

# スマートビレッジ構想マイクロ水力発電システムの有効利用

研究組織：工学研究科 電気電子システム工学専攻 船渡 寛人  
栃木県農政部農村振興課 濱田 勉

## 1. スマートビレッジ構想

スマートビレッジとは、農林水産省によると「バイオマス、太陽光、小水力等農山漁村に賦存する資源・エネルギーを情報技術を用いた地産地消システムにより、地域内の農林水産業や住民生活に有効活用」することだと定義されている。

本研究は、栃木県農村振興課との共同研究であり、栃木県が推進している「スマートビレッジモデル研究事業」に関して共同で研究を行うものである。本研究の目的は、農山村地域、特に中山間地域に豊富にある未利用の再生可能エネルギーを地域の特性に応じて電力等に変換し、電気自動車（EV）等で利用することにより活性化を図る「スマートビレッジ」のモデル地域を設置し、農山村地域での有効利用の検討を行うことである。本研究事業については、以下の項目を共同で実施することとなっている。

- ・スマートビレッジモデル研究会の開催
- ・小水力発電施設の発電効率の検討
- ・小水力発電からの電力の蓄電効率の検討
- ・蓄電施設からのEVへの充電効率の検討
- ・EVの走行性調査

宇都宮大学の分担項目は以下の通りとなっている。

- ・研究会のコーディネート
- ・発電、蓄充電設置施設へのアドバイス
- ・発電、蓄充電効率等の調査
- ・データの集計、考察
- ・その他必要な事項

次に、分散電源の一般的特性と、それを活かすためのマイクログリッドについて説明する。

## 2. 分散電源の特徴とマイクログリッド

太陽光発電・小型風力発電に代表される分散電源は、以下の問題を有する。

- (1) 発電量が不安定である。太陽光であれば、日射量に依る。
- (2) 出力される電力の形態が様々である。家庭コンセントに來ている電力は、交流50Hz、100Vという安定した電圧の交流（電圧の正負が定期的に入れ替わる）である。太陽光発電は直流であり、しかも電圧が変動する。
- (3) 容量が小さいため、単独では負荷とのバランスを取ることが難しい。

これらの問題を解決するために、電力を適切な形に変換する連系装置が必要となる。太陽光発電装置の場合は一般的に「パワーコンディショナー」と呼ばれる。太陽光発電のパワーコンディショナーでは、不安定の直流電力を、いったん安定した電圧の直流に変換して、さらに家庭の機器に給電できるように交流に変換する。

農山村地区で活用可能な再生可能エネルギーとしては、太陽光、農業用水路を利用したマイクロ水力発電、バイオマス、風力発電が考えられる。これらを統合して、安定利用するためには例えば図1に示すようにこれらを統合して利用する仕組みが必要である。本システムはマイクログリッドと呼ばれるシステムであり、地域の分散電源と負荷を相互接続しており、それぞれの不安定性や変動を補っている。また、電力貯蔵（蓄電）設備を有していれば、さらに安定した電力となる。本マイクログリッド内で電力が不足した場合には、電力会社の商用系統から購入するか、あるいは電力貯蔵装置から補うことになる。その場合、マイクログリッドと商用系統を直接接続するのではなく、連系装置を介して接続する。その結果、商用系統へ流入・流出する電力を調整することができ、商用系統が好まない変動を少なくすることができる。

### 3. 系統連系システムと単独システム

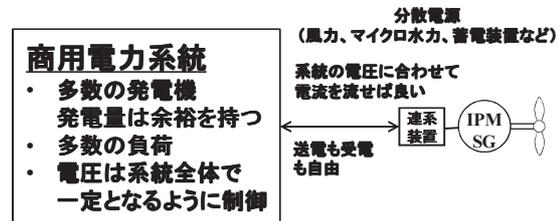
前節のマイクログリッドでは分散電源と負荷を統合し、その上で商用系統と連系した。スマートビレッジ構想では、将来的には図1のようなシステムとなるが、当面は規模の小さなシステムとなる。分散電源を含む電力システムを構築するに当たって、電力会社の商用系統と連系する系統連系システムと、連系しない単独システムが考えられるが、両者は発電システムの運転上大きな相違点がある。

図2に分散電源を含む系統連系システムと単独システムの概念図を示す。図2(a)に示す系統連系システムの場合、商用電力系統には複数の負荷と発電機が接続されている。系統連系の場合、電力会社の給電制御によって電圧と周波数が一定に保たれるように制御されている。また、商用電力系統には多数の発電機と負荷が接続されているため、相対的に容量が小さな電源や負荷が変動しても系統の電圧や周波数は変動しない。例えば、今回のマイクロ水力発電機の発電容量である3kW程度の電力は、東京電力管内の電源容量約6000万kWに対して1/2000万程度である。しかし、図2(b)のように単独で使用する場合、発電量3kWに対して負荷が0~100%まで突然変化することもある。また、図3に示すように、ゴミが詰まった等、突然最大発電量が減少する可能性がある。その場合、負荷側が使用量を自動的に調整して使用電力量を発電量まで減少させるような機能が無いと、電力不足となりシステム全体が停止する。

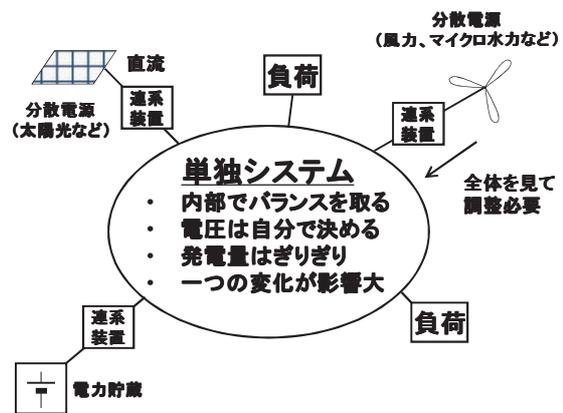
新しい負荷が接続されて消費電力が突然増えたような場合も同様な事態となる。このように、発電機と負荷が一体でバランスが取れるように調整する必要があることが系統連系システムと単独システムの大きな相違点である。

### 4. 研究会のコーディネート

今年度は、1回の研究会、2回の主要メンバーによる打ち合わせ、1回の見学会が開催された。研究会および主要メンバーによる打ち合わせでは、技術的事項について座長としてコーディネートを行った。



(a) 系統連系時



(b) 単独運転時

図2 分散電源の利用形態

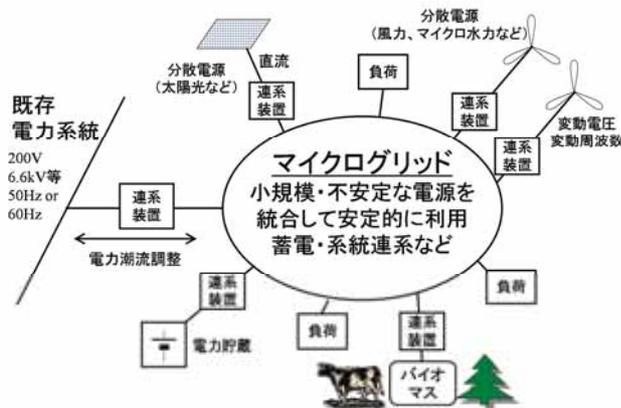


図1 農山村地域の分散電源使用例

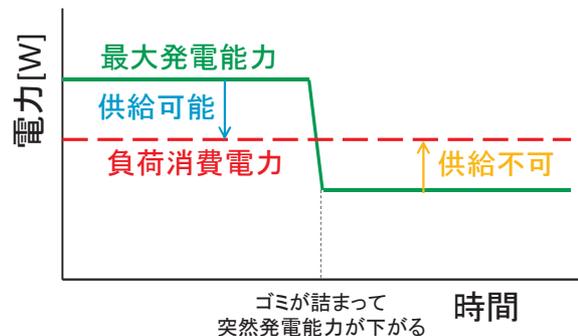


図3 発電能力が突然減少した際の単独システムの挙動

## 5. 具体的構成

スマートビレッジモデル研究事業ではいくつかの類型でモデル研究が進められているが、今回は図4に示すようなシステム構成が計画されている。システムは単独システムであり、初年度はマイクロ水力発電のみが設置される。次年度に負荷となる電気自動車（EV）充電器と蓄電設備が設置されて実際の運転に入る。将来的には他の負荷（農業用の照明、ヒーターなど）と太陽光発電を接続することが予定されている。

## 6. 理想システムの提案

理想的なマイクロ水力発電を含む単独システムは、以下の特性を満たすものである。

- (1) 水量に応じて、水車を最適運転するように発電機の回転数を制御可能であること

【発電機可変速運転】

- (2) 余剰電力は蓄電可能であること。

【蓄電機能】

- (3) 効率を上昇させるため、電力変換段数が可能な限り少ないこと。

【直流接続】

- (4) 発電電力が不足する場合、負荷側が消費電力量を自動的に調整できること。

【droop制御】

上記条件を実現するためには複数の実現法が有るが【 】に示す機能が代表的であり、図3に示すようなシステムが最適である。以下、説明する。

本システムは、(1)の条件を満たすため、水力発電機がPWM整流器（インバータと同一構造の回路）で駆動する。(2)の条件を満たすために、蓄電システムを接続する。(3)の条件を満たすためには、可能な限り発電機PWM整流器の出力である直流で各機器を接続する必要がある。現在、多くの家電機器は商用交流電源から直流に変換して電子回路を駆動している。また、太陽光発電に代表される分散電源も、一般的に内部で安定した直流を生成している。また、一般的に交流から直流へ変換するよりも、直流から所望の直流電圧に変換することの方が変換効率が高い。従って、直流で各機

器を接続することにより、マイクロ水力発電システムでの「直流→交流変換」が省略できるだけでなく、負荷や他の分散電源内部の電力変換効率も向上可能である。しかし、このようなシステムでは直流での接続可能なように、市販品を改造するかあるいは電力変換部分を独自に設計・製作する必要がある。

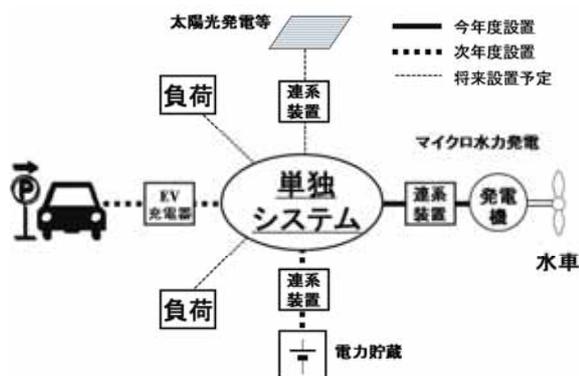


図4 研究対象のシステム構成図

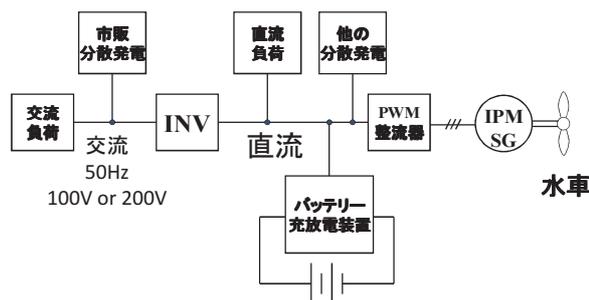


図4 理想システムの提案

(4)の条件を満たすためには、すべての機器がそれぞれ自動的にバランスするように制御する必要がある。直流接続においては、例えば文献(1)の様に電圧を媒介として自動的にバランスを取る方法が提案されている。一般的には、各機器の出力電流に応じて電圧を微小に変動させる droop 制御と呼ばれる制御を用いる。本手法を用いるためには、接続されるすべての機器（発電、蓄電、負荷）に同一アルゴリズムの droop 制御則が実装されている必要がある。このため、電力変換部分について、少なくとも制御プログラムが改造できるような機器を用いるか、あるいは専用設計する必要がある。

## 7. 実際のシステム設計に対するアドバイス

今回は、以下の理由から、前節で説明した理想システムを満たすシステムとはならない。

- (1) 宇都宮大学が関与する時点で、既に設計が進んでいた。
- (2) コストと納期の関係で、市販機器の組み合わせで実現したい。

図5に今回設置するシステムの電気接続ブロック図を示す。本システムでは、前節に示した条件の内、【発電機可変速運転】のみが実現可能であり、他の条件は満たさない。【蓄電機能】については、次年度接続予定であるが、この場合蓄電量の制御が問題となる。【直流接続】については、市販品のみを使用しては難しい。来年度以降に向けて、専用品の設計を検討する必要がある。

【droop 制御】は単独システムで問題となる発電と負荷のバランスを自動的に取るための根幹を成す機能であるが、本システムでは実装不可能である。その代り、本システムでは常に最大電力で発電して、余剰電力をダミー負荷とよばれるヒーターで消費させる構造になっている。この方式は、従来の単独システムでも用いられる方法であり、簡易で市販品で構成可能であるが、以下の問題点を有する。

- (1) 効率が低い。
- (2) 負荷電力が発電量を超えた場合には全体が停する。

従って、将来的には droop 制御が実装可能となるようにシステムを構築する必要がある。

また、来年度設置する蓄電要素について蓄電容量の選定が問題となるが、EVの走行距離と充電時間をパラメータとして必要容量を算出した。

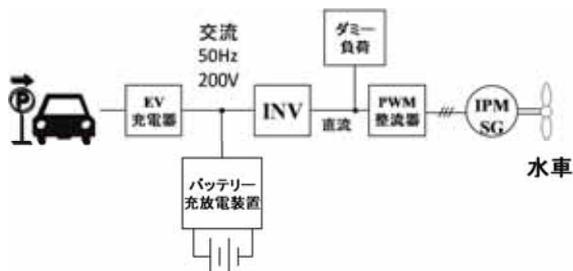


図5 実際に設置するシステムのブロック図

図6に実際に宇都宮市内に設置されたマイクロ水力発電システムを示す。本システムは農業用水路の落差部分に設置されており、発電機の最大出力は2.5kWである。水力発電にはゴミが大敵であり、特に落ち葉が大量に流れてきて詰まると、故障の元になったり、水車に供給される水量が極端に落ち、発電量が激減したりする。これを防止するために、取水口に網を設けても、網に詰まってしまうと巢料の減少が避けられない。今回は、上部取水口の上に発電システムを設計した中川水力株式会社で考案した自動除塵装置が設置されている。水は取水口から垂直に落ちて、下部に設置された水車を回す。

## 8. 測定システム

発電システムは予算の都合上測定システムが組み込まれていない。そこで、地域連携活動予算を用いて測定システムを構築する。まず、測定すべき箇所は以下の通りである。

- (1) 各部の電圧・電流（最低限、発電システム出力、充電器入力、蓄電装置入力）
- (2) 温度
- (3) 流量



図6 マイクロ水力発電システム

これらは、専用センサーで計測してデータレコーダと呼ばれる測定器で測定する。データレコーダはセンサー出力である電圧を、メモリーに定期的

に蓄える測定器であり、最近は小型で長期間測定できるものが市販されている。図7に今回使用するデータレコーダ（HIOKI8430）を示す。このレコーダは512MBのメモリーカードを使用した場合、10chのデータを1秒間隔で160日余り記録することができる。従って、今回のような用途に向いているため採用した。

前節で述べたとおり、マイクロ水力発電システムの大敵はゴミである。そこで、ゴミの漂着状況を観測して発電量との対比を行いたい。監視カメラなどいくつかのシステムを検討したが、コストや設置の容易さを考慮して、図8に示す定点観測カメラ（Brinno社Garden Watch Cam）を使用することにした。このカメラは、植物の成長などを観測するためのカメラであり、個人でも使用できるような仕様となっている。乾電池で3ヶ月ほど駆動可能であり、2GBのUSBメモリーに1時間間隔で80日余り撮影可能である。試験的に撮影した結果、ゴミ状況の確認には十分な解像度を持つことがわかった。このカメラを図9に示す2箇所に設置する予定である。

## 9. まとめ

本稿では、栃木県スマートビレッジモデル研究事業の概要について紹介し、分散電源の一般的特性を解説した。今回のような単独システムにおける理想システムを提案したが、実際のシステムは種々の制約により提案システムの条件を満たすようには製作されなかった。理想システムの条件の中でも、負荷と電源のバランスを自動的に取る制御は重要なので今後その機能を付加することを提案した。測定システムについては、本活動予算を有効活用して、ゴミの漂着状況の観測も含めたシステムを構築することができた。来年度以降、実際の運転と測定に入り、有用なデータが取得できることが期待される。

## 参考文献

(1) 伊東洋一、赤木泰文、楊仲慶：「分散電源を

含む小規模直流電力供給システムの制御」、電気学会産業応用部門誌、Vol.126、No.9、pp.1236-1242（2006）



図7 データレコーダ外観



図8 定点観測カメラ

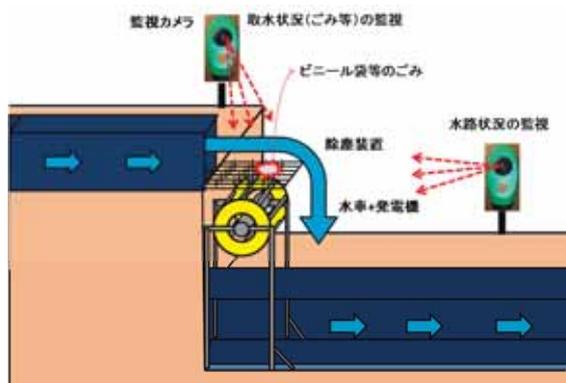


図9 定点観測カメラの設置