

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

要旨

風の傾斜角の変動に応じたピッチ制御をおこなう風車はない。風の傾斜角と発電量の関係について実験をおこなったところ、既往の発電量推算式と比べて発電量が小さい結果となった。それには既往の推算式では考慮されていない回転面に平行な速度成分が関わっていることが明らかになった。また、風レンズによる整流が示唆された。

1. 研究背景・目的

風力発電で主流のプロペラ型風車は風向きの変化に応じて風車を風に正対させるために水平方向の回転制御であるヨー制御をおこなっている(Fig.1)。風の傾斜角(Fig.2)も変化しているが(Fig.3)、鉛直方向のピッチ制御はおこなわれていない(Fig.4) [1]。

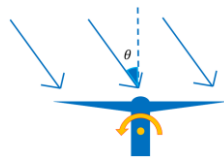


Fig.1 ヨー制御の平面図

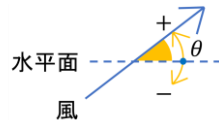


Fig.2 風の傾斜角

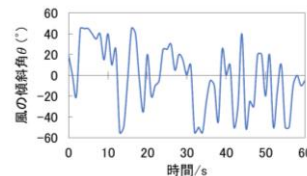


Fig.3 風の傾斜角 θ の変化 [1]

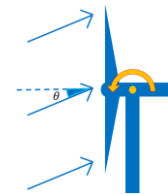


Fig.4 ピッチ制御の側面図

風車の回転面と風が成す角を θ とすると、風向きの変化に対しては $|\theta| \leq 60^\circ$ の範囲では、発電量 P が $\theta = 0^\circ$ での発電量 P_0 を用いて式(1)で表されることが明らかになっている(Fig.5) [2]。

$$P = P_0 \cos^3 \theta \dots (1)$$

風の傾斜角の変化に対しては $|\theta| \leq 10^\circ$ の範囲では、発電量 P が式(1)で表されることが明らかになっている [3]。

中型風車や大型風車は地上での風の乱れの影響を受けにくいため

およそ $|\theta| \leq 10^\circ$ となり、式(1)で発電量を推算できる [3]。しかし、小型風車は地上での風の乱れの影響を受けやすいため Fig.3 に示したように $|\theta| \geq 10^\circ$ となる場合もある。

本研究では $|\theta| \geq 10^\circ$ の場合を含む風の傾斜角 θ を考慮した発電量 P の定式化と風レンズを用いた整流を試みる。

2. 実験方法

風車を風速6.7 m/sの風に対して垂直に設置した。 -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)。また、Fig.5の $V \sin \theta$ が発電量に影響しないことを確認するために風車を風に対して垂直に設置し、 $0^\circ \leq |\theta| \leq 60^\circ$ 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。電圧をオシロスコープで2分間測定した。データは1秒あたり5回測定した($n = 600$)。

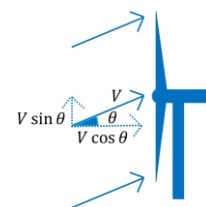


Fig.5 風のベクトル分解

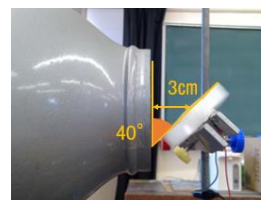


Fig.6 $\theta = 40^\circ$ の実験の様子

3. 実験結果

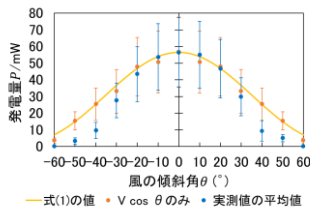


Fig.7 風の傾斜角 θ と発電量 P の関係
($N = 3$)

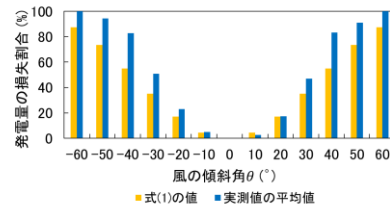


Fig.8 風の傾斜角 θ と発電量の損失割合の関係 ($N = 3$)

$|\theta| = 50^\circ$ のとき手で初速を与えて回転させた. $|\theta| = 60^\circ$ のとき初速を与えても回転しなかった.

4. 考察

式(1)による発電量の推算精度を表すために式(2)の絶対パーセント誤差(APE)を Fig.9 に示した.

$$APE(\%) = \frac{|\text{推算値} - \text{実測値}|}{\text{推算値}} \times 100 \dots (2)$$

$|\theta| = 60^\circ$ のとき風車が回転しなかったことや

$|\theta| = 40^\circ, 50^\circ$ のときAPEに占める $V \sin \theta$ の影響割合が大きいことから式(1)は誤りであることが明らかになった.

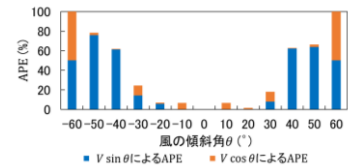


Fig.9 風の傾斜角 θ と APE の関係

5. 風レンズによる整流

九州大学で開発された風レンズという集風体で風車を囲うことで風車後方に低圧部が生成され、風速が増加することで発電量が増加する [4]. 風レンズにより整流できると考えた.

6. 実験方法

風レンズ風車を 3D プリンタを用いて作成した [4]. 最初の実験と同様に $-60^\circ \leq \theta_1 \leq 0^\circ$ における風レンズを取り付けた風車の発電量 P' を測定した($N = 3$).

7. 実験結果

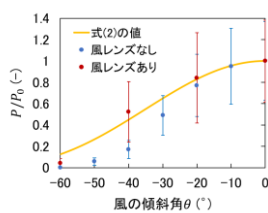


Fig.10 P_0 で無次元化した発電量 P および P'

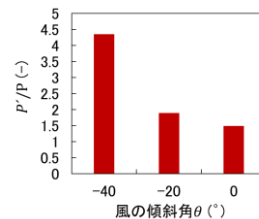


Fig.11 P_0 で無次元化した発電量 P'

Fig.10,11 から風レンズによる整流が示唆された.

8. 参考文献

1. 菱川雄太. 風は地面に対して何度で吹いているか. 一年課題研究論文集 p.121-125: 愛知県立一宮高等学校, 2018.
2. 林駿木綿隆弘,河野孝昭. 小型風車の性能に及ぼすヨー角度とせん断流の影響. 風力エネルギー利用シンポジウム 40 巻 p.381-384: 2018.
3. 吉田茂雄加藤裕司,小野勉. 複雑地形における推算精度を向上させる三次元的発電量解析法. 風力エネルギー29 巻 2 号 p75-83: 2005.
4. 利光和彦菊川裕規,佐藤浩平,細井貴己,松崎純平,三浦剛. 風レンズの定常および非定常特性に関する研究. 大分工業高等専門学校紀要 47 巻 p.1-7: 大分工業高等専, 2010.