

港湾・沿岸域における風力発電の促進について

Promotion of Wind Power Generation in Ports and coastal area

小郷卓也*・成瀬英治**・吉田秀樹***

OGO Takuya, NARUSE Eiji and YOSHIDA Hideki

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** 前 (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第二調査部長

*** 国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所 所長

There is a great possibility to introduce wind power generation to ports and coastal area.

It is generally recognized that the cost of wind power generation in sea area is more expensive than land area. However, the sea wind is stronger than land wind. In addition, there is little issue of acoustic noise and so on. The wind power generation in sea area has many advantages and we should have to develop it.

This paper shows the procedure how to estimate the output of wind power generation and the cost.

Key Words : wind power generation, cost estimation

1. はじめに

世界の再生可能エネルギーの賦存量は太陽光が最も多く、続いて風力そして波力、バイオマス、水力と続く。太陽光によるエネルギー賦存量は非常に大きく、世界の消費エネルギーの 16,000 倍ものエネルギーを有している。

しかし、その利用方法を見ると、太陽熱、太陽電池などとして利用されているものの、太陽熱は温水として利用されることが多く、また太陽光発電は電気量あたりの単価が風力とくらべ割高であることや、太陽光のエネルギーは地表面に広く薄く分布するため効率面で限界がある。そこで、比較的安価であり、かつ太陽光の次に賦存量が大きい風力発電に期待がよせられている。

以上のような背景より、世界の風力発電設備容量は 90 年代後半から急激に増加し、2005 年度には世界で 59.2GW にまで達している(図-1 参照)。

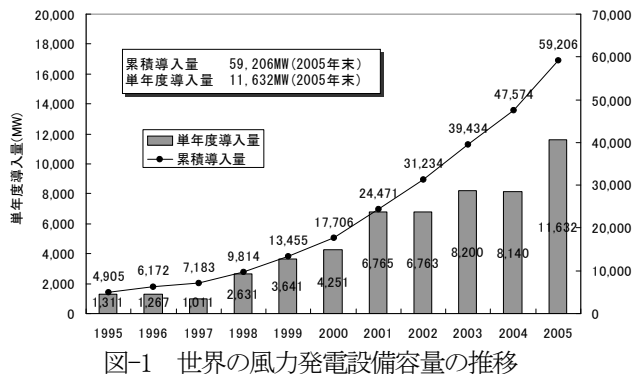


図-1 世界の風力発電設備容量の推移

一方、わが国の風力発電は 2010 年迄に 300 万 kW の導入を目標としている¹⁾が、2005 年度末時点で風力発電の容量は約 110 万 kW であり、目標を達成するためには今

後の急速な導入の促進が望まれる(図-2 参照)。

ここで、わが国の風力発電施設の導入はそのほとんどが陸上におけるもので、港湾・沿岸域における風力発電施設は、2006 年 3 月末の時点で、18 港湾に 66 基であり、風力発電設備容量は全体の約 9% にすぎない²⁾(図-3 参照)。

国土が狭いわが国においては、陸域での適地が少なくなってきたおり、風車の大型化に伴う陸上運搬の困難さ、さらには騒音問題などを考えると、風力発電施設の港湾・沿岸域への展開が期待されている。

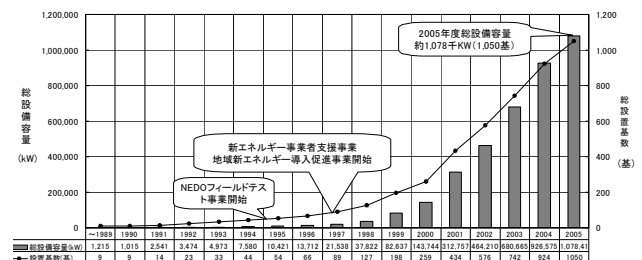


図-2 日本の風力発電設備容量

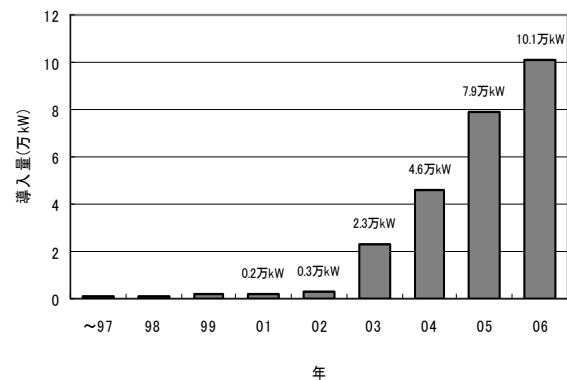


図-3 港湾・沿岸域における風力発電設備容量

こうした背景から(財)沿岸技術研究センターでは、沿岸・港湾域への風力発電施設の導入を促進するため、調査研究を進めてきた。

国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所から受託した本調査では、モデル港湾を設定し、風力発電施設の基本設計を行い、その結果をまとめた。

更に、港湾管理者を含む風力発電関係者が、風力発電設備を導入するための検討項目と手順を把握することができるよう、リーフレットを作成した。

2. 調査の概要

九州の港湾・沿岸域での風力発電施設の導入実績は北九州のみであるが、安定した強い風と広いスペースを有する九州の港湾・沿岸域での風力発電には大きな可能性があると言える。そこで、九州管内でモデル港湾を選定してケーススタディを実施し、港湾・沿岸域への風力発電施設の導入活用方策について検討を行った。

2.1 モデル港湾の設定

年平均風速が概ね6m/s程度得られることなどを条件として、モデル港湾を設定した。モデル港湾は複数設定したが、本稿ではこのうち、あるモデル港湾(年平均風速、約7m/s)における設計例について示す。

洋上風車の建設位置における土質などの条件は、水深5m程度、N値10程度を有する砂質土として設計を実施した。また同時にモデル港湾に近接する緑地を想定し、同等の地盤条件で陸上風車を設計し、両者の比較検討をした。

2.2 概略検討

モデル港湾の現況を整理するにあたり、以下の項目について調査を実施した。

(1) 港湾施設の整備状況

- ① 上屋
- ② 倉庫
- ③ 荷役機械
- ④ 福利厚生施設
- ⑤ 臨港交通施設

(2) 各種指定状況

- ① 漁業権
- ② 自然条件
- ③ 鳥獣保護区等

(3) 風況状況

- ① 風向・風速別出現回数
- ② 過去の年最大風速
- ③ 高度別・季節別年平均風速

(4) 地質状況

- ① ボーリング調査位置
- ② ボーリング柱状図

(5) 波浪状況

- ① 通常時
- ② 異常時
- ③ 港内静穏度検討結果(港湾計画資料)

2.3 消費電力量の算定

消費電力量は、モデル港湾域内の主要な施設に電力を供給するものとして算定した。港湾域内の主要施設の数量は、港湾計画資料やヒアリングに基づいて定めたものである。この施設の数量に、各施設における消費電力量(定格出力の50%)を乗じることにより、港湾域内における消費電力量とした。なお、各施設における消費電力量は、その施設の種別や季節によって時々刻々変化するため正確に把握することは困難である。そこで、ここでは、各施設の定格出力の50%を消費電力量と仮定することとした。

表-1にモデル港における港湾域内の主な施設名を示す。

表-1 港湾域内の主な施設

施設名	機器、機械名
荷捌き施設	コンテナクレーン
	アンローダー
	リーフアコンセント
	C F S
	メンテナンスショップ
	管理棟・ゲートハウス
係留施設	照明
臨港交通施設	照明
旅客施設	空調・照明
保管施設	空調・照明
港湾厚生施設等	空調・照明
港湾環境整備施設	照明(緑地用)

2.4 風況データ

本調査で利用したNEDO風況マップデータ¹⁾は2000年を対象とした年間の風況シミュレーション結果によるデータである。2000年の全国の風況は過去20年間のデータと比較して特異な年ではないと判断されたため、2000年のデータを用いてシミュレーションを実施した。

2.5 風車の選定

発電量の推定に用いる風車の選定にあたっては、国内で設置実績があり、出荷台数が多い機種として、1,000～2,000kWのものを選定した。選定した風車機種を表-2に示

す。また、その風車の定格出力別パワーカーブを図-4に示す。

表-2 設定した風車機種

定格出力 (kW)	機種	カット イン (m/s)	カット アウト (m/s)	国内での設置例
1,000	三菱重工 MWT-1000A	3.0	25	釜石広域ウィンドファーム(42基):岩手県釜石市
1,500	GE Wind Energy 社 1.5s	4.0	25	エヌエスウィンドパワーひびき(10基):福岡県北九州市
2,000	Vestas 社 V80-2.0 MW	4.0	25	サミットウィンドパワー酒田(8基):山形県酒田市

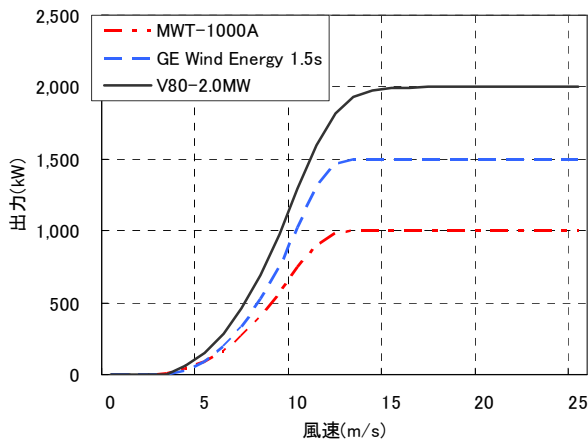


図-4 定格出力別パワーカーブ

2.6 年間推定発電量

風速の確率密度関数は、一般にワイブル分布が用いられるが、ここでは簡便の為、形状係数を2としたレーリー分布とした。

風速Vの確率密度関数は式(1)で表される。

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left\{ - \left(\frac{V}{c} \right)^k \right\}$$

$$= \frac{\pi}{2} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right) \exp \left\{ - \frac{\pi}{4} \left(\frac{V}{\bar{V}} \right)^2 \right\} \cdots (1)$$

ここに、

c: 尺度係数

k: 形状係数 (=2)

$$\bar{V} : \text{平均風速} \quad \left(= c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) = \frac{c}{2} \sqrt{\pi} \right)$$

Γ : ガンマ関数

また、年間発電量は式(2)で算定される。

$$\text{年間発電量(kWh)} = \sum (P(V) \times f(V) \times \text{年間総時間}) \cdots (2)$$

P(V): 風速Vの発電出力(kW) (パワーカーブ)

f(V): 風速Vの確率密度関数

以上より求めた、出力別の年間発電量を図-5に示す。

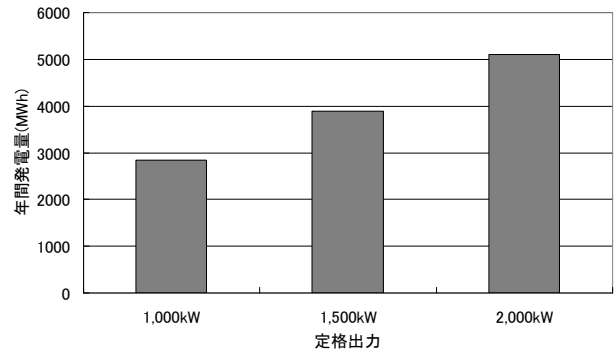


図-5 定格出力別の年間発電量

2.7 年間設備利用率

年間設備利用率は式(3)により算出される。

$$\text{年間設備利用率(\%)} =$$

$$(\text{正味年間発電量}) / (\text{定格出力} \times \text{年間総時間}) \cdots (3)$$

表-3に風車の定格出力別の年間発電量および年間設備利用率を示す。風車の機種による違いとして、1,000kW機の年間設備利用率がやや大きく、1,500kW機および2,000kW機は、ほぼ同等となる結果となった。これは1,000kW機のカットイン風速が1,500kWおよび2,000kW機に比べて若干低いことに起因すると考えられる。

表-3 年間設備利用率

定格出力	年間発電量 (MWh)	年間設備利用率 (%)
1,000kW	2,845	32
1,500kW	3,892	29.5
2,000kW	5,105	29

また、風力発電事業の採算性においては、年間設備利用率が20%を超えることがひとつの目安(風力発電導入ガイドブック、NEDO:(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構)と言われているが、検討の結果、全ての機種について20%を超えることが確認できた。

2.8 風車の設置基数の算定

風車の設置基数は消費電力量と年間発電量の関係から、表-4に示すように算定した。

風車により発電された電力は、港湾域内の主要施設のみには供給するものと設定し、港湾・背後圏等への売電は考慮していないため、必要基数が少なく算定されている。

表-4 風車の設置基数

定格出力	1,000kW	1,500kW	2,000kW
①年間発電量(MWh)	2,845	3,892	5,105
②消費電力量* (定格の50%)	1,227 MWh		
必要基数(②/①)	0.4基	0.3基	0.2基

*港湾域内の主な施設の定格消費電力の50%

2.9 基礎構造の選定(陸上, 洋上)³⁾

(1) 陸上設置

基礎構造の選定に際して、杭式、直接基礎式などの構造形式が考えられるが、本モデル港湾では、沖積層が厚く堆積しているため、直接基礎式では基礎自体を大規模にするか、地盤改良を施す必要があり、経済性に劣る。また比較的条件の悪い箇所においてはケーソン式基礎の適用も考えられるが、ケーソン式基礎は複雑なコンクリート構造物を地中内に造成するため、基礎本体の価格が高く、経済性に劣る。

そこで、今回、陸上における風車基礎は、組杭式基礎を標準的な構造形式として設定した。

(2) 洋上設置

洋上設置の場合の風車基礎の構造形式を図-6に示すとともに、各形式の特徴を以下に示す。

①モノパイル式基礎

風車基礎としてヨーロッパでは、比較的多く採用されている構造形式であり、シンプルな構造である。沖積層が堆積している場所では有利となるが、モノパイル自体が大口径となるため、特殊専用船を用いた杭打設となる。

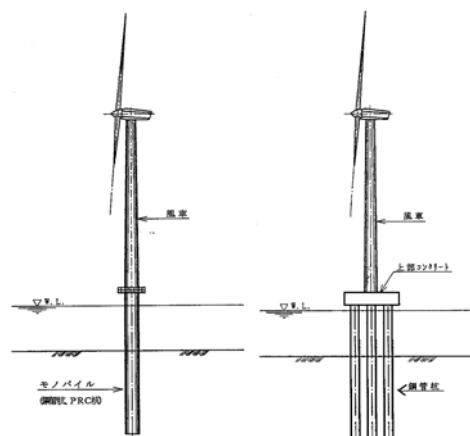
②組杭式基礎

陸上風車基礎として多く採用されている構造形式である。沖積層が厚く堆積し、支持地盤が深い場合には経済性で有利になり易い。また、施工実績も多く、施工性の問題は少ない。

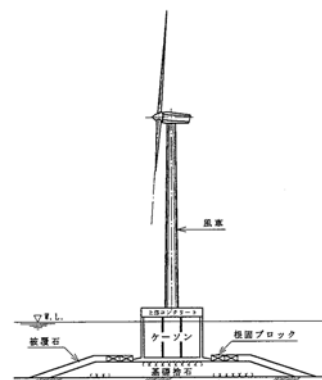
③ケーソン式基礎

基礎地盤が比較的浅い場合に採用される基礎構造形式である。沖積層が粘性土の場合は、圧密沈下対策あるいは地盤の安定上から、地盤改良が必要になることが多い。地表付近に岩盤などの基盤が露頭している場合には、多く採用される基礎構造形式である。

上記①～③の各々の基礎構造形式を適用した場合の概算工事費を比較検討した。その結果、③ケーソン式が最も建設コストが安価となったため、洋上における風力基礎はケーソン式基礎を標準的な基礎構造形式と設定した。



①モノパイル式基礎 ②組杭式基礎



③ケーソン式基礎

図-6 洋上設置の場合の風車基礎の構造形式

2.10 助成制度

風力発電導入に関する助成制度としては、表-5に示すものがある。

表-5 風力発電導入に関する助成制度

項 目	助 成 制 度	補助金交付先	助 成 内 容	実施 機関 窓口
計画策定	地域新エネルギー ビジョン策定等事 業	地方公共団体 地方公共団体の 出資に係る法人	定額補助 (謝金、旅費、庁費)	NEDO
事前調査	風力発電フィール ドテスト事業 (風況精査、運転研 究)	民間企業 各種団体等	1/2 相当額	NEDO
設備設置	地域新エネルギー 導入促進事業	地方公共団体	導入事業 ・補助率 1/2×0.9 以内等 普及啓発 ・定額	NEDO
		非営利民間団体	補助率 1/2 以内	

融 資	新エネルギー事業者支援対策事業	民間企業等	補助事業 ・補助率 1/3×0.8 以内等	経 済 産 業 省
			債務保証 ・対象債務の 90%等	NEDO
	地方公共団体率先対策補助事業	地方公共団体	補助率 1/2 普及啓発 ・定額補助(限度 2 千万円)	環 境 省／都 道 府 県
	地域協議会対策促進事業	地方公共団体 地域協議会等	補助率 1/2 または 1/3	環 境 省／地 方 公 共 団 体
	地域エネルギー開発利用発電事業普及促進融資	地方公共団体 民間団体	4 億円以下 利子補給率 3%以内	NEF
	風 力 発 電 (出 力 1,200kW 以上) 整備事業	事業者	政策金利Ⅰ(平成 18 年度末までに限り政策金利Ⅱ)	日 本 政 策 投 資 銀 行

各種助成制度を最大限利用するとして、NEDO、NEF(財新エネルギー財団)の助成制度を仮に適用できた場合、おおよそ半分程度の補助を受けることが可能となる(表-6の黄色部分)。ただし、本調査における発電コストの算出では、将来、助成制度がなくなる可能性もあると考え、助成金によるコスト低減分は考慮していない。

2.11 発電コスト

以上のモデル港湾の検討結果を基に、17 年間の耐用年数と 4%の金利を考慮して、発電コストを算出した結果を表-6 に示す¹⁾。

表-6 発電コスト(円/kWh)

風車規模	洋上設置 (ケーソン基礎)	陸上設置 (組杭式基礎)
1,000 kW	16.7	15.5
1,500 kW	13.2	11.8
2,000 kW	10.9	9.5

2,000kW 風車の場合の風力発電コストは、洋上設置で 10.9 円/kWh、陸上設置で 9.5 円/kWh となった。

事業採算性の目安として、電力会社との取引価格を下回ることが条件の一つであるが、平成 16 年度の取引価格実績は 11.6 円/kWh であり、今回の調査の結果、2,000kW 風車の場合には、陸上設置の場合だけでなく、洋上設置の場合にも採算可能であることがわかった。

3. 調査の成果

九州管内におけるモデル港湾を設定し、風力発電施設の導入の可能性を調査した。

発電コストを低減させるには、定格出力の大きい風車を用い、かつ、良好な風況であることが重要である。

また、港湾・沿岸域に風力発電施設の導入を進めるには、発電量を上回る需要(消費するための港湾域の背後施設)が必要であり、こうした施設の有無も十分に考えた上で設置場所を含めた検討を行う必要がある。

なお、本調査の結果をとりまとめ、港湾・沿岸域における風力発電施設の導入を促進するためのリーフレットを作成した。

4. 今後の課題

個別の港湾や沿岸域において、風力発電設備の導入を検討する際には、現地の条件や制約などを十分検討する必要がある。

また、助成制度は複数の機関により実施されているが、毎年制度が変わる可能性があるため、入念な事前の調査が必要である。

5. おわりに

本稿は下関港湾空港技術調査事務所発注の自然エネルギー活用促進検討調査の概要を述べたものである。作成したリーフレットが、風力発電導入への積極的な取り組みに役立てば幸いです。

最後に、本調査の活動や成果をまとめるにあたり、積極的なご協力・アドバイスを下関港湾空港技術調査事務所より戴きました。皆様に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構ホームページ
- 2) 国土交通省港湾局振興課ホームページ
- 3) 港湾・沿岸域における風力発電推進シンポジウム資料、2005. 7. 19

