

風力発電用直線翼縦軸風車の長所と短所

プロペラ形風車との比較

水野 明哲

工学院大学工学部機械工学科

Printout on January 13, 2003

1 はじめに

近年、自然エネルギー利用の一環として風力発電が急速に普及しつつある。今日発電用に用いられる風車はプロペラ形がほとんどである。これは、戦前を中心に発展してきた航空機用のプロペラ理論が風車理論に転用できることにより、理論的背景が比較的容易に展開できたことが主たる理由であると考えられる。これに比べて、直線翼縦軸風車 (Straight Wing Vertical Axis Wind Turbine: 以下 SWVAWT と略す。) は、さまざまな長所を持ちながら、その理論的展開がまだ十分ではなく、実用化が遅れている状態で、今後の研究が待たれている。本稿では、SWVAWT のもつ特徴について解説を加え、この形式の風車がいかに優れていて将来性があるかを理解してもらおうとするものである。同時に、SWVAWT の欠点についても考えられる限り記述し、実用化のためには解決しなければならない技術的課題としてとらえる。なお、長所や欠点の記述は、現在発電用に実用化されているプロペラ風車との比較のもとに行う。

本稿で述べる直線翼縦軸風車は、作動原理の点ではダリウス風車と同じである (図 1)。しかし、ダリウス風車は上部と下部の翼取付部付近の回転半径が小さくなっているために翼の長さ (スパン) の割には出力が小さくならざるを得ない。実質的には中央部 1 / 3 程度のみが有効に働いていると考えられる。それに対して、SWVAWT は翼の長さ全体にわたって、均一に近い性能を出すため、はるかに高い出力が期待できる。さらに直線翼であることから安価で軽量の翼を製作しやすいこともあげられる。

2 SWVAWT の性能について

SWVAWT の性能については、まだ評価方法が確立しておらず、現時点で必ずしも明確ではない。ベッツの限界 [5] に相当する値がプロペラ風車よりも大きいという報告もあり [7]、SWVAWT の性能が十分プロペラ風車に対抗できる可能性は高く、次節に述べる優位性をあわせて考えると、今後の発電用風車の主力となりうるものと考えられる。

3 SWVAWT の長所

SWVAWT はプロペラ風車に比べて、いくつかの決定的な優位性を持っている。以下にそれらを列挙する。

3.1 構造が簡単であること

プロペラ風車は、風向の変化に追従して方向を変える機構が必要である。これに対して、SWVAWTはそのような機構が不要なため、風車全体の構造が簡単になる。

3.2 ジャイロ効果が発生しないこと

プロペラ風車では、方向変更に対して、ジャイロ効果が発生し、支柱にモーメントが発生してしまう。SWVAWTでは、そのようなジャイロモーメントが発生することが無く、有利である。

3.3 風向変化に対して遅れがないこと

SWVAWTは首振りが無いために、風向の変化に対して、常に性能を発揮することとなり、プロペラ風車のような遅れが生じない。

3.4 翼の製作が簡単

SWVAWTは、ねじれの無い2次元的な直線翼であるため、構造が簡単で、軽量の翼の設計が可能になると期待できる。設計に自由度があり、また低価格で製造が可能となる。

3.5 ピッチ制御機構が不要

プロペラ風車は、風速変化に対応するためのピッチ制御機構が必要となる。これに対してSWVAWTでは、このような機構が不要であり、構造が簡単で安価なシステムの構築が可能となる。

3.6 設計の自由度が大きいこと

SWVAWTは、翼の長さ(L)と回転直径(R)を独立に選ぶことができるため、設計に自由度がある。たとえば、高さ方向に風速分布があることを嫌うのであれば、L/Rを大きくすることができる、など立地条件に応じて形状を大きく変化させることが可能になる。

3.7 発電機直結の可能性

プロペラ風車では、発電機が高所に設置されるナセル内に置かれるため、軽量化、小型化の要求が厳しい。一方、SWVAWTでは、鉛直軸を持つために、直結で発電機を地面近くに置くことができる。このことは、発電機の大きさや重量が多少大きくてもあまり不利にならない。多極の低回転発電機を直結することで、増速ギアが不要になるなど、高性能化が可能になる。

3.8 周速比の低減

プロペラ風車では、最大速度が翼先端で発生し、この速度が騒音の発生を支配する。実際に風から動力を取り出している大部分はより中心に近い部分であるにもかかわらず、大きな週速度を避けられない。これに対して、SWVAWTにおいては、翼が同一半径上に位置する直線翼であるため、実質的な周速度がその風車の周速度となり、翼の最大速度がプロペラ風車に比べて低く抑えることができる。このことは、最大速度の6乗ないし8乗に比例すると言われる騒音レベルを低く抑えることができることを意味する。

4 SWVAWTの欠点

前節で述べたように、SWVAWTはプロペラ風車に比べて多くの利点を持っている。しかし、逆に不利な点もある。この節ではSWVAWTの不利な点について述べる。

4.1 曲げモーメント

どちらの風車も揚力によって生じる曲げモーメントを生じる。SWVAWTではこれに加えて、翼の遠心力に起因する曲げモーメントが発生する。設計においてはこのことを十分に考慮しなければならず、支持腕の取り付け位置や翼断面の形状、構造について適切な設計がなされなければならない。とりわけ、スケール効果による遠心力の効果を考えるとき、翼の軽量化設計が最重要課題である [6]。

4.2 起動特性

SWVAWTは自己起動特性が欠落していると言われる [2]。自己起動特性がない場合は、強制的な起動のための機構を追加する必要がある。ただ、筆者らによるこれまでの研究では、SWVAWTが弱い自己起動特性を持つことを確認しており、クラッチ機構を設置することにより、自己起動させることが可能であると考えている。

4.3 性能評価法の理論的背景

プロペラ風車では、航空機用のプロペラ理論を応用して理論的な展開があり、高いレベルに達している。これに対して、SWVAWTの性能評価法については、必ずしも十分発達しているとは言い難く、今後の展開が期待される。運動量理論等に基礎を置いた性能評価法の確立に応じて設計手法の確立が待たれる。

4.4 ダイナミックバランス

SWVAWTの軸の固定方法には2種類ある。ひとつは軸の下端と上端をベアリングで指示する方法であり、もうひとつは軸の下方のみを支持する片持ち梁とする方法である。前者はより高い剛性が得られるが、構造が大きくなってしまう。後者は構造が簡略化されるが、剛性が弱くなる。このような場合に、動的不安定による振動が発生するため、回転体のダイナミックバランスをとる必要がある。ダイナミックバランスをとる作業は工場において行うのか、設置場所で行うのかの選択肢があり、それらによりバランスングの手順や機構が異なるものと考えられる。

5 共通の問題点

SWVAWTとプロペラ風車の両方に共通する問題点について記述しておく。

5.1 ブレーキ機構の必要性

高風速時に、過回転による破損から守るためのブレーキ制御も重要となる。電氣的制動と機械的制動の組み合わせが考えられる。

5.2 風速変化に対応する制御

さまざまな風速に対して、最大限の出力を得るために、適切な制御が必要である。

5.3 耐久性

発電用風車は、多額の投資に対して10年ないし20年で償還することを前提にしており、長期間にわたる耐久性、耐候性を備えていることと同時に、メンテナンスを最小限にできるように配慮されていなければならない。設計において、材料面や構造面でこのような点を十分考慮されていることが必要である。

References

- [1] 松本文雄、牛山泉、「風との対話：手作り風車ガイド」パワー社(1995)
- [2] 松宮輝、「ここまできた風力発電」(改訂版)工業調査会(1998)
- [3] 本間卓也編、「風力エネルギー読本」オーム社(1979)
- [4] 牛山泉、「さわやかエネルギー 風車入門」三省堂(1997)
- [5] D.M. Eggleston & F.S. Stoddard, "Wind turbine engineering design", Van Nostrand Rheinhold Co., (1987)
- [6] 水野明哲, 直線翼縦軸風車のスケール効果, 風力エネルギーシンポジウム, 2002年11月21日.
- [7] B. G. Newman, "Actuator-disc theory for vertical-axis wind turbines", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 15(1983), pp. 347-355.