

風の角度によるプロペラ型風車の電力損失

愛知県立一宮高等学校

物化部 風力発電班

2年 阿部叶弥 野町信武

ヨー制御とピッチ制御

<ヨー制御>

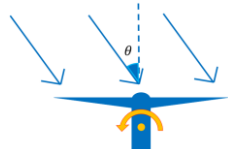


Fig.1 ヨー制御の平面図

風向きは時間によって変動

プロペラ型風車はヨー制御
(水平方向の回転制御)により
回転面を風に対して正対(Fig.1)

<ピッチ制御>

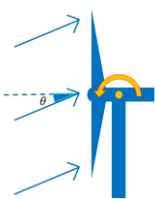


Fig.2 ピッチ制御の側面図

- 鉛直方向のピッチ制御は行われていない(Fig.2)
- 風の傾斜角(Fig.3)も時間によって変動(Fig.4)

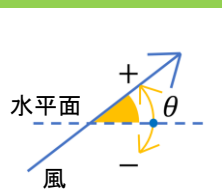


Fig.3 風の傾斜角 θ

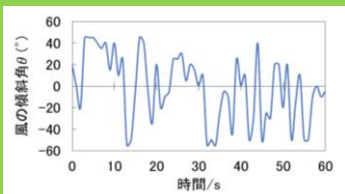


Fig.4 風の傾斜角 θ の変化 (菱川, 2018)
地上2m、周囲5m以内に建物なし

既往の発電量推算式

θ : 風車の回転面と風が成す角

風向きの変化

$|\theta| \leq 60^\circ$: 発電量 P は $\cos^3 \theta$ に比例(林ら, 2018)

風の傾斜角の変化

$|\theta| \leq 10^\circ$: 発電量 P は $\cos^3 \theta$ に比例(吉田ら, 2005)

目的

$|\theta| > 10^\circ$ を含む風の傾斜角 θ を考慮した発電量 P の定式化

発電量推算における風の傾斜角の影響

中型・大型風車

地上での風の乱れの影響を受けにくい

およそ $|\theta| \leq 10^\circ$

発電量 P が $\cos^3 \theta$ に比例するため
発電量を推算できる(吉田ら, 2005)

小型風車

地上での風の乱れの影響を受けやすい

$|\theta| > 10^\circ$ の場合も含めた発電量 P の定式化が必要

風の傾斜角と発電量の関係

θ : 風の傾斜角 P_0 : $\theta = 0^\circ$ における発電量
 P : θ を考慮した発電量 C_p : パワー係数 ρ : 空気密度
 A : 受風面積 V : 風速 v : 電圧 R : 抵抗

<風の傾斜角 θ を考慮しない場合>

$$P_0 = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \dots (1) \quad (\text{日本電気技術者協会, 2007})$$

<風の傾斜角 θ を考慮した場合>

Fig.5から風車の回転面に垂直な方向の風速は $V \cos \theta$ であり、式(1)より

$$P = P_0 \cos^3 \theta \dots (2)$$

また、発電量 P は電圧 v と抵抗 R を用いると式(3)で表される

$$P = \frac{v^2}{R} \dots (3)$$

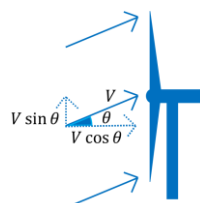


Fig.5 風のベクトル分解

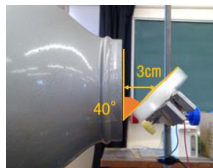
仮説

- θ によらず発電量 P は式(2)で推算可能
- Fig.5の $V \sin \theta$ は発電量 P と無関係

風の傾斜角による発電量の変化

<風の傾斜角と発電量の関係の評価>

- ①風車を風速6.7 m/sの風に対して垂直に設置
- ②-60°から60°まで10°刻みで風車を傾けて風の傾斜角 θ とした(Fig.6)
- ③電圧をオシロスコープで2分間測定



< $V \sin \theta$ と発電量の関係の評価 > Fig.6 $\theta = 40^\circ$ の実験の様子

- ①風車を風に対して垂直に設置
 - ② $0^\circ \leq |\theta| \leq 60^\circ$ まで10°刻みの各場合における風速 $V \cos \theta$ の風を風車にあてた
 - ③電圧をオシロスコープで2分間測定
- ・式(3)から発電量を算出
 - ・データは1秒あたり5回測定($n = 600$)

<実験結果>

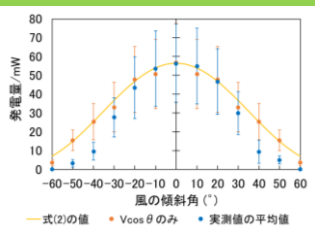


Fig.7 風の傾斜角と発電量の関係
エラーバー=標準偏差 ($N = 3$)

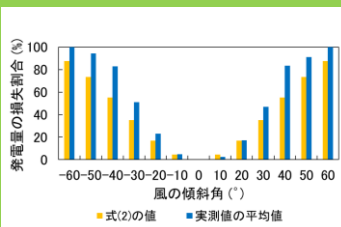


Fig.8 風の傾斜角と発電量の損失割合の関係 ($N = 3$)

- ・ $|\theta| = 50^\circ$ のとき自己起動しなかった場合は手で初速を与えて回転させた
- ・ $|\theta| = 60^\circ$ のときは初速を与えても回転しなかった

<考察>

式(2)による発電量の推算精度を表すために式(4)の絶対パーセント誤差(APE)をFig.9に示した

$$APE(\%) = \frac{|\text{推算値} - \text{実測値}|}{\text{推算値}} \times 100 \dots (4)$$

- ・ $|\theta| \leq 20^\circ$ のときAPEは10%未満

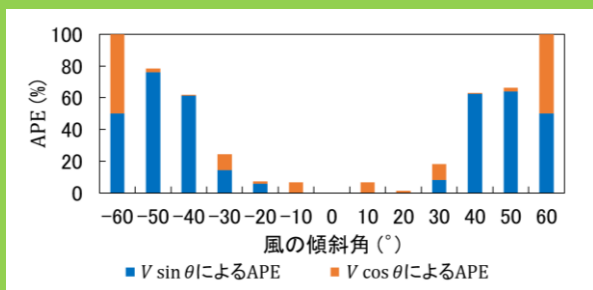


Fig.9 風の傾斜角とAPEの関係

- ・ $|\theta| = 60^\circ$ のとき風車が回転しなかった
- ・APEが風の傾斜角の増加に伴って増加(Fig.8)
- ・ $|\theta| = 40^\circ, 50^\circ$ のときAPEに占める $V \sin \theta$ の影響割合が大きい

式(2)は誤り、 $V \sin \theta$ は発電量に影響

風レンズによる整流

<風レンズ風車>

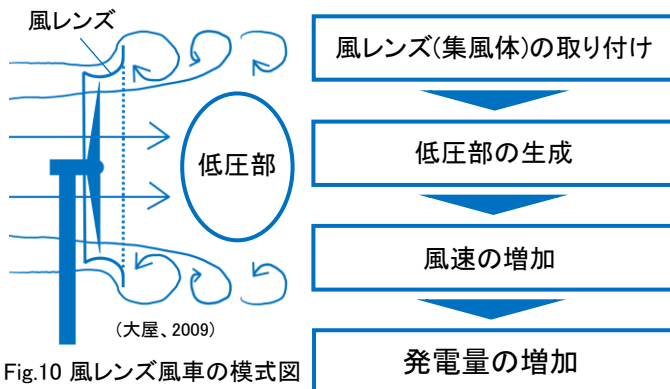


Fig.10 風レンズ風車の模式図 (大屋、2009)

<風レンズによる整流>

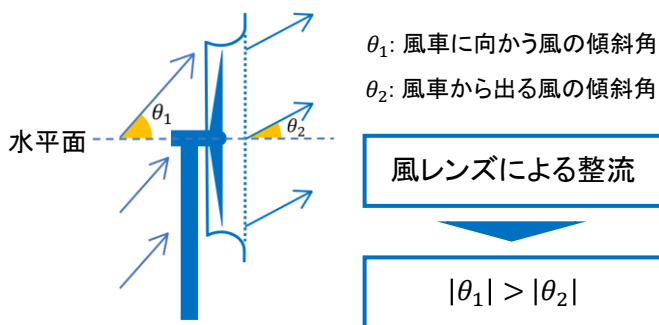


Fig.11 風レンズによる整流

<実験方法>

- ①風レンズ風車を3Dプリンタを用いて作成 (利光ら、2010)
- ②風の傾斜角と発電量の関係の評価と同様に $-60^\circ \leq \theta_1 \leq 0^\circ$ における風レンズありの発電量 P' を測定し、風レンズなしの発電量 P と比較



Fig.12 $\theta_1 = -20^\circ$ の実験の様子

<実験結果>

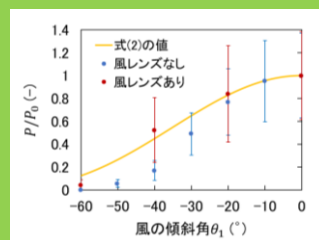


Fig.13 P_0 で無次元化した発電量 P および P'

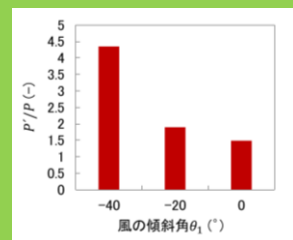


Fig.14 P で無次元化した風レンズありの発電量 P'

$V \sin \theta$ の影響が減少したことが示唆された

今後の展望

線香を用いた風の流れの可視化

$V \sin \theta$ がAPEに影響を与える原理の解明

風レンズによる整流の解明