

## ドローンを用いた風車近傍乱流構造推定手法開発

日大生産工(学部) ○坂口 雄大 日大生産工 佐々木 真 九州大・医学研究院 荒川 弘之  
中部大・国際GISセ 杉田 暁 九州大・基幹教育院 山田 琢磨

## 1. まえがき

近年、地球温暖化等の問題により、クリーンエネルギーが注目されている。特に風力発電は、自然への影響を最小限にすることができるため、その発電効率の向上は喫緊の課題である。

風車ウェイクとは、風車後方に発生する風速の減速域のことであり、風速や風向が時間的・空間的に変化する。そのため、ウィンドファームなどでは、前方の風車ウェイクによって後方風車の発電効率の低下などが課題となっており、ウェイク構造の実測は重要な問題である。しかしながら、風車近傍に風力計を常設することが難しいため、近年ではドローンによる計測の可能性が指摘された。

本研究では、風車のウェイクの計測、手法の開発を行う。本報告では乱流シミュレーションによって得られた結果について報告する。

## 2. 提案手法

ドローンによる風況場計測方法<sup>(2)(3)</sup>も提案され、その計測特性も報告されている。その特性もふまえて、複数機のドローンを用い、実際の風車ウェイクを計測し、乱流シミュレーションから得られた模擬データとの比較によって、実際の乱流挙動や風速の変化などを解析する。模擬データは、直径88mの風車に風速8m/sの風が吹いたときの風車ウェイク<sup>(1)</sup>を解析対称とし、ドローンによる計測模擬を行った。また、ドローンで計測できる周波数と模擬データとの誤差率も最大で10%ほどであることが解析によりわかったため、十分に風車ウェイクを測定することができると思う。

## 3. 実験結果および検討

風車前方から風車方向に吹いた風は、風車のブレードの回転によって縦方向、横方向、奥行方向の三次元に分解されると考えられる。この三次元の風を解析することで、風車ウェイクの乱流構造を推定することができると思う。以降の解析では奥行方向の風を $u$ 、それに垂直な

方向をそれぞれ $v$ 、 $w$ と表す。

まずは、解析した乱流の構造について述べる。Fig.1は、ある時間での風車面に平行な二次元面で、縦方向の風 $w$ 、横方向の風 $v$ をベクトルで

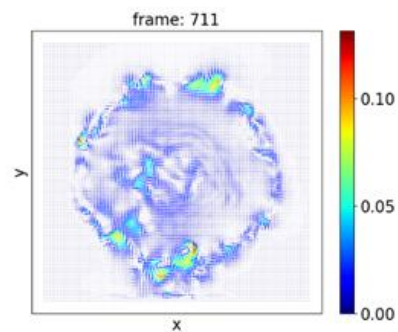


Fig.1 風車に平行な面での風のベクトル場 (色は強度、矢印は風のベクトル)

表したものである。図からわかるように風車

のブレードの先端、つまり円周上のベクトルが強くなっており、上部に比べ下部の方が5%~10%ほど強くなっていることがわかる。これは、ブレードの回転によって発生する風速度差が円周上で最も大きくなるためである。下部の風が強くなっている理由としては、上部は風が空中に拡散していくのに対して下部は、地表によって風が拡散されず地表から反射された風がウェイク構造にぶつかるため、上部よりもさらに複雑な乱流挙動を引き起こしていると考えられる。

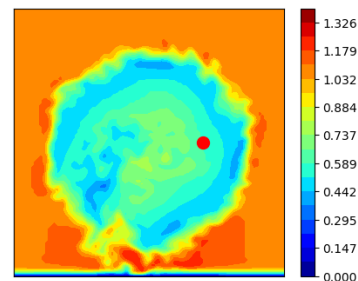


Fig.2 風車面に平行な面における奥行方向の風のスナップショット

Development of a Method for Estimating Turbulent Flow Structure Near Wind Turbines Using a Drone  
Yudai SAKAGUCHI, Makoto SASAKI, Satoru SUGITA,  
Hiroyuki ARAKAWA and Takuma YAMADA

Fig.2は、風車後方の奥行方向の風を等高線カラーマップ表示したものである。図より、風車に流入する風を1としたとき、乱流内部ではおよそ0.6~0.7くらいになっているため、風車後方では風車前方の風の60%~70%程度になると考えられる。

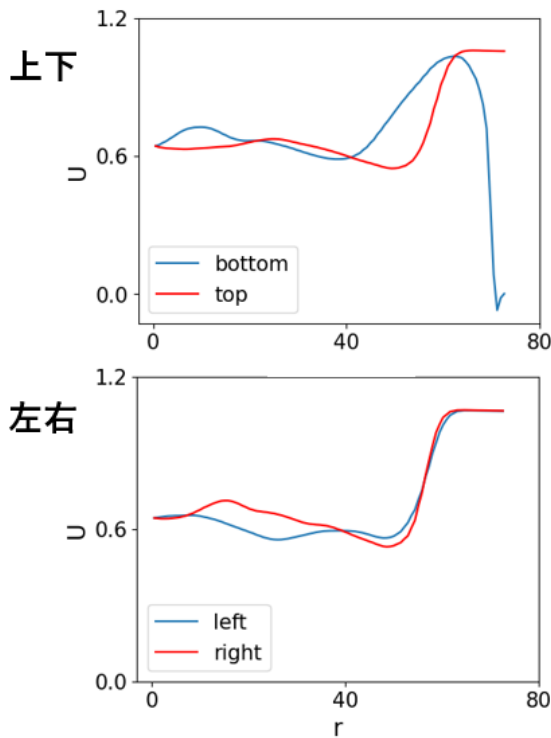


Fig.3 速度の時間平均分布  
(上図:上下の風、下図:左右の風)

次に、風車後方の時間平均した風構造について述べる。Fig.3は、Fig.2の風を円の中心から上下左右に速度の時間平均分布をとったものである。上図が上下の風、下図が左右の風をそれぞれプロットしたものである。図より、中心に近い場所では0.6だが、風車ブレードの半径を越えると風速が1になり、その後下のみ急激に風速が下がり、地表で0になっていることがわかる。このことから、円になっている乱流構造は一見対称に見えるが、上下には非対称性があると考えられる。

また、これらの結果は風車から一定の距離が離れた地点でのシミュレーションで得たものであり、風車からの距離によって変化する風車ウェイク構造は目下解析中である。

#### 4. ドローン実機を用いた測定計画

実験方法については使用するドローンや計測をさせていただく風車の風速などによって異なるため、測定方法のみ示す。

ドローンにはログデータを保存する機能があり、そのログデータには前後方向、左右方向からの風速が含まれており、上下方向については、ドローンの風に対し機体を垂直に向ける特性を利用し、機体角度から求めることができるため、ドローンによって風車ウェイクを測定することが可能であると考えられる。また、ドローンの応答速度は10Hzまでだが、Fig.5より一般的な風車の動作内であれば十分測定可能であると考えられる。以上を踏まえ、実際の計測では風車前方に流れてくる風の計測を行うドローン、上下の非対称性または左右の対称性を計測するために中心から円周方向に計測するドローン二機、風車からの距離による風車ウェイクの変化を計測するため、風車近傍から遠方に動くドローンの計四機を想定している。

#### 5. まとめ

ドローンによる風車近傍乱流構造計測のため、乱流シミュレーションのデータ解析を行った。これまでの成果により風車ウェイクは、前方の風に対して30%~40%ほど風速を減衰させ、上下に非対称性を持つ乱流構造であることが明らかになった。また、円周上と円内部には支配的な周波数にも違いがあることが明らかになった。ポスター発表にて、前述した測定方法による実際の測定を行い、ドローンで計測したデータの解析やシミュレーションデータとの差分などを論述する。

#### 参考文献

- 1) Takanori Uchida, and Yves Gagnon, "Effects of Continuously Changing Inlet Wind Direction on Near-to-Far Wake Characteristics Behind Wind Turbines Over Flat Terrain", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 220rd, (2022) p.104869.
- 2) 松浦孝, ドローンを用いた直接大気風速測定のための応答性評価 修士論文(島根大学) (2022)
- 3) 牧山秀介, ドローンによる風車近傍の乱流計測 卒業論文 (2022)