

## マイクロ風車の最適設計に関する研究

日大生産工(院) ○稲付祐介 日大生産工 平山紀夫

## 1. 緒言

化石燃料の大量消費をはじめとする環境問題は社会問題となっており、再生エネルギーの供給需要は年々高まっている。中でも小型の風車は、設置面積が小さく場所を取らないことや、容易に設置できることから注目されている。

本研究では、風力発電コンペ「WINCOM」の規格に準拠し、一般的なプロペラの設計に用いられているLarrabeeの理論を用いて出力5kW以下の超小型タイプの風車(マイクロ風車)の最適設計の検討を行った。

風車の性能はパワー係数 $P_c(-)$ という風車効率で表され、その最大値はベッツの限界(Betz's limit)と呼ばれる $P_c = 0.593$ である。また、発電量を最大化するためには、規定の設計要件の中で風車が生み出すトルクを最大化させる必要があるが、今回の「WINCOM」の規格に準拠してマイクロ風車を作成すると、風車の発生トルクが不足し、無負荷時と比較して発電機を回転させることができない例が多数見受けられる。したがって、マイクロ風車の性能を向上させるためには、パワー係数を低下させずに発生トルクを増大させることが必要となる。

大型風車の場合、直径が大きいため翼端付近のレイノルズ数が大きくなり、翼端付近の翼弦長によらずトルクを発生させることができる。したがって、翼端付近では翼弦長を小さくし、抗力を削減することが設計として正しいと言える。それに対し、マイクロ風車のような小型の風車では、直径や周速比が小さいため、翼端付近の翼弦長を小さくして抗力の削減を図るよりも、翼弦長を大きくしてトルクを増大させるべきであると考えられる。この仮説の有効性についてLarrabeeの理論を用いた数値計算により検証を行った。

## 2. 提案手法

「WINCOM」における規格は、高さ、幅、奥行きが各800mm以内、発電機は自転車用を使用することである。そこで今回の設計条件は、ロータ半径370mm、ブレード枚数6枚、風速は送風機の風速分布を考慮し中心での風速を6m/s、設計回転数300rpmとして設計を行った。

使用した翼型は、主にラジコン飛行機や人力飛行機のプロペラに用いられるSD7037を改良したものを採用した。今回の風車における代表

的なレイノルズ数は、およそ $8.0 \times 10^4$ であるため、その領域における性能向上を目的として、改良を行った結果、設計段階において迎角 $5.0^\circ$ で揚抗比が約10%向上の見込みを得た。

今回の翼弦長 $C(m)$ の決定には(1)式<sup>2)</sup>を用い、Prandtlの翼端損失係数 $F(-)$ の有無で性能の違いを評価した。

$$C = \frac{4\pi r F \cos \varphi \sin \varphi V \zeta}{W C_l B} \quad (1)$$

ここで $\varphi$ (deg.)は流入角、 $W$ (m/s)は合成速度、 $C_l(-)$ は揚力係数、 $B(-)$ はブレード枚数、 $r$ (m)は半径方向の距離、 $V$ (m/s)は風速、 $\zeta(-)$ は無次元渦面移動速度を表す。翼弦長の決定は、翼端損失係数の有無で場合分けを行い性能の比較を行った。

## 3. 設計結果

翼端損失係数を含めた場合と、除いた場合( $F=1$ )で設計を行った半径方向の距離と翼弦長及び設定角度の関係をFig.1, Fig.2に示す。また、そのモデルをFig.3, Fig.4に示す。

Fig.1に示すように、翼弦長については翼端損失係数の影響が生じる翼端付近で大きくなった。また、Fig.2に示すように翼端損失係数の有無によらず、ブレード設定角はほぼ等しい値になった。

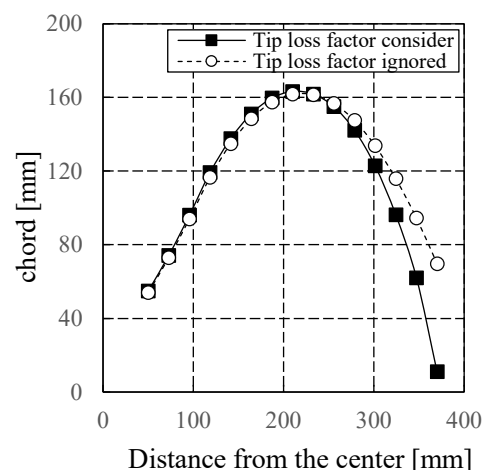


Fig.1 Relationship between Distance and Chord.

Table 1には翼弦長の決定時に翼端損失の有無で場合分けを行ったそれぞれのモデルのパワー係数と発生トルクを(2)から(5)式に基づき導出し、その計算結果を比較して示す。設計した風車の性能を比較したところ、翼端損失係数を無視して設計を行った場合と、そうでない場合を比較して、パワー係数は変化せず、発生トルクは約7.5%増大することが確認された。これらのことから、マイクロ風車は、適切な設定角度でレイノルズ数を大きくし、翼型の性能を発揮させることが重要であることがわかる。

$$Q' = (L' \cos \varphi - D' \sin \varphi) dr \quad (2)$$

$$P_c = J_1 \zeta - J_2 \zeta^2 \quad (3)$$

$$J'_1 = 4\xi F \frac{r\Omega}{V} \cos \varphi \sin \varphi \quad (4)$$

$$J'_2 = \frac{J'_1}{2} \cos^2 \varphi \quad (5)$$

ここで、 $L'$ は局所揚力(N)、 $D'$ は局所抗力(N)、 $dr$ は環状の厚さ(m)、 $Q'$ は局所トルク(Nm)  $P$ はパワー(W)、 $\Omega$ は角速度(rad/s)、 $\zeta$ は無次元局所半径(-)である。

Table 1 Comparison of power coefficient and torque due to difference in chord determination method.

	Tip loss factor consider	Tip loss factor ignored
Power coefficient	0.39	0.39
Torque	1.34	1.44

#### 4. 結言

今回は、マイクロ風車における最適設計について検討し、直径と周速比が小さい場合は、翼端付近の翼弦長を大きくすることでパワー係数を低下させずに発生トルクを約7.5%増大できることが示された。この理由としては、以下の2点が挙げられる。

- 1) 直径と周速比が小さいため、翼端付近における翼弦長を小さくし、抗力の削減を図るよりも、翼弦長を大きく取り、レイノルズ数と面積を増大させることで、翼端付近の揚力 $L$ が増大するため。
- 2) 翼端付近の抗力係数 $C_d$ を減少させる効果が翼端損失の増大による抗力の増大を上回るため。

今後は今回設計を行ったマイクロ風車を軽量で高強度・高剛性を有する炭素繊維強化プラスチックを用いて実際に製作し、実験によって実証を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) Larrabee, E. E, "Practical Design of Minimum Induced Loss Propellers".
- 2) 小池勝, 流体機械工学, コロナ社, PP.82-103 (2009).
- 3) 牛山泉, 風車工学入門, 森北出版株式会社, 2013).

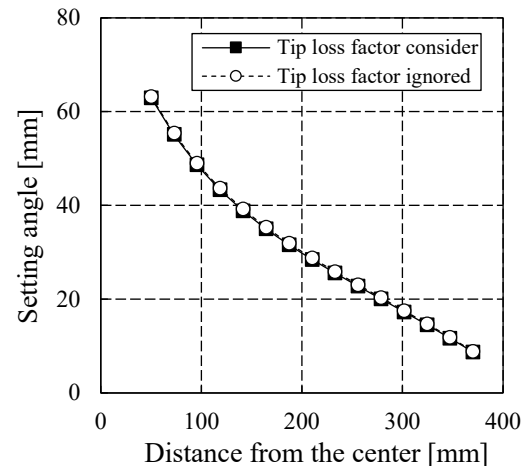


Fig.2 Relationship between Distance and Setting angle.

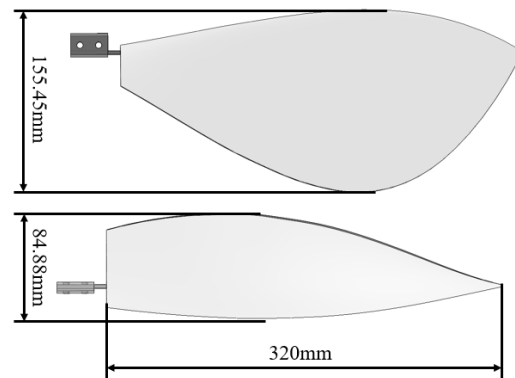


Fig.3 Model when considering the Tip loss factor.

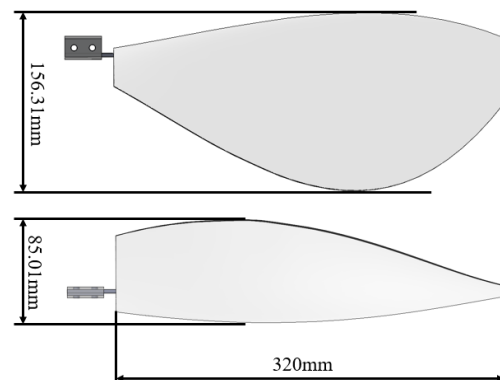


Fig.4 Model when the wing Tip loss factor is ignored.