

自然エネルギー発電システムの構築*

渡辺誠一*¹・中村龍太郎*²

Construction of Renewable Energy Power Generation System

WATANABE Seiichi and NAKAMURA Ryutarō

In recent years, power generation using renewable energy power sources, such as sunlight and wind force, attracts attention. The authors built the hybrid type renewable energy power generation system which combined a solar cell and wind power generation. This paper describes the composition and the characteristic of the renewable energy power generation system installed in the Department of Electric and Electronics Engineering, Nagano National College of Technology.

キーワード：自然エネルギー発電システム，太陽光発電，風力発電，ハイブリッド発電

1. ま え が き

2011年3月11日14時46分に太平洋三陸沖で発生した東北地方三陸沖地震によって巨大な津波が発生し、福島県大熊町にある東京電力福島第一原子力発電所に甚大な被害が出た。この影響で東京電力が電力を供給する関東圏では計画停電が実施されるなど、市民の生活や産業界に支障が出た。

そのような状況の中、「電気エネルギーの地産地消」が求められるようになってきており、太陽光発電と風力発電はエネルギー源が取得しやすく実用的で、地球環境に配慮したクリーンな発電方法として注目が集まっている¹⁾。

電気電子工学科では、2010年2月に太陽光発電設備、風力発電機、およびインバータを導入した。ここで、太陽光発電設備は街路灯を兼ねており、30Wしかエネルギーを得ることができない。そこで、より多くの発電量を得るために、2011年10月に太陽電池およびハイブリッド型充電コントローラを導入して、太陽光発電と風力発電の2種類の発電方法を併用して蓄電池に発電電力を充電、および充電された直流電源から交流電源を得ることができるハイブリッド型²⁾の自然エネルギー発電システムを構築した。得られた交流電源を校舎内の照明機器の電

* 2012年3月17日信州大学地域フォーラムで一部発表

*¹ 電気電子工学科准教授

*² 信州大学工学部電気電子工学科学生

原稿受付 2012年5月18日

源として活用できるよう設計および製作を行った。

本論文では以下の事柄について述べる。

- (1) 自然エネルギー発電システムの構成
- (2) 自然エネルギー発電システムの発電特性

2. 自然エネルギー発電システムの構成

2-1 太陽電池の仕様

太陽光および風力を活用したハイブリッド型自然エネルギー発電システムを構築する利点としては、天候が良い場合には太陽光を利用した発電が、天候が悪く風が強い場合には風力発電が利用できるため、様々な気象条件に対応できることが挙げられる。自然エネルギー発電システムの仕様を決めるにあたり、発電の中心は太陽電池から得られる電力として、風力発電機から得られる電力は補足的に考えた。

表1に校内設備の消費電力量の試算結果を示した。自然エネルギー発電システムから得られる電力を電気電子工学科棟1階の自動ドア1台および1階廊下の蛍光灯照明4灯で消費すると考えた場合、合計消費電力は237Whと試算した。

表1 校内設備の消費電力量の試算結果

使用機器	消費電力 [W]	1回の使用時間 [s]	1日の使用回数 [回]	消費電力量 [Wh]
自動ドア	60	8.4	500	70
蛍光灯4灯	200	30	100	167
合計	260	—	—	237

求めた消費電力量 W から太陽電池の最大出力電力を決定する。太陽電池の出力電力 P_s は式(1)で与えられる³⁾。

$$P_s = \frac{WK}{24} \text{ [W]} \quad (1)$$

ここに、 K : 補正係数

式(1)より、補正係数を長野市に近い松本市の値 ($K = 12$, $W = 237\text{Wh}$) を用いて $P_s = 118.5\text{W}$ と試算した。この試算結果を踏まえ、太陽電池の最大出力電力は 10%程度余裕を持たせて 130W とした。

図 1 に太陽電池 (ネクストエナジー・アンド・リソース, HA-130-12) の外観を、表 2 に仕様を示した。太陽電池は 12V の蓄電池を使用することを想定して開放電圧が 21.1V, 最大出力電力が 130W のものを選定した。この太陽電池を電気電子工学科棟屋上に 30° の取り付け角度で南向きに設置した。

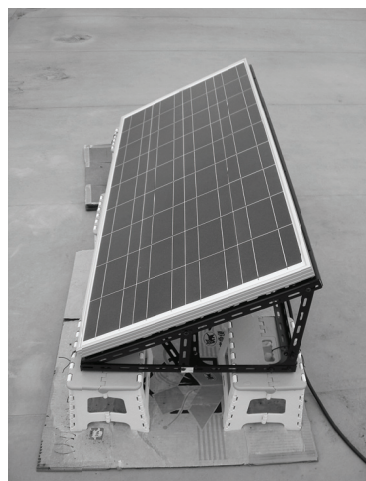


図 1 太陽電池の外観
(ネクストエナジー・アンド・リソース, HA-130-12)

2-2 風力発電機の仕様

図 2 に風力発電機 (LMV, WTG-003) の外観を、表 3 にその仕様を示した。風力発電機は電気電子工学科棟屋上の塔屋に設置した。風速 2.5 m/s で風車が回転を開始して、風速 40m/s まで発電を行うことが可能である。定格出力電力は風速が 11.5m/s において 85 W 得ることが可能である。

表 2 太陽電池の仕様

項目	数値 [単位]
最大出力電力	130 [W]
開放電圧	21.1 [V]
短絡電流	8.11 [A]
寸法	長さ 1483×幅 665×厚さ 35 [mm]

2-3 蓄電池の仕様

太陽電池および風力発電機から得られる発電電力量 (発電量) と負荷の消費電力量から、蓄電池の容量を検討した。

表 4 に太陽電池および風力発電機の発電電力と蓄電池回復量の試算結果を示した。太陽電池および風力発電機から得られる発電電力と得られる時間を仮定して、12V の蓄電池を使用した場合における蓄電池の回復量を試算した結果である。

風力発電機で発電が得られるのは曇天時のみとして、1 週間に晴天が 2 日、曇天が 5 日であったと仮定した場合、太陽電池および風力発電機による蓄電池の回復量はそれぞれ 75Ah, 30Ah となり、合計は 105Ah となった。

次に、消費電力量 W を 2-1 節で述べた 237Wh とした場合、負荷を動作させるために必要な電力を賄うために必要な蓄電池の容量 A は、蓄電池の電圧を V とすると、式(2)で与えられる。

$$A = \frac{W}{V} \text{ [Ah]} \quad (2)$$

これより、蓄電池の容量は 19.75Ah となった。1 週間の内 5 日間電力を消費した場合 (2 日は休日)



図 2 風力発電機の外観
(LMV, WTG-003 (Aerogen4))

表 3 風力発電機の仕様

項目	数値 [単位]
風車羽根の直径	0.67 [m]
風車羽根の枚数	6 [枚]
カットイン風速	2.5 [m/s]
発電機種別	単相交流発電機 (整流器内蔵型)
耐風速	40 [m/s]
定格出力電力	85 [W] (風速 11.5 [m/s])
定格出力電圧	直流 12 [V]

稼働しないと考える), 必要な蓄電池の容量は 98.75Ah となることから, 100Ah 程度の蓄電池を用いることで電力を賄えると考えられる。

図 3 に電力の蓄電に使用した鉛蓄電池 (G&Yu Battery, SMF27MS-730) の外観を示した。この鉛蓄電池はディープサイクル型で, 容量が 105Ah である。鉛蓄電池の完全放電を防ぐために, この蓄電池を 2 個並列に接続して使用した。

2-4 充電コントローラの仕様

図 4 に充電コントローラ (エフテック, F0263-12) の外観を示した。この充電コントローラは定格電圧 12V の太陽電池および定格電圧 12V の風力発電機を各 1 台接続, バッテリー 1 系統, 最大で 120W の負荷出力を 2 系統接続することが可能である。風力発電機の電圧が 12V より小さい場合には昇圧コンバータが動作して蓄電池に充電することができる。

この充電コントローラは太陽電池および風力発電機の出力電圧, 出力電流, 出力電力および蓄電池の充電電圧, 充電電流の測定を行うことが可能である。1 分毎に各データの 1 分間の平均値, 最大値, 最小値が測定され, 得られたデータは RS-232C ポートから出力される。

2-5 正弦波インバータの仕様

充電コントローラから出力される直流を正弦波インバータ (電菱, SK350-112) によって 60Hz の交流 100V に変換した。このインバータの定格連続出力は 350W で, 出力電流が 0.85A における効率の測定値は 85.6%であった。充電コントローラの直流最大出力電力が 120W になることから, 交流出力電力はインバータの効率を考慮すると約 100W となる。

2-6 自然エネルギー発電システムの構成

図 5 に自然エネルギー発電システムの構成を示した。本システムは太陽電池, 風力発電機, 充電コントローラ, 鉛蓄電池, インバータ, RS-232C-LAN 変換器で構成されており, 電気電子工学科棟の屋上に設置した。得られた直流電力は充電コントローラを用いて鉛蓄電池に充電して, 夜間や曇天, 雨天時にも電力を使用できるようにした。正弦波インバータによって直流 12V を正弦波交流 100V に変換し, 電気電子工学科棟 1 階の準備室で取り出すことができるようにケーブルを敷設した。

屋上に充電コントローラおよびインバータを収納した接続箱を用意した。充電コントローラの通信ポートは RS-232C で, 長距離通信には不向きである

表 4 太陽電池および風力発電機の発電電力量と蓄電池回復量の試算結果

機器	発電電力 [W]	出力時間 [h]	発電電力量 [Wh]	蓄電池回復量 [Ah]
太陽電池 (晴天時)	100	3	300	25
太陽電池 (曇天時)	10	6	60	5
風力発電機 (5m/s 時)	12	6	72	6

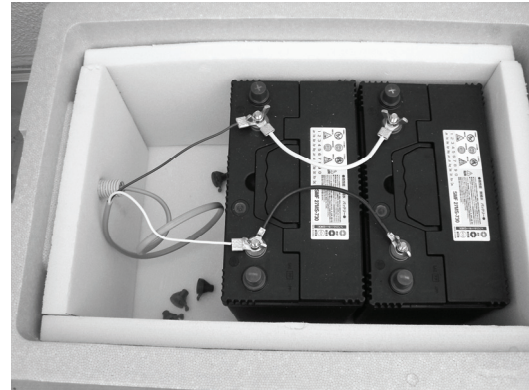


図 3 鉛蓄電池の外観 (G&Yu Battery, SMF27MS-730)

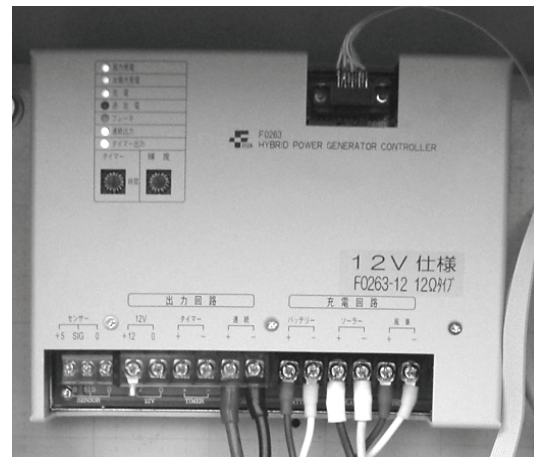


図 4 充電コントローラの外観 (エフテック, F0263-12)

ことから, RS-232C-LAN 変換器 (アルファプロジェクト, EZL-200L) を用いて RS-232C から LAN に変換した上で, 電気電子工学科棟 1 階の準備室に設置されたパソコンでデータ収集できるようにした。

自然エネルギー発電システムのデータ収集および表示には図 6 に示したデータ収集ソフトウェア (エフテック, エレコーダー-Light 版) を使用した。パソコン画面には, 太陽電池, 風力発電機, 蓄電池の 1 分毎の電圧, 電力および積算電力量が表示される。画面表示と同時に測定データを CSV 形式のファイルで保存することができる。

3. 自然エネルギー発電システムの発電特性

3-1 太陽電池の発電特性

図7に2012年4月22日における太陽電池の発電特性を示した。この日は0時から曇天で、22時20分以降は雨量が1.0~3.6mm/hの天気であった。発電電圧は、同図(a)に示したように、日照が得られている5時から19時の間において鉛蓄電池の定格電圧12Vを上回る電圧が得られた。この充電コントローラは、太陽電池からの電力は充電時に昇圧および降圧動作はせず、太陽電池と蓄電池を直接接続している。充電コントローラは蓄電池の電圧が14.5Vに達したときに充電を停止して太陽電池の回路を開放するため、8時25分頃から15時25分頃にかけて断続的に14.5Vを超えたと考えられる。

同図(b)に太陽電池の発電電力と日射量との関係を示した。日射量は環境都市工学科棟屋上の全天日射計(英弘精機, MS-601)で測定した。その結果、日射量が増加することによって発電電力が増加することがわかった。同日における太陽電池パネルの1日の積算発電量は165.6Whであった。

なお、2012年1月7日における発電電力の最大値は125.3Wとパネルの最大出力電力に近い電力が得られ、1日の積算発電量は604.7Whであった。

3-2 風力発電機の発電特性

図8に図7で示した結果と同じ2012年4月22日における風力発電機の発電特性を示した。発電電圧は、同図(a)に示したように、最大14.2Vの直流電圧が得られた。

同図(b)に風力発電機の発電電力と風速との関係を示した。風速は電気電子工学科棟屋上に設置した気象観測装置(Davis, Cabled Vantage Pro 2)で測定した。19時において、風速3.1m/sのときに発電電圧が13.1V得られた。この日は11時10分に風速4.9m/sを記録したが、鉛蓄電池が満充電の状態であったため、充電コントローラに内蔵されているFETにより風力発電機の出力を短絡する回生ブレーキ動作が自動的に行われた。そのため、発電電力は得られなかったと考えられる。

なお、同日における風力発電設備の1日の積算発電量は128.1Whであった。

3-3 自然エネルギー発電システムの発電状況

図9に2012年4月における自然エネルギー発電システムの発電状況を示した。太陽電池および風力発電機から得られた1日当たりの積算発電量の平均

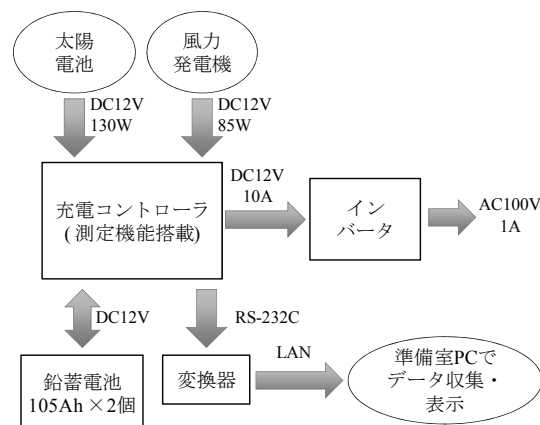


図5 自然エネルギー発電システムの構成

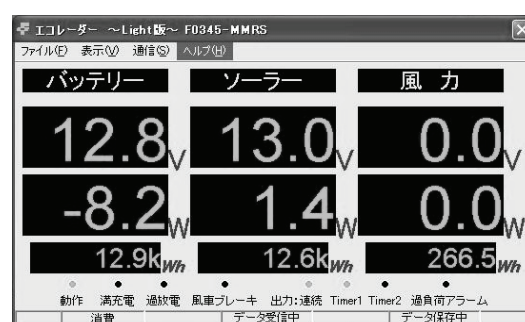
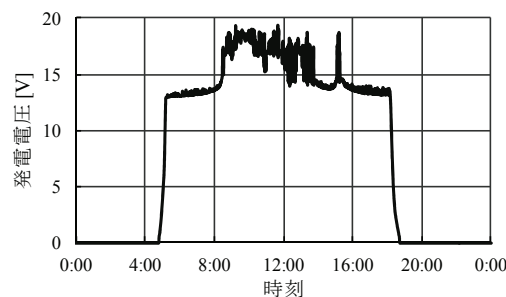
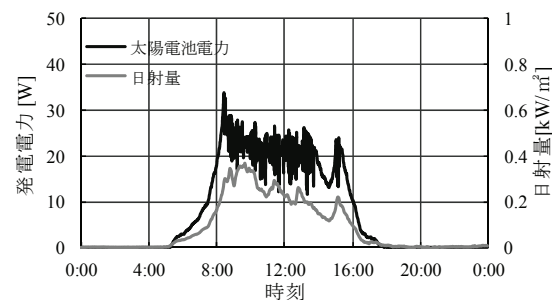


図6 データ収集ソフトウェアの画面
(エフテック, エコーレーダーLight版)



(a) 出力電圧



(b) 発電電力と日射量との関係

図7 太陽電池の発電特性 (測定日: 2012年4月22日)

値は、それぞれ270.1Wh, 21.4Whであり、太陽電池から得られる積算発電量に比べて風力発電機から得られる積算発電量は7.9%であった。また、太陽電池および風力発電機から得られる積算発電量の合計

の平均値は 291.5Wh であった。これは終日 12.1W の電力を取り出せることに相当する。積算発電量は、太陽電池単独に比べて、太陽電池と風力発電機を組み合わせたハイブリッド型発電の方が 7.9%向上することがわかった。ハイブリッド型にすることにより、より安定した電力が得られることがわかった。

太陽電池および風力発電機から得られた積算発電量の合計は、4月の1ヶ月間で 8.37kWh、1月から4月までの4ヶ月間で 32.92kWh の電力が得られた。これより、発電システムから常時電力を取り出せる平均電力は 12.1W と小さくなるが、使用目的と使用時間を限定することで廊下の蛍光灯照明などに有効活用できると考えられる。

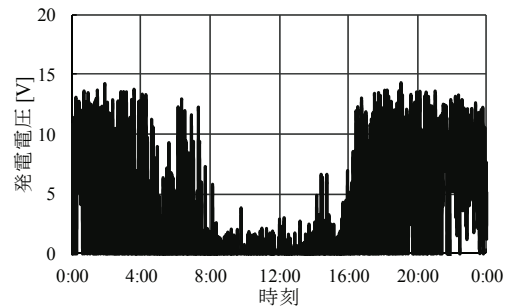
4. あとがき

本論文では、太陽電池と風力発電機とを組み合わせたハイブリッド型自然エネルギー発電システムの構成と発電特性について述べた。この発電システムの 2012 年 4 月の積算発電量は、太陽電池単独より風力発電機を組み合わせたハイブリッド型発電の方が 7.9%向上して、より安定した電力が得られることがわかった。また、2012 年 1 月から 4 月までの 4 ヶ月間で 32.92kWh の電力を得ることができた。

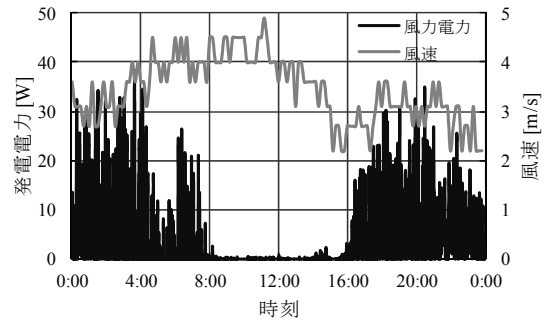
本研究は平成 21 年度設備整備費補助金の一部、および平成 23 年度校長裁量経費によって行われた。

参考文献

- 1) 藤井照重, 中塚勉, 土本信孝, 毛利邦彦: 環境にやさしい新エネルギーの基礎, 森北出版, pp.12-23 (2007.2)
- 2) 川上克己, 関和司, 小宮道士: 酪農用風力/太陽光ハイブリッド発電システムに関する実験的研究 -蓄電池の出力特性-, 酪農学園大学紀要自然科学編, Vol.30, No.1, pp.1-4 (2005.10)
- 3) 塚本勝孝, 延原高志: 太陽電池の選び方, トランジスタ技術 2005 年 9 月号, CQ 出版, pp.128-129 (2005.9)



(a) 出力電圧



(b) 発電電力と風速との関係

図 8 風力発電機の出力特性 (測定日: 2012 年 4 月 22 日)

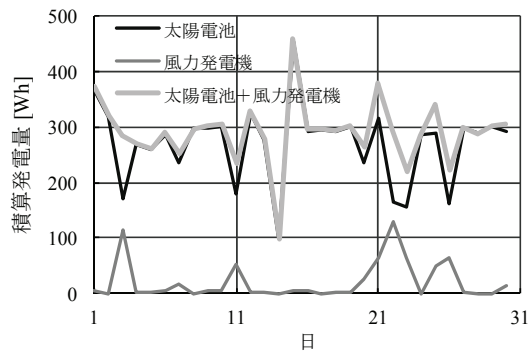


図 9 自然エネルギー発電システムの発電状況 (2012 年 4 月 1 日~4 月 30 日)