

鳥取砂丘における風力発電の可能性に関する調査研究

若 良 二*¹, 林 農*², 原 豊*², 劉 薇*¹

Research on the Possibility of Wind Power Generation in Tottori Sand Dune

Ryoji WAKA*¹, Tsutomu HAYASHI*², Yutaka HARA*², Bi RYUU*¹

キーワード：風力エネルギー，発電，鳥取砂丘，風況特性

Key Words: Wind Energy, Power Generation, Tottori Sand Dune, Wind Characteristics

1. はじめに

現在，世界で主に使われているエネルギー資源は，石油，石炭，天然ガス，ウランなどである。しかし，このようなエネルギー供給における化石燃料への過度な依存は二酸化炭素の多量の排出をもたらし，地球温暖化，大気汚染などによる地球環境への悪影響が深刻な問題となっている。このような状況の下，風力エネルギーや太陽エネルギーなどに代表される環境に優しく無尽蔵で再生可能な自然エネルギーの利用が強く求められている。

この内，風力エネルギーは，古くから風車，帆船等の動力源として利用されてきたクリーンで枯渇しない，地域自給型のエネルギーであるため，今後の利用・開発が大いに期待されている。このような地域自給型であるという特性は，近くに商業用送電設備を有しない地域や局所的に電力需要が望まれる地域にとってはきわめて有力なエネルギー資源となり得る。しかしながら，風力エネルギーを電力として取り出すための風力発電は，太陽光発電と同様にエネルギー密度が小さい上，気象条件に左右され不安定であるなどの問題を抱えてはいるが，潜在的にみればエネルギー賦存量は大きく，安全で，資源の枯渇や環境汚染物質の排出の心配がないなど，多くの利点を有している。

本研究では，農業用及び観光地として利用・開発が進む鳥取砂丘を対象に，必要な電力エネルギーの一部を風力エネルギーで賄うことを想定し，鳥取砂丘における風況精査を行い，風力発電の可能性について検討を行った。

*¹ 地域設計学講座

*² 鳥取大学工学部応用数理工学科

2. 調査目的

本調査は鳥取県鳥取市「全国共同利用施設 鳥取大学乾燥地研究センター」敷地内の日本海沿いの砂丘地において風況精査を行い、まず鳥取砂丘地における風況特性を明らかにするとともに、風力発電にとって重要なパラメーターである風力エネルギー密度を算定する。次に、この結果に基づき、現在一般的に使用されている代表的な風車を設置すると仮定した場合について風力エネルギー取得量及び設備利用率や稼働率を推定することにより、鳥取砂丘における風力発電開発の可能性について総合的に評価することを目的としている。

3. 風況観測内容

鳥取砂丘における風況特性を明らかにするため、「鳥取大学乾燥地研究センター」敷地内の砂丘地に風況観測機器を設置し、地上高10mにおける風況データ（風速及び風向）を取得した。

3. 1. 観測地点

観測地点を図1に示すとともに、住所及び緯度、経度を以下に示す。

- ①住所： 鳥取県鳥取市浜坂 1390番地
- ②緯度，経度： 北緯 35度30分， 東経 134度15分
- ③海拔高度： 約20～30m
- ④海岸線からの距離： 約80m

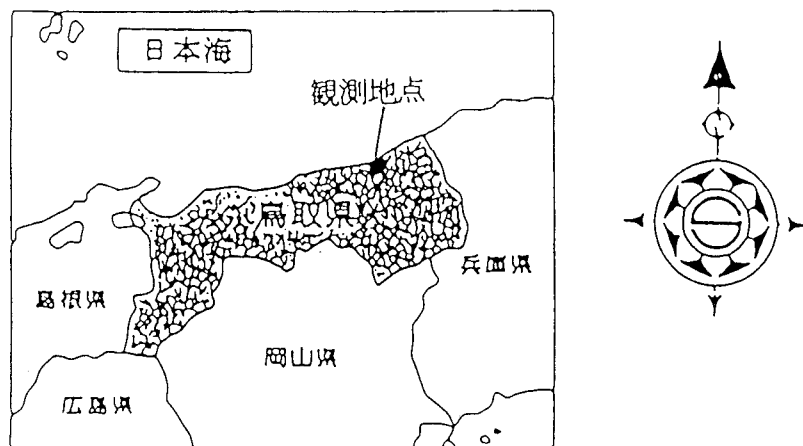


図1 観測地点の位置

3. 2. 観測期間

1998年2月1日～1999年9月1日

3. 3. 観測機器の仕様

観測機器としてSecond Wind社製のNOMADシステムを採用した。同システムのセンサー部は三杯型風速計と矢羽型風向計より構成され、これらのセンサーはポール（長さ10m）上に設置されている。また、観測データはデータロガーによって自動記録されている。観測データの回収は観測地点でラムカードを交換することにより行った。観測期間を通じて、風速と風向のサンプリングデータの平均化時間は1分である。

観測機器の写真及び観測機器の設置状況を図2 (a)～(c)に示す。

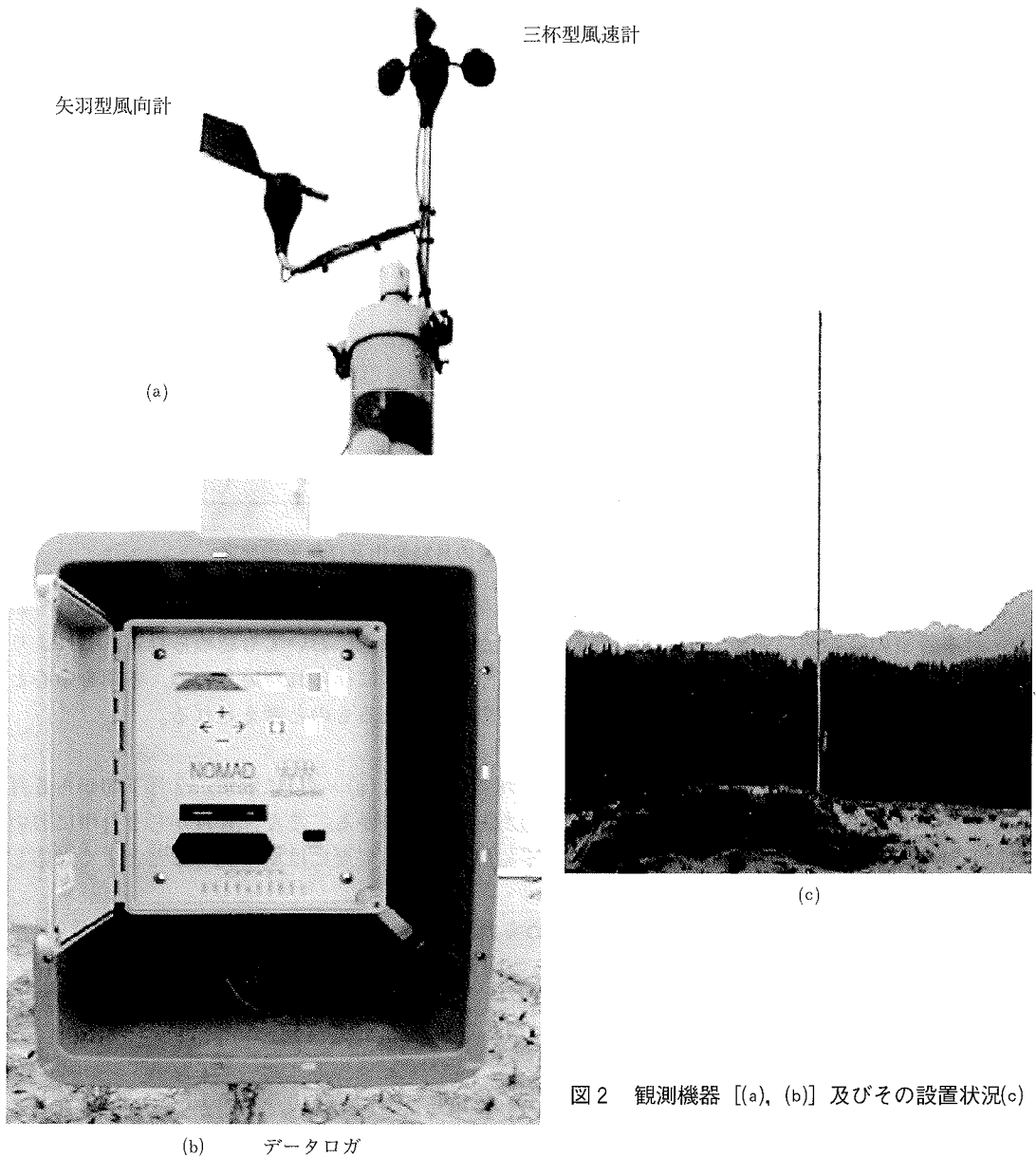


図2 観測機器 [(a), (b)] 及びその設置状況(c)

4. 精査結果

4. 1. 平均風速

図3は観測地点の地上高10mにおける月平均風速及び年平均風速を示す。

一般に、地上高10mにおける年平均風速が5.0m/s以上ある場合、風力発電は有望であると判断されている⁽¹⁾。図3によれば観測地点の地上高10mにおける年平均風速は5.0m/sとなっており、この基準を満たすことがわかる。

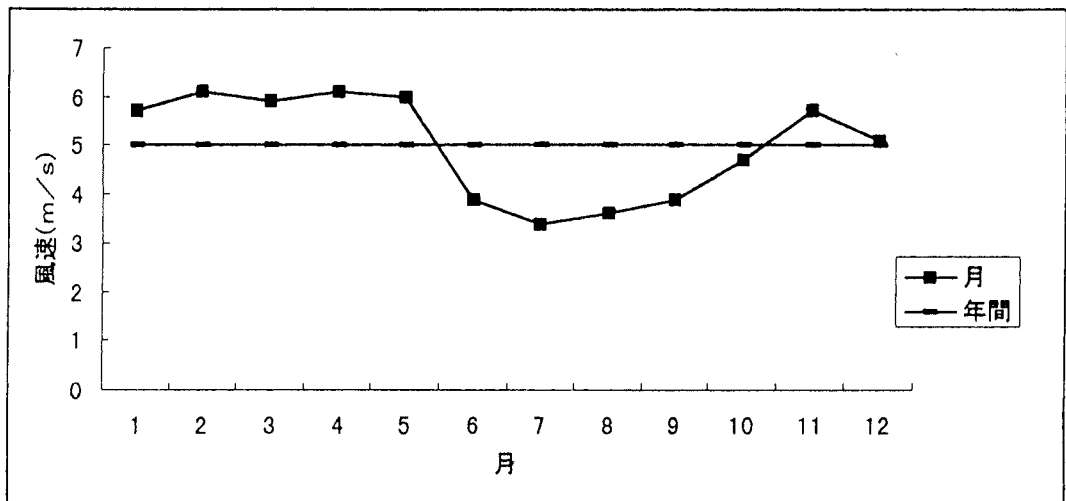


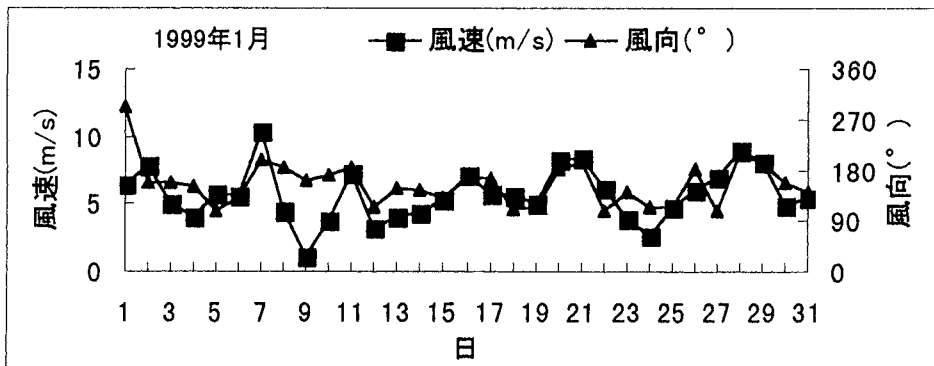
図3 観測地点における月平均風速の月別変化及び年平均風速

また、月平均風速に関しては、年間を通して3.4m/s（7月）～6.2m/s（2月）の変動を示しており、日本特有の寒候期に強勢，暖候期に弱勢の傾向が鳥取砂丘地においても認められる。これより夏期を中心とした6月～10月にかけては風力発電に十分な風速は得られないものの、冬期を中心とした11月～5月の半年間以上は風力発電が比較的有効に行われるものと考えられる。

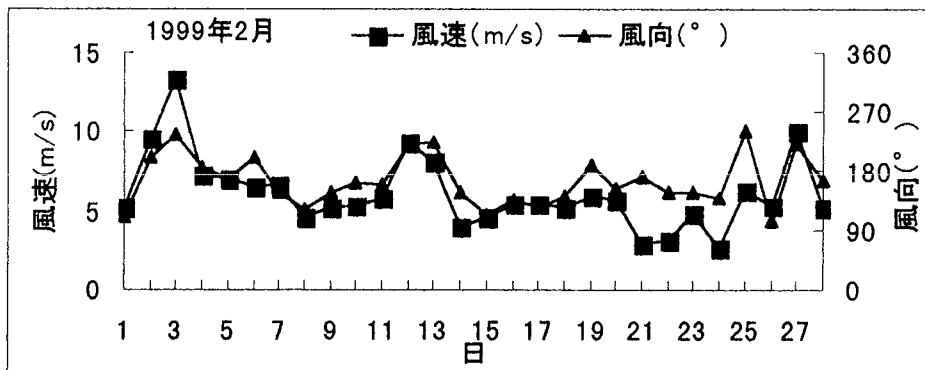
一方、観測地点における日平均風速と風向の日別変化を図4 (a)～(1)に示す。2月下旬から5月にかけての春季に比較的風速変動の大きい傾向のあることがわかる。また、6月から9月中においては3.5m/s以下の低風速の日が多く、図3の月平均風速において夏には風が弱いこととよく対応している。

風向の日別変化には特に特徴的な傾向は認められないが、いずれの月においても風向は90°～270°（表1参照）の範囲で変化している。これらの図より鳥取砂丘地において卓越した風向は180°を中心とした風向であり、これは表1を参照すれば、S（南）からW（西）にかけての風が卓越していることを示している（詳細は4・3参照）。

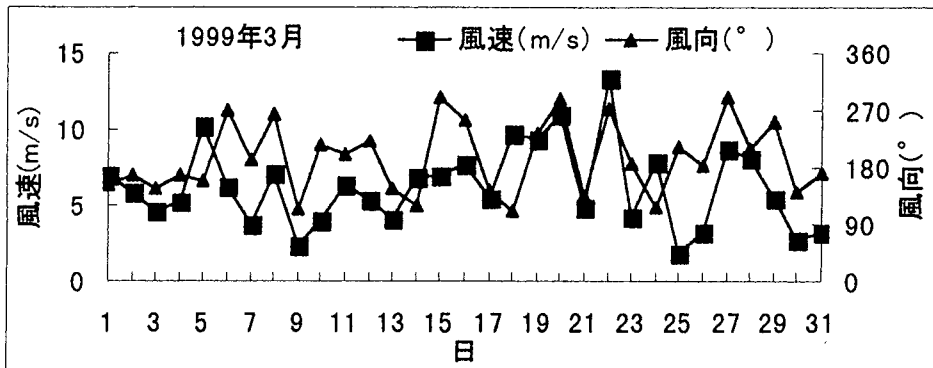
以上、平均風速については、年平均、月平均及び日平均について述べてきたが、次に、夏期と冬期における風速の時間平均風速について述べる。



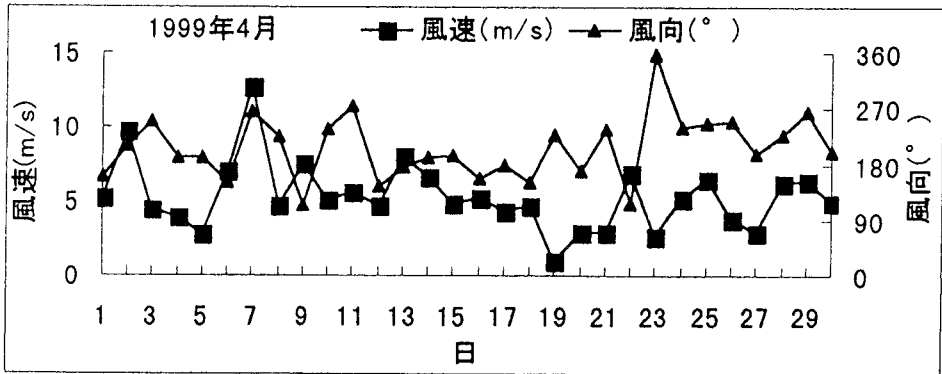
(a)



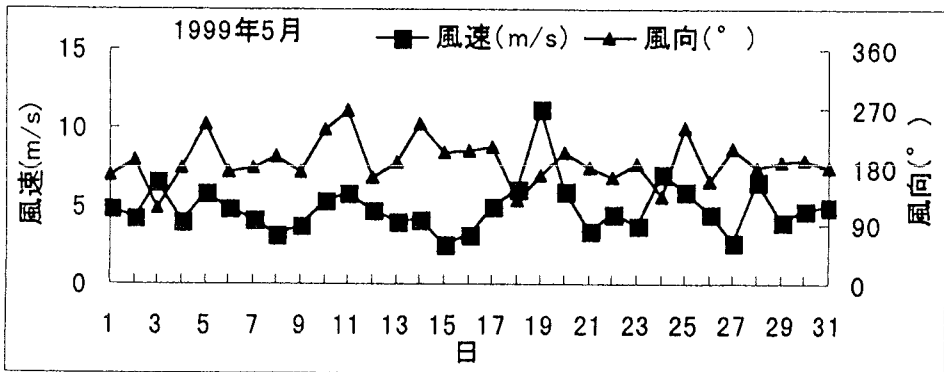
(b)



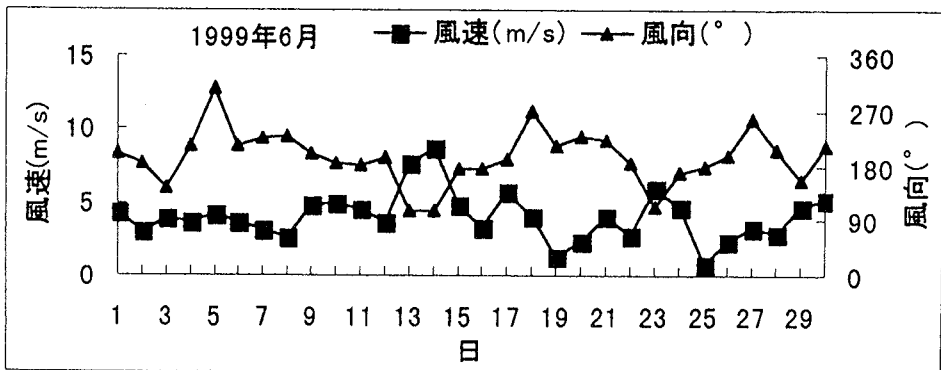
(c)



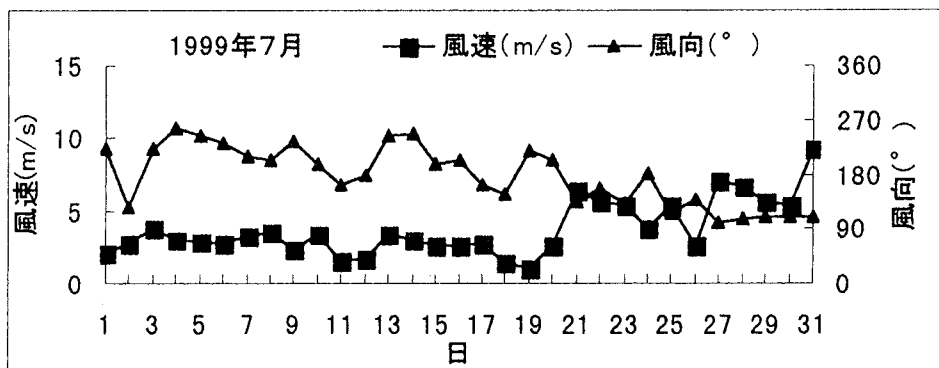
(d)



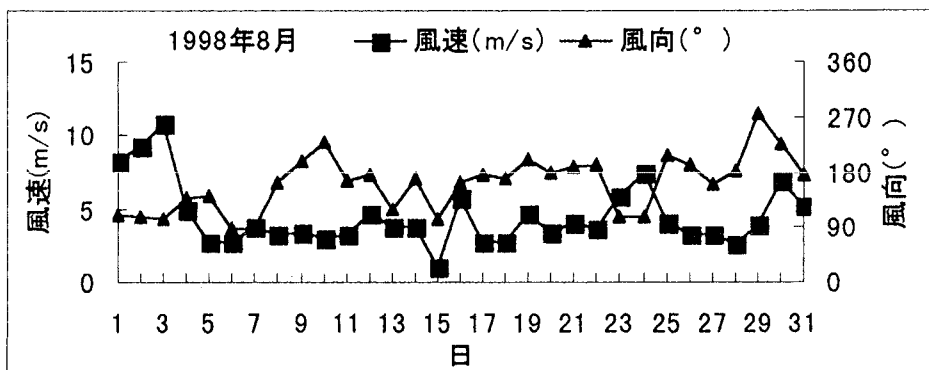
(e)



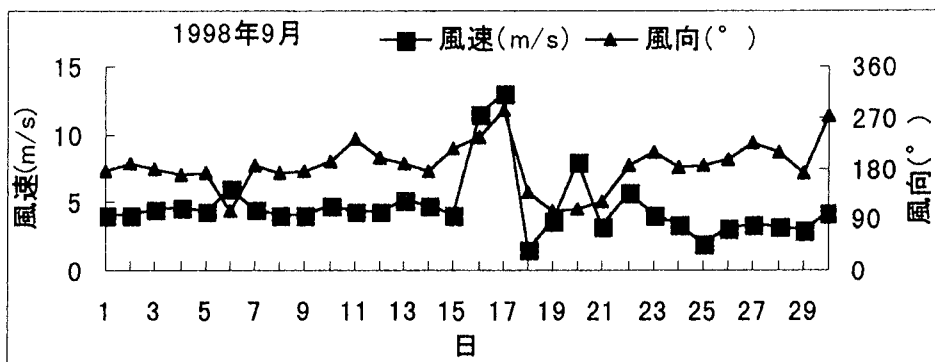
(f)



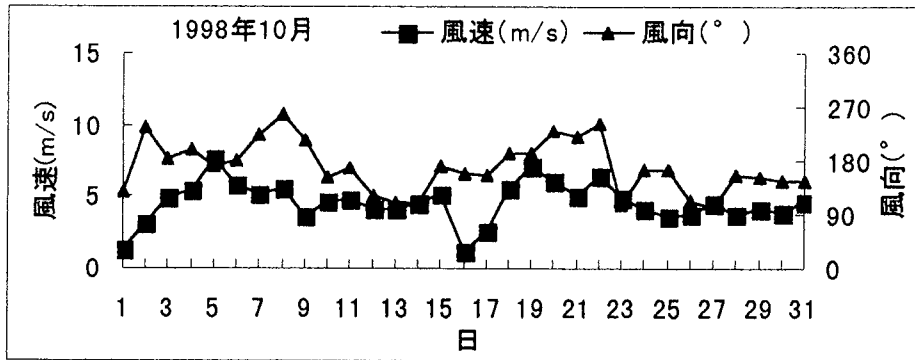
(g)



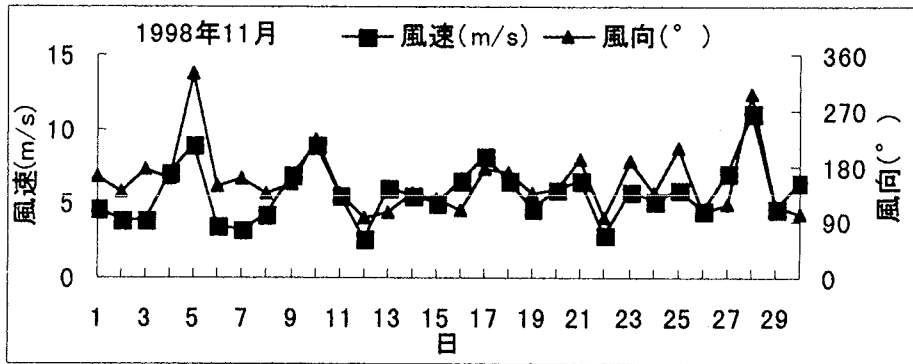
(h)



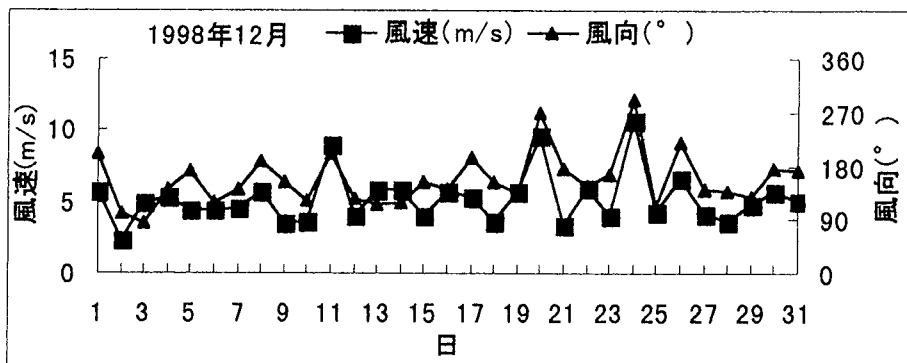
(i)



(j)



(k)



(l)

図4 観測地点における月平均風速と風向の日変化

方位	対象となる角度 $D(^{\circ})$	方位	対象となる角度 $D(^{\circ})$
E	$348.75 \leq D < 11.25$	W	$168.75 \leq D < 191.25$
ESE	$11.25 \leq D < 33.75$	WNW	$191.25 \leq D < 213.75$
SE	$33.75 \leq D < 56.25$	NW	$213.75 \leq D < 236.25$
SSE	$56.25 \leq D < 78.75$	NNW	$236.25 \leq D < 258.75$
S	$78.75 \leq D < 101.25$	N	$258.75 \leq D < 281.25$
SSW	$101.25 \leq D < 123.75$	NNE	$281.25 \leq D < 303.75$
SW	$123.75 \leq D < 146.25$	NE	$303.75 \leq D < 326.25$
WSW	$146.25 \leq D < 168.75$	ENE	$326.25 \leq D < 348.75$

表1 風向16方位の区分要領

図5は観測地点における、1999年2月(冬期)と1999年7月(夏期)における時間平均風速の日変化の比較を示す。これより、夏期は冬期と比べて明らかに1日の風速変動が大きく、周期的であることがわかる。また、冬期は夏期と比べて風速の日変化が小さい上に、最低速度もおおよそ5m/s程度以上あり、夏期より強い風の吹いている時間が長くなっている。

夏期には8時頃から風速は増加し始め、13時頃に最大となり、その後20時頃にかけて徐々に減少している。このような風速の周期的変化は観測地点が日本海沿いにあること及び一般に海風の方が陸風より強いとされていることから海陸風によるものと思われる。

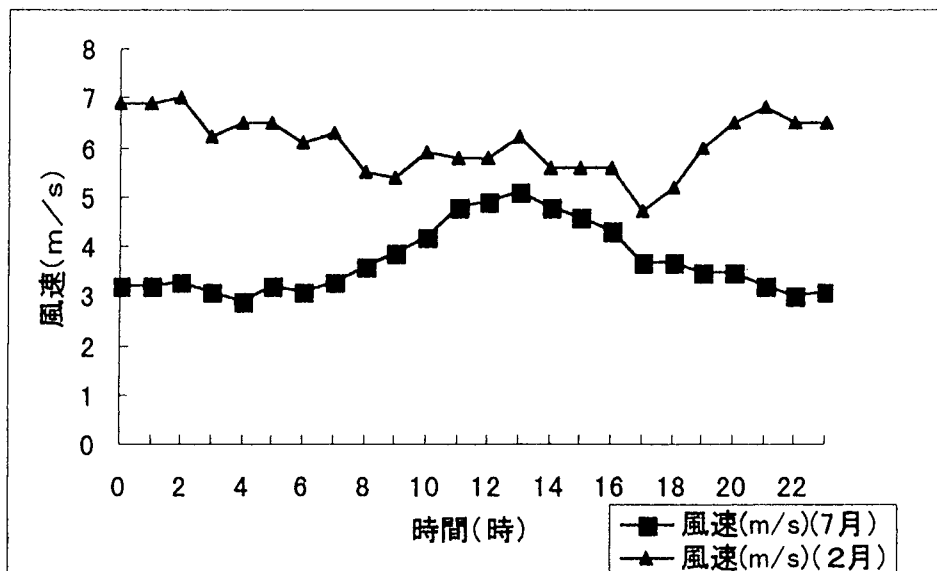


図5 砂丘における時間平均風速の日変化

4. 2. 風速出現率

観測地点における年間の風速出現率を図6に示す。年間の風速出現率の分布は、風速階級0.5~

1 m/sといった低風速の出現率がやや高いものの、分布のピークが認められる風速階級4～5 m/sをはじめとして、風速5 m/sから8 m/sといった高風速域の出現率はそれぞれ10%前後に達しており、風力発電にとっては比較的良好な風況と言える。

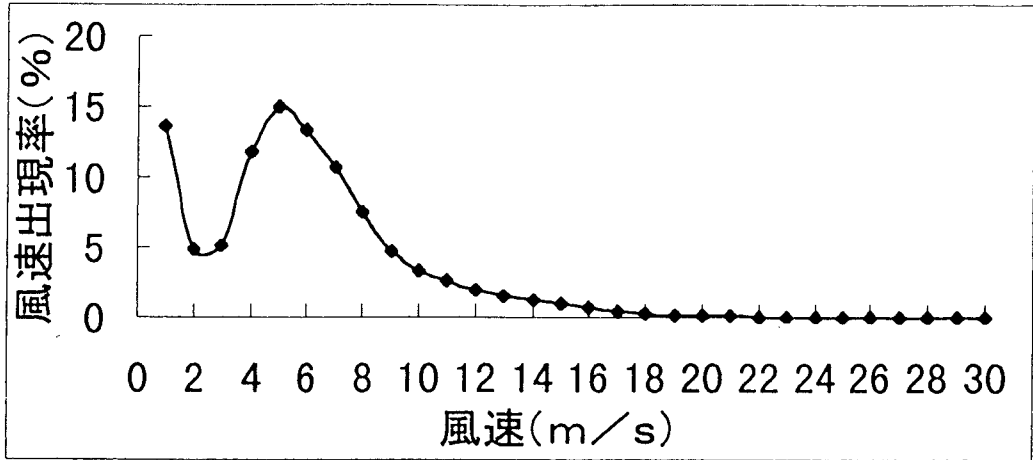


図6 観測地点における風速出現率（年間）

4. 3. 風向出現率

風向出現率の目的は風の卓越風向を把握することであり、全風向を表1の要領で16方位に分割し、平均風向を累積した。

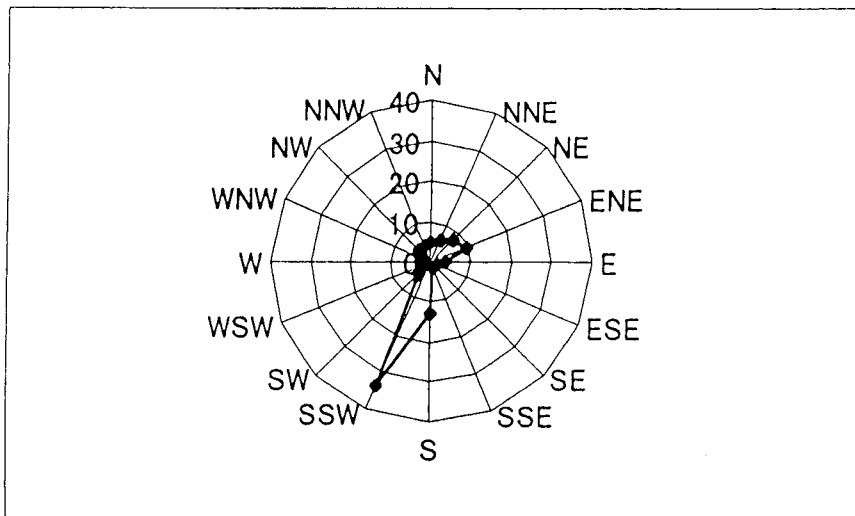


図7 観測地点における風向出現率（%）（年間）

観測地点における年間と月別の風向出現率を図7及び図8(a)~(l)に示す。図7によれば観測地点における年間の卓越風向はSSW(南南西)であり、次にS(南)となっている。これよりいづれにしても鳥取砂丘では南寄りの風が特に、卓越していることがわかる。この様に南寄りの風が卓越する傾向は図8より明らかなように鳥取砂丘地では年間を通して認められる。一般に、特定方位の出現率が卓越している場合、風力発電導入の観点から風向が安定していると評価されるため、風力発電導入の可否を検討するにあたって、風向の安定性は非常に重要となってくる。

4. 4. 風向別年平均風速

風向別平均風速の目的は風力エネルギーの主風向を把握するために重要である。観測地点における年間風向別の平均風速を図9に示す。最も大きい年平均風速はSSW(南南西)6.3m/sで、次はNW(北西)5.4m/sである。

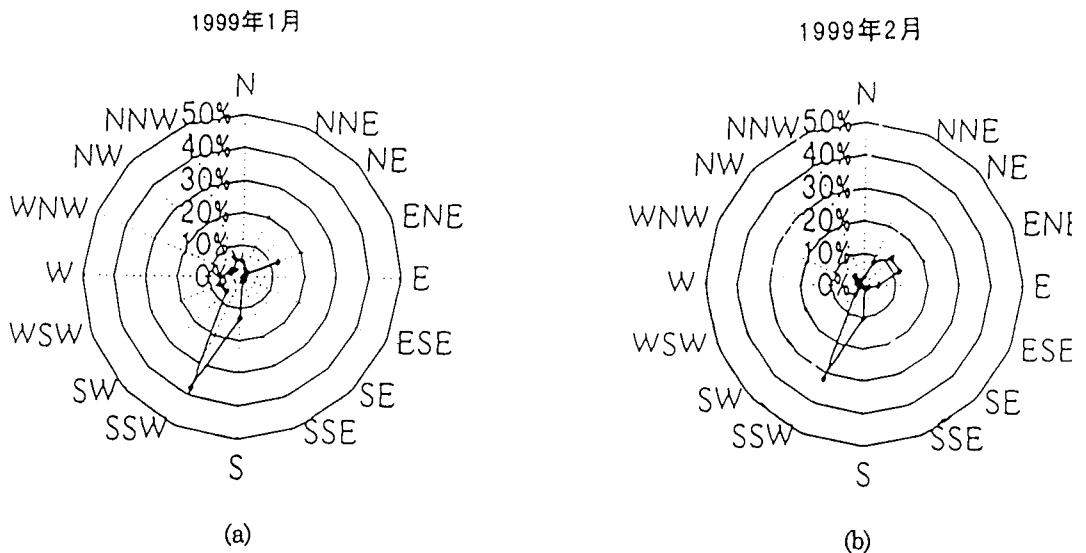
前節4.3.で鳥取砂丘地では南寄りの風が卓越していることを明らかにしたが、図9によれば、図7では出現率の低い西寄りの風の平均風速が大きいことがわかる。特に、SSW(南南西)の風を除けば、NW(北西)の風が強くなっている。すなわち、このことはSSW(南南西)の風を除けば、NW(北西)を始めとした西寄りの風はあまり吹かないものの、吹くときは、比較的強い風であることを示唆している。

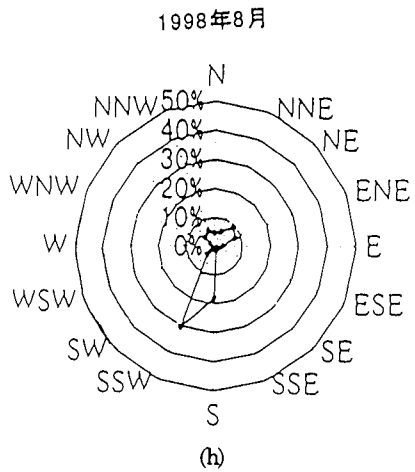
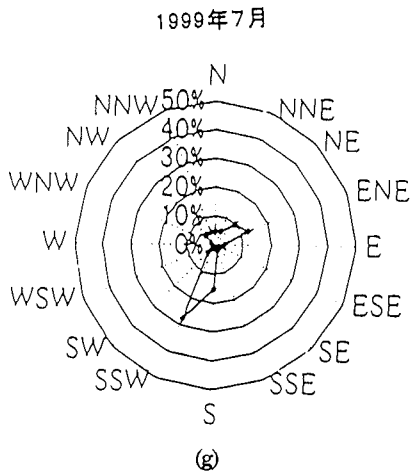
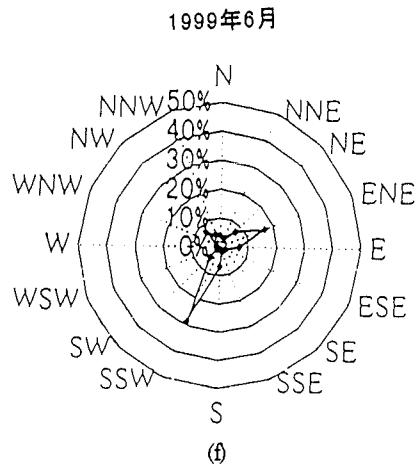
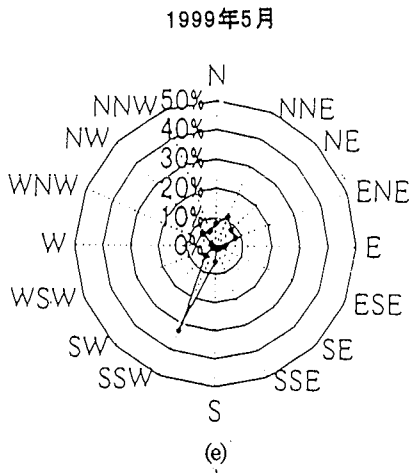
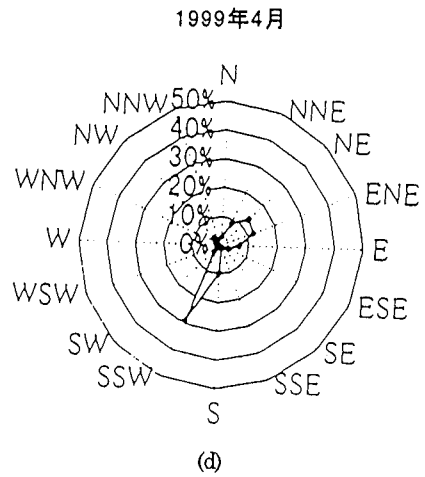
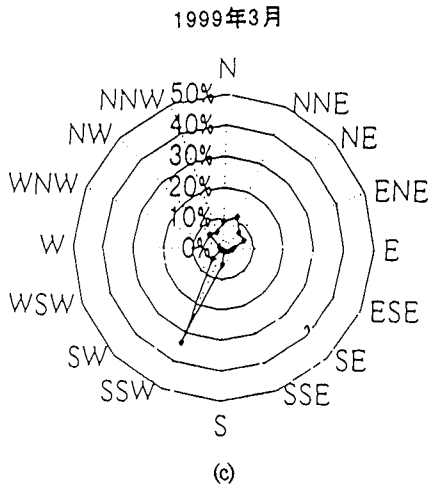
以上より、観測地点における風向出現率と風向別の平均風速を考えると、SSW(南南西)とNW(北西)を中心とした西寄りの風を利用することが風力発電に適していると言える。

4. 5. 乱れ強度

乱れ強度の目的は風速の瞬時の変動特性と風速変動の大きな風向を把握するためであり、いわゆる“風の質”を評価するパラメータの一つとして重要である。

観測地点における年間の乱れ強度の方位別変化を図10に示す。図によれば観測地点における乱れ強度は最大でも0.23と比較的小さく、風力発電に有効と考えられるSSW(南南西)からNW(北西)





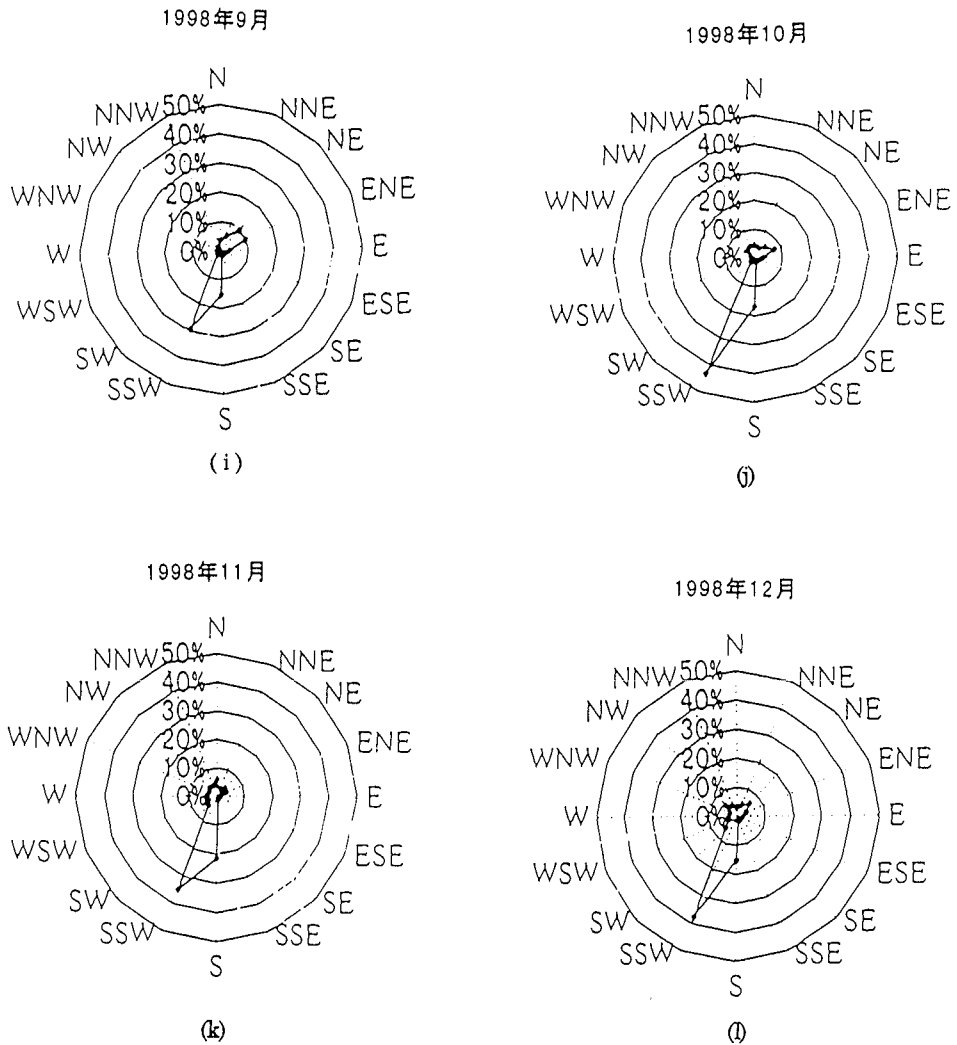


図8 月別の風向出現率

にかけての西寄りの風の乱れ強度は約0.1~0.15である。この値は風力発電に適しているとされている乱れ強度0.25以下を満足しており、鳥取砂丘地は風力発電に適した“質の良い”風の得られることがわかる。

4. 6. 風力エネルギー密度

風力エネルギー密度は風力エネルギーの潜在量を評価する量であり、空気密度と風速の3乗に比例する。

観測地点における月別の風力エネルギー密度及び年平均風力エネルギー密度を図11に示す。観測地点における年平均風力エネルギー密度は $146\text{W}/\text{m}^2$ である。NEDO（新エネルギー・産業技術総合開

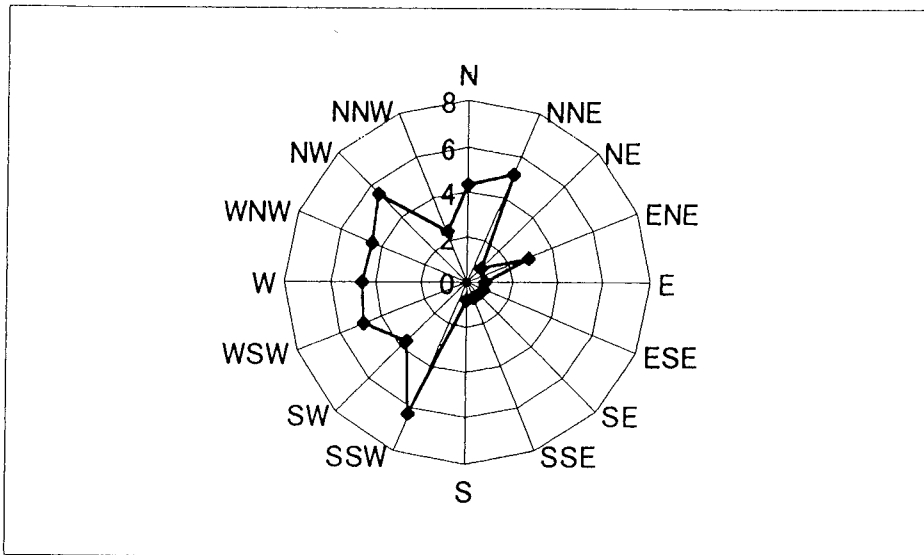


図9 観測地点における年間風向別の平均風速 (m/s)

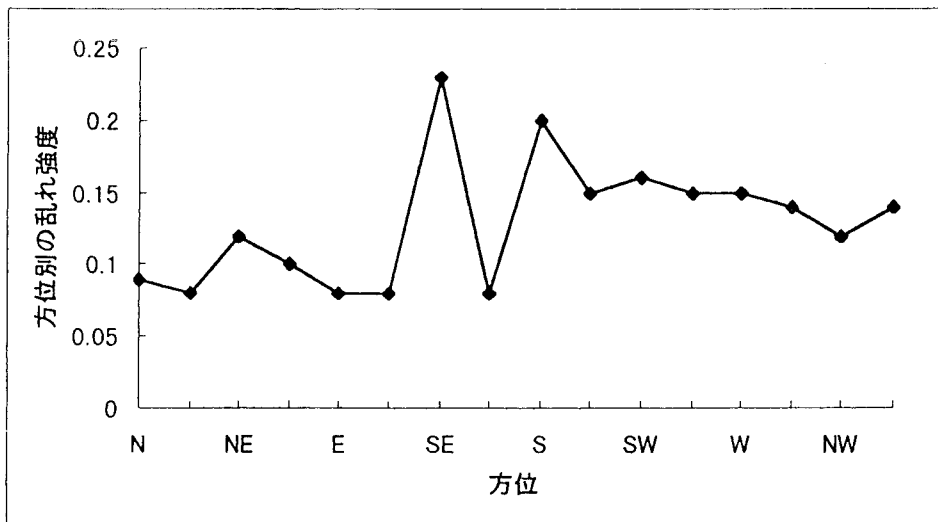


図10 観測地点における年間の方位別乱れ強度

発機構)では、地上高10mにおける風力エネルギー密度が $150\text{W}/\text{m}^2$ を上回る場合、風力発電における事業化レベルの開発が可能であるとしている。すなわち、観測地点における風力エネルギー密度は、NEDOによる評価基準とほぼ同じ値であり、風力発電の積極的な導入も可能であると考えられる。しかしながら、図11からも明らかなように、鳥取砂丘では冬期には比較的大きなエネルギー密度が得られるものの、6月～10月にかけての夏期に $150\text{W}/\text{m}^2$ の風力エネルギー密度を大きく下まわっている。これらのことより、日本海側では特に冬期に、風力発電が有効に行われるものと考えられる

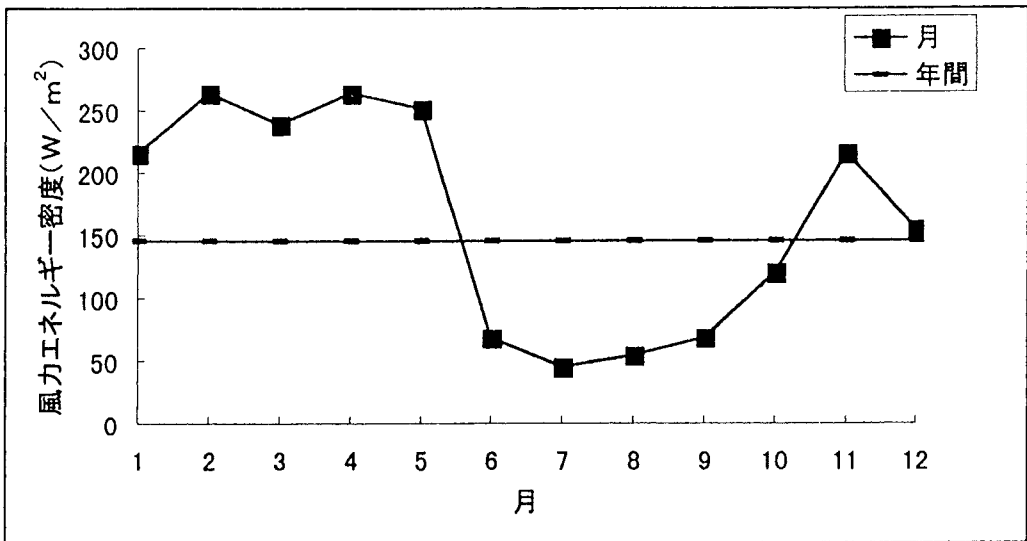


図11 観測地点における月別風力エネルギー密度及び年平均風力エネルギー密度(W/m²)

が、年間を通して安定した電力を得るためには、夏期については、他のエネルギー源との併用を考えることも必要であろう。

4. 7. 風力エネルギー取得量

風力エネルギー取得量は風車によって取得できる風力エネルギー量を評価するために重要である。このためにはまず、対象とする検討風車の仕様を設定し、各風車の性能曲線（パワーカーブ）とハブ高さにおける風速出現率に基づき、風車別の風力エネルギー取得量を算出する必要がある。

本研究において対象とした検討風車の仕様を表2に示すとともに、各風車の性能曲線を図12に示す。なお、風車のハブ高さにおける風速は、地上高10mの風速をもとにn値を7として求めた。ただし、nは指数法則のべき指数である。べき指数は地表状態に依存する値であるが、本研究の観測地点はなだらかな砂丘地であり、その地表状態は海岸地方に分類されると考えられるので、べき指数nの値を7と仮定した。各風車について算定した月別ならびに年間の風力エネルギー取得量を表3に示す。これより風力エネルギー取得量は風車の規模に比例して大きくなることがわかる。

また、風力エネルギー取得量は月平均風速の変動傾向と対応しており、寒候期に大きく暖候期に小さくなることが認められる。

風車	定格出力	ハブ高さ	カットイン風速	カットアウト風速
	(KW)	(m)	(m/s)	(m/s)
風車A	150	30.1	4.0	25.0
風車B	300	42.0	4.0	25.0
風車C	750	50.0	3.0	24.0

表2 検討風車の仕様

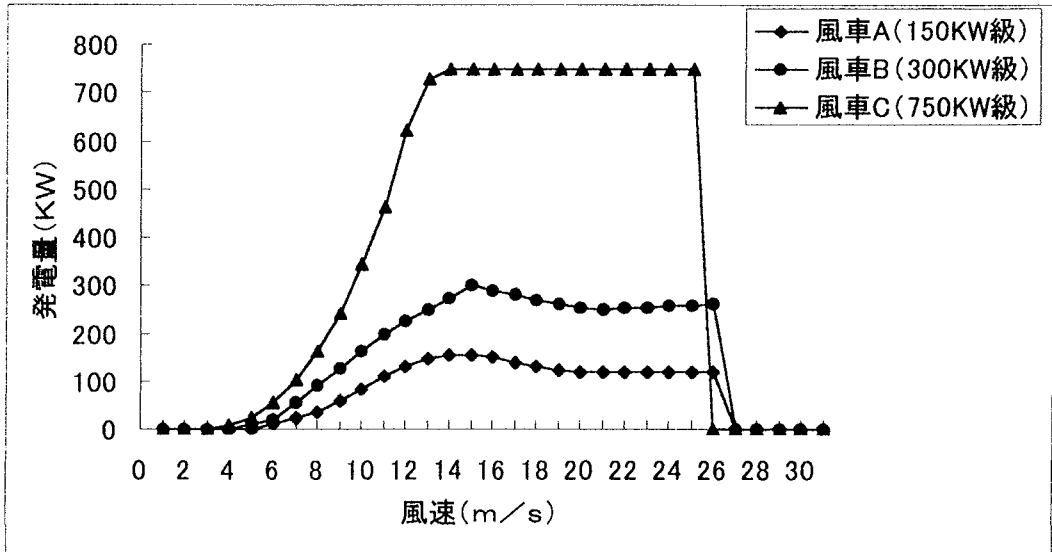


図12 各風車の性能曲線

年・月	風車A(150KW級)	風車B(300KW級)	風車C(750KW級)
98.2	27,071	54,306	127,763
3	26,522	53,114	127,588
4	28,296	56,441	133,715
5	26,717	53,636	128,512
6	11,660	25,662	53,701
7	6,357	14,900	31,785
8	7,661	17,751	37,095
9	11,770	24,136	59,833
10	12,734	27,890	60,146
11	22,230	45,950	104,510
12	18,983	39,456	90,981
99.1	23,256	47,780	112,587
年間	226,503	467,070	1,084,000

表3 各風車における風車エネルギー取得量(月別, 年間)

単位: kWh/月 kWh/年

年・月	風車 A(150KW 級)	風車 A(300KW 級)	風車 A(750KW 級)
99.1	20.8	21.4	20.2
98.2	26.9	26.9	25.3
3	23.8	23.8	22.9
4	26.2	26.1	24.8
5	23.9	24	23
6	10.8	11.9	9.9
7	5.7	6.7	5.7
8	6.9	8	6.6
9	10.9	11.2	11.1
10	11.4	12.5	10.8
11	20.6	21.3	19.4
12	17	17.7	16.3
年間	17.2	21.4	16.5

表 4 各風車の設備利用率 (月別, 年間) 単位: %

年・月	風車A(150KW級)	風車B(300KW級)	風車C(750KW級)
99.1	74.6	76.6	83.8
98.2	77.3	79.1	85.7
3	72.3	72.2	71.9
4	74.3	76.2	83.6
5	73.9	76.2	84
6	54	56	63.4
7	50.6	53.3	63.3
8	52.1	55	65.5
9	59.1	62.1	71.6
10	68.6	71.2	79.5
11	79.2	81.2	87.6
12	71.5	74.2	83.6
年間	67.3	69.4	77

表 5 各風車の稼働率 (月別, 年間) 単位: %

4. 8. 設備利用率と稼働率

風車の設備利用率は風力発電導入の可能性を評価するための指標の一つである。各風車における年間ならびに月別の設備利用率を表4に示す。一般に風力発電事業のためには設備利用率の評価基準⁽²⁾は17%以上とされている。表4によれば、観測地点における年間の設備率は、上記の基準値をほぼ満たしており、月別に見ても6月～10月の夏期を除けば、いずれの月も17%以上の値を示している。

稼働率は風車の稼働状況を評価することである。各風車における年間ならびに月別の稼働率を表5に示す。一般に、風車の年間稼働率は45%以上であることが望ましいとされている⁽²⁾。表5より明らかなように、対象とした風車の年平均稼働率はいずれも65%以上あり、良好な値を示している。また、月別に見てもいずれの風車とも50%以上の値となっており、年間を通して良好な稼働状況が期待される結果となっている。特に冬期を中心に高い傾向が認められる。

5. まとめ

風力発電に適した風況条件は、平均風速が高く、風向が安定しており、乱れ強度が小さいことである。一般に、地上高10mにおける年平均風速は5m/s以上あり、乱れ強度は目安として、0.1～0.3を大幅に越えないこと、その上、年間風力エネルギー密度が150W/m²を上回るならば、風力発電の導入が可能であるとされている。

観測地点において行ったNOMADシステムによる風況精査の結果、地上高10mにおける年平均風速、年平均エネルギー密度はそれぞれ5m/s及び146W/m²であり、方位別ならびに全方位を対象とした乱れ強度に関しては、0.1～0.3を大幅に越えていないことが明らかとなった。また、卓越風向はSSW（南南西）であり、方位別年平均風速はSSW（南南西）及びNW（北西）にかけての西寄りの風が優勢であることが分かった。さらに、3種類の検討風車を想定し、設備利用率及び稼働率について検討したところ、いずれの風車についても設備利用率は16%～17%、稼働率も60%～70%と風力発電を行うには比較的有望な値が得られた。

以上の実測結果より、鳥取砂丘は上記風力発電導入の条件をほぼ満足しており、風力発電の導入に対して必ずしも最適地とは言えないにしても、風力発電は十分可能な地点であると考えられ、積極的な導入が期待される。さらに、夏期における風力エネルギー密度は冬期の約20%程度と小さくなるため、風力エネルギー以外の自然エネルギーの積極的な利用が望まれる。すなわち、このためには例えば、風力エネルギーと太陽エネルギーの相関関係を明らかにし、両エネルギーの併用の可能性について検討し、自然エネルギーのハイブリッド化を図ることも今後、重要な課題となろう。

6. 参考文献

- (1) NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の風況精査マニュアル
- (2) NEF（新エネルギー財団）の風力発電システム導入促進検討の手引き

(1999年10月27日受理)