

# 遠隔監視システムの屋外常時運用のための太陽光発電と蓄電池による独立電源の評価（第一報）

柴田 幸司<sup>†</sup>・武 美里<sup>††</sup>・花田 一磨<sup>†</sup>

## Development of an Independent Electric Power Supply Based on Solar Energy for Always-on Operation of a Remote Monitoring System (First Report)

Kouji SHIBATA<sup>†</sup>, Misato TAKE<sup>††</sup> and Kazuma HANADA<sup>†</sup>

### ABSTRACT

The authors' research group previously developed a VPN-embedded remote monitoring system characterized by extreme compactness, low expense and very low operational cost. The development was based on the combination of a Linux microcomputer and a USB modem to enable cellular network connection. The authors also previously verified the feasibility of receiving camera images and temperature/humidity data from such information transmission systems with an embedded VPN in sensor-remote locations via a web browser using a smart device such as a tablet computer by connecting USB-connected web cameras and temperature/humidity sensors. In the fundamental study reported here, an electric power supply system was created with a solar panel, output power levels of 50 and 100 W, an electrical battery with a 12V, 22 Ah capacity and a charge/discharge controller combination to allow continuous outdoor operation of a remote monitoring system independent of the public electricity supply. Electricity was generated on an ongoing basis with the system located on the campus of the Hachinohe Institute of Technology. Approximately 1.5 W of electric power was also consumed continuously with an electrical device connected to the load terminal of the system. Temporal variations in the output voltage, electric current and electric power of the solar panel and the voltage of the rechargeable battery were observed during continuous system operation over a period of around a month in Hachinohe, whose climate is cool due to its location in a near-subfrigid zone. The results of this operation showed that a certain level of electricity could be generated using the system and that energy production is greatly affected by weather conditions. It was also found possible to predict the extent to which electricity generation would be reduced in winter based on the results of electrical property monitoring in relation to Hachinohe's climate. In future work, the authors plan to clarify the relationship between solar panel orientation and electric power generation with the system set up under an open sky.

**Key Words:** internet, mobile telephone network, remote monitoring system, Solar power, Independent source

キーワード: インターネット, 携帯電話網, 遠隔監視, 太陽光発電, 独立電源

## 1. はじめに

インターネットの普及により、従来は専用回線が必要であった遠隔地からのセンサ情報の取得システムが安価にて構築可能となり<sup>1)</sup>、一方でモバイル回線を用いたデータ通信もここ数年で進化を遂げ通信速度が高速化され、大きなデータをやり取りするカメラの高解像度な動画情報でさえも移動体からインターネットへ無線にて伝送が可能となった<sup>2)</sup>。このような背景にて筆者らは以前、Linuxマイコンを用いインターネットを介するVPNプログラムを組み込み、USB等によりセンサ機器を接続してVPNルータやセンサ情報取得装置が不要で超小型かつ安価な遠隔監視システムを構築し、VPNは外部からNATによりダイナミックに配布されたプライベートIPアドレスでも動作させ、シンプルかつ低運用コストで遠隔地からノートPCやタブレットPC、スマートフォンなどで温度・湿度データやカメラ画像が取得出来ることを報告している<sup>3)</sup>。

この遠隔監視システムを屋外で常時運用するため、他所から電力供給を受けず自立的に発電および蓄電が可能となる設備が必要であり、基礎検討として太陽光パネル、バッテリーと充放電コントローラを組み合わせた独立電源を構築して八戸工業大学構内に設置し、一定期間1.5W程度の負荷を加え連続的に作動時のデータを取得したので、その結果を報告する。

## 2. システムの概要

屋外で常時運用する機器はUSB接続のWebカメラや温・湿度センサ、モバイルUSBモデムを接続したLinuxマイコン<sup>3)</sup>であり、消費電力は5W程度を想定した。この機器を常時運用させるため、

今回評価した独立電源によるシステムは図1の通り、太陽光パネルとバッテリーや充放電コントローラと負荷は汎用性や機材の入手性を考慮し12V系にて構築した。ここで太陽光パネルには株式会社オータムテクノロジーにて販売している独立系のソーラーパネルで50W出力のAT-MA50Bおよび、BOSCH製単結晶セルモジュールを使用した100WのソーラーパネルのAT-MA100Eを採用した。また、発電された電力を蓄えるバッテリーには台湾・LONG製の12V22AhディープサイクルバッテリーWP22-12Eを選んだ。さらに、これらを制御する太陽電池充放電制御器には、充電・放電機能、夜間タイマー機能やLCDによる電圧・電流表示が可能でインバーター用制御端子を標準装備した未来舎のソーラーコントローラのPV-1212D1Aを選定した。これらを実際に配線した様子は図2に示す。今回は初期検討として、八戸工業大学工学部電気電子システム学科の4階E401研究室前の廊下（室内）に図3の通り設置し、試験運用として1.5W程度の負荷を接続し連続動作時の発電量の特性把握をした。

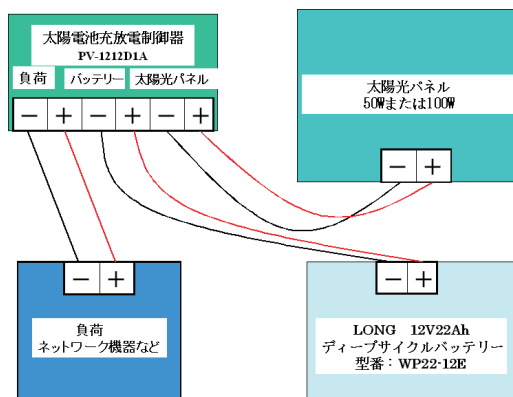


図1 評価した独立電源



図2 配線の様子

平成27年1月8日受付

† 工学部電気電子システム学科・講師

†† 工学部電気電子システム学科・4年

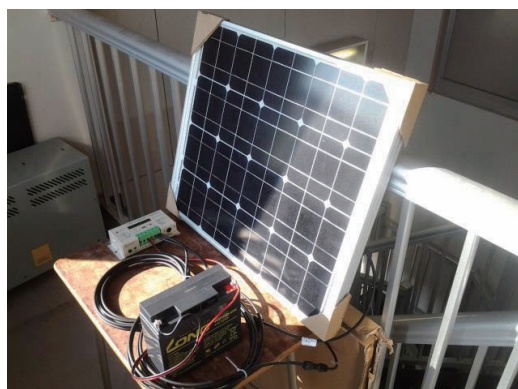


図3 室内への機器の配置

### 3. 発電容量の予測

このような機器の導入にあたり、基礎検討として機器の運用時間の予測をした。Raspberry Pi を用いた遠隔監視システムが常時  $P_{load}=5W$  の電力を消費するものとし、 $V_b=12V$ 、 $I_{hb}=22Ah$  のバッテリーの蓄電容量は  $P_{hb}=V_b \times I_{hb}=12V \times 22Ah=264Wh$  となる。これより運用可能時間は  $264Wh \div 5W \approx 52.8h$  となり、このバッテリーで非発電時に消費電力  $5W$  の機器を約 2 日は運用できると考える。

一方、バッテリーの負荷が  $P_{load}=5W$  で 1 日の使用時間を  $t=24h$  / 日とすれば、電力消費量は  $W_{load}=P_{load} \times t=5 \times 24=120Wh$  / 日となる。さらにシステム電圧を  $V_{sys}=12V$  とすると、1 日に必要な電流量は  $C_{load}=W_{load} / V_{sys}=120 / 12=10Ah$  となる。よって、太陽電池からバッテリーに供給する発電電流量は  $C_{pv}=C_{load} / (\text{出力補正係数} \times \text{充放電補正係数}) = 10Ah / (0.85 \times 0.95) \approx 12.4Ah$  / 日を必要とする。

そこで太陽光パネルによる 1 日の発電量と負荷電力との関係について考えてみる。平均照射時間は図 4 が日の出から入りまでの出力電力を示すので、ピーク電力に換算した晴天時の平均日射時間から 1 日の日射時間を  $t_s=3h$  / 日とすると、太陽電池の発電電流は  $I=C_{pv} / t_s=12.4/3=4.1A$  以上必要となる。一方、太陽パネルに流れるピーク電流は AT-MA50B の仕様より出力電力  $P_o=50W$ 、

$V_m=18V$  では  $I_m=P_o \div V_m=50W \div 18V=2.78A$  となるから不足する可能性がある。これに対し AT-MA100E の場合は  $P_{ms}=100W$ 、 $V_m=17.5V$  であるから  $I_m=P_{ms} \div V_m=100W \div 17.5V=5.7A$  となり、出力としては充分であると思われる。

次に、太陽光パネルによるバッテリーの充電率を電力換算で考える。 $50W$  の太陽光パネルからバッテリーに 1 日に流れ込む電流量は  $I_b=I_m \times t_s=2.78A \times 3h=8.34Ah$  / 日となり、電力容量は  $W_{bs}=I_b \times V_m=8.34Ah \times 18V=150.12Wh$  / 日となる。これに対し、バッテリーの電流量が  $I_{hb}=22Ah$  で  $V_b=12V$  の時は電力容量は  $P_{hb}=V_b \times I_{hb}=264Wh$  となるから、 $50W$  の太陽パネルにてバッテリーを一日充電時の充電率は  $W_{bs} \div P_{hb}=150.12Wh \div 264Wh \times 100=56.9\%$  と計算される。

さらに、充放電コントローラに接続される負荷の電力が  $5W$  なので、1 日の電力消費量は先の計算結果の通り  $W_{load}=120Wh$  / 日となるので、 $50W$  の太陽電池による 1 日の電力容量である  $W_{bs}=150.12Wh$  / 日と比較すれば  $W_{bs} > W_{load}$  となり 1 日の発電量が消費電力を上回り、パネルの選定は妥当と考えられる。この検討から、日中に  $50W$  の太陽光が十分にパネルに供給されれば  $5W$  の電子機器を連続的に動作時の蓄電システムへの発電量の余力はあると考える。なお、接続する負荷はマイコンだけでなく通信機器等も含めトータルの消費電力を検討する必要がある。

参考として、災害時などの本システムの有効利用を仮定し、装置のバッテリーと DC-AC インバータを用い  $100V \cdot 100W$  の電気機器の持続時間を考える。まず、消費電力  $100W$  の電気機器に流れる電流を  $12V$  に換算すると  $I=W \div E=100W \div 12V=8.33A$  となる。また、 $100V$  機器を利用するため DC-AC インバータの効率を  $\eta=80\%$  とすれば、実際の電流負荷は  $IL=I \times (E \div \eta)=I \times (100 \div 80)=8.33A \times 1.25=10.41A$  となる。そこで  $12V \cdot I_{hb}=22Ah$  のバッテリーを用いた場合 5 時間もの間連続的に流せる電流（5 時間率）を考えると、 $I_b=I_{hb} \div 5=22 \div 5=4.4A$  となる。これより、実際の  $100V$  機器で使用可能な時間は  $h=5 \times (I_b \div IL)=5 \times (4.4A \div 10.41A)=2.11h$  となるから、 $12V \cdot 22Ah$  の

バッテリーを用いれば 100V・100W の機器なら 2 時間程度運用可能と思われる。

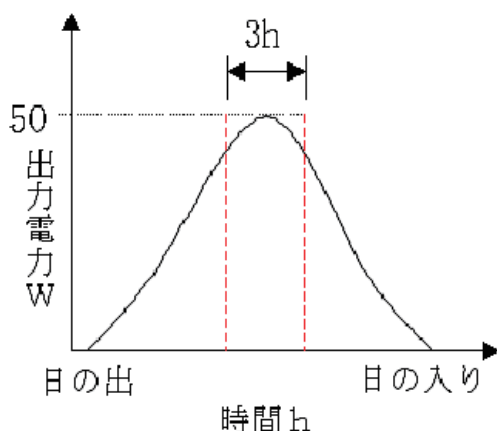


図4 室内への機器の配置

#### 4. 連続運用時の評価

このシステムを用い、装置を1ヶ月程度連続的に運用しコントローラに現れる状況を確認した結果を図5、6および表1に示す。なお、評価の途中で12月1日の午後より太陽光パネルを50Wから100Wに変更している。図と表から太陽光パネルからの入力電流が0.2A時にバッテリーを充電しているが全く発電しない日もあり、午前か午後的一方しか発電していない日も多い。また、11/16(日)の天候は曇りのため発電量が減り11/17(月)、18(火)も余り発電が出来ず、11/17(火)午前はバッテリーの電圧・太陽光パネル電圧が共に11.6Vと低かったため太陽電池充放電制御器側で負荷への電力が遮断されたと考えられる。さらに、11/29(土)、30(日)の天候が雨や曇りのため十分な発電量が得られず12/1(月)午前の段階では電力が不足していたが、午後から100Wの太陽光パネルに変え発電量が増加したと考える。さらに12/2(火)は雪のため室外と室内との気温の差により窓ガラスが曇り太陽光が余りパネルに当たらなかったと思われる。一方、12月8日(月)および9日(火)は晴天のため発電量も多くなっており、天気が良いと十分な発電量が見込まれる。

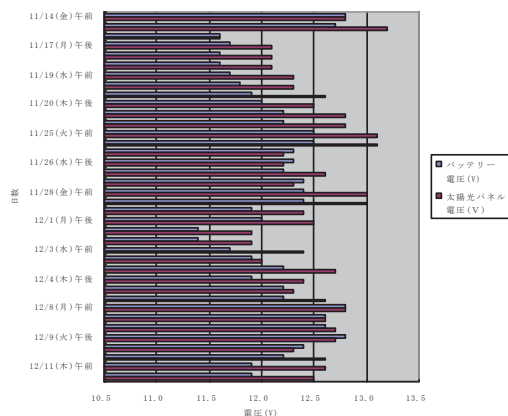


図5 バッテリー・太陽光パネル電圧の棒線グラフ

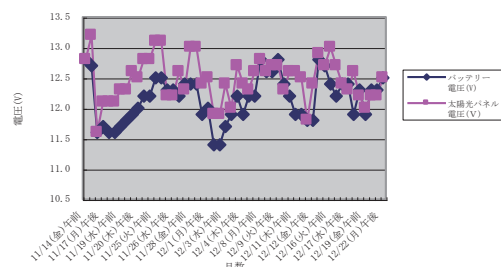


図6 バッテリー・太陽光パネル電圧折れ線グラフ

#### 5. 八戸の気候との関係

そこで、八戸の気候と発電量の相関性について考えてみると、図7と表2の日本の標準気象データ<sup>5)</sup>から11月、12月および1月に特に日射量が減少し、八戸は太平洋側に位置しているが緯度が40度以上と高く、降雪地域の冬場は影響を加味する必要がある。太陽光パネルは温度が上昇すると、発電効率の減少のため夏よりも冬のほうが多く発電するが、八戸は夏と比べ日照時間が短いため発電量が減少する為、冬の太陽光発電は夏に比べ発電量がやや劣り、今後の課題として屋外に設置時は夏は高温対策や、冬は日射時間が短い中で効率よく発電する角度を調べる必要がある。

遠隔監視システムの屋外常時運用のための太陽光発電と蓄電池による独立電源の評価（第一報）（柴田・武・花田）

表1 11/14(金)午前から12/9(火)までの独立電源の測定結果

	天気	最高 気温 (℃)	最低 気温 (℃)	バッテ リー 電圧(V)	太陽光パ ネル 電圧(V)	太陽光パネ ルの 入力電流(A)	本日の 発電量(A H)	1日前の 発電量(A H)	2日前の 発電量(A H)	負荷		
										電圧(V)	電流(A)	電力(W)
11/14(金)午前	曇り/晴れ	6	1	12.8	12.8	0.8	1.1	0.7	2.3	4.86	0.33	1.60
11/14(金)午後				12.7	13.2	0.0	1.9	0.7	2.3	4.81	0.32	1.54
11/17(月)午前	晴れ/曇り	10	0	11.6	11.6	0.6	0.5	0.3	0.9	5.03	0.31	1.56
11/17(月)午後				11.7	12.1	0.0	2.3	0.3	0.9	4.98	0.32	1.59
11/18(火)午前	曇り	9	4	11.6	12.1	0.0	0.5	2.3	0.3			
11/18(火)午後				11.6	12.1	0.0	0.9	2.3	0.3			
11/19(水)午前	曇り	9	2	11.7	12.3	0.1	0.4	1.0	2.3			
11/19(水)午後				11.8	12.3	0.0	0.7	1.0	2.3			
11/20(木)午前	晴れ/曇り	11	-1	11.9	12.6	0.2	2.1	0.7	1.0			
11/20(木)午後				12.0	12.5	0.0	2.6	0.7	1.0			
11/21(金)午前	晴れ	16	0	12.2	12.8	0.2	2.2	2.6	0.7			
11/21(金)午後				12.2	12.8	0.1	2.5	2.6	0.7			
11/25(火)午前	曇り	9	5	12.5	13.1	0.1	0.0	2.4	3.4	5.00	0.00	0.00
11/25(火)午後				12.5	13.1	0.0	0.2	2.4	3.4	5.00	0.00	0.00
11/26(水)午前	曇り	9	1	12.3	12.2	0.0	0.0	0.2	2.4	5.00	0.00	0.00
11/26(水)午後				12.3	12.2	0.0	0.0	0.2	2.4	5.00	0.00	0.00
11/27(木)午前	曇り/晴れ	12	5	12.2	12.6	0.0	0.0	0.0	0.2	5.03	0.00	0.00
11/27(木)午後				12.4	12.3	0.5	0.0	0.0	0.2	4.96	0.00	0.00
11/28(金)午前	晴れ	13	3	12.4	13.0	0.1	2.1	1.0	0.0	5.09	0.00	0.00
11/28(金)午後				12.4	13.0	0.1	2.4	1.0	0.0	5.03	0.00	0.00
12/1(月)午前	曇り/雨	15	9	11.9	12.4	0.0	0.0	0.5	0.0	4.98	0.00	0.00
12/1(月)午後				12.0	12.5	0.0	0.2	0.5	0.0	4.92	0.34	1.67
12/2(火)午前	雪	8	1	11.4	11.9	0.0	0.0	0.2	0.5	4.92	0.33	1.62
12/2(火)午後				11.4	11.9	0.0	0.1	0.2	0.5	4.95	0.31	1.53
12/3(水)午前	雪/晴れ	4	-1	11.7	12.4	0.1	1.1	0.1	0.2			
12/3(水)午後				11.9	12.0	0.2	2.9	0.1	0.2			
12/4(木)午前	曇り/雪	4	0	12.2	12.7	0.1	0.7	3.2	0.1			
12/4(木)午後				11.9	12.4	0.0	0.8	3.2	0.1			
12/5(金)午前	曇り/雪	3	-1	12.2	12.3	0.2	3.1	0.8	3.2	4.98	0.31	1.54
12/5(金)午後				12.2	12.6	0.0	3.7	0.8	3.2	4.95	0.34	1.68
12/8(月)午前	晴れ	3	-2	12.8	12.8	1.4	1.3	6.8	1.4	4.97	0.33	1.64
12/8(月)午後				12.6	12.6	0.3	3.5	6.8	1.4	4.92	0.34	1.67
12/9(火)午前	晴れ	4	-3	12.6	12.7	1.5	7.6	6.8	1.4	4.92	0.32	1.57
12/9(火)午後				12.8	12.7	0.2	10.5	6.8	1.4	5.15	0.34	1.75
12/10(水)午前	晴れ/曇り	4	-1	12.4	12.3	0.4	1.2	11.7	6.8	4.92	0.32	1.57
12/10(水)午後				12.2	12.6	0.0	1.5	11.7	6.8	4.92	0.34	1.67
12/11(木)午前	曇り/雨	9	-1	11.9	12.6	0.2	1.0	1.5	11.7	4.93	0.32	1.58
12/11(木)午後				11.9	12.5	0.1	1.8	1.5	11.7	4.98	0.30	1.49

表 2 日本の気象データ(八戸)

日本の標準気象データ (八戸) 月別気象データ													
気象要素 項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
気温(℃)	0.4	-0.3	2.1	8.6	12.5	16.0	20.9	22.1	19.8	13.3	7.2	2.0	10.4
最低気温(℃)	3.3	2.9	5.7	13.0	17.0	19.9	24.4	25.6	23.0	17.4	11.3	5.6	25.6
最高気温(℃)	-2.1	-3.5	-1.2	3.9	8.3	13.2	18.1	18.9	16.5	8.9	2.8	-1.3	-3.5
土中温度 1m(℃)	5.0	3.6	3.4	6.1	9.3	11.8	15.1	17.6	17.9	15.5	11.6	7.7	10.4
相対湿度(%)	68.0	71.0	67.0	64.0	71.0	86.0	79.0	81.0	81.0	75.0	67.0	69.0	86.0
絶対湿度 (g/kg)	2.6	2.6	3.0	4.4	6.4	9.8	12.3	13.5	11.6	7.1	4.2	3.0	6.7
最多風向 (16 方位)	西 南西	西 南西	西 南西	西 南西	西 南西	北東	東 南東	東 南東	南西	南 南西	南西	西 南西	西 南西
平均風速 (m/s)	3	4	4	4	3	2	3	3	3	3	3	4	3
降水量(mm)	40	27	63	53	85	173	135	72	224	157	65	60	1154
全日射量(※)	498	651	929	1163	1293	1245	1192	1164	809	755	494	421	10614
4 寸日射量(※)	692	841	1070	1230	1313	1235	1195	1204	891	923	646	579	11818
南壁日射量(※)	704	734	701	585	533	444	480	544	527	719	601	591	7163

備考：〈全日射〉は水平面（直達＋天空）、〈4 寸日射量〉は南面 4 寸勾配です。  
※単位：×100Wh/m<sup>2</sup>月〈最高〉〈最低〉は日最高(最低)気温の月平均値

観測地点：HACHINOHE 地点No.31601 E ANo.181

緯度経度：北緯 40.31 東経 141.32

風速観測：標高 27.0m 地上高さ 6.5m

気象統計：1981 年～2000 年(20 年間)AMeDAS 標準気象データ

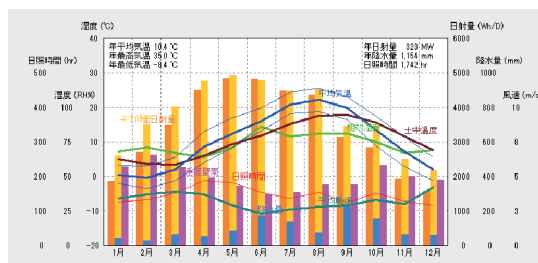


図7 日本の月別気象データ(八戸)のグラフ

## 6. まとめ

本報告では筆者らによる Linux マイコンを用いた組込み型 VPN にて Web カメラや温・湿度センサとの組み合わせにより超小型で安価な遠隔地のセンサ情報を取得し、スマートデバイスでカ

メラ画像やセンサ情報が取得可能であることを確認したシステムを屋外で常時使用するため、太陽光パネルとバッテリーおよび充放電コントローラを組み合わせた独立電源を構築し、亜寒帯に近く冷涼な気候である青森県八戸市の八戸工業大学の構内へ設置して一定期間 1.5W 程度の負荷を加え、連続運用時の発電量のデータの取得を行った。その結果、提案システムである程度の発電が見込めるものの、発電量が天候に大きく左右されることが分かった。今後は屋外に設置時の太陽光パネルの角度の設定などが課題である。

## 参考文献

- 1) 渡辺, 大谷 “棚田オンラインプロジェクト” 信学技報 vol. 108(74), IA2008-9, pp.43-48, 2008-5.



- 2) 柴田, 花田, 大久保 “WiMAX 網を用いた独立型 VPN によるセンサからの高速波形遠隔監視システム” 八戸工業大学紀要 32, pp129-134, 2013-3. 学紀要 33, pp115-120, 2014-3.
- 4) Raspberry Pi ホームページ <http://www.raspberrypi.org/>
- 5) 日本の標準気象データ（八戸(ハチノヘ)）  
<http://www.bionet.jp/data/amedas/181.pdf>
- 3) 柴田, 花田, 落合 “Linux マイコンを用いた組込み VPN による超小型センサ情報遠隔監視システムの開発” 八戸工業大

## 要 旨

筆者らは以前、Linuxマイコンと携帯電話網に接続可能なUSBモデムとを組み合わせ、超小型かつ安価で極めて運用コストの低い組込み型VPNによる遠隔監視システム構築し、これにWEBカメラや温湿度センサを接続して遠隔地に設置したセンサから遠く離れた場所からでもタブレットPCなどのスマートデバイスのWebブラウザでカメラ画像や温・湿度センサなどの情報を取得が可能であることを示している。

このシステムを他所からの電力供給を得ず屋外で常時運用するため、基礎検討として50Wおよび100W出力の太陽光パネルと12V・22Ahの容量を持つバッテリーおよび充放電コントローラを組み合わせた独立電源を構築した。

そして、これらを八戸工業大学の構内への設置し太陽光により発電した電気をバッテリーに蓄電しながら装置の負荷端子に接続した電子機器により1.5W程度の電力を連続的に消費させ、1ヶ月程度の連続運用時における亜寒帯に近く冷涼な気候である青森県八戸市での太陽光パネルによる出力電圧および電流や発電量、さらには蓄電用のバッテリー電圧などの変化を観測した。

その結果、今回評価したシステムである程度の発電が見込めるものの、発電量は天候に大きく左右されることが分かった。また、この結果を八戸地域の気候と照らし合わせて考察したところ、冬場には発電量の減少が見込まれることが予測できた。よって今後は本システムを屋外に設置時における太陽光パネルの角度と発電量との関係の確認などが課題である。

**キーワード:** インターネット, 携帯電話網, 遠隔監視, 太陽光発電, 独立電源