

銚子沖 3.1km における洋上風況観測*

An Offshore Wind Observation at a Point of 3.1km off Choshi

助川 博之** 福本 幸成** 山中 徹*** 大窪 一正*** 石原 孟****
 Hiroyuki SUKEGAWA** Yukinari FUKUMOTO** Toru YAMANAKA*** Kazumasa OKUBO*** Takeshi ISHIHARA****

1. はじめに

日本の風力発電導入量は、2012 年度末で約 265 万 kW に達しているが、陸上風力発電設備が大半で洋上風力発電設備は欧州に比べ開発は進んでいない。

このような状況の中、わが国における厳しい自然条件においても適用出来る洋上風力発電技術の確立および洋上風力発電の導入促進を目的に、東京電力株式会社は、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）からの業務委託として風況観測タワー1 基を、また NEDO と東京電力の共同研究として風車 1 基を千葉県銚子沖 3.1km 地点に建設し 2013 年 1 月 29 日より、わが国初の沖合着床式洋上風力発電所として運転を開始した。

本論文では、洋上風況観測タワーに設置した計測器および 1 月より観測タワーで計測を開始したデータのうち風況に関する計測結果について記す。

2. 洋上風況観測システムの概要

洋上風況観測タワーの設置位置を図-1 に示す。地図上の設置位置は海岸から 3.1km、水深は 11.9m である。タワーの西側 285m には風力発電設備が建つ。

風況観測機器の配置と洋上風況観測タワーの外観を図-2 に示す。タワーには複数種の風況観測装置を設置しているが、表-1、表-2 にそれぞれ各観測機器の設置目的および仕様を記す。

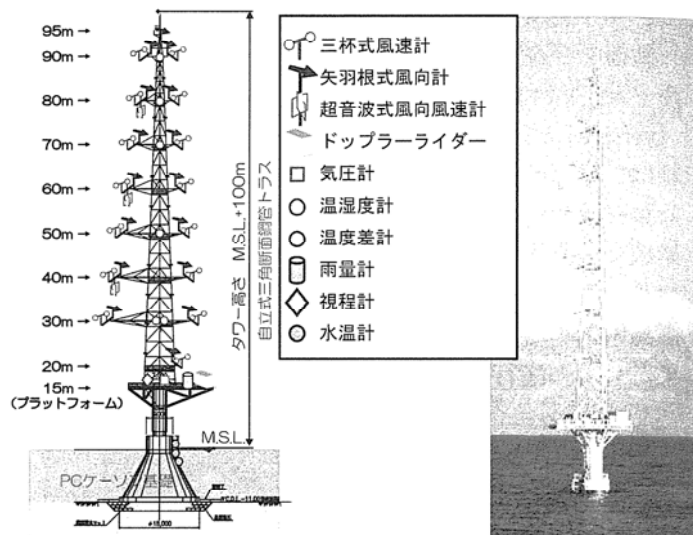


図-2 風況観測機器の配置とタワー外観

表-1 観測機器の目的

観測機器	目的
三杯式風速計・矢羽式風向計	洋上における風速と風向、乱れ強さの鉛直分布の解明
超音波式風向風速計	大気安定度評価のためのフラックスの解析
ドップラーライダー	高高度における風況特性の解明
気圧計・温湿度計・温度差計・水温計	大気成層状態の評価
雨量計・視程計	ドップラーライダーの利用可能な環境条件の解明

表-2 観測機器の仕様

観測機器	機種名	サンプリング
三杯式風速計	ソニック社製 SOW21-1	4Hz
矢羽式風向計	ソニック社製 SOD24-3	4Hz
超音波式風向風速計	ソニック社製 SAT-600A	20Hz
ドップラーライダー	LEOSPHERE 社製 WINDCUBE	4Hz
気圧計	横河電子機器社製 PTB-330	4Hz
温湿度計	ヴァイサラ社製 HMP155	4Hz
温度差計	ソニック社製 SODMT-624	4Hz
雨量計	ソニック社製 SOR1-502	ハースカウント
視程計	ヴァイサラ社製 PWD12	4Hz
水温計	ソニック社製 SOKET-4	4Hz

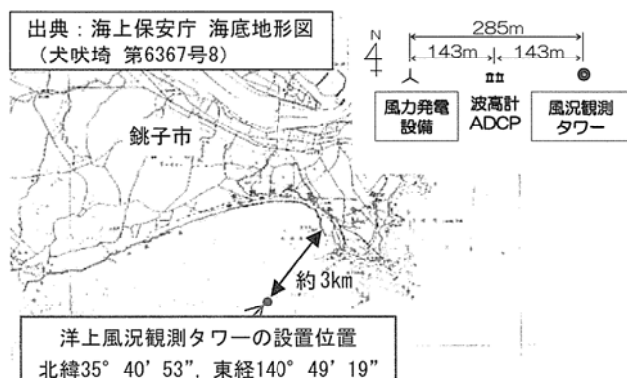


図-1 洋上風況観測タワーの位置

* 平成 25 年 11 月 13 日第 35 回風力エネルギー利用シンポジウムにて講演
 ** 会員 東京電力株式会社技術開発センター 〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1
 *** 非会員 鹿島建設株式会社技術研究所 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1
 **** 会員 東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

観測タワー高度 30m~90m の 7 高度では、計 3 本のブームを方位角 120°間隔で水平に張り出し、その先端に三杯式風速計および矢羽根式風向計を設置した。オランダの Egmond aan Zee 洋上ウィンドファームでの観測事例²⁾を参考に、風向に対して観測タワー本体による風況の歪曲を受け難い位置のブームを選択した。

3. 7ヶ月間の統計値

図 3 に、7 ヶ月（2013 年 2 月～2013 年 8 月）における観測高さ 90m での各種の風向別値を示す。本図に示すのは、風向発生頻度、10 分間平均風速、風力エネルギー密度、10 分間乱れ強さである。7 ヶ月間におけるデータの取得率は 99.0%であった。図 3 から、南南西および北北東からの風向発生頻度が高く、南南西の風速および風力エネルギー密度が大きいことが確認された。西寄りの風向では、他の風向に比べて乱れ強さが大きく、平均風速が小さいが、これは風況観測タワーが風力発電設備の後流域に入るためと考えられる。

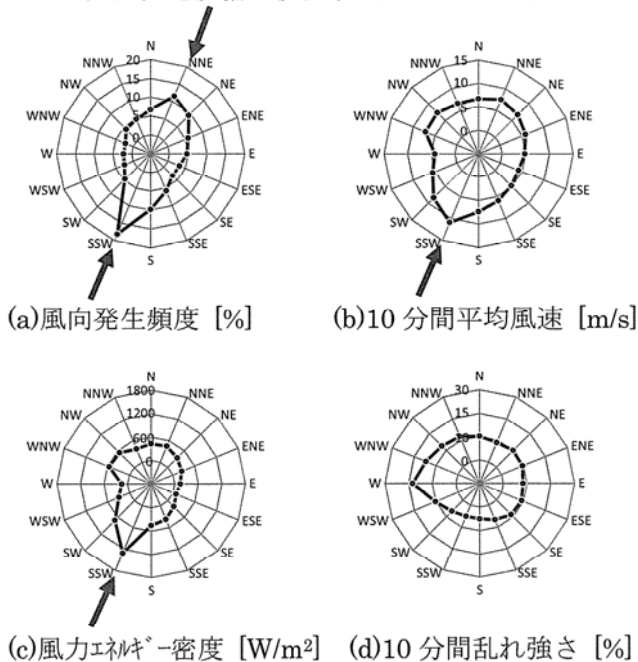


図 3 7ヶ月間における風向別統計量（2月～8月）

図 4 に 7 ヶ月間における 10 分間平均風速の出現頻度を、ワイブル近似曲線と合わせて示す。ワイブル分布の形状係数 k は 1.80, 尺度係数 c は 8.40m/s である。最頻度風速階級は、3~4m/s である。定格風速 12.5m/s 以上の風速が出現する頻度は 13%である。

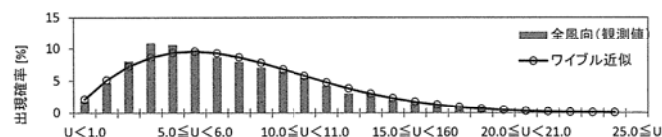


図 4 7ヶ月間における 10 分間平均風速の出現頻度

4. 月別値

(1) 月平均値

図 5 に、観測高さ 90m における 2013 年 2 月～2013 年 8 月の全風向の月平均風速、月平均風力エネルギー密度、月平均乱れ強さを示す。7 ヶ月の月平均風速のうち 4 月が最も高く 10.0m/s、8 月が最も低く 5.8m/s で 7 ヶ月の平均は 7.3m/s であった。月平均乱れ強さでは、2 月が最も大きく 11.4%であり、5 月～8 月は約 7.3%であった。

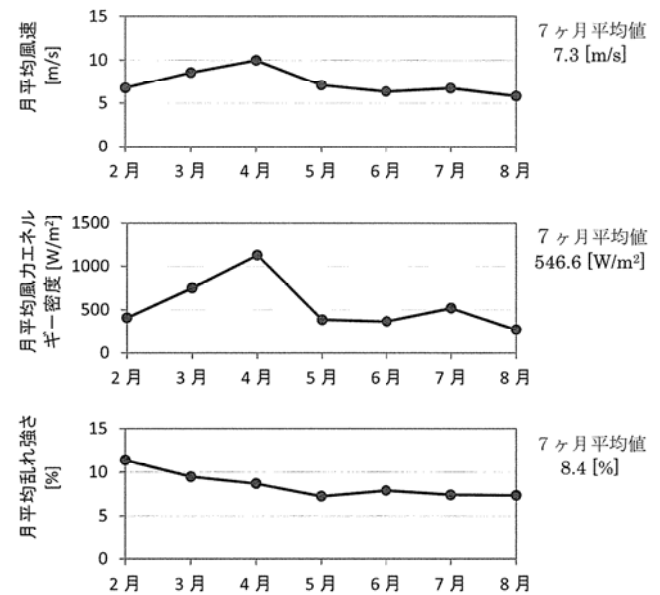


図 5 月別平均値

(2) 時刻歴データ（2013 年 4 月）

7 ヶ月間において月平均風速が最も高かった 2013 年 4 月における時刻歴波形を図 6 に示す。本図には観測高さ 90m における三杯式風速計および矢羽根式風向計によって観測した 10 分間の平均風速、最大瞬間風速、平均風向、平均乱れ強さを示した。4 月 3 日には低気圧の通過に伴い、最大瞬間風速 38.9m/s、10 分間平均風速 28.8m/s を記録した（12 時 50 分）。

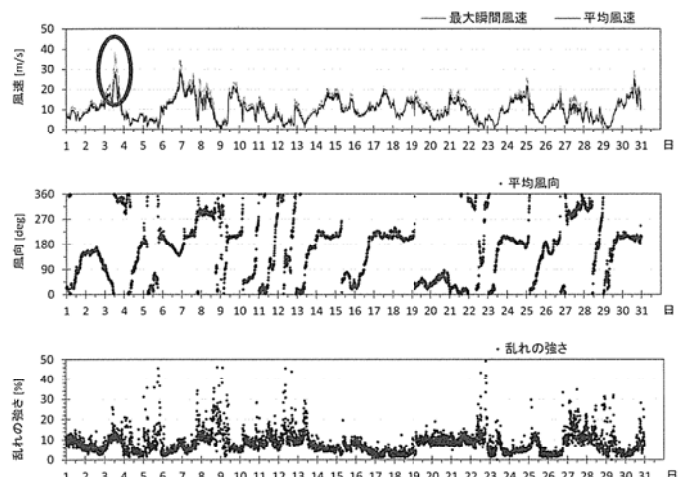


図 6 風向風速および乱れの時刻歴データ

(3) 風向別値

2013 年 2 月および 7 月における各種の風向別値を図 7、図 8 にそれぞれ示す。本図に示すのは、風向発生頻度、10 分間平均風速、風力エネルギー密度、10 分間乱れ強さである。風向発生頻度は、2 月が北北西および北西、7 月は南南西および北北東からが多いが、平均風速および風力エネルギー密度は、いずれも南南西方向が大きい結果となった。2 月の卓越風向（北北西、北西）は陸側からの風向であり乱れ強さは約 11% であった。7 月の卓越風向では、南南西は海側からの風向、北北東は陸側（犬吠埼）からの風向であり、乱れ強さはそれぞれ 4.5%、8.2% であった。

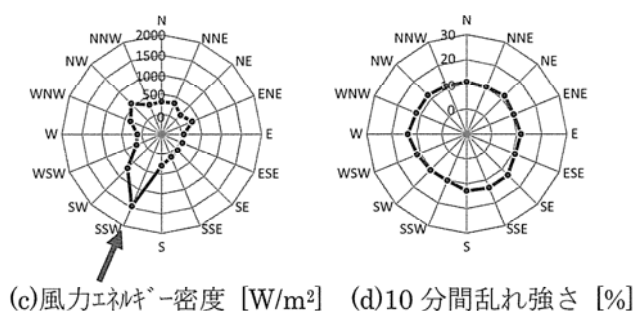
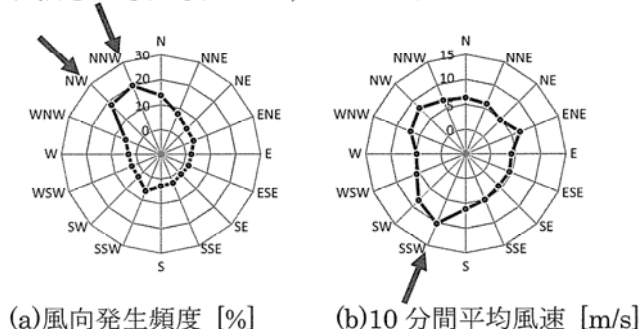


図 7 2 月の風向別統計量

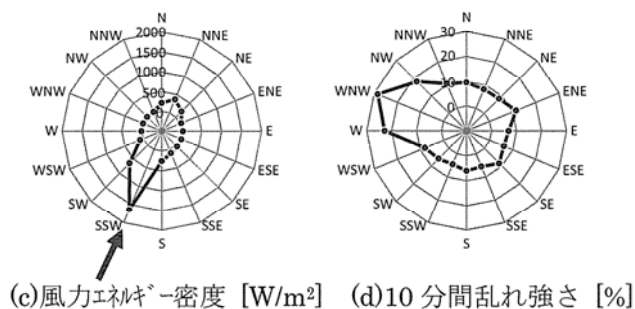
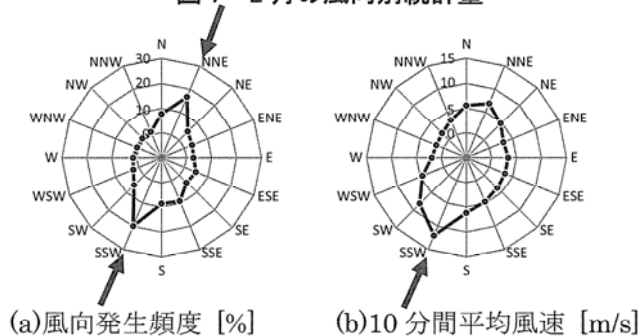
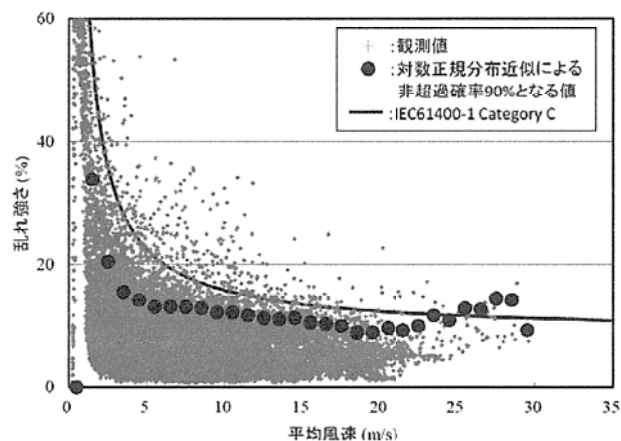


図 8 7 月の風向別統計量

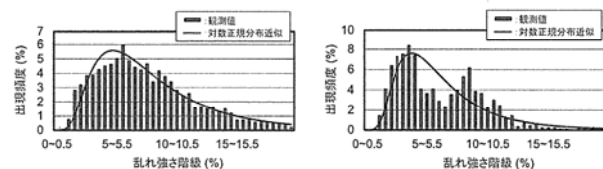
5. 乱れ強さ風速階級別出現頻度

乱れ強さと 10 分間平均風速の関係を図 9(a) に示す。用いたデータは、2013 年 2 月～8 月における観測高さ 90m の三杯式風速計での乱れ強さである。本図には風速階級毎の乱れ強さの出現頻度を対数正規分布で近似し、乱れ強さの非超過確率 90% となる乱れ強さの値を黒丸 (●) でプロットした。また、IEC61400-1 における Category-C の非超過確率 90% の乱れ強さを実線で示した。平均風速 23m/s 以下では、非超過確率 90% となる乱れ強さが Category-C より小さいことを確認できる。平均風速 23m/s 以上では、Category-C より大きいことが、観測データが少ないためと考えられる。

図 9(b) には、風速階級が 3m/s～4m/s (7 ヶ月間の最頻度風速階級、出現頻度 11%) および 12m/s～13m/s (定格風速 12.5m/s を含む風速階級、出現頻度約 3%) となる乱れ強さを抽出し、乱れ強さ階級別の出現頻度を示した。本図には乱れ強さの出現頻度を対数正規分布で近似した曲線も示した。風速階級 12m/s～13m/s では、乱れ強さの出現頻度に 2 つの山があり、対数正規分布への近似度が低い。



(a) 風速-乱れ強さの分布



風速階級 3～4m/s

風速階級 12～13m/s

(b) 乱れ強さ階級別出現頻度

図 9 乱れ強さの分布特性 (全風向)

7 ヶ月間における風向発生頻度が比較高い風向の中から、風向別の乱れ強さが比較的に大きい北北東（発生頻度第 2 位、乱れ強さ 8.9%）、および南南西（発生頻度第 1 位、乱れ強さ 5.0%）を対象として、図 9 と同様に、乱れ強さと 10 分間平均風速の関係および乱

乱れ強さの階級別出現頻度を図 10 および図 11 に示す。風速階級 12~13m/s では、両風向ともに乱れ強さの出現頻度の山は概ね 1 つである。また、北北東では乱れ強さ 5%以上の出現頻度が多いが、南南東では乱れ強さ 5%以下の出現頻度が多く、風向によって乱れ強さの出現頻度の分布特性が異なるため、全風向を合算した図 9(b)では、乱れ強さの出現頻度に 2 つの山が現れた。風速階級 3~4m/s においても、風向によって乱れ強さの出現頻度の分布特性が異なる傾向がある。

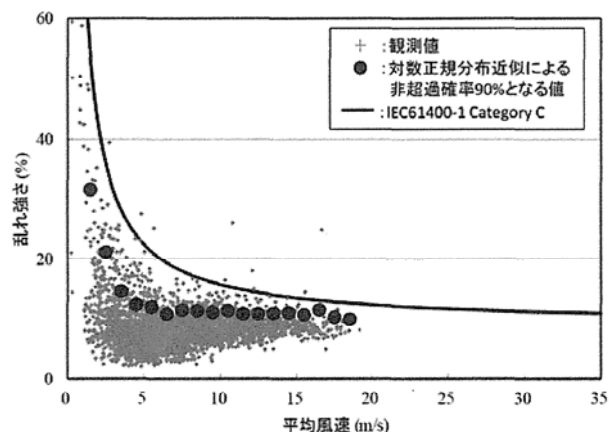
6. まとめ

2013 年 1 月 29 日より銚子沖 3.1km で計測を開始した洋上風況観測システムで観測した結果（観測対象期間 2013 年 2 月~8 月）について、ならびに今後の課題についてまとめる。

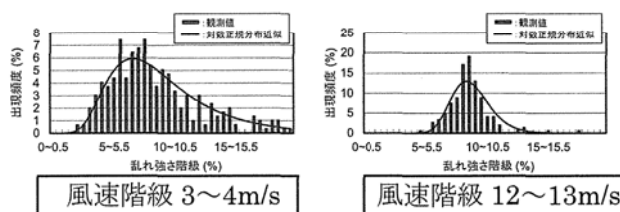
- 1) 高度 90m での 10 分間平均風速は 7.3m/s、風力エネルギー密度は 546.6W/m²であった。
- 2) 月別平均風速は、4 月が 10.0m/s、8 月は 5.8m/s と月により風速に大きな差があることが確認された。また、7 ヶ月間の平均風速は 7.3m/s であった。
- 3) 冬季の 2 月と夏季の 7 月の風向別値を比較すると、主風向は 2 月が北北西、7 月は南南西であったが、平均風速および風力エネルギー密度はいずれも南南西方向からが最も高い結果となった。
- 4) 7 ヶ月間の主風向は、南南西と北北東であったが、この 2 風向の乱れ強さを比較した結果、陸の影響が強いと考えられる北北東の方が大きな値を示したが、それでも IEC 基準より小さな値となった。
- 5) 今後、年間を通した銚子沖の風況特性を確認するとともに、複数種の風向風速計で観測している結果を比較し、各計測機器の性能を比較していく。また、筆者らが 2004 年 9 月から 2 年間、福島県楢葉町沖約 40km 地点にある磐城沖ガス田の高度約 95m で計測した風況データ³⁾と比較し、日本近海の洋上風の特徴を解明していく。

参考文献

- 1) NEDO HP 日本における風力発電設備・導入実績
<http://www.nedo.go.jp/library/fuuryoku/state/1-01.html>
- 2) J.W.Wagenaar, P.J.Eecen: Measurements of Wind, Wave and Currents at the Offshore Wind Farm Egmond aan Zee, ECN-E--09-015, 2009.
- 3) 助川博之, 石原孟, 山口敦, 福本幸成, 土谷学: 浮体式洋上風力に関する研究 その1 洋上風況観測と洋上風力賦存量の評価, 第 28 回風力エネルギーシンポジウム, pp196-199, 2006.

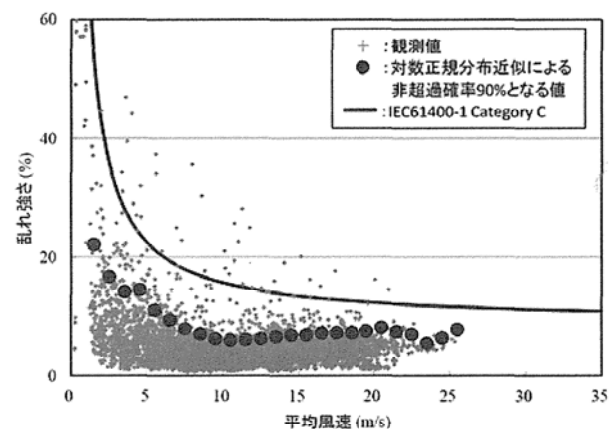


(a) 風速-乱れ強さの分布

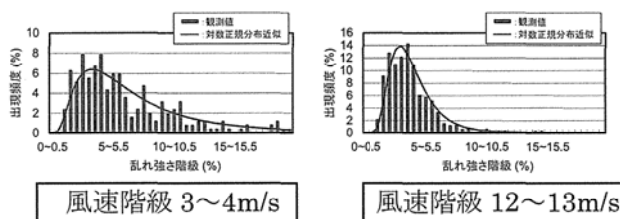


(b) 乱れ強さ階級別出現頻度

図 10 乱れ強さの分布特性（風向：北北東）



(a) 風速-乱れ強さの分布



(b) 乱れ強さ階級別出現頻度

図 11 乱れ強さの分布特性（風向：南南西）