

論文審査の結果の要旨

氏名：直井和久

専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：直線翼式垂直軸風車における起動性の向上に関する研究

審査委員：（主査）教授 鈴木勝行

（副査）教授 塩野光弘

教授 安田邦男

元教授 木方靖二

わが国の電源構成は、1970年代までは経済性の追求によって安価で豊富な資源である石油を用いた火力発電の全電源に占める割合が55.6%に到った。しかし、1973年から2度にわたるオイルショックにより、資源を持たないわが国は大きな影響を受けた。これ以降、電力供給においても国際情勢に左右されないような電源構成、いわゆる電源ベストミックスにより安定供給を図ることになった。1990年代に入ると、温室効果ガス、特にCO₂による地球温暖化が地球規模の問題となり、地球環境をも考慮したエネルギー政策がとられてきた。これはゼロエミッション電源である原子力を中心とした種々のタイプの火力、水力と共に再生可能エネルギーを積極的に導入することを目指したものである。

しかし、福島第一原子力発電所の過酷な事故を契機に、わが国のエネルギー政策の大幅な見直しを余儀なくされているのが現状である。原子力の運転、更に、建設には不透明さがあるため、再生可能エネルギーの導入促進策がとられることになった。その一環として、固定価格買取制度が2012年7月にスタートした。発電コストは非住宅用太陽光発電では30.1～45.8円/kWh、風力発電は9.9～17.3円/kWhである。風力の発電コストは比較的古くから研究開発が進んでおり、既に欧米を中心に相当量が導入されているため比較的安価である。

風車は回転軸の方向によって、水平軸風車と垂直軸風車に分けられ、また回転原理から揚力形と抗力形に分類される。揚力形は低トルク、高回転、高効率であり、抗力形は高トルク、低回転、低効率であるという特徴がある。現在、普及している商業用風車は水平軸・揚力形であるプロペラ形風車である。しかし、プロペラ形風車は風向の変化に対して常に風向に正対させるヨー制御を必要とし、また、発電機のような重量物を塔頂部に設置する必要がある。ダリウス形風車に代表される揚力形の垂直軸風車は風向に依存せず一方向に回転するため、ヨー制御が不要であり、重量物を地上に設置できる利点がある。本研究で対象とする直線翼式垂直軸風車はダリウス形風車を改良したものであり、翼を回転軸に平行に配置したものである。この風車はプロペラ形風車と同程度の高効率である。揚力形風車は効率に優れているが起動性に劣る。そのためプロペラ形風車ではピッチ角を制御して起動性を改善している。直線翼式垂直軸風車でもピッチ角に相当する翼取付角度を制御するジャイロミル風車が提案されているが、翼支持部を可動構造とするため、複雑化し、破損要因となり、耐久性及び導入コストの面からも不利である。

本研究では、翼取付角度を固定とし、風車の翼を回転軌跡に合わせた円弧キャンバー翼を採用した直線翼式垂直軸風車における起動性の向上について検討している。

本論文は5章から構成されている。以下に各章で得られた主な成果を述べる。

「第1章 序論」では、わが国のエネルギー事情、電源構成など、本研究の背景、これまでの研究と本研究の位置づけと目的、概要、記号と用語について述べている。

「第2章 翼枚数による起動性の向上」では、翼枚数と起動性との関係について述べている。翼枚数を増加させソリディティを大きくすると起動トルクは増加するが、効率が低下するといわれている。しかし、円弧キャンバー翼を用いた風車については明らかにされていない。また、翼枚数の変化に対する起動トルク特性及び起動風速についての詳細な報告はない。

D600×H450風車について起動トルク試験、負荷特性試験及び起動風速試験を行い、以下の結論が得られた。

(1) 翼枚数1～6枚の範囲では、翼枚数が増加するほど起動トルクは大きくなり、平均起動トルクは

6枚翼風車が最も大きい。

- (2) 翼枚数3～6枚の範囲では、翼枚数が少ないほど効率が高くなり、3枚翼風車が最も高くなる。
- (3) 翼枚数3, 4枚翼風車の起動風速は4枚翼の方が低く、 11 m/s 以上である。

以上から、翼枚数による起動性を向上するには、効率も考慮すると4枚翼が望ましいとしている。しかし、商業用風車を設置する目安は年間平均風速は 7 m/s とされている。そこで、 $D1600 \times H1600$ 風車の起動風速試験を行った。

- (4) 4枚翼風車の起動風速は $4 \sim 9\text{ m/s}$ であることを明らかにし、風車の寸法を大きくすることにより実用上、起動性に問題がないことを示した。

「第3章 翼取付角度による起動性の向上」では、翼取付角度と起動性の関係について述べている。直線翼式垂直軸風車の翼取付角度と風車特性に関する報告はあるが、起動性については言及されていない。また、この報告は翼形状がTWT系列の直線キャンバー翼であり、本論文で対象としているNACA63₃-018に基づく円弧キャンバー翼については明らかにされていない。

翼取付角度は翼のキャンバー線が回転軌跡と一致した状態を 0 deg とし、翼の後縁が回転軌跡の外側に傾ける角度を正、内側を負と定義した。4枚翼風車について、翼取付角度を $-6 \sim +9\text{ deg}$ に設定し、起動トルク試験及び負荷特性試験を行い、次の結論を得た。

- (1) 翼取付角度を正にすると、起動トルクは増加し、平均起動トルク係数は 60 deg で最大となることを示した。
- (2) 翼取付角度を負にすると、効率が高くなり、その最大は実験した範囲では $-4 \sim -6\text{ deg}$ であることを示した。

上記(1)と(2)から、翼取付角度の影響は起動性と効率に対して相反することになる。このため、起動性と効率の両者から翼取付角度は 0 deg 、又は、エネルギー回収の面からは効率の良い -4 deg が望ましいとしている。

「第4章 補助翼による起動性の向上」では、翼に補助翼を取り付け、その抗力を利用することによって、起動性の向上について検討している。直線翼式垂直軸風車に補助翼を用いるこれまでの研究は、強風時に風車が過回転となった場合、補助翼を開いて減速させることを目的としたものである。この場合補助翼はフラップ、スポイラと呼ばれている。補助翼を利用した起動性の向上については検討されていない。

補助翼の取付角度を一定とした固定角補助翼を風車に取り付け、起動トルク試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 補助翼のない風車と比較して、起動トルクが大きくなる迎角の範囲、同等となる範囲、及び小さくなる範囲があることを示し、起動トルクが大きくなる迎角の範囲は $150 \sim 270\text{ deg}$ であることを明らかにした。

上記(1)から補助翼を用いて風車の起動性を向上させるには、起動トルクが大きくなる迎角の範囲で補助翼が開いた状態となり、その他の範囲では閉じた状態とする必要がある。そこで、迎角 $150 \sim 270\text{ deg}$ の範囲の翼に固定角補助翼を取り付け、その他の範囲の翼では補助翼を取り外す予備実験を行い、次の結果を得た。

- (2) すべての位置角で、補助翼のない風車と比べ、補助翼を取り付けた風車の方が起動トルクは大きくなった。

この結果から、2種類の開閉式補助翼を提案している。角度調整金具、バネ及びアルミ板からなるH方式、及び角度調整金具、PET樹脂からなるR方式を試作し、起動トルク試験及び起動風速試験を行い、次の結論を得た。

- (3) 両方式とも予備実験と開閉状態は若干異なるもののほぼ同様な起動トルク特性となることを明らかにした。

「第5章 結論」では、本研究の成果のまとめと今後に残された課題について述べている。

以上、本論文の成果を通観すると、翼枚数及び翼取付角度による起動性の向上については、効率と相反するため、開閉式補助翼による起動性の向上が有望であるとしている。補助翼が閉じた状態にある

とき、翼に角度調整金具が残り効率が低下すると予想できる。この影響を最小限とする構造とすれば、効率を低下させることなく起動性を向上させることができる。これは直線翼式垂直軸風車の起動性向上に対して新しい道を切り開いたこと意味している。

このことは、論文の提出者が自立して研究活動を行い、またはその他の高度な専門的業務に従事するに必要な能力及びその基礎となる豊かな学識を有していることを示している。

よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平成25年10月17日