

## ■役立つページ

# 風況よもやま話

## —教科書に載っていない風の話あれこれ—

株式会社ウインド・エナジー 谷垣 三之介

tel:046-875-9465 e-mail:tngk@pop16.odn.ne.jp

### 観測した風速はどこまで信頼できるか？

言うまでも無いことですが風力エネルギーは風速の 3 乗に比較するので、例えば風速が 10% 増えるとエネルギーは 30% 増えます（もっとも年間発電量で考えると、この通りにはならず、平均風速の 10% の増加は発電量では 15% から 25% 程度、平均的には 20% 程度の増加に対応します。これは風車が全風速域で発電しているわけではなく、高風速域のカットアウトがあること、また、定格風速以上では発電量を抑えていることによります）。

このため、風況観測に当たっては出来るだけ風速を正確に計ることが必要です。計測精度に影響を及ぼす要因の一つとして風速計の取り付け方法の問題があります。風速計の取り付け方が計測精度にどの程度影響するかを見てみましょう。

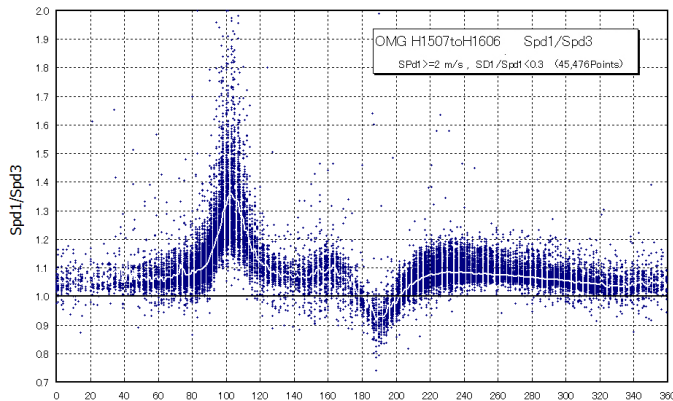


図1 メイン/予備風速計の風速比の風向による変化

図1は、マストトップに取り付けたメインの風速計の計測値 (Spd1) と、その 1.5m 下に取り付けた予備風速計の計測値 (Spd3) の比が風向によってどう変化するかを、私が観測したデータをもとにプロットしたものです。一つ一つのポイントは 10 分平均値で、データ数は 1 年分 (2m/s 以上かつ乱れ強度 0.3 以下のデータ約 45,000 点) です。また、白抜きの線は風向を 1 度刻みで分割して刻みごとの平均値を繋げたものです。計器の取り付け方を図2に示します。

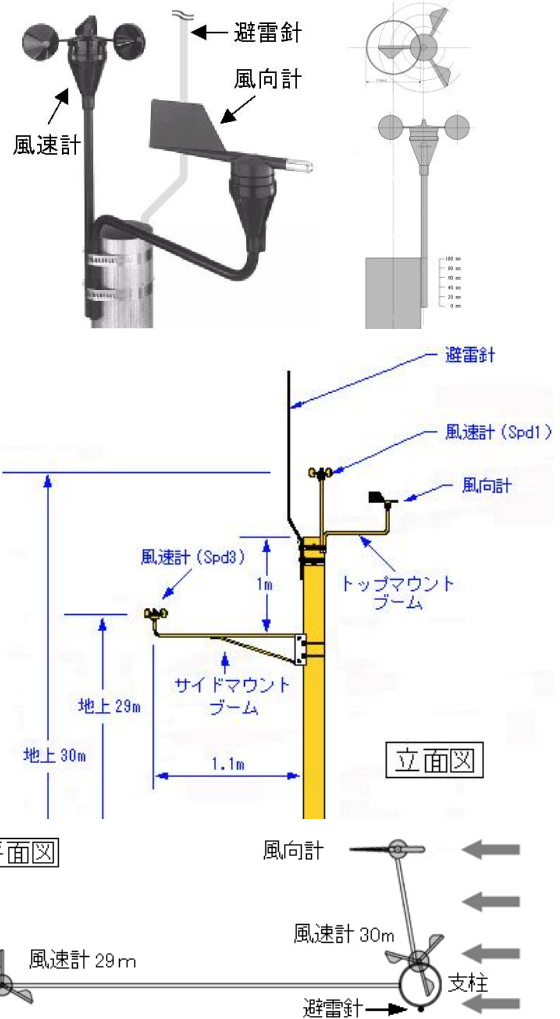


図2 風速計の取付図

一見してわかるように、 $100^\circ$ 、 $160^\circ$ 、 $190^\circ$  近辺に鋭い山と谷が見られます。これらはすべて、風速計の取り付け方に起因するものです。

### Tower Shading の影響

$100^\circ$  近辺の山は予備の風速計がマストの影 (ウエーク領域) に入ること (tower shading) の影響です。グラフの横軸に示した風向は風向計の取り付けブームの指す方向を  $0^\circ$  として、時計方向に計っています (図2の平面図参照)。風が矢印の方向 (およそ  $100^\circ$  の方向) から吹

いている場合は、予備の風速計（高さ 29m）はマストの下流側にくるため、ウエークの影響で風速は上流側より小さくなります。これに対してメインの風速計（高さ 30m）はマストの影響を受けないため、上流側の風速を正しく（厳密には後に述べる誤差が入ってきますが）計測します。そのため、両者の風速比をグラフにすると、図に示したようなシャープな山が出来るわけです。データは大きくばらついていますが、平均値はピーク値で約 1.4 とかなり大きな数値となっており、またその影響範囲も 40 度程度と広く、マストの影響が無視できないことがわかります。

この例では、風速計取り付けブームの長さは 1.1m で、風速計のマストからの距離はマスト径の約 10 倍です。

一般的には風速計はマストからマスト径の 7 倍以上離すのが良いとされています。よく誤解されるのですが、7 倍以上離れていれば全風向の風が正確に計測できるということではありません。

風速計がマストの下流側にある場合の計測は最初から諦めます。そして、その他の風向の場合の計測誤差を 1% 程度以下に抑えようとした場合どの程度離せばよいか、というのがこの数字なのです。

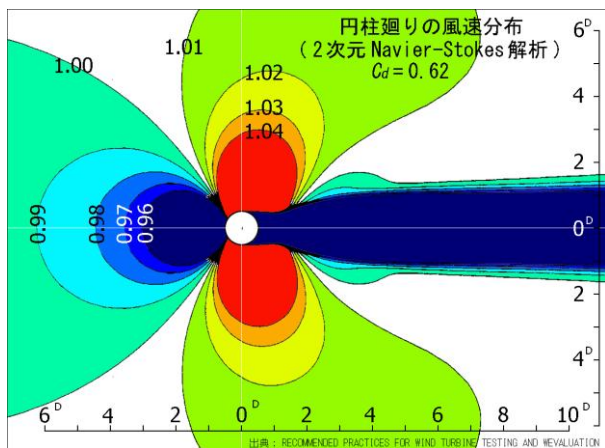


図3 気流におよぼす円柱の影響  
(図中のスケールは円柱直径の倍数)

図 3 は、気流が円柱によってどの程度影響を受けるかを示した図です。出典は IEA Wind が 1999 年に発行した『風車の性能試験と評価のための推奨プラクティス - 11. 風速の計測と風杯式風速計の使用について<sup>1)</sup>』というレポートで、IEC の風力標準の一つ、IEC61400-12-1<sup>ii)</sup>『風車の性能計測法』にもその成果が多く取り入れられている文書です。図の左から右に向かって一

様な風が吹いている場合に円柱周りの速度分布（一様風風速比）を理論的に解いて図示しています。円柱の上流側に減速域、側面に加速域が広がっていることが読み取れます。下流側はもちろん減速です。7 倍程度離れていれば、下流側（ウエーク領域）を除いて、円柱の影響が 1% 程度以下になっていることがわかります。また、上流側 45° の方向では円柱の影響が殆どゼロになることもわかります。

この図は IEC61400-12-1 にも参考図として取り入れられていますが、これをグラフにしてマストからの距離と風速の関係（風速計がマストの上流側中心線上にある場合）が読み取れるようにした図も掲載されています。図 4 に示します。この図からマストから 6 倍離れた場合、相対風速が 0.99（マストの影響が 1%）となることが読み取れます。7 倍だと 0.993（同 0.7%）です。同標準には、風向がマスト上流中心線方向から ±45° 以上ずれると、マストの影響はこのグラフ以上に大きくなる可能性があるとの注記がなされています。

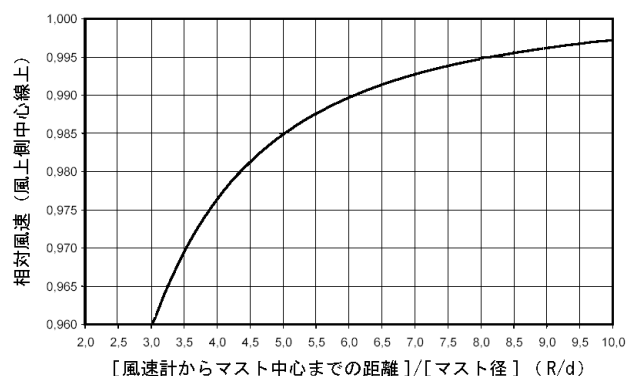


図4 マストからの距離と風速の関係

実際に風況観測のために観測マストを設置する場合にはこのようなことを考えた上で、風速計取付ブームの方向を決めます。風力発電の主風向（出現頻度が高くしかも平均風速の大きい風向）がはっきりしている場合には、主風向に対して ±90° の範囲にブームを取り付けます。45° の方向が理想的です。山岳地の稜線のように、稜線に直角な方向からしか風が吹かないようなところでは、稜線に平行にブームを取り付けるのが良いでしょう。どんな場合でも、主風向は勿論のこと、風力発電に対して寄与率の高い風向に対して風速計がマストの下流側（ウエーク領域）に来ることが無い様に注意することが肝要です。

## 避雷針の影響

俄かには信じられないことですが、たかだか10数ミリメートルの直径の避雷針(図2の配置参照)も風速の計測に影響しています。これが160°と190°に現れている山と谷です。T. Saba氏はその論文<sup>iii</sup>の中で次の図のように説明しています(注釈の和訳は筆者)。避雷針のウエークが避雷針に向かってくるカップをヒットする風向であれば減速、退く方向のカップをヒットする風速であれば増速、というわけです。マストの頂部に取り付けたメインの風速計では、風向によって増速、減速が現れるのに対し、予備風速計ではこのような現象がないため、グラフに示したような山と谷の組み合わせが出てくるのです。

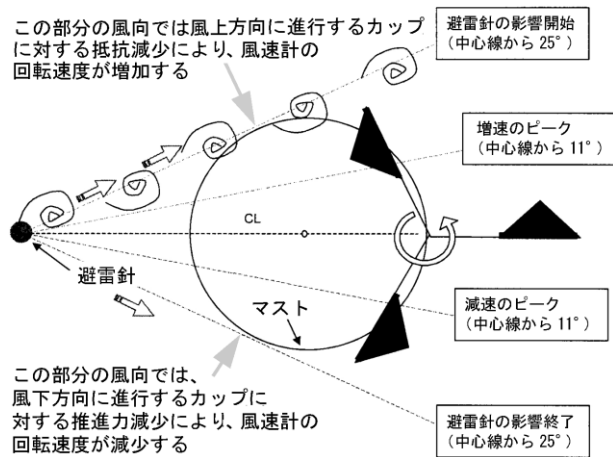


図5 避雷針の影響メカニズム

## マスト頂部形状の影響

最後に図1で次に注目したいのが、風速比が概ね1以上の値になっていることです。メインの風速計と予備の風速計には若干の高さの違いがあるため、風速比が1より大きくなるのは頷けるのですが、その値が少し大きすぎるような気がします。

ウインドシアがべき乗則に従うものとして、20m高さと、予備風速計高さ(28.5m)の風速の比からべき指数を計算し、この指数と予備風速計の計測値から、メインの風速計の高さ(30m)の風速を計算します。この風速をSpd1'とします。本来ならSpd1'はすべての風向において(ただし、マストウエーク領域と避雷針影響領域を除く)メインの風速計の計測値(Spd1)と一致する筈です。ところが、両者にはかなりの差が出ます。これをグラフにしたものが図6です(この図では、風速を図1と同様

Spd3で割って正規化しています)。マストウエークの影響、避雷針の影響による山谷を割り引いて比較する必要がありますが、それでも両者の間にかなりの差があることがわかりでしょう。

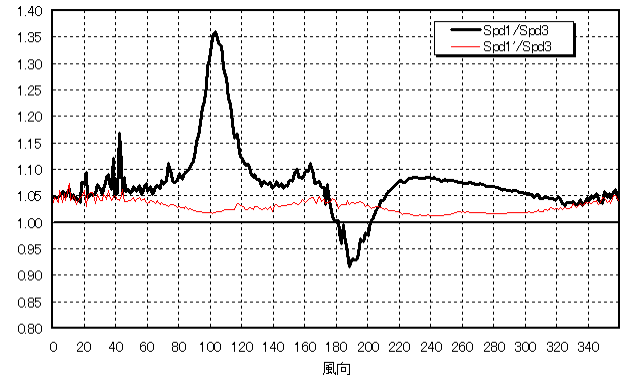
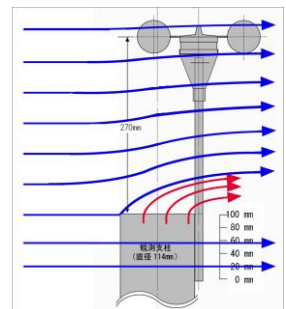


図6 マスト頂部形状の影響

これは、マスト頂部に取り付けられたメインの風速計が実際の風速より高めに計測していることを意味します。どれくらい高くなるかというと、計測地点の風配の状況、平均風速の風向分布によって変わってきますが、年間平均で3%~5%風速を過大評価する結果になっています。発電量では5~10%程度の過大評価ということになります。

この原因はどこにあるのでしょうか。T. Saba氏は、①支柱側面の加速流の影響が支柱の直上に取り付けられた風速計にまで及んでいること、②支柱上端部の三次元流れ場における増速、③ベンチュリー効果により支柱内部から空気を吸い上げることによる増速、がその原因であろうと推定しています。



## 風速計取り付け法

可能であれば風速は出来るだけ正確に計りたいものです。私はこのことがわかってからは、図7のような方法で計器を取り付けることを推奨してきました。メインの風速計は2個とし、常に上流側の風速計の値を採用します。

NRG社の最近のウェブサイトを見ると、同社も、計器一式を含んだコンプリートのタワーセットでは、以前の標準であったトップマウント方式は止めて、図のような取り付けを標準としているようです。



私の配置では、観測高さを確保するためマストの最上端に取り付けているのですが、マスト長に余裕がある場合は、中間層の計器配置との相似性、避雷針保護角との関係、吹き上げ流や吹き降ろし流の影響などを考えると、NRG社の取り付けの様に少し下に下ろした方が良いと思います。

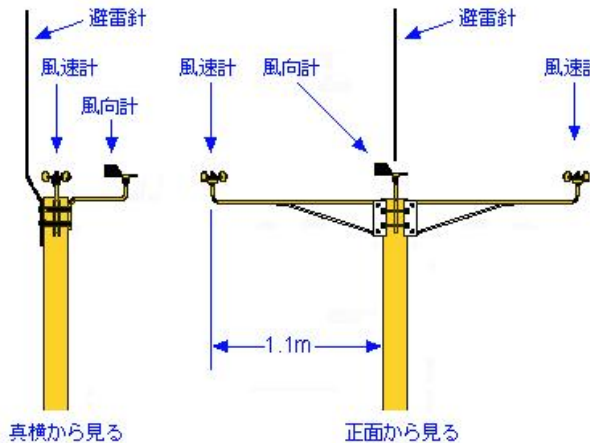


図7 メインの風速計の取付法

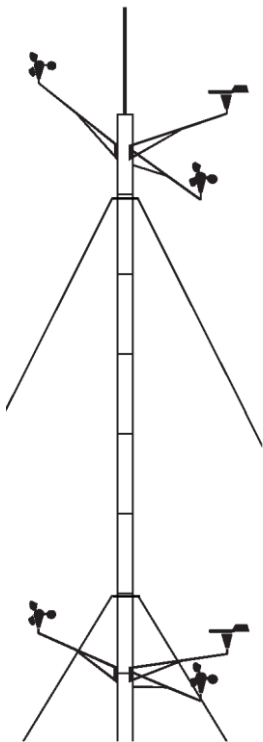


図8 NRG社のカタログから

以上の解説は、風速計と支柱との間の位置関係に関するものですが、風速計と取り付けブームとの関係にも注意する必要があります。実際に取り付けられた例を見ると、あまりにも無神経な取り付け方をしたのも散見されます。

前述の IEA Wind のレポートには、風速計の取り付けに関して次のような留意点が記述されています。

1. 流れに対する影響を最小限に抑えるため、ブームは円形断面とする。方形断面やアングル材のブームは推奨できない。
2. 取付ブームの風速に対する影響を 0.5%以下に抑えるためには、風速計を、ブームから上方にブーム直径の 12~15 倍以上離す。(筆者注; このレポートは風車性能計測用の風速

- 計について書いているので、0.5%という厳しい値をとっていますが、風況精査用であればもう少し基準を緩めても良いでしょう)
3. ブームと風速計の固定はコンパクトかつ対称構造とし、無用の突起構造を避ける。
4. 信号ケーブルの処理にも流れを乱さない様注意。可能なら、ブームの中を通す。
5. マスト支線から十分に距離をとる。支線のウエークの影響も無視できない。

同レポートには風速計の取り付け方の悪い例 (Example of poor practice of cup anemometry) として次のような図 (注釈の和訳は筆者) が掲載されています。

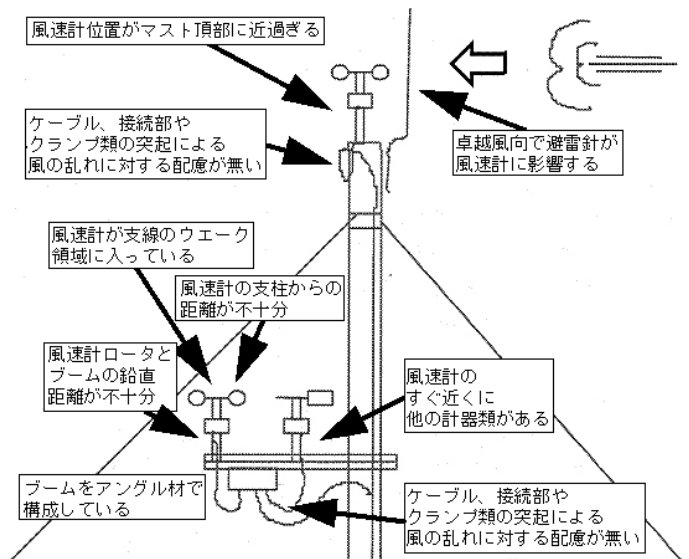


図9 風速計取付法の悪い例 (IEA Wind レポートより)

避雷針や、計器取付ブームのマストへの取付バンドや金具の処理、そして、支線のウエークの影響などは、つつい疎かにし勝ちなので注意が必要です。

- i IEA Wind : Recommended Practices for Wind Turbine Testing and Evaluation – 11. WIND SPEED MEASUREMENT AND USE OF CUP ANEMOMETRY, 1<sup>st</sup> Edition 1999, Edited by R.S.Hunter, Renewable Energy Systems Ltd, et al.
- ii International Standard IEC61400-12-1 Ed.1 : Wind Turbines – Part 12-1: Power Performance measurements of electricity producing wind turbines, Dec.2005
- iii Taraz Saba - PB Power : EFFECTS OF TOWER SHADING ON ANEMOMETERS – Field Data and Wind Tunnel Investigations, NZWEA Conference, July 2002