

バッテリー充電と地中熱ヒートポンプを併用するための 小水力発電用電力制御回路の設計

Design of the Power Control Circuit for Micro-Hydro Generation for Using Together Battery Charger and Geo-thermal Heat Pump

上 坂 博 亨
UESAKA Hiroyuki

はじめに

富山県内の農業地帯には用水路水が持つ運動エネルギーや、地下水が持つ熱エネルギーをはじめとして、様々な未利用エネルギー資源が存在する。このうち、農業用水路で有望視されている10kW以下の小水力発電の技術開発が中小企業により精力的に推進されている。しかしこのような小規模発電事業においては設備コストが割高となり売電によって利益を確保することは困難な場合が多く、エネルギーセキュリティー等の面からも地域で電力を自家利用する方が望ましいことが指摘されている¹⁾。

一方農村地帯では農作業用の移動・運搬手段として軽トラックが日常的に使用されており、その保有率は2010年度では88%と高い²⁾。その一方でガソリンスタンド数は全国的には2009年から2010年にかけて年間約4%、10年間では約27.8%の減少を示している³⁾。ガソリンスタンドの撤退は主に農村部を中心として発生しており、農村部でのガソリン型軽トラック利用は今後燃料調達の面からもコスト高となることが容易に想像できる。一方、地下水や地熱水が持つ熱エネルギーは、最近ではHP（ヒートポンプ）による室内の冷暖房や消雪に利用されつつある。県内には豊富な地下水が存在するが、その熱利用は未開発である。

農業用水路の豊富な水力エネルギーを利用して小水力発電を行おうとする試みが全国で活発化していることは知られている。とりわけ東日本大震災の後は原子力発電に代わる新しい発電方式として再生可能エネルギーを用いた太陽光発電、風力発電、小水力発電、地熱発電に大きな期待が寄せられておりさまざまな取り組みが始まっている。2011年7月1日からは再生可能エネルギー電力の固定価格買い取り制度⁴⁾が開始され、特に太陽光発電については設置件数が飛躍的に伸び2012年4月から2013年1月までに住宅系で95.8万kW、非住宅系では574.9万kWの施設が認定をうけている。一方、小水力発電についてはまだ飛躍的な普及が進む段階には至っておらず同年同月までに3,320kW程度が認定を受けている状況である⁵⁾。小水力発電が爆発的に普及しない原因の一つとして、発電水利権の取得手続きの煩雑さが指摘されている^{6) 7)}。これに関しても農業用排水を利用した小水力発電に関しては、法定水利権が設定されている農業用水路において、その流量を変えることなく規定流量の中で発電を行う場合には「従属発電」とみなし、水

利権申請を簡素化する措置が施行された。また農業用水の小水力発電において、発電出力が一定規模未満で、かつ、他の水利使用（従属元の水利使用）に対して、その使用水量が減少するなどの影響を与えないようなケースでは、水利権許可に代わり届出制度を導入するなどの規制緩和も検討されている。

以上のように農業用水路における小水力発電普及が水利権申請緩和の側面から後押しされる一方で、発生した電力を有効に消費するビジネスモデルの開発は十分とは言えない。固定価格買い取り制度による売電によって経済性が高まっているとはいえ、農業用水路を簡便に利用した発電所の規模はせいぜい数キロワットから 10kW 程度であり、地域にメリットをもたらすほどの経済的実感が無いのが実情である。また固定価格買い取り制度で定められた買い取り価格は 3 年後ないしは 5 年後には見直され暫時引下げられる事が見込まれている。このことから売電だけに頼った小水力発電のビジネスモデルからの脱却と新たな電力利用モデルの開発が求められる。

本研究がめざす「小水力発電による電気軽トラ用バッテリー基地機能」は、農業用水路ネットワークを利用して 10kW 程度以下の規模で発電し、電力を地域の農業用モビリティである電気軽トラで使用するためにバッテリーに充電して利用することで、地域エネルギーを地域で有効に消費するビジネスモデルを提案するものである。ただし、バッテリー充電における電力消費の特徴として消費の不安定性が挙げられる。すなわちバッテリー充電中は大きな電力を必要とする一方で、満充電の時にはほとんど電力を消費しないという非定常的な電力消費を余儀なくされるという事である。そこで本研究では充電時以外の電力消費先として地中熱ヒートポンプ (Geo-HP) システムに着目した。この仕組みを利用することで、従来の温水器よりも高い効率で温水を製造することができるため、これを農業用の加温設備として利用可能であるからである。まず本報告では、小水力発電システムを用いてバッテリー充電と地中熱ヒートポンプの二つのシステムを効率よく切り替えて運用するための制御回路の設計を行った。

1. 制御回路への要求仕様

軽トラに搭載するバッテリー仕様の算定

農業地帯で利用されている農家への現状での軽トラ運用実態調査⁸⁾に基づいて、電気軽トラに搭載すべきバッテリー容量および数量を検討した。軽トラ運用実態調査によると 1 日当たりの軽トラの走行距離は 8 月～10 月の秋の農繁期においては約 60%を 20km 以下が占め、70～80%を 30km 以下が占めている。そこで本構想における軽トラの 1 充電当たりの航続距離は 40km とし、これを基準として諸仕様を算定した (表 1)。

表 1 想定する電気軽トラのバッテリー仕様

項目	想定仕様
バッテリー容量	5kWh
バッテリー種別	リチウムイオンバッテリー
個数	2 個 (抜き差し交換可能)
重量	総重量 20kg (10kg/個)

バッテリー充電制御回路の要求仕様

1kW から 5kW 程度の小水力発電所を対象として、上述の仕様に基づく電気軽トラ用バッテリー（2 本）の充電と、地中熱ヒートポンプの運転を行うための制御回路の設計を行った。設計にあたりまず回路への要求仕様を検討した（表 2）。

表 2 バッテリー充電制御回路の要求仕様

① 小水力発電所の電力を用いて軽トラ用のリチウム電池の充電ができること。
② リチウム電池の充電本数は 2 本とし、随時電池の抜き差しに対応できること。
③ 電池の抜き差しに当たっては、操作者に危険が無いような安全機構（電流遮断など）を有すること。
④ 2 本の電池とも未充電の場合は、まずどちらかの 1 本を優先して充電し、それが満充電の後に他方を充電する順序とすること。
⑤ 2 本のリチウム電池が満充電になった後は、地中熱ヒートポンプの運転に自動的に切り替わること。
⑥ 地中熱ヒートポンプ運転中に未充電のリチウム電池が挿入された場合には、地中熱ヒートポンプの運転出力を下げリチウム電池を並行充電できること。
⑦ 地中熱ヒートポンプまたはリチウム電池充電の動作の優先順位について、切り替え可能であること（強制的にどちらかを優先にできること）。
⑧ リチウム電池が満充電となり、さらに地中熱ヒートポンプの湯量が設定温度満杯となった場合にはどちらの動作も停止させ、ダミーロードによって電力を消費する機能を有すること。
⑨ リチウム電池または地中熱ヒートポンプに異常が発生した場合には充電または通電動作を自動的に停止する機構を有すること。
⑩ 非常時には緊急的に回路の停止ができること。ただし水力発電装置を損傷しない安全停止が可能であること。
⑪ 異常発生時には、メール等で管理者に通報すること
⑫ バッテリー充電状態を遠隔監視サーバに自動送信できること。このデータは軽トラ側から参照できるようにシステム化できること。

2. 設計した回路の概要

バッテリー充電制御回路のブロックダイアグラムを図 1 に、制御回路図を図 2 に示す。回路は大きく分けて①電源部、②蓄電部（回路安定化用）、③軽トラバッテリー充電回路、④Geo-HP 駆動回路、⑤制御コントローラ部からなる。電源部および蓄電部では、小水力発電所からの入力（200V ・ 3 相交流）を DC24V に変換し、鉛蓄電池にバッファリングする。これによって水車の出力変動を平準化し、回路の最終出力を安定化させる。整流用として定電圧・定電流直流電源回路を用い、安定した直流を得ることとして設計した。また整流の前段階にダミーロードを挿入

し、安定化バッテリーや軽トラ用バッテリー、Geo-HP にいずれでも電力消費が無い場合にそなえて電力を消費するための非常回路を設けている。小水力発電所からの入力電流および電圧と、DC24V の電流および電圧はセンサでモニタして制御コントローラに入力される。

軽トラバッテリー充電回路と Geo-HP 駆動回路は主に DC24V から AC100V を得るためのインバータと、その回路への通電/遮断を行う SSR (Solid State Relay) からなる。インバータ出力はその下流側に接続される回路によって変更するが現段階では 2kW 程度を想定している。交流出力回路を流れる電流は電流センサでモニタして制御コントローラに入力される。

制御コントローラ部は、回路への入力電力 (3 層交流 200V)、安定化用バッテリー電圧、交流出力の各チャンネル電流、電気軽トラ用バッテリーの抜き差しおよび充電電流、地中熱ヒートポンプの出力電流を監視しながら、交流出力の各チャンネルの SSR を ON/OFF することを目的としている。プログラムは LabVIEW(National Instruments 社製)を用いて開発し、センサ入力の値を監視しながらセンサ値が変化したことをきっかけに動作するイベントドリブン型制御とした。

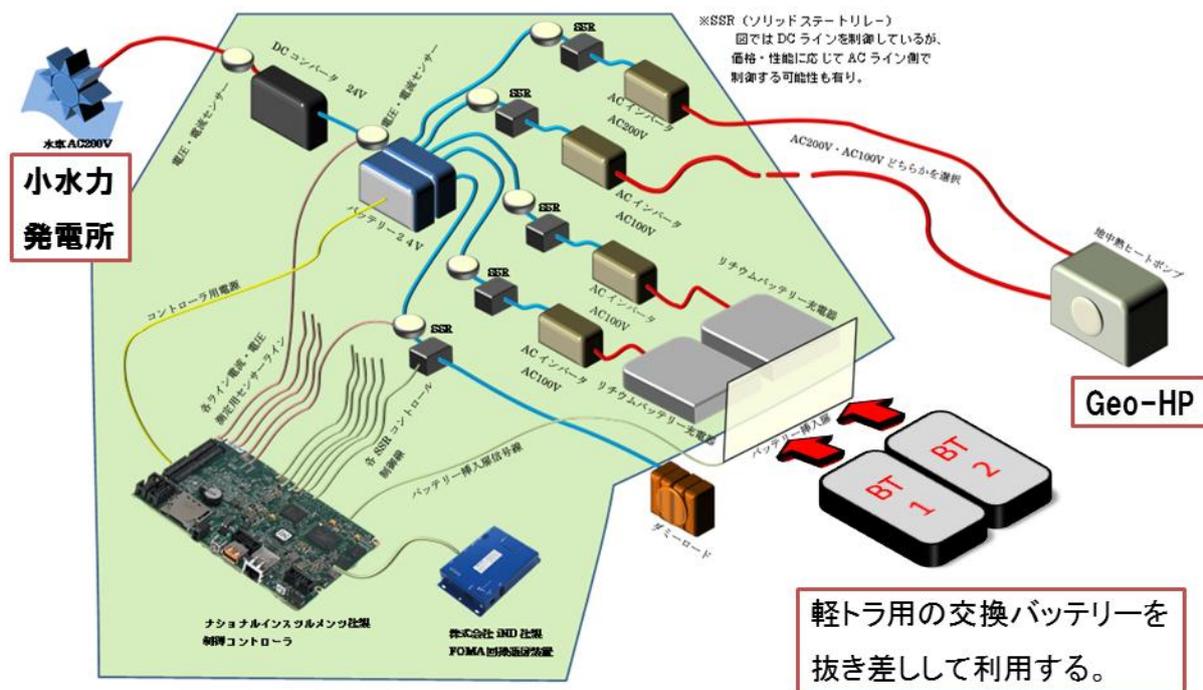


図 4-1 制御回路のブロックダイアグラム

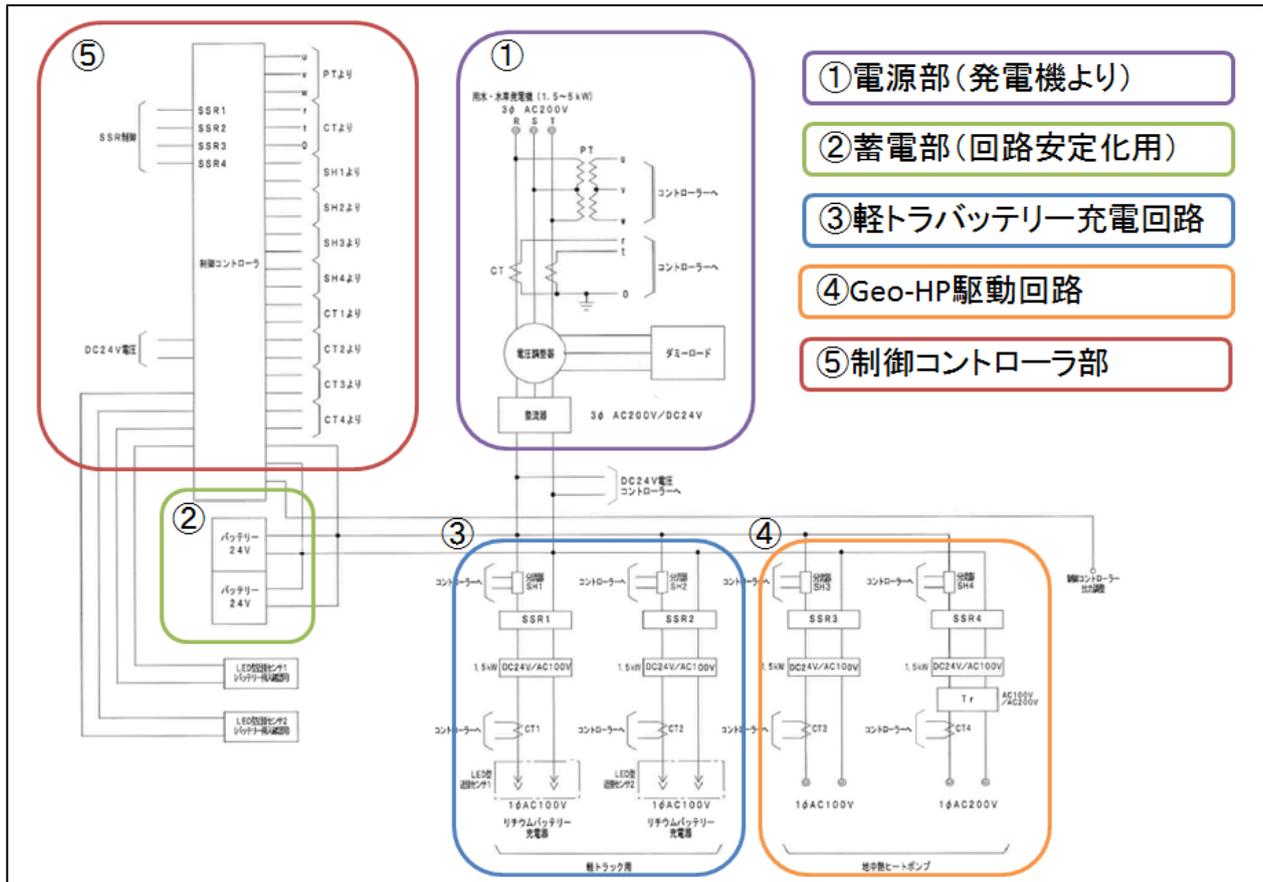


図2 制御回路図および5つのブロック

3. プログラム動作の検証

開発した制御コントローラのプログラムは、シミュレータソフトウェアを用いて動作検証を行った。検証項目は要求仕様書にそって設定し、シミュレータを操作しながら結果を目視確認した。図3にシミュレータ画面を示す。画面左の発電量バーは小水力発電所の出力を表し、あらかじめ適宜設定しておく。バッテリー挿入ボタンをマウスで押下することで電気軽トラ用バッテリーの抜き差しが疑似的に行われる。バッテリーを抜き差しすることでバッテリーへの充電が開始された。バッテリー優先順位スイッチを切り替えると、バッテリー1および2の優先順位が変わり、優先度の高いバッテリーから充電される事がバッテリー残量計にて確認できた。バッテリーへの充電が満杯となると、自動的に回路が切り替わりGeo-HPが動作する。その結果として貯湯タンクの湯温が上昇することが確認できた。湯温が100℃になると自動的にGeo-HPが停止する。すると貯湯タンクの湯温は徐々に下がり始め、規程以下の温度にまで降下すると自動的にGeo-HPがONとなり、再び温度が上昇を始めることも確認できた。なお、バッテリー1,2ともに満充電かあるいは抜き取られており、さらに貯湯タンクの温度が規定値(95℃:設定可能)に達すると発電した電力は消費先を失うためダミーロードに流れ、図3で見られるようにオレンジ色のランプが点灯することが確認できた。以上のようにして制御プログラムの動作の妥当性を検証した。

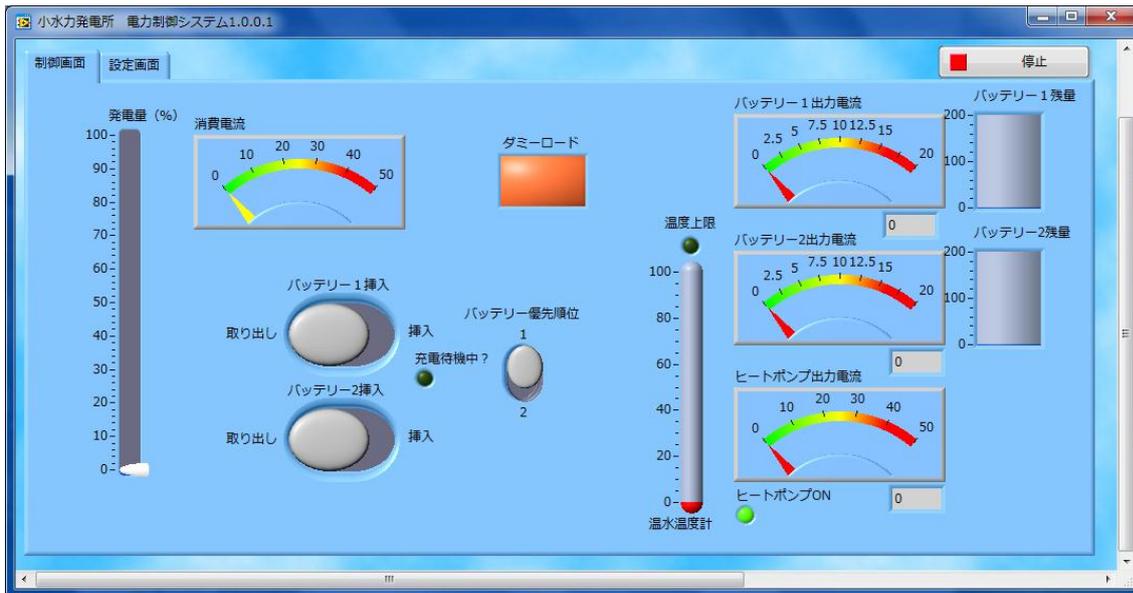


図3 制御コントローラのプログラムシミュレーション画面

4. バッテリー充電制御回路の特徴

本研究で開発したバッテリー充電制御回路は農業用水路をもちいた小水力発電を電源として使用することを前提としている。一方、農業用水路の流量は季節によって変動するばかりでなく降雨などによっても増減する事が知られており、それは発電所の出力変動となって現れる。充電制御回路から安定した出力を得るためには回路に入力する電圧と電流を安定化するため、本回路ではDC24Vを中間電力とし、鉛蓄電池を用いて電力の安定化を図った(図4、中間電力バッテリー)。また軽トラ用バッテリー充電やGeo-HPの動作制御は制御コントローラのプログラムロジックによって実行されるため、制御シーケンスを変更する必要がある場合ソフトウェア変更によって可能である。このことはバッテリー基地の小水力発電所の出力や、そこに常駐させるバッテリーの本数、Geo-HPの出力などによって変動する要求動作に柔軟に対応する事に有益であると考えている。

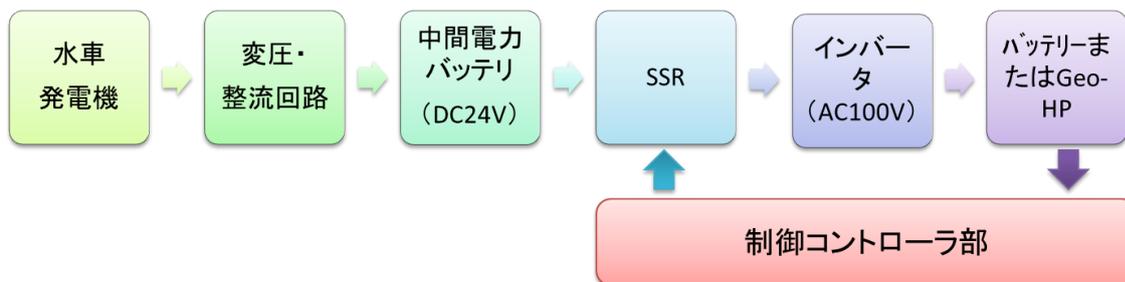


図4 バッテリー充電制御回路の処理の流れ

おわりに

本研究は、社団法人北陸建設弘済会が公益事業で実施している「北陸地域の活性化に関する研究助成事業」で共同研究を行った「小水力と地中熱を活用した分散型農村エネルギー自給構想に関する研究」において実施されたものである。

参考文献

- 1) 新妻弘明, 「地産地消のエネルギー」, NTT 出版(株), (2011)
- 2) 2010 年度小型・軽トラック市場動向調査, (社)日本自動車工業会, (2011)
- 3) 揮発油販売業者数及び給油所数の推移 (登録ベース), 資源エネルギー庁, (2012)
- 4) 再生可能エネルギー育成を目的とした固定価格買い取り制度, 政府広報オンライン, (2011)
<http://www.gov-online.go.jp/useful/article/201110/4.html>
- 5) 再生可能エネルギー発電設備の導入状況を公表します, 資源エネルギー庁, (2013)
- 6) 上坂博亨・後藤眞宏・小林久・駒宮博男・水林義博, 農業用水を利用した小水力発電に関する課題と方向性, 農業農村工学会誌, 78[8], (2010), pp661
- 7) 後藤眞宏・上坂博亨・小林久, 南ドイツにおける小水力発電の調査報告とわが国の農村地帯の小水力発電の今後の展望, 農工研技法 210, (2009), pp169
- 8) 上坂博亨・上田晃・丁子哲治, 平成 24 年度小水力と地中熱を活用した分散型農村エネルギー自給構想に関する研究, 北陸建設弘済会北陸地域づくり研究所報告書, (2013)