

山間地農家における電力自給のためのマイクロ水力発電システムの構築

Development of a Micro-hydro Generation System for Electricity Self-Sufficiency
of Farm Household in Mountainous Areas上坂博亨
UESAKA Hiroyuki

はじめに

資源を化石燃料に大きく依存し大量生産大量消費を繰り返してきた現代が、地球環境の大きな変化に直面し、持続可能な社会への変革を求め始めてきた。現代の農山村は化学肥料・輸入飼料・ガソリン・灯油・ガス・電気などを化石燃料に依存する、都市部と変わらぬ消費構造を持つが、かつては食糧、水、エネルギーを生み出す源泉地であった。地域に賦存する森林資源や水資源を活用して自らの生活を支え、都市部に資源を提供する持続可能な生活圏であったと言われている。エネルギー問題に直面した現在、農山村の資源利用を見直して、生産供給型の農山村地域を再生する取り組みが行われ始めている^{1,2)}。

電力に着目してみると、2009年の我が国の電源別発電電力量は、原子力と天然ガスが最も多くそれぞれ約29.2%および29.4%を占める。次いで石炭24.7%、石油7.6%、水力7.3%と続くが、小水力や風力・太陽光など再生可能エネルギーを含む新エネルギー部門は1.1%に留まっている³⁾。水は農山村に賦存する代表的で最も期待されるエネルギー源である。農業用水を用いた小水力発電は高出力で安定しており、また大規模な地形変革を伴わない発電方式として期待されている⁴⁾。しかし農業用水を始めとする小水力を用いた発電の普及推進にあたってはすでにいくつかの課題が指摘されており、それらは以下の4点に整理されている⁵⁾。

- (1)法制度的障害：河川法、電気事業法、土地改良法などの法令順守に伴う手続きの煩雑さと困難さによる障害で水力発電開始にあたり多大な労力と時間を要する部分
- (2)技術的な障害：電力は現在、大手10電力会社によって独占的に供給・管理されており、地域の電気に関する知識・技術・理解が不足している事。さらに発電用設備（水車・発電機等）の製造・品揃え・流通の不足
- (3)利害関係による障害：特に農業用水において問題となるが、水利用者・水利権者・管理者の関係、並びに水利用者間の資源配分ルール不在による合意形成にかかる問題
- (4)経済的障害：小水力発電施設のほとんどが設置場所特性を考慮したオーダーメイドであることから費用がかかり、現行の売電を主体とする事業フレームでは採算が取れない事
またさらに上記の課題に先立ち、小水力発電を行おうとする事業主体者の存在が必要である。

現在は土地改良区などの用水管理団体が主体となって発電を行うケースは 20 か所を超え、種々の問題も報告されているが⁶⁾、個人や民間団体が主体となるケースは少ない。

以上の背景により、本研究では農山村において地域住民や民間団体が主体となって小水力発電を構築・普及・推進していくためのモデルケースとして、山間地農家においてマイクロ水力発電を用いた電力自給の実証実験を行った。本実験を通して、わずかな水力で農家がエネルギー自立可能であることを立証し、小水力が十分に魅力的なエネルギー源であることを示すことを目的とする。また同時に、戸レベルでの電力自給における制約条件の整理、システム設計、水車・発電機・電気制御に係る機器選定、性能目標設定、構築手順・土木工事などの技術的要素を整理して、再利用可能な電力自給モデルを構築する事を狙う。

1. 構築した発電システムの概要

地点選定

本研究の目的の一つは、小水力が技術的、経済的なメリットを実感できるエネルギー資源であることを明確に示すことである。そこで 1kW 程度の出力を持つ非常に小規模な水力発電システムを構築して発電を実施し、これによって山間地農家が電力自給を実践できることを実証することとした。そのためには、できる限り水利権などの法規制が少なく、また利用価値の高い水源を伴った立地条件が望ましい。対象として選んだ富山市（旧大沢野町）土（ど）地区は、その裏山に土川（準用河川）の支流が流れる。この支流は河川法に基づく「普通河川」であり、河川法の適用・準用を受けず水利権の制約を受けない。また本支流は渇水時でも 30~50L/s の流量をもつ沢で、対象農家から約 200m 上流と、さらに 200m 上流に 2つの砂防堰堤を有している。この砂防堰堤は小水力発電のための取水口を設置し易くこの点でも好都合である。砂防堰堤までの距離は 400m 以上となり取水のための水圧管設置は遠距離にはなるが、山間を配管することから地権者からの許諾は容易に得られる場所であった（図-1）。

当該場所には民家が 2軒あり、内 1軒の地所を借用して実験を実施することとした。この周囲には互いに利害関係のある農家無く、また下流部への影響も少ないため下流集落からの許諾も容易に得られた。また当該農家は自ら小水力発電による電力自給を希望しており、地所内に水車などの建造物を作ることに対して協力的である点も重要である。

電力自給の目標設定

対象農家の電力消費量実態を把握するために、北陸電力の協力を得て 2004 年 4 月から 2008 年 10 月までの月ごとの消費電力量を集計した（図-2）。母屋で使用する従量電灯契



図-1. 富山市土地区の発電実験地点

約1系統の月ごとの電力消費は1月～4月で高くなる傾向がありその幅は約800kWh～1000kWhであった。一方消費量が少ない時期は7月～12月で、その幅は400kWh～600kWhであった。期間中の平均は約640kWhで、最大値は2006年1月の1047kWhであった。ここで1月～4月での電力量増加の原因として、1～2月は暖房のための炬燵使用、3～4月は鶏孵化のための温熱器使用と判明したため、これらは特別使用とみなし、5月～12月の電力使用が賄えるレベルを目標とすることとした。なお、冬季間の暖房については小水力発電以外の方法で電力を賄うか、もしくは節電によって充足させることを考慮することとした。

以上の事前調査により、該当農家の日常を賄うための1カ月の目標発電量を、最大800kWh/月とし、これを超える分については従来通り電力会社からの電力供給を受けることができるシステムとすることとした。ここで小水力発電装置の可動率を90%とすると、発電所の要求発電能力は約1.23kW程度と見積もることができる。

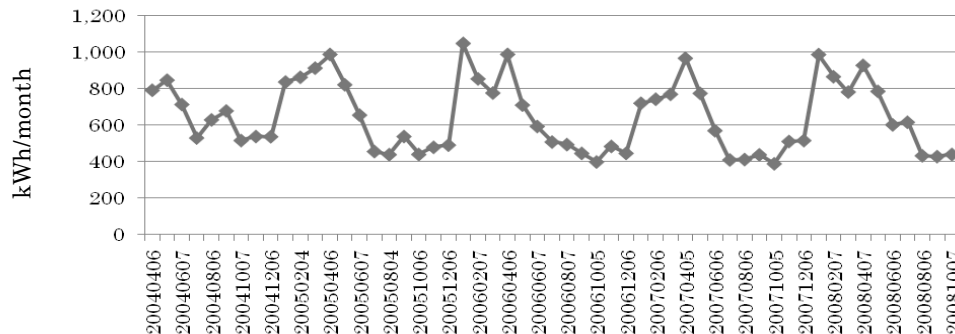


図-2 対象農家における月間電力消費量の推移 (2004年6月～2008年10月)

発電システムの概要設計

発電システムの基本構成は、導水管による沢水の誘導およびそれを利用した衝動型水車（ターゴインパルス水車）発電装置と、その下流に設置した上掛け水車（直径4m）を用いた発電装置の、2組の発電装置から成る複合発電システムとした。ターゴインパルス水車はカナダ製（ベトナム製造）の既製品で1kWの出力が期待できる。上掛け水車は当該農家の希望により環境教育などの目的を有するディスプレイ効果の高い水車として設計・制作し設置した。本水車は流量20L/sの条件下で約400Wの出力が期待できると推算された（後述）。これによって総合的に最大1.4kWの発電が期待できるため、前述の目標発電量を達成することができる。

発電電力は制御装置によって最終的には100V（AC）に調整し、既設の系統宅内配線と合流させる方式を想定した。回路内には日々の需給バランスを調整するために鉛バッテリーを用いた二次需用装置を配し、余剰電力が発生した場合は充電によってバランス調整する。さらに余剰が発生した場合にはダミーロードによって調整するものとし、将来的には給湯等の施設によって電力を無駄なく利用するための拡張も可能としておく。一方、発電が不足した場合には、電力会社の系統電力を用いて鉛バッテリーを充電して利用するものとした。この様にして、すべての電力は一旦鉛バッテリーを介して供給される需給バランス調整制御回路を設計して制作した。

2. 取水と導水の方法

取水方法

取水地点は前述のとおり、当該農家から約400m上流にある砂防堰堤の上流側の砂礫堆積原とした。ここに図-3に示す構造の取水装置を浸漬し、被覆した砂利の隙間から取水する浸透方式により取水した。浸透管として使用したのは直径200mm、長さ2m、肉厚6.5mmの塩化ビニル管で、直径約2mmの穴が120カ所にある。この塩化ビニル管を4本用いて取水装置とした(図-3)。この方式によって流木や落ち葉、また泥などの塵芥が除去でき、また洪水時に取水装置などを破壊から保護することができる。浸透取水装置は経年変化によって目詰まりを生ずることが予想されるが、実験が5年間であるので設備コストの関係から逆噴流装置などは設置せず運用することとした。



図-3 浸透取水装置の内部構造

導水方法

導水管には取水管と同様の塩化ビニル管を用い、差し込み継ぎ手によって連結して取水地点から発電地点まで誘導した。取水地点と発電地点との総落差は測量によって13.5mであった。これをもとに、導水管の延長Lを480m、流量Qを0.02t/s、屈曲を考慮した粗度係数nを0.015として、式①と式②を用いて有効落差を求めると11.1mと推算された(表-1)。これにより水車直前では約110kPa(1.1kgf/cm²)程度の圧力となるため、直前の導水管は鋼管を用いて水車に連結している。

$$h_f = f \frac{L v^2}{D 2g} = f \frac{8LQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad \dots \text{①} \quad f = \frac{124.5n^2}{D^3} \quad \dots \text{②}$$

ここで h_f は摩擦損失水頭、 Q は流速、 f は摩擦損失係数、 L は導水管の長さ、 D は導水管の直径、 v は流速、 g は重力加速度、 n は導水管の粗度係数である。

表-1 関連地点の標高と落差

地点名	標高	堰堤からの総落差	有効落差
堰堤	186.3m	—	—
発電地点 (水車位置にて)	172.8m	13.5m	11.1m

3. 水車発電システムの制作

ターゴインパルス型水車発電機の選定

上述の導水管による流量と有効落差をもとに本発電地点で適切な水車タイプを水車選定図 7,8)などから読み取ると、高落差・低流量の衝動水車と判断される。本研究では価格を考慮して PowerPal 社 (カナダ) 製ターゴインパルス水車発電機を採用することとした (図-4)。本水車の出力緒元表 (表-2) によれば、有効落差 11m、流量 24L/s において約 1kW の出力が期待できる。今回の条件下での流況は有効落差 11m、流量 20L/s と推算されるため実質出力は 800W 程度になる可能性があるが、本ターゴインパルス水車発電機の使用条件にほぼ適合している。



図-4 ターゴインパルス水車発電機 (PowerPal 社製) 画像は株式会社イズミ (国内販売店) のウェブサイトより転載 (<http://www.izumicorp.co.jp/>)

表-2 流量と高低差による出力の目安

形式	Turgo T1 (ターゴ T1型)			
高低差 (m)	8	9	10	11
流量(リッター・秒)	21	22	23	24
実質出力 (w)	660	780	900	1000

株式会社イズミ (国内販売店) のウェブサイトより引用 (<http://www.izumicorp.co.jp/powerpal/t1/t1.htm>)

上掛け水車の制作と水車出力の見積もり

ターゴインパルス水車の排水を樋によって誘導して、ディスプレイ効果の高い上掛け水車を駆動するシステムを計画した。そこで上掛け水車の購入を検討したが、適切な大きさと流況条件にあう製品は市販されていないため水車を自作した⁹⁾ (図-5, (1)-(3))。

木製上掛け水車においては、水分による木材の膨張を計算に入れること、および木材が乾燥と浸水をくりかえすと釘穴が広がってしまい、釘が抜けることがあるためホゾ組みを基本とすることが述べられている¹⁰⁾。このような木材独特のリスクを回避し、耐久性を高めることを目的として金属製の水車を考案した。また水分を含んだ木材は重量も大きくなるが、金属製で製作することで部品を少なくすることができ、重量を軽減できるメリットもある。以上により鉄製の枠をもった水車を製造した。鉄部は亜鉛メッキにより耐腐食性を高めている。

一方水受け部分は水漏れを少なくするように製作する必要がある。この点については水受けの羽目板を木製にすることで木材の膨張を利用しての密閉性の向上を期待することにした。羽目板は金属製のフレームにボルト止めして固定し、腐食などが発生した場合には交換可能とした。羽目板の材料は、近隣の山から切り出された間伐材を用いて資源の有効活用を狙っている。以上のようにして金属と木質を混在した上掛け水車とし、表-3 の諸元の上掛け水車を設計した。

増速・発電システムの制作

本システムの発電機としては、上掛け水車の低回転性を考慮して多極型(56極)の発電機(株)イズミ取り扱い輸入品)を選定した。本発電機は600回転/分で約500Wを出力する低回転型発電機で、風力発電などにも使用されているものである(図-6)。水車回転数が定格3回転/分であることから、トータル約200倍程度の増速を行う必要がある。そこでチェーン=スプロケット増速と、遊星歯車による減速機を組み合わせ増速装置を制作した(図-7)。第1段目の増速は水車本体の軸と増速ユニットを連結するスプロケット=チェーンの増速で増速比は71:140である。第2弾段目は遊星歯車を用いた減速機(サイクロ6000シリーズ:住友重機械工業社製)を入出力逆転して使用しており増速比は1:43である。第3段目は減速機と発電機の連結するスプロケット=チェーンの増速で、増速比は25:60である。以上、3段の総合増速率は203.5倍となり、これにより3回転/分の水車回転数は、ほぼ600回転/分まで増速される。水車の定格出力は流量20L/sのもとで450Wと見積もっているが、増速効率(約95%)と発電効率(約95%)を見込むと、上掛け水車発電システムの総合定格出力は約400Wと推算される。

表-3 上掛け水車の緒元

項目	諸元
水車の直径	4m
水車の幅 (b)	0.5m
定格流量 (Q)	0.02t/s (20 L/s)
定格回転数	3 回転/分 (周速度 $u = 0.632\text{m/s}$)
水車の目標効率	0.6 (グラスホフの式より推算)
水受け深さ(a)	0.2m (経験値 0.25 - 0.4)
水受け充満率 (k)	約 32% ($a*b*u*k \doteq Q$ より算出)
水受け数	32 個
定格水車出力	450W

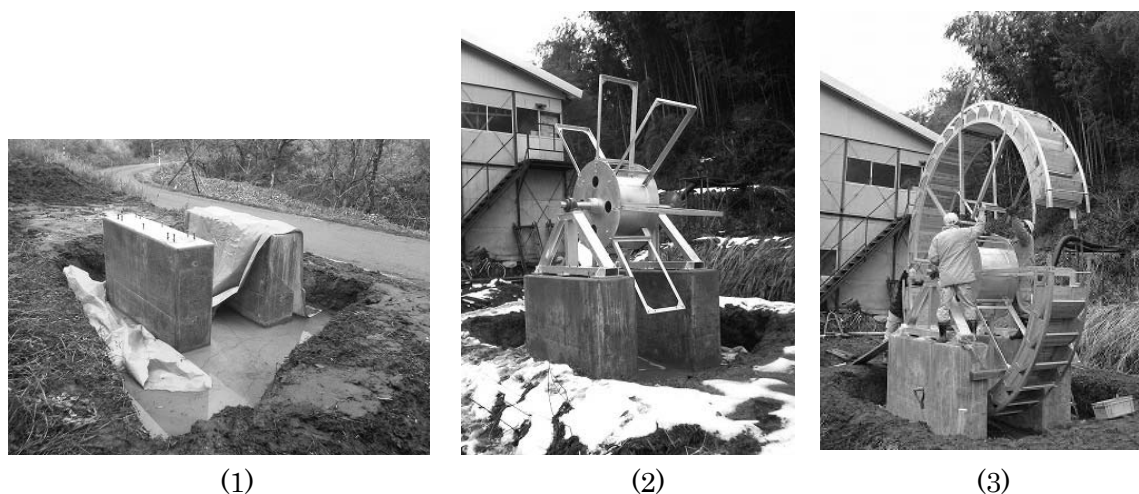


図-5 上掛け水車の組立の過程。(1)基礎工事、(2)台座、ハブ、アームの組み立てと設置、(3)水車本体(水受け部)の組み立てと設置



図-6 多極型発電機の外観。画像は株式会社イズミ（国内販売店）のウェブサイトより転載
(<http://www.izumicorp.co.jp>)

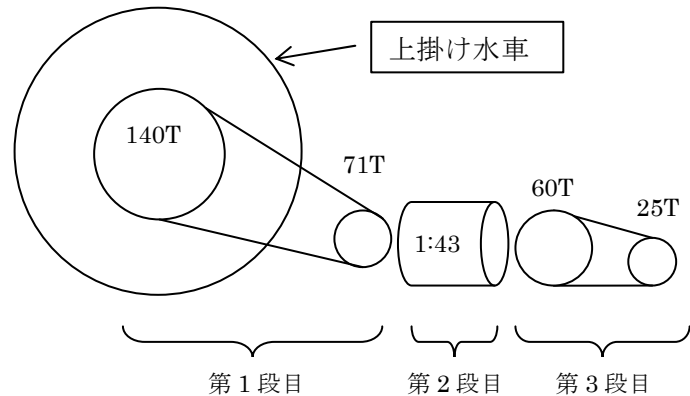


図-7 増速機構の構成略図。Tは歯数を表わす。

4. 電力需給バランス制御の方法

制御回路の設計と製作

前述の通り、当該農家の1か月当たりの消費電力量の上限値は800kWhと設定し、これを満たすための発電所の発電能力は稼働率90%のもとで約1.23kW程度とした(2章)。ここに設置するターゴインパルス水車発電機の定格出力は1kW、また上掛け水車発電の定格出力は400kWと見込んでいる(3章)。ここで2種類の発電装置の特徴を比較すると、ターゴインパルス水車発電機は200V三相交流を出力し、上掛け水車発電機は発電機内部のダイオードブリッジによって脈流に整流されており、回転数によって電圧の変化する直流を出力する。ここで、性状の異なる2台の発電機で得た電力の統合方法、および家庭における消費との需給バランス調整方法を検討する必要がある。これについて本研究では図-9のブロックダイアグラムに示すバランス調整回路を設計して実証試験を実施した。本回路の基本的構想は、需要の増減に対してはバッテリーを用いてバッファリングを行う、系統への逆潮流をもたない独立電源型需給バランス調整回路である。

ターゴインパルス水車発電機の出力は三相AC200Vであるが付属の制御回路(図-9:EC)を用いて一端AC100Vに変換したのち、市販バッテリーチャージャー(図-8(1), 図-9:BC)を用いてDC24Vに調整した。また上掛け水車発電機の出力は脈流であるが、これを鉛バッテリーに接続することでDC24Vに束縛した。過充電を防止するための充放電コントローラとしてTriStar-60(図-8(2), 図-9:CDC)を使用した。このようにして一旦、DC24Vに変換して統合した電力は、DC-AC正弦波インバータ(図-8(3), 図-9:DC/AC-Inv.)を用いてAC100Vに変換し、宅内消費用に供給した。

需給バランス調整用の鉛バッテリーは電気自動車に使用したものを流用するものとした。バッテリー一個当たりの電力特性は12V-150Ahであり、バランス調整のためにこのバッテリーを10本使用した。これによって18kWhの電力を蓄電可能と見積もることができる。本研究では該当農家の1カ月の消費電力の最大を約800kWh、1日平均約26.6kWhの消費電力としているため、本システムの蓄電量は1日分の平均電力の約68%を賄うことができると推算される。

水車の発電が不十分になるとバッテリーの電圧が低下し、家庭に十分な電力供給ができなくなる。この時は系統電力から電力を供給し電力不足を補う動作に切り替わる。本システムではバッ

テリー充電制御回路(図-9:BCCU)がバッテリー電圧をモニタし、電圧低下を検知することによって充電器2(BC2)からバッテリーに電力を供給する。バッテリー電圧が回復すると制御回路によって充電は自動的に停止する。これによってバッテリーは常にほぼ充電状態を維持することができる。以上の様にして、不安定な小水力発電の電力供給について、1日以内の需給変動をバッテリーで補い、発電がストップした場合には系統電力からの供給を行うことで停電を回避するように設計した需給バランス調整回路である。

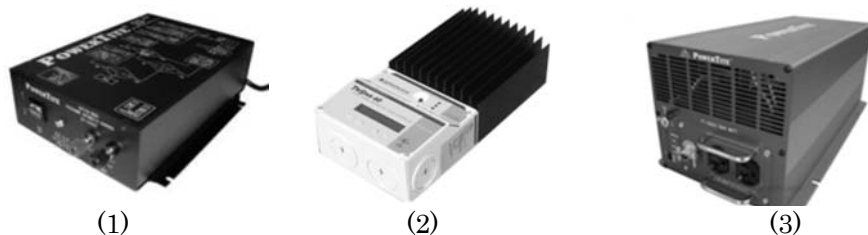


図-8 需給バランス調整回路に用いた機器。(1)バッテリーチャージャー(CH-2415GTD、未来舎)(2)充放電コントローラ(TriStar-60(TS-60):MORNINGSTAR社)(3)CD/ACインバータ(FI-S3003:未来舎)。画像は日本イーテック社ウェブサイトより転載(<http://www.etech-japan.com>)

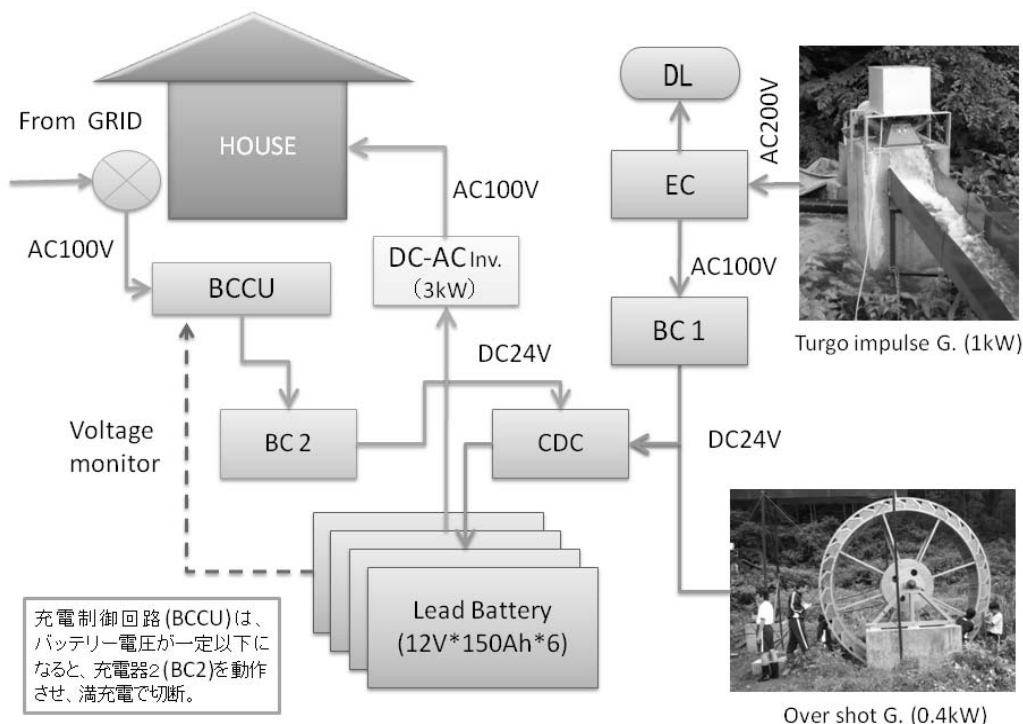


図-9 需給バランス調整のために開発した回路のブロックダイアグラム
 EC:電力制御盤、BC1,2:バッテリー充電器1,2、CDC:充放電コントローラ、DC-AC Inv.: DC-ACインバータ、BCCU:充電器制御ユニット、DL:ダミーロード。BCCUはバッテリー電圧が一定以下になると充電器2を動作させ、系統電力(GRID)を用いてバッテリーを充電する。

5. 試験発電の結果

本システムで試験発電結果を図-10 および図-11 に示す。これらはどちらも 2011 年 1 月 7 日から 13 日までの 1 週間の消費量および発電量を 1 日のスケールで重ねて表示したものである。

まず図-10 に当該農家における電力消費状況の測定結果を示す。消費電力は 1 日の内で大きく変動しながら推移することがわかる。変動には規則性があり、ほぼ毎日について朝 6 時ごろから電力消費が大きくなり、一旦 9 時前後に消費が減少、その後、11 時～12 時にかけて再び電力消費が増加し、14 時～16 時ごろに再び減少、そして 17 時～18 時以降に 3 度目の上昇がみられる。いずれの日も午前 2 時～6 時にかけては電力消費が最も落ち込んでいる。午後の電力消費パターンについては曜日によって変動するものと見られ増減が明確ではないが、午前中においては顕著である。1 日の電力消費量は最大 12.2kWh、最少 7.8kWh、平均 10.2kWh であった。また 7 日間の消費電力量は 71.3kWh であり、1 か月間 (30 日間) に換算すると約 306kWh 程度の見込みとなる。なお、本システムの出力は现阶段では家屋のすべての電力系統には接続しておらず、照明系統および一部の電力コンセントに接続しているのみである。従って本結果は家屋のすべての電力消費を示すものではないが、消費経過は予想通り安定的ではなく大きなピークを伴っていることが明らかとなった。なお電力コンセントには「コタツ」が接続されており暖房用として使用されている。

図-11 には発電電力の推移を示す。上部のトレースがターゴインパルス水車発電機の出力を、下部のトレースが上掛け水車の出力を示している。ターゴインパルス水車は、電力消費変動の影響を受けて出力が変動し、平均して 700～800W の出力が得られた。測定期間の平均出力は 751W、7 日間の総発電量は 126kWh であった。一方、上掛け水車発電機は安定して 300W 前後の出力を示した。測定期間中の平均出力は 290W、7 日間の総発電量は約 49kWh であった。2 台の水車発電機を総合した 1 日の最大発電量は 25.3kWh、最少 24.6kWh、平均 25.0kWh であった。以上の結果から推算すると、1 か月間 (30 日間) の発電量は約 750kWh となる見込みであり、これは当初予想した 600～800kWh/月をほぼ満足する値である。

また測定期間中は家屋での需要が上記のとおり試験接続の負荷であったため、総発電量 (175kWh) が総消費電力量 (71.5kWh) を大きく上回っていた。このことから系統電力からの「非常充電回路」には切り替わることが無く、この点ではまだデータが取得されていない。

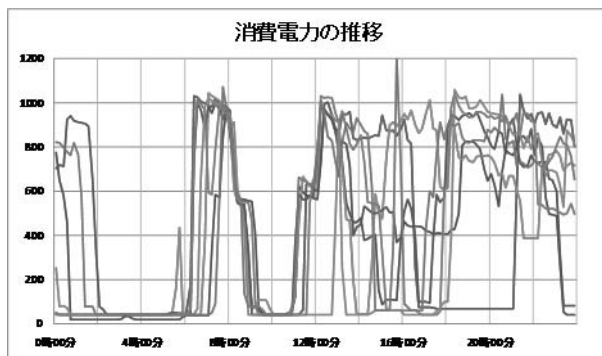


図-10 家屋における消費電力の時間経過

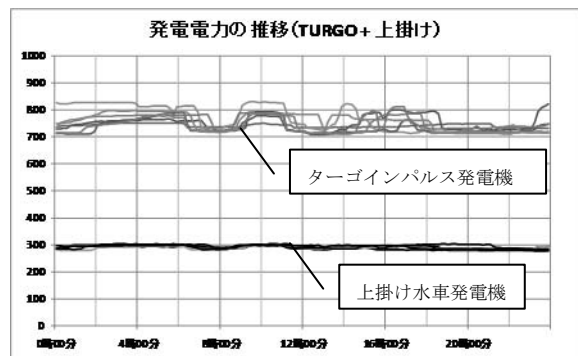


図-11 2台の水車発電機の出力の時間経過

6. 考察

山間地におけるマイクロ水力発電の課題

小水力発電システムの普及・推進に係る制約条件としては冒頭で説明したが、すでに①法制度的障害、②技術的障害、③利害関係による障害、④経済的障害が指摘されている。本研究のマイクロ水力発電においては、実施地点が山間地で水源として普通河川を使用したことから河川法および土地改良法に係る障害は無く、また電力の送電や売電を行わない（逆潮流無し）事、出力が10kW未満の一般用電気工作物で主任管理者が不要であることなどから電気事業法に関する障害も無かった。また水利用者間での利害調整については、土川支流の下流にある農家に許可を求める程度で調整事項は特に発生していない。このようにして小水力発電開始にあたっての法制度的障壁は低い状況であったと言える。

一方、技術的な面では、落差と流量に合った水車選定および上掛け水車設計・製造に必要な基礎資料と技術、また電力制御の方式など、流況にあわせた設備選定にはいくつかの問題点があった。まず落差10m程度、流量20L/s程度の状況下で選択できる水車が国内に無い事である。水車型選定図（資エネ庁⁸⁾などによると当地に適合する水車としては横軸固定羽根プロペラ方式、クロスフロー方式、ポンプ逆転水車などが推奨されるがいずれも安価な製品は無く選定できない。経験者への聞き込みなどにより今回使用したカナダ製（ベトナム製造）のターゴインパルス水車を選定した。

他方、上掛け水車に関しては事実上、日本古来の木製水車があるばかりで発電用に開発された製品は皆無のため自作した。上掛け水車の基本設計については既に明らかとなっているが⁹⁾、発電にもちいた場合の効率は50%程度に留まっており、この点では今後研究と改良が求められる。また上掛け水車に適合した増速装置と発電機の選定についても適切な指針はなく、経験によって選定するのみである。今回は伝達ロス少なさに期待して遊星歯車を用いた減速機を使用した。詳細な伝達効率の測定は未実施である。発電機については風力発電に使用される多極発電機を用いることが増速比率を下げる意味で有利と考えられ、製品選定の指針とした。このように増速装置、発電装置の安価で高性能な品揃えと組合せの指針が必要とされており今後の研究が待たれる。

山間地における発電では取水に関する問題を考慮する必要がある。今回の場合は砂防堰堤に貯留した水を利用するため堰堤上流部に浸透取水工を作成しており、順調に取水できることが確認された。しかしこのような既存の工作物が無い場合には適切な取水施設とヘッドタンクを準備する必要があると考えられる。また取水地点から発電地点までの距離は施工のしやすさと費用に影響するため地点選定は重要となる。

電力利用に関する技術と課題

発電した電力の利用方法はエネルギー自給の安定性と経済性の面で重要なポイントである。通常、太陽光発電などで自家発電を行う場合、発電過多の場合は余剰電力を系統側に売電し、需要過多の場合には系統から購入する「逆潮流有りの系統連係」が行われている。電力の余る日中は電力を売り、朝夕の不足時間帯は電力会社から電力を買う訳であるが、ここで売電価格がその経済性に大きな影響を与える。太陽光発電においては平成21年11月から開始された「太陽光発電

の新たな買取制度」によって、平成 22 年には 1kWh 当たり 48 円で余剰電力が買い取られた¹¹⁾。富山県における一般家庭の電力単価は民生用従量電灯 B 区分¹²⁾において 22.26 円であるので、太陽光発電の余剰電力の売電価格は買い取り価格の 2 倍以上であり、売電のメリットが十分にあることが解る。

しかし一方、平成 21 年度資源エネルギー庁の売電価格アンケートによれば、風力、水力、バイオマスの買い取り価格はそれぞれ 10.1 円、8.6 円、8.7 円であり¹³⁾、購入価格と比較して半分以下である。すなわち余剰電力を売って買い戻すことが価値の半減につながり、発電した電力を系統電力に戻すことは経済的にはメリットが少ない事が解る。平成 24 年度からは「再生可能エネルギーの全量買い取り制度」導入が検討されており、1kWh 当たり 15 円～20 円で売電可能になる見込みであるが¹⁴⁾、それでも販売単価には届かない。しかも系統連係するためには電力品質を一定以上に保つ必要があるため、電力会社が認めるパワーコンディショナーなどの特別な制御装置を購入する必要がある。

系統連係する事によって発電と利用の需給バランス調整はすべて系統に依存することができるため電力安定化へのメリットはあるが、上記のような事情から逆潮流有の系統連係は小規模なマイクロ水力発電においては経済的に不利である。そこで本研究では逆潮流を持たない系統連係として新たな需給バランス調整回路を開発してきた。鉛バッテリーを電力バッファとして位置づけ、約 1 日分の電力を維持できる容量を持たせているが、現段階では需給バランスを維持できるレベルで運転できている。今後、家屋側のすべての電力系統を接続して試験する予定であるが、CD/AC インバータの能力が 3kW (3.25kW-1min) であることから、これを超える一時的な需要があった場合には停電になることも考えられ運転にはある程度の制約が発生する可能性がある。しかし本回路の利点として、①逆潮流がないことから電力会社に認可を受ける必要がないこと、②比較的安価に構築できること、③水車が停止しても系統電力が電力をバックアップできることなどのメリットがある。日本においては山間部の隅々まで系統電力が行き渡っており電力普及率は 100%に近い。今回開発した回路は系統電力が最終的なセーフティネットとなって家庭電力を維持できるため停電に強い制御方式であるが、系統電力が山村にまで行き渡っていることがその背景を支えていると言える。

本制御方式は大容量のバッテリーを必要とすることがひとつの課題である。今回使用したバッテリー容量は 18kWh であり、これは三菱 i-MiEV の 16kWh、日産リーフの 24kWh と比較して同程度の容量である。今後バッテリー価格は低下することが期待されているが、バッテリー寿命は 5 年前後と考えられ、交換には費用がかかる見込みである。これについては電気自動車 (EV) の普及と連動して、家庭用と EV 用のバッテリーの兼用化を検討する事が望まれる。また、EV のバッテリーをセンターバッファとした、小水力、太陽光、小型風力、バイオマスなどの多種分散電源による世帯用スマートグリッドへの発展形も期待できる。

発電した電力をどのように自家消費するかによっても、その経済効果は変わってくる。1kWh の電力を消費した場合の価値を金額にしてみると、売電による利用は前述のとおり約 9 円程度であるが自家消費することで購入単価と同じ約 22 円の価値と考えられる。しかし電気自動車に充電して動力源として利用すると、経済的価値はさらに向上する。三菱 i-MiEV では 1kWh あたり約 10km 走行するとし、日産リーフにおいても約 8km としている。これはガソリン消費量に換

算すると約 0.6~0.7L 程度に相当し、価格に直すと 90 円前後の価値となる（ガソリン 1 L 当たりの価格を 140 円とする）。すなわち、電気として使用するよりも動力源として使用した方が、経済的に効率が良いことが指摘できる。このことは、ガソリンの輸送コストがかかりやすい山間地において、小水力発電による電気自動車（軽トラックなど）の利用が生活コストを大きく削減する可能性があることを示唆している。

山間地農家におけるエネルギー自給のもたらす可能性

本研究では比較的流量の少ない普通河川の流水（沢水）を利用した山間地農家における電力自給の社会実験を行った。当該農家では有畜循環型自然農業で自給自足を目指している一方、電力だけが自給困難であったが、今回のマイクロ水力発電電力を家屋内の照明や暖房などに利用することでエネルギー自給への足掛かりとなった。沢水は降雨などの影響を受けやすく流量変動が激しいため水の安定供給と発電制御が課題ではあるが、河川法の適用を受けず規制等の少ない普通河川は山間地の地域エネルギーとして利用価値が高いことも実証できた。これによって山間地農家において電力自給の可能性が示され、またその制約条件、システム設計、機器選定、性能目標設定、構築手順などが実践的に明らかとなった。

輸入に頼る化石燃料をエネルギーの中心に位置付けて発展している現代において、農山村、とりわけ山間地の農家はエネルギー源からもっとも遠い場所に位置付けられると考えられる。言い換えれば、ガソリン、灯油、食糧、電気、その他の生活物資の移動に最も費用がかかり、生活コストが最も高くなる位置づけにある。しかし元来、小水力やバイオマスなどの資源は農山村に賦存しており、ここがエネルギーの源泉地である事が指摘されている¹⁾。今回実証実験を試みた法的規制の少ない山間地での小水力発電による電力自給への取り組みは、今後推進されるであろう農業用水路での小水力発電に先行して、地域資源を活用した持続可能な生活圏「エネルギー永続地帯」としてのモデルとなり得るものであると期待できる。

おわりに

本研究は、(財)富山県新世紀産業機構の平成 18 年度 新商品・新事業創出公募事業 新エネルギー 分野「中山間地域の活性化に向けた沢水利用型マイクロ水車の開発」、および科学技術振興機構社会技術研究開発センター平成 20 年度研究開発プログラム「地域に根ざした脱温暖化・環境共生社会」研究開発領域・研究プロジェクト「小水力を核とした脱温暖化の地域社会形成」において実施されたものである。

参考文献

- 1) 小林久,「小水力発電の可能性—温暖化・エネルギー・地域再生」,世界(1),岩波書店,(2010), pp104-114.
- 2) 田中勇人,「螺旋水車—富山平野の小水力全盛期—」,(1990)

- 3) 二次エネルギーの動向, 「エネルギー白書 2010 年度版」, 資源エネルギー庁 (2009),
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010energyhtml/2-1-4.html>
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 水林義博・前田隆, 農業用水を利用した小水力発電を取り巻く法律・制度の現状と課題, 金沢大学大学院人間社会環境研究科紀要, 人間社会環境研究 21, (2011) (in printing)
- 7) 小水力利用の基礎知識, 全国小水力利用推進協議会 (2010)
<http://j-water.jp/hmc/index.html>
- 8) 水車型式選定図 水力資源有効活用技術開発調査・小水力資源有効活用技術開発調査報告書、
～簡易発電システム設計マニュアル(案)の策定及び実例(実証試験)に関する調査・検討～ ,
資源エネルギー庁, (2006), ppIV-3-23,
http://www.enecho.meti.go.jp/hydraulic/data/dl/dl_data/ya_02.pdf
- 9) 藤原良樹・細川敬延, 小型水車製作ガイドブック, パワー社, (1998)
- 10) 吉田耀子, 水車の作り方の本, 小学館文庫, (2000)
- 11) 平成 22 年度の太陽光発電買い取り制度に係る余剰電力の買取価格の決定について, 経済産業省、(2010) , <http://www.meti.go.jp/press/20100329001/20100329001.pdf>
- 12) 電気料金単価表, 北陸電力、(2010) <http://www.rikuden.co.jp/ryokin/index.html#02>
- 13) 平成 21 年度実績 RPS 法下における新エネルギー等電気等に係る取引価格調査結果について (平成 22 年 7 月 30 日), 資源エネルギー庁、(2010)
<http://www.rps.go.jp/RPS/new-contents/top/ugokilink-kakaku.html>
- 14) 「再生可能エネルギーの全量買取制度」の導入に当たって、経済産業省, (2010)
<http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004629/framework01.pdf>