

蝶ヶ岳ヒュッテにおける小型風力発電の実用化研究

森 武昭¹ 小長井 聡司²

¹ 電気電子工学科

² 大学院工学研究科電気電子工学専攻

Practical Use of Small Wind Turbine System at Cyogadake Hut

Takeaki MORI¹⁾, Satoshi KONAGAI²⁾

Abstract

At Cyogadake hut (2776m above sea level) in the Japan Alps, we have confirmed the efficiency characteristics of a new type small wind turbine system in which electronics technique is applied to the control for the wind velocity. Moreover, in this paper we consider the simulation for hybrid generation system of this wind turbine and photovoltage based on the data of wind velocity and solar radiation at the local weather bureau station in Matsumoto, which is the nearest station from the hut, measured by the Meteorological Agency.

Key words: mountain hut, natural energy, hybrid system, simulation

1. まえがき

山小屋では、照明や通信用電源といった従来から使われている負荷に加えて、最近では自然環境保全に対する意識の高まりなどを背景として、生ゴミやし尿の処理対策のための電源を確保することが必要になっている¹⁾。現在、多くの山小屋では環境に優しいクリーンエネルギー源として太陽光発電を用いている²⁾。しかし、上述のような負荷増に対応するためには、設置スペースの制約や設備利用率などの観点から、別の自然エネルギー源とのハイブリッドシステムが有効と考えられる。その意味から、平地に比して風の強い山岳地域では、風力発電が有力な電源となり得る。従来から、山小屋で使用するような小型風力発電については、いろいろな検討が行われているが³⁾、風に対する制御（特に強風対策）が難しいため実用化が進まなかった。しかし、最近になって、電子技術を適用した制御方式を用いて、ほぼメンテナンスフリーである最大出力数百ワット規模の小型風力発電装置が比較的廉価で購入できるようになった。

そこで、著者らは北アルプス蝶ヶ岳ヒュッテとの共同研究で、同ヒュッテに風力発電装置（Z社製の Z-500）1台を設置し、その発電電力量を測定した。本論文では、この設置に関して留意した点と実測結果に対する考察を述べるとともに、太陽光とのハイブリッドシステムの有用性に関する基礎的検討を行った。

2. 小型風力発電装置の設置

実験場所とした北アルプスの蝶ヶ岳ヒュッテ（標高2677m）は上高地（標高1500m）の北東約12kmのところにあり、歩いて約6時間半を要する。また、反対側の豊科方面からは三股まで車で入り小屋まで歩いて約5時間

を要する。

今回実験に用いた小型風力発電機 Z-500 のメーカーが提示している仕様は次の通りである。

風力発電機： 定格連続出力 400W（風速 12.5m/s）、最大出力 600W、カットイン風速 3.0m/s、カットイン回転数 650rpm、アイドリング回転数 650rpm、定格出力回転数 1650rpm、ブレード面直径 1170mm、回転動作範囲直径 1240mm、全長 675mm、重量 6kg、出力特性は図1。

また、コントローラーは、風力発電装置 Z-500 を2台と55Wの太陽電池6枚とのハイブリッドでの制御可能、微風発電チャージポンプ、自動プロペラスピードコントロール機能、バッテリー減電圧保護（11.5V 断 12.5V 復

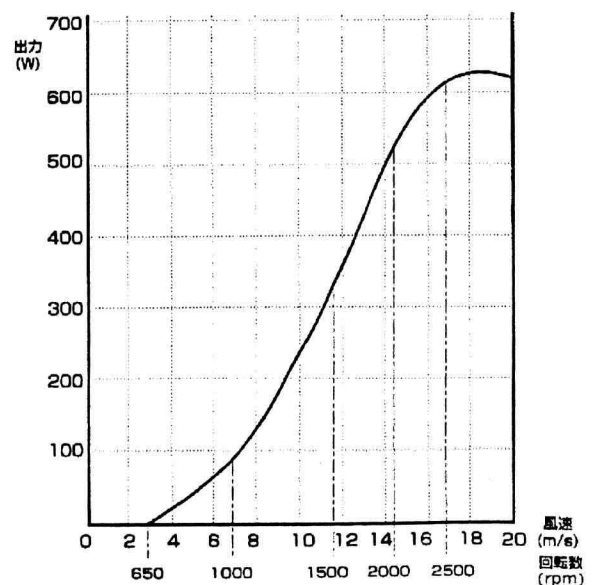


図1 小型風力発電機のメーカー仕様による出力特性

帰)、暴風時の安全保護用自動カットアウト及び過電圧発電防止機能、運転切替スイッチ(運転・アイドリング・停止)などを備えており、外形寸法 255mm(W)×295mm(H)×50mm(D)、重量 3.5kg である。即ち、この方式の特長を具体的に示すと次の通りである。

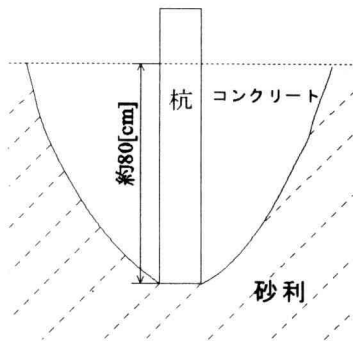
- ①風速 3m/s 以下(微風領域)では、発電電圧はバッテリー電圧(約 12V)に達しないため、一旦制御装置に内蔵されている高容量ポリアセン電池に蓄える。そしてこれが満充電になったときに、チャージポンプ回路の DC/DC コンバータによりバッテリー電圧に昇圧して充電する。
- ②風力発電機が強風時に高速回転するのを防止する目的で、発電した充電電流を測定し、設定電流値(今回は 45A)を越えた場合には、90 秒間風力発電機を減速させる。
- ③風力発電の充電により、バッテリー電圧が設定電圧(14.2V)を越えた場合には 90 秒間発電を停止し、風力発電機をアイドリング状態(回転数 650rpm)にする。
- ④バッテリー電圧が 30 秒以上 11.5V を下回った場合、バッテリー減電圧保護が動作し、負荷出力を切断する。その後、バッテリー電圧が 30 秒以上連続して 12.5V を上回ると復帰する。

なお、このコントローラは、パネル上の発光ダイオードにより、現在の制御状態を目視で確認できるようになっている。

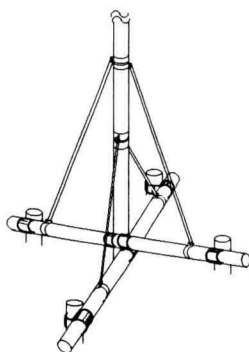
そこで、この小型風力発電装置の性能を確認するため、1999 年 6 月 15 日に蝶ヶ岳ヒュッテに 1 台設置した。場所は、山頂付近で、周囲に障害物や建物はなく、通常は

穂高岳方面からの西風の通り道になっている。強風に十分耐えられるように、設置は次のようにして行った。図 2(a)のように、杭になる金属パイプ(外径 48.6mm、内径 45.0mm)が約 80cm 埋まるように掘り、少量のコンクリートを流して固定した。これを 4 つ作り、十の字になるように同径の金属パイプでベースアンカーを組んだ。組付けは、全てクランプを使用しボルトにより固定している。そして、ベースアンカーの交点付近に、同じ金属パイプの支柱(高さ約 2.5m)とこれを垂直に固定するためのステー(直径 21mm の金属パイプ)を取り付けた。図 2(b)のように、足場を組んだ後に、支柱の上に風力発電機を設置した(図 3 参照)。

コントローラ・バッテリーなどの機器は、約 20m 離れた屋外トイレの入口に設置し、負荷としては試験的にトイレの照明(直流 12V 用 21W の電球 5 個)を用いた。なお、照明は必要などきのみ使用できるようにトイレ入口に開閉器を設けている。図 4 にシステムの電気系統図を示す。風力発電機で発生した電力は、線路損失や長期の屋外使用での劣化を防ぐため 8mm の 2 芯 VCT ケーブルを使用し、屋外トイレの床下通風口から引き込んでいる。なお、今回は測定器の関係などで、発電した積算電力のみを測定している。即ち、図 4 に示したように、風力発電機の端子電圧と電流に対応したシャント抵抗の端子電圧を入力し、1Wh 毎にカウントしていく積算電力計で測定した。カウント数は、毎日ほぼ定時に小屋の管理人に記録してもらう方式をとった。



(a) 杭の設置



(b) 支線図

図 2 風力発電機の土台

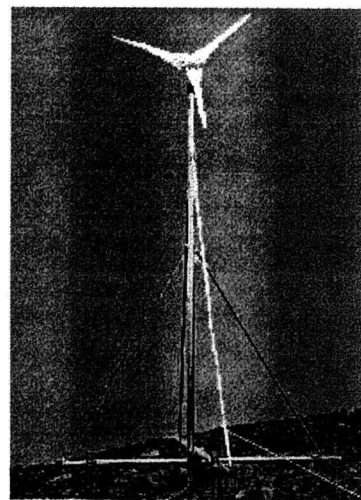


図 3 設置された小型風力発電機

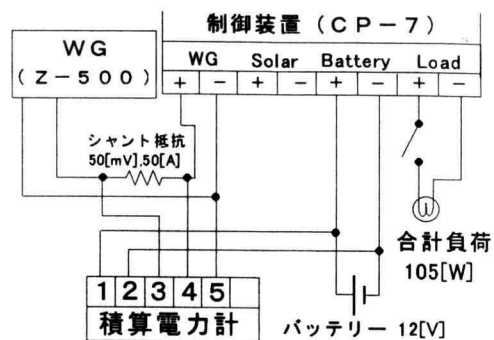


図 4 電気系統図

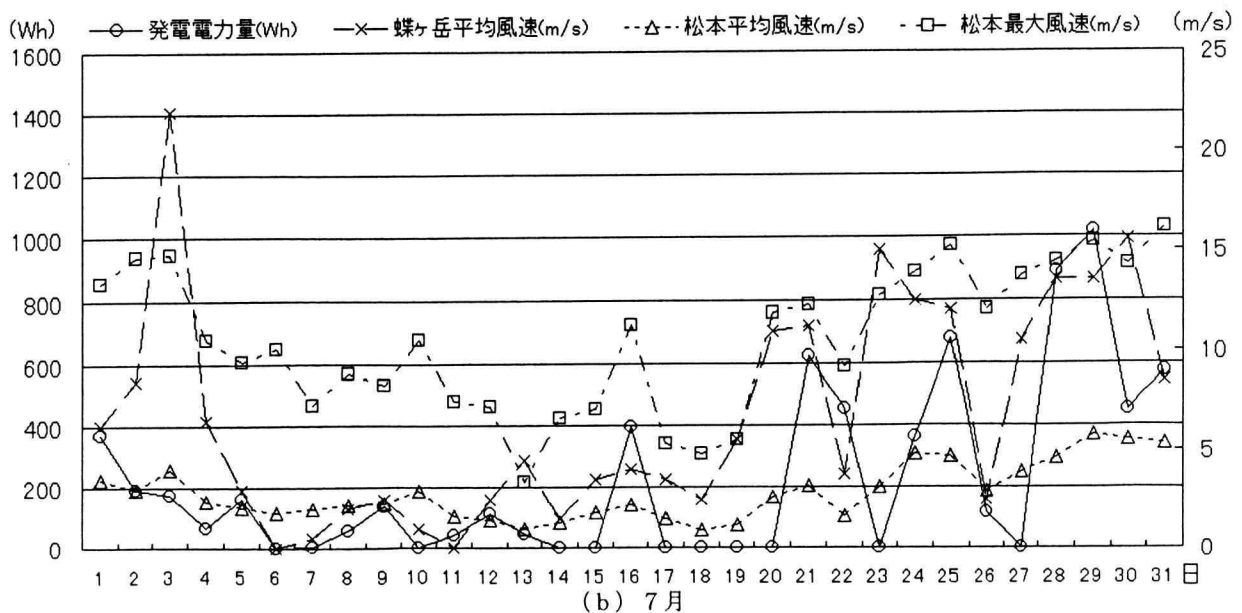
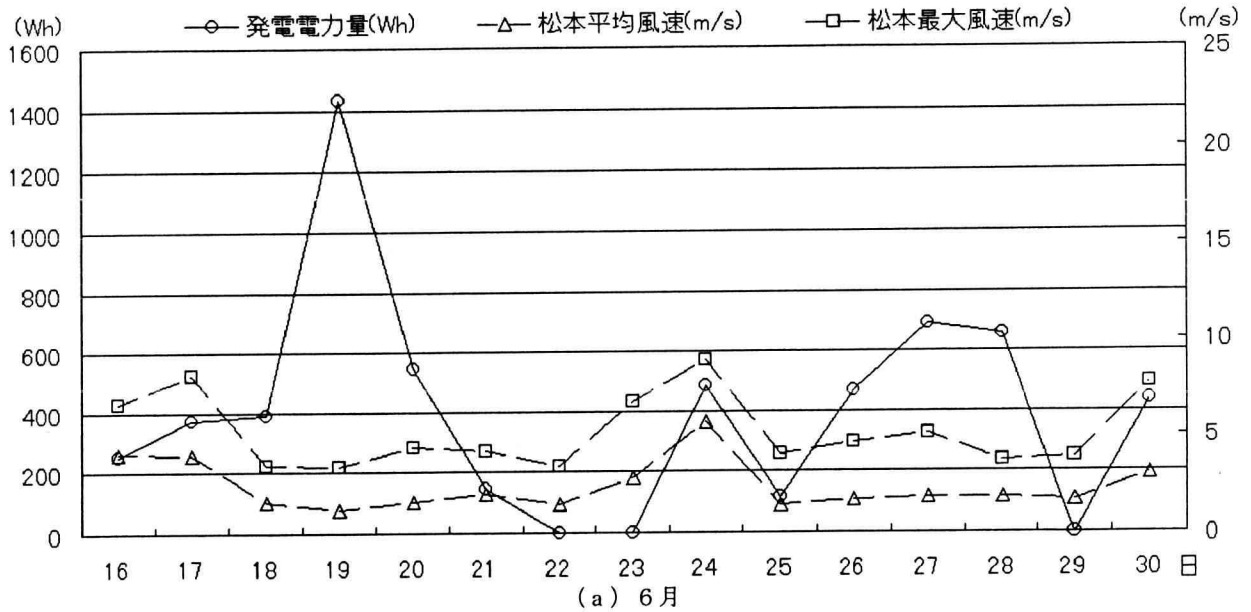
3. 発電電力量の実測結果及び考察

今回は測定器などの制約で、風速・風向のデータを直接収集することができなかった。そこで、次の2つのデータを入手して考察を行った。一つは、日本気象協会が同小屋で7月と8月の2ヶ月間、9時と15時に収集している瞬時風速のデータである。もう一つは、気象庁が全国で行っている定点観測地点の中で、蝶ヶ岳に一番近い松本測候所(松本市沢村 1-7-13、北緯 36 度 14 分 6 秒、東経 137 度 58 分 2 秒、海拔 610m、風車型風向風速計は地表 16.2m に設置)での公開されているデータ(風速は1時間毎の平均風速と最大風速)である。

図5に、実測した発電電力量、蝶ヶ岳平均風速(9時と15時のデータの平均値、ただし7月と8月のみ)、松本平均風速(1時間毎の平均風速の1日(24個のデータ)の平均値)、松本最大風速(1時間毎の最大風速の1日の平均値)を示す。実験開始直後の6月19日に計測期間中で最大となる1434Wh(1時間当たり59.8Wh)を記録し、その後はかなりの風速があっても余り大きな発電量を示

していない。これは、負荷として使用した屋外トイレの照明をユーザーである登山客が余り使用しなかったためと思われる。即ち、登山客にとっては、山小屋ではヘッドランプを使用することや電気を極力無駄づかいしないことが常識になっているため、電気を余り使用しなかったと想像される。したがって、バッテリーが絶えず過充電状態になっていたため、風力発電機はアイドリング状態になっていたものと思われる。例えば、6月に2回、7月に9回、8月に12回、9月に4回、10月に1回も発電電力量が零という日が生じている。これらの日の大部分はかなりの風速を記録していることから、負荷を終日ほとんどあるいは全く使用しなかったため、終日過充電防止が働いていたものと思われる。それを裏付けるように、6月の1日当たりの平均発電量が400Whであったのに対して、7月~10月は223~151Whと55~38%に減少している。

次に、7月と8月に示した蝶ヶ岳平均風速は、9時と15時の2点の平均であるため、日による変化の割合が松本



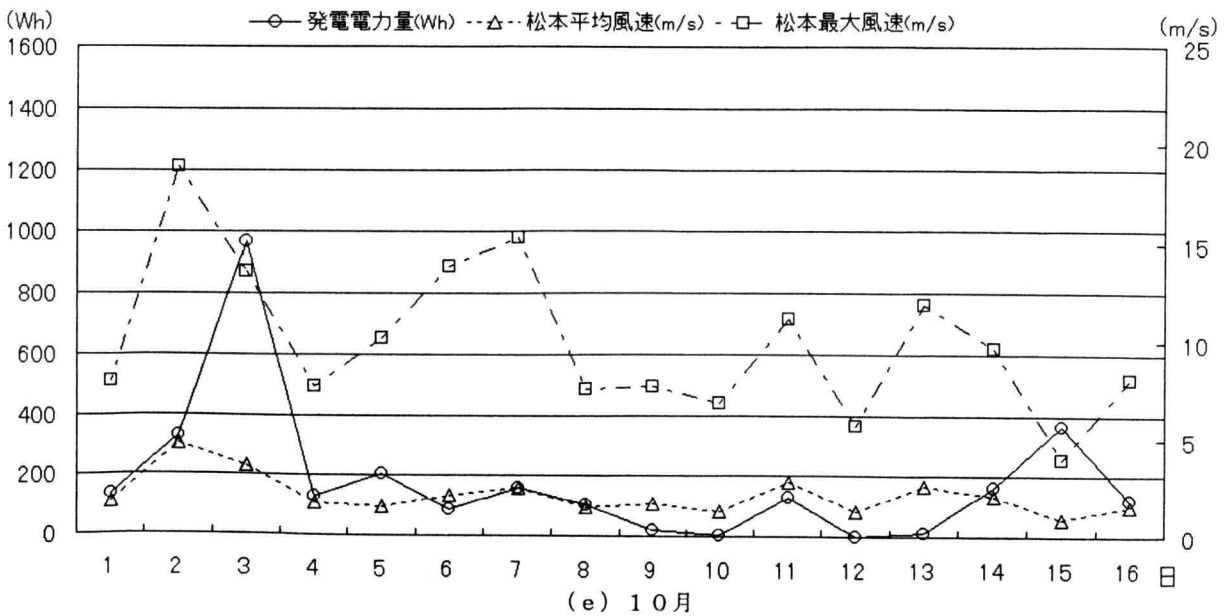
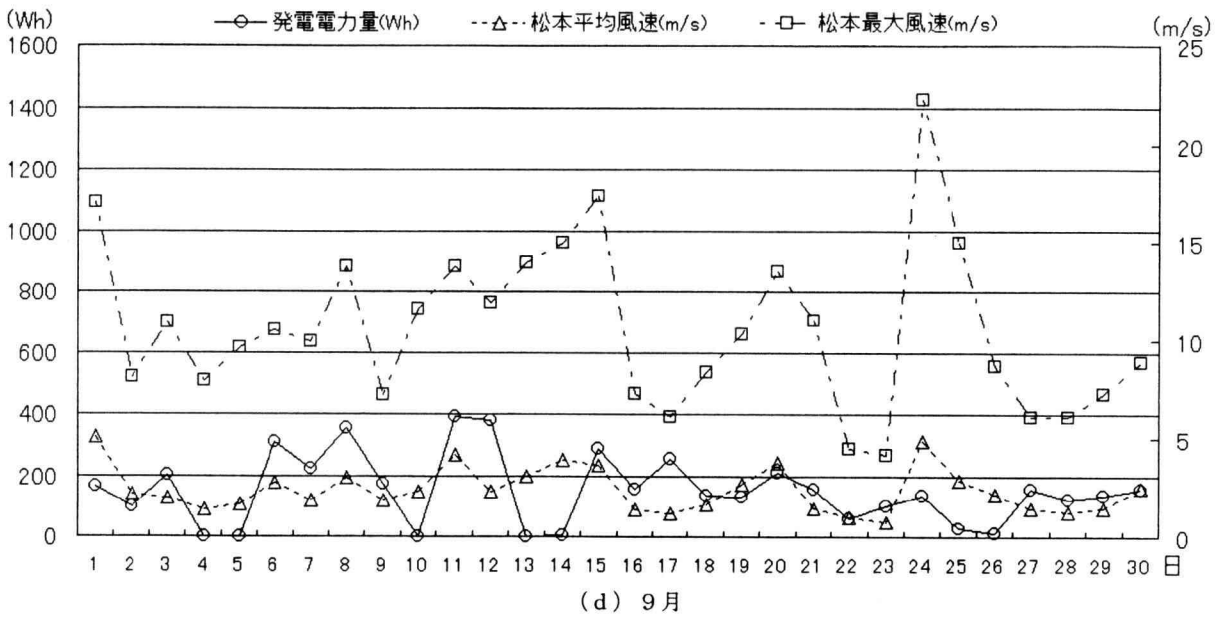
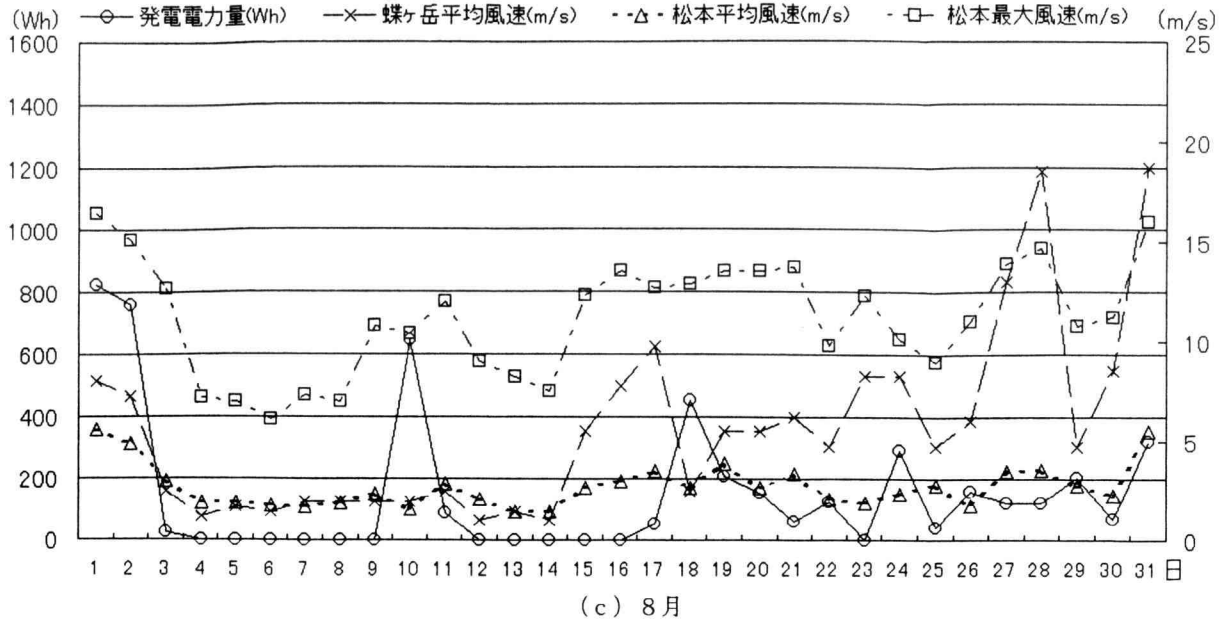


図5 1日当たりの積算電力量と風速

のデータや発電量に比べて非常に著しく、発電量を予測するのに用いることは適当でないと思われる。そこで、比較的相関関係がよい松本の1時間当たりの平均風速のデータをもとに、図1の出力特性から求めた発電予測量と実際の蝶ヶ岳での発電量を月単位で比較したものを表1に示す。バッテリーの過充電防止が余り働いていなかったと思われる6月は、予測値の1.5倍発電している。これは、蝶ヶ岳の風速は、標高の低い松本よりも実際にはかなり強いからと推測される。ところが、7月～9月は、予測値の50～59%しか発電していない。これは、前述したように、バッテリーが過充電状態にあったためと思われる。

今後は、現地での風向・風速とバッテリー電圧を測定し、これらの考察内容を確認する必要がある。また、バッテリーが過充電とならないように、負荷を有効利用する方策を講じる必要がある。

4. 風力・太陽光ハイブリッドシステムのシミュレーション結果

前述の風力発電機と太陽電池をハイブリッドで使用するための基礎資料とするべく、蝶ヶ岳ヒュッテでこの風力発電機1台の発電量が太陽電池(SM55H, 最大出力55W)何枚分に相当するかを検討した。山岳地域における日射量を平地の測定値と比較すると、時間または日単位で見ると若干のパラツキがあるが、月単位ではほとんど同じ値になることが報告されている⁹⁾。そこで、日射量のデータは松本測候所での1時間毎の値を使用し、これを基に発電量を予測した⁹⁾。風力発電に関しては、表1を求めたのと同じ手法を用いた。予測した結果を表2に示す。松本(平地)での検討結果では、風力発電機1台の発電量は太陽電池パネル2枚分に相当していることが明らかになっている。蝶ヶ岳では、前述のように日射量は松本とほぼ同じと推測されるが、風速に関してはかなりの差があるものと思われる。そこで、蝶ヶ岳の9時と15時のデータ(瞬時風速)と、松本測候所の9時と15時のデータ(1時間の平均風速)を比較し、月単位の平均で示すと表3のようになる。この結果から、蝶ヶ岳の平均風速は、松本の1.5～2倍強いことが示されている。風力発電量は、風速の約3乗に比例することから、少な

表1 月平均発電量に関する松本のデータを基にした予測値と蝶ヶ岳の実測値の関係

月と期間	A=松本の風速から求めた月平均の1日当たりの発電電力量[Wh]	B=蝶ヶ岳での月平均の1日当たりの発電電力量の実測値[Wh]	B/A×100 [%]
6月(16日～30日)	267.76	399.04	149.0
7月(1日～31日)	378.3	223.16	59.0
8月(1日～31日)	304.29	152.52	50.1
9月(1日～30日)	272.67	151.44	55.5
10月(1日～15日)	202.96	186.88	92.1

くとも太陽電池3枚分以上の発電量に相当している可能性が非常に強いと推測される。

この点に関しても、今後現地での実測により定量的に確認する必要がある。

5. あとがき

小型風力発電に関する現地(蝶ヶ岳)実験の検討結果より、次の点が明らかとなった。

- ①小型風力発電装置を蝶ヶ岳ヒュッテに設置した。設置に当たっては、山岳地域の強風を考慮して、しっかりした足場を築いた。6月中旬から10月中旬まで稼働させたところ、メンテナンスフリーで使用できることが確認された。
- ②発電電力量は、負荷として使用した屋外トイレの照明の利用率が低かったため、バッテリーの過充電防止が頻繁に働き、予想をはるかに下回った。即ち、実験開始当初の6月の1日当たりの平均発電量が400Whであったのに対して、7月～10月は223～151Whと55～38%に減少していた。また、松本の風速をもとに予測した値と比較すると、6月は1.5倍であったのに対して、7月～9月は予測値の50～59%であった。
- ③松本の日射量と風速を基に、この小型風力発電機1台の発電量を予測したところ、太陽電池2枚分(110W)に相当していることが示された。これをもとに、蝶ヶ岳についても推測したところ、太陽電池3枚分以上の発電量に相当する可能性が強いことが示された。

今後は、現地における風向・風速・日射量・発電量などのデータを収集し、本研究で示された内容を定量的に確認する必要がある。

表2 松本の日射量と風速のデータから予測した月単位の発電電力量

月	日射量から予測した1日当たりの太陽電池発電電力量[Wh]	風速から予測した1日当たりの風力の発電電力量[Wh]
6月	111.11	267.76
7月	169.22	378.3
8月	177.44	304.29
9月	135.95	272.67
10月	124.64	202.96
平均	148.9	285.2
1時間当たりの平均	6.2	11.88

表3 松本と蝶ヶ岳の風速の月単位平均値の比較

月	松本の風速の月平均(9時と15時の1時間当たりの平均風速[m/s])	蝶ヶ岳の風速の月平均(9時と15時の瞬時風速[m/s])	蝶ヶ岳/松本
7月	3.42	6.75	1.97
8月	3.53	5.63	1.5

終わりに、本研究を進めるに当たって、ご協力いただいた蝶ヶ岳ヒュッテの中村圭子オーナー（共同研究者）と酒井支配人、(株)ゼファーの遠藤征宏氏及び当研究室の1999年度卒業研究生 林宗明氏（現在 東光電気工事(株)勤務）に謝意を表します。なお、本研究は、日本学術振興会平成11年度科学研究補助金（基盤研究(C)）によることを記して謝する。

参考文献

- 1) 森：「登山者の立場から山のトイレ問題を考える」 山（日本山岳会会報）No.663, p.1～p.4 (2000-8)
- 2) 森・鳥居：「山岳地域における自然エネルギー利用発電の普及状況と今後の展望」 山岳（日本山岳会年報）90巻, A32～A44頁 (1995-12)
- 3) 鳥居 他：「穂高岳山荘における水平軸風車プロペラの実験的研究」 風力エネルギー（日本風力エネルギー協会誌）9巻1号, p.23～p.31 (1985-1)
- 4) 鳥居・森：「山岳地域における自然エネルギー利用（風力・太陽光ハイブリッド）」 太陽エネルギー（日本太陽エネルギー学会誌）11巻4号, p.35～p.41 (1985-7)
- 5) 日本太陽エネルギー学会編：「太陽エネルギー利用ハンドブック」 p.1～p.76 (1985-3)