

6. 滑走路異物監視システムの高度化に向けた研究開発

監視通信領域 ※ニッ森 俊一，森岡 和行，河村 暁子，米本 成人
株式会社日立国際電気 柴垣 信彦，佐藤 洋介，加島 謙一

1. はじめに

2000年にフランス・シャルルドゴール空港で発生した、直前に離陸した航空機から脱落した金属片を原因とするコンコルドの事故以来、滑走路等上の異物（FOD）は、非常に重要な空港安全の課題の一つとして認識が高まっている[1]-[3]。また、バードストライクなどの突発的な事象は、異物の除去や滑走路の安全確認までに多大な手間と点検時間を発生させることになる。これらのFODは、空港運用において安全上の問題を発生させる可能性がある。また、航空機の離着陸を制限することから、空港の処理能力や運用効率を低下させる重大な要因となっている。このような背景の下、電子航法研究所らの研究グループでは、天候等の影響を受けにくく、小型かつ高分解能特性を実現できる分散型ミリ波レーダを主なセンサデバイスとするFOD探知システムの研究開発を行い、その実現可能性を空港面における実証実験で明らかにしている[4]。

本稿では、FOD探知システムの導入に向けたFOD探知率向上および確実性に対する課題を踏まえた実用化・システム高度化のための検討の一つとして、成田国際空港の試験システムを使い基準FODサンプルを用いた探知率の定量化を行う。まず、FOD探知システムの概要を述べる。次に、評価対象の複数の基準FODサンプルを紹介した上で、探知率の評価法について述べる。さらに、試験結果に基づき、異なる距離における探知率推定結果について議論を行う。

2. 成田国際空港における滑走路異物探知用ミリ波レーダシステム

図1および図2に、それぞれ成田国際空港における試験用FOD探知システムの設置場所およびレーダアンテナ局の設置位置を示す。本システムは、平成24年度から平成27年度にかけて株式会社日立製作所（平成28年に株



図1 成田国際空港における試験用FOD探知システムの設置場所

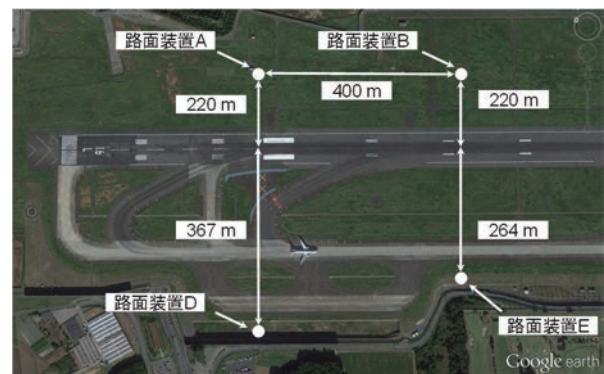


図2 レーダアンテナ局路面装置設置位置

株式会社日立国際電気に事業移管)、国立研究開発法人情報通信研究機構、公益財団法人鉄道総合技術研究所と電子航法研究所の4者で共同実施した総務省からの受託研究「90 GHz リニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発」において、技術実証のために平成27年に構築した試験システムである。成田国際空港株式会社内に設置したレーダ中央局とB滑走路の着陸帯付近を覆域（監視セル）とする複数のアンテナ局路面装置から構成されており、複数の監視セルを統合して覆域全体の異物探知を行う。滑走路上のFODを探知するシステムの最低性能要件として、EUROCAE（European Organization for Civil Aviation Equipment）から2016年3月に発行されたED-235 [2]に記載の基準対象物の一つである、

表 1 滑走路異物探知用ミリ波レーダ仕様

周波数帯	92 GHz – 100 GHz
送信帯域幅	8 GHz
送信電力	17 dBm
アンテナ利得	44 dBi

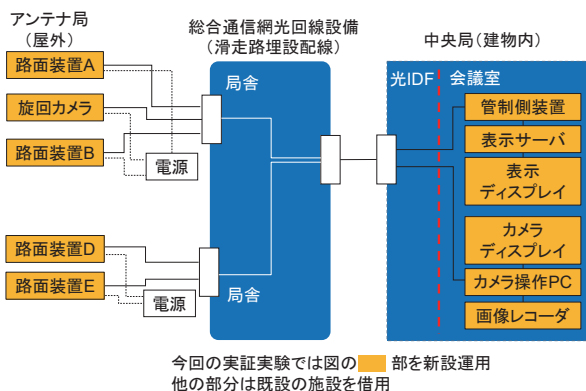


図 3 FOD 探知システム接続系統図

直径 1 インチ×高さ 1 インチの円筒状の金属物体を覆域半径 500 m において探知可能な仕様となっている。表 1 および図 3 にそれぞれ、FOD 探知用ミリ波レーダ仕様およびレーダ接続系統図を示す。光ネットワーク接続型の分散型レーダシステムであることを最も大きな特徴とし、空港滑走路等の広大な覆域を効率よく探知範囲とすることを目指している。また、図 4 および図 5 に、それぞれ中央局（管制側装置）およびアンテナ局路面装置 A（設置高：6 m）の概観を示す。

3. FOD 探知率推定のための評価試験

基準 FOD サンプルを用いて実施した、探知率定量化のための評価試験について述べる。本評価試験は、FOD 探知率の定量化を行い、滑走路あたりの必要アンテナ局数の検討を行うために必要である。また、FOD サンプルを用い、空港環境での探知性能を実地評価することを目的としている。

成田国際空港に設置した FOD 探知システムを用い、滑走路に各種の FOD サンプルを設置し、その反射電力の測定結果から任意の距離における探知率を推定する。前述のアンテナ路面装置から約 250 m 離れた距離の B 滑走路路面上に FOD サンプルを設置する。対象と



図 4 中央局（管制側装置）および



図 5 アンテナ局路面装置 A の概観

する 11 種類の FOD サンプルを図 6(a) および (b) に示す。FOD サンプルには、金属円柱（直径 1 インチ×高さ 1 インチ）、ゴルフボール、モンキーレンチ、ディープソケット、タイヤ片、ラグナット、アルミパイプ、塩化ビニールパイプ、M10 ボルトナット、燃料キャップおよび金属片が含まれている。これらは、EUROCAE ED-235 および FAA AC150/5220-24[3] 記載の基準 FOD サンプルであり、FOD 探知システムの性能評価に用いられる。代表的なレーダ反射断面積値は、金属円柱（直径 1 インチ×高さ 1 インチ）では、96 GHz において約 20 dBsm である。

評価試験は、2019 年 12 月および 2020 年 1 月に、いずれも夜間に実施した。本稿では、2020 年 1 月に実施した試験結果について述べる。試験当日の天候は小雨であった。FOD 探知システムのレーダセンサの 1 次元ビートスペクトラムにおける FOD サンプルからの反射



(a) FOD サンプル（番号 1～5）



(b) FOD サンプル（番号 6～11）

図 6 探知率推定のための評価試験に用いた FOD サンプル

電力ピーク値を取得する。反射電力は、アンテナ局と FOD 間の距離 250 m において、FOD の設置角度を 45 度刻みで 8 種類 (0 度, 45 度, 90 度, 135 度, 180 度, 225 度, 270 度) に変化させて取得する。図 7 および図 8 に、それぞれ B 滑走路上に設置した、M10 のボルトナットの概観および 1 次元ビートスペクトラムを示す。距離約 250 m において M10 ボルトナットからの反射が存在し、複数の測定者および滑走路付近の地物等からの反射もある。レーダノイズフロアは約 -92 dBm であり、探知のための定誤警報確率処理の損失等を 10 dB とすると探知閾値は -82 dBm である。この探知閾値と、各種対象物の反射電力を比較して探知率を求める。また、距離 250 m 以外ではレーダ方程式に基づき、反射電力および信号対雑音 (SN) 比を推定して検討を行う。



図 7 滑走路上の M10 ボルトナット概観

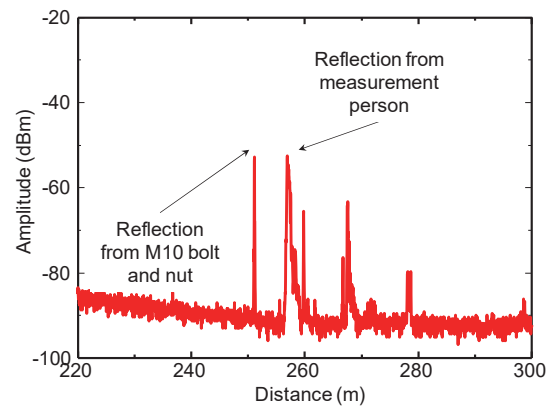


図 8 M10 ボルトナットのレーダセンサ 1 次元ビートスペクトラム例

4. 探知距離毎の探知率推定結果

表 2 に、各種 FOD サンプルの探知距離毎の推定探知率を示す。距離 250 m が測定値に基づく探知率推定であり、距離 300 m および距離 500 m は前述の通り、反射電力および SN 比をレーダ方程式より求める。ここで、探知率は 8 種類の FOD 設置角度から推定している点に留意する必要がある、推定探知率は 12.5 % 刻みで示される。推定探知率が 100 % となっている FOD サンプルは、反射電力値がいずれの角度においても探知閾値の -82 dBm を超えているということを意味している。

距離 250 m においては、タイヤ片 (横倒し) が探知率 62.5 % であり、それ以外の FOD サンプルの探知率は 100 % となっている。探知率は、長距離となるに従い低下し、500 m においては、代表的な例では、それぞれゴルフボー

表2 各種 FOD サンプルの推定探知率
(単位は%, 括弧内は感度 10 dB 改善時)

番号	対象物/距離	250 m	300 m	500 m
1	1 インチ 金属円柱	100 (100)	100 (100)	100 (100)
2	ゴルフボール	100 (100)	100 (100)	0 (100)
3	モンキーレンチ	100 (100)	87.5 (100)	12.5 (100)
4	ディープソケット (横倒し)	100 (100)	100 (100)	37.5 (100)
5	タイヤ片 (横倒し)	62.5 (75)	37.5 (75)	12.5 (75)
	タイヤ片 (直立)	100 (100)	100 (100)	100 (100)
6	ラグナット (横倒し)	100 (100)	100 (100)	25 (100)
7	アルミパイプ (油圧管模擬)	100 (100)	75 (100)	50 (100)
8	塩化ビニールパイプ (直立)	100 (100)	100 (100)	100 (100)
9	M10 ボルトナット (直立)	100 (100)	100 (100)	100 (100)
	M10 ボルトナット (横倒し)	100 (100)	100 (100)	50 (100)
10	燃料キャップ	100 (100)	100 (100)	62.5 (100)
11	金属片 (広面を下)	100 (100)	100 (100)	37.5 (100)
	金属片 (直立)	100 (100)	100 (100)	87.5 (100)

ルで 0 %, モンキーレンチで 12.5 %, タイヤ片 (横倒し) で 12.5 % となる。一方, 表 2 において, 括弧内に記載した探知率は, 今後のレーダセンサ感度向上を踏まえ, センサ感度が 10 dB 改善した場合を想定した探知率である。いずれの FOD サンプルの探知率も改善し, 距離 500 m においては, タイヤ片 (横倒し) の 75 % 以外は, 100 % となる。また, 感度改善前は探知率 0 % であった, 距離 500 m におけるゴルフボールの探知率も 100 % となる。レー

ダセンサ感度や FOD 探知スループット, アンテナ局毎の覆域は, FOD システムの設計パラメータであるため, 探知が必要な FOD の基準策定と同時に検討を行うことが必要である。

5. まとめ

成田国際空港設置の FOD 探知システムおよび基準 FOD サンプルを用いた FOD 探知率の定量化結果について議論した。FOD 探知システムの概要を述べた上で, EUROCAE および FAA の文章中に示された各種 FOD サンプルを示し, 異なる距離における探知率推定結果について, 議論を行った。今後, 前述した感度を 10 dB 程度改善したレーダセンサ部を用いた評価試験を, 今年度中に空港環境において実施予定である。

謝辞

実験にご協力頂いている国土交通省航空局, 成田国際空港株式会社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。また, 本研究の一部は, 総務省「電波資源拡大のための研究開発」(JPJ000254)の一環として実施された。

参考文献

- [1] BEA Report translation, “Accident on 25 July 2000 at La Patte d’Oie in Gonesse (95) to the Concorde resisterd F-BTSC operated by Air France,” f-sc000725a, Jan. 2002.
- [2] European Organization for Civil Aviation Electronics, “Minimum Aviation System Performance Specification for Foreign Object Debris Detection System”, ED-235, Mar. 2016.
- [3] FAA, “Airport Foreign Object Debris (FOD) Detection System”, Advisory Circular AC150/5220-24, September 30, 2009.
- [4] S. Futatsumori et. al., “Design and field feasibility evaluation of distributed-type 96 GHz FMCW millimeter-wave radar based on radio-over-fiber and optical frequency multiplier”, Journal of Lightwave Technology, vol. 34, no. 20, pp. 4835-4843, Oct. 2016.