

家庭用風力発電に関する参考資料



英語の“リンゴとオレンジ”の意味について

どちらも果物です。大きさも良く似、好みもほとんどの人が愛して、生活には必要な物です。その差はと問われれば、違いは解るが、どう表現すれば良いか？ この様に愛される物で良く似た物の比較の難しさの場合、リンゴそれともオレンジ？と英語で言います。どちらも愛されています。

さて貴方は“果して風力発電機に将来はあるのでしょうか？”の疑問に今大きな決定をしようとしています。貴方の投資に対する予算、回りの環境を徹底的に調査し、この事が保守なのか革新のかも話し合い、家族も同意し、最後に残った疑問は、どのシステムが最適なのか？が残りました。この解説書でできる限り詳しく比較論を説明したいと思います。

先

ずどの会社のどのシステムが一番良いかどうかをお聞きにならない事です。しかしながら、私は貴方の大きな決定の為の道具をお貸しする事は出来ます。道具とは私の過去22年に渡る家庭に適した風力発電システム構築作業から得られた経験を基礎に、多岐に渡る風力発電の個々の情報と仕様をお教え出来る事です。

このアップルアンドオレンジの記事は最初に

1993年に発行され、改訂版が1995、1998年に出されました。その短期間の中に小型発電機業界では多くの変化が発生しました。ある会社は業務を停止したり、一方2社が業界に参入し、一社が他社を吸収しました。多くの機種が生産中止とされ、一方新しい機種が市場に投入されています。98年から02年の4年間は激動の期間でしたが、私のような小型発電機使用者にとってはやっと安定時期が今訪れた感じがします。

背景

この参考書は主としてアメリカで生産販売されている風力発電機を分析した物です。ヨーロッパのあるメーカーとアフリカのあるメーカーの物は代理店経由でアメリカで販売され取り上げる事が出来ました。一方アメリカでは新しい発電機はまだまだ開発されていますがこの参考書では取り上げていませんし、世界の他国の生産品もある種のものはアメリカに上陸はしていますが未だこの文章で取り上げてはいません。

一方インターネットで得られる情報中ある種の宣伝での風力発電機を見出す事は可能ですが、やはり比較論に組み込んでいません。理由は彼らの奇妙な発表からで、例えば“3万円で1KWが得られる”等の宣伝文句が原因です。実際の過去からの稼働の発電機の実績から信じるにはうま過ぎる情報です。(昔から、言われることわざは:安物買いの銭失い:が、アリマスネ)

他の除去の例は、2001年11月ある有名なメーカーが市場に参入しようと、特価で売り出し、注文しましたが、2002年6月になっても商品は届かず、電話連絡e-mail連絡が取れず、等の事例が存在します。注文当時の情報分析結果、そのデザインは確かに魅力のある設計でしたが、実際生産段階で不可能な点が生じたと思えません。この様な物も評価の対象から外されています。

この情報は家庭用に適した大きさの機種に的を絞っています。一方市場ではこの大きさの解釈の混乱が生じているようです。多くの小型機種がありますが多くの場合船上使用が主目的であったりレクリエーション用だったり山頂の通信施設用等特殊な用途が大半です。

小型風力発電機は人里はなれた場所での作動が多くの利点を生み出すよう設計され、一方今この文章をお読みの方は、家庭使用に十分な電力を、(売電するか、出来ないかは別として)風力で得たいとお考えの方と考えます。

失敗は成功のもとと言いますが、ここで、失敗の言葉を先ず述べておきます。例えば貴方が参考意見を求める為に実際発電機を所有した方と話し出来たとしましょう。その方のお話は、ほぼ悲劇に等しい結果とします。決して

てそのような例が全てに起こりえるとは確信しないで下さい。しかし、世界最高の発電機が存在したとしても、失敗は必ず起こり得ます。この理由は以下の事例でご理解できます。

自動車業界はもう100年にわたって拡大し、何兆円も売り上げる、工業品ですか、決して完成された物を売って言う訳ではありません、何故なら、毎年のリコールは増大し続けています。

決して逃げる訳の説明ではありません。注意したいのは、時々トラブルが起こった事例を知るのではなく、どの方向に物事が向いているかなのです。風力発電のトラブルは殆どその活動の初期に発生します。自然エネルギー利用のありとあらゆる機器メーカーが遭遇したように、風力発電機メーカーも多くの失敗の経験を得てきました。あるメーカーの事例が多い場合は、勿論注意したほうが得策です。

また購入前にはメーカーや代理店のサービスの評判を調べる事です。最高の方法は買おうとする発電機のメーカーや販売店の薦めの意見のみならず実際の使用者の多くの方にご意見を伺う事です。メーカーや販売店は何かを販売しなければなりません、満足した、又は不満足なユーザーは何も売る必要は無いから、オープンに意見を述べます。

この資料の最後に、貴方が購入しようとする場合の発電機のまとめの表を用意しています。私の目的はその情報をどう解釈するか、詳しく説明します。多くの情報はメーカー発表の資料から転記しています。

納期

少し実情に触れます。これは決して悪口ではありません。貴方が買おうとした発電機の納期に注意する必要があります。表面では簡単に見える発電機ですが実際には多種多様の部品と材料から構成された複雑な完成品なのです。多くのメーカーは専門メーカーの為中小企業であり多くの下請けと供給会社からの関係で成り立っています。

従って状況によっては、事情が悲劇に近い状態に陥る場合があります。家庭用風力発電機の製造方法は大量消費製品の生産ラインの如くラインで組まれるものでも無い事をご理解願えます。従って貴方が発注された時点は、

先ず一台単位で、数台が同時に組み立てられるまで待機されます。もし貴方の注文が丁度計画完了時の場合、非常に短納期となりますが、もし新しい場合、待機の部に入れられる事となります。たまたま欲しい機種が在庫されていたと言う偶然以外には、特殊な製品だけにこの種の納期問題には、ご理解が必要です。納期は通常 3 週間から 6 週間と考えられています。しかし実際の報告ではそれ以上かかった事例も報告されています。3 週間がなんと 16 週間かかった場合もあります。このような場合、注文者はだまされたと考えます。しかしながら一言申し添えれば、発電機メーカーの連中は愛されるべきその道を達成しようとする連中なのです。実際彼らは部品納期、試験、改良、等あらゆる心を費やし貴方の機械を作る人々なのです。結論は彼らもお客がないと生きてゆけないのです。

製造会社とモデル

まとめた表には全てのメーカー名が掲載されています。Jacobs 発電機の欄以外は新機種を紹介したつもりです。Jacobs Short case, Jacobos Long case はクラシックな機種ですが、Jacobs31-20 型は新機種で新型です。

旧型 Jacobs はもう 50 年に渡り生産されていませんがこの機種は現在でも最高技術の発電機として評価されています。従って再生され新しい部品で保守され、新しい保証書が発行され又塔の上に戻っています。この様に古い機種でも、基準商品として評価されています。

回転翼面積寸法

比較を解り易くする為に、比較表の並びは多くの風力発電機の順序を円形運動面積と回転翼の直径の大きさの順序で、行なっています。この並びは多くのメーカーの性能の比較には基本的な方法で、歴史的でもあります。

回転翼は回転羽根が取り付けられているハブ（中心点）を含む回転する羽根全体を意味しています。回転翼は発電機の回収部分であり風力と言う燃料を回収し、その力で発電機を回し電気に変換しています。

考え方の容易さの為に回転翼を屋根に取り付けられているソーラー水加熱装置を思い出して下さい。長さ 4 フット×8 本のシステムがあ

ります。(表面積が 32 立方フットとなります)。この一台である範囲の暖かなお湯を得る事が出来るとします。もしこの装置を 2 台に増やしたとしましょう。(今度は 64 立方フットとなります)。この様に太陽の受けられる面積を倍増する事によりそれだけ余分なエネルギーを受けられそれだけ余分な水の加温が可能になります。回転翼面積寸法は同じ理屈なのです。

回転翼は二枚、三枚の羽根を通過する空気の運動を回転運動に変化させその力で発電機を回転させ電気を発生させます。この原理はソーラーヒーターの面積の大小の比較と同じで風力発電機の羽根の大きさはどれほどの発電が可能かの十分な比較の基礎となりえます。回転羽根の面積が大きければそれだけ、より多量の発電が可能となると言えます。

発電機メーカーの各製品の風速に変化している発電量の発表は、この回転翼面積寸法の原理から実際得られた物です。出力のその他の影響原因は独特な羽根の形状とか効率の高い発電機を工夫開発したと説明されています。しかしながら発電量の要因の話題がもし、この回転羽根の面積の影響によるはずだと言明した場合、明快な反論は帰ってきません。

ノースダコタの熟練した、また試験を専門に行なっている風力発電機のユーザーであるマイク クレメン氏は、”究極的に発電量の比較はタテ×ヨコの面積であると気づくべきだ。”と、又スコットランドのスコレイグ風力発電所のヒュー ピゴット氏は“回転翼面積は最も簡単な比較でありそれ以上にその性能に対し最もうそをつくのには困難な物である“結果的に一ヶ月得られた KWH を知りたいのだから確立した試験方法が見当たらない現状では、この羽根回転面積を知る方法が最適だ”この様に、発電機の出力比較には回転面積の比較が最適な方法と言われています。

現在市場で最も販売されている機種の回転翼面積の比較表を次ページに示します。

Swept Area & Rotor Diameter

Jacobs 31-20:

70.0M² - 四極葉回転機

9.5M diameter 羽根直径

Proven WT 6000:

23.0M² - 5.5M dia.

Jacobs, Short & Long:

14.3M² - 4.3M dia.

Proven WT 2500:

8.98M² - 3.4M dia.

Proven WT 600:

5.14M² - 2.6M dia.

Whisper H40:

3.58M² - 2.14M dia.

Bergey Excel-R & S:

32.1M² - 6.4M dia.

Whisper 175:

16.4M² - 4.6M dia.

African Wind Power 3.6:

10.1M² - 3.6M dia.

Whisper H80:

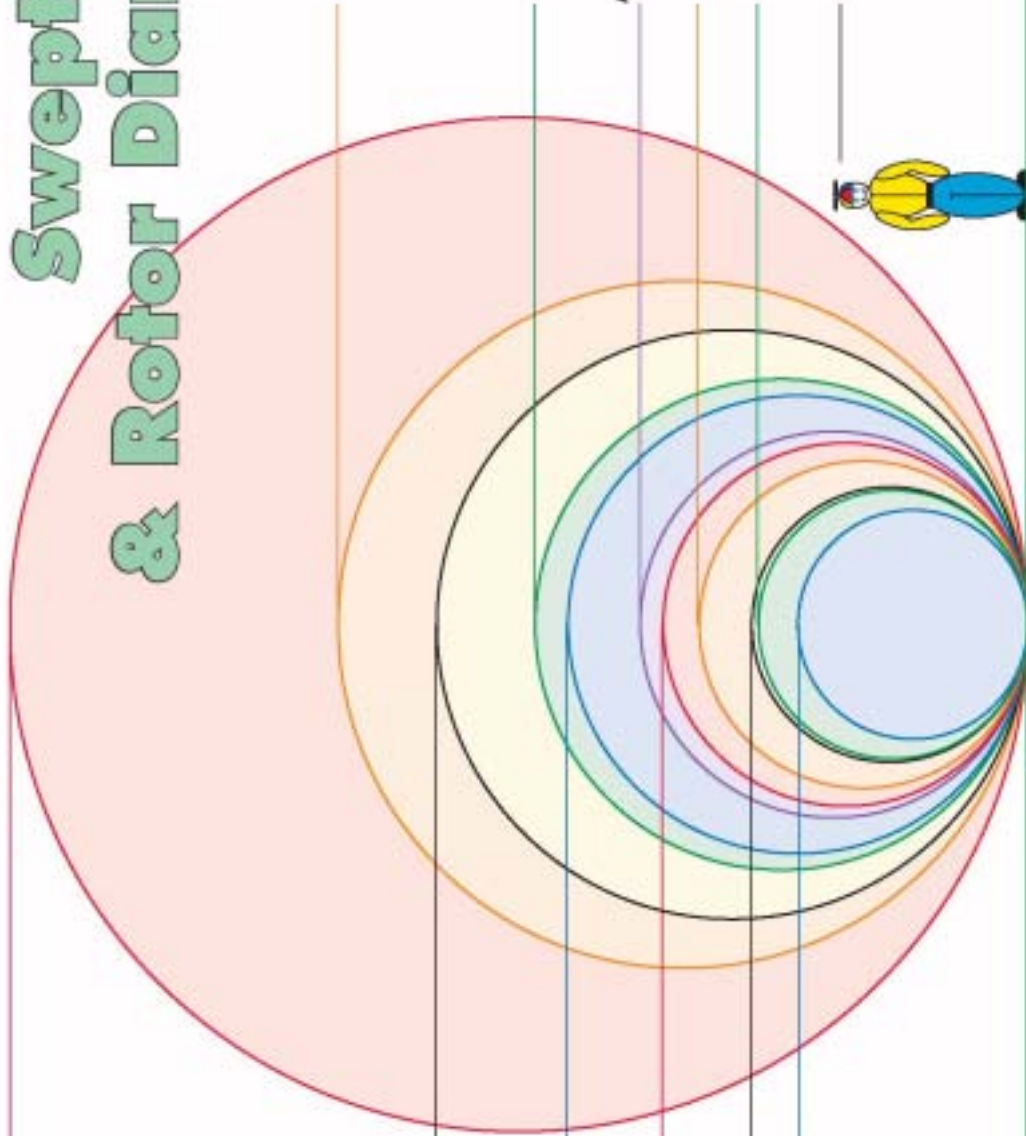
7.30M² - 3.05M dia.

Bergey XL 1:

4.0M² - 2.4M dia.

私です:

1.7M-9-



カットイン速度

この意味はある風速で初めて発電が開始される風速を意味します。実際の観点から、羽根は回転していても 3m/s 以下では実際何の電気も発電していません。数値的に数ワットが発電されたとしても使用上利用出来ないのが本音です。また実際の配線の距離で消耗されてしまいます。

最近の新しい考え方は発電機巻き線を低風速下でも少量の電気を蓄えさせ、このエネルギーを PWM 充電器と同じ考えで蓄電池にパルスとして送り出す方法が取られました。この新しい技術はバーギーの XL で取り入れられています。

安定出力風速 = Rated Wind Speed

安定した実用的な電力が発電開始する風速を意味します。問題は例え表現で安定出力に達した風速の数値が同一であったとしても一台も同じ作り方でないので、同一と考えることです。

従って工業的に標準の基礎がないのです。貴方のご質問は“**で、どうすれば?**”と言われるでしょう。多くの発電機メーカーの公表の風速表では、8 14 メーター・秒となっています。大抵の方はそんなに大きな違いを肌で感ずることは出来ません。しかし実際の所 8 メーターの風と 14 メーターの風の違いは 511%の差が生じているのです。

解り易くする為に 16 マイル・時と 32 マイル・時の比較を行ないます。(日本語で 7 メーター・秒から 14 メーター・秒の風速となりますが、比較論としてマイル・時の原文を直訳します)

ある風速が発電機に与えられるべき力の方程式は：

$$P=1/2d \times A \times V^3$$

P=力、d は空気の密度。A は回転翼の回転面性。V は風速を意味します。この公式の意味はもし羽根の長さが同じで、空気密度が同じであれば風速の差は三乗に比例する意味を示しています。

$$P=1/2d \times A \times VxVxV$$

簡単にする為に風速の差の関係式を：

$p \sim V^3$ とする事が可能です。つまり得られる発電量に必要な力は風速の 3 乗に比例しています。もし風速が倍になれば力は 800%の増加となります。32 マイル・時の時と 16 マイルの比較論では 800%の力の差が存在しているのが事実です。反対に考えれば 32 マイル・時と比較して 16 マイル・時の発電量の差は 1/8 の力になります。

ここで、例として 2 種の発電機を取り上げます。両社共 1 KW 型です。安定出力風速データを見ると A 社は 16mph であり B 社は 32mph で発表しています。これから貴方は何をお考えになるのでしょうか？もし 16mph が両者に与えられた場合 A 社は 1000W 出るのに B 社は 125W しか出ないのです。この説明の簡単な結論は低めの安定出力風速の方が魅力的で、風速が増せばさらに得となります。

安定出力 = Rated Output

この値の決定の為に各発電機メーカーの任意の風速で測定されています。出力最大レベルか、その僅か下側の速度が使用されるでしょう。一定安定出力は最大値の僅か下側になるはずですが、羽根が早く回れば回るほど出力は増大しますが、限界を超えますと発電しすぎて燃え出します。この様に発電機メーカーでは自己破損限界以内の安全圏の発電量を決定しています。

貴方は安定出力の数値のみを検討するとは限りません。同じ出力の二機を比較すると片方は高風速が示され価格は安く、片方はそれ以下の風速になって、価格は高くなっていることに気づかれるでしょう。何故こうなるのでしょうか？ここで先の章で述べた方程式を思い出して下さい。風速が高ければそれだけ回転翼は小さく出来、従って小型になり、重量も減るとすると、価格も貴方に安く供給出来る訳です。同じ出力を得る為に高い風速を得なければならぬ事を、価格以上に思い起こしてください。例えば経験から風速 5m/s の場所で 8m/s の風速が発生するのは平均値の 3%しかありません。それ以上に 14m/s の吹

く確立は通常時のたった 0.2%にか満ちませ
ん。

一定定額出力の考え方は、一定の光量と一定
の温度下で比較試験可能な太陽パネルの考え
方から来ています。風力発電ではそのような
固定標準は存在しないのです。出力ベースの
比較を太陽パネルのように比較する考えは全
く弱いもので風力発電には不向きといえま
す。比較論は羽根の回転面積の比較か、異な
った平均風速下での異なったシステムが作り
得る KWH / 月の比較のほうがはるかに利に
なっています。

最高出力=Peak Output

この場所の数値は一定出力値と同じか若し
くは僅かに上側の数値を示しています。風力
発電機のピーク出力は最高風速以上のある
範囲内で、自己制御をしながら到達できる
最高出力を意味します。セールスマンの多く
はこの数値を押し売りのように使いますが、
お客に取っては比較的意味の無い数値なの
です。

Mr. Hugh Pigott の言い方を利用すれば、“
小型風力発電機に対しそのピーク値又は一
定出力値をうんぬんする事は赤いニシンの
身 (= 美味くない、) でありその必要な風
速を研究すべきであるが、実際は世間がピ
ーク値を知りたがっているのが実情だ”

風力発電機は太陽発電パネルと異なり、決
して同じ環境で使用されません。また出力
の取り方も同じではありません。セールス
の方への投げかけは、“この風力発電機は
私のこの場所で、この場所の平均風速で、
どれだけの出力が得られるのでしょうか？”

設計上の最高風速値

Maximum design wind speed

メーカーの販売員にとってはこの言葉の真
意は発電機の寿命に全く関係の無い言葉
とはい切れないのです。風力発電機の設計
に当たり技術者は卓上で 54m/s またそれ
以上の強台風にも耐えられる様設計してい
ます。残念ながら実際の発電機は死ぬか生
きるかのこの強風下での試験は不可能な
のです。まずその様な環境を作り出す事は
不可能で、出来たとしても何回も繰り返
し出来ないからです。

死ぬか生きるかの風速での試験データは
実際の試験結果からではなく、あくまでも
空想から生み出された物です。バーギー
社の場合昨年カンサス市を襲ったハリケ
ーンが市内の殆どの看板を吹き飛ばした
にも関わらず彼らの発電機はなんとも無
かったと自慢していますが、実際それは
たいした事ですが、我々はそこから何を
教訓と出来るのでしょうか？

私はこの様な事実が意味無いとは決して
言うてはいません。しかし、現実的に強風
下での実際の試験は不可能であり、一方
設計者は可能な限り強風でも耐える設計
を行ないます。一方市場ではバーギー社
の発電機は強風下でも耐えられると言
う実績を増やしています。どうして？
結論は発電機を強靱に作る事で成し得
ています。

一方この理論では、あらゆる発電機は
45m/s の嵐に耐えられるのかどうかで
す。多分そうなるかもしれませんが、そ
うでないかも知れません。実際 45 メー
ター・秒の風が目の前に来れば、強烈
ですヨ。これは事実なので認めます。し
かし、貴方は今まで建物や木々の近く
の低い塔での発電機を見守った事がある
でしょうか。風は弱い物を探し出し地面
に散らかる雑物を餌食とし瞬間的に乱気
流と変化し高いものに駆け上がります。
私の目では死ぬか生きるかの強風の破
壊より、乱気流で破壊される建物が多い
事が人生の経験です。

いずれにせよ 45m/s の台風はそれ自
体畏敬を持った恐れです。そして発電機
も、塔もそれに絶え得る設計がなされて
いますが、耐えるのだと言う保証はあり
ません。

筆者は北ウイソコンシンの農場で人生
を送っています。昨年の 45m/s の風が
来たときに牛たちが、空に舞い上がって
いました！

もしその牛が、又は単なるベニアの板
が、発電機に当たれば、如何なる風速
に耐える設計の発電機でも、瞬間的に
破壊されてしまいます。この様に空に舞
上がった雑物の攻撃に耐える発電機の設
計は不可能である事が自然世界の論理
からご理解いただけると存じます。

舞い上がる木材や生き物への防御対策
は設計出来ません。

で、最大風速対策が意味ないとするとなが次に大切でしょうか？ 私は常にタワー頂上の荷重情報を見えています。この情報は信頼性への指針です。私の経験ですが、過酷な状況に対応出来る(Heavy Duty)発電機はかえって安全で、軽い荷重(Light Duty)の発電機のほうが危険です。販売カタログではどのメーカーの物も 54m/秒でも耐えますと明示はされていますが、軽量の発電機はその様な強風下では操作不可能となり、重たいものはそれだけ操作が可能となります。ご注意ください。重たいと言う事は、価格が高くなり、決して単に高価のみの意味ではないのです。

定額出力時の回転数

安定回転で定額出力時の発電時の回転数です。通常羽が短ければそれだけ回転数は早まります。発電機の回転数は発電機が発生する騒音の量と関係しています。高回転の方が物理的荷重が高いわけですから(この場合遠心力発生力が強い)機械分解運動として働いています。ベアリングも回転数で影響を受けます。ベアリングの寿命はそれが受け持つ荷重と回転数で決定されます。軽量高速型の発電機のベアリング寿命は低速ヘビーデューティ型機械に比較し短命で、一方ヘビー型の価格は単に高いのみでない事がご理解いただけます。

羽根の素材

過去八年の流れを見ますと発電機の回転羽根に多くの新素材が応用されています。

一方その加工工程の人工費と素材自体の価格の高さで、木材がありますが、今でも羽根の本物の、また証明された素材と言っているメーカーも存在します。羽根は本当に多様な曲がりが必要とされます。木は、その寿命の全てで、刻々と変化する風に対応し、成長という仕事と曲がりを行なっています。トウヒ《マツ科の常緑針葉樹》は羽根素材として最高の素材です。これはその重量比に対し最高の耐圧(重)性を有します。これが飛行機のプロペラや船舶に利用される理由です。

木材の羽根には特殊なペイントで仕上げる必要があります。これは空気中に浮遊している汚れや昆虫の摩擦から羽根を保護する為にその先導する切れ端〔刃〕の長期寿命を作り出す為の物です。ペンキと羽根の刃は保守が必

要です。もしペンキがかけ落ちたり、刃が欠けた場合その個所から外気への直接の接触が始まり、そこから腐食が始まります。その個所から入り込む湿気は高速回転羽根のバランスを崩し、過酷な荷重を回転に与え続けます。この様に木製羽根は一年一回の点検が必要で破損個所が発見された場合直ちに補修が必要です。

一方良質の木々が少なくなり、高品質の羽根を作る職人も少なくなった現在、発電機メーカーは合成素材に向かわざるを得ませんでした。多くの合成素材が現在利用されています。

最適な代替品は中空成形のガラス繊維です。中空は先ず体系を作り、その上のガラス繊維は耐久力のある滑らかな表面を作ります。回転羽根の刃は腐食に耐える耐磨耗保護カバーを取り付け腐食から羽根を保護します。この保護材は交換可能となります。

ガラス繊維以外にはより強靱な羽根の強度を得る炭素繊維複合物があります。またガラス繊維を外部のみに応用するのではなく、羽根の内部もガラス繊維で作る方法も採用されています。バーギーはこの新方式を採用しています。この方法はプルトルード方式と呼ばれます。プルトルード方式はスパゲッティを作る方式と同じです。スパゲッティの生地は型に押し出され、一定の長さにカットされます。

実際の羽根の作り方は、ガラス繊維布が型から押し出され羽根の形を作り出します。(押し出し成型で同時に形を作ります)長さが調整され、根元が組み込まれ、羽として完成します。

プラスチック類は回転羽根の素材として利用されています。サウスウエスト社の H40 や H80 型では射出成型方法で製作され、ブルーボン社は、中空ポリプロピレン羽根を製作しています。これらプラスチック素材は取替え時のコストは低く、それに、水に強いのも特徴です。比較表に羽根の色は示していません。参考までに、多くの場合は白色で、たまに青、灰色等も見受けられます。これらの色は青空に溶け込むと言えます。プラスチック製やガラス強化炭素型は黒色をしています。最初黒色を見たとき、風景に溶け込まないと嫌な気持ちでしたが、回転しているときには色

は消えてしまいます。

先端速度比(TIP SPEED RATIO) (TRS)

回転羽根のエアロfoil(形)の良し悪しは風速に対する羽根の先端の移動速度の比に現れます。低速回転の羽根は TRS 値は 5-6:1 で高速回転の場合 10-11:1 が目安ですがそれでも最高性能とは高速の場合言い切れません。

TSR の比率の高いエアロfoilを使いたいのでしょうか? 高速に回転する羽根ではより小型の発電ですみ、従って軽量で、ある程度の発電が見込めます。しかしその反対に羽根が早く回転すればするほど騒音が増加します。

羽根の数も比較用には含めませんでした。最近では3枚羽が増えていますが、ウイスパー175型は2枚羽です。風の方向に追従する塔の上のベアリングを“ヨー”と言いますが2枚羽の場合もベアリングの安定度がゆれるので、3枚羽に変わりつつあります。では2枚羽が使えないとの結論でもありません。ウイスパー175型の場合、羽根の構造内に熱処理したバネを埋め込み、丁度車のクッションスプリングと同じように、“ヨー”の過振動を吸収し安定した運動が可能になると説明しています。羽根の枚数が重要ではなく、そのバランスが重要です。風の向きが定まらない、又発電機自体の回転が定まらない発電機では発電機自体の破損、それ以上に塔の破損に直結します。ローターのバランスが取れていない発電機の極端な症状は尾翼が不安定な動きを引き起こしています。

殆どの風力発電機は風に向かって位置するスタイルですが、一社だけ(プループン社)は反対です。通常の場合尾翼が風の吹く方向を示しますが、プループン社の製品は尾翼がありません。尾翼の代わりに発電用の羽根が風に相対する角度で、風の向きに追従します。どちらのシステムでも問題はありません。

発電装置それ自体について

現在3種の発電機が使用されています。永久磁石(PM)使用の交流発電機、DC 発電機、およびブラシレス交流発電機です。

一般的に、PM 発電機は、DC 発電機やブラシレス交流発電機に比較し、軽量で製作容易で安価につきます。後者の二種はより多くの銅と製作工程が必要とされます。しかし発電効率は、最初の物より、より多く得られます。

殆ど全ての発電機は羽根からの回転を直接受けるタイプですが、ヤコブス 31-20 型は 6:1 のギヤーボックス経由で回転します。直接の意味は羽根の回転が発電機の回転と同じです。ギヤーボックス型の利点は発電量がギヤー無しに比較して多く得られますが、多くの部品と稼働部品を有している為破損磨耗がつき物で保守点検コストが高くなります。

制御について

制御システムには2種必要とされます。まず発電機が過電気を発生し燃え出さないように制御し、強風下で塔から飛び散らない事が要求されます。つまり風に向かう回転羽根の面積を減少させ、羽根の回転数制御です。

回転翼面積を減少させる為には風の流れから出て回転翼を上向けにする方法や風の流れに向かわず横に首を向ける方法があります。(バーギーやAWP)又その両方を行なう機種もあります。(ウイスパー)どちらの方法でも一定面積を有する回転翼面積はその中心軸を風の向きに対し上向き、若しくは横向きに変化させ、過回転から機器を保護します。これらの制御システムは回転速度操作方法として、失敗の無い方法と言えますが、程度により原価に影響を与えます。プロペラが上向きになったり、横向きになった時点で発電量は当然減少します。機種によっては発電量を維持できるものも存在します。

ヤコブス社の制御方法は羽自体の角度を変化させます。羽根の遠心力が多くなると風に平行になるよう機械的に制御されますが、他のシステムに比較し複雑な構造になっています。部品点数が多いということはそれだけ保守が必要で修理もほかに比較し手間がかかることを意味します。しかし強風下でも、このシステムの発電量は維持される特徴を持っています。

プロ-ブン社のやり方は羽根の角度を変化させます。ヤコブスのように遠心力で変更させ

る機構（バネ）と併用し、羽根の付け根に蝶番を埋め込んでいます。折り紙の鶴のように羽根は高速下でねじれ、折りたたむ構造になり回転数が減少します。より強風になると、羽根は円錐状態にしぼみ更に回転面積を減少させます。

制御システムの作動点

今まで説明しました安全の為の回転数制御の開始時点は殆どの場合最高出力での風速以上になった時点で安全運転モードに切り替わります。

停止モード機構

風力発電機選定時の大きな考慮点の一つがこの停止機構です。保守の為、修理の為、嵐の来る前に、長期出張で家を離れるなど、予想のつかない事態に対処する為に、回転を止め、電気出力を停止する必要があります。機械的停止と電氣的停止の二種の停止があります。

機械的停止方法の一種は、尾翼を折り曲げる事により羽根と平行にする方法です。発電機の全ては（プロ-ブン社を除き）尾翼を有しています。尾翼が回転羽根と平行になれば風の向きに平行になり回転は減少し、停止します。尾翼の折りたたみ方法の一種はクランクケーブルを利用し、曲げたり、元に戻す方法です。しかし、ケーブル方式は鉄塔の下にウインチがあり、突風が来た朝の3時に目をこすりながら家の外へ出なければなりません。

バーギー社のエクセル機はこの発想の反対で尾翼を折り曲げない為にケーブルを利用します。何らかの理由でケーブルが切れた場合尾翼が折り曲がり安全停止になります。この方法は絶対安心です。

ヤコブスとプロ-ブン社はディスクブレーキ方式を採用しています。しかしこのブレーキ操作はケーブルとウインチ操作で行なわれます。強風下ではヤコブスの大型機をディスクで停止させるには相当骨の折れる作業となります。両者とも万が一ケーブルが切れた場合ブレーキは動作せず、回転は止められません。

この機械的停止方法はヤコブス、ブルーブン

2500型、6000型、バーギエクスセル 7.5KW、10KW型に使用され、その他のメーカーではこの機械的停止装置はつけられていません。

ダイナミックブレーキと呼ばれる方式があります。これは発電機に使用されている永久磁石の三相を短絡する事により羽根の回転を引き止める磁場が作り出される事に由来します。操作は自宅の操作盤のスイッチを入れるだけで容易に操作可能です。ダイナミックブレーキは理論上生み出された方式です。しかし強風吹き荒れる嵐の最中で効き目があるかどうかは確信がありません。強風下では磁場の停止パワーを越えた力が働く場合があります。もし停止不可能な状況では、最悪の事態が起こり得ます。先ず発電された電気は電線を伝わって、負荷に送り込まなければなりません。それが不可能となれば巻き線内部で消費するしかありませんので、短絡事故となります。我々の実際の実験では多くの小型の発電機は18m/sでブレーキが利かなくなり、ユーザーの報告例では9m/sでも利かないとのことでした。

塔の上の重量

この話は、塔の上に載せるあらゆるものを意味します。一 発電機、変速機、回転翼、ヨ一等。

従って、多種多様の重量が塔の上に載せられます。学校の講義の重量物取扱法則ではありませんが、機器の筋肉質がその長寿命を決定するようです。風力発電機を長年見てきた結論から、重たくてもゆっくり回転するほうが軽量でも高速回転するタイプより、長寿命となっています。多くのユーザーは最初は小型の高速回転（その出力量の案内のみ）を求められ、勿論理由は安価で。。。しかし二回目は重量の重いタイプに切り替えられます。

残念な事に近年の流行は可能な限り安価な商品提供となっています。長寿命と安全性は、重要な要素にもかかわらず、影をひそめ、重要な選定条件は、安い投資コストのみが強調されてきました、何故？

この質問は貴方に問います。何故？

重量は原価と直結します。ですから目的は軽量に仕上げなければならず、とすると、高速

回転型となりえません。結果多くの事故が現場から報告され、多くのメーカーは適切な重量に仕上げる方向に今戻りつつあります。これは歓迎すべき現象です。

塔の上での横方向圧

この数値は塔の設計上大切な数値です。横圧 水平方向のベクトルで、羽根の回転面積の運動量と、風の速度、その塔が風に耐える抵抗力全体を意味します。この数値が高ければ高いほど、強固な塔が必要で(で、高価に)基礎のコンクリードも深くなり、保持ワイヤーも多く太くなります。

蓄電池の電圧

発電機メーカーは利用できる電圧を明示しています。注意すべきポイントは低圧では送電ロスが激しいと覚えておいて下さい。風力発電では塔のそばにバッテリーがあるのは極希です。塔の高さを含め操作場所までの距離を考慮するとどうしても高圧の方が有利となりえません。

コントローラー

発電本体に付属する、制御装置、整流子、ダンブ、等が含まれているかどうかを確認。含まれていない場合でも通常はオプションで入手可能です。

売電に付いて(アメリカの場合)

現状バーギエクスセル S 型とヤコブス 31-20 型に付属する、インバーターで電力会社の配線に接続し、電気の送電が可能です。その他の発電機ではアップロード可能なインバーターを使用し(例えば Advanced Energy の MM s シリーズ、Trace SW シリーズ、Vanner RE シリーズ)蓄電池から送電する事も可能です。効率は各メーカーの製品で異なります。基本的には蓄電池経由せずに送電出来るインバーターの開発に期待がかかります。売電ではありませんが、水ポンプ作動用、温水作成用など蓄電池を経由せず、利用される応用も見受けられます。

風速 3-6m/sec での一ヶ月の発電量

貴方の場所での平均風速でどれほどの電力が生み出されるかの目安が必要です。どの規模の発電機が必要かが理解できると共にそれに付随する多くのその他の要因も考えなければなりません。

先ず貴方の場所の平均風力のデータを得る必要があります。そこから自分が考える塔の高さの上の場所の風速を推察しなければなりません。

例えば貴方は現在 600KWH/月を消費しているとします。添付のテーブルからこの出力の出る機種を選定します。太陽パネルと併用の場合冬の風速の平均値を適応してください。売電併用を考える場合には年間平均風速を基本とします。

考え方の基本として、小さな家庭では、又小屋では電力の消費量は一ヶ月 75-200KWH と考えます。アメリカでの一般的家庭での電力消費量は 1,500-2,500KWH とします。添付した表はメーカーの発表値をまとめたもので決して実測値ではありません。実際全ての機種を同じ場所で試験する事は不可能です。

確実なデータは売電実績の有するバーギエ-EXCEL S 型とヤコブス 31-20 型です。インバーターでの損失が実測されていますので、実績として有効です。その他の機種の値の意味は蓄電池に向かう電力を意味しています。従ってそこから、蓄電池、送電、インバーター効率を考えると 20 30%のロスを見込む必要があります。

必要費用について

風力発電に投資される場合の総合投資額に触れてみたいと思います。一番の目に見えるコストは発電機とそれに付随するコントローラーです。コントローラーの意味を確認して下さい、どの種類ですか、売電用ですか？

殆どの方は、付帯費用の必要額を頭に浮かべられません。取り付け施工費、輸送費、鉄塔、鉄塔の輸送費、蓄電池、インバーター、配線費、配電に必要な施工費、電気部品、大型の場合のセメント工事、人件費、消費税等等。

私の長年の経験から、貴方がどのようなシステムをお考えかにより異なりますが、発電機の費用は総合投資額の 12-48%でしかないので、太陽発電の場合パネル代金は総合投資の主要部分を占めています。風力発電の場合、その食料を得る為に塔の上に固定しなければなりません。塔の価格は時として発電機の半額、時には 5 倍と変化します。

上市後の年月

モデルが発表された後の年月を示します。ある種のメーカーは名前は同じでも変更を続け、ある種のメーカーは殆ど変化させていません。

保証

全てのメーカーは、材質と又は構造の不備に対しその保守部品と人件費（工場での修理時間）に対し一定の保証を行なっています。この意味は不都合と思われる部品、若しくは全体をメーカーの指示に従って検査、修理の為に返送しなければなりません。一般的に返送に関する運送費、返送費はユーザー負担となります。

保証範囲は限られています。不適切な据え付け、注意無視による事故、併用できない部品の使用、又は自然災害など。従って使用者は保険をかける必要があります。メーカー保証は欠陥部品に対してのみでその結果生ずる損害までは補償はしていません。

定期点検

長期間に渡り発電機の調子を常に最高に保つためには何が必要でしょうか？あるメーカーでは一年に一回目視点検を薦めています。この意味は一年に一回外に出て塔の下に行き上を見上げ回転しているか見なさいと言う事で、翌年も同じで。この話は非現実的で、好ましくはありません。

私の信じる事は発電機の寿命は所有者のシステムに対する配慮と保守がその寿命と直結し定期的に点検しない場合、必ずやある日貴方は地面から死骸を拾い上げる事でしょう！

定期点検と年一回の点検は何を必要としてい

るのでしょうか？部品交換を行い修理を施す事なのです。羽根の一部にペンキを塗ったり必要なら羽根のエッジにテープを貼り付ける事です。ベアリングは磨耗し交換が必要です。高速回転の軽量発電機は重量タイプと比較して頻繁に取替えが必要です。ある種の機種ではグリス補給やオイル交換も必要です。

それに付随し、私が言いたいのは、常識的保守です。ボルトは緩む可能性があり、締め上げが必要とされるかも知れません。微調整の必要性がここかしこに見受けられるはずで、完璧に保守が不必要とされる考え方で、一方は過酷な環境下で 24 時間 365 日作動している機械に対し、相対する事は非現実です。もし保守不要とお考えなら、決して風力発電機を注文しない事です。

長年に渡り、実際致命的故障を見てきましたが、原因は全く単純な理由で、例えばボルトが緩んで、それを締めなかったとか。賢い所有者は最低一年に一回システム全体を検査します。冬が来る秋の明るい日を選び、又は雷の来る前の暖かな春の日に一日行なえば良いのです。諺にあるように、防御は最大の武器なのです。予防保守こそ余分な投資を避ける最大の保守です。

現在の風力発電機の設計思想は昔から引き継がれたものです。例えばバーギーやウインドタービン社の尾翼が風の流れに平行になる方式は 1898 年の特許ですし、これは吸い上げポンプの風車で開発されました。風が強くなるを、首が上に上がる方式は 1931 の特許です。羽根の角度自体を変化させる方法は 1949 年の特許です（但しブルーブン社の、折り紙の鶴の羽の折り曲げ方式は最近の新しいアイデアです）

保守作業を減少させる大きな変化も起こっています。新しい形からでなく、新しい素材から起こって来ました。炭素強化ガラス繊維、ハイテックペンキ、新合成繊維や複合金属などが保守を出来るだけ少なくする目的で組み込まれ総合的安全性の向上に役立っています。

このように風力発電機内部に先端技術の素材を組み込む事で保守と信頼性の向上に大いに役立つ事となって来ました。

一方安価な素材でコストダウンを計ったメーカーはお客との問題を増加させることに終わっています。保守点検を怠ったユーザーは時限爆弾を抱える事になってしまいます。

一体何時までこの機械はもつの？

回答は不可能です。10年前60年前のヤコブス発電機を降ろしましたがまだまだ現役の状態でした。古いジェークス機は手を加えられ改良され手作りですが時代を超えて生きています。どちらも重量機です。市場の声から重力機は20年は最低生き、その後のオーバーホールで新しい命が宿るといわれています。

じゃ、軽量機は？

多分その予想の半分の寿命で、又は1/4で終わるでしょう。という事は、相当な保守作業が必要を意味します。

参考情報

ゴミ屑みたいな情報ですが、あるメーカーでは高電圧出力オプションを有しています。このシステムは240VACの出力で、蓄電地部屋で12-48Vに落とすトランスがシステムとなっています。高電圧は長距離輸送に適し、もし貴方の発電タワーが相当離れていても、自宅近くでDCとして同じ電力を再現でき、有利なシステムと言えます。

雑談

家庭用風力発電機の生産方式は車のようなアセンブルライン上で作られていません。実際は手作りの少量生産です。従って納期に関する特別な理解が必要です。たまたま在庫があって即納と言う幸運を除き、納期は3週間から長くて8週間とお考え下さい。ひどい場合8ヶ月の例もあります。

多くのユーザーは新しい機械の納期問題のみならず、部品や修理の納期に大きな不満を持っています。勿論メーカーはお客がいなければ商売は成り立たない事は100も承知で努力を重ねている事は理解はします。

最終的に、

市場で販売されている多種多様の機種の中でどれが一番良いのでしょうか？

答えは貴方の環境で左右されます。

正しい場所でその環境に合致した機種で正しく設置すれば長期間電力を生み出す事は間違いないのです。適材適所をお考え下さい。軽量機を一年に短期間ですが強風吹き荒れる場所に設置する事は、問題と呼び込むような物です。軽量機のタワーが低すぎる場合、乱気流の真っ只中に設置している訳で、問題と呼び込んでいます。多くの回転部品を有する機械を保守が不要と考えた場合、これも問題を自分で作っているようなものです。貴方の車、貴方の自宅をお考え下さい。同じ愛情が必要とされているのです。

全ての風力発電機は、車の機種のように、その個性と特異性を持っています。車と同様に形も違えば価格も違います。どんな車を選んでも、A点からB点に移動は可能です。しかしどのような車も、又風力発電機も同じタイプは存在しません。格言によれば価格相応の効果が重要なポイントとなります、品質が高ければ高価になるのです。最低の価格で、保守不要で、強風にも耐え、長期にわたり最高の電力を提供する、そんな機種が存在し得るのでしょうか？

荒れ狂う落下水の下での水力発電を除き、自然が私たちに与えている悪環境は風力発電に向かってきます。私の住む北東ウイスコンシンは夏は38度の高温で冬はマイナス34度に下がります。吹き荒れる強風は砂と昆虫を撒き散らし、羽根は磨り減ってきます。吹き荒れる気流は雷を呼び込み、私の羽根は回転を夏中止めなければなりません。夏は湿度が高く、冬は砂漠のように乾燥しきっています。

この場所での平均風速は11m/sで、時には荒れ狂います。一年に最低6週間は27m/sの時は確実です。雨、雪、みぞれ、ひょう、ありとあらゆる自然現象が起こっています。ここでは自然の全力が物体の崩壊と破戒に向けられています。

このような環境下で働ける発電機はあくまでもゆっくり動く重量機で、自然の猛威を奪い

取ることが出来るのです。AWP社 3.6 型、ブルーブン社、バーギーエクセル、ヤコブス等がその種の物です。

もし値段優先とお考えの場合、環境が苛酷でなければ、安価品は最適です。長期運転は期待できませんが、短期間の電力の応用には適しています。この種の欠点は、保守を気になさらない場合が多く、ボルト緩みで破損事故が多々報告されています。保守がこの場合大きい要点となります。

しかし高級な塔の上に設置し可能な限り長寿命の発電機を必要とされるのなら重量機を御買いなさい。重量機は信頼性に富み、単純構造で、その設計思想は別として、強風に耐える設計が基本で、長期使用のため資本投資回収率は非常に高くなっています。

もう一度、どれが適していますか？

今までの説明は貴方が何を選ぶかの道筋を示したはずですが、簡単な事は実際の使用者を探す事です。その経験は良いかも知れませんが、使用者の満足度を問い合わせるべきです。代理店は商品を売ることにより（メーカーも）生計を立てています。だから信用してはダメとは言いません。どの情報も貴重なのです。責任は貴方にあります。意見を聞き事実を知り、考え、貴方の目的を確認し、そこから貴方の環境に合致した機種を選定することです。

参考情報 1

風力発電機の騒音問題

多くの質問は、発電機の引き起こす騒音はどの程度大きいのでしょうか？にあります。多くのよく設計された発電機は比較的静かな運転を行なっています。発電機が騒音を発する程度に首がふらつく時には木々の葉はざわめき、建物も回りの騒音に囲まれます。風自身も自分でガタガタかさかさ音を立てます。とすると貴方の質問の真意は何でしょうか？

先ず申し上げたいのは、風力発電機は太陽発電パネルではありません。太陽パネルは屋根

の上に載せられ空に向かって微笑むだけです。なんと素晴らしい仕事か。一方風力発電機は風に向かって可能な限り力を出して活発に運動しています。運動とは音を発するのです。音を騒音と感じられる方も存在します。私の偏見から、風力発電機は眺めるもので、聞くものではないのです。発電機の作り出す騒音の大きさに影響を与える2点に付いて触れてみます。第一点は羽根の先の速度（TSR）です。羽根の設計がどのようであろうと、多くの所有者の観察は先端回転速度の速いものは騒音が高く、一方その速度が低い場合は低騒音と言っています。次の点は制御運転方法で変化します。高速回転中の発電機の水平面が風向きにより変化したり、強風対応で上向きになったりする時点でTRSの高い機種程騒音は高くなります。強風時風と平行になる機種や羽根の向きが変化する機種はローターの回転が低いので騒音が少ないのです。永久磁石を使用した風力発電機で最高回転速度に到達し、それ以上の時点では磁場の制御以上の回転速度に入り更に回転は速くなり異常な騒音が発せられます。従って元々回転のゆっくりしたタイプで、羽根の向きが変化出来る機種は静粛タイプと言えます。

一方風力発電機はどれほど静かなのかのお話です。勿論環境、雰囲気、における本来の音や温度で変化はするのですが、クラシックヤコブ機やAWP機は静粛タイプです。音がしないので発電機があることも人々は認識していません。その次はヤコブス 31-20 型、ブルーブンとなっています。

その他の機種ではどうでしょうか？ バーギーのEXCEL 10KW では羽根の改良を加え市場評価は良好です。同じ機種でも使用者ごとに評価は異なっています。ある人は静かといい、他の人は、同じ生まれてから発生する性質は同等なのに、否定的意見を言います。

騒音問題は大切な問題です。購入前に実際の使用者の場所に足を運ぶべきです。それも寒冷前線が、雷雲が来るときにです。最高速度に達した時点で、その騒音が受け入れられるのかどうかが発見できます。到底受け入れられなければ、購入は中止し、満足の得られる機種を探し続けるべきです。

参考情報 2

値段比較について：

機種の一台中あたりの単価で安い高いの議論は出来ません。品質の高い風力発電システムの構成には、鉄塔、その工事、配線、出力システム等多くの要因が含まれ、投資の総額の大きな%を占めます。

一方太陽発電パネルの比較はWあたりの単価で比較されています。これは正当な方法で工業規格で定義されています。光源 1000W/1メーター四方、温度 25 度が測定の基本です。このように試験方法が存在する訳ですから値段比較は容易になります。風力発電の比較論では共通基礎が存在しないのです。共通の風の統一も存在しないのです。

ここで、例として 2 種の発電機を取り上げます。A社は US\$1,000, B社は US\$500 とします。発電量の発表は 1000W 機とカタログにあります。通常の方法は機械コストを発電量で割ります。A社は 1W=1, B社は 1W=0.5。B社の者は半額だ（Aに比較し）と貴方はお考えになります。物事はそんなに簡単ではないのです。出力を生み出す平均風速のデータを見ると A社は 16mph でありB社は 32mph で発表しています。これから貴方は何を考えになるのでしょうか？

ここで、簡単、もし 16mph が両者に与えられた場合 A社は 1000W 出るのに B社は 125W しか出ないのです。ここから機械コストを発電量で割らなければなりません。いかに見かけ単価で比較するのが悪いかご理解いただけましたでしょうか？

計算：
 $P=1/2d \times A \times V^3$

意味は、得られる電力は比例的に、風速の 3 乗と比例します：

$P \sim V^3$

結論；
単純な比較は出来ません。ではどのように比較すればよいのでしょうか？ 例えば羽回転面積の単価比較、重さと羽根の回転面積の割り出し、羽根の先端の回転速度と重さ、等

どれも良い比較の計算基準になりえません。しかし大枠の比較の中の要因にはなりえています。比較の為に完璧な法則を追及する事はばかげた事としか言い様がありません。もてると仮定したら、私の提案は：

一ヶ月の実際の発電量/何年にか渡る風速

しかし、このアイデアを実行するのも不可能ですネ

以上






添付書類：主だった発電機の比較表






2003 March by T. Asano





モデル名	Whisper H40	BWC XL.1	WT 600
メーカー	Southwest	Bergey	Proven
回転羽根面積 (square feet 単位)	38.5	52.8	55.4
羽根直径(feet)	7.0	8.2	8.4
発電開始風速 (mph)	7.5	5.6	6.0
発電最適風速 (mph)	28.0	24.6	22.5
最適風速での出力 (watts)	900	1,000	600
最高出力 (watts)	900	1,800	700
設計上の最高耐風速 (mph)	120	120	145
最適風速での RPM	1,150	490	500
羽根素材	成型樹脂	ガラス繊維樹脂	ポリプロピレン
羽根先端速度比 (T R S)	10.3	5.8	6.7
発電器の種類	PM3AC	PM3AC to DC	PM3AC
強風よけ方法	上方向首振	風並行	羽根角度変化
強風よけ動作開始風速 (mph)	28.0	29.0	22.5
回転停止方法	ブレーキ	ブレーキ	DiscBrake(option)
塔の上の耐圧重量 (ポンド)	47	75	154
横方向耐圧重量 (ポンド)	150	200	450
蓄電池電圧	12-48	24	12,24,or 48
価格に含まれる制御器	制御器 +Dump	蓄電池制御器	蓄電池制御器
出力吸収装置	蓄電池	蓄電池	蓄電池
KWH/月 @8mph	30	55	42*
KWH/月 @9mph	45	85	66*
KWH/月 @10mph	65	115	83*
KWH/月 @11mph	80	150	113*
KWH/月 @12mph	105	188	124*
KWH/月 @13mph	125	220	146*
KWH/月 @14mph	155	250	167*
			*=推察値
生産は何年前?	3	1	5
保証期間〔年〕	2	5	2
定期点検方法	年定期点検	年定期点検	年定期点検給油
注意			羽根向 : 風下

				
Whisper H80	WT2500	AWP 3.6	Jake, Short Case	Jake, Long Case
Southwest	Proven	African Wind P	Abundant	Abundant
78.5	96.7	109.0	154.0	154.0
10	11.1	11.8	14.0	14.0
7.0	6.0	6.0	6.0	6.0
26.0	26.0	25.0	18.0	24.0
1,000	2,500	1,000	2,400	3,600
1,000	2,900	950@24V: (*)	2,400@48V	3,600@48V
120	145	100 実績	80実働 100(**)	80実働 100(**)
		(* = 1,050@48V)	(** = 尾翼が畳まれる)	
900	300	350	225	325
成型樹脂	ポリプロピレン	ガラス繊維	木製	木製
13.4	4.6	5.5	5.0	5.0
PM3AC	PM3AC	PM3AC	DC	DC
上方向首振	羽根角度変化	風並行	羽根回転制御	羽根回転制御
26.0	26.0	25.0	23.5	27.0
ブレーキ	Disk brake	ブレーキ	尾翼折りたたみ	尾翼折りたたみ
65	440	250	500	600
250	1,124	250	700	800
12-48, or220	24,48,120,(or240)	12,24,48 (or220)	24-48	24,48 (or120)
制御器 +Dump	蓄電池制御器	蓄電池制御器		
蓄電池	蓄電池	蓄電池	蓄電池	蓄電池
60	167*	75	240*	240*
90	206*	105	300*	300*
125	292*	130	340*	340*
160	333*	168	410*	440*
190	417*	192	460*	520*
215	465*	226	500*	610*
265	542*	246	550*	700*
* = 推察値				
3	9	3	20	20
2	2	2	2	2
年定期点検	年定期点検給油	年定期点検給油	年定期点検給油	年定期点検給油
HVLV有り	羽根向：風下	HVLV有り	塔先端部分付属	塔先端部分付属

				
Whisper 175	WT6000	BWC Excel-R	BWC Excel-S	Jacobs 31-20
Southwest	Proven	Bergey	Bergey	WindTurbine
176.0	254.0	346.0	346.0	754.0
15.0	18.0	21.0	21.0	31.0
7.0	6.0	8.0	8.0	8.0
27.0	22.0	31.0	31.0	26.0
3,000	6,000	7,500	10,000	20,000
3,200	6,500	8,500	12,000	20,000
120	145	125	125	120
500	200	310	310	175
複合ガラス繊維	木工ポキシ複合	複合ガラス繊維	同左	中空ガラス繊維
10.0	5.8	7.5	7.5	7.5
PM3AC	PM3AC	PM3AC	PM3AC	ブラシレス 3AC
上方向首振	羽根角度変化	風と平行	同左	羽根角度変化
27.0	26.0	34.0	34.0	26.0
ブレーキ	Disk brake	尾翼収納	同左	Disk brake
175	948	1,020	1,020	2,500
700	2,248	2,000	2,000	2,500
24-48 (or220)	48,120 (or240)	24,48,120(or240)	売電専用	売電専用
制御器 +Dump	蓄電池制御器	蓄電池制御器	売電インバータ	売電インバータ
蓄電池	蓄電池	蓄電池		
170	417*	340	240	819
230	564*	500	370	1,160
330	667*	680	520	1,644
410	917*	880	700	2,142
540	1,083*	1,090	900	2,691
620	1,250*	1,320	1,130	3,274
720	1,417*	1,550	1,370	3,872
4	4	19	19	20
2	2	5	5	1
年定期点検	年定期点検給油	2年に一回	同左	年定期点検給油
2枚羽根HVLV	羽根向：風下			ギアボックス型

End, total 17 pages