

プロペラ式多翼風車による発電実験報告

川村日佐夫* 神 宮 敬**

1. ま え が き

従来、小形風力発電システムにおける発電方式は直流方式で、専ら発電電力を蓄電池に蓄え独立電源として利用する方式のものが大部分で、この方式では蓄電池の充放電に伴う損失の発生、蓄積電力量が蓄電池容量により制約されて強風時の大きい風エネルギーを十分利用できないなどの理由で風エネルギー利用率（風車発電システムの平均発電効率）は低く、先に科学技術庁が実施した、風トピア計画による実験結果でも最高13.5%と報告¹⁾されている。又このようなシステムでは蓄電池設備に多額の費用を要し、電気自動車の蓄電池充電のような特殊用途以外では、発電コストも高価となり、蓄電池はその製造のために貴重な金属資源とエネルギーを必要とするから省資源・省エネルギーの観点からも、そう望ましいシステムとは考えられない。

我々は昭和51年以来風エネルギーの有効利用を目的に、風況観測を継続しながら実験用風車発電装置を試作し実験を行って来たが、先に述べたような観点から、小型ながら比較的に低速でも高トルクが得られる多翼風車の風車の特性を生かし蓄電池設備を必要とせず、発電即消費（有効利用）を実現できる誘導発電機方式（通常大規模システムに採用される方式）を小規模システムに適用することを考え、実験装置を試作し1ヶ年間の連続発電実験を実施したところ相当の成果が得られたのでその結果を報告する。

2. 発電装置の概要

2.1 風車の設置場所

本学構内4号館塔屋上、地上高32m、標高184mの位置、当該設置場所については既に長期に亘る風況観測を行い、風車発電システムの研究に必要な風力が得られるという判断²⁾に基づき、今までに直流方式などによる発電実験を実施して来た場所である。

2.2 風車の構成

風車形式：水平軸、6枚翼プロペラ型、固定ピッチ

ブレード：檜材（プラスチック被覆）直径2.2m

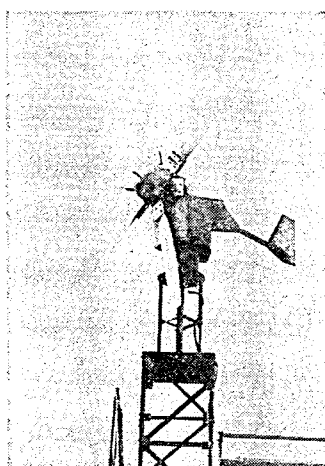
伝達機構：歯車増速機式

増速比：1：6

発電機：減速機直結4極、1.5kW、3φ200V汎用誘導電動機（誘導発電機として逆使用）

* 理工学部電気工学科助教授 電気機械

** 理工学部機械工学科教授 機械設計法



方向制御：自由回転式（固定尾翼）

始動風速：4.5(m/s)

発電開始風速：6.0(m/s)

定格風速：13.5(m/s)

定格回転数：270(rpm)

定格出力：1.5kW

ブレーキ：電磁式ディスクブレーキ

耐風速：60(m/s)

2.3 誘導発電機の原理

他励式誘導発電機は交流電源に接続され電源より励磁電力の供給を受ける誘導電動機の回転子を外力により、電動機としての回転と同方向に同期速度を超える速度で回転させた場合（電動機としての滑り s が負になった状態）、発電機となり電源母線側に電力を逆送り発電機として作用する。したがって独立電源としては成り立たず、励磁に必要な有効・無効電力の供給源である母線に並列に接続され、母線側には誘導発電機の発生電力を吸収する負荷が存在しなければならない。しかし同期発電機を母線に並入する場合のような特別な同期化の処置（発生電圧の大きさと周波数並びに相回転方向を一致させる、母線と位相が一致した時に母線に投入するなど複雑である）は必要なく、回転子を原動機により同期速度にほぼ等しい（厳密に一致していなくてもよい）速度で回転させた上で母線に接続してやれば、容易に並入することができる。これらの理由により誘導発電機は従来から電気事業用の極く小規模の水力発電所等に用いられて来たが、近年産業界の廃熱回収のため（省エネルギー）の自家発電システムの発電機などにも用いられるようになってきている。

$$\text{誘導機の同期速度 } n_0 = \frac{120f}{p} (\text{rpm})$$

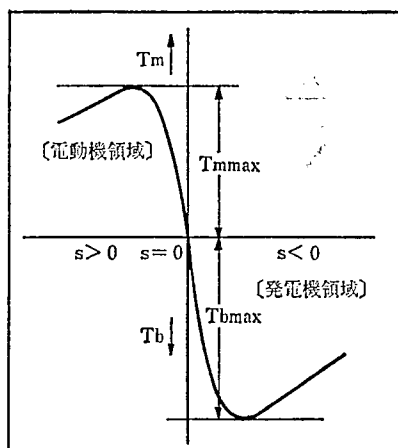
p ：極数， f ：電源周波数(Hz)：

$$\text{誘導機の滑り } s = \frac{n_0 - n}{n_0} \times 100\%$$

n ：回転子の実際の回転数

誘導電動機の場合 $n < n_0$ で s は正

誘導発電機の場合 $n > n_0$ で s は負



第1図誘導機のトルク

s の大きさは定格出力において数%程度が普通なるも小型機ではやや大きい。

第1図に誘導機の滑り s の増加に対するトルクの変化を示してあるが電動機・発電機どちらの領域においてもトルクの最大値があり電動機では通常定格出力時のトルクの150～300%となるが、発電機領域ではその値は更に大きく400～500%以上にもなり、そのときの滑りは20～50%程度のことが多い。発電機領域におけるトルクは発電機を回転させている原動機に対し制動トルクとして作用するから、風車の負荷とした場合、最大トルクを超えない範囲であれば、大きい風速の変動があっても速度変動の幅は小さく、安定した運転ができることを意味している。

2.4 供試誘導発電機の特性

(1) 供試誘導発電機の定格（電動機として）

定格出力 1.5kW

定格電圧 3 ϕ 200V

定格電流 6 A

定格周波数 50Hz

極 数 4

(2) 負荷特性の算定結果

電動機として無負荷試験と拘束試験を実施し、『JEC-37-1979 三相誘導発電機の円線図計算法』⁹⁾を適用し計算（コンピュータ使用）により負荷特性を算定した。無負荷試験の結果より供試機の定格電圧における鉄損は161 W直結増速機（減速機）を含む無負荷の機械損が130 W（大部分が増速機による損失）と算出され、負荷特性算定から誘導電動機としての定格電流6 Aにほぼ等しい6.03 Aにおいて出力は1575 Wと算定されたので供試機の誘導発電機としての定格出力を1500 Wとすることに問題のないことが確認できた。

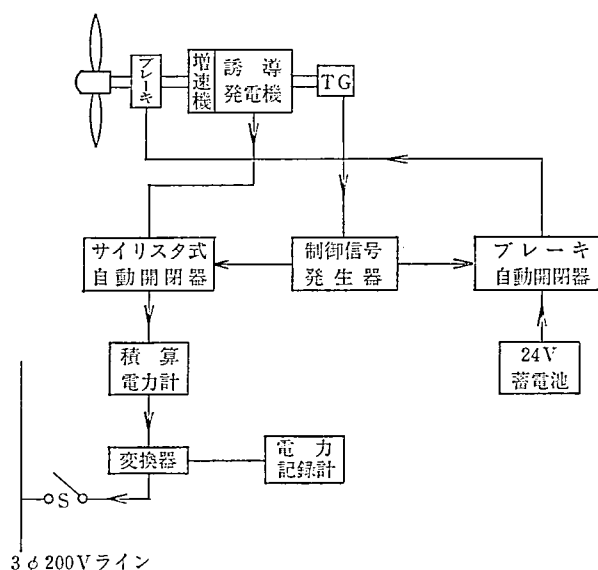
2.5 発電機容量の選定について

風車の大きさ（直径）に対して搭載する発電機の容量を幾らにするかは、風車発電装置を製作する上で重要な要素である。本学構内のように年平均風速が3 (m/s) 以下である場所では、直径2.2 mの風車発電装置に搭載する発電機の容量は大きくても200～300 W程度

第1表 供試誘導発電機負荷特性

定格出力に対する割合 (%)	出力 P (W)	入力 P_1 (W)	1次電流 I_1 (A)	効率 η (%)	トルク τ (kg-m)	滑り S (%)
5	75	241	3.45	31.1	0.15	-1.19
10	150	320	3.47	46.9	0.20	-1.57
15	225	400	3.52	56.3	0.25	-1.94
20	300	480	3.57	62.5	0.30	-2.31
25	375	562	3.64	66.3	0.36	-2.68
30	450	645	3.73	69.8	0.41	-3.05
35	525	729	3.82	72.0	0.46	-3.41
40	600	814	3.93	73.8	0.51	-3.77
45	675	899	4.05	75.0	0.56	-4.14
50	750	986	4.18	76.4	0.61	-4.50
55	825	1074	4.32	76.8	0.67	-4.86
60	900	1163	4.46	77.4	0.72	-5.21
65	975	1253	4.61	77.8	0.77	-5.57
70	1050	1344	4.77	78.1	0.82	-5.92
75	1125	1436	4.94	78.3	0.88	-6.28
80	1200	1530	5.11	78.5	0.93	-6.63
85	1275	1624	5.29	78.5	0.99	-6.98
90	1350	1719	5.47	78.5	1.04	-7.33
95	1425	1816	5.65	78.5	1.09	-7.68
100	1500	1913	5.84	78.4	1.15	-8.02
105	1575	2012	6.03	78.3	1.20	-8.37
110	1650	2111	6.23	78.1	1.26	-8.72
115	1725	2212	6.43	78.0	1.32	-9.06
120	1800	2314	6.63	77.8	1.37	-9.40
最大出力		8068(W)				
最大トルク		9.83(kg-m)				

が常識的な値であるのに、本実験装置に 1.5kW という大きい容量を採用した理由について説明する。小容量の誘導電動機(数 kW 以下)を誘導発電機として使用した場合、励磁損失の割合は容量が小さくなる程大きくなり効率も低下するので、発電機容量を小さくしても弱風時の発電効率の向上は期待できず、直径2.2mの風車の場合 4 (m/s)以下の風速では有効な発電電力量を得ることは不可能に近い。又あまり発電機容量を小さくすると強風時の風エネルギーを大方逃がすことになり、発電電力量を増すことにならない。更に本実験の風車ブレードは固定ピッチであるから、風車の軸出力は風速の上昇と共に、ほぼ3乗則に従って増大するものと考えなければならないから、小容量の発電機を搭載した場合には、少しの強風でもブレーキにより運転を止める以外に発電機の過負荷の危険を防ぐ方法がなく強風時の運転は不可能である。以上の諸点から年間を通じ台風等極めて希な異状強風を除き、発電機が過負荷焼損する危険のない容量として決定された。風車受風面における風エネルギーの大きさに対し、最終発電効率が25%になると仮定して強風速に対応する発電機出力を計算すると、風速13.5(m/s)において1476W、14.0(m/s)において1564Wとなる。過去5年間における風況観測結果から、年間を通じ14(m/s)以上となるのは年間延



第2図 発電・制御系統図

べ数時間程度とわかっていることから、発電機の定格容量は1.5kW と決定した。

2.6 電気回路の構成

2.3で述べた他励式誘導発電機の原理と特性を考慮し回路を構式してある。第2図はその系統図である。

(1) サイリスタ式無接点自動開閉器

他励誘導発電機は3相交流母線に接続されていなければ発電機として機能しない、しかし風力発電の場合常時母線に接続しておくことはできず、発電可能な風速においてのみ母線に接続しなければならない。特に本実験装置のように小規模な装置で、風エネルギーの利用を有意義とするには、発電機は常時無励磁の状態でも自由に回転させておき、風が強まり加速し発電可能限界に達したときスイッチ ON で母線に接続し、発電中減速して発電限界以下となる場合は、その直前にスイッチ Off で母線から切離すことが必要になる。この接続と切離しの動作は、比較的に弱風で発電が行われる場合程、頻繁に繰り返されることが考えられるので、機械的な有接点スイッチは適さない。更に母線に接続される瞬間、発電機の回転速度が同期速度であれば、発電機に制動トルクは生じないから機械的衝撃発生はなく安全であるが、これでは発電機の励磁損失相当分が電力消費となり好ましくない、これを避けるためには、励磁損失を補って尚有効な発電電力が得られる十分な回転速度において、母線に接続することが考えられるが、この場合には母線に接続された瞬間、発電機には大電流が流れ同時に大きな制動トルクが生じ、風車並びに増速機などに極めて有害な機械的衝撃を与え、更に風車が急速に減速され安定な運転ができなくなる。大規模システムではクラッチ等の使用でこの問題を解決する方法はあるが、本実験装置では、スイッチを構成するサイリスタに位相制御機能を付加し、スイッチ ON の状態で発電機巻線に瞬時に全励磁電圧が加わらないよう、位相制御により電圧が0かゆるやかに立上り急激な制動力発生を防止するソフトスタートシステムとしている。

サイリスタスイッチの開閉は第2図の制御信号発生器からの出力電圧信号により行れる、

回転計 (TG) の電圧により誘導発電機の回転数を検出し、制御信号発生器内部であらかじめ設定された適性回転速度に見合う基準電圧と比較され、それを上まわる差分が増幅され出力信号となりサイリスタのゲート制御回路に送られる。この出力信号は風が弱く誘導発電機の滑りが小さい時は制御出力も小さく、サイリスタには位相制御がかかり、発電機の励磁電圧を低下させ励磁損 (鉄損) を減少させ発電機の効率を高める機能も有している。

(2) ブレーキ回路

ブレーキ制御回路も第2図の制御信号発生器内に組込まれ、強風時回転計発電機による検出速度が設定された要ブレーキ速度を越えると出力信号電圧を発生するコンパレータ回路であり、その出力により補助リレーが動作し、ブレーキ自動開閉器の主電磁スイッチが閉じ電磁ブレーキのコイルに24V蓄電池より電流が流れ、ブレーキが作動し風車は減速停止する。風車が減速すれば当然回転計発電機も減速しているから、制御信号発生器からのブレーキ信号は消滅しブレーキ状態を保持できないから、ブレーキ自動開閉器にはモータ・タイマが組込まれ、一度主電磁スイッチが閉じると所定時間 (1~30分間) 保持した後、自動的に開放するようになっている。手動操作も可能なように手動の操作スイッチも設けてある。ブレーキコイルの電源に蓄電池 (小容量) を使用したのは、台風などの際電源停電により、ノーブレーキとなる危険を避けるためである。又ブレーキ自動開閉器は停電時に必ずスイッチが閉じるシーケンスにしてあるから、風車が無負荷状態が過回転する危険はない。

(2) 積算電力計

第2図の積算電力計は電力が風車の誘導発電機側からライン側に流れる場合正回転となるように結線されているから、もし発電機が何等かの理由で誘導発電機領域で運転されることがあれば逆回転し、積算値は減算されるので、正味の有効な発電電力量が計量される。

3. 実験の経過並びに結果

3.1 実験の経過

発電実験は昭和57年3月31日より58年3月31日まで1ケ年間継続して実施したが、この間装置のどこにも故障の発生はなく連続運転に成功した。この年は夏から秋にかけ再三に亘り台風が来襲し、特に8月1日夜半から2日早朝にかけての10号台風では、8月1日23時30分頃に最大風速 (10分間平均) 15 (m/s) に達し、瞬間最大風速は31 (m/s) を記録したところで、自動停止に至る前に手動操作でブレーキ回路を閉じ風車を停止させ、翌朝まで運転を休止した。この間8月2日1時35分頃に最大風速は22.5 (m/s) 瞬間最大風速は45 (m/s) に達したが、装置に損傷はなく切抜けることができた。ただこの最大風速と同時刻頃ブレーキがスリップし風車が回転することがあり、異状な強風時ブレーキのみによる強制停止には無理のあることがわかったが、強風による強制停止はこのとき限りであった。冬期12月中旬頃より3月初旬にかけ風車の始動状態が悪化し、この間発電電力量も予想をかなり下まわり、いささか残念な結果となったが、これは増速機に封入されているグリースが夜間の冷え込みにより、その粘度を増し風車始動時の抵抗が増大したためである。

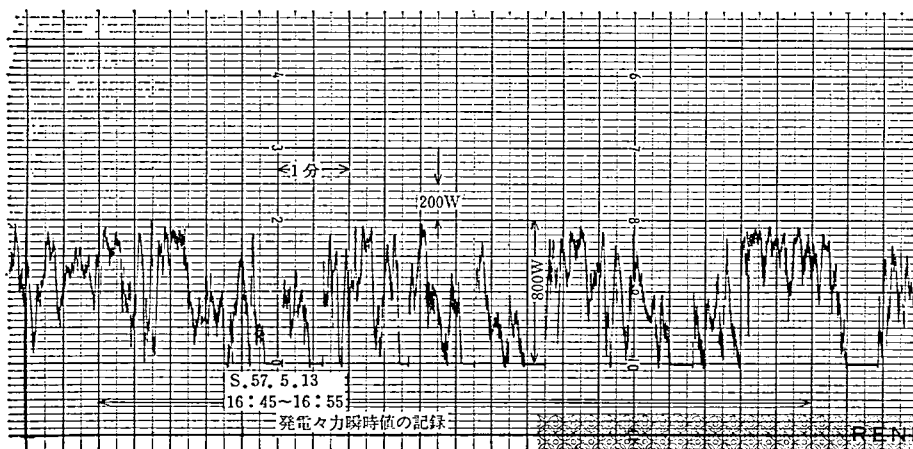
実験は風エネルギーに対する利用率 (風エネルギーに対する平均発電効率) を追求することに重点を置き、風速記録計による風速観測と、第2図に示す積算電力計による発電電力量を測定し、これらのデータを月別に集計し次に示す結果を得た。又風速の変動と発電電力瞬時値の関係を調べるため、アナログ記録計による発電電力瞬時値の測定も随時実施

している。

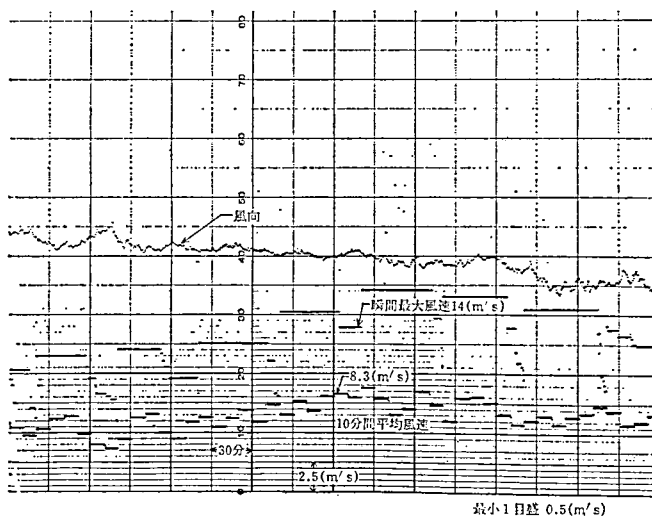
3.2 実験結果と考察

(1) 風速の変動と発電電力の瞬時値並びに発電効率

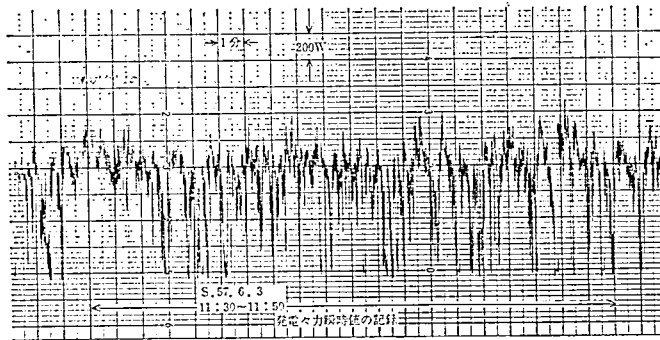
第3図と第4図に8 (m/s) 前後の中程度の風速における発電電力瞬時値と対応する風速記録が示されている、電力の記録は2目盛で1分間となっているから、電力の瞬時値はかなり早い周期で大きく変動していることがわかる。これは実験風車の直径が小さく、半面6枚翼であるから比較的トルクが大きいので、激しく変化する風の息にはほぼ同期して回転しているものと考えられる。風速記録は10分間平均値がフラットな値として記録されているが実際の風速は絶えず大きく変動している、同時刻頃（5月13日16時45分～50分）平均風速は8.3(m/s)、瞬間最大風速は14.0 (m/s) を記録している。しかし電力の瞬時値はこの大きい瞬間最大風速の影響は受けていないようである。次にこの間における風車の出力



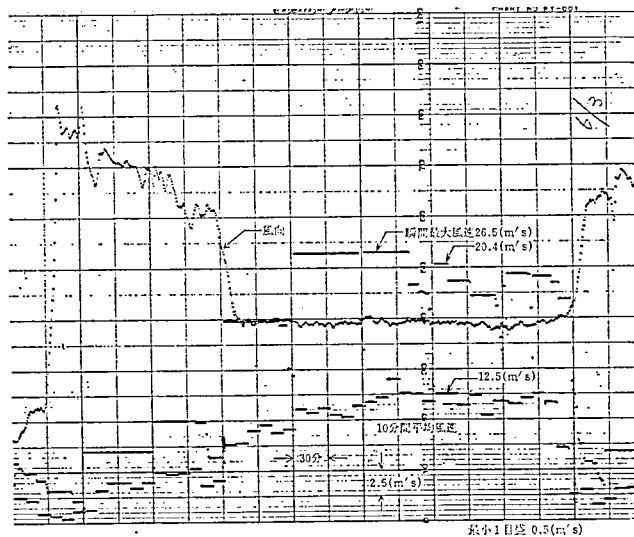
第 3 図



第 4 図



第 5 図



第 6 図

係数と装置の発電効率を推定して見る。第3図より発電電力の平均値を300Wとすると、第1表より発電機軸入力は480Wである、これに増速機の機械損を130W加えた610Wが風車の軸出力である。一方平均風速8.3(m/s)に対応する、風車受風面における風エネルギーを計算²⁾すると、1304Wとなる。これらの値より風車の出力係数は46.8%、発電効率は23%と計算される。

同様のことを12(m/s)前後の高風速時について調べたのが第5図と第6図である。日時は6月3日11時30分～50分の間で、電力の記録は1目盛1分の早さで記録されているが、第3図の場合と同様早い周期で大きい変動が示されている。この間の瞬時電力の最大は1.2kW強で、出現した瞬間最風速20.4(m/s)に比べると小さい値で、その影響は受けていない。第5図よりこの間の平均電力を675Wと押え、前同様にして風車の軸出力を計算すると1029Wとなる。又第6図より平均風速は12.5(m/s)であることがわかるから、風車受面における風エネルギーは4453Wとなり、風車の出力係数は23.1%、発電効率は15.2%と計算される。

以上二つの事例から本装置の発電効率は高風速域で急速に低下することがわかるがこの理由は発電機だけの効率を考えれば出力が大きい方が効率が高いが、風車の出力係数が大幅に低下したことが原因である。更に風車出力係数の低下する理由を考えると、本実験装置の風車の定格回転速度が270 (rpm) と低く設定されたことによる。そして負荷が誘導発電機であり、入力が増しても僅少な速度変化でトルクが急増する特性であるから、風速が上昇しても風車は加速せず定速に近い回転に押えられ、風車の周速比が低下し当然の結果として出力係数の低下を招いたものと考えられる。しかしこのことが結果的には好都合に作用し、台風時の強風(最大風速15(m/s)瞬間最大31 (m/s))においても発電機を焼損することなく運転ができたものと考えられる。

低風速域での事例は示していないが発電効率は低下する、それは増速機も含めた発電機の無負荷損失が大きく発電機効率が極めて低くなり、5(m/s) 以下では殆ど発電不能となる。

(2) 月別平均風速と風エネルギー利用率

第3図又は第4図に示される、風速記録計の記録より、10分間平均風速の記録(1時間6個)を読み取り0.5 (m/s) の風速階級別の度数分布を月別に求め、それを基に月別平均風速、風速の3乗の平均の立方根 ($\sqrt[3]{\bar{V^3}}$)、単位受風面積当りの風エネルギー累積値、風車受風面積当りのエネルギー累積値、並びにそれらの年間の値を算出した。又第2図の積算電力計により測定された値から月別発電電力量を求め、次式により月別並びに年間の風エネルギー利用率(平均発電効率)を算出した。

$$\text{風エネルギー利用率} = \frac{\text{発電電力量(kwh)}}{\text{風車受風面積当りの風エネルギー累積値(kwh)}} \times 100(\%)$$

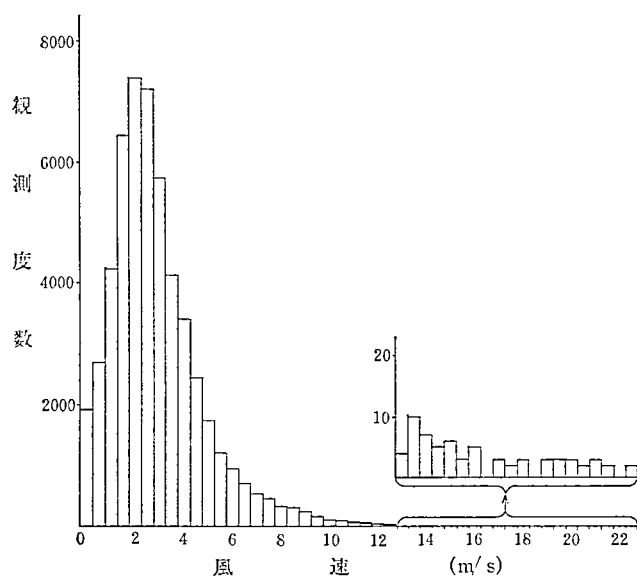
これら計算の結果を第2表に示した。

次の第7図と第8図は年間の風速階級別観測度数分布と、風速階級別エネルギー分布を表わすヒストグラムである。

以下風エネルギーの利用率について実験結果を見ると、第2表に示されるように年間の風エネルギー利用率は14.75%であり、我々が目標としていた25%以上には到底及ばない

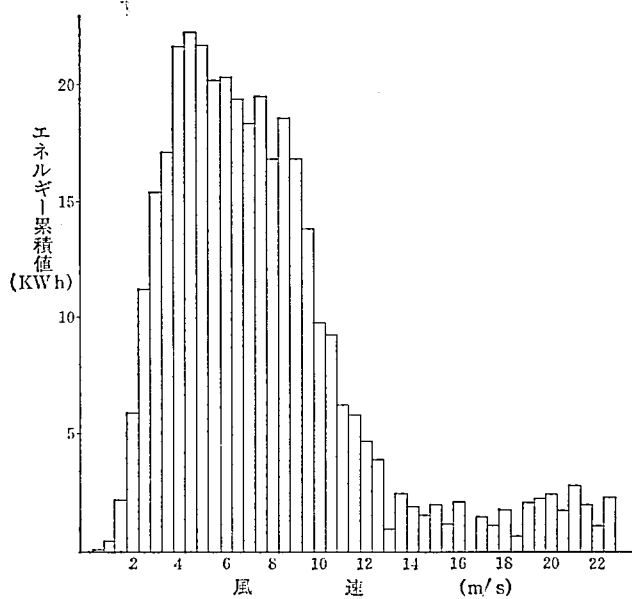
第2表 月別平均風速・風エネルギー累積値、発電電力量・風エネルギー利用率

月 別	平均風速 (m/s)	$\sqrt[3]{\bar{V^3}}$ (m/s)	風エネルギー累積 値(単位面積) (kwh)	風エネルギー累積 値(風車面積) (kwh)	発電電力量 (kwh)	風エネルギー の利用率 (%)
S.57. 4	3.63	4.71	45.37	172.47	33.95	19.68
5	3.21	4.20	33.09	125.80	24.10	19.16
6	2.34	3.64	20.86	79.29	12.35	15.58
7	2.13	3.14	13.80	52.47	5.80	11.05
8	2.93	5.31	66.88	254.25	35.35	13.90
9	2.66	3.95	26.71	101.54	14.10	13.87
10	2.77	3.94	27.29	103.74	15.90	15.33
11	2.42	3.13	13.19	50.14	4.15	8.28
12	2.69	3.68	22.24	84.55	12.15	14.37
S.58. 1	2.90	3.69	22.35	84.95	8.90	10.48
2	3.26	3.96	25.00	95.03	8.80	9.26
3	3.40	4.44	39.10	148.64	24.00	16.15
年 間	2.86	4.07	355.89	1352.88	199.55	14.75



風速階級別観測度数分布 (12ヶ月間)

第 7 図



風速階級別エネルギー分布 (12ヶ月)

(単位受風面積当り)

第 8 図

結果であったが、この原因について幾つかの問題が考えられるので順を追って考察する。

第一に発電機の効率があまり良くないこと、特に軽負荷時の効率が低い。一般に誘導機は同期機（直流励磁の交流発電機）、又は直流機に比べ励磁損失が大きく、本実験では設計の切詰められた汎用の小容量機を使用したものであるから、止もう得ないことであった。それと増速機は元來電動機直結の歯車減速器を逆使用し、グリース封入であるため、先に測定結果で示したように無負荷時の摩擦損失が130Wと大きく励磁損失と合せ291Wに達する。このことは風車の軸出力が291Wを超えなければ有効な発電電力が得られないことを意味し、仮に風車の出力係数を50%とした場合でも風速6 (m/s)を超えていなければならない。第8図を見ると風速4.0 (m/s)～5.5 (m/s)に風エネルギー分布のピークがあり、この部において有効な発電電力が殆ど得られていないわけであるから、全体の風エネルギー利用率の低下に影響したものと考えられる。しかしながらこの附近の風速ではエネルギーの大きさは小さく、仮に発電機の無負荷損失を60%程度まで減少できるものと仮定しても有効発電電力量の増加はそれ程期待できない。そこで実験期間中6 (m/s)以上の風速が延何時間位かを第7図で見ると、一見して極めて少ないものであることがわかるが、観測度数からこれを正確に計算すると675時間で年間の8760時間に対し、僅か7.7%に過ぎない。しかし6 (m/s)以上における単位面積当りの風エネルギー累積を計算すると216.88(kwh)であり年間の全風エネルギー累積値（第2表）355.89(kwh)の60.94%となるから、発電電力量の増加を図るならこの範囲がより重要となる。もし発電機の励磁損で70W、増速機の摩擦損で30W程度合計100Wの損失を減少させることができる（これを實現することはそう困難ではないと考えられる）と仮定し、これを今回の実験に適用し発電電力量の増加分を計算して見ると、損失が100W減少した分、各風速に対応する有効発電電力の大きさは確実に100W増加するから、控え目に見積り6 (m/s)ではなく6.5 (m/s)以上の風速で計算しても、その時間数は551時間あるから、発電電力量の増加分は55.1 (kwh)となる。

第二に第2表に見られるように12月から3月までの各月の風エネルギー利用率が、他の月から類推される値を下まわり、特に1月と2月に著しく、発電電力量も大きく減少している。この原因については、3.1に述べた通りであり、もしこの間も他の月と同程度に発電可能であるように改善できると仮定し、その結果増加し得る発電電力量を推定すると、少なくとも10 (kwh)の増加は見込める。

第三に（1）で説明したように風車の定格風速が低く設定されたため、高風速になる程風車の出力係数が低下し、実際に発電機が定格出力となる風速は、頭初定めた13.5 (m/s)より高い方に移行している、このことは強風に対する発電装置の安全性を高める方向に作用しているが、発電可能風速範囲での発電効率を全体的に下げていることは確かである。供試風車がプロペラ型で直径が2.2mと小さいことを考えると、風車の定格回転速度を少なくとも300 (rpm)以上とすれば出力係数が高まり、ひいては発電効率の上昇が期待できる。

以上の内、数値を推定してある第一と第二の増加発電電力量を実験結果の年間発電電力量に加えると264.65(kwh)、これにより年間の風エネルギー利用率を計算すると19.56%となる。したがって第三の理由による発電電力量の増加を見込めば、年間の風エネルギー利用率が20%を越えることは確実に風車の大きさを考えればかなりの好成績であるといえる。

（3） 発電電力の変動が電源ラインにおよぼす影響について

（1）に示したように本実験装置の風車は固定ピッチであるから発電電力の瞬時値は常に

変動している。一般的にこのような変動する電力を質の悪い電力として問題視する向きもあるが、我々は必ずしもそのようには考えていない。元来自然エネルギーは分散型であって、変動性のものであるから、独立電源として利用することには無理がある、寧ろその変動性を有りのまま受け入れる利用の工夫をする方が良いのではないかと考えている、あまり手を加え貯蔵したり一定にすることを考えたりすると、装置に費用がかかり、エネルギーや資源を使い、自然エネルギー利用の主旨に反することになる。その意味で風力発電における誘導発電機方式は最も適した方法と考えている。今回の実験における瞬時電力の変動の幅は最大でも1.5kW～2kWまでであり、本学の受電容量750kWに比べれば全く問題にならない大きさであり、負荷電力の変動の幅は遙かに大きいから、この程度の変動する電力が流入しても、悪影響があるとは考えられず、更に発電電力を大きくしても負荷電力10%程度以内であれば先ず問題はないものと考えられる。電源ライン側から見ると、発電電力相当分負荷に対する供給電力が減少し、結果的にその負荷が減少したのと同じことで、間接的に省エネルギーになる、そして発電電力瞬時値の変動も負荷電力の変動と変りがない。

発電電力の変動の割合は風車直径が大きくなれば減少することが考えられるが、又比較的小容量のものを複数台、少し離れた場所に設置し電気的には同一ラインに並列接続すれば、かなり減少できる筈で、工夫により変動を少なくすることは可能と思われる。

4. む す び

(1)一年間に亘る発電実験の結果小規模な風車発電シミュテにおいても他励式誘導発電機方式が成り立つことが確認できた。そして電源ラインに悪影響をおよぼさない範囲の容量なら、風速のままに発電電力の変動を許容することにより、かなり高い風エネルギー利用率(20%以上)が期待できる。

(2)当地のように、恒常的に利用できる風速がなく、常時は発電不可能に近い微風時間が長く、低気圧の通過や季節風が強まった時など比較的単時間内に強風が集中する所では、発電時間を長くすることより、短時間でも風エネルギーの大きい強風時に大電力を取得できるよう、十分大きい発電機容量とする方が良いことがわかった。ただし誘導発電機の無負荷損失をなるべく小さくすることが必要である。

(3)誘導発電機方式は瞬時的な強風に対して電氣的な剛性が大きい(最大トルクと最大出が極めて大きく僅かの速度上昇で風車に対し、非接触の大きい制動力を発生する)から、同期発電機のように同期外れを心配する必要はなく、固定ピッチブレードの風車でも、安定した運転ができる。

(4)風車のブレーキについて、電磁式のディスクブレーキのみでは台風による異状な強風時、固定ピッチ式の場合風車が風の方向に正対していると大きいトルクが生じ、ブレーキが利かなくなる恐れがあり、別の対策が必要なことが判明した。これについてはブレーキ作動時尾翼に角度を与え、風車を風向に対し斜傾させるなどの方法が考えられる。

(5)誘導発電機方式は一般の個人が設置することは電気事業法上許されないが、構内の電気設備が自家用電気工作物である場合、誘導発電機が受電電圧より一段下位の電圧のライン(母線)に接続され、発電電力の大きさが受電電力に比べ遙かに小さければ、技術上問題なく学校・工場等で設置可能である。負荷設備がその使用状態の変化で電動機が発電機に変わり、その発生電力を電源側に回収して省エネルギーを図る方法は現在数多く実用さ

れているのであるから、小容量の誘導発電機（元来は誘導電動機）を負荷設備であると解釈すれば現行法上問題はないと考えているが、これが恒久的発電設備となると、法令上疑義を生ずる恐れもあり、風力に限らず自然エネルギーを発電に利用する場合、常に考えられる問題であるから、この面で関係法令の整備が望まれる。

5. 謝 辞

本実験研究に当り、制御用電子回路の設計・製作を担当され御協力下さった電気工学科大矢博史助手に深甚な感謝の意を表し、装置の製作・実験に協力された56年度・57年度の機械工学・電気工学両学科卒研究生諸氏に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 「風トピア計画速報」科学技術庁計画局 昭55-4
- 2) 神宮・川村「風速及び風向の実験的観測」明星大学研究紀要 第14号 昭53-3
- 3) 電気学会 JEC-37-1979