

逆テーパ形ブレードを有する小型風力発電機の 最適設計手法に関する研究

指導教員 牛山 泉 G10116 宮下 敏幸

1. 緒言

代表的な再生可能エネルギーである太陽光と風力との間には季節的および日的な相互補完性が存在する。したがって、小型風力発電機と太陽電池パネルを組み合わせたハイブリッド発電システムは年間を通じて安定した電力が期待できる。

当研究室では、このようなハイブリッド発電システムを可搬型 BOX に組み込んだ WISH (Wind and Solar Hybrid) BOX を提案している。以前、このシステムに用いた小型風力発電機は市販の先細テーパ翼を用いた高風速域用のタイプであったため、低風速域での利用に難点があった。¹⁾

そこで、この風車に使用する低風速用高性能風車ブレードの翼枚数と設計周速比変化が風車性能に及ぼす影響を明確にするるとともに、これに適合する発電機とロータ直径 1.2[m]の風車を組み合わせ、フィールド実験を行うこととする。

2. 供試風車の設計

供試風車は、翼素運動量複合理論²⁾を基にして風車ブレードの簡易設計法³⁾によって設計を行い、逆テーパ形のブレードを製作した。なお、本研究の風洞実験においては、翼枚数および設計周速比の変化による性能評価を目的とするため、各供試風車の翼型、揚力係数、迎角、風車半径には共通の設計値を用いた。また、野外実験では、風車ロータと発電機の整合性を調べるため、カットイン風速は 3[m/s]、定格風速を 7[m/s] で定格出力の風車出力は 100[W]とし、回転数が 300[rpm]で発電機出力 70~80[W]となるように設計した。

3. 実験装置および方法

本実験に用いた風洞は吹き出し型で、風速 2[m/s]~20[m/s]まで変化させることができる。吹き出し口の断面は 1.05[m]×1.05[m]である。風車への負荷は 200[V]3 相 4 極及び 6 極の誘導電動機を用いて、同期周波数をインバータで制御し、任意に設定した周波数に対応するトルクと回転数をトルク変

換器、回転計で測定している。

また、可視化実験ではシーディング装置と煙ノズルを取付け、煙発生装置を使用して煙を流しハイスピードカメラによって撮影を行った。

さらに、フィールド実験では地上高 3[m]の鋼製ローリングタワーに風車と風向風速計を設置し、24 時間を 1 秒としてデータロガーにより測定と記録を行っている。

4. 風洞実験での性能比較

(1)翼枚数変化の影響

図 1 より、逆テーパ形 3 枚翼のパワー係数は風速 4[m/s]及び 10[m/s]において周速比 $\lambda=1.5\sim 2.5$ の範囲においてほぼ一定の最大値 $C_p\max=0.33$ 以上が得られる。

逆テーパ形 4 枚翼のパワー係数は風速 4[m/s]及び 10[m/s]において周速比 $\lambda=1.9\sim 2.6$ の範囲においてほぼ一定の最大値 $C_p\max=0.34$ 以上が得られる。

逆テーパ形 5 枚翼のパワー係数は風速 4[m/s]及び 10[m/s]において周速比 $\lambda=1.9\sim 2.8$ の範囲においてほぼ一定の最大値 $C_p\max=0.40$ 以上が得られる。

(2)設計周速比変化の影響

翼枚数変化の実験結果より 5 枚翼のみの設計周速比を変化させて実験を行った。

図 2 より、設計周速比 2.25 のパワー係数は風速 4[m/s]及び 10[m/s]において周速比 $\lambda=1.8\sim 2.8$ の範囲においてほぼ一定の最大値 $C_p\max=0.37$ 以上が得られる。

設計周速比 2.5 のパワー係数は風速 4[m/s]及び 10[m/s]において周速比 $\lambda=1.8\sim 2.8$ の範囲においてほぼ一定の最大値 $C_p\max=0.35$ 以上が得られる。

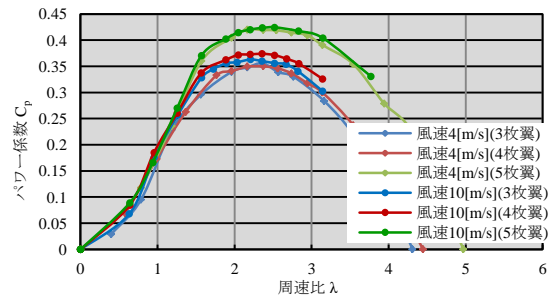


図 1. 翼枚数変化の影響

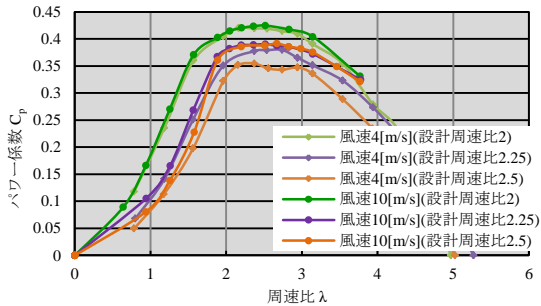


図 2. 設計周速比変化の影響

5. ロータ周りと翼端の気流の可視化実験

(1)翼枚数変化における可視化実験

翼枚数を変化させた場合、翼枚数が少ない3枚翼で大きな翼端渦が確認された。そのため、翼端渦による翼端失速の影響を受けていると考えられる。また、流入風と後流風での減速において5枚翼が最も顕著な減速が確認された。

このことから、5枚翼が効率良く風の運動エネルギーを変換していることが考えられる。

(2)設計周速比変化における可視化実験

設計周速比を変化させた場合、設計周速比が高くなると設計周速比2よりも後流風の減速と後流の拡散が確認された。さらに、流入風における拡散角を調べた結果、設計周速比が高くなるとわずかな拡散角の増加が判明した。

このことから、設計周速比2が風車ロータに対して流入気流を垂直に近い方向で受けており、風の運動エネルギーを効率良く変換していると考えられる。

6. フィールド実験での性能評価

(1)発電機1号機による実験結果

図3より、いずれの負荷においても、設計値のカットイン風速3[m/s]よりも低風速で発電を開始した。しかしながら、定格風速である風速7[m/s]近傍では、設計出力80[W]の75[%]である60[W]程度しか得られなかった。これは、風車の特性に発電機1号機が整合しないためと考えられる。

この要因として、発電出力が設計出力に達しなかったのは、発電機から抽出した電流値が高かったためであると考えられる。電流値が高い場合、発電機内部に大きな電流が流れ、ブレーキトルクが発生することになり、その結果、発電機の発電特性は風車の効率的な動作点からずれてしまい、発

電効率が低下してしまったためと考えられる。

(2)発電機2・2.5号機による実験結果

図3より、いずれの負荷においても、設計値のカットイン風速3[m/s]よりも低風速で発電を開始した。また、定格風速である風速7[m/s]近傍では、2号機と2.5号機の制御回路において設計出力80[W]の90%である70[W]程度が得られた。さらに、バッテリー負荷と比較すると2.5号機の方が高風速での整合性が2号機よりも良いことが判明した。

このことから、2号機と2.5号機では過電流による内部抵抗が改善され、制御負荷により整合性を高めたと考えられる。

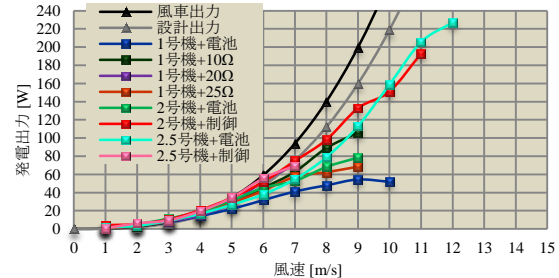


図 3. フィールド実験の結果

7. 結 言

(1) 翼枚数の変化では、風速4[m/s]と10[m/s]ともに5枚翼の場合に高いパワー係数が得られた。

(2) 設計周速比変化では、風速4[m/s]と10[m/s]ともに設計周速比2の場合に高いパワー係数が得られた。

(3)可視化実験では、翼枚数を変化させた場合、翼端渦による翼端失速の影響が考えられる。また、設計周速比を変化させた場合、流入風における拡散角の増大が確認され、これがエネルギーの変換効率に影響したと考えられる。

(4)1号機において、風速3[m/s]より低風速から発電を開始したが、定格風速の7[m/s]近傍では設計出力80[W]に対して60[W]程度の発電出力しか得られなかった。

(5)バッテリー負荷の場合では、電流制御を装着しなかったため、過電流により内部抵抗が発生して出力が低下してしまったものと考えられる。

(6) 2号機および2.5号機において、制御回路による適正負荷制御が風車と整合させるために有効だと判明した。