

報告

# 風況観測における風速測定方法の比較

早田 大希\* 木場 和義\*\* 幽谷 栄二郎\*\*\*

風況観測は、風力発電の事業性を判断するための事前調査で実施される主要な業務の一つである。これまでに日本の各地で実施されてきた風力発電のための風況観測では、風杯式風速計を用いた観測が主流であるが、風杯式風速計では、乱れ強さの観測など詳細な風特性の観測に対する正確な精度は、十分に把握できない。今回、超音波式風向風速計と、風杯式風速計の同時刻による観測結果を比較し、風況特性評価への影響を検討した。本文では、その概要を報告する。

キーワード：風況観測，超音波式風向風速計，風杯式風速計，乱れ強さ

## まえがき

著者らは、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）との共同研究である風杯式風速計を使った風況精査（H14.10～H15.11）と同じ時期に、超音波式風向風速計を使った風況観測を実施した。2つの観測システムは、海岸に面した当社の富津工場内に隣接して設置した<sup>1) 2)</sup>。

風力発電のための風況観測では、一般的に風杯式風速計が使用されているが、乱れ強さなど風特性の精度は、十分に把握できないと考えている。ここでは、変動する風速が精度良く計測できる超

音波式風向風速計の観測システムの観測記録と同時刻における NEDO の風況観測記録を比較し、風の特性評価への影響について検討した。特に、風力発電における発電量やブレードの耐久性に影響が大きいと思われる乱れ強さに着目している。

## 1. 観測概要

### (1) 観測地点

当社の富津工場は、房総半島の東京湾側中西部の埋立地に位置し、しばしば強風が吹く地域であり、湾口からの風が期待できる。図-1 に配置図を示す。

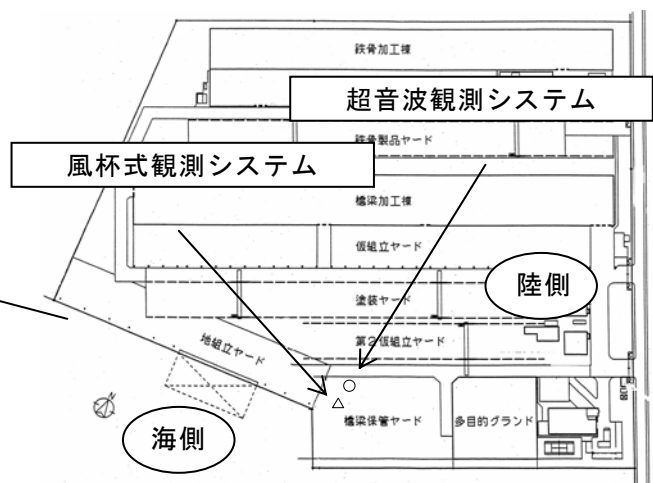


図-1 観測システムの配置概要

\*ニュービジネス開発部 \*\*技術研究室課長 \*\*\*技術研究室

観測機器は、橋梁保管ヤードの傾斜のない平坦な空き地に設置した。観測機器の西南側は、海岸に面している。風況に影響を及ぼす障害物として、北側に約 60m離れた所に、高さ 24mの橋梁加工棟と、東側に約 700m離れた所に、高さ 24mの事務所棟がある。超音波観測システムと風杯式観測システムは、南西の卓越風向に対して横並びに 10 m程度離して設置している。

(2) 観測システムの仕様

風杯式風速計を用いた観測システムは、NEDOの風況精査で使用されている仕様である。風杯式風速計と矢羽根式風向計は NRG 社製で、データロガーは NRG 社製(データロガー-A)と NOMAD 社製(データロガー-B)である。データロガーは、観測中の故障のため 2 機種を使用した。表-1 に、データロガーの相違点を示す。風杯式観測システムの設置状況を写真-1 に示す。風況観測は、地上高さ 30m, 20m, 10m で行っている。

表-1 データロガーの比較

		データロガー-A	データロガー-B
サンプリング間隔		2 秒	1 秒
較正值	オフセット	0.35m/s (0.35m/s 未満は全て 0m/s)	0.48m/s (0.48m/s 以下は、全て 0.48m/s)
	スロープ	0.765	0.773

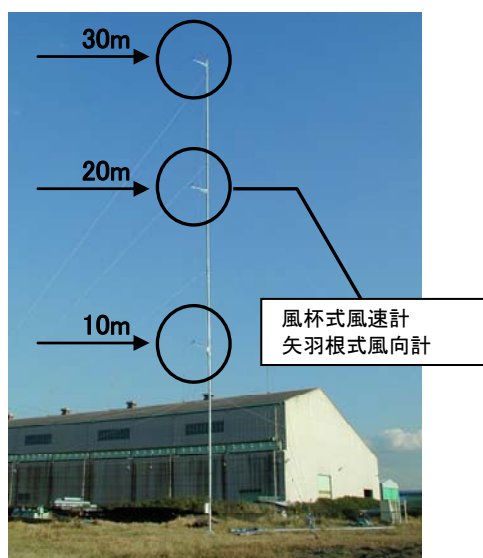


写真-1 風杯式観測システム設置状況

超音波式風向風速計を用いた観測システムは、カイジョーソニック社製の超音波式風向風速計、NI 社製の AD 変換装置および当社で開発した観測プログラムを用いてデータ収集している。

この超音波観測システムは、風杯式観測システムのサンプリング間隔が 1 または 2 秒であるのに対して、さらに細かく設定できる(今回は 0.01 秒)ので、風の変動を正確に評価できると考えている。

写真-2 に超音波観測システムの設置状況を示す。風況観測は、地上高さ 10mで実施し、電源にマイクロ風力発電機と太陽電池の独立電源を使用し、補助電源として一般電源を併用した。

今回の検討は、2 つの観測システムの比較を行うため、地上高さ 10m の観測結果を使用する。2 つの観測システムの仕様比較は、参考文献<sup>2)</sup>に示している。写真-3 は観測機器の外観を示す。

山間部の多い日本の風特性を把握する上で、鉛直方向の風速成分を知ることは重要であると考えられる。超音波観測システムでは、水平 2 成分と鉛直成分を観測できるセンサーを使用することで、風の鉛直成分の乱れ強さと傾斜角を観測することができる。

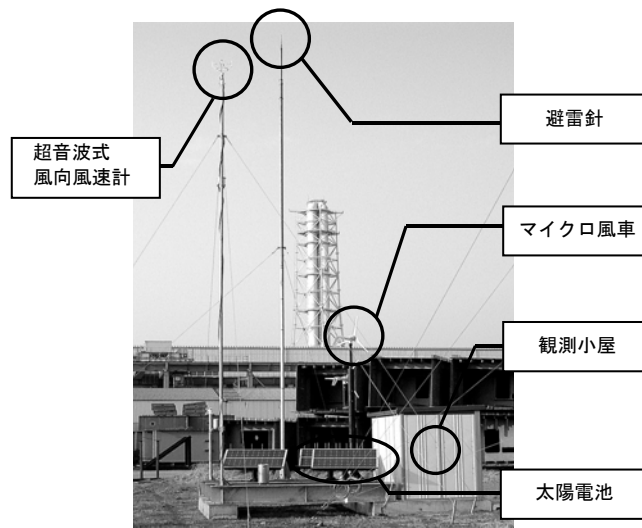


写真-2 超音波観測システム設置状況



写真-3 風杯式(左)、矢羽根式風向計(中)  
超音波式風向風速計(右)

## 2. 観測結果

### (1) 観測期間

観測記録の比較分析では、平成14年8月から10月の間で両方のシステムで同時に観測できているデータ(10分間平均値 3059個)を使用する。表-2に観測期間を示す。この間、風杯式観測システムでは、8/6にデータロガーが故障したため、機器の交換を行った。このため8/6までは、データロガーBで、それ以降はデータロガーAを使用した。

### (2) 観測記録の比較

#### 1) 平均風速

超音波式と風杯式の2種類の風速計で観測した記録から、水平成分の10分間平均風速を比較した結果を図-2に示す。

- 観測できた15m/s以下データでは、ほぼ1:1の直線上に分布している。分布の幅は、風速6m/sでは約±0.8m/sで、風速10m/sでは約±0.5m/sとなる。風速に対する分布特性の大きな差は見られない。

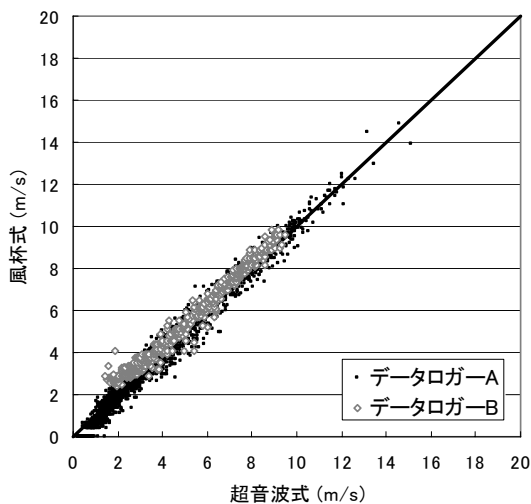


図-2 平均風速の比較

低風速域で2つのデータロガーで、分布特性に違いがある。風杯式観測システムで使用した2つのデータロガーのデータ処理の内容と出力について確認した。

- データロガーAでは、風速0.35m/s以下のデータを0m/sとしている。これにより風速2m/s以下の範囲で、超音波式の観測記録に対して、低い値となっている。
- データロガーBは、風速の最小値を0.48m/sとして、それ以下を切り上げているので、低風速域付近では超音波式の観測記録より大きな値となる。

以上より、風杯式観測システムでは、観測機器の始動風速とデータロガーのデータ処理の内容を考慮する必要があり、低風速域での観測記録の扱いには注意が必要と考える。

#### 2) 平均風向

平均風向は、平均風速が0.5m/sを超えるデータを対象として同時刻における値で比較した。北を0°とし時計回りに角度を設定する。図-3に2つの機器による風向値の比較を示す。同時刻の風向を平均風速3m/sで分けて示している。

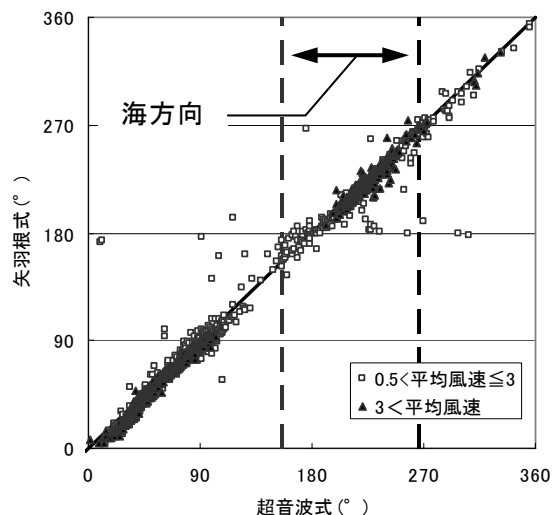


図-3 平均風向の比較

表-2 観測期間

	8月					9月					10月					
	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25	5	10	15	20	25	
超音波	1-4	5-8		18-23	24-27	2-5		16-19				11-16		20-21		
風杯式風速計	1-6	8/7-10/17														
矢羽根式風向計	1-6	7-12		21-24	8/30-10/31											

図の海方向（158°～266°）とは、海に面している方位のことである。

風速 3m/s 以上では、地形条件の違いに関係なく、ほぼ 1:1 の直線上に分布している。

図-4 で同時刻における風向の差について、風速を横軸にして示している。風速 3m/s 以上で、高風速域ほど風向の差が 0° に収束している。風速 10m/s の風向の差は、風速 5m/s の風向の差の約 3/5 倍に減少している。また、風速 3m/s 以下の低風速域では、風向の差にバラツキが大きい。低風速域で風向の差が大きくなる原因として、下記に示す理由が考えられる。

- ・ 矢羽根式風向計は、機器の特性から慣性力と摩擦の影響を受ける。
- ・ 特に低風速域では、風の力に対する上記の作用の割合が大きくなる。

### 3) 乱れ強さ

風速に対する乱れ強さの変化を図に示す。図-5 は超音波式で、図-6 に風杯式の観測記録を示す。風の乱れは、地形や構造物などの粗度条件の影響を受けるので、海側と山側に分けて比較する。海側は南西を中心に±22.5°、陸側は北

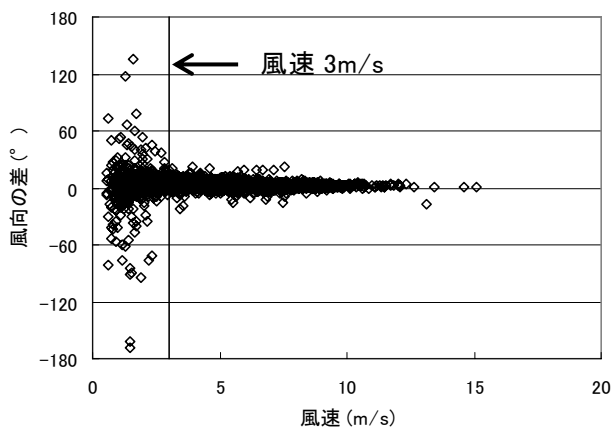


図-4 風向の差と平均風速

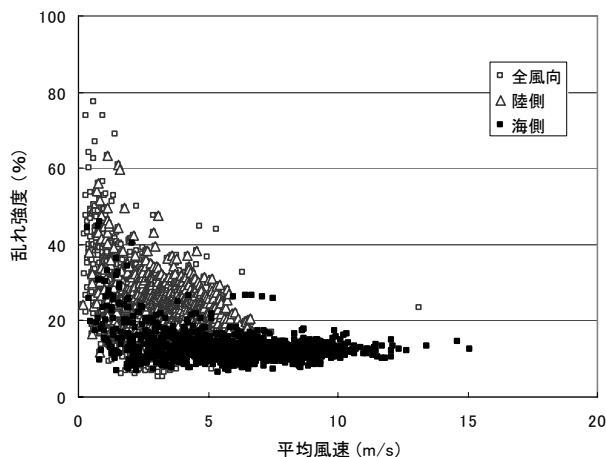


図-5 乱れ強さと平均風速（超音波観測システム）

東を中心に±22.5°と設定する。

2つの観測システムによる観測記録の比較結果を以下に列記する。

- ・ 超音波式風速計と風杯式風速計は、同様の分布形状となっている。風速が大きくなると、乱れ強さは小さくなる。
- ・ 風速 5m/s で陸側と海側を比べると、海側は陸側の約 1/2 倍に減少している。陸側の地表面の粗度が大きいことが原因と考える。
- ・ 風杯式風速計は、風速 0m/s 付近の乱れ強さを評価できない。それに対して、超音波式風向風速計では、風速 0m/s 付近まで精度良く評価できる。

図-7 に、2つの観測システムの同時刻における乱れ強さの比較を示す。風速 3m/s より大きい値では、ほぼ 1:1 の直線上に分布している。

風速 3m/s 以下では、風杯式が、超音波式より乱れ強さが大きくなっている。風杯式が低風速域で乱れ強さが大きくなる原因は、以下に示す点と考えている。

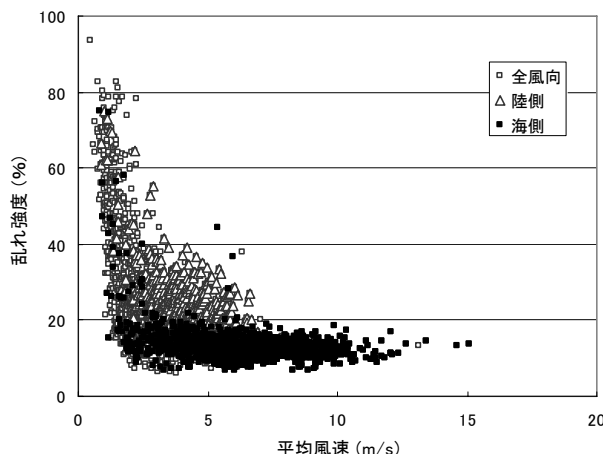


図-6 乱れ強さと平均風速（風杯式観測システム）

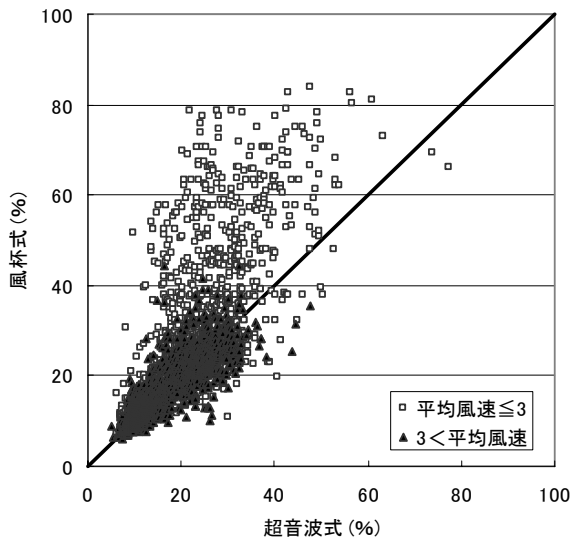


図-7 乱れ強さの比較（全風向）

- ・風杯式風速計は、データの処理過程で、低風速域の平均風速を低く評価する傾向がある。
- ・風杯式には始動風速があり、その影響で始動風速付近では、風速の変動を示す標準偏差を大きくする。

これらの原因により、超音波式風向風速計に比べて、乱れ強さが大きくなると考える。

次に、観測機器の特性に対する地形条件の影響を見るために、海側と陸側の風に分けて比較した。図-8と図-9にその結果を示す。図では、0.5m/s以上の風速を対象としている。海側と陸側ともに、0.5m/s未満の風速の乱れ強さをなくすことで、図-7に比べてバラツキが少なくなる。また、分布のバラツキの幅は、乱れ強さの大きい陸側の方が、海側よりも大きくなる。以上から風杯式風速計による低風速域の乱れ強さは、超音波式よりも大きく評価されるので、注意が必要である。

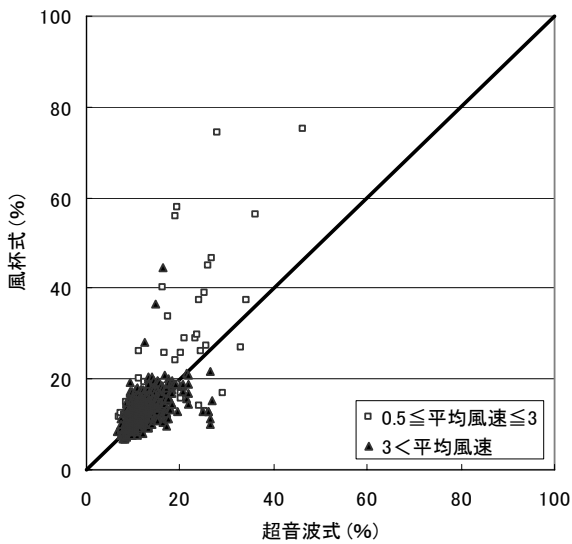


図-8 乱れ強さの比較（海側）

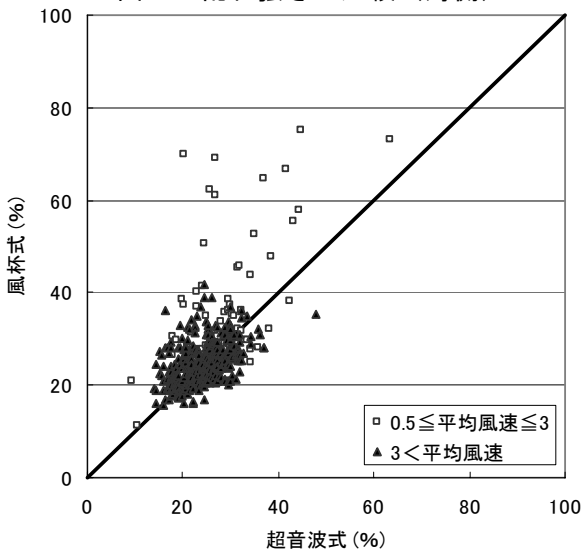


図-9 乱れ強さの比較（陸側）

#### 4) 瞬間最大風速

風杯式風速計と超音波式風向風速計では、機器の観測原理の違いから瞬間的な風の変動に対する出力が異なるものとする。2種類の風速計で観測した10分間毎の瞬間最大風速を、同時刻の記録で比較した結果を図-10に示す。図より低風速域では、風杯式と超音波式の瞬間最大風速は、ほぼ1:1の直線上に分布している。高風速域では、風杯式の値は、小さくなる傾向がある。

図-11に平均風速に対するガストファクターの変化を示す。風杯式と超音波式ともに、風速が大きくなると、ガストファクターは小さくなり、同様の分布形状となっている。風速5m/s以上では、風杯式の方が、超音波式よりも、全体的に小さくなる傾向がある。

以上から、風杯式は、機器の特性から高風速域では、瞬間最大風速を低めに観測している。風杯式によって瞬間最大風速を評価するときは、上記の点に対して配慮し、取り扱いに注意が必要である。

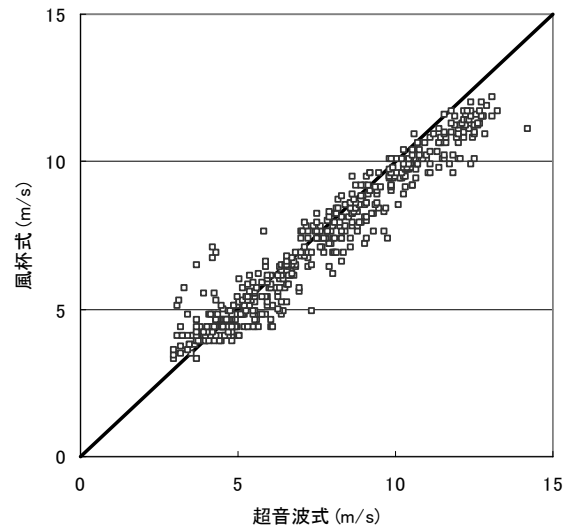


図-10 瞬間最大風速の比較

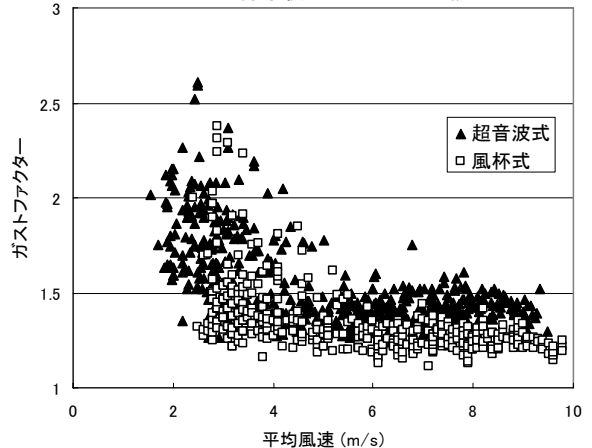


図-11 ガストファクターと平均風速

### 5) 鉛直方向の風特性

風杯式観測システムでは、観測できない鉛直方向の乱れ強さや傾斜角について、超音波観測システムで観測した結果を示す。海側と陸側の地形条件に分けて評価する。鉛直方向の乱れ強さを図-12 に示す。水平方向と同様の分布形状となる。風速 5m/s で、水平方向と比較すると、陸側で、水平方向の約 2/3 倍で、海側で約 1/2 倍の値になる。

図-13 に傾斜角の観測結果を示す。海側からの風の傾斜角は、平均 6.4° で吹き上げとなる。観測地点の傍に岸壁があり、この影響を受けていると考える。陸側の傾斜角は、±5° の範囲内に分布が集中している。傾斜角のバラツキ幅は大きく、最大で±15° 程度である。

以上から、乱れた風を評価する上で、鉛直方向の風特性も条件により変化し、その特性を把握することは、重要になる場合があると考えている。鉛直方向についても、精度良く観測できる機器の選定が望ましい。

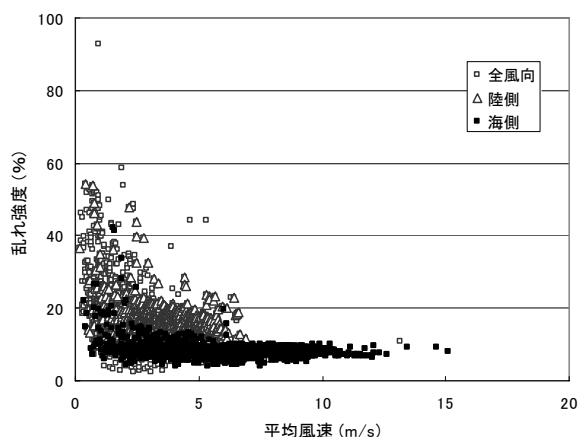


図-12 乱れ強さと平均風速（鉛直方向）

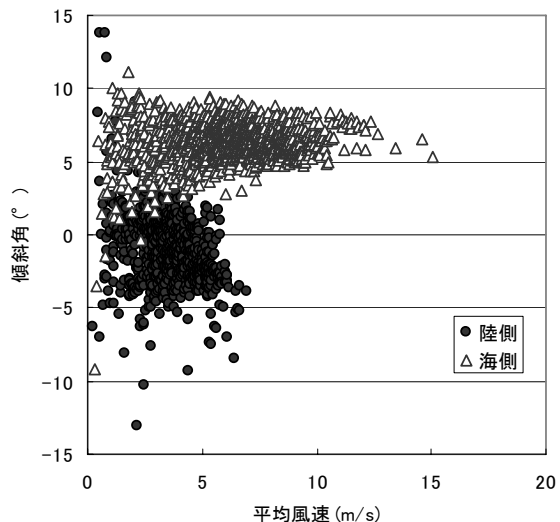


図-13 傾斜角

### 3. まとめ

富津工場における風況観測をもとに、超音波観測システムと風杯式観測システムによる観測結果の比較検討を行った。風況観測に関して、下記に示す点について注意する必要があると考える。

- 1) 風杯式観測システムでは、風杯式風速計の始動風速を考慮して精度が保証できる最低風速を設定する必要がある。
- 2) 風杯式風速計による低風速域の水平方向の乱れ強さは、最低風速の設定によるデータの処理過程で、大きく評価される。
- 3) 風杯式風速計による高風速域の瞬間最大風速は、機器の特性により小さく評価される傾向がある。
- 4) 矢羽根式風向計は、低風速域において慣性力の影響が大きくなり、超音波式風向風速計との風向の差が大きくなる。
- 5) 風の乱れ特性を正確に評価するためには、鉛直方向の風特性を考慮する必要がある。

### あとがき

今回の観測で、風杯式風速計の特性についてある程度把握できたと考えている。さらに観測機器や風の特性を精度良く把握するためには、条件の異なる場所での観測や、期間を増やして検討を行う必要があると考えている。今後、超音波式観測システムによる観測結果の評価時間の再設定やスペクトル特性の比較を行うことを考えている。

### 参考文献

- 1) 木場和義・早田大希・田中英之：富津工場における風況精査結果，駒井技報，vol23，pp.26-30，2004.4.
- 2) 早田大希・木場和義：富津工場における風況精査の紹介，駒井技報，vol22，pp.87-88，2003.4.
- 3) 早田大希・木場和義・幽谷栄二郎：風況観測における風速測定方法の違いによる観測結果の比較，第26回風力エネルギー利用シンポジウム，pp.211-214，2004.11.