

周辺付加物による垂直軸型風車の発電性能向上に関する研究

渡邊, 康一

<https://doi.org/10.15017/1807033>

出版情報 : Kyushu University, 2016, 博士 (工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 : 全文ファイル公表済

氏 名 : 渡邊 康一

論 文 名 : 周辺付加物による垂直軸型風車の発電性能向上に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

風力による発電量は風速の3乗に比例する。したがって風車にあたる風速を少しでも速くできれば大きな出力増加をもたらす。つば付きベンチュリ形状の集風加速装置（風レンズと呼ぶ）は、この性質を利用して風車の周りに風を集めて加速することで、風車の発電量を飛躍的に向上させることができる。本研究では、これまで水平軸型風車に適用され高い効果を発揮してきた風レンズを、垂直軸型風車に応用し、垂直軸型風車の発電性能を効果的に向上させる、風車周辺付加物の形状の発見を目的とした。

研究手法は、まず、つば付きベンチュリ（風レンズ）型の周辺付加物の形状を様々に変化させながら風洞にて出力性能実験を行い、出力増加に効果的な形状をパラメトリックスタディにより探った。この出力性能実験においては、風レンズ形状の他に、風車自体の形状（翼枚数、翼型、及びコード長）も変化させ、同様に効果が得られるかも調査した。次に、流れの可視化実験、流速測定実験、及びCFDによって流れ場とブレードに発生するトルクを解析した。この解析により、垂直軸型風車がトルクを発生するメカニズムを明らかにし、得られた知見から、垂直軸型風車に高い出力増加をもたらす周辺付加物の形状を探究した。以下に本研究により得られた結果を記載する。

最初に、どのような形状の風レンズが効果的に出力増加を達成するかをパラメトリックスタディにより調べた。ディフューザが2枚の平板形状からなる“平面型風レンズ”は、風車単体と比較して約2倍の出力増加効果を示し、ディフューザ開き角 ϕ やつばの幅 h を大きくするほど出力は増加した。ディフューザ開き角については、 ϕ を 5° から 20° に増加させたとき、30%の出力増加が広い周速比域にわたって得られた。つばの幅はディフューザ入口幅を D として、 $h=0.25D$ または $0.5D$ として実験したが、 h が大きい方が高い出力が得られた。また、主流方向の風レンズの大きさ（投影面積）が同じ場合、つばの幅やディフューザ長さを大きくするよりも、ディフューザ開き角を大きくした方が、より広い周速比領域にて高い出力が得られることが分かった。ただし、開き角には出力増加に最適な上限値がある。平面型風レンズの場合は、ディフューザ長さ $0.5D$ 、開き角 20° が最適であった。インレットは流れの向きを整えながら集風効果を高めるため、高い出力を広い周速比領域にわたって発揮することに寄与することが分かった。また、風レンズ型の周辺付加物の設置位置については、スロート部を風車中心に位置させると最も効果的に出力増加が得られることが分かった。加えて、ディフューザを曲面型にすると、平面型ディフューザよりも高い出力が得られることが分かった。曲面型ディフューザの風レンズを適用した場合、風車単体の約2.1倍の出力増加が得られた。次に、ベンチュリ形状の周辺付加物を用いて、風車形状（翼枚数、翼型、翼コード長）を変化させて出力を測定した。結果として、風車の形状が変化しても風レンズの効果は同様に得られ、風車単体の性能が向上すると、それに応じて高い出力が得られることが分かった。同時に、出力性能のレイノルズ数依存性についても調査したが、風レンズを適用した場合、風車単体のレイ

ノルズ数依存性が出力増加に伴い拡大されるため、レイノルズ数依存性の小さな風車単体を選定することが望ましいことが分かった。結果として、ベンチュリ形状を用いた実験では、つばの幅 $h=0.25D$ として曲面型ディフューザを用いたベンチュリ形状の風レンズが、スロート部を風車中心に位置させたとき、最も効果的に出力増加効果を発揮することができた。また、風車ブレードは 2 枚翼の対象翼で、厚さはやや厚めの NACA0024 のものを用いることで、高い出力を得ることができた。

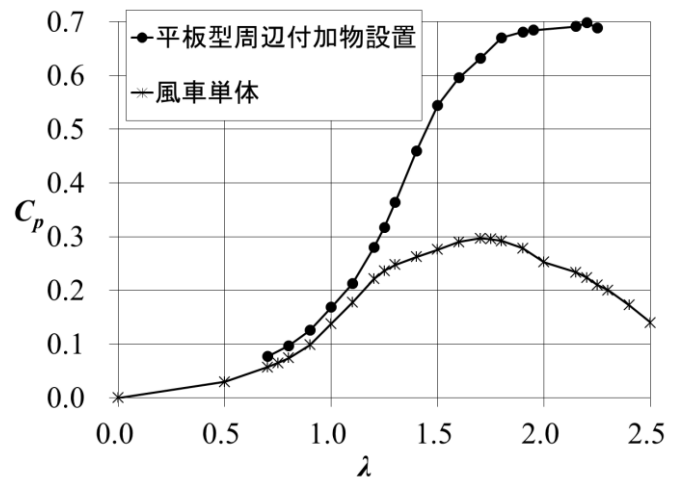
次に、流れの可視化実験、流速測定実験、及び CFD にて垂直軸型風車まわりの流れ場と、トルクの発生メカニズムを考察した。垂直軸型風車は最適周速比付近の回転数で、主流方向の流速を大きく減速させる風車であり、主に上流側をブレードが通過する際にトルクを発生していた。周速比が高くなるにつれて、上流側でも発生トルクが減少するため、上流側での流速の加速が出力性能向上のために重要であることが分かった。トルクの発生の仕方は、翼に揚力が発生する原理と同様、翼前縁付近で流れが増速し、圧力が低下することによるものであった。

最後に、得られた知見をもとに、2 枚の平板からなる周辺付加物を垂直軸型風車に設置して、出力性能を調査した。平板形状の付加物を設置した場合は、風車の上流側に設置したときに高い出力増加効果があり、ベンチュリ形状を超える風車単体の 2.4 倍の出力増加が得られた。図 1(a)に平板形状の周辺付加物の写真を、図 1(b)に風車単体との出力を比較した性能曲線を示す。平板形状の付加物は、平板間に流れ込むギャップフローにより加速域を生成するため、出力増加が得られることが分かった。また、平板を上流側に設置した場合、風車のブレードに負のトルクが作用する領域と、平板後方の渦生成による低速域が重なり、ブレードに作用する負のトルクを軽減させることで高い出力増加が得られることが分かった。

以上の結果から、垂直軸型風車に周辺付加物を設置して出力増加を得たい場合、平板を風車上流の両脇に設置することが効果的であると結論付けた。



(a)



(b)

図 1 (a)平板形状の周辺付加物；(b)風車単体との出力を比較した性能曲線