

山口県蓋井島燈台の風車 4.5kw, 風車直径9.0m
三菱日本重工業, 横浜造船所建造
昭昭26年から運転開始

風力発電と気象

田畑七郎

の風車, 翼の直径 9 m の発電所を建設し, 昭和 26 年夏から現在まで確実に働いている。この設計は, 気象台の佐貫博士の考えを基礎としたものであるという。電力会社としてはこの程度の小型の風車では経済的に成立たないとされているが, 一般用のも

のは山岳の強風域を建設地点に撰べる立場にあるので, 発電量を遙かに増大することができる。現在この燈台の風車は貴重な実験資料を提供していることになる。

(1) 風力発電の歴史

人類が自然原動力として風力を利用した歴史は古く, 12 世紀にはイングランド, 北フランスにおいて風車が相当普及していたといわれる。しかし, 蒸気力が出現した産業革命はこの不安定な動力, すなわち, 風力の利用を衰微させる結果になった。風力が均一な動力源でないことは, その利用の途を著しく制限していたが, これで発電し得るようになって著しく趣を異にしてきた。風力発電の歴史は, 1903 年デンマークの Poul La Coul が蓄電池式を採用した 15kw 内外の小容量発電にはじまる。最近では翼理論を応用した風車を高い塔の上に設置して, 大規模な交流発電をする傾向にある。ソ連では 1931 年クリミア半島バラクラワに 100kw の風力発電所を建設し, アメリカでは 1941 年 Vermont 洲 Grandpa's knob 山頂, 標高 600 m に 1250 kw の発電所を建設し, 一般の配電線に接続して並行運転を開始した。実際の運転は 1941 年 10 月から 2 月まで, 695 時間は系統で並行運転し, 192 時間は単独運転を行い, 298240 KWH の発電をしたが, この期間の終りに主軸の軸受が損傷した。1945 年 3 月から再び運転して, 143 時間に 61780 KWH を発電したが, その後 9.0m/s の普通の風の時, 翼の一枚が取付柄の端で壊れて, 300 m も離れた山腹に落ちた。この風力発電の研究には, 気象学者では Rossby, Pettersen その他の権威が参加している。イギリスでは, 1951 年の世界動力会議の報告書によると, 風力発電のための調査委員会を組織して, 各地の風速を調査している。日本では, 戦時中鉄道省が信州の清水越で小規模な風力発電を行ったが, 強風のため破損した。藤原前中央気象台長は動力源としての風力の利用に注目し, 風力発電の研究をされた。その後日本学術振興会では昭和 23 年 7 月に 500 kw 風力発電所計画書第 1 次報告を発表した。現在では海上保安庁が下関沖合の蓋井島の燈台に 4.5 kw

(2) 風のエネルギー

風力発電で利用する風のエネルギーは, 単位面積を通過する空気の運動エネルギーと, 風向に直角な風車の回転面積との積で示される。単位面積を通過する空気の量は ρv であるから, 風力発電で利用する風のエネルギー E は,

$$E = \frac{1}{2} k \rho v \cdot v^2 \pi r^2 = K \rho v^3 \pi r^2 = K \rho v^3 r^2 \dots \dots (A)$$

$$K = \frac{1}{2} k, \quad K = \frac{1}{2} k \pi = K \pi$$

ρ : 空気の密度, v : 風速, π : 円周率,
 r : 風車の半径, k : 常数

ここに常数 k は風のエネルギーを示す場合には 1 であって, 風車の効率を表わす場合には 1 より小さい。 πr^2 は勿論風車の回転面積である。従来, 風力発電が困難であった原因の一つとしては, 空気の密度が小さいために, 風車の半径を大きくしないと多量の質量を吸収できなかったことが挙げられるが, 現在では強力な資材を使用して, 大型の風車を建設することが可能となって来た。風車が軽く構造が頑丈であれば, 風車の半径を増大して多量の空気のエネルギーを吸収できる。また, 可変ピッチの機構が発達して, 暴風時の風当りを適当に弱めることが可能となったので, 或程度以上の暴風は一定の風速と同一の出力で利用できる道が開かれた。空気の密度は地上からの高度が増大する程小さくなるが, 山岳地方では風速が強いために風車の回転面の受ける空気の運動エネルギーは著しく増大する。(A) 式で言えば風速の三乗が効いて来るわけである。今気温 $t^{\circ}C$, 気圧 H_{mm} の乾燥空気の密度を ρ とすると,

$$\rho = \frac{0.001293}{1 + 0.00367t} \cdot \frac{H}{760} \text{ g/cm}^3 \dots \dots (B)$$

この式で計算してみると, 4 km の高度で空気の密度は

1気圧, 0°C, の密度の 60% 程度になる. したがって風のエネルギーは密度によって影響されることが比較的少ない. 特定地点の気圧変動や, 温度変化のための密度の変化は大体無視しうる程度である. 大規模な風車の設計には建設地点の正確な空気密度の値が必要であるが, 海拔高度が正確に求め得る場合には標準大気で求めた気圧で十分な精度の空気密度を得られるので, そのために起るエネルギー計算の誤差は無視してよい. 風車の回転面積を通過する空気量は $\rho v \pi r^2$ でその量を計算してみると, 次の表 (第1表) のとおりで, 風速と, 風車の回転面積が増大するにつれて著しく空気量が増大していることがわかる.

第1表 風車で吸収する空気量 (ton/sec)

落差	風車		10	20	30	40	50
	半径	風速					
m	(m/s)	ton					
1.3	5	1.6	6.3	14.1	25.2	39.3	
5.1	10	3.1	12.5	28.2	50.2	78.5	
11.5	15	4.7	18.8	42.4	75.4	117.8	
20.4	20	6.3	25.1	56.5	100.5	157.0	

(注) $\rho=0.001 \text{ g/cm}^3$ と仮定する

この表は空気量を ton/sec で示してあるので直接水量と比較できる. 半径 30 m 程度の風車は 1941 年米国の Grandpa's knob 山頂の 1250 kw の風力発電所で建設されたことのあるもので, 現在, 日本の技術でこれ以上の風車の建設は必ずしも不可能とは言えないと考えられる. 以上に示した空気量と同一質量の水を考えると風速 5 m/s では 1.3 m, 10 m/s では 5.1 m, 15 m/s では 11.5 m, 20 m/s では 20.4 m の落差 (第1表参照) で水力発電をすると同じ程度 * エネルギーを利用の対象とすることになる. 計算上から言えば, 富士山頂の年平均風速約 16.0 m/s の風を利用して, 半径 50 m の風車の回転面積を通過する風のエネルギー (発電エネルギーではない) は九州の最大河川筑後川の全流域の 1000 mm の降水量を 15 m の落差で利用するエネルギーよりも遙かに大きい. このように風力発電の建設に当たっては, 強風地点を発見することが必要になってくる. 風のエネルギーは別に水量や落差に換算して表現する必要はないが, 現在の日本では水のみを対象として莫大な開発計画が進められているが, このようにして風力と水力との比較をするのも無意味ではあるまい.

(3) 風速の平均値 (Cube factor について)

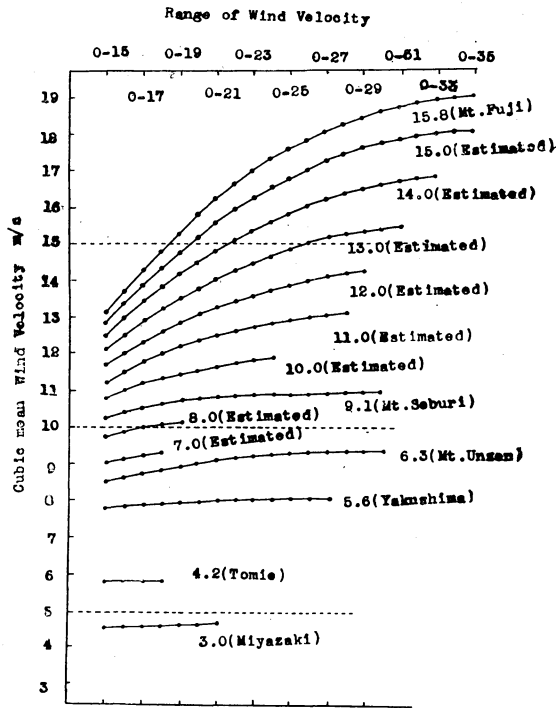
風速はたえず変動しているので, ある瞬間の風速はその時刻を含む前後の時間の代表的な風速にはならない. これでは不便な点が多いので単に風速と言えば, 平均風

速を意味する場合が多い. 現在気象台では 10 分間の平均風速を使用しているが, その平均は算術平均である. 一方空気の運動エネルギーは風速の自乗に比例して空間に分布しており, ある面を通過する空気量は風速に比例するので, 風車面を通過する運動エネルギーは風速の 3 乗に比例し, このエネルギーに比例する風速の平均値は 3 乗平均で示される. 同様にエネルギーからみた風速の平均値は空間的にみて, 風車の回転面, 数地点の風速の平均値などについては 3 乗平均が適していることになる. 算術平均と, 3 乗平均との比を Cube factor と呼んでおり, つぎの式で示される.

$$C = \frac{\sqrt[3]{\frac{1}{N} \sum V_i^3}}{\frac{1}{N} \sum V_i} > 1$$

ここに C が Cube factor であって 1 より大きな値になる. Cube factor が 1 より必ず大きいことは算術平均で算出した風のエネルギーは実際のエネルギーより小さく表されていることを示すものである. 一地点の風速の統計で言えば, 月平均の風速の 3 乗年平均風速は, 算術平均した年平均の風速より大きい. 旬, 日, 時, 10 分間と次第に時間を細かくした平均風速の年 3 乗平均風速は時間間隔を細かくする程大きくなる. この時間間隔の最小単位までとれば始めて全エネルギー量が得られるわけである. 現在の風速測定最小単位を 10 分間と考えれば, 10 分間を単位とした風速の年 3 乗平均風速を求めることができる. 風力発電では平均風速を求める場合に今一つの条件を入れた風速を考える. それは可変ピッチを利用して, 或る限度以上の風速はその限界の風速と同一にして利用する. 例えば, 15 m/s 以上の風速は人為的に 15 m/s として平均するのである. 現在まで求めた各地の風速の風速別回数を利用して 3 乗平均風速と, 算術平均風速とをグラフ上に対応させてみよう. 第 1 図がこれで, 風速の利用限界の巾を 1 m/s ごとに X 軸にとり, この巾の風を利用したとして, その 3 乗平均風速を Y 軸にとってある. 実測値のない年平均風速については推定値を入れてある. この推定の基礎については別に述べる. 富士山に例をとって説明すると, 昭和 15 年の年平均風速は 15.8 m/s で, 0-15 m/s の巾の風速を利用する場合には年平均風速では 15.8 m/s で年 3 乗平均風速は 13.2 m/s 程度となるが, 0-35 m/s の巾で利用すると, 年 3 乗平均風速は 19.0 m/s である. 富士山頂で 15 m/s 以上の風速の吹走時間は 4140 時間で, 1 年のほぼ半ばに達する時間は可変ピッチがうまく働けば時間的に安定した電力が得られるわけで, 7 m/s 台以下の風は全部切捨てるとすると, 風車は 1960 時間休止することになる. また, 0-35 m/s の巾の風を利用すれば 0-15 m/s の巾の風を利用するのに比較すると 5 倍以上の発電量が得られるが, 出力の時間的な変動が大きくなり, 発電機

* $mgh = \pi r^2 \rho v \frac{v^2}{2}$; $\therefore gh = \frac{v^2}{2}$



第1図 風速の3乗平均と算術平均
(註) 曲線群の右端は年平均風速を示す (m/s)

も大型になる。3乗平均すれば風のエネルギーを正確にあらわす風速が求まり、風のエネルギーは今まで想像していたものよりもはるかに大きくなるのがわかる。この場合でも算術年平均風速15.8 m/sと、0~35 m/sの巾の3乗年平均風速では $19.0^3 \div 15.8^3 = 1.64$ と6割もエネルギーが多くなる。

(4) 風力発電と風速の風速別回数

風力発電の基礎資料の一つとして、1年間の毎時間の風速を風速別に整理してその時間数を求めた頻度表と、年平均の風速の高度分布が必要である。風速回数(時間数)は0 m/s 台から1 m/s 毎に各風速別に1年間 8760時間の回数を数えるもので、例として脊振山その他のものを表示するとつぎのとおりである。(第2表) すなわ

第2表 風速の風速別(回数)頻度 時間数で示す

地名	風速	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
脊振(昭25)		63	238	386	501	620	697	722	704	727	682	684	612	513	434	337	265	164	126	86	63	46	90
温泉(〃)		662	538	805	929	824	969	810	465	603	484	328	255	231	213	194	93	88	52	58	39	16	104
富士(昭15)		40	153	243	265	278	284	328	366	377	393	383	375	411	350	374	347	334	355	297	299	327	2181
霧島(昭19)		319	525	807	856	785	760	592	489	611	495	490	418	412	307	250	221	152	100	73	57	29	36
推定値	m/s																						
	10	40	190	340	430	500	700	620	690	750	600	700	630	530	430	410	250	250	180	140	100	50	230
	11	40	170	290	370	440	620	520	690	720	570	670	640	520	460	420	320	290	210	170	130	60	440
	12	40	120	300	340	370	540	480	620	700	510	640	660	460	450	420	450	300	270	190	190	110	650
	13	40	140	270	310	320	420	490	550	600	500	590	630	450	400	410	440	300	320	240	220	170	950
14	40	140	260	290	290	360	460	450	540	450	530	570	410	410	410	410	340	320	280	290	190	1320	

(註) 1. 各地の年平均風速は、脊振 9.0m/s、温泉 6.3m/s、富士 15.8m/s、霧島 7.6m/s。
2. 推定値は、年平均風速を示す。3. 風速 21 は 21 m/s 以上合計を示す。

ち、脊振山の例では0-0.9m/sの風は1年間(8760時間)に63時間で、1m/s台の風は238時間、……となっており、年平均風速9.1m/sより弱い8m/s台では727時間で、最も頻度が多い。同様に年平均風速6.3m/sの温泉岳では5m/s台が969時間で、年平均風速15.8m/sの富士山では9m/s台が393時間で最多頻度を示している。年平均風速が強い程1m/s当りの最多頻度が少なくなっている。風速の頻度分布はΓ分布に類似しているようにみえる。さきに述べたようにある地点の風速を示すには年平均風速のみでは風のエネルギーも推定できないし、発電に利用する風速の範囲も決定できない。風力発電の設計は、

1. 発電の持続時間が大きいこと。
2. 発電エネルギーが大きいこと。
3. 発電力の時間的な変動が小さいこと。
4. 最小発電可能風速が低いこと。
5. 最大可能風速が小さいこと。
6. 規定(設定)風速程度の吹走時間が大きいこと。
7. その他。

などの条件を最大に満足させるものでなくてはならない。風速別回数の統計はこの条件を見出して、利用する風速の範囲と設計風速を定め、発電出力や年間発電時間、発電量を知り、これに適した翼形をもつ風車の設計をするもので、風車の構造、強度などの重要な要素がこれで決定される。脊振山の風速別の回数の資料を例にして説明すると、8 m/s以上の風速の吹走時間の累計は1年間時8760間中4830時間でこれ以上の風速は全部可変ピッチでの風速と同じエネルギーだけを利用すれば、計算の過程は省略するが全風力エネルギーの1/10程度しか利用できないが、出力は時間的に安定し、低気圧などの大気の擾乱の最初から最後までかなり長時間継続的に発電できるので、良質の電氣を得られる上に、送電系統の運営が容易である。これと逆に、大きな電力を得ることのみを主眼とすれば風車、発電機などが重くなり、出力は変動したり建設費に対する利用率が悪くなる。脊振の場合、1年間の発電量を最大にするため、もし6-25

m/s の風を 6-12m/s の中で利用すること、すなわち 25 m/s 以上の暴風で風車を停止し、12 m/s 以上は可変ピッチで 12 m/s の効果と同一で利用する。6 m/s より小さい風は捨てるのが一案として提出されている。かりに利用する風の範囲を 6-12 m/s とすれば 12 m/s の風速は 6 m/s の 8 倍のエネルギーがありこの間を風速に応じて大きく出力が変動するわけである。此際 7-14 m/s の中で利用すると同一出力の時、風車は小型となるが又同一の翼径で出力は大となるが年発電量は風速の階級別分布曲線より発電量は多分減少するだろう。したがって風速の予報を利用して風力、水力の合計出力を調整する問題が起る。風力が時間につれて変動するので、風力発電の設計には風速別に吹走時間を統計する必要が起ったわけで、この欠点か風力発電の最大の障害の一となっているので、同一程度の風速が長時間吹走するような地点を発見したいと考え、またそのような地点が存在すると思っている者もいるらしい。我々の調査した結論から言えば、地上付近の風は一応別にして、少なくとも風力発電の対象となる上層風については否定的な回答が得られている。その結論的なものを要約すると、日本各地の年平均風速と、風速 10 m/s の出現した暴風日数とは比例している。これからみると或る特定の風速より強い風の吹走時間は年平均風速に比例することになる。現在まで得られた風速の風速別回数を求めたものは余り多くはないが、各地の風速は年平均風速が同一であれば、風速別回数もほとんど同一であって、年の風速別回数と年平均風速とは年平均風速毎に対応しているらしい。しかもその観測所の所在地の高度や、地形には余り関係していない。また年平均風速の異なった地点の風速別回数は相互に一定の関係がある。その詳細についてはここでは省略するが、この結果を利用して、任意の年平均風速の風速別回数を内挿して求めることができる。第 2 表に記載した推定値はこの関係を使って求めたものである。後で述べるように日本の高度別風速を Rawin の観測で統計した結果を使用すれば、将来計画される 2000-3000 m 級の高山の風車の構想も練ることもできよう。この風速別回数は、風速の持続性とも関連しており、年平均風速に関係なく、或る風速以上の風が吹く累計時間数のみに関係して、大体同じ程度の（風速の）持続性が期待できるがこれはかなりの誤差を伴っている。また年平均風速のみで風速の回数分布を大体推定できるので、将来の風速調査は無人観測所に着氷よけの風速計を使用することができれば、1 年間の風程を知るだけで充分となる。このためには風速計の目盛盤を増すだけで自記風速計と同一の効果が得られて、多数の観測点の風速の実測を著しく容易にすることができる。風速変動の対策としては風車台数を増加して短時間の出力を均一化することが考えられる。

(5) 日本の風力資源

日本の風力資源の包蔵量については、将来の風車の構造や大きさなどで異なるので、ただちに回答し得られないが、およその推定量を算出しておかないと我が国としてこの資源開発に積極的に力を注ぐ態度を決定することができない。幸いに戦後 Rawin の観測が精度を増して、晴雨に拘らず上層風の観測を実施することが可能となったので自由大気の風速を求めて風のエネルギーの包蔵量を推定することができる。この資料をもとに上層風速を高度別に統計してみよう。第 3 表に示したものが日本各地の風速を高度別に統計したものである。

この表をみると、各地とも高度が高くなるにつれて風速が増大しており、地域によって多少の相違があるがその差は余り大きくないので各地点を高度別に平均して日本付近の代表的な風速と仮定して取扱ってもさし当りの目的には利用できよう。又差当り建設を考慮した場合高度 500 m-1000 m 程度が今の所適度である。実際の山岳地方の風速は地形の影響による加速と、地面摩擦による減速その他で風力発電に利用できる高度の風速は明らかでないが、各地の山岳の風速はその高度に応じて第 3 表の平均風速に若干の風速を加減したものが実際の風速になる。山岳の実測値のある富士山頂観測所の観測では 16.0 m/s でこの平均値を高度で内挿したものと一致しており、脊振山では 10% 以上実測値が大きい。近い将来に山岳に多数の風速計を設置し同時刻の各所の風速の空間的な分布をも実測する必要があると思われるが、差当り以上の事実から判断しても、さき（第 3 表）に示した高度別の風速の平均値で大体のエネルギーを推定してよいと考える。Rawin の観測が発達して信頼できる上層風速の統計が出来るようになったのは最近のことである。従来天気の良い風の弱い時のみに観測した測風気球の風の統計で判断して日本の風力発電を悲観的に考えている人が多いこと、今一つは昭和 24 年以前の風速が一般に使用されていて、現在使用されている風洞検定された風速計の正しい風速より小さい風の記録を使用している人が多いため出力の計算を誤まっていると思われる。とくに日本学術振興会の 500 kw 風力発電計画書が公表されたのが風力の常数改正以前であって、この報告書に記載してある風の記録が現在我々が使用している風より弱い点は注意する必要がある。勿論風速は定義次第で決まると言われており、風車の出力の計算を誤らせぬように現在定義している風速が絶対的なものであるかは断言出来ない。日本各地の風速は緯度が高い程多少は風速は増加しているが平均風速を基にして、高度別すなわち風速別におよその発電量を推定してみよう。今非常に不経済ではあるが時間的に安定した出力を得る方法として、8 m/s 以上の風を 8 m/s として使用するとし、風車の大きさはアメリカで実際に運転した 1250 kw 風車

第 3 表

各地の高度別年平均風速 昭和28年 Rabal Rawin による

地名	高度 km							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
鹿 兒 島	6.1	7.3	8.5	9.6	10.9	12.4	14.0	15.6
米 子	6.7	8.1	9.4	10.5	12.0	13.8	15.9	18.1
輪 島	6.8	7.8	8.7	9.7	10.9	12.4	14.3	15.7
秋 田	7.6	8.3	9.6	10.7	12.5	14.2	15.9	17.7
平 均	6.8	7.9	9.1	10.1	11.6	13.2	15.0	16.8

第 4 表 高度 (風速) 別エネルギーの計算例

高度 m	B 年平均風速 m/s	C 8 m/s 以上の風を 8 m/s と して計算した 風のエネルギー - (年)(KWH) 万 KWH/年	D 発電時間 8 m/s 以上の吹走時間 時	E 利 用 風速の 範 囲 m/s	F 風速に巾を もたした 場のエネ ルギー 万 KWH/年	
						500
500	7.0	232	3370	8-15	534	
1000	8.0	289	4180	8-15	636	
1500	9.0	334	4830	8-15	802	
2000	10.0	363	5250	8-20	1270	
2500	12.0	411	5950	8-20	1562	
3000	13.0	430	6220	8-20	1620	
3500	14.0	462	6680	8-20	1848	

- (註) 1. $\rho = 0.001 \text{ g/cm}^3$, 半径 30 m.
 2. B 列の風速は第 3 表の風速を四捨五入したものである。
 3. 出力はこの表の 2 割ぐらいである。
 4. E, F 列の時間数は D 列と同じである。

と同じくらいの半径 30 m とし、空気密度を 0.001 g/cm^3 とすれば第 4 表に示したように 500 m の高度で 4180 時間運転して、232 万 KWH の風を利用することになり、出力は風のエネルギーの 20% とみると 1 年間に 46 万 KWH 程度の電力を得る計算になる。

実際に建設される風車は風況曲線を利用するので C 列より多くのエネルギーを利用する。例えば E 列に示したように 8-15 m/s の巾だと 500 m の高度でも平均的には 534 万 KWH のエネルギーを利用する。高度が高くなる程、風速も強くなって発電時間も増大して、利用する対象となるエネルギーは著しく大きくなる。実際に得られる出力はこの表の 20% 前後で、その値は C 列と F 列の間にあるエネルギー量の 20% 前後といえることができる。風車相互の間隔と、山の背の総延長を高度別に求めて適当に常数を乗ずれば日本の風力エネルギーで利用の対象となるものの凡その程度が概めるわけであるが余り意味はない。日本の耕地以外は山岳でこの山岳が発電候補地である点建設は不便であるが将来性を持つることになる。高度が高くなる程風力は強いが、これを利用する前に着氷の障害を突破しなければならない。風力発電の建設地は建設費その他を考慮すると 500~1000 m 程度の強風域で、着氷の少ない地点がその最初の建設地点になる。将来風車の構造がさらに強くなり、着氷その他の障害を除去できる段階になって建設地点が高度を増して移行するだろう。風力発電は将来規格を定めて大量生産する必要があるので、各地の風速の調査はこの要求の起る以前に行わねばならない。

(6) 風力発電の今後の課題

風力のエネルギーは風速の 3 乗に比例するので強風地点を発見するのが最大の課題の一つであろう。また強風地点の風の調査が終了するのは工事の過程でいえば貯水式発電で、ダムの建設工事が終了したと同じ意味を持っているのである。この目的のためアメリカでは大規模な風洞実験で山岳の模型を使用して風速の加速効果を測定して失敗した。その原因は気温の遞減率を天然のものと同じ比率の縮尺で作れないこと、縮小した模型で測った高度を実際のもので拡大する Reynolds' number その他の理論的な根拠が少いことであった。今一つは着

氷の間である。風車の翼の重さだけでも数トンのものが、翼の外周速度が風速の 5~6 倍で回転するので、数十メートルの長さの翼に着氷が片側だけ剥取られると遠心力の大きな unbalance が起って風車が破損する。その外今後の気象調査の対象となるものは、風の息、風向の急変、最大可能風速、風速の垂直分布、風向風速の変動率、固定風車、風速の持続性、雷災対策、風車相互の距離の決定、着氷よけの風速計、風速変化と出力の変動、暴風対策、風速予報、現在の風速の信頼性など今後の解決しなければならぬ問題が山積している。将来は観測業務として山岳の風力観測所が運営され、日本の風力資源の包蔵量を 1 日も早く明らかにすることが必要であろう。

あとがき

この調査は福岡管区気象台が九州電力株式会社の風力発電の研究に協力して行った気象調査の一部に筆者の考えを入れて要約したもので、この調査結果は風車発電のための気象調査報告 1~3 の三部の報告書に九州電力株式会社が発表した。九州電力は宮田工務部長指導のもとに副島清次、安藤昌夫の両氏、福岡管区気象台では倉石台長の指導で横尾多美男、土井謙二、大谷和夫、三宅恒夫、田畑七郎その他が調査に当たった。(福岡管区気象台)

参 考 文 献

1. Putnum, P. C., Power from the wind.
2. 九州電力株式会社工務部, 風力発電資料 1952.
3. 日本学術振興会, 500 kw 風力発電所計画書 1948.
4. Hans. Witte. Windkraft werke. 1950.
5. 九州電力株式会社, 風車発電のための気象調査報告 (I)~(III) 1953-1954.
6. 九州電力株式会社, 工務月報.
7. 佐貫亦男, 気象器械学.