

チップベーンによる水平軸風車の増出力に関する研究*

(第3報, テーパーブレードの場合)

清水 幸丸^{*1}, 松村 真次^{*2}, 今村 博^{*2}

Power Augmentation of Horizontal Axis Wind Turbine with Tip Vane

(3rd Report, In Case of Taper Blade)

Yukimaru SHIMIZU, Shinji MATSUMURA and Hiroshi IMAMURA

Output of horizontal axis wind turbine is improved by tip vane. This paper describes the results when the taper blade are used to the wind turbine. Comparing 1st report with 3rd one, the power coefficient on the turbine with the taper blade is more larger than that on one with the equi-chord length. The maximum power coefficient reaches to 0.48 in case of the taper blade. Also, this paper describes the effects of setting angles of tip vane to the tip main blade.

Key Words: Fluid machine, Horizontal axis wind turbine, Tip vane wind turbine, Performance output coefficient, Augmentation of output, Configuration of tip vane, Taper blade

1. 緒 言

著者らは独自の考えでチップベーンによる水平軸風車の増出力に挑戦し過去の実験において等弦長翼風車で20～25%の出力増大に成功した。著者らの独自の考えによるチップベーンの効果とは、次のような内容である。(1)誘導渦の発生を軽減し誘導抵抗を減少させる。(2)チップベーンによるディフューザ効果により風車回転面にできるだけ多くの気流を引き込む。(3)ディフューザ効果により後流を拡大させ減速させる。これまでの研究では、等弦長翼を用いてきたが、本報ではテーパー翼を用いた場合、チップベーンの効果がどのようになるか研究した。さらに、これまでの研究ではチップベーンの形状が狭い範囲に限られていたもので、これを拡大し、平面形状の変化および、いまだ検討していなかったチップベーンの各種取付角と風車性能の関係も検討した。

2. 主な記号および定義式

U : 流入風速 m/s

* 平成2年8月30日 流体工学部門講演会において講演, 原稿受付 平成3年5月9日.

^{*1} 正員, 三重大学工学部(〒514 津市上浜町1515).

^{*2} 学生員, 三重大学工学部.

R : 翼の半径 m

T : 発生トルク N・m

Ω : 角速度 rad/s

ρ : 空気密度 kg/m³

λ : 周速比 $R\Omega/U$

C_p : 出力係数 $= \frac{T\Omega}{0.5\rho U^3 \pi R^2}$

3. 実験装置および方法

図1に実験に用いた開放形風洞および実験装置の概略

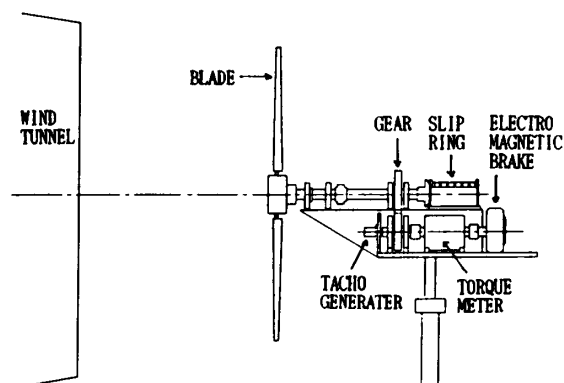


図1 実験装置全体図

を示す。風車は風洞出口下流 1.2 m に設置されている。また風車後流への影響を避けるために風車設定点から下流側へ 4.6 m 以上の直線距離を設けた。図 2 の写真はチップペーンを取付けた実験用水平軸風車、および翼端に取付けられたチップペーンの一例を示す。表 1 には供試翼の諸元を示す。本実験では、NACA 4412 断面のテーパねじり翼、FX 74-CL 6-140 断面の等弦長ねじり翼の 2 種の 2 枚翼水平軸風車を用いた。ねじり翼のねじり角度は文献(3)、(4)に詳述されている。本研究では過去の実験において増出力に有効であった V 形、および S 形状のチップペーンを基本として実験を行った。図 3 にその定義図を示す。供試チップペーンの縦方向長さ B は等弦長の 8 割とした。この値は、過去の実験結果に基づいて決定された。図 4 には、翼ピッチ角 ζ 、およびチップペーン SWEEP 角 Λ 、図 5 には、チップペーン INCIDENCE 角 θ の定義を示す。

4. 実験結果と考察

4・1 テーパ翼を用いた場合のチップペーン前縁および後縁長さと風車性能の関係 図 6 にはテーパ翼に対する V 形チップペーンの前縁、後縁長さと風車性能の関係を示す。チップペーンなし風車は周速比約

5 において最高出力係数 0.41 になる。図 6 (a) には V (8 * 5.4) 形チップペーン ($C+D+E=8$ cm, $B=5.4$ cm) を基準とし、前縁長さを変化させた場合の出力係数と周速比の関係を示す。後縁長さを 4.5 cm 一定とし、前縁長さを 2.5 cm (1 倍), 5 cm (2 倍), 7.5 cm (3 倍) と長くすると出力係数は回転領域全般において順次低下する。最高出力係数においても 0.46, 0.45, 0.44 と低下する。図 6 (b) には、前縁長さを 2.5 cm 一定とし後縁長さを 4.5 cm (1 倍), 9 cm (2 倍), 13.5 cm (3 倍) と変化させた場合の結果が示

airfoil section	NACA4412	FX74-CL6-140
plane form of blade	taper twisted blade	equi-chord length twisted blade
material	wood+stainless	wood
length of blade	0.480 (m)	0.500 (m)
tip chord length	0.068 (m)	0.100 (m)
aspect ratio	5.714	5.136
taper ratio	0.083	0
radius of rotor blade	0.590 (m)	0.579 (m)

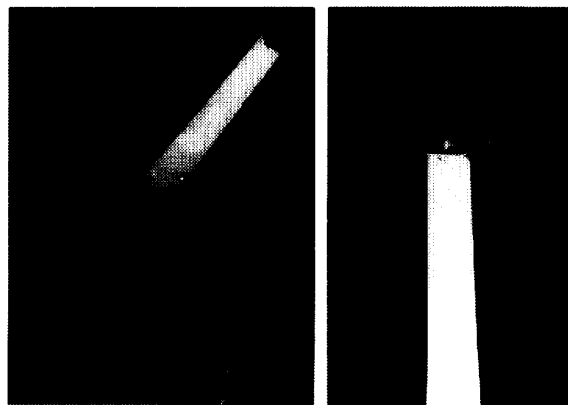


図 2 チップペーン付き風車およびチップペーンの一例

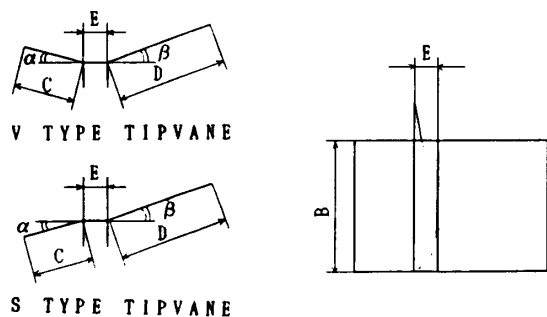


図 3 供試チップペーンの定義図

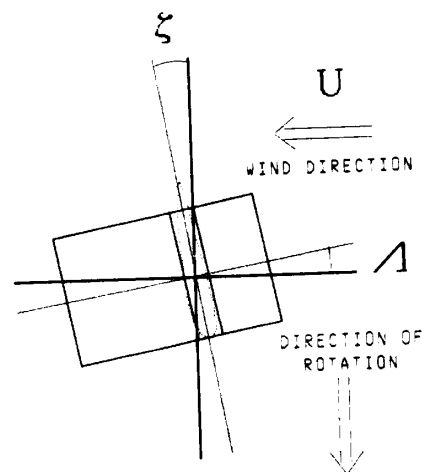


図 4 翼ピッチ角 ζ およびチップペーン SWEEP 角 Λ の定義図

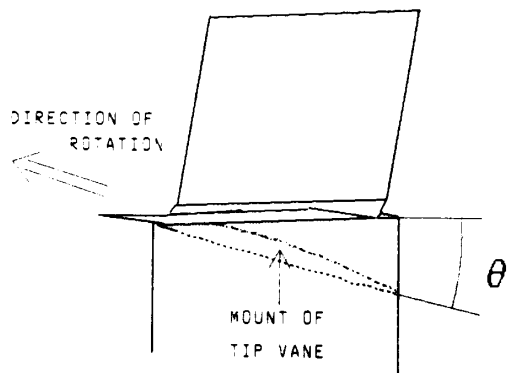


図 5 チップペーン INCIDENCE 角 θ の定義図

されている。後縁長さを1, 2, 3倍と長くしていくと最高出力係数は0.46, 0.47, 0.48と順次増大していく。しかし1倍から2倍に変化させたときの出力の増加に比べ、2倍から3倍に変化させたときの出力の増加は小さい。また、周速比が高くなるにつれて後縁の長いチップペーンは出力の低下が大きく、逆に後縁の短いチップペーンのほうが高い性能を示す。次に後縁長さを9 cm一定とし、前縁長さを2.5 cm (1倍), 5 cm (2倍), 7.5 cm (3倍)と変化させた。その結果を図6(c)に示す。図6(a)の場合と同様に前縁を長くするにつれ出力係数は回転領域全般において低下した。以上の結果よりV形チップペーンに関しては、前縁長さを長くしても出力増加の効果は表れず、逆に抵抗が増え出力は回転領域全般において低下し、後縁を長くすると出力増加の効果が大きくなるが、長くし過ぎると抵抗成分が増加しあまり出力増大は望めず、高回転領域での性能低下が激しくなる。V形チップペーンにおいては前縁長さ2.5 cm後縁長さ9.0 cmのV (12.5 * 5.4)形が最も良いチップペーンの一つと言える。図7はS形チップペーンの前縁、後縁長さと風車

性能の関係を示している。V形同様図7(a)は後縁長さ4.5 cm一定とし前縁長さを変化させた場合、図7(b)は前縁長さ2.5 cm一定とし後縁長さを変化させた場合、図7(c)は後縁長さ9 cm一定とし前縁長さを変化させた場合の出力係数が示されている。S形においてもV形とほぼ同様に、前縁を長くすると性能は全体的に順次低下し、後縁を長くすると最大出力係数は高くなるが高周速比域において性能が低下する。S形も前縁2.5 cm、後縁9.0 cmのS (12.5 * 5.4)形チップペーン(最大出力係数0.48)が最も良いチップペーンの一つと言える。

4・2 翼ピッチ角とチップペーン付き風車の性能の関係

チップペーンなし風車、チップペーン付き風車の翼ピッチ角 γ (図4)を変化させ、チップペーンなし風車の最適翼ピッチ角がチップペーン付き風車においても最適になるかを考察する。チップペーンはV (8 * 5.4), V (12.5 * 5.4)を用いた。なお、チップペーン SWEEP 角 Λ (図4)はつねに 0° とした。図8に出力係数を示す。ピッチ角 γ を $-1, 1, 3, 5^\circ$ と変化させるとチップペーンなし風車、チップペーン付き風車と

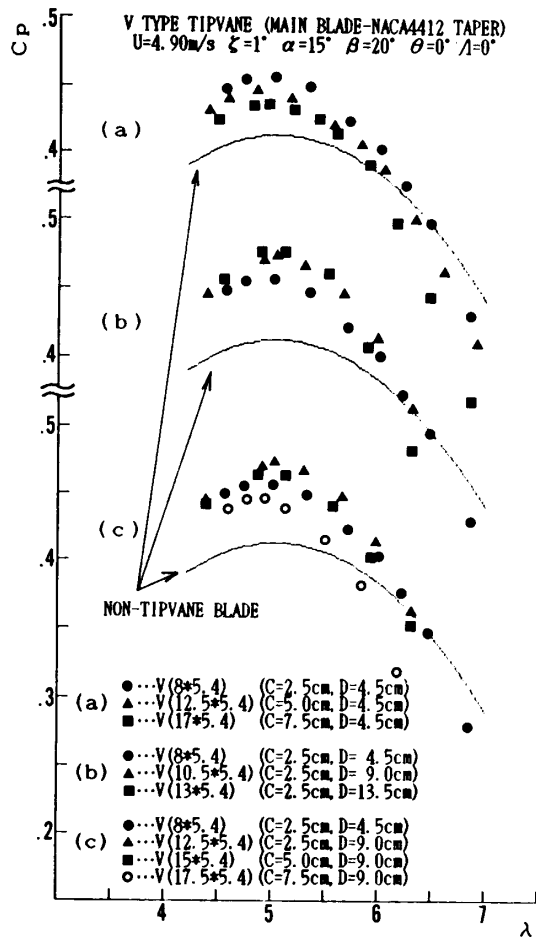


図6 V形チップペーン前縁および後縁長さと風車性能の関係

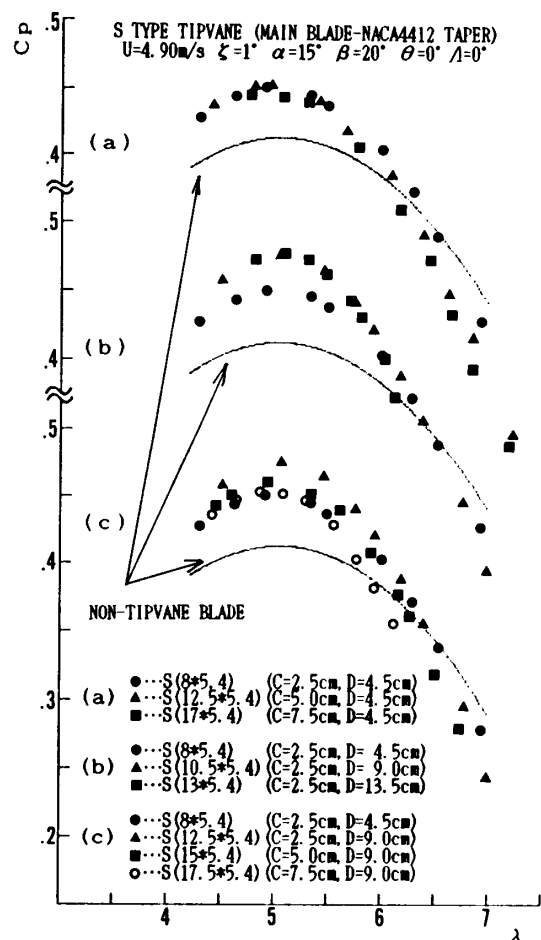
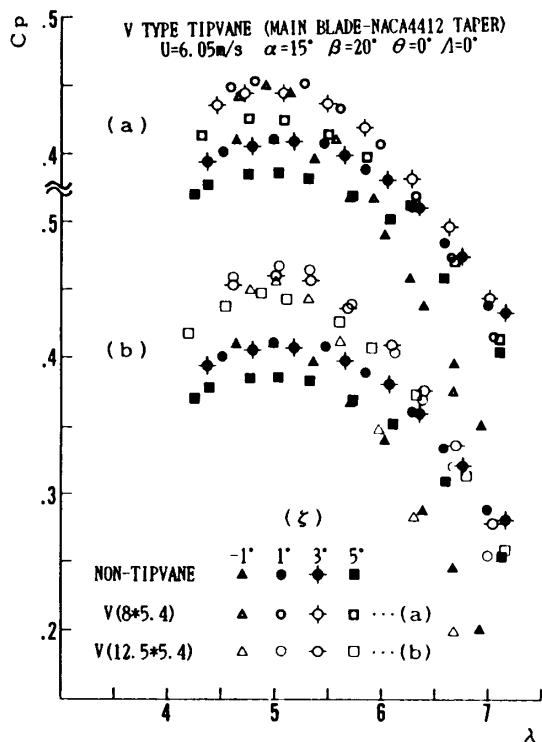
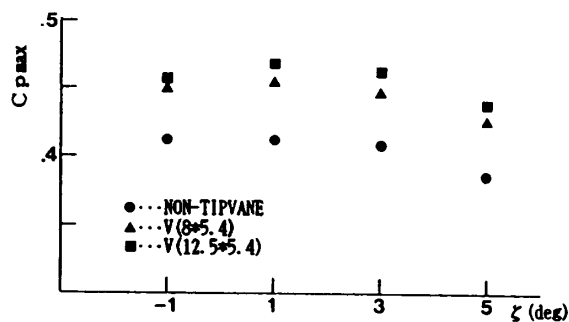


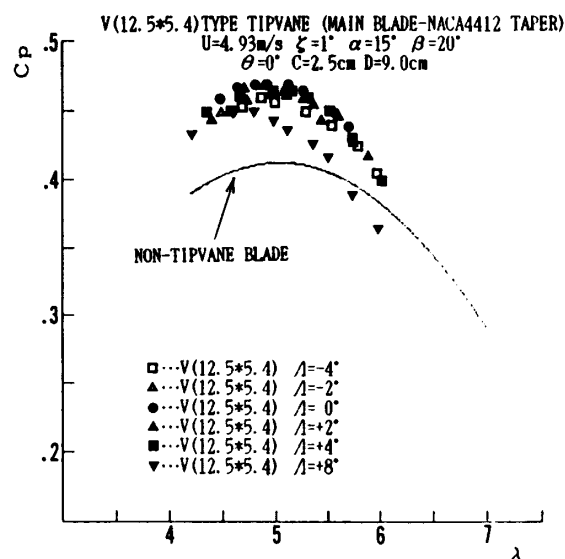
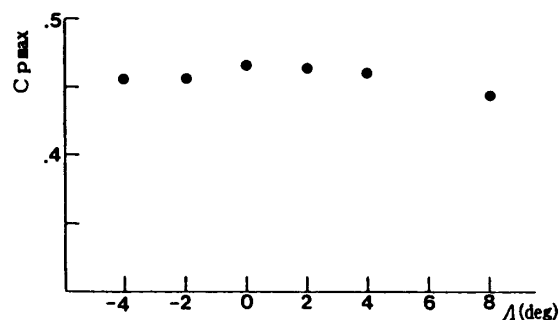
図7 S形チップペーン前縁および後縁長さと風車性能の関係

もに性能曲線はかなり変化する。しかしその変化はチップペーンなし風車、チップペーン付き風車においてかなり相似な点がある。ともに $\zeta=1^\circ$ で最も良い性能を示し、 $\zeta=-1^\circ$ は高周速比域での性能低下が激しく、また、 $\zeta=3^\circ$ は最高出力係数では $\zeta=-1, 1^\circ$ に劣るものの高周速比域では逆に良い性能を示す。 $\zeta=5^\circ$ になると性能は回転領域全般で低下するが回転数を低くしてもなかなか失速しない。図9におおのこの最大出力係数のみを取り上げたグラフを示す。これから明らかなように、チップペーンの有無にかかわらず、 C_{pmax} はそれぞれ $\zeta=1^\circ$ を頂点とする曲線を描いている。以上の結果から、チップペーン付き風車における最適翼ピッチ角はチップペーンなし風車とほぼ一致し、ピッチ角を変化させることによる風車性能への影響も似て

図8 翼ピッチ角 ζ とチップペーン付き風車の性能と関係図9 翼ピッチ角 ζ とチップペーン付き風車の最大出力係数の関係

いると言える。

4.3 チップペーン SWEEP 角と風車性能の関係
チップペーンを翼端に取付ける場合、図4に示すごとく SWEEP 角 Λ を種々変化させることができる。チップペーンに入ってくる空気流入方向は、翼車や翼端渦などの影響により定かではないので、SWEEP 角を微小に変化させ、より良い性能が得られないか検討した。図10にその結果を示す。出力係数は $\Lambda=0, 2^\circ$ で最も高くなり、正方向に $4, 8^\circ$ 、負方向に $-2, -4^\circ$ と変化させていくと形状抵抗の増加などの影響により順次性能が低下していく。特に $\Lambda=8^\circ$ では性能が目立って低下しており、最大効率点の周速比も低くなっている。図11に SWEEP 角に対する最大出力係数の変化を示す。 $\Lambda=0^\circ$ 付近を最高に Λ が大きくなるにつれ、わずかに低下していくことがわかる。以上の結果からチップペーン付き風車の性能は、 $\Lambda=0^\circ$ 付近で最高となり、SWEEP 角を大きくするほど低下していくと思われる。

図10 チップペーン SWEEP 角 Λ と風車性能の関係図11 チップペーン SWEEP 角 Λ と最大出力係数の関係

4・4 チップペーン INCIDENCE 角と風車性能の関係 チップペーンを翼端に取付ける場合、SWEEP 角同様その取付角の一つ INCIDENCE 角 θ を変化させることができる。SWEEP 角および INCIDENCE 角によってチップペーンは多様に取付けることができるが、本節では、主翼の翼端に、 $\theta=0, 6, 12, 18^\circ$ の角度をもつチップペーン取付用マウントを取付けることによって INCIDENCE 角を変化させ (図 5), SWEEP 角を 0° に固定したまま INCIDENCE 角に対するチップペーン風車の影響を実験的に検討する。その結果を図 12 に示す (ただし、各 INCIDENCE 角に対する最大出力係数のみを示した)。チップペーンなし風車は、チップペーン取付用マウントを取付けることによって、 θ が大きくなるにつれて翼長が長くなり、性能がわずかず増加している (ただし、出力係数を計算するにあたり、回転半径は、マウントによる延長を考慮していない)。チップペーン付き風車は、 θ を $6, 12, 18^\circ$ と大きくしていくにつれ、

性能は大きく低下していき、 $\theta=6^\circ$ では、チップペーンなし風車よりも性能が劣っている。本実験においては、INCIDENCE 角の変化によって、よりチップペーンによる増出力効果を助長することができなかったが、SWEEP 角との組合せによって、まだまださまざまな取付状態が考えられ今後の研究課題の一つとなるであろう。

4・5 チップペーンの形状と風車性能の関係 V 形チップペーンを基本として図 13 に示すごとくチップペーンをさまざまな形状にすることにより風車性能の向上を試みた。この実験においては、等弦長翼 (FX 74-CL6-140 翼断面) とテーパ翼 (NACA 4412 翼断面) の 2 種類の翼車を用いて、それぞれ比較も行うことにした。ここで、チップペーン縦方向長さ B は等弦長翼 8.0 cm、テーパ翼 5.4 cm (おのおの翼弦長の 8 割) である (表 2)。図 14 には FX 74-CL 6-140 等弦長ねじり翼、図 15 には NACA 4412 テーパねじり翼を用いた結果を示す。等弦長翼風車は、ソリディティー比が大きいため、テーパ翼風車に比べ周速比が全体的に小さくなっており、また、性能も低くなっている

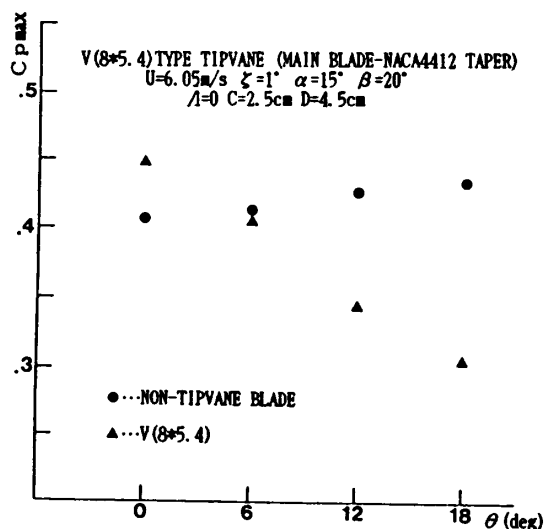


図 12 チップペーン INCIDENCE 角 θ と最大出力係数の関係

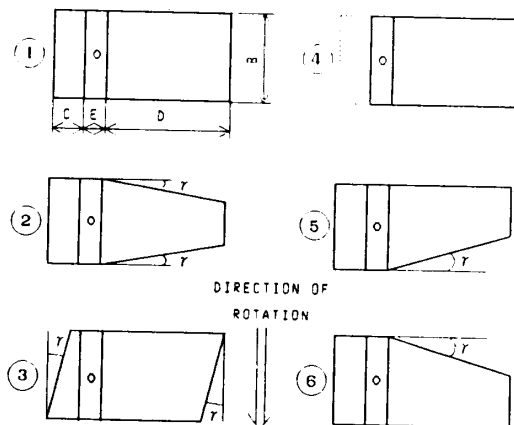


図 13 変形チップペーンの形状図

表 2 変形チップペーン寸法

tip vane size	kind of rotor blade	for equi chord length blade	for taper blade
B (cm)		8.0	5.4
C (cm)		2.5 (④...⑦)	2.5 (④...⑦)
D (cm)		9.0	9.0
E (cm)		1.0	1.0
γ (deg)		15	12

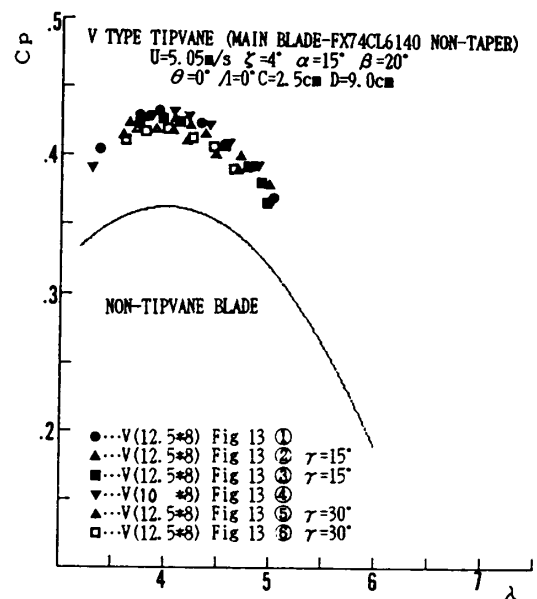


図 14 チップペーン形状と風車性能の関係 (FX 74CL / 6140 等弦長ねじり翼)

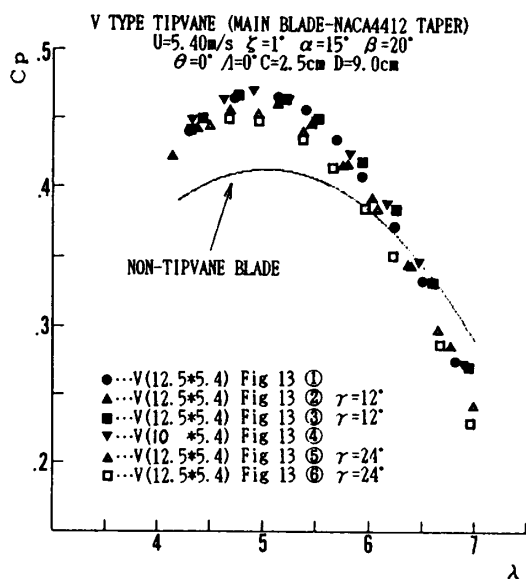


図 15 チップペーン形状と風車性能の関係
(MACA 4412テーパねじり翼)

が、チップペーンによる性能の増加率は逆に大きい。これは出力に占める誘導抵抗の割合が大きくなっているためと思われる(誘導抵抗はアスペクト比に反比例する)。しかしどちらの風車に対してもチップペーン形状の変化による出力の著しい増加はなく、ノーマル形(①)と平行四辺形(③)、前縁なし形(④)がほぼ同等の出力を示している。4・1節において述べたごとく、チップペーンの前縁長さをある程度長くすることにより性能が低下したのに対し、(④)の前縁なし形がノーマル形(①)とほぼ同等の性能を示しているということから、前縁部は、それほど大きな効果をもたず、チップペーンによる出力増加の効果は主に後縁部において達成されていると思われる。

5. 結 言

以上の研究の結果、主に次のような結果を得た。

- (1) テーパー翼にチップペーンを取付けると、性能はいちだんと改善され、効率は最高48%に達した。
- (2) 風車の出力係数は、チップペーンのSWEEP角、INCIDENCE角、および翼ピッチ角の影響を受け、ピッチ角1°、SWEEP角0~2°、INCIDENCE角0°で最大出力係数を得る。
- (3) 平板形チップペーンにおいて図13に示す平面形状の変化によっては著しい性能の向上はみられなかった。

文 献

- (1) 清水・ほか2名, チップペーンによる水平軸風車の増出力に関する研究(第1報, チップペーン形状と性能の関係) 機論, 56-522, B(1990), 495.
- (2) 清水・ほか2名, チップペーンによる水平軸風車の増出力に関する研究(続報, 可視化による増出力効果の解明) 機論, 56-522, B(1990), 502.
- (3) 清水・中村, 水平軸風車周囲の流れ状態と風車性能に関する研究(翼に適切なねじれ角を与えた場合とねじりなしの場合の比較) 機論, 51-471, B(1985), 3530.
- (4) 清水・ほか2名, 水平軸風車に用いる翼の平面形状と性能の関係, 機論, 51-472, B(1985), 4273.