

羽田空港での滑走路異物監視システムの評価計画

監視通信領域 ※二ッ森 俊一，森岡 和行，河村 暁子，米本 成人

1 まえがき

滑走路異物（Foreign object debris, FOD）監視システムは、FOD を自動的に探知し、空港運用者に情報を提供するシステムであり、空港運用に係る安全性向上のために導入が進められている。FOD 監視システムの導入は、FOD に起因する事故を未然に防ぐだけでなく、滑走路を閉鎖して実施する滑走路点検の時間短縮を図ることが可能となる。これにより、滑走路利用効率の向上および空港滑走路閉鎖に伴う航空機の上空待機時間の低減が図れ、CO2 排出削減が期待できる。電子航法研究所らの研究グループでは、実用化に向けた FOD 監視システムの開発を実施し、国際技術基準を超える探知性能達成とレーダセンサ設置条件の明確化をしたところである[1]。

本稿では、東京国際空港（以下、羽田空港）で令和5年3月から開始した、FOD 監視システム評価装置を用いた試験計画について議論を行う。本評価では、実用化に先立ち、最適なシステム動作パラメータを取得するため、滑走路における FOD 監視環境の変動評価および対策を行う予定である。加えて、システム信頼性評価および将来的なシステム低コスト化に向けた検討を行う。まず、FOD 監視システム評価装置の概要および仙台国際空港において実施した探知性能評価結果について述べる。次に、羽田空港に設置した FOD 監視システム評価装置の概要を述べ、今後実施予定の誤検知、未検知、環境変動および信頼性確認等の評価項目について議論を行う。最後に、ミリ波レーダセンサおよびカメラからなる滑走路センサのデータ取得例を紹介する。

2 FOD 監視システム用レーダセンサの概要

提案している FOD 監視システムでは、まずミリ波レーダセンサを用いて異物を探知し、その後、レーダセンサで得られた位置情報に基づき、FOD のカメラ画像を取得する。表 1 に、

表 1 FOD 探知用ミリ波レーダ仕様

周波数帯	92 GHz – 100 GHz
送信帯域幅	最大 8 GHz
送信電力	18 dBm
アンテナ利得	43 dBi

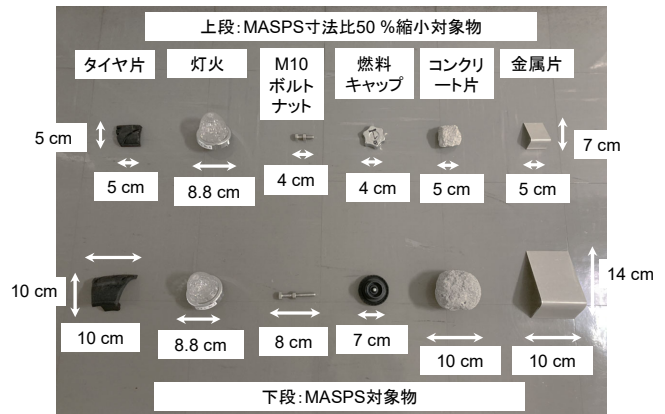


図 1 EUROCAE ED-235 MASPS 探知率試験における評価対象物

これまで開発し、評価システムに適用している、FOD 探知用ミリ波レーダ仕様を示す。90 GHz 帯を用いた広帯域ミリ波レーダであり、最大 8 GHz の送受信帯域幅を有する。90 GHz 帯ミリ波レーダを用いることで、ライダーや特定小電力ミリ波レーダ等を利用した他の FOD 探知センサと比較し、高い探知性能と悪天候への耐候性を両立することができる。また、最大 8 GHz の広信号帯域幅を活用し、高分解能かつ高い滑走路面クラッタ除去性能を実現している。

羽田空港での評価システム設置に先立ち、仙台国際空港において、複数回の性能評価試験を実施した。夜間の滑走路閉鎖時間帯において、高所作業車を用いて仮設でレーダセンサを設置し、滑走路上の異物を設置し、探知率評価を行う。FOD 監視システムの最低性能要件として、アメリカ連邦航空局（Federal Aviation Administration, FAA）から発行された FAA AC150/5220-24 [2]（2009 年 9 月発行）および

表2 MASPS 対象物の探知率（距離 350 m）

サンプル	測定数	探知数	探知率 (%)
タイヤ片	117	117	100
灯火	117	117	100
M10 ボルトナット	117	116	99.1
燃料キャップ	117	117	100
コンクリート片	117	117	100
金属片	117	112	95.7

表3 MASPS 寸法比 50 %対象物の探知率（距離 350 m）

サンプル	測定数	探知数	探知率 (%)
タイヤ片	117	117	100
灯火	117	117	100
M10 ボルトナット	117	114	97.4
燃料キャップ	117	117	100
コンクリート片	117	117	100
金属片	117	116	98.3

欧州民間航空機器機構（European Organisation for Civil Aviation Equipment, EUROCAE）から発行された EUROCAE ED-235 [3]（2016年3月発行）の2種がある。ここでは、ED-235における晴天時探知率 95%以上の確認を実施する。図1に、EUROCAE MASPS 探知率試験における評価対象物を示す。EUROCAE ED-235では、基準対象物として、タイヤ片（10 cm 以下）、灯火、M10 ナット・ボルト（8 cm 以下）、燃料キャップ（7 cm 以下）、コンクリート片（10 cm 以下）、歪んだ金属片等の6種が定められている。今回の試験では、上記6種の対象物について、ED-235 対象物および寸法比 50%の対象物について評価を実施した。なお、測定回数 100 回以上が求められているため、起伏の異なる滑走路上の複数地点に対象物を設置し、設置角度等についても様々な条件での評価を行う。

表2および表3に、それぞれ、覆域端である距離 350 m で評価した MASPS 準拠対象物および MASPS 寸法比 50%対象物の探知率を示

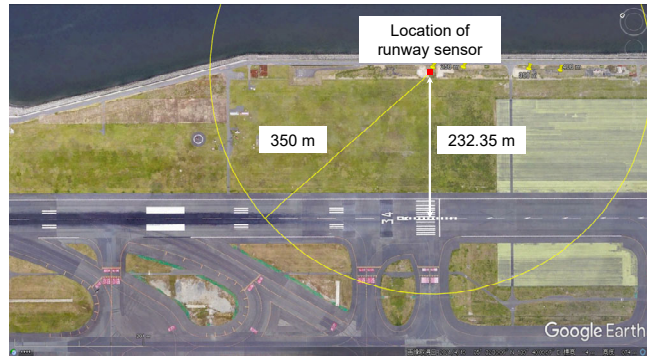


図2 羽田空港における FOD 監視システム評価装置の設置場所

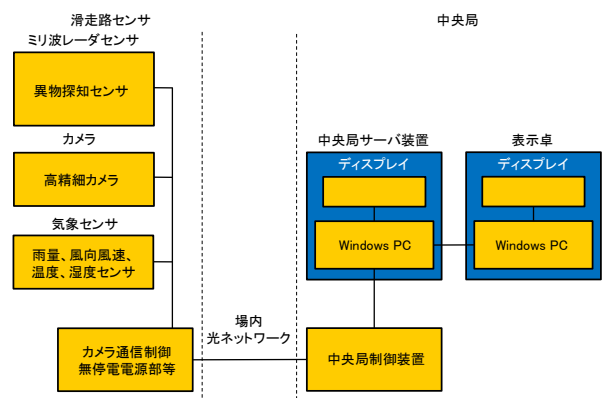


図3 FOD 監視システム評価装置の系統図

す。いずれの対象物においても晴天時探知率 95%以上を満たすこと、また寸法を 50%に縮小しても探知率 95%以上を維持することを明らかにした。

3 羽田空港へ設置した FOD 監視システム評価装置の概要

FOD 監視システムでは、滑走路上の探知覆域を、複数の滑走路センサで分割して FOD 探知を行う。評価装置では、その中の1つの監視覆域を対象として、滑走路脇に設置した1局の滑走路センサと東京空港事務所庁舎内に設置した中央局の構成で評価を実施する。図2に、滑走路センサの設置場所を示す。C 滑走路 34L 側の GS シェルタ付近に、各種センサを搭載した FOD 監視システム評価装置鉄塔を設置した。滑走路中心から鉄塔までの距離は、約 232 m であり、センサから 350 m の範囲を FOD 探知覆域としている。また、図3に、FOD 監視システム評価装置の系統図を示す。今回の評価装

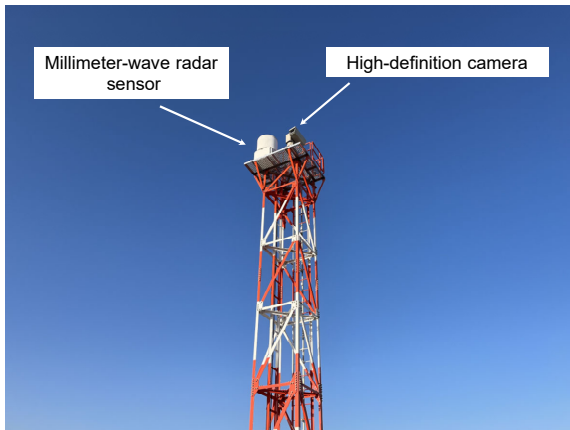


図4 FOD監視システム評価装置
滑走路センサ鉄塔の概観

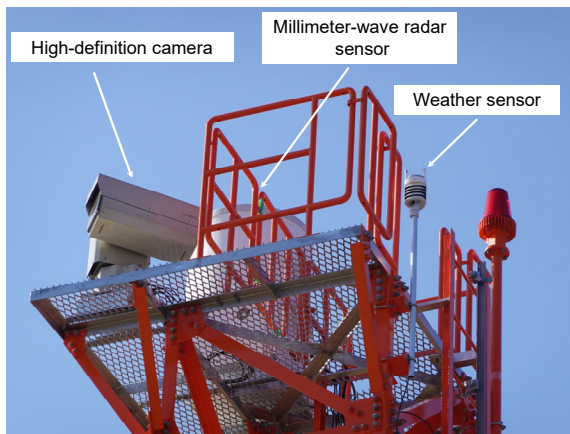


図5 FOD監視システム評価装置
滑走路センサ鉄塔上部の概観

置は、滑走路センサ1局の構成であるが、実用システムでは、監視覆域に応じて、必要な局数に設定することを想定している。滑走路センサと中央局間は光ファイバケーブルで接続し、機器制御および監視情報の伝送を行う。天候影響評価も実施するため、雨量、風速、温度、湿度等のデータを取得するための気象計を設置している。図4および図5に、それぞれ滑走路異物監視システム評価装置滑走路センサ鉄塔および鉄塔上部の概観を示す。鉄塔の塔頂部踊り場の滑走路対面方向にミリ波レーダセンサおよび高精細カメラを設置している。反対側には気象センサを設置する。高精細カメラは旋回台を有し、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している。

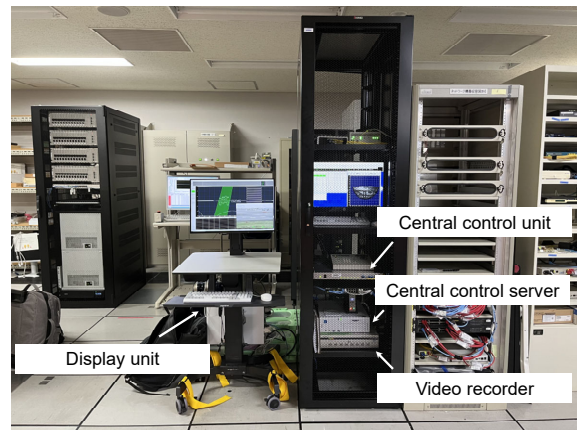


図6 中央局装置の概観（左側：表示卓，右側：中央局制御装置およびサーバ装置）

図6に、中央局装置の概観を示す、中央局装置は、主として中央局制御装置、サーバ装置、および表示卓から構成される。評価装置では、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・分析する。具体的には主として、次の項目を評価する。

- ・ 滑走路周辺環境および動物物（鳥など）に起因する誤検知の検証、評価を行う。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、時間帯等を評価する。
- ・ 未検知の検証、評価を行う。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検知結果を分析することにより、未検知原因を評価する。
- ・ 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を行う。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）を評価する。また、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する。

4 滑走路センサデータ例

令和5年3月に評価システムを設置後、機器調整およびデータ取得を実施している。図7に、滑走路センサ設置位置における滑走路方向の見

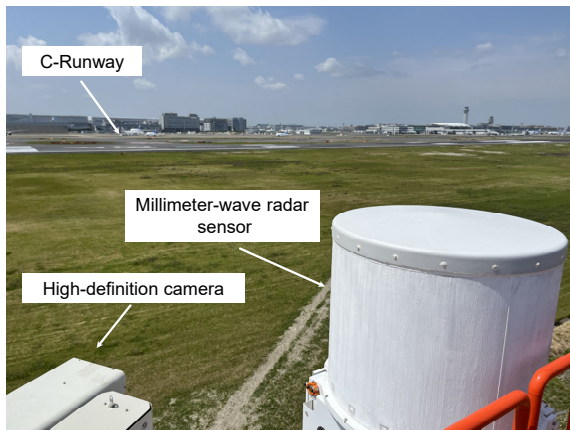


図7 滑走路センサ設置位置からの滑走路の見通し状況

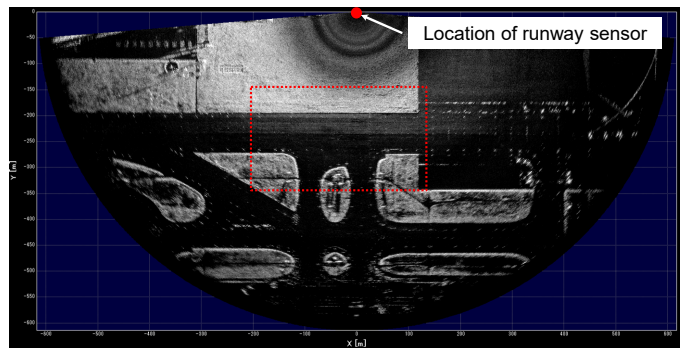


図8 カメラ画像例（距離220 m滑走路灯）

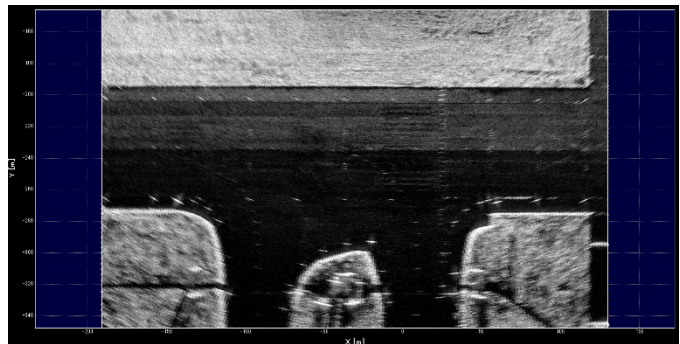
通し状況を示す。図8に、高精細カメラで220 m先の滑走路灯を撮影した映像を示す。図から灯火の細部まで明瞭に撮影可能であることが確認できる。また、図9(a)および(b)に、ミリ波レーダセンサのスコープ表示例を示す。図9(a)からレーダ覆域全体において、広帯域信号を用いた高分解能特性が確認できる。また、図9(b)から覆域を拡大表示しても、滑走路灯火や地形情報等、細部まで詳細な情報を取得できることが明らかである。

5 まとめ

FOD監視システム評価装置の概要および探知性能について述べた上で、羽田空港設置状況および評価計画について述べた。今後、評価結果に基づき、最適なシステム動作パラメータを明らかにし、本装置を用いた検証を実施する。



(a) レーダ覆域全域表示



(b) 一部拡大表示（赤線範囲内）

図9 ミリ波レーダセンサのスコープ例

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。

参考文献

- [1] S. Futatsumori et. al., “Performance evaluations of airport runway foreign object detection system using a 96 GHz millimeter-wave radar system based on international standard”, Proc. of the 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, pp.1-2, Sept. 2022.
- [2] FAA, “Airport Foreign Object Debris (FOD) Detection System”, Advisory Circular AC150/5220-24, September 30, 2009.
- [3] European Organization for Civil Aviation Electronics, “Minimum Aviation System Performance Specification for Foreign Object Debris Detection System”, ED-235, Mar. 2016.