

ウェイクフラッター風力発電システム構築の試み

- その1 発電システムの概要 -

Development of a Wake Flutter Wind Power Generation System

Part 1: Overview of the System

○長谷部寛¹, 鈴木望美², 中村優介³*Hiroshi Hasebe¹, Nozomi Suzuki², Yusuke Nakamura³

Abstract: The turbulent wake flow generated by a propeller-type wind turbine makes it difficult to install additional turbines in its wake region. However, if we can generate energy in the wake region, it will be a new wind power generation system in urban areas. In this study, we developed a new wind power generation system using “wake flutter” phenomenon. Piezoelectric elements were adopted for power generation device. We converted the torsional and heaving vibrations of multiple flat plates arranged in tandem alignment. As a result, we could active a LED light.

1. はじめに

再生可能エネルギーの需要の高まりから、風力発電の必要性もますます高まりつつある。現在の風力発電の主流形式であるプロペラ式大型風車は、大規模な発電が可能であるものの、その後流（ウェイク）は乱れ、ブレード直径の数倍以上の距離を離さないと、ウェイク中に2基目の風車は設置できない [1]。そのため、多数の風車を設置するためには広大な敷地が必要になり、都市域への導入は難しい。

一方で、ウェイク中に近接して発電デバイスを設置することができれば、コンパクトな風力発電システムが構築できる。このような構想から、本研究室ではウェイク振動を活用した新たな風力発電システムの構築に取り組んでいる [2]。これまでは、長大橋梁のケーブルに発現するウェイクギャロッピング振動を応用し、ウェイク中に複数の円柱振動子を配置した方法を検討してきたが、高風速になると振動モードが複雑化し、エネルギー回収が困難になる課題を有していた。

そこで本研究では、振動子を平板に変えて振動モードをねじれ振動に限定することで、エネルギー回収を容易にする発電システムを考案したので、その概要を報告する。

2. 発電システムの概要

構築した発電システムの全景を figure 1 に示す。システム構築の段階であることから、風洞は持ち運びができる簡易な押し出し型風洞を用いた。一辺 225 mm の正方形断面を有し、風速約 13 m/s まで生成可能である。

その先に、平板振動子の設置数や配置間隔を自由に定めることのできるフレームを取り付けた。振動子は、長大橋梁の空力弾性振動現象の知見から、フラッター

が発現しやすい矩形断面を有する平板を採用した。本報告で用いた平板振動子の寸法は、断面高さ 12 mm、幅 80 mm、奥行き 300 mm である。これらを figure 2 に示すように、流れに対して直列配置した際、複数の振動子がフラッター振動を発現した。ウェイク中に振動子を近接配置しても振動が発現したことから、本システムはエネルギー回収効率を高められると確認できた。なお、ウェイク中で複数の平板がフラッター振動を発現する現象は、著者が把握する限り検討された事例がないことから、この現象を『ウェイクフラッター』と称することとした。また、振動子の寸法や配置などが、振動振幅に関する変数であることは明らかである。これらを変化させた際の振動性状は、次報を参照されたい [3]。

3. 発電デバイスとその設置方法

発電デバイスには圧電素子 (K7520BS3, THRIVE) を用いた。周期的にねじれ振動する振動子が素子に接触し、素子にたわみ振動を生じさせることでエネルギー

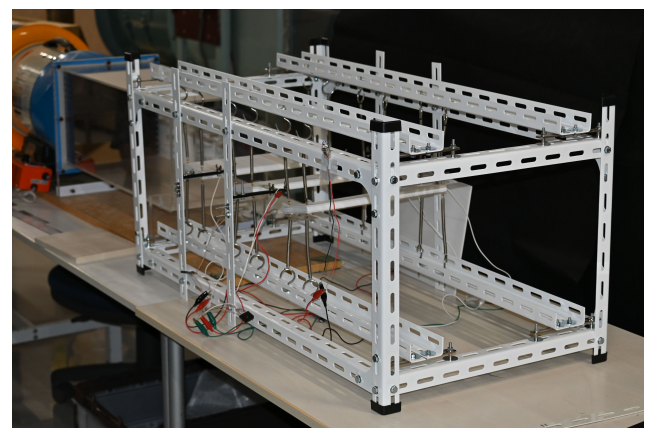


Figure 1. Overview of the Power Generation System

一を回収する方式を採用した。この圧電素子を figure 3 に示すように、振動子1体に対してスパン方向に2枚配置し、素子との接触抵抗をバランスさせた。

それぞれの振動子に対して設置した素子からの出力は、figure 4 に示す回路を構築し、消費デバイス（今回はLED豆電球を使用）に供給した。

4. 振動性状と発電状況

Figure 5 に、ウェイクフラッターを発現し、LED豆電球が点滅している瞬間の様子を示す。現時点では微量であるが本システムで発電が行えることを確認した。

静止画では判読が困難であるが、風速が7 m/s程度を超えると平板振動子の振動モードがねじれ1自由度から、ねじれとたわみの振動が連成する2自由度の振動モード（連成フラッター）に移行する。連成フラッターに移行すると発電量も増大し、電球が明確に明るさを増した。今回はフラッター振動を活用したが、この結果はたわみ振動が卓越するギャロッピング振動を活用するシステムも有用であることを示唆している。

5. まとめ

本研究では、乱れが強いウェイク中において発現する空力弾性振動現象を応用した、振動子を近接配置することができる新たな風力発電システムを構築した。複数の平板振動子のウェイクフラッター振動を、圧電素子を用いてエネルギーに変換できることを示すとともに、本システムの効率をさらに向上させる可能性も見出した。今後は、発電効率の高い振動子の形状、振動モードの検討、そして発電量の定量的評価を進める予定である。

謝辞

本研究は、オープンキャンパスにおける研究室展示の一環として風力発電に挑戦したところに端を発している。短期間で本システムを構築できた背景には、中野君、濱田君、大木君、関根さん、森山君、黒崎君、平田君の協力があったことである。ここに記して謝意を表します。また、発電デバイスおよび発電回路の構築に際しては、機械工学科・関谷直樹先生にご助言いただいた。あわせて厚く御礼申し上げます。最後に、複数振動子のウェイク振動に基づく風力発電法は、土木工学科・野村卓史元教授の10年以上前の発案である。記して深く謝意を表します。

参考文献

[1] 内田孝紀, 渡辺康一, 大屋裕二, 松島啓二, 高田青: 「風車模型ウェイク内の気流性状に関する風洞実験および数値シミュレーション」, 風工学研究論文集, Vol.26, pp.177-184, 2020.

[2] 野村卓史, 三枝成彰, 長谷部寛: 「固定円柱の後流に直列配置された複数円柱の振動に関する基礎的実験」, 第22回風工学シンポジウム論文集, pp.245-250, 2012.

[3] 鈴木望美, 長谷部寛: 「ウェイクフラッター風力発電システム構築の試み—その2 複数平板のフラッター特性の検討—」, 日本大学理工学部第67回学術講演会予稿集, 2023 (投稿中).

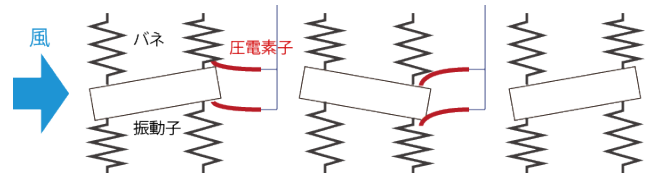


Figure 2. Image of the Wake Flutter

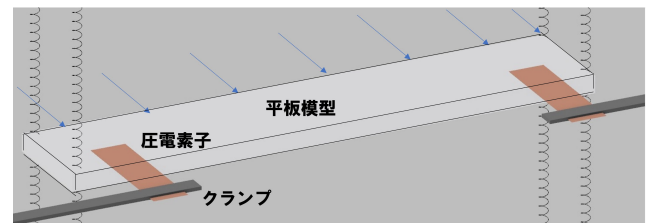


Figure 3. Layout of a Plate and Piezoelectric Elements

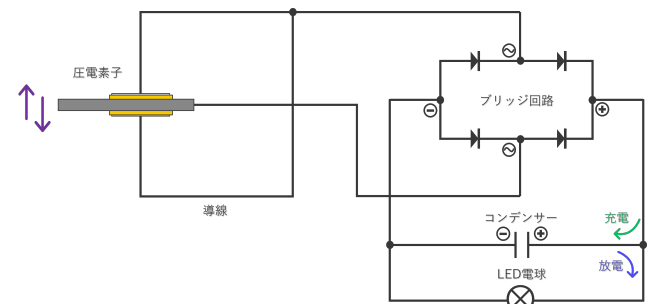


Figure 4. Circuit Diagram of the Power Generation System

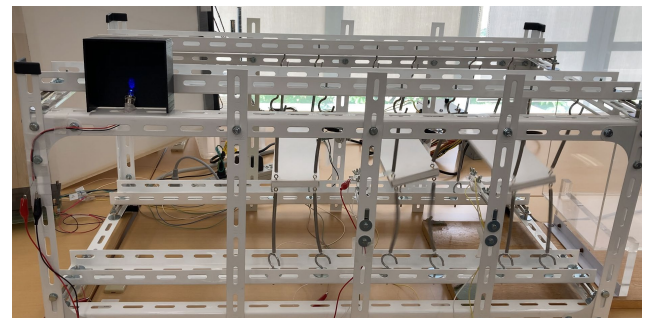


Figure 5. Snapshot of Wake Flutter and Power Generation