



西米良村の中山間部における風況観測

メタデータ	言語: jpn 出版者: 宮崎大学工学部 公開日: 2020-06-21 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 石川, 敏嗣, 瀬戸, 紘平, 三宅, 琢磨, 濱砂, 亨, 林, 則行, Ishikawa, Toshitsugu, Seto, Kohei, Hamasuna, Toru メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10458/5890

西米良村の中山間部における風況観測

石川 敏嗣^{a)}・瀬戸 紘平^{b)}・三宅 琢磨^{c)}・濱砂 亨^{d)}・林 則行^{e)}

Observation of Wind Conditions at Nishimera Village, Miyazaki

Toshitsugu ISHIKAWA, Kohei SETO, Takuma MIYAKE

Toru HAMASUNA, Noriyuki HAYASHI

Abstract

The energy consumption of Japan is increasing, because the energy is used in the large field of daily life. This energy consumption is supported by fossil fuel imported from foreign like the oil and coal. On other hand, the hilly and mountainous areas of Miyazaki Prefecture has focused on natural energy like the wind power energy. Nishimera village of Miyazaki has interest to combined power generation system that combined the some kind power generation methods like the wind power, solar power and hydro power. If the combined power generation system can stable supply of energy, the system will be supply the electricity to agricultural building of Nishimera village.

In this study, authors are sat the wind observing system, because they measurement wind speed and wind direction in the Nishimera village. The measurement result was used for calculate of generation power energy. In addition, authors visited to farmer of Nishimera village. Then, the consumed electrical energy and environment of agricultural building of Nishimera village was research. As a result, the authors found that the wind come from the east in many cases, and the wind speed gradually increased between summer and fall. Concomitantly, the expected generating power also began to increase. And, authors expected from calculation result that the six wind generators of maximum output 3kW need.

Keywords : Wind conditions, Observation, Hilly and mountainous area

1. はじめに

現在、日常生活から経済活動に至るまでエネルギー消費は増加の一途を辿っている。その一方で日本のエネルギー自給率は6.0%と外国と比べて低く、国内消費されるエネルギーの多くは海外から輸入される化石燃料によって支えられている^[1]。そこで日本では国内のエネルギー自給率の改善やエネルギー資源の安定的確保という観点から新エネルギーと呼ばれるエネルギーに注目が集まっている^[2]。新エネルギー利用等の具体的な対象となるものは、新エネ法の政令において太陽光や太陽熱、風力、廃棄物、バイオマスなどの自然界に存在するエネルギー源から取り出したエネルギーが含まれている^[2]。宮崎の中山間地域では地域の活性化や集落の維持に役立つ新エネルギー資源の有効利活用に関心を持っている。中山間地域とは平野の外縁部から山間地のことである^[4]。宮崎県の中山間地域の1つである西米良村^[5]も新エネルギーを利用したエネルギー供給システムを構築し、近隣の農業ハウス団

地に供給する地産地消システムへ発展させることを期待している。しかし、西米良村は山間地域が多いため日照条件が他の地域と比べて悪く、太陽光発電のみで構成したエネルギー供給システムでは大きな出力が期待しにくい。そのため新エネルギーを利用したエネルギー供給システムは複数の自然エネルギーや蓄電池を組み合わせたハイブリッド電力供給システムとして構築する必要がある。

著者らは西米良村に対して太陽光発電と風力発電を組み合わせたエネルギー供給システムの構築を提案している。そこで昨年度までに西米良村の天包山地区に風況観測装置を設置して風況観測を行った。しかし、昨年度は装置のトラブルにより9月中旬～11月中旬までの約2ヶ月間で観測を中止したため長期的な統計的検討を行うことができなかった。本年度は上記システム構築の可能性を調査することを目的に同じ場所へ新たに観測装置を設けて風況調査を行った。本論文では以下の2点を報告する。

- (1) 風況観測装置の測定データと暫定的に決定した風力発電装置の出力特性から予想発電電力量を計算した。
- (2) 風況観測装置を設置した場所の近隣にある農業ハウスから使用電力量などのエネルギー使用量の調査を行った。この調査で分かったエネルギー使用量と予想発電電力量を比較し、エネルギー使用量を賄うために必要な発電機の台数を予想した。

a) 大学院工学研究科 修士課程学生

b) 工学部電気電子工学科 学生

c) 工学部教育支援センター技術職員

d) 宮崎県児湯郡西米良村 むら創生課長

e) 工学教育研究部教授

2. 風況観測の内容と結果

2.1 風況観測装置と測定方法について

風況観測は西米良村の天包山高原に風向風速計とデータロガーで構成される風況観測装置を設置して行った。図1に今回の風況観測に用いた風向風速計とデータロガー (rainwise INC 社製 windlog) を示す。風向風速計の風速測定範囲は0~67m/s, 起動風速は0.45m/s, 風向測定範囲は0~360度 (不感帯なし), 風速追従性能は0.9m/sである。この風況観測装置は天包山高原に設置された。図2は風況観測装置の設置状況を示している。また、データの記録を行うデータロガー本体は電柱の下部に設置した。風況観測は2014年の9月(9月17日~9月30日), 10月(10月1日~10月31日), 11月(11月1日~11月13日), 2015年の6月(6月18日~6月30日), 7月(7月1日~31日), 8月(8月1日~8月30日)までの約5ヶ月行い, この期間の1分毎の風速と風向きの測定を行った。尚, 風況観測装置の風向の測定結果は北を0度, 南を180度として風向風速計の向いている方角角度で記録される。しかし, 本論文では測定された風向を東西南北の4つに分類した。図3は風向風速計の測定結果を東西南北としてカウントする際に判断基準とした方角範囲を示している。



図1 風況観測装置
Fig. 1 Wind conditions observational equipment.



図2 風況観測装置の設置状況
Fig.2 Setting condition of observational equipment.

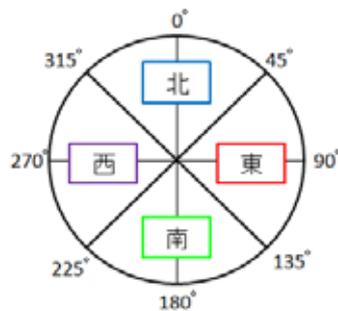


図3 風向の判断基準とした角度
Fig.3 Criterion angle of wind direction

2.2 風況観測結果

まず, 月ごとの風速を示す。図4, 図5, 図6, 図7, 図8, 図9はそれぞれ2014年9月, 同10月, 同11月, 2015年6月, 同7月, 同8月の風速測定結果を示している。図4から図9は1分毎の風速の変化を示したもので縦軸が風速, 横軸が日付を表している。図4より9月18日~20日, 24日~25日, 26日~28日の間で10 m/s以上の風が吹いていることが分かる。図5より10月4日~5日, 10日~14日の間で10 m/s以上の風が吹いていることが分かる。これは台風18号と台風19号の影響だと思われる。図6より11月1日~3日, 12日の間で10 m/s以上の風が吹いていることが分かる。図7から6月の測定期間における風速3 m/s以下の風速の時間が長く続いていることが分かる。一方で6月26日~28日の間では10m/s以上の風が吹いていることが分かる。図8から7月1日~2日, 21日~24日, 26日~29日の間で10 m/s以上の風が吹いているが, 他の期間ではほぼ3 m/s以下の時間が続いていることが分かる。図9から8月24日~27日の間で40 m/s以上の風が吹いていることが分かる。これは, この間に上陸した台風15号の影響によるものと思われる。

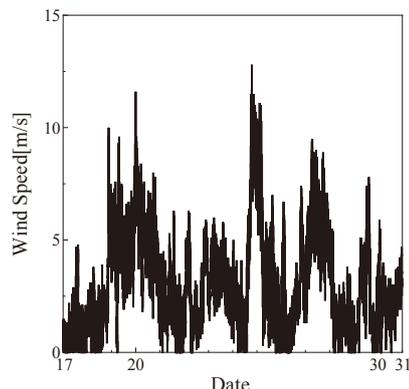


図4 2014年9月の風速測定結果
Fig. 4 Wind speed observational result in September (2014).

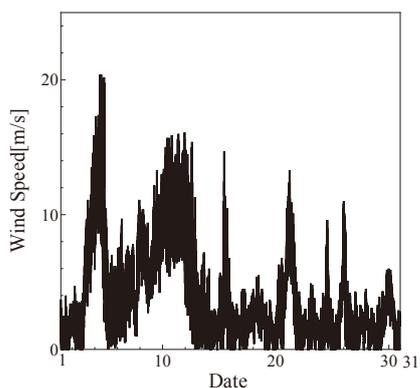


図 5 2014 年 10 月の風速測定結果
Fig. 5 Wind speed observational result in October (2014).

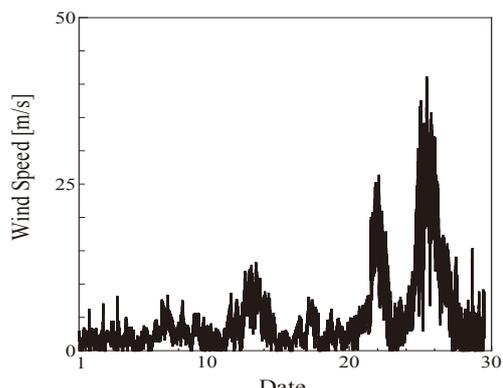


図 9 2015 年 8 月の風速測定結果
Fig. 9 Wind speed observational result in August (2015).

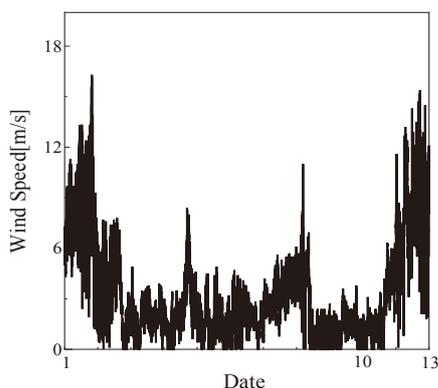


図 6 2014 年 11 月の風速測定結果
Fig. 6 Wind speed observational result in November (2014).

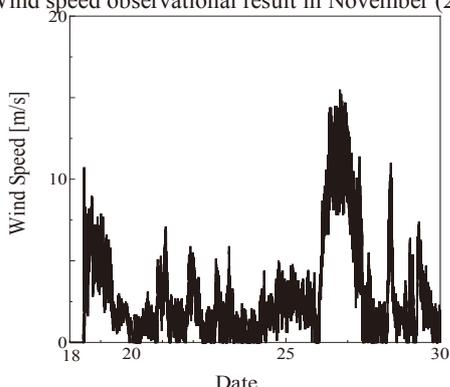


図 7 2015 年 6 月の風速測定結果
Fig. 7 Wind speed observational result in June (2015).

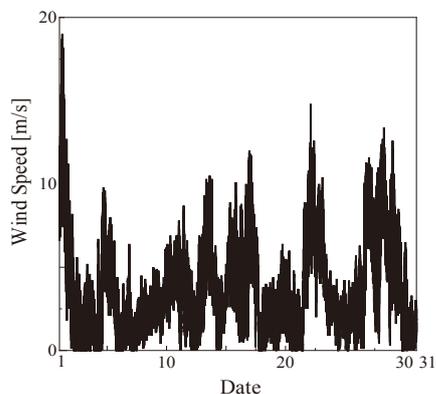


図 8 2015 年 7 月の風速測定結果
Fig. 8 Wind speed observational result in July (2015).

次に月ごとの風向を示す。図 10、図 11、図 12、図 13 はそれぞれ 2014 年 9 月、同 10 月、同 11 月、2015 年 6 月の風向観測結果を示している。図 10～図 13 は縦軸が風向の角度、横軸が日付を表している。図 10 から風速が高かった 9 月 18 日～20 日は東、24 日～25 日は南、26 日～28 日の間は東から風が吹いていたことが分かる。図 11 より風速が高かった 10 月 4 日～5 日、10 日～14 日の間はそれぞれ東から風が吹いていた。図 12 より風速が高かった 11 月 1 日～3 日、12 日の間はそれぞれ南から風が吹いていた。図 13 より風速が高かった 2015 年 6 月 26 日～28 日の間では南から風が吹いていたことが分かる。このことから風速が 10 m/s を超える風は東と南から吹くことが分かった。また、2015 年 7 月と 8 月の風向のデータはデータロガーの風向観測機構部の故障により取り扱わないことにする。

図 14、図 15 はそれぞれ 2014 年、2015 年 6 月の風向割合を示している。風向の割合は各月の総時間 (分) において各方角から吹いた風の観測時間の割合を示したものである。図 14 の 9 月の風向の割合を見ると、東と南から吹く風が約 50% を占めることが分かった。また、図 14 と図 14 の 10 月と 11 月の風向の割合も東と西からの風が約 50% を占めることが分かった。図 15 の 6 月の風向の割合を見ると、6 月 18 日～30 日の総時間の内、約 87% は東と西から吹く風で占められていることが分かる。



図 10 2014 年 9 月の風向測定結果
Fig. 10 Wind direction observation result in September (2014).

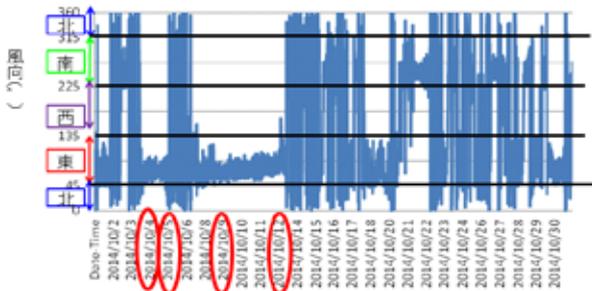


図 11 2014 年 10 月の風向測定結果
Fig. 11 Wind direction observation result in October (2014).

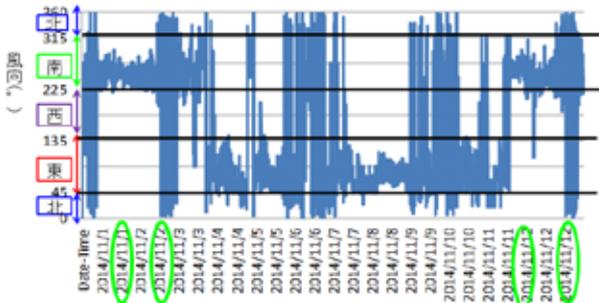


図 12 2014 年 11 月の風向測定結果
Fig. 12 Wind direction observation result in November (2014).

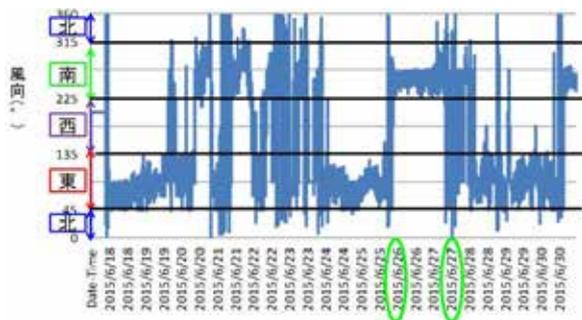


図 13 2015 年 6 月の風向測定結果
Fig. 13 Wind direction observation result in June.

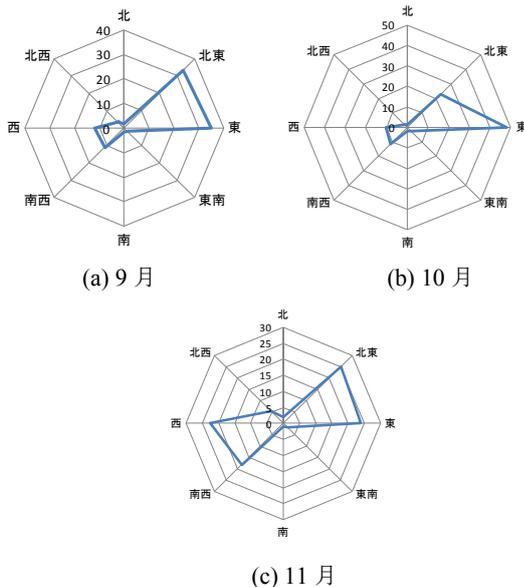


図 14 2014 年 9 月~11 月の風向の割合
Fig. 14 Percentage of wind direction in 2014.

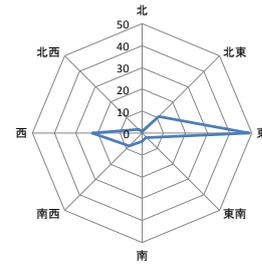


図 15 2015 年 6 月の風向の割合
Fig. 15 Percentage of wind direction in June, 2015.

2.3 風速出現率と確率累積分布の算出

風速分布にワイブル分布が適用できることが知られている^[6]. 出現率 $f(V)$ は (2.1) 式で示される. 式 (2.1) の c と k を求めることで風速の出現率の評価を行うことができる.

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad (2.1)$$

$f(V)$: 風速 V の出現率, c : 尺度係数, k : 形状係数

先ず $f(V)$ を確率累積分布 $F(V)$ に直すと,

$$F(V) = \int f(V) dv = 1 - \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad (2.2)$$

となる. さらにこれを変形していくと,

$$1 - F(V) = \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\}$$

になり, これの両辺に自然対数を取ると

$$\ln\{1 - F(V)\} = -\left(\frac{V}{c}\right)^k$$

となる. ここでもう一度両辺に自然対数を取ると,

$$\ln\left\{\ln\left(\frac{1}{1 - F(V)}\right)\right\} = k \ln\left(\frac{V}{c}\right) = k \ln V - k \ln c$$

となる. ここで

$$y = \ln\left\{\ln\left(\frac{1}{1 - F(V)}\right)\right\}, x = \ln V, a = k \ln c \quad (2.3)$$

と置くと,

$$y = kx + a \quad (2.4)$$

となる. ここから風速の値を代入して近似式を取り, k は近似式の傾きから, c は近似式の y 切片 a を用いて

$$c = \exp\left\{\frac{a}{k}\right\}$$

から求めることができる. 図 16 に 6 月の風速を入れた場合の例を示す. それぞれ求めた c と k を表 1 に示す. 図 17 ~ 図 19 にそれぞれ 2014 年 9 月~11 月の風速の比率と出現率, 図 20~ 図 22 にそれぞれ 2015 年 6 月~8 月の風速の比率と出現率を示す. 図 17~ 図 22 の中に示した実線の分布は表 1 の k と c の値を代入して求めた. 図 17 と図 20 と図 21 から風速出現率と比率は一致していることが分かる. 図 18 と図 19 と図 22 では台風や高い平均風速の影響のため, 他の月に比べると風速の出現率と比率はあまり一致していないことが分かる. 図 23 に 2015 年 9 月~11 月, 図 24 は 6 月~8 月における月ごとの風速出現率を示す. 図 23

から9月は風速 3 m/s で風速出現率が最大となっていることが分かる. 10月は10 m/s以上の風速も出現しており他の月と比べると強い風が吹くことが多いことが分かる. 図24から7月は風速 3 m/s で風速出現率が最大となっていることが分かる. 8月は風速が 10 m/s 以上の風も出現しており, 他の月と比べると強い風が吹くことが多いことが分かる.

図25に2014年9月17日~11月13日, 図26に2015年6月18日~8月30日の各月の風速確率累積分布を示す. 図25と図26は式(2.2)及び, 表1のkとcの値を用いて計算した. 図25より9月, 11月に比べて10月の方が100%に達するのが遅いことが分かる. このことより10月は9月, 11月に比べて高い風速の風の出現率が高く, 良い評価を付けることが出来る. 図26も同様に見ると6月, 7月に比べて8月の方が100%に達するのが遅いことが分かる.

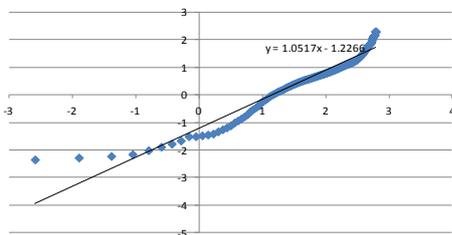


図16 近似式の例
Fig. 16 Examples of approximate formula.

表1 各月の尺度係数・形状係数

Table.1 Scale factor and shape factor of each month.

	尺度係数 c	形状係数 k
2014年9月	3.87	1.61
10月	4.59	1.29
11月	3.82	1.28
2015年6月	3.23	1.05
7月	4.50	1.45
8月	5.64	1.04

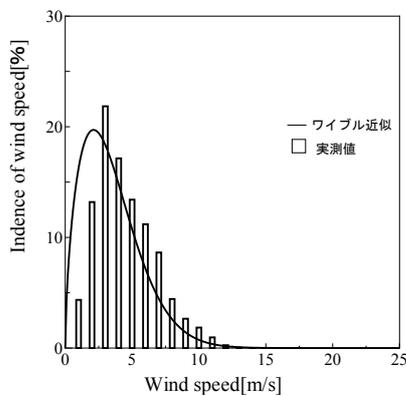


図17 2014年9月の風速の比率と出現率
Fig. 17 Ratio of wind speed and appearance ratio in September, 2014.

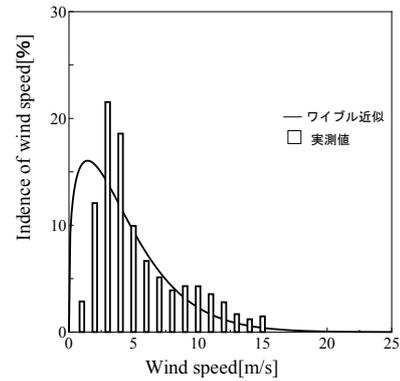


図18 2014年10月の風速の比率と出現率
Fig. 18 Ratio of wind speed and appearance ratio in October, 2014.

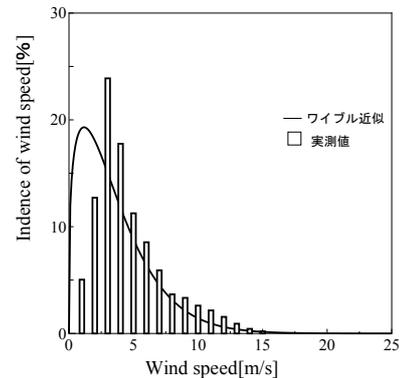


図19 2014年11月の風速の比率と出現率
Fig. 19 Ratio of wind speed and appearance ratio in November, 2014.

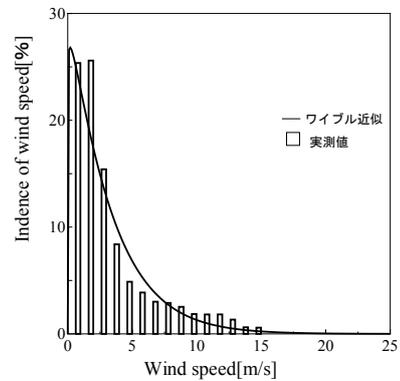


図20 2015年6月の風速の比率と出現率
Fig. 20 Ratio of wind speed and appearance ratio in June, 2015.

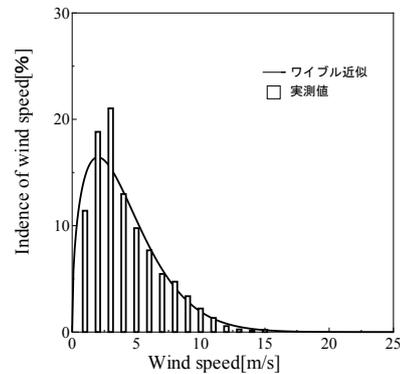


図21 2015年7月の風速の比率と出現率
Fig. 21 Ratio of Wind speed and appearance ratio in July, 2015.

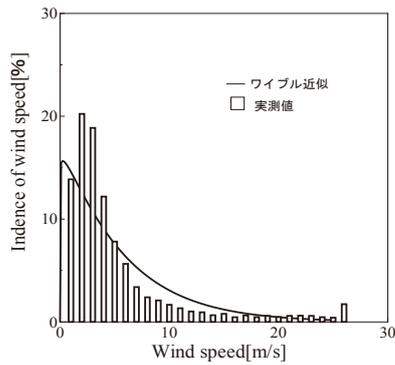


図 22 2015 年 8 月の風速の比率と出現率
Fig. 22 Ratio of Wind speed and appearance ratio in August, 2015.

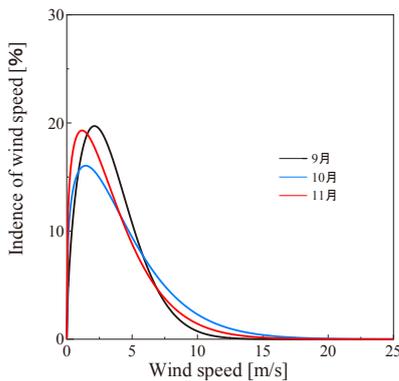


図 23 2014 年各月の風速出現率
Fig. 23 Appearance ratio of wind speed of each month in 2014.

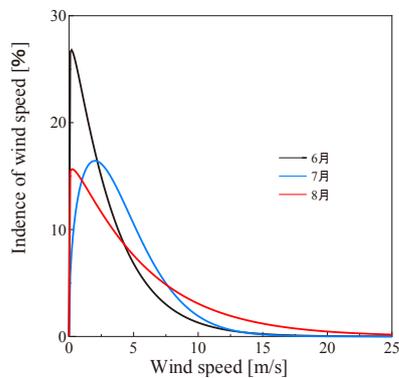


図 24 各月の風速出現率
Fig. 24 Appearance ratio of wind speed of each month in 2015.

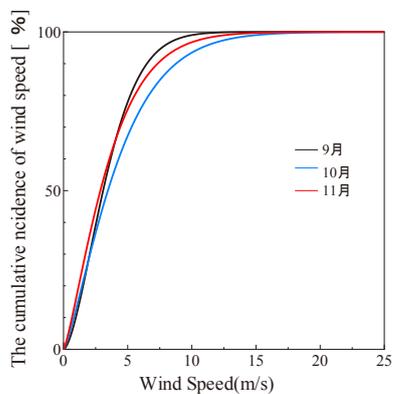


図 25 2014 年各月の確率累積分布
Fig. 25 Probability cumulative distribution of each month in 2014.

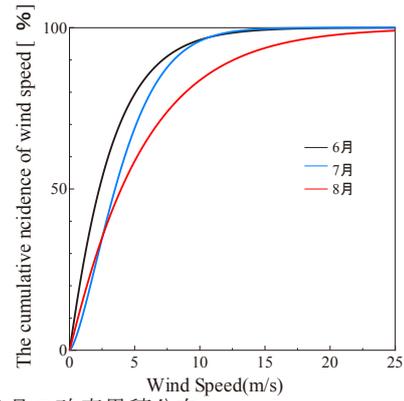


図 26 各月の確率累積分布
Fig. 26 Probability cumulative distribution of each month in 2015

3. 予想発電電力量の算出

3.1 予想発電電力量の算出方法

予想発電電力量の計算は 2.2 節の調査結果から得られた風速と風力発電装置 (rainwise INC 社の windlens) の出力特性を用いて行った. 今回, 予想発電電力量の計算に用いた windlens の出力特性を図 27 に示す. windlens には 2 つの運転モードがあるが今回は独立タイプのデータを使用した. windlens は 1 m/s 以下の風速及び 19 m/s を超える風速では発電しない. 予想発電電力量は図 27 から近似式を求め, この近似式に 2.2 節の風況観測で得られた風速を代入して, 風力発電装置を 1 台だけ用いた場合で計算した. また, 2.2 節の観測結果は 1 分毎の測定結果であるため, 予想発電電力量は 1 分毎の発電電力量である. そのため計算から得られた値を 60 で割って発電電力量 [kW・h] を得た. 1 m/s から 10 m/s までの近似曲線の近似式は

$$y = 1.2649x^6 - 0.0013x^5 + 0.0169x^4 - 0.1043x^3 + 0.3198x^2 - 0.4011x + 0.1907$$

となった. 16m/s~19m/s までの近似曲線の近似式は

$$y = 0.1x^3 + 4.8x^2 - 76.9x + 414.2$$

となった. 風速 11 m/s~16 m/s の領域は 3 kW 一定とした.

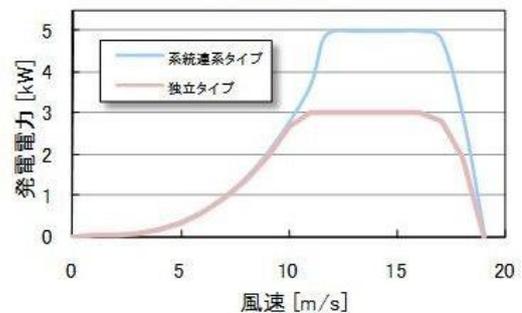


図 27 風力発電装置の出力特性
Fig. 27. Output characteristics of wind power generator.

3.2 予想発電電力量の算出結果

3.1 節で示した計算方法で算出した予想発電電力量の算出結果を示す。図 28 は 2015 年 6 月の予想発電電力量の変化を示している。図 28 からほとんどの時間で風力発電装置の出力は 5W・h を下回っていることが分かる。しかし、風速が高かった区間では大きな出力が期待できることが分かる。他の月でも同様の結果が得られた。また、得られた予想発電電力量から 1 日に得られる予想発電電力量も計算した。計算の結果、予想発電電力量は 2014 年 9 月の計 13 日間で 73 kW・h、1 日あたり約 5.2 kW・h となった。2014 年 10 月の 31 日間で得られる予想発電電力量は 374 kW・h、1 日あたり約 12.1 kW・h となった。11 月の 12 日間で得られる予想発電電力量は 97 kW・h、1 日あたり約 8.1 kW・h となった。2015 年 6 月の計 13 日間で得られる予想発電電力量は 97 kW・h、1 日あたり約 7.5 kW・h となった。7 月の 31 日間で得られる予想発電電力量は 263 kW・h、1 日あたり約 8.5 kW・h となった。8 月の 30 日間で得られる予想発電電力量は 267 kW・h、1 日あたり約 8.9 kW・h となった。それぞれを比べると、あまり 1 日あたりの予想発電電力量は変わらないことが分かった。

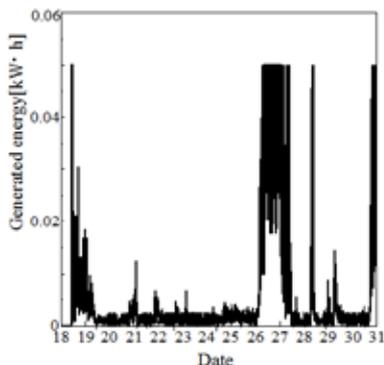


図 28 6月の予想発電電力量の変化
Fig. 28 Variable of prognostic generate power in June.

3.3 ビニールハウスのエネルギー使用量調査

調査対象の農家では農業施設（ビニールハウス）内で主にカラーピーマンやトマト等の野菜を栽培している。農業施設の広さは 39.2 a で植物栽培に必要な設備（循環扇・加温機・ポンプ等）も併設されている。循環扇は 15 分置きに約半日間作動している。加温機は 18℃を保つのが最適であるが燃料や使用電力に係るコストが高価なため約 15℃に設定して運転を行っている。今回、西米良村の協力によりカラーピーマンを作る際の管理作業工程と使用される重油と電気の利用時期を月別でまとめたものを得ることができた。管理作業工程と各エネルギーの利用タイミングを月別にまとめたものを図 29 に示す。図 29 から循環扇・ポンプ・ドア・窓の開閉といった原動力として電力が 1 年中使われていることが分かる。調査結果、温調のために循環扇やポンプがカラーピーマンが実をつける頃に多く使われることが分かった。また、重油は 3 月～

5 月、10 月～11 月に掛けて加温機の燃料として使われることが分かった。図 30 にビニールハウスで使用される石油の使用量と熱量を示す。熱の計算は、38.9 MJ/l を用いた。供給量の平均は 7046 l、熱量は 76.2 MW・hr となることが分かった。最大で供給量は 14320l、熱量は 154.8 kW・hr となることが分かった。

図 31 は 4 年間でビニールハウスで消費された月ごとの使用電力量を示している。図 31 から毎年 3 月～4 月にかけて使用電力量が増加していることが分かる。これは、先ほど述べたようにカラーピーマンが実をつけ始める際に加温機を稼働させるため、加温機で使用される電力が増加しているものと思われる。逆に 12 月から年明けの 2 月までは、使用電力量は減少していることが分かる。これは、第 3 収穫を終えた後、ビニールハウス内に作付けされる野菜等がなく、ビニールハウス内では農業に関する主な作業がないことが理由であると思われる。

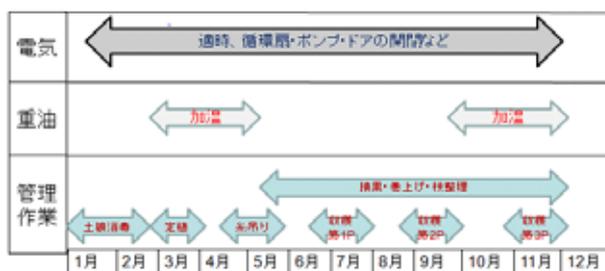


図 29 カラーピーマンの栽培スケジュール
Fig. 29 Cultivation schedule of peppers.

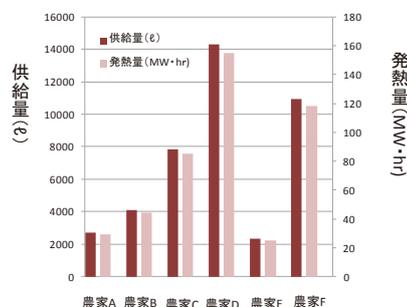


図 30 農業用施設の石油使用量
Fig. 30 Amount of consumed oil of agricultural building.

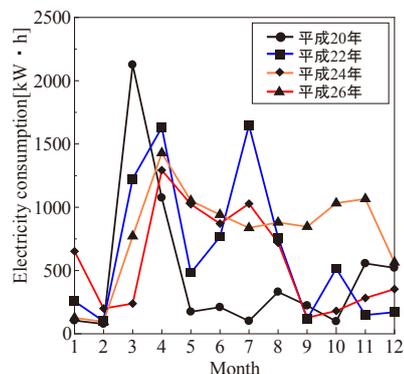


図 31 ビニールハウスで使用された使用電力量
Fig. 31 Amount of consumed power of agricultural building.

3.4 予想発電電力量と使用電力量の比較

西米良村の農家から得られた使用電力量と今回の風況観測結果より得られた予想発電電力量を比較する。使用電力量と予想発電電力量の比較は1日の使用電力量と1日に得られる予想発電電力量を比較した。なお、使用電力量は図31で示した使用電力量を1日当たりの使用電力量に換算したものをを用いた。また、予想発電電力量は3.2節で示した各月における1日あたりに風力発電装置が1台で発電すると予想される発電電力量を用いた。図32は1日の使用電力量と1日に得られる予想発電電力量の比較を示している。図32からほとんどの月で予想発電電力量が使用電力量を下回っていることが分かる。このことから今回の計算のために用いた風力発電装置1台では使用電力量を充分供給できないことが分かった。各月で最も大きい使用電力量を記録した年の使用電力量を今回の計算のために用いた風力発電装置で供給するためには2014年9月で最も高い平成26年の使用電力量では約5台、10月で最も高い平成26年の使用電力量では約3台、11月で最も高い平成26年の使用電力では約4台、2015年の6月で最も高い平成26年の使用電力量では約4台、7月で最も高い平成22年の使用電力量では約6台、8月で最も高い平成26年の使用電力量では約3台となった。このことからwindlensの風力発電装置は少なくとも6台を準備しておくことが必要であると思われる。

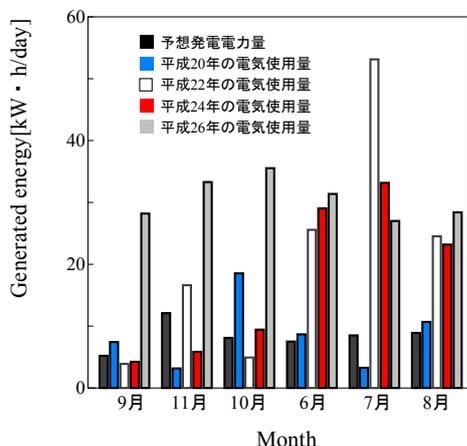


図32 使用電力量と予想発電電力量の比較

Fig. 32 Comparison of consumed power and generate power.

4. 結論

本論文では西米良村における風況観測を行い、風況観測装置の測定データと暫定的に決定した風力発電装置の出力特性から予想発電電力量を計算した。また、風況観測装置を設置した場所の近隣にある農業ハウスから電気などのエネルギー使用量の調査を行った。この調査で分かったエネルギー使用量と予想発電電力量を比較し、エネルギー使用量を賄うために必要な発電機の台数を予想し

た。その結果、以下の知見を得ることが出来た。

- (1) 西米良村の天包山において2014年9月17日～11月13日、2015年6月18日～8月30日まで風況観測を行った。その結果、月を重ねるごとに風速は上がることが分かった。また、風向のデータはデータロガーの故障により充分に得ることができなかったがデータを得られた間においては東からの風が50%程度を占めることが分かった。
- (2) 予想発電電力量と農業施設(ビニールハウス)のエネルギー使用量を調査した。その結果、風力発電装置を用いた場合、2014年9月は約73 kW · h、10月は約374 kW · h、11月は約97 kW · h、2015年6月は約97 kW · h、7月は約263 kW · h、8月では約267 kW · hの電力量が得られることが分かった。
- (3) 農家の使用電力量を調査した結果、野菜の作付け・収穫に合わせて使用電力量も変化し、最大で1647 kW · hが使用されることが分かった。

謝辞

本研究は、文部科学省・地(知)の拠点整備事業(みやだいCOC事業)みやざき地域志向教育研究経費(地域課題実践型卒業研究型)の助成を頂いたことを記し、謝意を表す。また、研究の実施に当たり、ご協力を頂いた宮崎県児湯郡西米良村の村長はじめ役場の方々並びに農家の方々、本学農学部 井上謙吾准教授、及び九州工業大学大学院工学研究科建設社会工学系 吉武哲信教授に謝意を表す。関係した皆様に御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 経済産業省:「第2部 エネルギー動向」, エネルギー白書2015, p.110, p.204, 2015年11月
- [2] 経済産業省, 資源エネルギー庁:「わかる新エネ」, 新エネルギー関連パンフレット, p.2, p.3
- [3] 経済産業省, 資源エネルギー庁:「再生可能エネルギーを知る, 学ぶ」, http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiene/renewable/outline/index.html
- [4] 農林水産省 HP:「中山間地域等とは」, http://www.maff.go.jp/j/nousin/tyusan/siharai_seido/s_about/cyusan/
- [5] 宮崎県:「宮崎県中山間地域振興計画」, p.3, 2015年7月
- [6] 関塚 智, 他:「ワイブル分布による風況及び発電量予測に関する考察」, エバラ時報 No.217, p22-29, (2007.10)