

1 4. 滑走路異物探知用ミリ波レーダシステムの実証実験

監視通信領域 ※ニッ森 俊一

日立製作所 柴垣 信彦

監視通信領域 森岡 和行, 河村 暁子, 岡田 国雄, 米本 成人

1. はじめに

近年、航空機等に損害を与え、航空機事故等を引き起こす可能性のある空港滑走路面上の異物を自動的に探知するシステムの重要性が増している[1]-[3]。これは、滑走路の利用効率改善を図るに当たり、落下物およびバードストライク発生時等における異物安全点検の滑走路閉鎖が無視できないためである。これまで、電子航法研究所では、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ミリ波レーダ技術および Radio-over-Fiber (RoF) 技術を組み合わせた、光ファイバ接続型ミリ波レーダシステムの研究を行い、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、滑走路異物探知用の光ファイバ接続型ミリ波レーダについて、成田国際空港において実施中の実証実験の概要を述べる。なお、本研究は、平成 24 年度から平成 27 年度にかけて日立製作所、情報通信研究機構、鉄道総合技術研究所と当所の 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」の一環である。まず、成田国際空港に設置している異物探知実証実験用レーダシステムの概要を述べる。ここでは、構築したレーダシステムの特徴であるミリ波 RoF 技術による光ファイバを用いたレーダ送信信号の伝送について説明を行う。さらに、成田国際空港で実施中の異物探知実証実験の概要について議論を行う。

2. 滑走路監視用ミリ波レーダシステム

滑走路上の小異物を探知するシステムの最低性能要件が、EUROCAE (European Organization for Civil Aviation Equipment) から 2016 年 3 月に発行された[3]。センサデバイス単体の性能として、直径 1 インチ×高さ 1 インチの円筒状の金属物体が検出可能であるこ

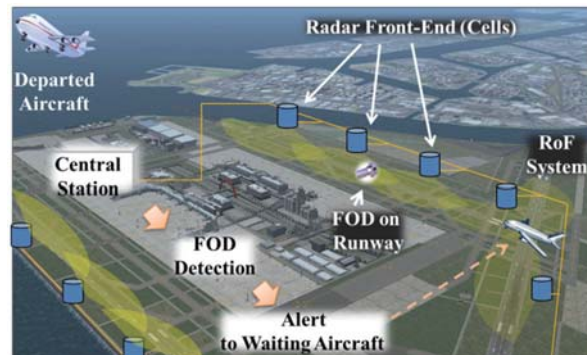


図1 光ファイバ接続型滑走路監視用ミリ波レーダシステム



図2 成田国際空港における試験用レーダシステムの設置場所

とが求められている。この性能要件を満たすことを前提にミリ波レーダシステムの検討を行う。ここで構築するレーダシステムは図1に示すように、光ファイバ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。高コストのミリ波信号源およびレーダ信号処理装置を一箇所に集約し、滑走路脇に設置する路面側装置を低コスト化することで、異なる覆域に対応可能なスケラビリティに優れたシステムが実現可能となる。図2に成田国際空港における試験用レーダシステムの設置場所を示す。成田国際空港株式会社内に設置したレーダ中

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 中央局（管制側装置）およびアンテナ局（路面装置）概観

中央局と B 滑走路エリア内の着陸帯付近を覆域とする複数のアンテナ局路面装置から構成されており、監視領域を複数の監視セル領域に分割して異物探知を行う。中央局とアンテナ局は光ファイバネットワークで接続し、中央局で生成したミリ波帯レーダ送信信号を、RoF 技術を用い、直接電気信号を光信号に変換してアンテナ局に配信する[4]。

3. 成田国際空港における異物探知実証実験用レーダシステムの構成

次に、成田国際空港における異物探知実証研用ミリ波レーダシステムの詳細を述べる。表 1 に滑走路異物探知用ミリ波レーダの仕様を示す。前述した最低性能要件で規定されている直径 1 インチ×高さ 1 インチの金属円柱を 500 m の距離で探知可能な送信電力およびアンテナ利得となっている。さらに、周波数帯域幅は、ミリ波帯の特徴である広帯域電波資源を活用し、約 8 GHz の帯域幅を用いた広帯域レーダである。本レーダは、測距方式に Frequency-Modulated Continuous Wave (FMCW) 方式を用いており、その距離分解能は帯域幅に比例して高分解能が実現できる。これまで、8 GHz の帯域幅の FMCW 信号を用

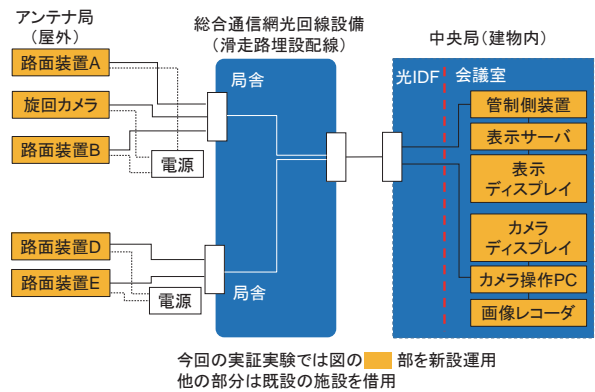


図 4 光ファイバ接続系統図

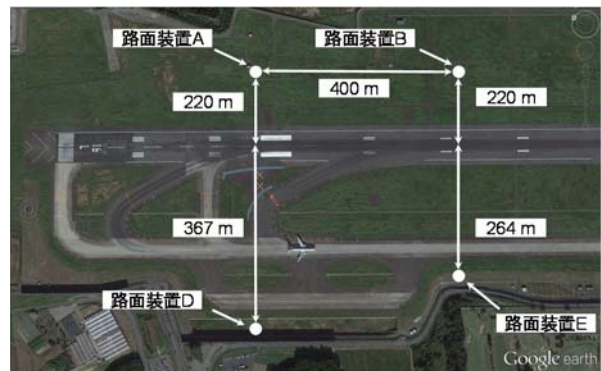


図 5 レーダアンテナ局路面装置設置位置

いた場合の距離分解能は、4 cm 離れた 2 つの対象物を分離可能であることを確認している [4]。図 3 に管制側装置を含む中央局およびアンテナ局路面装置の概観を示す。アンテナ局は参考として室内に設置しているものである。また、図 4 に中央局とアンテナ局路面装置間の光ファイバ接続系統図を示す。建物内に設置した中央局には、後述するミリ波信号源や光変調器を含めた管制側装置、表示サーバおよび表示ディスプレイを設置する。また、アンテナ局路面側装置は試験用として 4 台（路面装置 A, B, D, E）接続し、図 5 に示す位置に鋼管柱上に設置する。設置高は、路面装置 A および B が 6 m、路面装置 D および E が 8 m である。それぞれが覆域 500 m 以上であり、一部滑走路上は重複して検出可能である。中央局とアンテナ局は光ファイバを用いて接続するが、空港の既設の光ファイバを利用可能であるため、主たる光ファイバ網については新規で配線の必要が無く、設置工事の大幅な低コスト化が実現可能である。

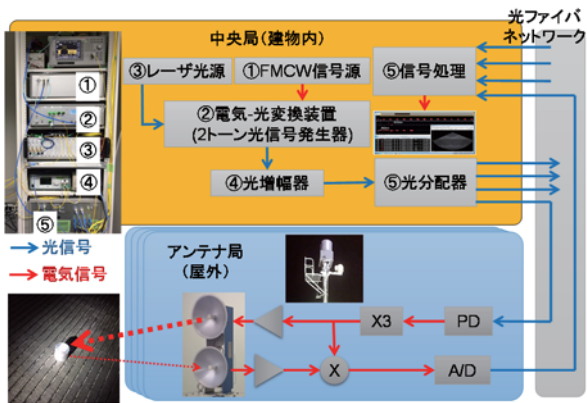


図 6 滑走路監視用ミリ波レーダシステム系統図



図 8 アンテナ局路面装置 A の設置状況概観

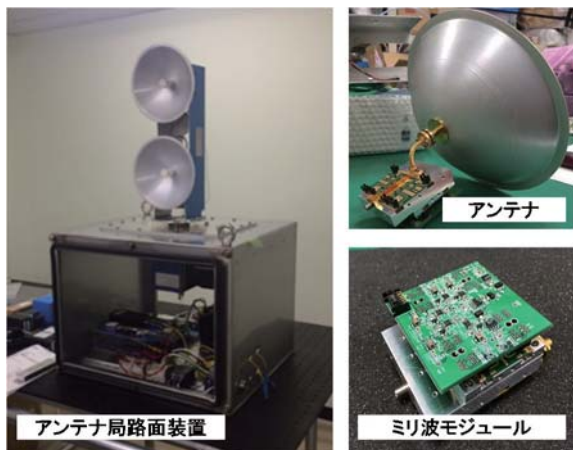


図 7 アンテナ局路面装置の内部概観

図 6 に、滑走路監視用ミリ波レーダシステムの系統図を示す。ここで、特徴的な技術としては、光搬送波抑圧両側波帯変調を用い、ミリ波長距離 RoF の課題である、光ファイバの群遅延特性により光変調信号の両側波帯の位相が反転し互いに打ち消し合うために発生する信号減衰の問題に対応している[4]。構築したシステムでは送信信号周波数 96 GHz の 3 分の 1 の約 32 GHz での RoF 伝送を行い、アンテナ局において、周波数を 3 倍に変換し、96 GHz 帯のミリ波送信信号を生成する。また、レーダ受信信号についてもアンテナ局において AD 変換を行い、同様に光ファイバを用いて中央局に伝送した後、中央局において一括して信号処理を行うことでアンテナ局の単純化を図っている。なお、中央局で生成した RoF 信号は、光増幅器を用いて伝送に適切なレベルに増幅した後、光分配器により各アン

テナに接続された光ファイバに信号を伝送する。また、図 7 に、アンテナ局路面装置の内部概観を示す。一体型のミリ波モジュールを構築することで回路の小型化および低雑音化を実現している。また、送受信アンテナは機械回転式のカセグレンアンテナである。

4. 成田国際空港における異物探知実証実験

構築したミリ波レーダシステムを用い、平成 27 年 12 月から平成 29 年 5 月までの予定で異物探知実証実験を実施中である。図 8 に、アンテナ局路面装置 A の設置状況を示す。鋼管柱上には、レドーム内に設置した図 7 のアンテナ局路面装置があり、アンテナ局の横には旋回台を有する可視カメラを設置している。なお、図 8 は、平成 28 年 3 月 4 日に実施された本研究開発の実証実験視察会の状況である。EUROCAE の最低性能要件において、検出した対象物の画像情報も取得することが求められているため、レーダ検出対象物に対して自動でカメラを制御し、画像を提供可能なように、本年度中の機能追加を検討中である。

前述のように、アンテナ局ではレーダの受信信号処理等は行わず、AD 変換のみを行い、中央局に伝送する。また、中央局とアンテナ局の同期動作により、アンテナ回転も同期するため、アンテナが互いに対向しないように制御することで、同一信号源を用いた FMCW レーダの干渉問題に対応している。また、実証実験データの検証を行うため、アンテナ局路面装置 A には気象データの取得を行うセンサを

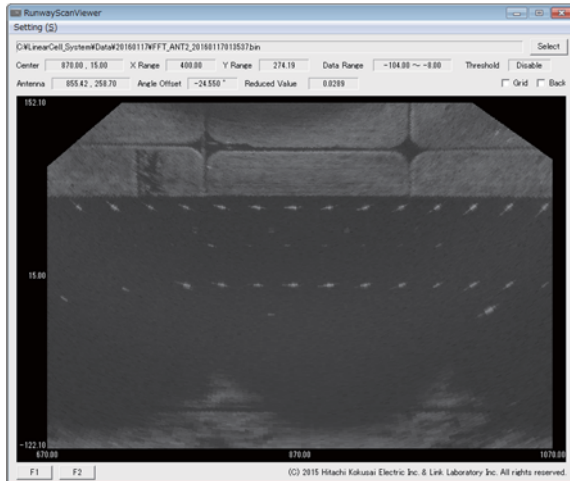


図9 レーダスコープ表示例
(アンテナ局路面装置 B)

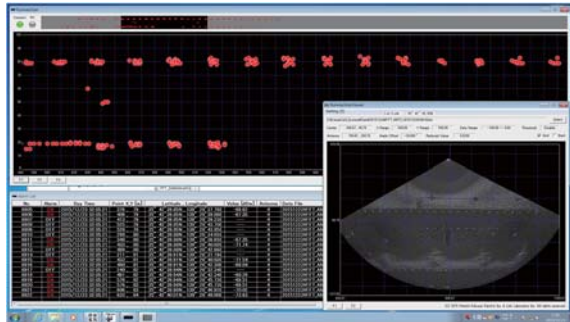


図10 レーダ表示サーバ画面例

設置している。

図9に、アンテナ局路面装置Bから取得したデータを中央局においてレーダスコープに描画した表示例を示す。本レーダスコープはしきい値処理を行う前の生データであり、反射波の強度を色の濃淡で表している。図から、滑走路脇の緑地および滑走路灯の各種周辺状況が確認できる。本レーダにより、夜間実験において、滑走路路上に置いた直径1インチ×高さ1インチの金属円柱を450mの距離で信号対雑音比が10dB程度で探知可能であることを確認している。また、図10に、定誤警報確率処理(Constant False Alarm Rate, CFAR)を行った後のレーダ表示サーバの画面例を示す。対象物の例として滑走路灯を異物として検出したと仮定し、画面の上部に滑走路上のマップに表示している。また、画面左下には、検出した異物の位置および時刻等を表示している。CFAR処理の後に、ピーク検出処理は行

っていないため、1つの滑走路灯は複数点となっているが、今後複数アンテナ局からの信号を合成し、ピーク検出処理を行うことで、異物の位置を高精度で確定可能となる予定である。

5. まとめ

光ファイバ接続型ミリ波レーダについて、成田国際空港において実施中の実証実験の概要を述べた。滑走路監視用ミリ波レーダシステムの構成を述べた上で、実証実験中のレーダスコープ表示例およびレーダ表示サーバ画面例を示し、議論を行った。現在、構築したミリ波レーダのセンサデバイスとしての性能要件への適合性を評価中である。また、本年度中に前述したカメラとの連動機能を追加し、滑走路監視システムとして性能要件に完全に適合するように機能追加を行う予定である。

謝辞

実証実験にご協力頂いている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、総務省からの受託研究「90GHzリニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発」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] 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.
- [4] ニッ森 俊一, 森岡 和行, 河村 暁子, 岡田 国雄, 米本 成人, “光ファイバ接続型広帯域 96 GHz 帯ミリ波レーダの基本構成法及び距離分解能特性評価”, 電子情報通信学会論文誌(C), vol. J98-C, no. 12, pp.459-467, Dec 2015.