

平成21年5月20日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18560158
 研究課題名（和文） 揺動翼方式によるジャイロ型垂直軸風車の性能改善と騒音低減に関する研究
 研究課題名（英文） Improvement of Performance and Noise Reduction of Giromill-type Vertical-Axis Wind Turbine with Variable-Pitch Straight Blades
 研究代表者
 木綿 隆弘（KIWATA TAKAHIRO）
 金沢大学・機械工学系・准教授
 研究者番号：40225107

研究成果の概要：

四節リンク機構により風車の回転力のみで翼ブレードのピッチ角度を流入風向に合わせて揺動させることで、固定ピッチ型垂直軸風車よりも多くの風力エネルギーを回収できる高性能なジャイロミル型の垂直軸風車の開発を行った。そして、振れ角・取付角・翼形など風車を運転する際に必要な最適なパラメーターを風洞実験と数値解析による明らかにした。さらに、風車騒音低減のための空力騒音の数値シミュレーションコードの開発も行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,500,000	0	1,500,000
2007年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	570,000	3,970,000

研究分野：機械工学

科研費の分科・細目：流体力学

キーワード：風力、垂直軸風車、ジャイロミル風車、リンク機構、出力係数、起動性、騒音、数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

風力発電は、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を排出しないクリーンなエネルギーとして注目を集め、導入が進んでいる。温室効果ガス削減のための「京都議定書」で各国の温室効果ガス削減量が決められて2005年2月に発効したが、日本は1990年時点に比べて6%少ない量を2012年までに抑える必要がある。日本の風力発電は導入促進の政策的支援が行われ、1999年度から2005年度において13倍に発電設備量は増加したが、風力発電の導入量は世界で10番目(2005年末)と

欧米諸国に比べて、まだまだ少ないのが実情である。近年、日本国民の風力発電への関心も強まっており、個人レベルで購入できる価格まで風力発電装置の値段が低下している。しかし、1kW以下の一般用の小型マイクロ風力発電機は未だ開発段階にあり、普及するためには、さらなる効率アップと騒音低減のための性能改善が必要とされている。

研究に関しては、垂直軸風車の抗力タイプのサボニウス型風車、揚力タイプであるダリウス型風車やジャイロミル型風車は国内外でも行われ、実用化段階に達して一部商品化

されているが、揚力タイプの風車のブレードの多くは固定ピッチのものである。しかし、従来の研究でピッチ制御を行なうことで起動特性と効率向上という利点がある一方で、個々に翼の角度制御が行う機構が複雑になる上に翼を駆動させる別の動力源が必要という欠点を持っており、実用化には至っていない。しかし、本風車は、性能改善をリンク機構を用いた簡単な翼のピッチ角制御で可能となる。リンク機構を用いて翼ブレードを揺動させる機構は既に30年程前に考案され、岩中電機(株)がプロトタイプの100W風車を、アメリカでも機構は異なるが航空機メーカーのマグダネル・ダグラス社が40kWの実験機を製作しているが、これも実用化には至っていない。このような揺動翼方式の垂直軸型風車は、ブレードを固定する方式の垂直軸型風車に比べて構造が複雑となる技術的課題点が多く、エネルギーの枯渇や地球温暖化がすぐ目の前に来ていない1970年代では商用機までの開発するに至らなかったと考えられる。そこで、本研究では、この古くて新しい風車に着目した。

2. 研究の目的

本研究では、リンク機構を用いた動力源を要せずに風車の回転により翼ブレードのピッチ角度を流入風向に合わせて、1回転する間に1周期揺動させることで、固定ピッチの風車よりも多くの風力エネルギーを回収できる高性能な垂直軸風車の開発を目的としている。そして、自己揺動翼ブレードを有する本風車の高効率化、起動性の向上、高風速域での回転数の制御、低騒音の風力発電システムとしての翼形の選定とリンク機構の設計など、実用化に向けた流体力学的見地からの設計基礎データを得ることを目指した。

3. 研究の方法

(1) 風車性能の風洞実験

図1に実験装置及び風車の概略図を示す。実験は測定胴の断面が1200mm・1200mmの開放型の回流式風洞装置で行った。図2に可変ピッチ角機構を有する3枚翼風車を上から見た概略図を示す。1枚の翼は第一リンク(長さ l_m)で前縁側の節 P_1 と第一回転軸の節 O が連結され、さらに第二リンク(長さ l_s)によって後縁側の節 P_2 と第二回転軸の節 O_e が連結されている。そして、 P_1P_2 間の翼部リンク(長さ l_c)、 OO_e 間の偏心リンク(長さ l_e)で四節リンク機構を形成する。第一リンクに繋がれている翼が節 O を中心として回転した場合に、回転中心の異なる第二リンクと翼後縁部が繋がれているために翼が揺動することになる。

供試風車は、直径 $D=310\text{mm}$ のPT1風車、直径 $D=800\text{mm}$ のPT2風車を使用した。PT1

風車では、翼スパン長さ $h=230\text{mm}$ 、翼弦長 $C=70\text{mm}$ の平板翼(厚さ 0.8mm)を使用し、第一リンク長さ $l_m=150\text{mm}$ に固定し、第二リンク長さ $l_s=137\sim 167\text{mm}$ 、偏心リンク長さ $l_e=3\sim 14\text{mm}$ 、翼部リンク長さ $l_c=30\sim 40\text{mm}$ に変えることができる。翼枚数は $n=4$ で、風車のソリディティは $\sigma(=nC/2\pi R)=0.288$ になる。PT2風車は翼スパン長さが $h=800\text{mm}$ であり、表1に実験に使用した翼を示す。翼形としては、若干キャンバがある対称翼に近い低抵抗翼形のNACA634-221翼(翼厚 42mm 、 $C=200\text{mm}$)、小形プロペラ風車用に開発したMEL081翼(翼厚 30mm 、 $C=200\text{mm}$)、低レイノルズ数で高性能なEppler系のE193翼(翼厚 21mm 、 $C=200\text{mm}$)、平板翼(板厚 2mm)の4種類を使用した。翼枚数は $n=3, 5$ で、ソリディティは $\sigma=0.239, 0.398$ になる。第一リンク長さを $l_m=373\text{mm}$ 、翼部リンク長さを $l_c=85\text{mm}$ に固定し、第二リンク長さ $l_s=350\sim 380\text{mm}$ 、偏心リンク長さ $l_e=0\sim 26\text{mm}$ に変化できる。

風車出力 $P [= \pi NDT_w / 60, N:$ 風車回転数(min^{-1})]は、風速 V を一定にしてインバータとモータで風車を任意の回転数 N に制御し、下方のギアを介してトルク計によりトルク T_w を測定して求め、出力係数 $C_p(=2P/\rho DhV^3, \rho:$ 空気密度)やトルク係数 $C_t(=4T_w/\rho D^2hV^2)$ を算出した。また、第一回転軸とギアボックスのジョイントを外して、無拘束運転の実験も行った。

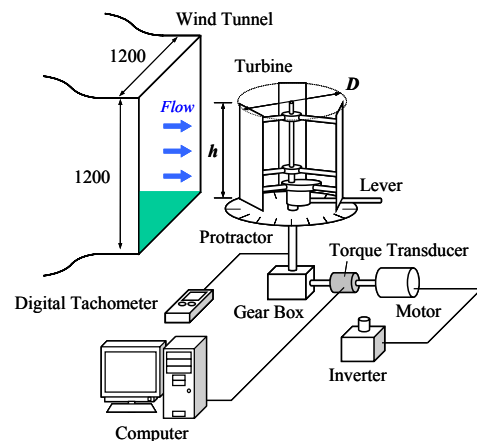


図1 実験装置概略図

表1 PT2用の供試翼

Airfoil sections	Flat	NACA634-221	MEL081	E193
Cross section				
Over view				
Thickness	2mm	42mm	30mm	21mm
Weight	500g	915g	945g	885g
Chord length	200mm			
Number of blades	3,5	3,5	3	3

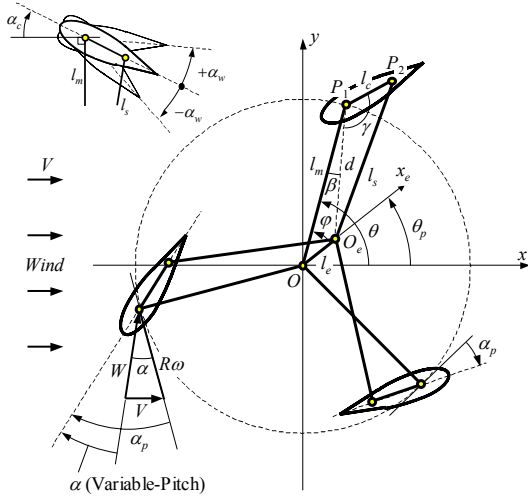


図2 四節リンク機構を用いた可変ピッチ角機構

(2) 風車性能の数値解析

本研究では、風車特性の理論計算には風車を通過する気流(流管)が1つであると仮定した「単一流管理論」を用いた。風車ロータを1枚の翼枚数無限の作業円盤(アクチュエータディスク)として取り扱い、このディスクを通過する風速 V_d は、風車の抵抗により一様流 V_∞ よりも小さくなる。風車内風速 V_d は一様流 V_∞ と風速低減率 a を用いると、 $V_d = (1-a)V_\infty$ で表される。アクチュエータディスクにかかる抗力 D は、

$$D = 2\rho S V_d (V_\infty - V_d)$$

である。ここで、 ρ は空気密度、 S はアクチュエータディスクの面積を表す。アクチュエータディスクの抗力係数 C_{DD} 及び風車抵抗係数 C_{DWT} を用いると、抗力 D は

$D = 0.5\rho V_d^2 S C_{DD} = 0.5\rho V_\infty^2 S C_{DWT}$ で表すことができる。この式により、 C_{DWT} が次式のように求められる。

$$C_{DWT} = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V_\infty^2 S} = \frac{C_{DD}}{(1+1/4C_{DD})^2}$$

また、風速低減率 a は、

$$a = 0.5(1 - \sqrt{1 - C_{DWT}})$$

である。アクチュエータディスクの抵抗係数 C_{DD} は、風車翼の接線方向係数 C_t と法線方向係数 C_n を用いると、次式で表すことができる。

$$C_{DD} = 0.5\sigma \int_0^{2\pi} \left(\frac{W}{V_d}\right)^2 (C_n \cos\varphi - C_t \sin\varphi) d\varphi$$

ただし、

$$C_n = C_l \cos\alpha + C_d \sin\alpha \quad C_t = C_l \sin\alpha - C_d \cos\alpha$$

$$W = V_d \sqrt{(\lambda_d + \sin\alpha)^2 + (\cos\alpha)^2}$$

である。ここで、 λ_d は風車内風速 V_d で定義した周速比であり、 $\lambda_d = \lambda/(1-a)$ の関係にある。 $\sigma = [nc_B/(2\pi R)]$ は風車のソリディティである。風速低減率 a は風車抵抗係数 C_{DWT} が求められなければ算出することができないので、最初

に風速低減率 a を仮定し、風車抵抗係数 C_{DWT} を求め、さらにその C_{DWT} から a を求めるといった逐次計算を行った。また、風車翼1枚が出力するトルク係数 C_{TBK} は、次式から算出した。

$$C_{TBK} = 0.5 \frac{c_B}{R} \left(\frac{W}{V_\infty}\right)^2 C_t$$

本風車は、 $\lambda=1$ 付近の低周速比域で運転される。このような低周速比域では迎角が大きく変化するため、動的な失速を考慮する必要がある。本研究では、Striclandらによって修正された Gormont モデルと Breg による修正を併用して使用した。Striclandらによって修正された迎角 α_M は、

$$\alpha_M = \alpha - \gamma K_1 \left(\frac{c_B \dot{\alpha}}{2W}\right) S_\alpha$$

ここで、 $\dot{\alpha}$ は各時刻の迎角の変化率であり、 S_α は α の符号を表す。 γ は翼の厚み比 t/c_B と局所マッハ数の関数であり、揚力、抗力ではそれぞれ γ_L 、 γ_D となり、 K_1 はの符号により変化するパラメータである。各係数を次式に示す。

$$\gamma_L = 1.4 - 6(0.06 - t/c_B) \quad \gamma_D = 1.0 - 2.5(0.06 - t/c_B)$$

$$K_1 = 0.75 + 0.25 S_\alpha$$

なお、広い迎角範囲での揚力係数 C_l 、抗力係数 C_d のデータが得られる NACA4 字系列の NACA0012, 0018, 0021 の翼厚が異なる対称翼で風車特性の計算を行った。

(3) 騒音解析

本研究では、物体から発生する騒音を解析するために角柱の流れ場について解析を行った。角柱周りの流れ場は3次元、非定常、非圧縮、粘性流れと仮定し、乱流場の解析手法として LES を用いた。計算に用いた格子の一例を図3に示す。本計算では流体を空気とし、主流に垂直な辺長さ $H=0.01m$ とし、これを代表長さとして断面比 D/H に従い主流方向の辺長さ D を決定した。従って、 $Re=1 \times 10^4$ のとき、 $U=15m/s$ としている。

3次元乱流数値解析の後、流れの3次元性が現れた時刻以降の流体力変動データから、次式の Curle の式により音圧変動 $p_a(t)$ を求め、FFT 解析により音圧レベルのスペクトルを算出した。その際、時間微分項は2次精度中心差分で差分近似した。

$$p_a(t) = \frac{1}{4\pi c r^2} \frac{\partial}{\partial t} \int_S n_i p \left(y, t - \frac{r}{c}\right) dS = \frac{1}{4\pi c r^2} \frac{\partial F_i(t)}{\partial t}$$

ここで、音速 c 、観測点座標 x_j 、音源点座標 y 、観測点と音源の距離 r 、時間 t 、流体力変動 $F_i(t)$ である。本研究では、数値解析により求めた流体音圧レベルを中藤らの実験値と比較するために、実験条件に合わせて観測点を角柱中心から流れ垂直方向に $3.2m$ 離れた地点とし、角柱の全スパン長さを $180H(=1.8m)$ とした。そして各周波数 f に対して、スパン方向に \pm だけ離れた2ヶ所の局所流体力変

動のコヒーレンス関数の実部を計算し、大嶋が提案した空力音の予測方法に基づいて、全スパンから放射される流体音圧レベルを評価した。

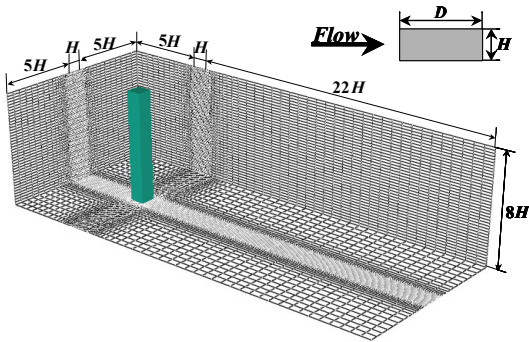


図3 計算格子および計算領域 ($D/H=1.0$ の角柱の場合)

4. 研究成果

(1) 風に対する風車の指向性, 起動特性, 出力特性 ([雑誌論文] ①②③⑤⑥, [学会発表] ①~⑩)

① 風に対する指向性 PT2 の風車で風速 $V = 5\text{m/s}$ の各翼形における無拘束運転時での偏心率 θ_p に対する風車回転数を周速比 λ で示したものを図4に示す。いずれの翼形においても偏心率 $\theta_p = 0^\circ, 180^\circ$ 付近で周速比 λ が最大ピーク, $\theta_p = 90^\circ, 270^\circ$ 付近で極小値を示す。このように、本風車は従来の固定ピッチ式垂直軸風車とは異なり、風向に対する指向性がある。また、偏心率 θ_p が 0 度付近で最大回転数となる特性を生かすために、偏心リンクを風下側に向けられるように尾翼を偏心率レバーに設置する方法により、プロペラ式小型風車のようなパッシブなヨー制御が本風車でも可能となる。さらに、風向に対して偏心率 θ_p を 90 度にする角度調整機能を付加することで風車を停止させることが可能であり、強風対策になる。

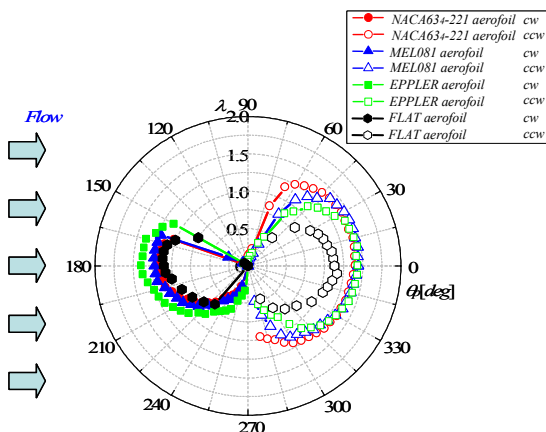


図4 風に対する指向性 (偏心率特性)

② 起動特性 図5に風車起動性を示す。翼枚数 $n = 3$ の NACA634-221 翼の風車起動性のグ

ラフを見ると回転し始める風速は、約 3m/s と固定ピッチ式と可変ピッチ式風車 ($\alpha_c = 11.9^\circ, \alpha_w = \pm 15.0^\circ, \theta_p = 0^\circ$) には大きな差はない。しかし、風速が増加しても、固定ピッチ式風車の場合には回転数が上昇して安定するまでに時間を要したが、可変ピッチ式風車の回転数は急激に増加した。また、翼枚数が多いほど起動性は良いが、翼形による特性には大きな差は見られなかった。

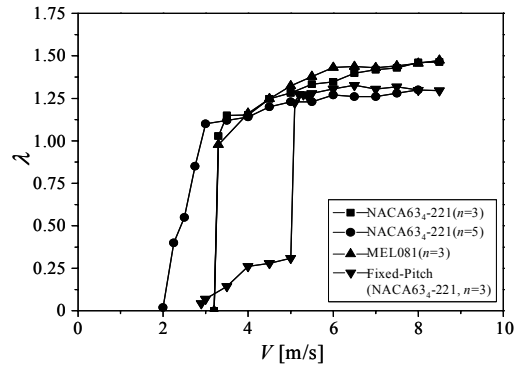


図5 起動特性

③ 出力特性 MEL 翼に比べて出力係数が大きい NACA 634-221 翼において、取付角を $\alpha_c \approx 11.9^\circ$ にして振れ角 α_w を変えた場合の風車の出力係数を図6に示す。出力係数 C_p は、振れ角が $\alpha_w = \pm 10.2^\circ$ において出力係数が最大となった。そして、周速比が 0.8 以下だと振れ角が大きい $\alpha_w = \pm 17.1^\circ$ の C_p が大きい、周速比が 1.4 以上では振れ角が小さい $\alpha_w = \pm 3.4^\circ$ の C_p が大きくなる。このことは、固定ピッチ式風車の翼に流入する流れの迎角変動量は、低周速比では大きく、高周速比では小さいためである。つまり、迎角変動量を相殺するように翼を揺動させれば、出力が上昇すると言える。しかし、本風車の場合、ソリディティが比較的に大きいため、最高出力係数を示す周速比が 1 付近で、出力係数が 20% 程度しか出ていなく、抗力型風車に近い特性になっている。今後は、リンク機構による可変ピッチ式の垂直軸風車の実用化に向けて、周速比とレイノルズ数を増加させて性能をアップさせるために、翼弦長を変えずに風車直径を大きくするなどの風車スケール拡大の設計変更を行う。

(2) 風車出力の数値解析 ([雑誌論文] ②, [学会発表] ③)

図7に NACA0021 翼での風車の出力係数を単一流管理論により計算した結果を示す。実験と同様に $\lambda = 0.9 \sim 1.2$ の周速比域において、出力係数は最大になり、振れ角が増加すると最大出力となる周速比は低周速比側になる傾向を捉えることができた。また、実験と同様に計算結果でも振れ角 $\alpha_w = \pm 0^\circ$ よりも翼を揺動させた方が出力効

率が上昇していることがわかる。

図8に振れ角 α_w を変化させた場合の風車の最大出力係数 C_{PMAX} の計算結果と風洞実験結果を示す。単一流管理論による計算結果において、振れ角 $\alpha_w = \pm 9 \sim 10^\circ$ 付近で最も高い出力係数が得られ、翼厚比が大きいNACA0021が最も出力係数が大きくなった。また、実験結果において、最も高い出力係数となる振れ角は計算結果と概ね一致している。このように、可変ピッチ式の直線翼風車には最適な振れ角があり、出力が最大となる周速比は振れ角の増加とともに低周速比側へ移動することを、数値解析からも予測できることを明らかにした。このことは、単一流管理論による簡易的な計算が可変ピッチ式風車の性能予測にも有効であることを示した。

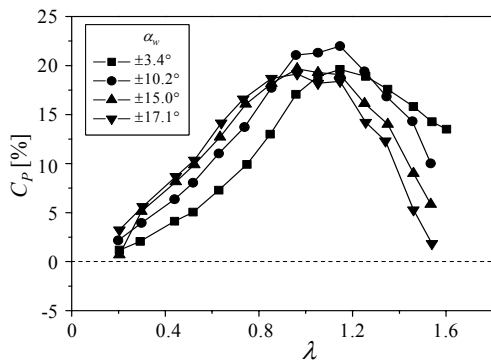


図6 振れ角 α_w を変えた場合の風車の出力係数

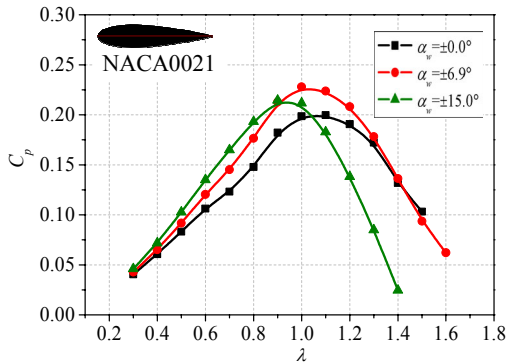


図7 単一流管理論による風車の出力係数

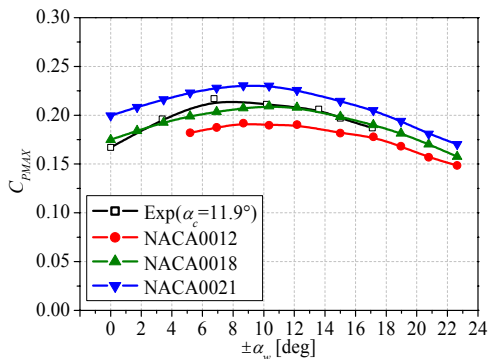


図8 風車の最大出力係数 C_{PMAX}

(3)騒音解析結果 ([雑誌論文] ④)

各断面比の角柱から放射される空力音のピーク値の音圧レベルを1/3オクターブで評価した結果を図9に中藤らの実験結果と併せて示す。数値計算と実験結果は断面比に対する音圧レベルの変化の傾向を捉えることができしており、特に $D/H = 1.0 \sim 4.0$ の角柱の計算結果は中藤らの実験結果と $3dB$ 以内で定量的に一致している。補正値と中藤らの実験結果との差異の要因としては、本実験の角柱のスパン長さが中藤らと比較して11倍程度異なり、音源領域がかなり狭いためスパン方向の相関が十分に考慮できていないことにあると考えられる。断面比の角柱から放射される空力音が簡易的なCurleの式を基にして予測することが可能となったことを本結果は示しており、今後、振動翼などの物体へ発展させる。

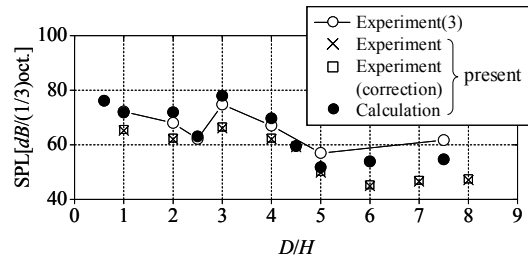


図9 断面比に対する空力音の音圧レベル変化

(4)まとめ

本研究を行って、4節リンク機構によるジャイロミル型の垂直軸風車を運転する際の最適なパラメーターを総合的に判断すると、以下のようなものである。

翼形：NACA63₄-221

翼厚：約2.1%

翼枚数：3枚

振れ角 α_w ：約 8°

取付角度 α_c ：約 12°

今後は、さらなる風車性能アップを目指して、システムの改良を行っていく。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

①木綿隆弘, 喜多哲義, 山田達郎, 高田真映, 小松信義, 木村繁男, リンク機構による可変ピッチ式直線翼型垂直軸風車の性能に関する研究, 日本機械学会論文集(B編), Vol. 74, No. 748, pp. 2543-2551, (2008.12), 査読有。

②木綿隆弘, 富岡裕之, Elkhoury Michel, 喜多哲義, 小松信義, 可変ピッチ式垂直軸風車性能に関する研究, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp. 127-132, (2008.12), 査読有。

③Yamada, T., Kiwata, T., Kita, T., Elkhoury, M., Performance of a

Variable-Pitch Vertical-Axis Wind Turbine Using a Four-bar Linkage Device, Proceedings of the 7th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Sapporo, JAPAN, K224(CD-ROM), pp.1-4, (2008.10), 査読無.

④Rokugou, A., Kiwata, T., Okajima, A., Kimura, S., Yamamoto, H., Numerical Analysis of Aerodynamic Sound Radiated from Rectangular Cylinder, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 96, No. 10-11, pp.2203-2216, (2008.10), 査読有.

⑤山田達郎, 木綿隆弘, 喜多哲義, 小松信義, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車における翼の揺動による動力損失, 日本風力エネルギー, Vol. 32, No. 2, pp.129-134, (2008.7), 査読有.

⑥Kiwata, T., Takata, S., Yamada, T., Komatsu, N., Kita, T., Kimura, S., Elkhoury, M., Performance of a Vertical-Axis Wind Turbine with Variable-Pitch Straight Blades, Proc. of 18th International Symposium on Transport Phenomena, Daejeon, KOREA, ISTP18-316(CD-ROM), pp.1834-1899, (2007.8), 査読有.

[学会発表] (計11件)

①木綿隆弘, 富岡裕之, 喜多哲義, 小松信義, 木村繁男, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車用翼形に関する研究, 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, No. 097-1, pp. 215-216, 富山, (2009.3.7).

②山田達郎, 木綿隆弘, 小松信義, 木村繁男, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車用尾翼のヨーイング運動に関する研究, 日本機械学会北陸信越支部第46期総会・講演会講演論文集, No. 097-1, pp. 217-218, 富山, (2009.3.7).

③富岡裕之, 木綿隆弘, Elkhoury Michel, 喜多哲義, 小松信義, 木村繁男, 可変ピッチ式直線翼垂直軸風車性能の流管モデルによる予測と風洞実験, 日本機械学会2008年度年次大会講演論文集 Vol. 2, No. 08-1, pp. 175-176, 横浜, (2008.8.6).

④山田達郎, 木綿隆弘, 喜多哲義, 小松信義, 木村繁男, 可変ピッチ翼式H型ダリウス風車に関する実験的研究, 日本機械学会北陸信越支部第45期総会・講演会講演論文集, No. 087-1, pp. 153-154, 福井, (2008.3.8).

⑤山田達郎, 木綿隆弘, 富岡裕之, 小松信義, 木村繁男, 喜多哲義, 尾翼を有した自己揺動翼H型ダリウス風車の性能に関する研究, 第29回30周年記念風力エネルギー利用シンポジウム講演論文集, pp. 318-321, 東京, (2007.11.29).

⑥小坂俊敬, 木綿隆弘, 小松信義, 木村繁男,

喜多哲義, 可変ピッチ式直線翼垂直軸型風車の起動性に関する研究, 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (CD-ROM), No. 707, 東広島, (2007.11.18).

⑦木綿隆弘, 喜多哲義, リンク機構による可変ピッチ式直線翼垂直軸風車の性能に関する研究, 第39回北陸流体工学研究会, 富山大学工学部, (2007.9.8).

⑧木綿隆弘, 山田達郎, 小松信義, 喜多哲義, 木村繁男, 自己揺動翼式可変ピッチ角機構を持つH型ダリウス風車の性能特性, 日本風工学会誌・日本風工学会論文集, 平成19年度年次研究発表会梗概集, Vol. 32, No. 2 (No. 111), pp. 257-258, 福岡, (2007.6.1).

⑨山田達郎, 木綿隆弘, 小松信義, 喜多哲義, 木村繁男, リンク機構による可変ピッチ角直線翼垂直軸風車の性能特性 (揺動による損失), 日本機械学会北陸信越支部第36回学生員卒業研究発表講演会講演論文集, No. 916, pp. 269-270, 石川, (2007.3.7).

⑩高田真映, 木綿隆弘, 小松信義, 喜多哲義, 木村繁男, リンク機構による可変ピッチ角直線翼垂直軸風車の性能特性 (翼形の影響), 日本機械学会北陸信越支部第44期講演会講演論文集, No. 077-1, pp. 1-2, 金沢, (2007.3.8).

⑪高田真映, 木綿隆弘, 小松信義, 喜多哲義, 木村繁男, 可変迎角リンク機構をもつ直線翼垂直軸風車の性能に関する研究 (翼枚数, 翼形状の影響), 日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集 (CD-ROM), No. 504, 埼玉, (2006.10.28-29)

[その他]

ホームページアドレス

<http://www.ms.t.kanazawa-u.ac.jp/~fluid/home/research/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木綿 隆弘 (KIWATA TAKAHIRO)
金沢大学・機械工学系・准教授
研究者番号: 40225107

(2) 研究分担者

木村 繁男 (KIMURA SHIGEO)
金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授
研究者番号: 70272953
小松 信義 (KOMATSU NOBUYOSHI)
金沢大学・機械工学系・助教
研究者番号: 20436827

(3) 連携研究者

なし