

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月2日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656198

研究課題名（和文） 螺旋内面を持つダクト型発電用風車・水車の研究

研究課題名（英文） Experimental studies on new type duct-shaped waterwheel

研究代表者

鈴木 和夫（SUZUKI KAZUO）

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：80111699

研究成果の概要（和文）：螺旋内面を持つ新形式のダクト型発電用風車・水車について提案し、自主研究によりこの原理に基づく風車の発電実験に成功していたので、本研究では主として水車の回流水槽実験を行った。当初の水車模型では効率が1～2%程度であったが、ベーンの枚数や、ボスの形状等の改良を実施した結果、流速1.0 m/sにおける最大効率が1.9%から7.7%に向上することに成功した。今後も検討を続け、効率が10%を上回ると実用化の道も見えてくると考えている。

研究成果の概要（英文）：In the present study, a new type duct-shaped waterwheel is suggested and experimental studies on its performance are carried out. Original models based on the suggested basic ideas and their improved models are investigated. As an example, maximum efficiency is improved from 1.9% to 7.7% by revised designs for shapes of vane, boss and so on. For this new type duct-shaped waterwheel, more practical improvements are expected in the future works.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	0	2,000,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,100,000	330,000	3,430,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋資源・エネルギー

1. 研究開始当初の背景

風力・水力発電に利用されている従来の装置は大直径のプロペラ型風車・水車や大規模な貯水ダムを必要としており、装置の頑健さやエコロジーといった点に大きな問題がある。

本研究で提案する装置は従来の装置とは全く異なり、ダクト、ダクト内面に螺旋状に設置されたベーン、ダクト内部の中心に置かれた突起つき円筒体回転部（ボス部）、およびそれを支える固定部からなる。気流・水流の方向に置かれた装置のダクト内に螺旋状ベ

ーンにより振った流れを発生させ、それにより円筒体を回転させるという原理に基づいている。

2. 研究の目的

以上のような背景の下に、本科学研究費に基づく研究以前の自主研究により、この原理による風車の可能性と発電実験を行い実際に発電に成功している。本研究では回転翼を利用せずに水流からエネルギーを回収する発電用水車について、その模型実験を実施して性能評価を行うことにする。この水車は、

回転翼・羽根車・バケット・パドルといった複雑な流体力学要素を利用しない、従来の装置とは全く異なる原理に基づくものであり、ダクト、ダクト内面に設置されたベーン、ダクト内部の中心に置かれた突起つき円筒体回転部(ボス部)、およびそれを支える固定部からなる。従って、原理としては水流の方向に置かれた装置のダクト内にベーンにより振った流れを発生させ、それにより内部の円筒体を回転させるということになる。回転翼を利用しないダクト型水車の利点として、実際に河川等で利用する際に回転翼に比べ破損のリスクが少ないことや、様々な環境下に設置がしやすいという点、さらには装置を利用するエリアの生態系への影響を少なくする点などが考えられる。本研究では、有効なトルクおよび発電量を得るために必要な設計パラメータの情報を回流水槽試験により得ることを目標に研究を実施する。

一般的な回転翼の水車において最も簡単な理論モデルは、プロペラの回転面を通る流体に一樣な圧力差を与え、その反作用として抗力を与えるものとする作動円盤モデルである。このモデルに基づくと、水車が利用できる最大限の動力は、回転面を単位時間当たり通過する流体のエネルギーの $16/27 \approx 0.593$ となる。これはベッツの限界と呼ばれている。さらに水車のまわりの流れに及ぼす粘性の影響や、機械的な損失もあるので、実際に利用できる流体のエネルギーは上記の比率の半分程度と考えてよい。従って、水車の最大効率は 30%程度になると考えられる。将来的には、ダクト型水車の効率もこの数値に近づけていくことを目標としたい。

3. 研究の方法

本研究では主として提案原理に基づく水車の回流水槽実験を行う。当初の水車モデルでは効率が 1~2%程度であったため、このモデルをベースに改良モデルを製作し、ベーンの枚数や、ボスの形状、没水深度について、幾つかのケースの回流水槽実験を実施する。実験項目としては、回転数実験、発電実験、可視化実験等である。

実験に使用した回流水槽「V2-15AD」の概要を以下に示す。

形式：2 インペラ方式垂直循環型

出力：AC 200V、50Hz、5.5kW、1460rpm

最大流速：1.0m/s

水量：15ton

寸法：L×W×H=7.00m×1.60m×2.60
(観測部 2.50m×1.20m×0.85m)

製造：株式会社 西日本流体技研

本装置はインペラを回転させることによって水槽内の水を回流させるものである。観測部において絞りノズル天井、制波板の境界層の発達により低下した水面近くの流速を再

び加速させ観測部の表面流速を調整する表面加速装置や、パンチドメタル、整流格子およびメッシュから構成され、水流を整流する整流装置、定在波の発生を抑制する制波板が付いていて、観測部を流れる流体の流速が一樣になるように設計されている。

4. 研究成果

(1) ダクト型水車の製作

ここでは、実際に製作したダクト型水車とその内部に設置する発電機の概要、そして本装置の実験ケースと性能評価について紹介する。

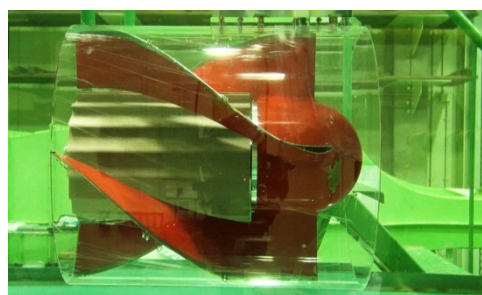


Photo.1 ダクト型水車

Table 1 ダクト型水車要目

部品	寸法・型番	材料
ダクト	外径 300mm 内径 290mm 長さ 330mm	アクリルパイプ
キャップ	外径 130mm	SUS
ベーン	厚さ 3mm	SUS
ボス	外径 130mm 長さ 200mm 突起高さ 10mm	ケミカルウッド
シャフト	径 12mm	ステンレス
ダクト固定支柱	厚さ 20mm 幅 60mm 長さ 750mm	HFS5-2060
ダクト固定支柱(翼)	NACA65(4)-020	アルミ

①水車装置概要

本研究のダクト型水車発電装置は、ダクトに流入した流体がベーンによって曲げられ、その振じられた流れが突起の付いたボスを回転し発電する仕組みとなっている。回流水槽実験部に設置された装置の1例を Photo. 1 に、要目を Table 1 に示す。

②発電機概要

本装置は内部に発電機を設置することにより、ボスが回転して得られた動力を直接発電機に伝える仕組みになっており、エネルギ

一の機械的損失を最小限に抑えている。

さらに、本研究では三相交流発電機を採用した。三相交流とは、電源の各相の起電力が対称であって、各相の電流の大きさが等しく、位相差が $2\pi/3$ である3つの交流である。三相交流は単相交流の問題点であったリップルやコギングトルクの問題を解決し、整流した場合のリップルが小さくなることや、常に電力が一定であり、コギングトルクが発生せずに計測に便利という点がある。また、ボスの回転数を交流の波数から求めることができるので、タコメータが不要となり、実験を容易に行なうことができる。本研究で用いた発電機内部の構造は Fig.1 のようになっており、スリップリングをなくしコイルを固定して磁石を回すことにより発電する構造を採用している。

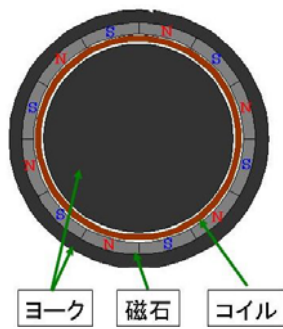


Fig.1 発電機

③実験ケースと性能評価

上記の水車の原理および発電機の仕組みを採用した実験装置を製作したことにより、結果的に全実験ケースで発電に成功した。

本助成による当初の研究では、ペーンの間の距離が大きいとそれによって曲げられない流体が多くなってしまふと予想し、ペーンの枚数を4枚、6枚、8枚とした場合について比較を行ったが、結果としては一番ペーンの枚数が少ない4枚のケースで最も出力が大きくなることが確認された。

ボスの突起形状については Photo. 2 に示すように、3つのパターンで実験を行った。左から順にボス A、B、C とすると、結果としてはボス C のケースで最も出力が大きくなることが確認された。この理由としては、流体力をより多く受けるために突起の有効面積を大きくした形状の方が良かったからであると考えられる。



Photo.2 ボス形状 A, B, C

以上より、ペーン4枚とボス C の組み合わせたケースの性能が最も良くなることが確認されたが、効率としては1~2%程度のものであったので、さらに改良した水車形状の実験を実施することにした。なお、実験方法と性能評価方法の詳細については後の節で示すことにする。

(2)ダクト型水車の改良

ここでは、上記の装置をプロトタイプとし、改良した点と実験ケースについて紹介する。

①装置の改良点

まず、ペーンについては、枚数を4枚、6枚、8枚で比較をしたところ、4枚のケースで最も出力が大きくなることが確認されているので、ダクト内への流入量をさらに増やすというねらいから、ペーンの枚数を、4枚に加え、3枚、2枚のケースを新たに設計・製作し比較を行うこととする。

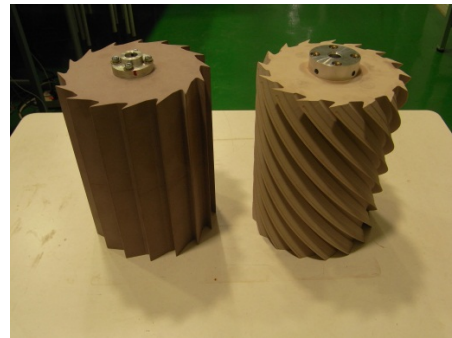


Photo.3 ボス形状 C, D

次に、ボスについては、形状を A、B、C で比較をしたところ、ボス C のケースで最も出力が大きくなることが確認されているので、ペーンによって曲げられた流体が通過する突起のピッチを短くし、流体のエネルギーをより多く回収するというねらいから、改良前の実験で最も出力が大きかったボス C と同じ断面形状に対し 45° の角度で螺旋状に溝を彫ったボス D を新しく設計・製作し比較を行う。ボス C とボス D の比較を Photo. 3 に示す。

さらに、改良前の実験では装置の没水深度を300mmのみについて測定していたが、改良後の装置については没水深度を変更した場合の性能についても評価していく。例えば、自由表面付近や底部ではダクト外へ逃げていく流体を制限でき、流入量を増やすことで水車の性能が向上する可能性もある。また、実際の河川等の使用環境では底部や浅瀬に設置することも考えられるため、様々な状況下でどのように出力が変化するか検討する必要がある。

②実験ケース

ベーンの枚数とボス形状の組み合わせでケースを分け、実験ケースを Table 2 に示すように定義する。

Table 2 実験ケース

ベーン枚数	ボス形状	実験ケース
2	C	Case 2-C
	D	Case 2-D
3	C	Case 3-C
	D	Case 3-D
4	C	Case 4-C
	D	Case 4-D

回流水槽の水深は 600mm であるから、前記のように基本的にはダクト型水車の没水深度を 300mm とするが、一番性能の良いケースについてのみ 300mm の他に 75、150、450mm の実験を行うことにする。結果的に Case 4-D の回転数が一番大きくなったので、このケースでのみ没水深度を変化させて測定を行う。なお、75mm はダクトが 3/4、ボスは全体が浸かる没水深度であり、河川等の浅瀬に設置する状況を想定している。150mm はダクト全体が丁度浸かる深度であり、潮流や河川の自由表面付近に設置する状況を想定している。450mm はダクトが回流水槽の底部に丁度接しており、潮流や河川等の底に設置する状況を想定している。以上をまとめ、没水深度の変化による区別をする際には、実験ケースを Table 3 に示すように表記することとする。

Table 3 没水深度

没水深度	模擬環境	実験ケース
75mm	浅瀬	Case 4-D 75mm
150mm	自由表面付近	Case 4-D 150mm
300mm		Case 4-D 300mm
450mm	水底部	Case 4-D 450mm

(3) 回転数測定実験

本実験では、無負荷状態のダクト型水車を回流水槽に設置し、ボスの回転数を測定して性能の評価を行う。実験方法は、回流水槽の流速を 0~0.1m/s まで 0.1 刻みで変化させ、水車の回転が一定になるのを確認してから、ボスの固定軸部分に付けたマークを目印に 1 分間の回転数をカウントする。なお、回転が速くなり目視での回転数測定が困難な点では、ビデオで録画した映像をスローで再生しカウントする。

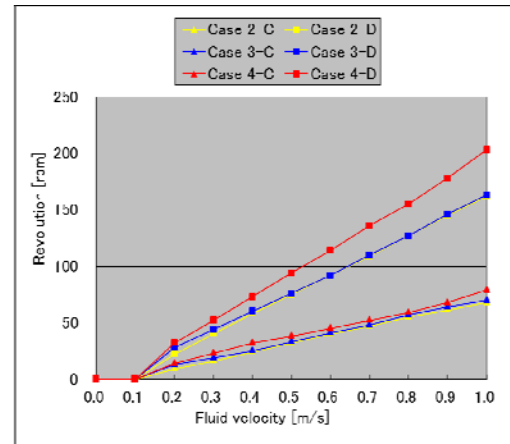


Fig.2 回転数測定結果
(Case 2-C~Case 4-D 300mm)

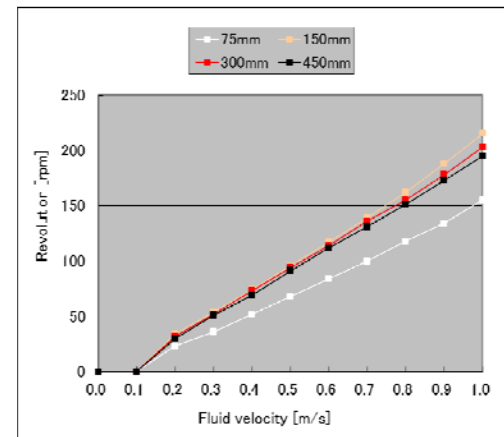


Fig.3 回転数測定結果
(Case 4-D 75,150,300,450mm)

回転数測定実験の結果を Fig. 2 および 3 に示す。ベーンの枚数は 2 枚、3 枚、4 枚の中では、4 枚のケースの回転数が一番大きくなることがわかる。また、2 枚と 3 枚ではボスの形状によらず、ほとんど同じ回転数となり、4 枚と比較すると回転数が約 10~18%減少している。

改良前の実験では、4 枚、6 枚、8 枚で比較したところ 4 枚のケースの性能が一番良いという結果であったので、ボス C に対して 2、3、4、6、8 枚のベーン組み合わせたケース全てを比較したものを Fig.4 に示す。Fig. 4 より、ベーンの枚数が 4、5 枚のどちらかで回転数のピークを迎えることが予想される。これはベーンの枚数が多すぎるとダクトの閉塞率が高くなってダクト内への流入量が減少し、ベーンの枚数が少なすぎるとベーン間の距離が大きくなってベーンによって曲げられない流体が多くなってしまいうからであると考えられる。また、今回の装置はベーン

の取り付け角度を 45° と統一しているので、枚数だけではなく最適な取り付け角度を考えていくことも今後の課題になる。

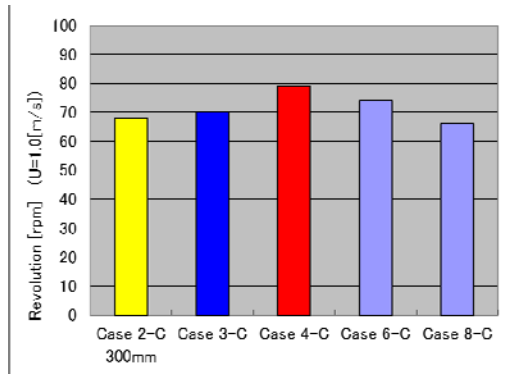


Fig.4 回転数測定結果の比較
(ベーン 2,3,4,6,8 U=1.0[m/s])

ボスの形状は断面形状が同じでも、溝を螺旋形状にすることにより回転数が大きくなることがわかる。ボス D はボス C に対し、回転数がどのベーンの枚数のケースに対しても 2 倍以上高くなっており、大きく改善されている。これは、螺旋形状にすることで突起間のピッチが短くなり、流体のエネルギーをさらに回収しやすくなったものと考えられる。また、ボス C においてベーン枚数を 3 枚から 4 枚にした時は約 1.1 倍、ボス D においてベーンの枚数を 3 枚から 4 枚にした時は約 1.3 倍となっていることから、螺旋形状のボスとベーンの枚数との間に相乗効果があることも考えられる。

没水深度は 150mm で回転数が一番大きくなることがわかる。これは中間部ではダクトの上下に逃げていく流体があるが、自由表面付近では上方に流体が逃げることができなくなり、ダクト内への流入量が増加したためと考えられる。450mm では 300mm より若干回転数が小さくなることからわかる。予想では自由表面付近での現象と同じように、底部では下部に流体が逃げることができなくなり、ダクト内への流入量が増加すると期待していたが、回流水槽の底部では壁との摩擦により流速が低下しているため、回収されるエネルギーが低くなるものと考えられる。なお、浅瀬を模擬した 75mm では没水深度 300mm の 75% 程度の回転数となっている。

(4) 発電実験

① 実験方法概要

本実験では、回転数測定試験の結果を参考に、改良前の実験において一番性能が良かったケース(Case 4-C 300mm)と改良後の回転数測定実験において一番性能が良かったケース(Case 4-D 150mm)の 2 ケースについて発電実験を行い、本装置の性能を詳しく評価

するとともに、改良前からの程度性能が向上されたかを確認する。

実験には、電圧測定用として USB デバイス「NI USB-6210」を利用し、発電実験において本装置の性能を評価するには負荷抵抗可変回路を使用する。負荷抵抗可変装置は、発電機に掛かる負荷抵抗を変化させることにより、発電機に掛かるトルクを操作して、どの程度の出力を得ているかを評価するために必要である。

発電機とモーターの関係は、回転して電力を発生するか、電力を供給されて回転するかの違いであり、構造や理論については同様とみなすことができる。従って発電性能の評価についてはモーターの性能を評価する方法と同じ形で考えることができる。さらに、以下に述べる較正試験でトルクと回転数の較正曲線を得ることにより、水車の内部にある発電機の性能や導線の抵抗による影響等を全て取り除いた、ダクト型水車そのものの性能を評価することもできる。

装置の出力を評価するには、各々の内部抵抗について回転数とトルクの関係を示した較正曲線を求める必要があるため、発電実験を行う前に較正試験を行う。負荷抵抗を変化させることで発電機のトルクを変化させ、それに応じた回転数を測定する。

実験方法は、回流水槽の流速を 0~0.1m/s まで 0.1 刻みで変化させ、水車の回転が一定になるのを確認してから、各流速で内部抵抗を変化させ、それぞれの抵抗値で電圧を測定する。次に測定した電圧の波形から単相交流の周期を読み取り、回転数を求める。さらに較正試験で得られた較正曲線からトルクが求まり、最終的に出力、効率を算出する。発電実験では単相交流の電圧を測定し、その周期を求めることで回転数を算出し、較正試験で求めた較正曲線によりトルクを求め、そこから出力と効率を導く。

② 発電実験結果

発電実験の結果を Fig. 5~7 に示す。まず、実際に測定された単相交流の波形は Fig. 5 のようになっており、正確な sin 波形となっていることが確認できる。この単相交流の周期と較正試験から得られた較正曲線をもとに実験ケースを評価していく。なお、Fig. 6 の出力とトルクの描く曲線が、モーターの性能曲線と同様の特性を示していることを確認することができる。

Fig. 7 では発電実験 2 ケースの効率の比較を行っているが、両ケースとも流速が大きくなるにつれ効率のピークの増加が緩やかになり、ある値に収束していくと予想される。流速 1.0m/s における最大効率は改良前(Case 4-C 300mm)の 1.93% から改良後(Case 4-D 300mm)に 5.77% 増加し 7.69% まで改善され

ていることが確認でき、本研究で提案した水車の原理が確認されるとともに有効な改良方法についても提示できたと考えられる。

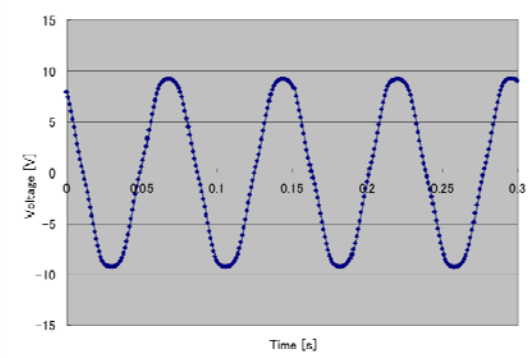


Fig. 5 単相交流波形

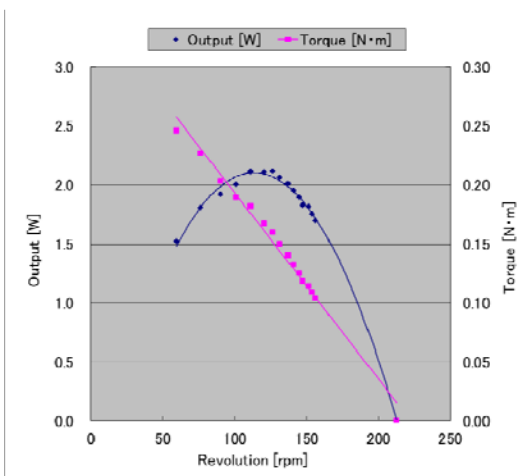


Fig. 6 出力およびトルク
(Case 4-D 150mm U=1.0m/s)

(5) 結言

本研究の実施により提案した水車の原理が確認され、・ベーンの枚数は4枚（もしくは5枚）がよい、・ボスの形状は突起の有効面積を大きくし、さらに同じ断面形状でも溝を螺旋形状にすることで突起間のピッチをより短くしたほうがよい、・ダクト型水車を設置する水深は自由表面付近がよい、といった知見が得られ、今回の実験装置では最大7.7%の効率が得られた。

今後の課題としては、ベーンの性能が一番良くなるのはまだ実験を行っていない5枚のケースである可能性もあるので、それを確かめる必要がある。また、枚数だけでなく取り付け角度、ボスの螺旋形状の角度やベーンとのかね合い、突起の最適なピッチ、最適な没水深度、等についても研究を進める必要がある。また、ダクト型水車の利点として様々な環境下に設置しやすいことが挙げられるので、各種環境下でも安定して良い性能を発揮する設計パラメータの知見を得る必要があ

り、30%程度とされる実用的な水車の最大効率を目標に研究を継続したい。

最後に、本研究に関する実験を卒業研究として担当していただいた木曾兆志および三原勇貴の両君に感謝したい。

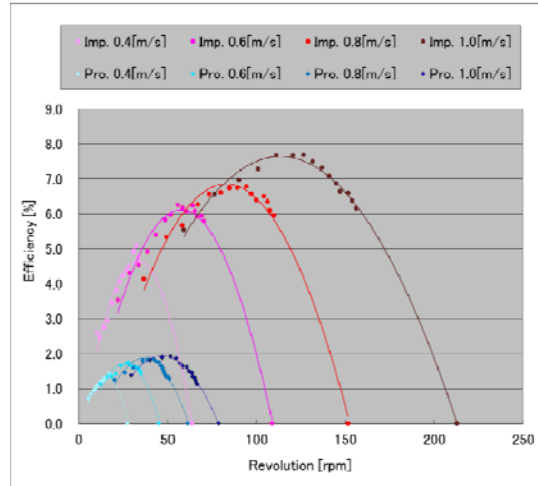


Fig. 7 効率の比較
(改良前: Case 4-C 300mm)
(改良後: Case 4-D 150mm)

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計1件)

- ① 木曾兆志、鈴木和夫、回転翼を利用しないダクト型水車と発電機の製作、日本船舶海洋工学会第16回推進性能・運動性能合同研究会、2011年6月3日、東京大学柏図書館メディアホール

〔その他〕

ホームページ等

http://kenkyuin.eng.ynu.ac.jp/enterprise/study_group/study_group1/imgs/study_group01-15.pdf

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 和夫 (SUZUKI KAZUO)

横浜国立大学・工学研究院・教授

研究者番号：80111699

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者