

令和元年6月27日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K07965

研究課題名(和文) 水源と農地が連携した農業用水利システムにおける自律型小水力発電システムの開発

研究課題名(英文) Development of autonomous small hydroelectric system in the agricultural water profit system that the water source and a farmland cooperated

研究代表者

中矢 哲郎 (Nakaya, Tetsuo)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農村工学研究部門・ユニット長

研究者番号：60414447

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：農業用開水路において、水制の制御により、圧力エネルギーを上昇させることで効率的に流水から発電制御を行う小水力発電システムの試作版を開発した。パイプラインシステムにおいては、配水槽方式のパイプラインにおける減圧箇所において水力発電として利用が見込まれる余剰エネルギーを算定した。また、配水槽方式パイプラインを再現した水理模型において、管内圧力を監視しながら、制水バルブによる制御により発電を行うシステムを考案した。これらの小水力発電の監視制御を実現するためにPLCとSCADAによる水・エネルギー監視制御システムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの小水力発電は既存の落差工や急流工への設置に絞られてきたが、圃場から水源までの水利用状況を監視し、幹線から末端圃場に近い小規模な水路まで利用可能エネルギーを抽出し自律制御により必要な発電用水を創出するところに意義がある。また、開水路においては流れの状態をモニタリングしつつ、水制や堰板の自律制御により発電に必要なエネルギーを生み出す手法や、パイプライン系においては、水利用状況から利用可能エネルギーを見つけ出すモニタリング手法とバルブ制御を組み合わせることで発電用水を自律的に創出する手法を開発することに学術的な特徴がある。

研究成果の概要(英文)：A trial edition of an electrical generating system possible to generate electricity from running water efficiently by the thing which makes pressure energy rise by control of spur dyke in an open channel for agriculture has been developed. The surplus energy by which generation of electricity is expected in a decompression part in the pipeline of the header tank system was calculated in pipe line system. The system to generate electricity by control by a system water valve was contrived while watching the jurisdiction pressure in the hydraulic model which reproduced the header water tank system pipeline. Supervisory control system of small hydro by PLC and SCADA was built to achieve watch control of these small hydroelectric.

研究分野：農業水利学、水理学

キーワード：小水力 農業水利システム 管水路 パイプライン 垂直軸水車

1. 研究開始当初の背景

農村地域における大規模な地形改変を必要としない再生可能エネルギー源である小水力発電は、これまで農業水利施設における既設の落差工や急流工の落差を利用した 100kWh 出力以上の発電手法が開発されてきたが、普及においては設置場所が限られるという問題がある。一方、開水路の流水エネルギーの利用や、パイプラインやサイホンによる導水により発電に必要な落差を得る方法や、調圧水槽の余剰圧力を利用する方法は、ほとんど未利用で残されている。また、圃場から水源まで連携して利水状況を監視できるようになることで、幹線水路から末端の圃場に近い水路まで幅広く利用可能エネルギーを抽出できる可能性が生じてきている。さらに水利用状況に応じて自律的に発電することができれば、利水と発電が調和した水管理システムを構築できることに着想を得ている。これらの小水力を農業水利システムから得るには、取水量の変動に応じて発電用エネルギーが得やすいように水位や流量を制御する小水力発電システムを開発することが望まれる。

2. 研究の目的

水源から農地にいたる開水路管水路複合系の農業水利システムにおいて、利水状況の監視結果から、バルブや堰、水制により発電用水を創出する手法を、水理解析と水理模型実験により解明する。開水路系における流水エネルギー利用型の発電システムでは流水中の水制や堰板の自律制御により圧力エネルギーを上昇させることで効率的に発電制御する装置を開発する。管水路による導水型の発電システムではバルブによる取水量を自律制御する発電装置を開発し、出力特性、実用性を水理模型実験により明らかにする。

これらの結果を基に、自律制御が可能で、かつ利水状況の監視機能を有する監視制御システムを SCADA により開発する。開発したシステムは、模型実験により試験的に運用し、システムの運用性を検証する。

3. 研究の方法

水源から農地にいたる開水路管水路複合系の農業水利システムを対象に、①利水状況を把握し、バルブや堰、水制により発電用水を創出する手法を、水理解析モデル・水理模型実験により開発する。②PLC 制御を導入した開水路系における流水エネルギー利用型、および管水路系における導水型の自律型小水力発電システムを開発する。③これらの結果を基に、用水量の監視を行い農業用水と発電用水を調整しつつ、自律制御により小水力発電を行う水・エネルギー管理システムを SCADA により構築する。開発したシステムは、模型実験により実際に運用し、現地の水管理形態を考慮した制御手法を検証する。

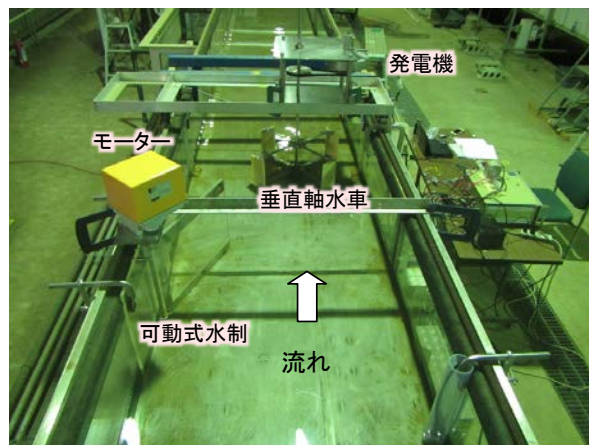


図1 開発した可動式水制付き垂直軸水車

4. 研究成果

(1) 水源から農地にいたる開水路管水路複合系の農業水利システムにおいて、未利用として残されている開水路の流水エネルギーに着目し、水利施設における小水力発電の適用箇所の現地調査を行った。その結果、支線水路の取水口前面の堰上げ施設を制御することにより、上下流の圧力差と高流速部分を小水力エネルギーとして利用できることがわかった。

そこで、水路内における堰上げ領域の自動制御が可能な可動式水制を開発し、堰上げによる圧力差の制御と最大流速の制御を可能とした。この堰上げ領域直下の高流速域に垂直軸水車を設置することで流速エネルギーと圧力エネルギーの両方を効率的に利用できる装置を考案した(図2)。

実スケールにほぼ近い規模の水路幅 0.9m、長さ 12m の回流水路を用いた水理模型実験より、可動式水制周辺の水理特性、水車の出力特性、発電効率を検討した(図2)。水車には 4 枚ブレードの垂直軸揚力型水車であるダ

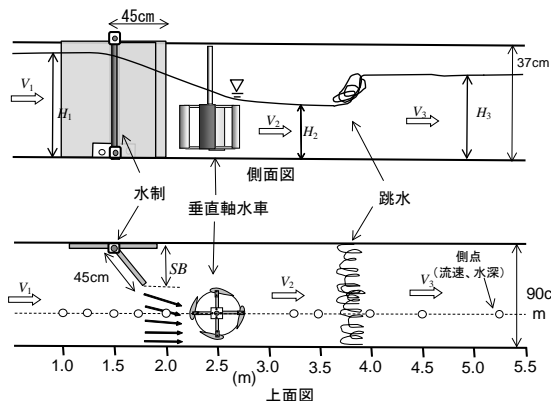


図2 水理模型実験における水制をともなう水車の実験の概要

リウス水車を採用した。実験の結果、水制幅が大きいほど堰上げ効果が大きくなり、その直下で水位が低下し、大きな圧力差が得られ（図3）、水制なしの場合には低出力で発電不可であった 0.8m/s 以下の低流速領域でも、発電できるようになることを示した。これらの結果は、農業用水として取水するために必要な堰上げ高を保ちつつ、その落差を利用して発電を行う、利水と発電が調和した発電手法として意義があることを示す。また可動式としたが、今回対象とした 1m/s を最大とした流況においては、流体力に起因するモーメントを受ける可動部分は図1に示すような小型のモータで制御可能であることを示した。また、可動式であるため、水路のメンテナンス時は水制幅を狭め、取水時には再度開くという制御も容易であることから実用性が高いことも重要である。

(2) 開水路の水制やゲート周辺の流水利用可能な流速や圧力差を再現するために、2次元乱流モデルである SDS-2DH モデルによる流れ解析モデルを作成した。解析モデルは可動式水制の制御により、小水力発電に利用可能な流速、圧力差の検証を行うために、平面二次元上で可動式水制を再現できるモデルとした。図4の水深の解析結果を見ると、水制によりセキ上げが生じ水制前後で圧力差が生じている現象を再現できている。流速の解析結果を見ると、水制下流側の部分で高流速が発生している様子がわかる。この部分において圧力エネルギーと運動エネルギーの両方を有効に利用することが可能である。また水制の角度を大きくすることでセキ上げ効果が大きくなり流速を上げることも再現できた。本モデルの作成により現地の水制の設置幅や水車設置位置が発電効率に与える影響を把握できるため、導入を図る際に重要である。

(3) 開水路における水制や堰板を、自律制御により、圧力エネルギーを上昇させることで効率的に流水から発電制御を行う小水力発電システムの試作版を開発し、システム上で運転させた。制御には PLC を用い、データ収集、モニタリング等の統合システムは SCADA (ロボティクスウェア社、FA-Panel) により行った。構築したシステムの状態を図5に示す。図6に、システムの運転結果を示す。上流、および下流水深と、流速のモニタリングを実施し、水制によるセキ上げが許容される情報を利水管管理者から受け取った場合、上流セキ上げ水深が許容されたフリーボードを越さないように水制角度を制御することを想定した。流れが遅い場合は水制角度を拡げる制御を行い、上下流の水位差を上昇させることで、水車の回転数が上がっている様子がわかる。

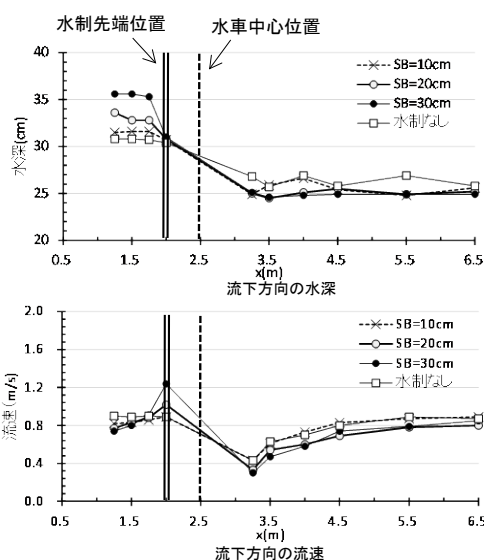


図3 水制によるセキ上げの効果

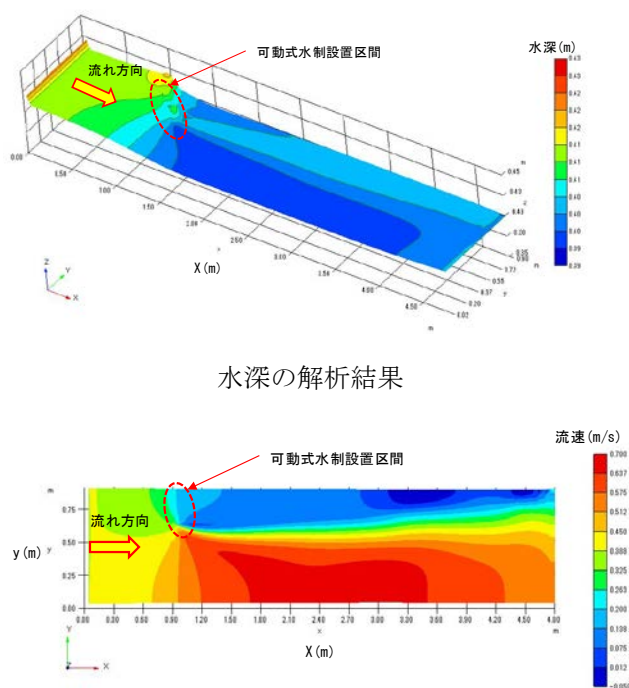


図4 可動式水制をともなう流れの解析結果



図5 構築した SCADA システム

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

ここで実際に開水路で運用する場合は、取水口の水位を確保されるためのセキやチェックゲートが設置されるため、こうした水制下流部のチェックゲート位置における必要水位を把握する必要がある。この場合はチェックゲートも併せて制御し、水制とチェックゲートの複合により利水に必要な水位を確保する必要がある。このために(2)で作成した平面二次元解析と併せてスルースゲートやセキ方式のチェックゲートの流況を再現可能な断面二次元解析モデルも構築している。両者の解析により、最適な水位確保のためのチェックゲート、および水制の開度を決定することが可能になる。

(4) 管水路系の農業水利システムにおいて、配水槽方式パイプラインシステムにおける配水槽からの送水時の落差エネルギーに着目し、図7に示すようなパイプライン灌漑地区における小水力発電の適用箇所の現地調査を行った。その結果、配水槽直下部の支線水路分岐地点に高圧力部が生じており、制水バルブ等で末端配水時には減圧制御を行っているため、この減圧分を小水力エネルギーとして利用できることがわかった。減圧箇所において水力発電として利用が見込まれる余剰エネルギーを定常パイプライン解析により分析した結果を図7に示す。減圧バルブ地点のみでなく、最末端部の圃場への給水バルブにおいても水頭が9m以上あり、開放型の衝動水車などが有効であることがわかった。

(5) (4)の結果より高架水槽から幹線パイプラインを通じ、末端圃場に配水する支線水路における減圧部に小水力発電装置を設置し水利システム下流部の配水状況を監視しながら制水バルブの制御により効率的に発電を行うシステムを考案した。

このシステムを検証するために、ポンプ、高架水槽、幹線、支線パイプライン、末端給水栓、を模擬した水理模型を制作し、実際に管水路対応型の発電水車を設置することで、小水力発電システムを構築した(図8)。制御にはPLCを、その他の監視、データ収集等の統合システムは(3)で構築したSCADAシステムに統合させた。

図8のようなパイプラインシステムにおいて、水源付近の配水槽における圧力と、下流の需要を把握するために、下流支線水路分岐地点付近に圧力計を設置する。需要が多く下流圧力が低下している場合は発電を行わず、利水を優先するが、下流の需要が減少し管内圧力の上昇を感知した場合は自律的に水車付近の制水バルブを開き、発電を行う。これらの一連の過程を図9に示す。パイプラインにおいては圧力が需要の変化をすばやくとらえることが可能であるため、

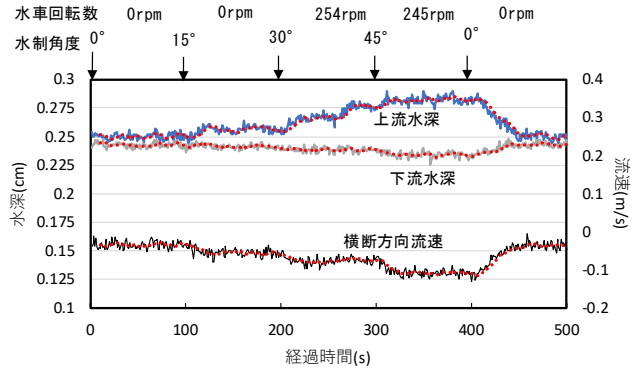


図6 開水路発電システムの運用結果

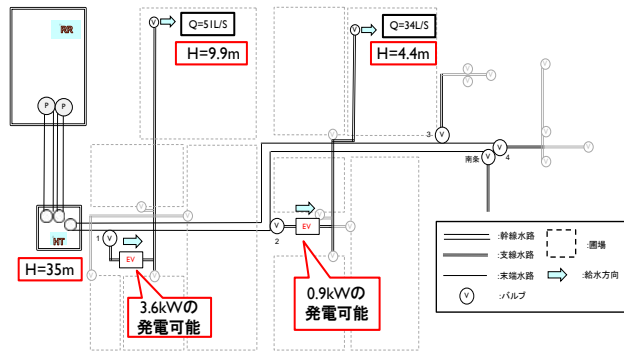


図7 パイプライン減圧部分における発電ポテンシャルの計算結果

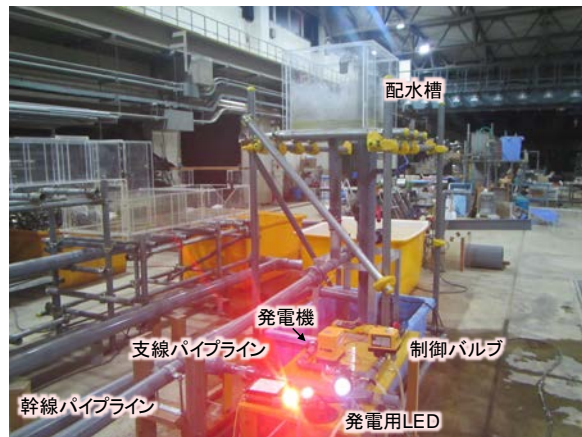


図8 パイプライン減圧部分における発電システム

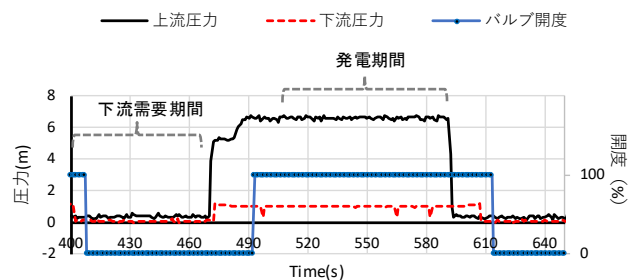


図9 パイプライン減圧部分における発電試験

発電と利水が連携した利用が可能となる。

このように、考案した制御手法は模型上ではあるが、ポンプ、電動バルブ、発電装置、自動給水栓の自動制御を再現することができ、農業用水利用と発電利用を調整するためにパイプラインにおける制水弁が有効に作用することも確認した。

(6) パイプライン流出口における排泥バルブなどにおいて余剰流量が発生した場合を対象とし、可搬式の衝動方式での発電が可能な水車を開発した(図10)。また、従来のプロペラ方式でなく、多翼型の流水利用型のパイプラインにおけるインライン型の水車を開発した。これらの方式は、開発したPLC制御を基本とした発電システムに適合しているため、発電可能状況に応じて作成したシステム上に組み込むことが可能である。

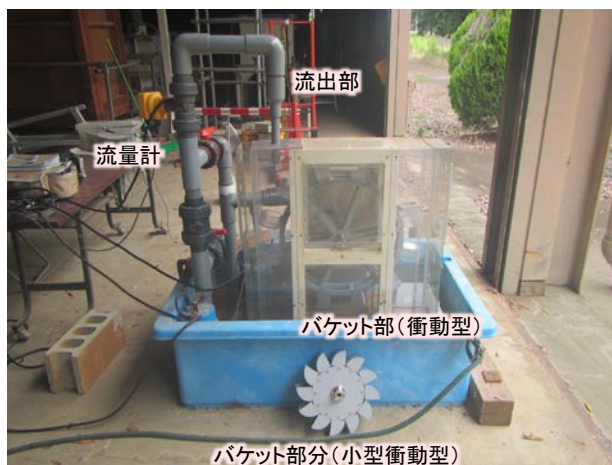


図10 可搬型の衝動型水車

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

① Generation of small-scale hydro power by vertical-axis lift-type turbine with movable spur dike, PAWEES-INWEPP International Conference Nara, 2018. 11、[NAKAYA Tetsuo](#)

② 可動式水制をともなう垂直軸揚力型水車による小水力利用手法、平成28年度応用水理研究部会講演会、2016、[中矢哲郎](#)、[桐博英](#)、[武馬夏希](#)、[中達雄](#)、pp50-52

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者
研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。