

マイクロ水力発電システムの開発 (第4報)
Development of a Micro Hydroelectric Generation System (4th Report)

電力供給システムの実証試験

Verification Tests on the Power Supply of a Micro Hydroelectric Generation System

野嶋賢吾*・鈴木好明**・角 力***・桑原豊彦***・米原靖彦*

Kengo Nojima, Yoshiaki Suzuki, Tsutomu Sumi, Toyohiko Kuwahara and Yasuhiko Yonehara

*機械素材研究所 機械技術科、 **機械素材研究所、 ***元 機械素材研究所

マイクロ水力発電により発生した電力を一般の電気製品に供給するための「自立運転システム」および「系統連系運転システム」を開発し、これらのシステムを用いて養魚場内に設置した3台のマイクロ水力発電装置から出力される電力を統合して養魚場管理棟で使用される電気製品に供給する実証試験を行った。その結果、開発したシステムは、いずれも電気製品に安定した電力を供給できることを確認した。また、2種類のシステムの長所と短所を把握し、発電地点に商用電源が存在する場合は、自立運転を行うよりも系統連系運転を行ったほうが、電力供給の自由度および安定性が高まることを確認した。

1. はじめに

鳥取県産業技術センターでは、中山間地域の農業用水などを利用して個人やグループレベルで導入可能な1 kW程度のマイクロ水力発電装置(以下、発電装置という)の開発を行っている^{1)~5)}。

既報^{4), 5)}では、平成21年度に開発した発電装置の試作機である2号機および3号機に対して中山間地域の養魚場において実施した、発電性能および耐久性の評価を目的とした1年間を超える長期実証試験の結果について報告した。

本報告では、これら2種類の試作機3台から出力される電力を統合して養魚場管理棟で使用される電気製品に供給するための「自立運転システム」および「系統連系運転システム」を開発し、開発した二つのシステムを用いた電力供給の実証試験を行ったので報告する。

2. 実証設備の概要

2.1 実証試験の状況

養魚場に設置した3台の試作機(2号機×1台、3

号機×2台)から出力される電力を統合して養魚場管理棟において使用される電気製品に供給する実証試験を行った。実証試験における発電装置、導水設備および送電設備などの設置状況を図1に示す。

2.2 送電設備

実証試験に先駆けて、発電装置が出力する電力を養魚場管理棟まで供給するための送電線および電柱などの整備を行った。



図1 実証試験における発電装置などの設置状況

送電線には、引込用ビニル絶縁電線（DV線、線径：φ2.6（5.5Sq）、線心数：3個より）を用いた。この送電線により、発電装置から出力される3相交流の電力を養魚場管理棟に設置してある制御盤まで送電した。図2に示すように送電線の設置工事は、電気工事会社に委託し、高所作業車を用いて電柱に送電線を設置した。

電柱は、送電区間の大部分において、養魚場内に独自に設置されているコンクリート柱を利用した。電柱が設置されていない一部の送電区間については、新たに5本の鋼管柱（SH-7、φ114.3×7,000mm）を設置した。鋼管柱の設置作業は、図3に示すように養魚場が所有する小型の建設機械を用いて、養魚場従業員の協力のもとで行った。

3. 電力供給システム

本研究では、無電化地域において独自電源として利用できる「自立運転システム」と、電力会社の送電線に接続しての商用電源とともに電力供給を行う「系統連系システム」の二つのシステムを開発した。開発したシステムの概要は以下のとおりである。



図2 送電線の設置作業の様子



図3 設置した鋼管柱（左図）および設置作業の様子（右図）

3.1 自立運転システム

バッテリーへの充放電や電力会社の送電線との系統連系を行わず、発電装置が出力する時点の電力により電気製品を稼働させる自立運転システムを開発した。開発した自立運転システムの主要機器構成を図4に示す。

本システムは、発電機から出力される3相交流の周波数変動の影響をなくすため、まず、ダイオードとコンデンサにより交流を直流へ変換する。つぎに、昇圧コンバータ機能付の接続箱により、3台の発電機からの3系統の電力を1系統に統合したのち、パワーコンディショナ（以下、パワコンという）により、100V AC（交流）に逆変換して電気製品へ供給する。接続箱およびパワコンは、太陽光発電用として市販されているものを用いた。

自立運転システムは、主目的である「電気製品」のほかに、余剰電力が発生する場合にはダミー負荷である「温水ヒータ」にも電力供給を行う。電気製品の負荷変動に追従して、制御装置は、温水ヒータの抵抗値を調節して余剰電力の回収を行うとともに、無負荷状態に陥らないよう過電圧保護も同時に行う。

発生した余剰電力は温水ヒータにより熱変換され温水として蓄えられ、養魚場での作業用の温水として利用される。養魚場に設置した温水ヒータおよび温水槽の外観写真を図5に示す。

図4に示すように3台の発電装置には制御装置と温水ヒータがそれぞれ付属しており、パソコン制御により、発電装置の出力電圧が設定値に近づくまで温水ヒータの抵抗値を調節する。具体的には、図6

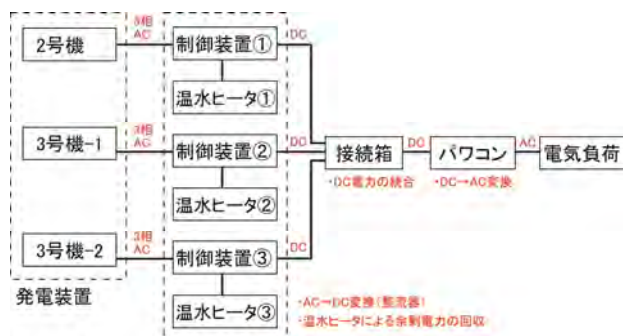


図4 自立運転システムの主要機器構成

に示す並列に接続した抵抗値の異なる4つの温水ヒータの ON/OFF の組合せの中から設定した電圧値に最も近くなるものを選択する。図7に3号機に用いた15通りのヒータの組合せを示す。また、開発した制御装置の外観写真および制御ソフトウェアの操作画面を図8および図9に示す。

開発した制御装置の動作検証を実機にて行った。実験の様子と、動作状況の結果を図10に示す。動作検証は、1台の発電装置(3号機)に対して制御を行った場合のもので、電気製品に負荷変動を与えた場合の制御応答について調べたものである。図10に示すとおり、開発した制御装置は、負荷変動が発生した数10ms後にはヒータの負荷調節を開始し、約3秒後には設定した電圧値に収束させることができる。

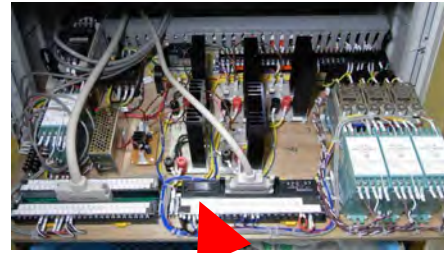


図8 自立運転システムの電力制御装置



図9 自立運転システムの電力制御ソフトウェア



図5 温水ヒータおよび温水槽

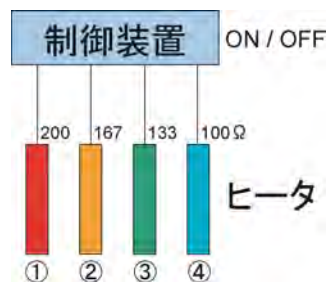


図6 温水ヒータの切り替えによる制御

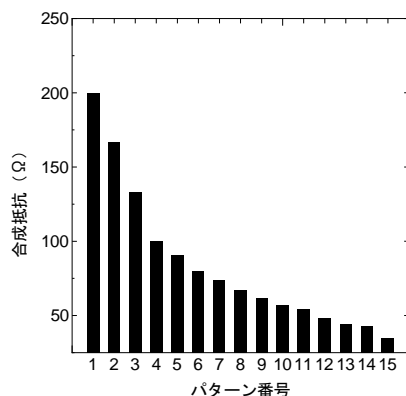


図7 ヒータの抵抗値切り替えパターン

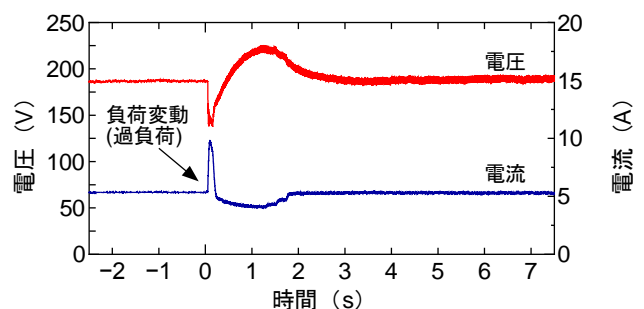


図10 制御装置の動作検証実験(上図)および動作状況(下図)

3.2 系統連系運転システム

電力会社の送電線に接続して、マイクロ水力発電による電力と送電線の電力を混合して電気製品に供給する系統連系運転システムを開発した。

開発した系統連系運転システムは、基本的には図4に示す自立運転システムと同様の機器構成とした。図11に系統連系システムの主要機器の構成図を示す。系統連系運転システムにおいては、発生した余剰電力は電力会社の送電線に逆潮流するため、自立運転システムに用いた温水ヒータによる余剰電力の回収は不要となる。このため、本システムの温水ヒータは、過電圧保護動作のみに用いられる。具体的には、商用電源の停電などによりパワコンが停止して無負荷状態となり高い電圧(300V DC以上)が発生した場合に、温水ヒータに電力を供給して無負荷状態とならないよう制御を行う。系統連系運転システムに用いた制御盤およびパワコンの外観写真を図12に示す。

4. 電力供給の実証試験結果

4.1 自立運転システム

自立運転システムによる独自電源により養魚場管理棟で利用される電気製品へ電力供給を行う実証試験を行った(平成22年3月から平成25年3月まで)。

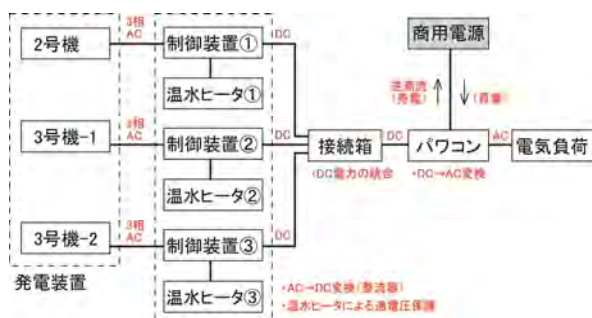


図11 系統連系運転システムの主要機器構成



図12 制御盤およびパワコン

2台の3号機の発電状況を記録した結果を図13に示す。自立運転システムでは、発電装置に付属する制御装置と接続箱の制御装置が独立して制御を行っているため、200V DCである設定電圧値に対して±30Vを超える変動が発生しているものの、電力については、約1kWの安定した値を常時出力できている。なお、接続箱を用いず発電装置に付属する制御装置のみで単独の発電装置を制御する場合の電圧変動は±15V程度である。

自立運転システムでは、原理上、発電電力を上回る消費電力の電気製品を稼働させることができない。実証試験では、この性質のため、使用できる電気製品の種類に大きな制約を受け(消費電力が1.5kW以下の突入電流の小さい電気製品に限られる)、電力利用の自由度が低いという課題に直面した。また、消費電力が大きく変動し、消費電力が発電電力を瞬間的に上回るような電気製品を利用する場合、停電が発生し、電力供給の安定性が低いという課題も明らかになった。したがって、自立運転システムは、無電力地点においてヒータや照明など負荷変動の小さい電気製品を稼働させる場合に有用と考えられる。

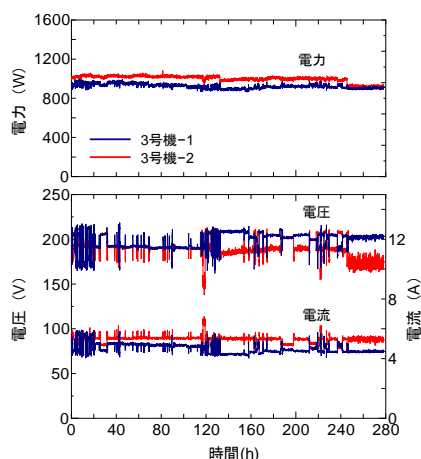


図13 自立運転システムによる電力供給の状況

4.2 系統連系運転システム

系統連系運転システムの実証試験を平成 25 年 3 月から実施している（平成 25 年 12 月現在継続中）。本実証試験における電力会社との契約は売電を伴わないものであり、余剰電力が電力会社の送電線に逆潮流しても売電収入は発生しない。本研究では、電力会社の送電線に逆潮流した電力量（売電した場合の電力量）および養魚場管理棟における発電電力の消費量を把握するため、図 14 に示す研究用の売電用メータを設置した。

実証試験では、養魚場周辺の商用電源の電圧が 110 V 程度と高いことに対するパソコンの系統保護動作により、約 2 ヶ月間、電気製品に電力供給を行えないという問題が発生した。電圧が高い状態の送電線にマイクロ水力発電による電力を逆潮流させると、商用電源の電圧をさらに上昇させる恐れがあるため、パソコンにはこれを防止するための保護機能が内蔵されている。

この状態を回避するため、電力会社と協議し、送電線の変圧器のタップ調整により商用電源の電圧を 103 V まで下げる対策を実施していただいた。その結果、正常な系統連系運転が可能となった。

表 1 に対策後の平成 25 年 8 月に取得した系統連系の発電状況および平成 24 年 7 月に開始された再生エネルギーの固定価格買取制度を利用して売電すると仮定した場合の金銭的メリット（売電単価：34 円/kWh、買電単価：22 円/kWh を仮定）を示す。

電力供給の状況としては、買電用メータと売電用メータの読取り値から、マイクロ水力発電による電力のみで養魚場管理棟で使用されるほぼ全ての電力を自給可能なうえに消費電力を上回る余剰電力を逆潮流させることが可能なことを確認した。

系統連系運転システムは、マイクロ水力発電による電力と電力会社の送電の電力とを混合して養魚場管理棟へ供給できるため、自立運転システムとは異なり任意の負荷容量の電気製品へ電力供給できる長所があり、電力供給の自由度と安定性の高い運用が可能であることを実証試験により確認した。



図 14 設置した売電メータ

表 1 系統連系運転の状況（平成 25 年 8 月実績）

発電電力の使用用途	電力量 (kWh)	金額換算 (円)
①管理棟での電力消費	475	10,450
②余剰電力	725	24,650
合計	1,200	35,100

5. おわりに

養魚場管理棟に電力供給を行うための自立運転システムおよび系統連系運転システムを開発し、養魚場に設置した 3 台の発電装置から出力される電力を統合して養魚場管理棟へ供給する実証試験をそれぞれ行った。その結果、いずれのシステムも長期間にわたり電気製品に安定した電力を供給できることを確認した。また、開発した二つの発電システムの長所と短所を把握し、発電地点に電力系統が存在する場合には、系統連系運転を実施したほうが電力供給の自由度および安定性が高くなること、また、本研究で開発した自立運転システムは、照明やヒータのような消費電力の変動の小さい機器への電力供給に適することを確認した。

謝辞

本実証試験で使用した制御装置の開発にあたり、米子工業高等専門学校・宮田仁志 教授、(株)日本マイクロシステム・山根 修 氏には、多大なご指導やご協力をいただいた。また、本実証試験の遂行にあたり、(株)小泉川養魚場・小椋勝美 代表取締役をはじめ従業員の方々には全面的な協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

文献

- 1) 野嶋賢吾, 鈴木好明, 柏木秀文, 佐藤崇弘, 木村勝典; マイクロ水力発電システムに関する研究, 鳥取県産業技術センター研究報告, No.9, p.11-14 (2006).
- 2) 野嶋賢吾, 柏木秀文, 桑原豊彦; マイクロ水力発電システムの開発, 鳥取県産業技術センター研究報告 No.11, p.44-45 (2008).
- 3) 野嶋賢吾, 柏木秀文, 鈴木好明, 桑原豊彦, 今岡睦明, 菊井一樹; マイクロ水力発電システムの開発 (第1報) 試作1号機の実証試験, 鳥取県産業技術センター研究報告 No.12, p.37-41 (2010).
- 4) 野嶋賢吾, 角力, 鈴木好明, 吉田裕亮, 桑原豊彦, 柏木秀文; マイクロ水力発電システムの開発 (第2報) 試作2号機の実証試験, 鳥取県産業技術センター研究報告 No.13, p.34-37 (2011).
- 5) 野嶋賢吾, 角力, 柏木秀文, 桑原豊彦, 鈴木好明; マイクロ水力発電システムの開発 (第3報) 試作3号機の実証試験, 鳥取県産業技術センター研究報告 No.14, p.30-33 (2012).