

風車がまわった。そして、発電した。 (総合実習を実施して)

宮崎県立延岡工業高等学校 機械科 馬 場 弘 教

62年度より、本校の機械科は「総合実習」を実施することになりました。本年は初年度であり、生徒も職員も不慣れで、特にテーマ設定には、とまどった。生徒より多くの希望のテーマ・題材が出されましたが、時間・指導員・設備等の制約のなかから、1クラスで、7～9テーマが決定された。私は、四輪自転車と、風力発電装置の2テーマを担当しました。生徒は、各4人ずつで、風力発電装置には、意欲的な生徒がそろった。私自身、以前から、風力利用の装置には興味・関心があったが、いろいろな面から断念していた。風力関係の書籍を図書館に寄贈するなどして、風力のことは、すっかり頭の中から消えていた。生徒から出されたテーマを見て、私は、にわかに「やる気」が出て取組みはじめたわけです。

ここ工業高校では、このテーマに興味を持つ人はさすがに多く、とくに、機械科の職員は、テーマの意義には理解を示していただいた。しかし、「今、なぜ風車なのか」「発電して何になるのか」「2枚の羽根では効率が悪いのでは」等々の疑問も周囲から出され、風車に取組んだ我々との間に多少のギャップを感じたものだった。私はこのテーマを出して取組んだ生徒の4人は何を考えて、何をやろうとしたのかに少し興味が湧き、完成後に、このことを、聞いてみた。「夢」「ロマン」「おもしろそうだ」「古くて新しい」「自然のエネルギーを手中にしたい。」等々だった。私も全く同感でうれしくなった。私は「自然のエネルギーを機械動力に、そして、さらに電気エネルギーに変換して取り出せるのはすごい事だ」と言えば、生徒はその通りだと同感してくれた。私が、以前に風車を断念していたのは、風力利用は、延岡ではコスト的に採算が合わない。取り出したエネルギーの有効的な利用法が身近かな所になり。などの理由だった。現実を大人の発想で見ると、ちゅうちょして、行動するのを止めてしまう事がある。生徒は、当然かもしれないが、私よりロマンチストであった。喜々として、取組む生徒の姿を見て、私は、何とか回る風車を作らせたいと、ここ2～3ヶ月間は、共に悩んだものだった。

私は数年前、学校の文化祭（本校では工業祭と言う）で、クラス全員で、水車（和式動力水車と言うんでしょうか。今では、飲食店でシンボリックな存在で…もちろん現役中のものもある。）に取組んだことがある。外庭で水車小屋も作り水を流して回した。このとき、他の型式の、いろいろな水車も作った。古い昔の水車と現在の最新鋭の「ミニ水力用水車」だった。この水車も、生徒の方から提案され、他の多くの案の中から、賛成多数でクラステーマになった

のだった。水車・風車に私は何か、SLと共通点を見ます。生活の中に根つき、何か力強さとロマン・詩がある様だ。そして、滅び行く優れたものに、何か心を引かれるものを感じる。

しかし、水車（とくに、1kW～1000kW級のもの）も風車も、現在の技術で新しくよみがえりSLとは違う存在となっている。現在の高効率（40%前後）の風車は、オランダ型（10%前後）や、他のそれらとは異なりアマチュア（大学・研究所・一部のメーカー）には、ほとんど、実現不可能である。私は、このテーマを担当するとき、95%いや100%の自信があった。しかし、作業をすすめて行くと、回る水車ができるだろうかという不安が、日増しに募って来た。風を受けても回転しない風車は、全くみじめそのものだ。せっかく生徒が作りたいと言ってきたのに、それが実現できなかつたら生徒に申しわけない。私は、それ故、募る不安の前に、あせりを感じたのだった。現在の風車は、①翼についての知識があり、あるいは、翼に関する本が読め、それを設計できること。②設計した通りに翼を加工できること。③発電機とそれを制御する機器についての知識があること。④機械部品を加工できること。⑤システムとしてこれらを最適にまとめるエンジニアリングを持っていること。これらを一人の人間が持ち合わせる事は至難な技と言える。これらを供えてなければ現在の風車は造り得ない。たかが風車と思えるが容易でない。本県でも、他の工業高校で過去に何度か試みられた。①～⑤のバランスの上に成り立つ現在の風車は、回すことさえ容易でなかった。私は、それだけにファイトも湧き人一倍の不安もあった。何点かの問題点・改良点はあったものの、風を受け、風車が回り、自動車のヘッドランプを赤々と灯すことができた。5～6m/sの風で、定格の200rpmを超える300rpmで回転した。このことはヘッドランプの負荷が小さかった事を意味する。定量的なデータは、ボールの動揺が激しいなど装置の信頼性不足で得られてない。試作機と位置づけたら大成功だ。私には、先の5条件が十分に満足するものは何一つもなかった。最低限ギリギリ一杯のところをやっとバランスが保たれていたのだった。今考えればラッキーそのものだった。生徒とともに喜んだ。以下は校内での発表会で使ったレポートです。2号機3号機と作り続けたいが、やりたいと言う生徒が次年度も出て来るかが心配です。

参考書籍等①小型風車の実験と工作マニュアル オーム社 津曲・徳江・水谷著

②小型風車ハンドブック パワー社 牛山・三野著

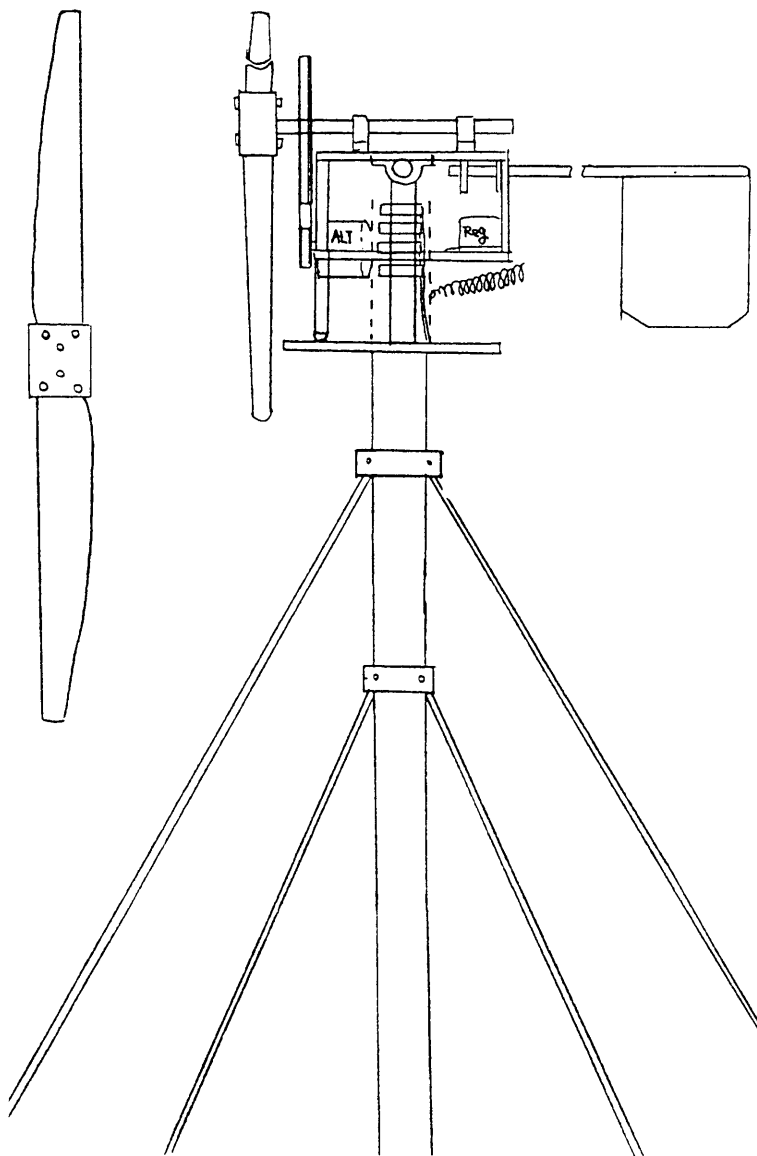
②はわかりやすいが迎角・風の角度の図表にミスプリントがあり、翼の設計を理解しがたくしている。

文部省主催「昭和56年度工業基礎科目講座（中央講座）」での「風力発電装置の製作と試験」の資料は考え方に根本的なミスがある。参考にされるときは、御注意下さい。

62年度 機械科 3 年 A 組

総 合 実 習

風 力 発 電 装 置 の 製 作



班 員

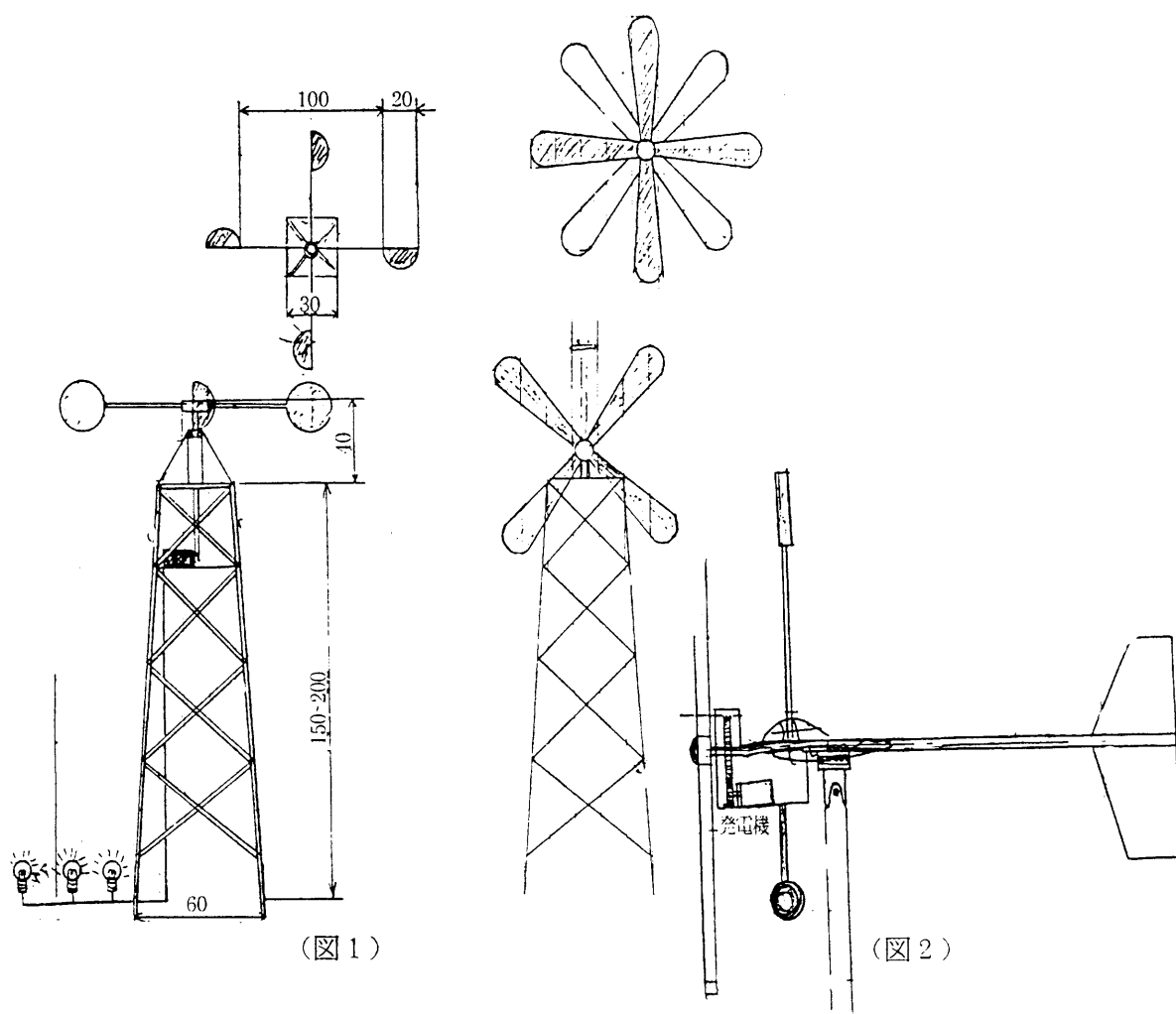
甲 斐	学
阿波野	兼 治
石 川	徳 満
佐 藤	秀 紀

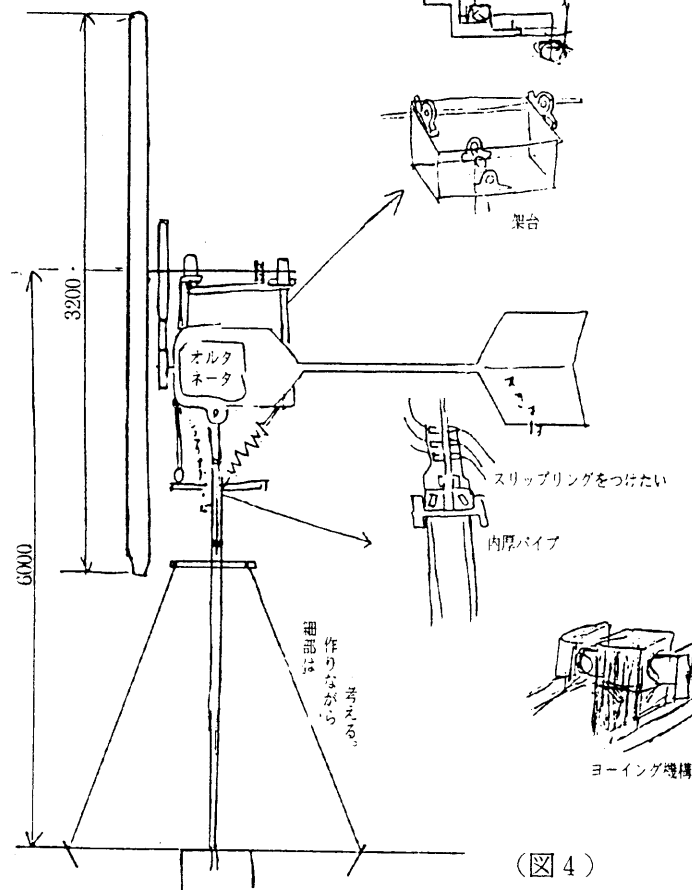
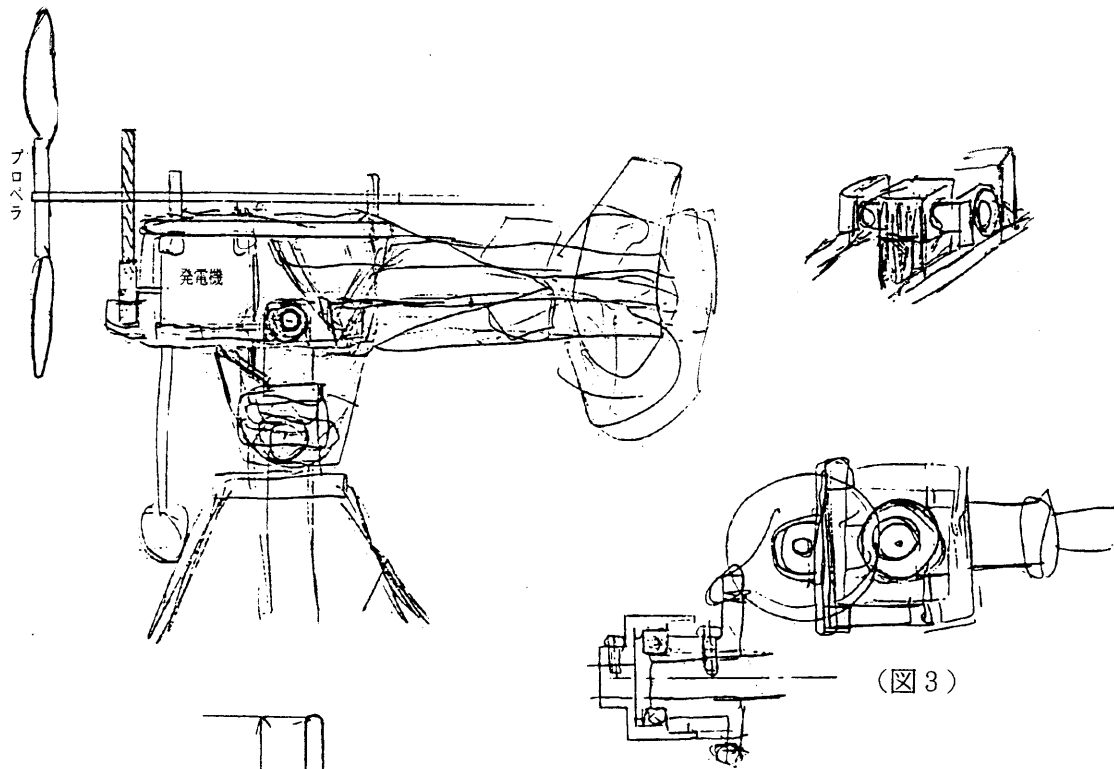
指導者

馬 場 弘 教

1. どんな装置を作るか

図1は我々が最初に思いついた案であった。討論をするなかで効率の事や発電する事などを考え、高速型2枚羽根のプロペラ型風車を作る事にした。大きさは、自転車の発電器を使用する風車は製作が容易そうだが、自動車の発電機が使える程度の実用的な規模のものを作りたいと思った。我々の工作上的限界も考え直径は3.2 mとした。方向制御や増速機構、それに安全対策を考え図2～4と次第に細部の形状と諸元を決めていった。





装置の諸元

プロペラ	直径3.2mクラークY型プロペラ 固定ピッチ方式
定格値	風速 5.6m/s 回転数 200rpm（発電器は800～1,000rpm） 周速比 6 出力 効率30%（理論値の50%）として250W
発電器	自動車のオルタネータ（35A、DC12V） バッテリー蓄電 制御は自動車のレギュレータで励磁は手動 ON-OFF式
安全装置	強風時はヨーイングして過回転を防ぐ 緊急手動ヨーイングと方向制御

2. 風のエネルギーと風車型式

$$\begin{aligned} \text{風のエネルギー } E &= \frac{1}{2} \rho A V^3 \times \frac{1000}{102} \quad (\text{ワット}) \quad \begin{array}{l} \rho : 0.123 \text{ kg} \cdot \text{S}^2 / \text{m}^3 \\ V : \text{風速} \\ A : \text{受風面積} \end{array} \\ \text{風速5.6のとき } E &= \frac{1}{2} \times 0.123 \times \frac{\pi}{4} \times 3.2^2 \times 5.6^3 \times 0.3 \times \frac{1000}{102} = 255 \text{ ワット} \\ \text{風速10のとき } E &= \frac{1}{2} \times 0.123 \times \frac{\pi}{4} \times 3.2^2 \times 10^3 \times 0.3 \times \frac{1000}{102} = 1450 \text{ ワット} \end{aligned}$$

このエネルギーは揚水や機械的な作業としてかなりむかしから利用されて来た。熱や電気に変換する例は比較的最近になってからである。

風車型式は図5のようにいろいろ考え出されているが我々は2枚羽根のプロペラ型翼にした。各風車の効率、および特徴は図6～7のようである。

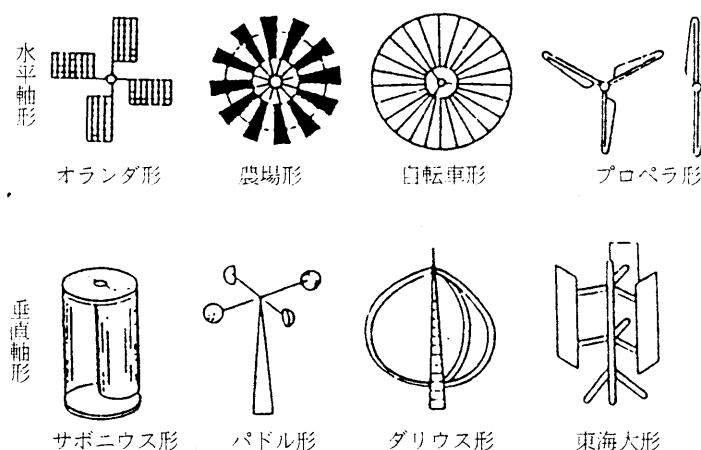


図5

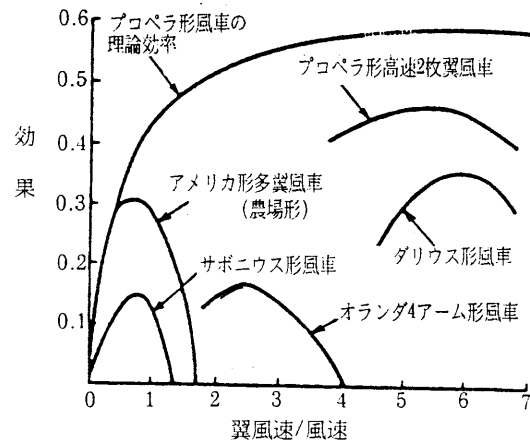


図 6

風 車 の 効 果

各 種 風 車 の 比 較

	性 能	構 造	製 作	コ ス ト	出 力	安 全	環 境
プロペラ風車	○	○	○	○	○	△	△
多翼形風車	△	△	△	△	△	△	○
ジャイロミル風車	○	△	×	×	○	×	△
ダリウス風車	○	○	△	△	○	○	○
サボニウス風車	△	○	○	○	△	○	○
パドル形風車	×	△	△	△	△	○	○

図 7

3. 翼の設計

風速 5.6 m/s で 200 rpm で回転する直径 3.2 m のクランク Y 型のブレード (翼) の設計値周速比は 6

ハブ位置								先端
	1	2	3	4	5	6	7	8

位 置	1	2	3	4	5	6	7	8
半 径	$r=0.2$	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6
迎 角	$\alpha=29$	22	15	12	10	8.5	7	6.4
風 の 角 度	$\Phi=53.1$	33.7	24.0	18.4	14.9	12.5	10.8	9.5
とりつけ角	$\beta=24.1$	11.7	9	6.4	4.9	4	3.8	3.1
	$\frac{c}{r}$		0.32	0.22	0.17	0.13	0.11	0.092
翼 弦 長	$c=202.5$	195	187.5	180	172.5	165	157.5	150

位置2までは正確に寸法をとるが1の位置は材料の寸法内に納まるよう2の位置から連続的に適当に修正をする。

断面形状は図8のようになる。

4. 製 作

(1) 翼の加工について

- ① 各部の翼弦ちょう材料上にけがいて削り出す。
- ② ねじれの角度を材料上にけがいて削り出す。
- ③ ゲージを作り修正しながら正確に翼形を出していく。

のこ、のみ、かんな、やすり、ペーパーなどを使用して全作業量の半分をプロペラ製作にあてた。

(2) 電気関係について

- 自動車のオルタネータとレギュレータを使うが一部省略している。
- 発電機とレギュレータは風車近くの架台にセットし、バッテリーとイグニッション回路のスイッチは地上にセットするその間の連結はスリッピングで行う。

(3) 防水対策について

- 電気関係は水が禁物なので防水対策を必要とする。
- 完全な対策が困難だった。

(4) タワーについて

外径60.5、肉厚5.5、長さ5.5m、50Aスケジュール80番、重量41kgを使用した。

地上より、位置で8番線で各5本合計10本をターンバックルを使用して張った。

(5) プロペラのバランス出しについて

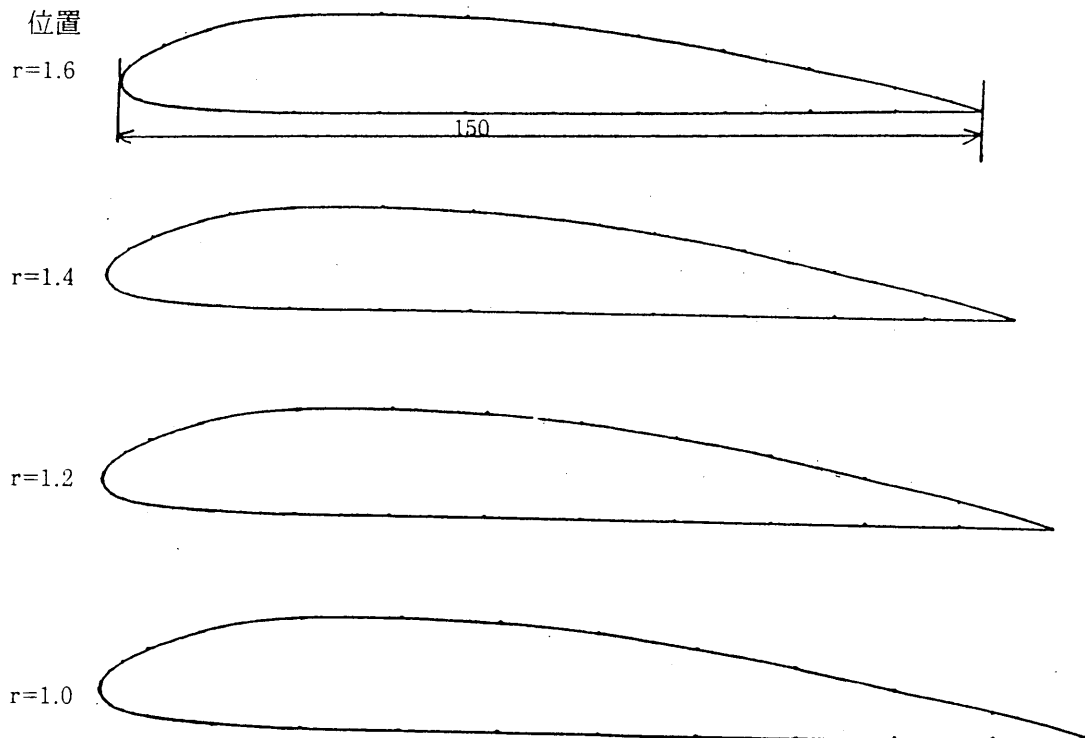
2枚の重量差は16g、重心位置の差は3mmであった。

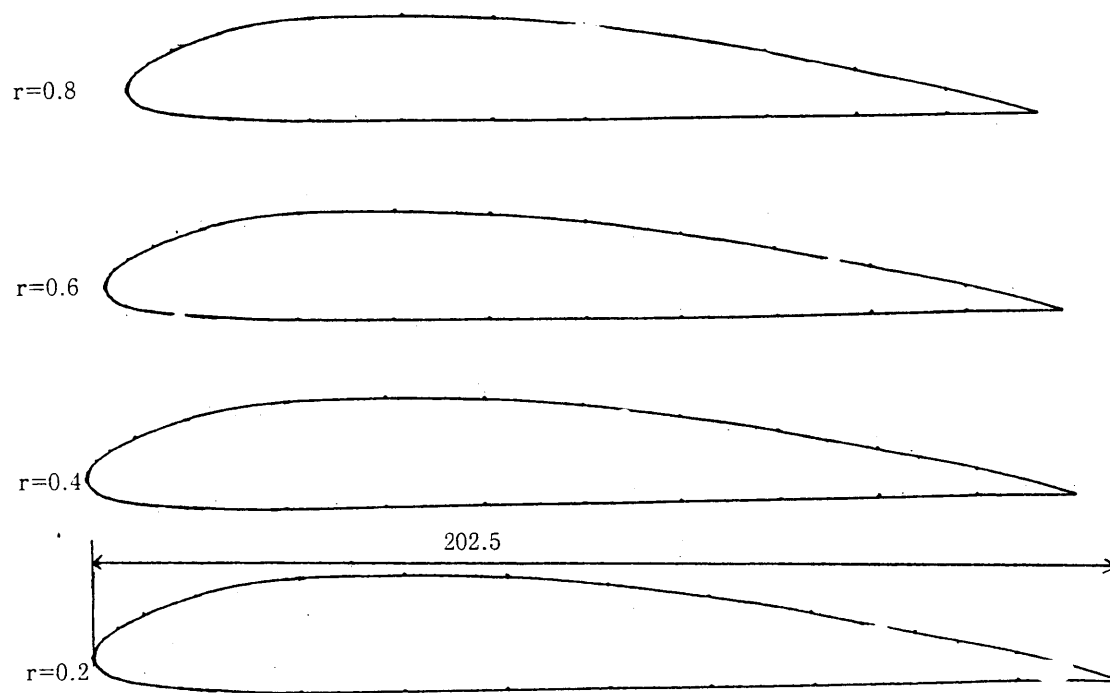
これをなくすため翼の一部に鉄板をうめこんだ。

(6) 重量

翼	4.6 kg f
方向転換の回転軸	2.7 kg f
尾翼	2.6 kg f
主軸と尾翼軸を含む架台	22.5 kg f
バランスウェイト	2 kg f
ポール	41 kg f

翼の断面





(図 8)

5. 設置場所について

- ① 1号館の屋上 ② 第2グラウンドの西側土手
- ③ 第1グラウンド西側土手 ④ 新体育館の西側空地
- ⑤ テニスコートの西側

と候補と選び数週間にわたって検討を重ねた。

安全上から⑤のテニスコート西側に決定した。

6. 取組みの経過

11/16 全体計画と翼についての学習

11/30 翼の加工

12/14 "

12/21

部品の加工、翼の加工

12/23

1/11

1/18 ポールの設置のための整地, ポールたて、架台の製作

1 / 25 翼のバランスとり、架台の完成、防水対策
試運転、安全対策と部品の改造

1 / 30

2 / 1 発表会の準備と発表会

7. 運転してみて

1 / 25の試運転では、先週たてたポールをたおし機械部分、風車を取りつけ再びたてた。下段のワイヤーを張り終え上段ワイヤー張りをしていたころ、急に回り出し、回転が上がり危険状態となった。いろいろ対策をしたが完全な暴走状態となった。風の弱まった時期を見はからってタワーをたおした。幸いにもほとんど無傷だった。

1 / 28の地上実験では、バランス出しや安全対策それに起動トルクの性能を見るため、2.5 mのポール上にセットし運転をした。この日は無風で実験できなかった。

1 / 29の本番実験

地上試験が不十分なままいよいよ5.5 mのポール上にセットすることになった。発電機に負荷（励磁電流を流す）をかけても高速回転する。また、小さい風でも起動が容易になった。

発生電圧の測定では、バッテリー電圧の13ボルトをこえなかった（こえたような、こえないような暗くて指針が読めない。）机上でのオルタネータ・レギュレータ・スリップリング等の電気結線と発電テストは良好だったのに、本実験ではバッテリーに充電する程の電圧上昇の確認はできなかった。暗いなかでスリップリングより火花が出ていたのでスリップリングの調整が悪かったのか、発電機の回転数が十分に上がってなかったかが考えられる。日没のため測定不能となり中止した。

8. 改造した風車

- シャフトがスリップしないよう、より完全に固定する。
- よーいんぐ確実にする。
- 起動トルクを大きくするよう翼のとりつけ角度を修正する。 $+3^{\circ}$ に修正する。
- 地上より危険を回避する対策をたてる。
- 全体的により信頼性を増す様、組み直し、あるいは部品を作り直した。

9. 反省点

- スリップリングは必要ない。
- 翼をもっと簡単に高精度に加工する方法が別にあった。
- 地上で実験をしてみてタワーに乗せるべきだった。

○実験なら直径1.5 m～2 m程度でも充分でないかと思った。ただし自転車の発電器程度でないと無理である。大きいと翼の加工が大変だし、制御も困難となり、かなり危険をとまなう。

10. 作り終えて（1月30日）

思ったよりも大きくてまわるかどうか心配だったが、いざテストしてみると恐いくらいにまわって成功だと思います。（甲斐 学）

初めは、まわるか心配だったけど第1回の実験ではプーリーがからまわりして回転がはやくなり恐怖の連続だった。改良して回ったときはうれしかった。（佐藤秀紀）

この風力発電機をつくるにあたって、一番苦労したのはプロペラだ。日程の半分も使ってやっと出来た。風力発電機が出来て、回った時は、うれしかったがこわかった。あまりにも速く回りすぎるのだ。やはり回りすぎるのも考えものだ。（石川徳満）

はじめ、翼を作り出したときこれでまわるのか心配だったが、予想以上に出来がよかったけれど安全対策がまだ不完全でいつこわれるか心配だ。（阿波野兼治）

恐怖と喜びで心臓が高鳴り興奮状態が家庭での安眠を妨げた。私自身にもいい経験になった。（馬場弘教）

11. その後の実験（運転）について

1/30は昨日の運転結果から①スリップリングのトラブルが考えられるのでスリップリングを取りはずし②発生電力の確認ができる様にヘッドランプを用意して風を待った。2～3時間まったが風がふかず中止した。

1/31風が強いので市内在住の佐藤、甲斐と先生が運転した。バッテリーは励磁電流を発電開始時に与えるのみでその後は切り離す。バッテリーを切り離した状態でヘッドランプが明るく点灯し最終目標の電力発生が確認できた。

地上1.5 mで4 m/sの風するとき（ポール上では5.6 m/s？）負荷状態で300 rpmで回転していた。

12. 感想（追記）2/1

発電が確認できてほっとした。（佐藤秀紀）

発電が出来たと聞いて 風車記念日 （石川）

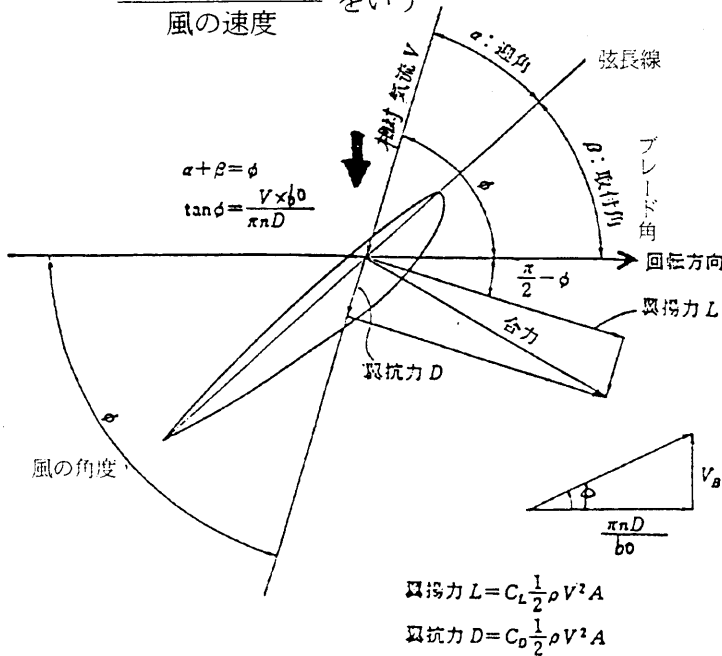
放課後に残ってやったかいがあった。（甲斐 学）

おれも見なかった （阿波野）

〔資料〕

風速 5.6 m/s で 200 rpm で回転する直径 3.2 m のブレードの設計

周速比 $\frac{\text{ブレードの周速}}{\text{風の速度}}$ をいう



$$\text{周速比: } \lambda_0 = \frac{2 \pi n R}{60 V} \quad \text{--- ①}$$

n : 回転数 [rpm]

V: 風速 [m/s]

R : ブレード半径

先端における周速比は

$$\lambda_0 = \frac{2\pi \times 200 \times 1.6}{60 \times 5.6} = 6.0$$

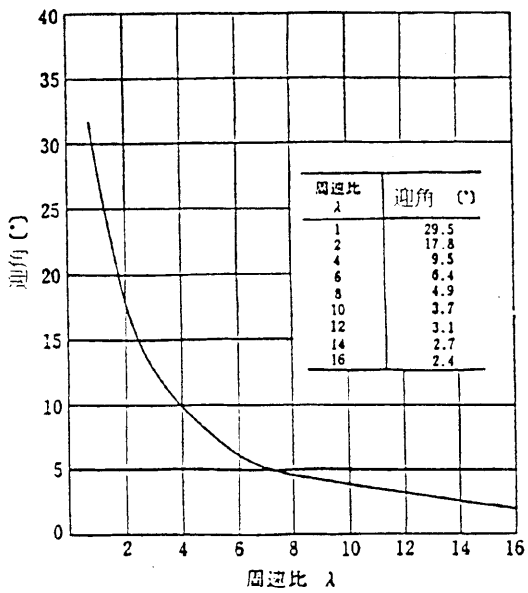
任意位置における周速比は

$$\lambda = \frac{2 \pi n r}{60 V} \quad \text{--- (2)}$$

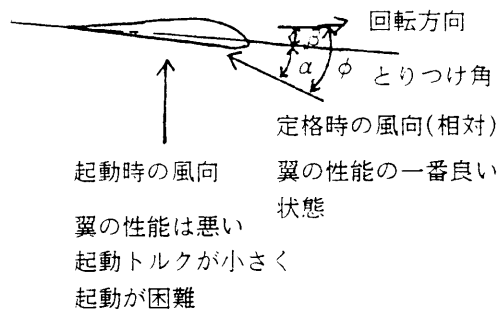
又 λ_0 を使えば

$$\lambda = \lambda_0 \frac{r}{R} \quad (3)$$

図5-22 気流とブレード角度の関係

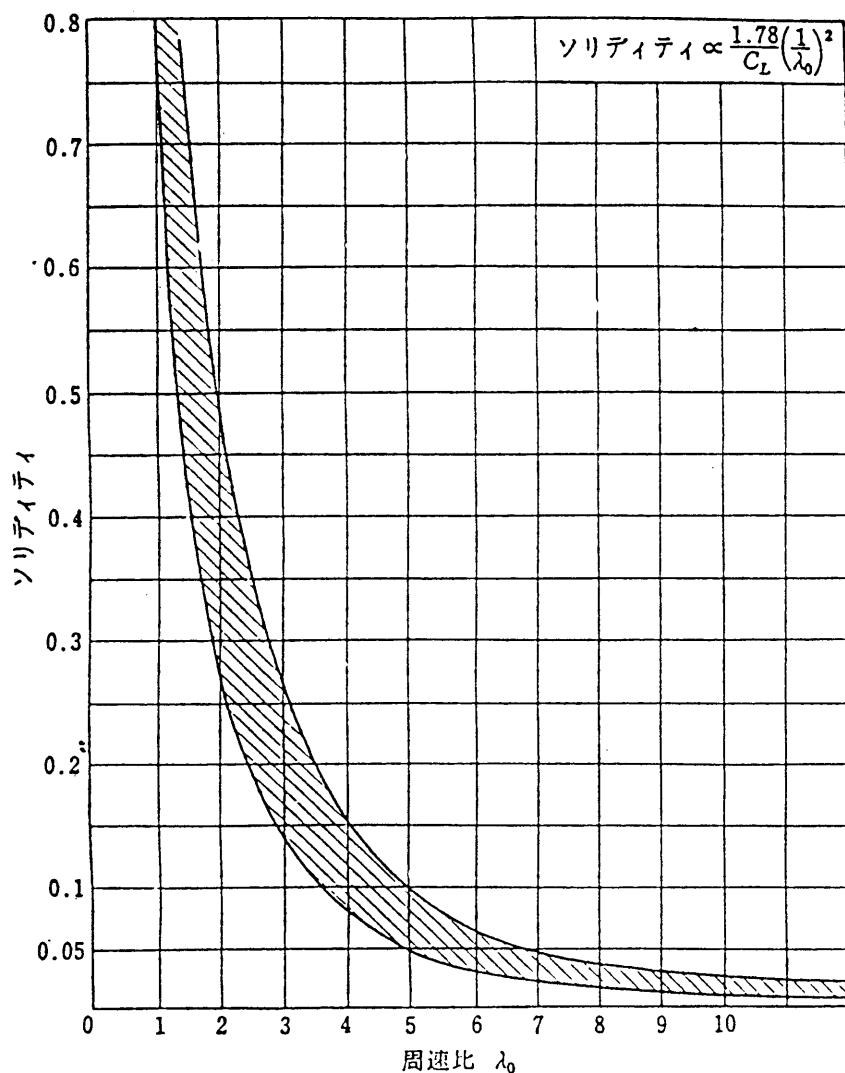


風の角度と周速比の関係(J.パークによる)
(A.アルトマンによる)



ソリディティ

ブレード面積／風車風車受風面積という



直径 3.2 m のブレードの受風面積は

$$8.04 \text{ m}^2$$

入 = 6 の場合、表よりソリディティはおよそ

$$0.07 \text{ となる。}$$

ブレード面積は

$$8.04 \times 0.07 =$$

$$0.56 \text{ m}^2$$

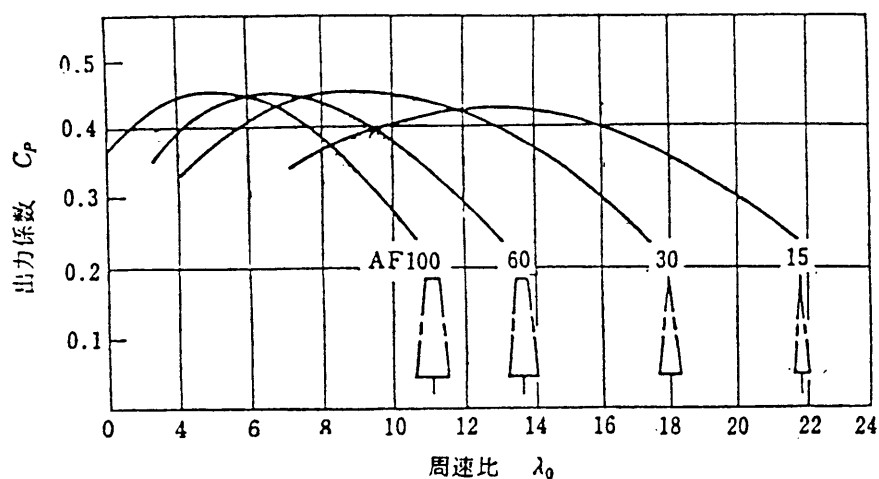
この場合翼弦長 C は

$$0.56 / 3.2 =$$

$$0.176 \text{ m}$$

周速比の小さい範囲ではテーパー無しでも性能の低下はあまり見られない。

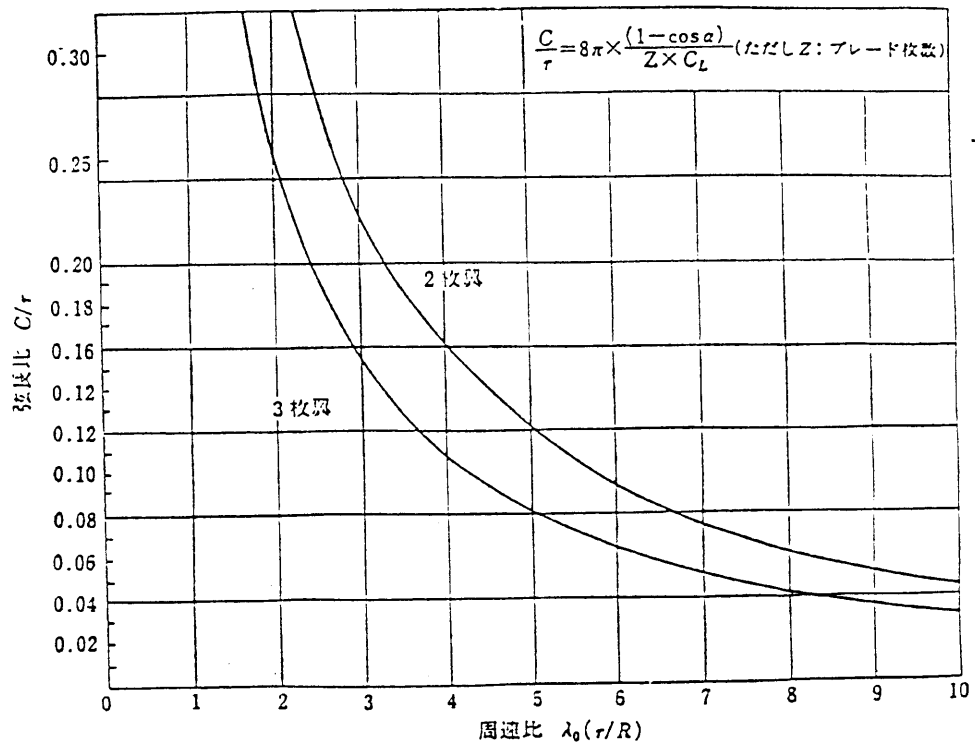
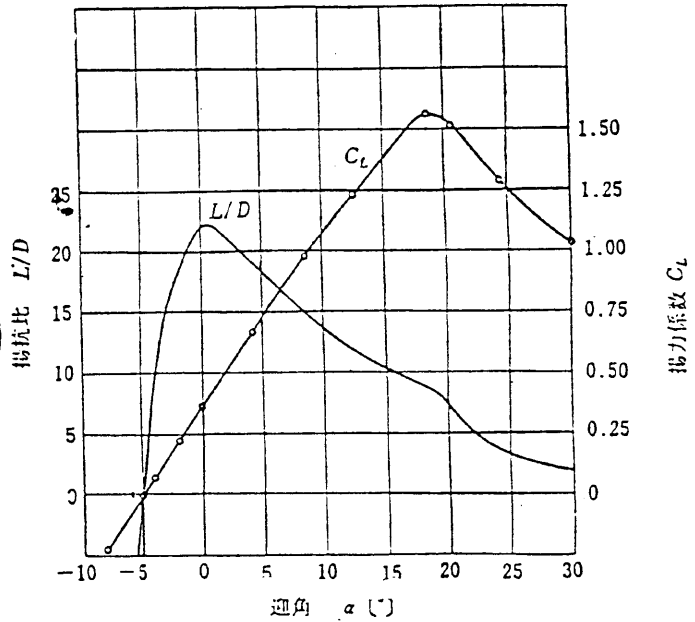
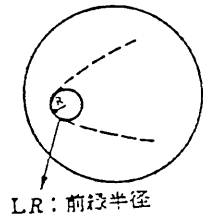
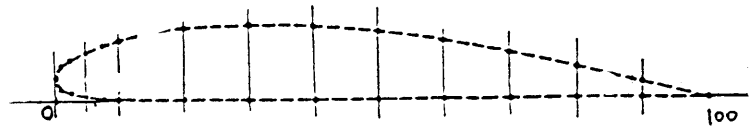
図5-10 周速比とソリディティの関係(J.パークによる)



作動係数(AF)と風車性能(G.ローゼンによる)

クラーク Y の翼断面と特性

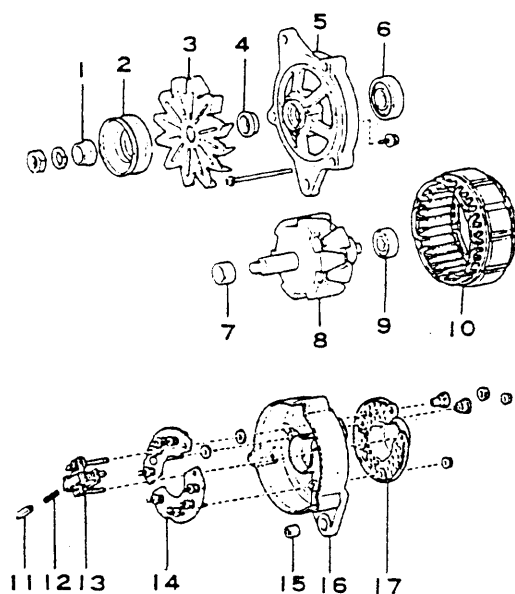
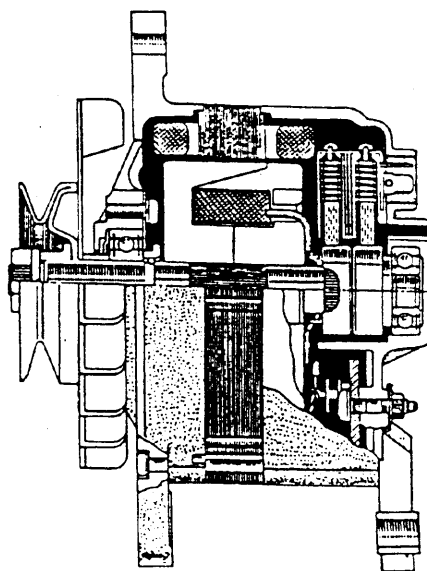
Clark Y		
位置	上面	下面
0	3.5	3.5
1.25	5.45	1.93
2.5	6.5	1.47
5.0	7.9	0.93
7.5	8.85	0.63
10	9.6	0.42
20	11.36	0.03
30	11.7	0
40	11.4	0
50	10.52	0
60	9.15	0
70	7.35	0
80	5.22	0
90	2.8	0
100	0	0
%	LR=1.5	



クラーク Y 翼形に対する周速比と弦長比の関係 (A. アルトマンによる)

オルタネータ

定格出力 [14V] (A)	35A
公称電圧 (V)	12
極 性	マイナス側整地
回 転 方 向	右 (プーリ側よりみて)
整 流 方 式	全波整流シリコン ダイオード6個内蔵
立ち上り回転数 [14V, 0A] (r p m)	730 ~ 930



- 1 カラー, スペーサ
- 2 プーリ, オルタネータ
- 3 ファン, オルタネータ
- 4 カラー
- 5 フレーム, ドライブ エンド, オルタネータ
- 6 ベアリング (オルタネータ
ドライブ エンド フレーム用)
- 7 カラー
- 8 ロータ ASSY, オルタネータ
- 9 ベアリング (オルタネータ ロータ用)
- 10 ステータ ASSY, オルタネータ
- 11 ブラシ, オルタネータ
- 12 スプリング, オルタネータ ブラシ
- 13 ホルダ, オルタネータ ブラシ
- 14 ホルダ ウィズ レクティファイア,
オルタネータ
- 15 プシユ
- 16 フレーム, リア エンド, オルタネータ
- 17 カバー, リア エンド

充電装置

回路図

