

(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。

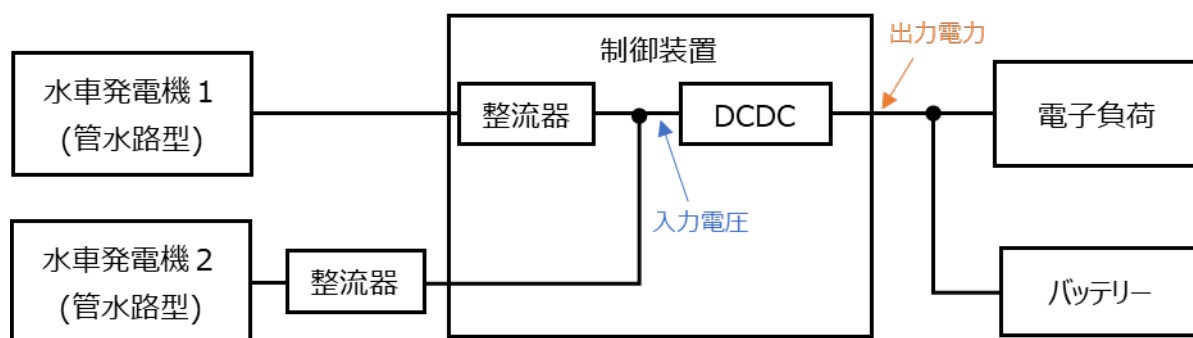


図 53 接続試験の構成（管水路式ナノ水力発電装置）

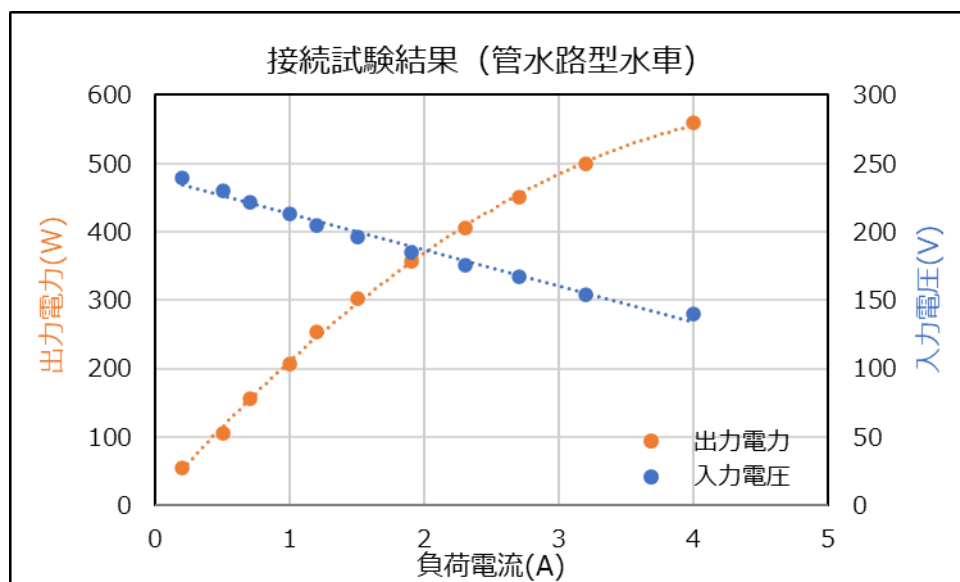


図 54 負荷電流に対する出力電力と入力電圧の関係（管水路式ナノ水力発電装置）

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。

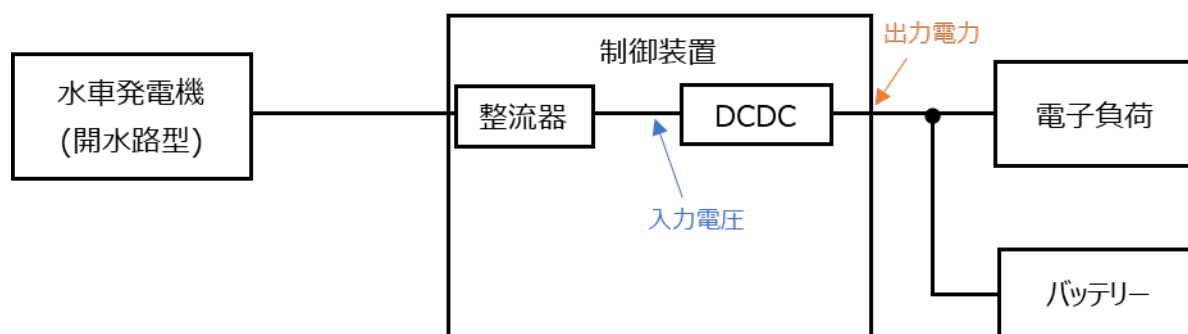


図 55 接続試験の構成（開水路式ナノ水力発電装置）

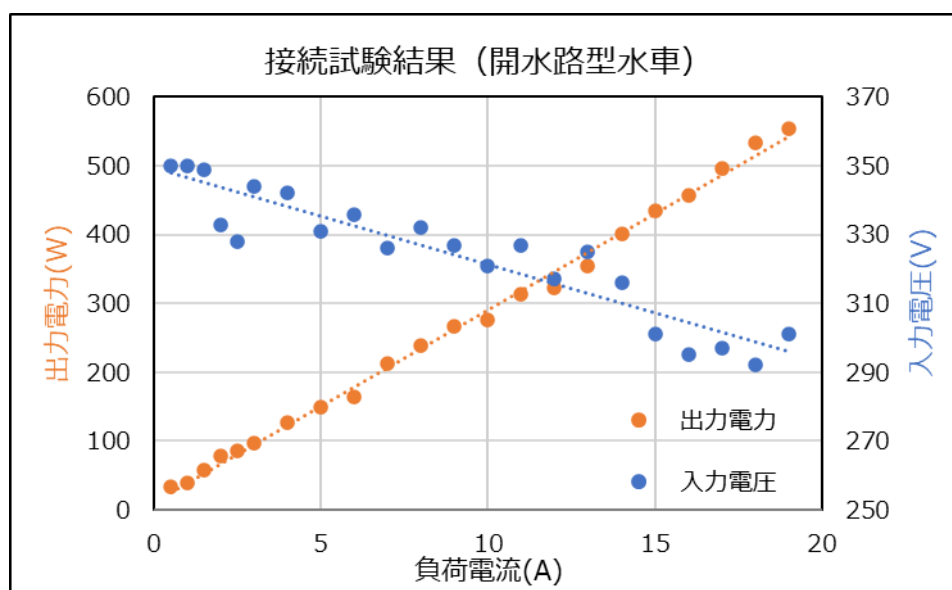


図 56 負荷電流に対する出力電力と入力電圧の関係（開水路式ナノ水力発電装置）

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。

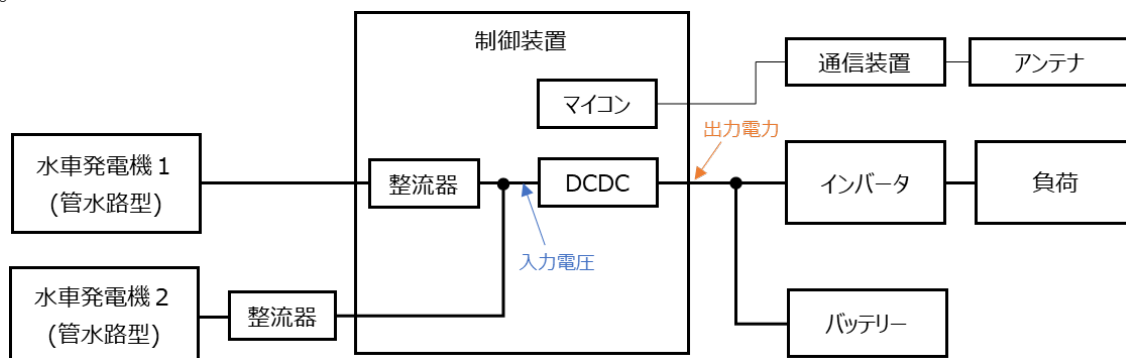


図 58 連続運転試験時の構成

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。

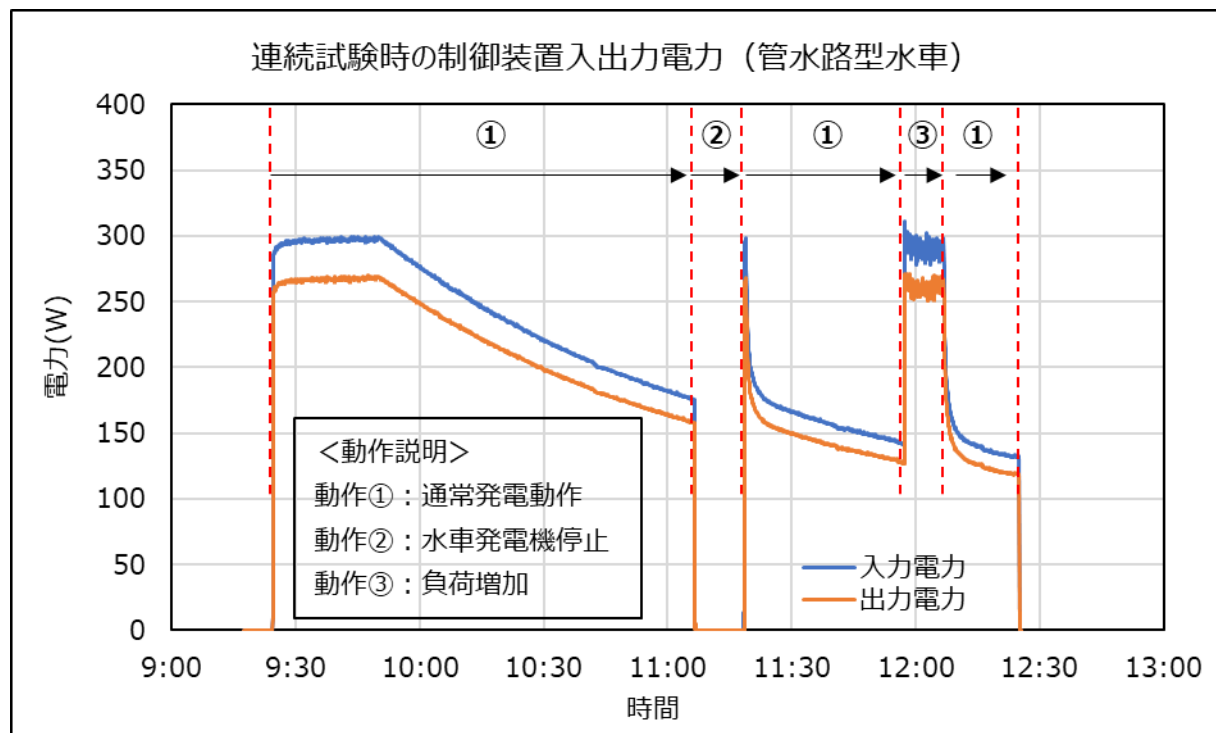


図 59 連続試験時の制御装置入出力電力

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は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。