

2025年11月 令和7年度電子航法研究所講演会（2025年11月14日）於 なかのZERO

ミリ波帯マルチスタティック測距を 用いたドローン探知技術の研究開発

電子航法研究所 監視通信領域

ニッ森 俊一

内容

■ 研究背景と目的

- ミリ波帯マルチスタティック測距を用いたドローン探知技術

■ 電子航法研究所でのミリ波活用事例

- 滑走路異物(FOD)監視
- 空港面監視
- ヘリコプタ障害物監視

■ 本テーマにおけるドローン検知法

- ミリ波レーダとマルチスタティック測距の適用

■ まとめ

研究背景

■ ドローンの活用と課題

- 人や車両が立ち入るのが困難な地域における物流サービスや災害時における様々なユースケースでの活用が検討
- 一方、ドローンを利用した空港付近等への重要施設への侵入、不法な画像や映像による情報取得、危険物・禁止物の輸送等の事案が発生



研究でのドローン活用の例

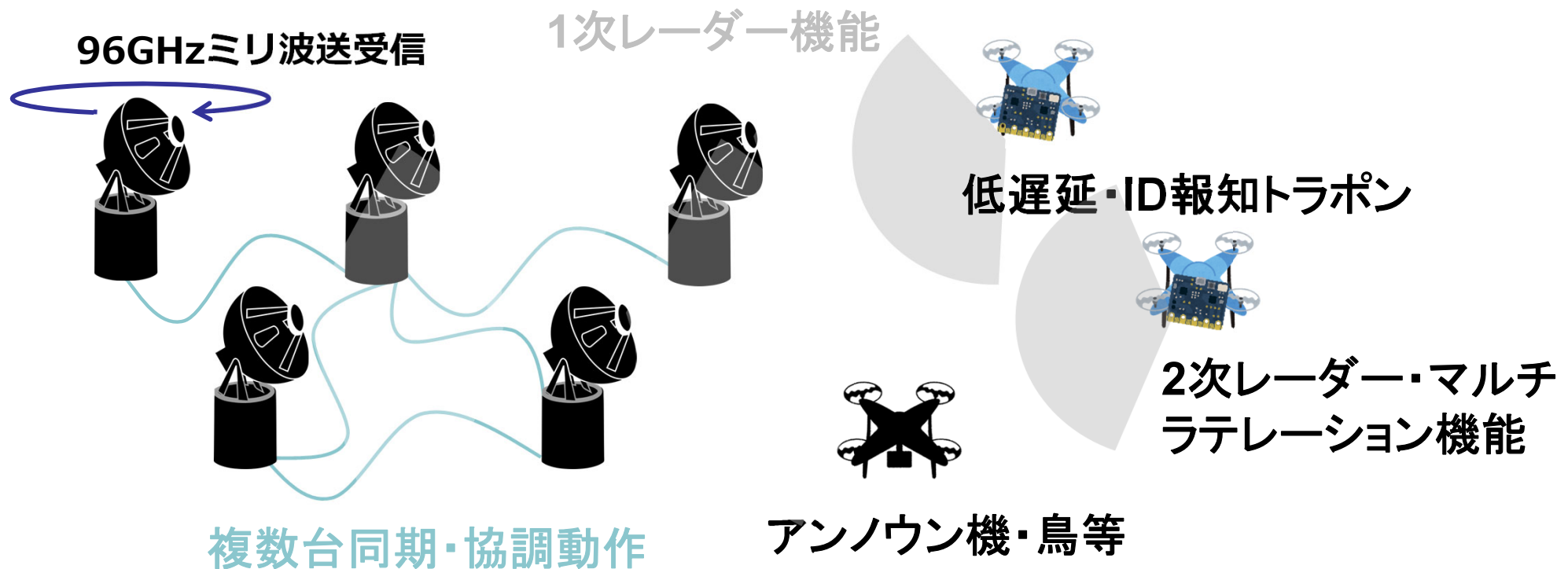


ミリ波帯電波によるマルチスタティックイメージング技術を用いた
ドローンの検知を行い、安全なドローン運用に寄与

JST K-Program安全保障重要技術育成プログラム

研究開発の概要

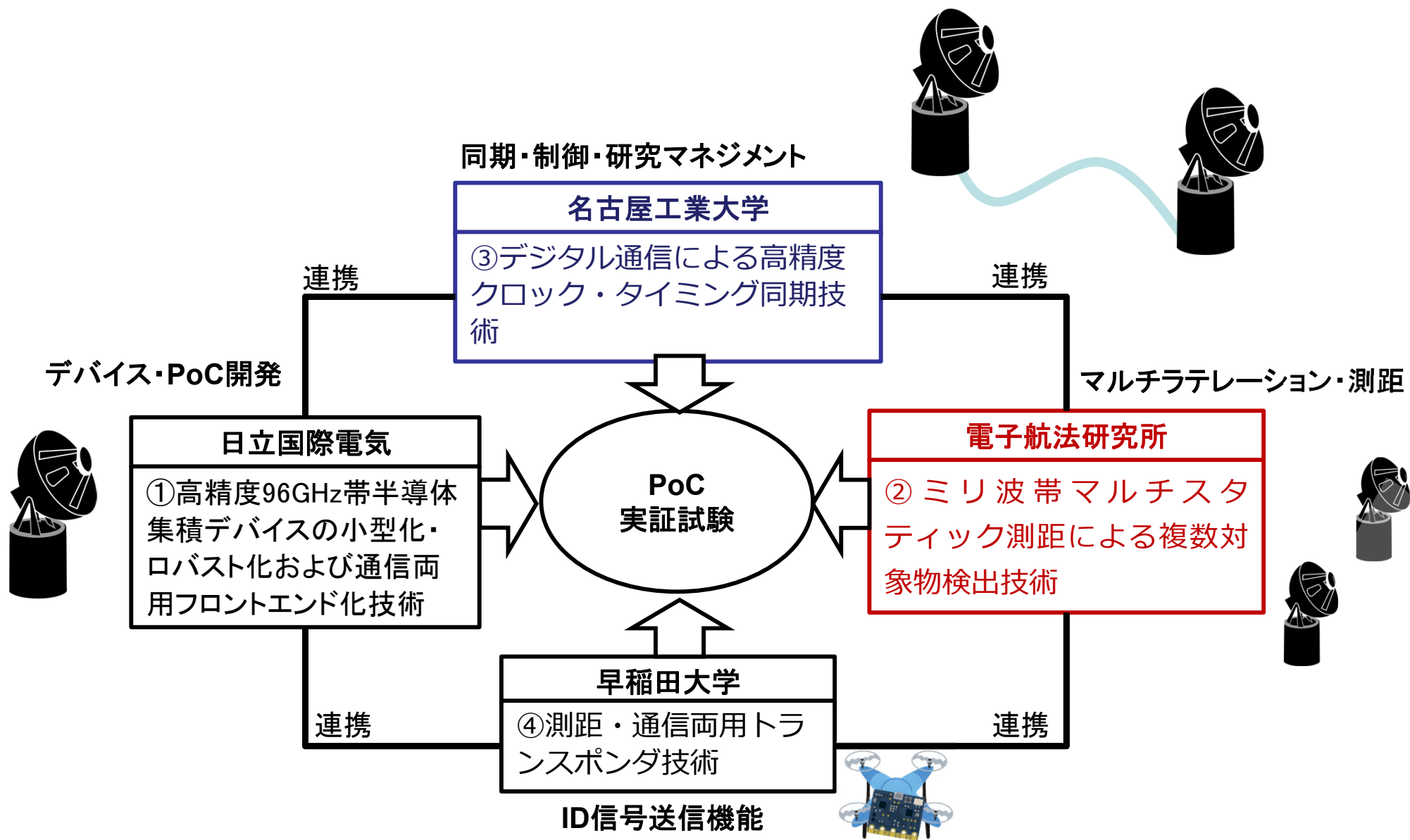
- 96GHzミリ波レーダを協調動作させることで
 - ✓ 複数台ドローンの同時検出
 - ✓ トランスポンダによるID識別(2次レーダ的運用)
- を同時に行い、安全なドローン運用に寄与する高精度検知技術を確立する



到達目標

- ✓ 検出可能距離: 400 m以上 (高度150m以下)
- ✓ 検出可能なレーダ反射断面積 (Radar cross section, RCS):
-20 dBsm以下、1インチ直径・高さ金属円柱相当 (対角寸法
200mm以下の小型無人機)
- ✓ 検出速度: 360度全周5秒以内検知 (対地速度0m/s～40m/s＝
5秒間最大移動距離200m)
- ✓ ドローン固有ID識別機能具備 (鳥等の生物と誤認せずに検知)
- ✓ 複数装置同期によるマルチスタティック測距技術 (10機以上検
出)

研究実施体制と分担



電子航法研究所でのミリ波レーダ活用事例

■ 滑走路異物 (Foreign object debris, FOD) 監視用途

- 90 GHz帯 (92-100 GHz) を用い、滑走路に落下したFOD等を直ちに検出するためのミリ波レーダ

検出対象物のRCS: 0 ~ -50 dBsm

■ 空港面監視用途

- 90 GHz帯 (95-100 GHz) を用い、空港面探知用レーダとして航空機や車両の監視を行うためのミリ波レーダ

検出対象物のRCS: 40 ~ 0 dBsm

■ ヘリコプタ前方監視用途

- 76 GHz帯 (76-77 GHz) を用い、ヘリコプタに搭載して前方の送電線等の障害物の監視を行うためのミリ波レーダ

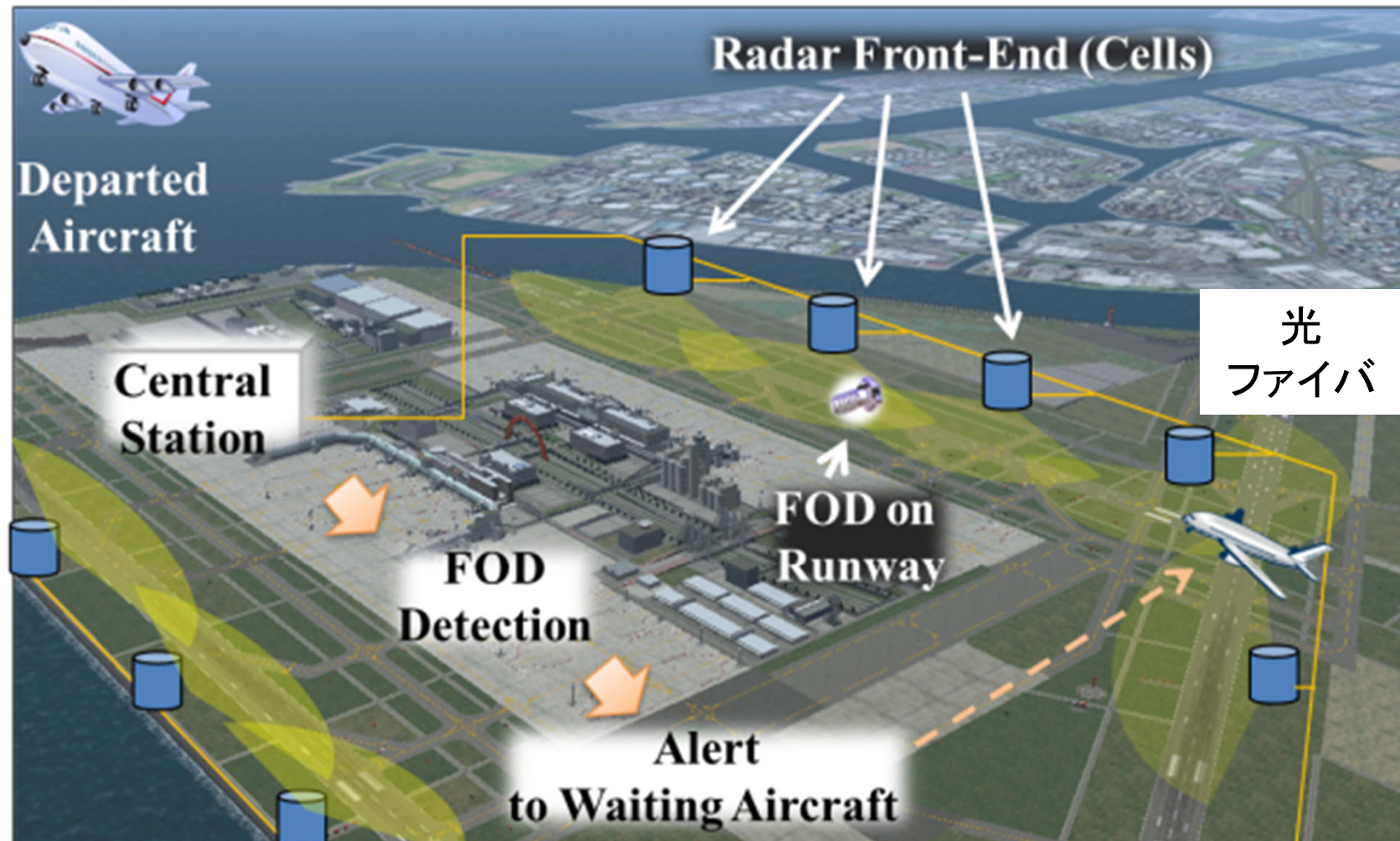
検出対象物のRCS: 20 ~ -20 dBsm

小型ドローン程度のRCS (76 GHzにおいて10 ~ -20 dBsm) の対象物については、ミリ波レーダ技術を用いた探知が期待できる

ミリ波レーダ事例①: 滑走路異物(FOD)監視

■ 滑走路異物(Foreign deject debris, FOD)監視システム

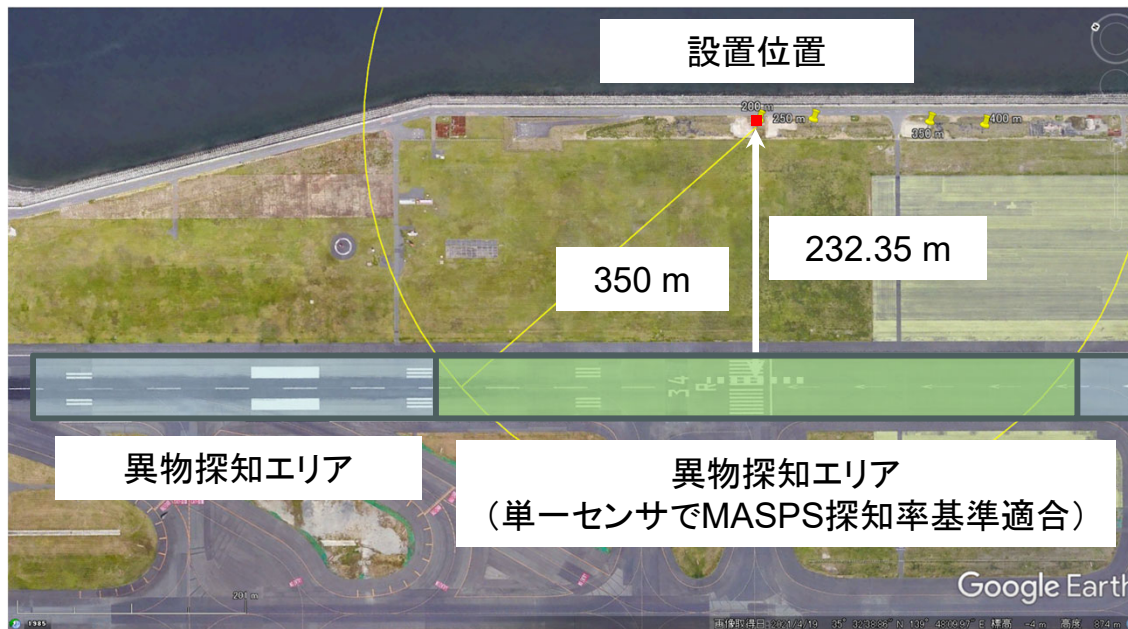
- 滑走路脇に設置した複数のミリ波レーダを中心としたセンサデータを光ファイバ経由で集約し、中央処理装置でFODの探知処理を実施



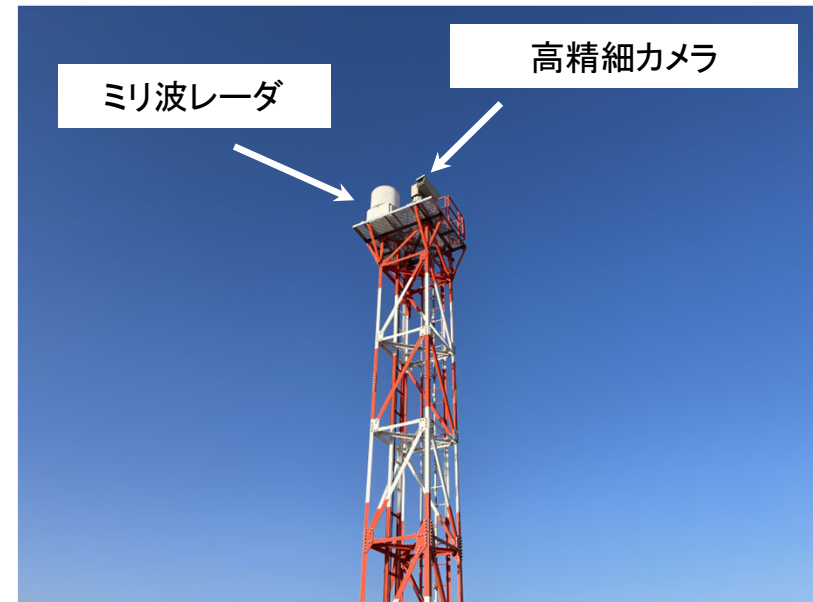
ミリ波レーダ事例①：滑走路異物(FOD)監視

■ 羽田空港評価システムの概要

- 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

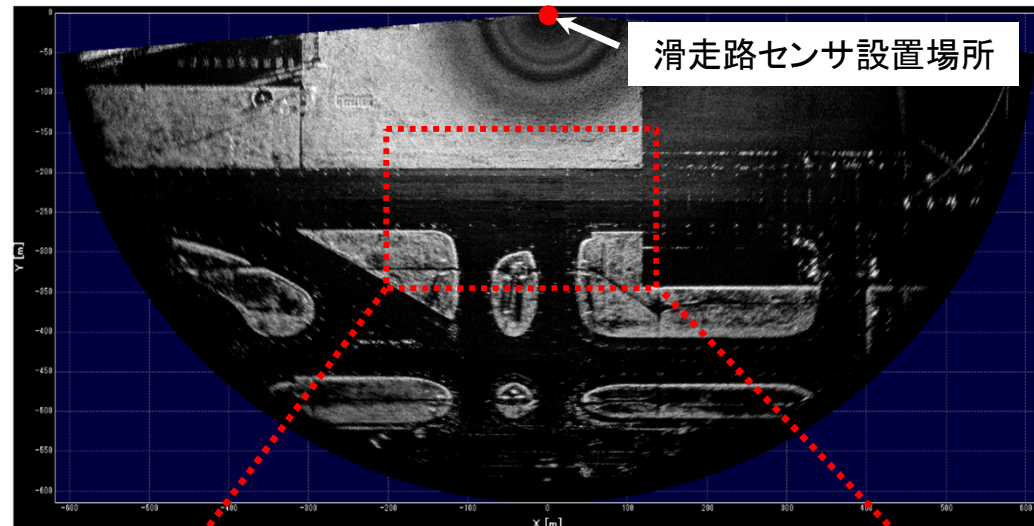
ミリ波レーダ事例①: 滑走路異物(FOD)監視

■ ミリ波レーダセンサの概要

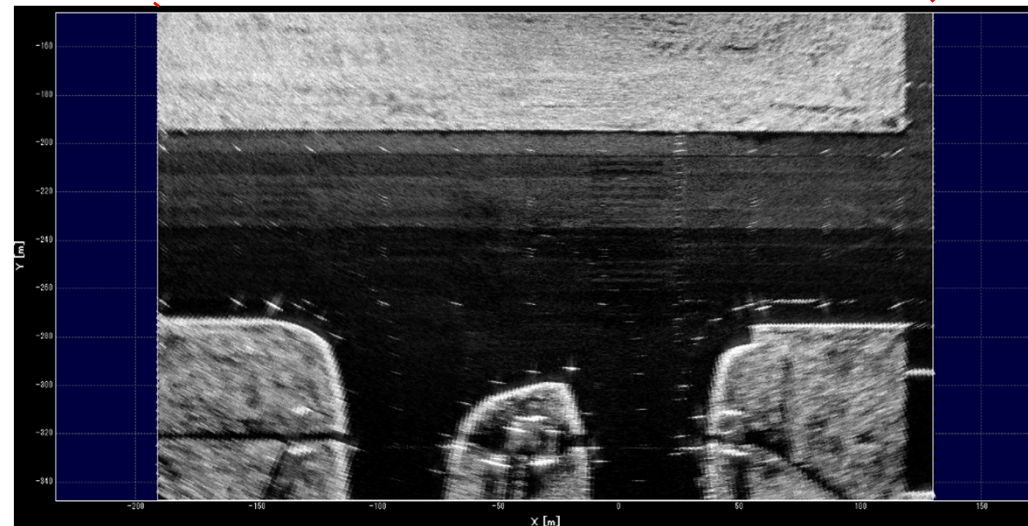
- FODを探知するため、エリア内を常時監視
- レーダセンサで得られたデータを中央局制御装置およびサーバ装置で信号処理・分析し、FOD情報を取得
- レーダセンサスコープ画素数は1センサあたり $32,768 \times 16,384$

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



レーダ覆域全域表示



一部拡大表示(赤線範囲内)
ミリ波レーダセンサのスコープ表示例

ミリ波レーダ事例①: 滑走路異物(FOD)監視

■ FODの検知事例(2025年9月25日早朝)

FOD Viewer

ALL Runway Range Antenna Range Camera View Restoration GoogleSatelliteMap

Bearing Negative

CameraView

Operator Auto Track X: 0.00 Y: 0.00 Move Zoom Wide One Push AF Save As

2024-09-25 05:54:58 0.21 [m]

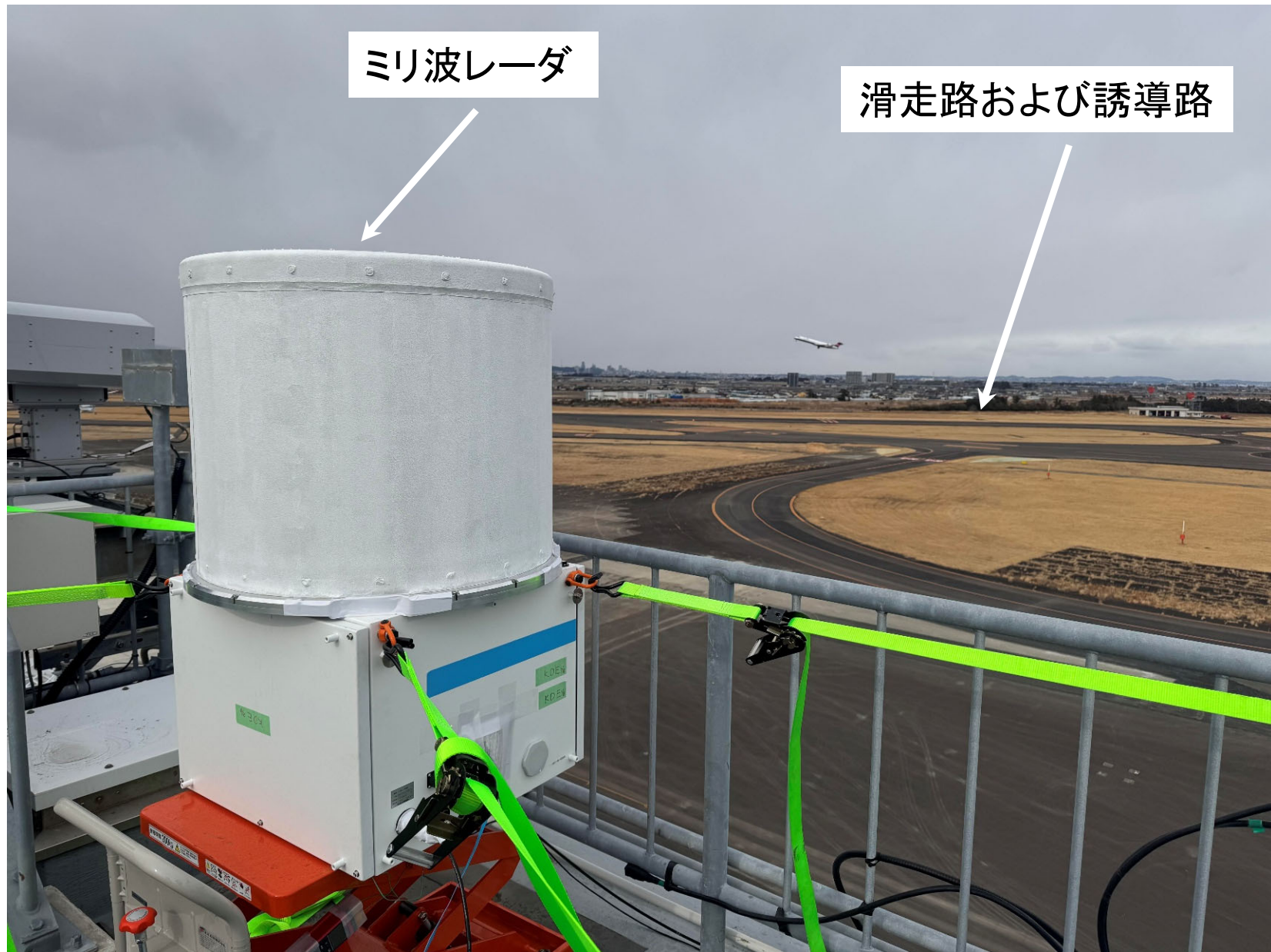
AF: Double Click Cropping: Ctrl + Double Click Zoom: Wheel Focus: Ctrl + Wheel Border

Initializing Camera Pan Tilt Wiper Status 00 00 28

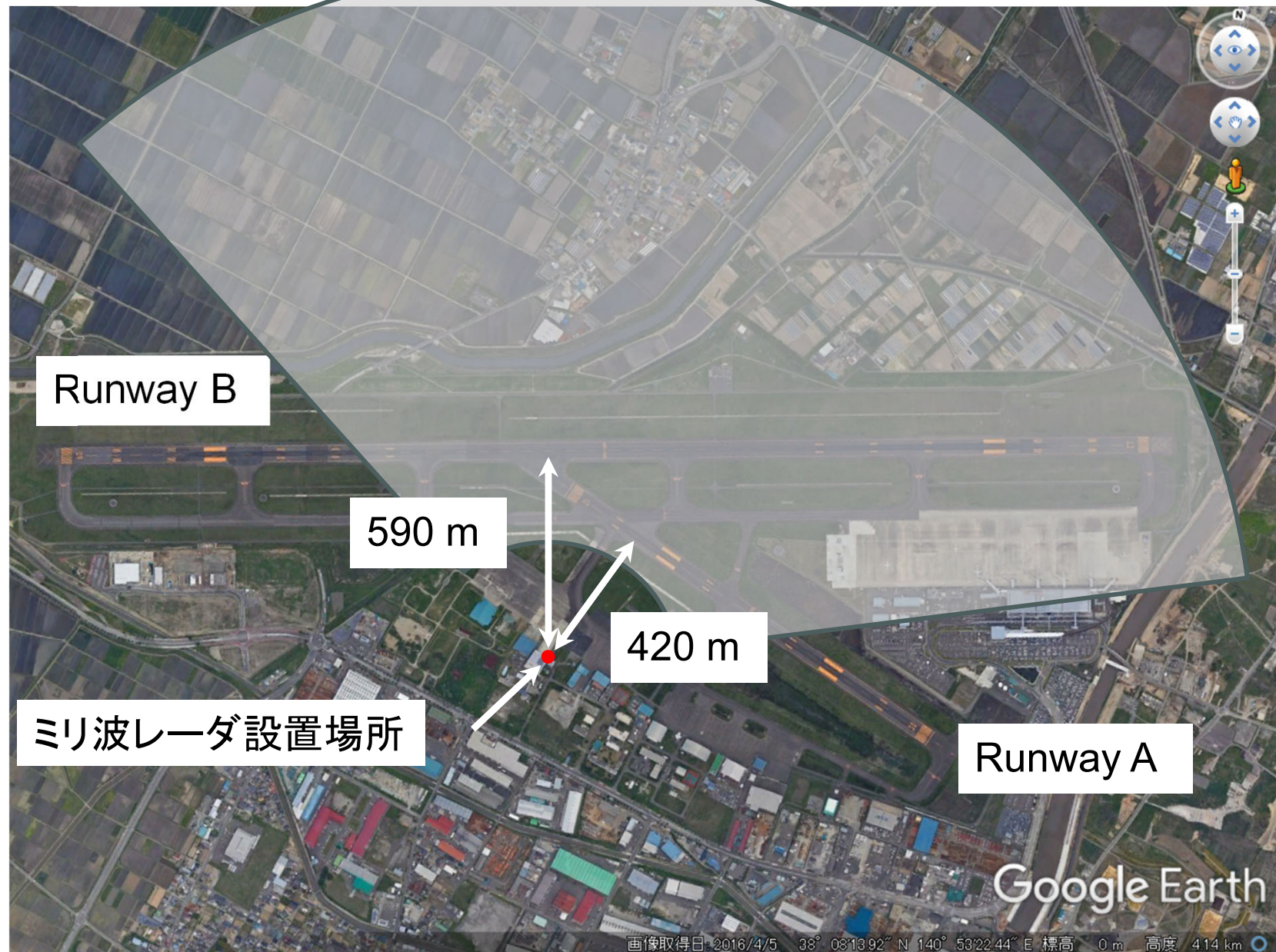
Day	Time	Elapsed	X[m]
2024/09/25	05:52:03	00:02:54	3137.53
2024/09/25	05:21:15	00:33:42	2971.29
2024/09/25	05:53:55	00:01:02	3039.33

Windows 11 taskbar: 検索, 2024/09/25 5:54

ミリ波レーダ事例②: 空港面監視

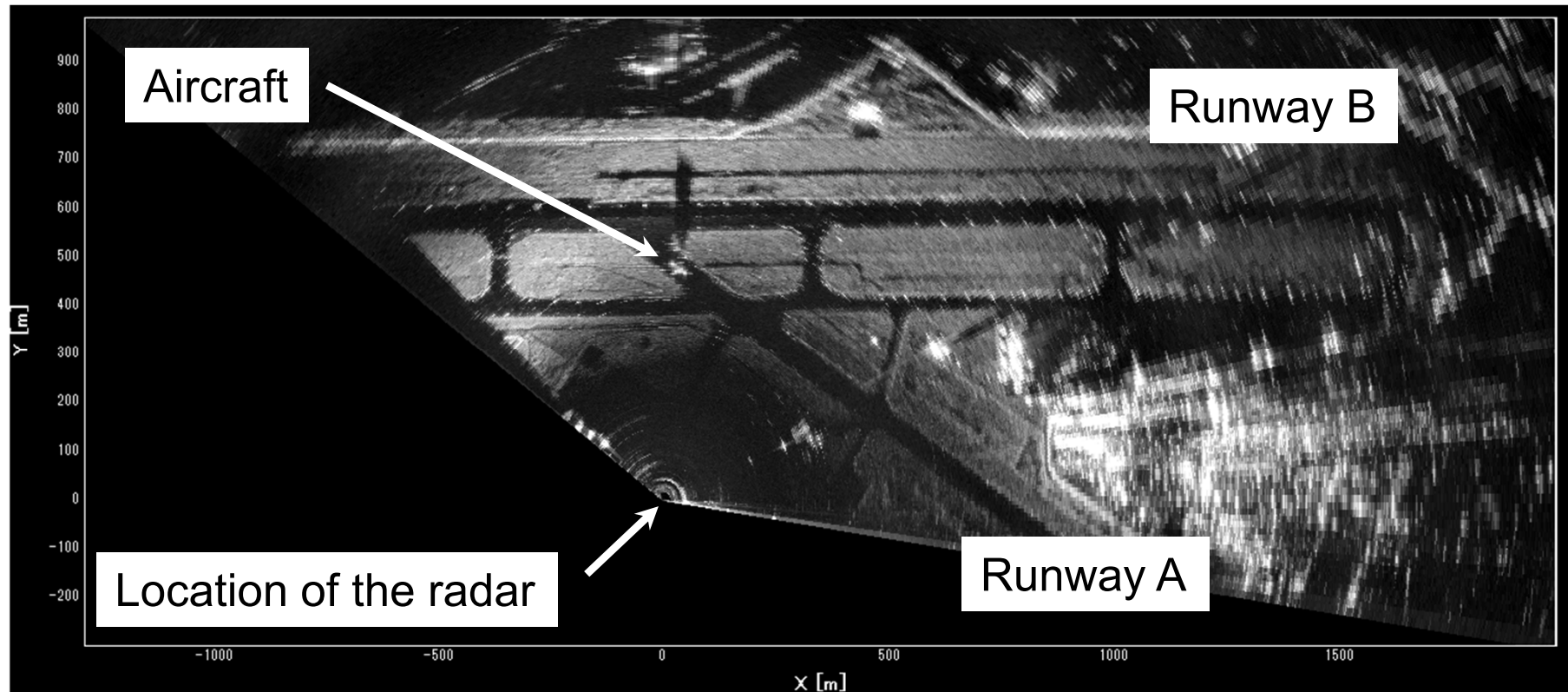


ミリ波レーダ事例②：空港面監視



ミリ波レーダ事例②: 空港面監視

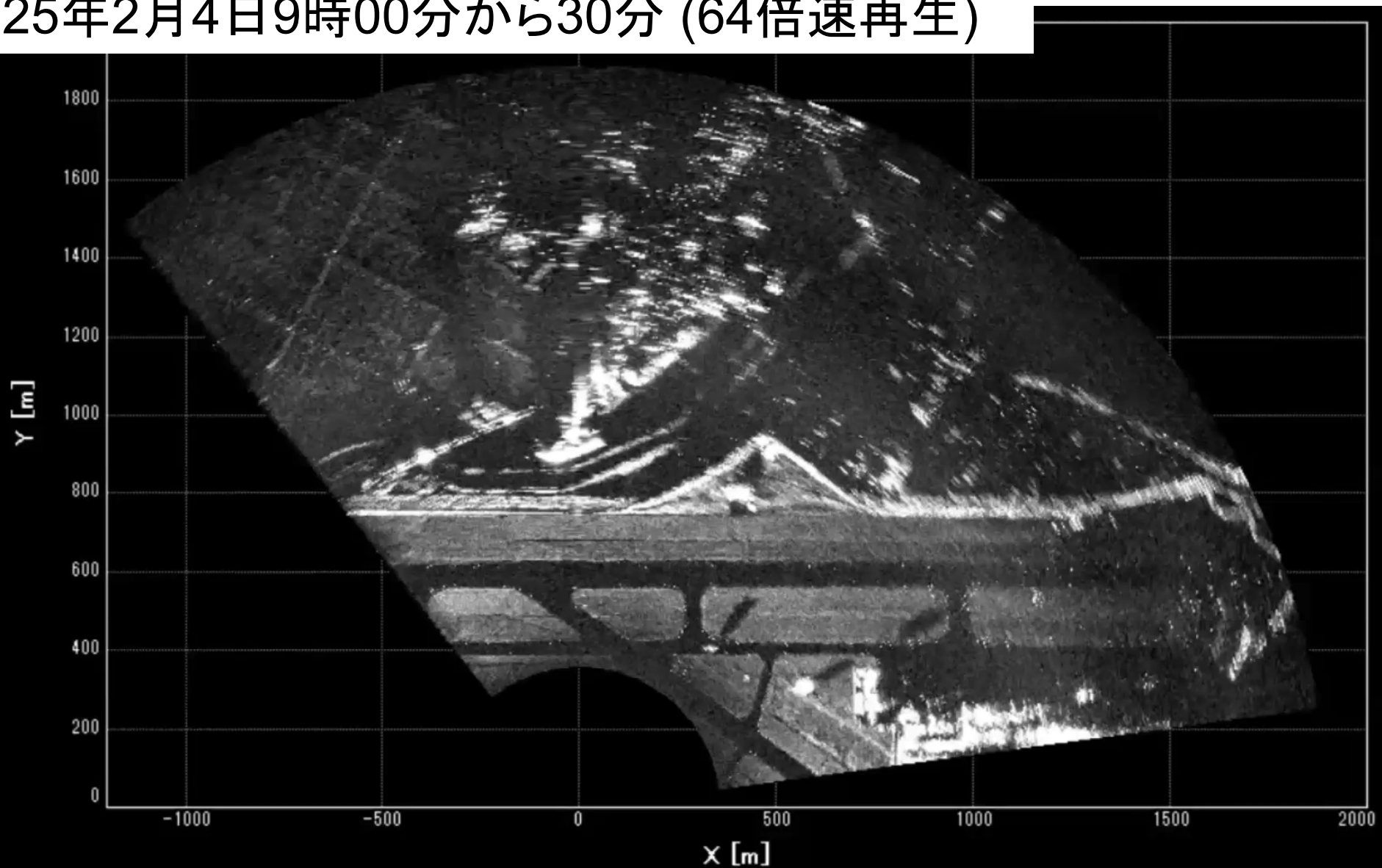
■ 仙台国際空港におけるレーダビデオ画像例



滑走路、誘導路等の状況を毎秒一回更新頻度で確認可能

ミリ波レーダ事例②：空港面監視

2025年2月4日9時00分から30分 (64倍速再生)

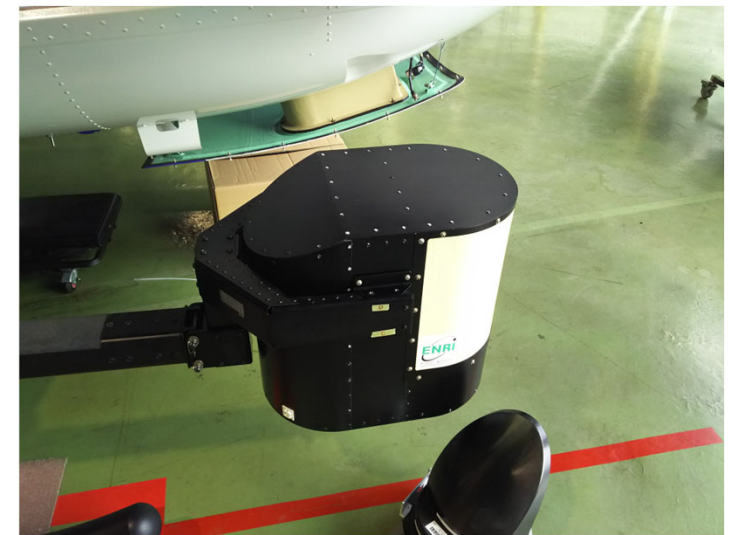


ミリ波レーダ事例③：ヘリコプタ障害物監視

■ ヘリコプタ搭載試験概要

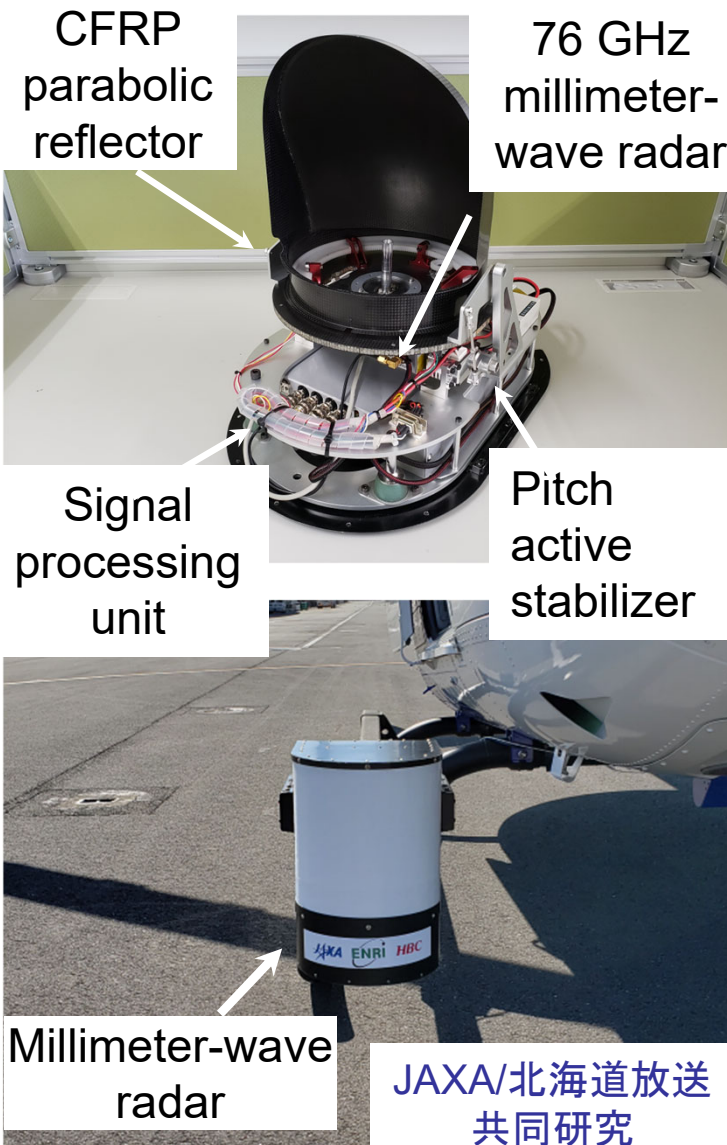


Collaboration with:
Japan Aerospace Exploration
Agency (JAXA)
Hokkaido Broadcasting Co.,Ltd.
(HBC)



開発した前方監視用ミリ波レーダを用いたヘリコプタ搭載試験を
JAXA、北海道放送と共同で複数回実施

ミリ波レーダ事例③：ヘリコプタ障害物監視

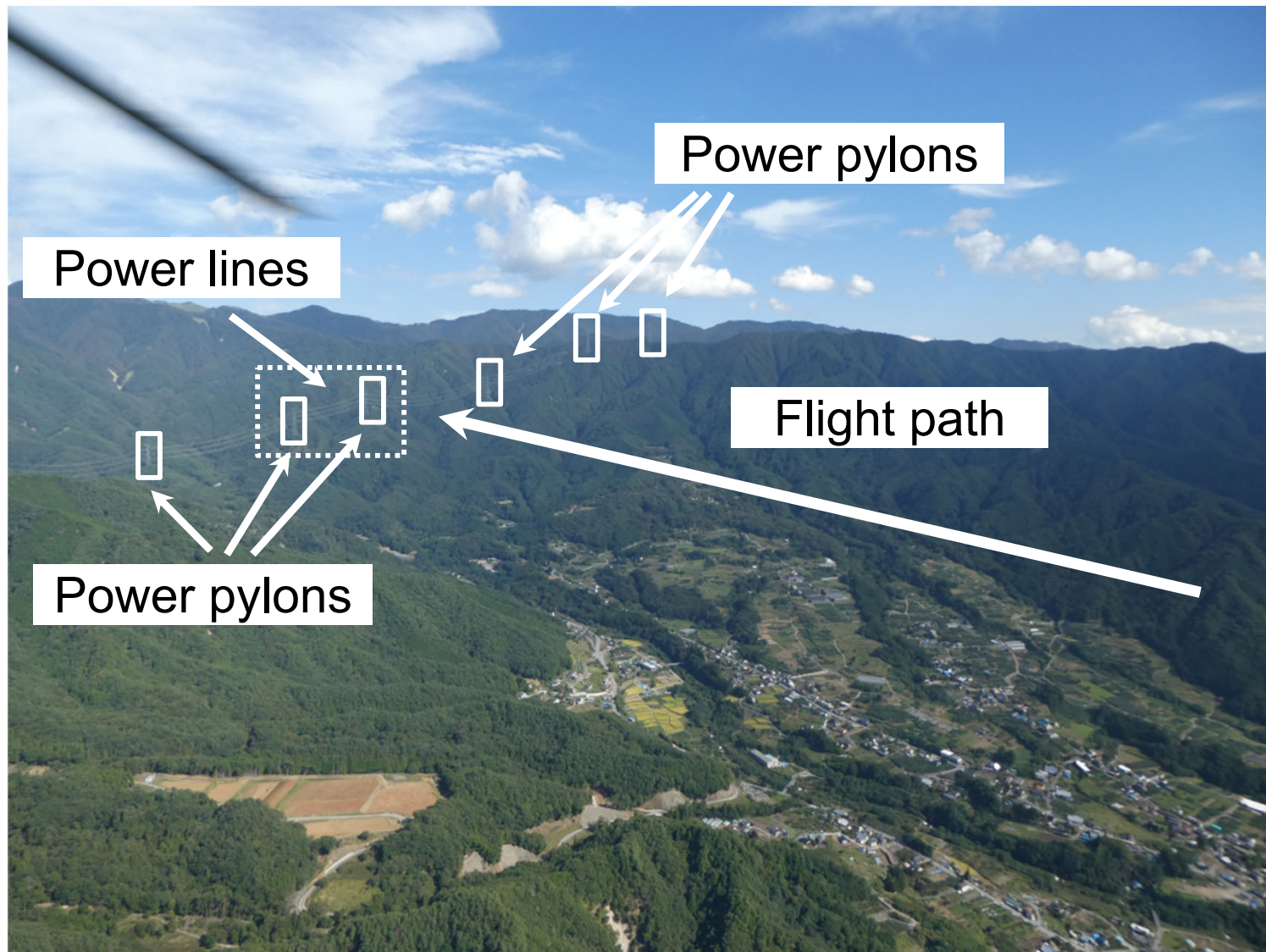


開発年度	2018
中心周波数(GHz)	76.5
帯域幅(MHz)	500 以下
送信電力(dBm)	10
アンテナ利得(dBi)	35.6(円偏波)
アンテナ走査範囲	2次元(仰角・方位角)
アンテナ半値角度(度)	1.9/2.7(方位角/仰角)
重量(kg)	6
測距方式	FMCW
信号処理回路	内蔵
積算処理/閾値処理	あり/あり
送電線鉄塔データベースとの連携	あり
最大探知距離(m)	4,096
送電線探知距離(実測値)(m)	2,860
無線局免許	不要(特定小電力)

レーダ内部回路/レーダ信号処理回路/レドームを改善

ミリ波レーダ事例③：ヘリコプタ障害物監視

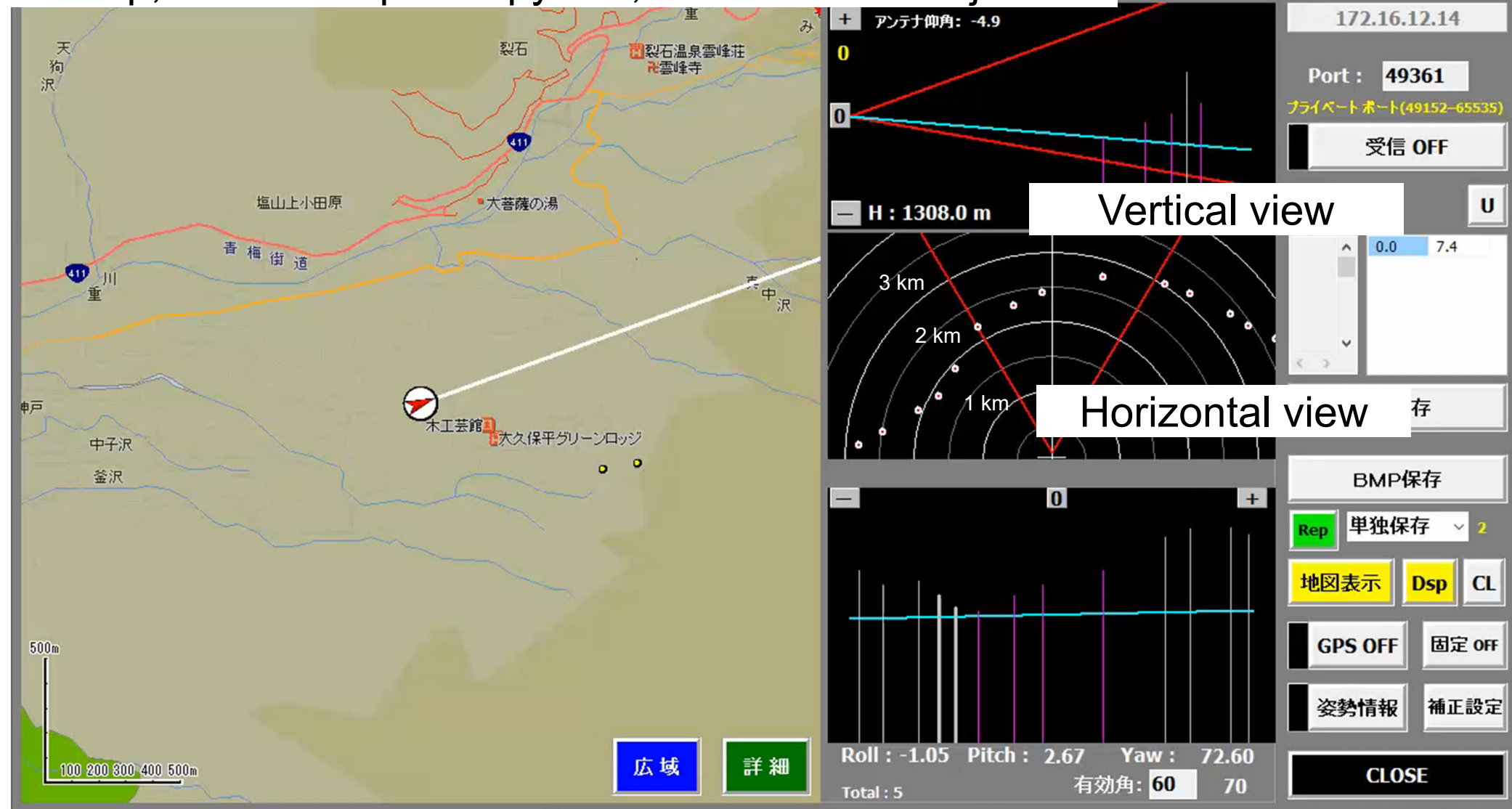
■ 試験場所概観



ミリ波レーダ事例③：ヘリコプタ障害物監視

■ 送電線鉄塔データベース・レーダ探知データ合成表示

Map, location of power pylons, and detected objects



本テーマにおけるドローン検知法①

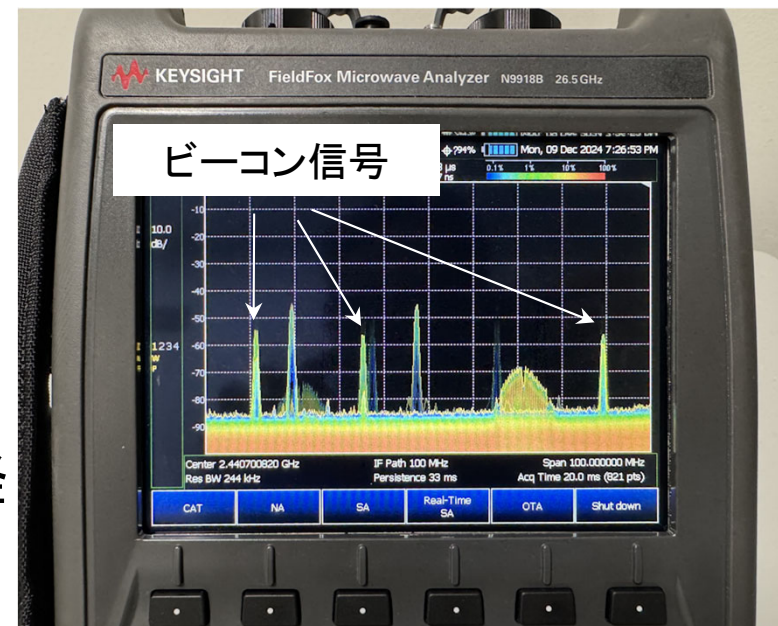
■ 検知対象ドローンの分類と検知

➤ 検知対象ドローンを下記の3種別に分けて識別・測距を同時実現

- ① 位置情報および識別符号を送信しているドローン(リモートID型)
位置情報および識別符号信号を含むリモートID信号(ASTM International F3411-19準拠)の受信・復調により識別および位置を確定
- ② 位置情報がなく識別符号のみを送信しているドローン(位置情報無しリモートID型)
識別符号信号の位置情報無しのリモートID信号の複数地点受信・復調によるマルチスタティック測距を行う。有線接続のTDOA方式もしくは受信電力差方式による位置を計算
- ③ 位置情報も識別符号も送信していないドローン(Unknown型)
高速走査レーダにより位置確定を行い、識別番号を付与

本テーマにおけるドローン検知法②

- 位置情報および識別符号を送信しているドローン
 - 位置情報および識別符号信号を含むリモートID信号 (ASTM International F3411-19準拠) の受信・復調により識別および位置を確定
- リモートID
 - 2.4 GHz帯ビーコン無線を利用 (Bluetooth 5.x Bluetooth LE Long Range、Wi-Fi Neighbor Awareness Networking、Wi-Fi Beacon)
 - 1秒に一回送信
 - 最大1500 m伝送
 - 送信情報: 登録番号、製造番号、緯度経度高度、時刻、認証情報
 - 2022年6月20日以降、機体重量100 g以上のドローンには「リモートID機能」を備えることが法整備化



本テーマにおけるドローン検知法③

- 位置情報がなく識別符号のみを送信しているドローン(位置情報無しリモートID型)
- 識別符号信号の位置情報無しのリモートID信号の複数地点受信・復調によるマルチスタティック測距を行う。有線接続のTDOA方式もしくは受信電力差方式による位置を計算

ビーコン信号

タイムスタンプの取得

 **DJI-AIR3-6E...**  459 

☆ Fav

監視

...

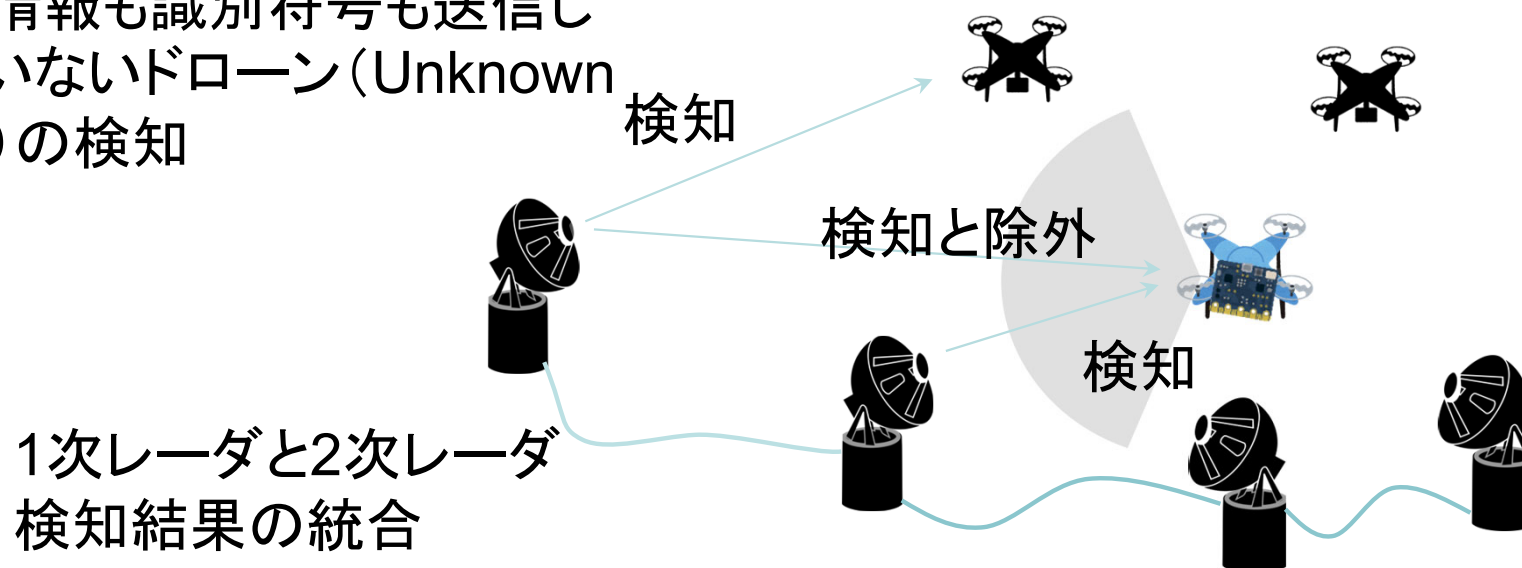
BDAAddress	E4:7A:2C:E8:6E:A8
AdvMode	Legacy
RSSI	-29dBm
typeManufacturerSpecificData	AA08720000E47A2CE86EA8
typeSlaveConnectionIntervalRange	0C001400
typeTxPowerLevel	00
typeCompleteLocalName	DJI-AIR3-6EA7
type16BitServiceUUIDComplete	1812180FFFF0
typeFlags	1A

本テーマにおけるドローン検知法④

■ 位置情報も識別符号も送信していないドローン(Unknown型)

➤ ミリ波帯を用いた高速走査レーダにより位置確定を行い、識別番号を付与

③高速走査レーダによる位置情報も識別符号も送信していないドローン(Unknown型)の検知



①位置情報・識別符号を送信しているドローン(リモートID型)および②位置情報がなく識別符号のみを送信しているドローン(位置情報無しリモートID型)の検知

まとめ

■ まとめ

ミリ波帯マルチスタティック測距を用いたドローン探知技術

ミリ波帯電波によるマルチスタティックイメージング技術を活用した
ドローンの検知を行い、安全なドローン運用に寄与

距離400 m以内、高度150 m以下に存在する
複数の小型無人機を分別しながら同時に探知する目標を設定

複数のミリ波レーダ（1次レーダ）と識別信号のマルチスタティック
測距により様々なドローンの検知を実現

■ 今後の予定

- 提案しているドローン検知法の原理確認システムの構築