

令和 2 年 5 月 23 日現在

機関番号：54301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06915

研究課題名(和文) 舞鶴から日本のエネルギーを変える：浮体式洋上風車発電量予測手法の確立

研究課題名(英文) Changing Japanese Energy from Maizuru: Establishment of Floating Offshore Wind Turbine Power Generation Prediction Method

研究代表者

小林 洋平 (Kobayashi, Yohei)

舞鶴工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：50548071

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：浮体式洋上風車の発電量予測に関する本研究の取り組みで次のことが明らかになった。水平軸風車が動揺した場合の発電量は、動揺角度により発電量が減少する影響がある。ただし、角度にもよるが影響は小さく、ピッチ制御の工夫により対応可能である。垂直軸風車が動揺した場合の発電量に与える影響は、ほとんどないが、場合によっては傾斜することで発電量が増える可能性がある。風車が動揺する条件については、浮体が大きな力を受けるのは浮体直径が波の波長の1/2から1/4程度の寸法のときであることがわかった。さらに風車が動揺し、自由振動すると揚力が周期的に変化し、自励的に動揺が大きくなる可能性があることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本はエネルギーに関して幾多の苦難を経験してきた。先の大戦もエネルギーが引き金になっているし、その後も石油ショック、福島第一原発の事故等の苦難があった。安心してエネルギーを使える状況は国民の願いである。本研究は、複数のエネルギー利用の選択肢の中で将来に利用が期待される浮体式洋上風車に必要な基礎的な知見を得ることを目的とする。本研究の成果により、日本のエネルギー利用に関する選択肢を増やし、風車工学の発展に貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：This research on the floating offshore wind turbines revealed the following.

The amount of power generation when the horizontal axis wind turbine sways has an effect of reducing the power generation depending on sway angle. However, the effect is small depending on angle, and it can be dealt with by devising the pitch control. In case of a vertical axis wind turbine is shaken, it has little effect on the power generation, or in some cases, the tilt may increase the power generation. It was found that the conditions the floating body receives a large force when the diameter of a floating body is about 1/2 to 1/4 of the wavelength. Furthermore, it was found that when the wind turbine sways and the free vibration oscillates, the lift changes periodically and the sway may increase by the self-excited vibration.

研究分野：エネルギー工学

キーワード：浮体式洋上風車 風力発電 洋上風車 発電量 自然エネルギー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自然エネルギーの利用は、不確実な気象状況により発電量が変化することが利用の拡大につながらない側面がある。発電量の変動は、日本の社会を支える高品質な電力の供給に大きな足かせとなる。従って、現状の自然エネルギーの導入は、変動を十分に許容できる範囲に抑えられている。電力の変動のようなエネルギーの社会的な影響に加えて、エネルギーの開発は発電事業者が実施しており、開発計画が実行に移されるには、その事業に十分な経済性が認められる場合に限られる。発電計画に不確実な要素が多い場合、事業者が発電計画を実行に移す可能性は低く、このことも自然エネルギーの普及・拡大に悪影響を与えている。

洋上風車には海底に基礎を作り設置する「着底式洋上風車」と船のように洋上に浮かべて設置する「浮体式洋上風車」の2種類が存在する。日本の排他的経済水域は、極めて広範囲であるが水深が深くほとんどの海域で設置可能な風車は浮体式洋上風車である。浮体式洋上風車は、風力発電としての風況の予測という高度な発電量の予測手法に加えて、波の動揺で発電量が変化することが予測されている。現状の風力発電の発電量の予測手法は、風速の変動のみを考慮しており、動揺の影響まで加味した発電量予測手法は存在しない。本研究がスタートした時点では水平軸風車の実験模型を使用して動揺の影響について多少の検討が行われていたが、垂直軸風車の場合はどのような影響が表れるのか等、依然として不明な点や検討結果の精度向上も含めて研究の余地が多く残っていた。

2. 研究の目的

本研究では、浮体式洋上風車の発電量予測手法の確立のため、浮体式洋上風車の洋上での動揺の状態と発電量に関する基礎的な知見の獲得を目指す。動揺の状態や風車の構造によって発電量に与える影響が異なることから、水平軸、垂直軸というように軸構造の異なる複数の風車実験模型を準備し、さらにピッチ角の制御の影響等も含めた総合的な浮体式洋上風車の評価のための模型実験を行うこととした。高精度な実験を行う為には、設計製作した造波水槽の改良を行う必要があり、消波装置や造波装置の改良を実施して、再現性の高い波を発生できるようにし、水の上に浮かんだ風力発電機の発電量がどのような因子の影響を強く受けるのか明らかにしようと試みた。その結果から、模型と実機で同じように発生すると予想される現象の抽出に特に注力し、実際の発電量に影響を与えると考えられる因子の解明を試みる。本研究で使用する実験装置では、相似則から実際の浮体式洋上風車の挙動を正確に予測することは困難であるので、より本質的なところに着目し、定性的な知見の獲得に取り組む。

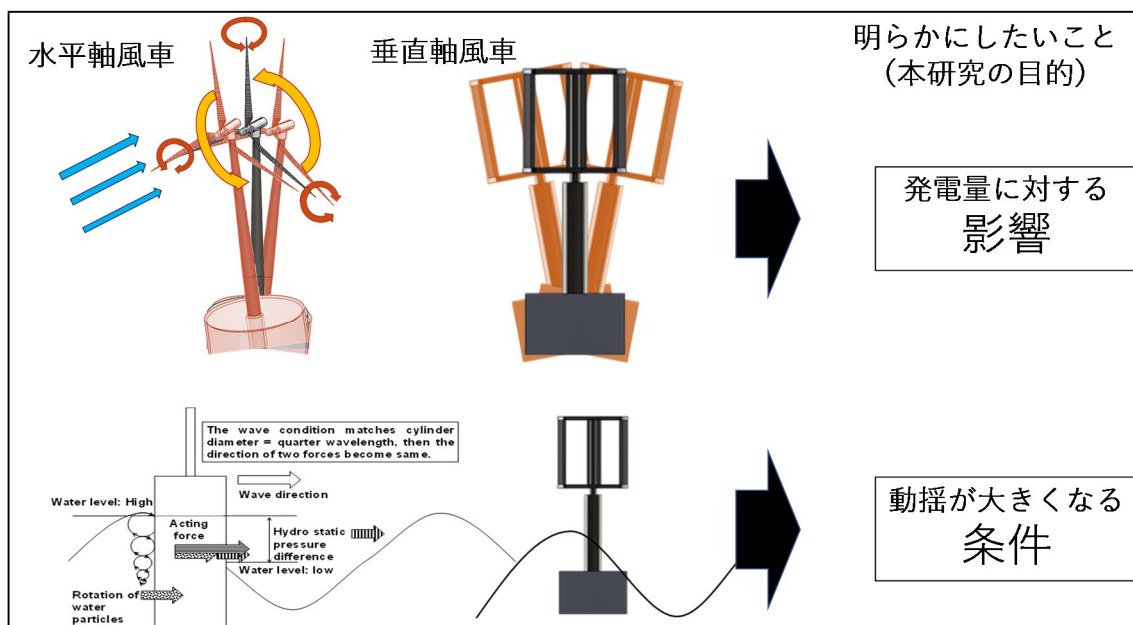


図1 本研究の目的の概要

3. 研究の方法

本研究では、水槽の改良と実験模型の設計製作から研究をスタートさせた。実験装置は、消波性能を改良するため、新たに設計製作した消波装置の新設を行った。レーザー加工機と3Dプリンターを使用し加工された消波ブロックにより、これまで問題となっていた水槽内の反射波の影響を軽減することができた。この水槽を用いて、浮体式洋上風車の浮体構造に見立てた円筒が受ける力をロードセルにより測定した。浮体構造は、直径の異なる円筒だけでなく、三角形や四角形のような特殊な形状についても実験を行った。このことから、浮体が大きな力を受ける条件として、浮体形状と波の振幅との関係を明らかにしようとした。

動揺が発電量に与える影響を明らかにしようとした実験では、風洞を用いて模型実験を行っ

た。水平軸風車の模型に加えて、垂直軸風車の模型も新たに設計し、風洞の前で動揺した場合の発電量変化について研究を行った。風洞の大きさが吹き出し口の寸法が 250mm × 250mm であることから、設計した垂直軸風車の模型の回転直径の大きさは 250 mm、翼一枚の長さは 250 mm、翼形状は NACA6521 が用いられた。この風車模型に接続された発電機は、SKY-HR125 が用いられた。風洞の前に設置された風車は、0° ~ 10° の範囲で角度ごとに発電量の測定が行われた。また、模型実験と並行して得られた実験結果に考察を加えるために、市販の数値計算コードを用いて流れの様子をシミュレーションすることも行われた。水平軸風車についても、実験模型の設計と製作を行い風洞の前で動揺を再現し、動揺と発電量の関係について研究を行った。

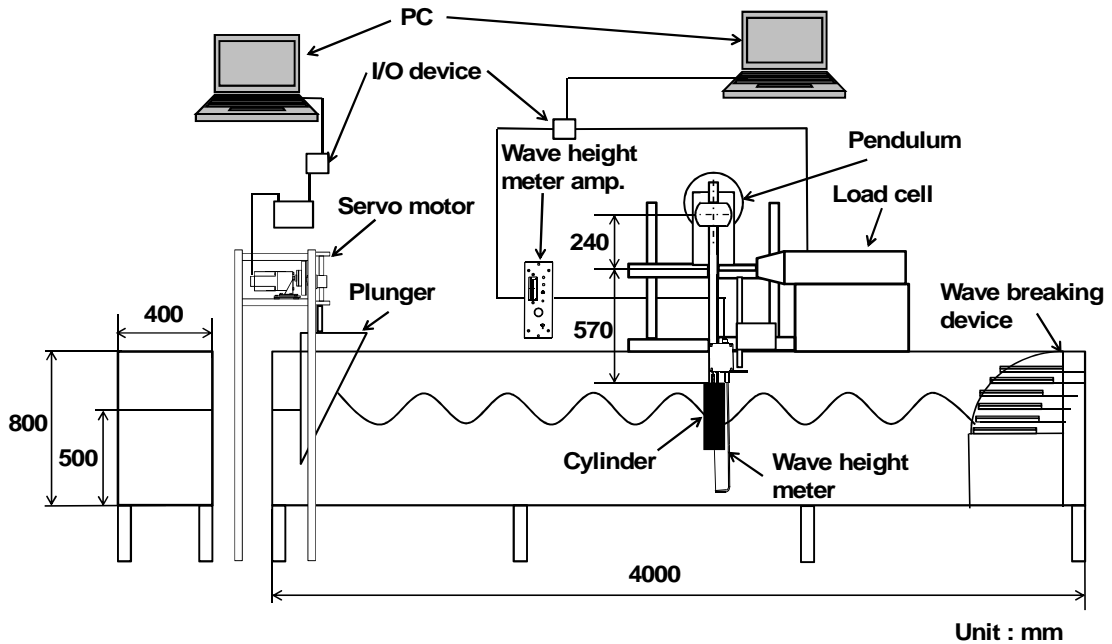


図 2 実験用水槽

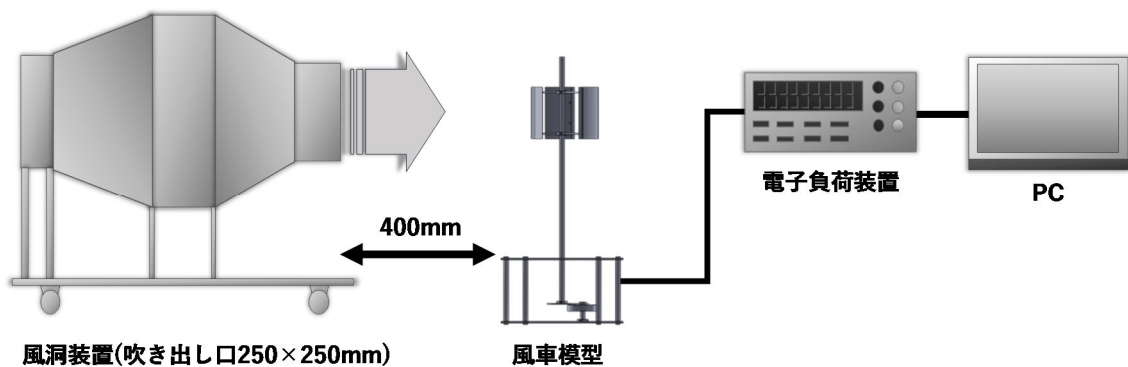


図 3 風洞実験

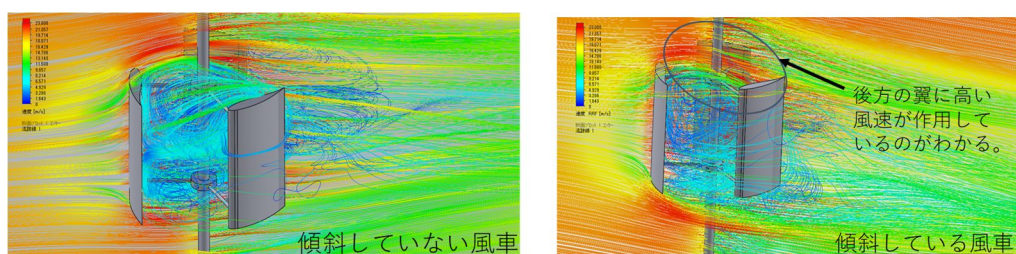


図 4 流体解析ソフトによる検討結果

4. 研究成果

本研究の成果として風車が動揺した場合に発電量にどのような影響を与える可能性があるかについて述べる。最初に、水平軸風車の場合、波の影響を受けて風車が動揺したとすると風車が風に向かって前向きに傾くときには風車に流入する見かけの風速が増大することになる。この場合、発電量は増加する。逆に風の流入方向と逆向きに倒れるときは、見かけの風速は減少する。この場合、発電量は減少する。つまり、動揺することで発電量が増加、減少を繰り返すことになるが、増加分と減少分を足し合わせるとその影響はゼロとなる。一方、その影響を無視できないのが、傾くことによる掃過面積の減少である。こちらは、確実に発電量に影響を与える。前に傾く場合も後ろに傾く場合も同じだけ発電量が減少し、このことが影響して動揺する浮体式洋上風車の発電量は減少する。減少量は傾く角度にもよるが、 10° くらいであるならば影響は小さいと考えられる。特にピッチ制御風車であるならば、定格風速以降の発電量は、ピッチ制御により風のエネルギーをすべて利用しているわけではないので、ピッチ制御を工夫することでその影響を減少させることができると考えられる。次に垂直軸風車の動揺の影響に関する実験結果について述べる。垂直軸風車に関しては、動揺の影響が小さいことが実験結果から明らかになった。垂直軸風車は水平軸風車と異なり、奥行き方向に寸法を持っているために動揺して風車が傾斜すると見かけの掃過面積が大きくなることになる。このことが発電量の測定結果に影響を与えていると考えられる。本研究の測定では、傾斜した垂直軸風車の発電量は、水平軸風車と逆の結果で若干ながら発電量が増えることになった。また、垂直軸風車は発電機等の重量物の重心が低いために、動揺自体も小さいと考えられる。

浮体式洋上風車が動揺する条件に関する研究では、どのようなことが動揺に影響を与えるのかということの解明を行った。浮体に見立てたアクリル円筒を浮心に相当する回転中心を設けて波から受ける力を測定する実験では、波の振幅と浮体の直径により、浮体が受ける力の大きさが変化する実験結果を得ることができた。およそ、波の波長に対してシリンダー直径が $1/2$ から $1/4$ になる条件で浮体が大きな力を受けることが実験から観察された。浮体式洋上風車が大きく動揺する場合の一つ目が、この浮体が波から大きな力を受けた場合である。もう一つの浮体式洋上風車の動揺が大きくなりうる条件として風車自身が自励的に動揺を拡大させてしまうことである。そのような状態は風車が自由振動する状況で発生しうる。具体的には、風車が波から大きな力を受けた場合や風車の近くを船舶等が通過し、その影響で風車が自由振動を開始すると、翼に発生する揚力が変動し、その周期的加振力は自由振動の周期に一致するのでそのことにより風車の動揺が大きく拡大される場合が存在する。

浮体式洋上風車の普及において必要となる発電量の予測に関する基礎的な知見を明らかにする本研究の取り組みにおいて、比較的小型の模型を用いて実験を行った本研究では、水平軸風車が動揺した場合の発電量に対する影響、垂直軸風車が動揺した場合の発電量に与える影響、また、風車が大きく動揺する条件について基礎的な知見を得ることができた。本研究の規模では、定性的な知見を得るにとどまったが、いずれも実機の規模でも発生が予想される重要な知見が明らかになったと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林洋平
2. 発表標題 風車のタワーとナセル形状に関する実験的研究
3. 学会等名 第23回動力・エネルギー技術シンポジウム 講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林洋平
2. 発表標題 浮体式洋上風車の発電量予測
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会 講演論文
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小林 洋平
2. 発表標題 動揺する垂直軸風車の出力特性
3. 学会等名 第22回 動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林洋平
2. 発表標題 波を受ける円筒が強い力を受ける条件
3. 学会等名 第21回 動力・エネルギー技術シンポジウム
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----