

# ナノ級水力発電装置性能に及ぼすガイドベーン角度の影響

加賀拓也\*・松崎晴美\*\*・増田陽一郎\*\*\*  
仲道茂生\*\*\*\*・玉川邦夫\*\*\*\*・齋藤正博\*\*  
高橋燦吉\*

## Effect of Guide Vane Angles on the Performance of Nano Class Water Turbine Generator with an Alternator for a Car

Takuya KAGA\*, Harumi MATSUZAKI\*\*, Yoichiro MASUDA\*\*\*,  
Shigeo NAKAMICHI\*\*\*\*, Kunio TAMAKAWA\*\*\*\*, Masahiro SAITO\*\*  
and Sankichi TAKAHASHI\*

### Abstract

Effect of guide vane angles on the performance of a generator was studied using a test water turbine with a runner consisted of 2-dimensional blades or 3-dimensional blades and an alternator for a car. It was shown that the optimum angles of guide vane was about  $10^\circ$  and the maximum efficiency of a water turbine was about 80% in 2-dimensional blades, about 60% in 3-dimensional blades. Also, it was shown that the circuit break in load was occurred in an alternator when output voltage value was greater than 14.4 V. It is indispensable to study the removal of the output voltage diagnosis function in an alternator for advanced performance.

**Keywords:** Nano class water turbine, Guide vane angles, 2-dimensional blades, 3-dimensional blades, alternator for a car

### 1. 緒 言

現在、深刻化する地球環境問題の一つに、地球温暖化抑制のための二酸化炭素排出削減が重要課題として挙げられている。また、化石燃料資源の枯渇の状況から水力発電、太陽光発電等の自然エネルギーの利用が促進されている<sup>1)</sup>。一方、自然エネルギー分野で、国内未利用発電資源は既開発水力発電量とほぼ同量あると言われており、無駄に捨てられている農業用水等の水資源から電力を回収する超小容量(ナノ級)水

力発電技術の開発が急務とされている<sup>2,3)</sup>。

本研究の目的は、農業用水路等で最も得らやすい有効落差 2 [m]、流量 0.25 [m<sup>3</sup>/s] 程度の小容量水力エネルギーを対象に、最大出力 1 [kW] を目標に超小容量水力発電装置の試作と性能評価を行うことである。図 1 に見るように、この領域は従来の開発領域からはずれており、未踏技術分野を示唆するものである。学内にて試作水車の基本性能試験を行った後、農業用水路に設置し、自然流況下で実用性を検討する。前報<sup>4)</sup>では、3次元翼ランナー<sup>5)</sup>を具備した試作水車の性能試験結果について報告した。本報では、2次元<sup>6)</sup>および3次元翼ランナーを供試し、これらの基本性能に及ぼすガイドベーン角度の影響について報告する。

---

平成 19 年 1 月 5 日受理

\* 名誉教授

\*\* 大学院工学研究科機械システム工学専攻・教授

\*\*\* 大学院工学研究科電気電子工学専攻・教授

\*\*\*\* 工作技術センター・工師

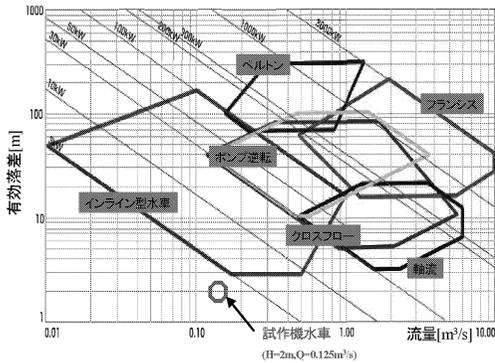


図1 研究開発技術の新規性と位置付け

## 2. 試作水車一式の基本構成

### 2.1 基本構成

試作水車一式は、機構の単純化による生産コストの低減にも重点を置き、表1のようにナノ水車部、増速機構部と発電機部を組合せた構成とした。ナノ水車の回転は増速機構で増速し、発電機およびインバーターで交流1kWを発電させる構想とした。

### 2.2 水車型式の選定

水車型式及び仕様は以下の通りとした。

型式：フランシス水車

有効落差：2 [m]

水車出力：1 [kW]

流量：0.125 [m³/s] (学内設備容量制限から)

水車回転数：200 [rpm]

回転方向：上方から見て、時計回転方向

フランシス水車は広範囲の流量変化に対応し易いため、季節によって流量が増減する場合でも適用できる水車型式である。

表1 試作水車の基本構成

構成	ナノ水車部	増速機構部	発電機部
各部の構成	ランナー、水槽	ベルト、歯車	直流発電機、インバーター

## 2.3 増速装置および発電機

ナノ水車の回転数は三段階で増速することとした。増速手段はベルト及び歯車とした。供試直流発電機には、自動車用オルタネータを供試した。仕様<sup>7)</sup>は以下である。

電圧：13.5 V

回転数：2,500 [rpm]

電流：83 [A]

## 3. 実験装置と方法

### 3.1 実験装置

図2は、回流水槽の全体図を示す。本設備は200 [m³]の地下水槽、循環ポンプ、流量制御用バルブ、水車用水槽及び供試水車から構成される。また水面高さは水車水槽下流部に設置された溢流管の上下調整により一定に保持される。更に、広い地下水槽で十分に脱気できることが特徴である。試作水車水槽への導入管は、空気巻き込みを防止するため、その先端を没水させている。また、試作水車下流にはドラフトチューブを接続し、所定落差が得られるようにした。供試水車への給水量はポンプ出口バルブとドラフトチューブ下流端に設置された流量調整弁で調整した。

図3は直径300 [mm]送水管に設置された流量検知用壁面静圧取り出しタップである。同図にある細管は直径9 [mm]の、流量検定時に使

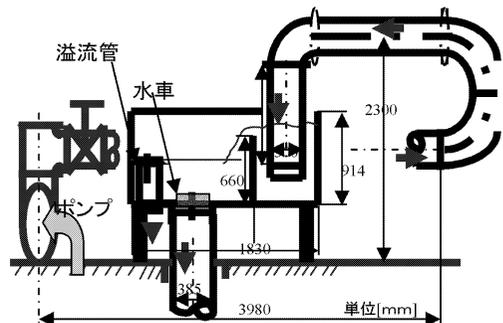


図2 装置全体図

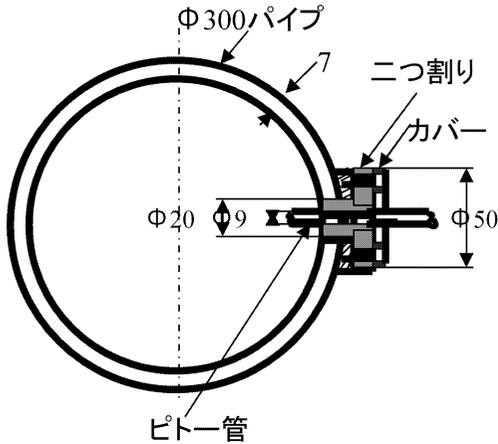


図3 流量検知用壁面静圧取出タップ構成

用されたピトー管である。

図4には供試2次元及び3次元翼型ランナーの外観図を示した。材質はアルミである。設計値を同図に示した。

図5は発電機から負荷装置に至る結線図を示す。これは発電機①、電流計(励磁)②、バッテリー③、電圧計(負荷)④、電流計(負荷)⑤、電球60[W]×15個⑥、パイロットランプ

⑦及びイグニッションスイッチ⑧から構成される。発電量は負荷電力+(負荷電圧×励磁電流)で算出する。ランプは一個60[W]であり、更に微調整が可能なるようにした。なお、全体で、最大900[W]消費することが出来る。

### 3.2 実験方法

#### (1) 流量検定

発電試験に先立ち、流量検定特性を求めた。制御バルブの所定開度(7種類)ごとに、水平管の直線上9箇所の位置でピトー管により速度を求め、これより平均速度を算出して平均流量を得た。

#### (2) ナノ水車発電試験

所定のランナーを組込んだナノ水車、所定増速比の増速装置および発電機からなる試作水車一式を、回流水槽設備に連結し、発電試験を実施した。所定流量に対して、① ナノ水車軸回転数、② 発電機軸回転数、③ 有効落差、④ 水槽水位、⑤ 励磁電流、⑥ 負荷電流、⑦ 出力電圧及び⑧水車軸トルクを計測した。①、②は赤外線回転計(ONO SOKKI FT-1500)で、③

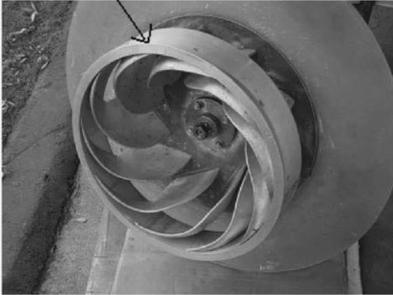
3次元翼型		2次元翼型	
			
外径 $D_i$ [mm]	380	380	
内径 $D_o$ [mm]	350	235	
羽根数 [枚]	10	9	
幅 $B_o$ [mm]	143(リング無の場合)	47	70

図4 供試ランナーの外観と主要寸法

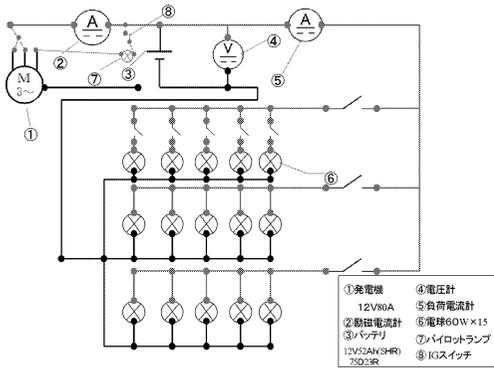


図5 発電機負荷装置結線図

は差圧計で、⑧はトルク計を取付け計測した。  
 増速比SR (= 発電機軸回転数/ナノ水車軸回転数)は、これまでの結果<sup>6)</sup>から、8とした。これらのデータ(①~⑧)はデータロガーを介してパソコンに取込んだ。

#### 4. 実験結果及び考察

##### 4.1 流量検定試験

図6は流量と上流部水平管壁面静圧との関係を示す。平均流量はピトー管による速度分布から求め、同時に水平管壁面静圧を圧力変換器で測定した。図中の実験点から、流量検定曲線は次式で示すことができる。

$$Q = 0.00004243P_{st} + 0.10291 \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

ここで、

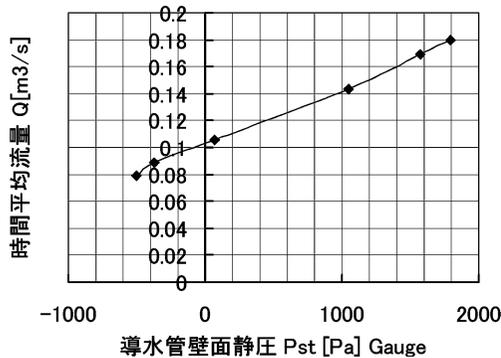


図6 流量検定曲線

$Q$ : 流量  $[\text{m}^3/\text{s}]$   
 $P_{st}$ : 上流部水平管壁面静圧  $[\text{Pa, gauge}]$   
 である。以後、流量は、 $P_{st}$ を計測することにより、上式を用いて求めた。

##### 4.2 ナノ水車発電試験

###### 4.2.1 基本特性

水車基本特性を求めるに際し、諸量を以下のように単位落差における量に換算した。

$$N't: \text{単位落差水車回転数} \quad [\text{rpm}] \\ = Nt/He^{1/2}$$

$$Q': \text{単位落差流量} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \\ = Q/He^{1/2}$$

$$L't: \text{単位落差水車出力} \quad [\text{W}] \\ = Lt/He^{3/2}$$

$$Nt: \text{水車回転数} \quad [\text{rpm}]$$

$$Q: \text{流量} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Lt: \text{水車出力} \quad [\text{W}]$$

$$He: \text{水車有効落差} \quad [\text{m}]$$

なお、単位落差における諸量の単位は便宜上つけたものである。

図7は  $N't$  と  $He$  の関係を、ガイドベーン角度  $\gamma$  をパラメータとして示した。全体的傾向として、 $N't$  は、 $He$  によらず、ほぼ 110~120 rpm 付近にある。 $\gamma = 10^\circ, 15^\circ, He = 1.65 \sim 1.7 \text{ m}$  の領域で、 $N't$  が突出しているのが観察される

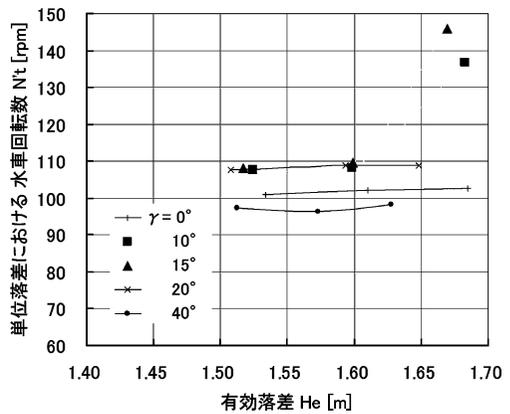


図7  $N't$  と  $He$  の関係 (三次元翼)

が、これは自動車用オルタネータの特性によるもので、これについては後述する。

図8は $Q'$ と $He$ の関係を、 $\gamma$ をパラメータとして示した。

$Q'$ は $He$ の増大による単純増加の傾向を示す。同一 $He$ では、 $\gamma$ が大きくなるに従い増大する。また $\gamma$ の増大に従い $He$ の低下が見られるが、これはドラフトチューブでの速度水頭の増大による。

図9及び10は、それぞれ、三次元翼、二次元翼の場合の $L't$ と $Q'$ の関係を示した。

$L't$ は $Q'$ により増大する特性となるが、三次元翼での $\gamma=5\sim 15^\circ$ では、上に凸の特性となる。これは自動車用オルタネータ固有の特性に起因する横すべり現象( $Q'=0.1\text{ m}^3/\text{s}$ 付近)のもので、これについては後述する。図10の二次元翼

では、この現象が発現したデータはプロットしていない。

三次元翼、二次元翼とも、ほぼ $\gamma=10^\circ$ で最高水車出力が得られた。

図11及び12は、それぞれ、三次元翼、二次元翼の場合の水車効率 $\eta$ と $He$ の関係を示し

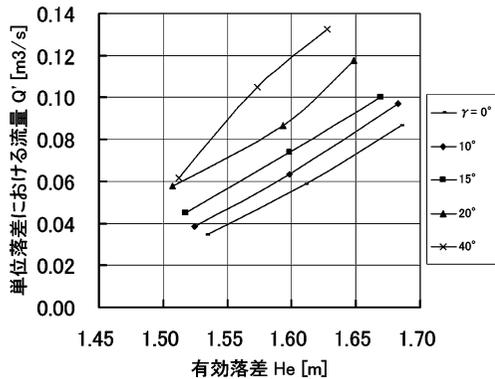


図8  $Q'$ と $He$ の関係 (三次元翼)

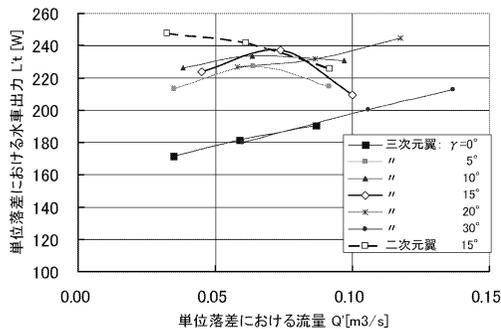


図9  $L't$ と $Q'$ の関係 (三次元翼)

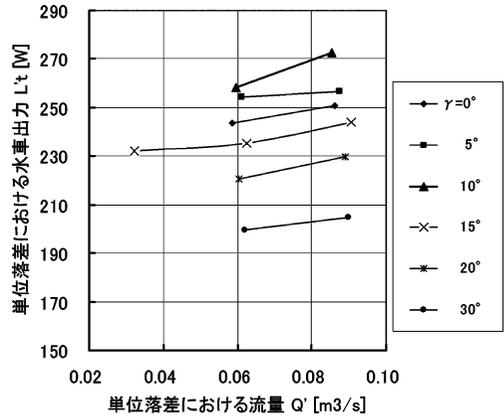


図10  $L't$ と $Q'$ の関係 (二次元翼)

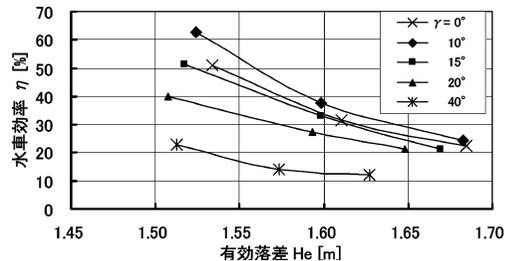


図11  $\eta$ と $He$ の関係 (三次元翼)

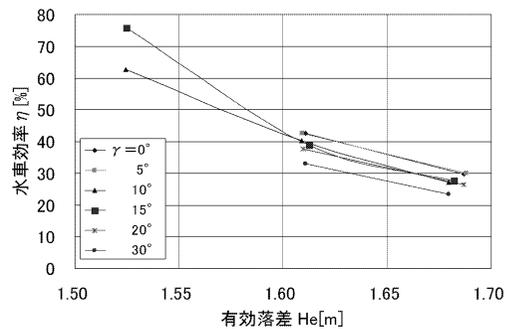


図12  $\eta$ と $He$ の関係 (二次元翼)

た。 $\eta$  は次式から算出した。

$$\eta = \text{水車軸端出力} / \text{水車理論出力}$$

三次元翼の場合、最高で約63%の値( $\gamma=10^\circ$ )を、二次元翼では約82%( $\gamma=15^\circ$ )を示す。いずれも、高落差化する程、設計状態からずれるため $\eta$ は急激に減少する。その減少の度合いは高効率である $\gamma$ が $0^\circ \sim 15^\circ$ の付近が著しい。最高効率を得られる $\gamma$ は、三次元翼は $10^\circ$ 、二次元翼は $15^\circ$ であった。

#### 4.2.2 三次元翼と二次元翼の比較

図13は $L't$ と $\eta$ について、三次元翼と二次元翼の比較を示した。 $\gamma$ はそれぞれ最高水車出力が得られた $10^\circ$ とした。二次元翼の方が出力、効率ともに高い。特に前者の低有効落差領域で水車効率が82%に達していることは、翼型形状と装置自体が単純であることを考慮する時、十分な値と考えられる。

#### 4.2.3 横すべり現象

図14は $L't$ と発電機回転数 $N_g$ の関係を示す。図中、実験点◆は三次元翼、□は二次元翼の場合である。 $N_g$ が1,200 rpm近傍を越えると、いずれの場合も、 $N_g$ の増大にもかかわらず $L't$ はほぼ一定値を保持する横すべり現象が発現する。これは、自動車用オルタネータ<sup>7)</sup>を供試したためで、出力電圧が14.4Vを超えると保護回路が作動し、発電機負荷が遮断されることに

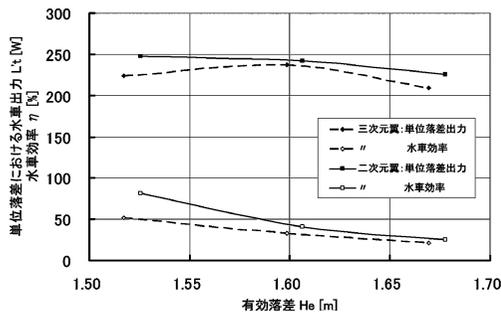


図13 三次元翼と二次元翼の性能比較 ( $\gamma=10^\circ$ )

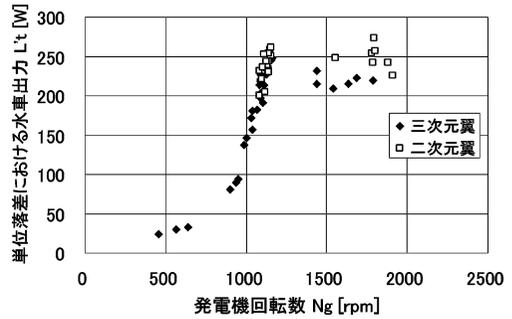


図14  $L't$ と $N_g$ の関係

起因する。図7で観察された $N't$ の増大現象及び図9で観察された上に凸の特性はこれによるものである。したがって、 $L't$ のこれ以上の増大にはオルタネータに内臓された保護回路を取り除くことの検討が必要である。

### 5. 結 言

2次元あるいは3次元翼ランナーを具備した試作水車の基本性能比較試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) ガイドベーン設定最適角度 $\gamma$ は二次元翼、三次元翼とも、ほぼ $10^\circ$ であり、このときの水車効率は、60%である。
- (2) 自動車用オルタネータを発電機に供試する場合、出力電圧が14.4Vを超える(発電機回転数が1,200rpmを超える)と発電機の負荷が遮断される。性能向上には、オルタネータ内臓の保護回路除去について検討する必要がある。

今後の課題は以下である。

- (1) 自動車用以外の発電機による性能試験
- (2) ブレーキ方式による荷重性能試験

### 6. 謝 辞

本研究は平成17年度八戸工業大学プロジェクト研究助成金を得て実施されたものであり、

関係各位に感謝の意を表す。また、自動車用オルタネータの特性検討では田高春男氏 (本学栄誉教授) の多大な貢献があった。深謝します。

## 7. 文 献

- 1) 朝日新聞: 2005-10-30
- 2) 日刊工業新聞: 2004-5-28
- 3) 日本農業新聞: 2004-8-28
- 4) 松崎 他: 八戸工業大学紀要, 第 25 巻, pp. 1 (2006)
- 5) 玉川 他: 八戸工業大学紀要, 第 25 巻, pp. 11 (2006)
- 6) 菊池 他: 八戸工業大学紀要, 第 24 巻, pp. 9 (2005)
- 7) オルタネータ A003T13691 説明資料