

卓上風車模型の作製

高田, 青
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/7375867>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 7, pp.21-24, 2025-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



卓上風車模型の作製

高田 青

要 旨

大学では、オープンキャンパスや研究施設訪問などで、一般の来客に研究内容を説明する機会が度々訪れる。派遣先研究室では、商用風車の後流に形成される特徴的な風の流れ（風車ウエイク）の研究を行っているが、風という目に見えない現象を説明することはなかなか難しい。そこで、風車ウエイクが及ぼす影響を説明するために、小型の卓上風車模型を作製したため、本稿で紹介する。

キーワード

卓上風車模型 風レンズ風車 ウインドファーム 風車ウエイク 3D プリンタ

1. はじめに

再生可能流体エネルギー研究センター洋上風力高度利用分野では、風車後流に形成される風車ウエイクの研究に力を入れている。大型商用風車は特定のエリアに密集して配置されることが多く、風車後流に形成される遅く乱れた風（風車ウエイク）が別の風車に当たることで、発電量の低下や故障の原因になることが知られている^[1]。

上記研究室では、風洞実験・数値シミュレーション・屋外観測などで風車ウエイクの現象とその影響を研究している。一方で、一般の方々にも分かりやすく研究内容を説明することも使命である。風は目に見えないため、言葉や図で説明されても直感的な理解が難しい場合が多い。そこで、風車ウエイクが及ぼす影響を体験し、複数の風車を設置するときのシミュレーションができる卓上風車模型を作製した。

2. 卓上風車模型

2-1. プロトタイプ

前章で、卓上風車模型は風車ウエイクの影響を体験するために作製したと述べたが、元々は風洞実験で風車の設置位置を構想したり、学生に説明したりする際に風車模型が欲しい、という動機から始まった。また、安価な光造形 3D プリンタが出回ってきた時期で、何か作製するネタを探していたため、都合がよかった。

最初に作製した卓上風車模型を図 1 に示す。3DCAD ソフトで設計をして、2 万円台の光造形 3D プリンタで出力した。可能な限り手間をかけない設計思想にしたため、風レンズ風車^[2]を簡略化した形状にした。また、3D プリンタの出力時に、サポート材の設定を無しにして、全て一体型で作れる形状にした。



図 1 卓上風車模型（プロトタイプ）

2-2. ベアリング搭載タイプ

図 1 の風車模型で当初の目的は達成できた。しかし、小さくても風車模型である以上、風を当てるとロータが回転するようにしたくなる。そこで、設計を変更し、安価なホビー用ベアリングを用い

てロータが回るようにした。また、風レンズ風車は自動で風下を向くパッシブヨー機構を持つため、それを再現するためにナセル下部にもベアリングを入れて、自動で風下を向くようにした。

風レンズの形状は、実機や実験で使用しているデータを一切参照せず、簡易的な形状にした。ブレードに至っては、平板を斜めに配置しただけである。

ベアリングを搭載した風車模型を図 2 に示す。風は市販のサーキュレータで与えることにした。風車を風に対して直列に並べると、風上の風車はよく回るが、風下にある風車は回転が遅いか、まったく回らない。一見、風車ウエイクの影響を再現しているように見えるが、発電しているわけではないため、ただの構造物として機能していることには留意する必要がある。しかし、風車の後流で風が遅くなり、風下風車に影響を与える説明には使えることが分かった。



図 2 ベアリング搭載型の卓上風車模型

ここで、風車単基でパッシブヨー機構のデモをするために、風向を変える装置が欲しいと思った。そこで目を付けたのが、鉄道玩具のプラレール³⁾

である。図 3 のように、レールを円形に組んで、中央に風車模型を置く。レール上に扇風機を乗せた車両を走らせれば、扇風機が風車模型を周回し、風車に対して風向が変わることになる。なお、扇風機の電源（電池）は、車両下部に搭載した。

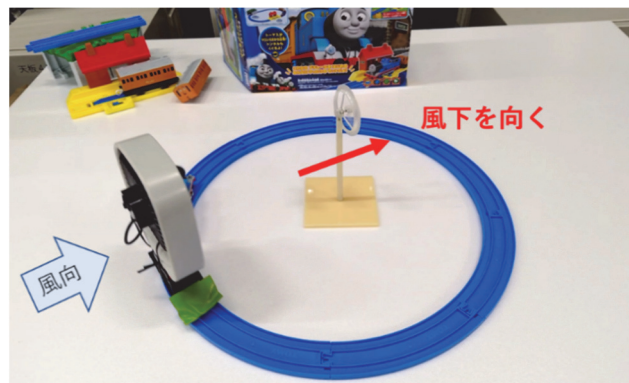


図 3 パッシブヨーデモの卓上風車模型

結果は思いどおりで、風向に合わせて風車模型のヨー角度が変わっている。結果は大成功のほうであった。しかし、これをオープンキャンパスで一般公開したところ、幼児から小学生くらいの来場者はプラレールのみに興味が行って、中央の風車模型にまでは興味が行かない反応であった。残念だが、プラレールの方が目立ってしまったのは失敗であった。次の機会があれば改善を検討したい。

また、風車模型を展示した際に、子供は何でも驚掴みにすることを知った。風車模型は土台やタワーを持って移動させることを想定していたため、ナセルから上は固定しない設計にしていた。そのため、上部から驚掴みにされると簡単に外れてしまう。この問題も、次の機会があれば展示方法などを工夫して改善したい。

2-3. モータ搭載タイプ

ベアリング搭載タイプの風車模型では、風車の回転数が確認できたが、そもそも発電していないことが不満であった。

そこで、携帯電話などのバイブレーション機能に使われる超小型の DC モータを搭載してみた。使用した DC モータを図 4 に示す。バイブレータとして販売されていたため、軸に重りが付いており、外して使用した。



図 4 使用した DC モータ

ここでひとつ問題が発生した。研究室から、風レンズ無しの一般的な形状も作ってほしいとの要望があり、風レンズ無しの風車模型にしたのだが、ロータがなかなか回らないのである。この場合、風車が回らない要因は以下が考えられる。

- ・風速が遅い
- ・ロータ直径が小さい
- ・風車用のブレードではない
- ・モータ回転軸の抵抗が大きい

試行錯誤の末、ロータ直径と平板形状のブレードを見直すことにした。低風速でも性能が出せる風洞実験用の風車ブレード^[4]を使用し、ロータ直径を 50mm から 150mm に変更した。ブレードの形状が複雑化した影響で、3D プリンタにおける出力設定の調整が大変であった。また、ブレードが非常に薄いため、簡単に破損してしまう問題があった。

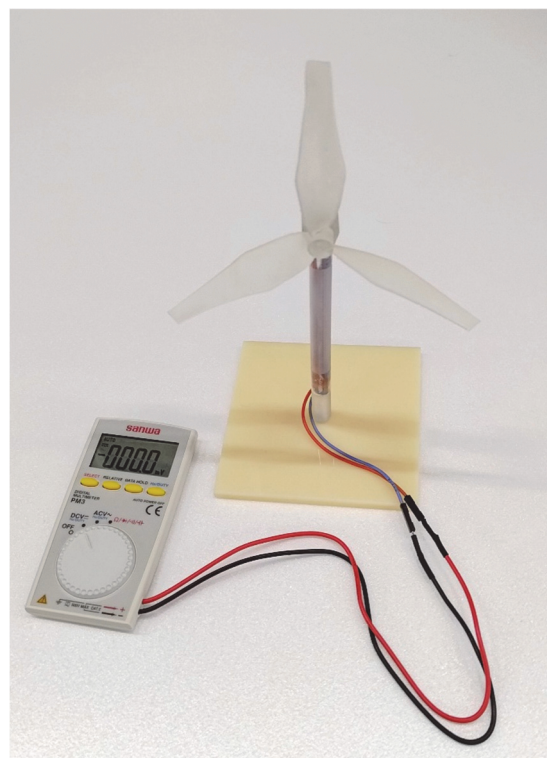


図 5 モータ搭載型の卓上風車模型

作製したモータ搭載タイプの風車模型を図 5 に示す。モータの配線をする関係上、パッシブヨーの機構は無しにした。

モータには LED を繋いで光らせる予定であったが、いざ接続してみると、発電量が小さすぎて光らなかった。次善の策として、テスターで電圧を表示することにした。

モータをテスターと接続することによって、モータが回転するときに発生する電圧を表示することができる。一般的に、DC モータは電圧と回転数が比例関係にあるため、ロータの回転数（電圧）を数値として見る事ができる。

3. 卓上ウインドファームシミュレータ

作製したモータ搭載型の卓上風車模型を複数基使用することによって、簡易的にはあるが、風車ウエイクの影響や風車の最適配置の説明ができる（図 6）。

同図 (a) は風車を直列にした配置であり、風上風車で発生している電圧が 22.5mV であるのに対し、風下風車が 7mV であった。一方で、同図 (b) のように、風下の風車位置を少しずらした場合は、風下風車の電圧が 12.5mV に上がっている。また、同図 (c) のように、風車自体は風に対して直列に

配置しているが、風上風車のヨー角度を変更した場合には、風上風車の電圧は下がるものの、風下風車の電圧は上がっている。表 1 に風上風車・風下風車と合計の電圧を示す。

このように、実際に配置やヨー角度を変えることで、電圧が変動する。ここから合計電圧を見ることにより、どの配置が最適であるのか評価することができる。少し仰々しいが、卓上でできるウインドファームシミュレータとして見ることもできるのではないだろうか。

表 1 風車の配置と電圧

配置	風上[mV]	風下[mV]	合計[mV]
直列	22.5	7.0	29.5
ずらして配置	23.3	12.5	35.8
ヨー角度変更	17.4	14.3	31.7

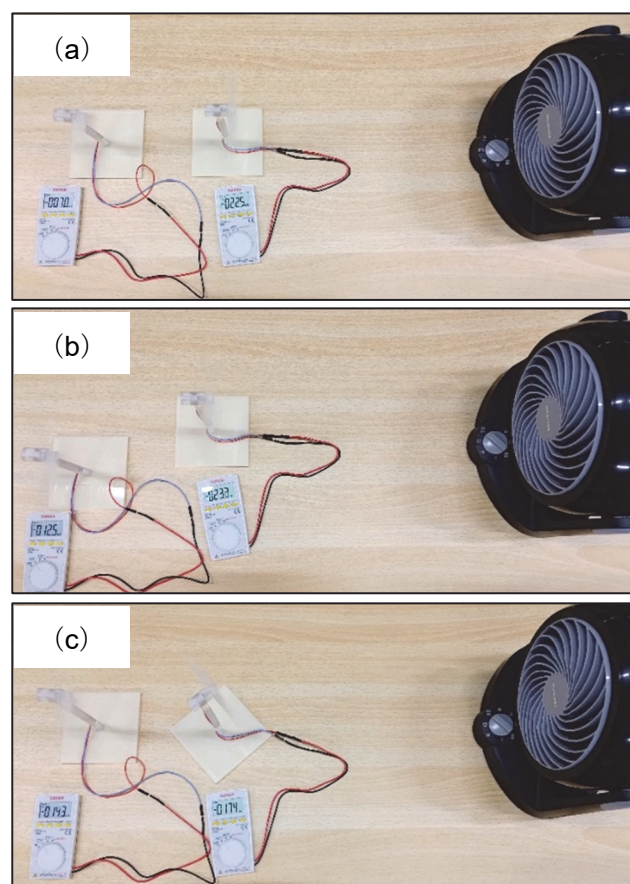


図 6 卓上ウインドファームシミュレータ

- (a) 直列配置 (b) ずらして配置
(c) 風上風車のヨー角度変更

4. おわりに

卓上風車模型の作製は 2020 年頃から始めており、現在まで改良を進めてきた。まだまだ改良できる部分は多く、デモ機として公開する場合は送風機の改良なども考えられる。また、今後は風洞実験でも使用できないか検討中である。

参考文献

- [1] 内田孝紀: 風車ウエイク研究会・最終報告, 風力エネルギー, 47-4, 752-757, 2024.
- [2] <https://riamwind.co.jp/>
- [3] <https://www.takaratomy.co.jp/products/plarail/>
- [4] M. Bastankhah・F. Porté-Agel: Wind tunnel study of the wind turbine interaction with a boundary-layer flow: Upwind region, turbine performance, and wake region, Physics of Fluids, 29, 065105, 2017.

謝辞

卓上風車模型作製の機会を与えて頂いた内田孝紀教授をはじめ、日頃よりサポートいただいている研究室スタッフに厚く御礼申し上げます。また、ブレードデータをご提供いただきました、スイス連邦工科大学ローザンヌ校の Fernando Porté-Agel 先生に感謝いたします。