

補助事業番号 2024M-410

補助事業名 2024年度 翼端形状がV形垂直軸風車の出力・荷重特性に与える影響の解明

補助事業

補助事業者名 金沢大学理工研究域機械工学系流体工学研究室 河野孝昭

1 研究の概要

本研究では、V形垂直軸風車の翼端に付加したウイングレットと翼端板が、出力特性および翼根荷重特性に与える影響を風洞実験と数値流体力学(CFD)解析により調べた。その結果、30°の傾きを有するウイングレットを付加すると出力係数が増加し、翼端板を付加すると出力係数は減少することが明らかとなった。荷重特性については、六分力計の容量および分解能の制限から剛性アームを付加したところ、ウイングレットを付加すると、翼の進行方向とは逆向きの力がより大きくかかり、翼端板を付加すると、翼の進行方向とは逆向きの力が低減される傾向があることが明らかとなった。

2 研究の目的と背景

日本の2050年カーボンニュートラル達成には、浮体式洋上風力発電の大量導入が不可欠であり、発電コスト(LCOE)の大きな割合を占める風車本体・浮体・O&Mのコスト低減が重要な課題である。主流は水平軸風車であるが、垂直軸風車は浮体の低コスト化に利点がある。なかでも揚力型のダリウス風車が高効率で、従来はトロポスキシン形とH形が中心であった。本事業で対象とするV形は、大気境界層の高高度側の強風域を広く掃過でき、出力向上の余地がある。さらにコーニング角(翼と水平面のなす角)を小さく保つことで保守の容易化に加え、低高度の低風速を活かし強風時の耐風設計コスト低減も期待できる。しかし、V形垂直軸風車の研究事例は非常に限られており、未解明な点が非常に多いのが現状である。

本事業者は、2020年度からV形垂直軸風車の研究を行っており、出力係数が約30%と従来の高効率垂直軸風車と比べて遜色はないものの水平軸風車と比べると10%程度低いことを確認するとともに、翼の端部におけるトルクの損失が大きいことを見出した。また、計3本の翼が回転中に翼根部で破損した。したがって、「低コストで十分な強度を有し、高効率なV形垂直軸風車の翼」を開発する為には、①翼端損失を十分に抑制する翼端部の形状を開発するとともに、②翼根部の強度を十分かつ過剰とならないように設計する必要がある。

本事業では、①の開発および②の設計に向けて、通常の翼端形状に加え、従来の垂直軸風車の翼端損失を抑制する為に開発された代表的な翼端形状(ウイングレット、翼端板)をV形垂直軸風車の翼先端に適用し、風車出力およびそれぞれの翼が回転中のどの位置(アジマス角)でどのようなトルクを発生しどのような荷重がかかるかを風洞実験により把握するとともに、CFD解析でその特性が生じるメカニズムを明らかにすることを目的とする。

3 研究内容(https://fluid.w3.kanazawa-u.ac.jp/home/research/research_ten/JKA2024/index.html)

(1) 翼端形状がV形垂直軸風車の出力特性に与える影響

空力測定用のV形垂直軸風車のベース形状を図1に、Miao et al.(2022)でH形垂直軸風車の出力向上効果が高かった翼端形状を参考にして設計した翼端形状を図2に示す。風洞実験は、金沢大学の所有する吹き出し口寸法が1.25m四方の風洞で実施した。CFD解析は、九州大学と京都大学の大型計算機上でOpenFOAMを用いて実施した。解析領域は、風洞実験を模擬した寸法で、風車を含む回転領域とその周りの静止領域から成る。乱流モデルは、 $k-\omega$ SSTモデルを採用した。

図3に、空力特性測定用風車の翼端形状を変化させた際の出力係数 C_P と周速比 λ 関係を示す。翼端に何もつけていないBaselineと比較して、翼端板を付加した場合、どちらの翼端板も C_P が低下した。特に、Endplate-0.18を付加した場合に C_P の最大値である C_{Pmax} が大きく低下した。ウイングレットを付加した場合、Winglet-60を除いて、Winglet-0、Winglet-30の C_P が増加し、 C_{Pmax} は、Winglet-30を付加した場合が最も高くなることが明らかとなった($C_{Pmax} = 0.37$)。また、 C_{Pmax} を取る λ である最適周速比は、翼端板を付加した場合低下し、ウイングレットを付加した場合増加する傾向があることが明らかとなった。図4に、CFDで得られた翼一枚のトルク係数とアジマス角 θ の関係を示す。翼本体(ウイングレットを除く部分)で比較すると、 $\theta = 90^\circ, 270^\circ$ 付近で、ウイングレットを付加することでトルク係数が顕著に増加していることが明らかとなった。また、ウイングレットを付加した場合の、ウイングレットの寄与を含むプロファイルと、翼本体のプロファイルと比較することで、 $\theta = 90^\circ$ 付近で、トルク係数が顕著に増加していることが明らかとなった。

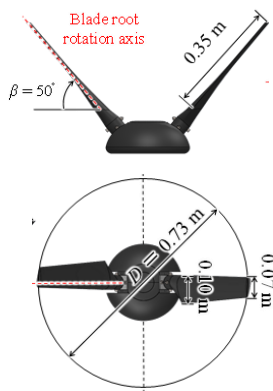


図1 空力測定用風車

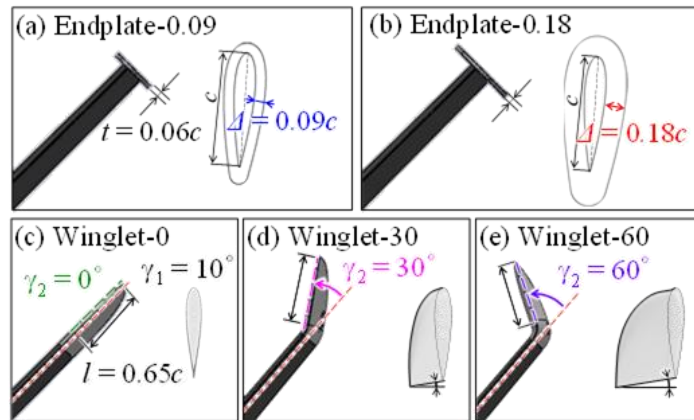


図2 翼端形状

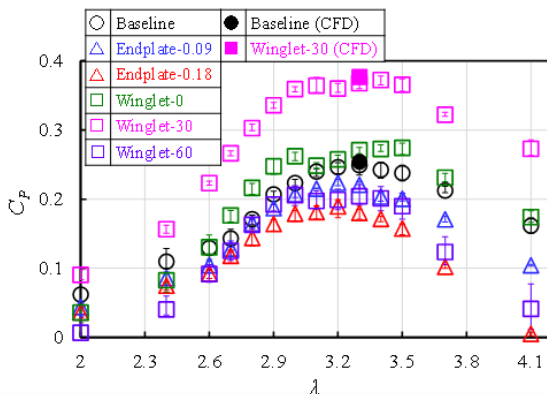


図3 出力係数と周速比

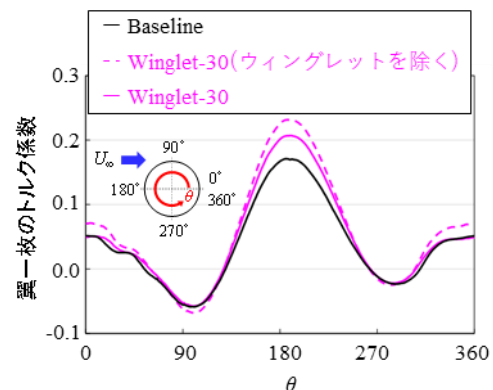


図4 トルク係数とアジマス角

(2) 翼端形状がV形垂直軸風車の翼根荷重特性に与える影響

風車翼にかかる荷重を測定するための大きな曲げモーメント対策として、翼の直径および翼弦長を大きくすることにより必要な風車回転数を低下させるとともに、風車にシャフトおよびアームを新たに付加し、アームにより翼を支持することで、翼根部に遠心力に起因する大きな曲げモーメントがかからないように設計した(図5)。風車翼には、アルミ製の骨組みを設け、その周りに3Dプリンタで作成した翼形状のカバーを設置することで荷重測定用のV形垂直軸風車を製造した。翼根部にかかる荷重は、翼根部の下に設置した六分力計により計測した。

荷重測定用風車の翼端形状(図6)を変化させた際の C_P - λ 曲線、 $\lambda=2.2$ における接線方向力係数、鉛直方向力係数(下向きを正)のアジマス角分布を図7に示す。空力特性測定用風車と同様に、 C_P - λ 曲線において、ウイングレットを付加すると、出力が向上した。接線方向力係数からは、翼の進行方向とは逆向きの荷重がかかっていると読み取れる。アームが無い場合には、翼の進行方向と同じ向きの荷重がかかることを確認しているため、アームに翼の進行方向と同じ向きの荷重がかかり、翼根部には、翼進行方向と逆方向の荷重がかかっているものと考えられる。ウイングレットを付加すると、翼の進行方向とは逆向きの力がより大きくかかり、翼端板を付加すると、翼の進行方向とは逆向きの力が低減される傾向があることが明らかとなった。鉛直方向力については、ウイングレットを付加すると鉛直上向きの力が増加する傾向があることが明らかとなった。

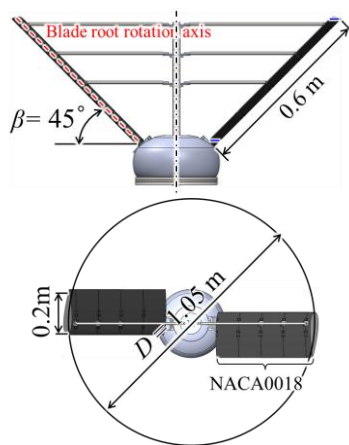


図5 荷重測定用風車

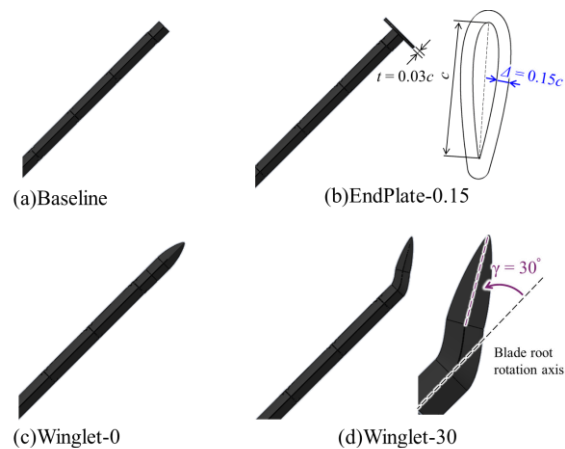


図6 翼端形状

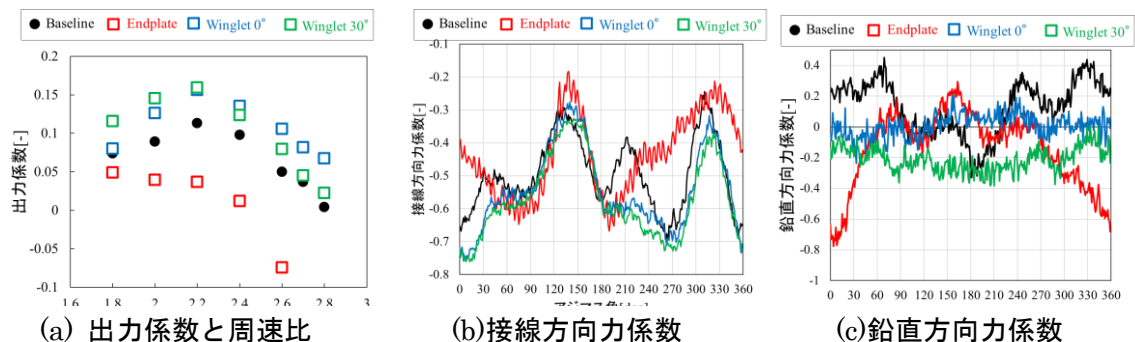


図7 荷重測定用風車の測定結果

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では、V形垂直軸風車の翼先端の形状をウイングレットにすることで、出力効率が向上することが明らかとなった。本知見は、近年欧州で実施されている、浮体式V形垂直軸風車の大型実証プロジェクトの後継プロジェクト等で適用される可能性が考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本事業者は、2012年から垂直軸風車の研究開発を行ってきており、2020年からはV形垂直軸風車に注力している。浮体式洋上風力発電の風車として、V形垂直軸風車を有望視しており、風車出力効率の向上と翼根荷重の対策が必須であると考えている。今回の研究では、翼先端形状をウイングレットにすることで出力効率が向上すること、アームを用いることで翼根曲げモーメントが大きく低減することが明らかとなった。今回の研究で得られた知見を基に、実用化に資する研究を更に推進していく

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 大井翔生, 河野孝昭, 木綿隆弘, 小松信義, Fauzi Moch Fakhrol, 馬場先貴紀, 櫻井遼, V形垂直軸風車の翼端形状が風車出力特性に与える影響, 第46回風力エネルギー利用シンポジウム, D2-02, pp. 1-5, 東京, (2024.11.29).
- Fauzi Moch Fakhrol, 河野孝昭, 大井翔生, 馬場先貴紀, 櫻井遼(金沢大), 木綿隆弘, 小松信義, Heragy Mohamed Elsayed Elsoghlar, 翼端形状がV形垂直軸風車の出力特性に与える影響, 日本機械学会北陸信越支部 2025年合同講演会 講演予稿集, S0518, 新潟, (2025.3.8).

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 金沢大学(カナザワダイガク)

住 所: 〒920-1192

石川県金沢市角間町 金沢大学自然科学3号館3B416

担 当 者: 准教授 河野孝昭(コウノタカアキ)

担 当 部 署: 流体工学研究室(リュウタイコウガクケンキュウシツ)

E - m a i l: t-kono@se.kanazawa-u.ac.jp

U R L: <https://fluid.w3.kanazawa-u.ac.jp/>