

研究成果報告書

研究開発課題名	流水利用型小水力発電装置の効率的な利用に向けた水車及び 付属装置の開発
研究総括者	新技術研究開発組合代表 株式会社シグナス
研究開発組合	株式会社シグナス 財団法人日本水土総合研究所 株式会社住軽日軽エンジニアリング
試験研究機関	日本大学 文理学部物理生命システム科学科

1 事業の実施内容

1. 1 事業の背景及び目的

小水力発電装置に関しては、大学や研究機関において様々な研究開発が行われているが、農村地域での実用化、浸透を図るには、安価かつ設置が容易なものとするとともに、ゴミによる不具合が発生しにくい簡易な装置構造とし、維持管理を容易にする必要がある。

小水力発電装置の1つとして、農業用水の流水を利用し発電する「流水利用型小水力発電装置」があり、本形式は、構造的な落差を必要としないため、設置場所の自由度が高いという利点を有するが、一方で、「発電効率の改善」「発電コストの低減」「維持管理の簡素化」が課題となっている。

そこで、本事業においては、「流水利用型小水力装置」の実用化のために、その効率的な利用に向けた水車や付属装置の開発を行い、発電ポテンシャルの拡大を図るとともに、太陽光発電や小型風力発電との総合的利用も想定し、低炭素むらづくりの推進及び地球温暖化防止への貢献や農村地域の振興及び活性化に寄与することを目的とする。

1. 2 事業の内容及び実施方法

(1) 「流水利用型小水力発電装置」に関する研究開発

開発後の農村地域における普及、浸透を見据え、実際の農業用水路における試験を踏まえながら、水車やその他装置（部品）の開発を行い、実用化に向けて隘路となっている「発電効率の改善」「発電コストの低減」「維持管理の簡素化」に関する技術的問題点の解決策として、以下①～③の研究開発を実施した。

- ① 発電効率の改善に関する研究
- ② 水車重量の軽量化に関する研究
- ③ 維持管理の簡素化に関する研究

さらに、小水力発電による電力供給量の少ない、または、小水力発電が行えない時期に、太陽光発電や小型風力発電を活用し、不足する電力を充当するなど、年間を通して電力を安定的に供給するための自然エネルギーの総合的活用のあり方も視野に入れた調査研究を実施した。

(2) 実証試験 該当なし

(3) 機能監視 該当なし

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	対応
発電効率の改善	<ul style="list-style-type: none">・水車ブレードの形状、枚数、取付角度の比較検討・ケーシング（集水板など）取付けに関する検討・最適な発電機やコントローラの選定・太陽光発電、小型風力発電との総合的利用の検討・水車重量の軽量化による発電効率の比較検討
発電コストの低減	<ul style="list-style-type: none">・発電効率の改善による単位出力価格の低減・水車重量の軽量化及び材料の検討・設置方法、点検整備方法を配慮した総合的低減の検討
維持管理の簡素化	<ul style="list-style-type: none">・ゴミ等により発電が阻害されにくい簡易構造の検討・故障時に簡易な修理が可能な構造の検討・設置、撤去の容易さにも配慮した構造の検討



1. 4 事業の実施体制

試験研究機関と研究開発組合及びの役割分担

項目	試験研究機関	研究開発組合		
	日本大学 中里教授	シグ ナス	水土 総研	住軽 日軽
1. 「流水利用型小水力発電装置」に関する研究				
①発電効率の改善に関する研究	○	◎	○	—
②水車重量の軽量化に関する研究	○	○	○	◎
③維持管理の簡素化に関する研究	○	◎	○	—
2. 農業用水路における試験の実施	○	◎	○	○
3. 業務に関する連絡・調整	—	—	◎	—
4. 業務取りまとめ	○	○	◎	○

1. 5 事業の年度計画と実績

項 目	平成 21 年度		平成 22 年度		平成 23 年度	
	上期	下期	上期	下期	上期	下期
発電効率の改善に関する研究開発						
水車重量の軽量化に関する研究開発						
維持管理の簡素化に関する研究開発						
農業用水路における試験の実施						

注)  は計画、 は実績。

1. 6 研究開発の概要、結果、課題等

(1) 研究開発の課題

実用化に向けて隘路となっている技術的問題点の解決策として考えられる課題と目標を以下に示す。

① 発電効率の改善

- ・ 過年度実施の自主研究における発電効率を向上させ、実用性を高める。
- ・ 発電効率の改善により、単位出力価格 (kW 当り価格) の低減を図る。
- ・ 発電機の再選定やコントローラを含めたシステムの検討を行う。
- ・ 自然エネルギーの総合的利用を検討し、年間を通しての発電を目指す。

② 水車重量の軽量化

- ・ 軽量化による発電効率の向上を目指す。
- ・ 施工、点検整備の作業性を向上させる。

③ 維持管理の簡素化

- ・ ゴミ等の巻込みを防止する為の簡易な構造とする。
- ・ 作業負担を減らし、維持管理費の低減を図り、実用性を高める。
- ・ 設置・撤去の容易さを配慮した構造とする。

また、農業用水路における試験の実施で、新たに判明した試験課題については、翌年度試験にて、随時確認を行った。(補足資料参照)

(2) 研究開発の概要

1) 試験方法

水力発電機による出力の計測は、水力発電機より出力された電気を、抵抗器などの負荷装置にて、かかる負荷量を段階的に調整しながら消費させ、設定負荷量ごとの発電機出力電圧及び電流を計測し、算出した。

また、同時に水車の回転数も計測し、横軸を水車回転数、縦軸を水力発電機出力とした出力特性グラフを、異なる水車及び水路条件ごとに作成し、条件変化による出力比較を行った。(図-1 参照)

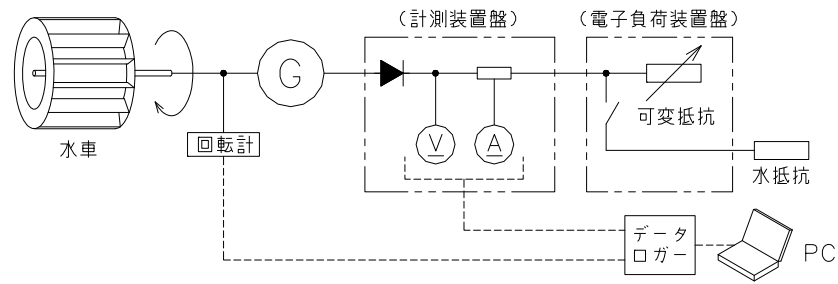


図-1:試験装置概要図

2) 試験項目

各年度に実施した試験項目と比較条件を下記表に示す。(詳細については、補足資料-1~5を参照、また、課題番号は、①発電効率の改善、②水車重量の軽量化、③維持管理の簡素化を示す。)

試験年度	試験項目	比較条件、確認事項 (形状はブレード形状を示す)	課題 番号	補足 資料
平成21年度 用水路試験	ブレード形状比較	平板形状/円弧形状	①	1
	ブレード取付 角度比較	平板形状、12枚: 前後傾15/25/35度		
	ブレード枚数比較	平板形状:6/8/12枚 円弧形状:6/12枚		
	ブレード材質比較	平板形状、6枚:アルミ/鋼板	②	
	設置・撤去の確認	設置・撤去の容易性確認	③	
平成22年度 上半期 用水路試験	水車構造比較	円弧形状、12枚: 開放/側面仕舞/内円仕舞	①	2
	ブレード枚数比較	円弧形状:12/16/24枚		
	流速別比較	円弧形状、12枚(以降固定): 2/1.5/1 m/s		
平成22年度 回流水槽 試験	水深別比較	水車の水没水深変化による比較 :100~900mm	①	3
	流速別比較	流速0.7/1/1.5/2 m/s による比較		
	スイング機構確認	増水時安全対策として検討した スイング機構の動作確認	③	
平成22年度 下半期 用水路試験	連結水車構造確認	幅1mの水車を2連結し幅2mとした 水車の構造及び発電特性確認	①	4
	設置間隔の確認	2基の水車を同一水路内に設置し、 設置間隔による影響を確認		
	電動昇降装置確認	電動化した昇降装置の動作確認	③	
	連続運転確認	2日間の連続発電を行い、発電 状況と耐久性を確認		

試験年度	試験項目	比較条件、確認事項 (形状はブレード形状を示す)	課題 番号	補足 資料
平成23年度 実験用水路 装置試験	ブレード取付 角度比較	円弧形状、12枚 0度／後傾10／20度／前傾	①	5
	ブレード形状比較	小型2段取付形状／V型形状		
	集水板の効果確認	水路幅を狭める集水板設置の有無 による出力比較		

3) 検討・調査項目

試験機を用いた用水路及び回流水槽試験と模型機を用いた実験用水路装置試験による試験研究の他に、下記内容の技術検討及び調査研究を実施した。

- ・発電機選定についての検討及び調査研究
- ・電気出力及び水車昇降装置についてのシステム検討及び調査研究
- ・自然エネルギーの総合活用についての検討及び調査研究

(3) 研究開発の結果

1) 試験結果

①発電効率の改善に関する結果

ブレードの形状、枚数、取付角度の組合せは無数にあり、その違いによる発電出力の変化を全て検証することは、困難であった。よって、まず初年度において、基本的な組合せで、発電出力の変化傾向を把握して、形状を仮決定し、水車構造などの研究により発電量の向上を行った。その後、試験時の回転状況を基に、再度、ブレードに関する試験を行い、円弧形状のブレードを従来の取付角度よりも前傾角度に取付けた状態にすることで、発電効率をさらに向上させることが出来る結果を得て、最終形状を決定した。

ブレードに関する試験の結果をまとめると、本事業で研究開発した下掛水車構造の場合、ブレードは、円弧形状、12枚数で、前傾角度に取付けた状態の組合せが最も優れた結果となった。なお、円弧の形状については、当初クロスフロー型水車の形状を参考に設計していたが、本試験の結果を基に、図面検証及びブレード再設計をした結果、流入角60～70度、流出角150～167度となるような前傾角度に取付けた状態を最適とした。

水車構造の違いによる比較試験では、水車の側面部及び内円部を開放状態にすることによる効果が確認できた。(グラフー1)

従来の下掛式水車は、水車外周に流水をあてて回転力を得る構造となっており、一般的には、側面部及び内円部は塞がれていたり、ブレードがバケット状の形状をしていたりするが、この試験の結果、特に内円側に障害物があると、水車の水没水深に比例して発電量を向上させる効果が無くなることが判明し、開放構造にすることで、出力を高められる事が確認できた。

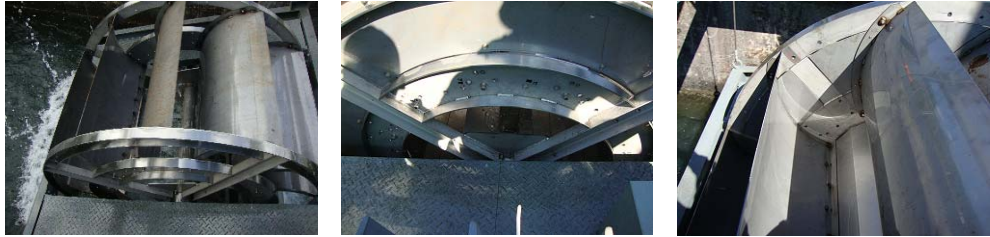
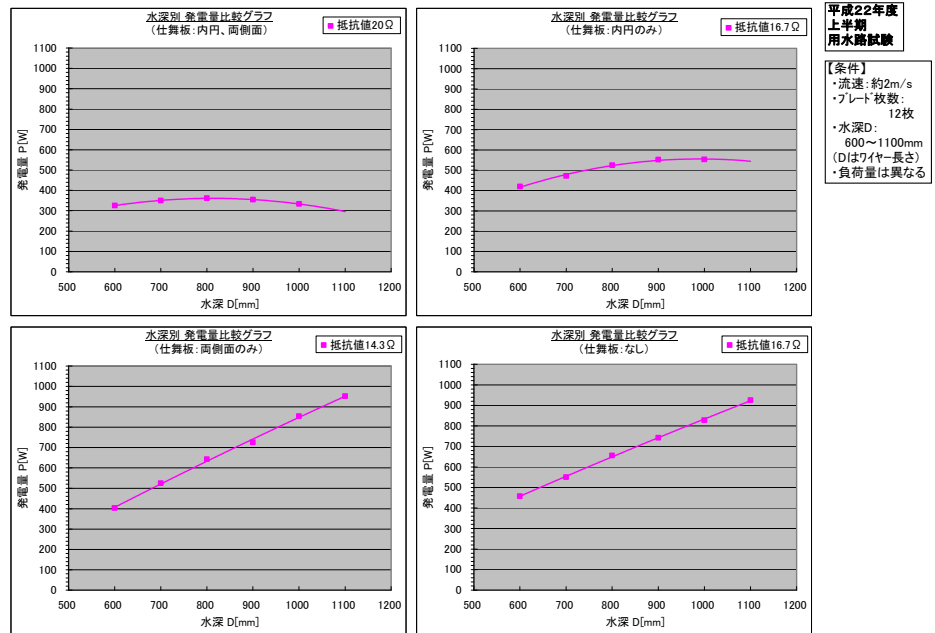


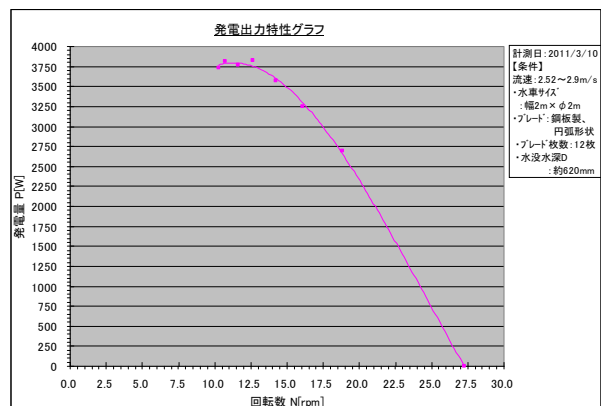
図-2:構造比較試験写真 左から 開放構造状態、側面仕舞板、内円仕舞板



グラフ-1:水車構造(側面、内円の仕舞板有無)による比較グラフ

過年度の自主研究において、同じ用水路で実施した試験結果では、流速 2 m/s の条件下で、幅 2 m × 回転直径 2 m の水車による発電出力を 770 W 程と見込んでいたが、ブレード及び水車構造についての研究及び改良により、平成22年度下半期の用水路試験では、過年度の自主研究と同じサイズの水車で、流速約 2.4 m/s の条件下において、約 2.55 kW の出力結果を得ることが出来た。また、同じ水車で、流速約 2.9 m/s の条件下では、最大で 3.85 kW の出力を確認でき(グラフ-2)、連続運転では、途中、水路の水位変動はあったが、 3.5 kW 以上の発電を安定的に行い、2日間で約 171 kWh の電力を得られた。

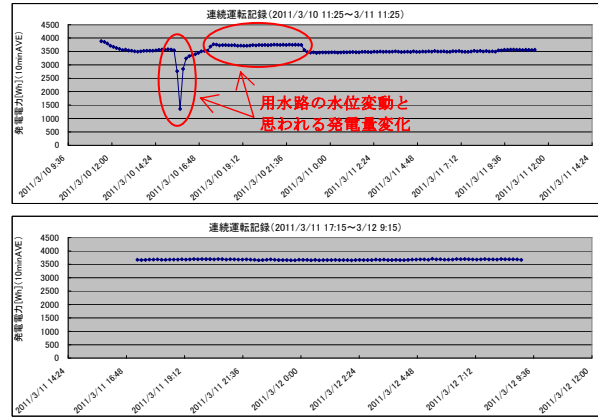
(グラフ-3)



グラフ-2:幅2m × φ2m水車
(最大出力時)出力特性グラフ



図-3:2連結水車 連続運転状況



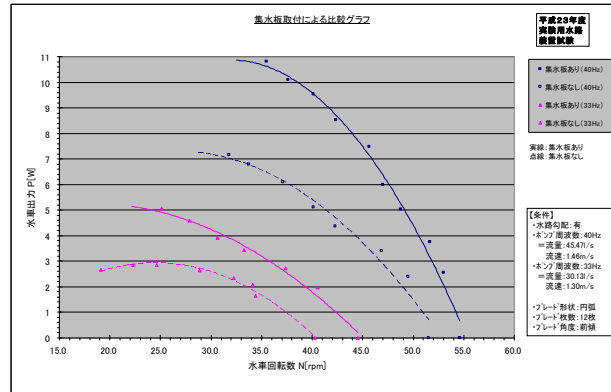
グラフ-3:幅2m×φ2m水車 連続運転記録

また、平成23年度に実施した集水板の設置効果確認では、集水板を設置することで水路幅が狭まり、上流が堰き止められる状態となる為、水位が上昇し流速が低下するが、集水板の下流側端部より堰き止められた水が急激に流出し、流速を一時的に上げることが出来ると共に、水路内の流水が持つエネルギーを、水車に集中的に取り込むことが出来るので、水車の回転数が飛躍的に増加し、出力を向上させる事ができた。特に水路勾配が無く、流速が低い状態では、集水板の無い状態の2倍以上の出力を得ることが出来た。

(グラフ-4)



図-4:集水板設置状況



グラフ-4:集水板の有無による出力比較グラフ

②水車重量の軽量化に関する結果

イ. 重量比較

鉄製ブレードとアルミ製ブレードを下記同一条件で設計したところ、重量差は以下ようになった。

<設計条件>

- ・設計最大流速 3 m/s
- ・疲労応力度で検討する為、各材質の許容応力の1/3以下で検討
- ・たわみ許容 1/300
(構造、材料選定は強度によるものとし、たわみは目安値とした。)
- ・水車への取付けは、ブレード両サイドより、M12ボルト×4本で固定することとした。

<選定した構造>

- ・アルミ製ブレードは、軽量かつ強度を有する為に「ハニカムパネル」材を選定。
- ・鉄製ブレードは、角パイプ材×2本に4.5tのプレートを溶接した構造とした。

材 質		構 造	1枚あたりの重量
鉄製	SS400	溶接構造	約25kg
アルミ製	A3003	ハニカムパネル材	約9.5kg

表-1:ブレード重量比較(平板形状)

ロ. 発電効率

表-2に示す、平成21年度の用水路試験時における最大発電量で、鉄製ブレード6枚とアルミ製ブレード6枚の発電量を比較すると、ブレード重量による発電出力差はあまりないが、水深300mmと500mmでは、出力特性に若干の違いがあることが分かる。これは、水深300mmでは、水力による推進力が小さい為、自重による慣性力が生じやすい鉄製ブレードの方が、アルミ製ブレードより出力が高くなり、水深500mmでは、推進力が大きくなる為、軽いアルミ製ブレードの回転数が上昇し、出力が高くなったからだと考えられる。

材質	形状	枚数	角度	最大発電量	
				水深300mm	水深500mm
鉄	平板	6枚	0°	約365W	約820W
アルミ	平板	6枚	0°	約345W	約835W

表-2:ブレード材質による発電出力比較

ハ. 製造コスト

本試験で製作した鉄製、アルミ製ブレードそれぞれの1枚あたりの単価は以下のとおりだった。

材 質		構 造	1枚あたりの単価
鉄製	SS400	溶接構造	20,000円
アルミ製	A3003	ハニカムパネル材	44,800円

表-3:材質別価格比較(平成21年度の試作段階における製造価格)

上記内容より、ブレード重量を軽量化することによる発電効率の改善は、あまり期待出来ないが、維持管理の観点から考えると、軽量のアルミ製ブレードであれば、少人数(1~2人)での交換が可能となるメリットがあった。(鉄製では3人以上必要)

但し、本事業では、発電コストの低減をひとつの目標としているので、製造コスト面において、鉄製(又はステンレス製)ブレードとの価格差が問題となり、アルミ製ブレードの採用は見送る結果となった。

③維持管理の簡素化に関する結果

イ. 設置、撤去について

用水路における試験では、およそ1週間程度の仮設置で実施した為、アンカーボルト等を使用せず、水路の天端に置くだけの設置方法とした。また、安全対策として、ベルト荷締機で滑り止め対策を施したが、発電中においても、挙動することは無く、不要であると思われた。よって、基礎工事や復旧作業などを省くことができた為、設置・撤去に費やした時間は、共に約1時間程度であった。

また、水路天端への設置までは、架台に付属の昇降装置により、水車を最大限巻上げておくことで、施工中、水路内の流水を断水しなくても、水車が流水に浸かることが無いので、水圧の影響を受けず、容易に設置できた。(図-5)



図-5:平成21年度施工状況写真

ロ. メンテナンス性について

昇降装置を架台に付属することで、水車を容易に上下させる事ができる為、図-5の設置完了状態から、任意の深さまで水車を水没させることで、発電を開始する事ができ、また、メンテナンス時などで、水車の回転を停止したい場合には、水車を流水から上げれば、停止する事ができた。試験中には、比較試験の為に、複数回ブレードの交換などを行ったが、これらの作業は専用の揚重器具やクレーン車を必要とせずに架台の上で行うことが可能であり、かつ、用水路を断水などする必要がないので、容易にメンテナンスが行えることを実証できた。

ハ. ゴミ等の対策について

下掛式水車は、他の水車形式と比べて低回転で、且つ、水車を完全に水没させない方式の為、ゴミ等の巻込みは少ないが、水車内及び側面の構造を開放化した事で、よりゴミの巻込みが起りにくくなり、試験中及び連続運転中において、ゴミを清掃する必要が無かった。

2) 検討・調査結果

① 発電機の選定について

下掛式水車の場合、負荷運転中水車回転数が10rpm程度の低回転となる為、過年度に行った自主研究時には、アウターロータ形発電機を使用していた。この発電機は、永久磁石とコイルを円盤状固定子及び回転子の外周に配置することで周速比を高め、低回転で高い起電力を得られやすいが、予想以上に発電機の内部抵抗が大きく高い出力を得ることが難しかった。そこで、本事業においては、銅プレート式のラジアル形発電機を採用した。

銅プレート式ラジアル形発電機は、筒状に成形した銅板をコイル代わりとし、その銅板を挟み込むように配列した永久磁石を取付けた軸上ロータを回転させることで発電する仕組みとなっている。よって、磁力線の方向が軸と垂直方向に配置される為、アウターロータ形に比べさらに周速比を高くとれる。また、アウターロータ形発電機の樹脂成型コイルに対し、銅プレート式ラジアル形発電機の銅板成形の方が、製作精度を高められる為、永久磁石とコイルの隙間を近づけることができ、効率の改善と品質を確保しやすいメリットがある。(図-7参照)

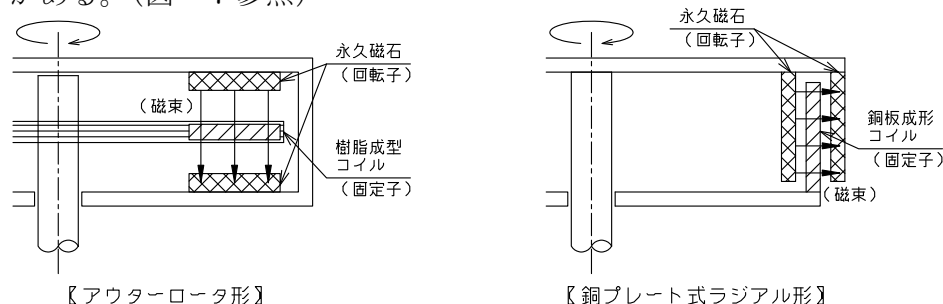


図-7：発電機内部構造概要図

本事業で実施した水路試験では、銅プレート式ラジアル形発電機の採用により、過年度の自主研究では得られなかった高い出力が得られたことから、低回転の下掛式水車でも、十分対応できる発電機であることが証明された。

また、構造上においても、アウターロータ形発電機は、本体ケーシング側を回転させるのに対し、ラジアル形発電機の場合、軸を回転させる構造の為、従来型のモータで使用する汎用ギヤボックス等の増速機との組合せも容易で、実用性、経済性にも優れていた。

上記2種類の発電機は、いずれも固定子に鉄心を使用しないコアレス構造をとっている為、起動トルクが小さく、初動回転がしやすい。その為、小型の風力発電機では、多く採用されているが、本事業で実施した試験より、水力発電の場合は、連続的に一定方向からの力が作用することと、風力に比べエネルギー密度が大きい為に、起動トルクを気にすることなく、初動を開始できることが分った。よって、小水力発電装置においては、専用のコアレス発電機に限らず、市販のIPMモータ(磁石埋込式同期モータ)を発電機として使用することも考えられ、モータメーカーにてIPMモータを発電方向に使用することについての検討及び実験を行って頂いた。その結果、発電状態においてもモータに温度・振動他の異常はなく、永久磁石発電機として使用することは可能であるとの見解を得た。

また、上記に挙げた発電機に比べ、汎用性が高い為、安価に入手でき、耐久性や安全性が高まるメリットがあるので、コスト面や維持管理負担の軽減には、有用であることも判明した。但し、IPMモータを発電機として採用した場合、定格発電に要する回転数が高くなることや、モータメーカーによる補償が得られ難く、使用者・採用者の責任で使用する事となるので、実用化までには、十分な検討及び水車との組合せ実験による実証を要することが分った。

②自然エネルギーの総合活用について

事業着手当初、日本大学 中里教授の過年度における自主研究内容を基に、水力発電用途の水車を風車として活用する方法を検討したが、空気密度は水の密度のおよそ1/800である為、水力に比べ、風力により得られるエネルギーは極僅かであり、水力・風力の併用にはいくつかの問題点があった。

まず、構造としては、本事業で開発を行った下掛式水車を風力発電機とした場合、形状は垂直軸型構造の風車となる為、効率はあまり良くなく、仮に流速2.4m/sで約2.55kW発電できるφ2m×W2mの水車（平成22年度試験実績）を、日本の平均風速3m/sの条件下で、風車として使用した場合には、 $P = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot (V^3) \cdot \eta$ の式より、約13Wしか発電することが出来ない。（ η ：垂直軸型風車の一般的な効率=20%）よって、水車を風車として活用する為には、効率の良いプロペラ型などの構造にする必要があるが、プロペラ型構造を水力発電機として使用した場合、ごみの問題や水中における駆動部の寿命などの問題が生じてくる。

また、例えプロペラ型としても、発電量を確保する為には、大型化も必要となるが、それ以外に起動トルク条件の違いや回転数の違い等、多くの問題点があり、同一の機械で、水力・風力を併用する事は、非常に難しい。

上記のように、機械的な共有は難しいことが分ったが、自然エネルギーの総合活用の方法としては、自然エネルギーで発電した電気を複合的に使用する方法がある。

平成22年度に実施した2連結水車による試験では、水車支軸の両端にそれぞれ発電機を接続し、2つの発電機で発電した電気を1式のバッテリーに同期充電するようしており、連続運転で、その使用が可能であることを実証できた。このように、バッテリーを使用した独立電源方式の場合、太陽光や水力の自然エネルギーで発電した電気出力を、バッテリー電圧仕様に統一しておけば、1つのバッテリーに同期充電することが可能である。これは、小型風力発電機では、太陽光発電とのハイブリッド発電として、一般的に行われていることであるが、安定した電圧及び電力で出力することが出来る水力発電の場合は、より安価なシステムで実現可能である。

また、系統連系方式においても、同様に発電出力をパワーコンディショナの入力仕様に統一しておけば、電気的には1つのパワーコンディショナで系統に連系することは可能である。具体的には、本事業で開発した水力発電装置の架台を活用して、太陽電池パネルの設置が容易であり、水力発電と太陽光発電を系統連系方式のシステムで総合的に活用すれば、非灌がい期におい

て、水力発電の出力が低下もしくは無くなった場合でも、独立電源方式のように、特定単独負荷の使用に関する弊害が生じない為、年間を通して計画的な電源供給を行えると考えられる。但し、系統連系方式の場合は、連系協議が必要であり、設置場所の条件などによっては、実証試験などによる試験成績書が必要になってくる場合もあるので、水力発電機において、系統連系方式による普及には、未だ時間を要することが分った。

2 事業の成果

2.1 成果の内容

本事業にて実施した試験及び検討結果より、以下内容の成果を得られた。

(1) ブレードの改良

円弧形状ブレードを流入角60～70度、流出角150～167度をなすよう、前傾角度に12枚取付けた状態の水車にすることで、発電効率を高められる結果を得た。

また、この改良により、入水時の抵抗が軽減できたと共に、ブレード突入時に発生していた音や上下流側への水の跳ね返りも軽減できた。

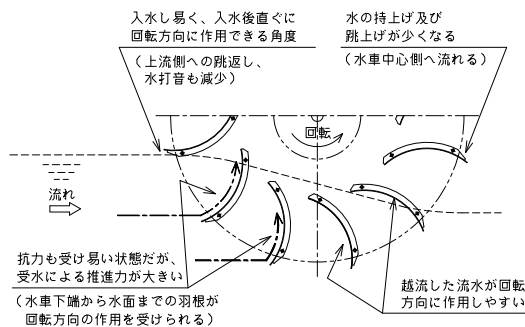
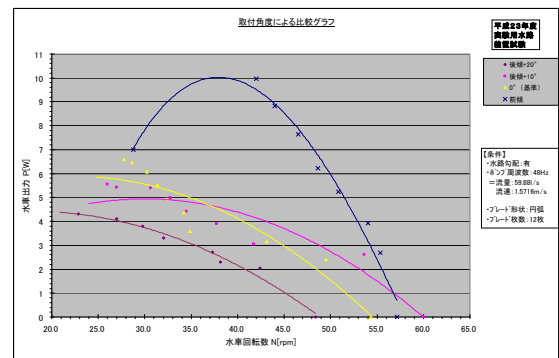


図-8:前傾取付時 回転状況模式図



グラフ-5:取付角度による出力比較グラフ

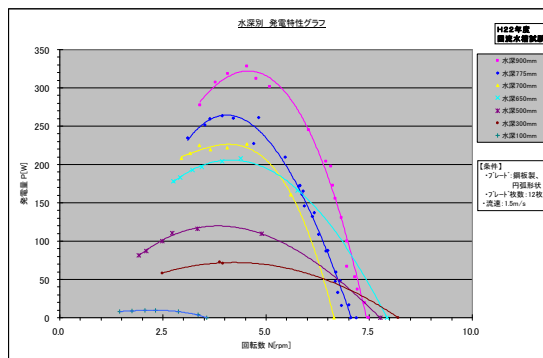
(2) 水車構造の改良 (特許出願中)

水車の側面部及び内円部を開放構造にすることで、水車の水没水深に比例して発電量を向上させる効果が発生し、出力を高められる事が確認できた。(グラフ-6)

これは、水中において水車内部で流水の滞留が起こりにくくなっていることと、水車内部を越流した流水が、下流側のブレードに作用することによるものと考えられた。この試験結果に伴い、水車をより深く水没させられる様に水車フレームや主軸など、構造の改良を行い、従来機よりもさらに高い出力を得ることが出来るようになった。



図-9:開放構造水車



グラフ-6:水没水深による出力比較グラフ

(3) 水車昇降装置の改良 (特許出願中)

初年度の用水路における試験の際、水車昇降装置の有用性が証明された為、更に作業性を高める為に、昇降装置を含む架台を改良して、昇降可動範囲を大幅に広げ、最大巻上げ時には、水車が架台枠内に納まるようになった。これにより、搬送時に、専用の支持台などを設ける必要がなくなり、施工性が向上した。(図-6)

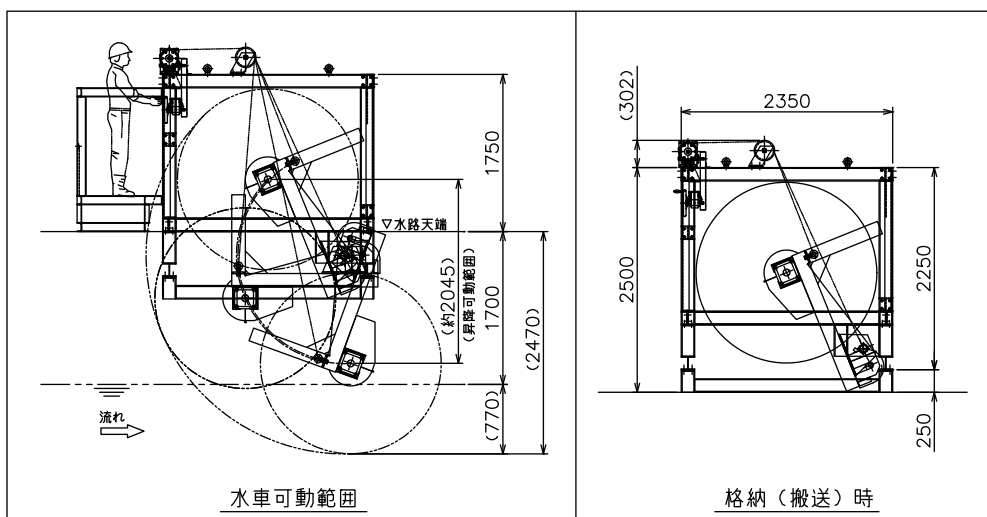


図-6:昇降装置改良後 可動範囲図

また、従来機では人力により昇降操作していたが、電動モータを取り付け、電気信号で昇降操作を行えるようにした。電動モータによる昇降動作及びリミットスイッチによる上下限の停止動作を確認したが、問題なく行うことができ、メンテナンス性の向上を確認できた。

本事業で開発した水力発電機の発電量は、他試験で判明したとおり、水車を常に流水の最適な深さに沈めておくことが重要であるが、この昇降装置の電動化で、その問題を解決することができる。

2. 2 目標の達成度

(1) 成果から得られる効果

1) 発電効率の改善について

各試験において、流速や水車の水没水深の違いなどの条件が異なる為、各水力発電機の効率を、水中に浸かっている水車部分の投影面積を通過する流水の運動エネルギーと、発電機が発電した電力との比と定義し、各試験における発電効率を求めた。

過年度に実施した自主研究における発電効率から本事業の研究開発によって得られた発電効率の向上経緯は以下の通りであった。(表-4~7)

試験時期	発電効率	過年度からの増加率
過年度自主研究	21.5%	—
平成22年度	25.7~30.4%	約1.2~1.4倍
平成23年度	40.3~49.9%	約1.8~2.3倍

表-4：発電効率の向上経緯

流速V (m/s)	高さ変換h (m)	流量 (m ³ /s)	水路エネルギー (kW)	水車受断面 (m ²)	水車受断面 /水路断面	水車受 エネルギー(kW)	試験結果 (kW)	効率
2.0	0.204	10.40	20.80	0.900	0.173	3.600	約0.77	21.5

表-5：過年度自主研究における発電効率

流速V (m/s)	高さ変換h (m)	流量 (m ³ /s)	水路エネルギー (kW)	水車受断面 (m ²)	水車受断面 /水路断面	水車受 エネルギー(kW)	試験結果 (kW)	効率
2.37	0.287	11.38	31.95	1.260	0.263	8.387	約2.55	30.4
2.90	0.429	11.02	46.34	1.230	0.324	14.999	約3.85	25.7

表-6：平成22年度下半期における発電効率

流量Q (l/s)	流速V (m/s)	高さ変換h (m)	水路エネルギー (W)	水車受断面 (m ²)	水車受断面 /水路断面	水車受 エネルギー(W)	試験結果 (W)	効率
約30	1.30	0.086	25.36	0.005	0.225	5.699	2.844	49.9
約45.5	1.46	0.109	48.69	0.009	0.296	14.405	7.152	49.7
約60	1.57	0.126	73.95	0.013	0.335	24.749	9.974	40.3

表-7：平成23年度における発電効率

最終的な発電効率は40~50%となり、過年度自主研究時の効率に比べ、約1.8~2.3倍の改善ができた。

2) 発電コストの低減について

本事業で製造した実験用水力発電機の製造原価実績と各試験における最大発電量より、単位出力価格(kWあたりの価格)を算出、比較すると、以下内容となった。

(過年度自主研究の原価については概算値を示す。また、工事費に関しては、いずれも、1日作業で終了するので、クレーン車及び作業員3人の作業費を想定)

試験時期	過年度自主研究	H21年度実績	H22年度実績	H23年度 試算値
水車サイズ	φ 2.0m × 幅2.0m	φ 1.0m × 幅2.0m (単列水車)	φ 2.0m × 幅2.0m (2連結水車)	φ 2.0m × 幅2.0m (試験結果からの改良想定)
最大発電量	0.77 kW	1.00 kW	3.85 kW	約6.0 kW見込
製造原価	約4,000,000円	4,611,723円	7,912,300円	7,912,300円
工事費	上記に含む	約150,000円	約150,000円	約150,000円
総合計	4,000,000円	4,761,723円	8,062,300円	8,062,300円
単位出力価格	5,194,805円/kW	4,761,723円/kW	2,094,104円/kW	1,335,446円/kW

表－8：単位出力価格

平成21、22年度に実施した用水路試験における最大発電量と試験機の製造原価の実績を基に算出した単位出力価格では、発電効率の改善及び連結構造の開発により、過年度自主研究時に比べ、単位出力価格を低減できている事が確認できた。

また、平成23年度に実施した模型機による試験にて得られた発電効率値（効率25.7%から40.3%の改善）を基に、平成22年度の試験で得られた2連結水車の発電量結果を換算すると、同一条件下の水路では、約6kW（ $3.85\text{ kW} \times (40.3 \div 25.7)$ ）の発電が見込める為、単位出力単価は、約134万円/kWが見込める試算結果となり、投資回収年を5年と想定した目標値である100万円/kWに近づけられる事がわかった。（全量固定価格買取制度で検討されている買取価格20円/kWhを想定すると、10年で回収する場合、157万円/kWであり、現実味のある数字と言える。）

但し、表－8のとおり、単位出力単価の評価では、同一の水力発電機を用いても、水路条件などによって、発電出力が変化すると、大きく左右される為、実際の設置に際しては、水路調査結果による機器選定及び発電量試算を行い、価格との説明を十分に行う必要があると言える。

その際、流量・流速が低い水路においては、H23年度の試験結果より、集水板を設けることで、安価に発電出力を2倍程度向上することができるので、単位出力単価を低減するのに有効な手段であると考えられる。

構造としては、低回転で高トルクを得る下掛け水車では、機械寿命を考えると、構造を簡素化し、軽量且つ安価に製造することは難しかったが、開放構造にすることで、水車部を貫通していた主軸を左右両端の支軸のみにし、ブレードを支持する水車ホイール部を軽量化する事ができた。また、連結可能な水車構造とすることで、支軸や水車ホイール等の製作内容を単列水車と統一化でき、製造部品について量産が可能となる為、コスト低減が期待できる様になった。

3) 維持管理の簡素化について

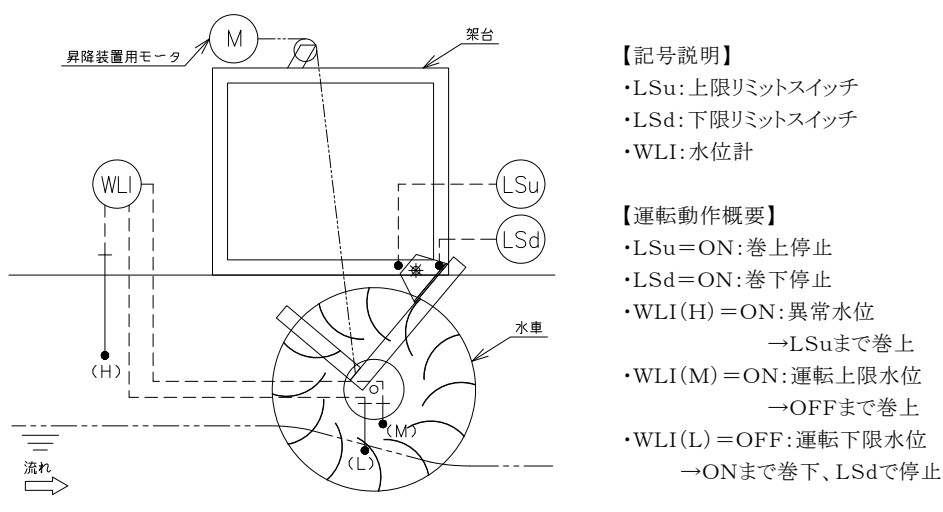
落差を利用した水車などでは、設置に際して水路の構造変更（水車設置用水路の施工や基礎工事）や、施工時に水路の断水等が必要となる場合が多い。

それに比べ、本事業で研究開発した開放型下掛式水車の構造の場合、既存水路の天端に設置するだけの方法である為、水路の構造変更が不要となり、

設置コストの低減が出来ると共に、施工時に水路の断水等をする必要がないので、容易に施工する事が出来る。

また、元々下掛式水車は、他の水車方式に比べ、ゴミの巻込みによる不具合が発生しにくいですが、本事業の開発で、水車の両側面部及び内円部を開放構造に改良した事で、ブレードや主軸へのゴミの絡みつきも軽減する事ができた為、浮遊ゴミに対する対策がほぼ不要となった。

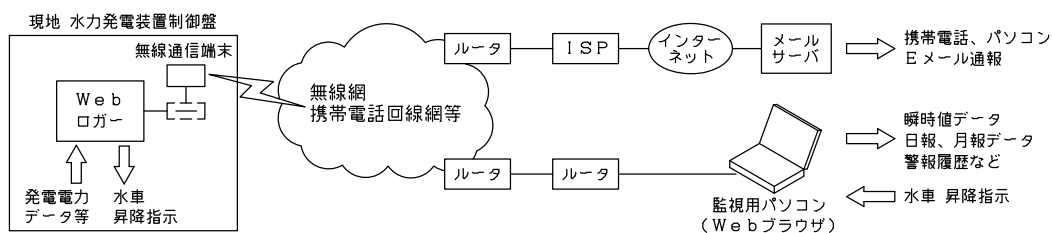
その他に、水車昇降装置を電動化したことで、以下概要図（図－7）に示すように、水位計との組合せによる自動昇降システムを導入することも可能となり、維持管理の簡素化が図れるだけでなく、水車を最適な深さに浸けておくことが出来るので、発電量の安定化も可能となる。



図－7：自動昇降システム例概要図

また、オプションとして、市販のWebロガーを使用することで、発電電力量や発電電圧又は回転数のデータ及び警報等を遠隔のパソコン等に送信することが可能となり、データにより発電量管理や水車の運転状況を、遠隔より監視することも出来る。

一般的なWebロガーには、接点入力を受けられる機能を有するものも多く、この機能と上記昇降システムを組み合わせることで、水車の巻上、巻下操作を遠隔地からも行うことが出来るので、設置後の維持管理の負担を軽減することが可能となる。（図－8構成例参照）



図－8：遠隔監視・遠隔操作システム構成例

(2) 従来技術との比較

1) 比較する従来技術

①従来技術

平成19年3月に実施した自主研究における流水式小型水力発電機

【写真・外形図】



図-9：自主研究時写真

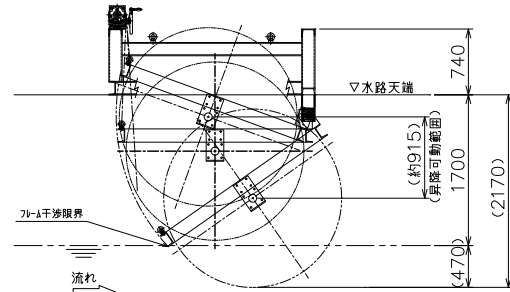


図-10：自主研究時側面図（昇降可動範囲）

【機器仕様】

水車形式：下掛式水車

水車サイズ：回転直径 $\phi 2.0$ m × 幅 2.0 m

ブレードサイズ：高さ 0.45 m × 幅 2.0 m

ブレード形状：バケット形（両側板、内円側底板あり）

ブレード枚数：6枚

水没水深：標準 0.45 m

発電電力：約 0.77 kW 見込（流速 2 m/s）

②新技術

【写真・外形図】



図-11：用水路試験時写真

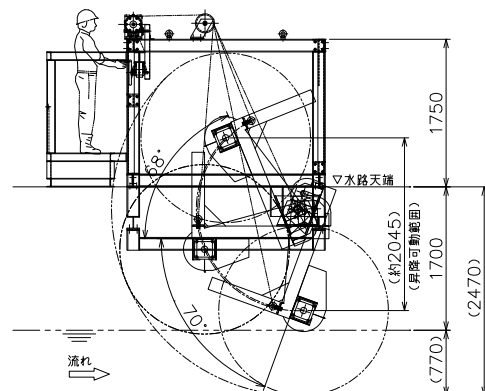


図-12：2連結水車側面図（昇降可動範囲）

【機器仕様】

水車形式：下掛式水車

水車サイズ：回転直径 $\phi 2.0$ m × 幅 2.0 m

ブレードサイズ：高さ 0.5 m × 幅 2.0 m

ブレード形状：円弧形状（両側板、内円側底板なし）

ブレード枚数：12枚

水没水深：標準 0.6 m（0.7 m 程迄運転可能範囲）

発電電力：2.55 ~ 3.85 kW（流速 2.37 ~ 2.9 m/s）

約 3.4 ~ 6 kW 見込（流速 2.37 ~ 2.9 m/s）

2) 従来技術に対する優位性

①経済性

平成22年度までに行った試験の製造原価及び発電実績より算出した単位出力単価では、従来技術と比較して、約1/2.5に軽減した。

また、平成23年度の模型機試験におけるブレードの改良により改善した最終発電効率を基に、単位出力単価を試算すると、従来技術と比べ、約1/4に軽減する事が可能となった。

②工程

設置工程に関しては、いずれも水路の改修工事を必要としない為、1日程度の工事で容易に行える。

③品質

従来機は、発電特性を確認する為の簡易的な作りであった為、連続運転は出来ていなかったが、流水により作用する荷重の見直し及び下掛式水車の特性を考慮した水車構造の改良で、耐久性を向上させ、連続運転の確認を行えた。

④安全性

水車昇降装置を電動化し、電気信号による昇降操作が可能になった為、自動昇降動作が可能となり、水路の増水や機器不具合などの異常事態に対する安全性が向上した。

⑤施工性

従来機では、水車を最大に巻上げた状態でも、架台下側に突出していたが、昇降装置を含む架台の改良で、最大巻上げ時には、水車が架台内に格納できるようになった為、搬送や仮置き時などに専用の支持台が不要となり、施工性が向上した。

⑥周辺環境への影響

ブレードの改良により、ブレードが流水に突入する際に発生していた水を叩く音や上流及び下流側への水の跳ね返りを軽減することができた。

2. 3 成果の利用に当たっての適用範囲・留意点

(1) 適用範囲

従来の小水力発電装置は、パイプラインや、開水路の落差工など設置箇所が限定されていたが、本装置は構造的な落差を必要とせず、上部が開放された水路に設置することが可能であり、農業用水路、放水路、上下水道施設内等の多くの箇所で利用が考えられる。

発電には流速と流量があること、また、発電機の運転効率から年間を通じた通水があることが望ましく、有望な条件を有している農業用水路は、歴史が古く、部分的に流速の得られる箇所が多くて、通年通水を行っているものであるが、具体的な箇所を検討すると慣行水利権のまま通水している箇所が多い。現行の制度では、水力発電のための水利権を設定するためには、慣行水利権を許可水利権化してその従属水利とするか、水力発電のための水利権について独立に許可水利権として調査を行った上で許可を得る以外の方法がなく、円滑な導入のためには、農業用水に従属する水利権について更なる規制緩和が必要である。

(2) 設置に関する留意点

既存の農業用水路などの水路天端に設置するだけで、流水を利用した発電が行える。その為、既存水路の改修工事等が不要で、かつ、設置時に水路の断水などを行う必要がないので、施工に要する工程を大幅に短縮する事ができる。

また、維持管理に関しても、開放型の下掛式水車構造である為、ゴミ等の巻込みによる不具合が発生しにくく、且つ、付属の水車昇降装置を用いることで、メンテナンス時や増水時の対応が可能である。

従来の下掛式水車による発電機では、水車外周に流水をあてて回転力を得る構造となっているが、流水の速度水頭のみから取り出せるエネルギーは僅かである。その為、下掛式水車において、発電量を向上させるには、水車自体を流水に対する遮へい物とし、水車の上下流で位置水頭差を発生させ、その作用で、発電量を高める必要がある。

本研究開発では、幅 4 m、水深 1 m、平均流速 2.7 m/s の水路において、約 4 kW 発電した時で、上流側に 30 cm 程の堰上げとなった。

水路の改修などによる構造的な堰などによる堰上げ効果に比べると僅かではあるが、水路によっては、水面から水路天端までの余剰高の少ない場合もあり、その場合、溢水の恐れもあるので、設置計画の際には、注意が必要である。

また、流量・流速・水深などの条件によって、発電量が大幅に変わるので、上記同様に設置計画時の水路調査が重要となる。

(3) 電気に関する留意点

① 独立電源方式と系統連系方式の選定

本事業で試験を行った場所の付近には、電気を使用する電気機器や電源系統がなかった為、バッテリーを使用した独立電源方式のシステムを構築したが、独立電源方式の場合、発電量の低下または、発電が行えない時の電気負荷使用に関する弊害や、バッテリーが高額である上に、定期交換も必要である為、コストメリットも低い。よって、実用的には、連続的に安定した数 kW の電力を発電できる場合、系統連系方式の方が、発電した電力を無駄なく活用でき、かつ、コストも低減できるメリットがある。また、発電量低下または、無発電状態においても、系統電源側からの供給が行えるので、電気負荷の使用に関しての問題が発生せず、維持管理も容易になると考えられる。

② 系統連系の際の留意点

系統連系方式には、大別して誘導発電機を用いて誘導発電する方式と永久磁石発電機の出力を、専用インバータを介して、系統に同期する方式があるが、低回転で発電を行う下掛式水車の場合、前者の方式では、増速量が大きく、また、起動時の速度制御が必要となる為、後者の方式が有効である。なお、専用インバータによる系統への同期には、通常、特殊な電源設備と系統連系保護設備が必要となるが、近年普及化が進み安価になっている太陽光発電用パワーコンディショナを流用する事で対応可能である。

実例として、同様の発電方式で発電を行う小型風力発電機や、縦軸クロスフロー式の小水力発電装置で、太陽光発電用パワーコンディショナの転用による

低圧電源系統への連系実績があるが、太陽光発電用パワーコンディショナを水力発電機との組合せで使用する場合には、JET認証の対象外となる為、設置の際、都度に電力会社との連系協議が必要となり、計画段階から事前の準備が必要となる。特に接続先の需要家端の容量が少なく、水力発電機で発電した電力が系統へ逆潮流する場合には、協議に時間を要する場合がある。

③ 系統協調方式の留意点

市場調査の結果、使用する電気負荷に対し、発電電力が不足した場合、その不足分を系統電源との協調で補う、系統協調方式というものがある。この方式は、他社特許出願中のシステムである為、使用に関しては、メーカーとの協議が必要となるが、発電した電力を系統へ送電する可能性がない為、系統連系保護設備が不要となり、納入までの期間短縮及び機器費用削減が期待できる。

出力方式	長所	短所
独立電源方式	バッテリーを備えた方式の為、商用電源設備のない場所でも利用が可能。	バッテリーを用いる為、使用量及び発電量に制限がある。初期費用及び交換費がかかる。
系統連系方式	バッテリー不要の為、コスト低減が図れる。また、発電した電気を無駄なく活用できる。	系統連系協議が必要。小水力用のパワーコンディショナがない為、納入まで期間を要する。
系統協調方式	系統連系協議が不要なので、納入までの期間短縮及び聞き費用削減の効果がある。	他社特許出願中のシステムな為、使用に関してメーカーとの協議が必要。

表－9：出力方式による長所と短所

上記及び表－9の通り、水力発電機により発電した電力の利用方法には、いくつかの方式があり、設置場所の諸条件により、綿密な打合せ及び検討が必要となってくる。目安としては、数十～数百Wの発電しか出来ない水路や、付近に電源設備のない場所においては、バッテリーを備えた独立電源方式とし、街路灯や鳥獣害防止電気柵などの単独電気負荷との組み合わせで使用することが考えられ、数kWの発電が見込める水路においては、系統連系方式や系統協調方式による電力供給を行う方法がよいと考えられる。

3 普及活動計画

3.1 想定される利用者

従来の小水力発電装置は、パイプラインや、開水路の落差工など設置箇所が限定されていたが、本装置は構造的な落差を必要とせず、上部が開放された水路に設置することが可能であり、農業用水路、放水路、上下水道施設内等の多くの箇所での利用が考えられる。また、本装置は簡易な構造で、メンテナンスも容易であることから、発展途上国の農村部の電源としても有望である。日本水土総合研究所では、独自に東南アジアにおいて設置が可能であるか検討を行っており、本研究で製作した試作機を現地に持ち込み、試験を継続する予定である。

農業用水路などの公的役割をもった水路を利用した発電の場合、水路を管理する土地改良区や市町村等が利用主体となり、街路灯、管理灯、電気柵などの独立電源としての利用や、系統連系により売電することで管理費の補填として利用することが考えられる。

また、その他利用者としては、放流水や上下水道施設及び工場の敷地内において、水路を保有する事業者や企業自身が電源として利用することが考えられる。さらに、本装置は、既設水路の改修を必要とせず、可搬性に優れていることから、短時間での設置が可能である。大規模災害により電力インフラが被害を受けた際に、復旧が遅れることが想定される農村地域の避難所などの緊急用の独立電源としての利用も可能である。

3. 2 利用者への普及啓発等の方法

小水力発電装置は、あくまでも発電装置であり、発電した電気の最適な利用方法については、設置する地域により条件が異なり、利用者側で判断することが難しい。

よって、発電装置を設置する水路において、発電できる電力量と需要の状況、系統連系に必要な施設までの距離などを検討し、総合的な利用計画を含めた提案をしていくことが普及の上で重要となる。

(1) 日本水土総合研究所からの発信

流水路を利用した水力発電については、各地域で注目され、各種試験装置が試作・検討されていることから、それぞれ関心が高いことが想定される。日本水土総合研究所には、小水力発電に関する問い合わせが多く寄せられており、それに対する対応やホームページなどを通じて、本装置についても事例の一つとして紹介していくことが可能である。また研究所の業務において地域の小水力発電のポテンシャルを検討する業務においては、本装置の能力・製作費などをデータとして使用し、事業実施の検討材料としている。

(2) シグナス社からの発信

シグナス社は、小型風力発電装置の販売について実績を有しており、小型風力装置の設置について数多くの受注を得ている。本装置についても、自然エネルギーに対応した商品を開発・販売した実績のある社の製品としての引き合いが期待される。

シグナス社においては、小型風力発電機とバッテリーおよび街灯をセットとした商品の販売、設置実績や、その他にも独立電源方式によるシステム提案を行ってきたノウハウを有しており、当社のノウハウを生かした、水車と照明装置（街路灯、管理灯）を組み合わせたパッケージ商品などを提案することが考えられる。また、系統連系方式についても、小型風力発電機での連系実績があり、連系協議のサポートや、必要な設備についての知識および技術を有しているので、設置する水路における発電可能量を試算した結果から、利用方法について幅広く提案していくことが可能である。

小水力発電装置は、あくまでも発電装置であり、発電した電気の最適な利用方法については、設置する地域により条件が異なり、利用者側で最適なものを選定することは難しい。よって、発電装置を設置する水路において、発電できる電力量と需要の状況、系統連系に必要な施設までの距離などを検討し、総合

的な利用計画を含めた提案を行っていくことが普及の上で重要であり、特定の電力需要への供給を検討する場合には、太陽光・風力を含めた総合的な再生可能エネルギーの供給を検討することなどが考えられる。

また、今後の展開としては、水力発電は風力発電と比べ、安定した発電を得ることができ、発電計画を立てやすいので、系統連系による利用普及が望ましいと考えている。その為には、電力会社との事前連系協議をスムーズに行えるように、小水力発電との組合せで使用するパワーコンディショナの開発およびJET認証の取得が必要になってくるものと思われる。

なお、電力会社との事前協議で利用開始までに長期間有する場合や、小水力発電による系統連系の整備が整うまでは、発電した電力を系統へ送電する可能性がない系統協調方式を用いることで対処可能となるので、使用について特許出願者であるメーカーとの協議を進め、提案の幅を広げていきたいと考えている。

3. 3 利用者に対するサポート体制、参考資料等

小型風力発電機をはじめ、自然エネルギー発電機器の販売、設計、施工実績のある株式会社シグナスを主体とした営業活動の展開及び水車選定、システム設計を行うほか、日本水土総合研究所が開発成果について、積極的に広報を行い、農村部での水力発電の普及に努め、また、製造に関しては、協力工場により行う予定である（営業及び製作に関する協力体制については、現在協議中）。

農村振興の観点からは、各地域で導入を図る際には、地域で維持管理および簡易な補修を行ないながら運営していくことが求められることから、シグナス社が各地域の鉄工所を協力工場として連係し、設置することも想定できる。地域の鉄工所を活用することにより、地域の雇用確保に貢献するとともに、維持管理をサポートする体制を構築する効果が期待できる。

3. 4 特許・実用新案等の申請予定

(1) 申請者（出願者）

新技術研究開発組合である株式会社シグナス、財団法人日本水土総合研究所、株式会社住軽日軽エンジニアリングによる共同出願予定

(2) 申請時期

平成24年1月23日に出願（出願番号：特願2012-11791）

4 研究総括者による自己評価

項目	自己評価	自己評価の理由
研究計画の効率性・妥当性	A	当初工程からの変更はあったが、段階的に研究開発が行え、効率的に進められた。また、発電効率の向上により、実用化の目処が得られ、発電機やシステムに関する検討も十分に行えた。
目標の達成度	B	発電効率の改善、維持管理の簡素化については、達成できたが、発電コストの目標値である100万円/kWには、さらなるコスト削減の追及が必要である。
研究成果の普及可能性	B	商品化に向けての再設計及び実証試験などが必要であると考えられるが、従来技術に比べ、実用性が高められ、普及の可能性を感じられる結果を得た。
<p>総合コメント</p> <p>本研究開発事業では、「発電効率の改善」に重点をおいて開発を行い、従来技術に対し、飛躍的な向上が行えた。それに伴い、発電コスト（単位出力価格）も低減できたが、目標値にはおぼなかつた。既存水路の流水を利用した水力発電の方法には、幾つかの機種が考えられるが、水路の改修などを必要としない、下掛式水力発電機は有用な機種であると考えられる。今後、コスト削減を考慮した商品設計を行うと共に、利用者が取り扱いやすいシステム設計を重ね、普及に努めたい。</p>		

注) 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段階で記入する。

5 今後の課題及び改善方針

(1) 商品化に向けての設計

本事業で製作した機器に、商品化を視野にいたした改良を施し、長期的な連続運転による実用性及び耐久性の実証試験を行う必要がある。

また、発電した電気の利用方法も含めたシステム設計を行う必要がある。

(2) 予想発電方法の確立

本事業の試験結果より、水車サイズ及び水路条件から予想発電量を試算する方法の目処はたつたが、流量・流速変化による効率の変化傾向や、流速の計測方法などを把握しきれていない。よって、実験用水路装置での模型機による試験結果を基に、本事業で試験を行った用水路とは異なる条件の水路において、発電計測を複数回実施し、水車能力の把握と発電量試算方法の実証を行っていく予定である。また、実証試験を実施する際には、現地水路の流量・流速・水深などの調査方法についても、器具の選定から計測箇所及び計測方法などを確立していく予定である。

(3) コスト削減の追及

発電効率の改善及びコスト削減を含めた商品設計を行い、発電コストの低減を追及する。また、システムとしてのコスト削減の為に、系統連系でのシステム化を目指し、小水力発電機と組合せたパワーコンディショナの開発及びJET認証の取得まで視野に入れた、系統連系協議の準備を進めていく。

以上。

試験項目	平成21年度 用水路における試験		
試験場所	関東農政局中信平農業水利事業所管内梓川左岸幹線／梓川水力発電所下流付近		
試験日	平成22年3月8日～16日		
水力発電機 概略仕様 水車型式 開放型下掛式水車 構成 水力発電機（水車、増速装置、発電機）、計測装置盤、電子負荷装置盤×各一式 主要寸法 水車：幅 約1m×回転直径 約φ2m、ブレード：幅 約1m×高さ 約0.5m			
試験課題と目標 ①発電効率の改善：ブレード枚数、材質、形状、取付角度の違いによる発電出力の比較を行い、最適な形状を求める。 ②水車の軽量化：アルミ製、鋼板製のブレードでの発電出力比較を行い、軽量化の効果を確認する。 ③維持管理の簡素化：付属の昇降装置による設置・撤去・メンテナンス性の確認を行う。			
結果及び考察 ・ブレード枚数、材質、形状、取付角度の違いによる比較グラフを得て、発電出力傾向を把握した。 形状：平板形状に比べ、円弧形状の方が高い出力を得られた。 角度：平板形状では、水車下端位置で後傾25度になる角度で、最も高い出力を得られたが、円弧形状には劣る出力だった。 枚数：6／8／12枚の比較では、12枚の状態でもっと高い出力を得た。また、枚数が多くなるに従い、水車の脈動が小さくなり、安定的な発電を行えた。 材質：重量差による発電効率の改善は、期待できなかったが、交換などに関しては軽量のアルミ製の方が優位であった。但し、鋼板製との価格差に問題があり、総合的に考えてもブレード軽量化によるメリットが低い為、採用は見送った。			
【発電出力特性 比較グラフ】			
<ul style="list-style-type: none"> 水車の水没水深を深くしていくと、出力が増加することが判明した。 最大出力は、2.5～3m/sの流水に、円弧形状ブレードを12枚取り付け付けた水車を約0.5m水没させた条件で、約1.5kWの発電出力を得た。 流水を断水する事なく設置が行え、既存水路の天端に置くだけの施工であった為、設置、撤去に費やした時間は、共に1時間程度で、容易に施工出来ることが実証できた。 また、ブレードの交換を複数回行ったが、水車昇降装置を使用することで、流水を止める事なく交換可能であり、メンテナンス性にも優れることが確認できた。 			
<p>【設置状況】</p>	<p>【アルミ製/円弧ブレード】</p>	<p>【アルミ製/平板ブレード】</p>	<p>【鋼板製/平板ブレード】</p>

試験項目	平成22年度上半期 用水路における試験
試験場所	関東農政局中信平農業水利事業所管内梓川左岸幹線／梓川水力発電所下流付近
試験日	平成22年9月13日～17日
<p>水力発電機 概略仕様 (平成21年度製造の試作機を改造)</p> <p>水車型式 開放型下掛式水車</p> <p>構成 水力発電機 (水車、増速装置、発電機)、計測装置盤、電子負荷装置盤×各一式</p> <p>主要寸法 水車：幅 約1m×回転直径 約φ2m、ブレード：幅 約1m×高さ 約0.5m</p>	
<p>試験課題と目標</p> <p>①発電効率の改善：水車側面及び内円を開放構造にしている事による発電出力への影響を確認する為、水車側面及び内円部に仮の仕舞板を取り付け、発電出力の比較を行う。 また、円弧形状のブレードにおいて、12枚以上の発電出力を確認する為、水車の一部を改造し、16/24枚時の出力を確認し、最適枚数を決定する。</p>	
<p>結果及び考察</p> <p>・開放構造と側面及び内円を塞いだ構造の組合せ及び発電量の出力結果は以下の通りで、開放状態の構造が最も高い出力を得られた。</p> <p style="text-align: center;"> 内円仕舞 < 内円仕舞 < 内円開放 < 内円仕舞 < 内円開放 両側面仕舞 < 片側面仕舞 < 両側面仕舞 < 側面開放 < 側面開放 (発電量小) → (発電量大) </p> <p>また、開放構造の場合、水車を深く沈めるほど、比例して高い出力を得られたが、内円部仮仕舞板を取り付けると、水車の水没水深変化による発電量の上昇が生じなくなることが判明した。</p> <p>これは、水中において水車内部で滞留が起こりにくいことと、クロスフロー型水車のように、水車内部を越流した流水が、下流側のブレードに作用しているものと考えられ、開放構造による優位性が検証できた。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="657 958 981 1205"> <p>水深別 発電量比較グラフ (仕舞板：内円、両側面) ■ 抵抗値20Ω</p> </div> <div data-bbox="992 958 1316 1205"> <p>水深別 発電量比較グラフ (仕舞板：内円のみ) ■ 抵抗値16.7Ω</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="657 1220 981 1467"> <p>水深別 発電量比較グラフ (仕舞板：両側面のみ) ■ 抵抗値14.3Ω</p> </div> <div data-bbox="992 1220 1316 1467"> <p>水深別 発電量比較グラフ (仕舞板：なし) ■ 抵抗値16.7Ω</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>【仕舞板有無と水没水深の関係グラフ】</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> ・12枚の状態が最も高い出力を得られ、平成21年度の試験と併せ、6/8/12/16/24枚の比較をしても、12枚が最適枚数であるという結果となった。 ・下流にある水門の開閉操作で水位調整を行い、流速を変化させて、低い流速帯での発電量計測をしたが、水位が安定せず、設定流速での計測は、長時間行えなかった。但し、流速による発電特性の傾向が把握出来たので、試験結果より、予想発電試算方法について検討できた。試算方法の検証については、次回以降の試験結果と比較し、検討する事とした。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="194 1774 481 1989"> <p>【側面 仮仕舞板】</p> </div> <div data-bbox="507 1774 801 1989"> <p>【内円側 仮仕舞板】</p> </div> <div data-bbox="817 1774 1104 1989"> <p>【開放構造、ブレード12枚】</p> </div> <div data-bbox="1129 1774 1423 1989"> <p>【開放構造、ブレード24枚】</p> </div> </div>	

試験項目	平成22年度下半期 回流水槽における試験
試験場所	株式会社三井造船昭島研究所内 回流水槽
試験日	平成23年2月2日～4日
<p>水力発電機 概略仕様 (下記連結可能構造の水車を新規製作)</p> <p>水車型式 開放型下掛式水車 (水車支持アームにスイング可動の構造を追加)</p> <p>構成 水力発電機 (水車、増速装置、発電機)、計測装置盤、電子負荷装置盤×各一式</p> <p>主要寸法 水車：幅 約1m×回転直径 約φ2m、ブレード：幅 約1m×高さ 約0.5m</p>	
<p>試験課題と目標</p> <p>①発電効率の改善：前回までの試験で、水車の水没水深により、発電量が増加する事が判明した為、流水の妨げになっていたフレーム構造を改造し、水没水深別での発電量を把握する。また、上半期に行った流速別の発電比較では、水位が安定しなかった為、回流水槽による流速別の試験結果を得て、予想発電量試算方法について検証する。</p> <p>③維持管理の簡素化：増水などの急な水位上昇に対応する為、水車を流水方向と平行にスイング可動させる機構を追加改良し、その効果を確認する。</p>	
<p>結果及び考察</p> <ul style="list-style-type: none"> 水没水深を100/300/500/650/700/775/900mmに変化させ、発電特性グラフを得て、確認したところ、深く浸ける程に出力は、比例して上昇し、水車主軸付近の水深900mmの状態でも最も高い出力を得た。 但し、水車下端においてブレードが全て水没するあたりから、水車の回転数は低下するが、発電量は増加する低回転高トルク状態となり、駆動部の寿命への影響や急な水位上昇による発電機の水没などを考慮すると、水没水深は700mm程度までが望ましいと考えられた。 本試験で使用した回流水槽の性質上、水車を浸けた際に発生する、水車上流側の水位上昇が抑えられ、用水路試験時と同じ流速でも、発電出力が低かった。 このことから、流水利用型といわれる下掛水車でも、流水の速度エネルギーだけではなく、水車を浸けた際に発生する水頭差も利用した発電を行っていることが明確になり、より発電効率を向上させる為には、重要なことであると判明した。 スイング機構は、ブレードの位置によって、起こる流水の作用水圧の違いで、振り子の様な挙動が発生し、発電出力も不安定になった。また、流速が早くなると、左右の揺れも発生したので、用水路の試験には、不採用とした。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="817 779 1417 1169"> <p>水没水深別による発電特性グラフ</p> <p>縦軸：発電量 [W] (0-350) 横軸：回転数 N [rpm] (0.0-100)</p> <p>条件：ブレード：鋼板製、円錐形状、ブレード枚数：12枚、流速：1.5m/s</p> <p>データ系列：水没500mm (青), 水没775mm (紫), 水没700mm (黄), 水没900mm (赤), 水没300mm (緑), 水没100mm (黒)</p> </div> <div data-bbox="933 1176 1311 1205"> <p>【水没水深別による発電特性グラフ】</p> </div> <div data-bbox="817 1236 1417 1626"> <p>流速別による発電特性グラフ</p> <p>縦軸：発電量 [W] (0-600) 横軸：回転数 N [rpm] (0.0-12.5)</p> <p>条件：ブレード：鋼板製、円錐形状、ブレード枚数：12枚、水深：775mm (Dは実測水深)</p> <p>データ系列：流速2.0m/s (紫), 流速1.5m/s (青), 流速1.0m/s (黄), 流速0.7m/s (赤)</p> </div> <div data-bbox="954 1630 1289 1659"> <p>【流速別による発電特性グラフ】</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div data-bbox="188 1792 478 2011"> <p>【流速別確認計測中】</p> </div> <div data-bbox="502 1792 793 2011"> <p>【水車回転状況確認】</p> </div> <div data-bbox="817 1792 1107 2011"> <p>【水深別確認/100mm】</p> </div> <div data-bbox="1131 1792 1422 2011"> <p>【水深別確認/900mm】</p> </div> </div>	

試験項目	平成22年度下半期 用水路における試験
試験場所	関東農政局中信平農業水利事業所管内梓川左岸幹線／梓川水力発電所下流付近
試験日	平成23年3月5日～12日
<p>水力発電機 概略仕様 (平成22年度上半期試作機と下記水車の2基で試験を実施)</p> <p>水車型式 開放型下掛式水車 (回流水槽試験での水車を2連結した構造)</p> <p>構成 水力発電機 (水車、増速装置、発電機)、制御盤、バッテリー盤×各一式</p> <p>主要寸法 水車：幅 約2m×回転直径 約φ2m、ブレード：幅 約1m×高さ 約0.5m</p>	
<p>試験課題と目標</p>	
<p>①発電効率の改善：水路幅に対してより最適な発電を行う為に、水車をホイール部分で連結にし、幅2mの水車として、既存単列水車との発電量比較を行い、発電量の増加率と連結構造の耐久性を確認する。また、2基の水車を同一水路内に設置し、設置間隔による上下流への影響を確認する。</p> <p>③維持管理の簡素化：電動化した水車昇降装置の動作確認を行い、メンテナンス性の向上を確認する。また、2連結水車にて、2日間の連続運転を実施し、発電状況と耐久性を確認する。</p>	
<p>結果及び考察</p>	
<p>・単列水車を2連結して水車幅を2倍にした2連結水車では、単列水車に比べ2倍以上の発電出力を得ることが出来た。</p>	
<p>これは、水路幅4mに対し、水車の占める幅が増えたことで、水車による堰上げ効果が増し、水頭差による落差エネルギーが加算されたと考えられる。</p>	
<p>・上流側に単列水車、下流側に2連結水車を設置し、下流側で2連結水車を発電中にした場合の上流側への影響を確認したが、設置間隔を8.5mまで離しても、上流側への影響が確認された。この結果は、下流側の水車が発電中することによる堰上げ効果が影響していると考えられる。</p>	
<p>また、下流側の水位変動は3m程で復元しているものの下流側の2連結水車でも、発電量の影響が確認された。これは、上流側に水車があることで、水路中心位置での乱流が発生していると考えられた。</p>	
<p>・電動化した昇降装置の動作及びリミットスイッチによる上下限の停止動作は問題なく行うことができ、メンテナンスが容易に行えるようになった。</p>	
<p>また、センサー類との組合せも可能となるため、システム検討を行うこととした。</p>	
<p>・連続運転では、平均3.5kW以上の運転を1日、3.6kW以上で1日行い、合計で約171kWhの発電電力量を得た。途中、発電量の乱れがあったが、水位変動であったことが確認できたので、安定した発電ができたと言える。運転後の機械点検でも、チェーンの伸びは確認されたが、大きな損傷などは見あたらなかった。</p>	
<p>【2連結水車と単列水車の発電出力比較】</p>	
<p>【連続運転記録】</p>	
<p>【据付状況】 【2連結水車 運転中】 【単列水車 運転中】 【連続設置間隔の確認】</p>	

試験項目	平成23年度 実験用水路装置における試験
試験場所	株式会社フジックス内 実験用水路装置
試験日	平成23年12月5日～21日 (内11日間)
水力発電機 概略仕様	
水車型式	開放型下掛式水車 (模型機×2種類: 角度可変用水車/2段取付用水車)
構成	水車×2式 発電機部 (増速装置、発電機)、制御盤、電子負荷ユニット×各一式
主要寸法	水車: 幅 約0.2m×回転直径 約φ0.5m
	ブレード: 幅 約2m×高さ 約0.125m
試験課題と目標	
<p>①発電効率の改善: 平成22年度の各試験での回転状況より、円弧形状のブレードでも、流水へ入る際と流水から出る際に抵抗があり、回転の妨げになっている可能性が判明した為、円弧形状による取付角度の比較と、形状による比較試験を行い、発電効率の増加率を確認し、最適なブレード形状を決定する。</p> <p>また、水路を狭める集水板の効果を確認し、事業着手時より検討していたケーシングによる発電量の増加率を確認する。</p>	
結果及び考察	
<p>・円弧形状による取付角度の比較では、平成21年度に実施した平板形状の取付角度とは異なり、前傾角度に取付けた状態で、従来機の取付角度よりも1.1～1.5倍も高い出力を得られた。</p>	
<p>回転状況の違いを模式図にまとめ、検証した結果、右図内容で出力が向上していると考えられ、この結果を基に再設計をして、ブレード形状を決定することができた。</p>	
<p>最終形状での、効率は作用している流水エネルギーの約40～50%となり、過年度における自主研究で得られていた効率約20%の結果を2倍以上も向上させることが出来た。</p>	
<p>・小型ブレード2段取付形状では、水車回転数が増し、流量・流速の条件によっては、従来型の円弧形状ブレードよりも、高い出力を得られたが、ブレード作用面積が小さくなる為、過負荷状態による回転数及び出力の低下が起こりやすく、実機での採用は難しいと考えられた。</p>	
<p>・V型形状のブレードについては、平成21年度に実施した平板形状の結果とほぼ同等の結果で、また、前傾角度に取付ける効果もほとんどなかった。</p>	
<p>・水路幅を狭める集水板の設置効果は非常に高く、約1.5～2倍の出力増加が確認できた。また、設置の角度と水車までの距離を調整するだけで容易に再現することが出来たことから、実機においても架台への取り付けで対応でき、既存水路への設置などの別途工事が不要なく、設置が出来ると考えられる。</p>	
【前傾取付時の回転状況模式図】	
【取付角度による出力特性グラフ】	
【集水板の有無による出力特性グラフ】	
【前傾角度取付状態】	
【2段取付形状】	
【V型形状】	
【集水板 設置状態】	