

## 風力エネルギー開発の現状と今後の課題

### Wind Energy : Present Status and Future Problems

牛 山 泉\*

#### 1. はじめに

このところ風力を新エネルギー源として見直す機運が盛り上がってきている。エネルギー源としての風力は人類にとって最も身近なものであり、また最もつきあいの古いものである。ヨーロッパを中心に中世から近世にかけて開花した風力利用技術も、今世紀に入り水力、火力、内燃機関などのエネルギー生産技術の発展とともに衰退の一途をたどり、近年は全く鳴りをひそめてしまっていた。

しかし、化石燃料資源の枯渇とそれらのエネルギー変換に伴う環境汚染などのエネルギー危機に対処するための強い要請にこたえて、この風力エネルギーも再び表舞台に登場することになった。いわば「風車のリバイバル」である。

各国の大規模な風力利用に対する活発な動きに比べこれまで風力の利用にはあまり関心を示さなかったわが国においても、科学技術庁の「風トピア計画」や通産省の「サンシャイン計画」において風力利用が取り上げられ、これらが契機となって産業界、学界にも強い刺激を与え、風車もロマンから実用へと大きく動き出している。

#### 2. 大規模風力発電に関する研究開発

現在、各国で風力エネルギーの再開発が大きく取り上げられているが、その主流は既存の電力網に接続する大規模風力発電にあるといえる。特にアメリカにおいては西暦2,000年におけるアメリカの全電力消費の20%を風力でまかなうという遠大な計画のもとに、大規模風力発電の実証研究が着々と進められている。

一方、かつて中世から近世にかけて風車文明の花が

咲いたヨーロッパにおいては、この“風力がものになる”という土壌に再び新しい風力利用技術の花を咲かせようと各国で研究開発が活発に進められている。

##### 2・1 アメリカ<sup>1)</sup>

アメリカにおける風力エネルギー再開発の具体的活動は1973年にNASAとNSFとにより始められ、以後ERDA(エネルギー研究開発庁)を経て、1977年10月以降DOE(エネルギー省)が研究開発を主導している。

大規模風力発電装置としては1975年にERDAの委託でNASAによりオハイオ州サンダスキー近郊に建設されたMod-O(100kW)が最初で、以後1978年にはMod-OA(200kW)がニューメキシコ州のクレイトン、プエルトリコのクレブラ、およびロードアイランド州のブロックアイランドに建設された。1979年秋までにクレイトンでは5100時間運転して476,000kWh、クレブラでは600時間運転し、83,630kWhの電力を発生しているが、ブロックアイランドのMod-OAはまだ70時間程度の運転がなされたのみである。

また、1979年7月にはノースカロライナ州のブーン近郊に、ロータ直径61mのMod-1(2000kW)が建設された。この装置はアメリカにおけるメガワット級の風力タービンの第1号機であり、設計、製造、装置、運用にわたる種々の実験が計画されている。このプロジェクトにおいては、装置の性能(出力、荷重及び応力、振動)、既存の電力供給システムとのインターフェース、環境影響(騒音、TV波障害、生態系への影響)、パブリック・アクセプトランス等、種々の事前評価がなされ、目下予備試験に引き続き試験運転を開始している。

さらに1980年にはロータ直径91mのMod-2(2,500kW)が建設され、以後Mod-6まで各種の数百kW～MW級の大規模風力発電装置の設置が予定されている。

これらの大規模風力システムの開発目標はエネルギー

\* 足利工業大学工学部助教授

ーコストの低減にあり、現在の3.5¢/kWhを2.5¢/kWhとすることに力が注がれている。

これらのMod-0~Mod-6シリーズとは別に、アメリカ灌漑局では風況に恵まれたワイオミング州メイシンバウにおいて既存の水力発電システムと風力発電システムの複合利用を検討し、1980年度より試験機の設置を予定している。

## 2・2 カナダ

カナダではNAE(国立航空研究所)において1960年代初頭より垂直軸のダリウス型風車の開発を行っており、NAEと密接な関係を有するダフ・インダル社においては中小規模のダリウス型風車の生産型モデルを製造している。特に1977年5月にはダリウス型としては世界最大の200kW機をカナダ東部セントローレンス湾のマグダレン島に建設し、ハイドロ・ケベック社のディーゼル発電との並列運転を行なっている。

## 2・3 スウェーデン

スウェーデンにおいては1975年に設立されたNE(エネルギー開発庁)により風力開発プログラムが実行されている。風力開発はMW級の大型風車システムの開発、さらに大型の沖合風力システムおよび小型風車システムの3グループに大別され、現在のところ主力はMW級の大型風車システムにおかれている。

大規模風車に関しては1977年にSaab-Scania社によりロータ直径18mの65kW機がシマルチック海沿岸のÄlvkarlebyに建設され、1979年にはKarlskronavarvet社によりロータ直径78mの3,000kW機が南部のMaglarp近郊に建設された。前者のブレードは1980年に25mのものに変更を予定されている。さらに1982年の運転開始を目指してKMW社によりロータ直径75mの2,000kW機がGotland島に建設されつつある。

スウェーデンの南岸及びGotland島、Öland島などは特に風況に恵まれており、ロータ直径100m級の大型風車を3,000台程度建設可能である。長期的にはスウェーデンの陸地全体で年間30TWh程度の風力発電が可能であり、沖合風力システムによっても、ほぼ同量の風力発電が可能であると見込まれるため、現在約1,000基の水力発電装置により発電している年間60TWh程度の電力を風力発電により供給可能であると推定されている。

## 2・4 西ドイツ

西ドイツにおいては科学技術省の管轄下に、DFVLR(ドイツ航空宇宙研究所)を中心とし、企業や大学が協力して風力利用の研究開発を進めている。注目さ

れるのは、これまでエネルギー源としての風力の可能性に否定的で、1977年の政府レポートでは、1990年までに風力が電力消費の1%以上をまかなうようになることはあるまい。と予想していた西ドイツ政府が1980年初頭にハウフ科学技術相により、同国では風力発電により少なくとも水力に匹敵するだけの電力を生産可能であり、電力需要の約8%を風力でまかなうことができる、として風力の可能性に大きな期待を表明したことである。

1979年にはフォイト社により、ロータ直径52mの265kW機が建設され、引き続きGROWIAN計画と呼ばれる大規模風力発電装置シリーズの建設計画にしたがってMW級のマンモス風車の建設が予定されている。1980年夏には3MWの「グロービアンI」がエルベ川下流に建設され、続いて5MWの「グロービアンII」が建設される。

西ドイツにおいては風車システムの技術開発よりも、用地の確保が問題であるとしている。たとえばグロービアンIを100基建設し、それらを相互に接続して300MWの発電システムとする場合、そのための所要面積は10~12km<sup>2</sup>にも及ぶためである。

## 2・5 デンマーク

デンマークは今世紀初頭より中規模(20~50kW)の風力発電を実用化してきた唯一の国である。現在はDEFU(デンマーク電力組合研究所)を中心に研究開発が進められている。1977年にはアメリカのNASAとDEFUが共同で1958年から10年間実用運転され、以後10年間放置されていたゲスル風力発電装置(200kW)の調査研究を行なった。これに基づいて、1979年6月にはロータ直径40mの600kW機を2基(モデルAおよびB)ユトランド半島のNibeに建設し実証研究を開始している。モデルAはブレードの途中までステータがつき、ブレード先端の12mのみがピッチ可変となるゲスル風車タイプ、モデルBは、ブレード全体のピッチが可変の通常のプロペラ型である。

## 2・6 その他の国々

これまでに述べた国の他にも大規模風力発電システムを開発中の国がいくつかある。

イギリスにおいてはエネルギー省の主導下に、ERA(Electrical Research Association)、ブリティッシュ・アエロスペース社、テイラー・ウッドロー・コンストラクション社などのグループがロータ直径60m、出力3,700kWの大型風力発電装置を計画しており、1981年完成予定である。このシステムの設計方針は簡

単な構造で経済的なシステムとすることで、プロペラは固定ピッチとし、3相誘導発電機を使用し既設の電力網に接続する方法をとっている。

フランスにおいては1950年代後半から60年代初頭にかけてMW級の大規模風力発電システムの開発が行なわれたが、以後大型風車の開発は全く行われなかった。しかし上記の大型風車を開発したBEST社のノウハウを引き継いだアエロワット社では、EdF(フランス電力庁)の依頼により1979年にブルターニュ半島沖のUshant島にロータ直径18mの100kW機を建設し、試験運転を開始している。現在のところフランスにはMW級の大型風力発電装置の建設計画はないようである。

オランダにおいては、将来の全電力消費量の15~20%を風力発電でまかなうことを目標に、ロータ直径50mの1MW機をオランダ全土に5,000台設置することを計画している。現在はこのための必要な資料を得るために300kWのプロペラ型風力発電装置を開発して

おり、これに基づいて1981年迄に1,000kW機を建設予定である。

ソ連においては1976年にスタートした第10次5ヶ年計画に基づいて風力発電を含む発電所の建設が急ピッチで進められている。大規模風力発電に関しては1970年代の初頭からカザフ共和国のツェリノグラードにおいて12基の大型風力発電装置が運転され、1978年迄の積算発生電力は11.7GWhに達している。現在、ロータ直径60m、3枚翼プロペラ型の1~5MWの大型風力発電装置が開発されており、これらは総出力10~50MWの風力発電所群としてシベリアおよび中央アジアに建設される予定である。

わが国においても、遅ればせながら大型風力発電システムの開発が始まっている。東京電力がわが国初のプロペラ型大型風力発電装置(ロータ直径28m、出力100kW)を計画しており、1981年に伊豆七島の三宅島に建設予定である。また通産省工業技術院のサンシャイン計画においてもMW級風力発電システム建設のた

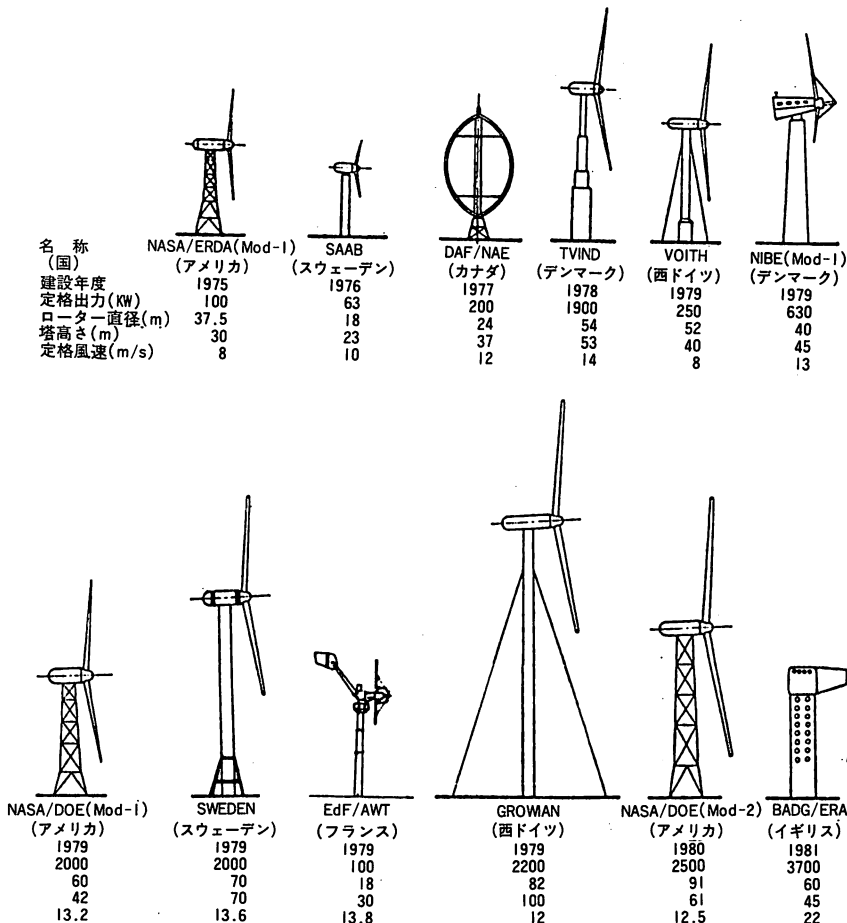


図-1 各国の大規模風力発電装置一覧

めの基礎データを得るため 100 kW 級の風力発電装置による実証研究を計画している。

これまで述べてきた各国の代表的な大規模風力発電装置を図-1に一括して示す。

### 3. 中小規模風力利用に関する研究開発

現在、各国の風力利用開発の主流は大規模風力発電にあるが、風力は本来、小規模分散的なエネルギー源であり、風力利用の歴史も小規模風力利用の有用性を示している。したがって、風力利用が見直されつつある中で、各国とも中小規模の風力利用に関する地道な研究開発を進めている。また相当数の中小規模風車のメーカーも存在している。

アメリカにおいてはコロラド州ゴールドデンにあるエネルギー省のロッキーフラッツ研究所において、100 kW 以下の中小規模風車のフィールド・テストを実施している。またアメリカ農務省と協力して農場への小型風車システムの適用の可能性を検討し、さらに風力関連産業の育成、小型風車のユーザーへのガイダンスを行なうことも目的としている。

現在は市販の12基の小型風車システムに関する試験を行なっており、さらに1kW、8kW、40kWの三種の小型風車開発プロジェクトも実施されている。これらは信頼性の高い低コストのシステムの開発を目標としている。1kW級はEnertech社、Northwind社がプロペラ型、Aerospace Systems Inc.社がジャイロミル型を相当し、8kW級はUnited Technologies

社、およびGrumman社がプロペラ型、Alcoa社がドリウス型を担当している。さらに40kW級はKaman社がプロペラ型をMcDonnell Aircraft社はジャイロミル型の開発を担当している。

また、デンマークにおいても1978年度から3年計画で小規模風力発電プロジェクトが実施され、Risøに小型風車のためのフィールドテスト場が建設され、風車出力や耐久性のテストを行なっている。また一般の企業からの新しいデザインの応募とそれらの実証試験も行なっている。フィールドテストでは主に、①風速と出力の関係、②部品の負荷応力測定、③製品の信頼性、④運転コストの算定などを評価している。

わが国においても1978年度より科学技術庁の「風トピア計画」がスタートした。これはわが国の代表的風況を有すると考えられる日本海側の石川県金沢市、内陸部の群馬県安中市、および太平洋側の愛知県武豊町の三ヶ所のテストサイトに1kW級の小型風車を2～3基ずつ設置し、小規模風力利用の有用性を立証しようとするものである。表1(a)及び(b)は「風トピア計画」の調査の概要および風車の諸元を示す。

二年間にわたり、各風車設置地点の風況、風車の特性、効率と安全性、利用システムなどを研究するが、小規模利用とはいえユニークな試みであり、各国の注目を集めている。

この他にもイギリス、スウェーデン、西ドイツ、オーストラリア等においても小規模風力利用の研究開発が活発に行なわれている。特に西ドイツのDFVLR

表1(a) 「風トピア計画」の調査の概要

委託先及び風車設置場所	風車の種類	用途	調査事項
(委) 石川県金沢市 (風) 金沢市平等本町13番地 金沢市少年自然の家及び牧場 (金沢市郊外東約10km, 標高約400mのキゴ山)	○東海大・望星企業風車 ○山田式風車 ○エレクトロ風車	○養魚水槽の(1,350ℓ)水の還流と冷却 ○牧場用電気柵 ○室内照明	○風向・風速等 ○風車のエネルギー変換率及び特性 ○風車の安全性 ○エネルギー伝達効率 ○利用機器稼働率
(委) 群馬県 (風) 群馬県安中市小俣遠尾根1037 ローズベイクントリークラブ (安中市郊外約2km, 標高200m 榛名山, 妙義山に三方を囲まれた台地)	○松下精工風車 ○山田式風車	○ゴルフカートの充電	
(委) (財)中部科学技術センター (風) 愛知県知多郡武豊町字南中根45 農林省野菜試験場 (武豊町郊外約1km, 標高40m 知多半島中央東海岸丘陵部)	○東海大・望星企業風車 ○富士電機風車 ○山田式風車	○揚水揚程(10m20ℓ/min) ○ミニ温室(10㎡)の冷暖房	

表1 (b) 「風トピア計画」の風車の諸元

メーカー	東海大・望星企業	富士電機	松下精工	山 田	湯浅電池(スイス・エレクトロ社)
種 類	直線翼ダリウス	プロペラ	プロペラ	懸垂式プロペラ	プロペラ
ブレード直径	2.5m $\phi$ ×2.5mH	5m $\phi$	4m $\phi$	4m $\phi$	3.6m $\phi$
ブレード枚数(材質)	3枚(A $\ell$ 合金)	3枚(鋼)	2枚(FRP)	2枚×2(木)	2枚(木)
支持塔高さ	10m	10m	10m	10m	10m
出力(定格風速)	1,800W(12m/s)	750W(6m/s)	1,000W(8.5m/s)	2,000W(6.6m/s)	2,200W(12m/s)
風速4m/sのときの出力	100W	220W	110W	400W	220W
発電機	交流(110V, 16.4A)	交流(24V, 31.3A)	交流(12V, 83.3A)	直流(24V, 83.3A) 交流(12V, 166.7A)	交流(110V, 20A)
制御機構	12m/sでブレーキ作動(タイマーにより解除)	7m/sでフェザリング開始	可変ピッチにより翼回転制御, 強風時に非常停止ピッチ	25m/s以上でプロペラが地面に対し水平になり風を避ける	12m/sでフェザリング開始, 強風時には尾翼が曲がり風を避ける

においては部品の保守および交換が容易に可能なモジュール方式プロペラ型風力発電装置(10kW)を開発し, 国内ばかりでなく開発途上国援助の切り札にしようとしていることは注目される. 1979年秋よりこのモジュール方式の第1号機は西ドイツ南部のゲッペンゲン近くの山頂で試験運転を行なっている.

現在開発中の中小規模風車とは別に, アメリカヨーロッパにおいては相当数の風車メーカーが存在し, 風力発電および揚水システムを製造している. 表2は各国の代表的な風力発電および揚水装置を示す. これらの詳細ならびに同表以外の風車について文献(2)を参照されたい.

#### 4. 高性能風車システムに関する研究開発

自然風の保有するエネルギーを, できるだけ多く取り出すためには風車の直径を大きくするか, 何らかの工夫により風のエネルギー密度を高めることが必要である.

前者については既に述べたが, ここでは「高性能風車システム」として後者に関して述べることにする.

特殊な風車を使用して効率よく出力を取り出そうとする試みは, 各国の特許などに無数にあるが, これまでに実用化されているものは極めて少ないのが実情である.

現在, アメリカにおいてDOEとの契約で行なわれている研究にも, ディフューザ・オーグメント方式(グラマン航空会社), トーネード方式(グラマン航空会社),

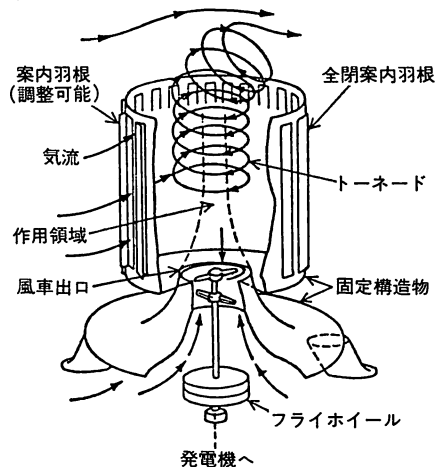


図-2 トーネード方式

マダラス・ロータ方式(デイトン大学), 直線ブレード・ダリウス型風車(ウェスト・バージニア大学), EFD方式(デイトン大学)等があり, この他にもオランダのデルフト工科大学のチップ・ベーン方式, イギリスのレディング大学の変形状ダリウス形風車など多くの方式が提案されている.

図-2はトーネード方式の原理図で, 円筒状のタワー内で竜巻(トーネード)を人工的に発生させ, ダクトに内蔵した風車の回転面を通過する気流速度の増大を図るもので, 大規模システムではタワー内壁における気流の周方向速度の少なくとも7~8倍に到達可能であると云われている. したがって同一気流速度中で作

表 2 市販されている代表的な風力発電装置

NAME	SIZE (KW)	BLADE DIAM. (ft.)	NO. BLADES	RATED SPEED (mph)	CUT IN SPEED (mph)	CUTOUT SPEED (mph)	GOVERNOR	GENERATOR TYPE	
Aero Power (USA)	1. 000	6. 00	2	32. 0	10. 0	—	Full Feathering 12- Volt	DC Generator	
Aerowatt (France)									
24FP7	0. 028	3. 30	2	15. 7	6. 7	—	Centrifugal Pitch Control	3 $\phi$ Alternator	
150FRP7	0. 130	6. 70	2	15. 7	6. 7	—			
300FP7	0. 350	10. 70	2	15. 7	6. 7	—			
1100FP7	1. 125	16. 70	2	15. 7	6. 7	—			
4100FP7	4. 100	30. 70	2	16. 0	3. 3	55			
American Wind Turbine SST (USA)	0. 450 0. 900 1. 800 or water pumper	8. 00 12. 00 16. 00	24 36 48	20. 0 20. 0 20. 0	10. 0 10. 0 10. 0	30 adjustable —	Vane Deflect	— — Alternator	
Amerenalt (USA)	1. 500 2. 500	8. 00 8. 00	24 24	30. 0 40. 0	9. 0 10. 0	adjustable	Vane Deflect	Alternator	
Dominion Aluminum DAF (Canada)	2. 000 4. 000 6. 000 8. 000	15. 00 15. 00 20. 00 30. 00	2- Darrieus	23. 0 23. 0 23. 0 23. 0	7. 0 7. 0 7. 0 7. 0	65 65 65 65	Spoilers ot Induction Generation	Alternator	
Dunlite (Quirks)(Australia)									
L	1. 000	12. 00		3	25. 0	10. 0	—	80° Feather	Alternator
M	2. 000	12. 00		3	25. 0	10. 0	None		
Elektro (Switzerland)									
W50	0. 050	1. 42	Savonius	39. 0	7. 0	None	—		
W250	0. 250	2. 20		40. 0	7. 0				
WV05	0. 600	8. 33	2	20. 0	7. 0	50	Full Feathering	Alternator	
WV15G	1. 200	9. 83	2	23. 0	7. 0	50			
WV25G	1. 800	11. 50	2	22. 0	7. 0	50			
WV25/3G	2. 500	12. 50	3	23. 0	7. 0	50			
WV35G	4. 000	14. 42	3	24. 0	7. 0	50			
WVG50G	6. 000	16. 24	3	26. 0	7. 0	50			
Jacobs (USA)									
J47	3. 000	14. 00	3	20. 0	8. 0	—	Centrifugal Feathering Flyball	DC Gen., 120- Volt	
J45	2. 500	14. 00	3	20. 0	8. 0	—		DC Gen., 120-Volt	
J46	2. 800	14. 00	3	20. 0	8. 0	—			
J49	2. 500	14. 00	3	20. 0	8. 0	—		32- Volt	
J50	2. 000	14. 00	3	20. 0	8. 0	—			
J51	1. 800	14. 00	3	20. 0	8. 0	—			
Kedco- 1200(USA)	1. 200	12. 00	3	21. 0	7. 0	—	Centrifugal Feathering	Alternator	
Lubing (Germany)	Water Pumper	7. 22	3	11. 2			3Flared		
Mo22- 3	0. 400	7. 22	6	18. 0	6. 7	35	3Feathered	Alternator	
Sencenbaugh (USA)	0. 750	12. 00	3	20. 0	8. 0	30	Vane Deflect	DC Gen., 14- Volt	
Winco Windcharger 1222H (USA)	0. 200	6. 00	2	23. 0	7. 0	—	Air Brake	Double Carbon Brush	
Windstream- 25 Grumman (USA)	15. 000	25. 00	3	26. 0	9. 0	60	N/A	Alternator	
Zephyr (USA)	15. 000	20. 00	3		8. 0	45	Spoilers and Servo Control	Alternator	

動する同一直径の風車を考えた場合、このトーネード方式により従来の風車の100~1,000倍という大きな出力を得る可能性があることになる<sup>3)</sup>

一方、図-3は風車ブレードの先端にチップペーンと呼ばれる補助翼を設け、これにより回転時にディフューザ効果を発生させ、風車受風面を通過する空気流量を増加するもので、その増加率は4~5倍にも達し、

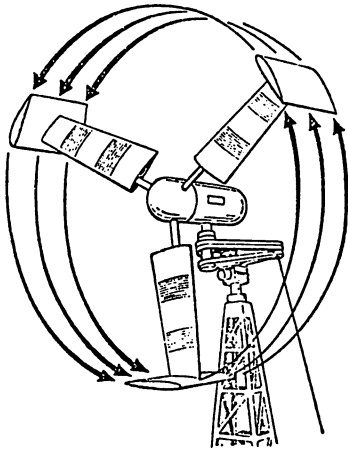


図-3 チップペーン方式

大きな出力増加を達成するものである<sup>4)</sup>

さらに、前述のEFD(エレクトロ・フルイドダイナミクス)発電はEHD(エレクトロ・ハイドロダイナミクス)発電とも呼ばれ、静電界を利用し直接エネルギー変換により電力を取り出す方法で、風車のような可動部分を持たない点は大きな利点といえよう<sup>5)</sup>

## 5. 風力利用の課題

エネルギーの効率的利用を考えようとする場合、どのような質のエネルギーがどの位の量必要であるかを検討し、その最終用途での利用効率を高めるようなエネルギー供給体系を追求することが必要である。

ここで、わが国も含めアメリカ、イギリス、西ドイツ、スウェーデンなどにおけるエネルギーの最終需要構造を調べてみると、エネルギーを熱の形で利用しているものが全体の58~75%、そのうち100℃以下の中温利用が、わが国の22%を除いては35~55%にも達しており、また、どうしても電気を必要とするものは7~12%にすぎないということがわかる<sup>6)</sup> わが国においても暖房用エネルギーの増加などに伴ない中温利用がさらに増加するものと予測されている。

したがって、このような立場から風力利用を考える

場合、従来のような大規模風力発電一本槍でなく、小規模分散的な風のエネルギー特性に適合し、しかも最終的な利用目的に合った利用システムを考える必要がある。

このような利用システムの一例として、中温熱源としての「風力-熱変換システム」が挙げられる。最終の利用目的が暖房や給湯などのような中温熱利用の場合には、途中で電力変換を経ずに直接熱交換するほうが、効率も良く、風車の構造も簡単になる。わが国は冬の季節風が卓越する地域が多いが、この寒い季節の北風のエネルギーを直接熱に変換し、暖房や給湯に利用できればエネルギー需要とも適合する上に、風力の変動性を時定数の大きな暖房や給湯の蓄熱システムに吸収・蓄積させることになり、きわめて好都合といえる。

この方式は既にいくつかの具体的な提案がなされており、一部では実用化が始まっている。図-4は風車で油圧ポンプを駆動し、加圧した作動油をバッファに衝突させて熱変換する方式<sup>7)</sup> また図-5は遠心圧縮機の断熱圧縮熱を利用する「アエロダイナミック・ヒーター」と呼ばれる方式である<sup>7)</sup> この他にも「ジュールの実験」と同様に液体の攪拌による方式、固体摩擦を利用する

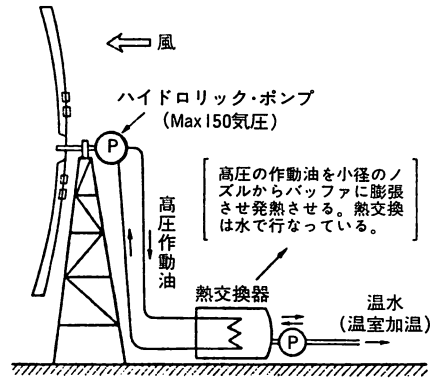


図-4 油圧ポンプを利用した熱変換システム

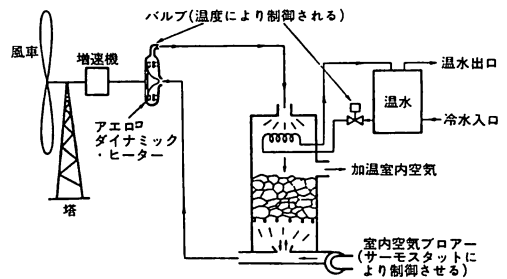


図-5 アエロダイナミック・ヒーター利用の暖房システム

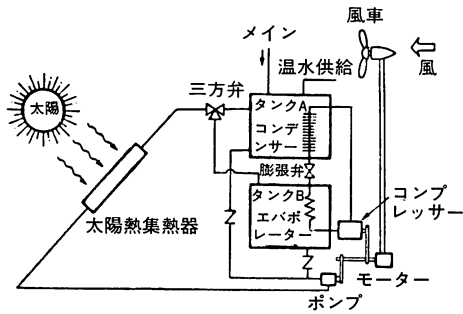


図-6 風車とヒートポンプを用いた冷暖房システム

方式なども考えられる。

今後は太陽熱と風の相互補完的な性質を活用したハイブリッド利用も考えられる。図-6は風力と太陽熱を利用したハイブリッド方式の冷暖房システム案である<sup>8)</sup>

さらに、大規模な風力利用が行なわれた場合の事前評価も大切で、特にローター・ブレードや増速機の騒音、ローターの回転による低周波障害、電波障害、生態系への影響、景観上の問題、冬季の着氷や着雪の問題、局所気象への影響、さらにはパブリック・アクセプタンス等、種々のインパクトを事前に評価し、特に未知の分野、わが国に特有の分野に関してはプロトタイプによる実証試験を行ない定量的な解明を試みると共に、マイナスの影響は何らかの形で緩和する対応策を検討し、実施する必要がある。

## 6. あとがき

風力利用に関して古い歴史をもち、風力利用技術の花が咲いたヨーロッパにおいて、また開拓時代以来、多数の風車を利用してきたアメリカにおいて、風力を代替エネルギーの有力な一分野として再評価する機運が高まっている。

現在の風力利用再開発の主流は各国とも系統連繋用の大規模風力発電にあるが、風力利用の活路はむしろその小規模分散的な特性を活かす利用形態を考えるとところにあるといえよう。これはまた巨大な技術に対する適正規模技術、ハード・パスに対するソフト・パスなどとも関連している。これらはいずれも東洋的発想と相通するものであり、本来日本人の得意の分野といえる。今後わが国においても風力利用の研究開発が活発化し、その技術が定着することを期待したい。

## 参 考 文 献

- 1) Wind Energy Systems, Program Summary, DOE /ET- 0093 Dec, 1978
- 2) 牛山 泉, 三野正洋; 小型風車ハンドブック, パワー社, 1980
- 3) J. T. Yen; Tornado-Type Wind Energy Systems Basic Considerations, 1st Int. Symp. on Wind Energy Systems, BHRA, 1976
- 4) Th, van Holten; Tipvane Research at the Delft Univ. of Technology, 2nd Int. Symp. on Wind Energy Systems, BHRA, 1978
- 5) 本間琢也編; 風力エネルギー読本, オーム社, 1979
- 6) A. B. Lovins, Soft Energy Paths; Toward a Durable Peace, Penguin Books, 1977
- 7) M. O. Lawson, A Low Cost Aerodynamic Heater Representing A Fully Matched Load for Wind Energy Systems, Proc. of IEEE 1978, NAECON 78 Part II
- 8) 牛山 泉; 風力利用と冷暖房, 空気調和と冷凍, 1978 - 10