

# 風 力 発 電

## Wind Turbine Generator

松 宮 輝 \*

Hikaru Matsumiya

### 1. 風の特性と風車

風力発電システムは、大気流（風）の運動エネルギーを電気的エネルギーに変換するシステムであり、システム構成要素としての風力タービン（ロータ）は風エネルギーの機械的動力への変換を、また発電機は機械的動力の電気的エネルギーへの変換を担う。

風車の機械的動力は、製粉装置、揚水装置として古来より利用されてきたことは周知の事実であり、また今日では農業用の熱利用システムなど、発電を伴わない利用形態もある。一般に、風エネルギーを人間が利用可能な他のエネルギー形態に変換する装置を風力変換システム（WECS=Wind Energy Conversion System）と称している。

風力発電システムの構成は、ロータ系、伝達系、電気系、運転・制御系、支持・構造系に大別され、それらの主要装置は表1の通りである。

一見なんの変哲もない流体機械と発電機の組み合わせであるこのシステムに、これまでも、また今後もお多大の研究開発の努力が必要な理由は、偏に風の特質による。エネルギー資源としての風の2大弱点は、エネルギー密度の低さと不規則性である。

表1 風力発電システムの構成

ロータ系	ロータ・ブレード、ハブ、ロータ軸
伝達系	動力伝達軸、歯車装置
電気系	発電機、電力変換/回生装置
運転・制御系	運転システム、ピッチ制御システム、ヨー制御システム、ブレーキ装置
支持・構造系	タワー、基礎、建て屋

前者については、いわば自然エネルギーの宿命のようなものであって、化石燃料が数千万年におよぶ生物的、物理・化学的作用を経て蓄積された“死んだ”太陽エネルギーであるのに対し、風エネルギーは日々刻々変化する、いわば“生きた”太陽エネルギーであるが、濃縮されていないのである。エネルギー密度の低さをカバーするには、強風地帯に設置することと、大型化である。ハワイではロータ直径99mの風車が運転されているが、その定格出力は3.2MWであり、300基ほど並べてはじめて原子力発電所1基に匹敵する。それにもかかわらず、もし地球上の風エネルギーの1%が利用できれば、人類に必要なエネルギーはすべて賄えるといわれる<sup>1)</sup>。また、ヨーロッパでは、4000以上の風車建設候補地があり、もしそのすべてのサイトに風車を建設すれば、現在ヨーロッパで消費される電力の3倍の発電能力を有するに至ると試算されている<sup>2)</sup>。

後者、すなわち不規則性こそ風力開発者を最も悩ますところのものである。蓄エネルギーを行わない限り、風が凪げば発電出力はゼロとなる。あてにならず、利用しにくい。逆に、台風の襲来の前には万全の備えが必要である。また風があっても、絶えず変動しており、しばしば突風に見舞われる。風力発電システムの電気出力は風速の3乗に比例する。強風地帯ほど風車立地に有利であることは明らかであるが、出力変動も3乗で増幅されるため、安定性を望む利用者にとって使いづらばかりでなく、システムの運転・制御面あるいは材料の耐久性の面で問題を発生している。しかし今日、欧米では風力発電のエネルギー・コストが既存の石油火力や原子力発電と競合しうるシステムも出現しつつあり、わが国でも信頼性を獲得したシステムで、量産効果を見込めば石油火力に近接する10円/kWh前後の試算がなされている<sup>3)</sup>。

風エネルギーの弱点和使いづらさばかりをのべたが、風エネルギーのかけがえのない長所を指摘しておかなければならない。第一にクリーンな再生可能エネルギー

\*機械技術研究所エネルギー部流体工学課 課長  
〒305 つくば市並木1-2

一であること、第二に純国産エネルギーであることである。後者は、エネルギー資源の大半を海外に依存しているわが国にとっては、たとえその電力生産比率がわずかであろうと、石油代替の新エネルギーの開発と多様化の観点から無視しえないものである。

また、とりわけ近年、開発途上国での森林伐採と先進工業国における大量の石油消費が世界中で進行した結果、CO<sub>2</sub>などによる地球温暖化や環境破壊の問題が急速にクローズアップされてきており、クリーンな風エネルギーは、CO<sub>2</sub>を追放する貴重なエネルギー資源として地球規模の環境問題にも貢献するものであり、大規模な実用化への期待が高まっている。

## 2. 国内の開発動向

### 2.1 サンシャイン計画

わが国の大型風力発電システムの開発は通商産業省のサンシャイン計画のもとで昭和53年度に開始された<sup>4)</sup>。

#### (1) 大型風力発電システムの開発

電力産業、風車製造業者、等の参画のもとにNEDOが実施機関となり、MW級の大型機の開発が進められている。

昭和57年度に100kWの試験研究機(図-1)が三宅島に設置され、単独運転およびディーゼル発電設備との連携運転(系統投入)により、風力タービンの空力設計、システムの構造設計、システムの運転・制御などに関する技術的検証が行われた(委託先:東京電力/



図-1 NEDO100kW機(三宅島)

石川島播磨重工)。合計2,127時間の運転で122,804kWhの電力を発電し、解体研究を経て、昭和62年度に撤去された。

昭和60年度にはメガワット級大型風力発電システムの開発が開発された。大型システムは、石油の安値安定供給の状況のもとでのコスト低減に必要な新しい技術概念が相次いで提唱された。疲労荷重の低減を図るティータード・ロータ、タワーのコスト低減を目的としたソフト設計技術、あるいは変動風に対して機械構造面と制御面で柔軟に対応する可変速運転システムなどである。サンシャイン計画では、昭和60年度から63年度にかけて、ロータ直径50m、出力1000kWの大型風力発電システムの試設計が行われ、特に大型機に要請される新技術要素についての解析・試作・動作試験・強度試験等が実施された。大型ブレードの試作と強度試験・破壊試験、ロータ/タワーの連成振動解析、等も行われ、その技術データの蓄積は大型実機の開発に役立つものと期待される。

#### (2) 風況観測

サンシャイン計画ではまた、大型機の立地有望地の風況を調査し、わが国の風エネルギーの賦存量を求めている<sup>5)</sup>。気象庁のAMeDASデータは、目的を異にするため、しばしば障害物(高い建物など)の影響がみられ、また観測高度もタワー高さ40m、50mとい

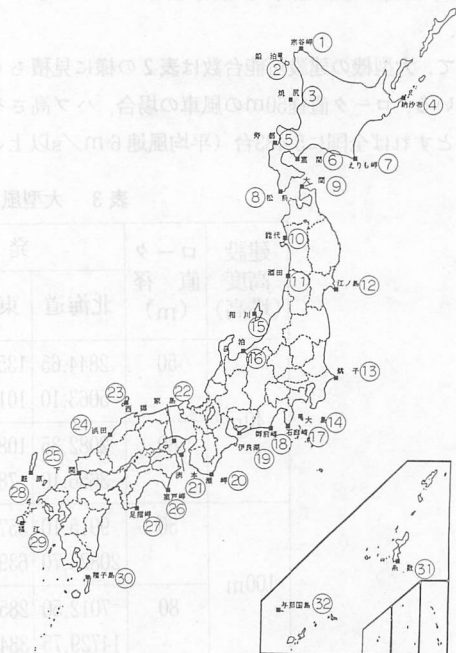


図-2 MW級風力発電の有望地点

表2 大型風車の建設可能台数推計

建設高度 (塔高)	ロータ直径 (m)	風速分類	想定出力 (KW)	建設可能台数						
				北海道	東北	関東・東海	四国・近畿	九州	離島	全国
40m	50	6.0m/s以上	500~600	4919 (8530)	143 (159)	89 (100)	20 (53)	298 (317)	14 (14)	5483 (9173)
		8.0m/s以上	900~1000	348 (929)	143 (35)	0 (0)	0 (0)	19 (12)	0 (0)	510 (985)
	80	6.0m/s以上	1000~1400	1627 (2765)	46 (51)	37 (45)	12 (30)	81 (94)	7 (7)	1810 (2992)
		8.0m/s以上	2100~2600	113 (294)	46 (15)	0 (0)	0 (0)	7 (5)	0 (0)	166 (314)
100m	50	6.0m/s以上	500~600	15706 (34174)	546 (1106)	103 (372)	44 (495)	298 (357)	24 (24)	16721 (36528)
		8.0m/s以上	900~1000	3192 (5070)	143 (79)	0 (0)	18 (78)	298 (126)	7 (7)	3658 (5360)
	80	6.0m/s以上	1000~1400	4872 (10706)	194 (298)	44 (166)	25 (272)	81 (108)	12 (12)	5228 (11562)
		8.0m/s以上	2100~2600	1014 (1637)	46 (23)	0 (0)	10 (43)	81 (37)	3 (3)	1154 (1743)

上段：海岸から5km以内の範囲 ( )内：等風速線内全域

う大型風車にとっては不十分である。風速の高度分布(大気境界層)の計測も必要である。図-2はMW級風力発電の有望地点マップである。このデータは、たとえば沿岸線から5km以内などの制約があり、また山岳部および洋上は除外するなど、まだ不完全といえるが、日本全国に有望地点が多数存在することを示している。

さて、大型機の建設可能台数は表2の様に見積もられている。ロータ直径50mの風車の場合、ハブ高さを40mとすれば全国に5,483台(平均風速6m/s以上の

地点)、ハブ高さを100mとすれば16,721台(同上)となっており、これらの発電規模はそれぞれ3,220MWおよび10,660MWである(表3)。これらの数字は、定格運転時には風力発電が全発電規模の約2.2%ないし7.3%を担うことを示すものである。

### (3) 風力変換システムの研究

工業技術院の機械技術研究所は、昭和53年以来、風車工学の基礎的・基盤的研究、大型風力技術をバックアップする要素技術の研究および小型の実機の運転試験研究を行っている<sup>6)</sup>。

表3 大型風車の発電規模推計(MW)

建設高度 (塔高)	ロータ直径 (m)	発電規模(MW)						
		北海道	東北	関東・東海	四国・近畿	九州	離島	全国
40m	50	2844.65 5063.10	135.85 101.45	48.95 55.00	11.00 29.15	171.50 179.15	7.70 7.70	3219.65 5435.55
	80	2082.35 3656.10	108.10 78.45	44.40 54.00	14.40 36.00	105.25 118.55	8.40 8.40	2362.90 3951.50
100m	50	9915.10 20823.70	357.50 639.90	56.65 204.60	31.40 303.45	283.10 246.75	16.00 16.00	10659.75 22234.40
	80	7012.50 14729.75	285.70 384.05	52.80 199.20	41.50 375.85	190.35 172.15	17.85 17.85	7600.70 15878.85

上段：海岸から5km以内の範囲 下段：等風速線内全域(参考値)

基礎的・基盤的研究の分野では、水平軸および垂直軸風車のロータまわりの流れ場の理論解析と風洞実験、可視化実験、レーザドップラー流速計による精密測定を通じて空気力学理論およびロータ設計技術の確立を図っている。また、低レイノルズ数領域でも高い性能を示す風車用翼型の開発やCFD（計算流体力学）支援による流れ場解析も行われている。風車の開発が、きわめて豊富な研究課題を提供しているのが興味深い。

応用・開発研究では、昭和56年度に、ロータ直径6m、発電出力1.5kWのフィールド試験機を設置し、自然風況下における実機の運転・試験を開始した。起動性の悪さ、過回転によるシステム停止などのトラブルが、その後の高性能風車の開発に役だっている<sup>7)</sup>。

昭和61年度には研究所構内にロータ直径15m、発電出力15kWの水平軸型風力発電システム（図-3：WIN D-MEL機）を設置し、フィールド試験を開始した。このシステムは、小型の高性能風車の開発とあわせて、ティータードハブ機構、可変速運転システムおよびメカニカルガバナナなど大型機の開発に要求されている革新技術概念の試験・研究を行うものである<sup>8)</sup>。ティータードハブ機構とは、シーソー運動を許容することにより風の変動による不均一空力荷重を緩和し、ロータ（特にハブ部）の疲労荷重を軽減する機構であり、ウィンドシアアの支配下にある大型機には必須ともいわれる。可変速運転も同じような発想によるもので、風に任せてロータの回転数を可変速とし、変動風の衝撃をかわすものであり、DC-リンク方式などによる



図-3 機械技術研究所のWINDMEL機

電力回生側で安定した電力を得て、系統へ連係する。世界最大級の風車MOD-5Bなども可変速運転システムを採用している。

2.2 民間における開発

わが国の主な風力発電設備を表4に示す。

表4 わが国の主な風力発電設備

開発時期 (西暦)	開発主体 製造業者	設置場所	風車出力 (kW)	ロータ直 径 (m)	目 的
1982	九州電力 三菱重工	沖永良部 島	300	33	離島での電力供給 試験
1983	NEDO 東京電力 石川島播磨	三宅島	100	29	試験研究 (終了・撤去)
1985	三菱重工	長崎市	250	25	商業化試験
1987	工業技術院 機械技研	つくば市	15	15	試験研究
1988	東北電力 ヤマハ	青森県 尻屋崎	16.5	15	試験研究
1989	寿都町 ヤマハ	北海道 寿都町 × 5台	16.5	15	中学校の電力供給
1990	九州電力 三菱重工	鹿児島県 飯島	250	28	(建設中)
1990	沖縄電力 ヤマハ	沖縄県 伊是名島	100	30	(建設中)
1990	関西電力 ヤマハ	神戸市 六甲アイ ランド × 2台	16.5	15	(建設中)
*	NEDO	沖縄県	ウィンド ファーム、 など		エネトピア構想 (計画中)

(1) 三菱重工のMWT-250機

三菱重工は従来より、中規模の3枚ブレードの水平軸型風力発電システムの開発に取り組んできており、昭和57年には沖永良部島の九州電力知名風力発電所にロータ直径33m、定格出力300kWのシステムを建設した。その後、250kWの風車を香焼に設置、開発試験を行い、その経験をもとに、昭和62年にMWT-250機（ロータ直径25m、定格出力250kW）をハワイ島のカマオアウィンドファームに37台（図-4）とカリフォル



図-4 37台のMWT-250機よりなるカマオア・ウィンドファーム（ハワイ）

ニア・テハチャピのウィンドファームに20台を設置した。現在は、テハチャピのウィンドファームに340台を建設中である。なお国内では、九州電力が甑島に1基を建設中である。

### (2) ヤマハ発動機のヤマハ15機、ヤマハ30機

ヤマハ発動機は、機械技術研究所のWINDMEL機の製造経験を踏まえ、これに技術的改良を加えた風車ヤマハ15機（ロータ直径15m、出力16.5kW）を開発している。現在、試験研究用の1基が東北電力により尻屋崎で運転されており、また北海道の寿都には中学校の暖房用に5台が運転されている（図-5）。さらに、関西電力は神戸の六甲アイルランドに2基を建設中である。最近では、沖縄エネトピア構想で、同機等を用いたウィンドファーム建設も検討されている。

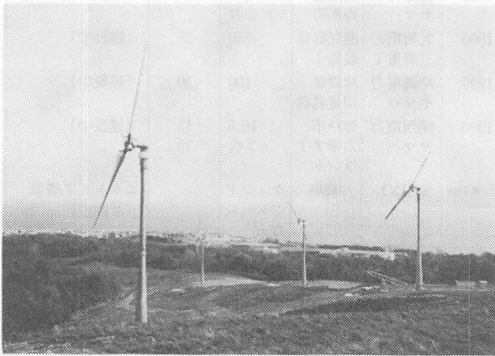


図-5 北海道寿都に建設された日本最初のミニ・ウィンドファーム

ヤマハ30機（ロータ真径30径m、出力100kW）は、ヤマハ15機をスケールアップしたもので、共通の設計思想を有する。沖縄電力が来年の運開を目指して伊是名島に建設中である。

### (3) 住友重機械SHI-200機

住友重機械は、カリフォルニア・ウィンドファームをターゲットとして固定ピッチ、3枚ブレードのSHI-200機（ロータ直径20m、定格出力200kW）を開発し、昭和63年よりテハチャブ地区で実証試験を継続している<sup>9)</sup>。

## 2.3 大学、地方自治体など

大学では、足利工業大学、三重大学、東海大学、山形大学、茨城大学、筑波大学、早稲田大学などをはじめ、全国の多数の大学で基礎研究と小型機による試験研究が行われている。また通信用、夜間照明用、観光用、農業用の小型風車も全国に多数設置されており、これらは「日本の風車」（日本風力エネルギー協会）

にまとめられており、その数は百を越える。

## 3. 海外の開発動向

海外では、中・小型機の大規模な商業運転が進行している。カリフォルニア・ウィンドファームはその先頭をきるもので、ヨーロッパでもウィンドファームの建設が進んでいる。欧米の一部のマシンはエネルギーコストも既存エネルギーのそれと競合するまでに達したといわれる。

日本も参画しているIEA（国際エネルギー機関）の風力発電システムに関する国際共同研究では、500kW以下の中・小型機は商業段階、500kW以上の大型機開発段階にあるとしている。大型機は既存技術の延長上の単なるスケールアップでは開発できず、新技術概念が要求される。それゆえ、大型機はナショナルプロジェクトとして開発、試験研究されている。

表5は世界の大型風力発電機（500kW以上）の一覧表である<sup>10)</sup>。開発段階の欄に記号Cで示される商業機はわずかであるが、ハワイに建設された14台のWWG-0600機は、商業機も大型化を指向していることを示している。

### 3.1 ウィンドファーム<sup>11)</sup>

米国カリフォルニアのウィンドファーム建設は、新エネルギー関連法案による優遇措置を背景として、1980年初頭から始まり、風力タービン設置台数は約17,000台で、その発電能力は1,500MW、州電力需要の3%程度を担っていると推定される。

米国の市場に大量の風車を輸出しているデンマークでもウィンドファームの建設が進んでおり、約1,500機、75MWの容量を持つ（1987年1月）。エネルギー省と電力会社は1990年までに合計100MWの建設を予定している。

オランダには、18基の300kW風車から成る5.4MW容量の試験研究用ウィンドファームが建設されている。また、オーベリセル県電力会社は1987年に300kW機25基から成る7.5MW容量のウィンドファームを建設している。

西ドイツは1987、88年に、25kWから55kWクラスの小型機から構成される1MW規模のウィンドファームを2地点に建設している。

イギリスはイングランドに2地点×8MW、ウェールズに1地点×8MW、スコットランドに2地点×8MWの設備の建設計画を有し、2000年には1000MWを展望している。

3.2 大型システム<sup>1)</sup>

欧米における大型機の研究開発は、ナショナルプロジェクトとして政府の主導のもとに推進されている。

(1) 米国MOD-5B機

米国はコスト面でも実用化を目指す第三世代の風車MOD-5Bを開発し、1987年にハワイのオアフ島に建設した。ロータ直径99m、ハブ高さ60m、定格出力3.2MWの世界最大級の風車で、ティタードロータを有する可変速運転システムである(図-6)。現在はハワイ電力が商業運転を行っている。運転実績はきわめて良好である。



図-6 世界最大級の風車, 米国MOD-5B機(ハワイ)

(2) イギリスLS-1機

エネルギー省と北部水力電力庁の共同開発によるもので、1987年オークニー島のバーガーヒルに建設された。ロータ直径60m、出力3MWの2枚ブレードのアップウィンド型風車で、ティタードロータを備える。イギリスではこの他に、LS-2機(ロータ直径70m、2.4MW出力)、HOWDN 750kW機(ロータ直径

45m)、HOWDEN 1MW機(ロータ直径55m)が開発中にある。

(3) スウェーデンWT-75機, WTS-3機

スウェーデンは2010年までに原子力発電所(4ヶ所、12基)を廃止することを決定しており、風力に対する関心が高い。

表5 世界の大型風力発電機(500kW以上)

国名	名称	開発段階	建設基数	軸型式	ブレード数	ロータ配置	ロータ直径(m)	ハブ高さ(m)	定格風速(m/s)	定格出力(kW)	発電機型式
カナダ	EOLE 6400	P	1	V	2		64	56	23	4000	A
		C	2	V	2		24	21	18	522	I
デンマーク	NIBE-A	P	1	H	3	U	40	45	13	630	I
		P	1	H	3	U	40	45	13	630	I
	WINDANE 40 2MW	C	5	H	3	U	40	45	15	750	I
		P	1	H	3	U	60	60	15	2000	I
イタリア	GAMMA 60	P	0	H	2	U	60	60	13	1500	A
西ドイツ	WKA 60	P	0	H	3	U	60	50	12	1200	S
		P	1	H	2	D	100	100	12	3000	I
	MONOPT. 50	C	3	H	1	U	56	60	11	640	S
		P	1	H	1	D				5000	
オランダ	NEWECs 45	P	1	H	2	U	45	60	14	1000	A
スペイン	AWEC 60	P	0	H	3	U	60	46	12	1200	I
スウェーデン	WTS-75	P	1	H	2	U	75	77	13	2000	I
		P	1	H	2	D	78	80	14	3000	S
イギリス	LS-1	P	1	H	2	U	60	45	17	3000	S
		P	0	H	2		70			2400	
	750kW (HOWDEN)	P	1	H	3	U	45	35		750	S
		P	0	H	3	U	55	45		1000	
米国	MOD-2 (DOE)	P	4	H	2	U	91	61	12	2500	S
		P	1	H	2	U	91	61	12	2500	S
	MOD-5B	P	1	H	2	U	99	61	21	3200	C
		P	1	H	2	D	78	80	15	4000	S
	WWG 0600	C	14	H	2	U	43	31	13	600	I

[記号] 開発段階: P=実証機, C=商業機  
 軸型式: V=垂直軸型, H=水平軸型  
 ロータ配置: U=アップウィンド型, D=ダウンウィンド型  
 発電機型式: S=同期機, S=誘導機, A=AC/DC/AC方式, C=サイクロコンバータ方式

[出所] 1988年9月 IEA・風力変換システムR&D・委員会

ナショナルプロジェクトのもとでの、WTS-75機（ロータ直径75m, 出力2MW, 1982年 Nasuddenに建設）とWTS-3機（ロータ直径78m, 出力2MW, 1981年 Maglarpに建設）の2基の大型機は、共に2枚ブレードの同規模の風車であるが、ロータ配置がダウンウィンドとアップウィンド、ハブがティータードとリジッドなど、対照的な設計がなされている点に世界中の研究者の関心を集めている。

スウェーデンはさらに、大型機WTS-80の西独との共同開発、1MWの可変速システムの開発、さらには7百万kWhの陸上設備と、2千万kWhの洋上発電設備の建設計画を持つ。

#### (4) デンマークNIBE-A/B機

NIBE-A/B機（630kW）は1979/80年に相次いで建設された。3枚羽根のアップウィンド型風車であるが、ピッチ制御が異なる。

ユトランド半島の電力会社は、エネルギー省とECの支援を受け、2MWのプロトタイプ機（直径61m）を開発・運転しており、またジールランドの電力会社も、政府およびECの援助のもとに、5基のWINDANE40（ロータ直径40m, 発電出力750kW）で構成されるウィンドファームを1987年に建設し、商業運転を行っている。

#### (5) オランダNEW ECS-45

NEW ECS-45（ロータ直径45m, 出力1MW, 北オランダMedemblikに建設）は、政府およびECの援助のもとに、1986年、北オランダ県電力会社によって建設された。アップウィンド型ロータ配置で、リジッドハブを用いたフルスパンピッチ制御のシステムである。試験研究機HAT-25（ロータ直径25m, 出力300kW, 1980年建設）とその3台の商業化機NEW ECS-25を大型化したものである。AC-DC-ACリンク方式による可変速システムを採用している。

#### (6) 西ドイツGROWIAN機, 他

ナショナル試験研究機GROWIAN機（ロータ直径100m, 出力3MW, 1982年建設）は、ティータードハブを採用したダウンウィンド形式の風車で、1984年の5月に80時間の運転の後、ティータリングフレームに21箇所ものクラックが発見され、1988年に撤去された。現在は、GROWIANの経験を生かした実用機WKA-60機（ロータ直径60m, 出力1.2MW）がヘルゴランド島に建設されている。

また1枚ブレードのMonopteros-50機（ロータ直径51m, 出力550-1000kW, 1982年建設）が開発され

ている。懸架式ハブを採用したダウンウィンド型ロータ配置で、変動風況下でもきわめて安定した運転を継続している。

#### (7) カナダのダリウス風車EOLE機

世界最大の垂直軸型風車EOLE機は、ロータ直径64m, ロータ高さ96m, 出力MWで、1986年にナショナルプロジェクトとして開発された。発電機は162極を有し、発生電力はAC-DC-ACの変換を経て系統に送られる。

なお、広大な地を有するカナダでは、風力発電への期待が高く、7カ所の風/ディーゼル発電所の計画がある。

#### (8) イタリアのガンマ60機

ティータード・ロータを備えるアップウィンド形のガンマ60機（ロータ直径60m, 出力1.5MW）が、ナショナルプロジェクトとして開発中にある。広範囲の可変速運転システム（15~44rpm）で、出力制御はヨーコントロールにより行う固定ピッチのシステムである。

#### (9) スペインAWEC-60機

ナショナルプロジェクトのもとに、西ドイツのWKA-60の姉妹機AWEC-60（ロータ直径60m, 出力1.2MW）を建設中である。

## 4. 将来展望

近代の空気力学と現代の新材料によって甦った現代風車も、変動の激しい自然風の前では一隻の帆船でしかなかったが、鍛えられ、信頼性の高いものへと成長している。図-7はカリフォルニアウィンドファームの風車の単位出力当り発電量の年次変化を示す。その増加傾向は、風車の稼働率、信頼性、性能等の順調な向上を意味している。風車の信頼性の向上に伴い、発電コストは低減し、1987年には7~8セント/kWhとなり、目標値5セント/kWhに接近しつつある(図-8)。

設置出力当りの発電量(kWh/kW)

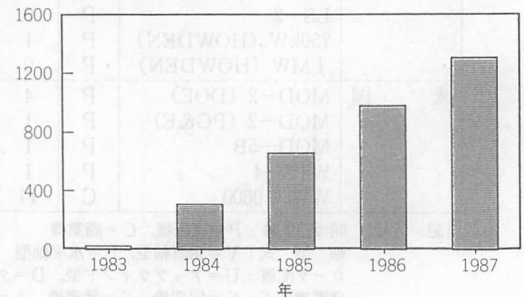


図-7 米国ウィンドファームにおける単位出力当りの発電量の年次変化

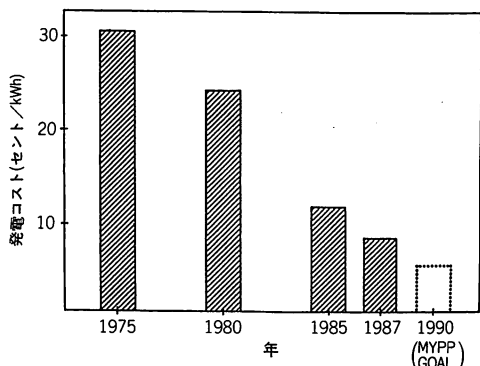


図-8 米国ウィンドファームにおける発電コストの年次変化

風車スケールは、ウィンドファーム発生当初に一基の発電出力がたかだか50kWであったものが、今では平均にして200~300kWに増大し、600kWの出力を有するWWG-0600機も建設されるなど、技術の確立にともない商業機も大型化の傾向を示している。

米国のウィンドファームにおける、風力発電設備の運転停止を伴う故障の技術的要因を表6に示す。構造関係が最も比率が高く、中でもブレード材料の疲

表6 風力発電の運転停止による出力損失の技術的要因

空	力	20%
構	造	40%
大	気	15%
要	素	15%
制	御	10%

労問題が最大の課題となっている。耐久性の獲得と信頼性の向上が風車工学の大きな課題である。また、変動風との闘いという面から、より信頼性の高い制御技術・運転技術の確立が望まれる。その反面、失速制御などという新しい概念も生まれており、翼型の動特性をはじめ幅広い基礎的研究も必要となっている。

利用技術の面では、変動の激しい風車の電氣的出力を高品質に保ちながら、安定的に系統に連係して利用するための一層の工夫と試験研究による実証が必要となっている。また、風力発電設備は、単独では無風時には電力を供給できないので、他の発電装置とのハイブリッドシステムの開発は、とりわけ離島や電力網の無い大陸での利用価値が高い。また、より長期的には、安価な蓄エネルギーシステムの開発は、風力のみならず、多くの自然エネルギーの飛躍の普及の導火線となると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 東; 風力発電, エネルギー・資源 Vol. 6, No. 6 (1985).
- 2) Lindley; AWEA Wind Power '88 (1988).
- 3) 東北電力, 他, 大型風力発電システム開発, 昭和63年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託研究業務成果報告書 (1989).
- 4) 石田; サンシャイン計画における風力発電システムの開発の現状, 日本風力エネルギー協会, 第11回風力エネルギー利用シンポジウム (1989).  
蔵並; サンシャイン計画における利用技術の開発, 日本風力エネルギー協会, 第8回風力エネルギー利用シンポジウム (1986).
- 5) 千代田D\$M; 大型風力発電システム開発, 昭和63年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託研究業務成果報告書 (1989).
- 6) 松宮; 機械技術研究所における風力の研究, 日本風力エネルギー協会, 第11回風力エネルギー利用シンポジウム (1989).
- 7) 松宮; 風車の基礎研究, サンシャインジャーナル Vol. 8, No. 1 (1987).
- 8) 松宮, 他; 可変速風力発電システム, 電気学会新・省エネルギー研究会資料ESC-88-6 (1988).
- 9) 三田, 他; 住友重機械200kW風車の開発と運転状況, 日本風力エネルギー協会, 第11回風力エネルギー利用シンポジウム (1989).
- 10) IEA「風力変換システムに関する共同研究執行委員会」での配布資料(1988年9月)より作成.
- 11) 野村総研; 風力発電技術開発状況に関する調査 (1988), 等を参考とした.