

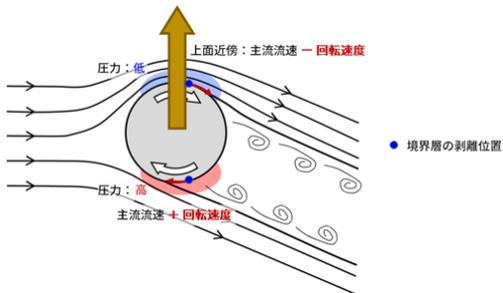
# マグナス効果における風速と力の関係

宮城県仙台第三高等学校

回転している物体に回転軸と垂直な流れが当たると、物体は流れの方向と回転軸に対して垂直な方向に力を受ける。このとき生じた現象をマグナス効果といい、事象の例として野球のカーブボールなどが挙げられる。この現象は物体表面の流体がその粘性により回転に引きずられることで流速および圧力差が生じる事によって引き起こされる。本研究では、モーターと直流電源装置を用いて電子天秤上で円筒形の物体を回転させながら送風機で風を当てることによりマグナス効果が発生させ、電子天秤の数値の変化からマグナス効果による力（以後マグナス力）の大きさを測定した。回転速度と風速を変え、各条件での測定結果を比較したところ、回転速度と風速が大きくなるほどマグナス力は大きくなるという傾向が確認できた。この先は回転させる物体の条件を変更したときの力の大きさの変化を調べたい。

## 1 背景

マグナス効果とは、回転している物体に回転軸に垂直な流れが当たった際に、流れの方向と回転軸に対して垂直な方向に力が発生する現象である。（図1参照）この現象は物体表面の流体がその粘性により回転に引きずられることで流速および圧力差が生じる事によって引き起こされる。



【図1 マグナス効果の概要】

社会での実用例については、株式会社チャレナジーがこの現象を利用して開発している風力発電機が挙げられる（以下マグナス風車）。資料2左側に示されているのが通常使用されている風力発電機、右側に示されているのがマグナス風車である。写真から分かる通り、マグナス風車は独自の形状をしており、プロペラではなく円筒を回転させて発生させたマグナス力でモーターを回して発電する仕組みになっている。

このマグナス風車は台風の中でも発電できるという長所がある一方で、従来の風車型の風力発電機よりも発電効率が劣るといった短所もある。我々は様々な条件下でマグナス力を測定することで、より大きなマグナス力を発生させる方法を調査することを目的に実験を行った。実験1では回転速度と回転体周囲の流速の条件を変更することで力の大きさと回転速度・流速の関係を調べた。実験2では実験1における流体の流れを調べるために風速を調べた。

【図1 風力発電機の形状】

## 2 実験1

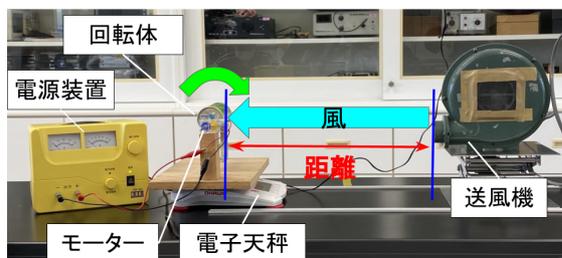
### 1) 準備物

円筒形の物体（図3）、直流電源装置、モーター、送風機、電子天秤

【図3 実験で使用した物体】

### 2) 実験方法

円筒形の物体を電子天秤上で回転させながら送風機から風を当てることによりマグナス効果を生じさせ、電子天秤の値からマグナス力の大きさを計測した。図4はその装置の様子を示したものである。なお、電子天秤の値は絶えず変化し一定の値ではなかったため、電子天秤の表示する値をカメラで毎秒10枚、10秒間撮影し、計100枚の写真に表示されている値の平均値を電子天秤の表示する値として記録した。



【図4 実験装置の様子】

### 3) 変数

変数には以下の2つを設定した。

①回転体と送風機の風口との距離を20cmから80cmまで10cm刻みで変化させ、回転体に当たる風の風速を変化させる。

②直流電源装置の電圧を0V、3V、5Vの3つに設定し、回転体の回転速度を変化させる。  
なお、強い電圧をかけるほど回転速度は大きくなるものとする。

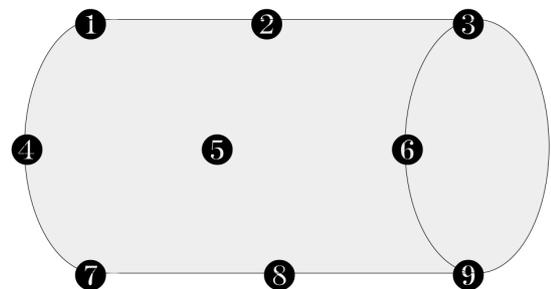
## 3 実験2

### 1) 準備物

円筒形の物体（実験1同様）、送風機、風速計、スタンド

### 2) 実験方法

回転体と送風機の距離を20cmから80cmまで10cmずつ変更し、各距離での図5の9点における風速をそれぞれ計測した。



【図5 送風機側から見た物体】

## 3 結果・考察

### 1) 実験1

実験1の結果は表1のようになった。0V（無回転）の際にも風が当たることによって電子天秤の値が変化するため、3V、5V時の電子天秤の値と0V時の値との差をそれぞれ発生したマグナス力とした。

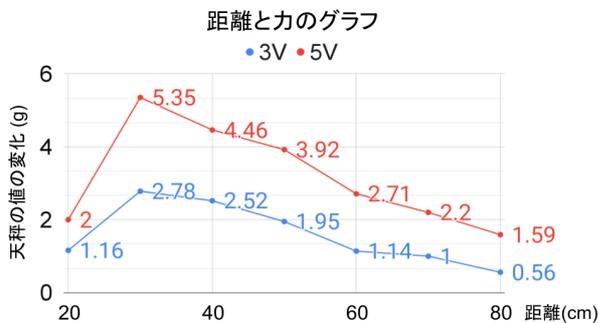
### 回転速度による力の変化

電圧 \ 距離	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm	80cm
①0V	0.98	0.41	-0.89	-1.31	-1.14	-0.67	-0.2
②3V	2.14	3.19	1.63	0.64	0	0.33	0.36
③5V	2.98	5.76	3.57	2.61	1.57	1.53	1.39
3V時のマグナス力	1.16	2.78	2.52	1.95	1.14	1.00	0.56
5V時のマグナス力	2.00	5.35	4.46	3.92	2.71	2.20	1.59

(単位：g)

【表1 回転速度による力の変化】

さらに、表1の下二段の値を用いて横軸に距離、縦軸にマグナス力をとってグラフを作成した。(グラフ1)



【グラフ1 風口からの距離と発生したマグナス力の大きさ】

グラフ1より、30cm時にマグナス力が最大になり、30cmから80cmにかけては減少傾向が見て取れる。一方、20cmのみ全体の傾向から外れた結果が得られた。また、どの距離においても5Vの方が力が大きくなるということがわかった。

### 2) 実験2

実験2の各距離での各点における風速は下のグラフ2のようになった。

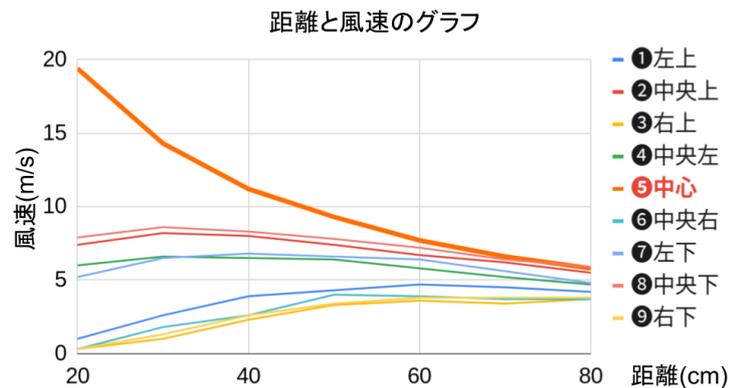
グラフから物体と送風機の距離が大きいほど風は一樣になり、小さいほどそのばらつきは大きくなることがわかる。また、中心が他の点と明らかに傾向が違うことが見て

取れる。さらに、グラフ2の⑤中心の値を横軸に、力の大きさを縦軸にとり、グラフ3を作成した。(グラフ3)

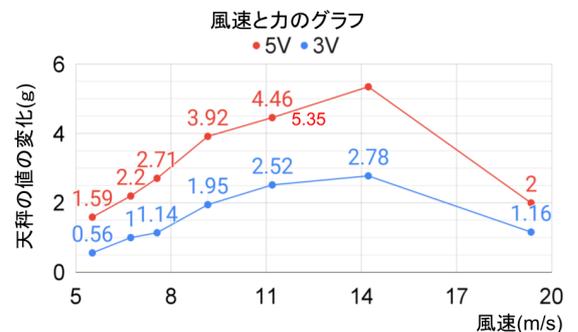
### 3) 考察

結果1・2から回転速度と風速が大きくなるほどマグナス力も大きくなると考えられる。他の点の傾向から大きく異なった20cm時の結果については次のように考察した。

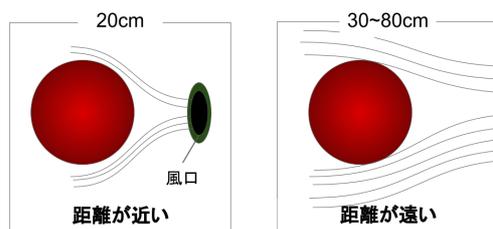
グラフ2から20cm時の風にはばらつきが最も大きいことがわかる。周囲の流れが一様ではなかったことが、予想されるマグナス効果が十分に発生しなかった原因であると考えられる(図6参照)。



【グラフ2 風口と物体の距離と風速の相関】



【グラフ3 風速とマグナス効果の相関】



【図6 風の当たり方の差】

#### 4 展望

今回の実験では回転速度と流速しか変化させることができなかった。今後の研究では、次のような条件を設定したいと思う。

- ①回転させる物体の形状を変える
- ②回転させる物体の表面に突起または溝をつける
- ③回転させる物体の質量を変える
- ③流体の湿度を変える

また、これらの条件を変化させての実験には以下のような実験装置の改善点が挙げられる。

- ①回転させる物体の質量が異なってくるため回転速度を電圧で管理するのではなく、実際に物体の回転速度を計測する
- ②高質量の物体を回転させる際の振動の影響を小さくするための装置全体の重量化  
(今回の実験では微小な振動のため無視することができた)
- ③天秤の数値をより安定させるため、風が天秤に直接当たらないようにより高い位置で物体を回転させる

上記のような方法で物体やそれを取り巻く環境を変化させ、より大きなマグナス力を得られる条件を見つけられれば、将来的により効率の良いマグナス発電に応用できる可能性もある。持続可能なエネルギー源の確保が重要な課題となっている我が国で

は、将来の有用性が十分に期待できる研究だろう。

#### 5 参考文献

- 1) ENERGY FRONTLINE 台風をエネルギーにかえる！「垂直軸型マグナス式風力発電機とは？」

[https://ene-fro.com/article/ef69\\_a1/](https://ene-fro.com/article/ef69_a1/)

- 2) 株式会社チャレナジー

<https://challenergy.com/product/>

- 3) 資料・画像出典

#### 【図1 マグナス効果の概要】

東京工業大学・九州大学・慶應義塾大学  
合同研究チーム（代表 青木尊之）  
『フォークボールの落ちる謎をスパコンで解明』  
(最終閲覧 2022.7.19)

<https://www.titech.ac.jp/news/2021/049312>

#### 【図2 風力発電機の形状】

##### 左図：マグナス風車

「マグナス風車」実用に向けて連携、  
チャレナジーと日鉄エンジ  
(2019.6.3 日経XTECH)  
(最終閲覧 2022.7.19)

<https://xtech.nikkei.com/dm/atcl/news/16/060312246/>

##### 右図：通常風車

超大型風車が5MWの電力を作る、  
回転直径136mで暴風にも耐える  
(2016.9.13 スマートジャパン)  
(最終閲覧 2022.7.19)

<https://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1609/13/news034.html>