

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420169

研究課題名(和文) ディフューザーと渦励振を利用する自励振動式風力発電装置の軽風用化に関する研究

研究課題名(英文) Development of the power generator using of self-excited vibration of a flat plate by a light breeze

研究代表者

佐藤 勇一 (SATO, Yuichi)

埼玉大学・役員・理事

研究者番号：30134828

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)：現状では風力発電において必要風速を確保することが一つの課題となっている。本研究は、風力を利用した振動式発電装置の軽風用化を目的としている。発電に利用するのは、空力自励振動である。平板翼を空気流れ場に配置することにより、流れのエネルギーを自励的に振動に変換し大きな振動を引き起こす現象である。ここで発生した振動を利用して電磁誘導により発電を行うこととした。本研究では、ディフューザーを用いて空気流れの増速を試み、発電に与える効果と発電翼の配置について適切な位置を明らかにしている。また、発電翼の振動に流れ場で発生する渦が大きな効果を与えることが流れ場の可視化により明らかになった。

研究成果の概要(英文)：It has been a subject of wind power generation to secure sufficient wind velocity now. This research aims at development of the oscillating type power generator using a light breeze. It is a galloping phenomenon which is used for power generation. By setting flat plate in air flow, it is a phenomenon which changes the energy of a flow into vibration, and causes a big vibration. We decided to generate electricity by electromagnetic induction using vibration generated in this system. In this research, the increase of velocity of an air flow was tried using by diffuser and the position where flat plate is suitable for power generation is clarified. Moreover, it became clear by visualization of the flow that whirlpools give a big effect to generating of vibration.

研究分野：機械力学

キーワード：流体関連振動 自励振動 風力発電 振動発電 ディフューザー

1. 研究開始当初の背景

近年、再生可能エネルギーを利用した発電の中で風力発電は風が吹けば発電できるといった設備などのメリット等から注目を浴びている。しかし、その一方で年間平均風速 6 m/s 以上といった大きな風速を必要とする為、設置場所が限定されてしまうというデメリットも存在している。そのため、最近では設置場所が限定されないような低い風速域でも発電できる装置の開発が求められている。そこで、本研究では効率よく振動が発生すると考えられている自励振動を利用することを考えている。本研究では、風速を増加させるためにディフューザーを用いたその結果、より低い風速域にて発電ができることを明らかにしたのでその結果を報告する。

2. 研究の目的

本研究では効率よく振動が発生すると考えられている自励振動を利用することを考えている。一例として、窓から風が室内に向かって吹き付けるとき、ブラインドが風を受けることによって大きな音と共に激しく振動する空力自励振動がある。このとき発生する自励振動を利用し発電を行うことにより、低い風速においても発電が可能となるのではないかと考え、低風速において発電が可能な発電機の開発を目的とし研究を行っている。

3. 研究の方法

(1) 実験装置

本研究で用いている実験装置のモデルを以下の図 1 に示している。実験装置には縦 260 mm、横 50 mm、厚さ 2 mm のアクリル製の平板翼を用いている。この平板翼には図 1 に示す平板の右下の角を原点とすると上方向に 5 mm、左方向に 5 mm ずれた位置に円柱型のネオジウム磁石の中心が来るように設置されている。ネオジウム磁石の寸法は半径が 5 mm、高さが 5 mm である。この平板翼は上下からワイヤーによって吊るされており、風洞から風が送られることによって平板の振動が始まる。振動が始まると磁石の近くに設置されているコイルの中を磁石が通過し、そこで発生する電磁誘導を利用して発電するという仕組みになっている。

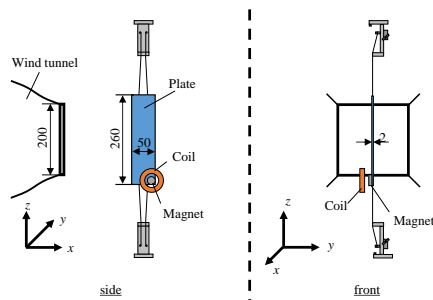


図 1 実験装置

また、発電量の測定を行う際はコイルに抵抗を繋ぎ、その両端の電圧の測定を行う。その値から計算により発電量を求める。また、発電を行う際の平板の振動数は 8.5 Hz、抵抗値は 800 Ω とし、平板の取付け角はこれまでの研究において最も安定した振動を発生させた 10 deg とした。

(2) 風速が与える影響

風洞から送る風速を変化させ、その影響を調べた。ここでは振幅、発電量の測定を行った。振幅の測定を行う際は平板翼の右隅から 5 mm の位置にレーザー変位計を照射させ、測定を行い、発電量の測定を行う際はコイルに繋いだ両端の電圧を測定しその結果から発電量を計算した。

以下の図 2、3 に振幅、発電量の測定結果を示す。この結果を見ると、それぞれ風速が増加することによって測定値が増加していることが分かる。つまり、風速の増加に伴い、振幅が増加し、それによってコイルが貫く磁束の変化量が増加したことで発電量も増加したと考えられる。そこで本研究ではディフューザーを装置に組み込み、その増速効果を利用することで発電量の向上を試みた。

(3) ディフューザーの利用

ディフューザーとは図 4 のように本来流体が流れる管路内の断面積を緩やかに拡げることによって、流体のもつ運動エネルギーを圧力エネルギーに変換することを目的とした流路である。

本研究ではディフューザーを管路内で用いるのではなく、図 4 のように流れの中に設置することで、風速の加速機器として用いることを検討した。

ディフューザー内に風を流す流体解析を行い、その解析結果と実験結果を比較することで、解析の信頼性を調べた。ここで、解析結果に信頼性があるものと判断出来た場合

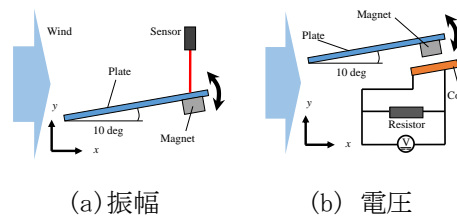


図 2 計測方法

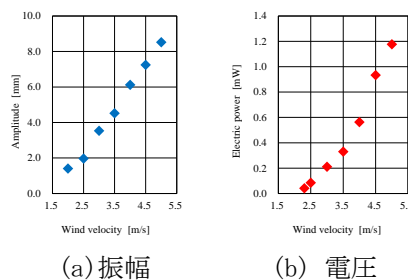


図 3 計測結果

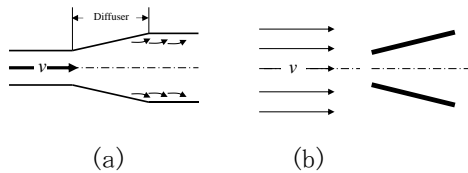


図4 ディフューザー

は解析結果をもとにディフューザーを装置に組み込み、実験を行うこととした。

(4) 解析方法

ディフューザーを設置する前に、流体解析ソフト ANSYS-CFX を用いてディフューザー内を流れる空気の風速分布とどれほどの増速効果を期待できるかという点について調べた。ディフューザーには図5のように三種類のパラメータを与え、様々な形状で解析を行った。一つ目はディフューザーの平板長 L ($L \Rightarrow 50 \sim 200\text{mm}$)、二つ目はディフューザーの平板間の距離 x ($x \Rightarrow 4 \sim 100\text{mm}$)、三つ目は平板の取り付け角 θ ($\theta \Rightarrow 2 \sim 20\text{deg}$) である。

解析モデルの流体領域は以下の図6に示す。横幅は600mm、縦幅は400mm、高さは200mmとなっている。モデルの左面からは風速3m/sの空気を流し、モデルの境界面は空気の入りは自由とした。モデル内部に空気が流入する場合は全圧、流出する場合は静圧を用いた。

ANSYS-CFX を用いた解析結果を実験結果と比較することで解析結果の信頼性を調べた。実験の条件は風速3.1m/s、平板長 L は50mm~150mm、平板間距離 x は4~100mm、取り付け角 θ は解析結果で比較的、最大風速が大きかった8deg、10degで実験を行った。風速の測定は熱線流速計を用い、解析結果を元に高い風速を観測することができると考えられる位置で測定を行った。図7の左図のように平板間距離が4~20mmではディフューザー平板間距離の中心、入り口から5mmの位置で測定し、平板間距離が40mm~100mmでは右図のようにディフューザー平板から10mm離れ、入り口から5mmの位置で測定を行った。図の赤い点が測定位置を示している。

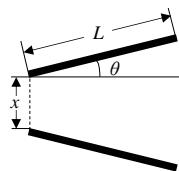


図5 解析パラメータ

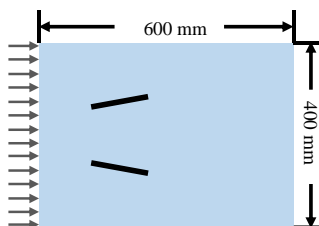


図6 解析モデル

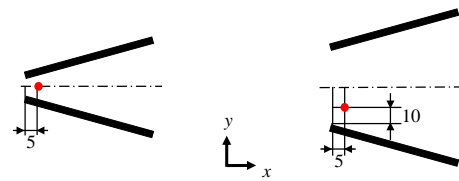


図7 計測点

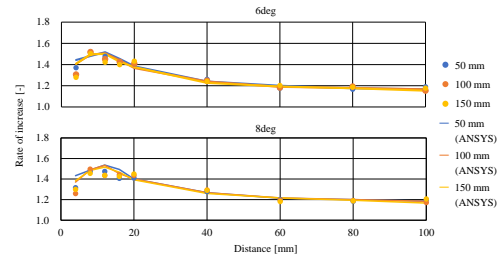


図8 実験結果とシミュレーション結果

上記の図8に実験結果と解析結果を比較したグラフを示す。横軸は平板間距離 x 、縦軸は風速増加率を示している。また上のグラフが8deg、下のグラフが10degである。

この結果を見ると、解析結果と実験結果の傾向がほぼ一致していることが分かる。そのため、解析結果をもとにディフューザーを実験装置に組み込み、実験を行うこととした。また、シミュレーション結果よりディフューザーについて以下の事が明らかになった。

平板長 L は風速に対してほとんど影響を与えない。

平板間距離 x は10mm程度で最も増速効果を発揮し、最大で50%程度増加する。また、距離は離れることによって効果は薄れるが、20%程度増速する。

取り付け角 θ は8~10degで高い増速効果を発揮する。

(5) ディフューザーを用いた発電量の向上

解析結果により判明したことをもとに、実験装置にディフューザーを設置し、発電量の測定実験を行った。ディフューザーは平板間距離 x が10mmのときに最も風速が増加するという結果が得られたが、本実験装置では10mmで行うと振動が発生した際にディフューザーと平板翼が干渉してしまう。そのため、平板間距離 x は装置に組み込む上で干渉しない最小距離の40mmと平板間距離 x が変化することによる発電量への影響を調べるため50mmで実験を行った。また、ディフューザーの取り付け角 θ は6degから2deg毎に角度を広げていき、何らかの傾向が見られるまで角度を増やした。

風速は3.1m/sで実験を行った。この時の振幅は3.4mm、発電量は0.173mWであった。回路には800Ωの抵抗を繋ぎ両端の電圧の測定を行い発電量の計算に用いた。次頁の図9に電圧測定時の実験装置を示している。

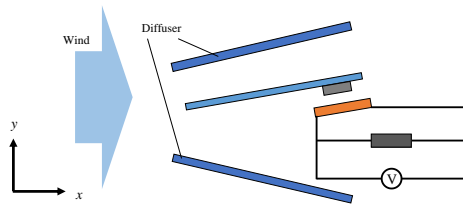


図9 実験装置概略

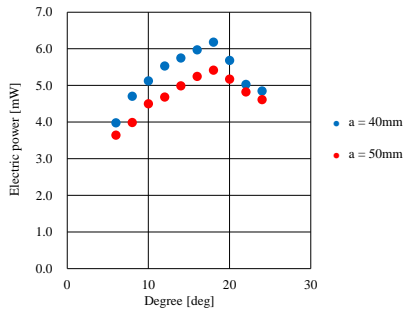


図10 実験結果（発電量）

実験結果を上記の図10に示す。横軸に取り付け角 θ 、縦軸に発電量の増加率を表している。

この結果を見ると、6deg から角度が大きくなるにつれて発電量の増加率は徐々に増加していき、18deg 付近で最大値を取る。その後、徐々に増加率は減少していくというような傾向が見られた。

増加率は全体を通して、5～6倍程度となったため、ディフューザーの効果が得られていると考えられる。しかし、ディフューザーの増速効果を測定した際は8deg～10degで最も効果を発揮したのに対し、ディフューザー設置時の発電量は18degで最大値を取った。そのため、ディフューザーの増速効果以外に平板翼は何らかの影響を受けていると考えられる。

この理由として考えられる要因は渦の生成であると考えられる。実際に、発電量測定時の様子を可視化し撮影を行ったところ、18deg 付近で大きな渦の生成を確認することができた。ここで、ディフューザー（平板長：50mm、平板間距離：40mm、取り付け角：18deg）を用いた際、風洞からの風速が3m/s時では、増速効果により約3.9m/s増速するため、ディフューザーを設置しない状態で風速を3.9m/sとしたときの振幅と発電量の測定を行い比較した。その結果、ディフューザー設置前の風速3.9m/s時の振幅は6.1mm、発電量は0.56mWであったのに対し、ディフューザー（平板長：50mm、平板間距離：40mm、取り付け角：18deg）設置後の振幅は8.65mm、発電量は1.1mWであることから、渦の生成が振幅に影響を与えていると考えられる。

(6)まとめ

本研究ではこれまで、ディフューザーの増速効果を利用した発電量の向上を目指して

実験を行っている。ここでは、ディフューザーを実際に実験装置に組み込むと増速効果とともに渦の生成も発電量に対して大きな影響を与えているということを明らかにしている。これは流れの可視化を行うことで観察することが出来た。この渦をうまく利用することで本研究では発電量を最大で6倍まで増加させることができています。

4. 研究成果

本研究ではこれまで、ディフューザーの増速効果を利用した発電量の向上を目指して実験を行っている。ここでは、ディフューザーを実際に実験装置に組み込むと増速効果とともに渦の生成も発電量に対して大きな影響を与えているということを明らかにしている。この渦をうまく利用することで本研究では発電量を最大でディフューザーを用いなかった場合の6倍まで増加させることができています。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1件)

(1) 上飛田真登, 長嶺拓夫, 森博輝, 佐藤勇二, ディフューザーと平板翼の自励振動を利用した発電機の開発, 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会 D&D2016, USB 講演論文集, 査読無, 631, pp.1～8 (2016).

〔学会発表〕(計 1件)

(1) 上飛田真登, 長嶺拓夫, 森博輝, 佐藤勇二, ディフューザーと平板翼の自励振動を利用した発電機の開発, 日本機械学会機械力学・計測制御部門講演会 D&D2016, 8月26日, 山口大学(山口県・宇部市).

○出願状況(計 0件)

○取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 勇一 (SATO, Yuichi)

埼玉大学・理事

研究者番号：30134828

(2) 研究分担者

長嶺 拓夫 (NAGAMINE, Takuo)

埼玉大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00323379

(3) 研究分担者

森 博輝 (MORI, Hiroki)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：50451737