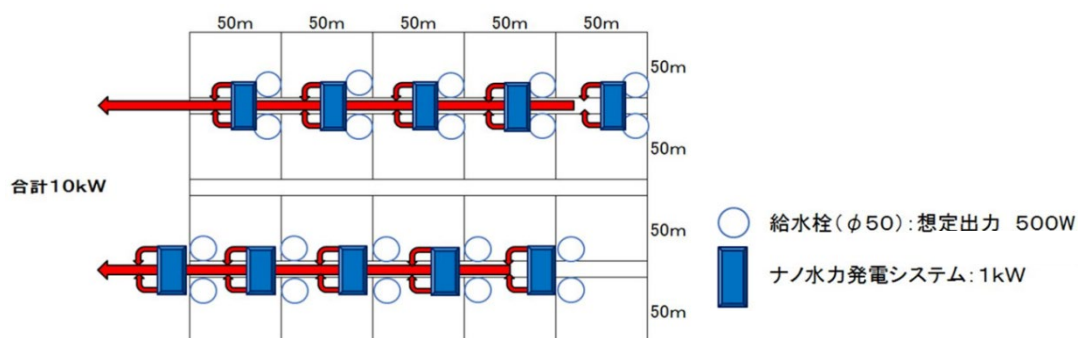


図4 マイクログリッド案

③除塵機構の開発

管水路式のナノ水力発電装置では、除塵設備を通過する通常では問題にならない水草やビニール片などの塵芥でも目詰まりを起こし、定常的な発電の妨げとなる。発電に支障のある塵芥に対し、動力を使わない塵芥除去機構を開発し、発電のためのメンテナンス間隔、1回の塵芥除去に要する作業時間、除去作業に係るコスト等を計測することにより、維持管理負荷低減の効果について評価を行う。

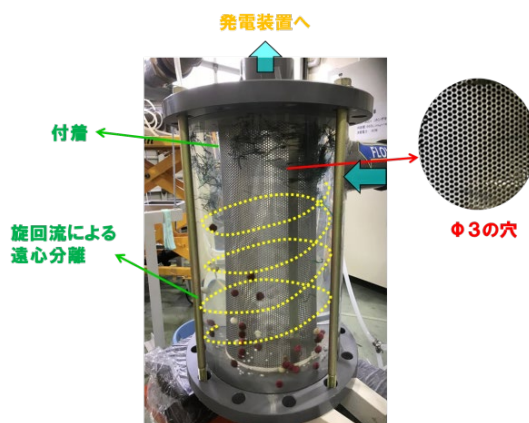


図5 取水口バースクリーン・通過塵芥・塵芥除去機構案

④実証実験

実験室実験による基本的な性能特性を把握し、実フィールド環境下において発電量の検証を行い、実用化のための基礎データとする。具体的には、1 年を通し発電量の変化の把握、変動要因として、余剰圧力の変化、水質（塵芥）、気温等の様々な外的要因が発電システムに与える影響の把握を検証項目として、安定したベースロード電源としての確立を目指す。

⑤研究開発成果の活用

今まで活用されていなかったナノ水力という未利用エネルギーについて、地産地消電源として活用の可能性が図れるとともに、NDC46（2030 年温室効果ガス削減目標）に対する貢献が期待できる。また、ナノ水力電力の利用ツールの開発はスマート農業の展開や農村社会のレジリエンス向上への貢献が期待できる。

（２）開水路落差式ナノ水力発電装置の開発

①除塵設備の開発

これまでの除塵は入口管の縦格子によるストレーナによるものであり（図 6）、人力による除塵作業となるため、維持管理労力が多大なものであった。そこで、人力による維持管理労力の軽減が図れ、かつ動力を使わない除塵設備を開発する。本技術の導入により運転に際しての維持管理の作業時間の短縮につながり、経済性が向上する。また、これまで設置をしている箇所での維持管理時間からどの程度削減できたかの計測によって評価する。

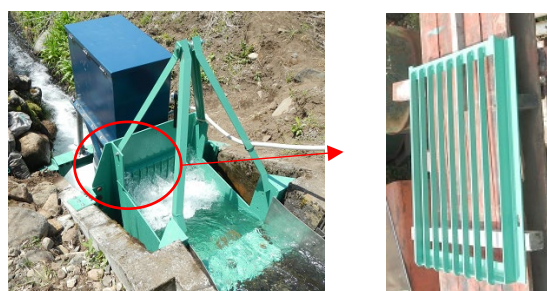


図 6 現在の除塵設備

②吐出し部の改良による発電効率向上技術の開発

これまで吐出し管は水面上から後段ランナまでの高さが有効落差として利用する発電機構であった（図 7）。そこで、有効落差を稼ぐために吐出し管を水没させ、下流水面までの高さを利用できる機構を開発する（図 8）。本技術の導入により、装置価格はほぼ変わらず出力が向上することから、コストパフォーマンスが向上する。また、定量的な効果については吐出し管を水没させない機構と水没させる機構の出力を比較し、評価を行う。



図 7 吐出し管の現況

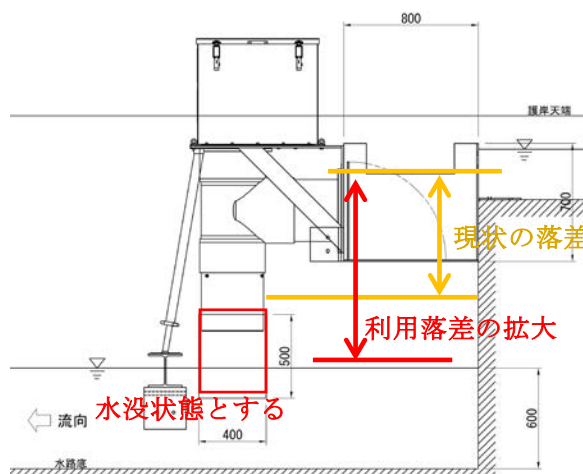


図 8 吐出し管の改良

③実証実験

実証実験は、現在設置している群馬県川場村太郎地区の装置を用いて行う。除塵設備の開発では現在の除塵機と付替えを行い、一定期間を目視による実証試験を行う。評価は除塵に要した作業時間を比較することで行う。

また、吐出し部の改良による発電効率向上技術の開発では現在の水車の吐出し部に追加設置をし、出力計測を行う。吐出し部の改良は 2 パターン用意し、それぞれ実証試験を行う。評価は改良前と後（2 パターン）の出力 W 、電圧 V 、電流 A 等を測定する。実証実験については数日間の測定とする。

④研究開発成果の活用

開発された技術のうち除塵設備については、除塵のための作業が半減することを想定している。作業時間の短縮に伴い、水車の稼働時間も長くなると考える。また、吐出し管の改良では出力が 10% 程度上昇することを想定している。

開発された技術の普及に向けて、現地の状況に応じて除塵設備を選択、吐出し管の長さの調整を簡易的に実施できる機構（マニュアル化）とすることで、コスト削減を図る。コストの削減にあたってはこれまでの実績から 30 万円程度削減できるようにする。

（３）ナノ水力制御装置の開発

①ナノ水力制御装置の開発

ナノ水力（概ね 1kW 未満）発電に対応した安価な制御盤の開発を実施する。農業用水利用のため流量の季節変動は勿論、電力使用用途によっては負荷変動への対応が必要になる。蓄電池との連携や系統電源との組み合わせ等、現場環境とニーズによって制御側に求められる仕様が異なると想定され、現場によってはブラックスタートが求められる場合も想定される。これら現場ニーズに対応でき、かつ安価で提供できる制御盤開発を目指し、これまで 1kW 以上を対象に開発検討していたものをベースにコストダウンを目指す。各実証現場でのニーズと水流条件から仕様の見直しを行い試作開発から実施する。

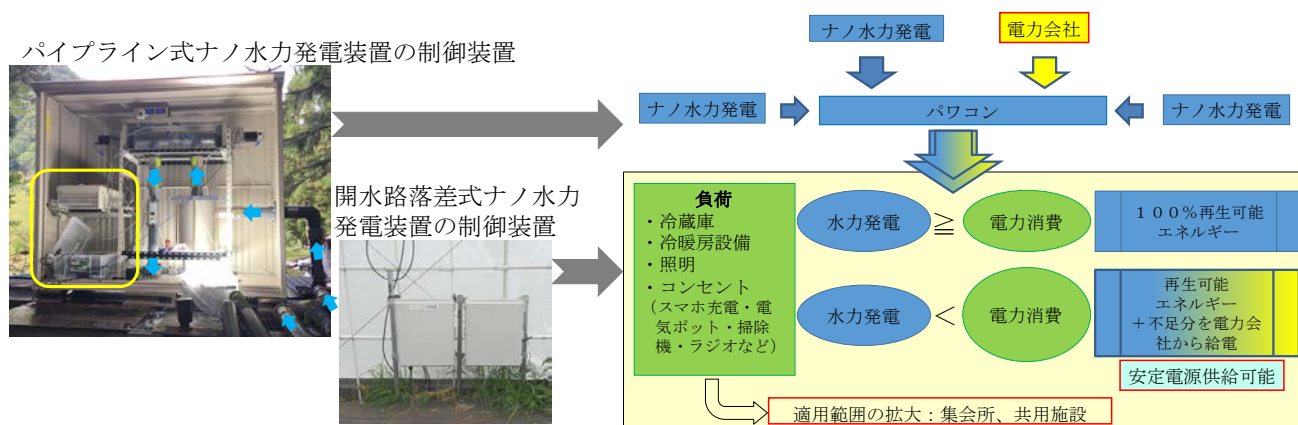


図9 制御装置の開発イメージ

②実証実験

管水路式ナノ水力発電装置、開水路落差式ナノ水力発電装置それぞれの実験に合わせて接続を行い、実証実験を行う。また、それぞれの水車の電気特性を事前に調整しておき、実証試験を現地で行う。

③研究開発成果の活用

従来のナノ水力発電の制御装置については、水車メーカーの仕様に依存するため、メーカーそれぞれが提供していた。そのため、仕様変更や異なる水車を並列的に利用する場合、電力制御に多くの費用を費やしていた。今回の開発により異なる水車（管水路式、開水路落差式）を並列的に利用することが可能となり、ナノ電力の有効利用の実現化を図れる。

1. 3 事業着手時に想定した技術的問題点への対応

技術的問題点	対策
①管水路式ナノ水力発電装置において、小口径での発電では、タービンのクリアランス精度、微細な塵芥の影響、キャビテーションなどの対策	相反転によるデュアルマイクロタービンによる技術の追求により、小口径で高効率な発電が可能となる。
②開水路落差式ナノ水力発電装置における除塵機構の開発	開発する新たな除塵設備は無動力、無電源を採用するとともに、塵芥を水路場外へ自動的に搬出する機構は困難と考える。そのため、装置への導水に支障を来さない形で塵芥を取り溜めておける機構を開発する。
③開水路落差式ナノ水力発電装置における吐出し部の改良による発電効率向上技術の開発	吐出し効果、つまり下流側の水位高まで有効落差を利用するために、吐出し口を水没させるためのケーシングを改良する。
④複数・電気特性が異なるナノ水力発電の電力制御の共有化	1 台の制御盤で、異なるナノ水力発電装置の制御をそれぞれ制御ができるよう共通制御盤を開発する。

1. 4 事業の実施体制

(1) 研究開発組合内の役割分担

(2) 試験研究機関と研究開発組合の役割分担

研究開発の項目	事業実施主体 (新技術研究開発組合)			試験研究機関
	(株) 協和コンサルタンツ	東プレ(株)	(株) リコー	農研機構農村工学研究部門
管水路式ナノ水力 発電装置の開発		◎		※
開水路落差式ナノ 水力発電装置の開 発	◎			※
ナノ水力制御装置 の開発	○	○	◎	※
実証試験	◎	◎	◎	※

1. 5 事業の年度計画と実績

研究開発の項目	令和 3 年度		令和 4 年度		令和 5 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
管水路式ナノ水力発電装置の開発						
						
開水路落差式ナノ水力発電装置の開発						
						
ナノ水力制御装置の開発						
						
実証試験						
						

注)  は計画、 は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) 管水路式ナノ水力発電

①管水路式ナノ水力発電装置の開発

1) 開発装置の概要

システム構成として、①給水ー⑥排水までの間に塵芥除去機構、発電機構、整流器、パワコンを 1 パッケージ化することで発電性能の安定性、簡易施工によるコストダウンを実現させる。

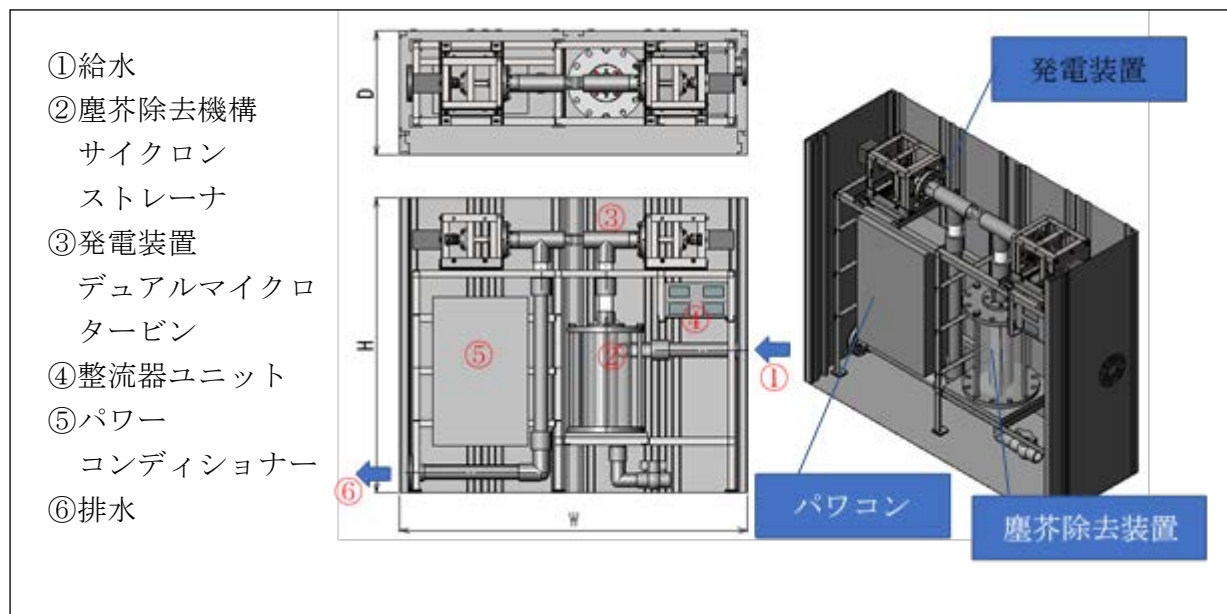


図 10 発電ユニットの概要

2) 1kW 発電装置仕様における構造検討

a. 検討概要

発電装置について、当初の構造では内部ベアリングが摩耗する不具合が生じ、要因としてベアリングユニットによる固定力不足や、シャフトの剛性不足による振れが考えられ、ベアリングを 2 箇所を設置して強度を改善する構造に変更し、評価試験を実施した。

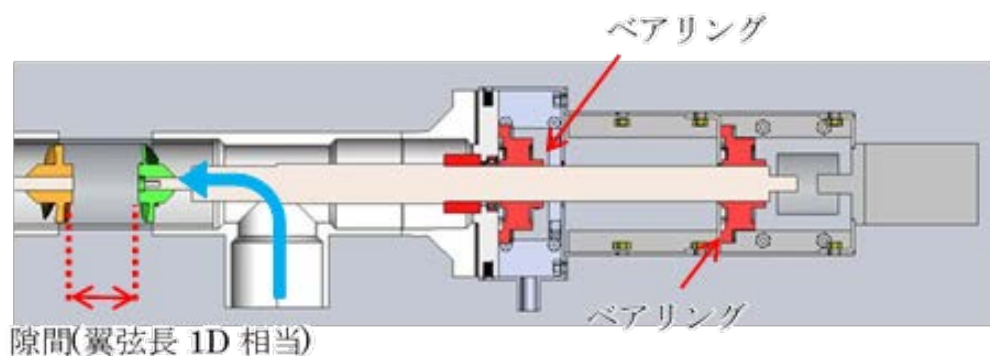


図 11 強度改善構造

表 1 評価試験項目

	項 目	判定基準
①	発電性能	定格出力
②	ベアリングユニット部の発熱	100℃以下
③	発電機の発熱	F種(155℃以下)
④	ベアリングユニット部の振動	ユニットで評価のため、参考値

b. 試験状況

実験室実験は、JIS8103-1989 を参考にした測定装置に、発電ユニットを取り付け、流量ヘッドに対する発電量、電流、電圧、タービン回転数、などを測定する。

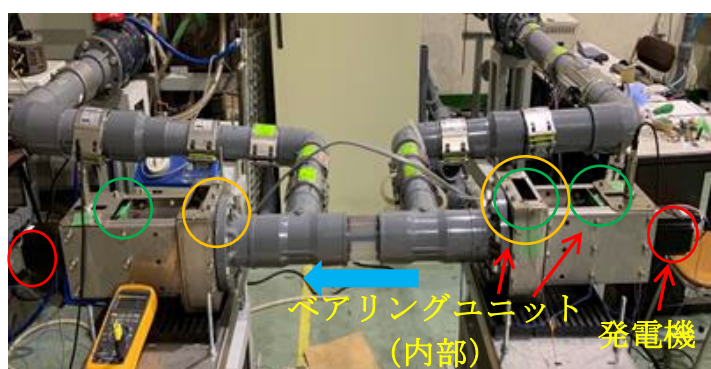


図 12 測定ポイント



図 13 温度測定位置

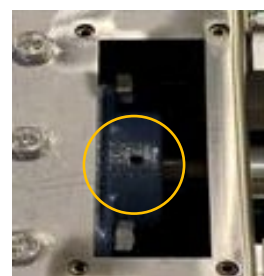


図 14 振動測定位置

c. 試験結果

イ. 発電性能

8.5ℓ/s で定格 800W、19.8ℓ/s で 1kW の発電量になることを確認した。

ロ. ベアリング、発電機の温度上昇

定格 800W (18.5ℓ/s) にて連続発電試験を行い、各部位の温度、及び上昇値は、規定値内で問題無いことを確認した。

ハ. 振動値

定格 800W (18.5ℓ/s) にて連続発電試験を行い、開始当初と変化がないことが確認でき、共振もないことを確認した。

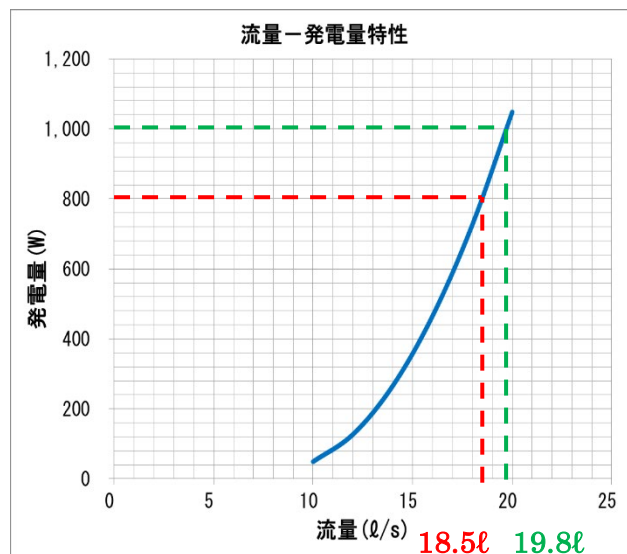


図 15 発電性能

d. 社内での耐久試験：実装状態における耐久性確認

サイクロン塵芥除去装置を含めた実装状態に近い試験機における耐久試験を実施した。耐久性に対し、条件の厳しいベアリング部を測定し、耐久性における有効性を監視した。結果、使用温度範囲で安定していることを確認した。

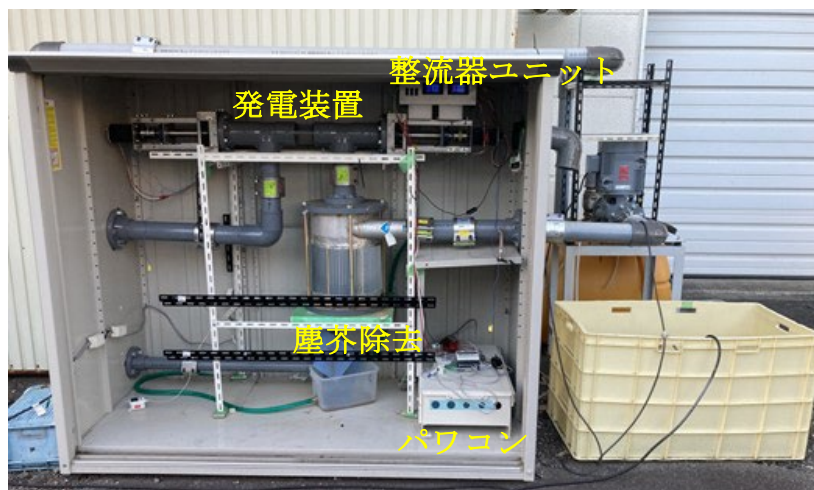


図 16 社内耐久試験（実装状態）

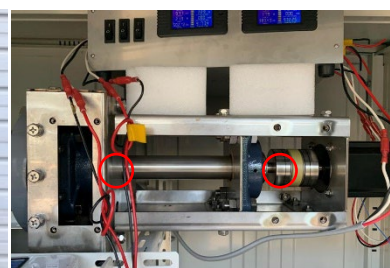


図 17 測定箇所



図 18 負荷（ポンプ）

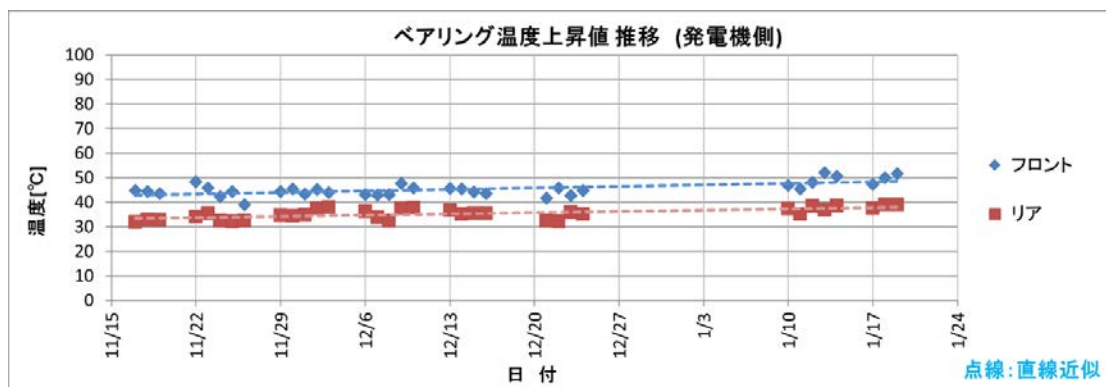


図 19 温度上昇の推移

e. 高出力化検証

イ. 概要

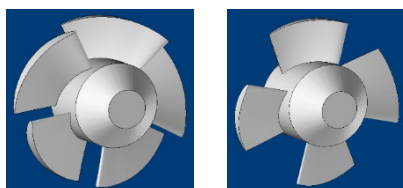
1kW 発電装置の構造をベースに、インライン方式の発電装置による高出力化を検討。

ロ. タービン形状

運転ポイントの違いを想定し 2 タイプのタービン形状を検討。

■ 小流量—高ヘッドタイプ

■ 大流量—低ヘッドタイプ



高ヘッドタイプ

低ヘッドタイプ

図 20 タービン形状

ハ. 予想発電量 (図 3)

過去のポテンシャル測定結果より想定し計算を行った。CFD 解析結果に機械損失を含めた想定で、2 種類共約 5kW の発電量が得られる見込みとなった。

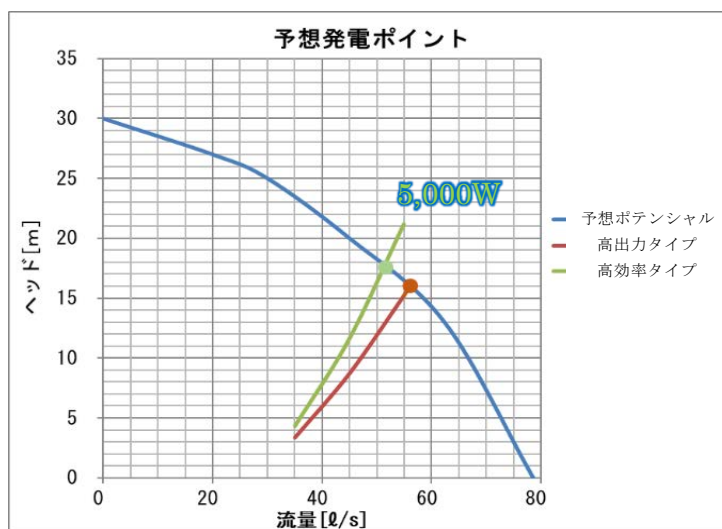


図 21 予想発電量

二. 実験装置の製作

性能評価に向け実験装置を製作。

- ・ 基本構造は 1kW 仕様同様に、配管径は $\phi 125$ 。
- ・ 発電機は定格 3.5kW の発電機（ベルト駆動）を使用。

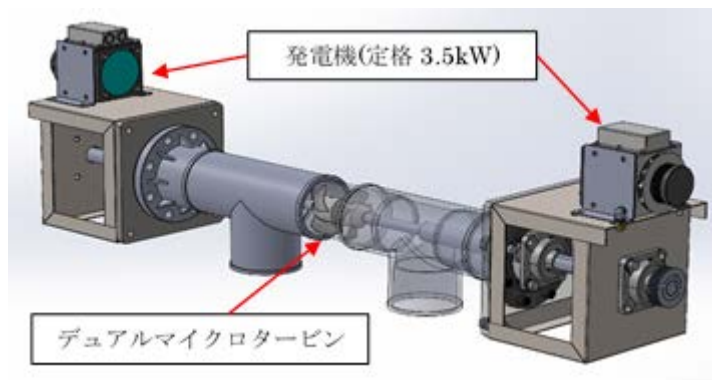


図 22 実験装置の概要

f. 結果

高出力タイプのタービンにおいて、水量 57.2l/s（ヘッド 20.6m）で発電量 5kW（効率 43.8%）が得られることを確認した。



図 23 高出力化検証実験の概要

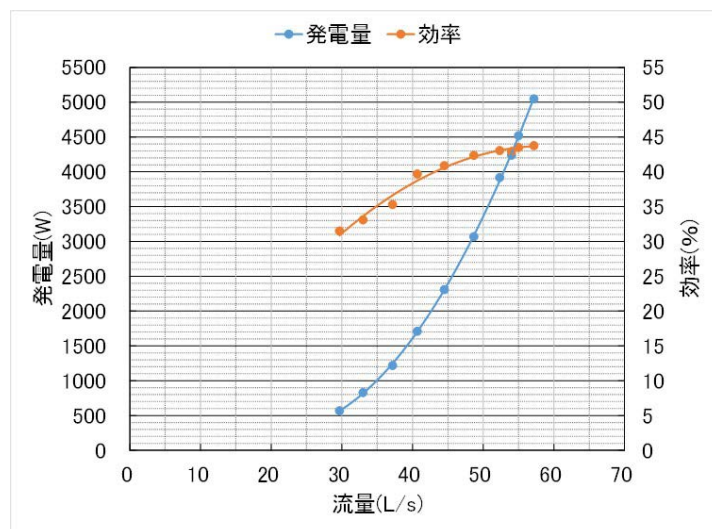


図 24 発電性能（高出力タービン）

②マイクログリッドの開発

給水栓が持つ余剰圧力の最大限活用を考え、給水端末に複数の発電ユニットを連結し発電特性を検証する。

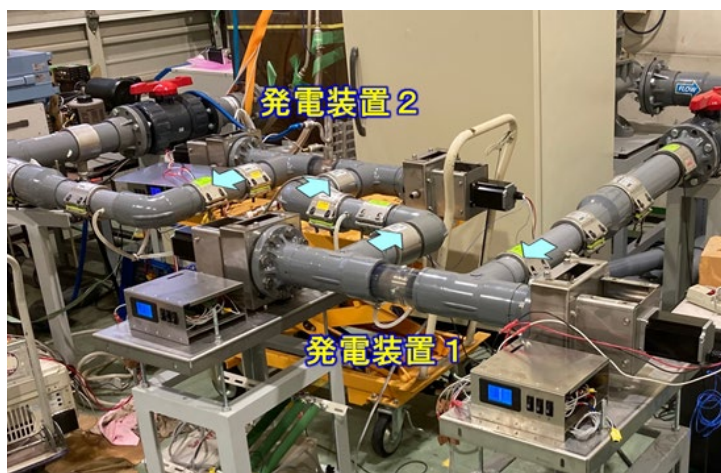


図 25 実験室内での実験の状況

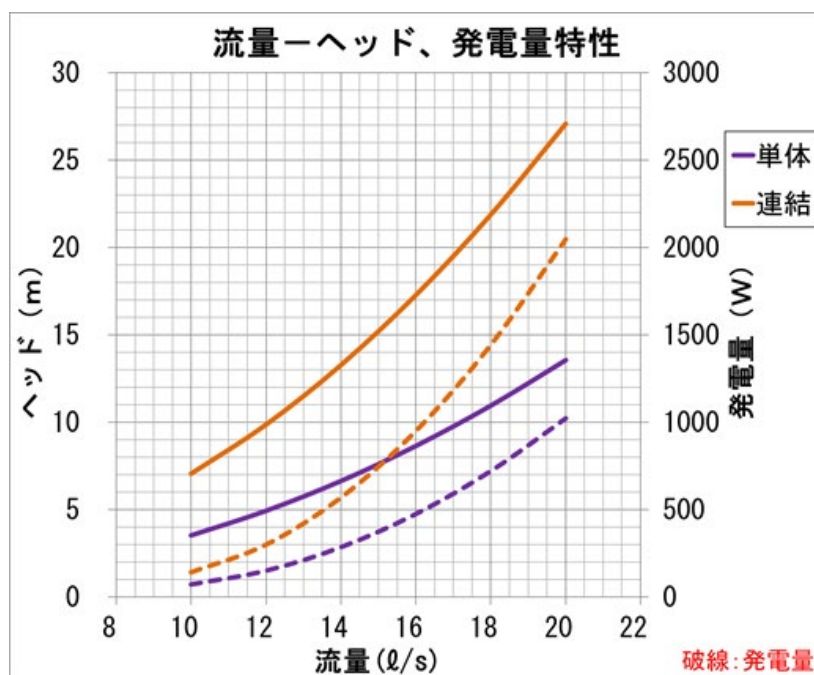


図 26 実験室内での実験の発電特性

検証の結果、単体において、18.5l/s にて定格 800W の発電量で、連結においては 1,600W の発電量を得ることが出来た。実際のフィールド検証においては、配管圧損含めた発電量となり、配管の径、長さ、材質により変化する可能性があり中止が必要。

③除塵機構の開発

管水路式のナノ水力発電装置では、通常では問題にならない水草やビニール片などの塵芥でも目詰まりを起こし、定常的な発電の妨げとなるため、発電に支障のある塵芥に対し、動力を使わない塵芥除去機構を開発する。

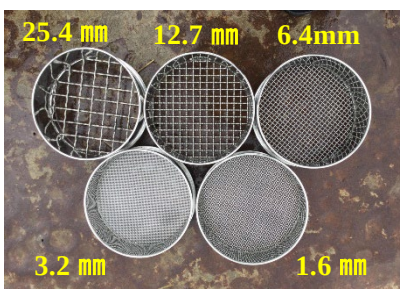
■STEP1：パイプラインに混入している塵芥の把握

農業用パイプラインの給水栓にメッシュ寸法の違う篩いセットし

1時間塵芥を採取。それぞれの篩で採取した塵芥を分析。



塵芥採取状況



篩メッシュ寸法



試験後状況



採取塵芥 砂、小石、水草、落ち葉、ビニール片など

■STEP2：疑似塵芥による実験室実験：塵芥除去 1 か月を想定した疑似塵芥を投入し圧力損失の上昇による目詰まり状況把握



疑似塵芥 ビーズ 2mm・4mm、刺繍糸 10mm・20mm・30mm、毛綿 φ10mm



想定塵芥量：2,500 本/月
目詰まり判断：初期圧力損失×1.2
(20%上昇)
目標：6 カ月 (約 15,000 本)

疑似塵芥 (6 ヶ月)

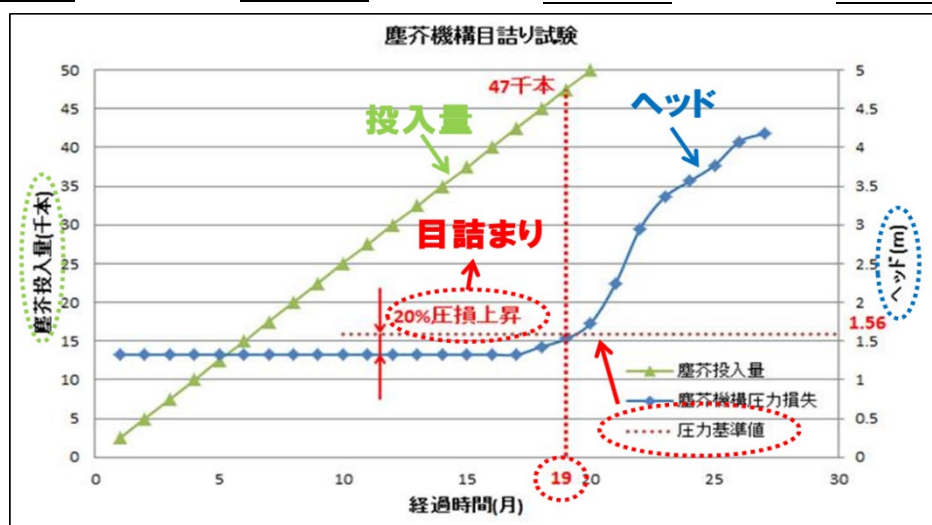


6 カ月目

12 カ月目

18 カ月目

24 カ月目



以上の結果から、疑似塵芥 19 カ月分 (47,500 本) の塵芥を投入した段階にて圧力損失が 20% 上昇した。本ケースでは、1 回/年のメンテナンスが可能。

④実証実験

実証実験地点の選定

地権者及び地域住民の合意が最低限必要

STEP1：発電ポテンシャル測定

STEP2：塵芥調査

STEP3：発電検証

※具体的内容は 1. 7 にて報告



図 27 ポテンシャル測定



図 28 塵芥調査

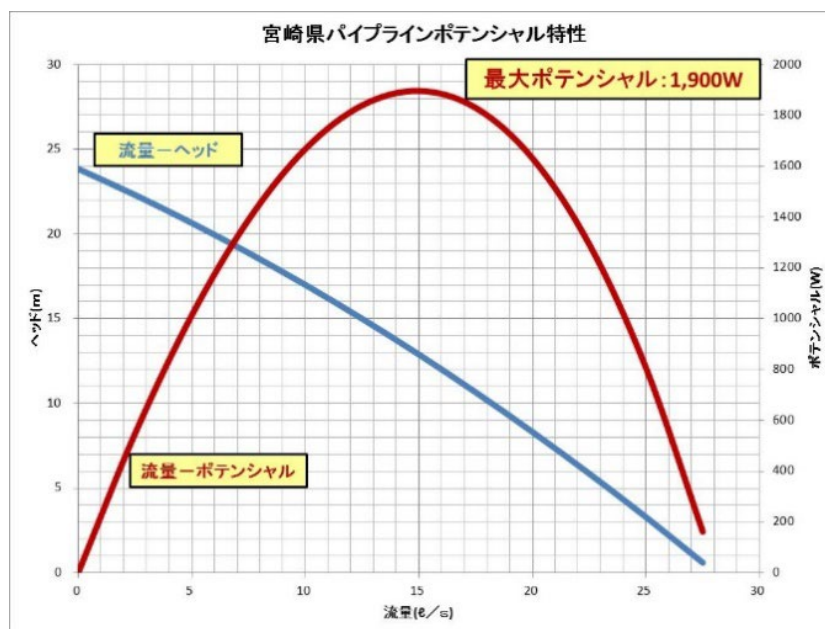


図 29 発電ポテンシャル

結果：本地点の最大発電ポテンシャルは、1,900W (15ℓ/s)

塵芥の種類はほとんどが砂

ナノ水力発電システムの設置可能と判断

（２）開水路落差式ナノ水力発電装置の開発

①除塵設備の開発

１）最適設置角度の検討

当初は流水を利用し塵芥を下流方向へ流し出す技術として、既存技術の活用を想定し、図 30 に示すような形状とした。しかしながら、以下の課題が生じた。

■除塵機の下側より塵芥の混入が見られる。

■入口管につまった塵芥を除去するために除塵機を上昇させる必要がある

このため、新たな形式を開発した。その概要を図 30 に示す。その形式は流向と並行して角度を 3 ケースとし、縦格子のストレーナ形式とした。

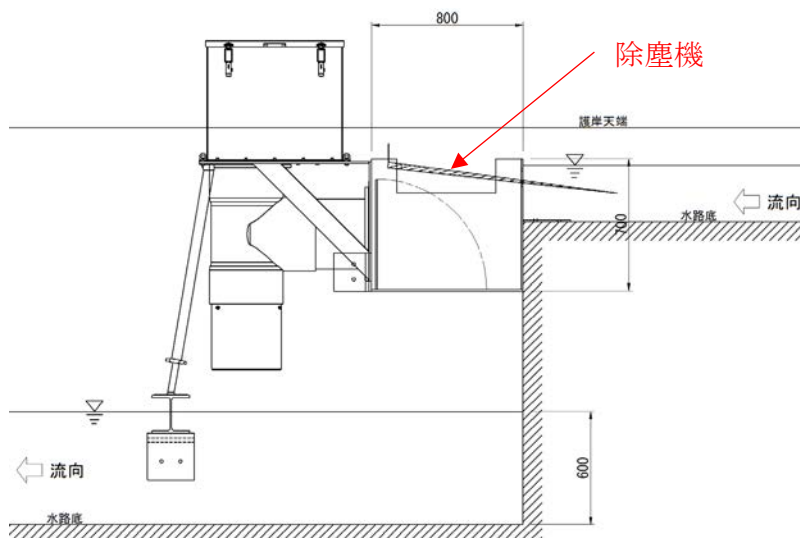


図 30 除塵設備の検討図（当初）

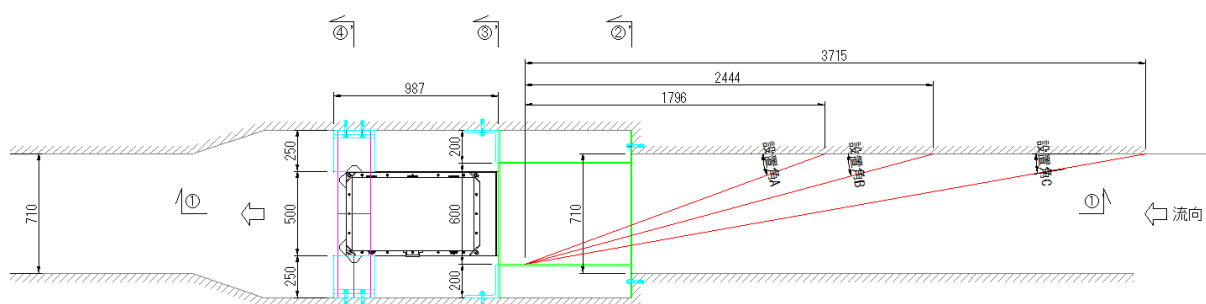


図 31 除塵設備の検討図（改良ケース）

設置角については A、B、C の 3 ケースを実施した。その結果、ケース A は全流量の 50% を排水することとなり、発電使用水量が極端に減少するため、不採用とした。また、ケース B では全流量の 30% を排水することとなり、流量不足時には発電停止に陥るものとなった。ケース C は、全流量の約 10% を排水する程度であり、この 10% 流量を利用して塵芥を除去することができた。



図 32 設置角 C の実証実験

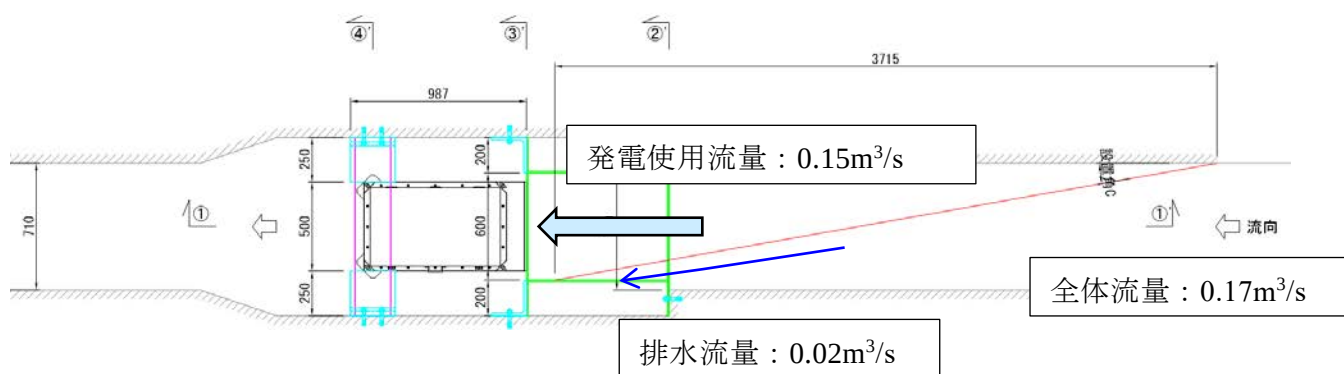


図 33 設置角 C における流量比

2) 最適形状の検討

最適設置角をケース C とした場合、最適形状として、先端部と末端部の形状、縦格子の間隔を検討した。

先端部の形状としては、塵芥は水路中心部を流下するため、取水可能な形状とした（図 34）。末端部は塵芥を排除するため、取水はせずに排水する形状とし、全断面を閉鎖するものとした（図 35）。また、縦格子の間隔は 2 ケースを検討し、ピッチ間隔が 5cm でも十分に塵芥を排除することが確認された（図 36）。なお、除塵機設置における電力特性については、「1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題」に記載する。



図 34 先端部の形状



図 35 末端部の形状



図 36 縦格子のピッチ間隔と塵芥除去の概要

②吐出し部の改良による発電効率向上技術の開発

吐出し部の改良として、利用できる落差の拡大を目的に実施する。現状の通常運転における総落差は上流水面から後段のランナ中心までの 0.85m である。吐出し部を改良して下

流水面以下に水没させることで、サイホン形式となり下流水面までの高さを利用でき、総落差は 1.2m となり、総落差を 0.35m ほど拡大できる。

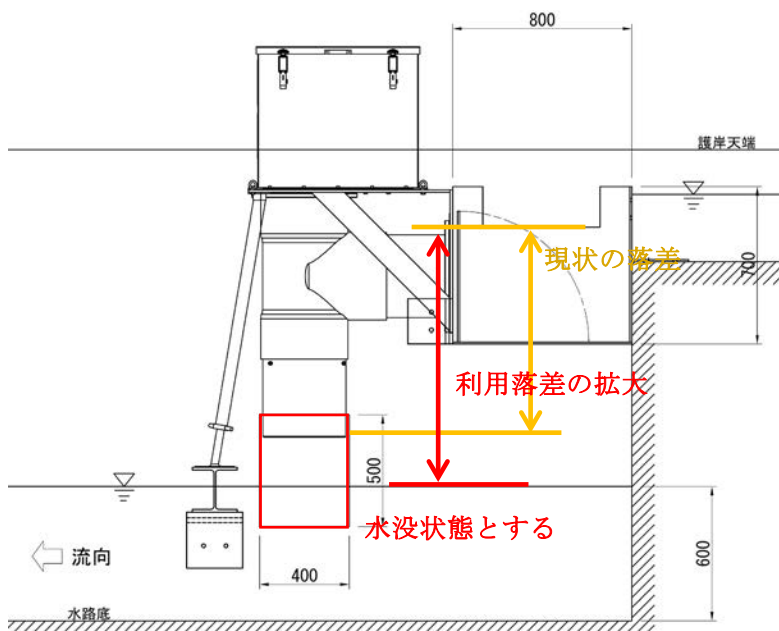


図 37 吐出し管の改良

この吐出し管の改良（水没状態）の効果を実証するための確認として、下流部の堰上げにより水没状態を作り出し（図 38）、サイホン状態を再現した（図 39）。その結果、水車への空気の混入がないこと、吐出し管からの空気の吸い込みがないことが確認できた。

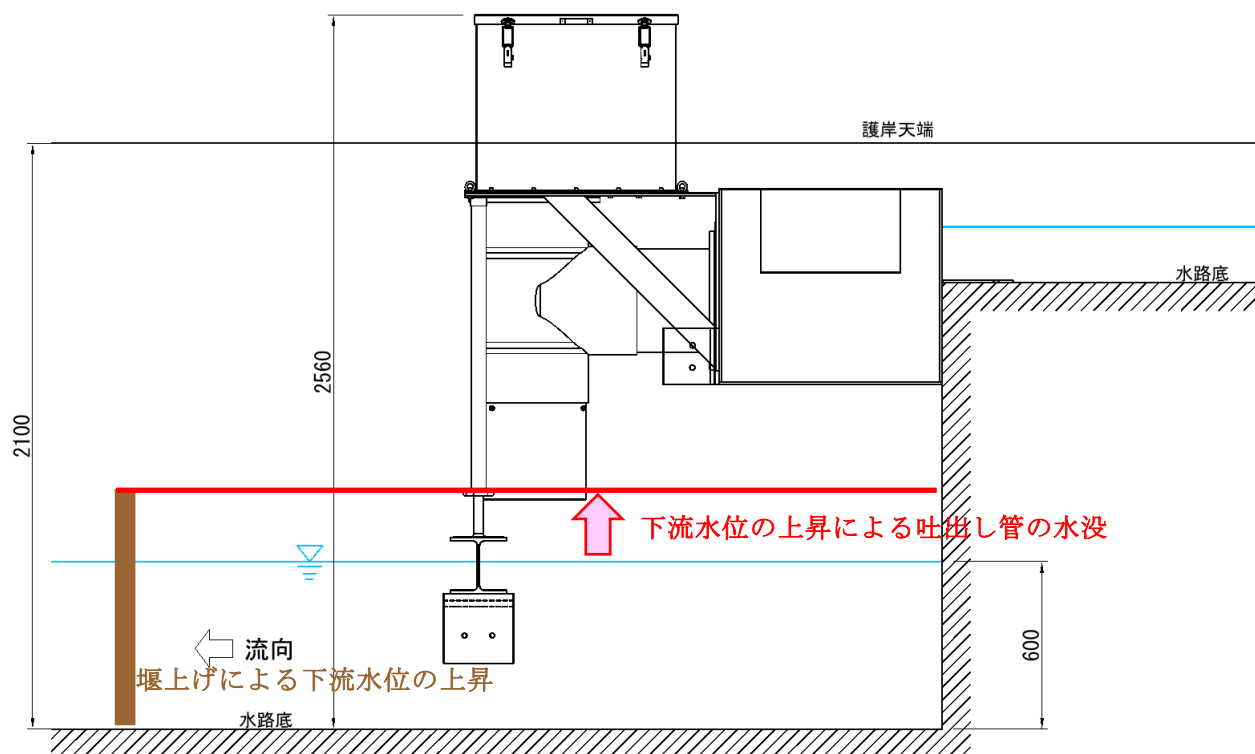
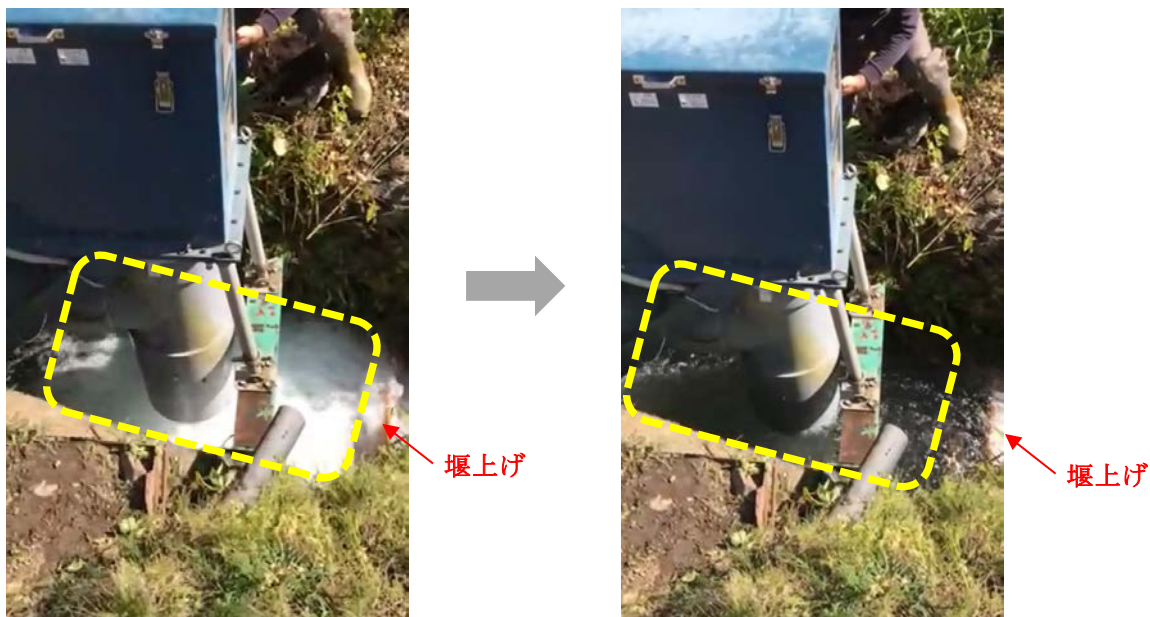


図 38 サイホン状態の再現による空気混入の確認



通常運転モード（空気の呑込みが多い）

サイホン状態の再現運転モード

図 39 吐出し管の改良の状況

本事業では周辺地権者の意向もあり、水車の陸揚げによる改良が不可となったため、水中での作業となった。そのため、当初予定していた手段ではなく既設品を利用した改良を水中で行った。その結果を図 40 に示す。



図 40 吐出し管の延長

(3) ナノ水力制御装置の開発

①ナノ水力制御装置の開発

1) 開発概要

ナノ水力（概ね 1kW 未満）発電に対応した汎用的で安価な制御装置を開発するために、2 種類の特性の異なる水車で発電制御が可能な制御装置を開発する。

制御装置の仕様検討では、異なる電気特性であるそれぞれの装置（管水路式ナノ水力発電装置と開水路落差式ナノ水力発電装置）に接続して発電が可能であることと、発電した電力を幅広い用途に利用することを想定し、蓄電池との連携やブラックスタートなどの機能も搭載する。幅広いニーズに対応できる安価な制御装置を開発し、ナノ水力発電の普及を目指す。

2) 制御装置の仕様検討

制御装置へ接続して試験を行う、「管水路式ナノ水力発電装置」と「開水路落差式ナノ水力発電装置」の主要仕様項目を表 2 に示す。

表 2 各水力発電装置の主要仕様項目

項目		管水路式ナノ水力発電装置	開水路落差式 ナノ水力発電装置
水車発電機	方 式	相反転の デュアルマイクロタービン	相反転式
	想定設置場所	管水路	開水路
	発電機台数	2 台	1 台
	想定流量	18[l/s] (0.018m ³ /s)	150[l/s] (0.15m ³ /s)
	出力電力	1085[W] (542.5×2)	551.2[W] ※AC
	出力電圧	108.5[V]	142[V] ※線間電圧
	出力電流	5[A]	2.36[A]
	無負荷時の保護	不要	要
	その他	水車 2 台の同時制御	—

制御装置仕様は、下表記載の水車発電機仕様に加え、発電した電力の利用状況も調査して決定した。表 3 に、開発した制御装置の仕様一覧を示す。

対向デュアルマイクロタービン式水車のように発電機を 2 つ備えた水車発電機に対しては、制御装置本体では 1 回路入力として製品コストを抑え、別途整流器を追加で用意し 2 つ目の水車発電機の交流出力を直流へ変換後、制御装置内整流器出力（直流変換後）に接続して使用するとした。

表 3 制御装置仕様一覧

項目	仕様	備考
外形	W300 x H300 x D187	
防水機能	屋外防水構造	IP54 相当
定格入力電圧	AC 入力：3φAC85V～AC264V DC 入力：DC88V-DC370V	
定格入力電力	300W/600W/1000W/1500W	制作時に選択可
入力回路数	1 回路	
定格出力電圧	DC24V	
定格効率	91%以上	定格電力入力時
動作環境	−20 ～+70℃, 20 ～90%RH	結露無き事
発電制御モード	電圧一定制御	
	MPPT 制御	回転数一定制御
	バッテリー充電制御	
	電流一定制御	
	バルク充電制御	
	吸収（アブソープ）充電制御	
	フロート充電制御	
パススルー充電	対応	パススルー時は電圧一定制御
ブラックスタート	対応	水車発電電力により自動起動
無負荷時の保護機能	ダミー負荷回路用の信号のみ	ダミー負荷と回路は外付け
ロギング	SD カード保存	

3) 制御装置の製作

製作した制御装置外観を図 41 に、機能ブロック図を図 42 に示す。

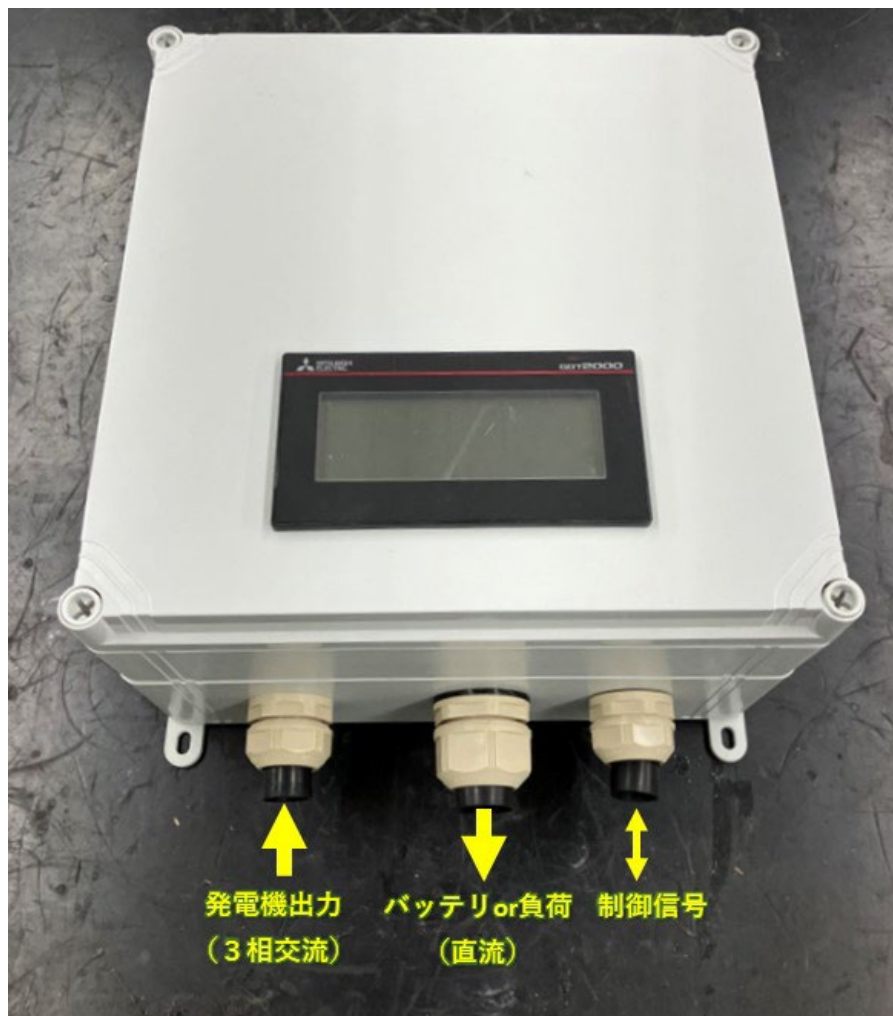


図 41 製作した制御装置外観

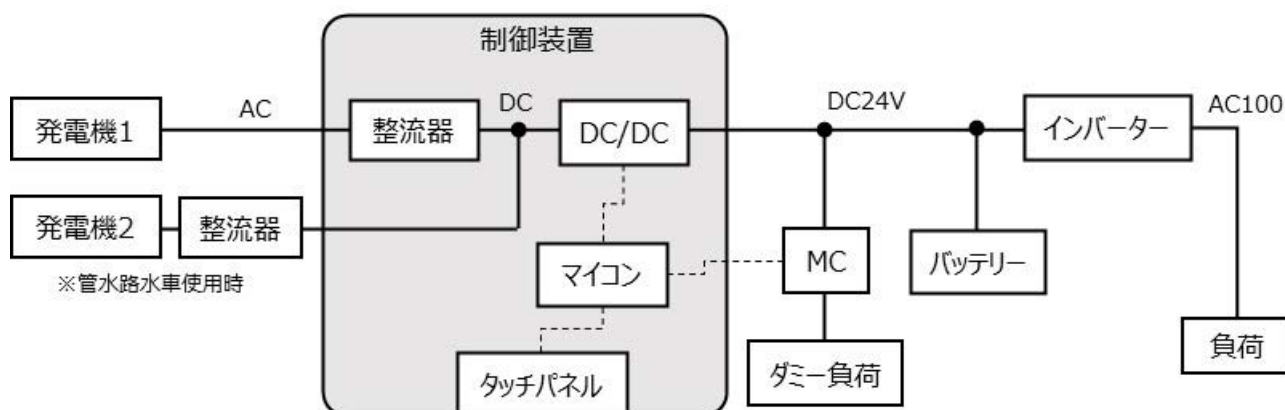


図 42 制御装置機能ブロック図

1. 7 実証試験（現場適用）の概要、結果、課題等

（1）管水路式ナノ水力発電装置の開発

実証実験は、各地域の特性を加味し、それぞれ目的を持った検証を行った。

表 3 実証試験地の概要

検証先	徳島県 徳島大学	石川県 河原山町	宮城県 狭野土地改良区	社内
地方自治体等	徳島県企業局	河原山町役場	高原町役場	—
施工・メンテナンス会社	—	北菱電興	有限会社神武 他現地協力者	—
発電用水	—	灌漑用水	灌漑用水	—
電力用途	研究開発	自家消費	自家消費 (町立保育園)	自家消費
目的	デュアルマイクロタービンの研究開発	灌漑期、冬季止水のためスポット測定試験	保育園施設の電源として消費する長期試験	実装状態にて連続運転試験

①発電検証

1) ユニット設置及び配管

簡易施工を目的に、土台の上にモジュール化されたユニットを組み込み、既存配管の連結により発電を開始できることを検証した。



図 43 実証実験の概要

2) 簡易施工、簡易配線の検証

発電システムから保育所までの送電は直線で約 150m の距離である。

電柱を使用した本格的な配電工事の場合では費用が高額となるため、本地点では発電システムから保育園まで、道路の側溝に配線を這わせる簡易施工として実施し、課題の抽出、検証を行なった。

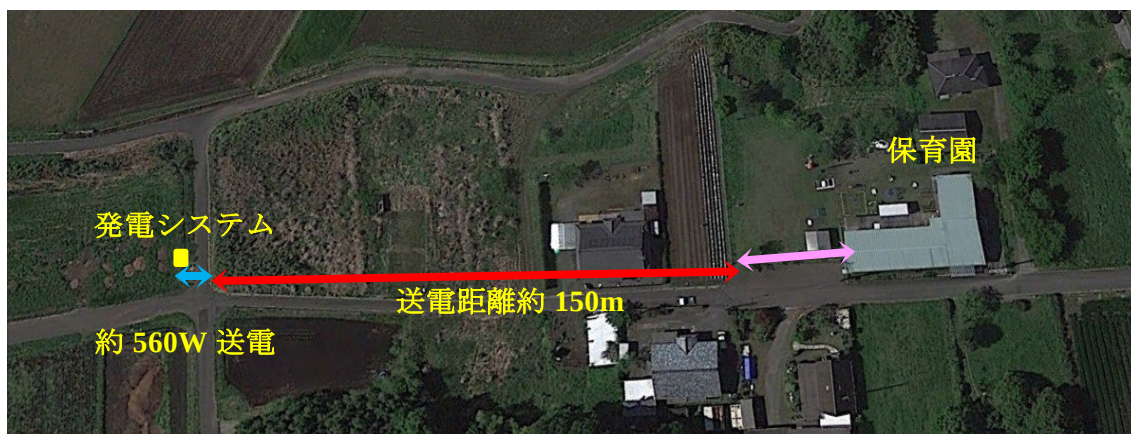


図 44 現地実証試験での送電計画

道路使用許可を得るために管轄の高原町役場に問い合わせを行ったところ、送電ルートは 2 つの区分に分かれており、2 種類の申請が必要となった。

1. 道路占用（32 条）申請書様式（赤矢印の区間）
2. 法定外財産使用許可申請書様式（青矢印の区間）

条件：配線の設置に際し、万一破損等の問題が生じた際は原状回復

それぞれ申請書に必要事項を記載し配線の仕様など資料を添付することで、無償での許可を得ることができた。

発電システムから保育所の敷地まで、可能な限り側溝内に配線を吊り下げる形状で敷設し、側溝から保育所までの間は掘削して埋設を行い、表面への露出を無くした。

その結果、本工事における材料、工事を含む費用は、電柱を使用した施工と比べて約 25% に抑えることができた（電柱は始点 1 本、中間 2 本（50m 間隔）、終点 1 本、合計 4 本を想定）。



図 45 配線計画

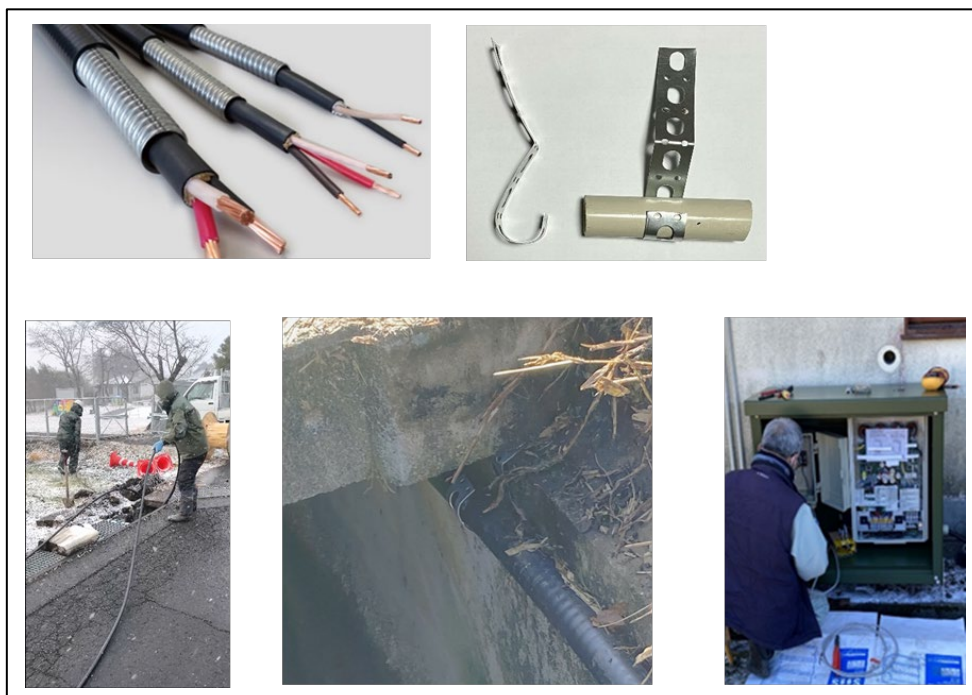


図 46 配線施工および使用部材

②マイクログリッドの開発

実験室実験で得た結果を基に、フィールドにて検証を実施した。その結果、単独運転 2 口での測定にて 913W の出力を得た。発電システム 1 の余剰圧力による発電を狙い、発電システム 2 を取り付け、連結検証を実施した。結果的には、921W とほとんど変わらない結果となった。

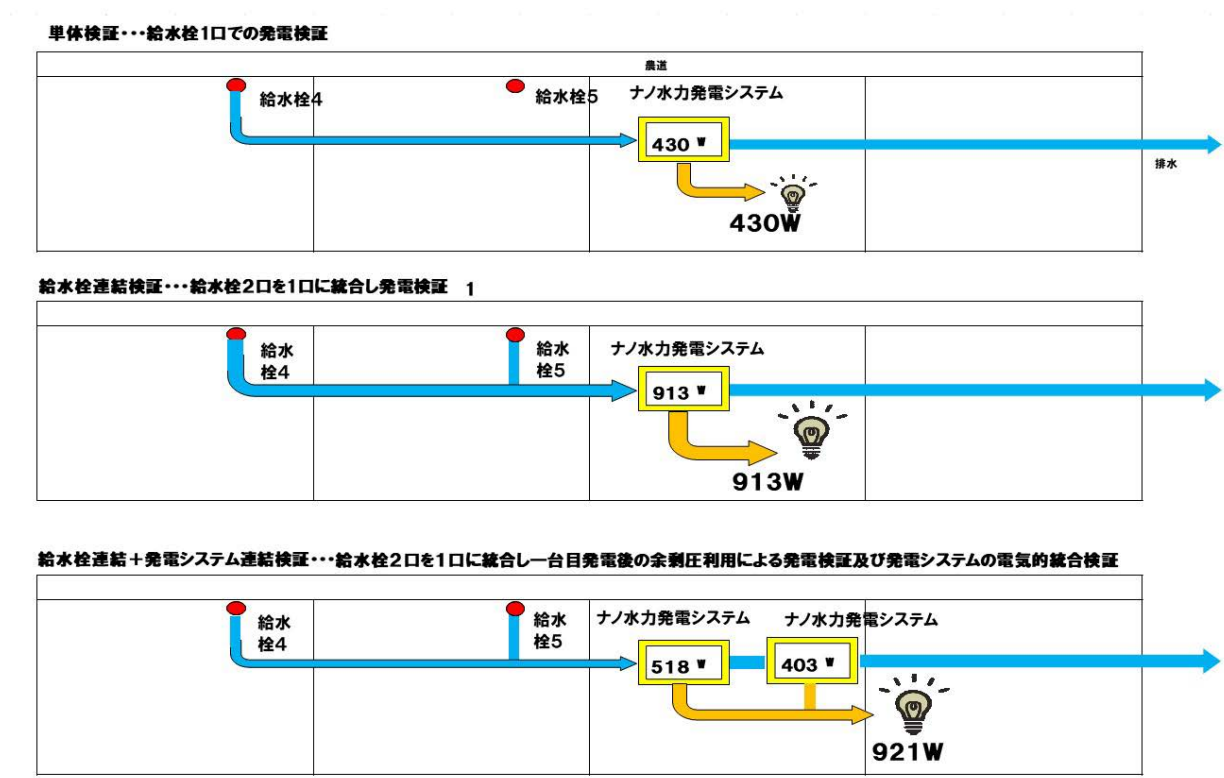


図 47 連結試験結果の概要



図 48 連結検証状況

③除塵機構の開発

実験室実験の結果をふまえて、実際の農業用水を使用し長期連続通水試験を実施した。その結果、大量の藻、苔が発生したが通水状況に変化は見られない。苔に関しては、光合成抑制の為、塵芥除去装置を暗渠にしたところ、発生が大幅に抑制された。

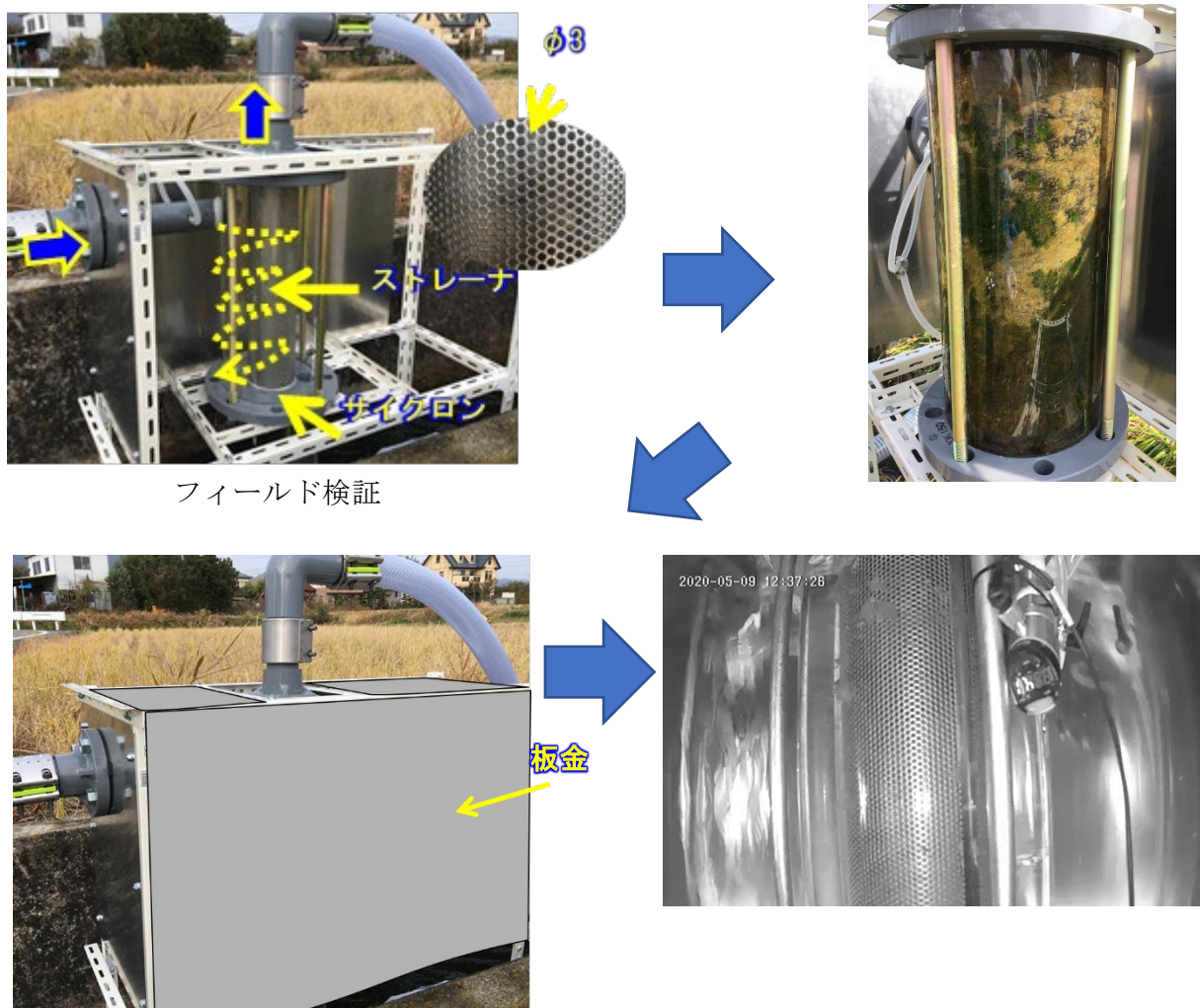


図 49 実際のパイプラインを使用したフィールドでの連続検証

（２）開水路落差式ナノ水力発電装置の開発

①除塵設備の開発

１）除塵設備の性能試験

除塵機を設置する前は最大出力が 630W（電圧 126V）であるのに対して、除塵機設置後は最大出力が 375W（157V）となり、減少傾向であった。これは、除塵機設置後の流量が最大 $0.15\text{m}^3/\text{s}$ であり、流水とともに空気の混入（気液混合体）となり効率低下を招いたものと考えられる。全体流量が増加することで、この気液混合体の状態は解消できるため、除塵能力自体は有効であると考ええる。なお、除塵機有りでは最大出力 375W のときの電流値 2.5A 以降にストールが発生した。

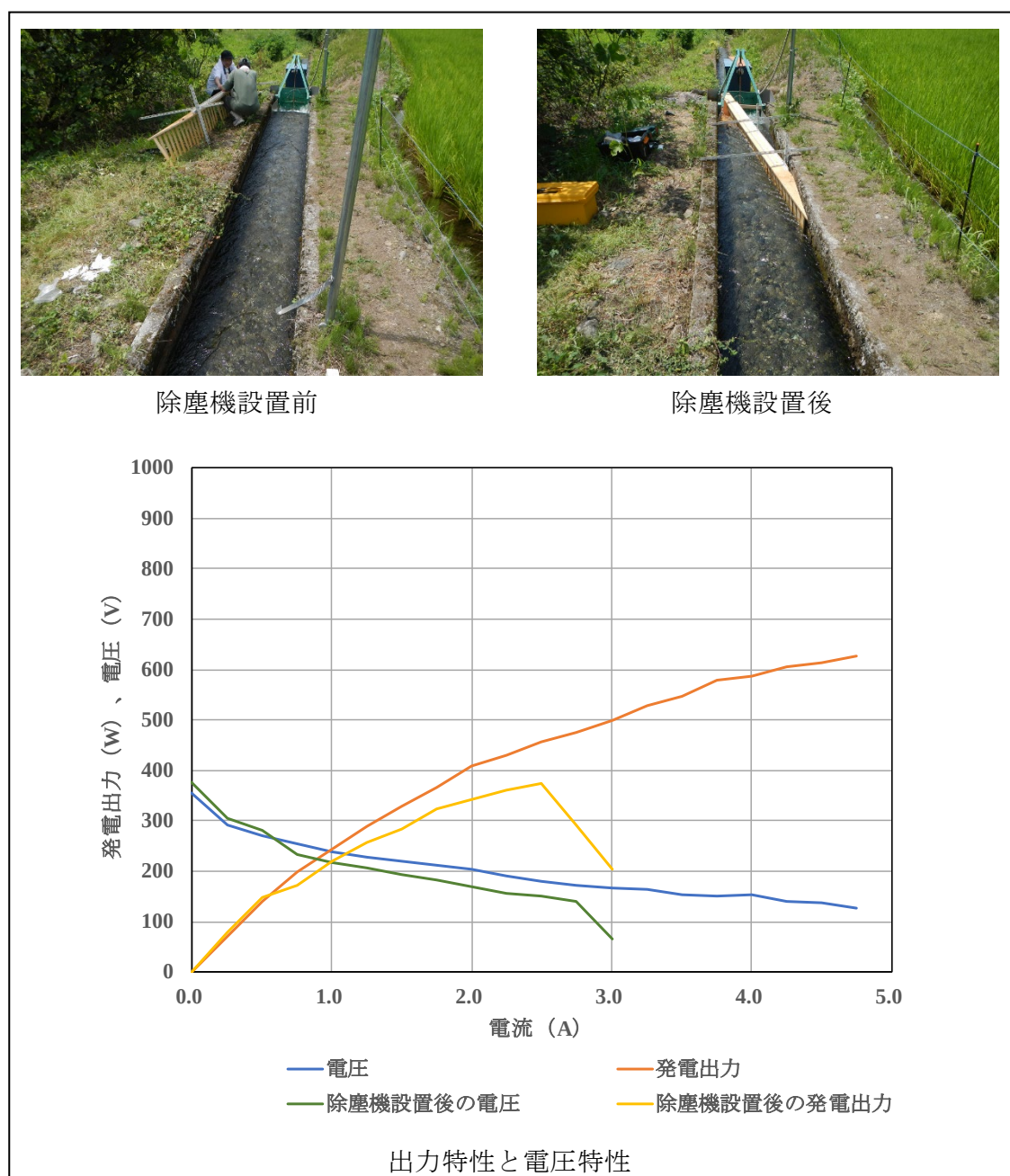


図 50 除塵機を設置する前と後での出力特性の比較検討

2) 維持管理の比較検討

維持管理の視点から除塵機を評価した。評価では除塵機の製造・設置費用とともに塵芥除去にかかる人件費を計上した。その結果を表 4 に示す。除塵機無しは、除塵機製造・設置の初期費用は不要である一方で、一日当りの塵芥除去（3 回／日）が多くなり、年間の塵芥除去に係る費用は 99 円/kWh となった。除塵機有りは製造・設置の費用（100,000 円）を計上しても塵芥除去が 1 回／2 日で済むことから、塵芥除去に係る費用は 14 円/kWh となり、経済的になった。なお、本事業では除塵機設置に伴う出力低下による経済比較は行わない。これは、そもそも小水力発電装置の単価による影響が大きく、機器の低コスト化という別テーマの研究開発を要するためである。

表 4 維持管理費用での比較検討

No.	項目	単位	除塵機 無し	除塵機 有り	備考
a	除塵費用	(円)	0	100,000	(除塵機は製造・設置費を見積額より引用)
b	人件費	(円／回)	500	500	(過去の実績より実費を計上)
c	除塵回数	(回／日)	3	1	(除塵機有りは1回／2日とした)
d	日費用	(円／日)	1,500	250	(=c*d)
e	管理日数	(日)	365	183	(除塵機有りは1回／2日のため、365日の半分を計上)
f	年費用	(円／年)	547,500	45,750	(=d*e)
g	初期込み総費用	(円／年)	547,500	145,750	(=a+f)
h	発電出力	(kW)	0.630	0.375	(現地試験結果より)
i	年間発電電力量	(kWh)	5,519	3,285	(=h*24*365)
j	発電電力量当りの単価	(円/kWh)	99	14	(=g/j)

②吐出し部の改良による発電効率向上技術の開発

吐出し部の改良として、吐出し管の延長による総落差の増加とともにサイホン形式の再現による出力向上を図った。その結果、通常発電において最大出力が 630W（電圧 126V）であることに對して、吐出し管の延長有では 224W（電圧 79.5V）であった（図 51）。このような出力減少に至った理由としては、呑口部から空気の混入があり気液混合体となったこと、かつ吐出し管の延長により損失が大きくなったことによるものと推察される。

そこで、吐出し管の延長ではなく下流部の堰上げにより水没を再現し、かつ全体流量を増やすことで空気の混入を無くす完全流体の状況を再現する実証試験を実施した（図 52）。その結果、流量を通常時の 0.15m³/s から 0.30m³/s に増加させたことで、出力は 630W から 930W まで上昇した。電圧も 190V で推移しており、まだ電力を取り出せる可能性があることが推察される。なお、現地試験では最大負荷が 1,000W のため、これ以上の電力を取り出すことは不可能であった。しかしながら、発電効率を見ると通常時は総合効率が 0.78 であることに對して、流量増加によるサイホン再現時には 0.58 と減少傾向になった。これは水車ランナの最適設計時の流量を 0.15m³/s としており、流量増加により最適解から外れることで水車効率が低下したことによるものと推察される。

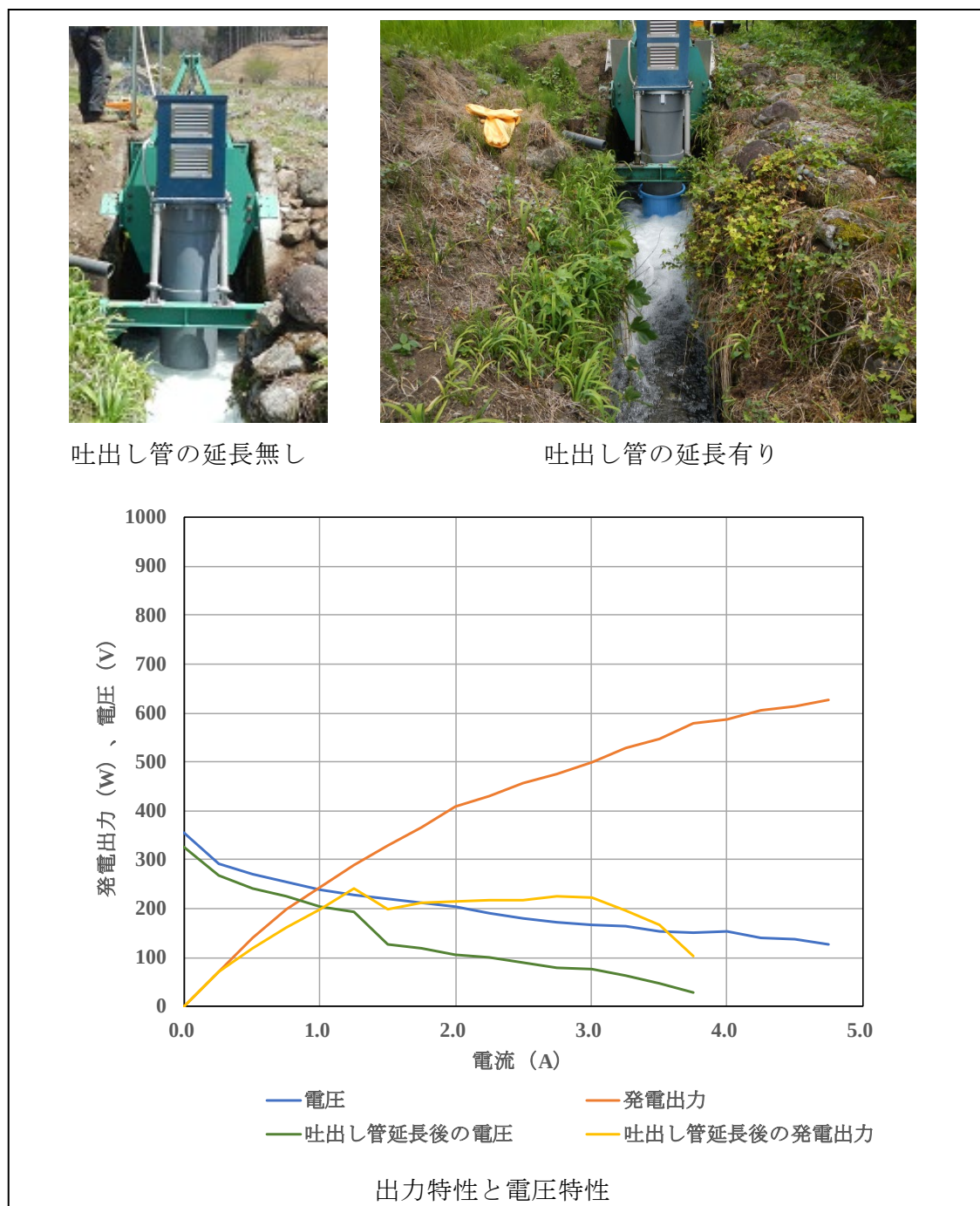


図 51 出力向上のための吐出し管を延長する前と後での出力特性の比較検討

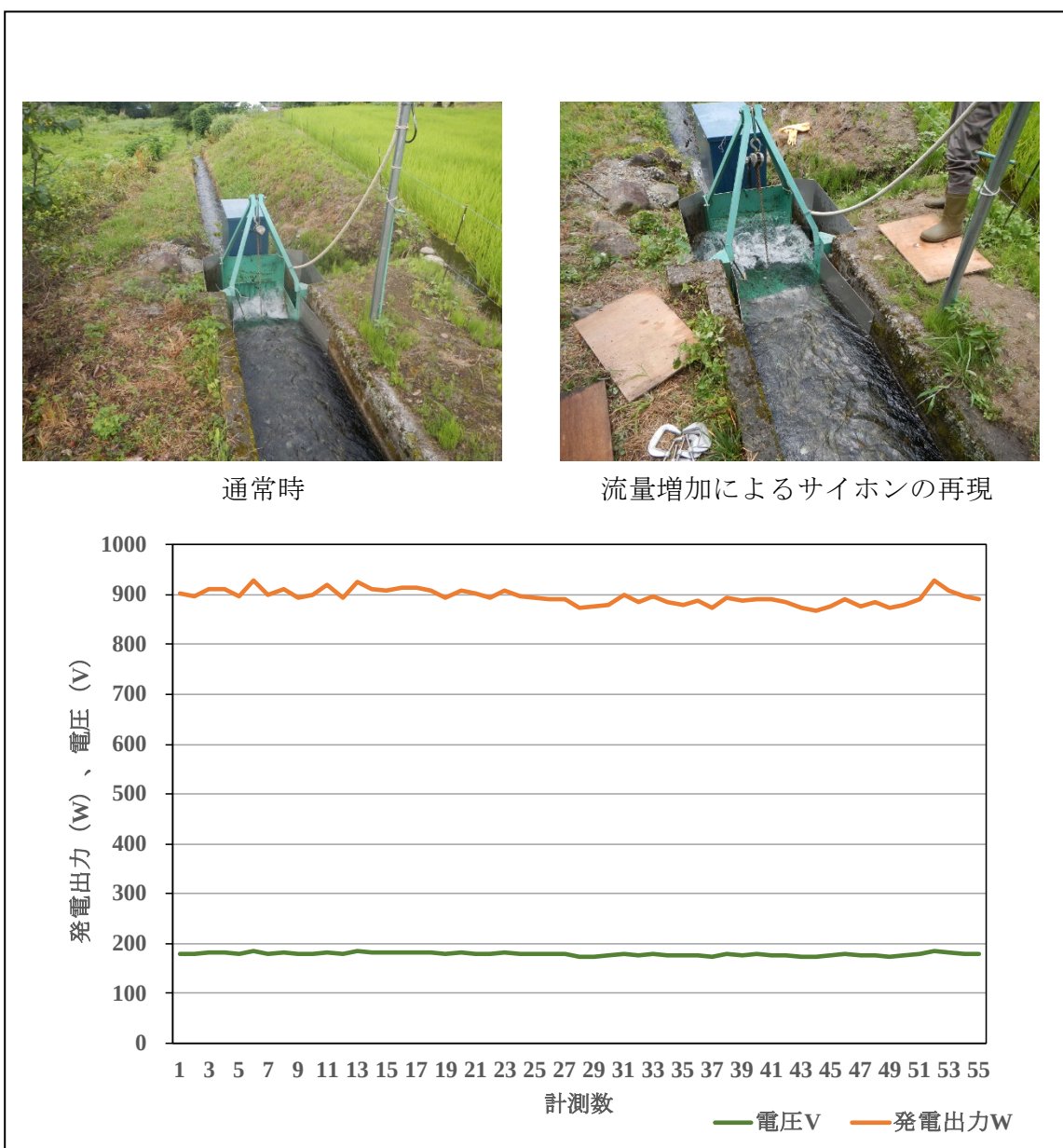


図 52 流量増加によるサイホン再現時の発電出力と電圧

表 5 流量増加によるサイホン再現時の効率比較

項目	単位	通常時	サイホン再現時
重力加速度g	(m/s ²)	9.80	9.80
総落差H ₀	(m)	0.85	0.85
有効落差H _e	(m)	0.55	0.55
流量Q	(m ³ /s)	0.15	0.30
理論水力P ₀	(kW)	0.81	1.62
発電出力P	(kW)	0.63	0.93
総合効率η	(—)	0.78	0.58

(3) ナノ水力制御装置の開発

①ナノ水力制御装置の開発

1) 管水路式ナノ水力発電装置との接続試験

製作した制御装置が管水路式ナノ水力発電装置で安定して発電制御が行えるかを確認するために接続試験を実施した。試験内容は、標準的な流量（約 17ℓ/s）で発電を行い徐々に負荷電流を増加させた場合の出力電力と入力電圧の変化にて判断する。試験時の構成を図 53 に示す。水車発電機 2 の出力は外付けの整流器にて直流へ変換し、水車発電機 1 の出力と合成することで水車発電機 1 と 2 の出力を同時に制御する構成とした。

接続試験では、試験流量（約 17ℓ/s）で出力が可能な 600W まで負荷電流を増加させ、入力電圧と出力電圧の変化を確認した。試験時の負荷電流に対する入力電圧と出力電力のグラフを図 54 に示す。試験時の想定最大出力である 600W まで、出力電力と入力電圧に不連続な変化はみられないことから、管水路式ナノ水力発電装置に対して適切に発電制御が行えたと判断した。

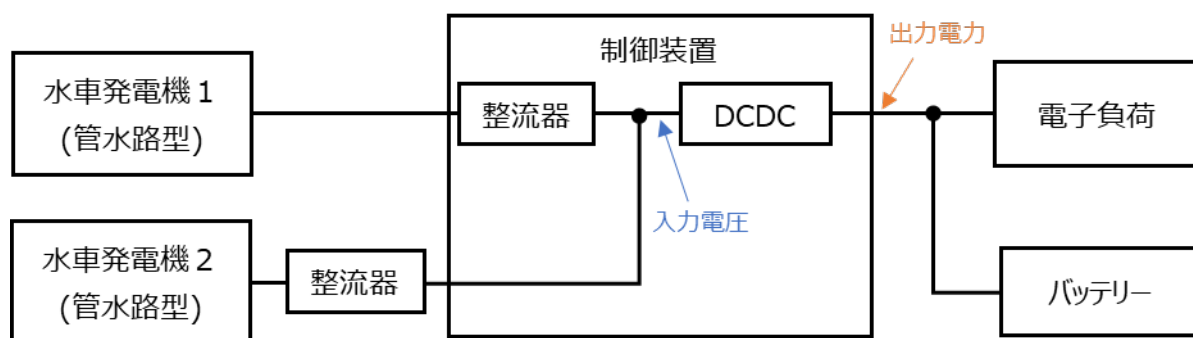


図 53 接続試験の構成（管水路式ナノ水力発電装置）

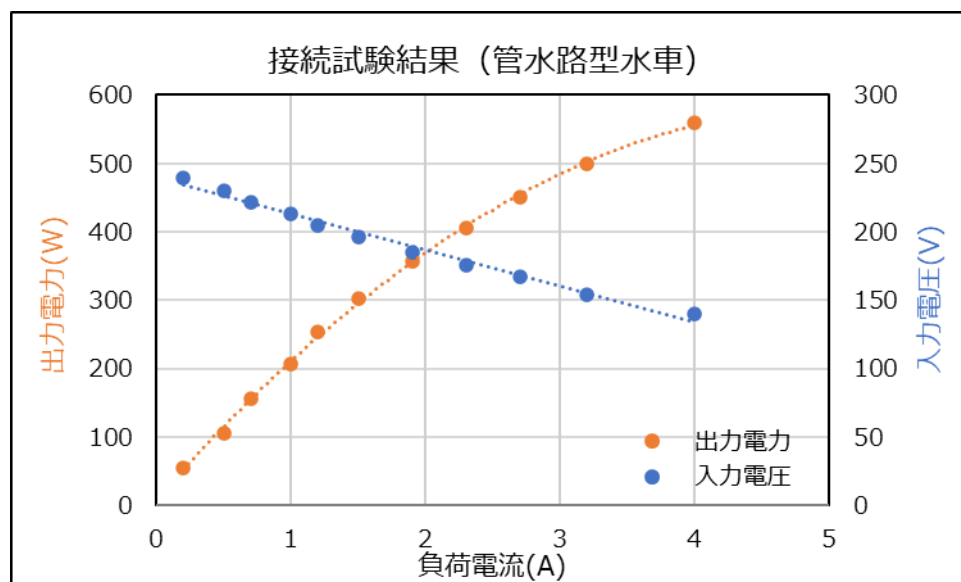


図 54 負荷電流に対する出力電力と入力電圧の関係（管水路式ナノ水力発電装置）

2) 開水路落差式ナノ水力発電装置との接続試験

開水路落差式ナノ水力発電装置に対しても同様の接続試験を実施した。試験時の構成を図 55 に示す。接続試験では、試験流量（約 $0.15\text{m}^3/\text{s}$ ）で出力が可能な 550W まで負荷電流を増加させ、入力電圧と出力電力の変化を確認した。

試験時の負荷電流に対する入力電圧と出力電力のグラフを図 56 に示す。出力電力範囲内において、出力電力と入力電圧に不連続な変化はみられないことから、開水路落差式ナノ水力発電装置に対して適切に発電制御が行えていると判断した。

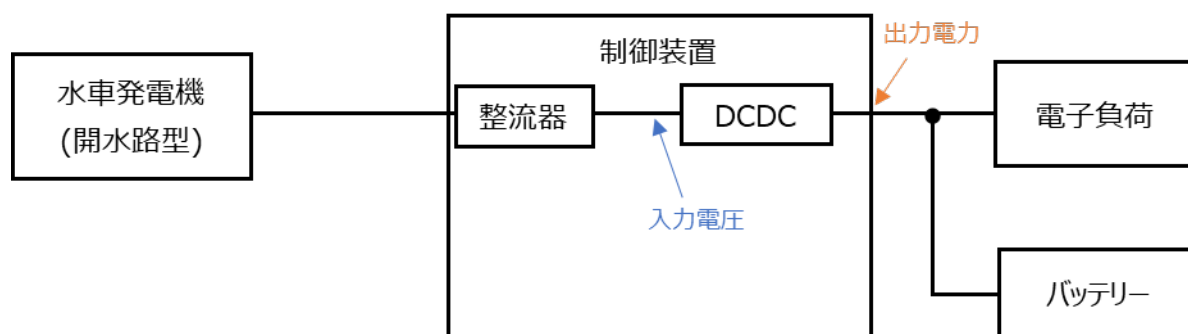


図 55 接続試験の構成（開水路式ナノ水力発電装置）

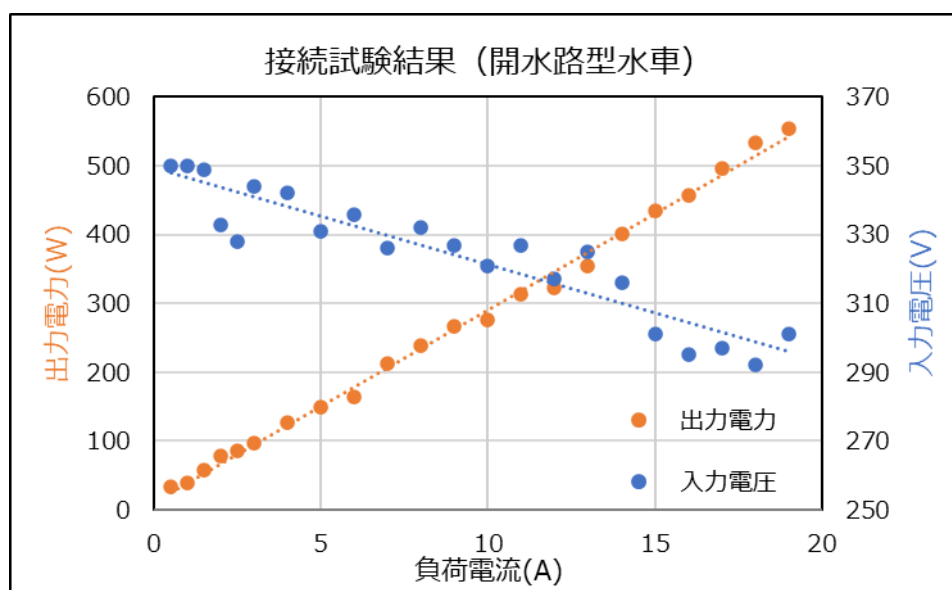


図 56 負荷電流に対する出力電力と入力電圧の関係（開水路式ナノ水力発電装置）

3) 連続運転試験

接続試験にて両水車発電機に対し正常に発電制御が行えることが確認できたため、実運用を想定したシステムにて連続運転試験を実施し安定性を確認する。図 57 に連続運転試験を実施した試験環境を示す。



図 57 連続試験環境

連続運転試験は、実運用時を想定し出力側に蓄電池を接続し、発電が停止した場合や負荷量が発電量よりも増加した場合においても動作を継続し負荷へ電力を安定して供給し続けることができるかを確認する。

連続運転試験時の構成を図 58 に示す。試験時の基本動作は、水車発電機からの発電電力は合計で約 260W で動作させ、負荷では約 20W を消費し余剰電力をバッテリーへ充電させた。異常時への確認として、上記通常動作中に水車発電機の発電の停止/復帰が発生した場合と、負荷量が発電量よりも増加後に通常負荷に戻るという二つの動作を組み込み実施した。

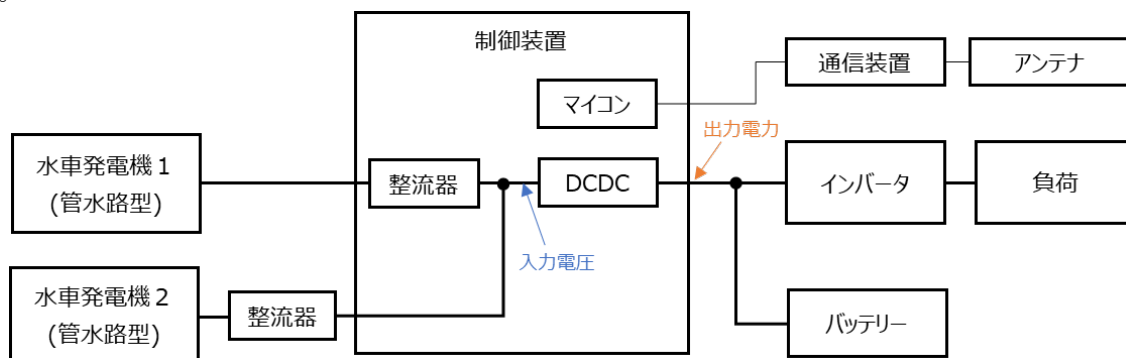


図 58 連続運転試験時の構成

図 59 に約 3 時間の連続試験時の制御装置の入出力電力のグラフを示す。約 3 時間の通常発電動作（動作①）中に、発電機の出力を停止/復帰させる（動作②）と、負荷電力を通常動作時の 20W から発電電力よりも大きな 300W に増加させる（動作③）を実施した。

9 時 25 分頃から通常動作にて余剰電力がバッテリーへ充電され、9 時 50 分頃にバッテリー電圧が目標電圧に達し出力電流を制限しながら動作が継続される。11 時 10 分頃から約 10 分間、水車への給水を強制的に停止し発電を停止させた後に給水を再開した。発電が停止している間は、バッテリーから負荷への出力が行われ、発電が復帰すると自動で出力電力が復帰することが確認できた。

11 時 50 分頃から約 10 分間、負荷の消費電力を 20W から 300W へ増加させた後に消費電力を 20W へ戻した。負荷での消費電力が増加している間は、水車発電機は最大出力で発電しつつ不足している電力がバッテリーから供給されることで負荷量の増加にも問題なく制御できていることが確認できた。

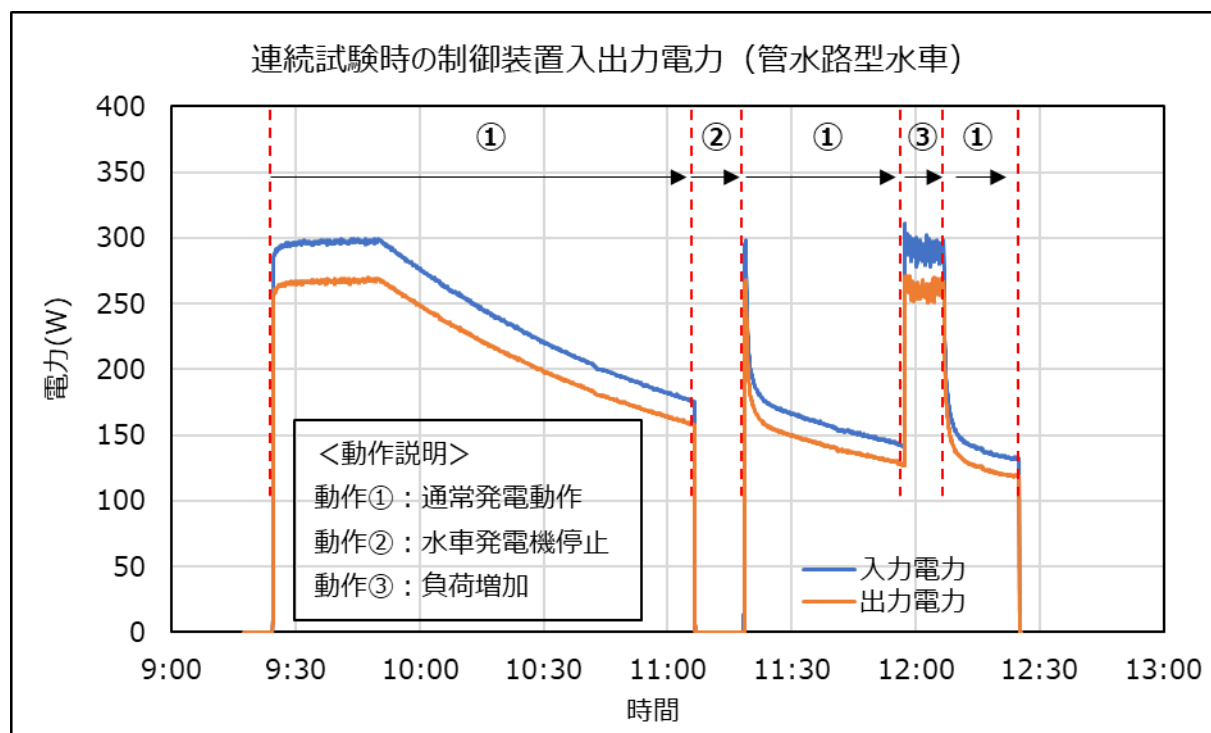


図 59 連続試験時の制御装置入出力電力

2 事業の成果

2. 1 成果の内容

本研究により、これまで未着手であった農業水利施設（1.5m 以下の落差工、農業用給水排水証）において、水力エネルギーを取り出すナノ水力発電装置が開発され、現地導入できる段階まで到達できた。

その成果を下記に示す。

- （1）調整池や溜池などから自然落差を利用し菅水路で各圃場へ給水する圃場の各端末が保有する未利用発電ポテンシャルが確認でき、現地にて発電を確認できた。
- （2）ユニット内で塵芥除去→発電→整流→100V 出力＋系統アシストまでをひとつのパッケージで行うことができ、ベースロード電源としての稼働を確認できた。
- （3）農業水利施設のうち、1.5m 以下の落差工を対象とした開水路落差式ナノ水力発電装置に最適な除塵設備を開発し、塵芥除去にかかる労力軽減が実現できた。
- （4）開水路落差式ナノ水力発電装置において、サイホン形式による出力向上は損失が大きくなることから、効果が小さいことを確認した。流量増加時には出力も向上することから、現在の仕様通り発電することが有効であると確認できた。
- （5）特性の異なる水車で使用可能な制御装置を開発し、実証試験にて安定して発電制御を行えることを確認した。また、制御装置の構成部品を入手性の高い汎用品の組み合わせで設計することで、コストダウンと製作に必要な期間短縮を実現した。
- （6）ソフトウェア開発では、接続する水車や蓄電池で調整が必要な特性を設定可能なパラメーターとし、制御装置のモニター上で設定できるようにすることで設備設置時の作業工数を削減した。

2. 2 目標の達成度

（1）成果から得られる効果

地球温暖化対策の手段である再生可能エネルギーの導入にあたり、従来は大流量、高落差の条件が必要であったが、本研究により小流量、低落差の地点も発電候補地として利用できることから我が国全体で小水力発電を推進することが可能となった。

また、共通制御装置を開発したことで、個々のナノ水力発電装置に依存する制御設計が不要となり、導入までの費用削減を可能とした。

本研究の実証実験を通じて、ナノ水力発電の電力を地域内で利用できることを実証できたため、農村地域における地産地消型の小水力発電のモデルを作成できた。これらの結果は、今後、普及すると思われる農山漁村エネルギーマネジメント（VEMS）、農村型バーチャルパワープラント（VVPP）に大きく貢献すると考えられる。

また、今回方式の異なる複数タイプの水車発電機に対して共通利用できる制御装置開発の実現は、少なくとも制御装置のコストダウンが大きく進む可能性を示すことにつながる。現状の水車発電機とその制御装置是一对一の関係であり、水車側も制御系も対象現場水流とその発電電力用途に応じて都度開発しているのが実態であり、このような一点物の開発を続けている限りは量産効果によるコスト低減は見込めない。制御装置の共通利用はこの量産効果によるコスト低減の道を開くものであり、今回は2機種の水車で共通利用を実証したが、今後対象水車を広げていくことでさらなるコストダウンの可能性はある。

一方で、水車発電機側のコストダウンにつながる可能性も期待できる。共通制御装置のI/F仕様を公開し、水車発電機側がその仕様に合わせた設計で共通化することは開発コスト

の低減、すなわちコストダウンにつながる可能性は大きい。結果として水車発電システム全体のコストダウンにつながる可能性は高く、これまでナノ水力の普及を阻害する大きな要因の一つであった価格面のハードルを大きく下げることが期待される。

（２）従来技術との比較

①比較する従来技術

１）管水路式ナノ水力発電装置

既存技術では、小口径での発電効率が非常に低く実用上メリットの提示が難しかった。本開発の相反転のデュアルマイクロタービンによる発電システムでは、高効率での発電の可能性があり実用化が期待できる。

２）開水路落差式ナノ水力発電装置

これまでは電動式による除塵機が主流であり、近年は縦格子ストレーナ形式の除塵機が開発されていたが、目幅が 2mm であり出力数十 kW の小水力発電向けであった。このためナノ水力発電に対しては過剰な除塵設備であった。また、自然界ではサイホン形式を再現するために水車にポンプ機能を有する必要がある、困難であった。本研究では通常運転において流量調整無しでサイホン形式を再現することで出力向上を試みた。

３）ナノ水力制御装置

従来技術では使用する水車発電機に対し専用設計で制御装置を開発していたのに対し、汎用部材の組み合わせで複数の水車発電機に利用可能な制御装置を開発した。複数の水車で共通利用が可能なため、今後の販売台数増加が見込め、量産効果にて従来品に対してさらなるコストダウンが見込める。

②従来技術に対する優位性

１）管水路式ナノ水力発電装置

- 経済性：比較対象が無い
- 工 程：数種類の許可は必要だが、既存給水栓端末を利用するため土地改良区などの要望により許可申請できるため設置まで簡易であり優れている
- 品 質：工場によるモジュール製作のため、安定した品質が可能であり優れている
- 安全性：管路式は流量が管理されていることから自然災害に強いと優れている
- 施工性：１パッケージユニット化による簡易施工、簡易配線に優位性有り
- 周辺環境への影響：圃場にユニット設置のみ。大きな土木工事など不必要であるため優れている

２）開水路落差式ナノ水力発電装置

- 経済性：従来の縦格子型ストレーナの価格の 1/20 程度で製造・設置可能なため優れている
- 工 程：大掛かりな土木工事を必要としないため工程が少なく優れている
- 品 質：工場によるモジュール製作のため、安定した品質が可能であり優れている
- 安全性：農業用水路満水時にも対応した設計応力、余水排水を考慮した設計としているため優れている
- 施工性：設置工事はコンクリート部にアンカーを設置するのみであるため、工事が簡略されていることから優れている
- 周辺環境への影響：農業用水の落差工自体は生態系が切れているため生態系に影響は

ない。また大きな土木工事が不要であるため優れている

3) ナノ水力制御装置

- 経済性：異なる水車で利用が可能であり販売台数の増加が見込める
- 工 程：汎用品の組合せでの設計のため製作期間の短縮が可能
- 品 質：実績のある汎用品を使用することで品質の安定が見込める
- 安全性：外装に取り付けられたモニターでの操作が可能。
装置使用時に感電リスク無し。
- 施工性：現地では入出力のケーブル接続のみで施工が容易
- 周辺環境への影響：小型設計のため省スペースで設置可能

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

(1) 管水路式ナノ水力発電装置（東プレ）

- 流 量：0.01～0.025m³/s
- 総 落 差：15.0～20.0m
- 出 力：0.5～1.0kW
- 水路形状：管水路（圃場給水栓端末と連結）
- そ の 他：排水路が必要

(2) 開水路落差式ナノ水力発電装置

- 流 量：0.15～0.2m³/s
- 総 落 差：1.0～2.0m
- 出 力：0.4～0.6kW
- 水路形状：コンクリート水路（土水路の場合、大掛かりな土木工事が必要）
- そ の 他：装置の完全水没は対応不可

(3) ナノ水力制御装置（リコー）

共通制御装置の基本仕様は公開し、発電出力 10kW 未満のナノ水力発電システム全体を適用範囲とし、ナノ水力発電機メーカーに広く活用検討を促していく。

ただし、共通制御装置そのもの（ハード）のコストダウンメリットはユーザーに還元されるべきであり、特定の企業が独占するべきではない。このシステム提供者はハードウェアの提供だけでなく、その先のサービスに独自性を発揮してビジネスを行うべきであり、そのことがナノ水力の普及にもつながると考える。

3 普及活動計画

3. 1 想定される利用者

- (1) 土地改良区、地方自治体、水利組合
- (2) 工場を有する民間企業
- (3) 簡易水道や下水道処理施設の事業者

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

- (1) 学会、研究会、展示会などを通じた製品 PR
- (2) カタログによる普及啓発
- (3) 農政局や農政事務所、自治体への PR 活動
- (4) Web 検索での上位表示 (SEO 対策) による PR 活動
- (5) 小さい電力を利用することによる現場での課題解決ソリューションの提案
- (6) 利用者の潜在的なニーズを喚起できる提案

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

- (1) 技術資料作成
- (2) 問合せ HP の作成
- (3) 積算資料
- (4) 状態監視システムや遠隔実施による長期安定稼働の体制提供

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

- (1) 申請者予定者：株式会社リコー
- (2) 申請予定時期：特に無し

本研究では異なる水車を接続可能な制御装置の開発を完了したが、各水車の発電効率に関しては制御の最適化により改善の余地があることがわかっている。今後は、各水車の特性に合わせ効率を最大化する制御技術の開発を進め、技術が確立できたタイミングで特許出願を予定している。

4 研究総括者による自己評価

審査の ポイント	着眼点	申請時計画目標 ^{注1}	自己評価 ^{注2}	自己評価 の理由 ^{注3}
目標の 達成度	・ 効果 (従来技術に対する優位性)	・ 未利用ナノ水力 の実現 ・ 制御の共通化	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・ これまで利用されていなかったナノ水力地点を利用することが可能となったことから、農村地域の低炭素社会の早期実現への技術活用が期待できる。
	・ 信頼性 (品質、精度、安全性、耐久性等)	・ 未利用ナノ水力 の実現 ・ 制御の共通化	Ⓐ: 優れている B: 概ね妥当 C: 不十分	・ 装置はパッケージ化されたことで工場生産を可能とし、信頼性を高めた。
	・ 適用範囲・適用条件等	・ 未利用ナノ水力 地点	Ⓐ: 広範囲に適用 B: 概ね妥当 C: 限定的	・ これまでの適用範囲・適用条件を大幅に拡大した。
普及の 可能性	・ 想定される利用者への普及啓発の方法	・ 農政局への提案 ・ HP (SEO 対策) を利用した PR ・ 学会や講習会での発表	A: 十分な利用が見込まれる Ⓑ: 概ね妥当 C: 限定的	・ 農政局への提案や学会等での発表により PR を実施したが、今後も積極的な普及啓発が必要である。
	・ 利用者に対するサポート体制 (設計・積算・施工等の参考資料、相談窓口等)	・ 導入資料、積算資料等の整備 ・ 設置事例集の整備	A: 十分に整備されている Ⓑ: 概ね妥当 C: 改善が必要	・ 現地導入のための資料は作成できしており、今後は設置実績を増やしながら資料を更新する。
総合 コメント ^{注4}	当初計画目標は達成することができた。特に装置の開発(管路式ナノ水力発電、開水路式ナノ水力発電)は当初計画よりも早期に目標を達成した。また、共通制御についても様々な制御モードを現地特性に応じて選択することができ、現地状況に柔軟に対応できることを可能にした。今後は現地導入の実績を増やすとともに更なる低コスト化に努める。			

注1) 成果報告書に記載の研究開発目標を記載する。注2) 評価結果欄は、A・B・Cのうち「A」を最高点、「C」を最低点として3段階で記入(○付け)する。注3) 自己評価の理由を記載する。注4) 総合的なコメントを記載する。

5 今後の課題及び改善方針

(1) 管水路式ナノ水力発電

管水路の整備は、水管理、維持管理、メンテナンス、水害対策などに有効である。本研究では、整備された管水路が、田代掻きの時期、圃場に給水する 1 カ月程度しか使用されず、年間を通し使用しない時期に管水路が保有する未利用エネルギーでの発電できることを確認した。課題として、農業用水の使用目的以外での有効利用、発電した電気の用途、費用対効果、など社会実装に向けての課題は多い。

今後、地域が保有する未利用エネルギーの有効活用に対し啓発活動を行い、ナノ水力発電の認知度を上げ、導入しやすい環境を整えていく。

(2) 開水路式ナノ水力発電

これまで未利用であった農業用水路（排水路）の落差 1.5m 以下の水力エネルギーを取り出すことを可能とし、かつ塵芥除去の省力化を目的として除塵機を開発した。一方で吐出し管の改良による出力向上では落差が変更となることから、ランナの最適化も合わせて必要となり、コストの課題は残る。

今後は、導入実績を増やすために現在の仕様のままとし、出力向上については実績が増える中で、複数のランナを用意し対応する。また、電力利用による農村地域の活性化や防災力向上等の効果を見える化する。

(3) ナノ水力制御装置

本研究の目的であった管水路式および開水路落差式のそれぞれ違うタイプの水車発電機に対応する共通制御装置の開発を完了することができたが、今後これらを社会実装し普及促進していくためには技術面、ビジネス面でそれぞれ次のような課題があると認識している。

まず技術面では、本研究の中で既に水車特性に合わせた効率改善の余地があることが分かっており、この課題をクリアすることでより導入しやすいシステムになるとみている。

一方、ビジネス面での課題は、対象現場の課題解決につながるソリューションをいかに多く創出できるかということが大きいと認識している。いくつかの現場での実証とその成果の情報発信を積極的に行うことで、より多くの知見を集めて改善していくことを継続する。