

直径 14m 垂直軸風車の翼型選定とロータ性能評価

The selection of blade cross section of a vertical axis wind turbine with a diameter of 14 m and the evaluation of rotor performance

○学 安道 緋呂 (鳥取大), ◎正 原 豊 (鳥取大),
三浦 卓也 (鳥取大), 正 吉田 茂雄 (九大・応力研)

Hiro ANDOU, Tottori University, 4-101 Koyama-Minami, Tottori, 680-8552 Japan

Yutaka HARA, Tottori University, 4-101 Koyama-Minami, Tottori, 680-8552 Japan

Takuya MIURA, Tottori University, 4-101 Koyama-Minami, Tottori, 680-8552 Japan

Shigeo YOSHIDA, RIAM, Kyushu University, 6-1 Kasugakoen, Kasuga, Fukuoka, 816-8580 Japan

Key Words: Butterfly Wind Turbine, Computational Fluid Dynamics, Aerodynamic Performance, Airfoil

1. 緒言

鳥取大学では小形風力発電の低コスト化を目標として、過回転抑制機構を持った垂直軸風車である、ロータ直径 7m のバタフライ風車を開発した⁽¹⁾。さらに低コスト化を進めるため、次のステップとしてロータ直径を 14m に拡大したバタフライ風車を開発予定である (図 1)。大形化したバタフライ風車を開発するにあたって構造的強度が高く、空力性能の良い翼型の採用が必要となる。また、垂直軸風車であるため、上流と下流の両方で風車特性が良好となるように対称翼であることも望ましい。7m の風車では翼型として NACA 0018 を使用していたが、構造的強度の増加の要求から厚翼の NACA 0024 を採用することを最初考えていた。しかし厚翼にすると空力性能が下がってしまうことが判明したため、デルフト工科大学が垂直軸風車用に開発した空力性能の高い DU_06-W-200 に注目し、DU_06-W-200 の厚み比を 24% に増した DU_06-W-240、DU_06-W-240 を上下反転させた DU_06-W-240_reverse、そして DU_06-W-240 の上面を上下両方に用いて構成した新規の対称翼 New_AF_1_UP、DU_06-W-240 の下面を上下両方に用いて構成した新規の対称翼 New_AF_2_DN の 6 種類の翼型 (図 2) を比較し、採用する翼型を検討することになった。本研究では上記の 6 種類の翼型について数値流体力学解析 (CFD: Computational Fluid Dynamics) により、(a) 単一翼型の 2 次元空力特性計算と、(b) 3 枚翼の垂直軸風車を想定した 2 次元風車ロータの特性計算を行い、14m 直径のバタフライ風車に適した翼型の選定と風車ロータの性能評価を行うことを目的とする。

2. 計算方法及び計算条件

本研究では計算ソルバーとして STAR-CCM+ を使用した。2 次元非定常非圧縮のレイノルズ平均 Navier-Stokes 方程式を基礎方程式とし、乱流モデルは SST $k-\omega$ を選択した。

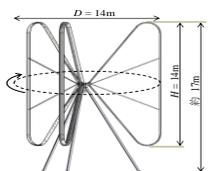


Fig.1 Butterfly wind turbine of 14m diameter

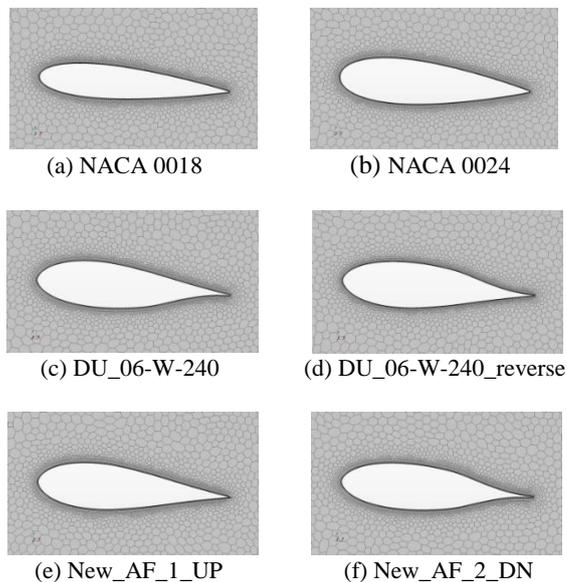


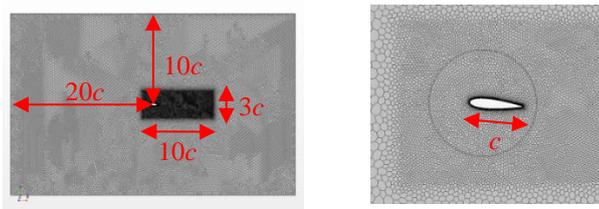
Fig.2 Six airfoils compared in this study

2.1 単一翼型の 2 次元空力計算

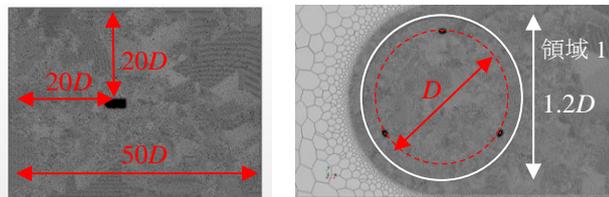
計算対象は、翼弦長 $c = 1\text{m}$ の 2 次元単一翼型であり、翼弦長 c の 25% 位置を力の作用点として迎角 $\alpha = 5^\circ$ を設定した。計算領域は翼弦長の 25% 位置から前方に $20c$ 、後方に $20c$ 、高さ方向に $\pm 10c$ の距離を持つ長方形 (領域 1)、翼周りと後流の流れの詳細をとらえるためにメッシュを細かく設定する範囲として、翼弦長の 25% 位置から前方に $1.5c$ 、後方に $8.5c$ 、高さ方向に $\pm 1.5c$ の距離を持つ長方形 (領域 2) を設定した (図 3 参照)。レイノルズ数を $Re = 360,000$ に設定し、遠方境界から流入する一様流の速度は $U_\infty = 5.44\text{m/s}$ と設定した。本研究では時間ステップ $1 \times 10^{-4}\text{s}$ で 4s まで計算を行い、4s 時点で出力される空力性能 (揚力係数 C_l 、抗力係数 C_d) を各翼型で計算する。

2.2 3 枚翼の垂直軸風車を想定した 2 次元風車ロータ計算

計算対象は、ロータ直径 $D = 14\text{m}$ の 2 次元ロータであり、風車中心から半径 7m の場所に 120° 毎に翼弦長 $c = 350\text{mm}$



(a) Entire region (b) Near an airfoil
Fig.3 Calculation mesh of CFD for a single airfoil



(a) Entire region (b) Near a 3-blade rotor
Fig.4 Calculation mesh of CFD for a 2D rotor

の3枚の翼型を取付位置 $50\%c$ で配置した。回転領域は風車中心からロータを囲む $1.2D$ の円(領域1)とした。風車中心から前方に $20D$ 、後方に $30D$ 、高さ方向に $\pm 20D$ の距離を持つ長方形(領域2)を全計算領域とし、その中に、翼周りと後流の流れの詳細をとらえるためにメッシュを細かく設定する範囲として、風車中心から直径 $1.4D$ の半円と風車中心から後方に $3D$ 、高さ方向に $\pm 0.7D$ の距離を持つ長方形(領域3)を設けた。また、翼近傍のメッシュを細かくする範囲として翼を囲む楕円形(領域4)を設定した(図4参照)。遠方境界から流入する一様流の速度は $U_\infty = 6.0\text{m/s}$ と設定し、先端周速比 λ を変化させ ($\lambda = 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0$)、出力係数 C_p への依存性を調べる。本研究では時間ステップを $1/12$ /回転数(720stepで1回転)として、7200step(10回転)まで計算を行い、7200step 時点で出力されるロータ性能(C_p)を各翼型をもつロータ間で比較する。

3. 計算結果及び考察

3.1 単一翼型の2次元空力計算

6種類の各翼型についてCFDを用いて得られた空力性能(C_l , C_d , C_l/C_d)を表1に示す。揚抗比 C_l/C_d はDU_06-W-240が最も高くなり、2番目にNACA 0018が高くなった。しかし、強度のある厚翼で対称翼という条件で考えると、揚抗比が最も高くなるのはNew_AF_1_UPであり、14m級バタフライ風車の翼型としてNew_AF_1_UPが第1候補になると考えられる。

3.2 3枚翼の垂直軸風車を想定した2次元計算

表1の結果より、本研究で新規に考えたNew_AF_2_DNは揚抗比も低く、垂直軸風車への応用を想定した場合に、もう一つの新規翼型と比べて望ましい結果は得られないと推測される。そこでNew_AF_2_DNを除外した5種類の翼型につ

Table.1 Aerodynamic performance of each airfoil($\alpha = 5^\circ$)

Airfoil	C_l	C_d	C_l/C_d
NACA0018	0.503	0.018	27.7
NACA0024	0.423	0.022	19.6
DU_06-W-240	0.594	0.021	28.2
DU_06-W-240_reverse	0.493	0.026	18.8
New_AF_1_UP	0.509	0.021	24.7
New_AF_2_DN	0.570	0.026	21.7

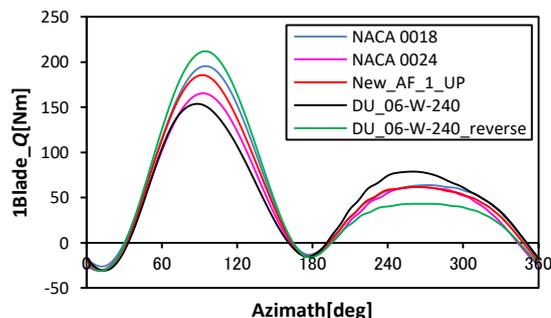


Fig.5 Torque change of one blade at turn 10 roll ($\lambda=5.0$)

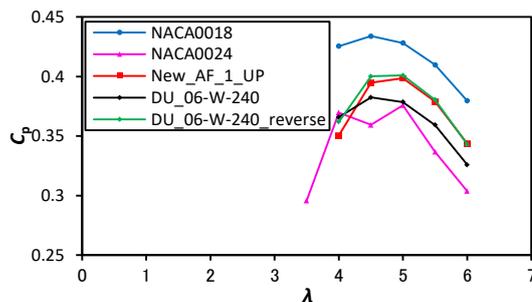


Fig.6 Tip speed ratio dependence of coefficient

いて、各翼型で構成したロータの特性計算を行った。 $\lambda = 5.0$ における10回転目の一枚翼のトルク変化を図5に、ロータ性能(C_p)を図6に示す。なおNACA 0024については $\lambda = 4.5$ の場合の値が特異であったため、 $\lambda = 3.5$ の場合についても計算を行った。図5より、対称翼であるNACA 0018, NACA 0024, New_AF_1_UPの下流側($180^\circ \sim 360^\circ$)のトルク値はほぼ変わらず、上流側($0^\circ \sim 180^\circ$)でトルク値に差があった。非対称翼であるDU_06-W-240はトルク値が他翼に比べ上流側では小さく、下流側では大きくなった。また、非対称翼であるDU_06-W-240_reverseはトルク値が他翼に比べ上流側では大きく、下流側では小さくなった。図6よりロータ全体の性能を見ると、各翼型において $\lambda = 4.5$ 、または $\lambda = 5.0$ の場合に最大の C_p を得る。図6より、強度のある厚翼で対称翼という条件では新規の翼型New_AF_1_UPが適していると考えられる。

本稿には図示していないが新規翼型New_AF_1_UPをもつロータにおいて C_p の翼取付位置への依存性について調べたところ、 C_p は $45\%c$ の取付位置としたロータにおいて最大($C_p = 0.399$)となった。

4. 結言

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 厚翼で対称翼であるという条件では、新規に考案したNew_AF_1_UP翼型が14m級バタフライ風車に適している。
- (2) 出力係数は本計算で用いた翼型すべてにおいて、先端周速比 $\lambda = 4.5$ または 5.0 の場合で最大となる。

謝辞

本研究は、九州大学応用力学研究所の共同利用研究および日軽金アクト株式会社との共同研究として実施された。

文献

- (1) Yutaka Hara, et al., Development of a Butterfly Wind Turbine with Mechanical Over-Speed Control System, *Designs*, Vol. 2, No.2, 17, (2018).