

# 自立型ハイブリッドポールの発電・蓄電・消費に関する考察

引地 智\*<sup>1</sup>, 内海 康雄\*<sup>2</sup>, 柴田 公博\*<sup>3</sup>, 吉野 秀明\*<sup>4</sup>, 吉田 徹\*<sup>5</sup>

## Consideration of Generation, Storage of Electricity and Consumption of the Autonomous Type Hybrid Pole

Satoshi HIKICHI, Yasuo UTSUMI, Kimihiro SHIBATA, Hideaki YOSHINO,  
and Toru YOSHIDA

An outdoor lighting with the compound generation of electricity which combines wind power generation with sunlight, a hybrid pole, was installed in the former Natori-city Yuriage elementary school hit by an eastern Japan great earthquake. The function improvement as a light in emergency use beside an urgent shelter was considered. Also it was considered about the generation of electricity, power consumption and charge. The ratio of the generating electricity electric power/power consumption grind setting in more than 3.5 to achieve continuous lighting up is possible as a power supply in the shelter which became independent of a business power supply.

KEYWORD: hybrid power generation, solar-photovoltaic, solar power, wind power, energy storage, over discharge, continuous lighting up possible hour

### 1. はじめに

平成 23 年度大学等における地域振興のためのセンター的機能整備事業「東北の産業復興を行う技術者人材育成」は東北地方の東日本大震災の被災地が求めている震災復興と産業再生へ向けての短期的・長期的ニーズに対応した課題を解決できる人材育成のシステムを、産学官連携により構築し地域社会に定着することを目的とし、その一環として「安全安心なエコタウン構築についての人材育成」事業を行っている。

事業を推進していく中で、技術の知識習得のみならず被災地に近いところでの環境の変化に基づく具体的現実的な臨場感ある場所での研修の要望が強く出されてきた。協議の結果、名取市役所から非常時の避難場所としている旧閑上小学校を研修場所としての提供の申し入れがあり、この地に太陽光発電・風力発電を併せ持つ外灯付き複合形発電のハイブリ

ッドポール（以後 HBP と記す）を移設して、再生エネルギー発電を用いた避難所の常備外灯として性能などを検証すると共に機能改善を行った。

本研究では、仙台高専の名取キャンパスに設置した HBP を旧閑上小学校に移設し、発電量、消費電力、蓄電量などを計測した。太陽光発電、風力発電は天候に左右され曇天が続くと太陽光の発電量は減少し消費電力に追従出来ず消灯することが時々あり、原因の解明が必要となった。また、旧閑上小学校は非常時の避難場所であることから、HBP は自立型電源を持つ外灯としての役割を担うことになり、防災上、安全性の確保にむけ性能改善が必要で、発電、蓄電などの改善を行うことが必要とされた。

### 2. 名取市旧閑上小学校の概要

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により東北地方太平洋地域は甚大な被害を受け、宮城県名

\*1 研究推進センター 特命教授

\*2 地域イノベーションセンター、副校長

\*3 研究・産学連携推進室 特命教授

\*4 研究推進センター 特命教授

\*5 研究推進センター 特命教授

取市沿岸部の閉上地区も地震、津波で甚大な被害を受けた。この地区にある閉上小学校(旧閉上小学校)は地域の避難施設として指定されている。図1にハイブリッドポールの配置を示す。付近には高い建物が見当たらず建物の取壊しが計画されつつも閉上地域の緊急避難所に指定されている。ただし、この地は商用の電源供給は中止されており、周囲には照明設備がなく陸の孤島のようなところに緊急避難所として重要な機能を担い、夜分は照明灯としてしかも商用電源に接続していない自立した電源として必要とされている

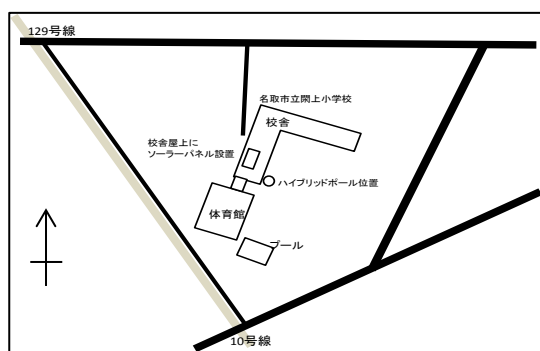


図1 名取市旧閉上小学校の配置図

### 3. ハイブリッドポール(HBP)について

#### 3.1 HBPの構成

HBPの構造を図2に示す。風力発電機、太陽光パネル、照明灯、を高さ6.5mの堅牢な鋳鉄ポールに設置し、コントローラー、バッテリー(鉛蓄電池)を内蔵した構成となっている。

表1 ハイブリッドポールの基本仕様

太陽光パネル	定格出力	130W×2枚
	サイズ(mm)	1476×660×35
風力発電	定格出力	1.0kW (風速12.5m/s)
	ブレード径(mm)	2000
	発電機	小型コアレス交流機
LED照明	照度	60W (直下106 lx)
蓄電池	種類	密封型鉛電池
	容量	12V×100Ah ×4台
コントローラー	入力制御	過放電・過充電防止、強風・乱気流時停止機能、落雷防止機能
	出力制御	日の出・日の入感知、タイマー機能等
	電池制御機能	充電電流制御、低電圧保護機能等

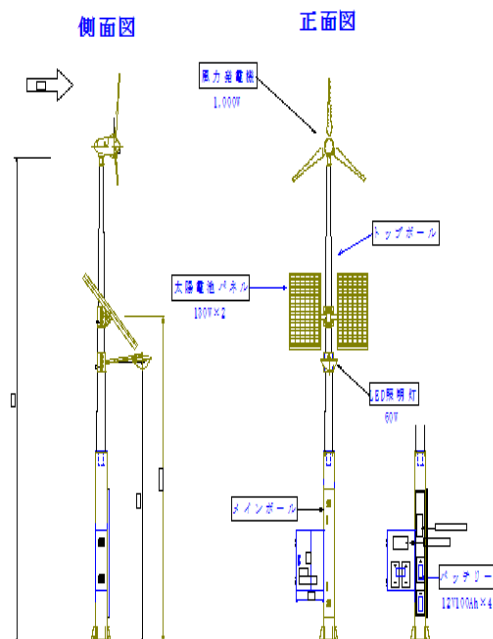


図2 ハイブリッドポールの構造

表1にハイブリッドポールの基本仕様を示す。風力発電機は鋳鉄製ポール塔頂に水平調整が360度可能な自在稼働型とし、風力で回転羽根を回転させてコアレス交流発電機から、風速12.5m/s時には1.0kW/hの交流電気を得る。太陽電池パネルはポール上部のアーム架台に真南に向けて2枚の結晶型パネルを設置し、発電総量260W/hの直流電気を発電出来る。外灯としてLED照明灯を鋳鉄ポール3.8mの位置に取り付ける。消費電力は60Wで、直下照度は100lxとし同心円5mでの地表の照度は35lx以上である。コントローラーは風力発電による交流電気を蓄電器に充電する機能と、太陽光発電による直流電気を充電する機能が作動する。このため持続可能な自然エネルギーを活用するものの性質の異なる2つの電力を得るためハイブリッドポールと呼んでいる。図3は旧閉上小学校校庭に設置したHBPの外観である。

#### 3.2 HBPの発電・充電の流れ

①HBPは、風力発電機による交流発電、太陽光発電の直流発電をそれぞれコントローラーで制御して密封型鉛蓄電池に充電される。②図4のように、コントローラーにはデータロガーを組み込み、風力発電機、太陽光発電の電圧、電流、電力量の

## 自立型ハイブリッドポールの発電・蓄電・消費に関する考察

データをそれぞれ時々刻々に記録し、③鉛蓄電池の電圧も記録した。一方、④蓄電池に充電された電力は、インバータで交流に変換してLED照明など負荷に供給され、避難所の誘導灯や防犯無線機などの自立形電源として供される。



図3 旧閑上小学校に設置のHBP

図5は、名取キャンパスに設置した（2013年9月22日～同28日）時のHBPの発電量、電池の端子電圧の連続したデータである。上のグラフは、SV（太陽光発電）、WV（風力発電）の発電量を表し、下のグラフは電池の端子電圧である。風力発電は風がほとんど吹かないこともあって発電はもっぱら太陽光だけである。天気は気象庁仙台市のデータを用いている。端子電圧は、発電量が増大すると日中は上昇しているが、発電量が小さい場合や曇りの日が続く場

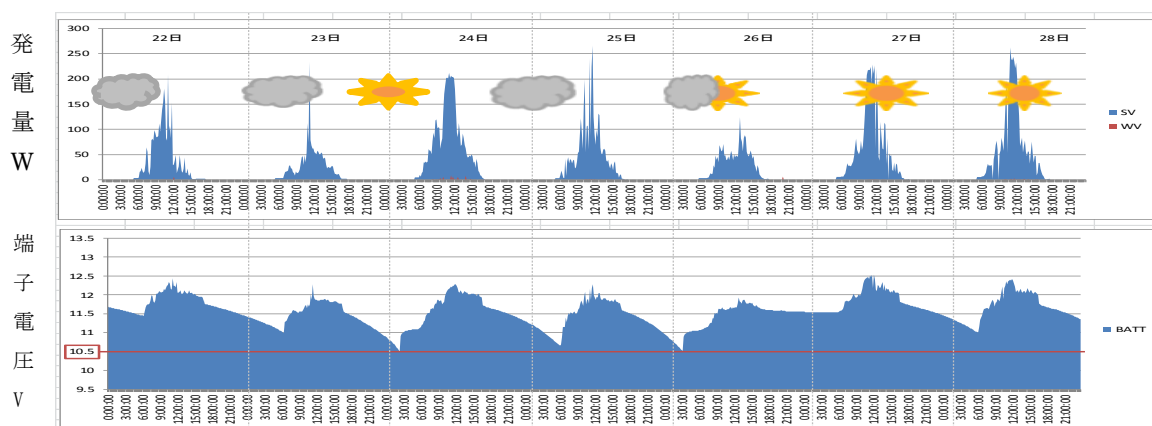


図5 名取キャンパス設置時（2013年9月22日）の発電量と電池の端子電圧

合は、例えば9月23日や25日の翌朝未明では端子電圧夜半に徐々に低下し、カットオフ電圧の10.5Vにまで低下し、照明灯は消灯している。ここではLED照明（60W）の消費電力が発電量を上回り、翌日まで持ち越しが出来ない。

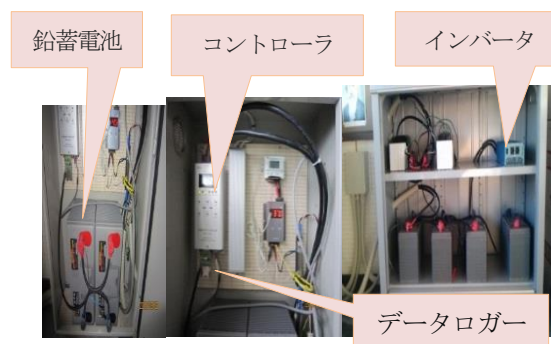


図4 格納ケース内の制御系と蓄電池

#### 4. 機能改善の検討

##### 4. 1 太陽光パネルとバッテリーの追加による検討

名取キャンパス設置のHBPを平成26年1月に名取市旧閑上小学校に移設した。名取キャンパス時には日中の天候が曇天、雨天が続くと夜中の照明が消灯することとなり緊急避難所の照明灯としては課題があった。

そこで閑上小学校に移転することを契機にHBPにさらに太陽光パネル(図6)及び鉛蓄電池を追加設置し、表2のように、太陽光パネル及び蓄電池を組み合わせた実験条件で機能改善の検討を行った。

表2 太陽光+蓄電池の追加実験条件

	太陽光パネル+蓄電池	期 間
case 1	1kW+2台	2014.1.10~1.29
case 3	0.5kW+2台	2.13~2.26
case 4	0.5kW+1台	2.27~3.14
case 5	0.5kW+0台	3.14~3.26
case 6	1kW+1台	3.26~4.8

\* 蓄電池:密封型鉛蓄電池(12V100Ah)

\* case 2は割愛



図6 追加の太陽光パネル(定格出力250W/枚)

#### 4. 2 負荷変動の検討

HBPに追加太陽光パネルと照明灯、防犯無線機を接続し災害時緊急電源としてどの程度の電力供給が可能なのか、どの程度連続して自立電源として連続点灯できるのか把握した。旧閑上小学校に移設したHBPの負荷として100W~300W電球を接続、発電、蓄電の変化を把握して、自立電源としてどの程度の時間が点灯出来るのか検討した。

### 5. 考察

#### 5. 1 太陽光とバッテリー追加による発電量の変化

表3に、HBPに設置の太陽光S(260W)パネルと追加の太陽光S(0.5kW)パネル、S(1kW)パネルを接続して発電データを記録、期間中の1日あたりの発電量、端子電圧をそれぞれまとめた。このうち発電量につ

いて太陽光パネルの定格出力ワットの変化、蓄電池の台数の変化について図7にまとめた。太陽光パネルのワット数を大きくすると発電量が増大し、また、蓄電池を増設すると合計発電量は増え、蓄電池が1台より2台に増すと発電量が約10%増加している。

表3 追加の太陽光、蓄電池と発電量について

		追加蓄電池		
		—	1台	2台
		Case5	Case4	Case3
太陽光 (0.5kW)	太陽光・合計発電量 Wh	728.9	716.4	783.5
	端子電圧 Vmax V	14.98	14.96	14.53
	同 Vmin V	12.25	12.32	12.32
	連続点灯可能時間Tc h	47~65	63~70	33~81
	発電/消費電力	4.96	4.22	5.14
		Case6	Case1	
太陽光 (1kW)	太陽光・合計発電量 Wh	—	825.3	840.8
	端子電圧 Vmax V		15.03	15.00
	同 Vmin V		12.16	12.31
	連続点灯可能時間Tc h		80~90	57~73
	発電/消費電力		11.51	7.83

表3には、蓄電池の端子電圧の1日の最高値V(max)と1日の最低値V(min)のデータもまとめた。V(max)はいずれのcaseでも満充電のほぼ15Vであり、最低電圧V(min)は、いずれでも、名取キャンパス設置時のLED照明が消灯するカットオフ電圧10.5Vまで落ち込んでおらず、名取キャンパス設置時のように消灯することはない。太陽光、蓄電池を追加することの有効性が示された。

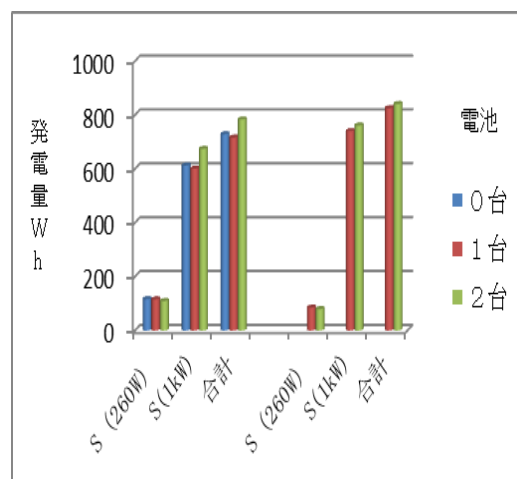


図7 太陽光と蓄電池の追加による発電量の変化

商用電源から自立した緊急避難所の外灯電源とし

## 自立型ハイブリッドポールの発電・蓄電・消費に関する考察

て連続稼働が必要とされ、このため1日の発電・蓄電でどのくらい連続点灯できるかを連続点灯可能時間  $T_c$  として纏めた。連続点灯可能時間  $T_c$  は、夕方以降照明灯の点灯により徐々に電圧降下し、消灯する電圧 10.5V (カットオフ電圧) までの時間を測定し、グラフから読み取った。case ごとの結果を図8に示す。

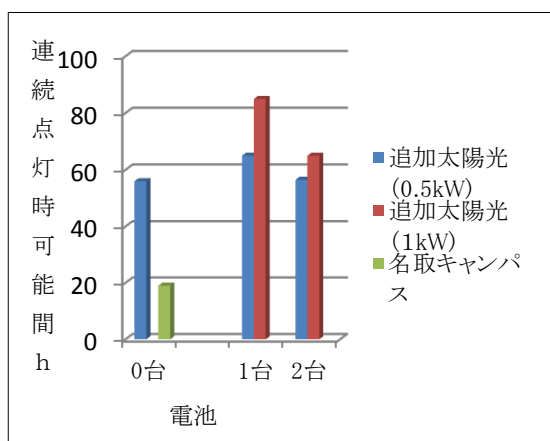


図8 太陽光、電池の追加と連続点灯可能時間

## 5. 2 太陽光パネル、蓄電池と連続点灯可能時間の改善

図8には、名取キャンパス時 (図中 緑) の連続点灯可能時間  $T_c$  が19時間に対し、太陽光、蓄電池を追加した結果では  $T_c$  が65時間~85時間となり、点灯可能時間が3.4~4.4倍伸びたことを示した。曇天や雨天が続く場合でも自立形照明灯として4~7日分位は点灯可能なことが分かった。

## 5. 3 負荷の変化と発電・蓄電の変化

HBPには避難所の外灯や災害用携帯無線機などの接続のほかに緊急用電源としての機能が期待されている。負荷の大小で発電、消費電力、蓄電が変化することを考察した。表4はその条件で、白熱電球100~300Wを終日点灯して負荷とした。名取キャンパス時は60WのLED灯のみの負荷であったが、負荷実験では白熱電球とLED照明灯、携帯無線機5W、インバータ(数W)も接続している。

図9は、期間中の1日の発電量と蓄電池の最低電圧  $V_{min}$  のデータである。負荷電球が増えるに比例して発電量は増え、負荷電球が0W時では発電量は

840Whに、電球が300Wでは5700Whと6.8倍の発電量である。一方電池の最低端子電圧  $V_{min}$  は負荷が0Wでは12V以上なのに対し、負荷電球が大きくなると電圧降下が大きくカットオフ電圧10.5Vまで低下している。すなわち負荷が大きくなると発電量は多くなるがその日のうちに消費してしまう。表5にデータロガーで計測した発電量と試算による消費電力を記載、グラフにしたものが図10で、負荷電球のワットの大きさに比例している。

表4 負荷実験の条件

	負荷 W		期間
	追加太陽光	追加電池	
case11	0W		1/15~1/28
	1kW	6台	
case12	100W		5/21~5/26
	1kW	6台	
case13	200W		6/25~7/8
	1kW	6台	
case14	300w		5/14~5/19
	1kW	6台	
case15	0W		3/26~4/8
	1kW	5台	
case16	100W		5/27~6/9
	1kW	5台	
case17	200W		6/10~6/25
	1kW	5台	

表5 負荷と発電量、消費電力(試算)、連続点灯

		負荷電球				
		0W	100W	200W	300W	
電池5台	発電量 a Wh	Wh	825.3	3091.1	3587.2	
	消費電力(試算) b	Wh	756	3078	5430	
	発電能力(試算) c	Wh	9223	8290	6501	
	c/b		12.2	2.69	1.19	
	連続点灯可能時間 $T_c$	h	80~90	4.5~31	4~80	
電池6台	発電量 a Wh	Wh	840.6	2826	4391.6	5726
	消費電力(試算) b	Wh	936	3060	5400	7878
	発電能力(試算) c	Wh	7875	11088	5229	5884
	c/b		8.4	3.61	0.96	0.74
	連続点灯可能時間 $T_c$	h	57~73	1~36	0~9	0~6

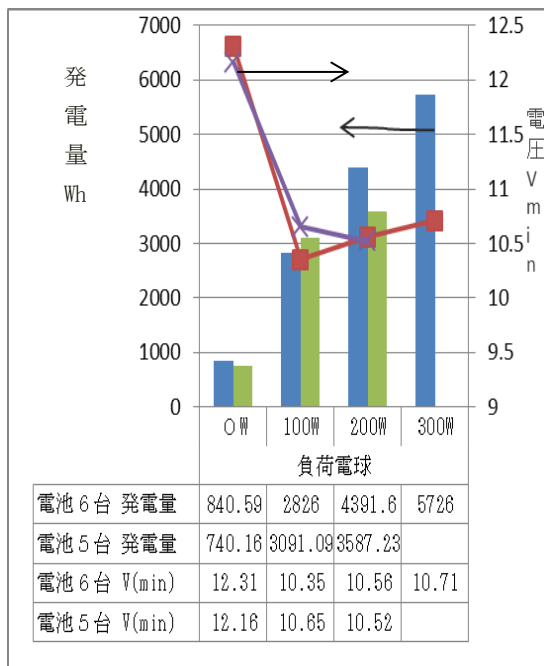


図9 負荷と発電量、最低電圧の変化

消費電力 (試算) : 負荷電球 (W) × 24h + LED 灯 (60W) × 点灯時間 + 無線機 (5W) × 24h  
 発電能力 (試算) : 太陽光パネル定格出力 × 日照時間 (気象庁データ・仙台市地点)

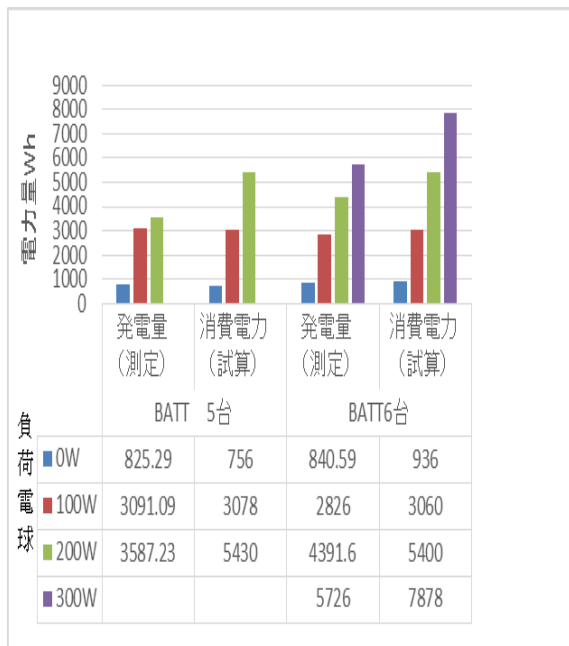


図10 負荷変化と発電、消費電力の関係

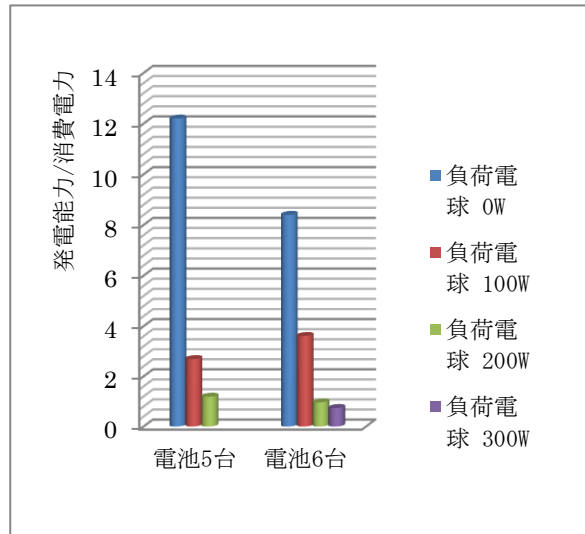


図11 負荷変化と能力の関係

#### 5. 4 負荷と連続点灯可能時間の検討

表5のうち発電能力c/消費電力bと負荷の関係について図11に纏めた。負荷電球が大きくなると c/bは小さくなっている。発電能力c/消費電力bが大きい値は蓄電池として1回の充電でどの位連続点灯出来るかの能力を表すもので、計算式のうち分母の消費電力には24を用い、発電の方は日照時間を用いる。負荷のワットが大きくなればc/b比は小さくなる。連続点灯可能時間についても、c/bの比が小さいことは連続点灯可能時間Tcも小さくなることを意味する。c/bの比が3.5より大きいと数日間外灯として連続稼働でき自立電源として貢献出来る。

#### 5. 5 風力発電について

上記では、太陽光発電を中心に考察してきたが、風力発電はあまり大きくない。図12にcase16の毎日の発電量を太陽光、風力発電についてプロットした。風力発電機はほとんど0で推移している。

自立型ハイブリッドポールの発電・蓄電・消費に関する考察

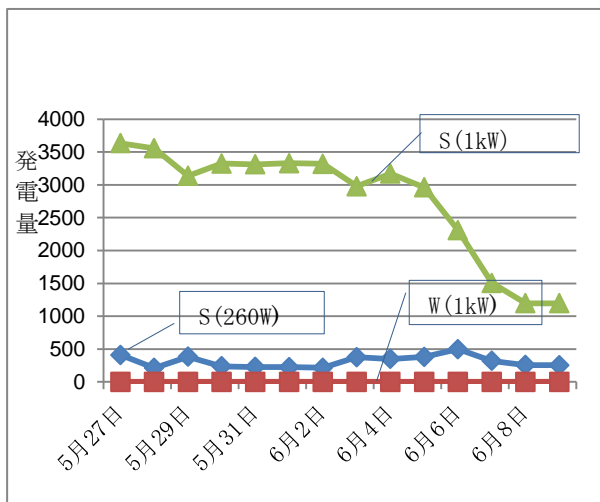


図 1 2 case16 の太陽光、風力発電機の発電量

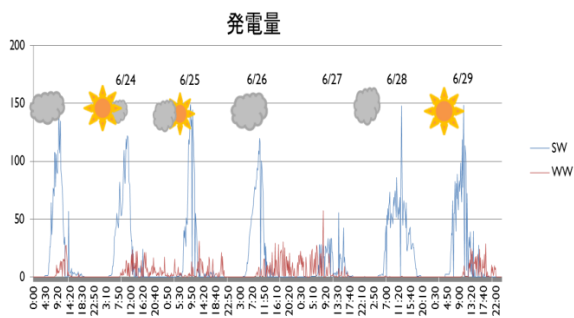


図 1 3 平成 27 年 6 月 24 日～29 日の風力発電  
太陽光の発電量 (青 : 太陽光、赤 : 風力)

図 13 は、コントローラーを交換して、平成 27 年 6 月 24 日～29 日の日毎の風力発電、太陽光(260W パネル)の発電グラフである。赤の曲線は風力の発電量で、青の曲線の太陽光発電より格段に小さい。風力発電機は風速の 3 乗に比例すると言われるが本実験では風力の発電量は小さく、発電全体での占有も低い。旧閑上小付近では風との関連性は確認できなかった。

5. 6 自立電源の発電能力について

本実験に使用の HBP の発電データは、ほとんど太陽光発電に依存している。避難所の非常用電源として、夜半も完全に点灯していることが望まれ、そのためには発電能力/消費電力が大きいことが必要である。

表 6 負荷と発電能力/消費電力について

負荷 (W)	発電能力/ 消費電力	期間
65	12.2	3/26～4/8
65	8.4	1/15～1/28
78	6.97	9/2～9/24
165	3.61	5/21～5/26
165	2.69	5/27～6/9
165	1.82	7/17～7/28
165	1.37	8/20～9/1
265	0.96	6/25～7/8
265	1.19	6/10～6/25
265	1.13	7/30～8/8
365	0.74	5/14～5/19

これまでの実験をふまえて、負荷、期間ごとに発電能力/消費電力の比について表 6 に纏めた。この表の結果をプロットしたのが図 14 である。横軸は負荷容量で、負荷が大きくなれば前述したように負荷で消費するために電力の能力の比は小さくなる。

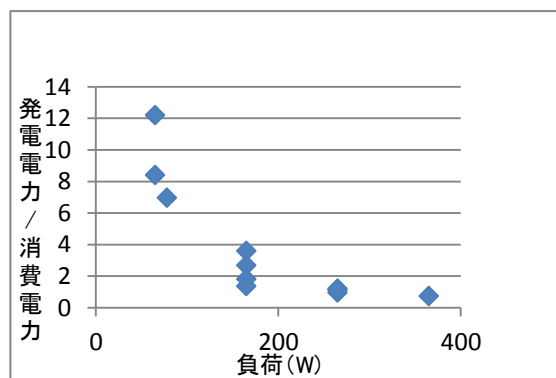


図 14 負荷と発電能力との関係

発電量と消費電力は実用的には次式に当てはめる。

$$\text{発電容量 } a = \text{定格出力 (W)} \times \text{日照時間 (h)} \quad \dots \quad ①$$

$$\text{消費電力 } b = \text{負荷 (W)} \times \text{点灯 (h)} \quad \dots \quad ②$$

ただし、日照時間：夏は比較的長く、冬は短い。日平均にすると 5～6h。点灯時間：日の出～日の入りとし、夏は約 9h 冬は約 15h 位である。

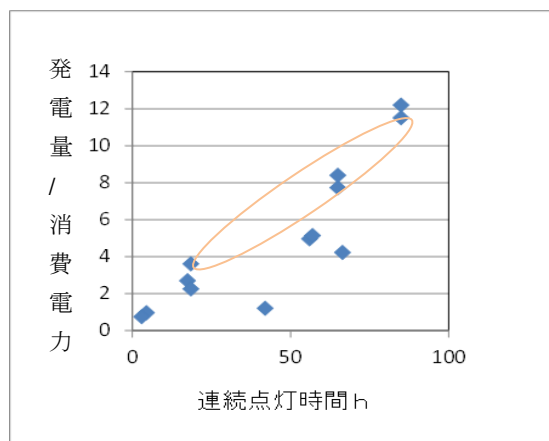


図15 発電量/消費電力と連続点灯可能時間

図15に示すように発電量/消費電力の比と連続点灯可能時間は正比例関係にあり、連続点灯可能時間を確保するためには、発電量/消費電力の比の設定を3.5以上にするのが好ましく、発電容量と負荷容量とを選択する目安と言える。

## 6. おわりに

名取市旧閑上小学校にHBPを移転し、現場においてHBPの実験・考察で以下のことが分かった。

- ① HBPに追加の太陽光パネル(0.5~1kW)、蓄電池を接続して、自立電源としての機能改善が図られた。点灯時間として3.4~4.4倍伸びた。
- ② 負荷を接続すると発電量が増大するが、負荷が大きくなると消費電力も大きくなる。電源として長時間稼働するためには、太陽光パネルの出力と負荷の消費電力の比を適切な数に選択することが必要である。
- ③ 太陽光発電は日射量によって変動するが、太陽光発電の発電能力/消費電力の比が3.5より大きいことが良い。これを基準に太陽光の出力、負荷の選定をする必要がある。冬場は日照時間が短いことに配慮が必要である。
- ④ 風力発電は太陽光発電に比べて発電量が小さく、風速などとの関係は明らかにはできなかった。

## 7. 謝辞

この報告にあたり、色々ご協力いただいた須田浩崇氏、斎藤勝幸氏に感謝します。また名取市役所の佐藤浩主幹はじめ防災安全課のみなさま、HBPに関して協力いただいた(株)馬淵工業所の寺野悠二氏に感謝します。