

大規模停電時のための非常用小型風力発電機の試作と評価

2016SC023 猪田光流 2016SC032 蒲原達也

指導教員：藤井勝之

1 初めに

この章では研究背景および研究方法について述べる。

1.1 研究背景

災害大国である日本では自然災害によるインフラへの被害が大きく直近では2018年の北海道胆振東部地震で50時間大規模停電が発生している。また国外でも同様に、2003年に北アメリカ大規模停電で29時間にも及ぶ停電発生が起きている。図1に示すように他にも発展途上国でも頻繁に停電が生じている。

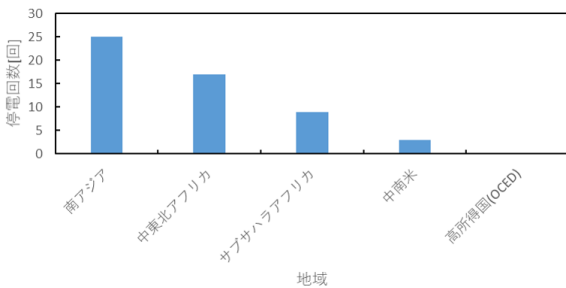


図1 各地域の平均停電回数 [1]

特に大規模停電においては長時間エネルギー供給源が停止するため安定したエネルギー供給を可能とする発電方法が望ましい。そのため再生可能エネルギーであり、風が吹いていれば24時間常に発電できる上に、天候や、災害時は貴重な資源である水に依存しない発電法である風力発電が有用であると考えられる。

1.2 研究方法

本研究では、上述の問題点において実際に試作機を作製し、送風機を用いた実測を行い評価する。低風速化において発電可能であると考えられる多翼型、アルキメデス型、及び高効率での発電が可能なプロペラ型の発電量や発電効率といった計測結果から比較する。研究対象地を日本沿岸部として、その風速帯での発電に適した風力発電機について考察する。

2 対象地の情報

この章では研究対象地の概要および目標発電量について述べる。

2.1 日本沿岸部の風力状況

現在の風力状況を図2に示す。

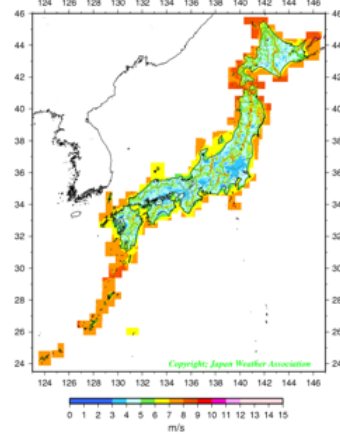


図2 日本の風力状況 [2]

名古屋では風速4m/s~5m/s、東京では風速3m/s~4m/s、多くの商業用風力発電機がある御前崎周辺では風速6m/s~7m/sとなっている。本研究では日本沿岸部の平均風速である風速4m/s~5m/s帯を対象に研究を行う。

2.2 目標発電量

本研究で作成する風力発電機はブラックアウト時の夜間において全光束960lmのLEDを点灯させることを目標とする。具体的な発電量の値として定格消費電力2.9WのLED電球を3灯4時間点灯させる34.8Wh発電することが必要である。

3 風力発電機について

風力を用いた発電の仕組みは、風のエネルギーを利用することで電気エネルギーを生み出すというものである。風力による発電では二酸化炭素の排出が無いため、自然環境への影響が小さいことが分かる。また、風というのは世界中に存在する安全なエネルギー源であり、燃料などのように枯渇する心配がない為、長期にわたって利用することが出来る。

3.1 風力発電機の分類

風力発電機には軸の向きに関する分類と動力源となる力による分類などがある。以下、表1に分類を示す。

	揚力型	抗力型	揚力・抗力複合型
水平軸風車	D プロペラ型	A 多翼型 B セイル C ウィング型 D オランダ型	アルキメデス型
垂直軸風車	ダリウス型	ジャイロミル型	サニエラズ型 クロスプロ型

表1 風力発電機の分類 [3]

3.2 風力発電機の発電効率

風車のブレードが風を機械的エネルギーに変換する。しかし、エネルギー変換の際に空気力学的損失などのロスが発生する。ここで、風力発電機によって風から機械的動力に変換する効率を「パワー係数」という。風力発電機の種類ごとのパワー係数を図3に示す。パワー係数が高い値を取るほど風のエネルギーを高効率で機械的動力に還元することができる。アルキメデス型については公表されているデータ [4] をもとに算出したところ赤枠で囲むところでピークを取るパワー係数となった。パワー係数は以下のような数式に示される。

$$C_p = 2P / \rho S v^3 \quad (1)$$

C_p : パワー係数, P : 発電量 [W], ρ : 空気密度 [kg/m^3], S : 受風面積 [m^2], v : 風速 [m/s]

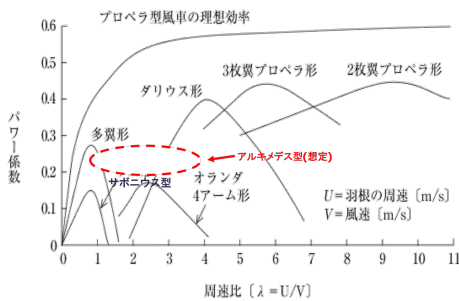


図3 風力発電機の理想効率 [5]

羽根が回転する際の末端の回転速度のことを周速といい、吹いてくる風の速度に対しての周速の比のことを周速比という。

3.3 技術課題

風力発電機の風から得ることのできるエネルギー量は以下の式で表す。

運動方程式

$$E = (1/2)\rho\pi r^2 v^3 C_p \quad (2)$$

ρ : 空気密度 [kg/m^3], r : ブレード半径 [m], v : 風速 [m/s], C_p : パワー係数

一般的に商業用として運用されている風力発電機に比べ、各家庭に設置することを目的とするマイクロ風力発電機は羽のサイズが小さく受風面積が小さいため、風から得ることのできるエネルギー量は小さいという課題が式 (1) からわかる。まず、本研究では、低風速下でも発電可能かつ比較的高効率なアルキメデス型、多翼型、および高風速下において発電効率が高い三枚翼プロペラ型の作製を行い実測・比較する。

4 アルキメデス型風力発電機

この章ではアルキメデス型風力発電機および作製した試作機の概要について述べる。

4.1 アルキメデス型風力発電機について

アルキメデス型は揚力・抗力複合型であり、外縁の形状がアルキメデス螺旋によって構成されている。アルキメデス型は図3に示したように、揚力型を除いたブレードの型の中でも比較的高い発電効率での運用が可能であると考えられる。また、他の型に比べブレード半径に対してブレード面積が大きいため低風速化でも運用が可能であると考えられる。これらの特徴から研究対象である日本沿岸部での発電が可能であると考えられる。以上の理由からアルキメデス型風力発電機を設計、評価する。

4.2 アルキメデス型試作機の概要

今回作製した試作機を図4に示す。

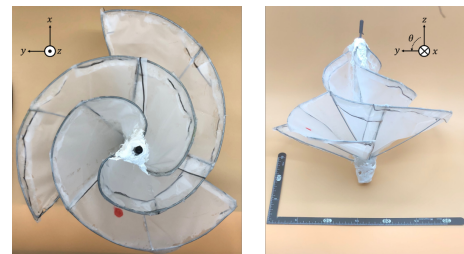


図4 試作したアルキメデス型風力発電機

アルキメデス螺旋を再現するにあたって加工が簡単な材料を選定する必要があった。そのため針金とポリエチレン製の布を用いて羽根を作成した。半径が155mm、重量は153.5gとなった。

5 多翼型風力発電機

この章では多翼型風力発電機および作製した試作機の概要について述べる。

5.1 多翼型風力発電機について

回転力が強く、音は静かであり、アマチュアでも容易に風車を取り付けたり、修理もできることから、海外ではボランティア活動において中小形の揚水動力源として活用されている。吹いてくる風に対して回転する軸が水平。羽根の枚数が多いので回転速度は遅いが、トルクが大きいため弱い風でも回転する [6]。以上の点から多翼型風力発電機を作製する。

5.2 多翼型試作機の概要

今回作製した試作機を図5に示す。

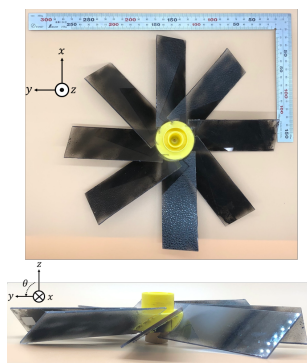


図 5 試作した多翼型風力発電機

多翼型の風力発電機は羽の枚数が多いのものであることから重量が重くなるのが懸念されたため軽い材料であるものを選定する必要があった。そのため今回作製した試作機の羽根にはアクリル樹脂を用いた。半径 110mm の羽を 8 枚作製し取り付けた。重量は 153.5g となった。

6 三枚羽プロペラ型風力発電機

この章では三枚羽プロペラ型風力発電機および作製した試作機の概要について述べる。

6.1 三枚羽プロペラ型風力発電機について

プロペラ型風力発電機は図 3 に示すパワー系数の中でも高い値をとる型となっている。また、国内で実用されている風力発電機の型の中で最も普及している型のひとつである。二枚羽の風力発電機のほうが重量が軽く空気抵抗が少ないが騒音が大きくなってしまふ。これらのことから安定性や回転のバランスなどを考慮した結果、三枚羽プロペラ型の風車が主流となっている。以上のことから三枚羽根風力発電機を作成する。

6.2 三枚羽プロペラ型風力発電機の概要

今回作製した試作機を図 6 に示す。

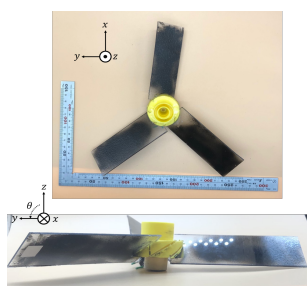


図 6 試作した多翼型風力発電機

多翼型に比べ、羽根の枚数が少ないことから重量が 44.5g となり、今回作成した試作機の中で最も軽量の試作機となった。また半径は 155mm となった。

7 実験

この章では使用機器および実験内容について述べる。

7.1 使用機器

ここでは、前節で作製した 3 つ試作機を使った実験について言及する。実践の際に使用した器具を以下に示す。

- ・送風機 (Suiden ジェットスイファン SJF-200RS-1)
- ・アルキメデス型試作機
- ・多翼型試作機
- ・3 枚翼プロペラ型
- ・オシロスコープ (Hantek digital storage oscilloscope)
- ・風速計 (BENTECH GM816 Anemometer)
- ・回転計 (SATOTECH digital instrument DT-2230)
- ・20 Ω 炭素皮膜固定抵抗機
- ・DC モーター (MITSUMI 545 M36N-2)

これらの器具を用いて実測を行う。

7.2 実験内容

屋内で送風機 (Suiden ジェットスイファン SJF-200RS-1)(最大風速 11m/s) を用いて電圧、回転数を測定する。風速の基準は風力発電機の軸の前方 10 cm の値を風速計 (BENTECH GM816 Anemometer) で測定し、実測時の風速とした。実測時の回路を図 7 に示す。抵抗には 20 Ω のものを使用した

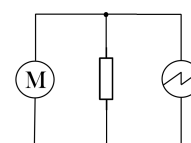


図 7 回路

8 実験結果・考察

この章では実験結果および考察を述べる。

8.1 実測結果比較

アルキメデス型、多翼型、3 枚翼プロペラ型から得られた実験結果を以下に示す。電圧を図 8、発電量を 9、パワー系数を 10 に示す。

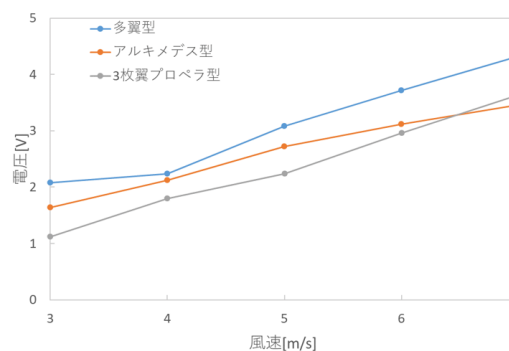


図 8 電圧

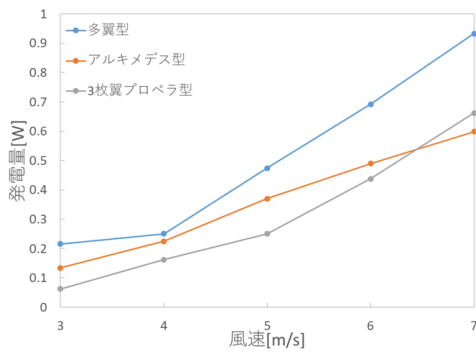


図9 発電量

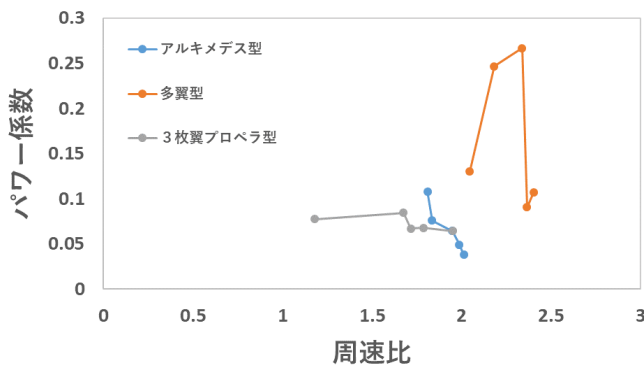


図10 パワー係数

8.2 考察

図8の結果を見ると、多翼型に比べアルキメデス型の電圧が低いものとなった。この原因として、低負荷のモーターを用いた実測であったため高トルクの試作アルキメデス型には実測状況が適しておらず、アルキメデス型本来の特性が引き出せなかったことが考えられる。この問題に対しては、試作機に増速機などの負荷を取り付けることによって得られる値を改善することが可能であると考えられる。また、図9の結果を見ると、今回作製した試作機の中でも高い発電効率が期待された三枚翼プロペラ型風力発電機が一番低い発電効率となった。この原因として、三枚翼プロペラ型は理想的な揚力を発生させる正確な翼型のブレードを作製することが困難であったため、揚力をうまく発生させることが出来ずプロペラ型としての発電性能をだせず低い発電量となったと考えられる。しかし、風速6m/s~7m/sにおいてプロペラ型の値がアルキメデス型を上回っていることからプロペラ型の特性である周速比の高さが現れていることがわかる。

9 終わりに

本研究では、大規模停電時において運用可能な非常用小規模風力発電機についての研究である。結果としては、十分な発電量には至らなかった。発電量が少なくなった理由としてはアルキメデス型はモーターの負荷とブレードのトル

クとのバランスが悪かったこと、3枚翼型プロペラ型はブレードの構造によって揚力が十分な揚力が発生しなかったことが原因と考えられる。また、モーターの定格回転数に対して今回作製した3つの試作機では回転数が足りなかったことも要因の一つだと考えられる。今回行った実験では送風機による乱流の影響を考慮していなかったため、計測によって得られたデータの正確性がかけていると考えられる。そのため今後、風力発電機を用いた計測を行う場合は、正確かつ定量的なデータを得るためにも風洞施設を利用することを推奨する。今後の課題としては、発電に用いるモーターに増速機を取り付けることで必要なトルクは高くなるが回転数を上げることができるので発電量を改善することが可能であると考えられる。また、作製した複数の試作機をアレイ化することで充電時間を短縮することができると考えられる。

10 参考文献

- [1] 経済産業省, “世界的なインフラ需要の拡大”
<https://www.meti.go.jp/report/tsuhaku2016/2016honbun/i1330000.html>, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [2] 港湾局 振興課, “全国港湾風況マップ”
<http://www.mlit.go.jp/kowan/kaihatuka/windhp/huukyo-map/windmap.html>, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [3] 新エネルギー財団 NEF, “風力発電”
<http://www.nef.or.jp/energy/windpower/iroiro01.html>, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [4] KEtech, “ARCHIMEDES WIND MILL”
<https://thearchimedes.com/images/pdf/AWM-BrochureEngsmall.pdf>, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [5] 石田博, “風力発電：日本の現状と問題点”
<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/seminar/No84/ishida0110.html>, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [6] 久保 大次郎, “マイクロ風力発電機的设计と製作”
CQ 出版社, 2007, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [7] コスモエコパワー株式会社, “風力発電の豆知識”
<https://cosmo.eco-power.co.jp/library/tips.html>, 参照日 Jan. 13, 2020.
- [8] ネオマグ株式会社, “風力発電の基礎シリーズ (5)”
<https://www.neomag.jp/mailmagazines/topics/letter201204.html>, 参照日 Jan. 13, 2020.