

小型プロペラ式風車の風洞及びフィールド実験

Experimental study on small horizontal axis wind turbine in wind tunnel and field

脇坂 義太郎^{*1}

Yositarou WAKISAKA

高田 康宏^{*4}

Yasuhiro TAKATA

木綿 隆弘^{*2}

Takahiro KIWATA

イサック グティエレス^{*1}

Isaac Gutierrez

岡島 厚^{*3}

Atsushi OKAJIMA

1. 緒言

風力発電は地球温暖化の原因となる炭酸ガスを一切排出しないクリーンなエネルギーとして近年ますます開発研究が進んでいる⁽¹⁾。また、個人レベルの風力発電への関心も増して小型風車の需要も増加し、さらなる風車の高効率化が求められている。そこで本研究では小型プロペラ式風車の性能向上のための基礎的データを得ることを目的として、クラークY翼形状のプロペラ風車を用いて屋外での計測実験及び風洞実験を行い、その性能特性と油膜法⁽²⁾により実際に回転している風車翼表面上の流れの挙動について観察した。さらに剥離を制御するため、翼面に細いテープを貼って性能改善を試みた。また、市販の通信ソフトウェアと携帯電話を用いた簡単なシステムにより、遠方に設置された風車性能の計測を行った。

2. 実験装置及び方法

2.1 フィールド実験 供試風車として図1に示すような5枚翼プロペラ風車(ニッコー製、NWG-200、翼形状クラークY、直径 $D=950\text{mm}$ 、定格風速 8m/s 、定格出力 62W)を用い、本学機械棟屋上から高さ 3m (地上 18.7m)に設置した。風向と風速 V の測定は、風車型風向風速計を用い、A/D変換ボードにより発電量とともに1分ごとにデータを24時間サンプリングした後、1日の平均値を算出した。なお出力効率(出力係数) $C_p(=P/0.5\rho V^3A)$ 、 P :風車出力、 ρ :空気密度、 A :受風面積)は、Binの方法により、 0.5m/s 幅の各風速における発電量を加算平均して求めた。

また、同一の風車を金沢市の南東約 20km に位置する辰口町に設置した。図2に示すように2台のパソコン上で通信ソフトウェア(LAPLINK 2002)を使用し、データ計測の開始・終了、記録保存、データ転送といった一連の操

作を遠隔地の携帯電話と研究室のアナログ電話回線を介して行った。なお、本遠隔地域データ収集システムは、太陽電池パネルを有し、外部からの電力供給を必要としない移動可能な計測装置である。

2.2 風洞実験 図3に風洞実験での装置概略を示す。風洞は測定部開放式ゲッチングン型風洞で、測定部吹出し断面は $1200\text{mm}\times 1200\text{mm}$ である。風速 $V=6\text{m/s}$ の速度分布の一様性は $\pm 1\%$ 以内、乱れ強さは 0.8% 以内であった。供試風車には、フィールド実験と同じ風車ブレードを使用し、ブレードを取り付けるハブを新たに製作した。性能測定については、モータの回転数をインバータで制御し、周速比 $\lambda(=r\omega/V)$ 、 r :風車半径、 ω :角速度)を変化させて、トルク T をトルク変換器(TEAC TQ-AR5N)で測

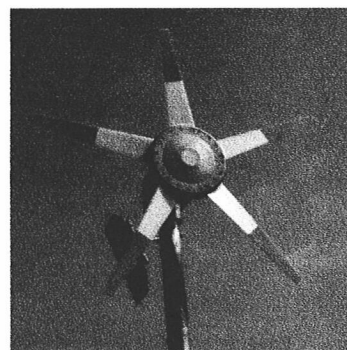


図1 供試風車

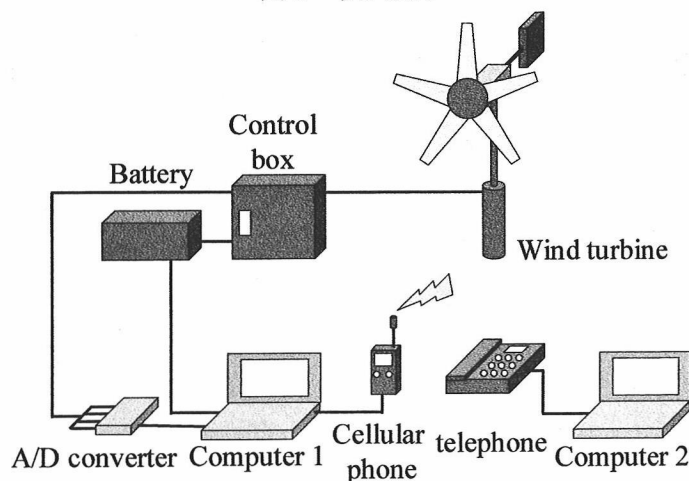


図2 遠隔地域データ収集システム

平成14年11月21日第24回風力エネルギーシンポジウムにおいて講演、原稿受付日平成14年10月21日

*1 非会員、金沢大学大学院

*2 会員、金沢大学工学部

*3 非会員、金沢大学工学部

*4 会員、ニッコー(株)

定し、出力係数 C_p 、トルク係数 $C_t (=T/0.5\rho V^2 Ar)$ を算出した。風速 V はピトー管と傾斜型マノメータにより測定し、 $V=4, 6, 7\text{m/s}$ で性能実験を行った。

本実験では油膜法により風車翼表面上の境界層の挙動や剥離の有無などの可視化観察を行った。油膜として白色粉末の酸化チタンとマシンオイルの混合物(割合3:8)を用い、黒色の翼表面に刷毛で塗布した。その後、風車がある実験条件で一定時間(480秒~900秒)回転させ、停止後にデジタルカメラ(Fuji FinePixS1Pro)で撮影を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 フィールド実験 遠方の風車のデータ収集は、通信手段として電話回線を用いているためパソコンとカード型モデムがあればどこでも計測データの開始・終了、記録保存、データ転送ができる。図4は、遠隔地に設置された風車より得られるデータを転送後整理して1日の風車・風況の状態として表したものである。9月17日では日中に4m/s程度の風が吹き、それにあわせて発電し、バッテリーに充電されていることがわかる。図4のようなデータを処理し、図5の本学屋上における風車の性能特性を得た。なお、図5のデータの計測期間は1999年8月~2000年3月である。風車は約 $V=3.5\text{m/s}$ から発電を開始し、風速の上昇とともに発電量は増加している。定格風速である $V=8\text{m/s}$ で約 $P=60\text{W}$ であることがわかる。 $V=5\text{m/s}$ 付近で最高効率率は約30%であり、風速の上昇と共に出力効率は減少していく。このように、 $V=5\text{m/s}$ で最高効率を示す本風車は年平均風速が小さい都市部などに最適と考えられる。

3.2 風洞実験

3.2.1 性能測定 図6、図7に風洞で測定した周速比 λ と出力効率 C_p 及びトルク係数 C_t の関係を示す。なお、

図中には翼背面の前縁近傍にトリッピング・ワイヤーの代わりにテープを接着した場合の特性もプロットしている。テープは翼幅2mm、高さ約0.3mmで翼端から翼根まで接着した。接着箇所は次節で述べる $V=6\text{m/s}$ の最高効率点 $\lambda=4.6$ のときの油膜法の結果を基に翼弦12%の剥離点の少し前方の翼弦10%の位置とした。図6より本風車は $\lambda=5$ 前後で最高効率を示している。フィールド実験では図5より $V=5\text{m/s}$ で $\lambda=5.5$ のときに最高効率を取り、風洞実験の結果とほぼ一致している。また、図7のトルク係数は $\lambda=3\sim 3.5$ でピークになった後減少している。テープをつけた場合、 $V=4\text{m/s}$ で最高効率は8%増加するが、 $V=6, 7\text{m/s}$ では最高効率は減少し、そのときの周速比も小さくなった。このように、 $V=4\text{m/s}$ の低い風速の場合にはテープより乱流境界層に遷移した効果が出ていると考えられる。

3.2.2 翼表面の流れの可視化 油膜法で翼表面の流れの状態を可視化した翼全体の写真を図8に、翼端部付近を拡大した写真を図9に示す。なお、図8中には各半径位置での迎え角 α とレイノルズ数 $Re [=V_r C/\nu]$ (V_r : 相対風速 $[=V^2 + (r\omega)^2]$, C : 翼弦長, ν : 動粘度) を示した。

図8の $V=6\text{m/s}$ における最高効率点 ($\lambda=4.6$) での翼全体の流れパターンを見ると、背面(図8(a))及び腹面(図8

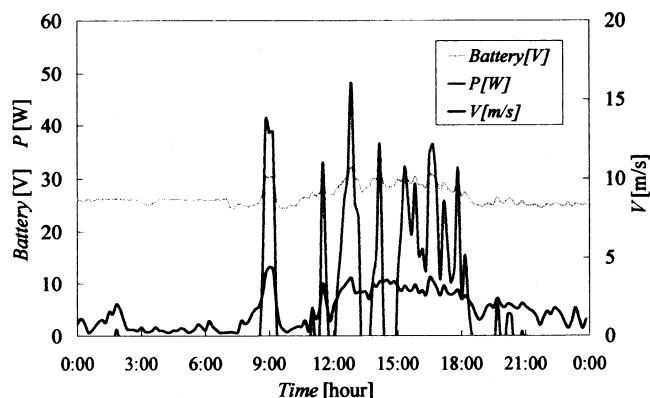


図4 1日の風車・風況の状態(2002年9月17日)

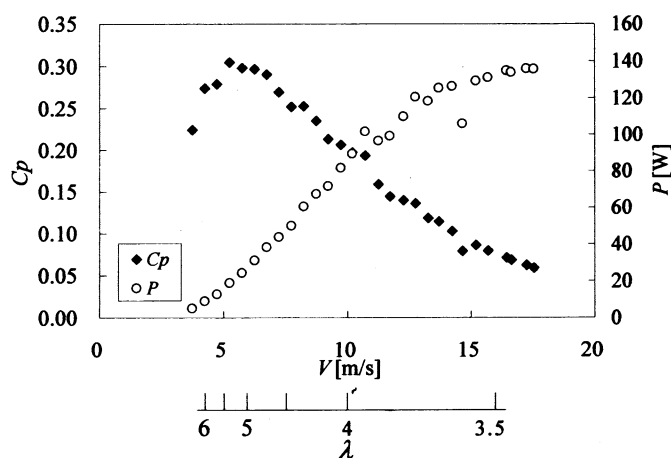


図5 フィールド実験での性能

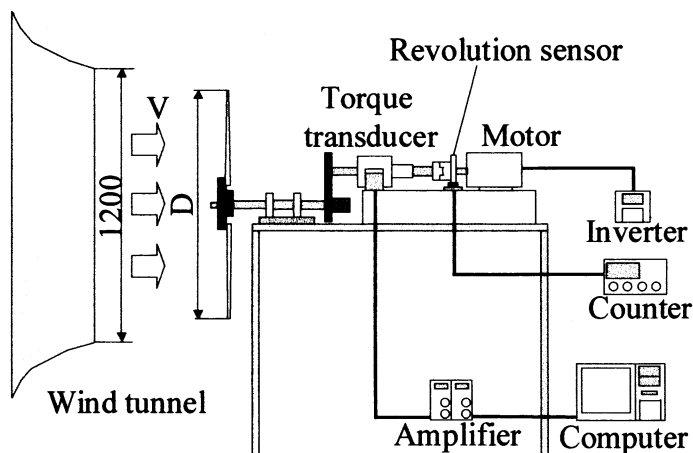


図3 風洞実験装置

(b))の翼根付近では半径が小さいため相対流入速度が小さく、遠心力の影響のため翼端方向の流れの筋が見られるが、明確な流れの剥離は見られない。一方、 $r \geq 0.5R$ の翼端側の前縁付近(図8, 図9 (b) (i))では、翼根部とは異なる黒白の筋が観測され、二次元的になっている。図9 (b)の翼端部付近を拡大した写真を見ると、前縁より翼弦12%の位置で細めの白い線が見られ、流れはここで層流剥離して、すぐ下流の黒い部分で再付着し、その後太めの白い線で乱流剥離を起こしている。

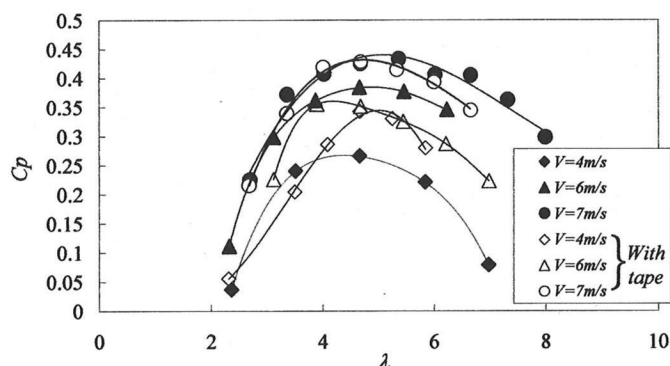


図6 出力効率の比較

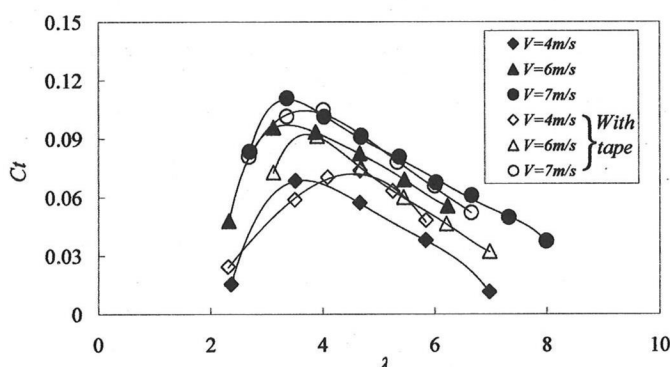


図7 トルク係数の比較

次に、図9 (a) (b) (c)の $V=6\text{m/s}$ における周速比が異なる流れパターンを比較すると、周速比が増加すると、流れに対する迎え角が小さくなり、前縁付近の太めの白い線の位置は後縁方向に移動している。また、翼端の極近傍では、流れの三次元性が見られる。

テープを接着した場合の流れパターン図9 (d) (e) (f)と比較すると、周速比 $\lambda=3.1$ の図9 (a)と(d)の流れパターンにはあまり変化が見られない。周速比 $\lambda=4.6$ に増加した図9 (e)ではテープがない場合と流れが異なり、剥離がテープ手前で起き、流れはテープ後方で一旦再付着し、その後再度剥離しており、翼端近くでは三次元的な複雑な流れを呈している。そして、図9 (e)ではテープのない図9 (b)と比べると剥離がより前縁で生じていることが原因で、効率(図6)が3%減少している。また、 $V=4\text{m/s}$ 、 $\lambda=4.6$ で性能が向上した図9 (h)の流れパターンを見ると、図9 (g)に比べてテープ後方の再付着部分が前縁側に移動したために、効率が上昇したと考えられる。

油膜法の写真より、 $V=6\text{m/s}$ での翼端での前縁から層流剥離、再付着、乱流剥離するまでの距離 x/C を測定し、翼端の迎え角 α_{tip} に対してプロットしたものを図10に示す。迎え角が小さく(周速比が大きくなる)と剥離・再付着位置は後退する。これは、二次元翼において迎え角の減少に伴い、剥離位置が後退する現象⁽³⁾と同様である。

4. 結 言

風洞や屋外の自然風による実験で、小型プロペラ式風車の性能特性と風車翼表面上の流れの挙動を調べ、次のような結果を得た。

(1) フィールド測定の結果、本風車は $V=5\text{m/s}$ 、 $\lambda=5.5$ で最高効率30%を示した。また、市販の通信ソフトウェアと

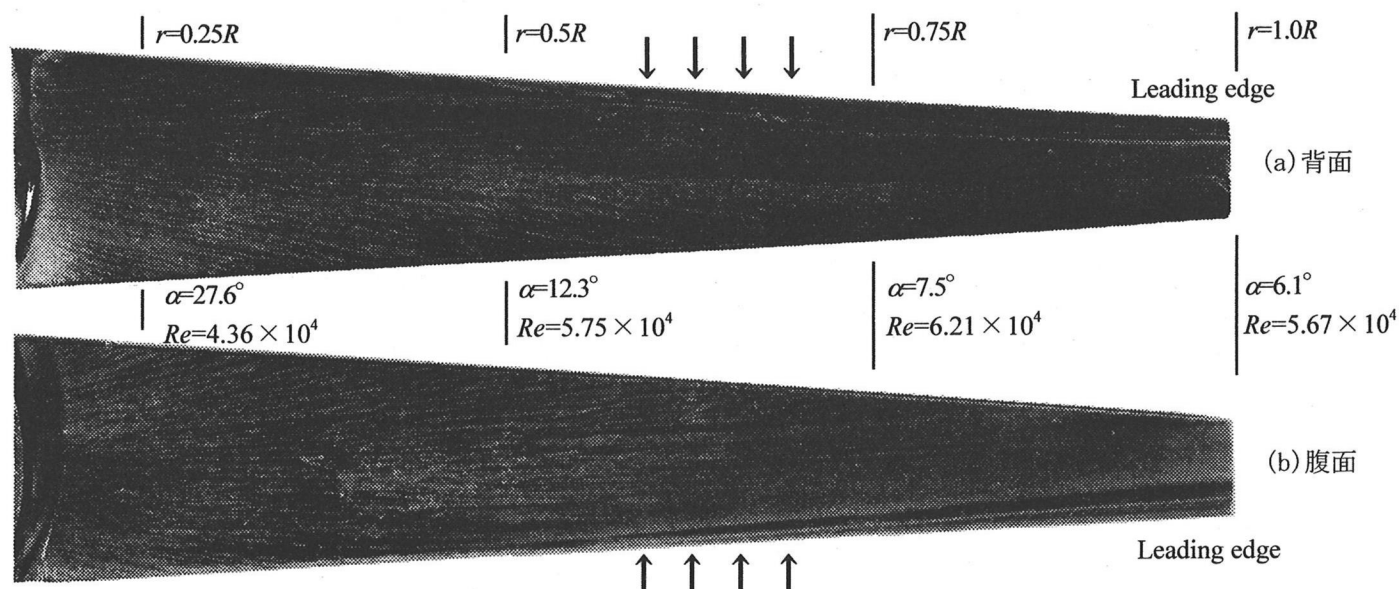


図8 油膜法による翼全体の流れパターン($V=6\text{m/s}$, $\lambda=4.6$ 上:背面 下:腹面)

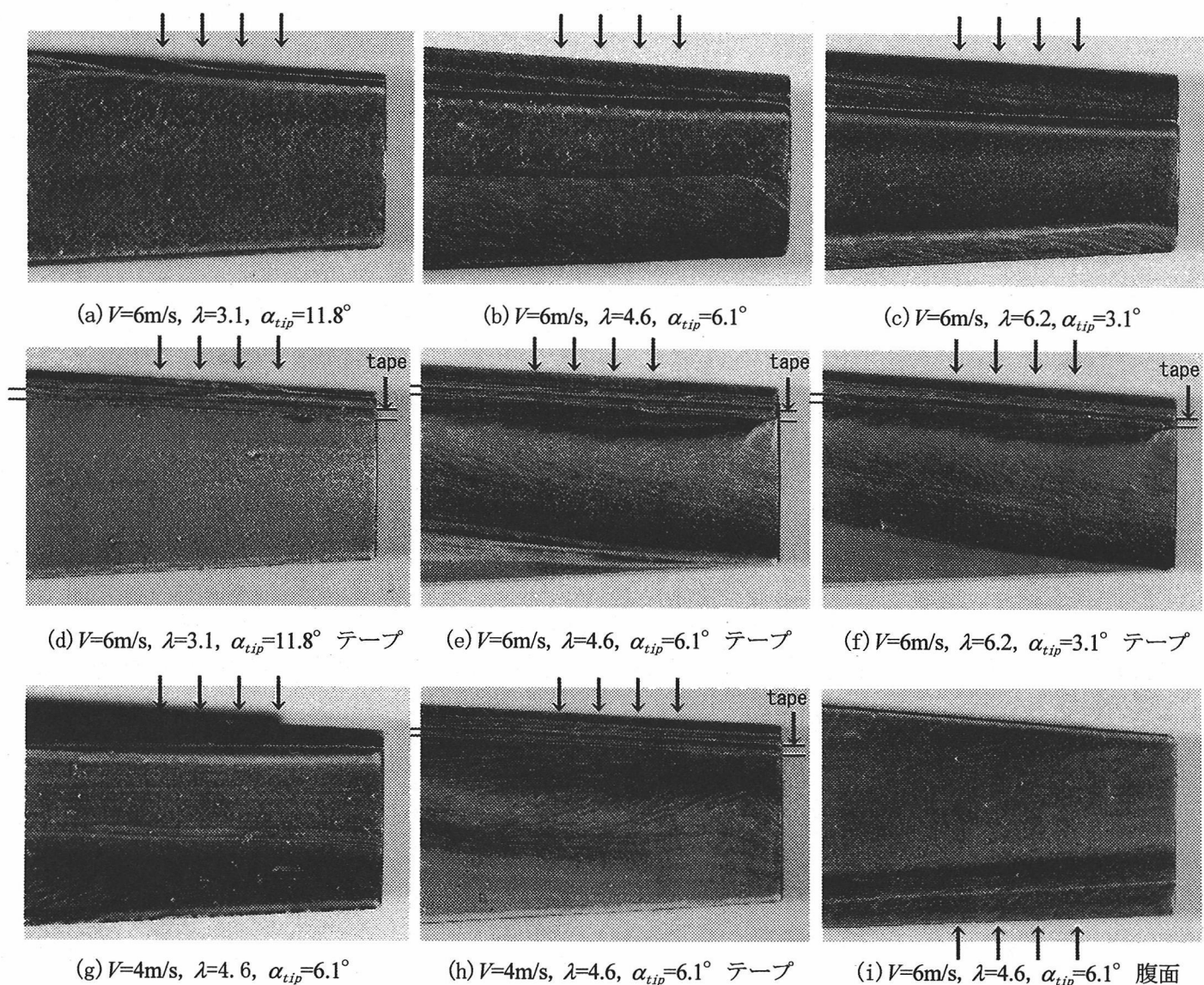


図9 油膜法による翼端付近の流れパターン[(a)～(h)は背面、(i)のみ腹面]

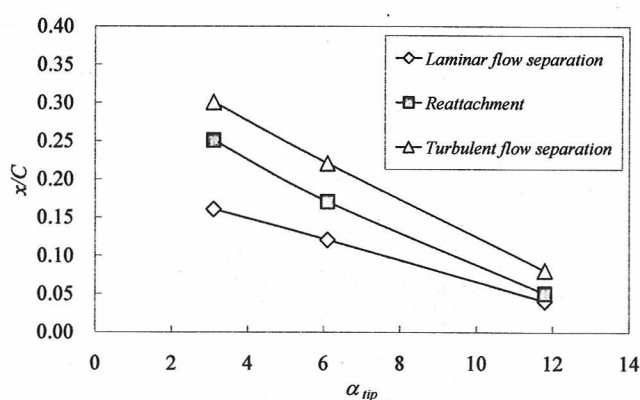


図10 迎え角と剥離・再付着位置の関係

携帯電話を用いた遠隔地での風車の計測が可能となる簡単なデータ収集システムを構築した。

(2) 本風車の風洞性能測定により $\lambda=5$ 付近で最高効率を示した。前縁近傍にテープを装着した場合、最高効率となる周速比 λ は若干小さくなり、最高効率は $V=4\text{m/s}$ で大きくなり、 $V=6, 7\text{m/s}$ では減少し、いずれの風速でもテー

プによる性能改善には至らなかった。

(3) 油膜法により小型プロペラ風車翼の表面流れを観察し、周速比の変化に伴う、剥離や再付着位置を明らかにした。また、テープを翼表面につけたことによる流れパターンと出力変化との対応を明らかにした。

本研究は、科学技術振興事業団「研究成果活用プラザ石川可能性検討推進事業」より補助を受けた研究の一部である。また、実験では学部4年の岩崎久弥君の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 牛山泉：風車工学入門、森北出版(2002)
- (2) 流れの可視化学会：新版流れの可視化ハンドブック、朝倉書店(1986)
- (3) 西山哲男：翼型学、日刊工業新聞社(1992)