

令和5年度兵庫県・NIRO ドローン社会実装促進実証事業  
第3回有識者会議  
2024年3月18日

# 風況アラートによる ドローン飛行判断の自動化に向けた実証 最終報告

一般財団法人日本気象協会



## ドローン飛行時の気象情報の現状とニーズ

## 現状

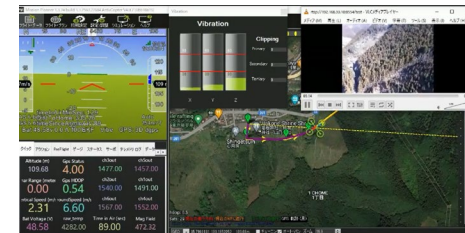
(一般的な)天気予報を見て、  
実施判断

| 日時        | 天気   | 気温      | 降水確率 | 降水量  |
|-----------|------|---------|------|------|
| 05月15日(月) | 晴時々雨 | 22℃ 17℃ | 60%  | 9mm  |
| 05月16日(火) | 晴時々曇 | 24℃ 16℃ | 20%  | 0mm  |
| 05月17日(水) | 晴時々曇 | 26℃ 17℃ | 40%  | 0mm  |
| 05月18日(木) | 曇のち雨 | 24℃ 19℃ | 70%  | 1mm  |
| 05月19日(金) | 雨のち晴 | 20℃ 19℃ | 90%  | 24mm |

地上にて風速を観測して、  
目視で天候を確認して、飛行判断  
→ 上空の気象情報は不明



ベテランの操縦者が、  
経験に基づき、飛行継続判断  
→ 上空の気象情報は不明



数日前

前日

当日

数十分前  
【離陸直前】リアルタイム  
【飛行時】

## ニーズ

精度が高い、地上と上空の予測情報  
→ 実施判断

× : 代替の配送手段を手配、  
注文の停止など

## 本実証のターゲット

精度が高い、地上と上空のリアルタイム情報  
→ 飛行判断

× : 経路や飛行時間の変更など  
飛行中であれば、退避(着陸)

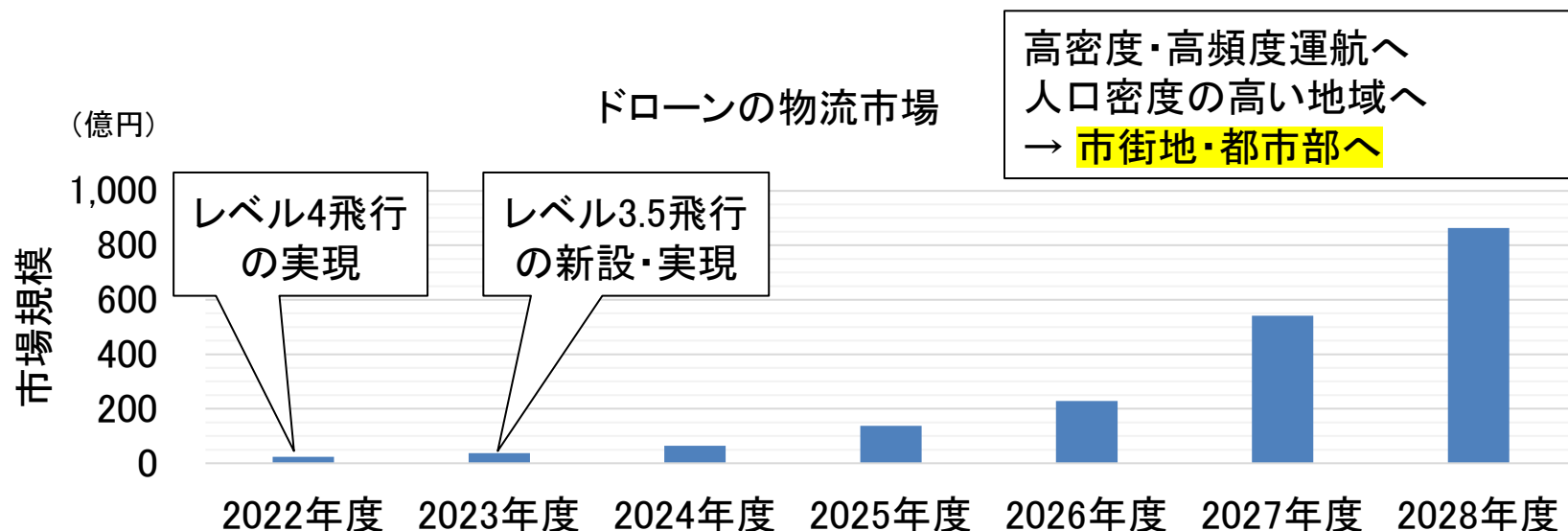
自動で判断

## ■ 目的

風況アラートを開発・実装することにより、  
ドローン操縦者の経験に頼らない気象判断を可能とし、  
ドローンの高密度・高頻度運航を、安全で効率的に実現して、  
ドローン市場の発展に貢献する

## ■ 実施内容

- ・ 風況アラートの開発・実装
- ・ 風況アラートを用いた実証実験
- ・ 風況アラートの検証





日本気象協会

- ・全体統括
- ・実証計画策定
- ・風況アラート開発・実装・検証
- ・気象観測



イームズロボティクス

- ・ドローン運航管理
- ・飛行許可申請
- ・風況アラートの利用



神戸学院大学

- ・実証フィールド提供

## 風況アラートの仕組み

### 既存技術

IoT小型気象センサー



設置した地点(地上)の風況などを観測

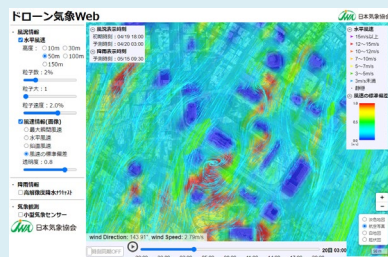
10秒更新

観測値

1時間更新

予測値

日本気象協会独自風況予測



地上と上空の風況を面的に予測

### 本実証で実装・検証

ドローン



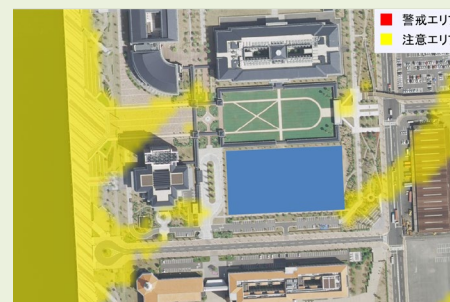
機体の  
性能

風況の推定値  
(風速、風の乱れ)

風況  
アラート

1分更新

風況アラート WEB画面



センサーによる観測地点以外の風況も面的に推定し、リアルタイムで、飛行リスクの高い地点を確認する。

## 実証フィールド

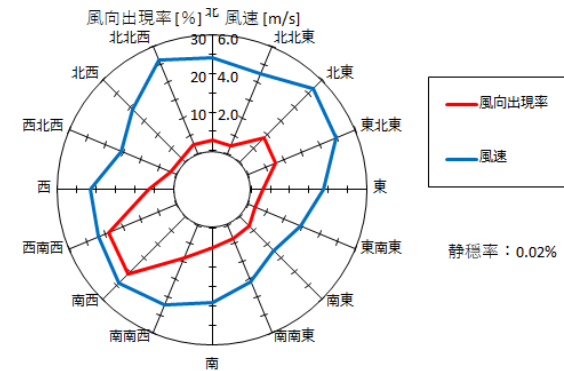
### ■ 日時

2023年8月30日(水)、31日(木)

### ■ 実証場所

神戸学院大学 ポートアイランド第1キャンパス  
A号館(ポーアイ図書館)付近  
兵庫県神戸市中央区港島1-1-3

神戸空港 風配図 (8月～10月、10時～16時)



南西～西南西の風が主であることから、

- ・ホバリング地点A  
建物の影響を受けない地点
  - ・ホバリング地点B  
建物の影響を受ける地点
- ⇒ 建物の影響を比較する





## 機材(ドローン)

### ■ ドローン

- ・ 機体名称  
UAV-E6106FLMP2
- ・ 飛行可能風速  
10.0m/s 以上



### ■ 加速度計

- ・ 製品名  
G-MEN GP20
- ・ 観測項目  
3軸加速度、温湿度

※振動の影響を十分に評価できなかったため、ドローン標準センサーを結果の分析に使用



梱包材に包み、  
ボックスに搭載



## フライトプラン

### ■フライトプランA（約10分）

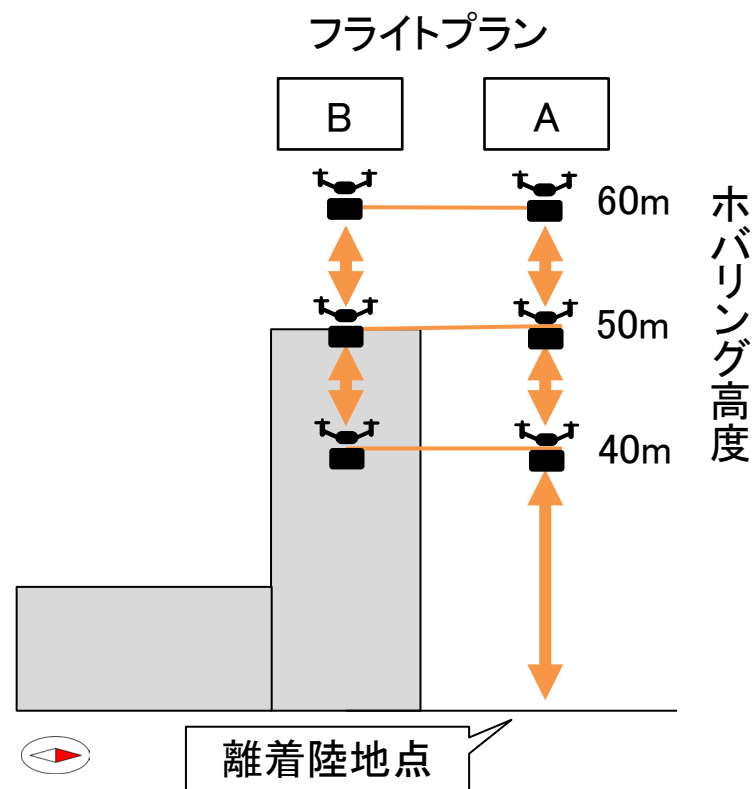
⇒ 建物の影響を受けない地点でホバリング

離陸地点 → ホバリング地点A（高度40m、50m、60mで各2分ホバリング）→ 離陸地点

### ■フライトプランB（約10分）

⇒ 建物の影響を受けない地点でホバリング

離陸地点 → ホバリング地点B（高度40m、50m、60mで各2分ホバリング）→ 離陸地点





## 機材(気象観測)

### ■ IoT小型気象センサー

センサー設置場所(地上)の気象を観測

- ・ 観測項目

風向・風速、雨、温度など

- ・ 目的

風況アラート用観測値取得

- ・ 費用

安価

### ■ 鉛直ライダー

センサー設置場所の上空の風況を観測

- ・ 観測項目

風向・風速

- ・ 目的

風況アラートの検証用データ取得

実証時の安全確保

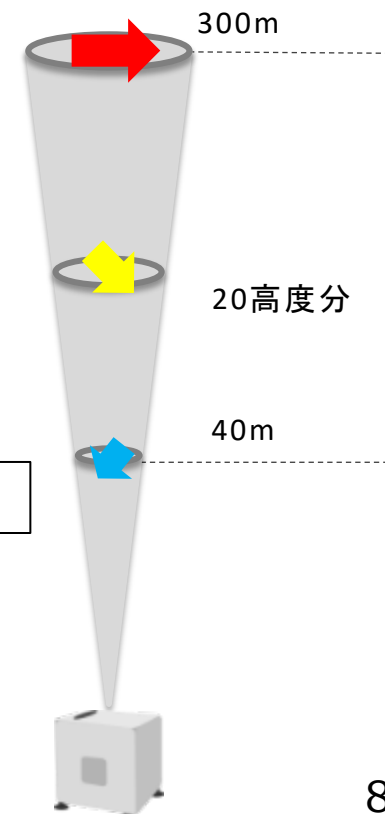
- ・ 費用

高価

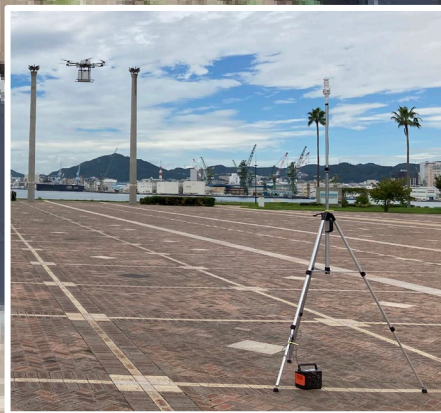
IoT小型気象センサー



鉛直ライダー



## 機材(気象観測)



:IoT小型気象センサー

A: ホバリング地点Aの地上

B: ホバリング地点Bの地上

C: 離陸地点の地上



:鉛直ライダー

フライト時のホバリング地点に  
設置

- ・フライトプランA

→ ホバリングポイントAに設置

- ・フライトプランB

→ ホバリングポイントBに設置



(国土地理院地図を加工して作成)





## フライト結果

|       | フライトプランA                   | フライトプランB                          |
|-------|----------------------------|-----------------------------------|
| 8月30日 | 11:29, 13:49, 14:08        | 13:26, 14:29, 14:51               |
| 8月31日 | 10:09, 11:09, 13:07, 13:25 | 10:31, 10:49, 12:47, 13:48, 14:13 |

※ 時刻は、フライト開始時刻

フライトは約10分で、高度40m、50m、60mで各2分ずつホバリング



## 風況の推定値

### ドローン気象Web

#### 風況情報

##### □ アラート情報

- ☒ アラート1
- ☐ アラート2
- ☐ アラート3

##### ☒ 水平風速

- 高度: ☐ 10m ☐ 30m ☐ 40m ☒ 50m ☐ 60m ☐ 100m ☐ 150m

粒子数: 1.3%

粒子大: 1

粒子速度: 2.0%

##### □ 風速情報(画像)

- ☐ 最大瞬間風速
- ☐ 水平風速
- ☐ 鉛直風速
- ☒ 風速の標準偏差

透明度: 0.8

#### ・ 降雨情報

- ☒ 高解像度降水がキャスト

#### ・ 気象観測

- ☒ 小型気象センサー  
[センサー監視ページ](#)
- ☒ 鉛直ライダー  
[ライダー観測ページ](#)

IoT小型気象センサーAを用いた  
高度50mの平均風速の推定値

予測時刻: 08/30 15:20

センサー1 14:46:10  
3.1[m/s]

センサー2 14:46:10  
3.4[m/s]

センサー3 14:46:10  
2[m/s]

鉛直ライダー

高度50m

推定値: 3~5m/s (センサーによる推定)

観測値: 4.42m/s (鉛直ライダー)



上空の風況を、  
地上の気象センサーを組み合わせ推定

#### ◎ 水平風速

- 15m/s以上
- 12~15m/s
- 10~12m/s
- 7~10m/s
- 5~7m/s
- 3~5m/s**
- 3m/s未満

ドップラーライダー (WINDCUBE)

1分統計値 (瞬時値から計算)

[前1分間移動平均風速XML](#) [前1分間最大瞬間風速XML](#)

2023/08/30 14:45:40現在

| 高度<br>(m) | 前1分間移動平均風速 |             |     | 前1分間最大瞬間風速 |             |     |
|-----------|------------|-------------|-----|------------|-------------|-----|
|           | 風向<br>(°)  | 風速<br>(m/s) | 風況  | 風向<br>(°)  | 風速<br>(m/s) | 風況  |
| 300       | 232.6      | 4.38        | 西南西 | 216.6      | 5.75        | 西南西 |
| 250       | 237.1      | 3.70        | 西南西 | 230.4      | 5.01        | 西南西 |
| 225       | 240.5      | 4.00        | 西南西 | 250.3      | 5.75        | 西南西 |
| 200       | 238.5      | 3.88        | 西南西 | 245.4      | 5.22        | 西南西 |
| 175       | 245.0      | 4.07        | 西南西 | 247.4      | 4.92        | 西南西 |
| 150       | 247.2      | 4.48        | 西南西 | 249.9      | 5.75        | 西南西 |
| 125       | 247.7      | 4.72        | 西南西 | 251.1      | 6.08        | 西南西 |
| 100       | 248.5      | 4.61        | 西南西 | 252.0      | 5.62        | 西南西 |
| 95        | 248.8      | 4.60        | 西南西 | 252.5      | 5.55        | 西南西 |
| 90        | 249.0      | 4.58        | 西南西 | 253.9      | 5.46        | 西南西 |
| 85        | 248.5      | 4.55        | 西南西 | 255.0      | 5.29        | 西南西 |
| 80        | 247.7      | 4.53        | 西南西 | 255.7      | 5.15        | 西南西 |
| 75        | 247.4      | 4.53        | 西南西 | 256.6      | 5.11        | 西南西 |
| 70        | 247.7      | 4.46        | 西南西 | 238.3      | 5.24        | 西南西 |
| 65        | 249.0      | 4.38        | 西南西 | 238.2      | 5.23        | 西南西 |
| 60        | 250.7      | 4.33        | 西南西 | 238.2      | 5.19        | 西南西 |
| 55        | 252.1      | 4.32        | 西南西 | 237.1      | 5.45        | 西南西 |
| 50        | 252.8      | 4.42        | 西南西 | 238.9      | 5.67        | 西南西 |
| 45        | 252.2      | 4.60        | 西南西 | 241.6      | 5.79        | 西南西 |
| 40        | 249.6      | 4.72        | 西南西 | 241.2      | 5.72        | 西南西 |



## 風況アラート

制限値

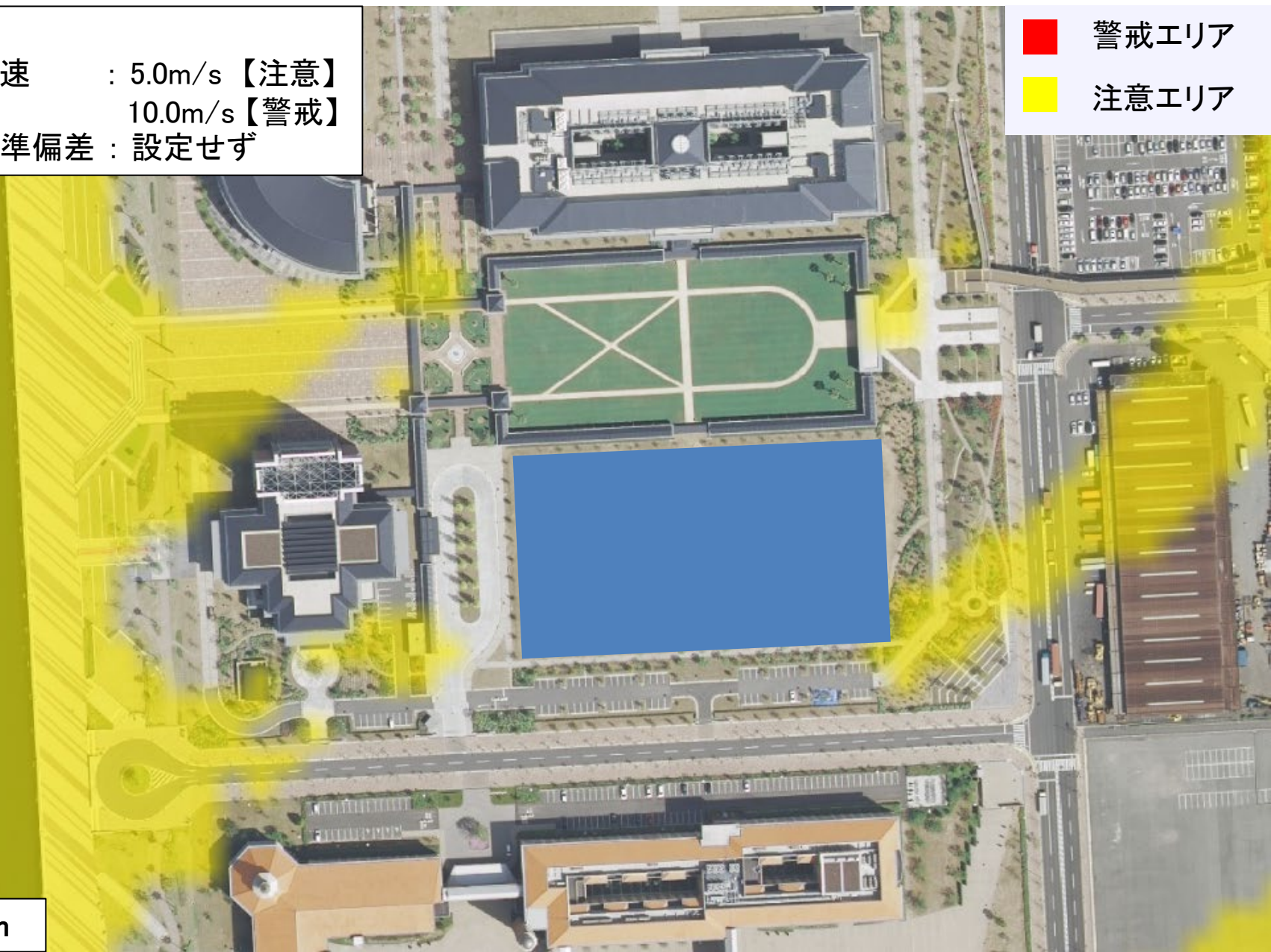
風速 : 5.0m/s 【注意】  
10.0m/s 【警戒】

風速の標準偏差 : 設定せず

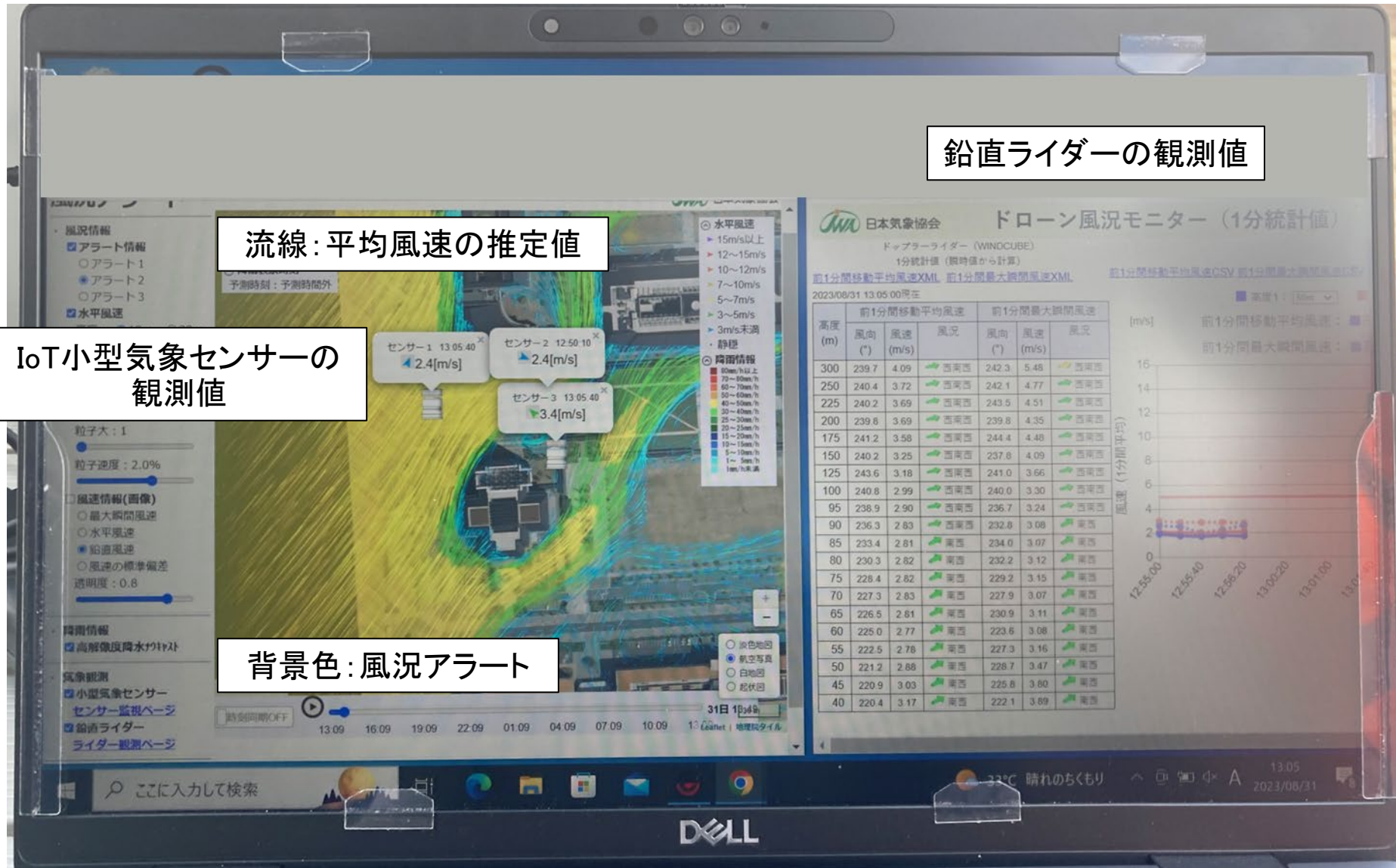
 警戒エリア

 注意エリア

高度 : 50m



## 提供画面の例





## 検証方法

### ■ 検証項目

- ・ 推定値と観測値
- ① 平均風速
- ② 最大瞬間風速
- ③ 風速の標準偏差
- ・ ドローンの振動

### ■ 比較の対象

- ・ 気象庁LFM: 気象庁で最も解像度が高い予測
- ・ JWA独自予測: 日本気象協会独自の建物を考慮した予測
- ・ センサーAによる推定
- ・ センサーBによる推定
- ・ センサーCによる推定

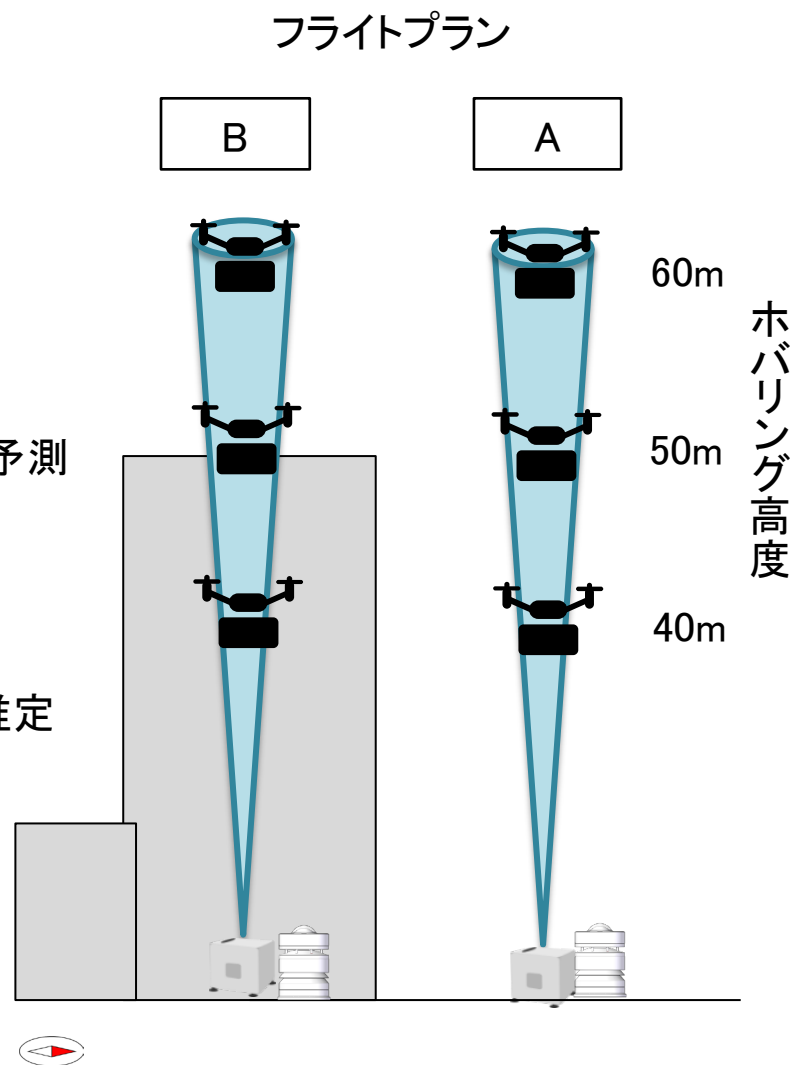
※センサーによる推定は、JWA独自予測と

IoT小型気象センサーの観測値の組み合わせによる推定

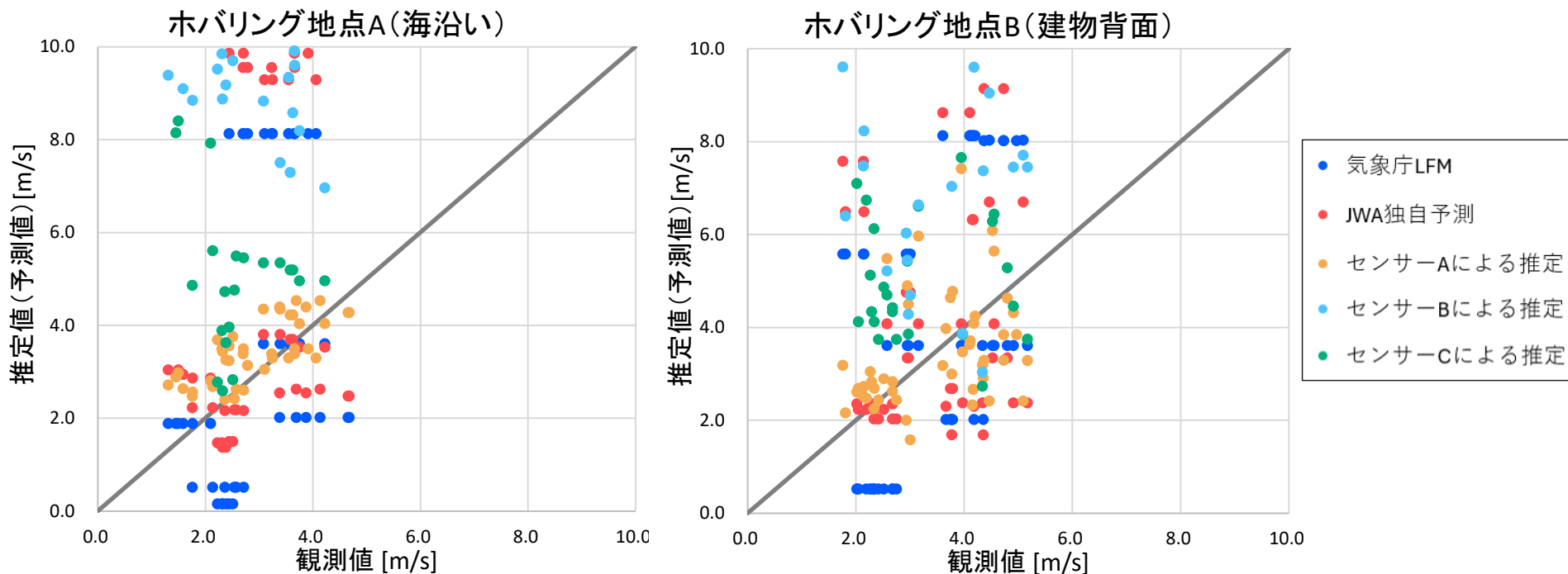
### ■ 統計値

1分統計値を用いる

→ ホバリング時間が2分のため、2個の統計値



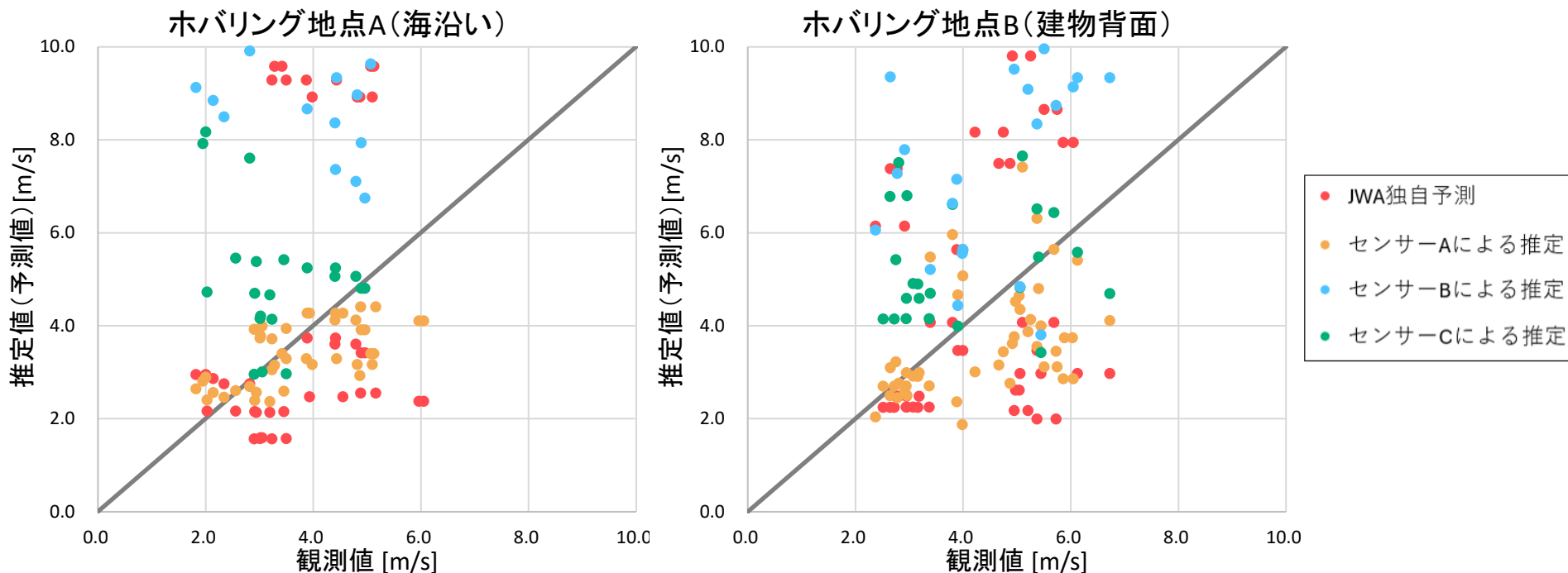




- ・ センサーA(海沿い)による推定を用いることにより、精度が向上した。  
建物を考慮したJWA独自予測を、IoT小型気象センサーの観測値によって、リアルタイムの風況に補正できたためである。
- ・ センサーB(建物背面)、センサーC(離発着地点)の観測値を用いると、精度が悪化する。  
建物影響を受けている地点の観測値では、複雑な流れの構造となっており、上空の風況を推定することには適さない。

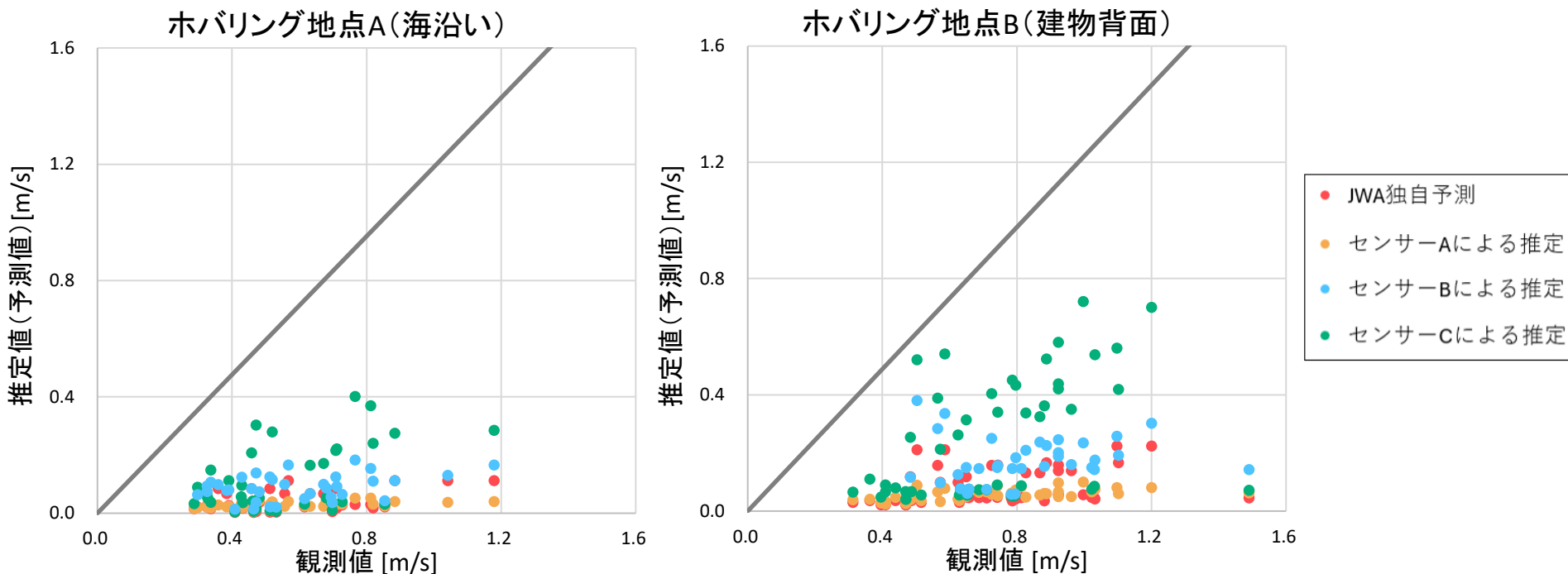
⇒ 適切に風を観測することができる場所にIoT小型気象センサーを設置することにより、安価に上空の風況を把握することができる。

## 最大瞬間風速の比較



- 平均風速と同様の傾向であり、  
センサーA(海沿い)による推定を用いることにより、精度が向上した。  
センサーB(建物背面)、センサーC(離発着地点)の観測値を用いると、精度が悪化する。

## 風速の標準偏差の比較



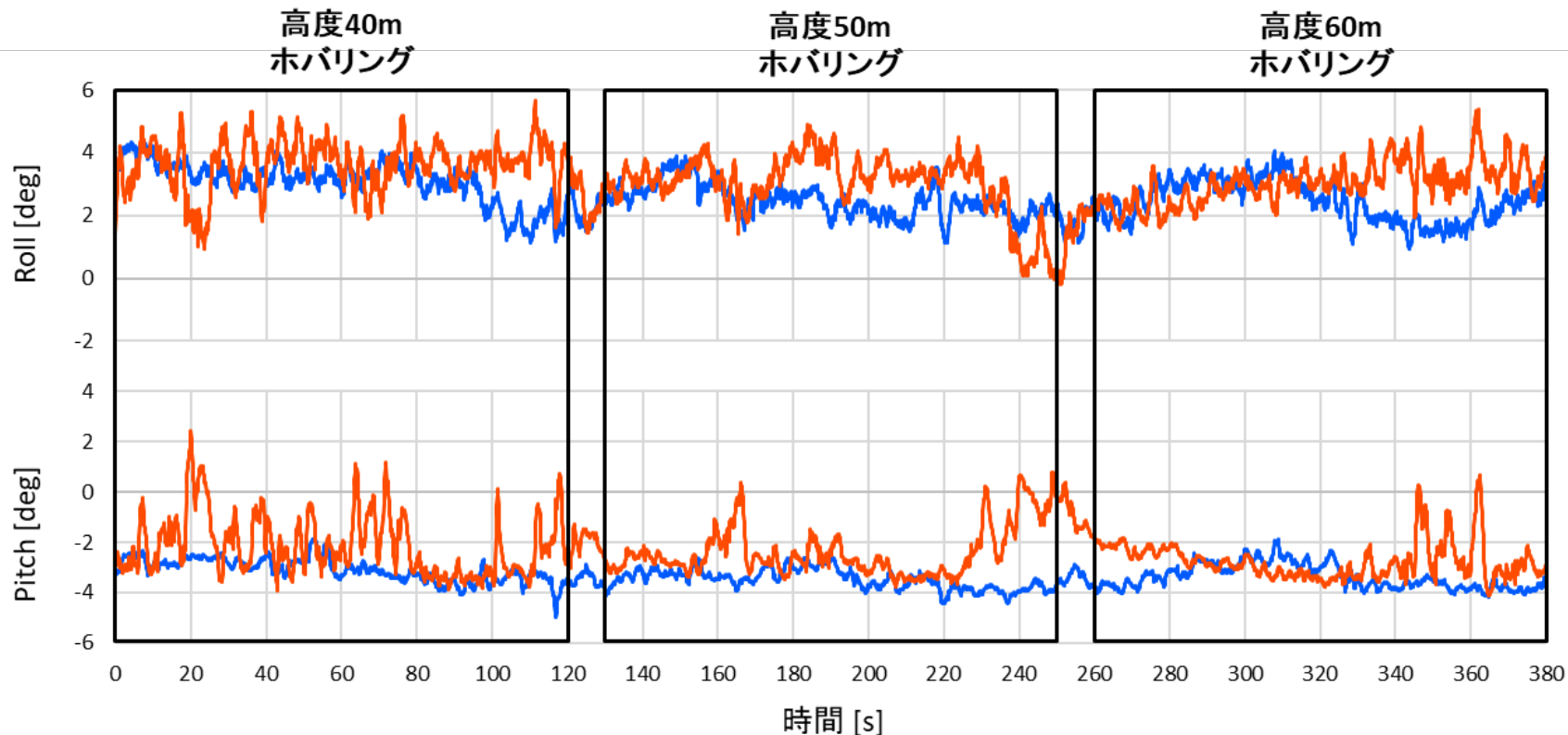
- すべてにおいて、過小評価となった。  
予測精度の評価点が建物にとっても近いため、JWA独自予測に用いている風況シミュレーションにおいて、壁近傍の流れを考慮しきれていなかったと推測する。
- 観測値が大きくなると、推定値や予測値が大きくなる傾向がある。



## ドローンの姿勢変化と建物影響

上空200m: 西南西の風 約3.3m/s

— ホバリング地点A  
— ホバリング地点B



- ・ 建物の影響を受けるホバリング地点Bの方が、ドローンの姿勢の変化は大きい(大きく振動している)。
- ・ 建物の影響を受けるホバリング地点Bでは、  
建物背面の40m、建物高さと同じ50m、建物高さを超える60mと、飛行高度が高くなるにしたがって、  
ドローンの姿勢の変化が小さくなる。  
建物背面が最も乱れが大きいことに起因していると推測する。

## ドローンの姿勢変化と建物影響

| ホバリング<br>地点 | 要素                            | 高度40m  | 高度50m  | 高度60m  |
|-------------|-------------------------------|--------|--------|--------|
| A           | 観測した風速の標準偏差 [m/s]             | 0.481  | 0.694  | 0.854  |
|             |                               | 0.680  | 0.727  | 0.615  |
|             | センサーAにより<br>推定した風速の標準偏差 [m/s] | 0.0425 | 0.0319 | 0.0245 |
|             |                               | 0.0425 | 0.0319 | 0.0245 |
|             | Rollの最大変化量 [deg]              | 1.57   | 2.37   | 2.66   |
|             |                               | 2.91   | 2.41   | 2.40   |
|             | Pitchの最大変化量 [deg]             | 1.60   | 1.50   | 2.18   |
|             |                               | 2.29   | 1.84   | 1.88   |
| B           | 観測した風速の標準偏差 [m/s]             | 0.783  | 0.794  | 0.652  |
|             |                               | 0.710  | 0.657  | 0.632  |
|             | センサーAにより<br>推定した風速の標準偏差 [m/s] | 0.0613 | 0.0626 | 0.0642 |
|             |                               | 0.0667 | 0.0681 | 0.0698 |
|             | Rollの最大変化量 [deg]              | 4.40   | 3.47   | 2.34   |
|             |                               | 4.05   | 4.63   | 3.42   |
|             | Pitchの最大変化量 [deg]             | 6.34   | 3.90   | 1.75   |
|             |                               | 5.08   | 4.57   | 4.81   |

- ・ 建物の影響を受けるホバリング地点Bにおいて、  
高度40mと60mで観測した風速の標準偏差を比較すると、  
建物影響をより強く受ける高度40mの方が大きく、ドローンの姿勢の最大変化量もこれに応じて  
約2倍大きくなる。  
観測した風速の標準偏差は大きいですが、ドローンの姿勢の最大変化量ほどではない。
- ・ センサーAにより推定した風速の標準偏差は、  
建物の影響を受けるホバリング地点Bの方が大きくなる。

⇒ 建物の有無による風速の標準偏差と、ドローンの姿勢変化には相関があると考えられる

## ■ 結果

- ・ 地上の適切な位置にIoT小型気象センサーを設置することにより、上空の風況を高精度に推定できた。
- ・ 推定した風況を用いて、風況アラートを出すことができた。
- ・ 建物影響がある地点においては、IoT小型気象センサーで推定した風の乱れ(風速の標準偏差)が、大きくなる傾向を示すことができた。

## ■ 今後の取り組み

- ・ アラート機能の仕組みの改良
- ・ APIによるドローンの運航システムや、運航管理システムへの連携
- ・ 風の乱れ(風速の標準偏差)の制限値の設定と、予測精度向上



みえない「そら」の風  
みえる「そら」へ

