

# 青森県における洋上風力発電の可能性に関する調査

Investigation on Possibility of Offshore Wind Farm in Aomori Prefecture

○横浜 和也\*, 小玉 成人\*

○YOKOHAMA Kazuya\*, KODAMA Naruhito\*

\*八戸工業大学

\*Hachinohe Institute of Technology

**キーワード：** 洋上風力発電(Offshore wind farm), 風況精査(Wind field assessment)

**連絡先：** 〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1 八戸工業大学 工学部 システム情報工学科

小玉成人, Tel.: (0178)25-8099, Fax.: (0178)25-1691, E-mail: naru@hi-tech.ac.jp

## 1. まえがき

エネルギー資源量や環境破壊などの問題のため、近年自然エネルギーに対する関心が高まり、世界各国で開発や導入が進められている。特に風力エネルギーは、他の自然エネルギーと比較して発電コストが相対的に低いこと、比較的発電容量が大きいことなどのため実用化が進んでいる。しかしながら、風力発電の出力は風速の3乗に比例するため、風況が良好な地点に建設することが重要であるが、陸上での風力発電では、風況の良好な建設候補地が減少してきている。また、これによって市街地や希少な自然環境に近い場所に計画・建設されることもあり、地元住民や自然保護団体などとの間に問題も起こっている。そこで、安定した強い風を得ることができ、民家等との距離も確保できるため騒音やシャドーフリッカーなどの問

題も少ない洋上風力発電が注目を集めている。青森県においても、むつ小川原港洋上風力開発株式会社が六ヶ所村のむつ小川原港沿岸において洋上風力発電所建設を目指しており、むつ小川原港の南側に風況精査のための風況観測ポールを建設した。そこで、本研究では青森県における洋上風力発電の可能性を検討するため、ここで測定された風況データを用いて風況精査を開始したのでその中間結果を報告する。

## 2. 風況精査

風況精査とは、候補地点の風力発電導入の可能性、並びに導入規模の評価を行うため、観測したデータをもとに、解析項目として表1に示す風況に関するものとエネルギーに関するものについて解析するものである。解析項目の中でも、風況特

性の「平均風速」と風力エネルギーの「風車の設備利用率」は風力開発の可否を判断する項目であり、最も重要となる。これらの基準は、平均風速が地上高30mで6.0m/s以上、設備利用率が20%以上であることが望ましいといわれている<sup>1)</sup>。ただし、洋上風力発電の場合には送電のための海底ケーブルや基礎工事などに費用がかかるため、設備利用率は30%以上必要と考えられている。なお、このとき利用するデータは、40mまたは50mのポールを建設し、地上高10m毎に風速計および風向計を設置して計測する。観測項目は、主に以下の3点であり、センサーのサンプリング時間は1~3秒以下、観測期間は最低1年間とすることとなっている<sup>2,3)</sup>。

- ・10分平均の平均風速・風向
- ・月および年間の最大瞬間風速
- ・10分間風速の標準偏差

計測されたデータは、欠測や異常値の有無によって修正し、10分間データから1時間データへ変換する前処理を行う。

表1 解析項目

解析項目		目的
観測期間中の気象概況		期間中の気象状況が特異かどうか評価
風況特性	平均風速	風力開発の可否を概略的に評価
	風速の時間変動	風車の運転計画を検討
	風向別平均風速	風力エネルギーの主風向を把握
	年間の風向出現率	風の卓越方向を把握
	風速の出現率	風速の出現特性を評価
	風向別風速出現率	風力エネルギーの風向別の出現特性を評価
	ワイプパラメータ	風況特性を把握
	鉛直分布	ある高度の風速を推定するため、鉛直分布を把握
	乱れ強度	風速の瞬時特性を把握
	最大風速 ・最大瞬間風速	風車の耐風速を評価
風力エネルギー	風力エネルギー密度	風力エネルギーの潜在量を評価
	風力エネルギー取得量	取得できる風力エネルギー量を評価
	風車の設備利用率	風力開発の可否の判断
	稼働率	風車の稼働状況を判断

### 3. 風況観測ポールの設置

#### 3.1 風況観測地点

洋上風力発電所建設予定地には、図1に示すように青森県六ヶ所村むつ小川原港南東の地点を予定している。そのため、風況観測地点には、むつ小川原港の南側の地点を選択した。本来は洋上風力発電所建設予定地に風況観測ポールを建設することが望ましいが、コスト等の問題により隣接する海岸に風況観測ポールを建設している。なお、海上では風の乱れがほとんど発生しないためこの地点で測定した風況データで推定できるものと思われる。この地点はNEDOの風況マップ<sup>4)</sup>によると、年間平均風速が地上高30mで6.3m/s、地上高70mにおいて7.4m/sであり、上述の事業を検討する目安といわれている地上高30mで6.0m/sを超えている。また、漁業区域や航路、自衛隊の演習地（天ヶ森射撃場）からも外れており、近くに民家等も無いため騒音やシャドーフリッカーなどの影響も無いと思われる。しかしながら、卓越風の吹く西側には高さ20~30mの林があり、これによる影響が懸念されるため、風況精査により確認する必要がある。

#### 3.2 風況観測ポールの概要

上述の風況精査を行うために設置する風況観測ポールの概要を図2に示す。図に示すように、風況観測ポールは、高さ50mで、地上高30、40、50mに風速計、風向計を取り付けている。風速計、風向計には、近年レーザーや超音波を用いた観測機も開発されているが、風況観測に利用されている実績が少ないため、一般的に利用されているカップ式風速計と矢羽根式風向計を用いた。

また、ポールの設置には避雷針の取り付けが義務付けられており、塩ビパイプ等の絶縁物を通して基部に接地されている。さらに、風況観測ポールおよび支線ワイヤ全体はフェンスで囲み、地域住民等へ危険が及ばないようにしている。



図1 建設地点

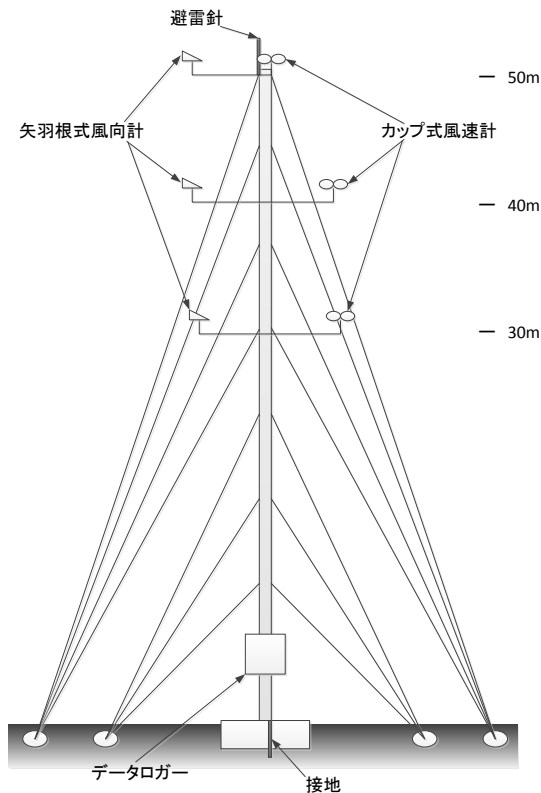


図2 風況観測ポール

### 3.3 風況観測ポールの設置

風況観測ポールの設置は、平成25年4月15日(月)～4月17日(水)に行われた。初日は、資材の運搬と風況ポールの組み立て、二日目は組み立てた風況ポールとデータロガーの設置、三日目に安全柵の設置等を行った。風況ポール建設中の写真を図3に、設置後のポールおよび風況データを記録するデータロガーの写真を図4.5に示す。ポールは、図3のように組み上げられたポールをウィンチで引き上げて設置している。また、図5のデータロガーには、米NRG社のSymphonie PLUS3を利用している。このデータロガーは、15チャンネルの入力を備えており、パスワードによるアクセス制限も行うことができる<sup>5)</sup>。今回の計測ではこのデータロガーを用いて、風速3チャンネル、風向3チャンネルの計測を365日24時間行い、付属のSDカードに風況データを保存する。



図3 風況観測ポールの建柱



図4 建設した風況観測ポール



図5 データロガー

## 4. 観測結果

### 4.1 観測データとその前処理

観測期間は、4月16日14:40～5月7日9:50であり、データ数は2,996点である。観測されたデータは、10分平均の風速・風向データとして保存されており、これを1時間平均の風速・風向データへ変換する。風速は(1)式を利用して計算している。

$$V_{hour} = (V_1 + V_2 + \dots + V_n)/N \quad \dots (1)$$

ここで、 $V_{hour}$  : 1時間平均風速

$V_1, V_2, \dots, V_n$  : 各10分平均風速

$N$  : 1時間のデータ数

また、風向は(2), (3)式を用いて $X_{hour}$ と $Y_{hour}$ を計算し、これらの合成ベクトルを算出して、その方角を1時間平均風向としている。

$$X_{hour} = (X_1 + X_2 + \dots + X_n)/N \quad \dots (2)$$

$$Y_{hour} = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)/N \quad \dots (3)$$

ここで、 $X_{hour}$  : 1時間平均風向のx成分

$Y_{hour}$  : 1時間平均風向のy成分

$X_1, X_2, \dots, X_n$  : 各10分平均風向

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  : 各10分平均風向

$N$  : 1時間のデータ数

変換後の1時間平均データのデータ点数は500点である。

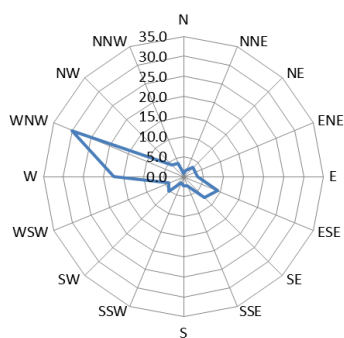
### 4.2 観測された風況データ

建設された風況観測ポールを用いて測定した結果を表2、図6に示す。表2は各月および期間中の全データの平均風速、図6は方角ごとの風向の出現率を示した風配図である。表2より、4月から5月と低下傾向にあることが分かる。これは、一般的に風速は夏季に最も低くなるためと思われる。アメダスの六ヶ所測候所のデータからも示されている。また、地表との摩擦があるため、5.2節で述べる風速の鉛直分布の影響によって、地上高が高いほど風速は高くなっている。つぎに、風向については図6に示されているように、西北西および西の風向が最も多いことが分かる。図6(c)から卓越風は、陸地から吹く西北西および東南東の風であり、西北西の風が全体の26.0%、東南東の

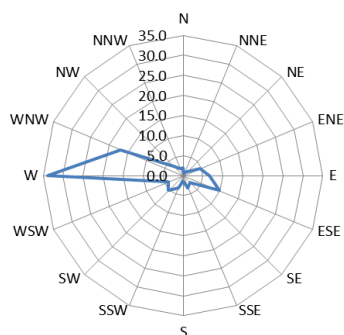
風が全体の9.4%を締めている。また、風軸（卓越風の方角を中心とした6方位）の出現率が72.0%となり、安定した風が吹いていることから風力発電に適していることが分かる。

表2 観測された風況データ（風速）

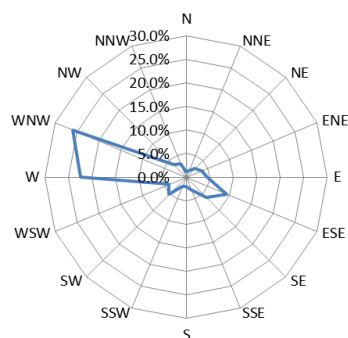
地上高	平均風速 (m/s)		
	4月	5月	全データ
50m	6.60	6.38	6.54
40m	6.15	5.95	6.09
30m	5.66	5.51	5.61



(a) 4月の風向



(b) 5月の風向



(c) 全データの風向（4, 5月）

図6 観測された風況データ（風向）

## 5. 設備利用率等の算出

### 5.1 模擬風車の仕様

観測されたデータを基に稼働率や設備利用率などを求めるため、NEDOの風力発電フィールドテスト事業(高所風況精査)マニュアルなどに示されている表3および図7の模擬風車を想定した。表3および図7に示すように、近年利用されるようになってきた3MW規模の風車および導入が検討されている7MW規模の風車も検討対象とした。

表3 模擬風車の仕様

	1MW風車	1.5MW風車	2MW風車	3MW風車	7MW風車
発電出力 (kW)	1,000	1,500	2,000	3,000	7,000
ハブ高さ (m)	60	60	65	105	105
カットイン風速 (m/s)	3.0	3.5	4.0	4.0	4.0
カットアウト風速 (m/s)	24.0	25.0	25.0	25.0	25.0

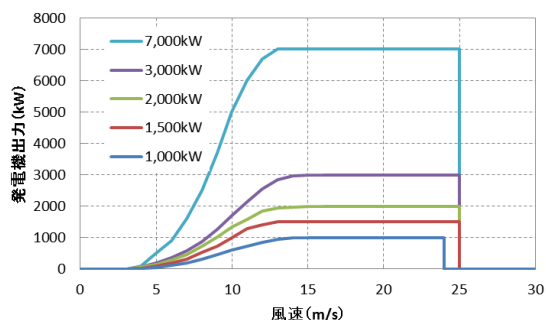


図7 模擬風車の出力曲線

### 5.2 風速の鉛直分布と推定

地表付近の風速は、図8に示されるように建物や森林などの地表との摩擦等に左右され、高度が上がるほど風速が高くなる。この風速の高度分布については、経験的に(4)式が成り立つことが知

られている。なお、(4) 式におけるべき指数 (n 値) は表 4 のようになると言われている。

$$V = V_1(z/z_1)^{1/n} \quad \dots (4)$$

ここで、 $V$  : 地上高 $z$ における風速

$V_1$  : 地上高 $z_1$ における風速

$n$  : 指数法則のべき指数 (n 値)

表 3 に示すように、想定している風車のハブ高さは観測地点の高さと異なるため、ハブ高さでの風速を推定する。(4) 式と実測データを用いて  $n$  値を最小二乗法により算出した結果を表 5 に示す。なお、観測データが少ないため、卓越風 (西北西と東南東) の風向においてのみ  $n$  値を算出している。この結果から、西北西は風上が図 9 に示すような林のため、2.657 と  $n$  値が小さくなり、鉛直方向の差が大きくなっていることが分かる。このことから最も出現率が高い西北西～西の風が高さによる影響を大きく受けることになり、建設する風車のハブ高さは高い方が有利と思われる。また、高度による風速の差が大きい場合にはブレードにかかる力が一定とならないため寿命を早める可能性があり、この影響を検討する必要がある。東南東は図 10 に示すように風上が砂浜および海のため  $n$  値は 14.474 となつてかなり大きく、高度による差がほとんど見られないことが示された。以上の結果を基に算出した  $n$  値の平均値を用いて模擬風車のハブ高さでの風速を推定した結果を表 6 に示す。

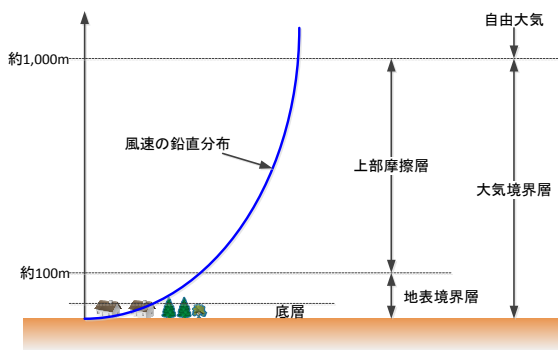


図 8 風速の鉛直分布

表 4 主な地表粗度

地表状態	n	1/n
海岸地方	7 ~ 10	0.10 ~ 0.14
草原	7 ~ 10	0.10 ~ 0.14
田園	4 ~ 6	0.17 ~ 0.25
市街地	2 ~ 4	0.25 ~ 0.50

表 5 観測地点での n 値

方角	n 値
西北西	2.657
東南東	14.474
平均	8.565



図 9 陸側の地形 (西側)



図 10 海側の地形 (東側)

表 6 ハブ高さでの風速の推定

地上高 (m)	平均風速 (m/s)	備考
105	7.13	3,000、7,000kW 風車対応推定値
65	6.74	2,000kW 風車対応推定値
60	6.68	1,000、1,500kW 風車対応推定値
50	6.54	元データ



### 5.3 稼働率

推定した風速と模擬風車のパラメータより、稼働率を計算した結果を表7に示す。NEDOの風況精査マニュアルによると45%以上が望ましいと言われており、いずれの風車においても大きく上回っていることが分かる。なお、稼働率はカットイン風速の影響を大きく受けるため、1,000kW風車が最も高くなっている。

表7 稼働率

	1,000kW 風車	1,500kW 風車	2,000kW 風車 3,000kW 風車 7,000kW 風車
稼働率 (%)	87.0	82.8	76.6

### 5.4 エネルギー取得量と設備利用率

推定した風速と模擬風車の出力曲線より、エネルギー取得量と設備利用率を計算した結果を表8に示す。内閣府のコスト等検証委員会によると、陸上風力発電の設備利用率は20%、洋上風力発電の設備利用率は30%とされている。表8の結果と比較してみると、2,000kW規模以上の風車ではこの値を超えているため、洋上風力発電の可能性が示された。特に、7,000kWは34.9%と高い設備利用率を示しており、発電容量が大きい風車が適当と思われる。

表8 エネルギー取得量と設備利用率

	エネルギー取得量 (kwh)	設備利用率 (%)
1MW 風車	132,605	26.5
1.5MW 風車	218,915	29.2
2MW 風車	304,440	30.4
3MW 風車	450,563	30.0
7MW 風車	1220,926	34.9

## 2. おわりに

青森県における洋上風力発電の可能性を検証するため、青森県六ヶ所村のむつ小川原港の南に建設された風況観測ポールを用いて風況観測を開始し、現在までに測定されたデータ(4~5月)を解析した。解析結果から、風向は風軸上の風が72.0%と非常に安定しており、設備利用率も2,000kWで30.4%、3,000kWで30.0%、7,000kWで34.9%と基準とされる値を超えたため洋上風力発電導入の可能性があるとと思われる。今後は、1年間の詳細な風況観測を行い、さらに詳細な洋上風力発電所建設の可能性を調査する。

最後に、風況データを提供して下さったむつ小川原港洋上風力開発株式会社のご支援に深く感謝の意を表します。特に、むつ小川原港洋上風力開発株式会社 附田匡善氏には本稿を纏めるにあたり、様々な情報を提供して頂きました。ここに感謝致します。

### 参考文献

- (1) NEDO, 「風力発電導入ガイドブック (2008年2月改訂第9版)」, 2008
- (2) NEDO, 「風況精査マニュアル(概要版)」, 1997
- (3) NEDO, 「風力発電フィールドテスト事業(高所風況精査)」, 2008
- (4) NEDO 局所風況マップ  
<http://app8.infoc.nedo.go.jp/nedo/index.html>
- (5) NRG 社, 「NRG SymphoniePLUS3 Data Logger Manual - Rev. 5.0」, 2012
- (6) 松坂知行, 鈴木和夫, 土谷安吉, 石岡省蔵, 「八戸港湾における沿岸と洋上の風況観測」, 第27回風力エネルギー利用シンポジウム, 2005
- (7) 松坂知行, 「八戸港湾における陸上と洋上の風況の同時観測」, 八戸工業大学異分野融合科学研究所紀要 4, 83-87, 2006
- (8) 松坂知行, 星文伸, 「青森県・八戸港湾における風力エネルギー賦存量の推定に関する研究」, 八戸工業大学異分野融合科学研究所紀要

3, 41-48, 2005

- (9) 小玉成人, 「階上岳における風力開発フィールドテスト事業 (風況精査)」, 2002