

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

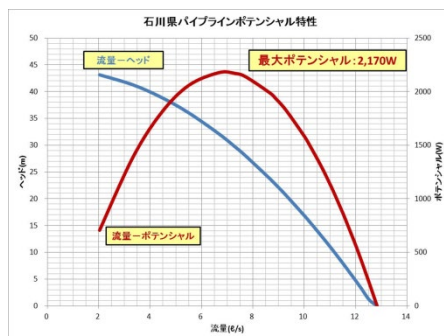


図 2 発電ポテンシャル

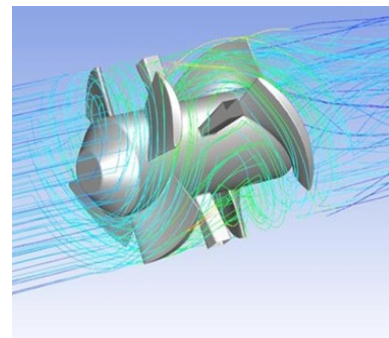


図 3 高効率発電タービン案

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。

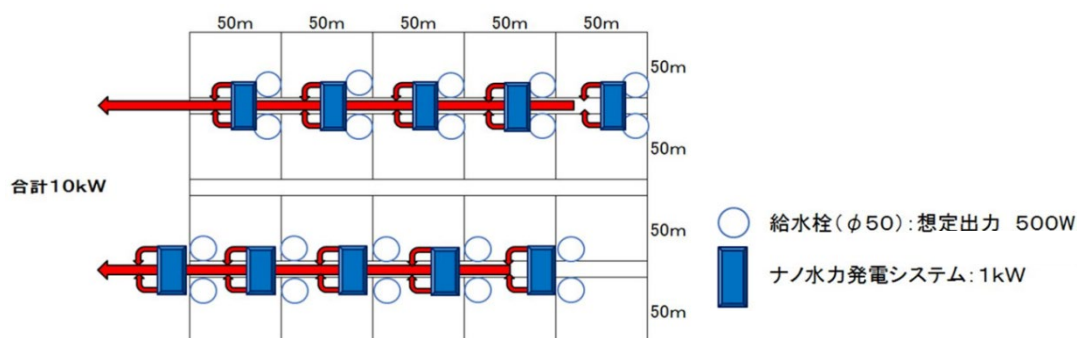


図 4 マイクログリッド案

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。

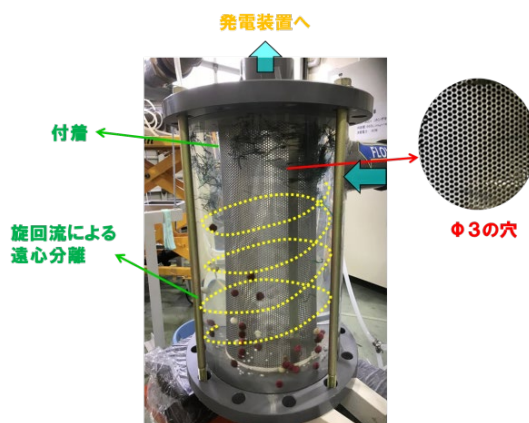


図 5 取水口バースクリーン・通過塵芥・塵芥除去機構案

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。

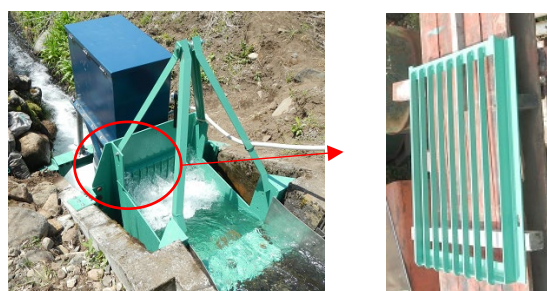


図 6 現在の除塵設備

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

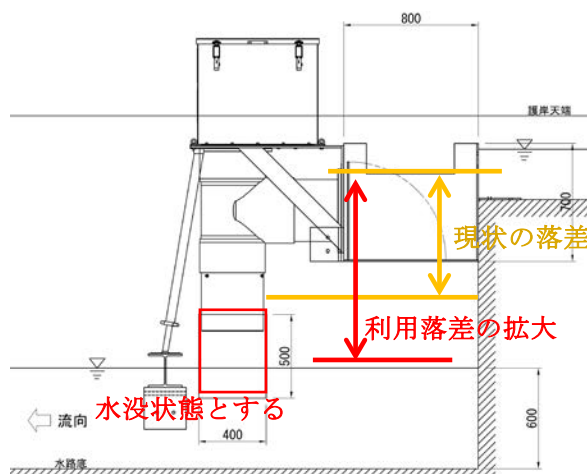


図 8 吐出し管の改良

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。

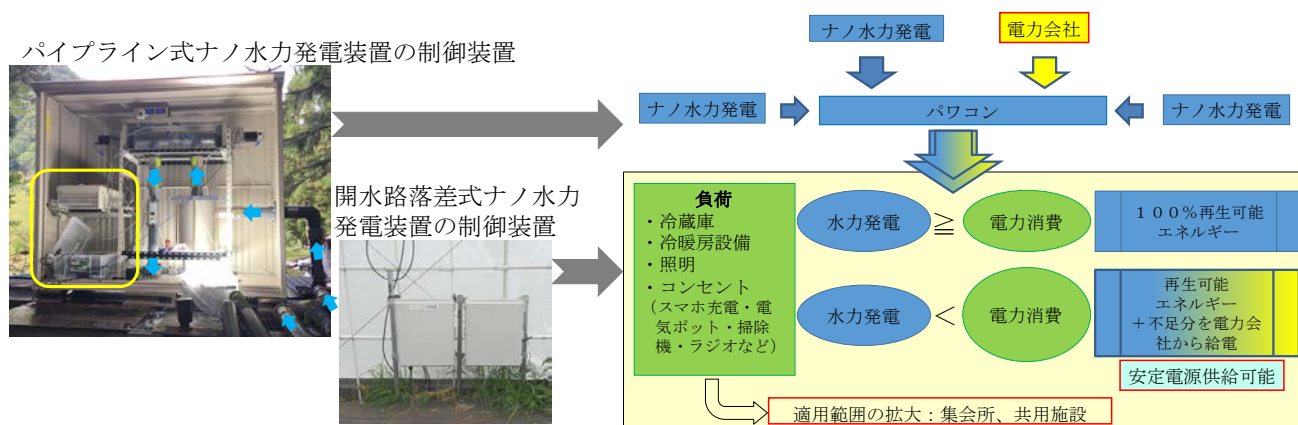


図 9 制御装置の開発イメージ

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。

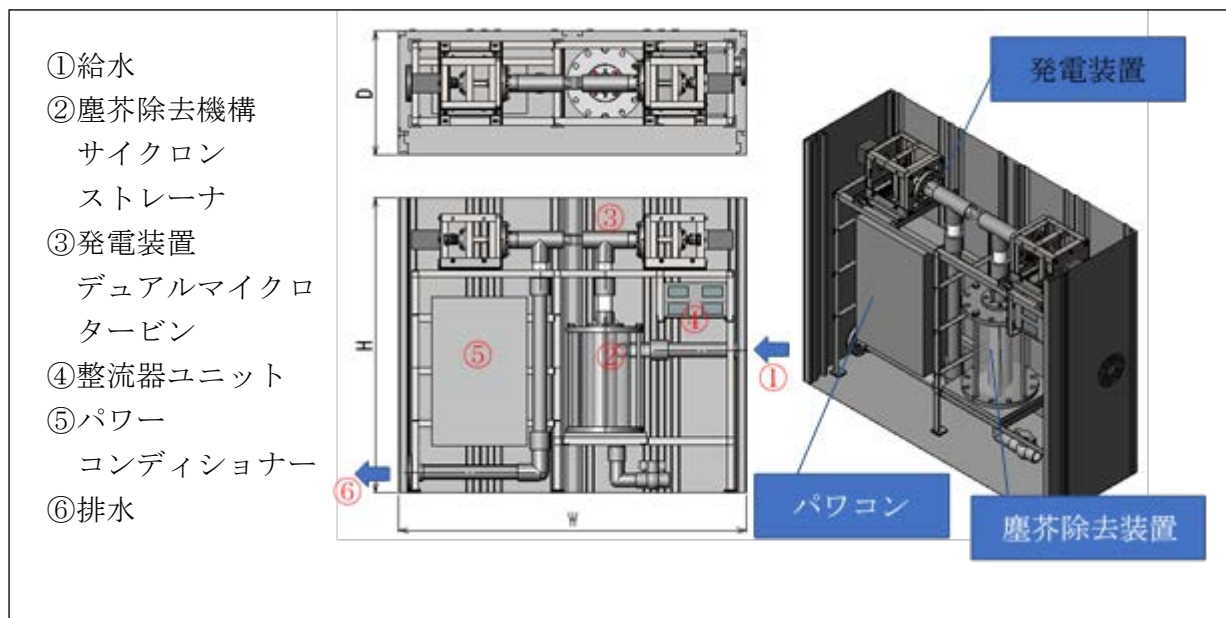


図 10 発電ユニットの概要

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。

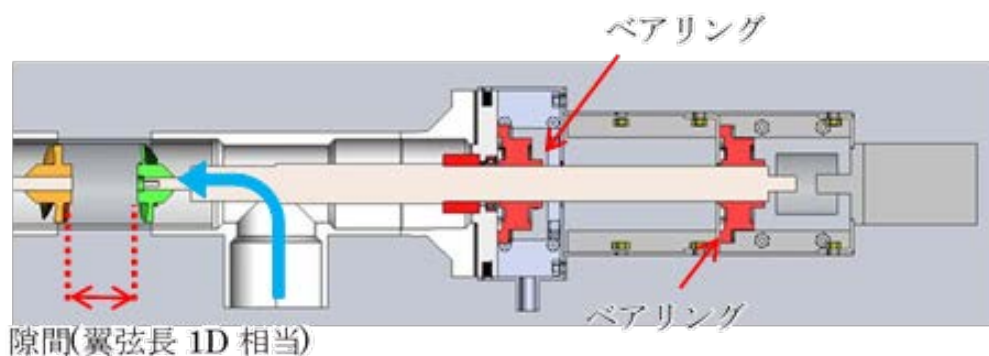


図 11 強度改善構造

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。

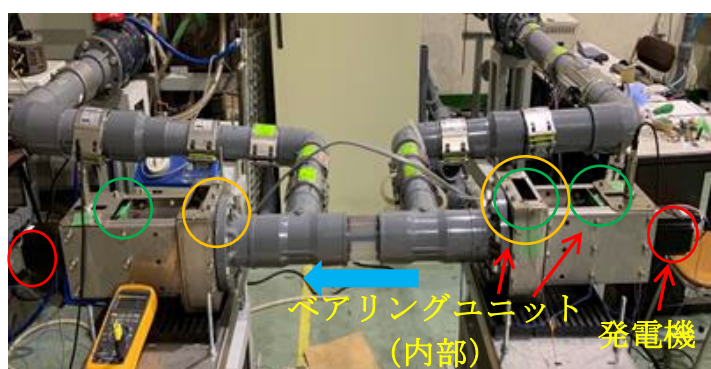


図 12 測定ポイント



図 13 温度測定位置

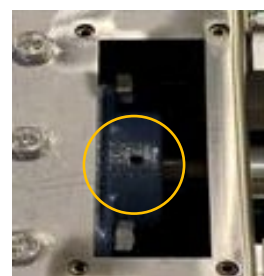


図 14 振動測定位置

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。

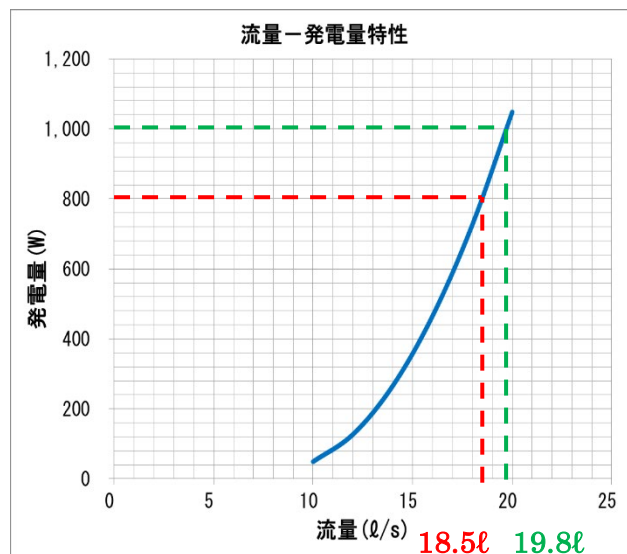


図 15 発電性能

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。

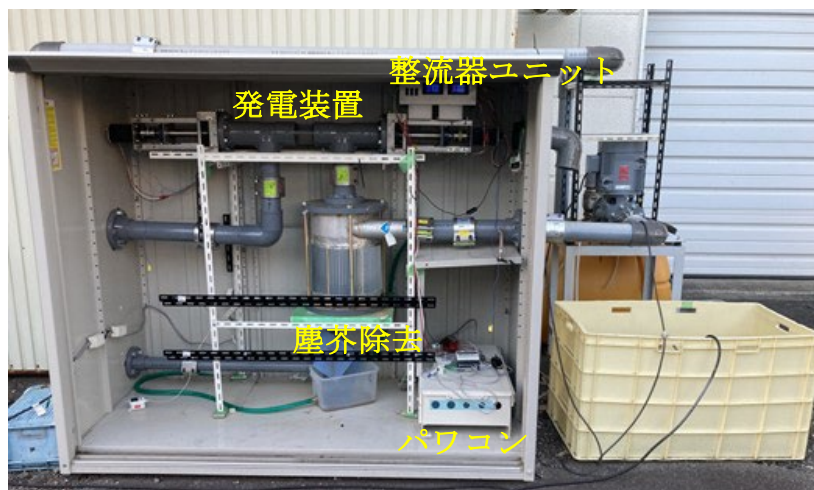


図 16 社内耐久試験（実装状態）

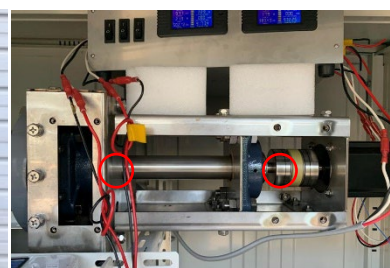


図 17 測定箇所



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

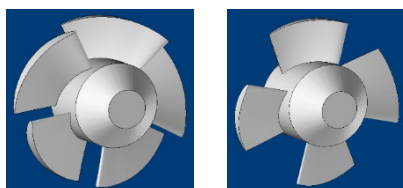
1kW 発電装置の構造をベースに、インライン方式の発電装置による高出力化を検討。

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。

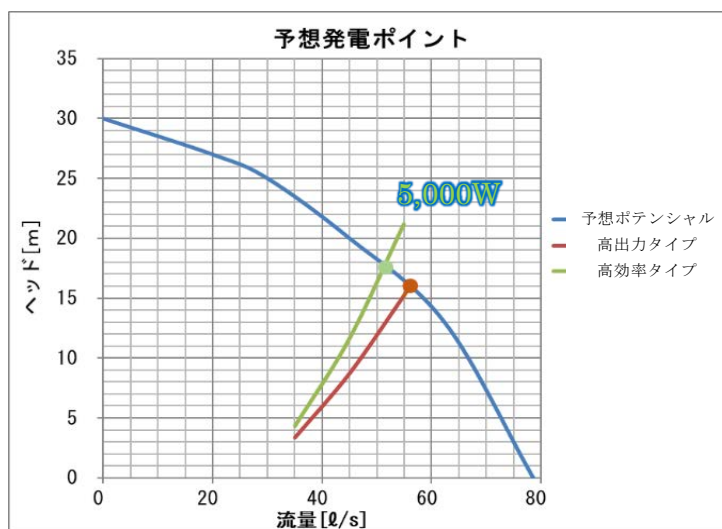


図 21 予想発電量

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。

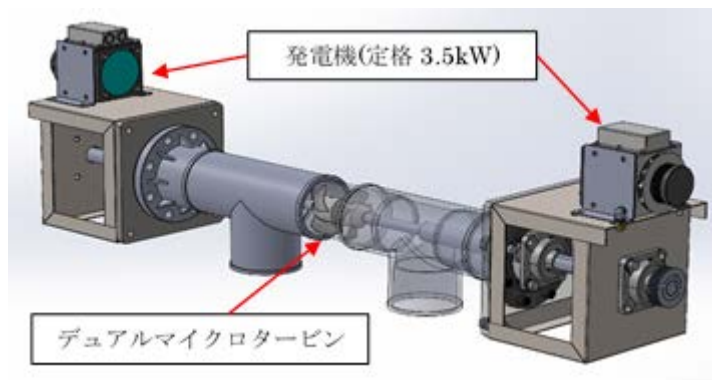


図 22 実験装置の概要

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

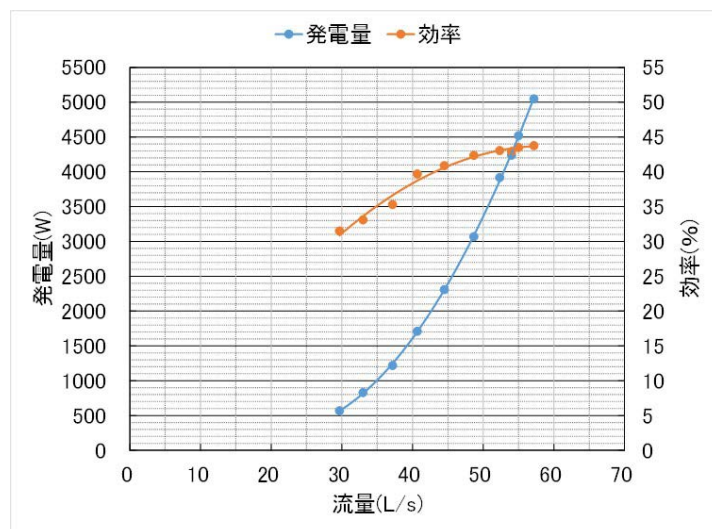


図 24 発電性能（高出力タービン）

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。

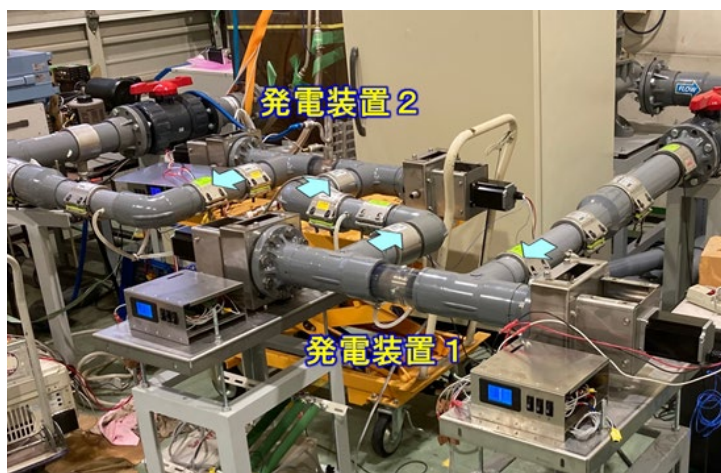


図 25 実験室内での実験の状況

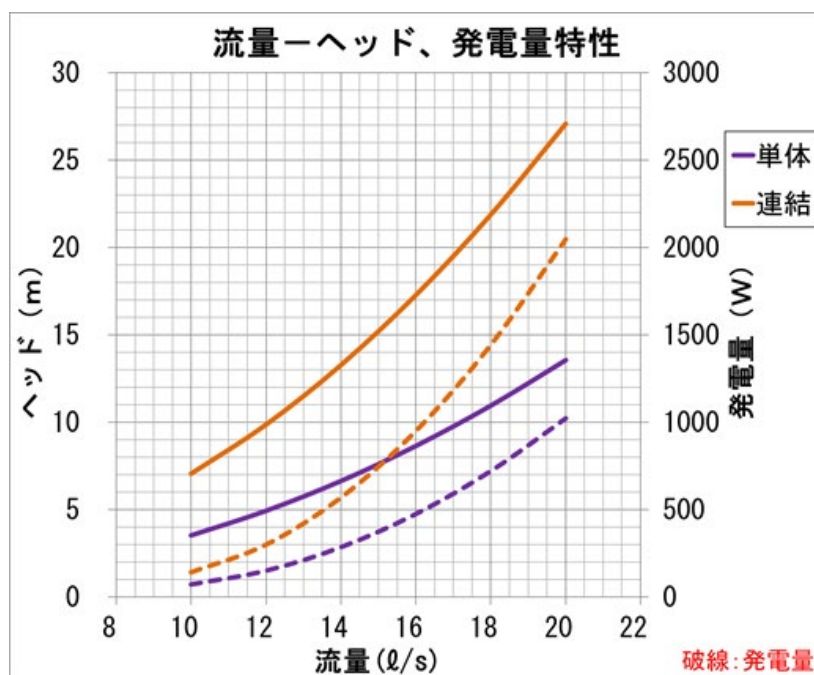


図 26 実験室内での実験の発電特性

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。

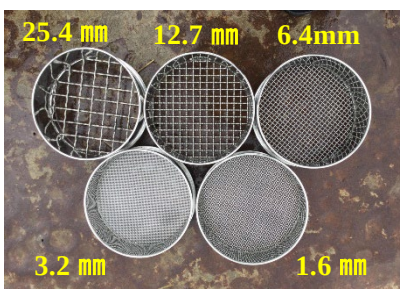
■STEP1：パイプラインに混入している塵芥の把握

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