

# ナノ級水力発電装置性能に及ぼす発電機の影響

松崎 晴美\*\*・加賀 拓也\*・仲道 茂生\*\*\*  
玉川 邦夫\*\*\*・齋藤 正博\*\*\*\*・高橋 燦吉\*

## Effect of Alternators on the Performance of Nano Class Water Turbine Generator

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

### Abstract

Effect of alternators on the performance of nano class water turbine generator was studied using a test water turbine with a runner consisted of 2-dimensional blades or 3-dimensional blades. Two kinds of alternators were used for our experiments: the first for a car and the second for a wind power generation. It was shown that the target value AC 1 kW of the water turbine power could be obtained by using a wind power generation with speed ratio of about 1. Generation efficiency was about 70%.

**Keywords:** Nano class water turbine, Wind power generation, Alternator for a car, 2-dimensional blades, 3-dimensional blades

### 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>。

平成19年12月17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

\*\*\* 工作技術センター・工師

\*\*\*\* 大学院工学研究科機械システム工学専攻・教授  
工作技術センター・所長

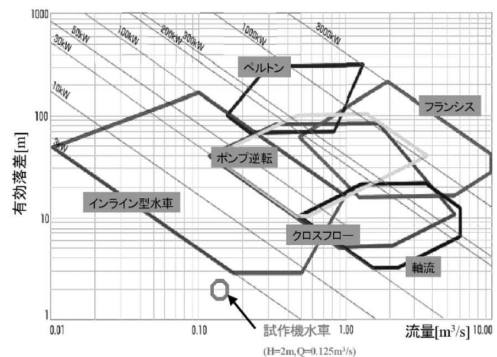


図1 研究開発技術の新規性と位置付け

本研究の目的は、農業用水路等で最も得られやすい有効落差 2 [m]、流量 0.25 [m³/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。前報<sup>4)</sup>で

は、2次元<sup>5)</sup>および3次元翼<sup>6)</sup>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した。本報告では発電装置として風車用発電機を供試し、ナノ級水車発電基本性能に及ぼす影響について、これまでの自動車用発電機の場合と比較検討する。

## 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(直流発電機では、インバーターも含め)で交流1kWを発電させる構想とした。

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、交流発電機

### 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：フランス水車

有効落差：2 [m]

水車出力：1 [kW]

流量：0.125 [m<sup>3</sup>/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。

### 2.3 増速装置および発電機

ナノ水車の回転数はベルト及び歯車により増速することとした。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。

コア径：φ135

電圧：13.5 V

回転数：2,500 [rpm]

電流：83 [A]

また、交流発電機には風車用発電機であるアウターローターコアレス発電機を供試した。

仕様<sup>8)</sup>は以下の通りである。

形式：AC 3 ブラシレス

外径：φ350

電圧：102.36 V

回転数：300 [rpm]

電流：10.16 [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 [m<sup>3</sup>]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、空気の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

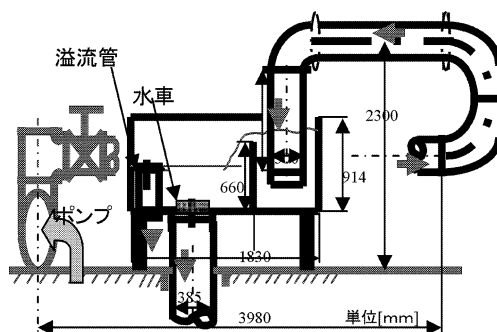


図2 装置全体図

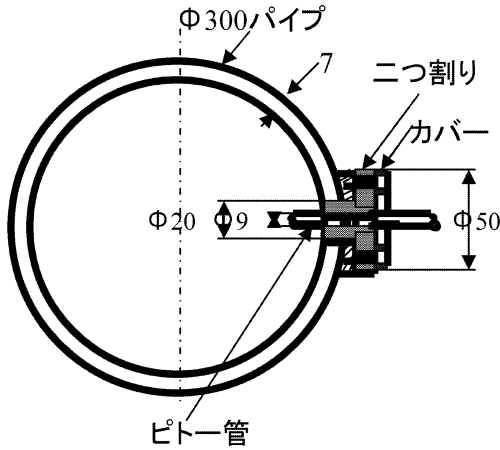


図3 流量検知用壁面静圧取出タップ

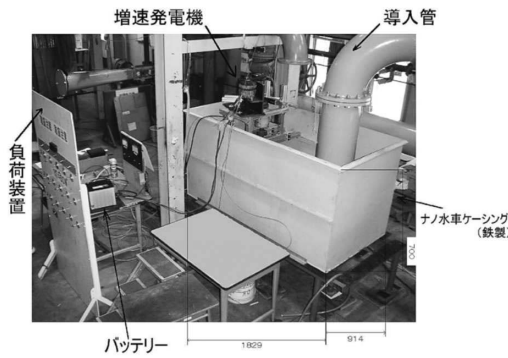


図4 水車用水槽及び供試水車 (自動車用発電機搭載) の外観

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、流量検定時に使用されたピトー管である。

図4は水車用水槽及び供試水車の外観を示す。この場合は、自動車用発電機を搭載し、負荷装置として照明を使用している。

図5は風車用発電機を側面から見た場合を、図6は増速装置用プリー(A)と風車用発電機(C)を示す。このときの増速比は1.3である。Bは水車軸である。

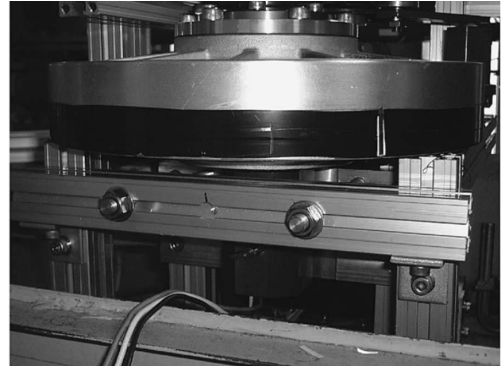


図5 風車用発電機

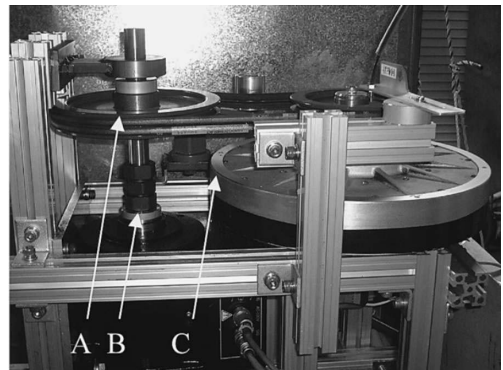


図6 風車用発電機と増速装置

図7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8は自動車用オルタネータを供試した場合の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。

なお、風車用発電機を供試した場合は、発電機の出力は三相ダイオードブリッジを介して負

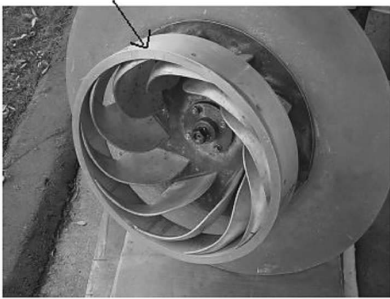
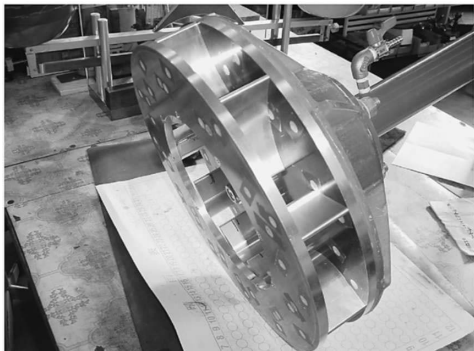
3次元翼型		2次元翼型	
			
外径 $D_i$ [mm]	380	380	
内径 $D_o$ [mm]	350	235	
羽根数 [枚]	10	9	
幅 $B_o$ [mm]	143(リング無の場合)	47	70

図7 供試ランナーの外観と主要寸法

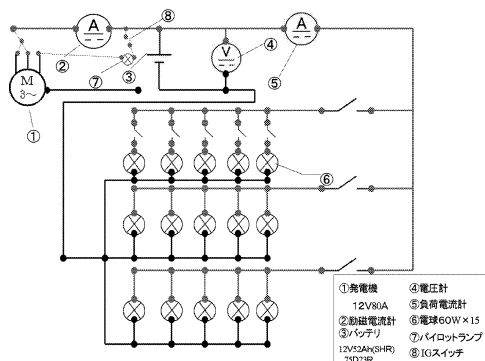


図8 発電機負荷装置結線  
(自動車用オルタネータ)

荷(スライダック)に供給される。

### 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、落下式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は差圧計で、⑧はトルク計を取付け計測した。

増速比SRは発電機軸回転数をナノ水車軸回転数で除した値である。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。なお、風車用発電機を供試した場合の負荷はスライダックにより調整した。また、連続発電試験では電熱器を負荷として使用した。

## 4. 実験結果及び考察

### 4.1 流量検定試験

図9は流量と上流部水平管壁面静圧との関係

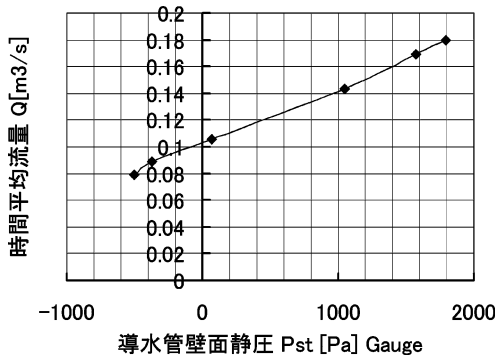


図9 流量検定曲線

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。

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

ここで、

$Q$ : 流量 [m³/s]

$P_{st}$ : 上流部水平管壁面静圧 [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。

$N't$ : 単位落差水車回転数 [rpm]

$$= Nt/He^{1/2}$$

$Q'$ : 単位落差流量 [m³/s]

$$= Q/He^{1/2}$$

$L't$ : 単位落差水車出力 [kW]

$$= Lt/He^{3/2}$$

$L'g$ : 単位落差発電機出力 [kW]

$$= Lg/He^{3/2}$$

$Nt$ : 水車回転数 [rpm]

$Q$ : 流量 [m³/s]

$Lt$ : 水車出力 [kW]

$Lg$ : 発電機出力 [kW]

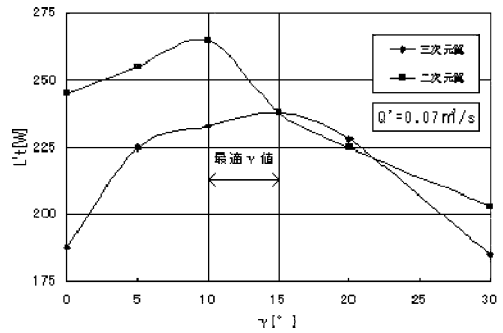


図10 ガイドベーン角度による水車出力変化

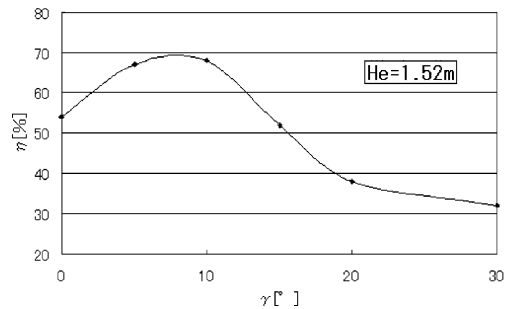


図11 ガイドベーン角度による水車効率 (三次元翼)

$He$ : 水車有効落差 [m]

なお、単位落差における量の単位は便宜上つけたものである。

図10及び図11には、既報<sup>4)</sup>のガイドベーン角度特性を示す。

図10にガイドベーン角度： $\gamma$ による単位落差水車出力の変化を示す。2次元、3次元翼型共に $\gamma=10\sim15^\circ$ が最高出力を得られる最適ガイドベーン角度の範囲になっている。

図11にガイドベーン角度による水車効率の変化を三次元翼の場合について示す。 $\gamma$ は約 $10^\circ$ で最高効率が得られ、それ以上では、ガイドベーン角度の増加による水車効率の急激な減少が見られる。

以下の実験では、ガイドベーン角度 $10^\circ$ のガイドベーンを供試した。

図12に単位落差流量による単位落差水車出力の変化を示す。一般に水車出力は流量の増大

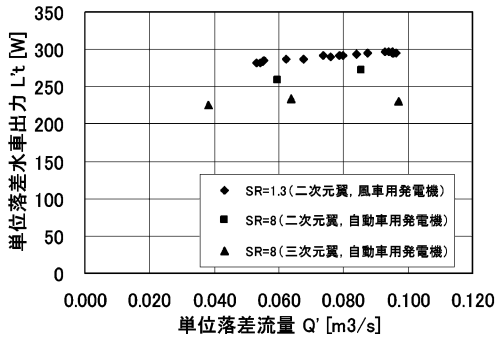


図12 流量による水車出力変化 ( $\gamma=10^\circ$ )

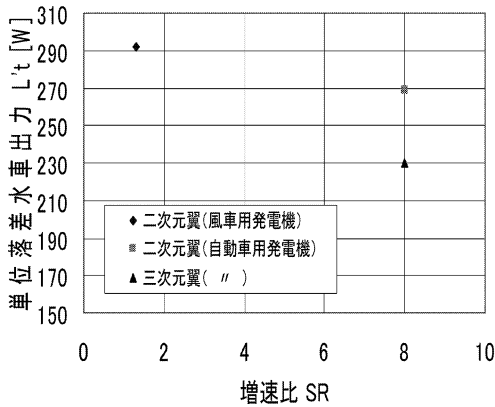


図13 増速比による水車出力変化 ( $\gamma=10^\circ, Q'=0.10$ )

に従い漸増の傾向を示すが、風車用、自動車用発電機の順に高い出力で、後者では2次元、3次元翼型の順になっている。

図13に増速比による単位落差水車出力の変化を示す。風車用発電機(増速比:1.3)、の方が自動車用発電機(増速比:8.0)に比較し、動力伝達上無理がないこともあり高出力を得ている。

図14に単位落差流量による単位落差発電機出力の変化を示す。また、ここでは、既報<sup>5)</sup>の自動車用発電機(二次元平板,  $\gamma=20^\circ$ )のデータも併記した。 $\gamma=10^\circ$ のデータは発電機の種類、翼形状によらず、流量による変化は比較的小さい。二次元平板,  $\gamma=20^\circ$ のデータは流量の変化によ

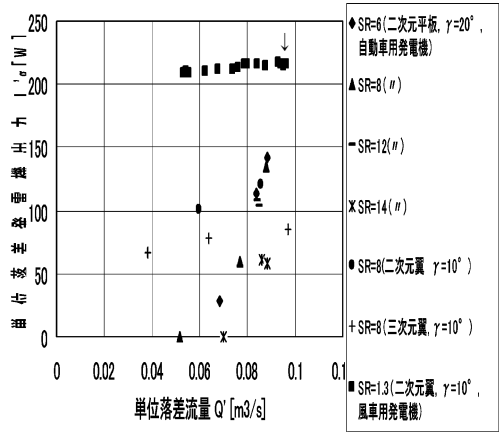


図14  $L_t$  と  $Q'$  の関係

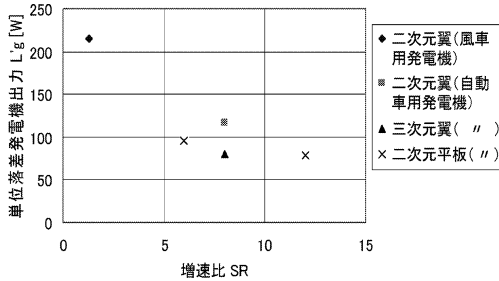


図15 増速比による発電機出力変化 ( $\gamma=10^\circ, Q'=0.08$ )

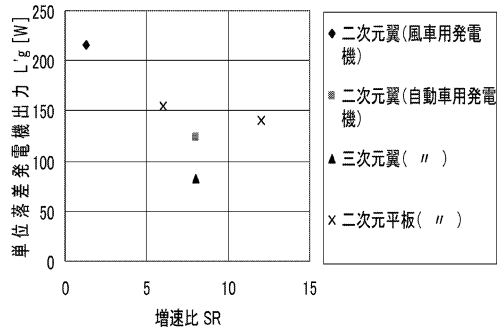


図16 増速比による発電機出力変化 ( $\gamma=10^\circ, Q'=0.09$ )

り急変する。図中、↓の実験点での出力  $L_g$  は 0.87 kW、流量  $Q=0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $He=2.54 \text{ m}$  である。また、このときの発電機効率は 73% である。

図 15 に増速比による単位落差発電機出力の変化を単位落差流量  $Q'=0.08$  の場合について示す。記述の水車出力の場合、増速比は 2 点であったが、4 点での発電機出力の場合からも増速比の増大による出力の低下が見られる。

図 16 に同じく増速比による発電機出力の変化を単位落差流量： $Q'=0.09$  の場合について示す。 $Q'=0.08$  の場合と同様の変化が見られる。

#### 4.2.2 実発電試験と性能評価

本学流体実験室において、図 6 に示した風車用発電機を供試し、約 2 時間の連続発電試験を実施した。負荷として、電熱器 (600 W) を供試し、熱湯を沸かすため、抵抗器で調整した。その現場の 1 コマを図 17 に示した。NHK による取材 (下見) に対応しているところで、計測関連を説明している。図中記号は A: データロガー、B: トルク計、水車回転計、C: PC、D: 抵抗器、E: 電熱器 (電力消費) 及び F: ホットコーヒーである。運転中は、データロガーを介して PC 画面に表示されたデータはいずれも安定しており、装置を停止する瞬間の変化を説明している。発電した電力により、電熱器を用いて直接熱湯をつくり、ホットコーヒーにより、ナノ級水力発電によるエネルギーを味わった。

以下に、本研究の目標に対する結果を示した。



図 17 連続発電試験の 1 コマ

目 標	結 果
出力：1 kW	⇒ 0.87 kW (1.14 kW)
落差：2 m	2.54 m (2 m)
流量：0.25 m <sup>3</sup> /s	0.15 m <sup>3</sup> /s (0.25 m <sup>3</sup> /s)
大きさ：ドラム缶程度	(ランナー外径：380 mm)

( ) 内は目標条件での出力

水車効率  $\eta_r = 32\%$

発電機効率  $\eta_g = 73\%$

総合効率  $\eta = 23\%$  を仮定

設備等の制約により、条件設定が困難なところがあり、換算での数値ではあるが、所定の目標を達成することができた。

## 5. 結 言

自動車用オルタネータあるいは風車用発電機を具備した試作水車の基本性能比較試験及び後者での約 2 時間の連続発電試験を実施し、以下の結論を得た。

- (1) ナノ水車設計目標条件をクリアした。交流 1 kW 出力を達成した。これは増速比約 1 の風車用発電機の採用により、発電機効率を 70 数 % に向上できたことによる。
- (2) ガイドベーン最適角度  $\gamma$  は、低落差域 ( $He=1.5$  m) において、2 次元翼、3 次元翼とも、ほぼ  $10^\circ$  であり、このときの水車効率は 70% である。

今後の課題は以下である。

- (1) 高落差域 ( $He=2$  m) での水車効率の向上
- (2) 自然流況下での実用性検討

## 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。

## 参考文献

- 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) 加賀 他：八戸工業大学紀要，第26巻，pp. 1 (2007)
- 5) 菊池 他：八戸工業大学紀要，第24巻，pp. 9 (2005)
- 6) 玉川 他：八戸工業大学紀要，第25巻，pp. 11 (2006)
- 7) オルタネータ A003T13691 説明資料
- 8) アウターローターコアレス発電機 (SKY-HR350) 取扱説明書