羽田空港での滑走路異物監視システムの評価進捗

監視通信領域 ※二ッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 米本 成人

1 はじめに

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はなく,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,センサ単体で国際技術基準を超 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[1]。

本稿では、東京国際空港(以下,羽田空港) で2023年3月から実施している、FOD 監視シ ステム評価装置[2]を用いた評価進捗について 議論を行う。最初に羽田空港へ設置したFOD 監視システム評価装置の概要を述べる。次に、 国際技術基準への適合性評価について議論を行 う。評価システムを用い、誤検知、未検地、環 境変動および信頼性確認等の複数評価項目を実 施しているが、その中でも国際技術基準の探知 率、探知時間、位置精度、複数対象物分離性能 等の評価項目への適合性評価結果についてこれ までに得られた結果を示す。

2 羽田空港へ設置した FOD 監視システム評 価装置の概要

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 の後に、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。また、 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



図1 東京国際空港におけるFOD 監視システム評価装置の設置位置



図 2 FOD 監視システム評価装置 滑走路センサ鉄塔の概観

走路センサと東京空港事務所庁舎内に設置した 中央局の構成である。図1に,滑走路センサの 設置場所を示す。C滑走路34R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232mであり,セン サから350mの範囲を設計上のFOD 探知覆域 としている。評価装置では,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気 象計を設置している。図2および図3に,そ



- 図 3 FOD 監視システム評価装置 滑走路センサ鉄塔上部の概観
- 表1 FOD 探知用ミリ波レーダ仕様

| 周波数带 | 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 |

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。

表1に、これまでに開発し、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 確保している。

3 EUROCAE MASPS ED-235A 適合性評価

FOD 監視システムの最低性能要件として, 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-235A [3] (2016年3 月発行)がある。ここでは,評価システムを用 いて実施した,探知率,探知時間,位置精度,

| 評価項目 | 要求性能 |
|-------|--------------------|
| 探知率 | 6種の基準対象物を晴天時95% |
| | 以上の探知率で探知すること |
| 探知時間 | 4 分以下 |
| 位置精度 | 5 m 以下 |
| 複数対象物 | 10 m 間隔で設置した 3 つの金 |
| 分離性能 | 属円柱を分離可能であること |



図 4 EUROCAE ED-235A MASPS 探知率試験 における評価対象物

複数対象物分離性能の4つの評価項目について 議論を行う。表2に評価項目と要求性能を示す。 本試験は,主に2024年2月および3月の夜間 滑走路閉鎖時間に実施した。

最初に, FOD の探知率評価について述べる。 探知性能については、6 種類の基準対象物に対 し、晴天時 95 %以上の探知率が要求されてい る。図4に、探知率試験における評価対象物を 示す。EUROCAE ED-235A 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。本試 験では、上記 6 種の対象物について、ED-235A 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、各測定条件において測定 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9か所に同一対象物を 設置し,30 度毎に 360 度回転させることで設 置角度等についても様々な条件での評価を行う。



図5 探知率試験における評価対象物設置位置

図5に,探知率試験における評価対象物設置 位置を示す。評価場所は滑走路内の5か所であ り, 最も滑走路センサに近い 235 m 地点, お よび北側 350 m 地点, 南側 350 m 地点, 北側 500 m 地点, 南側 500 m 地点の 5 か所である。 350 m 地点は設計上の覆域端であり, 500 m 地 点は覆域以上における探知率を評価するために 試験を実施する。表3に、MASPS 基準対象物 の探知率を示す。350 m以内の場所においては, 全ての対象物の探知率は95%以上であり、灯 火, 燃料キャップおよびコンクリート片の探知 率は 100 % である。 500 m 地点では M10 ボル ト・ナットの探知率低下が観測されているが, ボルト・ナットの低背構造と高い反射指向性に 起因するものである。表4に, MASPS 寸法比 50%対象部の探知率を示す。試験結果から350 m 以内の範囲においては、全ての対象物につ いて探知率 95 %以上である。なお、南側 500 m 地点においては、時間の制約のために測定 は未実施である。これらの結果から、構築した 評価システムは MASPS 基準を超える探知率を 有することを確認した。

次に,探知時間と位置精度の評価結果につい て述べる。探知時間と位置精度はそれぞれ4分 以下および5m以内が求められている。図6 に,探知時間評価および位置精度評価における 金属円柱の設置位置および結果を示す。評価は 探知率と同様に5か所で実施し,滑走路中心に, 直径4cm,高さ3cmの金属円柱を設置する。 探知時間は測定者が評価地点に金属円柱を設置 してから FOD 監視システムの表示画面に検出 されるまでの時間を評価する。測定結果は全て

| サンプル | 北側 | 北側 | 235 m | 南側 | 南側 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 500 m | 350 m | | 350 m | 500 m |
| タイヤ片 | 98.3 | 99.1 | 98.3 | 100 | 96.6 |
| 灯火 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| M10 | | | | | |
| ボルト | 68.4 | 97.4 | 98.3 | 95.7 | 43.6 |
| ナット | | | | | |
| 燃料 | 100 | 100 | 100 | 100 | 96.6 |
| キャップ | | | | | |
| コンク | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| リート片 | | | | | |
| 金属片 | 98.3 | 98.3 | 100 | 100 | 89.8 |

表3 MASPS 対象物の探知率

表 4 MASPS 寸法比 50 % 対象物の探知率

| | | | | | - |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| サンプル | 北側 | 北側 | 235 m | 南側 | 南側 |
| | 500 m | 350 m | | 350 m | 500 m |
| タイヤ片 | 95.7 | 100 | 99.1 | 99.2 | - |
| 灯火 | 100 | 100 | 100 | 100 | - |
| M10 | | | | | |
| ボルト | 71.4 | 98.3 | 99.1 | 95.7 | - |
| ナット | | | | | |
| 燃料 | 99.1 | 100 | 100 | 97.4 | - |
| キャップ | | | | | |
| コンク | 99.1 | 100 | 99.1 | 98.3 | - |
| リート片 | | | | | |
| 金属片 | 88.0 | 95.7 | 98.3 | 99.1 | _ |

1 分以下となっている。これは測定時のレーダ 更新頻度が約1分となっているためである。ま た,位置精度については、金属円柱設置地点に おけるキネマティック GPS 受信機の測位結果 と FOD 監視システムの画面に表示された検出 物体の座標の差分を評価する。差分は,0.46 m から 2.40 m の間であった。また,滑走路セン サの設計覆域である 350 m 以内では最大 1.34 m の差分となった。

最後に,複数対象物探知性能評価について述べる。滑走路中心に,10 m 間隔で設置した3 つの金属円柱(直径4 cm,高さ3 cm)の金属 円柱について,3 つに分離して同時に画面表示 されることが必要である。図7に,複数対象物 探知試験における金属円柱の設置位置を示す。



図 6 探知時間評価および位置精度評価に おける金属円柱の設置位置および結果



図7 複数対象物探知試験における金属円柱の 設置位置

評価を実施した全ての位置において設置した金 属円柱が3つに分離して同時に画面表示される ことを確認した。

3 FOD 検知結果例

2023 年 3 月に評価システムを設置後, C 滑 走路南側の評価エリア内におけるバードストラ イク, 落鳥, FOD 等の発生を探知している。

図 8 に,評価エリア内で探知した FOD の例を 示す。バードストライク,落鳥,FOD 等につ 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している。また,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 認している。

また,2024 年 10 月には,航空機の離陸時に 発生したエンジン破損により離陸中止した際に は,事例発生直後から多数の FOD を探知し,



図8 FODの検知結果例

深夜に FOD 回収が完了するまで反応が継続す ることを確認した。

4 むすび

羽田空港の設置している FOD 監視システム 評価装置の評価進捗について述べた。国際技術 基準適合性評価や FOD 検知結果例を中心に議 論を行ったが,誤検知評価のためのセンサ反応 分析も実施しており,今後結果を明らかにする。

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] 二ッ森 俊一, "96 GHz 帯ミリ波レーダを 用いた滑走路異物探知システムの研究開発状況 -東京国際空港に設置した滑走路異物監視シス テム評価装置の概要-,"信学技報, vol. 124, no. 320, SANE2024-50, pp. 45-49, 2024 年 12 月.

[3] European Organization for Civil Aviation Electronics, "Minimum Aviation System Performance Specification for Foreign Object Debris Detection System", ED-235A, Apr. 2024.