

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

松坂知行*・星文伸**

Wind Energy Resource Estimation at Hachinohe Gulf in AOMORI Prefecture

Tomoyuki MATSUZAKA* and Fuminobu HOSHI**

Abstract

This paper treats wind energy estimation for wind turbine generation at Hachinohe Gulf in Aomori Prefecture. The authors observed wind speeds and directions using an anemometer at Hachinohe Gulf from 2003 Nov. to 2004 Oct., and made an analysis on wind climate on this site. This paper reports possibility of wind turbine generation at Hachinohe Gulf area based on the analysis.

Key words: wind resource estimation, wind turbine generation

1. ま え が き

風力エネルギーは環境を汚染せず、資源が枯渇しないという観点から、EU 諸国、米国で盛んに導入されている。AWEA (米国風力エネルギー協会) の統計によれば、2003 年末の導入設備容量は、ドイツ 14,609 Mw, 米国 6,374 Mw, スペイン 6,202 Mw, デンマーク 3,110 Mw, インド 2,110 Mw, オランダ 912 Mw, イタリア 904 Mw, 日本 686 Mw, 中国 568 Mw などとなっている。青森県・八戸地域においても、地域の自然エネルギーの利用促進を目指すため、2002 年 8 月に洋上風力発電研究会が発足した。また、その活動の一環として、2003 年 11 月八戸港ポートアイランドで風況観測を開始し、2004 年 10 月、1 年間の観測が終了した。そこで、この観測結果を整理し、風力発電の導入のための風況解析を行ったので報告する。

2. 八戸港湾の風況観測

図 1 に示すような風況観測塔をポートアイランドに設置した。観測塔の最大の高さは 40 m であり、地上高 20 m, 40 m に風向・風速計, 30 m に風速計を設置している。

また、図 2 は観測塔の根元近くに設けられたデータ記憶用のメモリチップの収容箱である。観測された風況データはこのメモリに記憶され、月に一度交換する。図 3 は風向・風速計の設置場所である。風況観測塔は、最終的には、八戸港ポートアイランドと中央防波堤の 2 箇所を設置したが、本稿で述べるものは、八戸港ポートアイランドで観測された風況データによるものである。なお、

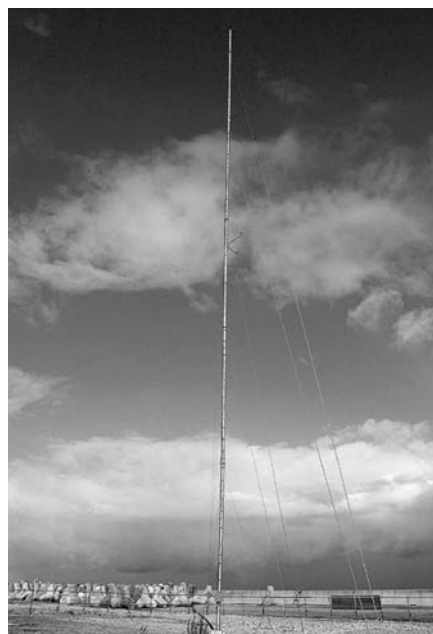


図 1 風況観測塔



図 2 データ記憶用チップの収容箱

平成 15 年 12 月 20 日受理

* システム情報工学科・教授

** 電気電子専攻・大学院学生

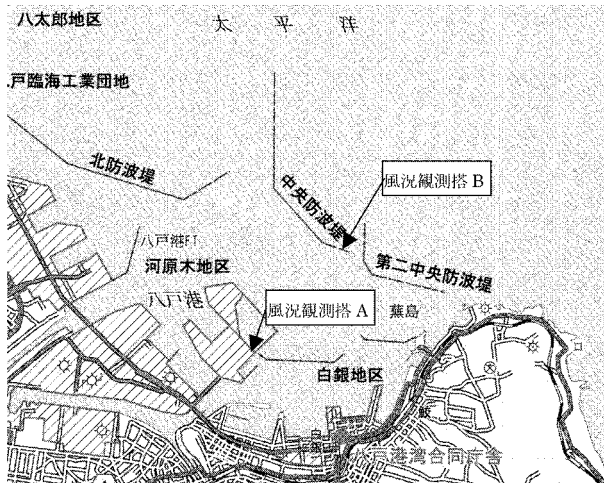


図3 風向・風速計の設置場所

中央防波堤で取得された風況データについては別稿で報告する。

3. 八戸港における風況

つぎに得られた風況データについて述べる。

3.1 平均風速

図4は地上高20m, 30m, 40mにおける月毎の平均風速である。また、図5は、地上高による風速のベキ乗則を決める定数で、以下のように定義され、 n 値と呼ばれている。

通常、風速と地上高の関係は指数則に従うことが知られており、以下のように表される。

$$V_H / V_0 = (H / H_0)^{1/n} \quad (1)$$

H : 高さ H_0 : 基準となる高さ
 V_H : 高さ H での風速 V_0 : 高さ H_0 での風速

n 値は観測月によって多少変動する。図5は月毎の n 値を示す。図5の n 値は、地上高20mと30m間および、30mと40m間の月毎の平均値をとったものである。つぎに、月毎の n 値を用いて、風力発電が実現されると想定される地上高60m, 70m, 80mにおける風速を推定した。図6は、地上高60m, 70m, 80mにおける月毎の推定平均風速を示す。また、表1は地上高20m, 30m, 40mにおける実観測データの年間平均値、地上高60m, 70m, 80mにおける推定年間平均風速を示す。

風力発電を実現するために必要な年間平均風速は6(m/s)と云われているので、表1から地上高60m以上の高さが必要である。

3.2 最大風速および最大瞬間風速

図7はポートアイランドの最大風速、図8は最大瞬間風速を示す。ここで、最大瞬間風速とは、10分間の平均

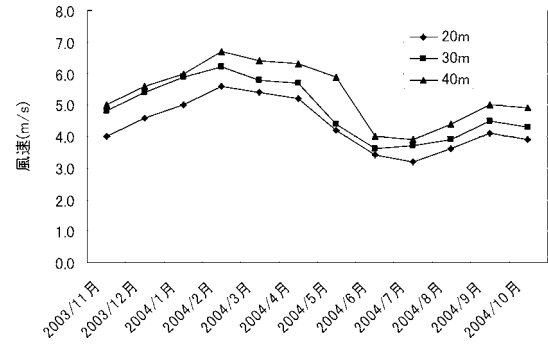


図4 月毎の平均風速

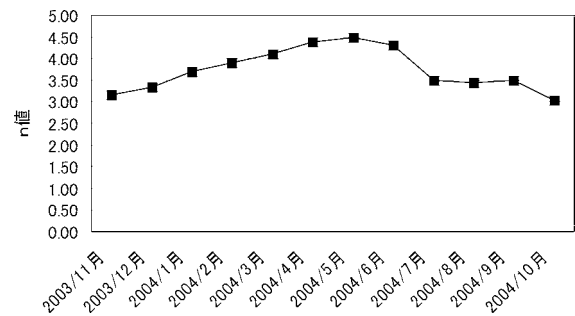


図5 月毎の n 値

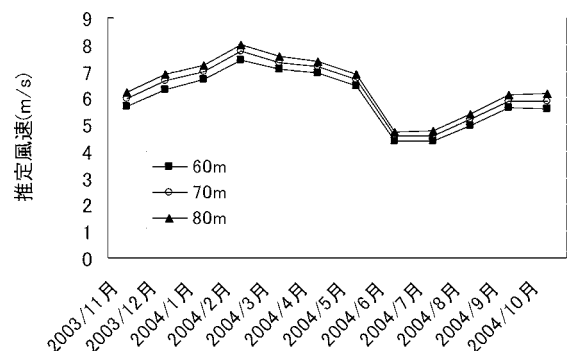


図6 月毎の推定風速

表1 年間平均風速

	地上高					
	20m	30m	40m	60m	70m	80m
平均風速 (m/s)	4.4	4.9	5.3	6.0	6.2	6.4

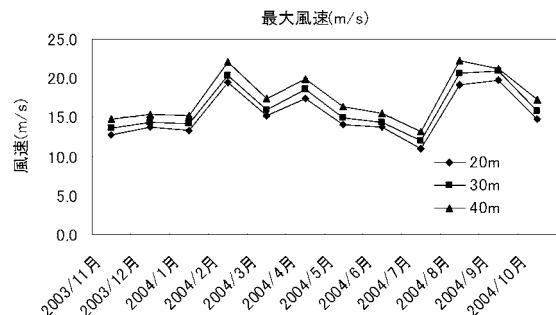


図7 最大風速

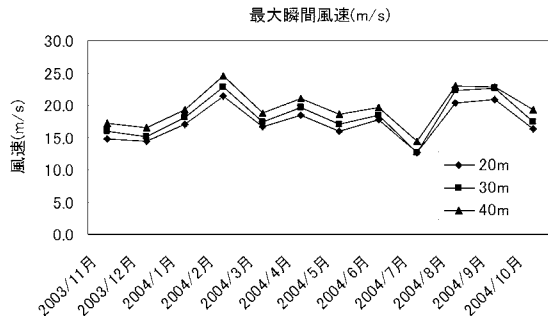


図8 最大瞬間風速

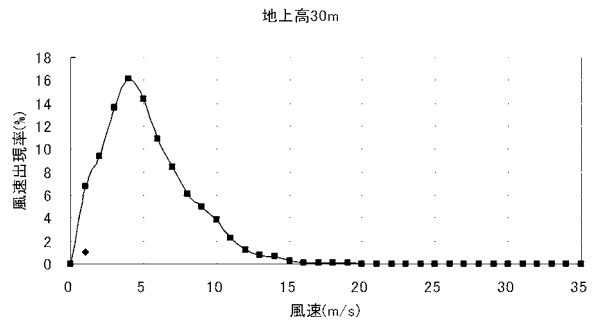


図11 風速出現率

風速の最大値を意味し、最大風速とは1時間の平均風速の最大値である。8月、9月の最大風速、最大瞬間風速が高い理由は、この時期に台風が多かったためである。

3.3 風速出現率と累積分布

図9は、地上高40mの風速の階級 $V_{i-1} \leq V < V_i$ における風速の年間出現率、また、図10は累積分布 $F(V \leq V_i)$ を示す。 $F(V \leq V_i)$ は以下のように定義される。

$$F(V \leq V_i) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{V_i}{c}\right)^k\right) \quad (2)$$

ここで

c : 尺度定数 k : 形状定数

(2) 式はワイブル分布関数と呼ばれる関数で、風速はこの関数に従って分布することが知られており、形状定数 k は0.8~2.2程度である。また、図11、図13は地上高30m、20mにおける風速出現率、図12、図14は累積分布

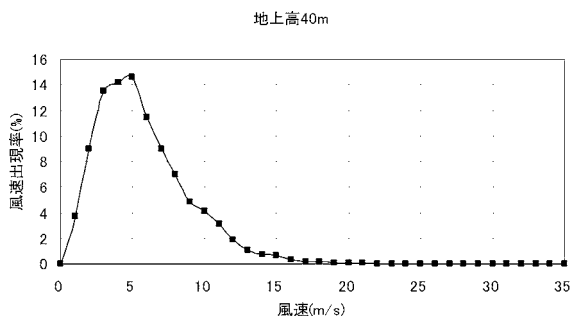


図9 風速出現率

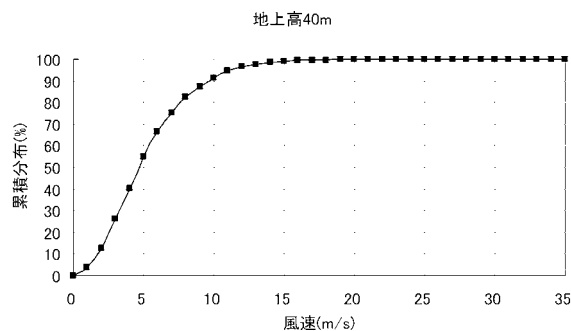


図10 風速の累積分布

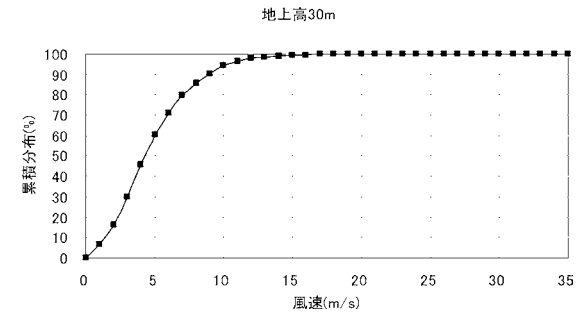


図12 風速の累積分布

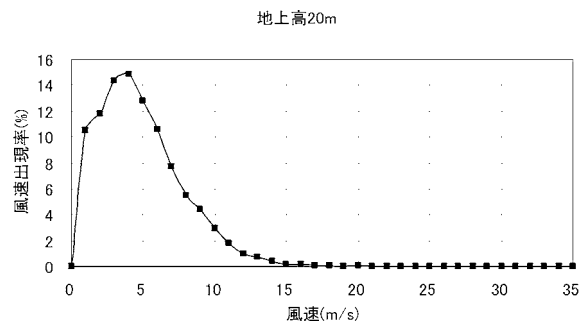


図13 風速出現率

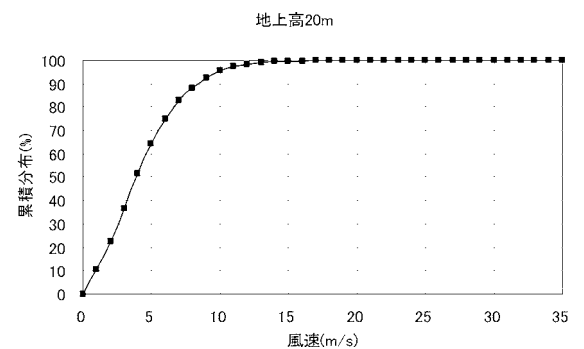


図14 風速の累積分布

表2 尺度定数, 形状定数

	地上高		
	20m	30m	40m
尺度定数c	4.6	5.2	6.0
形状定数k	1.66	1.61	1.83

を示す。尺度定数 c 、形状定数 k は累積分布をワイブル確率紙上にプロットすることにより求めることができる。表2はこのようにして求めた尺度定数、形状定数を示す。形状定数 k は0.8~2.2の範囲に入っているのが妥当な値である。尺度定数 c は平均風速に相当するが、実際の風速は正確にワイブル分布に従うとは限らない。このため、実際に観測された平均風速より若干高めになっている。

4. 風向分布

図15、図16は、2003年11月~2004年10月における、

地上高40mと20mの月毎の風向分布を示す。大きく分けると

(1) 11月~3月

西高東低の気圧配置により風は日本海側から吹き、主風向は西南西~南南西で安定している。

(2) 4月~9月

気温が高くなり、海水の温度が上がるにつれて、南西と東~東南東の2つの風向成分が現れる。

図17は年間を通した風向分布である。年間最多風向はSW(出現率17.3%)であり、次いでWSW(15.5%), SSW(11.6%), W(9.7%)の順に多い。これらを合計すると54(%)に達し、南西から西にかけて吹く風が多い。これ

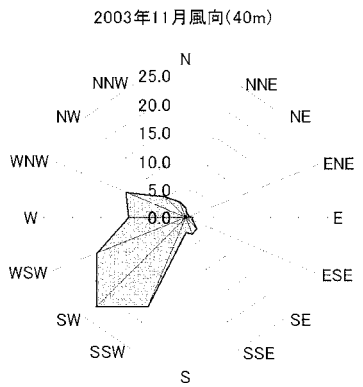


図15(a) 地上高40mの風向

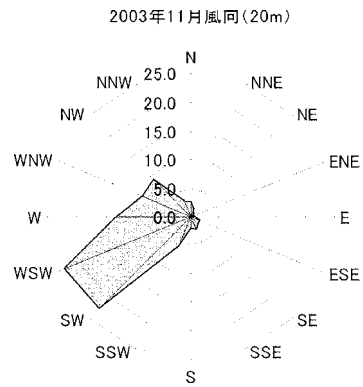


図16(a) 地上高20mの風向

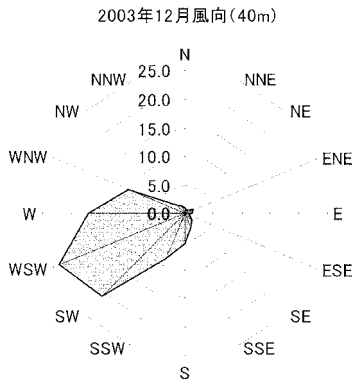


図15(b) 地上高40mの風向

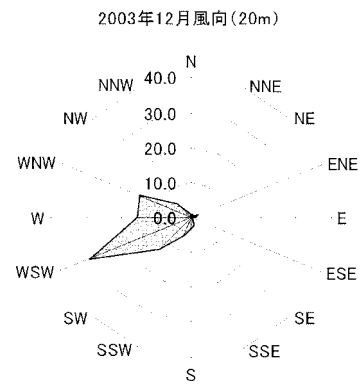


図16(b) 地上高20mの風向

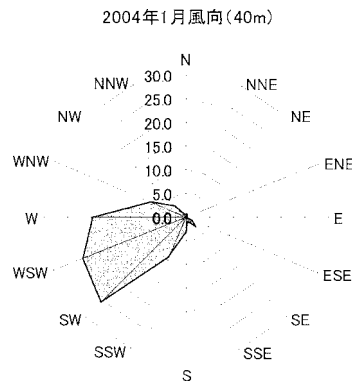


図15(c) 地上高40mの風向

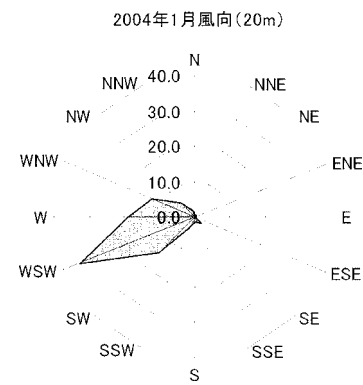


図16(c) 地上高20mの風向

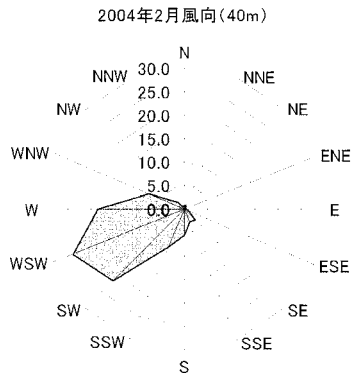


図 15(d) 地上高 40 m の風向

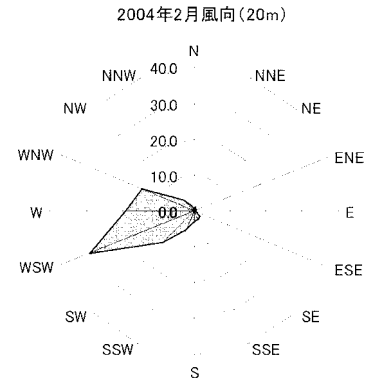


図 16(d) 地上高 20 m の風向

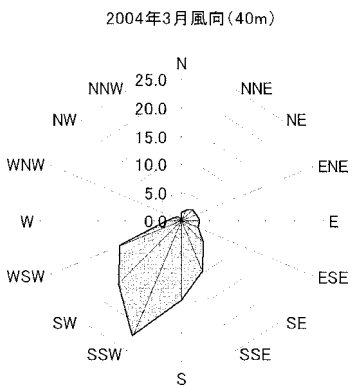


図 15(e) 地上高 40 m の風向

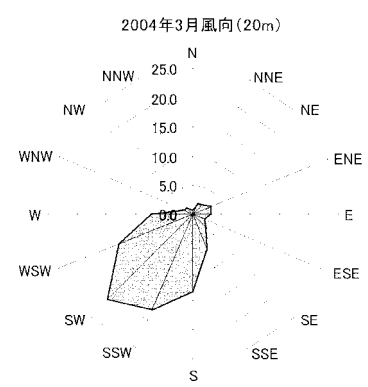


図 16(e) 地上高 20 m の風向

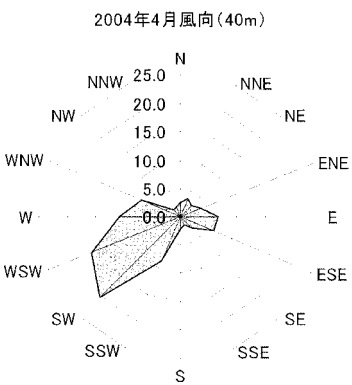


図 15(f) 地上高 40 m の風向

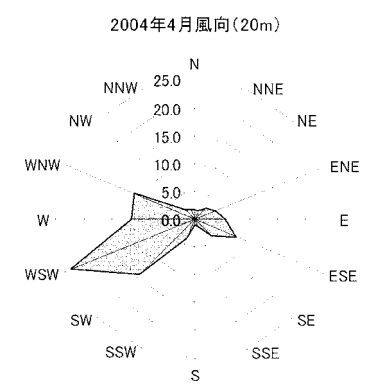


図 16(f) 地上高 20 m の風向

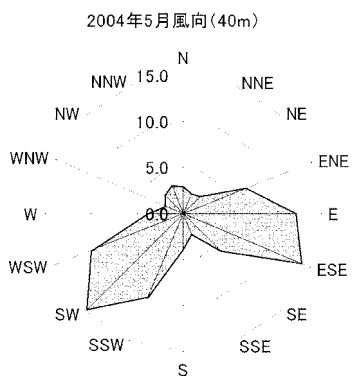


図 15(g) 地上高 40 m の風向

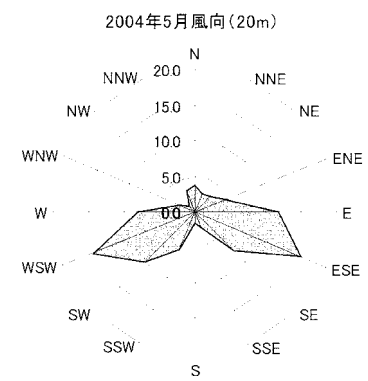


図 16(g) 地上高 20 m の風向

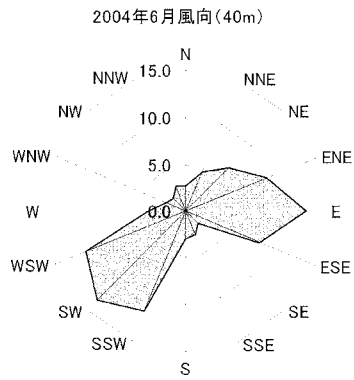


図 15(h) 地上高 40 m の風向

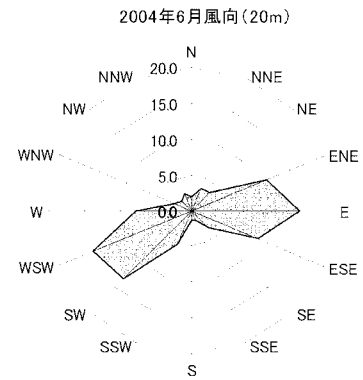


図 16(h) 地上高 20 m の風向

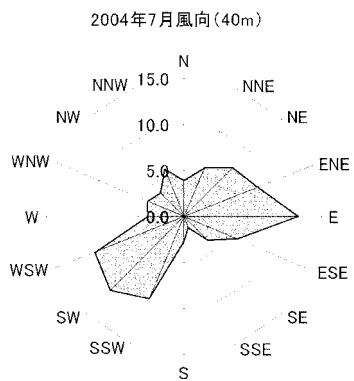


図 15(i) 地上高 40 m の風向

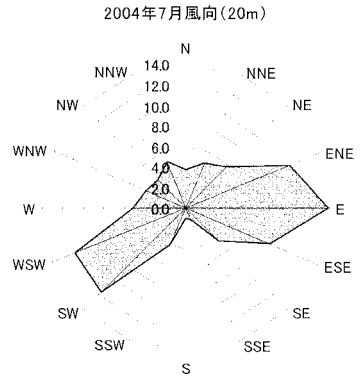


図 16(i) 地上高 20 m の風向

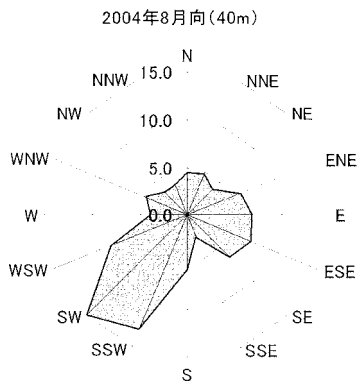


図 15(j) 地上高 40 m の風向

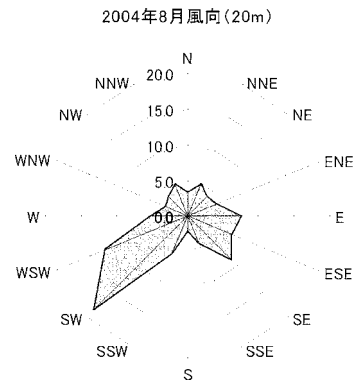


図 16(j) 地上高 20 m の風向

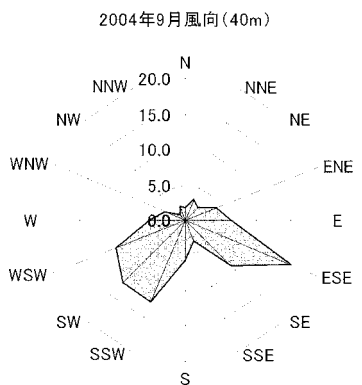


図 15(k) 地上高 40 m の風向

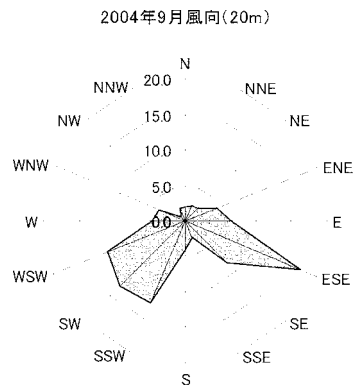


図 16(k) 地上高 20 m の風向

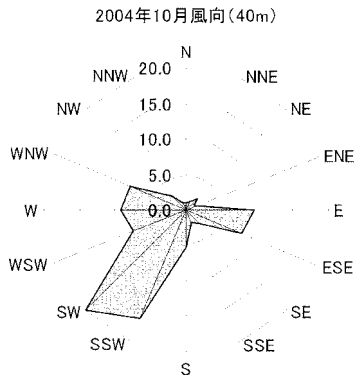


図 15(l) 地上高 40 m の風向

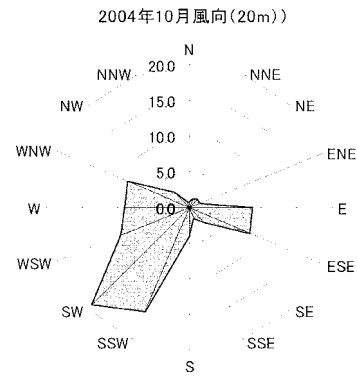


図 16(l) 地上高 20 m の風向

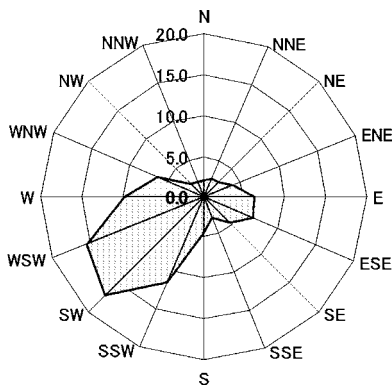


図 17 年間の風向

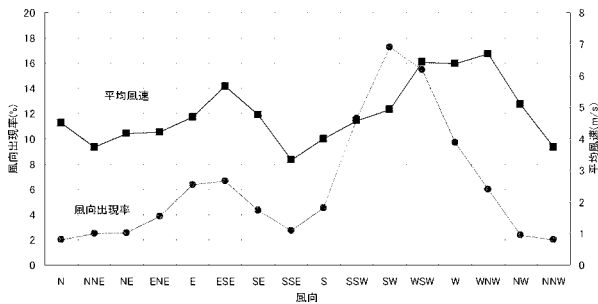


図 18 風向出現率と平均風速

らはすべて陸地から吹く風である。風軸を SW-NE 方向にとると、SW, WSW, SSW は風軸上の風となり、風軸上の占める割合は 44.3(%) である。NEDO の風況精査マニュアルによると、風軸上の年間風向出現率は 60(%) 以上であれば安定していると評価できると記されている。したがって当該地区の風向は、不安定であると言える。

図 18 は風向出現率と平均風速を示す。この図より、平均風速の高いのは WNW (6.70 m/s), WSW (6.42 m/s), W (6.38 m/s) の順になる。

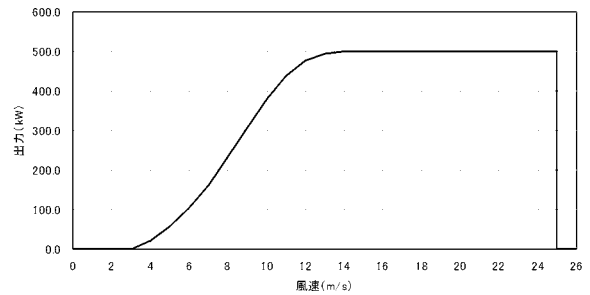


図 19(a) 500 kW 風車

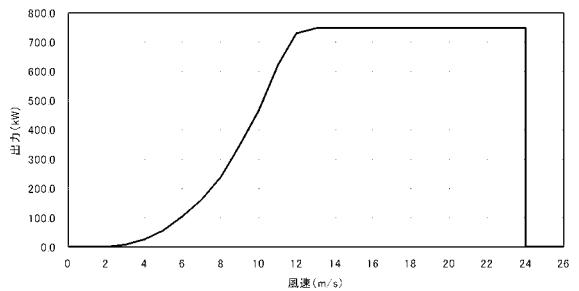


図 19(b) 750 kW 風車

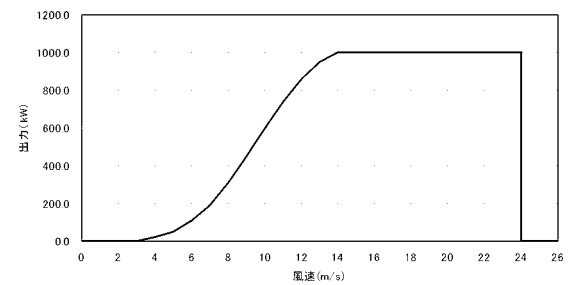


図 19(c) 1,000 kW 風車

図 19 各風車の出力曲線

5. 風車の稼働率と設備利用率

2003 年 11 月～2004 年 10 月までの風速データを用いて、風車の稼働率と設備利用率を計算した。風車は、NEDO の基準に従い、500 kW, 750 kW, 1,000 kW の 3

表3 想定した風車

風車規模	カットイン風速	カットアウト風速	ハブの高さ
500kW	4(m/s)	25(m/s)	39m
750kW	3(m/s)	24(m/s)	50m
1000kW	3(m/s)	24(m/s)	60m

ポートアイランドの風車稼働率(%)

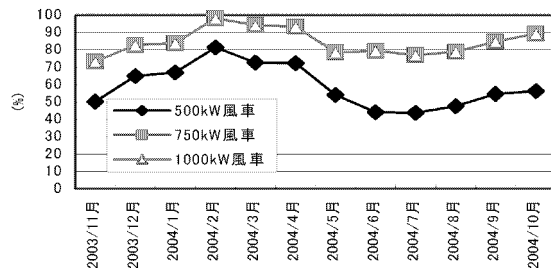


図20 稼働率

種類を想定した。この風車の出力曲線を図19に示す。また、表3は、3風車の仕様を示す。また、実測値を用いた各風車の稼働率を図20、設備利用率(%)を図21に示す。ここで、稼働率、設備利用率は以下のように定義される。

稼働率：

カットイン風速以上の風速出現率

ーカットアウト風速以上の風速出現率

設備利用率：

エネルギー取得量/(風車の定格出力×運転時間)×100

表4は年間を通した風車の稼働率と設備利用率である。NEDOの風況精査マニュアルによると年間稼働率は45(%)以上、年間設備利用率は17(%)以上と記されているので、500kW風車だけがこの基準を満たしている。

6. ま と め

以上、八戸港ポートアイランドの風況観測結果について述べた。内容をまとめると

- (1) 地上高20m, 30m, 40mの平均風速風速は、4.4(m/s), 4.9(m/s), 5.3(m/s)となった。
- (2) これらの観測値から高度方向のベキ乗数 n 値を

ポートアイランドの風車設備利用率(%)

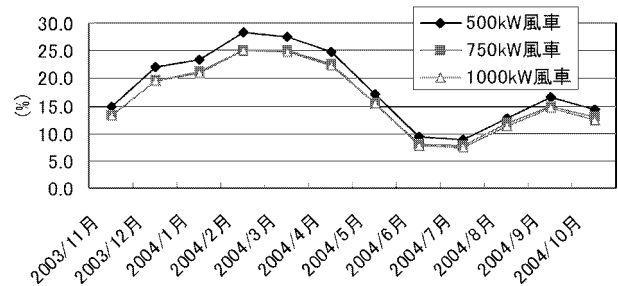


図21 設備利用率

表4 稼働率と設備利用率

風車規模	500kW	750kW	1000kW
稼働率(%)	59	84.5	84.5
設備利用率(%)	18.3	16.4	16.2

求め、地上高60m, 70m, 80mの風速を推定した結果、それぞれ6.0(m/s), 6.2(m/s), 6.4(m/s)となった。

(3) 風向は、WSW(15.5%), SSW(11.6%), W(9.7%)の順に多く、陸からの風が多い。

(4) 500kW, 750kW, 1,000kWの3種類の風車について、稼働率を計算した結果、それぞれ、59.0(%)、84.5(%)、84.5(%)となり、NEDOの基準を満たしていることが分かった。

(5) 500kW, 750kW, 1,000kWの3種類の風車について、設備利用率を計算した結果、それぞれ、18.3(%)、16.4(%)、16.2(%)となり、500kW風車だけがNEDO基準を満たしている。

なお、風況解析では風の乱れも重要であるが、これに関しては、本稿では省略した。後日改めて別稿で報告する予定である。

参考文献

- 1) NEDO 風況精査マニュアル
- 2) 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), 平成14年10月
- 3) 牛山 泉編, 風力エネルギー読本, オーム社