

風力発電の現状と将来展望

東海大学教授 関 和市

1. 風エネルギー利用について

資源量としての風エネルギーは極めて大きく、更新性があり、しかもクリーンである。しかし、エネルギー密度が低いことや変動が大きく不安定な性質がある。したがって、地域において分散的利用を図り、地域に密着したエネルギー源として利用することが望ましい。

2. エネルギー源としての風エネルギー

風をエネルギー源として評価した場合、長所は、無尽蔵な資源、変換に際し環境汚染がない、いかなる地点にも設置し得る、既得権益との調整や対立が少ない、採掘、輸送および貯蔵に伴う環境へのインパクトがない。反面、エネルギー密度が低い、気象条件に左右される（風の乱れによる変動、風エネルギーは風速の3乗に比例して変動するため、風車の出力変動が生じる）。¹⁾

3. 風車について

風車は過去の風力利用の歴史が示すとおり、比較的簡単な利用原理であるとの認識がある。しかし、風車はその構成要素の大部分が空気力学的機能をもち、更に風車の大型化・高性能化に伴って、それぞれの構成要素に課せられる空気力学的構造機能は、より高度かつ互いに適合し合うものであることが要求される。また、騒音、環境美観上の影響、電波障害、風車後流の影響などについても考慮しなければならない。

4. 風力発電について

地球環境問題、地域の経済活性化、雇用創出効果、エネルギー消費の活性化、環境負荷の低減およびエネルギーセキュリティなどへの貢献が可能。

技術的には大型化、高性能化、電力品質、系統保護、系統連繫、局所風況、建設工法、コストダウンについて欧州との違いも踏まえて日本の状況に則した検討が必要。

○大型化

- ・出力の大型化（単基容量1000kW～1500kW）に伴う発電の高効率化

○高性能化

- ・技術革新による高耐久性、低騒音

○コストダウン

- ・量産効果²⁾ 発電原価と設置コスト（風速、設備利用率）³⁾ 大型化、高性能化、高効率化

（欧州風車は、風車出力1000kW～1500kWで1kW当たり12万円、発電単価1kWh当たり7円程度のコストに近づいている。）

○電力品質

- ・可変速運転システム、電力変換システム、電力貯蔵技術、風予測技術の高度化とこれを用いた系統電力運転システムの開発

5. 風力発電の導入について

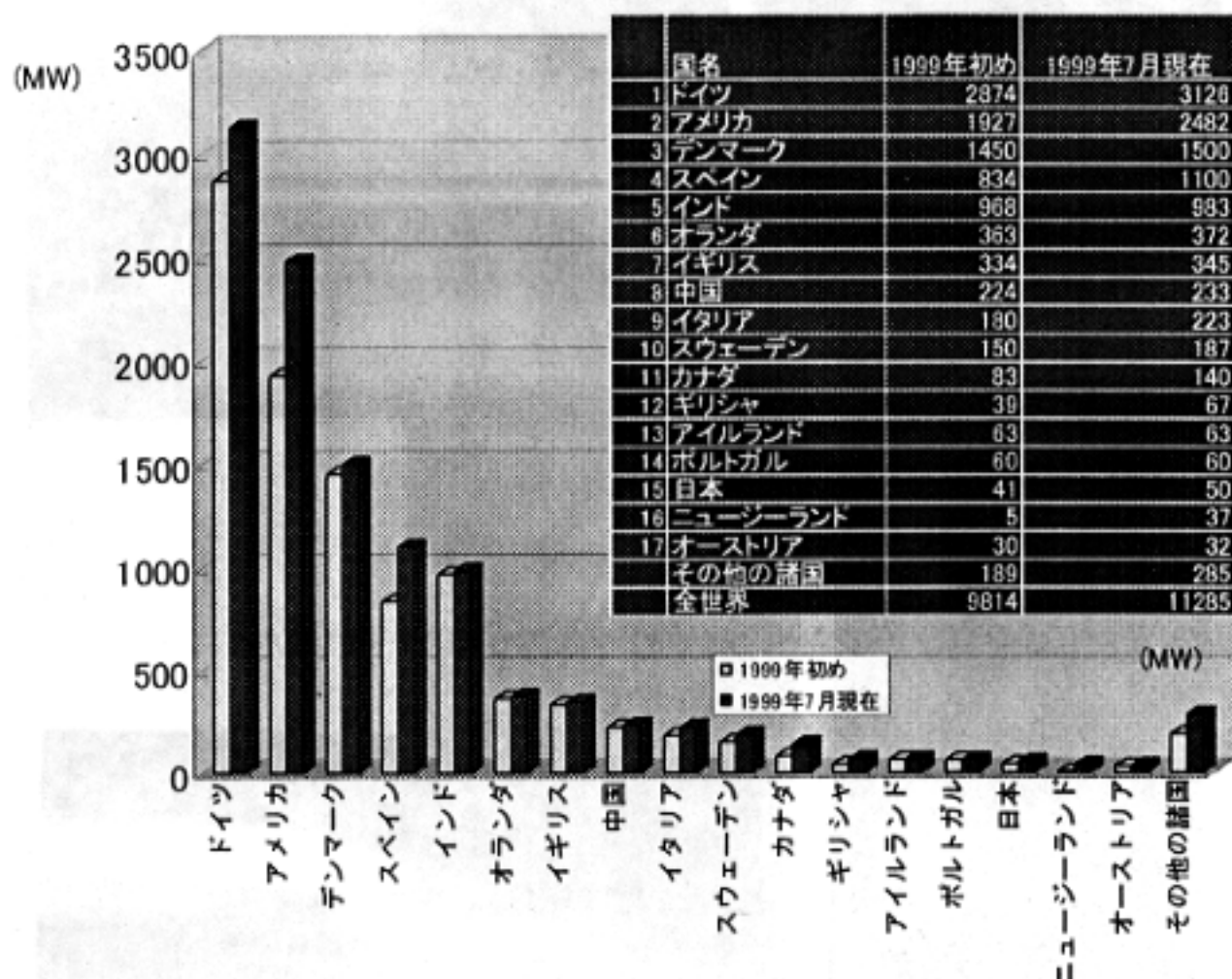
NEDOの全国風況マップシナリオ2と3⁴⁾では、設置可能台数は7,0481台と13,473台で、年間発電量は341億2700万kWhと65億3700万kWh、設備容量は3524万kWと687万kWである。

オフショアでは、ケース2の海岸線から1km幅で136,500台となる。500kW風車を配置した場合の年間発電量は932億3千万kWh、設備容量は6825万kWで、陸上の10倍以上の設置台数が可能との試算もある⁵⁾。

6. 世界の風力発電導入量

既に欧米では商業運転が行われている。1999年7月現在での世界の風力発電総設備容量は11,285MWに達しており、欧米ではドイツ、アメリカ、デンマーク、スペイン、オランダ、イギリスなどで、アジアではインド、中国で導入が進んでいる。我が国は、5万kWで世界の総設備容

量の0.4%程度である。2010年に30万kWとすることが目標とされているが、2005年には、到達するとの予測もある。下表に世界の風力発電の導入量を示す。



7. 風力発電の今後について

既存の電力網に接続する大規模風力発電が主流である。風力発電の導入については、試算された仮定における現実性や技術的予測の問題についても検討が必要であるが、一応の目安が得られる。風力発電は主要なエネルギー供給源になるとはいえないが、各国の開発プロジェクトから2010年を予測すると、その国の事情に応じて電力消費量の数パーセントから数十パーセントをまかなおうとしている例もある。風エネルギー利用の推進は、小規模直接熱源とする方法から大規模風車を多数集中した、風力発電地帯による系統連繫を図るシステムに至る多種多様の方法があるが、今後は大型化による系統連繫が促進すると考えられる。風力利用開発は、第一に要求されるのは安全性、次に経済性、さらに安定性、信頼性およびフェールセーフなどについての要求を満足する必要がある。風力利用開発の推進は利用形態の分析、合理的利用システムの開発が望ましい。

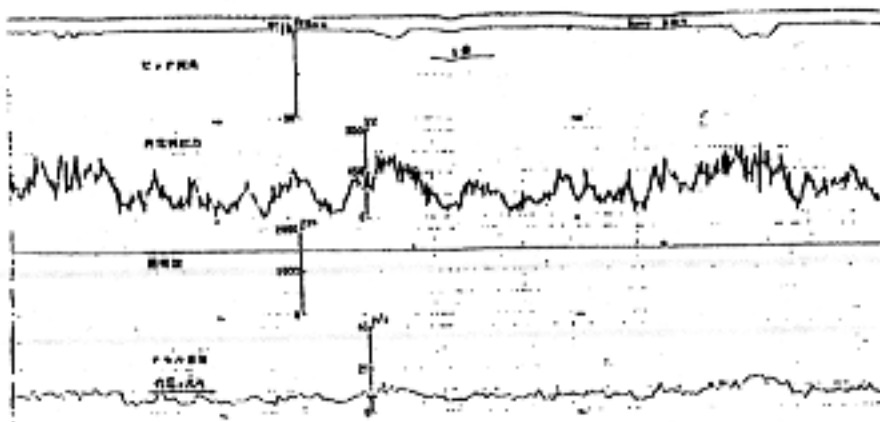


資料1

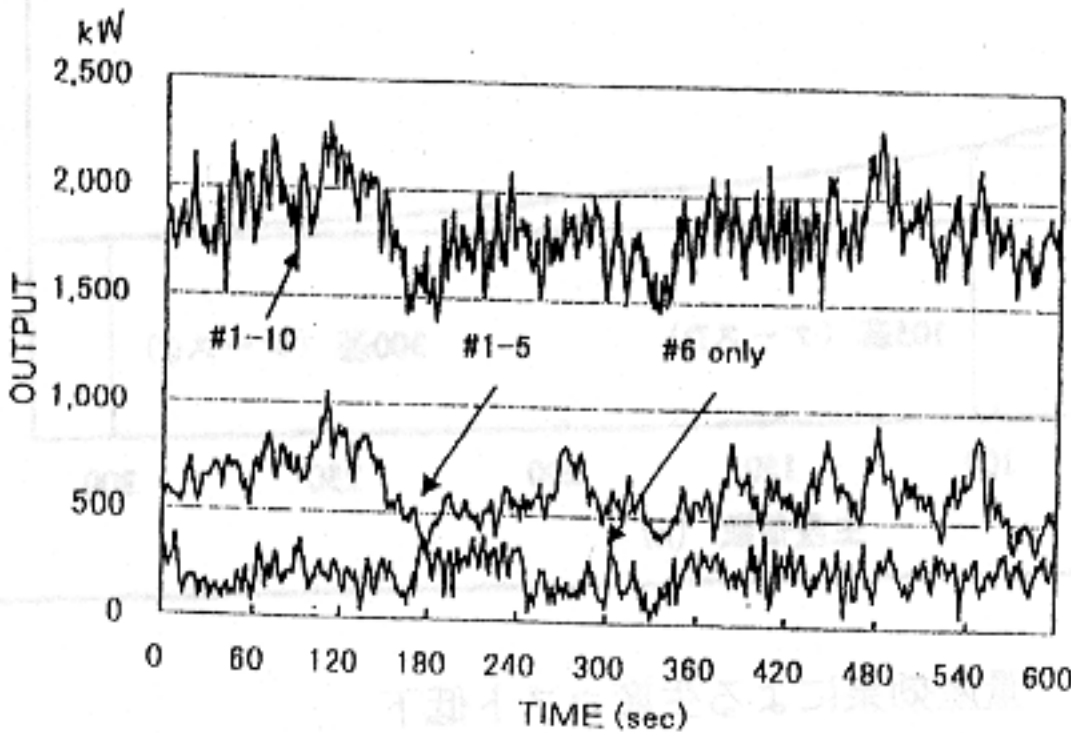
風車の出力変動（風車1基の場合）

前節で述べた如く、日本は欧州の平坦地形とは異なり地形が複雑であり、風の乱れ（乱流強度）が大きいと言われている。また風車出力は風速の3乗に比例して変動するため、風況の乱れと相まって、風車の出力変動もかなりあると言われている。一例として第4.2.1図—第4.2.2図に、可変ピッチ方式、ストール方式の風車運転中の出力変動記録を示す。いずれも風車1基の場合を示し、風車の出力変動がかなりの幅で認められる。

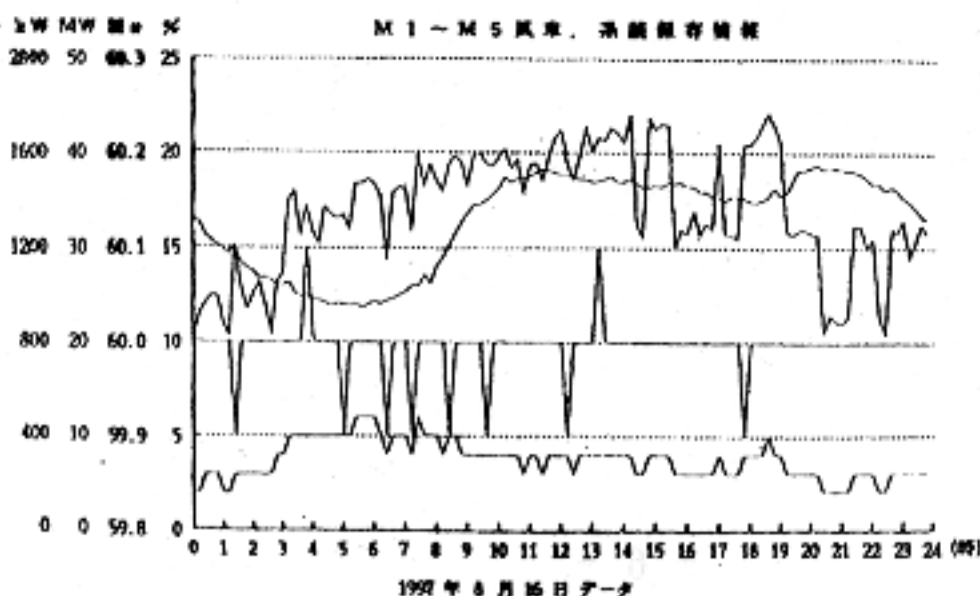
NEDO 風車の出力変動記録（可変ピッチ方式、ACリック接続）
（定格出力 500kW x 1基）



東北電力（株）竜飛崎風車の運転台数増加（10基）による出力変動の
平準化効果（定格出力275x5基、300kW x 5基）
（出典：NEDO太陽技術開発室よりの提供データ）（本図追加）



沖縄電力（株）宮古島風車の運転台数増加（5基）による出力変動の
平準化効果（出典：NEDO太陽技術開発室よりの提供データ）
（本図追加）



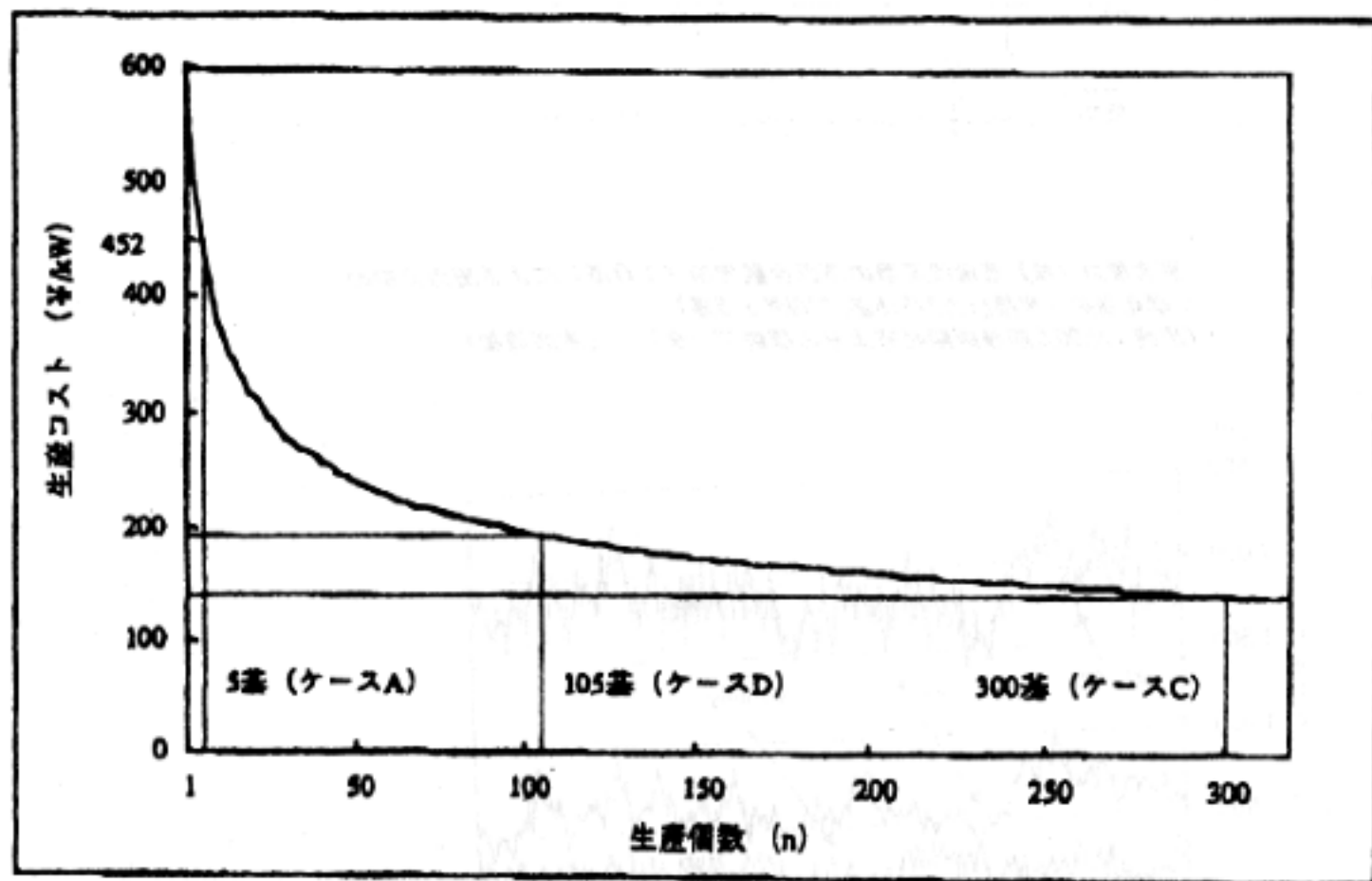
資料2

【資料2】生産コストの低下

このグラフは、生産量が増えるにつれて、生産コストがどのように変化するかを示しています。縦軸は「生産コスト（円/kW）」、横軸は「生産個数（n）」を表しています。曲線は、生産量が増えるにつれて、生産コストが急激に低下し、その後徐々に低下のペースが緩やかになる様子を示しています。

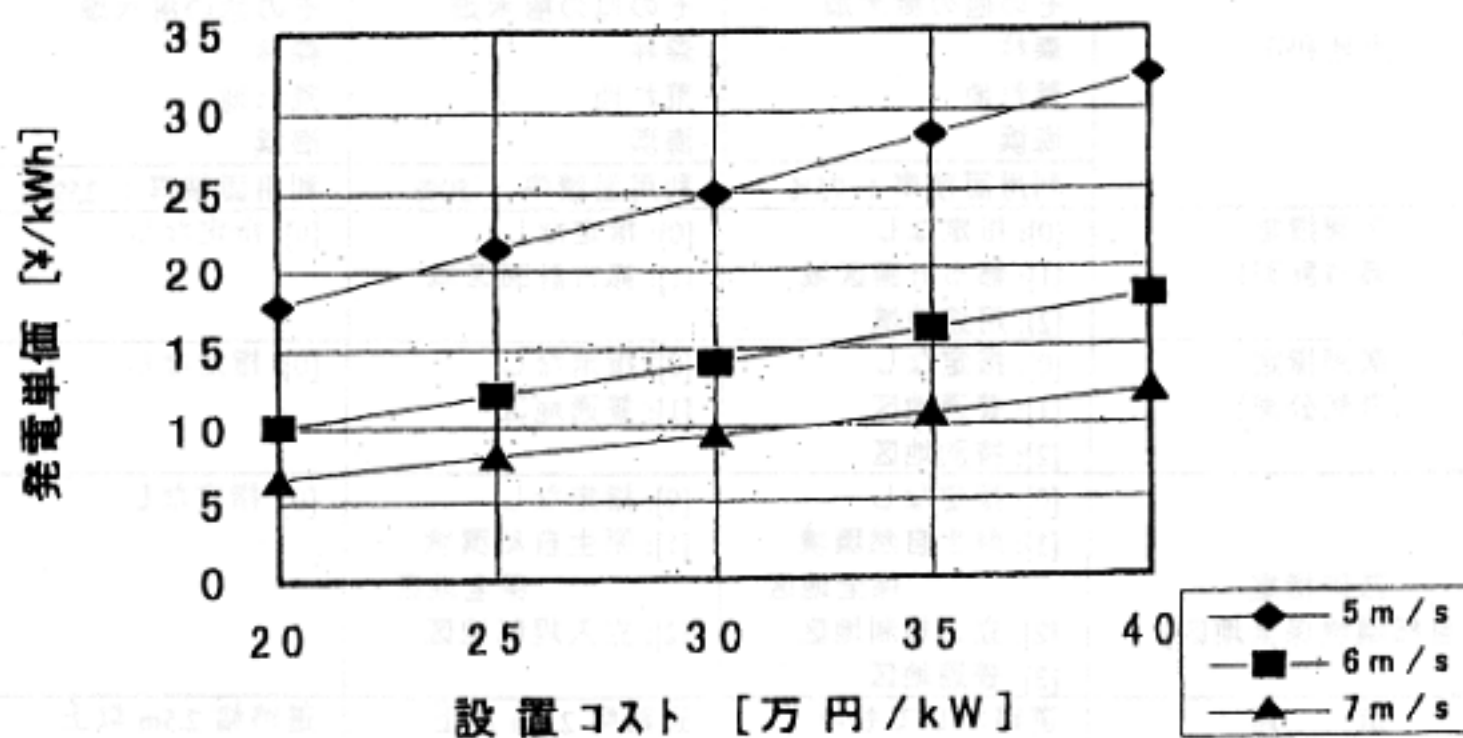
（軸）：縦軸「生産コスト（円/kW）」、横軸「生産個数（n）」

（基）：（1）「1」から（300）まで



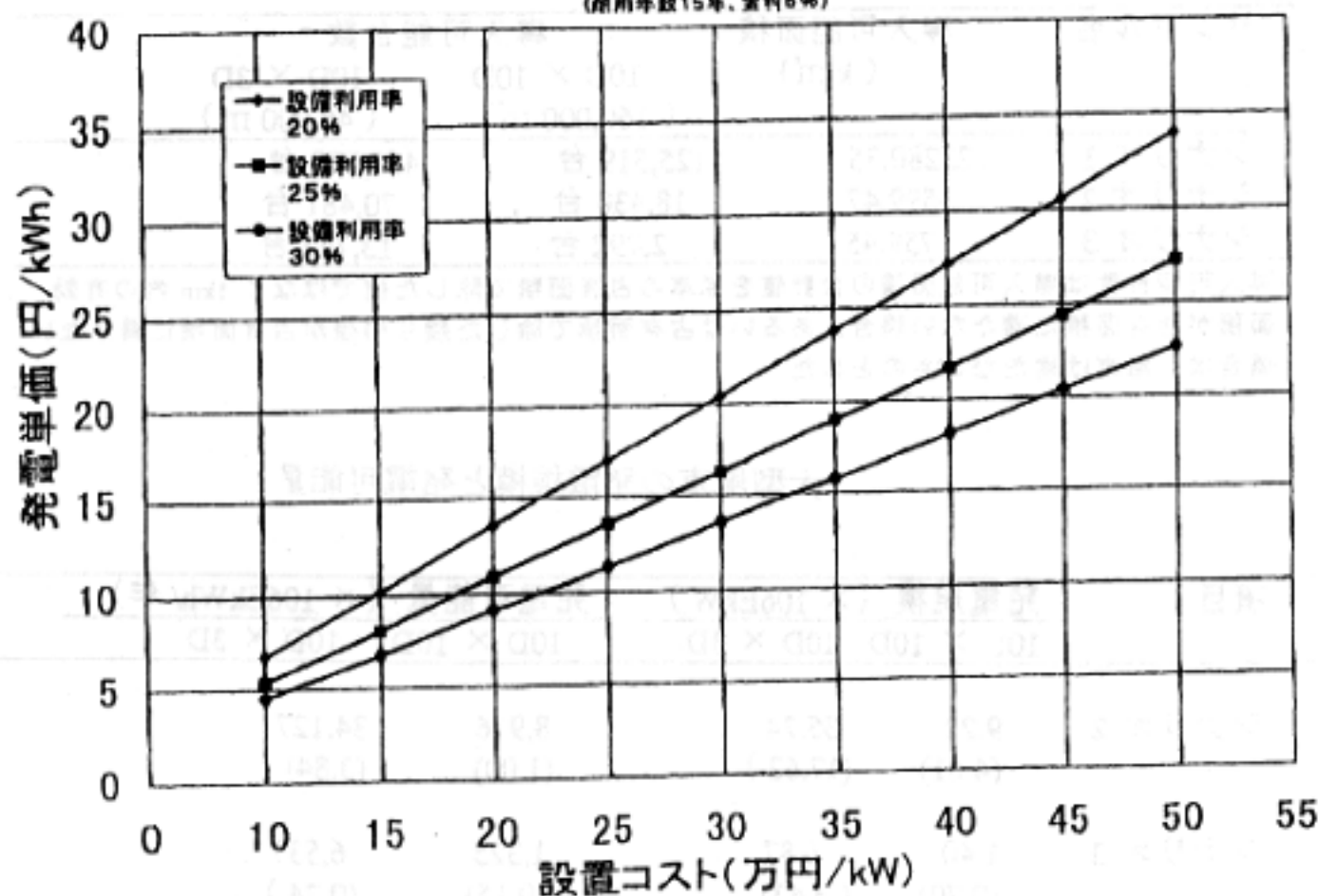
量産効果による生産コスト低下

資料3



発電原価と設置コスト例 (パラメータ: 風速)

(耐用年数15年、金利8%)



発電原価と設置コスト例 (パラメータ: 設備利用率)

制限要因	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
年平均風速	5.0m/s 以上	5.0m/s 以上	5.0m/s 以上
標 高	1500m 以下	500m 以下	200m/s 以下
最大傾斜量	7 度以下	5 度以下	3 度以下
土地利用	畑 果樹園 その他の樹木畑 森林 荒れ地 海浜	畑 果樹園 その他の樹木畑 森林 荒れ地 海浜	畑 果樹園 その他の樹木畑 森林 荒れ地 海浜
	利用面積率：75%	利用面積率：50%	利用面積率：25%
区画指定 (都市計画)	[0]: 指定なし [1]: 都市計画区域 [2]: 用途地域	[0]: 指定なし [1]: 都市計画区域	[0]: 指定なし
区画指定 (自然公園)	[0]: 指定なし [1]: 普通地区 [2]: 特別地区	[0]: 指定なし [1]: 普通地区	[0]: 指定なし
区画指定 (自然環境保全地区)	[0]: 指定なし [1]: 原生自然環境 保全地区 [2]: 立入規制地区 [3]: 普通地区	[0]: 指定なし [1]: 原生自然環境 保全地区 [2]: 立入規制地区	[0]: 指定なし
道 路	道路なしでも可	道路幅 2.5m 以上	道路幅 2.5m 以上

各シナリオの導入可能面積と導入可能台数

サンプル名	導入可能面積 (km ²)	導入可能台数・	
		10D × 10D (160,000 m ²)	10D × 3D (48,000 m ²)
シナリオ 1	23280.35	125,519 台	465,278 台
シナリオ 2	3599.47	18,430 台	70,481 台
シナリオ 3	759.45	2,792 台	13,743 台

*導入可能台数は導入可能面積の合計値を風車の占有面積で除した値ではなく 1km 内の有効面積が占有面積に満たない場合、あるいは占有面積で除した残りの値が占有面積に満たない場合は、風車は建たないものとした

大型風車の発電規模と発電可能量

項目	発電規模 (× 106EkW)		発電可能量 (× 106EkWh/年)	
	10D × 10D	10D × 3D	10D × 10D	10D × 3D
シナリオ 2	9.22 (4.61)	35.24 (17.62)	8,916 (1.00)	34,127 (3.84)
シナリオ 3	1.40 (0.70)	6.87 (3.43)	1,325 (0.15)	6,537 (0.74)

()内は全国比 (平成 4 年度)

オフショアの発電量推定

オフショアの発電可能性を試算するため、北海道、本州、四国、九州の外洋に面した海岸線距離をキルビメータを用い求めた。そして設置可能な海岸線からは東京湾、伊勢湾、瀬戸内海、島嶼部は除外し、港湾や航路を除くため海岸線 8195km の 80% と仮定し、沖合方向の 1km、3km 以内（水深 20m 前後）を風車設置可能エリアとして利用可能面積を想定した。海岸線における風況解析結果を代表値に、卓越風向を考慮し観測地点間の海岸線を区分し求めた試算結果を表 3 に示す。

設置可能面積はケース 1 の海岸線 3km 幅で 19,600 km²、ケース 2 の 1km 幅で 6,500 km² と試算され、全国風況マップから表 4 の条件で求められたシナリオ 1 で 23,280 km²、シナリオ 2 で 3,599 km²、シナリオ 3 で 759 km² と同程度の範囲が得られる。そして、風車複数設置時の風車間干渉を避けるため、1 基当たりの占有面積を海上風の風向安定性から 10D x 3D (D=40m: ブレード直径) として設置可能数を求めると、ケース 1 の 3km 幅で 409,700 台、ケース 2 の 1km 幅で 136,500 台となる。500 kW 風車を配置した場合の年間発電量は、それぞれ 2.679 x 10¹¹ kWh、9.323 x 10¹⁰ kWh と予想され、1993 年の電力 10 社の総販売電力量 6.906 x 10¹¹ kWh に対し 13.4~38.7% のエネルギー比率となる。NEDO 風況マップのシナリオ 3 の 10D x 3D では、設置可能数 13,743 台、発電量 6.537 x 10⁹ kWh と試算され、ケース 2 の 1km 幅の結果と比較しても設置数で約 10 倍、年間発電量で約 14 倍の試算結果が得られ、オフショアの風力発電の潜在的可能性がきわめて大きいことが判明した。

結 言

わが国のオフショア風力発電の可能性を調べるため、全国 47 地点の灯台や河川河口の風向風速資料から海岸における風況を解析し、モデル風車による年間発電量を求めて取得可能エネルギー量の試算を行った。その結果、海岸から沖合いに移動すると風速も海岸線から沖合いに向かって徐々に増加することが分かった。また、海岸から 3km 幅（水深 20m 程度）に風力発電機を 10D x 3D で配置すると、風車は 409,900 台、発電量 2.809 x 10¹¹ kWh/年、1km 幅では 10D x 3D で 136,500 台、発電量 9.363 x 10¹⁰ kWh/年の賦存量が予想される。これらのうち最小範囲の試算結果でも、NEDO の陸上調査での設置を想定した結果の 10 倍以上の設置台数、年間発電量が見込まれ、オフショア風力発電の大きな可能性が明らかになった。

今後さらに海岸近傍や島嶼において観測された気象資料を用いて解析地点を増加し、区域細分化と対象範囲の追加により推定精度の向上を計ることが必要である。

表 3. 日本の海岸海面 40m 高における設置試算発電量

道 府 県	No.	観測地点	灯台名称 [km]	ケース1			ケース2		
				設置可能 100m幅 [km]	設置台数 100m幅	年間発電量 [kWh/年]	設置可能 100m幅 [km]	設置台数 100m幅	年間発電量 [kWh/年]
北海道	2	稚内岬灯台	328	788	18,420	1.296E+10	763	5,473	4.320E+09
	1	稚内岬灯台	192	480	9,585	1.113E+10	153	3,193	3.709E+09
	3	網走港灯台	798	1,911	39,802	3.343E+10	637	13,267	1.114E+10
	4	網走岬灯台	145	348	7,245	1.021E+10	116	2,415	3.404E+09
	32	喜望峯	98	230	4,792	2.196E+09	77	1,597	7.319E+08
	31	虎杖岬	150	361	7,315	3.175E+09	120	2,505	1.725E+09
	3	羅山岬灯台	184	441	9,185	2.083E+09	147	3,061	6.847E+08
	20	山前灯台	205	492	10,280	2.084E+10	164	3,420	6.747E+09
	累計	4,377km	2,086	5,031	104,804	9.743E+10	1,877	34,933	3.248E+10
大 平 洋 側	6	大崎岬灯台	96	231	4,820	9.785E+09	77	1,605	3.254E+09
	7	大崎岬灯台	148	355	7,387	1.290E+10	118	2,487	4.299E+09
	9	とどろき岬灯台	210	503	10,473	1.046E+10	168	3,491	3.484E+09
	10	金剛山灯台	283	678	14,123	3.157E+09	226	4,708	1.919E+09
	11	大崎岬灯台	259	648	13,450	1.443E+10	215	4,483	4.809E+09
	12	野島岬灯台	145	347	7,223	7.914E+09	116	2,408	2.627E+09
	13	八丈岬灯台	0	0	0	0	0	0	0
	14	石原岬灯台	230	553	11,520	6.895E+09	184	3,840	2.298E+09
	28	瀬戸	73	175	3,645	2.227E+09	58	1,215	7.440E+08
	29	越前	97	233	4,860	1.526E+09	78	1,620	5.093E+08
	40	城島	86	207	4,320	2.382E+09	63	1,440	7.874E+08
16	大玉岬灯台	107	256	5,323	2.060E+09	85	1,775	6.868E+08	
17	瀬戸岬灯台	188	403	8,408	3.292E+09	134	2,800	1.131E+09	
41	江井+島	103	247	5,145	1.887E+09	82	1,715	6.625E+08	
累計	6,351km	2,914	4,833	100,897	8.167E+10	1611	33,583	2.722E+10	
南 西 国	18	室戸岬灯台	188	396	8,240	2.082E+09	132	2,746	6.937E+08
	45	佐世	100	240	4,997	1.866E+09	80	1,685	6.018E+07
	21	足尾岬灯台	307	737	15,357	9.173E+09	246	5,119	3.058E+09
	累計	1,319km	572	1,373	28,594	1.144E+10	458	9,530	3.812E+09
九 州	23	室戸岬灯台	363	870	18,132	3.745E+09	290	6,044	1.248E+09
	29	佐世岬灯台	355	852	17,752	2.326E+09	284	5,917	7.734E+08
	47	タラシ+組合	207	496	10,329	3.342E+09	163	3,441	1.780E+09
	46	竹崎	201	483	10,853	3.536E+09	161	3,331	1.178E+09
	26	衣島灯台	0	0	0	0	0	0	0
	24	飯沼灯台	359	862	17,980	6.790E+09	287	6,086	2.263E+09
	25	三島灯台	0	0	0	0	0	0	0
累計	10,043km	1,485	3,563	74,224	6.790E+09	1,188	24,739	6.185E+08	
日 本 海 側	22	尾島灯台	113	276	5,750	7.794E+08	92	1,918	2.597E+08
	44	江津	144	346	7,212	4.614E+09	113	2,484	1.528E+09
	43	西国	121	290	6,042	3.618E+09	97	2,014	1.206E+09
	19	三浦岬灯台	0	0	0	0	0	0	0
	42	須賀	142	342	7,122	4.093E+09	114	2,374	1.364E+09
	30	越中岬灯台	185	445	9,282	1.133E+09	148	3,087	3.795E+08
	37	理光	217	521	10,850	7.482E+09	174	3,616	2.484E+09
	15	輪倉島灯台	82	198	4,130	4.070E+09	64	1,376	1.356E+09
	36	田中	228	548	11,422	1.080E+10	183	3,807	3.568E+09
	27	神崎灯台	0	0	0	0	0	0	0
	35	阿波	243	583	12,140	1.181E+10	194	4,046	3.936E+09
	28	入道岬灯台	248	594	12,373	1.457E+10	198	4,125	4.856E+09
	8	周南岬灯台	134	321	6,682	4.366E+09	107	2,227	1.453E+09
	34	平野	69	165	3,447	3.767E+08	55	1,147	1.255E+08
33	西田沢	100	240	5,003	3.019E+09	88	1,858	1.006E+09	
累計	4,523km	2,029	4,869	101,434	7.062E+10	1,523	33,807	2.354E+10	
総合計	道 府 県	33,888km	8,195	19,688	408,753	2.679E+11	8,336	136,572	9.323E+10

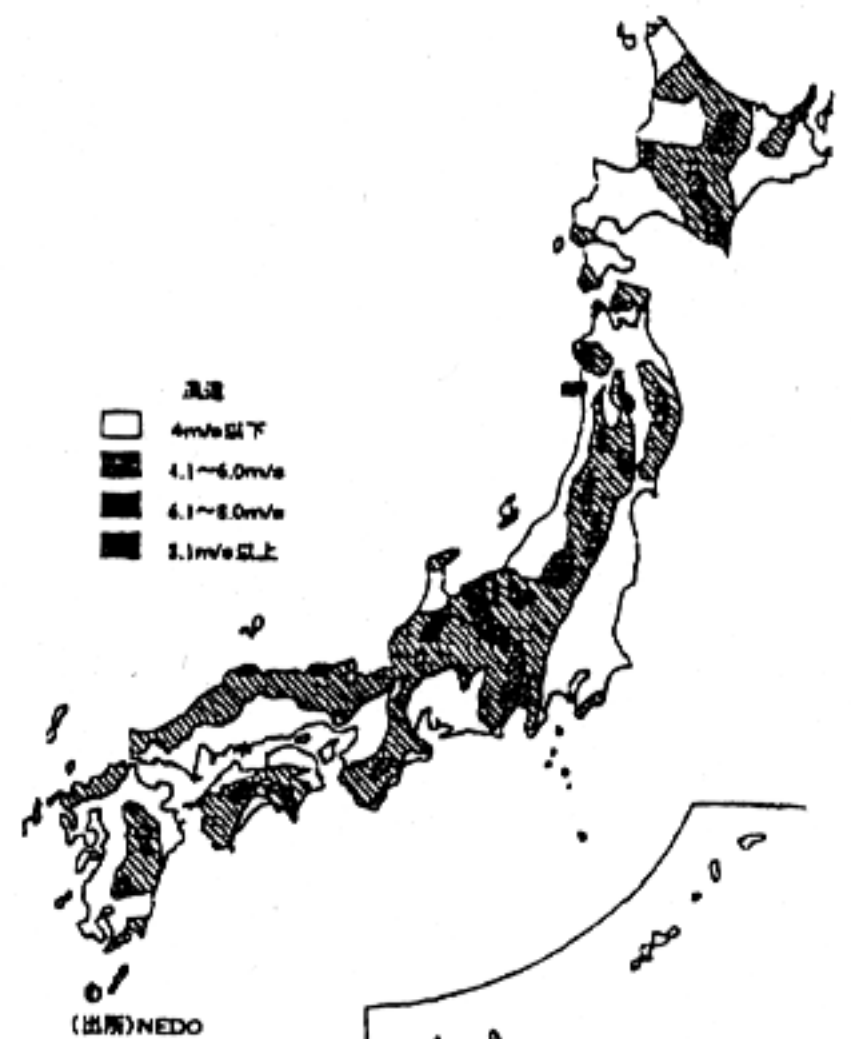


図 5. NEDO による全国風況マップ (30m 高)

表 4. NEDO の風車設置のシナリオ条件

	シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3
年平均風速	5.0m/s以上	5.0m/s以上	5.0m/s以上
最大風速	1500m以下	500m以下	200m以下
土地利用	75%以下	50%以下	25%以下
利用土地	道 府 県 市 町 村 指定なし	道 府 県 市 町 村 指定なし	道 府 県 市 町 村 指定なし
区域指定 (都市計画)	指定なし	指定なし	指定なし
区域指定 (自然公園)	指定なし	指定なし	指定なし
区域指定 (自然環境保全地区)	指定なし	指定なし	指定なし
道 路	なしでも可	道路幅2.5m以上	道路幅2.5m以上

(出所)NEDO