

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した 三次元風向風速計測装置の開発

大成学術財団 研究助成（2024～2025年度）成果報告
北海道大学大学院 工学研究院 川村 洋平

研究背景



風力発電の適地選定

- ・洋上風力の案件形成目標：2040年までに**3,000万～4,500万kW**
- ・風車のブレードは地表から**数十m上空**にあり、地表での計測では正しい風況が得られない
- ・山間部・洋上では事前の風況計測そのものが困難



ドローン運用の安全性

- ・建設・インフラ点検・農業・災害対応で活用が急拡大
- ・局所的な風向・風速が**安全運用と作業品質**を左右する
- ・従来は固定式風速計や専用センサに依存し、**コスト・設置・可搬性**に課題

飛行空域の**三次元風況**を**簡便・低コスト**に計測する手段がない

出典：洋上風力産業ビジョン（第1次）、2020年12月

着想とコンセプト



着想：**風の強い日はドローンのバッテリー消費が大きい**
→ 機体は風に「抵抗」している



風（外乱）



1. 風を受ける 向かい風・横風などの外乱
2. 機体が自動で補正 姿勢角（ピッチ・ロール）とモーター出力を調整
3. フライトログに記録 補正の履歴がミリ秒単位で標準保存
4. 逆解析で風を推定 記録から風向・風速を逆算

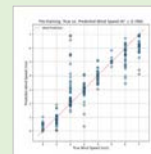
ドローン自身を「飛行する風速計」に
追加ハードウェア不要、市販機＋ソフトのみ

研究の全体像

目標：市販ドローン＋ソフトウェアで三次元の風向風速を計測・可視化する

STEP 1 理論の確立

風洞実験



制御された風の中で機体応答と風との関係を定量化し、基礎物理モデルを構築

STEP 2 現場への応用

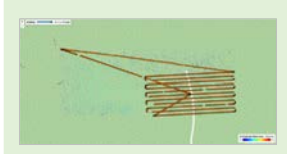
屋外実証実験



北海道福島町の漁港で飛行し、三次元の風況マップを作成

STEP 3 社会実装

アプリケーション



フライトログから風況マップを自動生成し、誰でも使える形に

推定の原理：機体の応答

STEP1 風洞実験

風を受けたときの自律安定化制御

向かい風

機体を前に傾ける
(ピッチ角増加)
モーター出力を上げる

追い風

ピッチ角・出力が向かい風と
逆向きに変化

横風

風上側へ傾く (ロール角発生)
推力を微調整して流されないよう
保持

フライトログの特徴量 (区間平均)

pitch_mean 平均ピッチ角

roll_mean 平均ロール角

power_mean 平均電力 (電流×電圧)

hspeed_mean 平均対地水平速度

機体の応答は、風という外力に抵抗した「記録」そのもの
→ 応答 (原因の結果) から風 (原因) を機械学習で逆推定する

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

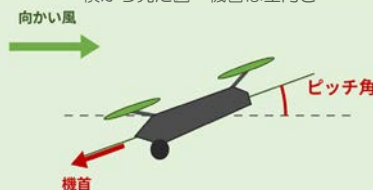
5

姿勢角 (ピッチ・ロール) とは

STEP1 風洞実験

ピッチ角 (前後の傾き)

横から見た図 機首は左向き



向かい風: 機首を下げて前方へ傾く
風が強いほど傾きと出力が大きくなる

ロール角 (左右の傾き)

後ろから見た図 機首は奥向き



横風: 風上側へ傾いて流されるのを防ぐ
傾きの向きが風向、大きさが風速を反映

風を受けたドローンは姿勢角を変えて抵抗する
→ 傾きの向きと大きさが、風向と風速を映している

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

6

風洞実験の概要

STEP1 風洞実験



北海道大学 風洞実験室の測定部と実験機体
(DJI Mavic 3 Thermal)



大型環流風洞
測定部
1.8×1.8×5.0 m
最大風速 70 m/s

使用機材	DJI Mavic 3 Thermal (M3T)
実験施設	北海道大学 風洞実験室 (大型環流風洞)
風速条件	0~7 m/s、1 m/s刻み (8段階)
風向条件	正面0°・右90°・後方180°・左270° の4方位
飛行方法	風洞中心軸に沿った往復飛行 (ホバリングではなく動的飛行)
データ	安定区間を抽出し 1,211点 のデータセグメント



ノイズが少ない教師データ
→ 風と機体応答の物理的関係を学習

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

7

機械学習モデル

STEP1 風洞実験

入力 (4特徴量)

pitch_mean
(ピッチ)
roll_mean
(ロール)
power_mean
(消費電力)
hspeed_mean
(水平速度)



向かい風成分モデル

ランダムフォレスト
(決定木100本)



横風成分モデル

ランダムフォレスト
(決定木100本)

ベクトル合成
↓
風速・風向

ランダムフォレストを採用した理由

- 他手法 (CNN) と比較し最も高精度
- 非線形関係に対応でき、過学習に強い

データ分割 (全1,211点)

学習用 80%

検証 20%

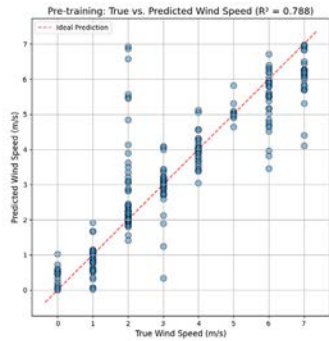
検証用は学習に一切使わない未知データ

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

8

風洞実験の結果

STEP1 風洞実験



風速の実測値（横軸）と予測値（縦軸）
赤破線： $y=x$

風速：決定係数 R^2

0.789

変動の約79%を説明

風速：RMSE

0.99 m/s

誤差 約±1.0 m/s

風向：円環決定係数 R^2

0.758

風向：円環RMSE

38.7°

4方位・8方位を概ね識別

標準センサだけで風を「読める」ことを実証
→ 基礎物理モデルを確立

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

9

現場での実証実験

STEP2 現場実証



実施地点：北海道松前郡福島町 吉岡漁港付近



実証実験の様子

DJI Mavic 3T
重量：920 g
GNSS：GPS+Galileo
+BeiDou



実施日	2024年7月30日
場所	北海道松前郡福島町
飛行	標高 約25 m・約40 mの2回
飛行時間	約12.5分・約13分
天候	晴れ
地上風況	風速 約2~4 m/s、西北西

市販機そのまま実フィールドの
風況を取得
→ 三次元空間への展開を検証

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

10

風況の解析と三次元補間

STEP2 現場実証



実際の飛行経路（往復飛行）



補間範囲（黄枠内）

運動方程式

$$m a = T - F_d$$

T：推力（プロペラ回転数と
ピッチ角・ロール角から算
出）

F_d ：抗力（ $\frac{1}{2} \rho C_d A v^2$ ）

①理論速度

運動方程式を積分し
風が無い場合の
機体速度を算出

②風速ベクトル

実測速度との差から
各地点の水平風
を算出

③空間補間

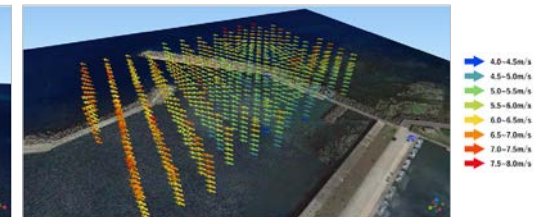
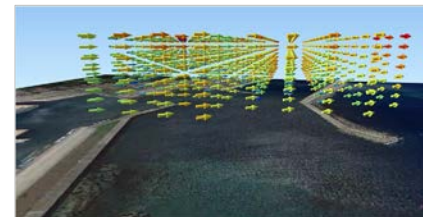
25~40 m間を逆
距離加重法（IDW
）で補間

④三次元可視化

GISで地図上に矢
印マッピング

三次元風況マップ

STEP2 現場実証



- 矢印の向き＝風向、色＝風速（青：弱 → 赤：強）
- 測定地点周辺の風向の特性や、どこで風が強まるかが一目で分かる
- 市販ドローンのログだけで三次元マッピングシステムを構築

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

11

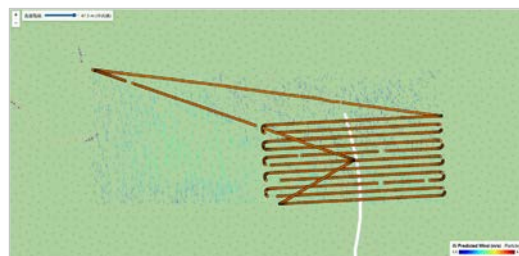
ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

12

風況マップアプリケーション

STEP3 社会実装

- 1 **データ取得**
現場で通常どおり飛行し、フライトログを保存
- 2 **データ入力**
フライトログ (CSV) をアプリに読み込む
- 3 **風況推定**
構築したモデルで各時刻の風向・風速を算出
- 4 **可視化**
飛行経路上のヒートマップをHTMLで出力



生成される風況マップ（スライダーで高度を切替、色で風速を表示）

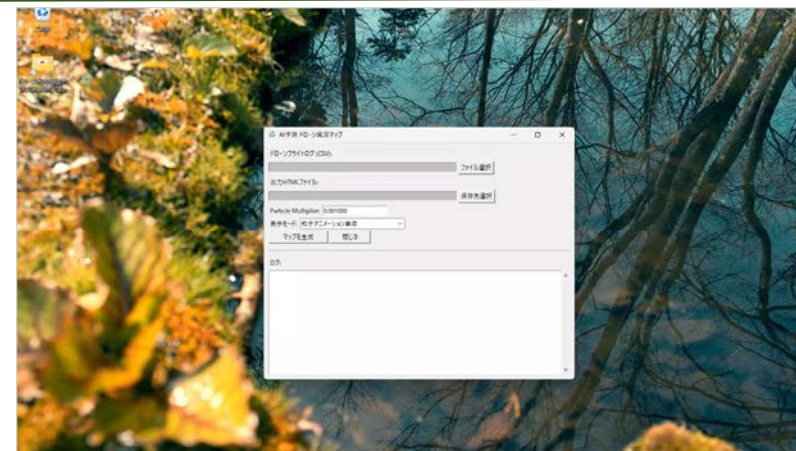
追加センサ不要
飛行後わずか数分で空域の風況を把握

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

13

アプリ操作デモ

STEP3 社会実装



フライトログの読み込み → 風況推定 → 風況マップ表示

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

14

本技術の活用先



**風力発電の
適地選定**

ブレード高さ（地表数十m）の風況を事前に面的に把握



**ドローンの
安全運用**

強風時の自動警告・帰還判断に活用



**自律飛行の
高度化**

風を考慮した飛行経路の補正



**インフラ点検・
建設**

作業可否の判断、飛行品質の事後評価



農業・災害対応

散布や捜索時の現場風況の把握



気象観測網

既存ドローン活用による低コスト・高密度な観測

追加ハードウェア不要→

既存のドローンにソフトウェアだけで即時適用可能

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

16

まとめ

STEP1

理論の確立

基礎物理モデルを構築
(風速 $R^2=0.789$ 、RMSE=0.99 m/s)

STEP2

現場への応用

福島町での実飛行から三次元風況マップを作成

STEP3

社会実装

フライトログから風況マップを数分で自動生成するアプリを開発

ドローン自身を「飛行する風速計」とする計測手法を
理論 → 応用 → 実装まで一貫して構築した

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

17

謝辞

本研究は、一般財団法人 大成学術財団の研究助成
(2024~2025年度)を受けて実施しました。
ここに記して深く感謝申し上げます。

共同研究者：岡田 夏男（北海道大学大学院 工学研究院 助教）

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

18

今後の展望



実環境への適応

風洞で得た基礎物理モデルを現場データ
で検証・再学習し、突風や乱流を含む実
環境での精度を高める



垂直方向への拡張

水平方向に加え、鉛直方向の風成分の計
測・解析を行う



最適航路の自動設定

目標：30分以内に60,000 m³の空間の
三次元風況を計測・可視化



自動定時計測

自動離発着・充電で定時に計測し、風況
の時間変動・季節変動を捉える

ドローンの姿勢制御パラメータを活用した三次元風向風速計測装置の開発

19