

2025年6月 令和7年度電子航法研究所研究発表会（2025年6月13日）於 海上技術安全研究所本館

# 羽田空港での

# 滑走路異物監視システムの評価進捗

電子航法研究所 監視通信領域

二ツ森 俊一 森岡 和行 河村 暁子 米本 成人

# 内容

## ■ 研究背景と目的

- 滑走路異物(FOD)監視システムの研究開発

## ■ FOD監視システムの研究開発状況

- 羽田空港へ設置したFOD監視システム評価装置の概要

## ■ 羽田空港での評価進捗

- EUROCAE MASPS ED-235A適合性評価
- 雨天影響評価例
- センサ反応分析例およびFOD検知結果例

## ■ まとめ

# 研究背景

チタン製金属板 (42 cm x 3 cm)

→ 3分前に離陸した航空機より脱落

→ 金属板が燃料タンクに穴



異物 (FOD: Foreign object debris) を  
早期に発見できるシステムへの要望高

- コンコルドの事故-  
仏、ル・モンド紙より



# FOD監視システムの主な性能要件

## ■ FAA AC150/5220-24 (2009年9月)

- 基準対象物: ラグナット(10 cm以下)、アスファルト片(10 cm以下)、タイヤ片(10 cm以下)、滑走路灯の一部(10 cm以下)、燃料キャップ(10 cm以下)、歪んだ金属片(20 cm以下)等
- 30 m × 30 mに設置した物体の90 %以上が探知可能であること

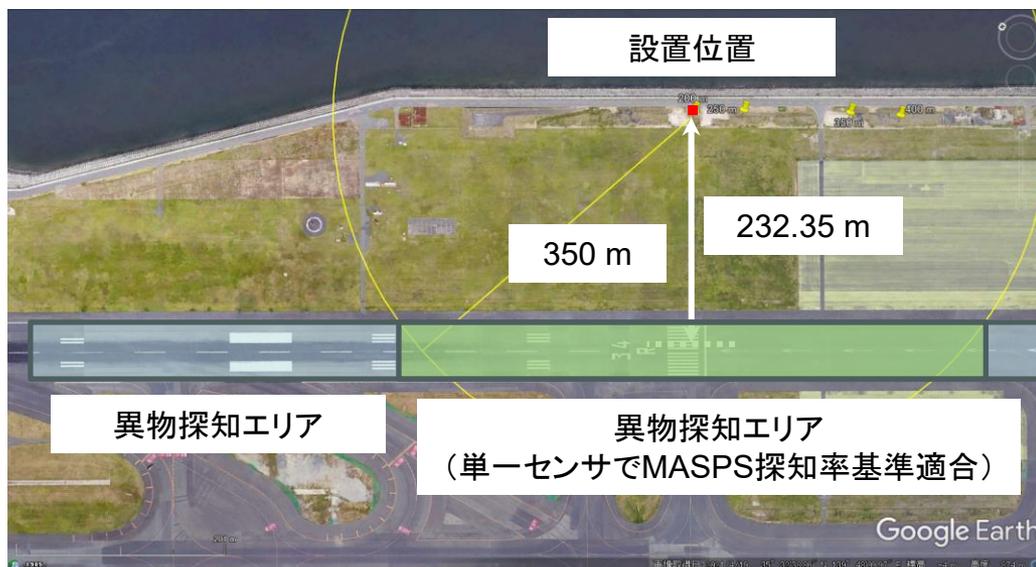
## ■ EUROCAE ED-235A (2024年4月)

- 基準対象物: ナット・ボルト(8 cm以下)、アスファルト片(10 cm以下)、タイヤ片(10 cm以下)、燃料キャップ(7 cm以下)、歪んだ金属片等
- 検知率: 晴天時95 %以上、悪天時90 %以上
- 検知時間: 4分以下
- 検出したFODのイメージを撮影・記録し、運用者へ提供

# 滑走路異物監視システム評価装置概要①

## ■ 羽田空港設置機材の概要

- 中央局+滑走路センサ1局構成
- C滑走路付近に滑走路センサ1局を
- 設計探知エリアはセンサから350 m以内
- 東京空港事務所庁舎内に中央局を設置
- 2023年3月20日に設置工事完了



滑走路センサ設置位置

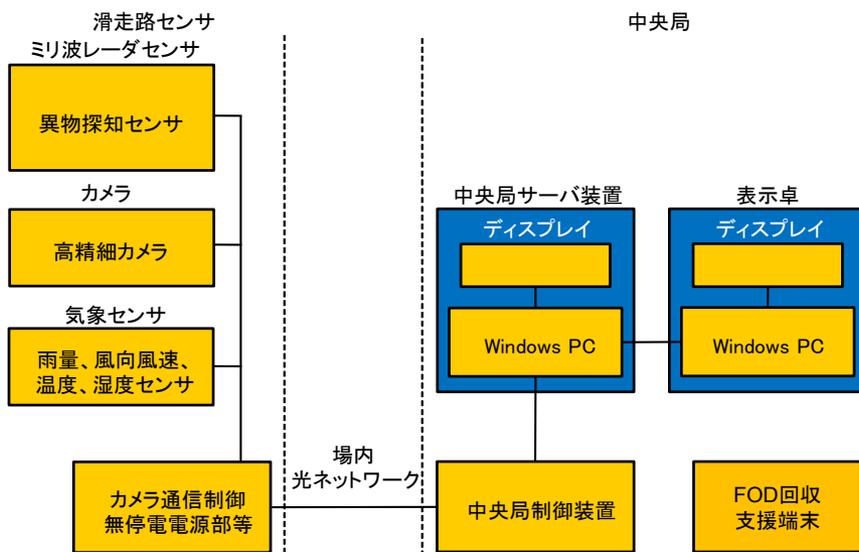
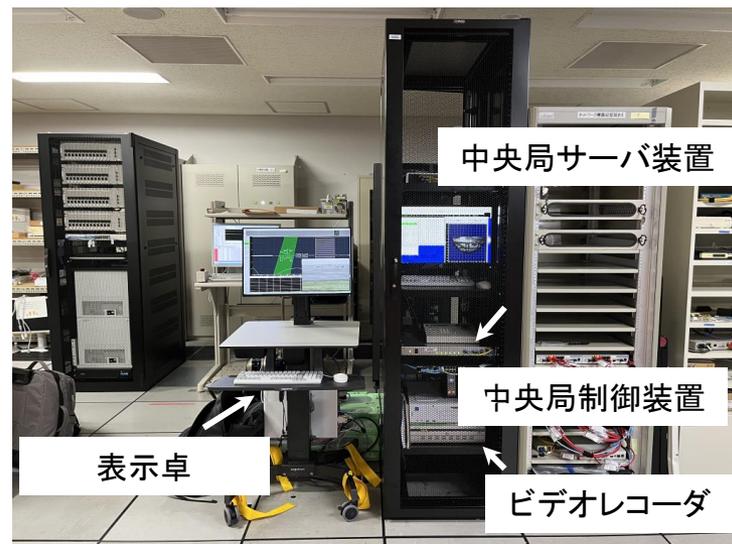


滑走路異物監視システム鉄塔概観

# 滑走路異物監視システム評価装置概要②

## ■ 中央局の概要

- 制御装置、サーバ装置、表示卓から構成
- レーダセンサ、カメラ映像、システム動作状態、気象センサの情報を記録・分析
- FOD情報を記録、表示卓/端末に表示
- EUROCONTROL ASTERIX形式で出力



滑走路異物監視システム評価装置の系統図



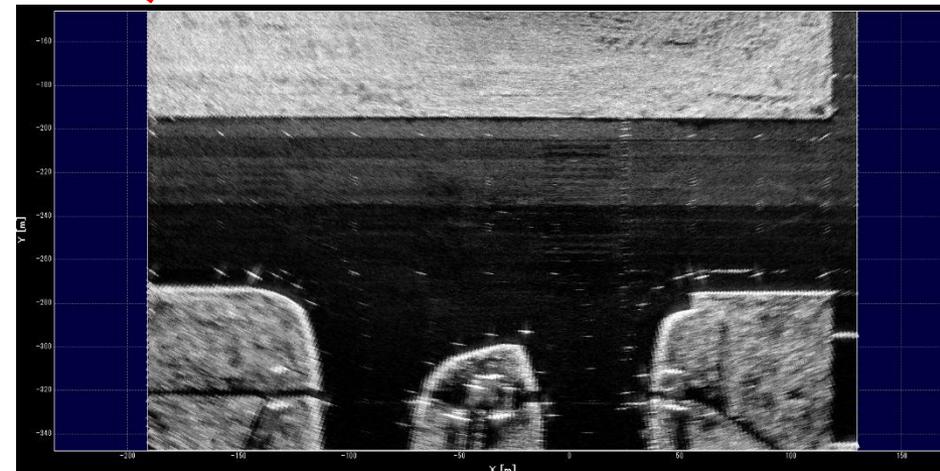
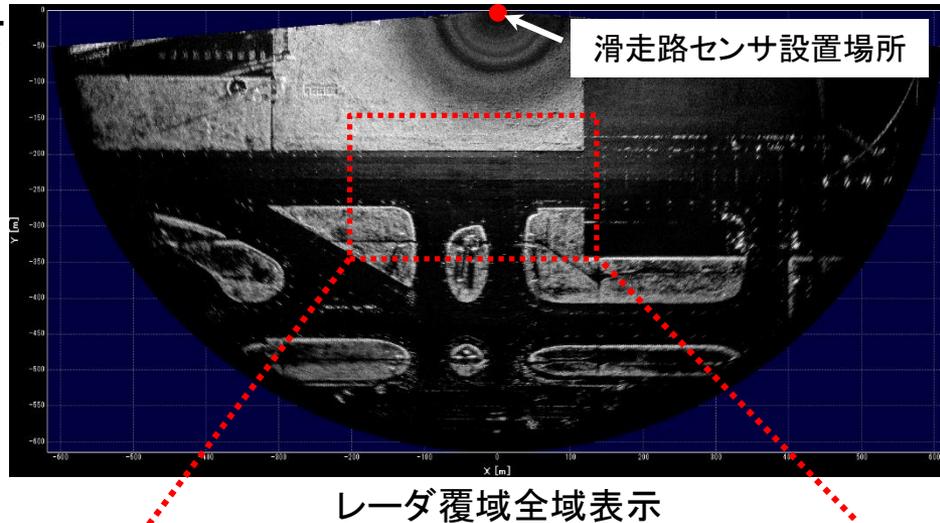
# レーダセンサの概要

## ■ ミリ波レーダセンサの概要

- FODを探知するため、エリア内を常時監視
- レーダセンサで得られたデータを中央局制御装置およびサーバ装置で信号処理・分析し、FOD情報を取得
- レーダセンサスコープ画素数は1センサあたり $32,768 \times 16,384$

### ミリ波レーダセンサ仕様

送信周波数: 92 GHz~100 GHz  
中心周波数: 96 GHz  
送信電力: 80 mW  
測距方式: FMCW  
覆域: 350 m



# 高精細カメラの概要

## ■ 高精細カメラの概要

- ミリ波レーダセンサの探知結果に基づき、FOD画像を取得
- FOD探知時のFOD自動撮影およびFOD探知時以外のプリセット位置の自動撮影に対応



滑走路センサ設置位置からの  
滑走路の見通し状況



カメラ画像例 (距離220 m滑走路灯)

# 評価項目と評価手法

- ① 滑走路周辺環境や動体物に起因する誤検知の検証、評価
  - センサ検知結果の記録・分析を実施し、誤検知を発生し得る探知対象物の発生頻度、場所、時間帯等を評価
- ② 未検知の検証、評価
  - 探知エリア内で滑走路点検等によりFODが回収された場合、前回定時点検以降のセンサ検知結果を分析することにより、未検知の原因を評価
- ③ 環境変動および長期信頼性評価
  - [雨天等の気象変化](#)および滑走路周辺のメンテナンスによる滑走路環境の変動が探知結果に及ぼす影響を評価
  - 動作ログの記録・分析により機器信頼性評価を実施
- ④ 上記結果に基づくシステム動作パラメータの提案と検証
- ⑤ 試験用FODを用いた動作検証と低コスト化に向けた検討
  - [試験用FODを用いた動作検証](#)を行い、信頼性向上(確実性確認)および低コスト化に向けた検討を実施

# MASPS適合性評価：目的と内容

## ■ 目的

- EUROCAE MASPS ED-235Aの主要項目への適合性の確認

## ■ 内容

- EUROCAE MASPS ED-235Aの下記項目について試験評価を実施

### 1. 探知率

6種の基準対象物(コンクリート片、灯火、M10ボルトおよびナット、タイヤ片、金属片、燃料キャップ)を用いて晴天時探知率95 %以上、悪天時探知率90 %以上が必要。

### 2. 位置精度 5 m以内

基準金属円柱(直径4 cm × 高さ3 cm)の探知座標と設置地点における測位座標が5 m以内が必要。探知座標はFOD監視システム表示座標、測位座標はGPS測位キネマティック補正座標(誤差30 cm以内)。

### 3. 探知時間4分以内

基準金属円柱を設置後、4分以内に探知されることが必要。

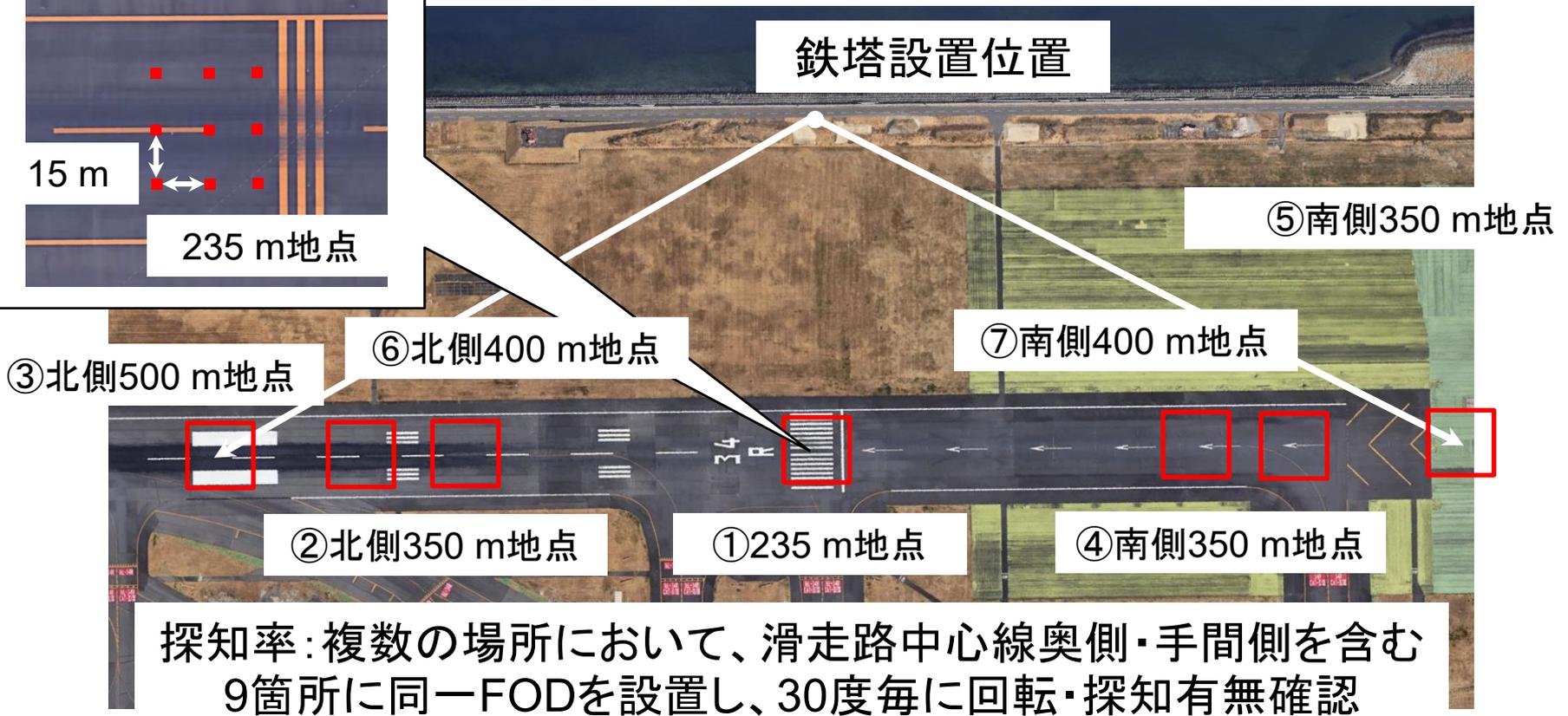
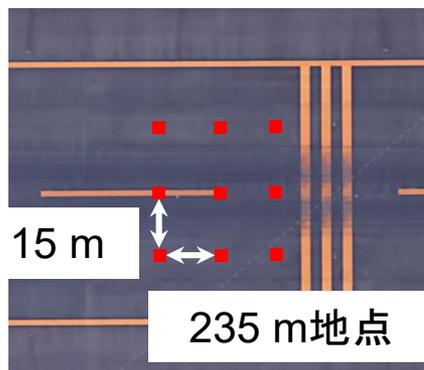
### 4. 分離性能および同時探知性能

上記基準金属円柱を滑走路中心線上に10 m間隔で3個設置し、3つに分離して同時探知可能なことが必要。

# MASPS適合性評価：探知率

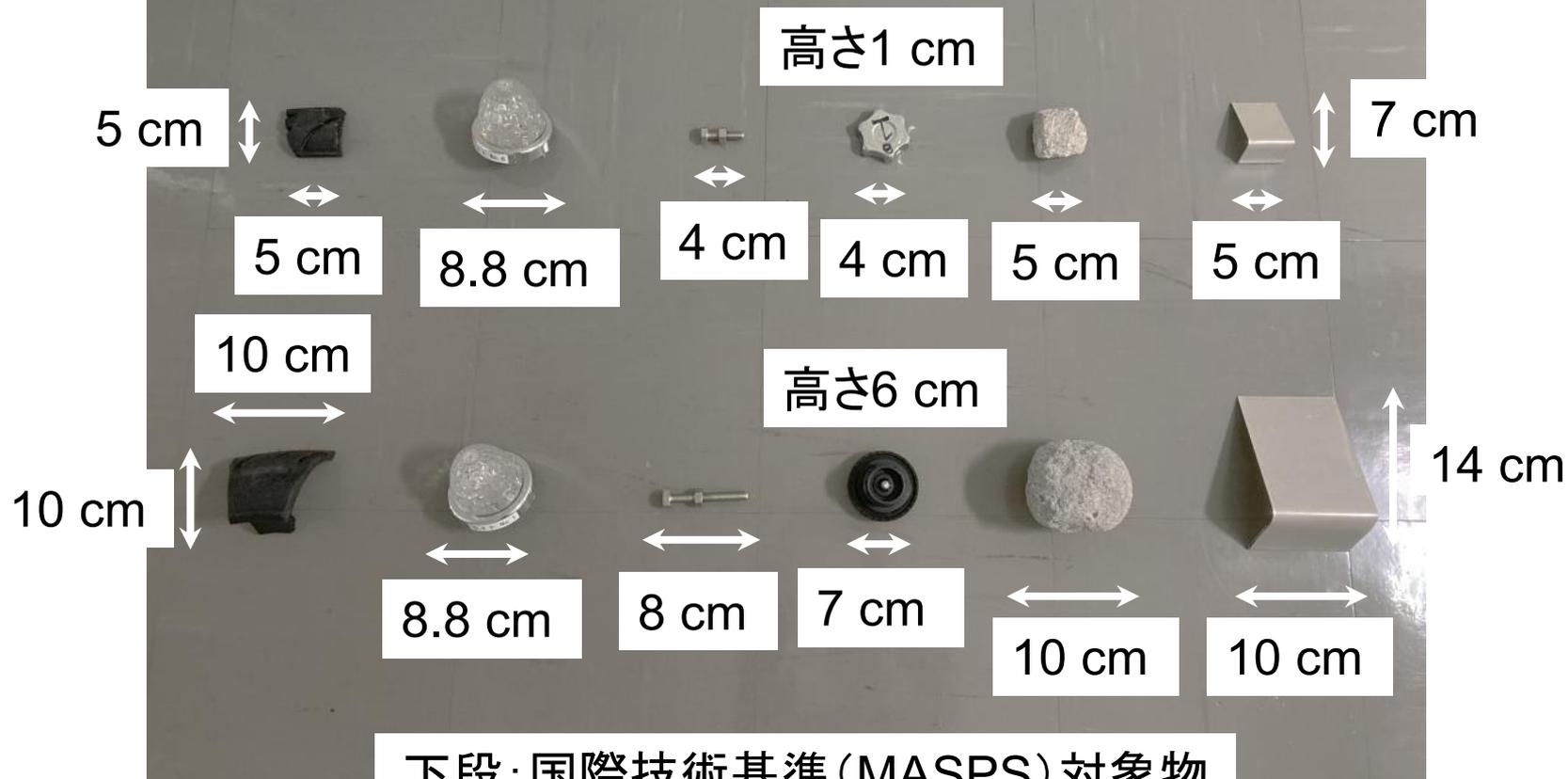
## ■ 実施内容

- MASPS対象物およびMASPS寸法比50 %縮小対象物の探知率を測定
- 2023年5月・6月、2024年2月・3月実施(350 m地点再測定、400 m地点追加)



# MASPS適合性評価：試験対象物

上段：国際技術基準(MASPS)寸法比50%縮小対象物



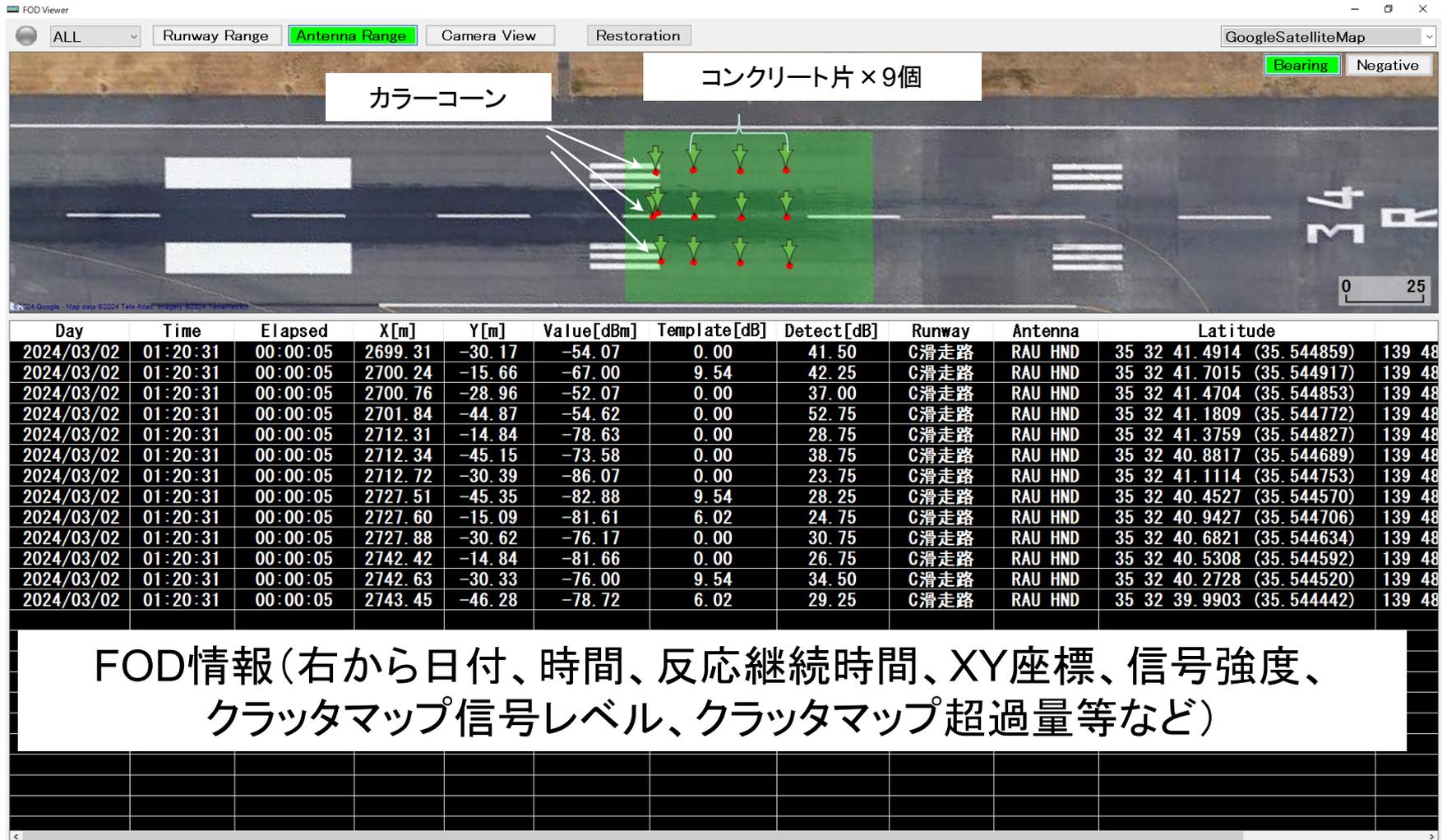
※灯火についてはどちらの条件でもサイズ縮小対象物を使用

# MASPS適合性評価：試験状況



# MASPS適合性評価：表示卓UI例

## ■ 探知率試験（試験サンプル：コンクリート片）



# MASPS適合性評価：探知率

## ■ 評価対象物毎の探知率（国際技術基準（MASPS）サイズ）

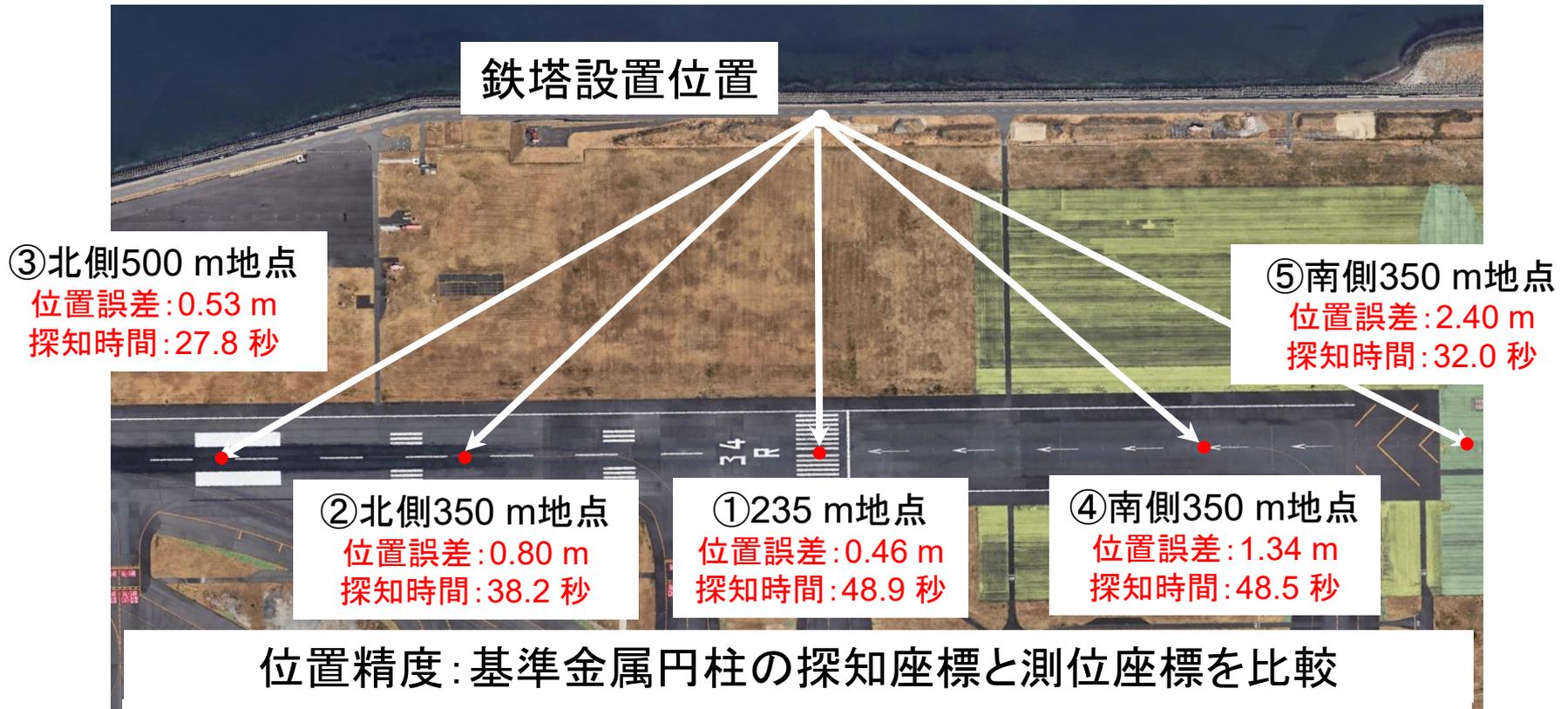
350 m以内

対象物	北側 500 m	北側 400 m	北側 350 m	直交 235 m (小雨)	南側 350m	南側 400m	南側 500 m (小雨)
タイヤ片	98.3	100	100	98.3	100	100	96.6
灯火	100	100	100	100	100	100	100
M10ボルト+ ナット80 mm	68.4	87.2	99.1	98.3	96.6	89.7	43.6
燃料キャップ	100	100	100	100	100	100	96.6
コンクリート片	100	100	100	100	100	100	100
金属片	98.3	100	96.6	100	100	100	89.8

350 m以内の国際技術基準準拠対象物全て検知率95 %以上を確認

# MASPS適合性評価：位置精度/探知時間

## ■ 実施内容および結果



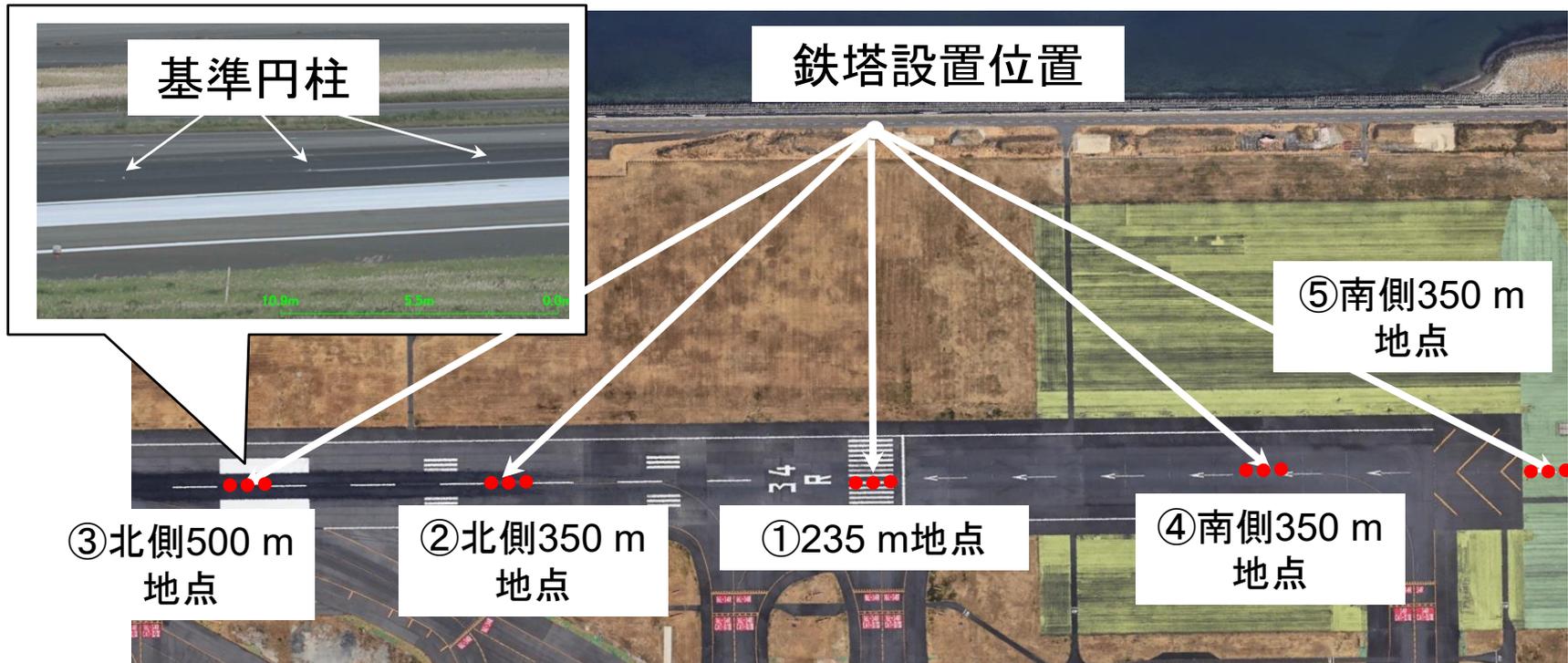
位置精度：基準金属円柱の探知座標と測位座標を比較

探知時間：基準金属円柱の設置後の探知時間を評価

北側500 m～南側500 m地点の5カ所で距離精度5 m以内および探知時間4分以内を確認(2023年5月・6月実施)

# MASPS適合性評価：分離性能/同時探知性能

## ■ 実施内容



分離性能：基準円柱3つを設置し、3つに分離して探知可能なことを確認

同時探知性能：上記が同時に探知可能であることを確認

北側500 m～南側500 m地点の5カ所で分離性能および同時探知性能を確認(2023年5月・6月実施)

# 雨天影響評価：目的と内容

## ■ 目的

- 雨天による滑走路環境の変動が探知結果に及ぼす影響(降雨量に対するクラッタ増加および対象物反射電力低下等)を評価
- 得られた結果により悪天時の性能要件限界を検討

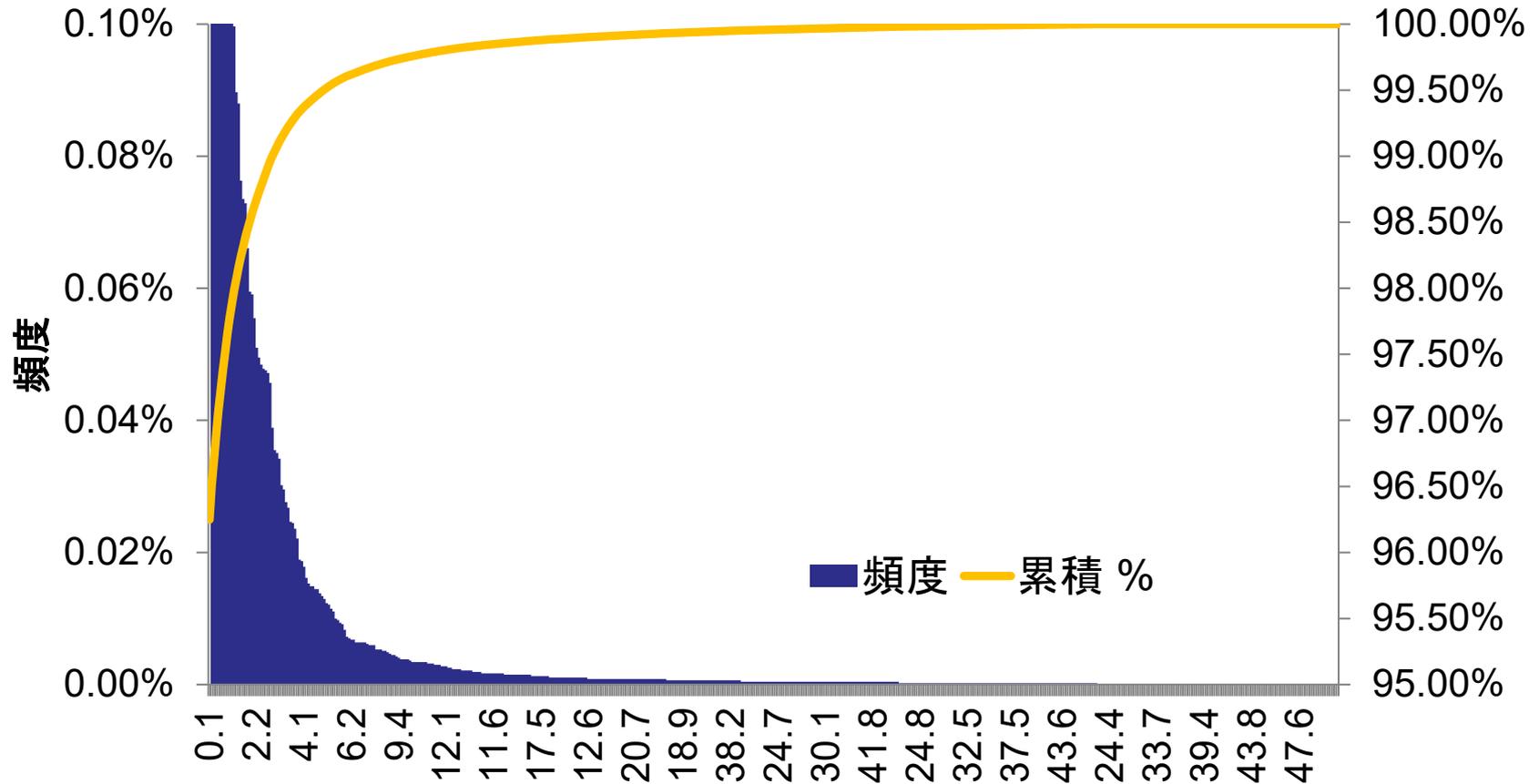
## ■ 内容

- 羽田評価システムのレーダセンサデータおよび気象センサデータを用い、悪天時の性能変化量の評価法を検討
- 滑走路上の固定点における短時間の評価結果例を提示

※ED-235Aでは、悪天は、60 ノット (平均値) を超える風速および/または 16 mm/h を超える降水量と規定

# 雨天影響評価：羽田空港の年間雨量(mm/h)

2023年3月20日から2024年2月末までの雨量(mm/h)ヒストグラム  
および累積頻度

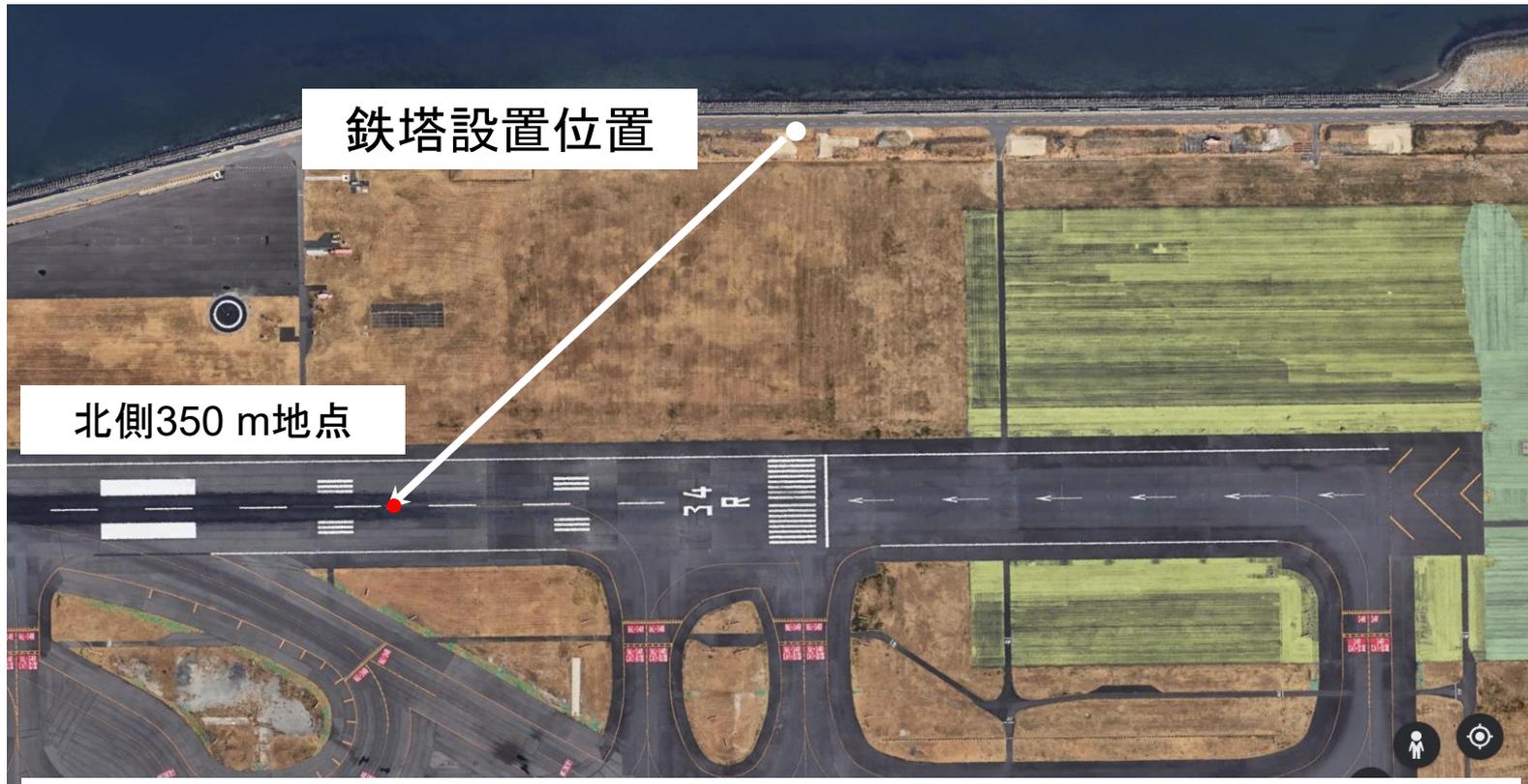


雨量10 mm/h以下が時間率99.79 %、16 mm/h以下が99.87 %

# 雨天影響評価：埋め込み灯火の雨天変動1

## ■ 実施内容

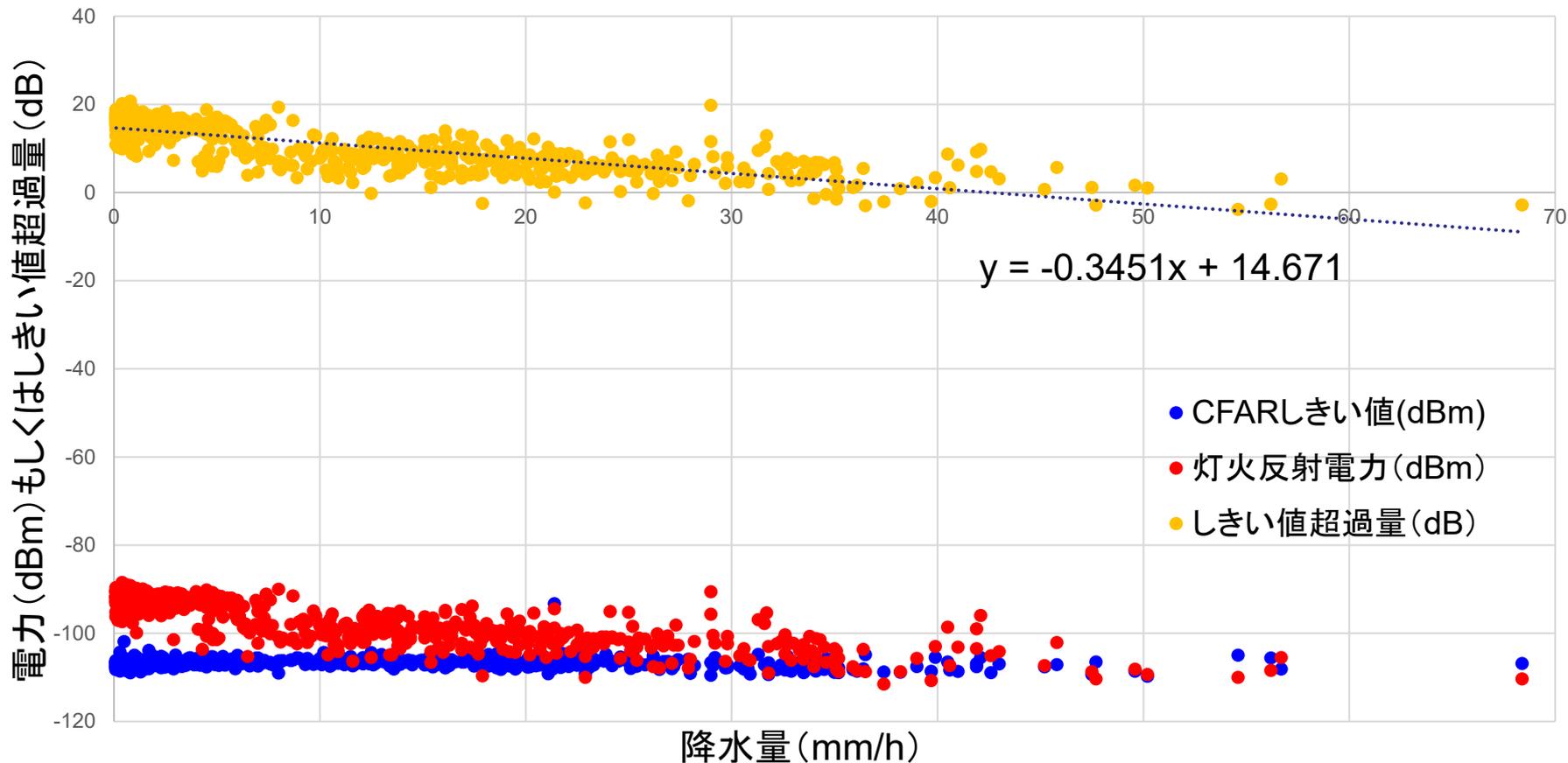
- 探知距離が長く、最も雨天影響が大きくなる設計覆域端350 mにおいて埋め込み灯火の雨天変動量を分析



雨天時の北側350 mの埋め込み灯火のレーダセンサ受信電力変動量を評価

# 雨天影響評価：埋め込み灯火の雨天変動2

降水量と埋め込み灯火(350 m先)検知状況、2023年9月8日0時-24時

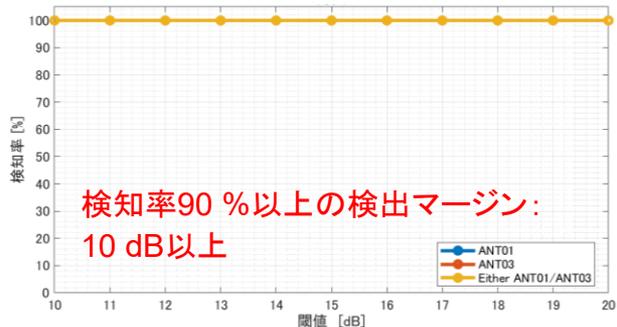


350 m地点、降水量16 mm/hで降雨減衰5.5 dB ( $0.3451 \times 16 = 5.5$ )

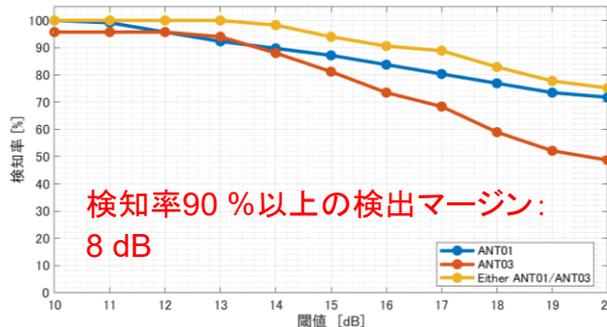
# 雨天影響評価：MASPS基準対象物への影響

## ■ 国際技術基準対象物の検知しきい値変化時の検知率

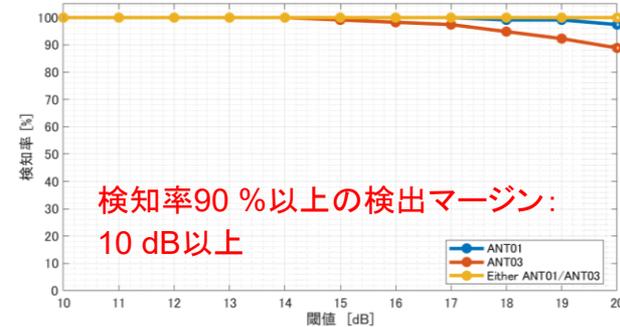
### 灯火



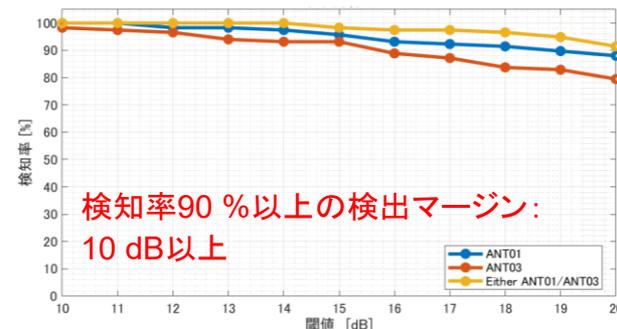
### M10ボルトおよびナット



### コンクリート片



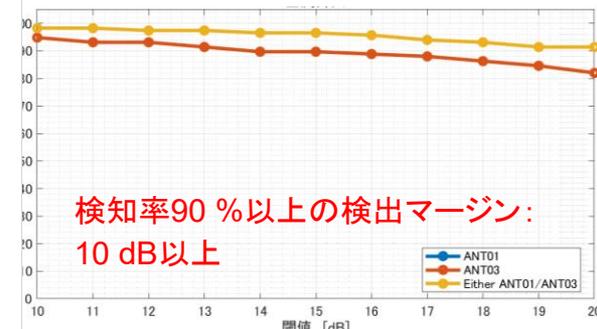
### タイヤ片



### 燃料キャップ



### 金属片



探知率試験時の検知しきい値設定から全対象物において  
検出マージンが8 dB以上(検知率90%)あることを確認

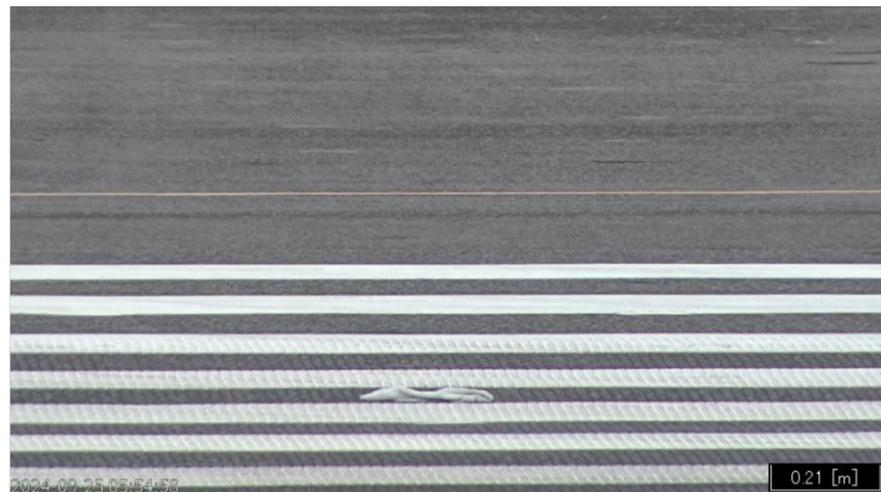
# センサ反応分析/検知結果例：目的と内容

## ■ センサ反応分析の目的と内容

- 2023年3月20日からセンサ反応全件(レーダ・画像データ)を記録・分析
- FODとそれ以外の反応物の特徴を取得し、アラートの高精度化を図る
- 探知結果高精度化・移動物分別・探知感度、カメラ映像最適化のための設定変更・機能追加を複数実施

## ■ FOD検知結果例

- 評価エリア内におけるバードストライク、落鳥、FOD等の発生を探知
- バードストライク、落鳥については2023年度に5件、2024年度に4件を探知し、探知エリア内で回収された事例全て探知していることを確認。
- パイロットレポート等により通報された時刻よりも早く、発生後直ちに探知した事例が多くあることも確認。



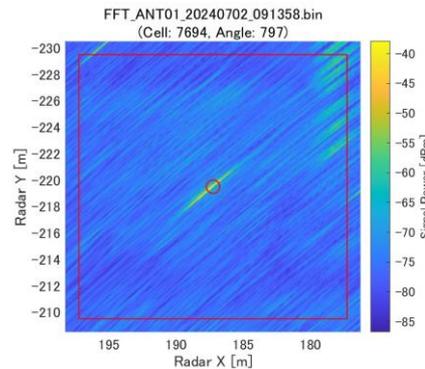
# センサ反応結果分析の一例

分類 (画像)	分類 (レーダ)	判定理由	Remarks
FOD		画像	

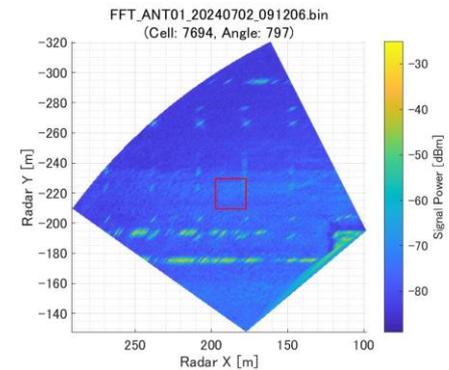
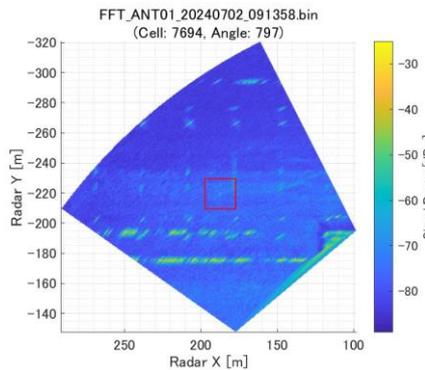
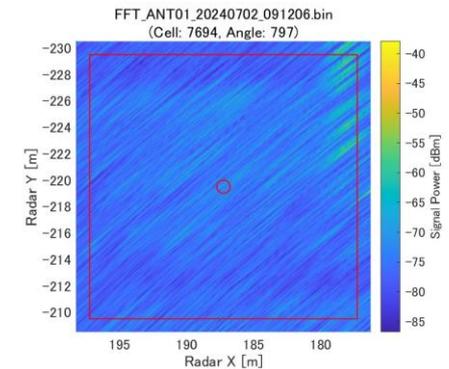
Date - ID	Alarm Time	Duration	X[m]	Y[m]	Value[dBm]	State
240702-480	09:13:58	00:06:32	3160.45	-15.39	-66.15	10



T = 0



T = -2

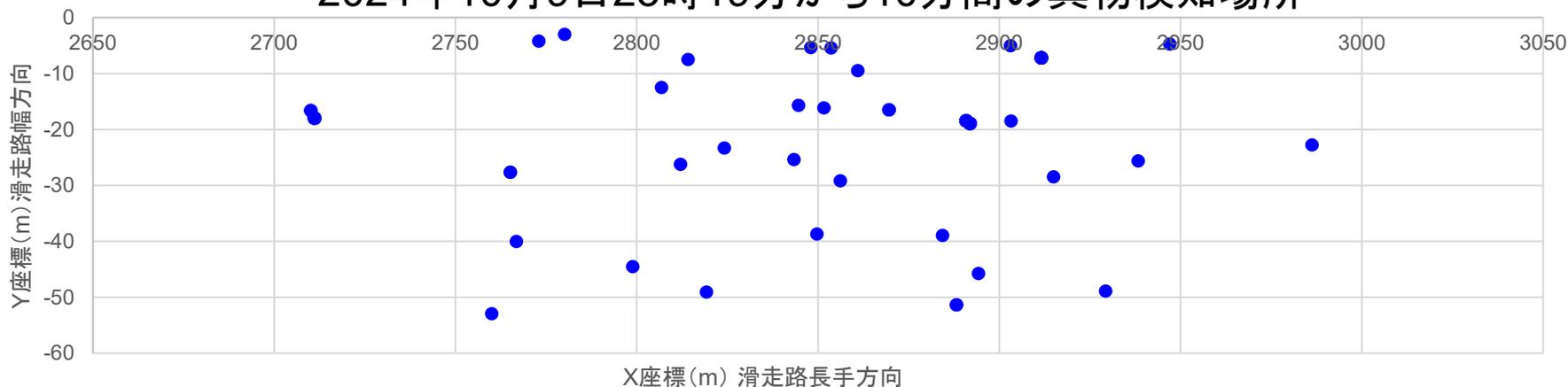


# FOD検知結果例：エンジン破損によるFOD

## ■ FOD検知結果

- 2024年10月9日23時18分頃、長距離便がエンジン破損により離陸中止。
- 滑走路異物監視システム評価装置の検知記録では、[2024年10月9日23時19分12秒からの10分間で83個の異物を検知](#)。
- FOD検知エリアは、滑走路長手方向で300 m、幅方向で全域の範囲に広がり(下図)、[83個中75個の異物が10分以上反応が継続](#)。
- 2024年10月10日2時30分頃に滑走路から車両が存在しなくなったから、全ての長時間反応が無くなったため、検知した異物は全て回収と推定。

2024年10月9日23時19分から10分間の異物検知場所



# まとめ

## ■ まとめ

羽田空港に設置しているFOD監視システム評価装置の評価進捗

羽田空港に、滑走路センサ1局と中央局からなる評価システムを設置し、誤検知・未検知・信頼性・国際基準適合性の評価を実施

EUROCAE ED-235Aに基づく、FOD探知時間、位置精度、分離性能、探知率性能を評価し、基準満たすことを確認

得られたデータに基づき、雨量16 mm/h時において、ED-235A基準対象物の探知率90 %が確保可能な見通しを確認

## ■ 今後の予定

- 滑走路周辺環境や動体物による不要反応抑圧法の動作確認

# 謝辞

- 評価装置の設置および試験実施にご協力頂いている国土交通省航空局、東京航空局、東京空港事務所の方々を始めとした関係各所の皆様に深く感謝いたします。



# 350 m地点カメラ画像 (MASPSコンクリート片)



# 350 m地点カメラ画像(MASPS金属片)



# 350 m地点カメラ画像(MASPS燃料キャップ)



# 350 m地点カメラ画像 (MASPSタイヤ片)



# 350 m地点カメラ画像 (MASPS灯火)



# 350 m地点カメラ画像(MASPS M10ボルト+ナット)



# 先行システム例

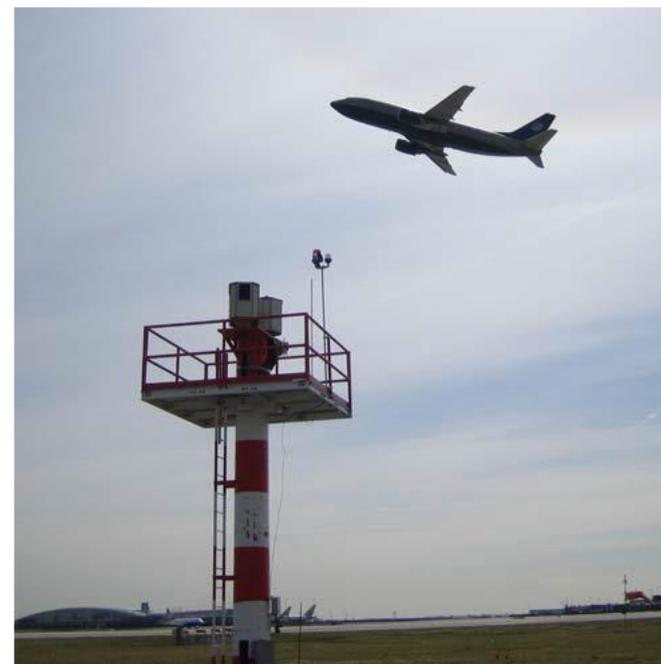
QinetiQ Tarsier  
radar system



Xsight FODdetect  
hybrid system



Stratech iFerret  
Electro optical system  
(現在は販売せず)



# 評価期間とスケジュール

## ■ 評価期間

- 令和5年3月～令和6年度末

## ■ スケジュール

	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①滑走路環境に起因する誤検知の検証評価		取りまとめ	設置完了後、継続してデータを取得し、定期的に取りまとめ	←→		←→			←→			←→
②動体物に起因する誤検知の検証評価		取りまとめ	設置完了後、継続してデータを取得し、定期的に取りまとめ	←→		←→			←→			←→
③未検知の検証、評価			探知エリア内で未検知があった場合に検証・評価を実施									
④環境変動および長期信頼性評価			設置完了後、継続してデータを取得し、定期的に取りまとめ、また、適宜対策を実施	取りまとめ	←→							←→
⑤システム動作パラメータの提案と検証			データ取りまとめを実施すると同時に、パラメータを評価装置に入力し、データを取得	取りまとめ	←→							←→
⑥試験用FODを用いた動作検証・低コスト化検討		航空局と協力して動作検証を実施										
⑦HMI改善項目検討			滑走路異物監視システムユーザインターフェースの改善項目抽出を実施									
⑧その他の項目の検討			運用者側で必要とされる機器操作内容等の検討									

# FOD監視システムの概要(レーダセンサ部)

- ミリ波レーダセンサを用いて異物を探知し、レーダで得られた位置情報を用いてカメラ画像を取得



アンテナ局

送信周波数: 92 GHz~100 GHz  
中心周波数: 96 GHz  
送信電力: 80 mW  
測距方式: FMCW  
覆域: 350 m

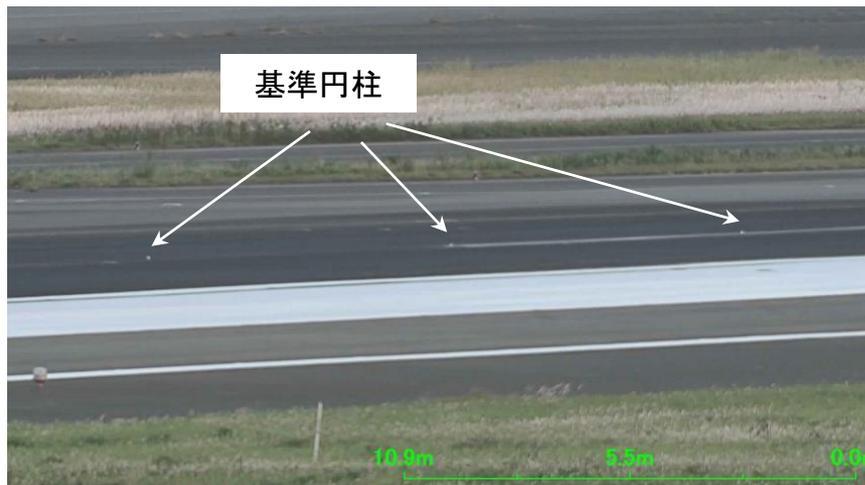


中央局: 1Uラックマウント(1局あたり)

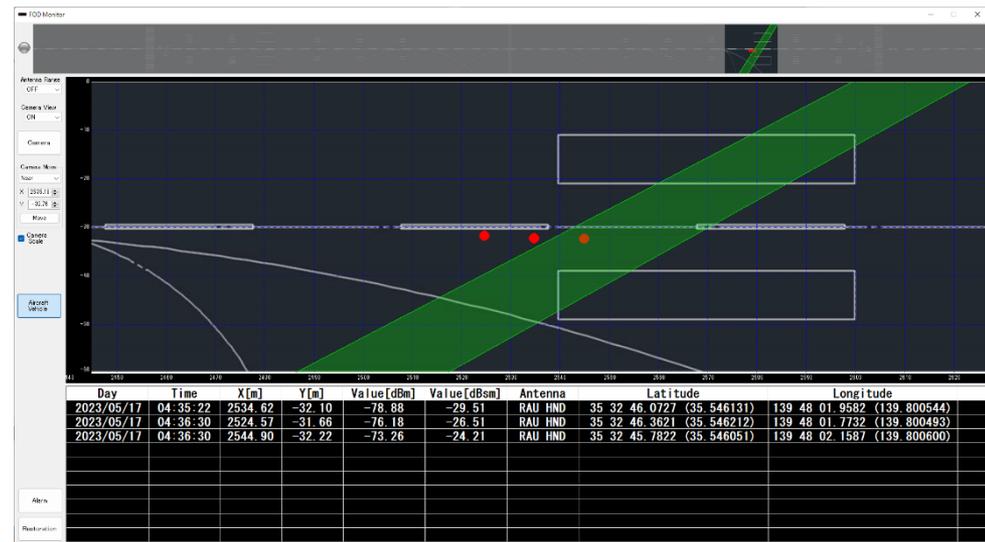
96 GHz帯ミリ波レーダにより、高探知性能と耐候性を両立。  
最大8 GHz帯域幅を活用し、高分解能/高クラッタ除去性能を実現。

## ■ 結果

- 北側500 m～南側500 mまで5カ所全てで、基準円柱3つを設置し、3つに分離して同時探知可能なことを確認。



滑走路上への基準円柱3個の設置状況  
(直径4 cm × 3 cm高さ)



中央局表示卓の探知例  
3個の基準円柱を3つに分離して探知かつ距離精度5 m以下

# 試験用FODを用いた動作検証：探知率2

## ■ 評価対象物毎の探知率（国際技術基準サイズ比50%）

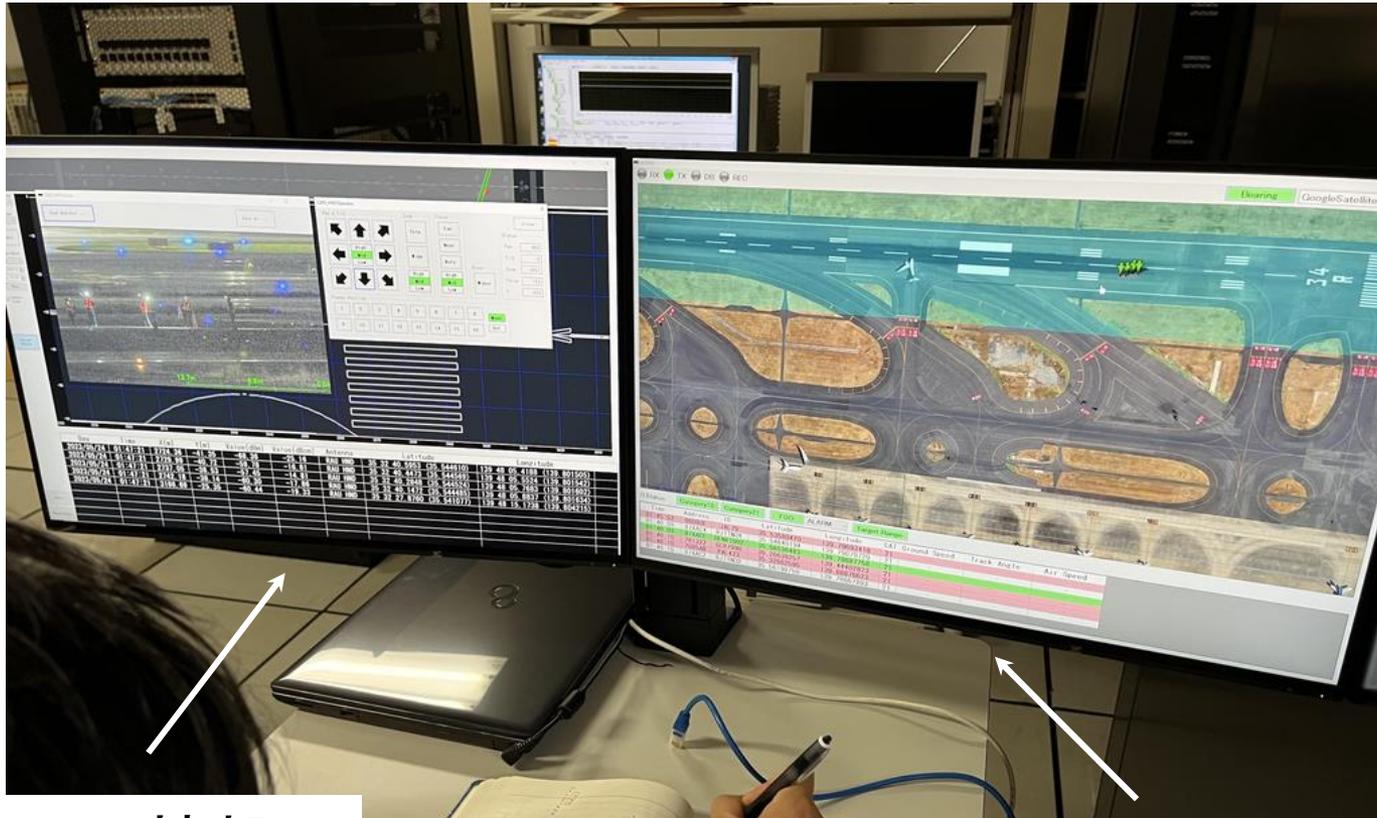
350 m以内

対象物	北側 500 m	北側 400 m	北側 350 m	直交 235 m (小雨)	南側 350m	南側 400m	南側 500 m (小雨)
タイヤ片	95.7	100	99.1	99.1	99.1	99.2	96.6
M10ボルト+ ナット40 mm	99.1	88.0	100	100	98.2	89.8	43.6
燃料キャップ	99.1	100	100	99.1	100	100	96.6
コンクリート片	88.0	100	100	98.3	100	100	100
金属片	95.7	94.9	95.7	99.1	96.6	95.7	89.8

350 m以内では国際基準基準縮小対象物で検知率95 %以上を確認

# 試験用FODを用いた動作検証結果例③

## ■ 中央局表示卓画面例

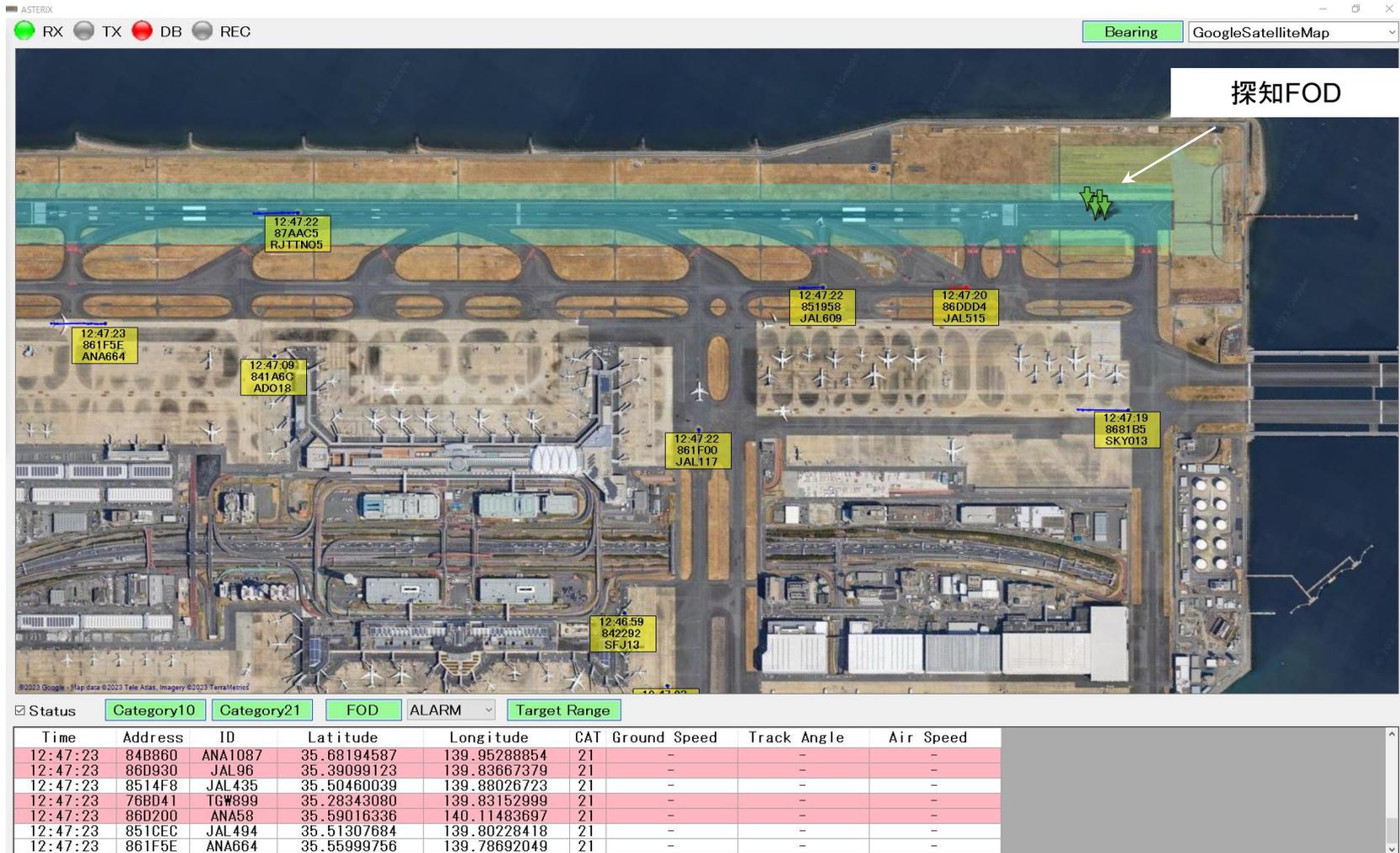


探知FOD情報  
カメラ画像

滑走路監視情報

# 試験用FODを用いた動作検証結果例⑤

## ■ 中央局画面例(滑走路監視情報)



# 評価項目と評価手法①

## ① 滑走路周辺環境に起因する誤検知の検証、評価

## ② 動体物(鳥等)に起因する誤検知の検証、評価

- 継続してデータを取得し、センサ検知結果(レーダデータ、画像データ)の記録・分析を実施し、誤検知を発生し得る探知対象物の発生頻度、場所、時間帯等を評価

進捗:レーダセンサ、カメラ画像の反応結果を分析。誤検知要因の分析を実施中。

## ③ 未検知の検証、評価

- 探知エリア内で滑走路点検等によりFODが回収された場合、前回定時点検以降のセンサ検知結果を分析することにより、未検知の原因を評価

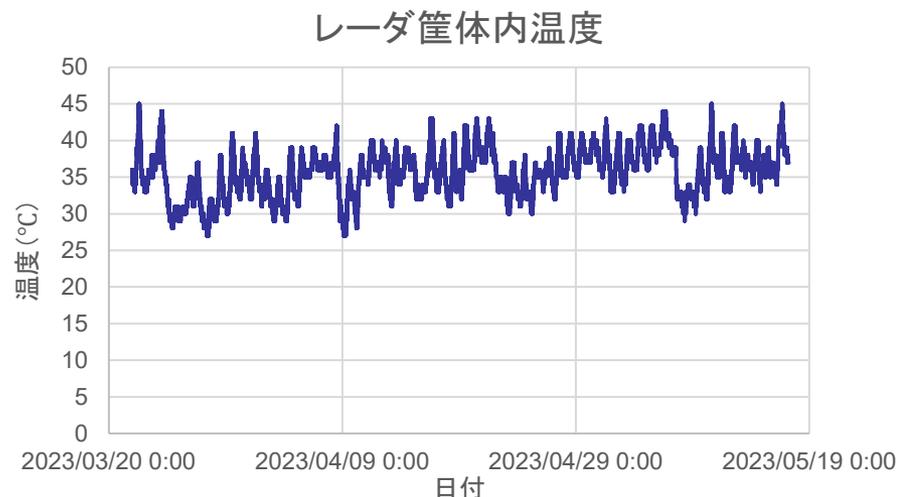
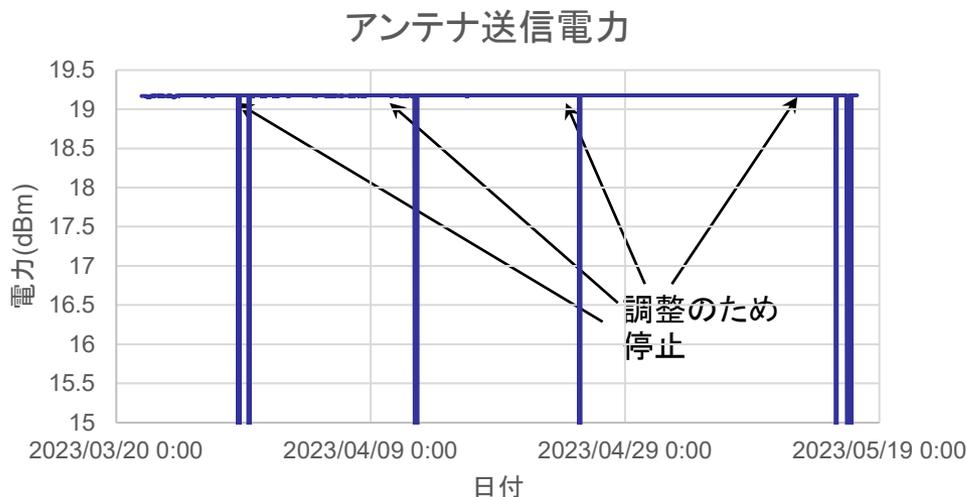
進捗:現在まで未検知なし。落鳥、バードストライク、エンジン部品等検知。

# 評価項目と評価手法②

## ④ 環境変動(クラッタ・温度・天候変化・メンテナンス)および長期信頼性評価

- 気象変化(雨天、雪、霧など)および滑走路周辺のメンテナンスによる滑走路環境の変動が探知結果に及ぼす影響(降雨量、降雪量、視程量に対するクラッタ増加および対象物反射電力低下等)を評価(※羽田空港気象情報および評価装置に付属する気象計データを利用)
- アンテナ回転数・レーダ送受信信号強度・環境および機器温度の記録・分析により機器信頼性評価を実施

進捗: 気象による影響評価法の検討を実施。また、長期信頼性データ評価を実施中。



# 評価項目と評価手法③

## ⑤ ①から③の結果に基づくシステム動作パラメータの提案と検証

- ①から③までの評価結果に基づき、最適なシステム動作パラメータ(センサ動作条件およびアラート発生条件)を提案し、評価装置を用いて検証を実施

## ⑥ 試験用FODを用いた動作検証と低コスト化に向けた検討

- 試験用FODを用いた動作検証を行い、信頼性向上(確実性確認)および低コスト化に向けた検討を実施

進捗:2023年5月~6月、2024年2月~3月に試験用FODを用いた動作検証を実施。  
また、2024年8月に実証実験を実施。

## ⑦ 滑走路異物監視システムユーザインターフェースの検討

- 滑走路異物監視システムユーザインターフェースの改善項目抽出を実施

進捗:評価システムUIの一部修正を実施。

## ⑧ その他必要とされる項目の検討

- 運用者側で必要とされる機器操作内容の検討