

# 災害時の電気エネルギー源を想定した風力発電装置の試験運用

恵原 貴志

## Test Operation of Wind Power Generation System as an Electrical Power Source Supposing Time of a Disaster

Takashi EHARA

*Department of Basic Science, Faculty of Science and Engineering, Ishinomaki Senshu University*

### Abstract

In the present work, potential of wind power generation system as an electric power source in the disaster stricken situation have been examined. The output electric power of the wind turbine installed in two locations, one is in the veranda of an apartment building, and the other is on the roof of the building of the university, have been investigated. The wind turbine located at the veranda, inadequate location for wind electric power generator, showed extremely lower output power than enough to use as an electrical power source. Therefore, it is concluded that we have to reconstruct the wind power generation system drastically in order to utilize the system. On the other hand, the one located on the roof of the university building showed preferable output power. However, it is revealed that the wind power generation system which installed on the roof has a significant problem. The temperature of the wind power generation system, that consist of lead battery and measurement machines, become unacceptably high, because of the sunlight of the summer. Therefore, it is needed to choose the right place on the roof of the university to install the wind power generator system, in order to utilize it.

### 1. 背景

近年、原子力発電や火力発電の代替エネルギー源として、再生可能エネルギーへの興味が高まっている。再生可能エネルギーによる発電は放射性廃棄物も二酸化炭素も発生しないため、これのみで社会が必要とするすべてのエネルギーが賄えれば理想のエネルギー社会が実現するといえる。また、再生可能エネルギーの電力源としての利用は、小規模であれば特定の物質の集約や消費を必要としないため、物流が寸断された状態でも原理的には使用可能である。この点から再生可能エネルギーによる発電は、災害時、系統電源の切断や化石燃料が枯渇した場合のエネルギー源として期待できる。まだ記憶に新しい東日本大震災は東日本の広範囲にわたって大きな被害を引き起こし、石巻市においても多くの人命が失われたが、津波の被害は人的なものに限らず、多くの建物や交通網が破壊され電気・ガス・水道・電話網・携帯電話電波網などのインフラがことごとく切断され、停電、断水、ガスの供給停止が広範囲で発生した<sup>(1)</sup>。医療・生命維持のための電気エネルギー、暖房を行うための化石燃料の不足は、社会的弱者

にとっては致命的な問題であり、実際に災害時の第二の人的被害の原因ともなった。災害時における電気をはじめとしたエネルギーの重要性、そして既存の系統電源をはじめとする大規模インフラの災害に対する弱さを我々は身をもって体験したが、この経験を風化させないためにも、資源を消費せず物流に依存しない小規模再生可能エネルギー設備を災害時に利用する手法を検討すべきである。

現在のところ、再生可能エネルギーとして最も一般に認識され広く利用されているのは太陽光発電である。太陽光発電は、原理的には日照のある位置に太陽光発電素子を設置すればよく、安全性にも大きな問題がないため、メガソーラーと呼ばれる大規模発電所から、個人の住宅の屋根部分に設置する太陽光パネル、さらには電光表示板などの自立電源のような小規模なものまで多様な規模の発電施設、発電装置の設置が進んでいる。特に個人の住宅の屋根部分への設置が可能な点は、太陽光発電の社会に対する認識を高め、普及の拡大に寄与する大きな因子である。一方で、太陽光以外の再生可能エネルギーとしては風力、波力、地

熱などが考えられるが、その普及は太陽光発電に比べると進んではいない。このうち波力、地熱などについては設置可能な位置に制約があるため、個人が住宅に設置することが不可能でその普及を原理的に不可能にしている原因となっている。しかし、風力発電は基本的に風があれば理論上どこにでも設置できるため立地条件の制約が小さく、小型の装置も作成が可能であるため、太陽光発電と同様に個人の住宅への設置の可能性が残されている再生可能エネルギーであるといえる。太陽光発電と比較すると、風力発電は風を受けたプロペラが回転して発電機を作動させるという可動部分を持つ構造であるため、騒音や振動による環境への影響が考えられる<sup>(2)</sup>、風を受ける鋭利なブレードとの物理的接触による人的や物的な損傷があり得る、などの問題がいくつか存在する。しかしながら、災害時にはこのような問題を棚上げにしても電気エネルギーを必要とする切迫した事情が起り得ることも今回の震災の経験から我々は学習した。本稿は、そのような事態を想定して風力発電を活用するための予備知識を得るために行った運用実験の結果報告である。

本運用実験において想定した事態は二つである。一つは、津波や洪水などにより下層階が水没した集合住宅の高層階に閉じ込められたまま救助を待ち続けるという事態である。石巻市においては震災による津波での破壊を免れた家屋も、多くが津波で押し寄せた水に水没した。その結果、一戸建て家屋は水没し、集合住宅の高層階のみが水没を免れるという事態が発生した。高層階に残された人々は、電気、水道、ガス、通信網などのすべてのインフラが切断された状況で、情報不足で周囲の状況も把握することができないまま、水が引くのを不安の中待ち続けるという状況に耐えなければならなかった。せめて情報機器や最低限の暖房施設を稼働できる電気エネルギーがあれば、多少なりとも心理的状況は違っていただと考えられる。今回の震災のみならず、我が国においては、津波以外にも台風や豪雨により家屋が水没する災害は多く、集合住宅の高層階に住民が取り残される事態は今後起き得るものと考えられる。このような事態においては、集合住宅のベランダにおける発電は災害時のエネルギー源として認識す

べきと考えられが、現在まで、特に風力発電に関しては低効率が予想されるために、あまり真剣に検討されたことはない。

もうひとつの想定事態は、今回の東日本大震災において津波では被害を受けなかった石巻専修大学が、市内の他の場所と同様に水没して多くの人々が大学内に閉じ込められた場合である。この場合は学内において何らかの発電を行い、これを緊急用電源としての運用することが求められる。大学には東日本大震災前から内燃機関式の発電設備があり、今回の震災に起因する停電でも活躍したことは記憶に新しい。また災害後には、太陽エネルギー発電施設が寄贈され5号館南側に設置されている。しかしながら、これらの非系統電源設備はいずれも地上に設置されており、もし石巻市が今回を上回る高さの津波あるいは大規模な水害に襲われた場合、これらの施設が水没、破壊されることが予想できる。こうしたことを考慮すると、学内で最も高い位置であり、現在使用されていない場所として、屋上部分の活用が最も有効である。こうした点を踏まえて本研究では、屋上で発電可能な技術のうち、特に風力発電について検討するものである。石巻専修大学の屋上は人が立ち入ることが前提とされていないため、先に述べたブレードとの接触による人的な損害が起る可能性は著しく低く、風力発電機の設置位置として適していると考えられる。

以上の想定した二つの事態に対して、本研究では、机上において考察するのではなく実際に発電装置の設置を行い、発電される電力量の測定を行うとともに、本格的に設置した場合の周辺機器を含めた問題点などについても検証を行った。

## 2. 実験装置の概要

風力発電機を集合住宅のベランダに設置するという行為は、風力発電機の設置の原則にことごとく反しているが、これは災害下の緊急事態を想定しているためであることをまず明記したい。

本研究においては発電機やブレード部分の自作は行わず、市販の風力発電装置を用いて運用を行った。また、二つの想定事態の運用の比較を行うため同一の発電機を使用した。そのため機種の変定にあたってはベランダに設置が可能である機



図1 集合住宅ベランダ部分への風力発電装置の設置



図2 1号館屋上部分への風力発電装置の設置

種を選定した。以上の点を踏まえ、本研究で用いた風力発電機は市販品のWG-504 (Rutland) である<sup>(3)</sup>。同機はローター径が510 mm、全長341 mmと小型でベランダへの設置が可能である。また、ブレード6枚の外縁が相互にリングで固定されているため、ある程度の安全性が確保されており、人が接近しうるベランダへの設置にも多少は適している。さらに用いられている発電機そのものの出力は交流であるが、本体内部に整流器を内蔵しており、出力が直流となっているため、出力電圧から発電電力への換算が容易であるなどの試験的な風力発電装置としては優れた特徴を有している。一方で、プロペラ径が小さいことから出力は風速10 mにおいて25 Wと小さい値となっている。本研究においては、より大出力で大きなローター径、回転半径の発電機のベランダでの使用も試みたが、ベランダの天井、柱などとの接触があり、本機種以外の入手可能な市販機種はほぼ設置が不可能であった。設置に当たっては落下の可能性を考慮し、発電機がベランダから外に張り出すような設置は行わず、ベランダ中央近くに

設置した。なお、設置したベランダは鉄筋5階建ての4階で南向きであり、設置した建物より高い建物や地形は周辺には存在しなかった。図1に設置の様子を示すが、風力発電機本体の設置は建設作業用単管パイプ部品を用いてベランダにバリケード型の土台を組んで設置を行い、建築物への直接の設置は行っていない。測定装置については、空調装置のパイプ引き込み用の穴を介して、発電出力線を室内に引き込み室内で測定と記録を行った。引込み線は $2\text{ mm}^2$ の断面積の銅のより線、長さ10 mのものを用いた。

屋上での運用実験では石巻専修大学1号館の屋上部分に設置した。設置の様子を図2に示すが、既設の金属性の梯子部分に梯子の利用に影響が出ないように単管パイプ部品を用いて土台を組み設置を行った。この結果、風力発電装置は屋根部分から上方に3 m程度離れた状態となった。また、測定装置と記録装置は梯子の直近に防水のプラスチック製ロッカーを設置し、この中に装置を置いて風力発電機と接続した。図2の右下方に見える直方体の物体がこのロッカーである。測定に

## 災害時の電気エネルギー源を想定した風力発電装置の試験運用

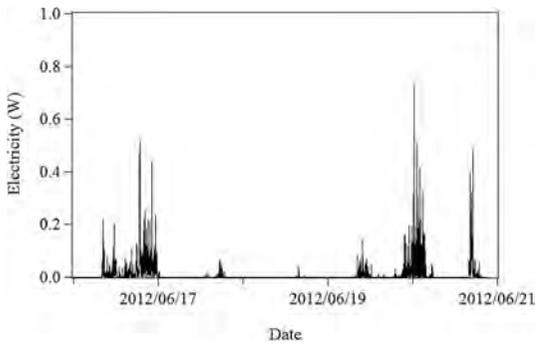


図3 集合住宅のベランダに設置した風力発電機の発電特性

用いた装置はもちろん、風力発電機と測定装置を接続する送電線などもすべてベランダでの運用と同一のものを用いることにより、2つの立地条件の比較において、送電損失による違いを無視できるようにした。

発電電力の測定に当たっては、出力を負荷抵抗に接続し、その両端電圧と負荷抵抗の抵抗値から電力を計算した。負荷抵抗としては  $20 \Omega$  のリボン抵抗器を用いた。電圧の記録はデータロガー (LR5043、日置電気) を用いて測定間隔は2分間の設定で行った。

### 3. 結果

図3に2012年6月16日から20日までの5日間にわたり集合住宅のベランダに風力発電機を設置し測定した発電電力の結果を示す。グラフの縦軸は発電電力、横軸は時間経過を表し、一目盛が一日に対応する。図に示されているように、発電電力が0である時間帯が著しく多いことがわかる。実際にベランダの発電機を目視していても全く回転しないことが多かった。また、風車が回転して発電を行っている場合でも発電電力はいずれも1Wを下回っていることがわかる。図3に示した5日間の平均発電電力値は0.02Wであり、最も風の強かった6月20日においても平均発電電力値0.04Wであった。この低出力の原因として、まず当該期間は極めて風速が低い期間であったという理由が考えられるが、20日は台風4号が宮城県を通過した日で、市内に風速30メートル近い風が吹いていた日であり、この理由は考えにくい。そのため発電電力が著しく低かった理由

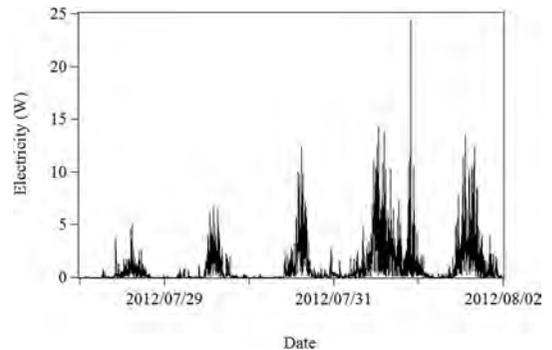


図4 本学屋上に設置した風力発電機の発電特性

は集合住宅の建物によるある種の防風効果であると考えられる。風力発電装置の設置条件として、周辺に壁や建物があってはならないという条件がよく知られているが、ここで得られた結果は、集合住宅の建物による防風効果の影響が大きかったことを示している。次に、実際に風力発電を行って得た電力を一度深放電させたディープサイクル鉛蓄電池に蓄電し、使用可能な電力量を検証した。蓄電池が深放電の状態から7日間充電を行った電力量ではDC12V、2.5W仕様の発光ダイオード電球を数分から数十分点灯させる程度の電力が得られることが分かった。この電力量はあまりにも小さく、直流12Vの入力で系統電源と同じ100V交流を発生させるインバータを起動することはできなかった。これらの点を考えると、この風力発電システムはこのままの仕様では緊急用電源として利用することは極めて困難であるといえる。

図4に2012年7月28日から8月1日までの5日間にわたり本学屋上に設置し測定した風力発電機の発電電力の結果を示す。このグラフは図3と比較すると、縦軸の発電電力の軸が25倍となっている。測定期間の間には、図3の測定期間の場合のように台風の日があったなどという事実はなく、その他の原因に由来する特別な強風の記録もなかった。それにもかかわらず、測定機関全体の平均発電量は0.8Wであり、図3に示したベランダに設置したデータの40倍の値を示している。また、7月31日に最大出力24Wを記録している。図5に本研究で用いた風力発電機 (WG-504) の風速出力特性を示すが<sup>(4)</sup>、このデータと図4に

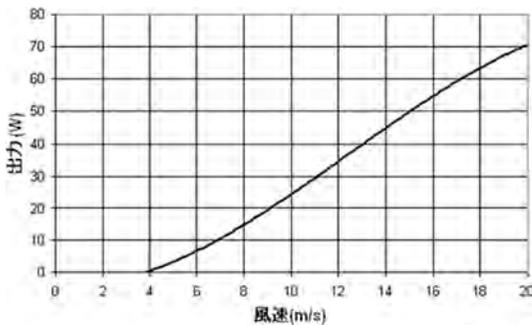


図5 本研究で用いた風力発電機 (WG-504) の風速出力特性

示した結果から、1号館屋上には一日数時間程度は風速5m程度の風が吹いていることがわかる。さらに、縦軸のスケールの違いにより見にくいですが、図3でかなりの長時間にわたって観測された、発電電力が0となる時間も著しく短くなっており、図3の測定に比べると発電量0の時間帯が占める割合は5分の1以下である。ここで得られた結果をもとに、引き続き本学屋上の緊急用風力発電装置の設置位置としての可能性について、今後とも検討していく予定である。

屋上での風力発電機の応用においても、集合住宅ベランダでの運用同様に蓄電池を用いての運用実験を行う予定であったが、8月の中旬という時期においては、屋上部分の温度が極めて高く、図2に示した測定装置を収納している位置に蓄電池の設置を行うことができなかった。測定によると夏の日差しの中では測定器の収納箱の内部は70℃近い高温となる。鉛蓄電池はその構造上硫酸を含有しているため、高温の場所に放置すると容器が破壊され、内部の硫酸が流出して校舎の屋上を侵食する可能性がある。この危険を回避するため今回は設置を行わなかった。また、屋上の高温は、データロガー装置の液晶部分の破損やデータ損失、温度変化による負荷抵抗の抵抗値の変化など測定装置にも悪影響を及ぼした。こうしたことも加味し、次の段階の実験、特に蓄電池やインバータや負荷となる家電製品などを接続したより実際に近い運用実験を行うに当たっては、温度が変化しない場所を確保して実験系を組みなおして再度運用実験を行うべきであるという結論に至った。

#### 4. 考察

本研究では、緊急時を想定しての風力発電装置の試験運用を、集合住宅のベランダと大学校舎の屋上の二つの場所で行った。本来であれば風力発電を今後の災害時に使用可能なものとするため、蓄電を行う装置や交流100Vを発生させるインバータ、災害時に負荷として接続されることが予想できる電化製品などを接続した実験などを行うべきであるが、今回は残念ながらその段階までに到達していない。結果として運用実験の予備実験という段階で研究が停止してしまったのは残念な結果である。その理由としては、集合住宅のベランダでの運用は、予想されていたことではあるが、あまりにも効率が低く、また、大学の屋上での運用においては真夏の高温が発電システムの運用に問題が発生する領域であったというものを各々挙げるができる。しかしながら、今回運用を行ってみなければこのような問題点は明確化しなかったとも考えられるので、今後はこれらの問題にどう対策していくかという点を運用実験の目的として考えていくこととなる。

集合住宅のベランダでの風力発電を緊急用電源として利用するためには、最低でもインバータを用いた交流電源を利用可能な電力量まで発電量を増加させる方法を考えなければならない。現実的に判断すると、これは現状の装置を使用する限りほぼ不可能であろうと考えられる。しかしながら、いかに効率が低かろうとも、災害時に高層階に取り残された被災者という見地で考えると、集合住宅のベランダ部分での風力発電は電気エネルギーを得る最後の手段となる可能性も否定できず、単に効率のみを理由に断念するのは災害対策という目的を考えると早計であるという見方もある。ベランダでの風力発電の効率改善に真剣に取り組むのであれば、根本的に風力発電装置そのものの構造を考え直す必要がある。すなわち、ある程度の口径を持ったプロペラを発電機に接続するという現在まで受け入れられてきた構造を捨て、より微風でも発電し得る新たな構造の風力発電装置を考えるということである。これは風力発電機的设计そのものから考え直さなければならず、長期的な研究となる事が予想できる課題である。しかしながら、これが実現すれば太陽光パネルのよ

うに一般の住宅へも取り付けられる再生可能エネルギーを利用した発電装置となる可能性を持っている。

一方、1号館の屋上における運用については、ある程度の風量があることが明らかとなった一方、発電機の設置位置によっては、季節的な温度変化が装置の動作に大きな影響を及ぼすことが今回の試験運用で明らかとなった。この問題は蓄電装置などを設置する場所を温度があまり変化しない場所に変更すれば問題は解決するが、発電機からの出力である直流低電圧の状態での送電部分ができるだけ短くして<sup>(5)</sup>、送電部分での損失を抑える必要があるため、装置全体の設置位置を考え直す必要がある。具体的な設置位置としては、風力発電装置を屋上に出るドア付近に設置し、測定器と蓄電装置部分を建物の中に設置するなど、装置の温度に弱い部分を建物内に持ち込むことにより問題は回避できると考えられる。また、ベランダと屋上の発電効率の比較を行う必要がなくなるので、屋上に設置する風力発電装置は、より大型で発電容量の大きいものを選択することも可能である。そうすると今回は発生しなかった騒音の問題が発生する可能性も否定できないが、これも実用化に向けていずれは検証すべき問題である。

## 5. 今後の展望

本研究で得られた結果から、屋上に設置した風力発電機は緊急時用の電源装置としてある程度実用可能な出力が得られる可能性が示された。本稿の最後にあたり、今後の大学屋上における風力発電装置の運用実験の今後の方向性について示しておきたい。

今回の運用では風力発電の本質的な部分ではなく、装置を設置する部位の温度という、いわば枝葉的な問題が原因となって問題が発生し運用実験を滞らせる結果となった。このことから運用実験

はあらゆる問題を洗い出す意味で、年単位の長期にわたって実行し、あらゆる気候条件に風力発電システム全体を暴露しなければならないことが確認された。また、先に記したように、風力発電機もより実用に即した大出力のものに交換してより大電力を発電し、災害での現実的な運用を検証するべきである。そのためには、単に出力を測定するだけのためのダミー負荷ではなく、災害時に真に役に立つ電化製品を負荷として運用を行い実現性について検証を行うべきであると考えられる。東日本大震災の経験から、災害時の電気エネルギーの用途としてはまず第一に、現状の把握のための情報収集であることは明らかである。このことから、季節を問わず災害時に役に立つ電気機器として風力発電装置の負荷とするべきは情報機器ではないかと考えられる。学内のいずれかの場所に、風力発電のみを電力源とした情報機器を設置し、年単位の期間でその動作をモニターすることにより、真に災害時の発電装置としての風力発電の存在意義を評価できるのではないかと現在は考えている。次の段階の風力発電の運用実験は以上のような計画ののっとり行う予定である。

## 謝辞

本研究は財団法人前川報恩会学術研究助成を受けて行われた。ここに謝意を表す。

## 参考文献

- (1) <http://www.isenshu-u.ac.jp/library/shinsai/>
- (2) 牛山 泉(2002)、風車工学入門、森北出版 p.182.
- (3) <http://www.marlec.co.uk/wp-content/uploads/2008/09/504-datasheet.pdf>
- (4) <http://www.naturalgoods.com/wg504.html>
- (5) 本研究で記録された発電機からの出力電圧の最大値は21Vである。